

ISSN 0387-1150

研 究 紀 要

第 2 4 号

昭和 6 3 年度

奈良工業高等専門学校

目 次

セラミックスのヘルツ接触における破壊強度と三点曲げ強度の関係	西田茂生、石垣博行	1
グラフィックライブラリ IP 100および BOLT の作成	島岡三義、若林敏夫	7
研究・教育用ロボットシステムの研究	若林敏夫、成田弘一、早川恭弘	13
Surface Potential Decay and Residual Voltage Measurements in Highly Elongated Polyethylene	Jun KYOKANE, Ichi KIMURA, Doe Hee PARK and Katsumi YOSHINO	19
Power Conditioning Circuit for Superconducting Magnetic Energy Storage	Toshifumi ISE, James J. SKILES, Robert L. KUSTOM and Ju WANG	23
レイ・トレーシングによる布の表現	成田紘一、世古 忠、中村善一	29
マルチスケール表現を用いた信号処理の研究	土井滋貴	33
He-Ne レーザーを用いた三次元座標の測定	宮田正幸	37
署名照合のための筆跡個性の自動計測	中村善一、上田勝彦、成田紘一	41
パソコン CAD における要素のデータ表現に関する一考察	山崎善弘、世古 忠、成田紘一	47
階層的グラフ表現による曖昧な言語の解析	山井成良、世古 忠	51
濃度ヒストグラムの特性値に基づく印影画像の品質識別	上田勝彦	59
フィルタによる待ち時間の予測	多喜正城	63
アダトムによる二価アルコールのアノード触媒酸化	泉生一郎、大西康幸	67
遺跡出土木材の超音波診断法による非破壊的研究 (I) — 針葉樹出土木材の診断例 —	石垣 昭、上田勝彦	71
遺跡出土木材の超音波診断法による非破壊的研究 (II) — 広葉樹出土木材の診断例 —	石垣 昭、上田勝彦	77
遺跡出土木材へのポリエチレングリコールの含浸過程に関する理論的考察	河越幹男、石垣 昭	83
還元型ニコチンアミド・アデニンジヌクレオチドの精製と脱塩	末信一郎	87
連続式完全混合槽型晶析装置における動特性	中谷武志	91
活性炭の再生に関する研究 (2)	梅原 忠	95
Shakespeare's Use of Music in "The Tempest" — How the troubles are solved? —	Kazuaki KAMIZAWA	99
Idealized Human love — On Henry James's The Golden Bowl —	Etsuo KATAYAMA	111
「書く」ことの指導に関する基礎的調査	国方太司	117
On the Use of Shall and will in Caxton's Own Writings	Kiyokazu MIZOBATA	127
多元的世界と宗教 (II) — ウィリアム・ジェームズの宗教論についての考察 —	木村倫幸	140
道場法師伝説の再検討	大矢良哲	148
夏目漱石「行人」の独身者	武田充啓	160
論文抄録		161
高専の技術英語教育	高橋晴雄	167
教官研究活動一覧表		173

正 誤 表
(誤) (正)

目 次

若林敏夫、成田弘一、早川恭弘…13	成 田 紘 一
山井成良、世古忠……………○	世 古 忠…51
末信一郎……………87	末 信一郎

セラミックスのヘルツ接触における破壊強度と 三点曲げ強度の関係 *¹

西田 茂生 ・ 石垣 博行 *²

Relationship between Fracture Strength in Hertzian Contact and Three-point Bending Strength of Ceramics

Shigeki NISHIDA and Hiroyuki ISHIGAKI

Fracture strength in Hertzian contact and three-point bending were analysed by using Weibull theory. Weibull parameters of ceramics were obtained by comparing theoretical values and experimental values of three-point bending strength. These parameters were used to estimate fracture strength in Hertzian contacts. Indentation experiments were carried out for the contacts between steel balls and alumina ceramics by using an acoustic emission meter as a detector of indentation fracture. The validities of these theories were verified qualitatively by the experiments.

As a result, it became possible that fracture strength in Hertzian contact was estimated from three-point bending strength.

1. 緒 言

従来の金属材料よりも耐食、耐熱等の優れた特性を持つセラミックス材料を、軸受け等に利用しようとする試みが最近盛んとなってきた。それにともなってセラミックス材料の摩擦、摩耗に関する基礎的な研究が、トライボロジの分野でも重要な位置を占めるようになってきた。

セラミックスの摩擦、摩耗の要因として、ぜい性破壊が無視できない現象が多数報告されている。例えば、すべり摩耗ではぜい性破壊に起因する摩耗粉の生成が¹⁾、ころがり摩耗では摩耗量と破壊じん性の関連性が²⁾、またすべり摩擦係数では材料の破壊じん性値と摩擦係数との相関³⁾などが挙げられる。このため、セラミックス材料のころがり接触やすべり接触におけるぜい性破壊を把握することは、セラミックスのトライボロジ現象のメカニズムを探るための基本のひとつと考えられる。またこの問題はセラミックスを軸受け等に应用する場合に、ぜ

い性破壊発生の危険性を定量的に推定するという点において、軸受け設計の基礎として重要な意味をもつ。

本研究は、セラミックス材料のころがりおよび、すべり接触による破壊を確率論的に捉えることを目的とし、まずその第1段階として、ころがりやすべり接触の基礎となる球と平面間の押付けによる破壊について、理論と実験の両面から考察を行った。以後、球と平面間の接触状態を単に押付けという。すなわち、押付けによる破壊強度を、現在破壊の材料定数として認められている三点曲げ強度から推定することの可能性を探る。このことは、トライボロジ現象におけるぜい性破壊の危険性を三点曲げ試験のデータから推定することの可能性を探ることに通じる。また三点曲げ強度と押付けによる破壊強度との関係を逆に考えれば、この研究は材料の破壊強度を、大量の試験片を必要とする三点曲げ試験によらず、試験片の準備や計測の容易な押付け実験で代用することの可能性を検討することにもなる。なお、曲げ強度や押付け問

*1) 日本潤滑学会第31期秋期全国大会(1986)発表

*2) 近畿大学理工学部機械工学科

題の確率論的処理については、現在のところ複雑な解析、すなわち多軸応力下での解析や複数の破壊原因および、材料内部の欠陥を考慮した解析等がなされているが⁴⁾⁵⁾、実測値との比較がなされた例は少なく、理論の妥当性が明らかにされていないのが現状である。またこれらの理論は、トライボロジ現象に拡張するための基礎式としては複雑すぎ、理論のパラメータの推定が困難である等の問題をかかえている。そこで本研究においては複雑な理論は用いず、ワイブルの基礎式にたちかえり、それをもとに曲げ強度や押付けによる破壊強度の理論値を推定した。

またアコースティックエミッション (AE) をぜい性破壊発生を検知に用いた押付け実験により、理論の妥当性を確かめた。

ところで、一般にぜい性材料の破壊を理論的に捉える研究としては、破壊力学的研究が主であると思われる。

すなわち、弾性論や塑性理論を用いて欠陥周辺の応力場や欠陥進展にともなうエネルギーの変化率を厳密に解析する研究である。しかし、これらの研究をトライボロジ現象の様な比較的複雑な応力状態に適用するには種々の問題がある。特に先在欠陥の大きさ、形状、方向の分布が測定できない現状では、計算に必要なパラメータの推定が困難である。また予備実験においては、押付けによる破壊荷重に大きなばらつきがみられた。これらの理由により、本研究においてはすべての破壊現象を確率論的に捉えた⁶⁾。すなわち、材料内部の先在欠陥の大きさ、形状、方向や欠陥進展のメカニズムすべてをブラックボックスとし、接触状態の応力分布のみを考慮して、接触問題における破壊現象を考察した。

2. 三点曲げ強度と押付けによる破壊強度

ここでは、三点曲げ強度および、押付けによる破壊強度の両者に同じ破壊形態を想定して、すなわち、破壊は材料表面の欠陥が引張り応力によって進展した結果生じるものであると考え、これらを確率論的に考察した。

本研究では、従来行なわれている破壊力学的な考察を行わない。すなわち、材料表面および、内部の欠陥の大きさ、形状、方向や欠陥進展のメカニズムといった個々の因子には関与せず、それらの影響が複合化されたものがワイブルパラメータに代表されると考える。そしてワイブルパラメータのみを用いて、破壊強度を理論的に推定した。

まず、確定論的に求めた三点曲げ強度の理論値と実際の三点曲げ試験の結果を比較することによりワイブルパラメータを推定し、このワイブルパラメータを用いて、

押付けによる破壊強度を確率論的に求めた。そして次の段階として、三点曲げ強度と押付けによる破壊強度の関係を実験的に検討した。なお、本研究では上でも少しふれたが、三点曲げ強度および、押付けによる破壊強度を、以下に示すような仮定のもとで考察した。

①材料の表面層に互いに独立な様々な欠陥が一様に分布する。

②破壊の起因となる欠陥は表面近傍の先在欠陥のみであり、破壊は最弱リンク説に従う。

③単軸引張り応力下での破壊を考える。

①の仮定は破壊現象を確率論的に考える場合に一般に用いられる⁷⁾⁸⁾。②の仮定は平板の押付け実験や曲げ試験の結果等から妥当であると考えられる。③の仮定はいいかえると、ある点の破壊確率はその点の最大引張り応力のみによって決定されるという意味であり、厳密には多軸応力下での破壊を考えるべきである⁹⁾¹⁰⁾。しかし、破壊力学的厳密性を追求しても計算に必要なパラメータの推定が困難であり、ころがりやすべり接触といったトライボロジ問題に発展させることも難しい。本研究は破壊のメカニズムを追及するのが目的ではなく、三点曲げ強度あるいは、押付けによる破壊強度からトライボロジ問題における破壊の発生確率をおおまかに推定することを目的としての解析で、しかもその第1段階にある。また一般のセラミックス材料では、圧縮強度は引張り強度の約10倍であることを考えると、③の単軸引張り応力下での破壊を考えるという仮定は妥当であると考えられる。

引張り応力 σ を受ける体積 V のぜい性材料の単軸引張り強度は、一般に次式で示すワイブル分布に従う。

$$G(\sigma) = 1 - \exp\left[-V\left(\frac{\sigma - \sigma_u}{\sigma_0}\right)^m\right] \quad (2.1)$$

ここで σ_u 、 σ_0 、 m は実験的に求められるパラメータであり、 σ_u はそれ以下では材料が破壊しない応力、 σ_0 、 m はワイブルパラメータである。そこでこのワイブルの式を用いて三点曲げ試験の応力状態および、押付けによる応力状態での破壊確率を求め、相互の関係を考察した。そして、AE をぜい性破壊の発生を検知に用いた押付け実験の結果と、三点曲げ試験から推定したワイブルパラメータを用いて計算した押付けによる破壊確率の理論値を比較することにより、本研究における理論の妥当性を検討した。

2-1 三点曲げ強度とワイブルパラメータの推定

三点曲げ試験において、負荷荷重が P に達するまでに材料が破壊する確率 $G_{TPB}(P)$ は、(2.1) 式の σ に三点曲げにおける表面の引張り応力分布を代入し、試料

全表面にわたって積分することにより次式のように求まる。

$$G_{TPB}(P) = 1 - \exp[-n_0 C_1 (P/\sigma'_0)^m] \quad (2.2)$$

ここで n_0 は欠陥の面密度、 C_1 は材料の形状と m とで決まる定数である。また σ'_0 はワイブルパラメータであり、 n_0 、 m とともに材料の機械的特性や欠陥の分布に依存する。(2.2) 式はワイブルの式と同形であり、これはワイブル分布に従うから、 P の指数 m は実際に三点曲げ試験を行った場合の破壊荷重をワイブル確率紙にプロットしたときの直線の傾きに相当する。このようにしてワイブルパラメータ m (以後これを形状母数と呼ぶ) を求め、次に $G_{TPB}(P)$ のあるひとつの値から n_0 、 σ'_0 を求める。

ただし n_0 と σ_0 とは独立には決まらないから n_0 と σ'_0 の関係式を導き、その関係式を満たす n_0 と σ'_0 の値のひとつを推定値とする。曲げ強度が異なる2種類のアルミナ試料のワイブルパラメータを先の方法によって推定した値を、アルミナの平均曲げ強度とともに表2-1に示す。

表2-1 アルミナ試料のワイブルパラメータ推定値

	形状母数	n_0 と σ_0 の関係式	曲げ強度
試料 I	9	$\sigma_0 = (40n_0)^{1/9} * 40.82$	38.8(kgf/mm ²)
試料 II	10	$\sigma_0 = (400n_0/11)^{1/10} * 52.96$	50.6(kgf/mm ²)

2-2 押付けによる破壊強度

ここでは、前節で示したように、三点曲げ試験から推定したワイブルパラメータを用いて押付けによる破壊強度を確率的に求める。

ぜい性材料の平板に球を押付けるときの破壊確率を、接触における変形モードが弾性変形のみであるとして解析する。押付けによる平板表面の応力分布はヘルツによって解析されており、ここではヘルツの応力場をもとに押付けによる引張り応力分布を求め、その結果を用いて破壊確率を求める。

ヘルツの理論によると、表面の円周方向応力はすべて圧縮応力となるから、半径方向の応力だけを考えると、半径方向の引張り応力は次のように求められる。

$$\sigma(r) \begin{cases} = 0 \text{ (圧縮応力)} & (0 < r < a) \\ = \sigma_a \cdot a^2 / r^2 & (r > a) \end{cases} \quad (2.3.a)$$

$$\quad \quad \quad (2.3.b)$$

ここで σ_a は最大引張り応力であり、半径 a の接触円の円周上でおこる。 r は接触中心からの距離を表す。また a と σ_a の関係は弾性論より次式で表される。

$$a = k \sigma_a \quad (2.4.a)$$

$$k = Rk_1 / k_2 \quad (2.4.b)$$

$$k_1 = 0.75\{(1 - \nu_b^2)/E_b + (1 - \nu_p^2)/E_p\} \quad (2.4.c)$$

$$k_2 = (1 - 2\nu_p) / 2\pi \quad (2.4.d)$$

ただし ν 、 E はそれぞれ材料のポアソン比とヤング率で、添え字 b 、 p は球と平板を表す。

いま、ある荷重 P_1 で球が押付けられているとする。(2.3) 式から P_1 による接触領域の内側の引張り応力は零であるが、その領域の各点は荷重が P_1 に達するまではその時々荷重による最大引張り応力を経験している。したがって、ある荷重に達するまでの破壊の確率を考えるとときには、それまでの応力分布の最大値の分布の履歴を考慮に入れねばならない。よって接触半径が a になる押付け時の最大引張り応力分布は次式となる。¹⁾

$$\sigma(r) \begin{cases} = \sigma_a \cdot r / k & (0 < r < a) \\ = \sigma_a \cdot a^2 / r^2 & (a < r) \end{cases} \quad (2.5.a)$$

$$\quad \quad \quad (2.5.b)$$

(2.5) 式とワイブルの式より、球に作用する荷重が P に達するまでに材料が破壊する確率 $G_{IND}(P)$ は次式のように求まる。

$$G_{IND}(P) = 1 - \exp[-n_0 C_2 R^{2(1-m)/3} \left(\frac{P}{\sigma'_0}\right)^{m(m+2)/3m}] \quad (2.6)$$

ここで C_2 は材料のポアソン比、ヤング率、形状母数で決まる定数、 R は球の半径である。(2.6) 式を用いて計算した押付けによる破壊確率の1例を図2-1に示す。

この図は三点曲げ試験から推定した試料 I のワイブルパラメータ(表2-1)を用いて、押付ける球の半径を変化させたときの押付けによる破壊確率をワイブル確率紙上に示したものである。横軸は球にかかる荷重を、縦軸には破壊確率をそれぞれ表す。なお、球とアルミナ平板は後の押付け実験で使用される試料と同一である。これらの諸特性値を表2-2に示す。

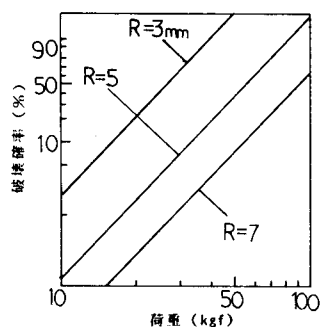


図2-1 押付けによる荷重と破壊確率の関係

表 2-2 試料の諸特性値

	ヤング率	ポアソン比	ビッカース硬さ	比重	組成
アルミナ	38000 (kgf/mm ²)	0.23	1826	3.9	Al ₂ O ₃ (99.5%) SiO ₂ (0.5%)
SUJ2	21000 (kgf/mm ²)	0.30	850	7.8	

図 2-1 より、球の半径が大きくなるほど破壊しにくくなるのがわかる。これは、球の半径が大きくなることによる引張り応力の低下が、接触半径の増加にともない引張り応力が作用する領域内に危険な欠陥が含まれる確率が高くなるという、いわゆる寸法効果よりも、押付けによる破壊確率に大きな影響を及ぼしていることを意味する。

2-3 三点曲げ強度と押付けによる破壊強度の関係

三点曲げ強度と押付けによる破壊強度との関係を明らかにすることにより、押付けによる破壊強度を破壊の材料定数として一般に用いられている三点曲げ試験の測定値から推定することが可能となる。また反対に、材料の破壊強度評価を大量の試験片を必要とする曲げ試験によらず、試験片の準備や計測の容易な押付け試験で代用することも可能となる。そこで両者の理論値の関係を調べる。

(2.2) 式と (2.6) 式を対応させると、荷重 P と破壊確率に注目する上では明らかに両者ともワイブル分布に従う。すなわち、 P の指数部は形状母数に相当する。

三点曲げ強度の形状母数を M_{TPB} 、押付けによる破壊強度の形状母数を M_{IND} とすると、両者の関係は次式のように表せる。

$$M_{IND} = (M_{TPB} + 2) / 3 \quad (2.7.a)$$

$$\frac{E_{IND}}{E_{TPB}} = \frac{C_2}{C_1} (RP)^{2(1-m)/3} \quad (2.7.b)$$

ここで E_{IND} 、 E_{TPB} はそれぞれ (2.2) 式と (2.6) 式の右辺の指数部を表す。

一般のセラミックス材料では M_{TPB} は 10 前後もしくはそれ以上であるから、(2.7.a) 式より $M_{IND} < M_{TPB}$ ということがわかる。これは押付けによる破壊強度の方が三点曲げ強度よりばらつきが大きいことを意味する。

3. 押付け実験

ここでは、前節で考察した三点曲げ強度と押付けによる破壊強度との理論的な関係の妥当性を、球とセラミックス平板との押付け実験によって検討した。

3-1 装置および実験方法

実験装置の概略を図 3-1 に示す。

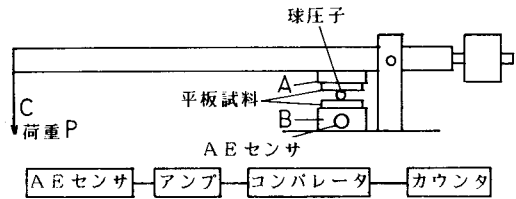


図 3-1 押付け実験装置の概略図

試料台 (図の B 部) に平板試料を取り付け、同じ平板試料を A 部にも取り付ける。平板試料間に鋼球を挟み込み、C 部の荷重を連続的に増加させ、ぜい性破壊の発生を AE を用いて検知し、その時点で球に作用する荷重を計測する。本実験では AE 計測を行うので、機械的振動は押付けによる破壊現象に大きな影響を与えると同時に、振動そのものが AE センサにノイズとして入る。また AE 計測システムは高い増幅を必要とするため、モータのように電気的ノイズの発生源となる恐れのあるものは使用を避けなければならない。そこで負荷方法としては高周波の振動が発生しないように、水を連続的に、静かに、C 部に吊したタンクに注入する方法を用いた。負荷速度は 20 Kgf/min である。

ここで AE 計測の方法について述べる^{※3}。ぜい性破壊によって発生した AE 波を試料台に取り付けた AE センサで電圧信号に変換する。この AE 信号を、まず前置アンプで百倍の増幅をしたのち、主アンプでさらに百倍の増幅を行う。増幅された AE 信号をしきい値 0.5 V に設定したコンパレータに送る。コンパレータはカウンタに接続されており、1 万倍に増幅された AE 信号の電圧が 0.5 V を上回るときにのみカウンタに信号が送られる。したがって本実験においては、AE センサに 50 μV の出力を発生せしめるような AE 波の発生時点をぜい性破壊の発生とする。

次に実験の手順を述べる。すべての実験は室温 (25 ± 3℃)、相対湿度 50 ± 5% のもとで行った。まず平板試料および、鋼球をエタノールを入れた超音波洗浄器で洗浄しておく。次に平板試料を試料台および、図 3-1 中の A 部に取り付ける。このとき試料が試料台に密着するようにシリコングリスを添付する。球を下部の平板試料上に置き、上部の平板試料で挟み込む。連続的に負荷を増加させ、カウンタで AE 波を検出したときの荷重値

※3) 本実験では、AE センサに NF 社の AE900S-WB、前置アンプに同社 AE911 を使用し、主アンプ、コンパレータは自作のものを使用した。

を読む。次に球の平板試料上の位置を変え、同じ手順で破壊荷重を求める。これらの操作を数十回繰り返し、得られた破壊荷重値と破壊確率の関係をワイブル確率紙上にプロットし、形状母数を求める。なお、平板試料としては曲げ強度の異なる2種類のアルミナ試料I、IIを用い、球試料には半径5mmと3.175mmのSUJ2球を用いた。(表2-1、2-2) また平板試料は#600のダイヤモンド砥石で研削した後、ラップ仕上げした。

3-2 実験結果と考察

図3-2に押付け実験の結果と理論値の比較を示す。

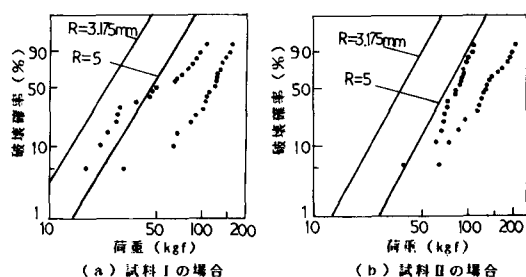


図3-2 押付け実験の結果と理論値の比較

●: R = 3.175mm ○: R = 5mm

図3-2の(a)は試料I、(b)は試料IIについての結果である。(a)(b)とも横軸は荷重、縦軸は破壊確率を表す。図をみると、(a)(b)ともに実験値と理論値の絶対値の間にはかなりのくい違いがある。しかしながら、形状母数に相当するグラフの傾きはほぼ一致している。また球の半径や材質の相違の影響も理論と実験が一致している。すなわち、球の半径が大きくなるほど破壊しにくくなることや試料IよりIIの方が破壊強度が大きいという定性的な傾向は、理論値と実験値で一致している。一方、試料I、IIでの押付けによる破壊荷重について、本研究では採用しなかった確定論的な解析の有効性を下記に示す手順で大まかに検討してみたところ、その推定値はこの実験結果と大きくかけ離れた値となった。すなわち、三点曲げの破壊荷重を三点曲げ試験を行う場合の試料下面の中央部での応力に換算し、破壊実験におけるその応力の平均値を材料の破壊強度とする。押付け時の最大引張り応力がその破壊強度に達したときに押付けによる破壊が生じると考える。そのとき球にかかる荷重を求め、押付け破壊の実験値の平均値と比較すると、今回使用した試料では表3-1に示す値となる。これらの値は実験値と1桁以上異なっており、本理論によって推定した値の方がはるかに実験値に近い値となっている。

これらのことより、破壊現象を確率論的に考えることの重要性は明らかであり、本理論は定量的には実験値よ

表3-1 確定論的に求めた押付けによる破壊荷重

	球半径3.175mm	球半径5mm
I	2.4 kg f	5.4 kg f
II	6.0 kg f	13.4 kg f

り破壊しにくい側によっているものの、定性的には妥当であるといえる。

次に、実験値と理論値の定量的なくい違いの原因について考察する。これに関しては、以下に示すような様々な原因が考えられる。

- ①三点曲げ試験によるパラメータ推定の精度の問題
 - ②多軸応力状態、複数の破壊原因、材料内部の欠陥といった解析上の問題
 - ③欠陥発生や進展に対するAEの測定感度の問題
 - ④球と平板の材料の弾性定数が異なることによる影響
- 以下、それぞれの原因に関して考察する。

①のパラメータ推定の精度については、同一試料で三点曲げを行ってワイブルパラメータを推定してもかなりのばらつきがみられるのが一般である。したがって、三点曲げ強度のワイブルパラメータを用いて押付けによる破壊強度を理論的に求めた場合、かなりの幅をもつことが考えられる。

②の解析上の問題に関しては、今回用いたワイブルの式を松尾ら¹²⁾のような複雑なものに修正しなければならず、次に述べる③の問題とともに今後の検討が必要である。

③の測定感度の問題は、本実験での最も大きな問題のひとつであり、破壊の実験にAE計測を使用する場合の共通の問題である。すなわち、本実験ではカウンタのしきい値を0.5Vに設定したが、このしきい値を越えるエネルギーをもつAE波がどれ位の規模の破壊によって生じたものかわからない。現状では発生したAE波のエネルギーとぜい性破壊の規模との対応がつかめておらず、しかも材料内で発生したAE波は材料内、試料台を伝搬するため、AEセンサがAE波を受けるときには破壊時に発生したAE波とは異なったものを受けている。そのため、AE計測のしきい値の物理的意味付けにはAEの今後の研究の発展を待たねばならない。

最後に④の弾性定数の不一致による影響について、理論的な考察を行ったので、以下にこれを述べる。

2物体が接触するとき、各々の接触面は境界面に平行に、半径方向に内側に向かって動く。ところが接触する2物体の弾性定数が異なると接触面に境界面と平行な力が生じる。この力は半径方向に作用し、弾性定数の大きい方の面では接触中心から外側に、弾性定数の小さい方

の面では接触円周上から中心に向かって作用する。したがって球と平板の弾性定数が異なると、押付けによる接触領域外側の応力分布が(2.5)式とは異なったものとなり、それが破壊確率に影響を及ぼす。そこで、弾性定数の不一致を考慮した場合の破壊強度を、接触面にはすべりが生じないという仮定のもとで考察を行なった。

引張り応力の発生要素としては、接触面に作用する垂直力による成分と弾性定数の不一致によって生じた接触面の境界面に平行な力による成分とがある。接触領域外側の引張り応力分布はこれら2成分の和で表されるが、これはJohnsonら¹⁹⁾によって求められている。この応力分布をもとに、前章の方法と同様に引張り応力の最大値の分布の履歴を考慮した応力分布を求める。このようにして求めた応力分布を用いて破壊確率を求めると次式のようなになる。ただし、式中にあらわれる κ は、弾性変形のしやすさを表す材料定数である。

$$G_{EM}(P) = 1 - \exp \left[-2\pi n_0 a^{2(1-m)} \left(\frac{P}{\sigma_0} \right)^m \left\{ \left(\frac{4}{\pi-1} + \frac{(1+2/\pi)\nu_p \kappa + (1-2\nu_p)}{2\pi(m+2)} \right)^m + \int_0^{\xi} \xi \left(\frac{k_2}{\xi^2} - \frac{\kappa}{\pi^2} \right) \left\{ \left((2+\nu_p)(\xi - \sqrt{\xi^2-1}) + (1-\nu_p) \sin^{-1}(1/\xi) - \frac{\xi^2-1}{\xi^2} \right)^m d\xi \right\} \right] \quad (3.1)$$

(3.1)式を用いて計算した破壊確率の1例を図3-3に示す。

この図は κ をパラメータにしたときの荷重と破壊確率の関係を示す。図よりわかるように、球と平板の材料の弾性定数が異なる場合と破壊確率に影響を与え、 $\kappa > 0$ では破壊しにくく、 $\kappa < 0$ では破壊しやすくなる。

これは、今回の実験結果とは逆の結果となっている。したがって④の影響は考えなくてもよいといえる。しかしながら、ここでの考察は新しい知見として十分意味をもつと考えられる。

以上が弾性定数の不一致による影響であるが、この他にも理論と実験値の定量的なくい違いの原因が考えられる。例えば、平板の表面粗さの影響やサンプル数の問題等が考えられるが、これらについては今後の課題とする。

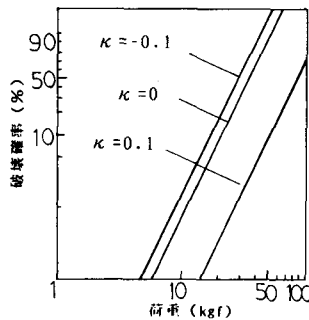


図3-3 弾性定数の不一致を考慮した場合の押付けによる荷重と破壊確率の関係

4. 結 言

本研究では三点曲げ強度および、押付けによる破壊強度を確率論的に考察し、両者の理論値の間の関係を調べるとともに、球と平板の押付け実験によって、本理論の妥当性を検討した。その結果、本理論は実験値とは定量的なくい違いがみられるものの、定性的には妥当であることが確認できた。

実験および、数値計算から得られた知見を以下に示す。

(1) 三点曲げ強度と押付けによる破壊強度のワイブルパラメータ間の関係が明らかとなり、押付けによる破壊強度を三点曲げ強度から推定する、あるいはその逆の推定を行う目安が得られた。

(2) 押付けによる破壊強度は、押付ける球の半径が大きいほど高くなる。このことは、球の半径が大きくなることによる応力の低下が、接触半径の増加にともなう寸法効果よりも押付けによる破壊確率に大きな影響を与えることを意味する。

(3) 押付けによる破壊強度は、接触する2物体の材料の弾性定数の不一致による影響を受け、弾性変形のしやすさを表わす κ が正のときは増大、負のときは減少する。

参考文献

- 1) K. Miyoshi et al. Wear, 75 (1982) 253
- 2) S. Kim et al. ASME Journal of Tribology, 108 (1986) 522
- 3) H. Ishigaki et al. Wear of Materials, ASME (1985) 13
- 4) 松尾他、日本機械学会論文集(A) 46, 406 (1980) 605
- 5) 松尾他、窯業協会誌 93 (1985) 757
- 6) 西田、石垣他、日本潤滑学会第31期全国大会(名古屋)予稿集(1986) 445
- 7) H. Oh, I. Finnie, J. Mech. Phys. Solids, 15 (1967) 401
- 8) 井川、島田、精密機械 51 5 (1985) 1074
- 9) 池田、井垣他、材料、30 328 (1981) 72
- 10) 池田、井垣他、材料、31 350 (1982) 1086
- 11) H. Oh, I. Finnie, Int. J. Frac. Mechanics, 63 (1970) 287
- 12) 4)と同じ
- 13) K. Johnson et al. Proc. R. Soc. Lond. A, 334 (1973) 95

グラフィックライブラリ IP 100 および BOLT の作成

島岡三義・若林敏夫

Development of Graphic Libraries : IP 100 and BOLT

Mitsuyoshi SHIMAOKA and Toshio WAKABAYASHI

The computer programming is required to draw using XY Plotter (IP 100) and display on the screen of the Graphic Display (SAPIENS MG-310S), because the interchangeability is of the lack between both commands. The graphic library named IP 100 has been developed, and thereby the program for the Graphic Display could be converted into the program for XY Plotter. Therefore the labor for the programming to draw XY Plotter has been saved at the considerable extent. In the other hand, the graphic library named BOLT has been developed to construct bolts and nuts which are important mechanical elements, and therefore the efficiency of the programming for the drawing of the machines has been increased.

1. はじめに

市場ニーズの多様化、生産性向上の追求、労働力不足などに対処するためおよびエレクトロニクスの発展、ソフトウェア技術の発展、高度加工技術や自動制御技術の発展によって、生産現場はもとより、教育現場においてもCAD/CAMの導入が急速に進められており、一時のCAD/CAMブームめいたものから本当の実用期に入った感がある^{(1),(2)}。特にCADシステムの普及は著しく、今後より一層の発展が期待されている状況にあり、その発展を促進する目的でCADの標準化が現在進められている^{(3),(4)}。

CADの普及にともない、教育現場においてもCAD教育の必要性が論じられており^{(5)~(7)}、実際にCADシステムを導入して教育効果を上げている大学^{(8)~(10)}もあり、製図教育の抜本的な見直しが必要な時期にきていると考えられる。本校機械工学科では、製図教育の近代化を図るため、昭和60年度に図形処理システムを導入した。本システムの導入に際しては、製図作業を単に自動化するためだけでなく、近年、技術の進歩が著しいコンピュータグラフィックス機能を充実させ、本校独自のCADシステム構築を目的として機種選定を行った。

CADシステムを構成する主要な出力装置として、グラフィックディスプレイとXYプロッタがあるが、表示形式が異なるため、両装置に出力するための共通のコマ

ンドがないのが(たとえどんなに高級機種であっても)現状である。したがって、図面作成のためにXYプロッタに出力するときは、グラフィックディスプレイ出力用とは別個のプログラムを作成しなければならない不便さがある。CAD/CAMが発展すれば、設計データは生産現場までオンラインで結ばれ、図面は必要でなくなるという見方があるが、図面を用いてきた歴史が長く、図面を見れば形状などがすぐにイメージできる習慣が身に付いているため、設計情報を伝達するためには、当分の間は図面が用いられるものと思われる。

そこで本研究では、XYプロッタに図形を出力する場合のプログラミング効率を高めるために、グラフィックサブルーチンパッケージ「SCORE」を用いて作成されたプログラムが十分に生かされるように、XYプロッタ用グラフィックライブラリの作成を行った。また、機械図面作成のためには、規格化されている機械要素部品などの図形はある程度ライブラリ化されていれば便利であり、利用頻度の高いボルト、ナット関係の図形のライブラリの作成を行った。

2. 図形処理システムの概要

ライブラリ作成に使用した図形処理システムの概要を図1および表1に示す。ホストコンピュータ U station/E 15は16ビットミニコンピュータで、UNIX

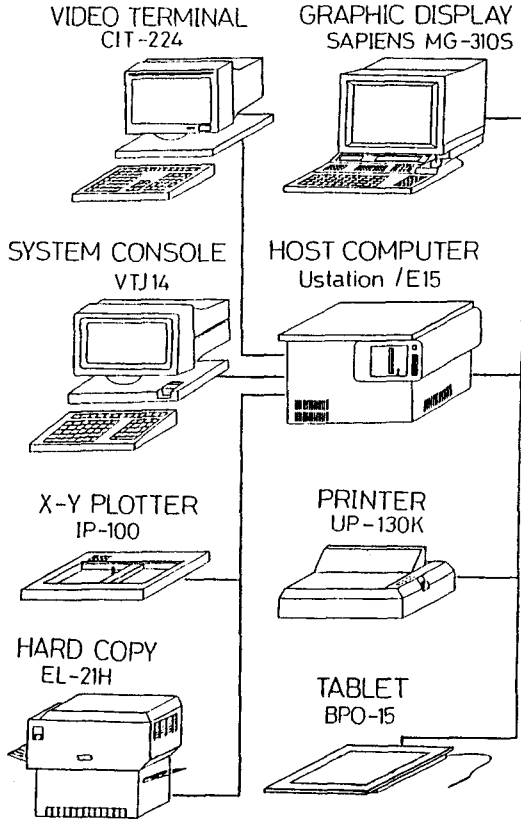


図1 図形処理システムの外観

System V をオペレーティングシステムとし、大記憶容量、システム拡張性(RS-232-C 8ポート)に優れた装置である。

グラフィックディスプレイ、サピエンス MG-310 S は、装置独自のグラフィックサブルーチンパッケージ(SCORE)を有し、図形の回転、拡大/縮小、平行移動などの座標変換や透視投影、平行投影などの像変換が即座に行えることが大きな特徴である。

XYプロッタ IP 100 は、作図過程が理解できるようにとの教育的配慮から、近年主流となっているドラムタイプではなく、フラットベッドタイプとしている。

また、ディスプレイ上の表示図形を即座に複写できるハードコピーを備えており、プログラムのデバッグ効率を高めることができると共に、連続的な座標変換あるいは像変換途上であっても、任意の瞬間における図形を紙面に記録できる。このように、本システムはCADシステムに必要な標準的なハードウェアを装備している。

表1 図形処理システムの主な仕様

ホストコンピュータ Ustation/E15 (住友電工製)	UNIX system V CPU MC68000 メモリ 2 MByte 固定ディスク 80 MByte 8" フロッピー 1 MByte
グラフィックディスプレイ サピエンス MG-310 S (武藤工業製)	20" カラー高速座標変換 2・3次元高速度画面 8ポート/画面 関数発生機能、他
システムコンソール VTJ 14 (DCL(株)製)	CRT ノングレア 14" 漢字JIS第1、第2水準
ビデオミナル CIT 224 (DCL(株)製)	CRT ノングレア 14" (2台)
漢字プリンタ UP-130K (EPSON製)	インパクトマトリクス印字方式 用紙 15" 漢字JIS第1、第2水準
X-Yプロッタ IP-100 (武藤工業製)	A2 サイズ、8ペン 作図速度 40 cm/s 分解能 0.025 mm
ハードコピー EL-21H (武藤工業製)	A4 サイズ モノクロ 半導体レーザビーム 電子写真方式
タブレット BPO-15 (武藤工業製)	有効サイズ 15" × 15" 分解能 0.1 mm or 0.005"

3. グラフィックライブラリ「IP 100」

プログラム言語は、Fortran 77である。XYプロッタで作図する場合でも、ディスプレイで図形に誤りがないかを事前に確認するのが常套手段と考えられる(図形の表示時間がディスプレイの方が圧倒的に速い)から、まず最初にディスプレイ用の作図コマンド(SCORE)を用いてプログラムが作成される。

したがって、本研究ではSCOREの作図コマンドがサブルーチンコールされたとき、それと同じ作図機能を有するXYプロッタの作図コマンドを呼び出す、XYプロッタ版「SCORE」に相当するライブラリ「IP 100」を作成し、XYプロッタに出図する場合のプログラミング効率の向上を図ることとした。対象とする図形は、自動製図を念頭に置き、二次元図形で連続的な座標変換などは行わない場合とした。

SCOREとXYプロッタの作図コマンドは作図機能の上で1対1に対応している訳ではなく、両作図コマンドの対応関係は次の五つに分類される。

(1) SCOREの作図機能と同一の機能がXYプロッタにもあり、しかも引数とその並びと共に同じである場合、すなわち、作図コマンド名のみが異なる場合。

(2) SCOREの作図機能と同一の機能がXYプロ

タにもあるが、引数が異なる場合。

(3) SCORE の作図機能と同一の機能が XYプロットには存在しないが、いくつかのコマンドを組み合わせることによって見かけ上対応できる場合。

(4) SCORE の作図機能と同一の機能をたとえ見かけ上であっても XYプロットでは全く付与できない、あるいはその機能を無視しても差し支えない場合。

(5) XYプロットに出図するには、SCORE とは無関係に独自のサブルーチンを作成しなければならない場合。

それぞれの場合におけるサブルーチンプログラム例を図2～図6に示す。なお、ディスプレイ上とXYプロット上で図形の大きさが等しくなるようにスケール変換を行った。また、一つのプログラムのコンパイルと実行の手続きを変えて、ディスプレイとXYプロットに出力した一例を図7に示す。図中(a)のハードコピー図では、ディスプレイの画素数によって線の滑らかさに欠けるところ

```

SUBROUTINE LINE(X, Y)
  XL=X/182.0   〇  スケール変換
  YL=Y/182.0
  WRITE(2, 100) XL, YL
100  FORMAT("DA", F10.5, ", ", F10.5)
  RETURN
  END

WRITE文でXYプロットに作図
    
```

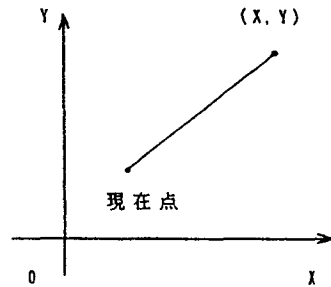


図2 IP 100 サブルーチン例 (1)

```

SUBROUTINE ARC(R, THS, THE)
  XS=R*COS(THS/180.0*3.14159)
  YS=R*SIN(THS/180.0*3.14159)
  DX=-R*COS(THS/180.0*3.14159)/182.0
  DY=-R*SIN(THS/180.0*3.14159)/182.0
  CALL MOVER(XS, YS)  — 円弧書き出し
  THETA1=THE-THS      位置へ移動
  THETA2=0.0
  WRITE(2, 100) DX, DY, THETA1, THETA2
100  FORMAT("AR", F10.5, ", ", F10.5, ", ",
           F10.5, ", ", F10.5)
  XE=-R*COS(THE/180.0*3.14159)
  YE=-R*SIN(THE/180.0*3.14159)
  CALL MOVER(XE, YE)  — 中心点へ移動
  RETURN
  END
    
```

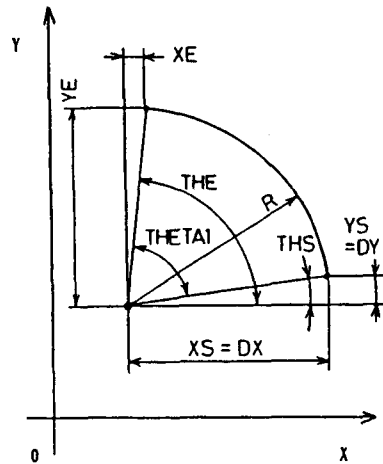


図3 IP 100 サブルーチン例 (2)

```

SUBROUTINE RECT(XL, YL, XR, YR)
  XL1=XL
  YL1=YL
  XR1=XR
  YR1=YR
  CALL MOVE(XL1, YL1)  — (XL, YL)にペン移動
  CALL LINE(XL1, YR1)
  CALL LINE(XR1, YR1)
  CALL LINE(XR1, YL1)
  CALL LINE(XL1, YL1)  — 4本のLINEで四角形を作図
  RETURN
  END
    
```

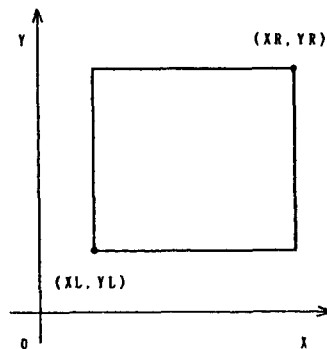


図4 IP 100 サブルーチン例 (3)

```

SUBROUTINE OPENS(ISEG)
RETURN
END

```

何も処理せず

MAIN ルーチンに返す

図5 IP 100 サブルーチン例 (4)

```

SUBROUTINE SMARK(I, X, Y)
CALL MOVE(X, Y)  — (X, Y)にペン移動
M=I
IF(N. EQ. 1) I=2  — 「SCORE」で
IF(N. EQ. 2) I=8  — 定義されているマ
IF(N. EQ. 3) I=9  — ーク番号とXYプ
IF(N. EQ. 4) I=6  — ロットで定義され
IF(N. EQ. 5) I=7  — ているマーク番号
IF(N. EQ. 6) I=5  — を一致させる
IF(N. EQ. 7) I=4
WRITE(2, 100) I
100  FORMAT("M", 13)
RETURN
END

マーカーシンボルを出力するための
MAINプログラム (XYプロット)
CALL MARK(X, Y)
CALL SMARK(I)
CALL SMARK(I, X, Y)

SUBROUTINE MARK(X, Y)
RETURN
END

SUBROUTINE SMARK(I)
RETURN
END

```

図6 IP 100 サブルーチン例 (5)

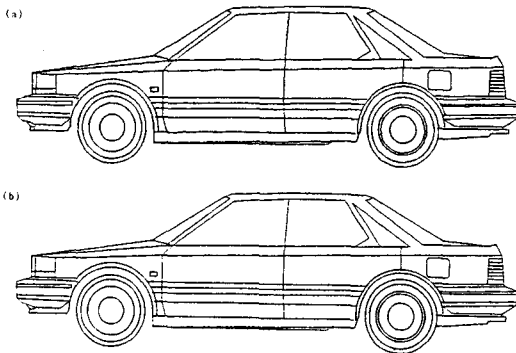


図7 図形出力例 (a) ディスプレイ (b) XYプロット

があり、機械図面作成のためにハードコピーを使用することはできない。

ライブラリ「IP 100」のコマンドを表2に示す。

4. グラフィックライブラリ「BOLT」

コンピュータによる機械図面の作成においては、あらかじめプログラムを組んで作図するというより、必要なデータを入力しながら作図するという方式がとられる。この場合、線の太さが選択できること (XYプロットでは太さの異なるペンと交換すればよいが、「SCORE」は線の太さを変えるコマンドがない)、規格化されている機械要素部品などは、その形状が1コマンドで作図できるようにある程度ライブラリ化されていることが図面作成効率を高める上で必要である。

そこで、最も一般的で使用頻度も高いと思われるボルト、ナット関係について、図8に示すような要素に分類してサブルーチン化¹⁰⁾、太さを区別するサブルーチンも含めてライブラリ「BOLT」を作成した。図中の黒丸印はその図形の書き出し位置を表す。太線は、間隔をわずかにずらした三本の平行線によって外見上太く見えるようにした。ボルト、ナットのサブルーチンの引数は基本的にボルト、ナットの呼び寸法などに限定し、その数をできるだけ少なくするようにした。

それぞれのサブルーチン単独では図8に示すように、ほとんど意味のないものもあるが、それらを適当に組み合わせることにより、図9に示すようにいろいろな場合に対応できる。

このライブラリ「BOLT」のサブルーチンプログラム例については文献(14)に譲るが、この「BOLT」を使用すれば、プログラム作成の労力は大幅に軽減される。たとえば、図8(b)のナットを作図する場合、そのサブルーチンはおおよそ70ステップのプログラム量であるから、図9(c)の図形のプログラムを「SCORE」だけで作成しようとする¹¹⁾とすると300ステップ程度のプログラム量となり、大変な労力になってしまう(「BOLT」を使用すれば20ステップ程度でよい)。

「BOLT」と「SCORE」とを同時にリンクしてコンパイルすれば、ディスプレイへの表示が可能であり、「IP 100」と同時にコンパイルすれば、XYプロットに出力できる。

「BOLT」を用いて作図した機械装置の一例として、図10に油圧シリンダ (XYプロットに出力)を示す。

なお、図9(b)、(c)において、XYプロットに出力する場合、バックグラウンドと同色で上塗りする陰線処理法は使用できない。

表2 ライブラリ「IP 100」のコマンド一覧

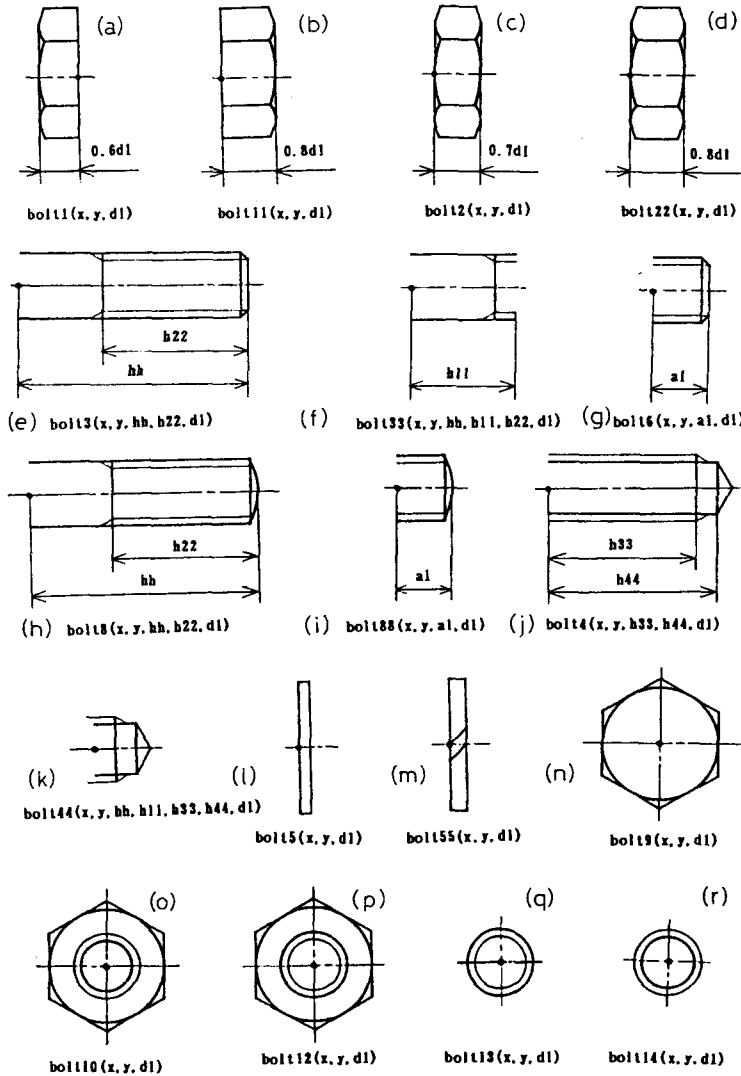


図8 ボルト・ナットの作図要素

分類	サブルーチン	機能
①	MOVE (X , Y)	(X, Y)座標値にペンを移動
	MOVER (DX , DY)	DX, DYだけペンを相対移動
	LINE (X , Y)	現在地から(X, Y)座標値まで直線を引く
	LINER (DX , DY)	現在地からDX, DY離れた位置まで直線を引く
	LINTYP (ITYP)	線の種類を指定
②	ELLIPS (A , B)	現在地を中心に長軸A, 短軸Bの楕円を作図
	ARC (R , THS , THE)	半径R, 開始角THS, 終了角THEの円弧を作図
	CIRCLE (R)	現在地を中心に半径Rの円を作図
	BELL (IT , IF)	ベルを鳴らす
	PLINE (XARY , YARY , N)	N本の線列を作図 (絶対値指定)
③	PLINR (DXARY , DYARY , N)	N本の線列を作図 (相対値指定)
	RECT (XL , YL , XR , YR)	(XL, YL), (XR, YR)を対角点とする矩形を作図
	FAW (R , THS , THE)	半径R, 開始角THS, 終了角THEの扇形を作図
	INITG (IOLV , IILV)	コマンド終了を示すターミネータの定義
	INTVIV (IVNO)	REMOTE状態にし、原点を中央に移動する
	PLYGN (XARY , YARY , N)	N角形を作図 (絶対値指定)
	PLYGNR (DXRY , DYRY , N)	N角形を作図 (相対値指定)
	COLOR (RH , GL , BS)	色を指定 (ペン選択) する
	OPENS (ISEG)	保存型セグメントをオープン (無視)
	CLOSES	保存型セグメントをクローズ (無視)
④	TERMG	『SCORE』終了 (無視)
	SGTR2 (I , SX , SY , A , X , Y)	図形の拡大/縮小、回転、平行移動 (無視)
	TRMVIEW	ビューイング情報設定完了 (無視)
	FMODE (IFLAG)	図形の塗りつぶしの宣言 (無視)
	MODEL (MOD)	色指定方法 ("RGB"/"HLS") の選択 (無視)
	TRNTYP (ITYP)	像変換タイプの設定 (無視)
	WIND (XI , XA , YI , YA)	ワールド座標系にウィンドウ定義 (無視)
	GBACK (IDX)	背景色を指定 (無視)
	MARK (X , Y)	(X, Y)座標値にマークを作図 (無視)
	SMARK (IMARK)	マークを指定 (無視)
⑤	MARKR (DX , DY)	DX, DY離れた位置にマークを作図 (無視)
	PMARK (XARY , YARY , N)	マーカー列を作図 (絶対値指定, 無視)
	PMARKR (DXARY , DYARY , N)	マーカー列を作図 (相対値指定, 無視)
	ROTA (X , Y , A)	Aだけ回転させた図形を(X, Y)座標値に作図
	SCALE (SX , SY)	図形を拡大/縮小して作図
	SMARK1 (I , X , Y)	SMARK (IMARK) + MARK (X , Y)
	SMARK2 (I , DX , DY)	SMARK (IMARK) + MARKR (DX , DY)
	SMARK3 (I , X , Y , N)	SMARK (IMARK) + PMARK (XARY , YARY , N)
SMARK4 (I , DX , DY , N)	SMARK (IMARK) + PMARKR (DXARY , DYARY , N)	

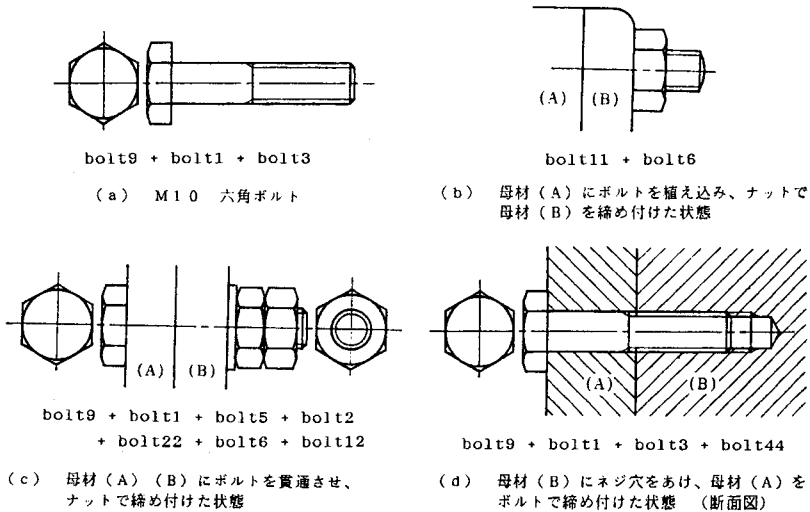


図9 「BOLT」を用いての作図例 (XYプロッタへ出力)

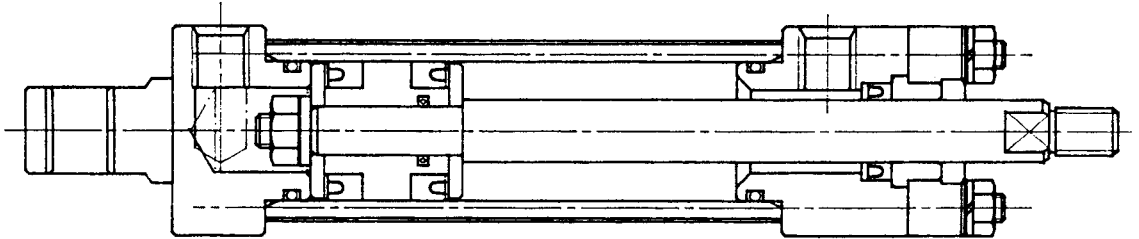


図10 油圧シリンダ作図例 (XYプロッタへ出力)

5. おわりに

CADシステム構築の基礎となるソフトウェアの開発を行い、以下の成果を得た。

(1) グラフィックライブラリ「IP 100」の作成により、XYプロッタに出図する場合でも、SCORE サブルーチンパッケージの利用が可能となった。

(2) グラフィックライブラリ「BOLT」の作成により、機械図面の作成効率の向上が図られた。

CADシステムを構築するためには、機械要素部品の更なるライブラリ化が必要であると共に、図形入力タブレットなどの入力装置によって行えるような、かつ、対話形式で行えるようなソフトウェアの開発が今後の課題として残されている。

最後に、プログラム作成にあたっては昭和62年度卒研、清水彰一（現：松下冷機㈱）、中村広哉（現：タカトリ㈱）の両氏の協力を得た。記して謝意を表す。

参考文献

- (1) 岩田一明監修；基礎教育 コンピュータ設計・製図 I CAD/CAMの基礎，共立出版（1987）。
- (2) 樋口登志男，吉永和彦；CAD解説，その導入のために，実数出版（1986）。
- (3) CAD調査委員会；設計製図，22-7（1987），240。
- (4) CAD標準化委員会；設計製図，23-7（1988），195。
- (5) 中島尚正；設計製図，22-2（1987），64。
- (6) 光成豊明，尾形勝美；設計製図，22-8（1987），279。
- (7) 牧 博司；設計製図，23-3（1988），75。
- (8) 長江貞彦；設計製図，20（1985），24。
- (9) 山口富士夫；設計製図，22-5（1987），173。
- (10) 今枝正夫，大恵俊一郎，西岡一水，藤原晴夫，村上理一；設計製図，22-12（1987），415。
- (11) 三上市蔵；設計製図，23-6（1988），167。
- (12) 中島尚正；日本機械学会誌，91-833（1988），308。
- (13) 助弘 毅，大塚 直；久留米高専研究報告，29（1978），1。
- (14) 清水彰一，中村広哉；昭和62年度奈良高専卒業研究報告書，（1988）。

研究・教育用ロボットシステムの研究*

若林敏夫・成田紘一・早川恭弘

A Study on Robot System for Education and Study

Toshio WAKABAYASHI, Hirokazu NARITA and Yasuhiro HAYAKAWA

The Present day industrial robot has its origins in both the teleoperator and the numerically controlled machine tool, and the computer-controlled industrial robot represents the first truly general purpose automation device. Such industrial robots will have a major social effect in the future, as the simple, repetitive, assembly line jobs of today will be eliminated.

In this paper, we describe the structure of robot which was manufactured for trial and the analysis of dynamics.

1. はじめに

産業用ロボットはテレオペレータと数値制御工作機械にその起源をもち、始めは溶接、塗装などの劣悪で危険性の高い作業環境に対処するために製品化が進められたが、現在では自動化、省力化のための重要な役割を果たしつつある。わが国では、ロボット工学・技術の研究が盛んで、工学としての体系化が進み、また要素技術を中心とする研究開発が活発に行われている。また最近では、より高速、高精度なロボットの開発、ならびに外部環境を認識しこれによって判断・動作する知能ロボットの研究・開発などが進められている。^{1),2)}

本研究は、新しくロボットシステムを試作することにより、これに関して今後必要となる教育教材の開発、研究面への利用を目的としている。ここでは、今回行った多関節ロボット本体、制御回路の試作開発ならびに各種ソフトウェアの開発、動特性の解析などの概要について述べる。

2. 試作ロボット本体の構造

* 本研究内容の一部は、第8回高専情報処理研究協議会研究発表会で発表。

また、昭和62年度特定研究成果報告書に一部記載。

2.1 ロボット本体の概要

- (1) 試作ロボットは自由度5の多関節ロボットで、一部オプション形式により動作目的に応じて機構の拡大が可能な構造とした。
- (2) 開ループ制御を用いた数値制御ロボットであるが将来知能化についても検討を進める。
- (3) 制御用コントローラは、32 bitのNEWS (SONY社製)を使用し、制御装置については学内において開発する。
- (4) 試作ロボットは、将来学内におけるロボット工学技術の研究と教育に利用することを前提とする。

2.2 ロボット本体の構造

2.2.1 ロボット本体の基本構成

今回試作したロボット本体の概略組立図を図1に、基本機能仕様を表1に示す。本試作ロボットは、台座部、基部、上腕、前腕駆動部、前腕、差動腕およびセンサ・ユニットなどから構成されている。³⁾ また、試作ロボット外観を写真1に示す。

2.2.2 ロボット各部の構成

(1) 台座部

台座の内部に台座上部旋回用モータ(M1)を取り付ける。台座の上部には台座回転板を設け、モータM1によって水平面内を旋回させる。

(2) 基部

基部は、上腕および前腕駆動部を支持すると共に、

これらを回転させるために設けるもので、2個のハウジングブロックの内部に構成する。これらのブロックの両外側面には、上腕回転用モータ(M2)および前腕駆動部回転用モータ(M3)を取付け、それらの出力軸は基部内に設けた機構を介してそれぞれ上腕ならびに前腕駆動部を回転させる。

(3) 上腕・前腕駆動部

上腕は、ハウジングブロック内部に設けた2個の軸受によって支持されており、モータM2の出力軸によって直接駆動される。前腕駆動部の下端部は、ハウジングブロック内に設けたモータM3によって回転するアームによって駆動される。上腕および前腕駆動部の上端には、前腕取付板が設けられており、これらは向い合うリンクの長さが等しい4節回転連鎖機構を形成している。

(4) 前腕・差動腕

前腕は、前腕取付板の上に固定され、2個のモータ(M4, M5)の出力がベベルギアとチェーン機構を介して差動腕に伝えられる。そして、差動腕とそれに内蔵される差動回転軸の運動により軸端に取付けられるロボット・ハンドの姿勢が制御される。

(5) センサ・ユニット

試作ロボットの各機構は、合計5個のモータによって制御されるが、それぞれ回転動作範囲を制限する必要がある。このため、電源投入時に必要な初期位置ならびに動作限界を検出するためのセンサ(アンプ内蔵フォトマイクロセンサ)を設ける。

2.3 ロボット本体の設計・製作

試作ロボットの設計は学内において行い、総部品点数は約700点、総重量約200kgfである。試作ロボットの部品加工は極力学内実習工場で行ったが、加工設備のない部品については外注加工とした。部品加工完了後学内において必要な防錆処理、表面塗装、調整作業を行いなから組立てた。

3. ロボット本体の制御用ソフトウェアの開発

ここでは、試作ロボット本体の制御に関連するシミュレーション・システムならびに制御ソフトウェアの開発について述べる。

3.1 ロボット本体のシミュレーション・システム

シミュレーション・システムの開発では、ロボット本体の運動機能の検討と制御データの作成に必要な理論計算方式の確認などに重点を置いた。また、システム構成については、必要な計算、変換、作画などのサブルーチン化を図ることにより、任意で自由度に富むグラフィック・シミュレーションが行えるようにした。

また、このシミュレーション・システムの開発によって、事前にロボット制御方式の妥当性を検討することが可能となり、その制御データは、これらのシミュレーション・システムで開発したルーチンを引用することによって比較的容易に作成できる。今回開発したシミュレーション・システムは、ロボット本体の機構・構造・動作特性などに関する制御動作シミュレーションとロボット本体の経路制御シミュレーションの2つに大別される。

以下、制御動作・経路制御シミュレーションならびに制御データ作成の概要について述べる。

表1 試作ロボット本体の基本仕様

情報入力方式	数値制御ロボット	
コントローラ	パーソナルコンピュータ	
自由度	5 (位置自由度3、姿勢自由度2)	
動作形態	多関節ロボット(リンク形)	
最大速度	1100 (mm/s)	
駆動方式	直流サーボモータ	
伝導方式	台座部・上腕	モータ直結
	前腕	リンク機構
	差動腕	歯車・子エン 差動歯車機構

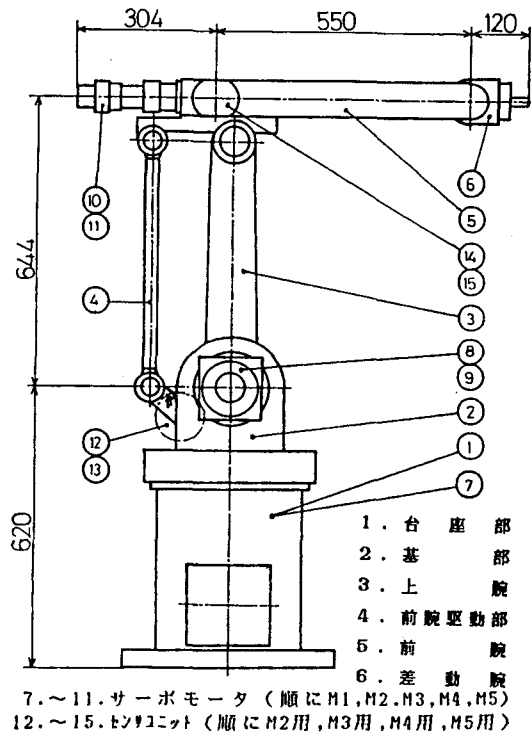


図1 試作ロボットの概略組立図

3.2 試作ロボットのシミュレーション

3.2.1 制御動作シミュレーション

ロボットの手先効果器の位置は、前腕および上腕の垂直面内における回転と台座上部の水平面内における回転によって定まる。そして、これらを制御するモータ M1、M2、M3 の回転範囲は、各モータに取り付けたセンサ・ユニットにより制限される。また、M2 と M3 の回転制御において、上腕と前腕は、その相対角度の最大値および最小値付近で若干の機構干渉を生じるため、制御ソフトウェアを用いてこれらの機構干渉を回避する必要がある。これらの検討結果に基づいて作成したロボット本体の2次元動作範囲を写真2に示す。図中、グラフの右下と左上の領域において機構の干渉が生じるため動作範囲から除外される。(橙線部分)

次に、ロボットハンドの姿勢は、モータ M4、M5 によって駆動される前腕内部伝達機構を介して制御される。前腕内部の回転伝達機構シミュレーション結果を写真3に示す。このシミュレーションでは、ロボットハンドの姿勢を指示すればモータの回転制御が行われる。

3.2.2 経路制御シミュレーション

ここでは、試作ロボットのプログラム制御に必要な制御データを作成するために開発した経路制御シミュレーションについて述べる。

(a) 腕の回転運動の加減速特性

各腕の回転制御では、起動時の加速特性と停止時の減速特性が重要である。この制御では、ロボット本体に加わる衝撃を少なくするため、角加速度特性として不連続点を持たない正弦関数を用いることとした。この場合、各腕の回転運動特性は起動ならびに停止時の最大角加速度と、定速時の角速度によって決定される。

(b) 直線経路制御シミュレーション

試作ロボットの動作範囲内にある3次元空間における任意の直線経路を設定し、この直線経路に沿ってロボットを制御するものとする。試作ロボットのような多関節ロボットを直線経路に沿って制御するのは、マイクロな円運動経路を接続することによりマクロな直線経路を作り出すことである。結果を写真4に示す。このシミュレーションでは、ロボット本体の位置と、座標平面と平行な位置に予め設定したスクリーンへの投影を示している。

(c) 楕円経路制御シミュレーション

試作ロボットの動作範囲内にある3次元空間における任意の楕円経路を設定し、この楕円軌道に沿ってロボット本体の位置を制御するものとする。この場合のシミュレーション結果を写真5に示す。

以上述べた各種の経路制御を適宜に組み合わせることにより多種多様な3次元経路制御を行うことができる。

3.3 試作ロボットの制御データ

本節では、試作ロボットのプログラム制御に必要な制御データの作成について述べる。

(1) 制御データの作成

試作ロボットの制御では、第1段階としてプログラム制御を行うこととし、これに必要な制御データを作成する。ここでは、一例として既にシミュレーションを行った直線経路制御の場合について述べる。

試作ロボットの制御データの作成は、1パルスを単位とする制御情報(回転するモータ番号、回転方向およびパルス送出時間)を制御データ用フロッピ・ディスクに格納する方法で行う。

(2) 制御データの確認

格納された制御データを確認するには制御用フロッピ・ディスクから制御情報を読み出し、シミュレーションを用いて行うことができる。

4. ロボット制御装置の開発

4.1 制御システムの概要

アームロボットは、エレクトロニクスの側からみるとロボットの腕を駆動するサーボモータとその制御部、状況を把握するためのセンサ部、制御に必要な位置情報の処理と判断を行うコンピュータ部とから成り立っている。サーボ制御部は、モータの数に対応して複数あり、これらを制御するコンピュータとしては、32 bit のワークステーションを使用する。また、本研究では、1つの関節を動かすモータの制御には1つのマイコンを使用することとし、それらを並列処理することにより制御速度を上げる。開発されたマイコンのブロック図を図2に示す。

4.2 制御用マイコンの概要

このマイコンには、8ビットマイクロ・プロセッサ 8085 が使用されている。このマイクロプロセッサは、外付け回路あるいは割り込み用 LSI なしで4割の割り込み要因を受け付けることができる。ここで使用された割り込み要因は、モータの異常検出 (TRAP)、データ通信用 (RST 7.5) および速度パルス発生用 (RST 6.5) の3個である。メモリは8キロバイトの ROM と8キロバイトの RAM が実装されている。

プログラマブルタイマ PTC 8253 は、3個のプログラム可能な16ビットのカウントを持っている。これらのカウントのチャンネル ϕ は、モータ移動量のパルスを発生するのに使用されており、チャンネル1はモータ制御回路の同期パルスを発生する。3つ目のチャンネル2は、SIO 8251 ボーレート発生用に使用されている。

次に、パラレルインタフェイス用 LSI である PIO 8255 が、このマイコンでは 2 個使用されており、それぞれ 16 ビットのプリセット・カウンタが接続されている。このカウンタの入力には、位置検出用のロータリエンコーダからのパルスが送られる。

4.3 モータ制御回路

試作ロボットに使用されている 5 個のモータは、すべてクロズドループによるデジタルサーボで制御されている。このデジタルサーボ回路では位置設定パルスの最高時間間隔は 100 μsec に設計されている。

また、本試作に使用したモータには、光学式インクリメンタル方式のエンコーダが取り付けられており、これからのパルスが位置フィードバックとして偏差カウンタに入力されている。

次に、速度フィードバックは、エンコーダからのパルスを F/V 変換器を通すことにより、単位時間当たりのパルス量を電圧に変換し、この電圧量で速度フィードバックを行っている。

5. 試作ロボットの運動特性解析

本章では、マニピュレータを制御するのに必要な動力学について述べる。マニピュレータは複雑な力学系であり、その動特性を解析するためには体系だった方法をとらなければならない。ここでは、非常に複雑なシステムに対して、簡単に動特性方程式を導くことができるラグランジェ力学の手法を採用する。

5.1 動特性方程式⁴⁾

試作ロボットの各リンク部の座標系を図 3 に示すように 3 関節部系と 2 関節部系に分けて考える。また、各リンクパラメータを表 2 に示す。

ここで θ_i とは Z_{i-1} 軸を中心にして X_{i-1} 軸から X_i 軸までの回転角で、 a は Z_{i-1} 軸と X_i 軸との交点から、 O_i までの距離を表す。次に d は、第 $i+1$ 座標系の原点 O_{i+1} から Z_{i-1} 軸上の Z_{i-1} 軸と X_i 軸との交点までの距離を表す。

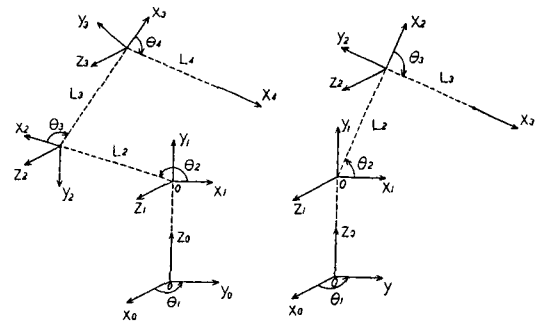
次に、第 $i-1$ リンクと第 i リンク間の関係を表す同次変換を A_i 行列とし、基準座標から見た第 i リンクの位置姿勢を行列積 $T_i (=A_1 A_2 \dots A_i)$ で表す。また、第 i リンクの慣性行列を J_i とすると、第 i リンクの運動エネルギーは次式となる。

$$K_i = \frac{1}{2} \text{Trace} \left[\sum_{k=1}^i \sum_{k=2}^i J_i \frac{\partial T_i^T}{\partial \theta_k} \frac{\partial T_i}{\partial \theta_i} \dot{\theta}_i \dot{\theta}_k \right] \quad (1)$$

また、 i 番目のリンクの位置エネルギーは

$$P_i = -m [0, -g, 0, 0] T_i \left[-\frac{L_i}{2}, 0, 0, 1 \right]^T \quad (2)$$

で表わされるから、ラングランジュの運動方程式は、トルクを τ_i として次式で与えられる。



3 関節部系 2 関節部系
図 3 リンク部座標系

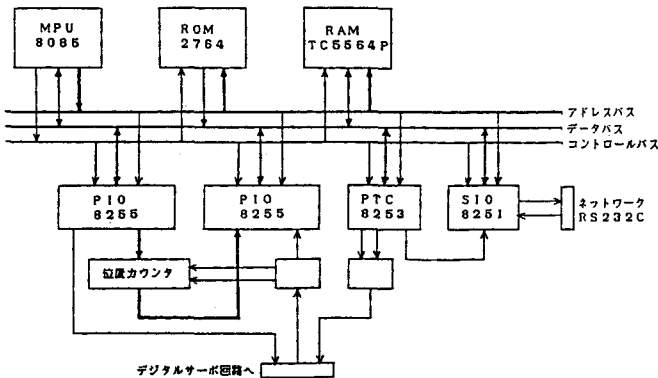


図 2 制御マイコンのブロック図

表 2 リンクパラメータ

Link	θ	α	a	d	$\cos\alpha$	$\sin\alpha$
3 関節部系						
1	θ_1	$\frac{\pi}{2}$	0	0	0	1
2	θ_2	0	L_2	0	1	0
3	θ_3	0	L_3	0	1	0
4	θ_4	0	L_4	0	1	0
2 関節部系						
1	θ_1	$\frac{\pi}{2}$	0	0	0	1
2	θ_2	0	L_2	0	1	0
3	θ_3	0	L_3	0	1	0

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = \tau_i$$

$$\text{但し、} L = \sum_{i=2}^4 (K_i - P_i) \quad (3)$$

故に、3関節部系および2関節部系におけるラングランジュの運動方程式は、各々のトルクを τ_1 , τ_2 として、以下のように求まる。

$$\tau_1 = \alpha_1 \ddot{\phi}_1 + \beta_1 \sin(\phi_1 - \phi_2) \ddot{\phi}_2 - \beta_1 \cos(\phi_1 - \phi_2) \dot{\phi}_2^2 + \gamma_1 \cos \phi_1$$

$$\alpha_1 = (l_1 + l_3 + l_5 + \frac{1}{4} M_1 l_1^2 + M_2 l_1^2 + \frac{1}{4} M_3 l_1^2 + M_5 l_3^2)$$

$$\beta_1 = \frac{1}{2} (M_1 l_1 l_2 + M_3 l_1 l_2 - M_5 l_2 l_3)$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{2} (M_1 l_1 + 2 M_2 l_1 + M_3 l_1 - M_5 l_3) g \quad (4)$$

$$\tau_2 = \alpha_2 \ddot{\phi}_2 + \beta_2 \sin(\phi_1 - \phi_2) \ddot{\phi}_1 + \beta_2 \cos(\phi_1 - \phi_2) \dot{\phi}_1^2 - \gamma_2 \sin \phi_2$$

$$\alpha_2 = l_2 + l_4 + \frac{1}{4} M_2 l_2^2 + M_3 l_2^2 + \frac{1}{4} M_4 l_2^2 + M_5 l_2^2$$

$$\beta_2 = \frac{1}{2} (M_1 l_1 l_2 + M_3 l_1 l_2 - M_5 l_2 l_3)$$

$$\gamma_2 = \frac{1}{2} (M_2 l_2 + 2 M_3 l_2 + M_4 l_2 + 2 M_5 l_2) g \quad (5)$$

(4), (5)式とモータ回転角 ϕ_1 , ϕ_2 に関するトルク τ_1 , τ_2 の方程式を連立させることにより、目標回転角 ϕ に対する本試作ロボットの動特性が明らかとなる。

6. 空気圧グリッパの試作

本章では、ロボットの手先効果器として試作した空気圧グリッパの構造について述べる。

試作したグリッパの概略図を図4に示す。

グリッパの変位はポテンシオメータで測定し、アクチュエータ内圧力は半導体圧力変換器により検出する。また、グリッパの移動にはベローズを使用し、流量比例弁 (SMC社製) によりアクチュエータへの空気流量を制御する。

本試作グリッパは、コンプライアンスな機構をもっており、位置と力制御により剛性の異なる物体の把持が可能となる。

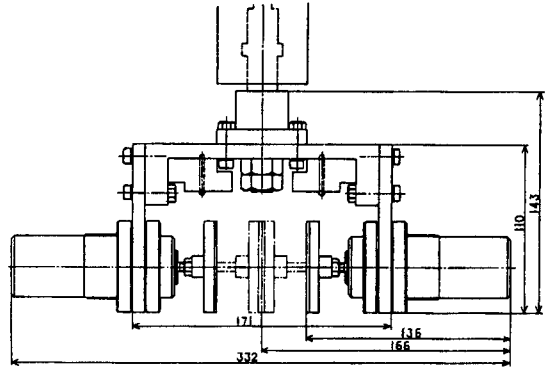


図4 試作グリッパの概略構造図

7. あとがき

ロボット工学・技術の研究と教育に役立てるため、新しく多関節ロボット・システムの試作開発を行った。始めにロボット本体ならびに制御回路を設計製作し、次いでロボット本体の制御シミュレーションならびに制御回路用ソフトウェアを開発した。また、試作ロボット制御に関する運動特性とロボット用グリッパの試作も併せて行った。

終わりに、本研究の遂行にご協力頂いた関係者各位に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 日経エレクトロニクス、高精度化に動き始める産業用ロボット、No 4
- 2) ROBOTICS SPECIAL ISSUE. Proc. IEEE. VOL. 71, No 7, 1983
- 3) 高野政晴、ロボット機構系の設計、日本ロボット学会誌、VOL. 4 No 4、(1986)、394/395
- 4) 有本 卓、システムと制御、29-10、(1985) 44/46

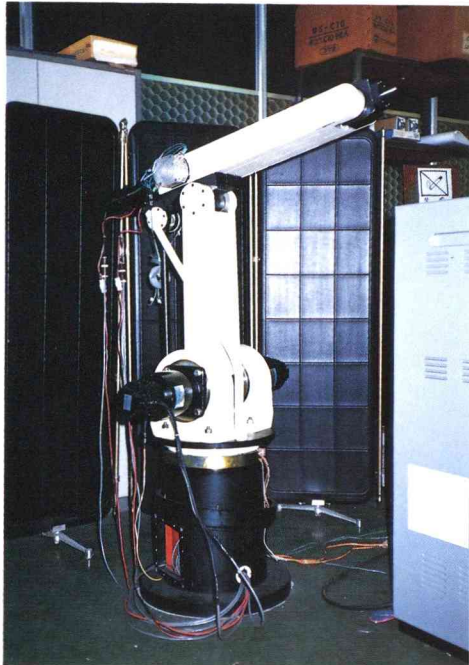


写真1 試作ロボットの外観

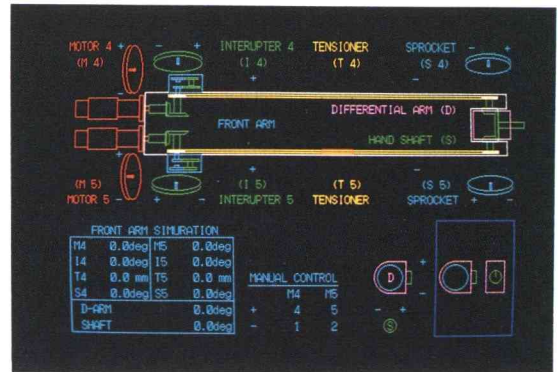


写真3 前腕内部の伝達機構のシミュレーション

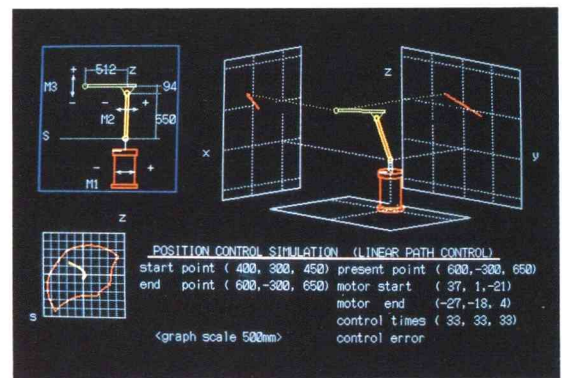


写真4 直線経路制御3次元シミュレーション

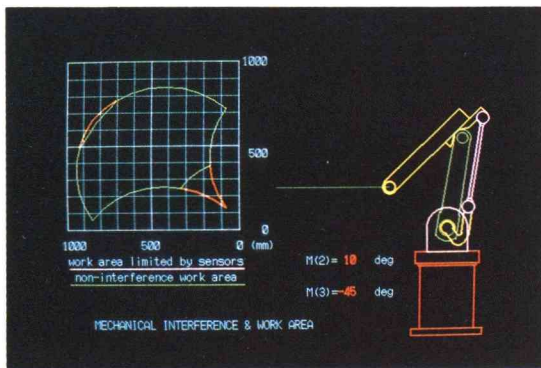


写真2 試作ロボットの2次元動作範囲

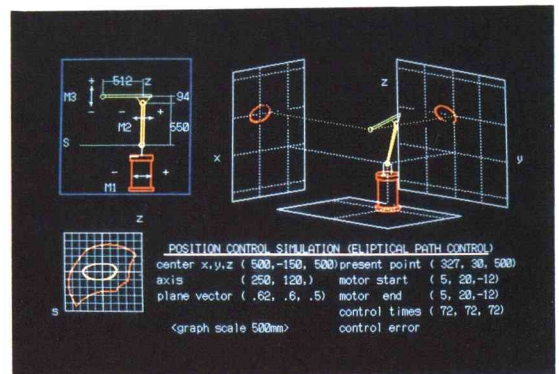


写真5 楕円経路制御3次元シミュレーション

Surface Potential Decay and Residual Voltage Measurements in Highly Elongated Polyethylene

Jun KYOKANE, Ichi KIMURA, Dae Hee PARK* and Katsumi YOSHINO*

The residual voltage which appears in a pre-stressed polyethylene film is found to increase with increasing draw ratio and then to decrease again at higher draw ratio. On the other hand, the ratio of a surface potential decay decreases with increasing draw ratio and then again increases at higher ratio. These results are discussed in terms of the change of the carrier transport process, localized state density and carrier mobility.

1. Introduction

Polyethylene has been one of the most important insulating polymers widely used in electrical machines and cables. In spite of intense studies there still remain many unresolved properties in the carrier transport and high field phenomena of this material.

To improve the insulating property of the polymer, knowledge is needed of the relation of the electrical property to the molecular structure and also to morphology.¹⁻³⁾ The influence of an elongation by which the morphology changes on the electrical property has been studied in the range of relatively low draw ratios.^{3,4)} Recently, it was indicated that in highly elongated polyethylene, the electrical conductivity and carrier mobility are influenced strongly by the draw ratio.⁵⁾

Surface potential decay measurement has been carried out to understand the carrier migration process in polymers.^{6,7)} The residual voltage is also known to appear in pre-stressed insulators (not only polymer films but also insulators of cables and machines) after opening of the circuit. This phenomenon is also of great interest from a

practical point of view, because it can be used to detect the degradation of the insulation.^{8,9)}

In this paper, we report that the residual voltage and surface potential decaying characteristics are strongly influenced by the high draw ratio.

2. Experimental

Additive free high density polyethylene (HDPE) films with draw ratios of 500, 700, 900 and 1200% were used in the present study. The elongation was performed by the role elongation method at 114°C. Thickness of the sample was around 25 μm . After washing a specimen in ethanol under ultrasonic irradiation for 10 minutes, gold was evaporated onto both surfaces of the specimen as electrodes under a vacuum of 10^{-6} mmHg.

