

ISSN 0387-1150

研 究 紀 要

第 25 号

平成元年度

奈良工業高等専門学校

目 次

パーソナル・コンピュータを用いたスペックル干渉法による変位測定	押田 至 啓・西田 茂 生	1
球形燃焼容器の試作と二・三の実験	中田 敏 夫	7
改質ガスにおける還元触媒と酢酸濃度の影響について	中田 敏 夫	13
画像処理を用いたセラミックスのポアソン比の測定	西田 茂 生・押田 至 啓	19
電流型PWM 変換装置による超電導エネルギー貯蔵装置の制御	伊瀬 敏 史	23
電流形アクティブフィルタの基礎特性 (1)	井村 榮 仁	29
マルチスケール記述を用いた信号処理の研究 その2	土井 滋 貴	35
S形負性抵抗特性を用いた光ファイバ・センサ回路	山本 善啓・土井 滋貴・高橋 晴雄	41
物理教育のためのコンデンサーを用いた基礎実験	浅井 文 男	45
保留状態を考慮したファジィ状態識別法について	植村 芳 樹	51
コホーネンネットの階層化モデルによる単音節認識	小澤 誠一・堤 一義・松本 治彌	57
CKY 法による曖昧な文脈自由言語の解析	山井 成良・世古 忠・河田 亨	63
遺跡出土木材の超音波診断法による非破壊的研究 (III) ホロセルロース分布の非破壊的調査	石 垣 昭	71
Substituent Effect of Thiacrown Ethers on Silver Ion Selectivity as Neutral Carrier for Ion-Selective Electrodes		
Masatoshi OUE , Kazuhiro Akama, Minoru TANAKA and Toshiyuki SHONO		
アルギン酸カルシウムゲル内の物質移動	河越 幹 男・末 信一朗	83
アルコールセンサによる清酒中のアルコール定量	末 信一朗・犬田 修 正	87
電卓を用いた指数、対数の授業	北川 誠之助	91
「ヴェニス商人」の憂鬱	神澤 和 明	93
多元的世界と宗教 (III) —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	113
夏目漱石『彼岸過迄』論の前提	武田 充 啓	125
論文抄録		127
教官研究活動一覧表		135

正 誤 表

頁 行	(誤)	(正)
P.58左29行目	<u>ベクトル</u>	<u>ベクトル</u>
P.60左13行目	$S TMU_{\overset{i}{+}1}$	$S TMU_{\underline{i+1}}$
P.67下 凡例	<p>(p) \longrightarrow ラベル “生成規則 (p)” を持つ枝</p> <p>[v] \longrightarrow ラベル “節点 v” を持つ枝</p>	<p>(p) \longrightarrow ラベル “生成規則 (p)” を持つ枝</p> <p>[v] \longrightarrow ラベル “節点 v” を持つ枝</p>
P.71 8行目	survay	survey
P.74 図3	I から <u>IV</u>	I から <u>VI</u>
P.139 左5行目	日本 <u>科学</u> 会	日本 <u>化学</u> 会

パーソナル・コンピュータを用いた スペックル干渉法による変位測定

押田 至 啓・西 田 茂 生

Displacement Measuring System with Speckle Interferometry Using Personal Computer

Yoshihiro OSHIDA and Shigeki NISHIDA

Displacement measurement of the rough surface is very important problem in industrial field. We propose a displacement measuring system with speckle interferometry. By using the TV camera, image processing by the personal computer is achieved and the measurement is performed at real-time-like. We demonstrate the displacement measurement of the bending cantilever.

1. 緒 言

表面が粗面であるような物体の三次元的な変位を高精度に測定することは精密工学，材料力学等の工学的分野では必要不可欠なことであり，その測定法の開発が期待されている。

物体の変位を測定する最も簡便な方法としてはダイヤルゲージやマイクロメータなどを使用した測定が一般的である。しかし，これらの方法は接触式の測定法であるため高い精度は望めない。さらに，一点ごとの測定であるため，面の変位を測定する場合には測定点を何らかの方法で走査する必要があり，実用的ではない。

また，非接触で非常に高精度な測定を行う方法としては光ヘテロダイン法等の光の干渉を用いた方法が多く報告されている¹⁾。しかし，これらの方法は主として鏡面あるいは鏡面に近い表面を持つ物体を対象としており，また，一点ごとの測定であることの困難さは接触式のものと同様でない。

これに対し，粗面物体の面全体の変位量を光の波長程度の精度で測定する方法としてホログラフィ干渉法やスペックル干渉法が用いられている²⁾。ホログラフィ干渉法では質の良い画像を得ることができるが，物体の状態をホログラム乾板上に記録するため高分解能の乾板が必要である。また，乾板の現像処理を行わなければならない

ず，処理に時間がかかるため，実時間の測定を行うには特殊な装置が必要となる。スペックル干渉法では物体の変位前後の2つのスペックル干渉像を写真フィルムに記録し，これらを比較し変位を求める。このため，実時間での測定は困難であるが，ホログラフィ干渉法のような高分解能の乾板は必要としない。すなわち，スペックル干渉法ではスペックルを検出できればよく，低解像力のTVカメラを使用できる可能性がある³⁾。したがって，写真フィルムの代わりにTVカメラを用いて，得られる電気的な画像情報をコンピュータを用いて電気的な処理を行えば実時間的な変位の計測が可能になる^{4) 5)}。

本研究では，非接触で粗面物体の変形を光の波長程度の精度で，面情報として，しかも実時間的に得られるシステムの開発を目的とする。そこで，スペックル干渉像の取り込みがTVカメラでできることに注目し，スペックル干渉法にTVカメラとパーソナル・コンピュータを使用したシステムを製作した。このシステムの測定原理および本システムを用いた測定結果，測定感度について述べる。

2. 測定原理

スペックル干渉法により物体の変位分布を測定するための光学系を図1に示す。変位を測定する物体表面の粗面 P_1 （物体面）および参照面となる粗面 P_2 をレーザ

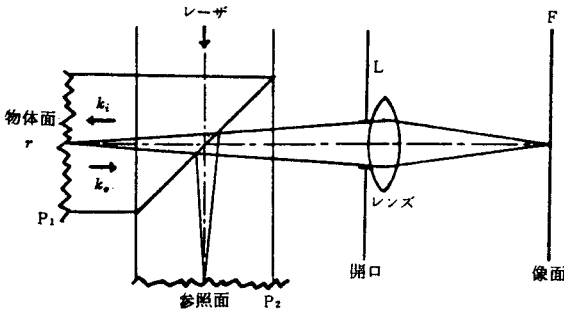


図1. スペックル干渉法による変位測定光学系

からの単色の平面波で照明する。各粗面で散乱された光波はレンズLにより同一の像面F上に結像される。像面F上における粗面P₁からの光波(物体光)を $O(r)$ とし、粗面P₂からの光波(参照光)を $R(r)$ とする。ただし、 r は物体面上の一点であり、参照光の場合には参照面上で物体面上の点 r に対応する点からの光波を考える。また、物体面は像面上に結像しているため、物体面上の点と像面上の点は一対一に対応している。

時刻 t における各光波は次式のように表される⁶⁾。

$$O(r) = \sqrt{I_O(r)} \exp i \{ \omega t + \theta_O(r) \} \quad (1)$$

$$R(r) = \sqrt{I_R(r)} \exp i \{ \omega t + \theta_R(r) \} \quad (2)$$

ただし、 $I_O(r)$ 、 $I_R(r)$ はそれぞれ物体光、参照光のみの強度である。 $\theta_O(r)$ 、 $\theta_R(r)$ はそれぞれ物体光、参照光の光源から像面までの光路長で決まる光の位相で各点 r で一定な値であるが、粗面からの散乱光を考慮するため空間的にはランダムな値となる。また、 ω はレーザー光の角周波数である。

このとき像面上における強度 $I(r)$ は

$$\begin{aligned} I(r) &= |O(r) + R(r)|^2 \\ &= I_O(r) + I_R(r) + 2\sqrt{I_O(r)I_R(r)} \cos \theta(r) \end{aligned} \quad (3)$$

となる。ここで $\theta(r)$ は

$$\theta(r) = \theta_O(r) - \theta_R(r) \quad (4)$$

で与えられる値で、物体光と参照光の間の位相差である。物体面と参照面はともに統計的に異なる粗面であるため、 $\theta_O(r)$ の値と $\theta_R(r)$ の値は空間的に独立なランダムな値となる。したがって、 $\theta(r)$ は空間的にランダムな値となり、これがスペックルの形を決定する。すなわち、 $\theta(r)$ はスペックルのおのおのについて不規則な値をとる。

次に物体面P₁が $d(r)$ だけ変位したとする。この変位により生じる像面上での対応点の変位がスペックルの大きさよりも小さいとすると、像面におけるスペックルの変形はないと考えられる。すなわち $\theta(r)$ の値は変化しない。このとき像面上における光の強度 $I'(r)$ は

$$\begin{aligned} I'(r) &= I_O(r) + I_R(r) \\ &\quad + 2\sqrt{I_O(r)I_R(r)} \cos \{ \theta(r) + \phi(r) \} \end{aligned} \quad (5)$$

と表される。ただし、 $\phi(r)$ は物体が $d(r)$ だけ変位したために生じる光路長の変化で

$$\phi(r) = \{ k_o(r) - k_i(r) \} \cdot d(r) \quad (6)$$

で与えられる。ここで、 $k_o(r)$ 、 $k_i(r)$ はそれぞれ物体光の物体に対する観測方向、照明方向の波動ベクトルで大きさは $2\pi/\lambda$ (λ :光の波長)で光の伝播方向を向いたベクトルである。

変形前後の強度分布 $I(r)$ 、 $I'(r)$ をTVカメラを用いてコンピュータに取り込み、2つの強度分布の差の2乗を計算する。強度の差の2乗は(3)、(5)式より

$$\begin{aligned} \{ I(r) - I'(r) \}^2 &= \\ &= 8I_O(r)I_R(r) \sin^2 \left\{ \theta(r) + \frac{\phi(r)}{2} \right\} \\ &\quad \times \{ 1 - \cos \phi(r) \} \end{aligned} \quad (7)$$

となる。(7)式で \sin^2 の項は $\theta(r)$ がランダムな値であるため、0から1までのランダムな値をとる。これがスペックルに対応している。このスペックルによる搬送波に $1 - \cos \phi(r)$ の項がAM変調の形で加わっている。(7)式から $\phi(r)$ の値を求め、(6)式を用いれば変位 $d(r)$ を得ることができる。(7)式で $\phi(r)$ は \sin^2 の項と $1 - \cos \phi(r)$ の項の両方に含まれているが、 \sin^2 の項の中に含まれるものはスペックルの影響 $\theta(r)$ のため求めることができない。一方、 $1 - \cos \phi(r)$ の項は $\phi(r)$ の値のみで決まるため、この項のみを求めれば $\phi(r)$ の値を得ることができる。そこで(7)式で得られる強度分布の信号に空間的なローパス・フィルタをかけることにより \sin^2 の搬送波成分を取り除き $1 - \cos \phi(r)$ の項のみを取り出す。このとき得られる結果の強度分布 $I_f(r)$ は

$$I_f(r) = K \{ 1 - \cos \phi(r) \} \quad (8)$$

となる。ただし、Kは信号の処理系で決まる定数である。(8)式よりわかるように

$$\phi(r) = 2n\pi \quad (n : \text{整数}) \quad (9)$$

のところでは暗い縞

$$\phi(r) = (2m-1)\pi \quad (m : \text{整数}) \quad (10)$$

のところでは明るい縞が得られ、結果として出力される画像の縞を計数することにより、(6)、(9)、(10)式を用いて物体の変位を求めることができる。

3. 計測システムおよび実験結果

3.1 計測システム

スペックル干渉法により変位を測定するための光学系および信号処理系の構成を図2に示す。

光源としては50mWのHe-Neレーザ（波長632.8nm）を用いた。スペックル像の取り込みにはSONY XC-77 CCDカメラ（有効絵素数768(H)×493(V)）を用いて画像入力インターフェイスを介してパーソナルコンピュータNEC PC-9801VXに入力している。画像入力インターフェイスとしてはアルテックシステムALT768-512-8-2 DMA使用している。これにより横768ピクセル、縦512ピクセルの画像を2画面、8ビットの階調で計算機に取り込むことができる。すなわち、TVカメラで変形前後の2枚の画像を計算機に取り込むことができる。これら2画面の画像データはそれぞれ(3)、(5)式で表される強度分布であり、これらデータから(7)式を用いて計算機で強度の差の2乗を計算すれば物体の変位量に対応したデータを得ることができる。さらに、高周波成分を取り除き、(8)式で与えられる変位成分を求める。このためには図3に示すように、画面上のM（奇数）ピクセル×N（奇数）ピクセルの領域のデータ値の空間的な平均値

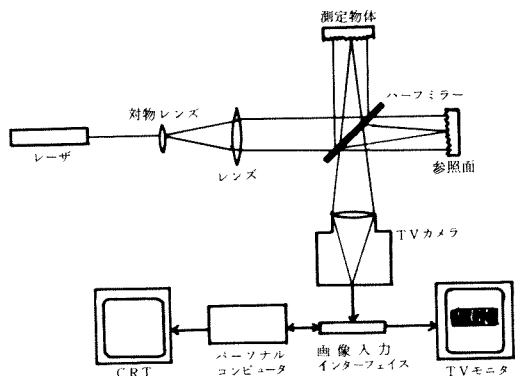


図2 スペックル干渉法による変位測定システムの構成

を求め、その値を領域の中心ピクセルaの値とする。この空間平均を領域を移動させながら全空間にわたって行い、スペックルの影響を取り除いた(8)式に相当する画像を得ることができる。

これらの結果をモニターテレビに表示する。

3.2 実験および実験結果

図2で示した装置を用いて変位測定ができることを検証するための実験を示す。

測定物体としては図4に示すような片持ちばりを使用した。片持ちばりの自由端を最小目盛0.5 μmのマイクロメータヘッドを用いて1.5 μm変位を与え、図2のシステムを用いて変位を計測した。

本システムによって得られた結果を図5に示す。これは空間平均を行う前の画像であり、(7)式で表される強度分布に対応している。図5(a)はTVモニター上に表示された結果であり、図5(b)は強度を高き方向にとり測定面上での光の強度分布を表した結果である。これらの結果からわかるように、ランダムなスペックルの上に、加え

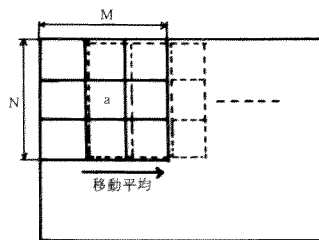


図3 空間平均領域

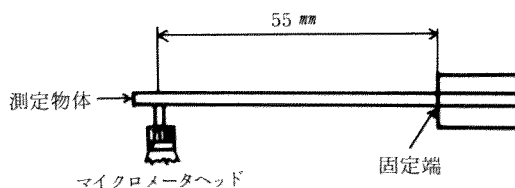


図4 測定物体

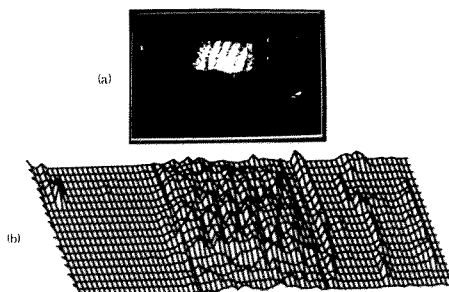


図5 実験結果 (a)モニター画像 (b)強度分布

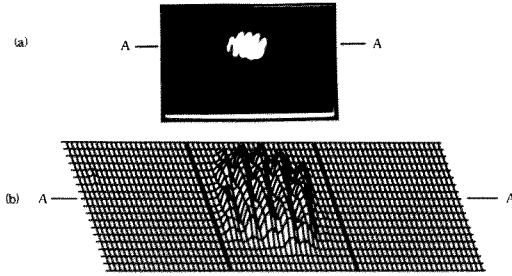


図6 実験結果(空間平均)(a)モニタ画像 (b)強度分布

た変位に対応した明暗の縞がAM変調の形で乗っている。この結果をパーソナル・コンピュータを用いて21ピクセル×21ピクセルの画素領域で移動平均をした結果を図6に示す。図6(a)はTVモニタ像であり、図6(b)は強度分布を表す。この明暗の縞が、明と暗の間で $\lambda/4$ (158.2 nm)の変位があることを示している(6式)。このことから、図6のA-A線上の強度分布から物体の変位量を求めた結果を図7に示す。図7(a)はA-A線上の光の強度分布であり、その明暗の最大、最小位置から変位量を求めた結果を図7(b)に示す。図中の一点鎖線は片持ちはりのたわみを与える理論式から得られた変位量であり、測定結果は理論値にはば一致していることがわかる。

4. 測定感度および測定限界

本法では測定物の変形前後のスペックル像から変形に対応した縞の分布を得ている。これによって得られる明暗の縞はそれぞれ(6式より $\lambda/4$ の変位に対応している。一方(8式)によれば縞の明るさは $1 - \cos \phi(r)$ に比例するため、画面上の縞の明るさを正確に得ることができれば、強度のピーク位置のみでなく各点で $\phi(r)$ の値を得ることができる。しかし、スペックル干渉法では搬送波としてスペックルを用いている。ランダムなスペックルに縞の情報を乗せているため、これから縞の強度分布のみを正確に取り出すことは非常に困難である。したがって本方法で得られるのは縞のピーク位置からの変位の測定のみであり、測定感度は $\lambda/4$ 程度であると考えられる。

次に、測定限界について考察する。スペックルの平均的な大きさは図8に示すように、レンズを見込む角 β と光の波長 λ によって決まる。光軸と垂直な方向には λ/β 、光軸方向には λ/β^2 となる⁷⁾。スペックル干渉法で変位を測定する場合には、変位することによりスペックルがこの大きさ以上に移動すると変形前後でスペックルの対応がとれなくなる。そのため測定可能な変位の大

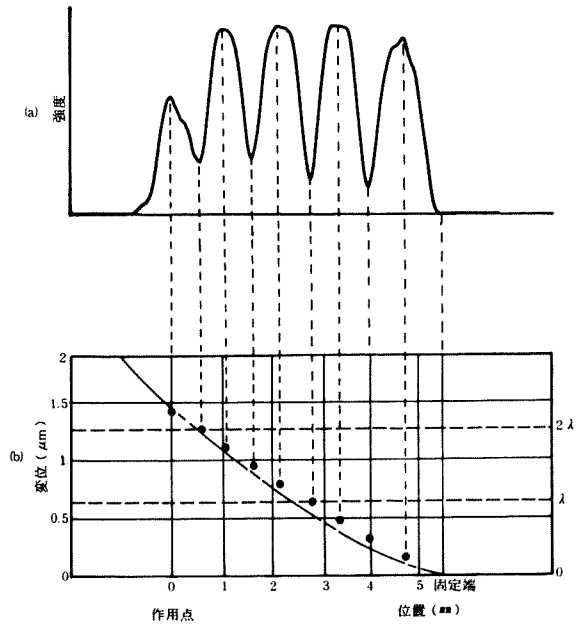


図7 変位分布 (a)強度分布 (b)変位分布

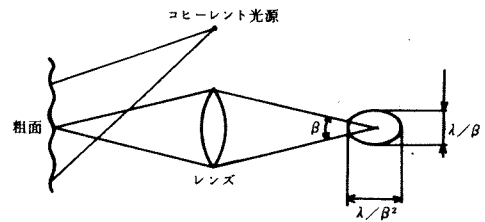


図8. スペックルの平均径

きさはこのスペックルの大きさに制限を受ける。レンズの結像倍率を1とし、レンズのFNoを22とするとスペックルの光軸方向の大きさは物体面上で $76.7 \mu\text{m}$ となり、これが測定可能な変位の最大値となる。

5. 結 言

パーソナル・コンピュータを用いたスペックル干渉法による変位測定システムを製作し、これを用いた変位測定の実験結果を示した。

本方法は物体面および参照面からの散乱光を干渉させ、物体の変形前後のスペックル像の光強度の差の2乗を計算し、空間平均をとることにより変位に対応した明暗の縞を得る。この明暗の縞から変位を求める。また、片持ちはりに既知の変位を与えることによる検証実験を行った結果、理論値とはば一致した結果を得られることを示

した。

さらに測定感度に対する考察より測定感度は $\lambda/4$ 程度であり、また、スペックルに対する考察より測定限界は $70\mu\text{m}$ 程度であることを示した。

参考文献

- 1) 諸隈 肇：光学12 (1983) 45
- 2) 山口 一郎：光学12 (1983) 306
- 3) K.H. Øgmoen and H.M. Pedersen : J. Opt. Soc. Am. 67 (1977) 1578
- 4) S. Nakadate, T. Yatagai and H. Saito: Appl. Opt. 22 (1983) 237.
- 5) 中橋 末三：光学17 (1988) 501
- 6) M. Born and E. Wolf: Principles of Optics (1970) Pergamon Press, 17
- 7) 山口 一郎：応用物理 46 (1977) 803

球形燃焼容器の試作と二・三の実験

中 田 敏 夫

Development of the Combustion Vessels
with Spherical Hollow and a few Trial Experiments by Them

Toshio NAKATA

エンジンの熱効率の向上や有害排気ガスがいかにできるかは、燃焼状態を知る必要がある。そこで、内面が球状であり、球の直径60,75,100,150mmの圧力容器を試作した。実験としては、直径150mmの容器を用いて、混合比1のプロパン-空気混合気を98KPaと196KPaで容器に封入して燃焼させ、それぞれの燃焼速度を求めた。その結果、試作した容器が燃焼速度を求めるのに使用できることがわかった。

1. まえがき

エンジンの効率向上と排気ガス中の有害成分の減少を図ることは大きな研究課題である。そのためには、燃焼速度を知り、燃焼状態を研究していく必要がある。燃焼速度とは、火炎が未燃ガスに侵入する速度の火炎面に垂直な成分であると定義され、これは混合気の組成はもちろんその圧力や温度により影響をうける。そして混合気の燃焼を大別すると、乱流燃焼と層流燃焼とに分けられる。乱流燃焼における燃焼速度を求めることは、みだれを伴うため測定が大変困難であるので、層流燃焼についての研究が行われている。また一般に解析を容易にするため幾何学的に単純なものとして、バーナ定置火炎法と球状進行火炎法が用いられている。ブンゼンバーナを用いたバーナ定置火炎法には、Michelson, W.により考えられた火炎傾斜角による方法と、Gouy, G.により考えられた火炎表面積による方法とがある。球状進行火炎法には、シャボン玉を用いる定圧燃焼法と、球状密閉容器を用いる定容燃焼法とがあり、これらの方法は球対称の関係から燃焼速度が比較的簡単な形であらわされる¹⁾。

そこで、解析が容易な定容燃焼法である内面が球状の圧力容器を試作することにし、相似律が成り立つかどうかを調べるために、内面の球の直径60,75,100,150mmのものを4個試作したのである。実験は、直径150mmの容

器を用いてプロパン-空気(混合比1)の混合気における燃焼速度を求めた。この結果、試作した容器は燃焼速度を求めるのに使用できることがわかったので報告するものである。

2. 実験装置

実験装置の概略を図1に示す。実験装置は、試作した内面に球状のへこみを有する圧力容器を中心として、点火装置、混合気の封入および排気の装置、ひずみ式圧力計と記録計から構成されている。

点火装置は、改良した電極、トランス、バッテリーから成っている。混合気の封入と排気の装置は、真空ポンプ、水銀柱マンオメータ、精密圧力計(測定最高圧力0.981MPa、最小目盛0.981KPa)と混合気用容器を用いる。

燃焼容器内の圧力変化は、ひずみ式圧力計(水冷却式、測定最高圧力4.905MPa)により測定され、その結果は記録計に記録されるようになっている。

記録計は、7chデータレコーダ、トランジェントレコーダ、オシロスコープとX-Yレコーダを用いている。

なお、精密圧力計とひずみ式圧力計は分銅式圧力計により、前もって検定を行い用いた。

2. 1 球形燃焼容器

2. 1. 1 球形燃焼容器の強度計算

球形燃焼容器の強度計算は、継ぎ目なしの単純な球形容器と仮定して行った。図2は、内半径 r_1 、外半径 r_2 の容器に、内圧 P_1 、外圧 P_2 が生じた状態を示している。任意の半径 r における微小部分 dr について考えると、その外側には応力 $\sigma_r + d\sigma_r$ が、内側には応力 σ_r が、周方向には応力 σ_θ が働いている。これらの力が釣り合っていると考えると次式が得られる。

$$2\pi r dr \sigma_\theta = \pi (r+dr)^2 (\sigma_r + d\sigma_r) - \pi r^2 \sigma_r \quad (1)$$

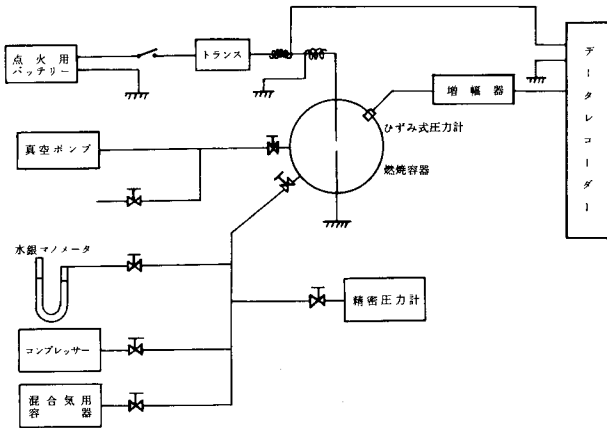


図1 実験装置

これを変形して得られた次式から強度計算を行った²⁾。

$$\sigma_\theta = \frac{P_1 r_1^3}{r_2^3 - r_1^3} \left(\frac{r_2^3}{2r^3} + 1 \right) - \frac{P_2 r_2^3}{r_2^3 - r_1^3} \left(1 + \frac{r_1^3}{2r^3} \right) \quad (2)$$

$$P_1 = \frac{\sigma_\theta (r_2^3 - r_1^3) + P_2 r_2^3 \left(1 + \frac{r_1^3}{2r^3} \right)}{r_1^3 \left(\frac{r_2^3}{2r^3} + 1 \right)} \quad (2')$$

$$\sigma_r = \frac{P_1 r_1^3}{r_2^3 - r_1^3} \left(\frac{r_2^3}{r^3} - 1 \right) - \frac{P_2 r_2^3}{r_2^3 - r_1^3} \left(1 - \frac{r_1^3}{r^3} \right) \quad (3)$$

$$\tau = \frac{3 r_2^3 r_1^3 P_1}{4 r^3 (r_2^3 - r_1^3)} \quad (4)$$

ここで τ はせん断応力であり、安全率は、容器に動荷重がかかるものとして安全のために20とし、容器の材質はS50Cを用いるため $\sigma_\theta = 35.3\text{MPa}$ を代入した。また容器の肉圧の最も薄い部分が14mmであるため、外半径

r_2 は内半径 r_1 より14mm大きいものとして計算を行った。

つぎに、容器を半球に2分割し、ボルトとナットにより球形燃焼容器としたため、これらのボルト・ナットの許容応力は次式により求めた。

$$\sigma_o = \frac{\sigma_{\max}}{\alpha} \quad (5)$$

$$\sigma_B = \frac{\sigma_o A_B n}{A_S} \quad (6)$$

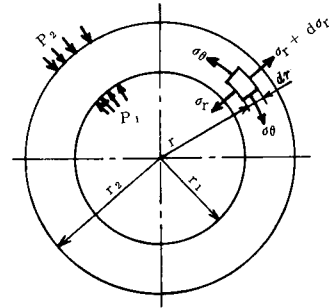


図2 厚肉球殻の応力状態

ここで、 σ_o は基準応力、 σ_{\max} は材料の許容引張応力、 α は安全率（応力集中係数を含む）、 σ_B はボルトに対する許容応力、 A_B はボルトの断面積、 n はボルトの本数、 A_S は球の投影面積（ $=\pi r_1^2$ ）である。

ボルト・ナットの材質はS50Cを用い $\sigma_{\max} = 706\text{MPa}$ とし、安全率はボルト・ナットの切りかきの影響があるものとし、応力集中係数を考慮して10とする³⁾。以上の計算結果を表1に示す。

表1. 許容応用

容器の内径 r_1 (cm)	容器の許容 圧力 P (MPa)	半径方向 応力 σ_r (MPa)	せん断応力 τ (MPa)	ボルトに対 する許容内 応力(MPa)
6.0	29.4	29.4	32.3	7.0
7.5	24.5	24.5	29.9	4.4
10.0	18.9	18.9	27.2	2.5
15.0	12.9	12.9	24.2	2.6

2. 1. 2 球形燃焼容器の製作

球形燃焼容器の寸法を図3、図4および表2に示す。図に示すように、容器には電極、ひずみ式圧力計およびバルブなどを接続するためにM14のねじ穴が各5個、計10個あけられている（ただし、内径60mmのものは各3個、計6個）。容器の外表面は、旋盤、フライス盤および

平面研削盤により仕上げ、内面は旋盤により球形に仕上げた。また内面は燃焼ガスによる腐蝕を防止するためにクロームメッキを施してある。容器1と2の合わせ面には混合ガスが漏れるのを防ぐために、その箇所には厚さ2mmの銅製ガスケットを入れ、ボルト・ナットにより締め付けるようにした。

2.2 電極

一般自動車用点火栓の陰極部分を切り取り、ねじ部の長さを容器壁厚さと同じ寸法に削った。陽極には直径2mmの鋼棒を取り付けた。このような電極を容器1と2に取り付け、これらの電極間隔は、容器中央で約1mmにし、

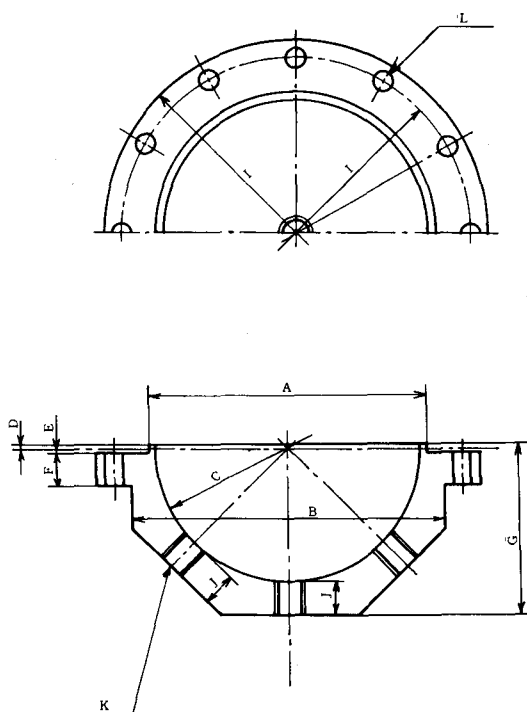


図3. 球形燃焼容器1

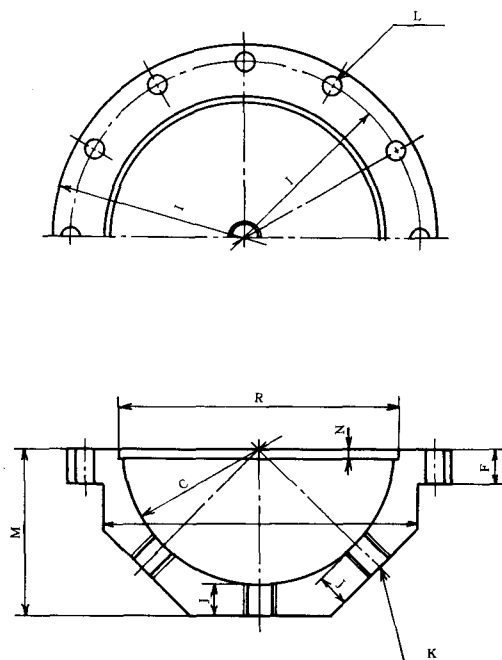


図4. 球形燃焼容器2

表2. 球形燃焼容器の各部寸法 (単位:mm)

	φ80	φ75	φ100	φ150
A	φ66	φ81	φ106	φ156
B	φ80	φ94	φ120	φ176
C	球60	球75	球100	球150
D	3.1	3.1	3.1	3.1
E	0.9	0.9	0.9	0.9
F	12	12	12	20
G	47.1	54.6	67.1	97.1
H	φ116	φ130	φ156	φ216
I	φ96	φ110	φ136	φ196
J	14	14	14	14
K	M4P1.25X3	M4P1.25X5	M4P1.25X5	M4P1.25X5
L	φ8.5X8	φ8.5X8	φ8.5X8	φ8.5X8
M	44	51.5	64	94
N	5	5	5	5
R	φ66	φ81	φ106	φ66

球形容器の中心で点火するようにしてある。

2.3 混合装置

プロパン-空気混合気を作るための装置の概略を図5に示す。混合気の作成方法は、真空ポンプで混合気用ボンベ内を真空にし、ダルトンの分圧の法則により計算した所定の分圧まで純プロパンガスを入れる。つぎにコンプレッサにより空気を徐々に入れ、所定の分圧まで封入する。その後このポンペを1週間ほど放置する。この混合気をガスクロマトグラフで分析した結果、約1/1000の精度で混合していることを確かめられた。

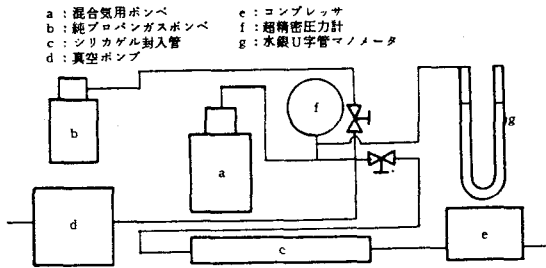


図5. プロパン-空気混合装置

3. 実験方法

水銀柱のU字管マンオメータを見ながら、球形燃焼容器内を真空ポンプにより真空にし、超精密圧力計の指示を見ながら所定の圧力まで、混合気用ポンベ内のプロパン-空気混合気を球形燃焼容器内に充填する。実験を行った充填圧力（以下初期圧力という）は0.098MPaと0.196MPaで、混合気の混合比は1である。つぎに容器の中心で電気火花により点火させ、点火からの容器内の圧力変化をひずみ式圧力計により測定し、これをデータレコーダに記録させて、その後データレコーダを再生させ、オシロスコープで波形を見ながら適切なものをトランジェントレコーダに記憶させる。この記憶された圧力波形をX-Yレコーダに再生させる。

4. 実験結果および考察

図6は、初期圧力0.196MPa、混合比1における燃焼容器内の圧力変化の測定結果を示している。最初に圧力がはね上がっているが、これは点火ノズルによるもので、ここで混合気に点火されたことを示している。これをもとにして以下のようなLewis およびvon Elbeの方法により燃焼速度の計算を行った⁴⁾。

燃焼質量割合 n と圧力 P との間には十分よい近似としてつぎのような関係がある。

$$n = \frac{P - P_i}{P_e - P_i} \quad (8)$$

ただし、 P_i は初めの圧力、 P_e は終わりの圧力である。したがって、質量割合 n のガスが点火以前にしていた球の半径を r_i とすれば

$$\frac{r_i}{r_1} = \left(\frac{P - P_i}{P_e - P_i} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (9)$$

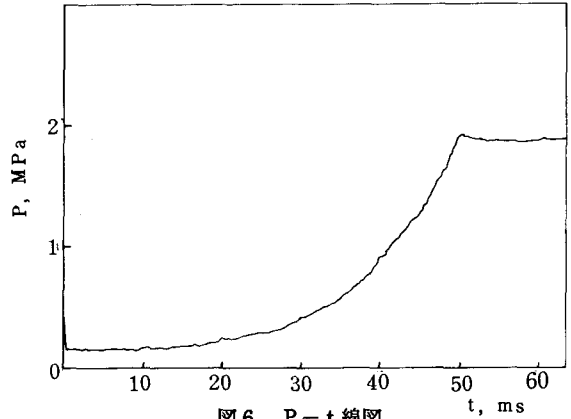


図6. P-t線図

ただし、 r_1 は容器内半径、 P はある時間で燃焼している時の圧力である。このガスが燃焼してしめる球の半径を r_b 、体積を V_b とすれば、 V_b は容器の容積 V から未燃ガスの体積をひいたものであるから

$$V_b = V - \frac{m_i (1 - n) RT_u}{P} \quad (10)$$

ただし、 m_i は点火以前の混合気の本数、 T_u は未燃ガスの温度、 R はガス定数である。ここで、ガス定数 R は

$$R = \frac{8317}{M} \quad (11)$$

M は混合気の本分子量の総和であり、

$$M = M_1 \frac{V_1}{V} + M_2 \frac{V_2}{V} \quad (12)$$

ここで、 M_1 はプロパンガスの分子量で44.1kg/m³、 M_2 は空気の分子量で29.0kg/m³、 V_1/V はプロパンガスの体積割合で1/24.9、 V_2/V は空気の体積割合で23.9/24.9である。これから

$$\frac{r_b}{r_1} = \left(1 - \frac{P_i}{P} \frac{T_u}{T_i} \frac{P_e - P}{P_e - P_i} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (13)$$

さらに、断熱変化として、

$$\frac{T_u}{T_i} = \left(\frac{P}{P_i} \right)^{\frac{\gamma_u - 1}{\gamma_u}} \quad (14)$$

ただし、 T_i は点火以前の混合気の本温度、 γ_u は未燃ガスの断熱指数である。ここで、断熱指数 γ_u は

$$\gamma_u = \frac{C_p}{C_v} \quad (15)$$

C_p は定圧比熱、 C_v は定容比熱であり、ダルトンの法則より

$$C_p = \frac{m_1}{m} C_{p1} + \frac{m_2}{m} C_{p2} \quad (16)$$

$$C_v = \frac{m_1}{m} C_{v1} + \frac{m_2}{m} C_{v2} \quad (17)$$

また、

$$m_1 = \frac{V_1}{V} \frac{M_1}{M} m \quad (18)$$

$$m_2 = \frac{V_2}{V} \frac{M_2}{M} m \quad (19)$$

$$m = \frac{P_i V}{R T_i} \quad (20)$$

ここで、 m_1/m はプロパンガスの混合気に対する質量割合、 m_2/m は空気の混合気に対する質量割合、 C_{p1} はプロパンガスの定圧比熱で1.562KJ/kgK、 C_{p2} は空気の定圧比熱で1.005KJ/kgK、 C_{v2} はプロパンガスの定容比熱で1.372KJ/kgK、 C_{v2} は空気の定容比熱で0.716KJ/kgK、 m は容器内の混合ガスの総質量、 V は容器内の体積である。これらから断熱指数 $\gamma_u = 1.37$ となる。

既熱ガスが膨張しなかったとすると、 dr_i は微小時間 dt の間に火炎が通過すべき球殻(温度 T_i , 圧力 P_i)の厚さを表すことになり、その体積は

$$4 \pi r_i^2 dr_i \quad (21)$$

実際には、球殻の半径は r_i から r_b に膨張し、圧力は、 P に、温度は T_u になるから、その体積は

$$4 \pi r_i^2 dr_i \frac{T_u P_i}{T_i P} \quad (22)$$

球殻の厚さは $S_u \cdot dt$ であるから、その体積はまた、

$$4 \pi r_b^2 S_u dt \quad (23)$$

式(22)と式(23)とを等置して式(14)に代入すれば、燃焼速度 S_u は次式のように求まる。

$$S_u = \frac{dr_i}{dt} \left(\frac{r_i}{r_b} \right)^2 \left(\frac{P_i}{P} \right)^{\frac{1}{\gamma_u}} \quad (24)$$

初期圧力 P_i 、 $P-t$ 線図より得られる P 、 $P-t$ 線図をもとに式(9)より得られる r_i-t 線からの r_i と dr_i/dt ,

式(13)より求められると r_b と先に求めた r_u を式(24)に速度は、初期圧力98KPaの場合49.1cm/sで、初期圧力196KPaの場合45.1cm/sであり、従来おこなわれたプロパン-空気混合気の常温・常圧での最大燃焼速度36~48.5cm/sとはほとんど等しい。このことより試作した球形容器は燃焼容器として十分使用できることがわかった。

5. あとがき

以上の結果より、試作した球形燃焼容器は、燃焼により発生する圧力に対して容器、ボルト共に十分耐え得ることが確かめられた。またプロパン-空気混合気で行った最大燃焼速度は、従来行われたものにはほぼ等しく、この容器は球形燃焼器として十分使用できることがわかった。今後は、この球形燃焼容器を用いて、初期圧力、温度、混合比、容器の直径により、燃焼速度がどのように影響されるかを解明したいと考える。

文 献

- 1) 熊谷, 燃焼, (昭和51), 98-128, 岩波書店
- 2) 機械工学便覧, 第4編, 材料力学, 4-103 日本機械学会
- 3) 中沢, 小泉, 固体の力学, (昭和50), 233-235 養賢堂
- 4) Bernard Lewis. Guenther von Elbe, Combustion Flames and Explosions of Gases, (1961), 201-212, Academic Press, New-York and London.

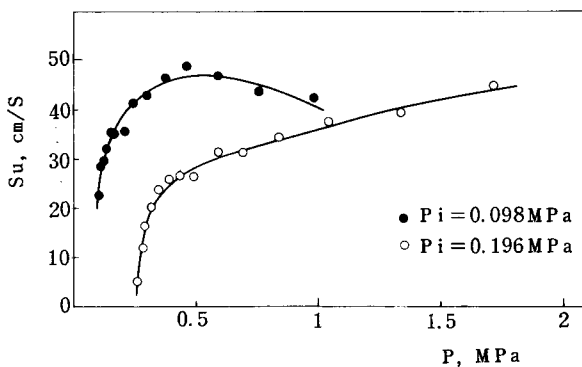


図7. $S_u - P$ 線図

改質ガスにおける還元触媒と酢酸濃度の影響について

中 田 敏 夫

The Effect of Chemically Reduced Catalysts and Concentration of Acetic Acid to the Production of Reformed Gas.

Toshio NAKATA

酢酸水溶液にTiO₂粉末(触媒)を混ぜて光を照射する光触媒作用により燃料の改質を行う際、TiO₂粉末の還元の数値と酢酸水溶液濃度により、どのような影響があるのかについて調べた。その結果、TiO₂を400℃の水素雰囲気中で約10分間還元したものを用い、酢酸水溶液濃度30%付近で改質の効果が最大となることを確かめた。

1. まえがき

内燃機関の燃料である石油系液体燃料の消費量が増大し、エネルギー危機が深刻化している。このため長期間安定して供給され、しかも安価な代替燃料が必要とされる。このために核融合や太陽エネルギー等の研究が行われている。また内燃機関用として、アルコールや水素燃料等の研究も進められている¹⁾。このような危機に対して、触媒を利用した光触媒作用により燃料の改質を行おうとするもので、触媒としてはn型半導体であるTiO₂を、改質する燃料には製法が簡単である酢酸を選んだ。触媒作用に影響を与える因子としては、TiO₂量、TiO₂の還元度、酢酸水溶液の濃度、温度、光の強さ等が考えられ、前報²⁾では、TiO₂の量と光の照射時間について行った。本報においては、TiO₂の還元の数値と酢酸水溶液の濃度により、燃料の改質効果にどのような影響があるのかを調べたもので、還元の数値については、温度400℃の水素雰囲気中にTiO₂粉末を0、5、10、15、30、45、60分間入れて還元したものについて、また水溶液濃度については、容積パーセントで10、20、25、30、40、50%と酢酸の量を変化させて行ったものである。

2. 原 理

光触媒作用の原理について説明する。図1は酢酸水溶

液とTiO₂を接触させた状態を示すもので、縦方向は電子のエネルギーレベルである。低い方から価電子バンド(V.B)、禁止バンド(B.B)、伝導バンド(C.B)である。価電子バンドは電子が充満しているエネルギーレベルで、禁止バンドは一般に電子が安定な状態では存在す

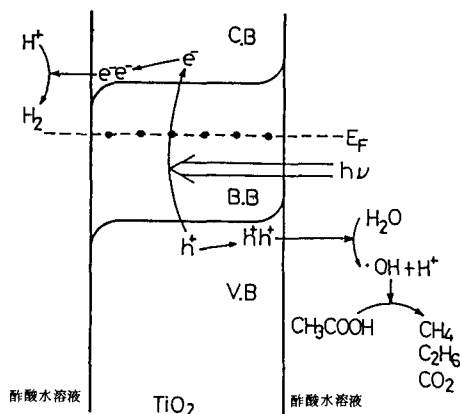
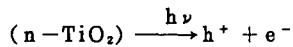


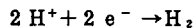
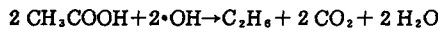
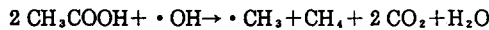
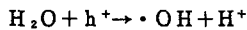
図1. TiO₂の光触媒作用による酢酸水溶液の分解

ることのできないエネルギーレベルで、伝導バンドは電子が自由に移動することができるエネルギーレベルである。また、E_FはFermi準位といい、電子が存在できる最高のエネルギーレベルである。二つのFermi準位のE

エネルギーレベルの異なる層を接触させた場合、電子はエネルギーレベルの低い方が安定な状態となるので、Fermi準位の高い層の電子は低い層へ移り、両者の電位が変化する。そのため低い層のFermi準位のエネルギーレベルが上がり、両方のFermi準位のエネルギーレベルが等しくなったところで平衡状態となる。また、この電子の移動により正電荷の層が半導体内部にできるので、半導体内部の電位は変化し、これに従って各バンドも図のような勾配をもつ。ここに光エネルギー ($h\nu$) を与えることにより、価電子バンドの電子が励起され伝導バンドに移動し、その電子の抜けた跡に正孔 (h^+) が生じる。この反応を次式に示す。



また図1に示すように、上式の反応により生じた自由電子および正孔は、バンドの勾配に沿って接触面に移動し、そこで酢酸水溶液と反応を起こす。この反応を次式に示す。



このようにして、酢酸水溶液が CH_4 、 CO_2 、 C_2H_6 、 H_2 に改質される⁹⁾。

3. 実験装置

TiO_2 を還元 (水素雰囲気中、 $400^\circ C$) するための還元装置を図2に示す。この装置は TiO_2 粉末を入れるステンレス製円管 (内径28mm、長さ150mm)、加熱部、测温部、および水素ガスボンベより成っている。水素ガスボンベと円管は内径2mmのステンレスチューブで接続されており、出口も同じチューブで接続し大気中に水素を放出するようになっている。加熱部は、円管外周にニクロム線を巻き付け加熱量は可変抵抗器で調整できるようにしてある。また加熱損失を防ぐため、円管は断熱材で覆われている。测温部はC-A熱電対を円管表面に取り付け電圧計により測定するようになっている。なお前もって円管表面の温度と円管内部の温度との関係を求めた結果、表面温度 $700^\circ C$ で内部温度が $400^\circ C$ であったので、表面温度を $700^\circ C$ に保って TiO_2 を還元することにした。

光触媒実験装置の概要を図3に示す。装置は反応容器、攪拌装置、500W超高压水銀灯 (以下水銀灯という)、改

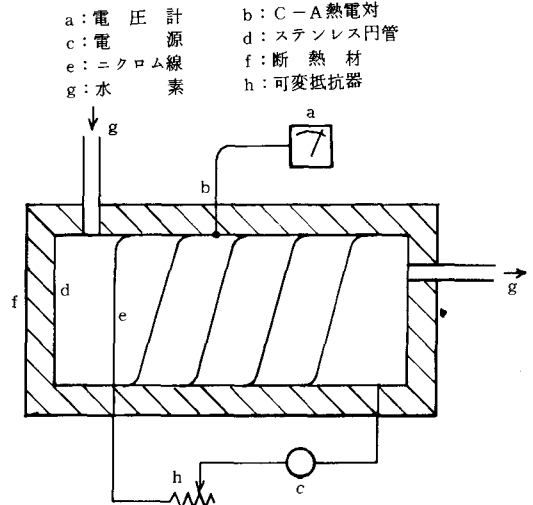


図2. 還元装置

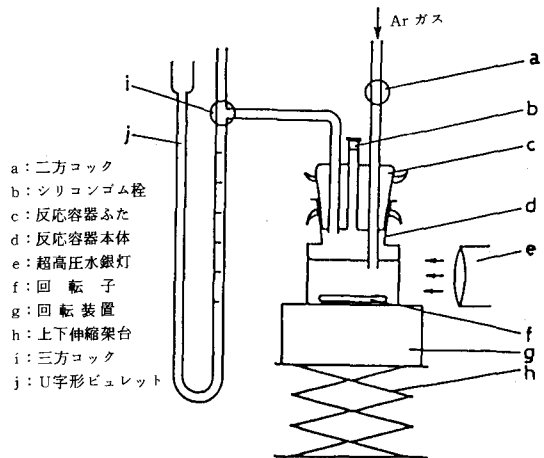


図3. 光触媒実験装置

質ガス測定用U字形ビュレットおよび反応容器内の空気を脱気するためのArガスボンベから構成されている。水銀灯と反応容器の中心との距離は95mmである。反応容器は、光の損失を少なくするために石英ガラス製で方形 (一辺46mm、高さ45mm、肉厚2mm) のものを用いた。容器のふたにはガラス管が2本付けられてあり、一方はU字形ビュレットと結び、途中に三方コックを介している。他方は脱気用のものでこれには二方コックをつけてある。この二本のガラス管の間には、発生した改質ガスをサンプリングするための孔 (内径4mm) を設けてある。U字形ビュレット (内径4mm) には最小目盛0.05ml、最大5mlまで読めるように目盛が付けられて

あり、改質ガスが溶け込まないように飽和食塩水が入れられてある。発生する改質ガスの量は、この食塩水の水位の変化量を読むことにより測定する。触媒と酢酸水溶液とを均一にするために、回転子を反応容器に入れて攪拌できるようにした。

発生する改質ガスを分析するのにガスクロマトグラフを用い、カラムの構成は図4に示すような構成である。設定値はカラム温度60℃、気化室温度90℃、検出器温度100℃としキャリアガスはArを用いた。その流量は50 ml/minである。

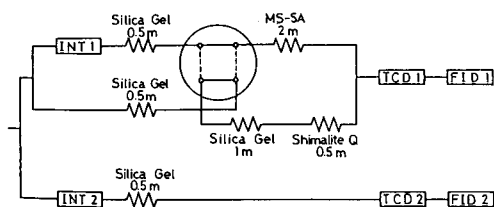


図4. カラム構成図

4. 実験方法

4.1 触媒TiO₂の還元

図2のステンレス円管内にTiO₂粉末15gを入れ、円管内の空気を脱気するため水素を10分間流した後、温度を上昇させる。表面温度700℃（内部温度400℃）になった時点より還元時間を計りはじめる。今回行った還元時間は5、10、15、30、45、60分であり、この間TiO₂粉末の全体を均一に還元するため数回円管をゆらした。還元時間後は、水素を通したままで冷却を行い、常温になった所で水素を止め円管よりTiO₂粉末を取り出した。

4.2 改質ガス発生量の測定

反応容器の中に大気中の空気が含まれていると改質ガスと反応が起こる恐れがあるのでArガスを反応容器内に流して脱気する。脱気時間は次のようにして決めた。

反応容器に蒸留水を60ml入れ、Arガスを通気して5分おきに容器内のガスをサンプリングし、ガスクロマトグラフで分析した結果、25分で容器内の空気量が約0.3%となり、これ以上通気を行ってもほとんど変わらないという結果が得られたので25分間とした。

脱気が終わると回転子によって容器内の触媒と酢酸水溶液を攪拌させながら光を照射し、発生する改質ガスの

量をビュレットによって10分おきに測定した。

実験で得られた改質ガスの量は次式によって標準状態(133.3 Pa, 0℃)に換算した。

$$V_0 = V \times \frac{273}{273+t} \times \frac{P}{133.3}$$

ただし、

V₀ ; 標準状態における改質ガス容積 (ml)

V ; 実験時における改質ガス容積 (ml)

t ; 実験時の室温 (℃)

P ; 実験時の大気圧 (Pa)

である。

触媒の還元の影響については、市販されているアナターゼ型TiO₂を0、5、10、15、30、45、60分間還元したものをを用いて行い、酢酸水溶液は酢酸16ml、蒸留水44mlで一定とし、水溶液に混入するTiO₂の量も0.8gで一定とした。

酢酸水溶液の濃度の影響については、10分間還元したTiO₂を用い、その量は0.8gで一定とした。そして酢酸水溶液は60mlで一定とし、その濃度は容積パーセントで10、20、25、30、40、50%と変化させて、それぞれの改質ガスの発生量を測定した。

5. 結果および考察

TiO₂の還元時間の違いによる改質ガス発生量の変化を調べた結果を図5および図6に示す。図5は改質ガス発生量の時間的変化を、図6は還元時間の変化による改質ガス総発生量を示している。

図5が示すように、改質ガス発生量は時間の経過と共に増加しているが、時間に対する増加率は減少している。この傾向は、前報²⁾の結果と全く同じである。

また、図6より還元時間が温度400℃の水素雰囲気中で約10分のものを用いた場合、改質ガス発生量が最大となるのがわかる。これは、TiO₂を還元することによりTiO₂粒子に格子欠陥を生じ、そのため還元時間を増すことにより格子欠陥が多くなり、それにともない改質ガスの発生量も増加する。ところが、それ以上に還元時間を増すとn型半導体であるTiO₂から酸素が分離して金属であるTiに近づくため、半導体の触媒としての効果がなくなり改質ガス発生量が減少してゆくのではないかと考えられる。

つぎに、酢酸水溶液の濃度の違いによるガス発生量の変化を調べた結果を図7および図8に示す。図7は改質ガス発生量の時間的変化を、図8は酢酸水溶液の容積濃度の変化による改質ガスの総発生量を示している。

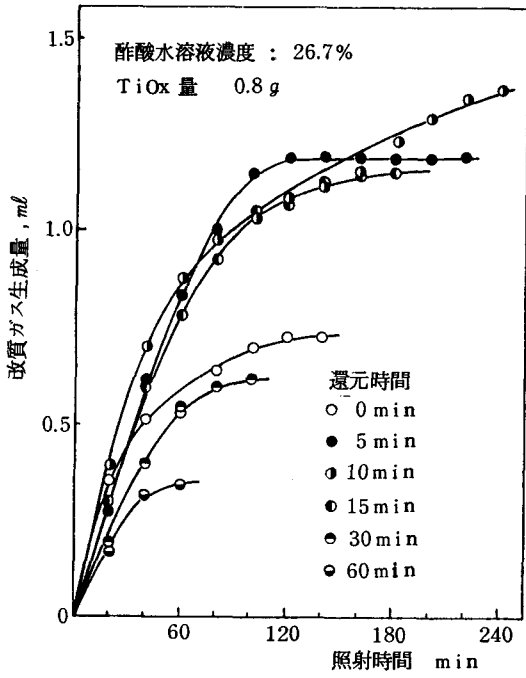


図5. 還元時間の違いによる生成量の時間的変化

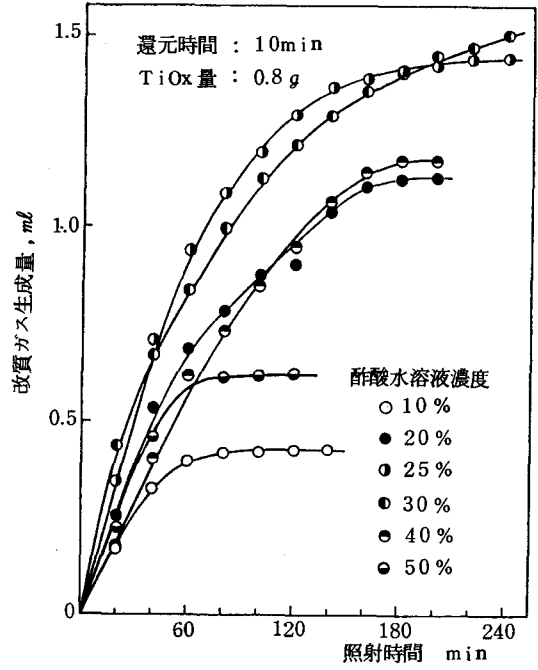


図7. 酢酸水溶液の濃度の違いによる生成量の時間的変化

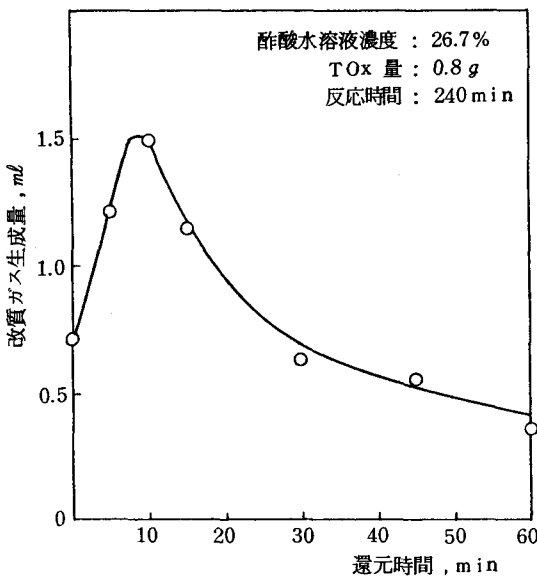


図6. TiO₂還元時間の違いによる改質ガス生成量

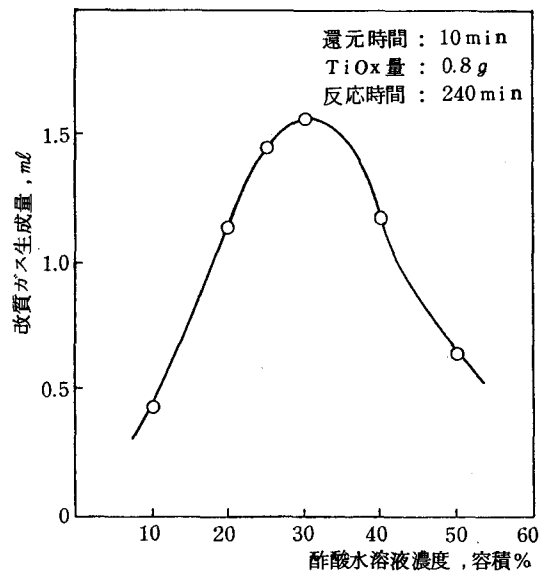


図8. 酢酸水溶液の濃度による改質ガス生成量

図7は、図5で述べたのと同じ傾向を示している。

また、図8より、酢酸水溶液の容積濃度が30%付近で改質ガスの発生量が最大となることがわかる。この原因としては、酢酸濃度を増すことによって、 TiO_2 に接する酢酸の量が増し、それにともなって改質ガス発生量も増加するが、それ以上に酢酸の濃度が増すと CH_3COOH の吸着被膜が TiO_2 の表面にでき、 TiO_2 を不活性化していくために改質ガスの発生量が減少していくのではないかと考えられる。

なお、発生した改質ガスをガスクロマトグラフで分析した結果、このガスの成分割合は CH_4 が、約98%、 C_2H_6 が約0.8%、 H_2 が約1.2%であり、 CO_2 は極めて微量のため測定できなかった。この成分割合は、どの条件下においてもほとんど差がないことがわかった。

6. 結 論

触媒作用に影響を与える因子の中で、 TiO_2 の還元時間と酢酸水溶液の濃度の二つの因子について、光触媒作用が最も効率よく働く条件を探した。

その結果、温度400℃の水素雰囲気中で TiO_2 を10分間還元した場合、改質効果が最大となり、酢酸水溶液の容積濃度は、30%付近で最も効率が良いということがわかった。

改質効果を上げるその他の因子としては水溶液の温度、光の強さ、光の種類などが考えられ、また TiO_2 にPtを担持させることによって効果を上げることができるといった研究結果⁹⁾も報告されており、将来の実用化が期待できる。

最後に本研究にあたり、終始有益な助言を賜った本校化学工学科泉生一郎教授に厚くお礼を申し上げます。

文 献

- 1) 山田陽一, 内燃機関, 22-273 (昭58-1), 23
- 2) 中田敏夫, 奈良高専研究紀要第20号(1984), 37
- 3) 坪村宏, 光電気化学とエネルギー交換, (昭和55), 東京化学同人
- 4) Hiroshi Y. Yoshiyuki T.; Hideo T.; J.B.J. Phys. Chem. 1983, 87, 1417

画像処理を用いたセラミックスのポアソン比の測定

西田 茂生・押田 至 啓

Poisson's Ratio Measurement of Ceramic Materials Using Image Processing

Shigeki NISHIDA and Yoshihiro OSHIDA

Poisson's ratio of ceramic materials isn't clarified, at present. Moreover, its measuring method isn't also standardized. Therefore, we developed Poisson's ratio measuring system of ceramic materials.

Under four-points bending, we can get some hyperbolic contour lines of displacement. We got these lines using real-time holographic interferometry. We took the contours of displacement in personal computer's memories as image data. After several image processings, we got an asymptote of the hyperbolic contour lines, and measured the Poisson's ratio from this line. The reproducibility of this measuring system was certified.

