

ISSN 0387-1150

研 究 紀 要

第 2 1 号

昭 和 6 0 年 度

奈 良 工 業 高 等 専 門 学 校

目 次

800 MPa 級炭素鋼の水素ぜい化に及ぼす炭素含有量の影響	岩 井 保 善・有 間 淳 一	1
ねじ旋削のデジタル制御に関する研究	加 賀 勝 也・押 田 至 啓・早 川 恭 弘	7
非定常熱伝導方程式の Du Fort - Frankel 差分法における差分粗さと計算精度	島 岡 三 義	11
奈良県における水銀鉱業の消長について	田 中 義 雄	17
空気圧シリンダの位置決めに関する数値解析	早 川 恭 弘	23
2次元グラフ作成用サブルーチン・パッケージの試作	矢 尾 匡 永・中 谷 洵	27
マイコンによる GTO チョッパ回路の通流率制御	井 村 栄 仁・牧 岡 信 之	33
Electrical Transport and Breakdown of Poly-p-Phenylenesulfide	Jun KYOKANE, Mun Soo YUN, Masanori OZAKI, San Hyon KIM, Katsumi YOSHINO and Yoshio INUIISHI	39
円筒面走査による長波長ホログラム(Ⅱ)	世 古 忠・成 田 紘 一	47
署名文字切り出しの基礎検討	中 村 善 一・上 田 勝 彦	51
遺跡出土木材の保存法に関する基礎的研究(第3報)		
光電濃度法による X 線画像解析法の PEG 含浸過程解明への応用	石 垣 昭	55
木造文化財保存に関する光電気化学的研究	泉 生一郎・石 垣 昭	61
回分型晶析装置における粒径分布シミュレーション	中 谷 武 志	65
分布の加法性(再生性)について	入 江 隆	69
非定値空間のストーンの定理	北 川 誠之助	73
The Human Relations in <i>Emma</i>	Shozo NAKANISHI	77
Non-Finite Verbs in the Stonor Collection — Gerund —	Kiyokazu MIZOBATA	87
Colloquial English の聴取についての試み — 誤聴分析に基づいて —	守 屋 雅 博	97
宗教的信念と唯心論 — ウィリアム・ジェームズの唯物論批判についての考察	木 村 倫 幸	116
大和守源頼親小考	朝 倉 弘	122
『桜の実の熟する時』論 — キリスト教との関わり —	細 井 誠 司	130
論文抄録		131
教官活動一覧表		139

800MPa級炭素鋼の水素ぜい化に及ぼす炭素含有量の影響

岩井 保 善 ・ 有 間 淳 一

Effect of Carbon Content on Hydrogen Embrittlement of 800MPa Carbon Steels.

Yasuyoshi IWAI and Junichi ARIMA

In order to investigate the effects of carbon content on the susceptibility to hydrogen embrittlement of quench-tempered carbon steels having tensile strength 800MPa, static tensile tests, observations of hydrogen charged surface and delayed fracture tests were carried out.

Although the hydrogen blistering and acoustic emission due to hydrogen dissolution observed at all specimens, they appeared remarkably with increasing carbon content.

Both elongation and reduction of area in hydrogen charged specimens were decreased largely without reducing static strength level so much. Moreover, it was found that the delayed fracture strength of smooth specimens increased with increasing carbon content.

1. 緒 言

鉄鋼材料中に水素が侵入すると、ブリストア（内部では水素誘起割れ）や水素ぜい化割れ（遅れ破壊）などのぜい化現象が生じ¹⁾²⁾、特にラインパイプ鋼のような比較的強度の鋼では外力のない条件下で発生するブリストアやステップ割れ等が問題となり³⁾⁴⁾、高力ボルトのような低合金焼もどしマルテンサイト鋼では、引張強さがおよそ1200MPaを超えると微量の水素によっても遅れ破壊を生ずることが知られている⁵⁾。

水素に起因する諸現象については筆者らもこれまでに各種強度に調質した構造用合金鋼を用いて一連の基礎的研究を進めてきた⁶⁾。本研究もその一環であり、市販の炭素量の異なる数種の炭素鋼を同一強度レベル（およそ800 MPa）に調質し、主に炭素含有量の水素ぜい化感受性に及ぼす影響について二三の実験的検討を行った。併せて、同じ強度を有するHT-80材との比較を行ったのでこれらの結果について述べる

2. 実 験 方 法

2.1 材料および試験片

本実験に用いた材料は炭素量が0.11%、0.27%、0.50%、0.85%の炭素鋼および高張力鋼HT-80で、Table Iに主な化学成分を示す。

試験片は圧延方向と長手方向が一致するように採取し、Fig. 1に示すような形状の平滑材と平行部中央の片側に深さ1.5 mm、幅0.5 mmのスリットを設けた切欠き材（ $\alpha = 3.6$ ）の二種類である。

Table I. Chemical compositions. (%)

	C	Si	Mn	P	S
0.11% C - Fe	0.11	0.15	0.91	0.035	0.040
0.27% C - Fe	0.27	0.10	0.85	0.033	0.035
0.50% C - Fe	0.50	0.25	0.65	0.16	0.15
0.85% C - Fe	0.85	0.36	0.97	0.14	0.13
HT-80	0.13	0.34	1.38	0.018	0.005

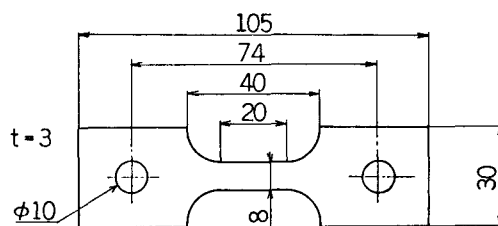


Fig. 1 The shape and dimension of specimen.

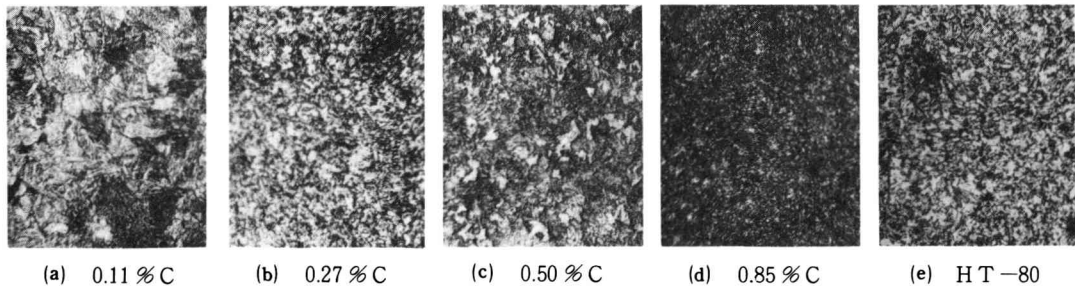


Fig. 3 Microscopic structures of the specimens.

Fig. 2は各種炭素鋼の焼もどし温度と引張強さの関係を示したものであり、本研究では各試験片を0.11%C材の焼入れ強度にそろえることとし、Table IIに示す条件下で調質した。ここで、0.11%Cおよび0.27%C材については焼入れ効果を高めるため、それぞれ -2°C の水食塩水および 1°C の水水中にて焼入れを行った。Fig. 3は各試験片の熱処理後の組織写真であり、Table IIに主な機械的性質を示す。

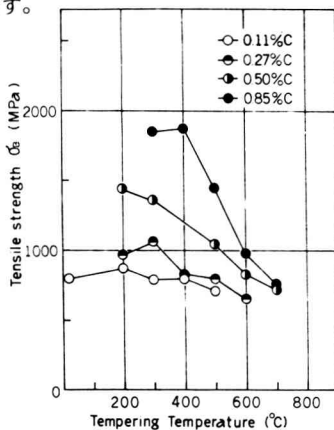


Fig. 2 Relation between tempering temperatures and tensile strength.

Table II. Heat treatment and mechanical properties of the materials used.

Heat treatment condition	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Reduction of area (%)	Vicker's hardness (load 500g)
0.11%C					
950°C 1hr. N					
930°C ½hr. W. Q.	594.9	786.0	18.7	54.3	413
0.27%C					
900°C 1hr. N					
870°C ½ W. Q.	579.1	770.3	17.0	60.0	554
450°C 1hr. W. T.					
0.50%C					
870°C 1hr. N					
850°C ½hr. W. Q.	564.5	768.3	28.0	59.6	604
610°C 1hr. W. T.					
0.85%C					
850°C 1hr. N					
800°C ½hr. O. Q.	695.8	757.5	23.4	53.0	607
680°C 1hr. O. T.					
HT-80	726.7	830.5	20.4	41.9	669

2.2 水素吸蔵法およびAE計測

試験片への水素の導入は前報⁷⁾と同様試験片中央部 $8 \times 10\text{mm}$ を残して他をコーティングし、 $30\text{mg} / 500\text{cc}$ — As_2O_3 を添加した5% H_2SO_4 水溶液 (PH 1.1) 中にて、 $20\text{mA} / \text{cm}^2$ の陰極電解によりチャージした。

水素吸収に伴う試料表面状態は光学顕微鏡で観察するとともに吸蔵時間に対するAE発生数を計測した。本実験で使用したAEセンサは、共振周波数147 KHzのジルコン酸鉛 (NF, AE-901 S) であり、これにより電気信号に変換しプリアンプで40dB、メインアンプで20 dBの増幅を行ったのち、100 ~ 300kHzのバンドパスフィルターを通過後の信号を計測した。

2.3 静的試験および遅れ破壊試験

各試験片の水素吸蔵に伴う機械的性質の変化を調べるために、吸蔵時間90minの試験片について水素の逃散を考慮して、空气中に放置する時間を可能な限り短くして静的引張試験を実施した。

遅れ破壊試験は前述の水素吸蔵下での引張負荷法を採用し、容量3 tonのクリープ試験機を使用した。実験は最高20hrまで負荷し、破断に至るまでの試験片の伸びは変位計に生じるひずみ変化を自動記録させることにより、併せてAE計測も実施した。Fig. 4にその概略図を示す。

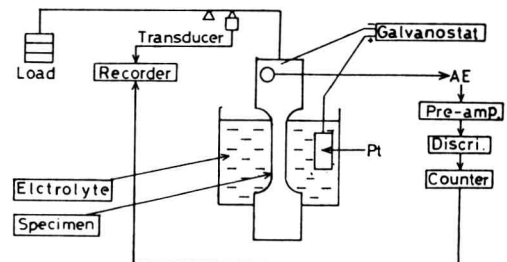


Fig. 4 Block diagram of AE measuring system.

3. 実験結果および考察

3.1 水素析出に伴う表面の塑性変形について

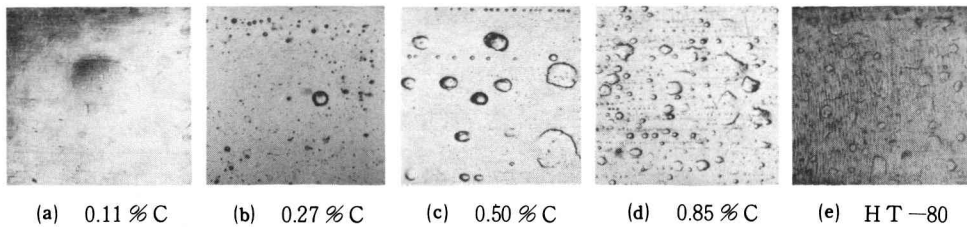


Fig. 5 Hydrogen blistering observed on the specimen surface after hydrogen charged cathodically 120 minutes.

Fig. 5に無負荷状態で2hr水素吸蔵を施した各試験片の表面を光学顕微鏡で観察した結果を示す。図から明らかなように、すべての試料でブリスターの発生が観察されたが、0.85% C材において最も多数の発生が認められる。これら表面のふくれ現象は、水素吸蔵開始後およそ5min後に圧延方向に沿って現われはじめ、その後約1.5hrまでの吸蔵で成長することが明らかとなった。ブリスターの生成については、鋼表面近傍の非金属介在物(MnS)周辺に凝集した固溶水素の析出に起因するものと考えられるが、本実験より鋼強度が同じ場合には炭素含有量の多い鋼ほどふくれ現象も顕著になるという結果が得られた。

またFig. 6に水素吸蔵時間とAE発生総数の関係を示す。一般にAE信号はFig. 7に示すような連続型と突発型の二つのタイプに分られ、連続型AEは主に塑性変形の際に現われ、突発型AEは微小なクラックの進行に伴

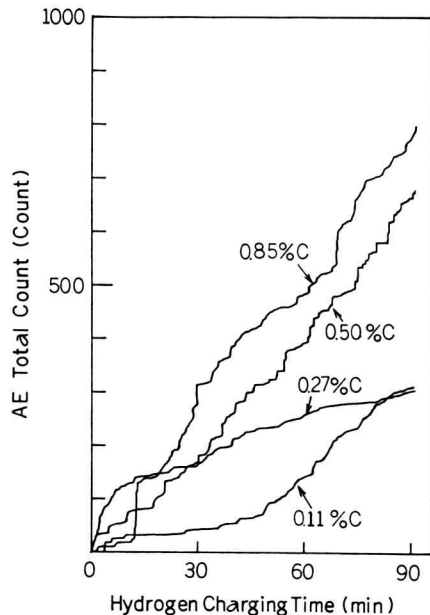


Fig. 6 Relation between hydrogen charging time and AE total counts.

って発生することが知られている⁸⁾。本実験では水素吸蔵開始後短時間で両タイプのAEの発生が観察され、炭素含有量の多い鋼ほど発生総数も多くなっているのがわかる。ここで計測されたAEは水素吸収による鋼内部の微小な水素誘起割れとブリスターの発生に伴う表面の塑性変形に基づくものと判断され、Fig. 5に示したブリスターの発生状況とAE発生総数により相関が認められた。

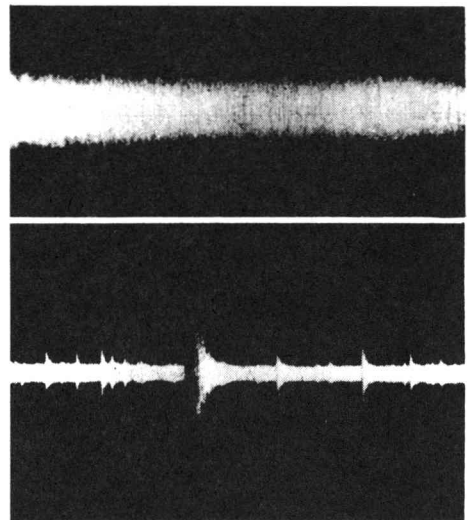


Fig. 7 AE wave pattern.⁸⁾

Fig. 8に水素吸蔵前後の表面状態をX線により測定した結果を示す。ここで使用したX線はCrK α 線であり、(211)面における水素の影響のない状態と水素吸蔵2hr後の表面残留応力と回折強度曲線の半価幅の変化を求めた。いずれの試験片においても水素化によって半価幅の広がりを示し、圧縮応力が作用しているのが認められる。これは水素吸蔵に伴う試料表面の塑性変形に基づくものと思われ、先述のふくれ現象が顕著に現われる高炭素鋼におけるこれらの変化は低炭素鋼に比べて大きくなっている。

3.2 水素ぜい化感受性および遅れ破壊試験結果

Fig. 9は各試験片の水素の影響のない場合と水素吸

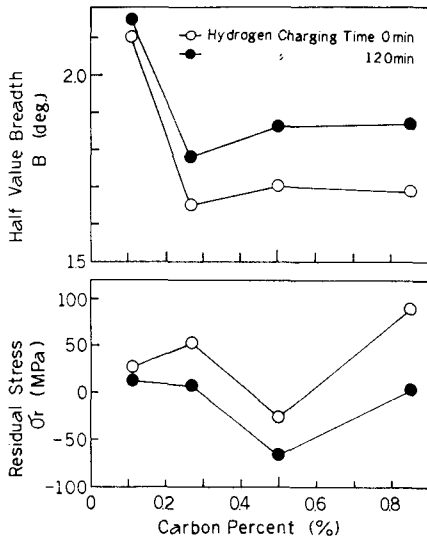
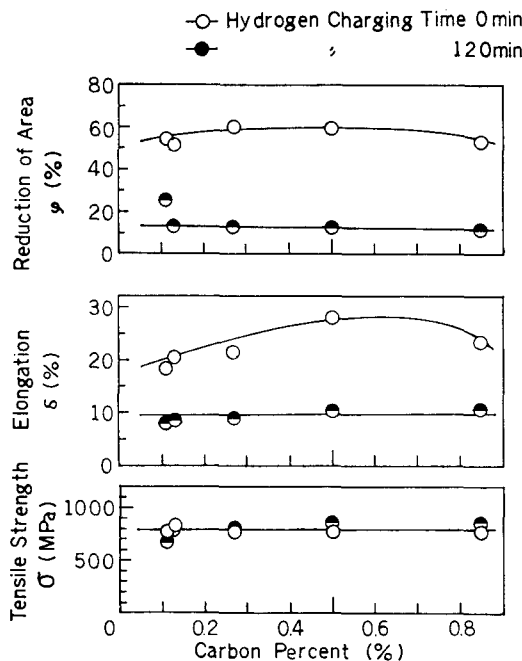


Fig. 8 Change in half value breadth and residual stress for $\text{CrK}\alpha(211)$ plane after hydrogen charged cathodically 120 minutes.

蔵 1.5hr 後における静的引張試験結果を比較して示したものである。従来、引張強さがおよそ 1200MPa 以上に調質された合金鋼等においては、前報でも述べたように極めて水素感受性が高く、短時間の吸蔵でも大幅な強度の低下を示したのに対し、本実験で使用した約 800 MPa 程度の鋼では炭素含有量にかかわらず、1.5hr 水素吸蔵後



and carbon content after hydrogen charged cathodically 120 minutes.

においても強度低下を示さないことがわかる。しかしながら、水素化後の伸び、絞り的大幅な減少を示し、しかも炭素量にかかわらずそれぞれ約 9% および 12% とほぼ一定値となっているのが認められる。このことから、800 MPa 級炭素鋼の水素ぜい化は強度上は水素の影響を受けず、延性のみが大きく減少する現象であるといえる。

Fig. 10, Fig. 12 は平滑材および切欠き材の水素吸蔵下における引張遅れ破壊試験結果を示したものである。図から明らかなように、炭素含有量の影響は平滑材において明瞭に現われており、20hr 負荷における強度は炭素量の多い鋼ほど高い値を示している。しかし、同一強度レベルの HT-80 材は炭素量が 0.13% であるにもかかわらず、0.85% C 材とほぼ同じ強度を有し耐遅れ破壊性はすぐれているといえる。一方、切欠き材では炭素量の影響は顕著に現われず、各負荷応力に対する破断時間にはあまり差異は認められない。

Fig. 12, Fig. 13 に 0.85% C 材と HT-80 切欠き材の破断に至るまでの試験片に生ずる変位と AE 発生の様子を示す。AE は試験片に変位が現われる時間、すなわち初

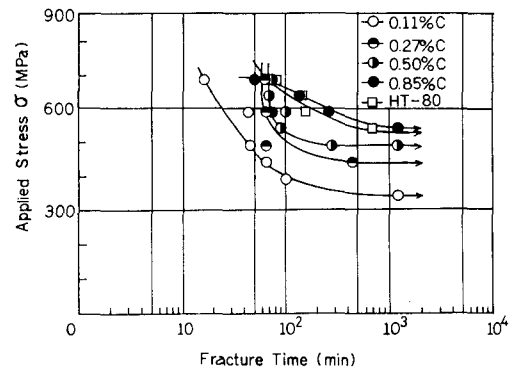


Fig. 10 Delayed fracture diagram. (smooth specimen)

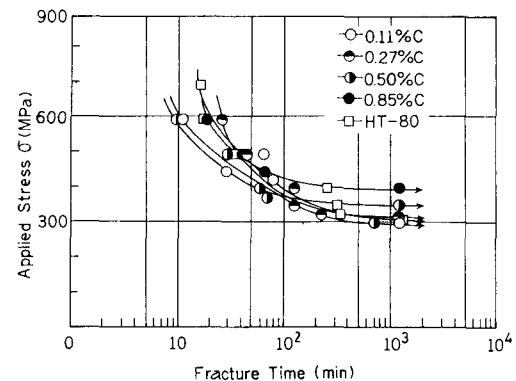


Fig. 11 Delayed fracture diagram. (notch specimen)

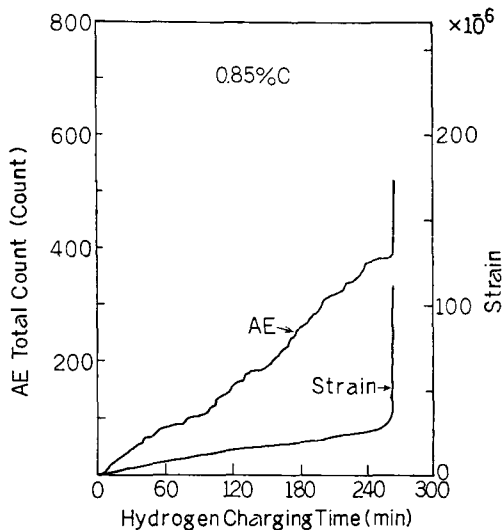


Fig. 12 Variation of AE total counts and strain in delayed fracture test. (0.85% C)

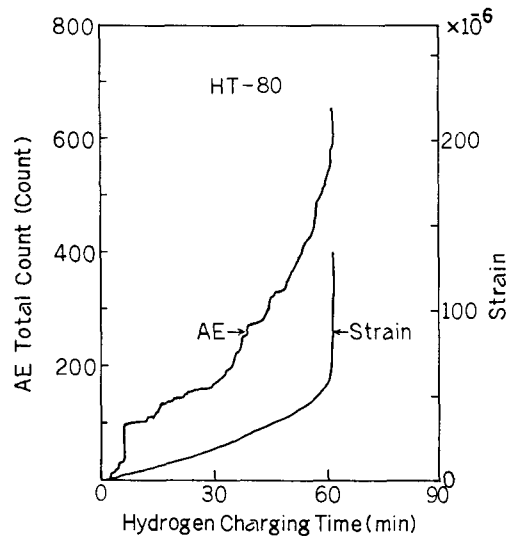


Fig. 13 Variation of AE total counts and strain in delayed fracture test. (HT-80)