The residual voltage was measured by the non-contact method reported earlier⁹⁾ utilizing an electrostatic voltmeter TREK 360 SX. The sample was stressed with 2070 V and was then short-circuited for 20 seconds. When the circuit was opened again, the voltage (residual voltage) evolved with the elaps of time.

The surface potential decay was also measured by the same method as we reported previously⁷⁾ as follows: The sample was corona-charged by applying high voltage to a needle electrode located 10 cm above the surface of the film, and

The contents of this paper were reported to the JPN. J. APPL. PHYS., 26, No. 1 (1987)

* Faculty of Engineering, OSAKA University.

then was transferred immediately to a position above which the potential probe of the electrostatic voltmeter TREK 360 SX had been set.

3. Results and Discussion

Figure 1 indicates the evolution of the residual voltage after opening of the circuit of pre-stressed polyethylene films of various draw ratios. In all samples, the voltage increased with time, tending to saturation.

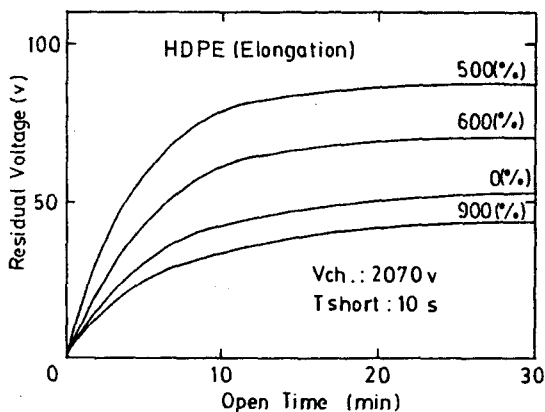


Fig. 1. Evolutions of residual voltage in elongated high density polyethylene of various draw ratios. Charging voltage: 2070 V, Short time: 10 s.

The saturated residual voltage evaluated in various films is plotted in Fig. 2 as a function of draw ratio. This dependence is anomalous: With increasing draw ratio, the residual voltage increased and after indicating maximum value at about 600% it again decreased at higher draw ratio. The origin of the residual voltage has been interpreted in terms of the release and the migration of the stored space charge in deep traps.⁹⁾ The present results, therefore, suggest that the trap density increases with increasing draw ratio and decreases again at extremely high draw ratio.

Figure 3 shows surface potential decaying characteristics in various samples of different draw ratios. At first, the potential decays drastically with relatively high decay rate and then it saturates. The magnitude of the surface potential decay ($\Delta V/V_0 \times 100$) at 10 minutes, defined as

shown in the inset of Fig. 4, was plotted as a function of draw ratio in that figure. It is evident, that the magnitude of the decay decreases with increasing draw ratio and, after indicating minimum value, it again increases. This also suggests that the trap density increases in the range

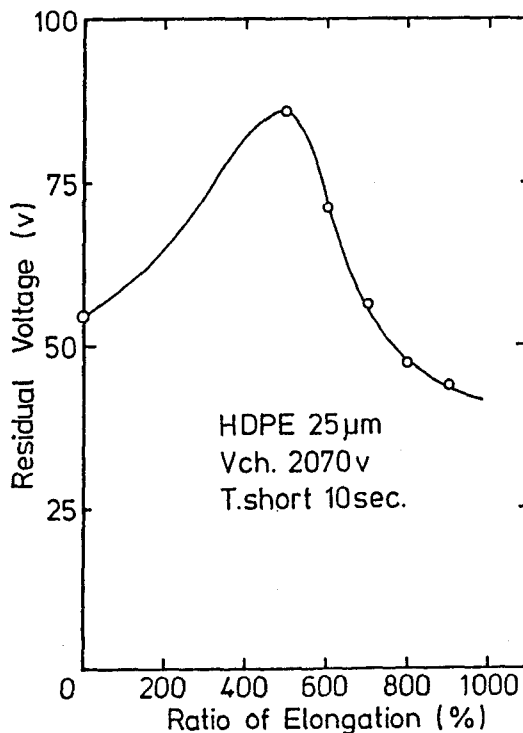


Fig. 2. Dependence of residual voltage on draw ratio.

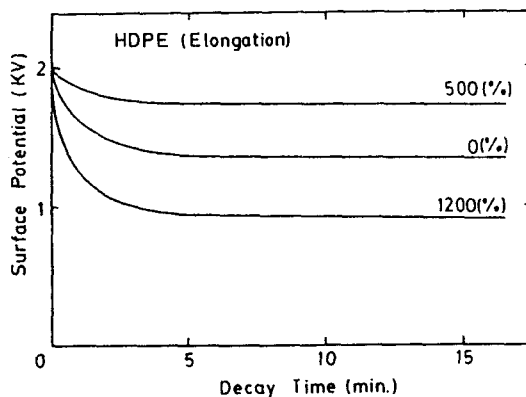


Fig. 3. Surface potential decay in elongated polyethylene films of various draw ratios.

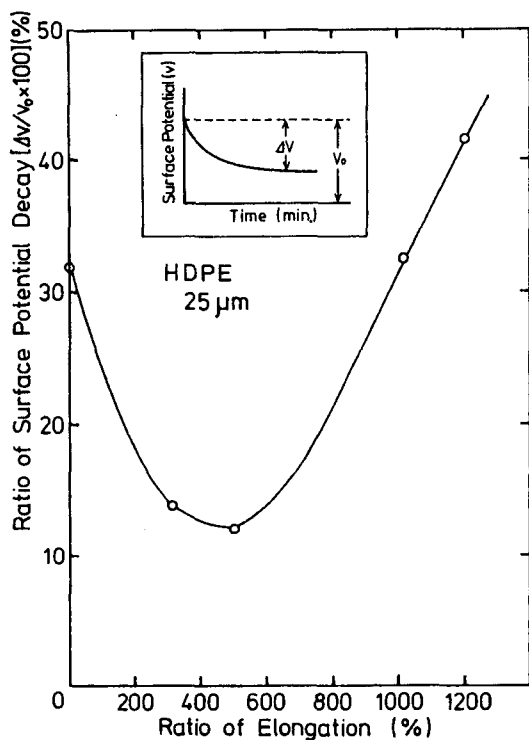


Fig. 4. Dependence of ratio of surface potential decay in high density polyethylene on draw ratio.

of relatively low draw ratios. At extremely high draw ratio, the trap density seems again to decrease, in accordance with the interpretation of the dependence of the residual voltage on the draw ratio.

The carrier mobility evaluated from the initial potential decay rate^{6,7)} decreased with increasing draw ratio and then again increased, indicating the minimum value at the draw ratio of about 500% (Fig. 5). These experimental results can be interpreted in terms of the change of trap states by the elongation.

It is already known that the density of localized states becomes higher in polyethylene elongated within a relatively low draw ratio¹⁰⁾ due to the distortion of the lamellae or spherulite structures by the drawing. The present observation supports these interpretations in a relatively low draw ratio. However, our result also suggests the decrease of the localized states at extremely

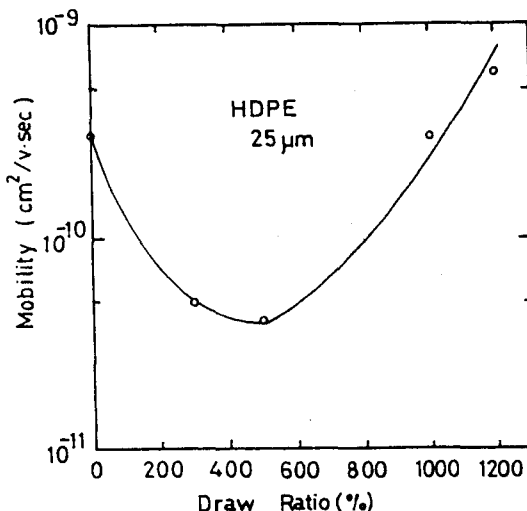


Fig. 5. Carrier mobility in high density polyethylene evaluated from the surface potential decay curve as a function of draw ratio. This mobility μ was evaluated by the relation of $\mu = d^2/T \cdot V$, where d , T , and V are sample thickness, the time at which decay rate changes drastically in logarithmic plotz and initial surface voltage, respectively.⁷⁾

high draw ratio. The linear alignment of the molecular chain has been reported in extremely elongated polyethylene with a special technique.¹¹⁾ In our highly elongated polyethylene films by the role elongation method (~1000%), the linear molecular orientation should be also established, and the density of the defect should be diminished because of the higher quality of the molecular alignment. The direct evaluation of trap states by thermally stimulated current measurement and the study of morphological change by X-ray diffraction measurement are now in progress.

4. Summary

The result of the present experimental study can be summarized as follows.

Anomalous elongation effects on the residual voltage and the surface potential decaying characteristics in polyethylene have been found for the

first time. The residual voltage increased with increasing draw ratio and after indicating maximum value, it again decreased at higher draw ratio. On the other hand, the magnitude of the surface potential decay and its decay rate decreased at low draw ratio and after indicating the minimum, it again increased.

These results are tentatively explained in terms of the change of trap states due to the changes of morphology and molecular alignment by the elongation.

Acknowledgement

The authors should like to express their sincere thanks to Dr. S. Ichihara Mitsubishi Petrochemicals Co., Ltd. for preparation of the film.

References

- 1) K. Yoshino and Y. Inuishi: *Oyobuturi* 49 (1980) 212 [in Japanese].
- 2) M. Ieda: *IEEE Trans-EI EI-15* (1980) 206.
- 3) K. Yahagi: *IEEE trans-EI EI-15* (1980) 241.
- 4) Y. Maeda and K. Yahagi: *Jpn. J. Appl. Phys.* 16 (1977) 179.
- 5) D.H. Park and K. Yoshino: *Trans. Inst. Electr. Eng. Jpn.* 106 A (1986) 492.
- 6) M. Ieda, G. Sawa and U. Shinohara: *J. Inst. Electr. Eng. Jpn.* 88 (1968) 1107 [in Japanese].
- 7) J. Kyokane, K. Yoshino, Y. Inuishi and R. Coelho: *Trans. Inst. Electr. Eng. Jpn.* 102 A (1982) 89 [in Japanese].
- 8) M. Kuwabara, M. Tagaya, S. Kadhiwagi, K. Orito, K. Hirose, K. Imai and I. Okamoto: *Proc. 1978 Jt. Conv. Four Inst. Electr. Eng. Jpn.* (1978) [in Japanese].
- 9) K. Yoshino, J. Kyokane, M. S. Yun, K. Nojima, Y. Imuishi and N. Kashiwage: *Jpn. J. Appl. Phys.* 21 (1982) 1333.
- 10) S. Kobayashi and K. Yahagi: *Jpn. J. Appl. Phys.* 6 (1977) 2053.
- 11) C. Sawatari and M. Matsuo: *Colloid Polym. Sci.* 263 (1985) 783.

Power Conditioning Circuit for Superconducting Magnetic Energy Storage

Toshifumi ISE, James J. SKILES* Robert L. KUSTOM*, and Ju WANG*

This paper discusses two circuit configurations of ac to dc power converters for Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES) using GTO's. The power converter circuit for SMES is a current source rectifier, hence suppressing the over voltage on GTO power devices during commutation is a very important problem, when using GTO's. Another problem is to get high conversion efficiency by handling the commutation energy properly. Two circuits are presented for this purpose and the detailed computer simulations were carried out. The experimental converter system has been designed and tested to investigate the characteristics of both circuits.

1. INTRODUCTION

Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES), which consists of a large superconducting storage coil, its cooling system, and an ac to dc power converter system, is anticipated to play an important role in future power systems, not only for load leveling but also as a power system stabilizer.

Conceptual designs of SMES for electric utility load leveling require power converter power ratings from a few hundred MW to 3000 MW and current ratings from 50 kA to 700 kA. From this point of view, a conventional line commutated converter is preferred. But it is necessary also to control reactive power drawn by the converter, which varies over the charging and discharging cycle of a storage coil. By controlling the firing angles of two sets of line commutated converters connected in series, as in the converter of the 10 MW/30 MJ SMES system stabilizer at the Bonneville Power Administration substation¹⁾, the reactive power can be reduced to some extent. But in order to obtain a wider range of reactive power control with thyristor based converters, it is necessary to use some other techniques such as

changing taps of transformers or by-passing several bridges. As a result, the configuration of the system would be complicated.

By using gate turn-off devices such as GTO's, not only can a converter operate with zero reactive power, but also simultaneous independent four quadrant active and reactive power control is possible²⁾. The most difficult problem using GTO's is handling the energy stored in transformer leakage reactance during commutation. Especially in the case of high power converters, the transformers would have 10 to 20% inductance. Several solutions for handling the commutation energy have been proposed. One method is to store the energy in a dc capacitor via a diode bridge during commutation, and discharge the energy to the ac or dc side of the converter using a line commutated inverter or GTO's after commutation²⁾³⁾⁴⁾. It is important to reduce the power handling capacity of the additional circuit. A circuit which controls discharging and charging of the capacitor to handle the commutation energy is presented in this paper. Another solution presented in this paper uses by-pass capacitors on the ac input terminals of the converter with PWM control. A switching frequency of more than 2 kHz has been

The contents of this paper were presented on 19th IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC '88) Kyoto, Japan, April 11-14, 1988.

* University of Wisconsin-Madison

applied to this type of circuit⁵⁾, but it is desired to reduce switching frequency for high power applications. For this purpose, an optimal PWM pattern was derived.

Computer simulations using ATCAP 3 (Automatic Thyristor Circuit Analysis Program) developed at Osaka University⁶⁾, and experiments of both types of circuits were carried out, and the operation of the circuits and the design methods were studied.

2. CONVERTER SYSTEM FOR SMES

One of the SMES designs for 5500 MW, 1000 MW has a maximum storage coil current of 230 kA. One option for this converter system would be as shown in Fig. 1. Eight sets of GTO converters are connected in parallel to handle 230 kA current and, also, the system can be operated even if one of the eight converters is tripped. To reduce harmonics drawn from power system, delta-delta and delta-star transformers are used. Interphase reactors are necessary, because rectifiers producing phase shifted voltage waveforms are connected in parallel. Long power leads from converters to the energy storage coil can be utilized as part of the interphase reactance. The power leads would be cooled, perhaps superconducting also, so that the losses in the interphase reactors can be reduced.

In order to control active and reactive power simultaneously, two blocks of converters are connected in series. For 230 kA SMES, each converter module would need to be rated 125 MW (28.75 kA, 4.35 kV) with eight paralleled modules. Today, 4500 V 3000 A GTO's are available and a 10 MVA GTO converter for battery energy storage system has been built⁷⁾, though it is a voltage source converter.

Two options for GTO converter circuits are shown in Fig. 2 and Fig. 3. Either option can be used as the converters shown in Fig. 1. In the circuit shown in Fig. 2, the energy recovery circuit consisting of SCR's: S 1 - S 6, GTO's: G 7 and G 8, diodes: D1 and D2, and capacitor C₄ handles the commutation energy. The feature of this circuit

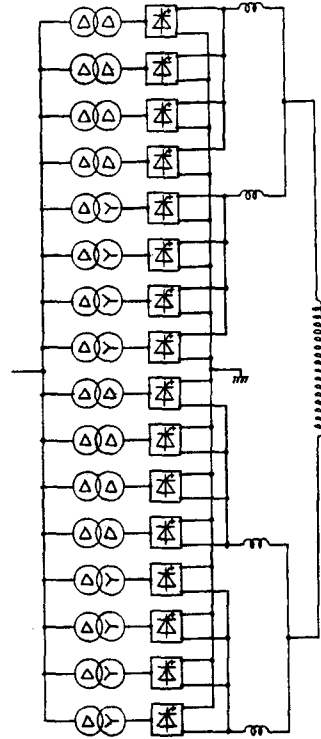


Fig. 1 Configuration of the Converter System for SMES.

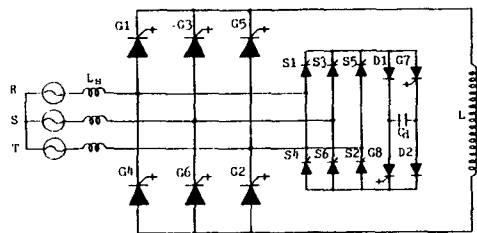


Fig. 2 Converter Circuit with an Energy Recovery Circuit (Converter Circuit (1))

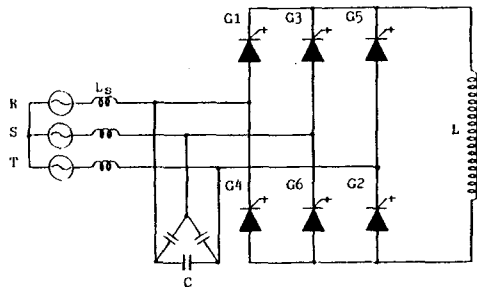


Fig. 3 PWM Type Converter Circuit (Converter Circuit (2)).

it is discharging the capacitor C_d in the first half of the commutation period and charging it in the latter half of the period. Hereinafter this circuit is referred as converter circuit (1). In the second circuit shown in Fig. 3, three by-pass capacitors are connected to the ac input to handle the commutation energy. PWM control is employed. It is important to derive an effective PWM pattern with low switching frequency to get high efficiency. Hereinafter this circuit is referred as converter circuit (2).

3. CONVERTER CIRCUIT WITH AN ENERGY RECOVERY CIRCUIT (CONVERTER CIRCUIT(1))

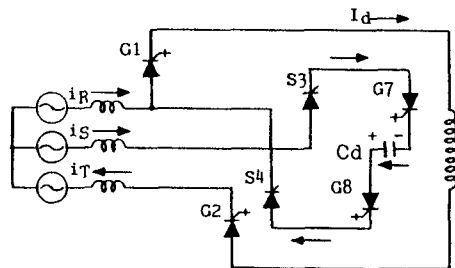
The commutation period of the converter circuit (1) can be divided into two periods leading to the two circuit connections shown in Fig. 4. In this figure, the commutation process from GTO G1 to G3 is shown. Fig. 4 (a) shows the circuit connection during the first half of the commutation period when the capacitor is discharging and Fig.4(b) shows the circuit connection during the second half of the commutation period when the capacitor is charging. The GTO and thyristor gate pulse patterns to implement this control are shown in Fig. 5. The key to control of this circuit successfully is the determination of the timing of the switching of the circuit from (a) to (b) in Fig. 4, in other words, the determination of time τ in Fig. 5. From the consideration of balancing the energy of the capacitor C_d during charging and discharging periods, the Eq. (1) for time τ can be derived, and the ripple of the capacitor voltage, ΔV_c is given by Eq. (2).

$$\tau = L_s I_d / (V_{c0} + \sqrt{6} E \sin \alpha). \tag{1}$$

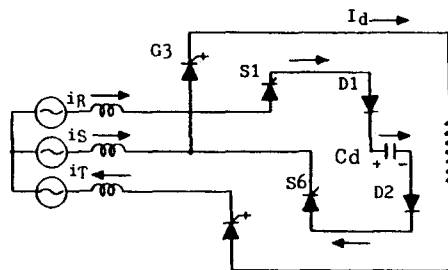
$$\Delta V_c = L_s I_d^2 / (4C_d (V_{c0} + \sqrt{6} E \sin \alpha)). \tag{2}$$

Where

- L_s : inductance of ac source and converter transformer
- I_d : storage coil current
- V_{c0} : initial value of capacitor voltage
- E : the RMS value of line to neutral voltage at the input terminal of converter
- C_d : capacitance of the capacitor
- α : firing angle.



(a) Period during which C_d is Discharging.



(b) Period during which C_d is Charging.

Fig. 4 Commutation Process from G1 to G3.

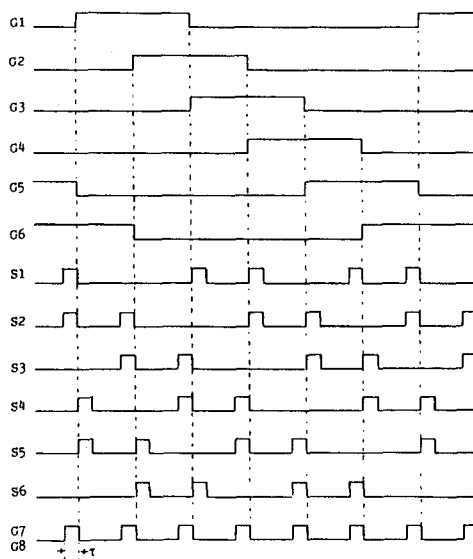


Fig. 5 Gate Pulse Patterns for Converter Circuit (1).

The laboratory experimental SMES system has been designed to operate with either converter circuit (1) or converter circuit (2). For studies using the energy recovery converter circuit (1), the actual circuit parameters of the experimental system are $E = 90 / \sqrt{3} \text{ V}$, $I_d = 60 \text{ A}$, $L_s = 500 \mu\text{H}$ (18%, 7.8 kVA base), $V_{c0} = 200 \text{ V}$, and $\Delta V_c = 20 \text{ V}$. The value of C_d should be greater than $300 \mu\text{F}$ (12%). Based on the above conditions, we carried out a detailed computer simulation for converter circuit (1). The results are shown in Fig. 6. Program ATCAP3 was used for this simulation. The value of capacitor C_d is $300 \mu\text{F}$, and the snubber circuit has a $0.5 \mu\text{F}$ capacitor and 10Ω resistor. The discharging time τ was calculated from Eq. (1). Fig.6 shows that the circuit can be operated successfully. The capacitor voltage was stable at around the specified value, 200 V. The voltage ripple on the capacitor was 20 V. The firing angle for this simulation was 270 degrees where the voltage ripple takes its maximum value. Figure 7 shows the experimental waveforms. In this experiment, the value of capacitor C_d is $600 \mu\text{F}$. From these results, the desired operation of the converter circuit (1) was confirmed.

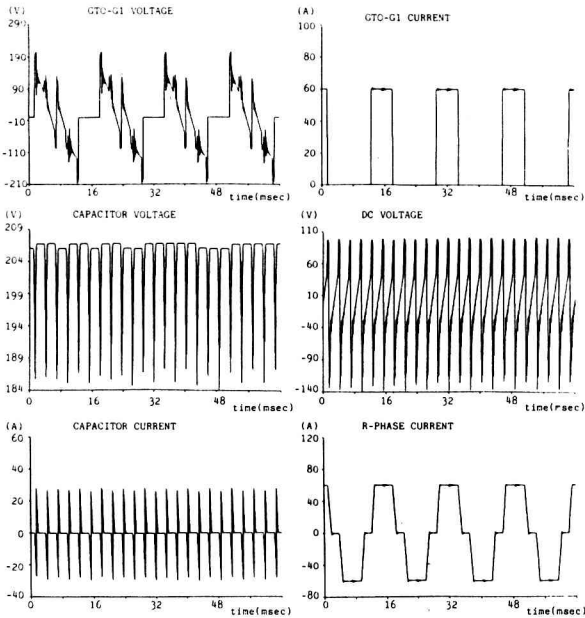


Fig. 6 Simulation Results of Converter Circuit (1).

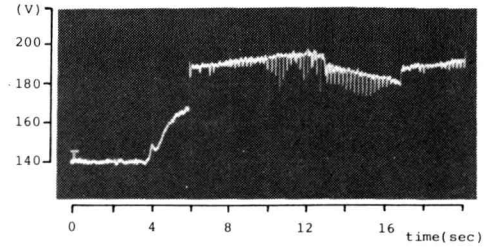
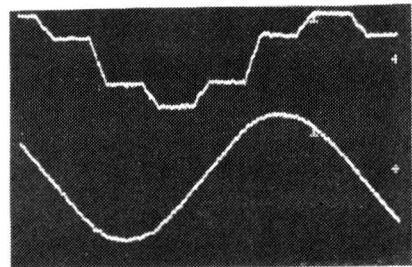
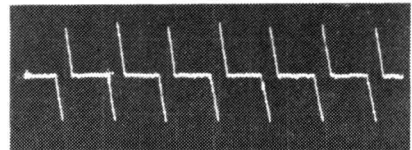


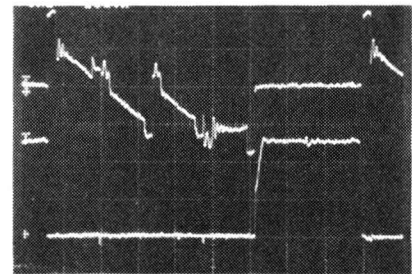
Fig. 8 Changing of Capacitor Voltage during Charging and Discharging Cycle.



Top: Line to Line Voltage (100V/div, 2msec/div)
Bottom: Line Current (20A/div, 2msec/div)
Both waveforms were taken at the primary side of the converter transformer.



Capacitor Current (20A/div, 2msec/div)



Top: GTO Voltage (100V/div, 2msec/div)
Bottom: GTO Current (20A/div, 2msec/div)

Fig. 7 Experimental Waveforms of Converter Circuit (1).

The discharging time τ must be changed with changing firing angle. Figure 8 is an experimental result for capacitor voltage V_c during charging and discharging of the 8-hy superconducting coil. The capacitor voltage rose up from the precharged value of 140 V to around 200 V. Though the capacitor voltage changed somewhat according to charging and discharging of the coil, the average voltage was stable at around 190 V. The capacitor should be charged up before beginning operation at least to the maximum value of line to line voltage.

4. PWM TYPE CONVERTER CIRCUIT
(CONVERTER CIRCUIT (2))

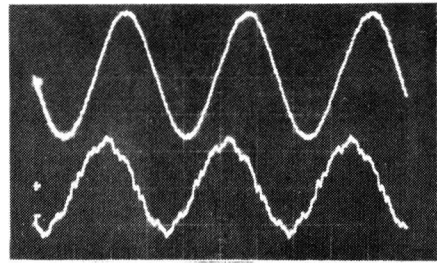
In the converter circuit (2) shown in Fig. 3, the capacitors connected to the ac input of the converter are utilized for handling the commutation energy. The line to line voltage rises up from the initial value by ΔV ,

$$\Delta V = 2\sqrt{L_s / (3C)} I_d \quad (3)$$

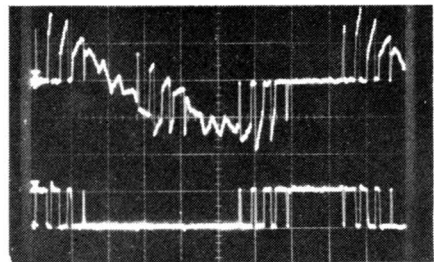
and the resonant frequency between the inductance and the capacitor is given by

$$f_r = 1 / (2\pi \sqrt{3L_s C}) \quad (4)$$

A 7 kVA experimental converter has been designed for the 8-hy coil using the converter circuit (2). The value of capacitor C was chosen to be



Top: Line to Line Voltage (100V/div, 2msec/div)
Bottom: Line Current (20A/div, 2msec/div)
Both waveforms were taken at the primary side of the converter transformer.



Top: GTO Voltage (100V/div, 2msec/div)
Bottom: GTO Current (50A/div, 2msec/div)

Fig. 11 Experimental Waveforms of Converter Circuit (2).

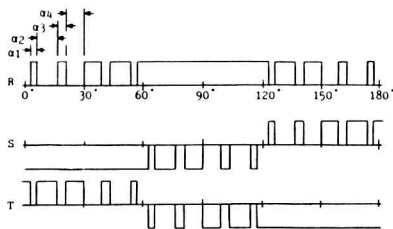


Fig. 9 PWM Pulse Pattern.

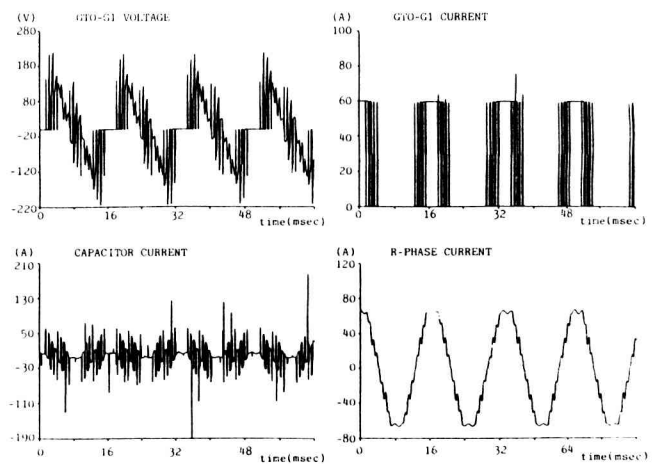


Fig. 10 Simulation Results of Converter Circuit (2) (With 9-pulse PWM Control).

60 μ F (7.1%) which matches $\Delta V=200$ V. The resonant frequency, f_r , is 530 Hz in this case.

The resonant frequency is 530 Hz, so that it is better to reduce lower order harmonics such as the 5th, 7th, 11th and 13th. The PWM pattern for this purpose is shown in Fig. 9. The RMS value of the n -th order harmonic current is given by Eq. (5). Four harmonics are eliminated by properly choosing α_1 , α_2 , α_3 , and α_4 . However, because there is a constraint on the minimum on/off-time of GTO's, it is impossible to eliminate the 5th, 7th, 11th and 13th order harmonics. Instead, these harmonics are minimized by using the process described by Eq. (6).

$$I_n = 4\sqrt{2}/(n\pi) I_d \cos(n\pi/6) \left\{ \cos\left(n \sum_{i=1}^4 \alpha_i\right) - \cos\left(n \sum_{i=2}^4 \alpha_i\right) + \cos\left(n \sum_{i=3}^4 \alpha_i\right) - \cos(n\alpha_4) + \frac{1}{2} \right\} \quad (5)$$

$$\left| I_5^2 + I_7^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2 \right| \rightarrow \min_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4} \quad \text{subject to } \alpha_i \geq 1.1^\circ \quad (i=1\sim 4) \quad (6)$$

These process results in the choice of $\alpha_1=1.57^\circ$, $\alpha_2=13.03^\circ$, $\alpha_3=5.00^\circ$ and $\alpha_4=9.29^\circ$. The minimum on/off-time in this case is 73 μ sec.

Figure 10 and 11 show the simulation and experimental results, respectively. The resonance between the inductance and the capacitor was suppressed effectively, and the over voltage of GTO's was reduced, too. The harmonics under 19th order in the line current was less than 3%, and the voltage across the GTO's was less than 200 V.

5. CONCLUSION

(1) The converter circuit with an auxiliary circuit to handle commutation energy was presented. The control method for the capacitor voltage was derived. The capacitor voltage could be maintained at around the specified value by the control while charging and discharging the superconducting coil.

(2) For the circuit with three by-pass capacitors on the ac input, PWM control is essential to avoid resonance. An optimal PWM pattern with low GTO switching frequency was obtained. With

9-pulse optimal PWM pattern, the harmonics in the line current was less than 3% and the GTO voltage was maintained within reasonable limits.

Due to the simplicity of the circuit and low harmonics, the PWM type converter circuit will be the best choice of the converter circuit for SMES. But the high power, low switching loss and low on-state voltage switching devices is desired for the high efficiency and reliable operation of the circuit.

REFERENCES

- 1) H. J. Boenig, R. G. Nielsen and K.H. Sueker "Design and Operating Experience of an AC-DC Power Converter for a Superconducting Magnetic Energy Storage Unit", 1984 IEEE IAS Conference Record, pp 772-778 (1984).
- 2) T. Ise, Y. Murakami and K. Tsuji "Simultaneous Active and Reactive Power Control of Superconducting Magnet Energy Storage Using GTO Converter", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD-1, No.1, pp 143-150 (1986).
- 3) P. Viriya, H. Kubota and K. Matsuse "New PWM-Controlled GTO Converter", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. PE-2, No.4, pp 373-381 (1987).
- 4) Y. Hayashi and N. Sato "A PWM Power Converter for Superconducting Magnetic Energy Storage with an Auxiliary Circuit to Accept Commutation Energy", Trans. of IEE Japan, Vol. 107-D, No.3, pp 371-378 (1987) (in Japanese).
- 5) M. Hombu, S. Ueda and A. Ueda "A Current Source GTO Inverter with Sinusoidal Inputs and Outputs", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. IA-23, No.2, pp 247-255 (1987).
- 6) Y. Murakami "A Method for the Formulation and Solution of Circuits Composed of Switches and Linear RLC Elements", IEEE Trans. on Circuits and Systems, Vol. CAS-34, No. 4, pp 496-509 (1987).
- 7) G. S. Stobbelaar and L. H. Walker "10 MVA Power Conditioning System for Lead Acid Battery Energy Storage System", General Electric Company (1987).

レイ・トレーシングによる布の表現

成田 紘一・世古 忠・中村 善一

Expression of Cloth by Ray Tracing

Hirokazu NARITA, Tadashi SEKO and Yoshikazu NAKAMURA

In this paper, the method that represent the colored cloth in the three dimensional computer graphics is described. The mathematical function that express the model cloth is derived. The values of this function are calculated by the computer. From the result, the three dimensional shape of model cloth is drawn on the color CRT by the wire-frame method and the ray-tracing method. The color of cloth is painted with the texture mapping algorithm.

1. まえがき

3次元コンピュータグラフィクスは、今ではテレビのコマーシャルフィルムやCAD、アニメーションなど各種分野で利用されてきている。初期の3次元コンピュータグラフィクスでは、物体を表すのに主としてワイヤフレームモデルが用いられていた。最近では、LSI技術とコンピュータ技術の発達により、大容量半導体メモリが低価格になり、それによってラスターキャン方式のCRTで多色表示が可能になり、物体の陰を表現して2次元であるCRT画面上に3次元物体を表示するソリッドモデルが主流を占めるようになった。

ソリッドモデルの内ではレイ・トレーシング法は光線を物理的にシミュレートするので、表示がリアルであり、美しい画像を与えてくれる。しかしながら、この方法は膨大な計算時間を要するので、これまで大型の汎用機やスーパーミニコンピュータでしか使用できなかった。ところが、コンピュータの高速化にともない、パソコンでも簡単な3次元図形処理では、この方法が使用できるようになった。我々は、これまで、この方法における3次元データの作成法について研究してきた。¹⁾最近では、この方法の高速化のためのアルゴリズムの研究と同様に、種々の物体や物体表面の質感を表現する研究も多数行われてきている。²⁾³⁾⁴⁾

本論文で我々は柔らかい布地を表現する方法を示す。柔らかい布地をコンピュータを使って表現する研究はベル研のJ. Weilによって行われた。ここでは、彼によって導出された式を使用し、コンピュータ・シミュレーシ

ンを行った。また、テクスチャー・マッピングの方法を用いて布地の表面に種々の柄を表示する研究も行なった。

2. 布の形状表現

ハンカチのような長方形の薄い布地を多数の糸が格子状に配列しているものとしてモデル化する。そして、その長方形の布が何点かで吊されている場合を考えてみる。このとき、両端が固定された1本の糸は以下のような式で表される懸垂曲線で示される。

$$y = c + a \cdot \cosh \{ (x - b) / a \} \quad (1)$$

ここで、 a , b , c は定数である。この懸垂曲線の組み合わせによって布を表現するわけであるが、実際には糸の長さや両端の位置を与えることにより定数 a , b , c を決定しなければならない。この定数の実際の計算方法については文献(5)に示してある。

幾つかの拘束点によって支えられた3次元空間に吊された薄い布をモデリングするためには、懸垂曲線で示される多数の糸を組み合わせればよい。しかしながら、ここで1つの問題点が生じる。それは、図1に示すように2組の懸垂曲線が交差した場合である。ここでいう交差の意味は、上から見た ($x - y$ 平面上での) 交差のことである。一般には2つの糸を吊り下げた場合、 z 軸の値は異なる。その場合、交差した2つの曲線の z 軸の値の間のどこかに本来の交点があるはずである。したがって、新しい拘束点をモデルに付加しなければならない。しかし、この方法では計算が複雑になるので、ここでは

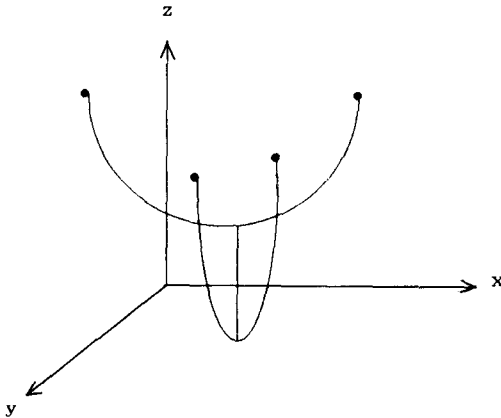


図1 2つの懸垂曲線

2つの曲線のうち1つを単純に除去することにした。2つの曲線のうち下の曲線を選ぶと上の曲線が交点まで届かないことが有り得るので、ここでは上の曲線を選んだ。また2つの曲線の上下差が非常に小さい場合にはどちらも選択しない。すなわち、折り目ができないものと判断した。以上の方法により、布の4片と対角線のどちらか一方が計算されるので、その計算された点をそれぞれ新しい拘束点として同様な計算を行うと布が表現できる。

これまで述べた方法を使って、長方形の布が4隅と中心で吊されているものとしてパソコン PC - 9801 VX を用いてシミュレーションを行った。まずレイ・トレーシング法の各種のパラメータを得るためにワイヤーフレームモデルを使用して表示して見た。ワイヤーフレームモデルで表現された長方形の布を図2に示す。この図から、これまでに述べた方法により現実の布の状況をかなり正確に表せることがわかる。

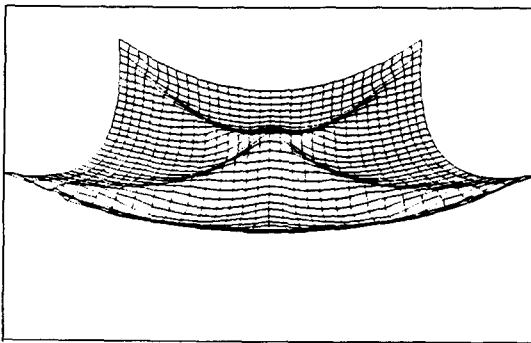


図2 ワイヤーフレームによる布の表示

3. レイ・トレーシングによる布の表示

レイ・トレーシング法では物体表面が既に知られている関数式で与えられている場合は、比較的簡単にかつ速く画像を得ることができ、パソコン等でも使用することができる。しかしながら、任意形状の物体の場合は計算時間が膨大なものとなる。

ここで与えられる布を表す関数は2次元的なものであり、布の面を1つの関数式では与えてくれない。このような場合は、ワイヤーフレームモデルで得られたデータ、すなわち1つのフレーム(3角板)を1つの物体または面(プリミティブ)と考えて、その組合せにより、任意曲面を構成する。この方法で1つの物体をリアルに表現

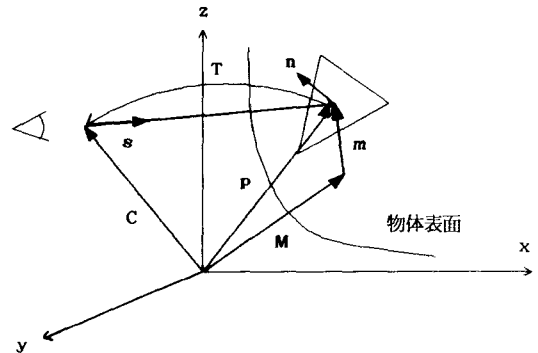


図3 レイ・トレーシングの座標系

するためには、1つの物体の表面のプリミティブをできるだけ多数で構成するようにすればよいが、それだけ計算時間が多くかかることになる。現在、この方法の高速化アルゴリズムの研究が各所で行われているが、いまだ画期的な方法が見あたらない。むしろ、ソフトの研究よりもハードの研究が進んでおり、マルチプロセッサで高速化を計ることが考えられている。ここでは、我々独自のアルゴリズムが考えられ、スピードの向上が計られた。

ワイヤーフレームモデルで得られたデータから、図3のような3角板の組合せで物体を構成する。そして、それらの3角板に光線があった場合を考えてみる。

視線の単位ベクトルを s 、目の位置ベクトルを C 、平面上の任意の1点の位置ベクトルを M 、平面の放線ベクトルを n とし、平面上から交点に向かうベクトルを m とすれば

$$m = (C - M) + s \cdot T \quad (2)$$

で表される。ここで、 m と n は直交するので

$$m \cdot n = 0 \tag{3}$$

が成り立つ。よって、

$$\{(C - M) + s \cdot T\} \cdot n = 0$$

から

$$T = -\{(C - M) \cdot n\} / s \cdot n \tag{4}$$

となり、この式から T が求められる。よって交点のベクトル p は

$$p = C + T \cdot s \tag{5}$$

から求められる。

視線との交点が求められると、その交点が三角板の内部か外部かを判定しなければならない。この方法は幾つか考えられているが、ここでは以下のような方法で行った。

図4のように三角板の3辺の長さを a , b , c とすると、この面積はヘロンの公式から

$$S = \{t(t-a)(t-b)(t-c)\}^{1/2} \tag{6}$$

で求められる。ただし、

$$2t = a + b + c$$

である。交点が求められている場合、交点が三角板の内部にあるならば、交点から3角形の各頂点までのベクトル

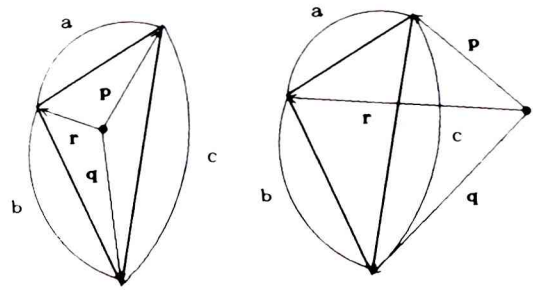


図4 三角板と視点との交点

を図4のように p , q , r とすれば、3角形の面積 S は

$$S = \frac{1}{2} \{ |p \cdot q| + |q \cdot r| + |r \cdot p| \} \tag{7}$$

として求められるが、交点が三角板の外部にある場合は本当の面積より大きくなる。よって、この面積比較から交点が三角板の内部にあるのか外部にあるかを判定した。

以上の方法により、レイ・トレーシング法で布の3次元画像を得た。結果を図5に示す。

この画像におけるカラー模様はテクスチャ・マッピングによりペイントされた。テクスチャ・マッピングには色のテクスチャ・マッピングとパンプ・マッピングと呼ばれる凹凸模様のテクスチャ・マッピングの2種類あるが、ここでは色のテクスチャ・マッピングが使用されている。

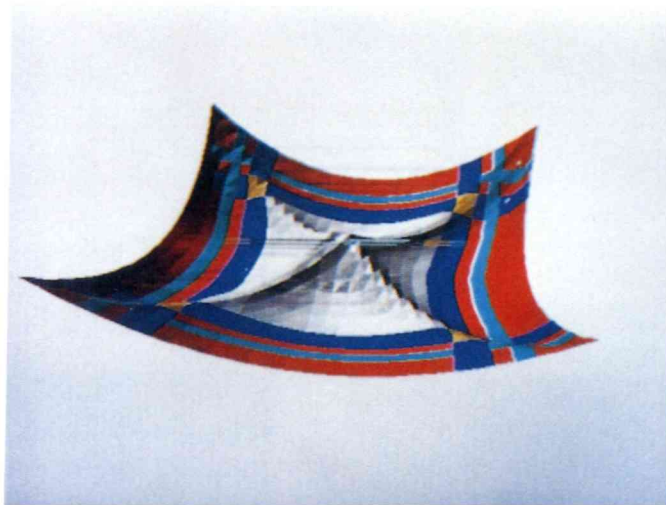


図5 レイ・トレーシング法によって得られた布

4. おわりに

本論文において、ハンカチのような布をコンピュータ・シミュレーションによりレイ・トレーシング法を使って3次元表示する方法が考えられた。布の形状をコンピュータ・シミュレーションするための基本式として懸垂曲線の式が用いられた。その式から、ワイヤーフレームのデータが得られ、それらのデータからレイ・トレーシング法により布が表現された。

本研究において、一つの画像を得るのにパソコン PC 9801 VX を24台使用し、同時処理した場合で一昼夜を要した。処理時間から考えると、現時点ではワークステーションを使用したとしてもかなりの時間を要するものと思われる。したがって、今後は処理時間を短縮するためのアルゴリズムの改良が必要である。ただ、コンピュータ技術の発達はめざましいので、コンピュータの処理時間も短縮し、近い将来には実用化が可能になるものと思われる。

謝 辞

本研究にご協力いただいた本校情報工学科上田勝彦教授と山崎善弘技官に熱くお礼申し上げます。また、この研究を卒業研究として熱心に取り組んでくれた松久剛君に感謝します。

文 献

- 1) 成田他：レイ・トレーシング用データ作成プログラム、奈良高専研究紀要、No.23 (1987)
- 2) 横井他：霧状物体の表示アルゴリズム、日経CG、No.12 (1986)
- 3) J. M. Snyder : Ray Tracing Complex Models Containing Surface Tessellations, Computer Graphics, vol. 21, no. 4 (1987)
- 4) 甲谷他：リアルな画像を作るレイ・トレーシング法、日経CG、No. 7 (1987)
- 5) J. Weil : The Synthesis of Cloth Objects, Computer Graphics, vol. 20, no. 4 (1986)

マルチスケール表現を用いた信号処理の研究

土井 滋 貴

Study of signal processing using multi scale description

Shigeki DOI

The signal understanding can not be achieved only by the numerical data itself. Therefore, the proper description suitable for the signal recognition should be required. The multi-scale description of signal have been already discussed by using several methods in many fields. In considering practical uses, the author has made a special attention to the scale-space filtering (SSF) by using Gaussian smoothing because of its wide applications. This paper describes the basic treatment of SSF using Gaussian convolution and the discussion on availability of SSF the signal processing.

1. まえがき

物理的な現象において、空間的または時間的値、もしくは構造の変化は広いスケールの範囲にわたって発生する。従って、これらの現象を表現する信号からの現象の把握は、さまざまなスケールでの信号の分析によって、初めて可能になる。たとえば時間的に変化する現象を捕らえる時、その現象を表現する信号の最大値や基本周期を求めるより、信号を時間的なグラフに表現するほうが、こみいった体系を描写するには効果的である。つまりグラフが信号のさまざまなスケールにわたってそれらの変化の重要な特性を直接視覚化するからである。

スケーリングという考えは画像や他の種類の信号の特徴的な変化の象徴的表現を可能にする。なぜなら、さまざまな信号の変化は異なるレベルと異なる範囲にわたって生じるが、それらの信号の変化、つまり計測物の物理的動きは、スケーリングによって異なるスケールの独立した動きの組み合わせとして捕らえられる。

例えば、画像において、強度の違うガウスフィルタを通過した像の差によって、表面の模様や、物理的な“エッジ”を見つけられる。また有限個の異なるスケールにおける信号の表現だけでなく、連続したいくつものスケールにわたる表現を結合することによって更に有効な情報が得られる。

この考えの興味深い点は人の視覚における確認方法と同様であることである。近年の視覚に関する研究によれ

ば、視覚における認識は複数の空間周波数に合わせた視覚チャンネルからの情報を並列に処理して行われていることがわかってきた。さらにこれらの生理的処理方法は精神的な認識形態とも共通する。

コンピュータビジョンの分野では、ローゼンフェルトは異なる大きさのフィルタを用いたマルチスケール分析 (Multiscale Analysis) によってエッジを発見する計画を提案した最初の一人である¹⁾。また同じ様なアルゴリズムがマーによって異なる目的と動機によって提案された²⁾。彼はステレオマッチング法の中で、異なるスケールのガウス形フィルタからフィルタリングされた画像を使うことを提案した³⁾。

このように複数のスケールによって物理的変化つまり信号をとらえる、もしくは分析しようとする考え方をマルチスケール表現を用いた処理と呼ぶことにする。

信号認識処理系では計測して得られた数値データをそのままの状態で使用しうることがまれであり、適当な質的表現言い替えれば特徴抽出が必要となる。このような系をブロックで表わすと図1のようになる。

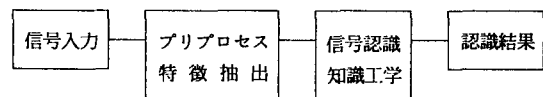


図1 信号認識システムのブロック

最近、さまざまな信号処理において、このような解析

的手法と人工知能的手法を組み合わせた研究が盛んに行われている⁴⁾⁵⁾。これらの研究は人工知能の手法についての研究が一段落し、研究の主力が個別な応用に移行しつつある。その中でもとりわけ重要な意味を持つ知識の表現が中心的な課題となってきた。言い替えば信号の表現と知識の表現とのインターフェースの問題である。

本論文では、図1に示すような信号処理システムにおいて、主にマルチスケール表現を用いた信号の入力から特徴抽出までの処理系について考察している。

2. プリプロセスとしての SSF

2.1 SSF

先に述べたような、解析的手法と人工知能的手法を組み合わせた処理系の特徴抽出のための信号処理手法としてマルチスケール表現のひとつであるSSF (Scale Space Filtering)⁶⁾に着目する。

信号のマルチスケール表現 (Multiscale Description) は、階層的な質的表現を可能にする表現方法のひとつである。マルチスケールリングによって拡張された信号の集合をSSI (Scale Space Image) と呼んでいる。また、SSIの2次導関数のゼロクロス点情報は信号の有効な質的表現を与えることが知られている⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。SSFはマルチスケール表現された信号の2次導関数のゼロクロス点情報を算出する演算処理である。

SSFでは、ガウス分布関数によってスムージングされた信号のゼロクロス点はガウス分布関数の偏差σが現象するにつれて増加するが、一旦出現したゼロクロス点は消滅することはない。この性質は信号の偏差σに対する階層的な質的表現を可能にする。

2.2 SSF の定義

ガウシアンスムージングSSFによって得られるフィンガープリントは次のように定義される。

$$FP: \text{フィンガープリント} \quad (1)$$

$$\triangleq \{ (t, \sigma) \mid (t, \sigma) \in S, \forall (t, \sigma) (h(t, \sigma) = 0) \}$$

$$S: \text{スケール空間}$$

$$= \{ (t, \sigma) \mid 0 \leq t < \infty, 0 \leq \sigma < \infty \}$$

$$h(t, \sigma) = d^2/dt^2 \{ f(t) * g(t, \sigma) \}$$

f(t): 元信号

$$g(t, \sigma): \text{ガウス分布関数}$$

$$= 1 / (2\pi)^{1/2} \sigma \exp(-t^2 / (2\sigma^2))$$

$$f(t) * g(t, \sigma): \text{コンボリューション積分}$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) * g(t - \tau, \sigma) d\tau$$

注) \forall は全称記号、 $\forall xP(x)$ とすると、すべてのxに対してP(x)が成り立つ。

ここでのスケール空間は(t, σ)無限平面のもとで時間tとスケール・パラメータσによって定義される。集合SSIの変曲点の集合はその形状が指紋に似ているので、一般にフィンガープリントと呼ばれている。つまり、フィンガープリントはガウシアンマスクによるマルチスケールリングにより拡張された信号の変曲点の集合である。このフィンガープリントは信号の情報を的確に表現しており、声紋とよく似た取扱ができる。

計算機を用いて実際にSSIを求める場合、連続信号を離散化して計算を行う必要がある。従って連続無限平面で定義されたSSIを次に示すように離散有限平面に定義しなおさなければならない。

$$Sd: \text{離散スケール空間} \quad (2)$$

$$= \{ (t_i, \sigma_j) \mid 0 \leq i < N, 0 \leq j < M \}$$

図2に信号とSSF処理してえられるフィンガープリントの例を示す。

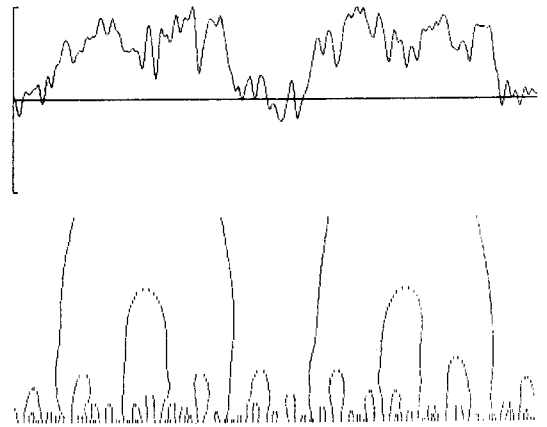


図2 信号波形とフィンガープリント

3. SSF の計算

3.1 高速計算とσ

SSIを定義に従って時間軸で計算すると、そのプロセスは図3のようになり、非常に計算量が多い。

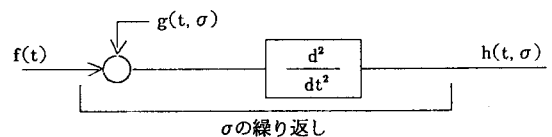


図3 定理どおりの計算

そこで、通常はフーリエ変換経由で計算量を減らす。さらに2回微分をフーリエ変換前に行えば、

$$\begin{aligned} d^2/dt^2 \{f(t) * g(t, \sigma)\} & \quad (3) \\ &= F^{-1} [(j\omega)^2 F(\omega) \cdot G(\omega, \sigma)] \\ &= \{d^2/dt^2 f(t)\} * g(t, \sigma) \end{aligned}$$

となり、2回微分を1度だけで済ますことで処理速度を向上することができる。そのプロセスを図4に示す。

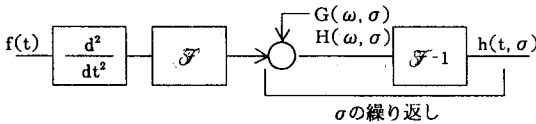


図4 高速化を行った計算

計算された SSI のゼロクロス点からフィンガープリントを生成する。

次に σ の選択を考察してみよう。カーネルであるガウス分布関数はパラメータ σ を含むローパス・フィルターの役割をしており、これは、

$$\begin{aligned} H(\omega, \sigma) &= F(\omega) \cdot G(\omega, \sigma) & (4) \\ G(\omega, \sigma) &= \exp(-\sigma^2 \omega^2 / 2) \end{aligned}$$

となる。フィルタ通過後にその周波数における信号のパワーが半減している周波数 ω_c を遮断周波数と呼ぶと、

$$\begin{aligned} |H(2\pi\omega_c, \sigma)|^2 &= \frac{1}{2} |F(2\pi\omega_c)|^2 & (5) \\ &= |F(2\pi\omega_c) \cdot G(2\pi\omega_c, \sigma)|^2 \\ &= (G(2\pi\omega_c, \sigma))^2 |F(2\pi\omega_c)|^2 \\ G(2\pi\omega_c, \sigma) &= (\frac{1}{2})^{1/2} \end{aligned}$$

このときの $2\pi\omega_c$ と σ の関係は

$$\begin{aligned} \exp(-(\sigma 2\pi\omega_c)^2 / 2) &= (\frac{1}{2})^{1/2} & (6) \\ (2\pi\omega_c)^2 &= \ln 2 \\ \therefore \omega_c &= \frac{1}{2} \pi (\ln 2)^{1/2} \\ &= 0.1325 \end{aligned}$$

この式よりフィルタとしてのガウス分布関数の遮断周波数 ω_c はパラメータ σ を与えることにより決定することができる。実際の使用に際しては、認識結果が得やすい基準となるように ω_c 、つまり σ を選択してやればよい。

離散量としてサンプリングされた信号に対しては、サンプリング定理によって求まる最高周波数により σ の範囲を決定する。

3.2 適応化 SSF

すべての信号に対して一律の σ の選択を行うとすれば信号の離散の個数と同じだけの σ を選択しなければならない。この事実は一般によく用いられる FFT などのデータ数と演算回数との関係と比較すると、データの数が増えるに従って非常に大きくなり（データ数を n とすると n^2 に比例）、計算時間の点で、FFT 等と同様に使用することが難しくなる。そこで SSF の処理結果であるフィンガープリントの特徴点（変曲点）の生成に着目して効率の良い σ の選択方法を考える必要がある。処理方法としては、二分探索法が簡便である。まず σ の上限値 σ_{max} と下限値 σ_{min} を使って SSF 処理を行い、変曲点をそれぞれ求める。それらのデータを修了基準により判定し、終了でなければ、中間値 $\sigma_{mid} = (\sigma_{max} + \sigma_{min}) / 2$ を利用し、再帰的に処理する。この処理手順は次のようになる。

```

procedure pssf (sigma, x)
begin
    データ列 x をスケールパラメータ sigma でスムージング;
    この時の変曲点の個数を関数の値として返す
end;

procedure ej (sigma1, ps1, sigma2, ps2)
begin
    終了基準に従って終了かどうかを判断;
    終了の時は true、それ以外の時は false を関数の値
    として返す
end;

procedure assf (sigma1, sigma2)
begin
    もし、ej (sigma1, pssf (sigma1, x), sigma2, pssf (sigma2, x))
    の値が false ならば、
        sigma_mid := (sigma1 + sigma2) / 2 として、再帰処理
        assf (sigma1, sigma_mid) と assf (sigma_mid, sigma2) を行う
end;
    
```

再帰的処理の終了基準

1. σ_{max} と σ_{min} との差が一定以下になったとき
2. σ_{max} と σ_{min} を使って SSF 処理を行ったとき、変曲点の数が等しいか、2個以下のとき
3. 変曲点の数の逆転が起こったとき
4. 変曲点の数が2個以上増加したときでも、それぞれの変曲点がどの領域に属するか判定できるとき

図5に信号 $10 \sin(\omega t) + 3 \sin(3\omega t) + \sin(10\omega t)$ について適応化を行わない場合と行った場合のフィンガープリントを示す。この例では、適応化により計算回数は約半に減少している。

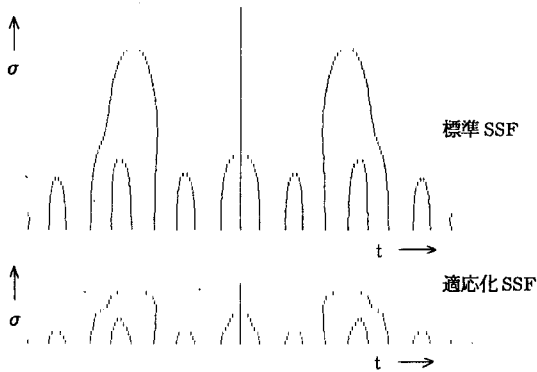


図5 標準 SSF と適応化 SSF による
フィンガープリント

3.3 ガウシアン・スムージング

ガウシアン・スムージングの優位性はこれまで多くの論文(7)9)で議論されており、検討されている。しかし、いくつかの離散化 SSF の応用において周波数軸での短形窓を用いたフーリングで置き換えられることを確認している。これは、

- ・離散系での微分はいかなる状態でも可能であること
- ・SSI において変曲点が現れ始める臨界点付近での変曲点の動きは後の処理系に対してあまり重要でないなどの理由からである。たとえば、合成正弦波信号について変曲点の存在条件が満たされるとすると、ガウシアン・スムージングであっても、短形マスク型スムージングであっても、最も緩いスムージングのスケールにおいては、含まれている最高周波数に応じた変曲点が現れ、順次、信号を構成する周波数に応じて変曲点の数が減少する。

4. ま と め

信号認識処理系におけるマルチスケール表現の利用について、マルチスケール表現のひとつである SSF と、その具体的な計算方法も含めて述べた。SSF は信号の数値表現から記号表現あるいは知識表現へインタフェースとしての有効性が期待できる¹²⁾。

参考文献

- 1) A. Rosenfeld and M. Thurston, "Edge and curve detection for visual scene analysis," IEEE Trans. Comput., vol. C-20, pp. 562-569, 1971.
- 2) D. Marr, "Early processing of visual information," Trans. Roy. Soc. London, vol. 275, pp. 483-519, 1976.
- 3) D. Marr and T. Poggio, "A computational theory of human stereo vision," in Proc. Roy. Soc. London, vol. B 204, pp. 301-328, 1979.
- 4) 土井滋貴・丸山公雄・志水英二・松田稔。「SSF を用いた信号処理のための AI インタフェース」。61 年度電子通信学会通信部門全国大会 No. 4
- 5) 土井滋貴・志水英二・松田稔。「計測のための統合的信号処理システム」。61 年度電気関係学会関西支部連合大会講演文集 G 2-9
- 6) Andrew P. Witkin "SCALE-SPACE FILTERING: A New approach To Multi-scale Description" IEEE ICASSP 84, pp. 39A. 1. 1-4.
- 7) D. Marr and E. Hildreth, "theory of edge detection," Proc. Roy. Soc. London, vol. B207, pp. 187-217, 1980.
- 8) H. Asada and M. Brady, "The Curvature Primal Sketch," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. PAMI-8, no. 1, pp. 2-14, 1986.
- 9) A. L. Yuille and T. A. Poggio, "Scaling Theorems for Zero Crossings," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. PAMI-8, no. 1, pp. 15-25, 1986
- 10) F. Mokhtarian and A. Mackworth, "Scale-Based Description and Recognition of Planar Curves and Two-Dimensional Objects," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. PAMI-8, no. 1, pp. 34-43, 1986.
- 11) J. Babaud, A. P. Witkin, M. Baudin, and R. O. Duda, "Uniqueness of the Gaussian Kernel for Scale-Space Filtering," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. PAMI-8, no. 1, pp. 26-33, 1986.
- 12) 土井滋貴・志水英二・松田稔。「水中情報伝送のための信号処理の研究」。61 年度秋季日本音響学会講演論文集 1-1-23

He-Ne レーザを用いた三次元座標の測定

宮田 正 幸

Measurement of the Three Dimensional Coordinate System Using He-Ne Laser

Masayuki MIYATA

光源に He-Ne ガスレーザを使用し、非接触で測定対象物に 2 方向からレーザ光線を照射し、光学的三角測離方式によって 3 次元物体の座標測定を行った。この結果、測定間隔は程度・緯度方向とも 1 mm rad、1 m 以内の対象物においては分解能 1 mm 測定誤差約 5 % 以内の精度が得られた。

1. まえがき

三次元物体の非接触測定法については、その測定対象物の大きさ、及びその測定精度によって現在いろいろな方法が考えられている。この中で波動光学的性質を利用したものは、干渉計にみられるように高精度の測定に適しているが、三次元的座標測定には必ずしも適していない。一方パーソナルコンピュータの演算のスピード化とメモリの増大により、ロボット・工作機等の制御や CG・CAD におけるソフトウェアのリアルタイム化が進み、これらに輸入する次元形状認識装置の必要性が急速に高まって来ております。これらの装置は光源と CCD カメラによって得られた画像をコンピュータ処理して三角測量の原理を基に X, Y, Z の座標値を計算している。使用する光源によっては測定出来る物体の大きさが数 m 以内に制約される。又これらの装置の分解能は約 0.1 mm ~ 1 mm 程度で測定間隔は経度・緯度方向とも 0.7 mm rad ~ 1.2 mm rad 程度であるので、ビル等の比較的大きな物体への利用は大変困難である。

本研究は 2 本のレーザ光線を使い、三角測離方式にて対象物の三次元座標を、マイクロコンピュータにデータとして取り組むと同時に制御出来る装置を試作した。

この方式によれば比較的大きな物体に対しても対応が可能で、得られたデータをソフトウェア的に加工出来る。

2. 測定原理

2.1 座標測定原理

図 1 において、角度 α , β , γ と OA 間の距離 a より、

P 点の三次元座標を求めるため、図 1 を $x-z$ 平面に投影し、点 P は点 P から $x-z$ 平面に垂線を引いた時の、 $x-z$ 平面との交点とする。

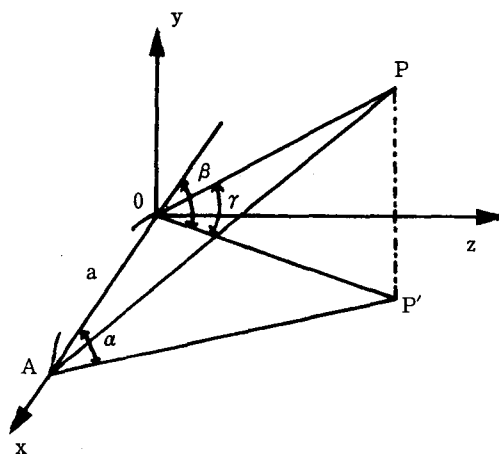


図 1 座標測定原理

これより

$$\overline{OP'} = \frac{a \sin \alpha}{\sin (\beta - \alpha)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

図 1 より Z 軸方向について考えると

$$\overline{OP} = \frac{a \sin \alpha}{\sin (\beta - \alpha) \cos \gamma} \quad \dots\dots\dots (2)$$

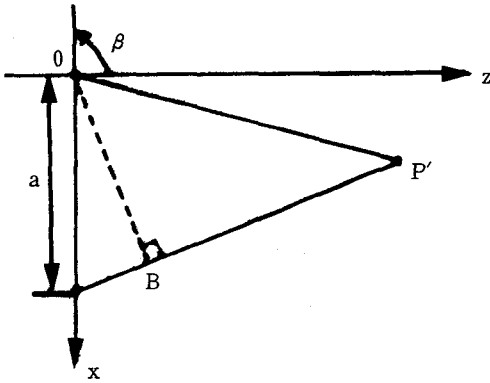


図2 x-z平面

以上の式よりP点の座標を直交座標系で求めることが出来る。

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{a \sin \alpha}{\sin(\beta - \alpha)} \cos \beta \\ y &= \frac{a \sin \alpha}{\sin(\beta - \alpha)} \tan \gamma \\ z &= \frac{a \sin \alpha}{\sin(\beta - \alpha)} \sin \beta \end{aligned} \right\} \dots\dots(3)$$

2.2 測定値の処理

(3)式によって求められた測定データをコンピュータで処理するためには、図3の様な座標変換が必要になって来ます。物体の測定データは右手系であるボデー座標系

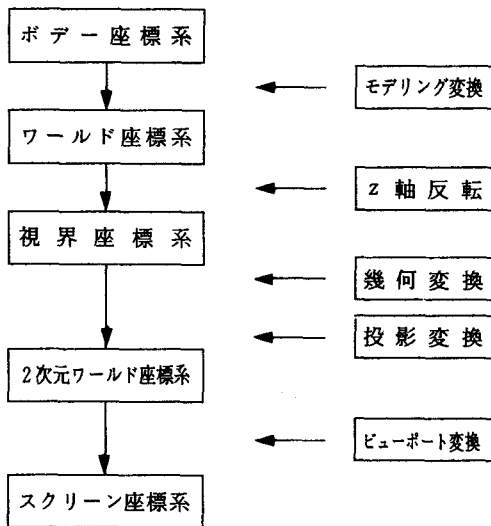


図3 座標変換の手順

で表現されます。この座標系は物体毎に個別に設定されますので、各物体に共通の右手系の3次元ワールド座標系が必要になりこれをモデリング変換と呼びます。

ボデー座標系の各軸に対するスケーリング係数を (S_x, S_y, S_z) としボデー座標系の座標 (x_b, y_b, z_b) は次の変換式によってワールド座標系の座標 (x_w, y_w, z_w) に変換される。

$$\begin{aligned} [x_w, y_w, z_w] &= \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ t_x & t_y & t_z & 1 \end{bmatrix} \dots\dots(4) \\ [x_b, y_b, z_b] & \end{aligned}$$

さらに視点座標系の座標を (x_v, y_v, z_v) とすると

$$\begin{aligned} [x_v, y_v, z_v] &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots(5) \\ [x_w, y_w, z_w] & \end{aligned}$$

ここであらためて視点座標系を (x, y, z) とし、これに3次元アフィン変換を施した座標を (x', y', z') とすれば次式であらわされる。

$$\begin{aligned} [x', y', z'] &= \begin{bmatrix} a & b & c & 0 \\ d & e & f & 0 \\ g & h & i & 0 \\ t_x & t_y & t_z & 1 \end{bmatrix} \dots\dots(6) \\ [x, y, z] & \end{aligned}$$

座標、(x, y, z) を原点を中心にx軸、y軸、z軸ともa倍に拡大し、そしてy軸に沿ってtだけ平行移動した後、x軸の周りにdだけ回転した場合の個々の変換マトリックスを $S_x, T_{y1}, R_{x2}, R_{y3}$ とすれば合成変換後の新しい座標 (x', y', z') は次の変換式で求められる。

$$\begin{aligned} [x', y', z'] &= \\ [x, y, z, 1] & S_x R_{y1} T_{x2} R_{y3} \dots\dots(7) \end{aligned}$$

三次元の物体の座標を測定する場合、ここに上げた変換のうちいくつかを省略することが出来る。又ある一方方向から物体を見た場合、測定出来ない部分が出てくる。このため座標軸を回転・移動を行って隠れている部分の物体の座標を測定しなければいけない。この場合変換式より回転角度と移動距離を逆に求め、新しい座標系へのパラメータ定数として使用する。その他コンピュータに取り込んだデータより視点をかえて表示する場合には各変換マトリックスの合成変換係数を求めなければいけない。さらにより立体感のある表示をさせるためには射影変換、陰面処理等を考慮する必要がある。

3. 測定装置

3.1 測定装置の構成

測定装置のブロック図を図4にミラーの配置を図5に示す。Xミラーはx軸方向、Yミラーはy軸方向制御用のミラーである。各ミラーはコンピュータから出力されたパルスによってスラッピングモータから減衰器を通して回転させる。レーザ光線はミラーの回転に対して垂直に入射させる必要がある。これはYミラーを回転させた

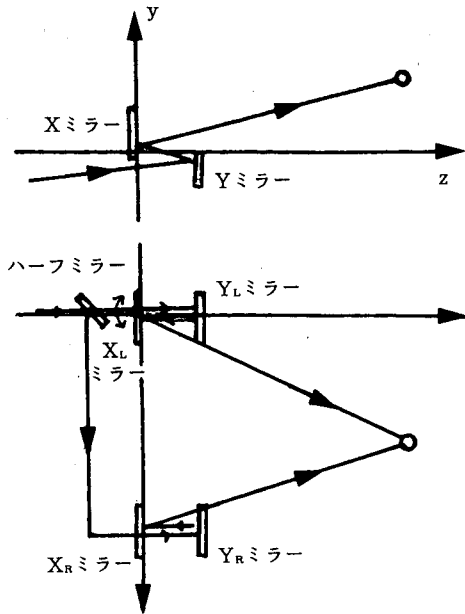


図5 ミラー配置図

時に、それによってx軸方向の反射角が変化するのを防ぐためである。左右のXミラーの回転軸は平行でなければならない。又左右のXミラーの反射点を結ぶ線がx軸となるので、この線はXミラーの回転軸と垂直でなければいけない。本装置で高い精度を得るためには、レーザ光線の1パルス当りの反射角を出来るだけ小さくする必要がある。ステッピングモータの回転角は 0.9° /パルスである。これをギアとタイミングベルトで減速して $(22/120) \times (22/60)$ の減速比を得た。これにより本装置は経度・緯度方向芝 1 mm rad の分解能を得た。

3.2 測定方法

測定装置を制御及びデータ処理を行うためのプログラムの主な内容は、ミラーの初期化のためのルーチン、測定地点からの距離及2点間の距離の測定ルーチン、三次元座標の測定ルーチン、及び三次元表示ルーチン等を作成した。

初期化については測定装置の幾何学的配置により測定範囲に制限が加わる。本装置の場合ミラー間の距離、図1における $a = 82.3\text{cm}$ で $\alpha < 40^\circ$ 、 $\beta > 140^\circ$ の範囲を越えると測定が不可能となった。

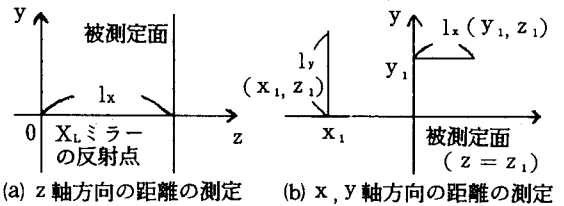


図6 被測定距離とパラメータ

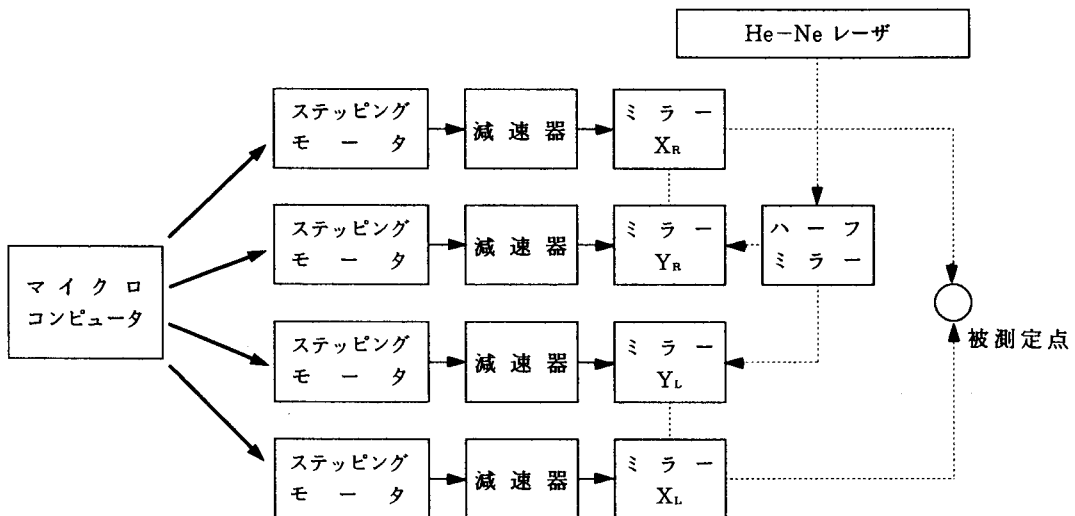


図4 測定装置のブロック図

4 測定結果

測定を行うときの被測定距離 (l_x, l_y, l_z) と各パラメータ (x, y, z) は、図6の様に定める。この場合の測定結果を図7、図8、図9に示す。

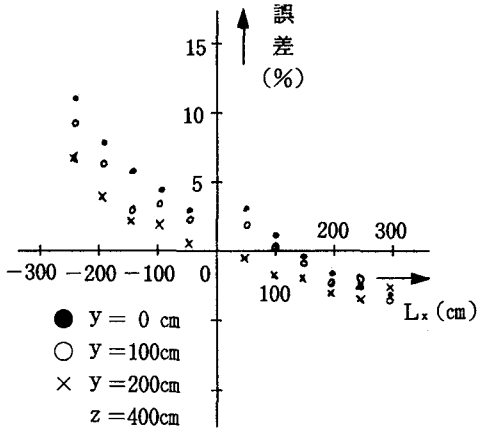


図7 x軸方向の誤差

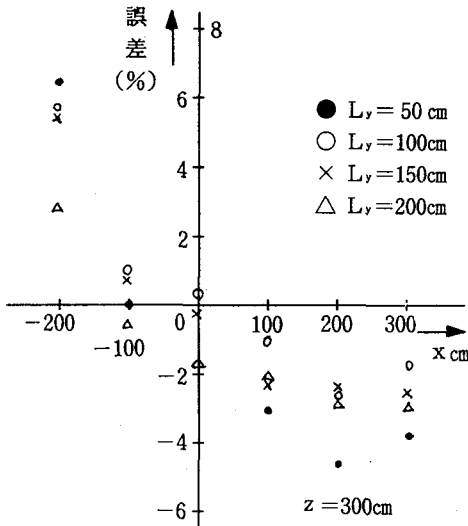


図8 y軸方向の誤差

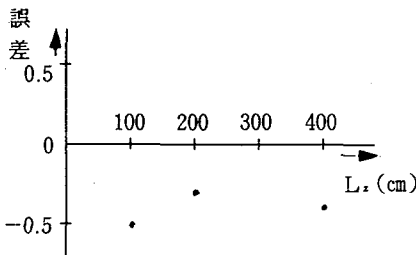


図9 z軸方向の誤差

これらの結果から考えられる誤差の原因は、回転軸に対するミラーの傾きや、ミラーの反射点と回転軸の中心とのずれなどによるものと考えられる。さらに長い距離 (10~15 mm) の測定結果を図10に示す。この場合、

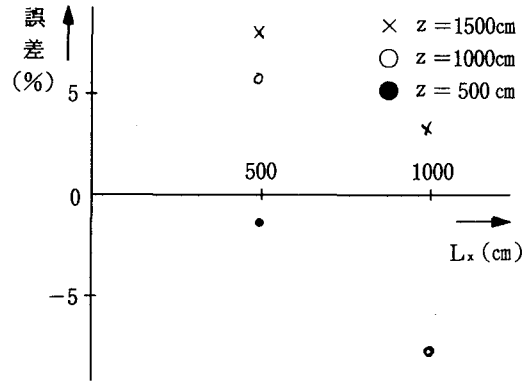


図10 x軸方向の誤差

レーザスポットの重り具合が判定しにくかったため多くのデータがとれなかった。距離測定に限定し、測定パラメータを適正に選ばばかなりの精度で測定可能ではあるが分解能はかなり悪くなる。

5. あとがき

本研究では、レーザ光線を用いて三次元座標測定装置の試作を行ったが、測定結果から分かるように実用に供する誤差の範囲(数%)内に収めようとする測定出来る範囲がかなり限定される。これらを解決するためには光軸を正確に合わせる必要がある。このためには、ミラー等の駆動部の小形化及び各部の精密加工が上げられる。現在の分解能を上げるためにはバックラッシュの少い減速器が必要である。

今回はパーソナルコンピュータ含みで装置を製作したので装置全体が大がかりになって測定自身にかなりの時間を費した。やはり測定部と処理は分けて測定部の軽量化をはかるべきである。

参考文献

- 1) 簡易型3次元形状入力装置 ; 日経CG, 9 (1988)
- 2) 広内 ; コンピュータグラフィックス, 啓学出版

署名照合のための筆跡個性の自動計測

中村善一・上田勝彦・成田紘一

Automatic Measurement of Individual Handwriting Characteristics for Signature Verification

Yoshikazu NAKAMURA, Katsuhiko UEDA and Hirokazu NARITA

本論文は、署名の自動照合のための基礎的検討として、署名の個人性を表す特性値を自動的に計測しその評価を行うものである。個人性を表す特性値として、従来より筆跡鑑定分野で把握されている文字の配置や大きさに関する量、および文字の形を反映する距離パターンと周辺分布を定義した。これらの特性値を評価するために一定枠内に楷書横書きされた9種類の署名（それぞれ、本物100個、偽物50人×2個）から特性値を計測し、各特性値ごとに一元配置分散分析を行った。その結果、全ての特性値に個人性が表れていた。さらに各特性値間の相関分析を行い、その相関関係を明らかにした。また、特性値の照合能力を見るために、簡単な距離に基づく照合実験を同じデータについて行ったところ、平均誤り率0.3%であった。

1. まえがき

情報化社会の発展とともに、銀行の現金取引装置などのオンライン・サービスの利用、あるいは計算機室などの特定場所への入出管理等、様々な分野で個人を正確かつ迅速に識別する必要が生じ、その識別技術の確立が望まれている¹⁾。そこで筆者らは、個人識別の方法として習慣上なじみの深い署名を取り上げ、その自動照合技術の確立を目指して基礎的な検討を行っている²⁾³⁾。

署名を自動照合する場合、オンライン方式とオフライン方式とがある。前者は、筆記速度や加速度、筆圧などをオンラインで入力し照合する。後者は、既に書かれてある署名を光学的に読み込み、その形状などを基に照合を行う。オンライン方式は、筆記速度、筆圧などの有効な特性を計測できるという利点はあるが、特殊なペンや装置が必要になるという欠点がある。それに比べオフライン方式は、特殊な装置がいらず、通常の筆記用具で書かれた署名を扱うため、より現実的な方法である。また、オフライン方式の照合技術が確立すれば、それを筆跡鑑定分野に応用することも可能となる。このことを踏まえて、筆者らはオフライン方式による署名の自動照合を研究対象としている。

オフライン方式による筆跡の個人性に関する研究は、主に筆者識別（未知の筆跡が登録されている人の誰の筆跡であるかを特定する）の立場から行われている⁴⁾⁵⁾。

これらの研究では一定枠内に1字ずつ書かれた文字を対象にし、文字自体が持つ個人性について検討されている。しかし、署名を考える場合どの様な大きさの文字が、どの様な位置に書かれるかというような文字の配置や大きさにも個人性が表れると考えられる。この事に関しては、筆跡鑑定分野において研究されているが⁶⁾⁷⁾、計量的、客観的な表現ではその有効性は示されていない。

本論文では、署名の自動照合のための基礎的検討として、一定枠内に楷書横書きされた署名を対象として、署名の個人性を表す特性を計測し、その有効性を客観的に明らかにする。まず、文字の配置と大きさに関する特性値と文字の形を反映する距離パターン、周辺分布を定義し、その評価を分散分析と相関分析により行った。また、定義した特性値の照合性能を評価するために、簡単な照合実験を行った。

2. 署名の個人性を表す特性値

署名の個人性を表す特性値を考察する上で参考となるのは、専門家による筆跡鑑定技術である。筆跡鑑定分野では、一般に個性が表れる特性として、紙面に対する文字の配置や大きさ、字画の長短、湾曲、はね、はらいなどの字画形態、字画相互間の大きさ、交差角度、間隔などの字画構成、さらに、筆圧、筆速、筆勢などがあげられている⁶⁾⁷⁾。

しかし、これらの特性を全て自動的に計測することは困難である。特に本研究で対象とするのは既に書かれた署名であるので、筆圧や筆速は直接計測できない。また、字画形態、字画構成についても、ストロークの抽出とその対応付の難しさ、および処理時間の問題がある。

そこで、本研究で計測対象とする特性値は、文字の字間隔、位置、署名枠に対する文字の大きさ、文字間の大小などの文字の配置や大きさに関するものとする。さらに、枠に対する署名の大きさや広がりにも個性が表れると考えられるので、枠に対する署名の大きさや、署名を2次元パターンとしてみた場合のモーメントに関する特性値についても計測する。また、文字はその形、例えば丸みを帯びている、角張っている、右肩上がりあるいは下がりなどに個性が表れている。そこで、文字自体の形を反映する特性値として、文字の外接矩形から文字部分に出会うまでの距離と、文字線部分の水平垂直方向への面積射影を用いることにする。

3. 特性値の定義

前章での考えに基づいて、以下のような文字の配置や大きさに関する特性値と、文字の形を反映する特性値を定義する。なお、これらの特性値は、署名データをTVカメラから濃淡8ビット、大きさ256×64画素で入力し、平滑化、2値化、文字切り出しの前処理を行った後に計測される。平滑化はウインドウ・サイズ3×3の移動平均法⁸⁾、2値化はモード法⁸⁾により行っている。文字切り出しは、2値化画像のx方向、y方向への射影に基づいている。

