

ISSN 0387-1150

研 究 紀 要

第 28 号

平成 4 年度

奈良工業高等専門学校

目 次

金属容器ベルセロ法における静的負圧の発生技術	廣 和樹・大出 義仁	1
2次元グラフ作成プログラムの試作	矢尾 匡永・中谷 洵	7
Application of Solid Electrolytic Capacitor using Evaporated Organic Conductors by Ion-Assisted Deposition	Jun KYOKANE, Syuji TOMIKAWA, Ichi KIMURA and Katsumi YOSHINO	13
A Detection Method for Sleep Stages using an Infrared Sensor	Shigeki DOI, Takashi SAKUMA, Ichirou NAGAI and Haruo TAKAHASHI	19
磁気軸受を含む高速回転体の作動シミュレーション	栗本 尚	23
高圧空気を駆動源とする模型船走行特性	坂本 雅彦	29
コルニユ法によるポアソン比測定システムの開発(負荷制御装置の開発)	西田 茂生・押田 至啓	33
多関節ロボットにおけるオフラインティーチングシステムの開発	早川 恭弘・田代 康之・松村 賢治	37
多モジュールニューラルネットの動作方程式の導出	小澤 誠一	41
ソフトウェア開発における要求分析のDFD作成支援ツールの試作	工藤 英男・八木 靖二・松村 崇史	45
The processing of Kana function words in reading Japanese	Michiko SHIMOMURA	53
移植性を考慮したコンパイラ駆動方式論理シミュレータの開発	世古 忠	57
ある種のグラフにおける最大クリーク重みの折点数について	多喜 正城・法林 浩之・柏原 敏伸・荒木 俊郎	61
分散環境における教育支援用ハイパーテキストシステムの構想	山井 成良・工藤 英男・鈴木 忠二・下條 真司・中野 秀男・久保 登・中西 義郎	71
遺跡出土木材の超音波診断法による非破壊的研究 (VI)(PEG含浸中における異常収縮発生部位の予測)	石垣 昭	75
黒鉛の電解改質に関する研究 (臭化カリウム水溶液中での電気化学的挙動)	泉 生一郎・佐藤 淳一・大西 康幸・岩耒 努・稲垣 道夫・岩下 哲雄	79
両性水酸化物の水酸化物イオンによる溶解反応 II	犬田 修正・末 信一郎・松井多嘉夫	83
活性炭の再生に関する研究 (3)	梅原 忠	87
Fluorimetry of Urea by using of Optical Fiber	Masatoshi OUE and Shin-ichiro SUYE	91
エアリフト型気泡塔による酵母の培養	河越 幹男・末 信一郎	97
回分晶析におけるライブニング現象のシミュレーション	中谷 武志	101
MS-algebra に双対な代数系について	荒金 憲一	105
狂気と視点	片山 悦男	113
異端の作品; 『ベリクリーズ』の問題点	神澤 和明	121
ドイツ語の複合前置詞 im Vergleich zu(mit) について	桐川 修	129
電気振動と電気共振の指導事例	浅井 文男	135
多元論と普遍的存在 —ウィリアム・ジェームズの「神」の概念についての考察—	木村 倫幸	144
夏目漱石『三四郎』の祇園家	武田 充啓	154
『新生』の「序の章」について	細井 誠司	162
論文抄録		163
教官研究活動一覧表		165

金属容器ベルセロ法における静的負圧の発生技術

廣 和樹・大出 義仁*

Metal tube Berthelot technique for generation negative pressure

Kazuki HIRO and Yoshihito OHDE

A liquid is stretched isotropically under negative pressure. Where it is in a thermodynamically metastable state, it is apt to cavitate through nucleation process. We aimed to generate high negative pressure in the Berthelot method using a metal tube for facilitating measurements of properties of liquids in the still uncovered range. Negative pressure was found to increase with repeated cavitation and to reach a higher level by use of metals which retained less gas impurities. These results means that negative pressure was limited by gas not in 'crevices' on the metal surface so far believed but critically by its supply from in the metal bulk to those crevices.

1. 緒言

負圧（等方張力）下の液体の物性に関する研究は、異種核生成の問題があって、この状態を発生させることが困難なために、ほとんど報告されていない。この負圧状態の液体は、液体の破壊のメカニズムを解明したり¹⁾、熱力学的に準安定な状態の状態方程式を作成したり²⁾、キャビテーションによる流体機械の性能低下を改善したりする³⁾うえで、重要な問題となってきた。本研究の目的は、負の圧力を発生する技術を確立することであり、最終的には、負圧下の液体の物性を測定することが目標である。

負圧の発生方法には静的な方法と動的な方法がある。静的な方法には、ベルセロ法と呼ばれるものがある。この方法は、固体容器に液体を封入し、容器の温度を昇降させて、容器と液体との熱膨張率の違いを利用する方法である。動的な方法には遠心力場法、超音波法などがある⁴⁾。遠心力場法は、Z型（またはU型）のガラスの毛細管中に液体を入れて、中心を軸として高速回転させて、遠心力により管中心部に負圧を発生させる方法である。超音波法は、超音波により液体中に粗密波をつくり、負圧を発生させる方法である。

本研究では、液体物性測定のため、負圧を一定時間維持しておきたいので、静的な方法であるベルセロ法を採用している。ここでは、ベルセロ法とは具体的にはどのような方法なのか、またベルセロ法ではどうすれば大きな負圧を得ることができるかということについて報告する。

2. ベルセロ法による負圧発生法

金属容器ベルセロ法による負圧発生法を図1に示す。まず容器内に試料液体を密封し温度を上げる。すると液体の方が容器より熱膨張率が大きいので、液体は容器壁を外側に押す。このとき液体の圧力は正である ((a))。次に温度を下げると同じ理由で逆に液体の圧力は低下し、(b)の飽和状気圧状態を経由して(c)で負圧が発生する。この負圧状態では液体は容器壁を内側に引張っていて、核となる気泡が存在すれば、キャビテーション（気相の発現）が起こり、圧力は飽和状気圧の安定な2相共存状態に移る ((d))。再び温度を上げると、(a)の状態に戻すことができ、同様に負圧を発生できる。このような温度変化による発生法はベルセロ法と呼ばれている。また(a)→(b)→(c)→(d)→(b)→(a)のサイクルを温度サイクルと呼んでいる。

*名古屋工業大学 生産システム工学科

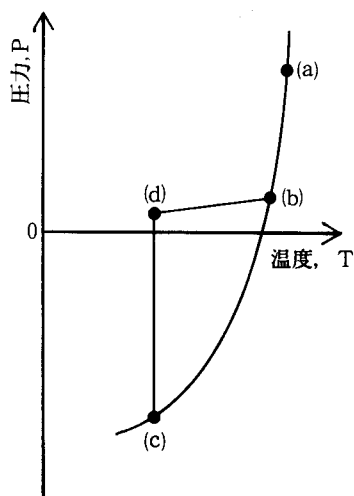


図1 温度と圧力の関係

容器内に密封された液体の体積 V_L は、温度 T と圧力 P の関数として次のように表すことができる。

$$V_L = V_L(T, P) \quad (1)$$

温度と圧力が変化したときの体積変化 dV_L は次のように表すことができる。

$$dV_L = \left(\frac{\partial V_L}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial V_L}{\partial P}\right)_T dP \quad (2)$$

液体の体膨張率 β_L と等温圧縮率 κ_L は次のように定義されている。

$$\beta_L = \frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V_L}{\partial T}\right)_P$$

$$\kappa_L = -\frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V_L}{\partial P}\right)_T \quad (3)$$

(3) を (2) に代入すると次の式が得られる。

$$dV_L = V_0 \beta_L dT - V_0 \kappa_L dP \quad (4)$$

ここで V_0 は封入時の体積とする。

同様に容器の体積変化 dV_s も次のように表すことができる。

$$dV_s = V_0 \beta_s dT + V_0 \kappa_s dP \quad (5)$$

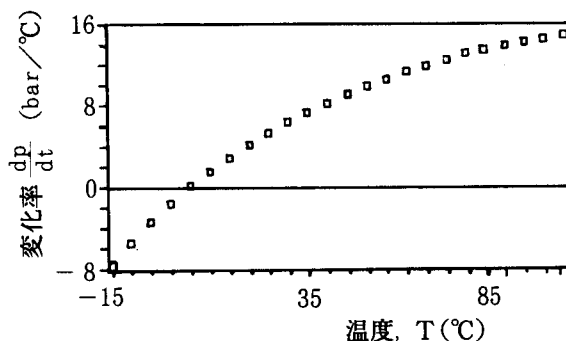
ここで β_s 、 κ_s は容器の体膨張率と等温圧縮率である。

(4) 式と (5) 式の右辺第二項の符号が異なるのは、この場合、液体は正圧により縮もうとするのに対し、容器は同じ正圧により膨らもうとするからである。

容器に液体を密封しているので $dV_L = dV_s$ である。よって (4)、(5) より

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\beta_L - \beta_s}{\kappa_L + \kappa_s} \quad (6)$$

この式は温度変化に対する圧力変化を表している。図2に、液体に水を用いたときの各温度における (6) 式の値を示す。なお、(6) 式の κ_s は理想的な場合であり、実際には補正する必要がある。

図2 水の $T-dP/dT$ 理論曲線

3. 実験

本研究では、金属容器ベルセロ法により負圧値を測定する。実験方法としては、実験容器を恒温槽の中に沈め、温度を変化させて圧力変化を記録する。

なお、試料液体には、水を用いた。

図3は、実験容器を模式的に示したものである。この容器は、本体、上蓋、下蓋、密封用栓から構成されている。本体の中央部に試料室がある。試料室下部はダイヤ

フラムになっていてこの裏側にひずみゲージを貼り、その傍らに熱電対を取り付ける。圧力はダイヤフラムの変形を利用して、あらかじめ圧力校正実験を行い、ひずみゲージの出力から実際の圧力に換算する。温度は熱電対により測定する。試料水の密封は、本体、上蓋、下蓋をボルトで固定して、栓を上蓋のスクリーロッドで押さえつけて塑性変形により行う。このため、栓は容器本体よりもやわらかい金属を使用する。(栓にニッケルや銅、本体にステンレス鋼)

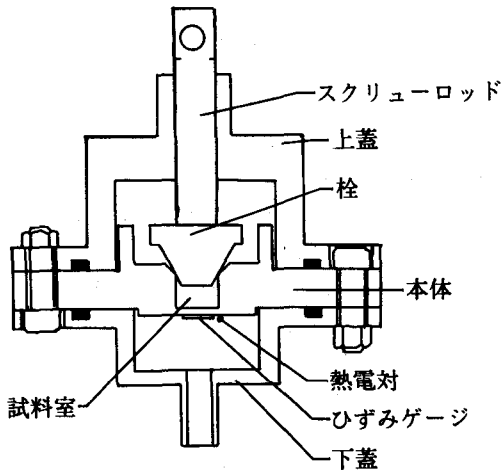


図3 金属ベルセロ容器

圧力校正実験は、窒素ガスを、容器本体と下蓋の間に満たすことにより、内側からの負圧と外側からの正圧が同じ変形をダイヤフラムに起こすと仮定して行う。図4に実験結果を示す。

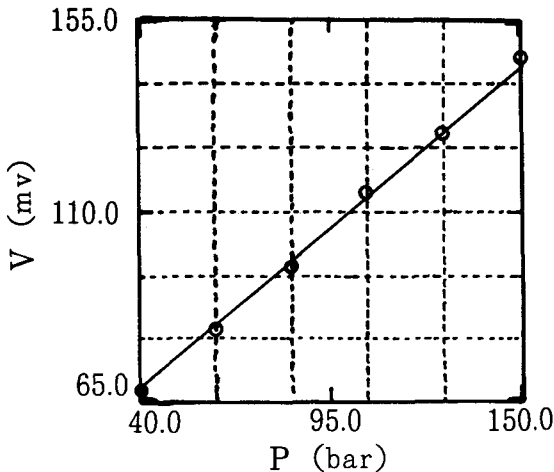


図4 圧力校正実験

試料水は、一度蒸留し、 $0.2\mu\text{m}$ のメンブランフィルタでろ過したものを煮沸処理する。栓も煮沸し超音波洗浄する。これらはキャビテーションの核となりうる気泡を減らすためである。

図5は実験装置の概略を示したものである。温度サイクルの繰り返しと各サイクルでの負圧値の記録とを同時に行わせる。負圧発生に必要な温度の昇降は、温度の異なる2つの恒温槽に容器を交互に沈めることでなされる。容器の移動はパルスモータで行い、その制御は、ひずみゲージの電圧信号をA/D変換し、パソコン上のソフトウェアで行う。主な流れとしては、以下ようになる。

1. 容器を高温槽に沈め、圧力がある正の設定値をこえれば、今度は容器を低温槽に沈め、
2. 圧力が低下し負圧発生後、キャビテーションが起これば、負圧と飽和蒸気圧との圧力差（負圧値）を読み取り、
3. 再び高温槽に容器を沈める
4. 1～3を繰り返す

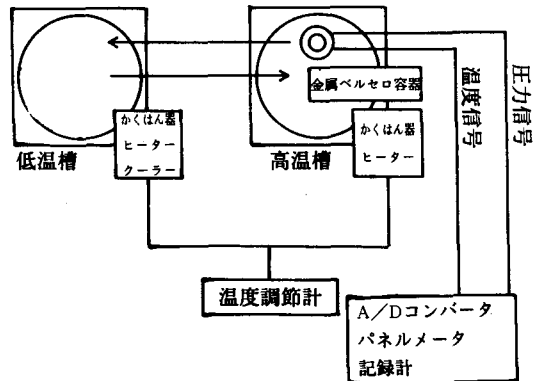


図5 実験装置

4. 結果と考察

ここでの実験データは、横軸に温度サイクル数、縦軸に負圧値をとり、各温度サイクルで得られた負圧値の40

回毎の平均をとったものである。

図6、図7は、ニッケルの栓の表面にそれぞれ、研磨処理、腐食処理を施したものと、旋盤加工されたままの栓との比較であり、トータルで1200サイクル繰り返したうち、図6は最初の600サイクル、図7は次の600サイクルである。研磨処理は、粒度 $0.3\mu\text{m}$ までのアルミナ研磨剤でなされ、腐食処理は、栓を研磨した後、酸の混合液中で、結晶粒が観察されるまでなされた。これらの図から、負圧値は、最初のうちは、栓表面の構造に影響しているが、最終的には、すべての栓でほぼ同じ上限値（ -100bar 程度、 $1\text{bar} \approx 0.1\text{MPa}$ ）になっていることがわかる。図8は、ニッケルの栓と銅の栓とを比較したものである。この図においても、負圧値の上限値が存在するが、ニッケルの栓と銅の栓とで異なっている。

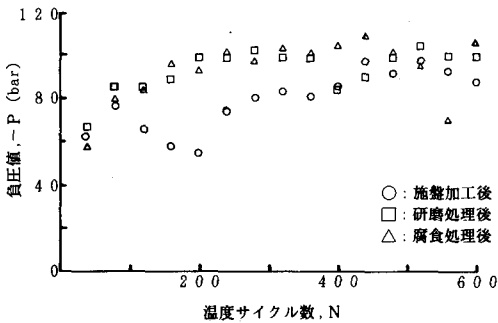


図6 温度サイクルと負圧値の関係

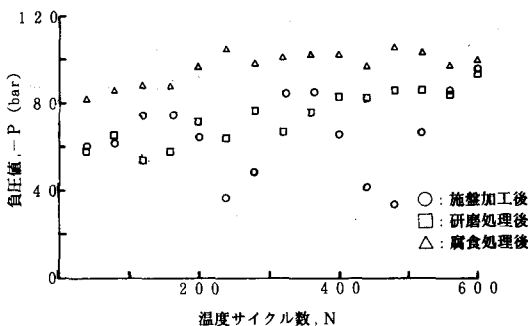


図7 温度サイクルと負圧値の関係

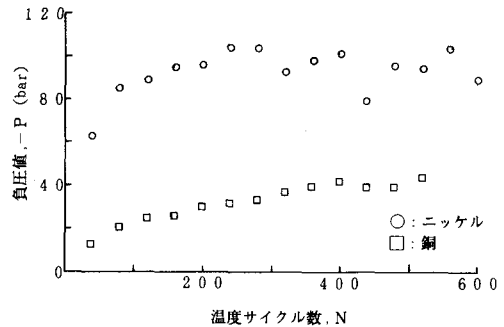


図8 温度サイクルと負圧値の関係

これらより、負圧値に影響を及ぼしているのは密封用の栓であり、負圧値は、栓の表面構造には無関係で、むしろ栓の材料によって制限されていることがわかる。そこで、栓の内部に含まれているガスが、負圧値を制限しているのではないかと考え、栓内部に含まれたガス量の異なる栓を用いて実験した。その結果を図9、図10に示す。図9は、栓の材料として銅を使った場合であり、真空冶金銅、無酸素銅、市販銅の順に大きな負圧が得られた。また図10は、ニッケルの場合であり、脱ガス処理を施した栓の方が大きな値になった。このことから金属中に含まれるガスが負圧に影響を及ぼしていると推測できる。

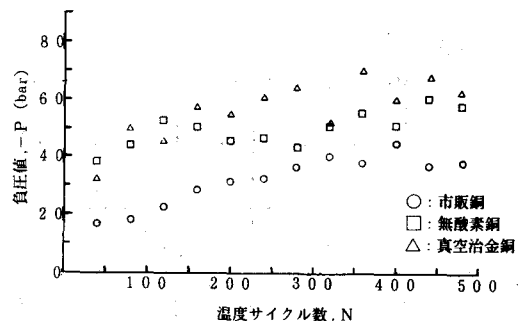


図9 温度サイクルと負圧値の関係

5. まとめ

本研究により、金属容器ベルセロ法で大きな負圧を得るためには、なるべくガスを含んでいない材料で容器をつくり、温度サイクルを繰り返すことが必要であることがわかった。これまでは、密封用の栓にのみ着目していたが、今後、容器本体についても、同様の注意を払わなければならないと考えている。

参考文献

- 1)大出義仁：高分子, 11(1981)、p853
- 2)R.J.Speedy：J.Phys.Chem, 86(1982)、p982
- 3)山崎卓爾：キャピテーション工学(1978)、[日刊工業新聞社]
- 4)D.H.Trevena：“Cavitation”(1987)、[Adam Hilger,Bristol,Philadelphia]
- 5)Y.Ohde：J.Phys. D：Appl. Phys, 24 (1991)、p859

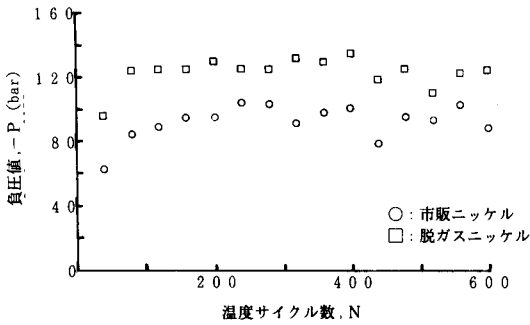


図10 温度サイクルと負圧値の関係

現在、著者らは、この脱ガス処理と温度サイクルの繰り返しによって、水で $-170\text{bar}^5)$ 、エタノールで -180bar のこの方法による世界記録を得ている。水の負圧の最大値は理論的には -1000bar のオーダーであると予測されており²⁾、まだ程遠い値である。しかし、エタノールの場合、限界負圧の $1/2$ には到達できた。

金属中に含まれるガスが負圧に影響を及ぼすメカニズムとして、図11(c)のようなモデルを考えている。まず(a)や(b)は従来よりいわれているものであり、金属表面の欠陥(クレバス)に、表面張力によってとらわれていたガスが、負圧による引張り力に耐えきれず水中に放出され、キャピテーションの核になるというものである。これに対して(c)は、キャピテーションの核は、金属表面の欠陥にとらわれたガスであるが、金属内部からガスが欠陥に供給されるため、負圧を大きくするには金属内部のガスを減らさねばならないことを考慮している。

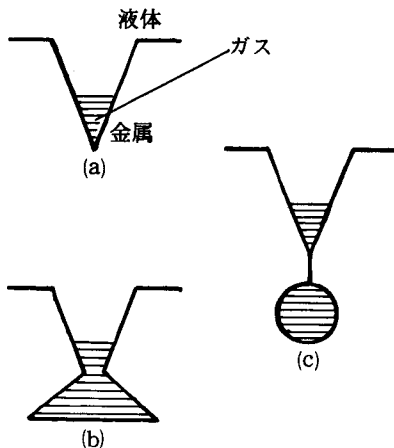


図11 クレバスモデルの種類

2次元グラフ作成プログラムの試作

矢尾 匡永・中谷 洵

Technical Report on Graphic Processor

Masanori YAO・Makoto NAKATANI

強力なCADソフトであるMacintosh用Mini-CAD上で動作する2次元グラフ作図プログラムを試作した。本プログラムを利用し、Mini-CADの強力な操作性と豊富な編集機能とを駆使することで、多様なグラフの作成が容易となった。本稿では、試作した作図プログラムの概要と使用方法について報告する。また、普及しているPC-9800系列のパソコンからMacintoshへの作図データの転送について、解説を行う。

1. はじめに

近年のコンピュータ利用の発達にともない、図形処理技術、グラフ作成ソフトの進展にはめざましいものがある。しかし、市販されているグラフ作成ソフトは、概ね汎用性を目指したものが多く、工学分野でよく行われる、データ取り込み、解析、演算処理の後、座標軸の作図、記号のプロット、図説の挿入という一連の処理には操作性の面で不十分である。操作性を改善するには、座標軸の作図、記号のプロット等のコンピュータ処理に適したルーチンワークの部分と記号説明、図説の挿入等の図毎の個別の作業の部分とを区別し、それぞれの部分を組み合わせる方法を工夫することが必要である。

この間、本校機械工学科・電子制御工学科にCAD演習システムが設置された。このシステムは、図1に示すような構成であり、パーソナルユースのコンピュータには、Macintosh LC(5台)あるいは、Macintosh classic(40台)が、また、出力装置にページプリンター(1台)が用意されている。グラフィック関係ソフトには、Mini-CADが用意されている。Mini-CADは、パソコンレベルのCADの中では、比較的豊富な編集機能を有するとともに操作性に富んだ非常に強力なソフトである。また、マクロ言語にMini-Pascalが用意され、CADソフトをカスタマイズすることができる¹⁾。

そこで、ルーチンワークの作業部分を基に、ルーチンワークでない部分を付加するというこれまでのグラフ作図ソフト開発の方式^{2) 3)}とは逆に、ルーチンワークでない部分は既存のMini-CADを利用し、Mini-Pascalによって記述したルーチンワーク部分を付加する方式を採用することで、Mini-CAD上で動作するグラフ作図プログラムを試作した。本プログラムは、既存のソフトの操作性を生かし、豊富な編集機能を駆使することで、多様なグラフの作成が可能である特徴を有する。本稿では、作成した作図プログラム(以下、MAC-GPと略す)の概要と使用方法について報告する。

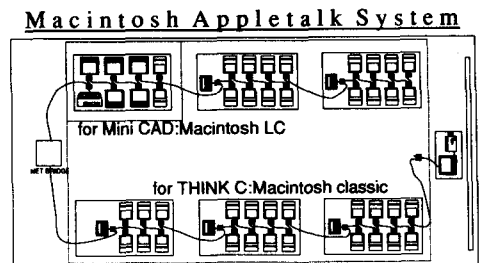


図1 CAD演習システム

2. MAC-GPの概要

図2にMAC-GPを開発した基本装置を示す。出力装置は解像度300DPIのページプリンターである。その出力は十分に発表用図面等への使用に耐えるものである。MAC-GPはMini-CAD上で動作するため、Mini-CADが運用可能な2MB以上のRAMとハードディスクを持つMacintosh系のパソコンが必要である。なお、MAC-GPは、単体で用いることも可能であるが、PC-98系列のパソコン用2次元グラフ作成用サブルーチンパッケージ⁴⁾(以下、GSPと略す)により作成した図の清書も可能とするため、GSPとの互換性に配慮して作成した。具体的には、Macintosh系パソコンのソフトウェアが、一般に装置依存で、その能力を十分に引き出すことを目的に開発されており、他機種との互換性に欠ける面があるので、MAC-GPは作図データファイルを介してGSPと接続する構造とし、GSPとの互換性を確保した。図3に、MAC-GPを運用するのに必要なソフトウェアの一覧を示す。操作性の点から、すべてのファイルは共通のディレクトリ内にあることが望ましい。なお、MAC-GPは、Mini-CADの能力に依存したプログラムであり、装置独立なプログラムではないが、PC-98系列のパソコンにおいて、マクロ言語を有するMini-CADクラスのソフトが開発されれば、MAC-

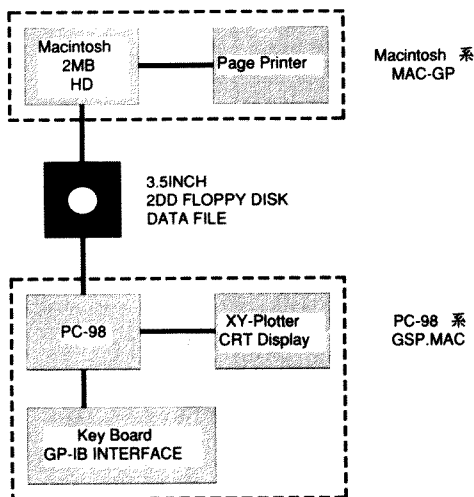


図2 基本装置

GPの移植は可能である。

3. 作図データファイルの構造

作図データファイルは以下の2通りの方法により作成することが出来る。(1) PC-98上で、後述の改良型GSP(後述のGSP, MAC)により作成したデータファイルを、Macintoshに用意されたファイル転送プログラム(ファイル名: Apple File Exchanger)を用いて、MAC-GP用作図データファイルに変換する。GSPによるデータファイル作成およびファイル転送については、第5章を参照されたい。(2) Macintoshに用意されたフルスクリーンエディター(ファイル名: PE)を用いて、作図データファイルをキーボード入力等により作成する。MAC-GP単体で用いる場合にはこの方法を用いる。いずれの方法でも同様の作図データファイルが生成される。なお、作成された作図データファイルはMAC-GPと同じディレクトリ(Macintoshではフォルダと呼ばれる)内になければならない。図4に作図データファイルの一例とその作図結果を示す。図中の'999, 999'はいずれもコマンドセパレータである。作図データファイルは、以下に示す作図命令の組合せによって構成される。

3.1 座標軸(NEW)

文字列'NEW'が記される毎に、新たに座標軸の作図を行い、次に出現するまでの間、設定された座標系内で作図が実施される。図中のIGRAPHおよびIAXISは、それぞれ座標軸の種類および座標軸の描き方を変更するパラメータであり、表1に一覧を示す。また、X軸およびY軸の最小値、最大値(XMIN, XMAX, YMIN, YMAX)は世界座標系の範囲を示すウィンドウに対応し、作図領域(XL, XR, YB, YT)は、正規化装置座標系の範囲を示すビューポートに対応する(図5参照)。ウィンドウからビューポートへの変換は以上の設定により、自動的になされる。この

- Mini-CAD (CADソフト)
- Mini-Pascal (マクロ言語)
- PE (フルスクリーンエディター)
- Apple File Exchanger — DCA-RFT/Mac Write
- MAC-GP (グラフ作成プログラム)
- 作図データファイル

図3 ソフトウェア一覧

```

999,999 ----- < コマンドセパレータ >
NEW22          文字列 'NEW'+IGRAPH( 1桁)+IAXIS( 1桁)
1,300,0,30     XMIN,XMAX,YMIN,YMAX
0,0.8,0.1,0.6  XL,XR,YB,YT
2,2,y+,u+,0,0  XSTEP,YSTEP,XNAME,YNAME,IXDOFST,IYDOFST
    
```

```

999,999 ----- < コマンドセパレータ >
DRW100        文字列 'DRW'+IPEN( 2桁)+IDLIN( 1桁)
9,10.3612     座標値データ (X,Y)
300,18.9172
    
```

```

999,999 ----- < コマンドセパレータ >
SPL0150       文字列 'SPL'+ISPL( 1桁)+IPEN( 2桁)+IDLIN( 1桁)
1,1           座標値データ (X,Y)
1.17842,1.17842
1.38868,1.38868
1.63645,1.63645
1.92843,1.92843
2.2725,2.2725
2.67796,2.67796
3.15577,3.15577
3.71882,3.71882
4.38234,4.38234
5.16425,5.16425
6.08566,6.08566
7.17147,7.17147
8.45102,8.45102
9.95887,9.95887
11.7357,11.7357
13.8297,13.8297
    
```

記号説明

IGRAPH	:座標軸の種類 1-4 (表1参照)
IAXIS	:座標軸の描き方 0-2 (表1参照)
XMIN,XMAX,YMIN,YMAX	:ウインドウの座標値 (図5参照)
XL,XR,YB,YT	:ビューポートの座標値 (図5参照)
XSTEP,YSTEP	:座標軸目盛のきざみ
XNAME,YNAME	:座標軸の名称
IXDOFST,IYDOFST	:目盛値の少数点以下の表示桁
IPEN	:線の幅
IDLIN	:線の種類 (表2参照)
ISPL	:スプライン曲線の種類 (表3参照)
SYMVAR	:記号の種類 (表4参照)
ISIZE	:文字の大きさ
IROTATE	:文字の回転 0-3
IFACE	:字体の種類 0:垂直体, 1:斜体

```

999,999 ----- < コマンドセパレータ >
SYM15         文字列 'SYM'+SYMVAR( 2桁)
              座標値データ (X,Y)
15.6397,9.81252
23.4596,12.1248
39.0994,13.6486
54.7391,14.7588
70.3788,15.7487
86.0186,15.2655
101.658,15.2576
125.118,15.826
148.578,16.6726
172.037,16.5511
195.497,16.7142
    
```

```

999,999 ----- < コマンドセパレータ >
TTL1201      文字列 'TTL'+ISIZE( 2桁)+IROTATE( 1桁)+IFACE( 1桁)
10,20        座標値データ (X,Y)
u+=5.0+2.44ln(y+)  文字列
2,12
u+=y+
    
```

```

999,999 ----- < コマンドセパレータ >
999,999 ----- < コマンドセパレータ >
    
```

出力結果

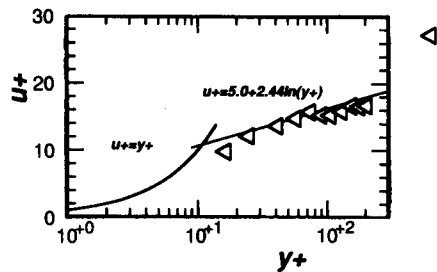


図4 作図データファイルの構造

図4 作図データファイルの構造

表1 座標軸の種類と座標軸の描き方

IGRAPH IAxis	1 X:NORMAL Y:NORMAL	2 X:LOG Y:NORMAL	3 X:NORMAL Y:LOG	4 X:LOG Y:LOG
0	ビューポートに対応する枠のみで描き、座標軸を描かない。 ウインドウビューポート変換は行なう。			
1				
2				

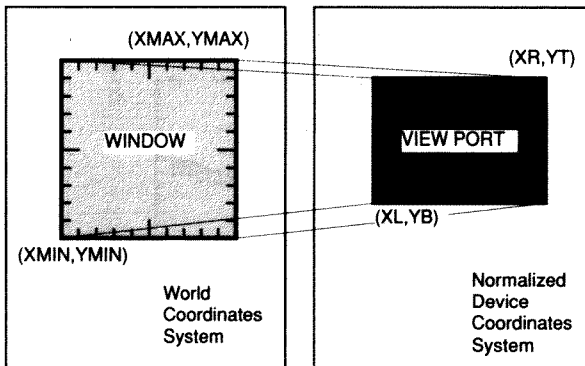


図5 ウィンドウビューポート変換

とき、正規化装置座標系の長さ1は用紙の100mmに相当している。クリッピングは行わない。XSTEP、YSTEPは目盛の間隔を表し、直線軸の場合、目盛値は5目盛毎に付加される。対数軸では、意味を持たない。

3. 2 直線による座標点の結合 (DRW)

文字列 'DRW' が記される毎に、与えられた座標値データにしたがって、移動した後に座標値を直線で結ぶ。2つ以上の座標値が無ければ無効となる。'DRW' 右側のパラメータ内上位2桁は、線の幅を表し、1は0.0254mmに相当する。下位1桁は、表2に示した線種を示すパラメータである。

表2 線の種類 (IDLIN)

IDLIN	LINE STYLE
0	—————
1	- - - - -
2	- · - · -
3	— · — · —
4	— · — · —
5	· · · · ·
6	- · - · -
7	- · - · -
8	- · - · -
9	—————

3. 3 曲線による座標点の結合 (SPL)

文字列 'SPL' が記されると、以下に与えられた座標値データを曲線によって結合する。'SPL' 右側の4桁の数字の内上位1桁は表3に示したスプライン曲線の種類を表す。現バージョンでは、スプライン曲線を用いる場合には線種は実線のみで、この場合下位1桁は意味を持たない。

表3 スプライン曲線の種類 (ISPL)

ISPL	Smooth Type
0	No Smoothing
1	Bezier Spline
2	Cubic Spline

3. 4 記号 (SYM)

文字列 'SYM' が記されると座標値データにしたがって、記号のプロットを行う。'SYM' が記される毎に座標軸右上に説明用の記号が準備される。'SYM' 右側のパラメータは記号の種類を変更するためのものであり、表4にその一覧を示す。

表4 記号の種類 (SYMPAR)

	UPPER	1	2	3	4
0	LOWER	+	X	⊕	⊗
1		□	■	◻	◼
2		○	●	◌	◐
3		◇	◆	◊	◈
4		△	▲	▴	▵
5		◁	◀	◂	◃
6		▽	▼	▾	▿
7		▷	▶	▸	▹
8		⌞	⌟	⌠	⌡
9		⌞	⌟	⌠	⌡

3. 5 文字列 (TTL)

文字入力を行う場合には、'TTL' と記す。'TTL' 右側の数字の内、上位2桁は文字の大きさを表す。単位はポイントである。中位1桁は文字の回転を表し、0～

3の範囲で90度毎に回転する。下位1桁(IFACE)は文字の字体を変更するパラメータであり、IFACE=0の時には垂直体、また、IFACE=1の時には斜体となる。入力文字は、'TTL'の下第2行目に書き、文字列中に '_' あるいは '^' を挿入することで、それ以降の文字列をそれぞれ下付きあるいは上付きの添え字とすることができる。

4. Mac-GPの運用

以下にMAC-GPによる作図の手順を示す。

- 1) Mini-CADを立ち上げる。
- 2) マウスを押し続けながら、コマンドメニューの「ファイル」「取り込む」「TEXT」を選択する。
- 3) ダイアログボックス (ファイルメニュー) が現れるので、MAC-GPが存在するフォルダを選択し、MAC-GPを開く。この時、Mini-PascalによってMAC-GPが解析される。
- 4) 次に、再びダイアログボックスが表示されるので、作図データファイルを選択し、開く。
- 5) 作図が終了すると、矢印カーソルが出現し、Mini-Pascalが終了する。
- 6) 再度、同一の用紙上で他の作図を行う場合には、手順2)以降を繰り返す。

5. GSPによる作図データ生成と転送

5. 1 GSPの概要と改良点

MAC-GPでは、作図データファイルの構造をできるだけ簡略化しているため、作成ミスのチェックを特にしていない。作成ミスがある場合には、その原因を調べることが煩雑であるので、対話形式により、作図データファイルを作成できることが望ましい。また、本校で普及しているPC-98系列のパソコンは、多数のデータが蓄積されていることが多く、これらのデータを利用するには、PC-98系列で動作するプログラムが有効である。そこで、コア・システムをベースにしたPC-98用GSPを改良し、作図データファイル作成用プログラムGSP. MACを開発した。

GSPは、サブルーチン利用者がGSPの豊富なサブルーチン群を組み合わせてメインプログラムを作成することにより、グラフ作図を行う形式をとっている。作図はCRTディスプレイ上でグラフを描きながらメインプログラムを作成し、完成したメインプログラム中の出力装置パラメータを書き換え、XYプロット等に出力させるという手順を踏み、対話形式でメインプログラムを作成することが可能である。そこで、改良にあたっては、

メインプログラムの変更は可能な限り少なくし、内部構造を利用者が知悉する必要の無いGSP本体に作図データファイル作成用プログラムを挿入するよう配慮した。以下では、利用者が知る必要のあるGSP. MACのメインプログラム部の変更点のみを列記する。

1) 出力装置パラメータを'DISPA'とする。

2) 初期化(プログラム中では、GOSUB 4000あるいはGOSUB *GINIT)以降に新たに'FFMAC\$ = ファイル名'という形式で作図データファイル名を指定する。この際、自動的に識別子'.MAC'が付加される。指定しない場合のデフォルト名は'TEMP.MAC'となる。

3) GSPの改良型サブルーチン群GSP. MACをメインプログラムに接続し、「RUN」する。ディスプレイにグラフが描かれるとともに、先に設定したFFMAC\$名の作図データファイルが生成される。

4) 表4に示した記号の上位桁はGSP. MACでは色の種類に対応する。

5. 2 作図データファイルの転送

GSP. MACによって生成した作図データファイルは、3.5インチ2DDディスクに記録する。PC-98からMacintoshへのデータファイル転送作業は、Macintoshで行う。その手順は以下の通りである。

1) ファイル転送プログラム(Apple File Exchanger)を立ち上げる。

2) 3.5インチ2DDディスクをドライブに挿入する。

3) マウスのクリックによって、「MS-DOS=>Mac」 「テキスト変換」を選択し、「特殊な文字」の項の「どれでもない」を指定する。

4) 以上の準備の後、変換を実行する。

6. おわりに

今回開発したMAC-GPは、工学分野で行われるたいの2次元グラフ作成作業に用いることが可能である。また、グラフの完成までの作業時間を大幅に短縮することができるので、各方面で、強力なツールとして利用されることを期待する。

謝 辞

本作図プログラム開発に際し、Macintoshの操作法、ファイル転送法を伝授頂き、また、図1を提供戴いた本校電子制御工学科技官、道下 貴広氏に心からの感謝を表します。

参考文献

- 1) Mini-CAD+ソフトウェアマニュアル、Graph Soft社
- 2) 土方邦夫、橋本克巳、第8回ソフトウェアコンファレンスプロシーディングス、pp107-108
- 3) 多河英雄、第8回ソフトウェアコンファレンスプロシーディングス、pp267-268
- 4) 矢尾匡永、中谷洵、奈良工業高等専門学校研究紀要第21号、pp27-32

Application of Solid Electrolytic Capacitor using Evaporated Organic Conductors by Ion-Assisted Deposition

Jun KYOKANE, Syuji TOMIKAWA, Ichi KIMURA
and Katsumi YOSHINO*

Ion-beam-assisted deposition of organic materials has been proposed to obtain high-quality thin films. As an example, organic thin films have been prepared by evaporation of TCNQ complex on porous oxidized Al plates under ion beam irradiation. A solid electrolytic capacitor with a large capacitance and a good frequency response can be fabricated utilizing thin films obtained by this method as solid electrolyte.

1. INTRODUCTION

Recently both inorganic and organic thin films have been widely used as electronic elements, sensors, coatings, protecting and also lithographic layers etc. Among various methods for preparation of thin films, an evaporation technique under vacuum is one of the most simple and convenient method. However, to obtain films of the desired quality, various modifications of this method have been proposed [1-3]. For example, a technique utilizing ion beam energy or cluster ion beam has been developed for inorganic thin films, and thin films with improved properties such as increased packing density, enhanced crystallization, controlled morphology, minimized pin holes etc. have been produced.

The contents of this paper were presented to the INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENCE AND TECHNOLOGY OF SYNTHETIC METALS, (ICSM '92), Göteborg, Sweden, August 12-18, 1992

* Faculty of Engineering, Osaka University

We report a simple technique to improve quality of the evaporated organic thin films by ion beam assisted deposition. As an example, we are going to show the excellent characteristics of a solid capacitor using TCNQ complex films obtained by this method. That is, recently, electrolyte capacitor using conducting charge transfer complex or conducting polymers as a solid electrolyte has attracted much attention [4-6]. To establish high quality capacitors with a large capacitance per unit area and wide frequency response of impedance, it is very important to put an organic conductor into small pores with a diameter less than several μm formed on oxidized metal plates. On the other hand, it has not been easy to obtain such capacitors utilizing the simple evaporation technique.

In this study, we apply the new technique utilizing ion beam irradiation during the preparation of the solid electrolyte by the evaporation.

2. EXPERIMENTAL

The simple ion-beam-assisted deposition method

has been utilized as follows.

We have prepared a KAUFMAN type ion source of 5 cm in beam diameter [2]. The ion source was set in the vacuum chamber so that an ion beam can bombard the substrate at an arbitrary angle from the normal axis. Al substrates with deep pores were set on the plate. The surface of Al substrate was oxidized to Al_2O_3 of 700 Å in thickness. Oxidized Al substrates with pores radii of $4.4 \mu\text{m}$ were used. The depth of the pores was about $100 \mu\text{m}$. After the chamber was pumped down to 8×10^{-6} Torr, argon or nitrogen gas was let into the ion source until 1×10^{-4} Torr. During the evaporation of the sample on the substrate, the ion source was driven. Ion beam energy and ion current density were varied between 90 eV ~ 500 eV and $50 \text{ nA}/\text{cm}^2 \sim 1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, respectively.

TCNQ (7,7,8,8 tetracyanoquinodimethane) was used as an acceptor. A charge transfer complex formed between TCNQ acceptor and various donors is known to exhibit high electrical conductivity originating from electronic transport. Among various donors a N-isopropyl 4, 4' bipiridinium

was prepared. The N-isopropyl 4, 4' bipiridinium (TCNQ)₂ complex was evaporated by heating up to 240 °C under on the porous Al substrate under ion beam irradiation.

Characteristics of capacitor were measured by the standard technique.

3. RESULTS

Before ion-beam-assisted method, we had tried three kinds of simple method such as thermal deposition, corona charging deposition and deposition under ultrasonic wave irradiation using the Al plate with pores of $1.4 \mu\text{m}$ [7]. The maximum capacitances per unit area which were obtained by these methods is indicated in table 1.

TABLE 1
Maximum capacitance (nF/cm^2) with three kinds of deposition method using $1.4 \mu\text{m}$ pores radii.

	Thermal deposition	Deposition using corona discharge	Deposition under ultrasonic wave
Maximum capacitance	100	380	560

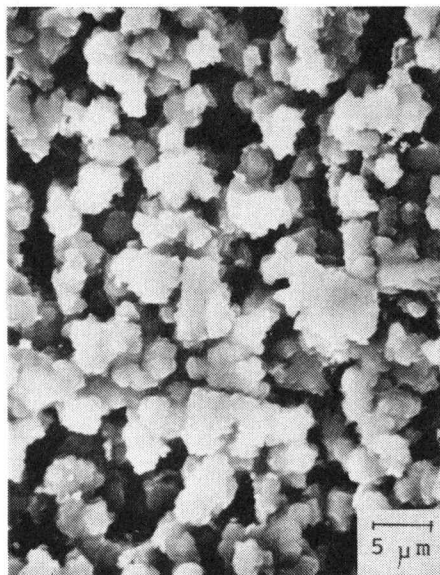
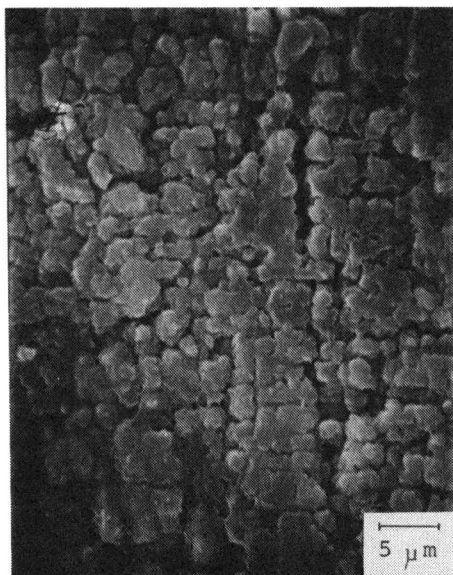


Fig. 1 SEM figures of TCNQ complex under ion beam irradiation (a) and non-irradiation condition (b)

By these methods, the maximum capacitance was as large as 560 nF/cm^2 , which is about 30 % of the capacitance obtained with liquid electrolyte. That is, a capacitance of $2 \text{ } \mu\text{F/cm}^2$ was realized by using the Al_2O_3 substrate with the same pores radius and liquid electrolyte. Therefore, in the next step, we have studied ion beam assisted deposition method to develop the solid electrolyte capacitor.

Figures 1 (a) and 1 (b) indicate the scanning electron microscope figures of the TCNQ complex films formed on an Al plate under ion beam irradiation and non-irradiation conditions, respectively. It is evident from these figures that the film prepared on the substrate with ion beam irradiation is much different from that without irradiation. That is, the film by the ion-assisted deposition method seems to be much higher in density and uniformity, and the film is improved. It was also confirmed that the TCNQ complex was even deposited on the inside surfaces of the pores contrary to the case without ion beam irradiation in which the sample was not evaporated in the pores.

Figure 2 indicates dependence of the capacitance of the capacitors prepared with evaporated films

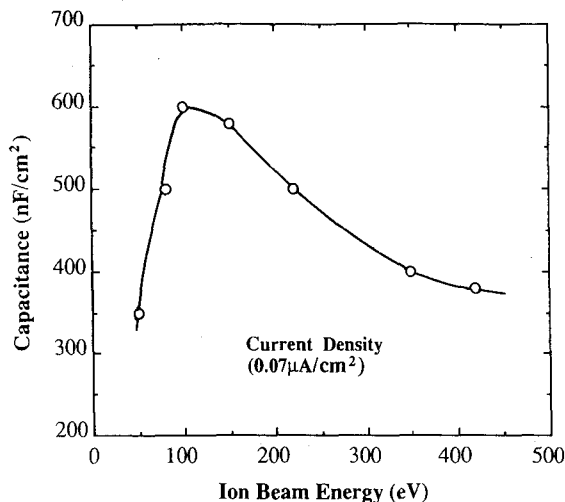


Fig. 2 Dependence of the capacitance on the ion beam energy.

on the Al plate with pores of $1.4 \text{ } \mu\text{m}$ on ion beam energy under constant ion beam current.

As evident in this figure, the capacitance depends on the ion beam energy. The maximum capacitance was about 600 nF/cm^2 for ion beam of 100 eV in energy and $0.07 \text{ } \mu\text{A/cm}^2$ in current. Capacitance decreases at the lower and higher energies than 100 eV.

It should also be noted that the capacitance as high as 600 nF/cm^2 was obtained with Al substrate of $1.4 \text{ } \mu\text{m}$ in pores radius, which is much higher than the capacitance constructed utilizing films without ion beam irradiation (100 nF/cm^2). These facts suggest that the TCNQ complex could be effectively deposited into the pores of the Al substrate by evaporation under ion beam irradiation, resulting in remarkable enhancement of the capacitance.

Dependence of the capacitance on ion beam current under the constant ion beam energy of 100 eV is shown in Fig 3. The capacitance is the maximum in the range of ion beam current between 0.07 and $0.3 \text{ } \mu\text{A/cm}^2$. In this region progress of crystalline was found. Similar effect was also reported in pyrene by ion beam irradiation. That is, when ion beam current was

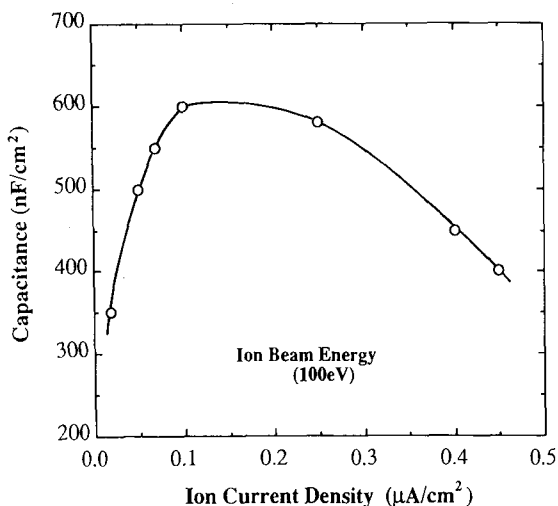


Fig. 3 Dependence of the capacitance on the ion beam current.

in the range between 0.03 and 0.1 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ at 350 eV progress of crystal growth was reported [8]. This coincides with our results.

We also put a shutter between substrate and ion source in order to open the ion beam for the desired duration during evaporation. However, the maximum capacitance which has been obtained by changing both an ion-molecule arrival ratios and opening time of shutter was 760 nF/cm².

Then, we have modified the deposition apparatus as coincide with the center axes of both the melting pot and ion source as shown in Fig 4.

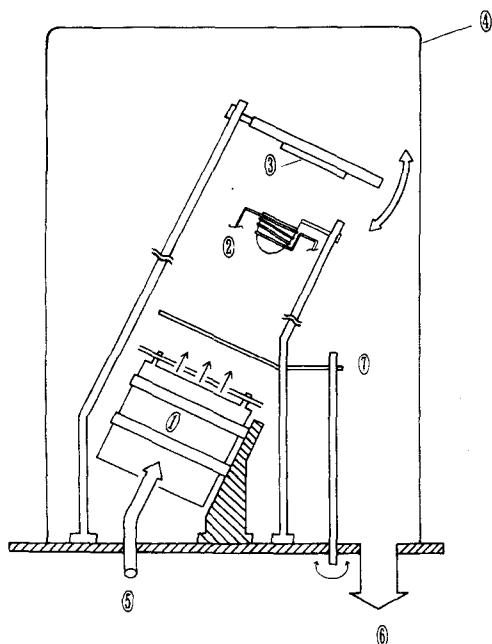


Fig.4 Schematic experimental set up that was improved the assisted method.

1:Ion source, 2:Thermal deposition, 3:Substrate, 4:Vacuum chamber, 5:Gas inlet, 6:Vacuum pump, 7:Shutter.

Figure 5 shows the dependence of capacitance on distance from an ion source to an aluminum substrate under irradiation with an ion beam of 100 eV. The capacitance rapidly increased with increasing distance between the substrate and the ion source, and then saturated at distance greater than 270 mm.

The maximum capacitance obtained by this method was 1.25 $\mu\text{F}/\text{cm}^2$. This capacitance was

the largest among various deposition method and was larger than the value of capacitance with same thermal deposition method by more than one order of magnitude. This capacitance by optimized ion-assisted deposition of TCNQ complex as solid electrolyte is comparable to that of liquid electrolyte capacitor with the same Al substrate.

Figure 6 shows the frequency characteristics of the obtained capacitor by the present method and also of the conventional capacitors utilizing a liquid electrolyte. As evident in this figure, frequency dependence of the capacitor prepared by ion-assisted deposition is much improved and

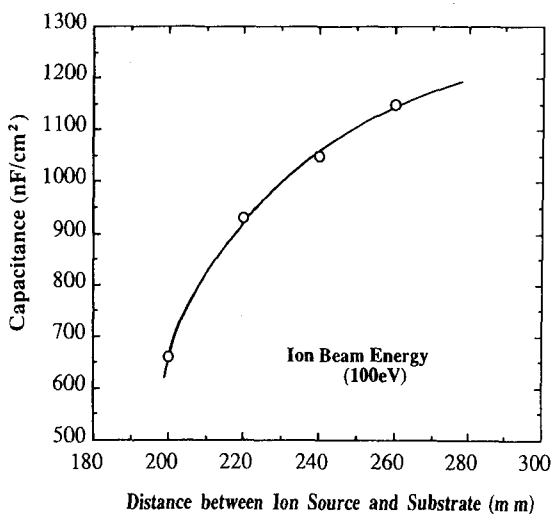


Fig.5 Dependence of the capacitance on the distance between ion source and substrate.

coincides well with that ideal capacitor, which should be originated from increases in the electrical conductivity of the electronic electrolyte.

That is, the impedance of electrolytic capacitor is given by Eq. 1. In the conventional capacitor, frequency dependence of capacitance is controlled by an large equivalent series resistance in the frequency range between 10^5 Hz 10^6 Hz. Therefore, it is necessary to make the ESR as small as possible.

$$z = \sqrt{(ESR)^2 + (X_L - X_C)^2}, \dots\dots(1)$$

where ESR is equivalent series resistance, X_L and X_C are inductive reactance and capacitive reactance, respectively. In the present case, the high conductivity originated from the electronic conduction in the TCNQ complex plays a role contrary the liquid electrolyte in which the ionic transport mainly contributes to conduction. It should also be mentioned that the temperature dependence of the capacitance of the present capacitor utilizing the electronic solid electrolyte was much less and the dielectric loss was also small when compared with the available commercial capacitor in liquid electrolyte.

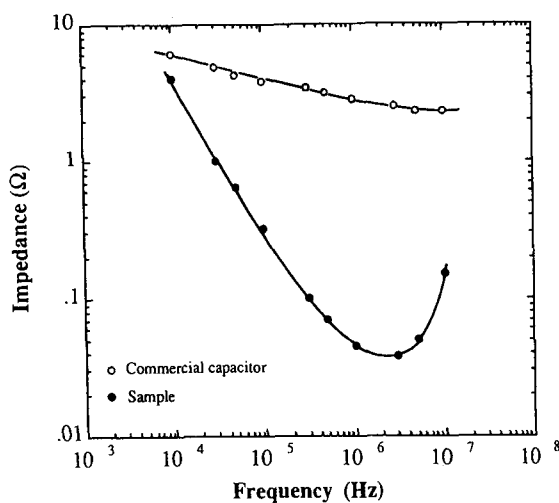


Fig.6 Frequency characteristics of the obtained capacitor.

This technique utilizing ion beam assisted deposition of organic materials can be also applied to other electronic devices.

4. SUMMARY

The results of the present experimental study are summarized as follows.

- (1) The method of ion beam assisted deposition of organic materials utilizing the KAUFMAN type ion was proposed.
- (2) The quality of a TCNQ complex film prepared by this method was confirmed to be much improved compared with that by the conventional evaporation method.
- (3) Crystallin growth in evaporated thin films was confirmed in the range of ion beam current between $0.05 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ and $0.3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ for the ion beam energy of 100 eV.
- (4) Electrochemical capacitors fabricated utilizing the TCNQ complex on the porous Al plate by the present ion assisted deposition method exhibited a large capacitance per unit area, and an ideal frequency dependence of an impedance up to 10 Hz contrary to the capacitor with liquid electrolyte.
- (5) This technique of ion beam assisted deposition method of organic materials can be widely applied to electronic components and devices.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank Professor Susumu Masaki, Tokyo National College of Technology, for his constructive advice concerning the KAUFMAN type ion source.

The authors are very grateful to Mr. Toshiro Maruyama for his supply of the porous oxide Al plates.

REFERENCES

- 1 T.Takagi, This Solid films, 92 (1982) 1.
- 2 J.M.E. Harper, J.J. Cuomo, R.J. Gambino and H.R. Kaufman, in; eds. O. Auceil and R. Kelly : Ion bombardment Modification, chap.4,

Elsevier (1984) .

- 3 H. Usui, I. Yamade and T. Takagi : J. Vac.Sci. Technol., A4 (1986) 52
- 4 S. Niwa : Synthetic metals, 18 (1987) 665.
- 5 I.Isa : Nikkei New Materials (1989) 48 [in Japanese] .
- 6 Y. Kodoh, S. tsuchiya, M. Fukuyama T. Kojima and S. Yoshimura : Synthetic Metals, 20 (1991)
- 7 K. Yoshino and J. Kyokane : Tenchnol. Repts. of the Osaka Univ., 41 (1991) 105.
- 8 M.Migita, H. Ishihara, T. Ishiba and A. Taniguchi : Soc. of Electr. Eng. Jpn.;Insulator Research Material, EIM-84-50, (1984) 39 [in Japanese]

A Detection Method for Sleep Stages using an Infrared Sensor

Shigeki Doi, Takashi Sakuma*,
Ichirou Nagai* and Haruo Takahashi

In this paper, a non-contact detection method is proposed to sense the sleep stages using an infrared sensor. The infrared sensor picks up the change of the body movements at a fixed time interval, and the frequency and the amplitude of the moving pattern are stored to the memory of the personal computer. The judgment for the sleep stages is calculated with the fuzzy inference program.

1. Preface

Many home electric and electronic systems are mainly controlled to keep the set-up conditions. For establishing the more comfortable life-style in the house surrounded with home electronic systems, the systems are desirable to be controlled with human movement and human sensitivity.

Detection for the sleeping and dozing conditions in human movements is useful for controlling the home systems. The sleep stages for human being are divided into several modes from going to sleep until getting up; starting from getting to sleep, falling to sleep, a deep sleep, a light sleep until awakening. The sleeping pattern for the individual is similarly repeated in the normal daily life.

It is said that the turning in bed and the movement on bed while sleeping are closely related with the sleep stages. Sleep stages may thus be judged by measuring the movements while sleeping. Infrared sensors are easily applied to detect human movements without contacting to the body.

* Matsushita Electric Works, Ltd.

In this paper, a non-contact detection methods is proposed for sensing the sleeping-states using an infrared sensor and the fuzzy inference. The infrared sensor picks up the change of the body movement at a fixed time interval, and the frequency and the amplitude of the moving pattern are stored to the memory of the personal computer. The judgment for the sleep stage is calculated with the fuzzy inference program. The block diagram of this system is shown in figure 1.

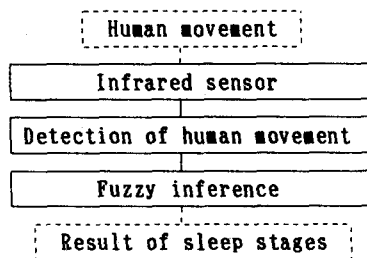


Figure 1 The block diagram of sleep stage detection system

2. Detecting method

The sleep stages detection system is composed of;

Hardware: an Infrared sensor, signal processing circuits, the interface circuit to personal computer

Software: the signal processing program, Fuzzy inference program, the display program.

The infrared sensor is set at the upper position on the sleeping bed to cover the whole area of the human body as shown in figure 2. The sensor responds to detect differentially the movements of the human body.

The infrared sensor measures the change of the human movement in every 0.2 second. The detected signal from the sensor is amplified and is converted to the digital signal, and then the changes of the frequency and amplitude pattern is stored to memory of the personal computer as the sleeping pattern with time dependence. The circuit of the infrared sensor and amplifier is shown in figure 3.

The fuzzy inference is carried out on the personal computer for the accumulated data of three types in the frequency and the amplitude pattern for the time interval of past 20 minutes and of past 5 minutes just before the present point, and also of past 30 minutes until the 5 minutes before the present point.

The scheme of the fuzzy inference which is organized by the set of the fuzzy production rule is shown as follows;

IF condition part THEN operation part,

In the fuzzy production rule, the condition part and the operation part are described by the fuzzy propositions are provided by membership functions. In the practical use, the fuzzy inference can be regarded as several multi-input single-output functions in which the function behavior is mainly determined by membership functions.

To take into account the change of the sleeping pattern with the passed time flow, the fuzzy inference with the feedback factor is used as shown in figure 4. The sleep stages are judged by the maximum-minimum method of the fuzzy inference.

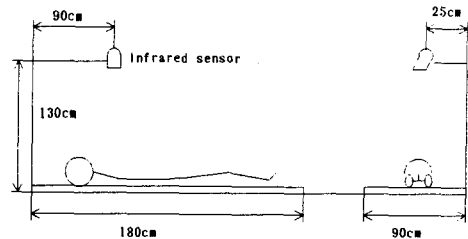


Figure 2 Setting up of the system

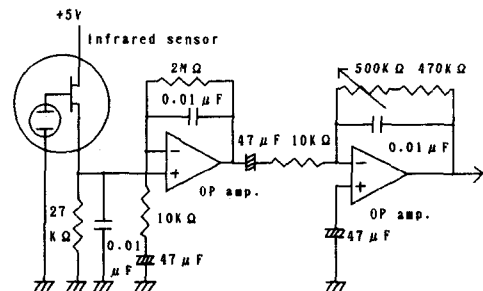


Figure 3 Circuit of the sensor amplifier

3. Experimental result

The display program is also prepared to display the sleeping pattern; the fuzzy output and the judgment of the sleep stage on the screen.

Figure 5 shows output data of an infrared sensor and the result of detecting sleep stages as graph of 'Fuzzy Detec.'. The graph of 'Stage' shows the sleep stages detected from the electroencephalogram (EEG).

For experiments, the threshold for the detecting signal is promptly adjusted for the specified sleeping condition. The membership function for the fuzzy inference is decided by the accumulated data obtained from several trials. The fuzzy output of the sleep stages detection for the specified human has coincided with the actual sleep stage.

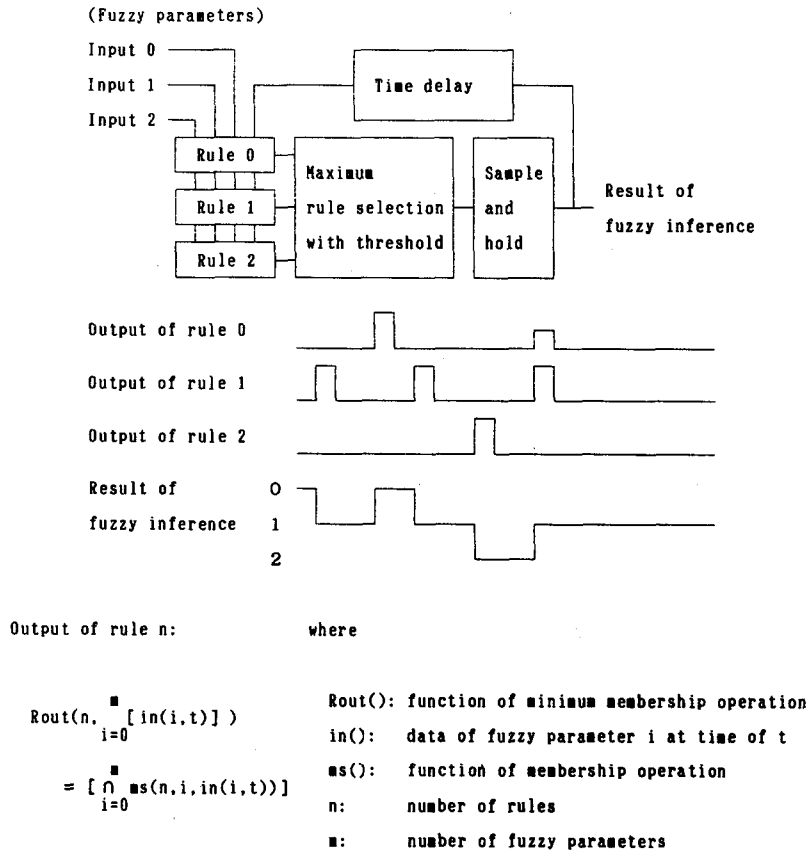


Figure 4 Fuzzy inference with feedback

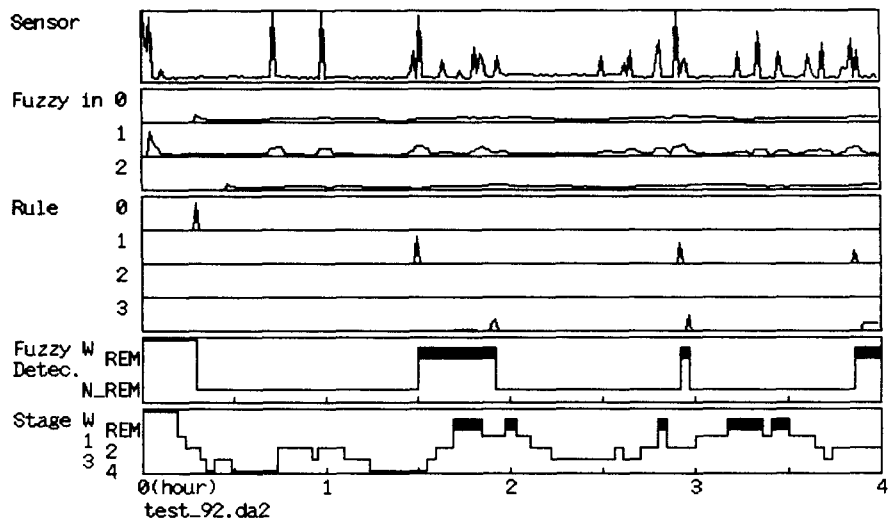


Figure 5 Output data of an infrared sensor and result of detection of sleep stages

To detect sleep stages more precisely, the style or the pattern of the body movements corresponding to sleep stages are required to be examined in more detail by using more number of infrared sensors. The sleeping pattern are said to be various depending on the distinction of male or female, and the difference of age and the body condition. And then, the membership function for the fuzzy inference is necessary to be decided by the accumulated data for variety of the sleeping patterns.

4. Conclusion

In this paper, the new detection method for sensing the sleep stages has been proposed, and the experimental result has shown that the sleep stages could be detected by using an infrared sensor from the body movement without contacting to the body.

To apply this sleeping detection method for controlling home electric and electronic systems, the programming is necessary for generating the control signals corresponding to the each state from the various sleep stages.

From the stand point of the amenity housing control, the electric and electronic systems in the room should be controlled gradually with the change of the sleep stage to support the comfortable sleeping condition for dropping off into the deep sleep and on the other hand, the awaking state from the sleep is also calculated for controlling electric systems to support the comfortable condition in awakening.

This detection system will be applied to control the housing system for establishing more comfortable living style.

References

- [1] T.Nakao, S.Doi and H.Takahashi, "Sleep sensor using fuzzy inference," Osaka science technology center, 7th Software conference, Conference proceedings p91, 1991
- [2] S.Doi, T.Sakuma, I.Nagai and H.Takahashi, "A Sleeping Detection Method using an Infrared Sensor and Fuzzy Inference", International Conference Micro-electronics 1992, Bandung, INDONESIA, Conference proceedings, 13-15 January 1992

磁気軸受を含む高速回転体の作動シミュレーション

栗本 尚

Computer Simulation of Operation in a High Speed Rotor Containing Magnetic Bearings

Takashi KURIMOTO

In the turbo molecular pump containing a high speed rotor with magnetic bearings, the particular whirling motion happens to be observed when the revolution of rotor is increasing or decreasing. This is considered to correspond to the particular whirling motion in the rotor that is suspended with unequal flexibility. At first the control system of magnetic bearings is described briefly. Then computer simulation of such a particular whirling motion and also the possibility of measuring two resonant frequencies in a rotor by this particular operation are described.

1 まえがき

磁気軸受を用いた、回転数 10,000rpm 以上の高速回転体を含むターボ分子ポンプなどにおいて、回転数の立上げ時または立下げ時に、回転数の変化に応じて、回転体軸中心の特異なふれまわり運動が観測されることがある。回転体に不つり合いがあるとき、回転体の軸中心のふれまわり運動が生ずるが、回転数に応じて、楕円軌道や円軌道をえがき、そのふれまわり方向も、軸回転方向と同方向や逆方向になったりする。これは、高速回転体において、支持部の剛性がそんなに大きくなくて、弾性支持とみなされ、かつその支持部の直交 2 方向（例えば垂直方向と水平方向）の剛性が等しくない非等方の場合、即ち非等方弾性支持回転体の場合に生ずる、回転体軸中心の特異なふれまわり運動に相当すると考えられる。

ここでは、まず磁気軸受とその制御系の概要を示し、次に磁気軸受を含む高速回転体を非等方弾性支持回転体とみなして、回転数を変化させたときの回転体軸中心のふれまわり運動の傾向をみるためのコンピュータシミュレーションを示すとともに、このような回転体の特異な作動からの、回転体の共振周波数（危険速度）の計測方法の可能性について示す。

2 磁気軸受を含む高速回転体¹⁾

通常の玉軸受のかわりに、磁気軸受を用いた高真空発生用のターボ分子ポンプなどにおいては、回転数 10,000 rpm 以上の高速回転体を無接触で支持させている。1 例として、図 1 に示すように、2 ヶ所の軸半径方向直交 2 軸用対向電磁石の計 4 軸と軸方向対向電磁石 1 軸の合計 5 軸において、各対向電磁石に流す電流を制御して各吸引力を最適にする、5 軸制御方式によっている。

このような高速回転体支持用 5 軸磁気軸受制御系の 1 軸についての構成ブロック線図の 1 例を図 2 に示す。5 軸の各対向電磁石の近くには、それぞれ対向軸位置センサが取り付けられ、回転体の軸位置をたえず検知している。各軸位置が、その対向軸位置センサの中心からずれると、軸位置偏差信号を発生し、この偏差信号から P I D 制御信号をつくりだす。この制御信号に応じて対向電磁石に電流を供給して、各電磁石の吸引力を制御することにより、回転体の軸を無接触支持させている。

この磁気軸受制御系は、5 軸制御系などの多変数制御系を構成し、特に高速回転体においては、ジャイロモーメントの影響を考慮することも必要となり、現代制御理論の対象分野となる。ところで、実際の磁気軸受を用い

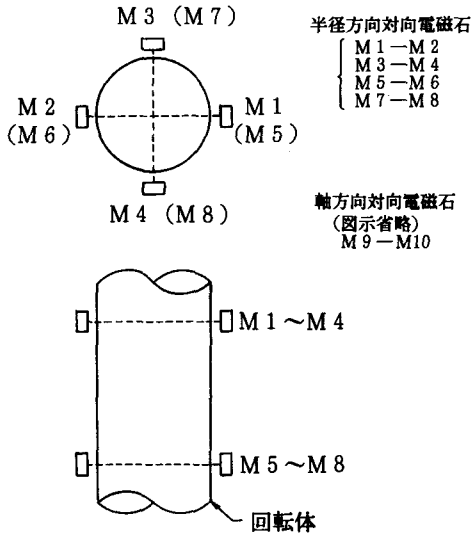
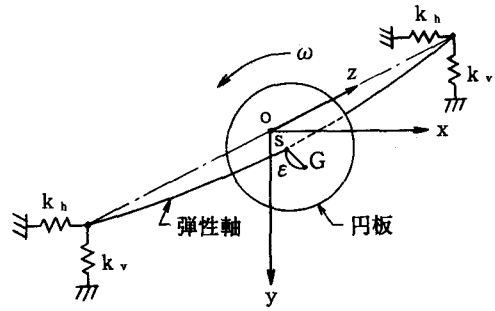


図1 磁気軸受制御系の電磁石配置



ω : 回転体の回転数 (周波数) k : 軸のばね定数
 k_v : 軸受の垂直方向の剛性 M : 回転体質量
 k_h : 軸受の水平方向の剛性 S : 軸中心
 ϵ : 偏重心 ($m\epsilon$: 不釣り合い) G : 重心

$k_x = \frac{2k_v k}{2k_v + k}$: x 方向全体のばね定数
 $k_y = \frac{2k_h k}{2k_h + k}$: y 方向全体のばね定数

図3 非等方弾性支持の回転体

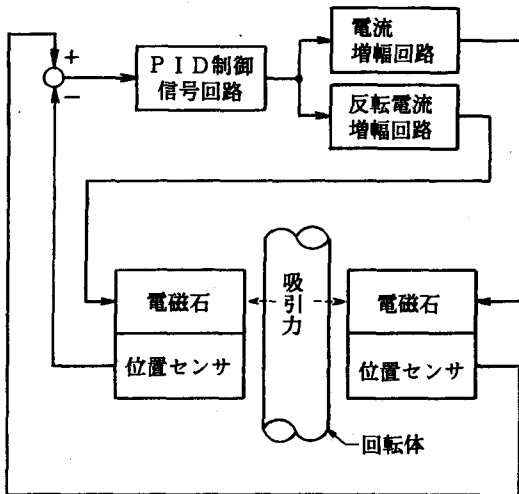


図2 磁気軸受制御系ブロック線図 (1軸のみ)

たターボ分子ポンプにおける高速回転体については、軸半径に対し細長いロータとなっているため、軸まわりの慣性モーメントが比較的小さいこともあり、ジャイロモーメントの影響は小さい。したがって、この磁気軸受制御系としては、基本的には独立5軸PID制御系とし、回転体の2ヶ所の軸半径方向の制御系の間で少しだけ逆交差結合を行わせて、若干のジャイロモーメントの影響をおさえるような制御系とすることができる。

3 非等方弾性支持回転体の運動の特長²⁾

参考文献 2) によると、図3に示すような非等方弾性支持回転体の運動方程式は、減衰が無視できるとき、次

式で与えられる。

$$\ddot{x} + \omega_x^2 x = \epsilon \omega^2 \cos \omega t \quad (1)$$

$$\ddot{y} + \omega_y^2 y = \epsilon \omega^2 \sin \omega t \quad (2)$$

ここで

$$\omega_x = \sqrt{\frac{k_x}{m}} \quad (3)$$

$$\omega_y = \sqrt{\frac{k_y}{m}} \quad (4)$$

定常状態における回転体の不釣り合いによる強制振動成分 x_e, y_e は、(1)(2)式の特解として次式となる。

$$x_e = \epsilon \frac{\omega^2}{\omega_x^2 - \omega^2} \cos \omega t \quad (5)$$

$$y_e = \epsilon \frac{\omega^2}{\omega_y^2 - \omega^2} \sin \omega t \quad (6)$$

この強制振動成分の振幅 $|x_e|, |y_e|$ は次式となる。

$$|x_e| = \epsilon \left| \frac{\omega^2}{\omega_x^2 - \omega^2} \right| \quad (7)$$

$$|y_e| = \epsilon \left| \frac{\omega^2}{\omega_y^2 - \omega^2} \right| \quad (8)$$

この(7)(8)式より、非等方弾性支持回転体の共振周波数 ω は、 ω_x, ω_y の2ヶ所にあることになる。

ここで、(5)(6)式による x_e, y_e を複素数表示すると次式ようになる。

$$\begin{aligned} r_e &= x_e + j y_e \\ &= r_{e1} e^{j\omega t} + r_{e2} e^{-j\omega t} \end{aligned} \quad (9)$$

$$r_{e1} = \frac{1}{2} \varepsilon \omega^2 \frac{\omega_x^2 + \omega_y^2 - 2\omega^2}{(\omega_x^2 - \omega^2)(\omega_y^2 - \omega^2)} \quad (10)$$

$$r_{e2} = \frac{1}{2} \varepsilon \omega^2 \frac{\omega_y^2 - \omega_x^2}{(\omega_x^2 - \omega^2)(\omega_y^2 - \omega^2)} \quad (11)$$

この(9)式において、 $r_{e1}e^{j\omega t}$ は、回転体の軸と同方向に、 ω で回転する半径 $|r_{e1}|$ の円運動を示し、 $r_{e2}e^{-j\omega t}$ は、軸と逆方向に、 ω で回転する半径 $|r_{e2}|$ の円運動を示す。これらの2個の円運動を合成した r_e 、即ち軸中心Sは、 $|r_{e1}|$ と $|r_{e2}|$ の大きさに応じて、次のようなふれまわり運動をする。

- (1) $|r_{e1}| > |r_{e2}|$: 前向きふれまわり (軸回転と同方向) の楕円運動
- (2) $|r_{e1}| = |r_{e2}|$: 直線運動
- (3) $|r_{e1}| < |r_{e2}|$: 後向きふれまわり (軸回転と逆方向) の楕円運動

4 高速回転体の作動シミュレーション

4.1 磁気軸受を含む高速回転体の特長

磁気軸制御系により高速回転体を無接触支持させるとき、その支持剛性はあまり大きくできない。さらに、ターボ分子ポンプとしての装着姿勢にもよるが、重力 g の影響もあって、軸半径方向の各対向電磁石の2直交方向の剛性が非等方になる傾向がある。したがって、磁気軸受を含む高速回転体は、程度の差はあるとしても、非等方弾性支持回転体となっているとみなしてよい場合もある。

この非等方弾性支持に関する具体的データを得ることは、そんなに容易でないこともあり、ここでは磁気軸受を含む高速回転体の回転数 ω の変化に対する作動の傾向をみるという観点から、2個の共振周波数 (危険速度) ω_x, ω_y の適当な仮定値について、作動シミュレーションを行う。

$$\omega_{x1} = 0.95\omega_n \quad \omega_{y1} = 0.85\omega_n \quad (12)$$

$$\omega_{x2} = 0.9\omega_n \quad \omega_{y2} = 0.6\omega_n \quad (13)$$

ただし、 ω_n を $k_x = k_y = k$ (等方支持) のときの共振周波数とすると

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (14)$$

4.2 回転数 ω に対する共振特性²⁾³⁾

(7)(8)式より、 ω に対する x_e, y_e の共振特性として、 $|x_e|/\varepsilon, |y_e|/\varepsilon - \omega/\omega_n$ 特性を求めると、図4のようになる。また(10)(11)式より、 ω に対する軸中心

Sのふれまわり運動成分の2個の円半径特性として、 $|r_{e1}|/\varepsilon, |r_{e2}|/\varepsilon - \omega/\omega_n$ 特性を求めると図5のようになる。

4.3 軸中心Sのふれまわり運動²⁾³⁾

(9)式による r_e は、次式のようにも示される。

$$r_e = (r_{e1} + r_{e2})\cos\omega t + j(r_{e1} - r_{e2})\sin\omega t \quad (15)$$

ここで(9)式による2個の円運動 $r_{e1}e^{j\omega t}, r_{e2}e^{-j\omega t}$ と、それらの円運動を合成した(15)式による軸中心Sのふれまわり運動 r_e のシミュレーションの1例を図6に示す。ただし、 ω_x, ω_y は(12)式の場合で、 ω は $0.7\omega_n$ と $1.2\omega_n$ とする。

この図6において、各 ω に対する2個の円運動の半径に対応する $|r_{e1}|/\varepsilon, |r_{e2}|/\varepsilon$ の値は、図5(a)における各 ω に対するふれまわり運動成分の2個の円半径に対応する値と同じになる。また図6においては、各 ω に対しいずれも $|r_{e1}| > |r_{e2}|$ となり、軸中心Sのふれまわり運動は、前向きふれまわりの楕円運動となっている。

4.4 ω に対する軸中心Sのふれまわり運動²⁾³⁾

回転数 ω を0から次第に増加させていくとき、軸中心Sは(9)または(15)式にしたがって、いろいろなふれまわり運動をしていくことになるが、そのふれまわり運動のシミュレーションの1例を図7に示す。ただし、 ω_x, ω_y は(12)(13)式の場合とする。なお1枚のグラフ上では見にくくなるため、 ω の増加につれて3枚のグラフ上に分けて示す。

この図7からもわかるように、 ω の変化に対し、次に示すような特長をもつふれまわり運動をする。

- (1) $0 < \omega < \omega_y$

$|r_{e1}| > |r_{e2}|$ であるため、軸回転と同方向に回転する前向きふれまわりの楕円運動をする。 ω が $0 \rightarrow \omega_y$ と増加するにしたがって、Y軸を長軸とする楕円が次第に大きくなっていく。

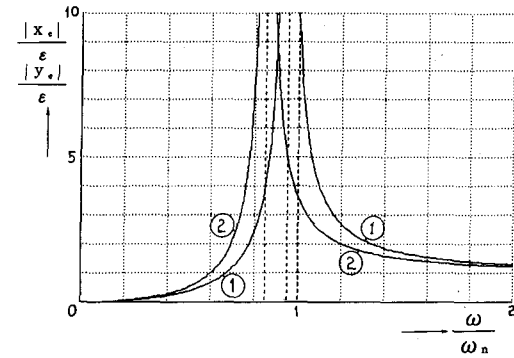
- (2) $\omega_y < \omega < \omega_x$

$|r_{e1}| < |r_{e2}|$ であるため、軸回転と逆方向に回転する後向きふれまわりの楕円運動をする。 ω が $\omega_y \rightarrow \omega_x$ と増加するにしたがって、Y軸を長軸とする楕円が次第に小さくなっていき、やがて円となり、再びX軸を長軸とする楕円として、次第に大きくなっていく。

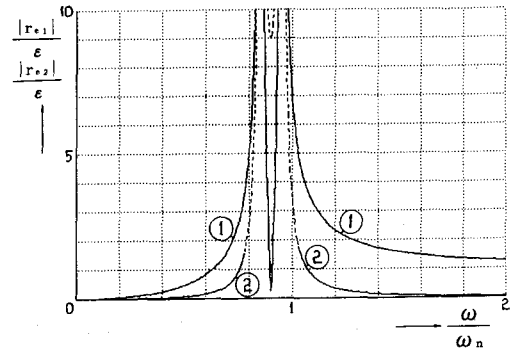
この ω の変化の途中において

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{2}(\omega_x^2 + \omega_y^2)} \quad (16)$$