期き裂発生時より現われはじめ、破断に至るまでのき裂進展過程とにより対応を示しているのが認められた。

4. 結 言

およそ 800MPa の同一強度レベルに調質した数種の炭素鋼の水素ぜい化感受性を調べるため、陰極電解法により水素を吸蔵させ、静的引張試験および遅れ破壊試験を実施して主に炭素含有量の影響について検討を行った結果、以下の諸点が明らかとなった。

(1) 水素吸蔵開始後短時間で、全ての試験片で圧延方向に沿ったブリスターの発生が観察され、炭素含有量の多い鋼ほど顕著である。

(2) 水素吸蔵に伴って発生する AE はブリスターの発生状況とにより対応関係がある。

(3) 水素化試験片の表面では圧縮応力が作用し、X 線回折線の半価幅の広がりを示すが、炭素量の増加とともにこれらの変化量は増大する。

(4) 水素吸蔵後の各試験片は大幅な延性低下が認められたが、静的強度の減少は示さなかった。また、平滑試験片の遅れ破壊試験より、同一強度を有する炭素鋼では炭素量の多い鋼で高い遅れ破壊強さを示すことが明らかとなった。

参 考 文 献

- 1) Ikeda, A., Y. Morita, F. Terasaki, and M. Takeyama, 2nd International Congress on

Hydrogen in Metal 4 A-7 (1977)。

- 2) 村田朋美, 金属, 4, 9 (1976) アグネ出版。
- 3) J. B. Vrabie, Mater. Perfor., 11, 23 (1972)。
- 4) 小岩正倫, 腐食防食部門委員会資料, 11, Part 4, 23 (1973)。
- 5) 福井彰一, 鉄と鋼, 55, 2 (1969)。
- 6) 岩井保善, 有間淳一, 材料, 27, 294, P. 235 (1978)。
- 7) 岩井保善, 有間淳一, 奈良高専研究紀要, 第20号, 9 (1984)。
- 8) 尾上守夫, 山口楠雄, 仲佐博裕, 佐野謙一, 磯野英二, 渡辺哲夫, "アコースティック・エミッションの基礎と応用" (1976) コロナ社。

ねじ旋削のデジタル制御に関する研究

加賀勝也・押田至啓・早川恭弘

Study on Digital Controles of Screw Cutting in Lathe

Katsuya KAGA, Yoshihiro OSHIDA and Yasuhiro HAYAKAWA

ねじ旋削は、少量のしかも種類の違ったねじを手軽に得られる点で都合のよい作業であるが、旋盤作業の中でとりわけむづかしい作業である。本文は、まずねじ旋削作業の分析を行い、その要素作業について、デジタル制御を行う際に必要な基礎の考え方を明らかにしたものである。これによって今後の細部についての研究の手掛を得ることができた。

1. 緒 言

旋盤作業の中でとりわけ難しい作業はねじきりである。その訳は、ねじ山を一度につくり出すことができず、刃物を何回もねじの軸線の方向に往復運動をさせて、少しずつ形をつくり出していくので、ねじの切りははじめの位置で毎回ねじの谷に刃物を導かねばならないからである。

本文は旋盤でのねじきを安価なマイクロコンピュータでデジタル制御することの基礎となる考え方について考察し、今後の細部の研究の手掛を得ようとするものである。

2. ねじ旋削の原理

いままでに考えられてきたねじは、ねじ山の形とピッチとの組合により数多くある。しかし、ねじ山の形は刃先の形によってつくり出されるから、考察しなければならないことは結局ねじ山のピッチ（又は山数／インチ）についてである。

- 常用されているねじの多くは転造法などで大量につくられているが、ねじ旋削を必要とする場合としては
- (1) 簡単な操作で各種ねじをつくる態勢が整えられるので、多種少量生産に便利であること
 - (2) 複雑な部品の一部にねじをつくり出す場合に可能性の大きいこと
 - (3) 長いねじ部をつくり出す場合に適していること

などが挙げられる。

旋盤でねじをつくる場合には、材料に回転を与えておいて、刃物を材料の中心線に平行に移動させればよいが、刃物によるねじ切りは一度では形をつくることはできないので、何回も刃物に往復運動を与えて、少しずつねじ山をつくり出して行かなければならない。

この場合の刃先の動きに注目すると、つぎのような動作のつながりを繰り返すことになる。（図1参照）

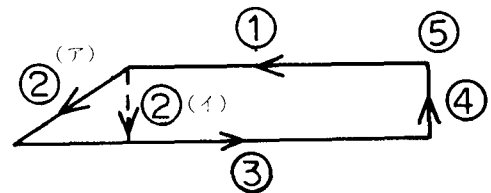
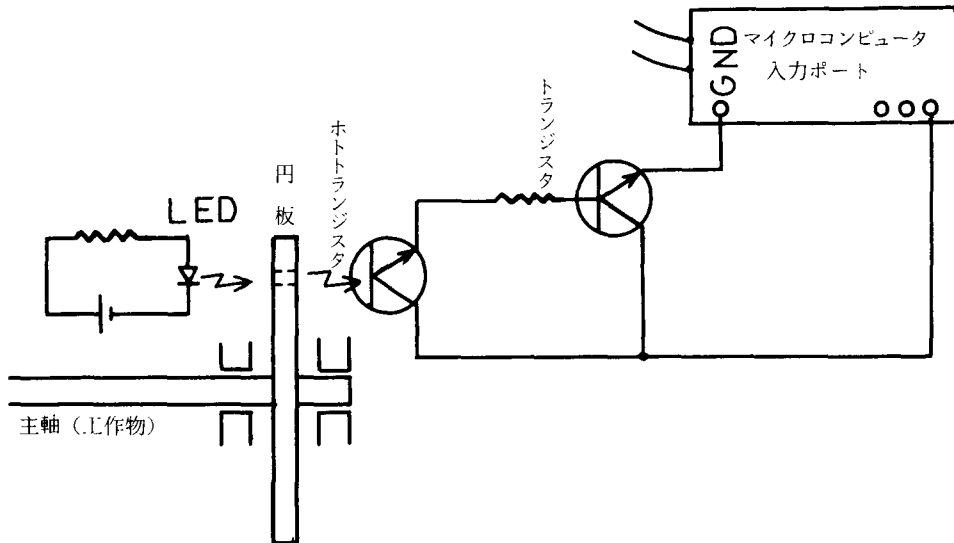


図1 切削サイクル

- ① けづる……材料を回転させておいて、刃物を材料の中心線に平行に移動させる。
- ② ながす……ねじの切り終りの位置で
 - (ア) 刃物を進行方向に斜め手前に引く。
 - または
 - (イ) 材料にあらかじめつくっておいた溝の中に刃物を逃がして、まっすぐ手前に引く。
- ③ もどす……刃物を材料の中心線に平行に移動させ

図 2 入力ポート¹⁾

て削りはじめの位置に戻す。(この際早く戻せば無駄時間を少なくすることになる。)

- ④ 切り込む……刃物を材料に触れる位置まで前進させ、さらに切り込みを与える。(往復運動の進むに従って漸減切り込みを行う。)
- ⑤ スタート……ねじの谷に刃物を正しく導いてからスタートする。

3. 装 置

主軸には交流モータ、親ねじと横送りねじの両軸にはパルスモータを取り付け、マイクロコンピュータの間にはインターフェイスとして出力ポートから出た信号をトランジスタで増幅し、交流モータとはリレーで、またパルスモータとはホトカプラを介して接続する。

また、図2のように、主軸には周囲にスリット(又は小孔)をつけた円板を取り付け、LEDからの光をホットトランジスタで受けてパルス化し、トランジスタを介してマイクロコンピュータの入力ポートに接続する。

4. デジタル制御の要点

(1) けづる(図1①の)工程

ステップ角 θ° のパルスモータを使用するとすれば、モータ軸は $360/\theta$ パルスで1回転する。親ねじのピッチを $P\text{ mm}$ とし、ねじきりのために往復台を移動する長さを $L\text{ mm}$ とすれば、往復台を $L\text{ mm}$ 移動させるためには、親ねじを L/P 回転させる必要がある。すなわち、

$$360 L / \theta P \text{ パルス} \cdots \cdots (1)$$

をパルスモータに与える必要がある。

(2) ながす(図1②の)工程

(ア) の場合

ねじきり工程(図1①)の終りに、刃物を材料から離す必要があるが、縦送りパルスモータに与えるパルスに対して、横送りパルスモータにはその1つとびのパルスを加えることによって、刃物は図3のような動きで手前左斜めに逃すことができる。

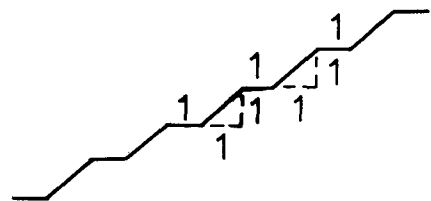


図3 (2)(ア)の場合の刃物の動き

(イ) の場合

にげ溝に刃物が入ったときに縦送りを停止し、 $\ell\text{ mm}$ 後退させる場合には、横送りパルスモータに $360 \ell / \theta P_0$ パルスを与えればよい。ここで、 P_0 は横送りねじのピッチ(mm)である。

(3) もどす(図1③の)工程

親ねじを逆転して、前記式(1)のパルスを与えれば、刃物はねじの切りはじめの位置に戻る。正転時のパルス数を正、逆転時のパルス数を負としてカウントすれば、往復台を戻しても、戻し速度とは関係なく、カウンタは往復台の位置を示すことになるので、ねじの切りはじめの位置ではカウンタはゼロを示す。

(4) 切り込む(図1④)の工程

横送りパルスモータに正転(前進)を与え、上記(2)の場合の $360 \ell / \theta P_0$ パルスを与えると、刃物は材料に触れるまで前進するが、さらに切込のためのパルスを加える必要がある。

1回の切込量を $C \text{ mm}$ とすれば、切込量に対応するパルスは上式の ℓ の代りに C を代入した値のパルスを与えることになるが、切削の進むに従って、切削面積が増えるためこのパルス数は漸減させる必要がある。

- (5) 主軸および親ねじの毎分回転数を、それぞれ n , $N \text{ rpm}$ とし、主軸は1回転で J パルス発生し、親ねじは1回転させるために K パルス必要とすれば、マシン語プログラムの中の主軸および親ねじに対するパルスの部分には、図4中の T_1 , T_2 を

$$T_1 = \frac{60}{Jn}, \quad T_2 = \frac{60}{KN} \quad \dots\dots\dots(2)$$

に設定すればよい。

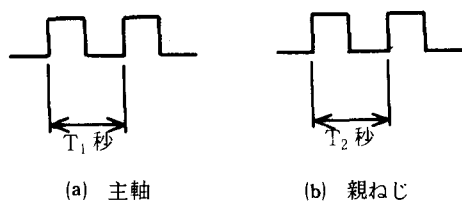


図4 主軸と親ねじとのパルス

往復台の戻し時に早戻しをすれば時間の短縮になるが、そのためには T_2 を短くする必要がある。

また、 T_1 と T_2 の比を $T_2/T_1 = JP/KP$ に定めることによって、ピッチ $P \text{ mm}$ の親ねじで、ピッチ $p \text{ mm}$ の工作物をつくり出すことが可能になる。

※式(2)と後掲の式(3)とから

$$\frac{p}{P} = \frac{N}{n} = \frac{60/KT_2}{60/JT_1} = \frac{T_1J}{T_2K} \cdot \frac{T_2}{T_1} = \frac{JP}{KP}$$

- (6) 前述のようにねじ旋削で難しい点は、ねじの谷に刃物を正しく導くことであるが、その方法を考察する。

いま、ピッチ $P \text{ mm}$ の親ねじでピッチ $p \text{ mm}$ の工作物を削る場合に、主軸および親ねじの毎分回転数を、それぞれ n および $N \text{ rpm}$ とすると、次式が成り立つ。

$$\frac{p}{P} = \frac{N}{n} = \frac{a}{b} \quad \left(\frac{a}{b} \text{ は既約分数} \right) \quad \dots\dots\dots(3)$$

この式から考えられることは、主軸の b 回転ごとに、刃物をスタートさせるべき時期がやってくる。

他方、刃物の方はねじの切りはじめの位置で、毎回同じ親ねじの状態からスタートする時期を待つことになる。そこで、主軸の b 回転ごとに信号を出しておき、この信号の出た瞬間に刃物をスタートさせれば、ねじの谷に正しく刃物を導くことができる。

5. 結 言

以上の考察は、まずねじ旋削作業の分析を行い、その要素作業について安価なマイクロコンピュータでデジタル制御を行う際に必要な基礎の考え方を明らかにしたものである。これによってねじ旋削のデジタル制御の可能性を見出し、今後の細部についての研究の手掛を得た。

文 献

- 1) 洞 啓二, マイコン制御入門, (昭59), 105, コロナ社。

非定常熱伝導方程式のDu Fort-Frankel差分解法 における差分粗さと計算精度

島 岡 三 義

Relation between Time and Space Intervals and Accuracy of Du Fort-Frankel's Method for Unsteady Heat Conduction Equation

Mitsuyoshi SHIMAOKA

Numerical solutions for one dimensional unsteady heat conduction equation at the several initial and boundary conditions were obtained by the use of Du Fort-Frankel's method (DFM), which is the explicit scheme and stable unconditionally.

Obtained results are as follows. When $T_{min}/(\Delta X)^2$ are 3.0 ~ 30.8 and also $T_{min}/\Delta T$ is above 30, the numerical solutions are obtained with the accuracy better than 3%. Considering the accuracy of the calculation, the mesh ratio $\Delta T/(\Delta X)^2$ should be used in the region of 0.1 ~ 1.2. The computation time of DFM is nearly equal to that of Explicit method.

1. 緒 言

電子計算機が発達し、解析的には困難であった異方性および不均質物質、非線形ならびに多次元の熱伝導問題が数値的に解かれるようになってきている。今日、数多くの数値解法が報告されているが、ただ単に解を得ることよりもいかに短時間で精度のよい解を得るかに研究の主眼が移ってきている。各解法の手法については詳しく論じられているものの^{1), 2), 3)}、コンピュータで実際に計算する場合の問題点などについてはあまり報告されていないため^{4), 5)}、数値計算上生じる雑多な問題の解決はすべて研究当事者自身にゆだねられているのが現状である。

そこで本研究では、熱伝導方程式（放物型偏微分方程式）にはあまり適用されていないDu Fort-Frankelの差分法（DFM）を取り上げ、実際に数値計算を行う上で留意すべき点、特に精度に見合った差分粗さの条件、前進法（陽解法あるいはExplicit法とも呼ばれる、EXM）およびCrank-Nicolson法（CNM）との計算精度の優劣などを明らかにすることを試みた。

数ある差分法の中でDFMに着目した理由は、

(1) 任意の差分粗さに対して安定な差分式である⁶⁾

(2) 前進型（Explicit型）差分法であるため、計算手順が簡単である
ということによる。

2. Du Fort-Frankel差分法について

1953年、E. C. Du FortおよびS. P. Frankelによって提案された差分法で、一次元非定常熱伝導方程式、

$$\frac{\partial \theta(X, T)}{\partial T} = \frac{\partial^2 \theta(X, T)}{\partial X^2} \quad (1)$$

に対する前進法の差分式、

$$\theta_{i, j+1} = F\theta_{i-1, j} + (1-2F)\theta_{i, j} + F\theta_{i+1, j} \quad (2)$$

において、

$$\theta_{i, j} = \frac{\theta_{i, j+1} + \theta_{i, j-1}}{2} \quad (3)$$

とした場合である。

ここで、 $\theta(X, T)$ は温度比、 T は無次元時間(Fourier数)、 X は無次元空間座標、 F は格子比でそれぞれ次のように表わされる。

$$\theta(X, T) = \frac{V(X, T)}{V(X, 0)}, \quad X = \frac{x}{L}, \quad T = \frac{at}{L^2}$$

$$F = \frac{\Delta T}{(\Delta X)^2}, \quad \Delta X = \frac{\Delta x}{L}, \quad \Delta T = \frac{a \Delta t}{L^2}$$

ここに、 $V(X, T)$ は温度、 a は熱拡散率、 L は代表長さ、 Δt は時間ステップ、 Δx は空間格子間隔である。

また、

$$X = i \Delta X, \quad T = j \Delta T$$

とにおいて、

$$\theta(X, T) = \theta(i \Delta X, j \Delta T) = \theta_i, j$$

と表わす。

式(3)を式(2)に代入すれば、Du Fort-Frankelの差分式、

$$\theta_{i, j+1} = \frac{1}{1+2F} \left\{ 2F(\theta_{i-1, j} + \theta_{i+1, j}) + (1-2F) \theta_{i, j-1} \right\} \quad (4)$$

が得られる。

数値計算を行う上で注意を要することの1つは、差分式がもとの偏微分方程式に対して適合性があるかどうかということである。これは格子間隔 ΔX 、 ΔT をゼロに近づけたときにその差分式がもとの偏微分方程式に一致するかどうかということで、DFMの場合、 ΔX 、 $\Delta T \rightarrow 0$ のとき、 $(\Delta T / \Delta X) \rightarrow 0$ であれば式(4)は式(1)に一致するが、 $(\Delta T / \Delta X) \rightarrow k$ (ある定数) でゼロに収束しないならば、式(4)は双曲型偏微分方程式

$$\frac{\partial \theta(X, T)}{\partial T} + k^2 \frac{\partial^2 \theta(X, T)}{\partial T^2} - \frac{\partial^2 \theta(X, T)}{\partial X^2} = 0 \quad (5)$$

に一致する。このことから、DFMは不適合な差分法と言われているが、実際の数値計算では ΔX 、 ΔT は有限の値をもつので、極限において不適合であっても ΔX 、 ΔT の設定の仕方によって十分放物型偏微分方程式へも適用できるものと考えられる。

3. 数値計算結果と考察

3.1 数値計算モデル

数値計算は以下に示す4種の初期および境界条件のもとで行った。

モデル (a)

$$\left. \begin{aligned} T \leq 0 : \quad 0 \leq X \leq 1 \quad \theta(X, 0) = 1 \\ T > 0 : \quad \frac{\partial \theta}{\partial X} \Big|_{X=0} = -A, \quad \frac{\partial \theta}{\partial X} \Big|_{X=1} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

モデル (b)

$$\left. \begin{aligned} T \leq 0 : \quad 0 \leq X \leq 1 \quad \theta(X, 0) = 1 \\ T > 0 : \quad \frac{\partial \theta}{\partial X} \Big|_{X=0} = -A, \quad \frac{\partial \theta}{\partial X} \Big|_{X=1} = 1 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

モデル (c)

$$\left. \begin{aligned} T \leq 0 : \quad 0 \leq X \quad \theta(X, 0) = 1 \\ T > 0 : \quad \frac{\partial \theta}{\partial X} \Big|_{X=0} = -A, \quad \theta(\infty, T) = 1 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

モデル (d)

$$\left. \begin{aligned} T \leq 0 : \quad 0 \leq X \quad \theta(X, 0) = 1 \\ T > 0 : \quad \frac{\partial \theta}{\partial X} \Big|_{X=0} = -Bi \left\{ \frac{V_\infty}{V(X, 0)} - 1 \right\} \\ \theta(\infty, T) = 1 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$A = \frac{q_0 V(X, 0)}{\lambda L} \quad (10)$$

ここで、 q_0 は一定熱流束、 V_∞ は周囲流体温度、 λ は固体物質の熱伝導率、 Bi はBiot数 ($= hL / \lambda$)、 h は熱伝達率である。これらのモデルは解析解が比較的平易な関数形で表わされ、また、熱物性値の測定などにもよく利用されている。解析解を以下に示す。

モデル (a)

$$\theta(X, T) = 2A\sqrt{T} \sum_{n=0}^{\infty} \left[\text{ierfc} \left\{ \frac{2n+X}{2\sqrt{T}} \right\} + \text{ierfc} \left\{ \frac{2(n+1)-X}{2\sqrt{T}} \right\} \right] + 1 \quad (11)$$

モデル (b)

$$\theta(X, T) = 2A\sqrt{T} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \left[\text{ierfc} \left\{ \frac{2n+X}{2\sqrt{T}} \right\} - \text{ierfc} \left\{ \frac{2(n+1)-X}{2\sqrt{T}} \right\} \right] - 1 \quad (12)$$

モデル (c)

$$\theta(X, T) = 2A\sqrt{T} \text{ierfc} \left(\frac{X}{2\sqrt{T}} \right) + 1 \quad (13)$$

モデル (d)

$$\theta(X, T) = \frac{V_\infty}{V(X, 0)} \left[\text{erfc} \left(\frac{X}{2\sqrt{T}} \right) - \exp \left\{ Bi X + (Bi^2 T) \text{erfc} \left\{ \frac{X}{2\sqrt{T}} + Bi \sqrt{T} \right\} \right\} + 1 \right] \quad (14)$$

ここに、

$$\text{erfc}(\eta) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{\eta}^{\infty} \exp(-\xi^2) d\xi \quad (15)$$

$$\text{ierfc}(\eta) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-\eta^2) - \eta \text{erfc}(\eta) \quad (16)$$

数値計算においては、 $A=50$ 、 $V_\infty / V(X, 0) = 100$ 、 $Bi=1$ および $\Delta X = 0.1$ とした。また、モデル(c)、(d)における無限遠 $X = \infty$ を $X = 100 \Delta X$ で近似した⁸⁾。

3.2 精度に見合った差分粗さの条件

数値解の解析解に対する誤差は微分方程式を差分化するときに生じる離散化誤差が支配的であるが、数値解を採用する目安としては誤差が3%程度であれば十分と考えられる。これは、実験誤差として通常2~3%程度は許される範囲であることによる。

DFMにおいて、 F の値を0.1~10まで種々選び、全空間格子点の誤差を±3%以下に保つための $T_{min}/\Delta T$ と $T_{min}/(\Delta X)^2$ の関係をそれぞれのモデルについて図1~