3.1 文字の配置と大きさに関する特性値

図1に示す諸量を基に、次のような特性値を定義した。ただし署名枠の水平方向をx軸、垂直方向をy軸とし、署名枠の左上隅を原点とする。また、2値化画像を $f(x, y)$ で表し、背景部分を0、文字部分を1とする。

(1) x方向の重心

$$g_x = \frac{\sum_x \sum_y x \cdot f(x, y)}{\sum_x \sum_y f(x, y)} \quad (1)$$

(2) y方向の重心

$$g_y = \frac{\sum_x \sum_y y \cdot f(x, y)}{\sum_x \sum_y f(x, y)} \quad (2)$$

(3) x方向の2次モーメント

$$m_{2x} = \sum_x \sum_y (x - g_x)^2 \cdot f(x, y) \quad (3)$$

(4) y方向の2次モーメント

$$m_{2y} = \sum_x \sum_y (y - g_y)^2 \cdot f(x, y) \quad (4)$$

(5) 主軸の傾き

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{2 \sum_x \sum_y (x - g_x) \cdot (y - g_y) \cdot f(x, y)}{m_{2x} - m_{2y}} \quad (5)$$

(6) 署名幅と枠幅の比

$$w_{sw} = S_w / W_w \quad (6)$$

(7) 署名高さとの比

$$h_{sh} = S_h / W_h \quad (7)$$

(8) 署名面積との比

$$s_{sw} = S_s / W_s \quad (8)$$

(9) 署名の縦横比

$$w h_s = S_w / S_h \quad (9)$$

(10) 字間隔と署名幅の比

$$l_{is} = l_i / S_w \quad (i = 1, 2, \dots, n-1 \quad n: \text{文字数}) \quad (10)$$

(11) 字間隔と枠幅の比

$$l_{iw} = l_i / W_w \quad (i = 1, 2, \dots, n-1) \quad (11)$$

(12) 文字幅と署名幅の比

$$w_{is} = w_i / S_w \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (12)$$

(13) 文字幅と枠幅の比

$$w_{iw} = w_i / W_w \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (13)$$

(14) 文字高さとの比

$$h_{is} = h_i / S_h \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (14)$$

(15) 文字高さとの比

$$h_{iw} = h_i / W_h \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (15)$$

(16) 文字面積との比

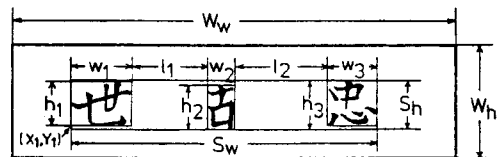
$$s_{is} = s_i / S_s \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (16)$$

(17) 文字面積との比

$$s_{iw} = s_i / W_s \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (17)$$

(18) 字間隔の比

$$l_{ij} = l_i / l_j \quad (i = 1, 2, \dots, n-2 \quad j = i+1, \dots, n-1) \quad (18)$$



W_w: 枠幅 W_h: 枠高さ W_s=W_w・W_h: 枠面積
S_w: 署名幅 S_h: 署名高さ S_s=S_w・S_h: 署名面積
w_i: 文字幅 h_i: 文字高さ s_i=w_i・h_i: 文字面積
l_i: 字間隔 (x_i, y_i): 文字座標

図1 諸量の定義

(19) 文字面積の比

$$s_{ij} = s_i / s_j \quad (19)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n-1 \quad j = i+1, \dots, n)$$

(20) 文字のx座標

$$x_i (i = 1, 2, \dots, n)$$

(21) 文字のy座標

$$y_i (i = 1, 2, \dots, n)$$

(22) 文字の縦横比

$$wh_i = w_i / h_i (i = 1, 2, \dots, n) \quad (20)$$

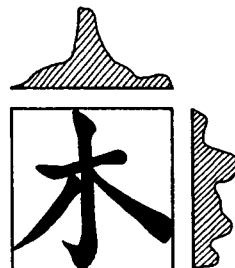


図4 周辺分布

3.2 文字の形を反映する特性値

3.2.1 距離パターン

距離パターンとは、文字の概形をその外接矩形からの距離で抽出するものである。具体的には、文字の外接矩形の左上隅を原点とし、外接枠から垂直方向に走査し文字に出会うまでの距離を時計回りに求める。また、求めた距離は外接矩形の周囲長で規格化する。このようにして求めた距離パターンをさらに64点でサンプリングする。

距離パターンには2種類あり、図2、3に示すように、最初に文字線に当たるまでの距離を1次の距離パターン d_{1i} ($i = 1 \sim 64$)、その文字線を突き抜けて次の文字線に当たるまでの距離を2次の距離パターン d_{2i} ($i = 1 \sim 64$) と呼ぶ。

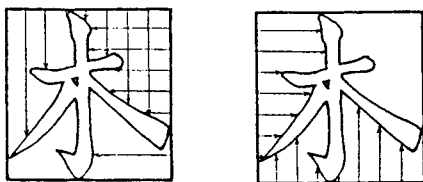


図2 1次距離パターンの抽出

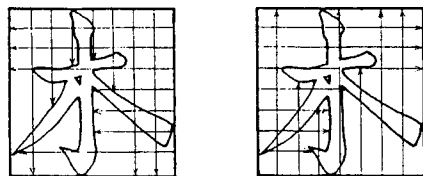


図3 2次距離パターンの抽出

3.2.2 周辺分布

文字線の分布を反映したパターンとして、図4に示す周辺分布を用いる。周辺分布とは、文字部分の面積（黒画素数）を垂直、水平方向に射影したもので、文字の垂直、水平の直線成分の大きさや位置情報を保存している。

この周辺分布を水平、垂直方向とも16点でサンプリングしつなぎ合わせた系列 p_i ($i = 1 \sim 32$) を用いる。

3.2.3 評価尺度

距離パターンおよび周辺分布を評価するための尺度として、標準パターンとの相関係数を用いる。

1次の距離パターン d_{1i} と、標準の1次の距離パターン d_{1si} (本物署名の学習サンプルの平均) との相関係数を

$$c_1 = \frac{\frac{1}{64} \sum_{i=1}^{64} (d_{1i} - \bar{d}_1) (d_{1si} - \bar{d}_{1s})}{\sqrt{\frac{1}{64} \sum_{i=1}^{64} (d_{1i} - \bar{d}_1)^2 \frac{1}{64} \sum_{i=1}^{64} (d_{1si} - \bar{d}_{1s})^2}} \quad (21)$$

ここで

$$\bar{d}_1 = \frac{1}{64} \sum_{i=1}^{64} d_{1i}, \quad \bar{d}_{1s} = \frac{1}{64} \sum_{i=1}^{64} d_{1si}$$

と定義する。

2次の距離パターン、周辺分布に対する相関係数 c_2 、 c_p も1次の距離パターンと同様に求める。また、これらの相関係数は署名の文字数分あるので、それらを区別するために、それぞれ c_{1i} 、 c_{2i} 、 c_{pi} ($i = 1, 2, \dots, n$) で表す。

4. 特性値の評価

4.1 評価に用いるデータ

評価に用いるデータは、縦15mm、横60mmの署名枠内に楷書横書きされたものである。使用した署名は、「木村伊一」、「高橋晴雄」、「井村栄仁」、「京兼純」、「山内雅好」、「世古忠」、「谷本忠則」、「山本善啓」、「山崎善弘」の9種類で、各々の署名について、本物100個、偽物100個(50人×2個)のデータを収集した。なお、定義した特性値が署名の個人性を表しているかを評価するという立場から、偽物は各署名それぞれ、18歳以上の男女50人が自分自身の筆跡で書いたものである。ただし「山崎」に関しては、偽物1個が文字切り出しを失敗し、偽物の数は99個である。収集した署名データの

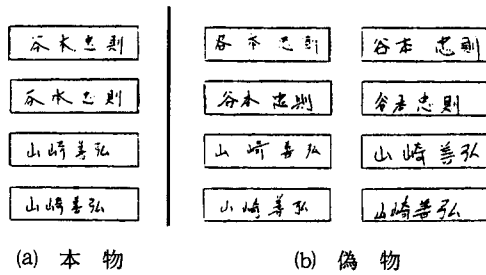


図5 署名データの例

一部を図5に示す。

なお、データの偶数番目を学習サンプルとして以下の評価実験に用いた。

4.2 分散分析による特性値の評価

前章で定義した特性値を評価するために、各特性値ごとに、本物、偽物2水準による一元配置分散分析を、学習サンプル（本物50個、偽物50個）に対して行った。

なお、分散分析では特性値の分布が正規分布であると仮定しているので、相関係数については次式のz変換⁹⁾を施し、近似的に正規分布となるようにして分散分析を行った。

$$z = \frac{1}{2} \log \frac{1+c}{1-c} \quad (c: \text{相関係数}) \quad (22)$$

分散分析の結果、定義した全ての特性値において、9種類の署名の内5種類以上で、F比が有意水準5%の限界値F(1,98,0.05)=3.94より大きくなり、定義した特性値は大なり小なり本物と偽物の差を表していると考えられる。表1に、文字の配置と大きさに関する特性値の内F比の大きいもの上位10個の特性値とそのF比を示す。また、各相関係数に対するF比を表2に示す。

分散分析においてF比が大きいということは、水準間の平均値の差が大きく、水準内の変動が小さいことを意味する。よって、F比が大きい程、その特性値が本物と偽物の差をよく表しているといえる。この事を基に表1、2について若干の検討を加える。

表1について見ると、各署名ごとに上位10個の特性値が違っており、全ての署名に共通な特性値はない。F比の大きさも、「山内」では上位10個全てが100を越え、「高橋」、「谷本」では全てが100以下という様に、大きな差がある。また、「木村」は文字の縦横比、「高橋」は文字幅、「井村」は2文字目の高さ、「京兼」は姓と名の字間隔と署名の大きさ、「山内」は文字の位置、「世古」は姓と名の字間隔、「谷本」、「山本」は3文字目の大きさ、「山崎」は署名全体の大きさや広がり、に関する特

表1 F比上位10個の特性値とそのF比

署名	F比上位10個の特性値									
木村	wh ₂	wh ₅	y ₄	w _{4w}	h _{2w}	wh ₃	h _{1w}	y ₂	w _{4s}	wh ₁
	191.2	101.2	75.5	75.2	69.9	60.7	60.4	58.8	58.3	46.0
高橋	w _{3w}	w _{1w}	g _y	wh ₁	s _{3w}	wh ₃	w _{s_w}	w _{3s}	m _{2x}	w _{2w}
	78.3	72.7	67.0	53.4	46.7	45.1	44.9	44.5	41.5	38.7
井村	h _{2s}	s _{2s}	s _{4s}	s ₁₂	l ₁₆	h _{2w}	l _{3s}	l _{1w}	l _{3w}	h _{4s}
	294.4	212.0	151.7	139.6	133.4	123.6	115.1	98.8	98.8	98.4
京兼	l _{2w}	s _{2s}	l _{2s}	w _{sw}	s _{sw}	w _{3s}	m _{2x}	wh ₃	s _{1w}	h _{2w}
	318.8	296.3	181.9	177.8	166.4	134.4	99.3	87.3	78.4	65.7
山内	y ₄	y ₃	y ₂	l _{3w}	l _{3s}	g _y	s ₁₃	w _{3s}	s _{3s}	x ₂
	302.2	270.7	207.8	183.0	169.1	166.3	159.9	148.4	112.2	103.9
世古	l _{2w}	l _{2s}	l ₁₂	l _{1s}	x ₂	wh ₅	l _{1w}	s _{3s}	w _{3s}	w _{sw}
	301.2	276.5	195.3	133.1	126.9	96.4	85.3	82.1	81.5	75.8
谷本	s ₁₃	s _{3w}	h _{3s}	s ₃₄	s _{sw}	s ₂₃	h _{3w}	h _{sw}	w _{3s}	s _{3s}
	95.1	85.4	83.1	69.6	57.2	56.4	52.5	51.9	46.8	40.3
山本	s _{3s}	s ₃₄	w _{3s}	wh ₂	s ₂₃	w _{3w}	wh ₁	w _{1s}	wh ₃	w _{2w}
	172.5	159.8	141.3	99.3	98.8	57.7	54.2	45.8	44.6	44.6
山崎	w _{sw}	s _{sw}	m _{2x}	h _{sw}	s _{2s}	s _{3w}	w _{1w}	m _{2y}	w _{3w}	s _{2w}
	255.1	214.8	168.6	151.2	147.5	134.5	122.2	113.7	100.2	85.9

表2 相関係数のF比

	木村	高橋	井村	京兼	山内	世古	谷本	山本	山崎
C ₁₁	99.1	321.4	402.3	147.5	275.7	142.9	264.2	159.6	123.9
C ₁₂	301.5	256.3	263.3	101.2	797.7	151.3	77.4	237.1	222.9
C ₁₃	208.5	328.1	98.8	165.8	343.2	139.1	299.8	221.0	184.9
C ₁₄	22.9	157.1	204.3	—	353.9	—	119.5	129.9	182.0
C ₂₁	134.9	254.3	188.1	149.8	241.5	116.3	365.5	271.6	190.9
C ₂₂	355.3	179.3	155.5	118.9	584.4	44.8	55.5	192.8	174.0
C ₂₃	205.4	111.2	183.4	230.3	173.9	92.0	171.4	200.6	102.4
C ₂₄	11.5	175.2	110.6	—	214.8	—	68.5	201.9	106.7
C _{p1}	73.4	69.7	161.4	84.6	268.3	64.3	324.9	139.4	48.4
C _{p2}	120.8	227.7	108.8	59.5	406.0	56.9	54.7	71.6	91.9
C _{p3}	51.7	130.2	99.1	91.3	84.7	82.0	159.8	187.0	137.2
C _{p4}	18.3	102.1	136.9	—	234.3	—	33.4	114.3	84.1

性値のF比が大きい。この事は、各署名ごとに個人性が表れる特性値は異なり、その程度にも差があることを示している。

表2について見ると、ほとんどの相関係数のF比が100を越え、距離パターン、周辺分布ともによく本物と偽物の差を表しているといえる。ただし、「木村」の4文字目「一」については、F比が極端に低くなっている。これは、「一」の様に字画構成が非常に単純な文字には、個性が表れにくいことを示している。

4.3 特性値間の相関分析

文字の配置や大きさに関する特性値の間には、 l_{1S} と l_{1W} 、 w_{1S} と w_{1W} などのように相関が強いと考えられるものがある。そこで、本物の学習サンプルに対して、各特性値間の相関係数を求め、その相関性について検討した。

表3に、9種類の署名の内5種類以上で相関係数 r の値が0.7以上になった特性値のペアを示す。表より、相関関係がある特性値は、①署名の大きさと枠の大きさで規格化した字間隔、文字幅、文字面積同士 ($l_{1S}-l_{1W}$ 、 $w_{1S}-w_{1W}$ 、 $s_{1S}-s_{1W}$)、②文字幅と文字面積 ($w_{1S}-s_{1S}$ 、 $w_{1W}-s_{1W}$)、③前後のX座標 (x_1-x_{i+1})、④署名高さと同高の比と署名の大きさに関する特性値 ($h_{SW}-s_{SW}$ 、 wh_S 、 m_{2y})、である。

表3 相関係数0.7以上の特性値の組

$r \geq 0.9$	$0.9 > r \geq 0.8$	$0.8 > r \geq 0.7$
$l_{1S}-l_{1W}$	$h_{SW}-s_{SW}$ $h_{SW}-wh_S$ $w_{1S}-w_{1W}$	$m_{2y}-h_{SW}$ $h_{SW}-h_{1W}$ $l_{1S}-l_{12}$
$l_{2S}-l_{2W}$	$w_{2S}-w_{2W}$ $w_{4S}-w_{4W}$ $w_{1S}-s_{1S}$	$w_{2S}-s_{2W}$ $w_{3S}-s_{3W}$ $w_{3W}-s_{3S}$
$l_{3S}-l_{3W}$	$w_{2S}-s_{2S}$ $w_{2S}-s_{3S}$ $w_{1W}-s_{1W}$	$s_{1S}-s_{1W}$ $s_{2S}-s_{2W}$ $s_{3S}-s_{3W}$
$w_{3S}-w_{3W}$	$w_{2W}-s_{2W}$ $w_{3W}-s_{3W}$ $h_{1W}-s_{1W}$	$s_{3S}-s_{13}$ $s_{4S}-s_{14}$ x_1-x_2
	x_3-x_4	x_2-x_3

以上の結果から、字間隔、文字幅、文字面積については、署名の大きさか枠の大きさかどちらかで規格化した特性値を用いればよいといえる。また、署名高さと同高の比については、署名の大きさに関する特性値で置き換えることが可能である。

さらに、文字のX座標が1つ手前の文字のX座標と相関があるということは、人は1つ手前の文字の配置に基づいて文字を配置していると考えられる。

5. 照合実験

前章において、定義した特性値はなんらかの形で署名の個人性を表していることが明らかになった。ここでは、これら特性値の照合能力を検討するために、簡単な照合実験を行った。

なお、本物署名の偶数番目を学習サンプル、残りの本物50個、偽物100個を未知サンプルとした。

5.1 文字の配置と大きさに関する特性値による照合

文字の配置と大きさに関する特性値による照合を、次式で定義する距離を用いて行った。

$$D = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\frac{f_i - \mu_i}{\sigma_i} \right)^2} \quad (23)$$

ここで、 m は特性値の数、 f_i は未知署名の i 番目の特性値、 μ_i 、 σ_i はそれぞれ本物の学習サンプルから計算した i 番目の特性値の平均と標準偏差である。

この距離 D が、あるしきい値 th に対して、 $D \leq th$ ならば本物、 $D > th$ ならば偽物と判定する。

照合に用いた特性値は、分散分析と相関分析の結果を考慮に入れて h_{SW} 、 l_{1W} 、 w_{1W} 、 s_{1S} を除き、4文字署名では48個、3文字署名では35個である。表4に、誤り率が最小となるように th を設定した場合の、未知サンプルに対する誤り率を示す。表において、第1種の誤りとは本物を偽物とする誤りであり、第2種の誤りとは偽物を本物とする誤りである。

表より、誤り率は3つの署名で0%となり、また平均で2.67%という良好な結果を得た。このことは、文字の配置や大きさに十分個性が表れており、これらの特性値だけでもかなりの照合能力があることを示す。また、分散分析の結果と照らし合わせてみると、やはりF比の大きな特性値を数多く持つ署名の誤り率が低い。これは、分散分析による特性値の評価の妥当性を示している。

5.2 文字の形を反映する特性値による照合

1次、2次の距離パターンと周辺分布による照合は、3.2.3で定義した各々の相関係数の和

$$C = \sum_{i=1}^n c_{1i} + c_{2i} + c_{pi} \quad (24)$$

を類似度の尺度として用い、あるしきい値 tc に対して $C \geq tc$ ならば本物、 $C < tc$ ならば偽物とする。

なお、「木村」の4文字目「一」に関する相関係数は、分散分析の結果を考慮し、使用しなかった。

表4に照合結果を示す。平均の誤り率0.82%、4つの署名で誤り率0%という結果を得た。これは、文字の配置や大きさに関する特性値より高い照合率であり、距離パターンと周辺分布が文字の形を十分反映し、その個性をよく表していることを示す。

5.3 全特性値による照合

全特性値による照合を行う場合、どの様に距離尺度を決めるかが問題になるが、ここでは5.1、5.2で使用した D 、 C を用いて次の様な簡単な距離尺度を定義する。

$$Da = C - D \quad (25)$$

照合は、あるしきい値 ta に対して $Da \geq ta$ ならば本物、 $Da < ta$ ならば偽物とする。

表4に照合結果を示す。この結果を見ると、文字の配

表4 照合結果(誤り率%)

署名	距離尺度 誤りの種類	D			C			D a		
		第1種	第2種	総合	第1種	第2種	総合	第1種	第2種	総合
木村		12.0	6.0	8.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.67
高橋		18.0	5.0	9.3	2.0	1.0	1.33	2.0	1.0	1.33
井村		0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.67	0.0	0.0	0.0
京兼		0.0	1.0	0.67	0.0	1.0	0.67	0.0	0.0	0.0
山内		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
世古		2.0	2.0	2.0	0.0	6.0	4.0	2.0	0.0	0.67
谷本		0.0	4.0	2.67	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
山本		4.0	0.0	1.33	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
山崎		0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.67	0.0	0.0	0.0
平均		4.0	2.0	2.67	0.44	1.00	0.82	0.67	0.11	0.30

置と大きさに関する特性値と文字の形を反映する特性値との組合せによる効果が認められる。特に、第2種の誤りが0.11%に改善され、平均の誤り率も0.3%と高い照合結果が得られた。

以上3つの照合実験結果および前章での評価結果から、本研究で定義した特性値は、署名の個人性をよく表しており、高い照合能力を持つといえる。

6. むすび

オフラインによる署名の自動照合のための基礎的検討として、署名の個人性を表す特性の計測と、その評価を行った。まず、筆跡鑑定分野での知見を基に、文字の配置と大きさに関する特性値と文字の形を反映する特性値を定義した。この特性値の評価を一元配置分散分析と相関分析により行い、定義した特性値は大なり小なり署名の個人性を表していること、および特性値間の相関関係を明らかにした。次に、特性値の照合能力を検討するために簡単な照合実験を行った。その結果、全特性値を用いた場合の誤り率は0.3%となり、定義した特性値は十分な照合能力を持つことが明らかになった。

今後の課題としては、署名数を増やしより一般的な結論を導く、署名の種類によらず自動的にしきい値が設定できる照合方法の検討、偽筆に対する検討などがある。

なお、実験の一部は大阪大学大型計算機センターを利

用した。

また、本校教職員の方々を始め、データ収集にご協力頂いた皆様に深謝いたします。

参考文献

- 1) 林：“個人識別技術とそのニーズおよび期待”，計測と制御，25，8，pp.1-5（1986）
- 2) 中村，上田：“署名照合実験—特徴量の評価と照合方式の検討—”，情報処理学会第27回全国大会，4H-2（1983）
- 3) 中村，上田：“文字の配置と概形情報を用いた署名照合実験”，奈良高専研究紀要，19，pp.25-30（1984）
- 4) 吉村，木村，吉村：“わく内自由手書き片仮名の筆者識別法の比較”，電子通信学会論文誌，J63-D，10，pp.819-826（1980）
- 5) 尺長，金子，淀川：“2次統計量の線分スペクトル分解による手書き文字の筆者認識”，電子通信学会論文誌，J67-D，7，pp.776-783（1984）
- 6) 松川：“文書鑑定”，東京法令出版（1975）
- 7) 吉田：“文書鑑定の基礎と実際”，立花書房（1983）
- 8) 田村：“コンピュータ画像処理入門”，総研出版（1985）
- 9) 福田：“応用統計入門”，日刊工業新聞社（1962）

パソコンCADにおける要素のデータ表現に関する一考察

山崎 善弘 ・ 世古 忠 ・ 成田 紘一

A Study of Data Expression to Element in a Personal Computer CAD

Yoshihiro YAMAZAKI, Tadashi SEKO and Hirokazu NARITA

図形情報は、図形要素の種類、座標値、属性値あるいは図形要素間の関係などを取り扱っているが、CAD等で図形処理を行う場合、点・線・円弧といったさまざまな要素がありそれらのデータが独立して存在することはきわめて少なく、複数の要素から1つの部品が構成されていたり、要素間相互の接続関係が重要である。そこで図形などの複雑な情報を表現するためにリスト構造を用いた操作性のよいデータ表現について考察する。

1. はじめに

データ構造に関しては図形処理以外の分野も含め、これまで数多くの種類が提案され実用化されているが、それらの構造はシーケンシャル構造、ランダム構造、リスト構造の3つの基本的な構造から構成されている。

シーケンシャル構造は最も基本的な構造で、要素を順番に配置する方法である。図1のような三角形の要素を表現する。要素名と始点終点の座標値を1レコードとして、作成順に配置される。記憶領域は少なくとも、レコードの追加や、削除の操作を行う場合、レコードの移動を行う必要があり、データ量に比例して操作時間がかかってしまう欠点がある。

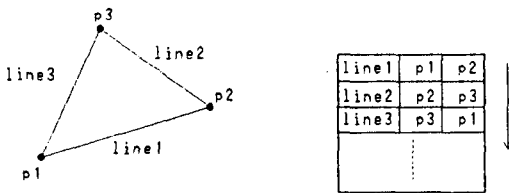


図1 シーケンシャル構造

この問題を解決しようとしたのがランダム構造である。これは配列などのテーブルをもちいて要素名と、座標値

本原稿の内容は昭和63年3月大阪科学技術センター主催、第4回ソフトウェアコンファレンスにて口頭発表された。

のデータブロックを関係づけている。これは要素の追加や削除がなされてもデータブロックの移動は行わなくてもよいが、空きブロックの管理を行わないと格納効率が悪くなる。また前もって配列やテーブルの大きさを定めおかななくてはならない。

そしてこれらの欠点を解決したのがリスト構造である。リスト構造はレコード内に次のレコードのアドレスを示すポインタを持っている。そのため必ずしもレコードが連続している必要がなく任意の領域にレコードを配置できる。またレコードを追加したり、途中で新しいレコードを挿入したり、消去したりすることがポインタの付け替えだけで容易に操作できる。さらにポインタをいくつも設けることにより、レコード間の接続関係や図形情報を表現するのに適したデータ構造となる。

今回は、このポインタを用いたリスト構造をもとにCADのデータ構造を構築した。

2. データ構造

図形要素を表現するには必ず座標値が必要であり、線要素であれば始点・終点、円要素ならさらに中心点で表現することができる。そこで図形要素を点要素と線・円を含めた辺要素に大別し、辺要素からポインタを用いて点要素を参照する表現方法（以後これを参照型と称す）を採用した。図1の三角形をこの参照型で表すと図2ようになる。各線要素は、始点と終点の座標を表す点要素へのポインタを持つ一種の有向グラフとして表現できる。円要素の場合はさらに中心点へのポインタも持つ。

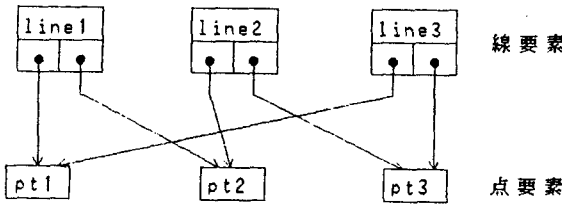


図2 参照型データ構造

この例で示すと辺要素からは始点・終点の点要素がポインタからわかるが、任意の点要素から接続されている辺要素を検索する手だてが何もない。どうしても参照するとなると各点要素に接続されている辺要素名をすべてもたさなければならない。

これを実現するためには、各点に対して出て行く辺の集合と、入ってくる辺の集合を表現できるようにしなければならない。グラフ理論では隣接行列を用いて簡単に接続関係を表現できるが、「点×点」の行列が必要であり、パソコンなどの限られた記憶領域の上では非現実的である。そこで隣接行列を持たなくても効率よく相互参照ができるようなデータ構造を考えてみる。

図3に点と辺要素のC言語で表現したデータ構造を示す。要素間の関連を表すのに、自己参照型ポインタを含む『構造体へのポインタ』を用いている。このポインタを用いることにより、要素データから他の要素データへの関連を容易に表現することができ、実行効率もよくスピードアップにつながる。

各要素は64バイトのデータブロックから構成されており、データブロックを管理するためのチェーン用のポインタが2つ、データタイプを示すフラッグが1つの計3つの項目が各データブロック共通となっている。さらに、要素毎に必要なパラメータや他の要素へのポインタを持っている。

図4のように各要素間は、双方向リストを用いてつながれており、要素別に top と bot のポインタで管理されている。双方向リストを用いたため要素の挿入、追加、削除、追跡が効率よく行える。

要素毎のグループ

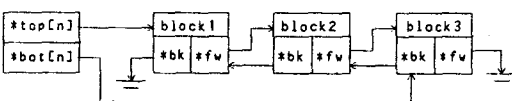


図4 リンクリスト

```

/*****
 * 交点データのデータ構造
 *****/

struct TGPT{
    int    type;           /* ブロックタイプ          */
    struct TGPT *fw;      /* チェインリスト (前)    */
    struct TGPT *bk;      /*                      (後)    */

    struct TGPT *link;    /* リンクリスト            */
    struct TGLN *span fw[2]; /* 接続されている辺データ */
    struct TGLN *span bk[2]; /* へのポインタ            */
    struct TGLN *circle;  /* 中心点となる円データ    */
    struct SELI *sent;    /* ブロックデータへのポインタ */
    double x;             /* 交点座標 X              */
    double y;             /*                      Y              */
    double z;             /*                      Z              */
    int    ntype;         /* Point type              */
};
    
```

```

/*****
 * 辺データのデータ構造
 *
 * type 1: 直線
 *       2: 円・円弧
 *****/

struct TGLN{
    int    type;           /* ブロックタイプ          */
    struct TGLN *fw;      /* チェインリスト (前)    */
    struct TGLN *bk;      /*                      (後)    */

    struct TGPT *sp[2];   /* 開始 (終了) 点へのポインタ */
    struct TGLN *sp fw[2]; /* 辺データのグルーピング */
    struct TGLN *sp bk[2]; /*                      */
    int    ly;            /* レイヤ番号              */
    int    color;         /* 色コード                */
    int    line;          /* 線タイプ                */
    struct SELI *sent;    /* 要素データへのポインタ */
    double r;             /* 半径 (円の場合)        */
    struct TGLN *argp;    /* 円データのグルーピング */
    int    day[4];        /*                          */
};
    
```

図3 点要素と辺要素のデータ構造

図5において辺データ (span) は始点と終点の座標値を持っている点データブロック (pt1、pt2) を指し示すポインタを持っている。さらに始点および終点の点データブロックには自分自身が始点および終点となる辺データのグループを指し示すポインタを持っている。また複数の辺要素が、共有する始点および終点を持っているならばグループリンクによりチェーンされる。これらのポインタにより、点要素と接続されている辺要素との関係が密になって相互参照が可能となり、1つの要素を起点として関連する要素を順次追跡することができる。

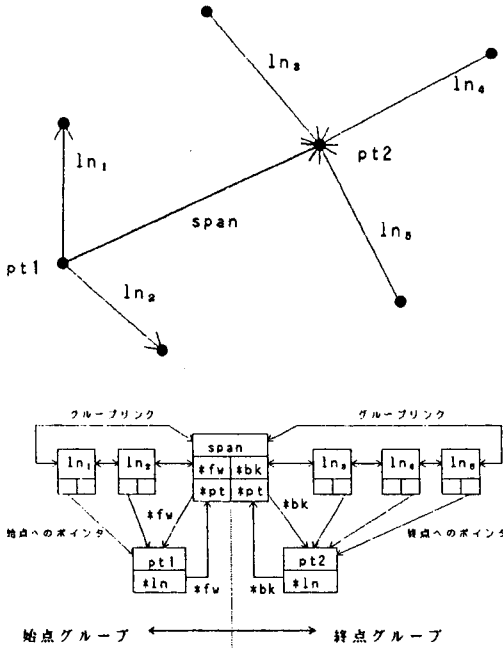


図5 要素間のリンク状態

3. データ構造に対する基本操作

3.1 要素データブロックの獲得

データブロックは初期設定で1000ブロックあり、このブロック全体をbaseとendのポインタで管理している(図6参照)。freeリストにはすべての空きブロックがチェーンされており、データブロック獲得の要求があればfreeリストの先頭のデータブロックが取り出されて各要素毎のリストにチェーンされる。

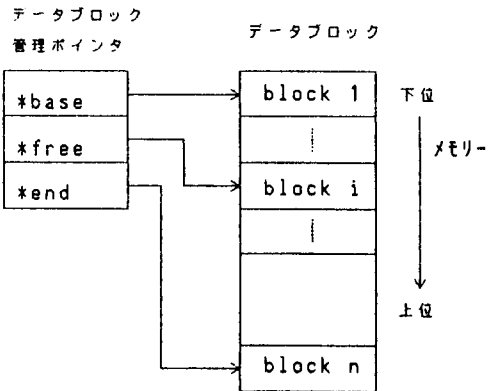


図6 データブロックの管理

3.2 要素データブロックの削除

要素データの削除は、各要素毎のリストより切り放しfreeリストの最後尾にリンクされる。ただし切り放す前に自分自身にリンクされている他のブロックがないか確認を行う。特に辺要素の削除では両端の点要素のリンク状態をチェックし関与している要素のポインタを付け直す操作が必要である。

3.3 座標点の移動

辺データブロックには直接座標値をもたせていないため、要素の交点や端点の移動、図形全体の移動などを行う場合、点データブロックのみに対して座標変換を行うだけでよく、各要素毎に座標値を持たせた構造と比べて計算回数も1/2以下に削減できる。

要素の座標点を移動させる場合、点ブロックの座標値データのみを変更するだけでよいが、この点ブロックに他の要素が関与している場合はそれぞれ、要素のポインタを変更し、新たにデータブロックを生成する必要がある。

3.4 要素検索

要素検索はCADにおいて頻繁に行われる操作であり、対話処理では特に高速性が要求される。頻度の高い検索操作は、既存の座標点を用いて新規に要素を生成したり、円弧や直線を指定して接点や交点を求める操作がよく行われる。

全要素から特定の要素を検索するには、総当たり法では余分な時間がかかるため、対象要素を絞り込む方法を用いた。

- 1) 検索対象の要素の種別判定を行い該当する要素リストのみを選択する。
- 2) 距離判定を行うには平方根を用いず加算操作だけで判定できるマンハッタン距離法を用いる。
- 3) 画面外にある要素は検索の対象から外す。これは事前にウィンドウクリッピングを行い、各要素毎に表示の有無を示すフラグをもたせている。
- 4) 指定した座標点より一定距離以上離れた要素は対象から外す。

これらの方法は、図形データの分布状態や構成要素の比率、図面の表示倍率など状況により効果にばらつきがある。

4. 実 験

ここで、ポイントによる参照型の方法がどの程度効果があるか、要素毎に座標値をもたせた非参照型の方法と処理速度を測定し比較してみた。実験環境としてパソコンにPC 9801 VX 21、コンパイラにLattice Cを用いた。

テストとして2000本のそれぞれ独立した線要素を作成し各処理時間を計測した。(表1参照)

まず要素作成に関しては、参照型では辺要素と両端の点要素の3つのデータブロックを作成するため時間がかかっている。

表示方法は、データを展開し、ウィンドウエリアのクリッピングを行い、実座標からハードウェア座標への変換を行っている。参照型では点データブロックを検索するので若干時間がかかっている。

検索に関しては、マウスで任意の座標点を指定し、各要素の端点または直線との距離計算を行うが、前述の対象要素の絞り込みを行っていない総あたり法での測定である。したがって実際の操作では幾分速くなる。

端点の検索では、点データブロックのみ検索していくのでレスポンスが良くなっている。

要素検索は両端の座標から直線への距離計算を行っている。

表1 処理時間

	参 照 型	非 参 照 型
作成時間	40.0	10.0
表示時間	6.7	6.0
削除時間	15.0	5.0
端点の検索	4.3	7.4
要素検索	6.7	6.0

単位 ms/要素

つぎに、複数の要素が共有する点を持っているときの線要素の数によってどの程度処理効率が上がるか実験を行った。図7のように共有する線要素が増えるほど1要素当りの処理時間が短くなるのがわかる。格納効率は、全データブロックに対する線要素の割合を示している。

この結果をもとに線要素を生成するとき、両端の点要素の有無による生成時間は片方が存在するとき30ms、両方が存在するとき18msで生成でき、既存の点要素のポイントの付け替えだけですみ、点要素のデータブロックを新しく作る必要も無くなる。

時間は測定していないが、一筆書きのような交点で接続されている図形を用いて要素の追跡を行った結果、目測ではあるが参照型の方法では約2倍程度的高速処理が

可能であった。これは辺要素と点要素の相互参照が効率よく行われているためであるといえる。

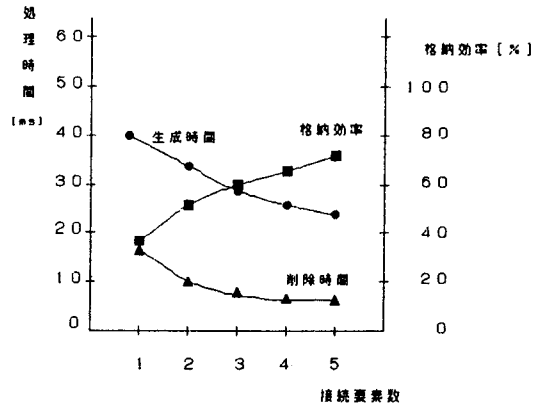


図7 共有要素数と処理時間・格納効率の関係

5. おわりに

CADのデータ表現に関する一方法について述べた。今回用いたポイントによるリスト構造には一長一短があるが辺と点の関係が密になっているため、要素間の接続関係が重要な処理、たとえばCAD/CAM、CAEシステムに有効であると思われる。また今は2次元での表現であるが、点・辺要素に面要素を加えることにより3次元表現も可能になる。

本CADシステムは汎用性と移植性を重視してすべてC言語を用いて記述しているため、市販のCADと比べて処理速度は劣るが高速化を実現するには数値演算コプロセッサ(NDP)を用いることにより、実数計算が格段に高速になる。

今後の課題は、対話形式で図形要素を検索する場合要素の数が増えるとレスポンスが悪く作業効率が上がらないため、高速検索処理アルゴリズムの開発が必要である。

参考文献

- 高澤嘉光：「C言語による図形処理とデータ構造」
bit Vol. 19, No. 10 1987
- T. G. レヴィス他：情報処理シリーズ10「データ構造」
培風館
- 野下浩平：「基本データ構造とアルゴリズム」
情報処理 Vol. 27, No. 2 1986

階層的グラフ表現による曖昧な言語の解析

山井成良・世古 忠

Parsing of Ambiguous Languages Using Hierarchical Graph Representation

Nariyoshi YAMAI and Tadashi SEKO

自然言語を分脈自由文法を用いて解析する場合、1つの文に対して複数の導出を生じることが多い。その場合、各導出に対して評価値を与え、それが大きい(小さい)導出から順に求める方法が考えられる。本稿では、このような方法に適したデータ構造として導出グラフと呼ばれる階層的グラフを提案し、曖昧な文の汎用的な解析手法について述べる。導出グラフを用いると、 k 個の導出を得る場合の時間複雑度が $O(n^3 + kn^2)$ となり、Earley法だけを用いる従来の手法と比べて解析の効率化を図ることができる。

1. はじめに

近年のコンピュータの発達により、例えばかな漢字変換、文字・音声認識、自動翻訳などのようなコンピュータによる自然言語処理の分野が急速に広がりつつある。これらの処理の1手法として、自然言語を句構造文法を用いて表し解析する方法が頻繁に用いられている³⁾。しかし、

(1) 自然言語を句構造文法により正確に表現することが非常に困難である。

(2) 一般的な句構造を解析できる効率のよい構文解析器が現在までに発見されていない。

などの理由により、これらを文脈自由言語であると見なして解析することが多い。

この場合、本来受理されるべきではない文が受理されたり、文法が曖昧、すなわち、1つの文に対して複数の導出が生じたりするため、解析中あるいは解析後の処理により適切な導出のみを選択する必要がある。ところが、長さ n の文に対して一般には非常に多くの導出が存在するため、すべての導出を手当り次第に調べる方法は非効率的である。

そこで、特に複数の導出から適切であるものを幾つか選択する場合には、各導出に対してそれが選択されるかどうかと強い相関関係を持つ評価値を与え、評価値が大きい(あるいは小さい)導出を優先的に調べる方法がよく用いられる。例えば、べた書き日本語文を文節単位に区切る場合では、文節数が少なくなる区切り方のほうが

多くなる区切り方よりも適切である可能性が高いことが経験上知られているため、文節数を評価値としてそれが小さい導出から調べる方法が有効である⁴⁾⁻⁶⁾。しかし、このような曖昧な文の解析には、従来では応用分野に応じた手法がとられており、汎用性の高い解析手法は提案されていない。

本稿では、曖昧な文脈自由言語の汎用性の高い解析手法として、与えられた文の導出を評価値の大きい(あるいは小さい)順に出力する手法について述べる。

まず、曖昧な言語の解析に適したデータ構造として、導出グラフを提案し、その構成法ならびに性質を示す。この構成法は文脈自由言語の構文解析法である Earley法に基づいたものである。次に、導出グラフを用いて曖昧な文の導出をその評価値の大きい(あるいは小さい)順に求める手順について述べ、その時間複雑度、空間複雑度について論じる。

2. 文脈自由言語の構文解析法

本稿で必要となる文法と言語に関するいくつかの定義を行う。また、文脈自由言語の構文解析法の一つである Earley法について概説する。

2.1 用語の定義

まず、本稿で必要となる言語と文法に関するいくつかの定義を示す。

〔定義1〕 文脈自由文法は4つ組 $G = (V_N, V_T, P, S)$ で表される。ここで、(i) V_N は非終端記号の有限集合、(ii) V_T は終端記号の有限集合、(iii) $S \in V_N$ は開始記号、(iv) P は番号付き生成規則の有限集合 $P = \{A \rightarrow \alpha(p) \mid A \in V_N, \alpha \in V^*, 1 \leq p \leq |P|\}$ である。但し、 $V = V_N \cup V_T$ であり、また V^* は V の閉包を表す。 (定義1終)

〔定義2〕 文脈自由文法 $G = (V_N, V_T, P, S)$ において $A \rightarrow \gamma(p) \in P$, かつ $\alpha, \beta \in V^*$ であるならば、記号列 $\alpha \gamma \beta$ は $\alpha A \beta$ から直接導出されるといい、 $\alpha A \beta \Rightarrow \alpha \gamma \beta$ と書き表す。

記号列 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m \in V^*$ ($m \geq 1$) において $\alpha_1 \Rightarrow \alpha_2, \alpha_2 \Rightarrow \alpha_3, \dots, \alpha_{m-1} \Rightarrow \alpha_m$ であるとき、 $\alpha_1 \Rightarrow \alpha_m$ と書き、 α_m は α_1 から導出されるという。このとき $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$ の系列を導出という。なお、 $\alpha_1 \Rightarrow \alpha_1$ は常に成り立つ。特に $m \geq 2$ であることを強調する場合には $\alpha_1 \overset{\cdot}{\Rightarrow} \alpha_m$ と書き表す。

また、導出の各階段 $\alpha_{i-1} A \beta_{i-1} \Rightarrow \alpha_i \gamma_i \beta_i$ において、 $\alpha_{i-1} \in V_T^*$ ($\beta_{i-1} \in V_T^*$) であるとき、この導出を最左導出(最右導出)といい、 $\alpha_1 \overset{\cdot}{\Rightarrow} \alpha_m$ ($\alpha_1 \overset{\cdot}{\Rightarrow} \alpha_m$) と表す。 (定義2終)

〔定義3〕 文脈自由文法 $G = (V_N, V_T, P, S)$ に対して集合 $L(G) = \{w \mid S \overset{\cdot}{\Rightarrow} w, w \in V_T^*\}$ を文法 G によって生成される言語という。集合 $L(G)$ の要素を文という。また、 $S \overset{\cdot}{\Rightarrow} \alpha$ ($\alpha \in V^*$) であるとき、 α を文形式という。 (定義3終)

〔定義4〕 文脈自由文法 G から生成される文の中で2つ以上の最左(最右)導出を持つものが存在するとき、文法 G は曖昧であるという。 (定義4終)

〔定義5〕 文脈自由文法 $G = (V_N, V_T, P, S)$ において文形式 α の left parse とは最左導出 $S \overset{\cdot}{\Rightarrow} \alpha$ に用いられた生成規則の番号の系列である。また、 α の right parse とは最右導出 $S \overset{\cdot}{\Rightarrow} \alpha$ に用いられた生成規則の番号の系列の逆順である。 (定義5終)

〔定義6〕 文脈自由文法 $G = (V_N, V_T, P, S)$ において、全ての $A \in V_N$ に対して $A \overset{\cdot}{\Rightarrow} A$ となるような導出が存在しない場合、文法 G は cycle free であるという。 (定義6終)

次に、本稿と関係のある定理をいくつか示す¹⁾。

〔定理1〕 文脈自由文法 $G = (V_N, V_T, P, S)$ において最左導出 $S \overset{\cdot}{\Rightarrow} \alpha$ と α の left parse とは1対1に対応する。また、最右導出 $S \overset{\cdot}{\Rightarrow} \alpha$ と α の right parse とは1対1に対応する。 (定理1終)

〔定理2〕 文脈自由文法 $G = (V_N, V_T, P, S)$ が cycle free であるとする。文 $a_1 a_2 \dots a_n$ に対する導

出 $S \overset{\cdot}{\Rightarrow} a_1 a_2 \dots a_n$ の長さは $O(n)$ である。

(定理2終)

2.2 Earley 法

現在までに知られている文脈自由言語の構文解析法には Cocke-Younger による方法 (CKY 法)^{11) 12)}、Earley 法¹³⁾、Valiant 法¹⁴⁾、Graham 法^{15) 16)} などがあるが、(i) 生成規則の形に制約がない、(ii) 計算に要するオーバーヘッドが小さい、などの理由から本稿では Earley 法を使用する。

Earley 法では、文 $a_1 a_2 \dots a_n \in V_T^*$ の解析において項 $[A \rightarrow \alpha \cdot \beta(p), f]$ を要素とする $n+2$ 個の項リスト $I_0, I_1, \dots, I_n, I_{n+1}$ を作成する。ここで記号 \cdot はメタシンボルで、生成規則 $A \rightarrow \alpha \beta(p)$ を用いて α まで解析したことを示す。 f は $0 \leq f \leq n+1$ を満たす整数である。項リストの集合 $\{I_0, I_1, \dots, I_n, I_{n+1}\}$ を解析リストという。項と項リスト、解析リストの間には次の関係がある⁷⁾。

〔定理3〕 項 $[A \rightarrow \alpha \cdot \beta(p), f]$ が項リスト I_j に含まれるのは、 $S \overset{\cdot}{\Rightarrow} \gamma A \delta$, $\gamma \overset{\cdot}{\Rightarrow} a_1 a_2 \dots a_f$, $\alpha \overset{\cdot}{\Rightarrow} a_{f+1} a_{f+2} \dots a_j$ となるような $\gamma, \delta \in V^*$ が存在する場合であり、かつそのときに限る。 (定理3終)

また、Earley 法を用いて解析する場合に要する時間・空間複雑度に関して次の定理が知られている^{7) 13)}。

〔定理4〕 Earley 法は長さ n の文の解析に $O(n^3)$ の時間複雑度ならびに $O(n^2)$ の空間複雑度を要する。 (定理4終)

〔定理5〕 Earley 法により作成された解析リストから1つの right parse を得る場合に要する時間複雑度は $O(n^2)$ である。 (定理5終)

3 導出グラフとその構成法

3.1 導出グラフ

導出グラフはいくつかの連結成分から構成されている有向グラフである。それぞれの連結成分を層と呼ぶ。各層は source を1つだけ持つ acyclic graph で、1つの非終端記号あるいは1つの整数に対応する。各層における source から sink までの路は生成規則の系列を表す。特に、非終端記号に対応する層は sink を1つだけ持つ。

以後、整数 f や非終端記号 A に対応する層をそれぞれ $L(f)$ 、 $L(A)$ 、節点 v や枝 e の属する層をそれぞれ $L(v)$ 、 $L(e)$ と書き表す。また、層 $L(X)$ にお

る唯一の source を $v_s(X)$ と書き表す。但し、 X は整数、非終端記号、節点、枝をいずれかを表すものとする。更に、層 $L(A)$ における唯一の sink を $v_t(A)$ と書き表す。

導出グラフの全ての枝にはラベルが付けられている。

ラベルには3種類があり、それぞれ次のような意味を表す。

(i) 生成規則の番号 p : 生成規則 $A \rightarrow \alpha(p)$ による直接導出を表す。

(ii) 非終端記号 A : 導出 $A \xrightarrow{+} \varepsilon$ を表す。

(iii) 節点 v : $v_s(v)$ から v までの路を表す。

枝 $e = (u, v)$ について特にそのラベルを示す必要がある場合には $e(p)$ 、 $e\langle A \rangle$ 、 $e[v]$ あるいは $(u, v; (p))$ 、 $(u, v; \langle A \rangle)$ 、 $(u, v; [v])$ のように書き表す。

導出グラフの構成は Earley 法による構文解析に基づいて行われる。但し、Earley 法における項に新たに導出グラフの節点を表すパラメータ v を付け加えた3組 $[A \rightarrow \alpha \cdot \beta(p), f, v]$ を用いる。

文 $a_1 a_2 \dots a_n \in V_T^*$ の解析において、導出グラフと項リストには次に示す性質がある。

[導出グラフと項リストの性質]

(i) 項 $[A \rightarrow \alpha \cdot \beta(p), f, v] \in I_j$ が存在するのは、 $S \xrightarrow{+} \gamma A \delta$ 、 $\gamma \xrightarrow{+} a_1 \dots a_i$ 、 $\alpha \xrightarrow{+} a_{i+1} \dots a_j$ となるような $\gamma, \delta \in V^*$ が存在する場合であり、かつそのときに限る。

(ii) 項 $[A \rightarrow \alpha \cdot \beta(p), f, v] \in I_j$ ならば、 B に対するすべての生成規則 $B \rightarrow \gamma_k(p_k)$ について、項 $[B \rightarrow \gamma_k(p_k), j, v_s(j)]$ が I_j に含まれる。

(iii) 項 $[A \rightarrow \alpha \cdot \alpha \beta(p), f, v] \in I_j$ が存在し、かつ $\alpha = a_{j+1}$ であれば、 $[A \rightarrow \alpha a \cdot \beta(p), f, v] \in I_{j+1}$ なる項が存在し、2つの項は同じ節点 v に対応する。

(iv) 項 $[B \rightarrow \gamma \cdot (q), j, w] \in I_j$ が存在すれば、 $\gamma = C_1 C_2 \dots C_m \in V_N^*$ 、 $B \Rightarrow C_1 C_2 \dots C_m \xrightarrow{+} \varepsilon$ が成り立つ。このとき、 $[A \rightarrow \alpha \cdot B(p), f, u] \in I_j$ 、 $[A \rightarrow \alpha B \cdot \beta(p), f, v] \in I_j$ なる2つの項が存在し、また、これらの項に対応する節点 u, v の間には枝 $(u, v; \langle B \rangle)$ が存在する。更に、層 $L(B)$ には節点 $v_s(B)$ 、 $v_1, v_2, \dots, v_m, v_t(B)$ ならびにこれらの節点を端点とする枝 $(v_s(B), v_1; \langle C_1 \rangle)$ 、 $(v_1, v_2; \langle C_2 \rangle)$ 、 \dots 、 $(v_{m-1}, v_m; \langle C_m \rangle)$ 、 $(v_m, v_t(B); (p))$ が存在する。

(v) 項 $[B \rightarrow \gamma \cdot (q), j, w] \in I_k$ (但し、 $j < k$) が存在すれば、 $[A \rightarrow \alpha \cdot B \beta(p), f, u] \in I_j$ 、 $[A \rightarrow \alpha B \cdot \beta(p), f, v] \in I_k$ なる2つの項が存在し、更に節点 u には枝 $(w, x; (q))$ 、節点 v, w の間には枝 $(u, v; [x])$ が存在する。

(vi) 2つの項 $[A \rightarrow \alpha \cdot (p), f, u] \in I_j$ 、 $[A \rightarrow \beta \cdot (q), f, v] \in I_j$ (但し、 $\alpha, \beta \neq \varepsilon$ 、 $f \neq j$) が同じ項リスト I_j に含まれるならば、節点 u, v を始点とする2つの枝 $(u, w; (p))$ 、 $(v, w; (q))$ は同じ節点 w を終点に持つ。(導出グラフと項リストの性質終)

3.2 導出グラフの構成法

構文解析において用いる項ならびに導出グラフの構成は次の3種類の操作により行われる。これらの操作は前節で述べた性質を満足する。

[操作1 (scanner)]

項 $[A \rightarrow \alpha \cdot a_{j+1} \beta(p), f, v] \in I_j$ が存在するとき、項 $[A \rightarrow \alpha a_{j+1} \cdot \beta(p), f, v]$ を I_{j+1} に追加する。この操作は前記の性質 (i)、(iii) を保持する。

(操作1終)

[操作2 (predictor)]

項 $[A \rightarrow \alpha \cdot B \beta(p), f, v] \in I_j$ が存在するとき、 B に対するすべての生成規則 $B \rightarrow \gamma_k(p_k)$ について、項 $[B \rightarrow \gamma_k(p_k), j, v_s(j)]$ を I_j に追加する。但し、同じ項が既に I_j に存在している場合には追加しない。また、 $v_s(j)$ が存在しなければ新たに層 $L(j)$ に作る。この操作は前記の性質 (i)、(ii) を保持する。

特に $B \Rightarrow C_1 C_2 \dots C_m \xrightarrow{+} \varepsilon$ (但し、 $C_1 C_2 \dots C_m \in V_N^*$) である場合、層 $L(B)$ に節点 $v_s(B)$ 、 $v_1, v_2, \dots, v_m, v_t(B)$ ならびにこれらの節点を端点とする枝 $(v_s(B), v_1; \langle C_1 \rangle)$ 、 $(v_1, v_2; \langle C_2 \rangle)$ 、 \dots 、 $(v_{m-1}, v_m; \langle C_m \rangle)$ 、 $(v_m, v_t(B); (p))$ を、もしこれらが存在していないならば付け加え、更に次の操作のいずれかを行う。

(a) 項の最初の2つのパラメータがそれぞれ $A \rightarrow \alpha B \cdot \beta(p)$ 、 f であるような項 $[A \rightarrow \alpha B \cdot \beta(p), f, w]$ が既に I_j に含まれているならば、枝 $(v, w; \langle B \rangle)$ を導出グラフに付け加える。

(b) (a) の条件に該当する項が存在しなければ、新しい節点 w ならびに枝 $(v, w; \langle B \rangle)$ を導出グラフに付け加え、項 $[A \rightarrow \alpha B \cdot \beta(p), f, w]$ を I_j に追加する。これらの操作は前記の性質 (i)、(iv) を保持する。

(操作2終)

[操作3 (completer)]

項 $[A \rightarrow \alpha \cdot (p), f, v] \in I_j$ が存在するとき、次の操作のいずれかを行う。

(a) $f = j$ ならば性質 (i) より $\alpha \xrightarrow{+} \varepsilon$ が成り立ち、既に操作2で処理しているので何も行わない。

(b) $f \neq j$ の場合、 I_j に含まれ生成規則の右辺ならびに節点に対応するパラメータだけが異なる項 $[A \rightarrow \beta \cdot (q), f, u]$ (但し、 $\alpha \neq \beta$) が存在し、かつこの項

に操作3を既に適用していれば、節点 u を始点とする枝 $(u, w; (q))$ が存在しているので、節点 v を始点としこの枝と同じ終点を持つ枝 $(v, w; (p))$ を導出グラフに付け加える。

(c) (a), (b)のいずれにも該当しなければ節点 x ならびに枝 $(v, x; (p))$ を導出グラフに付け加え、更に I_j に含まれ“ \cdot ”の右の記号が A であるような項 $[B_j \rightarrow \gamma_j \cdot A \delta_j(p_j), f_j, v_j]$ の全てについて次の操作のいずれかを行う。

(c-1) “ \cdot ”を右に移動した項 $[B_j \rightarrow \gamma_j A \cdot \delta_j(p_j), f_j, v_j]$ が既に I_j に含まれているならば、枝 $(v_j, v_j'; [x])$ を導出グラフに付け加える。

(c-2) (c-1)に該当する項がなければ、新しい節点 v_j' ならびに枝 $(v_j, v_j'; [x])$ を導出グラフに付け加え、項 $[B_j \rightarrow \gamma_j A \cdot \delta_j(p_j), f_j, v_j']$ を I_j に追加する。

これらの操作は前記の性質 (i), (v), (vi) を保持する。 (操作3終)

なお、これらの操作から導出グラフの構成を除いたものは Earley 法における項生成操作と同じである。

全体のアルゴリズムを次に示す。

〔構文解析アルゴリズム〕

文脈自由文法 $G = (V_N, V_T, P, S)$ と解析される長さ n の文 $a_1 a_2 \dots a_n$ が与えられた場合、以下の操作で解析リスト $\{I_0, I_1, \dots, I_n, I_{n+1}\}$ ならびに導出グラフ D を作成する。

〔step 1〕 文の最後にメタシンボル“ $\$$ ”を付け加え、 $a_1 a_2 \dots a_n \$$ とする。また、生成規則の集合 P に新しい生成規則 $S' \rightarrow S\$ (0)$ を付け加える。

〔step 2〕 導出グラフ D に節点 $v_s(0)$ を作り、項 $[S' \rightarrow \cdot S\$ (0), 0, v_s(0)]$ を I_0 に付け加える。

〔step 3〕 項リスト I_0 から始めて項リスト I_0, \dots, I_n を以下の操作で順に生成する。

(1) 前記の操作2、3を実行して、項リスト I_j で項の生成を行う。

(2) 項リスト I_j で新しい項が生成されなくなれば、前記の操作1を実行して項リスト I_{j+1} での項生成を行う。

〔step 4〕 解析の途中で I_j が空になれば、文は受理されないことを意味し、解析を中止する。逆に、項 $[S' \rightarrow S\$ \cdot (0), v]$ が I_{n+1} に含まれていれば、文は受理されたことを意味し、解析を終える。

(構文解析アルゴリズム終)

例として、文法 $G = (V_N, V_T, P, S)$, $V_N = \{S, A, B, C\}$, $V_T = \{a\}$, $P = \{S \rightarrow \epsilon (1), S \rightarrow SA (2), A \rightarrow B (3), A \rightarrow C (4), B \rightarrow a (5), C \rightarrow a (6)\}$ に対して文 aa を

解析する場合における解析リストを図1に、導出グラフを図2に示す。

3.3 構文解析アルゴリズムの性質

前章で示した構文解析アルゴリズムの正当性、ならびに時間・空間複雑度を次に示す。

〔定理6〕 文 $a_1 a_2 \dots a_n$ に対する解析リストならびに導出グラフが前節の構文解析アルゴリズムで作成されたものとする。これらは3.1節の性質 (i) ~ (vi) を持つ。

(証明) 操作1~3から数学的帰納法により容易に証明できるので省略する²⁷⁾。 (定理6終)

〔系1〕 項 $[S' \rightarrow S\$ \cdot (0), 0, v]$ が項リスト I_{n+1} に含まれるときかつそのときに限り $a_1 a_2 \dots a_n \in L(G)$ である。

(証明) 3.1節の性質 (i) より明らかである。

(系1終)

〔定理7〕 構文解析アルゴリズムは長さ n の文に対して $O(n^3)$ の時間を要する。

(証明) まず、項リスト $I_0, I_1, \dots, I_n, I_{n+1}$ に含まれる項の個数について考える。

項の中で1、2番目のパラメータが等しく3番目のパラメータが異なる項は操作1~3から明らかのように存在しない。項の1番目のパラメータの種類は n に無関係の定数である。また、2番目のパラメータの種類は高々 $n+2$ 個である。従って、1つの項リストに含まれる項の数は $O(n)$ である。

次に、1つの項に対する操作1~3の要する時間について考察する。

(1) 操作1では $O(1)$ の時間を要する。

(2) 操作2では $O(|P|)$ 個の項ならびに $O(|P|)$ 個の節点と枝を付け加えればよいから、 $O(|P|) = O(1)$ の時間を要する。

(3) 操作3では、例えば項 $[A \rightarrow a \cdot (p), f, v] \in I_j$ に対する操作を考えると、 I_j に含まれる $O(n)$ の項を I_j に付け加え、 $O(n)$ の節点と枝を付け加えるから、 $O(n)$ の時間を要する。

従って、1つの項に対して $O(n)$ の時間を要し、項の数は1つの項リスト中で $O(n)$ 個、解析リスト全体では $O(n^2)$ 個であるから、全体で $O(n^3)$ の時間を要する。 (定理7終)

〔定理8〕 構文解析アルゴリズムは長さ n の文に対して $O(n^3)$ の空間を要する。

(証明) 定理5と同様の方法で容易に証明できるので省略する。 (定理8終)

$I_0 :$	$S' \rightarrow \cdot S \$$	(0)	0, 0
	$S \rightarrow \cdot$	(1)	0, 0
	$S \rightarrow \cdot SA$	(2)	0, 0
	$S' \rightarrow S \cdot \$$	(0)	0, 1
	$S \rightarrow S \cdot A$	(2)	0, 2
	$A \rightarrow \cdot B$	(3)	0, 0
	$A \rightarrow \cdot C$	(4)	0, 0
	$B \rightarrow \cdot a$	(5)	0, 0
	$C \rightarrow \cdot a$	(6)	0, 0
$I_1 :$	$B \rightarrow a \cdot$	(5)	0, 0
	$C \rightarrow a \cdot$	(6)	0, 0
	$A \rightarrow B \cdot$	(3)	0, 4
	$A \rightarrow C \cdot$	(4)	0, 6
	$S \rightarrow SA \cdot$	(2)	0, 8
	$S' \rightarrow S \cdot \$$	(0)	0, 10
	$S \rightarrow S \cdot A$	(2)	0, 11
	$A \rightarrow \cdot B$	(3)	1, 12
	$A \rightarrow \cdot C$	(4)	1, 12
	$B \rightarrow \cdot a$	(5)	1, 12
	$C \rightarrow \cdot a$	(6)	1, 12
$I_2 :$	$B \rightarrow a \cdot$	(5)	1, 12
	$C \rightarrow a \cdot$	(6)	1, 12
	$A \rightarrow B \cdot$	(3)	1, 14
	$A \rightarrow C \cdot$	(4)	1, 14
	$S \rightarrow SA \cdot$	(2)	0, 18
	$S' \rightarrow S \cdot \$$	(0)	0, 20
	$S \rightarrow S \cdot A$	(2)	0, 21
	$A \rightarrow \cdot B$	(3)	2, 22
	$A \rightarrow \cdot C$	(4)	2, 22
	$B \rightarrow \cdot a$	(5)	2, 22
	$C \rightarrow \cdot a$	(6)	2, 22
$I_3 :$	$S' \rightarrow S \$ \cdot$	(0)	0, 20

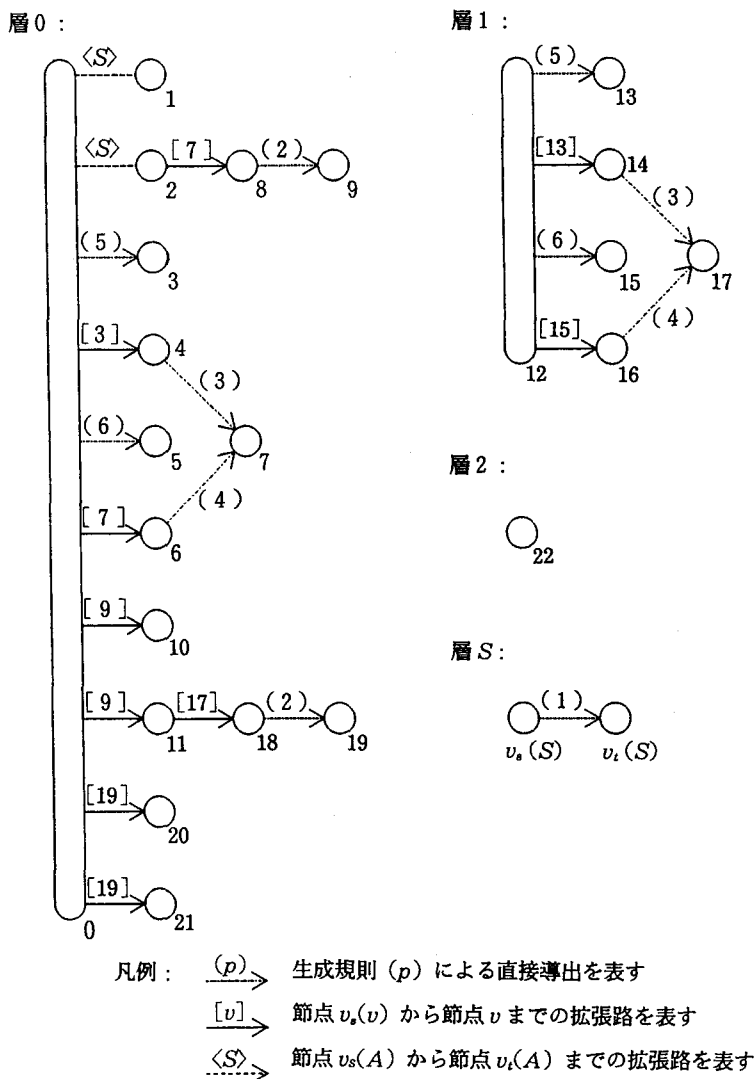


図2 構文解析アルゴリズムによる導出グラフの例

図1 構文解析アルゴリズムによる解析リストの例

4 曖昧な文の解析

4.1 right parse の生成

導出グラフから文に対する right parse を求める方法を示す前に、導出グラフにおける路を定義する。

〔定義7〕 導出グラフにおける節点 u から節点 v までの拡張路を、 $L(u) = L(v)$ のときに限り次のように定義する。

- (i) $u = v$ のとき、空の系列は拡張路である。
- (ii) 枝の系列 $e_1 e_2 \dots e_n (e_i = (u_i, v_i))$ において、 $u = u_1, v_1 = u_2, v_2 = u_3, \dots, v_{n-1} = u_n, v_n = v$ のとき、この枝の系列は拡張路である。
- (iii) 拡張路 $e_1 e_2 \dots e_n$ において、非終端記号をラベルとして持つ枝 $e_i \langle A \rangle$ を節点 $v_s(A)$ から節点 $v_t(A)$ までの拡張路に置き換えた系列は拡張路である。
- (iv) 拡張路 $e_1 e_2 \dots e_n$ において、節点をラベルとして持つ枝 $e_i[v]$ を節点 $v_s(v)$ から節点 v までの拡張路に置き換えた系列は拡張路である。
- (v) 上記(i)~(iv)により定義されるものだけが拡張路であり、それ以外のものは拡張路ではない。

また、全ての枝のラベルが生成規則の番号である拡張路を完全拡張路という。 (定義7終)

節点 u から節点 v までの拡張路を $\pi(u, v)$ 、完全拡張路を $\pi^*(u, v)$ と書き表す。また、便宜上、同じ表記法で拡張路(完全拡張路)のラベルの系列を表すものとする。

次に導出グラフの完全拡張路と導出との関係を示す。

〔定理9〕 2つの項 $[A \rightarrow \alpha \cdot \beta \gamma(p), f, u] \in I_j, [A \rightarrow \alpha \beta \cdot \gamma(p), f, v] \in I_k (\alpha, \beta, \gamma \in V^*)$ が存在したとき、ラベルの系列 $\pi^*(u, v)$ は最右導出 $\beta \xrightarrow{\cdot} a_{s+1} \dots a_t$ の各ステップで用いられた生成規則の系列の逆順に等しい。

(証明) 生成規則の系列の長さに関する数学的帰納法により容易に証明できるため省略する²⁷⁾。(定理9終)

項 $[S' \rightarrow S\$ \cdot (0), 0, v] \in I_{n+1}$ に対応する節点 v を以後 $v_i(0)$ と書き表すことにするとラベルの系列 $\pi^*(v_s(0), v_t(0))$ は定理7より認識した文に対する right parse を表す。例として図2における節点0から節点20までの完全拡張路を図3に示す。

導出グラフから1つの right parse を得るには $v_i(0)$ から $\pi^*(v_s(0), v_t(0))$ を逆向きにたどればよい。なぜならば、導出グラフの各層は source を1つだけ持つから、各層の sink から逆向きにたどると必ず同じ層の source にたどり着くからである。1つの right parse を得るための時間複雑度に関して次の定理が成り立つ。

〔定理10〕 導出グラフから1つの right parse を得るために要する手数 $O(n)$ である。

(証明) $\pi^*(v_s(0), v_t(0))$ を逆向きにたどるとき、各節点では逆向きの任意の枝を選べばよい。従って、各節点で要する手数は $O(1)$ である。定理2より文法が cycle free である場合の right parse の長さは $O(n)$ であるから、1つの right parse を得るために要する手数は $O(n)$ となる。(定理10終)

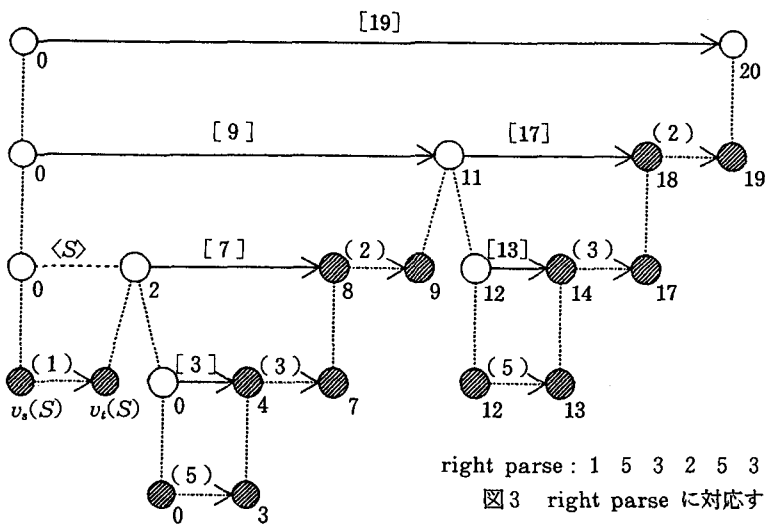


図3 right parse に対応する完全拡張路の例

4.2 評価値の大きい順に導出を求めるアルゴリズム

一般に、文脈自由文法を用いた構文解析ではそれぞれの生成規則 $A \rightarrow \alpha(p)$ の適用に対して予め定めた評価値 $w(p)$ を与え、導出に対する評価値を用いた生成規則の評価値の合計と定義することが多い。従って、本稿においてもこの定義を用いることにする。

ここで、導出グラフにおいて生成規則の番号をラベルとして持つ枝 $e(p)$ の長さを $w(p)$ と等しく選べば、評価の大きい(小さい)順に導出を選ぶ問題は導出グラフにおいて $v_s(0)$ から $v_t(0)$ への完全拡張路を長い(短い)順に求める問題と等価である。この問題は従来から多くの人によって研究されているが^{19)–24)}、本研究では加藤、茨木、三根によるアルゴリズムを再帰的に用いている。このアルゴリズムの説明は省略するが²⁷⁾、導出グラフの第 k 最長(最短)路を求めるのに要する時間・空間複雑度はそれぞれ $O(kn^2)$ 、 $O(n^2 + kn)$ である。

本稿で提案した導出グラフを用いた場合と Earley 法だけを用いた場合の時間・空間複雑度の比較を表1に示す。この表からわかるように、導出グラフを用いると空間複雑度は Earley 法より劣るが時間複雑度は同法より改善されていることがわかる。

5 むすび

本稿では曖昧な文脈自由言語の汎用性の高い解析手法として、与えられた文の導出を評価値の大きい(あるいは小さい)順に出力する手法、特に曖昧な言語の解析に適したデータ構造として、導出グラフを提案し、その構成法ならびに性質を示した。更に、導出グラフを用いて曖昧な文の導出をその評価値の大きい(あるいは小さい)順に求める手順にも触れ、その時間複雑度、空間複雑度を示した。導出グラフを用いると Earley 法だけを用いる場合と比べて曖昧な文に対する導出の選択の効率化を図ることができる。

しかし、本手法を用いる上での本質的な問題点として、生成規則に対して適切な評価値を与える方法、選択基準の設定方法などが残されており、これらは今後の課題である。

表1 アルゴリズムの比較

	文の認識	導出の選択	
		任意の1つを求める	k 番目の候補を求める
時間	$O(n^3)$	$O(n)$	$O(kn^2)$
	$O(n^3)$	$O(n^2)$	$O(kn^3)$
空間	$O(n^3)$	$O(n)$	$O(n^2 + kn)$
	$O(n^3)$	$O(n)$	$O(n^2 + kn)$

n : 文の長さ

上段: 導出グラフ使用
下段: Earley 法のみ

参考文献

- 1) 日高達、長田一興、吉田将: “言語構造の文字認識への応用”、昭57信学総全大(1982)、1278
- 2) 坂井利之: 翻訳するコンピュータ(1969)、[講談社]
- 3) 長尾真: 言語工学(1983)、[昭晃堂]
- 4) 吉村賢治、日高達、吉田将: “表方式を用いた文節構造分析アルゴリズムとその効率について”、情処計算言語学研資(1981)、25–6
- 5) 吉村賢治、日高達、吉田将: “日本語文の形態素解析における最長一致法と文節数最小法について”、情処自然言語処理研資(1982)、30–7
- 6) 吉田正行、三ツ矢裕一、宮本義昭: “ビジネス文のかな漢字変換における文節数最小法適用の評価”、情処自然言語処理研資(1985)、48–3
- 7) Aho, A. V. and Ullman, J. D.: The Theory of Parsing, Translation, and Compiling, Vol. 1: Parsing (1972), [Prentice-Hall]
- 8) 情報処理学会: 情報処理ハンドブック(1972)、[オーム社]
- 9) 樹下行三: オートマトン入門(1973)、[朝倉書店]
- 10) 鳥居宏次: 形式言語に関する研究(1967)、[大阪大学大学院工学研究科博士学位論文]
- 11) Kasami, T.: “An efficient recognition and syntax analysis algorithm: for context free languages”, Science Report AF CRL-65-758 (1965), [Air Force Cambridge Research Laboratory]
- 12) Younger, D. H.: “Recognition and parsing of context-free languages in time n^3 ”,

- Information and Control, 10 (1967), pp. 189–208
- 13) Earley, J. : “An efficient context-free parsing algorithm”, Comm. A. C. M., 13-2 (1970), pp. 94–102
- 14) Valiant, L. G. : “General context-free recognition in less than cubic time”, J.C.S.S., 10 (1975), pp. 308–315
- 15) Graham, S. L., Harrison, M. A., and Ruzzo, W. L. : “On line context free recognition in less than cubic time”, Proc. 8th Annu. A. C. M. Symp. on Theory of Computing (1976), pp. 112–120
- 16) Graham, S. L., Harrison, M. A. : “An improved context-free recognizer”, A. C. M. Trans. on Programming Languages and Systems, 2–3 (1980), pp. 415–462
- 17) Graham, S. L., Harrison, M. A. : “Parsing of general context-free languages”, Advances in Computers, 14 (1976), pp. 77–185, [Academic Press]
- 18) 伊理正夫、白川功、梶谷洋司、篠田庄司、他 : 演習クラブ理論 (1983)、[コロナ社]
- 19) Yen, J. Y. : “Finding the K shortest loopless paths in a network”, Management Science, 17 (1971), pp. 712–716
- 20) 加藤直樹、茨木俊秀、三根久 : “無向グラフの第 K 最短単純路を求める $O(Kn^2)$ アルゴリズム”、信学論 (A)、J 61-A-12 (1978)、pp. 1199–1206
- 21) Katoh, N., Ibaraki, T., and Mine, H. : “An efficient algorithm for K shortest simple paths”, Networks, 12 (1982), pp. 411–427
- 22) Fox, B. L. : “Data structures and computer science techniques in operations research”, Operations Research, 26 (1978), pp. 686–717
- 23) Denardo, E. V., Fox, B. L. : “Shortest-route methods : 1. reaching, pruning and buckets”, Operations Research, 27 (1979), pp. 161–186
- 24) Lawer, E. L. : “A procedure for computing the K best solutions to discrete optimization problems and its application to the shortest path problem”, Management Science, 18 (1972), pp. 401–405
- 25) Kunth, D. E. : The Art of Computer Programming, Vol. 3 : Sorting and Searching (1972), [Addison-Wesley]
- 26) Aho, A. V., Hopcroft, J. E., and Ullman, J. D. : The Design and Analysis of Computer Algorithm, Vol. 1 (1974), [Addison-Wesley]
- 27) 山井成良 : 曖昧な言語の全導出系列の階層的グラフ表現による解析に関する研究 (1986)、[大阪大学大学院工学研究科修士学位論文]

濃度ヒストグラムの特性値に基づく印影画像の品質識別*

上 田 勝 彦

Identification of Image Quality of Seal Imprint Using Features of Density Histogram

Katsuhiko UEDA

品質評価機能を有する高性能な自動印鑑照合システムを実現するための基礎研究として、印影画像各部の品質を機械的に識別する方法を提案する。本手法は、印字文字画像のような本来濃淡が2値の画像の品質の特徴はその濃度ヒストグラムに顕著に現れるという特性を利用した方法である。すなわち印影画像の各部の濃度ヒストグラムを基にして、領域内の画素を文字部と背景部に分離したとき、ヒストグラムの分離性の大きさを評価量として品質識別を行う。種々の品質を有する印影画像を用いて識別実験を行ったところ、人間の主観評価とほぼ一致する結果が得られ、本手法の有効性が確認された。

1. ま え が き

対象となる被照合印影が印鑑登録の際に使用された印章と同一の印章によって生成されたものか否かを機械的に照合判定する、いわゆる自動印鑑照合の研究においては、問題の自動照合法の照合性能（真偽判別性能）を明らかにすることが重要である。照合性能評価は、客観的な評価基準がない現在、銀行員など印鑑照合の実務担当者の真偽判別能力を評価の基準とするのが合理的であると考えられる。

筆者は先にこの立場から、日常印鑑照合業務に携わっている銀行員の照合能力を実際に調査し、この結果を基に筆者が提案する正規化距離法による自動照合方式の照合性能評価を行った。その結果、次のことが明らかになった。すなわち比較的な鮮明な良品質の印影については、本方式は銀行員など印鑑照合の熟練者と比較して優れた照合性能を有する¹⁾。しかし品質が低下した不鮮明な印影（印肉のにじみ、かすれなどを伴う印影）に対しては、本方式の照合誤りが多くなる。特に印肉のかすれによる照合性能の劣化が著しく、低品質印影に対する対策が必要である²⁾。

印影品質の変動に対する具体的な対策としては、被照合印影の線幅を登録印影の線幅に合わせるように、被照

合印影の濃淡を補正して照合する方法³⁾と印影文字線の骨格線の配置関係のマッチングを利用して照合することにより、印影変動を吸収しようとする方法⁴⁾が提案されている。しかし前者の方法は、印鑑照合においては印影の線幅も重要な特徴の1つであるので⁵⁾、これを無条件に正規化するのは問題がある。また後者の方法は、原理的に微小な形状の差異を検出することが困難であり、類似した偽造印影の検出能力に問題がある。高い偽造印影検出能力を保持したまま、広範囲の印影品質変動に適應できる自動照合の方法としては、照合の前に被照合印影各部の品質を識別し、その結果に基づいて良品質部分のみを照合対象領域として照合を行うのが合理的であると考えられる。

本論文では、以上の考えに基づく高性能な自動照合方式の確立のための基礎的研究として、濃度ヒストグラムの特性値を用いて印影各部の品質を機械的に識別する方法を提案し、その識別性能について検討する。

2. 印影画像の品質識別

鮮明な文字画像、不鮮明な文字画像の特徴は、その濃度ヒストグラムに顕著に現れる。従って本研究においては、この特徴を利用して品質識別を行う。すなわち印影画像の各部分領域の濃度ヒストグラムの特徴によって、印影画像の各部を、①文字部と背景部のコントラストが十分な良品質部分（但し、本論文の研究段階では印肉の

*本論文の内容の一部は、昭和62年電気関係学会関西支部連合大会（昭和62年11月）にて発表した。

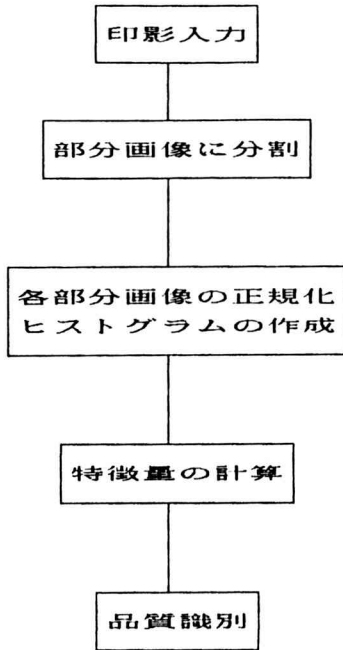


図1 品質識別処理の流れ図

にじみを伴う部分も含まれる)、②文字部と背景部のコントラストが不十分、あるいは文字部の濃淡変化が大きいかすれ部分、③文字部の存在しない背景部分の3つに類別する。品質識別の全体的な処理の流れを図1に示す。すなわち被照合印影画像を適当な大きさの部分画像に分割し、各部分画像について正規化濃度ヒストグラムを作成する。そしてこのヒストグラムの特性値を用いて判別分析法によって、上の3つの品質クラスに類別する。以下に各処理に関して具体的に説明する。

2.1 画像の分割と正規化濃度ヒストグラムの作成

まず図2に示すように、画像サイズ $M \times M$ 、濃度レベル L の濃淡印影画像を m 等分して $m \times m$ の部分領域に分割する。そして各部分領域について、濃度レベル i の画素数を n_i 、全画素数を $N = n_1 + n_2 + \dots + n_L$ として、正規化濃度ヒストグラム

$$P(i) = n_i / N \quad (1)$$

を作成する(図3)。(1)式は濃度の確率分布と見なすことができる。次にこの $P(i)$ の分布から判別分析を用いたしきい値決定法⁶⁾により、部分領域内の画素を文字部 C_1 、背景部 C_2 の2つのクラスに分類するしきい値 k を求める(図3)。この k は、判別分析で用いられ

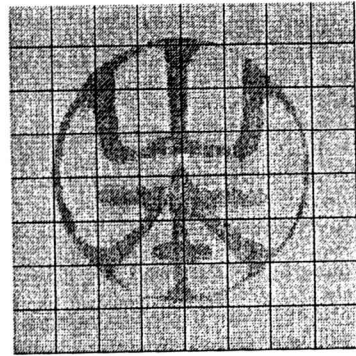


図2 部分画像への分割

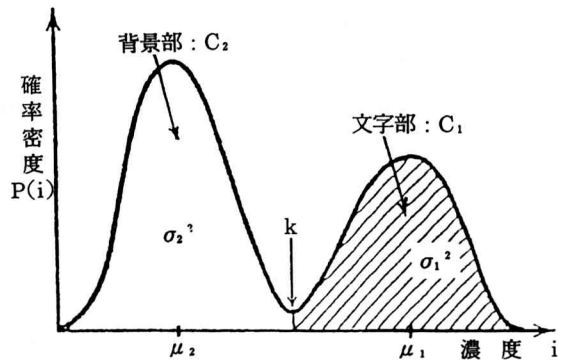


図3 正規化濃度ヒストグラム

る基準(クラスの間離度)を最大にする意味で最適な値である。

2.2 特徴量の定義と品質識別

以上の準備のもとに、①良品質部、②かすれ部、③背景部の特徴を表す正規化ヒストグラムの特性値として、以下の6個を定義する。すなわち部分領域のコントラスト評価量として、

(1) 全分散:

$$\sigma^2_{\tau} = \sum_{i=1}^L (i - \mu_{\tau})^2 P(i) \quad (2)$$

ここで μ_{τ} は部分画像の全平均濃度レベルである。

(2) クラス間分散:

$$\sigma^2_{\theta} = P_1 (\mu_1 - \mu_{\tau})^2 + P_2 (\mu_2 - \mu_{\tau})^2 \quad (3)$$

ここで P_1 、 P_2 はそれぞれクラス C_1 、 C_2 の生起確率、 μ_1 、 μ_2 はそれぞれクラス C_1 、 C_2 の平均濃度レベルである。

(3) 分散比:

$$\eta = \sigma^2_B / \sigma^2_T \quad (4)$$

(4) クラス間濃度レベル差：

$$\mu_D = \mu_1 - \mu_2 \quad (5)$$

また濃度変動（ノイズ）評価量として、

(5) クラス C_1 の分散：

$$\sigma^2_1 = \sum_{i=k+1}^l (i - \mu_1)^2 P(i) \quad (6)$$

(6) クラス C_2 の分散：

$$\sigma^2_2 = \sum_{i=1}^k (i - \mu_2)^2 P(i) \quad (7)$$

以上 6 個の特性値を用いて、多変量解析における 3 群判別分析法⁷⁾により、各部分領域を前記の 3 つの品質クラス分類する。

3. 品質識別実験

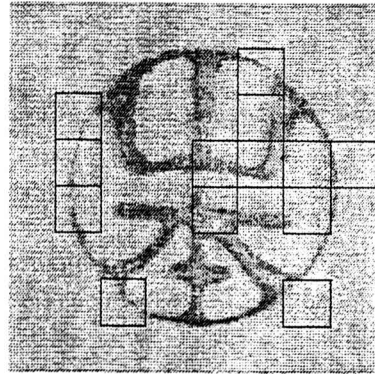
3.1 実験方法

本実験で対象とする印影画像は、画像サイズ 256×256（画素）、濃淡 8 ビットである。また画像分割は全体を 8 等分して 64 個の 32×32（画素）の部分領域に分割した。そして 2. で述べた方法によって、各部分領域を 3 つの品質クラスに分類する。

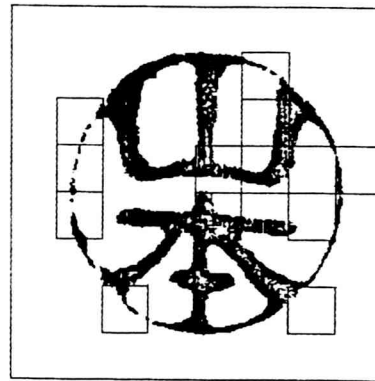
まず適当な印影画像の部分領域を主観的判断によって 3 つの品質クラスに分類して、各品質クラスごとに各々 20 個の部分領域を選択し、これらを学習用サンプルとして識別関数を決定する。そして 6 個の印章をそれぞれ着肉過剰の状態から 5 回連続押印して得た 30 個の印影、合計 1920 部分領域を品質識別用サンプルとして、識別実験を行った。更にこの実験結果と人間の主観評価の結果との比較検討を行った。

3.2 実験結果および検討

本手法による品質識別結果の一例を図 4 に示す。同図は 3 つの品質クラスの中で、かすれと判定された部分領域を矩形で示している。また何も表示されていない領域は全て、文字線が存在する部分は良品質、文字線の存在しない部分は背景部と判定された。図 4 (a) は入力濃淡画像を、また図 4 (b) は同図 (a) の 2 値化画像である。図から明らかなように、目視による判定ではかすれとされてもよい部分が本手法では検出されていない場合が若干存在するが、全体的には目視評価との関係においても



(a) 入力濃淡画像



(b) 2 値化画像

図 4 かすれと判定された部分領域の例

表 1 品質識別結果

		本品質評価法による評価結果			平均一致率 (%)
		良品質	かすれ	背景	
主観評価	良品質	6 2 8	3 8	0	9 4
	かすれ	2 9	3 6 7	6 9	7 9
	背景	0	0	7 8 9	1 0 0

全部分類領域数：1 9 2 0. 全平均一致率：9 3 %

妥当な結果を与えていると考えられる。また図4 (b) の結果についても同様に、2 値化による画線の消失部分はほぼかすれ領域として検出されており、問題はないと考えられる。

次に本実験で用いた品質識別用サンプル全体に対する品質識別結果を表1に示す。同表は本手法による識別結果と人間の目視による主観評価結果との関係を示したものである。表から明らかなように、主観評価において良品部、および背景部と判定された部分領域は、本手法においても殆ど同様な判定がなされている。主観評価においてかすれと判定された部分領域は、本手法においては識別結果が3つの品質クラスに大きく散布している。しかし本手法を自動照合システムに組み込む場合は、良品と識別された部分領域のみを照合対象とするので、背景部と誤判定された部分領域は照合結果には関係しない。従って問題となるのは、良品と誤判定された部分のみである。以上のように考えると実質的な一致率は約94%となり、本手法による識別結果は、全体的に主観評価とほぼ一致する結果を与えているといえる。

4. むすび

品質評価機能を有する高性能な自動印鑑照合方式を実現するための基礎研究として、印影画像を適当な部分領域に分割し、各部分領域の濃度ヒストグラムの特性値を用いて印影品質を機械的に識別する方法を提案した。そして実際に種々の品質の印影画像について、本手法による品質識別実験を行い、人間の主観評価と比較したところ、ほぼ妥当な結果が得られた。

本手法の特徴は、品質識別のために計算された多くの結果が照合システムの中の濃淡の2 値化において利用できる。従って本手法を照合システムに組み込んでも照合システム全体としての処理時間の増加はほとんどないことである。

今後の検討課題としては、画像分割の際の適当な分割数について検討すること、特徴量の冗長性の減少について検討すること、更に本手法を従来の自動照合システムに組み込み、照合結果への効果を確認することなどがある。

参考文献

1) 上田勝彦：“自動印鑑照合実験と銀行員の照合能力との比較”，信学論 (D), J 70-D, 7, pp. 1374-1382 (昭 62-7).