1. 結 言

現在、構造材料としてセラミックス材料が注目され、実際に使用されはじめている。しかし、その力学的諸物性値は、金属材料ほどには明確にされておらず、その上これらの物性値を具体的に評価するための基準すら定まっていないのが現状である。

本研究は、セラミックス材料の力学的諸物性値のひとつであるポアソン比の測定方法を提案し、ポアソン比を自動的に測定するシステムの開発を行った。

セラミックスは一般に、金属材料よりも小さいポアソン比を有する。通常ポアソン比の測定には、ひずみゲージを用いた方法を用いるが、この方法では、ひずみ量が金属材料に比べて小さなセラミックス材料の場合、測定が困難である。そこで本研究では、セラミックス材料のポアソン比を、画像処理を用いて、平板試料を四点曲げの応力状態にしたときに生じる変位等高線から求めることを試みた。すなわち、四点曲げによって得られる変位等高線を実時間ホログラフィ干渉システムで撮影し、それを画像データとしてビデオテープに記録しておく。ビデオテープに記録された画像データをパソコンにとり込

んで、各種の画像処理を行うことによって、ポアソン比を自動的に測定するシステムを開発した。

ポアソン比測定の原理

図2-1に示すように、セラミックスの平板試験片を四点曲げの応力状態にすると、試験片は馬の鞍のように変形する。すなわち、平板はたわみと直角方向に逆向きなたわみを生ずることになる。変形後の試験片下面(図2-1のy-z平面)の変位等高線は、図2-2に示すような双曲線群となる。弾性論を用いると、この双曲線群の漸近線とz軸とのなす角度(α)から、材料のポアソン比が次式のように求まる¹⁾。

$$\nu = 1 / \tan^2 \alpha \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 ν は材料のポアソン比である。

本研究においては、まず、試験片に四点曲げ試験を行い、変位等高線を実時間ホログラフィ干渉法を用いて観察する。今回は、変位等高線の撮影に大阪府立産業技術総合研究所の実時間ホログラフィ干渉システムを使用した。このシステムは、光源にアルゴンレーザ、ホログラ

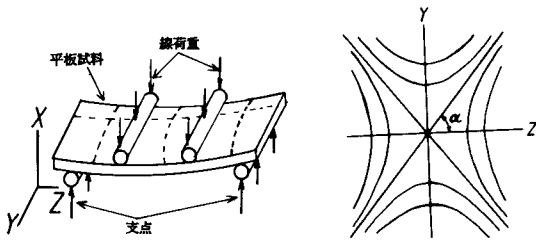


図2-1 四点曲げの概略図 図2-2 試料下面の変位等高線

ム乾板にサーモプラスチックを用いて、変位等高線を実時間で観測できるものである。実時間ホログラフィ干渉法で得られた変位等高線をCCDカメラで撮影し、ビデオテープに記録する。ビデオテープに記録された変位等高線を縮画像としてパソコン(PC9801VX2)にとり込む。パソコン内のメモリにとり込んだ縮画像に各種の画像処理を行うことによって、セラミックス材料のポアソン比を求める。なお、パソコン内にとり込んだ画像データは、フロッピーディスク(5インチ2HD)を媒体として、データ転送が可能である。

3. 画像処理

ここでは、ホログラフィ干渉によって得られた縮画像からポアソン比を求めるために行った、各種の画像処理について述べる。

パソコンのメモリにとり込んだ縮画像データからポアソン比を求めるわけであるが、このままのデータではポアソン比は求まらない。なぜなら、パソコンにとり込んだ縮画像にはスペckル等による高周波ノイズが存在し、画像が不鮮明であること。また、それぞれの縮には有限の幅があり、これから漸近線を求めることが難しいからである。そこで、原縮画像に各種の画像処理を行って、縮画像を鮮明にし、縮を1画素の幅に近似する必要が生じる。本研究では、これらの処理を行うプログラムを開発した。雑音除去としては、空間平均処理および、高速フーリエ変換によるフィルタリング処理のプログラムを作成した他、最終的にはポアソン比を自動的に求めるプログラムを作成した。また、パソコンとフロッピーディスク間での画像データ転送プログラムも作成した。そしてこれらのプログラムのシステム化を行った。なお、本研究においては、プログラム言語としてBASIC、アセンブリ言語(8086)を使用した。以下に本研究で開発した画像処理プログラムについて説明する。

3-1 画像データ転送プログラム

このプログラムは、パソコンとフロッピーディスク間のデータ転送および、パソコン内のメモリ間でのデータ転送を行うものである。本研究では、ひとつの縮画像を768×512(≒400K)個の画素で構成している。それぞれの画素では、光強度を256階調で表す。画像の画素数が非常に多く、パソコンの内部メモリには収納できないため、また処理速度の高速化を図るために、4メガバイトのRAMディスクを増設した。図3-1に画像データを収納するメモリの様子を示す。画像データは図中のアドレスセグメント80000～90000に収納するのであるが、RAMディスク増設によって、この部分を32倍に拡張することが可能となった。

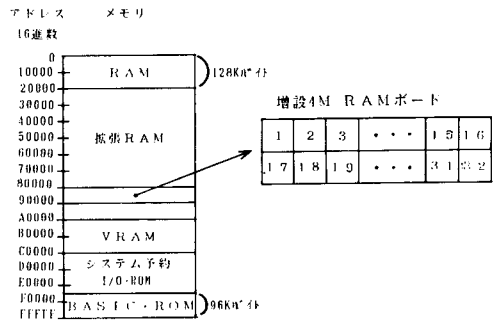


図3-1 パソコン内のメモリマップ

画像データの収納場所を64キロバイトずつ、32の部分に分割し、それぞれに1から32までの番号をつける。この番号を以後バンクナンバーと呼ぶ。ひとつの縮画像を収納するためには、6個分のバンクナンバーを必要とするため、6つのバンクナンバーをひと固まりとして考える。画像データ転送プログラムでは、4つの画像データ収納場所を確保している。すなわち、第1画面としてバンクナンバー4～9を、第2、第3、第4画面として、それぞれ10～15、16～21、22～27を割りあてている。それぞれの画面領域は、画像データの保管場所および、処理中のバッファの役割をもつ。さて、フロッピーディスクに記録されている縮画像データは、まず本プログラムにより第1画面領域に転送される。第1画面領域に格納されたデータは、他の画面領域に高速で転送可能である。また、画像処理後のデータを再びフロッピーディスクに転送する場合は、一度第1画面領域にデータを転送してから行う。

3-2 雑音除去プログラム

画像をCCDカメラでとり込むとき、また画像をビデオテープに記録する際には、通常様々な要因から雑音成

分が混入し、画像データの処理を困難なものにする。そこで、画像データの演算を行う前に雑音成分を除去する必要が生じる。雑音成分を除去するには種々の方法があるが、雑音を含んだデータから目的とする成分のみを厳密に取り出すことは不可能である。しかし、必要とするデータと雑音の各々の性質がある程度わかっているならば、雑音成分を除去または軽減して、真のデータに近いものを抽出することが可能である。本プログラムでは、空間平均による雑音除去および、高速フーリエ変換による雑音除去を行った。

3-2-1 空間平均による雑音除去

この方法は、ある注目点の画素の光強度と、そのまわりの画素の光強度との平均を求め、その値を注目点の画素の光強度とすることによって、画像全体を平滑化するものである。すなわち、図3-2の画素 (i, j) の光強度とそのまわりの画素との平均値を求め、平均値を画素 (i, j) の光強度とするわけである³⁾。

(i-1, j-1)	(i , j-1)	(i+1, j-1)
(i-1, j)	(i , j)	(i+1, j)
(i-1, j+1)	(i , j+1)	(i+1, j+1)

図3-2 空間平均時の画素間関係

3-2-2 フーリエ変換による雑音除去³⁾

この方法は、画像データをフーリエ変換することにより雑音成分をフィルタリングし、もとの画像を雑音のない画像にするものである。もとの画像データは空間領域のデータである。これに2次元の高速フーリエ変換を行うことにより、空間周波数領域でのデータに変換する。ここで雑音成分の周波数部分にフィルタをかけ、雑音を除去する。次に2次元の高速フーリエ逆変換を行うことにより、空間領域に画像データを戻す。

3-3 ポアソン比測定プログラム

ここでは、本研究の主目的であるポアソン比を求めるプログラムについて説明する。図3-3に本プログラムの流れ図を示す。まず、雑音除去後の画像データを2値化する。2値化とは、画像の各画素の光強度をあるしきい値で二分し、各画素の光強度がしきい値より小さいものを0、大きいものを255とする処理である。2値化を行うことによって、次の段階の処理である細線化が可能となるばかりでなく、情報量の低減による処理時間の短縮化が図られる。

次に、2値化処理された画像データに細線化処理を行う。細線化処理とは、有限の幅をもつ画像の中心、もし

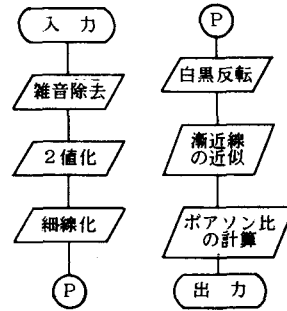


図3-3 ポアソン比測定プログラム流れ図

くは輪郭を求める処理であり、本研究についていえば、有限の幅をもつ画像の芯線を求める処理である。

本プログラムでは、次の2つの方法を用いることによって細線化を行った。ひとつは、2値化した後の画像中の階調が255の部分の幅を、線の両側から1画素ずつ削っていき、最終的に幅が1画素分の線状領域(芯線)を抽出する方法である。

次に細線化された画像から漸近線を求めるプログラムについて説明する。まず、細線化した画像を白黒反転し、グラフィック画面上に縦横それぞれ2画素おきに表示する。なお、白黒反転とは、画像の明暗を反転させる処理であり、本プログラムにおいては各画素の階調数を255から減算することによって行う。次に漸近線に含まれる領域内の点を直線近似し、漸近線を構成する2直線の式を求める。なお、ビデオテープ内の画像をパソコンのメモリにとり込んだときに、画像の縦横の比が31:35となったため、直線の式を求める際に補正を行った。最後にこの2直線が交わる角度を計算し(1)式に代入することによって、ポアソン比が得られる。

4. アルミナ試料のポアソン比の測定

本研究の目的は、セラミックス材料のポアソン比を求めることにある。そこで試験片として、アルミナを用い、本システムでポアソン比を求めた。アルミナ試験片の特性及び形状を表1に示す。

表1. アルミナ試験片の形状と諸特性値

組成 (%)	Al ₂ O ₃ (99.5) SiO ₂ (0.5)	平均曲げ強度	38.8 (kgf/mm ²)
比重	3.9	形状 (mm)	長さ (40) 幅 (10) 厚み (3)
ビッカース硬さ	1826		

アルミナ試験片に四点曲げを行い、そのときの変位等

高線をビデオテープに記録し、それを縞画像としてパソコン内にとり込む。写真1にとり込んだ縞画像を示す。

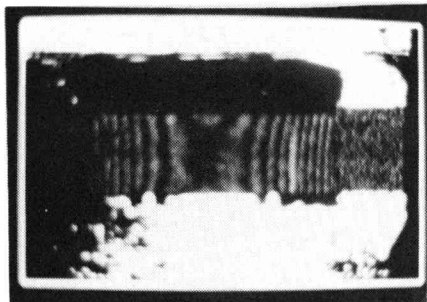


写真1. アルミナ試験片の4点曲げによる縞画像
(処理前)

次に写真1の縞画像から雑音成分を除去し、2値化した後の縞画像をプリンタに出力した結果を図4-1に示す。図4-1の縞画像は、横方向159画素、縦方向13画素分の空間平均を行い、そのときの平均階調をしきい値として2値化した結果である。

図4-1を細線化したものを図4-2に示す。

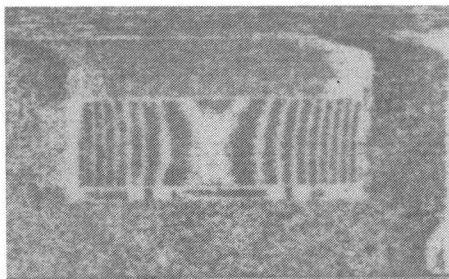


図4-1 雑音除去後、2値化処理した縞画像

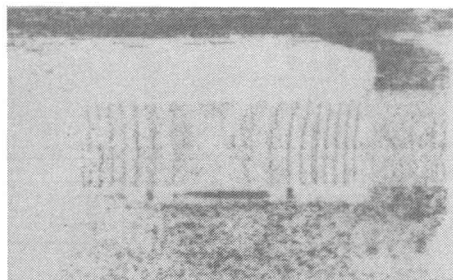


図4-2 細線化処理後の縞画像

最後に図4-2の画像データからポアソン比を計算した結果、 0.203 ± 0.005 となった。今回使用したアルミナのポアソン比は普通0.23とされているが、本方法による結果はこの値より12%程小さい値となっている。このことに関しては、ポアソン比の明確な材料を用いて本方法での測定を行っていないために議論することができなかった。しかしながら、式(1)の α の値が 1° 異なればポアソン比にして0.02の差が生じることを考えると、画像処理による漸近線の近似が有効であることがわかる。また、本方法による測定では、 $\pm 3\%$ の範囲で再現性のあることが確認できた。

5. 結 言

本研究では、セラミックス材料を4点曲げすることによって得られる変位等高線を画像データとしてとり込み、各種の画像処理を行うことによって、ポアソン比を求める測定システムの開発を行った。

以下に本研究の成果を列挙する。

- (1) 画像データ転送プログラム、雑音除去プログラムおよびポアソン比測定プログラムをBASIC、アセンブリ言語で作成し、これらのシステム化を行った。
- (2) 本システムを使って、セラミックス材料のポアソン比を再現性よく測定することが可能となった。

謝 辞

本研究は、1988年度の卒業研究を骨子とするものである。この研究の遂行にあたり、多大の貢献をして頂いた卒研生、滝井恭啓、田中晃の両君に深く感謝する。

参考文献

- 1) S.P.Timoshenko, J.N.Goodier: Theory of Elasticity (1970), McGRAWHILL
- 2) 森本吉春: 画像処理(1981), 昭晃堂
- 3) 森田清: フーリエ変換と情報処理(1984), オーム社

電流型PWM変換装置による 超電導エネルギー貯蔵装置の制御

伊 瀬 敏 史

Control of Superconducting Magnetic Energy Storage by A Current Source Type PWM Converter

Toshifumi ISE

SMES(Superconducting Magnetic Energy Storage) is anticipated to play an important role in power systems as a large scale energy storage and power system stabilizer. This paper shows the control strategy of SMES by a current source type PWM converter using SI (Static Induction) thyristors. Features of the control strategy shown in this paper is to control active and reactive power of SMES without harmonic problem and with low power losses.

1. まえがき

超電導エネルギー貯蔵装置(SMES)は高効率な電力貯蔵方式および電力系統安定化制御装置として期待されている。SMESの変換装置としては従来よりSCRあるいはGTOを用いたものが提案され、いくつかの実験が行われている。SCRを用いた場合は大容量化が容易であるが無効電力の制御範囲が限定され、さらに高調波対策のために大きなフィルタを必要とする。GTOを用いた場合は素子の自己遮断能力により任意の位相での転流が可能となり、有効・無効電力の4象限制御が可能となる。この能力を活用して電力系統安定化に応用すれば、非常に効果的であることが模擬電力系統における実験によって確認されている¹⁾²⁾。しかしながらGTOでも、スナバ回路の損失などの観点よりスイッチング周波数が数百から500Hz程度の間となり、変換装置の多重化やアクティブフィルタを併用するなどの高調波対策が必要である。そこで本研究では、将来の大容量自己消弧型素子として期待されているSIサイリスタ(静電誘導型サイリスタ)を用いた電流型PWMコンバータによるSMESの制御方式について検討を行った。

SIサイリスタは一般的にノーマリオンであるが、この特性はSMESのように直流側の開放が許されない装置にとっては保護対策の面で好ましいと考えられる。また、SIサイリスタは数 μ 秒でのターンオン・ターンオフが可能でターンオフ時のテイル電流が小さいこと、ならびに臨界オフ電圧上昇率がGTOの数倍以上ありスナバ回路のコンデンサ容量を低減できることより低損失の大容量PWM変換装置を構成できると考えられる。

本研究ではデジタル・シグナル・プロセッサ(DSP)を用いて簡単なハードウェアにより制御系を構成し、実験を行った。また、電流型PWMコンバータでは、入力端フィルタの共振により交流側電流が歪むことがある。この共振による影響を小さくするために、交流側電流をフィードバックする制御方式を試みその有効性を確認した。この制御方式によれば、SMESによって基本波の有効・無効電力の制御を行うのみならず積極的に高調波の補償も行いアクティブフィルタとしての機能をはたすことも可能であり、さらにSMESの有用性が増すものと考えられる。以下、その詳細について述べる。

2. SIサイリスタを用いた電流型PWMコンバータの構成

2.1 主回路構成

図1に主回路構成、表1に用いたSIサイリスタの諸

* 本論文の内容は電気学会静止器研究会(平成元年6月29日)において発表されたものである。

元をそれぞれ示す。S Iサイリスタに逆方向の耐圧が無いため高速ダイオード (200Q H21) をサイリスタと直列に接続している。入力端のLCフィルタの共振周波数は514Hz (60Hzにおいて8.6次)である。

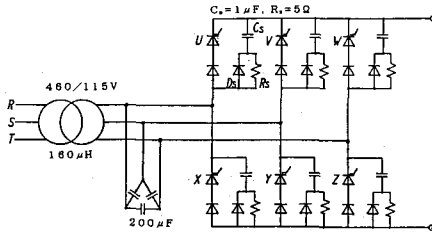


図1. 主回路構成

表1. S Iサイリスタの諸元

ピーク繰り返しオフ電圧	1200V
ピークターンオフ電流	600A
実効オン電流	300A
臨界オン電流上昇率	900A/μsec
臨界オフ電流上昇率	2000V/μsec
ターンオン時間	2.0μsec
	(遅れ時間0.4μsec, 立上り時間1.6μsec)
ターンオフ時間	2.7μsec
	(蓄積時間2.4, 下降時間0.3μsec)

2.2 制御回路の構成

制御回路の構成を図2に示す。PWM制御による有効・無効電力制御を行う構成となっている。超電導コイルの電流 I_d 、有効電力 P および基本波無効電力 Q を取り込みマイクロコンピュータLSI-11によるPWMパルスの位相角 α と変調比 M を算出する。算出された α と M はパーソナルコンピュータPC9801を経由してDSP (μ PD77230)に送られる。DSPから得られるPWMパルスは重なり角調整回路を通してゲートアンプへ送られる。スイッチングの過渡時に直流側の解放を避けるよう重なり角調整回路において約 5μ secのパルス重なり時間を設けている。

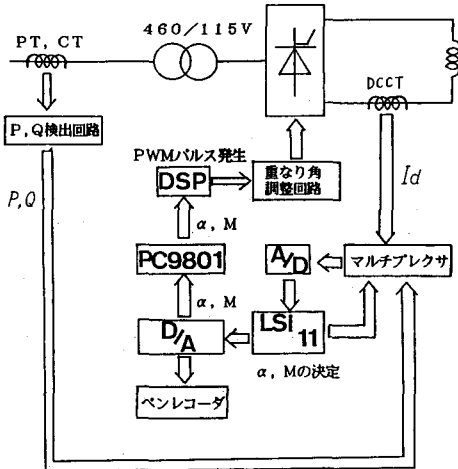


図2 制御回路の構成

2.3 PWM制御方式

PWM制御方式にはParkベクトルの考えより導き出されるパルスパターンを用いた。すなわち、図1の主回路において次のようにスイッチング関数を定義する。例えば、R相について、

- $S_R = 1$ UがオンかつXがオフ
- $S_R = -1$ UがオフかつXがオン
- $S_R = 0$ U, Xがともにオンまたは
U, Xがともにオン

S相およびT相についても同様にスイッチング関数 S_S および S_T を定義し、これらのスイッチング関数を三相一括したスイッチングベクトル Q を次のように定義する。

$$Q = (2/3) (S_R + a S_S + a^2 S_T)$$

ただし、 $a = \exp(j 2\pi/3)$

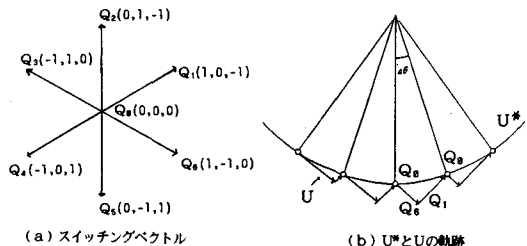
スイッチU~Zのオン・オフによって図3(a)に示すように7種類のスイッチングベクトル Q_n ($n=0\sim6$) を取り得ることになる。このスイッチングベクトルの時間積分である特性ベクトル U を次のように定義する。

$$U = \int Q dt$$

高調波が全く発生しない理想の場合として、スイッチング関数が正弦波であれば、特性ベクトル U の軌跡は円となる。ここで用いたPWMパルスパターン決定法は、図3(b)に示すように1周期を $\Delta\theta$ の区間ごとに分割し、各分割区間内で特性ベクトル U の軌跡を円に近付けるように評価関数を設定し、スイッチングパターンを決定するものである。この方式においては、1周期すなわち円の分割区間 $\Delta\theta$ で素子のスイッチング周波数が決定される。素子のスイッチング周波数を f_{sw} 、電源周波数を f とすれば、

$$f_{sw} = (180/\Delta\theta + 2) f$$

なる関係にある。ここでは、 $\Delta\theta = 5^\circ$ とし、 $f_{sw} = 2.28$ kHzである。このPWMパルスパターンの特徴は少ないスイッチング回数で歪率が小さい波形が得られることである。



(a) スイッチングベクトル

(b) U^* と U の軌跡

図3. PWMパルスパターン決定法

2.4 PWMパルス発生方式

ここではDSPを用いて全てソフトウェアによりPWMパルスを発生させる方法を検討した。図4において、正弦波パターン P_1, P_2 は変調率 $M=1$ のときのパルスパターンであり、そのパルス幅は前述した方式により決定され、あらかじめ記憶しておく。この P_1, P_2 から変調率制御のための台形波パターン M_{ref} を次のように作成する。

- (1) P_1, P_2 がLのとき $M_{ref}=1$ とする。
- (2) P_1 がL, P_2 がHの間に M_{ref} は1から0に減少する。
- (3) P_1 がH, P_2 がLの間に M_{ref} は0から1に増加する。

この M_{ref} と変調率 M との大小関係より短絡パルス S は

$$S = H \quad (M_{ref} \geq M \text{ のとき})$$

$$= L \quad (M_{ref} < M \text{ のとき})$$

と得られる。図に示す期間においては、この短絡パルス S がそのままスイッチ V のスイッチングパターンとなり、 U のスイッチングパターンは $\overline{S} \wedge P_1$ より、 W のスイッチングパターンは $\overline{S} \wedge P_2$ より得られる。なお、このときスイッチ X と Z はつねにオフ状態であり、 Y はオン状態である。

DSPでは $1/6$ 周期(=60°)分の台形波パターン M_{ref} と基本パターン P_1 をメモリに覚えておき、以下の動作を順次行う。

- (1) 変調率 M と位相角 α のデータをホストコンピュータから読み込む。
- (2) PLL回路より電源の位相データ θ を読み込む。
- (3) $\theta + \alpha$ をアドレスとして対応する M_{ref} を読み込む。
- (4) 前述の方法で M_{ref} と M より短絡パルス S を決定し、各スイッチング素子のオン・オフを決定する。

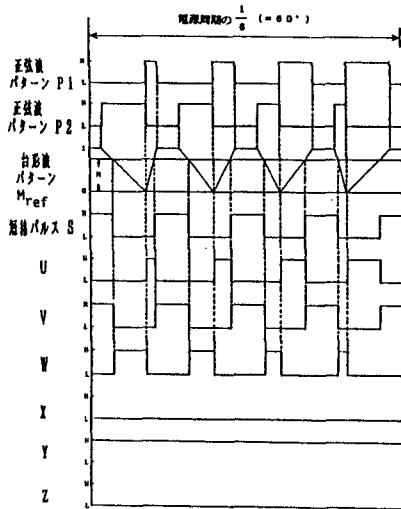


図4. PWMパルス発生法

以上の処理に要する演算時間は約 $10 \mu sec$ であった。本方式によると演算時間より短いパルスは自動的に消去され、SIサイリスタの最小オン時間が確保されるが、パルス幅の制御精度もこの演算時間で制約される。

3. 実験によるPWMコンバータの特性

3.1 交流側電流波形

図5に変調率 $M=0.8$ のときの交流側電流波形と直流側電圧波形を示す。(a)は $\alpha = -30^\circ$ の進み力率時の、(b)は $\alpha = 30^\circ$ の遅れ力率時の波形である。入力端フィルタの共振周波数が約9次にあるため、5~11次の高調波が増幅され、20次までの歪率はいづれも6.5%程度である。

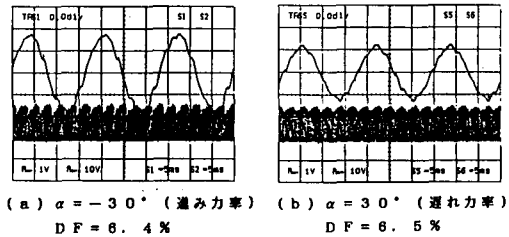


図5. 変調率 $M=0.8$ のときの交流側電流波形(上, 20 A/div)と直流側電圧波形(下, 100V/div)

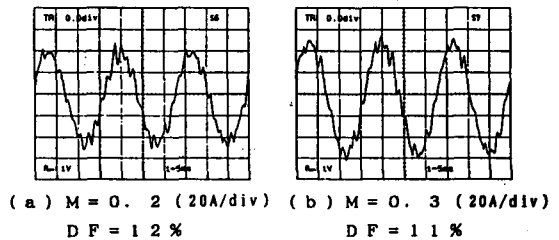


図6. 変調率を変えたときの交流側電流波形 ($I_d=100A, \alpha \approx -90^\circ$)

図6は変調率が小さいときの交流側電流波形であり、変調率が小さいときほど歪率が増大する。この理由は以下で説明される。DSPで実現したPWMパルス発生装置においてはDSPの演算時間よりパルス幅の制御が $10 \mu sec$ 単位となる。このパルス幅の制御精度を考慮してパルスパターンの歪率DF(20次まで)の計算を行った結果を図7である。この図からパルス幅の制御精度が $10 \mu sec, 5 \mu sec, 2.5 \mu sec$, となるに従って歪率が低下す

ることがわかる。パルス幅の制御精度が $10\mu\text{sec}$ 程度では特に変調率が小さい領域において歪率が急激に増大する。このPWMパルスパターン中の高調波の増大が交流電流波形の悪化につながる。図8に示すシミュレーション結果において、パルス幅の制御精度が交流側電流波形に大きく影響することがわかる。このシミュレーション結果においては、PWMの制御精度をシミュレーションの積分刻み幅を変えることで模擬している。

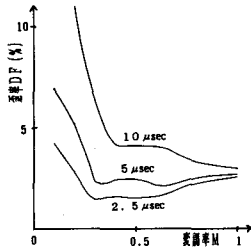


図7. パルス幅の制御精度とパルスパターンの歪率の関係

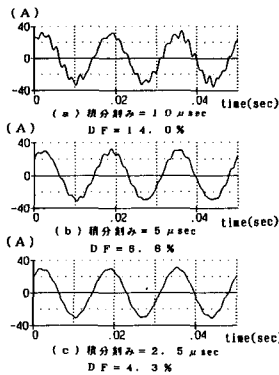


図8. 交流側電流波形のシミュレーション結果

3.2 有効・無効電力同時制御

超電導コイルを直流側に接続し、有効・無効電力同時制御を行った結果を図9に示す。有効・無効電力の指令値は1Hzの正弦波状に変化させている。有効・無効電力の制御においては良好な制御結果を得ている。この実験結果においては、コイル電流を一定に保つために必要な有効電力は約1kWであることがわかる。超電導コイルの損失はゼロであるからこの1kWが変圧器と変換装置の損失であると考えられる。変圧器の損失は約200Wであるので変換装置の損失は800Wとなる。これは直流電流100Aにおける最大出力15kWの5.3%に相当する。また、このうちSIサイリスタおよびその直列ダイオードのオン電圧による損失は約500Wであり、変換装置の損失の約60%に相当する。

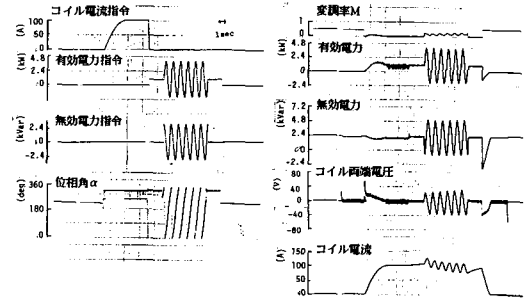


図9. 有効・無効電力同時制御の実験結果

4. 交流側電流フィードバック制御

前章において、低歪率の交流側電流波形を変調率の低い領域においても得るためにはパルス幅の正確な制御が必要であることを示した。しかしながら、PWM制御回路をはじめ、スイッチング素子やドライブ回路の特性により所望のパルス幅制御の精度が得られなくなることが多い。このためPWMパルスパターン中の低次高調波が増加し、それがフィルタによって増幅され電流波形の悪化をまねく。図10は交流側電流 I_S とPWM電流 I_{PWM} の間の伝達関数 I_S / I_{PWM} のゲイン特性を示したものである。図10において、フィードバックなしとあるのは単に交流側LCフィルタの特性であり、フィルタの $L = 160\mu\text{H}$, $C = 200\mu\text{F}$ (Δ 接続1相分)、変圧器の負荷損に相当する抵抗 $R = 0.1\Omega$ とした場合である。このフィルタの共振点付近におけるゲインを下げれば電源電流波形の悪化を避けることができる。

単なるLCフィルタのみでは交流側電流 I_S とPWM電流 I_{PWM} の間の伝達関数 $G_P(s)$ は、

$$G_P(s) = 1 / (LCs^2 + RCs + 1)$$

となる。ここで交流側電流 I_S を微分特性の伝達関数 Ts でフィードバックし、

$$I_{PWM}' = I_{PWM} - TsI_S$$

として、 I_{PWM}' をコンバータより発生させるようにPWM制御すれば、

$$G_P(s) = 1 / \{LCs^2 + (T+RC)s + 1\}$$

となり、Rを大きくしたのと等価となる^{5) 6)}。高周波領域でのフィードバックゲインを上げないように、 $G(s) = KTs / (1 + Ts)$ で電源電流 I_S をフィードバックすることを考える。このようにすれば $G_P(s)$ のゲイン特性を図10のフィードバックありのようにすることができ、LCフィルタの共振を避けることができる。

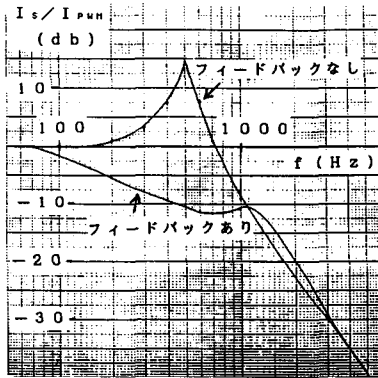


図10. 電源電流 I_s とPWM電流 I_{PWM} との比 I_s/I_{PWM} の周波数特性

制御系の構成は図11のようになる。交流側電流 I_s に伝達関数 G を掛けてフィードバックし、これを3相2相変換した後低域フィルタを通して基本波成分を検出し、さらにこれを3相に変換してもとの信号との差をとって高調波成分を検出する。 I_p, I_q は系統よりSME Sに指令される基本波の有効、無効電流であり、これらを3相に変換した信号と検出した高調波信号との差をとってPWM回路の入力とする。

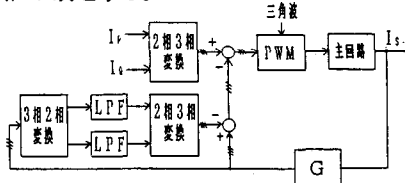
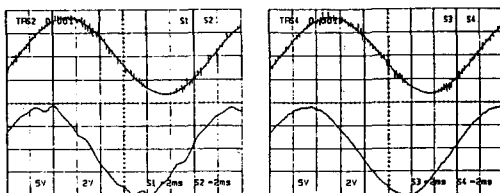


図11. 電源電流フィードバックを行うPWMコンバータ制御系の構成

図11に示した制御系をアナログ素子より構成し、パワートランジスタを用いた回路により実験を行った。PWM制御の方式は三角波比較方式として、キャリア周波数を4.4kHzとした。また、フィードバック伝達関数 G における $K=6, T=0.2\text{msec}$ とした。主回路の定数は図1に示した値と同じで、直流電流 I_d は50Aに設定した。図12(a)は電源電流のフィードバックを行わない



(a) フィードバックなしの場合 (b) フィードバックありの場合

図12. 電源電流フィードバック制御による実験結果
(上：交流系統電圧400V/div, 下：交流側電流(115V側) 20A/div)

場合の結果で、フィルタの共振による歪が電流波形中に見られる。同図(b)は上記に示したフィードバック制御を行った場合で非常に良好な電流波形が得られている。

次に、高調波発生源としてサイリスタ整流器を接続し、上記の制御方式によりサイリスタ整流回路より発生する高調波の補償を行った結果が図13である。このとき、キャリア周波数を8kHz、フィルタコンデンサ C の値を20 μF (Y結線1相分)とした。補償後の電流において非常に良好な正弦波波形が得られており、本制御方式をSME Sに適用すればアクティブフィルタとしての動作も可能であることがわかる。なお、フィルタコンデンサ C の値を小さくしたのはアクティブフィルタとしての高調波発生能力を出すためであり、十分に除去されなかったキャリア周波数付近の高調波は受動型ハイパスフィルタで除去している。

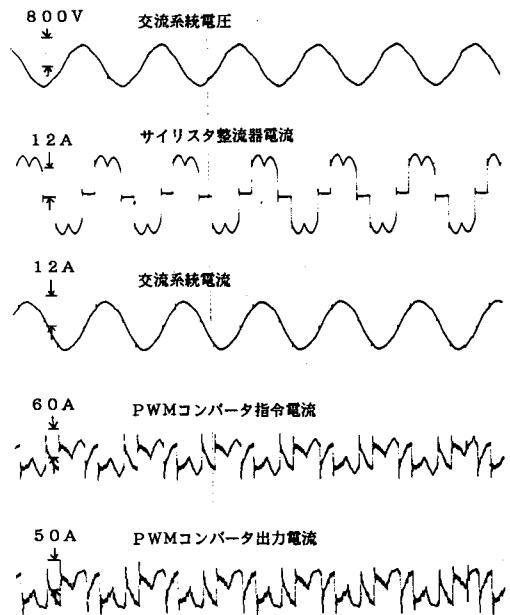


図13. 高調波補償の実験結果

(キャリア周波数=8kHz, $C=20\mu\text{F}$ (Y結線1相分), ハイパスフィルタ有り)

5. むすび

SIサイリスタを用いた電流型PWMコンバータについて検討を行った。その結果は以下に要約される。

- (1) デジタル・シグナル・プロセッサ(DSP)を用いて変調率と位相制御の可能なPWMパルス発生装置を簡単なハードウェアで構成した。
- (2) 交流側電流波形については、変調率=0.8のもと

で歪率が約6.5%であった。しかしながら、DSPの処理速度が影響しパルス幅の制御精度が十分でないため変調率が小さい領域においては歪率が悪化する。DSPの処理速度を向上させることにより満足な波形を得られることがシミュレーションによりわかった。

- (3) 入力端のLCフィルタの共振による電流波形の歪を避け、さらに良好な入力電流を得るために交流系統の電流をフィードバックする制御方式を提案し、その有効性をパワートランジスタによる主回路とアナログの制御回路を用いた実験により確認した。この方式によればアクティブフィルタとしての機能をSMESにもたせることも可能である。
- (4) SIサイリスタ変換装置の損失に関しては、交流側入力電圧115V、直流電流100Aにおいて約800Wであった。これは、同運転状態における最大出力15kWの5.3%に相当する。損失の約60%がSIサイリスタおよびその直列ダイオードのオン損失でありその他がスイッチング損失である。
- (5) 基本波の有効・無効電力制御に関してはPWMパルスパターンの変調率と位相角の制御により良好な制御特性が得られた。

今後、提案した制御方式をSIサイリスタを用いた変換装置において実現していく所存である。

本研究は大阪大学工学部超伝導工学実験センターにて行われたものである。また、本研究のために東洋電機㈱にSIサイリスタ変換装置の製作をしていただいた。ご尽力を賜った技術開発本部副本部長古賀高志氏、SI応用開発部部長菅原章吾氏ならびに同部佐野尚氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 三谷, 伊瀬, 村上, 辻「超電導エネルギー貯蔵装置による模擬電力系統の安定化制御実験」電学論D, 108巻, 11号, 995-1002(昭63-11)
- 2) H.Okada, T.Ezaki, K.Ogawa, H.Koda, M.Takeo, K.Funai, S.Saito, F.Irie, J.Chikada et al. "EXPERIMENTAL STUDY OF SMES SYSTEM WITH DC INTERTIE FOR POWER LINE STABILIZATION" 19-th IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC) Record, pp. 326-333, Kyoto Japan(1988).
- 3) T.Ishikawa, S.Akita, H.Taniguchi, S.Kohso and T.Takana "POWER SYSTEM STABILIZATION BY SMES USING CURRENT-FED PWM POWER CONDITIONER" 19-th PESC Record, pp.334-341, Kyoto Japan(1988).
- 4) 福田, 高田「電流型PWMコンバータのPWM制御法」電学論D, 108巻, 12号, 1099-1106(昭63-12)
- 5) 池田, 竹田「能動/受動併用フィルタの高調波抑制特性」電気学会電力技術研究会資料 PE-86-152(昭61-8)
- 6) 王, 松原, 村上, 伊瀬「超電導電力貯蔵用能動形フィルタの高調波補償特性と動特性」電学論D, 108巻, 12号, 1107-1114(昭63-12)

電流形アクティブフィルタの基礎特性(1)

井村 榮 仁

Basic Characteristic of A Current Type Active Filter (1)

SHIGEJI IMURA

This paper describes on basic characteristic of a current type active filter. The result in both experiment and simulation are shown.

The output current of this active filter is nearly equal to that of signal not only in magnitude but also in phase. At the same time, unnecessary side bands are also generated according to the PWM theory. These magnitudes are concerning to the ratio of magnitude of harmonic current to that of D.C current.

So, it must be necessary to adopt R - C detector or another suitable control method.

1. 緒 言

近年、電気機器の性能向上や省エネルギー化等の要求を満たすため、半導体電力素子が多用されている。この結果、機器の力率、負荷の電圧・電流或いは電動機トルクなどが任意に制御できるようになった。

反面、半導体電力変換装置は、スイッチング動作に基いているために、不必要な高調波成分を発生する。現在の電力系統で特に問題となっている次数は、5, 7, 11および13次などである。従来、これらの高調波対策として、各高調波ごとに系統インピーダンスに比べて十分小さいインピーダンスをもつLC受動形フィルタを用いてきた。この場合、高調波発生量が大きくなると過負荷になること、またこれらのフィルタには基本波成分も流れること、さらには系統の周波数特性に影響を与えることなどの欠点があった。

そこで、最近ではやはり半導体スイッチング素子を用いたコンバータにより、上記低次高調波成分と大きさ等しく、かつ逆極性の高調波を発生する能動形フィルタの研究が盛んになっている。この種のフィルタは、制御対象によって電圧形と電流形に、制御信号の作り方としてハードウェア構成とソフトウェア構成に、また発生させるべき電流を決定する方法として追従形と予測形¹⁾に分類される。

本研究では、ハードウェア構成による制御回路を有する電流形の能動形フィルタを用いて、当面単一高調波の発生実験および周波数領域におけるシミュレーションを行ない、必要な高調波を正しく発生できるかどうか、またその際に問題となる側波帯はどのようになるかなどについて述べる。その結果、必要とされる高調波の発生に関しては、その大きさ並びに位相ともに十分満足すべきものであるが、一方キャリア周波数と当該高調波の周波数とによって定まる周波数をもつ、有力な側波帯を除去しなければならないという新たな問題が出てくる。これについては、RC復調回路や高域フィルタの設置とともに、今回は実施していないピーク値制御が有効ではないかと考えられるので、今後の検討課題としたい。

2. 能動形フィルタの原理

図1に能動形フィルタの原理を示す。図において高調波発生源から出された歪波電流を、 i_{sa} 、 i_{sb} および i_{sc} とする。これらの電流から基本波成分を取り除いた残り的高調波成分 i_{ha} 、 i_{hb} および i_{hc} を制御回路に入力し、後述のPWM制御の方法に従ってPWM信号を作り、コンバータから上記高調波電流と大きさ等しくかつ逆極性の電流 i_{fa} 、 i_{fv} および i_{fw} を発生する。かくして、系統に含まれる高調波成分の低減を実現する。その際、歪波電流の

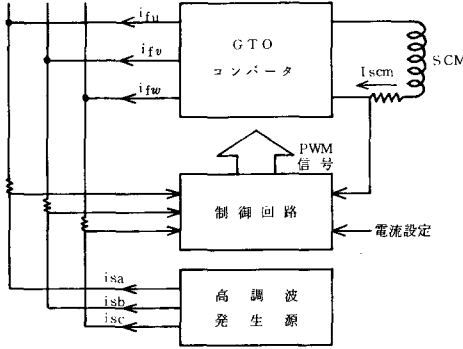


図1 能動形フィルタの原理

増減に応じてコイル電流 I_{scm} を制御する必要があること、コイル電流の変動にかかわらず、要求される電流を正確に出力させることなどから、 I_{scm} の値も制御回路に取込んでいる。

図2に単相PWM電流増巾回路の例を示す。図2(a)においてGTO1, 4のアームに流れ込む電流を i とし、GTO1及び2を点弧しこときに流れるパルス電流を i^+ 、またGTO3, 4を点弧したときのそれを i^- とする。4個の半導体素子のゲート信号 $G_1 \sim G_4$ は、次のように与えられる。今、角周波数 ω_h (周波数 f_h)の信号

$$i_h = I_{sm} \sin(2\pi f_h t + \theta) = I_{sm} \sin(\omega_h t + \theta) \quad \dots\dots\dots(1)$$

に比例した電流 i を発生させるには、同図(b)に示すように、波高値 I_{tri} 、角周波数 ω_c (周波数 f_c)の2つの三角波 i_{tri}^+ (実線)および i_{tri}^- (破線)と信号 i_h とを比較した結果得られる、 $G_1 \sim G_4$ の波形のスイッチング動作を行わせる。ここで、 i_{tri}^- は、丁度 i_{tri}^+ を反転したものである。すなわち、ハッチング部分を考慮しない場合の $G_1 (=G_2)$ および $G_3 (=G_4)$ のトリガ信号は、

- $G_1 (=G_2)$: i_h と i_{tri}^+ とを比較して、 $i_h \geq i_{tri}^+$ のとき点弧する。
- $G_3 (=G_4)$: i_h と i_{tri}^- とを比較して、 $i_h \geq i_{tri}^-$ のとき点弧する。

として得ている。かくして、上述のパルス電流 i^{\pm} の波形は、 $G_1 (=G_2)$ のそれと同一になり、同様に i^- のそれは $G_3 (=G_4)$ のそれと等しくなる。よって、

$$i = i^+ - i^- \quad \dots\dots\dots(2)$$

は、同図(b)の最下段のようになる。

ところが、電流源の開放は絶対にしてはいけないことおよび負荷電流 i の流れている経路にインダクタンス分

が存在することから、実際のトリガ信号にはハッチングで示される部分が追加されなければならない、また各GTOにはそれぞれ並列にスナバ回路が付設される。ただし、ここでは簡単のため、スナバ回路は省略して描いてある。ハッチング部分は、上下のGTOを同時にONすることにより電流源を短絡しているだけなので、式(2)で与えられる i は、少しも影響を受けない。

PWMの理論²⁾によれば、式(2)は次のように書かれる：

$$i = M I \sin(\omega_h t + \theta) + \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{\ell=0}^{\pm\infty} I(k, \ell) \sin\{2k\omega_c t + (2\ell + 1)(\omega_h t + \theta)\} \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 I は電流源の電流値で $M = I_{sm} / I_{tri}$ 、また

$$I(k, \ell) = (-1)^k \cdot 2I \cdot J_{|2\ell+1|}(\pi M k) / \pi k$$

ところで、図2(b)をよく見ると明らかなように i の正の部分は、 $0 \sim I_{tri}$ の範囲にある角周波数 $2\omega_c$ の三角波 i_{tri}^+ と信号 i_h の正の部分との比較により、同様に i の負の部分は、 $0 \sim -I_{tri}$ の範囲で変化する、やはり角周波数 $2\omega_c$ の三角波 i_{tri}^- と i_h の負の部分との比較によっても生成できる。また、ハッチングに対応する部分は、 i_h の絶対値が、今定義した正負2つの三角波の絶対値より小さいときに出力すればよい。

ただし、この方法を採用すると、スイッチング周波数は、2倍になることが難点であるが、三相化する場合には好

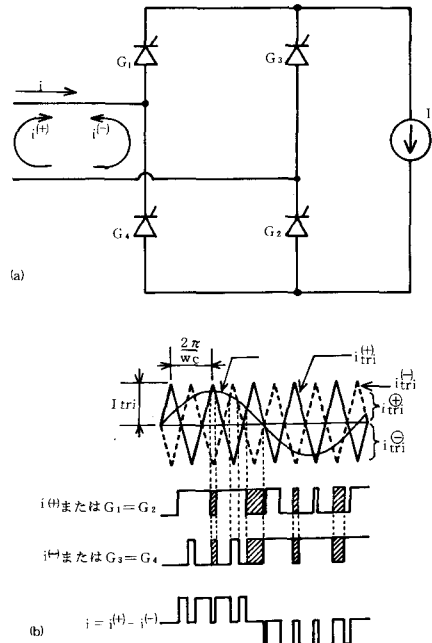


図2 単相PWMの原理

都合となるため、以後のPWM信号は、この考えにもとづいて作成するものとする。したがって、以下に述べる三角波の周波数 f_{tri} というのは、 $f_{tri}=2fc$ である。

3. 実験およびシミュレーション

3-1 実験回路

図3に能動形フィルタの実験回路を掲げる。能動形フィルタ本体は、超電導コイル(SCM)一常電導コイルでもよい、スイッチング素子にGTOを用いた三相コンバータ部および $\pm Y$ 変圧器から成る。コンバータ部のGTOの番号の付け方は図示のとおり上側が奇数、下

側が偶数で、また左側のアームよりそれぞれ順に u, v および w 相とする。残りの部分は、直流増巾器を含めて制御系を構成している。これについて、簡単に説明しよう。

制御回路は、オペアンプ、TTLICおよびアナログ形の乗・除算器などを用いたハードウェア構成にしている。入力は、系統の至波電流、変圧器2次側相電圧およびコイル電流 I_{scm} である。シグナルセクタへの入力信号 i_u^* 、 i_v^* および i_w^* がPWM信号に変換される。ここでの三相PWM信号の作り方は、単相PWMの最後の箇所ですべた方法である。シグナルセクタ出力の max および min 信号は、それぞれ i_u^* 、 i_v^* および i_w^* の最大値および

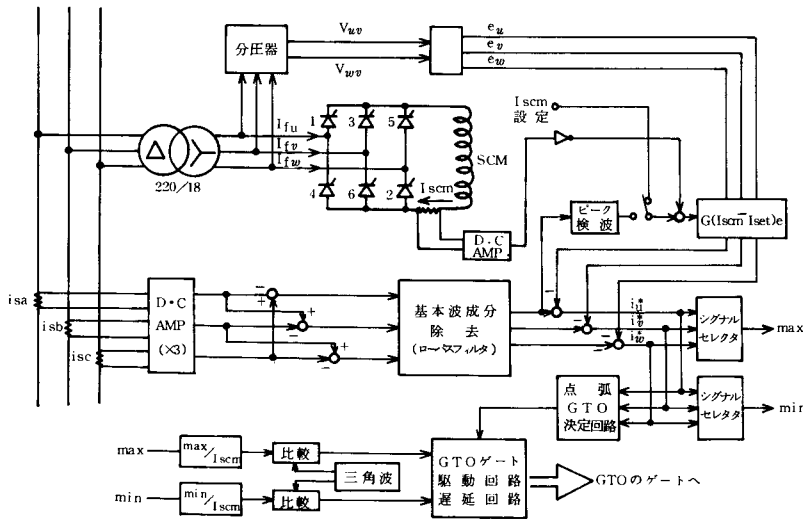


図3 実験回路

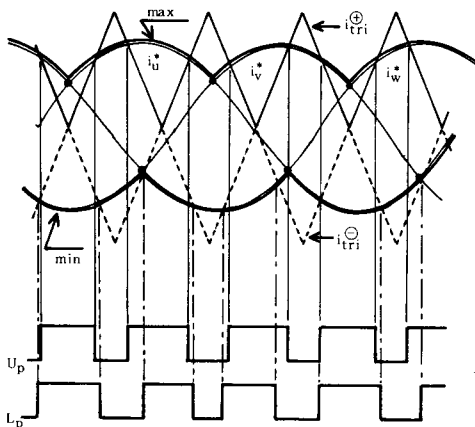


図4 三相PWMの例

最小値である。図4に示すように、 max と i_{tri}^{\oplus} との比較から Up 信号を、同じく min と i_{tri}^{\ominus} との比較から Lp 信号を得ている。

次いで、例えば Up 信号のうち、上側GTO 1, 3および5のどれを実際にONさせるかを決定する回路が点弧GTO決定回路である。下側のGTO 4, 6および2についてもまったく同様である。

さらに、既述のようにSCMの両端は、いかなる場合にも開放してはいけないので、 $Up=0$ 又は $Lp=0$ のときにも少なくとも上下各1個のGTOがONするように工夫しなければならない。

以上の諸条件を考慮して各GTO $i(i=1\sim 6)$ へのゲート信号 $G, (i=1\sim 6)$ を論理式で表現すると、以下の式となる：

$$\begin{aligned} \max i \geq i_{tri}^{\oplus} \text{ のとき } Up &= 1, \text{ そうでないとき } Up = 0 \\ \min i \leq i_{tri}^{\ominus} \text{ " } Lp &= 1, \text{ " " } Lp = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 i_u^* \geq i_v^* & \text{ のとき } A = 1, & \text{ そうでないとき } A = 0 \\
 i_v^* \geq i_w^* & \text{ // } B = 1, & \text{ // // } B = 0 \\
 i_w^* \geq i_u^* & \text{ // } C = 1, & \text{ // // } C = 0
 \end{aligned}$$

とおいたとき,

$$\begin{aligned}
 G_1 &= u \cdot U_p + \overline{u+x} \cdot \overline{U_p} \\
 G_3 &= v \cdot U_p + \overline{v+y} \cdot \overline{U_p} \\
 G_5 &= w \cdot U_p + \overline{w+z} \cdot \overline{U_p} \quad \dots\dots\dots(4) \\
 G_4 &= x \cdot L_p + \overline{u+x} \cdot \overline{L_p} \\
 G_6 &= y \cdot L_p + \overline{v+y} \cdot \overline{L_p} \\
 G_2 &= z \cdot L_p + \overline{w+z} \cdot \overline{L_p}
 \end{aligned}$$

ただし, $u = A \cdot \overline{C}$, $v = \overline{A} \cdot B$, $w = \overline{B} \cdot C$
 $x = \overline{A} \cdot C$, $y = A \cdot \overline{B}$, $z = B \cdot \overline{C}$

式(3)から知れるように, コイル電流が変動した場合には, 必要とする大きさの高調波が発生できない。そのため, I の変動を補償するように制御回路内部で, あらかじめmaxおよびminの信号を I_{scm} で除算している。

尚, 本システムでは能動形フィルタ本来の動作モードであるPWMモードのほか, 緊急時にSCMの保護としての電力放出モードおよびこれら両者の混合モードの切換をスイッチにより選択できる。

3-2 実験方法および結果

図3における歪波電流 i_{sa} , i_{sb} および i_{sc} のかわりに発振器より単一高調波(次数は5, 7, 11および13)を入力信号として実験を行った。系統の基本波周波数は60Hzである。キャリアである三角波の振巾は, 10(V)一定に保ち, その周波数は, $f_{tri} = 1860, 1980, 2040$ および2220Hzのように変えた。 I_{scm} の値も15(A), 20(A)の2つについて, またコイルもSCM(0.5H)と常電導コイル(12mH)の2つの場合について実験した。

I_{scm} 検出用抵抗および直流増巾器の倍率等から, 制御回路内部の電圧1(v)を, 変圧器二次側の電流値で例えば2(A)に対応させる。この対応のもとで発振器からの高調波信号 $i_{sa} \sim i_{sc}$ の大きさを種々変えて能動形フィルタから $i_{fu} \sim i_{fw}$ を出力する。このとき, I_{scm} , $i_{ha} \sim i_{hc}$, $i_{fu} \sim i_{fw}$, $i_u^* \sim i_w^*$ および $e_u \sim e_w$ などをすべて14chデータレコーダに記録しておく。これらの実験結果をADコンバータを用いて変換し, 例えば i_u^* と i_{fu} の関係などを周波数領域において解析する。

図5に実験結果の一例を示す。同図(a)の上段は, i_u^* を, 下段は対応する i_{fu} の波形である。(b)および(c)は, それぞれ i_u^* および i_{fu} のスペクトルを表す。表1に一連の実験結果を掲げる。発生高調波次数は5, 7, 11および13次であり, これらは, 振巾・位相ともにほぼ忠実に出力されている。しかし三相PWMの結果生ずる側波帯

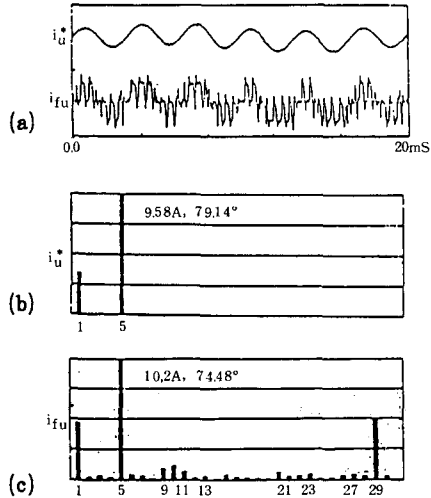


図5 実験結果の例

表1 単一高調波発生実験結果

L=0.012H, $I_{scm} = 15A$

発生させる高調波次数	制御回路入力電流値	フィルタ出力電流値	位相差	側波帯					
				9次	13	21	23	27	29
5	9.58A (79.14°)	10.2 (74.48°)	4.6°	1A					5.2
7	10.8 (78.53°)	11.6 (76.38°)	2.1°			1.96		5.54	
11	8.3 (-65.78°)	8.85 (-68.27°)	2.5°		1.36		4.84		
13	10.0 (84.74°)	10.5 (87.57°)	-2.8°	1.1		5.17			

L=0.5H, $I_{scm} = 15A$

5	4.81 (-70.39°)	4.46 (-71.32°)	0.93°	1	0.6				5
7	5.97 (75.85°)	5.83 (70.91°)	4.94°					4.9	
11	6.04 (73.26°)	6.89 (68.22°)	5.04°				5.9		
13	5.27 (69.26°)	4.98 (65.61°)	3.65°		4.3			0.9	

が観測され, しかもこの実験ではその振巾がかなり大きいものがある。

これの検討は, 次のシミュレーションの項であわせて行う。尚, 上表で上側部分は常電導コイル(12mH)を用いたもので, 下部は, SCM(0.5H)を用いた場合で, I_{scm} の値はいずれも約15A程度である。

3-3 シミュレーション

シミュレーションは、図6の簡易等価回路を用いて実行した。変圧器の諸量は、二次側に換算した値である。

今回、周波数領域における解析としたので、次の仮定をおく。GTOは、理想的にスイッチングを行なうとし、また変圧器二次側換算のもれリアクタンスは小さいと考慮して、これを無視する。したがって、スナバ回路は考慮しないこととする。一方、 I_{scm} の変動を見るためGTOの順電圧降下 v_a は、計算に入れる。その場合三相PWM(図4参照)を行うと、相異なる相の上下各1個のGTOがONしている高調波発生モード(6個)および

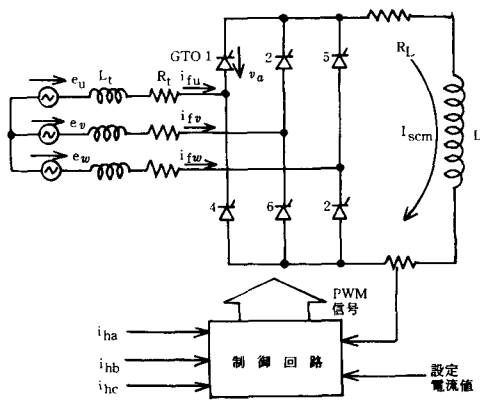


図6 シミュレーションのための簡易等価回路

同一相の上下各1個のGTOがONしている還流モード(3個)が出現する。今の場合、3個の還流モードは、区別する必要がないので、結局、合計7個のモードを取扱えばよい。これらのモードに関する、 I_{scm} についての微分方程式は、

$$\frac{d}{dt} I_{scm} = -\frac{1}{L} \left\{ (2R_t + R_L) I_{scm} + 2 \cdot v_a \right\} + e_x - e_y \quad \dots\dots\dots(5)$$

ただし、

$$e_x - e_y = \begin{cases} e_u - e_v & (\text{GTO 1, 6 ON}) \\ e_u - e_w & (\text{ " 1, 2 ON}) \\ e_v - e_w & (\text{ " 3, 4 ON}) \\ e_v - e_u & (\text{ " 3, 2 ON}) \\ e_w - e_u & (\text{ " 5, 4 ON}) \\ e_w - e_v & (\text{ " 5, 6 ON}) \end{cases}$$

かつ、 $e_u = \sqrt{2} E \sin(\omega t - \phi)$ などである。および、モード7の

$$\frac{d}{dt} I_{scm} = -\frac{1}{L} \left\{ R_L I_{scm} + 2 \cdot v_a \right\} \quad \dots\dots\dots(6)$$

で与えられる。シミュレーションでは、上記の仮定および式(3)の論理式、さらにはコイル電流 I_{scm} の制御という条件を満しつつ、まず現在どのモードであるかを判定して、式(5)または(6)でルンゲ・クッタ・シル法により逐次 I_{scm} を計算し、かつ各モードに応じて i_{fu} 、 i_{fv} 或いは i_{fw}

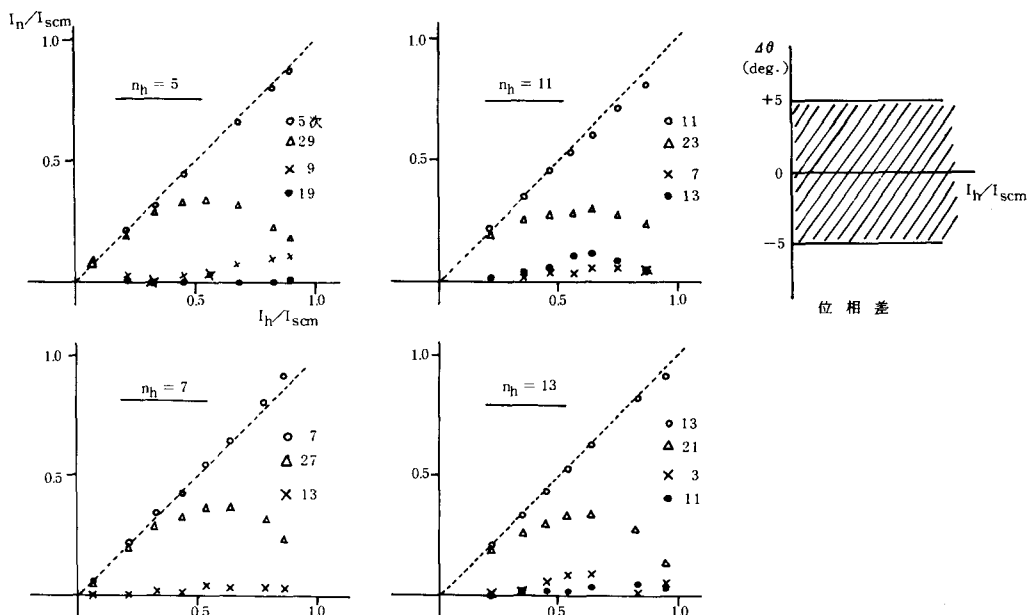


図7 出力電流に含まれる側波帯の変化と位相差

の値を定めている。回路定数などは、 $v_a = 1$ (V), SCMのとき, $RL = 0$ で $L = 0.5$ (H), 常電導コイルのとき, $RL = 0.0255$ (Ω), $L = 0.012$ (H) および $Rt = 0.00113$ (Ω) であり, また e_w 等の実効値は, $E = 18/\sqrt{3} = 10.4$ (V) である。図7は, 能動形フィルタが三相PWM動作をしているとき, 横軸に発生すべき単一高調波振巾のコイル電流に対する比を, 縦軸にはフィルタ出力電流に含まれる当該高調波および各側波帯の振巾の, 同じくコイル電流に対する比を計算したものである。この図は, $L = 0.012$ (H) の場合であるが, SCM (0.5H) の場合にも, は

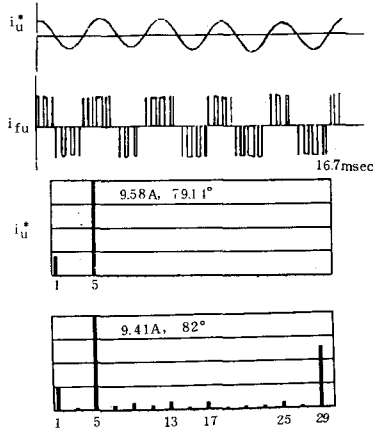


図8 シミュレーション結果の例

表2 シミュレーション結果

L = 0.012H

発生させる高調波次数	制御回路入力電流値	フィルタ出力電流値	位相差	側 波 帯						
				9次	13	21	23	27	29	
5	9.58A (79.14°)	9.41 (82.0°)	-2.86°		0.7					6.2
7	10.8 (75.53°)	10.96 (76.5°)	-0.97°	0.7				7		
11	8.3 (65.78°)	8.9 (63.68°)	-2.1°		0.7		6.8			
13	10.0 (84.74°)	10.34 (86.8°)	-2.06°			7.4				

L = 0.5H

5	4.81 (-70.39°)	4.76 (-68.65°)	-1.74°			0.4				4.3
7	5.97 (75.85°)	6.16 (74.96°)	0.88°		0.3	0.5		5.4		
11	6.04 (73.26°)	6.18 (71.01°)	2.25°					5.8		
13	5.27 (69.26°)	5.28 (73.49°)	4.23°			4.8	0.7			

ば同一の結果が得られる。図8は, 図5に対するシミュレーション結果であり, また表2は, 表1に対応するシミュレーション結果である。表3に単相および三相PWMにおいて生ずる, 50次以内の側波帯の次数を, 式(3)または簡単な計算によりまとめている。

表3 単相および三相PWMで生ずる側波帯 (<50次)

ftri = 34

		fh	5次	7	11	13
単相 PWM	ftri - fh		29	27	23	21
	ftri - 3fh		19	13	1	
	ftri - 5fh		9			
	2ftri - 5fh		43	33	13	3
三相PWMのとき新たに発生するもの			1	1	9	11

結 言

表1の実験結果から, 能動形フィルタの出力電流は, 入力である信号電流に対し, 振巾および位相ともにはば正確に追従していることがわかる。一方, 表3に掲げられた側波帯も発生している。これらの側波帯のうち, 特に有力なものは $f_{tri} - f_h$ の成分である。この実験では, これらの成分がかなり大きいのは, 図7から明らかなように, コイル電流 I_{scm} に対し, 発生すべき高調波電流が I_{scm} の約1/3~2/3であることによる。

この成分を減少させるには, 図7におけるように I_h/I_{scm} を1に近づければよい。すなわち, 今回実施していないpeak値制御が有効ではないかと考えられる。或いは, 適当な高域フィルタを付加することも検討すべきである。図5と図8との比較から, 或いは表1と表2とから推察できるように, シミュレーションの結果もほぼ妥当なものであると言える。尚, 今回は, 能動形フィルタの基礎特性ということで, 単一高調波の発生に限定したが, 複合または実際の歪波電流についても次回以降, 実験およびシミュレーション双方から調べてゆく。

参 考 文 献

- 1) 谷口他: サイリスタインバータによるPWM電力増巾器, 電学論, vol.93-13, No9(1973), 385
- 2) T. NAKAJIMA et. al: COMPENSATION OF NON-STATIONARY HARMONICS USING ACTIVE FILTER, PESC, vol.2, VI D - 3, 1988.