図4に示す。ここで T_{min} は、求めようとしている非定常解の中で最も初期時刻に近い解に対応するFourier数であり、したがって $T_{min}/\Delta T$ は最初に採用できる解を得るまでの繰り返し計算回数(時間ステップ数)である。図の斜線内の $T_{min}/\Delta T$ 、 $T_{min}/(\Delta X)^2$ を用いれば、 $T \geq T_{min}$ を満たすすべてのFourier数について、全格子点の数値解が±3%以下の誤差で求まる。

いずれのモデルにおいても、最初に採用できる解を得るには最低10回程度は計算を繰り返す必要がある。また、 F の値によってその繰り返し数が増えるので、数値解の採用にあたっては注意が必要である。 $T_{min}/\Delta T$ を小

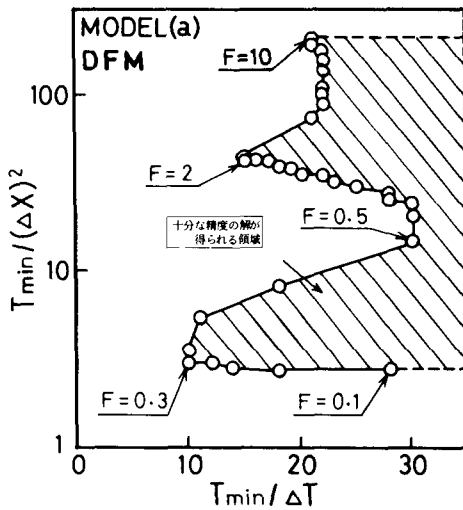


図1 十分な精度の解が得られる領域 (モデル(a))

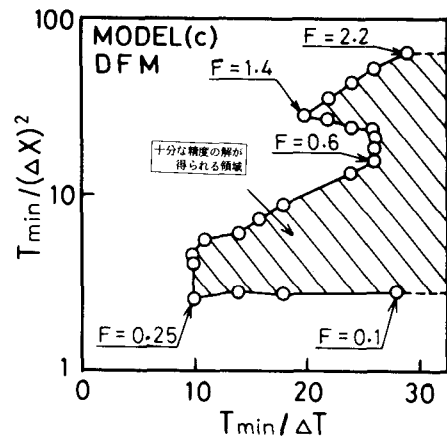


図3 十分な精度の解が得られる領域 (モデル(c))

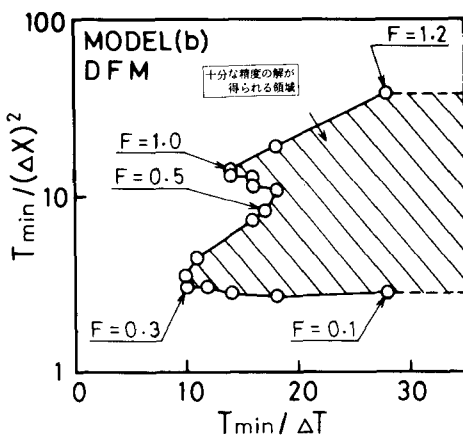


図2 十分な精度の解が得られる領域 (モデル(b))

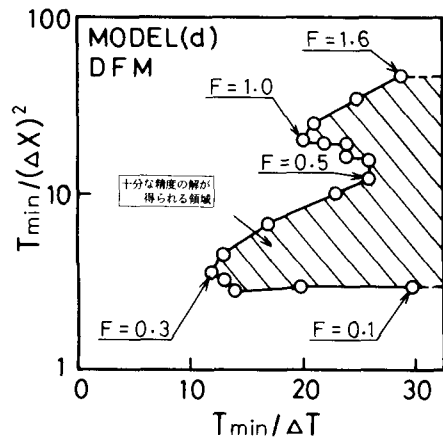


図4 十分な精度の解が得られる領域 (モデル(d))

さくするためにはどのモデルにおいても F を 0.3 前後にすればよいことがわかる。なお、モデル(b), (c), および(d)では F をそれぞれ 1.2, 2.0 および 1.6 以上にとると $T=30 \Delta T$ まで計算しても $\pm 3\%$ 以下の解は得られなかった*。

以上 4 モデル全体について十分な精度で数値解の得られる差分粗さの条件は、

$$\left. \begin{aligned} \frac{T_{min}}{\Delta T} &\geq 30 \\ 3.0 &\leq \frac{T_{min}}{(\Delta X)^2} \leq 30.8 \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

で示され、 F については、

$$0.1 \leq F \leq 1.2 \quad (18)$$

となる。このように、DFM は F に無関係に安定な差分法ではあるが、計算精度の点からは F を無制限に大きくとることはできない(このことは、この差分式の適合性による)ことがわかる。

3.3 他の差分法との計算精度の比較

EXM, CNM による数値計算を行い、計算精度の比較を行った。CNM における連立方程式の解法には Gauss-Seidel の反復法を用いた。

本研究で取り上げた 4 種のモデルでは $X=0$ の面での

温度変化が最も激しいので、差分式の計算精度は $X=0$ の面で検討すれば十分である。図 5～図 7 にモデル(a)の場合の 3 差分法の計算精度の比較を示す。縦軸に示す Error (数値解の解析解に対する誤差) は絶対値である。

図 5 は $F=0.1$ の場合で、3 差分法とも T の増加とともに誤差は減少し、誤差の大きさもほぼ同程度である。DFM の場合、誤差は振動しながら減少するが、これは式(3)の影響と考えられる。

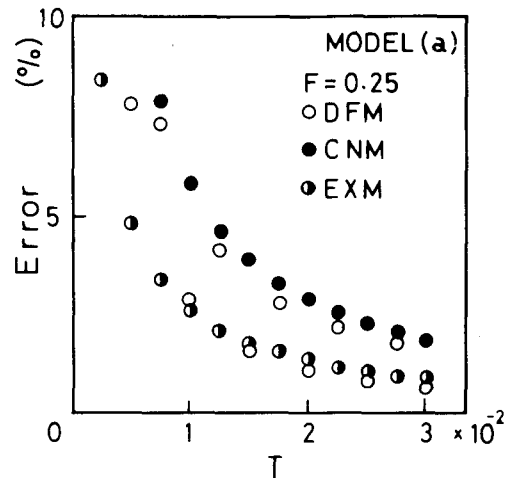


図 6 計算精度の比較 ($F=0.25$)

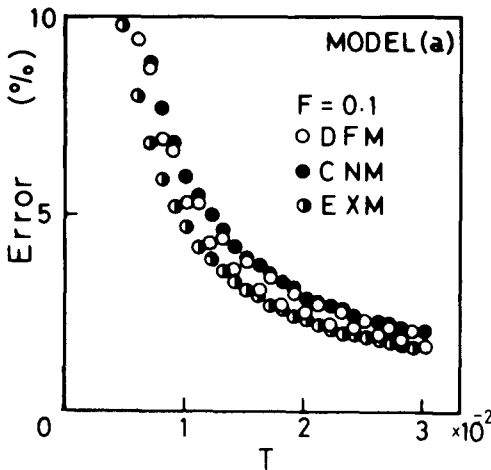


図 5 計算精度の比較 ($F=0.1$)

* 繰り返し計算回数を多くしないと十分な精度の解が得られないというのは計算時間の増大となり好ましくない。ここでは 30 回で計算を打ち切っている。

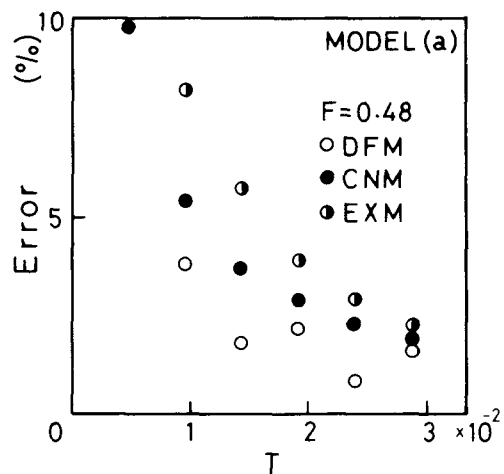


図 7 計算精度の比較 ($F=0.48$)

図6は $F = 0.25$ の場合で、誤差の減少傾向は図5と同様であるが、EXMの計算精度は向上し、DFMでも1ステップ毎の振幅は大きくなっているものの平均的には精度は向上している。CNMではほとんど変化はない。

図7は $F = 0.48$ の場合であり、EXMの誤差が他の2法に比べ大きくなっている。計算精度は差分式において用いる格子点数が多いほど良くなるが、その格子点数はEXM、DFMおよびCNMの場合それぞれ4点、5点および6点であり、 $F > 0.48$ では ΔT 、 ΔX の大きさの他、使用格子点数も精度に影響を及ぼしているものと考えられる。 $(F > 0.5$ では、DFMの誤差はCNMよりはるかに大きくなる傾向が認められた。ただし、EXMでは $F = 0.5$ が安定限界であるため数値解は得られない。)

前節において、繰り返し計算回数を30以上にすれば、 F が1.2程度でも十分な精度の解が得られることが示されたが、EXMおよびCNMと同程度の精度の解を得ようとすると、 F は0.48程度が実質的な上限と考えられる。

なお、他のモデルにおいても、3差分法の誤差の大きさ、減少傾向ともモデル(a)の場合とほぼ同様の結果が得られた。

また、モデル(a)、 $F = 0.1$ で $T = 30 \Delta T$ まで計算したときの計算時間の比はおおよそ次のようであった。

$$\text{EXM} : \text{DFM} : \text{CNM} = 1 : 3 : 50 \quad (19)$$

DFMでは初期値として $j = 0$ レベルの値の他 $j = 1$ レベルの値も必要で、ここでは $j = 1/2$ レベルの値を解析解より求め、 $j = 0$ と $j = 1/2$ レベルの値をもとに、DFMにより $j = 1$ レベルの値を計算している。したがってこの計算過程(特に解析解の計算)に比較的時間を費やしているため、EXMと本来同程度の計算時間であるのが約3倍に長くなっている。一方、CNMでは連立方程式の解法に莫大な時間を要していることがわかる。

本モデルのように解析解が得られているとはいえ、実際に数値を得ようとすると、式(15)、(16)に示される誤差関数に類する関数を解き、さらに総和をとるということが必要である。しかも $\text{erfc}(\eta)$ の値を求めるには数値積分によらねばならず、したがって解析解から数値を得ようとするのは必ずしも得策ではない。

4. 結 言

直交一次元非定常熱伝導方程式を数値的に解く場合の

解法として、Explicit型で常に安定であるDu Fort-Frankelの差分法を用い、式(6)～式(9)で示される条件下で数値解を求めた。本差分法の精度に見合った差分粗さ、他の差分法との計算精度の優劣などを検討した結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 十分な精度(3%以下)の数値解を得るための ΔX 、 ΔT の条件は式(17)で示される。

(2) 計算精度の点から格子比 F の値は無制限に大きくとれず、式(18)で示される範囲が限度と考えられる。特にFourier数が0.03以下で前進法やCrank-Nicolson法と同程度の精度の解を必要とする場合には $F < 0.5$ で計算すべきと考える。

(3) 本差分法では、 F に制限はあるものの安定条件を検討するわずらわしさがなく、計算開始時の問題を除けば計算時間も前進法と同程度であり、Crank-Nicolson法より著しく短いので本差分法は十分利用価値があるものである。

以上のことは、あらゆる初期および境界条件下において必ずしも当てはまるという訳ではないが、実際に ΔX 、 ΔT を設定する際の目安として理解されたい。

最後に、本研究を進めるにあたり、多大な御助言をいただいた大阪大学工学部大中逸雄助教授に心から感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) G. E. Myers : Analytical Methods in Conduction Heat Transfer (1971), McGraw-Hill.
- 2) 神谷紀生 : 有限要素法と境界要素法 (1982), サイエンス社.
- 3) 斎藤武雄 : 機械の研究, 36—5 ~ 37—6 (連載), (1984).
- 4) P. J. Roache : Computational Fluid Dynamics (1976), Hermosa Publ. Inc.
- 5) 片山功蔵・斎藤彬夫・服部賢 : 伝熱工学の進展, Vol. 3 (1974), 養賢堂.
- 6) R. D. Richtmyer・K. W. Morton : Difference Methods for Initial Value Problems (1967), New York Interscience.
- 7) 斎藤武雄 : 機械の研究, 36—12 (1984), 1383.
- 8) 片山功蔵・斎藤彬夫・服部賢 : 伝熱工学の進展, Vol. 3 (1974), 養賢堂, 138.

奈良県における水銀鉱業の消長について

田 中 義 雄

Prosperity and Decay of Mercury Mining Industry in Nara District

Yoshio TANAKA.

奈良県における水銀の主たる産出地は、桜井市、菟田野町付近に密集していたようであるが、これは地質学的には中央構造線の内帯に属する領家地帯ということになる。その鉱石は辰砂 (HgS) であるが、その母岩は花こう岩系の黒雲母石英閃緑岩が主体のようである。

水銀は概ね火山地帯に偏在し、小規模に採取できることから古く奈良朝以前から掘り出されていた形跡があり、奈良・平安朝時代がその全盛期で、徳川時代はもう衰微の状態であったが、明治以降は西欧から新設備、新技術を導入し、第二次大戦前後は一時的に活気を取り戻したようであるが、その後は、公害問題等の関係もあって現在は全く閉山同様の状態になっている。

1. は じ め に

今から約1200年余り前、奈良東大寺の仏像の建立の様子を文献で調べてみると、仏像の本体を仕上げるに当っては、相当量の金と水銀（約9噸の金に対し、水銀を約50噸使用）が使用されたことを記載している⁽¹⁾。

これは金と水銀のアマルガムを仏像の表面に塗り、あとで炭火でもって水銀のみを蒸発せしめて仕上げたようであるが、奈良朝時代の昔に、50噸という多量の水銀をどのようにして確保したのであろうか。

さて、地元の奈良県は天然資源に乏しい土地ではあるが、従前より桜井市多武峯付近よりかなりの水銀の産出することは耳にしていたところではあるが、統計によれば、昭和の初期より第二次大戦中また戦後にかけて、奈良県は北海道につぐ本邦有数の水銀の生産地であった⁽²⁾。

とにかく水銀は仏教文化と相呼応してかなり古くからまた広範囲にわたって利用されてきたわけであるが、最近になって公害問題など、とかく社会問題の対象になっているところから、時代の変遷と共に水銀鉱業がどのように移り変ってきたのか、地元産業の一端を調査する目的で筆をとった次第である。

2. 奈良県の地質構造の概要について

我が国の地質構造（本州）は糸魚川—静岡構造線を境にして東北日本と西南日本とでは、その構造を大きく異にしている。西南日本を内帯および外帯に2分するところの「中央構造線」は奈良県の真中より少し北側をほぼ、東西に横断しており、その内帯を「領家地帯」と呼び、その外側には「長とろ変成帯」が接して東西に走っている。その概要を図示すると図1の通りである⁽³⁾。

次に桜井市および大字陀町（菟田野町を含む）一帯は地質学上は領家地帯内の南部にあたり、地質学上「領家コンプレックス」と呼ばれる岩石類からできている。この領家コンプレックスとは最初あった古生代の堆積岩中へ花こう岩しょう（マグマ）が大規模にへい入してきて種々の程度に混成した結果できた変成岩や深成岩類のことをいう。したがってかなり多種多様の岩質であるが、それらの造岩鉱物の種類や組織から分類すると、次のように大別することができる。

(1) 変成岩類

- (i) 縞状片麻岩
- (ii) 片麻状花こう閃緑岩

(2) 深成岩

- (i) 塩基性岩類
 - ① 変斑れい岩 ② 変輝緑岩
 - ③ 石英閃緑岩

※ 本校名誉教授

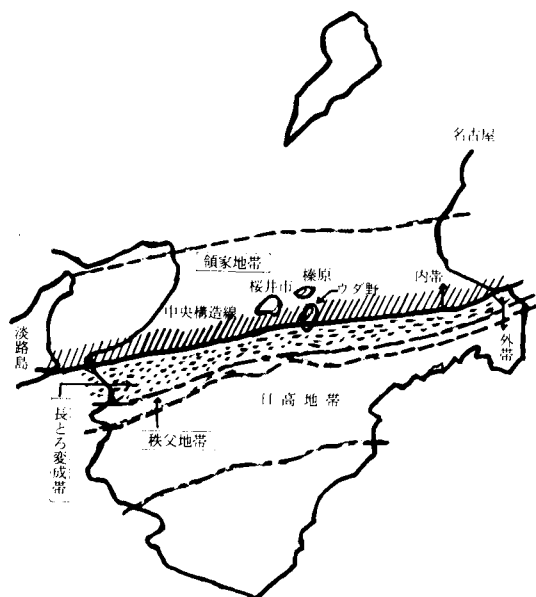


図1 地質学上の位置概念図

(ii) 酸性岩類

- ① 花こう閃緑岩
- ② 粗粒—中粒—細粒の
黒雲母花こう岩
- ③ 巨晶花こう岩
- ④ 半花こう岩
- ⑤ 石英脈

以上列挙した名称のうち主なものについて簡単に説明を加えると、

2.1 中央構造線について

中央構造線は一度の運動でできたものではなく、数回の運動がその都度、断層や破碎、圧砕作用を伴って互いに平行ではあるが、ある幅のなかで位置を異にして生じたものと考えられる。したがって中央構造線に関連して取り扱われるべきものとしては、領家帯、長とろ変成帯および和泉帯等をあげることができる⁽⁴⁾。

2.2 長とろ変成帯

長とろ変成帯は長とろ変成岩類（従来は三波川・みかど変成岩などと呼ばれていたもの）と、それらを買ぬいて小規模に露出する石英安山岩、輝緑岩などで構成されている。長とろ変成岩類は南側から吉野山帯・上市帯に

分けられる。両者は断層で接していて、層位的な関係は明瞭ではないが、長とろ変成岩類は古生層の変成相と思われる。また岩石の性質はケイ岩、砂岩、れき岩、粘板岩、石灰岩などと、塩基性岩すなわち凝灰岩および塩基性火成岩などが変成作用を受けたものなどでこれらが複雑に互層している⁽⁵⁾。

次に、中央構造線の内帯に属する岩石相互の関係について略記するとおおよ次の通りである。

すなわち領家変成岩類に属する片麻状花こう岩は深成岩類の生成以前の生成にかかり、この内帯では最古の岩体であるが、奈良県内では比較的小範囲に露出するに過ぎない。深成岩類としては、黒雲母石英閃緑岩が最も初期に生成され、ついで黒雲母角閃石花こう岩、優白質斑状黒雲母花こう岩、中粒黒雲母花こう岩、半花こう岩質花こう岩の順序に生成したものとみなされている。

ここで各種岩石や鉱石の相互関係を明確にする意味から火成岩の分類表を併記することにする。

表1 火成岩の分類⁽⁶⁾

産 状	岩 質	酸 性 岩 SiO ₂ (80~66%)		中性岩 SiO ₂ (66~52%)	塩基性岩 SiO ₂ (52~45%)
		黒 曜 石		浮 石	玄武岩質 ガラス
火 山 岩	ガラス質	石英粗面岩		安山岩	玄武岩
	半晶質	石英斑岩		ひん岩	輝緑岩
半深成岩	完晶質	花こう岩		閃緑岩	斑れい岩
深成岩	粒状	石英閃緑岩			
造岩 鉱物	無色鉱物				
	有色鉱物				
		白っぽい ← (色) → 黒っぽい			
		約2.7 ← (比重) → 約3.2			

2.3 室生火山岩

室生火山岩は新第三紀中新世後期から活動し始めた瀬戸内火成岩類の一つであって、室生村を中心に三重県側にわたっており、菟田野町入谷は室生火山分布の最西南端になっている。室生火山岩は石英、斜長石、黒雲母を主成分とし、紫蘇輝石、磁鉄鉱、ジルコンなどを副成分として含む。以前は石英安山岩とされていたが、その後斜長流紋岩と訂正された⁽⁷⁾。当流紋岩には石基が灰白色、微晶質である白岩と、石基が黒色、ガラス質である黒岩とがあるが、外観だけの相違であり、化学組成、鉱物組成はほぼ同一である。

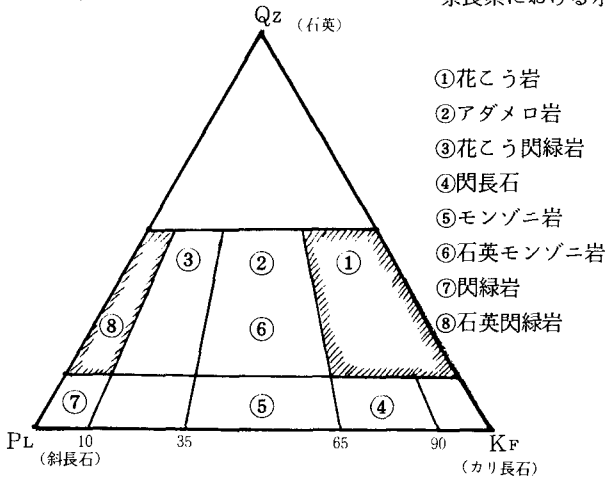


図2 花こう岩質岩石の分類⁽⁸⁾

備考 (i) アダメロ岩 (斜長石⇌アルカリ長石⇌石英)
(ii) モンゾニ岩 (中性の深成岩で閃緑岩と閃長石との中間的な性質をもつ。)

3. 水銀鉱床の概要について

世界の主要水銀産出国がスペイン、メキシコ、トルコ、イタリア、中国、日本、アメリカ西部、チリ等であることから分る如く、そのほとんどは火山国であって水銀は資源的に偏在金属の一つとされている。

水銀はその性質上熱水性鉱床の中でも、最も地表面に近い部分に生成するのでアンチモンなどと並んで浅熱水性鉱床として分類される。

近畿の領家帯の中央構造線に近い南河内郡千早赤坂、桜井市多武峯、大宇陀町、菟田野町、三重県多紀郡丹生村付近は古くから多くの水銀鉱床が発見されていて、大和式鉱床区として知られている。古くは続日本紀にある伊勢国とは三重県多紀郡丹生村であろうといわれている。この地方の水銀鉱床は領家式岩類中に胚胎される浅熱水性鉱床が充填性鉱床である。鉱石鉱物としては辰砂が大部分であり、富鉱部には微量の自然水銀の認められたこともある。また白鉄鉱、黄鉄鉱などの硫化鉄が随伴する。母岩としては細粒黒雲母石英閃緑岩が主であるが、鉱脈の周辺はかなりの熱水変質を受け、絹雲母、カオリナイト、モンモリロナイトなどの粘土鉱物が生じている。そのため母岩は白っぽく見える。