2) 上田勝彦：“印影パターン照合に影響する要因に関する実験的検討”，信学論 (D), J 72-D-II, 1, pp. 66-75 (平 1-1).

3) H. Iwase, T. Mima and T. Toriu: “Automatic Verification of Seal Impression”, IEE Conf. Publ., 265, pp. 25-29 (1986).

4) S. Lee and Jin H. Kim: “Seal Imprint Verification Using Attributed Stroke Graph Mactching”, Technical Report TR-88-32, Dept. of Computer Science, KAIST, Seoul, Korea (1988).

5) 尾上守夫他：“画像処理ハンドブック”，p. 590, 昭晃堂 (昭 62).

6) 大津展之：“判別および最小 2 乗基準に基づく自動しきい値選定法”，信学論 (D), J 63-D, 4, pp. 349-356 (昭 55-4).

7) 川口至商：“多変量解析入門 I”，pp. 79-91, 森北出版 (昭 55).

フィルタによる待ち時間の予測

多喜正城

Filtering for prediction of Waiting Time

Masakuni TAKI

Nowadays, it is feasible method that we apply queuing theory to desing of service-job system. But for a customer in queue of the system, it is important to know his leaving time from the queue at real time. This paper which is application of Kalman-filter describes the method of prediction of waiting time.

1. まえがき

現在、一般に用いられている待ち行列理論は、その設備等が小規模な窓口業務（スーパーのレジや改札口等）のサービスシステムの設計には適しているが、大規模のサービスシステム（高速道路網や通信回線網等）では、システムの運用開始当初はスムーズなサービスを提供できていても、しばらくするとシステムの飽和状態が始まる。これは、今までの経験から承知である。余程の大規模システムを作らなければ解決できないが、経済的には無理であろう。ところが一度システムを作り上げるとその変更は、なかなか容易ではない。そこで、過去の観測値から、各時点における平均的な待ち時間は判っているが、何等かの原因で通常のシステム状態でない場合、今、行列に並べば（システムに入れば）、自分が何分後にサービスシステムを退去するか、すなわち、その時刻、またはその時点におけるリアルタイム待ち時間が判れば、システムの込み具合を少しは緩和でき、効率的なシステムの運用が可能となる。従って、このようなサービスシステムの待ち時間の予測を知る方法は重要である。

本研究では、客自体に待ちを生み出す状態が有ると考え、そして、システムに待ちの状態変数を定義し、状態変数の時間変化を数式で表すことによって記述し、カルマン・フィルタ¹⁾を用いて各時点におけるリアルタイムな待ち時間を予測する方法を述べる。

2. カルマン・フィルタと予測

待ち行列に限らず、一般にシステムは、入力と出力の

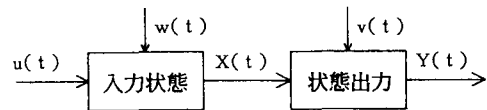


図2-1 状態空間モデル

関係を論じる。このシステム内に状態空間を定義し、状態空間を記述する方程式を状態方程式という。今、考察のモデルが確率弱定常過程²⁾で有る場合、2時刻間の時系列推移を線形回帰によって表現することにより、全時刻間におけるモデルの動きを捉える。

時刻 $t-1$ と t とにおける時系列を $X(t-1)$ 、 $X(t)$ とし、入力 $u(t-1)$ との間に関係が有る。

$$X(t) = A(t, t-1)X(t-1) + u(t-1) + w(t) \quad (2.1)$$

$X(\cdot)$ 、 $u(\cdot)$ は $n \times 1$ 次元ベクトル、 $A(\cdot)$ は $n \times n$ の推移係数行列、 $w(\cdot)$ は残差の系列で、白色雑音系列と仮定する。式 (2.1) の空間平均をとると

$$E[X(t)] = A(t, t-1)E[X(t-1)] + u(t-1) \quad (2.2)$$

したがって

$$u(t-1) = E[X(t)] - A(t, t-1)E[X(t-1)] \quad (2.3)$$

また、観測値 $Y(t)$ と状態空間 $X(t)$ の間には次の関係が有る。

$$Y(t) = B(t)X(t) + v(t) \quad (2.4)$$

$B(\cdot)$ は $n \times n$ の推移係数行列、 $v(t)$ は白色雑音系列。

入力 $u(t)$ と観測値 $Y(t)$ との間の状態空間による数式表現が可能になった。 $Y(t)$ を得る毎にその時の状態を推定する方法にカルマン・フィルタを導入する。これは、観測値には雑音成分が含まれていることを前提として、その推定誤差の2乗平均を最小にする推定機構である。(2.1)、(2.4) から次のカルマン・フィルタ逐次アルゴリズム⁴⁾が作られる。

$$X(t|t) = X(t|t-1) + K(t)(Y(t) - \hat{X}(t|t-1)) \quad (2.5)$$

$$P(t|t) = P(t|t-1) - K(t)P(t|t-1) \quad (2.6)$$

$$K(t) = P(t|t-1)(P(t|t-1) + R(t))^{-1} \quad (2.7)$$

$$\hat{X}(t|t-1) = A(t, t-1)\hat{X}(t-1|t-1) + u(t-1) \quad (2.8)$$

$$P(t|t-1) = A(t, t-1)P(t-1|t-1)A'(t, t-1) + Q(t-1) \quad (2.9)$$

$\hat{X}(t|t)$ は時刻 t における推定値、 $K(\cdot)$ はカルマンゲイン、 $P(\cdot)$ は分散であり、

$$R(t) = E[v(t)v'(t)] \quad (2.10)$$

$$Q(t) = E[w(t)w'(t)] \quad (2.11)$$

$A'(\cdot)$ 等の $'$ は転置を示す。

初期値は

$$P(0|0) = E[(X(0) - \hat{X}(0))^2] \quad (2.12)$$

$$X(0|0) = E[X(0)] \quad (2.13)$$

(2.5)~(2.11) の結果より、時刻 t から n 段先、すなわち、観測インターバルを q とすると $m=nq$ 時刻後の $t+m$ での予測値は次式で与えられる。

$$\hat{X}(t+m|t) = A(t+m, t)\hat{X}(t|t) + \sum A(t+m, j)u(j-1) \quad (2.14)$$

$$A(t+m, j) = A(t+m, t+m-1)A(t+m-1, t+m-2) \cdots A(t+1, t) \quad (2.15)$$

すなわち、時刻 t より n 段先に出る客の待ち時間が $\hat{X}(t+m|t)$ であることを予測した値である。このことを逆に利用すれば次のことが言える。

いま、 $\hat{X}(t+m|t)$ なる予測値が時刻 t で得られたとする。それは時刻 $t+m$ に出てくる客の待ち時間であるが、その客は時刻 $t+m$ より $\hat{X}(t|t-1)$ だけ前に到着

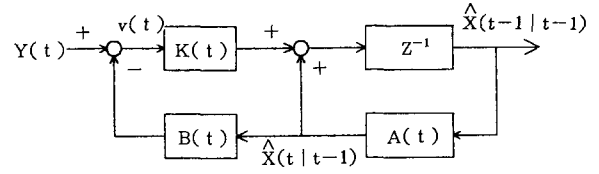


図2-2 カルマンフィルタの構成

したということも示している。

すなわち、 $t+m - \hat{X}(t+m|t)$ の時刻に到着した客は $\hat{X}(t+m|t)$ だけ待つということになる。したがって、ここでの予測は、先の時刻の待ち時間システムの状態を予測し、そこから逆算をして入力時点を求めておいて、それからどのくらい待つかという情報として用いる。

3. 状態変数と仕事量

(定義1) 待ち時間：

客がシステムに入ってからサービス終了まで。

すなわち、待ち時間システムで扱うデータは待ち時間自身である。システムにおいて、客がどれほど待ったかは、その客が出てきて始めて判ることであるので、客がシステムから出てきたときに、どれ位システム中に居たかをデータとする。

(定義2) 状態変数：

システムの履歴を代表する変数の組。

例えば、時刻 t にシステムを出る客の待ち時間を観測値 $Y(t)$ とすると $Y(t)$ は $t-1, t-2, \dots$ の履歴を有する。また、時刻 t における状態空間を表す $X(t)$ も、 $X(t-1), X(t-2) \dots$ の履歴からなる。これらは、状態変数と呼ばれる。本研究では、 $X(t)$ をスカラーの状態変数として用いる。また、待ち時間の時刻に伴う推移の主な原因は、客の推移であるが、待ち時間を表す状態を確率変数として考える。ところで、待ち時間システムにおいて、時刻 t の状態は、それ以前の状態と無関係なものではなく、むしろ大きく影響していることから、過去の状態を観測したときのデータをもとにした帰帰モデルで表される。一般にシステムを表現するのに状態空間と観測空間が有る。そして、その観測値には何等かの観測誤差が含まれていると考え、待ち時間における観測誤差とは何かについて考察する必要がある。状態変数を定義に従って時刻 t における状態空間と観測値とすれば、客がそのサービスを受けるとき、そのサービスの固有の値

が有るはずである。

(定義3) 仕事量：

客が独自にもつサービスの固有の値を仕事量と呼ぶ。

仕事量は客固有の値である。ゆえに、その値は時刻に無関係な値となる。すなわち、どのくらいの値を待った仕事量を客がシステムに持ち込んでくるかは、時刻に無関係な事柄である。これは、仕事量に強定常性が有ることを示している。さらに、仕事量は互いに無関係の値を持っていることから白色性を有すると考えられる。そこで、仕事量を白色性を持つ入力として捉える。

4. シミュレーション

観測値をどのようにして得るかと言う問題について、我々は、客がシステムから出てくることにより、観測値を得ることが出来ることになるが、客はいつも我々が決めた観測時刻毎にシステムから出て来るとは限らず、むしろ決めた時刻とずれて出てくる方が自然である。

時刻 $t-1$ から時刻 t までに観測値が得られたとき、その観測値のなかで最後に得られた時刻と t とを一対一に対応させて時刻 t における状態とする。これは、観測時刻 t に決めた時、その時刻において判っている観測値は時刻 t までのものである。よって我々が採用する観測値は、時刻 t の直前に得られたものとする。次いで、観測値のタイムインターバルの決め方であるが、我々が、待ちの状態を観測する場合、このタイムインターバルのなかに少なくとも1つ客の出力が必要となる。タイムインターバル中に待ち時間が観測できない状況は、2通り考えられる。1つは、システム中に客のいないときで、もう1つは、システム中に客がいるにも関わらず、サービスが長引いたために観測時刻を過ぎても出てこなかった場合である。前者においては、その時刻の状態変数に平均サービスタイムを選んでおけばよい。後者については次ぎのように考える。いま、有る客 P は自分より前にいる客のサービス終了するまでサービスを受けられず、前にいる客のサービスが終了すると同時に P のサービスが開始されるものとする。 P のサービス開始後、 P がシステムから出るのは、 P のサービスタイムだけ後ろである。タイムインターバルを決定するのに必要なことは、インターバル中に少なくとも1つのジョブ(イベント)が出力されることである。しかし、実際のモデルでタイムインターバルを十分大きくとった場合は別として、任意にタイムインターバルを決めても確率1で、そのイン

ターバル中に客が出て来るとは限らない、また十分とったとしても、予測するときにたった1段を予測するのに、何時間も先になるようでは待ち時間の予測として用いることは出来ない。

そこで、タイムサービスの確率分布 $P(t)$ が判っていればこの分布からタイムインターバル/ までの面積で表される確率で客はシステムから出て来るので、必要とする確率で/ を決めればよい。(図4-1、4-2)

以上の仮定のもとで、2通りのモデルで、2段先のシミュレーションを行った。

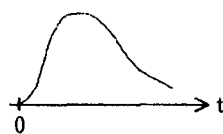


図4-1

サービスタイム確率分布

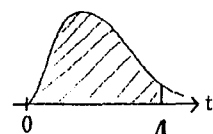


図4-2

インターバルタイム

モデル1 サービス開始後、しばらくしてから待ち時間が増加し始め、サービス終了が近づくにつれて減少する。

モデル2 待ち時間のピークが2回有る。

これらのモデルは、システム内に少なくとも一人の利用者がいるものとし、サービスは9:00から24:00まで行っているものとする。($A(t)$, $u(t)$, $R(t)$ は文献5)、文献6)を参考にした)。

図4-3、図4-4から判るとおり、観測値が変動したとき、その2段先の予測値も同様に変動している。こ

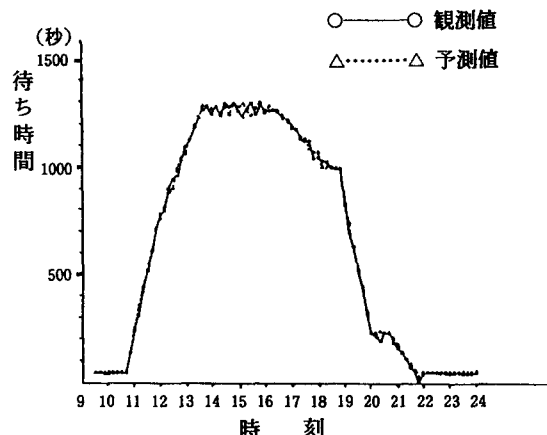


図4-3 モデル1

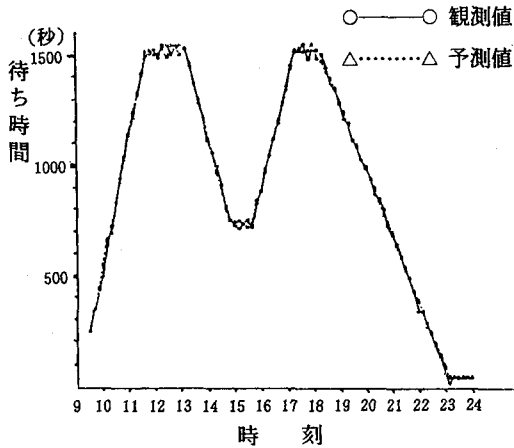


図4-4 モデル2

これは、カルマンフィルタが観測値の動きに追従しようとしていることを表している。つまり、カルマンフィルタによって、逐次観測値の変動による状態空間における状態変数から導かれる最適予測値が得られると示された。このことを用いて、日頃は、定常なサービスを行っているが、何かの原因でサービスが滞った場合、その時点での待ち時間と、何分後にトラブルを解消できるかという予測が可能となる。

5. まとめ

以上述べてきたとおり、本来は、待ち時間と言うものは、確率過程の応用問題として、待ち行列理論を用いて解析されているが、この論文では、待ちを生じるシステムを状態空間として捉えることにより、線形システム理論の応用として扱い、とくに、カルマンフィルタを用いた。システムに到着するジョブ(イベント)には、それぞれ固有の仕事量が有り、又、その仕事量に関して互い

に無相関である、白色性を備えているということに着目した。これにより、状態方程式の入力部の雑音項の白色性が保証されている。元来、待ち行列理論は、定常状態の平均値の状況を把握するために扱い、システム設計には適しているが、システムにトラブルが生じたりした場合の情報提供には向かない。我々の、この予測システムは、観測値が得られればそれをシステムにフィードバックすることによりトラブルの状態を提供できるという画期的なシステムで有る。これは、筆者が病院に行ったときいつも感じたことであるが、一体私は、今から何分後にこの病院を去ることが出来るのだろうか？また、高速道路の渋滞に巻き込まれときなど、目的地には、予定通り着くのだろうか？と言った不安から、何とか予測できないものかと思案した結果生まれた解決方法である。インプット、アウトプットの関係には、必ず待ちが生じる。今後、この解決にフィルタ理論がますます応用される(例えば、文献7))ことを期待する。

参考文献

- 1) 有本卓: "カルマンフィルタ"、産業図書
- 2) 砂原善文: "確率システム理論 I 基礎編"、朝倉書店
- 3) 木村英紀: "デジタル信号処理と制御"、昭晃堂
- 4) 砂原善文: "確率システム理論 III 応用編"、朝倉書店
- 5) 佐和隆光: "回帰分析"、朝倉書店
- 6) 多喜正城: "バッチジョブ処理の回帰分析より"、全国共同利用大型計算機センター研究開発論文集 No. 2 pp. 161-167 (1980)
- 7) 多喜正城: "アダプティブデジタルフィルタによる待ち時間予測" 全国共同利用大型計算機センター研究開発論文集 No. 6 pp. 90-96 (1984)

アドアトムによる二価アルコールのアノード触媒酸化

泉 生 一 郎 ・ 大 西 康 幸

Electrocatalytic Oxidation of Dihydric Alcohols on Platinum Modified by Ad-atoms

Ikuichiro IZUMI and Yasuyuki OHNISHI

The electrocatalytic oxidation of dihydric alcohols has been investigated on platinum electrodes modified by foreign metal ad-atoms. The enhancement catalytic effects are found with Cd, Zn and Cu ad-atoms. An explanation, based on voltammetric characteristics, is suggested to interpret these enhancement effects.

1. 緒 言

担体となる電極の表面に、一原子層以下の異種原子を原子状に分散させた電極はアドアトム電極と呼ばれている¹⁾。アドアトムイオンを含む溶液から UPD (underpotential deposition) で生じた金属アドアトムによって、電極反応の過電圧が低下したり反応速度が増大することはすでによく知られている^{2)~5)}が、このことは新たな触媒論の展開と触媒設計の可能性が期待でき、ここ10年ほど前から強い関心もたれている。

筆者らは既報で、低級アルコールのアノード酸化に対する添加金属カチオンの影響について調べ、主に、アドアトムである Cd_{ad} の顕著な触媒効果を見出している⁶⁾⁷⁾。本研究ではさらに、エチレングリコール、プロピレングリコール、1,3-ブタンジオールの3種の二価アルコールについて、硫酸溶液中でのアノード酸化に対する金属アドアトムによる影響を調べ、活性増加について電流-電位特性からの考察を行った。

2. 実 験

2.1 試薬と電極

実験に供した硫酸塩 (CdSO₄、ZnSO₄、CuSO₄) および二価アルコール (エチレングリコール、プロピレングリコール、1,3-ブタンジオール) はすべて市販特級品で、基礎液には 1 mol · dm⁻³ H₂SO₄ を用いた。電極として作用極には長さ 1 cm で 1 mm φ の白金線を、対極に

は平滑白金板 (1.0 × 1.5 cm²) をそれぞれ使用し、電極の前処理は主に混酸 (硫酸と硝酸の等容積混合液) に約 10 分間電極を浸すことによって行った。

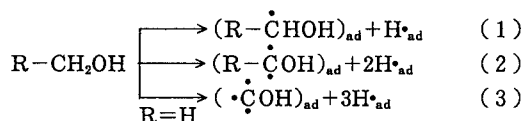
2.2 電流-電位曲線の測定

サイクリックボルタンメトリーによる電流-電位曲線の測定は、ポテンシオスタット (北斗電工、HA-501) とポテンシャルプログラマー (日亜、S-5B) を用いて、100 mV · s⁻¹ の電位走査速度で実施し、走査のくり返しで得られた定常曲線を扱った。なお、用いた電解セルは両極室をガラスフィルターで仕切ったH型のもので、測定は 30 ± 0.2°C の恒温槽中で行った。電極電位はすべて飽和甘コウ電極基準 (vs. SCE) で記した。

3. 結果と考察

各種低級アルコールを含む硫酸溶液についてサイクリックボルタンメトリーを行うと、通常、アノード電位走査において電気二重層から白金酸化層領域の始めにかけての 0 ~ 0.6V と白金酸化層領域の 0.6 ~ 1.3V の各電位領域に、アルコール酸化に基づくアノード電流が観察される。これは炭素数 4 までの低級アルコールのうち第 3 級ブタノールを除くすべてのアルコールについて見られ、これらのアルコール酸化は電流-電位曲線の形状が異なるだけで本質的には類似の酸化反応に帰すことができる⁸⁾⁹⁾。すなわち、電気二重層領域から立ち上がりを見せる低電位でのアノード電流はアルコールの電極上への解

離吸着 ((1)~(4)式) に起因し、他方、白金酸化層領域では



アルコールおよびその解離吸着で生じた中間生成物の白金酸化層との反応 (5)、(6)式) が優先しているものと

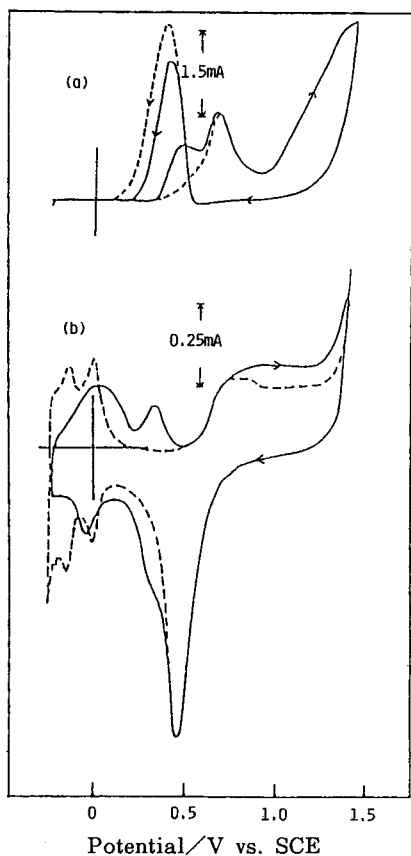
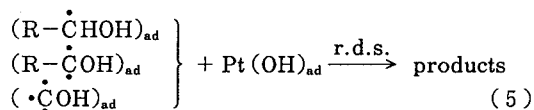
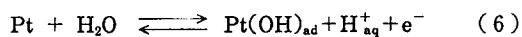


Fig. 1 Current-potential curves of $1\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ethylene glycol (a) and $1\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ H_2SO_4 (b) on smooth platinum electrode at $100\text{mV} \cdot \text{s}^{-1}$
 — : With $10\text{mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ CdSO_4
 : Without CdSO_4



考えられる。なお、添字 (ad) は電極表面に吸着した状態、(aq) は溶液中に存在することを表わす。

電流-電位特性からみる限り、このような低級アルコールのアノード酸化挙動は二価アルコールについても同様で⁹⁾¹⁰⁾、Fig 1 と Fig 2 には基礎液の $1\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ H_2SO_4 にエチレングリコール、プロピレングリコール、1,3-ブタンジオールの各 $1\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ を含む溶液と、それらに $10\text{mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ CdSO_4 を添加した溶液についての電流-電位特性を示している。いずれの二価アルコールについても、 CdSO_4 の添加によりおよそ 0.3V から著しいアノード電流の立ち上がりが見られた。

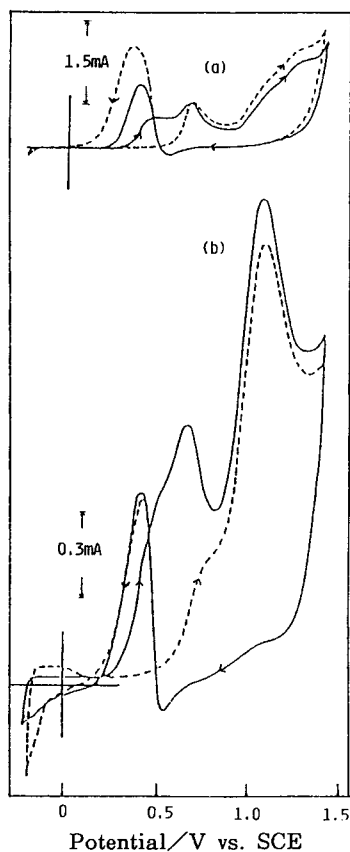


Fig. 2 Current-potential curves of $1\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ propylene glycol (a) and $1,3\text{-butanediol}$ (b) on smooth platinum electrode $100\text{mV} \cdot \text{s}^{-1}$
 — : With $10\text{mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ CdSO_4
 : Without CdSO_4

Fig 1-(b)に示すように、硫酸溶液中での Cd^{2+}/Cd 系の redox 電位は約 0.3V で、二価アルコールのアノード酸化電流が触媒的に増大し始める電位とほとんど一致していることがわかった。しかし電極上に析出した原子状 Cd (アドアトム) の酸化電流は、この電位領域で増加したアノード電流に比較して極めて微小であった。これらのことから、 Cd_{ad} が二価アルコールの酸化を触媒的に進める重要な役割を受持っているものの、アノード電流の著しい増加は、単に、 Cd_{ad} から Cd^{2+} への酸化による電流を表わすものではないことが明らかである。

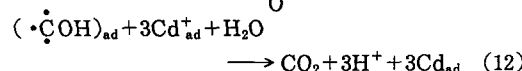
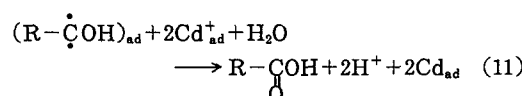
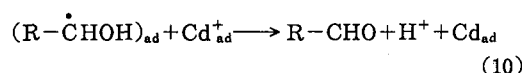
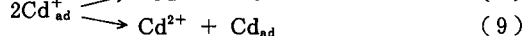
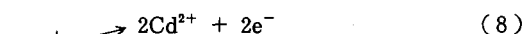
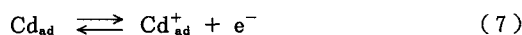
Fig. 3 は 1,3-ブタンジオールのアノード酸化に対する $CdSO_4$ の添加効果について、アノード方向への電位走査の開始電位 (E_i) を 0V から 0.5V まで変化させてサイクリックボルタンメトリーを行ない調べたものである。電極上に Cd_{ad} が存在するとみられる 0.3V までの開始電位では明らかに活性増加が見られ、 Cd_{ad} よりもむしろ Cd^{2+} イオンとして存在する 0.45V よりも高い開始電位では、逆にアノード酸化電流が抑えられる傾向を示した。このことは二価アルコールのアノード酸化における活性増加が、 Cd^{2+} イオン自体が関与する溶液内触媒反応には起因しないことを示唆するもので、Fig. 1~3 の $CdSO_4$ 添加による影響が、他の電位領域に抜き出て電気二重層領域において特に著しいことからもうなずける。

そこで活性増加をもたらすのは Cd_{ad} ということになるが、これはあくまでも白金電極上のアドアトムとしての活性増加作用であって、Cd 自体が二価アルコールの酸化に対する触媒活性をもつわけではない。なぜなら、原子状 Cd はアルコールから水素原子を解離する能力に乏しく、またカソード電位走査で観察される陽電流ピーク (電極の活性化現象) が Cd^{2+} イオンの還元で Cd_{ad} が生じるおおよそ 0.3V 以下の電位でむしろ抑制されるからである。このことは、Fig. 1、2 のエチレングリコールとプロピレングリコールの酸化に対する $CdSO_4$ の添加効果において最も顕著に見ることができる。

これらの結果に加えて、従来、酸性溶液中でのアルコールのアノード酸化過程において、(5)式にあるような中間生成物の電極からの脱離過程が反応速度を支配するものとされている¹¹⁾ことを考慮すると、本研究での触媒的な酸化反応は、二価アルコールの酸化で生じた中間生成物の脱離がアドアトムにより促され、電極上での中間生成物の蓄積が妨げられることによって生起するものと推測される。また、いずれの二価アルコールについてもアノード走査時の触媒的に酸化電流が増加し始める電位が、カソード走査時に観察される活性化電流ピークの下りきった電位にほぼ一致しており、カソード走査時における中

間生成物の酸化脱離による電極の活性化と同質の触媒的な酸化脱離が、アノード走査時にも起こっているものと考えられる。このような活性増加は、 $ZnSO_4$ や $CuSO_4$ の添加によっても見出されたが、 $CdSO_4$ ほどの効果はなかった。

以上の二価アルコールからの中間生成物の触媒的な酸化脱離は、低級アルコールのアノード酸化において筆者らがすでに報告⁶⁾⁷⁾した、 Cd_{ad}^+ が介在する触媒機構に従って(7)~(12)式のように記すことができる。



なお、金属アドアトムによる触媒活性の発現を説明するモデルとして、(1)アドアトムにより H_{ad} の存在が抑えられ、中間生成物との反応で強吸着種 (poison) が生成するのを抑えるとする説¹²⁾、(2)アドアトムを導入することによって、poison の多点吸着を許すような隣接白金原子の集合サイト (colony) を減少させ、結果的に活性増加をもたらすという "third body effect"¹³⁾、(3)アドアトムが白金より容易に酸素を吸着し、それが白金上に吸着した有機種と反応して活性増加の原因となる "bifunctional 機構"¹⁴⁾ など、これまでいくつか提案されてきているので、今後これらのモデルを含めて上記触媒機構に対するさらに詳細な検討を加えていく予定である。

4. 結 言

酸性溶液中、白金電極での二価アルコールのアノード酸化におよぼす共存 Cd^{2+} イオンの効果について主に検討し、以下の結論を得た。

(1)サイクリックボルタンメトリーによる電流-電位特性において、 $CdSO_4$ の添加により、 Cd/Cd^{2+} 系の redox 電位にあたるおおよそ 0.3V から二価アルコールのアノード酸化電流が触媒的に増大することがわかった。この電流増加は単なる Cd_{ad} から Cd^{2+} への酸化ではなく、

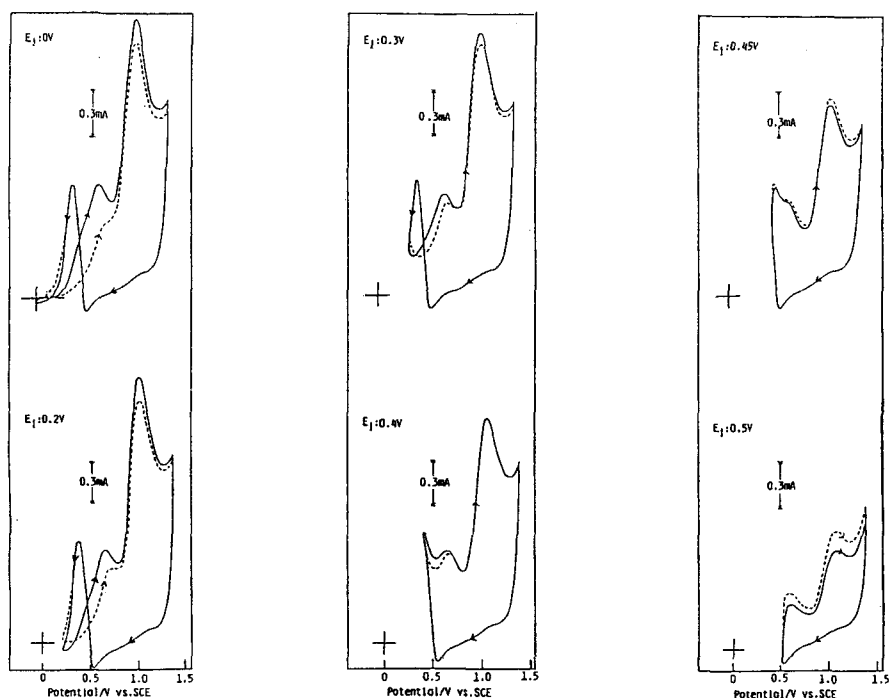


Fig. 3 Current-potential curves of $1\text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 1,3-butanediol on smooth platinum electrode at various initial scanning potentials (E_i)

— : With $10\text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}\text{CdSO}_4$

..... : Without CdSO_4

また Cd^{2+} イオン自体が関与する溶液内反応でもないことが示唆された。

(2)カソード走査時における中間生成物の酸化脱離による電極の活性化と同質の、アドアトムが関係した触媒的な酸化脱離がアノード走査時にも起こっているものと考えられた。

(3)このアドアトムによる二価アルコールのアノード触媒酸化を、 Cd_{ad} から生じた Cd^+_{ad} のような活性種が中間生成物を触媒的に酸化脱離させるとする既報の触媒機構に従って考察した。

本研究を行うに当たり、実験に協力していただいた西山公典氏に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 渡辺政広、電気化学 53、671 (1985)。
- 2) D. M. Kolb, Adv. Electrochem. Electrochem. Engng 11、125 (1978)。
- 3) N. Furuya and S. Motoo, J. Electroanal. Chem. 98、189 (1979)。
- 4) 本尾 哲、電気化学 48、84、328 (1980)。
- 5) B. D. McNicol, J. Electroanal. Chem. 118、71 (1981)。
- 6) 泉 生一郎、日本化学会誌 1982、873 (1982)。
- 7) 泉 生一郎、大西康幸、電気化学 50、413 (1982)。
- 8) E. Sokolova, Electrochim. Acta 20、323 (1975)。
- 9) 泉 生一郎、奈良高専研究紀要 16、61 (1980)。
- 10) 大植正敏、泉 生一郎、ibid. 12、109 (1976)。
- 11) 高橋祥夫、樋口俊一、三宅義造、電気化学 39、590 (1971)。
- 12) K. Jüttner and W. J. Lorenz, Electrochim. Acta 21、117 (1976)。
- 13) H. Bort, K. Jüttner and W. J. Lorenz, J. Electroanal. Chem. 90、413 (1978)。
- 14) A. Bewick and B. Thomas, J. Electroanal. Chem. 65、911 (1975)。

遺跡出土木材の超音波診断法による非破壊的研究 (I)

(針葉樹出土木材の診断例)

石垣 昭・上田 勝彦

Non-Destructive Investigation on the Internal Structures of Waterlogged Archaeological Woods by Ultrasound Echography (I)

(Examples of the Ultrasound Echogram Obtained from Waterlogged Softwoods)

Akira ISHIGAKI・Katsuhiko UEDA

Non-destructive observation on the inner structures of the waterlogged archaeological soft woods were investigated by ultrasound echography. Electronic linear ultrasound scanner has been used. This instrument is generally used in most medical purpose.

The heartwood region of the waterlogged wood of pinus reveals characteristic ultrasound echoe such as acoustic shadow. Mass transfer phenomena in the heartwood region are somewhat different from that in the neighboring region.

The waterlogged wood of chamaecyparis reveals characteristic ultrasound echo pattern correspond to the radial face pattern of chamaecyparis even almost sinked in the soft clayish ground.

1. 緒 言

超音波を用い、物体内部の情報を非破壊的にリアルタイムで得る方法は広範な分野で応用されている。しかしながら文化財の非破壊調査法として応用された例は少ない。これは、超音波装置がこれまで比較的高価であったことと、超音波が相当なエネルギーを有しており、貴重な文化財に不測の損傷を与える恐れを抱かせていることが大きな理由と考えられる。

しかし現在、超音波を用いて人体内部の臓器を非破壊的に、リアルタイムに診断する方法が医療分野に広く利用されており、X線CT法やNMR法と並んで非破壊的診断法の大きな柱となっている。超音波法はX線CT法やNMR法に比べて分解能が劣るが、装置ははるかに廉価になってきている。また使用する超音波もパルス波であるため瞬間的なパワーは大きくても時間平均してはエネルギーが小さく、連続波に比べて安全度が高い¹⁾。

今回の一連の研究では文化財への超音波法の適用にあたり、人体の含水組成(約60%)よりもさらに含水率

の高い水浸出土木材の内部構造診断への応用を取上げ、安全かつ非破壊的に診断する可能性について研究することとした。

現生材や乾燥材は水分が少なく固体の表面で音波を反射するため、医療用の超音波診断装置での診断は期待できない。しかし、水浸出土木材では含水率が高く、人体同様、超音波診断の可能性が期待できる。

近年、各種の規模の地域開発にともなう緊急発掘調査や、本格的な学術的な発掘調査の過程で貴重な木質埋蔵文化財の発見が相次ぎ、これまでの金属器や石器、土器中心の考古学、歴史学的研究に、出土木器類の重要性が再認識されつつある。

木質は風化しやすいため、通常、発掘時に原形を留めて出土する例は少ない。しかし、低湿地の地下水水位に埋没した状態で発掘された木質はほぼ原形を留め出土する。ただ、長年月にわたる埋没状態での腐食の進行によってセルロース、ヘミセルロース等の多糖類が分解し、しかも、その分解の程度が局所的に異なり、周辺部になるほど分解程度が高い²⁾。

これらの出土木材は木質の成分が分解したあとの導管、仮導管に多量の水分を含み、自然乾燥によって著しく収縮する。このため、資料価値の高いものは、PEG 含浸処理や凍結乾燥法等によって水分を置換または除去して保存処理されるが、含水率が不均一であると保存処理中あるいは処理後の不測の変形や割れにつながる可能性があり保存技術上の大きな問題となっている。

したがって含水率の分布に関係する内部の腐食状態等、内部の状態をなんらかの方法で非破壊的に診断する方法が見出されれば、貴重な水浸出土材の保存科学の発展に資することができよう。

本報告では、このような観点から水浸出土材を対象とする超音波診断法の適用の可能性について、主として針葉樹出土材を対象に基礎的研究を行った成果を述べる。なお、広葉樹水浸出土材を対象とする超音波診断法の適用の可能性については別途報告する。

2. 実験方法

2.1 試料および測定装置

出土木材試料として奈良国立文化財研究所より提供を受けた各種の出土材のなかから針葉樹としてマツ（含水率約 700%）ならびにヒノキ（含水率約 550%）を選び使用した。

超音波診断にはリニア電子走査超音波診断装置（島津 SDL-150 型）を使用し B モード法で測定した。この装置は医学的診断を目的とし 3.5 MHz と 5.0 MHz の 2 種類の探触子（トランスデューサ）を備えているが、今回は主として分解能では劣るが、より探部まで観測しやすい 3.5 MHz の探触子を使用し、一部、5.0 MHz を用いた。

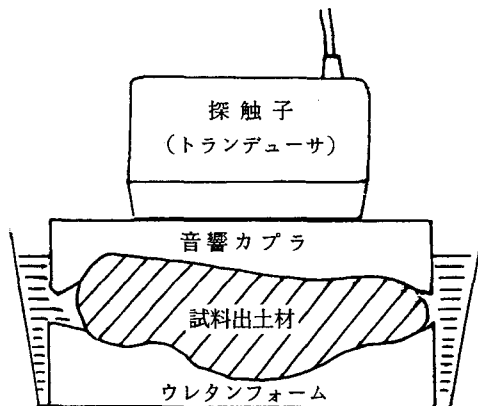


図 1. 測定法(1) 音響カプラーを使用した場合

2.2 測定方法

測定は水中に試料を浸漬し、弾力性のあるゲル状の音響カプラーを載せ、その上から探触子で測定した。容器の底から音波の反射による影響を少なくするため試料の下に音波を吸収しやすいウレタンフォームを敷いて観測した。（図 1）。

音響カプラーは島津ソノコンタクトを用いた。これを用いると試料と探触子のあいだに均質なゲルが密着し、比較的、表面に近い部分に焦点を合わせることができ鮮明な画像が得られやすい。

比較的、深部に焦点をあてる必要がある場合は、音響カプラーを使用しないほうが好結果が得られる。この場合、試料を水中に固定させ、探触子の発信部を浅く水に漬けて測定する（図 2）。

ヒノキでは、発掘現場での測定を想定してのテストとして、粘土中に出土材が殆ど埋没した状態での測定を試みた。粘土は市販の陶器製造原料用をそのまま使用し、出土木材を粘土の中に埋め込み、探触子からの音波を直接受けられる程度に表面を露出させ、その上に音響カプラーを載せて測定した。この場合は水中では測定できないので音響カプラーと出土木材表面の間に空気層ができないよう水でよく濡らせる等の注意を要する。

2.3 超音波画像処理

今回使用した超音波診断装置には医療診断に適した各種の画像処理機能を有しているが、これらは必ずしも出土木材の診断に適しているとは言えない。そこで信号を画像処理システム³⁾に取込み各種の画像処理によって診断を容易にすることを試みた。

このシステムのハードウェア構成を図 7 に示す。

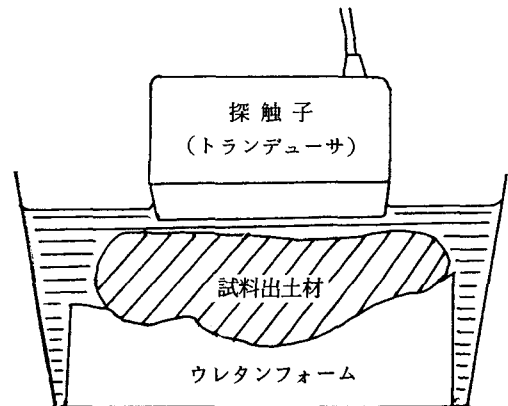


図 2. 測定法(2) 音響カプラーを使用しない場合

このシステムへの超音波信号の入力は超音波診断装置よりのリアルタイムでの直接入力と診断装置に付属するフロッピーディスクユニットを介してフロッピーディスクケット (FD2D, 1MB) に記録させた信号を随時取り出して入力する両方式で行った。

3. 結果と考察

3.1 マツ出土材の診断例

今回使用した試料は直径約7から8cmの丸太で出土したものを厚み約3cmに切断したものである (写真1参照)。

この試料について写真2の木口に相当する断層像を観

測すると写真3に示すようなTVモニタ画像が得られる。写真2の外観から判断する限り均質な出土材であるように見えるが、中心部に顕著な音響陰影 (acoustic shadow) を示す。これは超音波の透過性がこの部分で特に低くなっていることを示す。

写真3は超音波診断装置のTVモニタの映像をポラロイドカメラで撮影したものであるが、この画像の超音波信号 (6 bit, 64階調) を図7の画像処理システムに取り込んで反転強調処理し、さらに画素濃度を8階調に変換してプリンタで打出すと、図3のように音響陰影部分をより明瞭に示すことができる。この部分は年齢の中心に近く比較的堅い材質で、恐らく腐朽の進行が少なく含水率も周辺部に比較して低いと予想される。



写真1 試料マツ出土材の外観 (1)

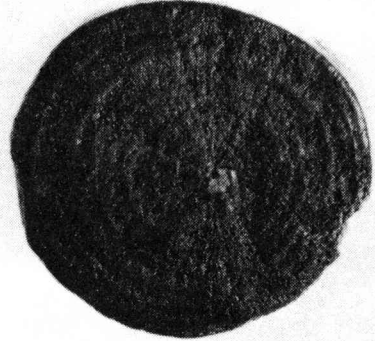


写真2 試料マツ出土材の外観 (2)

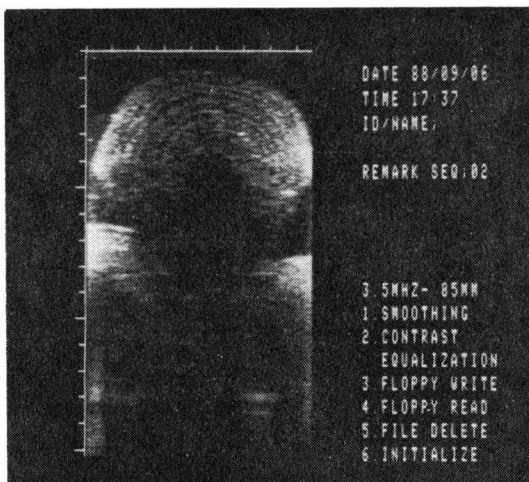


写真3 試料マツ木口の超音波断層像 (モニタ画像)

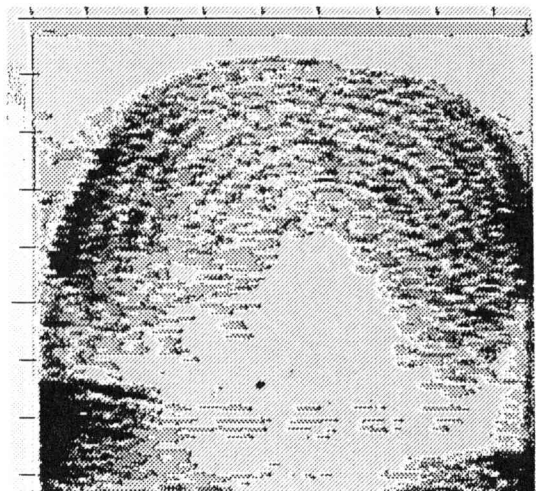


図3 画像処理後の超音波断層図 (同左)

松田²⁾はマツ出土材について年輪方向の含水率分布を調べ、ヤナギやクルミ等の広葉樹出土材に比較して心材部と辺材部の含水率に著しい差がないと報告している。しかし今回の出土材のように木心部の腐朽があまり進行していない場合もあり得ると考えられる。

このような特異なエコーを示す部分が木心を中心としてどのように分布しているかについて、写真1に示す試料の木口面の木心部を通り互いに直交する2方向について、年輪に直角な柁目方向の超音波断層を調べた。その画像処理後の結果を図4および図5に示す。この結果より、この試料では特異なエコーを示す部分は木心の周囲に同心円状ではなく、偏心した楕円形に広がって分布していることが分る。

このように年輪に対して直角な軸方向の診断は出土した丸太のまま切断しないで行うことはできないが、丸太の場合でも今回の資料のように直径が10 cm以下であれば色々な角度から木口の断層像について音響陰影を示す特異な部分を総合的に調べることで、特異なエコーを示す部分を非破壊的に特定することは原理的に可能である。

つぎに、このような特異なエコーを示す部分が薬品類の浸透に際しどのような影響をおよぼすかは、保存薬品の浸透性と関連して興味ある問題である。

先に著者らは出土木材の年輪年代測定に適用できるような年輪のX線造影法を研究し報告した⁴⁾⁵⁾。この際、今回使用したものと同一の試料を輪切りにしたもの(厚み1 cm)を用いて年輪面的一方からチオグリコール酸を

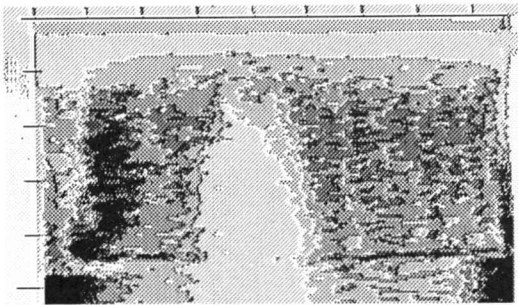


図4 試料マツ柁目の超音波断層像(画像処理後)

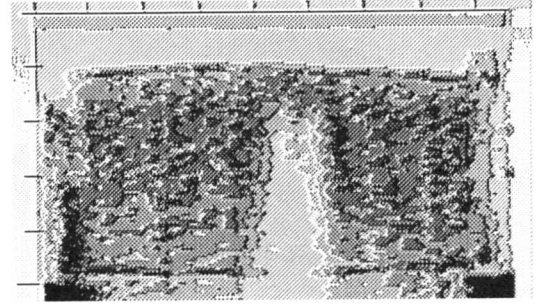


図5 同左に直角方向の柁目の超音波断層像

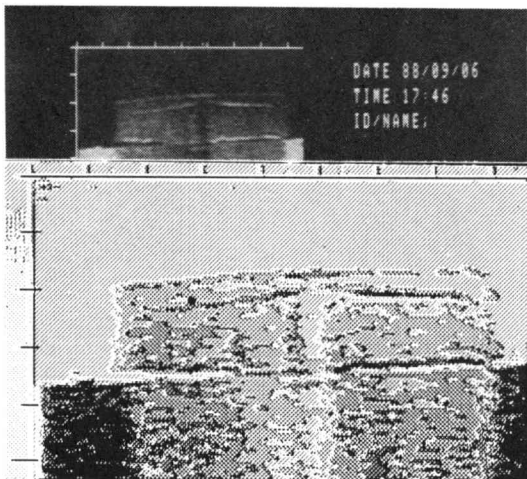


写真4 チオグリコール酸銀処理したマツの断層像(1)
(上はモニタ画像、下は画像処理後の画像)

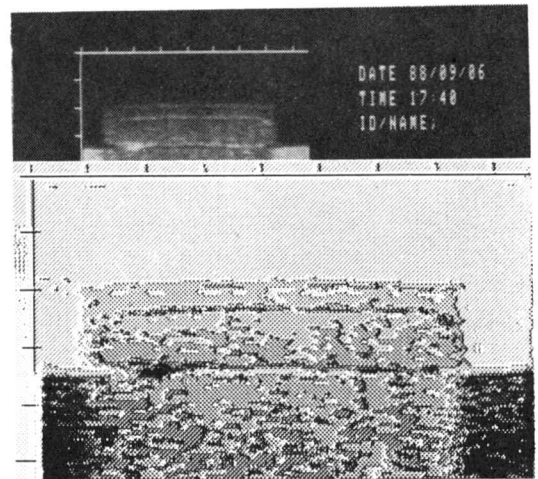


写真5 チオグリコール酸銀処理したマツの断層像(2)
(上はモニタ画像、下は画像処理後の画像)

一昼夜浸透させ、リグニンと反応させてから硝酸銀で造影処理した。今回この造影試料について年輪に直角な軸方向から造影処理した面に超音波を当てて、そのエコーを観測した。この結果を写真4と写真5に示す。

写真4は木心部を通る位置、写真5は木心部を外した位置での観測結果である。表面から浸透したチオグリコール酸が銀塩となって沈着した部分がエコーを示す。この結果、木心付近の音響陰影を示す部分に近づくにつれてチオグリコール酸の浸透が遅れている。この事実は他のPEGやt-BuOH等の保存薬品の含浸過程にも当てはまろう。このことは超音波診断法が保存含浸処理に必要な情報を得る有力な手段として利用できることを示唆する。

3.2 ヒノキ出土材の診断例（粘土層内での診断）

今回使用した試料は幅約10cm、厚み約3cm、長さ約50cmの偏平な板状で出土したヒノキを端から約12cm切り取ったものである（写真6参照）。

この試料について柁目の断層像を水中で観測すると画像処理後、図6（上）に示すようなヒノキの特徴のある柁目の断層像が得られる。

一般に出土木材は水分を充分含む粘土層から出土する場合が多い。そこで、今回、この試料について粘土層に埋蔵された状態での超音波診断の可能性を検討した。

この結果、粘土に完全に埋没した状態では、厚みが約1cm程度の粘土層を被った状態では超音波画像としてのヒノキの特徴を捉らえることはできなかった。しかしながら、出土材の一部が粘土層の表面に露出している状態では、その部分に音響カプラをのせて試料表面に密着させ観測すると図6（下）に示すように、水中と同様、ヒノキの特徴を良く捉らえることができる。

このことから発掘現場でリアルタイムに出土材の情報を得ることが原理的に可能であることが判明した。ただし、観測例が少ないのでさらに事例を増やし研究を進める必要がある。また、実用化のためには発掘現場で持ち運びが可能なコンパクトな装置の開発が必要である。

4. 結 言

出土木材の内部の非破壊的超音波診断技術について、主として針葉樹出土材を対象に基礎的研究を行い、つぎの成果を得た。

- 1) 保存薬品の浸透性が低い特異な部分の特定が音響陰影(acoustic shadow)の総合的判定により可能である。
- 2) 粘土層に埋没した出土材でも一部が露出していればその部分から非破壊的に内部の状態を非破壊的に観測し、内部の木質の情報を得ることが可能である。



写真6 試料ヒノキ出土材の外観

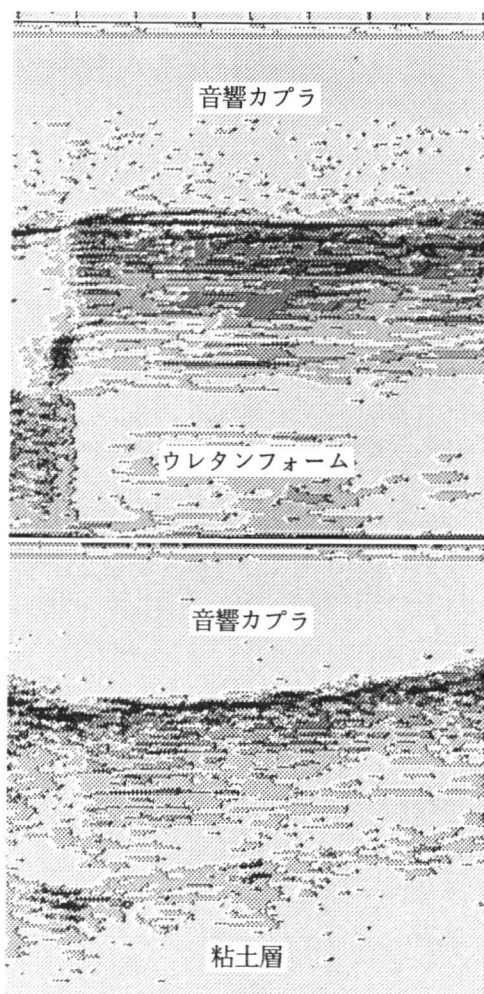


図6 画像処理後のヒノキ柁目の超音波断層像
(上図は水中で測定、下図は粘土中に埋めて測定)

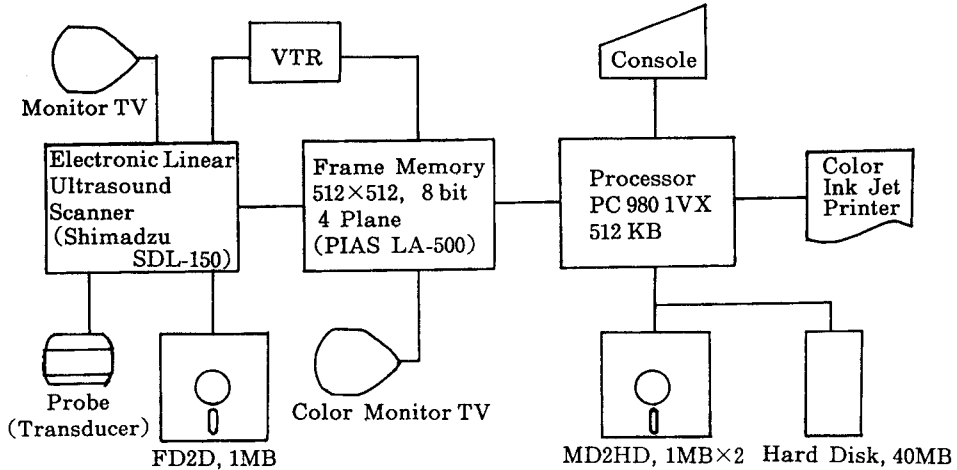


図7 本研究で使用した画像処理システムの構成

謝 辞

この研究を遂行するにあたり、貴重な出土木材試料を提供して頂いた奈良国立文化財研究所の関係者の皆様に厚くお礼申し上げます。

この研究は昭和62年度より2年間にわたり文部省科学研究補助金（一般研究B）の助成を受けて行った研究成果に基づいている。ここに付記して感謝する。

また、この研究の発展に卒業研究を通じて多大の貢献をして頂いた宮本和恭、八尾健司、植木利也の諸君に感謝する。

文 献

- 1) 根岸勝雄、高木堅志郎：超音波技術、p.p. 16 (1984), 東京大学出版会
- 2) 古文化財編集委員会：考古学・美術史の自然科学的研究、p.p. 602 (1980), 日本学術振興会
- 3) 石垣 昭、上田勝彦：昭和61年度科学研究補助金（試験研究(2)）研究成果報告書（1987）
- 4) 石垣 昭、上田勝彦：奈良高専研究紀要、第22号（1986）, 75
- 5) 石垣 昭：奈良高専研究紀要、第23号（1987）, 43

遺跡出土木材の超音波診断法による非破壊的研究（Ⅱ） （広葉樹出土木材の診断例）

石 垣 昭・上 田 勝 彦

Non-Destructive Investigation on the Internal Structures of Waterlogged Archaeological Woods by Ultrasound Echography (Ⅱ) (Examples of the Ultrasound Echogram Obtained from Waterlogged Hardwoods)

Akira ISHIGAKI・Katsuhiko UEDA

Non-destructive observation on the inner structures of the waterlogged archaeological hardwoods were investigated by ultrasound echography. Ring-porous and diffuse-porous waterlogged hardwood blocks were used.

In case of necessity, the echoe signals from ultrasound scanner input to the digital image processing system to enhance the characteristic ultrasound echoes caused by distinct heterogeneous regions in the waterlogged woods.

The inner distribution of cracks in the waterlogged wood can be easily detected by ultrasound echography.

More heterogeneous part such as tyrosis in which tissue filled by resinous substance reveals characteristic shadows on the ultrasound echogram.

1. 緒 言

現在、医療分野で汎用されている電子走査超音波診断装置による医学的診断法では非破壊的に人体内部の断層像をデジタル信号として取り出し、モニタTV画像による診断を容易にするための各種のデータの蓄積や画像処理法が行われている。しかし出土木材への超音波診断法の応用については、これまで全く例がなく、人体の内部の各種臓器の超音波法による診断が医学的に多くの症例をもとに確立されているのに比較して、その診断に必要な情報や、診断を容易にするための画像処理法等は全く白紙の状態にある。

そこで、著者らは人体よりも多量の水分を含む出土木材を対象に、その内部構造を非破壊的に超音波法で診断するための基礎的研究を各種出土木材を対象として行い興味ある知見を得、針葉樹出土材の診断例を中心に前報に報告した¹⁾。

本報告では前報に引続き、針葉樹とともに出土例の多い広葉樹出土材についての診断を中心に報告する。

一般に広葉樹出土材は針葉樹出土材に比較して、腐食の程度が激しく、含水率がさらに高い²⁾。したがって針葉樹出土材よりも脆く、外力でひび割れが発生しやすい。

一般に、出土木材は発掘直後、空気に触れて表面が黒褐色に変色するため、表面のひび割れすら判別し難く、仮に判別できても内部へのひび割れの進行状態を非破壊的に判定することは全く不可能である。

このような内部の情報が非破壊的に事前に得られれば、保存処理に際して、ひび割れの進行を防ぐための事前措置を施す等、より改良された保存処理法に発展させることが可能になる。

このほか局所的な樹脂の充填層の分布状態の診断も興味のある課題である。このような樹脂層の存在は良く知られているが、その分布状態を非破壊的に知ることが困難で、その保存用薬品類の浸透に及ぼす影響についても全く知られていない。

本報告では広葉樹出土材について、非破壊的に内部のひび割れの発生状態や、樹脂層の分布状態についての診断の基礎的知見を述べる。

2. 実験方法

2.1 試料および測定装置

出土木材試料として奈良国立文化財研究所より提供を受けた各種の出土木材のなかから広葉樹環孔材（含水率約1000%）と広葉樹散孔材（含水率約500%）を選び使用した。ただし、その樹種まで確定することはできなかった。

測定装置は前報に示したリニア電子走査超音波診断装置（島津SDL-150型）を使用しBモード法で測定した。今回も主として3.5MHzの探触子を使用した。これは分解能では5.0MHzの探触子よりやや劣るが、より深部まで観測可能なためである。

また、前報で使用した画像処理システム³⁾に超音波信号を取り込み各種の画像処理によって診断を容易にすることを試みた。

2.2 測定方法

前報で測定に関する基本技術が確立されたので、この方法に準拠し、水中に試料を浸漬し弾力性のあるゲル状の音響カプラ（島津ソノコンタクト）を載せ、その上から探触子で測定した。

広葉樹出土材を対象とする場合、前述のように針葉樹出土材よりも一般に含水率が高く、極めて脆い状態になっている。そこで探触子を押しつける際、弾力性のあるゲル状の音響カプラが貴重な試料の破損を防ぐ緩衝材の役割を果たす。音響カプラを使用しない場合は、できるだけ表面に触れないか、触れても破損しないように軽く探触子を接触させて測定する必要がある。

3. 結果と考察

3.1 広葉樹環孔材の診断例

今回使用した試料環孔材は奈良国立文化財研究所より供与された時点で、すでに大型の出土材よりブロック状に切断されたもので、その外観を写真1ならびに図1に示す。この試料は側面に亀裂が走っている。（図1参照）。

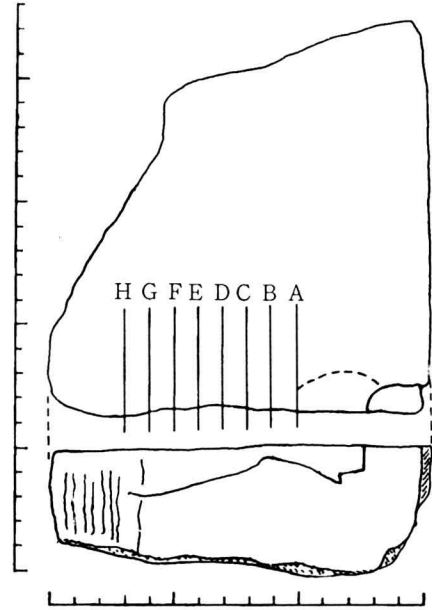


図1 試料広葉樹環孔材の実測図

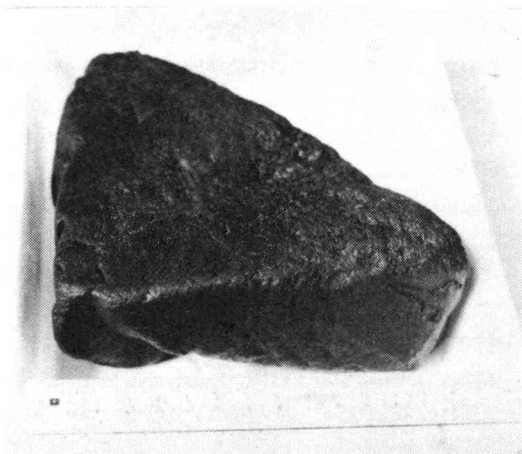


写真1 試料広葉樹環孔材の外観

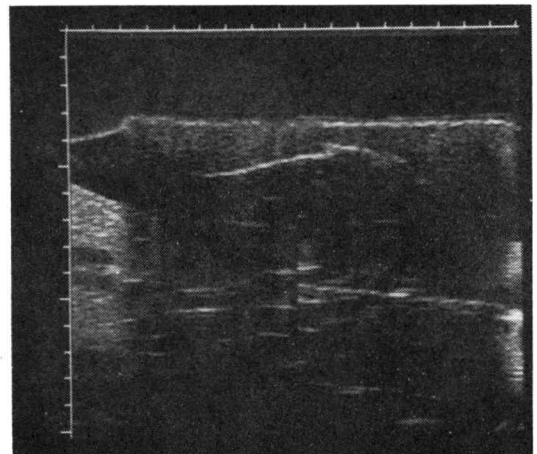


写真2 試料広葉樹環孔材の超音波画像(1)

そこで木口面に直角方向に亀裂に近い部分の断層像を水中で超音波で観測すると写真2のような画像がモニターで得られる。これは外部から観察される亀裂の状態とよく対応している。

このように超音波診断法は出土木材内部の亀裂の発生状況を知るための有力な方法と言えよう。ただ、音波の進行方向に対し直角の方向(写真2では横方向)の亀裂は音響増強効果(acoustic enhancement)のため比

較的、明瞭なエコーが観測できるが、平行に走っている亀裂(写真2では縦方向)は音響増強効果が期待できないため、エコーが不明瞭になる難点がある。

つぎにこの亀裂が写真2の断層像と直角の方向にどのように進行しているかを調べるため、写真2の奥行きに相当する面内の断層像を観測した。この結果を写真3、写真4に示す。この写真は図1のAからD、EからHに探触子を当て、各断層像をそれぞれ4画面で示している。

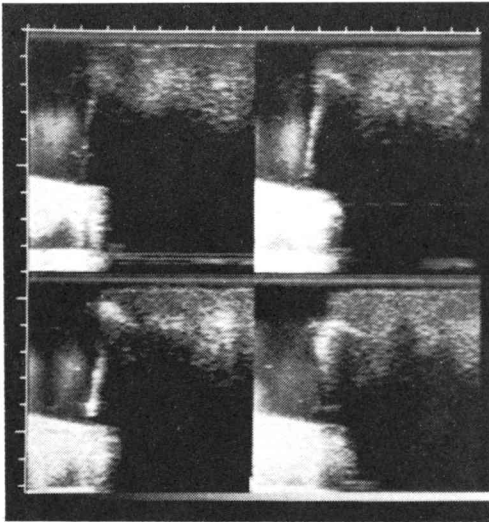


写真3 試料広葉樹環孔材の超音波画像(2) 図2参照

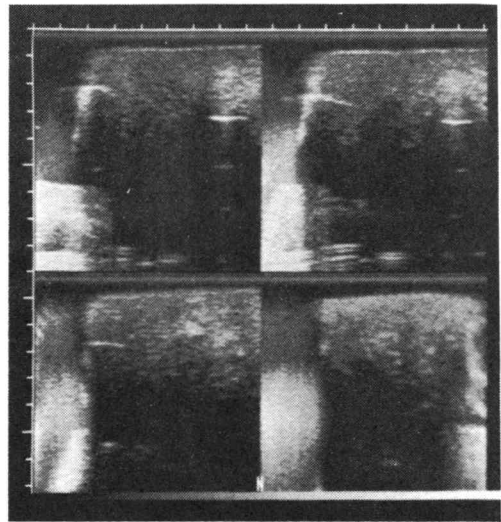


写真4 試料広葉樹環孔材の超音波画像(3) 図3参照

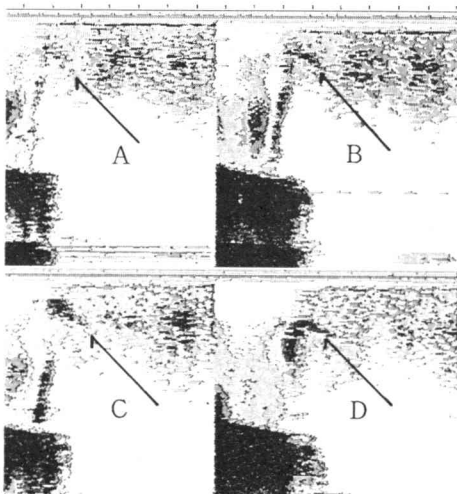


図2 同上の画像処理後の超音波画像(1)
記号A~Dは図1のA~Dの各観測位置を示す。
各断面における割れ目の発生状態を矢印で示す。

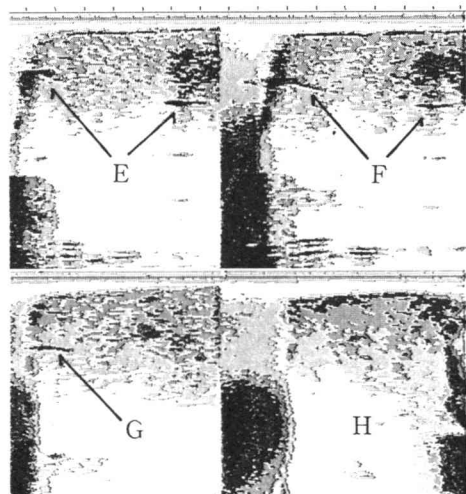


図3 同上の画像処理後の超音波画像(2)
記号E~Hは図1のE~Hの各観測位置を示す。
各断面における割れ目の発生状態を矢印で示す。

写真3と写真4の画像の超音波信号（6 bit, 64階調）を画像処理システムに取込んで反転強調処理し、さらに画素濃度を8階調に変換してプリンタで打出すと、図2と図3の矢印で示すように各部分への亀裂の進行状況をより明瞭に知ることができる。

このように超音波診断法は出土木材のひび割れの進行状態を非破壊的に観測するための有力な手段となる。



写真5 試料広葉樹散孔材の外観

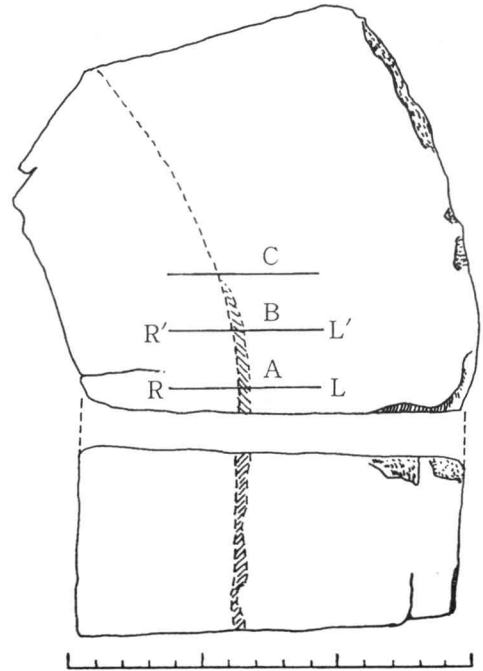


図4 試料広葉樹散孔材の実測図

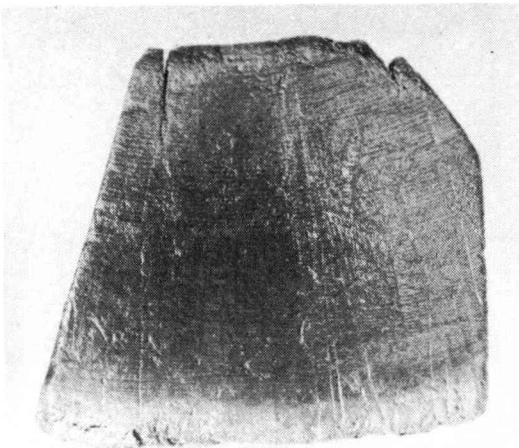


写真6 試料広葉樹散孔材の外観（木口面）

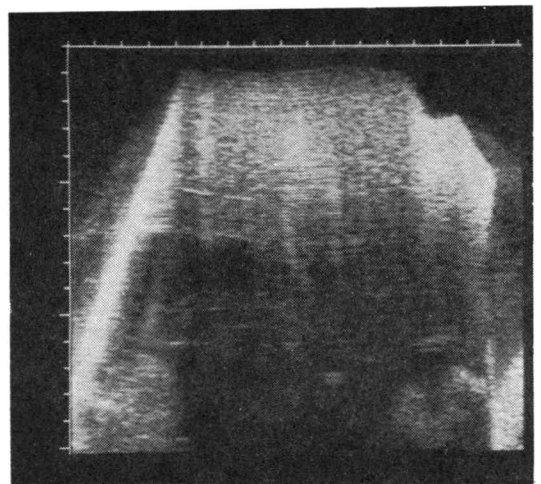


写真7 試料広葉樹散孔材の超音波画像（木口断層像）

3.2 広葉樹散孔材の診断例

今回使用した試料散孔材も奈良国立文化財研究所より供与された時点で、すでにブロック状に切断されたもので、その外観を写真5に、また実測図を図4に示す。この試料は先の環孔材よりも含水率が低いのでかなりの堅さを保っている。その外観は全体として褐色であるが側面の一部に灰褐色が認められる（図4斜線）。この部分は切片の顕微鏡による観察から、普通の褐色の部分と比

較して、導管内に多量の樹脂を充填していることが判明した。

写真6の木口に相当する超音波断層像を写真7に示す。この写真から上記の灰褐色の部分超音波を吸収することがわかる（図4の斜線の部分）。

そこで、図4の直線A（L-R）、とB（L'-R'）に該当する部分に探触子をあてて超音波断層像を観測するとAの断面では写真8、Bの断面では写真9に示す断層像

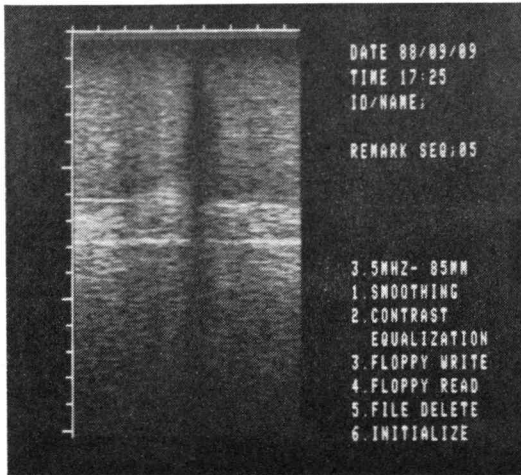


写真8 散孔材の超音波画像（図4、直線Aの断層図）

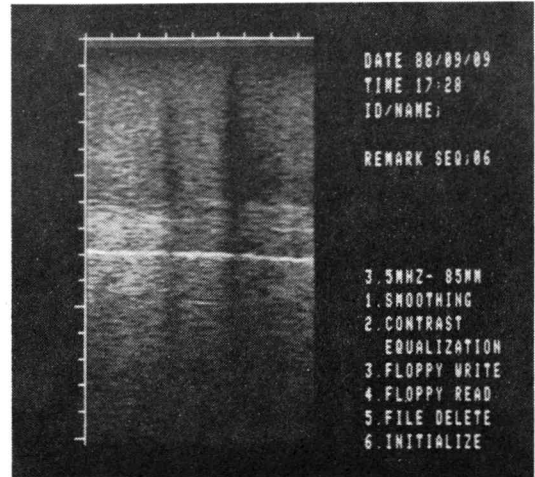


写真9 散孔材の超音波画像（図4、直線Bの断層像）

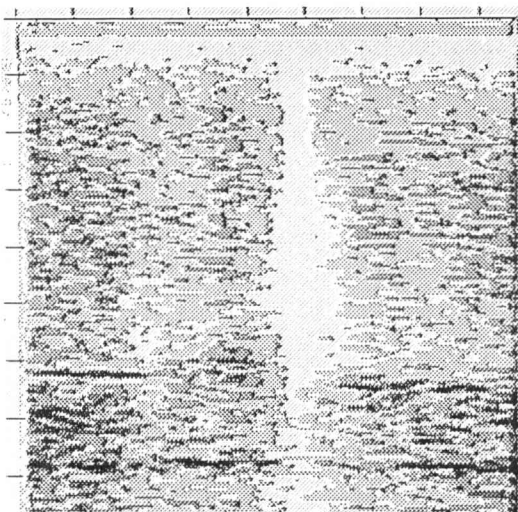


図5 同上、画像処理後の樹脂の充填領域の超音波画像（直線Aでの断層像、左右は図4のL-Rに一致）

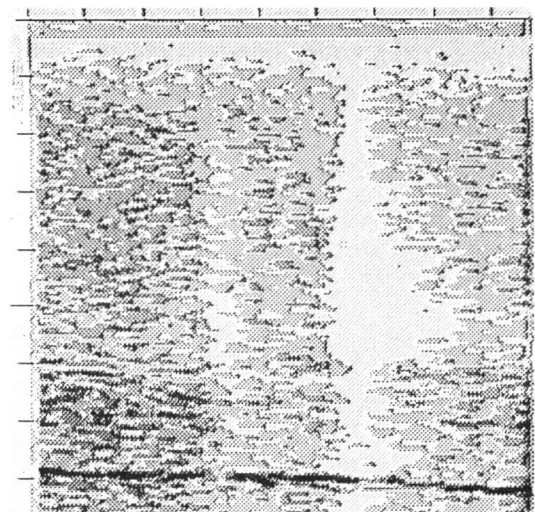


図6 同上、画像処理後の樹脂の充填領域の超音波画像（直線Bでの断層像、左右は図4のL-Rに一致）

が得られる。各超音波断層像の該当部分を拡大し画像処理後、プリンタで打ち出したものを図5と図6に示す。Aは最も周辺部に近くその断層像も図4に示した樹脂層の分布に近い陰影を示しているが、Bでは陰影が拡大し、さらに複数の陰影が認められるようになる。しかし、Cから先ではこれらの陰影が殆ど消失する。このことは、写真7でCの付近を境として超音波の透過度が異なる事実と考え合わせて興味深い。

これらのことから、最終的には内部の樹脂層の分布を試料を切断して確かめ、超音波断層像との対比を求める必要があるが、超音波法で非破壊的に得られる陰影の分布と樹脂層の分布には密接な関係があると予想される。

出土木材の保存にはPEGやt-BuOH等の保存用薬品を含浸させる場合がある。この際、薬液は表面だけでなく、内部に通じる割れ目や孔に急速に侵入し、次第に出土木材内部に拡散し浸透して行くこと、さらに、含浸の初期に浸透の遅れる部分は含浸時間を経過しても、相対的に含浸が不十分になり易いことをX線を用いて研究し、その成果を著者らは既に報告した⁴⁾。

この試料のように導管内に樹脂が局所的に充満している場合、この周辺では薬品の浸透が遅れ、この結果、局所的に不十分な含浸状態のまま保存処理が終了し、処理後の変形や破損につながることも考えられる。これを確かめるためには、この樹脂層の薬品類の浸透状態を樹脂の少ない周辺部分と比較する必要があるが、これは今後の課題である。

4. 結 言

出土木材の内部の非破壊的超音波診断技術について、主として広葉樹出土材を対象に基礎的研究を行い、つぎの成果を得た。

- 1) 超音波診断法は出土木材のひび割れの進行状態を非破壊的にリアルタイムに観測するための有力な手段となる。
- 2) 保存処理の際、事前に考慮すべき木質内部の樹脂層の分布状態を超音波診断法により非破壊的に知ることができる。

謝 辞

この研究を遂行するにあたり、貴重な出土木材試料を提供して頂いた奈良国立文化財研究所の関係者の皆様に厚くお礼申し上げる。

この研究は昭和62年度より2年間にわたり文部省科学研究補助金(一般研究B)の助成を受けて行った研究成果に基づいている。ここに付記して感謝する。

また、この研究の発展に卒業研究を通じて多大の貢献をして頂いた植木利也、馬場武史、平田賢治、山本広日の諸君に感謝する。

文 献

- 1) 石垣 昭、上田勝彦：奈良高専研究紀要、第24号(1988)、印刷中
- 2) 古文化財編集委員会：考古学・美術史の自然科学的研究、p.p. 602(1980)、日本学術振興会
- 3) 上田勝彦、石垣 昭：奈良高専研究紀要、第22号(1986)、57
石垣 昭、上田勝彦：昭和61年度科学研究補助金(試験研究(2))研究成果報告書(1987)
- 4) 石垣 昭、上田勝彦：奈良高専研究紀要、第22号(1986)、69

遺跡出土木材へのポリエチレングリコールの 含浸過程に関する理論的考察

河越 幹男・石垣 昭

Theoretical Consideration on Impregnation Process of Waterlogged Wood with PEG

Mikio KAWAGOE and Akira ISHIGAKI

The impregnation process of waterlogged wood with PEG was investigated theoretically based on the the diffusion model. The three dimensional diffusion equation was solved numerically. Comparison of the calculated values with the observed ones gave the value of diffusion coefficient as 1×10^{-10} m^2/s . The concentration profile of PEG in the wood was displayed graphically to discuss the optimum conditions of impregnation.