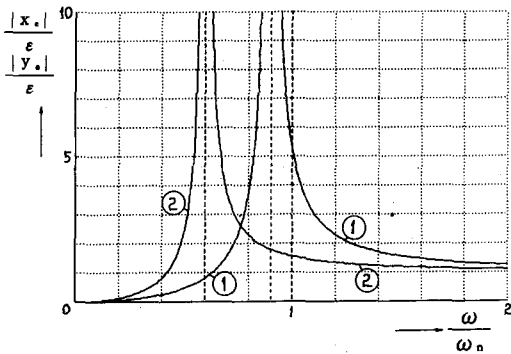
のときには、(10)式より $r_{e1} = 0$ となるため、円運動を



(a) $\omega_x = 0.95\omega_n$ $\omega_y = 0.85\omega_n$

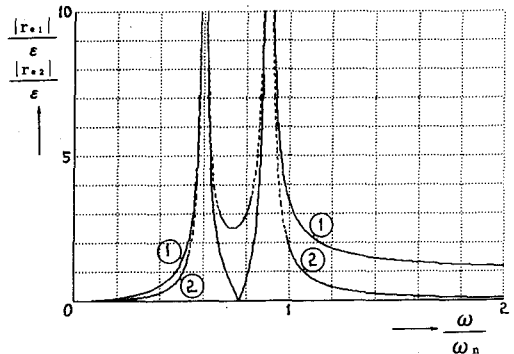


(a) $\omega_x = 0.95\omega_n$ $\omega_y = 0.85\omega_n$



(b) $\omega_x = 0.9\omega_n$ $\omega_y = 0.6\omega_n$

① $|x_e|/\epsilon$ ② $|y_e|/\epsilon$



(b) $\omega_x = 0.9\omega_n$ $\omega_y = 0.6\omega_n$

① $|r_{e1}|/\epsilon$ ② $|r_{e2}|/\epsilon$

図4 $|x_e|/\epsilon, |y_e|/\epsilon - \omega/\omega_n$ 特性

図5 $|r_{e1}|/\epsilon, |r_{e2}|/\epsilon - \omega/\omega_n$ 特性

することになる。この円の半径 r_{e0} は、(16)式の ω_0 を (11)式の ω に代入して、次式のように求められる。

$$r_{e0} = \epsilon \frac{\omega_x^2 + \omega_y^2}{\omega_x^2 - \omega_y^2} \quad (17)$$

(3) $\omega > \omega_x$

$|r_{e1}| > |r_{e2}|$ であるため、軸回転と同方向に回転する前向きふれまわりの楕円運動をする。 ω が ω_x より増加するにしたがって、x軸を長軸とする楕円が次第に小さくなっていく。

(4) $\omega \approx \omega_x$

ω がさらに増加するにしたがって、x軸を長軸とする楕円が回転方向はそのままさらに小さくなっていき、やがて半径が不つり合いの ϵ に等しい円に近づいていく。この状態は、重心Gによる自動調心作用を示す。

実際の磁気軸受を含む高速回転体をもつターボ分子ポンプについて、 ω を0から次第に増加させて定常回転数まで立上げていくのに、通常数分間を必要とする。その

立上げ時の軸中心Sのふれまわり運動を観察すると、上記のようなふれまわり運動がある程度認められることがある。

5 高速回転体の共振周波数の計測⁴⁾

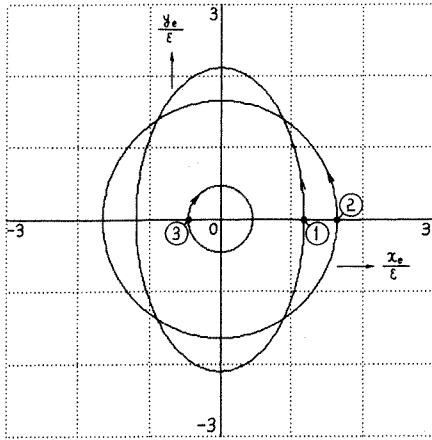
非等方弾性支持回転体においては、不つり合いの ϵ のあるとき、回転数 ω の変化に対する軸中心Sの特異なふれまわり運動から、2個の共振周波数 ω_x, ω_y を計測することが可能であると考えられる。そのような高速回転体の共振周波数の計測方法の提案について示す。

(16)(17)式において、 ω_x, ω_y が未知のとき、 $\omega_0, r_{e0}, \epsilon$ を計測することができれば、次式より ω_x, ω_y を求めることができる。

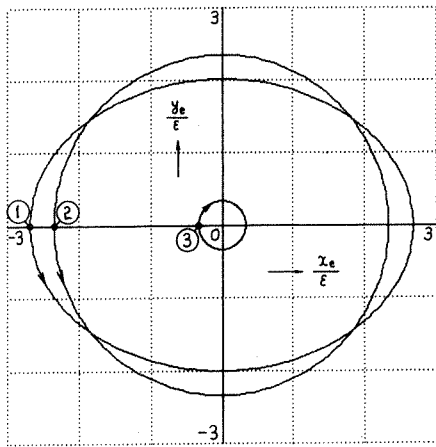
$$\omega_x = \omega_0 \sqrt{1 + \frac{\epsilon}{r_{e0}}} \quad (18)$$

$$\omega_y = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{\epsilon}{r_{e0}}} \quad (19)$$

回転数 ω を0から次第に増加させていくとき、回転体



(a) $\omega = 0.7\omega_n$



(b) $\omega = 1.2\omega_n$

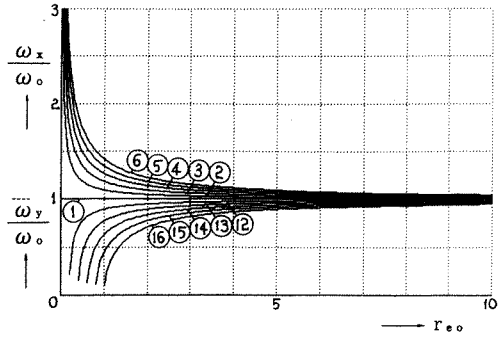
$\omega_x = 0.95\omega_n \quad \omega_y = 0.85\omega_n$

- ① r_e ② $r_{e1} e^{j\omega t}$ ③ $r_{e2} e^{-j\omega t}$

図6 軸中心Sのふれまわり運動

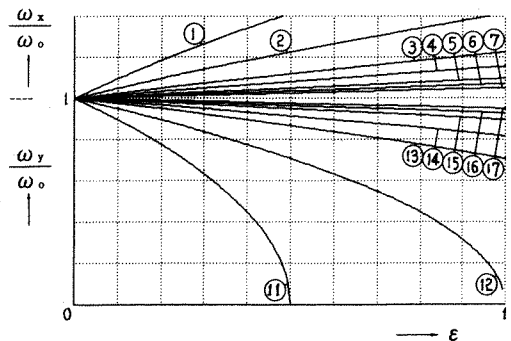
の軸中心Sのふれまわり運動を、2直交軸方向の x_e 、 y_e に関するリサージュ図形としてモニタする。最初の円運動が得られる状態において、その円の半径 r_{e0} とそのときの回転数 ω を計測する。さらに ω を増加させて、次の円運動に近づくときの円の半径 ϵ を計測する。この間、リサージュ図形としての楕円運動の成長状態や回転方向をモニタし、 ω の増加とともに4.4項に示したような経過をたどることを確認する必要がある。

(18)(19)式より、 ϵ をパラメータとする $\omega_x/\omega_0, \omega_y/\omega_0 - r_{e0}$ 特性を図8に、また r_{e0} をパラメータとする $\omega_x/\omega_0, \omega_y/\omega_0 - \epsilon$ 特性を図9に示す。この計測方法により、非等方弾性支持回転体の異なる2個の共振周波



- $\epsilon : \omega_x/\omega_0 - ①0 \quad ②0.2 \quad ③0.4 \quad ④0.6 \quad ⑤0.8 \quad ⑥1$
 $\omega_y/\omega_0 - ①0 \quad ②0.2 \quad ③0.4 \quad ④0.6 \quad ⑤0.8 \quad ⑥1$

図8 $\omega_x/\omega_0, \omega_y/\omega_0 - r_{e0}$ 特性 (パラメータ: ϵ)



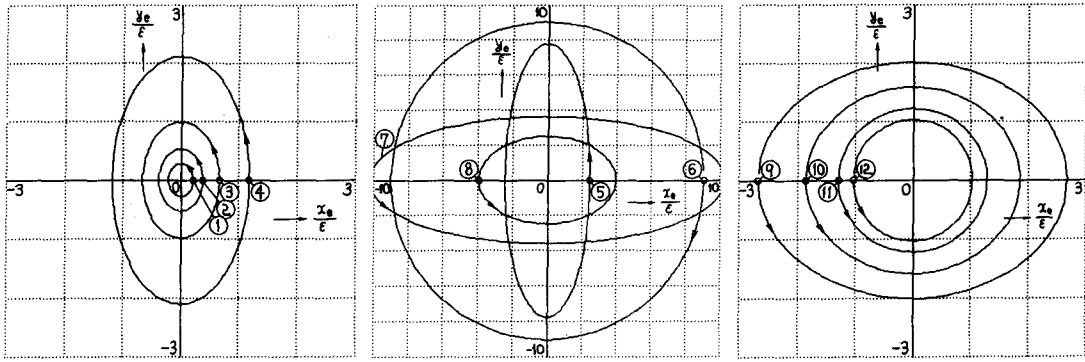
- $r_{e0} : \omega_x/\omega_0 - ①0.5 \quad ②1 \quad ③2 \quad ④3 \quad ⑤5 \quad ⑥7 \quad ⑦10$
 $\omega_y/\omega_0 - ①0.5 \quad ②1 \quad ③2 \quad ④3 \quad ⑤5 \quad ⑥7 \quad ⑦10$

図9 $\omega_x/\omega_0, \omega_y/\omega_0 - \epsilon$ 特性 (パラメータ: r_{e0})

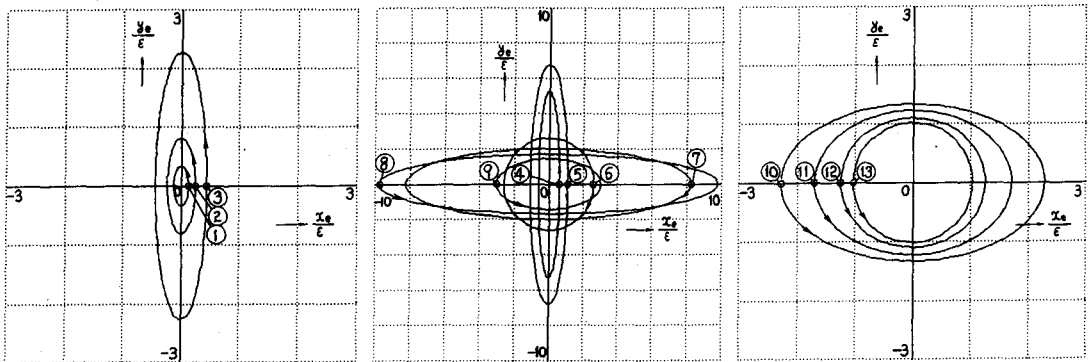
数を計測するための構成ブロック線図の1例を図10に示す。

6 まとめ

高速回転体は生き物であるともいわれているように、いろいろな場面において複雑な挙動を示す。非等方弾性支持回転体とみなし得る場合の、磁気軸受を含む高速回転体において、回転数の変化に応じて生ずる回転体軸中心の特異なふれまわり運動もその1例であろう。ここでは実際の磁気軸受を用いた高速回転体を含むターボ分子ポンプの軸回転の定性的観測から、2個の共振周波数 ω_x, ω_y の仮定値による、回転数変化に対する軸中心のふれまわり運動の作動シミュレーションを行い、さらにもその特異な作動から、高速回転体の2個の共振周波数の計測の可能性に関する提案を行った。実際のターボ分子



ω/ω_n : ①0.4 ②0.5 ③0.6 ④0.7 ⑤0.8 ⑥0.9014 ⑦1 ⑧1.1 ⑨1.2 ⑩1.4 ⑪2 ⑫5
 (⑥ : ω_x/ω_n で半径 $r_{e.0}$ の円 ⑫ : 半径 ε の円に近づく)
 (a) $\omega_x=0.95\omega_n$ $\omega_y=0.85\omega_n$



ω/ω_n : ①0.3 ②0.4 ③0.5 ④0.55 ⑤0.65 ⑥0.765 ⑦0.85 ⑧0.95 ⑨1.1 ⑩1.2 ⑪1.4 ⑫2 ⑬5
 (⑥ : ω_x/ω_n で半径 $r_{e.0}$ の円 ⑬ : 半径 ε の円に近づく)
 (b) $\omega_x=0.9\omega_n$ $\omega_y=0.6\omega_n$

図7 回転数 ω の変化に対する軸中心Sのふれまわり運動のシミュレーション

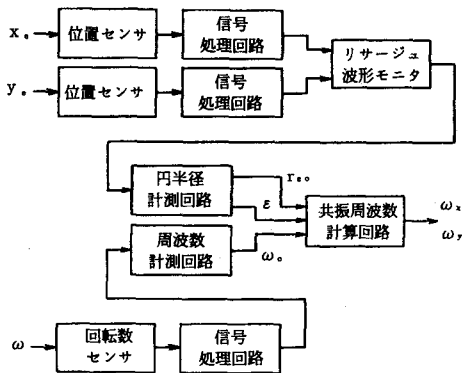


図10 共振周波数計測回路構成ブロック線図

ポンプのデータにもとづく、この特異な作動との定量的な関連性、さらには共振周波数計測の実現性などに関し

ては、今後の実験研究による必要があるが、筆者も今後とも機会があれば、さらに検討を加えていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 成田,川口,芦田,藤本 : ” 磁気軸受形広域ターボ分子ポンプの開発” 島津評論 Vol.43 No.4 p297~306 (1986.12)
- 2) ガッシュ,ピュッツナ (三輪 訳) : ” 回転体の力学” 森北出版 (1984.8)
- 3) 戸川,下関 : ” グラフィック振動論” サイエンス社 (1986.11)
- 4) 栗本 : 特許願 ” 回転体の共振周波数計測方法および計測装置”(島津製作所 1989.11 出願) 公開特許広報 平3-172721

高圧空気を駆動源とする模型船走行特性

坂本 雅彦

MODEL SHIP RUNNING TEST USING HIGH PRESSURE GAS

Masahiko SAKAMOTO

This study proposes a new type nozzle, which generates a high-speed two-phase water jet, as a propulsion device for a ship. Several characteristics were investigated by conducting the running test of a model ship using the new type of nozzle. By using the nozzle a high-speed two-phase water jet is generated, the thrust is obtained the reaction of a accelerated flow. The sailing speed of a model ship increases as the high-pressure air increases. The propulsive efficiency increases as the high-pressure air decreases. The ratio of momentum increases several times or more.

1. 緒言

船舶用の推進装置として現在圧倒的に用いられているのはスクリュプロペラで、その基本的な推進原理は200年ほど変化していない¹⁾。船舶の新しい推進原理として、本研究はウォータージェットによる新しい推進原理を提案している。これは、ノズル内を一定の流速で水流が通過する際ノズルスロート下流より高圧のガスとして高圧空気を吹き込み、注入された気泡の膨張により下流の水流を二相流ジェットとして高速に加速させ、その反動を推力として利用するものである。したがって、本推進装置ではあらかじめノズルに流入する水流をポンプ等により加圧・加速する必要がなく極めて単純な構造をしているのが特徴である。また、後述するようにノズルに注入される高圧空気の運動量に対し、流出するジェットの運動量が数倍以上に増加する²⁾ことから、水流の加速原理はジェットポンプによるものとは本質的に異なっている。

前報³⁾では、ノズルの形状が軸対称なほぼ直管のノズルを用いてこれを模型船に設置し模型船の走行特性について検討した。

今回、構造が最も単純な二次元ノズルを用いてこれ

を模型船に設置し走行特性について検討を行い、推力発生メカニズムについて検討を行ったので以下に報告する。

2. 推力発生原理

ノズル内の水流を加速する原理は、先に述べたように高圧空気の膨張によるもので、高圧の貯気槽よりノズルを通して高速の気流を発生するエゼクタの原理とは異なっている。後者の場合、注入する空気の運動量の交換のみにより気流を加速させるものであり、結果としてノズル軸方向の圧力勾配が生じ、定常流の圧縮性ベルヌーイの式が成立する。しかし前者においては、エネルギーである高圧空気は外部から注入しているのでその関係式は成立せず、またノズルに注入された高圧空気の膨張に要する時間が極めて短いと考えられる事から、あきらかにノズル軸方向の圧力勾配によらず水流が加速されていると考えられる。そこで、ジェットの加速原理として次のようなモデルを考えた。

図1に示すように、ノズル内を流入する水流に高圧空気が注入されると気泡は膨張をはじめが、この際気泡は上流の流れの流れて移動し、上流側の水流は減速することなく流れ続ける。新たに注入された高圧の

気泡は下流に膨張した気泡よりも圧力が高く下流側の水塊を加速する。この時上流側の水塊も加速を受けるが、上流側の空気含有量は下流に比べずっと小さく、慣性(mass)が大きい。このため気泡は下流側へと膨張しつつ水を下流へと加速する。これはチャンネル内に於けるプロペラの作用と同様であるが、ただ負圧面がなく、気泡の局所的・瞬間的な圧力勾配が直接的に水塊を加速していると考えら、ノズル内の気泡はエネルギー源であるとともに運動量源となっていると考えられる。

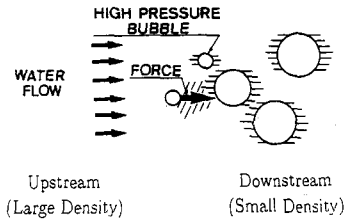


図1. 水流の加速メカニズム

以上の事から、ノズル後部の水流に対する空気含有量を増加することにより、水流を二相流ジェットとして高速に加速させることが可能となる。したがって、このジェットの加速原理を船舶の推進装置として適用するためには、二相流ジェットの加速による反動を推進機が推力として回収し得る形状にノズルの構造を工夫する必要がある。今回新たに提案した推進機の構造を図2に示す。推進機の形状を最も単純な二次元ノズルの構造にする事により、ジェットにより発生する圧力波をノズル後部の板が受け止め、これを推力として利用する事が可能である。さらに、加速されたジェットの反動である圧力波を高めるためには、より多量の水と径の小さな気泡が十分に混在させる方が推力を向上する上で有効な手段である事が推察できる。

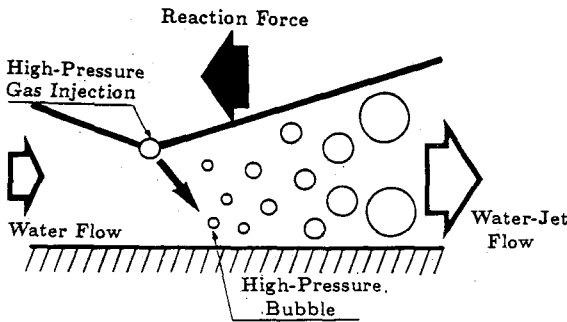
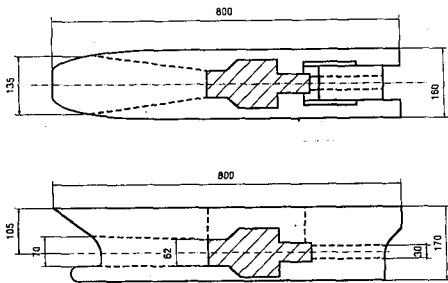


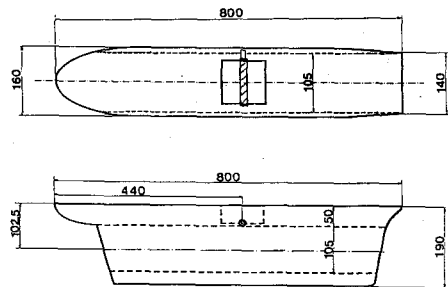
図2. 推力発生メカニズム

上述した事を実験で検証するため、図3に示す2種

類のタイプの模型船を試作し実験を行った。模型船Aは前報3)で使用した直管の軸対称ノズルを用いており、模型船Bは構造が最も単純な二次元ノズルとなっている。高圧空気は各々圧縮機より高圧ホースを介して船体内の空気室に供給され、直径1mmの小孔よりノズル流路内に供給される。図4に模型船Aならびに模型船Bの推進速度と高圧空気圧力の関係を示す。高圧空気圧力が増加するにともない推進速度は単調に増加し、模型船Bの推進速度は模型船Aに比べ約4倍増加しており、推進装置としては今回提案したノズルが有効である事がわかる。なお、模型船Bの推進速度は最大1.2m/sec前後に達する。



(A) 模型船Aの構造



(B) 模型船Bの構造

図3. 試作した模型船の構造

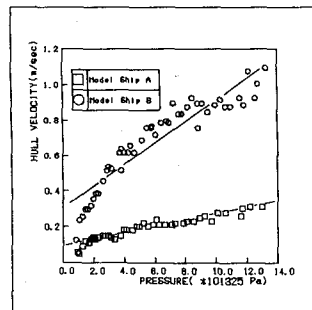


図4. 推進速度と高圧空気圧力の関係

3. 実験装置及び方法

試作した模型船の構造を図5に示す。船体の構造は単胴型であり、船体の重量を軽量化するためバルサ材を用いて制作している。推進機はその船底部に設置されており、高圧空気注入角度、ノズル前部板の開き角ならびに後部板の開き角は各々任意に設定できる構造となっている。

高圧空気は圧縮機により圧縮された後、船体中央部に設置された直径1.5mmの高圧空気室（図6）であるパイプに供給され、直径1.5mmの小孔、流路幅方向3カ所より水中に注入される。

実験では、2mの助走区間を設け模型船の走行速度が安定する3mの測定区間にて船体抵抗をばねばかりで、推進速度をストップウォッチにより測定した。なお、模型船の走行中は船体の傾きが一定とし実験を行った。

以下に高圧空気注入圧力、高圧空気注入角度そしてノズル前後部板の開き角に対する推進速度の影響について報告する。

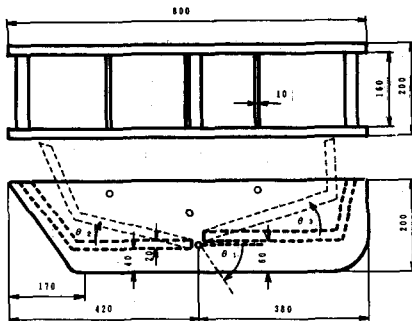


図5. 試作した模型船の構造

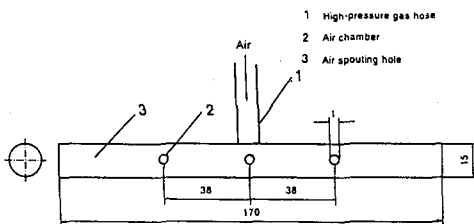


図6. 高圧空気室の構造

4. 実験結果ならびに考察

図7に模型船の推進速度と船体抵抗の関係を示す。

船体の推進速度が増加するにともない船体抵抗が単調に増加していることがわかる。なお、図中の実線は2次曲線で近似したものであり、ノズル前後部板の開き角を変化させても同じ結果を得た。

図8に高圧空気注入圧力と推進速度の関係をノズル前後部板の開き角をパラメータに示す。高圧空気圧力が増加するにともない推進速度が単調に増加していることがわかる。また、高圧空気圧力を一定とした場合、ノズル後部板の開き角が0°の場合推進速度は低下しているが、これは気泡の浮力による水平方向成分の力と高圧空気により加速されたジェットの反動をノズル後部板が水平のため受け止められず、いわゆるバズーカ砲の構造となり推力の低下をもたらしていると考えられる。

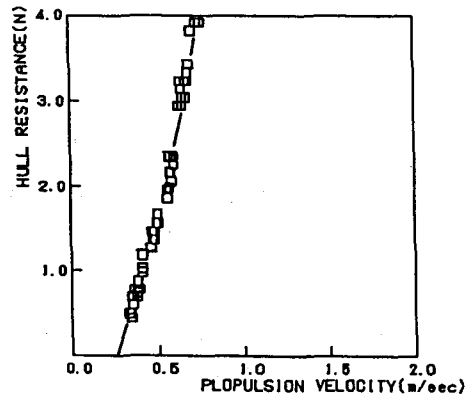


図7. 船体抵抗と推進速度の関係

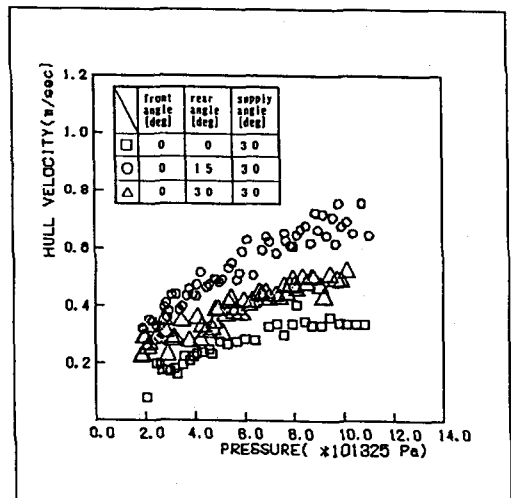


図8. 推進速度と高圧空気圧力の関係

以上の実験結果をもとに模型船の推進効率ならびに運動量の増加率を計算により求めた。推進効率はここでは推進機出力に対する高压空気のなした仕事の比と定義し、推進機出力 F_o は次式で求めた。

$$F_o = T \times U \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 T は推進機の推力(N)、 U は船体速度(m/se c)である。なお、推進機の推力は船体の走行時において船体抵抗と等価であることから、ここでは船体抵抗を用いた。一方、高压空気のなした仕事 F_i は注入された高压空気が大気圧まで等温膨張すると仮定し、次式より計算した。

$$F_i = G \times R \times T \times \ln (P_o/P_\infty) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 G は高压空気質量流量(Kg/sec)、 R は気体定数(Nm/KgK°)、 T は高压空気温度(K°)、 P_o は高压空気室の出口圧力(Pa)そして P_∞ は大気圧力(Pa)である。以上のことから推進効率 η は次式で表される。

$$\eta = F_o / F_i \quad \dots\dots\dots (3)$$

上述の計算を用いて得られた推進効率と高压空気圧力の関係を図9に示す。推進効率は注入する高压空気圧力の低下にともない増加していることがわかる。

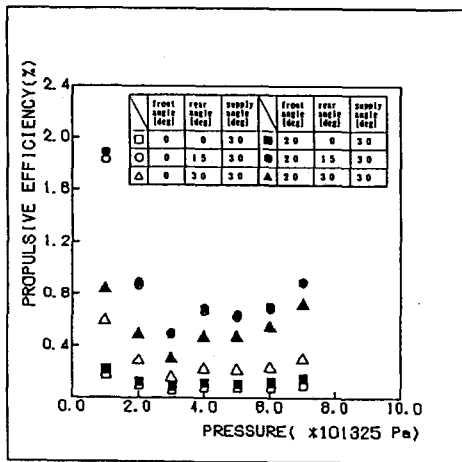


図9. 推進効率と高压空気圧力の関係

一方、運動量の増加率 α は次式で定義した。

$$\alpha = T / F_a \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 T は推進力(N)、 F_a はノズルに注入される高压空気の運動量(N)である。図10に計算により得られた運動量増加率と高压空気圧力の関係を示す。高压空気圧力の低下に伴い運動量増加率は単調に増加し、最大10倍前後に達する。

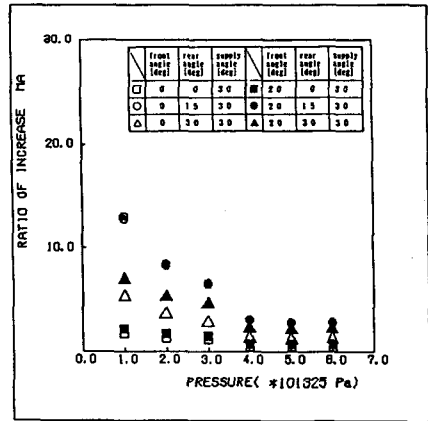


図10. 運動量増加率と高压空気圧力の関係

5. 結言

本研究で提案した推進原理を模型船に設置しその走行特性実験を行い以下の結論を得た。

- (1)高压空気圧力が増加するにともない船体速度は単調に増加する。
- (2)ノズル前後部板の開き角が小さいほど、推進速度は低下する。
- (3)推進効率は注入する高压空気圧力が小さいほど増加する。
- (4)本研究で提案した推進原理が推進装置として機能する事を確認した。

謝辞

本研究を進めるにあたり多大なる協力を頂いた、当時卒業研究生であった今西慎也君 杉本範文君 高野浩史君 小西敏史君に厚く感謝いたします。

文献

- (1)丹波誠一、高速艇工学、(1971)、舵社
- (2)高野他2名、機論、57-535,B(1991)
- (3)坂本、奈良高専研究起用、7-10,No.27,(1991)

コルニュ法によるポアソン比測定システムの開発

(負荷制御装置の開発)

西田 茂生・押田 至啓

Development of Poisson's Ratio Measuring System Using Cornu Method
(Development of Load Control System)

Shigeki NISHIDA , Yoshihiro OSHIDA

Measuring Poisson's ratio of ceramics is very important for mechanical design and theoretical analysis. To measure Poisson's ratio the Cornu method is widely used. In this method Poisson's ratio is determined by the contour lines for the surface of the pure bending prismatical bar.

Pure bending is achieved by the four-points-bending system. But to load bar equally at four loading points is very difficult by inaccuracy of the loading system.

New loading system with automatical load control using piezo actuator is developed.

1. はじめに

セラミックス材料のポアソン比は構造物の設計や、種々の理論計算において重要な意味をもっている。¹⁾しかし、その測定法および、測定値に関する基準がいまだになく、現状でのポアソン比の測定値は信頼性がきわめて低い。一方、セラミックス材料のヤング率の測定は4点曲げ試験もしくは3点曲げ試験で行うようJISで規定されている。²⁾また、一般的な材料に対してはコルニュ法³⁾によるポアソン比の測定が広く用いられている。そこで、本報では単純曲げとなる4点曲げ試験にコルニュ法を適用した、セラミックス材料のポアソン比測定システムを提案する。

本研究では、まず、4点曲げ試験装置について考察を行った結果、従来の4点曲げ試験装置では負荷装置と試料との間の整合性に問題があり必ずしも完全な単純曲げの応力状態を発生させているとは言えない。したがってその測定値も信頼性に欠けることがわかった。

そこで、正確な単純曲げの応力状態を発生させることを目的とし、負荷装置の負荷状態に制御を加える4点曲げ試験装置を提案し、試作した。また、この負荷装置により与えられた試験片表面の変位分布を求めるために、スペックル干渉法を用いて変位情報を計算機に取り込む。この変位情報を画像処理することによりポアソン比を計算する。本稿では、変形を測定しこれをもとに負荷装置にフィードバックをかける負荷制御4点曲げ試験装置について主に述べる。

2. 測定原理

材料のポアソン比を測定する方法としては、単純曲げにおける板材の弾性体の変位より求めるコルニュ法を用いる。板材試験片を単純曲げの応力状態にするには、試験片に4点曲げ試験を施すことが最も一般的である。

図1に示すような4点曲げを行うと、図のBC間ではせん断応力が零となり、曲げモーメントが一樣となる。

このBC間の応力状態が単純曲げの応力状態となる。単純曲げの応力状態において、板材試験片の下面(図1)での任意の変位が等しい位置を線で結ぶと、図2に示すような双曲線群となる。

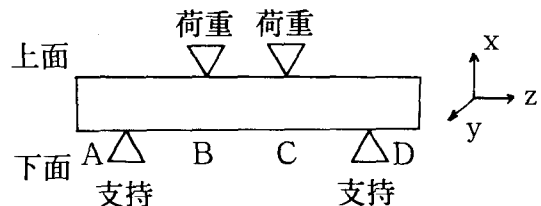


図1 4点曲げによる単純曲げ応力状態の発生

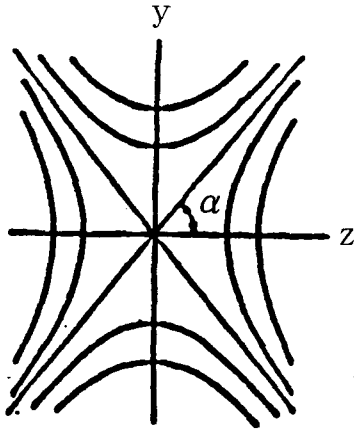


図2 単純曲げ応力状態での変位分布

また、図2において、原点と等しい変位の位置を線で結ぶと直線となる。この直線は、双曲線群の漸近線を表す。いま、図2において、z軸と漸近線のなす角度を α 、ポアソン比を ν とすれば、 α と ν の関係が次式で得られる。

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

材料のポアソン比を求めるためには、板材試験片に4点曲げを行い、試験片表面の変位分布を求めればよい。変位分布を求める方法としては、光波干渉計を用いるのが一般的であり、本ポアソン比測定システムにおいてもスペックル干渉計を用いる。

3. 負荷制御を用いた4点曲げ試験装置

ポアソン比測定システムの構成を図3に示す。本稿では、負荷制御装置部について述べる。

3. 1 従来の4点曲げ負荷装置の問題点

図4に一般的に用いる4点曲げ負荷装置の一例を示す。

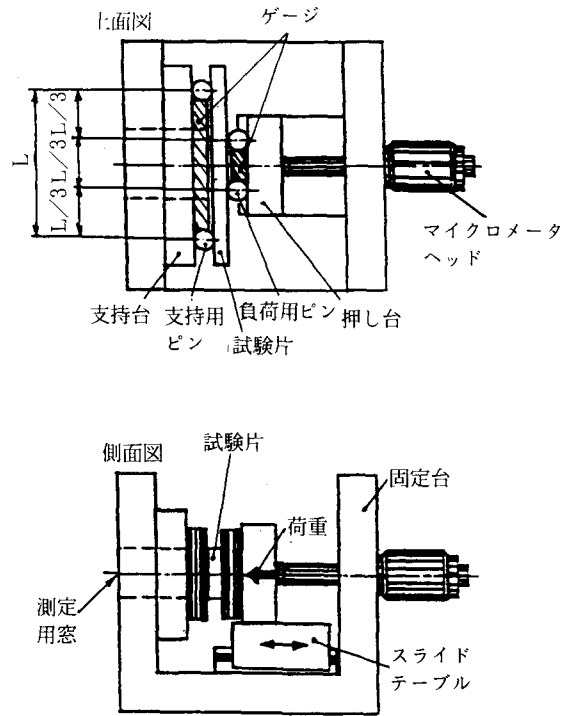


図4 従来の4点曲げ負荷装置の概略図

図4の負荷装置は試験片を負荷用ピンと支持用ピンで挟み込み、マイクロメータヘッドで負荷をかけて4点曲げを行うものである。このとき試験片に正確な曲げが行われれば、すなわち理想的な線荷重が生じていれば負荷用ピン間の領域で単純曲げの応力状態が生じる。しかしながら、ピンの平行度や試験片の平面度の精度が悪ければ所要の線荷重を得ることができず、したがって正確な単純曲げの応力状態を作ることができない。

図5に正確な単純曲げが行われた場合の正常な変位状態すなわち干渉縞と負荷が正しく行われなかった場合の異なる異常な干渉縞の状態を示す。

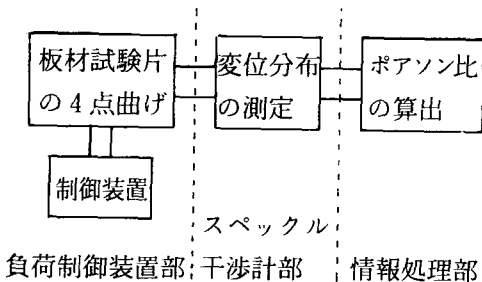


図3 ポアソン比測定システムの構成図

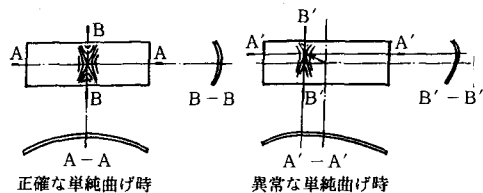


図5 理想的な干渉縞と異常な干渉縞

図5の右側のような干渉縞は、負荷用ピンと試験片との接触状態が正常な状態からずれるために、左右均等な負荷が得られず、しかも試験片をねじる力が働いているときに生じる。この原因としては、図6に示すように負荷用ピンが試験片と傾いた状態で接触するかもしれない。このような接触状態をここでは以後片当たりの状態という。

正確な単純曲げの応力状態を生じさせるためには、片当たりの状態を解消すればよい。

3. 2 負荷制御を用いた4点曲げ負荷装置

片当たりの状態を解消するためには、負荷装置の精度を向上させるとともに、試験片の加工精度および表面の仕上げをより向上させるか、または、装置や試験片の精度を補償する機構を負荷装置に導入するかのいずれかである。本負荷装置部では、圧電素子を用いてピンに微小な変位を与えることによって、試験片に一樣な理想的な線荷重を作用させる負荷制御を行う。

図7と図8に本システム中の負荷装置部の概略図を示す。

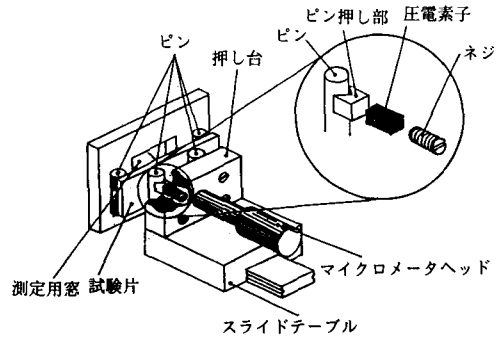


図8 負荷装置部の概略図(全体図)

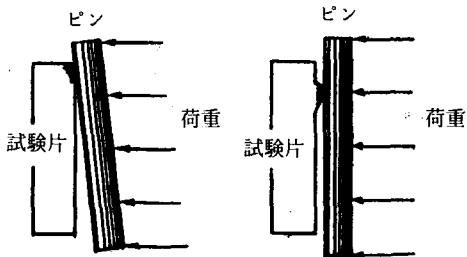


図6 ピンと試験片の接触不良状態

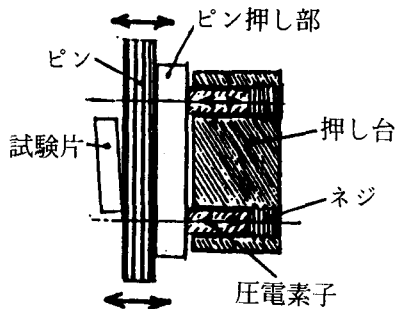


図7 負荷装置の概略図(ピン部拡大)

図7と図8に示すように、負荷用ピンの両端部後部の圧電素子に所要の電圧を加えることによって圧電素子を変位させ、ピンが試験片に一樣な線荷重を与えるようにする。また、圧電素子後部のネジによってピンを機械的に変位させることができる。

3. 3 負荷制御

負荷用ピンが試験片に一樣な線荷重を作用させるために、圧電素子に電圧を加えるわけであるが、ここでは圧電素子に加える電圧の制御について述べる。

試験片が正確な単純曲げの応力状態であるかどうかを試験片表面の変位状態を利用して調べる。試験片の中立線、すなわち図2のY軸とZ軸に沿った任意の位置にレーザー光を照射し、その反射光を固定された位置検出素子(以後PSDという)上に当て変位の状態を検出する。

試験片に正しい4点曲げが行われている場合には、試験片に当てたレーザー光の反射光はPSDの中心部に当たるはずである。したがって、反射光がPSDの中心部に当たるように、ピンを変位させる圧電素子の電圧をフィードバック制御すればよい。この様子を図9に示す。

実際には、図10に示すような2方向の試験片のずれ、すなわち、Y軸方向とZ軸方向での試験片の平行度を検出するために、2個のPSDを用いる。

それぞれのPSDの出力(PSDのx方向とy方向の2つの出力)をコンピュータに取り込み、双方とも反射

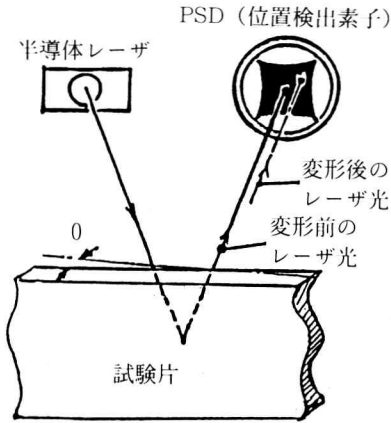


図9 試験片の曲がりの検出

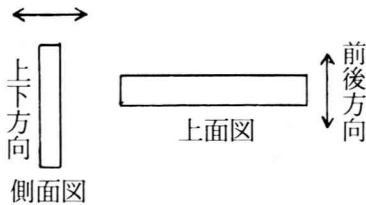


図10 試験片のずれ方向

光が原点に当たるまで圧電素子の入力電圧のフィードバック制御を行う。

4. 結果

前節までに述べたように、正確な単純曲げの応力状態を生じさせるには、PSDと圧電素子を用いた負荷制御を行えばよいのであるが、今回は製作段階のため実際に負荷制御を行った場合の結果を得ることはできなかった。しかし、マニュアル制御を行なったのでこの結果を示す。図11と12に負荷制御を行わない場合の結果とマニュアル負荷制御を行った場合の結果を示す。図はスペックル干渉法により得られた画像で、物体の等変位線を表している。図11より、負荷制御を行うことにより片当たり状態が補正され、正確な単純曲げの応力状態に近い状態が得られることがわかる。なお、両者とも試験片材料はアルミナセラミックスを用い、その形状は長さ50mm幅10mm厚さ3mmの板状である。

5. おわりに

従来の4点曲げ試験装置では、必ずしも正確な単

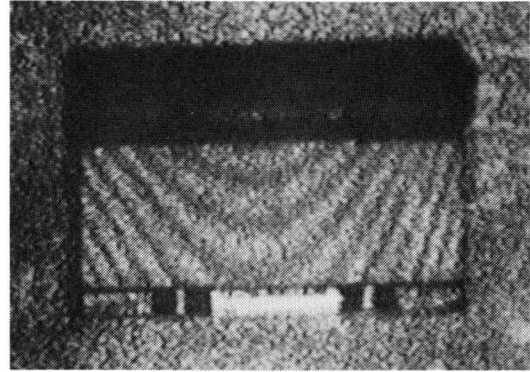


図11 負荷制御を行わない場合の変位分布

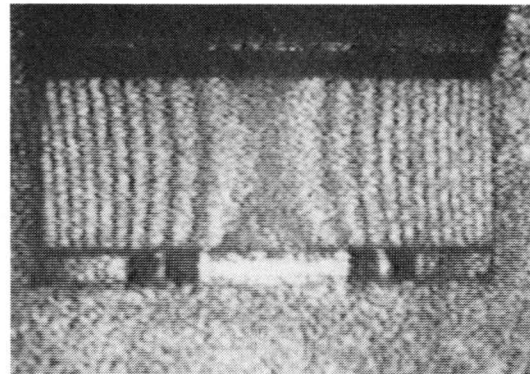


図12 マニュアル負荷制御を行った場合の変位分布

純曲げの応力状態を得ることはできない。しかしマニュアルであるが負荷制御を行った場合には、片当たりの状態を補正し正確な単純曲げの応力状態に近い応力状態を得ることができた。このことは、従来のポアソン比は信頼度の低いものであり、ポアソン比の測定方法自体を考え直す必要性を示唆するものであると考える。また、本ポアソン比測定システムで用いる負荷制御を行えば、より正確なポアソン比を求めることが可能であることが確認できたとともに、ポアソン比の測定方法における基準を提案することの可能性がみいだされた。

参考文献

- 1) 例えば H.Hertz, "Miscellaneous Papers", London, 1896
- 2) JIS R 1602 (1986)
- 3) S.P.Timoshenko and J.N.Goodier, "Theory of Elasticity", pp.284-288 1970

多関節ロボットにおける オフラインティーチングシステムの開発

早川 恭弘・田代 康之¹⁾・松村 賢治²⁾

Study on Offline Teaching System for Multijoints Robot

Yasuhiro HAYAKAWA, Yasuyuki TASHIRO, and Kenji MATSUMURA

今日の産業用ロボットは、流れ作業の生産ライン上に設置されていることが多い。時代のニーズにより、同一生産ライン上で、多品種小量生産を行なっているが、ロボット実機を動かしてティーチングを行うオンラインティーチングではラインにニューモデルを加える度に、動き続けているラインを止めてティーチングしなければならない、コストアップにつながる。そのため、ロボットの動作に必要な各関節角度をパソコンにより計算し、それにより得られたデータを通信回線を通じてロボットのコントローラに送信するオフラインティーチングシステムが注目されている。

本研究では、まずオフラインティーチングシステムを構築する上で必要となるロボットの運動学を求める。次に、シミュレーションモデルを作成し、具体的な動作を画面上で確認する。

1. 緒言

今日、危険な仕事は殆どと言っていいほどロボットによって作業が行われている。また、単調な繰り返し作業なども効率が良い等の理由でロボットを利用することが多く、ロボットの産業界進出にめざましいものがある。そのためロボットをいかに制御できるかが大きな問題となる。

そこで本研究では平成2年度に寄贈された溶接用5自由度多関節ロボット（アルメガG01）の手先位置からロボット関節角の算出を行うために、そのロボットをモデル化し、順運動学と逆運動学を同次変換を利用して求める。そして、求めた逆運動学によってロボットのモデルを3次元グラフィック化し、手先部の動作を確認するプログラムの開発を行う。

そして、シミュレータによりロボットモデルの動作を確認し、そのデータをロボットコントローラに入力することにより、ロボットが実際に動作するシステムを考える。

2. 順運動学の算出

この章では、使用ロボットの順運動学の算出を行う。順運動学とは、ロボット各関節角度からロボット手先位置を求めるものである。ロボットの解析を行うために、図2.1に示すロボットを図2.2に示す様にモデル化を行う。図中の記号 $l_1 \sim l_6$ は各リンク長を示し、①～⑥は座標変換行列を求めるための基準座標系を示す。

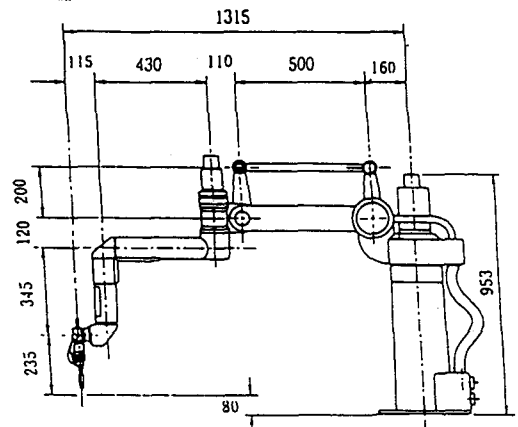


図2.1 アルメガロボット外形図

1) (株)村田機械 2) 大阪大学

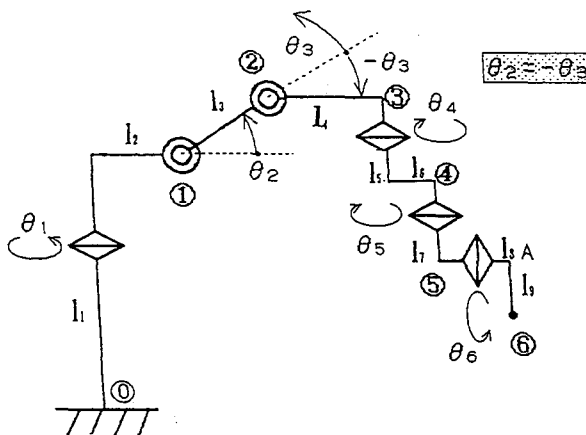


図2. 2 モデル化

順運動学を求めるのに、DenavitとHartenbergによって提案された4×4変換行列(DH記法)¹⁾を用いるため、モデル化したロボットのリックパラメータを表2.1に示す。

表2. 1 リックパラメータ

i	θ_i	d_i	a_i	ϕ_i
1	θ_1	l_1	l_2	$\pi/2$
2	θ_2	0	l_3	0
3	θ_3	0	l_4	$\pi/2$
4	θ_4	l_5	l_6	0
5	θ_5	l_7	0	$\pi/2$
6	θ_6	l_8	l_9	0

次にこのリックパラメータを(2.1)式に代入すると、各リック部の座標変換行列が計算できる。

ただし、ここでは

$$\begin{aligned} \cos \theta_i &= C_i & \cos (\theta_i + \theta_j) &= C_{ij} \\ \sin \theta_i &= S_i & \sin (\theta_i - \theta_j) &= S_{ij} \\ \cos \alpha_i &= C\alpha_i & \sin \alpha_i &= S\alpha_i \end{aligned}$$

等とおいている。

$$A_i = \begin{pmatrix} C_i & -C\alpha_i S_i & S\alpha_i S_i & a_i C_i \\ S_i & C\alpha_i C_i & -S\alpha_i C_i & a_i S_i \\ 0 & S_i & C_i & a_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

この変換行列 A_i の意味は、リック i の位置を $i-1$ の座標系で表すときの変換行列である。

それより、得られた行列すべてを掛け合わせることにより下式、 T_6 を得る。

$$\begin{aligned} {}_0T_6 &= A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4 \times A_5 \times A_6 \\ &= \begin{pmatrix} C_{1-45} C_6 & -C_{1-45} S_6 & -S_{1-45} & x \\ S_{1-45} C_6 & -S_{1-45} S_6 & C_{1-45} & y \\ -S_6 & -C_6 & 0 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.2) \end{aligned}$$

ただし、 $\theta_3 = -\theta_2$ なる関係を使っている。

この行列に ${}^t(0001)$ を右から掛けることにより手先位置 (x, y, z) を得る。

$$x = (l_2 + l_4)C_1 + l_3 C_1 C_2 + l_6 C_{1-4} + l_9 C_{1-45} C_6 - l_8 S_{1-45} \quad (2.3)$$

$$y = (l_2 + l_4)S_1 + l_3 S_1 C_2 + l_6 S_{1-4} + l_9 S_{1-45} C_6 + l_8 C_{1-45} \quad (2.4)$$

$$z = l_1 - l_5 - l_7 + l_3 S_2 - l_9 S_6 \quad (2.5)$$

3. 逆運動学の算出

この章では、ロボットの逆運動学つまりロボット手先位置から各関節変数を求めることを行う。

3.1 逆運動学のための基礎式の算出 手先の姿勢を制御するため図2.2のA点の座標 (x, y, z) を定義する。

$$x' = (l_2 + l_4)C_1 + l_3 C_1 C_2 + l_6 C_{1-4} - l_8 S_{1-45} \quad (3.1)$$

$$y' = (l_2 + l_4)S_1 + l_3 S_1 C_2 + l_6 S_{1-4} + l_8 C_{1-45} \quad (3.2)$$

$$z' = l_1 - l_5 - l_7 + l_3 S_2 \quad (3.3)$$

さらに行列より

$${}_0T_1^{-1} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = {}_1T_6 \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

なる関係がある。

$i = 5$ のとき

$$x C_{1-45} + y S_{1-45} - l_8 C_6 = (l_2 + l_4 + l_3 C_2) C_{45} + l_6 C_6 \quad (3.4)$$

$$-x S_{1-45} + y C_{1-45} - l_8 = (l_2 + l_4 + l_3 C_2) S_{45} + l_6 S_6 \quad (3.5)$$

$i = 4$ のとき

$$x C_{1-4} + y S_{1-4} - l_6 + l_8 S_6 - l_9 C_6 = (l_2 + l_4 + l_3 C_2) C_4 \quad (3.6)$$

$$-x S_{1-4} + y C_{1-4} - l_6 C_4 + l_9 S_6 = (l_2 + l_4 + l_3 C_2) S_4 \quad (3.7)$$

なる式が得られる。

3.2 各関節角の算出 式(2.5), (3.3)より、

$$\theta_6 = \text{Sin}^{-1} \frac{z' - z}{l_9} \quad \text{or} \quad \pi - \text{Sin}^{-1} \frac{z' - z}{l_9} \quad (3.8)$$

また、式(2.3), (3.1)より

$$C_{1-45} = \frac{x - x'}{l_9 C_6} \quad (3.9)$$

式(2.4), (3.2)より

$$S_{1-45} = \frac{y - y'}{l_9 C_6} \quad (3.10)$$

この2式より

$$\theta_1 - \theta_4 - \theta_5 \quad (3.11)$$

が定まる。

また、

$$P = -x S_{1-45} + y C_{1-45} - l_8 \quad (3.12)$$

$$Q = x C_{1-45} + y S_{1-45} - l_9 C_6$$

とおくと、式(3.4), (3.5)は

$$\begin{aligned} (1_2 + 1_4 + 1_3 C_2) S_4 + 1_6 S_5 &= p \\ (1_2 + 1_4 + 1_3 C_2) C_4 + 1_6 C_5 &= q \end{aligned} \quad (3.13)$$

となり、次式が求まる。

$$(1_2 + 1_4 + 1_3 C_2)^2 = 1_6^2 + p^2 + q^2 - 2l_6(pS_5 + qC_5) \quad (3.14)$$

さらに、変形して、

$$\begin{aligned} \frac{p}{(p^2 + q^2)^{1/2}} S_5 + \frac{q}{(p^2 + q^2)^{1/2}} C_5 \\ = \frac{1}{(p^2 + q^2)^{1/2}} \frac{l_6^2 + p^2 + q^2 - (1_2 + 1_4 + 1_3 C_2)^2}{2l_6} = r \end{aligned} \quad (3.15)$$

とおくと

$$\frac{p}{(p^2 + q^2)^{1/2}} = \cos \phi, \quad \frac{q}{(p^2 + q^2)^{1/2}} = \sin \phi \quad (3.16)$$

となる ϕ を求めることによりこの式は

$$\sin(\theta_5 + \phi) = r \quad (3.17)$$

となる。よって θ_5 は、次式となる。

$$\theta_5 = \sin^{-1} r - \phi \text{ or } \pi - \sin^{-1} r - \phi \quad (3.18)$$

$\theta_1 - \theta_4 - \theta_5$ の値と θ_5 の値が分かったので $\theta_1 - \theta_4$ が求まる。そこで式 (3.6), (3.7) より

$$C_4 = \frac{x C_{1-4} + y S_{1-4} - l_6 - l_3 C_5 C_6 + l_6 S_5}{1_2 + 1_4 + 1_3 C_2} \quad (3.19)$$

$$S_4 = \frac{-x S_{1-4} + y C_{1-4} + l_6 S_5 C_6 - l_6 C_5}{1_2 + 1_4 + 1_3 C_2}$$

が得られる θ_4 が決定される。

θ_4 が決まったことにより、 θ_1 が決定される。

以上の方法で $\theta_1 \sim \theta_6$ の組が数組得られる。

4. コンピュータによるシミュレーション

3章で求めた逆運動学によりロボットの各関節角度を求めるわけであるが、その $\theta_1 \sim \theta_6$ の組が数個できる。その際グラフィック画面上のロボットモデルを動作させることに目的があるため、現在ある関節角度との差が最も小さくなる組を採用する。

現在のところ、直線補間と円弧補間(3点指定、2点と半径指定)を用いてシミュレーションを行っているわけであるが、何か3次元的関数(線)を与えればその曲線をなぞらせることは可能である。

また現時点では、ロボットの姿勢制御を行うようにはなっていないが、これは姿勢制御に必要なデータ入力量が多くなるため、今回はこのルーチンを省略している。但しプログラム上ではその姿勢制御のパラメータは存在しており(一定値に指定)、これを入力するようにすれば姿勢制御は可能となる。

図4.1にシミュレーション画面の様子を示す。

現在の座標

$$\begin{aligned} X &= 1121.3 \\ Y &= -0.0 \\ Z &= 64.7 \end{aligned}$$

各関節角度

$$\begin{aligned} \theta_1 &= -23.5 \\ \theta_2 &= -1.8 \\ \theta_3 &= 1.8 \\ \theta_4 &= -69.2 \\ \theta_5 &= 135.7 \\ \theta_6 &= 90.0 \end{aligned}$$

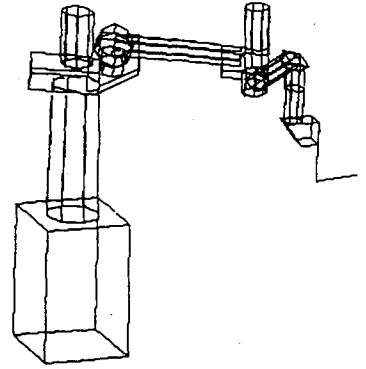


図4.1 シミュレーション画面

5. 運動方程式の算出

この章では、各関節を動作させるモータの必要トルクをラグランジュの運動方程式を用いて計算する。

ラグランジュの運動方程式は

$$R\ddot{\alpha} + \dot{R}\dot{\omega} - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial \theta} ({}^t \omega R \omega) + G = T \quad (5.1)$$

と表される。また、各変数の意味は

$T = {}^t (T_1, T_2, T_4, T_5, T_6)$: 各関節トルク

$\theta = {}^t (\theta_1, \theta_2, \theta_4, \theta_5, \theta_6)$: 各関節角度

$\omega = {}^t (\omega_1, \omega_2, \omega_4, \omega_5, \omega_6)$: 各角速度

$\alpha = {}^t (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6)$: 各角加速度

であり、Rは

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{14} & r_{15} & r_{16} \\ r_{21} & r_{22} & r_{24} & r_{25} & r_{26} \\ r_{41} & r_{42} & r_{44} & r_{45} & r_{46} \\ r_{51} & r_{52} & r_{54} & r_{55} & r_{56} \\ r_{61} & r_{62} & r_{64} & r_{65} & r_{66} \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

と表される対称行列で、 r_{ij} として下式が得られる。ただし $m_1 \sim m_6$ は各リンク質量で $p = m_3/m_2$ である。

$$\begin{aligned} r_{66} &= 1/4 \cdot m_6 l_9^2 \\ r_{56} &= -1/2 \cdot m_6 l_8 l_9 S_6 \\ r_{55} &= 1/4 \cdot m_5 l_7^2 + 1/2 \cdot m_6 (12 l_8^2 + l_9^2 + 2 l_9^2 C_6^2) \\ r_{46} &= -1/2 \cdot m_6 l_9 S_6 (1_8 + 1_6 S_5) \\ r_{45} &= 1/4 \cdot m_5 (1_7^2 - 2 l_6 l_7 C_5) \\ &\quad + 1/12 \cdot m_6 (12 l_8^2 + l_9^2 + 2 l_9^2 C_6^2) \\ &\quad + 6 l_6 l_9 C_5 C_6 + 12 l_6 l_8 S_5) \\ r_{44} &= 1/4 \cdot m_4 l_6^2 + 1/4 \cdot m_3 (1_7^2 - 4 l_6 l_7 + 4 l_6^2) \\ &\quad + 1/12 \cdot m_6 (l_9^2 + 2 l_9^2 C_6^2 + 12 l_6 l_9 C_5 C_6 \\ &\quad + 12 l_6^2 + 12 l_8^2 + 24 l_6 l_8 S_5) \\ r_{26} &= 1/2 \cdot m_6 (l_3 l_9 S_2 C_4 S_6 - l_3 l_9 C_2 C_6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
r_{25} &= -1/2 \cdot m_5 l_3 l_7 S_2 S_4 S_5 \\
&\quad + 1/2 \cdot m_5 (l_3 l_7 S_2 S_4 S_5 C_6 - 2 l_3 l_8 S_2 C_4 S_5) \\
r_{24} &= 1/2 \cdot m_4 l_3 l_6 S_2 S_4 + 1/2 \cdot m_5 (2 l_6 - l_7) l_3 S_2 S_4 S_5 \\
&\quad + 1/2 \cdot m_5 (l_3 l_7 S_2 S_4 S_5 C_6 - 2 l_3 l_8 S_2 C_4 S_5 + 2 l_3 l_6 S_2 S_4) \\
r_{22} &= \frac{1+5P+9P^2+4P^3}{4(1+P)^2} m_1 l_3^2 + m_4 l_3^2 + m_5 l_3^2 + m_6 l_3^2 \\
r_{16} &= 1/2 \cdot m_6 l_7 S_6 \{ l_8 + l_7 S_5 + (1_7 + l_7) S_5 + l_7 C_7 S_4 S_5 \} \\
r_{15} &= 1/4 \cdot m_5 l_7 \{ 2 l_3 C_7 C_4 S_5 + 2(1_7 + l_7) C_7 S_5 + 2 l_6 C_7 - l_7 \} \\
&\quad + 1/24 \cdot m_6 [-6 l_7^2 C_6^2 - 2 l_7^2 - 12 l_7 C_6 \{ l_6 C_6 + (1_7 + l_7) C_4 S_5 \\
&\quad + l_3 C_7 C_4 S_5 \} - 24 l_6 \{ l_8 + l_7 S_5 + (1_7 + l_7) S_5 + l_7 C_7 S_4 S_5 \}] \\
r_{14} &= -1/4 \cdot m_4 l_6 \{ l_7 + 2(1_7 + l_7) C_4 + 2 l_3 C_7 C_4 \} \\
&\quad + 1/4 \cdot m_5 \{ -l_7^2 + 4 l_6 l_7 + 2(1_7 + l_7) l_7 C_4 S_5 \\
&\quad + 2 l_3 l_7 C_7 C_4 S_5 - 4 l_6^2 - 4(1_7 + l_7) l_6 C_4 S_5 - 4 l_3 l_6 C_7 C_4 S_5 \} \\
&\quad - 1/4 \cdot m_6 \{ -l_7^2 - 24 l_6^2 - 3 l_7^2 C_6^2 - 36 l_6 l_7 C_6 C_4 S_5 \\
&\quad - 48 l_6 l_7 S_5 - 12(1_7 + l_7 + l_3 C_7) \\
&\quad \quad \quad (l_7 C_4 S_5 C_6 + 2 l_8 S_4 S_5 + 2 l_6 C_4) \} \\
r_{12} &= -1/2 \cdot m_4 l_3 l_6 S_2 S_4 + 1/2 \cdot m_5 l_3 (l_7 - 2 l_6) S_2 S_4 S_5 \\
&\quad + 1/2 \cdot m_6 l_3 S_2 (-l_7 S_4 S_5 C_6 + 2 l_8 C_4 S_5 - 2 l_6 S_4) \\
r_{11} &= 1/12 \cdot m_1 (3 l_2^2 + H_1^2) \\
&\quad + \frac{m_2}{24(1+P)^2} [\{ 24P(1+P)^2 - 8P + 4 \} l_3^2 C_2^2 \\
&\quad + 2(1+7P+8P^2) l_3 + 24(1+P)^2 (1+2P) l_2 l_3 C_2 \\
&\quad \quad \quad + 24(1+P)^2 l_3^2] \\
&\quad + 1/4 \cdot m_4 \{ 5 l_6^2 - 4 l_3 l_6 + 4(1_7 + l_7 + l_3 C_7) \\
&\quad \quad \quad (l_6 C_4 + 1_7 + l_3 C_2) \} \\
&\quad + 1/4 \cdot m_5 \{ l_7^2 - 4 l_6 l_7 C_4 + 4 l_6^2 + 4(1_7 + l_7 + l_3 C_2)^2 \\
&\quad \quad \quad + 4(1_7 + l_7 + l_3 C_2) (2 l_6 C_4 - l_7 C_4 S_5) \} \\
&\quad + 1/24 \cdot m_6 \{ 24 l_6^2 + 24 l_7^2 + 24 l_6 l_7 C_6 + 48 l_6 l_7 S_5 \\
&\quad \quad \quad + 24(1_7 + l_7 + l_3 C_2)^2 + l_7^2 (2 + 4 C_6^2) \\
&\quad \quad \quad + 24(1_7 + l_7 + l_3 C_2) (2 l_6 C_4 + l_7 C_4 S_5 C_6 + 2 l_8 S_4 S_5) \} \\
\end{aligned} \tag{5.3}$$

またGは

$$G = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ (m_2/2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6) l_3 g C_2 \\ 0 \\ -m_6/2 l_7 g C_6 \end{pmatrix} \tag{5.4}$$

となる。ただし $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ (重力加速度)である。

また

$$\dot{R} = \sum_{i=1}^6 \frac{\partial R}{\partial \theta_i} \omega_i \tag{5.5}$$

であるので、これらの式よりTすなわち各関節トルクが求まる。

6. 結言

パソコン上でのロボットのシミュレート結果を、通信

回線を用いて、ティーチングするためのシステムを構築することを目的として本研究では以下の事を行った。

1. ロボットをモデル化し、逆運動学を求めた。
2. 3次元グラフィックモデルを作成し、ロボット手先部の軌道と、ロボットの動作形態について確かめた。
3. ロボット動作制御に必要な運動方程式の算出を行った。
4. ロボットコントローラの改良予定 現状ではシミュレート結果の各関節角度をコントローラにオンラインで転送することができない為、コントローラ内のROMを交換する必要がある。また、パソコンとコントローラをRS-232Cで通信し、ロボットを駆動させるシステムを現在検討中である。

参考文献

- (1) R. P. ポール著、吉川恒夫訳：
ロボットマニピュレータ、9/29 コロナ社
- (2) 有本卓著：ロボットの力学と制御、64/78
朝倉書店
- (3) アルメガG・V取扱説明書、3-58、4-7、5-1
株式会社ダイヘン

多モジュールニューラルネットの動作方程式の導出

小澤 誠一

Dynamical Equations of Multi-Module Neural Networks

Seiichi OZAWA

脳でみられる多数のモジュールで構成された系をモデル化する試みとして、相互結合型ネットが相互結合されたクロス結合ホップフィールドネット (CCHN) があげられる。しかし、これまでのところ、2モジュールに限定して導出されており、一般的な多モジュールネットとしての動作方程式は導出されていない。また、各モジュールの状態に多対一の対応関係がある場合でしか適用できず、実用的な応用を行なっていく上で必ずしも十分とはいえない。本論文では、以上の点に関して CCHN の一般化を提案し、その動作方程式を導出したので報告する。

1. はじめに

脳は 10^{10} 個といわれる神経細胞(ニューロン)から構成され、1つのニューロンは $10^3 \sim 10^5$ 程度のシナプス結合をもっていると考えられる[1]。脳の情報処理は、このように巨大なニューラルネットにより行われているわけであるが、ある情報処理が行われる際に全てのニューロンが関与しているわけではない。全体のニューラルネットは、ある機能を実現するための小規模なニューラルネット(モジュールネット)で構成され、関連するモジュールネットが相互に情報を伝達しあいながら、情報処理が行われていると考えられている。実際、視覚野や聴覚野、運動野などの多くの部位で、このようなモジュール構造が知られている[1]。よって、脳の情報処理機能をモデル化する上で、多数のモジュールが結合しあった系を想定することは重要である。しかし、人工ニューラルネットモデルにおいて、このような多モジュール系を考えることは、これまであまりなかった。

モジュール構造をもつ人工ニューラルネットモデルの試みとしては、Bidirectional Associative Memories [BAM] [2] や Adaptive Resonance Theory [ART] [3]、クロス結合ホップフィールドネット[CCHN] [4] などがある。このうち、CCHN は、複数の相互結合型ネット(ホップフィールドネット [5]) がインターネットと呼ばれる写像型ネットにより相互結合された構造をもっており、モジュール内を巡回するローカルな情報だけでなく、モジュール間を相互に伝搬する情報も同時に処理される特徴をもつ。この結果、インターネットで対応付けられた写像関係を満足するよう、ネットワーク全体で状態の安定化が行われる[6]。インターネットが中間層をもつ多層ネットワークの場合、モジュール間には非線形な対応関係も扱えるようになる。このため、BAMでみられるような双方向結合をもつモデルに比べ、CCHNはより高度な情報処理を実現することが可能となる。しかし、これまでのところ、CCHNはモジュール数が2の場合でしか導出されておらず、モジュール間に定義できる対応関係にも制限がある。脳の情報処理をモデル化するためには、より一般的な多モジュール系を想定することは必須と考えられ、CCHNモデルの一般化

が重要な課題となってくる。本論文では、このような CCHN モデルの一般化が可能であることを示し、ネットワークの動作方程式を導出する。

2. 多モジュールニューラルネットの導出

一般的な多モジュールニューラルネットの概念図を図1に示す。本論文で取り上げる多モジュールニューラルネットには、相互に信号のやり取りを行なう多数のモジュールネットが構成される系を想定する。生体におけるモジュールネット間の相互作用には様々なものがあるが、ここでは、各モジュールネットが互いに矛盾しない状態に安定化しようとする信号のやり取りが行なわれるものとする。つまり、モジュールネットの状態間には、ある望まれた対応関係が存在し、モジュールネット間の相互作用はその対応関係が満たされるよう機能するものとする。これを実現するには、対応関係の充足度に対する評価関数を設け、それを最小とするようなネットワークダイナミクスを導出することが考えられる。これには、クロス結合ホップフィールドネット(CCHN)で行なわれているエネルギー関数の定義が有効である。CCHN は、複数の相互結合型ネットワーク(ホップフィールドネット)がインターネットと呼ばれる階層型のネットワークで相互に結合されたモデルである。

CCHNを M モジュールに拡張したエネルギー関数を(1)式に示す。

$$E = \sum_m \left[-\frac{1}{2} \sum_i \sum_j T_{ij}^{(m)} V_i^{(m)} V_j^{(m)} + \sum_i \frac{1}{\Gamma_i^{(m)}} \int_0^{V_i^{(m)}} g^{-1}(V) dV - \sum_i I_i^{(m)} V_i^{(m)} \right] + \frac{1}{2} \sum_m \sum_{n \neq m} \sum_l (V_i^{(m)} - O_i^{(n-m)(L+2)})^2 \quad (1)$$

$(m, n = 1, 2, \dots, M)$

where

$$O_i^{(n-m)(l+1)} = g_l(\text{net}_i^{(n-m)(l+1)}) \quad (2)$$

$(l = 1, 2, \dots, L+1)$

$$O_i^{(n-m)(1)} = V_i^{(n)} \quad (3)$$

$$\text{net}_i^{(n-m)(l+1)} = \sum_j W_{ij}^{(n-m)(l)} O_j^{(n-m)(l)} \quad (4)$$

$(l = 1, 2, \dots, L+1)$

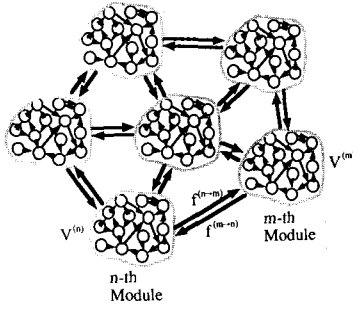


図1 タモジュールニューラルネットワークの概念図

ここで、 $T_{ij}^{(m)}$, $V_i^{(m)}$, $f_i^{(m)}$, $r_i^{(m)}$ は、それぞれ m 番目のモジュールネットワークの結合係数、ニューロン出力、外部入力、ネットワークのエネルギー損失量を決定する係数である。また、 $W_{ij}^{(n,m)(l)}$, $O_i^{(n,m)(l)}$ は n から m 番目のモジュールに信号を伝搬するインターネット第 l 層の結合係数、ニューロン出力で、 g_i, L はニューロンの出力関数とインターネットの中間層数である。このエネルギー関数が時間とともに減少するためには、エネルギー関数の時間微分が負または零となることが要求される。システムがこの条件を満たす時、リアプノフの意味で安定であるといひ、システムの大域漸近安定が保証される。そこで、ネットワーク全体の安定性を保証するネットワークダイナミクスの導出を以下に行なっていくことにする。まず、(1) 式を時間 t で微分する。

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dt} = & \sum_m \left[- \sum_i \sum_j T_{ij}^{(m)} \frac{dV_i^{(m)}}{dt} V_j^{(m)} \right. \\ & + \sum_i \frac{U_i^{(m)}}{r_i^{(m)}} \frac{dV_i^{(m)}}{dt} - \sum_i I_i^{(m)} \frac{dV_i^{(m)}}{dt} \left. \right] \\ & + \sum_m \sum_{n \neq m} \sum_i (V_i^{(m)} - O_i^{(n,m)(L+2)}) \\ & \times \left(\frac{dV_i^{(m)}}{dt} - \frac{dO_i^{(n,m)(L+2)}}{dt} \right) \quad (5) \end{aligned}$$

但し、モジュールネットワークの結合係数 T_{ij} には、 $T_{ij} = T_{ji}$ なる対称性を仮定している。(2) ~ (4) 式を使って、出力層におけるニューロン出力の時間微分を求めると以下のようなになる。

$$\begin{aligned} \frac{dO_i^{(n,m)(L+2)}}{dt} = & g_i'(net_i^{(n,m)(L+2)}) \frac{dnet_i^{(n,m)(L+2)}}{dt} \\ = & g_i'(net_i^{(n,m)(L+2)}) \\ & \times \left[\sum_j \frac{dW_{ij}^{(n,m)(L+1)}}{dt} O_j^{(n,m)(L+1)} \right. \\ & \left. + \sum_j W_{ij}^{(n,m)(L+1)} \frac{dO_j^{(n,m)(L+1)}}{dt} \right] \quad (6) \end{aligned}$$

ここで、

$$D^{(n,m)} = - \sum_i \frac{dO_j^{(n,m)(L+2)}}{dt} (V_i^{(m)} - O_i^{(n,m)(L+2)}) \quad (7)$$

$(m, n = 1, 2, \dots, M)$

とおき、(6) 式を (7) 式に代入すると、 $D^{(n,m)}$ は以下のように展開される。

$$\begin{aligned} D^{(n,m)} = & - \sum_i \sum_j \frac{dW_{ij}^{(n,m)(L+1)}}{dt} (O_j^{(n,m)(L+1)} \delta_i^{(n,m)(L+2)}) \\ & - \sum_j \frac{dO_j^{(n,m)(L+1)}}{dt} \left(\sum_i W_{ij}^{(n,m)(L+1)} \delta_i^{(n,m)(L+2)} \right) \quad (8) \end{aligned}$$

where

$$\delta_i^{(n,m)(L+2)} = g_i'(net_i^{(n,m)(L+2)}) (V_i^{(m)} - O_i^{(n,m)(L+2)}) \quad (9)$$

ここで、 $\delta_i^{(n,m)(L+2)}$ はインターネットの出力層で求められる誤差信号である。(6) 式の関係を使って、さらに (8) 式を展開すると以下のようなになる。

$$\begin{aligned} D^{(n,m)} = & - \sum_i \sum_j \frac{dW_{ij}^{(n,m)(L+1)}}{dt} (O_j^{(n,m)(L+1)} \delta_i^{(n,m)(L+2)}) \\ = & - \sum_j \sum_k \frac{dW_{jk}^{(n,m)(L)}}{dt} (O_k^{(n,m)(L)} \delta_j^{(n,m)(L+1)}) \\ & - \sum_k \frac{dO_k^{(n,m)(L)}}{dt} \left(\sum_j W_{jk}^{(n,m)(L)} \delta_j^{(n,m)(L+1)} \right) \quad (10) \end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned} \delta_i^{(n,m)(L+1)} = & g_i'(net_j^{(n,m)(L+1)}) \\ & \times \left(\sum_j W_{ji}^{(n,m)(L+1)} \delta_j^{(n,m)(L+2)} \right) \quad (11) \end{aligned}$$

同様の手続きをインターネットの層数だけ繰り返すと、 $D^{(n,m)}$ に関して最終的に以下の関係式を得る。

$$\begin{aligned} D^{(n,m)} = & - \sum_{l=1}^{L+1} \sum_i \sum_j \frac{dW_{ij}^{(n,m)(l)}}{dt} (O_j^{(n,m)(l)} \delta_i^{(n,m)(l+1)}) \\ & - \sum_i \frac{dO_i^{(n,m)(1)}}{dt} \left(\sum_j W_{ji}^{(n,m)(1)} \delta_j^{(n,m)(2)} \right) \quad (12) \\ & (l = 1, 2, \dots, L+1; m, n = 1, 2, \dots, M) \end{aligned}$$

where

$$\delta_i^{(n,m)(L+2)} = g_i'(net_i^{(n,m)(L+2)}) (V_i^{(m)} - O_i^{(n,m)(L+2)}) \quad (13)$$

$$\delta_i^{(n,m)(l+1)} = g_i'(net_i^{(n,m)(l+1)}) \left(\sum_j W_{ji}^{(n,m)(l+1)} \delta_j^{(n,m)(l+2)} \right) \quad (14)$$

$$(l = 1, 2, \dots, L)$$

(3), (12) 式を (5) 式に代入すると、エネルギー関数の時間微分 dE/dt は次のように求められる。

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dt} = & \sum_m \sum_i \frac{dV_i^{(m)}}{dt} \left[- \sum_j T_{ji}^{(m)} V_j^{(m)} + \frac{U_i^{(m)}}{r_i^{(m)}} - I_i^{(m)} \right. \\ & \left. + \sum_{n \neq m} (V_i^{(m)} - O_i^{(n,m)(L+2)}) \right] \\ & - \sum_m \sum_{n \neq m} \left[\sum_{l=1}^{L+1} \sum_i \sum_j \frac{dW_{ij}^{(n,m)(l)}}{dt} (O_j^{(n,m)(l)} \delta_i^{(n,m)(l+1)}) \right. \\ & \left. + \sum_i \frac{dV_i^{(n)}}{dt} \left(\sum_j W_{ji}^{(n,m)(1)} \delta_j^{(n,m)(2)} \right) \right] \\ = & \sum_m \sum_i \frac{dV_i^{(m)}}{dt} \left[- \sum_j T_{ij}^{(m)} V_j^{(m)} + \frac{U_i^{(m)}}{r_i^{(m)}} - I_i^{(m)} \right. \\ & \left. + \sum_{n \neq m} (V_i^{(m)} - O_i^{(n,m)(L+2)}) - \sum_{n \neq m} \sum_j W_{ji}^{(n,m)(1)} \delta_j^{(n,m)(2)} \right] \\ & - \sum_m \sum_{n \neq m} \left[\sum_{l=1}^{L+1} \sum_i \sum_j \frac{dW_{ij}^{(n,m)(l)}}{dt} (O_j^{(n,m)(l)} \delta_i^{(n,m)(l+1)}) \right] \quad (15) \end{aligned}$$

この dE/dt が常に負または零、すなわちリアプノフの安定性を保証するためには、以下の微分方程式でネットワークを動作させればよい。

$$-c_i^{(m)} \frac{dU_i^{(m)}}{dt} = -\sum_j T_{ij}^{(m)} V_j^{(m)} + \frac{U_i^{(m)}}{r_i^{(m)}} - I_i^{(m)} + \sum_{n \neq m} (V_i^{(m)} - O_i^{(n,m)(L+2)}) - \sum_{n \neq m} \sum_j W_{ji}^{(n,m)(1)} \delta_j^{(n,m)(2)} \quad (16)$$

$$\eta^{(n,m)} \frac{dW_{ij}^{(n,m)(l)}}{dt} = O_j^{(n,m)(l)} \delta_i^{(n,m)(l+1)} \quad (17)$$

$(l=1,2,\dots,L+1; m,n=1,2,\dots,M)$

where

$$\delta_i^{(n,m)(L+2)} = g_i'(net_i^{(n,m)(L+2)})(V_i^{(m)} - O_i^{(n,m)(L+2)}) \quad (18)$$

$$\delta_i^{(n,m)(l+1)} = g_i'(net_i^{(n,m)(l+1)}) \left(\sum_j W_{ji}^{(n,m)(l+1)} \delta_j^{(n,m)(l+2)} \right) \quad (19)$$

$(l=1,2,\dots,L)$

ここで、 $c_i^{(m)}$, $\eta^{(n,m)}$ は正の定数である。

以上より、多モジュールネットを安定に動作させるための活性ダイナミクスとインターネットの結合ダイナミクスが得られた。ここで注目すべきことは、 $\delta_i^{(n,m)(L+2)}$ はインターネット出力 (from n -th module to m -th module) と m 番目のモジュールの状態との誤差信号を示しており、 $\delta_i^{(n,m)(l)}$ はインターネットを逆伝搬する誤差信号に相当する点である。つまり、インターネットの結合ダイナミクスとして、 δ を利用する誤差逆伝搬法 (BP学習) と同様の学習則が導かれている。このインターネットは、一般に多層ネットワークであるため、モジュール間の対応関係には任意のものが学習可能となる。さらに重要なことは、誤差項が結合荷重の学習だけでなく、活性ダイナミクスにも含まれていることである。このことは、インターネットの前方向の信号伝搬だけでなく、逆方向の誤差伝搬もネットワークの安定化に寄与することを意味する。モジュール数が 2 であるときの信号伝搬の様子を図 2 に示す。また、モジュール数を 2 とした CCHN の基本的な動的性質については、文献 [6] で議論しているので、興味がある読者は参照されたい。

3. 多対多の対応関係を許容する多モジュールネットの導出

(2),(3)式で明らかのように、前節で導出した多モジュールネットでは、 n から m モジュールへのインターネット出力は n モジュールの状態のみから決定される。よって、 n から m モジュールに与えられる対応関係は、原理的に多対一のものに限定される。しかし、現実の問題が、このような制約の範囲内で解決できるとは限らず、多対多の対応関係にも適用できることが望ましい。これを解決する最も単純な方法としては、 n から m モジュールへのインターネット出力を n モジュールの状態だけでなく、 m モジュールの状態も考慮することである。これにより、各モジュールの安定状態が相互に多対多の対応関係をもっている場合でも、インターネットでは多対一の写像関係を学習すればよい。つまり、インターネットの入力を (3)式から(20)式に変更する。

$$O_i^{(n,m)(1)} = \begin{cases} V_i^{(n)} & (i \leq N_n) \\ V_{i-N_n}^{(m)} & (N_n < i \leq N_m) \end{cases} \quad (20)$$