次に、大和水銀鉱床の成因については、大別して二つの説がある。

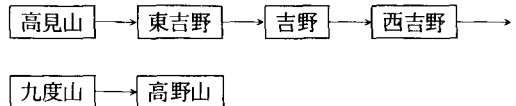
3.1 一つは室生火山岩が、水銀鉱床に最も近い火山岩であること。大宇陀町藤井の奈良水銀鉱山鉱内で辰砂に鉱染された室生火山岩によく似た流紋岩があることな

どから、入谷岳などに分布する室生火山岩が水銀鉱床の運鉱岩であるとする説。

3.2 他の一説は、領家式岩類のうち、部分的に水銀鉱脈群と分布や方向が一致している優白質花こう岩類、または細粒黒雲母花こう岩が運鉱岩であるとする説。

いずれが正しいか、専門の学者の間にも意見が分かれているようであるが、梅田氏によれば、後者の領家式岩類は、中生代に地角斜底が花こう岩化したものであり、当岩類中、とくに新期逆入岩と認められるものがなく、水銀の運鉱岩と考えるには証拠不十分である。前者の新第三紀の室生火山岩が成因的に関係があるとする方がより正しいと述べている⁽⁹⁾。

なお、鉱床学的に明確なる証拠があるわけではないが、中央構造線の南側に之に平行するところの水銀鉱床線のあった事が指摘されている。これは東は高見山から西は高野山にいたる、いわば、吉野線（仮称）ともいうべき



ものであって、丹生（辰砂、丹砂などの古名）の地名からくる一つの水銀鉱床であって、日本の古代史と関連があるとされている⁽¹⁰⁾。

4. 主な水銀鉱山について

奈良県内において中央構造線の内帯に属する主な水銀鉱山（旧坑も含む）を列挙すれば、およそ次の通りである。

4.1 比較的最近まで水銀を産出していた水銀鉱山。

(i) 多武峯水銀鉱山

場所：一桜井市多武峯村針道地内

地質ならびに沿革：一本鉱山の地質は黒雲母石英閃緑岩を母岩とし、黒雲母角閃石花こう岩および半花こう岩が分布している。本鉱山は大正初期に開発され、以来断続的に稼行され、第2次大戦中は若干産出していたが、終戦と共にその量は激減し、現在は休山中である。その最盛期と思われる昭和10年より昭和19年の10年間に約2060匁（年平均200匁）産出している⁽¹¹⁾。

(ii) 神生水銀（小松水銀）

場所：一宇陀郡宇賀志村駒廻

地質ならびに沿革：一母岩は黒雲母石英閃緑岩であるが、優白質斑状黒雲母花こう岩に貫入されている。また半花こう岩も混入している。

当鉱山は昭和15年頃から活況を呈し、かなり増産したが、終戦と共に激減し、昭和21年休山となる。その後、昭和33年再開したが、36年再び休山のやむなきに至る。最盛期の昭和16年より21年までの6年間に約26.8噸（年平均4.5噸）産出している。（ただしこの生産額の中には直系鉱山からの送鉱を含む。）

(iii) 大和水銀鉱山

場所：一字陀郡宇太町字大沢

地質ならびに沿革：一鉱区内には広く黒雲母石英閃緑岩が分布し、その他に黒雲母角閃石花こう岩や中粒黒雲母花こう岩が分布する。それらを含辰砂石英脈が貫ぬいている。この鉱山は古く奈良時代に開発され朱の原料とされていた。明治42年新露頭が発見されて以来、我が国有数の水銀鉱山として有名である。

表3 主な水銀鉱山の年次別生産高⁽¹²⁾

年 度	大和水銀 (kg)	神生水銀 (kg)	日本国内 (t)	備 考
昭和14年	13,300	—	40.0	北海道イトムカ鉱山より増産あり。
15	23,000	—	113.4	
16	12,648	3,840	139.5	
17	9,450	8,599	186.1	
18	5,986	8,568	225.5	
19	2,000	4,890	238.8	
20	581	150	105.5	
21	0	78	47.3	終戦となる。
合 計	66,965 (kg)	26,800 (kg)	1,096.1 (t)	
昭和35年	25,445	—	1,158.1	昭和35, 36年頃までは農薬触媒、カセイソーダ関係に需要が多かったがその後逐次需要が低減する。
36	31,021	—	875.8	
37	41,348	—	565.5	
38	40,577	—	641.3	
39	36,980	—	357.7	
40	25,242	—	324.7	
41	24,658	—	312.8	
合 計	225,271 (kg)	—	4,235.9 (t)	

4.2 比較的最近（昭和年代）に探鉱開始され、若干の生産量はあったものの終戦と共に閉山したもの。

(i) 大東水銀鉱山

場所：一字陀郡大字陀町大東地内

地質ならびに沿革：一黒雲母花こう岩を母岩と

する。その間に多数の半花こう岩が貫入する。第2次大戦中、若干の産出あり。神生鉱山の鉱石と合わせて製錬したようであるが、終戦と共に休山となる。

(ii) 黒木水銀鉱山

場所：一字陀郡大字陀町黒木地内

地質ならびに沿革：一黒雲母石英閃緑岩を母岩とする。第2次大戦中稼行されたが、大した実績もなく、終戦と共に閉山となる。

(iii) 大蔵水銀鉱山

場所：一字陀郡大字陀町栗野

地質ならびに沿革：一地質は黒雲母花こう岩中に辰砂と輝安鉱を伴う石英脈に逢着。その他については黒木水銀とほぼ同じ。

(iv) 南都水銀鉱山

場所：一字陀郡伊那佐村平井地内

地質ならびに沿革：一黒雲母角閃石花こう岩の他に優白質斑状黒雲母花こう岩が分布する。昭和19年から約1年間稼行したが終戦で休止。その後昭和29年再開したが間もなく閉山となる。

(v) 東郷水銀鉱山

場所：一字陀郡宇賀志村東郷地内

地質ならびに沿革：一黒雲母石英閃緑岩を母岩とする。昭和17年より3年間探鉱されたが、みるべき実績もなく、終戦以来休山となる。

(vi) 新羅水銀鉱山

場所：一字陀郡宇太町向崎地内

地質ならびに沿革：一鉱床は黒雲母石英閃緑岩中にあり、絹雲母粘土を伴った含辰砂石英脈である。昭和18年から23年まで断続して探鉱され、若干の水銀は産出したが、現在は休山中。

(vii) 藤井水銀鉱山

場所：一字陀郡大字陀町藤井

地質ならびに沿革：一地質は前者に概ね同じ。昭和18年に探鉱を開始し若干の産出を見たが、昭和19年に休山。昭和29年に再開されたが、大した実績もなく休山のまま今日にいたる。

4.3 旧坑に属するもの

(i) 音羽旧坑（桜井市多武峯村音羽）

(ii) 針道水銀旧坑（桜井市多武峯村八井内）

(iii) 飯盛塚旧坑（桜井市多武峯村飯盛塚）

以上の三者は共通してその母岩は黒雲母石英閃緑岩であって、いずれも坑道の跡は認められるが、詳細については不明。

(iv) 本郷旧坑（宇陀郡大字陀町本郷）

(v) 大峠旧坑（宇陀郡大字陀町上宮奥）

両者とも黒雲母石英閃緑岩を母岩とし、その他に優白質斑状黒雲母花こう岩を伴う。坑道の跡は認められるが、沿革および稼行の時期など詳細は不明。

(vi) 岩清水旧坑 (そのⅠ) (宇陀郡大宇陀町岩清水)

(vii) 岩清水旧坑 (そのⅡ) (同上)

(viii) 谷脇旧坑 (宇陀郡大宇陀町谷脇地内)

三者とも母岩は黒雲母石英閃緑岩、その他の岩石としては黒雲母角閃石花こう岩が混在する。岩清水旧坑 (そのⅠ) については沿革、稼行時期等不明。あとの二者については第2次大戦中採鉱されたが、実績をあげることなく、終戦と共に休山となる。

5. 水銀鉱業の歴史

我が国における水銀鉱業の発達の様子を知る上で、便宜上明治時代に一線をかくして、明治以前と明治以後に分けて考えるのが妥当のようである。というのは水銀の存在については、前述の如く極端な偏在性をなしている上に、きわめて小規模のものが多く、鉱業としての形態を整えられていたものがほとんどなかった状態である。

古来、水銀は朱色の塗料や顔料の原料として使用するだけでなく医薬用としても相当多量に使用され、縄文土器時代の遺物から水銀の痕跡が検出され、青銅や銅器に先行して人類の文化に役立ってきた鉱物だといわれている。さて、我が国における水銀の記録で最も古いものは西暦744～749年の東大寺の仏像建立に関するもので、『続日本紀』の中に『文武天皇。のころ、伊勢、常陸、備前、伊予、豊後、日向から水銀を献上したとある。』

この六ヶ国の産地の中、常陸国よりの産出は近年の調査においては、確認はできないが、他の五ヶ国は現実に水銀鉱の兆候を認められるし、また旧坑の存在は確実である。特に伊勢の水銀鉱業はかなり隆盛をきわめ、次第に近隣に及び、大和地方にまで展延したといわれている。また、その頃は中国より水銀を輸入した記録もあるが、『今昔物語』によれば中国、朝鮮へもかなり輸出した実績もあるようである。

とにかく奈良朝時代から平安朝時代にかけて、伊勢の水銀鉱山を中心として相当に発展をとげたようである。

その後、鎌倉時代は産出額は若干減少しながらも中国(宋)へ輸出していた⁽¹³⁾。その後南北朝時代までは、漸減の一路をたどりつつも水銀の産出を続けていたが、室町時代以降は生産量は急激に減退し、徳川時代の初期に至ってはほとんど死滅状態に立ち至ったようである。

江戸時代の学者佐藤信淵はその著『経済要録』において、『水銀は薬物、顔料、朱、鍍金などのために重要であるが諸州に絶えて産出なし、探索の要あり。』と説いて

いる⁽¹⁴⁾。

次に、明治時代になってからも維新当時は急速に産出額が増加したわけではなく、

・明治33年5月、農商務省鉱山局が水銀の産地を『日本鉱産地』に記載し、生産態勢を整えた。

・明治42年ころ、奈良県宇陀郡大沢の畑地内に辰砂鉱片の存在が確認され、昔日の大和地方の水銀鉱山が再稼行されるようになった。

・明治43年地質調査所が北海道地区を調査したところ、水銀の有望性を報告した⁽¹⁵⁾。

・大正5年に至って、北海道余市郡明治鉱山において、水銀鉱が発見され、レトルト式により水銀製造が開始された。

・大正10年ころ、北海道日高鉱山では、ドイツ人技師の指導のもとに水銀製錬が開始されたが、実績があがらず短命に終わった。また同じ頃、大分県佐伯町において水銀鉱業が企業化されたが、技術的失敗から閉山した。

大正中期から昭和の初期にかけては、特筆すべき水銀鉱床も出現しなかったなかで、大和水銀のみが細々ながら辛うじて生産を続けてきた。

この間における設備の改善、技術的な変化といえば、製錬炉は内径約3m、長さ2mの鑄鉄製レトルト数本を連装した回転式のもので、一日に4回操業できる設備をもつようになった。一方製錬法も、従来の如く、単に原鉱石辰砂を強熱するだけで水銀をガス化し、それを冷却することによって水銀粒を生成したのに対し、炉の中に脱硫剤として生石灰を加えるとか、またさらには褐石(酸化マンガング)を加えて実収率を高めたようである。

・昭和11年、北海道大雪山付近でイトムカ鉱山が発見され、14年頃より本格的に生産されるや、我が国の生産額は画期的に上昇することになった⁽¹⁶⁾。

とにかく昭和15年頃までは、ほとんど輸入によって需要を満たしていたが、当時はすでに戦時体制下であり、水銀の相当量は火薬類への使用が主体であった。

その後昭和20年、終戦となり、生産は急激に低下したが、昭和30年～40年にかけては農業や有機触媒の用途が急激に増し続け、せん維産業の発展により、水銀法カセイソーダの年々の需要に対応し激増してきたが、ここに公害等の社会問題がおこってきて、生産に一頓挫をきたすことになった。すなわち、

・昭和42年から農薬の製造中止措置がはじまる。

・昭和45年、カセイソーダ関係の排出規制が強化。

・昭和48年、水銀非使用工程への転換が行政指導される⁽¹⁷⁾。

以上のような理由で、水銀の生産量がかなり減少した。しかしまた電気器機関係への需要も増大してきたが、水

銀の国際価格の暴落も手伝って、昭和49年からは日本の水銀鉱山はほとんど休止の状態となり現在に至っている。

6. 追記（丹生と水銀の関係について）

昔時の人は、水銀の原鉱石である辰砂、すなわち硫化水銀（HgS）が赤色を帯びていることから朱砂または丹砂と呼んだようである。また生は「生み出す」とか「生産する」。意味から丹生とは朱砂を産出する土地の意味に解釈してきた傾向がある⁽¹⁸⁾。

たとえば、伊勢の水銀の主産地は三重県多気郡丹生村であり、また大分県臼杵市（坂の市）付近から多量の水銀が産出したといわれるが、その付近には丹生一の宮、丹生二の宮、丹生三の宮および丹生川がある。また奈良県の代表的水銀鉱である大和水銀および相生水銀の背後には丹生神社がある如く、かくした類例は枚挙にいとまがない。

さて、さきに文武天皇より以降記録に残っている時代の水銀の産出状況については一通り記述したが、それより以前の状況について若干つけ加えることにする。

古事記の中巻もしくは日本書記（巻3）によれば、宇陀の水銀地帯が早くから注目されていたことを立証するものとして、神武天皇が吉野地方より大和の国中（くになか）へ出駕されたところ「宇陀の血原、の伝説というのがあるが、実は之は辰砂が赤く一面にその露頭を出現していたことを意味するようである⁽¹⁹⁾。

また同じく神武天皇が吉野めぐりをされた際、川上村井光において、尾生人が井より出てきて天皇と対話をした云々という記録が古事記に残っているようであるが、この井光（いかり）に対する解釈としては、自然水銀が坑の底面で点々と光っている状態を現すか、または水銀鉱の坑口を指すのではなかろうか⁽²⁰⁾。

さきに東吉野、吉野、西吉野、高野山を結ぶ吉野線（仮称）については、地質学的立場からは確呼たる証拠がないから決定的なことはいえないまでも、この一連の地域には、丹生神社、もしくは丹生川上神社が相当数存在することや、上述の井光なる地名の含まれている事実を思い合せれば、水銀鉱床としての吉野線は、全く空想上のものともいいきれないと思われる。

7. 結 言

今回のこの調査結果は数冊の文献と僅かばかりの実地の見聞を資料としてまとめたものであって、上古の事柄については、信頼性の点で若干欠ける点のある事是否定できないが、より確実性の高い内容とするためには、単

に奈良県内の資料にとどまらず、隣接の和歌山県ならびに大阪府下の実地調査やまた詳細なる史実をひもとく必要があると思考する次第であるが、これについては次の機会にゆずることにした。

なお、この調査を行うに当り、各種の資料を提供し、また指導助言をいただいた野村興業K Kの小池専務取締役、大和金属鉱業の監査役、塩沢巖氏ならびに大和分析研究所長、井上準之助氏に対し深く謝意を表する次第であります。

文 献

- 1) 喜田村・近藤・滝沢・藤井・藤木、水銀、(1977)、講談社、P 5。
- 2) 松田寿男。丹生の研究、(昭和45年)、早稲田大学出版部、P 69。
- 3) 桜井市史編集委員会、桜井市史（下巻）、(昭和54年)、中央公論事業出版部、P 15～20。
- 4) 岸本文男・平山健、吉野山地質図幅および同説明書、(1957)、地質調査所、P 25。
- 5) 岸本文男・平山健、吉野山地質図幅および同説明書、(1957)、地質調査書、P 18。
- 6) 小山一郎・緒方乙丸、日本の鉱山、(昭和54年)、内田老鶴園新社、P 37。
- 7) 菟田野町史編集委員会、菟田野町史、(昭和43年)。
- 8) 宮城一男、岩石概論、(昭和59年4月)、共立出版K. K. P 32。
- 9) 菟田野町史編集委員会、菟田野町史、(昭和43年)。
- 10) 松田寿男。丹生の研究、(昭和45年)、早稲田大学出版部。
- 11)、12) 岸本文男・平山健、吉野山地質図幅および同説明書、(1957)、地質調査所。
- 13) 桶谷繁雄、金属と人間の歴史、(昭和52年)、講談社、P 157。
- 14) 喜田村・近藤・滝沢・藤井・藤木、水銀、(1977)、講談社。
- 15)、16) 矢嶋澄策、日本水銀鉱業発達史、(1946)、野村興業K. K.
- 17) 喜田村・近藤・滝沢・藤井・藤木、水銀、(1977)、講談社。
- 18) ・19) ・20) 松田寿男、丹生の研究、(昭和45年)、早稲田大学出版部、P 10・P 73、P 155。

空気圧シリンダの位置決めに関する数値解析

早 川 恭 弘

Numerical Analyses on Positioning of Piston in Pneumatic Cylinder

Yasuhiro HAYAKAWA

The precise and flexible motion-control is required for the pneumatic servo system.

In this study, a control method applied the PWM to the pneumatic servo system was developed. The position of piston is controlled by the PWM driving the on-off two way valves installed on inlet and outlet ports. From the results for numerical calculations of the pressure response and the piston movement, it was found that the gain in the proportional-plus-integral control had effect on the accuracies of positioning.

1. 緒 言

空気圧シリンダは、使用の簡便さ信頼性の高さから産業の自動化、省力化に広く利用されている。近年、空気圧ロボットとしての応用も盛んで、高性能の多点位置決めなど制御性能の向上が期待されている。このような微細な動作の制御としてサーボ弁や比例制御弁を用いた制御方法が報告されている。¹⁾

本研究では、位置決め制御方法として給排気制御を考え、その特性解析を数値計算により行う。給排気制御は一般にオンオフ弁および可変絞り等を用いて制御するが本研究では給気側と排気側のオンオフ弁にPWM信号を加え等価的に有効断面積を変化させることにより速度制御する。駆動方法としては、目標停止点近傍まで定速駆動させ、減速し停止させる。減速域においてはピストン位置と目標停止点との偏差を考え、P制御およびPI制御を行った。また、給気側と排気側の変位偏差の比例ゲイン値により減速域の長さが給気側と排気側で異なることから、それによる応答特性の違いについて検討した。

2. 駆動回路と基礎式

系の解析に際し、以下の仮定を置く。²⁾

- 1) 弁及びシリンダ摺動部の漏れはない。
- 2) 弁、配管及びシリンダ室内の空気温度は大気温度に等しい。
- 3) 空気は理想気体で、シリンダ室内の状態変化は等温変化である。
- 4) 弁の絞り部の流量係数は一定である。

図1に示す駆動回路に対し、チャンバ内の圧力変化式は次式で与えられる。

$$\frac{dP_1}{dt} = -\frac{RTa}{V_1} \cdot G_1 - \frac{P_1 A_1}{V_1} \cdot \frac{dy}{dt} \quad (1)$$

$$\frac{dP_2}{dt} = -\frac{RTa}{V_2} \cdot G_2 + \frac{P_2 A_2}{V_2} \cdot \frac{dy}{dt} \quad (2)$$

弁を通る空気流量は次式で与えられる。

$$G = S \cdot P_u \cdot \varphi (P_d / P_u) \quad (3)$$

$$\varphi(Z) = \sqrt{\frac{2g}{RTa}} \cdot \sqrt{\frac{K}{K-1} \cdot (Z^{2/\kappa} - Z^{(\kappa+1)/\kappa})} \quad (0.528 \leq Z \leq 1)$$

$$\varphi(Z) = \sqrt{\frac{2g}{RTa}} \cdot \sqrt{\frac{K}{K+1} \cdot \left(\frac{2}{K+1}\right)^{2/(\kappa-1)}} \quad (0 \leq Z < 0.528)$$

また、系の運動方程式は次式となる。

$$\frac{W}{g} \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} = A_1 \cdot P_1 - A_2 \cdot P_2 - F_k \cdot \text{sgn}\left(\frac{dy}{dt}\right) \quad (4)$$

停止条件は

$$|A_1 \cdot P_1 - A_2 \cdot P_2| < F_s \quad (5)$$

使用記号

A : ピストン受圧部面積, b : 粘性係数, D : 変調率, F_s : 静摩擦力, F_k : 動摩擦力, G : 空気重量流量, g : 重力加速度, K : 比熱比, P : 圧力 (ゲージ圧), R : ガス定数, S : 絞り部有効断面積, Ta : 大気温度, t : 時間, V : シリンダ室容積, W : 負荷, y : ピストン変位, Y_p : 減速距離