緒 言

埋蔵文化財には多くの木製品が含まれている。これらの木製品の多くは、土中に無酸素状態で埋没しており、発掘と同時に酸化などの化学変化を受け、急速に崩壊する場合がある。埋蔵木製文化財をこのような崩壊から守る方法の一つとして、ポリエチレングリコール (PEG) のような高分子物質を木材に含浸させ、その原形を保存させる方法がある。含浸を容易にするために、予め低分子物質を含浸させ、次いで高分子物質を含浸させる2段階法をとる場合もある。このような含浸法は既に多くの場合に行われているが、その方法は経験的であり、現象に基づいた解析は殆ど行われていない。

本研究では、含浸過程を拡散現象と見なして3次元拡散方程式を解き、実際に発掘された遺跡出土木材の断片を用いてなされた石垣によるPEG含浸の測定結果¹⁾から、PEGの拡散係数を求めた。解析は、出土木材の形状、構造などの多様性に対応できるようにするため、数値解法を用いた。

1. 解析法

Fig. 1に示すような各辺がa、b、cの立方体の試料片を考え、3次元直交座標系を用いる。試料内は水分で飽和されており、PEGはその中へ分子拡散のみによ

て浸透するとする。PEGの浸透による溶液の密度変化が小さいならば、PEGの重量濃度を ρ_A とすると、拡散方程式は次式で表される。

$$\frac{\partial \rho_A}{\partial t} = D_{Ax} \frac{\partial^2 \rho_A}{\partial x^2} + D_{Ay} \frac{\partial^2 \rho_A}{\partial y^2} + D_{Az} \frac{\partial^2 \rho_A}{\partial z^2} \quad (1)$$

初期条件 ; $t=0, 0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b, 0 \leq z \leq c$ で、

$$\rho_A(0, x, y, z) = 0 \quad (2)$$

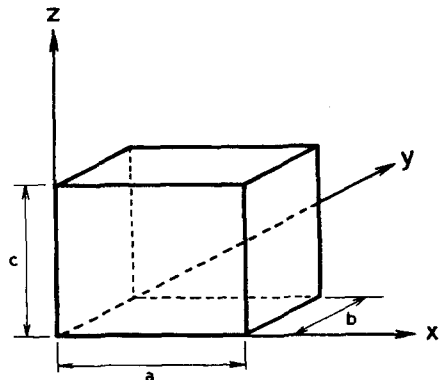


Fig. 1 Coordinates and dimensions

境界条件 ; $t > 0, 0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b, 0 \leq z \leq c$ で、

$$\rho_A(t, 0, y, z) = \rho_A(t, x, 0, z) = \rho_A(t, x, y, 0) = \rho_0 \quad (3)$$

$$\rho_H(t, a, y, z) = \rho_A(t, x, b, z) = \rho_A(t, x, y, c) = \rho_0 \quad (4)$$

上式を無次元化すると、次式が得られる。

$$\frac{\partial \Psi}{\partial \theta} = \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \xi^2} + p_1 q_1^2 \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \eta^2} + p_2 q_2^2 \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \lambda^2} \quad (5)$$

初期条件 ; $\theta = 0, 0 \leq \xi \leq 1, 0 \leq \eta \leq 1, 0 \leq \lambda \leq 1$ で、

$$\Psi(0, \xi, \eta, \lambda) = 0 \quad (6)$$

境界条件 ; $\theta > 0, 0 \leq \xi \leq 1, 0 \leq \eta \leq 1, 0 \leq \lambda \leq 1$ で、

$$\begin{aligned} \Psi(\theta, 0, \eta, \lambda) &= \Psi(\theta, \xi, 0, \lambda) \\ &= \Psi(\theta, \xi, \eta, 0) = 1 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \Psi(\theta, 1, \eta, \lambda) &= \Psi(\theta, \xi, 1, \lambda) \\ &= \Psi(\theta, \xi, \eta, 1) = 1 \end{aligned} \quad (8)$$

ここで、 $\Psi = \rho_A / \rho_0$ 、 $\xi = x/a$ 、 $\eta = y/b$ 、 $\lambda = z/c$ 、 $\theta = D_{Ax}t/a^2$ 、 $p_1 = D_{Ay}/D_{Ax}$ 、 $p_2 = D_{Az}/D_{Ax}$ 、 $q_1 = a/b$ 、 $q_2 = a/c$ である。

上式を有限差分法で数値的に解く⁴⁾。試料の各辺を M、N、K 等分し、各々の差分を $\Delta\xi$ 、 $\Delta\eta$ 、 $\Delta\lambda$ 、無次元時間 θ の差分を $\Delta\theta$ とし、(5)式を差分方程式で近似すると次式で表される。

$$\begin{aligned} \Psi(h+1, m, n, k) &= (1-2\alpha-2\beta-2\gamma)\Psi \\ &+ \alpha\Psi_m + \beta\Psi_n + \gamma\Psi_k \end{aligned} \quad (9)$$

ここで、

$$\Psi_0 = \Psi(h, m, n, k)$$

$$\Psi_m = \Psi(h, m+1, n, k) + \Psi(h, m-1, n, k) \quad (10)$$

$$\Psi_n = \Psi(h, m, n+1, k) + \Psi(h, m, n-1, k) \quad (11)$$

$$\Psi_k = \Psi(h, m, n, k+1) + \Psi(h, m, n, k-1) \quad (12)$$

h, m, n, k は $\theta, \xi, \eta, \lambda$ 方向の各格子点の座標であり、それぞれ h, m, n, k 番目を表す。また、係数 α, β, γ はそれぞれ次式で表される。

$$\alpha = \Delta\theta / \Delta\xi^2 \quad (13)$$

$$\beta = p_1 q_1^2 \Delta\theta / \Delta\eta^2 \quad (14)$$

$$\gamma = p_2 q_2^2 \Delta\theta / \Delta\lambda^2 \quad (15)$$

(9)式を簡単化するため、次式の条件をおく。

$$\alpha + \beta + \gamma = 1/2 \quad (16)$$

従って、(9)式は次式になる。

$$\Psi(h+1, m, n, k) = \alpha\Psi_m + \beta\Psi_n + \gamma\Psi_k \quad (17)$$

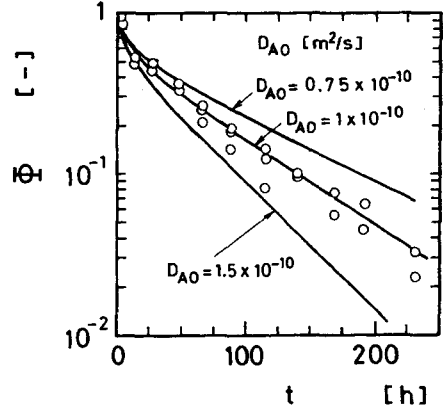


Fig. 2 Plots of Ψ as a function of t

各空間座標 (ξ, η, λ) の分割数を決めれば、時間間隔 $\Delta\theta$ は次式によって決定される。

$$\Delta\theta = \frac{1/2}{(1/\Delta\xi^2) + (p_1 q_1^2 / \Delta\eta^2) + (p_2 q_2^2 / \Delta\lambda^2)} \quad (18)$$

(18)式を(13)~(15)式に代入すると α, β, γ が求められる。

(17)式は、任意の時間 θ における全ての座標における Ψ の値が既知であるならば、 $\Delta\theta$ 後における Ψ の値が求められることを示している。即ち、(10)~(12)式を用いると Ψ_m, Ψ_n, Ψ_k は時間 θ における周囲の格子点における Ψ の値から計算できるので、座標 (m, n, k) における $\Delta\theta$ 後の Ψ の値は (17)式から算出できる。従って、初期条件が与えられれば、逐次計算によって試料内の各格子点における PEG 濃度分布の経時変化が求められる。

また、PEG の飽和度を意味する無次元濃度 Ψ の平均値 Ψ_{av} は、次式によって計算できる。

$$\begin{aligned} \Psi_{av}(h) &= \frac{1}{8} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \{ \Psi(h, m-1, n-1, k-1) \\ &+ \Psi(h, m, n-1, k-1) + \Psi(h, m, n, k-1) \\ &+ \Psi(h, m-1, n, k-1) + \Psi(h, m-1, n-1, k) \\ &+ \Psi(h, m, n-1, k) + \Psi(h, m, n, k) + \Psi(h, m-1, n, k) \} \end{aligned} \quad (19)$$

2. 計算結果及び考察

石垣^{1,2)}の測定に用いられた試料は、各辺が 3 cm の立方体である : $a=b=c=0.03\text{m}$ 。差分化のため、全て

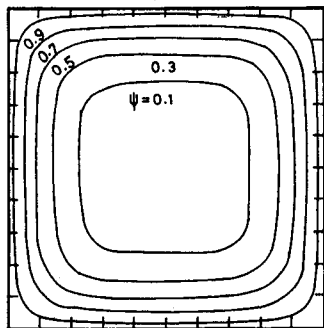


Fig. 3 Concentration profile of PEG after 24 hours: $\Psi_{\infty}=0.53$

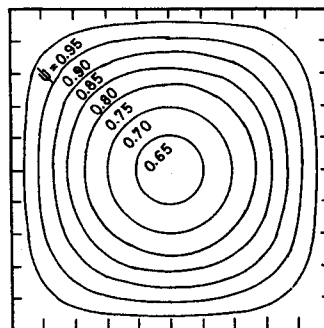


Fig. 4 Concentration profile of PEG after 144 hours: $\Psi_{\infty}=0.90$

の方向に 30 等分した : $M=N=K=30$ 。即ち、格子間隔は 1.0 mm である。簡単化のため、試料内における PEG の拡散は等方的であると仮定した : $D_{Ax}=D_{Ay}=D_{Az}=D_{A0}$ 。

試料内に含浸された PEG の重量 W_A は各体積要素内の PEG 重量の和として、次式から計算できる。

$$W_A = \int_V \rho_A \cdot dv = \rho_0 \int_V \Psi \cdot dv = \rho_0 V \Psi_{\infty} \quad (20)$$

ここで、 V は試料片の体積である。石垣¹⁾は重量を無次元化した $\Phi \equiv (W_F - W) / (W_F - W_0)$ の対数を浸漬時間 t に対してプロットし、浸漬初期を除けば両者の間に直接関係が成立することを見出している。 Φ と Ψ_{∞} の間には $\Phi = 1 - \Psi_{\infty}$ の関係があり、 Φ は不飽和度を意味する。従って、 Φ は (19) 式から計算できる。

Fig. 2 に数値解による Φ の計算値対 t の関係を片対数紙上に示した。解析解⁴⁾もこれとほとんど一致した。このグラフから、 Φ の値は初期には物質移動面積が大きいいため含浸開始直後に急激に小さくなる、即ち W が急激に大きくなるのが分かる。この初期部分を経過した後の Φ 対 t の片対数プロットは、石垣が述べているように直線になる。図中のプロットは石垣の実測値である。計算値はこの実測結果をよく説明している。

計算値と実測値の比較から、 $D_A = 1 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ のとき両者は最もよく一致しており、拡散係数は約 $1 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ であることが分かった。水中における水分子の自己拡散係数は $2.27 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ (at 25°C) である³⁾。20% PEG 水溶液の粘度は $4.136 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ (at 30°C) であるので、Wilke-Chang の式⁵⁾によって液粘度の補正を行い PEG の拡散係数を推算すると $4.4 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ となる。ただし、粘度の温度に対する依存性は水のそれ

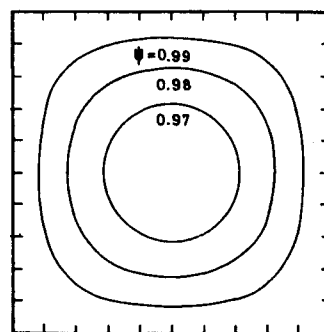


Fig. 5 Concentration profile of PEG after 336 hours: $\Psi_{\infty}=0.99$

と同じで、かつ PEG の拡散係数を水の自己拡散係数と等しいとした。この推算値は前述の実験値の約 4 倍である。このことは木質構造による拡散抵抗を考慮すれば妥当な結果である。

次に、試料内の濃度分布について考察する。Fig. 3 ~ Fig. 5 に、 $\Psi_{\infty}=0.53, 0.90, 0.99$ の場合について、試料片の中心断面における濃度分布を等濃度線で示した。解析解⁴⁾もこれら数値解とほぼ一致した。

Fig. 3 は $\Psi_{\infty}=0.53$ のときの結果である。この図には $\Psi (\equiv \rho_A / \rho_0)$ が 0.1 から 0.9 までの等濃度線を 0.2 間隔で示した。この図から、中心部には Ψ が 0.1 以下の部分が存在し、中心部と表面近傍の濃度差が著しいことが分かる。この状態で処理を止めて乾燥させた場合、この大きな濃度差に基づく応力差のため、試料片は崩壊あるいは変形する恐れがある。

Fig. 4 は $\Psi_{\infty}=0.90$ のときの結果である。 Ψ の 0.05 間隔で等濃度線を示している。この図から、 Ψ が 0.6 以下の部分は存在しないことが分かる。また、中心近傍で

は等濃度線は円形に近くなる。この $\Psi_{av}=0.9$ の場合でも濃度の最高と最低の差が大きく、この浸漬時間で処理を止めるのは、処理後に変形、崩壊を起こす恐れがあり危険である。

Fig. 5 は $\Psi_{av}=0.99$ のときの等濃度線である。この図から、中心部でも Ψ は 0.96 以上であり、濃度分布はほぼ均一と見なせる。従って、PEG の平均飽和度 Ψ_{av} が 99% 以上であれば、処理後の変形、崩壊の危険は小さいものと考えられる。

Fig. 3~5 を比較してみると、 Ψ_{av} に対応する等濃度線は Ψ_{av} の値に無関係にほぼ同じ形をしていることが分かる。このことは、平均濃度に対応する等濃度線を予め計算によって求めておき、この線上の濃度を測定することによって平均濃度を知ることができることを示している。この方法は、直接重量を測定することが困難な大型の出土木材を処理する場合には特に便利であると考えられる。

石垣は浸漬 1 週間後の試料片を 27 等分して各部分の PEG 含有量を求めている²⁾。これらの値を飽和度に換算して比較したところ本計算値とほぼ一致しており、このことも PEG の含浸過程が拡散過程に支配されていることを支持している。

結 言

出土木材中への PEG 含浸過程を拡散現象と見なして、拡散方程式を数値的に解き、拡散係数を求めた。本研究で扱った出土木材の場合、拡散係数は約 $1 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ であった。試料内部の PEG 濃度分布から、試料内の濃度分布を均一と見なすためには、少なくとも PEG の平均飽和度 Ψ_{av} が 99% 以上であることが望ましいことが分かった。また、数値解は解析解とよく一致し、本法を多様な形状をもつ出土木材に適用できることが分かった。

Nomenclature

a = dimension of test piece	[m]
b = dimension of test piece	[m]
c = dimension of test piece	[m]
D_A = Diffusivity	$[\text{m}^2/\text{s}]$
K = number of subdivisions of z axis	[-]
M = number of subdivisions of x axis	[-]
N = number of subdivisions of y axis	[-]
h = index in time coordinate	[-]
k = index in z coordinate	[-]

m = index in x coordinate	[-]
n = index in y coordinate	[-]
$p_1 = D_{Ay}/D_{Ax}$	[-]
$p_2 = D_{Az}/D_{Ax}$	[-]
$q_1 = a/b$	[-]
$q_2 = a/c$	[-]
t = time	[s]
V = volume of test piece	$[\text{m}^3]$
W = weight of test piece at a given time	[kg]
W_F = weight of test piece at $t = \infty$	[kg]
W_0 = weight of test piece at $t = 0$	[kg]
x = x coordinate	
y = y coordinate	
z = z coordinate	
<Greek>	
$\alpha = \Delta\theta / \Delta\xi^2$	[-]
$\beta = p_1 q_1^2 \Delta\theta / \Delta\eta^2$	[-]
$\gamma = p_2 q_2^2 \Delta\theta / \Delta\lambda^2$	[-]
Δ = increment	[-]
$\eta = y/b$	[-]
$\theta = D_{Ax} t / a^2$	[-]
$\xi = x/a$	[-]
$\lambda = z/c$	[-]
ρ_A = mass concentration of A in solid	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
ρ_0 = mass concentration of A at surface	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
$\Phi = (W_F - W) / (W_F - W_0)$	[-]
$\Psi = \rho_A / \rho_0$	[-]

<Subscripts>

av = average
x = x direction
y = y direction
z = z direction

Literature cited

- 1) 石垣 昭：奈良高専研究紀要、第 19 号、39 (1983)
- 2) 石垣 昭：奈良高専研究紀要、第 20 号、75 (1984)
- 3) 化学工学便覧 (第 4 版)、68、丸善 (1978)
- 4) J. Crank: "The Mathematics of Diffusion", Oxford (1955)
- 5) Wilke, C. R. and P. Chang: A. I. Ch. E. J., 1, 264 (1955)

還元型ニコチンアミド・アデニンジヌクレオチドの精製と脱塩

末 信 一 朗

Purification and Desalting of Reduced Form Nicotinamide-adenine Dinucleotide

Shinichiro SUYE

Accurate measurement of the activity of enzymes requiring NADH as a coenzyme largely dependent on the purity of NADH. Then NADH produced by enzymatic reduction was purified by anion exchange chromatography and low pressure type composite reverse osmosis membrane (loose RO membrane). The anion chromatography on DEAE-Toyopearl with sodium bicarbonate (NaHCO_3) as an eluent separated NADH from NAD and other impurities well. NaHCO_3 was removed from the eluate by loose RO membrane. Loose RO membrane had high permeability in the low operation pressure.

The purity of the NADH produced was determined to be 96.6% from its coenzyme activity with Alcohol dehydrogenase [EC 1.1.1.1]

1. 緒 言

バイオテクノロジーの進歩によって、種々の生化学的有用物質の生産が発酵法やバイオリクター等により工業規模で行われるようになってきた。これに伴い、生化学物質のバルクからの単離、精製の工程が非常に重要となっており、現在各種クロマトグラフィーや膜等による分離、精製法が目的の生化学物質に応じて検討されている。

こうした生化学物質の中でも還元型ニコチンアミド・アデニンジヌクレオチド (NADH) は、NAD 依存型脱水素酵素の補酵素であり尿や血清の分析に臨床診断試薬としても使われている¹⁾。しかし NADH は極めて不安定であり熱、光、pH の変化等によって容易に分解し、しかも分解生成物は酵素反応阻害物質となるので²⁾、NADH の見かけの補酵素活性は実際よりさらに低くなり、試薬として用いられる際の NADH の純度は以前から問題となっていた³⁾。そこで NADH の生産の際には短いステップで効率良く行わなければならない、精製、回収の工程が重要となる。NADH の精製はイオン交換クロマトグラフィー⁴⁾、高速クロマトグラフィー⁵⁾等、各種クロマトグラフィーが用いられて、又、脱塩にはゲル濾過法やイオン交換樹脂を減圧下で反応させる方法⁶⁾

などがある。しかしこれらは実験室スケールの方法であり、工場規模のスケールでは検討されていない。

現在、NADH は酸化型ニコチンアミド・アデニンジヌクレオチド (NAD) から酵素反応法を用いて生産されている。既に筆者らはりんご酸酵素を用いる NAD から NADH の生産法について検討し報告したが⁷⁾、今回イオン交換クロマトグラフィーと低圧逆浸透複合膜 (ルーズ逆浸透膜) を組み合わせた新規の方法によるりんご酸酵素反応液から工場規模での精製法の検討をおこなった結果、高収率で高純度の NADH を得ることができたので報告する。

2. 方 法

2.1 NADH の生成

NADH の生成は前報に従ったが⁷⁾、用いた NAD の量を 500 g として NADH への転換反応を行った。

2.2 りんご酸酵素反応液からの NADH の精製

酵素反応終了した反応液は限外濾過膜 (UF 膜) を用いて除菌を行った。濃縮液は DEAE-トヨパール 65 0 M カラム (カラムサイズ 700mm×300mm i. d.) にて陰イオン交換クロマトグラフィーを行った。DEAE-

トヨパール 650 M カラムはあらかじめ 0.05 M NaHCO_3 水溶液で平衡化しておく。試料添加後 0.05 M NaHCO_3 水溶液 150 l で洗浄後、 NaHCO_3 の濃度を 0.05 M から 0.4 M まで上昇させグラジェントで溶出する。

NADH 溶出画分を集めた後、ルーズ逆浸透膜を用いた脱塩を行った。ルーズ逆浸透膜モジュールはニトースパイラルエレメント NTR-7250-S2 (日東電工) を使用した。脱塩時の条件は以下の通りである。濃縮液の流速は 10~15 l/min、透過液側は 1.0~2.0 l/min、モジュールに対する圧は流入側、流出側共に約 20 kg/cm² とした。NADH 溶液 50 l を 5 l まで濃縮した後、イオン交換水を 50 l 添加し再び濃縮を行った。以上の操作を 3 回繰り返しイオン交換水添加時の導電率を測定することによって NADH 溶液中の NaHCO_3 の脱塩を確認した。以上の操作は 4 °C の条件下で行った。

脱塩終了後、試料を凍結乾燥処理により粉末化し、更にモレキュラーシーブス 4 A で脱水処理したアセトンで NADH 粉末をよく洗浄し脱水、更にジエチルエーテルで NADH 粉末中のアセトンを洗い出した。試料は更に五酸化リン上で真空乾燥処理し最終精製標品とした。精製 NADH は窒素封緘、密閉し暗黒下、-20 °C で保存した。

2.3 精製 NADH の純度

2.3.1 補酵素活性

NADH の補酵素活性はアルコール脱水酵素 (EC 1.1.1.1) 反応より求めた⁸⁾。

2.3.2 光学的純度

光学的純度は NADH の 340 nm、260 nm における分子吸光係数 6.2×10^3 、 $14.4 \times 10^3 \text{ l} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 及び O.D.340 nm/O.D.260 nm の比 0.43 から求めた。

2.3.3 高速液体クロマトグラフィー

高速液体クロマトグラフィーの分析条件は以下の通りとした。使用機器は Shimadzu LC-4A (島津製作所)、カラムは YMC Pack A-312 (5-ODS) (山村科学研究所) カラムサイズ 150mm × 6 mm i. d. を用い室温で分析を行った。溶媒は 5% メタノール in 10 mM リン酸緩衝液 (pH 7.5)、流速は 0.7 ml/min で、検出器は SPD-2AS を用い 260 nm の吸光度をモニターし、クロマトバック CR-3A でピーク面積を求め面積比から純度を求めた。

3. 結果と考察

酵素反応による NADH 生成液をまず UF 膜にて触媒として用いた高透過性菌体を除去した後、DEAE-

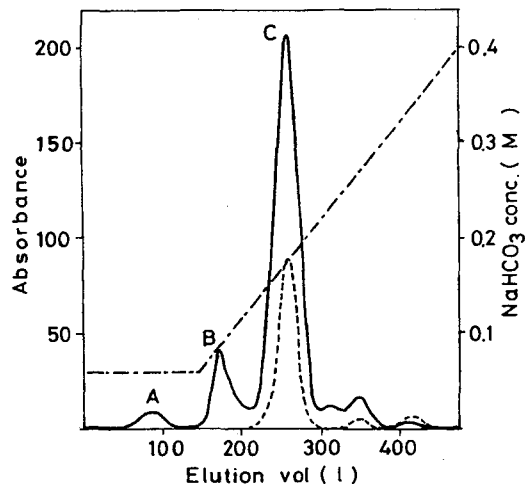


Fig.1 Chromatography of NADH on DEAE-Toyopeal

— : A260nm, ---- : A340nm, --- : NaHCO_3 conc.

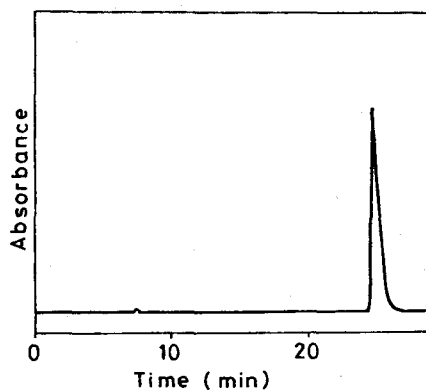


Fig.2 HPLC of NADH fraction from DEAE Toyopeal 650 M column

HPLC was performed as stated in the text

トヨパール 650 M にて溶出液として NaHCO_3 溶液を用いて陰イオン交換クロマトグラフィーを行った。溶出液は 10 l づつ分画し 260 nm、340 nm の吸光度測定した。この結果を Fig. 1 にしめす。各分画を HPLC で分析したところピーク A は酵素反応の基質である NAD、ピーク B はアデノシンジホスホリボース (ADPR) であることがわかった。ADPR は、NAD に由来するか、もしくは酵素反応中に非酵素的に生成したものと考えられる。ピーク C は NADH であり、O.D.260 nm/O.D.340 nm の比が 0.42 以上を指標として溶出液量 230 l から 280 l までの画分 50 l を集め NADH 画分とした。NA

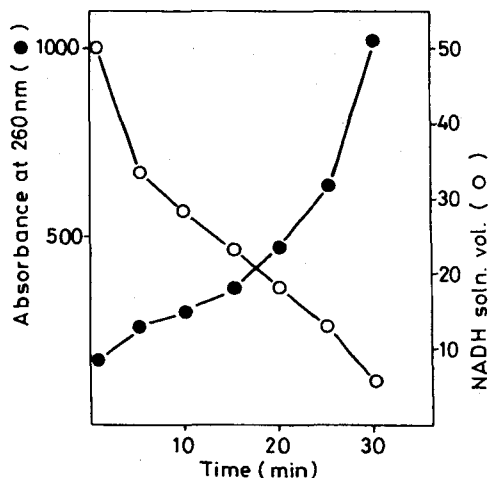


Fig. 3 Desalting of the NADH NaHCO₃ soln. with loose reverse osmosis membrane

Table 1 Properties and purity of the NADH produced

Properties	
ϵ 260nm ($\times 10^3$)	14.4
ϵ 340nm ($\times 10^3$)	6.2
A250nm/A260nm	0.81
A280nm/A260nm	0.25
A340nm/A260nm	0.43
Purity (%)	
HPLC	97.5
Enzymatic assay	96.6
A260nm	100.0
A340nm	100.0

DH 画分の純度を HPLC により求めたが 99.4% であり (Fig. 2) NADH 酵素反応液に含まれる NADH 分解物および未反応基質 NAD をほぼ完全に分離できていた。又、溶出液として NaHCO₃ 溶液を用いたので NADH の安定 pH 領域である塩基性サイドで分離、精製が行われたためにこの操作に伴う NADH の分解は見られなかった。

集めた NADH 画分からの NaHCO₃ の脱塩及び濃縮はルーズ逆浸透膜を用いて行ったが、この経過を Fig. 3 に示すが液量の減少に伴って O.D. 260 nm が上昇しており NADH が濃縮されているのがわかる。最終的な NADH の阻止率は 98.3%、NaHCO₃ は 0% であり濃縮、分離、脱塩を行うことができ、又、NADH NaHCO₃

溶液 50 l の 1 回の濃縮に要する時間は約 30 分であった。従来 NADH の様な分子量数百の物質の膜分離には、限外濾過膜では溶質の阻止ができないため逆浸透膜が用いられてきた。しかし、逆浸透膜では大きな膜透過流速を得るために高い圧力が必要であった。ところがルーズ逆浸透では、膜にかかる圧が小さいので低圧循環系での分離、濃縮が可能となり省エネルギーと共に生化学物質の失活の影響も小さくなった⁹⁾。

ここでもルーズ逆浸透膜を用いることにより全体の処理時間が約 90 分と非常に短いことに加えて、膜にかかる圧が 20 kg/cm² と比較的小さいので脱塩処理に伴う NADH の分解、失活は見られなかった。

脱塩処理した NADH 水溶液は直ちに凍結乾燥を行い NADH を粉末化した。凍結乾燥処理後の NADH 粉末は 14.6% の水分を含み、しかも粉末としての容量が大きいため、この状態では潮解してしまう。そこで更に脱水アセトンで洗浄し脱水処理をおこなった。有機溶媒で洗浄することにより水分含量は 10.7% まで減少でき更に五酸化リン上で真空乾燥することにより完全に有機溶媒を除去し水分含量は 6.7% となった。又、粉末の容量は凍結乾燥時の約 1/20 となり潮解現象も見られなかった。最終収率は 75.8% であった。

得られた最終精製標品の純度および性質を Table 1 に示す。通常、NADH 純度の指標のひとつとして 260 nm、340 nm における吸光度の比、0.43 を純度 100% とする分光学的方法があるが、この指標は NADH の補酵素活性を示しておらず不完全であり必ず脱水素酵素と反応させて補酵素活性による純度を求めなければならない。本標品は、その補酵素活性から見て脱水素酵素反応阻害物質は含まれていないと考えられる。

4. まとめ

臨床診断試薬として用いられている NADH は非常に不安定な物質であることに加えて、その分解生成物が脱水素酵素活性阻害物質となることからこれまでその純度が問題となっていたが、工業的規模での精製法は未検討であった。

今回の研究により DEAE-トヨパール 650 M による NADH の精製を行い、さらに NADH 画分をルーズ逆浸透膜を用いて NADH を失活させることなく脱塩することができた。NADH 水溶液は凍結乾燥、有機溶媒洗浄にて粉末化した但其の補酵素活性からの純度は 96.6% であった。本精製法により工場規模で工程数も少なく高収率で高純度の NADH が得られた。また、NADH の類似物質と同様に脱水素酵素の補酵素である還元型ニ

コチンアミド・アデニンジヌクレオチドフォスフェート (NADPH) や核酸類、その他補酵素の精製にも本法が適用できると考えられる。

謝 辞

本研究を行うにあたり御支援を頂きました宝酒造株式会社に感謝いたします。また、NADH 精製のスケールアップの検討に御協力を頂きました同社楠工場発酵工業課、森 一史氏に深く感謝致します。

文 献

- 1) 例えば H. U. Bergmeyer, G. Michael, Method of Enzymatic analysis (ed. H. U. Bergmeyer), vol. 3 p. 1233, Verlag Chemic and Academic Press (1974)
- 2) C. P. Fawcett, M. M. Ciotti, and N. O. Kaplan, Biochem. Biophys. Acta, 54 210 (1961)
- 3) M. Rubin, eds., "Quality Control in Clinical Chemistry" de Gruyter, Berlin (1975)
- 4) E. J. Pastore and M. Friedkin, J. Biol. Chem. 236 2314 (1961)
- 5) D. Northrop, C. Newton, and S. Faynor, Method in Enzymology vol. 122, p. 152, Academic Press (1986)
- 6) W. Loesche, I. Wenz, U. Till, H. Petermann, and A. Horn, ibid, vol. 66 p. 11 Academic Press (1980)
- 7) 末 信一朗、横山定治 日本農芸化学会昭和 60 年度大会講演要旨集、p. 479 (1985)
- 8) Y. Izumi, S. Mishra, B. Ghosh, Y. Tani, and H. Yamada J. Ferment. Technol., 61 135 (1983)
- 9) 神山義康、吉岡範明、松井孝二、河田一郎、中込敬祐、日東技報、23 53 (1985)

連続式完全混合槽型晶析装置における動特性

中 谷 武 志

Dynamics of Crystallization in Maximum Mixing Continuous Crystallizer

Takeshi NAKAYA

晶析操作において、核発生速度は粒径分布を大きく左右する。筆者は、核発生速度は一次核発生速度と二次核発生速度の線形結合と考え、連続式完全混合槽型晶析装置の数式モデルによるシミュレーションを行なった。動特性の解析の結果、一次核発生速度が支配的な条件下では、槽内の過飽和度、一次核発生速度、平均粒子径に周期的変動が起こる事が分かった。

1. 緒 言

晶析操作は、省エネルギーの分離操作として注目を集めている。特に新素材の開発分野におけるセラミックスの製造を始め、生物化学における生成物の分離、精製において、高い品質の造粒技術が要求されている。一定の粒径分布を得るための粒径分布制御は、核発生速度をいかに制御するかにかかっている。

核発生速度に関する研究は現在も進められており、その機構は多種多様であることが分かった。核発生機構を分類すると、結晶の助け無しに過飽和溶液から発生する一次核発生と、結晶の存在下で結晶の助けを借りて発生する二次核発生がある。さらに、一次核発生は自然発生的に過飽和溶液から発生する均一核発生と、器壁や埃等が因子となる不均一核発生に分類される。二次核発生は、結晶核となるクラスターを結晶表面から離脱させる機械的作用の種類により分類される。離脱させる外力として、1) 結晶表面の溶液流動による剪断力 2) 結晶間の衝突 3) 結晶と攪拌羽根や器壁との衝突 が考えられる。単結晶を用いて、それぞれの機構による核発生速度を求める研究もされている。

本研究では、多種多様の核発生速度を過飽和度のみ依存する一次核発生速度と、攪拌や流動による機械的エネルギーの影響を受ける二次核発生速度の二種類に集約し、全核発生速度はそれからの線形結合で表わせると考え、連続式完全混合槽型晶析装置における晶析の動特性を調べた。

2. 理 論

2.1 数式モデル

連続式完全混合槽型晶析装置における晶析現象をシミュレーションするため、以下の3つの仮定に基づいて数式モデルを立てた。

- 1) 槽内は完全混合であり、完全混合抜き出しである。
- 2) 結晶成長速度は絶対過飽和度（過飽和濃度－飽和濃度）の指数乗に比例する。
- 3) 核発生速度は一次核発生速度と二次核発生速度の線形和である。

いずれの仮定も実際の晶析系を理想化したものとなっている。上記の仮定に基づいて、個数収支式、物質収支式を求めると、

個数収支式は、

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} \left\{ \left(\frac{dr}{dt} \right) n \right\} - \bar{\varepsilon} \bar{B} = \frac{n_0}{\tau} - \frac{n}{\tau} \quad (1)$$

上式において、結晶成長速度 dr/dt は、

$$\frac{dr}{dt} = a_0 \Delta c^l \quad (2)$$

核発生速度 \bar{B} [$1/\text{cm}^3 \cdot \mu \cdot \text{hr}$] は、一次核発生速度 \bar{B}_1 [$1/\text{cm}^3 \cdot \mu \cdot \text{hr}$] と二次核発生速度 \bar{B}_2 [$1/\text{cm}^3 \cdot \mu \cdot \text{hr}$] の和であり、

$$\bar{B}_1 = k_1 \Delta C^* D(\alpha, r^*) \quad (3)$$

$$\bar{B}_2 = k_2 A \Delta c D(\alpha, r^*) \quad (4)$$

従って

$$\bar{B} = k_1 \Delta c^3 D(\alpha, r^*) + k_2 A \Delta c D(\alpha, r^*) \quad (5)$$

となる。

ここで、 n [$1/\text{cm}^3 \cdot \mu$] は、槽内の結晶の個数密度、 n_0 [$1/\text{cm}^3 \cdot \mu$] は平均滞留時間、 r [μ] は結晶の粒子半径、 t [hr] は時間、 $\bar{\varepsilon}$ [-] は槽内の溶液の体積分率、 a_0 は(2)式で定義される結晶成長速度定数、 l は結晶成長反応次数、 Δc [mol/cm^3] は絶対過飽和度、 A [μ^2] は槽内の結晶の全表面積、関数 $D(\alpha, r^*)$ は発生した結晶核の粒径分布である。クラスターが安定な結晶核となる粒子半径は、そのクラスターの形状により異なると考えられる。従って、結晶核は粒径分布を持つと考え、クラスターが球形と考えた時の臨界半径 r^* を平均粒子半径として、正規分布するものと考え次式を誘導した。

$$D(\alpha, r^*) = \frac{2\sqrt{\alpha}}{2\Gamma(1/2) - \Gamma(1/2, \alpha r^*)} \exp\{-\alpha(r-r^*)^2\} \quad (6)$$

ここで、 $\Gamma(1/2)$ 、 $\Gamma(1/2, \alpha r^*)$ はそれぞれ完全ガンマ関数、不完全ガンマ関数である。また、 $\alpha = 1/2 \sigma^2$ であり、 σ は結晶核分布の標準偏差 σ [μ] から求められる。

槽内液相中の溶質についての物質収支は、混合液体積一定と仮定すると、

$$\begin{aligned} \frac{dc}{dt} = & \left(\frac{\bar{\varepsilon}_0}{\bar{\varepsilon}}\right) \left(\frac{c_0 - c}{\tau}\right) - \left(\frac{1}{\bar{\varepsilon}}\right) A \left(\frac{\rho}{M} - c\right) \left[3\phi, a_0 \Delta c\right] \\ & - \phi, \left(\frac{\rho}{M} - c\right) \left[k_1 \Delta c^3 + k_2 A \Delta c\right] E(3, \alpha, r^*) \end{aligned} \quad (7)$$

ここで、 c [mol/cm^3] は槽内溶液濃度、 c_0 [mol/cm^3] は槽内に供給される過飽和溶液濃度、 $\bar{\varepsilon}_0$ [-] は供給過飽和溶液の体積分率、 ρ [g/cm^3] は結晶硫酸銅五水和物の密度、 M は結晶硫酸銅五水和物の分子量、 $E(3, \alpha, r^*)$ は結晶核の粒径分布の3次モーメントを表わす。 $\phi, E(3, \alpha, r^*)$ は結晶核の全体積に相当する。

2.2 偏微分方程式の数値解法

粒径分布を粒径範囲について m 個の区間に分け、集中定数系として偏微分方程式を解く。 i 番目の区間を $R_i \sim R_{i+1}$ の粒子半径を持つものとする、この区間にある結晶の単位体積当たりの数は(1)式を区間 R_i から R_{i+1} まで粒子半径 r について積分する事によって求まる。

$$\begin{aligned} \int_{R_i}^{R_{i+1}} \frac{\partial n}{\partial t} dr + \int_{R_i}^{R_{i+1}} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ \left(\frac{dr}{dt} \right) n \right\} dr - \int_{R_i}^{R_{i+1}} \bar{\varepsilon} B dr \\ = \int_{R_i}^{R_{i+1}} \left(\frac{n_0}{\tau} \right) dr - \int_{R_i}^{R_{i+1}} \left(\frac{n}{\tau} \right) dr \end{aligned} \quad (8)$$

(8)式の左辺第一項は、

$$\int_{R_i}^{R_{i+1}} \frac{\partial n}{\partial t} dr = \frac{d}{dt} \int_{R_i}^{R_{i+1}} n dr = \frac{dN_i}{dt} \quad (9)$$

(8)式の左辺第二項は、

$$\begin{aligned} \int_{R_i}^{R_{i+1}} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ \left(\frac{dr}{dt} \right) n \right\} dr = \frac{dr}{dt} n \Big|_{R_i}^{R_{i+1}} \\ = \frac{N_i}{\Delta t_i} - \frac{N_{i-1}}{\Delta t_{i-1}} \end{aligned} \quad (10)$$

ここで、

$$\Delta t_i = \int_{R_i}^{R_{i+1}} \left(\frac{dt}{dr} \right) dr \quad (11)$$

$$\Delta t_{i-1} = \int_{R_{i-1}}^{R_i} \left(\frac{dt}{dr} \right) dr \quad (12)$$

(11)式の逆数 ($1/\Delta t_i$) 及び(12)式の逆数 ($1/\Delta t_{i-1}$) は、それぞれ結晶が成長する事によって単位時間当たり ($i-1$) 区間から i 区間へ移動する結晶数を表わす。

(8)式の左辺第三項は、

$$-\int_{R_i}^{R_{i+1}} \bar{\varepsilon} \bar{B} dr = -\bar{\varepsilon} \int_{R_i}^{R_{i+1}} \bar{B} dr \quad (13)$$

ここで、結晶核は1区間に全て含まれてしまうと考えると、(13)式は、

$$\left. \begin{aligned} -\int_{R_i}^{R_{i+1}} \bar{\varepsilon} \bar{B} dr = 0 \quad (i=2, 3, \dots, m) \\ = -\bar{\varepsilon} \bar{B}_0 \quad (i=1) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

(8)、(9)、(10)、(14)式より、個数収支式は、

$$\frac{dN_i}{dt} = -\frac{N_i}{\Delta t_i} + \bar{\varepsilon} \bar{B}_0 + \frac{N_0}{\tau} - \frac{N_i}{\tau} \quad (i=1) \quad (15)$$

$$\frac{dN_i}{dt} = -\frac{N_{i-1}}{\Delta t_{i-1}} + \frac{N_i}{\Delta t_i} + \bar{\varepsilon} \bar{B}_0 + \frac{N_0}{\tau} - \frac{N_i}{\tau} \quad (i=2, 3, \dots, m) \quad (16)$$

となる。

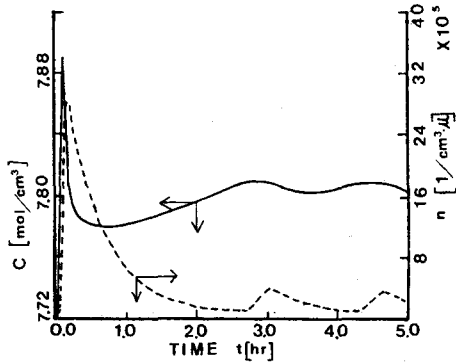


図1 $k_1 = 0.5 \times 10^{18}$, $k_2 = 500$ における槽内溶液濃度及び結晶個数密度の経時変化

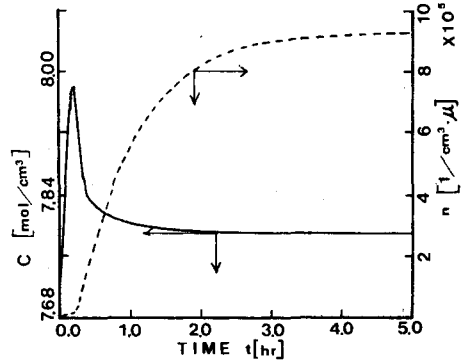


図3 $k_1 = 0.5 \times 10^{18}$, $k_2 = 5000$ における槽内溶液濃度及び結晶個数密度の経時変化

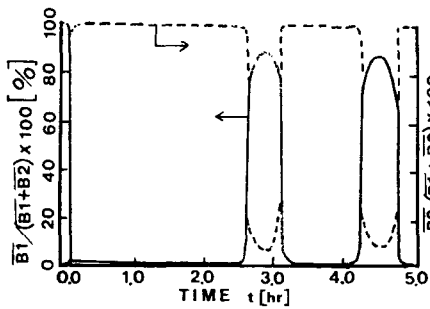


図2 $k_1 = 0.5 \times 10^{18}$, $k_2 = 500$ における一次核発生速度及び二次核発生速度の割合の経時変化

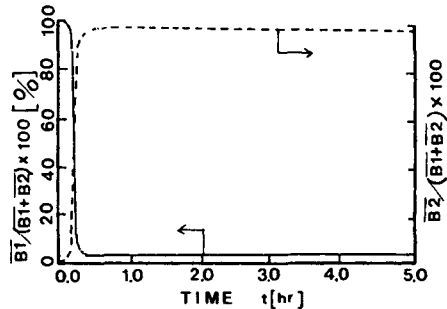


図4 $k_1 = 0.5 \times 10^{18}$, $k_2 = 5000$ における一次核発生速度及び二次核発生速度の割合の経時変化

3. 結果と考察

シミュレーションの対象は硫酸銅とし、必要な数値は実験により求めた。

硫酸銅の単結晶の実験より、結晶成長速度式は $dr/dt = 0.33 \times 10^{-12} \Delta C^2$ [μ/hr] ($15^\circ C$) となった。結晶核発生速度については、既に発表した硫酸銅の回分晶析実験データより²⁾、一次核発生速度定数 $k_1 = 0.5 \times 10^{18} \sim 0.5 \times 10^{19}$ である。二次核発生速度定数 k_2 は攪拌速度 N_r [rpm] の関数として表わした実験式 $k_2 = 6.78 \times N_r^{2.4}$ より、各攪拌速度に対して得られる。本報告は、攪拌速度 1900 rpm における値 $k_2 = 500$ 、及び攪拌速度 3000 rpm における値 $k_2 = 5000$ の 2 種類の例について行なう。その他のパラメータの値について、結晶の体積形状係数は近似的に結晶を立方体と考え $\phi_s = 8$ 、硫酸銅の飽和濃度 $C_s = 0.773 \times 10^{-3} \text{ mol/cm}^3$ ($15^\circ C$)、供給過飽和濃度 $C_0 = 0.85 \times 10^{-3} \text{ mol/cm}^3$ 、結晶核の平均粒子半径 $r^* = 0.05 \mu$ 、平均滞留時間 $\tau = 0.5 \text{ hr}$ とした。

図1、図2、図5は $k_1 = 0.5 \times 10^{18}$, $k_2 = 500$ の場合で、結晶核発生は一次核支配である。図1は槽内溶液濃度 c 及び単位体積当たりの結晶の個数密度 n の経時変化を表わしている。図2は、一次核発生速度 $\overline{B1}$ 及び二次核発生速度 $\overline{B2}$ の経時変化を表わしている。図5は結晶の体積平均粒子半径 r_{vm} [μ] 及び無次元過飽和度 c/c_s [-] の経時変化を表わしている。図1、図2、図5を時間を追って対応させながら見ると、槽内の過飽和度の急激な増加とともに、まず一次核が大量に発生している。槽内の結晶数の急増は、結晶の成長のために溶質を大量に消費させ、約 10 分後過飽和度を急激に減少させる。過飽和度の減少は一次核の発生を抑え、代わって二次核発生が支配的となる。この場合、二次核発生速度は大きくないので、槽内の結晶数がしだいに減少し、約 2 時間 30 分後過飽和度の増加によって再び一次核の大量発生をひき起こす。以後は、一次核発生支配と二次核発生支配が交互に起こり、約 1 時間 40 分の周期で槽内の状態が変動する。これは平均粒子半径 r_{vm} の周期変動として

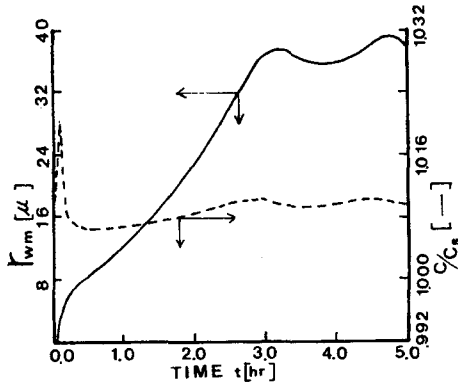


図5 $k_1 = 0.5 \times 10^{18}$ 、 $k_2 = 500$ における無次元過飽和度及び平均粒子半径の経時変化

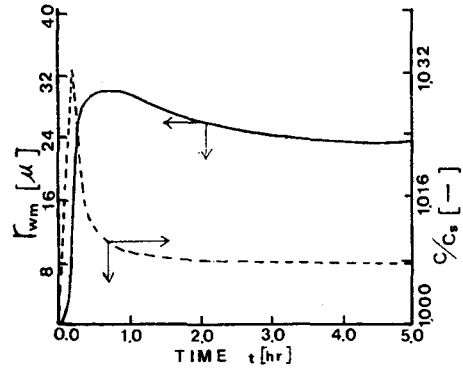


図6 $k_1 = 0.5 \times 10^{10}$ 、 $k_2 = 5000$ における無次元過飽和度及び平均粒子半径の経時変化

表われる。

この事から、槽内の結晶核発生が一次核支配である場合、核発生速度が過飽和度に大きく左右される事が分かる。また、核発生による過飽和度の減少は、核発生に直接消費される溶質によるより、その後の結晶の成長に消費される溶質による割合が格段に大きいので、核発生に対して過飽和度変化は遅れがある。この遅れのため、一次核発生と過飽和度の相互干渉によって系が不安定な周期変動を起こす事が分かる。

図3、図4、図6、は $k_1 = 0.5 \times 10^{10}$ 、 $k_2 = 5000$ の場合で、結晶核発生は二次核支配である。図3、図4、図6を時間を追って対応させながら見ると、過飽和度の急激な増加によって、まず一次核が大量に発生する。約20分後には結晶の成長によって溶質が消費され、過飽和度が減少する。過飽和度の減少は一次発生を抑え、二次核発生が支配的となる。また、槽内からの結晶の抜き出し速度に対して、二次核発生速度は充分大きいので、約3時間後には槽内の結晶数は定常状態となり、安定な系となっている。

4. 結 言

結晶核発生が一次核発生支配である場合、槽内の結晶数変化に対して過飽和度変化に遅れがあるため、一次核発生速度と過飽和度の相互作用は、系に周期的変動を起こさせ、不安定な系となる。

二次核発生速度と過飽和度の相互作用は小さく、安定な系となる事が分かった。

従って、連続式完全混合型晶析装置の安定操作は二次核発生支配領域で行なう事が必要である。

参考文献

- 1) Steven M. Shor and M. A. Larson: Chem. Eng. Progr., Symp. Ser., 67-110, 32 (1971)
- 2) 中谷武志: 奈良高専研究紀要 21 65 (1985)

活性炭の再生に関する研究 (2)

梅原 忠

Regeneration of Activated Carbon (2)

Tadashi UMEHARA

Rates of thermal decomposition were measured for Sodium laurylsulfate adsorbed on granular activated carbon. The rate data were obtained in a thermal gravimetric apparatus (TGA) operated both at constant temperature (578 to 633 K) and with a constant rate of temperature increase from 298 to 973 K. About 40% of the adsorbed material could be removed at temperature up to 630 K and about 40% of the adsorbed material could be eliminated by further heating to 973 K.

The kinetics of the decomposition up to 630 K could be explained by a first order reaction and the remaining 40% of the original adsorbed material decomposed slowly at temperature up to 930 K, and about 20% of the original adsorbed material remained on the carbon.

These results suggest that inorganic material residue remains on the carbon at 973 K.

緒 言

吸着操作は、有効成分の回収、不純物の除去等、混合物の分離に用いられる単位操作の一つである。近年、活性炭を用いた分離操作が多く行われているが、高い選択性を持つもの、比表面積の大きい活性炭は、製造コストが高く、使用後は再生して利用することが望ましい。

筆者らは、吸着した活性炭を再生利用する場合の、最適再生条件を見出すことを目的として、再生の速度論的研究を行ってきた^{1~4)}。しかし、再生に関するデータは少なく、再生装置設計を行うには、さらに多くのデータを必要とする。今回は、水汚染物質として、ラウリル硫酸ナトリウムを吸着質に選び、吸着活性炭の等温及び昇温下での熱再生実験を行い、脱着（分解）過程の速度論的検討を加えた。

1. 実験装置及び方法

使用した活性炭は、武田薬品製 X-7000 で、48~60 ムッシュ（平均粒径 270 μ ）に粉碎調整したものである。

試量の微粉及び吸着不純物を除去するために、蒸留水中で数回煮沸洗浄した後、393 K の乾燥器で 1 昼夜乾燥させ、デシケータ中に保存した。

活性炭へのラウリル硫酸ナトリウムの吸着量は、前報⁴⁾

同様、吸着前後の溶液濃度を全有機炭素測定装置を用いて測定し、濃度差より吸着量を求めた。また熱再生実験も同様に、ラウリル硫酸ナトリウムを吸着した活性炭約 3~5 mg を熱重量分析装置に装填し、等温 (578~633 K) 及び昇温 (5 K/min) 下で重量変化を測定した。用いた装置は、すべて前報と同一である。

2. 結果及び考察

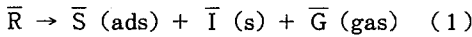
ラウリル硫酸ナトリウムを吸着した活性炭の熱重量測定結果の 1 例を図 1 に示した。同図には、ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム (DBS) 及びポリエチレングリコール (PEG) の結果も合わせて示した。図より明らかなように、比較的低温で吸着物質のほとんどが脱着してしまうもの (PEG)、高温まで温度を上昇させても、残渣がかなり存在するもの (DBS) 等、吸着物質により熱重量分析結果は、異なった様子を示すことが判かる。

ラウリル硫酸ナトリウムは、前記 2 つのタイプの中間的な挙動を示している事がわかる。すなわち、脱着は、比較的低温で始まるが、高温に至るまでゆっくりと分解脱着が進行していることがわかる。また、973 K まで加熱しても、完全に吸着物質を脱着除去することは出来ない。これは明らかに、ラウリル硫酸ナトリウムに含まれ

るナトリウムが、無機化合物として残存するものと思われる。また熱再生は、630 Kまでの第一段階と、それ以上の温度での吸着残渣が約 20 % までの 2 段階で、分解脱着が進行しているものと思われる。

そこでまず、第 1 段階の脱着過程を調べるために、等温熱再生実験を行った。図 2 には、所定の温度まで高速 (30、50 K/min) で昇温し、その後一定の温度を保ち、重量変化を測定した結果である。

吸着したラウリル酸ナトリウムの第 1 段階脱着過程を総括的に次のように考えた。



ここで、吸着ラウリル硫酸ナトリウムの 1 次に比例して、脱着が進行すると仮定すると次式が得られる。

$$dq/dt = -kq \quad (2)$$

$$\text{I. C. } t=0, q=q_0$$

$$\text{積分すると } \ln q/q_0 = -kt \quad (3)$$

(3) 式にもとづいて各等温データより速度定数を求めた。また得られた速度定数のアレニウスプロットより、活性化エネルギーを求め次式を得た。

$$k = 0.29 \exp(-2.66 \times 10^4/RT) \quad (4)$$

そこで、(4) 式を用いて各温度での等温重量変化を計算し、図 2 に実線で示した。その結果、実測値と計算値は良好に一致した。次に、等温実験で得られた結果を昇温データに適用することを試みた。m = dT/dt とおくと、

$$dq/q = -k_0/m \cdot \exp(-E/RT) dT \quad (5)$$

(5) 式を積分すると次式が得られる。⁵⁾

$$\frac{q}{q_0} = \frac{k_0 E}{m R} \left\{ -\frac{\exp(-E/RT)}{E/RT} + E_1(-E/RT) \right\} \quad (6)$$

$$E_1 = -\int_x^\infty \frac{e^{-x}}{x} dx, \quad X = E/RT \quad (7)$$

(6) 式を用いて昇温時の重量変化を計算し、その結果を図 3 に破線で示した。計算結果は、実測値をほぼ説明出来ることがわかった。従って、第 1 段階は、吸着ラウリル硫酸ナトリウムの 1 次に比例して脱着が起こっているものと考えられた。

次に 630 K 以上の高温で、さらに重量減少が起こる第 2 段階については、等温測定が困難であるので、第 1 段階の吸着残渣の一部が、1 次で分解脱着しているものと考えた。

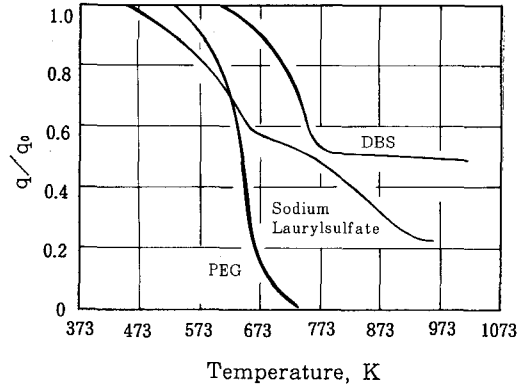


Fig. 1 Typical TGA data of organics

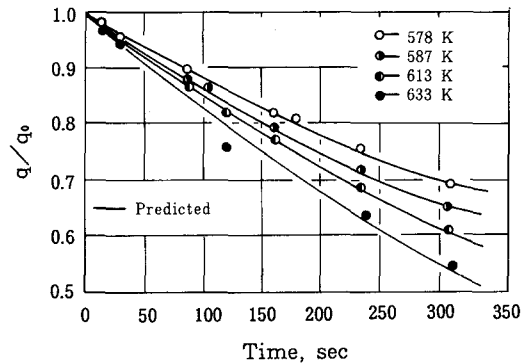
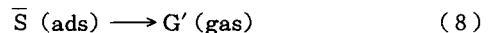


Fig. 2 Experimental and predicted weight vs. time data at constant temperature



Fig. 3 Experimental and predicted TGA curves



昇温測定結果を用いて、鈴木ら⁵⁾の方法により、活性化エネルギーを求め、(6) 式を用いて、第 2 段階重量変化を計算した。その結果を、図 3 に破線で示した。図より

明らかなように、第2段階も1次の分解脱着機構で、ほぼ実測結果を説明出来ることが判った。なお、計算に使用した諸数値は、 $m=0.0833$ 、 $k_0=0.411$ 、 $E=4.32 \times 10^4$ であった。

なお、高温時での熱分解残渣及び熱再生後の比表面積、吸着能力については、さらに検討を加える必要がある。

結 言

ラウリル硫酸ナトリウムを吸着した活性炭の熱再生実験を行った結果、脱着は630 Kまでの第1段階と、それ以上の高温での第2段階の過程で進行することが判った。両過程とも、脱着速度は、1次で進行すると考えることが出来た。また、高温での吸着残渣は、吸着量の20%であることがわかった。

[付記] 実験の一部は、江藤 鋼(現タカトリ機械)君の協力を得ました。付記して感謝致します。

Nomenclature

E: Activation energy of thermal cracking (J/mol)
 G, G': Gaseous product (-)

I: Intermediate product retained on the carbon (-)
 k: Rate constant (1/sec)
 k_0 : Pre-exponential factor (1/sec)
 m: Heating rate (k/sec)
 q: Amount absorbed (g/g-carbon)
 q_0 : Initial amount absorbed (g/g-carbon)
 R: Gas constant (J/mol K)
 R: Adsorbed form of Sodium laurylsulfate(-)
 S: Adsorbed product of decomposition (-)
 T: Temperature (K)
 t: Time (sec)

Literature Cited

- 1) Umehara, T., P. Harriott, and J. M. Smith, *AIChE Journal* 29, 732 (1983)
- 2) Umehara, T., P. Harriott, and J. M. Smith, *ibid* 29, 737 (1983)
- 3) Umehara, T and J. M. Smith, *ibid*, 30, 177 (1984)
- 4) Umehara, T., *Research Report of Nara National College of Technology*, 23, 49 (1987)
- 5) Suzuki, M., D. M. Mistic, O. Koyama, and K. Kawazoe, *Chem. Eng. Sci.*, 33, 271 (1978)

Shakespeare's Use of Music in "The Tempest"

— How the troubles are solved? —

Kazuaki KAMIZAWA

Shakespeare has the mature technique of using music effectively in his plays. In his later plays, 'romances', he often uses the music not only to entertain the audience but also to express the mentality of characters and the atmosphere of the scenes. In this essay, I try to analyse his use of the music in his play, "The Tempest", and find how the music helps to introduce the theme of 'forgiveness'.

(The quotations from 'The Arden Shakespeare' edited by F. Kermode. Underlined by myself.)

I

Miranda. If by your Art, my dearest father, you have/ Put the wild waters in this roar, allay them. . . .

Prospero. There's no harm done. (I. ii. 1-3)

It's sure that there is no harm (as Prospero says) in his tempest, which seizes King Alonso's ship like a hole of an ant lion. It may also be taken the tunnel connecting the outer world of the ship-people and the inner one of this enchanted island. The tempest by his Art seems rather imaginary to us, the audience, as his old story does to Miranda. But it is the fact that Prospero and his lovely daughter (Miranda) was banished from Milan by his treacherous brother (Antonio) and King of Naples (Alonso), and which could be the true beginning of this play.

Prospero. . . .By accident most strange, bountiful Fortune,/ (Now my dear lady) hath mine enemies/ Brought to this shore. . . . (178-180)

Now we, the audience, can naturally expect to see his revenge on stage, though we aren't sure how it will be done. Shakespeare's contemporary playwrights liked to write such "blood-and-thunder tragedies", as "The Spanish Tragedy"¹⁾ or "The Duchess of Malfi"²⁾, because their audi-

ences had a great favour of this kind of brutality. Even Shakespeare wrote some bloody tragedies or scenes, as "Titus Andronicus", "Hamlet", and so on. The conventional rule of revenge is "eye for eye and tooth for tooth".

"Ling'ring perdition—worse than any death can be at once. . . in this desolate isle". Ariel in the shape of Harpy declares the sins of Alonso and his two fellows, Antonio (Prospero's disroyal brother) and Sebastian (Alonso's ambitious brother) to doom this dreadful punishment. And then, Prospero says with satisfaction as follows;

Prospero. . . .My high charms work,/ And these mine enemies are all knit up/ In their distractions: they now are in my power. (III. iii. 88-90)

He has the undefeated initiative of this play, because he can control any other characters at his will by using his magic. These words suggest his strong will, but. . . To our surprise, he generously declares that he will forgive all his enemies, even partly against his mind.

How the forgiveness has replaced the revenge?

II

Here we should make it clear what the element of Prospero's Art is. We know he has three magical instruments like a traditional wizard in fairy

tales; his mantle, staff, and books.

When he uses his Art, he wears his mantle (he calls it "my Art"), and when he rests, he puts it off. This mantle shows his status in this island. When he goes back to the earthy world, he must wear the rich golden garment as the Duke of Milan. This is the reason why he changes his mantle before he sees Alonso and others in the final act. After that he never wears his magical garment, and his state shall be proved by his nobleness, not by his magic.

His staff, though it is only once referred in Act 5 (Prospero. . . I'll break my staff, . . . [V. i.]), it may be more materialistic than his garment, when controlling his spirits. As we know, in the early orchestra, the conductor used to lead his players with a very long staff by knocking the floor. "Papa" Hyden once stroke his foot by his staff so heavily that he was dead from this wound.

And his books. Those are the most important things for his magic. With the books Prospero can use his spirits. Caliban repeats to his drunken fellows that they have to seize the books from Prospero in order to kill him.

Caliban. First to possess his books; for without them/ He's but a sot, as I am, nor hath not/ One spirit to command. . . (III. ii. 90-92)

These books Prospero has brought into this island with him when he and Miranda were cast in the sea banished powerlessly from Milan. These books should contain the ways to let the spirits only on this island to work.

What are the spirits then? Especially what is Ariel, their leader?

As his master says, he is only the air, the touch, the feeling and sweetness.

Though Prospero and the audience can see him, all other characters in this play cannot see him in his own shape. When he appears on stage for the first time, Miranda is made asleep by her father not to see him, and after that, by Prospero's words we are convinced that Ariel is usually invisible to the other characters.

He is "too delicate to act the earthy and abhor'd commands", so Prospero must use Caliban for his everyday needs. Ariel makes illusions with his fellows, such as a fire, monsters, and a masque of goddess, and doesn't work materially. He mostly works upon others' minds. From this, we can imagine that he is not physical but mental being.

What more should I say about him?

Ariel's nature is the music. In Elizabethan age the word 'air' or 'ayre' also meant the melodious music with, or without song. Every audience at that age could love him, for the music often takes the very important and effective part for the world of Shakespeare's theatre.

Now we will see how Prospero's magic, the music, works to proceed the action in this play.

III

In this play Ferdinand is the first person who hears the music. Differently from other persons, his first appearance on this island (I. ii.) is accompanied with songs. This suggests us that he is accepted by this enchanted island. And its fantastic music gives him solace, not surprise.

Ferdinand. Weeping again the King my father's wrack/ This music crept by me. . . / Allaying both their fury and my passion/ With its sweet air: (I. ii. 393-396)

For him the music is good thing to calm his troubled heart. He admits that the music is effective to both sadness and excitement. Though he cannot recognize from where this music comes, he is sure this music is celestial and not to be feared, so he can say;

Ferdinand. Where shold this music be? i'th' air or the/ 'arth? . . . / . . . and, sure, it waits upon/ Some god o' th' island. (. . .) thence I have follow'd it, / Or it hath drawn me rather. But 'tis gone. (I. ii. 390-397)

His words are correct. Ariel induced him with

songs as Prospero ordered him. The audience can imagine that invisible spirit disguised as the sea-nymph comes singing into the stage followed by the prince.

But we have a small question. Is Ferdinand such a calm and noble person by nature? We have been already informed of his character by Ariel.

Ariel. . . Then all afire with me the king's son Ferdinand, / With hair up-staring—then like reeds, not hair— / Was the first man that leaped; cried, 'Hell is empty, / And all the devils are here' (I . ii . 212-215)

By these words we could imagine how Ferdinand is brave and masculine, in other words, how bold and hot-tempered. Such a young man could jump into the wild sea again if he couldn't find any remedy for his misfortune. But now we see a sophisticated young prince. What has changed his character? Such chances he had twice. The first one he got when he dove into the sea. At that time he may have been dead as other people may have (so he believes). Through the sea water, his imaginary death, his fierceness was calmed to refine him. We should remember Gonzalo's words;

Gonzalo. . . which is indeed almost beyond credit, . . . / That our garments, being, as they were, drenched in the / sea, . . . their freshness and glosses, / being rather new-dyed than stained with salt / water. (II . i . 56-62)

In fact, it is not only their garments that are renewed, we know. 'New-born' Ferdinand is like a child opposed with sorrow and fatigue.

Ariel. The King's son. . . / Whom I left cooling the air with sighs / . . . and sitting, / His arms in this sad knot. (I . ii . 221-224)

Then Ferdinand gets, or is given, his second chance to change his mentality. We mustn't miss that Ferdinand alone can hear the complete

songs among the people from the outer world. He can be effected by the music.

The two songs which he hears in this scene work upon him differently.

The first one, 'Come unto these yellow sands', is a jolly song and played in order to sweep his sorrow off.

Ariel. Come unto these yellow sands, / And then take hands: / Courtsied when you have and kiss'd / The wild waves whist: / Foot it feately here and there.

This song can be for dance, and the words show the persons how to do. It is very probable that Ferdinand is familiar to this kind of music, and so it is the right decision for Ariel to use this song first, if not, Ferdinand cannot listen to more music with his heavy grief.

Ariel. And sweet sprites bear / [The burthen] Hark, hark. / [Burthen dispersedly] Bow-wow. / The watch dogs bark: / [Burthen dispersedly] Bow-wow. / Hark, hark! I hear / The strain of strutting chanticlear / Cry-- [Burthen dispersedly] Cock a doodle doo.

Actually his imitation of animals' voices was a routin for the 'masque'³⁾ music, we know. Anyway, these earthy sounds make young Ferdinand (and the audience, too) feel more relaxed.

Ariel's intention is supposed to make Ferdinand's mind free and induce him to move, for the bodily movements can also release the mental strain.

The next song which Ferdinand calls 'ditty' intends another effect. From this first line, 'Full fadom five thy father lies', we get the more serious and calm feeling, for the words suggest the death in the sea. Ferdinand understands the words 'thy father' as his father, so he thinks that "The ditty does remember my drown'd father."

The calm atmosphere of this song influences the young prince. He now can calmly accept his father's death. He must be independent, for, he knows, there is no person to help him, and he can

be really brave. He is no more surprised by the miracles of this island. When he sees Miranda, who appears after the wondrous music, he admires her beauty without fear and falls in love at once.

Ferdinand. Most sure the goddess / On whom these airs attend. / (424-425)

I have used many lines to analyse the music in this scene, because Prospero's magic works best upon Ferdinand.

Then, how the other characters hear the music?

IV

The court people hear the music in Act 2, Scene 1. In this scene Ariel plays music twice, and these music work oppositely.

Enter Ariel [invisible] playing solemn music.

Gonzalo. . . Will you laugh me asleep, for I am very heavy?

Antonio. . . Go sleep, and hear us.

[All sleep except Alonso, Sebastian, and Antonio]

Alonso. What, all so soon asleep! I wish mine eyes / Would, with themselves, shut up my thoughts: I find / They are inclin'd to do so.

Sebastian. . . It is a comforter. (. . .)

Alonso. Thank you.—Wondrous heavy.

[Alonso sleeps. Exit Ariel]

Sebastian. What a strange drowsiness possesses them! (. . .) Why / Doth it not then our eyelids sink? I find not / Myself dispos'd to sleep.

Antonio. Nor I; (177-197)

This time the music works as a comforter of the sorrow and tempts the people to sleep. But the responses of these people are not the same. The innocent persons like Gonzalo soon fall asleep. Alonso who committed sin to Prospero cannot easily fall asleep in spite of his wish. Sebastian and Antonio cannot sleep at all, because they still try to commit the new sin even in this island. Shakespeare cleverly shows us with the music the difference among the characters.

Another similar trick our playwright uses later again. When Antonio and Sebastian try to kill Alonso and Gonzalo, Ariel reappears to help those old persons. As he isn't material being, what he can do is to sing in Gonzalo's ears to wake.

Enter Ariel [invisible], with music and song.

Ariel. My master through his Art foresees the danger / . . . and sends me forth, — / For else his project dies, — to keep them living.

Gonzalo has the noble mind to accept Ariel's music and hears it as an angel's music. Antonio and Sebastian also hear the sound, but they take it as "a hollow / Burst of bellowing / Like bulls, or rather lions", because they are wicked and so threatened by the beauty of music, as the devil fears the sacred prayers. Alonso "heard nothing." Fortunately we the audience can hear the music, which satisfies our mind.

As for the fools (Stephano and Trinculo), who conspire with Caliban against Prospero, were first afeared by the music of the island.

Trinculo. This is the tune of our catch, played by the picture / of Nobody.

Stephano. . . if thou beest a devil, take't as thou list.

Trinculo. O, forgive me my sins!

Stephano. . . Mercy upon us!

Caliban. Art thou afeard? (III. ii. 125-131)

These mariners are realists, and at first they are afeared because they cannot see any player of the music. But they can accept any situation easily, so after Caliban's explanation, they have no fear any more.

Stephano. This will prove a brave kingdom to me, where I / shall have my music for nothing.

Trinculo. The sound is going away; let's follow it, and / after do our work. (142-147)

To these persons, Prospero's Art is not very effective, so he uses hounds in order to punish them

physically, not mentally. In short, they are already possessed by the liquor, and even the music cannot beat the drunkenness and love, as we know. Stephano calls his bottle "book", and the same word means Prospero's key of his Magical power. We remember Stephano's words when he appears.

Stephano. This is a very scurby tune to sing at a man's funeral; well, here's my comfort [Drinks.] (II. ii. 45-46)

Some of us feel it very strange that Caliban can appreciate the beauty of the music and loves it. (He speaks in verse!) His ugly shape makes the audience suppose that he is too vulgar and wicked, but Shakespeare ironically gives this monster the most beautiful speech about music.

Caliban. Be not afeard; the isle is full of noises.
/ Sounds and sweet airs, that give delight,
and / hurt not. (III. ii. 132-134)

The sounds can be made by the waves, animals, and spirits. They give delight to the people who hear, when they have the mind to accept it. It hurts no person physically, because it is just the air, as the tempest at the first scene was.

Caliban. . . .and sometime voices, / That, if I then had wak'd after long sleep, / Will make me sleep again: and then, in dreaming, / The clouds methought would open, and show riches / Ready to drop upon me; (136-140)

The music usually tempts him to sleep, because the sleep is the best comfort to troubled minds as already said. We know that Caliban is always (as most of us are) complaining. He could be happier in his dream. He has no friend in this island. The spirits cheat him, Prospero scolds him, he lost his mother, Sycorax, in his babyhood, and he cannot go out of the island. Then, the miracle of the island can be his best friend. He may know the music reflects the general rule of the harmonious universe, so he looks up the

sky to see the riches which can be the symbol of treasury notes of music. But to his and our pity, the music cannot stay in space or time, and disappears instantly. We have no way to get the passed sound back.

Caliban. . . .that , when I wak'd, / I cried to dream again. (III. ii. 133-141)

We can hear such words from innocent children. This fact that, notwithstanding his ugliness and vulgarness, Caliban likes music so much, makes us be inclined to love this unique character. Caliban seems to be more closely attached to this island than Prospero and Miranda. It's quite probable the music Caliban hears and enjoys in this island is different from that Prospero can control.

It is very strange that, though Caliban speaks of the sweetness of the music in this island, Miranda, our heroine, doesn't suggest us her likeness to the music at all. She neither speaks of music nor sing or play music. Prospero says;

Prospero. . . .here / Have I, thy schoolmaster,
made thee more profit / Than other princess'
can, . . . (I. ii. 171-173)

But if he hasn't taught the music to Miranda, he is a quite bad teacher, for it is the most important culture in Shakespeare's age. As we know, King Henry VIII was an excellent musician (both good player and composer), and Queen Elizabeth I played the virginal and danced wonderfully before the foreign ambassador. The people enjoyed singing and playing music and they could sing a new song at first sight. From the books at this age, such as famous Thomas Morley's⁴⁾ "A plaine and easie introduction to practical musicke", we can see it was a great shame, even a scornful fault, for the people of the upper class to be incapable of singing or playing music.

Therefore, Prospero should have given her the instruction of music, for she has a gentle mind. But in this play he kept her and himself from music till the masque scene. I suppose that he may feel it unsuitable for his plot of revenge to hear

the music.

V

We can now think about how Prospero's mind has changed. He is very dittered from the beginning of the play. When we see him holding his staff high after the tempest scene, we are inclined even to imagine that the tempest may have been transformed into his shape. He is so irritating while he narrates the long story to Miranda or Ariel. Can we believe that such a difficult old man becomes so generous that he can forgive his all enemies? We must find out his turning point.

We see him in Act 1, Scene 2, for the first time. His displeaseness here is very natural, for he has to tell (and live again in imagination) his unhappy story, which reminds him of his old agony. Moreover, his daughter is not keen on listening to him. After that, he makes a long speech with Ariel, but he gets dittered again, for his spirit complains of his slavery. Then he faces his servant monster, Caliban, who is always speaking ill of his master.

After a short exit from the stage, Prospero appears again to let Miranda to meet Ferdinand. At that time, he still be cynical and stern, for Ferdinand is his enemy's son, though he has the plan to make him Miranda's lover. For example;

Ferdinand. . . . ; the Duke of Milan / And his brave son being twain.

Prospero. [Aside] The Duke of Milan / And his more braver daughter could control thee, / If now 'twere fit to do 't. (I . ii . 440-442)

He behaves unkindly to Ferdinand.

Miranda. Why speaks my father so ungently? / . . . : pity move my father / To be inclin'd my way. (447-448)

Her words suggest us both that she has a favour with this young man and that Prospero's sternness is not usual and natural.

Prospero appears again in Act 3, Scene 1, to observe his daughter and Ferdinand. Here he even says the blessing for this young couple, and he is apparently delighted to see his plot going well.

Prospero. So glad of this as they I cannot be, / Who are surpris'd with all; but my rejoicing / At nothing can be more. (III . i . 92-94)

He is satisfied in this part of his plot, but to his enemies he is still serious. He has another plot and more work which needs him to remain a stern magician.

Prospero. . . . I'll to my book; / For yet, ere supper time, must I perform / Much business appertaining. (94-96)

Then in Act 3, Scene 3, Prospero appears invisible. On the stage several spirits perform a strange banquet before the court people, as he instructed. Here he uses his Art best.

[Solemn and strange music; and Prospero on the top (invisible). Enter several strange Shapes, bringing in a banquet; and dance about it with gentle actions of salutations; and inviting the King etc, to eat, they depart.]

Aonso. What harmony is this? My good friends, hark!

Gonzalo. Marvellous sweet music! (III . iii . 18-19)

This time Alonso can also hear the music. Prospero is warm to Gonzalo, but looks at his enemies grimly.

Prospero. [Aside] Honest lord, / Thou hast said well; for some of you there present / Are worse than devils. (34-36)

Then Ariel in the figure of Harpy comes and declares the sins of the three wicked men and dooms their punishment, which drives them mad instantly. The reason why Prospero uses this trick is to show his revenge as justice of God, or

something like that. If he or his ghost appears to blame them, this punishment should be very private.

Ariel. . . .and do pronounce by me / Ling'ring perdition—worse than any death / Can be at once—shall step by step attend / . . . here, in this most desolate isle, else falls / Upon your heads, —is nothing but heart-sorrow / And a clear life ensuing. (77-82)

I actually feel strange that he easily leaves his enemies, without observing. Isn't it more pleasant for a common person to see his enemies torturing? Prospero's revenge is certainly a different kind from we usually suppose.

In Act 4, Scene 1, Prospero's opening words are very meaningful.

Prospero. If I have too austerely punish'd you,
/ Your compensation makes amends; for I /
Have given you here a third of mine own life,
/ Or that for which I live. (IV. i. 1-4)

These words are given to Ferdinand here, but, just after the banquet scene, we tend to imagine that this apology can also be given to the others.

Prospero seems to have chosen this prince as his daughter's bridegroom from the very beginning of this play. Therefore, Prospero's words, "thou hast strangely stood the test" makes us feel strange. From this speech we feel, Prospero tries to hide his trick from his daughter and Ferdinand. Then, his decision to have a 'masque' can be taken by us in order to fortify the divinity of the marriage.

Prospero. Thou and thy meaner fellows your last service / Did worthily perform; . . . Go bring the rabble, / . . . Incite them to quick motion.

Ariel. . . . Presently?

Prospero. Ay, with a twink. (42-43)

The fact that all spirits have been back to their own place and Prospero has to tell Ariel to call

them up again in order to perform a masque suggests us that Prospero hasn't planned the masque in advance.

Prospero in Act 4 is a little different from him before. He has a calm and gentle atmosphere here. Probably he has been tempered by charging his old enemies of their sins, and now his mind can accept some pleasant moment. Then he chooses a masque, music and dance. He listens to the music, the element of his Art and the miracle of the island, as just a hearer. And the music seizes his mind and lets him indulge in itself. All at sudden he stops the masque halfway with distemper. Because he remembers Caliban's conspiracy, which makes him realize that all of his (and men's) efforts can't always be repayed.

The result of them exists beyond his endeavour. He follows like this;

Our revels now are ended. These our actors,
/ As I foretold you, were all spirits, and / Are melted into air, into thin air. (148-150)

Prospero means that the masque which celebrates their marriage is acted by the spirits of thin air, nothing real, therefore Ferdinand and Miranda don't have to worry about its sudden interruption. But if so, the celebration of the goddess should be also nothing important and celestial. It must not be so. His real meaning can be found in the following words.

Prospero. . . .And, like the baseless fabric of this vision, / The cloud-capp'd towers, the gorgeous palaces, / The solemn temples, the great globe itself, / Yea, all which it inherit, shall dissolve, / And, like this insubstantial pageant faded, / Leave not a rack behind.
(151-156)

We find a small leap of logic here. There is the clear difference in quality between theatrical performances (software) and buildings (hardware). But in the endless flow of time, nothing produced by human beings can last for ever. Such thought is common among the philosophi-

cal people, because it is traditional since Greek age. Then it could also be popular among the people in the Renaissance, so Shakespeare and his company may have had the same idea. I believe here we hear Shakespeare's own words. And the playwright keeps speaking.

Prospero. . . . We are such stuff / As dreams are made on; and our little life / Is rounded with a sleep. (156-158)

These words sound calm and gentle but not sad or sorrowful. Our life can be the same as the dream, but it's not bad. When everything on the earth is momentary after all, why not our lives? In this play, we should remember, "sleep" and "dream" are important words with good meaning.

Then Prospero came back to himself, a character of the play.

Prospero. . . . Sir, I am vex'd; / Bear with my weakness; my old brain is troubled. / Be not distrust'd with my infirmity: (158-160)

We say these words should not have been said by Prospero before. He now admits his weakness and bewilderment. Prospero can't find why and how it has happened to himself. He tries to recover his sternness and the former state of the master of the island by punishing Caliban. But his way to punish the conspirators, hunting them with the spirit-hounds, is a kind of child-play. He should be a grave judge to any evils in this island, but he is not now, and even gives up the another punishment to his old enemies whose sins are far greater than Caliban's. In other words, his hunting Caliban and fools is the substitute of the severer punishment to his enemies of court party. He feels that he doesn't want more torture on them, but he still, and the audience also, need to see the villains torturing. After this hunting, Prospero seems to be tempered so much. And he says the word "mercy" for the first time.

Prospero. Let them be hunted soundly. At this

hour / Lies at my mercy all mine enemies: / Shortly shall all my labours end, (262-264)

This Prospero is not he who causes the tempest at the beginning of this play, but he who in Act 5 tells his forgiveness to his old enemies.

Prospero. . . . Most cruelly / Didst thou, Alonso, use me and my daughter: / Thy brother was a furtherer in the act. / Thou art pinch'd for't now, Sebastian. Flesh and blood / You, brother mine, (. . .) / . . . I do forgive thee, / Unnatural though thou art. (V. i. 71-79)

It is more unnatural that Prospero has changed his angry mind into the calm forgiveness. And he confesses that he cannot endure his enemies' pains and struggle as a man, a noble man.

Ariel. . . . if you now behold them, your affections / Would become tender.

Prospero. Dost thou think so, spirit?