$(m,n=1,2,\dots,M)$

ここで、 N_m, N_n は m, n モジュールのニューロン数である。このようにインターネットの入力を変更した場合、ネットワークの動作方程式は (16),(17) 式とは異なってくる。これを以下で導出することにする。

まず (20) 式を (12) 式に代入して $D^{(n,m)}$ を求め、さらにこれを (5) 式に代入する。すると、 dE/dt は次のように書き換えられる。

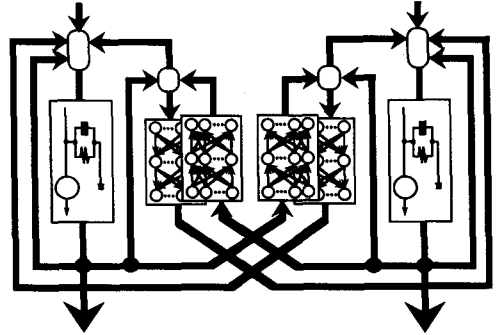


図2 クロス結合ホップフィールドネット (CCHN) の構造図

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dt} &= \sum_m \sum_i \frac{dV_i^{(m)}}{dt} \left[-\sum_j T_{ij}^{(m)} V_j^{(m)} + \frac{U_i^{(m)}}{r_i^{(m)}} - I_i^{(m)} + \sum_{n \neq m} (V_i^{(m)} - O_i^{(n,m)(L+2)}) \right] \\ &- \sum_m \sum_{n \neq m} \left[\sum_{l=1}^{L+1} \sum_i \sum_j \frac{dW_{ij}^{(n,m)(l)}}{dt} (O_j^{(n,m)(l)} \delta_i^{(n,m)(l+1)}) \right. \\ &+ \sum_{i=1}^{N_i} \frac{dV_i^{(n)}}{dt} \left(\sum_j W_{ji}^{(n,m)(1)} \delta_j^{(n,m)(2)} \right) \\ &+ \left. \sum_{i=1}^{N_i} \frac{dV_i^{(m)}}{dt} \left(\sum_j W_{ji}^{(n,m)(1)} \delta_j^{(n,m)(2)} \right) \right] \\ &= \sum_m \sum_i \frac{dV_i^{(m)}}{dt} \left[-\sum_j T_{ij}^{(m)} V_j^{(m)} + \frac{U_i^{(m)}}{r_i^{(m)}} - I_i^{(m)} + \sum_{n \neq m} (V_i^{(m)} - O_i^{(n,m)(L+2)}) \right] \\ &- \sum_{n \neq m} \sum_j \left(W_{ji}^{(n,m)(1)} \delta_j^{(n,m)(2)} + W_{ji}^{(n,m)(1)} \delta_j^{(n,m)(2)} \right) \\ &- \sum_m \sum_{n \neq m} \left[\sum_{l=1}^{L+1} \sum_i \sum_j \frac{dW_{ij}^{(n,m)(l)}}{dt} (O_j^{(n,m)(l)} \delta_i^{(n,m)(l+1)}) \right] \quad (21) \end{aligned}$$

E がリアプノフ関数である必要性から、前節と同様の手順によりネットワークの動作方程式が以下のようを得られる。

$$\begin{aligned} -c_i^{(m)} \frac{dU_i^{(m)}}{dt} &= -\sum_j T_{ij}^{(m)} V_j^{(m)} + \frac{U_i^{(m)}}{r_i^{(m)}} - I_i^{(m)} + \sum_{n \neq m} (V_i^{(m)} - O_i^{(n,m)(L+2)}) \\ &- \sum_{n \neq m} \sum_j \left(W_{ji}^{(n,m)(1)} \delta_j^{(n,m)(2)} + W_{ji}^{(n,m)(1)} \delta_j^{(n,m)(2)} \right) \quad (22) \end{aligned}$$

$$\eta^{(n-m)} \frac{dW_{ij}^{(n-m)(0)}}{dt} = O_j^{(n-m)(0)} \delta_i^{(n-m)(t+1)} \quad (23)$$

$$(l=1,2,\dots,L+1; m,n=1,2,\dots,M)$$

where

$$\delta_i^{(n-m)(L+2)} = g'_i(\text{net}_i^{(n-m)(L+2)})(V_i^{(m)} - O_i^{(n-m)(L+2)}) \quad (24)$$

$$\delta_i^{(n-m)(t+1)} = g'_i(\text{net}_i^{(n-m)(t+1)}) \left(\sum_j W_{ji}^{(n-m)(t+1)} \delta_j^{(n-m)(t+2)} \right) \quad (25)$$

$$(l=1,2,\dots,L)$$

以上からわかるように、インターネットの結合ダイナミクスに変更はないが、活性ダイナミクスが(16)式から(22)式に変更される。この新たに導出された活性ダイナミクスの特徴は、 n から m 、 m から n モジュール間のインターネットを逆誤差伝搬する信号が同時に考慮されている点にある。これは、インターネットの入力として同時に2モジュールの状態を考慮することに起因している。

モジュール数が2の場合の多モジュールネットの信号伝搬の様子を図3に示す。

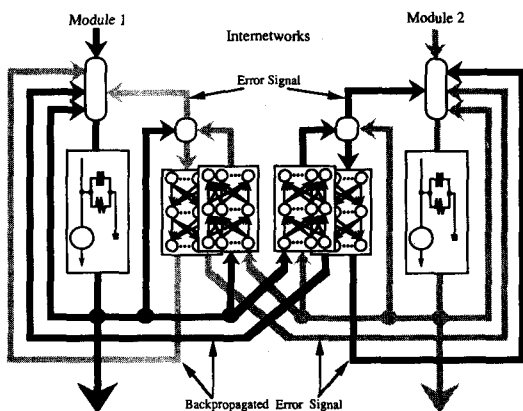


図3 多対多クロス結合ホップフィールドネット (CCHN-MMMI) の構造図

4. おわりに

本論文では、堤により提案されたクロス結合ホップフィールドネット(CCHN)が、より一般的な多モジュールネットモデルとして拡張できることを示し、その動作方程式を導出した。さらに、各モジュールの安定状態が多対多の対応関係をもつ場合でも適用可能となるモデルを提案し、そのネットワークダイナミクスを導出した。このようにモジュール間に多対多を含む任意の対応関係を学習できる多モジュールネットモデルは、今のところ他に見られない。

BAMにおけるモジュール間の結合は、双方向結合とよばれ、モジュール間の結合行列は双方向に転置の関係となるものが用いられている。よって、基本的にモジュー

ル間の対応関係は線形写像となり、その学習則も単純なヘップ学習しか行なえない。よって、このようなモデルと比較して、CCHN はかなり複雑な相互作用をもたせることができると考えられる。しかし、今のところ、多モジュールネットとしての解析的、実験的評価は十分ではなく、この点が今後の課題である。なお、モジュール数が2の場合について、文献[7][8]で簡単な連想記憶の問題に適用した事例があるので参考にして頂きたい。

参考文献

- [1] 塚原伸晃編：「脳の情報処理」, 朝倉書店, 1984
- [2] B.Kosko: "Unsupervised Learning In Noise", *Proc. of International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN-89 at Washington, D.C.)*, Vol.I, pp.7-17, 1989
- [3] G.A.Carpenter and S.Grossberg: "The ART of Adaptive Pattern Recognition by a Self-Organizing Neural Network", *IEEE Computer*, Vol.21, No.3, pp.77-88, 1988
- [4] K.Tsutsumi: "Cross-Coupled Hopfield Nets via Generalized-Delta-Rule-Based Internetworks", *Proc. of IJCNN-90 at San Diego*, Vol.II, pp.259-265, 1990
- [5] J.J.Hopfield: "Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities", *Proc. Natl. Sci. USA*, 79, pp.2254-2558, 1982
- [6] S.Ozawa, K.Tsutsumi, H.Matsumoto: "Basic Dynamical Properties of Cross-Coupled Hopfield Nets", *Proc. of IJCNN-91 at Singapore*, Vol.III, pp.1949-1954, 1991
- [7] S.Ozawa, K.Tsutsumi, H.Matsumoto: "Association Dynamics of Cross-Coupled Hopfield Nets with Many-to-Many Mapping Internetworks", *Artificial Neural Networks II*, Elsevier (to appear)
- [8] 小澤,堤,松本: 「多モジュールニューラルネットによるパターン連想」, FAN シンポジウム資料, 1992

ソフトウェア開発における 要求分析のDFD作成支援ツールの試作

工藤 英男・八木 靖二*・松村 崇史**

The Support Tool for Requirements Analysis
in Software Development

Hideo KUDO, Seiji YAGI, Takafumi MATSUMURA

本稿では、ソフトウェア開発における初心者向けの要求分析を支援するためにユーザインタフェースを配慮した要求分析を支援するDFD (Data Flow Diagram) 作成過程のツールについて述べる。なお、このツールの設計・実現はオブジェクト指向を採用し、その構成は、要求仕様書の入力、編集とその文字列を取り出す部分、DFDを描画とマウスの処理をする部分、実際に描画処理を行ないDFDを表現する部分からなる。

1. まえがき

ソフトウェア工学において、ソフトウェアの必要性を意識した時点から、その要求分析、仕様作成、設計、実現、検査、利用、保守、破棄の時点までの期間を、ソフトウェアのライフサイクルという。

概して、2つのモデルに大別でき¹⁾、その1つはソフトウェア工学の初期からあった waterfall lifecycle model、もう1つは、前者における問題点を改善すべく提案された prototyping modelである。

ソフトウェア開発の上流工程として、要求分析の作業がある。要求分析はこれから作成するソフトウェアに何を要求しているかを分析し仕様書を作成する。

この仕様に基づいてソフトウェアを開発するためには、要求内容を分析し、その内容を正しく表現することが重要である。

それには、デマルコ (T.DeMarco) 等によって提案された構造化分析 (Structured Analysis)^{2,3)}がある。構造化分析は prototyping modelの考えと共通性があり、データの流れを図式表現をDFD (Data Flow Diagram) によって表したものである。

しかし、初心者がソフトウェア工学の教育用として、要求内容をDFDで表すには手順が煩雑である。

そのため、容易に導けるユーザインタフェース (UI: User Interface) を配慮する必要がある⁵⁾。また、初心者のためには、利用者の記憶に負担をかけないグラフィカルユーザインタフェース (GUI: Graphical User Interface) が有効である。

そこで、要求分析の工程を対象に、構造化分析でのDFDの作成を支援する初心者用ツールをオブジェクト指向により試作した。

以下、2章では要求分析における構造化分析とその支援ツールの概要について説明し、3章ではオブジェクト指向を採用したDFD作成支援ツールの設計と実現について述べ、4章ではツールの実行例と考察について述べる。

2. 要求分析

2.1 構造化分析

要求分析の技法の中でも、デマルコ等によって提案された構造化分析では、次の3つの構造化手法を用いて、構造的な仕様書を作成することができる。

- ・データフローダイアグラム (DFD)
- ・データ・ディクショナリ
- ・構造化言語

DFDはシステム要求を分割し、文書化する道具であり、システムに出入りするデータの流れを視覚的な図形

*九州工業大学情報工学部電子情報工学科

**奈良工業高等専門学校電子情報工学専攻科

でモデル化する手段である。なお、本稿では、データ・ディクショナリ、構造化言語については触れない。

DFDは次の4つの基本要素から構成されている。

- 1) プロセス : システムの持つ機能単位を表し、入力としてのデータフローを出力としてのデータフローに変換する。
- 2) エンティティ : 4角形で表し、システムの外的要因を意味する。
- 3) ファイル : データの一時的な貯蔵庫であり、2本の平行線で表す。
- 4) データフロー : システムが扱うデータの流れを名前付きの矢印を持った直線で表す。

2. 2 要求分析支援ツール

構造化分析の主な構造化手法の1つであるデータフローダイアグラムに限定して、要求仕様書からDFD作成を支援ツールの試作する。図1にDFD作成支援ツールの概要を示す。

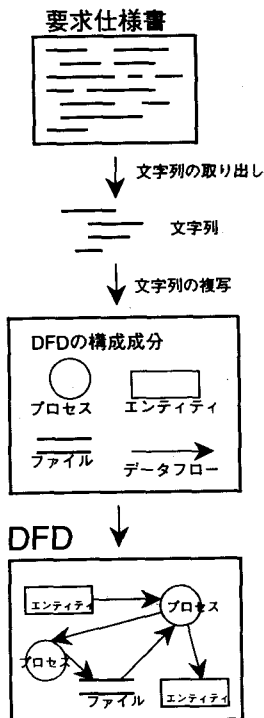


図1. DFD作成支援ツールの概要

このツールは次の5つのステップからなる手順を支援するものである。

- [step1]ファイルに書かれている要求仕様書を読み込む。
 [step2]利用者がその仕様書の中からDFDの4つの構成要素の文字列を取り出す。

[step3]取り出された文字列をファイルに保存する。

[step4]そのファイルをもとにしてDFDの構成要素の図を描き、ファイルに保存されている文字列(取り出した文字列)をその図に複写する。

[step5]利用者が表示されたDFDの要素図をマウスで移動させてDFDを完成させる。

この作成過程において支援を行うために案内パネルを表示して機能の説明を行う。また、このツールでは仕様書を編集したり、変更を行うエディタの機能を備える。

3. DFD作成支援ツールの試作

3. 1 ツールの設計

DFD作成支援ツールの設計はNeXTにおけるオブジェクト指向を用いて、次に示す3つのクラスから構成する。

- ・要求仕様書の入出力、編集部 (Toolクラス)
- ・DFDの描画とマウス処理部 (DFDViewクラス)
- ・DFD表現部 (Shapeクラス)

以下、各クラスの機能について説明する。

1) 要求仕様書の入出力、編集部 (Toolクラス)

要求仕様書の入出力、編集部はObjectクラスのサブクラスとして、Toolクラスを初期化、ファイルの入出力、要求仕様書の編集の3つから構成する。

このクラスでは、要求仕様を参照する画面、要求仕様から取り出したDFDの構成成分を1種類表示する画面、全てのDFDの構成成分を表示する画面を用意する。

1-a) 初期化

このクラスで用いるUIオブジェクトの識別子により、次の3つの画面を設定する。

- ・読み込んだ要求仕様書を参照する画面オブジェクト (editText)
 - ・editTextから取り出した文字列を表示するオブジェクト (dfdText)
 - ・editTextから取り出した文字列を一覧表示するオブジェクト (rDFDText)
- また、Toolクラスに必要な次の3つのインスタンスをObjectクラスから継承されたnewメソッドを用いて作る。
- ・SavePanel : ファイルを保存するための標準インターフェースを提供する。
 - ・OpenPanel : ファイルを開くための標準インターフェースを提供する。
 - ・Pasteboard : Pasteboardサーバとの間でデータを交換する。

1-b) ファイルの入出力

ファイルの入出力は、主メニューの“要求仕様”をマウスでクリックすることで呼び出す。

1-b-1) 入力部

“要求仕様”の副メニューの“参照”をマウスでクリックすると実行し、初期化により作られたOpenPanelインスタンスを用い、パネルを表示する。

ファイル操作の負担を軽減させるため、パネルにはファイル名の拡張子が“txt”であるものを表示する。

ファイルが選ばれると、そのファイルの内容をメモリストリームに展開し、editTextオブジェクトに転送する。これによりファイルを読み込む。

1-b-2) 出力部

“要求仕様”の副メニューの“セーブ”をマウスでクリックすると実行し、SavePanelインスタンスを用いてパネルを表示する。

次に、メモリストリームにeditTextオブジェクトのデータを書き込み、設定されたファイル名のファイルを開き、メモリストリームの内容を保存する。

1-c) 要求仕様書の編集

DFDの構成要素であるプロセス、エンティティ、ファイル、データフローの要素の文字列を取り出し、それぞれ独立した4つのファイルに格納する。

文字列を取り出す4つのボタンが用意し、このボタンにより取り出す成分を選択する。

ボタンを押すと、それぞれのボタンに対応した拡張子(“pro”、“ent”、“file”、“df”、,)がついたファイル名を設定する。

文字列の取り出しでは、editTextオブジェクトで文字列を選択し、“OK”ボタンを押すと、その文字列がPasteboardインスタンスに複写され、そのデータをdfdTextオブジェクトに出力すると共に、設定されたファイルにはdfdTextオブジェクトから文字データを格納する。

2) DFDの描画とマウス処理部 (DFDViewクラス)

ウィンドウ(画面上で情報を表示するための領域)の中で図形や文字などを描画したり、キーボードやマウスのイベント処理をする基本構造を提供する。

このために、ViewクラスのサブクラスとしてDFDViewクラスを初期化、描画、マウス処理の3つから構成する。

DFDViewクラスは、図形の描画やマウス処理を拡張し、マウスでDFDの図形を描く機能を持ち、Toolクラスからメッセージが送られ実行する。

2-a) 初期化

描画領域を新しく生成し、Listインスタンスを作る。

Toolクラスにより作られたDFD成分ファイルを開き、それぞれのデータの個数を記憶し、その文字列を変数に格納する。

Listクラスはオブジェクトの集合を、順序列として簡単に操作できるインタフェースを提供し、配列リストとしてアクセスする。作ったオブジェクトは、描画した図形オブジェクトの管理ためにリストで記憶する。

2-b) 描画

ビュー(ウィンドウの部分領域)への描画は、drawSelf用い、Viewのサブクラスを作成する。それを描画させる場合はdrawSelfを再定義する。

実際の描画には、drawSelfの中に印刷用ページ記述言語であるPostScriptを用い、PostScriptのコマンドをウィンドウサーバ(アプリケーションからの描画要求を処理するNeXT内のプロセス)に送るには、シングルオペレータC関数を使用する。

これはPostScriptオペレータのそれぞれに対応するC関数であり、「PS」で始まり、ウィンドウサーバにPostScriptコマンドを送る。

DFDViewでの処理は、drawSelfによりDFDのプロセス(円)、エンティティ(長方形)、ファイル(平行線)の描画を行い、これらを初期化処理により記憶された個数だけ描く。

プロセス、エンティティ、ファイルの順に図形を、座標を等間隔にして並べ、図形の位置の座標をと文字列を配列に格納しておく。

それらの図形は、Listオブジェクトに全て記憶させ、図形のリストの配列番号と、位置座標と文字列の配列番号は同じ番号で対応させる。

一般的なビューの描画はdrawSelfで行い、マウスでの動的な描画には一時的描画を行う。なお、一時的描画とは、マウスの操作に追従しながら描画する手法である。

2-c) マウス処理

マウスイベント(マウス処理を扱うイベント)は、マウスボタンの状態の変化と、画面上でのマウスカーソルの位置変化により生成され、これを調べる場合は、イベントキューを明示的に操作する必要がある。

マウス処理を図形の移動と描画のために行い、この処理が終わるごとにListオブジェクトに記憶している図形オブジェクトを描き直す。

2-c-1) 移動

移動はビュー上に描かれた図形が、マウスによりドラッグ（マウスのボタンを押したままカーソルを動かす）した場合に行う。

図形上でマウスドラッグがイベントキューに入った時にその座標を調べ、その座標が図形の上であれば、マウスのドラッグにより一時的描画を行う。

イベントキューにマウスボタンアップが入った時点で、一時的描画が終わりその座標に図形を描く。

これらの操作で図形が移動することになる。

最後に、移動した図形オブジェクトを移動する前のオブジェクトの番号の配列に記憶し直す。

2-c-2) 描画

描画はDFD成分のデータフローを描くための処理である。

マウスボタンダウンがイベントキューに入ると、その座標値（スタート値）を記憶し、次にマウスムーブがイベントキューに入ることにより、このマウスの座標とスタート値の間に直線の一時的描画が行う。

これらのイベントが交互に入ることにより、直線だけではなく折れ線も描ける。

最後にマウスをダブルクリックすることにより、その座標に矢印をつけ、この図形オブジェクトをListオブジェクトに記憶する。

3) DFD表現部 (Shapeクラス)

DFD表現部は、初期化と図形表現の2つからなり、ObjectクラスのサブクラスとしてShapeクラスを作り、DFD成分の図形を表現や属性値（座標）の記憶を行う。

DFDViewの描画部が、このオブジェクトにメッセージを送り描画の処理を行う。

3-a) 初期化

DFDの図形オブジェクトを生成する。このオブジェクトは自分自身の座標の属性値を記憶している。

図形オブジェクトの座標値を初期化（ウィンドウの左上を原点に）する。

3-b) 図形表現

プロセス、エンティティ、ファイル、データフローを表す図形の描画には、PostScript言語を用いる。

なお、データフローを除き、おのおの図形の座標は、DFDViewオブジェクトからのメッセージにより、属性値をセットし、引数として文字列を渡す。

3-b-1) プロセス

プロセスの図形は円であるので、この属性値が円の

中心の座標となる。

PostScriptによる描画は、仮想的なペンを動かし、直線や曲線の集合を作成する。

円を描くにはPSArc() 関数を使う。文字の表示はペンの位置を移動して、PSshow()に文字列を与え文字列を表示する。

3-b-2) エンティティ

エンティティの図形は長方形であるのため、長方形を描くコマンドであるPSrectstroke()を使う。

そして、ペンの位置を図形の中に移動し文字列を表示する。

3-b-3) ファイル

ファイルの図形は平行線であるため、水平直線を2本引くため、直線のコマンドはPSlineto()を使う。また、文字も表示する。

3-b-4) データフロー

座標の属性値は配列としてセットされる。0番目の座標がマウスがはじめにクリック座標であり、直線の引きはじめの点である。引数として渡されたi番目の点まで直線を描いていき、マウスをダブルクリックした時点でその座標点に矢印を描く。

3. 2 ツールの実現

NeXT内に具備されたインタフェースビルダー (IB: Interface Builder)⁶⁾は、アプリケーションのGUIを設計、作成するためのソフトウェアであり、これを用いてツールを実現した。

IBを用いた実現の手順としては、プログラムがグラフィカルに表現された付録1, 2に示すApplicationKitの部品を、グラフィックエディタで配置し、UIの概観を決定し、各オブジェクト間の関係を定義する。

今回の作成においては、2つのインタフェース・ファイル（以下、この節の部分では単にファイルと記す）を用いた。

主メニューと要求仕様書の編集画面をファイル1に、DFDを構成するウィンドウをファイル2に分割した。なお、これらのファイルにはUI用のオブジェクトなどの情報が格納されている。

IBでは2個以上のファイルを同時には表示できないので、図2で示すように、まずメッセージのあるファイルのオーナー（持ち主であるオブジェクト）に送り、このオーナーが所定のオブジェクトにメッセージを送る。

この方法によってToolオブジェクトからDFDViewオブジェクトにメッセージを送ることができる。なお、NXAppはメイン・インタフェース・ファイルのオーナーである。

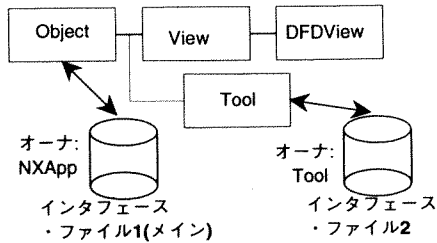


図2. ファイルオーナーの位置づけ

以下に、IBで作成する手順を示す。

1) インタフェース・ファイル1

[step1] インタフェースの作成

パレットウィンドウ (Application Kit が提供するUI画面の部品の一覧) からウィンドウにボタン、テキスト、メニューをドラッグする。

[step2] クラスの定義

ApplicationKitのクラスから派生させ、ToolクラスをObjectクラスのサブクラスとして定義する。識別子としては3つのオブジェクト(editText, dfdText, rDFDText)を設定する。

[step3] オブジェクトの結合

定義したToolクラスでオブジェクトを作成し、UI部品オブジェクトを結合し、オブジェクト間の関係を定義する。

[step4] ソースの作成

Toolクラスのソースの骨格を生成する。これを基にオブジェクト指向言語 (Objective-C) を用いたプログラムを作成する。

2) インタフェース・ファイル2

DFDの図を作成するウィンドウを表示するためのものである。

[step1] インタフェースの作成

このファイルはToolクラスの主メニューにより表示するため、オーナーをToolクラスに設定する。ウィンドウにパレットウィンドウからCustomView (描画を行うことができるビュー) をドラッグする。

[step2] クラスの定義

Viewクラスのサブクラスとして、DFDViewクラスを作成する。上で、ドラッグしたCustomViewのビュークラス名をDFDViewにする。これにより、画面に張り付けられたビューのクラスはDFDViewとなる。また、ShapeクラスをObjectクラスのサブクラスとして作る。

[step3] オブジェクトの結合

ファイルオーナーからDFDの描画を行うウィンドウに結合して識別子(aWindow)を定義する。

[step4] ソースの作成

DFDViewとShapeクラスのソースの骨格を生成する。これを基にObjective-Cを用いたプログラムを作成する。

4. ツールの実行例と考察

本研究で作成したツールの実行例の画面を表示し、考察を行なう。

4.1 実行例

実行画面は、案内パネルの表示と要求仕様を読み込みDFDを作成するまでの過程を説明する。

①案内パネルの表示 (図3)

メニューの案内を選択すると、案内パネルが開き、ツールの使用に関する最低限のガイドラインが表示される。

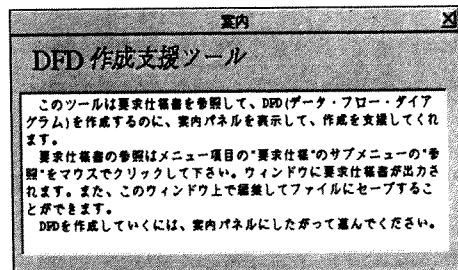


図3. 案内パネル

②要求仕様の入出力と編集 (図4)

ファイルメニューの“参照”をマウスでクリックすることにより、ファイルのオープンパネルが開かれる。

このパネルは参照可能な要求仕様のファイルを表示する。

読み込んだファイルは右のウィンドウの上のスクロール画面に表示される。

また、そのファイル名がタイトルバー上に表示される。DFDの構成成分を取り出す場合は、左下の4つのボタン (プロセス、エンティティ、ファイル、データフロー) の内の1つを押すことにより構成成分の種類を指定できる。

文字列をマウスで選択して、“OK”ボタンを押すことにより、その文字列が下のスクロール画面に表示される。

また、右のウィンドウには取り出した全てのDFD構成成分が表示される。

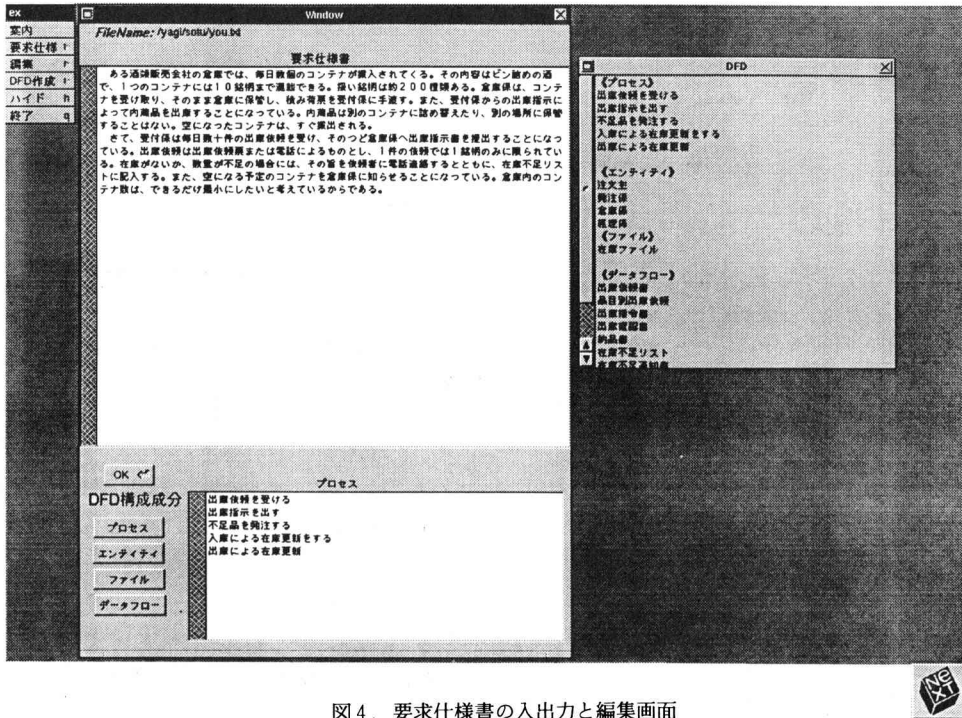


図4. 要求仕様書の入出力と編集画面

③DFD作成画面(図5, 6)

主メニューの"DFD作成"の"NEW"を押すとDFDを作成するウィンドウが現れ、図5に示すDFDの図がウィンドウ上に並べて表示される。

マウスカーソルを図形上にもっていき、ドラッグして適当な位置に移動させることができる。また、データフローの線を引くには、メニューの"DFlow"をマウス

で押し、ウィンドウ上でマウスをクリックして移動させると線が引ける。最後にマウスをダブルクリックすると矢印を描く。

以上の手順で、DFDを構成していくことができ、完成した画面を図6に示す。なお、一部要求仕様書に不足している部分を編集機能で加えている。

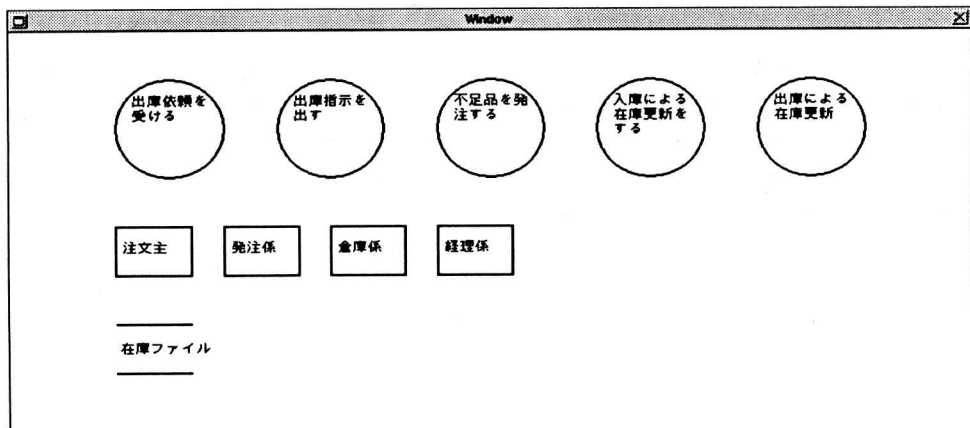


図5. DFD作成の初期画面

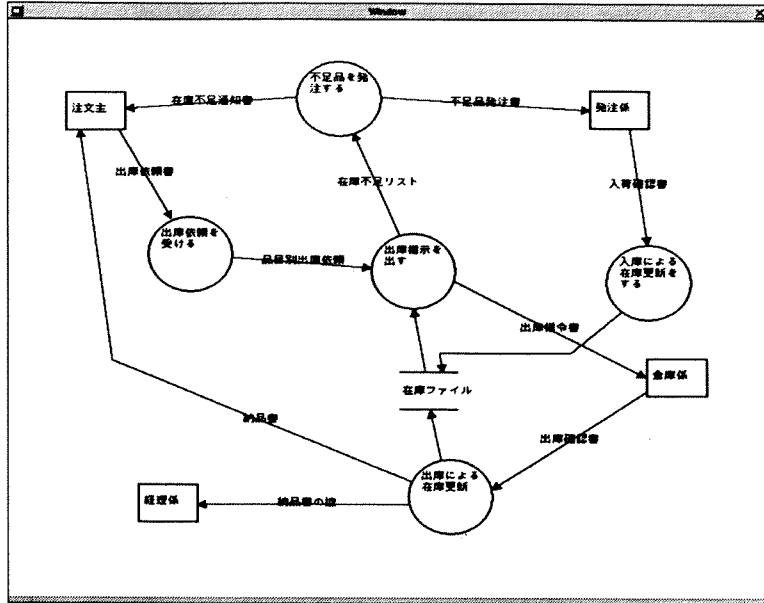


図6. DFD作成の完成画面

4. 2 考察

前節①の案内パネルの表示では、ツールの使用に関する情報を与えているが、単に要求仕様の画面だけが表示されていると、利用者はどのようなツールでどのように使えば良いかわからない。そこで、特に初心者が使う場合には、このような機能をつけることが重要である。

前節②の要求仕様の編集画面では、利用者が要求仕様書を見て、DFDの構成成分を含んだ文字列を見つけ出さなければならない。用いた例では要求仕様書の量が少ないが、もっと多い場合には利用者にとって労力と時間がかかる。

そこで、初心者が使用することを対象としているため、要求仕様書を解析することによって文字列の選択を支援する機能をつけることが必要であると考えられる。

また、本ツールではDFDを作成する場合に誤りが見つかったときには文字列を取り出す過程まで戻って変更しなければならない。

これはツールを使う上でもソフトウェア開発を行なう上でも時間が無駄になるので、DFDを作成する工程において、修正できる機能を加えれば効率がよくなる。

なお、ユーザインタフェースは、ソフトウェア開発環境におけるコンピュータとの関わりにおいて、開発者の作業を支援する側からみて、非常に重要な要素である。

このように、ソフトウェア開発においてユーザインタフェースを配慮することにより、初心者が開発を行う場合には労力の削減になる。

GUIの設計ではIBを使うことによって時間の短縮が図れた。これはオブジェクト指向的なUIの構築ができるので、UIの部品(ボタンやウィンドウ)をオブジェクトと考えることにより、アプリケーションと分離して設計できた。

5. あとがき

本稿では、要求仕様からDFDを作成する過程を支援するツールについて述べた。現段階では、利用者は要求内容を理解して、自分でDFDの構成成分を選択しなければならない。当然、間違った分析が行われた場合はうまくいかない等問題点を含んでいる。これを改善するためには、自然言語解析を利用して要求内容を分析することにより評価を行ない、さらに利用者にとって分かりやすいUIを作る必要があると考える。

参考文献

- (1) 有沢 誠:「ソフトウェア工学」,岩波書店(1988).
- (2) Tom DeMarco著, 高梨智弘, 黒田純一郎監訳:「構造化分析とシステム仕様」,日経BP社(1986).
- (3) James Martin, Carma McClure著, 國友義久, 渡辺純一訳:「ソフトウェア構造化技法—ダイアグラム法による—」,近代科学社(1986).
- (4) 松崎純一:「構造化ワークベンチ」,日経マグローヒ

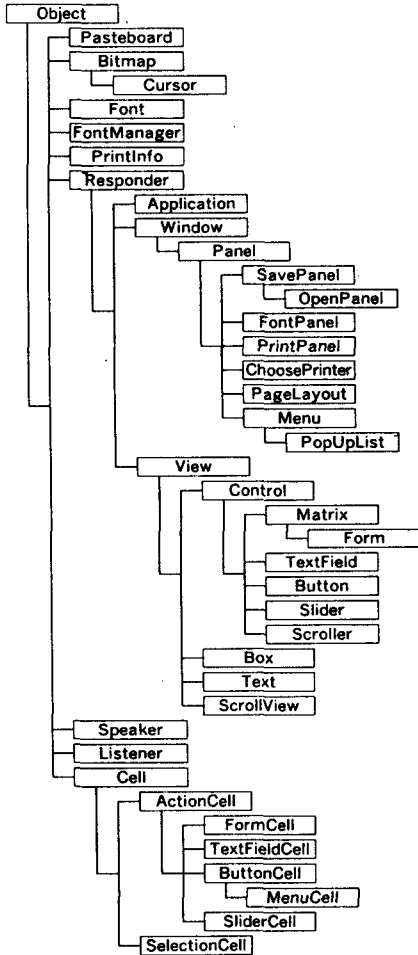
ル社(1988).

(5) Ben Shneiderman著, 東 基衛, 井関 治監訳: 「ユーザー・インタフェースの設計」, 日経BP社

(1987).

(6) 「NeXT日本語システムリファレンスマニュアル コンセプト」, キヤノン株式会社(1991).

付録1. Application Kitのクラス階層



- 全クラスの基本的な定義を用意する
- Cut&Paste インターフェイス
- ビットマップ操作
- マウスカーソルの位置と形状
- 文字フォント情報
- 文字フォント操作
- プリントジョブの情報
- コマンドやイベントを受ける
- アプリケーションのオブジェクト
- ウィンドウ
- パネル
- Save パネル
- Open パネル
- Font パネル
- Print パネル
- ChoosePrinter パネル
- PageLayout パネル
- メニュー
- ポップアップリスト
- ユーザーインターフェイス画面の部品の抽象クラス
- マウスのイベントを受け取るオブジェクトの抽象クラス
- Cell の並び
- 項目名と内容の対になった場
- テキストフィールド
- ボタン
- スライダ
- スクローラ
- スクローラ
- 縁付き領域
- 文書情報の表示と編集の場
- スクローラ付き表示領域
- 別タスクへのメッセージ送信
- 別タスクからのメッセージ受信
- View の画面
- Control の画面
- Form の画面
- テキストフィールドの画面
- ボタンの画面
- メニューの画面
- スライダの画面
- 階層構造を図示する

付録2. ツールの作成に用いたApplication Kitのクラスを示す.

Object : 全てのクラスのルートである。全てのクラスは、各オブジェクトに対するスペースの割付や解放、オブジェクトの複写、メッセージに回答するための機能のテストといった基本的な機能をこのObjectクラスから継承する。

List : 動的にサイズを変更することができるObjective-

Cのオブジェクトの配列を格納する。List内のオブジェクトに対しては、全てのオブジェクトに同一の処理を行なう操作を簡単に実行することができる。

View : 描画とイベント処理を行うための基本構造を提供する抽象スーパークラスである。

Text : 複数フォントの仕様、パラグラフ形式の指定、編集、選択などテキスト処理のあらゆる側面を管理する。

The processing of Kana function words in reading Japanese

Michiko Shimomura

Subjects read Japanese passages and circled misspellings in them. Misspellings were introduced by replacing a Kana characters with another one. The subjects made more detection errors when Kana characters were positioned as function words after Kanji-nouns (i.e., postpositions) and when they formed part of familiar content words such as adjectives and conjunctions than when they positioned as function words in Kana sequences. As for reading units in Japanese, the result suggests that phrases comprised a Kanji-noun and a Kana function word are read in units larger than words. On the other hands, Kana function words in Kana sequences are suggested to be read in character units.

In addition, when sentences were spaced artificially every a word or phrase like English, the detection errors were decreased. The result was interpreted as follows; spaces between words or phrase made subjects' attention direct to component characters, and consequently, more misspellings were detected.

1. Introduction

Many studies have thrown the light on the questions which are processing units in reading English and how they are processed. Healy and her colleagues (e.g., [1][2]) demonstrated that high frequency words such as *the* are visual processing units. Since spaces segment a sentence word-by-word in English, words are considered to be robust as processing units. In Japanese sentences, on the contrary, there are no space between words and a few colons between phrases, which are positioned not every one phrase, but rather arbitrarily. Thus, processing units are visually ambiguous in Japanese.

We have studied visual processing of Japanese words. Japanese writing system has two kinds of scripts; *Kanji* characters and *Kana* characters. Kanji characters are usually used to represent nouns and the stems of verbs or adjectives. Two-Kanji-words frequently appear in writing Japanese, and we hypothesized that Kanji words are visual processing units [3]. On the contrary, Kana characters represent particles such as postpositions and endings of verbs or adjectives. The objective of this study is to investigate the processing of Kana function words.

We previously examined the visual processing of Kanji words and Kanji characters [4]. The

subjects were asked to detect misspellings in sentences presented one character (or one word, one phrase, one sentence) at a time under the spatial distributed form of RSVP (Rapid Serial Visual Presentation) condition. In English study using the similar method [5] more letters were detected in the one-word display than in the normal text. They interpreted this result according with the unitization hypotheses of reading [1]. That is, there is a hierarchy of processing level; letter, syllable, word. The processing of constituent letters is disrupted in reading, because once the subjects obtain available information by identifying a word, they move on to the next word before identifying the constituent letters. On the contrary, when one word is presented at a time, the subjects may continue to process it even after completing the identification, and letter-level processing ends normally without disruption.

The result of our study [4] was inconsistent with them. No significant difference was shown between the one-word display and the one-sentence display. We concluded, from this result, that word-level and character-level are functionally equivalent in Japanese, instead of constructing a hierarchy as in English. Moreover, we found no difference between the one-word display and the one-phrase display. Thus, the possibility that a phrase is a processing unit as well as a word

was considered. In this experiment, the processing of Kana function words was examined to test this possibility. Since the one-phrase display used in the previous experiments [4] consisted of a Kanji noun and a Kana postposition in many cases, the processing of Kana-postpositions was needed to be examined.

We employed the proofreading task. The subjects were required to process the meaning of passages. At the same time, they needed to analyze the detailed visual feature of characters. We manipulated misspelling types. Here, misspellings are defined as existent but incorrect characters. Kana misspelling detection were examined in various contexts such as after Kanji nouns or after Kana nouns.

We also manipulated the spacing in sentences to examine the function of attention in proofreading task. According with the unitization hypotheses, additional attention need to focus on a constituent letter to identify it. When a sentence is divided by spaces between words or phrases, subjects' attention are likely to direct at constituents, and then, misspellings can be detected more accurately.

2. Experiment

Subjects. Seventy-four female students of a college were participated as a part of the introductory course of experimental psychology. All were native Japanese readers.

Design and materials. The subjects read six versions of prose passages in Japanese [6] [7] [8]. Four kinds of misspellings were created by substituting one Kana character (i.e., a base character) in a correctly spelled word with another one. None of the substitutions yielded a correctly spelled word. Twenty two misspellings included in each passage. That is, (1) five misspellings created by substituting Kana postpositions after Kanji nouns (i.e., misspellings after Kanji words), (2) five misspellings created by substituting Kana postpositions between Kana content words (i.e., misspellings after Kana words), (3) five misspellings created by substituting Kana characters in Kana content words at the last position (i.e., misspellings in the last positions in words), (4) five misspellings created by substituting Kana characters in Kana content words at one positions except the last (i.e., misspellings in a position

except the last). Two Kanji misspellings created by substituted a Kanji character with another one were also included in each passage as distractors. The examples of misspelling type showed in Figure 1-a.

We also manipulated the spacing in sentences. There were three spacing type; (1) spacing every one word (word-spacing), (2) spacing every one phrase (phrase-spacing), (3) no-spacing, that is, normal Japanese writing. The examples of spacing type showed in Figure 1-b.

Procedure. The subjects were tested in a group session conducted in a classroom. The booklets containing two practice passages and six test passages were given to the subjects. The subjects were asked to read the prose passage in the purpose of evaluating the readability of them. In addition, they were told to encircle it with their pens, whenever they came to a error. The instruction emphasized that they should read at their normal reading speed, and that if at any time they realized that they had missed an error in a previous word, they should not retrace their steps to encircle it. Although the reading speed was not controlled, the subjects were told to read one passage in about three minutes, and the experimenter informed the subjects of the time every one minute. When all subjects finished reading, they were told to read next passage.

- (1) misspellings after Kanji words
風景は → 風景ゆ
- (2) misspellings after Kana words
おしやれを → おしやれよ
- (3) misspellings in the last position in Kana words
たくさん → たくさむ
- (4) misspellings in a position except the last
あたたかい → あたにかい

- (1) no space in sentences (i.e., ordinary writing)
農家の庭先に
- (2) spacing between phrases
農家の 庭先に
- (3) spacing between words
農家 の 庭先 に

Results. The results are summarized in Table 1 in terms of mean error percentages as a function of misspelling type and spacing type. We conducted two-way Analysis of Variance (ANOVA), followed by separate analyses. The main effects of misspelling type and spacing type are significant [$F(3, 222) = 14.8, p < .001$; $F(2, 148) = 24.9, p < .001$, respectively].

Separate analyses showed more error percentages for misspellings after Kanji words and misspellings in the last position in words than for misspellings after Kana words and misspellings in a position except the last. For spacing type, the error percentage was highest in no-spacing type. There was no difference between phrase-spacing and word-spacing.

3. Discussion

The processing of Kana function words in a proofreading task was studied. In the result of the experiment, misspelling type affected the misspelling detection. Misspellings after Kanji words and those in the last position in words were detected more accurately than misspellings after Kana words and those in a position except the last. Comparing misspellings after Kanji words with those after Kana words, it is suggested that a phrase consisting of a Kanji word and a Kana postposition are likely to be processed in a unit. On the other hand, Kana postposition after Kana words are considered to be processed in a character-by-character basis. Since misspelling after Kana words were always positioned before Kana words, they were, in fact, positioned midway in Kana sequences. Kana sequences were not processed in a word unit, but in a character unit.

As for misspellings in Kana content words, the positions of misspellings in words affected misspelling detection. In order to detect misspellings, subjects' attention are needed to focus on constituent characters. The effect of positions of misspellings suggested that attention is likely to direct to constituent characters in the left-to-right order.

The effect of spacing type also suggested the important role of attention in proofreading. When spaces were artificially added between words or between phrases, more misspelling detections were shown. It is considered that spaces made subjects' attention direct to constituent characters.

Table 1
Means for error percentages

	No space	Spacing between phrases	Spacing between words	Mean
Misspellings after Kanji words	24.2	19.3	13.8	19.1
Misspellings after Kana words	20.9	12.3	13.3	15.5
Misspellings in the last position in words	24.7	20.0	18.0	20.9
Misspellings in a position except the last	17.0	13.7	12.0	14.2
Mean	21.7	16.3	14.3	

The present study examined the possibility that a phrase is processed in a unit in Japanese. The results suggested that a phrase consisting of a Kanji noun and a Kana postposition is processed in a unit. On the contrary, a phrase consisting of several Kana characters is processed in a character-by-character method. In English, also, Drewnowski & Healy suggested that a phrase consisting of a preposition, *the*, and a noun is likely to be a processing unit larger than a word [9]. They regarded the frequency of words and phrases as important when the processing units were discussed. In Japanese, also, more work is needed to specify the role of the frequency of words and phrases.

References

- [1] Healy, A. F. : Detection errors on the word *the*: Evidence for reading units larger than letters. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2 (1976), 235-242.
- [2] Healy, A. F., & Drewnowski, A. : Investigating the boundaries of reading units: Letter detection in misspelled words. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9 (1983), 413-426.
- [3] Shimomura, M., & Yokosawa, K. : Processing of Kanji and Kana characters within Japanese words. *Perception and Psychophysics*, 50 (1991), 19-27.
- [4] Shimomura, M., & Yokosawa, K. : The processing of constituent characters in Kanji words in proofreading Japanese sentences. (manuscript submitted for publication)
- [5] Healy, A. F., Oliver, W. L., & McNamara, T. P. : Detection letters in continuous text: Effects of

display size. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13 (1989), 279-290.

- [6] Kitano, S.: "Igirisu no okasi." CBS Sony-shuppan (1989).
- [7] Kitano, S.: "Igirisu ryouri wo meshiagare." CBS Sony-shuppan (1990).
- [8] Yoshiyuki, J.: *Aibyoubi. Bancho-shobou* (1976).
- [9] Drewnowski, A., & Healy, A. F.: Detection errors on the *and* and *and*: Evidence for reading units larger than the word. *Memory & Cognition*, 5 (1977), 636-647.

Appendix

The example of stimulus sentences (Kitano, 1989, 31-32) クリーム・ティーズ。イギリスの田舎をドライブしていて道沿いの農家の門のところにこの看板が目についたら、それはティー・タイムの合図です。ちょっとひと休みしたいな、と思う午後4時頃になるといつものことでした。看板に書かれた"クリーム・ティー"とはイギリス人なら誰もが知るティー・タイムのメニューのこと。クリーム・ティーといってもクリームを浮かべた紅茶のことではありません。こってりと黄色いクロッテド・クリームとストロベリージャムが添えられたスコーンふたつ、それにポットにたっぷりに入った紅茶にミルク。イギリスの女の子がママから最初に習うお菓子、それがスコーンです。「ママ、スコーンってどうやって作るの?」「小麦粉とベーキング・パウダー、それにバターを量ったら、ボールに入れてね。ミルクと卵をとってちょうだい。ほら、あとはこうやって、まぜるのよ。」イギリスで暮らしていた夏のこと、"ハーブ・ガーデンめぐり"に出かけた田舎で、こんなティー・タイムのメニューを味わるのが楽しみのひとつでした。リッツのようなロンドンの有名なホテルでおしゃれをしてお茶をのむのもそれは素敵ですが、緑の中、それも農家の庭先に出された芝生の上で風に吹かれて味わうクリーム・ティーも幸せな気分を誘うものです。田園風景が広がるなか、牛や馬を飼って小麦を耕作したり、牧羊で暮らしをたてている農家がまだたくさんあるのもイギリスの田舎。そうした農家ではお菓子作りが自慢の奥さんが多いらしく、庭先でホームメイドのスコーンやケーキ、ビスケットで一杯の紅茶を楽しんでもらうように"Farmhouse Tearoom"を開いているというわけです。時には、小さな女の子がお母さんのお手伝いにケーキを運んで来てくれ、そんなかわいいサービスもうれしいものでした。看板の文字、石の家の雰囲気を見て、ピンとひかれるものがあつたら、そこでのスコーンの味もまちがちなし、というのが、いつしか私流のティー・ルームの見分け方になっています。このPark Farmにも白い板に描かれたCREAM TEASの文字のすっきりとした並びが、蜂蜜色の石の家の小窓にそよぐレースのカーテンの白さに、一目ピンときて立ち寄ったのでした。まわりはカリッときつね色に焼け、中はほわっと柔らかい、ビスケットとパンの間のようなスコーン。いつものようにさくっとナイフを入れて横にふたつに割ってクリームとジャムをのせてひとくち食べると、このPark Farmのスコーンは、あたたかいお母さんの味がしました。私もいつかこんな味を出せるようになりたいと思いつけているのです。

This study was reported at 25th International Congress of Psychology, 1992, under the joint name of Kazuhiko Yokosawa, Institute of Industrial Science, University of Tokyo.

移植性を考慮したコンパイラ駆動方式 論理シミュレータの開発

世古 忠

An Implementation of a Portable Compiler Driven Logic Simulator

Tadashi SEKO

Abstract: A portable compiler driven gate level logic simulator has been implemented on Sun 3/60 Workstation. It has generated C programming language's function calls as intermediate codes instead of machine dependent codes, so that it has been of portability for a variety of other workstations or personal computers on which C language could be run. The implemented program could simulate IEEE MCNC benchmark circuit (C5315, for a example) with approximately 2,000 gates and 10 test patterns by 3.8 seconds CPU time.

1. はじめに

論理回路のモデルを計算機上に構築し、その動作を模擬し論理検証やタイミング検証を行うことを論理シミュレーションという。論理シミュレーションの方式^{(1),(2)}は、大別してイベント法とコンパイラ駆動法がある。タイムマッピング・イベント法は素子に任意の遅延を割当てることができ詳細なタイミング解析が可能であるが、イベントや時刻の管理のための手続きが複雑でありシミュレーションに非常に時間がかかるという問題がある。

他方、コンパイラ駆動法は素子の遅延モデルが0遅延ないしは単位遅延の回路に限られ、詳細なタイミング解析は行えないが、組合せ回路ないしは同期式順序回路の論理検証に限ればこの手法は有効であり、速度が高速であるので専用ハードウェアなどによる大規模回路のシミュレーションに用いられている。

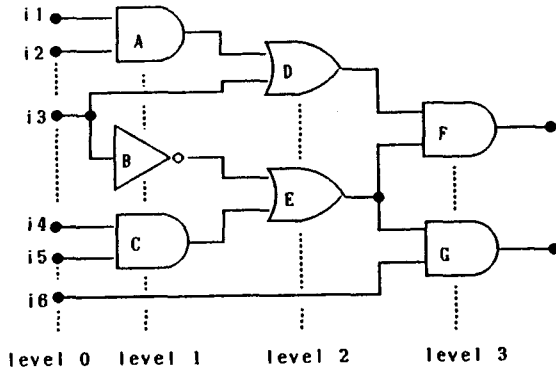
従来のコンパイラ駆動方式ではシミュレーションの速度を高速化することを目的として、特定のハードウェアに依存したコードを生成するものが多く、移植性に欠けていた。特に最近では論理合成用のツールの大多数がワークステーション上で開発され、VLSIの設計もワークステーション上で行われることが多くなり、論理シミュレーションだけ専用ハードウェアで行うと、そのための手続きに余分の時間がかかり問題となっており、ワークステーション上で動作する移植性にすぐれたシミュレータが必要になっている。

そこで、本研究ではコンパイラ駆動方式論理シミュレーションのための移植性にすぐれたコード生成手法を新しく提案し、この方法に基づき論理シミュレータを開発することにした。本稿で提案するコード生成方式は、従来のように特定のハードウェアに依存した機械コードではなく、C言語のソース・コードを生成し、そのことによって移植性と高速性を実現する。

今回開発した論理シミュレータに与える回路構造の記述形式はISCAS85⁽³⁾、MCNC89⁽⁴⁾の国際的ベンチマーク回路の記述形式を扱うことができるようになっていた。そのため、これらのベンチマーク回路でテストすることが可能である。実験の結果、約2000ゲートの回路(C5315)を約3.8秒でシミュレーションすることができた。

2. コンパイル駆動方式 論理シミュレーションの手法

コンパイル駆動方式論理シミュレーションは、シミュレーションの単位時刻毎に回路の全素子を評価する手法である。対象回路の各ゲートは、あらかじめその評価順序に従ってレベル付けしておき、このレベル順に評価すべきコードを生成するのでコード生成方式とも呼ばれる。従来、コード生成段階では速度の高速化のため機械コードが生成されてきたが本研究では移植性を考慮し、C言語の関数呼び出しの形でコード生成を行う。



```

a=and2(i1,i2);
b=not(i3);
c=and2(i4,i5);
d=or2(a,i3);
e=or2(b,c);
f=and2(d,e);
g=and2(e,i6);
o1=f;
o2=g;

```

図1 素子のレベルと生成コード

2. 1 対象回路モデル

今回開発した論理シミュレータの対象回路モデルは、ゲート・レベル (AND, OR, NOT など) であり、信号値は 0、1 の 2 値とし素子の遅延は 0 遅延、単位遅延を扱う。したがって、一般には組合せ回路を対象とするが各素子に単位遅延が与えられた場合には同期式の順序回路も扱うことができる。

対象回路の構造は有向グラフ $G(V, E)$ で表す。ここで、頂点の集合 V は素子の集合を表し、枝の集合 E はそれらの素子間の接続を表す。外部入力端子は 0 入力 1 出力の頂点に、外部出力端子は 1 入力 0 出力の頂点に対応する。素子は n 入力 1 出力を仮定するが、頂点から複数の枝が出ている場合には、その素子の出力端子が複数の素子にファン・アウトされていることを意味する。

2. 2 レベル付け

回路の構造を解析し、回路を構成する各素子をあらかじめ評価の順に従ってレベル付けする処理をレベル・ソートという。レベル付けの手順を以下に示す。

- (1) 回路にフィードバック・ループがあればそれを切断する。
- (2) 外部入力端子のレベルを 0 とする。
- (3) 素子 k の入力線に接続されている素子を k_1, k_2, \dots, k_n としたとき、素子 k のレベル $L(k)$ を次式で定

義する。

$$L(k) = 1 + \max(L(k_1), L(k_2), \dots, L(k_n)) \quad (1)$$

ただし、 $L(k_i)$ は素子 $k_i (i=1, \dots, n)$ のレベルとする。

フィードバックループの切断点は回路の動作条件に合わせて決められるが、同期式順序回路の場合にはクロックの導入される素子で切断する。

図 1 (a) に回路例と素子のレベルを示す。この例の各レベルの素子の集合は、

レベル 0 = { $i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6$ }

レベル 1 = { A, B, C }

レベル 2 = { D, E }

レベル 3 = { F, G }

である。ただし、 $i_1 \sim i_6$ は入力端子を表す。ここで同一レベルの素子は任意の順に評価してよいので、並列プロセッサを使えば素子評価を並列に行うことができる。

2. 3 コード生成

素子のレベル付けが終了し、その評価順序が決定すると、各素子の機能に対応したコードを生成するが、本研究ではコード生成として C 言語の関数呼び出し系列を生成する手法を提案する。従来のコンパイル方式のシミュレータでは、この段階で直接機械コードやアセンブリ言語のコードを生成していたが、C 言語のソース・コードを生成することによって、移植性に優れたシミュレータを構成することが可能となる。

各素子の機能に対応する C 言語の関数は、あらかじめライブラリとして用意しておく。例えば、2 入力 AND ゲートの機能に対応する関数はその 2 入力に接続する素子を a, b としたとき図 2 になる。

```

nand2(a,b)
int a,b;
{
    y=gate[a].output&&(gate[b].output);
    return y;
}

```

図2 NANDゲートに対する関数

各ゲートはレベル順に評価され、それまでに評価された各素子の評価値は記憶しておきその値を引数として評価ができる。コード生成の段階では、これらの関数を単に呼び出すためのコード系列を生成する。図 1 の回路に対応するコード列を図 1 (b) に示す。

2. 4 閉路の切断

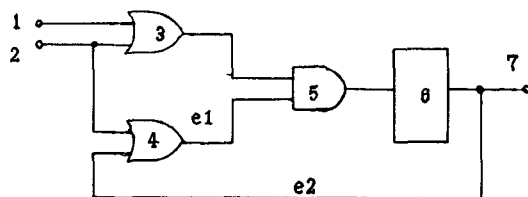
回路モデルは同期式順序回路を仮定し、1 シミュレ

```

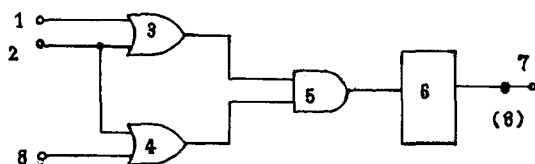
procedure depthfirstsearch;
{
  for (全ての頂点に対して)
    level=0;
    for (全ての頂点に対して)
      if (頂点vのレベルが0)
        visit(v);
}
procedure visit(v)
{
  level=level+1;
  頂点vにレベルを付ける;
  訪問中のフラッグを立てる;
  for (頂点vを始点とする各辺について) {
    if(辺の行先の頂点zのレベル<=vのレベル) {
      if(zのレベル>0 && zは訪問中である)
        vからzへの辺(v, z)は上昇辺である;
      /* vがクロックの導入される素子であるとき
      辺(v, z)を切断する. */
    }
    else
      頂点zを訪問する;
  } /* end of if */
} /*end of for*/
level=level-1;
頂点vのフラグを降ろす;
}
    
```

図3 レベル付けと閉路の検出アルゴリズム

シミュレーションの間状態が確定すると仮定すると、回路にフィードバックループが存在してもそれを切断することによって組合せ回路論理的な扱いが可能となり、シミュレーションが可能となる。回路の閉路の検出は、深さ優先探索を利用してレベル付けの処理の過程で行う。図3に深さ優先探索を利用したレベル付けと閉路の検出のアルゴリズムを示す。図3のアルゴリズムで上昇辺を検出した場合、上昇辺の行先となる頂点には、新たに入力端子となるダミーの頂点を作成し、ダミーの頂点からその頂点へ至る辺を付け加える。ダミーの頂点は入力端子とするのでレベルは0となる。また、その入力値は前回のシミュレーションサイクルで得られた値とする。例えば図4(a)の回路は閉路を切断すると図4(b)の回路となり新たな入力端子8が作成される。ただし、グラフの隣接リストに依存して頂点の探索順序が異なるので例えば図4(a)で枝e2ではなく枝e1が上昇辺として検出される場合があるので、このようなことがないよう隣接リストを作成する必要がある。



(a) 切断前の回路



(b) 切断後の回路

図4 フィードバックネットの切断

3. 開発したシミュレータの構成

今回開発したコンパイラ駆動方式論理シミュレータはトランスレータ部、レベル付け部、コード生成部、シミュレータ本体の4つの部分から構成される。

(1) トランスレータ部

トランスレータ部はMCNC89の記述形式で書かれた回路の記述を読み込み、これを計算機内部のデータ表現である有向グラフの構造に変換する部分である。回路記述の字句解析と構文解析には、UNIX上のツールlexとyaccを使用した。

(2) レベル付け部

有向グラフの深さ優先探索を行うことによって、各素子にレベル付けを行う部分である。フィードバックループもこのフェイズで検出される。

(3) コード生成部

各素子のレベル順に各素子の機能に対応したC言語のソースコードを生成する部分である。ループを切断したとき、ダミーの入力頂点に対するコードもこの段階で生成される。

(4) シミュレータ本体

生成されたC言語ソースコードを、単位時刻毎に実行制御を行うC言語のソースコードと結合し、Cコンパイ

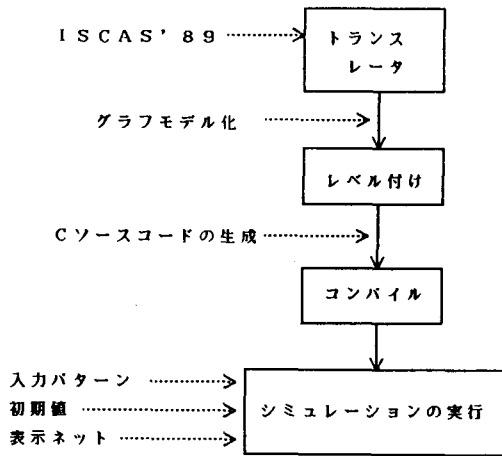


図5 シミュレーションの手順

ラーによりコンパイルし、シミュレータ本体を生成する。シミュレーション時には、入力パターン、フリップフロップの初期値、表示すべきネット情報を与える。シミュレーション結果はファイルに出力し、タイミングチャートで画面に表示する。

以上の構成の開発したシミュレータによるシミュレーションの手順の流れを図5に示す。

4. 実験結果

論理シミュレータはSUN3/60上のC言語を用いて開発し、その上でISCAS85およびMCNC89ベンチマーク回路について、10パターンに対してシミュレーション実験を行った。表1に実験結果を示す。表1には、素子数（ゲートとほぼ同じ）の異なる6個の回路に対する前処理時間と実行時間を示す。表1より、C5315など約2000ゲートの回路の前処理（グラフ作成からコード生成まで）時間は61.4秒で行えることが分かりワークステーションでも実用に耐えることが確認できた。また、この場合のシミュレーション時間は3.8秒であるが、入力パターン数が少ないため前処理時間に比べて高速となっている。シミュレーション時間は入力パターン長に比例すると考えられるので、1000パターンの場合には前処理時間の約6倍程度の時間を要すると予測される。上表の他に約5000ゲートの回路（回路名des）についても動作を確認した。ゲート

表1 実験結果（時間の単位は秒）

回路名	C17	parity	unreg	C499	C2670	C5315
素子数	18	92	149	620	1343	2125
前処理	0.1	0.4	0.8	7.0	25.8	61.4
実行時間	0.1	0.1	0.3	1.1	2.6	3.8

数が更に大きい回路（5000ゲート以上）については実験は行っていないが、この場合生成されるコードがさらに大きくなり、Cコンパイラによるコンパイル時間もさらに大きくなると考えられるが、最近の飛躍的なワークステーションの性能の向上を考慮すると、本方式によりさらに大きい回路も扱うことが可能になると考えられる。

5. まとめ

本研究では、移植性に優れたC言語のソースコードを生成するコンパイル駆動方式論理シミュレータの実現方法を提案しシミュレータの開発を行った。開発したシミュレータは実現が容易で、移植性に優れているので他のワークステーション上でも動作をさせることができる。今後の課題としては、隣接リストに依らないクロックの導入される素子でのフィードバックネットの有効な切断手法の実現、並列プロセッサを用いたシミュレーション速度の向上などが挙げられる。

文献

- (1) 村井真一：“ゲート・レベル論理シミュレーション” 情報処理 Vol.22 No.8 pp.762-769.
- (2) 樹下行三、浅田邦博、唐津 修：“VLSIの設計II” 岩波講座マイクロエレクトロニクス.
- (3) Brglez,F.,H. Fujiwara:“A Neutral Netlist of 10 Combinational Benchmark Circuits and a Target Translator in Fortran” Proc. 1985 IEEE Int. Symp. on Circuits and Systems,Kyoto(Japan),1985.
- (4) “Logic Synthesis and Optimization Benchmarks” 1989 MCNC International Workshop on Logic Synthesis.

ある種のグラフにおける 最大クリーク重みの折点数について

多喜正城・法林浩之*・柏原敏伸*・荒木俊郎*

Number of Turning Points of Weighted Maximum Clique

Masakuni TAKI Hiroyuki HOURIN Toshinobu KASHIWAHARA Toshirou ARAKI

数理計画問題において、各コストなどの係数がパラメータ λ の関数で表されるような問題をパラメトリック問題と呼ぶ。与えられたパラトリック問題に対する最適解を表す関数 $P(\lambda)$ とすると、 $P(\lambda)$ の形状を多項式時間で決定できるかどうかは、 $P(\lambda)$ の傾きが変化する点(折点)の総数 $\beta(P)$ が問題のサイズの多項式オーダーかどうかにか強く依存する。辺もしくは頂点の重みが実変数 λ の関数で表されるようなグラフをパラメトリックグラフと呼ぶ。

本研究では、各頂点の重みが λ の1次関数であるようなパラメトリックグラフ $G = (V, E)$ (頂点数 n 個)における重み最大クリークを求める問題について考察を行い、以下の結果を得た。

一般には、 $\beta(P) = O(n^{10 \cdot 8^n})$ となるような `comparability graph` が依存し、かつ任意の `comparability graph` について $\beta(P) = O(n^{10 \cdot 8^n})$ である。

1. まえがき

数理計画問題において、各コストなどの係数が定数でなく、あるパラメータ λ の関数で表されるような問題をパラメトリック問題と呼ぶ。パラメトリック問題においては、最適解は一般に λ の関数として表されるが、この関数の数学的性質を個々の具体的な問題について評価することが重要なテーマとなる。最近、さまざまな問題がパラメトリック問題に帰着できることが分かってきており、最適解を表す関数の性質や、最適解を表す関数を求める方法及びその計算量が研究されている。

頂点集合が V 、辺集合が E であるようなグラフを $G = (V, E)$ とする。従来のグラフは、辺もしくは頂点に重みを持たせる場合、それらの重みは変化しないものとしてきた。これに対し、重みが実変数 λ をパラメータとする関数で表されるようなグラフをパラメトリックグラフと呼ぶ。パラメトリックグラフの例を図1に示す。

本件研究を通じて、重みは λ の1次関数であるものとする。この時、与えられた問題に対する最適解を表す関

数を $P(\lambda)$ とすると、 $P(\lambda)$ は区分線形な凸関数となることが知られている。例えば、図1のグラフの対する最短経路を求める問題の最適解は、図2で表されるような形のものになる。

ここで、 $P(\lambda)$ の傾きが変化する点を折点と呼ぶことにする。 $P(\lambda)$ の形状を決定するにはすべての折点を求めることが必要となるが、Gusfield(4)は非パラメトリックな同じ問題のアルゴリズムを折点当りほぼ1回実行することによって、全ての折点を求め得ることを示してい

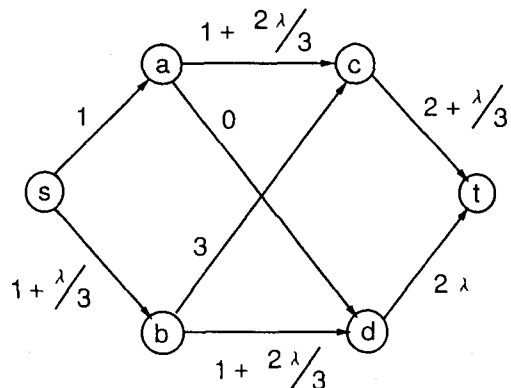


図1：パラメトリックグラフ

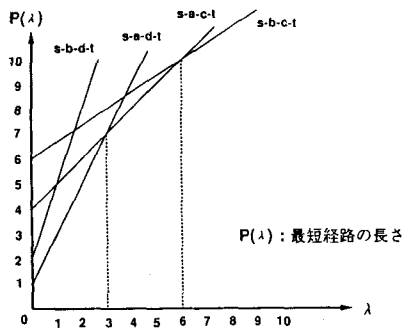


図2：前述のグラフに対する最短経路問題の最適関数

る。従って、非パラメトリック問題のアルゴリズム、ならびに折点の総数 $\beta(P)$ がいずれも問題のサイズの多項式オーダーであれば、 $P(\lambda)$ を多項式時間で決定することが出来る。このような折点数 $\beta(P)$ は問題の複雑度を表す一つの重要な尺度であると考えられ、そのためのパラメトリックグラフに関するさまざまな問題について、その最適解を表す関数の折点数を評価する研究が行われている。以下、いくつかの問題について、これまでに知られている結果を紹介する。

グラフ理論における有名な問題としては、まず最短経路問題があげられる。Carstensen (1) はパラメトリック最短経路問題について、頂点数 $o(n^3 \log n)$ で $\beta(P) = n^{1.5} \cdot n - 1$ となる問題例を作成した。また、この結果を応用することによってパラメトリックマッチング問題についても同様の結果を導き出している。最短経路問題の上界については、折点数が最悪でも $O(n^{\log n})$ で抑えられるというがGusfield (6) によって示されている。

パラメトリック最大フロー問題に関しても、やはり折点数が指数オーダーとなる例がRuhe (8)(9)、新井、上野、梶谷(7)によって知られている。パラメトリックが最小コストフロー問題においては、Carstensen(1)が頂点数 $2n+2$ 、辺数 n^2+n+2 のネットワークで $\beta(P) = 2^n + 2^{n-2} - 1$ となる問題例を作成している。

一方、パラメトリック最小木問題については折点の総数が多項式オーダーで抑えられる、頂点数 n 個、辺数 m 本のグラフにおいて $\beta(P) = \sqrt{mn(m+1-n)}$ であることがGusfield (6) によって知られている。

本研究では、頂点にパラメトリックな重みを持たせたグラフにおける重み最大クリークの重み関数について考察する。クリークに関するパラメトリック問題の研究はこれまでほとんど報告されていない。クリークと関係の

深いグラフ構造としては独立頂点集合があげられるが、独立頂点集合に関する問題も、与えられたグラフが外平面グラフである場合に、その重み最大の独立頂点集合の重みを表す関数の折点数が $O(n^{2.67})$ であるということがZhu(5)によってしめされているのがほぼ唯一の結果である。

本研究で得られた結果は以下のようなものである。

一般には、 $\beta(P) = O(2^{r_n})$ であるようなグラフが存在する。また、 $\beta(P) = O(n^{\log n})$ となるような comparability graph が存在し、かつ任意の comparability graph について $\beta(P) = O(n^{\log n})$ である。

以下、本論文の内容を説明する。2章では、本論文に用いる用語および問題の定義を行う。3章、4章、5章においては、与えられた、グラフがそれぞれのクリーク、区間グラフ、comparability graph、である場合の折点数について考察する。最後に6章において、本研究のまとめと今後の課題について述べる。

2 用語および問題の定義

頂点集合が V 、辺集合が E であるようなグラフを $G = (V, E)$ とする。各頂点 $v \in V$ の重みを変数 λ をパラメータとする関数 $C_v(\lambda)$ で与えられて居るようなグラフをパラメトリックグラフと呼ぶ。ここで本論文における重み関数は全て λ の1次関数であるものとする。従って重み関数 $C_v(\lambda)$ は、それぞれ定数の傾き a_v と切片 b_v を用いて次のように表される。

$$C_v(\lambda) = a_v \lambda + b_v.$$

パラメトリックグラフ G 、パラメータ λ の変域 $(\lambda_{\min}, \lambda_{\max})$ 、さらにそのグラフに対するある問題が与えられているものとする。このとき、その問題に対する最適解を求めるのがパラメトリックグラフ問題である。

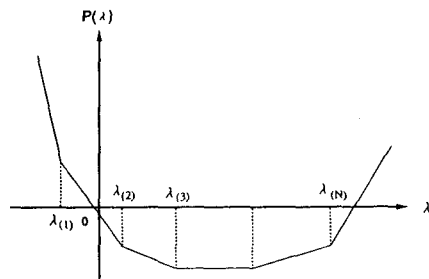


図3. 最適解の形状

パラメトリックグラフ問題に対する最適解は、 $(\lambda_{\min}, \lambda_{\max})$ における λ の各値に対する最適な解の集合ということになるが、この種の問題に対する最適解は、一般に図3に描かれるような λ の関数となる。

ここで、最適解を表す関数 $P(\lambda)$ と表すことにする。 $P(\lambda)$ の傾きが変化する λ の値を折点と呼ぶ。また、 $P(\lambda)$ に存在する折点の数を $P(\lambda)$ の折点数と呼び、 $\beta(P)$ と表記することにする。 $\beta(P) = N$ 、すなわち $P(\lambda)$ に N 個の折点が存在するとき、それらを $\lambda_{(1)} < \lambda_{(2)} < \dots < \lambda_{(N)}$ と表すことにする。なお、 $\lambda_{\min} = \lambda_{(0)}$ 、 $\lambda_{\max} = \lambda_{(N+1)}$ であるものとする。

このとき、 $P(\lambda)$ の重要な性質として、以下の2つが挙げられる。

(区分線形) 連続した2つの折点を両端に持つ閉区間 $[\lambda_{(i)}, \lambda_{(i+1)}]$ ($i=0, 1, \dots, N$) において、その区分内での最適解は線形関数となる。これを区分線形と呼ぶ。

(凹関数) 各区間における線形関数の傾きは単調に増加、もしくは減少する。従って、最適解を表す関数は図3のような凹型になる。このような関数を凹関数と呼ぶ。

グラフ $G=(V, E)$ の任意の部分頂点集合を $A (\subseteq V)$ 、 A の頂点数を γ とする。このとき、 A の任意の相異なる2点に対し、それらの点を両端点とする辺がちょうど一つ存在する時、 A を γ -クリーク、あるいは単にクリーク、もしくは完全部分グラフという。 γ -クリークは K_γ とも表記される。一つの頂点はそれ自体で K_1 である。また、 K_0 は頂点集合が空のグラフを指すことにする。図4は頂点数5個のクリークである。

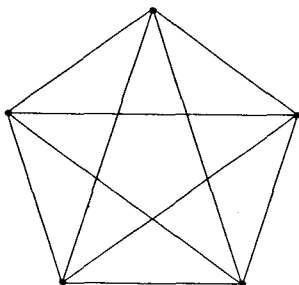


図4：頂点数5個のクリーク

$A=(V_A, E_A)$ をグラフ G 内のクリークとする。 A を部分

集合として含むようなクリークが G に存在しない時、 A を極大クリークと呼ぶ、また V_A に含まれる頂点の重みの和をクリークの重みと呼ぶ。 G の任意のクリークの中で重みが最も大きいものを重み最大クリークという。

与えられたグラフ G がパラメトリックグラフであれば各頂点の重み関数 $C_v(\lambda)$ はすべて λ の1次関数である。従ってクリーク A の重みを $W_A(\lambda)$ と表すことにすれば

$$W_A(\lambda) = \sum_{v \in V_A} C_v(\lambda)$$

であり、 $W_A(\lambda)$ も λ の1次関数となる。

また、 G 内に存在するクリークの数を $CL(G)$ と表し、 G に存在するクリークの集合を

$$A_G = \{A_1, A_2, \dots, A_{CL(G)}\}$$

とする。

各クリーク A_i の重み関数は $W_{A_i}(\lambda)$ ($1 \leq i \leq CL(G)$) で表せるが、それらの最大値を表す関数、すなわち

$$P_{AG}(\lambda) = \max \{W_{A_i}(\lambda) \mid 1 \leq i \leq CL(G)\}$$

が G の重み最大クリークの重み関数となる。明かに、 $P_G(\lambda)$ は区分線形な凹関数となるが、これは G の重み最大クリークがある特定のクリークでなく、 λ の値によって変化するものであることを示している。

ここで $P_G(\lambda)$ の折点数を N とすると、連続した2つの折点を両端に持つ閉区間 $[\lambda_{(K)}, \lambda_{(K+1)}]$ ($K=0, 1, \dots, N$) に於て、 $P_G(\lambda) = W_{A_i}(\lambda)$ を満たすような A_i がその区間における G の重み最大クリークとなる。

以上の用語を用いて、本研究で考察する問題は次のように定義される。

【問題】 あるパラメトリックグラフ $G=(V, E)$ が与えられたとき、 G に存在するクリークの集合を $A_G = \{A_1, A_2, \dots, A_{CL(G)}\}$ とするとき、 G の重み最大クリークの重み関数 $P_{AG}(\lambda)$ の折点数 $\beta(P_{AG})$ を求めよ。

【例題】 図5のグラフを G とし、 G に対する重み最大クリークを求めることを考える。 G におけるクリークの集合を A_G とすると、すべてのクリーク A_i とその重み関数 $W_{A_i}(\lambda)$ はそれぞれ以下の通りである。

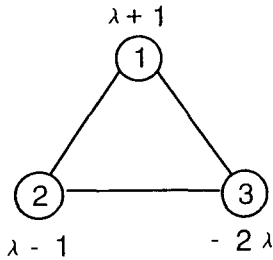


図5：重み最大クリーク問題の例

クリーク	頂点集合	$W_{A_i}(\lambda)$
A_1	{1}	$\lambda + 1$
A_2	{2}	$\lambda - 1$
A_3	{3}	-2λ
A_4	{1, 2}	2λ
A_5	{1, 3}	$-\lambda + 1$
A_6	{2, 3}	$-\lambda - 1$
A_7	{1, 2, 3}	0
A_8	{ ϕ }	0

これらの重み関数を座標平面上に表したのが図6である(最適解に表れる関数以外は省略した)。この問題に対する最適解、すなわち $P_{AG}(\lambda)$ は、これらの直線の上側の法路線(図6における太線)となる。図6から明らかにように、 $\beta(P_{AG}) = 3$ である。

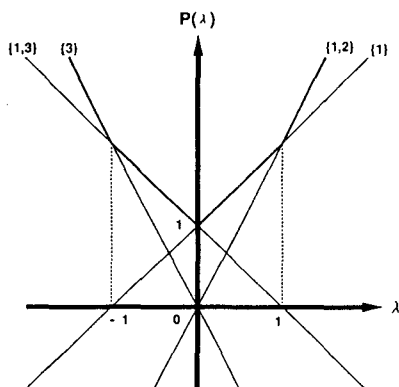


図6：例題の最適解関数

3 クリークにおける最大クリーン重みの折点数

本節データベースは、与えられたグラフがクリークである時に、そのクリーク内での重み最大クリークの重み関数について考察し、その折点数の上界を示す。

[定理1] グラフ $G=(V, E)$ はクリークであるとし、その折点線を n とする。このとき、 G における重み最大クリークの重み関数を $P_G(\lambda)$ とすると、 $\beta(P_G) \leq n$ が成り立つ。

[証明] G は完全グラフであるから、 G に属する任意の2頂点間に辺が存在する。従って、 V の任意の部分集合を V' , その頂点集合から誘導されるグラフを G' とすると、 G もまた完全グラフ、すなわちクリークとなる。従って、 G における重み最大クリークを求めるには、重み最大の G を求めればよい。ここで、重み最大の G' を $G'_{max}=(V'_{max}, E'_{max})$ と表すことにすれば、重み最大クリークは V'_{max} を求めることに等しくなる。ここで、 λ をある値 λ' に固定した時、 G'_{max} のある頂点 $v' \in V'_{max}$ について、 $c_{v'}(\lambda') < 0$ であると仮定する。この時、

$$P_{G'_{max}}(\lambda') = P_{G'_{max} - \{v'\}}(\lambda') + c_{v'}(\lambda')$$

が成り立つが、 $c_{v'}(\lambda') < 0$ より

$$P_{G'_{max}}(\lambda') < P_{G'_{max} - \{v'\}}(\lambda')$$

となる。よって、 G'_{max} よりも重み大きいグラフが存在するが、これは G'_{max} が重み最大であるという仮定に反する。従って、任意の頂点 $v' \in V'_{max}$ について

$$c_{v'}(\lambda') \geq 0 \tag{1}$$

が成立する。

V の任意の頂点 v の重み関数を $c_v(\lambda) = a_v \lambda + b_v$ とする。式(1)より、 $\lambda = \lambda'$ の時 $c_v(\lambda') < 0$ であれば、 v は V'_{max} に含まれないことがわかる。

ここで、各頂点 v の重み関数を以下のように変更して $c_{v^*}(\lambda)$ とする。(図7参照)

$$c_{v^*}(\lambda) \begin{cases} 0 & \text{if } c_v(\lambda) < 0 \\ c_v & \text{if } c_v(\lambda) > 0 \end{cases}$$