添字 1, 2 はシリンダ室を, d, u は下流側および上流側を表わす。

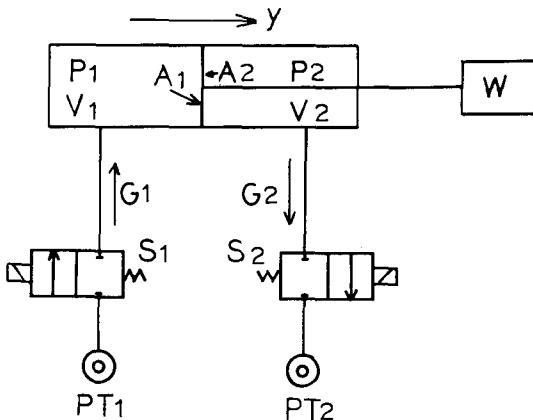


図1 駆動回路

3. 特性解析

3.1 制御方法

図1に示した駆動回路において、給排気側の絞り値は位置偏差に応じて変化し、各チャンバから流出あるいは流入する流量を制御する。また、両チャンバ圧に *Dither* を印加することにより摩擦による影響が軽減される。給排気の弁 S_1, S_2 に加える PWM 信号を図2に示す。また、変調率Dは次式で与えられる。

$$D = \frac{T_{on}}{T_c} \times 100 \quad (\%)$$

T_c : PWM周期
 T_{on} : 1周期中のON時間

弁の有効断面積Sに対し、Dによる等価的な有効断面積は、 $S' = (D/100) \cdot S$ となる。

駆動方式を図3に示す。定速状態(I)から減速(II)し停止させる。(II)の領域において(1)P制御、(2)PI制御を行う。

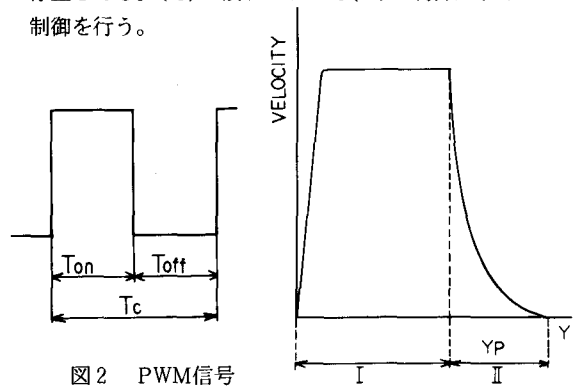


図2 PWM信号

図3 駆動方式

定速状態における目標速度Vは10 [cm/s]で、この時の給排気の絞り値は $S_1 = 0.91$ [mm], $S_2 = 0.53$ [mm] となる。実験で使用する給排気の弁の有効断面積は $S'_1 = 1.425$ [mm], $S'_2 = 1.125$ [mm] である。故に、定速時における変調率は給気側 $D_1 = 63.7$ [%], 排気側 $D_2 = 47.2$ [%] となる。

3.2 P制御

系の概略的なブロック線図を図4に示す。

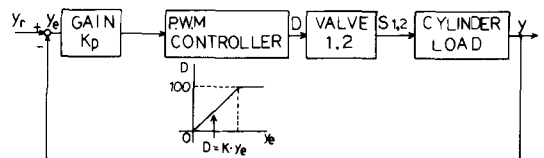


図4 系の概略的なブロック線図

減速域における給気側と排気側の比例ゲインを K_{p1} , K_{p2} とすると、減速距離 Y_p は次式となる。

〔1〕給気側

$$Y_{p1} = D_1 / K_{p1} \quad (6)$$

〔2〕排気側

$$Y_{p2} = D_2 / K_{p2} \quad (7)$$

(6), (7)式で, $K_{p1} = K_{p2}$ の時 $Y_{p1} \neq Y_{p2}$ となり給気側と排気側でP制御開始点が異なる。

$Y_{p1} = Y_{p2}$ となるための給排気の比例ゲインの関係は(6), (7)式より次式となる。

$$D_1 / K_{p1} = D_2 / K_{p2} \quad (8)$$

i) $Y_{p1} \neq Y_{p2}$ の時と ii) $Y_{p1} = Y_{p2}$ の時の D , Y , K_p の関係を図5, 図6に示す。

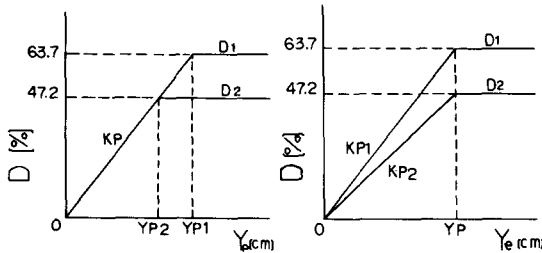


図5 $Y_{p1} \neq Y_{p2}$

図6 $Y_{p1} = Y_{p2}$

上記 i) と ii) の場合について K_p を変えた時の停止精度との関係を数値計算により求め, その結果を図7に示す。また, 数値計算に用いたパラメータの値を表1に示す。

$K_{p1} = 0.2$ では減速開始点の違いによる差は少ない。 $K_{p1} < 0.6$ では, i) の方が目標停止点に対する偏差が少ない。しかし, $K_{p1} \geq 0.6$ では逆に ii) の方が行過量が少なくなっている。 $K_{p1} = 0.2$, $K_{p1} = 0.3$, $K_{p1} = 0.8$ の時の応答波形を図8, 図9に示す。ただし図8は i), 図9は ii) の時の応答波形である。また, 図9で $(K_{p1}, K_{p2}) = (0.2, 0.148)$, $(0.3, 0.223)$, $(0.8, 0.593)$ である。ゲインが小さいほど減速距離が長くなることから速度波形は緩やかに減少していく。ゲインが大きい時 ($K_{p1} \geq 0.4$), 減速距離が短くなるため速度は急速に低下し制御が

表1 諸変数の値

A_1	12.56 [cm ²]	PT_2	0 [kgf/cm ²]
A_2	10.55 [cm ²]	F_s	3 [kgf]
STROKE	30 [cm]	F_k	2 [kgf]
W	10 [kgf]	b	0.1 [kgf/cm ²]
S_1	0.908 [mm ²]	Y_f	18 [cm]
S_2	0.531 [mm ²]	T_c	0.02 [sec]
PT_1	2.5 [kgf/cm ²]		

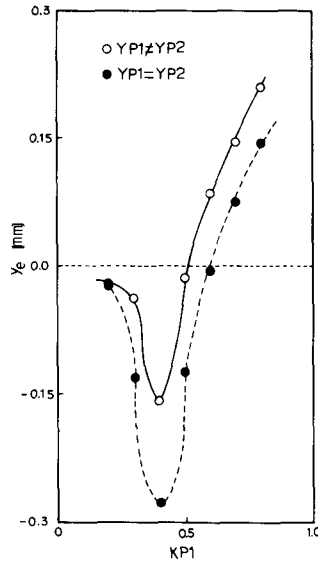


図7 K_{p1} に対する停止精度

利かなくなる。i) ii) を比較すると, $K_{p1} = 0.2$ の時 ii) の方が減速時間が長くなる。これは排気側が絞られて速度が抑えられるからである。 $K_{p1} = 0.3$ の時, 減速時間に大差はないが, 停止直前の速度波形の振動は ii) の方が小さい。このことから, 減速時の摩擦変動による速度変動は ii) の方が少ないと言える。

一般にP制御は定位性の制御対称の場合, 目標値に対しオフセットが残るが, I制御を付加することによりオフセットがなくなることがよく知られている³⁾。そこで, 目標停止点に対しP制御のみでは図7に示したように定常偏差がゲインにより異なることから, I制御を付加し停止精度がどうなるかを次に論じる。

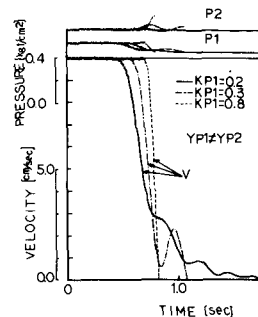


図8 応答波形

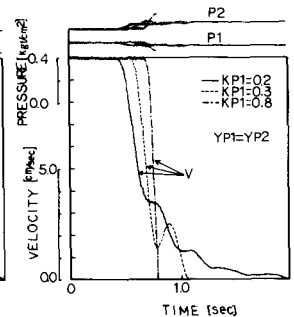


図9 応答波形

3.3 PI制御

系の概略的なブロック線図を図10に示す。ここで $K_{p1} \leq 0.4$ である。また, 本系の変調率の式は(9)式に示すようになる。

$$D = K_p \cdot Y_e + K_i \cdot \int Y_e dt \quad (9)$$

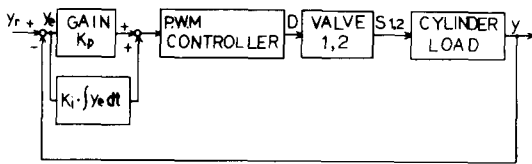
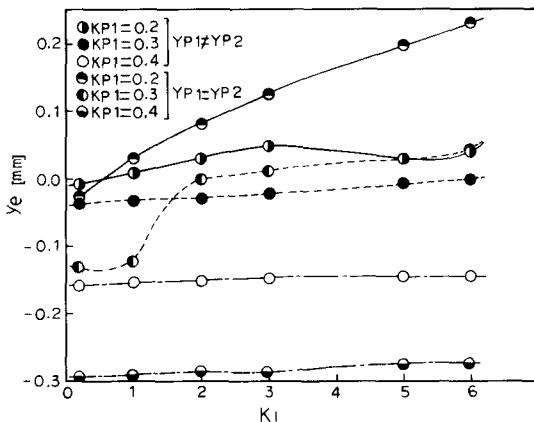


図10 系の概略的なブロック線図

i) $Y_{p1} \neq Y_{p2}$ と ii) $Y_{p1} = Y_{p2}$ の場合において、ゲイン K_i に対する停止精度の数値計算の結果を図11に示す。i)の方がゲイン K_i の変化に対する定常偏差の変化の割合は小さく、緩やかに増加している。このことは、ii)の方がI制御の効果が顕著に表われることを意味している。ただし、 $K_{p1} = 0.4$ の時はi) ii)にかかわらず変化率は少なく定常偏差も大きい。

以上のようにP制御のみでなく、I制御を適切に加えることにより停止精度が向上することがわかる。

目標停止点に対する位置偏差のP制御で、比例ゲイン K_{p1} が 0.4 の時、上記のように位置偏差のI制御を加えても停止精度が改善されなかった。そこで、速度偏差のP制御を加えた場合について検討する。

図11 K_i に対する停止精度

3.4 P (変位) P (速度) 制御

変調率の式を(10)式に示す。ここで、 V_e は減速域の各ピストン位置における目標速度の実速度に対する偏差量で K_{vp} は速度偏差に対する比例ゲインである。

$$D = K_p \cdot Y_e + K_{vp} \cdot V_e \quad (10)$$

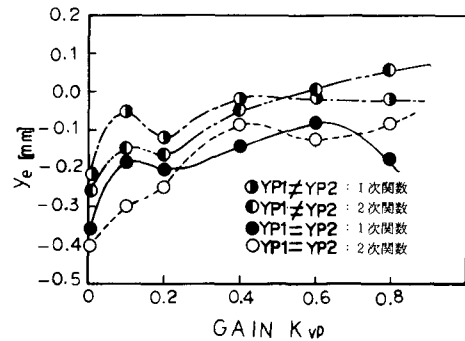
減速域の目標速度が、1) 1次関数と2) 2次関数の場合について計算した。

1)と2)の関数式を(11)式と(12)式に示す。

$$V_r = V_o \cdot Y_e / Y_p \quad (11)$$

$$V_r = V_o \cdot Y_e^2 / Y_p^2 \quad (12)$$

ここで、 V_o は定速域での速度値である。実速度を V とすると $V_e = V_r - V$ となる。 K_{vp} に対する停止精度の計算結果を図12に示す。

図12 K_{vp} に対する停止精度

$Y_{p1} \neq Y_{p2}$ の場合、 K_{vp} を適切に選ぶことにより停止精度が良くなることがわかる。特に2次関数系の場合、 $Y_e = 0$ となる点が存在する。 $Y_{p1} = Y_{p2}$ の場合でも K_{vp} を適切に選べば、精度がある程度改善されることがわかる。

4. 結 言

以上述べてきたように、本研究では高精度の位置決めを行うことを目的として、P制御・PI制御を導入した場合の系の挙動について数値計算により検討し、以下の結論を得た。

- (1) P制御、PI制御でゲインの値を適切に選ぶことにより高精度な位置決めが可能となることがわかった。
- (2) 給気側、排気側の減速開始点が異なる場合の方が、高精度の位置決めが可能となるが、速度波形は振動的となることがわかった。

おわりに本研究に対し貴重な御意見をいただいた立命館大学理工学部宮田慶一部教授に感謝致します。

5. 参考文献

- 1) 則次：計測自動制御学会論文集，20(1984)，754
- 2) 花房，則次：日本機械学会論文集，47(1981)，328
- 3) 北森：計測と制御，19(1980)，382

2次元グラフ作成用サブルーチンパッケージの試作

矢 尾 匡 永 ・ 中 谷 洵

Technical Report on Two Dimemsional Graphic Subroutine Package

Masanori YAO and Makoto NAKATANI

近年のパソコンの普及にともない、パソコン上で機能する装置独立な2次元グラフ作成用サブルーチンパッケージ（以下GSPと略す）は、広い分野での利用が期待される。今回試作したGSPは、手軽にデータをグラフ化することが出来るだけでなく、複雑なグラフをXYプロッタを用いて容易に作成することが可能である。本稿では、このGSPの概要と使用方法について解説する。

1. は じ め に

多種多様なグラフの作成をコンピュータとXYプロッタとを用いて行う場合、プログラム作成者は作図コマンドと座標変換の知識を基にして、各グラフ毎に複雑なプログラムを書かねばならない。このように、作図用プログラムの作成は多くの労力と試行錯誤を必要とするが、経験的に作図作業そのものには繰返し¹⁾の部分が²⁾多く、作図が、サブルーチン化に適していることを示している。そこで、筆者らは標準的なグラフィック・サブルーチン³⁾パッケージであるコア・システムをベースとした2次元グラフ作成用サブルーチンパッケージ（以下GSPと略す）の試作を行った。このGSPは利用者がGSPの豊富なサブルーチン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。単純なグラフ作成には、後に示す例のようなメインプログラムが用意してある。また、複雑なグラフ作成には、

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（後述）のみを書き換え、XYプロッタにディスプレイ上のグラフとほぼ相似なグラフを出力させるという手順を用いる。以上に示した形式で利用するGSPは手軽にデータをグラフ化することが出来るだけでなく、複雑なグラフの作成を容易にすることが可能である。さらに、GSPで扱うデータファイルを規格化したことにより、規格化された全てのファイルのデータは数字の羅列ではなく、直感的な把握の容易なグラフとして出力可能である。

本稿では、このGSPの概要と使用方法について解説する。

2. 作 図 装 置

GSPを利用するためのシステムのブロック図を図1に示す。GSPは装置独立な形で作成してあり、パソコンには富士通FM-11EXまたはNEC PC9801Fを用いることが可能である。ディスプレイは横640×縦400ドット、カラー(8色)CRTディスプレイを用いている。グリーンディスプレイも使用可能である。XYプロッタは岩通パーソナルプロッタSP6602(6ペンタイプ)を用いている。なお、プロッタ用ペンにはカラーサインペンまたはインクペン(ペン先0.35, 0.5および0.8mm)を利用している。さらに、データファイルを介して、ディジタイザが画像入力装置として使用できる。

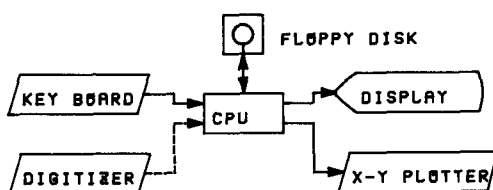


図1 システム・ブロック図

3. GSP の使用方法

3.1 GSP の概要

GSPの基本ルーチンは既に述べたようにコア・システムを用いている。その詳細は文献3)を参照されたい。ここでは、GSPの概要について述べる。GSPでは、コア・システムと同様に4つの座標系を用いている。すなわち、4つの座標系とは世界座標系、視平面座標系、正規化装置座標系および装置座標系である。図2は先の3つの座標系の関係を示している。世界座標系(X_w, Y_w)はデータを定義している座標系である。通常、コア・システムにおける視平面座標系(U, V)は視野の上方向(V 軸方向)の指定を行い、世界座標系をその原点まわりに回転した結果得られる座標系として用いられる。一方、GSPにおける視平面座標系は世界座標系の座標軸を、描くべきグラフの種類に応じて対数化した結果得られる座標系である。したがって、 X_w 軸および Y_w 軸の両方とも対数化を行わない場合、視平面座標系は世界座標系と一致する。正規化装置座標系(X_n, Y_n)は、視平面座標系を出力装置に投影する際に、表示領域(XL, YB, XR, YT)を指定するのに用いる座標系であり、 X_n 軸および Y_n 軸はそれぞれ $0 \leq X_n \leq 1$, $0 \leq Y_n \leq 1$ と規格化してある。さらに、装置座標系(X_d, Y_d)は正規化装置座標系を用いて、出力装置であるディスプレイ(図3参照)およびXYプロットについてそれぞれ(1)および(2)式に示すように定義してある。

$$\left. \begin{aligned} X_{dc} &= 84 + 396 \times X_n \\ Y_{dc} &= 398 - 396 \times Y_n \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

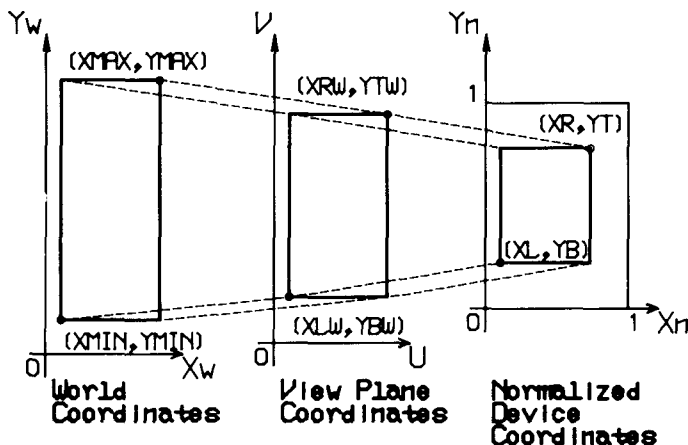


図2 座標系の関係(1)

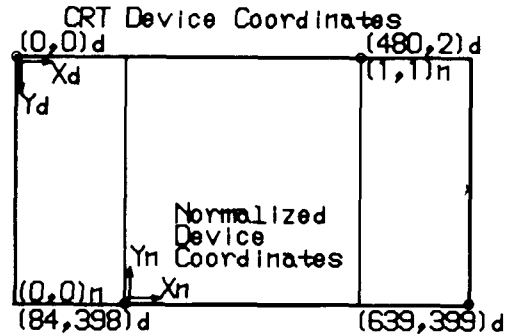


図3 座標系の関係(2)

$$\left. \begin{aligned} X_{dcp} &= 350 + 2000 \times \text{FACTOR} \times X_n \\ Y_{dcp} &= 100 + 2000 \times \text{FACTOR} \times Y_n \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

なお、(2)式中のFACTORはプロットを出力装置に指定した場合に、キーボードより入力するグラフの拡大率である。FACTORを1とした時、正規化装置座標系での長さ1はXYプロット上では200mmとなる。

以上を示した各座標系間の座標変換はグラフの種類(世界座標系→視平面座標系)、世界座標系上でのグラフの原点と X_w 軸および Y_w 軸の最大値($XMIN, YMIN, XMAX, YMAX$)、出力装置のグラフ表示領域(XL, YB, XR, YT)を与えることによりGSP内部で自動的に行われる。

3.2 GSP の使用方法

GSPはマイクロソフト系Basic言語を用いて作成してある。図4に、GSPの先頭に設けたサブルーチン名の一覧を示す。図の左端がサブルーチン名である。一方、右端の数字はサブルーチンの先頭が置かれている行番号である。GSPのサブルーチン利用形式は図中のカッコ内の各パラメータを前もって設定した後、サブルーチンをコール(GOSUB)するという順序で行う。なお、パソコンNEC PC 9801 F用Basicでは行番号を指定するかわりにラベルを用いることが可能である。ラベルの利用はメインプログラムの内容を見易くすることができるので、次節のプログラム例はラベルを用いて記述する。なお、ラベルはサブルーチン名の先頭に文字列*Gを付加したものである。

GSPは行番号3000以降に頭文字G(実数用)およびM(整数用)を有する内部変数を用いて記述してある。したがって、メインプログラムは行番号3000未満でかつ頭文字GおよびMを有する変数

A LIST OF SUBROUTINES

CORE SUBROUTINES		
INIT	(NMAX)	4000
TERM		4500
CRTTSG		5000
CLSTSG		5500
MOVE	(X,Y)	6000
DRAW	(X,Y)	6500
CLIPW	(IONOFF\$)	8000
INITVS	(NAMESF\$)	10000
TERMVS	(NAMESF\$)	10100
SLCVS	(NAMESF\$)	10200
DSL CVS	(NAMESF\$)	10300
GRAPH	(IGRAPH)	11700
WINDOW	(XMIN,XMAX,YMIN,YMAX)	16000
VIEWPT	(XL,XR,YB,YT)	

APPLICATION SUBROUTINES		
RECT2	(XRS,YRS,XRE,YRE)	9900
DLINE	(IDLINE)	11200
COLOR	(ICOLOR)	11500
AXIS	(MCNA,XSTEP,YSTEP,XNAM\$,YNAM\$)	11900
SYMBOL	(X,Y,IG,NP)	12000
FNXY	(T)	12800
TITLE	(ST\$,X,Y,IG,IDER)	13000
PAINTS	(X,Y,ICA,ICB)	13300
CIRCLE	(XCI,YCI,SCI,ECI,RADI)	14000
CARROW	(XCI,YCI,SCI,ECI,RADI,ALEN,N)	14200
LARROW	(XSA,YSA,XEA,YEA,ALEN,N)	14300
MOVEA	(XS,YS,XE,YE,IDER,DLEN)	14600
MOVEB	(IDER,DLEN)	14620
DRAWA	(XS,YS,XE,YE,IDER,DLEN)	14700
DRAWB	(IDER,DLEN)	14720
SPLINE	(NMAX,T)	17000
OUTF	(FFO\$)	20000
INF	(FFI\$)	20100
DEF FNXY	(XD,XC1,XC2,XC3,XC4,XC5)	

図4 サブルーチン名一覧

の使用をさせて記述されなければならない。作成したメインプログラムはGSPを接続(MERGE)することにより実行可能となる。

3.3 サブルーチン解説

GSPのための基本的なメインプログラム例を図5に示す。GSPのサブルーチン群は大別すると、初期化、

```

100 NMAX=100      :GOSUB #GINIT
110 NAMESF$="DISP" :GOSUB #GINITVS
120              :GOSUB #GSLCVS
130 INPUT "input load file name"; ffi$
140              :GOSUB #GINF
150
160              :GOSUB #GGRAPH
170              :GOSUB #GWINDOW
180 XL=.1 :XR=.9 :YB=.2 :YT=.8 :VIEW
190
200              :GOSUB #GCRTTSG
210 ICOLOR=7      :GOSUB #GCOLOR
220              :GOSUB #GAXIS
230 ICOLOR=2      :GOSUB #GCOLOR
240 FOR I=1 TO NMAX
250   X=X(I) :Y=Y(I) :IG=1 :NP=1
260   :GOSUB #GSYMBOL
270 NEXT I
280
290              :GOSUB #GCLSTSG
300
310              :GOSUB #GTERMVS
320              :GOSUB #GTERM
330 END