Ariel. Mine would, sir, were I human.

Prospero. And mine shall. (V. ii. 18-20)

These words are very meaningful, for we find Prospero confess here that he is human.

In this final act he doesn't use the word, "enemies". When he asks Ariel of Alonso and his followers, he says, "How fares the King and 's followers?" And Ariel's reply sounds very pitiful. "All prisoners (. . .) cannot budge till your release." This spirit is so tricky that he describes how much "good old Gonzalo" is also in sorrow, who was the only kind person to Prospero in the court company (therefore, Prospero first embraces this old lord before he does the King). In this scene Ariel brings the word "affection" into his speech. Now he recognizes Prospero as a man with humanity for the first time.

His words cleverly change the point from this old man to the wicked three persons. When he says, "Your charm so strongly works'em", this "them" can mean both good Gonzalo and the villains. Then "if you now beheld them, your affections would become tender" draws Prospero's

tendered mind to self-awareness of humanity. Replying Ariel's words, now he should admit that he is human with affection and can be moved more kindlier than his spirit, the only air.

Prospero. . . and shall not myself, / One of their kind, that relish all as sharply / Passion as they, be kindlier mov'd than thou art?
(22-25)

"Passion" can also be very characteristic of human beings. With passion, Ferdinand and Miranda fell in love each other, Antonio has usurped Prospero's dukedom, Sebastian tried to kill Alonso, and Prospero planned to revenge his enemies.

Prospero. Yet my nobler reason 'gainst my fury / Do I take part: the rarer action is / In virtue than in vengeance: (26-28)

It's too rare for a man to be so generous as to forgive his enemies in the real world, even though being desired. In this play our Prospero seemingly tries to take such a god-like part, but hardly when he has taken the part of almighty, he must abandon it as soon as he can, if not, he cannot be back a human being, the father of Miranda, the Duke of Milan. In other words, he shall lose his position as one of the character of the play.

Prospero. Go release them, Ariel: / My charms I'll break, their senses I'll restore, / And they shall be themselves. / . . . I'll break my staff, / . . . I'll drown my book. (30-32)

To this conclusion, we notice, he has already reached in the preceding act.

Prospero. . . At this hour / Lies at my mercy all mine enemies. (IV. i. 262-263)

He uses the word "mercy" (which reminds us of the famous speech of Lady Portia in "The Merchant of Venice") for the first time. Though he

still calls the wicked "mine enemies", we cannot miss that his mind has been a little tendered. He is thinking of mercy now, to come to the calm end, and suggests us the possibility of forgiveness here, involuntary. That's also what the audience of this play wishes to have.

Though actually he has changed gradually in this play, the great turning point we can find at Act 4, Scene 1. The 'masque'. Even though he uses the music as his magic, he cannot be the ultimate master of its celestial power. We know this island is full of music and even the people out of Prospero's control hear the music as our Caliban does. Prospero cannot be greater than the music, then he also cannot be out of its power.

It is very natural that his mind of revenge is influenced by the heavenly music.

Prospero. A solemn air, and the best comforter / To an unsettled fancy, cure thy brains.
(V. i. 58-59)

After all we know what the music has cured in this play is not only the villains' brains. It's a very strange ending that he will forgive even dangerous Antonio who still keeps his villainous mind, which may cause another tragedy in the near future after their going back to Milan. When Prospero conceived his plot at first, he made another ending in his mind, I suppose. But his mind has changed and is aware that he is a mere human being after all who has no right to judge others instead of God. He has finished playing his tune. What will happen henceforth belongs to "the brave new world".

Shakespeare brought the music into his early comedies as means of entertainment, later as the means to express (or explain) the characters or atmosphere of the scene in his plays. And in "The Tempest" he gave the music the part to influence the characters and the plot. That is actually the very important and invisible character in this play. This kind of using music is Shakespeare's first experience and, to our pity, his last one.

VI

As the audience, we have seen what has happen in this play. The music works well, Prospero's anger has been tendered, and his revenge has given its place to forgiveness. Then he can get our sympathy after all as one character of this play.

Now I dare to try to see this play conversely. Prospero has often been taken as Shakespeare's alter ego by many critics who like to try to let Prospero to stand out of the play. They usually say that our great playwright expressed his own speech about his retirement from theatre world in this his 'last' play. I don't agree with them, but I should admit Prospero's part in this play can be regarded to reflect Shakespeare's idea of forgiveness. From this point of view, I want to see this play again. In short, then, I presume this play is a kind of inner-play produced by Prospero. It is a play of forgiveness with the flavour of revenge. With this presumption, we can give the reasonable answers to some questions, such as why Prospero refers to the time when he'll finish his work at the beginning of the play. He has already made the whole plot of his play, so he knows how long should it take to play it through and suggests that to us in advance.

Prospero. What is the time o'th' day?

Ariel. Past the mid season.

Prospero. At least two glasses. The time 'twixt six and now, / Must by us both be spent most preciously. (I . ii . 239-41)

Every character has his or her own role in his play unconsciously, and Prospero himself takes some, too. Miranda and Ferdinand play the typical "prince and princess" in fairy tales and Prospero plays the rigid father. When he becomes so stern to Ferdinand, his daughter points that he is unusual, because he intends to play such a part.

Miranda. . . My father's of a better nature, sir, / Than he appears by speech: this is unwonted / Which now came from him. (I . ii . 499-501)

He is aware how each part should be played, and he takes care of even the costume. This can be the reason why he orders invisible Ariel who allures Ferdinand with songs to take the shape of the sea-nymph (according to the Greek myth).

As he has already decided to forgive his old enemies, his intention is rather attracted to the uncertain love affair. So he himself is staying with his daughter and her lover, while letting Ariel watch the court party. He may have forecast that Antonio and Sebastian try to kill Alonso, for their roles are traitors as they used to be (to Prospero). Now Alonso has to take the similar part as earlier Prospero. It's a clever trick of the playwright. Because we see the assailant can also be the injured through Alonso, we know "the fair and the foul" are not sure (in "Macbeth" our playwright has already said so) and depending on the situation, and we realize that the tragedy of Prospero is not uncommon in the world.

We can notice another important thing, too. The wracked people, especially the villains and fools, behave as they used to do in the world even in this ultimate situation. When we see them acting, we should be convinced that the natures of people don't easily change. We know that the world always has the similar troubles and problems as ever.

Caliban and the fools are acting vividly out of his intention. That's probably because they are not charmed by his magic. As for Caliban, he can appreciate the music rightly in spite of his ugly shape, and fools are more charmed by liquor. This subtle trick shows that Prospero is not so perfect because he is also still a character made by the playwright. He has his life and feeling. And when he decides to punish Caliban, he speaks with sigh.

Prospero. . . On whom my pains, / Humanely taken, all, all lost, quite lost. (IV. i . 189-190)

These words can be suitable when we realize that we have no such power at all to change the nature of matters or people's minds. Knowing

this, we can, or must, accept the world as it is.

I recite some Prospero's words for the proof that his true intention is not to punish but to forgive.

Prospero. . . .they being penitent, / The sole drift of my purpose doth extend / Not a frown further. (V. i. 28-30)

He means that what he is doing now (torturing his enemies) is not his true intention (drift) and he'll accomplish his real purpose. And what he does now is:

Prospero. . . .Go release them, Ariel: / . . .their senses I'll restore, / And they shall be themselves. (V. i. 30-32)

No man dies, nothing has changed, and everyone regains his own character. The forgiveness in this play doesn't mean to correct the foul, but actually means to try to resolve old troubles to make the situation neutral. Prospero dares to leave out the new sin which Antonio and Sebastian have almost committed. For what purpose has he done so at all? He only should complete the circle of time at his generation in order to allow the younger one to face their own. That is the true reason for him to produce this play. He celebrates the young couple, though knowing well that the real world is not so wonderful as it seems to them.

Miranda. O brave new world, / That has such people in't!

Prospero. 'Tis new to thee. (V. i. 183-184)

We also know "the brave new world" is new only for her, because it is the same one where Prospero used to live and was banished from. We are afraid there are still many troubles and foul people. We could only hope it can be better in the new age. This grim hope makes the consistent theme in Shakespeare's romance plays.

At first we took the part of audience coming to the theatre and have seen how Prospero's revenge-

ful mind would be softened as the play proceeds (while our mind has also been tendered with the action and the music). At the end both Prospero and we could celebrate the marriage of young persons, for we felt his forgiveness should be so blessed and believed the happiness of Miranda and Ferdinand. This play looked so romantic.

Then thinking of the tricky ending of this play, after noticing Prospero's (so Shakespeare's) intention, we recognize that his forgiveness has slightly an atmosphere of compromise, and so the future of the young couple becomes in question.

Shakespeare knows the world and the people so deeply. We cannot have more happy perspective than he suggests in his plays. After all we only hope that another tempest will be blown no more.

NOTES:

- 1) "The Spanish Tragedy" (cir. 1589) :written by Thomas Kyd (1558-94). One of the most popular plays in Elizabethan theatre. The plot is the revenge by the father for his murdered son. Shakespeare could be influenced by this play, when he wrote "Hamlet".
- 2) "The Duchess of Malfi" (cir. 1613) : written by John Webster (1580?-1634?). The masterpiece of Jacobian theatre. First staged by King's Men (Shakespeare's company). Young widow Duchess Malfi made immoral conduct with her servant, and her brothers in law killed her for the family.
- 3) 'masque' : A gorgeous costume play full of music and dance (and homage for noble persons). Plots were usually derived from myth. Very popular at the court of Queen Elizabeth I and James I. The most famous writer is Ben Jonson, the best rival to Shakespeare.
- 4) Thomas Morley (1557-1606?) : One of the greatest composers of English music. Organist at St. Paul Cathedral, and Chamberlain of Chapel Royal. He is thought to write some Shakespeare's songs. In his "Plain and easie introduction. . ." he shows us a young aristocrat who had a shame because of his inability of music.

Idealized Human love

— On Henry James's *The Golden Bowl* —

Etsuo KATAYAMA

When I set about this study, I thought that a comprehensive study like Matthiessen's would be far beyond me. His essay called *The Major Phase* is based on his profound understanding of James's whole works and of the various elements of the social condition of the time in which his works were produced. So I tried to make out the meanings of this story as correctly as I can. In Blake's lines, a golden bowl is used as a symbol of love. Then how does James understand and represent human love in his novel?

I

Charlotte Stant migrates to England before the marriage of Maggie Verver and Prince Amerigo. She stays with the Assinghams and happens to meet Amerigo there. Amerigo is her former lover. She asks him to go out together and buy a marriage present for Maggie, who is also her old friend. In their search for that present they happen to go into the curiosity shop in Bloomsbury and are shown a golden bowl by a Jew shopman. Leon Edel explains the historical sources of that golden bowl as follows:

During the Christmas season of 1902, in that busy year in which he had published *The Wing of the Dove* and written the life of Story, Henry James had had an opportunity to view a objet d'art which belonged to the descendants of the Lambs, the family that had built the house he now owned. It was a golden bowl, presented by George I after his ship had put into the Sussex coast during a storm. The King had slept in Lamb House; and during his stay he attended the christening of a recently born baby in the Lamb family. The bowl was the King's gift to the child. James saw the vessel at a local bank, where it was kept in the vault. He studied it as if he were visiting a museum. To one of the Lamb descendants he wrote he had been "delighted to rest my eyes on this admirable and venerable object." It had "a beautiful color — the tone of old gold —

as well as a grand style and capacity." He added that he was eager for "every ascertainable fact" about Lamb House and felt personally indebted to your peculiarly civilized ancestor who kindly conceived and put together for my benefit, so long ago, exactly the charming, graceful, sturdy little habitation (full of sense, discretion, taste) that suits alike my fancy and necessity, and in which I hope in time (D.V.) to end my days.¹⁾

This golden bowl becomes a symbol for the theme of the novel which James began early in 1903 — "the last novel he completes during his final years. And the following lines of Blake's which James seems to have had in mind may give us a certain light upon what the golden bowl symbolize; "Can wisdom be kept in a silver rod, Or love in a golden bowl?"²⁾

II

The golden bowl which the antiquarian shows them is not the genuine, but the fake, the gilded bowl of crystal. At first sight Charlotte is taken with it and says thus: "It may be cheap for what it is, but it will be dear, I'm afraid, for me." (p. 104)³⁾ These words call our attention to the fact that Charlotte and Amerigo, once in love with each other, couldn't marry for want of their means. Presently Charlotte has a suspicion that

the bowl contains some flaw. But she can't declare it with assurance in spite of her suspicion. And yet she wants to give her former lover that bowl as her present. On the other hand Amerigo penetrates its crack at a glance, which is most symbolic for former lovers. He declares confidently that the bowl is cracked and cheap, while Charlotte finds herself inclined to insist that it is exquisite. The golden bowl may symbolize Charlotte's love for Amerigo and Amerigo's love for Charlotte. To Amerigo Charlotte's love seems cheap because it reduces him to poverty. And to Charlotte Amerigo's love seems exquisite because she tries to risk her life for it. But to a third person like Maggie, the gilded bowl becomes a symbol of their illicit love. And the crack of this bowl which Charlotte fails to discern may symbolize for Amerigo her lack of money which, he thinks, makes their marriage impossible. Amerigo takes it for granted that no one can marry without money, but Charlotte thinks romantically that one can marry for love, even if without money. This crack seems even to represent the difference between Charlotte's view of marriage and Amerigo's. When she tells him passionately that she wants "to see you once more and be with you, to be as we are now and as we used to be, for one small hour," (p.93) he inhumanly wishes to bring to a close "the moment of his life at which he had had least to say." (p.94)

This cracked bowl reminds us of the cracked porcelain cup handled by Gilbert Osmond in *The Portrait of a Lady*, who is then in a crisis with Mme. Merle, his mistress. James may have designed the golden bowl to symbolize another penniless and illicit love, like that of Osmond and Mme. Merle or of Densher and Kate Croy. The author can't imagine or describe a penniless and legitimate love for good or for evil. But at the zenith of his career as a novelist James seems to redeem those poor lovers from vice with the help of the money of Adam Verver, an innocent billionaire.

After all Amerigo refuses to accept the golden bowl from Charlotte. He prizes highly his marriage with Maggie, which is to give him a life of

ease and affluence. It can be said that Amerigo is far more sophisticated than Charlotte who gradually learns to swim in the European society. But he persuades her to marry and tells her that he hopes to give her a present that day she marries. And Charlotte answers as follows: "Well, I would marry, I think, to have something from you in all freedom." (p.110) Amerigo may have wanted to keep Charlotte as his mistress in accordance with the vicious custom of the upper classes, or Charlotte herself may have desired that position. In any case her words take on the more and more ironical color each time the theme of the bowl is introduced.

III

A few years after Maggie's marriage, her father Adam marries Charlotte on the strength of his daughter's encouragement. But Adam and Maggie continue to lead their old life as father and daughter, so Amerigo and Charlotte cannot choose but take each other into amorous consideration. Being virtually true to his wife all along, Amerigo feels something of him left out. His "single self, the unknown, unimportant, personal quantity" (p.33) finds itself useless in his married life. When he is with none but Mrs. Verver, he can feel himself "as a congruous whole."

One day Amerigo and Charlotte are invited to the country residence of another family and consummate their love. Amerigo compares that day to "a great gold cup that we must somehow drain together." (p.269) When Maggie becomes aware of her having lost her husband, the theme of the cup is repeated likewise. Her feeling for her husband is likened to "the cup, all day, has been too full to carry." (p.311) And it is in both scenes of Fanny Assingham's breaking of the golden bowl and of the subsequent confrontation between Maggie and Amerigo that the symbolic treatment of the golden bowl culminates.

IV

Looking for a birthday present for her father

on her way home from the Museum, Maggie comes across the golden bowl in the same curiosity shop that Amerigo and Charlotte entered some years ago. What the shopman lets out inadvertently makes Maggie aware that they came into the shop before and imagine that the bowl may be the symbol of their clandestine relation. Maggie gives that bowl a central position above the fireplace and waits impatiently for her husband, whom she means to cross-examine about it soon after his entrance. But when she thinks that her life to come depends upon that bowl, she can't help wishing that her husband never comes into her room. Mrs. Assingham, who is already aware of the intimate relation between Amerigo and Charlotte, makes up her mind to keep Maggie in the dark and tells her, "Your whole idea has a crack." (p.420) She thinks that "Maggie was the person in the world to whom a wrong thing could least be communicated." (p.286) And that elderly woman, insisting that there should be nothing between Maggie and Amerigo that estranges them from each other, dashes dramatically the golden bowl upon the polished floor. Shortly after the bowl's broken, Amerigo appears as if a genie were liberated from the spell of evil.

The golden bowl neatly splits into three pieces and the other morsels. Three pieces are the two parts of the cup and "the solid detached foot". (p. 423) Those two parts may symbolize Amerigo and Maggie, the foot Adam and the morsels Charlotte. These morsels suggest that Charlotte will go to pieces in the near future.

Picking up those fragments, Maggie thinks of the imminent problem of what she can help out of the eternal triangle in her family. In putting the fragments in order, Maggie can "carry but two of the fragments at once," (p.423) which seems to stand for the truth that she needs must part with her father not to lose her husband. And now the broken bowl becomes the symbol of her knowledge of her husband's secret love affair and of the fact that she's not such a fool as Amerigo supposes her. When she meets him with that symbolic bowl in her hands, on its cracked surface glimmers the possibility that "he would indeed,

absolutely, by this circumstance, be really needing her for the first time in their whole connection." (p.426) They talk about the golden bowl as follows:

"And what, pray, was the price?"

She paused again a little. "It was high, certainly — for those fragments. I think I feel, as I look at them there, rather ashamed to say." The Prince then again look at them, he might have been growing used to the sight.

"But shall you at least get your money back?" (p.434)

That price which Maggie pays for the golden bowl may symbolize Amerigo's love for her. He seems even to expect his wife to redeem his love from Charlotte. At first Maggie feels "the strangeness of her desire to spare him, a strangeness that had already, fifty times, brushed her, in the depth of her trouble," (p.425) but she answers resolutely as follows:

"Oh, I'm far from wanting it back — I feel so that I'm getting its worth." With which, before he could reply, she had a quick transition. "The great fact about the day we are talking of seems to me to have been, quite remarkably, that no present was then made me." (p.434)

It is made apparent that Charlotte sent Maggie no marriage present, which suggests that Charlotte never yields ownership of Amerigo's love to Maggie, but keeps it to herself. Maggie insists that Amerigo should find out for himself who else knows his liaison. He's awfully afraid that his secret comes to his father-in-law's knowledge. He must consider seriously what he should surrender, or else what price he must pay. Just as she tells Mrs. Assingham, Maggie wishes she had "the golden bowl, as it was to have been — the bowl with all happiness in it, the bowl without the crack." (p.445)

V

If the hidden crack of the first gilded bowl represents the difference between Charlotte's view of marriage and Amerigo's, the crack of that bowl restored after destruction can be thought to represent the difference between Maggie's view of marriage and Amerigo's. The latter difference, on Maggie's side, results from her too devoted care

for her father and, on Amerigo's side, from his double relation with his mother-in-law. Maggie and Amerigo must acknowledge it never to be neglected that they should take each other into exclusive consideration in order to fill the imaginary golden bowl with their mutual affection.

Amerigo realizes instinctively that he must keep Charlotte at a studied distance, which they remove temporarily in their forbidden intimacy. That's why he leaves her in the dark as to the fact that Maggie comes into the possession of the golden bowl and knows their improper relation, or the reason Maggie takes a ruthless attitude towards her mother-in-law. Thereby Maggie feels "as if she had passed, in a time incredibly short, from being nothing for him to being all," (p.453) while Charlotte feels as if she were imprisoned in "the spacious but suspended cage, the home of eternal unrest, of paces, beatings, shakings, all so vain, into which the baffled consciousness helplessly resolved itself." (p.454) But the door of that cage is suddenly unlocked from within and Charlotte appears on the scene to stand against her daughter-in-law.

VI

While other people play bridge at the large and bright windows of the smoking-room, Maggie passes and repasses on the outside terrace, glancing at them. This sort of scene enables the author to converge all the essential elements of the drama into one visual imagery:

The facts of the situation were upright for her round the green cloth and the silver flambeaux; the fact of her father's wife's lover facing his mistress; the fact of her father sitting, all unsounded and unblinking, between them; the fact of Charlotte keeping it up, keeping up everything across the table, with her husband beside her; the fact of Fanny Assingham, wonderful creature, placed opposite to the three and knowing more about each, probably, when one came to think, than either of them knew of either. (p.456)

The understanding of this inward drama depends upon Maggie's consciousness that she, though a mere outside spectator, must be "more present to

the attention of each than the next card to be played." (p.456) When she suddenly becomes aware that she can smash the peace of her family by the fateful stroke of her own, she is suffocated with pain. The temptation of raising an accusing outcry harasses her "as a beast might have leaped at her throat." (p.458) For the first time in her life she knows the actual horror, or "the horror of finding evil seated, all at ease, where she had only dreamed of good; the horror of the thing hideously behind, behind so much trusted, so much pretended, nobleness, cleverness, tenderness." (p.459) But when she walks to the end of the terrace and passes round the house, Maggie collects her scattered wits and makes out which way to go. The lighted and empty drawing room, where she decides to go, looks "like a stage again awaiting a drama."

...it was a scene she might people, by the press of her spring, either with serenities and dignities and decencies, or with terrors and shames and ruins, the things as ugly as those formless fragments of her golden bowl she trying so hard to pick up. (p.458)

Maggie's furious feeling never comes to the surface. She finds it most necessary to keep up appearances in order to reproduce in her imagination "the golden bowl, as it was to have been." And it is also necessary for her to beat Charlotte without disturbing the peace, especially that of her father's mind. The confrontation between Maggie and Charlotte is full of more force of silence than any other in all works of James's. Watching the latter leave the card table, the former grows restless as if she were pursued by "the splended shining supple creature which was out of the cage, was at large." (p.460) But it is Maggie, not Charlotte, who is aggressive in their last struggle. Charlotte cannot be sure how much her daughter-in-law knows of her immorality. The adulterous mother-in-law realizes that she should spend the days of "prayer and fasting."

VII

In the next scene Maggie declares to her father that she makes up her mind to be selfish for her

husband. Now she knows that being "passionately filial" places her in an awkward position and that her disregard for her husband causes sinful lovers to make a mistake. But her elderly father also has a private reason of his own why he can't be selfish for his wife. He confesses to his daughter as follows: "It's a good deal for me to have made Charlotte so happy — to have so perfectly contented her." (p.362) But when Adam and Maggie remain father and daughter like of old and neglect their duty to their partners, his wife can find her happiness and satisfaction nowhere in her wedded life. Before she makes an error, Charlotte complains to her lover about her incomplete marriage as follows:

"Ah, if I could have had one —! I hoped and I believed," said Charlotte, "that that would happen. It would have been better. It would have made perhaps some difference. He thought so too, poor duck — that it might have been. I'm sure he hoped and intended so. It's not, at any rate," she went on, "my fault. There it is." She had uttered these statements, one by one, gravely, sadly and responsively, owing it to her friend to be clear. She paused briefly, but, as if once for all, she made her clearness complete. "And now I'm too sure. It will never be." . . . "It would probably have been better." Charlotte added. "But things turn out —! And it leaves us" — she made the point — "more alone." (p.233)

Charlotte's words suggest that her husband can have very little hope of sexual potency. If it is true of him, it is difficult to think that he can give his wife any ordinary satisfaction or happiness in marriage. It certainly goes too far, if I say that Adam tacitly entrusts his son-in-law not merely with the social life of the Ververs, but with appeasing of Mrs. Verver's unsatisfied desire, which seems to me highly probable. When Adam hears his daughter declare, "I'm at this very moment frozen stiff with selfishness," (p.478) this "peculiarly paternal" man can't help telling her thus: "When a person's of the nature you speak of, there are always other persons to suffer." (p.478) His words incline us to believe that he knows and forgives the liaison between his wife and his son-in-law.

VIII

Adam is wise enough to realize from his daughter's declaration that the only way to settle his family complication is to pretend to be ignorant of his wife's secret relation, to be selfish for her after the example of his daughter, and to make her expiate herself. His selfishness appears in the form of "his indescribable air of weaving his spell, weaving it off there by himself," (p.491) or "a long silken halter looped round her beautiful neck." (p.493) Charlotte must move where the rope drags her. Her expiation is expressed in the following painful words with which she explains an objet d'art:

"The largest of the three pieces has the rare peculiarity that the garlands, looped round it, which, as you see, are the finest possible vieux Saxe, are not of the same origin or period, or even, wonderful as they are, of a taste quite so perfect. They have been put on at a later time, by a process of which there are very few examples, and none so important as this, which is really quite unique — so that though the whole thing is a little baroque, its value as a specimen is, I believe, almost inestimable." (p.496)

When she hears these bitter words of her mother-in-law's self-criticism, Maggie feels herself on the verge of tears. Charlotte's quavering voice sounds "like the shriek of a soul in pain." (pp. 496-7) The eyes which Maggie turns on her father are an unspoken appeal which means "Can't she be stopped? Hasn't she done it enough?" (p.497) But Maggie must face up to the grim reality that she never fails to force the same kind of selfishness as hers upon her father. When she can accept that reality as her own, she can also realize the importance of helping people, not just of pitying them.

IX

In the scorching afternoon of "a canicular August" Maggie finds Charlotte leaving the house "like IO goaded by the gadfly." (p.507) Maggie decides to give her mother-in-law some suggestions as to condoning her. She notices that Charlotte carries by mistake the second volume of the

old novel, and takes the first one to have her read it first. The right first volume seems to symbolize Adam, a lawful lover for Charlotte and the mistaken second one Amerigo, an unauthorized lover for her.

On meeting Charlotte outdoors, Maggie finds that she also acknowledges it is necessary to be selfish for her husband. Charlotte can now regard Adam's selfishness for her as his love for none but herself. For the first time in her married life Charlotte feels that her husband is worth her love: "I want really to possess him," said Mrs. Verver. "I happen also to feel that he's worth it." (p.513) Now Maggie knows that her work is done, for she finds that both Amerigo's love and Charlotte's are wholly restored to their authorized owners, or that the imaginary golden bowl of hers is filled to the brim with idealized human love.

In the last scene Maggie and Adam observe on the beauty of "an early Florentine sacred subject that he had given her on her marriage," (p.540) but it is of the settlement of their family complication that they really talk, while looking at the picture. Then Adam casts a sidelong glance at Amerigo and Charlotte, who seem to like "concrete attestations of a rare power of purchase." (p.541) On them he makes such a symbolic comment as "Le compte y est." (p.541) This French expression means that the accounts tally. Amerigo and Charlotte completely break off their improper relation with each other and pay enough for their immorality. But Maggie and Adam also pay little less for their too much innocent attachment to each other. Each member of the Ververs must pay for its own fault to make its account tally with its appointed partner's.

X

When she sees off her father and his wife and is left alone with her husband, Maggie knows at last her real reason for what she has done. Now the golden bowl seems to her to take the form of "the golden fruit that had shone from afar." (p.546) Maggie, who already feels within herself the sex-

ual impulse of catching at her husband, knows unmistakably what his love really means:

Amerigo knew it, the amount; he still held it, and the delay in his return, making her heart beat too fast to go on, was like a sudden blinding light on a wild speculation. (p.546)

I think it wise enough of Stephen Spender to think that "James, after a lifetime of deep human understanding, has arrived at a stage where in suffering and pity he could accept the fact of physical love."⁴⁾ But it should not be forgotten that it is most necessary for James to solve the moral problem of each major character before accepting the amorous facts and it seems impossible for James to imagine the human love which is independent of morality.

Notes

- 1) Leon Edel, *Henry James The Master:1901-1916* (New York: Avon Books, 1978) p.209
- 2) Leon Edel, op. cit., p.213
- 3) All quotations from the novel are taken from the 1974 reprint of Penguin Modern Classics, which is cited by page.
- 4) Stephen Spender, "The Contemporary Subject," in Leon Edel ed., *Henry James : A Collection of Critical Essays*, (Englewood Cliffs, N. J., 1963) p.107

「書く」ことの指導に関する基礎的調査

国 方 太 司

Fundamental Researches on Teaching Writing Skills

Takashi KUNIKATA

In this article, three researches have been made between some high school students and some university students: two of the researches were on their skills of writing, the other was on the index of the development toward syntactic maturity.

Researches on writing skills indicate that quantity of writing should be stressed rather than quality in ESL classes, since too much emphasis on quality of writing prevents them from writing their ideas fluently. The other research shows a little evidence that T-units that Hunt advocated could be a reliable gauge of the linguistic ability.

1. はじめに

英語学習の目標は「読む」「聞く」「書き」「話す」の4技能の円満な発達である。しかし、日常の授業において、この4技能の練習にかけられる時間は必ずしも同じではない。羽鳥(1982)によると、英語の4技能の大切さの度合は、「読む」、「聞く」、「話す」、「書く」の順になり「書く」ことの比重は小さいとしている。事実、日常の英語の授業において「書く」ことによって、生徒に学習したことを確認させ、さらに、理解や定着をさせるという「書く」こと本来の活動ではなく、他の学習を援助し促進するために使うことが多い。かつて、英語学習の目的が「諸外国の進んだ技術、情報等の摂取、吸収」であった時代から「技術、情報等の相互的交換」の時代に変化してきた現在、英語の技能のなかで「話す」、「書く」の技能の充実が望まれるようになってきている。

伝達重視の英語教育が望まれているなか、色々な指導実践がなされているが、現在、「書く」ことの指導体系が確立しているとは言い難い。そこで、本論においては、本校生と大学生の「書く能力」についての違いを調査し、ここに報告する。

2. 調査計画

2.1 目的

今回は3種類の調査を実施する。本校生と大学生の

「書く能力」について、調査1(文法・文型)において基本的な文法・文型に関する調査を行い、調査2(自由作文)において生徒の持つ言語運用能力を調査する。この2つの調査を通して、「書く能力」を効果的にたかめる授業の注意点を考える。

さらに、調査3(文の結合)を通じて、本校生と大学生の両グループの統語的成熟度(Syntactic maturity)が、どのように観察できるか考えてみる。

2.2 内容および問題

(1) 文法・文型

文法・文型についての「書く能力」の測定のため昭和57年度第1回実用英語技能検定試験1級、2級、3級の整序問題を利用した。問題数は1級の問題より5題、2級の問題より10題、3級の問題より5題の計20題を出題した。解答のために時間は20分与えた。(調査問題については資料1参照)

(2) 自由作文

6コマのシリーズからなる絵を与え、被験者の感想や意見を盛り込んだストーリーを書かせた。作文のために時間は40分与えた。(調査問題については資料2参照)

(3) 文の結合(Sentence Combining)

総語数346語、単文71文で構成された英文を与え、生徒の持っている英語の文法、知識を使って、単文を結合して、より長い文を作るように指示を与えた。解答のために時間は40分与えた。(調査問題については資料3参照)

2.3 測定方法

(1) 文法・文型に関する問題

20題出題し、20点満点で採点した。

(2) 自由作文

「書く能力」を測定する指標として T-unit (minimal terminable unit) [Hunt, 1965] を利用した。T-unit とは、Hunt の定義によると、「ひとつの主節を含み、ひとつ以上の従属節や句があれば、それも含んだ言語単位である。」としているそして、T-unit の長さ (1 つの T-unit に含まれる平均語数) は、書く能力および統語的成熟度 (Syntactic maturity) を示すと述べている。

ここでは、生徒の作文の総語数、T-unit 数、T-unit の長さを測定した。

(3) 文の結合 (Sentence Combining) に関する問題

Cooper, (1981) によると、統語的成熟度 (Syntactic maturity) は、生徒の作る文の統語的複雑さ (Complexity) と生徒の作る文の統語的豊かさ (Fluency) の 2 つの面において見られるとしている。

ここでは、統語的複雑さ (Complexity) の指標として、生徒が結合した文のなかで、誤りのない T-unit (error-free T-unit) の数、誤りのない T-unit に使われた語数、誤りのない T-unit の長さを測定した。英語を外国語として学習する学生の書く能力の測定に関して、誤りのない T-unit の数と長さの有用性は Larsen-Freeman, (1978) に主張されている。

次に、統語的豊かさ (Fluency) の指標として、生徒の作り出した文を、and を用いた等位関係の接続、従属節を用いた接続、語・句を用いた接続、その他の結合に分けて分類した。

2.4 調査対象

調査対象は、本校生徒 2 年生 36 名 (男 11 名、女 15 名) および私立 A 大学文科系学部 2 年生 35 名 (男 33 名、女 2 名) の計 71 名である。

2.5 調査実施時期

1988 年 6 月

3. 調査結果と考察

3.1 文法・文型に関する問題

(1) 結 果

本校 2 年生、大学 2 回生の成績および両グループの有意差があるかどうかを確認する t 検定結果は次の通りである。

表 1

	高専 2 年生	大学 2 年生
n	36	35
\bar{X}	6.06	8.71
S D	2.22	2.73
t	4.440**	

†, t 検定欄の ** は危険率 0.1% 水準で有意差があることを示す。

(2) 考 察

20 点の問題で平均点が上記のように低い値で出ているが、平均点を見ると大学生が 2.65 点の差を付け優れている。t 検定結果も 0.1% の危険率で有意差があることを示している。これは、英語の学習経験の差を考えれば、当然の結果と考えられる。

3.2 自由作文

(1) 結 果

本校 2 年生、大学 2 回生の書いた作文の T-unit の数、語数、長さの結果および各項目について両グループの有意差があるかどうかを確認する t 検定結果は次の通りである。

表 2

	高専 2 年生	大学 2 年生	
n	36	35	
総語数	\bar{X}	130.94	104.49
	S D	49.32	30.67
	t	2.684*	
	T-unit の数	\bar{X}	19.11
S D		7.37	4.77
t		3.619**	
T-unit の数		\bar{X}	6.98
	S D	1.06	1.39
	t	2.912**	

†, 検定欄の数字で下線を付したものは、分散の差の結果、コクラン・コックスの法を適用した

†, 検定欄の ** は、危険率 0.1% 水準で有意差があることを示し、* は、危険率 1% 水準で有意差があることを示す。

(2) 考 察

統語的成熟度 (Syntactic maturity) を示すと考えられる T-unit の長さの欄を見ると、大学生の方がより長い文を書いていることがわかる。また、その差が1%水準の危険率で有意差がある。しかし、総語数、T-unit の数の欄を見ると、それぞれの欄で1%水準、0.1%水準の危険率で有意差があり、高校生ほうが優っている。この点から考えて、短い文でより多くの文を書き、大学生は、より長い文で少ない文しか書かないと考えられる。統語的成熟度の2つの側面の複雑さと豊さを考えてみると大学生のほうが「より長い文で、より多くの文を書く」と予想していたが、ここでは少し違った形で結果が出た。以上の結果から、大学生は「書く能力」について統語的に複雑な文を書く能力を有するが、より多くの文を書くという豊かさ、流暢さに欠けると考えられる。これは、彼らの学習経験（彼らの受けてきた英作文の授業）が影響していると考えられる。つまり、和文英訳等の指導により、ある事柄を表現するのに多様な表現形式があることを経験的に学ぶ機会が少なかったと考えられる。

3.3 文の結合 (Sentence Combining)

(1) 結 果

① 本校2年生、大学2回生の結合した文のなかで、誤りのない T-unit の数、語数、長さの結果および各項目について両グループの有意差があるかどうかを確認する t 検定結果は次の通りである。

表 3

		高専2年生	大学2回生
誤りのない T-unit 内の語数			
	n	36	35
	\bar{X}	64.83	62.20
	S D	30.20	26.22
	t	0.386	
誤りのない T-unit の数			
	\bar{X}	6.89	6.46
	S D	3.07	2.91
	t	0.599	
誤りのない T-unit の長さ			
	\bar{X}	9.44	10.19
	S D	1.03	2.91
	t	1.409	

② 本校2年生、大学2回生の結合した文のなかで誤りのない T-unit で生徒が文の結合のために使用した例数を一覧表にしたものを次に示す。

表 3

		高専2年生	大学2回生
and を用いた等位接続	語の接続	79	83
	句の接続	3	0
	節の接続	8	5
従属節を用いた接続	that	37	37
	because	15	10
	when	13	9
	after	1	2
	as	0	3
	while	0	2
	since	0	1
	so~ that	1	4
	so that	0	1
語、句を用いた接続	前置詞	129	108
	形容詞	16	30
	副詞	7	14
	副詞句	3	1
	関係詞	12	23
	不定詞	4	5
	過去分詞	1	5
	同 格	3	3
その他の結合		10	10

(生徒が結合した文の実例は資料4参照)

(2) 考 察

「書く能力」の指標となる T-unit に関して自由作文の結果のように本校生徒と大学生のグループの間の差は明確な数字では出ていない。しかし、結合した文を見ると、大学生の方がより多くの種類の従属接続詞、関係詞等を使用している。今回の調査において、大学生の統語的成熟度は、表現形式の豊かさの点において観察できた。文の結合 (Sentence Combining) を利用して生徒の統語的成熟度を調査するには、今後、与える題材を変えたり、T-unit だけでなく他の指標となるものを考慮しなければならない。

4. 結 論

今回の調査で、学習経験の長さの差が英語の語学的な知識の差となって現れている事が明らかになっている。学習経験の長い大学生は、自由作文において、より複雑な文を作り、文の結合 (Sentence Combining) にお

いては、より豊富な語学的知識を用いて多様な表現をしている。しかし、「書く能力」に関しては、この語学的な側面だけで判断できるものではない。思考力や概念構成力と関わっている「流暢さ」も大切な要素である。しかし、学習経験の長さが必ずしも「流暢さ」を助長するものではない。今まで「書く」ことについては学習項目の確認、理解、定着のために使われることが多く語学的側面が強調されていた。今後この語学的側面の発達を助長し、「流暢さ」をも獲得する練習方法を探さなければならぬ。

さらに、「書く能力」の発達を計る指標として今回の調査において、T-unit、誤りのないT-unit (error-free T-unit) を用いた。T-unit で得た結果と誤りのないT-unit (error-free T-unit) の結果が今回の調査においては一致していない。この一致しなかった原因が与えた題材にあるのか、それとも日本人学習者に対してT-unit が指標として適切でないのかを今後の調査で考えたい。

参考文献

- Cooper, T. C., "Sentence Combining: An Experiment in Teaching Writing," *The Modern Language Journal*, 65, 2, (1981), 158-165.
 羽鳥博愛、『心理言語学と英語教育』(1982)、大修館。
 Hunt, K. W., "Do Sentences in the Second Language Grow like Those in the First?" *TESOL Quarterly*, 4, 3, (1970), 195-202.
 Larsen-Freeman, D., "An ESL Index of Development," *TESOL Quarterly*, 12, 4, (1978), 439-448.
 日本英語教育協会編、『英検・全問題の20年総集編』(1983)、日本英語教育協会。
 沖原勝昭(編)、『英語のライティング』(1985)、大修館。

資料1 (文法/文型に関する問題)

1. 次の(1)~(5)までのそれぞれの日本語の意味を表すように()内の1から6までの語をならびかえて、()の中で2番目と4番目にくるものの番号を、解答用紙に書きなさい。
- (1) 英語を話す時、間違いを恐れてはいけません。
 Don't be (1 making 2 in 3 of 4 mistakes 5 speaking 6 afraid) English.
- (2) ひどく疲れていたので早く寝ました。
 I was so (1 I 2 bed 3 tired 4 that 5 went 6 to) early.

- (3) この前お会いしてからずいぶんになります。
 It's long (1 saw 2 I 3 you 4 time 5 last 6 since).
- (4) あの人は昨日から何も食べていません。
 The man (1 yesterday 2 since 3 not 4 eaten 5 has 6 anything).
- (5) ボブがくれた本はおもしろい。
 The book (1 is 2 gave 3 Bob 4 me 5 which 6 interesting).

2. 次の(1)~(10)までのそれぞれの日本語の意味を表すように()内の1, 2, 3, …の語または語句を並びかえて、()の中で3番目と5番目にくるものの番号を、解答用紙に書きなさい。

- (1) 手紙は封筒に入れる前にもう一度目を通しなさい。
 Look over (1 in 2 your letter 3 it 4 before 5 put 6 an envelope 7 you).
- (2) 私はいつも約束の時間よりも5分前につくことにしています。
 I make (1 five minutes 2 it 3 a rule 4 appointed time 5 to arrive 6 ahead of 7 the).
- (3) ジェーンは何の苦もなくそれを仕上げたようだ。
 Jane is said (1 have 2 it 3 difficulty 4 without 5 done 6 to 7 any).
- (4) あなたの代りに私が行ってはどうでしょうか。
 What (1 you 2 to 3 in 4 my going 5 do 6 your place 7 say)?
- (5) その事故では3人を除いてみんな負傷した。
 All (1 accident 2 were 3 but 4 the 5 three 6 in 7 injured).
- (6) あなたが来てくださったので、わざわざ手紙を書かなくて済みました。
 Your (1 me 2 the trouble 3 to 4 visit 5 saved 6 writing 7 of 8 you).
- (7) 父はまもなく海外旅行から帰ってきました。
 It (1 my father 2 long 3 from 4 abroad 5 was 6 not 7 before 8 returned 9 his trip).
- (8) あなたの成功をだれも誇らずにはられません。
 No (1 success 2 being 3 can 4 your 5 help 6 one 7 of 8 proud).
- (9) 私の英語が通じる事がわかってうれしかった。
 I (1 myself 2 in English 3 to find 4 glad 5 understood 6 I 7 that 8 could make 9 was).

- (10) 弟はわがままだから、何でも勝手にしたがる。

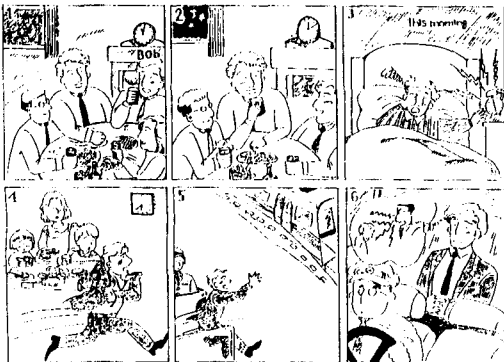
As my brother is a spoilt boy, (1 have
2 own 3 in 4 way 5 his 6 he 7 to
8 wants 9 everything).

3. つぎの(1)から(5)までのそれぞれについて、意味の通じる英文とするために()の中の1から7までの語また句をならびかえて、その番号を並べる順に解答用紙に書きなさい。

- (1) The museum (1 except 2 Mondays 3 is
4 on 5 open 6 the public 7 to).
- (2) I (1 called 2 at six 3 want 4 the 5 be
6 in 7 to) morning.
- (3) I (1 everything 2 with 3 all right 4 sure
5 is 6 am 7 you).
- (4) Of the 100 persons questioned, (1 every
2 five 3 interest 4 no 5 one 6 out of
7 showed).
- (5) The only man who (1 doesn't want it
2 is 3 can be trusted 4 authority 5 the
man 6 who 7 with).

資料2 (自由作文)

次の一連の絵を見て、ストーリーを作りなさい。1の絵の前と6の絵の後に適当な内容をつけ加えて、できるだけ面白いストーリーにしなさい。



資料3 (文の結合に関する問題)

次の単文をつないで、より長い文を書きなさい。

There was a ship. It was big. It was the biggest ship of all. Its name was the Titanic. It was making a trip. That trip was the first trip.

It was going across the Atlantic. The ocean was full of ice. There were 1316 passengers on the ship. There were 891 crew on the ship. The year was 1912. The ship left Southampton. It is in England. It was going to New York. It is in the U.S.A. Some passengers were going to take a vacation in the U.S.A. Other passengers were going to live in the U.S.A. The Titanic was beautiful.

It was new. Everyone was excited. Traveling by the Titanic was exciting. Everyone thought about the Titanic. It was a very large ship. It was 46000 tons. It would not sink. The captain thought about it. The crew thought about it. It was huge. It would not sink.

It was night. It was clear. It was calm. It was April. It was 11:40. There were many passengers. Most of the passengers were asleep. The Titanic hit an iceberg. The iceberg was very big. It was damaged. The damage was heavy. A few minutes passed. Water came into the ship. The ship began to sink. Sinking is very rapid. It began to sink very rapidly.

The alarm rang. It had big sound. Everyone woke up. The ship was sinking. Everyone found it. Everyone went to the lifeboats. There were not many lifeboats. The number of boats was not enough. All of the passengers could not enter into the boats. Women got into the boats. Children entered the boats. They were the first people. The crew were sending a signal. It was on the radio system. They needed some help. Help was from other ships. There were no ships. There were no ships within 15 miles. The ships could not save the passengers. The crews tried. They worked very hard for a long time. It was 2:20. The Titanic went down. It was under the water. A lot of people were killed. About 1500 people.

資料4 (生徒の作成した結合文の実例)

- (1) 高専2年生

[andを用いた等位接続]

1. 語の接続(79例)

• There were 1316 passengers and 891 crew on the

ship.

- The Titanic was beautiful and new.
- The captain and the crew thought it would not sink.
- Women and children entered the boats first.
- It was clear and calm.
- It was a clear and calm night.
- It was 46000 tons and huge.

2. 句の接続 (3例)

- Everyone found it and went to the lifeboats.

3. 従属節の接続 (8例)

- The captain and the crew thought that it was huge and that it would not sink.
- All of the passengers could not enter into the boats because there were not many lifeboats and the number of them was not enough.

[従属節を用いた接続]

1. that (37例)

- Everyone thought traveling by it was exciting.
- The captain and the crew thought that it was huge.
- The captain and the crew thought that it was huge and it would not sink.
- Everyone found the ship was sinking.

2. because (15例)

- The Titanic would not sink because it was a very large ship.
- Everyone was excited because traveling by the Titanic was exciting.
- Traveling by the Titanic was exciting because it was beautiful and new.
- Because water came into the ship, the ship began to sink very rapidly.
- The crew were sending a signal on the radio system because they needed some help from other ships.
- All of the passengers could not enter into the boats because there were many lifeboats and the number of them wasn't enough.
- The ship began to sink because water came into the ship.
- All of the passengers could not enter into the boats because the number of the boats was not enough.
- They were tired because they worked very hard.

- The ships could not save the passengers, because there were no ships within 15 miles.

3. when (13例)

- When a few minutes passed, water came into the ship.
- When the Titanic hit an iceberg, most of the passengers were asleep.
- When most of the passengers were asleep, the Titanic hit a very big iceberg.
- When everyone woke up, they found that the ship was sinking.
- When it was 11:40, the Titanic hit a very big iceberg.

4. after (1例)

- After a few minutes passed, the water came into the ship.

5. so ~ that (1例)

- The damage was so heavy that water came into the ship rapidly.

[語、句を用いた接続]

1. 前置詞 (129例)

- In 1912 it left Southampton in England.
- It was going to New York in the U. S. A.
- After a few minutes, water came into a ship.
- The crew were sending a signal on the radio system.
- It was making a first trip with 1316 passengers.
- The ship was going from Southampton in England to New York in the U. S. A.
- It was making the first trip across the Atlantic.
- At first, women and children got into the boats.
- The Titanic went down under the water at 2:20.
- The crew were sending a signal on the radio system to other ships.
- They needed help for other ships.
- The Titanic went under the water with 1500 people.
- The ship left Southampton in England for New York in the U. S. A.
- Most of them were asleep at 11:40.
- The crew were sending a signal for some help.

2. 形容詞 (16例)

- It was making the first trip across the Atlantic.
- Everyone had an exciting travel by the Titanic.
- It was a clear and calm night in April.

- There was a big ship.

3. 副詞 (7例)

- Women and children enter the boats first.
- The crew tried very hard for a long time.
- Water came into the ship rapidly.

4. 副詞句 (3例)

- One night in April, it was clear and calm.

5. 関係詞 (12例)

- It was a very large ship that was 46000 tons.
- There was the biggest ship of all which was the Titanic.
- It was going across the Atlantic that was full of ice.
- There was the biggest ship of all whose name was the Titanic.
- The Titanic, which was the biggest ship of all, was making the first trip.
- They needed some help that (which) was from other ships.
- There was the biggest ship whose name was the Titanic.
- The Titanic, which was 46000 tons, was a very large ship.

6. 不定詞 (4例)

- The crew tried to work very hard for a long time.
- The crew tried for a long time to help passengers.
- The crew were sending a signal on the radio system to need some help.
- There were not enough lifeboats for all passengers to enter into.

7. 過去分詞 (1例)

- The ship named the Titanic was making the first trip.

8. 同格 (3例)

- The Titanic, the biggest ship of all, was making a first trip across the Atlantic.
- Everyone thought that the Titanic was a very large ship, 46000 tons.

〔その他の結合〕 (3例)

- About 1500 people were killed.
- There was the biggest ship of all.
- The Titanic was the biggest ship of all.

(2) 大学2回生

〔andを用いた等位接続〕

1. 語の接続 (83例)

- There were 1316 passengers and 891 crew on the ship.
- Women and children enter into the boats.
- The Titanic was beautiful and new.
- There were 1316 passengers and 891 crew on the ship.
- The captain and the crew thought so, too.
- The passengers, the captain and the crew thought about a very large ship.
- It was a clear and calm night in April.
- The Titanic was beautiful, new and large.
- The captain and the crew and all the other people thought the ship would not sink.
- The new and beautiful ship, the Titanic made everyone excited.
- The new and beautiful Titanic excited everyone.

2. 節の接続 (6例)

- Everyone thought that the Titanic was huge and it would not sink.
- The captain and the crew thought that it was very large and it would not sink.
- The new and beautiful ship, the Titanic, made everyone excited, which was a very large ship and which would not sink.

〔従属節を用いた接続〕

1. that (37例)

- Everyone thought the Titanic would not sink.
- Everyone found that the ship was sinking.
- Everyone thought that it was a large ship.
- The crew thought that it would not sink.
- Everyone noticed the ship was sinking.
- Everyone thought that traveling by the Titanic was exciting.

2. because (10例)

- Because the crew needed some help from other ships, they were sending a signal on the radio system.
- The ship would not sink because it was not only large but also the newest ship in the world.
- Traveling by the Titanic made the passengers excited because it was beautiful and new.
- All of the passengers couldn't enter into the

boats because they were not enough.

- The ship began to sink rapidly, because water came into the ship.
- Everyone was excited because the ship was beautiful and new.

3. when (9例)

- When most of passengers were asleep, the Titanic hit an iceberg.
- When the Titanic hit a very big iceberg, the damage was heavy.
- Everyone went to the lifeboats, when they found the ship was sinking.

4. after (2例)

- After a few minutes passed, water came into the ship.

5. as (3例)

- As the Titanic was beautiful and new, everyone was excited.
- As everyone found that the ship was sinking, they went to the lifeboats.
- As it was a very large ship, the captain and the crew thought that it would not sink.

6. while (2例)

- It was damaged heavily at 11 at night, while most of the passengers were asleep.
- While most of the passengers were asleep, the Titanic hit a big iceberg.

7. since (1例)

- Since the alarm which had big sound rang, everyone woke up.

8. so ~ that (4例)

- It was so large a ship that the captain and the crew thought that it would not sink.
- The Titanic was so beautiful and new that everyone was excited.
- The captain and the crew thought the ship was so huge that it would not sink.
- The ship was so beautiful and new that everyone thought that it would not sink.

9. so that (1例)

- The Titanic was beautiful and new so that everyone was excited to travel by it.

(語、句を用いた接続)

1. 前置詞 (108例)

- It was going to New York in the U. S. A.

- It was a clear night in April.

- After a few minutes, much water came into the Titanic.

- About 1500 people were killed in the accident.

- In 1912, it left Southampton in England.

- They were sending a signal on the radio system.

- The crew needed some help from other ships.

- The Titanic went down under the water.

- The ship left Southampton in England for New York in the U. S. A.

- It was making the first trip across the Atlantic.

- The Titanic hit a very big iceberg at 11 : 40 at the calm night in April.

- It was damaged heavily at 11 at night.

- At 11 : 40, most of the passengers were asleep.

- The Titanic was going across the Atlantic with 1316 passengers and 891 crew in 1912.

- Everyone thought the Titanic would not sink because of a very large ship.

2. 形容詞 (30例)

- It was a clear night in April.

- There was a big ship.

- It was making the first trip.

- The passengers, the captain and the crew thought about a very large ship.

- The Titanic hit a very big iceberg.

3. 副詞 (14例)

- First, women and children got into the boats.

- A few minutes later, water came into the ship.

- It was damaged heavily at 11 at night.

- Both the captain and the crew thought that the Titanic would not sink.

4. 副詞句 (1例)

- One clear and calm night in April, it was 11 : 40.

5. 關係詞 (23例)

- The Titanic, which was 46000 tons, was very large.

- There was a ship named the Titanic, which was the biggest ship of all.

- The captain and the crew and the others who got on the Titanic thought it would not sink.

- The ship that 1316 passengers and 891 crew got on left Southampton in England for New York in the U. S. A. in 1912.

- There was a big ship whose name was the Titanic.

- The new and beautiful ship, the Titanic, made everyone excited, which was a very large ship and which would not sink.
- The crew were sending a signal that was on the radio system.
- It was making a first trip across the Atlantic ocean, which was full of ice.
- The Titanic hit a very big iceberg at 11:40 at the clear night in April when most of the passengers were asleep.

6. 不定詞（5例）

- The crew tried to work very hard for a long time.
- Everyone was excited to travel by the Titanic.
- The crew tried to save passengers for a long time.

7. 過去分詞（5例）

- There was a big ship named the Titanic.
- The ship called the Titanic was the biggest ship

of all.

8. 同格（4例）

- There was a big ship, the Titanic.
- The new and beautiful ship, the Titanic, made everyone excited.
- There was a ship whose name was the Titanic, the biggest ship of all.
- Travelling by the beautiful and new ship, the Titanic, was exciting.

〔その他の結合〕

- About 1500 people were killed.
- The Titanic was the biggest ship of all.
- The new and beautiful ship, the Titanic made everyone excited.
- Traveling by the Titanic made passengers excited.
- The new and beautiful Titanic excited everyone.

On the Use of *Shall* and *Will* in Caxton's Own Writings

Kiyokazu MIZOBATA

William Caxton is very familiar as the first printer in England. Although he translated, printed and published many literary works, his own writings are limited to the form of prologues, epilogues and interpolations. So far there has not been a full-length linguistic study of his own writings, which will be a clue to identify his style and attitude towards the literary language.

In this paper we describe the use of *shall/should* and *will/would* in Caxton's own writings from a linguistic point of view as the first step to follow the characteristics of his English.

1. Introduction

William Caxton, who is well-known as England's first printer, published a large number of writings at the end of the fifteenth century¹⁾. Most of them are not his own, but translations from French, Latin and Dutch, and works of the time in English. His own writings are limited to the form of prologues, epilogues and interpolations. Nevertheless, it may not be unreasonable to assume that his own literary taste should be reflected on his publications whether by accident or design.

In order to identify Caxton's style and attitude towards the literary language it is essential to analyse his own writings from a linguistic point of view and follow the characteristics of his language. In this paper we, as the first step, describe the use of *shall/should* and *will/would* as modal auxiliaries in Caxton's own writings not only from the syntactic point of view but also from the semantic point of view.

2. *Shall*

2.1 1st person

As Table 1 shows, most of the instances of *shall* in the 1st person appear in the main clause²⁾.

2.1.1 Main clause

The instances in the main clause mostly express the speaker's determination.

16/b/12³⁾ I shal praye God for them, ...

Obligation :

47/f/8 What shal I aldaye wryte of the rychesses, glorie and magnyfycence of Kynges Salamon?

In the apodosis of a conditional sentence :

50/b/59 yf ther be onythyng wreton or sayd to her playsir Y shall thynke my labour well employed ; ...

2.1.2 Subordinate clause

(1) Noun clause

(a) As subject

Obligation :

24/0/40 it semeth . . . that we shal abhorre and utterly forsake th'abominable and dampnable synnes ...

(b) As object

Obligation :

47/k/23 I wote never what lawde and praysynges I shalle gyve unto the, ...

(2) Adjectival clause

(a) Restrictive use

Mere future :

11/0/66 alle we that shal see and rede therin may so take and understonde the good and vertuuous tales...

(b) Nonrestrictive use

Determination :

73/a/60 , to whome I shalle pray for them.

(3) Adverbial clause

Mere future :

44/a/35 ...in suche wise that I shal have cause

Table 1 The Frequency of Occurrence of *Shall/Should* and *Will/Would*

	PERSON	MAIN CLAUSE	SUBORDINATE CLAUSE				ADVERBIAL CLAUSE	TOTAL(%)
			NOUN CLAUSE		ADJECTIVAL CLAUSE			
			AS SUBJECT	AS OBJECT	RESTRICTIVE	NON- RESTRICTIVE		
SHALL	I	23	2	1	1	1	2	30 (20.3)
	II	2		2	2	1	1	8 (5.4)
	III	20		13	48	15	14	110 (74.3)
	TOTAL	45	2	16	51	17	17	148 (100)
WILL	I	4				1		5 (22.8)
	II	2		1				3 (13.6)
	III	4		2	2		6	14 (63.6)
	TOTAL	10		3	2	1	6	22 (100)
SHOULD	I			1	1		4	6 (13.0)
	II						1	1 (2.2)
	III	9	3	12	4	1	10	39 (84.8)
	TOTAL	9	3	13	5	1	15	46 (100)
WOULD	I	6					1	7 (33.3)
	II			1				1 (4.8)
	III	8	1	3		1		13 (61.9)
	TOTAL	14	1	4		1	1	21 (100)

to pray for his good and prosperus welfare.

2.2 2nd person

2.2.1 Main clause

Possibility :

80/0/31 Ther shalle ye see manhode, curtosye and gentylnesse.

2.2.2 Subordinate clause

(1) Noun clause

Determination :

2/b/9 'I have herd say,' sayd the mayde, 'that ye be assured and shalle wedde suche a man.'

Mere future :

29/a/99 Wylle ye that I enseygne and teche you howe ye shal mowe escape from alle evyll?

(2) Adjectival clause

(a) Restrictive use

Mere future :

79/d/13 alle ye that shal rede or here this said werke of your charyte I beseche you to praye for hym.

(b) Nonrestrictive use

Possibility :

96/a/169 , by which ye shal see what wayes were taken, ...

(3) Adverbial clause

Possibility :

47/j/26 I shalle lyghtlyer and sonner drawe alle the water of the see and brynge hit into this pytte than thow shalt brynge the mysterye of the Trynyte and his dyvynyte into thy lytel under-standynge...

2.3 3rd person

As Table 1 shows, there appear a large number of instances of *shall* in the 3rd person, especially in the adjectival clause.

2.3.1 Main clause

The speaker's determination :

1/0/5 he shal have them good chepe.

Confidence :

16/b/12 in so doynge they shal deserve thankynge; ...

A decision on the part of some person other

than the speaker :

2/b/52 What shalle hit be worth?

Possibility :

93/a/65 , and so doying they shal doo a merytory dede.

Result :

72/a/114 Doo after the good and leve the evyl and it shal brynge you to good fame and renomnee.

Mere future :

72/a/62 in dyvers places of Englund many remembraunces ben yet of hym and shall remayne perpetuely ...

2.3.2 Subordinate clause

(1) Noun clause

All the instances occur as the object of a verb.

Inference :

2/b/50 'No, forsothe,' sayd he, 'but I wote wel what it shalle be worth to me.'

Expectation :

16/a/67 I hope that it shal be understonden,...

Possibility :

36/a/89 ...t'adresse and expowne where as shalle be founde faulte to theym ...

Destiny :

93/a/31 Thenne to th'ende that every man resonable remembre hymself that he is mortal and shal withoute fayle departe out of this lyf...

(2) Adjectival clause

(a) Restrictive use

Confidence :

93/a/60 ... this sayd book in whiche he shal fynde good and prouffitable doctryne,...

Destiny :

93/a/28 they do for th'eternal lyf which shal ever endure in joye or in payne.

Mere future :

9/a/27 prayeng al them that shal rede and here it to correcte where as they fynde faulte...

(b) Nonrestrictive use

Confidence :

36/a/13 , as all alonge shall be shewed in this present boke.

Possibility :

96/a/169 , by which ye shal see what wayes were taken,...

Destiny :

93/a/27 , which anone and hastely shal departe fro the corruptyble body,...

Mere future :

86/b/22 And also am avysed to make another booke after this sayd werke, whiche shal be sett here after the same ...

(3) Adverbial clause

Confidence :

6/0/38 , as a[1 a]longe by the grace of God it shall be shewed in th'istorye of thys present book.

Inference :

36/a/62 ... in suche maners and termes that fewe men shall understonde theym.

Destiny :

29/a/91 The evyll ben sory and angry bicause the evyll shal perisshe.

Mere future :

80/0/61 ... to be alwey redy to serve theyr prynce whan he shalle calle them or have nede.

3. Will

3.1 1st person

3.1.1 Main clause

Intention :

2/b/18 Now thenne I wylle fynysse alle these fables wyth this tale that foloweth,...

Determination :

47/j/19 I wylle lade oute and brynge alle this water of this see into thys pytte.

3.1.2 Subordinate clause

We can find only one instance of *will* in the adjectival clause in nonrestrictive use.

Refusal :

71/a/37 , wherein I will not dispute.

3.2 2nd person

3.2.1 Main clause

Desire :

29/a/129 Wylt thou have ony other woman
than me?

Request :

11/0/63 alle ye that shal in thys book rede or
heere wyll...remembre the sowle of
the sayd Gefferey Chaucer,...

3.2.2 Subordinate clause

There appears one instance as the object of a
verb.

Request :

79/f/14 prayeng and requyryng all theym...
that ye wil remembre hym that
translated it into our maternal and
Englyssh tongue,...

3.3 3rd person

3.3.1 Main clause

Habit :

36/a/61 in these days every man that is in
ony reputacyon in his countre wyll
utter his commynycacyon and ma-
ters in suche maners and termes...

Mere future :

47/b/8 Our Lord atte reverence of this
blessyd and hie feste of his Natyvyte
wyll graunte it to hym.

3.3.2 Subordinate clause

(1) Noun clause

Inference :

96/a/156 I can thynke that every man wyll put
hand to in theyr propre persones
and in theyr mevable goodes;...

Request :

50/c/6 Besechyng her... that she wole re-
sseyve my rude labour in thanke and
in gree.

(2) Adjectival clause

Habit :

29/a/83 they take none but them that wil be
poure,...

Mere future :

75/a/77 he thenne that so wille obeye this
commandement may ... lerne grete
partie of the fourme and condicion
of this worlde,...

(3) Adverbial clause

Intention :

29/a/109 Whosomever wyll acquere and gete
scyence, late hym never put hym in
the governaunce of a woman.

Mere future :

15/a/57 yf they wyll rede it and under-
stande, they shal moche the better
conne rewle themself therby.

4. *Should*

4.1 1st person

No instance can be found in the main clause,
but 6 instances in all appear in the subordinate
clause.

(1) Noun clause

Obligation :

47/a/82 whych solycyted me in my lordes
name that I shold in no wyse leve
in but accomplishe it,...

(2) Adjectival clause

In the apodosis of a conditional sentence :

11/0/8 ...many thynges of whom we shold
not have knowen, yf they had not
left to us theyr monumentis wreton.

(3) Adverbial clause

In a conditional clause :

29/a/23 if I sholde so presume I might apaire
it,...

4.2 2nd person

Should in the 2nd person is used in the adver-
bial clause only one time.

In a conditional clause :

2/b/14 I am sory therof that yf ye shold falle
in lyke caas.

4.3 3rd person

4.3.1 Main clause

Obligation :

47/b/3 for to telle alle the myracles that
Our Lord hath shewde it shold con-
teyne an hole booke.

Probability :

80/0/58 This shold cause gentylnen to resorte

to th'auncyent custommes of chyvalry...

With the hypothetical notion obscured :

2/b/48 It shold seme a good benefyce.

In the apodosis of a conditional sentence:

45/c/12 yf hit shold be uttrid and told, hit shold not be bylevyd,...

4.3.2 Subordinate clause

(1) Noun clause

(a) As subject

In the clause dependent on a sentence expressing the speaker's judgement :

29/a/136 it is acordaunt that his dyctes and sayengis shold be had as wel as others,...

(b) As object

Obligation :

2/b/59 the ryche dene was abasshed and thought he shold be the better and take more hede to his cures and benefyces than he had done.

Probability :

29/a/48 I cannot thinke that so trewe a man and so noble a phylosophre as Socrates was shold wryte otherwyse than trouthe.

Possibility :

7/0/7 , and also enformyng howe fortune and happe shold be understonden with the predestynacion and prescience of God...

Expectation :

24/0/45 , trusting that bothe the reders and the herers therof sholde knowe themselves hereafter the better...

Doubt :

36/a/27 I doubted that it sholde not please some gentylmen...

Promise :

47/a/84 , promysyng that my sayd lord shold duryng my lyf yeve and graunte to me a yerely fee,...

(2) Adjectival clause

(a) Restrictive use

Obligation :

79/a/8 ...the worshippe, rocommendacyon

and magnyfycence that shold be gyven to men of olde age...

Probability :

80/0/58 ...to have a prys, a dyamond or jewel, suche as shold please the Prynce.

(b) Nonrestrictive use

Probability :

36/a/17 Whiche booke, as me semed, sholde be moche requysyte to noble men...

(3) Adverbial clause

Obligation :

34/a/39 bycause this boke shold be the better redde, herd and understanden, hit is made short to be the more clerely undrestond...

Final implication :

80/0/55 ...to th'ende that every knyght shold have hors and harneys and also the use and craft of a knyght,...

With the hypothetical notion :

93/a/6 ...as though theyr habytacion and dwellyng here were permanent and shold ever endure,...

5. *Would*

5.1 1st person

5.1.1 Main clause

Desire :

36/a/31 And fayn wolde I satysfye every man,...

In the apodosis of a conditional sentence (expressed or implied) :

86/d/5 if I coude have founden moo storyes I wold have sette in hit moo.

79/f/6 Thenne I wolde demaunde of theym that shal rede or here this book...

5.1.2 Subordinate clause

Only one instance appears in the adverbial clause.

In a conditional clause :

11/0/48 yf I wold enprynte it agayn, he wold gete me the same book for a copye,...

5.2 2nd person

Should in the 2nd person cannot be found in the

main clause; there appears only one instance in the noun clause.

Request :

7/0/41 I desire and require you that of your charite ye wold praye for the soule of the sayd worshipful mann,...

5.3 3rd person

5.3.1 Main clause

Desire :

36/a/54 the marchaunt was angry for he also coude speke no Frenshe, but wolde have hadde egges;...

Refusal :

47/e/27 Yet God wold not suffre hym to bylde a temple for hym,...

In the apodosis of a conditional sentence (expressed or implied) :

11/0/49 yf I wold enprynte it agayn, he wold gete me the same booke for a cople,...

29/a/139 somme persones peraventure that have red this booke in Frensshe wold have arette a grete defaulte in me...

5.3.2 Subordinate clause

(1) Noun clause

(a) As subject

Mere future :

80/0/54 it pleasydoure soverayne lord that twyes or thryes in a yere or at the lest ones he wold do crye justes of pees...

(b) As object

Refusal :

11/0/50 how be it he wold wel that hys fader wold not gladly departe fro it.

Desire :

36/a/56 And thenne at laste another sayd that he wolde have eyren;...

In the apodosis of a conditional sentence :

29/a/75 if he had I dar plainly saye that he wold have reserved them in especiall in his sayd dictes.

(2) Adjectival clause

Only one instance appears in the adjectival clause in nonrestrictive use.

Refusal :

29/a/43 , for whos love he wold not sette yt in hys booke;...

6. Summary

In Caxton's own writings *shall* and *should* appear more frequently than *will* and *would*⁴⁾, and carry a wide range of modal implications according to each context. In most cases *shall* in the first person expresses 'determination' and *shall* in the 2nd person 'probability'; *shall* in the 3rd person implies 'confidence' in the main clause, 'expectation' in the noun clause and 'mere future' in the adjectival and adverbial clauses.

Should in the 3rd person is much more frequent than *should* in the 1st and 2nd persons and reaches the high percentage of about 85. *Should* mainly expresses 'obligation' or 'probability' not only in the main clause but also in the nominal and adjectival clauses; in the adverbial clause final or hypothetical notion is implied.

Will is much less frequent than *shall* in each person, and *would* in the 3rd person is much less frequent than *should* in the 3rd person⁵⁾. *Will* chiefly expresses 'intention' and 'mere future' and *would* is very often used in the apodosis of a conditional sentence.

In this paper we have described the use of *shall/should* and *will/would* in Caxton's own writings not only from the syntactic point of view but also from the semantic point of view. It goes without saying that we cannot show the whole trend of the language of Caxton only through the analysis of one aspect of his language. But at least we can safely say that his use of these auxiliaries in his own writings is too conservative to find any linguistic innovation.

Notes

1) Cf. Norman F. Blake, *Caxton and his World* (London: Deutsch, 1969). This book contains the most comprehensive and authentic biography of Caxton we have ever had.

2) In the category of 'the main clause' not only

principal clauses but also simple sentences and co-ordinate clauses are included.

- 3) All references to Caxton's own writings are to Norman F. Blake's critical edition of Caxton's original writings, *Caxton's Own Prose* (London: Deutsch, 1973).
- 4) Cf. Kiyokazu Mizobata, 'On the Use of *Shall* and *Will* in the Stonor Letters' (Research Reports of Nara National College of Technology, No. 23, 1987), p. 66. In the Stonor letters

the frequency of *will* is not higher than that of *shall*, but very high and *would* appears more frequently than *should*.

- 5) Cf. Kiyokazu Mizobata, *Ibid.*, p. 66; and Michio Masui, *Shall and Will* (Tokyo, 1954), pp. 9-13. Professor Masui points out that in Chaucer's works the frequency of *will* in the first person is much higher than that of *shall* in the first person.

多元的世界と宗教 (II)

—— ウィリアム・ジェームズの

宗教論についての考察

木村倫幸

Pluralistic World and Religion (II)

— A Study of William James's

Religious Philosophy —

Tsuneyuki KIMURA

五(承前)

ジェームズのいうこの宗教的感情への飛躍は、宗教的態度としては、「見えない秩序 (unseen order) が存在していることを信すること」①と特徴づけることができる。既に右で述べたように、この宗教的感情の領域は非合理的であり、その研究は手探り同然であるとされ、その限りでは「見えない秩序」の信仰も、またかかる領域に含まれる諸対象——神、魂等——も、何ら意味内容を持つものではなく、「その事物(信仰の対象となる事物——引用者)は、しかも明確な記述という目的のために、われわれの心に存在するとは言い得ないのである」(SS)。
ところがここでジェームズは、この対象についての認識の曖昧さにもかかわらず、カントを持ち出すことによって、それら諸対象がわれわれの精神を規定し、宗教的態度の基礎となっている、と主張する。「これらの理解できない諸対象が実際に存在する」というわれわれの信仰は、それ故、カントのいう実践的観点 (praktischer Hinsicht) においては、すなわちわれわれの行為の視点からすれば、われわれがそれらの諸対象(の存在——引用者)を肯定的に理解することが許される場合に、それらの諸対象がそうであり得るところの知識と全く等しいということを証明する」(SS)のである。認識の側面における不可能云々の如何にかかわらず、われわれは、実践の側面においては、それらの諸対象が存在する「かのように」(as if)「行為することができるということ、このことをジェームズは、人間の精神の根本的な事実として認め、「すべての、より高度な抽象物は、それに伴って、同じような種類の、目に見えない訴えをもたらす」(SS)と強調する。

ちょうどプラトンのイデアがすべての事物にその本質を与えるように、「抽象的で本質的な善、美、強さ、意義、正義も、すべての善いもの、強いもの、意義あるもの、正義のものに浸透している」とわれわれは感じる(「同」)のである。われわれは、これらの様々な抽象観念が実際の世界において機能をしているのを見、またわれわれ自身がこれらを手段として使って世界を把握しているのである。このような訳であるから、われわれにとつては、それらの抽象観念や諸対象が、われわれの周囲に存在している具体的感覺的事物と同様の事物と見なされていると言っても差支えないであろう。それ故、このことから、「人間の意識の中には、実在についての感覺、客観的存在についての感じ、われわれが『そこにある何か』と呼ぶものについての知覚があるかのことであり、それは、如何なる特別

で特殊な「感覚」——そして現代の心理学は、この「感覚」によって、現存する實在が、その起源において明らかにされると仮定しているのであるが——のどれよりも、より深く、「一般的なものである」(56)という結論が導き出されるのである。

つまりジェームズは、非合理的な宗教的感情の対象たる「見えない秩序」について、それが、はっきりとは記述できないが、ただ「感覚」「感じ」「知覚」としてそこに存在するとして、まさにそれ故にかえて、単なる感覚よりもより深いものであるとし、これを現実の實在と等置するというのが人間の本性の事実であるとするのである。ここにおいては、明らかに宗教的態度にとしての唯一の基準が「實在の感じ」、すなわち各人にとつての主観的確信や信念であることが主張されている。個人は「實在」を「感じる」のであり、それを自己の「より直接的な視覚 (directer vision)」「直接的知覚 (direct perception)」(61)として確信する。ジェームズは、右のような例を数多く引用して、このことを確証するのであり、このことによつて「われわれの心の機構において、現存する實在についての感覚が、われわれの特殊な感覚の与えるものよりも、より広いかたちで、より一般的なものと存在していることを充分に証明しているように思われる」(58~59)と主張する。

従つて宗教的領域においては、「多くの人は、(中略)彼らの信仰の対象を、彼らの知性が真であるとして受け入れる単なる概念のかたちにおいてではなく、むしろ直接に感知される準感覚的な (quasi-sensibile) 實在というかたちで、所有しているのである」(56)。そして「この實在の感じは、それを持つ人々に対して、直接的な感覚的経験がなし得るのと同じくらい説得力を持っている」(59)ので、これを持っている人は、それを「真理の真の意味での知覚」あるいは「いかなる反対論も——(中略)——諸君の信仰から追放することのできない一種の實在の啓示」(同)と認めずにはいられないほどのものとされる。

ジェームズにとつては、個人の宗教に関する主観的確信や信念は、以上見てきたように、個人を絶対的に規定するところまで高まっているのであつて、この意味では科学的合理的知識、論理的帰結を超えたものとされる。それ故、ジェームズは、右の確信や信念をより強固なものにするために、「医学的唯物論」の批判に続いて、「こゝに」合理主義 (Rationalism) の批判を行なうことになる。この批判は、合理主義の信念についての主張の根拠に対する、個人のより深い本性というかたちをとる。

ジェームズは、合理主義の主張を次のようにまとめる。すなわち「①明確に述べることが可能な抽象的原理、②明白な感覚の事実、③そのような事実に基づく明白な仮説、④論理的に引き出される明白な推理」(58)というのが合理主義の特徴をなしており、これによれば、「漠然とした何かの不明確な印象」(同)などというようなものは問題にもならない。そしてこの合理主義は、哲学や自然科学の發展を見れば明らかのように、疑いもなく人類にとつての輝かしい成果であつて、それが説明する世界の部分は、「威信 (prestige)」すら有しているのである。

ジェームズは、このように述べた上で、この合理主義の主張を遮り、「それにもかかわらず、われわれが人間の全精神生活を、それが存在しているままに眺め、また彼らの知識や科学とは別に彼らの内部にあつて、彼らが内的に、私的に営んでいる生活を眺めてみるならば」(56~57)、この合理主義による説明が、「比較的に表面だけのものである」(57)として、それ以上の人間の本性の深い部分に關しては、この説明が及ばないと主張する。すなわちジェームズは、人間が「實在の感じ」を持つときには、「もし諸君の無言の直観が、合理主義の結論に反対するならば、それにもかかわらず、合理主義は、諸君を納得させることにも、回心させることにも失敗するであらう」(同)と述べ、この直観が人間本性のより深い部分から来るが故に、合理主義の多弁を弄した理論よりも、「その結果の方がより真実でなければならぬ」ということを、諸君の内にある何か、絶対的に知っているのである」(同)と結論づける。

われわれは、ジェームズの右のような理論構造が、前節で述べた宗教的感情への飛躍の基礎となつてしていることを、ここで確認することができる。それは、「われわれの衝動的な信仰が、ここでは常に真理の根源的な体系を組み立てている」(同)という立場であり、「直接的な確信が、われわれの内部では奥深い事柄である」(同)とする思想である。まさしく「非合理的な信仰に我信する」という思想の正直な表現であると言えよう。この非合理的な信仰が、合理的理性と協力し合うのは、「實在の感じ」が既に合理的な結論の方向へとわれわれを印象づけている場合のみであり、またその場合には、直観と理性とによつて偉大な体系も現われるのである。しかしあくまでも根源は、非合理的な直観の信仰であつて、宗教・哲学の体系は、この信仰の「派手な言葉での翻訳」(同)に過ぎない。このことは、理性に基づく合理的推論によつては割り切ることのできない、人間本性の「何か」が人間の本質を形造つており、人間はその「何か」——これは合理主義

によっては説明され得ないから、当然言語を超えたものとされる——によって基本的に規定されており、この「何か」が神祕的なものと繋がっていると見なされているという主観的観念論を宣言しているのであって、ジェームズは、この「何か」が、実は社会的歴史的背景を有しているということ、従って各個人にとつては、この「何か」の内容がその社会的歴史的諸条件によって異なっており、この構造に気づいた人間は、むしろ合理主義的説明を求めるといふことには思い至らない。そうではなく、まさに「本能が導き、知性はただそれに従うのみ」(同)というのが本質とされる訳である。

とはいえ、この非合理的な直観の信仰という思想は、宗教的立場の核心を言い表わすものであり、「実在の感じ」あるいは「何か」といった表現は、ジェームズの言う「合理主義」の盲点を突くものと言えよう。ジェームズは、大仰な議論を振りまわす宗教哲学よりは、もっと個人の日常生活の内面に即した議論によって、より説得的に振舞うのであり、それだけにこれに対する批判を行なうためには、足許を踏み固める必要があると考える。

このことは、ジェームズ自身の次のような慎重な言回を読むことでも明らかになるであろう。

「しかしながら、だから宗教の領域では潜在意識的なものや非合理的なものが優位を保持していることがより良い、とは私はまだ主張していない、ということにどうか気づいていただきたい。私はただ、事実の問題としてそれらが優位を保持している、ということを指摘するにとどめているのである」(83)。

非合理的なものの「優位」は、「事実の問題として」あるだけであって、ジェームズ自身は、その方が「より良い」とは「まだ主張していない」という言い方、彼の本音が出ていると考えられる。

六

さてジェームズは、宗教的感情への飛躍の基礎を、われわれの内部の奥底に潜む「何か」に求めたが、この場合、宗教的態度としては、「種類の」気分(mood)が混合されているとする。そしてこれら二種類の傾向によって、宗教にも二種類のものが見出されるのである。これらの「気分」とは、ジェームズによれば、「人間の存在の拡大(expansion)の気分」と「人間の存在の収縮(contraction)の気分」(88)とであり、前者の気分からする宗教の本質は平安と自由であるとされ、後者の気分からするそれは恐怖と服従であるとされる。そしてこれら両者

が様々な割合で混合されて各個人の様々な信仰をなしているのであるが、その割合は各個人の持つ性質によって異なり、それぞれ、いずれか一方の側面を取り上げて強調するという傾向を有している。

そこでジェームズは、それぞれの宗教的態度の典型的な傾向を持つ人々を検討し、このことを通じて、その後に来たる宗教的感情への飛躍——すなわち「回心」——の本質を探ろうとする。われわれは、この傾向を、ジェームズにならって、一方を「一度生まれの人(the once born)」、他方を「二度生まれの人(the twice born)」^②と名づけることにする。そしてこの節においては、「一度生まれ」型の宗教、あるいは「健康な気質(healthy-mindedness)の宗教」——これは先に述べたところでは、「人間の存在の拡大の気分」の傾向とされる——を、次節においては、これと正反対の傾向を有する「二度生まれ」型の宗教——こちらの方は「人間の存在の収縮の気分」のものとされる——を検討することにする。

まず第一の傾向、すなわち「健康な気質の宗教」について、ジェームズは、次のように述べる。

「多くの人々においては、幸福は生まれつきのものであり、教化できるものではない。『宇宙的感激』は、彼らにおいては必然的に熱狂と自由というかたちをとる」(72)。

このような人々が世界に存在する以上、彼らが特有の宗教を有することは必然的であり、「人生を悪く思うことを故意に拒否する」ということが充分な数の人々によって支持されて、すべての自然的なことが許されるべきであると主張する、公開的、秘密的な宗派を形成するまでに理想化されなかつた世紀は、かつてなかつたのは確からしい(同)のである。つまりこの傾向に属する人々にとっては、「自然は、諸君がこれを充分に信頼しさえすれば、絶対的に善である」(73)という楽観主義が基礎にあり、これに基づいて世界の暗い側面を無視する気質が存在するのである。それ故「最初から、彼らの宗教は神祕的なものと合一した宗教である」(72)。自然的な善に全面的に信頼を置く態度こそ、この傾向の人々の本質なのである。

ところがこの「健康な気質」となる方法には、「無意識的な(involuntary)方法」と「意志的あるいは組織的な(voluntary or systematic)な方法」(78)が区別される。前者は、「事物について直接に幸福を感じる方法」(同)であって、いわば「浅い段階」(114)で、この場合に感じる幸福とは、「単なる動物の幸福

のような幸福」(同)であるとされる。これに対して後者は、「深い段階」(同)であるとされ、こちらの方の幸福は、「生まれ変わった種類の幸福」(同)を有するとされる。ジェームズが取り上げるのは、もちろん後者の「意志的あるいは組織的な方法」であって、人間の精神構造の再構成を行ない、より深い段階に至ることに意義があるとされるのである。

この「組織的な種類」(6)の「健康な気質」とは、実は「事物を善であると抽象的に考える仕方」(同)のことであって、「一般に」すべて事物を抽象的に考えるやり方というものは、当人は事物のある一面を、その本質として選び出して、他の面を無視するのである」(同)から、この場合には「悪を視野から故意に締め出してしまふ」(同)方法をとることになる。すなわち「幸福が現実にも所有されているときには、悪の思想は実在の感じを獲得することができない」(同)という事実を確認した上で、このような感情状態を意識的に作り出していく決意をする、あるいは見方を変えていくのである。換言すれば、悪に対する態度を、恐怖や逃避の態度から、これに耐えて闘うという態度に変える、悪の力を軽蔑し、その存在を無視する、「そうすれば、たとえそれらの事実がなお存在しているようにとも、とにかく諸君自身に関する限り、それらの悪は、もはや存在していないのである」(同)。つまり自分が自分自身の思想を支配するということで、楽観的な世界観の体系が可能となるのである。