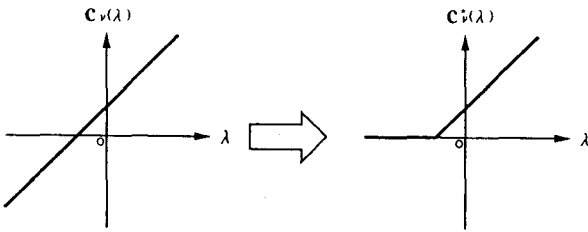


図7：左： $c_v(\lambda)$ 、右： $c_v^*(\lambda)$

このとき、各頂点の重み関数に $c_v(\lambda)$ を用いてもすべてのクリークの重みは変化しない。従って、重み最大クリークの重み関数を

$$P_G(\lambda) = \sum_{v \in V} c_v^*(\lambda)$$

によって計算することができる。

文献 (10) によれば、2本の区分線形な関数の和について

$$\beta(f+g) \leq \beta(f) + \beta(g)$$

が成立する。従って、

$$\beta(P_G) \leq \sum_{v \in V} \beta(c_v^*)$$

ところが、図7からも明らかのように $\beta(c_v^*) = 1$ なので、

$$\beta(P_G) \leq \sum_{v \in V} 1 = n$$

よって、定理1が証明された。

4 区間グラフにおける最大クリーク重みの折点数

本節では、与えられたグラフが区間グラフである場合に、そのグラフにおける重み最大クリークの重み関数の折点数が $O(n^2)$ で迎えられることを示す。

まず、区間グラフの定義を述べる。

実軸 R と、 R に平行な n 本の区間線分 I_1, I_2, \dots, I_n が与えられている。このとき、以下の方法で作られたグラフ $G = (V, E)$ を区間グラフと呼ぶ。

- 区間線分 $I_i (1 \leq i \leq n)$ をグラフの頂点 $v_i \in V (1 \leq i \leq n)$ に対応させる。
- 異なる2つの区間線分 $I_i, I_j (1 \leq i, j \leq n)$ に共通の区間が存在する場合、グラフの $v_i, v_j \in V (1 \leq i, j \leq n)$ 間に辺を引く。

区間グラフの例を図8にしめす。

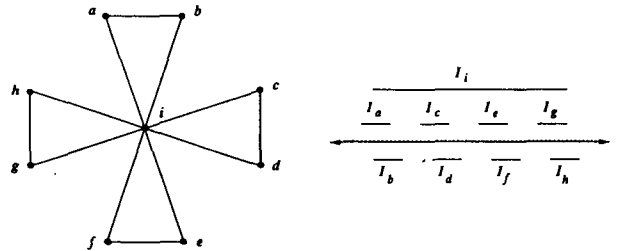


図8：左：区間グラフ、右：区間線表現

続いて、区間グラフに対する重み最大クリークの重み関数における折点数の上界を示す。

[定理2] G を頂点数 n 個の区間グラフとする。 G における重み最大クリークを表す関数を $P_G(\lambda)$ と表せば、 $\beta(P_G) = O(n^2)$ が成立する。

[証明] G における極大クリークの集合を U とする。頂点数 n 個の区間グラフ G において取り得る極大クリークの数が高々 n 個であることが知られているので、 $|U| = m (1 \leq m \leq n)$ とすると、 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$ と表すことができる。

$1 \leq i \leq n$ になる任意の $U_i \in U$ における重み最大クリークの関数を $P_{U_i}(\lambda)$ とする。定理1より $\beta(P_{U_i}) \leq |U_i|$ であり、さらに任意の $U_i \in U$ について $|U_i| \leq n$ であるから、

$$\beta(P_{U_i}) \leq n \tag{2}$$

が成立する。

G におけるすべてのクリークは U に属するいずれかの極大クリークに含まれる。よって、 G の重み最大クリークの重み関数は、

$$\beta(P_G) = \beta(\max\{P_{U_1}, P_{U_2}, \dots, P_{U_m}\})$$

となるが、 f, g がそれぞれ区線形関数である時、

$$\beta(\max\{f, g\}) \leq \beta(f) + \beta(g) + 1$$

が成立することが文献(5)によって知られている。これを用いて、

$$\beta(\max\{P_{v_1}, P_{v_2}, \dots, P_{v_m}\}) \leq \beta(P_{v_1}) + \beta(P_{v_2}) + \dots + \beta(P_{v_m}) + (m-1)$$

ここで式(2), および $1 \leq m \leq n$ であることを用いて、

$$\begin{aligned} \beta(P_{v_1}) + \beta(P_{v_2}) + \dots + \beta(P_{v_m}) + (m-1) &< mn + (m-1) \\ &\leq n^2 + (n-1) \\ &= O(n^2) \end{aligned}$$

故に $\beta(P_G) = O(n^2)$ であるから、定理2が証明された。

5 comparability graphにおける
最大クリーク重みの折点数

本節では、与えられたグラフが comparability graph である場合に、そのグラフにおける重み最大クリーク問題を考え、最大重み折点数について考察する。

まず始めに、comparability graphを定義する。あるグラフ $G=(V, E)$ に対し、以下の条件を満たすように辺に方向づけできるとき、 G は comparability graph であるという。

$$(u, v) \in E, (u, w) \in E \Rightarrow (u, w) \in E$$

ここで、 F は E を方向づけして得られる有向辺の集合である。

例えば図9において、左側のグラフに対して方向づけを行なった右側のグラフは上述の条件を満たす。従って、図9左側のグラフは comparability graph である。

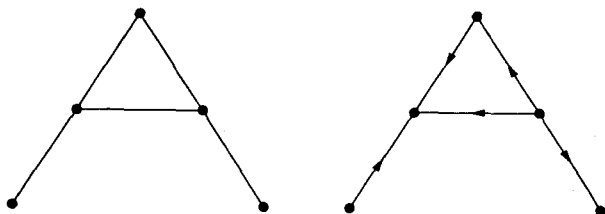


図9 : 左 : comparability graph、右:方向づけ

5. 1 折点数の下界

まず、文献(1)においてパラメトリック最短経路問題に用いられているグラフを本稿では $G_{min}^{(m, n)}$ と呼ぶ、 $G_{min}^{(m, n)}$ は次のようなグラフである。なお、 m, n はいずれも2以上の自然数である。(図10参照)

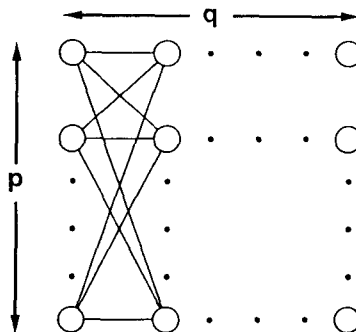


図10 : $G_{min}^{(m, n)}$

$$G_{min}^{(m, n)} = (V_{min}, E_{min})$$

$$V_{min} = \{v_{ji} \mid 1 \leq j \leq p, 1 \leq i \leq q\}$$

$$E_{min} = \{(v_{ji}, v_{j'i'}) \mid 1 \leq i \leq q-1, 1 \leq j, j' \leq q\}$$

ここで p, q は、 $p=m(n-1), q \leq 5(4^{m-2})$ なる整数である。 $G_{min}^{(m, n)}$ の各辺に適当な (λ の1次関数であるような) 重み文献(1)に従って与えられたものをやはり $G_{min}^{(m, n)}$ と表すことにする。

以下しばらくの間、経路とは $\{V_{j1}, \dots, V_{jp}\}$ の頂点から $\{V_{j1}, \dots, V_{jp}\}$ の頂点経の道を意味するものとし、最短(最長)経路はそれらのうちの最短(最長)のものをいうことにする。

[補題1] $G_{min}^{(m, n)}$ における最小重み経路の重み関数を $P_{G_{min}^{(m, n)}}(\lambda)$ とすると、 $P_{G_{min}^{(m, n)}}$ は少なくとも n^{m-1}

1個の折点を持つ。

$G_{min}^{(m, n)}$ の各辺 e の重みを $c_e(\lambda) = a_e + b_e$ とする。ここで各辺 e の重みを $c'_e(\lambda) = -a_e - b_e$ に変更したグラフを $G_{max}^{(m, n)}$ とする。図11に示すとおり、座標平面において $c_e(\lambda)$ と $c'_e(\lambda)$ は λ 軸に関して対称な直線となり、 $G_{max}^{(m, n)}$ における任意の経路の重み関数も $G_{min}^{(m, n)}$ において対応する経路の重み関数と λ 軸に関して対称になる。

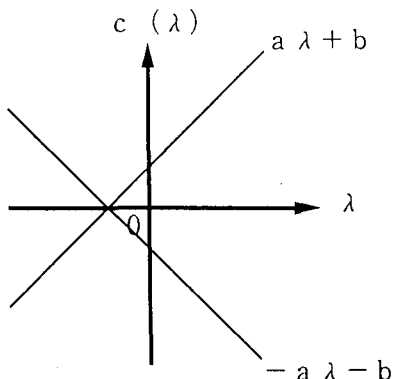


図 11: $c_*(\lambda)$ と $c_0(\lambda)$

従って、 $G_{max}^{(m,n)}$ に対する最大重み経路の重み関数を $P_{G_{max}^{(m,n)}}$ とすると、 $P_{G_{max}^{(m,n)}}(\lambda)$ もまた $P_{G_{min}^{(m,n)}}(\lambda)$ と λ 軸に関して対称な関数とする。

以上の議論より、

$$\beta(P_{G_{max}^{(m,n)}}) = \beta(P_{G_{min}^{(m,n)}})$$

となることがわかる。よって、補題 1 より次の補題が成立する。

[補題 2] $P_{G_{max}^{(m,n)}}$ における最大重み経路の重み関数を $P_{G_{max}^{(m,n)}}(\lambda)$ とすると、 $P_{G_{max}^{(m,n)}}(\lambda)$ はすくなくとも $n^m - 1$ 個の折点を持つ。

$P_{G_{max}^{(m,n)}}(\lambda)$ の折点を λ の値の最小値を λ_{min} 、最大値を λ_{max} とする。 $P_{G_{max}^{(m,n)}}$ に属するすべての辺に十分な大きな値を加えることにより、区間 $[\lambda_{min}, \lambda_{max}]$ において、各辺の重みが正となるようにできる。このようにして作ったグラフを $G_{max}^{(m,n)}$ とする。 $G_{max}^{(m,n)}$ での各経路の重みの大小関係は $G_{max}^{(m,n)}$ でのものと同じである。この $G_{max}^{(m,n)}$ をさらに以下の方法で変形することにより、グラフ $G_{min}^{(m,n)}$ を作成する。

【グラフ $G_{min}^{(m,n)}$ の作成】 $G_{min}^{(m,n)}$ の頂点集合は $G_{min}^{(m,n)}$ の辺集合に 1 対 1 対応し、重みも同じ値を割り当てる。 $G_{min}^{(m,n)}$ において辺が隣接する時、かつその時に限り、対応する $G_{min}^{(m,n)}$ の頂点間に辺を引く。

$G_{min}^{(m,n)}$ の作成方法から、明らかにその頂点数は高々 $(q-1)p^2$ 個である。また、 $G_{max}^{(m,n)}$ において存在した $V_{k,i}$ から $V_{k,q}$ までの経路はすべて $G_{min}^{(m,n)}$ において対応する道を持ち、逆もまた成立する。また、それら対応する道の重みも等しい。

ここで、 $G_{min}^{(m,n)}$ の各辺 (u, v) について、 u が $G_{max}^{(m,n)}$ の辺 $(v_{j,i}, v_{j,i+1})$ に対応し、 v が $G_{max}^{(m,n)}$ の辺 $(v_{j,i}, v_{j,i+1})$ に対応するとき、 u から v に向うような方向づけをし、結果としてできる閉路のないグラフに対する推移的閉包を求めれば、そのグラフは明かに推移的なグラフとなる（このグラフの source の集合を S , sink の集合を T とする）。このグラフを無向化したものを G^* とする。 $G_{max}^{(m,n)}$ における S の頂点から T の頂点間での任意の経路に属する頂点集合を A とする路、 G^* 上で A から誘導されるグラフ G_A^* はクリークになる。逆に、上の任意の極大クリークの頂点集合は、 $G_{min}^{(m,n)}$ における source から sink までのある経路上の頂点集合に等しい。

$G_{min}^{(m,n)}$ における任意の経路の重みは G^* でその経路に対応する頂点列の重みに等しいから、 $P_{G_{min}^{(m,n)}}$ に出現する重み関数はすべて G^* においても出現する。さらに、 $[\lambda_{min}, \lambda_{max}]$ において各頂点の重みは正であるから、 G^* 内での重み最大クリークは G^* の最大クリークである。

従って、 G^* における重み最大クリークの重み関数を $P_{G^*}(\lambda)$ とすると、

$$P_{G_{min}^{(m,n)}}(\lambda) = P_{G^*}(\lambda)$$

が成立する。故に、以下の定理が成立する。

[定理 3] G^* における重み最大クリークの重み関数を $P_{G^*}(\lambda)$ とすると、 P_{G^*} は少なくとも $n^m - 1$ 個の折点を持つ、ここで、 G^* の頂点数は高々 $(q-1)p^2$ 個であり、 $p = n(m-1)$, $q \leq 5(4^{m-2})$ である。

[系 1] $\beta(P_G) = O(n^{1+gn})$, 頂点数が $O(n^4(\log n)^2)$ であるような comparability graph G が存在する。ここで P_G は G の重み最大クリークの重み関数である。

【証明】 定理 3 において $m = 1 + \log n$ とおけば、明かに $\beta(P_{G^*}) = O(n^{1+gn})$ が成立する。このとき G^* の頂点数を $|V^*|$ とすると、定理 3 より $|V^*| \leq [Q=1]P^2$ である。ここに $p = n(m-1)$, $q \leq 5(4m-2)$ を代入すると

$$\begin{aligned} |V^*| &\leq (q-1)p^2 \\ &\leq 5(4^{m-2})n^2(m-1)^2 \end{aligned}$$

文献(1)によれば、 $5(m-1)n(4^{(1+gn)-2}) \leq mn^3$ であ

るから

$$5(m-1)^2 n^2 (4^{(1 \circ 8^n)-2}) \leq m^2 n^4$$

が成り立つ、よって、

$$|V^*| = O(n^4 (\log n)^2)$$

である。

5. 2 折点数の上界

与えられた comparability graph を $G=(V, E)$ とし、その頂点数を n とする。各頂点 v の重みを $c_v(\lambda)$ とし、 G に対する重み最大クリークの重み関数を $P_G(\lambda)$ とする。 $P_G(\lambda)$ の折点数を N 、折点を $\lambda_{(1)} < \lambda_{(2)} < \dots < \lambda_{(N)}$ と表す。ここで、区間 $[\lambda_{(1)}, \lambda_{(N)}]$ においてすべての V について $c_v(\lambda) > 0$ が成立しているという仮定をおくことにする。

G に対して、本節の冒頭で述べたような方向づけを行なった結果 (V, F) とする。 $(x, y) \in F$ のとき $x < y$ とした関係は半順序関係となる形でグラフを描写することにする。ここで、ある道上の隣接しない頂点間を結ぶ辺(短絡辺と呼ぶ)をすべて消去し、2つの新しい頂点 s, t とそれに接続する辺を付加することにより、

G の極大クリークの頂点集合 $\rightarrow G'$ の s から t への道上の頂点集合 (s, t を除く)

というグラフ G' を作るが出来る。なお、 s, t の重みは 0 としておく。ここで、 s から t への道の中で最も頂点数の多いものを選び、他の道については重み 0 の頂点を適当に間にはさむことにより、重みを変えずにすべてのこの道が同じ長さになるようにすることができる。

このようにしてつくったグラフを G_t とすると、 G_t の頂点集合 V は互に素ないいくつかの頂点集合

$$V^i = V_0^i \cup V_1^i \cup V_2^i \cup \dots \cup V_{i+1}^i$$

$$V_i^i \cap V_j^i = \emptyset (i \neq j), V_0^i = \{s\}, V_{i+1}^i = \{t\}$$

かつ、任意の辺はある i について V_j^i の頂点と V_{j+1}^i の頂点を結ぶ、というように分割できる。

さらに、

$$p = \max\{|V_1^i|, |V_2^i|, \dots, |V_k^i|\}$$

によって p を定める。このとき明かに

$$1 \leq p, q \leq n \quad (3)$$

である。また、 G_t における s から t への重み最大経路の重み関数を $P_{G_t}(\lambda)$ とすると、 $[\lambda_{(1)}, \lambda_{(N)}]$ において各重みが正であることと、上述のクリークと道との対応により、

$$P_{G_t}(\lambda) = P_G(\lambda)$$

が成立する。よって、明かに

$$\beta(P_{G_t}) = \beta(P_G) \quad (4)$$

である。

ここで、 G_t の各頂点 v の重みを $c'_v(\lambda) = a_v \lambda + b_v$ とし、各頂点の重みを以下のように変更したグラフを G'_t とする。

$$c'_v(\lambda) = \begin{cases} -a_v \lambda - b_v & \text{if } c_v(\lambda) \neq 0 \\ M & \text{if } c_v(\lambda) = 0 \end{cases}$$

ここで、 M は十分大きな定数とする。

座標平面において $c_v(\lambda)$ と $c'_v(\lambda)$ を比較する。区間 $[\lambda_{(1)}, \lambda_{(N)}]$ において $c_v(\lambda) > 0$ が成立しているので、この区間内では $c_v(\lambda)$ と $c'_v(\lambda)$ は λ 軸に関して対称な直線となる。よって、 G_t における任意の経路の重み関数も G'_t において対称する経路の重み関数と λ 軸に関して対称になる。従って、 G'_t に対する最小重み経路の重み関数を $P_{G'_t}(\lambda)$ とすると、 $P_{G'_t}(\lambda)$ もまた $P_{G_t}(\lambda)$ と λ 軸に関して対称な関数となる。折点は $[\lambda_{(1)}, \lambda_{(N)}]$ にしか存在しないので、

$$\beta(P_{G'_t}) = \beta(P_{G_t}) \quad (5)$$

が成立する。

さらに、 G'_t を以下のように変形することによってつくられるグラフを G_s とする。

G'_t と G_t の頂点集合は全く同じであるから G'_t の任意の頂点も $v_{j,i}$ と表せる。 G'_t における $v_{j,i}$ を G_s では2つの頂点 $v_{j,i}^+, v_{j,i}^- (j \neq j')$ 間の辺に対応させ $v_{j,i}$ の重みを辺 $(v_{j,i}^+, v_{j,i}^-)$ の重みとする。 G'_t における2つの頂点 $v_{j,i}, v_{j',i+1}$ 間に辺が存在する時、かつその時に限り G_s において $v_{j,i}^+, v_{j',i+1}^-$

間に重み0の辺を引く。最後に、 $v_{j,i}, v_{j,i}$ ($j \neq i$) 間に辺を引き、十分に大きな正の重みを与える。

このとき、 G_s に対する最小重み経路の重み関数を $P_{G_s} = P_{G_s}$ が成り立つので

$$\beta(P_{G_s}) = \beta(P_{G_s}) \quad (6)$$

となる。

G_s と同形で列数が x 、各列の頂点数が高々 y 、さらに各辺に任意の重みを持たせたグラフに対する重み最小経路の重み関数の折点数は高々 $(2y+1)^{1+10nx}/2$ であることがGusfield(6)によって示されている。 G_s は $2q$ 個の列からなり、各列の頂点数は高々 p であるから、

$$\beta(P_{G_s}) \leq \frac{1}{2} (4q+1)^{1+10qp}$$

ここで、式(3)より、

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} (4q+1)^{1+10qp} &\leq \frac{1}{2} (4n+1)^{1+10gn} \\ &= O(n^{10gn}) \end{aligned}$$

よって、

$$\beta(P_{G_s}) = O(n^{10gn})$$

となる。この結果と式(4)、式(5)、式(6)より、以下の定理を得る。

[定理4] 任意のcomparability graphを G (頂点を n とする)、その重み最大クリークの重み関数を P_G とする。このとき、 $\beta(P_G) = O(n^{10gn})$ が成立する。

6 あとがき

本研究では、頂点数の重みがパラメータ λ の1次関数で表されるようなパラメトリックグラフに対し、その重み最大クリークの重みを表す関数の折点数について考察を行なった。

comparability graphについては、折点数が $O(n^{10gn})$ であるようなグラフの存在を示すと共に、任意のcomparability graphに対して折点数が $O(n^{10gn})$ で抑えられることを証明して、これは、comparability graphまでのクラスに関しては、折点数を多項式オーダーで抑えられないことを意味する。

今後の研究では、comparability graphの部分クラ

スであるようなある種のグラフ(例えばpermutation graph)に対して、折点数を多項式オーダーで抑えられることを証明するか、区間グラフを真に含むようなあるクラスのグラフについて、重み最大クリーク問題における折点数によるグラフのクラス分けができると考えられる。

参考文献

- (1) P.J.Carstensen, The Complexity of some Problems in Parametric Linear and Combinational Programming. PhD. thesis, Dept. of Mathematics, The University of Michigan, MI, 1983.
- (2) 加藤直樹、パラメトリック組み合わせ最適化問題とその応用、電子情報通信学会誌 vol.74, no.9 pp.949-956, 1991.
- (3) M.C.Golumbic, Algorithmic graph Theory and Perfect Graph. New York, NY Academic Press, 1980.
- (4) D.Gusfield, Parametric combinatorial computing and a problem of program module distribution, Journal of the Association for Computing Machinery, vol.30, no.3, pp.551-563, 1983
- (5) B.Zhu and W.Goddard, An algorithm for outerplanar graphs with parameter, Journal of Algorithms, vol.12, 657-662, 1991.
- (6) D.Gusfield, Sensitivity analysis for combinatorial optimization, Memorandum No. UCB/OERLM80/22, Electronics Research Laboratory, College of Engineering, University of California, Berkeley, 1980.
- (7) 新井正、上野修一、梶谷洋司、パラメトリックフロー問題について、CAS89, 電子情報通信学会技術報告, 1989.
- (8) G.Ruhe, Complexity results for multicritical and parametric network flows using a pathological graph of zadeh, Zeitschrift für Operations Research, vol.32, pp.9-27, 1998
- (9) N.Zadeh, A bad network problem for the simplex method and other minimum cost flow algorithms, Mathematical Programming, vol.5, pp.255-266, 1973.
- (10) D.Fernandez-Baca and G.Slutski, Solving parametric on trees, Journal of Algorithms, vol.10, pp.381-402, 1989.

分散環境における 教育支援用ハイパーテキストシステムの構想

山井成良・工藤英男・鈴木忠二・下條真司*・中野秀男*・久保 登**・中西義郎

Conception of Hypertext System for Computer Assisted Instruction on the Distributed Environment

Nariyoshi YAMAI, Hideo KUDO, Chuji SUZUKI, Shinji SHIMOJO,
Hideo NAKANO, Noboru KUBO and Yoshiro NAKANISHI

本稿では、複数のワークステーションをネットワークで接続した分散環境における教育支援用ハイパーテキストシステムの基本構想を述べる。本システムの特徴はネットワーク対応マルチユーザ化によりサーバとの通信に加えて教師学習者間あるいは学習者同士間で直接通信を行い、学習者の学習状況の把握や成績の集計、教師による遠隔操作や教材の一斉提示などを行える点である。また、本システムは通信プロトコルに一般性を持たせることにより、高い拡張性を持っている。更に、本システムでは負荷分散により、一斉授業のような負荷が高い状況でも十分利用可能となるように考慮している。

1 まえがき

マルチメディア・ハイパーテキストシステムは、通常の教科書とは異なり、リンクを参照することにより関連情報（説明図、注記事項、参考文献など）を容易に参照でき、また単なる文字や図表、写真だけではなく、音声や動画を取り扱えるなどの特徴を持つ。このため、広義のCAI(Computer Assisted Instruction)に関連した分野への応用として、マルチメディア・ハイパーテキストを用いたCAIシステムが注目されている。

これまでに開発されたハイパーテキストの概念を用いたCAIシステムとして、CAIオーサリングシステム“SMART”⁽¹⁾、二村らによるマルチメディア文書処理システム⁽²⁾、電子教科書を実現するためのハイパーメディアシステム“HyperLink”⁽³⁾、マルチメディアを用いた協働支援システム“もんじゅ”⁽⁴⁾マルチメディアプレゼンテーションシステム“Harmony”⁽⁵⁾などある。

しかし、これらのシステムの多くはスタンドアロン方

式あるいはセンター方式を用いており、主に学生が自習する場合を対象にし、例えば一斉授業で用いる場合を考慮していない。また、グループ学習が脚光をあびているが、このような学習形態に対応するCAIシステムは少ない。

そこで、本研究では従来のCAIシステムをネットワーク対応マルチユーザ化し、また既に開発した教育支援通信システムAscent⁽¹⁰⁾の機能を組み込むことによって、教材提示機能、ユーザ管理・指示機能、ユーザ間通信機能など、個人学習だけでなくグループ学習へ対応した機能を盛り込んだCAIシステムを開発することを目的としている。

また、特に一斉授業で用いる場合など、CAIシステムを多数のユーザが同時に利用したときには処理能力の低下が問題になる。そこで本研究では、CPU・ファイルなどの資源の分散などの種々の負荷分散手法⁽⁶⁾⁻⁽⁹⁾を駆使して本システムの高速度化を図る予定である。

以下、本稿では、我々が開発しているCAIシステムの基本構想について述べ、本システムの構成ならびに本システムで実現する機能について概説する。

*大阪大学 **シャープ(株)

2 システムの基本構想

2.1 システムの構成

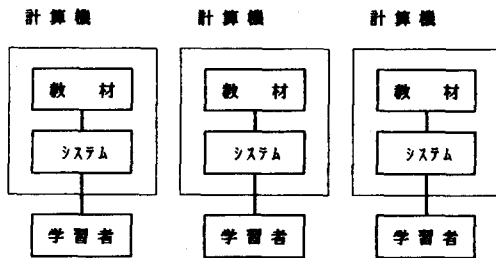
最近のLAN技術の発達や計算機の急速な普及によって、多数の計算機をネットワークで接続した分散処理システムが広く普及しつつある。CAIの分野でも例外ではなく、学習者一人一人が自分の計算機を用いて学習や授業などを行うことが可能となってきた。そこで、従来の個別学習だけでなく、このような計算機環境を利用した一斉授業やグループ学習への対応が新たな課題となってきている。

これまでに開発されたCAIシステムではスタンドアロン方式(図1(a))、あるいはセンター方式(図2(b))を用いており、ネットワークに対応しているものが少なく、また、対応しているものでもネットワーク上での教材の分散化、複数の学習者に対する教材の共有化、あるいは学習者間の不十分な通信機能を持つに過ぎなかった。

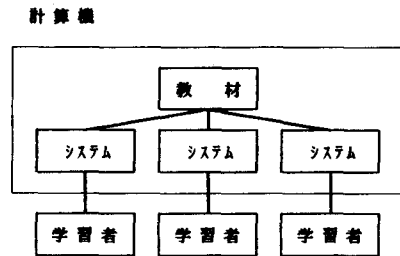
しかし、このような構成では個別学習などには向いているが、一斉授業やグループ学習を行うことはできない。

これに対して、“もんじゅ”ではサーバ・クライアント方式(図1(c))を導入し、サーバを介して学習者対学習者、学習者対コンピュータ、あるいはコンピュータ対コンピュータのメッセージ交換を可能にし、グループ学習に対応できるようになっている。しかし、この方法も学習者の学習状況の把握や教師による遠隔操作等の機能が含まれておらず、一斉授業などの利用形態が考慮されていない。

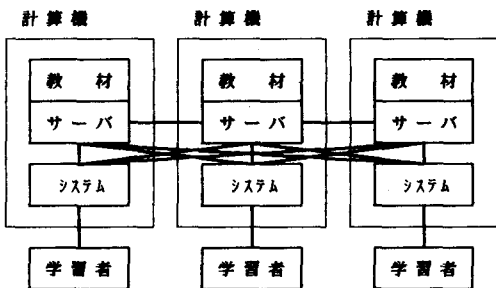
そこで、我々はハイパーテキストシステムをネットワーク対応化マルチユーザ化し、図1(d)に示すようにサーバとの通信に加えて教師学習者間あるいは学習者同士間で直接通信を行い、学習者の学習状況の把握や成績の集計、教師による遠隔操作や教材の一斉提示などを行える、先進的なCAIシステムの開発、実現を意図している。



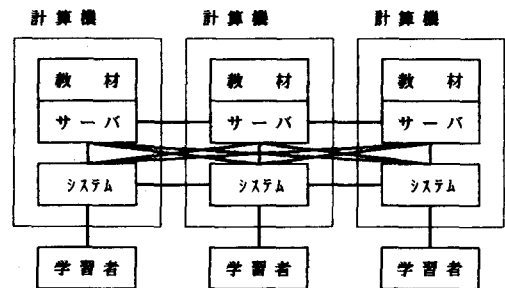
(a) スタンドアロン方式



(b) センター方式



(c) サーバクライアント方式



(d) 本システム的方式

図1 種々のCAIシステムの構成

2. 2 ハイパーテキストの概念の拡張

従来のハイパーテキストシステムでは、テキストや図にリンクを設定し、これを参照することにより他のテキストや図を参照することができた。

本システムは一斉授業やグループ学習に対応した機能を実現するために、従来のハイパーテキストの概念を拡張して次のような機能をつけ加える。

(1) ハイパーテキストの概念を他のユーザが利用している端末やその画面、ウィンドウあるいは他のユーザが参照している教材にまで拡張し、これらに対してリンクを作成・参照できる機能。

(2) 従来のハイパーテキストが自画面のみを操作していたのに対し、マルチユーザ化に伴い他のユーザの画面も遠隔操作する機能。

これらの機能を用いると、教師が各学習者のウィンドウへのリンクを参照することにより、容易に学習状況を把握することができたり、教師が学習者の画面を遠隔操作することにより学習者に適切な指示を与えたり、一斉に教材を提示したり、更にはグループ学習を支援したりすることが可能となる。

2. 3 学習者による教材の更新

学習者がハイパーテキストシステムを用いて学習する場合、各学習者が教材に独自に図や説明を加えたり、修正を加える機能があることが望ましい。ところが、このような場合、多くの学習者で共有している教材を書き換えることはできず、またすべての利用者が教材をコピーしたものをを用いることは、コピーの手間や教材の記憶容量を考慮すると無駄が多い。そこで、本システムでは教材を複数のレイヤから構成し、最上位に設けられた学習者用のレイヤを用いることにより、共有された教材を修正することなく更新を行うことができる。また、教材の一部追加・削除などはその差分データのみを各学習者が持つことにより対応することができる。

3 システムの基本設計

3. 1 システムの開発環境

本システムの開発において、計算機のオペレーティングシステム(OS)にはUNIXを用い、またウィンドウシステムとしてX Window Systemを用いる。

UNIXは計算機のOSとして標準的なものとなりつ

つあるため、UNIXを採用することにより移植性・汎用性の高いシステムを作成することが可能となる。また、UNIXは通信機能にも優れており、通信機能を持つアプリケーションの作成も容易である。

一方、Xはウィンドウシステムの標準となりつつあり、ビットマップディスプレイ、キーボード、マウス等の入出力装置を用いた高度なユーザインターフェースを提供し、かつこれらを用いたアプリケーションプログラムの開発を容易にするライブラリ群を提供している。

従って、UNIXとXを利用して本システムを開発することにより、移植性・汎用性に優れ、かつ新たな機能の開発も容易となる。

3. 2 教材の保護

ハイパーテキストシステムのマルチユーザ化では、複数のユーザが同時に同じ教材をアクセスするため、データの保護が問題となる。すなわち、他のユーザがデータを参照しているときにそのデータを更新したり、同時に同じデータを更新したりするときに不都合が生じないようにしなければならない。

この問題は従来よりデータベースの分野で研究されており、その技法を用いることにより解決できる。しかし、本システムはCAIに用いられるため、共有されるデータ(教材)の更新は教師のみに限られるため、比較的簡単に教材の保護を行うことができる。2. 3で述べたように本システムでは学習者も教材の更新が可能であるが、この更新は共有された教材に及ばないため問題とならない。

3. 3 通信機能と機能サーバ

本システムは学習者側のハイパーテキストシステム間で通信を行い、他のハイパーテキストシステムの動作や状態を調べたり制御したりできる。このとき、利用されている通信プロトコルに一般性を持たせることにより、このプロトコルに従う任意のプログラムは任意のハイパーテキストシステムと通信を行い、データの授受やシステムの制御を行うことが可能となる。すなわち、新しい機能をサーバとして追加することができるため、本システムは高い拡張性を持つことになる。本システムでは、このようなサーバを機能サーバと呼ぶ。

考えられる機能サーバには、以下のようなものがある。

- 学習過程推論機能サーバ
- データベースアクセス機能サーバ
- データ変換機能サーバ

- ・ AV機器制御機能サーバ
- ・ 統計処理機能サーバ
- ・ 自動採点機能サーバ
- ・ 外部プログラム呼び出し機能サーバ
- ・ システム外情報交換機能サーバ
- ・ 時間管理機能サーバ

3. 4 負荷分散機能

本システムを一斉授業で利用する場合、教材を格納している計算機に対する集中的なアクセスが生じ、教材のアクセス時間の低下が予想される。そこで、本システムでは、アクセス集中時に同報通信を用いて同じ教材を複数の計算機にコピーして教材のアクセス分散化を行い、アクセス時間の改善を図る。また、このとき元の教材とコピーされた教材を区別し、教材の更新時に一貫性が保たれるようにする。

また、ファイルアクセスだけでなく、多くの学習者が機能サーバを一斉に起動するときにも特定の計算機への負荷の集中が予想される。そこで、本システムでは、常に動作している機能サーバに対しては同じサーバを複数の計算機上で増殖したり、必要に応じて起動される機能サーバでは、負荷の軽い計算機を自動的に判別してその計算機上で起動したりする方法を用いることにより負荷分散を図る機能を組み込む予定である。

4 あとがき

本稿では、複数のワークステーションをネットワークで接続した分散環境における教育支援用ハイパーテキストシステムの基本構想ならびに基本設計について述べた。本システムではハイパーテキストシステムのネットワーク対応マルチユーザ化により、一斉授業などにおける学習者の学習状況の把握や成績の集計、教師による遠隔操作や教材の一斉提示などを行うことができる。また、本システムは通信プロトコルに一般性を持たせることにより、高い拡張性を持っている。更に、本システムでは負荷分散により、一斉授業のような負荷が高い状況でも十分利用可能となるように考慮している。

本システムは現在は設計段階であるが、今後はこの設計に基づいて本システムの実装を行い、十分な実用性を持つシステムを提供したい。

なお、本研究の一部は文部省科学研究費（試験研究(B)(1)課題番号04559013）の補助を受けている。

参考文献

- (1) 対馬, 植野, 清水, 三輪, 浅見: “高機能ヒューマンインタフェースを持つCAIオーサリングシステム”, CAI学会誌, Vol.8, No.1 (1991), pp.33-43.
- (2) 二村, 井手, 永田: “UNIX環境におけるマルチメディア文書処理システムの設計と実現”, 情報処理学会ソフトウェア工学研究会資料, 77-16(1991), pp.95-100.
- (3) 中村, 松尾, 竹谷: “ハイパーメディアベースの電子教科書の設計法”, 電子情報通信学会教育工学研究会技術報告書, ET91-74(1991), pp.41-46.
- (4) 小郷直言: “コンピュータによる協働支援システム(もんじゅ)の教育環境への応用”, CAI学会誌, Vol.7, No.4(1990), pp.148-161.
- (5) 藤川, 梶本, 有吉, 下條, 松浦, 西尾, 宮原: “マルチメディアプレゼンテーションシステムHarmony”, 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション研究会技術報告書, HC90-7-14(1990), pp.53-60.
- (6) 山井, 下條, 宮原: “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”, 電子情報通信学会論文誌(D-I), Vol.J72-D-1, No.2(1989), pp.75-82.
- (7) Yamai, Shimojo and Miyahara: “A Process Dispatching Algorithm on Distributed Time Sharing Systems by Monitoring Network”, Proc. JTC-CSCC'89, IEICE(1989), pp.324-328.
- (8) 若林, 山井: “UNIXにおける動的負荷分散の試み”, 日本UNIXユーザ会第18回UNIXシンポジウム論文集(1991), pp.160-170.
- (9) 山井, 下條, 宮原: “同報通信機能をもつ分散システムにおける負荷分散アルゴリズム”, 電子情報通信学会論文誌(D-I), Vol.J75-D-1, No.8(1992), pp.536-544.
- (10) 下條, 宮原, 松本: “分散処理環境における教育支援通信システムの設計・開発”, 電子情報通信学会論文誌(D-I), Vol.J73-D-1, No.8 (1990), pp.693-701.
- (11) 馬場, 中野: “ハイパーテキストにおける自動配置方法について”, 日本UNIXユーザ会第14回UNIXシンポジウム論文集 (1989), pp.57-66.

遺跡出土木材の超音波診断法による非破壊的研究 (VI)

(PEG含浸中における異常収縮発生部位の予測)

石垣 昭

Non-destructive investigation on the interenal structures of waterlogged archaeological woods by ultrasound echography (VI)

(Prediction of troublesome woods which tends to shrink on the PEG impregnation process)

Akira ISHIGAKI

Non-destructive survey on the most troublesome regions in the waterlogged ring-porous wood was investigated by ultrasound echography. Those troublesome regions reveal remarkable shrinkage on the impregnation at higher PEG concentration.

In the previous paper we reported that the holocellulose rich region reveals remarkable ultrasound absorption. In this study it has become apparent that the most troublesome shrinkage occurs in the neighborhood of those holocellulose rich regions. Therefore the neighborhood of the region on which reveal intense ultrasound absorptions may shrink mostly on the PEG impregnation. In this manner ultrasound echography give us useful informations for conservation of precious waterlogged wooden objects.

1. 緒 言

出土木材の保存処理には現在PEG含浸法が汎用されているが、樹種や劣化の程度によって保存含浸処理中に異常な変形を生じる場合があり、特に、クリ、カシ、クスギ、コナラ等の広葉樹環孔材の出土材をPEG4000で含浸処理する際、濃度を高めて行く途中で不測のトラブルが発生し易いとされる¹⁾。

著者はこの現象を解明するため、広葉樹環孔材の1種であるキリの出土材を用い出土木材への浸透過程に及ぼすポリアクリル酸塩の分子量の影響についての研究を行い、環孔材の孔圏部と孔圏外では含浸物質が高分子量になるほど浸透むらを生じることを見いだした。これは出土木材に残存する保水性のホロセルローズゲルが劣化の程度によって高分子量の含浸物質の浸透を部分的に阻止するため、PEG含浸処理の際の異常収縮もゲル内部の水分の外部への物質移動と外部からのPEGの内部への物質移動にアンバランスを生じ浸透圧差により局所的に異常収縮がおこるためであることを考察し報告した²⁾。

このような保水性のホロセルローズが残存している部分は超音波を吸収しやすく超音波診断法で容易にその位置を特定できる場合があることは既に報告している³⁾。

このような基礎的研究の成果をもとに、本報では異常収縮をおこしやすい部位の超音波法による事前予測の診断について研究した結果を報告する。

2. 実験方法

2. 1 試料

奈良国立文化財研究所より提供を受けたキリの出土材のブロック片を試料とした。この試料はこれまでの基礎研究^{3) 4)}で超音波の吸収と内部の材質との関係が判明している試料であることと、キリが異常収縮し易い広葉樹環孔材の1種であることから今回の研究に使用した。

試料の樹種は常法により木材組織の顕微鏡観察により同定した。

2. 2 実験装置

これまでの一連の研究に使用したリニア電子走査超音波診断装置(島津製作所SDL-150型)と画像処理システム(PIAS LA-500)により研究をおこなった。

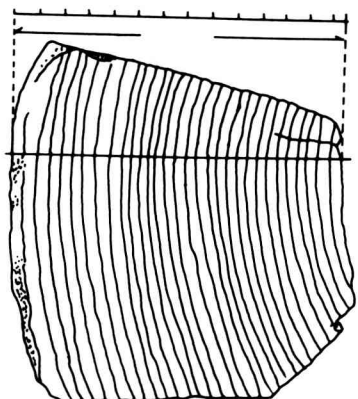


図1 試料の切断位置

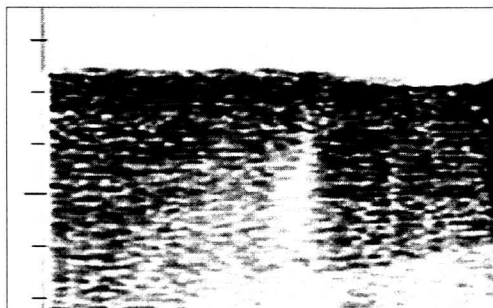


図2 無処理の木口の超音波断層図 (接線方向より照射)

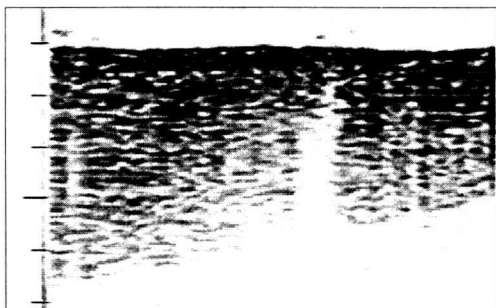


図3 PEG 40% 含浸11日後の木口の超音波断層図

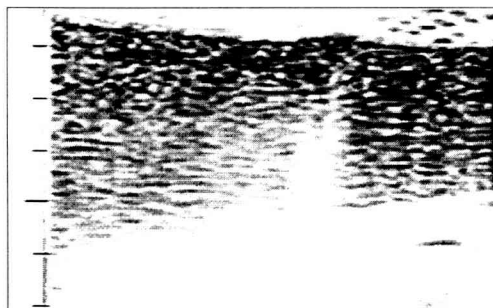


図4 PEG 60% 含浸2日後の木口の超音波断層図

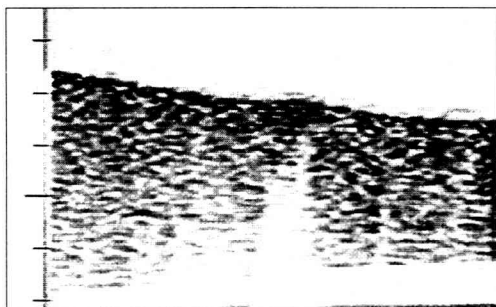


図5 PEG 60% 含浸7日後の木口の超音波断層図

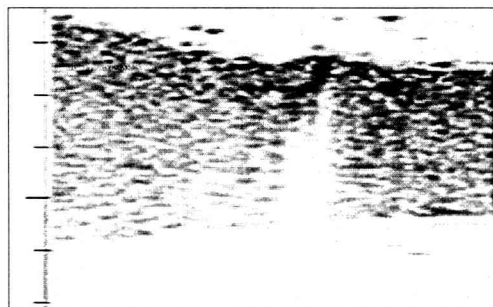


図6 PEG 80% 含浸9日後の木口の超音波断層図

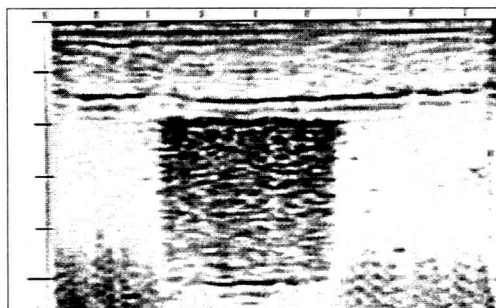


図7 均質な試料の超音波吸収画像 (含水率500%以上)

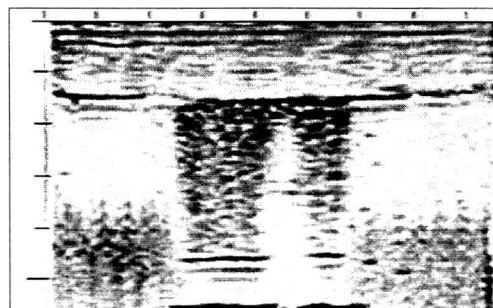


図8 不均質な試料の超音波吸収画像(含水率500%以下)



図9 含浸前の均質な試料の外観 (木口)

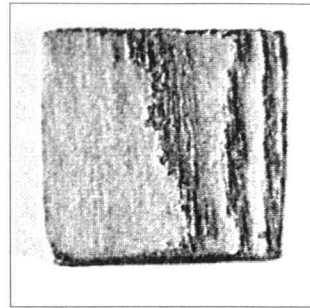


図10 含浸前の均質な試料の外観 (板目)



図11 含浸後の均質な試料の外観 (木口)

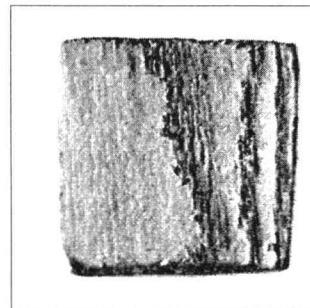


図12 含浸後の均質な試料の外観 (板目)

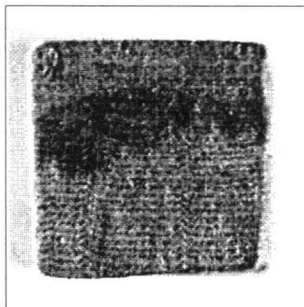


図13 含浸前の不均質な試料の外観 (木口)

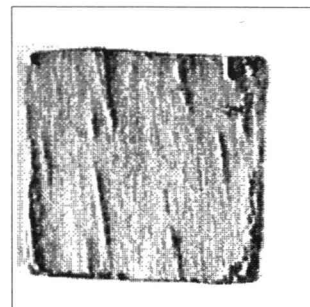


図14 含浸前の不均質な試料の外観 (板目)

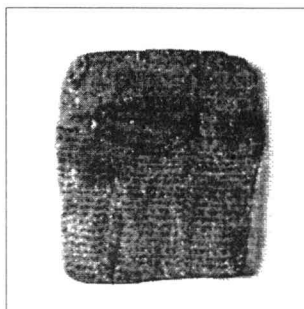


図15 含浸後の不均質な試料の外観 (木口)

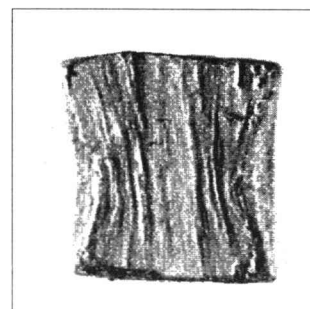


図16 含浸後の不均質な試料の外観 (板目)

3. 結果と考察

3. 1 含浸過程におけるPEG濃度の変形への影響

図1に示すキリのブロック片をY-Y線上で切断し、図の上部の試験片についてPEG含浸過程での濃度の影響を超音波法で調査した。一例として切断面の法線方向に超音波を照射し得られた木口の断層図形を図2に示す。局部的に強い吸収を示す部分はこれまでの研究の結果、比較的硬い部分に相当し含水率も400%以下でこの試料では最も劣化が少なくホルセルロースの含有率が最も高い部分である。また、隣接部は含水率400から500%の間にある中程度の劣化度の部分に相当する。それ以外は含水率が500%以上の劣化度が比較的高い強度的にも脆い部分である。(詳細については既報³⁾⁴⁾を参照されたい。)この試料を常法によりPEG濃度を20%、40%、60%、80%、100%と各7日間以上かけて段階的に高め、高濃度では温度を60℃にまで高めて実施した。PEG濃度が40%までの含浸の進行に伴う変形は殆ど認められない(図3)。しかし60%では2日後に既に変形による表面の凹凸が認められ(図4、5)、80%では顕著な変形が認められる(図6)。超音波の吸収強度が最も高い含水率400%以下の劣化度の低い部分は収縮が比較的少なく、むしろその周辺の中間の劣化度の部分の収縮が顕著である。含水率500%以上の劣化度の高い部分は特に収縮しない。このように出土木材の劣化度の違いによってPEG含浸中の収縮率が異なる。

既にポリアクリル酸の浸透過程の研究報告²⁾でも論じたように、ホルセルロース含有率が高く含水率も400%以下と低い部分の多糖類は高分子鎖の配向度が高く水和による保水性が高いためPEGと水の置換が遅く異常収縮の程度は低い。しかし、これに隣接した含水率が400以上500%以下の中間の劣化度の部分は多糖類の高分子鎖の配向度が低く自由水を比較的多く含むのでこの高分子の網目は自由水を簡単に通過させるが、高濃度で会合したPEGは見かけの分子量が増大し、低濃度の場合のように円滑に自由水と置換できない。このためPEGと水分の物質移動にアンバランスを生じ浸透圧差により60%以上のPEG含浸では異常な収縮をおこしやすい。一方、含水率が500%以上の劣化度が高い部分は高分子鎖の網目がもっと広く殆どを自由水が占め、高濃度のPEGでも容易に浸透し水と置換するため浸透圧差が少なく異常な収縮がおこらない。以上のように考えることで実験結果を合理的に説明できる。

3. 2 超音波診断による不均一部位と変形の関係

前項の実験結果から超音波診断法で局所的に強い吸収を示す部分の周辺が異常収縮をおこす確度が高い。これをさらに確認するため一辺が3cmの立方体として、含水率が500%以上の比較的均質な試料(図7)と500%以下の局所的に不均一な超音波吸収を示す不均質な部位からの

試料(図8)を調整し、40℃でいきなり60%濃度のPEGに7日間浸漬した。このように過酷な条件下でも前者は7日間浸漬後も収縮率は最大で放射方向1.5%以下、軸方向0%、接線方向2.8%以下であった(図9、10、11、12)。しかし後者は接線方向が短時間で異常な変形をおこし最大で28.6%の収縮率を示した。しかし放射方向は1.5%以下、軸方向も1.5%以下の小規模の収縮にとどまった(図13、14、15、16)。このことから異常収縮を発生し易い部位の予測に超音波診断法が有用であることが裏付けられた。

不均一な超音波吸収を示す部位ではPEG含浸中に接線方向に収縮が発生し易く、その収縮は試料の木口面から内部に向かうほど顕著になる。これは表面よりも内部になるほど歪が発生し易く不測の割れ等の原因となることを示唆している。このような超音波診断法で異常を発生し易いと判定される出土材のPEG含浸処理にあたってはコスト的に高価になるが植田ら¹⁾の報告によるカチオン活性剤前処理法が有効であることを実験的に確認した。

4. 結言

予測困難な出土材のPEG含浸処理中に異常な収縮をおこしやすい部位を超音波法で非破壊的に予測診断する方法を見いだした。収縮はPEG濃度を段階的に高める通常の処理法でも60%を境に発生し易い。異常収縮は超音波を強く吸収する部位の周辺で接線方向に最も発生し易い。

謝 辞

この研究を行うにあたり、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、ならびに(財)元興寺文化財研究所保存科学研究センターの関係者の皆様、さらに出土木材保存に関する貴重な文献や助言を頂戴した上記研究所の関係者の皆様に厚くお礼申し上げます。

この研究は平成2年度より3年間にわたり文部省科学補助金試験研究Bの助成を受けて行った研究成果に基づいている。ここに付記して深く感謝する。

また、これまでの一連の研究に卒業研究を通じて多数の学生諸君の協力を得たことを付記して感謝する。

文 献

- 1) 植田直見、井上美知子、増沢文武: 材料41巻(1992) 184-152
- 2) 石垣昭、河越幹男: 考古学と自然科学(日本文化財科学会誌)、25号、(1992) 1-12
- 3) 石垣昭: 奈良高専研究紀要、25号(1989) 71-76
- 4) 石垣昭、井口高行: 奈良高専研究紀要、26号(1990) 89-93

黒鉛の電解改質に関する研究 (臭化カリウム水溶液中での電気化学的挙動)

泉 生一郎・佐藤淳一・大西康幸・岩耒 努・稲垣道夫*・岩下哲雄**

Study on Electrolytic Modification of Graphite
— Electrochemical Behavior of Graphite Electrode
in an Aqueous Solution of Potassium Bromide—

Ikuichiro IZUMI, Jun-ichi SATO, Yasuyuki OHNISHI, Tsutomu IWAKI, Michio INAGAKI and Norio IWASHITA

The current-potential characteristics in K_2SO_4 solution on the graphite electrode, which was pre-electrolyzed in KBr solution, showed a redox reaction of bromide ions. The amount of bromide included into graphite increased with the amount of electricity passed through the pre-electrolysis in KBr solution. The potential-time characteristics on the pre-electrolyzed graphite electrode suggested the formation of graphite intercalation compounds with bromine.

1 緒 言

黒鉛は温度、蒸気圧などの条件を整えることにより、弱い van der Waals 力で結合している黒鉛の C 軸積層間にさまざまな化学種を取り込むことができる¹⁾。黒鉛層間に化学種が侵入したいわゆる黒鉛層間化合物は、原料であるホスト黒鉛より高い電気伝導性や電気化学的活性を示すなど、いくつかの興味深い機能を有し、軽量の高導電材料や電池電極材料などとして注目されている²⁾。

なかでも臭素-黒鉛層間化合物はもっともよく知られた黒鉛層間化合物の一つであり、飽和組成³⁾やその残留化合物の物性⁴⁾などもすでに明らかにされている。しかしこの臭素の層間化合物はガスや液体臭素などとの反応によって合成されており³⁾⁵⁾⁶⁾、取り扱いには十分な注意が必要である。そこで著者らはこれまで、従来とは異なる穏和な条件下でのインターカレーションの達成とその電気化学的利用を目的として、種々の検討を加えてきた⁷⁾。ここではその基礎的な知見を得るため、黒鉛電極の臭化カリウム水溶液中での電気化学的挙動を調べた。

2 実 験

2. 1 試薬と電極

実験に使用した臭化カリウムは市販特級品で、基礎液には $0.25 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} K_2SO_4$ を用いた。電極の作用極には東洋炭素製 PF-40、面密度 $6.88 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{mm}^{-2}$ の天然黒鉛を用い、銅線と黒鉛をエポキシ系接着剤で銅部分が露出しないよう接着した。対極には平滑白金板を使用し、電解酸化処理を施した黒鉛電極は、再蒸留水で繰り返し洗浄を行った。

2. 2 電流-電位曲線の測定

サイクリックボルタンメトリーによる電流-電位曲線の測定は、ポテンシオスタット(北斗電工、HA-501)とポテンシャルプログラマー(北斗電工、HB-105)を用いて、 $200 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$ の電位走査速度で実施した。

2. 3 黒鉛の電解酸化処理

基礎液に KBr を含む水溶液中でガルバナスタット(北斗電工、HA-211)を用い、一定時間定電位で電解酸化を実施した。この際の通電量は、電解時にアノード電流を記録し図上積分によって求めた。

2. 4 電位-時間曲線の測定

電解酸化処理を施した黒鉛電極について、ガルバナスタット(北斗電工、HA-105)を用い、 20 mA 定電流でのクロノポテンシオメトリーを実施した。

* 北海道大学工学部

** 大阪工業技術試験所

なお、測定はすべて $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ で実施し、参照電極には飽和カロメル電極を用いた。

3 結果と考察

基礎液に $0.05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ KBr}$ を含む水溶液中で黒鉛電極のサイクリックボルタンメトリーを行うと、Fig.1 の電流-電位曲線が得られ、基礎液では見られなかったアノード酸化電流ピークが 1.2 V 付近で観察され、それに対応してカソード還元電流ピークが 0.6 V 付近で観察された。これらの酸化還元対は、水溶液が褐色に変色したことから Br^- イオンのアノード酸化による Br_2 発生とそのカソード還元に相当すると考えられ、黒鉛電極表面において臭素の電気化学的な酸化還元反応が生じることが明らかであった。そこで、臭素のアノード酸化が進行する電位の 1.2 V で黒鉛電極を基礎液に $0.05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ KBr}$ を含む溶液で1時間、定電位電解酸化処理を施した後、この電極を用いて基礎液中でサイクリックボルタンメトリーを実施し、10回の電位走査後の電流-電位曲線を Fig.2-(a)に示した。この結果を電解処理前の電極を用いて、基礎液中で得られた電流-電位曲線と比較すると 1 V より貴な電位でアノード酸化電流が増大し、 0.6 V 付近でカソード還元電流ピークが見出された。ここで観察された電流ピークは Fig.1に示した臭素の酸化還元対と類似していることや、Fig.2-(b)に示すように黒鉛電極を上記と同一濃度の KBr 溶液中で同一時間電解せずに浸漬させた時、浸漬前後で電流-電位曲線に変化は見られなかったこと、また、基礎液中で電解酸化処理した黒鉛電極については電解処理前の電極で得られた電流-電位曲線と何らの変化も見られなかったことなどから、

Fig.2-(a)で見出された挙動は Br^- イオンや KBr の吸着、基礎液中の化学種による影響とは考えられず、 KBr を含む水溶液中で黒鉛電極を電解酸化処理することにより、黒鉛層間に Br^- イオンや Br_2 が取り込まれたことにより生じたものと考えられる。

Fig.4には黒鉛電極を上記と同一条件下で電解酸化処理を施し、基礎液中で初回から3回目までの電位走査を行って得られた電流-電位曲線を示した。図から明らかに臭素酸化に起因するアノード電流の立ち上がり、カソード還元電流が明瞭に見出された。特に初回の電位走査における大きなカソード還元電流は、電解酸化処理の過程で黒鉛層間に取り込まれた化学種のうち Br_2 のような酸化生成物の還元により生じたものと考えられる。この初回の電位走査において、最も再現性が良いと思われた電位である 0 V でのカソード還元電流値を電解酸化処理の通電量に対してプロットしたものが Fig.5である。多少のバラツキはあるがほぼ通電量に比例してカソード還元電流が増加しており、このことから、Fig.4で見られたカソード還元電流は電解酸化処理の過程で黒鉛層間に取り込まれた Br_2 やその他の臭素の酸化体の還元による電流ピークであると考えられる。

さらに、黒鉛層間に臭素が取り込まれていることを明らかにするため、基礎液に $0.6 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ KBr}$ を含む水溶液中で黒鉛電極を 1.4 V 定電位で1時間電解酸化処理を施し、その電極を基礎液中に3時間浸漬させることにより、黒鉛層間に取り込まれた臭素を脱離溶出させた。この脱離溶出した臭素を含む溶液について白金電極を用いサイクリックボルタンメトリーを実施した結果、Fig.6に示すような電流-電位曲線が得られた。図に添えた検量線は、既知濃度の KBr 溶液を用いて作成したアノード

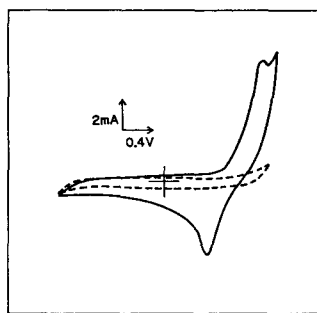


Fig.1 Current-potential curves on graphite electrode in $0.25 \text{ mol} / \text{dm}^3 \text{ K}_2\text{SO}_4$ with and without $0.05 \text{ mol} / \text{dm}^3 \text{ KBr}$ scan rate : 200 mV/s
 ——— : with KBr
 - - - - - : without KBr

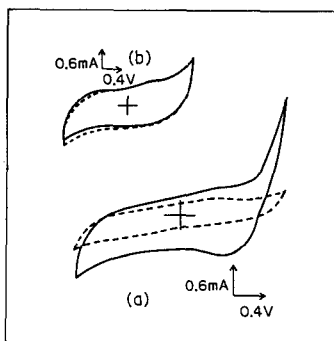


Fig.2 Voltammetric characteristics of graphite electrode treated in $0.25 \text{ mol} / \text{dm}^3 \text{ K}_2\text{SO}_4$ with $0.05 \text{ mol} / \text{dm}^3 \text{ KBr}$

(a) ——— : preelectrolyzed at 1.2 V vs. SCE
 (b) ——— : non-preelectrolyzed
 - - - - - : untreated

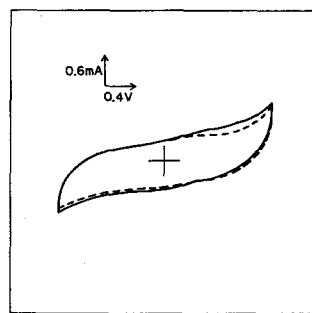


Fig.3 Current-potential curves on graphite electrode preelectrolyzed in $0.25 \text{ mol} / \text{dm}^3 \text{ K}_2\text{SO}_4$
 ——— : preelectrolyzed
 - - - - - : untreated

電流ピークからのものである。

黒鉛層間から脱離溶出した臭素の量を Fig.6の検量線から求め、電解酸化処理時の通電量に対してプロットしたのが Fig.7である。この結果からも既述の通り黒鉛を KBrを含む水溶液中で電解酸化処理することにより臭素が黒鉛層間に取り込まれていることは明らかであった。

Fig.8には各種濃度の KBr水溶液について得られた電流-電位曲線から1.5Vでのアノード酸化電流値をKBr濃度に対してプロットした。図で i_p は基礎液に KBrを含む水溶液の1.5Vにおけるアノード酸化電流であり、 $i_{p,0}$ は基礎液における同一電位でのアノード酸化電流値である。この図でアノード酸化電流値のKBr濃度依存性から、低濃度域と高濃度域の間に中間濃度域が存在することが分った。これらのことから、中間濃度域から高濃度域でのKBr溶液についてさらに検討した結果、Fig.9に示すようにアノード走査とカソード走査での電流-電位曲線が交差し、カソード走査での電流値が上まわるといった結果が得られた。この現象は電極の活性化の一種と見なすことができ、以下のように推論することができる。すなわち、アノード走査において、低濃度域では溶液バルクから拡散してくる Br^- イオンの電極表面での放電反応が支配的であるのに対し、中間濃度から高濃度域では Br^- イオンの電極表面での反応のほか Br^- イオンが黒鉛層間に取り込まれる電極内拡散過程が加わっているものと見なすことができる。こうして黒鉛層間に取り込まれた Br^- イオンがカソード走査において電極との電荷移動反応を起こし、中間濃度から高濃度域でFig.8,9のような低濃度域とは異なる電気化学的特性をもたらすものと考えられる。

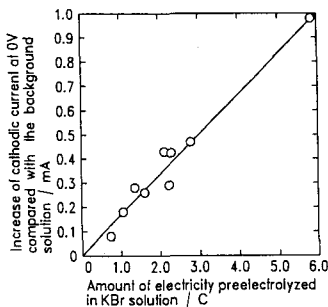


Fig.5 Dependence of cathodic current at 0V in 0.25mol/dm^3 K_2SO_4 on amount of electricity pre-electrolyzed in 0.05mol/dm^3 KBr solution

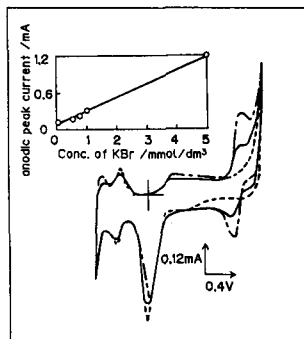


Fig.6 Detection of bromide dissolved out from pre-electrolyzed graphite electrode with reference to anodic oxidation current of bromide on platinum electrode
 —: unknown sample
 - - - : 1mmol/dm^3 KBr solution
 ···· : 0.25mol/dm^3 K_2SO_4

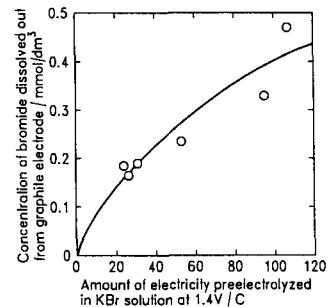


Fig.7 Dependence of concentration of bromide dissolved out from pre-electrolyzed graphite electrode on amount of electricity pre-electrolyzed at 1.4V in 0.05mol/dm^3 KBr solution

次に、クロノポテンシオメトリーによる電位-時間特性からの検討を行った。基礎液に $0.25\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ KBr を含む水溶液で、1.6V 定電位で10分間電解酸化処理を施した黒鉛電極について得られた電位-時間曲線が Fig.10 である。陽分極の後、極性を反転させた陰分極曲線では、1.2Vで遷移時間が短い、0.8Vでは4分以上の長い電位停滞がそれぞれ見出された。これらは KBr水溶液について電位-時間曲線からは見出されず、通常の電極表面上での臭素の酸化還元反応とは異なった反応に起因するものである。

電解酸化処理によって黒鉛電極に取り込まれた臭素は KBr, Br^- , Br_2 その他アノード酸化過程で生成した臭素化合物など種々考えられるが、上記電位-時間特性からは2種の酸化体が形成されているものと推定され、同定はされていないものの臭素-黒鉛層間化合物形成を唆するものと思われた。

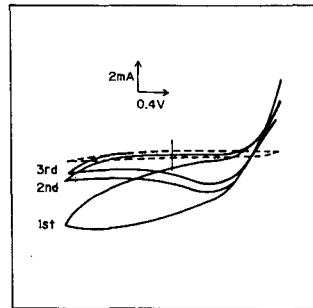


Fig.4 Current-potential curves on graphite electrode pre-electrolyzed in 0.25mol/dm^3 K_2SO_4 with 0.05mol/dm^3 KBr
 —: pre-electrolyzed
 - - - : untreated

4 結 言

臭化カリウム水溶液中で電解酸化処理を施した黒鉛電極について、電流-電位特性と電位-時間特性からの検討を加え、概略以下の結論を得た。

(1) $0.25 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{K}_2\text{SO}_4$ を基礎液とする KBr 水溶液中、黒鉛電極についてサイクリックボルタンメトリーを行った結果、1.2V 付近でアノード酸化電流ピークが見られ、それに対応してカソード還元電流ピークも観察され、黒鉛電極において臭素の電気化学的な酸化還元反応が生起することが分った。

(2) 黒鉛電極を臭素のアノード酸化が進行する電位において KBr 水溶液中で電解酸化処理を施した。この電極を用い基礎液について得られた電流-電位特性は未処理の電極では見られず、前項 (1) と類似のものであった。

ここで見出された挙動は、 Br^- イオンなどの吸着や基礎液中の化学種の関与によるものとは考えられず、黒鉛層間に Br^- イオンや Br_2 が取り込まれたことにより生じたものと考えられた。

(3) 電解酸化処理を施した黒鉛電極について、基礎液中 0V におけるカソード還元電流値と基礎液中に電極から脱離溶出させた臭素量が、ともに電解処理時の通電量に比例して増加することからも、黒鉛層間に臭素が取り込まれていることは明らかであった。

(4) KBr の中間濃度から高濃度域では低濃度域とは異なる電気化学的特性を示し、 Br^- イオンの電極面での放電反応のほかに Br^- イオンが黒鉛層間に取り込まれる電極面拡散過程が加わるものと見なされた。

(5) 電解酸化処理を施した黒鉛電極について基礎液中でクロノポテンシオメトリーを実施し、得られた陰分極での電位-時間曲線から、未処理の電極では見られない

2つの電位停滞が見出された。これは臭素-黒鉛層間化合物の形成を示唆するものであった。

参考文献

- 1) A. Metrot, Makromol. Chem., Macromol. Sym., **8**, 39 (1987).
- 2) 稲垣道夫, "炭素材料工学", (1985) p.185, 日刊工業新聞社。
- 3) W. Rudorff, Z. anorg. u. allgem. Chem., **245**, 383 (1941).
- 4) J. R. Gaier, M. E. Slabe, N. Shaffer, Carbon, **26**, 381 (1988).
- 5) G. A. Saunders, A. R. Ubbelohde, D. A. Young, Proc. R. Soc. London, Ser., **A271**, 499 (1962).
- 6) 高橋洋一, 表面, **16**, 300 (1978).
- 7) 泉 生一郎, 大西康幸, 西野敬智, 佐藤淳一, 浅井洋志, 岩下哲雄, 稲垣道夫, 日本化学会第 63 春季年会講演予稿集 I, p.962 (1992)。

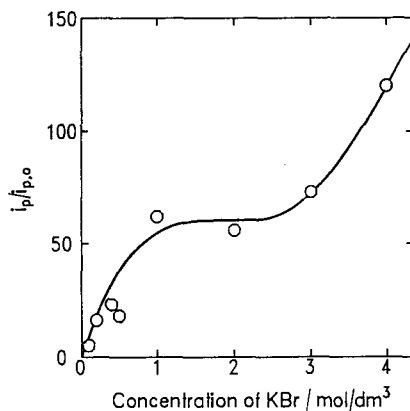


Fig.8 Dependence of $i_p/i_{p,0}$ at 1.5V on concentration of potassium bromide

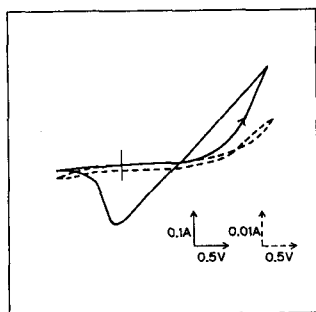


Fig.9 Cyclic-voltammograms on graphite electrode in $0.25 \text{ mol/dm}^3 \text{K}_2\text{SO}_4$ with and without $1 \text{ mol/dm}^3 \text{KBr}$
 scan rate: 100 mV/s
 ——— : with KBr
 - - - - : without KBr

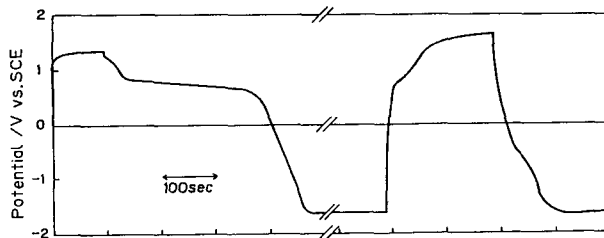


Fig.10 Chrono-potentiograms in the background solution on graphite electrode pre-electrolyzed at 1.6V in $0.5 \text{ mol/dm}^3 \text{KBr}$

両性水酸化物の水酸化物イオンによる溶解反応 II

犬田 修正・末 信一郎・松井 多嘉夫*

Kinetics of the dissolution reaction of the amphoteric hydroxide
in the alkaline solution. II

Shusei INUTA, Shin-ichiro SUYE, and Takao MATSUI

Chromic hydroxide is known to be slowly dissolved in the presence of an excess of alkaline solution. Thermodynamic and kinetic analysis of this dissolution reaction were investigated. The dissolution rate of chromic hydroxide by use of calcium hydroxide was discussed and it was well confirmed by the experimental results that this dissolution reaction was controlled by the first-order reversible reaction relating to hydroxide ion concentration. The changes of Gibbs' free energy, enthalpy, and entropy for this dissolution reaction were estimated.

2. 実験方法および結果

1. 緒言

排水中に含まれる重金属イオンの除去処理法として中和法、イオン浮遊法、硫化法、イオン交換法などが知られている(1)。なかでも中和法は操作の簡便性や経済性などの点から現在最もよく用いられている方法である(2)。本法は重金属イオンを含む溶液にアルカリ剤を添加して中和することにより重金属を水酸化物として沈殿除去する方法である。一方、亜鉛、鉛、クロムなどの重金属は過剰の水酸化物イオンと結合して再溶解することが知られており、本法を適用する場合重金属イオンの除去処理上、これが問題となる。これらの再溶解反応については、これまで反応速度論的な見地からの詳細な検討はなされてこなかった。そこで筆者らは水酸化亜鉛および水酸化鉛の過剰アルカリに溶解する反応について検討を行い、この溶解反応が水酸化物イオンに関して可逆1次反応であることをすでに明らかにした(3,4)。今回、筆者らは特に環境汚染、公害などの点でその除去処理方法が注目されるクロムに着目して、水酸化クロム(Ⅲ)の溶解反応について検討を行った。

2. 1 試薬の調製

(1) 試料溶液

クロムイオン溶液の調製にあたっては、試薬1級硝酸クロム $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 0.762gを水に溶解して1 lとし、その正確なクロムイオンの濃度はキレート滴定法によって求め、その濃度が 1.9×10^{-3} M溶液であることを確認した。

(2) アルカリ溶液

1 lの試薬瓶に、水酸化カルシウムを適量とり、純水1 lに溶かし、マグネチックスターラーを用いて、25°Cに設定された恒温槽中で十分攪拌した後、2日間静置し、ガラスフィルター付き吸引ろ過器を用いて上澄みをろ別して、水酸化カルシウムの飽和溶液をつくり、実験に用いた。なお、25°Cにおける飽和水酸化カルシウム溶液のpHは12.4である。

2. 2 メタ亜クロム酸イオンの定量

過剰アルカリに溶解したクロムイオン(メタ亜クロム酸イオン)の定量は公定法に従って行った(5)。試料溶液50mlに18 N硫酸1.3-1.5ml、エタノール少量を添加し、数分間煮沸したのち冷却した。これから20mlを採り、蒸留水10mlを加え、0.3% (w/v) 過マンガン酸カリウム溶液を3滴添加したのち20.0% (w/v) 尿素溶液10mlを加え、激しくかき混ぜながら赤紫色が消えるまで10% (w/v) 亜硝酸ナトリウム溶液を滴下し、20°C以下まで冷却した後、

(脚注) * 旭化成工業株式会社

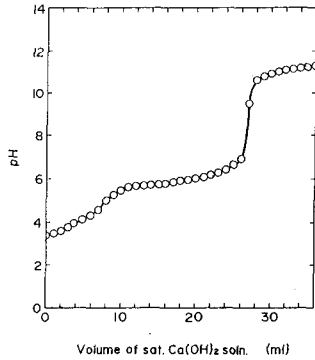


Fig. 1 Variation of pH-value in the solution where sat. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solution was added to 1.9×10^{-3} M $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ solution., 200 ml.

1%(W/V)ジフェニルカルバジド溶液1mlを加え、さらに水を加え50 mlとした。540 nmでの吸光度を測定することによりクロムイオン濃度を求めた。過マンガン酸カリウムを除いたものを対照として用いた。

2. 3 クロムイオン溶液のアルカリ溶液による滴定曲線

1.9×10^{-3} M硝酸クロム溶液を、5分間煮沸して脱炭酸処理し、マグネチックスターラーを用いて攪拌しながら、水酸化カルシウムを滴下し滴定曲線を求めた。その結果をFig.1に示す。反応液の温度は 25°C 定温とした。pHの測定は日立-堀場M-5型pHメータを用いて行った。ここで、水酸化カルシウムの滴下量に対する水酸化亜鉛生成後の溶解領域のpHの値は、混合溶液の反応初期の値である。

Fig. 1に示した滴定曲線より、水酸化クロムの沈殿生成反応はpH7付近で完了し、これを超えると水酸化クロムのアルカリ溶解反応が進行するものと思われる。

2. 4 水酸化クロムの過剰アルカリ溶液による溶解反応

過剰のアルカリ存在下での水酸化クロムの溶解反応挙動を調べる目的で 1.9×10^{-3} Mクロムイオン溶液200mlに対して、飽和水酸化カルシウム溶液27.7mlを加え混合し、攪拌しながらpHの経時的变化を測定した。この結果をFig. 2に示す。平衡反応の進行に伴って、徐々にpHが低下しておりpHが平衡に達するのは水酸化カルシウム添加後約80時間後である。なお、本実験でのpH測定時の条件下では空気中の二酸化炭素によるpHの低下は480時間で0.04であり、測定には充分無視できることがわかった。(Fig. 3)

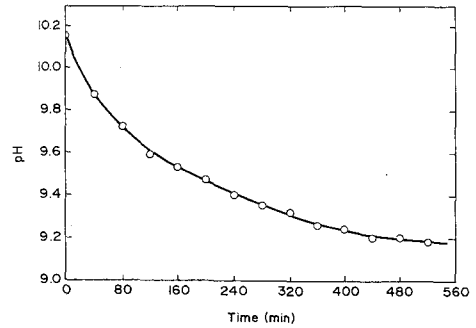


Fig. 2 Variation of pH in the solution with time. Solution consisted of 1.9×10^{-3} mol \cdot l $^{-1}$ $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ solution, 200 ml and sat. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solution, 27.7 ml.

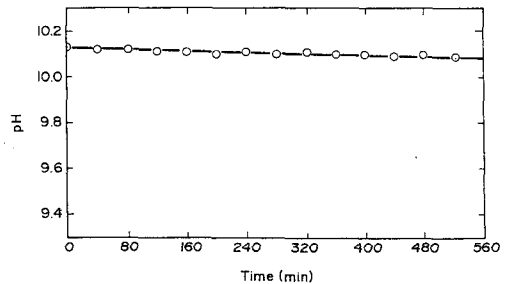


Fig.3 Variation of pH in the solution with time. Solution consisted of water and sat. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solution, 1.0 ml.

2. 5 平衡定数の測定

恒温槽中で一定の温度とした試料溶液150mlに水酸化カルシウム溶液55.4mlを添加し、密栓をして9-10時間攪拌を続けた。pHを測定したのち30分間静置し、試料50mlをガラスフィルターを通じて吸引採取し、メタ亜クロム酸イオンの量を測定した。種々の温度でのメタ亜クロム酸イオンの生成量およびこれより算出された平衡定数をTable 1にまとめた。また、Fig. 4に縦軸に $\log K_c$ 、横軸に $1/T$ をとりプロットしたものを示す。 $\log K_c$ と $1/T$ の間には直線関係が成立し、次式で表わされることがわかった。

$$\log K_c = (-1.01 \times 10^3) 1/T - 0.19 \quad (1)$$

3. 考察

クロムイオンが水酸化物イオンと反応して水酸化クロ

Table 1. Estimation of equilibrium constant at various temperatures

Temp. (°C)	pH	-log Kw	-log [OH ⁻]	[OH ⁻] (mol·l ⁻¹)	[CrO ²⁻] (mol·l ⁻¹)	Kc	1/T (K ⁻¹)
24.4	11.77	14.02	2.25	5.62 x 10 ⁻³	1.38 x 10 ⁻⁶	2.46 x 10 ⁻⁴	5.36 x 10 ⁻³
33.0	11.51	13.74	2.23	5.89 x 10 ⁻³	1.64 x 10 ⁻⁶	2.79 x 10 ⁻⁴	3.27 x 10 ⁻³
41.2	11.19	13.50	2.31	4.90 x 10 ⁻³	2.01 x 10 ⁻⁶	4.11 x 10 ⁻⁴	3.18 x 10 ⁻³
50.6	10.90	13.24	2.34	4.57 x 10 ⁻³	1.99 x 10 ⁻⁶	4.35 x 10 ⁻⁴	3.09 x 10 ⁻³
60.0	10.64	13.02	2.38	4.17 x 10 ⁻³	2.41 x 10 ⁻⁶	5.76 x 10 ⁻⁴	3.00 x 10 ⁻³

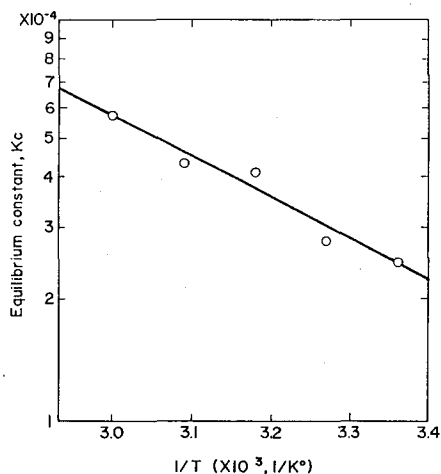


Fig. 4 Influence of temperature on the equilibrium constant Kc.

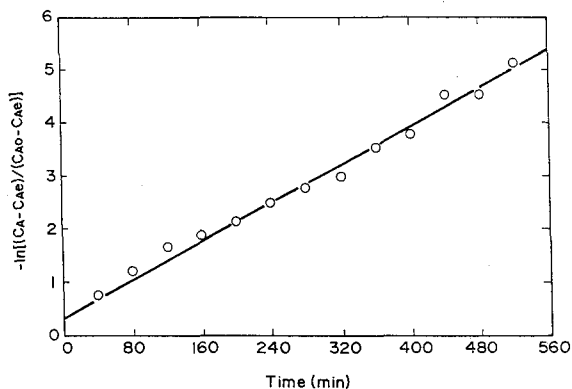
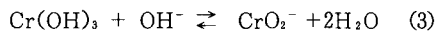
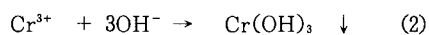


Fig. 5 Plot of $-\ln \frac{C_A - C_{Ae}}{C_{A0} - C_{Ae}}$ vs. time.