```

初期化

投影の指定

作図開始

作図

作図終了

終了

図5 メインプログラム例(1)

終了、投影の指定および作図ルーチンに分類することができる。以下では、先の3グループを制御ルーチンと呼び、作図ルーチンと区別して解説する。

3.3.1 制御ルーチン

(a) INIT, TERM. INITではGSPで用いる変数の初期化を行う。パラメータNMAXには配列変数XおよびYの最大数を代入する。なお、配列変数XおよびYは後述のOUTF, INFおよびSPLINEを使用する際に必要となる。TERMはGSPの終了処理を行う。

(b) INITVS, TERMVS. INITVSおよびTERMVSではそれぞれ出力装置の初期化および終了処理を行う。パラメータNAMESF\$には下記の出力装置毎に文字列"DISP", "PLOT"および"PLOTA"が代入されなければならない。

NAMESF\$="DISP":ディスプレイ
="PLOT":XYプロット

"PLOTA"を代入した場合の機能は後述する。

(c) SLCVS, DSL CVS. SLCVSおよびDSL CVSではそれぞれ出力装置の選択および解除を行う。パラメータNAMESF\$は同上である。

(d) CRTTSG, CLSTSG. CRTTSGおよびCLSTSGではそれぞれ作図の開始および終了処理を行う。

(e) WINDOW. 世界座標系内の注目する長方形領域の指定を行う。グラフ作図の場合のパラメータには座標軸の原点(XMIN,YMIN)とXw軸の最大値(XMAX)およびYw軸の最大値(YMAX)とを与える。(図3参照)

(f) VIEW. 正規化装置座標系における表示領域(XL,YB,XR,YT)の指定を行う。パラメータは図3を参照されたい。サブルーチンのコールは行わない。

(g) GRAPH. 世界座標系から視平面座標系への投影の指定を行う。本サブルーチンはWINDOW, VIEWの前にコールすることが必要である。パラメータIGRAPHは以下のように設定してある。

IGRAPH=1:直線軸(デフォルト値)

2:X軸対数

3:Y軸対数

4:両対数

作図例を図6に、またメインプログラムの一部を図7に示す。

なお、3.1節で述べた一連の座標変換はGRAPH, WINDOWおよびVIEWの各パラメータの指定により、自動的にGSP内部で計算される。

(h) CLIPW. CLIPWではWINDOWで指定した長方形領域のクリッピングを行う。パラメータ

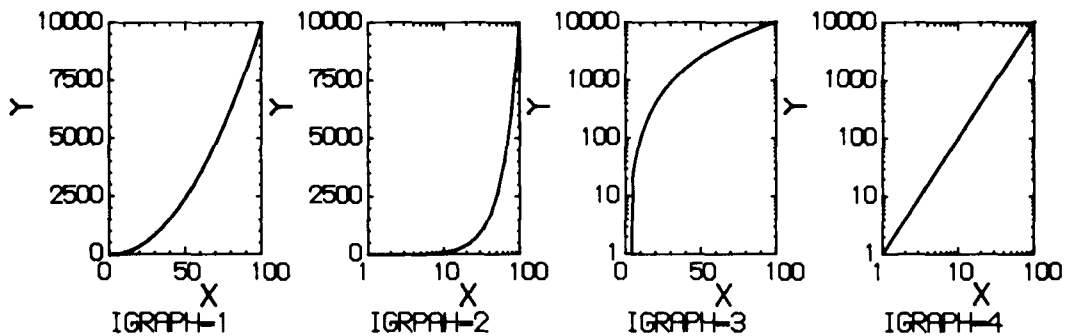


図6 作図例(1)

(k) D L I N E. 線種を指定する。パラメータ I D L I N E は下記のように規定してある。

I D L I N E = 1 : 実線 (デフォルト値)

2 : 破線

3 : 一点鎖線

4 : 二点鎖線

なお、線および文字等の属性は C O L O R および D L I N E を用いることにより変えることができ、再度指定が行われるまで変化しない。

(l) T I T L E. アルファベット文字を描く。座標 (X, Y) の位置に大きさ I G

の文字列 S T \$ を方向 I D E R

に描く。図8は X Y プロッ

タによる作図列である。文

字列はディスプレイ上に 90°

毎に回転して表示される。



図8 T I T L E

なお、ディスプレイ装置座標系上のパラメータ X R D C および Y R D C を指定することにより、文字列の表示位置を相対的に移動することが可能である。

(m) S Y M B O L. 記号を描く。パラメータには記号の中心座標 (X, Y), 記号の大きさ I G および記号の種類 N を与える。記号の大きさは X Y プロッタに出力する場合、I G = 1 でかつ F A C T O R = 1 (3.1 節参照) とした時、約 2.8 × 2.8 mm である。表2に記号の種類を示す。

表2 S Y M B O L

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
□	○	△	+	×	◇	⬆	⌘	⌘	Y

(n) R E C T 2. 長方形を描く。パラメータには長方形の左下頂点座標 (X R S, Y R S) および右上頂点座標 (X R E, Y R E) を与える。

```

100 DEF FNXY(XD,XY1,XY2,XY3,XY4,XY5)=XD*XD
110 NMAX = 10 :GOSUB *GINIT
120 NAMSFS$="PLOT":GOSUB *GINITVS
130 :GOSUB *GSLCVS
140 '
150 MCNA=5
360 '
370 IGRAPH=3 :GOSUB *GGRAPH
380 XMIN=0:XMAX=100:YMIN=1:YMAX=10000:GOSUB *GWINDOW
390 XL=.68:XR=.88:YB=.1:YT=.4 :GOSUB *GCRTTSG
400 ICOLOR=1 :GOSUB *GCOLOR
410 XSTEP=10:YSTEP=500:XNAMS="X":YNAMS="Y" :GOSUB *GAXIS
420 ST$="IGRAPH=3":X=0:Y=1:IG=1.2:YRDC=40 :GOSUB *GTITLE
430 ICOLOR=5 :GOSUB *GCOLOR
440 T=4 :GOSUB *GFNXY
450 GOSUB *GCLSTSG
560 '
570 GOSUB *GTERMVS
580 GOSUB *GTERM
590 END

```

図7 メインプログラム例(2)

IONOFF\$を"OFF"とした場合にはクリッピングを行わない。デフォルト値は"ON"である。

3.3.2 作図ルーチン

以下において用いる座標値は特にことわらない場合、世界座標系における値である。また、角度の単位は度を用いている。

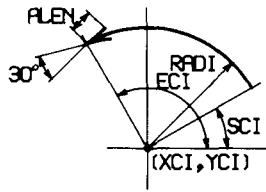
(i) M O V E, D R A W. M O V E および D R A W ではそれぞれペンの移動および直前にペンが位置した座標から指定した座標までを直線で結ぶ作業を行う。パラメータには座標値 (X, Y) を与える。

(j) C O L O R. ペン (ディスプレイの場合にはカラーコード) の交換を行う。パラメータ I C O L O R は出力装置別に表1のように設定してある。

表1 C O L O R

ICOLOR	0	1	2	3	4	5	6	7
Color Code	黒	青	赤	紫	緑	水色	黄色	白
Pen Number	1	1	2	3	4	5	6	1

(o) CIRCLE. 円または円弧を描く。パラメータには中心座標 (XCI, YCI), 半径RADI, 円弧開始角SCIおよび円弧終了角ECIを指定する。(図9参照)



(p) CARROW, LARROW. CARROWおよびLARROWではそれぞれ円弧および直線の両端または一端に矢印を描く。LARROWのパラメータには始点座標(XSA, YSA)と終点座標(XEA, YEA)を与える。パラメータALENは矢印の長さである。Nは0:終点, 1:始点, 2:両端に矢印を描くように設定してある。CARROWのパラメータについては, CIRCLEを参照されたい。図9にCARROWの作図例を示す。

図9 CIRCLE, CARROW

(q) MOVEA, DRAWA, MOVEB, DRAWB.

これらのサブルーチンは矢印の内部ルーチンとして作成したものであるが, 多角形を描くのに利用できる。パラメータについては, 図10に示した作図例を参考にされたい。

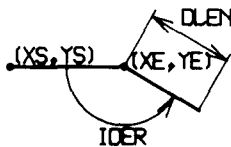


図10 DRAWA

(r) PAINTS. PAINTSにより, ディスプレイでは座標(X, Y)を含む境界色ICBで囲まれた領域を領域色ICAで塗りつぶす。XYプロッタでは何も実行しない。ICAおよびICBは表1に準拠する。

(s) AXIS. AXISはGRAPHで指定した座標軸をWINDOWで指定した長方形領域に描き, VIEWで指定した表示領域に出力する。パラメータXSTEPおよびYSTEPは目盛の間隔である。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XSTEP, YSTEPは意味を持たない。パラメータXNAM\$およびYNAM\$には座標軸の名前等を代入する。パラメータMCNAはXNAM\$およびYNAM\$を描くペンを特に替える必要のある場合に用いる。MCNAは表1に準拠する。

(t) SPLINE. 配列変数XおよびY (最大数NMAX)に代入されたデータ点を滑らかに結ぶ。パラメータTは計算の増分値である。また, Tにはディスプレイ上の装置座標系の値(ドット数)を与える。作図例を図12に, メインプログラムを図13に示す。

(u) DEF FNXY, FNXY. DEF FNXYで定義した関数FNXYを増分Tで描く。Tは同上。作図例を図6に, メインプログラム例を図7に示す。

3.3.3 データファイルの規格化

図11に, GSP内部のサブルーチンOUTFのリストを示す。図に示したファイル形式のデータファイルはGSP内部のサブルーチンINF (パラメータにはファイル名FFI\$が用意してある) で読みとることが可能である。本データファイルの特徴はデータ以外にグラフ作図のための若干のパラメータを同時に記録する点にある。図5に示したメインプログラムはこの作図情報に基づきデータをグラフ化するための例である。これにより, 図11に示したファイル形式で記録されたデータは常にグラフの形で出力することが可能となる。

```
*GOUTF
IF FFO$="0" THEN RETURN
OPEN FFO$ FOR OUTPUT AS #2
PRINT #2, NMAX, IGRAPH, XMIN, XMAX, YMIN, YMAX, XSTEP, YSTEP
PRINT #2, XNAM$
FOR M=1 TO NMAX:PRINT #2, X(M):NEXT
PRINT #2, YNAM$
FOR M=1 TO NMAX:PRINT #2, Y(M):NEXT
CLOSE #2
RETURN
```

図11 OUTFリスト

3.3.4 "PLOT A" の利用

ディスプレイとXYプロッタとはほぼ似たようなグラフを出力することが可能であるGSPは図12に示すように記号等をとばして線を描くことを可能とした。これは線を引く場合にとばしたい記号および円, 多角形等の閉じた図形にディスプレイ上で自動的にペイント (PAINT) を行ない, グラフィックRAM内のメモリエリアに図形の情報を登録した後, メモリエリアを調べながら, 既にペイントされている領域をとばして線を描くという方法を用いて行う。したがって, 出力装置はディスプレイとXYプロッタの両方を利用することになる。なお, メインプログラムの作成にあたっては, 図13の例に示すよう

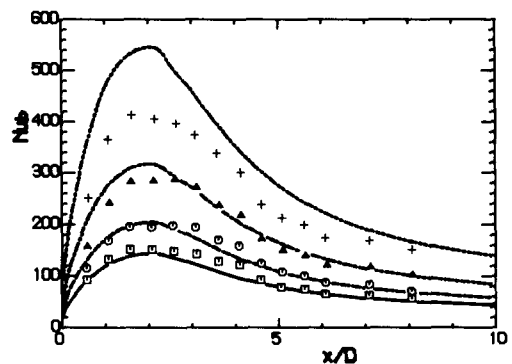


図12 作図例(2)

に、出力パラメータ NAMSF\$ を "PLOT A" とし、まず、とばすべき図形等をペンパラメータ ICOLOR ≥ 2 で描き、その後に線を引くという手順をふめばよい。本手法はパソコンの高速なグラフィックス機能を利用しているので、その作業時間の増加は問題にならない程度である。

```

100 ' ----- main programn
110 NMAX = 60 :GOSUB *GINIT
120 NAMSF$="PLOT A" :GOSUB *GINITVS
130 :GOSUB *GSLCVS
140 '
150 IGRAPH=1 :GOSUB *GGRAPH
160 XNAM$="x/D" :YNAM$="Nub"
170 XMIN=0 :XMAX=10 :YMIN=0 :YMAX=600 :GOSUB *GWINDOW
180 XL=.1 :XR=.9 :YB=.2 :YT=.8
190 '
200 GOSUB *GCRTTSG
210 MCNA=2 :XSTEP= 1 :YSTEP=20
220 XNAM$=XNAM$ :YNAM$=YNAM$ :GOSUB *GAXIS
230 ICOLOR=2 :GOSUB *GCOLOR
240 J=1: FFI$="2:R10500" :GOSUB *GINF :GOSUB 400
250 J=2: FFI$="2:R15700" :GOSUB *GINF :GOSUB 400
260 J=3: FFI$="2:R25800" :GOSUB *GINF :GOSUB 400
270 J=4: FFI$="2:R47500" :GOSUB *GINF :GOSUB 400
280 '
290 FOR J=1 TO 4
300 IDLINE=J :GOSUB *GDLINE
310 FFI$="S"+STR$(J) :GOSUB *GINF
320 T=4 :GOSUB *GSPLINE
330 NEXT
340 GOSUB *GCLSTSG
350 '
360 GOSUB *GTERMVS
370 GOSUB *GTERM
380 '
390 END
400 ' ----- plotting subroutine
410 FOR I=1 TO NMAX
420 X=X(I) :Y=Y(I) :IG=1 :NP=J :GOSUB *GSYMBOL
430 NEXT
440 RETURN

```

図13 メインプログラム例(3)

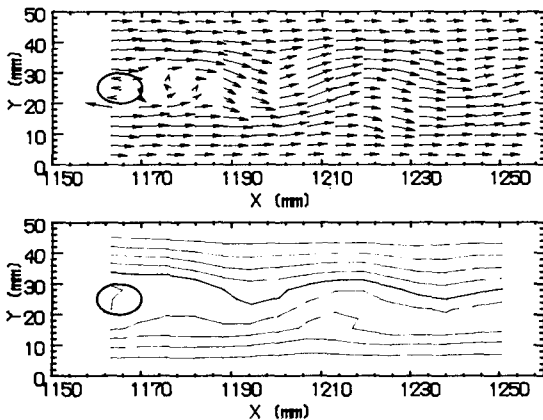


図14 作図例(3)

5. お わ り に

図14に G S P の応用作図例を示す。本稿では一般的な直角座標に焦点を絞り解説を試みたが、図に示したような等高線図あるいは円グラフ等を G S P に組み込むことは比較的容易である。また、グラフィック RAM のメモリエリアを用いて X Y プロットに作図させるという手法ではこれまで困難であった不定形な閉曲線内部にハッチングを施すという応用も可能である。このように、G S P の応用範囲は広く、筆者らはおりをみて G S P をさらに拡張してゆく予定である。

最後に、G S P 作成に協力していただいた本校卒業生石尾博明君、井上正君、岩崎一之君、梶原浩史君、河内雅弘君、吉良清和君、坂本保明君に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) XYGRAPH 利用の手引き, (昭57), 京都大学大型計算機センター図書室蔵書
- 2) 高橋, G P S P の開発と応用, (昭60), 昭和60年度高専情報処理教育研究発表会論文集
- 3) 守川, 2 & 3 次元グラフィックスの基礎と応用, (昭59) C Q 出版

付 録

付図に G S P 内部のプロットコマンドの一覧を示す。

- | | |
|-------|---------------------------------------|
| 10035 | プロット初期化 |
| 10040 | ホームポジションへのペン移動 |
| 10045 | ペンの選択 |
| 10050 | 線種の指定 |
| 10160 | ホームポジションへのペン移動 |
| 10170 | プロット終了処理 |
| 10590 | ペンの移動 (ペンアップ) |
| 11045 | ペンの移動 (ペンダウン) |
| 11065 | ペンの移動 (ペンダウン) |
| 11250 | 線種の選択 |
| 11550 | ペンの選択 |
| 12070 | 記号の指定 |
| 13220 | 文字間隔指定 |
| 13230 | 相対位置(mx, my)に高さ(mh)の文字列(st\$)をmd方向に描く |

付図 プロットコマンド一覧

マイコンによるGTOチョッパ回路の通流率制御

井 村 栄 仁 ・ 牧 岡 信 之^{*}

Output Control of GTO Chopper Circuit by Applying Micro-Computer

Shigeji IMURA and Nobuyuki MAKIOKA

The output of GTO chopper circuit is easily varied by applying a micro-computer. The GTO as a semiconductor switch makes a construction of main circuit simple and also a micro-computer is very useful for generation of any control signal.

Two method for controlling the output of a chopper circuit—the first, mean value control and the second, instantaneous value control—are shown with some experimental results and sample programs written by assembly language are listed in appendixes.

1. 緒 言

近年、パワーエレクトロニクスの分野で使用されている半導体スイッチング素子は、従来のSCRなどの転流ターンオフ素子からパワートランジスタ、GTO（ゲートターンオフサイリスタ）などの自己消弧素子⁽¹⁾へと移り変わりつつあり、さらには静電誘導形素子の出現も間近い現状であるから、これらの自己消弧素子を従来回路に応用する必要がある。

他方、マイクロコンピュータの発達は、これまで個々の変換装置ごとに特別の工夫をもって製作されてきた制御回路の簡略化と多様化とを可能にしておき、いくつかの応用例が発表されてきた。^{(2),(3)}

そこで本研究においては、直流チョッパ回路の主スイッチング素子にGTOを用い、ゲート信号の発生および制御にマイクロコンピュータ（以下、マイコン或いはTK-85と略称する）を応用して、チョッパ出力電流の平均値並びに瞬時値制御した場合の実験結果を示すとともに、SCRを使用した従前の回路との得失について述べる。特に、以前は電子回路によってなされてきた制御信号の発生、比較その他の処理がアセンブリ言語により非常に容易となりかつ処理内容の変更に対する自由度が大きいという利点が挙げられる。また、1個のGTOが複数個のSCRの役割を果たすという事実も見逃がせな

いが、SCR回路における転流回路とGTO回路におけるスナバ回路とは互いに相殺するので現段階での優劣は言えない。

2. GTO チョッパ回路

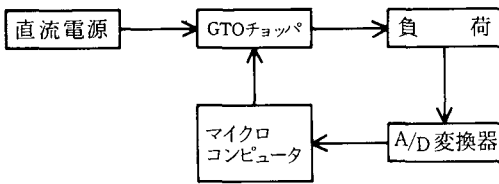
2.1 回路構成

図1(a)に本実験回路のブロック図を、また同図(b)にGTOチョッパ回路の主要部を示す。破線で囲んだ部分はターンオフ時の過電圧を吸収するためのスナバ回路⁽⁴⁾である。詳細は後述するが、この回路の動作はあらかじめマイコン内のメモリに、平均値制御の場合は負荷電流の平均値を、瞬時値制御の場合には電流の上限値および下限値を格納しておき、負荷電流の瞬時値をA/D変換器を通じて適当なサンプリング周期で取り込み、比較演算などの処理を行った後にあらたな制御信号を出力する。制御すべきスイッチング素子は、ただ1個のGTOだけであるのが特徴である。

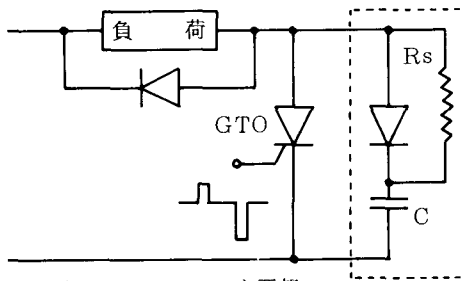
参考のため、SCRを使用した従来のチョッパ回路⁽⁵⁾の代表例（原理図）を図2(a)、(b)および(c)に示す。これらは、図(c)を除けば主スイッチング用SCR(T_M)のほかにも少なくとも1個の転流補助用SCR(T_A)が必要である。

その上、図(a)、(b)の回路はこのままでは不十分であって、たとえば(b)ではまず T_A が導通するか、或いは同じことであるが転流コンデンサCが適当な極性に充電されるような工夫を要する。(a)ではその心配が無いけれども出

^{*} 村田機械



(a) ブロック図



(b) GTOチョッパ主要部

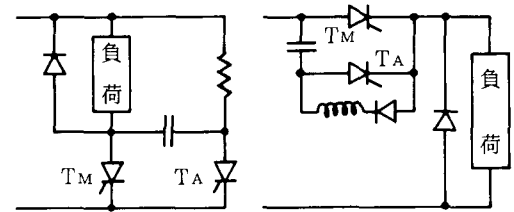
図1 GTOチョッパ回路

力電圧波形は非常に悪い。したがって出力電圧波形を改善するには、なお1個以上のSCRを付加して改良する必要がある。そのような回路例は多いがここでは割愛する。また、(c)に関しては一応主SCRは1個でよいが非常に特性の良い角形ヒステリシスを持つリアクトルを使用しなければならず、さらにこのチョッパの導通期間が一定であるため、チョッパ周波数の上限が抑えられてしまうなど問題がある。

2.2 実験回路、方法

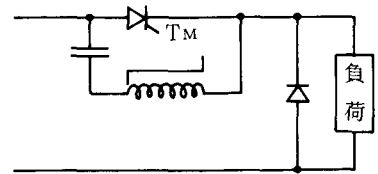
今回用いたGTOチョッパ回路の詳細な実験回路を図3に掲げる。直流電源の容量から負荷電流の最大値を4(A)程度として実験を行った。負荷としては、抵抗負荷、誘導性負荷および無負荷の直流電動機(定格100(V), 5(A), 他励)の3種とした。