マルチスケール記述を用いた信号処理の研究 その2

土井 滋 貴

A study of signal processing using multi scale description 2

Shigeki Doi

The processing using multi-scale description is supposed to be the method to catch the physical changes or to analyze obtained signals. The signal processing utilizing multi-scale description is an attractive method to catch the hierarchical structure of signals. In this paper, the scale-space filtering which is one of the method of the multi-scale description is discussed to apply to the underwater acoustic signal processing, and the several simulation results are shown. The fundamental characteristics of the scale-space filtering for underwater acoustic transmission are described.

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。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記述 (multi-scale description)を用いた処理と呼ぶことにする。

マルチスケール記述を利用した計算処理法のひとつであるスケール・スペース・フィルタリング (Scale Space Filtering 以下SSFと略する)はガウス分布関数とのコンボリューションによりマルチスケールに拡張された信号の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、拡張された信号のゼロクロス点の数はガウス分布関数の偏差 σ が減少するにつれて増加

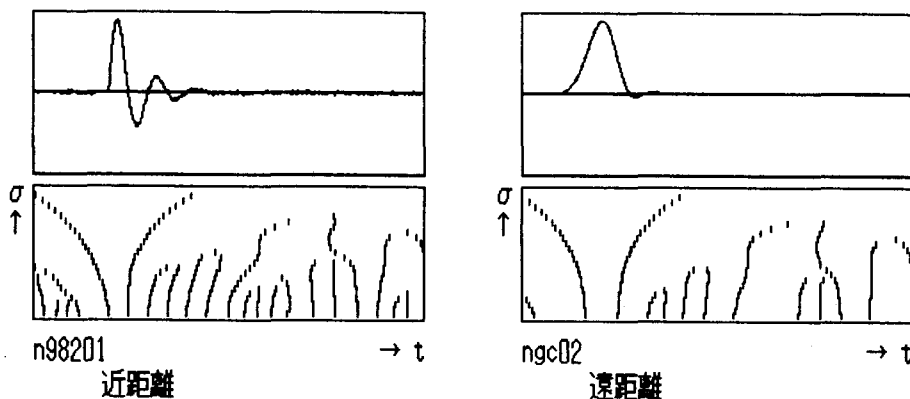


図1 伝送距離の違いによる受信波形とそのフィンガープリント

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。

本稿ではSSFにより計算される信号のフィンガープリント(SSFの処理結果はその形状が指紋に似ていることから一般にこう呼ばれる)の特性についていくつかの検討をおこなう。SSFにおいて、フーリエ変換におけるフーリエ展開のようなフィンガープリントの一般解を解析的に求めることは困難である。そこで、筆者がSSFの応用の1つとして適当であると考えている水中での音響情報伝送を仮定して、シミュレーションによるいくつかの解析を行うことにする。

2. フィンガープリントの特性

音響信号が水中で伝送する際に受ける主な影響は吸収減衰による周波数減衰と流速によるドブラー歪みである。そこでこれらの影響についての計算機シミュレーションを行う。

2.1 周波数減衰

周波数減衰はローパス・フィルター型で高周波成分ほど減衰率が大いのが特徴である。この減衰を次のように表現する。

$$P_e = A \exp(-\beta f^2 l) \dots\dots\dots(1)$$

β : 減衰係数 f : 周波数 l : 伝送距離

次に実験的に擬似インパルスを作成し、水中伝送の波形を推定し、それらをSSF処理した結果の例を図1に示す。この結果より、原波形が伝搬により歪んでいるにもかかわらずフィンガープリントはその外観を保っていることが解る。すなわち、伝送後の信号を、

$$F_l(\omega) = F(\omega) A \exp(-\beta f^2 l) \dots\dots(2)$$

としこれをガウス関数でコンボリューションすると

$$\begin{aligned} H_l(\omega, \sigma) &= F_l(\omega) G(\omega, \sigma) \\ &= F(\omega) A \exp(-\beta f^2 l) \exp(-\sigma^2 \omega^2 / 2) \\ &= A F(\omega) \exp(-\beta f^2 l - \sigma^2 \omega^2 / 2) \end{aligned} \dots\dots(3)$$

$$\therefore \sigma' = (\sigma^2 + \beta l / (2\pi)^2)^{1/2} \dots\dots(4)$$

となる。つまり水中での伝搬による高周波成分の減衰はスケール・パラメータ σ の値の変化として表されるだけでフィンガープリントの外観に大きな影響は与えないことがわかる。この事実は、通常の線形性の保存を要求する従来型の線形フィルタに対してSSFを利用した処理は有効に動作する可能性を示している。

2.2 雑音による影響

次に、信号にガウス性雑音が付加された波形について検討してみると、図2のように雑音のパワーが大きくてもその周波数分布が信号のそれに比べて高周波に偏っていればフィンガープリントにあまり影響しないことが解る。つまり、 σ の値は周波数分布の特定される雑音に対する遮断周波数を決めることになる。

2.3 ドブラー歪に対する特性

もう一つの歪みであるドブラー歪みに対するシミュレーション結果の例を図3に示す。この結果から分かるように波形の収縮にあわせてフィンガープリントも収縮する(拡張の場合は逆となる)。ところがこのフィンガープリントの連鎖形状は、信号の収縮の影響を受けていない。つまりこの連鎖形状を利用すればドブラー歪みが生じた

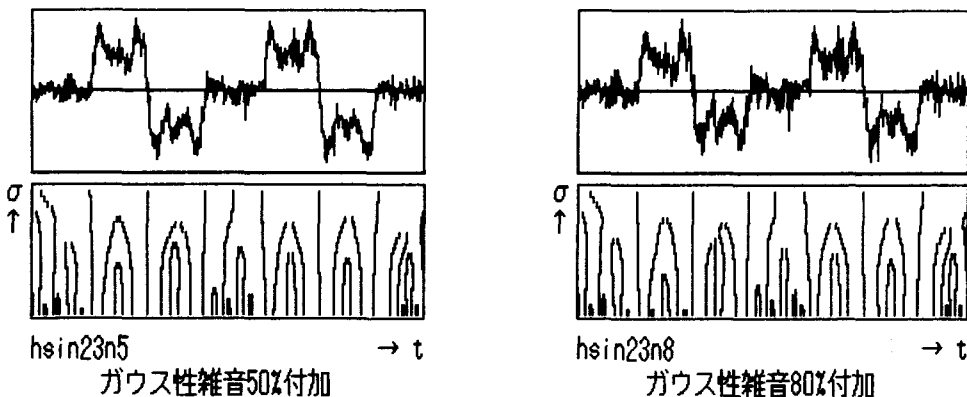


図2 雑音による影響

信号に対しても元信号との良好なマッチングが可能になると考えられる。一般にドブラー歪みの波形のマッチングは、相関関数などの評価法では実現がむずかしいが、SSFを利用した処理方法は効率的であると考えられる。

3. 変曲点の生成条件

次に受信系の信号処理手段としてのSSFを利用した水中での情報伝送について検討する。実際にSSF処理を用いた情報伝送を考えると情報をのせるキャリアとなる信号には単一の周波数を持つ送信波（たとえばFSKの上下各周波数の存在区間等）よりも、2つ以上の周波数をもつ合成波を利用する方がコード化およびデコード処理に対して有利である。なぜなら二つ以上の周波数をもつ合成波の方がSSF処理をした場合に様々なフィンガープリントのパターンを持つからである。この場合について検討してみる。

3.1 存在条件

今、二つの正弦波の合成（基本波と周波数が基本波の整数倍の高調波）による送信波形を考える。その波形および2回微分は、次のようになる。

$$f(t) = A_1 \sin(\omega_0 t) + A_2 \sin(n\omega_0 t + \theta) \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$f''(t) = -\omega_0^2 A_1 \sin(\omega_0 t) - (n\omega_0)^2 A_2 \sin(n\omega_0 t + \theta) \quad \dots\dots(6)$$

f'' の値が0となる t の条件が変曲点の存在するための条件である。信号の位相差を無視すると、

$$\sin(n\omega_0 t) / \sin(\omega_0 t) = -A_1 / (n^2 A_2) \quad \dots\dots(7)$$

この式を計算すると、

$$|A_1/A_2| \leq n^2 \quad (\alpha n + \beta) \quad n \text{は奇数} \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$|A_1/A_1| \leq n^2 \quad n \text{は偶数} \quad \dots\dots\dots(9)$$

ただし、 $\alpha=0.214$, $\beta=0.143$

となる。これが変曲点の存在条件となる。いずれの場合も、変曲点が存在するためには、基本波とその整数倍の高調波の振幅の比の絶対値が問題となり、それが n により定まるある値（ n^3 もしくは $n^2(\alpha n + \beta)$ ）よりも小さいという条件が必要となる。

3.2 臨界条件

ガウス分布関数とのコンボリューションを考える。このコンボリューションは、

$$h(t) = f(t) * g(t, \sigma) = \{ \mathcal{F}^{-1} (A_i B_i(\sigma)) \} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} |A_i| &= |F(\omega_i)|, \\ B_i(\sigma) &= |G(\omega_i, \sigma)|, \\ i &= 1, 2, \dots\dots\dots \end{aligned}$$

$$B_i(\sigma) = \exp(-2\pi^2 f_i^2 \sigma^2 / 2) \quad \dots\dots(11)$$

と表せる。従って、2つの正弦波の合成による送信波形及び2回微分（信号の位相差を無視する）は、次のようになる。

$$h(t) = A_1 B_1(\sigma) \sin(\omega_0 t) + A_2 B_2(\sigma) \sin(n\omega_0 t + \theta) \quad \dots\dots(12)$$

$$h''(t) = -\omega_0^2 A_1 B_1(\sigma) \sin(\omega_0 t) - (n\omega_0)^2 A_2 B_2(\sigma) \sin(n\omega_0 t) \quad (13)$$

となり、存在条件と同様に、この式が0の値を持つ解は、

$$|(A_1 B_1(\sigma)) / (A_2 B_2(\sigma))| \leq n^2 (\alpha n + \beta) \quad n \text{は奇数} \quad \dots\dots\dots(14)$$

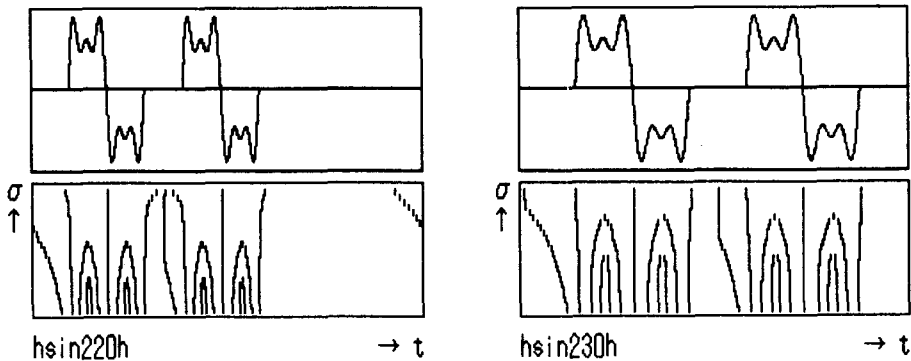


図3 ドブラー・シフトによる影響

$$|(A_1 B_1(\sigma)) / (A_2 B_2(\sigma))| \leq n^2 \quad \dots\dots\dots(15)$$

n は偶数
 である。例えば n = 2 のときを考える。ここで、 $B_1(\sigma) / B_2(\sigma)$ が最小値の場合 (= 1) において式を満足する条件は変曲点の存在条件そのものとなる。

$$|(A_1) / (2^3 A_2)| \leq 1 \text{ 変曲点の存在条件} \quad \dots\dots\dots(16)$$

変曲点の存在条件を満足しない信号においては、いかなる σ についても変曲点が現れない。これをコンボリューション後の信号に拡張すると

$$|(A_1 B_1(\sigma)) / (2^3 A_2 B_2(\sigma))| \leq 1 \quad \dots\dots\dots(17)$$

となる。この式の等号は変曲点が現れ始める条件なので、これを変曲点の臨界条件と呼ぶことにする。臨界条件を σ について解くと

$$\sigma = 1 / (2\pi) (2 / 3 \ln(2^3 |A_2 / A_1|))^{1/4} \quad \dots\dots\dots(18)$$

となる。

また、 σ は先に述べたように外部からの雑音の遮断周波数を決めることになるので、実際の S S F の使用に際しては雑音の影響の少なくなる σ の範囲で臨界条件を満足するように、伝送を行う環境に応じた送信周波数と混雑比を選択する必要がある。

存在条件を満たす波形

$$f_{son}(t) = \sin(2\omega t) + 0.15\sin(4\omega t)$$

と満たさない波形

$$f_{non}(t) = \sin(2\omega t) + 0.10\sin(4\omega t)$$

の S S F 処理例を図 4 に示す。

4. 位相の影響

いくつもの周波数成分を持った信号の個々の周波数成

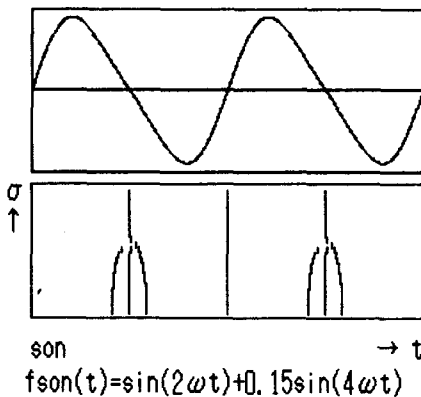


図 4 送信波形の条件

分の間の相対位相の変化はフィンガープリントの形状の変化として現れる。この形状の変化は、フィンガープリントを読み出す処理（フィンガープリントのパターン認識）を複雑にする。したがって位相の情報が必要でない信号については位相を意図的にそろえた S S F を考えることができる。

この場合には、通常の S S F のスムージング（ガウス分布関数とのコンボリューション）が、

$$f(t) * g(t, \sigma) = \mathcal{F}^{-1}(\mathcal{F}(f(t)) \times \mathcal{F}(g(t, \sigma))) \quad \dots\dots\dots(19)$$

として計算されるのに対して、位相をそろえた S S F (PLSSF: Phase Locked SSF) のスムージングは、

$$|f(t) * g(t, \sigma)| = \mathcal{F}^{-1}(|\mathcal{F}(f(t)) \times \mathcal{F}(g(t, \sigma))|) \quad \dots\dots\dots(20)$$

- ℱ : フーリエ変換
- * : コンボリューション演算
- × : 積演算

として計算される。処理手順をブロック図で示すと図 5 のようになる。

図 6 に音声信号の処理例を示す。



図 5 PLSSF ブロック図

5. ま と め

参 考 文 献

これらの結果を概念的にまとめると、SSFを利用した処理は水中音響を対象として次のような特性を持つことが推定される。

- 1) 吸収減衰に強い。
- 2) 信号より高い周波数成分を持つ雑音には有効である。
- 3) ドブラ歪みに強い。
- 4) 位相の変化に対しては弱い。
- 5) 信号に対して条件が存在する。

このように、SSFによる信号処理は、特にこれまでの数値処理で得られにくかった水中での信号の伝搬特性を補正するのに有効であることが確かめられた。実際には、伝送系や処理目的に応じた伝送波形、つまりフィンガープリントの形状の選択が後の処理結果に大きく影響する。従って、更に伝送系とフィンガープリントとの関係を明らかにする必要がある。

- 1) Andrew P. Witkin "SCALE-SPACE FILTERING: A New approach To Multi-Scale Description" IEEE ICASSP 84, pp.39A.1.1-4.
- 2) A.L.s Yuille and T.A.Poggio, "Scaling Theorems for Zero Crossing," "IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. PAMI-8, no. 1, pp.15-25, 1986.
- 3) 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.
- 4) 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年度春季日本音響学会講演論文集1-1-23
- 5) 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その2」, 61年度春季日本音響学会講演論文集3-8-9

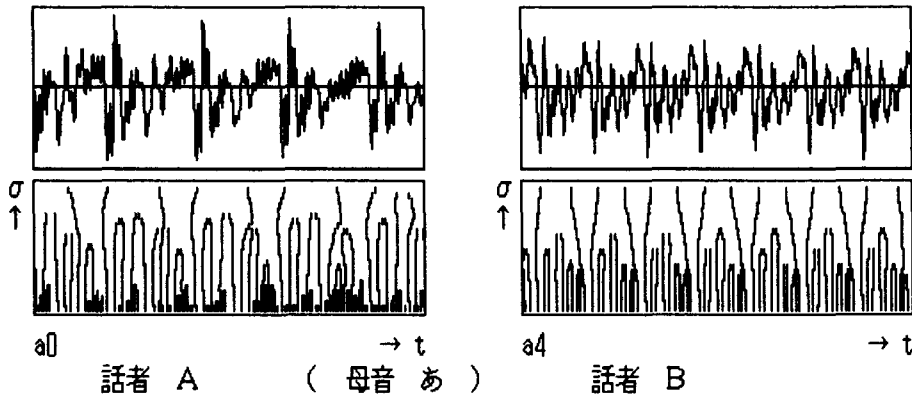


図6. a 位相を揃えないSSFによる音声の元波形のフィンガープリント

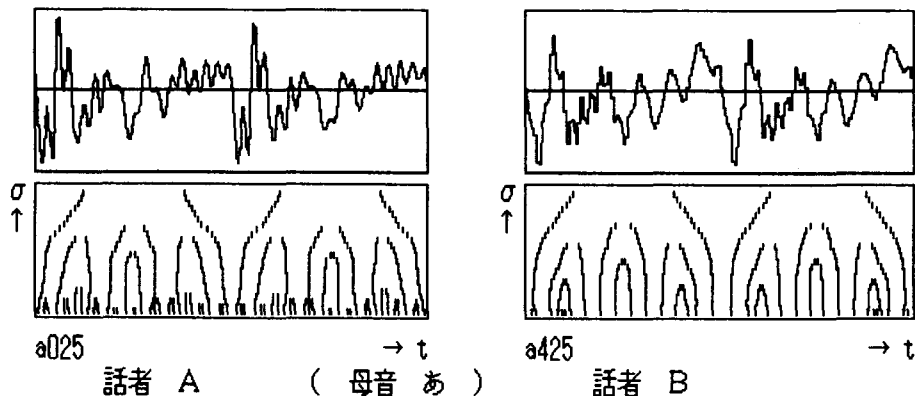


図6. b 位相を揃えたSSFによる音声の元波形とフィンガープリント

S形負性抵抗特性を用いた光ファイバ・センサ回路

山本善啓・土井滋貴・高橋晴雄

An Optical-Fiber Sensing Circuit using the S-type Negative Resistance Characteristic

Yoshihiro YAMAMOTO, Sigeki DOI and Haruo TAKAHASHI

An optical-fiber sensing circuit using an S-type negative-resistance characteristic can detect the mechanical displacement and the angula deviation.

In this paper, it is shown that the S-type negative resistance characteristic have changed with the distance and the angle between the reflecting mirror and the optical fiber-pair, and the mechanical vibration of 100 μ m has been detected as the pulsed output.

1. ま え が き

発光ダイオードLEDと受光素子としてホトダイオードPDとトランジスタTRを組み合わせ、トランジスタのコレクタからベースへ光正帰還を行なわせれば、可逆な電流制御形の負性抵抗特性（S形特性）を呈示する光結合回路を構成することができる。発光ダイオードとホトダイオードの光正帰還ループに光ファイバを使用して、光ファイバの帰還光量を位置や角度などの物理的变化によって外部的に変えれば、S形特性が変化し、光ファイバS形回路は、物理量に対するスイッチング機能デバイスとして利用できる。

本稿では、位置並びに角度の2値化検出を行った基礎実験結果について述べる。

光ファイバセンサ回路の基本特性

図1は、光ファイバセンサ回路の構成を示したものである。端子間電圧VがトランジスタTR2のコレクターエミッタ間のなだれ降服維持電圧以下では、電流Iはほとんど流れず、LEDは発光しないので、光ファイバで光結合されているPDへの光の照射はなく、TR2はOFF状態である。端子間電圧Vがトランジスタのなだれ降服電圧に達すると、TR2のコレクターエミッタ間に

電流が流れ始め、LEDが発光を開始する。出力光は、PDに照射され、TR2のベース電流が流れ、TR2はなだれ降服状態から能動状態となり、コレクターエミッタの電圧は減少する。LEDからPDへの光結合による正帰還作用により、TR2は飽和状態に達し、回路はON状態になる。

本回路は、LEDからPDへの光正帰還ループに光ファイバを使用し、反射板と光ファイバ対との距離は l で各光ファイバは角度 θ で対抗させた構成で、距離 l の変化 d および角度 θ によって、LEDからPDへの帰還光量を変化させることができる。

図2(a),(b)は、光ファイバの角度 θ を 90° とし、オフセット距離 l を0.6mmとした時の反射板の位置をパラメータとした電圧-電流特性の変化を示したものである。オフセット距離は、反射板による光ファイバへの反射光量が最大になる距離で、この場合0.6mmである。同図(a)は、距離が一方向（光ファイバに近づく方向）で測定したもので、同(b)は十方向（光ファイバより離れる方向）で測定したものである。

オフセット距離からのずれ d によって、ホールド点の電流値が大きくなることがわかる。同図(c)および(d)は、それぞれ θ を 60° および 110° にしたときで、 d を十方向に変化させたときの電圧-電流特性を示したものである。

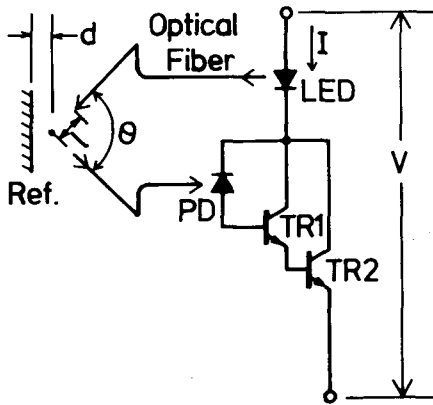


図1 光ファイバセンサ回路 (ONR)

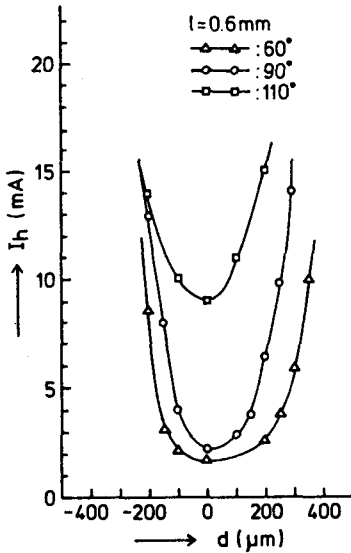


図3 反射板の位置によるホールド電流値の変化

図3は、角度 θ による保持電流値 I_h の変化を示したものであり、光ファイバの角度 θ を 90° にしたときに、反射板の位置変化に対し、保持電流の変化が最も大きくなることからわかる。

3. 振動検出

図4は、光ファイバセンサ回路 (ONR) による、振動検出回路の構成図を示したものである。また、図5は、S形特性と負荷線の関係を示した動作説明図である。反射板の変位が小さいS形特性 S_1 とはA点で、変位の大きいS形特性 S_2 とはB点で交わるように負荷線を設定すれば、A点の保持電流値に対応する変位をしきい値と

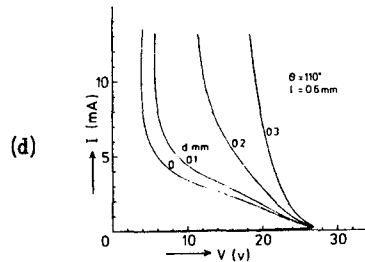
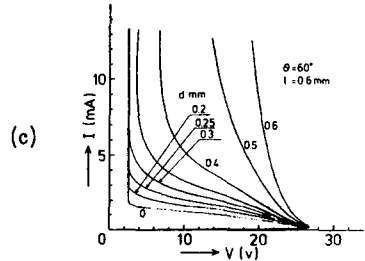
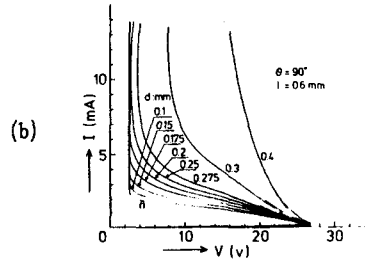
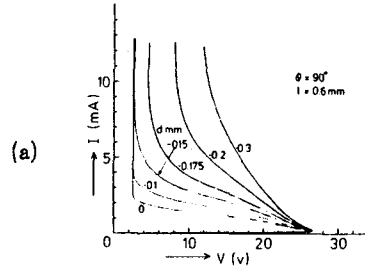


図2 S形電圧-電流特性の変化

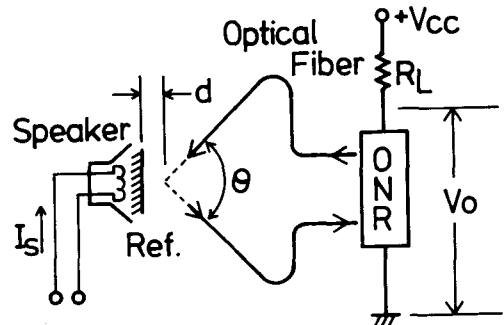


図4 振動検出回路

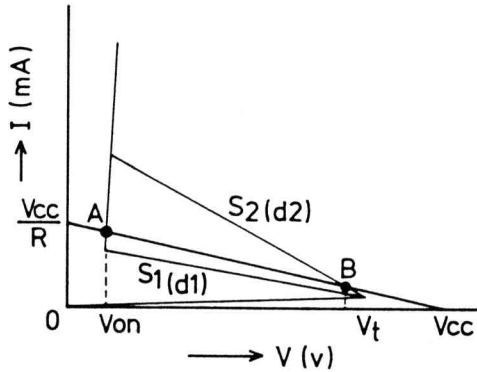


図5 動作説明図

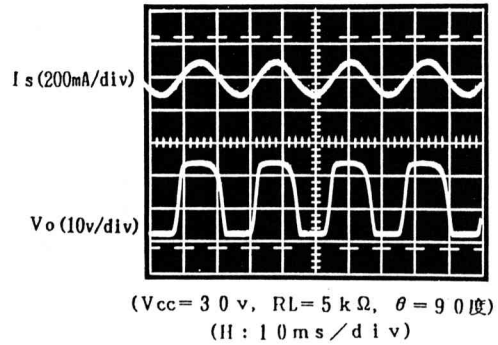


図6 動作波形

して、変位を2値的に検出することができる。

図6は、コーン紙の一部に反射板を張り付け、ファイバの角度 θ を 90° 、オフセット距離 l を 0.6mm とし、供給電圧 V_{cc} を 30V 、負荷抵抗 R_L を $5\text{K}\Omega$ として検出実験を行った動作波形である。

スピーカは、実験帯域($40\sim 80\text{Hz}$)で、 $100\mu\text{m}$ / 50mA の変位特性を持つものを使用した。

実験では、 $100\mu\text{m}$ の振動変化の検出を行うことができた。

4. む す び

本稿では、光結合S形負性抵抗回路の光正帰還ループ部に光ファイバを用いることにより反射板の変位ならびに角度をしきい値検出できる基礎実験結果を示した。本実験では、簡単な回路構成で $100\mu\text{m}$ の振動検出が行えることを明らかにした。また、本回路は、反射板の角度変化もしきい値検出が可能であり、シート状物体の厚み検出、エッジ検出、異常検出などに応用できる。

5. 文 献

- 1) H. Takahashi: "A Light-Sensing Fiber Circuit with an Optically Controllable S-type negative Resistance Characteristic". First Optoelectronics Conference (OEC' 86, Tokyo). Technical Digest, D 5-10 (July 1986).
- 2) 高橋, 山本: "光ファイバを用いたS形負性抵抗回路". 昭和61年度電気関係学会関西支部連合大会. G12-11 (昭和61年11月)
- 3) 高橋, 山本: "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". 昭和62年度電気関係学会関西支部連合大会, G12-11 (昭和62年11月)

物理教育のためのコンデンサーを用いた基礎実験

浅井 文男

Elementary Experiments using Capacitor for Education of Physics

Fumio ASAI

高校選択物理・電磁気の単元において、コンデンサーは重要な学習素材の一つである。コンデンサーの学習指導は理論に基づく説明と問題練習が中心になりがちであるが、生徒の関心と主体的な学習力を高めるためにできるかぎり多彩な実験を取り入れることが望ましい。

筆者はコンデンサーに蓄えられた電荷を測定するための簡便な定電流装置を製作した。この装置と大容量のコンデンサーを使うと、コンデンサーの基本的性質に関する多様な基礎実験が容易にできる。授業の一環として実施した生徒実験からも定量的に満足な結果が得られた。この論文で紹介する実験はコンデンサーの学習のみならず、電荷保存の法則の学習にも役立つものとする。

1. はじめに

高等学校選択物理において、電磁気は力学と並ぶ重要な学習単元である。しかし、わかりやすさという点では両者はかなり差があるように思われる。電磁気は難しいとこぼす生徒は数多い。

力学では運動の3法則や運動量保存の法則、力学的エネルギー保存の法則などの基本法則が成り立つことを、生徒自身が実験により確かめることができる。そして定量的に確かめたこれらの法則を駆使して多種多様な物体の運動を統一的に理解していくという学習展開が可能である。また、登場する物理量も力学という学問の性格上、感覚的に理解しやすいものが多い。それに対して電磁気の単元では電荷、電界、電位といった基本的な物理量の多くは直接的な感覚を離れた抽象的な性格が強く、生徒はこれらの物理量を理解することにまず困難を感じる。さらに、高校・電磁気の出発点に置かれる諸法則は電磁誘導の法則とローレンツ力を除いて、マクスウェルの方程式から導かれる第二義的な法則か、または現象論的に導入された法則なので適用範囲が狭い。その結果、多様な電磁現象を定量的に記述するためには雑多な公式が必要になり、学習内容の論理的な一貫性が失われる。また、

オームの法則などは別として、これらの法則を実験で検証するには高価な装置と慎重な操作が必要で、だれもが教室で気軽にやるわけにはいかない。

このような理由から、電磁気の授業では往々にして教師は雑多な法則や公式の説明とその使い方の指導に始終し、生徒は納得のいかないままにそれらの暗記を強いられることになる。人類の英知と努力の結晶である電磁気学の華麗な法則も、そのような生徒の目には退屈な計算問題のネタとしか映らないとしても無理はない。

2. コンデンサーをめぐる諸問題

2.1 コンデンサーの理解に関する調査結果

電磁気の単元における電界と電位や直流・交流回路の学習ではコンデンサーの正しい理解が不可欠である。しかしコンデンサーの性質については後で述べるような誤解が生じやすく、先に述べた電磁気特有の事情も加わって、その学習と知識の定着を困難にしている。筆者は以下の問題を使って、コンデンサーに関する最も基本的な知識の理解と定着を調べた。調査したのは高専の情報工学科の3年生と4年生である。3年生については「電気磁気学」の授業でコンデンサーの学習をした直後に調査を実施した。4年生はちょうど1年前に「電気磁気学」

の授業でコンデンサーの学習を済ませている。高専のカリキュラムは高校のそれとは異なるが、この調査の結果は物理を学ぶ高校生の実情も反映していると考えられる。

1. 電気容量が $2\mu\text{F}$ と $6\mu\text{F}$ のコンデンサー C_1 , C_2 を図アのように並列に接続し、 40V の電圧を加えた。以下の各問に答えよ。

① C_1 , C_2 に蓄えられる電気量はそれぞれ何 C か。

② C_1 , C_2 全体に蓄えられる電気量は何 C か。

③ C_1 , C_2 の合成容量は何 μF か。

2. 電気容量が $2\mu\text{F}$ と $6\mu\text{F}$ のコンデンサー C_1 , C_2 を図イのように直列に接続し、 40V の電圧を加えた。以下の各問に答えよ。

① C_1 , C_2 に蓄えられる電気量はそれぞれ何 C か。

② C_1 , C_2 全体に蓄えられる電気量は何 C か。

③ C_1 , C_2 の合成容量は何 μF か。

④ C_1 , C_2 に加わる電圧はそれぞれ何 V か。

調査の結果を表1に示す。回答者数は3年、4年とも38名であり、正解率 = (正解者数 / 回答者数) × 100% である。

表1

問 題	1			2				
	①	②	③	①	②	③	④	
正解率	3 年	95	95	95	71	74	97	71
	4 年	71	68	87	26	45	74	45

この調査結果をまとめると次のようになる。

- 並列接続の問題については、3年生は問①~③とも正解率が非常に高い。4年生は問③すなわち合成容量の問題の正解率が比較的高い。
- 直列接続の問題については、3、4年生とも並列接続の場合より正解率が低くなる。特に4年生の場合、問①すなわち C_1 , C_2 に蓄えられる電気量を求める問題の正解率が極めて低い。しかし、3、4年生とも合成容量の問題の正解率は比較的高い。3年生の場合は

ほぼ全員が正解である。

直列接続の問題の誤答には次の4つのパターンがある。

- (ア) $Q = CV$ の関係を使うとき、 Q と C を間違える (並列接続の問題にもみられる) ……9人
- (イ) 電池の電圧がそのまま C_1 , C_2 に加わると考える ……7人
- (ウ) C_1 , C_2 に加わる電圧は、それぞれの容量に比例すると考える ……24人
- (エ) 全体に蓄えられる電気量 = C_1 , C_2 に蓄えられる電気量の和、と考える ……7人

合成容量の計算のように、単純に公式を当てはめるだけの問題ではできるが、電荷(電気量)や電気容量(静電容量)の概念形成が不十分なため、(ア)のような初歩的なミスを犯す。さらに、コンデンサーの基本的な性質を正しく理解していないため、直列接続を並列接続と同様に扱っている。抵抗の場合の知識があるためか、感覚的にどうしても $V_1 : V_2 = C_1 : C_2$ 、 $\therefore Q_1 : Q_2 = C_1 : C_2$ と判断してしまうようである。(ウ)が24人もいることは注目に値する。

2.2 コンデンサーに蓄えられた電荷の測定

直列接続の場合は $C_1 \neq C_2$ であっても $Q_1 = Q_2$ になるというように、感覚的には納得しにくい事実や法則の学習には、説明と計算中心の授業よりは説得力のある実験中心の授業がふさわしい。そのような授業を実現するには、コンデンサーに蓄えられた電荷を測定するための適切な方法の開発が不可欠である。これがないと $Q = CV$ の関係すら確かめることができない。これまで電荷の測定には、抵抗を通じて放電させたときの $I-t$ グラフが囲む面積を計算するという方法がとられてきたが、この方法には次のような問題点があった。

- ① 放電電流の時間的変化が指数関数的になるので、 $I-t$ グラフが囲む面積の計算が面倒である。
- ② 数 μF ~ 数百 μF のコンデンサーを使用する場合、放電時間をある程度長くするためには放電電流を小さくせざるを得ず、電流測定のためにはマイクロアンペア計が必要になる。

定電流装置を使えばコンデンサーの端子間電圧が変化しても放電電流は一定に保たれるので、電荷は電流 × 放電時間という簡単な計算で求めることができる。しかし、市販の定電流装置は高価で生徒実験用として何台も揃えるわけにはいかない。

筆者は製作がやさしく、生徒にも容易に取り扱える定電流装置を試作し、コンデンサーの基本的な性質を確かめる実験を実施した。そして定量的にも満足いく結果を得た。以下において、3章で定電流装置の構成と特性

を、また、4章で実験の内容と結果を報告する。

3. 定電流装置について

3.1 定電流装置の構成

実験を気軽に行うためには壊れやすいマイクロアンペア計ではなく、普通の電流計を使いたい。すると定電流装置の設定電流は数mA～数十mAということになる。しかし、10Vで充電した1000 μ Fのコンデンサーでも10mAで放電させると、わずか10秒で放電してしまう。これでは放電時間が短すぎて実験がやりにくいし誤差も大きくなる。そこで定電流装置の設定電流は数mAとする。この条件を考慮して製作した定電流装置の回路図を図1に、また、実物を写真1に示す。この回路図や写真から分かるように定電流装置はたいへん簡単なもので、生徒でも容易に作ることができる。

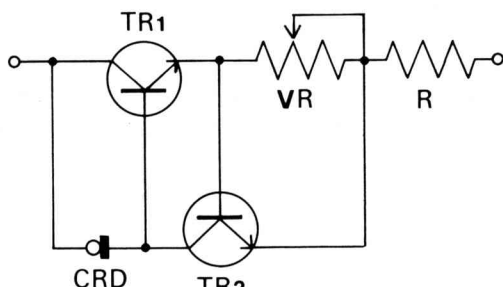


図1

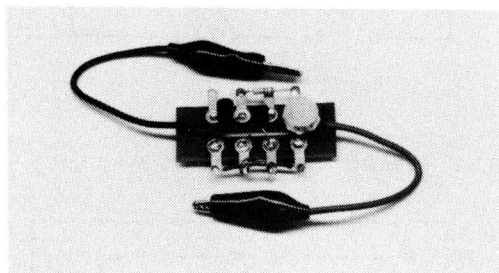


写真1

○使用部品

- ・トランジスタ TR₁ …… 2SC2120
- TR₂ …… 2SC945
- ・定電流ダイオード …… E101 (石塚電子)
- ・500 Ω 半固定抵抗
- ・150 Ω 抵抗
- ・ラグ板、みの虫クリップ

定電流ダイオード (CRD) はその名の通り、電圧や負荷抵抗が変化しても一定の電流を供給するダイオードのことで、定電流領域における電流値 (ピンチオフ電流) は品種により異なるが50 μ A～5mAである。定電流ダイオードだけで定電流装置ができそうだが、定電流領域に入る電圧が10V程度になるので、これを下げるためトランジスタと組み合わせる必要がある。TR₁、TR₂は適当な小信号増幅用のトランジスタでよい。この定電流装置では半固定抵抗により電流を1mA～4mAの間で任意の値に設定することができる。

3.2 定電流装置の特性

製作した定電流装置の電圧-電流特性を図2に示す。定電流領域に入る電圧は約1.6Vで、それより高い電圧では非常に良い定電流特性を示す。

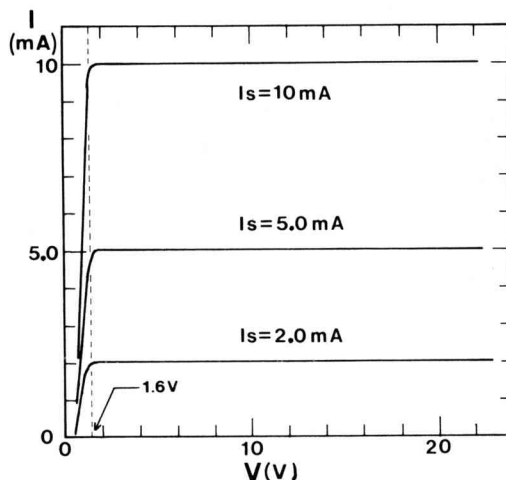


図2 電圧-電流特性

4. 実験について

製作した定電流装置を大容量のコンデンサーと組み合わせると、普通の電流計を使って次のような項目について実験ができる。

- ①コンデンサーに蓄えられた電荷の測定
- ②電荷と端子間電圧との関係 ($Q = CV$)
- ③電気容量の測定
- ④並列接続されたコンデンサーについて成り立つ諸公式
 - ・ $Q_1 : Q_2 = C_1 : C_2$
 - ・ 全電荷 = $Q_1 + Q_2$
 - ・ 合成容量 = $C_1 + C_2$
- ⑤直列接続されたコンデンサーについて成り立つ諸公式

- ・全電荷 = $Q_1 = Q_2$
- ・合成容量 = $C_1 \cdot C_2 / (C_1 + C_2)$

これらすべての項目について予備実験を行った後、生徒実験を実施した。

○使用した実験器具

- ・定電流装置 (設定電流値は 2 mA)
- ・定電圧電源 (設定電圧 20 V)
- ・電流計と電圧計 (予備実験ではデジタルマルチメーター、生徒実験では可動コイル型をそれぞれ使用)
- ・3300, 4700, 6800, 10000 μF の電解コンデンサー (耐電圧はすべて 25 V)
- ・ストップウォッチ、スイッチ、リード線

電解コンデンサーの容量の表示値はあてにならないので、合成容量の理論値の計算などには抵抗による放電の時定数から求めた表 2 の測定値を使用する。

表 2

コンデンサー		A	B	C	D
容	表示値 (μF)	3300	4700	6800	10000
量	測定値 ($\times 10^{-3} F$)	3.8	5.3	7.0	11

まず、基本になる①～③についての予備実験の結果を報告する。生徒実験においても同様の結果が得られている。

4. 1 基礎的な実験

(1) コンデンサーの充電 (実験②, ③)

図 3 の回路において、電源電圧を 20 V、充電電流を 2 mA に設定し、スイッチを入れると同時にストップウォッチで時間をはかり、5 秒ごとに電圧と電流を測定する。

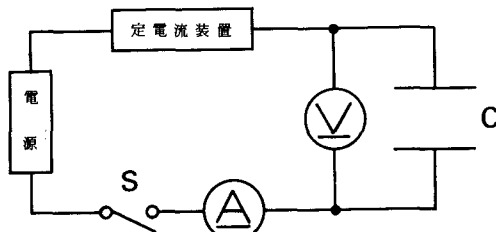


図 3

コンデンサー D についての測定結果を図 4 に示す。定電流装置を使うとコンデンサーに流れ込む電流は一定に保たれるので、図 4 の $V-t$ グラフから直ちに $Q = CV$ の関係が成り立つことがわかる。

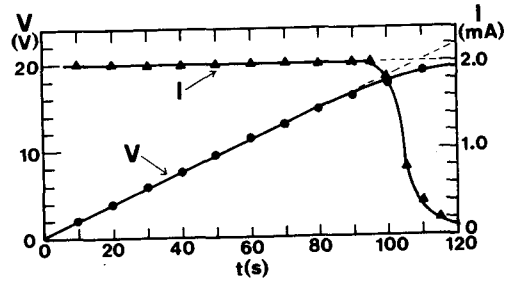


図 4

コンデンサーの容量は $V-t$ グラフの傾きと対応するので、計算で求めると、

$$C = \frac{I \cdot (t_1 - t_2)}{V_1 - V_2} = \frac{2.0 \times (70 - 20)}{13 - 4.0} = 11 \times 10^{-3} F \quad \dots (4.1)$$

になり、抵抗放電の時定数から求めた測定値と完全に一致する。

(2) コンデンサーの放電 (①, ③の実験)

20 V の電圧で充電したコンデンサーを図 5 の回路により、2 mA で放電させる。スイッチを入れると同時にストップウォッチで時間をはかり、5 秒ごとに電流を測定する。

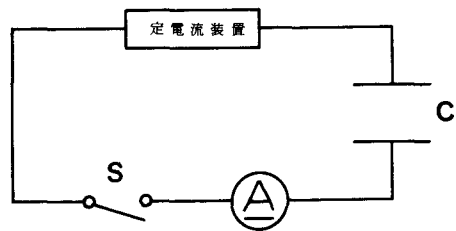


図 5

コンデンサー D についての測定結果を図 6 に示す。

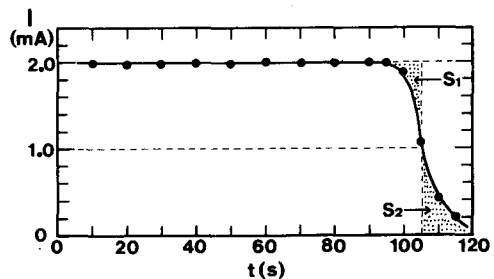


図 6

定電流装置を使ってコンデンサーを放電させると $I-t$ グラフが囲む図形はほぼ長方形になるので、コンデンサーに蓄えられていた電荷は電流 $I \times$ 放電時間 T から直

ちに求められる。その際、図6の S_1 と S_2 の面積が等しくなる時刻を T とすればよいが、この値を正確に求めることは難しいので、電流が半分の1mAになる時刻を T とみなす。 $T=105$ 秒を用いてコンデンサーに蓄えられていた電荷を求めると、

$$Q = I \times T = 2.0 \times 10^{-3} \times 105 = 0.21 \text{ C} \dots\dots\dots (4.2)$$

また、この値からコンデンサーの容量を計算すると、

$$C = Q / V = 0.21 / 20 = 11 \times 10^{-3} \text{ F} \dots (4.3)$$

となり、やはりすでに求めた測定値と一致する。また、コンデンサーの容量をあらかじめ与えた場合は、電荷の理論値 $= C \times V = 11 \times 10^{-3} \times 20 = 0.22 \text{ C}$ と(4.2)の計算値を比較することもできる。A~Dのコンデンサーについての実験結果を表3に示す。計算値と理論値の一致は非常によい。

表3

コンデンサー	A	B	C	D	
放電時間(秒)	38	52	70	105	
電荷	計算値(C)	0.076	0.10	0.14	0.22
	理論値(C)	0.076	0.11	0.14	0.22

4.2 応用的な実験

次に実験④、⑤の結果を報告する。実験方法や条件設定は4.1の(2)放電実験の場合と同じである。グラフを書く必要はないので放電時間をストップウォッチではかるだけでよい。

(1) 実験④(並列接続したコンデンサーの合成容量)

並列につないだ2個のコンデンサー C_1 、 C_2 を20Vの電圧で充電し、 C_1 、 C_2 をつないだまま放電時間を測定する。その値を(4.2)、(4.3)に代入して合成容量を計算し、公式を使って求めた理論値と比較すると表4のようになる。計算値と理論値の一致は非常によい。

表4

C_1, C_2	AとB	AとC	AとD	BとC	BとD	CとD	
	B	C	D	C	D	D	
放電時間(秒)	90	108	147	122	167	181	
容量	計算値($\times 10^{-3} \text{ F}$)	9.0	11	15	12	16	18
	理論値($\times 10^{-3} \text{ F}$)	9.1	11	15	12	16	18

(2) 実験⑤(直列接続したコンデンサーの合成容量)

実験の手順は次の通りである。まず、直列につないだ2個のコンデンサー C_1 、 C_2 を20Vの電圧で充電した後、 C_1 、 C_2 を切り離し、別々に放電時間 T_1 、 T_2 を測定する。次に再び C_1 、 C_2 を直列につなぎ、20Vの電圧で充電する。そして今度は直列につないだままコンデンサーの放電時間 T を測定する。測定結果を表5に示す。

表5

C_1, C_2	AとB		AとC		AとD	
T_1, T_2 (秒)	22	21	24	23	27	25
全体T(秒)	22		24		28	
C_1, C_2	BとC		BとD		CとD	
T_1, T_2 (秒)	28	28	34	33	41	41
全体T(秒)	29		34		42	

どの組み合わせについても $T_1 = T_2 = T$ がほぼ成り立つから、全電荷 $= Q_1 = Q_2$ であることが確認できる。

表5の放電時間 T を(4.2)、(4.3)に代入して合成容量を計算し、公式を使って求めた理論値と比較すると表6のようになる。

表6

C_1, C_2		AとB	AとC	AとD
容量	計算値($\times 10^{-3} \text{ F}$)	2.2	2.4	2.8
	理論値($\times 10^{-3} \text{ F}$)	2.2	2.5	2.8
C_1, C_2		BとC	BとD	CとD
容量	計算値($\times 10^{-3} \text{ F}$)	2.9	3.4	4.2
	理論値($\times 10^{-3} \text{ F}$)	3.0	3.6	4.3

並列接続の場合ほどではないが、計算値と理論値との一致はかなりよい。

議 論

5.1 実験の精度について

最初に述べたように、これらの実験の目的は理論や説明だけで終わりがちなコンデンサーに関わる法則や公式の正しい理解と定着をはかることにある。よって、手軽にこれらの実験ができることがポイントになるわけで、測定精度をこれ以上高くする必要はないと考える。しかし、計算値と理論値とが完全に一致すれば生徒の喜びも大きいし、学習意欲を高めることにもつながるので、実

験の精度を高める工夫をすることは無駄ではない。

実験③～⑤はすべてコンデンサーに蓄えられた電荷の測定が基礎になっている。よってこれらの実験の測定精度は放電時間の測定精度によって決まる。しかし、 $I-t$ グラフと座標軸によって囲まれる図形を長方形で近似すると必ず誤差が生じる。これを小さくするためには以下のような方法が考えられる。

- ・定電流で放電させる時間をできる限り長くして、電流が変化する部分の時間を相対的に短くする。
- ・定電流領域に入る電圧がさらに低くなるよう、定電流装置を改良する。

前者については充電電圧を上げるか放電電流を小さくすればよいのだが、それぞれコンデンサーの耐電圧と電流計の測定範囲による制限がある。また、後者については「安価で製作と操作が容易」という条件が足かせになる。いずれにせよ測定精度を上げるのは容易でないのが実情である。

5.2 授業への導入

4章で紹介した実験を今回は講義形式の授業に取り入れて実施した。このやり方には次のような利点がある。

- ・これまでの授業構成をあまり変更せずに実験が導入できる。
- ・生徒は実験の目的をはっきりとつかむことができる。
- ・実験が比較的スムーズに進められ、結果の解釈も容易である。
- ・指導計画が立てやすい。

生徒実験では、初期の段階で定電流装置を逆向きに接続したグループが二、三あったほかは特にトラブルも発生せず、すでに示した予備実験の場合とはほぼ同様の結果が得られることが判明した。実験の教育上の効果については今後調査する予定である。

ところで2章で指摘したように、直列接続の場合でも並列接続の場合と同様、 $C_1 < C_2$ ならば $Q_1 < Q_2$ であると考えている生徒はかなりいる。そこで実験⑤の $Q_1 = Q_2$ を確かめる実験などは、問題提起→予想→討論→

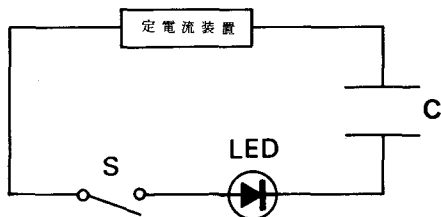


図7

実験→理論というスタイルの授業の中で、予想を検証するために実施するとたいへん効果的な実験になると思われる。この場合、定量性よりも明快さが重要なポイントになるので、ストップウォッチと電流計の代わりに発光ダイオード (LED) を使った図7のような回路で実験するとよい。すなわち、直列につないで充電した2個のコンデンサーを別々に図7の回路につなぎ、同時にスイッチを入れる。すると発光ダイオード (LED) は点灯し、やがては同時に消える。これで $Q_1 = Q_2$ が成り立つことが確認できたことになる。ただし放電電流を同じ値にしておくことは言うまでもない。

この実験は電荷保存の法則の検証実験として位置づけることもできる。電荷保存の法則は物理学の最も基本的な法則の一つであるとともに、エネルギー保存の法則や運動量保存の法則と同様、多彩な自然現象の背後にひそむ保存量に着目してそれらの現象を統一的に理解し、更には未知の現象を予言するという物理学の自然認識の方法を学ぶための格好の学習素材である。また、コンデンサーを含む回路の計算問題を解くためにこの法則を適用することは有効な定石の一つで、生徒はこれに習熟することが望まれる。

このようにして教育上、重要な位置を占める電荷保存の法則であるが、基本法則であるがゆえに授業における指導は難しく、教科書どおりの説明とせいぜいはく検電器を使った定性的な実験を演示する程度で済まさざるを得なかった。しかし、議論を通じて問題点を明確にした上で図7の実験に取り組みせ、得られた結果もとにして話をするならば、この法則に対する生徒の理解と親しみも倍増するに違いないであろう。

参考文献

- 1) 電子回路部品ハンドブック (1988), CQ出版社
- 2) トランジスタ技術スペシャルNo.1 (1988), CQ出版社
- 3) 物理計測システム実用設計 (1989), CQ出版社
- 4) トランジスタ規格表 (1988), CQ出版社
- 5) トランジスタ互換表 (1988), CQ出版社
- 6) ダイオード規格表 (1988), CQ出版社
- 7) FET規格表 (1988), CQ出版社
- 8) 浅井文男: 広島大学付属福山中・高等学校中等教育研究紀要, 第29巻, 29 (1989)

保留状態を考慮したファジイ状態識別法について

植村 芳樹

A Study on Fuzzy-Classification Applied by Inroducing the concept of reserved state of nature

Yoshiki Uemura

本論文では意思決定者によって任意に決定されたメンバシップ関数が、ベイズ識別法のファジイ状況への拡張であるファジイ状態識別法に適用できることを論じる。ある条件（直交条件）を満たす問題以外の一般的問題にたいして、保留状態というファジイ状態を追加し状態識別を検討した。

また、様々なメンバシップ関数について数値計算をおこない、保留状態の追加の有無によりどのような特徴を示すか検討をおこなった。この結果、ファジイ状態が独立である場合、保留状態を追加することによって保留という状態に識別される観測値があることがわかった。

1. はじめに

実社会における意思決定問題は、多くのあいまいさを持った状況のもとで行われる。確率的識別法としてベイズ状態識別法が、頻繁に使用されている。状況としてあいまいなものと考えこれをファジイ状況と呼び、この状況のもとでベイズ状態識別法を拡張したものをファジイ状態識別法という。

標本空間とファジイ状態との関係度を表す関数として、メンバシップ関数が考えられている。このメンバシップ関数は、意思決定者によって、任意に決定される。このメンバシップ関数が与えられたとして、さまざまな意思決定問題に適用されている。本論文では、意思決定問題のなかで状態識別問題をとりあげ、筆者が提唱している「保留状態」の概念を導入したファジイ状態識別問題について述べる。

2. 保留状態

ここではファジイ状態の直交条件と、一般の場合についてのファジイ状態識別法の適用について述べる。今、ファジイ決定問題を $\langle F, A, U, E, \Theta \rangle$ によって表

すことにする。 $F = \{f_1, \dots, f_r\}$ はファジイ状態の集合で、 F_i は標本空間 $\Theta = \{\theta_1, \dots, \theta_n\}$ 上のファジイ事象である。 A は行動の場合、 U は効用関数、 E は Θ 上の事前確率分布である。また F 上のメンバシップ関数 μ_f の集合を M_f とする。

2.1 ファジイ状態の直交条件について

ファジイ状態の直交条件とは $\sum_i \mu_{f_i}(\theta_k) = 1$ ($k = 1, \dots, n$) が成立することである。

一般にメンバシップ関数 μ_f は、意思決定者によって $[0, 1]$ の関数として任意に決定される。ここでの直交条件はこれに制約を与えるもので、ある関係則（直交条件）をもって標本空間 Θ がファジイ状態 F に完全に分類可能であることを意味する。

しかし、このような条件を満たす問題は特殊といえる。

また直交条件はメンバシップ関数の一種の標準化と考えられる。このことは、本来の関係性の意味を変更することであり標準化されたメンバシップ関数を適用することには無理がある。

一般にいくつかの保留というファジイ状態を追加することによって問題の意味づけができ、 $\sum_i \mu_{f_i}(\theta_k) = 1$ となるように自動的に保留状態のメンバシップ関数が生成される。この追加したファジイ状態と自動的に生成されたメンバシップ関数によってファジイ状態識別法が適用できる。

2.2 「保留状態」というファジイ状態を追加したメンバシップ関数の例

Θ を試験の点数を表す集合とし、 $\Theta = [0, 100]$ とする。「上位」、「中位」、「下位」をそれぞれ θ におけるファジイ集合とし、 f_1, f_2, f_3 で表す。ここで、各々のメンバシップ関数を $\mu_{f_1}, \mu_{f_2}, \mu_{f_3}$ とし、直線で表すと例えば図 2.1 のようになる。

ここで、二つの保留というファジイ状態を追加する。「上位でないことはわかっているが中位か下位か判別できない」という状態と、「下位でないことはわかっているが上位か中位か判別できない」という状態である。これらは、条件付保留状態になっている。

各々の保留状態メンバシップ関数 μ_{f_4}, μ_{f_5} とする。すべての θ_k に対して $\sum_i \mu_{f_i}(\theta_k) = 1$ となるよう自動的に μ_{f_4}, μ_{f_5} が生成される。図 2.2 にこれらのメンバシップ関数を示す。

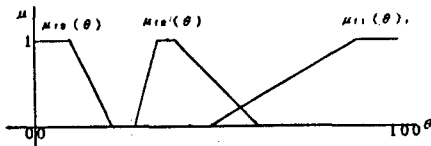


図 2.1 設定されているメンバシップ関数

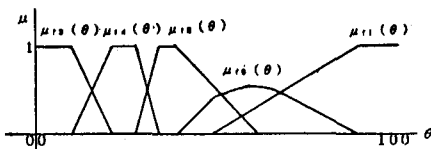


図 2.2 「条件付保留」状態のメンバシップ関数

3. 適用例

商店でのある商品の売行きの問題を考える。来年の売行きとして、「売れる」、「売れない」というファジイ状態 f_1, f_2 を考える。

状態空間として、来年の販売量の 50 ぎざみの数値を要素とした $\Theta = \{\theta_i\} = \{800, 850, 900, 950, \dots, 1700\}$ を考え、各 θ_i に対する事前確率が $e(\theta_i)$ として、表 3.1 のように与えられているものとする。

観測空間として、この商品に対して先行指標的な役割をする別の商品の今年の売行きを考える。観測空間を $X = \{x_j\} = \{550, 600, 650, \dots, 1750\}$ とする。このとき、 Θ がわかっているときの X の条件付確率分布 $f(X|\Theta)$ が表 3.2 のように与えられているものとする。

ここで、 f_1, f_2 の θ に対するメンバシップ関数と

して $\mu_{f_1}(\theta_i), \mu_{f_2}(\theta_i)$ を考える。すべての θ_k に対して、 $\sum_i \mu_{f_i}(\theta_k) \leq 1$ となるようなメンバシップ関数を与えこの決定問題を考察する。ここでは離散的な問題を扱っているが、メンバシップ関数の傾向をわかりやすくするため連続関数を考える。次に標本点を与え離散的な関数としてこの問題を考える。

3.1 ファジイ状態識別法

本適用例における状態識別法については、ベイズ識別法(文献[1])の拡張であるファジイ状態識別法をとりあげる。文献[2]においては、2章で述べた直交条件を満たす特殊な例を使用している。本論文では、より一般的な適用を考え保留状態を導入した例を考察する。

ファジイ状態識別法とは、 x_j を観測した時、 $\text{MAX}_k \{f(x_j | F_k) P(F_k)\}$ なる F_k に x_j が分類される方法をいう。ここで $f(x_j | F_k), P(F_k)$ は各々次式で与えられる。

$$P(F_k) = \sum_i \mu_{f_k}(\theta_i) e(\theta_i)$$

$$f(x_j | F_k) = \sum_i \mu_{f_k}(\theta_i) f(x_j | \theta_i) * e(\theta_i) / P(F_k)$$

3.2 メンバシップ関数の例と数値計算結果

3.2.1 完全に Θ が F に分類可能な場合(クリスプ集合)

メンバシップ関数が 0 か 1 をとる。この場合の例を連続関数として表したものが図 3.1 であり、境界を θ_{i0} として離散的関数で表したものが表 3.3 である。

ファジイ状態識別法をもとに数値計算を行った結果を表 3.4 に示す。

3.2.2 ある関係則(直交条件)をもって Θ が F に分類可能な場合

すべての θ_k に対して、 $\sum_i \mu_{f_i}(\theta_k) = 1$ である。この場合の例を連続関数として表したものが図 3.2 であり、離散的関数であらわしたものが表 3.5 である。ファジイ識別法をもとに数値計算を行った結果を表 3.6 に示す。

3.2.3 一般的な場合

すべての θ_k に対して、 $\sum_i \mu_{f_i}(\theta_k) \leq 1$ である。

ここでは、例を二つ取り上げる。例 1 は重なり部分を持つ例であり、例 2 は持たない例である。次に「保留」というファジイ状態 f_3 を追加する。ここで f_3 のメンバシップ関数を μ_{f_3} とする。すべての θ_k に対して、 $\sum_i \mu_{f_i}(\theta_k) = 1$ となるように μ_{f_3} が自動的に生成される。例 1 の連続的な場合を図 3.3、離散的な場合を表 3.7 に示す。例 2 についても各々図 3.4、表 3.