ムの沈殿となり、さらに過剰の水酸化物イオンにより溶解する反応は次式のように進行する。



(3)式の反応はイオン反応であるから一般的には瞬時に平衡に達すると考えられるが、実際にはFig.2に示すように、この平衡反応は非常に進行が遅いものと推察される。Fig.2でのpHの変化はこの平衡反応によるものと考え、反応速度定数、平衡定数を求めた。(3)式の平衡反応を一次可逆反応であると考えると(4)式が成立する。

$$-\ln \frac{C_A - C_{Ae}}{C_{A0} - C_{Ae}} = (k_1 + k_2)t \quad (4)$$

ここでC_AはOH⁻イオン濃度、C_{A0}、C_{Ae}はそれぞれ反応開始時および平衡時の濃度である。また、平衡定数Kcについて(5)式が成立する。

$$Kc = [\text{CrO}_2^-] / [\text{OH}^-] = k_1 / k_2 \quad (5)$$

(4)および(5)式よりk₁、k₂が算出される。Fig.2に示すpHの経時変化より、(4)式に関連させてデータを整理するとTable 2が得られる。これよりさらに、Fig.5に縦軸に $-\ln[(C_A - C_{Ae}) / (C_{A0} - C_{Ae})]$ を、横軸に時間をとりプロットしたところほぼ原点を通る直線が得られた。従って量論式(3)は水酸化物イオンに関しては可逆1次反応であると考えられる。直線の傾きを最小自乗法により求め、次式を得た。

$$(k_1 + k_2) = 0.00906 \text{ [min}^{-1}\text{]} \quad (6)$$

また25°Cにおける平衡定数はTable 1より

$$Kc = k_1 / k_2 = 2.46 \times 10^{-4} \quad (7)$$

(6)、(7)式より反応速度定数はそれぞれ

$$k_1 = 2.23 \times 10^{-6} \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

$$k_2 = 9.06 \times 10^{-3} \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

Table 2. Values estimated from Fig. 2

Time (min.)	pH	[OH] ($\times 10^{-3}$ mol/l)	$C_A - C_{A_0}$ ($\times 10^{-3}$ mol/l)	$\frac{C_A - C_{A_0}}{C_{A_0} - C_{A_0}}$	$-\ln\left(\frac{C_A - C_{A_0}}{C_{A_0} - C_{A_0}}\right)$
0	10.15	14.125 = C_{A_0}	12.680	1.0	0.0
40	9.87	7.413	5.968	0.471	0.754
88	9.72	5.248	3.803	0.2999	1.204
120	9.59	3.890	2.445	0.1928	1.646
160	9.53	3.388	1.943	0.1532	1.876
200	9.47	2.951	1.506	0.1188	2.131
240	9.40	2.512	1.066	0.08411	2.476
280	9.35	2.239	0.793	0.06256	2.772
320	9.32	2.089	0.644	0.05078	2.980
360	9.26	1.820	0.374	0.02957	3.523
400	9.24	1.738	0.292	0.02306	3.770
440	9.20	1.585	0.139	0.01100	4.510
480	9.20	1.585	0.139	0.01100	4.510
520	9.18	1.514	0.06812	0.00537	5.226
Eq	9.16	1.445 = C_A			

となる。このように各々の反応速度定数は小さく、また、正方向の速度定数 k_1 は逆方向の速度定数の k_2 に比べおよそ1/1000の値であった。

今回の実験より(3)式の平衡反応の進行はかなり遅いことがわかったが、E.Müllerによる水酸化ナトリウムを用いた実験でも同様の結果が得られている(6)。平衡定数に関してはpH10におけるクロムの溶解度は $\log C(\text{Cr g/l}) = -5.2$ であり(7)、この値より $K_c = [\text{CrO}_2^- / [\text{OH}^-] = 1.21 \times 10^{-3}$ となる。本実験より得られた K_c は、この約 1/5であった。

また、クロムイオンの除去のための最適のpHは7-9で、この時の残留クロムイオン濃度は2 ppm (約 4×10^{-5} M)であり、pHが9を超えると再溶解が始まると報告されている(8)。本研究でも最適pHは同様の値が得られた(Fig. 1)。これらの値より(3)式の平衡反応における標準自由エネルギー変化 ΔG° 、標準エンタルピー変化 ΔH° 、標準エントロピー変化 ΔS° を求めた結果、以下のような値が得られた。

標準自由エネルギー変化 ΔG°

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ &= -RT \ln K_c = -(1.98 \text{ cal}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})(298 \text{ K}) \\ &\quad (2.303) \log (2.46 \times 10^{-4}) \\ &= 4.90 \times 10^3 \text{ cal}\cdot\text{mol}^{-1} = 2.05 \times 10^4 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

標準エンタルピー変化 ΔH°

$$\begin{aligned} \frac{d(\ln K_c)}{dT} &= \frac{\Delta H}{RT^2} \\ \log K_c &= \frac{-\Delta H}{2.303 RT} + A \end{aligned}$$

Fig. 4 より直線の傾きは -1.01×10^3 であるから

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= (1.01 \times 10^3 \text{ K})(2.303)(1.98 \text{ cal}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) \\ &= 4.61 \times 10^3 \text{ cal}\cdot\text{mol}^{-1} \\ &= 1.93 \times 10^4 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

標準エントロピー変化 ΔS°

$$\begin{aligned} \Delta S^\circ &= (\Delta H^\circ - \Delta G^\circ) / T \\ &= (4.61 - 4.90) \times 10^3 \text{ cal}\cdot\text{mol}^{-1} \cdot (298^{-1}) \text{ K}^{-1} \\ &= -0.940 \text{ cal}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \\ &= -3.93 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

実際のクロムイオンの除去処理に関しては、他の金属イオンとの相互作用、沈殿微粒子の凝集性、沈降速度などの要因により結果が大きく変動するので、これらの要因の影響について今後検討が必要である。

4. 結言

溶液中のクロム除去を目的とした中和反応における過剰アルカリに対する水酸化クロムの再溶解反応について検討を行った。この結果、本実験の条件下ではこの溶解反応の速度は水酸化物イオン濃度に関する可逆1次反応によって支配されること、さらにこの反応速度定数、平衡定数およびこれより誘導される熱力学的関数の値を明らかにした。

文献

- (1) 石原 透、MOL、10, 31 (1972).
- (2) 石原 透、MOL、10, 105 (1972).
- (3) 犬田 修正、末 信一朗、電気化学協会 技術・教育研究論文誌、1, 71 (1992).
- (4) 犬田 修正、末 信一朗、村上 里子、奈良工業高等専門学校研究紀要、27, 105 (1991).
- (5) J I S* 公害関係、pp. 609 (1973).
- (6) J. W. Mellor, "A Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry" 11, 196 (1931).
- (7) M. Pourbaix, "Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions" Pergamon Press New York, pp. 269 (1966).
- (8) 和泉 学、化学、29, 282 (1974).

活性炭の再生に関する研究 (3)

梅原 忠

Regeneration of Activated Carbon (3)

Tadashi UMEHARA

Rate of thermal regeneration, steam gasification and equilibrium adsorption isotherms were measured for dodecylbenzene sulfonate (DBS) adsorbed on fiber activated carbon. Most of the rates data were obtained in a thermal gravimetric apparatus operated both constant temperature (531 to 556) and with a constant rate of temperature rise up to 1023K.

The regeneration process could be explained by rate-controlling steps, the first at $550\text{K} < T < 795\text{K}$ and the second occurring at $795\text{K} < T < 1023\text{K}$. Parallel reaction for first step and first reaction for second step could explain the data. The rates of gasification of residual adsorbed material were analyzed.

緒言

活性炭は、気体や溶液の溶質などに対して強い吸着能力を有する炭素質の物質で、しかも化学的に安定であるのでその応用範囲は広く、産業用及び家庭用として幅広く利用されている。活性炭の中でも、有機質繊維を原料（主としてセルロース系、アクリル系、フェノール系）とした繊維状活性炭は、粉状、粒状活性炭につづく第3の活性炭として最近特に注目されている。その特徴は、外表面積が大きく、細孔が比較的均一であり、多様な形に加工しやすく粒状に比して、吸・脱着速度が大きいことである。

著者は、吸着した活性炭（粒状）を再利用するための最適操作条件を見いだすことを目的として、再生の速度論的研究を行ってきた。¹⁻⁹⁾

今回は、繊維状活性炭を用いて、水汚染物質の一つであるドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム（DBS）を吸着物質に選り、平衡吸着量を測定するとともに、DBSを吸着した繊維状活性炭の等温及び昇温下での熱再生実験を行い脱着速度についての考察を行った。さらに、熱再生で生じた残渣を、水蒸気を用いてガス化実験を行い、ガス化速度についても検討を加えた。

1. 実験装置及び方法

使用した繊維状活性炭は、東洋紡績(株)製KFフェルト (F-1500) で、吸着質の DBSは和光純薬(株)製のものを使用した。活性炭への DBSの吸着量の測定は、前報¹⁾同様吸着前後の溶液濃度を全有機炭素測定装置を用いて測定し濃度差より吸着量を求めた。また熱再生実験も前報と同様であるが、水蒸気によるガス化実験の場合は、ヘリウムガスの水蒸気飽和器に通すことにより、任意の濃度の水蒸気ガスを反応管に供給した。

2. 結果及び考察

2. 1 吸着平衡

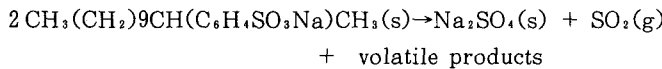
吸着前後の溶液濃度差より求めた吸着量及び平衡濃度の測定結果を図1に示した。図には粒状活性炭に対するDBS、蔗糖の吸着平衡も併せて示した。粒状活性炭に対するDBSの平衡吸着量より繊維状活性炭への吸着量は、約

半分であった。これは、細孔分布の違いが影響しているものと考えられる。

2. 2 熱再生実験

DBSを吸着した繊維状活性炭の熱重量測定結果を、図2に示した。同図には粒状活性炭に吸着したDBS、ラウリル硫酸ナトリウム、ポリエチレングリコール (PEG) の熱重量測定結果も併せて示した。図から明らかなように、粒状活性炭に吸着したDBSに対する脱着よりも比較的低温域から脱着が始まり、795K付近からの一定を示す部分も、粒状よりも低い値(約 33%)となった。この事は、繊維状活性炭の細孔構造が粒状のトンネル型と異なり、外表面からすぐに細孔が展開している構造上の違いによる差と考えられる。比較的、繊維状活性炭が吸・脱着速度が速いと言われていることと一致する。

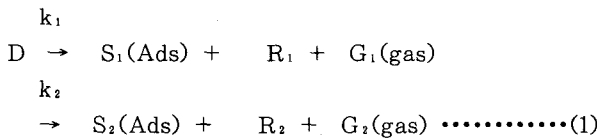
773 K付近までの速い脱着プロセスの速度を求めるために、531,546,556Kの各温度まで0.5K/Sで上昇させ、その後等温に保ち、重量変化を測定した。昇温熱重量測定結果から明らかなように、1023Kまでの加熱後も吸着 DBS の約 33%が残渣として残った。これは、ナトリウムやイオウなどの無機化合物が残渣として存在しているものと思われる。そこで DBSの熱分解機構として、総括的に次式で表されると仮定した。



主な重量減少は約795Kまでに起こり、795K以上からは温度上昇による重量減少は僅かであった。そこで、温度が約550Kから795Kまでの分解機構を第一段分解、795K以上を第二段分解としそれぞれの分解機構の解析を行った。

2. 2. 1 第一段分解

第一段分解機構を、次式のような並発分解機構と仮定した。



ここで、Rは795Kまでの温度上昇で脱着されなかった吸着残渣とする。この分解がそれぞれ1次で進行すると仮定すると、重量減少速度は次式で表せる。

$$dq/dt = -(k_1 + k_2)q \quad \text{I.C.} \quad q=q_0, \quad t=0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

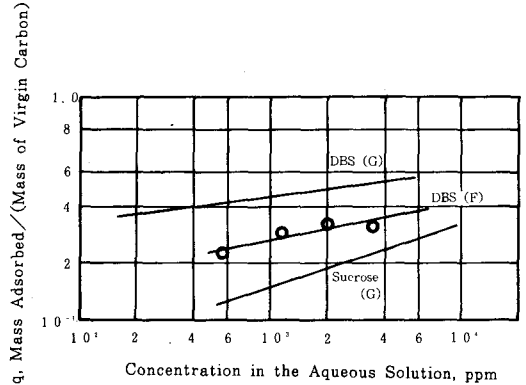


Fig.1 Adsorption equilibrium isotherm

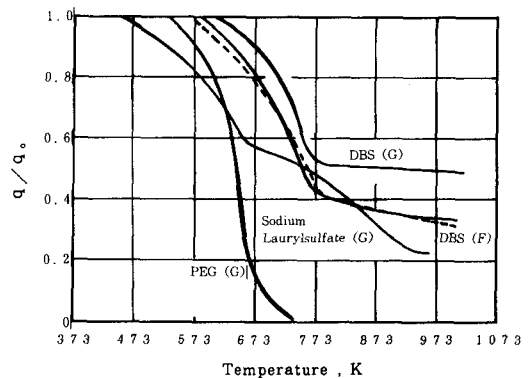


Fig.2 Experimental and predicted TGA curves

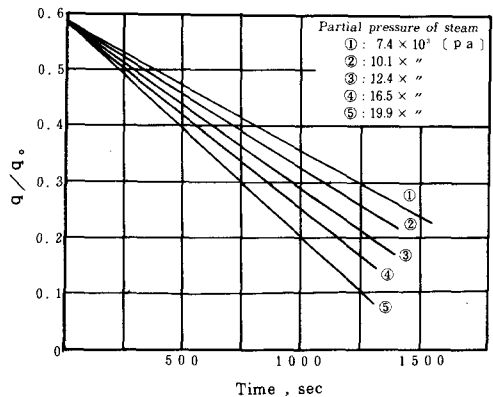


Fig.3 Mass vs. time for steam gasification

$$\int \frac{dq}{q_0} = \exp[-(k_1 + k_2)t] \dots\dots\dots(3)$$

等温下で得られた熱重量測定結果を用いて、試行錯誤法によりk₁及びk₂を求めその結果を表1に示した。得られた速度定数を用いて、活性化エネルギーを求め、それぞれの速度定数に対して次式を得た。

$$k_1 = (6.0 \times 10^9) \exp [(-5.5 \times 10^4) / RT] \dots\dots\dots(4)$$

$$k_2 = (8.0 \times 10^{-2}) \exp [(-3.8 \times 10^4) / RT] \dots\dots\dots(5)$$

Table 1 Kinetic Constants for First Step

Temp.(K)	k ₁ × 10 ⁹	k ₂ × 10 ⁵
531	2.3	1.4
546	3.2	1.8
556	4.0	2.1

得られた速度定数を用いて、昇温時の熱重量測定結果との比較を試みた。計算方法は前報^{4,5)}と同様である。計算結果を図2に破線で示した。図より若干低温領域で低い値を示したが、ほぼ1次の並発分解機構で説明出来ることが判った。

2. 2. 2 第二段分解

795K以上の重量減少は、第一段分解後にまだ吸着している(1)式中のS₁、S₂で表される物質である。

この物質が高温域で、徐々に分解するものとして、またその速度は1次で進行するものとして解析を行った。昇温時の測定結果を用いて、鈴木ら⁶⁾の方法により、活性化エネルギーを求め計算を行った。その結果を、図2に破線で示した。実測値との一致は良好であった。

2. 3 水蒸気によるガス化

1023Kまで温度を上昇させてもかなりの残渣が生じ、繰り返し使用するには十分ではない。そこで、炭素を含む残渣を除去するために水蒸気による賦活を行った。図3に水蒸気濃度変化に対する重量減少の測定結果を示した。ほぼ一定速度で重量が減少することが判る。水蒸気による炭素のガス化速度は、次式で表すことができる。

$$1/R = k_3' / k_1' + (k_2' / (k_1' \cdot p_{H_2O})) p_{H_2} + 1 / (k_1' \cdot p_{H_2O}) \dots\dots\dots(6)$$

水素の影響のない条件下で行った実験結果より、(6)式を用いて各速度定数を求めた。その結果 k₁'は 3.5 × 10⁻⁸、k₃'は 4.7 × 10⁻⁵ [kg/(kg)(s)(Pa)] であった。さらに、これらの結果をもとに、再生後の吸着能力、比表面積、細孔分布等の検討を加える必要がある。

結 言

繊維状活性炭に吸着したドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウムの再生実験を行った結果、約550Kから795Kまでの比較的速い第一段分解と、795K以上で起こる遅い第二段分解の2つのプロセスから成ることが判った。第一段分解は、1次の並発機構で、第二段分解は、1次の分解機構で説明することができた。また、熱再生では約33%の残渣が生じたが、水蒸気賦活を行うことにより残渣を除去することができた。

Nomenclature

Literature Cited

E :Activation energy of thermal cracking (J/mol) 1) Umehara, T., P. Harriott and J.M. Smith, AIChE
 k₁, k₂:Rate constant (1/sec) Journal 29,732(1983)
 k₁':Rate constant for the steam-gasification reaction, Eq.(6) (kg/(kg of virgin carbon when the 2) Umehara, T., P. Harriott and J. M. Smith, ibid. 29,732(1983)

- sample attains reaction temperature), ((s)(Pa)) 3) Umehara, T. and J.M. Smith, *ibid*, 30, 177 (1984)
- k_2', k_3' : Parameters in rate Eq. (6) (Pa⁻¹) 4) Umehara, T., Research Report of Nara National
 College of Technology, 23, 49 (1987)
- p_{H_2O}, p_{H_2} : Partial pressure of steam and hydrogen (Pa) 5) Umehara, T., *ibid*, 24, 95 (1988)
- q : Amount adsorbed (g/g-carbon) 6) Suzuki, M., D.M. Misić, O. Koyama and K. Kawazoe,
 Chem. Eng. Sci., 33, 271 (1978)
- q_0 : Initial amount adsorbed (g/g-carbon)
- R_g : Gas constant (J/mol·K)
- T : Temperature (K)
- t : Time (sec)

Fluorimetry of Urea by using of Optical Fiber

Masatoshi Oue and Shin-ichiro Suye

Urea in solution is enzymatically hydrolyzed to NH_4OH and CO_2 , causing a increase of pH with a concomitant increase in the fluorescent intensity of the dye. A fluorescent pH dye has been used to determination of urea. A light of fluorimetric spectrophotometer is used to excite fluorescence and the fluorescent radiation is collected in the another fiber for transmission to the detector. The response is within 2 min. The detection limit is 2.0×10^{-6} M urea.

The improvement of chemical sensors and biosensors as analytical methods is a well studying field in the analytical chemistry. This is attributed to the ability of biological molecules or organisms to react specifically with a target analyte. Those biological substances, such as enzyme, antibody, intact cell, biomembrane etc., are immobilized directly onto a suitable transducer. These are useful in biochemical analysis, such as medicine like a clinical inspection, first introduced by Guilbault.¹

Substrate reacted with enzyme is converted to product and its product is detected by the electrochemical transducer. However, these electrochemical devices share important problems: a stable reference electrode and a risk for using it *in vivo*.

Recently the development of biosensor based on optical fiber has been in analytical chemistry. This is due to the ability of transducer of biosensor to detect *in vivo*. Examples of this research are the pH optical sensor, described by Suzuki and Luo, detected with a fluorescent pH dye passing through optical fiber^{2,3} and enzyme-based fiber-optic sensor detected NADH(nico-

tinamide adenine dinucleotide, reduced form) producing by dehydrogenase reaction.^{4,5} The clinical inspection⁶ of disease in the field of medicine and the process control⁷ of Japanese Sake in the field of food need the method of determination of urea by using of miniature monitor. Ordinarily urea concentration is directly measured on chemical reaction, which is the reaction of diacetylmonoxime and urea, of colorimetry or indirect method on the biochemical treatment is used to them. Indirectly the detection of the pH change^{8,9} or NH_4OH ¹⁰ instead of urea has been studied and reported. Enzyme reaction helps the improvement of the urea sensor. Urease is immobilized directly on a transducer like a ammonium gas electrode,¹¹ field effect transistor (FET)¹², hydrogen gas detector (Pd-MOSFET)¹³ and so forth. The immobilized urease [EC 3.6.1.5] catalyzes the hydrolysis of urea to NH_4OH . The increase of OH ion concentration from production of NH_4OH modulates the transducer.

In this paper, the fabrication of optical fiber and cell instead of conventional it and preliminary evaluation of the determination of urea with fluorescein sodium salt as a fluorescent

pH dye are described. Urea is hydrolyzed by urease to NH_4OH and CO_2 based on the principle of enzyme reaction. A trace amount of urea in serum is also described as a practical application of this fluorimetric method.

Experimental

Chemicals

All of the chemicals were of analytical grade or better and were purchased from Wako Pure Chemical Co., Ltd. For the buffer solution, 1×10^{-2} M KH_2PO_4 was prepared. Urease [EC 3.5.1.5] from jack bean (Toyobo Co.), Toyobo Grade II (157 units/mg-solid), were dissolved into the buffer solution. Control serum I Wako was used. Demineralized and distilled water was used.

Apparatus

Fluorescence intensity, I_F was measured with Hitachi 650-10S Fluorimetric spectrophotometer. The pH value was acquired on Horiba F-8L pH meter. Optical fiber was Mitsubishi rayon SK-30P.

General Procedure for Determination of Urea

The solution of 1.5×10^{-5} M fluorescein sodium salt was prepared with buffer solution (pH

5.5). To 1 ml of this solution, $10 \mu\text{l}$ (10 units) urease-buffer solution (1 kunits/ml) was added. This urea-urease reaction mixture was taken into 1 ml of cell and stirred at 37.0°C . After incubation for a while at 37.0°C , $5 \mu\text{l}$ of each molarity of urea aqueous solution was added and reacted with urease for 10 min at 37.0°C . The fluorescence measurements of reacted solution in a cell was carried out by using of hand-made optical measurement apparatus (Figure 1). The band pass was adjusted to 5 nm in both of the excitation and emission waves. The I_F values were measured at 512.5 nm of emission wave length on 488.0 nm of excitation wave length.

Results and Discussion

Fluorescein Sodium Salt Concentration

The relationship between I_F and fluorescein sodium salt-buffer solution concerning with various kinds of concentrations, 1.5×10^{-5} M, 1.5×10^{-6} M, and 1.5×10^{-7} M, was investigated with 1-cm quartz cell without using optical fiber. Although the I_F was greatly increasing at the concentration of 1.5×10^{-5} M, it was impossible to measure the I_F value difference of increasing below the concentration of 1.5×10^{-7} M by using of optical fiber, in order to loss of I_F passing through the fiber. As the result, the optimum concentration of fluorescein sodium salt-buffer solution was decided at 1.5×10^{-6} M.

Calibration Graph

The optical fiber response is based on the change of the fluorescence characteristics with change pH. In order to elucidate measurement concentration ranges for determination of urea by using of optical fiber, investigation of linearity of the calibration graph was carried out. As the 0.05 M urea aqueous solution was continuously added to reaction solution under the dynamic conditions, increase of I_F with change in pH by

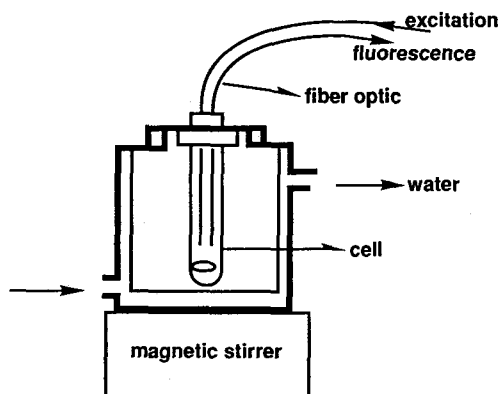


Figure 1. Schematic diagram of fiber optic sensor for urea determination.

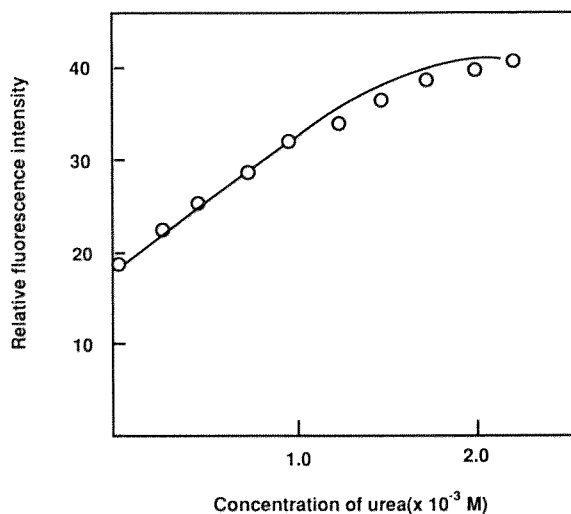


Figure 2. A typical calibration curve for urea

following enzyme reaction was occurred. Between $0.2 - 1.6 \times 10^{-3}$ M of urea concentration, the calibration graph showed good linearity (Figure 2). The linear calibration graph did not pass through the origin, because the fluorescein was contained in the blank solution. In addition, enzyme reaction of urea-urease was done within 3 min. Furthermore, the amount of enzyme was 10 units. These results show the possibility of quantitative analysis for urea.

Effect of pH

The pH conditions of the initial enzyme solution is an important factor for the relation of I_F and urea concentration. In the enzyme reaction, measuring the initial pH could be employed to avoid changes in background pH and so forth. Some degree of the difference between the last and initial pH was needed to the application of determination of urea. The buffer solution of 0.01 M KH_2PO_4 was adjusted with KOH at the pH of 5.0, 5.5, 6.0, and 6.5. The strongest fluorescence

appears at high pH, lowering the pH reduces the I_F . Two linear response regions are observed, one from pH 2.8 to 5.0, and a second with a steeper slope between pH 5.5 and 7.0.¹⁴ After the enzyme reaction, the pH response remains the same as just pH change, as shown in Figure 3. The lower initial pH than the higher has revealed much more magnificent I_F change at the end. The I_F change of fluorescein is pH dependent, with a maximum at pH 8.5. However, this reaction, decomposing urea to NH_4OH and CO_2 , has occurred with urease, so the activity of urease is also pH dependent. The best initial pH was 6.0 for depending on stability, response, or activity of enzyme.

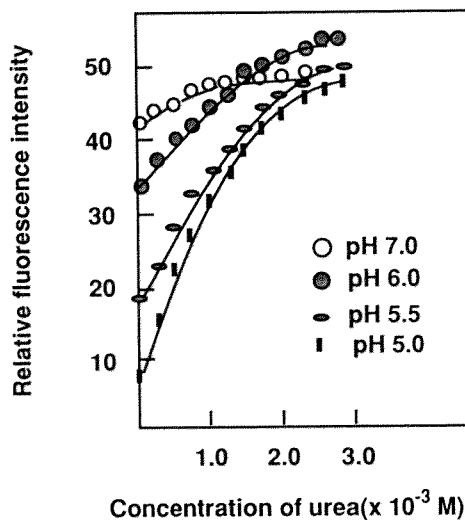


Figure 3. Relationship between pH and relative fluorescence intensity.

Effect of Buffer Concentration

The observed influences of enzyme reaction and I_F value of urea under a condition of various buffer concentrations; (2.0, 10.0, 15.0, and 20.0) $\times 10^{-3}$ M are shown in Figure 4. When the concentration of buffer solution has been reduced, the slope of I_F vs. the concentration of urea is sharply increased. High buffer molarity might be covered the slight difference of pH of decomposing urea. On the other hand, as expected, a progress changes of the I_F may merely depend on the urea decomposition by urease. However, the reading range of measurement of urea was decreased at 2.0×10^{-3} M buffer solution for easily reaching the top of limit I_F value, nevertheless the I_F evidently changes. A good linearity of the relationship between the

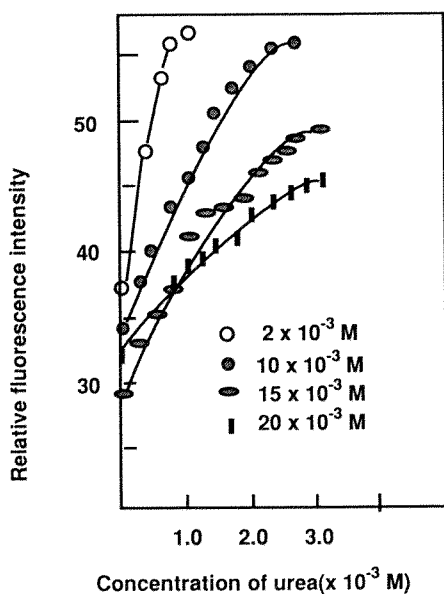


Figure 4. Relationship between buffer concentration and relative fluorescence intensity.

concentration of urea and I_F was shown up to 1.8×10^{-3} M of urea concentration in the condition of 10.0×10^{-3} M buffer. Over the 15.0×10^{-3} M buffer, the slope was not so steep compared with 10.0×10^{-3} M buffer. This might be caused by the reason why the buffer capacity is stronger than the pH change of NH_4OH with decomposed urea. Under the condition of 10.0×10^{-3} M buffer solution, the measuring range of concentration of urea has revealed widely 4×10^{-4} M to 1.8×10^{-3} M.

Determination of Urea in Serum

Determinations of urea in control serum without and with artificially added urea were carried out as follows optimum content conditions of urea-urease reaction mixture: solution was based on the mixture of 1 ml of 1.5×10^{-6} M fluorescein sodium salt- 10.0×10^{-3} M KH_2PO_4 buffer solution (pH 6.0) and 10 μl (10 units) of 1 kunits/ml urease-buffer solution. The commercial control serum sample contains too small amount of urea to determine the urea, so 100 μl of control serum was added to urea determination solution. However, the I_F of this solution has decreased and it is impossible to determine urea. This might be caused to dilute fluorescein sodium salt concentration with the excess addition of 100 μl control serum into the reaction solution than usual (10 μl). The suspension of a solution by the protein in serum has also prevented the I_F detection of fluorescence due to scattering. Determination of urea in the sample such as serum has been needed to promote sensitivity and to decrease the amount of added sample for less unaffected.

Investigation of the lowest limit of determination range of urea without serum under the condition of 2.0×10^{-3} M buffer solution (pH 5.0) was considered. We found it was possible to improve the determination range of urea turning to lower

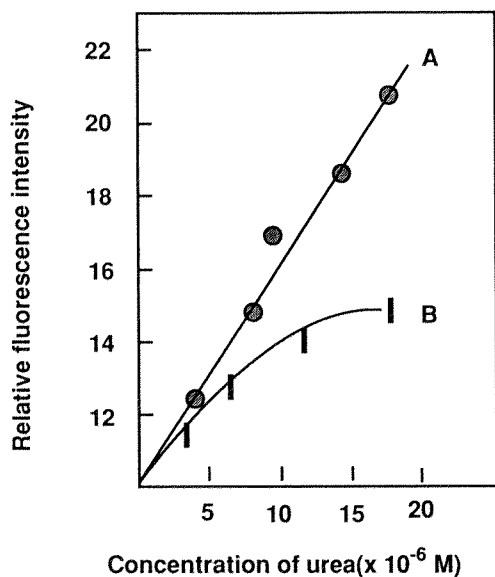


Figure 5. Calibration graph for the fluorimetric determination of urea without (A) and with (B) control serum.

concentration, from 2.0×10^{-6} M up to 2.0×10^{-5} M, though the measurement region was narrow than high molarity buffer solution. The sensitivity was improved 120 folds at the detection limit. Calibration curve is shown in Figure 5-A.

In the above described condition of buffer solution, 2.0×10^{-3} M buffer solution (pH 5.0), urea in a control serum was determined as an application experiment. $1 \mu\text{l}$ of control serum with artificially added urea was taken a place of cell contained reaction solution and reacted for 10 min at 37.0°C . After the reaction, the I_F of the resulted solution was measured (Figure 5-B). The relationship between I_F and urea in the serum was not so good linearity, like a parabolic curve,

and the I_F value was diminished compared with their value of the calibration curve. Although the small amount, $1 \mu\text{l}$, of control serum was poured into cell, the suspension of protein in a serum was still detected in the reaction solution.

The time response curves of this probe in urea with and without serum are shown in Figure 6. Both of the measurements were carried out simultaneously added urea with and without serum. The I_F value of urea is observed to reach the highest response value within 2 min of measurement and keep the constant I_F value, not depending on the urea concentration. On the other hand, the response time in a solution with a serum was required approximately 2–3 min to reach the highest I_F value, which has gradually decreased from the maximum point. The time response curve graph of the solution with a serum was shown such a imperfect reversed U-shape with a maximum at 2–3 min. This can be attributed to the varying suspension of protein species in serum. We

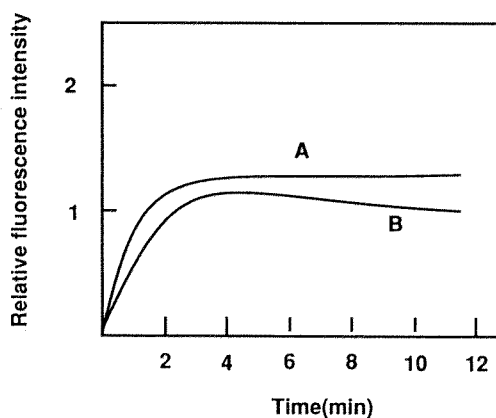


Figure 6. Time response for urea without (A) and with (B) control serum. The vertical axis means the difference of I_F of urea and background.

suspect the suspension prevents much more than the increasing I_F .

Conclusion

The pH changes depending on the urea-urease reaction mixture were replaced by the I_F of fluorescein sodium salt and the determination of urea was successfully occurred below 1.6×10^{-3} M under the condition of pH 6.0 (10.0×10^{-3} M fluorescein sodium salt-buffer solution) by using of optical fiber. At the pH 5.0 (2.0×10^{-3} M fluorescein sodium salt-buffer solution), the measurement region was narrow, but the 2.0×10^{-6} M urea concentration was determined. Urea in a control serum was determined lower concentration, under 5×10^{-6} M, by this method. High concentration of urea with serum was caused suspension by protein.

Acknowledgement

This work was supported by the Grant-in-Aid for Specific Project Research of the Educational Ministry of Japan.

References

1. Guilbault, G. G. In *Comprehensive Analytical Chemistry*, Svehla, G., Ed.; Elsevier: Amsterdam, 1977; Vol. 8.
2. Suzuki, K.; Tohda, K.; Tanda, Y.; Ohzora, H.; Nishihama, S.; Inoue, H.; Shirai, T. *Anal. Chem.* **1989**, *61*, 382.
3. Luo, S.; Walt, D. R. *Anal. Chem.* **1989**, *61*, 174.
4. Narayanaswamy, R.; Sevilla, F. *Anal. Lett.* **1988**, *21*, 1165.
5. Wangsa, J.; Arnord, M. A. *Anal. Chem.* **1988**, *60*, 1080.
6. *Ikagaku jikkenhoukouza, Rinshoukagaku I*, Baba, S.; Okuda, K., Ed.; Nakayamashoten: Tokyo, 1973; Vol. 3-A, Page 51.
7. Yoshizawa, Y.; Takahashi, Y. *Jyozokyokaishi*, **1988**, *84*, 142.
8. Ruzicka, J.; Hanson, E. H.; Ghose, A. K. *Anal. Chem.* **1979**, *51*, 199.
9. Nilson, H.; Akcrlund, A.; Mosbach, K. *Biochim. Biophys. Acta* **1973**, *320*, 529.
10. Wakisaka, S.; Sei, K.; Tachiki, T.; Kumagaya, H.; Tochikura, T.; Matsui, Y. *Abstr. Annu. Meet. Agric. Chem. Soc., Japan*, Kyoto, **1986**, Page 526.
11. Llenado, R. A. *Anal. Chem.* **1974**, *46*, 1109.
12. Miyahara, Y.; Mori-izumi, T.; Shiokawa, S.; Matsuoka, H.; Karube, I.; Suzuki, S. *Nippon Kagaku Kaishi*, **1983**, *1983*, 823.
13. Danielsson, B.; Lundstrom, I.; Mosbach, K.; Stibler, L. *Anal. Lett.* **1979**, *12*, 1189.
14. Oue, M.; Kimura, K.; Shono, T. *Analyst* **1988**, *113*, 551.

エアリフト型気泡塔による酵母の培養

河越 幹男・末 信一郎

Cultivation Characteristics of Yeast in an Airlift Bubble Column

Mikio Kawagoe and Shin-ichiro Suye

Batch culture of yeast cells was carried out in an external-loop airlift bubble column. The effects of temperature, gas velocity and concentration of components in a medium on growth rate were investigated. As a result, no effects of gas velocity on growth rate were found. Components in a medium such as yeast extract, malt extract, peptone and glucose affected the growth curve significantly. Lag phase was affected by temperature, and the higher the temperature the shorter the lag time. Furthermore, we attempted to simulate the growth curve by the structured model proposed by Tsuchiya et al. Simulated values were found to consist with the experimental ones.

緒 言

外部液循環式エアリフト型気泡塔は、上昇管と下降管から成り、両管は塔頂および塔底で連結されてループを構成している。ガスは、上昇管下部のガス分散器から導入され、管内を上昇する。液は、通気によって生じる上昇管と下降管間の密度差によってループ内を循環する。このため、本装置は酸素移動速度や液の混合速度が大きく²⁾、かつ、構造が簡単で駆動部がないため大型化が可能である。さらに、下降管に熱交換器や分離器などを取り付けることも可能であり、好気性培養装置として優れた特徴を備えている。

本研究では、パン酵母を用い、増殖速度に及ぼす操作条件と培地組成の影響を調べ、エアリフト型気泡塔の培養特性について検討した。さらに、構造化モデルによる培養過程のシミュレーションを試みた。

1. 実 験

(1) 実験装置及び方法 Fig. 1に装置の概略図を示した。用いた塔はガラス製であり、上昇管内径は60mm、下降管内径は40mm、塔高は640 mmである。上下2本の連結管の内径は、下降管の内径と同じである。孔径1 mmのガス分散用ノズルは上昇管下部に取り付けられている。培養温度を一定に保つため、塔は恒温室にセットした。

液は回分で、仕込量は2.28Lとした。パン酵母500mg(湿潤重量)を植菌し、空気を流して培養を開始した。空気はコンプレッサーから圧送し、流量調節の後、メンブ

ランフィルターを通して除菌し、塔に供給した。用いた酵母は鐘化製とオリエンタル酵母製の2種類である。所定時間毎に液を採取し、温度、グルコース濃度、乾燥菌体量、生菌数、及びpHを測定した。初発pHは全て6.0である。実験条件をTable 1に示した。

(2) 測定法と分析法 グルコース濃度はグルコースCテストキットワコーを用いて測定した。生菌数は、メチレンブルー染色法によりThomaの計算盤を用いて計数し

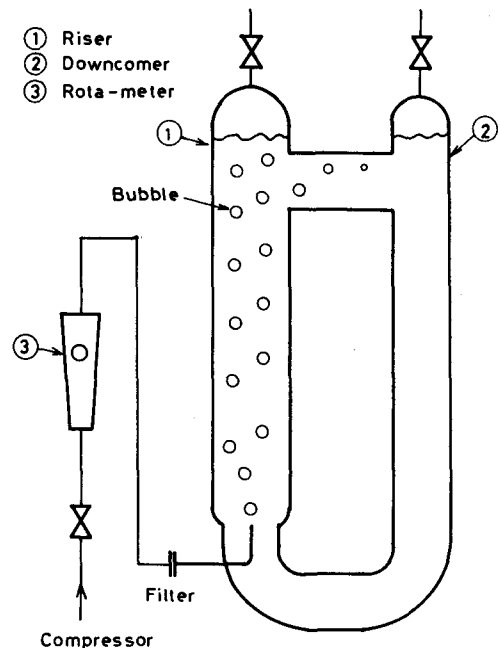


Fig. 1 Experimental setup

Table 1 Experimental conditions

Run No.	Temp. [°C]	Gas flow rate		Concentrations [g/ L]				Maker of Yeast
		[mL/min]	[vvm]	C _G	C _E	C _M	C _P	
1	25	700	0.307	50	3	3	5	Kaneka Co. Ltd.
2	30							
3	30	1550	0.680	100	6	6	10	Oriental Yeast Co.Ltd.
4		700	0.307	100	6	6	10	
5		1550	0.680	50	3	3	5	
6		700	0.307	100	3	3	5	
7		700	0.307	50	6	6	10	

Note: C_G, C_E, C_M and C_P are Concentrations of glucose, yeast extract, malt extract and peptone

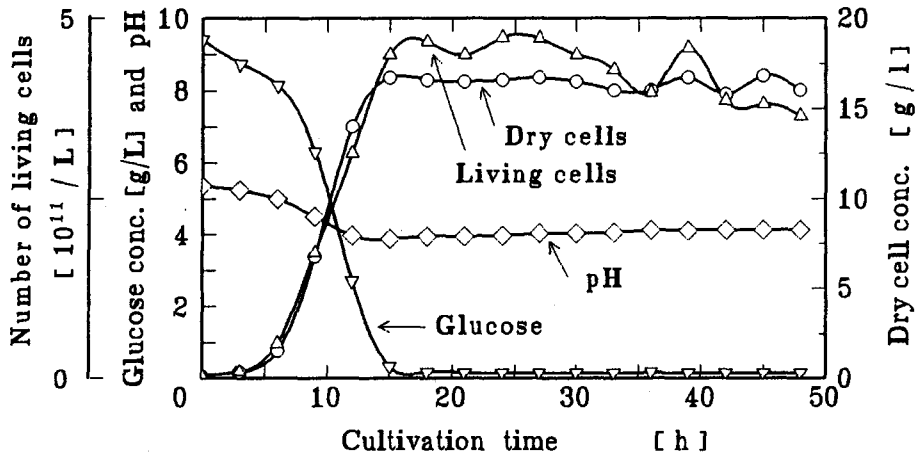


Fig. 2 Typical cultivation curve

た。乾燥菌体量は、予め作成しておいた乾燥菌体量と吸光度の関係を表す検量線を用い、吸光度を測定して求めた。代謝産物のエタノールはガスクロマトグラフィーによって定量した。

2. 実験結果及び検討

(1) 培養曲線 Fig. 2に培養曲線の一例を示した。誘導期間、対数増殖期間、定常期間が明瞭に分かる。培養時間が30時間以上になると、乾燥菌体量はほぼ一定であるにも関わらず、生菌数が減少し始めており、死滅期間が認められる。pHは、対数増殖期間では急激に減少するが、定常期間ではほぼ一定値を保っている。

Fig. 2に示したように、乾燥菌体量の変化は、基質であるグルコース濃度の減少、生菌数の増加およびpHの変化とよく対応している。以下では、乾燥菌体量の経時変化(増殖曲線)が培養特性を代表していると考え、増殖曲線について検討した。

(2) 温度の影響 Fig. 3にRun 1及び2の増殖曲線を示

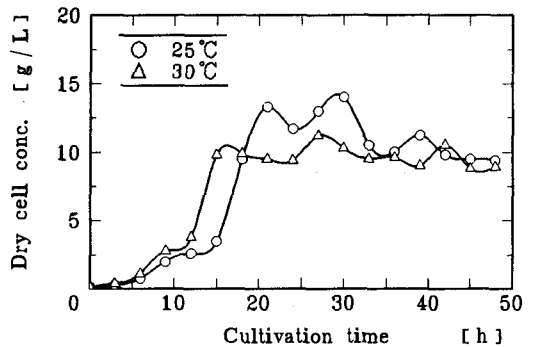


Fig. 3 Growth curve at 25°C and 30°C

した。培養温度は25°C (Run 1) と30°C (Run 2) であり、温度以外の条件は全て同一である。誘導期間は25°Cの場合には約15時間であるが、30°Cの場合には約12時間になり、温度が高いほど誘導期間は短い。

(3) ガス流速の影響 Fig. 4に、Run 3~7の増殖曲線を示した。Table 1 に示したように、Run 3とRun 4は、ガス流量のみが異なり、他の条件は全て同一である。尚

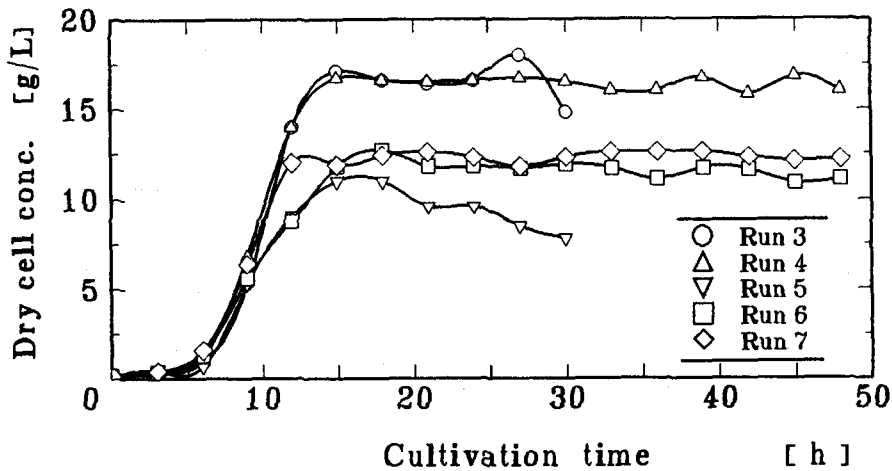


Fig. 4 Growth curve of yeast at various conditions

者の比較から、増殖曲線はガス流速の影響を殆ど受けていないことが分かる。

(4) 培地組成の影響 Fig. 4に示したRun 4とRun 7を比較する。Table 1 から分かるように、この2つの実験は、グルコース濃度のみが異なり、Run 4の場合には100g/L、Run 7の場合には50 g/Lである。両者の比較から、グルコース濃度が2倍になると、乾燥菌体量は約40%増加することが分かる。

次に、グルコース濃度を一定に保って微量成分（酵母エキス、麦芽エキス、ペプトン）を変化させた Run 4とRun 6を比較する。Table 1 に示したように、Run 4の微量成分の濃度は、Run 6のそれの2倍である。両者の比較から、微量成分の濃度が2倍になると乾燥菌体量は約45%増加することが分かる。

微量成分が少ないRun 5とRun 6では、対数増殖期後半で増殖速度が鈍化している。グルコースと微量成分の両者とも少ない Run 5では定常期が短く、培養時間20時間においてすでに死滅期が始まっている。

以上の結果から、グルコース、微量成分の何れも、酵母の増殖に大きな影響を及ぼすことが分かる。

(5) 乾燥菌体量と生菌数の関係 Fig. 5に乾燥菌体量を生菌個数濃度に対してプロットした。両者の間には直線関係が認められ、酵母1個当りの質量は $3.61 \times 10^{-11} \text{ g} = 36.1 \text{ pg}$ と求められた。

酵母1個の直径は、発育時期や環境によっても異なるが、約 $5 \mu\text{m}$ で、その成分の約80%が水分である¹⁾。従って、密度を 1.0 g/cm^3 とすれば、酵母1個の質量は 65.4 pg 、乾燥重量はその20%の 13.1 pg となる。本実験結果は、この概算値とほぼ一致している。

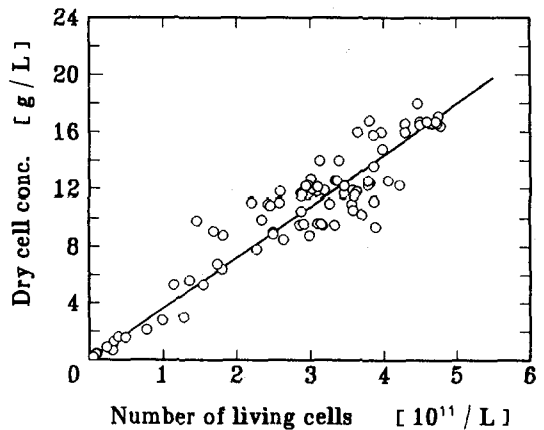


Fig. 5 Relation between weight of dry cells and number of living cells

3. 構造化モデルによる回分培養の解析

Monod は微生物の増殖速度がMichaelis-Mentenの酵素反応速度式と同形の式で表されることを見出した。それ以後、増殖速度に関して種々の数学モデルが提出されている⁹⁾。

ここでは、Tsuchiyaら⁹⁾によって提案された構造化モデルに基づき、回分培養のシミュレーションを試みた。このモデルでは、菌体量は核酸成分Nとそれ以外のタンパク質Pの和であり、かつ、増殖の過程で阻害物質Iが蓄積し、生存菌を死滅させると考える。また、制限基質をSとすると、菌体の重量濃度Xと各成分の重量濃度 X_n 、 X_p 、 X_i 、 X_s の間には次の関係が成立すると仮定する：

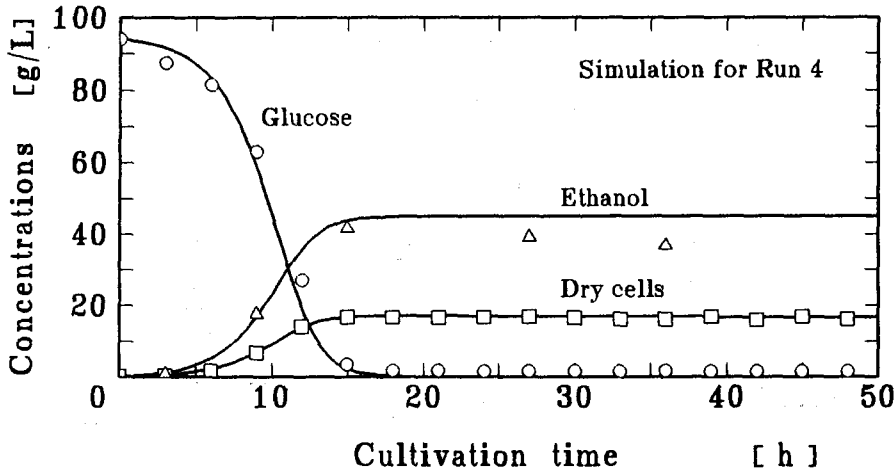


Fig. 6 Simulation of cultivation curve by the structured model

Table. 2 Parameters in the model

$\mu_1 = 1.7$ [h ⁻¹]	$\mu_2 = 1.7$ [h ⁻¹]
$K_{S1} = 10^3$ [g/L]	$K_{S2} = 10^2$ [g/L]
$K_{N1} = 3 \times 10^{-5}$ [g/L]	$K_{N2} = 3 \times 10^{-6}$ [g/L]
$K_1 = 1 \times 10^{-4}$ [g/L]	$K_2 = 2.5 \times 10^{-15}$ [g/L]
$Y_{S1} = 0.8$ [g/L]	$Y_{S2} = 0.15$ [g/L]
$Y_{I1} = 0.3$ [g/L]	$Y_{I2} = 6.0$ [g/L]

- 1) PとNの生成速度は、Monod型の速度式で表される。
- 2) 阻害物質 I はPの生成過程とNの失活過程で生成し、その速度はMonod型の速度式に従う。

この機構を回分培養に適用すると、培養経過は12個のパラメータを含む次の連立微分方程式によって表される。

$$\frac{dX_N}{dt} = \frac{\mu_1 X_S X_N X_P}{(K_{S1} + X_S)(K_{N1} + X_N)} - K_1 X_N X_I \quad (1)$$

$$\frac{dX_P}{dt} = \frac{\mu_2 X_S X_N X_P}{(K_{S2} + X_S)(K_{N2} + X_N)} - K_2 X_P X_I \quad (2)$$

$$\frac{dX_S}{dt} = -\frac{1}{Y_{S1}} \frac{\mu_1 X_S X_N X_P}{(K_{S1} + X_S)(K_{N1} + X_N)} - \frac{1}{Y_{S2}} \frac{\mu_2 X_S X_N X_P}{(K_{S2} + X_S)(K_{N2} + X_N)} \quad (3)$$

$$\frac{dX_I}{dt} = \frac{1}{Y_I} \frac{\mu_2 X_S X_N X_P}{(K_{S2} + X_S)(K_{N2} + X_N)} + K_I \frac{1}{Y_{I2}} X_N X_I \quad (4)$$

ここでは、制限基質Sをグルコース、阻害物質Iをエタノールとし、Run 4を例にとり、実験結果と一致する

ようにパラメータを試行錯誤法により決定した。結果をTable 2に示した。Fig. 6には計算値と実測値の比較を示した。図中の実線は計算値である。計算値と実測値はよく一致しており、構造化モデルによる培養過程のシミュレーションが可能であることが分かった。

結 言

液外部循環式エアリフト型気泡塔を用いて酵母の培養を行い、ガス流速、温度、グルコース及び微量培地成分の影響を調べた。その結果、ガス流速の増殖速度に及ぼす影響はほとんど認められなかった。誘導期間は、温度が高くなるほど短くなった。グルコース、及び微量成分の何れもが増殖速度に大きな影響を与えた。

さらに、構造化モデルに基づいて培養過程のシミュレーションを行い、モデルパラメータを決定した。シミュレーションによる計算値は実測値とよく一致した。

【謝 辞】 本実験には兼島昌司君（現岡山大学）の協力を得ました。ここに記し、深謝いたします。

引用文献

- 1) 相田浩・高尾彰一・栃倉辰六郎・斉藤日向・高橋甫：「応用微生物学 I」、朝倉書店(1981)
- 2) Kawagoe, M. and T. Otake: Proceedings of China-Japan Chemical Engineering Conference, 409(1991)
- 3) Ramkrishna, D., A. G. Fredrickson and Tsuchiya, H. M.: Biotechnol. Bioeng., 9, 129(1967)
- 4) 山根恒夫：「生物反応工学」、産業図書(1980)

回分晶析におけるライプニング現象のシミュレーション

中谷 武志

Simulation of Ripening Phenomena in Batch Crystallization

Takeshi Nakaya

結晶粒径が小さい程溶解度が大きい事が熱力学から分かっている。この事により、ある粒径分布を持った結晶を一定の過飽和溶液に入れておくと、その過飽和度に対する限界粒子径より小さい結晶は溶解し、より大きな結晶に吸収され粒径分布は均一化される。この現象をライプニング現象と呼んでいる。本研究は、核発生速度及び成長速度を数式モデルで表現し、回分晶析におけるライプニング現象のシミュレーションを行い、粒径分布制御への応用について考察した。

1. 緒言

晶析において、粒径を揃える事や、一定の粒径分布を持つことが要求されるようになってきた。この目的のための粒径分布制御は、結晶核発生速度と結晶成長速度を制御することによって行われる。成長速度は過飽和度によって制御できる。核発生速度については、過飽和度だけに依存する一次核発生速度と、過飽和度と同時に槽内の結晶の量及び攪拌の影響を受ける二次核発生速度があり、発生した結晶核はそれらの総和で表されるので、過飽和度と攪拌速度及び結晶量を制御しなければならない

本研究は、既に報告している数式モデル¹⁾を使って、ある分布を持った結晶を過飽和度一定の溶液の中に一定時間入れた場合のシミュレーションを行い、ライプニング現象により粒径分布がどの様に変化していくかを調べた。また、ライプニング現象の積極的応用として、周期的に過飽和度を変化させた場合のシミュレーションを行い、結晶の粒径分布制御への応用可能性について考察した。

2. 理論

2. 1 結晶の表面エネルギー

結晶の表面では分子間の結合の一部が失われているた

め、表面の分子の自由エネルギーは、結晶内部の自由エネルギーに比べて高い状態にある。このエネルギー差が表面エネルギーである。この表面エネルギーを σ とすると半径 r の結晶は $4\pi r^2\sigma$ の表面エネルギーを持つ。もし、 dN molの溶質分子がこの結晶に取り込まれて、結晶の半径が dr 増加するとすれば、その時の表面エネルギーの増加は $8\pi r\sigma dr$ だけ増加する。従って、溶質が結晶粒子に1 mol 組み込まれる度に、

$$8\pi r\sigma\left(\frac{dr}{dN}\right) = \frac{2v\sigma}{r} \quad (1)$$

だけ表面エネルギーが増加する。この事は、半径 r の結晶の溶質1 mol 当たりの自由エネルギーが $2v\sigma/r$ であることを示している。半径 r の結晶の表面エネルギーを $\mu_s(r)$ 、半径 $r=\infty$ の結晶の表面エネルギーを $\mu_s(\infty)$ とすると、

$$\mu_s(r) = \mu_s(\infty) + \frac{2v\sigma}{r} \quad (2)$$

となる。また、 $\mu_s(\infty)$ は飽和溶液中の溶質の自由エネルギー μ_i^0 に等しいと考えられるので、結晶の自由

エネルギーと溶液中の溶質の自由エネルギーの差 $\Delta\mu$ は

$$\Delta\mu = \mu_s(r) - \mu_i^0 = \frac{2v\sigma}{r} \quad (3)$$

となる。

結晶の表面濃度を C_i 、結晶半径 ∞ のに対する平衡溶液濃度を C_s とすると近似的に、

$$\Delta\mu = RT \ln\left(\frac{C_i}{C_s}\right) \quad (4)$$

となる。従って (3)、(4) 式より結晶表面濃度は飽和濃度に対して、

$$C_i = C_s \exp\left(\frac{2v\sigma}{rRT}\right) \quad (5)$$

となる。

2. 2 結晶の成長及び溶解速度

結晶の成長速度、溶解速度は結晶表面濃度と溶液濃度差の二乗に比例すると仮定すると、成長速度は、

$$\frac{dr}{dt} = k \left\{ C - C_s \exp\left(\frac{2v\sigma}{rRT}\right) \right\}^2 \quad (6)$$

$$C - C_s \exp\left(\frac{2v\sigma}{rRT}\right) > 0$$

溶解速度は、

$$\frac{dr}{dt} = -k \left\{ C - C_s \exp\left(\frac{2v\sigma}{rRT}\right) \right\}^2 \quad (7)$$

$$C - C_s \exp\left(\frac{2v\sigma}{rRT}\right) < 0$$

$C - C_s \exp(2v\sigma/rRT) = 0$ の時、結晶粒子は成長も溶解もせず、平衡状態となる。この時の結晶粒子半径を限界粒子径 (r_c) と言い、次式で表される。

$$r_c = \left(\frac{2v\sigma}{RT}\right) \ln\left(\frac{C}{C_s}\right) \quad (8)$$

$$= \left(\frac{2v\sigma}{RT}\right) \ln \phi \quad (9)$$

過飽和度 ϕ を小さくすれば、限界粒子径 r_c が大きくなり、それより小さい結晶粒子は溶解し、大きい粒子は成長する。(6)、(7) 式より、限界粒子径 r_c 付近の結晶の成長速度、溶解速度は粒子径に依存していることが分かる。

2.3 ポピュレーションバランス²⁾

回分晶析における個数収支式は、

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} \left\{ \left(\frac{dr}{dt}\right)_n \right\} - \varepsilon B = 0 \quad (10)$$

となる。

また、全溶質の物質収支は、

$$\frac{d}{dt} \left\{ \varepsilon C + (1-\varepsilon) \left(\frac{\rho}{M}\right) \right\} = 0 \quad (11)$$

ここで、結晶の成長速度または溶解速度 dr/dt は (6)、(7) 式で表わされる。また、核発生速度は 1 次核発生速度と 2 次核発生速度の和と考えると、

$$B = \{ k_1 \Delta C + k_2 A \Delta C \} \delta(r_c) \quad (12)$$

2. 4 集中定数化による数値計算法

図 1. の様に粒径分布を集中定数化して表現すると、単位体積中の結晶の各粒子半径範囲にある個数収支式は以下の様になる。

$$\frac{dN_h}{dt} = 0 \quad (h=1) \quad (13)$$

$$\frac{dN_h}{dt} = -\frac{N_{h+1}}{\Delta T_{h+1}} + \frac{N_h}{\Delta T_h} \quad (14)$$

($h=2, \dots, j-1$ 結晶溶解領域)

$$\frac{dN_h}{dt} = \varepsilon B - \frac{N_h}{\Delta T_h} \quad (h=j \text{ 核発生領域}) \quad (15)$$

$$\frac{dN_h}{dt} = -\frac{N_h}{\Delta T_h} + \frac{N_{h-1}}{\Delta T_{h-1}} \quad (16)$$

($h=j+1, \dots, m$ 結晶成長領域)

N_h は結晶が R_h から R_{h+1} の大きさの範囲にはいる単位体積当たりの結晶の個数、 ΔT_h は結晶が R_h から R_{h+1} の大きさに成長するに要する時間である。

$$\Delta T_h = \int_{R_h}^{R_{h+1}} \left(\frac{1}{dr/dt} \right) dr \quad (17)$$

槽内の溶液濃度変化は、

$$\frac{dC}{dt} = -\phi v \left(\frac{\rho}{M} - C \right) \left(\frac{R_i + R_{i+1}}{2} \right)^3 \varepsilon B$$

$$+ \sum_{h=1}^{j-1} \phi v \left(\frac{\rho}{M} - C \right) \left(\frac{R_h + R_{h+1}}{2} \right)^3 \left(-\frac{N_{h+1}}{\Delta T_{h+1}} \right.$$

$$\left. + \frac{N_h}{\Delta T_h} \right)$$

$$+ \sum_{h=j+1}^m \phi v \left(\frac{\rho}{M} - C \right) \left(\frac{R_h + R_{h+1}}{2} \right)^3 \left(-\frac{N_{h+1}}{\Delta T_{h+1}} \right.$$

$$\left. + \frac{N_h}{\Delta T_h} \right) \quad (18)$$

ここで、右辺第1項は核発生による単位時間当たりの濃度変化、第2項は溶解による単位時間当たりの濃度変化、第3項は結晶の成長による単位時間当たりの濃度変化を表す。

化を表す。

シミュレーションは硫酸銅の晶析について行った。使用した数値データを、以下に示す。

結晶の成長速度 $dr/dt = 0.33 \times 10^{11} \Delta C^2 \mu/hr$

一次核発生速度定数 $k_1 = 0.5 \times 10^4 \text{ l/mol} \cdot \mu \cdot hr$

二次核発生速度定数 $k_2 = 0.5 \times 10^3 \text{ l}/\mu^3 \cdot hr \cdot mol$

結晶のmol密度 $\rho/M = 9.16 \times 10^3 \text{ mol}/\text{cm}^3$

体積形状係数 $\phi v = 8$

界面エネルギー $\sigma = 20 \text{ erg}/\text{cm}^2$

飽和溶解度曲線 $C_s = \exp(-3.482 - 9.553 \times 10^3 / (T-43))$

mol/cm^3

結晶 i mol 当たりの体積 $v = 109.2 \text{ cm}^3/\text{mol}$

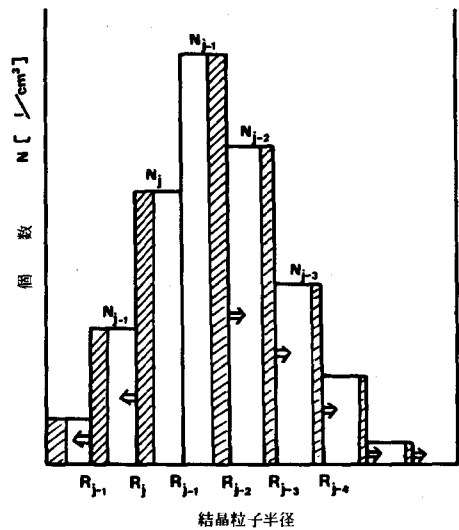


図1. 個数分布

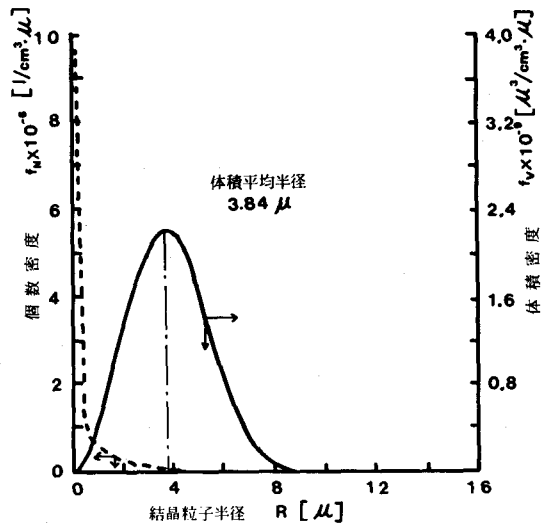


図2. 初期状態における個数密度分布および体積密度分布

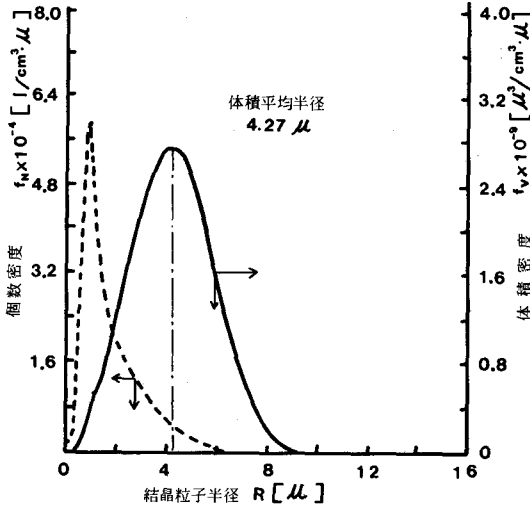


図3. 10時間後の個数密度分布および体積密度分布

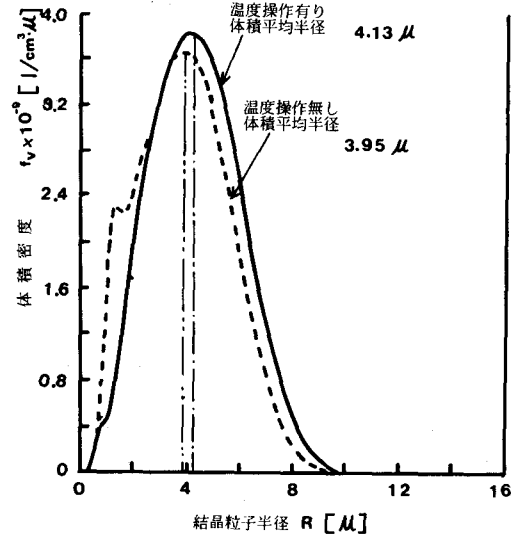


図4. 温度操作無しの場合と温度操作した場合の10時間後の体積密度分布の比較

3. 結果と考察

図2. は初期状態の粒径分布で、図3. はその結晶を過飽和度1.002の状態から回分操作で10時間経過させた時の粒径分布のシミュレーション結果を示す。溶液濃度はほとんど変わらず、粒径の小さい結晶が溶解し平均粒径が上昇しているのが分かった。結晶核発生速度は、過飽和度が非常に小さいので殆ど2次核発生支配となっていた。過飽和度1.002における限界粒子径半径が約1μとなっている。粒径分布が粒径の大きい範囲にある場合、粒径分布制御は、限界粒子径半径の大きい条件で制御しなければならない。これは、ほとんど飽和に近い条件なので、溶解速度、成長速度が共に小さくライブニングの効果が観察されるには長時間要することが分かる。比較的控制し易い過飽和度1.01では、限界粒子径半径は約0.2μであり、ライブニング現象を応用した粒径分布制御は粒径分布範囲が約10μ以下の時が効果的と考えられる。

最近超微粒子で揃った粒径が要求されているが、このような非常に平均粒径が小さい場合にライブニング現象が積極的に応用できると考えられる。

図4. は30℃飽和溶液を29℃で一定にした場合と、過飽和度を周期的に変化させた場合の粒径分布変化をシミュレーションしたものです。過飽和度の周期変化は、30℃飽和溶液を、6分間27℃に10時間29℃に保つという温度操作で行った。この時、温度27℃における限界粒子径半径は0.05μ、29℃における限界粒子径半径は0.31μとなる。温度操作により、過飽和度を

周期的に変化させほうが温度操作をしない場合に比較して結晶径が大きくなっており、よりライブニング現象を効果的に応用できることが分かった。

4. 結言

ライブニング現象により、限界粒子径より小さい結晶を溶解させ、より大きな結晶に溶質を吸収させ、粒径分布を揃えることができる。しかし、制御する粒子径半径が数十μ以上の場合に、過飽和度を非常に小さく制御しなければならないので結晶の成長速度が小さく、ライブニング効果が表れるまでの時間が長くなる。周期的に過飽和度を変化させることによって、その欠点が少し改善されたが、十分ではなかった。しかし、非常に小さい結晶の場合、ライブニングの効果が表れる時間が短く、粒径分布を均一化する制御の一つとしてライブニング現象を応用することが可能であると思う。

文献

- (1) 中谷：奈良高専紀要24号(昭和63年)
- (2) Steven M. Shor and M.A. Larson: Chem. Eng. Prog., Ser., 67-110, 32(1971)

MS-algebra に双対な代数系について

荒金 憲一

On a dual algebra of MS-algebras

Kenichi ARAGANE

In [3], MS-algebra (MSA) was defined as a common abstraction of de Morgan algebras (MA) and Stone algebras (SA). MA is equivalent to weak fuzzy set calculus (WFS) defined in [4] and SA is also equivalent to pseudo-fuzzy algebra (PFA) defined in [2]. In [1], we defined quasi-fuzzy algebra (QFA) which is the dual of PFA. In this paper, we consider MA^* and QFA^* which are equivalent to MA and QFA, respectively. And we define MQ-algebra (MQA) as a common abstraction of MA^* and QFA^* which is the dual of MSA. Moreover we define MQS-algebra (MQSA) as a common abstraction of MQA and MSA.

1. WFS, MA and MA^*

タイプ $(2, 2, 1, 0, 0)$ の代数系 $\mathfrak{A} = (A; \wedge, \vee, \neg, 0, 1)$ を考える.

[定義1] A の任意の元 x, y, z に対して, 次の $F1 \sim F9$ が成り立つとき, 代数系 \mathfrak{A} を弱ファジー集合算(WFS)とよぶ.

$$\begin{array}{ll}
 F1 \ x \wedge 0 = 0 & F1^* \ x \vee 1 = 1 \\
 F2 \ x \wedge 1 = x & F2^* \ x \vee 0 = x \\
 F3 \ x \wedge x = x & F3^* \ x \vee x = x \\
 F4 \ x \wedge y = y \wedge x & F4^* \ x \vee y = y \vee x \\
 F5 \ (x \wedge y) \wedge z = x \wedge (y \wedge z) & F5^* \ (x \vee y) \vee z = x \vee (y \vee z) \\
 F6 \ x \wedge (x \vee y) = x & F6^* \ x \vee (x \wedge y) = x \\
 F7 \ x \wedge (y \vee z) = (x \wedge y) \vee (x \wedge z) & F7^* \ x \vee (y \wedge z) = (x \vee y) \wedge (x \vee z) \\
 F8 \ \neg(x \wedge y) = \neg x \vee \neg y & F8^* \ \neg(x \vee y) = \neg x \wedge \neg y \\
 F9 \ \neg \neg x = x &
 \end{array}$$

[注意1]

(1) $F2, F2^*, F4^*, F8, F9$ が成り立つとき $\neg 0 = 1, \neg 1 = 0$ が成り立つ.

(2) $F4, F4^*, F6, F6^*$ が成り立つとき $x \wedge y = x \iff x \vee y = y$ が成り立つ.

(証明)

(1) : $F2$ で x を $\neg 0$ にして両辺に否定をとると, $F8, F4^*, F9$ より $\neg 1 \vee 0 = 0$. また, $F2^*$ で x を $\neg 1$ にすると $\neg 1 \vee 0 = \neg 1$ であるから $\neg 1 = 0$ が成り立つ. さらにこの両辺に否定をとると, $F9$ より $\neg 0 = 1$ が成り立つ.

(2) : \Rightarrow について. $F4, F4^*, F6^*$ と仮定より $y = y \vee (y \wedge x) = x \vee y$. \Leftarrow についても双対にできる.

(証明終)

[定義2] WFS の公理から $F2, F2^*, F8^*$ を除き $\neg 1 = 0$ を付け加えたものが成り立つ代数系 \mathfrak{A} を de Morgan algebra (MA) とよぶ.

[定義 3] WFS の公理から F2, F2°, F8 を除き $\neg 0 = 1$ を付け加えたものが成り立つ代数系 \mathfrak{A} を MA* とよぶ.

[補題 1]

(1) \mathfrak{A} は WFS である $\Leftrightarrow \mathfrak{A}$ は MA である.

(2) \mathfrak{A} は WFS である $\Leftrightarrow \mathfrak{A}$ は MA* である.

(証明)

(1) : \Rightarrow について. 注意 1 の(1)から明らかである. \Leftarrow について. F1° と注意 1 の(2)から F2 が成り立つ.

F2° も同様である. $\neg(x \vee y) = \neg(\neg \neg x \vee \neg \neg y) = \neg \neg(\neg x \wedge \neg y) = \neg x \wedge \neg y$ から F8° が成り立つ.

(2) : (1)と同様にできる.

(証明終)

2. QFA and QFA*

[1] において, QFA は次のように定義されている.

[定義 4] A の任意の元 x, y, z に対して, 定義 1 の F1 ~ F8° と次の F10, F11 が成り立つとき, 代数系 \mathfrak{A} を準ファジイ代数(QFA)とよぶ.

$$F10 \quad \neg \neg x \vee x = x$$

$$F11 \quad x \vee \neg x = 1.$$

[1] の注意 1 の(1)から, 次のことが成り立つ.

[注意 2] F2°, F4°, F10, F11 が成り立つとき $\neg 0 = 1, \neg 1 = 0$ が成り立つ.

[定義 5] QFA の公理から F2, F2°, F8, F10 を除き $\neg 1 = 0$ を付け加えたものが成り立つ代数系 \mathfrak{A} を QFA* とよぶ.

[補題 2] \mathfrak{A} は QFA である $\Leftrightarrow \mathfrak{A}$ は QFA* である.

(証明)

\Rightarrow : 明らかである.

\Leftarrow : F2 と F2° は補題 1 の(1)と同様である.

F8 : F6° の両辺に否定をとると $\neg x = \neg x \wedge \neg(x \wedge y)$. 注意 1 の(2)から

$$\neg(x \wedge y) \vee \neg x = \neg(x \wedge y) \cdots \cdots (a).$$

$$y = y \vee (x \wedge y) \text{ の両辺に否定をとる, 注意 1 の(2)から } \neg(x \wedge y) \vee \neg y = \neg(x \wedge y) \cdots \cdots (b).$$

$$(a), (b) \text{ と } F5^\circ \text{ から } \neg(x \wedge y) \vee (\neg x \vee \neg y) = \neg(x \wedge y) \cdots \cdots (c).$$

$$\begin{aligned} \text{また } (x \wedge y) \vee (\neg x \vee \neg y) &= ((x \wedge y) \vee \neg x) \vee \neg y = ((x \vee \neg x) \wedge (y \vee \neg x)) \vee \neg y = \\ &= (1 \wedge (y \vee \neg x)) \vee \neg y = (y \vee \neg y) \vee \neg x = 1 \vee \neg x = 1 \text{ の両辺に否定をとると } \neg(x \wedge y) \\ &\wedge \neg(\neg x \vee \neg y) = 0. \text{ これから } \neg x \vee \neg y = (\neg x \vee \neg y) \vee 0 = (\neg x \vee \neg y) \vee (\neg(x \wedge y) \\ &\wedge \neg(\neg x \vee \neg y)) = ((\neg x \vee \neg y) \vee \neg(x \wedge y)) \wedge ((\neg x \vee \neg y) \vee \neg(\neg x \vee \neg y)) = \\ &= ((\neg x \vee \neg y) \vee \neg(x \wedge y)) \wedge 1 = \neg(x \wedge y) \vee (\neg x \vee \neg y) \cdots \cdots (d). \end{aligned}$$

よって, (c), (d) から $\neg(x \wedge y) = \neg x \vee \neg y$ が成り立つ.

$$\begin{aligned} F10 : \neg \neg x \vee x &= (\neg \neg x \vee x) \wedge 1 = (\neg \neg x \vee x) \wedge (x \vee \neg x) = ((\neg \neg x \vee x) \wedge x) \\ &\vee ((\neg \neg x \vee x) \wedge \neg x) = x \vee ((\neg \neg x \vee x) \wedge \neg x) = x \vee ((\neg \neg x \wedge \neg x) \vee (x \wedge \neg x)) \\ &= x \vee ((\neg(x \vee \neg x) \vee (x \wedge \neg x)) = x \vee (0 \vee (x \wedge \neg x)) = x \vee (x \wedge \neg x) = x. \end{aligned}$$

(証明終)

3. PFA, SA and MSA

[2] において, PFA は次のように定義されている.

[定義6] A の任意の元 x, y, z に対して, 定義1の $F1 \sim F8^\circ$ と次の $F12, F13$ が成り立つとき, 代数系 \mathfrak{A} を擬ファジイ代数(PFA)とよぶ.

$$F12 \quad x \vee \neg \neg x = \neg \neg x$$

$$F13 \quad x \wedge \neg x = 0.$$

[2] の注意1の(1)から, 次のことが成り立つ.

[注意3] $F1^\circ, F4, F4^\circ, F8^\circ, F12, F13$ が成り立つとき $\neg 0 = 1, \neg 1 = 0$ が成り立つ.

[定義7] PFA の公理から $F2, F2^\circ, F8^\circ, F12$ を除き $\neg 0 = 1$ を付け加えたものが成り立つ代数系 \mathfrak{A} を Stone algebra (SA) とよぶ.

[補題3] \mathfrak{A} は PFA である $\Leftrightarrow \mathfrak{A}$ は SA である.

(証明)

\Rightarrow : 明らかである.

\Leftarrow : $F2$ と $F2^\circ$ は補題1の(1)と同様である.

$F8^\circ$: 補題2と双対にできる. つまり, $F6$ の両辺に否定をとると $\neg x = \neg x \vee \neg(x \vee y)$. 注意1の(2)から $\neg(x \vee y) \wedge \neg x = \neg(x \vee y)$ …… (a).

$y = y \wedge (x \vee y)$ の両辺に否定をとり, 注意1の(2)から $\neg(x \vee y) \wedge \neg y = \neg(x \vee y)$ …… (b).

(a), (b) から $\neg(x \vee y) \wedge (\neg x \wedge \neg y) = \neg(x \vee y)$ …… (c).

また $(x \vee y) \wedge (\neg x \wedge \neg y) = (x \wedge \neg x \wedge \neg y) \vee (y \wedge \neg x \wedge \neg y) = 0 \vee 0 = 0$ の両辺に否定をとると $\neg(x \vee y) \vee \neg(\neg x \wedge \neg y) = 1$. これから $\neg x \wedge \neg y = (\neg x \wedge \neg y) \wedge 1 = (\neg x \wedge \neg y) \wedge (\neg(x \vee y) \vee \neg(\neg x \wedge \neg y)) = ((\neg x \wedge \neg y) \wedge \neg(x \vee y)) \vee ((\neg x \wedge \neg y) \wedge \neg(\neg x \wedge \neg y)) = ((\neg x \wedge \neg y) \wedge \neg(x \vee y)) \vee 0 = \neg(x \vee y) \wedge (\neg x \wedge \neg y)$ …… (d).

よって, (c), (d) から $\neg(x \vee y) = \neg x \wedge \neg y$ が成り立つ.

$F12$: $\neg \neg x = \neg \neg x \vee 0 = \neg \neg x \vee (x \wedge \neg x) = (\neg \neg x \vee x) \wedge (\neg \neg x \vee \neg x) = (\neg \neg x \vee x) \wedge \neg(\neg x \wedge x) = (\neg \neg x \vee x) \wedge \neg 0 = (\neg \neg x \vee x) \wedge 1 = \neg \neg x \vee x$.

(証明終)

[3] において, MA と SA に共通な代数系として MSA は次のように定義されている.

[定義8] A の任意の元 x, y, z に対して, 定義1の $F1, F1^\circ, F3, F3^\circ, F4, F4^\circ, F5, F5^\circ, F6, F6^\circ, F7, F7^\circ$ と次の $MS1, MS2, MS3$ が成り立つとき, 代数系 \mathfrak{A} を MS-algebra (MSA) とよぶ.

$$MS1 \quad x \vee \neg \neg x = \neg \neg x$$

$$MS2 \quad \neg(x \wedge y) = \neg x \vee \neg y$$

$$MS3 \quad \neg 1 = 0.$$

4. MQA and MQSA

MA* と QFA* に共通な代数系として, MQA を次のように定義する.

[定義9] A の任意の元 x, y, z に対して, 定義1の $F1, F1^*, F3, F3^*, F4, F4^*, F5, F5^*, F6, F6^*, F7, F7^*$ と次の MQ1, MQ2, MQ3 が成り立つとき, 代数系 \mathfrak{A} を MQ-algebra (MQA) とよぶ.

$$\text{MQ1} \quad \neg \neg x \vee x = x$$

$$\text{MQ2} \quad \neg (x \vee y) = \neg x \wedge \neg y$$

$$\text{MQ3} \quad \neg 0 = 1.$$

[注意4] MQA において次のことが成り立つ.

(1) $\neg \neg 0 = 0.$

(2) $\neg \neg \neg x = \neg x.$

(3) $\neg 1 = 0.$

(証明)

(1) : MQ1 で x を 0 にすると $\neg \neg 0 \vee 0 = 0$. 補題1の (1) と同様に $F2^*$ が成立するから $\neg \neg 0 \vee 0 = \neg \neg 0$. よって $\neg \neg 0 = 0$ が成り立つ.

(2) : MQ1 の両辺に否定をとると MQ2 から $\neg \neg \neg x \wedge \neg x = \neg x$. また $F6, \text{MQ1}$ より $\neg \neg \neg x = \neg \neg \neg x \wedge (\neg \neg \neg x \vee \neg x) = \neg \neg \neg x \wedge \neg x$ であり, $\neg \neg \neg x = \neg x$ が成り立つ.

(3) : MQ1 で x を 0 にすると, MQ3 より $0 = \neg \neg 0 \vee 0 = \neg 1 \vee 0$. また, $F2^*$ より $\neg 1 \vee 0 = \neg 1$. よって $\neg 1 = 0$ が成り立つ. (証明終)

[定義10] x, y を A の任意の元とする. 代数系 \mathfrak{A} において $x \wedge y = x$ を $x \leq y$ と書く.

[1] と同様に次の定理が成り立つ.

[定理1]

\mathfrak{A} は MQA であり, 定義10により $x \leq y$ が定義される \Leftrightarrow A の任意の元 x, y, z に対して \mathfrak{A} で次の T1 ~ T12 が成り立つ.

T1 $x \leq x$

T2 $x \leq y, y \leq x \Rightarrow x = y$

T3 $x \leq y, y \leq z \Rightarrow x \leq z$

T4 $x \leq y \Leftrightarrow x \vee y = y$

T5 $0 \leq x$

T5' $x \leq 1$

T6 $x \wedge y \leq x, x \wedge y \leq y$

T6' $x \leq x \vee y, y \leq x \vee y$

T7 $z \leq x, z \leq y \Rightarrow z \leq x \wedge y$

T7' $x \leq z, y \leq z \Rightarrow x \vee y \leq z$

T8 $x \wedge (y \vee z) \leq (x \wedge y) \vee (x \wedge z)$

T8' $(x \vee y) \wedge (x \vee z) \leq x \vee (y \wedge z)$

T9 $x \leq y \Rightarrow \neg y \leq \neg x$

T9' $\neg \neg x \leq \neg \neg y \Leftrightarrow \neg y \leq \neg x$

T10 $\neg \neg x \leq x$

T11 $\neg x \wedge \neg y \leq \neg (x \vee y)$

T12 $x \leq \neg 0$.