目標値を設定したプログラムを走らせると、ON・OFFゲート信号がマイコンより出力されチョッパ動作が開始する。この時、或る範囲内で負荷を任意に変化させた場合においてもチョッパ通流率が自動的に変更されて実際の負荷電流値と目標値とが一致するように制御する。ここで或る範囲というのは、チョッパ周波数一定かつ電源電圧一定という今回の実験では通流率のみを制御しても負荷の大きさによっては目標値の実現が不可能となる事が生じるからである。今後の検討事項であるが、その場



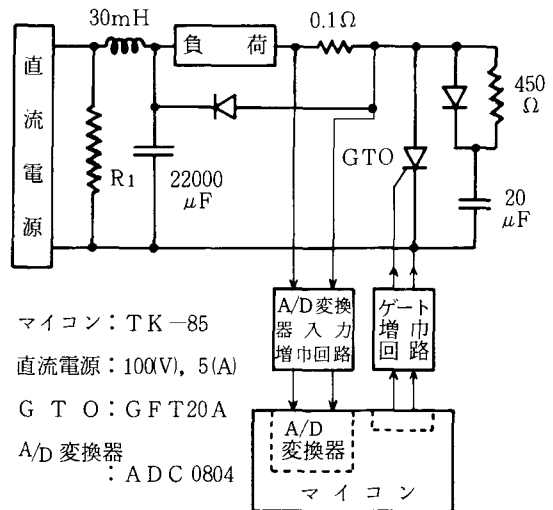
(a) フリップフロップ形

(b) カソードパルス形



(c) モルガン形

図2 SCRを用いたチョッパ回路例



マイコン: TK-85

直流電源: 100(V), 5(A)

G T O: GFT20A

A/D変換器: ADC 0804

図3 実験回路

表1 ターンオフ比

ゲート回路バイアス(V)	5	10	15
ゲート電流(A)	0.12	0.25	0.39
ターンオフ可能な最大GTO電流(A)	1.3	2.6	3.9

合は通流率の値を最小値または最大値に固定することにした。

使用したGTO (GFT20A) のターンオフ比は、表1にみられるように約10であった。マイコンのI/Oポート (8255) に出力させたゲート信号はTTLレベルの小さなものであるため、これを増巾してGTOのゲート・カソード間に最大0.4(A)のパルス電流を流す。

このようなデジタル制御ではチョッパ周波数の選択と精度とが問題となるが、これらに一番大きな影響を与える要素はA/D変換器の分解能と変換速度とである。ここではマイコン(TK-85)に搭載されているADC 0804を用いたが、これは分解能8 bit, 変換時間100 (μsec) 程度であるため、チョッパ周波数は100 (Hz) 固定とし、一周期のサンプリング数を64にきめた。また、A/D変換器入力電圧4(V)をFF (16進) に対応させた。これは電流検出用微小抵抗 (0.1 Ω) の電圧降下を2倍に増巾してA/D変換器に入力しており、2 (KW) の直流電動機の駆動を想定した場合、20 (A) をFFに対応させる予定にしているからである。ただし、今回は電源およびA/D変換器の変換速度による制約のため実行できなかった。マイコンの役割と制御の流れについて述べる。目標値としての平均電流値または上限値・下限値を格納したプログラムを実行すると、図4(a), (b)に示すような流れでGTOへのパルス信号がI/Oポートより出力される。

検出用微小抵抗の電圧降下をA/D変換器を通じてマイコン内に取込み、平均値制御の場合は一周内で64個のサンプリングを行ない、その和をHLレジスタに貯えておく。これと目標値の64倍とを比較しその大小に応じて次の周期におけるGTOチョッパの通流率を増減する。

瞬時値制御の場合には、サンプリングごとに瞬時値と電流下限値または電流上限値との比較を行ない、両者が一致するとONパルスまたはOFFパルスを出力している。したがって瞬時値制御ではチョッパ周波数は可変となっており、15 (Hz) ~ 2.5 (KHz) まで変化できるようにした。

以上の動作が実現されるかどうかをシンクロスコープおよび電流計などにより観測した。

詳しいプログラムリストを付録に掲げておく。

2.3 スナバ回路

GTOのスナバ回路は、SCRの転流回路と並んで重要である。もっともSCRに対しても dv/dt による誤点弧を防止するためにスナバ回路を付加するが、GTOの場合にはターンオフ時の過電圧吸収によって素子の破壊を防止するのが狙いである。特に負荷にインダクタンスが含まれているとターンオフ時に発生する過電圧は一

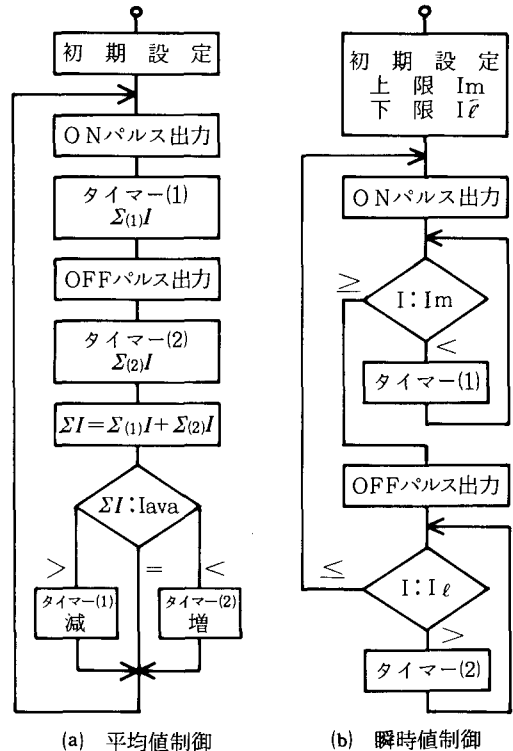


図4 通流率制御の流れ図

般に非常に大きくGTOにとって致命的となる。

ここでは実験回路のスナバについて若干の検討を加えよう。先に示した図1(b)の回路は、GTOの導通・非導通に応じて図5(a), (b)および(b')ようになる。

これらを図中の動作量に関して解けば以下の式(1)~(3)のようになる。特に図(b')については、LRC回路の特性方程式 $S^2 + (R/L)S + 1/LC = 0$ の2根が①2実根(α, β)②等根(σ)および③複素根($\xi \pm j\eta$)に応じ

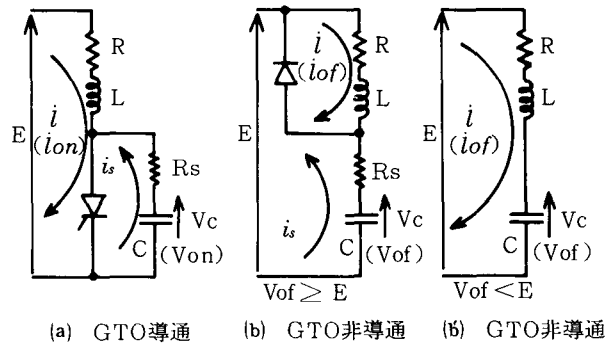


図5 スナバ回路の動作

て(3), (3')または(3'')のように分かれる。

まず, GTOにONゲート信号が加えられると, 図a)の回路が生じ, 回路中の各動作量は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} i &= \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right) + i_{on} e^{-\frac{R}{L}t} \\ i_s &= \frac{v_{on}}{R_s} e^{-\frac{t}{CR_s}} \\ v_c &= v_{on} e^{-\frac{t}{CR_s}} \end{aligned} \right\} (1)$$

ただし, i : 負荷電流, i_s : スナバ回路の電流, v_c : スナバコンデンサ電圧であり, i_{on} および v_{on} はそれぞれ i および v_c の初期値とする。尚, この回路は, 外部制御信号の変化が無ければ理論上無限に続く。

GTOが非導通になると, その時点での v_c の値に応じて(b)または(b')の回路が生ずる。スナバコンデンサの初期値 v_{of} が $v_{of} \geq E$ のとき, 点Pの電位は電源電圧 $E(V)$ に保たれるので回路b)となり,

$$\left. \begin{aligned} i &= i_{of} e^{-\frac{R}{L}t} \\ i_s &= \frac{v_{of} - E}{R_s} e^{-\frac{t}{CR_s}} \\ v_c &= E + (v_{of} - E) e^{-\frac{t}{CR_s}} \end{aligned} \right\} (2)$$

式(2)から明らかなようにこの回路状態も図a)と同様, 次にGTOのONゲートパルスが印加されるまで続く。

$v_{of} < E$ の場合は上述のように,

$$\textcircled{1} \alpha = -\frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}, \beta = -\frac{R}{2L} - \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

のとき,

$$\left. \begin{aligned} i &= \frac{E - v_{of}}{L(\alpha - \beta)} (e^{\alpha t} - e^{\beta t}) + \frac{i_{of}}{\alpha - \beta} (\alpha e^{\alpha t} - \beta e^{\beta t}) \\ v_c &= v_{of} + \frac{E - v_{of}}{CL(\alpha - \beta)} \left\{ \frac{e^{\alpha t}}{\alpha} - \frac{e^{\beta t}}{\beta} - \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\beta} \right) \right\} \\ &\quad + \frac{i_{of}}{C(\alpha - \beta)} (e^{\alpha t} - e^{\beta t}) \end{aligned} \right\} (3)$$

② $\sigma = -R/2L$ のとき

$$\left. \begin{aligned} i &= \frac{E - v_{of}}{L} t e^{\sigma t} + i_{of} e^{\sigma t} (1 + \sigma t) \\ v_c &= v_{of} + \frac{E - v_{of}}{CL\sigma^2} (\sigma t e^{\sigma t} - e^{\sigma t} + 1) + \frac{i_{of}}{C} t e^{\sigma t} \end{aligned} \right\} (3')$$

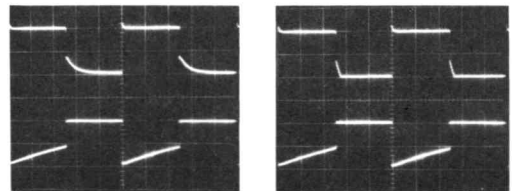
そして

③ $\xi \pm j\eta$ ($\xi = -\frac{R}{2L}$, $\eta = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$) のとき

$$\left. \begin{aligned} i &= \frac{E - v_{of}}{L\eta} e^{\xi t} \sin \eta t + \frac{\sqrt{\xi^2 + \eta^2}}{\eta} i_{of} e^{\xi t} \sin(\eta t + \phi) \\ v_c &= v_{of} + \frac{E - v_{of}}{CL\eta} \left\{ \frac{e^{\xi t}}{\sqrt{\xi^2 + \eta^2}} \sin(\eta t - \phi) + \frac{\eta}{\xi^2 + \eta^2} \right\} \\ &\quad + \frac{i_{of}}{C\eta} e^{\xi t} \sin \eta t \end{aligned} \right\} (3'')$$

ただし, $\phi = \tan^{-1}(\eta/\xi)$ である。

図6に負荷が抵抗負荷および誘導性負荷であるときの出力電圧とスナバ回路抵抗 R_s の端子電圧波形の1例を示す。スナバ回路が有効であることは明白である。



抵抗負荷

誘導性負荷

(上: 負荷端子電圧)
(下: スナバ回路抵抗の電圧)

V: 50v/div, H: 2msec/div, E= 100v

図6 スナバ回路の電圧波形

3. 実験結果および検討

図7に抵抗負荷および誘導性負荷について平均値制御した結果をまた, 図8(a)は無負荷の他励直流電動機を平均値制御した結果の一例を, そして同図(b)には誘導性負荷に対し瞬時値制御した結果の一例を示す。

さて, 図7の平均値制御は基本的に成功したといつてよい。目標値を設定したプログラム(付録参照)を実行させながら負荷の大きさを変えていったところ, 図示のとおり通流率は変化するが負荷電流の指示値は一定に保たれているからである。しかし, 精度は次に述べる多くの誤差が累積したようで非常に悪い。グラフから明らかのようにいずれの場合も実測値は目標値より下回ってしまった。原因の第1はA/D変換器の調整誤差, 第2にオペアンプの倍率の誤差つづいてA/D変換器の変換誤差などである。電流検出用微小抵抗の抵抗値の誤差も考え

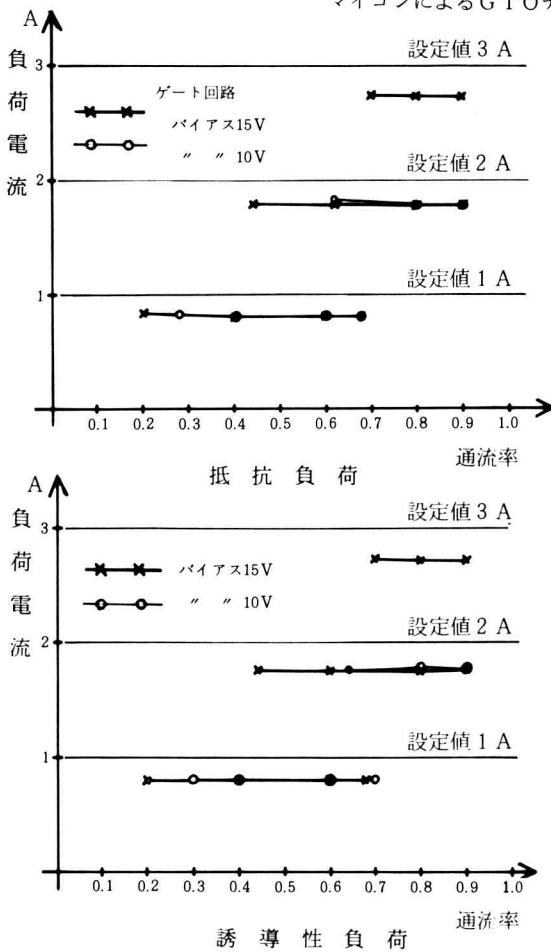
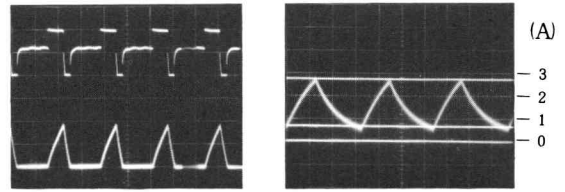


図7 平均値制御の実験結果(例1)

なければならない。この結果、実際の負荷電流値よりも大きな値がマイコンのアク્યムレータに取込まれたと推察できる。

図8(b)の瞬時値制御についても同じ条件で行ったため上限値・下限値ともに実際の電流値が目標値より小さくなっている。しかし、この場合も負荷抵抗を変えたときチョッパ周期は変化しているのに上限値・下限値が不変であることを確認しているのでやはり実験方法は正しいと考えられる。図8(a)の直流電動機の平均値制御は電機子巻線のインダクタンス分が大きく、GTOを確実にターンオンさせるためには約1(msec)のパルス電流を必要としたので、チョッパ周波数は91(Hz)となった。その点を除けば一応通流率制御がなされた。残念ながら、電動機の瞬時値制御および全負荷状態での平均値制御は行うことができなかった。

以上のようにGTOを用いることにより主回路の構成が簡単になり信頼性も増すことは大きな利点であるが、ターンオフ比の値が小さいのでドライブ回路の設計が困



(a) 平均値制御(電動機) (b) 瞬時値制御

上: 電機子端子電圧 50v/div
下: 電機子電流 2A/div
 $f=91\text{Hz}$, $E=100\text{v}$

上限設定値 3A
下限 " 1A
V: 1A/div
H: 5msec/div

図8 実験結果(例2)

難である。回路部品のマイコンを使用すれば、電力用変換装置の制御性能が向上しかつ用途に巾ができて好都合であるけれども、高精度の制御を実現するには高速のA/D変換器、高い精度の周辺装置およびbit数の大きいマイコンなどを必要とする。今回のチョッパ回路に関して言えば、特にチョッパ周波数を広い範囲にわたって可変にしたい場合には高速のA/D変換器が不可欠である。

4. 結 言

自己消弧素子の一つであるGTOを使用することにより、チョッパ回路のスイッチング部が簡単にできました。マイコンを変換装置の制御部に応用すれば性能の良い動作が期待できることを示した。一方、これら自己消弧素子のドライブ回路については研究の余地が残されておりさらに精度の高い制御を実現するにはそれに応じた高精度の周辺装置を用意しなければならない。

いずれにせよ、自己消弧素子の需要の拡大、マイコンの適用領域の増大という実状をふまえて、尚一層の検討がなされねばならない。

参 考 文 献

- (1) 電気学会専門講習会講演論文集「最近のパワーエレクトロニクスの基礎と応用技術」('85.2)
- (2) 今尾, 大群, 洪: 「マイクロコンピュータによるサイリスタチョッパの基礎的研究」(昭58関連G3A-10)
- (3) 深尾, 松井: 「最近の静止電力変換技術のデジタル制御」(昭和56年電気学会全国大会 S・8-3)
- (4) 石堂, 宮嶋: 「大電力ゲートターンオフサイリスタの特性と応用」(P E研究会講演論文集 vo 1.9)
- (5) 山田他: チョッパ制御ハンドブック, 電気学会。

付録1 平均値制御アセンブリリスト

CW	OFFSET	8000H	MINUS	NOP		PUSH	H
	ORG	8000H		JMP	MINU	LXI	H,8100H
	MVI	A,90H	MINU	LXI	H,8100H	MOV	C,M
	OUT	03H		DCR	C	POP	H
	MVI	A,90H		MOV	A,C	OUT	06H
	OUT	0FBH		SUI	0BH	MVI	B,17H
				JNZ	MI1	DCR	B
	MVI	A,00H		MVI	M,0CH	JNZ	LP3
	OUT	04H		JMP	MI2	NOP	
			MI1	MOV	M,C	IN	06H
START	LXI	H,8100H		JMP	MI2	MOV	E,A
	MVI	C,20H	MI2	INX	H	DAD	D
	MOV	M,C		MVI	A,40H	DCR	C
	INX	H		SUB	C	JNZ	LP4
	MOV	M,C		MOV	M,A		
	LXI	H,0330H		JMP	WAY		
			PLUS	LXI	H,8100H	MVI	A,80H
	MVI	A,40H		INR	C	OUT	0F9H
	OUT	0F9H		MVI	A,40H	MVI	B,06H
				SUB	C	NOP	
LP1	MOV	A,L		JNZ	PL1	DCR	B
	SUI	30H		MVI	M,3FH	JNZ	LP5
	MOV	L,A		INX	H	XRA	A
	MOV	A,H		MVI	M,01H	OUT	0F9H
	SBI	03H		JMP	PL2		
	JC	PLUS	PL1	MOV	M,C	PUSH	H
	JNZ	MINUS		INX	H	LXI	H,8101H
	MOV	A,L		MOV	M,A	MOV	C,M
	ANA	A		NOP		POP	H
	JNZ	MINU		JMP	PL2	OUT	06H
LP1	MVI	B,05H	PL2	MVI	B,02H	MVI	B,17H
	DCR	B	LP2	NOP		DCR	B
	JNZ	LP1		DCR	B	JNZ	LP6
	JMP	WAY		JNZ	LP2	NOP	
				NOP		IN	06H
			WAY	LXI	H,0000H	MOV	E,A
				XRA	D	DAD	D
				XRA	A	DCR	C
				OUT	0F9H	JNZ	LP7
						PUSH	H
						LXI	H,8100H
						MOV	C,M
						POP	H
						MOV	A,C
						OUT	01H
						JMP	START

付録2 瞬時値制御アセンブリリスト

OFFSET	8000H	ONPUL	MVI	A,40H	OFFPUL	MVI	A,80H
ORG	8000H		OUT	0F9H		OUT	0F9H
			MVI	B,80H		MVI	B,06H
MVI	A,90H	LP1	NOP		LP3	NOP	
OUT	03H		DCR	B		DCR	B
MVI	A,90H		JNZ	LP1		JNZ	LP3
OUT	03H		XRA	A		XRA	A
			OUT	0F9H		OUT	0F9H
MVI	A,00H						
OUT	04H						
		TIM1	MVI	C,FFH	TIM2	MVI	C,FFH
			OUT	06H		OUT	06H
		LP2	MVI	B,17H		MVI	B,17H
			DCR	B	LP4	DCR	B
			JNZ	LP2		JNZ	LP4
			NOP			NOP	
			IN	06H		IN	06H
			SUI	49H		SUI	24H
			JNC	OFFPUL		JC	ONPUL
			DCR	C		DCR	C
			JNZ	TIM1		JNZ	TIM2
						JMP	ONPUL

Electrical Transport and Breakdown of Poly-p-Phenylenesulfide

Jun KYOKANE, * Mun Soo YUN, * Masanori OZAKI,
* San Hyon KIM, * Katsumi YOSHINO and ** Yoshio INUISHI

Electrical transport and dielectric breakdown of PPS are studied. Electrical resistivity of PPS film at room temperature is about $10^{18} \Omega \cdot \text{cm}$ and super-linear current-voltage characteristics are observed, which can be explained in terms of either Pool-Frenkel or Schottky effects. Temperature dependence of the conductivity changes remarkably at the glass transition temperature around 90°C . The activation energies of the conductivity are about 0.3 eV and 2.1 eV below and above this temperature, respectively. Dielectric breakdown strength of PPS is relatively insensitive to the temperature compared to the case for PE. Though breakdown strength of PPS is lower than that of PE below room temperature, it becomes higher at temperatures above 100°C .

1. Introduction

Various polymers have been widely used as insulating materials for high voltage electric machines and other types of equipment. The electrical properties such as breakdown and degradation of these polymers are the most important problems to be solved for obtaining high reliability and security for these machines. In spite of many theoretical and experimental studies on the breakdown of polymers, ¹⁻⁶⁾ the details are still not clear at this stage. The breakdown characteristics of polymers depend on both their molecular structures and morphology, which makes the breakdown very complicated. Thus, the fundamental process is still not well understood.

Poly-p-phenylenesulfide (PPS) with a high melting point is considered to be a candidate for insulating material for high temperatures use, although detailed study of the electrical properties of this materials has not yet been reported. It is also interesting that the conductivity increases remarkably by doping with As F_5 . The highest value of the conductivity thus far reported is around 1 S/cm . ⁶⁾

In this paper, we report on the electrical conductivity and the breakdown of non-doped PPS films.