8に示す。ファジイ識別法をもとに数値計算を行った結果を表3.9、表3.10に示す。

表3.1 Θ 上の事前分布E

θ	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	θ_9	θ_{10}
$e(\theta)$	0.0125	0.0125	0.025	0.025	0.05	0.05	0.0725	0.0725	0.06	0.0125
	θ_{11}	θ_{12}	θ_{13}	θ_{14}	θ_{15}	θ_{16}	θ_{17}	θ_{18}	θ_{19}	θ_{20}
	0.1	0.08	0.0725	0.0725	0.05	0.05	0.025	0.025	0.0125	0.0125

表3.2 条件付確率 $f(x_j | \theta_i)$

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	.....	x_{20}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	
θ_1	0.1	0.2	0.4	0.2	0.1									
θ_2		0.1	0.2	0.4	0.2	0.1						0		
\vdots														
θ_{20}										0.1	0.2	0.4	0.2	0.1

図3.1 クリズブ集合のメンバシップ関数

表3.3 クリズブ集合のメンバシップ関数の例

θ_i	θ_1	.....	θ_{10}	θ_{11}	.....	θ_{20}
$\mu_{+1}(\theta_i)$	0	.....	0	1	.....	1
$\mu_{+2}(\theta_i)$	1	.....	1	0	.....	0

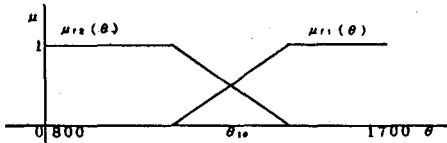


図3.2 直交条件を満たすメンバシップ関数

表3.5 直交条件を満たすメンバシップ関数の例

θ	θ_1	.....	θ_7	θ_8	θ_9	θ_{10}	θ_{11}	θ_{12}	θ_{13}	θ_{14}	θ_{20}
$\mu(\theta)$	0	.....	0	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1
$\mu(\theta)$	1	.....	1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.1	0

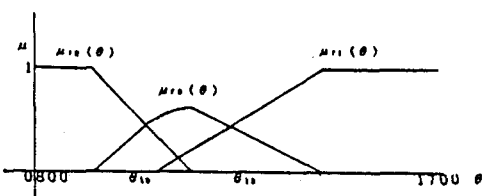


図3.3 例1のメンバシップ関数

表3.7 例1のメンバシップ関数

θ	θ_1	.....	θ_7	θ_8	θ_9	θ_{10}	θ_{11}	θ_{12}	θ_{13}	θ_{14}	θ_{20}
$\mu(\theta)$	0	.....	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	0.8	1
$\mu(\theta)$	1	.....	1	0.9	0.8	0.7	0.4	0.3	0.1	0.0	0
$\mu(\theta)$	0	.....	0	0.1	0.2	0.3	0.6	0.5	0.3	0.2	0

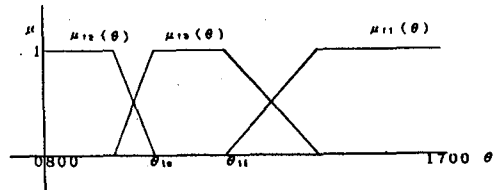


図3.4 例2のメンバシップ関数

表3.8 例2のメンバシップ関数

θ	θ_1	.....	θ_7	θ_8	θ_9	θ_{10}	θ_{11}	θ_{12}	θ_{13}	θ_{14}	θ_{15}	θ_{16}	θ_{17}	θ_{20}
$\mu(\theta)$	0	.....	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.5	0.7	0.9	1	.....
$\mu(\theta)$	1	.....	1	0.8	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
$\mu(\theta)$	0	.....	0	0.2	0.5	0.8	0.9	1.0	1.0	0.8	0.6	0.5	0.3	0.1

表3.4 クリズブ集合の数値計算結果

x_i	$f(x_i | F_1)P(F_1)$	$f(x_i | F_2)P(F_2)$	状態識別
x_1	0.00000	0.00125	F_2
x_2	0.00000	0.00375	F_2
x_3	0.00000	0.01000	F_2
x_4	0.00000	0.01500	F_2
x_5	0.00000	0.02375	F_2
x_6	0.00000	0.03125	F_2
x_7	0.00000	0.04475	F_2
x_8	0.00000	0.05425	F_2
x_9	0.00000	0.06650	F_2
x_{10}	0.00000	0.07450	F_2
x_{11}	0.01000	0.07325	F_2
x_{12}	0.02800	0.06325	F_2
x_{13}	0.06325	0.02800	F_1
x_{14}	0.07375	0.01000	F_1
x_{15}	0.07450	0.00000	F_1
x_{16}	0.06650	0.00000	F_1
x_{17}	0.05425	0.00000	F_1
x_{18}	0.04475	0.00000	F_1
x_{19}	0.03125	0.00000	F_1
x_{20}	0.02375	0.00000	F_1
x_{21}	0.01500	0.00000	F_1
x_{22}	0.01000	0.00000	F_1
x_{23}	0.00375	0.00000	F_1
x_{24}	0.00125	0.00000	F_1

表 3. 6 直交集合の数値計算結果

x.	f(x. | F ₁)P(F ₁)	f(x. | F ₂)P(F ₂)	状態識別
x ₁	0.00000	0.00125	F ₂
x ₂	0.00000	0.00375	F ₂
x ₃	0.00000	0.01000	F ₂
x ₄	0.00000	0.01500	F ₂
x ₅	0.00000	0.02375	F ₂
x ₆	0.00000	0.03125	F ₂
x ₇	0.00000	0.04475	F ₂
x ₈	0.00000	0.05425	F ₂
x ₉	0.00000	0.06650	F ₂
x ₁₀	0.00000	0.07450	F ₂
x ₁₁	0.01000	0.07325	F ₂
x ₁₂	0.02800	0.06325	F ₂
x ₁₃	0.06325	0.02800	F ₁
x ₁₄	0.07375	0.01000	F ₁
x ₁₅	0.07450	0.00000	F ₁
x ₁₆	0.06650	0.00000	F ₁
x ₁₇	0.05425	0.00000	F ₁
x ₁₈	0.04475	0.00000	F ₁
x ₁₉	0.03125	0.00000	F ₁
x ₂₀	0.02375	0.00000	F ₁
x ₂₁	0.01500	0.00000	F ₁
x ₂₂	0.01000	0.00000	F ₁
x ₂₃	0.00375	0.00000	F ₁
x ₂₄	0.00125	0.00000	F ₁

表 3. 9 例 1 の数値計算結果

x.	f(x. | F ₁)P(F ₁)	f(x. | F ₂)P(F ₂)	f(x. | F ₃)P(F ₃)	状態識別
x ₁	0.00000	0.00125	0.00000	F ₂
x ₂	0.00000	0.00375	0.00000	F ₂
x ₃	0.00000	0.01000	0.00000	F ₂
x ₄	0.00000	0.01500	0.00000	F ₂
x ₅	0.00000	0.02375	0.00000	F ₂
x ₆	0.00000	0.03125	0.00000	F ₂
x ₇	0.00000	0.04402	0.00072	F ₂
x ₈	0.00000	0.05135	0.00290	F ₂
x ₉	0.00000	0.05830	0.00820	F ₂
x ₁₀	0.00000	0.05645	0.01805	F ₂
x ₁₁	0.00200	0.05152	0.03022	F ₂
x ₁₂	0.00880	0.03980	0.04265	F ₂
x ₁₃	0.02340	0.02720	0.04065	F ₂
x ₁₄	0.04295	0.01320	0.02850	F ₁
x ₁₅	0.05430	0.00046	0.01560	F ₁
x ₁₆	0.06040	0.00008	0.00530	F ₁
x ₁₇	0.05280	0.00000	0.00145	F ₁
x ₁₈	0.04475	0.00000	0.00000	F ₁
x ₁₉	0.03125	0.00000	0.00000	F ₁
x ₂₀	0.02375	0.00000	0.00000	F ₁
x ₂₁	0.01500	0.00000	0.00000	F ₁
x ₂₂	0.01000	0.00000	0.00000	F ₁
x ₂₃	0.00375	0.00000	0.00000	F ₁
x ₂₄	0.00125	0.00000	0.00000	F ₁

表 3. 10 例 2 の数値計算結果

x.	f(x. | F ₁)P(F ₁)	f(x. | F ₂)P(F ₂)	f(x. | F ₃)P(F ₃)	状態識別
x ₁	0.00000	0.00125	0.00000	F ₂
x ₂	0.00000	0.00375	0.00000	F ₂
x ₃	0.00000	0.01000	0.00000	F ₂
x ₄	0.00000	0.01500	0.00000	F ₂
x ₅	0.00000	0.02375	0.00000	F ₂
x ₆	0.00000	0.03125	0.00000	F ₂
x ₇	0.00000	0.04330	0.00145	F ₂
x ₈	0.00000	0.04722	0.00652	F ₂
x ₉	0.00000	0.04628	0.02025	F ₂
x ₁₀	0.00000	0.03270	0.04180	F ₂
x ₁₁	0.00200	0.01625	0.06550	F ₂
x ₁₂	0.00880	0.00522	0.07722	F ₂
x ₁₃	0.02340	0.00008	0.06705	F ₂
x ₁₄	0.04295	0.00000	0.04170	F ₁
x ₁₅	0.05430	0.00000	0.00202	F ₁
x ₁₆	0.06040	0.00000	0.00061	F ₁
x ₁₇	0.05280	0.00000	0.00045	F ₁
x ₁₈	0.04475	0.00000	0.00000	F ₁
x ₁₉	0.03125	0.00000	0.00000	F ₁
x ₂₀	0.02375	0.00000	0.00000	F ₁
x ₂₁	0.01500	0.00000	0.00000	F ₁
x ₂₂	0.01000	0.00000	0.00000	F ₁
x ₂₃	0.00375	0.00000	0.00000	F ₁
x ₂₄	0.00125	0.00000	0.00000	F ₁

3. 3 数値計算結果の一考察

3. 3. 1 保留状態がない場合

クリスプ集合のメンバシップ関数は、確率的な特徴を持ち、この条例では θ_{10} で区切られる。表 3. 5 より観測値 x_{12} で状態が識別されることがわかる。これは、条件付確率 $f(x_j | \theta_i)$ の影響である。一方、直交条件を満たす例では、表 3. 7 より観測値 x_{11} で状態が識別される。このことは、 $[0, 1]$ の値を持つメンバシップ関数を考えることにより、クリスプ集合なものより状態識別の時期が早まることを示している。

3. 3. 2 保留状態がある場合

各例において、保留というファジイ状態 F_3 に識別される観測値 (x_j) が存在することがわかる。また、ファジイ状態 F_1 と F_2 が独立な例 2 では、4 個の観測値 ($x_{10} \sim x_{13}$) が保留状態に識別されている。このことは、設定したファジイ状態が独立な傾向を示すほど保留状態に識別される観測値が多くなる傾向を示すと考えられる。

おわりに

ファジイ状態識別法について、筆者が提唱している保留状態を考慮した適用例について考察した。

この保留状態を追加することによって、直交条件を満たさないどのような問題についてもファジイ状態識別法が適用できることを示した。

また、一般的な問題についてどの状態にも分類されなかった観測値が、保留状態を追加することで保留という分類に識別されることを示した。

参 考 文 献

- 1) 松原：意思決定の基礎，朝倉書店(1977)
- 2) 寺野（他）：ファジイシステム入門，オーム社(1987)
- 3) 浅井（他）：ファジイシステム理論入門，オーム社(1978)

コホーネンネットの階層化モデルによる単音節認識*¹

小澤 誠一・堤 一義*²・松本 治彌*³

The CV Syllable Recognition Using Multi-Layered Kohonen Net

Seiichi OZAWA, Kazuyoshi TSUTSUMI and Haruya MATSUMOTO

This paper presents a new approach to the temporal patterns recognition using the multi-layered Kohonen Net with a short term memory. The model has two Kohonen layers: one is for static patterns and the other is for dynamic one. The dynamic patterns intend to the locus of the activated units in the lower Kohonen Net. In the case of CV (Consonant-Vowel) syllables, the locus involves the phonetic features of a syllable. The proposed multi-layered Kohonen Net can grasp the locus information for any syllable inputs. At the same time, it distinguishes whether the locus is for CV or non-CV. This characteristic actualizes the CV syllable recognition without using the segmentation technique and the time warping.

1. ま え が き

ヒトは、外界に存在する高度なパターン情報を認識し、それを記憶する能力を持っている。また、これらより行動を決定し、運動の制御を行ったりもできる。このようなヒトの能力は、反射や本能行動といった生得的なものを除いて、多くは環境要因に依存したものであると現在では考えられている。すなわち、ヒトは外界と接触することで、様々な能力を学習を通して獲得していると考えられている。例えば、乳幼児期に別々の国で育てられた兄弟姉妹は、それぞれの国の言語を認識・理解できるようになることがよく知られている。これなどは、言語能力を獲得するプロセスが生得的なものでないことの一例であると考えられる。また、このような能力の獲得は、神経細胞レベルで考えたとき、シナプスの可塑性が関与していることが明らかになっている。

このような脳の情報処理様式を、工学的なアプローチをもって解明しようとする試みは、かなり以前から行われてきた。しかし、その多くは静的なパターンを扱ったもので、音声などの時系列パターンを動的にとらえる神経回路網モデルの研究はそれほど多くはない。時系列パターンを神経回路網で扱う場合、時間的に幅を持った情報が同時に考慮されるよう、短期記憶的な機構を取り入れる必要がある。しかし、これらに対する生理学的知見を得ることは非常に困難であり、これが時系列パターンを神経回路網で扱うときの障壁となってきた。そのため現在では、時系列パターンを認識する能力を持つためにはどのようにすれば良いか、という観点からモデルを構成するトップダウン的な手法が多く用いられている。

本論文は、時系列パターン認識を行う自己組織化神経回路網モデルへの一つのアプローチとして、短期記憶機能を付加したコホーネンネットの階層化モデルを提案する¹⁾。このようなモデルは工学的な立場からみて非常に興味深いと同時に、音声認識などの研究に何らかの示唆を与え得る可能性があると考えられる。本モデルは、以下のトップダウン的な仮説に基づいている。

(1)ある時刻における静的なパターンに対し、選択的に反応するセルが存在する。

* 1 第33回システム制御情報学会研究発表講演会にて発表

* 2 神戸大学自然科学研究科

* 3 神戸大学工学部

(2)(1)で発火したセルの動的な変化パターンに対し、選択的に反応するセルが上位層に存在する。

これらは、二見・星宮らのモデル²⁾で用いられている仮説と同等のものである。実験データとして日本語の基本的な構成単位である単音節を用い、本モデルの時系列パターン認識モデルとしての評価を行う。また、本モデルに対し、さらに望まれる能力と、その実現方法の指針についても検討する。

2. モデルの構成

神経回路網モデルが時系列パターンの識別能力を持つために、必要と考えられる機能として以下のものがある。

- (1)時間的な前後関係をとらえるための短期記憶機能
- (2)パターンの時間的変動をとらえる機能
- (3)(2)でとらえた特徴を統合し、音節や単語などの言語情報に対応させる機能

これらの機能を有する本モデルの概略図を図1に示す。図1に示すように、本モデルはコホーネンネット³⁾を階層化した4層フィードフォワード型の神経回路網モデルである。本モデルでは、時系列パターンの識別に重点をおくため、低次の特徴抽出を行う機能は有していない。そこで、入力ベクトルは低次の特徴抽出を終えた音声パラメータを用いる。

第一層は抽出された特徴ベクトルに対し、トポロジカルな写像を行うコホーネンネットからなる。このコホーネンネットは、各パターンクラスに対応する部分空間内の代表ベクトルを、自己組織化により獲得することができる。さらに、そのベクトルは互いの位相関係を保ったままコホーネンネット上のユニットに形成される。すなわち、よく似た特徴ベクトルは、コホーネンネット上のよく似た場所に写像されるようになる。コホーネンの自己組織化アルゴリズムを以下に示す。

(1)Center of the bubble(c):

$$\| \mathbf{x}(t) - \mathbf{m}_c(t) \| = \min \{ \| \mathbf{x}(t) - \mathbf{m}_i(t) \| \}$$

(2)Updated weight vectors:

$$\mathbf{m}_i(t+1) = \mathbf{m}_i(t) + \alpha(t)(\mathbf{x}(t) - \mathbf{m}_i(t))$$

$$\text{for } i \in N_c(t)$$

$$\mathbf{m}_i(t+1) = \mathbf{m}_i(t)$$

$$\text{for all other indices } i \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{x}(t) = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m)^T$, $\mathbf{m}_i(t) = (\mu_{i1}, \mu_{i2}, \dots, \mu_{im})^T$ は、それぞれ、時刻 t における入力ベクトル、ユニット i の重みベクトルである。また、 $\alpha(t), N_c(t)$ は、それぞれ、減衰率、最も発火しているユニット c の近傍を表す。ステップ(1), (2)は、学習が収

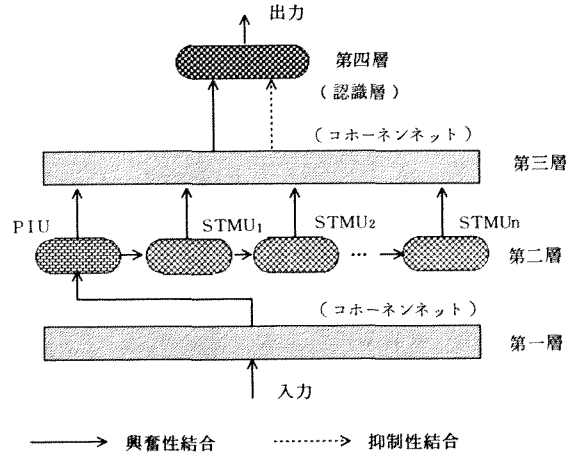


図1 モデルの概略図

束するまで繰り返えられる。第一層の出力 η_i は式(2)に示すように、入力ベクトルとユニットの重みベクトルとの内積により与えられる。すなわち、ユークリッド空間内において、入力ベクトルに対し、距離の近い重みベクトルをもつユニットほど、大きな値を出力することになる。

$$\eta_i = \sum_{j=1}^m \mu_{ij} \zeta_j = \mathbf{m}_i^T \mathbf{x}(t) \quad (2)$$

コホーネンモデルには、その学習方法として、上述した自己組織化アルゴリズムとパターンクラスに対する教師を与える LVQ2 (Learning Vector Quantization 2) アルゴリズム⁴⁾がある。本モデルでは、パターンのクラスタリング性能を向上する目的で、以下に示す LVQ2 アルゴリズムを自己組織化後に適用する。

if C_i is the nearest class, but \mathbf{x} belongs to $C_j \neq C_i$, where C_j is the next-nearest class :

$$\mathbf{m}_i(t+1) = \mathbf{m}_i(t) - \alpha(t)(\mathbf{x}(t) - \mathbf{m}_i(t)),$$

$$\mathbf{m}_j(t+1) = \mathbf{m}_j(t) + \alpha(t)(\mathbf{x}(t) - \mathbf{m}_j(t)),$$

In all other cases :

$$\mathbf{m}_k(t+1) = \mathbf{m}_k(t). \quad (3)$$

第二層は、第一層の出力を統合するパターン統合ユニット (Pattern Integration Unit : 略称 PIU) およびネットワークに短期記憶機能を持たせるための短期記憶ユニット (Short Term Memory Unit : 略称 STMU) からなる。第一層におけるユニットの重みベクトルは、それぞれが必ずしも一つのパターンクラスに対応するわけではない。多くの場合、隣接するユニットの重みベクトルが、

一つのパターンクラスに対応する部分空間を形成していると考えられる。よって、隣接するユニットからの出力をPIUで統合することにより、パターンクラスに対する情報を得ることができる。また、これにより、効率よく第一層の情報を上位層に伝えることが可能となる。STMUは過去におけるPIUの状態を記憶するユニットで、層内に図1に示すような結合を持っている。ここで、 $STMU_i$ は、 i フレーム前のPIUの状態を記憶しているSTMUである。ネットワークに短期記憶機能を持たせるためには、現在、大きく2つの方法がとられている。1つは、ネットワークにフィードバック機能を取り入れる方法で、Recurent Net⁹⁾などで用いられている。もう1つは、一定期間の時系列パターンを空間的なパターンとして置き換え、それを時間方向にシフトしていく方法で、TDNN(Time Delay Neural Network)⁹⁾などで用いられている。本モデルの短期記憶機能は、後者の方法によるものである。これら各ユニットの出力は、式(4)のかたちで上位層へ出力される。

$$y = [PIU^T \quad STMU_1^T \quad \dots \quad STMU_n^T]^T \quad (4)$$

ここで、 y は第二層の出力ベクトル、 PIU 、 $STMU_i$ は、それぞれユニットPIU、 $STMU_i$ からの出力ベクトルである。

第三層は、第二層の出力をコホーネンネットを用いてトポロジカルに写像を行なう。ここで学習は、第一層と同様、式(1)の自己組織化アルゴリズムにより行なわれる。学習が行われた各ユニットの重みベクトルは、ある時間変化パターンを表す部分空間内の代表ベクトルと考えられる。すなわち、子音+母音(Consonant+Vowel:略称CV)音節を例にとると、C+C、V+V、V+C、C+Vといった時間変化パターンに対応する特徴ベクトルが、各ユニットに生成すると考えられる。

第四層は、第三層で写像される時間変化パターンを統合し、言語パターンの抽出を行う。この層は、言語パターンに対応する出力ユニットで構成され、第三層の出力を時間加重する働きを持つ。これらと第三層のユニットとの結合係数は、言語パターンにとって必要な時間変化パターンを出力するユニットに対しては興奮性の結合を、そうでないものに対しては抑制性の結合を与える。これにより、安定したパターン抽出を行うことが可能となる。例えば、CV音節では、CV(C+V)の特徴に対しては興奮性の、non-CV(C+C、V+V、V+C)の特徴に対しては抑制性の結合を与える。時間加重される値が、最も大きな出力ユニットを認識結果とする。

表1. 音声データ

語 彙	子音/m, n/に 母音/a, i, u, e, o/が後続する10単音節
話 者	成人男性3名(15回発声) 〔トレーニングセット5, テストセット10〕
サンプリング	サンプリングレート:12kHz, 16ビット量子化
分 析 窓	フレーム長:21.3ms, フレーム周期:5ms, ハミング窓
特徴パラメータ	16次元メルケプストラム係数
入 力 データ	約120~270[ms] (観察による切り出し)

3. 実 験

3.1 実験データ

認識対象とする時系列データは、鼻子音/m, n/に母音/a, i, u, e, o/が後続する10単音節を用いる。それぞれの単音節について、成人男性3名が各15回孤立発声し、特定話者による認識実験を行う。15回の発声のうち5回分が学習セット、10回分がテストセットとして用いられる。

なお、本認識実験による認識率は、サンプル数が充分でないため、一般性に欠けるとと思われる。しかし、本論文の目的は、本モデルの時系列パターンに対する識別能力を調査することにあるため、ここでは、その評価を行うパラメータとして認識率を算出した。

本モデルでは、低次の特徴抽出はすでに行われたものとしている。そこで、本実験では、音声の特徴抽出のパラメータの1つである16次元のメルケプストラム係数を入力ベクトルとして用いる。実験に用いられたデータの諸元を表1に示す。

3.2 ネットワークの学習と設定

ここでは、本モデルが単音節の識別能力を持つ可能性について言及するため、図1の一般的なモデルを修正した図2のモデルを用いる。

第一層のコホーネンネットでは、1フレームの音声波形より抽出された特徴ベクトルが順次提示され、式(1)の自己組織化学習が行われる。このとき、式(1)における学習率 $\alpha(t)$ および近傍の範囲 $N_c(t)$ として以下のような単調減少関数を用いる。

$$\alpha(t) = a \left(1 - \frac{t}{T_1}\right) \quad (5)$$

$$N_c(t) = b \left(1 - \frac{t}{T_2}\right) \quad (6)$$

式(5)から明らかのように、 $t=T_1$ となったところで自

自己組織化学習は終了する。さらに、音素クラスタリングの性能を向上させるため、式(3)のLVQ2アルゴリズムが適用される。このとき、各ユニットに割り当てられるパターンクラスは、自己組織化の結果から決定する。また、式(3)における学習率 $\alpha(i)$ は、式(5)と同様のものを用いる。各学習で用いたパラメータの値を表2に示す。

第二層のPIUは、入力に含まれる音素パターン数と同数だけ用意し、第一層のユニットとの結合係数は固定とする。第一層では、各音素パターンに対応して、隣接するユニットが発火するようになるが、ここでは、その出力を選択的に抽出するようPIUとの結合係数が決定される。また、層内のPIU→STMU_iおよびSTMU_i→STMU_{i+1}間の結合係数は1とする。なお、必要となるPIUの数、および結合係数を自己組織化により得るための指針は4章で述べることにする。

第三層の入力は、一般には式(4)の形で与えられるが、本実験においては、簡略化のため式(7)で与えられるものを用いることにする。

$$y = [PIU^T \quad STMU_{\tau}^T]^T \quad (7)$$

この入力に対して、第一層と同様、自己組織化アルゴリズムおよびLVQ2アルゴリズムが適用される。各パラメータの値は、表2に示したものを用いる。クラスタリングの結果を図3に示す。

第四層の出力ユニットは、時間変化パターン(C+C, C+V, V+V)のうち言語に結びつくC+Vを表すものだけが用意される。第三層との結合係数は固定で、C+Vの特徴を表すユニットに対しては興奮性の結合をもち、出力ユニットの時間加重値を大きくするよう設定されている。また、第三層がnon-CVの特徴を強く示しているときは、出力ユニットのゲートが閉じ、時間加重されないようになっている。

3.3 実験結果

式(7)において $\tau=12$ [フレーム]としたときの認識結果を表3に示す。学習セットでは、ほぼ完全な認識が行われており、テストセットでも比較的高い認識率が得られているのがわかる。入力が/ma/のときの話者Aにおける/ma/, /mi/を表す出力ユニットの時間加重の様子を、一例として図4に示す。ただし、ここでの時間加重値は抑制性で、最大値で規格化し表している。渡り部での誤った反応を除くと、non-CVの特徴に対しては時間加重が行われず、CVの特徴をとらえたときに時間加重が行われている様子が見られる。これらと図3の結果により、本モデルに時系列パターンを識別する能力が付加さ

れたといえる。

本モデルの短期記憶機能は、式(7)により実現されている。そこで、この短期記憶特性のパラメータである τ が認識性能へ与える影響について調べてみる。図5に τ による話者Aの認識率の変化を示す。さらに、入力が/ma/の時の/ma/, /mi/を表す出力ユニットの時間加重の様子を、各 τ について図6に示す。これより、 $\tau=12\sim 14$ [フレーム](60~70ms)程度にすることが望ましいといえるが、 τ の変化が認識率にさほど影響してお

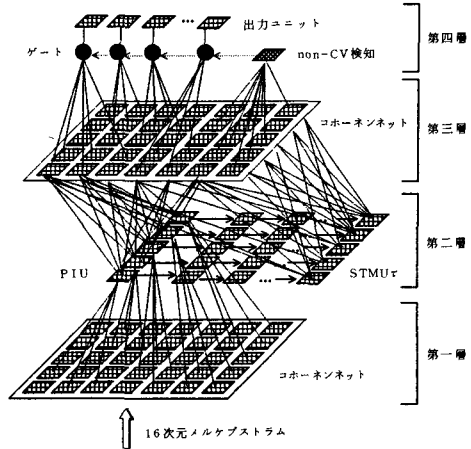


図2. 単音節認識用モデルの構成

表2. コホーネンネットのパラメータ値

	第一層		第三層	
ユニット数	6 × 6		8 × 8	
学習方法	自己組織化	LVQ2	自己組織化	LVQ2
a	0.1	0.1	0.1	0.1
b	4.0	-	4.0	-
T ₁	100,000	250,000	100,000	250,000
T ₂	100,000	-	100,000	-

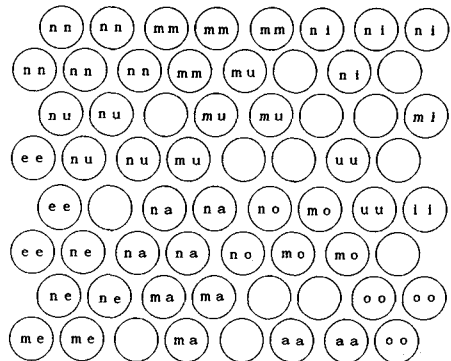


図3. クラスタリングの結果

らず、CVおよび non-CV の特徴も区別されている。これは、ネットワークの性能が、短期記憶機能の時間特性に大きく影響されないという点で望ましい性質である。

また、ヒトは次々に学習を行っていくことで、様々な性能を向上していくことができる。よって、本モデルにおいても、そのような性質を持っていることが望ましい。そこで、テストセットを用いて再学習を行い、全サンプルに対する識別性能を調べた。その結果を表4に示す。明らかに、再学習の効果があることがうかがえる。以上により、今後、学習セットを増やしていくことで、本モデルの識別性能を向上できる可能性があるといえる。

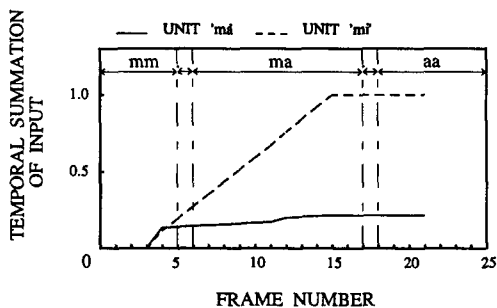


図4. 時間加重の様子

表3. 認識結果

	話者A	話者B	話者C	平均
学習セット	98.0	100.0	100.0	99.3
テストセット	83.0	69.0	84.0	78.7

[%]

表4. 再学習の効果

	話者A	話者B	話者C	平均
再学習前	83.0	69.0	84.0	78.7
再学習後	88.0	91.3	98.0	92.4

[%]

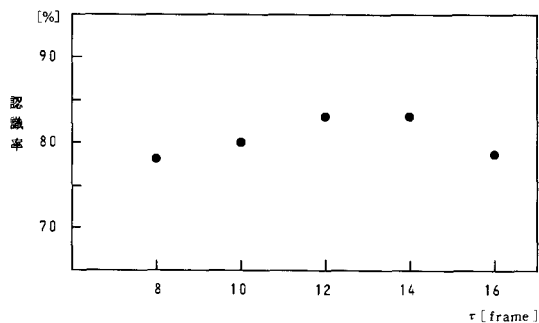


図5. τ による認識率の変化

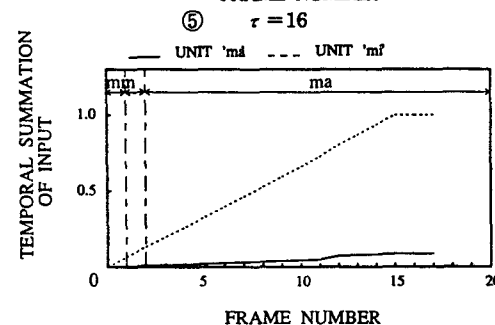
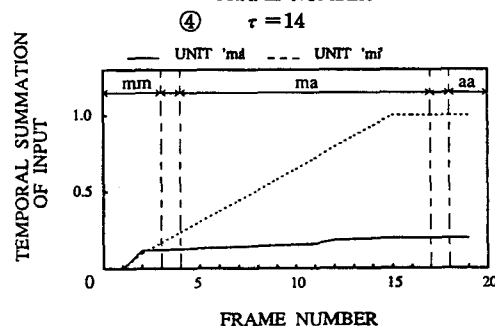
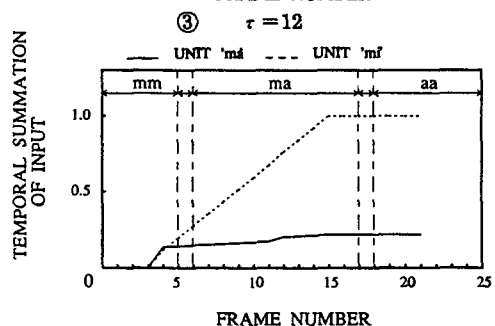
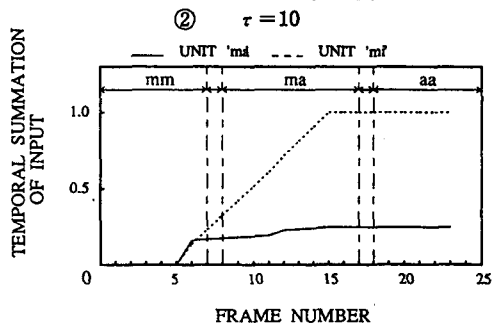
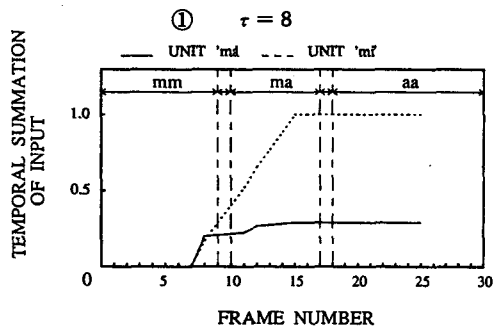


図6. τ による時間加重の変化

4. む す び

時系列パターンを識別する神経回路網として、コホーネンネットの階層化モデルを提案し、特定話者に対する単音節認識実験を行った。その結果、本モデルの時系列パターンに対する識別能力を確認することができた。実験により得られた本モデルの性質を以下に示す。

- (1)時間方向に変動するパターンを識別し、それぞれの変動パターンに対し、選択的に反応するセルを上位層に形成する。
- (2)時間的な伸縮を持つ時系列パターンに対しても、安定した識別を行うことができる。
- (3)短期記憶の時間特性にネットワークの性能が大きく影響されない
- (4)再学習によって、ネットワークの識別性能を向上できる。

しかし、その認識率は平均78.7%で、現在よく用いられているDPマッチングなどの手法を上回ることができなかった。そこで、本モデルにおける誤認識の原因について考察を加え、それを改善する修正モデルに対する指針を示す。

本実験で用いたモデルでは、第二層におけるPIUの数や第一層との結合係数は学習により自動的に獲得されない。これらは、各音素クラスターの中心付近のユニットに対し、結合係数が大きくなるよう決定されている。コホーネンネットは、ばらつきの大きいものや提示される頻度の高いものに対して、割り当てられるユニット数が多くなる性質を持つ。よって、多数のユニットが割り当てられている音素カテゴリでは、その近傍の音素カテゴリと誤認識される確率が高くなる。これは本モデルにおける結合係数の決定方法が、クラスターの広がりに対する情報を考慮していないことに起因する。第一層では、入力されたパターンに対して、よく似た重みベクトルを持つユニットほど大きな値が出力される。そこで、結合係数を第一層の出力の大きさに応じて強化・減少するようにすれば、クラスターの広がりによる影響を減少することができる。本研究室では、マルスブルグの競合ルール⁷⁾を適用することで、その実現を試みている⁸⁾。この方法では、コホーネンネット上の発火パターンを抽出するPIUが競合・協調作用により自動的に生成される。よって、これを本モデルに取り入れることで、認識率の改善が期待されるとともに、時系列パターン識別の能力を、すべて自己組織化により獲得する神経回路網モデルの提案にもつながる。このような性質を持つ神経回路網は、工学的にみて非常に興味深い。

本モデルは、時間的な変動パターンの識別能力を有す

るが、連続音声中の音節・単語などのセグメンテーションを自動的に行い、それらを自立的に統合する能力は有していない。これを獲得するためには、言語などのより高度な情報との関係に対して、なんらかの示唆をネットワークに与える必要がある。これらに対する検討は今後の課題である。

参 考 文 献

- 1) 小澤, 堤, 松本: “階層化コホーネンネットの単音節認識への応用”, システム制御情報学会講演論文集, 3018(1989).
- 2) 二見, 星宮: “短期記憶に基づく階層的時系列パターン認識の神経回路モデル”, 信学論(D), J70-D, 6, PP.1235-1241(1987).
- 3) T.Kohonen: “The ‘Neural’ phonetic Typewriter”, IEEE Computer, Special Issue on Neural Networks and Neural Computing, pp.11-22(1988).
- 4) T.Kohonen, G.Barna and R.Chrisley: “Statistical Pattern Recognition with Neural Networks”, Proc. of IEEE ICNN-88, Vol.1, pp.61-68(1988).
- 5) D.E.Rumelhart and J.L.McClelland: “Parallel Distributed Processing; Explorations in the Microstructure of Cognition”, Vol.1 and 2, MIT press, Cambridge, MA(1986).
- 6) A.Waibel, T.Hanazawa, G.Hinton, k.shikano, K.J.Lang: “Phoneme Recognition Using Time-Delay Neural Networks”, IEEE Trans. ASSP, Vol.37, No.3(1989).
- 7) Chr.von der Malsburg: “Self-Organization of Orientation Sensitive Cells in the Striate Cortex”, Kybernetik, 14, 85-100(1973).
- 8) 小澤, 堤, 松本: “自立的にパターン統合する拡張コホーネンモデル”, 電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, S9-1(1989).

CKY法による曖昧な文脈自由言語の解析

山井成良・世古 忠・河田 亨*

Parsing of Ambiguous Context-Free Languages Using CKY Algorithm

Nariyoshi YAMAI, Tadashi SEKO and Toru KAWATA

自然言語を文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。著者らはこの方法を効率よく行うアルゴリズムとして、下降型構文解析法の1つである Earley 法を応用した解析手法を提案した。本稿では、同様の手法を代表的な上昇型構文解析法である CKY 法に応用した、曖昧な文の汎用的な解析法について述べる。本手法によれば導出グラフと呼ばれる階層的グラフを用いて k 個の導出を時間複雑度 $O(n^3 + km^2)$ で得ることができ、CKY 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、機械翻訳などのような、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) 一般的な句構造文法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、1つ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た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)}。

著者らはこの方法を効率よく行うアルゴリズムとして、下降型構文解析法の1つである Earley 法を応用した解析手法を提案した²⁰⁾。この手法では、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、導出の列挙の効率化を図っている。

本稿では、同様の手法を代表的な上昇型構文解析法である CKY 法に応用した、曖昧な文の汎用的な解析手法について述べる。

すなわち、Earley 法の応用の場合と同様に導出グラフを導入し、CKY 法を基礎とした導出グラフの構成法を示す。また、この構成法の時間・空間複雑度について論じる。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

* シャープ株式会社

いて簡単に紹介し、その時間・空間複雑度を示す。

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、文脈自由言語の代表的な上昇型構文解析法の1つである CKY 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。ただし、 $V = V_N \cup V_T$ であり、また V^* は V の閉包を表す。□

〔定義2〕 Chomsky 標準形とは、文脈自由文法 $G=(V_N, V_T, P, S)$ のうち、 P の全ての要素が $A \rightarrow a(p)$ あるいは $A \rightarrow BC(p)$ のいずれかの形(但し、 $A, B, C \in V_N, a \in V_T, 1 \leq p \leq |P|$)をしているものをいう。なお、 P の要素として $A \rightarrow B(p)$ のような形の生成規則を含める場合もある。□

〔定義3〕 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、 $\alpha_1 \xrightarrow{*} \alpha_m$ 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、 $\alpha_1 \xrightarrow{*} \alpha_1$ 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 $\alpha_1 \xrightarrow{\neq} \alpha_m$ と書き表す。

また、導出の各段階 $\alpha A \beta \rightarrow \alpha\gamma_i\beta$ において、 $\alpha \in V_T^*$ ($\beta \in V_T^*$) であるとき、この導出を最左導出(最右導出)といい、 $\alpha_1 \xrightarrow{*} \alpha_m (\alpha_1 \xrightarrow{*} \alpha_m)$ と表す。□

〔定義4〕 文脈自由文法 $G=(V_N, V_T, P, S)$ に対して集合 $L(G) = \{w \mid S \xrightarrow{*} w, w \in V_T^*\}$ 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、 $S \xrightarrow{*} \alpha (\alpha \in V^*)$ であるとき、 α を文形式という。□

〔定義5〕 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6〕 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 $S \xrightarrow{*} \alpha$ 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 $S \xrightarrow{*} \alpha$ に用いられた生成規則の番号の系列の逆順である。□

〔定義7〕 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 $A \xrightarrow{\neq} A$ となるよう導出が存在しない場合、文法 G は cycle free であるという。□

次に、本稿と関係のある定理をいくつか示す⁷⁾。

〔定理1〕 任意の文脈自由文法は Chomsky 標準形で書き表わすことができる。□

〔定理2〕 文脈自由文法 $G=(V_N, V_T, P, S)$ において最左導出 $S \xrightarrow{*} \alpha$ と α の left parse とは1対1に対応する。また、最右導出 $S \xrightarrow{*} \alpha$ と α の right parse とは1対1に対応する。□

〔定理3〕 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 $S \xrightarrow{\neq} a_1 a_2 \dots a_n$ の長さは $O(n)$ である。□

2.2 CKY 法

現在までに知られている文脈自由文法の構文解析法には Cocke-Younger による文法(CKY法)^{11),12)}, Earley 法¹³⁾, Valiant 法¹⁴⁾, Graham-Harrison-Ruzzo による方法(GHR 法)^{15),16)}などがある。

CKY 法は上昇型構文解析法の一種で長さ n の文に対して $O(n^3)$ の時間複雑度を必要とする。また、CKY 法では文法は Chomsky 標準形で表されている必要がある。一方、Earley 法は下降型構文解析法の一種で、CKY 法と同じく $O(n^3)$ の時間複雑度を要するが、文法の形に制約がない。Valiant 法、GHR 法はそれぞれ CKY 法と Earley 法を行列のかけ算を用いて表現したもので、それぞれ $O(n^{2.81})$, $O(n^3/\log n)$ の時間複雑度を要する。しかし、これらの方法は理論的には CKY 法や Earley 法より優れているが、行列計算のオーバーヘッドが非常に大きいため実用的ではない。

本稿ではこのうち CKY 法を利用して曖昧な文脈自由言語の解析を行う。

CKY 法では文 $x = a_1 a_2 \dots a_n \in V_T^*$ の解析において図1に示すような上三角形の表(CKY 表)を用いる。CKY 表のそれぞれの欄は $t_{i,j} (0 \leq i \leq n-1, i+1 \leq j \leq n)$ と表され、 V_N の部分集合が書き込まれる。解析終了時には CKY 表と非終端記号との間で次の関係が成り立つ⁷⁾。

〔定理4〕 非終端記号 A が $t_{i,j}$ に含まれるのは $A \xrightarrow{\neq} a_{i+1} \dots a_j$ であるときで、かつそのときに限る。また、文 x が $L(G)$ に属するのは $S \in t_{0,n}$ であるときで、かつそのときに限る。□

1	2	3	4	5	
$t_{0,1}$	$t_{0,2}$	$t_{0,3}$	$t_{0,4}$	$t_{0,5}$	0
	$t_{1,2}$	$t_{1,3}$	$t_{1,4}$	$t_{1,5}$	1
		$t_{2,3}$	$t_{2,4}$	$t_{2,5}$	2
			$t_{3,4}$	$t_{3,5}$	3
				$t_{4,5}$	4

図1 CKY法で用いられる表

また、CKY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⁾。

〔定理5〕 CKY法は長さ n の文の解析に $O(n^3)$ の時間複雑度並びに $O(n^2)$ の空間複雑度を要する。□

〔定理6〕 CKY法により作成された表から1つの導出を得る場合に要する時間複雑度は $O(n^2)$ である。□

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、対応する整数 i を伴って層 i と呼ばれる。解析される文を $x = a_1 a_2 \dots a_n$ とすると $0 \leq i \leq n-1$ を満たす i について層 i は存在し、導出 $A \xrightarrow{+} a_{i+1} \dots$ を記録するために使われる。

以後、層 i を $L(i)$ 、節点 v や枝 e の属する層をそれぞれ $L(v)$ 、 $L(e)$ と書き表わす。また、層 $L(X)$ における唯一の source を $v_s(X)$ と書き表わす。但し、 X は整数、節点あるいは枝のいずれかを表すものとする。

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2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) 節点 v : $v_s(v)$ から v までの路を表す。

以降の議論では枝 $e = (u, v)$ について特にそのラベルを示す必要のある場合には $e(p)$ 、 $e[v]$ あるいは $(u, v;$

$p)$ 、 $(u, v; [v])$ のように書き表す。

3.2 導出グラフの構成法

導出グラフの組み立てはCKY法による構文解析と並行して行われる。但し、本アルゴリズムでは非終端記号だけでなく、これに導出グラフの節点を表すパラメータ v を付け加えた2つ組 $[A, v]$ が $t_{i,j}$ に書き込まれる。なお、本アルゴリズムで用いられる文法は $A \rightarrow B(p)$ の形式の生成規則を許す。

導出グラフ構成アルゴリズムを次に示す。

〔導出グラフ構成アルゴリズム〕

文脈自由文法 $G = (V_N, V_T, P, S)$ と解析される長さ n の文 $x = a_1 a_2 \dots a_n$ が与えられた場合、以下の操作でCKY表 $t_{i,j}$ ($0 \leq i \leq n-1$, $i+1 \leq j \leq n$) 並びに導出グラフ D を作成する。

〔step 1〕 準備

まず、 $0 \leq i \leq n-1$ を満たす i に対して導出グラフ D の各層 $L(i)$ に $v_s(i)$ を作る。

次に、 $0 \leq i \leq n-1$ を満たす i に対して以下の操作により $t_{i,i+1}$ の計算と導出グラフの構成を行う。すなわち、右辺が a_{i+1} であるような生成規則 $A \rightarrow a_{i+1}(p)$ のそれぞれについて、新しい節点 v と枝 $(u(i), v; (p))$ を層 $L(i)$ に付け加える。更に $[A, v]$ を $t_{i,i+1}$ の要素とする。

〔step 2〕 $t_{i,j}$ の計算

最初に $d=1$ とする。以下に述べる操作により $0 \leq i \leq n-d$ を満たすそれぞれの i について $j=i+d$ として $t_{i,j}$ を求め、同時に導出グラフを構成する。

$t_{i,j}$ 並びに導出グラフ D は、次に示す(a)及び(b)をもはや新しい枝が導出グラフに付け加えられなくなるまで繰り返し適用することにより求められる。

(a) $i < k < j$ を満たす任意の k について、 B, C に関して $[B, u] \in t_{i,k}$ 、 $[C, v] \in t_{k,j}$ が成り立つような $A \rightarrow BC(p) \in P$ が存在すれば、このような生成規則に対して以下の操作のいずれか1つを行う。

(a-1) もし、第1要素が A であるような2つ組 $[A, z]$ が $t_{i,j}$ に含まれていれば、新しい節点 y と新しい枝 $(u, y; [v])$ 、 $(y, z; (p))$ を導出グラフ D に付け加える。

(a-2) そうでなければ、新しい節点 y, z と新しい枝 $(u, y; [v])$ 、 $(y, z; (p))$ を導出グラフ D に付け加え、2つ組 $[A, z]$ を $t_{i,j}$ の新しい要素とする。

(b) B に関して $[B, u] \in t_{i,j}$ が成り立つような $A \rightarrow B(p) \in P$ が存在すれば、このような生成規則に対して以下の操作のいずれか1つを行う。

(b-1) もし、第1要素が A であるような2つ組

[A, v] が $t_{i,j}$ に含まれていれば, 新しい枝 ($u, v; (p)$) を導出グラフ D に付け加える。

(b-2) そうでなければ, 新しい節点 v と新しい枝 ($u, v; (p)$) を導出グラフ D に付け加え, 2 つ組 [A, v] を $t_{i,j}$ の新しい要素とする。

$t_{i,j}$ を求めた後, $0 \leq d \leq n-1$ の範囲について d の値を1つずつ増やしながらか同様の操作を繰り返す。

全ての $t_{i,j}$ を求めた後, 第1要素が S であるような2つ組が $t_{0,n}$ に含まれていれば, そのときに限り $x \in L(G)$ である。 □

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本来の CKY 法における表の求め方と同じである。

例として, 図2に示すような文法 G に対して文

Time flies like an arrow

を解析する場合の CKY 表を図3に, 導出グラフを図4に示す。

3.3 導出グラフ構成アルゴリズムの性質

前章で示した導出グラフ構成アルゴリズムの正当性, 並びに時間・空間複雑度を次に示す。

〔定理7〕 文 $x=a_1 a_2 \dots a_n$ に対する CKY 表並びに導出グラフが前節のアルゴリズムで作成されたものとする。そのとき, 非終端記号 A が $t_{i,j}$ に含まれるのは $A \xrightarrow{*} a_{i+1} \dots a_j$ であるときで, かつそのときに限る。

〔証明〕 本アルゴリズムは導出グラフの構成を除いては CKY 法と同じであるから, 定理4の証明⁷⁾と同様の方法で証明できる。 □

〔系1〕 第1要素が A であるような2つ組が $t_{0,n}$ に含まれるときかつそのときに限り $x \in L(G)$ である。

〔証明〕 定理7より明らかである。 □

〔定理8〕 導出グラフ構成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, step 1 では n 個の欄に高々 $|V_N|$ 個の要素を書き込み, 導出グラフの n 個の層に高々 $|V_N|$ の節点と $|V_N|^2$ 個の節点と枝を付け加えればよいから, $O(n)$ の時間を要する。step 2 では d, i, k はそれぞれ高々 n 個の異なった値をとり, (a), (b) の各操作は step 1 と同様に高々 $O(|V_N|^2) = O(1)$ であるから, 全体で $O(n^3)$ の時間を要する。従って, 導出グラフ構成アルゴリズムは $O(n^3)$ の時間を要する。 □

〔定理9〕 導出グラフ構成アルゴリズムは長さ n の文に対して $O(n^2)$ の空間を要する。

〔証明〕 定理8と同様の方法で容易に証明できるもので省略する。 □

$V_N = \{S, NP, VP, PP, N, V, ART\}$

$V_T = \{\text{Time, flies, like, an, arrow}\}$

$P = \{ S \rightarrow NP VP \quad (1),$

$S \rightarrow VP \quad (2),$

$NP \rightarrow NP PP \quad (3),$

$NP \rightarrow ART NP \quad (4),$

$NP \rightarrow N NP \quad (5),$

$NP \rightarrow N \quad (6),$

$VP \rightarrow VP PP \quad (7),$

$VP \rightarrow V NP \quad (8),$

$VP \rightarrow V \quad (9),$

$PP \rightarrow P NP \quad (10),$

$N \rightarrow \text{Time} \quad (11),$

$N \rightarrow \text{flies} \quad (12),$

$N \rightarrow \text{arrow} \quad (13),$

$V \rightarrow \text{Time} \quad (14),$

$V \rightarrow \text{flies} \quad (15),$

$V \rightarrow \text{like} \quad (16),$

$P \rightarrow \text{like} \quad (17),$

$ART \rightarrow \text{an} \quad (18) \}$

図2 曖昧な文脈自由文法

	1	2	3	4	5	
	[N, 5] [V, 6] [NP, 13] [VP, 14] [S, 15]	[S, 23] [NP, 25] [VP, 27]			[S, 44] [NP, 46] [VP, 48]	0
		[N, 7] [V, 8] [NP, 16] [VP, 17] [S, 18]	[S, 29]		[S, 38] [NP, 40] [VP, 42]	1
			[V, 9] [P, 10] [VP, 19] [S, 20]		[VP, 33] [PP, 35] [S, 36]	2
				[ART, 11]	[NP, 31]	3
					[N, 12] [NP, 22]	4

図3 文 "Time flies like an arrow" に対する CKY 表

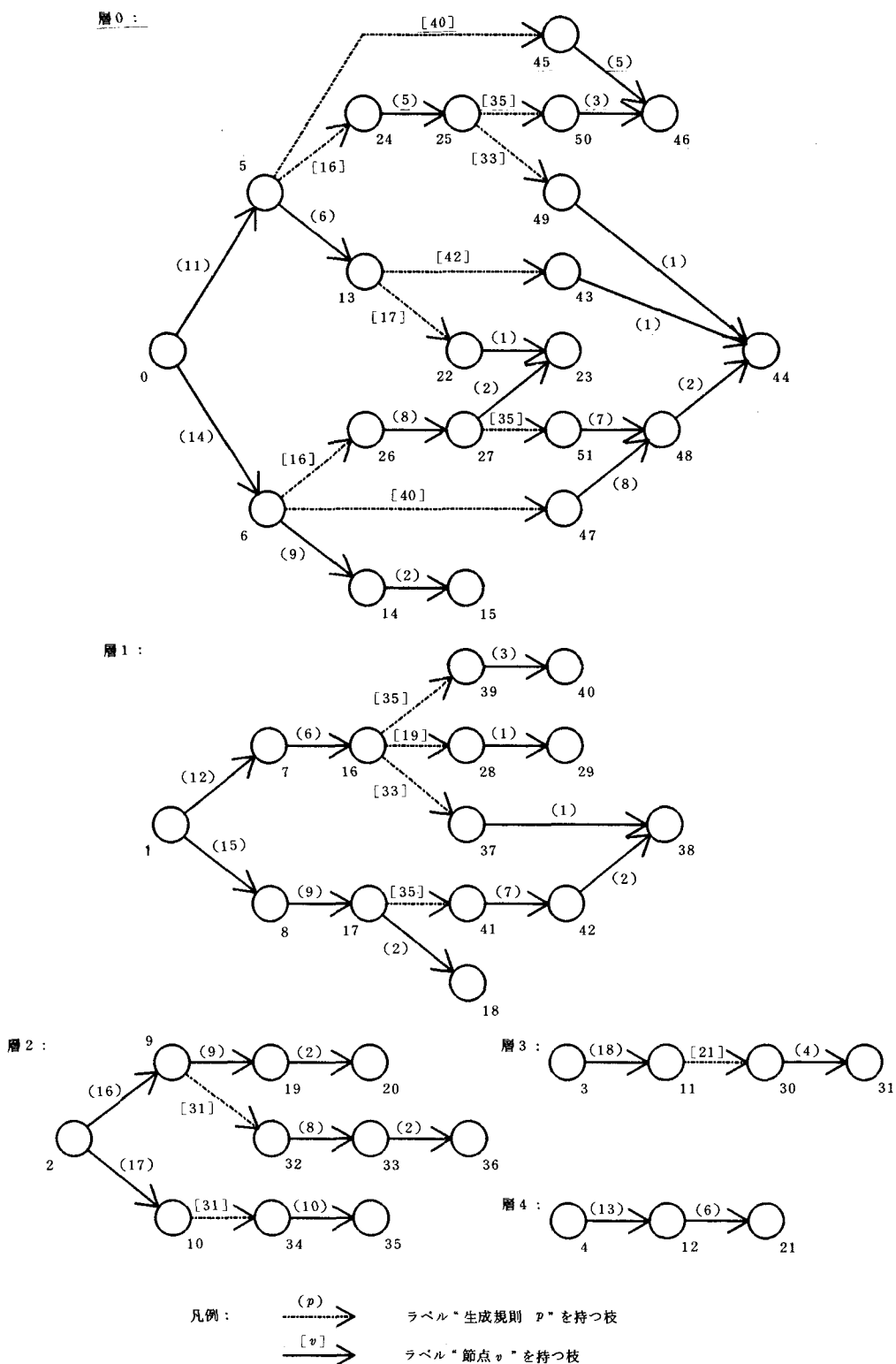


図 4 文 "Time flies like an arrow" に対する導出グラフ

4. 曖昧な文の解析

4.1 right parseの生成

本節では導出グラフから与えられた文に対する right parse を求める方法を示す。まず、導出グラフにおける拡張路並びに完全拡張路を定義する。

〔定義8〕 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 $e_1e_2\cdots e_n$ ($e_i=(u_i, v_i)$) において、 $u=u_1, v_1=v_2, v_2=v_3, \dots, v_{n-1}=u_n, u_n=v$ のとき、この枝の系列は拡張路である。
- (iii) 拡張路 $e_1e_2\cdots e_n$ において、節点をラベルとして持つ枝 $e_i[v]$ を節点 $u_i(v)$ 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。
- (iv) 上記(i)~(iii)により定義されるものだけが拡張路であり、それ以外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。□

節点 u から節点 v までの拡張路を $\pi(u, v)$ 、完全拡張路を $\pi^*(u, v)$ と書き表わす。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10〕 2つ組 $[A, v] \in t_{i,j}$ が存在すれば、ラベルの系列 $\pi^*(u_i(v), v)$ は最右導出 $A \xrightarrow{*} a_{i+1} \cdots a_j$ 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。□

2つ組 $[S, v] \in t_{0,n}$ の節点 v を以後 $u(0)$ と書き表すことにする。すると、ラベルの系列 $\pi^*(u_s(0), u(0))$ は定理10より認識した文に対する right parse を表す。例として図4における節点0から節点44までの完全拡張路を図5に示す。

導出グラフから1つの right parse を得るには $u(0)$ から $\pi^*(u_s(0), u(0))$ 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11〕 導出グラフから1つの right parse を得るために要する手数は $O(n)$ である。

(証明) $\pi^*(u_s(0), u(0))$ 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3により文法が

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。□

4.2 評価値の大きい順に導出を求めるアルゴリズム

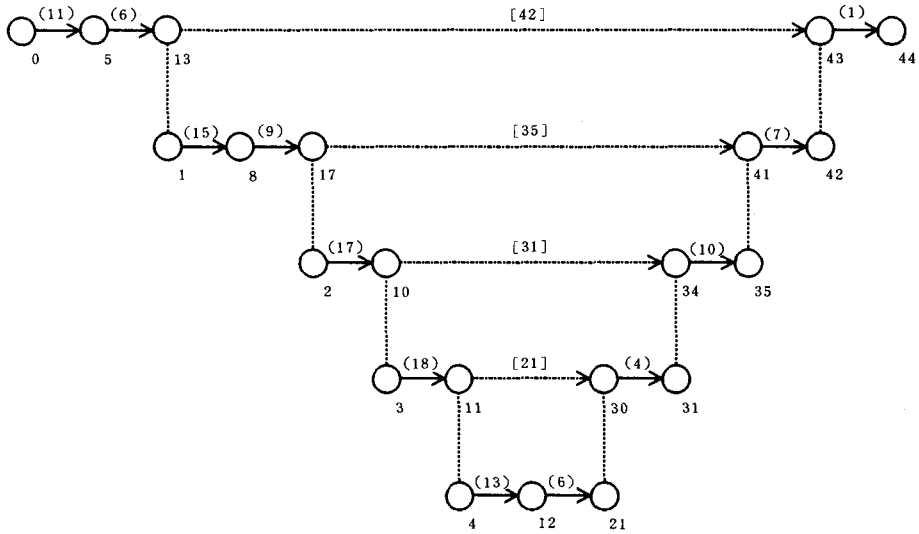
一般に文脈自由文法を用いた構文解析ではそれぞれの生成規則 $A \rightarrow \alpha(p)$ の適用に対して予め定めた評価値 $w(p)$ を与え、導出に対する評価値を、用いた生成規則の評価値の合計あるいは評価値の積と定義することが多い。ところが、後者の定義による場合でも、各生成規則に対する評価値の対数を取り、それを改めて各生成規則に対する評価値とすれば前者の定義を適用することができる。従って、本稿においても用いた生成規則の評価値の合計を導出に対する評価値であると定義する。

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、評価値の大きい(小さい)順に導出を選ぶ問題は導出グラフにおいて $u_s(0)$ から $u(0)$ 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。一般のグラフに関するこの種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)}、本アルゴリズムでは加藤、茨木、三根によるアルゴリズム²⁰⁾を再帰的に適用している。このアルゴリズムの説明は省略するが、これを導出グラフに適用した場合、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 $O(kn)$ 、 $O(n^2+kn)$ である²⁰⁾。

本稿で提案した導出グラフを用いた場合と CKY 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本来の CKY 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。また、これらの時間・空間複雑度は Earley 法を用いて導出グラフを構成した場合と同じであり、本手法が文法の形の制限の他は何ら Earley 法に劣る点がないことを示している。

5. む す び

本稿では、導出グラフを用いて曖昧な文脈自由言語を効率よく解析する手法を CKY 法に適用したアルゴリズムを提案した。又、本稿では導出グラフを用いて評価値が大きい(小さい)順に導出を求める場合の時間・空間複雑度を明らかにした。本手法によると CKY 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。また、Earley 法と比較した場合、本手法は文法の形が制限されている他は何ら劣る点がない。



right parse : 11-6-15-9-17-18-13-6-4-10-7-1

図5 図4の導出グラフの節点0から節点44への完全拡張路

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	$O(n^2)$	$O(n)$	$O(kn^2)$
	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$O(kn^2)$
空間	$O(n^2)$	$O(n)$	$O(n^2+kn)$
	$O(n^2)$	$O(n)$	$O(n^2+kn)$

n: 文の長さ

上段: 導出グラフ使用
下段: CKY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, ミツ矢裕一, 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: オートマン入門(1973), [朝倉書店]
10) 鳥居宏次: 形式言語に関する研究, 大阪大学大学院工学研究科博士学位論文(1967)
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: 演習グラフ理論(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 最短単純経路を求める $O(Kn^3)$ アルゴリズム", 信学論(A), J61-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) Knuth, 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 Algorithms, 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, 大阪大学大学院工学研究科修士学位論文(1986)
 - 28) 山井成良, 世古忠: "階層的グラフ表現による曖昧な言語の解析", 奈良高専研究紀要, 24, pp. 51-58(1986)
 - 29) Yamai, N., Seko, T., Kubo, N. and Kawata, T.: "An Efficient Enumeration Algorithm of Parses for Ambiguous ContextFree Languages", Proceedings of International Workshop on Parsing Technologies (1989), pp.286-296

遺跡出土木材の超音波診断法による非破壊的研究 (III)

(ホロセルロース分布の非破壊的調査)

石 垣 昭

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

(Non-Destructive Survey of Hollocellulose Distributions)

Akira ISHIGAKI

Non-destructive survey on the inner structures of the waterlogged archaeological woods performed by ultrasound echography using 3.5 MHz electronic linear scanner.