(証明)

\Rightarrow :

T1 : $F3$ から成り立つ.

T2 : $x \leq y, y \leq x$ とすると $x \wedge y = x, y \wedge x = y$ であり, $F4$ から成り立つ.

T3 : $x \leq y, y \leq z$ とすると $x \wedge y = x, y \wedge z = y$ であり, F5 から $x \wedge z = (x \wedge y) \wedge z = x \wedge (y \wedge z) = x \wedge y = x$ で成り立つ.

T4 : 注意1の(2)から成り立つ.

T5 : F4, F1 から $0 \wedge x = x \wedge 0 = 0$ で成り立つ.

T5° : F1° と T4 から成り立つ.

T6 : F5, F4, F3 から $(x \wedge y) \wedge x = (x \wedge x) \wedge y = x \wedge y$ で $x \wedge y \leq x$ が成り立つ.

同様に $x \wedge y \leq y$ も成り立つ.

T6° : F6 から $x \leq x \vee y$ が成り立つ. F4° と F6 から $y \leq x \vee y$ も成り立つ.

T7 : $z \leq x, z \leq y$ とすると $z \wedge x = z, z \wedge y = z$ であり, F5 から $z \wedge (x \wedge y) = (z \wedge x) \wedge y = z \wedge y = z$ で成り立つ.

T7° : $x \leq z, y \leq z$ とすると $x \wedge z = x, y \wedge z = y$ であり, F4 と F7 から $(x \vee y) \wedge z = (x \wedge z) \vee (y \wedge z) = x \vee y$ で成り立つ.

T8 : F7 と F3 から $(x \wedge (y \vee z)) \wedge ((x \wedge y) \vee (x \wedge z)) = (x \wedge (y \vee z)) \wedge (x \wedge (y \vee z)) = x \wedge (y \vee z)$ で成り立つ.

T8° も同様に成り立つ.

T9 : $x \leq y$ とすると T4 より $x \vee y = y$. 両辺に否定をとると, MQ2 から $\neg x \wedge \neg y = \neg y$ となり成り立つ.

T9° : \Rightarrow について. $\neg \neg x \leq \neg \neg y$ とすると T4 より $\neg \neg x \vee \neg \neg y = \neg \neg y$. 両辺に否定をとると MQ2, F4 と注意4の(2)から $\neg y \wedge \neg x = \neg y$ となり成り立つ.

\Leftarrow について. T9 から成り立つ.

T10 : MQ1 と T4 から成り立つ.

T11 : MQ2 と F3 から $(\neg x \wedge \neg y) \wedge \neg (x \vee y) = (\neg x \wedge \neg y) \wedge (\neg x \wedge \neg y) = \neg x \wedge \neg y$ となり成り立つ.

T12 : MQ3, F1°, T4 から $x \vee \neg 0 = x \vee 1 = 1 = \neg 0$ で成り立つ.

\Leftarrow :

$x \leq y \Leftrightarrow x \wedge y = x$ であること. \Rightarrow について. $x \leq y$ とすると $x \leq x$ に T7 を使って $x \leq x \wedge y$.

また, T6 より $x \wedge y \leq x$. よって, T2 から $x \wedge y = x$ が成り立つ. \Leftarrow について. $x \wedge y = x$ とすると T6 より $x \wedge y \leq y$ であり, $x \leq y$ が成り立つ.

F4 : T6 から $x \wedge y \leq y, x \wedge y \leq x$ であり, T7 より $x \wedge y \leq y \wedge x$. 同様に $y \wedge x \leq x \wedge y$ で T2 から成り立つ.

F4° : T6°, T7° と T2 から同様に成り立つ.

F1 : T5 と F4 から成り立つ.

F1° : T5° と T4 から成り立つ.

F3 : T1 から成り立つ.

F3° : T1 と T4 から成り立つ.

F5 : T6 から $(x \wedge y) \wedge z \leq x \wedge y$. これと T6 の $x \wedge y \leq x, x \wedge y \leq y$ で T3 を使うと $(x \wedge y) \wedge z \leq x \cdots \cdots (1), (x \wedge y) \wedge z \leq y \cdots \cdots (2)$.

また T6 から $(x \wedge y) \wedge z \leq z$. (2) とこれに T7 を使うと $(x \wedge y) \wedge z \leq y \wedge z \cdots \cdots (3)$.

(1) と (3) に T7 を使うと $(x \wedge y) \wedge z \leq x \wedge (y \wedge z)$. 同様に $x \wedge (y \wedge z) \leq (x \wedge y) \wedge z$. よって, T2 から成り立つ.

F5° も同様に成り立つ.

F6 : T6° の $x \leq x \vee y$ から成り立つ.

F6° : T6 の $x \wedge y \leq x$ と T4 から $(x \wedge y) \vee x = x$ であり, F4° より成り立つ.

F7 : T6 から $x \wedge y \leq x$, $x \wedge z \leq x$ であり, T7° を使うと $(x \wedge y) \vee (x \wedge z) \leq x$ …… (1).

T6, T6° から $x \wedge y \leq y$, $y \leq y \vee z$ であり, T3 を使うと $x \wedge y \leq y \vee z$. 同様に $x \wedge z \leq z$, $z \leq y \vee z$ から $x \wedge z \leq y \vee z$. これらに T7° を使うと $(x \wedge y) \vee (x \wedge z) \leq y \vee z$ …… (2).

(1), (2) で T7 を使うと $(x \wedge y) \vee (x \wedge z) \leq x \wedge (y \vee z)$ …… (3).

そこで T8 と (3) で T2 を使えば成り立つ.

F7° も同様に成り立つ.

MQ1 : T10 と T4 から成り立つ.

MQ2 : T6° で T9 を使うと $\neg(x \vee y) \leq \neg x$, $\neg(x \vee y) \leq \neg y$ であり, T7 から $\neg(x \vee y) \leq \neg x \wedge \neg y$. そこで, これと T11 に T2 を使うと成り立つ.

MQ3 : T5° より $\neg 0 \leq 1$. また, T12 から $1 \leq \neg 0$. よって, T2 により成り立つ. (証明終)

定理1と同様に次のことが成り立つ.

[注意5] \mathfrak{A} は MSA であり, 定義10により $x \leq y$ が定義される $\Leftrightarrow A$ の任意の元に対して \mathfrak{A} で定理1の T1 ~ T9° と次の T10°, T11°, T12° が成り立つ.

$$T10^\circ \quad x \leq \neg \neg x$$

$$T11^\circ \quad \neg(x \wedge y) \leq \neg x \vee \neg y$$

$$T12^\circ \quad \neg 1 \leq x.$$

[補題4] MQA において $\neg(x \wedge y) = \neg x \vee \neg y$ が成り立つ.

(証明)

T6 に T9 を使うと $\neg x \leq \neg(x \wedge y)$, $\neg y \leq \neg(x \wedge y)$ であり, T7° から $\neg x \vee \neg y \leq \neg(x \wedge y)$ …… (a).

T6, T10 から $\neg \neg x \wedge \neg \neg y \leq \neg \neg x \leq x$, $\neg \neg x \wedge \neg \neg y \leq \neg \neg y \leq y$ であり, T7 から $\neg \neg x \wedge \neg \neg y \leq x \wedge y$. T9, MQ2, T10 から $\neg(x \wedge y) \leq \neg(\neg \neg x \wedge \neg \neg y) = \neg \neg(\neg x \vee \neg y) \leq \neg x \vee \neg y$ …… (b).

よって, (a), (b) と T2 から $\neg(x \wedge y) = \neg x \vee \neg y$ が成り立つ. (証明終)

[定義11] A の任意の元 x, y, z に対して, 定義1の F1, F1°, F3, F3°, F4, F4°, F5, F5°, F6, F6°, F7, F7° と定義4の F11 と定義6の F13 が成り立つとき, 代数系 \mathfrak{A} を Boolean algebra (BA) とよぶ.

[定義12] A の任意の元 x, y, z に対して, 定義1の F1, F1°, F3, F3°, F4, F4°, F5, F5°, F6, F6°, F7, F7°, F8, F8° と注意4の (2) が成り立つとき, 代数系 \mathfrak{A} を MQS-algebra (MQSA) とよぶ.

[注意6] \mathfrak{A} は MQSA であり, 定義10により $x \leq y$ が定義される $\Leftrightarrow A$ の任意の元に対して \mathfrak{A} で定理1の T1~T9°, T11 と注意5の T11° と次の T10° が成り立つ.

$$T10^\circ \quad \neg \neg \neg x \leq \neg x.$$

[定理2] 図1のような関係では, 次の (1), (2) が成り立つことを意味するものとする.

(1) 矢印の下の代数系は, 上の代数系の部分系である.

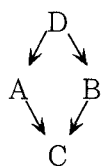
(2) \mathfrak{A} は代数系Aであり, \mathfrak{B} は代数系Bであるとして, 直積 $\mathfrak{A} \times \mathfrak{B}$ を考えると, 次の (i), (ii), (iii) が成り立つ.

(i) $\mathfrak{A} \times \mathfrak{B}$ は代数系Cである.

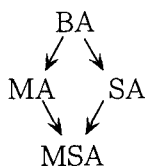
(ii) $\mathfrak{A} \times \mathfrak{B}$ は代数系Aである $\Leftrightarrow \mathfrak{B}$ は代数系Dである.

(iii) $\mathfrak{A} \times \mathfrak{B}$ は代数系Bである $\Leftrightarrow \mathfrak{B}$ は代数系Dである.

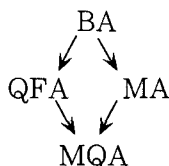
このとき図2の関係が [3] で示されているのと同様に 図3, 図4, 図5 の関係も成り立つ.



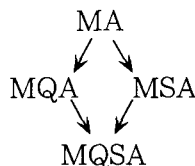
(図 1)



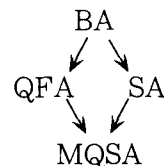
(図 2)



(図 3)



(図 4)



(図 5)

[図 3 について] 次のことが成り立つ.

- (1) \mathfrak{A} は BA である \Rightarrow \mathfrak{A} は QFA である. \mathfrak{A} は BA である \Rightarrow \mathfrak{A} は MA である.
 \mathfrak{A} は QFA である \Rightarrow \mathfrak{A} は MQA である. \mathfrak{A} は MA である \Rightarrow \mathfrak{A} は MQA である.
- (2) \mathfrak{A} は QFA であり, \mathfrak{B} は MA であるとする.
 (i) $\mathfrak{A} \times \mathfrak{B}$ は MQA である.
 (ii) $\mathfrak{A} \times \mathfrak{B}$ は QFA である \Leftrightarrow \mathfrak{B} は BA である.
 (iii) $\mathfrak{A} \times \mathfrak{B}$ は MA である \Leftrightarrow \mathfrak{A} は BA である.

(証明)

(1) : 明らかである.

(2) : (i) : $\neg \neg (x, y) \vee (x, y) = (\neg \neg x \vee x, \neg \neg y \vee y) = (x, y \vee y) = (x, y)$.

(ii) : \Rightarrow について. $y \in \mathfrak{B}$ とする. $(1, 1) = (x, y) \vee \neg (x, y) = (x \vee \neg x, y \vee \neg y)$ から $y \vee \neg y = 1$. さらに, この両辺に否定をとると $y \wedge \neg y = 0$.

\Leftarrow について. $(x, y) \vee \neg (x, y) = (x \vee \neg x, y \vee \neg y) = (1, 1)$.

(iii) : \Rightarrow について. $x \in \mathfrak{A}$ とする. $\neg \neg (x, y) = (x, y)$ から $x = \neg \neg x$.

$x \wedge \neg x = \neg \neg x \wedge \neg x = \neg (\neg x \vee x) = \neg 1 = 0$.

\Leftarrow について. $x \in \mathfrak{A}$ とする. $x = x \wedge 1 = x \wedge (\neg x \vee \neg \neg x) = (x \wedge \neg x) \vee (x \wedge \neg \neg x) = 0 \vee (x \wedge \neg \neg x) = x \wedge \neg \neg x$ であり, $\neg \neg x = \neg \neg x \wedge 1 = \neg \neg x \wedge (x \vee \neg x) = (\neg \neg x \wedge x) \vee (\neg \neg x \wedge \neg x) = (\neg \neg x \wedge x) \vee 0 = \neg \neg x \wedge x$ であるから $x = \neg \neg x$ が成り立つ. よって, $\neg \neg (x, y) = (\neg \neg x, \neg \neg y) = (x, y)$. (証明終)

参考文献

1. 荒金憲一・竹村 康, 準ファジイ代数の完全性について, 大阪産業大学論集 自然科学編 第 90 号 (1992), 1-4.
2. 荒金憲一・竹村 康, 擬ファジイ代数の完全性について, 大阪産業大学論集 自然科学編 第 90 号 (1992), 5-6.
3. T. S. Blyth and J. C. Varlet, On a common abstraction of de Morgan algebras and Stone algebras, Proceedings of the Royal Society of Edinburgh 94A (1983), 301-308.
4. 竹村 康, 弱ファジー集合算のシーケントによる形式化, 大阪産業大学論集 自然科学編 第 88 号 (1991), 39-42.

狂気と視点

片山 悦男

Madness and Point of View

Etsuo KATAYAMA

The governess, the heroine and narrator of Henry James's The Turn of the Screw, continues to see the fantastic figures and be beset with the fear of madness throughout the story. What causes her to see those figures is, for one thing, her point of view based on her idea that the ghosts of Peter Quint and Jessel are trying hard to possess Miles and Flora. Although some evidences which make that idea invalid are often thrust before her, the governess is too afraid of her madness to give up her peculiar idea and point of view in any way. I'd like to consider in this study how the governess's fear of madness and her egotistical point of view are interrelated and lead to the make-up and ending of this story.

この作品の解釈がEdmund Wilsonに代表される幻影説と、Robert Heilmanを初めとする幽霊実在説の二つに分かれていることはよく知られている。私自身の解釈も、基本的には幻影説と意見を同じくするところが多い。しかし、幽霊実在説は言うまでもなく、従来の幻影説にしても、後期のHenry Jamesが視点の技法を駆使した作家だという事実を些か看過しているのではないだろうか。一体、幽霊実在説に視点の技法が入り込む余地があるだろうか。それとも、Jamesはこの作品を金儲けのための単なる幽霊話として書いたのだろうか。また、Wilsonのように、この物語の主人公のgovernessを「性的抑圧を持つ神経症患者」"a neurotic case of sex repression"¹⁾と決め付けてしまえば、確かに彼女は幻影は見るだろうが、視点の技法を応用したとも言える、このような一人称私小説が、そのgoverness自身の筆により成立するものだろうか。更に、最近では、Shoshana FelmanやWilliam R.Goetzがgovernessの狂気に焦点を当てて、注目すべき論文を発表している。彼らは幻影を見ることを狂気と同一視して、その狂気を他者(MilesとFlora)に転嫁することで、governessは自分の正気を証明しようとしていると考える²⁾。しかし、一体、そのような幼い子供達が狂気だなどと考えられるだろうか。また、幻影を見ることはいつも狂気を意味するのだろうか。結論を先に言ってしまうと、幻影を見ることは必ずしも狂気を意味しないというのが私の考え方である。そして、そこに視点の技法が入り込む余地があるように思える。本論で

は、以上のような観点から、亡霊出現の場面も含めて、これまで何度も問題にされてきた、いくつかの場面について考察し、併せて、この物語の中で重要な役割を果たしているMrs.Groseとgovernessの関係についても論考してみたい。

I

3章でBlyの屋敷の塔の上に見知らぬ男の姿を見掛けた後、governessはそのことをMrs.Groseに相談しようと思うが、玄関で会った彼女の穏やかな様子を見て、話すのを止めてしまう。

It came to me straightway, under her contact, that, with plain heartiness, mere relieved anxiety at my appearance, she knew nothing whatever that could bear upon the incident I had there ready for her. I had not suspected in advance that her comfortable face would pull me up, and I somehow measured the importance of what I had seen by my thus finding myself hesitate to mention it. Scarce anything in the whole history seems to me so odd as this fact that my real beginning of fear was one, as I may say, with the instinct of sparing my companion. On the spot, accordingly, in the pleasant hall and with her eyes on me, I, for a reason that I

couldn't then have phrased, achieved an inward revolution...(pp.179-180)⁹⁾(下線部筆者)

後に、governessは、屋敷内に複雑な問題のないことや、自分が召使達から騙されたり、からかわられてはいないことを確かめる。そして、彼女が見た見知らぬ男について、周囲の人々が何も知らないこともわかってくる。こうして、現実的で客観的な「健全な推測」(sane inference)(p.180)が否定されると、問題はgoverness自身にあるのではないかということになる。上記下線部分に「governessの本当の不安は、Mrs.Groseにその話をすまいと本能的に思ったことから始まった」とあるのは、governessが、問題は自分自身にあるのではないかということ、その時本能的に意識していたことを示しているように思える。つまり、その時、governessは自分が幻影を見ていることを本能的に意識していたのである。すると、もう一つの下線部分の「内部の変革」とは、彼女がMrs.Groseの穏やかな顔付きを見て、幻影を見ている自分はMrs.Groseや他の人々とは違うのだということを瞬間的に認識したことを意味することになる。即ち、自分と他人を区別する認識を、瞬間的にではあるが、governessはこの時初めて得たとも言える¹⁰⁾。そして、次に、幻影を見る自分の狂気が、governessにとって問題になる。このように考えていくと、この手記は、John Silver¹¹⁾やGoetz¹²⁾が言うように、自分は狂人ではないと自己弁護し、Blyでの自分の行動を正当化しようとする弁明書とも考えられる。そして、この正当化を主張する一つの手段として、governessは、自分の見た幻影が彼女の内面を投影したものではなくて、彼女とは関係のない、Blyの屋敷に出没する幽霊だと考えようとする。しかし、ここでgovernessは一つの過ちを犯している。つまり、彼女は幻影を見ることと、狂気を同一視しているのである。

一般によく知られているように、Jamesの父親や兄Williamも幻影を見たと言われるが、誰も彼らを狂人だとは思わない。一方、このgovernessは明らかに幻影を見ることを狂気と考え、その狂気に対する恐怖心から、その幻影を他人にも見える、より客観的な幽霊にしようと苦闘する余り、その苦闘の中にMrs.GroseやMilesやFloraを巻き込んでしまう。そして、そのgovernessの苦闘の様子が、逆にMrs.GroseやMilesやFloraから見れば、皮肉にも、狂気そのもののように見えるのである。しかし、それは本来純然たる狂気ではないので、governessは後年より成長した視点からこの手記を書くことができる。

governessがBlyの塔上に見た見知らぬ男は、次に大人用の食堂の窓の外に現れる。その時、その男はgovernessをじっと見詰めはするが、一瞬他の幾つかのものを次々に見回す。その様子を見て、governessは、その男が現れたのはgoverness自身が目的ではなくて、誰か他の人が目的だったのだと確信するようになる(p.184)。この変化こそ、その見知らぬ男がgovernessの内面を投影した幻影ではなくて、彼女とは関係のない幽霊だと考えようとするgovernessの心の変化を端的に表しているように思える。そして、その見知らぬ男が、自分とは関係のない幽霊か何かであるという確信を多少なりとも持てたことから、governessはMrs.Groseにその男の話をする。

governessが話すその男の具体的な特徴が、彼女とは一面識もない、Blyで以前雇われていたPeter Quintの特徴と一致することが、幽霊実在説の一番の論拠であり、反対に幻影説の一番の弱点であることは周知の通りだが、ここに疑問が一つ残る。それは、governessが語るその男の特徴を、Mrs.Groseは生前のQuintの特徴だと言明はしていないことである。この男の特徴は、Heilman¹³⁾やNathan B. Fagin¹⁴⁾が言うように、西洋ではよく知られた悪魔の特徴である。そして、この時点で既にQuintが死んでいることを、Mrs.Groseは当然知っている。Mrs.Groseの視点に立てば、governessの前に現れた男がありふれた悪魔の形相をしていて、Blyの屋敷に関係がありそうだとすれば、死んだQuintが幽霊となってgovernessの前に現れたと考えるのは自然の成り行きのように思える¹⁵⁾。その上、Mrs.Groseによれば、Quintは生前Blyで悪事を行っていたらしく、死ねば天国ではなくて地獄に落ちて悪魔に化けても不思議ではない人物である。しかし、Mrs.Grose自身はgovernessの見知らぬ男についての描写を聞いて、「Quintだわ」と口走ったことを後悔しているらしく、governessがこの話に触れる度に口ごもってしまうのである。“She wished, of course - small blame to her! - to sink the whole subject;”(p.209)

それでも、Quintの名前を口走ったMrs.Groseの動機が何であれ、その発言で、governessの見た見知らぬ男は死んだQuintの亡霊であることが、半ば客観的に裏付けられた形になる。こうして、Mrs.Groseを自分の空想の中に取り込み、彼女の見た見知らぬ男は幻影ではなくてQuintの亡霊であるという点で、Mrs.Groseとの間に意見の一致を見て、governessは自分の狂気に対する恐怖から逃れることができる。“It was the idea...that led me straight out...of the inner chamber of my dread.”(p.194)

そして、governessは見知らぬ男がQuintの亡霊だとい

う考えを更に飛躍させて、Quintの亡霊はgovernessではなくてMilesに取りつこうとしていると考えるようになる。また、Floraには彼女の前任者のMiss Jesselの亡霊が取りつこうとしていると考える。governessにとって、MilesとFloraがそれらの亡霊を見ることは、彼らが亡霊に取りつかれて破滅させられることを意味する。そして、governessがそれらの亡霊を見れば見るほど、MilesとFloraは亡霊に会わなくて済むのであり(p.199)、彼女が犠牲になることによって、MilesとFloraひいてはBlyの屋敷の平和が保たれると彼女は考えるのである(p.195)。それでも、governessには、Quintの亡霊を見たのは彼女一人であり、Mrs.Groseを初め、他には誰もその亡霊を見ていないということがよくわかっている。"She herself [Mrs.Grose] had seen nothing,not the shadow of a shadow,and nobody in the house but the governess was in the governess's plight;"(p.193)

それだけに、亡霊が子供達に取りついて破滅させようとしているという恐ろしい考えを、他の人々に理解させようとする時、何よりもその証拠がgovernessにとって必要となる。その証拠とは、governess以外の人々にも亡霊の姿が見えるということであり、子供達が亡霊の影響を受けて破滅(墮落)しかけている具体的な状況である。食堂の窓の外に亡霊の姿を見掛けて以来、governessはMilesとFloraを厳しく監視するようになるが、それは子供達を守るためというよりむしろ、そのような証拠を見つけがためである。そのことは、governessの考えの正しさを他人に証明するだけでなく、彼女が内心密かに恐怖する、自分の狂気に対する不安を否定することにもなる¹⁰⁾。このようなgovernessの心理状態は次の文からも窺える。

I began to watch them in a stifled suspense, a disguised tension,that might well,had it continued too long,have turned to something like madness. What saved me,as I now see,was that it turned to another matter altogether. It didn't last as suspense - it was superseded by horrible proofs. Proofs,I say,yes - from the moment I really took hold.(p.199)

そして、そのような心理状態になった直後の場面で、governessはFloraと一緒に湖に遊びに行き、その湖畔に亡霊らしき人影を認め、一方、Floraの方に目をやると、彼女は小さな穴の開いた板切れに木切れを差し込もうと必死になっている様子を目の当たりにする。governessの目から見れば、大人の性行為を思わせる、このFloraの行動は、正に彼女が亡霊の影響を受けて墮落しかけている証拠と見える。そして、この場面のすぐ後で、govern-

essは直接Floraに確かめてもないのに、Floraもその亡霊を見たと、Mrs.Groseに明言する。"Two hours ago, in the garden...Flora saw!"(p.203)その後、governessはMiss Jesselとは一面識もないのに、湖畔に現れた亡霊はMiss JesselだとMrs.Groseに断言する。

My friend,with an odd impulse,fell back a step. 'Was she some one you've never seen?' 'Never. But some one the child has.Some one you have.' Then to show how I had thought it out: 'My predecessor - the one who died.'(p.204)

(下線部筆者)

上記下線部分は、governessがその亡霊をMiss Jesselと断定できた理由が、以前から彼女を見知っていたからではなくて、Miss Jesselの亡霊がFloraに取りつこうとしているとgoverness自身が考えているからだということをよく表しているように思える。

こうして、governessは自分の考えの正しさを証明する証拠を手に入れ、Mrs.Groseにもそれを証明できたと思う。しかし、その証拠とは総てgovernessの視点を通して見たものであり、第三者に対して客観的にgovernessの考えの正しさを証明しているとは言い難いものである。例えば、子供をお持ちの方ならよくおわかりと思うが、穴の開いた物に棒切れか何かを差し込もうとするのは、幼児に見られる一般的な傾向であり、それでいて、大人の性行為を連想し、墮落していると考えるのは、そう考える人自身に問題があると考えべきである。それでも、少なくともgovernessにとっては、彼女の考えの正しさを示す証拠となり、この後見知らぬ人影に出会う時、governessはそれを幻影と考えて自分の狂気に脅えることなく、QuintやMiss Jesselの亡霊と断定して、その亡霊と対決していくことになる。実際に、この後governessは真夜中の屋敷内の階段の踊り場で三度Quintの亡霊と出会うことになるが、その時の彼女の態度は、今述べたような、恐れを知らない自信に満ちたものであり、その一歩も後に引かない決然とした態度に、Quintの亡霊はくると向きを変えて、沈黙と暗闇の中に消えて行く(pp.222-3)。

III

10章以降、governessは、亡霊が子供達に悪い影響を与えているという考えに基づいた明確な視点を持って行動し、亡霊の名前も憚ることなく公言するようになり、子供達の行動を直ぐに亡霊と結び付けて考えるようになる。例えば、ある夜Floraがベッドを抜け出して、こっそりカーテンに隠れ、中庭の方を見ているのに気付くと、

governessは、Floraが以前湖畔でMiss Jesselの亡霊と会えなかったで、今会っているのだと考える(p.228)。しかし、governessが塔の寢室の窓から中庭の亡霊をよく見てみると、それはMilesである。結局、このMilesの真夜中の散歩は、governessをからかうために、MilesがFloraと示し合わせて仕組んだ芝居であることがわかる(p.234)。そして、そのような芝居を仕組んだ理由は、Milesのことを常に行儀のよい子だと思っているgovernessに、たまには悪いことをすることもあるということをお教えるためだとMilesは言う(p.234)。更に、Milesをこのような行動に駆り立てているものは、governessの思い通りのことしかできないBlyでの不自然な生活を抜け出して、もっと世間を知りたいという(p.251)、彼の年頃の少年にとっては正常かつ正当なる欲求である。Milesの行動の基本にある考え方は、悪いことをしない子供など子供ではない(p.168)とするMrs.Groseの考え方と同じように、事実を事実として認めようとする考え方である。governessにこのような考え方ができないのは、例えば、上記のMilesの欲求をその年頃の少年の自然な欲求として認識することができないのは、Milesの退校の原因がgovernessにわからないことであるが、もっと突き詰めて考えると、そのわからない退校の原因を、自分が見ている幻影と結び付けて考えようとするgovernessの想像力であり視点である。自分以外の物事を自分に都合のよいように解釈するegotismは、The Portrait of a Ladyの結婚前のIsabel ArcherやGilbert Osmondと同じように、このgovernessの中にも存在する。Miles退校の原因は、確かにgovernessにとってこの物語の核心ではあるが¹¹⁾、24章でMiles自身の口から語られるその原因とは、彼が色んなことを少数の友人に話し、その話が回り回って先生達の耳に入り、退校の原因になったということだけであり(pp.306-7)、その話の内容自体はgovernessにも我々読者にも結局わからない。我々にわかるのは、学校当局者がMilesの話の内容を間接的に聞いて、彼を学校に適さない少年と決め付け、退学させたということだけである¹²⁾。ちょうど、governessが彼女にわからないMilesの退校の原因を、死んだQuintの悪影響と結び付けて、Milesが墮落していると考えるところと同じように。前述のMrs.Groseの考え方からすると、Milesの語る退校の原因は、大人の言動を見聞きして、それを自分なりに潤色して、友人に吹聴するという、その年頃の少年にありがちな行動であり、それを以て、Milesを邪悪な少年と決め付けるのは酷だということになろう。しかし、governessには、他人を自分とは別個の他者として見る、このような現実的で客観的な見方をすることができない。あるのは、自分の目を通して見た他者であり、彼女の想像力

が作り上げた他者像である。このようなegotisticな傾向は、Mrs.Groseに対するgovernessの態度にも見られる。彼女は常にMrs.Groseを、亡霊の悪影響から子供達を守るための協力者として見ていて、自分の意見の賛同者だと思っている。しかし、そのgoverness自身も感じているように、Mrs.Groseはどうやら、亡霊が取りついているはずの子供達よりも、QuintとMiss Jesselの亡霊の話を決定的に公言し始めたgovernessの方が心配らしいのである。 "...she[Mrs.Grose]addressed her greatest solicitude to the sad case presented by the deputy-guardian[governess]." (pp.230-1)

Mrs.Groseは、Goetzが言うように、会話の上では確かにgovernessからその考えを一時的に押し付けられ、丸め込まれたり、脅かされたりしているように見えるが¹³⁾、その行動は必ずしもgovernessの意を介して行っているわけではない。例えば、governessとの最後の場面で、Mrs.GroseはgovernessからMilesとFloraを三秒たりとも会わせないで欲しいと求められ、それを約束しておきながら(p.288)、Floraとロンドンに向かう前に、MilesとFloraを会わせ、一緒に朝食をとっている(p.294)。この時点で、Mrs.Groseが約束を破っていることはgovernessにもわかっており、更に、この手記を書く時点では、当然のことながら、そのことはgovernessの念頭にあるはずである。それ故、Mrs.Groseに対して多少の疑念を抱いてもよいはずのgovernessが、何故「(Mrs.Groseの)優しさについての面影は、非常に快い、人間らしい思いやりのこもった面影として、私の胸の内に残っている」(p.193)とか「もしMrs.Groseが私を信じてくれてなかったら、私はどうなっていたかわからない」(p.230)などと、Mrs.Groseに対する感謝の気持ちばかりを、この手記に書き残しているのだろうか。この謎を20章と21章の場面から考えてみたい。

20章で姿の見えなくなったFloraを捜して、governessとMrs.Groseは湖に向かい、その湖畔にFloraを見付けるが、その時、対岸にMiss Jesselの亡霊が現れるのをgovernessは見る。その亡霊をgovernessはFloraやMrs.Groseに見せようとするが、Floraはその方向を見向きもしないし、Mrs.Groseも何も見えないと断言する。この時点で、governessは幻影を見ている狂人に近い人物であることが、FloraとMrs.Groseの目には否定しようもなく明らかになったわけである。特に、妥協を知らないFloraの子供の目には、governessは狂人としてはっきり焼き付けられたのであり、それ故、Floraは"Take me away,take me away - oh take me away from her!" (p.281)と言って、governessに近付くことさえ厭がり、二度とgovernessには会わずに、Mrs.Groseと共にロンドンへ

去ってしまう。

これに対して、Mrs.Groseの態度は少し違って、以前と同じようにgovernessと接し、時にはgovernessの主張を受け入れているように思える箇所さえある。例えば、Floraから恐ろしい話を聞かされたMrs.Groseが告白すると、governessは"It so justifies me!"(p.290)と述べるが、それに対してMrs.Groseは"It does that, Miss!"(p.290)と答えて、その真意はともかく、外見上はgovernessに同調している。このMrs.Groseの台詞に対する解釈は、大津氏の言われるように、governessとMrs.Grose自身とは違うと考えるべきであろう。つまり、governessはその台詞を「QuintとMiss Jesselの亡霊が子供達に取りつこうとしている」という彼女の考えが正しかったと解釈するが、一方、Mrs.Groseは「Floraに会わないようにしましょうというgovernessの考え方は正しい」という意味で言っているのである¹⁰。Mrs.Groseの真意とgovernessの解釈の間のこの違いが、最後の場面のMilesの台詞 "Peter Quint - you devil!"(p.309)についてのMiles自身の真意と、governessの解釈の違いにつながっているように思われる。governessは自分の視点に固執する余り、他人の真意を客観的に判断する能力をこの頃から失い始めている。しかし、Mrs.Groseの台詞の真意が何であれ、egotisticなgovernessはそれを自分に都合の良いように解釈し、Mrs.Groseが再び彼女の考え方を支持し、信じてくれるようになったと考える。もし、この時、Mrs.GroseがFloraのようにgovernessを狂人と決め付け、敬遠するような態度をとっていたら、governessは本当の狂人となり、この手記も存在しなかったのではないだろうか。その意味では、governessを狂人として敬遠せず、普段と同じように接したMrs.Groseの態度が、governessを狂気から救ったと言える。そして、そのことがgoverness自身にもわかっているからこそ、Mrs.Groseに対する感謝の気持ちを何度も手記の中で表明しているのである。また、Mrs.Groseのとった行動も、気が変になりかけているgovernessから子供達を救い、更に、governess自身も狂気から救うためには、最善の行動と言えるのではないだろうか。そして、最後まで他者(Mrs.Grose)を信じようとしたgovernessや、最後まで"human charity"をもって他者(governess)に接しようとしたMrs.Groseの行動の中に、Jamesが劇作時代以降の諸作品で追及したと言われる、「自分が作り出す孤独な世界に自分自身を閉じ込めた個人が、他者とかかわり合って生きる道はどこにあるのか」という問題¹¹に対する作者James自身の解答が少しは見えてこないだろうか。

それでは、何故Mrs.Groseはそのように思いやりのある態度をgovernessに示すことができたのだろうか。そ

の理由は、Mrs.Groseがgovernessの窮境をよくわかっていたからであろう。つまり、その窮境とは、governessがHarley Streetの主人に夢中になっていて、何やら白く有りげな幻影を見ているという状況のことである。また、Mrs.Groseには幻影を見ることが必ずしも狂気を意味しないということもわかっている、その上何よりも、governessをその窮境から救う方策はただ一つ、Harley Streetの主人とgovernessを会わせることだと信じこんでいるのである。governessとの最後の別れの場面での "I'll save you without him[Miles]." (p.292)という台詞を、Mrs.Groseは「Harley Streetの主人をBlyに連れて来て、きっとあなたに会わせてあげますよ」という意味で言っているのである。また、Mrs.Groseは、governessについて以上のように考えていることを、以前からMilesとFloraに伝えているらしく、governessもそのことを薄々感じていて、次のように述べている。

...it was absolutely traceable that they[Miles and Flora]were aware of my predicament...I do mean,on the other hand,that the element of the unnamed and untouched[Quint and Miss Jessel] became,between us,greater than any other,and that so much avoidance couldn't have been made successful without a great deal of tacit arrangement.(p.241)

そして、governessとの関係がいよいよ悪くなると、MilesとFloraのいずれかが"When do you think he [master in Harley Street] will come?"(p.246)と決まったようにgovernessに尋ねて、その場を切り抜ける。このように考えてみると、MilesとFloraはMrs.Groseからgovernessの状況についての連絡を受けていて、それに基づいて行動していると考え方が辻褃が合う。そして、それをgovernessは"tacit arrangement"と感じているのである。

すると、最後の場面でgovernessから問い詰められて、Milesが"Peter Quint - you devil!"(p.309)とQuintの名前を口にするのは、governessや幽霊実在説派が考えるように、MilesがQuintの亡霊の影響を受けているからではなくて、様子が変わったgovernessの状況について、Milesが常にMrs.Groseから話を聞いていたからということになる。現に、その最後の場面の前に、MilesはFloraやMrs.Groseと一緒に朝食をとっており、その時に、Mrs.Groseから話を聞くこともできたであろう。

IV

しかし、Milesは最後にgovernessの腕の中で死んでし

まう。我々はこの問題をJamesの視点の技法との関連で考えなければならない。既に考察してきたように、governessは子供達にQuintとMiss Jesselの亡霊が取りつこうとしていると考え、子供達の言動を総てそういった視点から見ようとする。彼女の考え方を否定するような反証がしばしば提示されるが、それでも猶、governessはその考えを持ち続け、逆に、反証が示されない場合は、更にその考えを飛躍させて、自分が想像したことがまるで事実であるかのように述べる¹⁶⁾。governessがその考えに基づいて想像したことを否定する反証がはっきりとgovernessに突き付けられる場面としては、夜中中庭を見ているFloraを見て、Floraが以前会えなかったMiss Jesselの亡霊と会っているのだとgovernessは想像するが、別の部屋からよく見てみると、その亡霊とはMilesであることがわかる10章の場面が挙げられよう。また、そのような反証が示されず、governessが自分の考えを飛躍させて、想像したことを事実であるかのように語る場面としては、Milesから「一体、いつになったら学校に帰れるの」(p.249)と聞かれて、恐慌状態に陥り、自分一人で教会から引き返して来て、勉強部屋でMiss Jesselの亡霊を見た後で、その亡霊は一言も喋っていないのに、
"That she suffered the torments - !... Of the lost. Of the damned. And that's why, to share them - ... She wants Flora." (pp.259-260)とMiss Jesselの亡霊が語ったと、governessがMrs.Groseに打ち明ける16章の場面を挙げることができる。

そして、governessが腕の中でMilesを死なせてしまう最後の場面も、この延長線上にあるものと思われる。まず、governessに「彼とは誰のことなの」と問い詰められた時のMilesの台詞 "Peter Quint - you devil!... Where?" (p.309)について考えてみよう。governessの状況についてMrs.Groseから常に連絡を受けていると思われるMilesの視点に立てば、この台詞は、多くの批評家が同意しているように、「Peter Quintの事だろ、先生こそ悪魔なんだ...(Quintなんか) どこにいるというんだい」という意味に解され、Milesの真意もそこにあると思われる。しかし、MilesがQuintの亡霊の影響を受けているという考えに取りつかれているgovernessの視点に立てば、彼女はその台詞を「Peter Quintの亡霊やぁーい...どこへ行ってしまったんだい」という意味に理解したとは考えられないだろうか。その後のgovernessの言動を考えると、私にはその可能性が高いように思える。そう考えると、この時点で既にgovernessはMilesの言動について客観的な判断を下す能力を全く失っていることになる。すると、governessの腕の中でMilesは悪魔払いをされて死んだという事実は、Milesが悪魔に取りつかれて

いるという考えとその視点に取りつかれて客観的判断力を失ったgovernessが、その考えに基づいて想像したことを事実として述べているだけで、第三者の証言などから立証される客観的事実とは根本的に異なるものと考えられる。

それでは、何故、governessはそのような視点を持ち続けることができたのだろうか。作者Jamesの立場からすれば、子供達が亡霊の影響を受けているという視点をgovernessが持ち続けることが、この物語に「悪の雰囲気を充満させる」¹⁷⁾ことになるのである。序文のJamesの解説からすると、QuintとMiss Jesselの亡霊は、俗に言うところの幽霊などではなくて、governessの空想の世界にのみ存在する悪魔の類いであり¹⁸⁾、それらの亡霊が果たすべき「悪の雰囲気を充満させる」という仕事とは、正に、そのような亡霊が存在する空想の世界をgovernessが想像し続けることであり、その想像に基づいた視点をgovernessが持ち続けることなのである。つまり、子供達が亡霊の影響を受けているという視点をgovernessが持ち続けることが、この物語の成立の基盤となっているのである。

また、governess自身の状況から考えると、多くの批評家が指摘するように、十九世紀のイギリスの牧師の偏狭な中流家庭に育ち、人間とは本質的に罪深いという原罪の考え方が自然に身についているgovernessが、悪の暗示を受けやすく、幻影を見やすい性質の女性であった¹⁹⁾ということは十分考えられる。それでも、その幻影を客観的に否定する証拠を何度も突き付けられて、それでも猶、そのような視点を持ち続けるには、governessにそれなりの個人的な理由があると考えべきである。そして、その個人的理由とは、既に何度も説明してきたように、自分自身の狂気に対するgovernessの恐怖心であると私は思う。

20章冒頭の場面で、governessはFloraやMrs.Groseの目の前でMiss Jesselの亡霊を見て狂喜する。"She was there, so I was justified; she was there, so I was neither cruel nor mad." (p.278) しかし、Mrs.GroseやFloraからは、何も見えないときっぱりと否定される。すると、governessは自分の立場が足元から崩れるのを感じ、恐ろしい崩壊感に襲われる。これは、亡霊が子供達に取りつこうとしているという彼女の考えや視点の崩壊を意味し、その亡霊とは彼女にしか見えない幻影であるという事実を決定的にgovernessに突き付けることになる。そして、governessは何度も幻影を見る自分の狂気を否応無しに受け入れざるを得なくなる。しかし、Harley Streetの主人とのロマンスを夢見るgovernessにとって、自分の狂気を認めることは絶対にできない。そ

れ故、governessは崩壊したはずの自分の視点を、どうしても持ち続けなければならない。そして、その視点を保つために、governessはMilesの退校の原因となった学校での出来事をMiles自身の口から聞き出そうとし、彼がQuintの亡霊の悪影響を受けているという証拠を手に入れようとする。しかし、そのgovernessの視点は既に一度壊れて、ひびが入っており、その隙間から、今まで見ることのできなかつた客観的事実が絶えず見え隠れする。Milesと二人きりになった最後の場面で、governessの心に浮かんだ、“To do it in any way was an act of violence, for what did it consist of but the obtrusion of the idea of grossness and guilt on a small helpless creature...”(p.301)とか、“...if he was innocent, what then on earth was I?”(p.307)という思いは、governessが客観的事実を垣間見た一例と言えるだろう。しかし、governessがこれらの事実を認めることは、自分が幻影を見る狂人であることを認めることになり、結局はこの物語の崩壊につながる。つまり、何度も繰り返すようだが、子供達が亡霊の悪影響を受けているという視点をgovernessが最後まで持ち続けることが、この物語の成立の基盤になっているのであり、それ故、MilesはQuintの亡霊の悪影響を受け続け、最後に彼女の努力でその影響が途絶えたので死んだのだという想像を、governessが最後まで持ち続けなければ、この物語は一貫性のある形で成立しないのである。

Alexander Jonesは“For in any story employing the first-person point of view, the narrator must, on the whole, be trust-worthy.”と主張し、governessがそのような話し手でなければ、彼女は病的な嘘つきになると考える²⁰⁾が、governessは、そのような意味において、信頼できる話し手でもなければ病的な嘘つきでもない。「限度を越えて自由に機能する想像力」“an imagination working freely, working (call it) with extravagance”²¹⁾、つまり、「主観と客観の二重の特権」“the double privilege of subject and object”²²⁾を備えた想像力を持つ話し手を登場させることによって、この作品は、Jonesが考えるような、伝統的な一人称私小説の枠を越えてしまっているのである。Faginは“The Turn of the Screw, if read as Edmund Wilson reads it, becomes orthodox James Joyce or D.H. Lawrence; it ceases to be Henry James.”²³⁾と、この作品の持つ意義を否定的に考えているが、逆に、それらの作家の文学の可能性の端緒を開く作品として、The Turn of the Screwの存在価値を肯定的にとらえることはできないだろうか。

注

- 1) Edmund Wilson, "The Ambiguity of Henry James," in Gerald Willen ed., A Casebook on Henry James's "The Turn of the Screw," (New York: Thomas Y. Crowell Company, 1960), p.115.
- 2) cf. Shoshana Felman, Writing and Madness, (Ithaca, New York: Cornell University Press, 1989), p.235. ; William R. Goetz, Henry James and the Darkest Abyss of Romance, (Baton Rouge: Louisiana State University Press, 1986), pp.146-7.
- 3) 引用は Scribner Reprint Edition の The Novels and Tales of Henry James, (New York: Augustus M. Kelly • Publisher's, 1971), vol.12 中の The Turn of the Screw による。以下、括弧内に頁数を示す。
- 4) Goetz は、“Dialogue in the two works [The Turn of the Screw and The Sacred Fount] raises but does not resolve the question of whether the narrator can reach out beyond his or her objectivity and recognize the other as other.”と述べているが、本文をよく読めば、この箇所のように、明確には述べられてないが、瞬間的に自他の区別をしているらしい箇所はある。cf. Goetz, p.133.
- 5) John Silver, 'A Note on the Freudian Reading of "The Turn of the Screw,"' A Casebook, p.240.
- 6) Goetz, p.124.
- 7) Robert Heilman, "The Turn of the Screw as Poem," A Casebook, p.181.
- 8) Nathan Bryllion Fagin, "Another Reading of The Turn of the Screw," A Casebook, p.157.
- 9) Goddard はこのことを、“So do the governess's fears and repressed desires and the housekeeper's memories and anxieties unconsciously collaborate.”と表現している。cf. Harold C. Goddard, "A Pre-Freudian Reading of The Turn of the Screw," A Casebook, p.255.
- 10) Felman はこのことを、“Hence, to prove that the children are mad (that they are possessed by the Other - by the ghosts) is to prove that the governess is not mad.”と述べているが、Felman のこの考えを governess 自身が既に意識して行動していることに注目することが大切である。つまり、子供達が幽霊に取りつかれているという証拠は、governess の目から見た主観的な証拠であり、Felman がその論の前提にしているような客観的な証拠とはならないのである。問題は、govern-

- essが幻影を見る自分を狂気と考えることの中にあるのであり、そう考えるからこそ、governessはその狂気を他人 (MilesとFlora)に転嫁して、自分は狂気でないことを証明しようとするのである。cf. Felman,p.235.
- 11)青木次生,「巨匠の戯れ - ヘンリー・ジェイムズの『ねじの回転』-」,「季刊英文学」第9巻第2号(あぼろん社,1972),p.149.
- 12)Firebaughは、マイルスの退校について校長が説明しないことを、知識の否定と考え、この知識の否定こそこの物語の大きな主題であると主張する。私には、否定された知識の元になる事実をその事実即して考えず、自分勝手に解釈するegotismこそ主題の一つのように思える。cf. Joseph J. Firebaugh, "Inadequacy in Eden: Knowledge and The Turn of the Screw," A Casebook, p.294.
- 13)Goetz, p.131.
- 14)大津栄一郎,「『ねじの回転』と幽霊」,「ヘンリー・ジェイムズ研究」高橋正雄編,(北星堂書店, 1966), p.188.
- 15)青木, p.161.
- 16)cf. Alexander E. Jones, "Point of View in The Turn of the Screw," A Casebook, p.314; Goetz, p.125.
- 17)Preface, p.xx.
- 18)Preface, p.xx.
- 19)cf. Oscar Cargill, "Henry James as Freudian Pioneer," A Casebook, p.229; Goddard, pp.270-1; Firebaugh, p.297.
- 20)Jones, p.316.
- 21)Preface, p.xvii.
- 22)Henry James, The Ambassadors vol.1 (New York Edition), (New York: Augustus M. Kelly • Publisher's, 1971), Preface, p. xviii.
- 23)Fagin, pp.155-6.

異端の作品；『ペリクリーズ』の問題点

神澤 和明

Problems In Pericles; A Doubtful Shakespeare's Play

Kazuaki KAMIZAWA

Pericles was omitted from The First Folio. This play has offered us several mysteries. We can doubt even whether it was really written by Shakespeare or not. In this play we find some un-Shakespearean elements; style, source, and dramatic techniques. Above all, its unique use of the chorus is so interesting and non-parallel in his age.

(1) 正典・外典の問題

シェイクスピアの戯曲、37編の中に、Pericles, Prince of Tyre『ペリクリーズ、タイアの王子』という作品がある。1608年に出版組合登録簿に記入。第1クォート（4折り本）の出版されたのが1609年。その扉書には；
'divers and sundry times acted by his Majesties Servants, at the Globe on the Bank-side'

「最近大好評を博した劇、バンクサイドのグローブ座にて、国王一座により繰返し上演された、そのまま」とある。これらのことから、この作品の制作年代を1607年から08年にかけての時期と見てさしつかえない。シェイクスピアの作家人生において晩年期にあたり、『シンペリン』『冬の夜語り』『テムベスト』といった、「ラスト・プレイズ」または「ロマンス劇」と呼ばれる作品群が生み出される時期。そして『ペリクリーズ』はおそらく、それらの最初にくる作品である。

この作品についてはいくつか重大な疑問が提出されている。その最大のもは、この作品が第1フォリオに収録されていないことだ。今更めくが、シェイクスピアの時代には、戯曲は独立した芸術作品とは考えられておらず、従ってその作品を刊行することは重大なこととされなかった。実際、シェイクスピアの後輩にしてライバルであったベン・ジョンソンが自作をまとめ、自分の名前で戯曲集を出版したとき、その図々しさが論議を呼んだ。それに続いて、既にシェイクスピアは死んでいたが(1616)、劇団以来の友人であったジョン・ヘミングスとヘンリー・コンデルが編纂した、シェイクスピアの最初の戯曲全集、第1フォリオが1623年に出版された。この本の序文に「これまでに出版されたシェイクスピアのそれぞれの戯曲は、邪悪ないかさま師が出版した海賊版や、いかかわしいテキストを書物にしたものだ」とある。劇団が保管していたシェイクスピアの自筆原稿をもとにしたというわけだ。この本が、シェイクスピアの作品を論じる場合の、一番のより所とされている。これには、既にクォートとして発行されていたもの（海賊版も含めて）と、このとき初めて活字になったものを併せて、「36編」の作品が収められている。37-36=1。実は『ペリクリーズ』は、この第一フォリオに収められていない。

シェイクスピアの戯曲集は、17世紀の間に4回刊行されている。シェイクスピアの友人の手による第1フォリオ発行の9年後、1632年に第2フォリオが刊行される。このとき、第1を編纂した友人たちは既に死んでいた。印刷者・発行者は、第1をもとにして、新しい版を作成したと考えられる。それから31年後(1663年)、第3フォリオが刊行された。第1の刊行からだ、40年後になる。この時間を考えると、第1と第2の作成に同じ人物がかかわっていた可能性はあるが、第3はまったく新しい人物たちによって編纂されたであろう。第3フォリオには、翌年の第2刷から、これまでの36編に加えて、『ペリクリーズ』を筆頭に、新たに7編が収められた。残念

ながらそのほとんどは、シェイクスピアの作ではないと見られている。しかし唯1編のみ、「シェイクスピア作品」として今に認められた作品がある。それが、『ペリクリーズ』である。この22年後に第4フォリオが発行されているが、これは第3をそのままにうつしているのので、重要視されていない。

なぜ『ペリクリーズ』は第1フォリオに収められていないのか。その理由として考えられることは：

可能性1. 『ペリクリーズ』はシェイクスピアの作品ではない。

可能性2. 編集者が、入れ忘れた。

可能性3. 原稿が手に入らなかった。

可能性4. 印刷の手違いで落ちた。

可能性5. 『ペリクリーズ』をのせることをはばかれるような、社会的状況があった。

まず、可能性2が否定できよう。シェイクスピアの劇団の同僚であり、国王一座の重要なメンバーであった編集者ヘミングスとコンデルは、十分な時間をこのフォリオ発行という企画にかけることができたはずである。ヘミングスは宮内大臣一座／国王一座に、ほぼシェイクスピアと同じ時期から所属して、ずっと一座してきた。コンデルにしても、数年ほど遅れただけである。シェイクスピアのすべての作品はこの一座のために書かれ、この一座によって上演されてきた。そのレパートリーである。しかもシェイクスピアの晩年期の作としては、大変好評を博した作品である。その作品を、うっかり忘れるなどとは考えられない。

可能性3も、否定できる。当時戯曲は、作者よりも劇団に属するものという考えが当然であった（ベン・ジョンソンはそれを否定して戯曲全集をだした）。シェイクスピアの書くものですら、「台本」であって、独立した文学作品としてとらえられてはいない。従ってその台本は劇団の財産とみなされ、上演のたびに取り出され、「書き抜き」が作られ、上演が終わればまた、大切に保管された。だからシェイクスピア自身の原稿が、彼ら編集者の手元に確かにあったはずだ。

可能性4は、おそらく否定できる。第1フォリオの「カタログ」（目次にあたる）の中に、『ペリクリーズ』の名前が載っていないからだ。ただ、「おそらく」と書いたのはわけがある。この「カタログ」には、『トロイラスとクレシダ』の名前もないが、ちゃんとおさめられている。これに関して言えば、この「トロイ戦争」を舞台にした奇妙な作品は、「喜劇」「史劇」「悲劇」のどのジャンルに入れるべきか、編者たちに迷いがあり、その結果、カタログから落ちたと考えられる。この作品は、史劇の最後、悲劇の前の位置に、おかれている。同じことが『ペリクリーズ』においてもあり、そして印刷の手落ちがおこったということ、絶対に否定はできないが、まず無理なこじつけだろう。

可能性5は、ありえるかもしれない。当時の検閲のうるささ、また、「国王一座」を名のり、貴族を観客とする上演も多かった劇団の立場からすれば、もし内容がそうしたパトロンたちを怒らせるかもしれないと懸念される作品なら、あえて「全集」からははずすこともあろう。残念ながら、そうした推測を裏付ける資料はあらわれていない。また、『ペリクリーズ』には多くのクォートが出版され、第1フォリオ出版の前後にも、1619年、1630年に発行が見られるし、1619年には天覧上演も行われている。それらからして、この作品に、何かはばかるころがあったとは、考えにくい。

このように考察してみると、どうしても可能性1が残ってくる。もちろんこれは、妥当な考え方なのであって、現在も『ペリクリーズ』をシェイクスピアの作品と認めていない学者もいる。たとえばミュートは彼の『シェイクスピア物語』という、シェイクスピアの全作品に平易な解説をつけた著書において、『ペリクリーズ』を省いている。しかし普通には、『ペリクリーズ』はシェイクスピア作品として扱われている。そうする理由は；

外部証拠は、1609年（2回）、1611年、1619年、1630年、1635年と、6回出版されたこの作品のクォートに、「シェイクスピア作」とされていること。このうち始めの3回の出版は、シェイクスピアの生存中である。

内部証拠となるのは、作品世界が独特なことだ。このあとに続く一群の「ラスト・プレイズ」と、筋の雰囲気、超自然性、死と復活／苦難と許しの主題、海・嵐・神的存在といった舞台道具、音楽の優れた使用などに、共通性が見られる。そしてこの世界は、ボーモント&フレッチャーを筆頭とするシェイクスピアの後輩たちが得意とする「悲喜劇」ジャンルの作品とも、ベン・ジョンソンらが得意とした「仮面劇」ジャンルの作品とも、異なった印象をわれわれに与えるのだ。一言で言えば、シェイクスピア的なのだ。

もっともこの『ペリクリーズ』は、シェイクスピアの単独作とは考えられていない。いつもの彼らしくない技法が用いられ、劇的盛り上がりも乏しく、なにより第1、第2幕の文体が、成熟したシェイクスピアとは思えない

いほど稚拙である。この点から、この作品は誰か他の作家、おそらくは若い未熟な作家との合作であろうと、考えられている。ただし全体を貫く視点は、シェイクスピアのものに違いない。

そこで可能性1を、次のように改めることにする。

『ペリクリーズ』を、編者たちはシェイクスピアの作品と認めなかった。編者たちは意図的に、『ペリクリーズ』をシェイクスピアの作品目録から省いたのである。

その理由のひとつは、これが合作によるものだから。

ところで、第1フォリオに収められた作品の中に、合作ではないかと考えられるものが1編、含まれている。『ヘンリー8世』がそれである。この作品は、シェイクスピアと、彼を継いで国王一座の作家として活躍したフレッチャーの合作だという説が、支持を集めている。その説によれば、この作品は、始めシェイクスピアによって書き上げられたのであるが、彼の死後の1613年に、劇団の本拠地であった「グローブ座」が火災にあった際に、彼の原稿も失われてしまった。そこで、座付き作者となっていたフレッチャーが、焼失した部分を補ったというのである。この通りであるなら、合作といっても最初はシェイクスピア一人の手で書かれたのであるから、彼の作品として名前をあげるのに、問題はない。一応、この説を否定し『ヘンリー8世』をシェイクスピアの単独作としている者も多いことを、断っておく。

もうひとつ、私がひょっとしたらと思う、理由がある。第1フォリオに、シェイクスピアをたたえる序文と詩を書いた、ベン・ジョンソンへの遠慮である。

シェイクスピアの後輩にして最大のライバルとされる、この自信満々の喜劇作者は、演劇好きの国王ジェームス1世に愛され、仮面劇の優れた作者として、宮廷の持て囃され者であった。彼はまた理屈屋で、古典劇のいわゆる「三一一致の法則」を重視し、それに反する作品をおおいにけなした。彼の毒舌は、自分をひきあげてくれたシェイクスピアの作品にまで及び、特に劇の中で赤ん坊が成人してしまうほどの時間の飛躍がある、『ペリクリーズ』と『冬の夜語り』については、自作の劇の前口上の中で、やゆするほどであった。劇団運営に有能であったとされる編者たちは、何か考えたかもしれぬと、これはやや穿った推測ではある。

第1フォリオから省かれた理由の謎と比べれば、それが第3フォリオに収められた理由は、容易に推測される。正しくは、1663年発行の第3フォリオの第1刷では、第2フォリオまでの通り、36編しか収められておらず、翌年に出た第2刷から、『ペリクリーズ』他の作品があわせて収められている。他に追加された作品は；

The London Prodigall 『ロンドンの放蕩児』喜劇

The History of Thomas Lord Cromwell 『トマス・クロムウェル卿』史劇

Sir John Oldcastle, Lord Cobham 『ジョン・オールドカッスル卿』喜劇？

The Puritan Widow 『清教徒の未亡人』メロドラマ悲劇？

A Yorkshire Tragedy 『ヨークシャーの悲劇』メロドラマ悲劇

The Tragedy of Locrime 『ロクライムの悲劇』メロドラマ悲劇？

これらの作品も、「シェイクスピア作」という噂が当時あり、たとえば『ヨークシャーの悲劇』などは、クォートに「シェイクスピア作」と記してあったりしたのだから（もっとも発行は、シェイクスピアの死後の1619年である）、編者が追加したことにも、まるで理由がないわけではない。しかし、『ペリクリーズ』を除いたすべてが、現在では「シェイクスピア作」を否定されているほど、根拠の怪しい作品をなぜ、大量に収録したのか。

おそらくは一種の、功名心が働いたのではないかと、私は推測する。

良く知られたことであるが、1642年に、清教徒が主流をしめる議会の決定によって、ロンドンでの演劇上演は禁止された。もっともこの布告を無視して上演を続ける者が続出したため、1647年には、上演を行った者は投獄されるという、極めて厳しい布告がなされた。「劇場閉鎖」である。これは1660年の王政復古まで続き、この空白期はイギリス演劇の伝統を中断し、再開後に、女優の登場など、それ以前とは異なる状況の出現を励ますことになる。その状況を頭におき、第3フォリオは劇場閉鎖が解けた3年後に発行されたことを考えるなら、人気の高い「シェイクスピア作品」を少しでも多く収め、また劇場にかけたいという意欲が、ほほえましく理解できる。かなりの無理があったのは仕方ない。それでもこれによって、『ペリクリーズ』が「シェイクスピア作品」として今に残っているのだから、この編者の仕事は、けっして否定するべきものではない。

(2) 合作者の問題

述べて来たように、『ペリクリーズ』がシェイクスピアの単独作ではなく、他の作家との合作であることは定説となっている。その理由としては、この劇の前半部と後半部の文体の違いに大きな根拠がおかれ、後半部の劇的で力強いセリフがシェイクスピアの手になり、前半部の形式的でぎこちない韻文を使った部分が、共働者によるものだと考えられる。その共働者としてたとえば、第4幕にみられるブラックユーモア感覚が共通するとして、ウィリアム・ローリーが、また近い時代のすぐれた劇作家として、家庭悲劇作家のトマス・ヘイウッドの名前などが上げられて来ている。

なかでも、ジョージ・ウィルキンスを支持する意見は多い。その理由は、1608年に出版された彼の小説、The Painfull Adventures of Pericles Prince of Tyre『タイアの王子ペリクリーズの苦難に満ちた冒険』が、この劇と深く結び付いているからだ。その本のタイトル・ページには、次のように記されている。

Being the true History of the Play of Pericles, as it was lately presented by the worthy and ancient Poet John Gower. 「立派な昔の詩人、ジョン・ガウアによって、最近に上演されたペリクリーズの劇の本当の話」

この本の中に、劇のセリフとほぼ一致する文が出て来るため、ウィルキンスが、劇の執筆にも加わっていたのだと推測されるわけであるが、しかし劇上演をもとに、小説が書かれたとしても、当然その事は起こるだろう。

私がテキストとして使用している、アーデン版『ペリクリーズ』を編集している、ヘーニガーは、ジョン・デイという作家を、共働者として上げている。彼の仮説によれば、デイとウィルキンスが1607年に、「タイアのアポロニウス」の物語を、コロスをもった劇の形に書き上げようと決心した。彼らが仕事に取り掛かった（あるいは仕上げた）ときに、シェイクスピアが興味をもち、彼らに加わってこの作品を仕上げたのではないかと、いう。

私はまた、『ペリクリーズ』はシェイクスピアが極めて若い時期に着手し、書きかけのままおいてあったものを、かなり後になって取り出して、完成したものかもしれないとも、思う。そのとき、本来なら若書きの部分を書き改めるものなのだが、書き改める時間がなかった、あるいは愛着があってそのまま残したという事は、十分考えられるだろう。その場合、合作者は若きシェイクスピア本人ということになる。

外的な証拠が出ない以上、合作者探しは結論のない作業である。いくつかの仮説の羅列にしかなりえない。

(3) 題材の問題

『ペリクリーズ』の物語は、中世からルネサンスにかけて良く知られていた、タイアのアポロニウスを主人公としたロマンスである。そして、具体的に劇を書く材源として、シェイクスピアが使ったと考えられるものは、ジョン・ガウアによる『コンフェッショール・アマンティス（恋する者の告白）』に含まれる「タイアのアポロニウス」の物語、そしてロレンス・トウエインの The Patterne of Painfull Adventureres（苦難に満ちた冒険者たちの典型）の二つであるとされる。前者は14世紀後半に世に出、後者は1576年に出版登録されている。ガウアが劇中にコーラスとして登場していることでわかるように、前者の物語の方がより直接的な下敷として使われていることは、疑いない。

毎度述べることだが、シェイクスピア劇の多くは、その種本と言うべきものをもっている。史劇や『リア王』『マクベス』『シンペリン』はホリンシェドの『英国年代記』によっているし、いわゆるイタリア物の喜劇・悲劇は、イタリアの小説（を英訳したもの）に筋を借りている。ローマ物はブルタークの『英雄伝』にかなりの割合でよりかかっているし、既にあった芝居に手を加えたとされる『間違いの喜劇』『ハムレット』などもある。『夏の夜の夢』のように、劇中劇の部分をおヴィディウスの『変身物語』を題材にする、という例もある。だから、『ペリクリーズ』に種本があること自体はなんでもないので、その下敷の選び方が（それまでの）シェイクスピアらしくないと、感じられるのだ。それは次の二つの点である。

『ペリクリーズ』の物語は、幾つもの挿話が独立性をもちながら、ダンゴのように連なっている。主人公はその中を、過去から未来へ向かって進んでゆく。『オデュッセイア』のような構成なのだ。梗概を書いてみよう。

タイアの若い王ペリクリーズは、アンティオック王の娘を得るため、命をかけた謎解きに挑戦するが、その答えからアンティオック王と娘とが近親相姦の関係にあることを知る。彼はタイアに逃げ帰ると、忠臣ヘリケイナスに後を託して出帆し、飢饉に悩むターサスの地に食糧を提供し、総督クリオンに感謝される（第1幕）。ペリクリーズはターサスを後にするが嵐のために難破し、無一物でペンタポリスに打ち上げられる。その地の王が娘セイザーのためにトーナメントを催すと聞き、参加して優勝し、身分を明かさぬまま、セイザーと結婚する（第2

幕)。アンティオック王と娘が雷に打たれて死んだという知らせを受け、ペリクリーズはタイアに戻る事を決める。しかしその途中再び嵐に会い、セイザは女の子を産んで絶命する。ペリクリーズは彼女の体を密封した箱に入れて、海に流す。それはエフィサスの地に漂着し、医師セリモンによってセイザは生き返る。彼女はダイアナ女神の巫女となって余生を過ごそうと決意する。ペリクリーズはターサスのクリーオンに、生まれたばかりのマリーナを預け、タイアまでの長い船旅を続ける（第3幕）。14年の歳月が流れ、美しく聡明に成長したマリーナは、同じ年頃の娘をもつクリーオンの妻の妬みをかい、刺客の手で殺されそうになる。そこへ海賊が現れて彼女を連れ去ってしまう。娘を引き取りにきたペリクリーズは、彼女が病死したと聞かされ、悲嘆にくれる。マリーナは売春宿に売られるが、客たちを説得して純潔を守り続ける。総督のライシマカスも、彼女の態度に打たれて、保護を約束する（第4幕）。あてどない航海に出たペリクリーズが、ミティリーニに寄港する。あいさつに来たライシマカスは、ペリクリーズを慰めようと、マリーナを呼んで歌を歌わせる。彼女の身上話を聞いて、ペリクリーズはそれが死んだと思っていた娘だと知る。ダイアナ神のお告げでエフィサスの神殿を訪づれた彼らは、セイザと再会する。マリーナはライシマカスと婚約し、ペリクリーズは自分がペンタポリスを治め、タイアは娘たちに委ねることを宣言する（第5幕）。

これまでのシェイクスピアの劇は、ひとつの事件が次第に深刻になり、主人公の精神がその中で変わって行くか、あるいは複数の事件展開があるにしても、それは並列して同時に流れてゆき、そのことで作品世界を豊かにしてゆく。ところが『ペリクリーズ』では、事件は直列でつながれ、忌まわしい謎を解く話にしても、騎士のトーナメントに優勝して王女を妻に迎える話にしても、それ自体で本来、劇的展開をもつはずの事件を、主人公はただ通り抜けて行くだけなのだ。それゆえに、全体が焦点のあわない、劇性に乏しいものになっている。

二つ目は、主人公の、余りにも受動的な性格である。そもそもシェイクスピアは人間を描くことに天才をもち、その内面の弱い部分、嫉妬心とか傲慢さとか、あるいは優柔不断さ、野心、甘えなどに注目し、それが少し強すぎたがために起きる事件を、悲劇や喜劇の形で描いてきた。筋だてが優先する滑稽喜劇においてすら、登場人物の心ばえが、事件の原動力、また増幅のための力になっている（ジョンソンの喜劇と違って、それはあくまで、誰もが少しはもつような、普遍的な弱みである）。そしてシェイクスピアの主要な登場人物たちは、自分の性格をより所に、主体的であろうとする。ルネサンスの人間らしく、自己の行動によって事態を切り開こうとする。『ロミオとジュリエット』は、生まれる前からの両家の憎悪という大きな制約から、自分達の愛情で放たれようとするし、『ジュリアス・シーザー』は、自分の命が危ういという予言を、自分の立場・能力への自信から、鼻で笑い飛ばす。人知を超えた力を意識し始めた悲劇時代の主人公たちもそうだ。『ハムレット』は自分に課せられた復讐という任務と、近代人としての自分の意識の間で混乱してしまう。『マクベス』は魔女の予言に誘われて王座を奪うが、自分の意志でそれを守ろうと悪事をくりかえして破滅してゆく。『オセロウ』は、不正に対して自分の手で裁きをつけようとするために、悲劇を徹底してしまう。『リア王』は、嵐の荒野で、自分たち人間を気ままに苦しめる自然に向かって、はっきりと怒りの言葉をぶつける。

彼らの、自己認識からくる、能動的な行動に比べて、『ペリクリーズ』は常に受動的に、与えられた運命を受け入れてゆく。人間の努力を超えた、大きな力の前に体を投げだしたかのようだ。その態度は私に、シェイクスピア的な近代人よりも、ギリシア悲劇に登場する古代人の態度を思い出させる。彼らは神の予言、神が与えた運命の前に頭をさげ、そして「デウス・エクス・マキーナ」による救いを待つ。あるいはそうなのだろうか。後で述べるが、ギリシア劇に近いコーラスの使い方といい、音楽を背景に演じられる黙劇といい、わざと古めかした、この劇の手法は、ギリシア古劇を意識して、使われたのであろうか。

（4）コーラスの問題

『ペリクリーズ』の、劇作技法上最も目立つ特徴は、コーラスと黙劇という、擬古的手法の採用である。とりわけ、古代の詩人であるジョン・ガウアを、この劇物語の語り手＝コーラスとして登場させたことは、シェイクスピア作品として特異であるのみならず、当時の劇作品全般を見回しても、意欲的な手法といえる。

なぜそのように言えるか。このことについて、論じてゆこう。

再び今更めくが、コーラスというものについて一言しておく。言うまでもなく、コーラスとはギリシア古典劇におけるコロス（合唱団）から生まれた演劇用語である。音楽で言う「合唱団」と異なり、彼らは歌うのではなく、朗唱する（歌うこともあったらしいが）。ギリシア劇において、コロスはきわめて重要な要素である。彼らの登

場は、劇のアクション（筋の進行）の間に挿入され、場面を区切るという役割を果たすと同時に、ひとつの集団的人格として、ちょうど観客の代表者であるかのように、主人公の行動に対して、同意をあらわし同情したり、また逆に批判したりする。いまソポクレスの『アンティゴネー』を例に、その構成をみてみよう。

プロロゴス	役者のセリフ
パロドス	コロスの朗唱
第1エペイソディオ	コロスの朗唱／役者とコロスのセリフ
第1スタシモン	コロスの歌唱
第2エペイソディオ	コロスの朗唱／役者とコロスのセリフ／コロスの朗唱／役者とコロスのセリフ
第2スタシモン	コロスの歌唱
第3エペイソディオ	コロスの朗唱／役者とコロスのセリフ
第3スタシモン	コロスの歌唱
第4エペイソディオ	コロスの朗唱／役者とコロスの歌唱／役者のセリフ／コロスと役者の朗唱
第4スタシモン	コロスの歌唱
第5エペイソディオ	役者とコロスのセリフ
第5スタシモン	コロスの歌唱
エクソドス	役者とコロスのセリフ／コロスの朗唱／役者とコロスの歌唱とセリフ／コロスの朗唱

プロロゴスとは、幕開きの言葉であって、劇の筋および物語に近い過去の状況が語られる。ここでは、アンティゴネーが、王の命令に背いて、戦死した兄たちを葬ろうという意志を語る。

パロドスは、コロスの登場の部分で、彼らの役柄を紹介する。これにより、このコロスたちがテーバイの町の長老たちであることがわかる。そして彼らが、戦争の後始末について不安がっていることも示される。

エペイソディオンは、出来事が展開してゆく部分、筋が動く部分である。これは主に、役者同士もしくは役者とコロスの対話によって、演じられる。アンティゴネーの決死の決意、クレオンの息子との愛情などが描かれる。

スタシモンは、物語の背景になる、遠い過去のできごとについて言及され、現在の困難な状況に対する考察がなされ、この後の出来事（主人公たちの死）への不安が告げられる。これはコロスによって朗唱される。

エクソドスは、劇の終末が示され、全員が退場することで終わる。

この構成でわかるように、役者を中心とする筋の展開と、それに対するコロスによる省察とが、交互におかれており、いわばコロスは、事件の進展をまとめ、それを観客の立場で確認しているような役割をはたしている。

さて、この独特の性格をもつコロスという存在は、後の演劇世界において、語り手の役割をはたすコーラスとして、登場しつづける。シェイクスピア前後のイギリス演劇におけるコーラスの例を、次に見てみよう。

シェイクスピアよりかなり以前、まだイギリス演劇が十分に成熟していない時分には、上演時間が短く、登場人物も少なく、場面の転換もほとんどなく、筋もきわめて単純な劇形式が見られた。「Miracle Play 奇跡劇」とか「Morality Play 教訓劇」また、「Interlude 幕間狂言」などと呼ばれるものである。これらはたいてい、日本の狂言のように、登場人物自身が、自分は何にものであるか、舞台となる場所はどこか、などを観客に紹介するようになっている。

たとえば、ヨーク州で演じられた奇跡劇、The Creation, and the Fall of Lucifer（天地創造とルシファーの墮地獄）では、最初に登場する God が、次のように語りかける。

God: I am Alpha and Omega, the life, the way, the truth, the first and the last.

我はアルファにしてオメガ、命であり、方法であり、真実であり、初めでありまた、終わりである。

また彼は、自分がこれから何をするつもりなのかも、語ってしまう。Noah's Flood（ノアの洪水）より：

God: I, God, that all the world have wrought, / Heaven and earth, and all of nought, /
I see my people, in deed and thought, / Are set foully in sin. (....)

Man that I made I will destroy, /Beast, worm, and fowl to fly;
 For on earth they do me noy, /The folk that are thereon. (...)
 Therefore, Noah, my servant free, /That righteous man art, as I see,
 A ship soon thou shalt make thee /Of trees dry and light.
 神なる我は、この世を作りし者。無から天と地と、あらゆるものを作りあげた。
 今や我が民は、行ないにおいても心ばえにおいても、すっかり罪に染まっている。
 我は、自ら作りし人間たちを、滅ぼすことにした。獣も虫も、空とぶ鳥たちをも。
 それというも、地上に在る者どもは、我を悩ませるばかりだからだ。
 それゆえに、ノア、わが自由なる召し使いよ。お前は正しい人間であるを知っているから、
 すぐに、乾いた軽い木を使って、船を造るのだ。

しかし、もう少し複雑な教訓劇になってくると、観客に簡単な説明をする人物が登場する。有名な Everyman (皆男さん) では、まずメッセンジャーが登場して、観客にこう、語りかけて来る。

Messenger: I pray you all give your audience, /And hear this matter with reverence,
 By figure a moral play: /The summoning of Everyman called it is,
 That of our lives and ending shows /How transitory we be all day.
 ご見物の皆様をお願いいたします。この出来事を、まじめにお聞きくださいませ。
 教訓のつまった芝居の形でお目にかけます。題しまして、エブリマンの召喚。
 我々の人生とその終わりを通じて、いかにそれがつかの間のものかを、お見せいたします。

このように、劇が始まる前に登場して、その劇のあらましを述べたり、劇の出来事が始まる前の状況を知らせたりする、「序詞役」としてのコーラスが、舞台によく登場するようになった。エリザベス朝の喜劇においては、コーラスが「Prologue 前口上」を述べ、劇の事件が始まり、大団円になって、登場人物の一人が前に進み出て「Epilogue 納めの口上」を述べると言うのが、一つの形式になっていた。ベン・ジョンソンの喜劇はたいていがこの形である。そうでない作品ももちろんあるが、割合としては、この方が多い。

悲劇においても、「序詞役」はしばしば登場する。クリストファ・マーロウの『タンバレン大王第1部・第2部』では、ともに冒頭に序詞役が登場して、その劇の始まる間での状況を告げる。同じ作者の『ドクトル・ファウスト』では、コーラスが幕開き／第3幕／第4幕／終幕に繰り返し登場する。幕開きでは、ファウストという男の性格と野望を告げ、第3・第4幕では、そこまでの事件の経過を説明し、終幕ではファウストが悪魔との契約通りに地獄に墮ちたことを告げ知らせる働きをする。ウェブスター&フォードの流血悲劇『ブローケン・ハート』では、序詞役は、これから我々が演じるのは物語であって、事実ではないのだと、断っている。

こう見て来てわかるように、序詞役というのは作者あるいは劇団員を代表するもので、無個性であるのが普通だ。しかし中には、いくつか変わった例外もある。

フランシス・ボーモントの喜劇『ぴかぴかすりこぎ団の騎士』では、序詞役がいつものように美辞麗句で口上を始めると、観客（の役俳優）が半畳を入れて、その腰を折り、彼らの間でこっけいな会話が交わされることになる。マーロウの悲劇『マルタ島のユダヤ人』では、マキャベリが序詞役として登場し、自分は死んだけれども、自分の魂は死んではない、たとえばこの芝居の主人公は、自分の魂を受け継いだ人物だと語って、主人公バラバスの悪人ぶりを、観客に訴える。なかなか興味深い技巧である。

さて、シェイクスピア劇におけるコーラスはどのようであるか。

劇中劇における序詞役は省略しよう。『夏の夜の夢』の職人芝居の口上は、読み間違いで笑いを誘うし、『恋の骨折損』他、劇中劇をもつものがあるが、これらは当時の喜劇形式をもじったままだ。

まず有名な「所は花のヴェローナにて」に始まる『ロミオとジュリエット』の序詞役。彼は、憎みあう二つの家に咲いた愛の花が、悲劇をもち来たらすことを観客に告げしらせている。普通のコーラスである。

『ヘンリー4世第2部』の序詞役は、ルーマー（噂）という名をもっている。第1部の続編ということ念押しするようなこのプロローグは、第1部の終わりの反乱の失敗が、成功したという噂となって反乱軍の本国に伝

わり、さらに事件が続いて行く、という形をとっているが、実際的にはあまり効果のない、コーラスと言えそう。ただ、噂という実体のないものをコーラスにしたたということが、昔の教訓劇を思わせておもしろい。そしてこのやり方を、シェイクスピアは後に『冬の夜語り』で、時間をコーラスにしたて、第3幕と第4幕の間に16年の歳月が流れたことを観客に告げるという形で、再び使っているのだ。

『ヘンリー5世』のコーラスは、それぞれの幕の始めに登場して、場面・場所の転換や、筋の進展や主人公の行動の理由を、観客に告げ知らせる。歴史という大きな流れを、まさに解説する役割を担っている。いわば、歴史書の「地の文」という感じで、無個性である。

そしていよいよ『ペリクリーズ』であるが、このコーラス役は個性どころか、人格と名前をもった人物なのだ。彼は14世紀のイギリスの詩人、ジョン・ガウアであり、各幕の前に登場して、幕と幕の間の出来事を説明し、その幕で演じられる内容を告げ知らせる。つまり、彼はこの芝居全体の語り手であり、劇の事件は、すべて彼の物語りに従って進展してゆくのだ。コーラスが本来、劇世界から少し離れた客観的な位置を保ち、むしろ観客側に近いとすら思わせる存在であったのに、このガウアは劇世界とまったく不可分で、大きな存在感をもっている。前述したように、それぞれ独立した挿話が多く、場所も転々とし、劇中で流れる時間もあきれるほど長い。ペリクリーズとかかわりなくおこる事件もある。これを一つにまとめてくれるのが、コーラスとしてのガウアである。

このようなコーラスの使い方は、それまでのシェイクスピア作品にはなかった。『ヘンリー5世』のそれが、すべての幕で解説を務める点で似ているが、事件を伝える者と事件を紡ぎ出す者ということで、まったく異なっている。ヘーネガーの仮説のように、これは合作者のアイデアによったものなのだろうか。いずれにしても、それまでの喜劇、悲劇において、人間精神の隠された弱さを劇的事件の核としてきたシェイクスピアであったが、ここで人間たち（自然現象も含め）を、遥かに高い位置から見詰める存在を、コーラスの姿をとって、登場させたのだ。そしてその存在の前で、人間の犯す過ち、囚われる苦悩はどのように罰せられ、また報われるのか、晩年に向かうシェイクスピアの作品の主題になって行くことを思うと、『ペリクリーズ』とそのコーラスは、彼にとってやはり重要なものであったに違いあるまい。

ただし、技法として、このようなコーラスは、繰り返すことができないものだった。物語であることを意識すればこそその技法であって、観客を感情移入させる劇性は、当然乏しくなる。極めて似たテーマをもつ『冬の夜語り』では、コーラスは16年の歳月の経過を告げるためにだけ、「時」という名前を背負って現れた。『シンペリン』は、「親と子」より「夫と妻」の関係の方に傾き、主題が変わってしまったが、旧に復した『テムベスト』では、主人公の長い語りという技法によって、コーラスを登場させずに、歳月を越えてしまっている。結局、シェイクスピアにとって、コーラスという存在は、重要なものではなかった。事件を主に描くよりも、人間を描くことで事件を追ったシェイクスピアとして、それはいかにももっともなことと言えるだろう。

【参考／引用文献】

- Pericles by W.Shakespeare edited by F.D.Hoeniger (The Arden Shakespeare版) (テキスト使用)
Evryman and Medieval Miracle Plays edited by A.C.Cawley (EVERYMAN'S LIVRARY)
Outlines of Tudor and Stuart Plays 1497-1642 edited by K.J.Holzknrecht (Barnes & Noble)
Six Plays by Contemporaries of Shakespeare edited by C.B.Wheeler (Oxford University Press)
Christopher Marlowe, Complete Plays and Poems edited by E.D.Pendry & J.C.Maxwell(EVERYMAN'S LIBRARY)
English Moral Interlude edited by Glynne Wickham (EVERYMAN'S LIBRARY)
Webster & Ford, Selected Plays introduced by G.B.Harrison (EVERYMAN'S LIBRARY)
『シェイクスピア辞典』 倉橋 健編 (東京堂出版)
『シェイクスピアの劇と刊本』 菅 泰男、山田 明廣著 (明星大学出版部)
エリザベス朝喜劇10選 大井 邦雄監修 (早稲田大学出版部)『びかびかすりこぎ団の騎士』大井邦雄訳
ベン・ジョンソン戯曲選集 大場 健治他訳 (国書刊行会)
ギリシア悲劇全集 松平 千秋、久保 正彰、岡 道男編 (岩波書店)『戯曲形式』細井敦子著
『アンティゴネー』 ソフォクレス作 呉 茂一訳 (岩波文庫)

ドイツ語の複合前置詞 im Vergleich zu(mit) について

桐川 修

Zur Komplexen Präposition des Deutschen „im Vergleich zu(mit)“

Osamu KIRIKAWA

Neben den sog. einfachen Präpositionen gibt es im Deutschen viele komplexe Präpositionen, die aus den mehreren Worten bestehen und im ganzen eine einheitliche Bedeutung ausdrücken. In diesem Aufsatz werden zuerst die Beschreibungen von einigen Grammatikern über diese komplexen Präpositionen grob vorgestellt. Dann wird eine komplexe Präposition „im Vergleich“ behandelt, die sich sowohl mit „zu“ als auch mit „mit“ verbinden kann. Nach der Untersuchung anhand der „TEXT DATA BASE/THOMAS MANN FILE“ führt es schließlich dazu, daß in 98% der allen Belegen die komplexe Präposition „im Vergleich mit“ gebraucht wird.