このように決意し、見方を変えることは、結局かかる傾向を持った人間が、その傾向を開花させることであって、これが極端になると、「もしそれが理想という理由のためなら、苦難も実際に栄光になり、死もその苦痛を失い、墓場もその勝利を失う」(8)「恍惚の状態となり、あらゆるものを包み込んだ「全能の興奮(omnipotent excitement)」(同)が満ちあふれ、生きているという事実を確認するのである。従って「一つの宗教的態度として、健康な気質を組織的に育成するのは、人間本性の重要な諸傾向との一致であって、少しも不合理なことではない」(同)。

そしてかかる傾向の代表的な運動として、ジェームズは、「精神療法運動(mindure movement)」(33)をあげる。この運動は、楽観主義的人生観を意識的に適用することで、人間の精神にカウンセリングを施す一種の宗教的運動であるが、ジェームズによれば、この運動の基本的な視点が、「健康な気質の宗教」と同一と見なされる。ただし「この信仰の指導者達は、健康な気質の態度それ自体の、あらゆるものを救う力と、勇氣と希望と信頼の有する、困難を克服する力と

に直観的な信念を持っており、疑惑、恐怖、心配や神経質的に用心深い精神状態に対しては、相対的に軽蔑してきている」(84)からである。それ故彼らは、人間の精神領域において、そこから恐怖を取り除き、さらには、より高い精神領域においては、その大部分が潜在意識的に現われるとされる、人間の「霊的なもの(the spiritual)」に達することを目的としている。

このように、「精神療法運動」は、全く楽観論からのみ出来上っているのであるが、ジェームズによれば、それが成功を収めた背景には、この運動が、教会によって見捨てられてしまった人々に対して、一つの「啓示」として臨んだこと、そしてこの「啓示」に対して、「健康な気質と、精力的活動を緩めることによつてすんで再生しようとする」と結びつける」(88)人々が存在していること、および潜在意識的な生活を活用していること、がある。そして宗教的態度から見て重要な事柄は、以前に述べた第四節での道徳的態度と宗教的態度との比較と関連し、さらには後の「回心」の検討とも結びつくのであるが、この運動によって成功した人々には、そのより高い精神領域において「霊的なもの」に達する手段として、「精力的活動を緩める」こと、すなわち「自己を主張し、自己自身を貫こうとする意志」(88)を放棄し、「われわれの口を閉ざし、そして神の洪水や章巻のなかに無に帰したものと存在しようとする意志力」(同)によって取って代えているということが、最終的に見出されるといえることである。換言すれば、最終的局面における「努力の放棄」(88)こそが、そこに至る通路であって、「その究極の意味が何であろうとも、これ(右に述べた「努力の放棄」)の経験——引用者——は確かに人間経験の一つの根本的な形態である」(同)とされるのである。それ故、このことを経験した人々は、まさしくこれを「知っている」(同)のであり、「彼らは、個人的意志の緊張をあきらめる中で、より高い力を現実に感じた」(同)のである。

ここにわれわれは、ジェームズがかつて述べた「合理的あるいは論理的に他の何ものからも導き出されない魅力」(88)とした、宗教の特徴を確認することができる。すなわち「健康な気質の宗教」といえども、その秘密はこの非合理的な飛躍にあり、自己の意志や努力の放棄と、それに続くところの非合理的対象、領域への結びつきがその本質をなしている。このことの確認が、次節にあってはなおさら明確にされ、検討されることになる。

七

以上の「健康な気質の宗教」に対して、「二度生まれ」型の宗教が次に問題とされねばならない。これは、前節での「健康な気質の宗教」が、世界の本質を善と見なして、悪を意識的に少なくしていこうとするのとは逆に、世界の本質は悪であって、「世界の意味は、われわれが人生の悪い面を最も真剣に考えるとき、最も思い知らされる」(112)という主張に基づいている。そしてこのような立場を、ジェームズは、「痛める魂 (sick soul)」(109)あるいは「病的な気質の見方 (morbid-minded way)」(136)と名づける。

この立場においては、われわれの人生そのものが、非常に危ういものであり、脆い基盤の上に立っているものでしかないことが確認され、強調される。ジェームズは次のように述べる。

「まず第一に、どうして、この世界における成功の経験のような不安定な事柄が、安定した拠り所になることができるのであろうか。一本の鎖は、その鎖の一番弱い輪以上には強くない。そして人生は結局一本の鎖なのである。最も健康で最も裕福な生活においても、病気や危険や災害という輪が、常に、いかに多くさしはさまれていることか」(116)。

このようにわれわれの人生には、常に悪がつきまとい、絶望が淵を明け、「すべてのものの背後には、普遍的な死という偉大な幽霊が、一切を包む暗闇がある」(118)。「健康な気質の宗教」が主張するところの内容などは、表面的なものでしかなく、この現実の前では吹き飛ばされてしまうのである。つまり自然的な善、自然的な幸福は一時的な気休めであり、「いやしくもわれわれが、死ぬことができる」という事実、病気になることができる」という事実が、われわれを当惑させるところなのである」(119)。そしてこのことから、それだからこそ、またわれわれには、「滅びることのない善を、すなわち自然的な善を飛び越した事実のうちにある善を」(同) 求める気持ちも起るとされるのである。

しかしこの救いについての話はしばらく置き、ジェームズは、この悲観論的な立場が、また自然主義的な立場にも共通し、その結論も絶望に陥る他ないことを指摘する。すなわち、「人生を純粋に自然主義的に眺めるのは、それがどれほど熱狂的に始まろうとも、必ず悲しみのうちに終る」(同) のであって、このことが自然主義的な哲学体系の核心に存在するとされる。彼によれば、現代の自然主義の見解では、「人類は、それを越えての脱出ということのない絶壁によって取

り囲まれた湖の上で生活している人々の集団に似た状況にある。しかも彼らは、少くも水が溶けていることを知っている」(120)とされているのであり、それ故、ここからは、先に述べたと同様の「不安の身ぶるい」(同) が結果するしかない^③。ここでジェームズは、彼の理解からするところの自然哲学、合理主義の批判を、合理主義自体の「結論」を借りることで、再度行なう訳である。

そして悲観主義の結論にさらなる刻印を押しつけたのが、ジェームズ自身の個人的体験であったこともよく知られていることであると思われる^④。すなわちジェームズは、ある時期に彼自身の陥っていた体験から、「宗教的憂鬱 (religious melancholy)」について語るのであるが、これは、単に「喜びの感情に対する能力がない」という意味での憂鬱」(124)であるのではなく、「それよりもはるかに悪いかたちの憂鬱」、「積極的で能動的な苦悶」(同) であるとされる。ちょうど「健康な気質」に「浅い段階」と「深い段階」とが存在し、「単なる動物の幸福のような幸福」と「生まれ変わった種類の幸福」とがあったように、「病める魂」の後者の段階における憂鬱であると言えよう。

そこに見られるのは、「絶対的な全くの絶望」(135)で、「全宇宙は、苦しむ者のまわりで凝固して、抗しがたい恐怖の構成要素となり、始まりも終りもなく彼を取り囲んでしまうのである」(同)。その結果、この「病める魂」は、悪についての知的概念を見るのではなく、「恐怖に満ちた、血を凍らせ心臓を麻痺させる悪の感覚」(同) を感じるのであって、かかる状況下においては、「個人が、本人自ら病的な憂鬱の犠牲にならねばならない」(132)し、善を始めとする「いかなるその他の概念や感覚も一瞬間も生きることができない」(135)までに追い込まれてしまうのである。いわば「一種の精神的神経痛 (psychical neuralgia)」(124)とでも表現すべきものであろう。それ故にわれわれの常識的健康さや道徳的意志の力が全て崩壊し尽すことになるのであるが、この状況にわれわれは、「健康な気質の宗教」の最後の段階における意志の放棄と同様のものを、もっと徹底した姿で見出すことができる。そしてジェームズもまた、「ここに宗教的問題の、すなわち、救いを、救いを」ということの本当の核心がある」(135)と指摘するのである。

それ故にまた、状況がこのようなものであればそれだけ、ここからの救いも劇的なものになることが示唆される。すなわちジェームズは、右に述べた憂鬱Ⅱ厭世主義と、ギリシアの厭世主義 (ストア派のアパテイア (apatheia)) とエピクロス派のアタクシア (ataraxia) をその代表とする」とを比較して、後者の厭世

主義は、「悲哀の気分が理想化されて、感性のより高い形式として現われる、という発見をなし得なかった」(126)、また「両者(ストア派とエピクロス派——引用者)とも、世界を調和させられない矛盾のかたちのままにしておき、より高い統一を求めない」(122)として、これを「一度生まれ」の時代の結論であると呼ぶ。そしてこれに対して、前者の厭世主義、すなわち「二度生まれ」の人間にあっては、この厭世主義を徹底することで、その奥にこれを克服する超自然的な力の存在に行き当るとするのである。従って「その苦しむ者は、救われるとき、彼にとつては、第二の誕生(second birth)と思われるものによって、すなわち彼が以前に享受することができたものよりも、より深い種類の意識的な存在と思われるものによって、救われるのである」(131)。

以上われわれは、前節とこの節を通じて、「一度生まれ」型の、あるいは「健康な気質の宗教」と、「二度生まれ」型の、あるいは「病める魂」の宗教とを検討してきた訳であるが、ジェームズは、これら両者を比較した結果として、人生観におけるその決定的な対立が、実は「等しく生活の本質的な事実」(118)であり、「人生とそれの否定とが複雑に強くかき混ぜられている」(同)という認識の上に立って、「公平な傍観者の態度」(136)から、「われわれは、病的な気質が、経験のより広い規模に及んでいて、それが行なう吟味も重なり合うものである」と言う義務があるように思われる」(同)と結論づける。というのは、「ただ計画と方法の問題としては、悪の事実が、善の事実と同様に、自然の真の意味の部分なのであり」(137)、「さらに言えば、「健康な気質が責任を持つことをきっぱりと拒む悪の事実が、實在の真の意味での部分である」(136)のであるから、この事実の注意を払わない「健康な気質の宗教」は、哲学としては不十分であると言わざるを得ないからである。これに対して、この事実を採用し、自己の体系内に留めようとする「病める魂」の宗教の方が、より完全であるとされるのである。「最も完全な宗教は、それ故に、厭世的要素が最もよく発達した宗教であるように思われる」(138)⑤というジェームズの言葉には、これまで述べてきた総括の意味が含まれている。この立場からまた、彼は悪の事実を強調し、これを「生活の意義への最善の鍵」、「最も深いレベルの真理に対してわれわれの眼を開かせる唯一の者」(136)であるかもしれないとして重要視するのであるが、このことは、後に「回心」の評価のところで問題となる。

われわれは、ここで、ジェームズの宗教論がひとつの中間的結論の段階を迎え

たことを知る。すなわち、ここに至るまでの周到に準備された課程は、いわば飛躍のための助走の観を呈しているであって、彼が、ここから「宗教的感情」の全面的展開——「回心」——へと移るためには、あと一押しするだけで充分であるということである。そしてそのためには、個人の感情が、「健康」であるよりも、「病的」である方が、しかも著しい程度にそうである方が、より劇的であることは言うまでもないであろう。ただし個人の力が、あるいは意志が全て放棄されたところで出会う超自然的な力や存在は、その場合には、それだけ強烈なものとして現われてくるからである。この意味でジェームズの「病める魂」は、まさしくその適任者であったのであり、独特の響きを持つ用語——それは通俗的であると共に、その言葉の通常用いられているよりもはるかに微妙な内容を言い表わしている——は、また劇的な救いのための有効な小道具であったと言える。彼の言葉を借りれば、「しかし、もし救いが効果のあるはずのものであれば、その救いは、彼らの苦しみと情と同じくらい強い力かたちで、来なければならぬ」(138)からである。

かくしてここから、われわれは、次に「第二の誕生」とも言うべき、「宗教的感情」への決定的な飛躍、「回心」の検討に移ることになる。

八

「回心」について、ジェームズは、これを「二度生まれ」の型の宗教に特徴的なものと見なす。というのは、ジェームズによれば、「一度生まれ」の型の宗教というものは、生活の「その諸部分は、それらが自然に持っているように思われるだけの価値をちょうど持っている」(138)ということを前提にしているから、世界を「一階建ての事柄(oned-storyed affair)」と見て、その勘定の合計、すなわち価値を、生活においてプラスとマイナスを計算することで評価する。この場合には「幸福と宗教的平穩とは、その差引勘定書のプラスの側で生活するところに存する」(同)とされる。ところが「二度生まれ」の型の場合には、自然的な善に不十分さと虚偽を認め、むしろ「われわれを真の善に対して妨げる」(同)と見なすが故に、われわれが、この自然的な善を放棄して、絶望に陥ることが、より真理に近づく途とされるのである。「自然的な生と霊的な生と二つの生があるものであり、そしてわれわれは、その一方を分かち合う前に、他方を失わねばならない」(同)という、いわば「二階建ての神秘(double-storyed mystery)」の世界に生活しているとされるのである。

従って「二度生まれ」の人には、その心理学的基盤からして、「道徳的な性質と知的な性質」(143)との間の統一が不完全で、異質性があることが認められ、実際の生活においては、現実的「自己」と理想的「自己」、「一方での肉内的な(carnal)意志と他方での霊的な(spiritual)意志」^⑥との対立、分裂が彼を苦しめつづる。そこでこの分裂を統一することが、各人の最大の課題になるのであるが、かつての偉大な魂がこの分裂を克服して、より高い境地に到達した過程を検討してみれば、「このようにしてそれが来ようとも、その統一は特有な種類の救済をもたらす、しかもそれが宗教的なかたちで投げかけられるときほど極端な救済をもたらすことは決してない」(146)と云うことができるのである。

それ故に、かかる統一では、宗教的なかたちをとるものが最高のものとされるのであるが、これが唯一の形態ではないこともまた確認されねばならない。すなわち「内的な不完全さを治療し、内的な不調を整理する過程は、一般的な心理学的過程である、そしてそれはいかなる種類の精神的素材にも生じ得るのであって、必ずしも宗教的なかたちを帯びる必要はない」(同)のである。ここからしてわれわれには、まず「回心」の基本的形態の特徴を検討する必要がある。

これらの過程に共通な事柄は、「嵐と緊迫と矛盾の時期に続いて、強固さと安定と平静が現われる」(147)こと、そしてその結果として、新しい人間が誕生するということなのである。このことが起こる原因については——潜在意識の作用の問題をも含めて——統いて検討することとして、ここで重要な事柄は、「事実の問題として、彼らが、彼らの意識の内的な範囲に、何か湧き出ているのを見つけることができたし、また見つけて、そしてそれによって極端な苦しみ克服され得たということである」(148)。このことの意義は、内的人格の分裂、絶望を克服する超自然的な力の存在を明確に指摘したところにある。右の言葉に続いて、ジェームズが、「トルストイは、それを、人々がそれによって生きるところのもの」と言って正しく理解している」(同)と述べているのは、この理性を超えた、超越的で圧倒的な力の存在を裏打ちしていると言えよう。まさしく「それは一つの刺激であり、興奮であり、信仰であり、以前には人生を耐えられないものとしていた悪の知覚が充滿している中にあるにもかかわらず、生きようとする積極的な意志を再び注ぎ込む力」(同)であるとするのが、飛躍を物語っている。そしてこれが宗教的なかたちをとって、より純化、高度化されるとき、本来の「回心」が出現するのである。

註

- ① William James: *The Varieties of Religious Experience*, Harvard U. P., 1985, p. 51.
以下本書からの引用は頁数のみを示す。
- ② F. W. Newman (1805-97) の提唱をジェームズが引用したもの。(cf. p. 73.)
- ③ cf. W. J.: *Pragmatism*, Harvard U. P., 1975, p. 54.
- ④ cf. pp. 134-135.
- ⑤ ジェームズは「かかる宗教としてよく知られているものとして、仏教とキリスト教とをあげているが、これらの特徴として次のように述べている。「それらは本質的に、救い(deliverance)の宗教である。人は、真の生へと生まれ得る前に、真でない生に對して死なねばならぬ」(p. 138)。
- ⑥ ジェームズの「アウグスティヌス(A. Augustinus, 354-430)からの引用による。

大矢良哲

A Reconsideration on

'Dōjō-Hōshi'

Yoshiaki ŌYA

日本最古の仏教説話集である『日本靈異記』上巻三話に、「電いづなの意を得て生ましめし子の強き力ちから在る縁」という道場法師の話が載せられている。この道場法師説話は通説によれば、上巻一話（電を捉へし縁）・二話（狐を妻として子を生ましめし縁）、中巻四話（力ある女の、力掬くべ試みし縁）・二十七話（力ある女の強力を示しし縁）とともに、『靈異記』の世俗説話の中核をなす強力譚説話群を形成し、さらにその核的な存在であるとされている。そのため、いくつかの關係論文があり、『靈異記』研究の主要な論点の一つとなっているのであるが、道場法師をどのような人物として把握すべきかという基礎的な問題についても、未だ充分に究明されていない現状である。道場法師を明らかにすることは、いわゆる道場法師系説話群の問題にもつながり、ひいては『靈異記』全体の性格にも大きく関わってくる。小稿では上巻三話の道場法師説話を中心に、道場法師とその伝承について考えてみたい。

二

『靈異記』上巻三話のあらましは次のようである。

敏達天皇の時、尾張国阿育知郡あゆち片箱里かたはらの農夫が田を作っていると、雷が落ちて小子となった。農夫が杖で突こうとすると、雷は命ごいをし、助けてくれたららに子供を授けると約束した。のち農夫に子が生まれたが、子供の頭には蛇が二重に巻きついていて、頭と尾が後に垂れ下がっていた。

その子が十歳余りになった頃、朝廷に力の強い人がいると聞いて、力比べをするために上京し、大宮の東北隅の別院に住んでいた強力ちからの王に勝った。

その後、子供は元興寺の童子となり、寺の鐘堂にいた悪鬼を退治した。

それから、在俗の僧である優婆塞となって元興寺に留まっていた。この寺の田は、王たちが水をせき止めたため干上がらばかりになっていたが、優婆塞が百人以上でしか引けないような大石をもって水門を塞ぎ、寺田に水が入るようにした。そこで寺僧らは彼が得度して出家することを認め、道場法師を名づけた。ところで、『靈異記』には道場法師の故郷である愛智郡あいち片輪里かたわに、姿は小さくて非常な強力ちからの女がいた話を二つ載せている。すなわち先にも示した中巻四話に「聖武天皇の御世に（中略）尾張国愛智郡片輪の里にも、一の力ある女有りき。人と為り少さし。是は昔元興寺に有りし道場法師の孫ぞ」とあり、上巻三話にみ

える狐を母として生まれた人の四世の孫である力女と、力比べをして勝ったという。また中巻二十七話には「尾張宿禰久玖利は、尾張國中島郡の大領なりき。聖武天皇国食シシ時の人なり。久玖利が妻は、同じ国愛知郡片絶の里に有りし女人なり。是は昔、元興寺に有りし道場法師の孫なり」と記し、国守の横暴に立向ったり、無礼な船頭の船を陸に引き揚げて懲らしめたりした話を載せている。いずれも道場法師の孫女という怪力の女性が活躍している説話である。

二十七話にみえる尾張國中島郡の大領尾張宿禰久玖利については明らかでないが、壬申の乱の際、東国に出兵した大海人皇子に私邸と軍資を供助した尾張宿禰大隅（『日本書紀』持統十年五月三日条）、尾張の豪族とみられ愛智郡大領であった尾張宿禰平己志（『統日本紀』和銅二年五月五日条）、同国春日郡大領尾張宿禰人足（天平二年「尾張国正税帳」正倉院文書）、天平十九年（七四七）三月三日、尾張国造に任せられた尾張宿禰小倉（『統日本紀』）が知られ、また久玖利と同じ聖武朝の中島郡大領級の人物として尾張連（名欠）が確認できる（天平五年「尾張国正税帳」）。尾張地方の郡司は尾張氏一族から出していた。

『統日本紀』天平七年（七三五）五月二十三日の「諸国所貢スル力婦。自今以後。准ッ仕丁ノ例ニ免シ其ノ房ノ橋ヲ。并ニ給ッ田二町ヲ以テ充テ養物ニ」という詔にみられるように、聖武天皇の時代に諸国の力女が強く意識されるようになるが、尾張国においても道場法師の孫女の強力譚が広く伝承されていったと思われる。次に道場法師について考えるが、この人物について深く説き及んだものはない。柳田国男も「雷神信仰の変遷」という論文の中で、「思うに道場法師という僧名は、必ず何物かを暗示しているであろうが、我々は未だその端緒をすらも捉へることが出来ぬ」と述べ、道場法師を実在する人物ではないかと疑いながらも、それを実証する史料的な裏付けのないことを残念がっている。ところが近年この法師の実在性は否定され、創造上あるいは伝承上の人物として取扱うのが通説になっている。黒沢幸三氏は道場という語が草創期の仏道修業場を意味することに注目し、道場法師とは寺の開基に活躍する異常な力を持った開拓者と考えられるとして、『靈異記』の語る初期仏教説話の世界において創造された人物であると

する^②。また和田萃氏は、かなり実在性の濃い人物と認めながらも、その名称が固有の僧名とは考えにくくとして、強力を謳われた伝承上の人物、あるいは語り物の主人公とするのがより妥当であろうという^③。両氏は単に道場法師という名称のゆえに、伝承上あるいは創造された人物として扱えられているようだが、平安後期永万元年（一一六五）の『七大寺年表』と、それと前後して成立した『入

唐記』の中に、「道場」の僧名がみられるのは見逃せないことと思われる^④。

『七大寺年表』は正しくは東大寺本『僧綱補任』十二巻の残欠本二巻で、東大寺の僧惠珍によって編纂され、天平十一年（七三九）から延暦二十一年（八〇二）までの南都七大寺所属の僧侶の補任を編年体で記したものである。七大寺所属僧侶については他にみることのできない記録を伝えている。一方の『入唐記』は飛鳥時代から平安後期までの間に、我が国から中国へ仏法を求めて渡った高僧二十数人の略伝で、参議平実親の子心覚（一一一七—一八〇年）の著書である。この二書は共に僧伝研究上、頗る史料価値の高いものとされている^⑤。両書における僧「道場」の關係部分を抄出すると次のようである。（傍点筆者）

『七大寺年表』大宝三年癸卯条

僧正義淵。三月十四日仕。法相宗興福寺。化生人也。道昭。道慈。道場。道鏡。已上皆一室弟子也。知鳳法師弟也。

『入唐記』

道昭。或記云。道昭和尚菴蓋寺義淵僧正弟子道慈。道場。道鏡等同法也。文武天皇第四年三月入滅。七十二。国史云。孝德天皇白雉四年々々入唐。遇玄奘三蔵受業。遂帰本朝住元興寺云々。被授禪文。

これによると義淵僧正の門下には、道昭（昭）・道慈・道場・道鏡の四人がいたことがわかる。ここに道場というかなりの高僧の存在を認め得るのであるが、この人物と『靈異記』にみられる道場法師が同一人物ではないか、つまり道場法師は単なる伝説上の人ではなく、実在したのではないかという疑問から、両者について詳細に検討してみたい。

まず第一に、道場法師という僧名が固有名としても不自然ではないということである。道場法師の名前が元興寺の道場に居住したことによるものらしいことは、元興寺の縁起の一つである『極楽坊記』の割註にみえている。すなわち「昔在法師一名曰道場、居元興寺之道場、故因寺名焉」と記されている^⑥。一般にこの道場法師という名称は、先にも述べたように固有のものとは考えられないのであるが、当時、「道」の字が付く僧名は多く『日本古代人名辞典』^⑦にも四十人を数えることができる。『七大寺年表』『入唐記』に義淵の門下として道昭・道慈・道鏡の名があるのも、その好例といえるであろう。ただ『打聞集』のみが「道丈法師」と記しているが、この書は口伝えの説話を説教の資料とした私的聞き書き集であろうといわれ、あて字の多いことも指摘されているので^⑧、この場合、文字の相違は殆ど問題にはならない。つまり元興寺にいた一人の少童

が、居所によって「道場」という法名を得、その名が仏道修業場を意味する道場からきたことも間違いないが、必ずしも寺の開基とは結び付かなくてもよく、固有の僧名であることも充分考えられるのである。

第二に、活躍した時代がともに一致することである。「七大寺年表」「入唐記」によれば、童蓋寺の義淵僧正（生年不明―没年七二八年）^⑨の一室弟子の名は、二書ともに道昭（六二九―七〇〇）、道慈（？―七四四）、道場、道鏡（？―七七二）の順で記されており、その順序は恐らく年の老若によって表わされたと思われる。これから推すと、道場は七世紀中葉から八世紀初頭ないし中葉にかけて存在したと考えられる。一方、「靈異記」のほうは中巻四話・二十七話において、道場法師の孫女である強力（聖武天皇の在位中（七二四―七四九）に活躍していたという）から、この時の孫女の凡その推定年代から道場法師の生存した年代を逆算すると、「七大寺年表」「入唐記」の道場と同時期の人ということになる。「靈異記」は法師が敏達朝（六世紀中葉）に生まれたとするが、これは編纂時にこのように書き加えたためであって、そのまま信するわけにはいかない。七世紀中葉に生まれたと理解するならば、聖武朝には孫が活躍する時代となり、辛うじて成立つのである。

第三に、両者が同じ飛鳥の地にいた僧侶であつたらしいことである。前掲の史料では義淵・道昭など飛鳥の地にいた高僧と共に名を連ねているので、道場はもとも同地にいた僧と考えられる。兄弟子とみられる道昭は、『続日本紀』文武四年三月十日条によると、唐から帰国後、飛鳥元興寺（飛鳥寺）に禅院を建て、弟子を養成したという。このことは道場法師が飛鳥元興寺の僧であつたという「靈異記」をはじめとする諸伝に付合する。

以上に述べたように名前・職種さらに活躍時代・場所も彼此一致するとすれば、『靈異記』の道場法師が、『七大寺年表』『入唐記』の僧道場と同一人物であるとは認めよう。

『七大寺年表』『入唐記』と『靈異記』との対応関係は、法師の存在を確かめるためにのみ役立つのではなく、同時に、法師とその他の人々との相関関係をも示すものであり、このことはまた、『靈異記』の記載している諸事項がある程度確かな所伝に基づいていることを暗に仄めかしているといえる。

『靈異記』で、年紀を表わす天皇名を除けば、二つ以上の説話に現われる人物は、聖徳太子（上巻四話・五話、中巻十七話、下巻十六話）、道昭（上巻二十二話・二十八話）、行基（上巻五話、中巻二話・七話・八話・十二話・二十九話・三十話）、善珠（下巻三十五話・三十九話）のわずかに四名であるが、彼らはいず

れも日本仏教史上に名を残す人物ばかりである。『靈異記』には、道場法師関係の話、すなわち道場法師とその孫女の話、都合三話載せているので、ここからも実在性の濃い人物で、かなりの高僧であつた可能性がでてくる。同書には、行基の説話が頻出し、行基を中心として、それぞれの人物を登場させているように考えられる。行基は道昭の門弟であり、善珠は元興寺の僧で行基と共に道昭に学んでいる。道場法師が行基の師である道昭と同法であり、かつ元興寺の名僧の一人であつたからこそ、『靈異記』においてもその伝説が重視され、『扶桑略記』『日本高僧伝要文抄』『水鏡』『太子伝古今目録抄』などの史書にも、この法師に関係した類話が説話的な僧伝として載せられたのである。『日本高僧伝要文抄』第一巻において、史上に名高い高僧婆羅門僧正（菩提）・弘法大師（空海）・禅林寺僧正（宗叡）・静観僧正（増命）・浄蔵・書上人（性空）・陽勝仙人とともに、道場法師の伝がみられるというのも、それなりの理由があつたのである。法師が実在した元興寺の高僧であつたことは、以上のような点から認められよう。

三

道場法師と小千部氏とのかわりについては、すでに柳田国男によって説かれているが^⑩、筆者も道場法師という人物は尾張の小千部氏であると考える。

雷神制圧の呪術をもって天皇家の祭祀に参加した小千部氏の祖先伝承は、『日本書紀』と『靈異記』とにそれぞれ分かれて記載されている。『靈異記』においては、上巻一話の小千部栖輕の話が雷神をテーマとしている点で、上巻三話の雷神の申し子としての道場法師の説話と密接な関係を持っている。また道場法師の孫女の一人が、尾張國中島郡の大領である尾張氏に嫁いでいることから、柳田の言うように、道場法師の家をかなりの家柄であつたとみなければならぬであろう。当時、出家して官大寺に入ることには課役を逃れるというだけでなく、出世の近道としても有力なものであつたが、この道を選ぶことができたのは、地方では郡司級の土豪層の家に限られていた。玄昉・行基・道鏡らも彼らの中から出ているのである。この点、小千部氏ならば、天智朝に小千部鉏鉤が尾張国司守として現われ、既出の尾張宿禰大隅とともに壬申の乱で大海人皇子方について活躍したほどの氏族であるので、中嶋郡の郡司である尾張宿禰久玖利と道場法師の孫女との婚姻関係は、極めて当然なことになるのである。さらに尾張元興寺は、飛鳥から尾張に帰った道場法師によって創建されたと伝えられているが、この伝承が事実であるならば、道場法師は尾張においてかなりの政治的・経済的な基盤を有して

いたことになる。このことも道場法師の尾張小字部氏説を補強するものとなろう。名古屋市中区古渡町は、『靈異記』の阿育知那片断里、「今昔物語」の愛智郡片断郷に比定される地で、かつて尾張元興寺があったところでもある。地元では「元興寺は、道場法師の誕生の地にして、南都の元興寺をうつし建られしかは、そのかみは類ひなき伽藍なりし」といい、「建し時、金彩海に輝て魚介恐れ去、漁人業を空くせしと俗伝いふ」と伝承されている^⑩。尾張元興寺は、古書に願興寺とも記されている。『尾張志』には、愛知郡の願興寺について、「牛立村にありて尾頭山といふ、參州野寺村本証寺の末寺也。創建年月知かたしといへとも、往古は古渡村にありて、鎮西八郎為朝創建のよし伝へいへり。又海東郡勝幡の城主織田備後守信秀居城を古渡村へ移さるゝ時、今の如く牛立村に易地したりといへり。」と記す。ここに同寺の創建は平安末期と伝えているが、『日本三代実録』元慶八年（八八四）八月二十六日条に、「勅令_下尾張國愛智郡定額願興寺。為中國分金光明寺。緣_上本金光明寺灾火烧損_一也」とあることからすれば、その創建は平安前期以前と考えなければならぬ。さらにこの地からは白鳳時代後期の忍冬裝飾弁と複弁蓮花文（均正忍冬唐草文）の二つの字瓦を出土している^⑪、尾頭山願興寺の創建年代は、白鳳時代の仏教興隆政策に対応して寺院の造営が盛大化した時期に求められる。管見では、礎石の出土を報じたものを知らないが、近年、筆者がこの古渡付近を訪れた際、偶然にも西古渡町の鈴木小左衛門氏宅の礎石に礎石一基が転用されてあるのを確認した。

尾張元興寺は、白鳳時代後期に創建され、元慶二年（八七八）に尾張國の國分寺となった大寺で、道場法師の誕生地に建てられた可能性が強い。尾張元興寺とは、尾張國愛智郡片断里に生まれ、飛鳥元興寺に学んだ道場法師が、その晩年に故郷の地に創建した寺であったのではなからうか。

四

つぎに『靈異記』上巻三話の内容を検討してみよう。話は先述のように四段からなっている。第四段は全文を示そう^⑫。

然る後に、其の童子、優婆塞と作りて、猶し元興寺に住めり。其の寺の作田に水を引く。諸王等妨げて水を入れず。田焼くる時に、優婆塞言はく、「吾、田の水を引かむ」といふ。衆僧聽す。故、十人して、荷ツベき鋤柄を作りて持たしむ。優婆塞、彼の鋤柄を持ち、杖を撞きて行き、水門の口水口に立てて居。諸王等、鋤柄を引き棄て、水門の口を塞ぎて寺の田に入れず。優婆塞、

亦百たり余り引きの石を取りて、水門を塞ぎ、寺の田に入る。王等、優婆塞の力を恐りて終に犯さず。故、寺の田渴れずして能く得たり。故、寺の衆僧聽して得度し、出家せしめ、名は道場法師と号く。後の世の人の伝へて謂へらく、「元興寺の道場法師、強き力多有り」といふは、是れなり。当に是に知れ誠に先の世に強く能き縁を修めて感ぜる力なりといふことを。是れ日本國の奇しき事なり。

道場法師が実在した高僧であったことは前にふれたが、この説明において、どの部分が事実譚で、どの部分が拡大された箇所であるのかを、つぎに突き止めなければならない。

先に述べた道場法師説話を載せる各書のうち、「已上出_二靈異記_一」としてほぼ本文を引く『扶桑略記』のはかは、全て第一・第二・第三段の内容に関する類話で、第四段を欠いている。このことについて、黒沢氏は、「三段目は鬼の頭髪の由来が中心で、しかも上巻三縁はこの三段と一段を軸にして、話を拡大し、形成されていったのではなからうか。」と前置きして、「三段目は寺の創建と寺宝の由来にふれているから、そもそものは元興寺の縁起であったと考えうる。この部分_一が道場法師の一つの核であることを推定してきたが、おそらくはこれは、元興寺縁起の一部分であったことだろう。」と述べている^⑬。しかし、果たして當時から第三段が道場法師説話の中心であったかは疑問である。というのは、元興寺縁起のなかで初期の縁起、すなわち「元興寺縁起・仏本伝来記^⑭」（天平十八年）や「元興寺伽藍縁起并流記資財帳」（天平十九年）などには、道場法師と鬼との関わりを記したものがなからである。その後の中世の縁起にはつぎのようにでてくる^⑮。まず、「諸寺建立次第」には、

道場法師之事、本元興寺時事也、
とあり、「七大寺巡礼私記」には、

鐘楼一字、件楼造様勝於諸寺、尤奇妙也、但道場法私〔握力〕之鬼髮在本元興寺宝藏、仍不注載之、
とみえる。また菅家本の「諸寺縁起集」には、

鐘楼一字

在鐘一口、此鐘在靈云々、永徳之頃、大將軍義満建立相國寺、件鐘渡彼寺云々、其後永十□年寺炎上之時焼失云々、以其金又鑄直之云々、又道場法師事者、本元興寺事也、彼鐘靈鬼住禪定院山、仍号鬼園山云々。

と記されている。このように元興寺縁起において、道場法師と鬼との関係が記されるようになるのは、鎌倉時代になってからで、それらはいずれも元興寺伽藍の鐘堂の説明としてでてくるのである。したがって、元興寺縁起の一部が道場法師の説話に入れられたものとする説は時代的に矛盾するのであって、むしろ逆に、道場法師の伝承が後世の元興寺縁起に繰り込まれたとみるべきであろう。

『靈異記』所収の説話をみると、そのほとんどが現世での果報を中心課題とし、原始的呪術信仰にみちている一方で、全篇の主旨は過去・現在・未来にわたる因果応報の教説によって貫かれているのであるが、この説話の場合にも、第一段を雷神の申し子としての道場法師の出生譚、第四段の果報を彼による寺田引水の話としている。またその細部をみても、第一段に農夫が「作田に水を引く時」とみえ、第四段に「其の寺の作田に水を引く」とあるように相互に似た表現がある。その内容にも両者の関連性が認められ、第一段と第四段とは直接的な因果関係で構成されていることがわかる。第四段の文末に「当に是に知れ、誠に先の世に強く能き縁を修めて、感ぜる力なりといふことを」と言って、説話内容の現実性を強調しているのである。このようにみえてくると、この引水の話は法師の修業事業の行蹟譚であった可能性が強い。

第四段の「吾れ田の水を引かむ」という水は、飛鳥川の木葉塚以外には考えられないといわれている。和田氏は、この説話の設定時期、すなわち推古朝の初期ないしは中期に、飛鳥川周辺に寺田が存在したとは考え難いことから、寺伝に寺田があったと考えられる七世紀後半の頃の知識で、第四段にみえる道場法師の伝承がまとめ直されたようであると説かれている^⑩。この見解は当面の問題に対しても示唆的であり、これに従えば道場法師が七世紀後半に飛鳥川の水を引いたという推定も成り立つのである。

前記『続日本紀』文武四年(七〇〇)の道昭伝には、道昭が飛鳥寺の禪院で弟子を養成するとともに「周遊天下。路傍穿井。諸津濟處儲船造橋」とあり、民間での開発を指導したことがわかる。その弟子行基が伝道と開発を平行して進めた点は道昭に通ずるものがあり、行基が道昭から土木技術を学んだことは十分考えられる。道昭を同法の先輩、行基を後輩としたとみられる道場が灌漑土木技術を学ぶ機会を多く持ったことはこれを認めてよいであろう。

道場法師伝は、法師の实在性およびその人物による飛鳥川引水の実在性を考え合わせるとき、第四段に示される前人未到の業績を引き出すために第一段の話がつくられ、この二つを軸として、さらに第三段の元興寺の寺宝の話と第二段の力

くらべの話をも加えて拡大し、昔話の奇蹟譚の形式をとっていったと考えられる。この強力の子の異常生誕は、力太郎や踵太郎などの「生誕」型民話とよく似ていて、石投げによる力くらべも民話力太郎にみられる。小伝説のうちあるものは、ドルメンと結び付けて語られるが、このような説話は今日もなお西太平洋諸島住民の多くの信仰と密接に結びついていることから、古代の共通な信仰類型とみられており、力太郎の話が西日本よりも東日本に多く分布するといわれているので、第一段・第二段の説話の原型は、もと東国尾張地方の民話に求められるのではなからうか。

また、『愛知県地名集覧』(明治十五年愛知県郡町村字名調)によれば、愛智郡西古渡村に「童子」の地名がみえるが、これも道場法師譚との関連性を考えるうえで大いに興味あるところである。小伝説の原形となる貴重な字名ではなからうか。「古事記」・『日本書紀』・『風土記』などには多くの地名説話が収められているが、この法師譚の場合は、尾張地方の地名にちなむ地名説話をも含めて構成されたものと考えられる。ここで奈良県生駒郡三郷町の「竜田」という地名と比較しておこう。江戸期の『大和名所図会』の竜田山の項には、つぎのような記事がある。

抑竜田といふ事は、むかし此所に雷神落ちて、あがる事を得ずして童子となりたりけるを、農夫やしなひて子とせり。頃しも夏の初なりけるが、隣村にはふらざれども、此農夫が田のうへに白雨時々そそぎ、稲花をなし、熟して秋のをさめおもふまゝにしてけり。其後此童子いとまをこひて、小竜となりて天に登る。かれが作る田を竜とぞ云けるを、やがて所の名とせり。

この説話は、南北朝時代の『詞林采葉抄』を引いたものである。三郷町大字立野の竜田神社の隣地には、「竜ノ子」とよばれる小字があり^⑪、この話は「立野」竜田「竜ノ子」などの地名に付会した地名起源説話となっている。道場法師伝の第一段もこうした地名説話ではなからうか。『靈異記』の「然る後に産れし児の頭は、蛇を二遍纏ひ、首・尾を後に垂れて生る^⑫」という文章は、尾張元興寺の跡地近くに残る「尾頭」の地名にちなむものと考えられる。願興寺の山号を「尾頭山」とよぶことは、道場法師説話がそれを語る土地と結びついていたことを示している。

以上のことから、上巻三話は、尾張元興寺の僧によって採集された在地の民話および地名民話が行遊僧によって中央の元興寺に伝えられ、これを三話の前半として、中央の第三段や第四段と結びつけ、かつ拡大されたものと推察される。

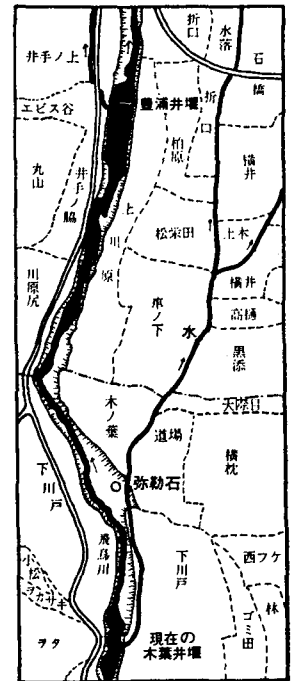
道場法師が元興寺の寺田に水を引けたというのは、雷神の申し子であったからであるというが、そこに道場法師の高僧としての超日常なる、非凡なる資質のあったことを説き、同時にわが国上代雷神信仰を仏教が包含する時代的背景をも反映している。そのうえで、この法師の高僧ぶりをさらに高める方法として、説話的扮装を重ね合わせるという趣向がとられたのであろう。彼は奈良仏教界の大立物である道昭や行基らと肩を並べる僧であったことから、特にその高德が謳われて、伝説のヴェールに包まれた僧侶とされ、その結果、あたかも創造上、あるいは伝承上の人物であるかのように取り扱われるようになったと考えられる。

五

最後に、この説話の大石に相当し、ほんらい取水口の石柱であったといわれる飛鳥の弥勒石について、少しふれておきたい。

この話の中で法師が築いたとされる井堰は、今日、川原寺の北方、板蓋神社のある丘陵が飛鳥川につきだすところに位置する木葉堰に比定されている。同地の地名(小字)も「木ノ葉」である。ここで取水された用水(中水なかつみづという)は、「木ノ葉の水は木ノ本に落ちる」といわれるように飛鳥・雷・奥山地区の約七〇町歩を潤し、飛鳥水系では豊浦井堰につぐ規模となっている^⑧。古代飛鳥の中心地帯に水を供給した極めて重要な井堰で、この地方の開発の進行過程とかわらせて理解すべきものといえる。この堰の名称は、承保三年(一〇七六)の「大和国高市郡司刀禰等解案」によって、十一世紀後半まで溯ることが確認されるが、その築造時期は遅くとも七世紀中葉まで溯りうると考えられる。「木葉」の名は、『日本書紀』崇峻紀の記事に、飛鳥寺が飛鳥衣縫造の祖、樹葉の家をとり壊して造った、とある伝承によっている。ここから飛鳥寺方面へ取水され、位置的にも同寺に近かったこともあって、地元の伝承に結びつけられて木葉堰の名称が生まれたのであろう。

飛鳥川の東岸、木葉堰の近くに、屋根をかけた弥勒石が立っている。これは小字「木ノ葉」と「下川戸」との字界にあり、飛鳥川と現在の木葉堰から引く用水との間に立てられている。高さ約二・五メートル、幅約一・二メートル、奥行約一・〇メートルの柱状の石である。頭部に口らしい窪みがあるものの、摩滅が甚だしく、その容貌ははっきりしない。胴体もただ正面と左右側面に面取りがなされているだけで、手・足もない状態である。したがって、何時、何のために造られたものかわかっていない。ただし昭和三十一年、三年に行なわれた川原寺の



第1図 弥勒石周辺地籍図
(和田萃氏作成による)

発掘調査の際、寺辺の高市郡東三〇条三里の復原が試みられたが、その時には龜石と弥勒石とはそれぞれ三〇条三里の西南隅と東北隅の坪にあり、里の境域を示す第二次的な意味があったという見解が示されている^⑨。しかし、弥勒石が正しく路東三〇条三里三六坪の条里の境界に位置していないことから、すぐさまこの説を認めるわけにはいかない。つきにこの石造物の用途を文献史料の方から探ってみよう。

そのための手がかりとなるものは、宝暦元年(一七五二)の『古跡略考』に「木ノ葉井手の上、聊の塚也、

道場塚 此田の字も道場といふ、仏のかよひなれば、近年掘しに崇りあり、

とみえるものである^⑩。これによって小字「道場」の地に「道場塚」とよばれる塚のあったことが知られる。ここは木葉井手(堰)の傍らである。しかし、現在、その地に塚らしいものはなく、嘉永六年(一八五三)の『西国名所図会』巻九の巻頭の飛鳥川の挿図にも、すでに現在地に立っていた弥勒石のほかには、付近に何も描いていない。そのため、『古跡略考』の道場塚というのは弥勒石のことであろうと推察される。弥勒石は小字「木ノ葉」の東端にあるが、その場所は広義にはその東側の小字「道場」と同地と理解されても無理のないところであり、道場塚と弥勒石とはともに民間信仰の対象物として取扱われ、その用途も共通している。『古跡略考』に「木ノ葉井手の上」とあるのは、正に弥勒石の所在地に即したものであるといわざるを得ないのである。もとは弥勒石を中心に道場塚とよんでいたであろう。

ところで道場塚の「道場」とは何なる意味をもつものであったのであろうか。



第2図 彌勒石

小字道場から鷗尾様の瓦が発見されていて、元興寺（飛鳥寺）に関係した寺院建築、すなわち修行の場としての道場がこの地にあったとする説がある^②。その名称ゆえにこうした考え方があるのも尤もなことではあるが、仏道を修行する道場と道場法師の元興寺の寺田への引水の話に関わる木葉堰とが、偶然同地に重なったとは考えがたい。道場法師伝説にいう用水が飛鳥川の木葉堰から引いた「中水」にあたるという考え方が認められるならば^③、その取水口にこの道場塚があることは、単に、偶然としてすまずことはできないであろう。この点、やはり小字「道場」は道場塚に由来し、「人名としての道場」に「塚」が合わさったものが原型であったと考えざるをえない。木葉堰から元興寺の寺田への引水が、かつてこの寺にいた道場法師によってなされたからこそ、彼の事績が飛鳥の元興寺での出来事として、永く語り伝えられたのではなからうか。

ここで想起されるのは、中国四川省成都郊外の岷江に設けられた都江堰という灌漑施設である。これは蜀の太守であった秦の李冰父子による大規模な水利事業であった。甘肅省との省境に近い岷山という高山を水源とする岷江は、険しい山間を駆け下るうちに、いくつかの支流と合流して大河となり、一気に成都平野に流れ出ている。この川は雨期には平野のいたるところで大水害をもたらすという。そのため、李冰は、成都を水害から守るために水路を開削し、併せて物質の運搬および流域一帯の灌漑をはかったというのである^④。一九七四年、この堰の川床から高さ約二・九メートル、肩幅〇・九メートルの李冰の石像が出土した。この石には三か所に「故蜀郡李府君諱冰」、「建寧元年閏月戊申朔廿五日都水掾」、「尹童長陳彦造三神石人珍水万世焉」という銘が刻まれていた^⑤。すなわち、後漢の



第3図 西国名所図会（中央左下に彌勒石がある）

建寧元年（一六八）閏三月二十一日、都水掾と尹童と都水長の陳彦が、万世にわたって水を鎮めるために、この三つの神の石像を造った、とある。ダムを建設した李冰は、彼が死んだ数百年後に、ダムを守る神として石像に造立されたのである。こうした都江堰に類似した遺跡として、わが国の京都嵐山の保津川に造られた大堰が問題にされる。中国秦代の川の取水構造が、日本の秦氏がやった大堰川のダムに基本的に一致するという指摘である^⑥。この点については、飛鳥の木葉堰の場合にも共通点が見出せる。その規模においてはまったく比ではないが、渡来人の多い飛鳥の地において同じような灌漑施設が造られたことは注目される。都江堰の石人像と、飛鳥木葉堰の伝彌勒石すなわち道場塚の石像とは、川の分水地にあたかも灌漑施設を見守っているかのようにおかれている点で共通性が認められる。また、都江堰を見下ろす崖の上には「伏童観」という道教の寺があるが、ここには北宋初めの画家孫太古が描いた李冰とその子の像が残り、李冰は悪事を働く竜を離堆とよばれる岩山の下に封じ込めたと伝えている^⑦。このことは道場法師が元興寺の鐘堂の悪鬼を退治した話とも似ている。李冰は岷江の分水や悪竜退治で、成都地方には大功のあった人物とされ、六朝時代には李冰ら父子のために崇徳廟（二王廟）も創建されたという。このようにみえてくると、飛鳥川畔にあ

る「道場塚」という名称には、李冰と同様、灌漑事業の功労者として道場法師の徳を崇める意味も含まれていたと考えられる。木葉塚の石像は道場法師の恩徳をしのんで、いつのころにかその偉業を後世に伝えたいと念願して造立されたものとみて誤りなからう。

六

以上『靈異記』にみえる「道場法師」という人物に着目して、古代史との関係を論じながら、往時の文学と高僧伝の関係を論及し、道場なる法師について新しい仮説を提起してみた。かくて私は道場とよばれる一人の高僧が、七世紀後半に実在したと考えられることを指摘し、彼が晩年に尾張元興寺を建立したと伝えられること、および壬申の乱前後に尾張国において大きな力をもった小子部の出身と推察されること、さらにこの道場法師伝説はあくまでも高僧伝として理解すべきであることなどの注意すべき事実を指摘してきた。また、飛鳥の弥勒石は、ほんらい飛鳥元興寺の寺田などに飛鳥川の水を引いたと伝えられる道場法師の徳を崇めるためのものであり、道場塚と称してきたこともやや明らかに理解されるようになったと思う。『靈異記』は古代史にとってまだまだ未開拓の分野である感が深い。

なお、『靈異記』上巻一話には小子部栖経が飛鳥において雷神を捕える説話があつて、『日本書紀』雄略七年七月条にも螺贏(栖経)が、雄略天皇に命ぜられ、三諸岳の神である大蛇を捕えた同類の伝承を載せている。飛鳥地方において小子部氏が、個人としてではなく、個別氏族としてどのようにかわってきたか、いろいろと論ずべきことも多い。それらの考察は他日に期することにした。

註

- ① 『定本柳田国男集』九。
- ② 黒沢幸三「小子部氏の伝承と一寸法師譚」(『日本古代の伝承文学の研究』所収)。
- ③ 和田 萃「飛鳥川の堰——弥勒石と道場法師——」(『日本史研究』一三〇)。
- ④ 『七大寺年表』は『続群書類従』二七上・釈家部、『入唐記』はその二八下・釈家部に所収。
- ⑤ 『群書類題』一八上・一八下、釈家部。

- ⑥ 岩城隆利編『元興寺編年史料』上。
- ⑦ 竹内理三・山田英雄・平野邦雄編『日本古代人名辞典』五。
- ⑧ 中島悦次「打聞集」。
- ⑨ ()内の生没年は京都大学文学部国史研究室編『日本史辞典』による。
- ⑩ 註②に同じ。
- ⑪ 『埴尻』一七・六六。
- ⑫ 奈良国立博物館編『飛鳥・白鳳の古瓦』。
- ⑬ 『日本書紀』日本書紀文学全集、六三・六四頁。
- ⑭ 黒沢幸三「靈異記」の道場法師系説話」(前掲書)。
- ⑮ 註⑥に同じ。
- ⑯ 藤田経世「校刊美術史料・寺院篇上巻」。
- ⑰ 註③に同じ。
- ⑱ 『文芸春秋アラックス・日本昔ばなし集』一一二、四一頁の関敬吾氏執筆による。
- ⑲ 拙稿「三郷町小字集」(『三郷町史』下)。
- ⑳ 産婦人科医師(民俗研究家)若尾五雄氏の御教示によれば、この表現のように胎児がへその尾を頭に二重、三重に巻きつけて生まれることも、大いにありうることであるという。
- ㉑ 註③に同じ。
- ㉒ 奈良国立文化財研究所「川原寺発掘調査報告」昭和三十五年。
- ㉓ 奈良県史料刊行会編『大和名所記・飛鳥古跡考』(奈良県史料一)所収。池田末則氏蔵本の『古跡略考』は高市郡のほぼ全域におよぶものであるが、飛鳥地方を中心とした地誌であることから、『飛鳥古跡考』として翻刻している。
- ㉔ 註③に同じ。
- ㉕ 註③に同じ。
- ㉖ 『史記』河渠書。
- ㉗ 『文物』一九七四年第七期。
- ㉘ 森 浩「編『日本古代の知恵と技術』。森氏執筆の「溝・堰・濠の技術」による。
- ㉙ 寛 文生「成都・重慶物語」三九頁。

夏目漱石『行人』の独身者

武田充啓

はじめに

漱石作品を振り返ってみると、その処女作である『我輩は猫である』（以下、『猫』と略す）をはじめとして、『坊ちゃん』『虞美人草』『三四郎』『それから』『彼岸過迄』などの多くに見られるように、独身者を主人公に据えた作品の系譜が存在することがわかる。

『行人』もまた独身者を主人公とする作品である。ただし、長野家の次男二郎は、その名が示すように、主人公の一人ではあっても主役ではない。この点で、『猫』と類似した作品である。名前のない「猫」もまた、脇役の独身者であり、登場人物でありながら、物語の進行を引き受ける語り手でもある点においても共通している。

彼らは、自らの資質ゆえに、既婚者が余儀なくされる制約や規範からは自由に、世界を徘徊し観察し、遍歴し報告し、彷徨し独白する。しかし、その役割上、彼らは物事の判断を停止せられ、行為への決断を留保せられもする。彼らは積極的ではないし、創造的でもない。他の誰かにその役割を交換されたところでいっとうに差し支えないかのように振舞う存在である。そして、自身の固有の存在を証すような何ものかを新しく生み出すことなどに消極的であるにも関わらず、かなり困難な形でそれを強いられてしまう存在でもあるのだ。

語り手でもある独身者たちは両義的な存在である。彼らは一方で匿名的存在であることを義務づけられつつ、他方で固有の存在としての権利を問われることになるからだ。

しかし、そうした特殊性の一方で、二郎は、他の漱石作品の主人公に共通する性格をやはり持ち合わせている。それは、その生に経験といったものがまるで欠落してしまっているという点である。

漱石の主人公たちは、遭遇する事件に対してあまりにも無防備であるだけでなく、そうした体験を将来に向けての「技巧」として蓄積していこうとする意志を徹底して欠いているからだ。

「技巧」は「人間の小刀細工」として切り捨てられる。それは彼らの生活能力や日常への適応力のなさを指しているのではない。彼らには、その生において繰り返したものが存在しない。主人公たちは、同じような事件に対してさえ、同じように無防備に、新しくうろたえ新たに傷つくのである。

彼らのそうした存在のあり方を決定づけている資質の核のようなものを、いま

“Dokushinsha (Bachelors)” in
Natsume Sōseki's *Kōjin*

Mitsuhiro TAKEDA

かりに独身者性でも呼んでおこう。こうした点を考え合わせれば、彼らが実際に結婚していようとまいと、漱石が問題にしようとしているのが、彼らの独身者性であり、漱石的作品は、先に挙げたもの以外のもも含めて、『心』という一つの頂点を示す作品に向けて、主人公たちがいかにしてその独身者性を生きるのかが問われ続けたテキストとして編まれたものだということができるであろう。

『行人』は、その試みの一つとして、独身者性を持つ脇役が語り手を引き受けるという、方法的には、『猫』の原点に立ち戻ったかたちで問われることになった作品であり、同じ方法で問われる最後の作品が『心』である。その意味で、一つの到達点(この点については後に触れることになる)を直接用意することになった『行人』という作品を、ここではその主人公たちの独身者性を一つの軸にして、私なりに読み解いていきたいと考えている。

『行人』は、漱石の病によるその中断(「友達」「兄」「帰ってから」)までを前半、病後書き加えられた「塵勞」を後半と考えると、大きく二通りの読み方が出来る。一つは、後半を全体の主要な中心部分と考えて、一郎を中心に読み解いたもの、もう一つは、後半を前半の主題からは逸脱した一篇とみなし、前半における主要な人物二郎と直を中心にした読みである。

しかし、作品の構成上の亀裂を、その主題の分裂という点に注視するばかりでは、今ある『行人』全体を一貫した作品とする読みは期待できない。

『行人』は、先に『彼岸過迄』で試みられたのと同様に、いくつかのエピソードからなり、そうした独立したエピソードの連なりが一篇の長編小説を形作るように構成されている。しかし、登場人物以外に語り手が存在した『彼岸過迄』とは異なり、『行人』では登場人物の一人である二郎その人が、語り手の役割を果たすことになっている。

注意したいのは、『彼岸過迄』では、須永や松本が挿話を語る主体(独立した短編の語り手)として存在しはしたが、全体としては、「結末」と題する元の(登場人物ではない)語り手による締めくくりがなされ、作品としての体裁は一応調えられることになるのに比べて、『行人』では、「塵勞」にいたって語り手二郎は小説外部(作者並びに読者)への報告義務を怠ったまま、Hさんという人物の報告(手紙)によってそれが代行されてしまうという点である。(同じ見方をすれば、『心』の語り手「私」も、「先生と私」「両親と私」と続けていた報告の役割を放棄し、「先生と遺書」では先生の言葉(遺書)のみによって、それが代行される、と見ることが出来る。ただし、『心』では構成上、それが円滑に

なされているため、このことが見えにくい。)

『塵勞』において、二郎が言葉を失ったまま、別の人物の言葉(兄一郎を報告するHさんの手紙)が、代わってそのまま作品の結語にもなるといった事態は、『塵勞』以後、それまでの主題から離れて、もっぱら一郎一人が主役を演じることになる事態と、正確に対応している。

だがそうした事態は、漱石が『塵勞』における一郎的「我執」問題を抱えていたためにそうなったと見るよりも、むしろそうした構成の破綻そのものが、漱石の問題を示していると考えるべきである。

小説家夏目漱石における「問題」とは、むしろ「言葉」の問題であり、ここではそれが、語り手である独身者二郎の言葉の喪失という一点に集約されて露見しているのである。

以上のような観点から、私は、『行人』における独身者性の問題を、特に「言葉」の問題として取り扱うことになるだろう。『行人』においては、登場人物たちもっとも独身者性を顕すのが「言葉」の領域であり、彼らは気づかぬうちに作者が直面している問題をそのまま演じているからである。

一

二郎が小説の内部で引き受けることになる報告義務は、二つである。そこで求められる二郎の言葉の性格と、報告を受ける側の言葉の取り扱い方の違いについて確認しておきたい。

「友達」の章の冒頭で、梅田の停車場に降り立った長野家の次男二郎には、友達之三沢と「落ち合はう」(一)とする目的の外に、一つの義務を負わされていた。それは、長野家の「下女だか仲働だか分らない地位に」(「帰ってから」三七七)いる、お貞さんの縁談についてである。

「先方があまり乗気になつて何だか剣呑だから、彼地へ行つたら能く見て来てお呉れ」(「友達」七)という母からの依頼で、彼はその点について「家」に報告する義務があったのである。

いま一つの報告義務は、そしてこれが二郎にとって重要な課題ともなるのであるが、「兄」の章で、一郎お直の兄夫婦を迎えた二郎が、やがて一郎からお直の「節操を御前に試して貰いたい」(「兄」二十四)と打ち明けられ、負うことになる「嫂について兄に報告する義務」(同三十九)である。

「家」への報告義務は、「要するに、佐野さんは多数の妻帯者と変つた所も何もないやうです。お貞さんも普通の細君になる資格はあるんだから、承諾したら好いちやありませんか」という言葉（手紙）で果たされる。お貞さんが「家の厄介ものといふ名がある丈」（「友達」七）だとしても、また大阪にいる二郎にとつて「一番何うでも好かつた」（同五）ことだとしても、人ひとりの将来を決定するものとして、これは軽薄に過ぎる言葉であり、実際「漸く義務が済んだやうな気がした」（同十）という二郎自身が、「多少自分のおつ猪口ちよいに恥入る」（同）と口にしもするのである。

しかし、ここで確認しておかなければならないのは、二郎の軽薄さではなく、そうした二郎の言葉で、十分に「家」への報告の義務が果たされてしまっている点である。

縁談を取り持つ岡田は、二郎の手紙に「すうと眼を通した丈で、『結構』と答へ」（同）ており、この在り来たりな言葉の手紙一本で「宅の方は極る」（同）とされているのである。

長野家では、最初から独身者二郎の見識や洞察など期待しておらず、求められているのは言葉であり、しかも二郎個人の言葉というよりは、家族内に安心さえ伝えられれば用が足りる類の、その意味では形式的な言葉である。つまりは「家」という共同体を円滑さのもとに保守する家族内存在者の言葉が期待されていたのであり、それ以外のものではなかつたのである。

一方、一郎への報告義務は、事情を全く異にする。一郎は、二郎が「家」に報告したような言葉を徹底して拒否することになるし、そのために二郎は、いつまでも「義務が済んだやうな気」にはなれないからである。一郎が二郎に期待するのは、二郎が今までに通用させてきた言葉とは違つた、別種の言葉であり、いわば独身者二郎自身の言葉なのである。

さて、こうして見てくると、長野家では、一人一郎のみが言葉に対する態度を別にして見るように見える。長野家での二郎、一郎、直を取り巻く言葉の状況と、各人のそれらへの態度について、さらに見ておきたい。

些細な事から兄は能く機嫌を悪くした。さうして明るい家の中に陰気な空気を漲らした。母は眉をひそめて、「また一郎の病気が始まつたよ」と自分に時々私語いた。自分は母から腹心の郎党として取扱はれるのが嬉しさに、「辭なんだから、放つてお置きなさい」位云つて澄ましてゐた時代もあつた。

（「兄」七）
ここで象徴的に描かれているのは、二郎の態度が、どれほど家族的な要求に素直であるかといったことではない。一郎の不機嫌でさえ、ある意味では長野家の要求の結果であるともいえるからである。

重要な点は、藤澤りの指摘にもあるように①、やはり言葉の問題であつて、二郎は家族内での言葉の通用性に敏感であり、十分意識的に言葉を使用しているということである。兄は「氣六づかしい」（同）というやうな、それを口にしてさえいれば、家族に安心をもたらす類の、したがって家族共同の認識に寄り添つた言葉を使用することに、かなり巧みであるという点である。

仮に家族の誰かが、「病気が始まつた」といへば、「辭なんだから」とでもいってさえおけば、言葉が通じてしまうやうな空間では、二郎の技巧は實際役に立つのである。またそうした繰り返し「二郎さんのお株」（「兄」一）ということでも、家族内の新たな安定を補強することにもなるからである。

ここでは、こうした共同体内に心地よく通用する言葉を既婚者の言葉と呼んでおこう。一郎が拒否しているのは、こうした言葉たちである。

自分許ではない、母や嫂に対しても、機嫌の好い時は馬鹿に好いが、一旦旋毛が曲がり出すと、幾日でも苦い顔をして、わざと口を利かずに居た。それで他人の前へ出ると、また全く人間が變つた様に、大抵な事があつても滅多に紳士の態度を崩さない、円満な好同伴であつた（「兄」六）

「たゞ御前の顔が少し赤くなつたからと云つて、御前の言葉を疑ぐるなんて、まことに御前の人格に対して濟まない事だ。（略）」（同十九）

（「略」）そんな形式に拘泥しないでも、実力さへ儘に持つてゐれば其方が屹度勝つ。勝つのは当り前さ。四十八手は人間の小刀細工だ。舊力は自然の賜物だ。（「帰つてから」二十八）

二郎が意識的に既婚者の言葉に寄り添うのに対して、一郎は、「わざと」沈黙を守る。互いに予期し合つた言葉を適度にやりとりすることなど、彼にとつては「人間の小刀細工」にすぎないのである。

むろん、そうした「細工」を拒む一郎ではあつても、すべての技巧から自由で

あるわけではない。対外的には「家」の長男として、「態度を」取り繕うことになるし、「兄」四十二では、家の中での一郎の態度を「常に変らない様子」と記した後で、二郎は括弧に入れて「嫂に評させると常に変らない様子を装つて」と付け加えているところから見れば、一郎のその「態度」については対外的に限ったものではないともいえようか。

しかし「おい二郎何だつて其んな軽薄な挨拶をする。己と御前は兄弟ぢやないか」(「兄十九」と一郎がいうとき、彼は「態度」よりは「言葉」に、よりこだわっており、ここでの「兄弟」という言葉は「家」の中での立場を指しているのではなく、分け隔てのない血のつながった人間同士という意味で使われているのであり、そうした間柄に、言葉の「細工」を持ち込むなどといっているのである。そして、彼が「人格」とほぼ同格に認め、切望しているのが、「形式に拘泥しない」独身者自身の言葉なのである。

では、お直はどうか。彼女は、言葉に対しては一郎とも二郎とも異なった位相にあるように思える。お直の態度には、最初から言葉そのものを疑っているようなところがあり、言葉がそもそも技巧であるしかないということに気付いてでもいるかのように、「殆ど一言も口にしな」(同二十六)いか、「どうでも」(同、同三十五、同三十六、「帰つてから」三十五)というような答えばかりを繰り返している。

二郎との会話の一部を除けば、長野家の内側での彼女は、独身者の言葉への誘惑を巧妙に回避しており、長男の嫁として特に不足のない振舞いを演じている。母親が心配しているのは、「家」の嫁としてのお直ではなく、一郎の妻としての彼女である。

いったい直のどの点が、一郎とスレ違うことになるのだろうか。奇妙なことに、彼女もまた技巧を嫌う点では、一郎と共通しているのである。

「積極的つて何うするの。御世辞を使ふの。妾御世辞は大嫌ひよ。兄さんも御嫌ひよ」 (「兄」三十一)

「あら本当よ二郎さん。妾死ぬなら首を縊つたり咽喉を突いたり、そんな小刀細工をするのは嫌よ。大水に攫はれるとか、雷火に打たれるとか、猛烈で一息な死に方がしたいんですもの」 (同三十七)

「小刀細工」を嫌い、決して「御世辞」を使おうしないことが、一郎にとつて「残酷」(同二十五)なことなのではない。直が、一郎という個人に対してさえ、「家」に対してと同様、独身者の言葉を封じ込めてしまっているということが「残酷」なのである。

加えて、言葉を重視せず、したがって態度や実際の行為に重きを置く直が、やはり持ち合わせてしまっている技巧、二郎の言葉によれば「針鼠の様に尖つてるあの兄を、僅かの間に丸め込んだ嫂の手腕」さうして其手腕を彼女はわざと出したり引込みましたりする、単に時と場合ばかりでなく、全く己れの気儘次第で出したり引込みましたりするのではあるまいか(「帰つてから」一)とされるあたりにも、問題はありそうである。

一郎をして「霊も魂も所詮スピリットも攫まない女と結婚している事又は健た」(「兄」二十)といわしめることになる原因は、おそらくそこにあるからである。

二

一郎も直も「技巧」を嫌っている。一郎は彼の仕方で既婚者の言葉を拒否し、直はまた彼女なりに独身者の言葉を殺している。このとき二郎は、直の方が「兄よりも却つて心置なく話した」(同十四)というのだが、そうした事情には「性」の問題が介在しているように思われる。

彼ら夫婦間の「性」が、「言葉」の問題とどのような関係にあるかを見ることから、一郎の独身者性について考えてみたい。

時々兄の機嫌好い時丈、嫂も又愉快さうに見える(略)。さうでない時は、母が嫂を冷淡過ぎると評する様に、嫂も亦兄を冷淡過ぎると腹の中で評してゐるのかも知れない。 (「兄」十四)

けれども斯ういふ靈妙な手腕を有つてゐる彼女であればこそ、あの兄に対して始終あゝ高を括つてゐられるのだと思つた。 (「帰つてから」一)

二郎の観察は人間を深く洞察することはないが、人物の関係は捉えている。彼の視線は、一郎と直の夫婦の性的関係が、互いに相手を超越することが目指されるような関係であることを教えてくれる。そういう関係であるからこそ、その関

係が生んだ一粒種を直は独占しようとするのである。

一郎と直の性的関係は、そのまま彼らの言葉の關係と表裏であり、お直は自身の言葉を差し挟まない代わりに、娘の芳子を独占するのであり、そのありようは、彼女の「言葉」が、「家」への対応のうちに余儀なくされたものを一郎個人に対してさえ持ち込んだものであった、というのとちょうど逆の形で、一郎に対しての行動（娘の独占）の延長として、「家」に対してもそう振舞うのである。

他家に嫁いできた直にとって、「長野家の言葉」を使用することは一つの義務である。彼女はその務めをそつなく果たしたが、お直はもともと一郎や二郎ほどには言葉に敏感ではなく、重視もしていない。彼女に不満や不服があったとしても、それは言葉の領域のものではなかったのである。

自分は湯に入りながら、嫂が今日に限ってなんで又丸鬚なんて仰山な頭に結ぶのだらうと思つた。大きな声を出して、「姉さん、姉さん」と湯壺の中から呼んで見た。「なによ」といふ返事が廊下の出口で聞こえた。

「御苦労さま、此暑いのに」と自分が云つた。

「何故」

「何故つて、兄さんの御好みなんですか、其でこゝ頭は」

「知らないわ」

（兄）八

ここでの二郎は、言葉の不自由さなどに無縁の存在である。言葉に「細工」を拒否していながら、自らの態度においては「細工」が見え隠れすることになる一郎に比べて、二郎はその言葉を「家」に寄り添わせているだけに、かえって態度や行為において自由であり、そこに直が「心置なく話」すことができる要素があったのである。直は決して二郎に特別な「言葉」を期待していなかったし、二郎にはそんな持ち合わせなどなかった。既婚者の言葉を巧みに模倣することぐらいいである。しかし、直にはおそらく、二郎の「話す」という「行為」に意味があったのである。

彼女は、一郎に対してまで、「家」の言葉でしか語ることでできない女であった。それにはむしろ一郎にも問題がある。「家」の中にあつて、彼女が家族の一員としてではなく振舞える領域は、一郎との性的関係においてのみである。直は一郎が「言葉」を求めたのと同じように「性」を求めたのである。

一郎と直との性的な関係が軸となつて、新しい長野家の「家」関係が築かれて

いくのである以上、直の要求はもつともなものである。しかし、一郎にとつての直との性的関係は、「家」からは独立した個人の存在を互いに確認する場として適当なものだとは考えられていないばかりか、現在ある長野家から将来あるべき長野家へといった発想の契機ともなっていない。彼はあくまでも今ある長野家の「長男」であり、それだからこそ当然でもあるのだが、未来の長野家への「主」となることに積極的な意志を必要としないのである。

そして「長男」として、現在をそう「ある」ことへのこだわりは、彼の取り繕つた「態度」に、「主」として未来にそう「なる」ことへの意志の欠落は、既婚者の言葉を拒否し、ひたすら独身者の言葉を求めるといふ姿勢に現われている。そうした意味では、一郎は「性」に対して極めて独身的であり、「言葉」の領域においてと同様、そこでの「技巧」と「無技巧」との間で、まさしく漱石的な独身者性を生きているといえるだろう。

しかし、「霊」や「魂」や「スピリット」をことさら問題にする一郎にとって、その獲得の可能性は、「性」の領域にあるよりは、やはり「言葉」の領域にあると信じられているのである。一郎が「詩人らしい純粹な氣質を持つて生れた」（兄）六とされるのは、彼が観念的な頭脳で抽象的に煩悶する男だという意味ではなく、言葉に対する彼の姿勢をこそ指してのものなのである。

兄は和歌山行の汽車の中で、其女は健かに三沢を思つてゐるに違ないと断言した。精神病で心の憚りが解けたからだと其理由迄も説明した。兄はことによると、嫂をさういふ精神病に罹らして見たい、本音を吐かせて見たい、と思つてるかも知れない。さう思つてゐる兄の方が、傍から見ると、もうそろそろ神経衰弱の結果、多少精神に狂ひを生じかけて、自分の方から恐ろしい言葉で家中に響かせて狂ひ廻らないとも限らない。（帰つてから）三十一

三沢の「例の精神病の娘さん」（兄）十の話を二郎に持ちかけられた一郎は、逆に「三沢が其女の死んだとき、冷たい額へ接吻した」（同）ことにまで触れて二郎を驚かせている。しかし、「接吻の方が何だかより多く純粹で且美しい気がします」と「詩を見る眼で」「接吻」にこだわる二郎を後目に、一郎は「もつと実際問題」として、「言葉」をしか問題にしようとはしないのである（同十一）。

「早く帰つて来て頂戴ね」（友達）三十二」といふ言葉を、「己は何うしても

其女が三沢に気があつたのだとしか思はれん」「何故でも己はさう解釈するんだ」とし、「噫々女も氣狂にして見なくつちや、本体は到底解らないのかな」「(兄十二)と洩らさずにはおれない一郎の姿には、無技巧な「言葉」から「スピリット」を、純粹な「スピリット」から人間の「本体」を、一挙に捉えようとする狂気にも似た、しかし彼なりに真摯な欲望が露出している。

性的関係における直の要求の正当性にもかかわらず、一郎がそうした要求を素直に受け入れることが出来なくなる要因は、おそらく彼にとって「性」の領域が、「技巧」の混じり込みやすい「態度」や「行為」の領域であると考えられていること、そして実際そこに「技巧」が入り込むことになったためであろうと思われる。

『行人』という小説は、互いに「技巧」を拒みつつも、相手に「言葉」を求め「態度」を求めてしまうスレ違った男女二対(一郎お直夫婦)が、お互いに対してそれを求め合うことを断念し、そのいずれの欲望からも自由であった同じ一人の青年(二郎)を、(きっかけは一郎がつくるにせよ)同時に自分たちの欲望の対象に移し変えることで、自らの欲望の存続を試みる物語である。二人の欲望は殺される。二郎は結局、どちらの要求にも応じることができず、初めて生まれつつある自身の欲望に氣付きながら、術なく言葉も行為も喪失してしまうのである。むろん、これはいささか図式的な整理であるが、そこには当然込み入った事情が存在している。それらをいささか詳しく見ておかねばならない。

三

一郎が「性」と「言葉」の領域において、「技巧」と「無技巧」との間で漱石的独身者性を生きていることは先に少し触れたが、ここで問題にしたいのは二郎の独身者性についてであり、彼の「性」と「言葉」の領域における一郎との共通点についてである。

いかにも、ある年齢に達した独身者が家の中に存在し続けると、一見安定に見えた生活の内に、隠された家族内存在者の軋轢や葛藤が露になってくるものだとでもいうように、小説は進められる。

事実、そうした独身者たちこそがすべての元凶でもあるかのように、お直は「早く奥さんをお貰ひなさい」「早い方が好いわよ」(帰つてから「二十五)と重ねて強調し、嫂のことについて直接話したこともなかった三沢までが、二郎に

独立を勧め結婚を促している(同二十三)。母親とはいえば、これは最初から極端的に、片付けやすいものから順に家から独身者を追い出そうとしていたのである。

しかし、その母親自身が「二郎たとひ、お前が家を出たつてね……」(同二十四)とつい口走ってしまうことにもなるのは、問題は二郎が家を出ることそのことにあるのではなく、別の何かの問題とされていることの証左であろう。

二郎が家を出ることによってどうやら積極的になりはしても、結婚に対してはいつまでも消極的なままで終わるのであることからも、そこに重大な問題が隠されていることがわかる。むろん漱石的独身者性の問題は、一郎において既にみたように、彼が既婚者となるか否かに関わる問題ではない。むしろ彼自身の固有の欲望に関わる問題なのである。

独身者は、たしかに「性」に対して戸惑いを見せている。

自分の「あの女」に対する興味は衰へたけれども自分は何うしても三沢と「あの女」とをさう懇意にはしたくなかつた。三沢も又、あの美しい看護婦を何うするす簡もない辭に、自分丈が段々彼女に近づいて行くのを見て、平氣である訳には行かなかつた。其処に自分達の心付かない暗闘があつた。其処に持つて生れた人間の我儘と嫉妬があつた。其処に調和にも衝突にも発展し得ない、中心を欠いた興味があつた。要するに其処には性の争ひがあつたのである。さうして両方共それを露骨に云ふ事が出来なかつたのである。

(友達「二十七」)

これを引いて桶谷秀昭は、△こいう文章から明らかなのは、主題は嫉妬ではなく、嫉妬とは何かという問いであるということである。▽と指摘している②。「嫉妬」というような既婚者の言葉に落ち着くことなく、ひたすら「嫉妬とは何か」という問いを生きていること。

しかし、桶谷氏が△この問いが一郎の内部に移されると▽と続けて問うことになる時、私たちは、問題が一郎中心、一郎の自己相対化と自己絶対化への欲望の二極分裂という構図に収まってしまうことから回避的でなければならぬ。

問題は、氏が追求している「調和」か「衝突」かの極限ではなく、「中心を欠いた」まま宙づりにされて、どうにも「発展し得ない」「性」の問題であり、したがってこの問題が「一郎の内部に移される」とき、問われなければならないのは、一郎の「性」に対する戸惑いであり、たとえば、なぜ一郎が時々直の「蓋妙

な手腕」によってその機嫌を直されることになるのか、という問題である。

扉の敷居に姿を現した彼女は、風呂から上がりたてと見えて、蒼味の注した常の頬に、心持の好い程、薄赤い血を引き寄せて、肌理の細かい皮膚に手触りを挑むやうな柔らかさを見せてゐた。(「帰つてから」二十八)

平岡敏夫の指摘にあるように、小宮豊隆は、漱石の日記にある「○夫婦相せめぐ外其侮を防ぐ／○喧嘩、不快、リバルジョンが自然の偉大な力の前に畏縮すると同時に相手は今迄の相違を忘れて抱擁してゐる」「夫はそれを愛すると同時に、何時でも又して遣られたといふ感じになる。」という一節の「自然の偉大な力」とは、性欲ではないかとし、ここで一郎が、その「自然の偉大な力」を前にして、直に△に対する反撥が畏縮して行く事を感じ、相手から「手触りを挑」まれたあとでは、きつと相手を「愛すると同時に又して遣られた」と感じたのに違ひない▽と述べている③。

(「略」結婚は顔を赤くする程嬉しいものでもなければ、恥づかしいものでもないよ。それ所か、結婚をして一人の人間が二人になると、一人である時よりも人間の品格が墮落する場合が多い。(略)「(帰つてから」六)

「何んな人の所へ行こうと、嫁に行けば、女は夫のために邪よしまになるのだ。さういふ僕が既に僕の妻を何の位悪くしたか分らない。(略)幸福は嫁に行つて天真を損はれた女からは要求できるものぢやないよ」「(塵芳」五十一)

こうしたお貞さんへの忠告、お貞さんに関する日さんとの会話からも察せられるように、一郎は「性」に対していつでも「自然」を感じているわけではない。たとえそうした「自然」が、小宮氏の考えるように「和解」や「慈悲」の契機になるとしても、一郎は「性」を積極的に肯定できないのである。

注意すべきは、一郎が「性」の領域においても「技巧」が存在すること、またその「技巧」が、他の誰でもない自分自身が身につけさせるものでもあるということに十分意識的であり、そうした状況を彼が拒もうと努めつつも拒みきれないという点である。

「性」を前にしたとき、一郎は沈黙している。そしてその一郎の沈黙をなぞる

ように二郎もまた、「性」については言葉を持ってないでいる。むしろ、二郎は一郎のように、そこにはっきりと「技巧」を見てそれを拒んでいるわけではないし、はっきり「自然」を感じてそれに惹かれていくわけでもない。

将来「調和」か「衝突」のいずれかに「なる」ことを拒み通し、「中心を欠いた」まま現在で「ある」ことにひたすらこだわる二郎は、「我儘」や「嫉妬」という言葉にさえ落ち着くことが出来ず、「性の争ひ」を「争ひ」そのものとして内に抱え込んでいるのである。そして、当然そうした「争ひ」を御し得る「技巧」のあるはずもない二郎は、欲望の対象に直接語りかけること、行為することが出来ず、ただ「自分の罪を詫びる心持ちで」、第三者の三沢に、「もう退院は勧めない」という言葉しか口に出来ないのである。

しかし、こうした態度こそ、『行人』における独身者の、独身者性をもっとも露呈している姿ではなかったか。

お貞さんであれば、「其委細を知つてゐるものは、彼等二人より以外に、恐らく天下に一人もあるまい」「(帰つてから」三十四)とまで二郎にいわしめるほどの話を、「差向ひで」する一郎もまた、お直に対してはついに「手を加へる」ことにならなくても、直接直に語る言葉を持たず、第三者の二郎に「直はお前に惚れてるんぢやないか」「(兄」十八)という言葉を告げることになるからである。

ここでも、別の人間に対し別の言葉が用いられ、独身者の欲望は、つまりは二重に代行されてしまっているのである。なぜ彼ら独身者性を生きる者は、自身の欲望の対象に向けて、直接語ることが、行為することが許されないのであるうか。

四

「性」に「技巧」が入り込むことを極力拒む一郎の姿勢は、「性」の欲望の対象との間に既婚者の言葉が入り込むことが忌避されるというかたちで示され、そこに独身者の言葉による対話が成立することが切望されている。しかし、事実はまだ逆のかたちでしか実現されない。

「技巧」による以外、「中心を欠いた」まま由つりにされ、代行されるばかりの独身者の欲望は、何処にその活路を見い出すことが出来るのであろうか。

こうした疑問を前にするとき、一郎が洩らす「二郎、ある技巧は、人生を幸福にするために、何うしても必要と見えるね」「(帰つてから」五)という言葉は、

その痛切な響きの内に、微妙な意味合を含ませているようにも思われる。

一郎の対人姿勢の基本としての「無技巧」の極限において、やはり必要とされてしまふのが「ある技巧」ではないのかという自問が、そこに現れているかのようだからである。むしろこのとき、「ある技巧」とは、他人を「綾成す技巧」、「何うしたら綾成せるか」という「分別」(同)などとは無縁のものである。

漱石的独身者性を生きる者が、自身の固有の欲望を、直接その対象に向け、発語し、対話し得るためのスタイルのことであり、それなくしてはどうしても独身者の言葉が生きられないような、あるかたちのことである。

このとき、この一郎の「ある技巧は何うしても必要」だという言葉は、「性」を前にして、それに対応し得る自身の言葉(あるいは態度を)、つまりは「ある技巧」を持つことが出来るか、という、二郎に対する問いかけの言葉にもなるのである。

しかし、一郎が二郎に告げた、「実は直の節操を御前に試して貰ひたいのだ」(「兄」二十四)という言葉こそは、実は彼が口にし得る、ぎりぎりに独身者の言葉に近いものではなかったか。というのは、この言葉が一郎が直へ直接向けるべき欲望の代行としてのものではなく、二郎その人に与えた課題であり、したがって二郎への「愛」の言葉ではなかったか、という点においてである。

独身者でありながら、あるいはそれ故に独身者の言葉を持ってないでいる二郎であつても、二郎に対してなら語られるであろう直の独身者としての言葉(態度)に対して、二郎もまた当然自身の独身者の言葉(態度)で応じざるを得ないであろう。そしてそれが二郎に可能となれば、自分とも独身者の言葉で語り合うことが出来るようになるのではないか。