Hollocellulose remaining in the waterlogged woods reveals characteristic echoes such as acaustic shadow by strong ultrasound absorption.

By chemical analysis, percentages of hollocellulose in the wood pieces, which obtained from the different parts of a waterlogged wood blocks, reveal close reverse relationship to their water contents.

Therefore, non-destructively given informations on the distribution of hollocellulose by ultrasound echography give us also especially important informations on the distribution of water contents in the waterlogged woods.

1. 結 言

遺跡出土木材の内部構造の非破壊的調査法を確立することは、その保存処理を適切に実施するためにも極めて重要な意義をもつ。既にX線CT法による水浸出土木材内部の調査事例が報告されており、この方法は今後、極めて有力な方法になると思われる¹⁾。ただ、この測定法では装置が極めて高価につくため汎用性に欠けるという難点がある。

著者らは水浸出土木材の内部構造を非破壊的に調査する方法として、現在医療分野で汎用され、比較的廉価に入手可能な超音波診断装置による非破壊的調査の可能性について一連の研究を行い、針葉樹出土材と広葉樹出土材について内部の割れの発生状態等の診断例を既に報告した^{2) 3)}。

その後の研究の結果、超音波診断法によってX線CT法では得られない重要な情報が得られることを見出した。それは残留ホロセルロースの分布に関する情報である。

X線を用いる方法ではホロセルロースと水分のX線吸収係数の差が少なく、水浸出土材に含まれるゲル状のホロセルロースの分布を求めることは軟X線でも難しい。しかし水分を含む網目構造のゲルは超音波を良く吸収しゲル状のホロセルロースの分布を求めるのに適している。

水浸出土材内部のホロセルロースの分布はその腐食状態と密接な関係がある。即ち、ホロセルロースが多い部分は腐食の程度が低く、含水率も相対的に低く、比較的硬さを維持しており、逆にホロセルロースが少ない部分は腐食の程度が大きく、含水率も相対的に高く、比較的脆弱と考えることができる。したがって、ホロセルロースの分布が判明すれば外見では判断できない内部の硬い組織の分布を解明できるなど、保存処理の際参考となる重要な情報が得られる。本報告では、この残留ホロセルロースの分布状態を超音波法で非破壊的に求める方法に

ついて研究を行った成果について述べる。

2. 実験方法

2.1 試料

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針葉樹としてマツ（含水率約700%）ならびに広葉樹散孔材（含水率約500%、樹種未確認）を選び使用した。

2.2 超音波診断装置と測定法

測定装置はリニア電子走査超音波診断装置（島津SDL-150型）を使用し主としてBモード法で測定した。測定には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。

前報で測定に関する基本的技術が確立されたので、この方法により、水中に試料を浸漬し、直接、または必要に応じて弾力性のあるゲル状の音響カプラ（島津ソノコントクト）を載せ、その上から探触子で測定した。

また、前報で使用した画像処理システム²⁾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するとともに、あらたに断面の上下二方向からの観測データを合成した断層図を作成し、断面でのホロセルロース分布を非破壊的に画像として求める方法を開発した。

2.3 リグニンの定量と糖類の分析

出土材より採取した試料を木粉として乾燥し0.3gを72%硫酸4.5mlと混合し、時々かき混ぜながら18から20℃で2時間放置する。その後硫酸濃度が3%となるように蒸留水で希釈し4時間、蒸発した水を補いながら加熱沸騰を続け、そのまま1夜放置しリグニンを沈降させる。沈降したリグニンは濾過して乾燥秤量する。

ろ液は強塩基性イオン交換樹脂でpH 6-7 に調整し、水浴上でそれぞれ1 mlになるまで濃縮する。濃縮液に含まれる糖類をシリカゲルの薄層クロマトグラフィーで分析する。展開液：EtAc-isoPrOH-Aq-Py (26:14:7:2)

3. 結果と考察

3.1 ホロセルロースによる超音波の吸収

木材を構成する細胞は本来、セルロース、ヘミセルロース、リグニンの3種の主要成分によりなり、その細胞の集合体によって構造的な強度を維持しており、このセルロースとヘミセルロースの両者を併せてホロセルロースと称している。このなかでセルロースが結晶性の高分子

であるのに対し、ヘミセルロースはゲル状の非結晶性高分子である。

地下水以下に埋没した水浸材は比較的原形を維持して出土し多量の水分を保持している。水浸出土材のホロセルロースは土中の微生物により栄養源として資化され辺材部から次第に分解消失するが、細胞間に存在するリグニンは比較的資化され難く残存しやすい。

このことは各種の出土材についてホロセルロースとセルロースならびにリグニンの含有率を調べた松田の研究結果^{4) 5)}からもうかがえる。したがって出土木材はホロセルロースの大部分を失いそれに代わって多量の水分が浸透し、疎水性のリグニンと分解をまねがれたセルロース、これらを結びつける親水性ゲルのヘミセルロースによって脆弱ながら、その形態を維持していると考えられることができる。

高木ら⁶⁾は水分を90%含む卵白では超音波の音速は加熱によるゲル化の前後で僅かに変化するに過ぎないが、ゲル化によって音波の吸収強度に大きな差を生じ、この際、音波の振幅の減衰 $\exp(-\alpha x)$ で定義される音波の吸収係数 α はゲル化の進行に伴う網目の増加とともに増大すると述べている。このような超音波の吸収は当然、保水性ゲルであるヘミセルロースを成分とする水浸出土材のホロセルロースでも起こると予想できる。

これを実験的に裏付けるため写真1に示す針葉樹出土材試料（マツ、直径8 cm、厚み3 cm）の硬い心材部と比較的腐食した辺材部についてAモード法により年輪面の法線方向における音波の減衰状態を調べた。この結果、概算値ではあるが心材部の音波の吸収係数 α は辺材部のそれより約10倍程度高いことが判明した。

また、心材部と辺材部でホロセルロースの含有率に差があるかどうかを確かめるため写真2に示すA、B、Cの3箇所隣接する同一木材試料についてサンプリングを行い、リグニン含有率とホロセルロースを構成する多糖類の加水分解による減量率を調べた。この結果、表1に示すように心材部のほうがその他の部分に比較して明らかにホロセルロース含有率が高く、超音波をよく吸収することと符号している。

表1 針葉樹（マツ）出土材の各部分のリグニン含有率

	試料(g)	リグニン(%)	加水分解減量(%)
心材部(A)	0.352	75.2	24.8
中間部(B)	0.230	85.3	14.2
辺材部(C)	0.238	81.4	18.6

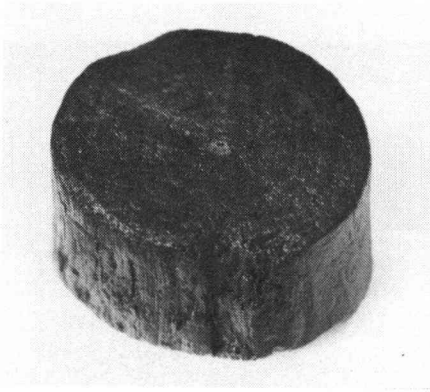


写真1 試料マツ出土材の外観

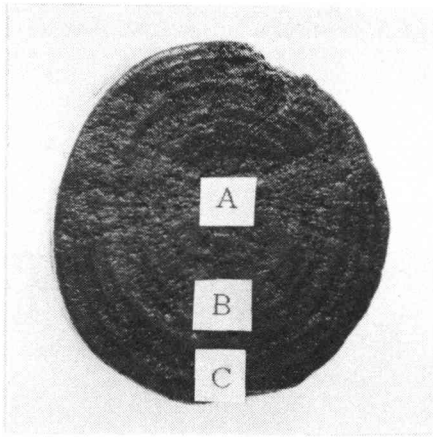


写真2 マツ出土材の分析試料採取位置 (表1参照)

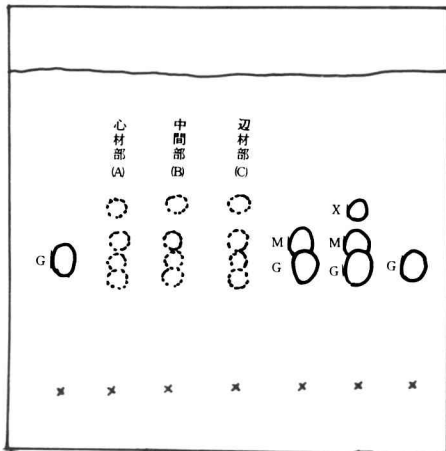


図1 加水分解液中の糖類の薄層クロマトグラム
 G: グルコース M: マンノース X: キシロース

さらに、薄層クロマトグラフィーによる分析結果(図1)からこれらの多糖類を構成している単糖類は心材部、辺材部を問わず、いずれもグルコースが極めて少量しか存在せず、セルロースはほとんど分解消失していることを示し、グルコマンナンやキシラン等の針葉樹ヘミセルロースが主成分であることを示唆している。

一般にヘミセルロースはセルロースよりも微生物による分解消失が早くはじまるとされている。しかし、セルロースが完全に分解された後でも分解に抵抗するヘミセルロースが一部残存することが知られている⁷⁾。したがって出土材のホロセルロースにセルロースがほとんど存在せずヘミセルロースが主成分として残存する場合もあることは充分考えられる。

3. 2 ホロセルロースの分布と含水率の分布との関係

出土木材をPEG 含浸法で保存処理する場合、保存担当者の経験から、含水率が高く多孔的で均質である場合は円滑に処理しやすいが、比較的含水率が低い出土木材は保存処理の際にトラブルが発生しやすいとされる。

出土木材は前述のように必ずしも均一な組織を持っていない。しかし、外観のみから内部の状態を肉眼で判定することは極めて困難である。著者らは前報²⁾において肉眼的に極めて均質と推測していた広葉樹出土材(散孔材)のブロック片(厚み6~7cm)を超音波法で調べた結果、局所的に音波を吸収する特異な部分があることを見出し、これの原因として樹脂層が局所的に存在するためと報告した。

しかし、今回このブロック片(写真3)についてさらに詳細に研究を進めた結果、樹脂層の存在が直接の原因と考えるよりもホロセルロースが局所的に残存するためとの考えを支持する興味ある事実を得た。これとともに保存処理に大きな影響を及ぼす含水率の分布がこのホロセルロースの分布と密接に関係している事実を見出した。

このブロック片を図2に示す直線XYで切断し、図2の断面図に示す位置でボーリングによってIからVIの6箇所の試料を採取した。

試料採取後のXYにおける図2に対応する断面の超音波画像を写真4に、またこの超音波信号を画像処理装置に入力して反転した後、平坦化し強調した画像を図3に示す。この画像からIVの試料を採取した付近で最も音波の吸収が大であることが分かる。また、IIIの付近でもかなりの音波を吸収していることが分かる。IVの付近はかなり硬く、物理的強度も高い組織が存在する(図2断面の一点鎖線の部分)。

この6箇所の試料の分析結果(表2)から音波の吸収が最も顕著なIVの位置でホロセルロースに相当する加水

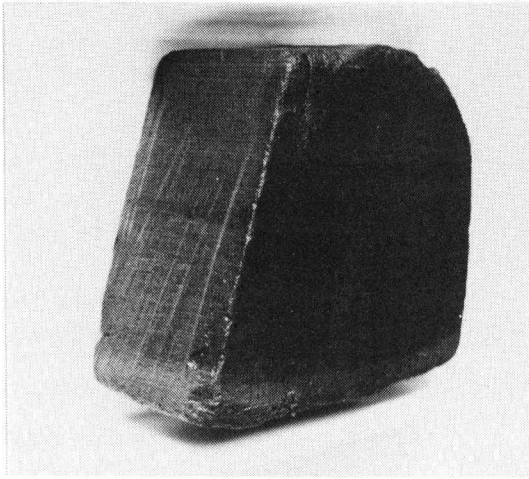


写真3 試料広葉樹散孔材の外観

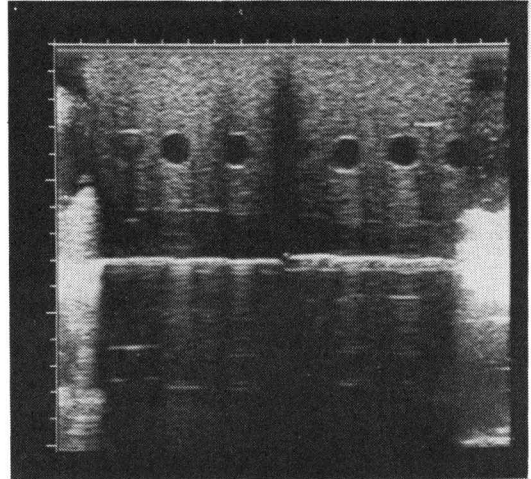


写真4 XY面近傍の超音波断層像（モニタ画像）

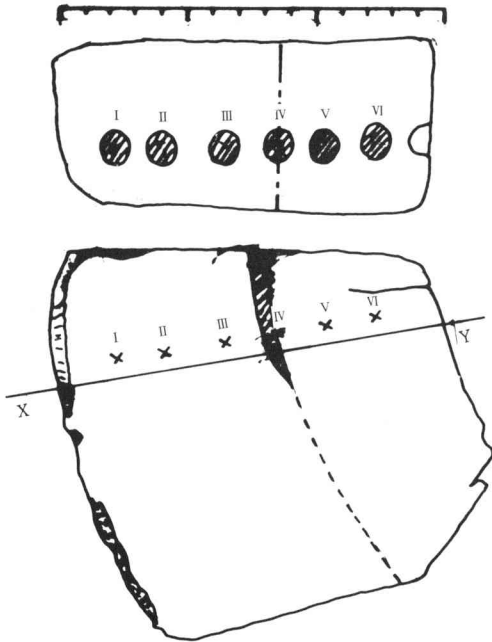


図2 試料広葉樹散孔材の測定図
（切断面と分析試料採取位置，表2参照）

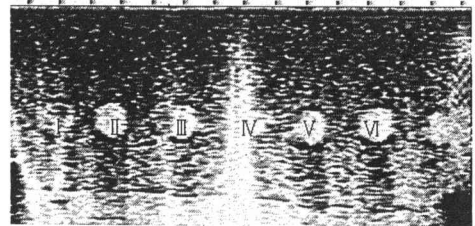


図3 同上，画像処理後の超音波画像（白黒反転強調）
IからIVは試料採取位置（表2参照）

表2 広葉樹出土材の各部分の分析値（対絶乾木粉）

試料採取部	水分(%)	リグニン(%)	加水分解減量(%)
I	635	85.3	14.7
II	518	85.2	14.8
III	437	81.0	19.0
IV	316	74.3	25.7
V	489	83.0	17.0
VI	562	83.2	16.8

分解減量%が最も高く、ついでかなりの音波を吸収するⅢの位置でこれに次ぐ加水分解減量%を示し、音波の吸収がホロセルロース含有率と密接に関係していることを示している。

さらに、各試料の含水率を調べると加水分解減量%と顕著な逆相関の関係にあることが分かる。このことはホロセルロースの分布を超音波吸収法で診断することによりこれと逆相関の関係にある含水率の分布を求めることが原理的に可能であることを示す。

3. 3 出土材の超音波断層図の作成

著者らは前報²⁾においてマツの出土材の超音波診断法を研究し木心部が強く音波を吸収することを報告し、本報でこれがホロセルロースによる音波の特異な吸収によることを解明した。このような特異な吸収を示すホロセルロースが内部でどのように分布しているかを丸太のまま非破壊的に断面図として得ることは含水率の分布を含め出土木材の超音波による非破壊的診断法を確立する上からも重要な課題である。

丸太の場合でも直径が10cm以下の出土材であればさまざまな角度から木口の断層像について音波を吸収しやすい部分を総合的に調べることで、特異な吸収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。そこで本報では上下の二方向からの超音波画像を合成し丸太の断面におけるホロセルロースの分布状態を一つの画像として取り出す方法について検討した結果を報告する。

今回使用した試料(マツ)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5に示すような画像が得られる。このようにリニア探触子を使用した場合、一方からのみの超音波断層像では丸太の断面のうち探触子に近い半分しか診断可能な画像が得られない。

写真5と写真6は同一の試料について互いに上下反対の方向からリニア探触子を使用して得た超音波診断装置のモニタ画像をポラロイドカメラで撮影したものであるが、このままでは音波の吸収の程度がはっきりしない。そこで前報²⁾に報告したように、これら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り込んで反転強調処理し、さらに画像濃度を8階調に変換すると、図4および図5のように吸収の強さを段階的に明瞭に示すことができる。この最も吸収の強い部分は木心に近く、比較的堅い材質でホロセルロース含有率が高い部分と考えることができる。図4と図5を基に幾何変換し、適切な位置でそれらの画像信号をビット単位の論理積で合成すると図6のような断層画像が得られる。

この断層画像から写真2と表1のAに相当する木心とその周辺のホロセルロース含有率の高い硬い組織の分布を非破壊的に判別することができる。これは一つの診断例に過ぎないが、今後、各種の出土木材について、このような丸太断面の断層図を作成して、内部の組成等との相関について研究を重ねれば、超音波による非破壊的診断に有用な知見をさらに広げることが期待できよう。

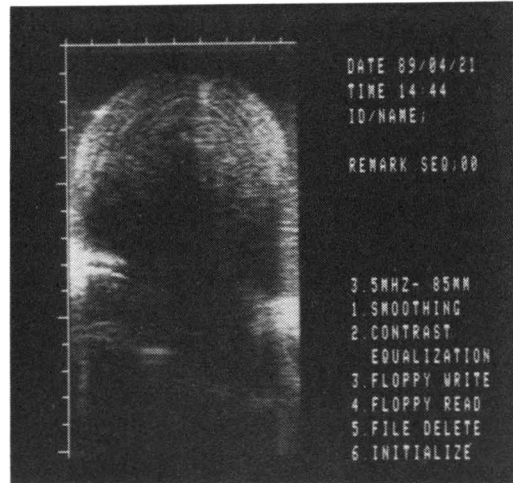


写真5 試料マツ木口の超音波断層像(モニタ画像)

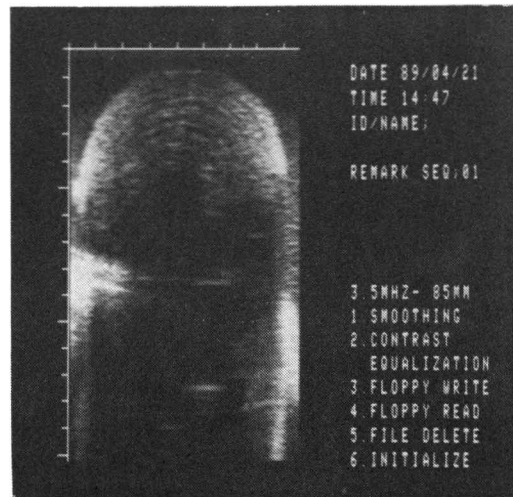


写真6 同上、上下反対方向からの超音波断層像

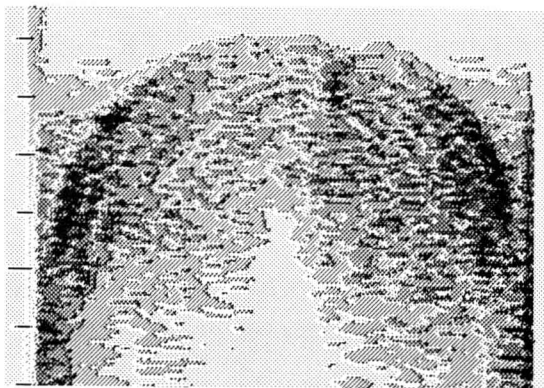


図4 写真5に対応する画像処理後の超音波断層画像

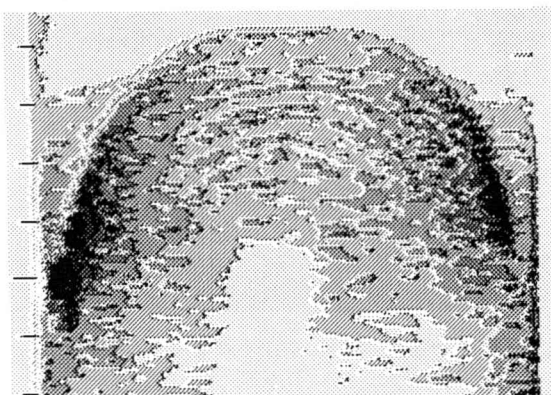


図5 写真6に対応する画像処理後の超音波断層画像

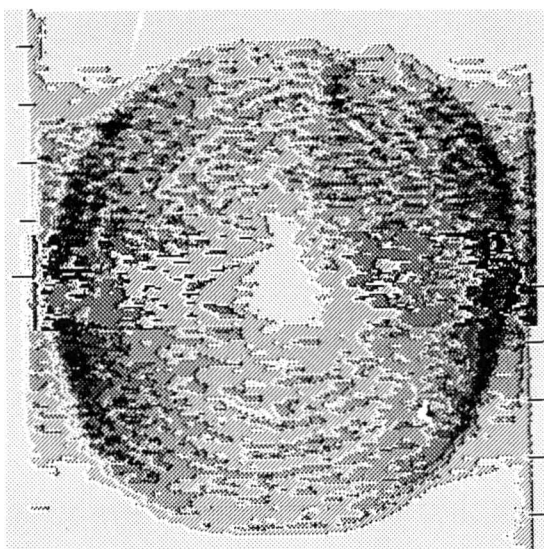


図6 図4と図5より合成した木口の超音波断層画像
(写真1, 写真2参照)

4. 結 言

超音波診断法によってX線吸収法では判別が困難な水浸出土木材内部に残留しているホロセルロースの分布を調べる方法を研究し、ホロセルロースを多く含む部分が超音波を吸収しやすく比較的容易に判別できることを見出した。これとともに保存処理に大きな影響を及ぼさず含水率がホロセルロースの含有率と極めて高い逆相関の関係にあることを確認し、ホロセルロースの分布を超音波法で求めることにより、出土材内部の含水率の分布を非破壊的に診断することが原理的に可能であることを見出した。

さらに上下二方向の超音波画像を合成し断面の断層図形を得る方法を検討し、断面のホロセルロースの分布を画像処理によって可視化する方法を開発した。この方法で含水率や硬さに関係の深いホロセルロースの分布を知ることにより、保存処理に際し、水浸出土木材内部の含水率の分布、構造的強度の分布についての情報がより正確に得られるものと期待できる。

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、この研究に卒業研究を通じて多大の貢献をして頂いた植木利也、平田賢治の諸君に感謝する。

文 献

- 1) 田口勇 : 日本文化財科学会会報, 17号(1989)16
- 2) 石垣昭, 上田勝彦 : 奈良高専研究紀要、第24号(1988)71
- 3) 石垣昭, 上田勝彦 : 奈良高専研究紀要、第24号(1988)77
- 4) 松田隆嗣 : 保存科学研究室紀要, 第4号(1975)36
- 5) 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
- 6) 高木堅志郎, 崔 博坤 : 高分子, 37巻(1988)413
- 7) 今村力造 : 大有機化学, 19巻, p.p.241(1969), 朝倉書店

Substituent Effect of Thiacycrown Ethers on Silver Ion Selectivity as Neutral Carrier for Ion-Selective Electrodes

Masatoshi Oue, Kazuhiro Akama*, Minoru Tanaka* and Toshiyuki Shono*

Dibenzyl-monothia-16-crown-5 was synthesized and tried to use as a neutral carrier for Ag^+ -selective polymeric membrane electrodes. Ag^+ -complex of the thiacycrown ether was employed for the membrane-active material instead of the thiacycrown ether itself, because the better potential response and stability were gained. The Ag^+ -selective electrodes exhibited Nernstian response to Ag^+ in a wide activity range. The ion selectivities against alkali, alkaline-earth and heavy metal ions, NH_4^+ , and H^+ were quite excellent.

Keywords Ag^+ -selective electrode, neutral carrier, lipophilic thiacycrown ether

Ion-selective electrodes are in high repute owing to their selective and precise detection of ions with simple operations, and have been widely used for clinical or environmental analyses. The selectivity and/or the response of liquid membrane-type ion-selective electrodes has been mainly dependent on the characteristics of neutral carriers in the membranes. Valinomycin, a natural compound well-known in biochemistry, was used as the neutral carrier of a K^+ -selective electrode. Crown ethers have similar structure to valinomycin and preferentially formed complexes with alkaline and alkaline-earth metal ions.¹⁻⁴ Therefore, crown ethers have been studied for neutral carriers of those ion-selective electrodes. Thiacycrown ethers are compounds in which a part or all of oxygen atoms in crown rings are replaced by sulfur atoms, and readily forms complexes with heavy metal ions. Consequently, thiacycrown ether derivatives have also been reported as the neutral carriers for heavy metal ions.⁵ Dithia-15-crown-5, for instance, has been tested for Hg^{2+} - and Ag^+ -selective electrodes.⁶ The Ag^+ -selective electrodes based on dithiacycrown ether as the neutral carrier have revealed a small incline of 40 mV/decade

for the calibration curves, and the interferences of Hg^{2+} and Fe^{3+} have been severe.

We have found that the thiacycrown ethers containing both oxygen and sulfur donor atoms in their rings have extracted Ag^+ selectively. The similar type compounds of thiacycrown ether derivatives have been studied as the neutral carriers of Ag^+ -selective electrodes.^{7,8,9} In order to design highly-soluble and -selective thiacycrown ethers, a lipophilic dodecyl group has been introduced into the thiacycrown ethers. This modification has made it possible to determine Ag^+ by using a small quantity of the neutral carrier in the membrane. Moreover, we have not recognized differences in calibration plots and selectivity coefficients between monothiacrown ether-based Ag^+ -selective electrodes and dithiacycrown ether-based ones. As the result, monothiacrown ether derivatives have been preferably employed for their easy syntheses. The Ag^+ -selective electrode based on a lipophilic monothiacrown ether has proved to possess high ion selectivities, emf stability, electrode durability, and reproducibility. Silver ion in artificial samples was successfully determined by the Ag^+ potentiometric titration and Gran's plot method with the Ag^+ electrode. This

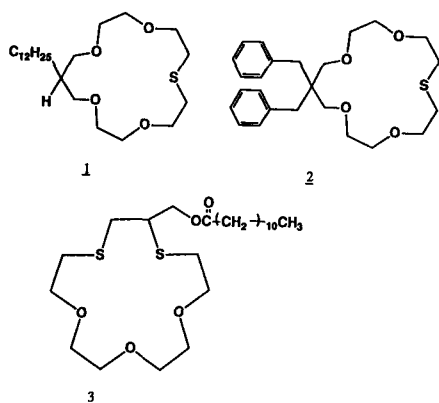
* Department of Applied Chemistry, Faculty of Engineering, Osaka University

paper describes the substituent effects on the lipophilic group in the lipophilic thiacycrown ethers as neutral carriers for the Ag^+ -selective electrodes.

Experimental

Chemicals

The membrane solvent (plasticizer: dioctyl phthalate (DOP)), poly(vinyl chloride) (PVC, average polymerization degree of 1100) and all of the metal salts employed here were as described previously.⁸ The thiacycrown ether derivatives, **1** and **3** employed as neutral carriers have already been mentioned.^{8,9} Water was deionized and distilled.



Scheme 1

Synthesis

The dibenzyl-monothiacrown ether, 6,6-dibenzyl-1,4,8,11-tetraoxa-14-thiacyclohexadecane or dibenzyl-monothia-16-crown-5 **2**, was synthesized in a similar way to that described previously.^{8,10,11} Dry dioxane (1500 ml) containing bis(2-hydroxyethyl) sulfide (3 g, 0.03 mol) and NaH (60% in oil was washed with hexane) (1.5 g, 0.06 mol) was refluxed for 1 h. To the refluxing solution 5,5-dibenzyl-3,7-dioxanonane-1,9-diol ditosylate (17.5 g, 0.03 mol) dissolved in 150 ml of dry dioxane was slowly added over 5 h and the mixture was refluxed for 8 h. After the reaction the solvent was evaporated off,

and the water was added to the residue. The aqueous solution was extracted three times with chloroform. The organic layer was washed with water and then dried over MgSO_4 . Evaporation of the solvent yielded a crude product of yellow viscous liquid, which was purified by silica gel column chromatography (ethyl acetate/n-hexane = 1/5, $R_f = 0.3$) and ODS (octadecyl silica gel) column chromatography; colorless highly viscous liquid; yield 31.6%; IR (neat) 2900 and 2850 (C-H), 1595, 1490, 1450, 1400 and 1350 (C-O), 1120 (C-O-C), 725 cm^{-1} (C-S); $^1\text{H-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) $\delta = 2.75$ (4H, s, $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2$), 2.83 (4H, J = 6 Hz, t, CH_2S), 3.36 (4H, s, $(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2)_2\text{CCH}_2\text{O}$), 3.56–4.00 (12H, m, OCH_2), 7.08–7.60 (10H, m, $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2$); MS, (m/e) 430 (M^+). Anal. Calcd for $\text{C}_{25}\text{H}_{34}\text{O}_4\text{S}$: C, 69.73%; H, 7.96%; S, 7.45%. Found: C, 67.71%; H, 7.70%; S, 9.80%.

Ag^+ -carrier complex formation

The Ag^+ - (dibenzyl-monothia-16-crown-5) (1:1) complex was prepared as follows. Equal volumes (5 ml) of dibenzyl-monothia-16-crown-5 (100 mg/0.2317 mmol) chloroform solution and 1 M AgNO_3 aqueous solution were taken into a stoppered test tube. After the solution was stirred in the dark for 3 h at room temperature, the organic layer was separated and then the solvent was evaporated. The residue was dehydrated with benzene by the azeotropy, and the resulted product was brown viscous liquid. From this liquid, gray-white needle crystals were obtained; yield 7.2%; mp 152.0–153.0°C; Anal. Calcd for $\text{C}_{25}\text{H}_{34}\text{O}_4\text{S} \cdot \text{AgNO}_3$: C, 50.01%; H, 5.71%; N, 2.33%. Found: C, 50.21%; H, 5.66%; N, 2.32%.

Fabrication of electrodes

The PVC membranes containing the neutral carrier- Ag^+ complex were cast from the THF solutions according to the previous procedure.¹² The typical membrane consisted of 27.5 wt%

PVC, 3.3 wt% $\text{Ag}^+ - \underline{1}$ complex, 68.9 wt% membrane solvent, dioctyl phthalate(plasticizer), and 0.3 wt% lipophilic salt, dipicryl-amine sodium salt(0.1 mol% to the $\text{Ag}^+ - \underline{1}$ complex). The electrode body of a Philips IS-561 was equipped with a 7 mm diameter disc of the PVC membrane. The internal filling solution was a 1×10^{-1} M AgNO_3 aqueous solution. The electrodes were conditioned by soaking in a 1×10^{-3} M AgNO_3 solution overnight.

Measurements of emf

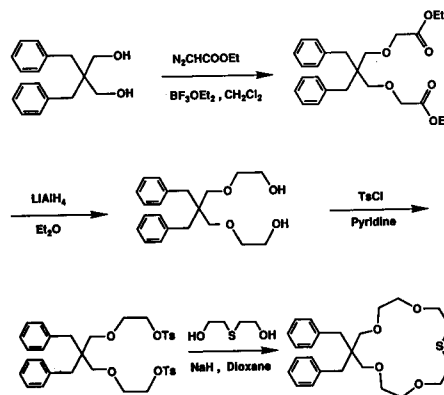
The measurements were carried out with a pH/mV meter of Corning Model M-130 at 25 °C. The electrochemical cell was $\text{Ag}-\text{AgCl}/10^{-3}$ M AgNO_3 /membrane/measured solution/0.1 M NH_4NO_3 /4 M $\text{KCl}/\text{AgCl}-\text{Ag}$.

The potentiometric selectivity coefficients, $k_{\text{AgM}}^{\text{Pot}}$, were determined by a mixed solution method (fixed interference method) according to the IUPAC recommendations.¹³ The constant background concentrations were 5×10^{-1} M for alkali and alkaline-earth metal ions and NH_4^+ , 5×10^{-2} M for H^+ and heavy metal ions, and 5×10^{-5} M for Hg^{2+} .

Results and Discussion

Synthesis

Dibenzyl monothiacrown ether 2 was synthesized as shown in Scheme 2. 2,2-Dibenzylpropane-1,3-diol was obtained by reduction of the reaction product of diethyl malonate with benzyl chloride. 5,5-Dibenzyl-3,7-dioxanonane-1,9-diol ditosylate was prepared by the reduction and tosylation of diethyl-5,5-dibenzyl-3,7-dioxanonane-1,9-dioate, which was synthesized from ethyl diazoacetate and 2,2-dibenzylpropane-1,3-diol. The crude cyclization compound was purified by silica gel chromatography and ODS to prevent the decomposition of the resulted thiacycrown ether. The Ag^+ -thiacrown ether complex could be isolated as crystals. The thiacycrown ether 1–3 and their Ag^+ complexes were identified by $^1\text{H-NMR}$, elemental analysis, mass spectrum and infrared spectrum.



Scheme 2

Electrode response

An introduction of a lipophilic dodecyl group to the thiacycrown ether derivatives increased their solubility to the membrane solvent and made it possible to determine Ag^+ at a carrier content of only a few percent in the electrode membranes, compared with thiacycrown ethers having no lipophilic group in their molecules.^{6,7} Liquid membrane-type ion-selective electrodes based on lipophilic thiacycrown ethers as neutral carriers for Ag^+ exhibited sufficient electrode response and stability.⁹ High solubility of the lipophilic neutral carriers in the electrode membranes may bring about the efficient electrode response. The role of the lipophilic group in the thiacycrown ethers seems to allow the neutral carriers to stay stably in the membrane. Steric effect of the various kinds of lipophilic groups in the lipophilic crown ethers as carriers for Li^+ -selective electrodes has been observed.^{3,14,15} In this study, dodecyl- and dibenzyl-monothiacrown ether 1, 2, and dodecanoyl-oxymethyl-dithiacrown ether 3 were applied to the neutral carriers of the Ag^+ -selective electrodes. As for the neutral carrier for the Ag^+ electrode, Ag^+ -thiacrown ether complex instead of thiacycrown ether was employed for better electrode response and stability. The electrode membrane

containing the neutral carrier was dipped in the measured metal ion solution for overnight before use. The carrier in the liquid membrane might be complexed with the metal ion on the surface during this conditioning. Representative calibration curves for the Ag^+ -selective electrodes based on thiocrown ethers 1–3 are shown in Fig. 1. The calibration curve for the ion-selective electrode based on dibenzyl-monothiocrown ether showed the same linearity, compared with that for the dodecyl-monothiocrown ether-based electrode. This indicates that each lipophilic group on the thiocrown ether ring does not affect the electrode response. As a result, the Ag^+ -selective electrode based on each lipophilic thiocrown ether having a lipophilic group, aromatic or aliphatic group, exhibited the similar response against the emf readings. The response time for the Ag^+ -selective electrode based on each of the Ag^+ -thiocrown ether complex was within 30 sec.

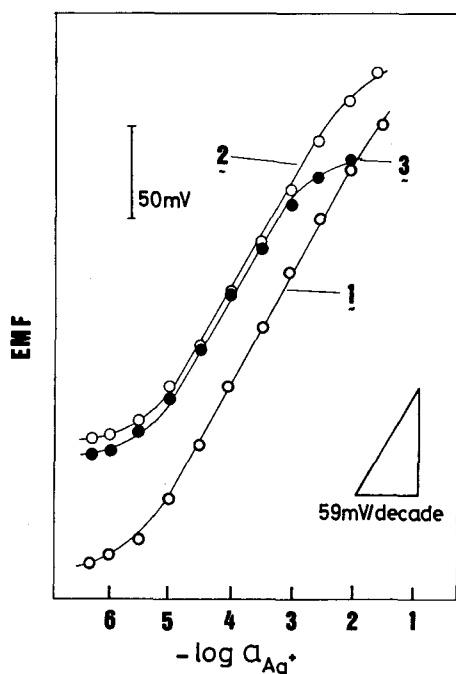


Fig. 1. Electrode response of Ag^+ -selective electrodes based on Ag^+ -thiocrown complexes as neutral carriers(1–3).

Selectivities

The selectivity coefficients for Ag^+ on the Ag^+ -thiocrown complex membrane electrodes were evidently superior to those for conventional Ag_2S electrodes,⁹ because coexistence of Hg^{2+} in the sample solutions did not interfere with the measurements severely. In the PVC membrane of Ag^+ -thiocrown complex, the effect of substituent, lipophilic group, in the thiocrown ring, was investigated on the selectivity coefficients, $k_{\text{AgM}}^{\text{Pot}}$ with respect to alkali, alkaline-earth and heavy metal ions, NH_4^+ , and H^+ (Fig. 2). The lipophilic group in the ring did not change the selectivity coefficients widely. The interference of the metal ions except for Hg^{2+} was also negligible in the case of dibenzyl-monothiocrown ether.^{7,9} The selectivity coefficients for Ag^+ in the electrode based on dibenzyl-monothiocrown ether did not show remarkable differences as compared with the other thiocrown ether 1 or 3, but seems to flock together partially at low ranges except for Hg^{2+} , H^+ and Tl^+ . However, the substituent effect of the lipophilic thiocrown ethers on the selectivity coefficients did not appear drastically.

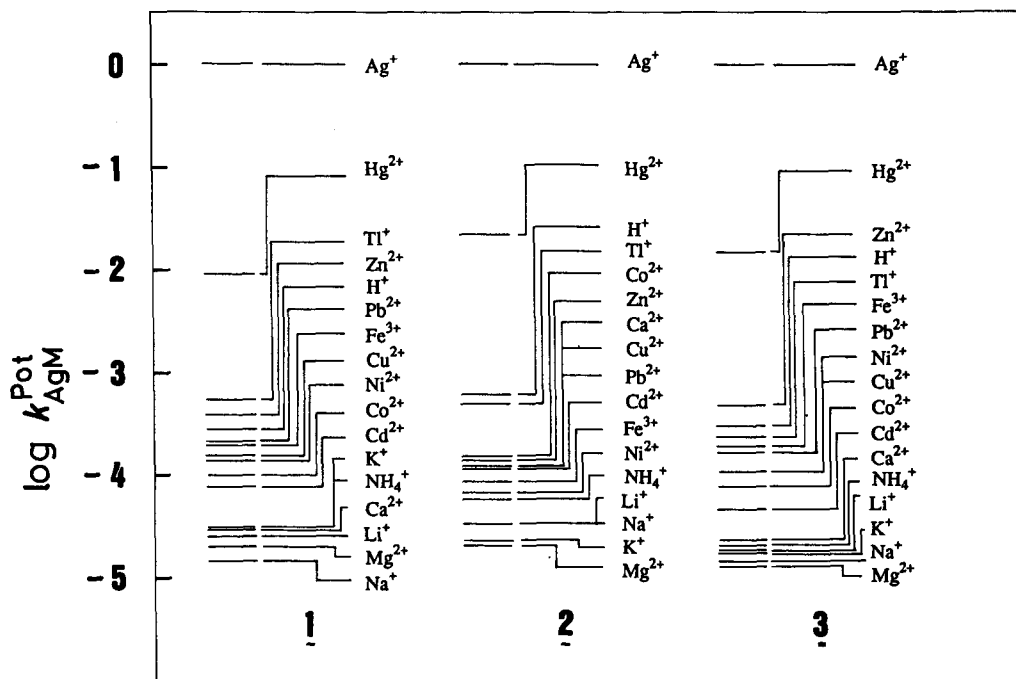


Fig. 2. Selectivity coefficients for Ag⁺ with respect to various kinds of cations in thiocrown-based electrodes.

References

1. K. Kimura, T. Maeda, H. Tamura and T. Shono, *J. Electroanal. Chem. Interfacial Electrochem.*, **95**, 91(1979).
2. T. Shono, M. Okahara, I. Ikeda, K. Kimura and H. Tamura, *J. Electroanal. Chem. Interfacial Electrochem.*, **132**, 99(1982).
3. S. Kitazawa, K. Kimura, H. Yano and T. Shono, *J. Am. Chem. Soc.*, **106**, 6978(1984).
4. L. A. R. Pioda, V. Stankova and W. Simon, *Anal. Lett.*, **2**, 665(1969).
5. S. Kamata, M. Higo, T. Kamibeppu and I. Tanaka, *Chem. Lett.*, **1982**, 287.
6. M. T. Lai and J. S. Shih, *Analyst (London)*, **111**, 891(1986).
7. M. Oue, K. Kimura, K. Akama, M. Tanaka and T. Shono, *Chem. Lett.*, **1988**, 409.
8. M. Oue, K. Akama, K. Kimura, M. Tanaka and T. Shono, *Anal. Sci.*, **5**, 165(1989).
9. M. Oue, K. Akama, K. Kimura, M. Tanaka and T. Shono, *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1*, **1989**, 1675.
10. D. Ammann, R. Bissig, M. Guggi, E. Pretsch and W. Simon, *Helv. Chim. Acta*, **58**, 1535(1975).
11. H. Sakamoto, K. Kimura, Y. Koseki, M. Matuo and T. Shono, *J. Org. Chem.*, **51**, 4974(1986).
12. K. Kimura, S. Kitazawa and T. Shono, *Chem. Lett.*, **1984**, 639.
13. "Recommendations for Nomenclature of Ion-Selective Electrodes"; *Pure Appl. Chem.*, **48**, 127(1976).
14. S. Kitazawa, K. kimura, H. Yano and T. Shono, *Analyst(London)*, **110**, 295(1985).
15. K. Kimura, H. Yano, S. Kitazawa and T. Shono, *J. Chem, Soc. Perkin Trans. 2*, **1986**, 1945.

アルギン酸カルシウムゲル内の物質移動

河越幹男・末 信一朗

Mass transfer in an immobilized Calcium Alginate Gel

Mikio KAWAGOE and Shin-ichiro SUYE

To investigate mass transfer in gel which is used to immobilize cells and microorganisms, leaching rate of sodium acetate and ATP (adenosine triphosphate) from gel was measured. The analytical method to calculate the diffusion coefficient from the curve of solute concentration versus time was improved to obtain exact values of diffusion coefficient. Using the method, the influences of concentration of sodium alginate, temperature, gel size and species of solute was studied. As a result, it was found that diffusion coefficients decrease with increasing sodium alginate concentration, and increase with increasing gel size and temperature. The value of diffusion coefficient of ATP was about a half the one of sodium acetate.

緒 言

近年、バイオテクノロジーの成果を工業的に利用するため、バイオリクターに関する研究が活発に行われている^{1,2)}。その中の一つに基質透過性のゲルあるいは高分子物質によって微生物あるいは動植物細胞を包括固定化した固定化培養がある。なかでも、ゲル包括法は、試薬の調整が比較的易しく、結合力及び機械的強度も高いなどの利点を持っているため、注目されている³⁾。

固定化を行うと、微生物（あるいは細胞）の取扱が容易になり、流出による損失を防止でき、回収再利用ができるなど多くの利点がある。その反面、基質あるいは生成物はゲル内を移動しなければならないので、ゲル内の拡散が反応系全体の律速段階になることが多く⁴⁾、バイオリクター設計上の基本因子の一つになっている。

本研究では固定化担体としてよく用いられているアルギン酸カルシウムゲル内の物質移動について検討した。まず、従来のゲル内有効拡散係数の解析法⁵⁾を改良し、精度よく測定できるようにした。この方法を用い、ゲル内の物質移動速度に及ぼすアルギン酸ナトリウム濃度、温度、粒子径、溶質の種類、攪拌速度の影響を調べた。

1. 解析法

ゲル内の溶質Aが液中に溶出する場合を考え、液は完全混合とする。最初、液中にA成分は存在せず、また、ゲル内のA成分の初濃度は均一で、 C_{A0} とする。任意の時間における液中濃度をC、ゲル内平均濃度を C_A とすると、攪拌槽内の物質収支から次式が得られる。

$$VC = V_P (C_{A0} - C_A) \quad (1)$$

ここで、Vは液容積、 V_P はゲル容積とする。ゲル内の平均濃度 \bar{C}_A は、次の拡散方程式を解いて得られる粒子内の濃度分布から求められる。

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = D_A \left(\frac{\partial^2 C_A}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C_A}{\partial r} \right) \quad (2)$$

$$\text{初期条件: } C_A = C_{A0} \quad \text{at } t = 0$$

$$\text{境界条件: } C_A = C_{AS} \quad \text{at } r = R$$

$$\frac{\partial C_A}{\partial r} = 0 \quad \text{at } r = 0$$

ここで、 C_{AS} はゲル表面における濃度で、液中濃度と平衡関係にある。液境膜の移動抵抗が無視できるとすれ

Table 1. Properties of gel used, experimental conditions and results obtained

Run No	Solute	C_p [kg/m ³]	ρ_p [kg/m ³]	$d_{gv} \times 10^3$ [m]	Temp. [°C]	$D_A \times 10^9$ [m ² /s]	K [-]	
1	CH ₃ COONa	10	1010	4.84	25	0.977	0.891	
2					5.17	35	0.929	1.313
3						25	0.771	1.108
4		20	0.660	1.182				
5		10	0.557	1.352				
6		20	1020	3.81	25	0.683	1.091	
7						0.650	1.127	
8						0.510	1.024	
9						ATP	0.345	0.216

ば、この関係は次式で与えられる。

$$C_{AS} = KC \quad (3)$$

ここで、Kは平衡定数である。溶質Aの溶出によって液中濃度Cは、時間tと共に変化し、これに伴いC_{AS}も変化する。この場合の解は得られている²⁾ので、これと物質収支 Eq.(1) を用いれば液中濃度Cの経時変化が得られる。未飽和度 $\eta = (C_{eq} - C)/C_{eq}$ を用いると、この関係は次式で与えられる。

$$\eta = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{6 \alpha (1 + \alpha) \exp(-D_A q_n^2 t / R^2)}{9 + 9 \alpha + q_n^2 \alpha^2} \quad (4)$$

ここで、C_{eq}は平衡時(t = ∞)の液濃度、 $\alpha = V/KV_P$ であり、q_nは次式の正根である。

$$\tan q_n = \frac{3q_n}{3 + \alpha q_n^2} \quad (5)$$

時間tが十分大きい場合、Eq.(4)は第1項のみで近似でき、次のように簡単化できる。

$$\eta = \frac{6 \alpha (1 + \alpha) \exp(-D_A q_1^2 t / R^2)}{9 + 9 \alpha + q_1^2 \alpha^2} \quad (6)$$

n = 1 のときの Eq.(5) の解 q₁ と α の関係は、±0.5% 以内の精度で次式で近似することができた。

$$q_1 = \pi (1 + 0.3025 \lambda + 0.135 \lambda^2) \quad (7)$$

ここで、 $\lambda = 1 / (1 + \alpha)$ である。

Eq.(6) の両辺の対数をとると、次式になる。

$$\ln \eta = \ln \beta - \frac{D_A q_1^2}{R^2} t \quad (8)$$

ここで、 $\beta = 6 \alpha (1 + \alpha) / (9 + 9 \alpha + q_1^2 \alpha^2)$ である。従って、t が大きい領域では、ln(η) 対 t のプロットは直

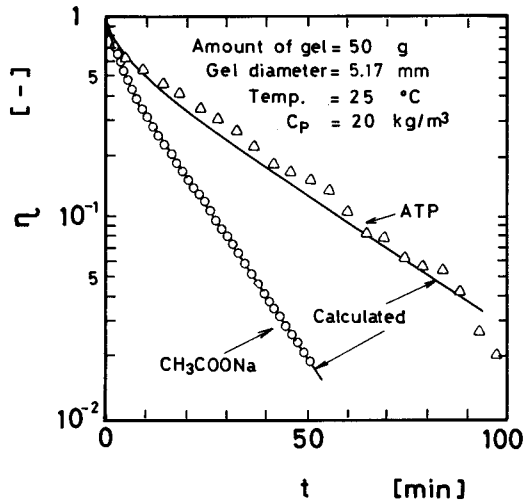


Fig.1 Variation of η with time

線となり、その勾配から有効拡散係数 D_A を算出することができる。α → ∞ の場合は q₁ → π になり、従来の結果²⁾と一致する。

2. 実験

実験は4枚邪魔板付きガラス製攪拌槽(容積 1dm³)を用い、液回分で行った。液の仕込量は0.45dm³とした。攪拌翼は4枚櫛型羽根である。予め溶質で飽和したゲル粒子を攪拌槽に投入し、液中溶質濃度の経時変化を測定した。

アルギン酸カルシウムゲル: アルギン酸ナトリウム溶液を細いノズルを通して塩化カルシウム水溶液中に滴下すると、球形のアルギン酸カルシウムゲルができる。生成したアルギン酸カルシウムゲルを純水(イオン交換水)に入れて攪拌し、液中の電導度を測定したところ、

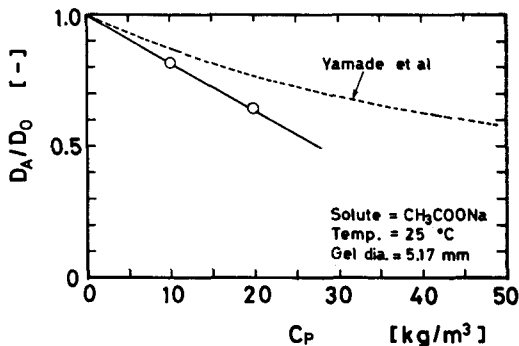


Fig.2 D_A/D_0 as a function of C_p

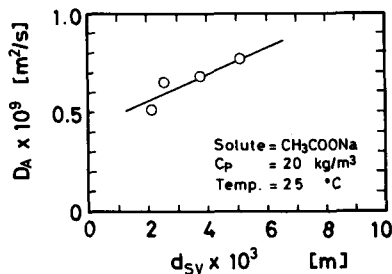


Fig.3 Plots of D_A versus d_{sv}

ゲル中のNaイオンが液中に溶出し、電導度は時間と共に上昇してある平衡値に達した。このため、液の電導度と純水の電導度の差が殆ど認められなくなるまで水を取り替え、十分に洗浄した。実験にはこの洗浄済みのゲルを用いた。

本実験で用いたゲルの体表面積平均径 d_{sv} は 2 ~ 5 mm であり、100 個の粒子を測定して求めた。アルギン酸ナトリウムの濃度は10及び20 kg/m^3 と変えた。これらゲルの特性、及び実験条件を Table 1にまとめて示した。

ゲル内溶質の浸出速度： 溶質には分子量の小さい酢酸ナトリウムと比較的分子量の大きいATP ニナトリウム塩 (Adenosine 5'-triphosphate, disodium salt, $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_5\text{O}_{13}\text{P}_3\text{Na}_2$: 分子量=551) を用いた。以下では、後者は単にATP と呼ぶ。

溶質が酢酸ナトリウムの場合、ゲルを溶質で飽和させるため、濃度82 kg/m^3 の酢酸ナトリウム水溶液0.3 dm^3 にゲル50g を室温で12時間以上浸した。このゲルを攪拌槽に投入し、液の電導度の経時変化を電導度計で測定した。データはAD変換器を介してマイクロコンピュータに直接入力される。本実験における酢酸ナトリウムの

濃度範囲では電導度と濃度は比例関係にあった。

ATPの場合、水中では不安定であるため、溶媒として Tris-HCl緩衝液 (Tris hydroxymethyl aminomethane) を用いた。本実験では濃度 0.05 kmol/m^3 , PH=7 の緩衝液を使用した。前述の場合と同様、ゲルをATP溶液に浸して飽和させ、このゲルを攪拌槽に投入し、液中のATP濃度の経時変化を測定した。濃度の測定は、紫外吸光分析法によった。測定波長は260 nm である。

3. 実験結果及び検討

攪拌速度の影響を検討するため、回転速度を 120 rpm と 200 rpm に変え、その他の条件は一定に保って測定したところ、両者には殆ど差異が認められなかった。このことは、ゲル内の拡散過程が律速段階であることを示している。以下の実験では、回転数は全て 200 rpm とした。

3.1 平衡定数

平衡定数は次のようにして求めた。ゲルを溶質で飽和させるために漬けた浸漬液の初濃度を C_{F0} 、容積を V_F 、浸漬ゲルの容積を V_{P0} とする。このゲルの一部または全部を取り出して攪拌槽に投入し、液中濃度変化を測定する。十分に時間が経過し、平衡に達したと見なせる時の濃度を C_{e0} とすると、平衡定数 K は物質収支から次式によって求められる。

$$K = \frac{pr - p - s - \sqrt{(pr - p - s)^2 - 4ps}}{2} \quad (9)$$

ここで、 $p = V_F/V_{P0}$ 、 $s = V_L/V_P$ 、 $r = C_{F0}/C_{e0}$ である。

Table 1 にこの方法で求めた K の値を示した。溶質が酢酸ナトリウムの場合、 K はほぼ1.0 と見なせる。簡単化のため、以下では $K = 1$ とした。ATP の場合、ATP はゲル内に存在し難いため、 K は1より小さくなっ

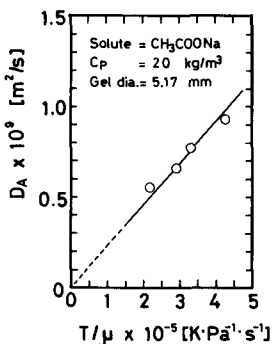


Fig.2 Plots of D_A as a function of T/μ

ている。

3.2 濃度の経時変化

Fig. 1 に η 対 t の片対数プロットの代表例を示した。図中の実線は、Eq. (4)からの計算値である。計算に用いた拡散係数は、Eq. (8)に従って t が十分大きい直線部分の勾配から求めた。このプロットから、実測値と計算値はよく一致していることがわかる。

3.3 有効拡散係数

Table 1 に η 対 t の片対数プロットの直線部分の勾配から求めた有効拡散係数 D_A をまとめて示した。

酢酸ナトリウムは電解質であるので、ゲル内ではイオンに解離していると考えられる。無限希釈溶液のイオンの拡散係数 D_0 は、Nernst-Haskellの式から計算でき⁴⁾、25℃では $D_0 = 1.2 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ と求められた。また、拡散係数 D_A はアルギン酸ナトリウム濃度 C_P の影響も受ける。Fig. 2 に D_A/D_0 対 C_P のプロットを示した。このプロットから拡散係数 D_A は C_A の増加とともに減少することが分かる。Fig. 2 には山出ら⁵⁾の結果も併せて示した。本結果は彼らの結果よりも小さい。

拡散係数 D_A は温度 T 及び溶媒粘度 μ の影響を受ける。Wilke-Chang の式⁷⁾によると、 $D_A \mu/T = \text{一定}$ である。この関係に基づき、 D_A を T/μ に対してプロットし、Fig. 3 に示した。ゲル内の溶媒の状態は明らかでないので、 μ には水の粘度を用いた。このプロットはほぼ原点を通る直線を与えWilke-Changの関係が成立することが分かる。

Fig. 4 に D_A 対ゲル径 d_{sv} のプロットを示した。ゲル径が大きいほどゲル化の程度が弱いため、拡散係数はゲル径とともに増加している。

また、Table 1 から分かるように、分子量が大きいATPの場合、拡散係数は酢酸ナトリウムの場合よりも小さくなる。

結 言

アルギン酸カルシウムの球形ゲルを用いて、平衡定数及び拡散係数を測定し、粒子径、温度、アルギン酸ナトリウムの濃度の影響を調べた。その結果、溶質が低分子量電解質の酢酸ナトリウムの場合、イオン拡散と見なせた。分子量の大きいATPの場合も、液中濃度の経時変化は拡散モデルによる計算値とはほぼ一致した。

(謝辞) 本実験には西尾浩幸君(現イサム塗料㈱)の協力を得ました。記して、謝意を表します。

Literature cited

- 1) Chibata, I., T. Tosa, R. Matsuno, T. Satoh and T. Mori : "Koteika Seitai Shokubai", Koudansha (1986)
- 2) Crank, J. : "The Mathematics of Diffusion", p.88, Clarendon Press, Oxford(1955)
- 3) Fukui, S., I., Karube, A. Tanaka and R. Matsuno : "Baoriakuta", 3rd ed., Koudansha (1988)
- 4) Sherwood, T. K., R. L. Pigford and C. R. Wilke : "Mass Transfer", p.35-39, McGraw Hill Koudansha Ltd., Tokyo(1975)
- 5) Yamade, K., M. Yoshida and S. Fukushima : Hakkokogaku Kaishi, 67, 245(1989)
- 6) Yamade, K. and S. Fukushima : J. Ferment. Bioeng., 67, 97(1989)
- 7) Wilke, C. R. and P. C. Chang : AIChE. J., 1, 264(1955)

アルコールセンサによる清酒中のアルコール定量

末 信 一 朗・犬 田 修 正

Determination of Ethanol in Alcoholic drinks by Alcohol Oxidase Immobilized D.O. Electrode

Shin-ichiro SUYE and Shusei INUTA

Alcohol oxidase [EC 1.1.3.13] from *Candida methanosorbosa* M-2003 immobilized oxygen electrode method for the determination of ethanol has been reported. This method was applied for determination of ethanol in alcoholic drinks and in fermentation mixture. The results agreed well with those obtained by determination of specific gravity of distillate. Correlation coefficient was 0.9998. Alcohol sensor is simple method for quality and process control of brewing.