1. 複合前置詞とは

ドイツ語の前置詞は、従来の文法では um - willen などのごく少数の例外を除いて an, auf, von などといった1語のもののみを対象としてきた《注1》。全ての単語を品詞に分類するためには当然そうならざるをえないわけであるが、しかし2語以上の単語が結び付いて前置詞と同じ機能をはたしているものがある。たとえば《注2》、

- 1) Im Gegensatz zu meinem Kollegen halte ich das Projekt für durchführbar.
(同僚とは反対に私はそのプロジェクトが実行可能であると考えている。)
- 2) Im Verhältnis zum Vorjahr stagniert der Absatz.
(昨年と比べて売れ行きは停滞している。)
- 3) Zum Zwecke der besseren Durchblutung wurden ihm Massagen verordnet.
(血行をさらに良くするために彼に対してマッサージ治療が指示された。)

例文1)の im Gegensatz zu (～とは反対に)、2)の im Verhältnis zu (～と比べて)、3)の zum Zwecke (～のために)などはこれらをさらに分解せずに、ひとまとまりの前置詞として取り扱ったほうがわかりやすい。このような前置詞を『複合前置詞 (komplexe Präposition) 《注3》』と呼ぶ。

これまでの文法でも若干ではあるがこの『複合前置詞』を取り上げているものもある。そこではどのように扱われてきたかを簡単にみてみよう。

1. 1. 関口存男

関口(1964,56)では次のように説明している。

「数語が熟語的に結成して前置詞となったものがある。これを前置句という：

in Bezug auf	に関して
in Hinsicht auf	に関して
im Hinblick auf	に関して
・	・
・	・
・	・

unter Mitwirkung des の協力のもとに 」

ここでは『前置句』という用語を用いているが、関口(1960,930)ではさらにいくつかの異なった用語を使用して

いる。

「題文《注4》の"im Anschluß an"は、三語から成って、多少複雑な構造を取ってはいるが、その達意眼目から云うならば、全体を"....に因んで"、"....になぞらえて"、"....の序でに"、"....に結びつけて"、"....と連関して"、"....に言寄せて"、等を意味する一つの前置詞と見ることができる。普通の単純な前置詞と区別して、或いは"前置句"、或いは"複合前置詞"、或いは"前置慣用句"(präpositive Ausdrucksweisen, präpositionale Redensarten)、或いは迂言前置詞(periphrastische Präpositionen)《注5》などとよぶことができるであろう。」

1. 2. ヘルビヒ/ブッシャ(1982,455)《注6》

「前置詞は、an, bei, durch, unterのような語からなる比較的閉ざされた範疇であるが、次のような表現形式も前置詞に加えることができる。

1. 群前置詞《注7》

mit Bezug auf<~に関して>, im Hinblick auf<~を考えに入れて>, mit Rücksicht auf<~に気を配って>, im Vergleich zu<~と比べて>, im Verhältnis zu<~に比例して>, in bezug auf<~に関して>, von seiten<~の側から>」

以上のように従来の分類では前置詞の中に入ってこない語群(句)を、その機能という点に着目して新たに前置詞に加えようとする動きがみられる。Engel(1988,699ff)では名称は依然として前置詞句《注8》としているが、多数の複合前置詞を例文付きで紹介している。

2. im Vergleich zu ~ と im Vergleich mit ~

複合前置詞は一般に次のような構造をとっている。《注9》

誘導前置詞+基礎名詞+支配前置詞(或いは二格に直結)+被支配部

たとえば、例文1)の場合、imが誘導前置詞、Gegensatzが基礎名詞、zuが支配前置詞、そして meinem Kollegenが被支配部ということになる。例文3)では支配前置詞がなく被支配部 der besseren Durchblutungが二格の形で直接、基礎名詞に結びついている。

ここで取り上げる im Vergleich zu と im Vergleich mit はともに『~と比べて、~と比較して』という意味であるが、支配前置詞が異なっている。辞書などの記述では im Vergleich zu(mit) との表記が多く、支配前置詞としては zuの方が普通であるように受け取れる。たとえば、

- 4) im Vergleich zu/(auch:)mit seinem Bruder ist er unbegabt
(兄と比べて彼は才能に恵まれていない)

DUDEN 2.(1988,755)

- 5) im Vergleich zu, mit seiner Schwester
(彼の姉と比べて) Brockhaus-Wahrig(1984,496)

- 6) im Vergleich zu<mit> jm. ... と比べて,... と比較して
Im Vergleich zu meiner Mutter ist mein Vater ist freigebig.
母と比べて父はとても気前がいい。 独和大辞典(1985,2380)

- 7) im Vergleich zu(mit) et³ 何³と比較すれば
クラウン独和辞典(1991,1411)

などをみれば明らかである。

しかし、また逆の例も見受けられる。

- 8) im Vergleich mit, zu mir tanzt er sehr gut
(私と比べて彼はとてもダンスがうまい)

Klappenbach/Steinitz(1977,4052)

- 9) im Vergleich mit(od.zu) et., 或物と比較して、と比較すれば
相良(1958,1565)

3. トーマス・マン・ファイルでの検索

上で見たように im Vergleich に続く支配前置詞は zu と mit のふたつが用いられるわけであるが、それではその分布を実際の文章の中に見てみることにする。ここで強力な武器となるのが『トーマス・マン・ファイル』である。詳細については樋口／篠原(1983)・(1987)に譲るが、トーマス・マンの全作品をコンピューターに収録し任意の語句の検索を可能にしたものである。

トーマス・マンの作品全13巻《注10》を対象に『複合前置詞』im Vergleich zu および im Vergleich mit の出現頻度を検索した結果が次の表である。《注11》

im Vergleich mit ~	1 1 0	(90.9%)
im Vergleich damit	9	(7.4%)
im Vergleich zu ~	1	(0.8%)
im Vergleich dazu	0	(0%)
その他	1	(0.8%)

計 1 2 1

3. 1. im Vergleich mit の例 (抜粋《注12》)

* Die weiten, kummenartigen Tassen mit blauem Rande waren ungewohnt plump im Vergleich mit dem zierlichen alten Porzellan zu Hause; (Die Buddenbrooks, S.112,Z.18)

* Und er gab an, daß er zuweilen nicht wisse, ob nicht die friedliche Unfähigkeit, in der er noch kurzlich gelebt, im Vergleich mit der gegenwärtigen Geplagtheit der wünschenswertere Zustand gewesen. (Doktor Faustus. S.608, Z.4)

* Nicht viel tiefer als dreitausend Jahre tief - und was ist das im Vergleich mit dem Bodenlosen? (Joseph und seine Brüder 1. S.54, Z.25)

* Der Oberbäcker dagegen war lang im Vergleich mit ihm und im Nacken geknickt. (Joseph und seine Brüder 2. S.1338, Z.23)

* Er fand sich unelegant neben Prenzlau und plump im Vergleich mit Trümmerhauff. (Königliche Hoheit. S.79, Z.11)

3. 2. im Vergleich damit の例 (抜粋《注13》)

* Sie finden, im Vergleich damit, Beethoven rein, klar und natürlich. (Die Buddenbrooks. S.149, Z.1)

* Hermann Hagenstrom bewohnt eine Kate im Vergleiche damit! (Die Buddenbrooks. S.430,Z.2)

* Und zwar meine ich namentlich solche Äußerungen, die aus späten Tagen stammen, Briefe des alten Fontane; denn die des mittleren und jungen sind im Vergleich damit unbedeutend.
(Reden und Aufsätze 1. S.9,Z8)

* Es ist von Anfang bis zu Ende in einem Zustand tiefer Erregung, tiefer Aufgewühltheit und Preisgabe geschrieben, und die vier Bände >Joseph<, die ich doch gern ein Menschheitslied nenne, waren das reine Opernvergnügen im Vergleich damit. (Nachträge. S.221 Z.25)

* Ehre als Lebensreiz gibt es überhaupt nur, wo es aristokratische Ordnung, Distanz-Kultus, Hierarchie gibt; demokratische Menschenwürde ist im Vergleich damit das langweiligste und unlustigste Ding von der Welt. (Reden und Aufsätze 4. S.481,Z.28)

3. 3. im Vergleich zu の例

* „Wir mögen“, sagt Freud, „noch so oft betonen, der menschliche Intellekt sei kraftlos im Vergleich zum menschen Tribleben, und recht damit haben. (Reden und Aufsätze 2. S.277,Z.4)

3. 4. その他の例

* Und sein Segen ist gekommen auf Jaakob, meinen Herrn, welchem bekanntlich als schöner Name der Titel Jisrael gebührt und der da ist ein großer Verkünder, aller Einsicht voll, und sehr weit entfernt, seine Kinder so fehlerhaft zu unterweisen, daß sie es sich beikommen ließen, den Gestirnen Kußhände zuzuwerfen, wie solche doch einzig dem Herrn gebühren würden unter der zu vermeidenden Voraussetzung, daß sie sich schicken würden ihm gegenüber, was aber so wenig der Fall ist, daß man sagen könnte, immer noch im Vergleich sei es schicklicher, sie den blanken Gestirnen zu werfen.

(Joseph und seine Brüder 1. S.101, Z.4)

4. おわりに

今回は数多くある『複合前置詞』のうち im Vergleich zu(mit) を取り上げ、トーマス・マン・ファイルでの検索によって im Vergleich はふたつの例外を除いて残り119例、実に98%以上が支配前置詞として mit と結びついていることがわかった。《注14》今後別の作家、あるいは別の分野の言語資料を用いて同様の検索をおこなえばさらに幅の広い結果が得られるのではないだろうか。

《注》

- 1) たとえば、DUDEN 4.(1984,358ff.)
- 2) 3つの例文はいずれも Engel(1988,700f.) からのものである。
- 3) この用語は Hertel(1983) による。
- 4) ここでの題文とは、「Ein neues Wort wird immer im Anschluß an ein schon bestehendes gebildet. Urzeugung gibt es hier fast gar nicht. 新語は必ず既存語と関係して造られる。何の根拠もなく突如として新たなものが発生するという現象は此処では殆んど皆無である。」関口(1964,871)
- 5) 関口(1960)ではこの『迂言前置詞』という用語が用いられている。
- 6) この引用は日本語訳のものであり、原本は Helbig/Buscha(1974,363)。
- 7) 原文では "formelhafte Präpositionale Fügung"。
- 8) そこでの名称は『前置詞的の前置詞句(präpositionsartige Präpositionalphrasen)』
- 9) 関口(1960,876)参照。
- 10) Thomas Mann, Gesammelte Werke in 13 Bänden. S.Fischer Verlag.
- 11) im Vergleich だけでなく im Vergleiche をも含む。
- 12) ここにあげた以外の用例は以下のとおりである。(105例)

Die Buddenbrooks.	(S.648,Z.08)
Doktor Faustus.	(87,14)(134,23)(157,18)(306,03)(307,19)(442,34)
	(541,23)(659,29)
Erzählungen.	(066,01)(454,32)(833,12)
Der Erwählte.	(141,15)(214,02)
Bekenntnisse des Hochstaplers Felix Krull.	(469,03)(531,06)
Joseph und seine Brüder 1.	(115,19)(258,34)(511,15)(521,14)(602,32)
Joseph und seine Brüder 2.	(1059,18)(1097,26)(1418,22)(1510,13)(1772,12)
Königliche Hoheit.	(158,04)(201,26)(353,15)
Lotte in Weimar.	(456,06)(609,22)
Nachträge.	(95,25)(195,02)(302,20)(548,23)(575,09)(585,10)

(706,03)(773,33)(784,11)(855,19)

Reden und Aufsätze 1.

(28,02)(74,16)(95,01)(192,17)(213,22)(447,01)
(468,09)(626,07)(735,08)(761,04)(763,33)(796,28)
(933,18)

Reden und Aufsätze 2.

(136,15)(157,13)(217,07)(217,09)(257,21)(261,29)
(262,18)(322,20)(350,01)(354,19)(359,29)(365,12)
(366,35)(524,32)(555,05)(674,32)(723,28)(783,21)
(890,25)(899,21)

Reden und Aufsätze 3.

(16,22)(32,20)(129,05)(327,12)(579,19)(748,26)
(791,11)(792,01)(839,23)

Reden und Aufsätze 4.

(49,14)(52,28)(202,10)(346,35)(352,01)(511,26)
(615,36)(621,05)(650,02)(713,08)(768,30)(808,18)
(936,13)

Der Zauberberg. (72,17)(178,32)(383,32)(393,08)(414,08)(514,18)
(632,12)(649,29)(815,19)

1 3) ここにあげた以外の用例は以下のとおりである。(4例)

Erzählungen. (65,21)

Reden und Aufsätze 1.

(573,19)

Reden und Aufsätze 3.

(681,29)

Reden und Aufsätze 4.

(313,25)

1 4) 真鍋(1976,237ff.)には「„im Vergleich zu etwas“ という結合はmitの場合ほど一般に用いられません。しかし意味は同じことです。おそらくは普通に用いられる結合の”im Unterschied zu ...”の影響でしょう。」とあり、今回の結果と合致した説明がなされている。

《参考文献》

関口存男 編：新ドイツ語文法教程 三省堂 1964年

関口存男：冠詞 第1巻 三修社 1960年

ヘルビヒ／ブッシュ：現代ドイツ文法 在間進訳 三修社 1982年

樋口忠治・篠原武：公用データベース トーマス・マン・ファイル/SIGMAの公開 九州大学大型計算機センター広報 Vol.16 No.4 1983 (379-393)

樋口忠治・篠原武：テキスト・データベース「トーマス・マン・ファイル」の完成と再編成について 九州大学大型計算機センター広報 Vol.20 No.6 1987 (582-596)

真鍋良一編著：ドイツ語の疑問に答える201章 ドゥーデン編集部个回答一 三修社 1976年

独和大辞典 小学館 1985年

クラウン独和辞典 三省堂 1991年

相良・大独和辞典 博友社 1968年

Brockhaus-Wahrig:Deutsches Wörterbuch. 6.Band. Wiesbaden/Stuttgart 1984.

DUDEN Band 2 :Stilwörterbuch der deutschen Sprache. Mannheim 1988.

DUDEN Band 4:Grammatik der deutschen Gegenwartssprache. Mannheim '1984.

Engel, U.:Deutsche Grammatik. Heidelberg/Tokyo 1988.

Helbig, G./Buscha, J.:Deutsche Grammatik. Leipzig '1974.

Hertel, V.:Präpositionen in fixierten Fügungen. In:BEITÄGE ZUR ERFORSCHUNG DER DEUTSCHEN
SPRACHE 3.Band/1983 S.58-76.

Klappenbach, R./Steinitz, W.:Wörterbuch der deutschen Gegenwartssprache. 6.Band. Berlin 1977.

電気振動と電気共振の指導事例

浅井 文男

A Case of Teaching Electrical Oscillation and Electric Resonance

Fumio ASAI

電子インダクターと大容量のコンデンサーで構成するLC回路を用いると、電気振動をオシロスコープの画面上で長時間、ゆっくりと上下に往復するスポットの運動として演示することができる。これにより、電気振動は力学的な振動と本質的に同じ現象であることを興味深く学ぶことができる。

2. 電子インダクターの製作

1. はじめに

電気振動の学習における重要な教育目標は、電気振動が力学的な振動や波動現象と本質的には同じ現象であることを理解させることにある。そのためには、力学分野のばね振り子や単振り子の単元、および波動分野の共振・共鳴の単元における学習事項（運動エネルギーと位置エネルギーの移り変わり、慣性と復元力の役割、固有振動数など）と関連させた学習指導が必要になる。

通常のコイルとコンデンサーで構成したLC回路に発生する電気振動は周期が短くすぐに減衰してしまい、その振る舞いをばね振り子の振動などと視覚的に比較することは困難である。電気振動をデジタルストレージ・オシロスコープで観察したり、X-Yプロッターで記録しても、この事情は変わらない。

電子インダクターと大容量のコンデンサーでLC回路を構成すると、周期が数秒程度で長時間持続する電気振動が発生する。さらに、LC回路に接続した金属板の近傍で発泡スチロールなどの帯電体を往復運動させるとLC回路が共振し、電気振動が発生する。通常のオシロスコープを使用して、これらの電気振動をゆっくりと上下に往復するスポット（光点）の運動として演示でき、振動の様子が詳しく観察できる。

この小論では電子インダクターの製作方法とそれを利用した電気振動の実験方法および指導事例を報告する。

電子インダクターとはオペアンプを使ったインピーダンス変換回路のことで、一般にオーディオ用のフィルタ回路として利用されている。電子インダクターは使用できる電圧、電流、周波数に制限があるが、その制限範囲内であればQ値がきわめて大きい、理想的なコイルとして利用できる。また、普通のコイルでは実現することが困難な、正確な値のインダクタンスが実現でき、さらに100Hというような非常に大きなインダクタンスも容易に得られる¹⁾。

製作した電子インダクターの回路図を図1に、実物を写真1に示す。オペアンプには入手の容易な高出力電流用の4556を使用する。コンデンサーC₁はインダクタンスの精度に直接影響を及ぼすので、容量の正確なものを選ぶ必要がある。抵抗はすべて誤差1%の金属被膜抵抗である。消費電流は006P電池1本あたり8.7mAである。

図1に示す電子インダクターの等価インピーダンスは

$$\begin{aligned} Z &= j\omega C_1 R_1 R_3 R_4 / R_2 \\ &= j\omega (C_1 R_1 R_4) \end{aligned}$$

で与えられるので、インダクタンスは

$$L = C_1 R_1 R_4 / R_2 \quad (\Omega) \quad [\text{mH}]$$

となる。

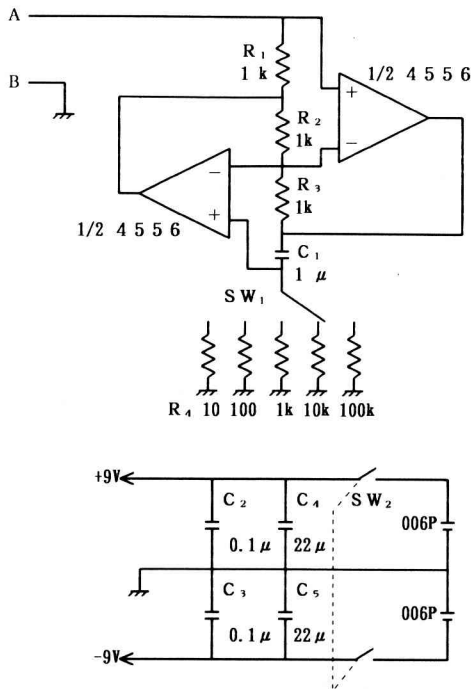


図1 電子インダクターの回路図

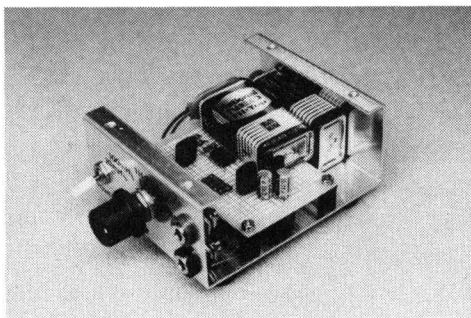


写真1 電子インダクター

この電子インダクターはスイッチSW₁でインダクタンスを10mH,100mH,1H,10H,100Hの5通りに切り替えることができる。LCRメーターで測定した各レンジのインダクタンスの値を表1に示す。

表1 電子インダクターのインダクタンス

レンジ	10mH	100mH	1 H	10 H	100H
測定値	10[mH]	99[mH]	1.0[H]	10[H]	100[H]

写真2は製作した電子インダクターに正弦波交流電圧を加えたときの電圧と電流の波形である。電流の位相は電圧の位相よりも90°遅れることが確かめられる。電流の波形の観察にはCT型電流センサを利用した²⁾。

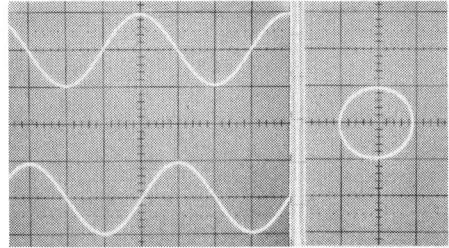


写真2 電圧と電流の波形

左上…電圧の波形、 右…リサージュ図形
 左下…電流の波形 (L=100mH, f=1500Hz)

3. 電気振動と電気共振の実験

3.1 実験装置

実験に使用する装置の回路図を図2に示す。LC回路を構成する右側の部分は太い導線を用いて最短距離で配線する。SW₁は充電と放電の切り替えスイッチ、SW₂は共振の実験に使用する放電用のスイッチである。R₁、R₂はコンデンサーを1Vで充電するための分圧抵抗である。端子P、Qにはコンデンサーを、また、端子R、Sには電子インダクターとオシロスコープを接続する。端子Xは共振の実験に用いる金属板を接続するための端子である。金属板は300mm×200mmのアルミ板を使用する。

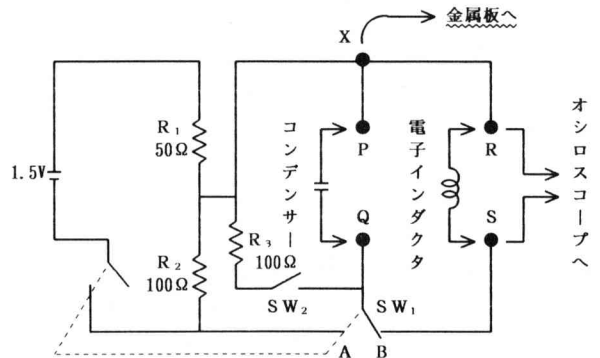


図2 実験装置の回路図

3.2 コンデンサーの放電による電気振動の実験

実験装置に100 μ F~10000 μ Fのコンデンサー、電子インダクター、オシロスコープを接続する。図2のSW₁をA側に入れた後、B側に入れると電気振動が発生し、オシロスコープの画面上のスポットが上下方向に往復運動を始める。

オシロスコープの設定

- XYモード、DCカップリング
- VOLTS/DIV…50mV~0.5Vの適当なレンジ

いろいろなLとCの組み合わせについて測定した電気振動の最大振幅、持続時間、周期を表2に示す。ここで持続時間とは振幅が最大値の1/e(=0.37)倍になるまでの時間である。また、持続時間と周期はストップウォッチで測定した。

表2 電気振動の最大振幅、持続時間、周期

C[μ F]*L[H]	最大振幅[V]	持続時間[s]	周期[s]
10000*100	0.6	104	6.6
10000*10	0.15	23	2.1
1000*100	1.0	23	2.1
10000*1	0.05	8	0.6
1000*10	0.5	7	0.6
100*100	1.0	8	0.7

周期の長い電気振動ほど長時間持続し、また、Lが大きいほど振幅も大きくなるので、L=100HとC=100 μ F~10000 μ Fの組み合わせで実験を行うのが適当である。

3.3 帯電体の運動による共振の実験

写真3で示すように、実験装置にコンデンサー、電子インダクター、オシロスコープ、金属板を接続する。金属板は絶縁物で固定する。オシロスコープの設定は、VOLTS/DIVを1mVにする以外は3.2節の場合と同じである。

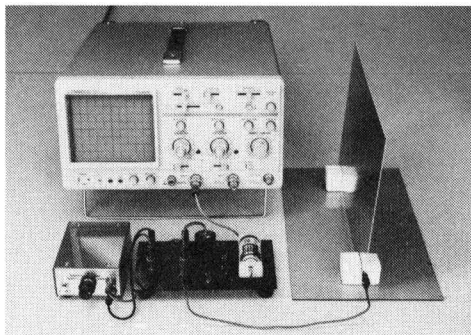


写真3 実験装置の接続と配置

SW₁でコンデンサーを完全に放電させた後、図3で示すように、できるだけ強い静電気を帯びた物体(発泡スチロールの塊やアクリル板など)を金属板の近傍で往復運動させる。往復運動の周期をLC回路の共振周期($T_0=2\pi\sqrt{LC}$)に一致させると、オシロスコープ画面上のスポットは往復運動に同期して振動を始める。このときメトロノームなどを使って、できるだけ T_0 に等しい周期で帯電体を動かす。往復運動の周期を T_0 から少しずらすと、スポットの振動はすぐに減衰することも確かめられる。なお、発生する電気振動の振幅は最大でも2mV程度である。

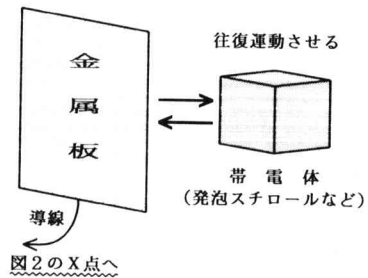


図3 電気共振の実験方法

この実験を演示する場合、帯電体を規則正しく往復運動させやすい周期は1秒程度である。また、インダクタンスが大きいほど回路のQが大きくなり、共振が明瞭になる。よって、L=100H、C=100 μ F~1000 μ Fの組み合わせで実験を行うのが適当である。

4. 電気振動の学習指導

現行の学習指導要領に基づく高校・選択物理の教科書では、コイルとコンデンサーの性質からLC回路に共振電流が流れ続けることを説明し、固有振動数の公式を導くことに重点をおいて電気振動を解説している。また、RLC直列回路を交流電源に接続した場合に起きる、いわゆる直列共振で電気共振を解説している。これでは、電気振動と電気共振をを多様な振動現象(共振・共鳴現象)の一つとして認識し、その振る舞いを統一的に理解するという物理教育の重要な目標(自然認識)を達成することは困難である。

3章の実験を利用すれば、電気振動をばね振り子などの力学的な振動と視覚的に比較することが可能になり、学習者の電気振動に対する興味と学習意欲を喚起し、現象の本質的な理解を深めことができる。以下において、3章の実験を演示実験として授業に取り入れた場合の学習展開の一例を紹介する。

①ばね振り子の振動を演示し、基本的な学習事項について質問し、答えさせる。

・指導のポイント

振動が持続する原因は何か、周期は何によって決まるか、単振動の特徴は何か etc。

②複数のLとCの組み合わせで3.2節の実験を演示し、ストップウォッチで測定した振動の周期を記録させる。周期はL×Cの値で決まることに気づかせる。

・指導のポイント

電気振動は単振動である（周期は振幅に依存しない）。

③L×Cの次元は時間の2乗になることを導く。

（単位の変換に慣れていない場合は省略してもよい）

・指導のポイント

インダクタンスと容量の単位を基本単位で表せるか。

④電気振動とばね振り子の振動におけるエネルギー保存の法則を比較することにより、電気振動の周期を与える公式を導かせる³⁾。

・指導のポイント

電気振動	ばね振り子の振動
$E = LI^2/2 + Q^2/2C$	$E = MV^2/2 + kX^2/2$
$2\pi\sqrt{LC}$	$2\pi\sqrt{M/k}$

⑤公式を用いて周期を計算させ、理論値が②の測定値と一致することを確かめさせる。

⑥ばね振り子の共振を演示し、共振・共鳴現象の基本的な学習事項について質問し、答えさせる。

・指導のポイント

ばね振り子が共振する条件は何か。

⑦LC回路を共振させる方法を考案させ、発表させる。

・指導のポイント

電気振動が発生するメカニズムを説明できるか。

⑧3.3節の実験を演示し、LC回路の固有振動数に対応する周期 ($T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$) で帯電体を往復運動させたときだけ電気振動が発生することを確かめる。

⑨LC回路の共振を利用すると、特定の周波数の電波だけ選び出せることを説明する。

⑩電子インダクターの代りに普通のコイルを使った場合の減衰振動を演示し、振動が急速に減衰してしまう理由を考えさせる。

・指導のポイント

振動が減衰する原因は何か、コンデンサーに蓄えられていた静電エネルギーは最終的にどうなるのか。

参 考 文 献

- 1) トランジスタ技術増刊 トラ技ORIGINAL No.4 (CQ出版社, 1990) 144
- 2) 浅井文男: 物理教育 39-2 (1991) 47
- 3) 石井信也: 高校物理の授業100時間 下 (あずみの書房, 1990) 132

多元論と普遍的存在

ウィリアム・ジェームズの
「神」の概念についての考察

木村倫幸

Pluralism and Universal Being —— A Study of “God” Concept on William James ——

Tsuneyuki KIMURA

ウィリアム・ジェームズにとって宗教に関する事柄は、個人にのみかかわる。彼の「宗教的経験の諸相」①で取り上げられているさまざまな事項——回心、聖徳、宗教的真理等——も個人のみを対象としている。このことはジェームズ自身がしばしば指摘しているところ②であるが、彼の宗教論の特徴は、この立場を徹底して主張して、各人が固有の宗教を持つという多元的宗教論を提唱していることにあると言えよう。

もちろん宗教を論じる以上、個人を超えた普遍的存在者を無視するわけにはいかない。ジェームズでも、個人の存在につながる広大な存在者については語られる。しかしこの場合でもその普遍的存在者は、あくまで各人にかかわる存在者なのであって、個人にとっての普遍的存在者であることが忘れられるべきではない。すなわち普遍的存在者は、普遍的とはいえず、個人から隔絶した、無限の彼方にある存在者ではなく、個人の身近にあって、彼の生活に関与する存在者であればよいとされるのである。

このような個人にとっての普遍的存在者＝神という提唱は、ジェームズのいうプラグマティズムから導かれる。それは周知のように、有用性、効用の原理を主張する思想であり、彼は、人間の宗教経験の考察から、この原理を基礎に右の宗教論を展開する。その特徴は、各人の自己にかかわる仮説が有用性、効用を示すことによって、各人にとっての意味を深めていき、事実としての意義を持つてくるところにある。そして各人にとっての神の姿を呈するのである。従ってこの神は、各人の性質、生活、必要等々によって異なる多数の神々の並存を宣言する。

宗教についてのかかる理論は、従来の絶対的な唯一神の主張とは全く異なる方向からの神へのアプローチではあるが、一見雑多な神々の存在は、かえって宗教の本質の解明に多くの手がかりをもたらすものと考えられる。というのも日常生活を送っている普通の人々にとって宗教が意味するところのものは、非日常の大袈裟な事柄ではなくて、むしろ日常の些細な出来事を契機としている場合が多いからである。

小論は、ジェームズの宗教論の普遍的存在者＝神を考察することによって、プラグマティズムにおけるその意義を解明することを目指す。ただしこのことが現在の宗教問題、従ってわれわれの生活に直接かかわる問題を多く含んでいるからである。

—
 ジェームズの宗教論では、宗教の知的内容に関して次のように指摘される。

「第一に、あらゆる信条の不一致という状況の下で、それらがこぞって証言するような共通の核心が存在するのかどうか」(399)。

この問いかけにおいてジェームズは、およそすべての宗教に共通する事柄を振り出そうとし、そしてその答を自己の不安とその解消というかたちで見出す。この間の過程は、こう説明される。

「われわれは自然の状態にあるときに、われわれに關して何か不正なものが存在するという感じ」(400)を持つ。つまりわれわれの自己が自分自身を反省し、その間違った生活、行動について自覚し、思い悩む。しかもこの苦悩は、自己が純粹に正しく生活しようと思えば思うほど深まる、というのが誰しもの宗教経験の常であると言えよう。ところがこのことは同時に、その間違った自己と共に善良な、正しい自己に気づかせることとなる。

「個人は、彼が自分の不正に悩んでいて、そしてそれを批判している限り、その範囲では意識的にその不正を超えている。そして何かより高いものが存在するとするならば、少なくともそのより高いものに触れていると考えられる」(同)。

自己が抱えている不安、不正の感じは、このようにして「より高いもの」への契機として、逆説的に説明される。そして自己の不安が解消されるとは、この「より高いもの」に連なる自己の部分が、それ以下の部分を克服してしまふこと、その結果としてわれわれが救われているという感じを抱くことなのである。ここで自己は眞の自己を確信するわけであるが、自己は更に「より高いもの」それ自体を意識するようになる。このことをジェームズは次のように述べらる。

「彼はこのより高い部分がこれと同一性質の、あるより以上のもの(a more of the same quality)と隣接し連続していることを意識するようになる」(同)。

かくしてこの「より高いもの」「より以上のもの」へのつながりが、信条の異なるさまざまな宗教に共通の事柄として見出されたが、今度はこの自己を超えた「より高いもの」「より以上のもの」をどのように説明し、自己と関連づけるかが問題となる。そして以下においてジェームズの宗教論の独自の展開がなされる。彼は、右のように宗教全般にわたる共通を指摘した上で、これを説明するにあたって哲学が「宗教科学 (science of religions)」として機能するこ

と④を期待して、ひとつの「仮説」——それは近代の心理学によって承認されているが故に科学につながり、また人間の宗教的経験を説明できる点では宗教にもつながる「媒介的な概念」(402)を有するとされる——を提出する。

ジェームズは、この「仮説」の基礎として宗教生活のあらわれとわれわれの存在の潜在意識の部分との連関という事実を踏まえた上で、こう述べる。

「そこで私は、仮説として次のことを提案する。すなわち宗教的経験においてわれわれ自身が結びつけられていると感じる『より以上のもの』は、向う側においては何であれ、こちら側では、われわれの意識的生活の潜在意識的な連続である、ということなのである」(403)。

つまりわれわれの宗教的経験における「より以上のもの」は、実はわれわれ自身の「潜在意識的自己」であるとされる。従ってジェームズの「仮説」によれば、われわれは自己の「より高い部分」が「より以上のもの」と連なっていることを感じるができるのである。われわれがすべての宗教に共通のものとして「より以上のもの」は、ジェームズによって無限の彼方から呼びもどされて、われわれ自身に直接関係するものとなり、われわれ自身を手がかりにして深求されるべきものとなる。そして「より以上のもの」をこのように解釈することによって、「仮説」は個人にとって「仮説」以上の意味を有してくる。

「宗教的生活においては、この支配(宗教的経験において超越的な力によって個人が支配されていると感じること——引用者)は『より高い』と感じられる。しかしわれわれの仮説によると、支配しているのは、本来われわれ自身の隠された精神のより高い能力であるから、われわれを超えた力との結合の感じは、たんに見かけのみの何かの感じではなくて、文字通り眞である何ものかの感じなのである」(同)。

われわれはここで、この「仮説」がわれわれにとって眞であることを確認することになる。われわれが宗教的経験で感じる「より以上のもの」は、このようにわれわれ自身にとって眞としてあらわれることで、われわれに作用を及ぼし、「仮説」は宗教的眞理をもたらす。

「意識的人格は、それを通して救いの経験があらわれるより広大な自己と連続しているという事実において、われわれは宗教的経験の積極的内容を有する。そしてこの内容は、これに関する限り、文字通り客観的に眞であると私には思われる」(405)。

「より以上のもの」とは「潜在意識的自己」であるとすると「仮説」は、個人

において真なるものとして認められるが故に宗教的真理として確立されるにいたる。かくしてわれわれの宗教的経験における「より以上のもの」は、われわれ自身につながり、われわれを取り巻くより広大な自己にまで到達し、更にその先についての考察が続けられねばならないことになる。そしてこの先の世界は、「潜在意識的自己」が実在的であり、「より広大な自己」が実在的であるように、われわれの世界とつながる実在的なものとされる。

ジェームズは、「われわれの存在の更に遠くの限界は、感覚的で、ただ『理性で理解できる』世界からは全く異なった存在の次元の中に突っ込んでいるように、私には思われる」(406)として、この領域を「神秘的領域」「超自然的領域」と名づける。そしてこの領域にわれわれは最も本質的に属しているのであり、——何故なら、われわれを支配する理想的衝動は、ほとんど全部がこの領域から出てくるのであるから——またこの領域は、たんに観念的なものではない、——何故なら、それはわれわれに対して現実的な効果を産み出すから——とされる。すなわちわれわれがこの領域と関係することで、われわれは新たな人格を獲得して生まれ変わるのであり、ジェームズの言葉に従えば、「他の実在の内部に作用を産み出すものは、それ自身が実在と名づけられねばならない」(同)のであるから、「神秘的領域」「超自然的領域」は、その実在性と効用を承認され、われわれ自身とつながっている広大な自己のより高い部分となる。そしてこの部分は、ジェームズによって神と呼ばれることになる。このようにしてわれわれは、「より以上のもの」を「潜在意識的自己」であるとすると「仮説」から出発して、そのより広いつながりを確認しつつ神に到達することになる。

二

ではわれわれが到達したこの神は、いかなる有用性、効用を有するのか。このことを「プラグマティズムの原理」との関連で見えていくことにする。

「プラグマティズムの原理」とは、ジェームズがしばしば紹介しているように、ペース(Peirce, C.S., 1839~1914)によって提唱された哲学上の立場であり、「信念は行動のための規則である」(351)ことを主張する。とりわけ思想の意義にかんしてジェームズはこの原理を次のように要約している。

「もし実際の結果においていかなる差異をもなさない何らかの思想部分が存在するとすれば、その部分は、その思想の意義に関する本質的要素ではないであろう。ある思想の意味を明るみに出すためには、それ故われわれは、それが

どのような行動を産み出すのに適しているかをただ決定しさえすればよい。この行動が、われわれにとっては唯一の意義である」(同)。

従ってわれわれは、ある思想を持った場合には、そのことでわれわれの知覚、行動が実際上どのように変化したかを確認すれば、この思想の意義を明らかにすることができることになる。そこでこの場合には、われわれが神を持つことといかなる差異が生じたかが検討されなければならない。

まず神に関して、「われわれと神とは互いに取り引き関係を持つ、そしてわれわれ自身を彼の力に対して開放することに於いてわれわれの最も深い運命は実現される」(406)こと、そしてわれわれが神の要求に対してどう応えるかによって、宇宙はわれわれの属している部分において善あるいは悪の方向へと進むというところ、すなわち現実的な効果を産み出すこと——このことは神の存在を確信することにもなる——が確認される。われわれの個人的な努力の意味がこのように位置づけられ、更にわれわれは、われわれを励まし、力づけるこの効果が、広い範囲にわたっていると信じる。この結果として大部分の宗教的人間には、彼ら自身を含む全世界が神によって守られているという信念が生まれ、神の存在によって世界の悲劇は一時的部分的なものに過ぎないとされて、「そこにおいてわれわれすべてが救われているという感じ、次元が存在すると彼らは確信する」(407)。神の存在のもたらすこの効果こそ、「仮説」を「現実の仮説(a real hypothesis)」(同)たらしめるものと言えよう。そしてこの「仮説」は、一層有用な「仮説」として働く必要がある、「主体の絶対的な確信と平安とを正当化するために、神はより広い宇宙的な関係に入る必要がある」(同)ことになる。

つまり神は、広大な自己とつながっている宇宙のより高い部分であり、最高の実在ではあったが、ここにおいて「より以上のもの(something more)」[新しい事実の要請者(a postulator of new facts)](同)とされる。宗教はこう解されることで、効果を世界全体に及ぼすものとなる。ジェームズの言葉によれば、それはたんなる言葉の解釈の差異にとどまらない。

「宗教的に解釈された世界は、表現を改められた唯物論的な世界ともう一度同じものではない。それは表現を改められた更にその上に、唯物論的な世界が有しているであろうものとはある点で異なった自然的構造を持っているに相違ない。そこにおいてはきつと異なる出来事が期待されるし、異なる行動が要求されねばならないだろう」(408)。

神の存在が「現実の仮説」として有用性、効用を持つが故に、われわれはこれに従い、期待し、行動する。そしてこの世界は、神の存在によってますます深く広大な意義を有してくるのである。有用性、効用を軸にしたジェームズの宗教論は、ここにいたってその頂点に達した。しかしジェームズにとつては、この主張は極めて常識的な部類に属するというのも同時に指摘されなければならない。というのわれわれが作りあげた神の存在という「仮説」が有用性、効用を持って「現実の仮説」として作用し、宗教的真理として存在する、そしてこれに応じて逆にわれわれが世界に対する態度を変えるよう要求されていく、といった構造は、神の存在を承認することから出ていく通常の宗教的現象であるからである。一般の人々が、右の相互作用を自覚しているか否かはさておき、有用性、効用は宗教を信仰する上での重要な要素のひとつであり、ジェームズがこの側面を軸に宗教を考察したことは、その本質を突くものと言えよう。彼は、このプラグマティックな宗教の見方がより深い見方であると主張し、「この見方は宗教に魂と同様に肉体をも与える」(同)とするのである。

三

さて以上のような宗教の効用の考察は、しかしながら宗教全般に共通のものを含むものであった。ところがジェームズにとつては、宗教はあくまでも個人のものであり、この範囲を超えてはならない。従って前節での神についての主張も、本来は各人それぞれが持つべきもので、多数、多種類の信仰に分歧していく傾向を有している。

ジェームズはこの傾向を「剰余信仰 (over-beliefs)」と名づける。そしてこれは、われわれが宗教的経験において「より以上のもの」を「こちら側」では「潜在意識的自己」としたすぐ後に生じるとされる。すなわち、われわれは宗教的経験をただ「こちら側」のみこのように解する「仮説」を提唱して、その有効性を確認しつつ、これに基づいて神にまで進んだわけであるが、しかしそれはひとつの方向なのであって、現実的な可能性としては他にも無数の方向が存在している。いわばジェームズが述べた「仮説」は、「戸口 (doorway)」に過ぎず、「われわれがそれを通していきやいなや、そしてもしわれわれがより遠い側を超越的な意識に従っていくとすれば、その超越的な意識がわれわれをどこまで運んでいくのかとの質問を発するやいなや、たちまち困難があらわれてくる」(404)のである。つまりこの「戸口」を通ると次の一步は各人

によって異なり、神による啓示を有する個人は、宗教者としての各人の信仰を主張しはじめ。すなわち「ここですべてのさまざまな宗教の預言者達が、めいめい彼自身の特別な信仰が本物であることを証明することになっている幻影、声、恍惚、その他の発端と共に出現する」(同)。

そしてこの多様さは、啓示を有しない普通の人々にも、各人の信仰としてあらわれる。各人が何を、どのように信じるか、という問題は、次のように問われる。

「全ての人間において、宗教と他の諸要素との混合は同一であるべきであるというのを当然のことと考えるのか？ 果して全ての人間の生活が同一の宗教的要素を示すべきであるというのを当然のことと考えるのか？ 言いかえれば、それほど多くの宗教の型や派や教義の存在は悲しむべきことであるのか？」(384)。

そしてこれについてジェームズは、「これらの質問に対して私は断固として『否』と答える」(同)とし、「そしてその理由は、個々の人間のように、そんなに異なった位置で、そんなに違う才能を持つ被造物が、正確に同一の機能や同一の義務を持つべきであるということがいかにして可能であるか、私にはわからないからである」(同)と主張する。

かくして各人は、自分の精神に適合した何かを有すると考えられる宗教を選択する。その際重要な役割を果たすのが、「われわれの個人的な感受性」(405)、その内できつとわけ「知的な感受性」(同)である。ただし「宗教的な問題は、本来は生活の問題、われわれに贈物として開かれているより高い結合において生きるか生きないかということの問題ではあるが、その贈物が実際のものとしてあらわれてくる精神的な興奮は、個人の胸にこたえるある特殊な知的な信仰や観念が接触されるまでは、しばしば個人のうちに呼び起こされるのに不十分であろう」(同)からである。

従って「さまざまな方向の剰余信仰は絶対的に避けられないということ」(同)を認めるべきであって、ジェームズによれば神学的なもの単一ではなくて「一群の性質」(384)を意味するものである以上、人間の数が存在する限りの剰余信仰が存在すると言わざるを得ないのである。

われわれはここに、有用性、効用の観念が各人によって異なるのと同様に、これを基本とする信仰も、各人の剰余信仰として異なることを確認する。それは各人が宗教一般を信仰することであるとどまらず、各人が自分の宗教を信じることである。それ故われわれの周囲にはこのような剰余信仰が満ちている

わけであるから、われわれはそのあれこれの剰余信仰をいちいち支持批判するのではなく、「それらの剰余信仰自体が不寛容でない限り、われわれもそれらを思いやりと寛容さで取り扱うべきであるということ」(405)が要請される。そしてわれわれは、各人が最も重要であると考えられる剰余信仰を尊重する限り、多元的な宗教観を採用せざるを得ないのである。

四

この剰余信仰の立場は、各人に適した多くの神々を必要とする。つまりそれぞれの人間が自己の神を有する。「それぞれの態度が人間性の全意味の一語一句なのであるから、その意味を完全に繰るためにはわれわれすべてを要するのである」(384)。従って「戦闘の神」も「平和の神」も、「天の神」も「家庭の神」もそれぞれの人にとっては神であるし、また神であることが認められねばならない。

さてこのような姿勢からわれわれは、ジェームズの神についての特徴を探り出さねばならないが、この場合にも、神の存在によって事実の中にどのような差異が生じたかが注目されなければならない。

ジェームズは、神の存在によって生じる差異の代表的なものとして「個人の不滅性」があげられるとして、「宗教は、事実、人類の大多数にとって不滅性を意味し、その他のものを意味しない」(412)と述べる。しかし同時に「私は講義の中で、不滅性あるいはその点での信念については何も言わなかった、というのも、私にはそれが二次的な点であると思われるからである」(同)と指摘する。

この指摘は何を意味するか。それは通常「神」がその性質として「唯一」「無限」とされていることについての、従って「不滅性」をわれわれに与えることについての疑念の表明に他ならない。(略)知的な明確さのために、私は、われわれの研究してきた宗教的経験は、無限性の信念を明白に証拠だてるものとして引用され得ないと言う義務があると思う」(413)というジェームズの言明は、「神」が「唯一」であり「無限」であると素朴に信じて、哲学や神秘主義の権威によってそれを確信しているわれわれの傾向に警鐘を鳴らす。

「宗教的経験が疑う余地なく確言する唯一」のことは、われわれがわれわれ自身よりも大きい何かとの結合を経験できるということ、そしてこの結合においてわれわれの最大の平安を見出すことができるということである」(同)。

このようにジェームズが宗教的経験の考察から引き出したことは、たまたわれわれよりも大きな力の存在の信仰であって、われわれにとってはこれさえあれば満足を得られるということなのである。そして「その力は、われわれの意識的自己とは別で、それよりもより大きくなければならないということ」(同)だけを条件とする。

このより大きい力が、ジェームズの「神」なのである。そしてその大きさに関しては、「もしそれが次の一步を信頼するのに十分な大きさでさえあるならば、いかなる大きさでもよいであろう」(同)とされることから、この力はまた「より大きい、そしてより神のような自己」(a larger and more godlike self)」(同)であるとも考えられる。かかる「神」は、当然無限である必要も、唯一である必要もない。要するにわれわれには、各人の剰余信仰に依じて、「より大きい力」としての「より大きい自己」、「より神のような自己」を信じていくことが要請されているのである。従って現実の世界には各人各様の信仰が存在すればよく、そこに絶対的統一などというものは必要とされない。

以上のようにしてわれわれは、ジェームズのいう「神」を確認した。そしてその結果、この「神」は各人に有用な神であり、宇宙には人間の剰余信仰の数だけの神が存在することができ、そのいずれもが神的なものの一群の性質を示していることを理解したのである。

そしてジェームズは、自身の剰余信仰について、祈りの状態で自分に流れ込んでくるエネルギーという事実以上の神的事実が存在することを信じると指摘し、このわれわれの意識の世界とは異なる多くの意識世界の存在と、ある点における両者の連続について語る。そして「人間的経験の全表現は、私がそれを客観的に眺めるときには、狭い「科学的」な境界を超えるよう私を駆り立てる」(408)と宗教の優位を説く中で、各人の剰余信仰に忠実に生きることが、神の仕事を助けることになるかもしれない、とむすんでいる。

われわれはここにおいて、ジェームズの宗教論が、まさしく個人的な範囲にとどまり、他ならぬ彼自身の剰余信仰に終っているのを見る。そしてこのことがプラグマティズムの原理に最も忠実な宗教観であることを示していると言えよう。「より以上のもの」を「潜在意識的自己」と解し、これを「戸口」として広大な自己、神へと進んできたジェームズの主張は、このように自己完結的な努力と安らぎを要求することで終結するのである。

五

以上われわれは、ジェームズの宗教論をその普遍的存在者＝神を通じて考察してきた。そしてその神については、すべて個人にのみかかわる事柄であり、普遍的存在者、あるいは宗教全般に共通の事柄の検討の際にも、結局は個人的範囲を超えることはなされていないと言えよう。そればかりかジェームズ自身の剰余信仰こそが、自分にとっての宗教本来のあり方であるとの立場が明確にされているのである。もちろんその立場は、個人的なものである以上、他の人々の個人的な立場を認めざるを得ず、ここに互いの人格を尊重する近代的な立場であると同時に不干渉を要求する立場でもある寛容の態度が提唱されることになる。

「疑いもなく、幾人かの人々は、ここにおいても、社会生活におけるのと同様に、より完全な経験とより高い使命を持っている。しかしそれぞれの人間にとっては、それがどんなものであろうと、自分自身の経験の中にとどまること、そして他の人々にとっては、それぞれの人間をそこで許容することが、確かに最善のことである」(385)。

われわれはジェームズのこの言葉に、プラグマティズムにおける個人の典型的な姿勢を見る。宗教は各人が各人の信念として持てばよいのであって、他の人々はそれについてとやかく言う必要はないのである。そして各人のこの神は、すでに見てきたように、絶対者などである必要はなく、「次の一步を信頼するのに十分な大きさ」のものであれば事足りるとされる。われわれは、神の存在を信じることで、われわれの自己がより大きい自己に包まれているという安心感を得るのであり、われわれの生活行動を自信を持って行なうことができるのである。この意味ではジェームズの神は、いわばそれに乗ることによってわれわれが安全かつ迅速に目的地へと到達することのできる乗物のようなものであるととえることができるであろう。そして神の観念がかかるものとして考えられるということは、プラグマティズムでいうわれわれを導くものとしての観念という思想と軌を一にするものであって、ジェームズの神はこの思想の忠実な表現であると言えよう。それは故各人にとって多種多様なものがその時々々に神としての機能を発揮することになり、同時にそれはより広大な自己への結びつきを保つとされる。

われわれは、このジェームズの神の思想に、現代社会で流布しているさまざまな宗教と同様の特徴を数多く見出すことができる。有用性、効用を原理とし

て、より広大な自己とのつながりを持つ「次の一步を信頼するのに十分な大きさ」の神々とは、自己の利害を基準に競争生活を送らざるを得ない孤立した現代人にとってふさわしい神々であると言いうことができるし、この観点からの考察が今後必要とされているのである。

註

① William James: *The Varieties of Religious Experience*, Harvard U.P., 1985.

以下本書からの引用は頁数のみを示す。

② たとえば科学と宗教との比較に際して、ジェームズはこう述べている。「つまりわれわれが責任を負っている関心事とは、結局われわれの個人的運命なのである」(395)。

③ この点については、「さまざまな神学はすべて、『より以上のもの』が実際に存在しているということでは一致する」(401)あるいは「更にそれらはすべて次の点でも一致する。すなわち『より以上のもの』は存在するばかりでなく作用し、諸君が諸君の生命をその手の中に投げ入れるときには、実際何かが良い方向にもたられる、ということである」(同)と述べられている。

④ 哲学は、宗教的経験を「仮説」としてテストすることで、諸宗教間の「調停」を行なう「宗教科学」となることができるとされる。なお拙稿「多元的世界と宗教(Ⅳ)」(奈良工業高等学校研究紀要第二五号、一九九〇年)第三節を参照のこと。

武田 充啓

『三四郎』（明治四一、九、四一、一二）には周知のように作者の予告（同、八）があり、そこには「田舎の高等学校を卒業して東京の大学に入った三四郎が新しい空気に触れる。さうして同輩だの先輩だの若い女だのに接触して、色々に動いて来る。手間は此空気のうちに是等の人間を放す文である」とある。そこでとりあえず『三四郎』で作者は、「新しい空気」の中で青年が（動くこと）を描こうとしたのだということがわかる。

『三四郎』の冒頭にある「うとくして眼が覚めると……」という文章は、主語としては省かれてしまったある主体がそれまでは眠りの中にいたことを教えてくれる。そうしてその同じ人物が「たゞ口の内くちのちで迷羊まじやう、迷羊まじやうと繰返した。」という末尾の一文まで読み終えてもう一度この冒頭に戻ってみると、『三四郎』という作品そのものを一つの夢として生きた青年が、そこから目覚めて再び同じ夢を生きはじめるといった印象を受ける。

三四郎の眠りに着目した論考はすでにある①が、ここでは眠る／目覚めるということが、動く／動かないこととどうかかわるか、という問いかけを軸にして、いま一度『三四郎』を読み返してみたいと思う。それは、具体的には様々なかたちで現れる「夜」や「夢」といったものが、この作品の中で直接、間接に果たす役割を明らかにし、それらが三四郎や美彌子が「徧行」すること、あるいは「真直に進んで行く」こととどう関係することになるのかを読み解く作業になる。

一 動く人、眠る人

上京する二十三歳の青年小川三四郎は、九州から山陽を抜けて、いまは京都から名古屋へと向かう車中にある。ある場所から別の場所へとその身体を移動させながら、三四郎は眠りから覚める。動く人三四郎は、また眠る人でもある。そして三四郎のこの車中での眠りは特別な眠りである。というのは三四郎にはこの眠り以後、決して安らかな眠りが訪れないからである。

事実「新しい空気」との接触が、名古屋で「無教育」だか「大胆」だか「無邪気」だか「見当が付かない」（一）女と同宿せざるを得なくなるというよきな「現実世界の稲妻」として、三四郎の眠りを奪うかたちでまず訪れた後、

“Teikaika” in
Natsume Sōseki's *Sanshiro*

Mitsuhiro TAKEDA

東京での「劇烈な活動」を目の当たりにするほぼ三週間の間②というものは、三四郎の眠り、三四郎の夜の時間は描かれることがないのである。そしてその夜の代わりともいうように、三四郎は野々宮宗八の「穴倉」を訪ねるのである。「和土の廊下を下へ降りた。世界が急に暗くなる。炎天で眼が眩んだ時の様であったが少時すると瞳が漸く落付いて、四辺が見える様になつた」。ここで、眩ゆさが暗さの喩として使われていることに注意しよう。三四郎はすでに「昼」と「夜」の区別が意味を持たない〈場所〉に置かれている。それでも夜を求めると「夜」のように、三四郎は野々宮の「光線の圧力を試験する」器械の「横腹に開いてゐる」二つの穴に眼をつけ「穴」は「蟒蛇の眼玉の様に光つてゐる」。やはり三四郎の夜は奪われているといつてよい(一)。

三四郎が凝として池の面を見詰めてゐると、大きな木が、幾本となく水の底に映つて、其又底に青い空が見える。三四郎は此時電車よりも、東京よりも、日本よりも、遠く且つ遙な心持がした。然ししばらくすると、其心持のうちに薄雲の様な淋しさが一面に広がつて来た。さうして、野々宮君の穴倉に這入つて、たつた一人で坐つて居るかと思はれる程な寂寞を覚えた。(二)

「面」が「底」であり「底」が「面」であるような〈場所〉で、三四郎は「今始めて」の「孤独」を感じている。三四郎は「早く下宿に帰つて母に手紙を書いてやらう」と思う。しかし三四郎にそんな時間が与えられるのはまだ先である。孤独を癒す東京での夜が描かれないうちに、三四郎は「女」に出会うことになるのである(一)。

三四郎は慥に女の黒眼の動く刹那を意識した。其時色彩の感じは悉く消えて、何とも云へぬ或物に出逢つた。其或物は汽車の女に「あなたは度胸のない方ですね」と云はれたときの感じに何処か似通つてゐる。三四郎は恐ろしくなつた。(中略)／三四郎は茫然してゐた。やがて、小さな声で「矛盾だ」と云つた。大学の空気とあの女が矛盾なのだか、あの色彩とあの眼付が矛盾なのだか、あの女を見て、汽車の女を思ひ出したのが矛盾なのだか、それとも未来に対する自分の方針が二途に矛盾してゐるのか、又は非常に嬉しいものに対して恐を抱く所が矛盾してゐるのか、——この田舎出

の青年には、凡て解らなかつた。たゞ何だか矛盾であつた。(二)

三四郎は「池の縁で逢つた女の、顔の色ばかり考へ」る。そして安らかな夜を持ってないまま三四郎は「女の色」について「九州色」の「黒」でもなく、上京後に見た下駄屋の娘が石膏の化物のように塗り立てた「白」でもなく、「薄く餅を焦した様な狐色」を「どうしてもあれでなくつては駄目だと断定」するのである。三四郎はここで初めて、「白」でも「黒」でもない、その中間の曖昧な「たゞ何だか矛盾」の世界に生きることを、自分の「三四郎」における役割として自覚しているのだといつてよい(二)。

三四郎は眠る人として、また動く人として登場した。眠っていた三四郎は眼を覚ます。そしてひとたび眼を覚ましたが最後、彼には安眠できる「夜」がなくなつてしまふ。「髭のある」「神主じみた男」はいう。「熊本より東京は広い。東京より日本は広い。日本より……」「日本より頭の中の方が広いでせう」(一)。七つ歳上の野々宮はいう。「七年もあると、人間は大抵の事が出来る。然し月日は立易いものでね。七年位直ですよ」(二)。「夜」が奪われるまでは明快であつたはずの世界が、空間も時間も、広くて狭い長くて短い、「矛盾」を抱えたものになる。

「凡ての物が破壊されつゝある様に見え」「同時に建設されつゝある様にも見える東京の「大変な動き方」が、三四郎のかつての「自分の世界」とは無関係に現れる。三四郎は「今活動の中心に立つてゐる」。そして「此動揺を見てゐる。けれどもそれに加はる事は出来ない」。三四郎は眼の前の「現実世界」と「どこも接触してゐない」。だとすれば、それを彼の見る「夢」と区別するものがどこにあるというのか(二)。

こうして眠りから覚めたはずの三四郎は、今までの「自分の世界」という過去も、目の前にある東京での「現実世界」という現在も、さらに彼の未来をも、すべて「夢」として抱え込み、「夢」の中を動く人＝眠る人になるのである。

二 夜

三四郎の求めている「夜」と、直接につながりを持つ存在は母親である。三四郎は度々母親からの手紙に接しており(二)(三)(四)(七)(九)、自ら返事を書いてゐる(三)(七)。便りは送金(九)や電報(十二)のかたちをとる

場合もあるが、三四郎がそれらと接するのはほとんど夜なのである。

「古い人で古い田舎に居る」(二) 母親は、三四郎の「三つの世界」(四)の第一の世界を代表する人物である。三四郎にとって「母」は「脱ぎ棄てた過去」を「封じ込めた」「立退場」(同)なのである。「戻らうとすれば、すぐに戻れる。たゞいざとならない以上は戻る気がしない」と三四郎は考える。しかし、そう考えているときこそ彼は「立退場」に戻っているのである。「夜」は三四郎が「母」と接触する〈時間〉であり、この〈時間〉が三四郎を「低徊家」(四)たらしめている。しかし「母」は、いつまでも三四郎の「立退場」としてあり続けるわけではない。

野々宮宅での留守番の夜、三四郎は母親が野々宮に送った「ひめいち」を晩飯に食うが、若い女の「醜死」に出くわすことになるだろう(三)。「三十円を枕元へ置いて寝た」ところで、夜火事を知らせる「半鐘の音」が彼の「すこやかな眠」を妨げるであろう(九)。三四郎は美禰子に金を借りねばならなくなり③、その前夜には美禰子の「好意」と「愚弄」について「汚ない所を奇麗な写真に取って眺めてゐる様な気がする。写真は写真として何処迄も本当に違ないが、実物の汚ない事も争はれないと一般で、同じでなければならぬ筈の二つが決して一致しない」ことに頭を悩ませなくてはならない(八)。そして広田先生から〈不義の子〉の話の聞かねばならない④のである(十一)。

安全地帯としての「夜」は影を薄くしていく。母からの手紙が長いものから次第に短くなるのに対して、三四郎の返事は弱くなっていく。「夜」の力を強く求めるかのように長いものに変わっていく。〈夜→母〉は、三四郎の安眠を保証し続けることはできない。おそらく最後のチャンスとして試みられた三四郎の帰郷さえも、「三四郎」からは除かれてしまうほかはなかった。「母」という「立退場」は、もはや三四郎の個人的な時間軸上の「過去」にしかない。そしてそれは、すでにそこからは覚めてしまった「夢」と異ならないのである。

広田は三四郎の「三つの世界」のうち、第二の世界を代表する人物である。彼もまた三四郎の「夜」にかかわる存在であり、東京の「現在」をともに生きつつ三四郎の「暢気のんきなの源みなもと」(七)になるという意味で、いまは「夢」となりつつある「母」以上に三四郎の「低徊」に影響を与える存在である。

〈夜→広田〉は、まず「髭を濃く生やしてゐる」「神主じみた男」(一)として三四郎の前に登場する。「囚はれちや駄目だ」というのがこの男の最初の警告である。若い女の「醜死」に遭遇した、三四郎の「人生と云ふ丈夫さうな命の

根が、知らぬ間に、ゆるんで、何時でも暗闇へ浮き出して行きさうに」思えたそのとき、三四郎は「髭の男」を思い出し、「世の中にある、世の中を傍観してゐる」「批評家」にでもなろうかと考え、そう考えることによってかろうじて「低徊家」を維持することになる(三)。

三四郎はその広田から、「自然を翻訳すると」「みんな人格上の言葉になる」、「崇高」「偉大」「雄壮」といった「人格上の言葉に翻訳する事の出来ない輩には、自然が毫も人格上の感化を与へてゐない」という言葉を聞く。その翌日の夜、自分の将来について「国から母を呼び寄せて、美しい細君を迎へて、さうして身を学問に委ねるに越した事はない」という結論を得ていた三四郎は、広田の「翻訳」説から「なるべく多くの美しい女性に接触しなければならぬ」という別の結論をも導くことになる(四)。

三四郎の未来は、彼の第三の世界である「美しい女性」に関して、〈細君を得ること〉と〈なるべく多く接すること〉との二つの方向に分裂する。この両立し得ない「夢」を抱えたまま、三四郎は美禰子と接触することになる。しかし「あまりに暖か過ぎる」「青春の血」が三四郎を「真直に進」ませようとする(十)以前から、「夜」はむしろ余裕を持った「低徊」を勧めていたのである。

「同級生の懇親会」で「鼻の下にもう髭を生やしてゐる」学生は、三四郎にこそ警告するために演説している。

我々は西洋の文芸を研究する者である。然し研究は何処迄も研究である。その文芸のもとに服従するのは根本的に相違がある。我々は西洋の文芸に囚はれんが為、これを研究するのはではない。囚はれたる心を解脱せしめんが為、これを研究してゐるのである。此方便に合せざる文芸は如何なる威圧の下に強ひらるゝとも学ぶ事を敢てせざるの自信と決心とを有して居る。(六)

むろん「女性」を「研究」する三四郎に、こうした自信や決心があるわけではない。「髭」の学生から「囚はれちや不可いけませんよ」と重ねて忠告された三四郎は、やはり〈夜→広田〉を訪ねている。

美禰子に対して「訳の分らない囚はれ方」に陥った三四郎は、自分のとるべき態度を決定するために、広田から野々宮と美禰子の関係を聞き出そうとする。が、広田の話は「外れて」、三四郎自身の結婚の話になる。広田は「まだ早いで

すね。今から細君を持つちや大変だ」と、いったんは否定するようなことをいっておきながら、三四郎が母親から結婚を勧められていることを知ると「御母さんの云ふ事は成べく聞いて上げるが可い」と、先ほどとは矛盾するような言葉を「丸で子供に対する様」に、二度までも繰り返すのである(七)。

広田の話はまたも「外れて」、「偽善」と「露悪」の話になる。「昔の偽善家に対して、今は露悪家許りの状態にある」。しかし「露悪」が「度を越」して「極端に達」すると「利他主義が復活」し、「それが又形式に流れて腐敗すると又利己主義に帰参する」。この「際限」のない繰り返しのうちに「進歩」がある。「英国を見給へ。此両主義が昔からうまく平衡が取れてゐる。だから動かない。だから進歩しない」。「自分丈は得意の様だが、傍から見れば堅くなって、化石しかつてゐる」。そういう話を広田は三四郎に聞かせている。

広田は「母」のように安全な「立退場」ではない。「広田先生は畢竟ハイドリオタフヒアだ」(十一)という三四郎の言葉どおり、広田は「解らないながらも」「興味を惹く」(同)書物、解読されるべきテキストなのである。だが「偉大な暗闇」(四)とは、それ自身「場所」を持たない存在であることに注意すべきである。汽車に乗る人「動く人」として登場し、つねに「暗い方へ」(十二)「外れて」「いこうとするこの男は、同時に「奇麗な空の下」「真昼間」の「戸外が好い」(同)と明るさを愛する男でもある。自身のうちに「矛盾」を抱えたこの遍在する「暗闇」は、動く／動かないといった次元を、超越するというよりは、そこからずれてしまうことよってそれを相対化するのである。だが「興行」を奪われた三四郎は、与次郎ほどには広田というテキストを「余処から見る」(十)余裕を持たない。

美禰子は「正直か正直でないか」。三四郎がその考えを「真直に」進めるとどうなるか。「表面上の行為言語は飽迄も善に違ない」ものが眼の前にある。しかし「極めて神経の鋭敏になつた文明人種」がそれをしたとき、ほんとうに「正直」に「それ自身が目的」でそうするのか、「横から見ても縦から見ても」「偽善」としか思はれない様に仕向けて「そうしているのか、区別がつかない場合がある。だとすれば、「露悪家」の中で「正直」なだけで「悪気がない」〈善人〉と「尤も優美に露悪家にならうとする」〈悪人〉とを外側から判断して見分けることなどできないのではないか(七)。

美禰子自身の生が分裂を余儀なくされたように、三四郎もまた「未来に対する自分の方針が二途に矛盾し」(二)、「自分の態度を判然極める事」(七)がで

きなくなる。

「夜」はここでもやはり広田をとおして、三四郎に「囚はれちや駄目だ」と警告しているだけなのである。広田の言葉に対してもそうあるべきなのだ。おそらく「進歩」とは「動くこと」そのことであろう。しかし「真直に」動いてはならない。広田の話がつねにそうであるように、問題の中心から距離を保ちつつ「外れ」続けることで、自己と対象とを同時に相対化すること。だが母親に対しては許された「返事」が、「夜」そのものに対しては許されない三四郎は、「二面の星月夜」(三)「月夜」(四)「星が夥しく多い」「美しい空」(六)「高く晴れて何処から露が降るかと思ふ」(七)「月の冴えた」(九)「夜空を見上げるばかりだ。そして広田をとおした「夜」からの声は三四郎に届かない。

やがて「夜」は三四郎を見限ったかのように「風」を吹かせ、彼に「運命といふ字を思ひ出」させるであろう(九)。久しぶりの母の「長い手紙」も、もはや夜の時間に読まれることはない(十二)。そうして「真直に」進むべき道を断たれた三四郎は、「夜半から降り出した」「雨の音を聞きながら、尼寺へ行けと云ふ一句を柱にして、其周囲にぐる／＼「低徊」(十二)することになる。むしろこれは「外れ」ることのできる余裕ある「低徊」ではない。

三 夢

轢死した女の「凄死顔」を見た三四郎は、その夜夢を見ている。

——轢死を企てた女は、野々宮に關係のある女で、野々宮はそれと知つて家へ帰つて来ない。只三四郎を安心させる為に電報だけ掛けた。妹無事とあるのは偽り、今夜轢死のあつた時刻に妹も死んで仕舞つた。さうして其妹は即ち三四郎が池の端で逢つた女である。…… (三)

三四郎がこの夢の中で「野々宮に關係のある女」を自殺させていること、そして「池の端で逢つた女」を野々宮の「妹」と考えその女もまた死なせていることは興味深い。この夢見が「池の女」と再会する前夜のことであり、その「リボン」によって野々宮と關係があることを三四郎が知る以前のことであることに注意しよう。ここには「夢だから分る」(十一)ことがある。

三四郎は夢見の前に「光線の圧力の研究をする為に、女を轢死させる事はあ

るまい」と考えている。夢はそれが間違いであり、野々宮の「研究」が一人の女美彌子を自死の「企て」にまで追いやることになることを知らせている。そして後に三四郎は自分の「夢」への執着によって美彌子「池の女」を殺すことになるのだとすれば、夢の中の二人の女は同一人物であり、同時に死ぬのも不思議ではない。こうしてこの夢が一人の女を引き裂いて同時に二つの場所に存在させ、求めている男とすれ違いにさせるかたちで女の生を奪っていると見るならば、三四郎の夢は、三四郎を先取りしなからず「三四郎」を読んでいることになる。

野々宮の「妹が此間見た女の様な気がして堪まらない」三四郎は次のような空想もしていたのである。

三四郎はもう一遍、女の顔付と眼付と、服装とを、あの時あの俵に、繰返して、それを病院の寝台の上に乗せて、其傍に野々宮君を立たして、二三の会話をさせたが、兄では物足りないので、何時の間にか、自分が代理になって、色々親切に介抱してゐた。所へ汽車が轟と鳴って孟宗藪のすぐ下を通つた。

(同)

空想が空想である程度に、「代理」は「代理」にしかすぎない。「物足りない」のは美彌子の方である。兄恭助の代理に野々宮があり、野々宮の代理に三四郎がいる。美彌子については「代理」としか出会えない。

三四郎は自分では気づかずに、「池の女」という彼の「夢」にこだわっている。そうして「池の女」という枠におさまりきらない現実の美彌子を見殺しにし、彼女を眼の前から遠ざけてしまうことよって、「池の女」がより完璧な「夢」として三四郎に生きられることになるという逆説にも、彼自身気づいてなどいない。しかしそれこそが「囚はれ」ということではなかったか。広田の夢(十一)でもわかるように、この「囚はれ」方は「思ひ出す事も滅多にない」くらいのものでありながら、「二十年」ぶりに不意に夢の中に現れたりするような「囚はれ」方であり、母親の不義から生まれ「結婚に信仰を置かなく」なった男を、その結婚に踏み切らせる力を潜在的に持つような「囚はれ」方なのである。

「夫で結婚をなさらないんですか」

先生は笑ひ出した。

「それ程浪漫的な人間ぢやない。僕は君よりも遙に散文的に出来てゐる」
「然し、もし其女が来たら御貰ひになつたでせう」
「さうさね」と一度考へた上で、「貰つたらうね」と云つた。(十一)

広田は「十三三の女」に、彼の「結婚」という「夢」を殺されたわけではない。おそらくは実の母親によって、「母」という「夢」と同時に「結婚」という「夢」をも殺されてしまった男が、だからこそその「夢」の死後に見いだす「築くことになつた完璧な「夢」が彼の「森の女」なのである。そこには壊されることのない完全で安全な「女」が眠っている。むろん「囚はれ」ることに無自覚でない広田は、ここで三四郎のいう「もし」がまたもう一つ別の「夢」であることを知っている。

しかし、人がこの「囚はれ」に気づくのは、自分の「夢」を他人に殺されるという経験、あるいは自分の「夢」を見続けようとして他人の「夢」を殺してしまつたという自覚をとおしてでしかない。三四郎は、しかしその「夢」の死を経験せず、殺しを自覚しない。

「重い事。大理石の様に見えます」

美彌子は二重瞼を細くして高い所を眺めてゐた。それから、その細くなつた俵の眼を静かに三四郎の方に向けた。さうして、

「大理石の様に見えるでせう」と聞いた。三四郎は、

「え、大理石の様に見えるです」と答へるより外はなかつた。女はそれで黙つた。しばらくしてから、今度は三四郎が云つた。

「かう云ふ空の下にゐると、心が重くなるが気は軽くなる」

「どう云ふ訳ですか」と美彌子が問ひ返した。

三四郎には、どう云ふ訳もなかつた。返事はせずに、又かう云つた。

「安心して夢を見てゐる様な空模様だ」

「動く様で、なかく動きませんね」と美彌子は又遠くの雲を眺め出した。(五)

小川の縁に腰を下ろした二人の前に「髻を生やし」た男が現れる。「憎悪」の眼で「睨め付け」られて「凝と坐つてゐにくい程な束縛を感じ」ながら、しかし「安心して夢を見てゐる」男は「夢」から覚めたがらない。「私そんなに生

意気に見えますか。」「池の女」ではなく、眼の前の〈小川の女〉を見よ。おそらくは、美禰子こそ「小川三四郎」という名が悪いといいたかったに違いない。しかし「小川」の省かれた「三四郎」という題を持つ作品の中では、美禰子の呟きはただ「迷へる子」としか聞こえない(五)。

〈多くの美しい女性に接すること〉と〈美しい細君を得ること〉。この二つの「夢」の狭間から美禰子という生身の女が飛び出してくる。しかし三四郎は目の前の「明瞭な女」(五)の素顔を見ることができない。三四郎は自分の「夢」という枠組みの内側でしか「意味のあるもの」(同)を見いだせないのである。美禰子は「立派な人」(十)と結婚し、「森の女」という一枚の絵を残して三四郎の前から去って行く。三四郎は「森の女と云ふ題が悪い」といい、「たゞこの中で迷羊、迷羊と繰返す」(十三)。

三四郎は、重松泰雄がいうように△『迷羊』美禰子の孤独をとおして真に『迷羊』たる自己に目ざめた▽⑤のであろうか。越智治雄は△おそらく作者の関心は、動揺し秩序を喪失した現実の中で、虚妄と彷徨を必然とする人間把握に到達する時間にあつたのだろう▽⑥と指摘していた。『迷羊』はいくつもの「夢」を、そして「夢」の中だけを彷徨わねばならない。しかし作者の関心や認識はともかく、三四郎には、美禰子にはあつたかも知れぬ、虚妄と彷徨を「必然」とする自己認識はない。

たしかに三四郎は「夢」の中でしか生きられない人間なのであり、たとえかりに彼が「夢」から覚めたと思つたとしても、それもまた一つの「夢」でしかないような世界に生きねばならぬ人物である。「夢」から覚めるということそのこと自体が不可能な「夢」に他ならないのだとしても、では「夢」の中で覚めているということではできませんか。おそらく美禰子の二つに分裂した行為には、そうした試みが含まれてははずである。そして美禰子のそんな欲望に無縁な三四郎は最後まで「夢」に対する認識を持ち得ず、「夢」の中に眠り続ける青年なのである。

「池の女」として記憶した女が「森の女」として眼の前に残されたことにとどうしても違和を感じる三四郎は、「池の女」を殺したのが他でもない自分自身であり、そうすることによって「池の女」という「夢」を(変わらないという意味で)完全なものとして自分のうちに取り込んだのだという自覚を持たないまま、しかし「池の女」というただ一つの「夢」を見続けたい、変わらない「夢」の中で眠り続けていたいという本心だけは「正直」に洩らしている「露悪家」

なのである。

四 装置と自然

里見美禰子は早くに両親と長兄を亡くし、残った兄恭助との二人きりの生活の中で、その兄から「放任」(八)されて育っている。「田舎」あるいは「旧式」の女性に比べて、美禰子は「自由」な境遇にあるのだが、この「自由」は、血のつながった親を亡くし、残された「肉親」とはある距離を持って生きねばならないという代償の上に成立している⑦。野々宮よし子が兄宗八に甘えるようには美禰子は兄に甘えることができない。同じような境遇に見えてよし子と美禰子には決定的な違いがある。

三四郎は「何で来たか」「実は分らない」まま、野々宮を訪ね、よし子に会っている。よし子の兄に対する「大いに尤もな様な、又何処か抜けてゐる様な」意見を聞いて、しかし三四郎は「よし子に対する敬愛の念を抱いて」帰るのである(五)。三四郎は「これしきの女」と思うと同時に「東京の女学生は決して馬鹿に出来ない」とも思う。だが三四郎が馬鹿にできないのは、よし子の「尤もな」ところではなく、「抜けてゐる」ところなのである。それは、たとえば美禰子にはないものだからである。

オラブチュアス！池の女の此時の眼付を形容するには是より外に言葉がない。何か訴へてゐる。艶なるあるものを訴へてゐる。さうして正しく官能に訴へてゐる。けれども官能の骨を透して髓に徹する訴へ方である。甘いものに堪へ得る程度を超えて、烈しい刺激と変ずる訴へ方である。甘いと言はんよりは苦痛である。卑しく媚びるのは無論違ふ。見られるものゝ方が是非媚たくなる程に残酷な眼付である。(四)

これを広田式にいえは、三四郎という「装置」(九)は、美禰子の「自然」を「オラブチュアス」「艶なるあるもの」「残酷」としか「翻訳」できない。つまり三四郎は、この範囲でしか「人格上の感化」を受けず、この範囲でしか彼女の「自然」を理解できないということになる。そしてそれが彼の「池の女」という「夢」(「枠」)なのである。

女は腰を曲めた。三四郎は知らぬ人に礼をされて驚いたと云ふよりも、寧ろ礼の仕方かたの巧たくまさに驚いた。腰から上が、風に乗る紙の様にふわりと前に落ちた。しかも早い。それで、ある角度迄来て苦もなく確然たつぜんと留つた。無論習つて覚えたものではない。(二三)

たとえば美禰子の「礼」に対して、三四郎は応対する術を持たない。三四郎だけではない。この「習つて覚えたものではない」もの、すなわち美禰子の「自然」に対応し得るものは、自然現象としての自然を除いてはかにないのである。

『三四郎』の男たちは、美禰子の「自然」を受け止める存在としてはあまりに「人工的」(四)であり、観念的である。野々宮は「女には詩人が多い」(五)といい、与次郎は「イブセンの人物に似てゐるのは里見の御嬢さん許りぢやない。今の一般の女性はみんな似ている」(六)という。原口は「これからの女はみんな左うなる」(七)といい、語り手までが「三四郎は近頃女に囚れた」(同)というのである。

むろん「余処よこから見る」ことと一般化してしまふこととは同じことではない。しかし、人間はそもそも「人間の自然」を観察する「装置」としては不適格なのである。これはおそらく作者の動かせない認識である。広田の話に明らかなように、人間は「光線」とは違つて「ある状況の下に」「どんな所作をしても自然」(九)だからである。ともあれ三四郎という「装置」とその背景としての男たちの存在は、美禰子という存在がますます謎に包まれていくことだけに貢献することになる。

女が斃死した夜、三四郎は女の「あゝあゝ、もう少しの間だ」／と云ふ声を「真実の独白」として聞いたはずである(三)。美禰子の「美しい草葉の底に、一種の苦悶くもんがある」(十)ことを見逃さない三四郎は、しかし彼女の洩らす「迷へる子」という言葉については「凡てに捨てられた人の、凡てから返事を予期しない、真実の独白」(同)とは聞かない。それがあの斃死した若い女の声が発せられたところと同じ「場所」からのものかも知れぬという疑いすら持てないでいる。そこは彼が「夜」を求めて立っているその「場所」ではなかったか。このことに気づかないかぎり三四郎の自己発見も自己確認もあり得ない。

「一歩傍へ退く事は夢にも案じ得ない」(十一)三四郎は、最初から不可能な仕事を請け負っている「装置」としてのその役割に堪えきれないかのように、素

手で光線の圧力を測ろうとする科学者を演じようとする。美禰子の不幸は、彼女の「自然」の解読とその共有を他の人間に期待できないことにある。その意味で美禰子に他者は存在しない。彼女は空を見上げ、雲を眺めるほかにない。三四郎の「浪漫的」純真さは美禰子の「自然」をたしかに動かす。が、その「自然」の「苦悶」を救う力は、若さというような曖昧なものにはないのである。

五 結婚と肖像画

美禰子について、三四郎は与次郎に質している。「周囲に調和して行けるから、落ち付いてゐられるので、何処かに不足があるから、底の方が乱暴だと云ふ意味ぢやないのか」(六)。彼女の欲望を叶えてくれる対象は、「現実世界」の側には存在しない。それは「現実世界」こそが一つの「夢」にすぎないからというよりは、美禰子の欲望が「自己」という彼女自身によって構築されるべき「夢」の問題にかかわるからである。