こうした隠された欲望が、そこに存在していたのではあるまいか。

君、女は腕力に訴へる男より遙かに残酷なものだよ。僕は何故女が僕に打たれた時、起つて抵抗して呉れなかつたと思ふ。抵抗しないでも好いから、何故一言でも云ひ争つて呉れなかつたと思ふ (「帰つてから」三十七)

後にまたHさんという第三者に対して、直に「手を加へた」ときのことを述べ、こうした直の「言葉」を要求する一郎の言葉は、もはや彼の身勝手な独白に過ぎない。事実は、二郎に対して「直の節操を御前に」と口にしたときすでに、一郎は直との間に独身者の言葉で語り合うという欲望を自ら殺していたのである。

したがって、「節操を御前に」という言葉は、直への欲望の代行としてはあり得ず、それは直接一郎に向けての一郎の独身者としての言葉であり、また独身者の言葉による対話の成立という彼の欲望を存続させることをもくろんだものだったのである。「スピリット」を捉えようとする一郎の主要な関心は、だから二郎にそれが可能であるか否か、ということに移っている。

こうして二郎が一郎からの報告義務を負うことになるとき、彼は同時に、直からの返答の義務をも負うことになる。一郎には「言葉」によって、直には「態度」によって、それぞれ応じねばならぬ課題を前にしたとき、二郎はどのように振舞い得るのか。そして、そうした二郎の振舞いは、一郎や直に何をもたらすことになったか。

しかし、今まで「家」の中で、「懸隔のある言葉で対応するのが例になつてゐた」(「兄」二)とされるほど、「上下」の関係を生きてきた二郎に、突然同じ平面上に降りてきた一郎の、独身者としての言葉をどのようにして受け取り、どのようにしてそれに答えよというのか。

「お前直の性質が解つたかい」／「解りません」／自分は兄の問いの余りに、厳格なため、つい斯う簡単に答へて仕舞つた。さうして其あまりに形式的なのに後から気が付いて、悪かつたと思ひ返したが、もう及ばなかつた。／兄は其後一口も聞きもせず、又答へもしなかつた。(「兄」四十二)

自分はしばらく兄の様子を見てゐた。さうして是は與し易いといふ心が起つた。(略)もう少し待つてゐれば自分の力で破裂するか、又は自分の力で何処かへ飛んで行くに相違ない。——自分は斯う観察した。

嫂が兄の手に合はないのも全く此処に根ざしてゐるのだと自分は此時漸く勤付いた。又嫂として存在するには、彼女の遣口が一番巧妙なんだろうとも考へた。(略)昨日一日「晩嫂と暮した経験は凶らずも此苦々しい兄を裏から甘く見る結果になつて眼前に現はれて来た。(同四十三)

お直との和歌山での一夜を過ごした後、和歌の浦に戻つた二郎が一郎に報告を迫られる場面での言葉である。

二郎は、「此時の自分の心理状態を解剖して、今から顧みると、兄に調戲といふ程でもないが、多少彼を焦らす気味でゐたのは慥である」として、「自分は

今になつて、取り返す事も償ふ事も出来ない此態度を深く懺悔したいと思ふ」(同四十二)というのだが、二郎のいうこの「今」は、おそらく予定されていた結末(カラストロフ)が変更されたことによつてか、小説ではついに明らかにされる事が無い。したがつて、どのような意味で取り返しがつかないかが不明である。

しかし、独身者性の観点から『行人』をみてきた私たちには、この言葉が一郎の「愛」に応えることが出来ずに終わった二郎が、自身の独身者性に無自覚ではいらなくなる事態を迎えるだろうことを知ることが出来るのである。

直との間についても、事情は同じである。二郎のいう「嫂と暮らした経験」が、一郎を「焦らす」程度の「技巧」を身に付けさせるだけで、先の程度にしか一郎を理解させないものだったとすれば、それが直にとつてどの程度の「経験」であつたのかは知れている。

おそらく、一郎に二郎との和歌山行きを命じられたとき、すでに一郎に対してだけでなく、自身にも絶望してはたはずのお直にとつて、仮に必要とされるものがあるとすれば、それは二郎の実際の態度であり行為であつた。二郎自身さえ必要としない言葉など、直にはそれこそ「どうでも好い」ものだったのである。

嫂の前へ出て、斯う差し向ひに坐つたが最後、到底真底から誠実に兄の為に計る事は出来ないのだと迄思つた。(略)何んな言語でも兄の為に使はうとすれば使はれた。けれども其を使ふ自分の心は、兄の為でなくつて却つて自分の為に使ふのと同じ結果になりやすかつた。自分は決して斯んな役割を引き受けべき人格ではなかつた。(略)／「貴方急に黙つちまつたのね」と其時嫂が云つた。恰も自分の急所を突く様に。(兄)三十一)

二郎は、「自分の為に使ふ」言葉を口に出来ない。では彼は態度や行為でそれが出来るのだろうか。

「正直な所姉さんは兄さんが好きなんですか、又嫌なんですか」

自分は斯う云つて仕舞つた後で、此言葉は手を出して、嫂の頬を、拭いて遣れない代りに、自然口の方から出たのだと気が付いた。嫂は手帛と涙の間から、自分の顔を覗くやうに見た。

「二郎さん」

「え、」

此簡単な答えは、恰も磁石に吸はれた鉄の屑の様に、自分の口から少しの括弧もなく、何等の自覚もなく釣り出された。

「貴方何の必要があつて其んな事を聞くの。妾が兄さん以外に好いてる男でもあると思つてゐらつしやるの」

(略)

「云はなくつても腑抜けよ。能く知つてるわ、自分だつて。けど、是でも時々他から親切だつて賞められる事もあつてよ。さう馬鹿にしたものでもないわ」

自分は皆で大きなクツシヨンに蜻蛉だの草花だのを色々の糸で、嫂に縫ひ付けて貰つた御礼に、あなたは親切だと感謝した事があつた。

「あれ、まだ有るでせう綺麗ね」と彼女が云つた。

「え、。大事にして持つてゐます」と自分は答へた。自分は事実だから斯う答へざるを得なかつた。(同三十二)

互いに独身者的存在として、最も近いかたちで向かい合うことになつたこの場でも、二郎は直の求める態度や行為に出ることはなかつたのである。

お直の悲劇性は、彼女の欲望の二次的な対象として二郎が選ばれてしまつたということではなく、そもそも一郎にしてからが彼女の欲望の二次的な対象であつたという点である。欲望そのものが二次的であるしかなければ、その二次的な対象などというものは存在し得ないからである。

親の手で植付けられた鉢植のやうなもので一遍植ゑられたが最後、誰か来て動かして呉れない以上、とても動けやしません。凝としてゐる丈です。立枯になる迄凝としてゐるより外に仕方がないんですもの(「塵勞」四)

直は、水を与えてくれる「誰か」がそばに居さえすれば、自身の欲望に気付かぬ「鉢植」でいるしかない存在なのである。

独身者は、「言葉」が求められている相手には「態度」で、「態度」が求められている相手には「言葉」で、しかも中途半端なかたちで、それぞれに応えてしまふ。二郎はこのとき、一郎や直の、誰より自身の欲望に気が付いていない。しかし、一郎や直にとつては、自らの欲望を殺すことになるだけで終わったこの

「経験」も、二郎にとつては、その後になつて自身の欲望に目覚まされることになる一つの「事件」であつたのである。

五

引き延ばされ、その間だけはかろうじて生き延びることになつた一郎の、独身者の言葉への欲望は、彼が二郎に「土人の交はりはお来ない男だ」という「烈しい言葉」(「帰つてから」二十二)を吐くことになるとき、またも自らの手でそれを殺すことになる。ここにおいて、一郎の言葉は、直に對しても、二郎に對しても、その独身者の對話を生きる可能性を閉ざされてしまふのである。

独身者の言葉を持ってないでいる二郎にとつて、「節操をお前に」という一郎の言葉も、「死ぬ事は何うしたつて心の中で忘れた日はありやしない」(「兄」三十八)という直の言葉も、對話の不可能な言葉にすぎない。

云ふべき言葉は沢山あつたけれども、(略)最後の一句は正体が知れないといふ簡単な事実に戻する丈であつた。或は兄自身も自分と同じく、此正体を見届ようと煩悶し抜いた結果、斯んな事になつたのではなからうか。自分は自分が若し兄と同じ運命に遭遇したら、或は兄以上に神経を悩ましはしないかと思つて、始めて恐ろしい心持がした。(「兄」三十九)

二郎は、言葉の領域において、自分が「兄と同じ運命に遭遇」することになることに気が付いていない。それでも彼は、自身の言葉の独身者性に付いて考えざるを得ないであらう。

下宿後の自分は、兄に就いても嫂に就いても不謹慎な言葉を無責任に放つ勇氣は全くなかつた (「帰つてから」三十八)

自分の胸には、火鉢を隔て、彼女と相對してゐる日常の態度の中に絶えざる圧迫があつた。それが自分の談話や調子に不愉快なそらぐしさを与へた。自分はそれを明かに自覚した。(略)自分は硬くなつた。さうしてジョコンダに似た怪しい微笑の前に立ち竦まざるを得なかつた。／＼二郎さんは少時會はないうちに、急に改まつちまつたのね。(「塵勞」二)

一郎を「馬鹿にし易い所のある男」(「兄」十九)と見た二郎は、「人格の出来てゐなかつた当時の自分」を反省し、「今の自分は」「相應の尊敬を払う見地を具へてゐる」(「兄」四十三)とし、兄に對する見方の變化を告げている。しかしお直に對しては、ついに「正体の知れない嫂」(「兄」三十九)の域を出ないままである。「塵勞」にいたつては、その「嫂の幽霊に追い廻された」(六)りもするのだが、「柔らかない青大将」(二)への関心よりは、やはり「兄の自分に対する思はく」が「一番知りたかつた」(二十一)というのである。

そうした一郎が、何故Hさんの報告に言葉を譲ることになるのかという問題は、従来の作品の主題の分裂という見方では答えきれない。

既婚者の言葉だけで生きていくことがもはや許されず、しかも独身者の言葉を交わすはずの相手をなくしてしまつた自分とまつたく「同じ運命」を先行して生きる兄へ、兄一郎の語る言葉へと、二郎の欲望の対象は次第に明確になつてきてゐる。

しかし「兄に報告する義務」は回避し得たものの、それが語り手としての、兄を報告する義務さえも放棄せざるを得なくなることに、彼はどれほど自覚的であり得たか。兄一郎から「軽薄兒め」(「帰つてから」二十二)と罵られた人物が、それに対応し得る如何なる言葉すら有しないまま、一郎の何をどのように報告出来るというのか。二郎は自身の「言葉」について、「兄以上に神経を悩ま」さねばならないのである。

二郎は、自身の言葉を確かめるために、かつて言葉を交わし得たはずの三沢を訪ねることになるだらう。三沢とならば、独身者としての言葉のやりとりが可能ではなからうかという微かな望みを抱きつつ。しかし二郎がそこで出会うのは、もはや結婚が決まり、すでに既婚者の言葉しか話そうとしない男なのだ。

「君兄さんを旅行させるの、快活にするのつて心配するより、自分で早く結婚した方が好かないか。其方がつまり君の得だぜ」 (「塵勞」十六)

二郎が最終的に選んだ方法は、自身の言葉の喪失を今一度考え直すためにも、兄一郎の「言葉」をなぞることであり、その言葉を自身の言葉として生き直すことであつた。しかし、一郎と二郎との間には直接独身者の言葉を交わし得る關係が壊れてしまつてゐる。そこで二郎は、一郎の言葉を媒介してくれる第三者Hさんを、そのまた第三者三沢を介して要請することになるのである。

さらに問題は残されている。「塵勞」の多くを占めるHさんの報告の中で、一郎はHさんと独身者の言葉を交わし合っているのだろうか、という問題である。なるほど、Hさんは一郎とは性格から体格にいたるまで、正反対の人物として描かれてはいるが、一郎の「言葉」にとって、真の他者たり得ていないのではないか。一郎の欲望の対象は、Hさんとは考えられず、そもそも二人の旅は、一郎の直や二郎への絶望が前提となっていることから考え合わせても、彼らの会話は、またしてもせいぜい一郎の欲望の存続のために代行されるものでしかあり得ないからである。

「心臓の恐ろしさ」(「塵勞」三十一)を告白する一郎の言葉は、Hさんには伝わらない。「君の心と僕の心とは一体何処迄通じてゐて、何処から離れてゐるのだらう」という一郎の問いかけに、Hさんが「Keine Brücke führt von Mensch zu Mensch. (人から人へ掛け渡す橋はない)」とどう答えをする場面(同三十一)では、一郎は同「Einsamkeit, du meine Heimat Einsamkeit! (孤独なものは、汝はわが住居なり)」といふ独逸語」でもって、Hさんの言葉に応じるのだが、それは独身者の言葉による対話の成立を意味するものではなく、Hさんの不用意な既婚者の言葉に絶望した、一郎の決別の言葉であつたのである。

以後、語りかけるその言葉の対象を失っているはずの一郎は、しかし、Hさんの「好意」に寄り添って、独白を続けることにはなるが、彼らの関係が「言葉」によつて本質的に変革するような事態は、ついに出来ることがないのである。そうした意味でも、Hさんの役割は、一郎と独身者の言葉を交わす真の「他者」としてではなく、やはり一郎の「言葉」を知りたいという二郎の欲望に添つたものであり、二郎の欲望の代行者としてであらう。

けれども私は断言します。兄さんは真面目です。決して私を胡麻化さうとしては居ません。私も忠実です。貴方を斯く氣は毛頭ないのです。(同五十二)

報告の中での一郎の言葉が、二郎のことに一言も融れていないことを言い訳しようとするのだろうか。一体、Hさんが忠実なのは一郎に対してなのか、二郎に対してなのか。それとも二人ともになのか。二郎を斯くつもりがないのはHさんだけではなく、一郎もそうなのか。彼自身もまた、一郎と二郎との間で言葉の独身者性について悩んでいるともいうように、報告を締めくくるHさんの言葉は曖昧である。

いずれにせよ、一郎と二郎のズレ違いの「愛」を描くために、直が必要であつたのと同じ様に、Hさんもまたそのために不可欠な存在であることに違ひはないのである。

こうして見てくれば、『行人』はその作品の構成上の破綻にも関わらず、つねに個人の欲望が媒介され、代行される形でしか存在し得ず、そうした欲望は当然満たされることがないという姿を描くことにおいて一貫しており、このことこそが漱石の直面していた問題であることを知ることが出来るのである。

おわりに

一郎の性急にすぎる欲望と底のない絶望には、好意的なHさんもついていけない。しかし、この一郎の性急さを、漱石その人のものだとするのは、それこそ性急であらう。

既婚者の言葉を模倣することを自ら禁止し、言葉を喪失した二郎はおそらく、一郎の独白する言葉(から吐露される情熱)の速度をゆっくりと眺めているはずである。彼は一郎の言葉を記したHさんの言葉を引用する。

模倣するのではなく、それを引用するとき、二郎はそれを自身の言葉として生き直すことを意志している。このとき言葉は、何度も再現され模倣されて共同体的な心地よさに寄り添っていく既婚者の言葉としてではなく、そのつど一回きりの現在として、独身者の言葉として生きられようとしているのである。引用による反復は、このとき真の事件となる。しかし、『行人』において、それは成功しているようには思えない。

たとえば『心』では、直接語られた先生の言葉(遺書)を読んだ私が、それが誰にのみ語られたものかまるで忘れてしまったかのように、もう一度それを書き記す。引用するとき、初めて言葉は個人的な発語の領域を超えて、共有されるべき独身者の言葉(対話)として生きられることになる。

『行人』の場合、それが果たされないのは、Hさんという媒介者が介在するからだけではない。なにより一郎の言葉そのものが閉ざされたものだからである。たしかに一郎の言葉は閉じられており、しかもその個に閉ざされた言葉の中を堂々巡りする彼の苦悶のうちに、ある種の安らぎがあることも確かなのである。個の自己同一性を確かめることさえ出来ずに加速されていくばかりに見える一郎の言葉は、ある時はほんの一瞬、いわば等速度運動に移行するのである。その瞬間、

一郎に絶望への不安から解放された、閉じられてあることの安らぎが訪れる（その最も長い瞬間が、結末の一郎の深い眠りである）。

しかし、この安らぎは死を決意し得た「心」の先生の安らぎとは別のものだ。他者を、他者の言葉を、独身者の言葉を求め、それへと向けて言葉の彼岸を越えていこうとする臨界で、一郎の意志はしかし踏み留まっているのだ。彼は気が狂うことも死ぬことも恐れてなどいない。自身の欲望の死を、絶望を恐れているのである。

すでに先行している幾多の言葉に囲まれて、一体如何なる「言葉」が自己に固有の言葉として発語可能か。それは一体誰との間に可能であるのか、何がその言葉の固有性を保証し、対話の成立を保証するというのか。

漱石は、その可能性を「恋愛」に見ていた。互いに交換不可能な個人の間にはそうした独身者としての言葉による対話が可能であるはずだと考えたのである。

一郎が独身者の言葉にこだわっているのは、それによる対話が可能であるということが、そのままその相手との関係が交換不可能なものであることの証左であり、したがってそこに「恋愛」の成就が確認されるからである。

一郎は妻の直との間にそれがかなわず、二郎にその欲望の対象を移すことで、自身の「恋愛」へのロマン的欲望を生き延びさせようとする。しかし、それにさえ失敗する一郎を描く漱石は、「恋愛」の不可能性を徹底して描いているともいえるので、ここではそうした「言葉」＝「恋愛」へのロマン的欲望の真摯さとそれへの絶望が、どちらに行き着くことさえも出来ずに、まさしく「中心を欠いた」まま次々と先送りされていくことになるのである。

漱石作品における独身者性とは、この「言葉」＝「恋愛」へのロマン的欲望とそれへの絶望が、徹底され得ないという必然性からもたらされるものである。

大切なのは、二郎が一郎の欲望と絶望をなぞることになることで、彼が丹念に自身の欲望を辿りさえすれば、欲望と絶望の両面において、ぎりぎりの所まで問われたはずなのである。重ねられた欲望と絶望が、ここでは独身者性を生きる者をその極限へと導く契機として活かされないままである。

一郎は「死ぬか、気が違つか、それでなければ宗教に入るか。僕の前途にはこの三つのものしかない」（『塵勞』三十九）と叫ぶことにはなるのだが、そのいずれにも行き着けない。

それは二郎が自身の欲望にまだまだ忠実でないためである。おそらく、二郎もまたこう叫ばなければならなかったはずである。「告白か、引用か、それでなけ

れば小説を書くか。僕の前途にはこの三つの『言葉』しか残されていない」と。そして、そこで初めて一郎の独身者の言葉の問題が、言葉を組織する小説家夏目漱石自身の問題として抜き差しならぬものとなるのである。

しかしこの問題は「心」において、再び、そして今度は徹底的に扱われることになるであろう。（ここで徹底的というのは、死、狂気、宗教のいずれかに決定され、それに落ち着くということではない。そうではなく、「言葉」＝「恋愛」の問題が要請する不可避の不徹底性こそが、徹底して生きられるという意味である。）

註

① 藤澤り「『行人』論・言葉の変容」（『国語と国文学』五十七年一〇月号、後、日本文学研究資料叢書『夏目漱石』所収）

② 桶谷秀昭「相對と絶對との間」（『夏目漱石論』河出書房新社、第八章）

③ 平岡敏夫「『行人』その周辺」（『漱石序説』塙書房）

小宮豊隆「夫婦の問題」（『夏目漱石』岩波文庫、下巻六六）

尚、テキストは漱石全集（新書版岩波書店）による。引用文中の仮名は原文のまま、漢字は新字に改めた。傍点は特に断わりのない限り引用者による。

Development of New Thermo-mechanical Treatment in Warm Forging of Carbon Steel

Hideo SEKIGUCHI, Koji KOBATAKE, Masaharu TOKIZANE and Kozo OSAKADA

PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL CONFERENCE ON PHYSICAL METALLURGY OF THERMOMECHANICAL PROCESSING OF STEEL AND OTHER METALS

Vo1. 2 (1988), 856-863.

To improve the warm forgeability of medium or high carbon steels and the mechanical properties of product, a new thermo-mechanical treatment is developed. In the process named as Warm Temper Forging, a quenched steel billet is heated to a tempering temperature, and then is deformed during the tempering process. For tension tests and compression tests on 0.46% plain carbon steel, it is found that large workabilities are produced in the quenched steel at the temperatures from 673 K to 873 K. The tensile strength and the ductility of forged products are sufficiently high enough. The extended working limits in warm temper forging and the superior mechanical properties of products are related with the

fine microstructures. The existence of subgrain structure and fine spherical cementites, which have never appeared in usual heat-treatment, is a distinguished feature of the thermo-mechanically treated structure. That is these subgrains (the mean diameter : $0.3 \mu\text{m}$) and spherical particles may be produced by the plastic deformation during the progressive recovery process in tempering. As a result, a large ductility induced in the warm forging process and a high strength and a large residual ductility in products can be related to the structural change in the process. The characteristics of the warm temper forged steel are demonstrated as shown in Fig. 1.

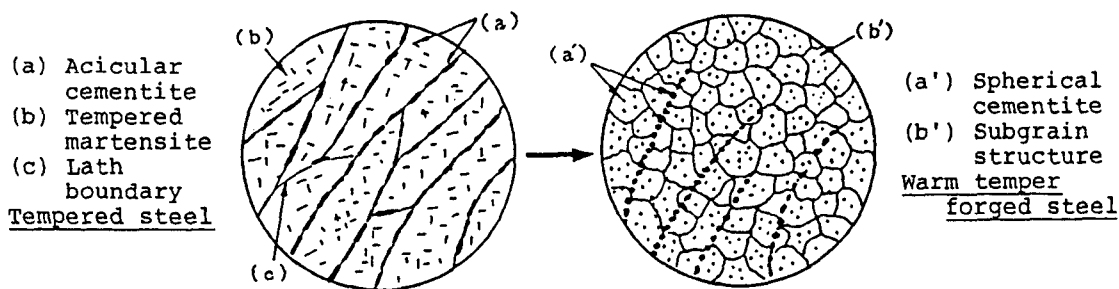


Fig. 1 Difference of microstructures between simply heat-treated steel and thermo-mechanically treated (warm temper forged) one.

高温白金細線水焼入れ時の沸騰伝熱

島岡 三義 ・ 大中 逸雄* ・ 氈受 彰** ・ 大友 邦久**

Boiling Heat Transfer during Water Quenching of High Temperature Platinum Filament

Mitsuyoshi SHIMAOKA, Itsuo OHNAKA,
Akira MENJU and Kunihisa OHTOMO

日本機械学会論文集, B編, 第54巻, 499号 (昭和63-3), p.704~708.

液体急凝固法の一つに回転水中紡糸法があり、各種合金細線やアモルファス細線の製造に実用化されているものの、溶融金属ジェットの水中の冷却過程については、いまだ十分解明されていないのが現状である。溶融金属ジェットは強制対流下において沸騰を伴いながら冷却されるが、空気中から水中に突入していく過程を見過ごすことはできない。

本研究は、ジェットの冷却過程の解明のために、高温に加熱した白金細線を、大気中から静止水中に水平に突入させた場合の、水中における強制対流沸騰熱伝達を調べたものである。

図1に細線まわりの沸騰様相のスケッチを示す。直接通電加熱による細線軸方向温度分布の存在のため、蒸気膜は温度の低い細線軸端において崩壊し、その崩壊点は中央部に向かって伝播的に移動する。この伝播速度は冷却水サブクール度の増加につれて増大する。

細線は蒸気膜で覆われている部分と冷却水と直接接触している部分がある。それぞれの領域の熱伝達率について、Epstein and Hauserおよび Fand の式を用い、高速写真観察から求めた蒸気膜崩壊速度をもとに細線の沸騰曲線を求めた。図2は、計算値と実験値の比較であり、両者は大体よく一致している。このことから、本実験系における強制対流沸騰熱伝達に関して、Epsteinらの整理式がある程度適用できることがわかった。

本研究によって、大気中から水中に突入していく過程での熱伝達の基本的性格を明らかにでき、浸漬急冷時の冷却速度の予測もある程度可能となった。

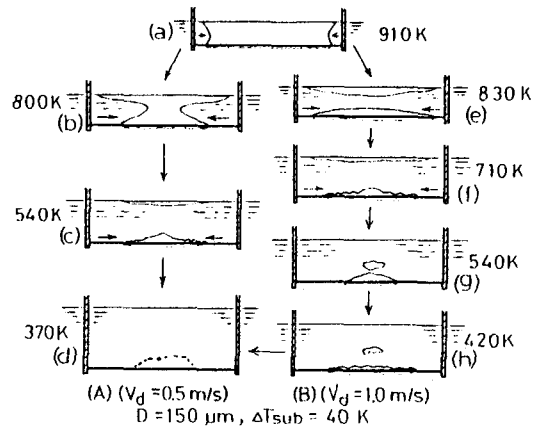


図1 細線まわりの沸騰様相

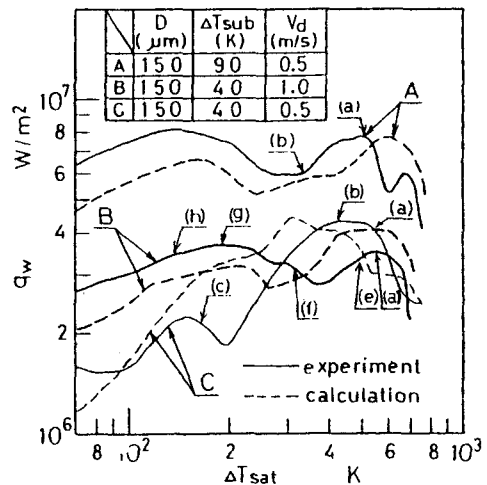


図2 見掛けの沸騰曲線

* 大阪大学工学部冶金工学科 (現; 材料開発工学科)

** ユニチカ株式会社

収束衝撃波の可視化

西田 迪雄*・岸下 晴亮

Visualization of Focusing Shock Wave

Michio NISHIDA and Haruaki KISHIGE

流れの可視化（流れの可視化学会誌）、第7巻第27号（昭和62-10）、p.55-62.

伝播方向に弯曲した衝撃波が、進行するにつれて収束し、局所的に高い圧力を生み出す現象は、「衝撃波の収束」と呼ばれ、衝撃波が凹面板で反射した場合や、超音速飛行する航空機の旋回、加速時に観測される。また、最近ではこの衝撃波の収束を用いた腎臓結石の治療法が実用化されている。収束する反射衝撃波が最大圧力を生み出す位置（気体力学的焦点）は、幾何学的焦点と反射板の間にあり、衝撃波収束はその非線形性により光学収束とは異なっている。そこで、衝撃波管装置を用いた反射衝撃波収束の実験を行い、収束過程を光学シャドウグラフ法により可視化し、コンピュータにより得られた可視化図と比較した。

数値計算では二次元オイラー方程式を時間分割法と

Piecewise-Linear-Method を組み合わせて解いた。実験に用いた衝撃波管は縦型で、測定部が一辺26mmの正方形断面を有している。試料気体は空気を用い、光源としてフラッシュランプ（発行時間約 $2 \mu\text{s}$ ）を用いた。シャドウグラフの明暗は密度の二階微分に比例しているので、コンピュータシャドウグラフは密度データより得られる。

図1に可視化写真とコンピュータシャドウグラフの比較を示す。反射板は $y = ax^2$ の二次元放物面である。t は入射衝撃波が反射板端 ($y = a$) に達した時を基準とする無次元時間である。この比較から、コンピュータシャドウグラフにより予測した収束衝撃波伝播形態は、光学シャドウグラフによって確認された。t = 0.906 で収束した反射衝撃波は互いに反射し、交差する様に進行して行く。

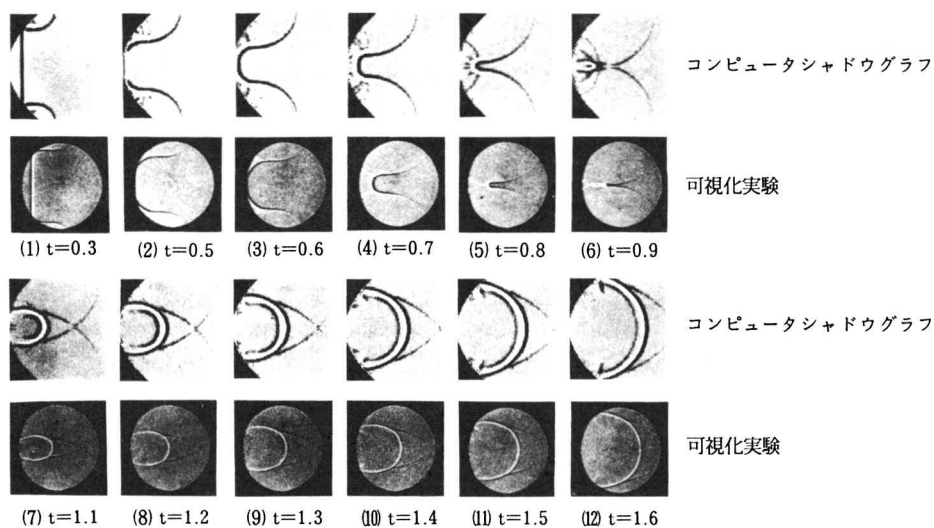


図1 コンピュータシャドウグラフと光学シャドウグラフの比較 ($M_{S1}=1.05$, $a=0.575$)

* 京都大学工学部航空工学教室

Liquid-Liquid Extraction of Silver Ion with Benzothiacrown Ether Derivatives

Masatoshi OUE, Keiichi KIMURA* and Toshiyuki SHONO*

Analytica Chimica Acta, **194**, 293 (1987).

Solvent extraction of heavy and transition metals by the poly- and bis(thiacrown ether) derivatives has been already studied and has proved efficient and highly selective for Ag^+ . This paper is concerned with applications of the solvent extraction by the thiacrown ether derivatives to Ag^+ recovery from several artificial samples, which are binary and quaternary metal ion systems, and actual copper ore. These results are as follows. The extraction behavior of mono-, poly-,

and bis(benzothiacrown ether)s is studied for alkali, alkaline-earth, heavy, and transition metal ions in the presence of picrate. These ethers show high selectivity for silver ion. Silver extraction from binary and quaternary mixtures of silver with heavy or transition metal ions were successful, except for mixtures with mercury (II) ion. Silver was extracted from a copper ore with ca. 80% recovery.

TABLE 1

Extraction of Various Metal Ions by Thiacrown Ethers^a

Metals	Percent extraction ^b (%)						
	I a	II a	III a	I b	II b	III b	TTC
Na^+	0.4	0.6	0.3	0.6	1.0	0.4	0.0
Fe^{3+}	0.1	0.4	0.3	0.1	0.3	0.3	2.8
Cu^{2+}	0.0	0.8	0.6	0.2	1.5	0.7	7.1
Ag^+	70.3	90.6	86.7	71.6	90.6	88.4	52.7
Zn^{2+}	0.4	1.4	1.3	0.4	2.1	1.5	10.0
Cd^{2+}	0.0	0.2	0.2	0.1	0.4	0.5	2.6
Hg^{2+}	0.0	90.4 ^c	25.1	0.0	90.4 ^c	25.3	33.3
Pb^{2+}	0.9	1.5	1.5	1.3	1.5	1.5	5.0
Pd^{2+}	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.3

^a $[\text{ThiaCr unit}]/[\text{Metal}] = 5 \times 10^{-5}\text{M}/1 \times 10^{-5}\text{M}$. In IUPAC nomenclature, I a is 2, 3-(4'-acryloylaminobenzo)-1, 4-dioxa-7, 10, 13-trithiacyclopentadeca-2-ene. II a is poly[2, 3-(4'-acryloylaminobenzo)-1, 4-dioxa-7, 10, 13-trithiacyclopentadeca-2-ene]s. III a is 1, 3-bis[(3', 4'-benzo-1'', 4''-dioxo-7'', 10'', 13''-trithiacyclopentadeca-2''-ene)aminocarbonyl]propane. I b is 2, 3-(4'-acryloylaminobenzo)-1, 4-dioxa-7, 10, 14, 17-tetrathiacyclononadeca-2-ene. II b is poly[2, 3-(4'-acryloylaminobenzo)-1, 4-dioxa-7, 10, 14, 17-tetrathiacyclononadeca-2-ene]s. III b is 1, 3-bis[(3', 4'-benzo-1'', 4''-dioxo-7'', 10'', 14'', 17''-tetrathiacyclononadeca-2''-ene)aminocarbonyl]propane.

^b Evaluated from the metal ion concentration in the aqueous phase.

^c Some precipitate was formed at the interface between organic and aqueous phases. The values of percent extraction are, therefore, apparent ones.

* Department of Applied Chemistry, Faculty of Engineering, Osaka University

Neutral Carrier-Type Silver Ion-Selective Electrode Based on Lipophilic Monothiacrown Ether

Masatoshi OUE, Keiichi KIMURA*, Kazuhiro AKAMA*,
Minoru TANAKA*, and Toshiyuki SHONO*

Chemistry Letters, 1988, 409.

Crown ethers, which have good affinities to alkaline-earth metal ions, have been utilized as neutral carriers in metal ion-selective electrodes. Especially in the electrodes based on bis(crown ether) derivatives, high selectivities for alkali metal ions have been realized. However, there are very few neutral carrier-type Ag^+ -selective electrodes. Also, in previous Ag^+ electrodes based on dithiacrown ether derivatives, serious interference by Fe^{3+} and Hg^{2+} (selectivity coefficients of about 1) was observed. We report here a high-performance Ag^+ -selective electrode using a lipophilic monothiacrown ether. Monothiacrown ether was synthesized from bis(2-hydroxyethyl)-sulfide and 5-dodecyl-3, 7-dioxanonane-1, 9-diol ditosylate. The compound was purified by silica gel column chromatography (ethyl acetate/hexane = 1/10) to yield a colorless oil (25%): Found: C, 66.31; H, 11.12%; M^+ , 418. Calcd for $\text{C}_{22}\text{H}_{46}\text{O}_4\text{S}$: C, 65.99; H, 11.08%; M^+ , 418. The electrode membranes were prepared by a previously-reported method, and contained PVC (27.6 wt%), the neutral carrier (2.8 wt%), DOP (dioctyl phthalate) (69.1wt%), and dipicrylamine sodium salt (0.5 wt%). After injecting 1M ($1\text{M} = 1\text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$) KNO_3 aqueous solution as the internal filling solution, the electrodes were conditioned by soaking them in 10^{-3}M AgNO_3 for 3 days. The electrochemical cell for the e.m.f. measure-

ments was as follows: $\text{Ag-AgCl}/4\text{M KCl}/0.1\text{M NH}_4\text{NO}_3/\text{sample solution}/\text{membrane}/1\text{M KNO}_3/\text{AgCl-Ag}$. A typical e.m.f. response of the lipophilic monothia-16-crown-5-based ion-selective electrode to Ag^+ was shown an ideal Nernstian slope (59mV/decade) for Ag^+ attained in the Ag^+ activity range of $10^{-6}\sim 10^{-2}$ M. The response time of the monothia-16-crown-5-based Ag^+ -selective electrode was within 30 s. The electrode properties were hardly changed for at least 3 months. The high selectivity and durability of the electrode might be attributed partly to the high lipophilicity of the thiacycrown ether. Thus, the Ag^+ -selective electrode based on monothia-16-crown-5 is quite promising for practical applications. Also we have studied the Ag^+ selectivities of the electrode against other heavy metal ions, alkali and alkaline-earth metal ions, and NH_4^+ . The interference by the metal ions except Hg^{2+} is negligible. Even the Ag^+ selectivity against Hg^{2+} ($k_{\text{AgHg}}^{\text{Pot}} = 1.6 \times 10^{-2}$) was drastically improved as compared to that ($k_{\text{AgHg}}^{\text{Pot}} = 1.6 \times 10^{-2}$) of the previous thiacycrown ether-based electrodes. Furthermore, the monothia-16-crown-5-based Ag^+ selective electrode is definitely superior to popular Ag_2S -based Ag^+ electrodes in the Hg^{2+} interference, since coexistence of Hg^{2+} in measuring solutions never be allowed in the Ag_2S -based electrode system.

* Department of Applied Chemistry, Faculty of Engineering, Osaka University

Extraction—Spectrofluorimetric Determination of Silver Ion by Using Benzothiacrown Ether and Eosin

Masatoshi OUE, Keiichi KIMURA* and Toshiyuki SHONO*

Analyst (London), **113**, 551 (1988).

As benzothiacrown ether exhibited high selectivities for silver ion against several heavy

TABLE 1

Effect of Other Cations on the Determination of Silver Ion

Cation	Molar ratio (M ⁿ⁺ :Ag ⁺) ^a	Apparent recovery, %
Li ⁺	1000 : 1	102.7
NH ₄ ⁺	1000 : 1	100.4
Ba ²⁺	1000 : 1	101.1
Cr ³⁺	1000 : 1	101.7
Mn ²⁺	1000 : 1	95.7
Fe ³⁺	1000 : 1	103.3
Co ²⁺	1000 : 1	97.1
Ni ²⁺	1000 : 1	109.0
	500 : 1	104.2
Cu ²⁺	1000 : 1	110.4
	500 : 1	103.8
Zn ²⁺	1000 : 1	112.6
	500 : 1	103.9
Cd ²⁺	1000 : 1	113.5
	500 : 1	102.7
Hg ²⁺	500 : 1	130.4
	100 : 1	120.3
	10 : 1	100.6
Pb ²⁺	1000 : 1	98.3

^a Constant silver ion concentration, 10.0 p.p.b.

metals on the cation extraction, silver ion-spectrofluorimetric determination was carried out by using ion-pair extraction system with benzothiacrown ether and Eosin Y. It was possible to determine 2–10 p.p.b. silver ion by this extraction fluorimetry. The silver ion determination was hardly interfered by alkali, alkaline-earth, and heavy metal ions except mercury(II) ion. This method has been successfully applied to determination of trace amounts of silver ion in river water.

TABLE 2

Determination of Silver Ion in River Water Samples

Sample No.	Ag ⁺ concentration, p.p.b.		Relative standard deviation, %
	Actual	Found ^a	
1	2.0	1.9 ± 0.1	4.3
2	4.0	4.1 ± 0.1	2.0
3	10.0	9.8 ± 0.2	2.0
4	20.0	16.6 ± 0.2	1.0

^a n = 4

高専の技術英語教育

高橋 晴雄

For Advanced Education of Technological English in Colleges of Technology

Haruo TAKAHASHI

まえがき

高専制度が発足して20年以上も経過し、卒業生の技術者としての活躍状況から、高専に対する社会的評価は、高い求人倍率に反映されている。これは、10数年前に、全国的規模で各高専に電子計算機が設置され、情報処理教育が積極的に導入され、現在の情報化時代の技術者としての教育基盤が築かれていたことも大きな背景になっている。

これからの国際化技術社会の時代には、技術者の技術英語の知識が、基礎能力として不可欠になってくると予想される。私は、技術者育成機関である高専教育においては、技術英語教育を一層積極的に推進し、高専教育の特長の一つにすべき時期に達していると痛感している。

ここに、高専の技術英語教育に対する私見を述べ、技術英語教育を考える足掛りにしてい頂ければ光栄に存する次第である。

1. 高専の技術英語教育（一般英語教育を含めた） の問題点

1.1 高専と企業での技術英語の認識

1.1.1 高専学生の技術英語に対する認識

高専へ入学する学生は、一般的な傾向として、理数系に興味があり、語学（英語）には少なからず苦手意識を持っている。

専門教科は将来の技術者になるためには、いやでも勉強しなければならないと考えるが、英語には目的意識がはっきりせず、いわゆる一般教養として勉強しておけば良いと考える場合が多い。すなわち、学生の勉強意欲が、

専門教科に対しては積極的で、英語に対しては消極的な傾向にある。

第二外国語としてドイツ語教科があり、新しさから、英語よりドイツ語に興味を持つ学生も多いし、初めてのことばかりで新鮮味があり、遅れまいと勉強時間が英語に対するより多くなる。

LL教室、外人講師など、語学教育環境は、普通高校に比べて格段に整っており、教育内容も、英文読解、英文法、英作文、英会話、ヒヤリングなど多彩である。しかしながら、使用されているテキストが一般的（文学的、受験的）な内容で、工科系の事柄を扱った内容が少なく、技術者を目指す学生には、直接自分に結び付きにくい内容であり、受験もないので英語に対する目的意識が薄れていることなどに起因して、積極的な勉強意欲を失っている学生も見受けられる。一方では、極めて少数ではあるが、英語検定試験2級に合格している学生もいる。

1.1.2 英語科教官の技術英語に対する確認

英語科教官の中には、一般（文学的）英語や受験英語は教えることができるが、技術英語は英語教科教官には関係のないことであり、技術英語といえども英語であり、一般英語教育を通してそのための基礎を教育していると認識されている場合が多い。そして、学生の興味とは関係なく、高校用テキストを使用して、高校での教育と同一視されているケースも多い。専門用語が多い技術英語は、一般英語で教える必要はなく、専門学科で教えるのが当然であると認識している教官もいる。また、大学受験もないので、責任感が少ないし、高校で教えるより楽であると考えている教官も少なくない。しかしながら、技術英語を積極的に取り入れ、悪戦苦闘しながら熱心に指導されている英語教官もいる。

1.1.3 専門教科教官の技術英語に対する認識

専門学科教官は専門分野の基礎を教育するのが使命であり、技術英語などは、高専学生の英語レベルで教育するのは無理であり、将来必要になればそのときに勉強し直すればよいと考えている教官もいる。中には、英語文献も殆ど読んだこともなく、技術英語に接したこともなく、ましてや英語で論文も書いたこともなく、技術英語教育には全くの無関心で、他の教官が黒板に専門用語の英単語の対応を書くことすら批判的になる専門学科教官もいる。

一方、技術英語には堪能（本人だけの認識）であるが、学生の英語能力を認識もせず、いきなり専門分野の文献などを渡し、学生の英語アレルギーを一層植え付け、さらには一般教科の英語教育（英語科教官の指導の仕方）を非難する教官もいる。また、技術英語は、一般英語教科で教えるのが当然と考えている教官もいる。

1.1.4 企業からの技術英語教育に対する認識

企業からは、大学卒業生に比べ、専門的能力にはひけを取らないし優れているが、英語能力は極めて低いとの評価が一般的である。

国際化の時代であり、高専では、技術英語教育を徹底して欲しいと希望する企業も多い。

企業では、国際技術交流が盛んな現実面から、技術者には、外国文献や英文仕様書（マニュアル）が読解できること、英文で仕様書が書けること、さらには、技術指導のための技術的英会話がができることが要求されるので、それらの基礎（技術に関係した英語能力）を教育して欲しいとの要望が強力である。

1.2 高専での技術英語教育の現状と問題点

1.2.1 高専での英語教育の現状

奈良高専において、一般教科の英語の授業時間数は、1年次6時間、2年次6時間、3年次3時間、4年次2時間あり、4年次にドイツ語3時間が加わる。5年次では、英語とドイツ語との選択で2時間ある。したがって、5年次に英語を選択すると合計19時間になる。さらに、殆どの専門学科で、工業外国語（ゼミ）を4年次に1時間実施している状況にある。英語の時間数から見ると、普通高校の各学年6時間（合計18時間）と比べても少なくないし、高専の一般数学18時間（1年から3年まで各6時間）に比べても少なくない。

これだけ多くの時間が割り当てられている一般英語教科の時間数の中で、使用している教科書は、高校用のテキスト（一部には高専用のテキスト）を使用しているの

で、大部分がいわゆる一般英語ならびに受験英語が中心になっている。

技術英語に関しては、科学（SCIENCE）に関係している文章が出てくるに過ぎないのである。少なからず、英語科教官は、サブ・テキストを作成したりして、技術英語を取り入れる努力はされているが、専門学科が期待するほどには至っていないのである。

幸にも、全国高専の中から熱意ある英語科教官が中心になって、高専用の新しい英語リーダのテキストの編纂と執筆が行われ、

「College English for Culture and Technical Communication（中教出版）」というタイトルで、昨年出版された。

このテキストは、技術的、科学的な内容が半分程度占められ、イラストが多く、モダンな感じて、これまでにないユニークな教科書である。内容的にも、技術英語を意識して一層多く取り入れてあり、誠に喜ばしいことである。

専門学科の工業英語に関しては、標準的で適切なテキストは皆無に等しく、個々に摸索しながら教材を作成して、専門分野の英語文章の読解を中心に実施している場合が多い。

技術英語に深く関係する英文法、英作文の仕方や文型ならび忠実な読解法を、低学年から系統的かつ段階的に教育できる総合的な技術英語テキストの出現が強く望まれる。

1.2.2 教官側と学生側の現状

技術英語に関しては、私の個人的判断ではあるが、英語科の教官は、専門学科で実施しそのための基礎を一般的英語で行っているという考えであるし、専門教科の教官はせめて基礎的な技術英語は英語教科の中で進めて欲しいと思っている。

残念ながら、英語科教官と専門学科の教官とが、技術英語教育についての協議や意見交換も極めて少ない状況にある。

英語科教官は、技術英語を積極的に取り入れる努力はされているが、専門学科からの期待との間にギャップがある。また、専門学科教官の間にも、技術英語教育に対する意識の差が少なからず潜在している。

一方、学生の方は、もともと興味に乏しいこともあって、消極的に勉強している学生も少なくない。平均的な傾向として、英訳では分からない単語に下線を引き、辞書で無造作に調べ、文法など無視して、訳語を頭の中で混ぜて適当な日本語に創作する訳し方に慣れている者も少なくないのである。また、5年生になっても、中学レ

ベルから殆ど進歩していない学生も少なからず見受けられるのである。しかしながら、中には英語検定試験の2級に合格する学生がいることも事実である。

このように、英語科教官と専門学科教官の個々の間で技術英語に対する認識にギャップがあり、また、学生側には、英語学習への意欲にバラツキがある現状の中で、技術英語を積極的に推進して、学生の技術英語能力を高めていくにはどうすればよいか、高専教育の大きな課題であると考えられる。

1.2.3 技術英語教育の基本的問題

技術英語教育が、積極的に推進されにくい状態は、技術英語と一般（文学的・会話的）英語に使用される基本文型が大きく異なる点に起因している。すなわち、主語が、技術英語では物が中心であり、一般英語では人が中心であり、本質的に、事実を理論的かつ正確に記述する文型と、情景や感情を情緒的かつ含蓄を込めて記述する文型の差異による。また、専門用語が、その分野の専門知識がないと本来の意味が把握できないことにある。

英語の基本的ルールである英文法が、一般英語を基準（高校での受験英語を中心）に教育されるように体系が確立され、技術英語の基本的な文例が少なく、技術英語に要求される英文法が強調されていないからである。

少なくとも技術者育成の教育機関である高専では、初期の英文法教育に技術英語を意識した教育を導入する必要がある。高専の中には技術英語教育に対する認識と教育体制が必ずしもはっきりしていない場合が多く、結果として高専卒業生の英語能力が低いという社会的評価に反映されているように思える。高専では基礎の段階から系統的に技術英語教育を推進する教育体制の確立が必要であると考えられるのである。

2. 高専での技術教育のあり方

2.1 技術英語に対するインパクト

学生へ技術英語を啓蒙するための最も簡単なインパクトは、日本工業英語協会が主催して行われる工業英語検定試験（工業英検）を受験させることである。

この試験は、1級から4級まであり、4級は高専の低学年もしくは工業高校程度の工業英語の基礎知識を有する者を対象とし、3級は大学専門課程もしくは高専上級学年在学程度の工業英語の応用知識を有する者を対象にしている。なお、2級は実務経験者を基準とし、工業英語全般の知識を有する者を対象としている。

2級から4級までの工業英検は、全国の多くの高専が試験会場となって、毎年5月と11月の2回実施されている。

高等専門学校協会がこの試験制度を後援しているにもかかわらず、残念ながら高専の英語科教官ですら、ご存じ無い方もおられる。

この試験によって、学生には、資格を取得するという目標ができるし、合格しようと意欲が高まり、技術英語に対する認識と興味が深まる。そして、可能性のある教官へは、学生からの熱意ある要望から、受験学習の指導を迫られるようになる。意識ある教官は、過去の試験問題に目を通したりして、受験対策を少なからず考えるようになる。

単に工業英語検定試験を受験させることが、学生側へは連鎖反応を起こし技術英語への意識が強まるし、教官側へは技術英語教育に対する認識が深まり、学生と教官の両方へ、技術英語に対する意識に大きなインパクトを投げかけるのである。

2.2 技術英語教育を推進するために

2.2.1 教官の教育意識

改めて議論するまでもなく、英語科教官と専門学科教官のそれぞれが、意識さえ持てば、技術英語教育は自然な形で推進できる。

技術英語は、一般教科の英語で教えるべし、いや専門教科で教えるべし、などの英語科教官と専門学科教官の間で、押し付け合いの議論をしても何の解決策にはならない。根本的に大切なことは、英語科教官は一般英語教科の中に、専門学科教官は各授業の中に、それぞれ技術英語を積極的に導入するように努め、学生が技術英語に接する機会を少しでも多くするように心がけることである。

高専に勤務する英語科教官であるならば、講義の内容に科学や物理に関係したものを、一層積極的に取り入れるべきであるし、専門用語のボキャブラリなどは少しづつでも増やせる環境にある。専門学科の教官は、それぞれの講義の中で、専門用語を紹介することができるし、英文のテキストを活用することもできる。基本的に大切なことは、教官の技術英語に対する意識である。

2.2.2 技術英語教育体制の確立

教官の意識だけである程度の技術英語教育を推進することはできるが、技術英語を高専教育の特色にまで発展させるには、カリキュラムの再検討までも含めた教育体制を確立しなければならないと考える。このためには、

体系的に技術英語教育を実施・推進する方法を協議する場を持つことも大切である。

高専によって事情は異なるが、ここで最大の争点は、誰が技術英語を教えるか（英語科か専門学科かに始まり具体的な可能性ある教官の選び出しなど）の問題であると推測できる。しかし、担当者などは後の問題であって、協議しなければならない根本的な論点は、技術英語として何をいつどのように教育するか教育体系を創ることである。

技術英語教育体制を確立するための基本的な論点は、

- (1) 一般英語との関連性ならびに適切な教科書の選択や編纂などの教育内容に関する問題
 - (2) 一般科の英語と専門学科の技術英語との時間調整やさらには一般英語時間数の再編成などのカリキュラムに関する問題
- の2点である。

2.2.3 高専独自の教材の開発

技術英語教育を本格的に推進させるためには、教科書や辞書などの教材の問題を解決しなければならない。

技術英語に関して、高専用の適切な教科書が殆ど市販されていない現状と手ごろな専門用語辞書が見あたらない状況から（私の勝手な判断であるが）して、高専の実情にあったテキストと専門用語集は、教官が協力して制作する必要があると考える。制作することによって、教官には、技術英語の新たな勉強ができるし、学生には、少なからず教官の情熱が反映し、教育効果が大きいものになると予想される。

また、卒業研究などで、パソコンを利用して技術英語のCAI用の教材開発を、教官と学生とが協力して行えば、コンピュータ教育と技術英語教育が同時に実施でき、できた教材は他の教官や学生に活用でき、高専独特のますます充実した技術英語教育が遂行できるように思われる。

以上、高専での技術英語教育を充実させ、体制を整えるための一つの考え方を示したが、技術英語教育を積極的にかつ効果的に推進するためには、情熱的な教官（英語科教員も専門学科教員も参加した）によるプロジェクトを組織し、大局的かつ全学的な見地から、技術英語教育について協議できる場を制定して、高専の技術英語教育に対する方向付けと指針作りが必要であると考えられる。

3. 奈良高専での一つの試み

3.1 工業英語検定試験会場の有利性の活用

本校では、昭和58年秋に、第6回の工業英検から試験会場になり、第7回から本校学生が受験するようになった。

参考までに、最近の本校学生の工業英検受験推移は、以下のような状況である。

回	2級	3級	4級	合計
9回(昭60)	0(0)	8(4)	6(6)	14(10)
10回(昭60)	0(0)	22(6)	1(1)	23(7)
11回(昭61)	3(0)	24(12)	5(5)	32(17)
12回(昭61)	8(2)	34(15)	3(3)	45(20)
13回(昭62)	0(0)	12(3)	3(3)	15(6)
14回(昭62)	2(0)	28(15)	8(8)	38(23)
15回(昭63)	3()	44()	18()	65()

()内は合格者数で、15回は結果待ちの状態

学科によって受験学生数が異なり、年度毎の総受験学生数にはバラツキがあるけれども、電気工学科では、3年次から3級の受験を進めている。本年3月に卒業した電気工学科の学生では、6割の学生が挑戦し、クラスの約3割の学生が3級に合格している状況である。

電気工学科では、現在工業英語の授業は開講していないので、受験学習用に、過去の工業英検の問題を整理したささやかなプリントテキストを作成し、学生の自主学習を進めてきた。熱心に学習する学生が、徐々にではあるが増えてきて、技術英語に興味をもつようになり、受験はためらいながらも技術英語の自主的な学習が活発になってきて、幸いにも昭和61年に工業英検2級の合格者が2名でるに至り、学生間での技術英語に対する学習意欲が徐々にではあるが高まってきたのである。

合格を知らせるときの学生の緊張した顔、合格したときのさわやかな笑顔、不合格したときの次は頑張ると決意に満ちた顔など、平穏な学生生活をしている中で、学生の新鮮な表情を見て、充実したテキスト作りの必要性を痛感したのである。

3.2 技術英語テキストの作成

昭和61年度の文部省からの教育・研究特別経費の用途についてのテーマ募集があり、個人として提案した「工業英検受験学習用テキストの編纂」が選ばれた。けれども、校長からは全学的なプロジェクトで作成するように

指示されたのである。

本校では、技術英語教育についての全学的な（特に英語科と専門学科間で）コンセンサスが得られている状況にないので、これまでの英語教育の既成概念を意識せずに、技術英語を使用する側の立場に立って編纂しようと考え、各専門学科からのメンバーのみでプロジェクトを組織することにしたのである。4人のメンバーで、機械分野、電気分野、化学分野そして物理分野を網羅した技術英語テキストの編纂と執筆に取りかかったのである。

4人のメンバーで協議した基本的な方針は、

- (1) 工業英検4級と3級の受験用の自主学習用テキストとし、やさしく読めるように配慮をする。
- (2) 技術英語の学習にも活用できるように、専門用語の辞書としての役割も持たせ、技術英文によく現れる文型と使用例を多く盛り込む。

の2点である。

このためにテキストは、

- (1) 工業英検の受験学習編
(英訳と英作およびボキャブラリの学習の仕方についての解説編)
- (2) ボキャブラリ編
(動詞および熟語を基に、英作と英訳および用語の使い方についての総合学習編)
- (3) 専門用語編
(専門用語についての英和および和英の学習用の知識拡充編)

の三部構成にすることを決定した。

過去の工業英検の4級と3級の試験問題をつぶさに調べ、専門分野の英文参考書や教科書などからの適切な文型や専門用語の拾い出しに始まり、文型に対する使用例の仕分け、索引としての単語のピックアップと整理など、ワープロとパソコンを駆使して執筆した。昭和61年の11月からスタートして、昭和62年4月上旬に脱稿し、7月に印刷・製本が完了した。

タイトルは、「科学技術英語の基礎」すなわち、「Introduction to Technological English」とし、222ページになった。

完成して見れば、書き足りない点、不備な箇所とミスが多さに、われわれの能力不足が少なからず悔やまれる。

学生には、工業英検の受験者が増加し多く合格してくれることを期待するし、卒業して実務面で参考にして欲しいと願っている。一方、意識ある教官からは、テキストの不備や問題点の指摘を受け、技術英語教育への波紋として広がり、技術英語教育を一層積極的に推進させる礎になればよいと願っている。

あ と が き

本文では、高専で技術英語教育を一層推進させる必要性和そのための方策（私見）を述べ、その一つの試みとして技術英語テキストを作成した経過について紹介した。

技術英語教育が、これからの高専教育の特色に成長させるためには、学内での研究会や全国レベルでの研究協議組織を制定する必要があると考える。

すでに、英語科教官中心の「全国高等専門学校英語教育研究協議会」での研究発表会に招かれた折に、専門学科教官と英語科教官とが参加した全国的規模の「高専技術英語教育研究会（仮称）」の設立を提案したけれども、熱意ある多くの教官が賛同され、技術英語教育の指導的役割を果たす組織に成長することを期待している。

本文が、考え方の相違や批判の多いことは承知しているが、技術英語教育を論じる叩き台になれば幸せである。

謝辞：本校でのテキスト編纂プロジェクトのメンバーとして、精力的にご執筆頂いた、機械工学科宮本助教と和田講師、化学工学科泉教授に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 高橋，泉，宮本，和田：「科学技術英語の基礎」奈良高専刊行（昭和62年7月）
- (2) 高橋晴雄：「高専における工業英語教育について」工業英語ジャーナル（日本工業英語協会）vol.7 No.29 p.8-11（昭和62年12月）
- (3) 高橋晴雄：「高専の技術英語教育について」英語教育（大修館書店）vol.36 No.13 p.32-35（昭和63年1月）
- (4) 高橋晴雄：「高専の技術英語教育について」工業教育（工業教育協会）第36巻 第1号 p.69-72（昭和63年1月）
- (5) 高橋晴雄：「専門学科から見た技術英語教育」全国高等専門学校英語教育研究協議会 研究発表会資料（昭和63年8月16日講演）

教官研究活動一覽表

(機械工学科)

周縁が部分的に自由または支持され軸対称荷重を受ける円板の曲げ

三船忠志 (大阪工大)、浜田実 (阿南高専)、水嶋巖、増尾龍一 (大阪工大)、三浦茂 (ダイワボウ情報システム)

日本機械学会論文集 (A編)、54-502 (昭和63-6)、1220~1224

結晶性高分子材料のX線応力測定 (ポリエチレン板状試料のX線弾性定数)

有間淳一、井口高行、岩井保善

日本材料学会第25回X線材料強度に関するシンポジウム

(昭和63年7月21日、22日 講演)

セラミックス材料の各種接触状態における破壊に関する確率論的研究

西田茂生、石垣博行 (近畿大・理工)

日本潤滑学会第32期春季研究発表会

(昭和63年5月13日 講演)

外乱除去型ヘテロダイン干渉法光ファイバセンサ (II) - 微小面内変位の計測 -

阪部俊也、中谷登 (阪大工)、山田朝治 (阪大工)

精密工学会秋季大会学術講演会

(昭和62年10月12日 講演)

Optical Fiber Heterodyne Interferometer Probe Free from External Disturbance

N. Nakatani (Osaka Univ.), T. Izumi (Osaka Univ.), T. Yamada (Osaka Univ.), T. Sakabe
Review of Scientific Instruments, Vol. 58. No. 11, November (1987)

外乱除去型ヘテロダイン干渉法光ファイバセンサ

— 機能型とプローブ型センサ —

中谷登 (阪大工)、浅野伸 (阪大工)、門口哲也 (阪大工)、山田朝治 (阪大工)、阪部俊也

第5回光ファイバセンサワークショップ

(昭和63年1月14日 講演)

外乱除去型ヘテロダイン干渉法光ファイバセンサ

— 機能型とプローブ型センサ —

中谷登 (阪大工)、浅野伸 (阪大工)、門口哲也 (阪大工)、山田朝次 (阪大工)、阪部俊也

レーザ学会第137回研究会

(昭和63年1月29日 講演)

外乱除去型ヘテロダイン干渉法光ファイバセンサ (III)

阪部俊也、中谷登 (阪大工)、山田朝治 (阪大工)

精密工学会春季大会学術講演会

(昭和63年3月17日 講演)

直交二周波光源を用いた光ファイバセンサとクロストークによる非線形性

中谷登 (阪大工)、門口哲也 (阪大工)、山田朝治 (阪大工)、阪部俊也

第1回光波センシング技術研究会

(昭和63年6月24日 講演)

Optical Fiber Heterodyne Interferometers Free from External Disturbance - A Functional Type and A Probe Type -

N. Nakatani (Osaka Univ.), S. Asano (Osaka Univ.), T. Kadoguchi (Osaka Univ.), T. Yamada (Osaka Univ.), T. Sakabe

2nd International Symposium on Fluid Control Measurement Mechanics and Visualisation (FLUCOME '88 SHEFFIELD) (September 9, 1988)

直交二周波光源を応用した光ファイバセンサ

中谷登 (阪大工)、山田朝治 (阪大工)、阪部俊也
オプトロニクス、No.81、1988

Level Shift of Hyperfine Structure Due to the Lorentz Gauge Field

Tetsuo Fukui*, Kazumi Fukuma*, Sikao Miyamoto, Teruya Ohtani** and Yoshinobu Tamura* (*Osaka City Univ., **Kansai Univ. of Foreign Studies)

Progress of Theoretical Physics, Vol. 78, No. 6 p. 1470, Dec. 1987

- 再突入の空力加熱
岸下晴亮
化学工学、52、545 (1988)
- 収束衝撃波の可視化
西田迪雄 (京大工)、岸下晴亮
流れの可視化 (流れの可視化学会誌) 第7巻、第27号、55~62頁 (1987)
- パイプの曲げ加工法と最近の技術動向
小島耕二、市瀬辰己
プレス技術、第26巻3号 (1988)、32-38
- 半溶融押し加工材のSEM観察
関口秀夫、杉山澄雄 (東大生研)、木内水 (東大生研)
昭和63年度塑性加工春季講演会
(昭和63年5月20日 講演)
- Development of New Thermomechanical Treatment in Warm Forging of Carbon Steels
H. Sekiguchi, K. Kobatake, M. Tokizane (Ritumeikan Univ.) and K. Osakada (Hiroshima Univ.)
Proc. Intr. Conf. on Physical Metallurgy of Thermomechanical Processing of Steels and other Metals, Vol. 2 (1988), 856-863.
- Annual report of Japanese Forging Research Committee
H. Sekiguchi
The 21st Plenary Meeting of I. C. F. G.
(Enschede, Holland)
(1988年9月20日 講演)
- 高温白金細線水焼入れ時の沸騰伝熱
島岡三義、大中逸雄 (阪大工)、氈受彰 (ユニチカ)、大友邦久 (ユニチカ)
日本機械学会論文集 (B編)、54巻499号 (昭63-3) 704~708
- 回転水中紡糸法における溶融金属ジェットの冷却過程
島岡三義、大中逸雄 (阪大工)
日本金属学会昭和63年度春期 (第102回) 大会
(昭和63年4月1日 講演)
- XYプロッタ用グラフィックライブラリの作製
- 島岡三義
昭和63年度高専情報処理教育研究発表会
(昭和63年8月26日)
- ベローズアクチュエータ・ロボットグリッパのコンプライアンス制御に関する研究
宮田慶一郎 (立命館大学)、早川恭弘
計測自動制御学会第27回学術講演会
(昭和63年8月2日 講演)
- 研究・教育用ロボットシステムならびにCAD/CAMシステムの試作研究
若林敏夫、成田紘一、岸下晴亮、和田任弘、島岡三義、早川恭弘
高専教育、第11号、125~132 (昭和63年2月)
- 研究・教育用ロボットシステムならびにCAD/CAMシミュレータの試作研究
若林敏夫、成田紘一、岸下晴亮、和田任弘、島岡三義、早川恭弘
昭和62年度特定研究成果報告書
- 研究・教育ロボットシステムの試作研究
若林敏夫、成田紘一、早川恭弘
昭和63年度情報処理教育研究発表会
(昭和63年8月26日 講演)
- Flow Visualization and Heat Transfer in a Duct with an Insertion of a Staggered Array of Cylinders
M. Yao, M. Nakatani and K. Suzuk (京大工)
The First World Conference of Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics
(昭和63年9月6日 講演)
- Study on Chip Breaker - Cutting Performance of New Chip Breaker -
S. Hanasaki (Osaka Univ.), J. Fujiwara (Osaka Univ.), T. Wada and Y. Hasegawa (Setsunan Univ.)
6th International Conference on Production Engineering
(昭和62年11月10日 講演)
- 広域型チップブレーカ付きバイトの切りくず折断機構-

各種の鋼を切削した場合—

長谷川嘉雄（摂南大工）、花崎伸作（阪大工）、藤原順介（阪大工）、和田任弘
昭和63年度精密工学会春季大会学術講演会
（昭和63年3月16日 講演）

（電気工学科）

水中情報伝送のための信号処理の研究（その3）

土井滋貴、志水英二（大阪市立大）、松田稔（大阪電通大）
日本音響学会 昭和62年度秋季研究発表会
（昭和62年10月14日 講演）

フラクタル特徴を用いたマルチスケールフィルタ

土井滋貴、志水英二（大阪市立大）、松田稔（大阪電通大）
電子情報通信学会 和和62年情報・システム、半導体材料部門全国大会
（昭和62年11月4日 講演）

水中情報伝送におけるスケール・スペース・フィルタリングに関する一考察

土井滋貴、志水英二（大阪市立大）、松田稔（大阪電通大）
海洋音響研究会誌 昭和63年1月 第15巻第1号
（通巻49号）

水中情報伝送のための信号処理の研究（その4）

土井滋貴、志水英二（大阪市立大）、松田稔（大阪電通大）
日本音響学会 昭和63年度春季研究発表会
（昭和63年3月23日 講演）

液晶をもちいた空間変調器

城本竜也（大阪市立大）、土井滋貴、松下賢二（大阪市立大）、志水英二（大阪市立大）
電子情報通信学会 昭和63年春期全国大会
（昭和63年3月28日 講演）

マルチスケール表現を用いた信号処理とその応用

土井滋貴、高橋晴雄、松田稔（大阪電通大）、志水英二（大阪市立大）
日本自動制御協会 信号処理とデジタル制御研究分科会第7回研究会
（昭和63年4月28日 講演）

Controlled Characteristics of a Superconducting AC Coil by Pulse Width Modulated Current

Y. Murakami, T. Ise, and Y. Fujita (Osaka University)
IEEE Trans. on Magnetics, Vol. MAG-24, No. 2
(March 1988)

Circuit Configuration of the GTO Converter for Superconducting Magnetic Energy storage

T. Ise, J. J. Skiles, R. L. Kustom, and J. Wang (University of Wisconsin-Madison)
19-th IEEE Power Electronics Specialists Conference
(April 11-14, 1988)

Studies of Power Conditioning Circuits for Superconducting Magnetic Energy Storage

J. Wang, J. J. Skiles, R. L. Kustom, T. Ise, F. Tsang, and J. Cleary
(University of Wisconsin-Madison) ibid.

超電導エネルギー貯蔵システムにおける電力変換技術
伊瀬敏史

第77回パワーエレクトロニクス研究会資料
（昭和63年5月 講演）

高分子材料の残留電圧、表面電位と不純物および分子・高次構造効果

京兼純、木村伊一、朴大熙、吉野勝美（阪大工）
電気関係学会関西支部連合大会
（昭和62年11月23日 講演）

新素材に関する資料報告

京兼純 等
電気学会、誘電・絶縁新素材調査専門委員会
（第7回会合、昭和63年2月10日）

絶縁性高分子の電氣的性質の膜厚効果と高次構造

朴大熙、吉野勝美（阪大工）、京兼純
昭和63年電気学会全国大会
（昭和63年3月29日 講演）

高電界電気伝導に関する技術報告

京兼純 等
電気学会、固体絶縁材料の電気伝導と絶縁破壊調査専門委員会

(第14回会合、昭和63年6月6日)

オプトロニック・デバイスの使い方

高橋晴雄、志水英二(大阪市大)

日刊工業新聞社刊(昭和63年3月25日 出版)

オプトロニックS形負性抵抗特性を用いた位置検出回路

高橋晴雄、山本善啓

昭和62年度電気関係学会関西支部連合大会

(昭和62年11月23日 講演)

パソコンによるアセンブリ言語学習支援システム

高橋晴雄、大野英明(中部電力)、山本善啓、原田啓

次(大阪府立高専)、乾達巳(大阪府立高専)

ソフトウェアコンファレンス

第4回プロシーディングス p17-p20

(昭和63年3月11日 講演)

高専における工業英語教育について

高橋晴雄

工業英語ジャーナル(日本工業英語協会誌)

Vol.7 No.29 p8-p11

高専の技術英語教育について

高橋晴雄

英語教育(大修館書店)

Vol.36 No.13 p32-p35(昭和63年1月号)

高専における工業英語教育について

高橋晴雄

工業教育(日本工業教育協会誌)

第36巻 第1号 p69-p72(昭和63年1月号)

専門学科から見た高専の技術英語教育

高橋晴雄

全国高等専門学校英語教育研究協議会

研究発表会資料

(昭和63年8月16日 講演)

(情報工学科)

C言語によるパソコンCADのデータ構造

山崎善弘、世古忠、成田紘一

第4回ソフトウェアコンファレンス

(昭和63年3月11日 講演)

濃度ヒストグラムの特性値に基づく印影画像の品質評価

上田勝彦

昭和62年電気関係学会関西支部連合大会

(昭和62年11月22日 講演)

人間と機械照合法の印鑑照合特性の比較検討

上田勝彦

計測自動制御学会第6回ヒューマンインターフェイス

研究会

(昭和63年1月22日 講演)

品質評価機能を有する自動印鑑照合法に関する検討

上田勝彦

昭和63年電子情報通信学会秋季全国大会

(昭和63年9月9日 講演)

A Process Dispatching Algorithm on Multiprocessor Time Sharing Systems

N. Yamai, S. Shimojo (Osaka Univ.) and

H. Miyahara (Osaka Univ.)

The 11th Annual International Computer Software and Applications Conference

(Oct. 9, 1987)

(化学工学科)

生成物分離型光化学ダイオードによる金属電析(同時反応型マルチタイプセルへの応用)

大西康幸、泉生一郎

第18回中部化学関係学会支部連合秋季大会

(昭和62年10月1日 講演)

生成物分離型光化学ダイオードを用いた化学反応

泉生一郎、大西康幸

日本化学会中国四国支部大会

(昭和62年11月23日 講演)

多結晶TiO₂薄膜上における乳酸の光触媒分解

小野田金児(シケン)、松下恵子(シケン)、中川善典

(シケン)、泉生一郎

電気化学および工業物理化学、Vol. 55, No. 12

(1987) 946~947

光化学ダイオードを用いた還元反応

泉生一郎

化学工業、Vol. 39, No. 3 (1988) 28~34

光化学ダイオードを用いる化学反応

泉生一郎

昭和63年第1回電気分析セミナー

(昭和63年2月6日 講演)

生成物分離型光化学ダイオード

泉生一郎

第25回化学関連支部合同九州大会

(昭和63年7月22日 講演)

出土木材の非破壊検査への超音波診断法等の応用

石垣昭、上田勝彦

日本文化財科学会第5回大会

(昭和63年5月3日 講演)

エアリフト型気泡塔の液側物質移動特性

河越幹男、大竹伝雄(中部大・工)

化学工学協会第20回秋季大会

(昭和62年10月10日 講演)

エアリフト型懸濁気泡塔の液側物質移動特性

河越幹男、大竹伝雄(中部大・工)

化学工学協会第20回秋季大会

(昭和62年10月10日 講演)

気泡塔のガス側混合特性

河越幹男、大竹伝雄(中部大・工)

化学工学協会第20回秋季大会

(昭和62年10月10日 講演)

Gas-Phase Mixing in Bubble Columns

Mikio Kawagoe and Tsutao Otake (Chubu Univ.)

Japan-Germany Symposium "Bubble Column"

June 14, 1988 (Dortmund, West Germany)

気泡塔の話

大竹伝雄(中部大・工)、河越幹男

第12回化学工学講習会

(昭和63年8月3日 講演)

カーク・オスマー化学大辞典

河越幹男(分担執筆)

昭和63年9月(丸善)

Neutral Carrier-Type Silver Ion-Selective Elect-

rode Based on Lipophilic Monothiacrown Ether

Masatoshi Oue, Keiichi Kimura*, Kazuhiro Akama*, Minoru Tanaka*, and Toshiyuki Shono* (*Osaka Univ.)

Chemistry Letters, 1988, 409.

Extraction-Spectrofluorimetric Determination of Silver Ion by using Benzothiacrown Ether and Eosin

Masatoshi Oue, Keiichi Kimura*, and

Toshiyuki Shono* (*Osaka Univ.)

Analyst (London), 113, 551 (1988)

チアクラウンエーテル誘導体を用いる銀イオンの抽出蛍光定量

大植正敏、木村恵一、田中稔、庄野利之(阪大工)

分析化学第36年会

(昭和62年10月14日 講演)

脂溶性基をもつチアクラウンエーテルをニュートラルキャリアーとする銀イオン選択性電極

大植正敏、木村恵一、赤間和博、田中稔、庄野利之(阪大工)

イオン選択性電極シンポジウム(分析化学会)

(昭和63年2月5日 講演)

脂溶性チアクラウンエーテルをニュートラルキャリアーとする銀イオン選択性電極

赤間和博、大植正敏、木村恵一、田中稔、庄野利之(阪大工)

日本化学会第56春季年会

(昭和63年4月1日 講演)

透過膜・電極・電解質を一体化させた酸素センサ(1)
溶存酸素の検出

*小久見善八、*野間淳史、片倉勝己、*竹原善一郎(*京大・工)

日本化学会第56春季年会

(昭和63年4月2日 講演)

透過膜・電極・電解質を一体化させた酸素センサ(2)
気相中の酸素の検出

片倉勝己、*小久見善八、*野間淳史、*竹原善一郎(*京大・工)

日本化学会第56春季年会

(昭和63年4月3日 講演)

透過膜・電極・電解質を一体化させた酸素センサ(3)

酸素の検出に及ぼす環境因子の影響

片倉勝己、*小久見善八、*竹原善一郎(*京大・工)

第7回化学センサ研究発表会

(昭和63年9月26日 講演)

(一般教科)

統計調査から見た成績不振学生の状況

小谷稔、宮本止戈雄、京兼純

昭和62年度近畿地区国立高等専門学校教官研究集会
報告書

(昭和62年10月16日)

Syntactical characterizations of amalgamation
property for universal Horn classes

Kenichi Aragane

International Conference on General Algebra,
Krems, Austria

(August, 26, 1988)

Syntactical characterizations of universal Horn
classes with CEP, II

荒金憲一、田端敬昌

第11回半群論シンポジウム

(昭和62年11月5日 講演)

α 、 ω -ビス(メトキシフェニル)アルカンのラジカル
カチオン - 分子内相互作用と化学反応性 -

田畑賢一(阪大産研)、土岐進、高椋節夫(阪大産研)

日本化学会第56春季年会

(昭和63年4月1日 講演)

1,2-ビス(4-メトキシフェニル)シクロプロパンの
ラジカルカチオンを経る異性化 - ベンゼン中における
連鎖機構 -

藤乗幸子(阪大産研)、土岐進、高椋節夫(阪大産研)

一ノ瀬暢之(阪府大工)、水野一彦(阪府大工)、大辻
吉男(阪府大工)

日本化学会第56春季年会

(昭和63年4月1日 講演)

ノルボルナジェンクアドリシクラン誘導体の三重項を
經由する異性化反応 - ビフェニル誘導体を中心に -

中林健一(宮崎大)、土岐進、高椋節夫(阪大産研)

(昭和63年4月3日 講演)

4,4-ジメトキシシトルベンのラジカルカチオンを經由
する異性化反応

石田昭人(阪大産研)、田畑賢一(阪大産研)、土岐進、
高椋節夫(阪大産研)

第31回放射線化学討論会

(昭和63年10月31日 講演)

パルスラジオリシス法によるノルボルナジェンクア
ドリシクラン誘導体の三重項を經由する異性化反応

中村健一(宮崎大)、土岐進、高椋節夫(阪大産研)

第31回放射線化学討論会

(昭和63年10月31日 講演)

三重項を經由する芳香族オレフィンの二量化反応とノ
ルボルナジェン誘導体の異性化反応

中村健一(宮崎大)、大橋恭子(阪大産研)、土岐進、
高椋節夫(阪大産研)

光化学討論会

(昭和63年11月29日 講演)

早期英語学習経験者の追跡調査 - 第三報

樋口忠彦(大阪教育大)、守屋雅博、北村豊太郎(梅
田学園)、三浦一朗(京都教育大)、中山兼芳(加藤学
園)、國方太司

日本児童英語教育学会研究紀要第7号

(昭和63年3月) 43-63

早期英語学習者の追跡調査 第4報 - Writing の
技能を中心に

樋口忠彦(大阪教育大)、守屋雅博、北村豊太郎(梅
田学園)、三浦一朗(京都教育大)、中山兼芳(常葉学
園大)、國方太司

日本児童英語教育学会第9回全国大会

(昭和63年6月19日 講演)

早期英語教育の技能習得に及ぼす影響 - 早期英語学
習者の追跡調査に基づいて

樋口忠彦(大阪教育大)、守屋雅博、北村豊太郎(梅
田学園)、三浦一朗(京都教育大)、中山兼芳(常葉学
園大)、國方太司

第14回全国英語教育学会京都研究大会

(昭和63年8月4日 講演)

学ぶ側から見た College English

守屋雅博

全国高等専門学校英語教育協議会京都研究大会

(昭和 63 年 8 月 6 日 講演)

民間信仰調査上の心構えと手順<地名と地図>

大矢良哲分担執筆 宮田登 他編

民間信仰調査整理ハンドブック<下>

雄山閣出版(昭和 62 年 11 月 5 日)

金剛山の歴史と文化

大矢良哲分担執筆 金剛山総合文化調査委員会編

金剛山記

名著出版(昭和 63 年 4 月 15 日)

朝護孫子寺など 10 項目

大矢良哲 国史大辞典編集委員会

国史大辞典 第 9 卷

吉川弘文館(昭和 63 年 9 月 14 日)

『桜の実の熟する時』論 —キリスト教との関わり—

細井誠司

国文学年次別論文集 近代(-) 昭和 61 年版

(昭和 63 年 8 月)

土屋文明「ふゆくさ」睡蓮の歌

小谷稔

雑誌「ポポオ」第 33 号

(昭和 62 年 11 月 20 日)

土屋文明の「城東区」から「鶴見臨港鉄道」まで

小谷稔

雑誌「ポポオ」第 34 号

(昭和 63 年 3 月 20 日)

土屋文明昭和八年の万葉論

小谷稔

雑誌「ポポオ」第 35 号

(昭和 63 年 7 月 25 日)

奈良工業高等専門学校 研究紀要第24号

平成元年 3月15日発行

編集兼 奈良工業高等専門学校
発行者 大和郡山市矢田町 22

印刷所 共同精版印刷株式会社
奈良市三条大路 2丁目 2番 6号

RESEARCH REPORTS

of
NARA NATIONAL COLLEGE
of
TECHNOLOGY
No. 24, 1988
CONTENTS

Relationship between Fracture Strength in Hertzian Contact and Three-point Bending Strength of Ceramics	Sigeki NISHIDA and Hiroyuki ISHIGAKI	1
Development of Graphic Libraries; IP 100 and BOLT	Mitsuyoshi SIMAOKA and Toshio WAKABAYASHI	7
A Study on Robot System for Education and Study	Toshio WAKABAYASHI, Hirokazu NARITA and Yasuhiro HAYAKAWA	13
Surface Potential Decay and Residual Voltage Measurements in Highly Elongated Polyethylene	Jun KYOKANE, Ichi KIMURA, Doe Hee PARK and Katsumi YOSHINO	19
Power Conditioning Circuit for Superconducting Magnetic Energy Storage	Toshifumi ISE, James J. SKILES, Robert L. KUSTOM and Ju WANG	23
Expression of Cloth by Ray Tracing	Hirokazu NARITA, Tadashi SEKO and Yoshikazu NAKAMURA	29
Study of Signal Processing using Multi Scale Description	Shigeki DOI	33
Mesurement of the Three-Dimensional Coordinate System using He-Ne Laser	Masayuki MIYATA	37
Automatic Measurement of Individual Handwriting Characteristics for Signature Verification	Yoshikazu NAKAMURA, Katsuhiko UEDA and Hirokazu NARITA	41
A Study of Data Expression to Element in a Personal Computer CAD	Yoshihiro YAMAZAKI, Tadashi SEKO and Hirokazu NARITA	47
Parsing of Ambiguous Languages Using Hierarchical Graph Representation	Nariyoshi YAMAI and Tadashi SEKO	51
Identification of Image Quality of Seal Imprint Using Features of Density Histogram	Katsuhiko UEDA	59
Filtering for Predication of Waiting Time	Masakuni TAKI	63
Electrocatalytic Oxidation of Dihydric Alcohols on Platinum Modified by Adatoms	Ikuichiro IZUMI and Yasuyuki OHNISHI	67
Non-Destructive Investigation on the Internal Structures of Waterlogged Archaeological Woods by Ultrasound Echogrphy (I) — Examples of the Ultrasound Echogram obtained from Waterlogged Softwoods —	Akira ISHIGAKI and Katsuhiko UEDA	71
Non-Destructive Investigation on the Internal Structures of Waterlogged Archaeological Woods by Ultrasound Echogrphy (II) — Examples of the Ultrasound Echogram obtained from Waterlogged Hardwoods —	Akira ISHIGAKI and Katsuhiko UEDA	77
Theoretical Consideration on Impregnation Process of Waterlogged Wood with PEG	Mikio KAWAGOE and Akira ISHIGAKI	83
Purification and Desalting of Reduced Form Nicotinamide-adenine Dinucleotide	Shinichro SUYE	87
Dynamics of Crystallization in Maximum Mixing Continuous Crystallizer	Takeshi NAKAYA	91
Regeneration of Activated Carbon (2)	Tadashi UMEHARA	95
Shakespeare's Use of Music in "The Tempest" — How the troubles are solved? —	Kazuaki KAMIZAWA	99
Idealized Human love — On Henry James's The Golden Bowl —	Etsuo KATAYAMA	111
Fundamental Researches on Teaching Writing Skills	Takashi KUNIKATA	117
On the Use of Shall and will in Caxton's Own Writings	Kiyokazu MIZOBATA	127
Pluralistic World and Religion (II) — A Study of William James's Religious Philosophy —	Tsuneyuki KIMURA	140
A Reconsideration on 'Dojo-Hoshi'	Yoshiaki OYA	148
"Dokushinsha (Bachelors)" in Natsume Soseki's Kojin	Mitsuhiro TAKEDA	160
Abstracts		161
For Advanced Education of Technological English in Colleges of Technology	Haruo TAKAHASHI	167
Research Activities in 1987-1988		173