1. 結 言

近年、醸造業界における急速な諸設備の近代化に伴い、工程管理上の省力化が望まれている。こうした工程管理での分析項目の一つとしてアルコールの分析定量があるが、従来より公定法では浮ひょう法が定められている。浮ひょう法は装置は簡便であるが操作は複雑で熟練を要することや、分析に要する時間が長いこと、温度による測定誤差が大きい等の短所があり、これに代わる測定法が望まれてきた。浮ひょう法に代わるアルコール分析法としては、ガスクロマトグラフィー（以下GCと略す。）¹⁾、高速液体クロマトグラフィー²⁾、非電解質計による方法³⁾等が報告されているが、いずれも分析時間や操作性、エキス分の影響など多くの問題を有している。

一方、近年、酵素のもつ高い分子識別機能と各種電極を組み合わせた酵素電極が研究開発されており迅速、簡便な定量が可能であることから臨床診断分析、食品分析などに広く用いられている⁴⁾。アルコール分析においてもアルコールオキシダーゼを用いたアルコールセンサが報告⁵⁾されており、市販にいたっている⁶⁾。アルコールオキシダーゼ (EC 1.1.3.13)は次の反応を触媒する。



この反応による溶存酵素の減少を測定すれば、エタノールの定量が可能である。アルコールオキシダーゼは、メ

タノール資化性酵母である*Candida*属⁷⁾、*Pichia*属⁸⁾及び*Hansenula*属⁹⁾などに見いだされているが、耐熱性及び安定性が低いためアルコールセンサとして用いるには不十分であり、センサの寿命などの点で実用には適していなかった。そこで筆者は酵素電極に用いることのできる、耐熱性アルコールオキシダーゼを生産するメタノール資化性酵母の検索をおこない、*Candida methanosorbosa* M-2003株に目的の酵素を見だし¹⁰⁾、本酵素と酸素電極を組み合わせて安定なアルコールセンサを構成しその特性について検討した¹¹⁾。今回、このアルコールセンサを用いて清酒及び清酒醪中のアルコール定量分析を行い、同時に浮ひょう法、GC法との比較検討を行った。

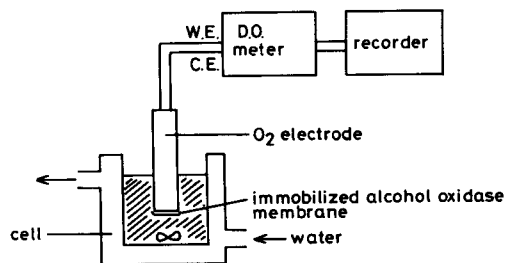


Fig. 1 Schematic diagram of the immobilized alcohol oxidase electrode

2. 方 法

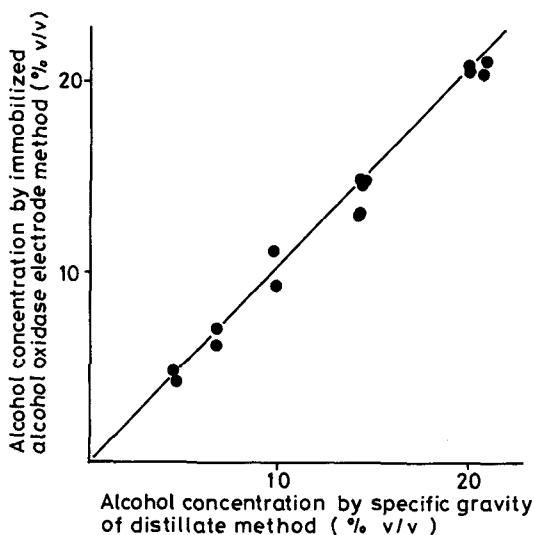


Fig. 2 Correlatin between the immobilized alcohol oxidase electrode method and specific gravity of distillate method for determination of ethanol in standard ethanol solution, $n=16$; $r=0.992$; $Y=1.02X-0.24$

2. 1 酵 素 電 極

アルコールオキシダーゼ固定化膜は前報に従い調製した¹¹⁾。固定化酵素膜を酸素電極(エイブル社製 BO型)に定着してアルコールセンサを構築した。エタノールの定量は、溶存酵素の減少を還元電流の減少値で測定した。測定に用いた溶液の組成は、50 mMリン酸緩衝液(pH 7.5)であり、セル容は2 ml、測定温度は37℃とした。測定装置の構成をFig. 1に示す。

2. 2 エタノールの定量

2. 2. 1 アルコールセンサ法

アルコール濃度 0-1.0% v/v 内で測定するため試料を100倍希釈して検体とした。あらかじめ標準エタノールを用いて検量線を作成し、これから試料中のアルコール濃度を算出した。

2. 2. 2 浮ひょう法

国税庁所定分析法に準じて行った。すなわち試料100 mlを蒸留して留分約70 mlを集め、蒸留水を加えて100 mlとし15℃において、酒精度浮ひょうを用いてその示度を読み取りアルコール濃度(% v/v)を求めた。

2. 2. 3 ガスクロマトグラフィー法

測定機器は津島GC-7AGガスクロマトグラフをも

Table 1 Determination of ethanol in standard ethanol solution and alcoholic drink

Sample		Specific gravity of distillate method	Alcohol oxidase immobilized electrode	Gas chromatography
Standard ethanol solution	Ethanol concentration (% v/v)	14.5	14.5	14.8
	Standard deviation	0.046	0.192	0.211
	Coefficient variation (%)	0.314	1.324	1.426
	Range	0.1	0.6	0.8
	Low value	14.5	14.2	14.8
	High value	14.6	14.8	15.3
Alcoholic drink (sake)	Ethanol concentration (% v/v)	20.0	20.7	21.2
	Standard deviation	0.447	0.174	0.284
	Coefficient variation (%)	0.224	0.841	1.340
	Range	0.2	0.6	1.0
	Low value	19.9	20.3	20.7
	High value	20.1	20.9	21.7

ちいた。分析条件については以下に示す。カラム：PEG-1000 15% on chromosorb WAW (2100.0 mm × 3.0 mm i.d.), キャリアガス：ヘリウム(50 ml/min), 測定温度：100℃, ピーク面積測定：島津CR-3Aクロマトバックデータ処理装置(百分率法), 検出器：FID

3. 結果と考察

エタノール水溶液を用いてアルコールセンサ法と浮ひょう法との相関性を求めた結果をFig. 2に示す。相関係数は、0.9998と高い相関が得られた。

エタノール水溶液および清酒(松竹梅生酒)についてアルコールセンサ法, GC法, 浮ひょう法の各方法で10回, アルコール濃度を測定した結果およびその同時再現性を比較検討した結果をTable 1に示す。清酒の場合, 変動係数は0.84%とGC法に比較して良好な再現性が得られている。また, 測定値の平均値もGC法に比べて浮ひょう法に近い値を示している。

エタノール水溶液と清酒のいずれの値も浮ひょう法の値に近く測定に対する誤差と影響は見られず酒類中に含まれるエタノール以外のアルコールやエキス分の影響は見られない。アルコールオキシダーゼを用いたアルコールセンサは, エタノール以外の一級アルコールにも応答することが知られており¹²⁾, 本センサもエタノール100%に対してメタノール(176.5%), 1-プロパノール(28.2%)などの応答がある¹¹⁾。しかし, エタノール水溶液と清酒のいずれの値も浮ひょう法の値に近く本測定法に対する試料の影響は見られない。これは酒類中のエタノール以外のアルコール濃度は極めて微量であるためエタノール以外のアルコールの影響は無いと考えられる。また清酒中に含まれるエキス分についてはアルコールオキシダーゼ固定化膜の選択性の高さにより影響を受けないものと考えられる。

清酒製造過程におけるもろみ(留後16日目)のろ液をアルコールセンサ法, 浮ひょう法で測定したところ, それぞれ19.1%, 18.6%という結果となり, 大きな差はみられなかった。

アルコールセンサ法は, 試料の前処理は希釈のみで迅速に直接測定できる特徴を有するので, 以上の結果から本法は浮ひょう法に代わり酒類製造上の工程管理, 品質管理などへ充分実用に達するものと考えられる。また, 浮ひょう法ではアルコール濃度が数パーセント以下では測定が不可能であるが本方法では測定範囲が1%以下であるので低アルコール飲料, ノンアルコール飲料の工程, 品質管理への応用も期待される。

4. 結 言

Candida methanosorbosa M-2003株由来の耐熱性アルコールオキシダーゼを固定化したアルコールセンサを用いて清酒中のアルコール定量を行い浮ひょう法, GC法と比較し, 次の結果を得た。

- 1) 本法と浮ひょう法との相関度は0.9998であり高い相関性を示した。
- 2) アルコール測定における変動係数は0.84%であり, 良好な再現性が得られた。
- 3) 以上から, 迅速, 簡便なアルコール定量法としてアルコール飲料の製造工程, 品質管理に本法の応用が期待される。

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)に深く感謝致します。

文 献

- 1) 中沢英五郎, 草間 透, 近藤恭一, 竹村成三, 佐藤克哉, 古沢 淑, 醸造協会誌, 78, 233 (1983)
- 2) 乙黒親男, 萩野 敏, 渡辺正平, 醸造協会誌, 78, 220 (1983)
- 3) 高橋 昭, 辻 巖, 田中 晃, 田中 昇, 丹野弘紀, 鹿島篤子, 三上尚子, 分析化学, 36, 537 (1987)
- 4) 村地 孝, 田畑勝好, バイオセンサー, 鈴木周一編 p.174 講談社, 東京 (1984)
- 5) G. G. Guilbault, G. J. Lubrano, Anal. Chim. Acta, 69, 189 (1974)
- 6) 南 広巳, 池本重明, 山西妃早子, 今井 武, 醸造協会誌, 80, 20 (1985)
- 7) Y. Tani, T. Miya, H. Nishikawa and K. Ogata, Agric. Biol. Chem., 36, 68 (1972)
- 8) R. Coudered and J. Baratti, Agric. Biol. Chem., 44, 2279 (1980)
- 9) N. Kato Y. Omori, Y. Tani and K. Ogata, Eur. J. Biochem., 64, 341 (1976)
- 10) 末 信一郎, 箱崎圭名子, 小川淳子, 横山定治, 大林 晃, 日本醸造学会大会要旨集 p.44 (1988)
- 11) 末 信一郎, 電気化学および工業物理化学 56, 1122 (1988)
- 12) M. Nanjo, G. G. Guilbault, Anal. Chim. Acta, 75, 169 (1975)

電卓を用いた対数, 指数の授業

北川 誠之助

On a lesson of logarithm and exponential function with electric calculator

Seinosuke Kitagawa

対数, 指数関数は, 基本的な関数ではあるが, 学習する者にとっては, 天下りの要素がつよい思うここでは, 電卓を使って, 個々の学生が指数, 対数を身近に感じられるように工夫してみた。

§ はじめに

三角関数, 指数関数, 対数関数の重要性はここで繰り返し言うには, 及ばない。しかし, 中学校の数学からの連続性という面から考えると, 指数, 対数関数の学習においては, 余りにも天下りの部分が多いのではないだろうか。たとえば, 定規, コンパス, 分度器を使うと, 初学者でも簡単に, 任意の角度の正弦, 余弦, 正接の計算は出来る。その基礎となる定理も三平方の定理で中学校で十分学習したものである。一方, 指数, 対数関数の場合は, 定義に従って話を進めがちで, もともと計算の必要性から生まれたものなのに, 具体的な数の対数の計算は, 対数表を頼りで, 三角関数の様に視覚に訴えるところがなく, 教える側としても, 一つ物足りなさを感じていた。ここでは, 電卓を使い, 具体的な数の対数を容易に出来ることを示す。以下では, Log. で常用対数を, LN で自然対数を表すものとする。

§ 対数の計算

a を $a > 0$ なる実数とする時, 指数法則より次の関係は自明である。

$$\sqrt[n]{a} = a^{1/n}, \quad \sqrt[n]{\sqrt[n]{a}} = a^{1/n^2}, \dots, \quad \sqrt[n]{\sqrt[n]{\sqrt[n]{a}}} = a^{1/n^n}$$

そこで, $a=10$ として上の関係を表してみる

n	$h = \frac{1}{2^n}$	10^h
1	0.5	3.16227766
2	0.25	1.77827941
3	0.125	1.33352143
4	0.0625	1.15478198
5	0.03125	1.07460782

6	0.015625	1.03663292
7	0.0078125	1.01815172
8	0.00390625	1.00903504
9	0.001953125	1.00450773
10	0.00097656251	1.00225114
11	0.00048828125	1.00124941
12	0.00024414062	1.00056231
13	0.00012207031	1.00028117
14	0.00006103515	1.00014054
15	0.00003051757	1.00007027

上の表を使って Log 2 を求めてみよう

$$\begin{aligned} 2 &= 1.7782794 \times \frac{2}{1.7782794} \\ &= 10^{0.25} \times 1.12468265 \\ &= 10^{0.25} \times 1.07460782 \times \frac{1.12468265}{1.07460782} \\ &= 10^{0.25} \times 10^{0.03125} \times 10^{0.015625} \times \dots \\ &= 10^{0.25+0.03125+0.015625+\dots} \\ &= 10^{0.30102539} \end{aligned}$$

Log 2 = 0.30102539, 教科書の巻末の対数によると Log 2 = 0.3010, 電卓によれば, 0.30102995 で表以上の精度で, 対数の値が計算出来ている。

§ 「e」について

π = 円周率 = 円周 / 直径 と言葉で π は, 小学校時代から慣れ親しんでいるが, e については, どうであろうか, 普通教科書では「e」を

$$e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n \text{ で定義している。}$$

一昔前の教書ならば、単調増大な有界な数列は収束するという定理でeの存在を証明していた。高校で一度学習し、大学では、より高い立場でもう一度学習する時には、有効であろうが、初学者にとっては、分りににくい説明だと思ふ。最近、具体的にnに数を代入して収束しそうだということを実感的に説明している。いずれの場合も、指数、対数関数の具体的に手軽に計算出来ない為である。ここでは、電卓を使って簡単にeを求められることを示そう。

まず、指数関数の微分を考える

$$(a^x)' = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{a^{x+h} - a^x}{h} = \left(\lim_{h \rightarrow 0} \frac{a^h - 1}{h} \right) a^x$$

$$\text{従って(*)} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{a^h - 1}{h}$$

の値を求めればよい。

a = 10として、前に作った表で(*)を計算してみよう。

n	$h = \frac{1}{2^n}$	$\frac{10^h - 1}{h}$
10	0.0009765625	2.3051754
11	0.0004882812	2.3038799
12	0.0002441406	2.3032323
13	0.0001220703	2.3029086
14	0.0000610351	2.3027467
15	0.0000305176	2.3026657

(*)の近似値としては、2.3026より

$$(10^x)' = (2.3026) \cdot 10^x \quad \text{以下同様に}$$

$$(3^x)' = (1.0986) \cdot 3^x$$

$$(2^x)' = (0.69315) \cdot 2^x$$

上記の計算は、一昔前の高校の教科書に記されていた方法であるが、(*)の部分の具体的な計算が出来ず、グラフ等でゴマ化していた。その内に天下りのeの定義になっていった。ここまでくると、aによって(*)の値が変わり、2 < a < 3で(*) = 1となるaの存在は抵抗なく受け入れられると思う。(*) = 1となるaをeと名付けよう。従って、次の関係から与えられる。

$$(e^x)' = e^x$$

eの精しい値を求めたみよう、

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{10^h - 1}{h} = 2.3026 \text{より}$$

両辺を2.3026で割り $k = (2.3026) \cdot h$ とすると、

$$1 = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{10^h - 1}{(2.3026)h} = \lim_{k \rightarrow 0} \frac{(10^{\frac{k}{2.3026}}) - 1}{k}$$

$$e = 10^{\frac{1}{2.3026}} = 10^{0.43429167}$$

$$0.43429167 = 0.25 + 0.18429167$$

$$= 0.25 + 0.125 + 0.05929167$$

$$= 0.25 + 0.125 + 0.3125 + \dots$$

$$e = 10^{0.25} \cdot 10^{0.125} \cdot 10^{0.03125}$$

$$= 0.25 + 0.125 + 0.3125 + \dots$$

$$e = 10^{0.25} \cdot 10^{0.125} \cdot 10^{0.03125}$$

前記の表を使うことにより、2.717716、又、関数電卓の値 = 2.71828 ……より精度は十分満足出来る近似値を得たことになる。

二項分布からポアソン分布への橋渡しとして、

$$e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$$

の式の利用価値はあると思うが、ロピタルの定理を用いて説明すれば十分だと思ふ。

§ 一般の指数関数の微分

a ≠ e の場合の指数関数を微分する為に、対数微分を用いて説明するが、より具体的に説明する為に次の様にすればよいと思ふ。

$\alpha = \text{LN}(a)$ とする時

$$a = e^\alpha, \quad a^x = (e^\alpha)^x = e^{\alpha x}$$

後は合成関数の微分を使うと

$$(a^x)' = \alpha e^{\alpha x} = \alpha a^x = \text{LN}(a) a^x$$

じ実際に電卓によると

$$\text{LN}(10) = 2.302585$$

$$\text{LN}(3) = 1.098612,$$

$\text{LN}(2) = 0.693147$ 、先に表を使って、求めた値と比較すれば、十分な精度を持っていることは明らかであろう。

「ヴェニスの商人」の憂鬱

神 澤 和 明

What does the 'sadness' mean in "The Merchant of Venice"?

Kazuaki KAMIZAWA

"The Merchant of Venice" is opened with the atmosphere of "sadness". Why did Shakespeare give his hero such character? His basic conception of this play can be taken as the change of 'generation', which we also can find in his 'romances'.

Japanese quotations of "The Merchant of Venice" are from Shoyo Tsubouchi's translation. Other Japanese quotations are from Chikuma Shoboh Version.

(1)

アントーニオ：実際、何故こう気が鬱々か、解らない。

君たちはそれがために鬱々しっちゃうというが、自分でも鬱々する。一體、どうして斯うなったのやら、何所で拾って来たのやら、どうしてとっつかれたのやら、何が種で、何から生まれたのやら、予にも解らない。で、つい腑抜けのようになって、こりゃ自分じゃないのかと思うくらいです。(1幕1場)

(In sooth, I know not why I am so sad:/ It wearies me ; you say it wearies you;/ But how I caught it, found it, or came by it,/ What stuff 'tis made of, whereof it is born, / I am to learn:/ And such a want-wit sadness makes of me,/ That I have much ado to know myself.)

喜劇「ヴェニスの商人」は、主人公アントーニオのこの言葉で始まる。「喜劇」の幕開きとしては、一風変わっていると言えるだろう。開幕冒頭から、自分が憂鬱であると言い立てているのだから。これが、例えば他の登場人物から「どうしてそんなにふさぎこんでいるのか」と聞かれて答えるのならば、まだ観客の印象はそれほどでもないが、問われもしない本人(しかも主人公)がいきなり「自分は憂鬱だ」と宣言するのだから、観客は「異

様」の思いを抱くに違いない。このような幕開きは「喜劇」にふさわしいだろうか？

実のところ、「喜劇」は陽気に始まらねばならないという決まりはない。劇の最初に与えられた困難な状況が見事に解決されて、登場人物たちがハッピーエンドを迎えるというのも、喜劇の進行の基本的なパターンのひとつである。事実、「ヴェニスの商人」(1596~1598)までの、シェクスピアのいくつかの「喜劇」の開幕場面を見てみれば、そこに、「ヴェニスの商人」と同じく、憂鬱な気分が見られるのである。

「間違いの喜劇 The Comedy of Errors」(1592?)

イーゾン：どうか、公爵様、死刑宣告のご処置を。そうしてこの世の悲しみ苦しみをまぬがれますようご処分を。

公爵：シラキュースの商人、もう言うな。そなたにだけ哀れみをかけ、法をまげることはできぬ。

イーゾン：だがわたくしにも慰めはございます。宣告が済めば、わたくしの悲しみは夕日とともに消え去りましょうから。(1幕1場)(小田島雄志訳)

◎イーゾンというのは、この芝居の主人公である双子達の父親。彼は帰国する時に難船し、妻と双子の片方とを、失ってしまった。残された方の息子が成人し、兄を探しに旅にでたので、自分もあてはないままに、この敵国に足をふみいれてしまい、その罪によって死

刑を宣告されている。彼は、運命の神の無慈悲を嘆き、現在、助かる見込みも無い。

「ヴェローナの二紳士 The Two Gentlemen of Verona」
(1594?)

ヴァレンタイン：ブローチュース、説教はやめにしてくれ。引っ込み思案の青年の知恵は、いつも引っ込み思案なもの。君は愛情の鎖につながれて、その日々を自分の恋人の美しいまなざしにむすびつけている。
(中略)

ブローチュース：彼は名声を、ぼくは恋愛を、それぞれ追い求めている。彼は友人に輝きをそえるために、友人を捨て、ぼくは恋のために、自分自身、友人、すべてのものを捨てている。ジュリア、きみのお陰で、ぼくはすっかり変わってしまった。きみは勉強を捨てさせ、時間をむだに使わせ、忠告にさからって、世間を無視し、物思いで頭を弱らせ、考え事で心を病にかからせてしまった。(1幕1場) (北島健二訳)

◎ヴァレンタインは冒険に憧れて国を出る。ブローチュースは、恋愛に没頭しているため、毎日が鬱々としている。決して憂鬱というわけでもないが、積極的に行動できないでいる。

「恋の骨折り損 Love's Labour's Lost」(1593~1594)

王：この世で誰もが追い求めるものは名声だが、それを真鍮の墓標に刻ませて、死の醜さを美しくする飾りとしよう。生きている間に努力しておけば、「時」がどんなに貧欲であろうと、その鎌の鋭い刃先を鈍らせ、名を永遠に残す名誉を得ることもできよう。

ロンガビル：私の心は決まっております。たかが3年間の精進です。体は飢えても、心には御馳走でしょう。
(中略)

デュメーン：陛下。デュメーンはもう死んでしまっているのです。世間の俗悪な楽しみは、すっかり俗悪な世間の卑しい奴らになげ与え、恋にも、富にも、栄華にも、死人同然です。皆さんと一緒に、学問に生きるために。(1幕1場) (和田勇一訳)

◎王とその3人の友人たちは、3年間世間との交渉を断って、学問に励もうというのだ。

「夏の夜の夢 A Midsummer Night's Dream」(1595?)

◎この芝居では適当なセリフをあげることはむずかしいが、その開幕での状況を記す。アテネ王シーシェース

は、4日後にひかえたアマゾネスの女王との婚礼の夜が待ちどおしくて、いらいらしている。老巨イージアスは娘のハーミアが、自分の決めた許婚者のデミートリアスを嫌って、ライサンダーと一緒にになりたいというので、すっかり怒ってしまっている。若者たちは、父親の言うことを聞くか、尼寺に入るかしか道がないので、やけになって駈落ちを企てる。ハーミアの幼なじみヘレナはデミートリアスを愛しているが相手にされず、デミートリアスは振られながらもハーミアを追い、さらにヘレナは絶望的にその後を追う。

このように、冒頭に登場人物たちが、決して陽気ではないという始まり方は、それだけでは特別に異例と言えない。ところが、「ヴェニス商人」の憂鬱には、他の作品とは違う点がある。はっきり言うと、「なぜ」アントーニオが憂鬱なのか、その具体的な理由が示されていないのだ。

彼と共に登場する友人たちは、その理由についていろいろ意見を述べる。

サラリーノオ：あなたは、きっと大洋の事が気になって、お心が動揺してるんです。

なるほど、海洋貿易都市ヴェニスの大商人として、莫大な財産を船に乗せて外国に送っている。そのことが心配なのは当然だろう。いかにも現世的な意見だ。だが；

アントーニオ：いいえ、決してそうじゃない。仕合わせな事には、わたしの店の損得は1艘の船や1ヶ所の取引先に任してはしない。又、今年の運命がわたしの収入の全部でもない。だから、船荷の事で心配はしません。

と、アントーニオは否定する。観客としても、財産のことで毎日を心配の中に送っている、小心で即物的な人物を主人公としてもちたたくはない。

サラリーノオ：はてね、じゃあ、恋患いですかね？

アントーニオ：馬鹿なことを！

いかにもロマンチックな推測だ。「ロミオとジュリエット」の冒頭のロミオがそうだった(相手はジュリエットではなかったが)。だが、これも同じく否定される。

勿論、本人の言葉が常に正しくその人の心情を分析しているとは言えないのだけれど、充分なとっかかりとすることができよう。

財産（物質）と恋愛（精神）。このふたつこそが、人生を動かす力である。ルネサンスの考え方においては、特にそうであろう。そのどちらかが否定されるのなら、かれの憂鬱は奈辺にあるのか。

サラリーノオ：じゃあ、つまり、愉快でないからして鬱いでおいでなさるて譯ですね、それなら、笑って、跳ね回って、ああ、愉快だとおっしゃることも出来そうなものですね、鬱いでるんじゃないて事になりゃあ。ねえ、実際、造化の神様は、昔から、随分奇妙（おつき）な人間をこしらえるものですよ。

「楽しくないからふさいでいる」。この、何の意味もない、一見ふざけた意見が、実は正鵠を射ている。アントーニオ自身、この憂鬱がはっきりこれと理由をあげられるものではなく、まさに自分の力の及ばない所から与えられたものであると、自覚しているようだ。

アントーニオ：わたしはこの浮世を、ただ浮世として見ている。めいめいが何か一役づつ演じなければならぬ舞台だと思っている。そうして私の役は憂鬱な役なのだ。

「この人生という舞台の上で、自分がつとめるのは楽しむ役ではない」。彼の言葉は、同時に彼のまわりの者たちの役回りを、逆にいいあてることになる（注1）。

エリザベス朝、チューダー朝までの演劇の伝統において、このアントーニオのような役回りがふられるのは、どのようなタイプであったろうか（注2）。これから述べてゆく内に、彼の「役回り」というものが、明確にされて行くだろう。

（注1）例えば、商人仲間のグラシアノーノについて、「彼はたくさんしゃべるのに何も（内容のあることを）言わない」と評することで、この軽薄な人物の内面の空虚さをわれわれに伝え、彼は他の人物、この場合はパサーニオに追従するだけの「道化役」にすぎないことをほのめかしている。

（注2）この時代までのヨーロッパ、限定してイギリス演劇をみるなら、中世の神秘劇（キリスト教の秘跡・聖書の挿話を演じる）、道徳劇のやり方を踏襲し、常に決まり切った性格をもつ「役柄」が舞台上に登場することになっていた。民衆喜劇の段階では、「ずる賢い召し使い」だとか「恋に憧れる箱入り娘」とか、「欺かれる金持ち老人」とかが登場してくる。アントーニオは、この点、「気難しい父親」のキャラクターに似ている。

(2)

アントーニオに与えられた「憂鬱」（シェイクスピアの使っている英語は、まじめさ厳しさを示す“sadness”であり、物思いにふける心的傾向“melancholy”ではない）という性質を考えていく上で、まず、劇中人物の性格というものがどのように決められるのかを、考えよう。

登場人物の性格を分析する場合、一般的に次のいくつかの相を認めることができる。

第一が、芝居のプロットを進めてゆくための、その登場人物のアクションを必然とさせるべく与えられた性格である。「こういう性格だから、この人物はこれこれの行動をとり、そのためこのような事件が起こった」。この性格がきちんと決まっていなければ、登場人物たちの行動は支離滅裂なものとなり、芝居は進行しない。そして、観客は納得しない（「ハムレット」はこの危うい例であり、T.S.エリオットに「失敗作」と決め付けられている）。作者の側から言えば、芝居のプロットを作った時点で、主要人物たちの性格も同時に設定されているはずである。この、プロットを進めて行くためのもっとも基本的な性格付けを、その登場人物の、「基本性格」と呼ぼう。

さて、登場人物たちは、このように与えられた「基本性格」だけをもっているわけではない。登場人物全員の行動、言動のすべてがプロットの進行にかかわっているのではないのだから、プロットとのかかわりの薄い行動をとらせる「性格」も存在するはずである。主人公以外の登場人物には、この種の性格づけが多い。彼らにはあまり複雑な性格は与えられないのが普通である（作者及び観客の混乱を防ぐ）。また主要人物も「基本性格」に加えてこの種の性格を備えている。彼らはたんに筋をすすめる人形ではなく、人間として性格をもっている（良い作品であるなら、だが）。この「基本性格」以外の性格の相を、かりに「派生性格」と呼ぶことにする。

「派生性格」には、次の2つのタイプが考えられる。ひとつは、その登場人物の言動を通して作者の思想を代弁しようとするもの、ひとつは、その人物像を豊かにするためのものである。ただし、これはお互いに関連してあらわれてくることも多い。例を上げよう。「お気に召すまま As You Like It」に登場するジェイクイーズという人物がいる。悪い弟に追放されて森で隠遁生活を送る公爵の取り巻きのひとりで、いつも皮肉な言葉をまく彼は、このファンタジックなラブコメディのプロットの運びに、何ら積極的な関りをもつわけではない。しか

し、彼の皮肉で客観的な目、そして有名な、人生を7つの時期に分けた述懐（2幕7場）には、作者シェイクスピア自身の言葉を聞かされるおもしろいをする。明らかにこの人物の性格づけは、作者の距離をおいた視点を劇中に導入するためのものであろう。人物像を豊かにする例としては、「ヘンリー4世・1部2部」に登場する、王子ハルの悪老友、好漢ファルスタッフの名をあげれば良からう。この、伝統的「ほら吹き騎士」として構想された、布袋腹の酔っ払い騎士は、理想的君主「ヘンリー4世＝王子ハルの後の姿」のネガティブとして性格づけられ、嘘つきで、臆病で、自分勝手に、酒飲みで、女好きで、おおよそ取りえのなさそうな年よりののだが、作者シェイクスピアは、「悪びれない陽気さ」を与えて、この人物を、シェイクスピア劇最高の人気者の一人にしまった。実際、シェイクスピアは、こうした性格付けの筆が、実に巧みである。このような「派生性格」は、やはり作者が意図したもの（仮に最初は意図していなかったにしても、執筆中にその人物像が次第に膨らんで来たことに作者が気づき、手を加えて、発表時には作者の意図のもとに与えられた性格）という点で、「基本性格」に準じるものである。

ところで、登場人物のもつ性格には、もうひとつ、作者が意図していなかった性格というものがある。これは読者なり役者なりが自分で見付け出す（あるいは勝手に作り出す）もので、シェイクスピア学者のいわゆる「性格批評」とか、演出家の「新解釈」というものにおいて、よくおめにかかる。「ハムレット」の性格がまったくいろいろに（矛盾しあうほど）解釈されているのも、こうした、受け手側の性格づけがなされるためである。現に「ヴェニス商人」のシャイロックの性格にしても、作者は基本的に、「主人公側に打ち倒される喜劇の悪役」として意図したのであろうが、19世紀あたりから、被差別民族の苦しみを一身に体現する「悲劇的」人物であるかのように解釈されるようになってきた（注1）。こうした、作者の責任以外の性格づけ、読者が自分なりによみとる性格を、かりに「可能性格」と呼ぼうと思う。

では、この考察をもとに、アントーニオの性格を分析してゆこう。

登場人物の性格は、その人物自身が語る、他の人物がその人物について語る、その人物の行動、言動に暗示される、などによって見いだされる。

最初に示されるアントーニオの性格は、「憂鬱」である。これは彼自身の言葉による。そして、他の人物の言葉によって裏打ちされる。

グラシアノー：アントーニオさん、どうも貴下の顔色

が悪いよ。貴下は世の中の事を気にし過ぎる。あんまり苦勞して世の中を手に入れたのじゃ得にはなりませんよ。（1幕1場）

次には、「友情に厚く」「気前が良く」「人の失敗に対して寛容」だということだ。これは、パサーニオの感謝の言葉からわかる。これまでアントーニオは、この放蕩青年をずっと援助してきているのだ（注2）。そうした「善意」は、けっしてパサーニオ一人に限定されるわけではない（もちろん、パサーニオに対して最も好意をよせてはいるが）。シャイロックの言葉から、彼が他の商人たちの借金を随分と助けてやっているとわかる。そうしたことで、アントーニオが人望を得ていることは他の商人たちの言葉からも証明されよう。そのように、自分が多くの人に支持されているということ、アントーニオ自身自覚している。

アントーニオ：貴下が知っている通り、わたしの財産はことごとく海にあるのです。（・・）わたしの信用がヴェニスでどの位役に立つか、試みてみましょう。

次は、シャイロックの言葉から知られる、「シャイロックへの敵意」である。これを性格という用語があるかもしれない、彼の心的傾向と言おうか。1幕3場のこのセリフを読んで行くと、アントーニオの気持ちは、（よく説かれるような）単なる「ユダヤ人＝異民族」への輕蔑的反感ではないのがわかる。アントーニオが嫌悪するのは、「利子をとって金を貸す行為」なのである。実直で成功した商人として、彼は自分の労働信念に反する貸し金稼業が、腹に据えかねるのだろう。それはまた、当時借金をうまく利用しては資力を拡大し、着実に力をつけてきていたイギリスの商人階級、また暮らしのために借金に追われていた貧しい庶民たちに共通した感情であった。一方でシャイロックがアントーニオを憎むのも、彼にとっては正当な商売である金貸しのことで、彼を悪口することが、まずあるわけだ。

シャイロック：（独白）……。おれは彼奴がキリスト信者だから大嫌いなんだが、殊に阿呆根性から、無報酬で金を貸し出して、ヴェニスの利息割を狂わせて、商売の邪魔をしやががるから憎いのだ。（・・）多勢商人が寄り集まっている所で、俺の事や俺の商売を悪口しやががる、俺の骨折って儲けるものを高利とよびやががる。（1幕3場）

もっとも、高利貸稼業が主としてユダヤ人によって行われている実情であれば、(ユダヤ人は高利貸をするしか生計の手だてがなかったとも言えるかもしれない)高利貸への反感は、ユダヤ人への反感と簡単に一致する。しかもユダヤ教は、イエス・キリスト(救世主)を否定するわけで、仏教や回教以上にキリスト教徒にとって、許しがたい宗教である。だから、生活場面で嫌われる「高利貸」と宗教場面で嫌われる「ユダヤ教徒」は常に「同義語」としてとらえられ、従ってアントーニオが「高利」をけなすということは「ユダヤ人」への差別的反感だととらえることは許される。勿論、アントーニオに、ユダヤ人がキリスト教徒より「悪い」ものという意識はある。だから、「キリスト教徒に改宗」して、親切心をもつようになれば良いなどとほのめかす。しかし、「ユダヤ人だから」軽蔑するという感じは、あまりない。ところで、このシャイロックとの対話の部分で、(我々には)思いもかけないアントーニオの姿が語られる。

シャイロック：貴下はわしを邪教信者だの、人殺し犬だのと呼んで、このユダヤ上衣へ唾をはきかけなすつた。……

これまで我々観客は、なんとなくアントーニオを「落ち着いた人格者」としてイメージしてきた。その彼が、シャイロックを犬呼ばわりしたり、唾をはきかけたりという、きわめて乱暴な行為をおこなっている。その断差に、戸惑いを感じざるをえないのだ。殊に「差別」に対して敏感になった近代・現代人には、このような「民族差別」がありありと感ぜられるような行動を、「善良なる」アントーニオにとられるのは、困るのだ。そのため、このことについてはいろいろな説明がなされているが(注3)、シェイクスピア執筆当時のユダヤ人への社会的態度が、アントーニオに集約してだされているのであって、これはけして、「アントーニオの個人としての性格」と考えなくてよからう。例えば戦争中の芝居で、「勝利に向かってがんばろう」と主人公が言ったとしても、それは社会全体の声であって、その人物特有の性格といえないのと同じだ。作者としては、プロットの上で、「シャイロックとアントーニオの対立関係」を強調しておく必要があるのだ。これについては、後で述べよう。

あと、読み取れる彼の性格としては、「あきらめに似た潔さ」がある。そして、「法を守る意識」である。これらは裁判の場によく現れている。まったく、自分の命を助ける事への彼の消極的な態度には、歯痒さを感じる。死にたがっているのではないかと思うほどである。

これらの性格が、なぜ彼に与えられているのか、考察して行くが、手順として、先にこの芝居のプロットを見ておこう。

(注1) おそらく人権思想の発達と、キリスト教社会で嫌われていたユダヤ人が、それでもヨーロッパ社会において大きな勢力をもつようになったためであろう。19世紀のエドモンド・キーンヤ、ヘンリ・アーヴィングの「悲劇的シャイロック」が有名である。

(注2) 但し、このパサーニオのセリフを意地悪く読むならば、パサーニオは自分の“パトロン”であるアントーニオの好意に甘え、かつ利用する意図で、わざと殊勝そうな言葉をつらねて、金をひきだそうとして(現代の非行少年が使いそうな手口)いるのだと解釈することもできよう。パサーニオを、かなりいいかげんな人物に演出する一つのやり方である。

(注3) 例えば、そのときアントーニオは大変な興奮状態にあって(恐らく他の商人がシャイロックに借金のことで責められていた)そのような乱暴な行為をとった。その証拠に、2度以上そのような行動があったとはシャイロックは言っていない、という説。また、アントーニオ以外の商人たちにも、実際にシャイロックに唾を頻繁に吐きかけさせて、その行為が、極めて一般的な行為であると見せ掛けることで、アントーニオの「したといわれる行為」を正当づけようとする演出。

(3)

アントーニオは友人パサーニオの頼みでシャイロックから3000ダカットの大金を借りる。シャイロックは利子の代わりに、担保としてアントーニオの「肉1ポンド」を証文に要求する。その裏には、自分を迫害するキリスト教徒への憎悪があった。パサーニオはその金で、夢の国ベルモントへ赴き、財産と美貌と美徳を兼ね備えたポーシアに求婚する。そして、彼女の亡父が定めた「箱選び」の試験で、見掛けに欺かれず、鉛の箱を選んで試験に及第し、彼を憎からず思っていたポーシアと結婚する。そこへヴェニスから、アントーニオの危機が知らせられる。彼のもち船が沈み、期限内に借金を払えず、「肉1ポンド」を取られるというのだ。急ぎヴェニスに戻ったパサーニオたちの後を追って、ポーシアと侍女のネリッサは男装し「法律博士」となって、裁判の場に現れる。感動的な「慈悲」についての説教に聞く耳をもたないシャイロックに、ポーシアは証文通りアントーニオの「肉1ポンド」を切り取る事を命じるが、「1滴の血」をも流すことは許されていないとして、彼を徹底的に打ち負かす。パサー

ニオから、指輪を謝礼代わりに取り上げ、一足先にベルモントへ帰ったポーシアは、指輪の件で夫をとっちめたあと、アントーニオの船が無事に戻ったことを告げ、万事めでたく終わる。

この筋に、シャイロックの娘のジェシカが、バサーニオの友人のロレンゾオと駆落ちする話が絡まり、これがシャイロックの態度を更に硬化させることになっている。

さて、このプロットとのかかわりで、アントーニオの「基本性格」をあげてみよう。

彼が「善良で寛大な人物」であることは、プロットの上で、必然である。彼は、「悪魔のようなユダヤ人」によって、まるで「キリスト教徒の代表」のように、命の危機にさらされるのであるから、人々（観客）の同情を目一杯かう人物でなくてはならない。この人が殺されてはならない、なんとかして助けたいと思わせねばならない。従って、良い人物でなければならない。

バサーニオに対する「友情」は、それがなければこの芝居が成り立たない。アントーニオが自分の身を危険にさらしてまでシャイロックに金を借りるから、この芝居が成り立つ。そして、大切なことだが、バサーニオ自身がシャイロックから金を借りるわけにはいかないのだ。バサーニオにその甲斐性がないという現実はおいておこう。「アントーニオとシャイロックの対立」がこの芝居の大きな要素であって、「バサーニオとシャイロックの対立」は、作者のテーマではないのである（注1）。

バサーニオに対する友情については、もう少しだけ触れる。シェイクスピアがこの芝居の筋の種にしたらしいイタリア小説「ジャンネット物語」では、アントーニオにあたる人物は、バサーニオにあたる主人公ジャンネットの名付け親、後見人になっている。これなら、肩入れの仕方もよくわかる。しかし、シェイクスピアの本では、そこまでの関係にはしていないために、よく問題にされる。はっきり言って程度が過ぎていて、多くの学者が考えているのだ。そこで最近、英米の舞台では、アントーニオとバサーニオを男色関係にした上演が、よく行われている（アントーニオとバサーニオがキスしたり、愛撫しあったりという場面を何度みたことか）。たしかにシェイクスピアの時代（エリザベス朝・ジェームス朝）には、そうした関係が多かった（今でもイギリスはその本場として知られる）。アントーニオが家族をもっていないのも、自分の恋愛に否定的なもの、この性癖故だとする。こういう解釈をとる人達は、アントーニオの「憂鬱」の原因を、バサーニオがポーシアに求婚して自分から離れてゆくためだと、説明したりする。彼が命ごいをしないのは、バサーニオを失って人生に無気力になったからだと言う。不愉快である。アントーニオはバサーニオをポー

シアのもとに行かせるために、無理をしているのではないか。素直に読めばよい。

シェイクスピアの芝居で「友情」といえば、「古代ローマ人」のそれが、理想としてしばしば言及される。心を許しあった友の後を追って、自殺するほどの固い結び付き。彼の「ローマ物」にしても、あるいは「ハムレット」などの悲劇においても、この「強い友情」が見られる（注2）。ヴェニス人なら、「ローマ帝国式友情」があってもよいではないか。ただ、私はここに、「保護者的愛情」も読み取っておきたい。芝居効果として、アントーニオを年寄りにはしなかったが、多分シェイクスピアには、彼をバサーニオの「保護者=父親」の立場におく意図があったろう。その理由は、もう少し後で述べる。

アントーニオがシャイロックに対して「犬呼ばわり」し「唾を吐きかけ」たことは、先にも述べたように、アントーニオ個人の性格というより、シャイロックに敵対する側の人達すべての態度を代表した「公的性格」といえる。それは、少なくとも2つの理由から、アントーニオによってなされねばならない。一つは、シャイロックの憎しみの対象をアントーニオに特定して、「人肉裁判」というテンションの高い場面に至らせるため。もう一つは、「人格者」のアントーニオがこのような振る舞いをするほどにシャイロックが「憎むべき人格」であると、納得させるためである。シャイロックが恐ろしく忌むしい存在であり、アントーニオへの強い憎しみが認められてこそ、「裁判の場」のサスペンスは盛り上がり、シャイロックが打ち負かされることで観客はほっとする。従ってこのことは、プロットに深くかかわっているのだ。

シェイクスピアがこの芝居を執筆したころのイギリスでは、ユダヤ人に対する反感が強かったことは、これまで繰り返言われている。17世紀まで続いたユダヤ人の全面追放政策。エリザベス女王毒殺計画に加担した(?) 官廷医のユダヤ人ロベスの処刑。そしてクリストファ・マーロウの戯曲「マルタ島のユダヤ人」の主人公バラバスの強欲非道（付記すると、このバラバスも娘を一人もっており、父親のあまりの非道ぶりに耐え切れず尼僧院に身をよせた娘を、他の者たちと一緒に毒殺してしまう）。これらによって、既に観客には、「シャイロック=悪魔のような男」のイメージは、初めから作られているのだが、それをこの芝居においても確かめる手法がとられているのである。しかも、シャイロックの召し使い、道化のランスロット・ゴボオが、「正真の悪魔」のシャイロックの家を出て、バサーニオの召し使いになるとか、シャイロックの娘のジェシカまでが、彼の娘であることを忌むしく思って、家出・駆落ちをするといったことがあって、ますますシャイロックが「悪役」であり孤立してい

ることを強調している(注3)。また同時に、ランスロットが身を寄せるパサーニオは、相対的に「良い人」となるわけだし、家から持ち出した金を浪費する駈落ち娘は、「良い子」になってしまうのだ(このことは最終場で彼女のカップルに幸せな将来が約束される理由になる)。

アントーニオの性格は、大体がプロットとのかかわりの強い「基本性格」のようである。「友情の厚さ」と「深く死を迎える態度」は、プロットともかかわるが、また彼の「古代ローマ人的高潔さ」として「派生性格」にいれることもできよう。言い落としたが、彼は命が助かることを、初めからあきらめているわけではない。相談しようとして友人を呼びにやったり(3幕1場)、シャイロックと話をしようとしたり(3幕3場)している。しかし、普通の人間のように「じたばた」したりは、けっしてしていない。

こう見て来て、では彼の「憂鬱」はどうか。プロットとは何ら関係のない性格である。やがて自分の身にふりかかる危難を予感したのだなどと説明する人もあるかもしれないが、アントーニオを予言者にするのはやめよう。作者が彼に与えた「憂鬱」は、だから「派生性格」ということになるのだが、これが彼の人物像を豊かにするべく積極的に作用しているとは、認められない。であれば、これは作者の「深い意図＝主題」を暗示するために与えられた性格と考えてしかるべきだろう。

シェイクスピアがこの芝居の裏で表したかった考えは何であるか。それをさぐるためには、この作品の「表に現れるプロット」だけでなく、内的な「構造」を分析する必要がある。

(注1) このあたりでは、作者はいろいろとトリックを駆使している。例えば、パサーニオにたいして、シャイロックは金を用立ててくれるのだから、いわば「恩人」になってもよいわけだが、そうならないように、シャイロックからの借金をパサーニオに忌避させたり、アントーニオに「敵に貸すと思って貸せ」といわせたりして、アントーニオ・パサーニオとシャイロックの敵対関係を繰り返して強調している。

また、3000ダカットという異国の金高に対してロンドンの観客がイメージをもてないであろうことを見越して、大商人のアントーニオが一所懸命かけずりまわっても借りにくい金額で、ために「敵に命を担保」に借りるという状況を提出して、大変な大金のだと納得させ、またそこまですること、パサーニオへのアントーニオの友情の強さをきわだたしてもいる。さらに、それほど大金をあきらめても「肉1ポンド」にこだわるシャイロックの憎悪の強さをも、まざまざと感じさせるのだ。

(注2) 「ハムレット」の結末で、親友のホレーショは「古代ローマ人にならって」断末魔のハムレットの後ろを追おうとするが、止められる。これを「心中」と理解する人達もいるけれど、日本の、いわゆる「相対死に」とも、また「ロミオとジュリエット」に見る主役二人の自殺とも、異なる性質であることは、言うまでもない。

(注3) 悪役(vice, もしくは villain)は、他の劇中人物たちから「孤立」しているというのが、演劇伝統の上での約束である。このように、孤立する人物としては、他に「道化」(fool)という役柄があり、この2つは演劇史上同じ根から生まれたと考えられている。

(4)

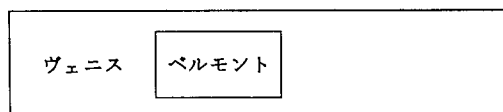
誰もが指摘している通り、この芝居は「ヴェニス」と「ベルモント」の二つの世界を舞台としている。アントーニオやシャイロックたちのいるヴェニスは「現実」の世界であり、ポーシアが住む「ベルモント」は「おとぎ話、幻想」の世界であって、この二つの世界は対比され最後に融和するのだと、普通説明される。だがこの、本来別の二つの世界が一つになるとは、どういうことだろうか。

このふたつの世界の相関関係の幾つかの形を、考えてみることにしよう。

考えの1。「二つの世界は、まったく独立して、存在している(ヴェニス) / (ベルモント)」。ベルモントはヴェニスから遠く離れたところに存在している夢の世界であって、この二つは全然別の基盤を持つ。ベルモントでの生活は、ヴェニスでおこる事件とは、まったく関係がない。

ベルモントのあまりにも華やかで、穏やかな雰囲気を見ると、ここは別世界だと思われる。パサーニオもこの世界では、ヴェニスでの彼とは別人のようだ。だが、この世界にまでヴェニスの憂い(アントーニオの裁判)は押し寄せて来るし、ポーシアはそのために、ヴェニスへ赴く。そして彼女が来なければ、ヴェニスの事件は、幸せに決着しえないのである。この二つの世界は、ただ船によるだけではなく、もっと大きな力によって、結び合わされている。

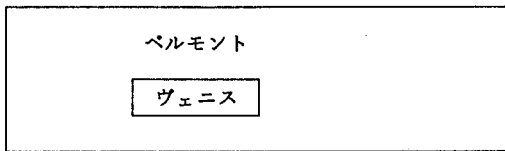
考えの2。「ヴェニス(現実)の世界の事件は、ベルモント(ファンタジー)の世界にまで陰を落としている。つまり、ヴェニス(現実)の世界がベルモント(ファンタジー)の世界を押し包んでいる。(ヴェニス) > (ベルモント)」



箱選びに成功し、ポーシアを妻にしたパサーニオたちの喜びが、ヴェニスから伝えられる裁判の知らせによって、一挙に不安に変わってしまう場面を見れば、この考えは納得がゆく。しかも、そもそもパサーニオがこの幸せを得んが為にアントーニオが借金を引き受けてくれた、そのことがこの非常時を招いたのであるから、パサーニオの求婚の始めから、ヴェニスの暗い影がつきまどっていたわけである。であれば、パサーニオによって、ベルモントはヴェニスの影響の下におかれたという言い方もできよう。

しかしまた、ヴェニスの事件は男装して乗り込んで来たポーシアによって解決されるし、劇全体をしめくくる雰囲気は、ベルモントの穏やかな明るさである。第5幕で聞こえる音楽は、ベルモントのロマンチックなそれであって、ヴェニスでわずかに耳にする、仮面舞踏会の騒々しいものではない。そして劇の最後を率領する人物は外ならぬポーシアなのだ。ベルモントがヴェニスに飲み込まれてしまうということは、考えられない。

考えの3。「現実よりもファンタジーの方が強力で、ヴェニスの世界はベルモントの世界に押さえ込まれてしまう。(ヴェニス) < (ベルモント)」



「多くの王侯貴族がはるばる求婚にやってくる、巨万の富を相続した絶世の美女」「金・銀・鉛、3つの箱による婿選び」「悪魔の罠に陥ち、絶世絶命の正義の人」。いかにも「おとぎ話」然とした展開は、「男装した美女」ポーシアがヴェニスに乗り込んで来て、「人肉裁判」を鮮やかに解決することで、最高潮に達する。シャイロックがポーシアの知恵に屈服するとき、同時に、現実が夢に屈服したかの気がする。

しかし、ヴェニスはやはりヴェニスであってベルモントではない。これからは商人たちが日夜取引に勤しむであろう、現実世界である(その点で、観客たちの住むロンドンの街と同じだ)。そこに足のついた人達、たとえばアントーニオが、ベルモントの世界の中に取り込まれるという感じは、第5幕においても、感じられない。そして何より、ベルモントはいつまでも、幻想世界ではない。これからここでは、何組かの家庭ができ、きわめて現実的な生活が始まってゆくはずだ(注)。パサーニオの求婚をうけいれた時のポーシアの言葉が、それを約束していたのではないか。

ポーシア：(・・) つい今までは、私がこの邸の主君であり、家来共の主人であり、自身の女王でもあったのですけれど、今から直に、この邸も、これらの者共も、このわたくしみづからも、貴下の御所有となるのでございます。

これは言わば、幻想世界のベルモントが現実世界に変わってゆく事を、宣言しているのではないか。ただし、その現実世界は、アントーニオとシャイロックとが対立した「ヴェニス」の世界とは別物である。

そこで、考えの4。ヴェニスはヴェニスとして独立した世界であり、ベルモントも独立している。しかし二つが同じ存在感をもって両立することはない。これは一見、考えの1に似ているが、内容は大きく異なっている。今は、ヴェニスが現実、ベルモントがファンタジーとして印象づけられるが、やがて、ベルモントが、現実によってゆくのである。そしてヴェニスは、いつのまにか舞台上から消えて行く。ヴェニスからベルモントへ、言い換えると、シャイロックやアントーニオから、パサーニオ、ポーシア、ロレンゾ、ジュシカたちへと、「世界の中心=現実」が移って行くのである。

人々が働き、規則に縛られ、そして事件がおこるヴェニスを「既にある」世界、「過去」と呼び、ファンタジーにあふれ、秩序がまだ不安定なベルモントを「これからできてゆく」世界、「未来」と呼ぶならば、この考えがわかりやすくなるかもしれない。では「現在」はどこにあるのかと問われるかもしれないが、「現在」などという「固定」されたものなどないのだ。「過去」と「未来」の間にかろうじて存在するのが「現在」である。やがて「未来」は「現在」となり、そして「過去」にすらなっていく。

これが「世代」の考えであり、言い換えると「大きな生命の輪廻」である。パサーニオはただ単に、ヴェニスとベルモントの橋渡しをするだけの役割ではない。彼は世代の移り変わりを担っているのである。つまり彼こそ「現在」である。「過去」は「死」に向かい、「未来」は「再生=新しい生」を約束する。場所を譲ることを自覚した「旧世代」は「新世代」の前で「憂鬱」であり、「新世代」は「旧世代」の肩をひそめさせるほど、「愉快」である。

冒頭、ヴェニスでのパサーニオは、力も金も無い無力な若者だった。まだ彼の時代が来ていないからだ。しかしベルモントに現れた彼は、難問に見事に答える(ややズルをしたという解釈もあるが、それについては次の章で触れよう)という、たよりある人物像になっている。その世界の主人の座を手にする。ここが彼の時代だから。

しかし、アントーニオを助けようと、またヴェニスに戻った彼は、やはり無力な存在である。

「未来」に属するポーシアが「過去」であるヴェニスに現れて活躍するのはおかしいという意見があれば、それだからこそ、ヴェニスに現れるのは、架空の存在のバルタザーなのだと答えよう。パサーニオの妻たるポーシアは、あくまでベルモントで待っているはずなのだ。この点について、パサーニオによってポーシアもヴェニスへの「回路」が開かれたと考えることもできようが、恐らく再びポーシアがヴェニスに赴くとは思えないので、どうであろうか。

駆落ち者のロレンゾオとジュシカのカップルが、さまざまの都市を巡った後で、他所ならぬベルモントに到来し、そこで受け入れられるのも、彼らが過去の束縛を抜け出して、自分達のしっかりした世界を作らねばならぬと自覚する時に、このベルモントこそが彼らの加われる世界（時代）であることを示している。

ポーシアがパサーニオのお陰で、亡き父親の遺言から解放されること、裁判の場で、シャイロックが「俺にも一人、娘がある」とつぶやくこと、シャイロックの没収される財産についてアントーニオが、「半分は自分が預かって、シャイロックの死後、その娘を奪った男に与え、後の半分は、死後すべて娘夫婦に譲ると約束させる」と決めること、いずれも世代の引き継ぎを暗示させることであろう。

私が先に、アントーニオをパサーニオの「単なる友人」ではなく「保護者」とみようと述べたのも、彼を「古い世代」に属すると考えるからである。ポーシアがパサーニオから巻き上げた指輪を、アントーニオの手をへてパサーニオに返す場面を、私は「父親が新しい夫婦に祝福を与える」場面として読むのだがどうだろう。こうして新しい世代が中心となり、新しい秩序に従って、「回復」と「誕生」が生じる。沈んだはずのアントーニオの商船が、無事に港に戻ってきたと伝えられるのも、こうして見れば当然のこと。そして幕切れの話題が、「床入り」であるのもむべなるかなである。

(注) パサーニオはヴェニスに帰らずに、このベルモントにとどまるだろう。彼はこの世界で主人となったのだから。グラシアノーとポーシアの侍女ネリッサの夫婦も、やはり主人たちに従うはずである。ロレンゾオとジュシカの場合は、別にベルモントに地位があるわけなし、ヴェニスに戻ってよいわけだ。アントーニオにもそのつもりがあるのか、「人肉裁判」の決着がついた際、自分があづかるシャイロックの財産の半分を彼に渡すとやっている（それを商売のもつでしろとでも言うので

あろう）。しかし第5幕を見る限り、彼らはずっとここにとどまるように思われる。彼らはこの世界を象徴する「音楽と詩」のかもしたす雰囲気じつぱりとはまっているからである。

(5)

「世代の移り変わり」は自然の成り行きとはいいいながら、また冷酷なものでもある。まだ自分達が世界の中心だと信じている「旧世代」を、いつのまにか「新世代」が出し抜いて行く。「子が親の権威に不満をもち、出し抜く」モチーフは、この芝居で繰り返し使われている。

例えばポーシアである。彼女は、その身分、状況が典型的にロマン的（おとぎ話的といってもよい）なのに対して、その性格は近代的な女性である。侍女を相手に、多くの求婚者たちに関して加える彼女の注釈は、非常に辛辣かつ理知的で、彼女の聡明さと、勝気さとを、すでに知らせてくれる。彼女の結婚相手を選ぶにおいては、今は亡き「父親の遺言」が制約を与えており、彼女の自由にはならない。そのことを、近代的な女性としてのポーシアは不満である。実際、ポーシアの父親は極めて考え深い人物であって、3つの小箱の謎の答えを、「見掛けに騙されない人物」としているのだが、一方でポーシア自身はどうだろうか。彼女の、モロッコ国王の黒い肌に対する言及（「ああいう顔色の人達は、みんな選びこなってくれば好い」）など聞くと、ポーシアとその父親の考えの間には、断差があると思える。そして彼女は結局、自分の好ましく思う相手、パサーニオを、配偶者として選ぶのである。

しかし、公然と父親の遺言を無視することはできない。ひとり娘にとって、父親の命令は絶対のものだ。彼女は従って、こっそりと父親を出し抜く手を考える。実のところ、パサーニオが正しい箱を引き当てるのは、ポーシアの手伝いによるのだと、多くの人が考えている。というのも「おとぎ話」の約束として、彼の正解を出すのは当然であるが、合理的に彼を見れば、ふに落ちないからだ。

親の財産を遊びに使果し、アントーニオの好意にすがって暮らしてきて、しかも今回、一獲千金を狙って旅立ちをし、そのための金も自分で作れない男だ。これまでに、彼の見掛けや振る舞いの恰好良さは述べられているけれど、その人格の高さなど、まるでふれられてはいなかった。彼に関する観客の情報は、マイナスのものである。その人物が、身分高き王侯貴族たちが解けなかった箱の謎を見事に解くことから、なにか裏がありそうに思うのは当然だろう。

前提1. ポーシアはどの箱が正しい箱なのか知ってい

る（彼女はパサーニオが鉛の箱を開く前に、よかったと言っている）。侍女たちも知っているだろう。（種本では、パサーニオにあたる青年は侍女を味方につけて、女主人の謀り事の裏をかくことになっている）。

前提2。パサーニオは考え深い分別のある人物とはかかれていない。ポーシアは是非ともパサーニオに正しい箱を選んでほしいが、はたして選べるか不安で、箱を選ぶのはもう少し先に延ばしてはどうか、とすすめている。

前提3。パサーニオの箱選びの状況は、他の求婚者たちの場合と異なっている。ポーシアは、侍女たちに命じて音楽を奏させ、歌（Tell me where is fancy bred）を歌わせている。これは、他の求婚者たちのときにはなされなかったことだ。

となると、ポーシアが侍女と一緒にあって、パサーニオに正解を教えようとしたと考えるのは、妥当なところである。その手段は、音楽によるのだろう。ある学者の説くところでは、ここで歌われる歌のもつ韻[ed]が、鉛(lead)と韻を踏んでいることで、鉛の箱を暗示していると説明している。

しかし、それ以上に、音楽には人の心を穏やかにし、その頭脳の働きを増すという機能がある、と考えられていた。もうひとつ、ベルモントの世界を象徴するもののひとつが音楽である事を考えれば、この場面はベルモントの主人ポーシアが、パサーニオをこの世界にうけいれることを、語っているともいえるのではないか。

もしそうであれば、亡き父親の遺言の権威はどうなるのか。結局、娘の好悪の気持ちだけで、無にされてしまうのではないだろうか。すでにこのベルモントの世界は、ポーシアの差配する段階にきているのだ。

シャイロックの娘ジェシカにしてもそうである。シャイロックは一人娘である彼女だけを大切に思っているのに、彼女の方は父親を疎んじ、その宗教を嫌い、父親が欺かれて外出したすきに、敵対する側（キリスト教徒）の若者、ロレンゾオと駆落ちする。父親の金や宝石をたくさん小箱につめこんで。父親のうるさい言い付け（「入ってから戸口マ々をよくおしめなさい」）を守りながら、その裏をかい、内から鍵を開けて出て行くのは、あざやかである。（もし、窓から出る演出をすれば、戸口の鍵はおりたままだから、更におもしろい。）

恋人を手に入れる場面で音楽が奏される、小道具としての小箱、パサーニオもロレンゾオも天涯孤独であること、ジェシカは小姓の妾にポーシアは後に法学博士に男装と、ポーシアとジェシカには共通する点がまことに多い。ここに、うるさい父親を出し抜いて好きな男のもとに走るという、伝統的喜劇の娘役を見ることもできよう。

道化役ランスロット・ゴボオとその父親が出会う場面

を見ても、親はもうろくし、息子をみわけられない。年寄りが若者にしてやられるというのは、喜劇の伝統的筋だてのひとつではあるが、シェイクスピアはことに「世代の交替」を意識している。それはこれまでの喜劇においてのような、「笑い的手段」ではなく、彼の「人生論」といえそうだ。

シェイクスピアの場合、初期の喜劇はその「筋だて」においてすでに「こっけい」を重視し、劇世界をふくらませるのは「趣向」によりかかっていた。（たとえば最初期「間違いの喜劇」は、古代ローマ喜劇から「双子の取り違え」という、すぐにも笑いを誘うプロットを流用し、その双子を主人と家来の2組に増やすことで、さらに笑いを増幅しようとしている。）あくまでも、観客の興味＝笑いを生むことに、その創作の重点がおかれた。劇団付きの作者としては、当然のことではある。

しかし、作者が人間的に深まって行くにつれて、作品世界自体が大切にされはじめる。「無名氏」でなく「シェイクスピア」が作り出す世界という独自性が、発揮されてくる。この作者には、「対立」というものが、深く意識されていたのではないか。人生という時の流れ、社会という人間関係・情勢の変化、その中で無数の対立が生じ、また消えて行く、あるいは「和解」の形で、あるいは「破局」に落ち込んで。もし「和解」に至るのであれば、それを望ませる「気分」というものがかもしだされる必要があろう。その気分が劇全体を満たすとき、「夏の夜の夢」や「お気に召すまま」のような「ロマンチック喜劇」が生まれて来るのではないか。

人間にとって最も深刻な対立は「生と死」のそれである。決して両立しえない自然の摂理、「生と死」になんらかの「和解」があるとすれば、それは「死を超える生の連続」、つまり「世代の交替」というものではないだろうか。おそらく彼にとって「無常」とは、「万物が生滅し移り変わる」というだけの意味ではない。時間の大きな流れのもと、死も生もそれだけで独立するものではない。一人の人間だけを見れば「生→死」によって終結する「時間」も、「その子供」を考えれば「死→生」という延長する流れが続いてゆく。世代が交替し、「生→死→生→死→生」という繰り返しがどこまでもつらなり、そこでは「生」も「死」も絶対のものでなくなってくるだろう。大切なのは、生きるに値する「生」をおくること、罪から浄められて、幸福を享受できる人生を経験することである。後期の「ロマンス劇」においては、よく説かれるように、「世代の交替」が同時に「旧世代の罪が新世代によって贖われる」という思想にゆきつく。「ヴェニスの商人」が、後の「ロマンチック喜劇」につながってゆくといわれるのは、「雰囲気」や「筋だて」

「音楽の使用法」だけによるのではないと、私は言おう。

「ヴェニスの商人」は「趣向」に富んだ作品であるが、敢えて喜劇の雰囲気壊す危険を犯して、「死」というギリギリのものに主人公たちを直面させ、また「世代の移ろい」をもほのみえさせている。そのことを考えると、あるいは「ロマンチック喜劇」を通り越して、「ロマンス劇」につながってゆく作品なのかもしれない。

もっとも、こうした「時の流れ＝生命の継承＝社会の変化」に対するシェイクスピアの目は、我々が期待するほど、喜びに満ちたものではない。ロマンス劇に登場する「旧世代」（すでにこの時期には作者自身も旧世代に入る）は「新世代」の幸せを願うが、決して手放して祝うということはない。彼らが若者達（子供の世代）を見守る目は静かで、時に冷やかですらある（注）。アントーニオも、ベルモントで、あまり居心地良さそうには見えない。彼らの共通する傾向が「憂鬱」である。世代の交替を予感した開幕の彼の「憂鬱」と、すでに自分の世界が後に残されてしまったことを意識した最終景の彼の「憂鬱」。「新世代」に、無条件で「幸福な未来」を託し得ないのだろうか。この「旧世代」に投影された「憂鬱」は、おそらくはシェイクスピアの人生観であろうか。

この後ほどなく、いわゆる「悲劇時代」に入っていく彼自身の「憂鬱」の理由は、解明されていない。次の2つの年号を挙げて、私の推測をほのめかすだけにしよう。

1596 シェイクスピアの長男ハムネット、死去。

享年11才。彼の最初の子供で唯一の男子。

1596～1597 「ヴェニスの商人」執筆

（注）たとえば「テムベスト The Tempest」で、主人公プロスペロオの娘ミランダが、やがて帰って行くミラノの世界を憧れて「何てすてきな新世界。O brave new world!」と言ったのに対して、作者自身を思わせるようなプロスペロオは「お前には新しかろうが。'Tis new to thee」とつぶやかせている。

多元的世界と宗教 (III)

——ウィリアム・ジェームズの
宗教論についての考察——

Pluralistic World and Religion (III)

—A Study of William James's

Religious Philosophy—

Tsuneyuki KIMURA

木村 倫 幸

九(承前)

ジェームズによれば、「回心」とは、分裂した自己の統一、絶望の克服、飛躍であったが、それはまた、自己の存在、意義についての意識の変革を伴うものであった。この点についてジェームズは次のように述べる。

「回心させられる、生まれ変わる、恩寵を受ける、宗教を体験する、安心を得る、ということとは、徐々のもしくは突然の、次のような過程を表わす多くの言い方である。すなわち、その過程によって、それまで分裂していて、自分は不正で劣っており不幸であると意識していたある自己が、宗教的な実在者をよりしっかりと把握した結果、統一されて、正しく優れており幸福であると意識するようになるのである」①。