「三四郎は詩の本を」「美禰子は大きな画帖を」開く(四)。広田式にいえば、「詩」とは「移りゆくもの」であり、「画」とは「変わらないもの」である。男たちは、では自ら「詩」たり得ているか。「もつと美しい方へ方へ」(十一)。しかし自らを変えることなくそこへと移動し得るといふ思い込みが錯覚ではないのは広田の夢(十一)と彼の「囚はれ」に対する自覚を見れば十分であろう。したがって広田は、自らの変化を覚悟の上で「囚はれちや駄目だ」というのである。移動と変化のすすめ。しかしこの警告の主旨を理解し、それを徹底的に実践してみせるのは美禰子だけなのである。

雲を眺める美禰子は、三四郎に「鴛鴦うづすまの襟巻えりまきに似てゐるでせう」(四)「大理石の様に見えるでせう」(五)と聞いている。彼女は三四郎の前で「自然」を決して「人格上の言葉に翻訳」しようとはしない。美禰子は「詩」ではなく「画」を選ぶ。「画」は画工の原口がいうように「心を描くんぢやない。心が外へ見世を出してゐる所を描く」(十)ものだからである。たとえば「眼」は「心を写す積で」描かれるのではなく「たゞ眼として」描かれねばならない。「人格上の言葉」という「枠」におさまりきらない「自然」を抱えている美禰子はそれを「乱暴」(六)などという貧しい言葉に「翻訳」して欲しくはないのである。

「そんな事をすれば、地面の上へ落ちて死ぬ許りだ」是は男の声である。
「死んでも、其方が可いと思ひます」是は女の答である。

「尤もそんな無謀な人間は、高い所から落ちて死ぬ丈の価値は充分ある」
「残酷な事を仰しやる」

(中略)

「(略) 高く飛ばうと云ふには、飛べる丈の装置を考へた上でなければ出来ないうに極つてゐる。頭の方が先に要るに違ないぢやありませんか」

「そんなに高く飛びたくない人は、それで我慢するかも知れません」

「我慢しなければ死ぬ許りですもの」

「さうすると安全で地面の上に立つてゐるのが一番好い事になりますね。

何だか詰らない様だ」

野々宮さんは返事を已めて、広田先生の方を向いたが、

「女には詩人が多いですね」と笑ひながら云つた。すると広田先生が、

「男子の弊は却つて純粹の詩人になり切れない所にあるだらう」と妙な挨拶をした。野々宮さんはそれで黙つた。(五)

「空中飛行器」の議論ではつきりしているのは、野々宮が美禰子の煩悶に匹敵する存在ではないということだ。野々宮が「燈台」(四)にたとえられているのは、彼が外国で知られていながら日本では誰も知らないからではない。野々宮が自分の立っている「場所」を動かこうとしない存在だからである。彼女が何を求めているのか、それさえも知らうとはしない。

運動会を抜けて池を見おろす「高い崖」に立つ場面(六)で、よし子に「まだ此処を御存じないの」「飛び込んで御覧なさい」という美禰子は、よし子を自分のいまいる「場所」に立たせようとし、よし子がいまいる「場所」を彼女に換わつて占めようとするかのようである。「でも余り水が汚ないわね」と答えるよし子は水平に「外れ」る人である。「真直に」進む人美禰子はまさしく垂直に「飛ばう」としているのだ。変わらうとし、変われると信じたいのである。変わりたいくない、変われない男たちはそれを理解しない。

「露悪家」として生きざるを得ない時代とは、「浪漫的自然派」(九)を余儀なくされる時代のことであり、そうした制約の内側で「正直」であろうとすること、真に変わらうとすること、そうした欲望に忠実に「真直」進めば、必ず里見美禰子の問題にぶつかる。「変わらないもの」としてある「画」はそのと

き、欲望の可能性として同時に、不可能性として現れる。不徹底な「露悪家」、中途半端な「詩」であるしかない男たちにはそれが謎である。変われない美禰子は変わらないものの中に変わりたいという欲望を閉じ込めようとする。

玉井敬之は美禰子の結婚について、△この結婚は不自然で▽△この「宿命の女」には、夫を破壊しなければならぬような、何か恐ろしいものを秘めているような気がしてならない▽△といっている。しかし「恐ろしいもの」がかりに生き延びたとすれば、それは美禰子の結婚生活にはなく、彼女が残した「画」の中にはなかつたか。

美禰子の自己実現の欲望が、野々宮という他者によって無視され見殺しにされるかたちで相対化されたとき、彼女は「迷へる子」を自覚する。しかし殺されず生き延びて持て余された欲望は、三四郎というもう一人の「迷羊」を発見し、彼を自分の仲間にしようとする。そして外に向かおうとする自らの欲望がどの方向にも閉ざされてゐるのに気づいた美禰子は、その自己を「結婚」への決意と「画」を残すこととの二つに振り分ける。このことは「自己本位」(七)というものが結果として余儀なくされる二つのみちすじを示している。一つは「自己」を押え込むかたちで殺す方向であり、一つは「自己」を「表現」するかたちで生かす方向である。「自己本位」が社会や他者といった外に対しての通路を持ってないときには、とりあえずこの二つの方向にしか道はないのである。

そこで作者とその創作との関係といった問題とも関連させて、「自己本位」の確立の可能性を具体的な人間関係の中においてではなく、芸術という「表現」の領域に見出すことになった、とする見方に誘われやすいのであるが、しかしそれだけでは少なくとも「三四郎」における美禰子の「宿命」を説明するには不十分であろう。美禰子は自らの欲望だけではなく、その死でさえも誰とも分かち合うことができない。そしてそればかりではなく、彼女の「表現」は他人に媒介されたものでもあるからである。

もう一度、美禰子の「結婚」と「画」について考えてみる。彼女の「結婚」は、それだけではなく同時に「画」が残されているために、彼女の全面的な改心、あるいは回心を示すものとして考えることはできない。そして彼女の「画」は、同時に「会堂」(十二)があるために「罪」の告白とは考えられない。否定されるはずのものは「耶穌教」(同)が引き受けるであろう。したがって「画」には、美禰子にとって、少なくとも美禰子にだけは最後まで肯定されるはずの

ものが込められている。しかしそれは、「画」となった今も誰とも分かち合えないままでいる。

美禰子の肖像は、まずはそれを描く画工に、そしてそれを観る者にと、二重に委ねられている。したがって美禰子にとって、「画」そのものではなく、「画」を残そうとしたその姿勢だけが問題となる。丹青会の会場に現れた野々宮や広田先生は「画」の「技巧の評ばかりする」(十三)。彼らは、その「画」が「鼓の音の様に間が抜けてゐて、面白い画」にはなっていないことを、それも画工の原口がすで「面白」していることを確認するだけである。与次郎は二人に「異を樹て」て、「里見さんを描いちゃ、誰が描いたつて、間が抜ける様には描けませんよ」という。たしかに、美禰子は「鼓の音の様にぼん／＼する画」には描いてもらえなかった。しかしそれは、彼女自身が「鼓の音の様にぼん／＼する」人間になろうとしていたのかも知れないことを否定するものではない。

美禰子に「迷羊」と認められた三四郎は「画」を批評しようとはしない。「科学者」や「批評家」が見落としているもの、見ようともしないものを三四郎だけは指摘しておかねばならないのではないか。

「どうだ森の女は」

「森の女と云ふ題が悪い」

「ぢや、何とすれば好いんだ」

三四郎は何とも答へなかつた。たゞ口の内（オレシヤ）で迷羊（オレシヤ）、迷羊と繰返した。

(十三)

三四郎は「自己」という「夢」には無縁であり、したがって実現すべき「自己」を得ようとして美禰子を求めたわけではない。三四郎の行動は、あくまでも「美しい女性」を「研究」する延長上にあり、その意味で彼は「低徊家」にとどまっている。ただし距離も余裕も持てない中途半端な「低徊家」は、「面」が「底」であり「底」が「面」であるような世界で、その「面」を横滑りに横断することもできず、「底」向かって「真直に」も進むこともできないのである。三四郎には成長というものが無い。そしてだからこそ三四郎は、彼だけに許された権利を完全に放棄することがないのである。

「自己」という「夢」に「囚はれ」、「肖像画」を残そうとした美禰子。「迷羊」でなくなることによってでしか「迷羊」を肯定し続けられなかった美禰子もま

た「奥行」を奪われ、「真直」な成長を許されてはいない。そのことに気がつかないまま、二人の生が等しく余儀なくされた条件だけは辛うじて分かち合おうとする姿勢をとどめた「迷羊」の咬きは、三四郎にできる美禰子への精一杯の誠実な挨拶なのである。そしてそばにいる「立派な人」の画工への「鄭重な礼」でもなく、ましてや「動かない」安全な位置からの「技巧の評」などでもなく、この成熟を禁じられた「低徊家」の多分に「間の抜けた」それこそ三四郎的な反応だけが、自意識家を廃業した「森の女」への慰藉になるであろうことなどにも、むろん気づかない三四郎なのである。

おわりに

「自己」という「夢」を築き上げることができずに、したがって「自己」という〈枠〉におさめきれなかったものを、一枚の「画」として額縁の中に押し込んだかに見える美禰子は、では「耶蘇教」という額縁に何をおさめようとしているのか。むしろ「自己」などという「夢」||「罪」を持たずに生きていける〈場所〉としてそこは選ばれているのだろうか。十字架というものが〈枠〉そのものではなく、〈枠〉の不在を内側から支えるものともいうように、そこにいる美禰子は、いまいっさいの〈枠〉から解放されてあるのだろうか。

こうした問いに誘われながら、しかし美禰子と「耶蘇教」との結びつきには、彼女と「画」ほどの切実さは窺えない。作者は作品を壊してまで美禰子の「自己」を表現し追究しようとはしていない。ここでは、宗教は死せる「自己」に与えられた一つの〈枠〉||「墓標」としてはあり得ても、「自己」がその中で十全に生き得るように構築||獲得されるべき「夢」として登場しているわけではないのである。

変わりたくない人間と変わりたい人間がそれぞれの欲望を表現させようとする、あるいは、変わってはならない人間と変わらねばならない人間がそれぞれに与えられた宿命に抗おうとする、そうした物語として「三四郎」を読むならば、「三四郎」は、変われない人間という共通の根を持つ両存在者たちが、変われないという同じ無益な実を結ぶだけに終わる物語となる。

「三四郎」に成長や成熟はない。三四郎は「美しい女性」||「池の女」という「夢」に「囚はれ」たまま、「低徊」することも「真直に」進むことも許されず、美禰子は「自己」という「夢」に付こうとしてただ「低徊」し、「自己」と

いう「夢」から離れようとしてただ推移するばかりである。しかし同じ世界において、「自己」を放はな下りし去る（三）ることを許す瞬間が、あるいは一枚の「肖像画」という「心」を置き去りにした「奥行」のない表面が、当人の意志とは無関係に訪れ、現出していることもまた事実なのである。むしろそれは、ただ向こう側からのみやってくる僥倖を待つ以外にない、ということを意味しているわけではない。そのことは、「夢」に「囚はれ」てはいけないということ、とりわけ「自己」という「夢」が、こちら側から求めては決してたどりつけないのは、成長や成熟という「夢」に「囚はれ」ているからではないか、そういうことを示唆しているように思われるのである。

註

- ① 浅野洋「三四郎の眠りと父の消息」（『立教大学日本文学』六十、一九八七・七）
- ② 助川徳是「『三四郎』の時間」（重松泰雄編『原景と写像 近代日本文学論 攷』一九八六・一）を参考にした。
- ③ 村田好哉「『三四郎』の世界―森の女―美禰子を巡って―」（『日本文芸研究』三七・二、一九八五・七）に、三四郎が美禰子から金を受け取ることによって、「例えば母なるものとの関係において自己を支えていたその世界に無条件には帰れない存在へと姿容を余儀なくされる」の指摘がある。
- ④ 前掲①に同じ。ここで浅野氏は、三四郎は美禰子の背後に「危うい〈母〉」を見ており、彼の深層に眠っている〈不義の子〉疑惑を直視すまいとする無意識的な防御反応こそが三四郎の〈眠り〉である、と指摘している。
- ⑤ 重松泰雄「『夏目漱石全集』Ⅱ 三四郎注釈 補注二二六」（『日本近代文学大系』二六、角川書店、一九七二・二）
- ⑥ 越智治雄「『三四郎』の青春」（『漱石私論』、角川書店、一九七一・六）
- ⑦ 『彼岸過迄』の須永市蔵が、こうした点で里見美禰子を引き継いでいる。
- ⑧ 玉井敬之「三四郎の感受性―『三四郎』論―」（『講座夏目漱石第三巻漱石の作品下』、有斐閣、一九八一・一一）

『新生』の「序の章」について

細井 誠司

A Study on Jo-no-shō or Prologue of Shimazaki Tōson's *Shinsei*

Seiji HOSOI

藤村の第五の長篇小説『新生』は、発表以来様々な批判にさらされてきたが、平野謙氏が『『新生』覚え書』①を発表して、『新生』の作因は「恋愛からの自由と金銭からの自由」にあるとし、果たして「一個純正な芸術作品と呼び得ようか」と批判するに及んで、その後の『新生』論は、長くこの平野評に束縛されることとなった。才気鋭いこの平野氏の論評は、今日もなお、その有効性を失ったわけではないが、一方では、その私小説的手法から脱却して作品の自立性を重んじ、作品の芸術性を評価しようとする動きも高まってきている。その代表的な論考の一つに、藪楨子氏の『『新生』の基本構造』②がある。

藪氏は、「序の章」(特にその「二」)を重視し、「序の章」に「倦怠と懶惰の気のみを見るのは、重大な読み落としである」として、氏の想定される原『新生』(第一卷の九十二章〜百十章辺りまで)の全体の基本トーンが、ここに象徴的に開示されているとされた。そして、『新生』にかけた藤村の初志は、序の章の「二」のような境地を作品として実現させる所であり、「全二巻においてほぼ所期の達成を得て終わっている」とされた。

十川信介氏もまた、『『新生』のまぼろし』③において藪氏の見解を支持し、「序の章」の「二」が、岸本・節子の愛の関係の予告になっていると見ておられる。

この藪・十川両氏の論は、広く容認されていると思われるが、その後、笹淵友一氏が「藤村『新生』新論」④を書かれ、この両氏の見解に異を唱えられた。本論においては、藪・十川両氏の論を基本的に支持する立場にたつて笹淵説を批判しつつ、「序の章」と「本文」との関係について考究し、『新生』の意図が、「序の章」に言う「蠱惑」の生の芸術的達成(「芸術的生活と宗教的生活」との融合、「蠱惑の芸術」の実現)にあったことを論じようとするものである。

二

明治四十五年四月に刊行された藤村の短篇集『食後』は、友人蒲原有明から贈られた手紙「『食後』の作者に」を序として添えている。『新生』の「序の章」は、その有明の手紙を、主人公岸本に宛てた中野の友人の手紙として紹介し、

引用することから始まっている。

中野に隠棲して悠悠自適の生活を送っていた友人は、「倦怠と懶惰」「無為」の生活に陥り、ぼんやりとした「仏教的気分」——無常観に染まっていると、まず現在の心境を説明する。そして、自分は仏教そのものに帰依して悟りに達するのではなく、その宗教的情調から生ずる幻影を楽しんでいたと希望を述べる。「序の章」の「二」に引用されたその手紙の中から、本論に関連する箇所を抄出すると次のとおりである。

……郊外に居を移してから僕の宗教的情調は稍深くなつて来た。僕の仏教は勿論僕の身体を薫染した仏教的気分過ぎないのである。僕は涅槃に到達するよりも涅槃に迷ひたい方である。幻の清浄を体得するよりも、寧ろ如幻の境に暫く倦怠と懶惰の「我」を寄せたいのである。眠つて居る中に不可思議な夢を感じるやうに、倦怠と懶惰の生を神秘と歡喜の生に変へたいのである。無常の宗教から蠱惑の芸術に行きたいのである……斯様に懶惰な僕も郊外の冬が多少珍しかったので、日記をつけて見た。——(中略)——然し概して言へば初冬の野の景色はしみじみと面白いものである。霜の色の蒼白さは雪よりも滋くて切ない趣がある。それとは反対に霜どけの土の色の深さは初夏の雨上りよりも快調である。またほろほろになつた苔が霜どけに潤つて朝の日に照らさるゝ時、大地の色彩の美は殆ど頂点に達するのである。この時の苔の緑は如何なる種類の緑よりも鮮かで生気がある。恰も緑玉を砕いて棄てたやうである。また恰も印象派の画布を見るやうでもある。僕はわびしい冬の幻相の中で、こんなに美しい緑に出会はうとも思ひがけなかつたのである。僕の魂も肉もかゝる幻相の美に囚はれて居る刹那、如幻の生も楽しく、夢の浮世も宝玉のように愛惜せられるのである。然しながら自然の幻相は何等の努力の発現でないのと等しく、その幻相の完全な領略はまた何等の努力をも待たないものである。夢をして夢と過ぎしめ……

(序ノ二)

さて、藪氏の論のうち、「序の章」と本文との関係についての論点を整理すると、要旨次のようになる。

「序の章」は、いわゆる原『新生』における藤村の世界を規定しており、藤村の本来の心組みを窺わせる大切な部分である。その中心になるのは「二」(右の引用箇所)であり、その「二」は、『新生』の世界を象徴する役割を果たしている。その「二」の半分以上を割くまでして、ここに友人の手紙を据えたこと

の意図は、そうした境地を作品として実現させようとする点にあり、「蠱惑の芸術」(『新生』)とはすなわち、愛の問題を通して「蠱惑の生」を発見することの形象化という意図は、原『新生』の終結部分あたりで実現されている。

また、十川氏の所論のうち、「序の章」と本文との関係についての論点を整理すると、次のとおりである。

中野の友人の書簡は、「芸術の憐れむべき労働者」たる岸本が、「真心」をとりもどすべき旅で出会う様々のまぼろしを提示している。また、この書簡の役割の第一は、「過度な労作」をつづけつつも、「死んだ沈黙」に陥っている岸本を描くための導入として絶好の内容を持っていること。第二に、有明の言う「冬の幻相」と「幻の清浄」は、やがて岸本が至りつくべき世界を提示していることである。

では、笹淵氏は、この両氏のどの点に異論をはさんでおられるのか。

笹淵氏は、「序の章」の岸本の意識は、彼のデカダンスとデカダンスを襲う嵐によつて占められている。(岸本の意識に)その他のどのような心理も介入しうる余地は残されていない」との観点から、藪氏が「この序に倦怠と懶惰の気のみをみるのは、重大な読み落しである」として、「序の章」に岸本と節子の愛の境地の予告を読み取っていることを、次のように批判する。

中野の友人は、倦怠・懶惰の生そのものを自然の幻相を媒介として宗教化・芸術化しようとし、飽くまで個に閉じこもつて自然の如幻の境を享樂しているが、一方、岸本・節子の関係は、倦怠・懶惰という虚無的心情とは反対に、ロッセティの「生命の家」が象徴するように、内的生命の自覚に根ざす愛の関係であり、世間の批判を覚悟しながら世間の道德を超越するまでに高められた人間関係として社会に生き抜こうとしている。このように、岸本・節子の関係は、中野の友人の世界とはその本質が全く違う。したがって、中野の友人の境涯と岸本・節子の人間関係を同一視するのは適當ではなく、中野の友人の告白は彼らの関係の予告たりえないのではないかと思う。

笹淵氏はまた、十川氏に対しても次のように批判を展開する。十川氏は、中野の友人の「冬の幻相」「幻の清浄」「如幻の境」を、岸本・節子の愛の関係を象徴する標語と見なし、「序の章」の中野の友人の手紙をその予告と見ているが、「冬の幻相」とは自然美そのものであり、「幻の清浄」とは仏教的気分であらうし、「如幻の境」とはいわば美的享受をさしている。このような何ら人格性も意志も含まない自然体験が、岸本・節子の地獄の底から這い上がった、罪を罪で

洗う愛の世界を象徴しうるはずはない。

そうして笹淵氏は、藪・十川両氏の見解に賛意を表し得ないもう一つの理由として、中野の友人の沈黙から岸本の「死んだ沈黙」に至る「序の章」の文脈の中に、岸本・節子の精神化された愛の予見を作者が組み込んでいる、との証明が全く欠けていると言われる。

三

そこで次に、前述三氏の所論を承けて、「序の章」の「二」の友人の手紙（前記の引用箇所）の意味を検討してみることとする。

引用箇所の手紙が解りにくいのは、作者が「『食後』の作者に」を引用するに当たって、原文を二箇所にわたって大きく省略しているためである。やや唐突な感じを受ける「涅槃」「幻の清浄」などの語も、その省略部分の中に既出しており、その中で有明は、大乘仏教の思想に美を感じており、「大乘仏教の帰趣」には「無類な蠱惑の快感」「光明三昧」があると述べている。

「幻の清浄」の語義については、道元禪師が、「瞥眼空華」をめぐって「円覚経」を論難したこと等と関わるようであるが、引用箇所においては、それほど深い意味で使われているとも思われぬ。要するに、一連の文意は、自分は仏道そのものに帰依して悟りに達するよりも、仏教的無常観から生ずる情調や幻影を楽しんでいたい、ということであろう。またなぜ、「如幻の境に暫く倦怠と懶惰の『我』を寄せたい」のかというと、「眠つて居る中に不可思議な夢を感じるように、倦怠と懶惰の生を神秘と歡喜の生に変へたい」からであるという。つまり、専ら無常の情調・気分遊ぶことにより、「倦怠と懶惰」の陥穽から脱け出して「光明三昧」の「神秘と歡喜の生」に生きることが出来ると考え、そうありたいと願っているということである。

引用部分後半の、「僕はわびしい冬の幻相の中で、こんなに美しい緑に出会はずとも思ひがけなかつたのである。僕の魂も肉もかかる幻相の美に囚われて居る刹那、如幻の生も楽しく、夢の浮世も宝玉のやうに愛惜せられるのである」の一節は、まさに、「如幻の境に『我』を寄せた」結果、願いどおり現出した「光明三昧」の「神秘と歡喜の生」の具体的な姿に他なるまい。

しかし、この「冬の幻相」は、「何等の努力の発現でないのと等しく、その幻相の完全な省略はまた何等の努力をも待たない」ものである。前記引用の友人

の手紙の中の、作者藤村により省略された原文の一節には、「いつになったら僕の芸術が出来るか、それさえ判らぬままである」ともある。中野の友人は、自分の芸術の実現に「努力」したい、「無常の宗教から蠱惑の芸術に行きたい」と願っているのだ。しかし、その願いが叶わぬから、「倦怠と懶惰」と「無為」の中に沈黙を守って、「冬の幻相」の美を寂しく享受しているのである。

「自然の幻相」を媒介として自分の生の宗教化・芸術化を図っているのは、願いが叶わないためのやむを得ぬ結果であり、出来得べくんば、「無常の宗教から蠱惑の芸術へ」という形で自分の芸術を実現したい、中野の友人はそう願っている。また、岸本は友人のこの生き方について、「芸術と宗教的生活との融合を試みようとして居る」と評している。この二点が、「序の章」と本文との関係を考えるうえで、重視されるべき点であると思う。

四

岸本は、自分が陥っている状況を友人と対比してみる。そして、「人生の半ばに行き着いた一人一人としての」中野の友人の生き様と告白に共感を覚える。また自分の周囲にも多くの友人の「沈黙」を見出す。妻子や肉親・友人の相次ぐ死に誘発されて、人生の重大な危機を予感し死の脅威におびえ、残された者の非哀と孤独感、さらには友人と同様な倦怠感、虚無感、寂寞感に襲われたりする。岸本は、こうした意識に基づく自分のデカダンスを、その質の違いを超えて時代に共通する意識として認識しようとしているようである。この点について笹淵氏は、それは岸本の自己欺瞞であり、説得力に欠けると批判しておられる。しかし少なくとも、『新生』前半の岸本の認識においては、広く時代背景を担ったデカダンスとして矛盾なく認識されており、自分もまた友人間に共通の倦怠感、虚無感に襲われていると認識していたことは間違いない。したがって、この前提にたつて論議を進めようと思う。

中野の友人と比べると、岸本には、共通点ばかりが在るわけではない。同じように倦怠感に襲われてはいても、両者の状況には大きな相違点がある。すなわち、中野の友人には相応の資産もあって、悠々自適の中に「静寂な沈黙」を味わう余裕があるが、岸本の方は、男手一つで四人の子供を養育していかなければならない。その点で彼は、絶えず創作に励まなければならぬ境遇におかれている。中野の友人の沈黙が「生々とした寛いだ沈黙」なら、岸本の沈黙は

「死んだ沈黙」だというわけである。また、中野の友人のように「本能的な生の衝動が極めて微弱になつて了つた」わけでもないし、「無為の陥穽にはまつた」わけでもない。彼は、妻の死後も、孜々として「学芸」に励んできている。と、いうように、郊外に隠棲して自適の生活を送る友人と、岸本の間には相違がある。

岸本が、自分を友人と対比し、友人との相違点を列挙した意味は何であろうか。その友人評で、「芸術的生活と宗教的生活との融合を試みようとして居る」と述べていることと考え合わせると、岸本（作者藤村）は、「序の章」に続く本文において、その「芸術的生活と宗教的生活との融合」の姿を具体的に追及し展開する、そういう構成をとっているのだと思われる。

つまり、中野の友人は、「無常の宗教から巖惑の芸術へ」と進展することを願いながら、「いつになつたら僕の芸術が出来るか、それさえ判らぬ」まま、冬の「自然の幻相」美を享受するにとどまっている。岸本の方は、隠棲・自適などとはおよそ無縁の所で、自分と家族を救うため「労作」に励まなければならぬ。その「労作」を通して、友人の願ひ求めた「幻相の完全な領略」を果たす。「芸術的生活と宗教的生活との融合」を図り、「巖惑の芸術」を創造しようとする。創造された世界は、「如幻の境」に一瞬現出した「光明三昧」の「神秘と歡喜の生」であるだろう。友人の手紙を長々と引用し、友人と対比させている作者の意図は、この辺にあつたと理解してよいと思う。

五

そこで次に、友人の手紙が、岸本・節子の究極の愛の世界をどのような形で予見・提示し象徴しているのか、筋の展開を追って検討してみることとする。

姪の節子と過ちを犯した岸本は、事件の表面化を恐れてフランスへ逃がれる。第一次大戦の戦禍を避けて滞在した静かな田舎町リモージュに来て、ようやく心の動揺を鎮めることができ、生への意欲が蘇ってくる。その意欲は、パリの長く厳しい冬籠りの中で、春待つ心と重なって次第に膨らんでいく。失われた「幼い心」にもう一度立ち帰ってやり直そうとする彼に、戦時の冬に耐えつつ春を待ついくつもの芽が眼に映る。それらの芽に促されて彼は、自分もまた「死の中から持来す回生の力」に望みをかけ、新しい生を踏み出そうとする。以上が第一巻の内容である。

節子はその間、岸本に宛てて絶えず手紙を寄せたが、かつての苦い愛の経験と積年の女性不信とが重なって、岸本は節子の愛を信じる事が出来ず、時には嫌悪に近い感情さえ抱いたりする。

岸本のそうした愛と対照的に引用されているのが、アベラールとエロイズの愛である。アベラールとエロイズの事跡は、第一巻では三たび、いわば漸層法的に登場する。まず一ノ七五で「旅の心を引く」ものとして、一ノ八八では、誰もが「あやかりたい」と願う精神的な愛の象徴として引かれる。そして第一巻の終局の場面では、岸本が再生を期して帰国を決意するその箇所に重なる形で、次のように語られている。

あのペエル・ラセエズの墓地にあるアベラールとエロイズの墓は、まだありありと岸本の眼に残つて居た。あの名高い中世紀の僧侶は弟子であり情人である尼さんと終生変ることのない愛情をかはしたといふばかりでなく、死んだ後まで二人で枕を並べて、古い黒ずんだ御堂の内に眠つて居た。そこにあるものは深い恍惚の世界の象徴だ。想像も及ばぬ男女の信頼の姿だ。『流石にアムウルの国だ』などと言つて高瀬は笑つたが、岸本にはあの墓が笑へなくなつて来た。仮令アベラールとエロイズの事跡が一種の伝説であるといふにしても、岸本はあの四本の柱で支へられた、四つのアーチの何の方面からも見られるカソリック風な御堂の中に、愛の涅槃のやうにして置いてあつた極く静かな二人の寝像を思出した。あの古い御堂を囲繞く鉄柵の中には、秋海棠に似た草花が何かのしるしのやうにいちぢらしく咲き乱れて居たことを思出した。彼はその周囲を廻りに廻つて二つ横に並んだ男女のすがたを頭の方からも足の方からも眺めて、立ち去るに忍びない氣のしたことを思ひ出した。まるでお伽話だ、と彼は眼に浮ぶ二人の情人のことを言つて見た。しかし、お伽話の無い生活はほど、寂しい生活は無い。彼は最早自分の情熱を寄すべき人にも逢はず仕舞に、この世を歩いて行く旅人であらうかと自分の身を思つて見た。左様考へた時は寂しかった。(一ノ二二八)

一ノ八八で作者は、老後には老後の恋愛があると想像する岸本に、「しかし、恋なんてことは最早二度と僕には来さうも無い」と言わせていた。ここでも岸本は、二人の寝像を「お伽話だ」と思いつつも、「想像も及ばぬ男女の信頼の姿」をそこに見て笑えなくなり、「お伽話」の無い生活、「情熱を寄すべき人」の無い自分の生涯を思つて寂しくなっている。しかも、この引用箇所は、岸本が再

生を期して帰国を決意する、その前後に重ねて語られている。岸本の再生は、このアベラールの物語と不可分の関係にあるのだ。

つまり、この引用箇所は、岸本の節子に対する愛がアベラールの愛の世界にあやかって不信の愛から「まこと」の愛へと一大転換をする、しかもその転換は岸本の再生につながる、——こうした一連の事柄の予表として使われていると言つてよい。藪氏も既に指摘されていることだが、作者は、この物語の中に、アベラールとエロイズの事跡を、明確な構成意図をもって取り入れているのだ。引用箇所の中で、アベラールとエロイズの愛の世界が、「愛の涅槃」「深い恍惚の世界」等と表現されている点にも注目したい。これらの語は、「序の章」の友人の手紙に登場する「涅槃」「宗教的情調」「不可思議な夢」「神秘と歓喜の生」「蠱惑」等の語と類義の関係にあるものだ。作者は、「序の章」を予表とし、アベラールとエロイズ二人の複像に、岸本と節子の究極の愛の世界を象徴させつつ物語を推し進めているのである。

六

第二巻における岸本は、自分も再婚し節子も結婚させようと考えて帰国したのであったが、哀れな節子の姿に接するうち、つい衝動に駆られて情縁を復活させてしまう。深い憐憫の心から全力を尽くして節子を救おうとし、心を開いて「誠実」を示すと、それにつれて、節子の方でも心を開き元気を回復して来たことから、自分たちを結ぶものが「愛」であることに気づく。「未だ自分は愛することが出来る」と知って岸本は喜び、愛の日々が続くが、叔父姪の間柄である彼らには、その愛を結婚という形に結実させることは許されない。

そこで、「肉の愛」を浄化し「霊の愛」に高めるために、「愛と知慧とに満ちたアッソシエ」「多分に『友情』の混つた男女の間柄」の世界へと、節子を導いて救おうとする。しかし、その境地に達するのも容易ではない。行き詰まりを打開し、「広い自由な世界」へ出るために、彼は「懺悔」の公表を決意し、新聞に発表する。結局、兄からは義絶され、節子は台湾の伯父の許へと引き取られて行く。以上が、第二巻の概要である。

リモージュで生への意欲を蘇らせ、パリの冬に耐えて春を待ち望み、アベラールとエロイズの愛に導かれて再生を期し帰国した岸本であった。岸本は、愛の問題を通して自己再生への道を切り拓いて行こうとする。第二巻は、「お伽話

が単なるお伽話でなく、現代にも確かに成立し得る愛の物語としてその可能性を検証する、という趣を帯びて作品世界が展開していく。

次の一節は、その「新しい愛の世界」を、「冬」の持つ美と輝きとに象徴させて語った、岸本的心象風景の箇所である。

——『冬』は私にいろいろな樹木を指して見せた。あの満天星を御覧、と言はれて見ると、古い霜葉はもう疾く落尽してしまつたが、茶色を帯びた細く若い枝の一つ一つには既に新生の芽が見られて、そのみづみづしい光沢のある若枝にも、勢ひこんで出て来たやうな新芽にも、冬の焔が流れて来て居る。満天星ばかりでは無い、梅の葉生は濃い緑色に延びて、早や一尺に及ぶものもある。ちひさくなつて蹲踞して居るのは躑躅だが、でもがつつ震へるやうな様子は少しも見えない。あの椿の樹を御覧、と『冬』が私に言つた。日をうけて光る冬の緑葉には言ふに言はれぬ輝きがあつた。密集した葉と葉の間からは大きな蕾が顔を出して居る。何かの深い微笑のやうに咲くあの椿の花の中には霜の来る前に早や開落したのさへある。『冬』は私に八つ手の木を指して見せた。そこにはまた白に近い淡緑の色彩の新しさがあつて、その花の形は周囲の単調を破つて居る。(二一ノ五八)

今ここに見る「冬」の姿は、かつて岸本が春を待ち望みつつ三たびその侘しさに耐えた、あのパリの「冬」の姿ではない。それは、「冬の焔」と喩えられた、「冬」自体が内包する生命の美と輝きとである。岸本の「心の風景」でもあるこの武蔵野の「冬」の姿を通して、作者は、道ならぬ、しかし「誠実」を尽くして燃え上がる二人の「新しい愛の世界」に、独自の生命の美と輝きとを付与しようとしているのだ。

「序の章」で、中野の友人は、「わびしい冬の幻相」の中にある「美しい緑」を教えた。岸本がここで見出した「蠱惑」的な冬の姿は、中野の友人のいう「如幻の境」の中にある「神秘と歓喜の生」に当たる、との十川氏の指摘に賛成したい。

引用箇所の中の「霜」「濃い緑色」「冬の緑葉」「淡緑」「八つ手」などの用語にも注目したい。これらの語は、「序の章」の友人の手紙の中の、「霜」「苔の緑」「緑玉」「美しい緑」「八つ手」に重なるものである。友人の手紙の中に見当たらないのは、「新生の芽」「みづみづしい光沢」「若枝」などの語であり、これらの語は、当然のことながら、生命力を強調している点がその特徴である。

中野の友人との決定的な違いは、友人が自然の「幻相の美」に囚われて「如幻の生」を享受するのみであるのに対し、岸本の方は、「冬」に独自の生命の輝きと美とを見出し、その「冬」に岸本と節子の愛の世界を象徴させていることである。

この点について笹淵氏は、「中野の友人の告白は、岸本・節子の関係の予告たりえない」とか、「冬の幻相とは自然体験であるから、岸本・節子の罪を罪で洗う愛の世界を象徴しうるはずはない」などと批判される。しかし作者が、「冬」に岸本と節子の愛の世界を象徴させていることは、引用箇所の前後の文脈からして明らかである。作者は、「序の章」の友人の手紙を予表として、岸本と節子の愛の世界を語り進めているのである。

七

節子は、「冬」に象徴される愛の世界の魅せられそこに春の喜びを見出すが、岸本の方は、「神秘と歓喜の生」に酔って「冬の焰」に身を焼き尽くすわけにはいかない。そこで、二人の関係を、「愛と知慧とに満ちたアッソシエ」「多分に『友情』の混った男女の間柄」へと昇華させて、「肉の愛」を浄化し「霊の愛」にまで高めようとする。やがて二人の間には、静謐な轟惑の生が訪れる。

次に引用の二ノ七七は、そうした許されぬ仲の二人が、東禅寺の墓地でしばしの逢瀬を楽しむ、しかし哀切極まりない場面であり、二ノ百一の方は、愛宕下の下宿に転居した岸本が、「懺悔」に着手する直前、訪れた節子とかりそめの「平和」に浸る場面である。

巨大な墓石の並び立つ別の光景がまたその小山の上に展げた。そこには全く世間といふものから離れたかのやうな静かさがあつた。底青い空の方から射して来て居る四月はじめの日の光が二人の眼前に落ちて居た。岸本は自分の右の手を節子の左の手につなぎ合せて、日のあつた墓石の間を極く静かに歩いた。あだかも、この世ならぬ夫婦のような親しみが黙し勝ちに歩いて居る節子の手を通して岸本の胸に伝はつて来た。(二ノ七七)

生命の家。岸本の胸に浮ぶは曾て中野の友人によつて訳された斯の歌であつた。彼は六畳の部屋の片隅に子供の着物なぞを入れた古い箆筒の前に居て、そこに足を投出しながら、しばらく障子の開いたところからうち濕つた秋の

空を眺めて居た。側には節子が針仕事をする手を休めて、同じやうに箆筒に倚りかゝり、同じやうに白足袋をはいた足を延ばし、丁度並んだ男女の順礼のやうに二人して通り越して来た小さな歴史を思ひ出し顔であつた。

漸く岸本は自分の情熱の支配者であることが出来た。そのために煩はざれるといふことが無くなつた。——(中略)——どうかすると節子は彼の見て居る前で、帯の間から櫛なぞを取出して、彼女の額に垂下がる髪をときついたり、束ねた髪のかたちを直したりするほどの親しみをさせる。彼はその濃い光沢のある髪を見た眼を直ぐ書籍の上に移すことも出来、その女らしいしなやかな表情を脇に置いて自分の仕事を十分に思考することも出来るやうに成つた。(二ノ百一)

二人に訪れたこの静謐な生のありよう、幸福と平和の姿こそ、岸本が、節子とともに到達すべき究極の愛の世界であつた。しかしその境地は、「如幻の境」に「不可思議な夢」を見るよう一刹那現出した「轟惑」の生に過ぎない。この「霊の愛」の世界は、岸本の認識にあるとおり、束の間の「この世ならぬ」「はかない幻」であつて、現実には、岸本が、閉塞状況を打開するべく「懺悔」を新聞に発表したことにより、二人の仲は生木を裂くように裂かれてしまふのである。

後になって作者藤村は、『新生』が新生である所以は「その達成せられないところにある」と語り、この「創作」にあらわれているものは「一つの理想」だとも語っている。藤村は、アベラールとエロイズ二人の寝像に「夢」を見つづ、岸本の再生を賭け「お伽話」として、現代の愛の可能性を追及したのである。

「序の章」の中野の友人の手紙との関連で言えば、友人のいう「如幻の境」の中の「神秘と歓喜の生」は二人の「愛の世界」であり、「幻の清浄」「涅槃」は、岸本のいう「愛の涅槃」であり、岸本・節子の最後に到達すべき霊的な愛の世界であつた。「序の章」とそれに続く本文とは、前者が後者の予表・提示・象徴などとして相呼応する形で関わりあつているのである。

八

最後に、『新生』の意図が、「序の章」にいう「轟惑」の生の芸術的達成にあつた。

た、ということについて論じる。「芸術的生活と宗教的生活」との融合による「蠱惑の芸術」の達成という問題である。

中野の友人が、実は蒲原有明であることについては既にふれた。その有明が、明治四十四・五年当時深刻なスランプに陥っていたことについて、中島国彦氏は、次のように論じておられる⑤。氏によれば、有明は、天才画家・青木繁との出会いにより自分の心を奮立たせようとした。しかし、「天性の画家との距離は、如何ともしがたい。有明は逆に青木繁から、「蠱惑」され、創作力を吸い取られた感すらある。残された道は、一つしかない。「蠱惑」された事実そのものの中に自己の夢を投げ入れ、「蠱惑」されている心情に住み着うと決心」したのだ、と言われる。

さて、中野の友人は、「蠱惑の芸術」を口にする。既に論じたように、友人が「冬の幻相」に魅せられているのは、固有の「蠱惑の芸術」が「領略」出来ないからであって、成るうことなら、「無常の宗教から蠱惑の芸術へ」と、自分の芸術を実現したいのだ。この友人の生き方について岸本は、「芸術と宗教的生活との融合」だと評している。したがって、岸本が「序の章」において自分と友人とを対比したことの意味は、「序の章」に続く本文において、その「芸術的生活と宗教的生活」との融合の姿を、具体的に追及し展開しようとしたのだ。

創作力を「吸い取られ」「無為」の陥穽に落込んで、自然の幻相美に酔うことにしか救いが残されていない友人、その友人と対峙する形で、岸本は「労作」に励み、「労作」を通して友人の願う「幻相の完全な領略」を実現する——このようにして、「蠱惑の芸術」を創造しようとしたのだ。アペールとエロイズの寢像に象徴されるような、「夢」の愛の世界という形で……。創造された世界は、「如幻の境」に一刹那現出した「神秘と歓喜の生」の法悦境である。「序の章」を友人の手紙から始めた作者の意図は、ここにあったのだと理解してよいと思う。

「清浄で霊的な愛の世界」の創造——これが、「序の章」とそれに続く本文との関わりを追究して得られた『新生』物語の主題である。しかしこの愛の世界は、あくまでも「一つの理想」だったのであり、現実には、岸本が閉塞状況を打開しようとして「懺悔」を新聞に発表したことにより、悲劇的な結末を迎えることとなった。

したがって、『新生』の主題は何かという問題も、藪氏の言われる原『新生』に即してその芸術的な側面から論ずるならば、右に述べたような形で主題を把

握できようが、観点を変え、現『新生』の全体を重視して作品の意図を探る立場に立つならば、また異なった結論が得られるのである。例えば、岸本の「懺悔」の告白に力点をおいて、この作品の主題は告白による岸本の自己救済にある、などというように……。いずれにしろ、この作品が、岸本の「懺悔」発表を挟んで大きく分裂していることは確かなのだ。しかし、そうした問題に、今回は触れないこととした。

〔引用文献〕

- ①平野 謙「島崎藤村——『新生』覚え書」〔近代文学〕昭和二一・一—二
- ②藪 楨子「『新生』の基本構造」〔藤女子大学国文学雑誌〕昭和四九・五
- ③十川信介「『新生』のまぼろし」〔国語と国文学〕昭和五〇・四
- ④笹淵友一「藤村『新生』新論（上）」〔文学〕昭和五八・二二
- 〔藤村『新生』新論（下）〕〔文学〕昭和五九・二
- ⑤中島国彦「『蠱惑』の構造——藤村、有明、青木繁をめぐって——」〔文学〕昭和六一・八

遺跡出土木材へのPEG含浸速度に及ぼす木目の影響

河越幹男・石垣 昭

日本文化財科学会誌「考古学と自然科学」、第24号（1991）、69～75頁

Influences of Wood Grain on Impregnation Rate of Waterlogged Wood with PEG
Mikio KAWAGOE and Akira ISHIGAKI

Archaeology and Natural Science, Vol. 24(1991) pp.69-75

著者らは前報で遺跡出土木材へのPEG含浸過程を拡散理論に基づいて解析し、PEG含浸中の出土木材の重量変化が拡散理論による計算値とよく一致すること、ならびにこの重量変化曲線から求めた有効拡散係数を用いて処理時間の推算が可能であることを示した。さらに、有効拡散係数に及ぼす温度、PEG濃度、樹種の影響を調べた。

これまでの研究においては、簡単化のため、PEGの拡散に対して等方性を仮定していたが、実際の木材は複雑な組織構造を持っており、PEG含浸速度はこれら木材構造の影響を受けるため、厳密には等方性の仮定は成立しない。PEG含浸処理を的確に行うためには、木材内の非等方性を考慮して、木材構造のPEG含浸速度および濃度分布に及ぼす影響を知る必要がある。この観点から、本研究では、木材構造の中でもPEGの拡散速度に最も大きな影響を及ぼすと考えられる木目の影響について検討した。

図1に放射、接線、軸方向の有効拡散係数 D_A とPEG重量分率 X_A の関係を示した。試料は、トチノキ（広葉樹）とスギ（針葉樹）の出土木材である。この図から、軸方向の有効拡散係数は樹種には影響されないが、放射及び接線方向のそれは樹種の影響を受け、広葉樹の場合の方が針葉樹の場合に比べて大きいことが分かる。軸方向の有効拡散係数と接線及び放射方向のそれを比較すると、軸方向の有効拡散係数の方がその他の方向のそれに比べ約1.5～4倍大きいことが分かった。接線方向と放射方向の間には大きな差異は認められなかった。また、いずれの場合にも、重量分率が0.6近傍で有効拡散係数が最大になっている。

樹木の構造は非常に複雑であるが、単純化すれば、水分通導のための道管あるいは仮導管とその間を埋める木繊維組織、放射組織、あるいは柔細胞からなっていると考えることができる。道管あるいは仮導管は大きな直径を持った軸方向に長い組織で、中は空洞になっている。

一方、木繊維組織、放射組織、柔細胞は樹脂様物質が充填された密な構造を持っている。従って、PEGは、まず道管あるいは仮導管を通して軸方向に拡散し、次いで道管壁または仮導管壁を通して密な構造をもつ組織の中へ拡散していくものと考えられる。本実験で用いた試料材の顕微鏡写真によって測定した道管（トチノキ）及び仮導管（スギ）の直径は、いずれも50～60 μm で、拡散成分であるPEG分子に比べはるかに大きい。軸方向の拡散係数に樹種の影響が現れないのはこのためと考えられる。一方、木繊維組織、放射組織、柔細胞など密な組織は樹種によってその構造が大きく異なるため、接線方向と放射方向の有効拡散係数にはその影響が現れたものと推察される。

以上のことから、樹種による含浸速度の差は、主に接線及び放射方向の拡散速度が樹種による木質構造の影響を受けるためであることが分かる。

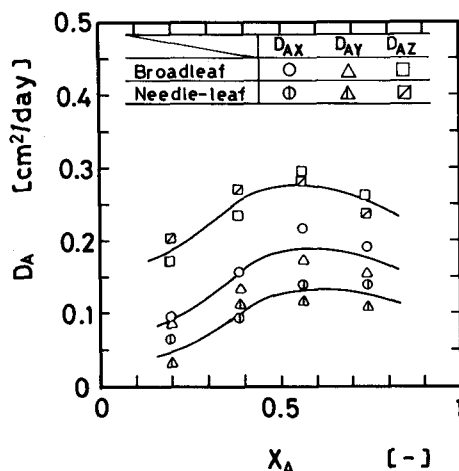


図1 各方向の有効拡散係数対PEG濃度の関係

Spectrophotometric determination of L-malic acid with a malic enzyme

Shin-ichiro Suye, Naomi Yoshihara, and Shusei Inuta

Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, Vol. 52, No. 9 (1992), p1488-1489.

Various methods have been reported for the determination of L-malic acid in foods as well as tissue and body fluids. These methods suffer from pretreatment of samples and tedious procedures. NAD(P)-linked malic enzyme [EC 1.1.1.39] can be used as a satisfactory measurement of L-malic acid by a single enzyme reaction. Hence, we describe a new spectrophotometric method for the determination of L-malic acid using a malic enzyme.

Figure 1 shows the calibration curve for the amount L-malic acid. Linear relationship was obtained between the increase in the absorbance at 340 nm and the amount of L-malic acid in the range of 5-400 nmol. The correlation coefficient and the relative standard deviation value were 0.999 and 2.2 %, respectively. This assay system was not influenced by some organic acids.

The author examined the application of the present method for the determination of the amount of L-malic acid in juice and other drinks. As shown in Table I, the present method gave results that agreed well with those obtained with the F-kit and HPLC methods. This method is useful for the simple and rapid measurement of the contents of L-malic acid in wine and juice.

Table I. L-Malic acid contents in juice and wine determined by the present method in this study, F-kit method and HPLC method

Sample ^a	L-Malic acid content (mM)		
	Present method	F-kit method	HPLC
Wine (white)	27.9	28.0	28.7
Apple juice 1	28.2	27.1	28.9
Apple juice 2	19.3	18.3	19.8
Apple juice 3	11.1	11.0	9.36
Orange juice 1	16.3	16.3	17.9

^a Average of duplicate determinations.

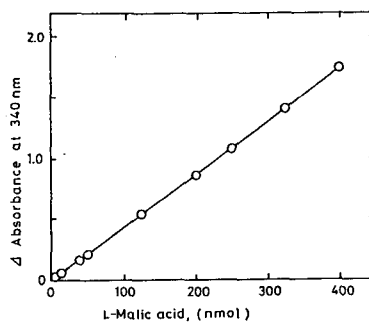


Fig. 1. Calibration curve for L-malic acid.

Determination of the amount of L-malic acid was performed according to standard assay conditions and sample size was 50 μ l.

教官活動状況一覧

(機械工学科)

金属系新素材データベースのエキスパートシステムに関する調査研究

岩井保善
日本機械工業連合会
(平成4年5月, 分担)

粒子充填層を通過する高分子溶液の流れ

小柴 孝, 森 教安(阪大・工),
中村喜代次(阪大・工)
日本繊維機械学会第45回年次大会
(平成4年6月4日 講演)

寸法・形状精度の向上とパイプ加工技術

小島耕二
日刊工業新聞
(平成4年4月22日 18面掲載)

テーブル送り方向に微小振動させるクリープフィード平面研削

花崎伸作(阪大・工), 藤原順介(阪大・工),
和田任弘, 長谷川嘉雄(摂南大)
精密工学会関西支部1992年度定期学術講演会
(1992年7月8日 講演)

(電気工学科)

分子エレクトロニクスとその応用

京兼 純
奈良県工業会 新素材・新材料応用講座
(平成3年10月15日 講演)

有機蒸着薄膜の電子素子への応用

京兼 純, 山本善啓, 吉野勝美(大阪大学)
電気関係学会関西支部連合大会
(平成3年11月2日 講演)

固体電解コンデンサとその製造方法

京兼 純, 吉野勝美(大阪大学)
公開特許広報 特開平3-37530

イオン照射による有機蒸着薄膜の電子素子への応用

京兼 純, 吉野勝美(大阪大学)
第2回 粒子線の先端的応用技術に関するワークショップ
BEAMS 1991 pp.207
(平成3年11月26日 講演)

イオンアシスト法による有機蒸着薄膜の創成とその電気的特性

京兼 純, 吉野勝美(大阪大学)
電気学会全国大会
(平成3年3月27日 講演)

イオンアシスト法による有機蒸着薄膜の電子素子への応用

京兼 純, 伊佐 功(日本カーリット(株)中研),
吉野勝美(大阪大学)
電気化学協会 第59回大会
(平成4年4月2日 講演)

イオンアシスト法による有機蒸着薄膜の電子素子への応用

京兼 純, 伊佐 功(日本カーリット(株)中研),
吉野勝美(大阪大学)
電気化学協会 技術・教育論文誌 Vol.1, No.1,
pp.19~24(1992)

Characteristics of Solid Electrolytic Capacitor with Evaporated Organic Conductors by Ion-Assisted Method
J. KYOKANE and K. YOSINO (Osaka Univ.)
International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM'92), Göteborg, Sweden
(August 13~14, 1992, Poster Presentation)

イオンアシスト法による有機蒸着薄膜を用いた固体電解コンデンサの基礎特性

京兼 純, 吉野勝美(大阪大学)
電子情報通信学会 有機エレクトロニクス研究会
OME 92-25, pp. 21
(平成4年9月21日 講演)

イオンアシスト法による有機蒸着薄膜の創成とその電気的特性

京兼 純, 吉野勝美(大阪大学)
電気学会 第24回電気絶縁材料シンポジウム
(平成4年9月29日 講演)

To Establish Close-Relation and Cooperation between Industry and Higher Education

Haruo Takahashi
SEMINAR NASIONAL POLITEKNIK 1991,
(SURABAYA, INDONESIA)
(October 31, 1991 特別講演)

A New Electronic Engineering Education System in Indonesia

S. Kusuwadi, M. Nuh, Susanto,
H. Takahashi
スラバヤ電子工学ポリテクニク
International Conference on MICROELECTRONICS' 92 Bandung, INDONESIA
(January 13, 1992 講演)

A Sleeping Detection Method Using an Infrared Sensor and Fuzzy Inference

S. Doi, T. Sakuma, I. Nagai 松下電工(株)
H. Takahashi
International Conference on MICROELECTRONICS' 92
Bandung, INDONESIA
(January 13, 1992 講演)

An Approach to Formulate The Electronic Engineering Curriculum in Polytechnic Education

Haruo Takahashi
SEMINAR NATIONAL KURIKULUM
POLITEKNIK (BANDUNG INDONESIA)
(February 17, 1992 講演)

スラバヤ電子工学ポリテクニク

就職斡旋指導業務の技術移転活動報告書

高橋晴雄
JICA-EEPISプロジェクト
研究レポート(総160頁)
(1992年2月)

The Report on Technology Transfer Activities for EEPIS Education

Haruo Takahashi
JICA-EEPISプロジェクト 研究レポート(66頁)
(1992年3月)

教育機関での就職斡旋指導体制の制定と実務に関する技術移転

高橋晴雄、(故)関川三男 JICAプロジェクトチームリーダー前長野工専教授
JICA国際協力研究誌 Vol.18 No. 1 (pp. 93~100)
(1992年4月)

ニューラルネットワークを用いた水中音響信号の特徴量判別方法

土井滋貴、志水英二(大阪市立大)、
森 和義(大阪電通大)、松田 稔(大阪電通大)
日本音響学会平成3年度秋季研究発表会
(平成3年10月2日 講演)

モフォロジカル・フィルタリングを用いたマルチスケール表現

森 和義(大阪電通大)、土井滋貴、
志水英二(大阪市立大)、松田 稔(大阪電通大)
平成3年電気関係学会関西支部連合大会
(平成3年11月3日 講演)

スケール・スペース・フィルタリングの紹介と旋律パターン解析への試み

森 和義(大阪電通大)、土井滋貴、
秋山好一(大阪電通大)、松田 稔(大阪電通大)
日本音響学会音楽音響研究会
(平成4年1月25日 講演)

モフォロジー・フィルタ開発ツール

川村哲也(大阪電通大)、松田 稔(大阪電通大)、
土井滋貴
大阪科学技術センター第8回ソフトウェア・コンファレンス
(平成4年3月13日 講演)

3次元形状データ入力装置の開発

松田 稔(大阪電通大)、廣嶋 滋(大阪電通大)、
土井滋貴
大阪科学技術センター第8回ソフトウェア・コンファレンス
(平成4年3月13日 講演)

計測制御用トランスピュータ開発支援システム

神谷達夫(大阪電通大)、松田 稔(大阪電通大)、
土井滋貴
大阪科学技術センター第8回ソフトウェア・コンファレンス
(平成4年3月13日 講演)

水中音響信号に対する変曲点数を考慮したスケール・スペース・フィルタリング

森 和義(大阪電通大)、土井滋貴、
志水英二(大阪市立大)、松田 稔(大阪電通大)
日本音響学会平成4年度春季研究発表会
(平成4年3月 講演)

スケール・スペース・フィルタリングを用いた実時間水中情報伝送システムの試み

森 和義(大阪電通大)、土井滋貴、
松田 稔(大阪電通大)
海洋音響学会平成4年研究発表会
(平成4年5月 講演)

The Approach of the Real-Time Underwater Data Transmission System Based on Scale-Space Filtering

Kazuyoshi Mori (Osaka Electro-Communication University), Shigeki Doi, Minoru Matsuda (Osaka Electro-Communication University)
The 4th Transputer/Ocean International Conference, Tokyo, Japan
(平成4年6月4日 講演)

The Real-Time Underwater Data Transmission System Using Scale-Space Filtering

Kazuyoshi Mori (Osaka Electro-communication University), Shigeki Doi, Haruo Takahashi, Eiji Shimizu (Osaka City University) Minoru Matsuda (Osaka Electro-Communication University)
Parallel Computing and Transputers Application' 92, Barcelona, Spain
(平成4年9月21日 講演)

パーソナルコンピュータによる英語クローズテストシステムの作成

中村善一, 國方太司, 成田紘一
第8回ソフトウェアコンファレンス
(平成4年3月13日 講演)

書写技能に基づく筆跡の個人性の計測

中村善一, 豊田順一 (阪大・産研)
1992年電子情報通信学会秋季大会
(平成4年9月30日 講演)

(電子制御工学科)

X-REY INVESTIGATION ON ELASTIC CONSTANTS OF SOLID POLYMER

Junichi ARIMA, Takayuki IGUCHI and Yasuyuki Iwai
RESIDUAL STRESS-III Science Technology
Volume I 644-649 August 1992

軸対象放物面より反射する衝撃波の可視化

岸下晴亮, 手島光司 (京教大),
西田迪雄 (九大・工)
可視化情報, vol. 11 Suppl. No.2 (1991) 7.
可視化情報福岡講演会
(平成3年10月31日 講演)

軸対象放物面より反射する衝撃波の収束

岸下晴亮, 手島光司 (京教大),
西田迪雄 (九大・工)
平成3年度衝撃波シンポジウム講演論文集
(1992) 373.
(平成4年1月24日)

コンピュータ・シャドウグラフ・アニメーションの作成

岸下晴亮
第8回ソフトウェアコンファレンス (1992) 115
(平成4年3月13日)

軸対象放物面から反射する衝撃波の収束

岸下晴亮, 手島光司 (京教大),
西田迪雄 (九大・工)
日本機械学会関西支部第67回定期総会講演会
(平成4年3月18日 講演)

軸対象放物面から反射する衝撃波の可視化

岸下晴亮, 手島光司 (京教大),
西田迪雄 (九大・工)
第20回可視化情報シンポジウム写真展
(平成4年7月14日~16日 展示)

軸対象放物面から反射する衝撃波の可視化

岸下晴亮, 手島光司 (京教大),
西田迪雄 (九大・工)
可視化情報写真集 No. 9 (1992) 8.

軸対象放物面から反射する衝撃波の数値解析

岸下晴亮, 手島光司 (京教大),
西田迪雄 (九大・工)
日本機械学会論文B編, Vol.58, No.553 (1992)

軸対象放物面から反射する衝撃波の収束 (入射衝撃波マッハ数が大きい場合)

岸下晴亮, 手島光司 (京教大),
西田迪雄 (九大・工)
日本機械学会第70回全国大会講演会
(平成4年10月1日 講演)

Simultaneous Measurement of Particle Size and Velocity with a Laser Multi-Focus Velocimeter - Optical Characteristics and Measurement of Transparent Particles

N.NAKATANI (Ashiya Univ.),
T.OSIO (Ashiya Univ.) T.SAKABE
Flow Measurement by Laser Doppler Velocimetry and Miscellaneous Techniques
Power Co.,Ltd (1992.12.31)

多周波数搬送波を用いた多点レーザ・ドップラ速度計

中谷 登(芦屋大), 小塩高文(芦屋大),
阪部俊也
第39回応用物理学関係連合会講演会
(平成4年3月30日 講演)

高圧空気により駆動されるウォータジェット (非線形格子モデルの特性)

坂本雅彦、髙原道久、木村雄吉 (以上神大・工)、
橋本 潔 (航空大)
日本機械学会関西支部第250回講演会
(1991年11月16日 講演)

高圧空気により駆動される船舶用推進装置

美濃雅彦、髙原道久、木村雄吉 (以上神大・工)、
橋本 潔 (航空大)、坂本雅彦
日本機械学会関西支部第67期定時総会講演会
(1992年3月22日 講演)

高圧空気により駆動される船舶用推進装置 (2次元モデルのその流れ)

坂本雅彦、髙原道久、木村雄吉 (以上神大・工)、
橋本 潔 (航空大)
日本機械学会第69期通常総会講演会
(1992年4月1日 講演)

NEW SHIP PROPULSION DEVICE USING HIGH PRESSURE GAS

M. Tsutahara, T. Kimura(Kobe Univ.),
K. Hashimoto(Aviation College),
M. Sakamoto and M. Mino(Kobe Univ.)
ASME SUMMER FLUID ENGINEERING CONFERENCE
(1992年6月23日 講演)

高圧空気により駆動される船舶用推進装置 (推力増加と推進効率向上に対する考察)

坂本雅彦、髙原道久、木村雄吉 (以上神大・工)、
橋本 潔 (航空大)、美濃雅彦 (神大・工)
日本機械学会流体工学部門講演会
(1992年8月27日 講演)

空気圧グリッパの挿入作業

早川恭弘, 花房秀郎 (立命館大)
油空圧学会平成4年度春季油空圧講演会
(平成4年5月25日 講演)

ベローズを用いた空気圧グリッパの動的挿入

早川恭弘, 花房秀郎 (立命館大)
計測自動制御学会第31回学術講演会
(平成4年7月24日 講演)

空気圧ロボットハンドの力制御に関する研究

早川恭弘
油空圧機器技術振興財団研究実施概況報告書

(情報工学科)

電気振動と共振の実験・観察

浅井文男
日本物理学会第47回年会
(1992年3月28日 講演)

Automatic Seal Imprint Verification with Imprint Quality Identification Function

K.Ueda
The First Korea-Japan Joint Conference on Computer Vision, pp.510-518.
(平成3年10月11日 講演)

印影の品質評価機能を有する自動印鑑照合方式とその性能評価

上田勝彦
第36回システム制御情報学会研究発表講演会, 4029
(平成4年5月21日 講演)

Basic Dynamical Properties of Cross-Coupled Hopfield Nets

S.Ozawa, K.Tsutsumi (Ryukoku Univ.) and H.Matsumoto (Kobe Univ.)
Proc. of International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN91) Singapore, Vol.III, pp.1949-1954 (11.1991)

クロス結合ホップフィールドネットの動的性質の考察

小澤誠一, 堤一義 (龍谷大学), 松本治彌 (神戸大学)
神経回路学会第2回全国大会
(平成3年12月13日 講演)

クロス結合ホップフィールドネットによる基本記憶の埋め込みについて

小澤誠一, 堤一義 (龍谷大学), 松本治彌 (神戸大学)
第15回知能システムシンポジウム資料, pp.51-56
(平成4年3月19日 講演)

Association Dynamics of Cross-Coupled Hopfield Nets with Many-to-Many Mapping Internetworks

S.Ozawa, K.Tsutsumi (Ryukoku Univ.) and H.Matsumoto (Kobe Univ.)
Artificial Neural Networks II, pp.375-378, Elsevier (9.1992)

メロディーを楽しもう

工藤英男, 吉川博史 (大阪短大), 東野勝治 (堺市科学教育研究所), 松永公廣 (明石高専)
第4回屋台シンポジウム要旨集—学校教育におけるパソコン利用—, pp.1-2 (1992.2.1)

教育現場で使う知識ベース型メロディーコンピュータの構成

松永公廣 (明石高専), 吉川博史 (大阪短大), 工藤英男
兵庫県教育工学研究会平成3年度研究大会論文集
pp. 93-96 (1992.3)

情報処理教育における授業支援システムの運用と問題点

工藤英男
CAI学会関西支部EDBS研究会
(1992.9.26 講演)

奈良高専情報工学科の教育カリキュラムとアルゴリズム教育の一試み

世古 忠
情報処理教育研究発表会論文集, 第12号, pp.54-58
(1992) (高等専門学校情報処理教育研究委員会)

一層印刷基盤のレイアウト設計における極大平面化アルゴリズム

多喜正城
電子情報通信学会, 技報COMP91-18
(1991.5)

Investigation About Basic Mathematics in EEPIS

多喜正城
Conference of Education of Polytechnic, Bandon, Indonesia
(1992.2)

Report of Information Engineering in EEPIS

多喜正城
Committee of Higher Education, ITS, Indonesia
(1992.5)

インドネシア共和国電子工学ポリテクニク情報工学関連分野について

多喜正城
JICA Report (1992.3)

クリーク及び区間グラフにおける最大クリーク重みの折点数について

多喜正城
奈良高専研究紀要第28号
(1992.9)

国際協力における高専教官の派遣方法について

多喜正城
高専教育第16号 (採録済み)
(1993.1)

インドネシア共和国電子工学ポリテクニク・プロジェクト

多喜正城
高専教育第16号 (採録済み)
(1993.1)

ターゲットの語彙性が誤字検出に及ぼす効果

下村満子、横澤一彦（東京大学）
日本基礎心理学会第11回大会
（平成4年5月 講演）

文字を探す

下村満子
数理科学、No. 348, pp.79~83
（平成4年6月 出版）

The role of Kana function words in Japanese reading units.

M.Shimomura & K.Yokosawa (University of Tokyo)
25th International Congress of Psychology.
（平成4年7月 講演）

UNIXにおける動的負荷分散の試み

若林 進（阪大）、山井成良
日本UNIXユーザ会第18回justUNIXシンポジウム
（平成3年11月15日）

UNIXにおける遠隔地への文書出力

青井紀子、山井成良
CAI学会関西支部第6回学生・生徒によるコンピュータ利用研究発表会
（平成4年3月7日 講演）

XYプロッタによるキャラクタグラフ出力システム

中井誠樹、山井成良
勸大阪科学技術センター第8回ソフトウェアコンファレンス
（平成4年3月13日 講演）

UNIXにおける遠隔地への文書出力

山井成良
日本UNIXユーザ会（関西）6月次UNIX研究会
（平成4年6月24日 講演）

同報通信機能をもつ分散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）、宮原秀夫（阪大）
電子情報通信学会論文誌（D-I）、Vol. J75-D-I,
No.8, pp.536-544
（平成4年8月）

（化学工学科）

エポキシ樹脂コーティング材の無機酸中での耐久性

井口高行、奥田 聡（同志社大学・工）
材料、Vol.41、No.465、pp.834-838（1992）

出土木材への浸透過程に及ぼす重合物質の分子量の影響

石垣 昭・河越幹男
考古学と自然科学（日本文化財学会誌）、25号、
（1992）pp. 1-12

出土木材の非破壊検査への超音波診断法の応用（第5報）

石垣 昭・井口高行
日本文化財科学会第9回大会
（平成4年5月30日 講演）

酵素固定化用物質およびその製造法および酵素固定化

発明者：石垣 昭・末 信一郎
特願 平 4-149698
（平成4年6月9日 出願）

ポリペプチド系ポリアミンを用いるグルコースセンサ用固定化膜

石垣 昭・末 信一郎
工学分野における微生物ならびに生物機能の応用に関する研究
（平成3年度特定研究研究成果報告書）、
（1992）、pp. 3-12

臭化カリウム水溶液中における黒鉛の電解酸化処理

泉 生一郎、大西康幸、西野敬智、佐藤純一、
浅井洋志（片山化学工業研究所）、
岩下哲雄（北大・工）、稲垣道夫（北大・工）
日本化学会第63春季年会
（平成4年3月29日 講演）

生成物分離型光化学ダイオードの開発とその応用

大西康幸、泉 生一郎、西川康生、西尾 拓、
土肥 徹
電気化学協会第59回大会
（平成4年4月2日 講演）

生成物分離型光化学ダイオードの開発とその応用

大西康幸、泉 生一郎、西川康生、西尾 拓、
土肥 徹
電気化学協会技術・教育研究論文誌
Vol.1, No.1 (1992) pp.25 ~28

Diffusion of aniline through perfluoro-sulfonate ion exchange membrane

Z.Ogumi(Kyoto Univ.), K.Toyama (Kyoto Univ.), K. Katakura and S. Inuta
Journal of Membrane Science, 65, pp.205-212 (1992)

両性水酸化物の過剰アルカリによる溶解反応の解析

犬田 修正、末 信一朗
電気化学協会 技術・教育論文誌, Vol. 1, No.1,
pp.71-76 (1992)

両性水酸化物の過剰アルカリによる溶解反応の解析

犬田 修正、末 信一朗
電気化学協会 第59回大会 第1回技術・教育シンポジウム (1992年4月2日 講演)

パン酵母を用いる生物化学還元

大植正敏
工学分野における微生物ならびに生物機能の応用に関する研究
平成3年度特定研究研究成果報告書
(平成4年3月) p. 29

Neutral Carrier Type-Ion-Selective Electrodes Based on Lipophilic Thiocrown Ether

M. Oue, K. Kimura (Osaka Univ.) , and T. Shono (Osaka Institute of Technology)
Abstract of XVII International Symposium on Macrocyclic Chemistry, (9-14 August 1992, Provo, Utah) Page P-70.

New symmetrical Chiral Dibenzyl- and Diphenyl-Substituted Diamido-, Dithiono-amido- and Diazapyridino-18 Crown-6 Ligands

P. Huszthy, M. Oue, J. S. Bradshaw, C. Y. Zhu, T. M. Wang, N. K. Dalley, J. C. Curtis and R. M. Izatt (Brigham Young Univ.)
Abstract of XVII International Symposium on Macrocyclic Chemistry, (9-14 August 1992, Provo, Univ.) Page P-56

Microelectrode Simulation of Anodes in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell.

Z. Takehara, Z. Ogumi, J. T. Hinatsu, K. Inatomi (Kyoto Univ.) and K. Katakura.
180th Meeting of The Electrochemical Society, Arizona, America
Proceedings Volume 91-10
Proceedings of The Symposium on Modeling of Batteries and Fuel Cells,
pp.230~239
(October 1991)

パーフルオロスルホン酸系カチオン交換膜中のアニリン誘導体の透過

片倉 勝己、小久見 善八、竹原 善一郎 (京大工)
日本化学会第63春季年会
(1992年3月29日 講演)

Characteristics of An External-Loop Airlift Column

Mikio Kawagoe and Tsutao Otake (Chubu Univ.)
China - Japan Chemical Engineering Conference Tianjin Univ., Tianjin, China
(1991年10月25日 講演)

Flow Characteristics of An External-Loop Airlift Column

Mikio Kawagoe and Tsutao Otake (Chubu Univ.)
2nd Japanese/German Symposium "Bubble Cooumns" '91 Kyoto
(1991年11月13日 講演)

遺跡出土木材へのPEG含浸速度に及ぼす木目の影響

河越幹男・石垣 昭
日本文化財科学会誌「考古学と自然科学」、第24号
(1991) PP. 69~75

気泡塔型バイオリクターの培養特性

河越幹男・末 信一郎
平成3年度特定研究研究成果報告書(1992年3月)

遺跡出土木材の乾燥と変形

河越幹男・石垣 昭
日本文化財科学会第9回大会
(1992年7月31日)

気泡塔を用いたスエヒロタケによるりんご酸の生産

河越幹男・末 信一郎
化学工学姫路大会
(1992年7月23日 講演)

L-Alanine Production from malic acid using malic enzyme and alanine dehydrogenase with coenzyme regeneration system

S. Suye, M. Kawagoe, S. Inuta,
M. Sano (Takara Shuzo Co.) and
S. Yokoyama (Takara Syuzo Co.)
Canadian Journal of Chemical Engineering
70, 306-312 (1992)

Purification and properties of malic enzyme from Pseudomonas diminuta IFO-13182

S. Suye, Y. Okuda, A. Funada, M. Kawagoe
and S. Inuta
Journal of Fermentation and Bioengineering,
73,343-347 (1992)

Spectrophotometric Determination of L-malic acid with a malic enzyme

S. Suye, N. Yoshihara and S. Inuta
Bioscience Biotechnology Biochemistry, 56,
1488-1489 (1992)

ウレアーゼを用いた蛍光法による光ファイバー尿素センサ

末 信一郎, 秋吉栄宏, 大植正敏, 犬田修正,
田中稔(阪大 応化), 木村恵一(阪大 応化),
庄野利之(大工大 応化)
日本農芸化学会誌, 65, 31, (1992)

ポリ塩化ビニルを用いるグルコースオキシダーゼ固定化膜

末 信一郎, 石垣 昭
工学分野における微生物ならびに生物機能に関する
研究
平成3年度特定研究研究成果報告書, p. 13-20 (1992)

ウレアーゼを用いた蛍光法による光ファイバー尿素センサ

末 信一郎, 大植正敏
工学分野における微生物ならびに生物機能に関する
研究
平成3年度特定研究研究成果報告書, p. 21-28 (1992)

Pseudomonas diminuta IFO-13182 株由来のりんご酸酵素の精製と性質

末 信一郎, 犬田修正
工学分野における微生物ならびに生物機能に関する
研究
平成3年度特定研究研究成果報告書, p. 33-47 (1992)

食品工業とバイオテクノロジー

末 信一郎
奈良県立工業試験場技術フォーラム
(1992年2月19日 講演)

ウレアーゼを用いた蛍光法による光ファイバー尿素センサ

末 信一郎, 秋吉栄宏, 大植正敏, 犬田修正,
田中稔(阪大 応化), 木村恵一(阪大 応化),
庄野利之(大工大 応化)
日本農芸化学会平成4年度大会
(1992年4月1日 講演)

補酵素循環再生システムによる物質生産

末 信一郎
バイオエレクトロニクス研究会
(1992年11月 講演)

リンゴ酸によるL-リンゴ酸の分光学的定量

末 信一郎, 吉原直美, 犬田修正
化学工学会姫路大会(1992年7月23日 講演)

(一般教科)

Horn formulas in fuzzy propositional logic

荒金憲一・田端敬昌
第14回半群論シンポジウム
(1991年11月1日 講演)

Connections between the free structures and the structures provided by McNulty

Hiroyoshi Tabata and Kenichi Aragane
Mathematica Japonica Vol. 37, No. 4 (1992)
737-741

ファジイ代数の完全性について

荒金憲一・竹村 康 (大阪産業大学)
大阪産業大学論集 自然科学編 第89号 (1992) 9-11

準ファジイ代数の完全性について

荒金憲一・竹村 康 (大阪産業大学)
大阪産業大学論集 自然科学編 第90号 (1992) 1-4

擬ファジイ代数の完全性について

荒金憲一・竹村 康 (大阪産業大学)
大阪産業大学論集 自然科学編 第90号 (1992) 5-6

逆関数のテイラー展開の応用

福嶋克彦、北川誠之助
日本数学教育学会(神奈川大会)高専大学部会
(1992年8月7日講演)

4-メトキシスチレンのダイマーラジカルカチオンの生成と反応性

藤乗幸子(阪大)、森島一博(阪大)、土岐 進、
高椋節夫(阪大)
日本化学会第63回春季年会
(平成4年3月28日 講演)

Acyclic 1,4-Radical Cations. Direct Observation and Stability.

Sachiko Tojo (Osaka Univ.), Susumu Toki,
and Setsuo Takamuku (Osaka Univ.)
J. Org. Chem., Vol. 56, pp6240-6243, 1991.

Formation and Reactivity of Dimer Radical Cations of 4-Methoxystyrene

Sachiko Tojo (Osaka Univ.), Susumu Toki
and Setsuo Takamuku (Osaka Univ.)
Radiat. Phys. Chem., Vol. 40, pp95-99, 1992

「先生なぜですか」シリーズ ネット型球
技編『0のことをなぜラブと呼ぶの?』

稲垣正浩編著 大修館書店
松井良明(分担執筆:バレーボール)
(平成3年10月20日)

新刊紹介 トニー・メイソン著 松村高夫・
山内文明訳『英国スポーツの文化』同文館

松井良明
『史学雑誌』第100巻第11号(東大史学会)
135~137頁 (平成3年11月20日)

イギリスにおけるプロ・ボクシングの合法
化問題

松井良明
スポーツ史学会第5回大会
(平成3年11月30日 講演)

高貴さと野蛮さ

ーイギリスにおける闘鶏の衰退をめぐってー
松井良明
月刊『ロアジール』第16巻第9号(財団法人 余暇
開発センター) 28~33頁
(平成3年12月20日)

コリンシアンたちのロンドン

ー摂政時代のボクシング文化ー
松井良明
『Libellus』第3号(柏書房) 26~31頁
(平成4年3月25日)

スポーツ、それとも喧嘩?

ー近代ボクシングの誕生と刑法ー
松井良明
月刊『ロアジール』第17巻第1号 28~33頁
(平成4年4月20日)

ピアノと自転車

ー産業革命が生んだ新しい耐久消費財ー
松井良明
月刊『ロアジール』第17巻第5号 28~33頁
(平成4年8月20日)

群衆の観想家・涙香

— いいだもも『探偵実話・黒岩涙香』書評

木村倫幸
「季報・唯物論研究」第42号
(1992年6月)

連歌の新研究 論考編

勢田勝郭
桜楓社
(平成4年2月28日 単著)

労働・コミュニケーション・遊び

— 尾関周二『遊びと生活の哲学 — 人間的豊かさとは自己確証のために』書評

木村倫幸
「季報・唯物論研究」第43/44号
(1992年11月)

連歌における源氏物語

勢田勝郭
平成4年度岡山大学言語国語国文学会
(平成4年5月31日 口頭発表)

学習開始年齢が言語習得に及ぼす影響 第Ⅲ報

樋口忠彦 (近畿大学), 三浦一朗 (京都教育大学)
國方太司、北村豊太郎 (梅田学園),
中本幹子 (Aim イングリッシュ・スタジオ),
守屋雅博
日本児童英語教育学会研究紀要第11号
(平成4年3月), pp.3~20

パーソナルコンピュータによる英語クローズテストシステムの作成

中村善一、國方太司、成田紘一
第8回ソフトウェアコンファレンス
(平成4年3月13日 講演)

ゲームの楽しい活用法

國方太司
新しい英語授業のためのワークショップ
(平成4年4月4日 講演)

生徒を引きつけるゲーム活用のポイント

國方太司
新しい英語授業のためのワークショップ
(平成4年5月9日 講演)

「変化」について

— 夏目漱石『それから』試論 —

武田充啓
神戸大学国語教育学会誌『国語年誌』第10号
pp 65 ~ 79 (1991年11月)

夏目漱石『彼岸過迄』論の前提

武田充啓
国文学年次別論文集 近代 (二) 平成2年 (1990) 版
(平成4年8月)

『竹林抄』他出文献一覧

勢田勝郭
新日本古典文学大系『竹林抄』付録
(岩波書店 平成3年11月20日)

奈良工業高等専門学校 研究紀要第28号

平成5年3月15日

編集兼
発行者 奈良工業高等専門学校
大和郡山市矢田町22

印刷所 (株)昭文社
奈良市柏木町176-1

RESEARCH REPORTS

of NARA NATIONAL COLLEGE of TECHNOLOGY

NO. 28, 1992

CONTENTS

Metal tube Berthelot technique for generating negative Pressure Kazuki HIRO and Yoshihito OHDE	1
Technical Report on Graphic Processor	7
Application of Solid Electrolytic Capacitor using Evaporated Organic Conductors by Ion-Assisted Deposition Jun KYOKANE, Syuji TOMIKAWA, Ichi KIMURA and Katsumi YOSHINO	13
A Detection Method for Sleep Stages using an Infrared Sensor Shigeki DOI, Takashi SAKUMA, Ichirou NAGAI and Haruo TAKAHASHI	19
Computer Simulation of Operation in a High Speed Rotor Containing Magnetic Bearings Takashi KURIMOTO	23
MODEL SHIP RUNNING TEST USING HIGH PRESSURE GAS	29
Development of Poisson's Ratio Measuring System Using Cornu Method (Development of Load Control System)	33
Study on Offline Teaching System for Multijoints Robot Yasuhiro HAYAKAWA, Yasuyuki TASHIRO and Kenji MATSUMURA	37
Dynamical Equations of Multi-Module Neural Networks	41
The Support Tool for Requirements Analysis in Software Development Hideo KUDO, Seiji YAGI and Takafumi MATSUMURA	45
The processing of Kana function words in reading Japanese	53
An Implementation of a Portable Compiler Driven Logic Simulator	57
Number of Turning Points of Weighted Maximum Cliques Masakuni TAKI, Hiroyuki HOURIN, Toshinobu KASHIWAHARA and Toshiro ARAKI	61
Conception of Hypertext System for Computer Assisted Instruction on the Distributed Environment	71
Shinji SHIMOJO, Hideo NAKANO, Noboru KUBO and Yoshiro NAKANISHI	71
Non-destructive investigation on the internal structures of waterlogged archaeological woods by ultrasound echography (VI)	75
Study on Electrolytic Modification of Graphite —Electrochemical Behavior of Graphite Electrode in an Aqueous Solution of Potassium Bromide —	79
Yasuyuki OHNISHI, Tsutomu IWAKI, Michio INAGAKI and Norio IWASHITA	79
Kinetics of the dissolution reaction of the amphoteric hydroxide in the alkaline solution. II Shusei INUTA, Shin-ichiro SUYE, and Takao MATSUI	83
Regeneration of Activated Carbon (3)	87
Fluorimetry of Urea by using of Optical Fiber	91
Masatoshi OUE and Shin-ichiro SUYE	91
Cultivation Characteristics of Yeast in an Airlift Bubble Column Mikio KAWAGOE and Shin-ichiro SUYE	97
Simulation of Ripening Phenomena in Batch Crystallization	101
On a dual algebra of MS-algebras	105
Kenichi ARAGANE	105
Madness and Point of View	113
Etsuo KATAYAMA	113
Problems In <i>Pericles</i> ; A Doubtful Shakespeare's Play	121
Kazuaki KAMIZAWA	121
Zur Komplexen Präposition des Deutschen *im Vergleich zu(mit)*	129
Osamu KIRIKAWA	129
A Case of Teaching Electrical Oscillation and Electric Resonance	135
Fumio ASAI	135
Pluralism and Universal Being — A study of "God" concept on William James — Tsuneyuki KIMURA	144
"Teikaika" in Natsume Soseki's <i>Sanshiro</i>	154
Mitsuhiro TAKEDA	154
A Study on Jo-no-sho or Prologue of Shimazaki Tōson's <i>Shinsei</i>	162
Seiji HOSOI	162
Abstracts	163
Research Activities in 1991~1992	165