この自己についての意識の変化が宗教的なものである場合、そしてこれが飛躍のかたちを取って突然生じるとき、まさしく「回心」がなされたと言うことができるのである。このことは、われわれの意識において、われわれ自身の意識の中心(彼の個人的エネルギーの習慣的な中心 (the habitual centre of his personal energy))(162)と名付けられる)が、宗教的観念によって占められるようになり、それまでの生活(そこにおいては「エネルギーの習慣的な中心」は、当然別の観念によって占められている)が一変してしまったように認識されてくることである。

この変化については、前節で述べたように、宗教現象に限らない。心理学的には、われわれの感情や観念には死んでしまったものもあれば生き生きと働いているものもあるのであるから、これは信仰についても同様である。従ってこれらのあるものがわれわれの心の中で熱い働きの中心となると、他のものはこの周囲に再結晶(re-crystallize)しなければならぬ、と説明される。つまり個人は、自己の意識の突然の変化を認識することで、自己の本質、生活が今までとは全く違った意味を帯びてくることを自覚する、そしてこの自覚が、今の場合には宗教的な実在、目的と結び付いている、という訳である。この変化の結果個人の意識が具体的にどのように変わるのか、またそれがいかなる価値、意義を有するのか、ということはジェームズの宗教論の核をなしている問題であるように思われる。しかし、ここではその前に、この変化自体の構造を検討する必要があると考える。というのは、この変化の構造の検討は主として心理学的な内容のものであるが、しかし心理学的要素は、ジェームズの場合、宗教論の位置付けに不可欠なもので

あって(その成果は宗教論の結論部分において集約される)、ある意味では宗教論と分かち難く結び付いているからである。従つてまず事実の問題として「回心」の心理学的分析を、その潜在意識の理論との関係の下で行ない、統いて変化の結果とその価値、意義の問題が考察されることになる。

さてジェームズは、「回心」の検討にあつて、二つの型が存在することを提示する。すなわち「意識的で随意的な方法(a conscious and voluntary way)」(169)によるものと「不随意的で無意識的な方法(a involuntary and unconscious way)」(同)によるものである。そして彼はこれを、スターバック(Starbuck, Edwin Diller, 1866~1947)とならつて「意志的な型(the volitional type)」と自己放棄による型(the type by self-surrender)(同)と名付ける。ここでわれわれは、かつて宗教的態度の典型的な傾向を持つ人々のところで述べられた特徴付けによる区分②を思い起こすのであるが、それとよく似た意識の変化の過程が進められることになる。そして今度の場合にも二つの型の基底部を流れる概念は、「努力の放棄」自己放棄」とされるのである③。

例えばジェームズは、前者の型については、個人の再生的な変化は徐々に新しい道徳的精神的習性が構成されて行くのが普通であるとしながらも、同時に、「再生の、最も随意的に組み立てられた種類においてさえ、さしはさまれた部分的な自己放棄の何節かが存在している」(171)とも指摘する。自己意識の変化を目ざして最大限に活動する意志にとつてさえ、「まさに最後の一步は、他の力に委ねられなければならないし、意志の活動の助けなしに行われなければならないように思われる」(同)のである。

またしても「自己放棄」による以外には、われわれの意識の変化が最終的には成就しないことが主張されることになる。この主張は、ジェームズにとつては、人間を現実の世界からより高い世界へと引き上げる力の存在を暗示するものとして、繰返し述べられているのであるが、今までのところでは、これについての心理学的説明は未だなされてはいなかつたのである。しかしここでジェームズは、この高い力が、実は人間の「潜在意識的(subconscious)」な、あるいは「識関下(subliminal)」の意識領域の作用であるとする説明を試みる。

ジェームズは、「回心」の自己放棄の説明に際して、前出のスターバックの理論を引用しつつ、「回心」しかかっている人々の心の中にある二つの傾向——現在の状態に「罪」の意識を持ち、これから逃れたいという傾向と、自分が望んでいる理想に到達したいという傾向——を指摘して、そのような人々にとつては、

前者つまり逃げ出したいという傾向の方が遙かに強い力を有しているという状況を強調する。そしてかかる状況から、次のような結果が生じるとする。

「人間の意識的な知力と意志は、それらが理想に向つて力をふりしぼっている限り、ただぼんやりと不正確に想像されるのみの何かを目ざしている。にもかかわらず、その間中彼の内部で全く有機的に成熟していく諸力が、それら自身の前もつて示した結果に向つて進みつつあり、彼の意識的な努力は、潜在意識的な仲間達を舞台裏で解き放つ。そしてこの解き放たれた仲間達は、彼らなりのやり方で再編成に向つて働いているのである。そしてこれらすべての一層深い諸力が向う傾向のあるその再編成は、かなり確実に明確なものであつて、彼が意識的に思い描いたり決定するものとははつきり異なっている」(172)。

長い引用になつてしまつたが、かくして意識的な努力よりも強力な潜在意識的な働きが、「回心」しかかっている人々を引っ張っていくのである。この場合、意識的な努力は、理想の実現にとつてむしろ妨害的な役割を果たすのであつて、「エネルギーの習慣的な中心」が、まさに転移しようとするばかりにまで潜在意識において事態が進んでいくときには、「手を触れるな」(Hands off!)(173)という姿勢こそが重要とされる。しかも「潜在意識的な諸力が先頭に立っている場合には、働きの指導するのは恐らく潜在的な(Mis-Deeds)よりよき自己であらう」(同)とされるが故に、この動きは理想へとより確実に接近していくことになるのである。

この説明によつていまやわれわれは、「回心」を成就させる潜在意識的な領域への考察を行なう途が開かれたことを知る。つまり自己放棄ということとは、個人の「回心」——精神の危機の克服における個人の意識的努力の最終局面で、これを超えた力が存在することを認めて、この力に個人の運命を委ねることであつた訳であるが、実はその力は、個人の通常の意識の外側にある領域からの作用であるとするのである。この力が直ちに神的なものであると判断されるのは、まだ検討が必要であるけれども、——そのためには、この力についての価値が問題とされねばならない——しかし潜在意識的領域が精神の危機に果たす役割は決定的なものであるとジェームズは主張する。

先ほどのスターバックの理論では、人々の心の中では、「罪」から逃げ出したという傾向が、理想に到達したいという傾向を圧倒しているといふことであつたが、まさしくこの状況下で潜在意識的な領域からの作用が強まってくる。ジェームズの言い方を借りるならば、「怒りや悩みや恐れや絶望や、その他の好ましく

ない感情を免れ得るのには二つの方法しかない(175)。その一つは、これらと全く正反対の感情によって、これらの感情を葬り去ってしまう方法であり、他の一つは、その闘いにわれわれが敗れ、力尽きてしまつて、もはやそれらの感情がどうでもよくなる状態にまでなつてしまふこと、すなわち「われわれの感情的な脳中枢が働きを止め、われわれは一時的な無感動(apaty)に陥つてしまふのである(同)。この状態こそ、とりもなおさず自己放棄の状態に他ならない。そしてこの状態の後に出現する「新しい自己」の方は、前者の方法によって、免れたと考へている感情(罪)の意識)を払拭した、全く正反対の感情に満ちた存在として現れてくるのである。まさしく「一方の感情の潜在意識的な成熟と他方の感情の極度の疲労(176)」とが相俟つて「回心」を導くのであり、「回心」とは、かかる二重の心理学的な動きの交差するところに生起するものと言えよう④。この点について、ジェームズは次のように述べている。

「スターバックが次のように述べるのは正しい。『自己放棄』と『新しい決意』とは、一見したところ異なった経験であるように見えるが、『実際には同じもの』なのである。『自己放棄はこの変化を古い自己の観点から見えており、決意はそれを新しい自己の観点から見ているのである』(176)。

さて以上のように、「回心」は、意識的な部分の活動であることももちろんであるが、それ以上の大部分が潜在意識的な活動によるものであると強調された。それ故これまでしばしば示唆されながら、なお充分明らかにされることのなかつた「潜在意識的」な領域について、ここである程度明確な説明がされることになる。ただしここでの説明には、なお不十分なまま残される課題も多く存在する。というのもこの領域は、現代においても様々な議論が行われている領域の一つであり、ここでジェームズの提起し得た命題は、この当時としては、潜在意識的な領域が確かに存在しているということ、そして「回心」の動きはこの扉から侵入してくると考えられること等、余り多くはない。またこのことがどのような価値を有しているかについては、別途宗教の価値を考察するときに示される。

それはさておき、潜在意識的な領域については、まず「意識の場(field of consciousness)」という概念が提出される。すなわち心理学者達は、最近の傾向として、人間の心的生活の事実上の単位は、従来考えられてきたような「概念」ではなくて、むしろ全体的な精神の状態であること、すなわち「いかなる時においても思考に対して存在している諸対象の場(178)」であることを認めるのである。更には、何らかの明確さをもってこの場の輪郭を示すことが不可能であるこ

とを理解しているのである。

そしてジェームズは、これらの傾向に留意しつつ、「この『場』という方式が記念している重要な事実とは、その端が不明確であることである(同)と指摘する。つまりわれわれの通常の意識の外側には、われわれの注意を引かないにもかかわらず、周辺において「磁場(magnetic field)(同)のように存在しているものがあるのであつて、それは何かの拍子に触れば、すぐにわれわれの意識の場に入らうとしているのである。このようにわれわれの意識においては、現実意識の上にあるものと、潜在的に存在しているものとの間には明確な境界はなく、われわれの経験や知識はわれわれの意識の周辺を超えて広がって潜在し、また逆に、広がって潜在しているそうしたものは、われわれの意識に対して、われわれの意識的努力、意志にかかりなく現われて来ようとする。

しかしながら今までの心理学は、この事情にもかかわらず、頑固に次のような態度をとつて、これを無視しようとするのである。すなわち、「第一には、人間が今有しているすべての意識は、それが焦点か端かということや不注意不注意を問わず、とにかくその瞬間の『場』においてあること」、「第二には、絶対的に周辺の範囲外にあるものは、絶対に非存在で、決して意識の事実にはなり得ないということ(180)を当然のこととしてしているのである。かかる立場からは、「回心」の際の自己放棄の説明はおろか、一般に宗教的態度の構造を把握することは不可能であらう。

ところがこれに対して、心理学の分野において「場を超えて存在する意識(a consciousness existing beyond the field)あるいは「識関下下(subliminally)存在する意識(同)が発見されることによつて⑤、従来の心理学の枠を超えて、潜在意識下の作用として「回心」を説明する方向が確立されることになる。

このことは、突然の回心と漸次的な回心とを比較してみた場合に明らかになる。これらの差異は、神の超自然的な働きが存在するかどうかにかかわるのではなく、「単純な心理学的特質(a simple psychological peculiarity)(198)によると説明されるのである。すなわち、「より瞬間的な恩寵を受ける人という場合、われわれは次のような人の一人であるとする。つまりその人はある広い領域を所有している、そしてその領域では精神的作用が識関下に行われることができ、その領域から、第一次的意識の平衡を突然転覆させる侵略的な経験が来る(同)のである。そしてこの場合には、侵略を受ける本人にとつて、その侵略の原因、行動への衝動あるいは行動抑止を命じるものについては、一切自覚的意識にあがっ

て来ない⑥。

以上のように「人間が発達した識閥下の自己を所有していること、そして漏れやすい、あるいは通しやすい端を持っていること」(126)が突然の回心の条件なのであって、右のジェームズによる説明は、自己放棄についての説得的な説明と言えよう。

ところがジェームズは、これより更に一步進んで、この潜在意識的な自己という考えを、文字通りわれわれの外部に存在する高い力との接触の場として考えようとする。つまり心理学的には、回心の考察においてわれわれに自己放棄を迫り、われわれの回心を成就させるものは、われわれの潜在意識的な自己とされたが、今度はその潜在意識的な自己がそれのみで完結するのではなく、どこか遠い所で高い力とつながっている可能性が存在する、あるいはわれわれがそのように考えることもできるではないか、という訳である。

「潜在意識的な自己という観念は、われわれの探究のこの時点では、より高い力の浸透というすべての観念を排除する、と思うべきでないことは確かである」(127~128)とジェームズが語るとき、それは「もしもわれわれに直接的に触れることのできるより高い霊的な作用が存在するとするならば、そのような働きの心理学的条件は、潜在意識的な領域——そしてこの領域のみがその力への通路を与えるはずである——をわれわれが所有しているということである、と論理的に思い描くことができる」(129)ということを前提にしており、彼の宗教論の結論的部分においては、ここから発する思想が重要な役割を果たすことになる。しかし同時にこのことは、科学的な心理学的説明からの逸脱であり、合理の世界から非合理の世界への飛躍であることも指摘されなければならない。ジェームズのこの思想は、個人の宗教観に対して魅力的な花を添えるとはいえ、宗教の本質を究明する立場から厳密な検討を要するものであろう。

十

以上の回心の構造の検討によってわれわれは、それが、基礎においては潜在意識的な自己と密接な関連を有していることを見たが、続いてわれわれは、その成果とも言うべき、回心によって個人の上に引き起こされた感情の内容およびその実際の効用の検討に入らなければならない。そしてこれの検討は、人間生活における宗教的価値の判断のための重大な一要素を提供することになる。

回心の結果、個人の心の中にはいかなる変化が生じたのか。そしてその中心と

なる感情、そこから派生するものとは何であるのか。

まずそれは、既述のように⑦、新しい人間が誕生するということなのである。「達成されるものは、しばしば精神的生命力の全く新しい水準、比較的英雄的な水準である。そしてこの水準では、不可能なことが可能となり、新しいエネルギーと忍耐力が示される。人格が変えられ、人間が新たに生まれるのである」(138)。

この感情的経験は、自己の分裂、精神の危機、自己放棄という「嵐と緊迫と矛盾の時期」を経た平安の時期に現われる。すなわち回心の経験の時に、ますますより高い力の支配という感じが個人の全感情を覆っており、「私、この個人としての私が、あるがままに、弁解などなくとも、今、そして永遠に救われている、という確信」(200)、これによって生じる「幸福の恍惚」(205)が満ちあふれているのである。

この確信(信仰)状態の特徴は次のようなものである。①「たとえ外的条件は同じままで留まっていようとも、すべての苦悩がなくなるといふこと、結局はその人にはすべてがうまく行っているという感じ、平和、調和、生存しようとする意志」、②「以前には知らなかった真理を理解したという感じ」、「人生の神秘が明白になる」、③「その変化を世界がしばしば経験するように思われるような客観的な変化」、「内面も外面も共に、清く美しく新しいというこの感じ」(201~202)である。

これらの特徴を持つ人格の変化、新しい人間の誕生は、「聖化(sanctification)」という言葉によってまとめられるが、これらを見て明らかのように、これの依って起こった原因が潜在意識的な自己であると説明されるにせよ、その結果として生じたものは、結局のところ「合理的に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」を持つ、非合理的な観点への転回に他ならないということである。それ故それらは、ただ「感じ」「見えること」といった言葉でしか言い表わすことのできないものであり、「確信」「意志」というかたちでしか持つことのできないものである。従って最終的には、この私の、決意(それがたとえその時に、意識されていないとしても)が基礎に据えられている転回であることが確認されねばならない。そうであるからこそ、その後には続く生活での個人の姿勢が、力強く忍耐強い意志強固なものになり得るのである。

続いてジェームズは、右に述べられた確信(信仰)状態から直接産出されてきた「人間の性格における宗教の熟した果実に対する集合的な名」(216)を「聖徳(sainthood)」と呼ぶ。これは、先程の「聖化」が感情的経験そのものであったのに対して、その経験を踏まえて回心した個人が送る宗教的生活の意識と言え

よう。従ってその特徴もまた似通っているものがある。ジェームズは「聖徳」について、次の基本的な特徴を指摘する。

①「この世の利己的な小さな利害の生活よりも、もっと広い生活の中にあるという感じ。そして理想的な力 (Ideal Power) の存在についての、単に知的なばかりでなく、いわば感覚的な確信」。

②「理想的な力とわれわれ自身の生命との親密な連続性の意識、そしてこの力の支配に対してすすんで行なう自己放棄」。

③「制限している自己の輪郭が融解するにつれての、広大な意気揚々さと自由」。

④「非我の要求に関係するところで、愛に満ちた調和ある感情への、すなわち『然り、然り』への、従って『否』から離れる方向への、感情の中心の移動」。このように人間が宗教を自己の人格のエネルギーの中心として生きるようになる、その人間は、いろいろな点で以前の自己とは異なってくるのであって、ここに今までは全く違う新しい人間が誕生したと言われる理由も存在する。

そして右の基本的な心の状態からは、歴史上の様々な聖人、信徒において見られる実に多くの結果が生じる。それらを一つずつ取り上げて検討することは小論の課題ではないので省略せざるを得ないが、それらは実際の生活において大いに注目される項目から成っている。

例えば、回心の際の自己放棄から自己犠牲に至れば、そこには禁欲主義という項目が出現し、更にはそこから、純潔、服従、貧困という「禁欲の三つの小さな分枝」(246) が派生する。このうちでとりわけ貧困の崇拜は、過去の聖人達の中心的な徳目の一つになったものであるが、これには宗教的経験の基本的神秘にかかわるものが含まれているとされる。すなわち「より偉大な力に対する絶対的な放棄のなかに見出される満足感」(257) 、「自己放棄の神秘 (the mystery of self-surrender)」(259) と、「献美の神秘 (the mystery of veracity)」(同)、および「神の前でのすべての被造物の平等と、この感情を持つ人間は、地位や名譽、特権や利益を拒絶し、(中略) 平民の水準において神の面前に平伏することを好むのである」(同)。「それはむしろ、他の人々が共有しないものは何であってても享受することを拒否する人類愛である」(同)とされる。

次に、生の拡大感から個人の精神における恐怖と不安が除去された結果、心の平静さ、「内的な静けさの天国」(288) が生じ、これと共に不屈の精神、忍耐が現われなくてはならない。

更には、心の清さ、生活の清さが高められることによって、聖なる人間は、内心の矛盾や不調和に対して極めて敏感となり、それ故靈的でないものは、すべて心に矛盾や不調和をもたらすものと見なされ、このために他の一切のものが排斥され、犠牲にさせざるを得ないのである。

そしてまた同胞に対する思いやりが高められることで、愛が強められるということが生じる。人間と人間とを隔てるすべての障害が取り除かれ、慈愛と兄弟愛に満ちた人間関係が拡大していくことになるのである。

以上のように、回心の感情的経験とそこを経た人間の心の状態は、まさしく奇蹟が起こって人間が変わってしまったとまで言い得るものであった。過去の宗教の歴史は、かかる経験の記録で満ちている。従ってこれ以外に実に数多くの、いろいろな程度の結果が存在しているのである。しかし重要なことは、これらの経験が、それを経験した個人にとっては絶対的な価値を有するといえ、宗教の意義およびその社会的価値を探索するわれわれにとっては、その経験とそこから生じた結果とを客観的な基準で検討する必要があるということである。そこでこれらの華々しい経験、熱狂的な歓喜を冷静な判断の眼で眺める作業が始められる。

十一

「宗教的価値の究極のテストは、決して心理学的に、つまり、それがどのように起こるかという観点から定義できるものではなく、倫理的に、つまり何が達成されたかという観点からのみ定義できるものである」(8)。

見られる通り、回心そのものは心理学的変化として把握されるとしても、そこから生じた価値は、それが及ぼした影響によって判断されねばならない、というのがジェームズの立場である。小論の最初でも述べたように⑨、ジェームズは、「宗教的性質」については、それがどのようなものであるか、という問題と、それが有する意義が何であるか、という問題とを区別して、後者を「価値判断」あるいは「精神的判断」と呼び、この判断はもっぱら経験的な根拠によって決定されなければならない、としたのであるが、ここでもその原則に基づいて、「もしも回心の状態の生活に対する果実が善であれば、たとえその回心が自然的な心理学の一片であっても、われわれはそれを理想化し敬うべきである」(188) し、「もしもそうでないのであれば、たとえ如何なる超自然的な存在がそれに吹き込んだとしても、われわれは、それを簡単に切り上げるべきである」(同)とする。というの、われわれには、人間の中の動物的部分と理性的部分との区別、自

然力と超自然力との区別、また超自然力があつたとしてその内で神的な力と悪魔的な力との区別を行なうことは不可能であり、回心について言えば、「すべての眞の回心者の目印となる間違えようのない部類標識は存在しない」といふこと(194)を認めざるを得ないからである。

従つて「われわれは、特別のア・プリオリな神学体系なしに、ただ事実を集め、そしてあれこれの経験の価値に関するばらばらの判断の総計から、——このような判断においては、われわれの一般的な哲学的な先入観や本能や常識が唯一の案内人であるのだ——全体的に見て (on the whole) ある宗教の型はその成果によつて是認され、他の宗教の型は非難されることを、決定しなければならぬ」(203)。つまりこのことは、われわれの経験、常識の立場から宗教的な意義を判断することであつて、「宗教生活が一種の理想的な人間活動としてどこまで良いと思われるかをわれわれが決定するのを助けるために、人間的基準 (human standards) を使うということ」(203)である。

この人間的基準とは、ジェームズによれば、「宗教的信仰に対して適用された、人間的に見て適していないものの淘汰と、人間的に見て最も適しているものの生存に他ならない」(同)。まさしく歴史上に出現した様々な宗教は、すべてこの基準の上に判断され、あるいは生き残り、あるいは消滅してきたのである。この意味で「宗教は今日まで自己を証明して (approved) きた」(同) のであり、「様々な要求に奉仕してきたのである」。この人間的経験と常識という基準は、結局のところ、宗教的な成果がわれわれの役立つものであるかどうか、ということであつて、そのために徹底して経験的な根拠を基礎にして判断するということなのである。

われわれは、かかる思想にジェームズの宗教論の、生活体験そのものに根を張つた一種の粘り強さを見ることが出来る。それは、個人の体験に基づくが故に、それなりの説得性と論理性を備え、多様な個人的世界を取り出そうとしていと主張する。確かに、ジェームズの過剰とも言うべき事例の列挙と詳細な叙述は、一定程度この主張を裏付けているように思われる。先入見なしにひたすら事実を集めて、そこから「全体的に見て」判断を下すというこの方法の持つ有効性は、これらの事実そのものの中にあると言える。

しかし同時に、この方法には欠陥が付いてまわることも周知の事柄であろう。すなわち、ひたすら事実を集めるということは、事実さえ集めればそれで済むというのではなく、集まった諸事実を「全体的に見て」判断する際には、既に何

らかのある基準が存在しているのではないかという疑問が現われてくることである。この矛盾は、ジェームズによれば、常識の立場——この立場自身は、「普通の生活の傾向から生まれたもの」(205)であり、「われわれの内なる人間的経験の声」(同)に発するとされるから——に身を置くことで解決するものとされるが、しかしそのディレンマは、プラグマティズムの宗教観における個々人の宗教観の相違の承認というかたちで残される。これについては、稍を改めて論じたいと考へる。

ジェームズは、右の矛盾についてよりも、むしろ彼の経験的方法によつては、真理を決定することが不可能になる懐疑論に陥るのではないか、という批判に対する反論に腐心している。そしてこの点にもプラグマティズムの真理観が特徴的に現われることになる。すなわちジェームズ自身、この経験的方法が不十分であることを承知しつつ、彼の原理からすれば、かえてこの方法の方が真理に近いということを主張するのである。ジェームズは、経験的方法を宗教的現象に適用するにあつて、この種の批判に対して、「自分の道具の不完全さを認め、自分の観察を討論する際に、そのことを考慮に入れる者は、自分の道具は誤ることがないとしても主張する者よりも、真理を獲得するのにより良い位置にいる」(207)と反論する。そして彼が主張するのは、教義神学やスコラ神学の主張するような「絶対的な確実性 (absolute certainty) ではなく、「合理的な蓋然性 (reasonable probability) である」(同)。「もしもわれわれが合理的な蓋然性のみを要求するとすれば、そのことは、真理を愛する人々が自分の手の届く範囲にいつでも真理を持つことを望めるといふことと同じことなのである」(同)。しかも右で述べたように、この蓋然性自身もまた予め誤れる可能性を認めているが故に、この蓋然性への信頼性は、一層高まっていると言わねばならないであろう。

この経験的方法の採用にあつたジェームズの叙述には、実に効果的なものが含まれている。一方の独断論、合理主義、自然主義に対して自己の原理を主張しながらも、その経験主義自体が他方の極端に陥らぬよう、むしろそこに不完全さを認め、これについても配慮するというやり方は、後の「根源的経験論 (Radical Empiricism)」にも続くものである。

さて以上のように宗教的現象の判断基準が定められたが、これによって宗教的現象の価値を検討してみるならば、——もちろんこの場合、ジェームズでは、制度的宗教は最初から問題ではなく、あくまで諸個人の個人的体験としての宗教が問題とされねばならないことは言うまでもないが——まず注目されるべきことは、

「この種の直接的な個人的体験は、その誕生をまのあたりに見た人々には、いつでも、新機軸の異端的な一種として現われた(188)」という事実である。すなわちシェームズが言うところによれば、「この分野において感嘆されるのが妥当である多くのことは、それにもかかわらず、真似る必要がないということ、そして宗教的経験も、他のすべての、人間に属する現象と同様に、中庸の法則に従っているということ(189)である。今までの歴史上に出現した聖人達ですらこの例外ではなく、聖徳も、われわれの肉間的経験、常識の枠を超えて行われるならば、均衡を欠いた誤りに陥るとされるのである。「言い換えれば、宗教の果実も、すべての人間の産物のように、過度によって腐敗しがちである(同)」。例えば信仰が均衡を失なった結果生じる狂信、そしてここから出てくる不寛容と迫害は、この典型であり、禁欲、献身、純潔の場合にも、通常の人間には考えも及ばない極端な行為へと走るのである。とりわけ「聖徒達の知的観点が狭いときには、彼らはあらゆる種類の聖なる過度に陥る(189)」。

このようにシェームズは、聖徳の価値を判断する際に、それがともすればわれわれの常識を超えていくという事実をどう判断するかの問題を提出し、これに一定の批判を加える訳であるが、しかし同時にこれらの行為には、更に深い意味が潜んでいると指摘するのである。

それは、聖者の度の過ぎた思いやりと慈愛に関して展開される。シェームズは、しばしば聖者に見られる思いやりと慈愛とが、われわれの常識を遙かに超えていることについて、「聖人のような行為は、すべての人々が既に聖徒であるような環境の中では、想像できる最も完全な行為であろう、と心から認める」、「しかし少数の者が聖徒であり、多数の人々が聖徒の正反対である環境においては、その行為も不適切にしか適応しないに違いない、と付言する(189)と述べる。

そしてこの叙述から、二つのことが展開される。まずその第一は、この叙述の指摘にもかかわらず、もし世界がかかる行為の全くない人間で満ちているとするならば、その世界は、全く殺伐としたものになってしまうであろうということである。つまりそこで支配するものは、思慮分別、打算、疑い、不信であり、将来への希望が消えたままの状態のみが続くであろうと予想される。ところがこれに對して、「このようなやり方で生きている聖徒達は、彼らの肉間的な情愛が度を超えることで、予言者になるかもしれない」、「否、数え切れない位の場合、彼らは予言者であることを身をもって立証した(189)とシェームズは主張する。それ故、彼ら聖徒達の過剰な思いやりと慈愛こそが「真の意味での創造的な社会

的力(同)である。「だから、一瞬考えると、聖徒は自分の情愛を浪費し、自分の慈悲深い興奮に騙されている人、その犠牲者であるかもしれない」、「しかし社会の進化における彼らの情愛の一般的な役割は、必要不可欠であり、本質的である(189)と述べているのである。

ここに宗教的現象についての判断の一つが示される。シェームズは、聖徒達の知的水準の問題に留保するとはいえ、全体として彼らの行為を是認し、その社会的意義を賞賛する。

もちろんこれに對して、ニーチェのように、聖徒的な理想に露骨な敵意を示して、聖徒達を「世慣れた病弱者」「抜き出た墮落者」「不十分な生活力しかない人間(189)と酷評して、聖徒の影響は人類を危険に曝するものであると主張する思想家も存在する。

しかしそれにもかかわらず、第二に、「聖徒は、抽象的には(ニーチェの言うところの——引用者「強者」よりも、より高い型の人間である(189)というところ)と出てくる。「何故なら、そのような社会が具体的に可能であろうとなかろうと、彼はおよそ想像できる最高の社会に適応しているからである」。従って完全な行為によって完全な社会に適している聖徒こそ、理想的な人間であるとされるのである。

かくして聖徒達の行為は、シェームズの検討方法に従えば、「世界の福祉にとって不可欠(189)なもの」とされ、「全体的に見て」宗教は歴史上に高い知位を占めているとされるのである。

さてわれわれは、右においてシェームズの宗教観の一端を明白にしたのであるが、しかしここで思い起こすべきは、彼の目ざしたものが、「絶対的な確実性」ではなくて、「合理的な蓋然性」であったということである。それ故、これまでの聖徳の評価も、この「合理的な蓋然性」の枠内で行われなければならない。ということとは、聖徒の行為の理想性と現実の世界の状態とをどのように調整するかという問題となる。この点について、シェームズは次のように述べる。

「しかし、われわれが見たように、これらすべての事柄を合わせても、聖徒達を誤りのないものにはしない(189)。

「しかし、もしわれわれが、抽象的な問題から現実の状況に向かうならば、われわれは、個々の聖徒が、特殊な環境に應じて、あるいは良くあるいは悪く適応しているのを発見する。要するに、聖徒であることの卓越さの中には、完璧さは存在しないのである(189)。

つまり聖徒達の行為も、現実との関係で適応できるかどうかということが焦点であり、そしてこの問題は、先程のニーチェによる批判とも関連して、——というのは、ニーチェの批判は、結局現世の方の理想の主張となつていから——「見える世界がわれわれの適応の主な領域であるべきなのか、それとも見えない世界がそうであるべきなのか、そしてこの見える世界においてはわれわれの適応の手段は、攻撃的でなければならぬか、それとも無抵抗でなければならぬか」(297)という問題を提起する。

この問題に対して、ジェームズは、「ある意味では、そしてある程度まで、両者が承認されなければならないし、考慮されなければならない」(同)、また「見える世界でも、攻撃と無抵抗ともに必要であつて、要は程度の差で、いずれを強調するかということの違いに過ぎない」とした上で、更に根本的な問題として人間の理想そのものについての経験哲学の立場を説く。すなわち、「人間の性格については、本来的にただ一つの理想的な型が存在し得るとしばしば考えられてきたし、今日でも尚大多数の人々によってそう思われている」(同)。また「ある一定の種類の人間が、絶対的に、彼の働きの有用性や経済的な考慮すべき状況はさておいても、最善の人間でなければならぬ」と思われている(同)。しかし経験哲学では、すべての理想は相対的であつて、それは社会的な諸関係、適応の問題を考慮して検討されなければならないのである。

従つて一般に社会で考えられているのは異なつて、聖徒達の行為についても様々な環境と適応の問題として考えてみるならば、すべての人間の意見が等しくなることなどあり得ない、とジェームズは言う。このジェームズの主張は、経験論の立場にたちながら、経験論そのものをも仮定的なものとして扱つてという姿勢から出てくるものであるが、このように述べることで、宗教的にも独断論的傾向に陥ることを警戒していると言えるのである。

しかしこの留保を付けた上で、「全体的に見て」聖徒達は、「より良い世界の秩序の酵母 (leaven)」(296)と考えられ、右に述べたように、宗教が歴史上高い地位を占めていることが確認されるのである。

かくしてジェームズは、聖徳の価値、聖徒達の行為について、それを人間的基準によつて「全体的に見て」判断することを試みたのであつたが、その評価には、これまで見てきたような実に複雑な配慮が加えられていたのである。しかしその要点は、経験哲学の立場の徹底であり、この立場を貫くことによつて、従来の宗教の評価とは異なる視点からの評価が開かれたことも事実である。とはいへ、ま

ただこれだけでは済まされない問題——宗教の真理の問題——も残されており、これについては続いて検討されることになる。ただジェームズが提起した立場は、あくまで個人の胸の内に育つ宗教の立場であり、それだけに様々な他の立場をも容認するものである。この点についてジェームズは、次のように述べる。

「もしわれわれにできるのであれば、聖徒にならうではないか。しかしわれわれの父の家には多くの住居がある。だからわれわれのそれぞれは、自分自身のために、自分の力であると信じているところのもの、自分の真の使命、召命であると感ずるところのものに最もよく一致する宗教の種類と、聖徒たることとの量を、見つけ出さなければならない。われわれが経験哲学の方法に従う限り、如何なる保証された成功も存在しないし、個人に与えられる如何なる予め定められた秩序も存在しないのである」(299~300)。

註

① William James: *The Varieties of Religious Experience*, Harvard U.P., 1985, p.157.

以下本書からの引用は頁数のみを示す。

② 拙稿「多元的世界と宗教(II)」(奈良高専研究紀要第二十四号、一九八三年)第六節および第七節を参照のこと。

③ ここで再びわれわれは、道徳的態度と宗教的態度との比較を思い起こす。拙稿「多元的世界と宗教(I)」(奈良高専研究紀要第二十三号、一九八二年)第四節を参照のこと。

④ ただしこの見方に関しては、心理学と宗教では、次の共通点と相違点がみられるとジェームズは説明する。

すなわち「共に個人の生命に贖罪をもたらす諸力——それは一見したところでは意識的個人の外部にあるように思われる——が存在していることを認める」(274)点では共通であるが、心理学はこの力の働きを「潜在意識的」なものとして、個人の人格を超越したものではないとするのに対して、キリスト教神学では、これを神性の超自然的な働きと見なす点で異なっている、と。

⑤ この発見についてジェームズは、こう説明している。

「少なくともある人々においては、普通を中心と端とを持った通常の意識のみならず、尚その上に一連の記憶、思考、感情のかたちで、付加物が存在

していることである。そしてそれらは、端の範囲外に、第一次的意識の全く外側に存在するが、しかしある種の意識の事実として分類されねばならず、間違えようのない印によって、それらの存在を示すことができるのである」(190)。

⑥ 「マイヤーズ (Myers, Frederick William Henry, 1843~1901) は、心の意識下の部分で起こったエネルギーの通常の意識の中への『奔出 (uprush)』と呼ばれる結果全体で(中略)自動現象 (automatism) という名を与えてくる」(191)。

⑦ 前出抽稿「II」第八節を参照のこと。

⑧ コー (Coe, George Albert, 1862~1951) からのシヘームズによる引用。

⑨ 前出抽稿「I」第一節を参照のこと。

⑩ この問題について、シヘームズは他の箇所でも、次のように強調している。

「宗教が関係するような事実の問題に関して、われわれ、あるいは他の誰が死すべき運命の人々が、いつかある日に絶対的に変えることも改良することもできない真理に達することができるというとなぐ、私は断じて信じない」(268)。

夏目漱石『彼岸過迄』論の前提

武田 充 啓

一 田川敬太郎について

一・一 敬太郎とその役割

周知のように『彼岸過迄』（明治四五・一〜四）は、緒言「彼岸過迄について」に続くⅠ「風呂の後」、Ⅱ「停留所」、Ⅲ「報告」、Ⅳ「雨の降る日」、Ⅴ「須永の話」、Ⅵ「松本の話」の六つの短篇小説、および「結末」とから成っている。最初の短篇「風呂の後」の冒頭は、「敬太郎は夫程験の見えない此間からの運動と奔走に少し厭気が注して来た」という一文で始まっている。そしてこの「風呂の後」第一回で特に目立つのが、「休養」という言葉である（「当分休養する事にする」・「矢つ張り休養ですか」と云ふと、相手も「ええ休養です」）。「休養」を強調するからには、それを必要としている現在があるわけで、それは第四回にいたって初めて明らかにされることになるのだが、敬太郎は大学は出たものの職に就けず、したがって就職活動を余儀なくされている青年なのである。冒頭の一文は、次のように続けられる。「思ふ事が引つ懸かつたなり居据つて動かなかつたり、又は引つ懸らうとして手を出す途端にすぼりと外れたりする反間が度重なるに連れて、身体よりも頭の方が段々云ふ事を聞かなくなつて来た」。では、こうした曖昧で中途半端な状況に堪えきれず「厭気が注して」いる敬太郎は、むしろ「身体よりも頭の方」に「休養」を必要としている青年なのである。だとすれば、話すこと全てが本当のようでもあり、また嘘のようでもあるような、まるで掴み所のない森本という存在と関わることは、敬太郎にとってどのような「休養」になるのだろうか。

一風変わった自身の経験について、「みんな面白いし、又みんな詰まらない」（「風呂の後」第七回。以下Ⅰ・七のように記す）といつてのけるような「一切がXである」（Ⅰ・三）人物に、しかし敬太郎は、持ち前の「浪漫趣味」（Ⅰ・四）を掻き立てられている。むしろこの「浪漫趣味」は、森本が敬太郎に植え付けたものではなく、逆に敬太郎の「浪漫趣味」が森本と出会う原因になっているので、この「趣味」こそは、「遺伝的に平凡を忌む」（同）敬太郎自身に備わったものであり、また、既に大学は出たものの未だ就職口が見つかっていないという、彼の現在の位置そのものの中途半端さ、宙ぶらりんさの証明になっているのである。

「世の中への出口」（同）に出るような出ないような、有るような無いような

Notes on

Natsume Sōseki's *Higansugimade*

Mitsuhiro TAKEDA

場所にいる敬太郎が見るものは、すべて容易には決定できないものばかりである。電車の中で乗り合わせた赤ん坊を背負った女は、「黒人だか素人だか分からない」(I・一)し、赤ん坊は「私生児だか普通の子だか怪し」(同)く映るのである。この事情は、次の短篇「停留所」にいたっても変わらぬ。「須永といふ友達」(II・一)の家の門を潜った一人の女の「後姿」(II・二)に翻弄され、自身の想像が空回りするのに手を焼くことになるからである。それが最も切実な形で現れるのは、やはり彼が田口から「探偵」を頼まれて停留所で観察することになる女についてであろう(II・二七)。

しかし、冒頭から暗示され、森本の登場と敬太郎の「浪漫趣味」によって始められたこうした世界の(兩義的なあるいは多義的な)曖昧さといったものは、そもそも世界は見る者の位置や角度や先入観、あるいは偏見などによって様々に見える、想像され、考えられるのだというような認識がそこに示されているというのではなく、それがどこまでも、ただ敬太郎その人に関する描写であるということ。このことは今一度確認しておかねばならない。

気分を「快楽」にしようとして「飲みたくもない麦酒をわざとポンポン抜いて」(I・一)みるものかなわず、それではと無理に寝ていようとして、それもまた果たせないこの青年は、風呂に行けば、「実用の」ためでなく「快楽を貪る為の入浴」(I・二)をする森本と対照的に、身体のすみずみまで丹念に洗ってしまう「勤勉」(同)さを見せてしまうのである。

森本という男に「敬太郎は思はず自分の同類を一人発見したやうな気がした」(I・一)と語り手は記している。しかし作者は、「森本」的浪漫世界に魅せられながら、実は森本その人とは全く異質な人間として敬太郎を描いている。ここでの「一人」というのは、だから「別のもう一人」という意味ではなく、実はただ敬太郎が「勝手に一人で」そう思った、という意味なのである。

「無学」(I・七)な森本は、「学のある」(I・九)敬太郎に「貴方は位置がなく有る。僕のは位置が有つて無い」(同)というのであるが、そうした世俗的な意味で守るべき有形無形の財をいうのでなく、その人がその人自身を真に生きる空間としては、逆に敬太郎には「位置が有つて無い」のであり、森本には「位置がなく有る」のである。だから、「休養々と云つて又眼を眠つて」(I・一)休もうとしたところで、彼は移動させられ、見させられ、聞かされることになるのである。

敬太郎は、森本がいうように、彼自身の「教育」によって自らの行動(冒険、

漂浪)が制限されているだけではない。作者は、敬太郎の「浪漫趣味」やその眼前に広がる多義的世界の描出によって、彼が「居場所のない人間」であるということを知っている。決定不能な世界や「後姿」が代表するように、奥行きと深さをあらかじめ奪われた形で設定されたこの人物が、小説世界の表面をズレながら、ひたすらその表面を横滑りしていく外にないことが容易に理解されるのである。

したがって、やがて須永の叔父である田口という人物から「探偵」という役割を背負わされることになること、またそれが真に自他の存在の本質を変化させるような発見を伴うことなく終わること、さらに同じその人が小説全体の後半には話の「聞き役」に徹することになることさえ、むしろこの人物にふさわしい姿として納得できるのである。

田川敬太郎がそうした人物であるとすれば、また「位置が有つて無い」森本も、自身の言葉どおり、早晩この小説世界から姿を消すことになるであろう。殊に、彼が自分の存在そのものよりは、敬太郎の傍らにあるにふさわしい(長い様な又短い様な、出る様な出ない様な)ステッキなるものを持っているとすれば。というのは、森本という存在は、「一切がX」とはされているものの、しかし、むしろだからこそ逆に、「森本」||「X」として、敬太郎にとって唯一決定され得る存在だからである。

『彼岸過迄』においては、須永市蔵の出生の秘密を除いて、他の一切の謎は、謎として残されるか、たわいもないものとして消え去るかのいずれかである。それが都会の迷路であれ、人の心という迷路であれ、奥行きと深さを禁じられた敬太郎は、ひたすら表面を横すべりに滑っていく。したがって、田川敬太郎に即して見るかぎり、この小説全体における主題は、こうした迷路からいかにして抜け出るか、に見えて実は、いかにして抜け出ないでいられるか、というところにあるのかもしれないのである。

一・二 敬太郎とその〈成長〉

敬太郎は、「人間の異常なる機関が暗い闇夜に運転する有様を、驚嘆の念を以て眺めてみたい」(II・一)というロマン的な好奇心を持った人物である。しかし作者は、彼が「根が執念深くない性質」(II・一)であることを急いで付け加えずにはいられない。

「自分丈硝子張の箱の中に入れて、外の物と直に続いてゐない心持」(II・一四)と「何処か似た点がある」(同)敬太郎は、「今日迄何一つ自分の力で、先へ突き抜けたといふ自覚を有つてゐなかつた」(同)。「何処へでも進んで行かう」(同)とする積極性は、しかし「碁を打ちたいのに碁を見せられるといふ感じ」(同)を与えられるにとどまり、「世の中は少しも手に握れぬ」(同)い。そうして結局「煮切らない思ひに悩んでゐる」(同)のである。

にもかかわらず、それでもやはり「敬太郎の思案には屈託の裏に、何処か呑気なものがふわふわしてゐた」(II・一五)とされるのだから、そのような人物がまさか「成長」を遂げるとは容易には考えられないのであるが、その敬太郎が田口に依頼されて「探偵」へと一歩踏み出したとき、明らかに一見そうした敬太郎らしくない言動を見せはするのである。

あんな小刀細工をして後なんか跟けるより、直に会つて聞きたい事丈遠慮なく聞いた方が、まだ手数が省けて、さうして動かない確かな所が分りやすいかと思ふのです (III・六)

不得要領に終わった探偵の一件の顛末を、敬太郎がその依頼者田口に報告する場面である。しかし、これは真に敬太郎の「成長」を意味する言葉なのであろうか①。「探偵」によつて得た認識によつて、あるいはここで田口への発言以後、彼は自己変革をするわけでもないし、そもそもそうした欲望は、作者によつて最初から摘み取られてしまつていたはずなのである。

「今迄に、何一つ突き抜いて痛快だといふ感じを得た事のない」(II・一四)自分だから、「何の道突き抜けた心持ちを確かり捕まへる為には馬鹿と云はれる迄も、其所迄突つ懸けて行く必要がある」(同)というような、奥行きや深さへの欲望を伴つた意志を貫き通すためには、彼に与えられた「何処か呑気なものがふわふわしてゐる」(同十五)るといふ、むしろ表面的、横滑りの存在の本質規定が、重すぎるのである。

作者は当初の設定どおり、敬太郎という存在を「成長」させていない。後にみるように、須永市蔵が千代子に非難される場面を除いて、登場人物が自己を変革させ得る可能性をもつ場面は、『彼岸過迄』においては極めて少ない、というよりそれ以外にないといつてよい。敬太郎が「探偵」の役割を終えることになるこの場面が、「成長」への可能性を開くことになり得ること、そして、にも関わら

ず敬太郎の「成長」をここで禁じたこと、それらに作者が十分に意識的であるとすれば、それは敬太郎の抱える彼固有の問題が、彼の「成長」という形ではなく、別の形で問われることになることを意味するだろう。

敬太郎の「冒険」は、自己を変革しない。それは、読者への「作品世界」の案内話の「聞き役」に徹する形になることが必然であつた。彼はもともと居場所のない男であつたのだから、その姿を小説世界から見えないものにして行くのはいたつて当然のことなのである。そして場所を持たない男の「冒険」とは、他人の話の聞き出すこと以外にはないのである。

この点は、明らかにたとへば『こゝろ』の青年「私」とは異なつてゐる。「私」は、単なる「聞き手」、「報告者」の立場を越えて、自ら(自己を自己たらしめていたはずのものとしての)「故郷」喪失者とならざるを得ないような「冒険」を余儀なくされるからである。

敬太郎は、松本と千代子を追う「探偵」の役を終えると、須永や松本の話の「聞き役」に納まつてしまふ。したがつて、私たち読者は、敬太郎の「探偵」が終わることによつて初めて、彼本来の「冒険」へと導かれることになるのであるが、そこではもう敬太郎自身の「成長」は、やはり期待することはできないのである。

しかし、敬太郎のその役割の「変化」は見逃せない。「彼岸過迄」の大きな亀裂とも呼び得る、田川敬太郎から須永市蔵への主人公の交代劇に、この小説のひとつの核が、やはりあると思われる。

一・三 敬太郎とその「冒険」

敬太郎は本氣に何故自分に探偵が出来ないかといふ理由を述べた。元來探偵なるものは世間の表面から底へ潜る社会の潜水夫のやうなものだから、是程人間の不思議を攫んだ職業はたんとあるまい。(略)が、如何せん其目的が既に罪悪の暴露にあるのだから、子じめ人を陥れやうとする成心の上で打ち立てられた職業である。そんな人の悪い事は自分には出来ない。(II・一)

これに続けて「自分はず」。「眺めてゐたい」という敬太郎は、「底へ潜る」人ではなく、「表面」を生きる人である。

「浪漫」に飢え、それを探し求めているという敬太郎の設定は、たとえば「浪

漫」そのものを生き得た三四郎（『三四郎』）という存在とは微妙に異なり、もはや彼が「浪漫」の中では生きられない存在となつてゐることが前提されてゐるとみてよい。

たとえば、三四郎という青年は観察者になれるほど「大人」ではなかったが、敬太郎は観察者でいるしかない「子供」なのである。三四郎には「東京」で十分であった。それが迷路であり、迷宮であり、「浪漫」そのものであった。

敬太郎が学生の頃、友人たちの間で「田川の蛤符」という言葉が「流行」したのは、彼が新聞に連載された「兒玉音末とかいふ人の冒険談」を面白おかしく紹介したからである。「敬太郎の此傾向は、彼がまだ高等学校に居た時分に「スチーヴンソンの新亜刺比亞物語」を読んだことから始まつてゐる。敬太郎は何より「物語」を必要としてしまふ存在なのである。「物語」に頼らない彼のオリジナルな想像ともいえる「新嘉坡の護謨林栽培」について「実際の算盤に取り掛つて」してみると、たちまち夢はしぼんで、「彼は其後護謨の護の字を口にしなくなつて」しまふのである（Ⅰ・四、五）。

敬太郎の「東京」は、やはり迷路、迷宮であるとはいへ、そこは適当な就職口を「足を挿木の様にして」「探して歩」（Ⅰ・四）かねばならない現実の世界であり、人々が人々なりの生活を営んでゐる現場である。彼の必要とするような「物語」は、そこにはない。彼があくまでそこに「浪漫」を求めようとするのは、彼がその場所へと出て行こうとして出て行けない人だからである。この意味で、敬太郎の「浪漫趣味」は、彼の居場所のなさの証明になつてゐる。同じく「田舎」から「東京」へ出てきた青年であっても、三四郎と敬太郎とはそれほどに違つてゐるのである。

しかし「不思議」はある。彼自身なぜ自分が「浪漫」を必要としてゐるのかという「不思議」に気が付いてゐないように、生活者のそれぞれの心の中に「不思議」は潜んでゐるのである。「世の中への出口」を求めつつ、出るような出ないような敬太郎の「冒険」＝「探偵」は、したがって結局のところ東京そのものや人々の生活そのものではなく、それら人間の心の中の「不思議」に、その対象を求めることになるのである。

彼は都市の迷路を漂い、心の迷路をさまよう。ただし、奥行きと深さを許されてゐない彼が生きてゐるのは、ただ表面の世界なのである。場所を持たず横滑りしていくしかない男が、本当にその居場所をなくしてしまふ前に、登場人物たちは彼の視線に晒されていなければならない。

敬太郎の視線はすべての存在を同格に、平等にしてしまふ。彼の位置からは、「後ろ暗い奇人」（Ⅱ・五）森本も、「人を取扱ふ点に掛けて成程老練」（Ⅲ・七）な田口も、「人を取扱ふ点に於て、全く冴えた熟練を欠いてゐる」（Ⅲ・十）松本も、「退嬰主義の男」（Ⅱ・一）須永も、それぞれ同距離で同価値の存在ではなく、同格の人物たちなのである。そこには表面的な差異だけがあり、本質的な異同に敬太郎は接することが出来ない。

「下町」的景趣を丁寧に描写する語り手（Ⅱ・一六・二五）とは別に、「田舎」育ちの敬太郎には都会に対する一種の違和感だけがあり、それは彼の「浪漫趣味」を培う滋養となるのだが、元来「下町生活に呢懇も趣味も有ら得ない」（Ⅱ・五）敬太郎にとっては、それがいくら「江戸」と「東京」との微細な差異のちりばめられた世界であれ、「山の手」との対照を際立たせたものであつても、そこに質的価値的な異同はない。それは、人物に対してと共通である。

自分を甚だ若く考へてゐる敬太郎には、四十代だらうが五十代だらうが乃至六十代だらうが殆ど区別のない一様の爺さんに見える位、彼は老人に対して親しみのない男であつた。（Ⅱ・八）

敬太郎の価値判断は、決して他の人物を動かさない。そのことによつて他の人間と深く関わり、相手や自分が変化するということがない。敬太郎の抱える表層的「好奇心」と、他の登場人物たちが抱える内面的「不思議」とのズレは、作者が当然気付いてゐることであつて、本来は内在化された形でしか聞えない固有の「問題」を、ここでは敬太郎の媒介によつて外化、表面化させてはゐるものの、それらを敬太郎（あるいは読者）の眼の前に並列することが作者の主要な関心であつて、その解決を試みる気持ちはさらになく、と見るべきである。

しかし、一度彼敬太郎がその弱点であつたはずの「呑気」さを失い始めると、作品そのものが大きく変質を始めるのである。それは、彼が「探偵」の対象にした人物たちが、「家族」という関係で結ばれてゐるということを知つたとき（Ⅲ・一三）から始まる。彼はこのとき、「森本」（非家族、非日常、非現実）の世界から、血縁関係にある松本や須永たち「一族」（日常的、現実的）の世界に踏み入ることになるのである。そのとき彼の冒険は彼本来の「冒険」となり、したがつてそれと同時に主客が転倒するのである。

一・四 敬太郎と須永市蔵

『彼岸過迄』では、各短篇を通じて（「雨の降る日」以後も）、ただ敬太郎の生きる時間だけが、辛うじてリニアに持続している。むろんそのことのみで、彼が主役であるのか、脇役であるのかを決定することはできないのだが、彼が「家族」の世界へと横滑りし、やがて話の「聞き役」へと納まっていくその存在の印象と共に、自身の「呑気」さを失い始めるとき、中心となる時間軸が他の人物のものに移され、それが複数となり、さらにその上を人物が前後するようになることは、彼が明らかにその生きる場所をなくしたと、生きる時間をなくしたことを表している。

そうした意味で、彼がこの小説においてその存在の理由をすでに持ち合わせていないとすれば、誰がそれを受け継いでいるのが問題となるはずである。そして敬太郎が抱えていた、〈居場所のなさ〉という彼自身に固有の本質的な問題を、「家族」的世界の中で体現している人物は、須永市蔵において外にない。とすれば、須永が必ず敬太郎の問題を引き継いでいるはずなのである。

低徊、淡い夢、好奇心といった敬太郎の軽い欲望を、須永は、停滞、現実への僻み、諦念というかたちで、重く実現してしまっている。世界の〈軽い徘徊〉を實現しているともいえる敬太郎の存在感を希薄にしてまで、逆にその欲望の不可性を生きる須永を中心にした作者の意図はどこにあるのだろうか。作者は、敬太郎を否定しているのか、須永を否定しているのか、あるいは須永を救おうとしているのだろうか。

風変わりな体験談を聞かせ大連に去った森本（が残したテスッキ）に、その人生を操られる敬太郎、眼の前にいる高木その人にはどういう対応も出来ず、彼を視界から遠ざけるために自ら場所を変えておきながら、やはりその存在に心を悩まされる須永。そしてそんな須永には関わりなく、高木は満州に去ってしまい、いつ帰って来るのかさえわからぬままである。

彼らは、二人とも現実的とはいえない人物たちの、むしろその〈不在〉によって、人生や心といったものをもてあそばされる。そのことよって初めて、森本や高木は、彼らにとって現実的な存在となるのである。

他のどの人物たちと較べても特別な自由を有している彼ら（森本、高木）には、ある種の（行動的、肉体的、社交的といった）健康さが与えられていることで共

通している。そしてこの〈健康さ〉こそが、敬太郎が森本に、須永が高木に、（自分にはないものを持つという意味で）一種の理想を見る原因になっている。

では敬太郎や須永が、彼ら自身として〈健康〉に生きる可能性は、どこにあるのだろうか。それは、たとえば敬太郎がその「教育」を捨て、須永がその「僻み」を捨てさえすれば、それで済むというような問題ではあるまい。しかし彼らは、そこに可能性があるはずだともいうように、揃って二人とも、「眺める」ことを行為として強いられているのである。

彼ら二人の「眺める」の大きな違いは、「煩瑣（わんざ）しい事」（VI・一二）の中に、見ようとしても容易に覗き見ることの出来ない「浪漫」を渴望している敬太郎に對して、見たくもないのにそこに「アイロニー」（V・一二）を見てしまう須永が、「運命」や「不思議」から目を逸すために、必死で「煩瑣（わんざ）しい事」に執着しようとしていることである。

敬太郎は自身の「浪漫趣味」によって、かえって現実世界への「出口」を見えにくいものにしてしまっており、須永はその〈懷疑趣味〉によって、生き得る世界をせばめている②。このとき、可能性の行為としての「眺める」は、ちょうど彼らのそれぞれの「眺める」を補完し合うようなかたちでなら、実現しようにも思われるのである。

「呑気」な敬太郎に須永の〈懷疑〉の視線を、深さへと誘われがちな「疑惑」の人須永に敬太郎の〈表面〉への視線を。彼らが自分のものに加えて、もう一つの視線を持ち合わせて「眺める」を實踐し得る「位置」を獲得すること。

さて、敬太郎の問題が須永に引き継がれ、その須永の理想とするところが「考へずに観る」ということなのだとすれば、実はそれは敬太郎がそうしている（いた）ところのものではなかったかということになる。これでは小説の時間（須永市蔵の）が「松本の話」VIから「停留所」IIへとつながるように、その主題さえも、まるで尻尾を飲み込む蛇のように、末尾からまた小説の冒頭へと堂々めぐりしていることになる。

だとすれば、この「彼岸過迄」の世界に外への「出口」はない。しかし、この閉じられた世界の内部にこそ、彼ら本来の「位置」があるのである。それは決して世界を、「世間」を〈超越〉し得るような、特殊な「位置」（外部）ではない。むしろ平凡な現実の地平にある「場所」である。

事実須永自身、「女の雑誌の口絵に出てゐる、ある美人の写真を」、「実物の代表として」ではなく、「たゞの写真として眺めてゐた」（VI・一二）ではなかつ

たか。敬太郎も須永も、それぞれ奥行きや深さを拒まれ、あるいは拒みつ、しかしその表面の世界そのものの混沌や美しさと一体化し得た時間があつたのだ。

天下にたつた一つで好いから、自分の心を奪ひ取るやうな偉いものか、美しいものか、優しいものか、を見出さなければならぬ。一口に云へば、もつと浮気にならなければならない。
(VI・一)

自己を滅却すること。そうさせる何物かに出会うこと。だが、そのこと自体が本當の「位置」にいないことではない。〈超越的〉な外部など何処にもありはしないのだという認識と共にそれを実践し得る「場所」に立つこと。松本のいう「浮気」とは、そうしたいわば〈超越論的〉な立場のことであらなければならない。(小説の創作の現場においては、それは語り手と作者との距離の間にある。)それは決して「救い」の場所ではない。しかし「眺める」実践は、そこへと歩み寄るための可能性の行為として試みられねばならないのである。

二 須永市蔵について

二・一 須永とその「純粋な感情」

単に彼女と僕を裸にした生れ付丈を比較すると、僕等は到底も一所になる見込みのないものと僕は平生から信じてゐた。
(V・一一)

純粋な感情程美しいものはない。美しいもの程強いものはない。(同・一二)

彼女は美しい天賦の感情を、惜気もなく夫に注ぎ込む代りに、それを受け入れる夫が、彼女から精神上の榮養を得て、大いに世の中に活躍するのを唯一の報酬として夫から豫期するに違ひない。
(同)

「活躍」とは、「肉眼で指す事の出来る権力が財力を獲」むことである。だとすれば、「千代子が僕の所へ嫁に来れば必ず残酷な失望を経験しなければならぬ」だろう。彼女は自分の要求を当然のことと思つてゐるし、要求すればかなえられると思つてゐる。しかし、ばくにはその要求に答える力がないからだ、と須永は考へる。それが「二人の間に横たはる根本的の不幸」なのだ(同)。

だが、彼はそのように「今日迄世間から教育されて来た」男なのであり、「恐ろしい事丈知つた男」なのである。須永は「常に考へてゐる」。つまり、ここでは、彼が自分でいうように「生れ付丈を比較」してゐるのではなく、「常に考へてしまふという方向に彼を押しやつた「世間」も含めた「不幸」が問われているのである(同)。

そうでなければ、なぜ「恐れない女」の「美しい感情」が、「結婚」によって「権力」や「財力」に対する〈醜い勘定〉へと汚れてしまふ、というような確信が語れるのか。

この問題は須永自身に即した形でいえば、彼が高木という第三者が介在することによって、自身の嫉妬に気付かされるという事態と正確に対応している。それは「美しい感情」を持つてゐるはずの千代子に、なぜ「技巧」(同・三一)を見ざるを得ないのか、という問題とも共通する。

高木という第三者が介在することによって、須永と千代子の関係の中には、本来的にはないはずの、別の視線、価値が入り込むことになる。そういう意味で、高木という存在は、須永にとって「世間」とみなしてよい。千代子の美しさは、それだけなら須永に自身の「僻み根性」(同・一六)を自覚させるだけであるが、高木は「世間」の介入は、打算のないはずの須永の「純粋な感情」を〈勘定〉へと汚してしまふことになるのである。

「嫉妬心だけあつて競争心を有たない」(同・二五)ことを何度も繰り返して強調しようとする須永には、自分の感情がたとえ「愛」と呼ばれるものであつたとしても、それは千代子と自分との一對一の、二人きりの、ある〈絶対的な感情〉であつて、「世間」とは関わりのないものはずだ、という気持ちがある。自分の「嫉妬」は、高い場所から「飛び下りなければ居られない神経作用と同じ物だ」(同)、それは誰か他の人物と同じ立場に立つて獲得を競う意欲とは別のものだ、なぜなら自分の感情は、そこにどんな「世間」的な〈勘定〉もないからだ。あるとすれば、それは個人的な次のような「良心」だけである。

僕も男だから是から先いつ何んな女を的に劇烈な恋に陥らないとも限らない。然し僕は断言する。若し其恋と同じ度合の劇烈な競争を敢てしなければ思ふ人が手に入らないなら、僕は何んな苦痛と犠牲を忍んでも、超然と手を懐ろにして恋人を見棄てゝ仕舞ふ積である。男らしくないとも、勇氣に乏しいとも、意志が薄弱だとも、他から評したら何うにでも評されるだらう。(略)

何方へ動いても好い女なら、夫程切ない競争に値しない女だとしか僕には認められないのである。(略)相手の恋を自由の野に放つて遣つた男らしい気分、わが失恋の瘡痕を淋しく見詰めてゐる方が、何の位良心に対して満足が多いか分らないのである。(同・二三)

ここで須永は、「愛」と「恋」とを意識的に使い分けている。「恋」に「競争心」があつたとしても、「愛」にはそれは無い、というのだ。しかし、注意すべきは、作者が千代子だけでなく、須永市蔵もまた「待つ人」であることを明かにしているという点である。

二人の間には当然、「女」として「世間的に制限された行動としての「待つ」と、「世間」の評価よりは自己の「良心」の「満足」のために、自ら規制した行動としての「待つ」の違ひがある。しかしとにか、互いに相手が自分を動かしてくれるように動くのを「待つ」しかない。二人にこそ「根本的不幸」があるのだ、ということを作者の眼は捉えている。そして、それはそのように強いことになつた「世間」を含めた「生れ付」のせいだといふのである。

須永は「僕は今迄気が付かずに彼女を愛してゐたのかも知れなかつた」(同・十)と認めはするのである。しかし、それは「世間的なレベルに並べられるようなものとしてでは決してない、という思いがある。ここには二人きりの世界で成立するはずのある「絶対的な感情」と「世間的」に「愛」と呼ばれる感情との間に奇妙にねじれた関係が存在している。

二人きりの世界においては、須永の感情はそれを「愛」だと確かめる必要がなく、また確かめることは出来ない。「須永の話」において、須永が自身の感情について「愛してゐたのかも」という言葉を見つづけることが出来たのは、千代子に「縁談」が「もう極つた」と嘘を吐かれて初めてのことであり、それを敬太郎という他人に話すことが出来たのは、高木との一件を経験した後である。つまりそこに「世間」の介入がない限り、彼は自分の感情がどんなものであるかを名指すことが出来ないのである。

しかし、「世間」の介入は、須永に自身の感情の何であるかを教えるだけではなく、その感情が生きていたはずの美しい「自由の野」から、それを「醜い勘定」から自由ではいられない汚れた場へと連れ出し、元に戻れなくしてしまうのである。彼は自分に「嫉妬心」のあることを認め、自身の感情が「愛」と呼ばれるものであることを知つたそのとき、実はすでに、自分の「美しく」「自由」な感情

をなくしてしまつていたのである。

「嫉妬心だけあつて競争心を有たない」ということの強調には、「競争心」という不純な気持ちをあくまでも認めず、「美しい」ものでも「自由」なものでもありはしないが、せめて「純粋」である「嫉妬心」なら認めようとする須永のぎりぎりの自己保全がある。それを自身の存在根拠としての「故郷」の確保だといつてもよい。

私たちが気付くのは、須永のこの「純粋な感情」への固執ぶりである。須永が「淋しいです」(VI・三)というのは、自分の出生の秘密を知つてしまつたからではない。母親だと思つていた人が母親ではなく、実の母親はすでに死んでしまつてゐることを知らされることによつて、彼は産みの母親と育ての母親という二つの存在に対して、いわば二重の「故郷」喪失を体験するのであるが、重要な点は、このとき彼はすでに自分の「純粋な感情」を諦めねばならない存在であつたといふことである。すなわち、彼の「胸」が感得する「淋し」といふものが、常になくしてしまつた後で、既に戻れなくなつてしまつた後に、初めて自身の「故郷」を発見せざるを得ないような、そうした人間の宿命に対してのものであるといふ点である③。

二・二 須永とその個人的な倫理

是程好く思つてゐる千代子を妻として何処が不都合なのか (V・一二)

「美しい天賦の感情」を持ち、「平気で自分の利害や親の意思を犠牲に供し得る極めて純粋な女」(V・七)である千代子と、「血を分けて始めて成立する通俗な親子関係を軽蔑しても差支ない位、情愛の糸で離れられないやうに、自然から確かり括り付けられてゐる」(VI・五)須永の二人は、血縁という自然を超えたる可能性を持った、いわば「純粋自然」を有している点で共通している。

しかし、須永の千代子に対する「純粋な感情」(「純粋自然」)は、「世間」の介入(「教育」)によつて汚れ死んでしまつた。もはや須永にとつてリアルなもの、自身の「嫉妬」といふ感情だけである。彼はかつて確かに実感したはずの、自分の千代子への「純粋な感情」に対して、ちょうど松本やその妻が、亡くした子供にその取り替へがきかないことを確認するのと同様に、決して戻らないうある「絶対的な感情」をそこに見ている。そして、その喪に服するともい

ように、かたくなに千代子と結婚しようとはしないのである。

須永は、母親との「情愛」についても疑いを持っていない。彼はこの「情愛」(＝「純粋自然」)を信じている。しかしこの「情愛の糸」は、千代子と結婚すれば切れてしまうはずのものとして、須永には考えられているのである。千代子と結婚させたいという母親の希望はかなえてはやりたいのだが、それは血縁という自然への「不自然」なすり寄りになるからである。

血縁からは「自由」な「自然」、須永に残された唯一の「純粋自然」を、血縁という自然への不純な人為、「小刀細工」へと収めてしまうわけにはいかない。ここに須永の個人的な倫理がある。自身の唯一の「純粋な感情」(＝「純粋自然」)をなくすことが出来ないでいる須永がいる。

たとえば松本は、そんな須永に「考へずに観る」ことを勧める。外界の一切を自然として眺めること。須永に自然が必要ならば、それが須永の「業」になると考える松本の発想に根拠がないわけではない。しかし、当然のことながら「現実」にある大自然と理念としての自然の内実の位相④とは異なる。だから松本は、須永と千代子の二人については、「天の手際で盲く行かないものを、何うして僕の方で纏める事が出来やう」(VI・一)「唯成行に任せて、自然の手で直接に発展させて貰うのが一番上策だと思ふ」(同)と、彼なりにその「自然」の位相を移した形で発言している。

個人の「内へとぐるを捲き込む性質」、「際限を知らない」「此内面の活動」(同)は、外界の自然によって緩和されるかも知れないが、二人の「運命」は「天」なる自然に任せるしかない、というのである。

「自然」や「天」はどう関わっているのだろうか。(＝須永の個人的な倫理)と

私たちは、須永が旅行先から自然を報告してきた手紙の中に、いかにも唐突な形で「天」を差し挟んでいたことに気付く。

彼の乱行はまだ沢山ありましたが、何れも天を恐れない暴慢極まるものゝみでした。僕は其話を聞いた時無論彼を悪みました。けれども気概に乏しい僕は、悪むよりも寧ろ恐れしました。僕から彼の所行を見ると、強盗が白刃の抜身を畳に突き立て、良民を脅迫してゐるのと同じ様な感じになるのです。

(VI・一一)

「無闇に金を使ふ」富豪に対して「真正に宗教的な意味に於いて恐れた」須永の感想が綴られているのであるが、彼がここで「悪」と「良」の二文字を意識的に用いていることに注意したい。

須永の「悪むよりも寧ろ恐れしました」という言葉には、「悪む」ことはむしろ「天」の仕事なのだ、人間の「善悪」については、「天」がその仕事を果たしてくれるはずである、という思いが込められており、彼はここで、自分は自然に対してはその公平性について「僻み」を持つけれども、こと「善悪」についてはそれを「天」に一任する、といっているのであり、それはつまりところ自分一人きりの倫理(＝「純粋自然」)を守ること)も、その「善悪」については「天」によって保証されるはずだ、されねば困る、という願いとひと続きのものなのである。

千代子との結婚で彼が恐れているのは、千代子の「美しい天賦の感情」「純粋な感情」が、「財力」や「権力」といった「世間」の醜にまみれてしまうことばかりではない。むしろ、田口夫婦の「世間」的な打算による「当然」も、「心身の自然」からみた千代子の健康健全さと自分の脆弱不健全さとの不釣り合いも、彼の真に恐れるところではない。「不自然」によって血縁という自然へとたどり着こうとすること(＝「悪」)を「天」が見逃すはずがない、と恐れているのである。それは須永にとって、彼に残された唯一の「不自然」である母親との「情愛の糸」をかえって切り離してしまうことになるのである。

一人きりの倫理(＝「純粋自然」)を守ること)を救済する「天」を要請する須永の姿は、自分自身が「神」である以外にないとも考え、狂気に近づく後の「行人」の「一即ち死」以外に道を見い出せなかつた『こゝろ』の先生を巡った後、再び同じ欲望を抱えて登場することになる『道草』の健三にまで続いていくことになるので、そういう意味ではまさに漱石的「問題」を持った人物像であるが、ここで作者はすでに、「信」と「不信」の境界線上で、本来は「胸」にあるはずのものを「頭」に寄り掛かって守らざるを得ない、須永のそうした一人きりの「純粋自然」を超えるものとして、それを千代子の「美しい天賦の感情」として「女」にあらかじめ与えているという点は、留意されてよいだろう⑤。

敬太郎が東京の現実には「浪漫」を発見することがなく、平凡に生きる人の心にある「不思議」示唆されたように、須永の求める「天」は、天上にはなく、素直に生きる人(＝「女」)のうちにある。漱石の課題の一つは、この意味で「運命のアイロニー」(同・一二)を見てしまった「恐れる男」(同)が、しかし如何にしてそのようなものなど見たこともない「恐れない女」(同)として生き得

るか、という問題を生きることであるともいえるのである。

二・三 須永とその「改良」

須永は、第三者が介在しない、一對一の裸の人間同士の関係をこそ、本来的な純粹で自然なものと考えており、そこに固執しているために、生き得る現実をせばめてしまっている。彼には、第三者の存在（『世間』の介入）は、自分をオリジナルな存在ではないものにするように見えている。

しかし人間の存在のオリジナル性は、そうしたいわば「純粹自然」において見いだされるのではなく、（必ずしも一對一の関係とは限らない）絡み合った他者たちとの関係の、具体的な現実の有り様そのものからしか見い出せぬものではなかつたか。千代子の「卑怯」の言葉は、須永の考え方（『頭』）に対する、そうした批判となっている。（「恐れない女」とは、一對一を人間関係の絶対的な理想として虚構しない存在者のことである。）

高木という第三者がいなければ、須永と千代子の二人の間に横たはる根本的の不幸（V・一二）は、おそらくはつきりと形をとらぬまま、少なくとも須永にとつては名指すことのできないものとして、自分の「神経だか性癖だか」（VI・一二）のせいにしてしまう外になかつたであろう。

それに対して千代子は、おそらく高木がいなくても、自分と須永との間に横たはる根本的の不幸」については、それ以前からよく見えていたであらうような描かれ方をしている。

高木を組み込んだ避暑地鎌倉での出来事は、彼女にとつて、自分と須永との関係の上に何か新しいものを発見する事件としては機能せず、したがってそこに従来からの二人の不幸な関係の確認の場となる他になかつた。

東京から戻った須永が、鎌倉で発見した自身の「嫉妬」について、それをあくまでも自分個人の、一人きりの問題として、やはり「内へ」向かおうとするのに対して、千代子がそれを「卑怯」という言葉でもって、それが取りも直さず私たち二人の問題である（だけでなく、私たちを囲む「世間」の問題でもある）のだということを描き出すことになることから、彼女が以前から二人の間に横たはる根本的の不幸」（の少なくともその一部）について、気付くところがすであつたということがわかるのである。

須永という人物は、おそらく別の「高木」が現れても、同じようにうろたえ、

同じように手をこまねいて、「内へとぐるを掻き込む」ことになるのである。そしてしかも、千代子の指摘がない限り、その「卑怯」さを生き続けるしかない男なのである。

須永は、自分の「愛」については疑わざるを得なかつたが、おそらく彼にとつて自身の「嫉妬心」だけは、疑うところのない「純粹な感情」であつた。そして、それが本当であるかぎり、彼はその「純粹な感情」が二人きりの世界で生まれたものではないことを確認し、「愛」と呼ばれるものについて、今一度自身の「胸」に問い直すことになるだろう。そしてそのときこそ、須永の自己変革への可能性があつたはずである。

しかし、彼は「愛」に対するよりは、「人間」に対する、「自己」に対する不信がある。「自然」に対する「僻み」があり、「運命」にはアイロニーを見るばかりだ。「頭」で「胸」を抑えるという「命を削る戦ひ」（V・二八）が、その原因であるのか結果であるのか、「生れ村」であるのか「教育」のせいなのか、しかしそれらは、他者との関わりの中で、須永自身が真に問おうとすることなく、彼は一人きりの世界で「とぐるを捲」いているだけなのだ。

須永は彼なりに旅行という「冒険」に出る。ここで須永は、二つの欲望を持っている。一つは、もう一度「母が恋しくな」（VI・八）れるようにという「胸」の復活であり、もう一つは、そうした「胸」も含めて、いわば「頭」と「胸」という二元論を越えるような形として、「考へずに観る」姿勢を獲得することである。しかしそうした欲望は、自己変革を目的としてはつきり意識されたものではなく、むしろこれまでの自己というものを一時棚上げし、括弧にくくってしまうことがとりあえずの目的とされているのである。

したがって、目的は達せられたかのように見えて、彼自身は変わらなかつた。千代子との関係もまた、松本のいうように「昔から今日に至るまで全く変わらない」（VI・一）。変わった（すでに変わっていた）のは、娘を亡くしたひとり松本だけである。

そもそも、人物のいわゆる「成長」を描くことを意図していないこの『彼岸過迄』には、そうした「成長」の軌跡を迎へべき「線的な時間」が存在していない。それぞれの人間がそれぞれの空間でそれぞれの時間を生きており、それは決してつながることがないばかりか、交わることさえ期待されてはいないのだ。かろうじて自分の生きる時間をリニアに持続している教太郎も、その役割を変更させられはするが、「成長」は禁じられている。

「松本の話」の機能には、須永の救済を図りたいとする作者の倫理的要求が籠められていた」とする秋山公明の指摘⑥には賛成できるが、しかし作者はおそらく同時に抱えていた別の倫理的要求（人為による救済は不自然＝悪であるという作品内における倫理。いわゆる「小説」らしい小説は書かないという作品外における倫理。）から、須永市蔵救済の欲求を追求することはしなかったという点が、むしろ『彼岸過迄』という小説（の特異性）を読むときには、重要な問題であるように思われる。

秋山氏は、須永の「旅行」における二つの方向性を持った目論見を松本の視点から一つにまとめて、しかもそれを作者が「一挙に救済する」という方向で「改良」がなされたかどうかを問うている。しかし、須永の問題は、彼の出生の秘密でも「神経だか性癖だか」の問題でもないで、「淋しいです」（Ⅵ・六）という彼の実感が示している真の「問題」に目を向けば、小説時間の推移の上で、彼が「益偏窟に傾」（Ⅴ・二）にいてることそのことについて、「頭」の「改良」がなされたかどうかということが、ことさら大きな意味を持つわけではないことがわかる。

「淋しい」問題とは、感情（＝「胸」）によって運命のアイロニーを見落とすことを危惧してしまふ「頭」を「改良」することではない。また、ただ人間の運命に対する認識の問題でもない。そうした弱点を含んだ「胸」（「頭」ではなく）によってしか感得することの出来ぬ、運命へのある種の「戦慄」についてのことである。それを「不思議」と呼んでもよい。

しかし、むしろ注意すべきは、作者がここ『彼岸過迄』においては、その問題を誰にも共有させていないという点である。子供を「不思議」によって亡くし、「胸」に「不思議」を感じているはずの松本が、須永の問題を共有できず、須永もまた松本の問題を共有できないのである。彼らはまさしく須永のいうように「世の中にたった一人立つてゐる」（Ⅶ・六）。彼らだけではない。登場人物の誰もが「たった一人」なのである。

『彼岸過迄』において、登場人物たちが「成長」を禁じられていることは、当然彼らが孤立させられていることと密接な関係がある。彼らのそれぞれに内在する固有の「問題」は、教太郎の存在によって、外化、表面化することになるのだが、しかしそのことは、それによって「問題」が一般化されたということの意味するわけではない。

彼らが「問題」を共有することが出来ないのは、それぞれの「経験」（たとえ

ば、子供を持ったことがあるかないか）が異なるというだけでは十分ではない。それはおそらく、「恐ろしい事」（Ⅴ・一二）を知っているかいないかに関わっている⑦。そして、この「恐ろしい事」というのは、一般に誰でもが経験可能な出来事として、明示化され得るような性質のものではないのだ、と作者はいうのである。

それは、「特殊」な経験のことをいっているのではない。単独に固有の、個別のなかたちでしかあり得ない性質のものであり、それ故に逆説的に普遍性を持ち得るような、ある「事件」として考えられているのである。

漱石はかつて、『思ひ出す事など』において、次のように書いている。

かく単に自活自営の立場に立つて見渡した世の中は悉く敵である。自然は公平で冷酷な敵である。社会は不正で人情のある敵である。もし彼对我の観を極端に引延ばすならば、朋友もある意味に於て敵であるし、妻子もある意味に於て敵である。さう思ふ自分さへ日に何度となく自分の敵になりつゝある。疲れても已め得ぬ戦ひを持続しながら、愕然として独り其間に老ゆるものは、見慘と評するより外に評しやうがない。（一九）

人間に対するこうした認識を持っている作者が、松本の須永救済の欲求に乗じて、その欲望を安易に模倣してしまうことには、少なからず無理があるのである。（たとえ当時はこの認識を、「急に病気が来て顛覆した」（同）のたととしても）作者はここ『彼岸過迄』においては、この「自然」のようにただ「公平で冷酷」に登場人物たちを眺めているだけなのである。

作者に時間錯誤があったのかも知れない。が、むしろ『彼岸過迄』の「根本的の不幸」とは、作者自身が松本による須永救済の「欲求」に従ってしまったのかどうかという点ではなく、須永が相対化し得ていたはずの松本の「認識」（考へずに観る）のほうに寄り添ってしまうことを許した点にある。というべきであろう。須永の「浮気」が、松本のもとに報告してきた程度に自然を「眺める」ということであるならば、それが「頭」の「薬」にはなっても、「胸」の問題の解決にはならないということは、誰よりも作者その人が気付いていたはずである。

須永を救済する道は、「通俗な世間から教育されに出た人間」（Ⅶ・二）の考えている「浮気」ではなく、「在来の社会を教育する為に生まれた男」（同）が、その本来の目的の実現へと向かうべく、徹底された「浮気」の実践でなければな

らない。「家庭的な」「高等遊民」松本は、「血縁」や「家族」さえ否定せざるを得ない須永の、彼の個人的な倫理、一人きりの「自然」が、他者と出会うことの出来ぬまま、「永久に流転して行く」（結末）のをただ見守ればよい。しかし作者は、それに「位置」を与える戦いを須永に強いなければならぬ。

註

- ① 同じ所を引いて、山田有策（『彼岸過迄』—敬太郎をめぐる— 別冊國文學「夏目漱石必携Ⅱ」 學燈社 昭和五七・五）に、「この発言はまず第一に敬太郎の成長を物語っている」、そしてこの「方法」は「須永と千代子の関係への一つの批評」であり、また敬太郎の「冒険」の終焉を意味し、さらに「この段階に到るまでの小説の方法に対する作者自身の自嘲がこめられているかも」の指摘がある。敬太郎の「冒険」について、そこにいくらかの「成長」を見、さらなる「成長」を期待する読み方について、私は山田氏と意見を異にするが、他の意見については賛成である。特に「作者自身の自嘲」に関しては、おそらく漱石長編作品の構成的破綻の原因の一つには、こうした創作方法への自己批評的視点が絡んでいるのではないか、という問題を示唆されて、私には興味深い。憶測を一步進めるなら、作者の生活上の倫理Ⅱ方法と芸術上の倫理Ⅲ方法が作品の上で一つに統一される形で試みられようとするとき、破綻が生まれているように思われる。
- ② 「しかし自分のつくった幻を追いかけて一人相撲をしているのは敬太郎だけではない。須永もまたそうなのだ。敬太郎を駆りたてるのは敬太郎の浪漫趣味だったが、須永を追い込むのは、須永の自意識であり、自尊心である。」とする伊豆利彦（『彼岸過迄』論序説—講座夏目漱石—第三卷 有斐閣 昭五六・一一）の指摘がある。
- ③ 「たゞ不思議といふより外に云ひ様がない」（Ⅳ・四）かたちで子供を亡くしている松本は、しかしそんな須永の認識に気付いていないように見える。松本が須永の「淋し」さに触れ得ていない点については、早くに指摘がある。たとえば、高木文雄「須永市蔵」（『漱石文学の支柱』 審美社 昭四六・一一）
- ④ 相原和邦「畏怖のモチーフ—『彼岸過迄』」（『漱石文学の研究』第二部第七章 明治書院 昭和六三・十）
- ⑤ 宵子の「骨上」の場面（Ⅴ・七）で、次のような千代子と須永のやりとりがある。
- 「（略）ぢや妾なんか何うしたの。何時子供持った覚えがあつて」「あるか何うか僕は知らない。けれども千代ちゃんは女だから、大方男より美しい心を持つてゐるんだらう」
- ここで、須永は「女」に「経験」を問わず、アブリオリに「美しい心」を与えている。
- ⑥ 秋山公男「『彼岸過迄』試論」（『漱石文学論考』 『彼岸過迄』第一章 桜楓社 昭六二・一一）
- ⑦ この点に関しては、⑤でのやりとりを取り上げて「このことについて千代子は深く考えることができない。須永もむろんわからない。しかし、彼は盲者を見て身を隠し、宵子の骨を見て、ただ蒼白い顔をして口もきかず鼻をすすりもしなかっただけである。」とする平岡敏夫（『彼岸過迄』論—青年と運命— 『漱石序説』 塙書房 昭五一・十）の指摘が示唆的である。

ナノメータ変位計測光ファイバヘテロダイン干渉計プローブ

中谷 登*・山田朝治*・阪部俊也

Optical Fiber Heterodyne Interferometer Probe for Measurement of Displacement in Nanometer Order

Noboru NAKATANI *, Tomoharu YAMADA * and Toshiya SAKABE

計測自動制御学会論文集, 第25巻, 第8号, (平成元年—8), P841~846

近年, 半導体産業をはじめとして精密機械産業でのナノメータ領域の微小変位測定が重要になっている。この計測に有効な手段である光ヘテロダイン干渉法に光ファイバを用いることは, フレキシビリティが高いことから実用上の意義は大きい。ところが光ファイバを用いた光ヘテロダイン干渉計は, 光ファイバ光路での外乱の影響を受ける問題があり実用化を拒んでいる。そこで本研究では, 外乱除去ができる光ファイバヘテロダイン干渉計を構成した。この光学系をFig. 1に示す。本光学系の特徴としては, 周波数シフトされた二つの光は, 光ファイバ射出端面光と物体により反射された光でビート信号を形成し, 二つのビート信号が同一光路を経て形成されることから, 光ファイバ光路途中での影響は相殺され, 変位に対する位相変化は2倍となることにある。また, 光ファイバ射出端面を20%反射率の誘電体多層膜でコーティングすることにより, SN比が向上し, ナノメータの変位測定を可能にした。

微小変位測定として積層型圧電素子(PZT)の振動面の振動変位を測定した結果をFig. 2に示す。触針式あらさ計(タルサーフ)による検定の結果, PZTの供給電圧1V当たり12nmの変位をすることから, この検定直線と良い一致を示した。このことから, サブオングストロームの変位測定が可能であることを示した。

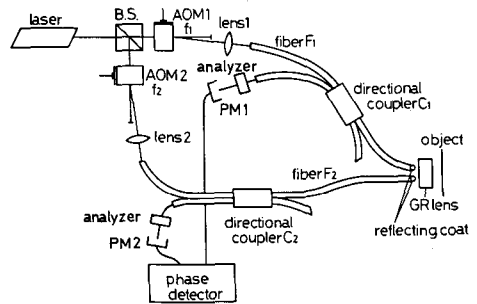


Fig. 1 Schematic diagram of the optical fiber heterodyne interferometer probe free from external disturbance.

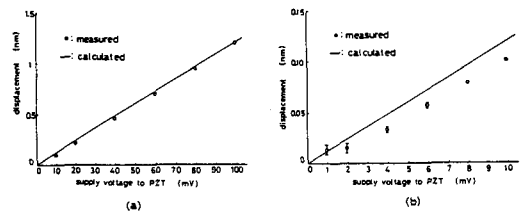


Fig. 2 Out-of-plane displacement of PZT. (a):Supply voltage of PZT is from 100 mV to 10 mV, (b):supply voltage of PZT is from 10 mV to 1 mV.

* 大阪大学工学部精密工学科

回転水中紡糸法における熔融金属ジェットの冷却と凝固

島岡三義・大 中 逸 雄*

Cooling and Solidification of Molten Metal Jet in the In-Rotating-Water Spinning Process

Mitsuyoshi SHIMAOKA and Itsuo OHNAKA

日本金属学会誌, 第53巻 第6号 (1989), p.621~627.

回転している冷却水中に熔融金属ジェットを噴射し、急冷凝固させる回転水中紡糸法によって、円形断面を有する結晶質細線や、アモルファス金属細線が製作されている。本紡糸法における冷却速度の見積りや、本法の制御や改善に関する基本的知見を提示するために、冷却水の流れの様相、細線の凝固組織を調べ、ジェットの輝度分布を考慮した温度解析を行った。

熔融 $\text{Cu}_{55}\text{Be}_{11}\text{Fe}_4$ (at%) 合金ジェットを毎分300回転する内径500mmのドラム内に、遠心力によって形成された約20mm深さの水層に、噴射圧0.3MPa、水層へのジェットの入射角を1.13radとして噴射した。

ストロボ写真によって、熔融金属ジェットやジェットに似せた非加熱ステンレス細線周りに冷却水の剝離が観察された。ステンレス細線軸方向の冷却水の剝離域は、細線と冷却水の濡れ性が悪化するにつれて広がる傾向がみられた。熔融金属ジェット周りに形成される冷却水の剝離域は、強制対流膜沸騰熱伝達域と考えられ、濡れ性はこの剝離域の長さに影響をおよぼすようである。

Cu-Be-Fe 合金細線のデンドライト2次アーム間隔は冷却水サブクール度の減少とともに広くなり、噴射温度の影響は小さかった。2次アーム間隔から推定される凝固区間の平均冷却速度はおよそ 10°K/s 程度であり、計算値ともほぼ一致した。デジタル計測された印画紙上のジェット輝度から、ジェットの相対的温度変化がある程度推定できることがわかり、強制対流膜沸騰熱伝達に関する Epstein and Hauser の評価式が、本紡糸法におけるジェットの伝熱問題に対しても、ある程度適用可能と考えられた。

温度解析結果の一例をFig. 1に示す。本合金の場合

には、剝離膜形成域での冷却は急速ではなく、ジェットの輝度から推定される温度との比較から、100K以上の大きな過冷はないものと考えられる。熔融金属ジェットの急冷凝固を望むときは、剝離膜形成域通過中にジェットの温度が液相線以下に下がらないように、ある程度高温から噴射することが重要と考えられる。

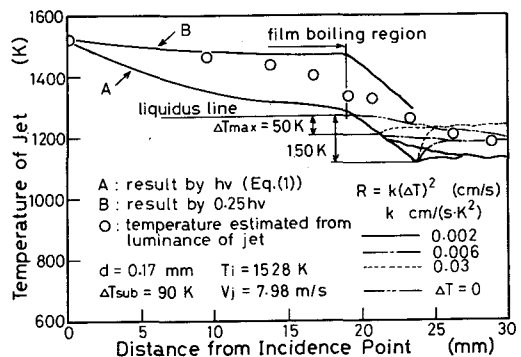


Fig. 1 Cooling curves of molten metal jet in rotating water layer (Ejection temperature of the melt: 1528K)

* 大阪大学工学部材料開発工学科

空気圧シリンダの定速駆動に関する研究

宮田 慶一郎*・花房秀郎*・早川恭弘

Studies on a Constant Speed Drive of a Pneumatic Cylinder
Keiichiro MIYATA, Hideo HANAFUSA, Yasuhiro HAYAKAWA

油圧と空気圧 (日本油空圧学会誌), 第20巻第3号 (平成1-5), P. 66-72

空気圧駆動は自動化、省力化の一分野として重要な役割を果たして来ており、近年ではより確実で高精度の動作が要求されつつある。しかし現状では、実際に用いられている駆動系は空気圧シリンダとオンオフ弁および絞り等による開ループ方式が多く、このような駆動系についても、系の構成パラメータおよび駆動方式と駆動特性との関係を明らかにし、望ましい特性を実現していく必要がある。

本研究ではまず運動方程式と圧力変化式に基づいて、固定絞りをを用いて定速駆動を実現するための条件を明らかにし、シリンダの給気側と排気側の2つの絞りをともに適切に定めることが必要であることを示した。

つぎに始動時に行過ぎの小さい速度応答が得られる給気側絞りの最適値が存在することを数値計算から明らかにし、駆動条件と速度応答特性との関係についても検討を行った。

無次元化した2乗誤差積分 ISE の値を図1に示す。無次元化の基準値には速度が始動時の加速度で直線的に目標速度Vまで変化すると仮定したときの速度の2乗誤差積分を用いた。負荷および速度が小さい場合には ISE はほぼ1であるが、これらが大きくなると1より小さくなる。これは目標速度に達するまでの時間が長くなり、その圧力差による力で加速されるためである。

最後に実験により、本方法により良好な定速駆動が行えることを示した。実験結果の1例を図2に示す。速度の応答波形をみると、わずかにオーバーシュートが見られるが短時間で定速駆動が実現されている。ISE 最小の基準で絞り値を決定した場合、立上り時間を短くして若干のオーバーシュートを許容するような速度波形となるた

め、摩擦力が変動すると小さなオーバーシュートが生じやすい。オーバーシュートを生じないようにするには絞り値を最適値より小さい値に設定すればよい。

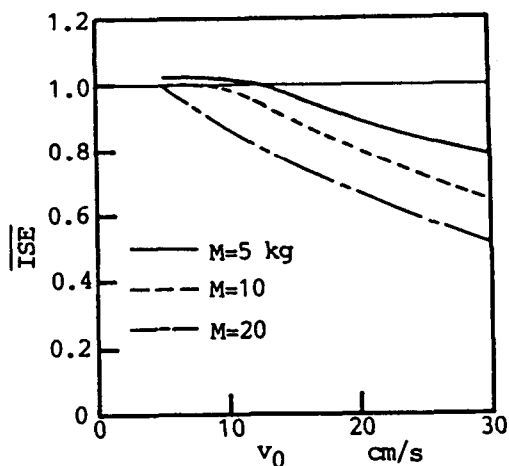


図1 速度の無次元化2乗誤差積分

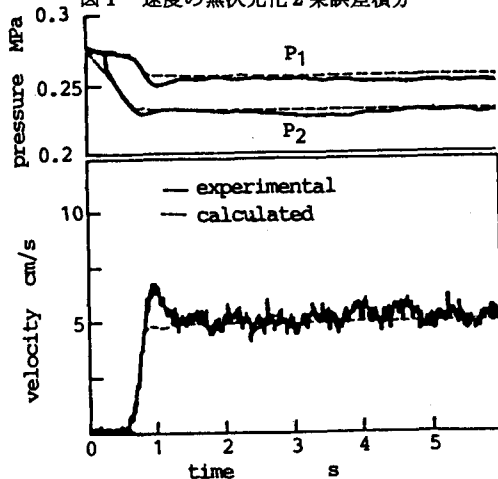


図2 実験結果

* 立命館大学理工学部情報工学科

チップブレーカに関する研究

—広域型チップブレーカの乾式切削における切削性能—

長谷川嘉雄*・花崎伸作**・藤原順介**・和田任弘

Study on Chip Breaker

—Performance of New Chip Breaker in Dry Turning—

Yoshio HASEGAWA, Shinsaku HANASAKI, Junsuke FUJIWARA and Tadahiro WADA

精密工学会誌, 第54巻, 10号 (昭和63-10), p. 1975-1980

今までに、広範囲の切削条件で切りくず折断可能なチップブレーカを開発し、さらにこのチップブレーカの切りくず折断機構を明らかにした。本論文では、このチップブレーカ付きチップを用い各種の鋼を乾式切削した場合の切削性能について報告する。

実験に使用した工作機械は大隈鉄工所製L S型実用高速旋盤に無段変速装置を取付けたものである。使用工具は市販の超硬合金P10種製TNGA160304 (3角形, コーナ半径 0.4mm) チップをETGMR1616H32型ホルダに取付け、図1に示す形状のチップブレーカを付与したものである。表1に示す切削条件で外周旋削を行い、切りくず形状、仕上げ面粗さ、切削抵抗を調べた。

次に、本研究で得られた主な実験結果に付いて述べる。図2は、本チップブレーカ付きチップを用い各種の鋼を乾式切削した場合、どのような形状の切りくずが発生するかを切込み-送り平面に示したものである。図は精機学会切削性専門委員会の記号によって表示されている。また、図2 (a) 中に示す破線 (a), 一点鎖線 (b), 実線 (c) は、それぞれ仕上げ切削用のネガティブリード形、軽切削用の平行溝形、中・荒切削用の平行溝形チップブレーカ付チップを用いSCM440を乾式切削した場合の切りくず折断限界を示し、これらの曲線で囲まれた領域の外側では切りくずは折断されない。被削材がSS41の場合、すでに報告したように、図2で示すすべての実験点で切りくずは折断された。これに対し、SS41以外の鋼の場合、切りくずが折断されない条件 (送りと切込みの組合せ) が存在するが、従来のチップブレーカに比

べ広範囲の切込みと送りに対して切りくずは折断されている。

以上のことより、切込み0.1~3.0mm, 送り0.05~0.51 mm/revの範囲で、本チップブレーカはSUS304, SCM440, S55C, SK5 の鋼の切りくず折断に対して有効に作用することがわかった。

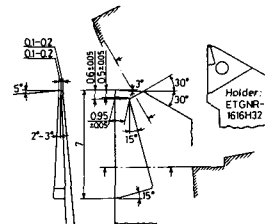


図1 広域型チップブレーカ

表1 切削条件

Cutting speed V m/s	3.0(SS41), 2.5(S55C), 2.2(SCM440, SUS304, SK5)
Feed rate S mm/rev	0.05-0.51
Depth of cut a mm	0.1-3.0
Cutting method	Dry

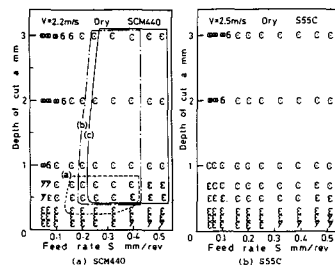


図2 種々の切込みと送りにおける切りくず形状

* 摂南大学工学部

** 大阪大学工学部

Lipophilic Thiacycrown Ether Derivatives Selective as Silver Ion Neutral Carriers

Masatoshi Oue, Kazuhiro Akama,* Keiichi Kimura,*
Minoru Tanaka,* and Toshiyuki Shono*

Journal of Chemical Society, Perkin Transaction 1, 1989, 1675.

Recently, dithiacrown ether, 1,4,7-trioxa-10,13-dithiacyclopentadecane, was employed as a neutral carrier of Ag^+ -selective electrode. We also have reported that dodecyl-monothia-16-crown-5, which contains only one sulfur donor atom and possesses lipophilic group in the crown ring, reveals high selectivity for Ag^+ . This paper describes syntheses of a series of new lipophilic thiacycrown ether derivatives, which contain one or two sulfur atoms and three or four oxygen atoms. The properties and ion-selectivities of the thiacycrown compounds as neutral carriers for Ag^+ -selective polymeric membrane electrode are also discussed.

Five kinds of lipophilic mono- or dithia crown ether were synthesized. In some compounds, a dodecyl group was introduced to the diols before the cyclization. 2-Dodecylpropane-1,3-diol was obtained by reduction of the reaction product of diethyl malonate with dodecyl bromide. The cyclization reaction by the diiodide and the dithiol was carried out under a variety of conditions and methods, but the cyclization yields by the method of Butler and Kellogg using Cs_2CO_3 were better than the methods using other base (Na_2CO_3) and Williamson reaction. 3-Dodecyl-1,5,11-trioxa-8,14-dithiacyclohexadecane was prepared from 5-dodecyl-3,7-dioxanonane-1,9-diol ditosylate and 2-mercaptoethyl ether sodium salt, because the deprotonation of thiol could be easily done with NaOH . The crude products containing many by-products were purified by silica gel chromatography to prevent decomposition of the resulted thiacycrown ethers by distillation. We had to keep some of these purified products under a nitrogen atmosphere, because they were unstable under ambient atmosphere. Isolation of Ag^+ -thiacycrown ether complexes as crystals was possible in a few case. The Ag^+ -thiacycrown ether found to be 1:1 Ag^+ /crown complexes by elemental analysis.

Electrode responses for Ag^+ -selective electrodes based on Ag^+ -complexes of thiacycrown ethers are shown good for Ag^+ . Nernstian response to Ag^+ activity change in the wide range. Selectivity coefficients for Ag^+ with respect to other cations in the Ag^+ electrodes are summarized. The both Ag^+ electrodes of the mono- and dithiacrown ethers are highly Ag^+ selective. The selectivity coefficients for Ag^+ with respect to the heavy and transition metal ions are less than 10^{-3} . Also, the selectivity coefficients for Ag^+ with respect to alkali and alkaline-earth metal ions are below 10^{-4} , their interference being negligible. Interestingly, the selectivities in the Ag^+ electrodes of the thiacycrown ether are the quite similar to each other in spite of difference in the number and displacement of sulfur atoms among the thiacycrown ether derivatives. Most of the thiacycrown-based Ag^+ -selective electrodes are superior to the conventional Ag_2S -based Ag^+ -electrodes in the selectivity, being quite promising for practical use.

* Department of Applied Chemistry, Faculty of Engineering, Osaka University

Silver Ion-Selective Polymeric Membrane Electrode Based on Lipophilic Monothiacrown Ether

Masatoshi Oue, Kazuhiro Akama,* Keiichi Kimura,* Minoru Tanaka* and Toshiyuki Shono*

Analytical Science, 5, 165(1989).

We have attempted to design highly soluble thiacycrown ethers, which possess a lipophilic group such as a dodecyl one as the neutral carrier of Ag^+ -selective electrode. The Ag^+ -selective electrode based on a lipophilic monothiacrown ether, 6-dodecyl-1,4,8,11-tetraoxa-14-thiacyclohexadecane or dodecyl-monothia-16-crown-5 **1**, has proved to possess high ion selectivities, emf stability, electrode durability, and reproducibility. This paper describes membrane optimization for the Ag^+ -selective electrode based on lipophilic monothia-16-crown-5 and practical applications of the optimized Ag^+ -selective electrode to Ag^+ determination.

The increased lipophilicity of the dodecyl-thiacrown ethers seems to allow the neutral carriers to stay stably in the membrane. The Ag^+ electrode using Ag^+ -complex instead of **1**, however, gave much better electrode response and stability. The response time for the Ag^+ -selective electrode based on the Ag^+ -**1** complex was within 30 sec. The selectivity coefficients do not depend on the kind of membrane solvents. The interference by the metal ions except for Hg^{2+} is negligible in any of the membranes with different membrane solvents. However, in the membrane of TEHP, the electrode response was interfered with by H^+ , of which the selectivity coefficient was even larger than that of Hg^{2+} . Generally, the selectivity coefficient of Hg^{2+} for the NPOE membrane system was superior to those for the other membrane solvent systems, although the electrode sensitivity for the NPOE system was not very good at high Ag^+ concentration range ($\log a_{\text{Ag}^+} > -2.5$). Similar tendency for the selectivity coefficients was observed in the DOP and DOS membrane systems, which showed the theoretical Nernstian behaviors at wide Ag^+ activity ranges. DOP, which was superior to DOS in the Ag^+ selectivity, was employed here as the best plasticizer. The pH dependence of emf reading for the Ag^+ -selective electrode is carried out. High pH values ($\text{pH} > 7.5$) in the sample caused some emf decrease probably because of Ag_2O precipitation with OH^- . On the other hand, at low pH ranges ($\text{pH} < 2$) emf values also decreased because of protonation of the thiacycrown ether, which in turn causes loss of cation-complexing ability. The suitable pH ranges for the practical measurements in the Ag^+ electrode based on Ag^+ -**1** complex were evidently wide compared to those for previously reported Ag^+ electrodes. Attempts were made to determine Ag^+ in artificial aqueous samples by using the Ag^+ -selective electrode based on Ag^+ -complex. Quantitative analyses were carried out by potentiometric titrations of halogen ions with Ag^+ , and that of Ag^+ with halogen ions. The titration curves revealed ideal S-shape in which the emf changed drastically around the end point. Another application of silver ion determination by a standard addition method, called Gran's plot method, was investigated with the Ag^+ -selective electrode.

* Department of Applied Chemistry, Faculty of Engineering, Osaka University

Gas-Phase Mixing in Bubble Columns

Mikio KAWAGOE, Tsutao OTAKE¹⁾ and Campbell W. ROBINSON²⁾

Journal of Chemical Engineering of Japan Vol. 22, No. 2, 136-142(1989)

Bubble columns are widely used in the chemical and biochemical industries. Although it is known that gas-phase mixing as well as liquid-phase mixing is a significant factor in the design and scale-up of bubble columns, gas-phase mixing has not been studied as extensively as liquid-phase mixing. The main reason for this is the difficulty in measuring the residence time distribution (RTD) of bubbles because of the time delay in the detector when measuring tracer concentration and the large end effect in the gas-liquid disengagement section at the top of the bubble column. In most past investigations, a one-dimensional axial dispersion model has been applied to gas-phase mixing. Recently, Molerus et al pointed out that the applicability of the one-dimensional model is questionable.

In the present work, RTD of gas phase in bubble columns were obtained by excluding end effects from observed responses to pulse inputs of tracer, using Fourier transforms. Based on the behavior of the RTD, a gas-phase mixing model was proposed in which bubble swarm was assumed to be composed of two bubble groups, one in the core region and the other in the annular region of the column. As a result, it was found that about 80% of all the bubbles are rising in the core region and that gas-phase mixing is more intensive in the core region than in the annular region. Axial dispersion coefficients in each bubble group were correlated empirically.

The model parameters obtained are shown in the

following figures.

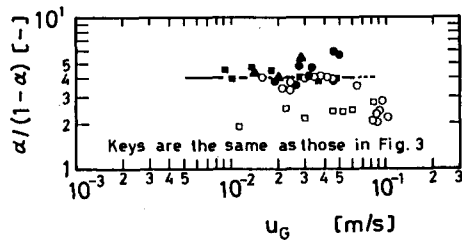
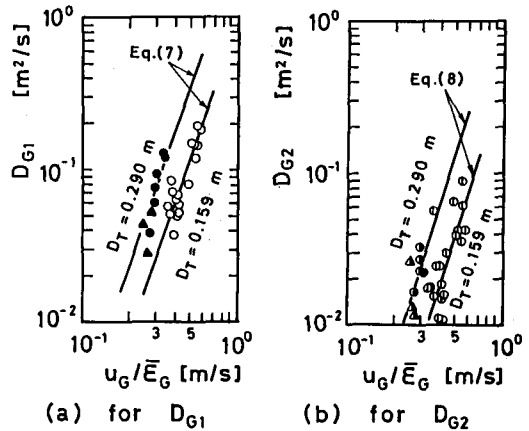


Fig. 1 Relation between $\alpha/(1-\alpha)$ and u_G



(a) for D_{G1} (b) for D_{G2}

D_{G1}	D_{G2}	D_T [m]	Systems
○	⊕	0.159	Water
□	⊗		CMC aq.
●	⊙	0.290	Water
▲	△		Na ₂ SO ₄ aq.
■	⊠		CMC aq.

Fig. 2 Correlation of D_{G1} and D_{G2} as a function of u_G / ϵ_G with parameter of D_T for water and sodium sulfate solution systems

1) Dept. of Ind. Chem., Chubu University

2) Dept. of Chem. Eng., University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada

教官研究活動一覧表

(機械工学科)

プロトタイプ新素材データベース
岩井保善(分担)
データベース振興センター
(平成元年3月)

放物面から反射する衝撃波の収束
岸下晴亮, 西田迪雄(九大・工)
衝撃工学シンポジウム
(平成元年9月30日 講演)

ダイレス引抜きによる鋼管のテーパ加工
小島耕二
日本塑性加工学会関西支部第69回塑性加工懇談会
(昭和63年10月20日 講演)

外乱除去型光ファイバ干渉センサによる
Photothermal Heterodyne Spectroscopy
中谷 登, 門口哲也, 稲垣 潤, 山田朝治(以上, 阪大・工), 阪部俊也
第49回応用物理学会学術講演会
(昭和63年10月7日 講演)

端面コート光ファイバを用いたプローブ型
ヘテロダイン干渉計
中谷 登, 門口哲也, 山田朝治(以上, 阪大・工),
阪部俊也
第2回光波センシング技術研究会
(昭和63年12月15日 講演)

フォトサーマル効果を用いた流体の速度と
濃度の測定—外乱除去型光ファイバ干渉プローブ
による—
中谷 登, 稲垣 潤, 山田朝治(以上, 阪大・工),
阪部俊也
第6回流体計測シンポジウム
(平成元年1月24日 講演)

ヘテロダイン干渉法光ファイバセンサの非
線形性の除去
中谷 登, 門口哲也, 山田朝治(以上, 阪大・工),
阪部俊也
第36回応用物理関連連合講演会
(平成元年4月3日 講演)

光ヘテロダイン干渉センサにおける非線形
性の除去
中谷 登, 山田朝治(以上, 阪大・工), 阪部俊也
第3回光波センシング技術講演会
(平成元年6月15日 講演)

ナノメータ計測光ファイバヘテロダイン干
渉計プローブ
中谷 登, 山田朝治(以上, 阪大・工), 阪部俊也
計測自動制御学会論文集, 25-8(平成1-8),
841~846

A Photothermal Verocimeter using an
Optical Fiber Heterodyne Interferometer
free from External Disturbance
N. Nakatani(Osaka Univ.), J. Inagaki(Osaka
Univ.), T. Yamada(Osaka Univ.), T. Sakabe
Proc. of the 3rd Int. Conference on Laser Anemometry
Advances and Application, (Wales)1989.

回転水中紡糸法における熔融金属ジェットの
冷却と凝固
島岡三義, 大中途雄(阪大・工)
日本金属学会誌, 35-6(平成1-6), 621~627

最近のヨーロッパにおける冷鍛の発展動向
について(第21回ICFG総会報告)
関口秀夫
日本塑性加工学会鍛造分科会
(平成元年2月14日 講演)

冷間ロール成形機による(29)鋼管コーナ部の機械的性質

関口秀夫, 北脇岳夫 (東洋特殊鋼業株), 木村貞夫
(東洋特殊鋼業株)

平成元年度塑性加工春季講演会
(平成元年5月19日 講演)

加工熱処理による炭素鋼の超微細化について

関口秀夫
日本鉄鋼協会鉄鋼基礎共同研究会
(平成元年6月23日 講演)

階層フィードバック制御則を用いた空気圧駆動系の位置制御

宮田慶一郎, 川村貞夫, 石田公成, 花房秀郎 (以上,
立命館大・理工), 早川恭弘
平成元年春季油空圧講演会
(平成元年5月25日 講演)

空気圧ゴム人口筋の特性と制御

宮田慶一郎, 花房秀郎, 白石圭哉 (以上, 立命館大・
理工), 早川恭弘
ロボティクス・メカトロニクス講演会
(平成元年6月2日 講演)

ペローズを用いた空気圧グリッパの把持制御に関する研究

宮田慶一郎, 花房秀郎 (以上, 立命館大・理工), 早
川恭弘
システム制御情報学会第2回インテリジェントFAシ
ンポジウム講演会
(平成元年7月21日 講演)

ペローズを用いた空気圧式グリッパの制御と挿入作業への応用

宮田慶一郎 (立命館大・理工), 早川恭弘
計測自動制御学会第28回学術講演会
(平成元年7月25日 講演)

空気圧シリンダの定速駆動に関する研究

宮田慶一郎, 花房秀郎 (以上, 立命館大・理工), 早
川恭弘
日本油圧学会誌, 20-3, (平成1-5), 66~72

学生の多様化に応じた教育志向

宮本止戈雄
関西工業教育協会高専部会
(昭和63年11月25日 講演)

粘弾性流体の非定常流動に関する研究

中村喜代次 (阪大・工), 森 教安, 小西喜郎 (阪大・
工), 今西秀樹 (阪大・工)
日本繊維機械学会第42年次大会
(平成元年6月8日 講演)

Flow Visualization and Heat Transfer Experiments in a Duct with a Staggered Array of Cylinders

M. Yao, M. Nakatani, K. Suzuki (Kyoto Univ.)
Experimental Thermal and Fluid Science 2, (1989),
193~200.

チップブレーカに関する研究

一広域型チップブレーカの乾式切削における切削性能—
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
精密工学会誌, 54-10, (昭和63-10), 1975~1983.

高送り外周旋削可能な突切りバイトに関する研究

和田任弘
日本機械学会東海支部岐阜地方講演会
(平成元年7月14日 講演)

(電気工学科)

光電子工学の基礎

高橋晴雄, 京兼 純, 谷口 匡 (和歌山高専), 西村
萬平 (舞鶴高専), 林 昭博 (神戸市立高専), 他

コロナ社（昭和63年11月出版）

オプトロニックS形負性抵抗特性を用いた 光ファイバセンサ回路

土井滋貴, 山本善啓, 高橋晴雄

昭和63年電気関係学会関西支部連合大会

（昭和63年11月25日 講演）

マルチスケール表現を用いた信号処理

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）

システム制御情報学会第2回シグナル・システム・コ
ントロール（SSC）シンポジウム

（平成元年1月24日 講演）

ニューラルネットの信号処理への応用

井上康博, 土井滋貴, 高橋晴雄

大阪科学技術センター第5回ソフトウェアコンファレン
ス

（平成元年3月9日 講演）

水中情報伝送のための信号処理の研究 その5

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64年度春季研究発表会

（平成元年3月16日 講演）

Scale-Seace filtering on the Underwater Information Transmission

S. Doi, H. Takahashi, M. Matsuda (Osaka
Electro-Communication Univ.), E. Shimizu (Osaka City
Univ.)

Ultrasonics International' 89 (Spain)

（平成元年7月4日 講演）

超電導エネルギー貯蔵装置による模擬電力 システムの安定化制御実験

三谷康範（阪大・工）, 伊瀬敏史, 村上吉繁（阪大・
工）, 辻 毅一郎（阪大・工）

電気学会論文誌, D, 108-11, (昭和63-11), 995
~1002

超電導電力貯蔵用能動形フィルタの高調波 補償特性と動特性

王 兆安, 松原為敏, 村上吉繁（以上, 阪大・工）,
伊瀬敏史

電気学会論文誌, D, 108-12, (昭和63-12), 1107
~1114

SIサイリスタPWM変換装置によるSM ESの有効電力・無効電力制御

菱井隆之（阪大・工）, 伊瀬敏史, 村上吉繁（阪大・
工）

平成元年電気学会全国大会No. 501（平成元年4月6
日 講演）

SIサイリスタを用いたPWMコンバータ によるSMESの制御

伊瀬敏史, 菱井隆之, 王 兆安, 村上吉繁（以上, 阪
大・工）

第82回パワーエレクトロニクス研究会例会

（平成元年4月22日 講演）

SIサイリスタを用いた電流型PWM変換 装置によるSMESの制御

伊瀬敏史, 菱井隆之, 王 兆安, 村上吉繁（以上, 阪
大・工）

電気学会静止器研究会 SA-89-16

（平成元年6月29日 講演）

電流型アクティブフィルタの回路設計と模 擬電力システムにおける補償特性

王 兆安（阪大・工）, 伊瀬敏史, 村上吉繁（阪大・
工）

電気学会電力技術研究会 PE-89-167

（平成元年7月21日 講演）

(情報工学科)

(平成元年 8 月 29 日 講演)

大容量コンデンサーを用いた物理実験

浅井文男

第30回高等学校教育研究大会

(昭和63年10月22日 講演)

大容量コンデンサーを用いた物理実験

浅井文男

広島大学付属福山中・高等学校中等教育研究紀要

第29巻 (1989. 3), 29~36

印影パターン照合に影響する要因に関する
実験的検討

上田勝彦

電子情報通信学会論文誌 (D-II), J72-D-II-

1, (平成1-1), 66~75

マルチプロセッサ時分割システムにおける
負荷分散アルゴリズム

山井成良, 下條真司 (阪大・基礎工), 宮原秀夫 (阪大・基礎工)

電子情報通信学会論文誌 (D-I), J72-D-I-2

(平成1-2), 75~82

A Process Dispatching Algorithm on
Distributed Time Sharing Systems
by Monitoring Network

N. Yamai, S. Shimojo (Osaka Univ.),

H. Miyahara (Osaka Univ.)

1989 Joint Technical Conference on Circuits/
Systems, Computers and Communications

(平成元年 6 月 26 日 講演)

An Efficient Enumeration Algorithm of
Parses for Ambiguous Context-
Free Languages

N. Yamai, T. Seko, N. Kubo (Sharp Co.),

T. Kawata (Sharp Co.)

International Workshop on Parsing Technologies
'89Automount — ファイルシステム自動マウ
ントプログラマーの紹介

山井成良

日本UNIXユーザー会 (関西) 9 月次UNIX研究会

(平成元年 9 月 26 日 講演)

階層化コホーネンネットの単音節認識への
応用小澤誠一, 堤 一義 (神戸大・自然科学研究科), 松
本治彌 (神戸大・工)

システム制御情報学会第33回研究発表講演会

(平成元年 5 月 18 日 講演)

An Extended Pipelined Logic Simulator

Itthichai Arungsrisangchai, Takumi Okamoto, Isao

Shirakawa (Osaka Univ.), Tadashi Seko

JTC-CSCC'89

(平成元年 6 月 26 日 講演)

(化学工学科)

Photocatalytic Bactericidal Effect of
Powdered TiO₂ on Streptococcus MutansK. Onoda, J. Watanabe, Y. Nakagawa (Shiken
Co.) I. Izumi

Denki Kagaku 56-12, (1988), 1108~1109

生成物分離型光化学ダイオードによるマレ
イン酸からコハク酸への還元

大西康幸, 泉 生一郎

日本化学会第58春季年会

(平成元年 4 月 2 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 (第2報)

石垣 昭, 上田勝彦

日本文化財科学会第6回大会

(平成元年 4 月 29 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とする銀イオン選択性電極

大植正敏, 赤間和博 (阪大・工), 庄野利之 (阪大・工)

日本科学会第58春季年会

(平成元年4月3日 講演)

Neutral Carrier-Type Silver Ion-Selective Electrodes based on Lipophilic Thiocrown Ether Derivatives

M. Oue, T. Shono (Osaka Univ.)

XIV International Symposium on Macrocyclic Chemistry (Townsville, Queensland, Australia)

(平成元年6月26日 講演)

Silver Ion-Selective Polymeric Membrane Electrode based on Lipophilic Monothiacrown Ether

M. Oue, K. Akama (Osaka Univ.), K. Kimura (Osaka Univ.) M. Tanaka (Osaka Univ.), T. Shono (Osaka Univ.)

Analytical Science, 5, (1989), 165~169

Lipophilic Thiocrown Ether Derivatives Selectives as Silver Ion Neutral Carriers

M. Oue, K. Akama (Osaka Univ.), K. Kimura (Osaka Univ.) M. Tanaka (Osaka Univ.), T. Shono (Osaka Univ.)

J. Chem. Soc., Perkin Trans.1, (1989), 1675~1678

透過膜・電極・電解質を一体化させた酸素センサの応答性

小久見善八, 宇田智哉, 竹原善一郎 (以上, 京大工), 片倉勝己

日本化学会第58春季年会

(平成元年4月4日 講演)

透過膜・電極・電解質を一体化させた酸素センサの小型化

片倉勝己, 小久見善八 (京大・工), 竹原善一郎 (京大・工)

日本化学会第58春季年会

(平成元年4月4日 講演)

液外部循環式エアリフト型気泡塔の液側及びガス側混合特性

河越幹男, 大竹伝雄 (中部大・工)

化学工学協会第21回秋季大会

(昭和63年10月18日 講演)

Gas-Phase Mixing in Bubble Columns

M. Kwagoe, T. Otake (Chubu Univ.), C. W. Robinson (Univ. of Waterloo)

Jour. Chem. Eng. Japan, Vol.22. (1989), 136~142

遺跡出土材へのPEG含浸に関する理論的考察

河越幹男, 石垣 昭

日本文化財科学会第6回大会

(平成元年4月30日 講演)

Candida Methanosorbosa M-2003株の生産する耐熱性アルコールオキシダーゼを用いるアルコールセンサ

末 信一郎

電気化学および工業物理化学, Vol.56, No.12, (1988), 1122~1123

バイオカタリスト電極

末 信一郎

化学工学, Vol.53, No.5, (1989), 374~375

ピラノースオキシダーゼを用いるダルコースセンサ

末 信一郎, 箱崎圭名子, 横山定治, 大林 晃 (以上, 宝酒造中研)

公開特許広報, 昭63-198984

グルタミン合成酵素の製造方法

末 信一郎, 西村哲次郎, 横山定治, 大林 晃 (以上,
宝酒造中研)
公開特許公報, 昭63-254984

Candida Methanosorbosa M-2003株の生産
するアルコールオキシダーゼ

末 信一郎, 箱崎圭名子, 小川淳子, 横山定治 (以上,
宝酒造中研)
昭和63年日本醸造工学会大会
(昭和63年11月9日 講演)

(一般教科)

An Extension of Paschke's Theorem and
the Mayer-Vietoris Type Exact Sequences

Ryo Ichihara
Math. Japonica No.1 (1989), 27~33

Connections between the Free Structures
and the Structures Provided by McnNlty

田端敬昌, 荒金憲一
第12回半群論シンポジウム
(昭和63年11月4日 講演)

Amalgamation Properties for Universal
Horn Classes

荒金憲一
MLG研究集会
(昭和63年11月28日 講演)

スチルベン誘導体ラジカルカチオンの cis-
trans異性化反応

—パルスラジオリシス, 光電子移動系による検討—
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)
日本化学会第58春季年会
(平成元年4月1日 講演)

ジフェニルアセチレン三重項と脂環式オレ
フィンの反応

山本一喜 (阪大産研), 石田昭人 (阪大産研), 出野
貴 (阪大産研), 土岐 進, 高椋節夫 (阪大産研)
(平成元年4月1日 講演)

児童英語を中学英語に生かすには

國方太司
児童英語, 21-13, (昭和64-1), 12~15

コミュニケーション活動を取り入れたLL
授業

國方太司
LL通信, 146号 (平成1-4), 12~15

目指すべき方向と実践—学習者の追跡調査
をもとに—

守屋雅博
児童英語21 (杏文堂) 第12号 (昭和63-11), 10~13

教科書に見られる句動詞

守屋雅博
LL通信, 145号 (平成1-2), 14~17

早期英語学習者の追跡調査 (第IV報)

樋口忠彦 (大阪教育大), 三浦一郎 (京都教育大),
國方太司, 守屋雅博, 北村豊太郎 (梅田学園), 中山
兼芳 (常葉学園大)
日本児童英語教育学会研究紀要第8号, (平成1-3),
3~14

学習開始年齢の言語習得におよぼす影響
(第1報)

樋口忠彦 (近畿大), 守屋雅博, 國方太司, 三浦一郎
(京都教育大), 北村豊太郎 (梅田学園), 中本幹子,
北村友美子 (帝塚山小)
日本児童英語教育学会第10回全国大会
(平成元年6月25日 講演)

英語楽習

クイズ・ゲームからコミュニケーション活動まで

守屋雅博（分担），樋口忠彦（近畿大）編

中教出版（平成1－3）

吉野川上の神社

大矢良哲

川上村史（平成1－3）

高専留学生の日本語

小谷 稔，細井誠司，武田充啓

（平成1－3）

土屋文明作品における上村孫作

小谷 稔

雑誌ポポオ，第37号

（平成1－3）

土屋文明作品における「農」の性格（その 1）

小谷 稔

雑誌ポポオ，第38号

（平成1－7）

奈良工業高等専門学校 研究紀要第25号

平成2年3月15日

編集兼
発行者 奈良工業高等専門学校
大和郡山矢田町22

印刷所 (株) きょうせい
関西支社 大阪市北区天満2-7-17

RESEARCH REPORTS

of

NARA NATIONAL COLLEGE

of

TECHNOLOGY

No. 25, 1989

CONTENTS

Displacement Measuring System with Speckle Interferometry using Personal Computer.....Yoshihiro OSHIDA and Shigeki NISHIDA.....	1
Development of the Combustion Vessels with Spherical Hollow and a few Trial Experiments by Them.....Toshio NAKATA.....	7
The Effect of Chemically Reduced Catalysts and Concentration of Acetic Acid to the Production of Reformed Gas.....Toshio NAKATA.....	13
Poisson's Ratio Measuremet of Ceramic Materials using Image Processing.....Shigeki NISHIDA and Yoshihiro OSHIDA.....	19
Control of Superconducting Magnetic Energy Storage by a Current Source Type PWM Converter.....Toshifumi ISE.....	23
Basic Characteristic of a Current Type Active Filter(1).....Shigeki IMURA.....	29
A Study of Signal Processing using Multi Scale Description 2.....Shigeki DOI.....	35
An Optical-Fiver Sensing Circuit using the S-type Negative Resistance Characteristic.....Yoshihiro YAMAMOTO, Sigeki DOI and Haruo TAKAHASHI.....	41
Elementary Experiments using Capacitor for Education of Physics.....Fumio ASAI.....	45
A Study on Fuzzy-Classification Applied by Introducing the Concept of Reserved State of Nature.....Yoshiki UEMURA.....	51
The CV Syllable Recognition using Multi-Layered Kohonen Net.....Seiichi OZAWA, Kazuyoshi TSUTSUMI and Haruya MATSUMOTO.....	57
Parsing of Ambiguous Context-Free Languages using CKY Algorithm.....Nariyoshi YAMAI, Tadashi SEKO and Toru KAWATA.....	63
Non-Destructive Investigation on the Internal Structures of Waterlogged Archaeological Woods by Ultrasound Echography (III) (Non-destructive Survey of Holocellulose Distributions) .....Akira ISHIGAKI.....	71
Substituent Effect of Thiacrown Ethers on Silver Ion Selectivity as Neutral Carrier for Ion-Selective Electrodes.....Masatoshi OUE, Kazuhiro AKAMA, Minoru TANAKA and Toshiyuki SHONO.....	77
Mass Transfer in an Immobilized Calcium Alginate Gel.....Mikio KAWAGOE and Shin-ichiro SUYE.....	83
Determination of Ethanol in Alcoholic Drinks by Alcohol Oxidase immobilized D.O. Electrode.....Shin-ichiro SUYE and Shusei INUTA.....	87
On a Lesson of Logarithm and Exponential Function with Electric Calculator.....Seinosuke KITAGAWA.....	91
What does the 'sadness' mean in "The Merchant of Venice"?.....Kazuaki KAMIZAWA.....	93
Pluralistic World and Religion (III) — A Study of William James's Religious Philosophy— .....Tsuneyuki KIMURA.....	113
Notes on Natsume Soseki's "Higansugimade".....Mitsuhiro TAKEDA.....	125
Abstracts	127
Research Activities in 1988-1989	135