2. Experimental

Figure 1 shows the molecular structure of PP S. PPS films were obtained by a hot press method, namely by melting PPS powder and pressing between hot plates at around $300\text{--}320^\circ\text{C}$. To obtain a sufficiently thin sample, the film was binary elongated with draw ratios of 300% at room temperature. The thickness of the film studied is around $50 \mu\text{m}$. The sample was washed with ethanol and then gold electrodes were evaporated on both surfaces of the sample. The

The contents of this paper was reported to the *JPN. J. APPL. PHYS.* 22, No.10 (1983) pp. 1510 - 1514

* Faculty of Engineering, Osaka University, Yamada-Oka Suita

** Kinki University, Wakae, Higashi-Osaka

current-voltage (I-V) characteristics were measured with a vibrating reed electrometer TR 84M (Takeda Riken). The dielectric breakdown was studied with voltage pulses of 6 μ sec width. The occurrence of the breakdown was confirmed by observing spark light and the drop of the applied voltage on an oscilloscope.

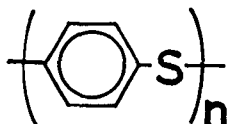


Fig. 1. Molecular structure of pps

In order to study the breakdown field at various temperatures, the samples immersed in silicone oil are used for the measurements between 200 K and 400 K. The measurements of the breakdown at 77 K and 4.2 K were done by immersing the samples in liq. N₂ and liq. He coolants, respectively.

The crystallinity of the sample was evaluated as being 25% (23-29%) by the floating method.

The dopings of I₂, SO₃ and AsF₅ were performed by exposing the sample to those gases (I₂ and SO₃) of saturated vapour pressure at room temperature and at 410 mmHg in the case of AsF₅. The doping of TCNQ (tetracyanoquinodimethane) was done by dissolving the appropriate concentration of TCNQ into PPS at melting point. Then the films were prepared using the same procedure as mentioned above.

3. Results and Discussion

Figure 2 shows I-V characteristics of PPS at various temperatures. The low field resistivity of PPS at room temperature was estimated to be about $2.1 \times 10^{18} \Omega \cdot \text{cm}$ at 0.1 MV/cm, which is comparable to that of PE (polyethylene) and PS (polystyrene). The current increases superlinearly at higher voltages as indicated in Fig. 2. Usually these non-linear I-V characteristics can be interpreted in terms of either space charge limited current (SCLC), or the Schottky effect or

Poole-Frenkel effect.

Figure 3 shows Schottky plots of the data of Fig. 2 ($\log i$ vs $\sqrt{E}$ plots). As evident from this figure, these I-V characteristics seem to fit either Schottky or Poole-Frenkel effects. The slope n of this curve can be related to the relative dielectric constant ϵ_r of PPS by the equations below.

$$\text{For Poole-Frenkel effect: } n = (1/kT) \cdot \sqrt{e^3 / \pi \epsilon_0 \epsilon_r} \quad (1)$$

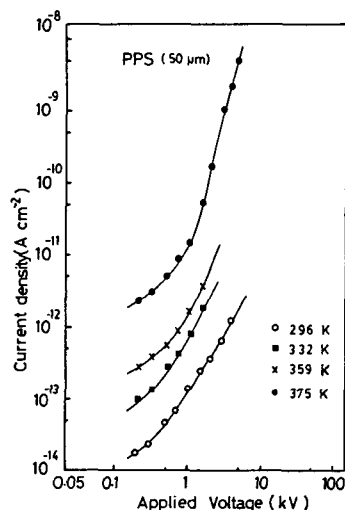


Fig. 2. Current-voltage characteristics of PPS at various temperatures.

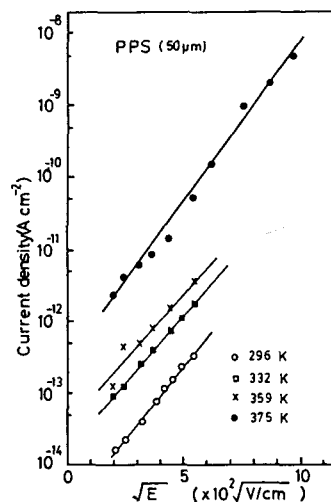


Fig. 3. Schottky plots of current-voltage characteristics of PPS indicated Fig. 2.

For Schottky effect: $n = (1/kT) \cdot$

$$\sqrt{e^3/4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \quad (2)$$

where k , e and ϵ_0 are the Boltzmann constant, electronic charge and the dielectric constant of vacuum, respectively. The relative dielectric constant evaluated on the assumption of Schottky effect turned out to be 2.6, 2.5, 2.3 and 1.5 at 290 K, 332 K, 359 K and 375 K, respectively. If we assume the Poole-Frenkel effect, a much larger dielectric constant results, such as 10.4, 10.0, 9.2 and 6.0 at 290 K, 332 K, 359 K and 375 K respectively. It should be noted that I-V characteristics at 375 K and the evaluated dielectric constant at this temperature are significantly different from those at other temperatures, which seems to be consistent with the different transport (ionic transport) at high temperatures, as will be discussed later.

The dielectric constant measured by a capacitance bridge was about 3.0 at room temperature, which coincides nearly with the value determined by assuming the Schottky effect. However, we cannot completely rule out the possibility of Poole-Frenkel effect. This is because equation (1) is obtained only under the most simple Coulombic potential $V \propto r^{-1}$ and in the real case the potential due to the localized center is not always simple Coulombic but is generally expressed by a different functional form $V \propto r^{-n}$.⁷⁾ In such a case, making a distinction between Schottky effect and Poole-Frenkel effect from only the I-V characteristics is quite difficult. Sometimes, the Poole-Frenkel effect also leads to the same relation eq. (2) as does the Schottky effect. To make a clear distinction between both processes, a study on the effect of electrode materials on I-V characteristics is necessary and will be studied in the future.

Figure 4 shows the temperature dependences of the electrical conductance. As evident from this figure, the electrical conductivity shows activation type behaviour. However, the activation energy changes remarkably at around 90°C from 0.3 eV to 2.0 eV with increasing

temperature. This critical temperature (90°C) coincides well with the glass transition temperature of PPS evaluated by DTA (differential thermal analysis). It is generally known that the ionic transport becomes very noticeable above the glass transition temperature in other polymers. The small activation energy below the glass transition temperature indicates the predominance of the electronic conduction at low temperatures. The large activation energy above the glass transition temperature also seems to indicate the ionic conduction at the amorphous part.

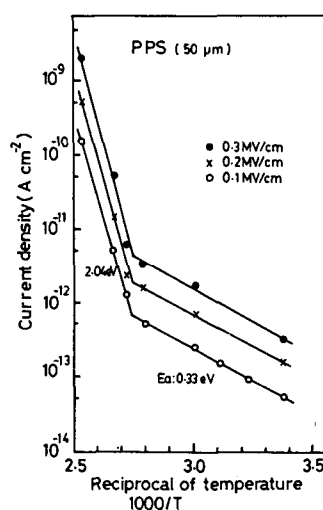


Fig. 4. Temperature dependences of dark current in PPS at various field strengths.

Recently, the insulator-metal transition in various polymers like $(CH)_x$ ⁸⁾, polythiophene⁹⁾ etc., resulting from doping of various dopants has attracted much interest. The doping into PPS was also studied by Rabolt *et al.*⁶⁾ and an electrical conductivity as high as 1 S/cm was obtained by AsF_5 doping. However, the details are not clear at all.

Contrary to other conducting polymers with extended conjugated double bond scheme, PPS seems to have an incomplete double bond scheme, because the S atom between the adjacent benzene nuclei interrupts the formation of the

long conjugated double bond scheme. Therefore, the mechanism for doping PPS is not so clear as compared with that for other polymers. We have also studied the effects of various dopants like I_2 , SO_3 and AsF_5 into PPS. In this paper we report only the experimental results qualitatively, because we did not determine the dopant concentrations precisely.

Figure 5 shows the temperature dependence of electrical conductivity of SO_3 doped PPS. As is evident from this figure, the conductivity increases up to 10^{-3} S/cm and the colour of the film changes into greenish black. However, when it is exposed to air, the colour degrades slowly. Thus detail studies have not been done.

Figure 6 shows the increase of electrical conductivity of PPS after exposure to AsF_5 gas. As is evident from this figure, the electrical conductivity increases in a relatively short time up to $10^{-4} \sim 10^{-3}$ S/cm. However, it taken an extremely long time (more than 1 week) for an increase of electrical conductivity up to 1 S/cm as reported by J. F. Rabolt *et al.*⁶⁾ It is not clear whether the dopants are introduced into the sample uniformly or only doped into the surface area. At least, the effect of doping is remarkably less compared with that of $(CH)_x$ and polythiophene. Extremely slow built up of conductivity

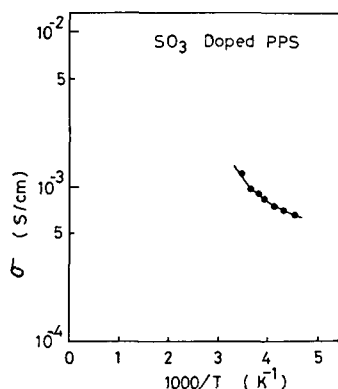


Fig. 5. Temperature dependence of electrical conductivity of SO_3 doped PPS.

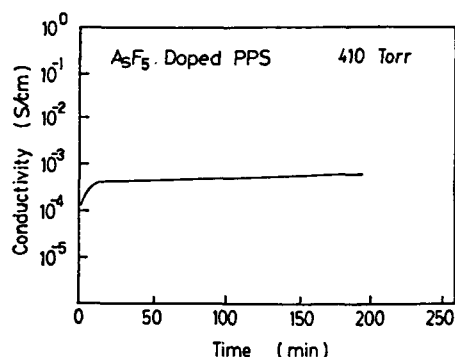


Fig. 6. Change of electrical conductivity of PPS exposed to AsF_5 gas.

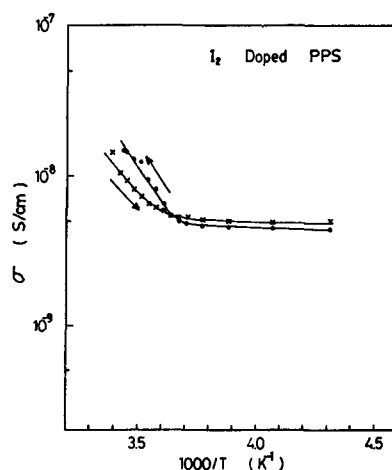


Fig. 7. Temperature dependence of conductivity of I_2 doped PPS.

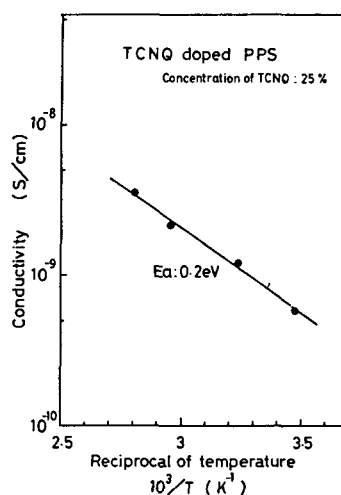


Fig. 8. Temperature dependence of conductivity of TCNQ doped PPS.

in AsF_5 doped PPS indicates the extremely low diffusion speed into sample or some slow chemical reaction taking place in PPS.

Generally I_2 and TCNQ are much milder as dopants as compared with AsF_5 . As is evident from Figs. 7 and 8, the conductivities of I_2 and TCNQ doped PPS indicate relatively low values compared with that for AsF_5 doping. However, by doping I_2 into TCNQ doped PPS, the electrical conductivity increases remarkably, as indicated in Fig. 9.^{9,10)} The origin of this double doping effect is not clear at this point. However, it is possible that the I_2 doping into PPS is assisted by the coexistence of previously doped TCNQ dopants. From these experiments we speculate that one of the reasons for a relatively small doping effect in PPS originates in the difficulty of diffusion of dopants into PPS bulk.

Figure 10 shows temperature dependence of the breakdown field of PPS measured with 6 μsec pulses. For purposes of comparison, the temperature dependence of the breakdown field in PE (polyethylene) is also shown in the same figure by the dashed line.

It should be pointed out that the breakdown of the polymer has a close relation to the morphology¹¹⁾ and it is a very fruitful technique to study the breakdown as a function of draw ratio. However, in the present work we did not study the nonelongated film but we plan in the near future to study this elongation effect. The elongation was slightly released by heating above around 450 K. Therefore, within the temperature range studied, the effect of release of elongation by temperature seems to be negligible.

As can be seen from Fig. 10, at low temperatures, the breakdown strength increases slightly with increasing temperature followed by a small drop at a temperature of about 300 K. On the other hand, the breakdown field of PE is nearly insensitive to temperature in the low temperature range but drops more remarkably as compared to that of PPS above some critical

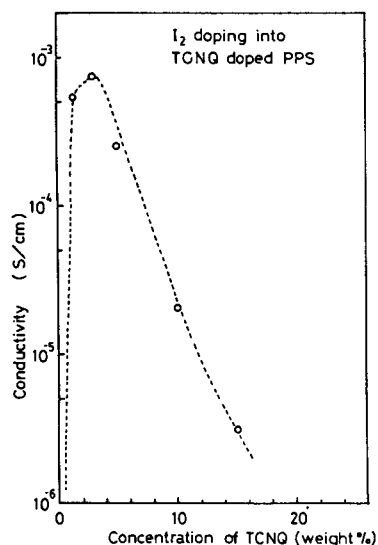


Fig. 9. Effects of I_2 doping on the electrical conductivity of TCNQ doped PPS.

temperature. The mechanism of the breakdown in PE is proposed as being an electronic process at low temperatures and a thermal or electrothermal one at high temperatures.²⁾ The low and temperature insensitive breakdown strength of halogen doped PE has been explained in terms of the electronic process.¹²⁾

At this experimental stage, we can not make

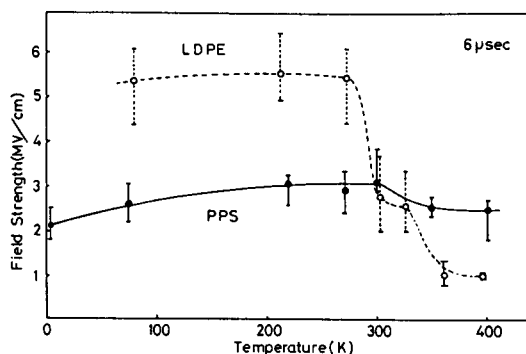


Fig. 10. Temperature dependence of the breakdown strength in PPS

conclusive remarks on the mechanism of the breakdown in PPS. However, the relatively small temperature dependence of the breakdown

strength throughout the complete temperature range studied seems to suggest an electronic process in the breakdown. Namely, for the case of an electronic breakdown process, the breakdown strength is determined by the balance of energy input from the electric field and energy loss. On the other hand, in the case of a thermal breakdown process, the breakdown condition is determined by whether thermal runaway will occur or not. In the case of an electronic breakdown process, energy input from electric field and loss also are determined from the electron scattering for example, by lattice vibration. In such a case, the breakdown strength will increase with increasing temperature due to the increased carrier scattering or insensitive to temperature, depending on the Debye temperature. Therefore, observed temperature dependences would suggest the electronic process of breakdown, perhaps, electron avalanche in PPS.

Lower breakdown strength of PPS in the low temperature range as compared with that of PE in the same range may be related to the higher carrier mobility in PPS. However, the influence of morphology and impurity should be also taken into consideration for a full understanding of the differences. We are presently planning to measure the carrier mobility in PPS using the time of flight method.¹³⁾

The breakdown strength of PPS at higher temperatures and higher melting point (290°C), as compared with PE, point to the possible use of this material as insulating material at higher temperatures. The detailed dependence of the breakdown strength on the pulse width is also now under study.

4. Summary

The electrical resistivity of PPS film was about $2.1 \times 10^{18} \Omega \cdot \text{cm}$ at room temperature. The activation energy of the conductivity changed remarkably at the glass transition temperature. The electronic conduction and the ionic conduction processes seem to play predominant roles

below and above the glass transition temperature, respectively. The super-linear current-voltage characteristic was explained either by Schottky effect or Poole-Frenkel effect. Conductivity of PPS is also severely influenced by various dopants but the doping effect is less compared with other conducting polymers due to perhaps, difficulty of diffusion of dopant molecules in PPS.

The breakdown characteristic in PPS was also studied and explained tentatively in terms of an electronic breakdown process. PPS can be used as an insulating polymer at higher temperatures.

The authors should like to express their sincere thanks to Mr. T. Sugie for supplying PPS.

References

- 1) J. J. O'Dwyer: *The Theory of Electrical Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics* (Clarendon Press, Oxford, 1953).
- 2) K. Amakawa, T. Morijuchi, T. Yoshida and Y. Inuishi: J. Inst. Elect. Engrs. Jpn. 84 (1964) 129 (in Japanese).
- 3) M. Ieda: IEEE Trans. Elect. Insul. EI.15. (1980) 206.
- 4) Y. Inuishi: IEEE Trans. Elect. Insul. EI.15 (1980) 139.
- 5) N. Yoshimura, M. Nishida and F. Noto: IEEE Trans. Elect. Insul. EI-17 (1982) 359.
- 6) J.F. Rabolt, T.C. Clarke, K. Kanazawa, J.R. Reynolds and G.B. Street: J. Chem. Soc. Chem. Commun. (1980) 347.
- 7) T. J. Lewis: *Proc. 46th Conf. Elect. Insul. & Dielectric Phenomena*, 1978 (National Academy of Science, Washington DC, 1978) p. 533.
- 8) C.K. Chiang, C.R. Fincher Jr., Y.W. Park, A. J. Heeger, H. Shirakawa, E. J. Louis, S. C. Gau and A. G. MacDiarmid: Phys. Rev. Lett. 39 (1979) 1139.
- 9) K. Kaneto, K. Yoshino and Y. Inuishi: Solid State Commun. 46 (1983) 389.

- 10) K. Yoshino, J. Kyokane, M. Ozaki, M.S. Yun and Y. Inuishi: Jpn. J. Appl. Phys. 22 (1983) L292.
- 11) K. Yahagi: IEEE Trans. Elect. Insul. EI-15 (1980) 241.
- 12) K. Yoshino, S. Harada, J. Kyokane, S. Iwakawa and Y. Inuishi: J. Appl. Phys. 51 (1980) 2714.
- 13) K. Hayashi, K. Yoshino and Y. Inuishi: Jpn. J. Appl. Phys. 14 (1975) 39.

円筒面走査による長波長ホログラム (Ⅱ)

世 古 忠 成 田 紘 一

Long Wavelength Hologram by Cylindrical Scanning (Ⅱ)

Tadashi SEKO and Hirokazu NARITA

円筒面を走査する長波長ホログラムは、一回のマッピング・データを基にして、物体の任意の断面の像を形成できる。また、この方式によれば、従来の走査型ホログラムの奥行き方向への分解能が劣化するという欠点を改善できる。本稿は、送受分離型送受信器系をモデルとした場合の結像特性を論じ、且一実験結果を報告している。

1. ま え が き

長波長の波動を用いた走査型のホログラムの一方式として、筆者らは、円筒面を走査するタイプ的方式を提案してきた⁽¹⁾。この方式の利点は、再生像の奥行き方向への分解能が、従来の走査方式（例えば、平面走査）に比べて改善され、理論的には、最高で、使用波長の $\frac{1}{2}$ 程度となることにある。この方式によれば、CT スキャナーの場合の様に多量のサンプルデータは不要であり、対象物体を囲む円筒面を一度走査するだけで、任意の断面像が、数値演算で得られるので、走査時間の短縮もはかれる。更に、対象物体の透過波ではなく、反射波（複素振幅）を観測するので、従来抽出できなかった、対象物体の新しい情報（位相情報）を像として観察できる可能性もある。

前回の報告⁽¹⁾では、送受一体型の送受信器系を対象として結像特性を論じたが、本稿では、更に一般的な場合即ち、送受分離のレーダ型の座標系を対象として、結像特性を導くと共に一実験結果の報告も行う。

2. 理 論

図1に今回解析を行った、円筒走査ホログラム・データマッピングの座標系を示す。送信器 Q_S 、受信器 Q_R は、一定角度 φ を保っていわゆるレーダ型に配置する。この送、受信器は、半径 r の動径上を走査する。ある z での

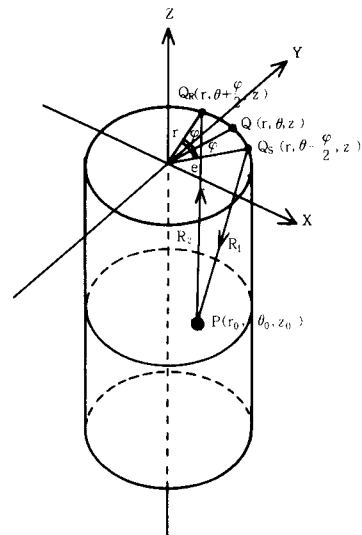


図1 円筒ホログラム座標系

走査が終了すれば、次に z を変化させ走査を行い、結局円筒面の全面走査を行う。ホログラム・データは、物体により散乱された、物体波と、送信機より得られる参照波を2乗検波し、複素ホログラムの手法により、複素データとして、サンプリングを行う。

Q_S より送信された照射波が、円筒内部の点物体 $P(r_0, \theta_0, z_0)$ により散乱・反射され、受信器 Q_R により受信されるとき、受信波 R_R は次式で与えられる。

$$R_R = T \cdot \frac{e^{-jk_0 R}}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

但し、

T: 反射点での振幅

R: 点 $Q_S - P - Q_R$ の間の距離

R_1 : 点 $Q_S - P$ 間の距離

R_2 : 点 $P - Q_R$ 間の距離

k_0 : 使用波数

とする。ここで、Rは

$$R = \sqrt{\left\{ r \cos \left(\theta - \frac{\varphi}{2} \right) - r_0 \cos \theta_0 \right\}^2 + \left\{ r \sin \left(\theta - \frac{\varphi}{2} \right) - r_0 \sin \theta_0 \right\}^2 + (z - z_0)^2} + \sqrt{\left\{ r \cos \left(\theta - \frac{\varphi}{2} \right) - r_0 \cos \theta_0 \right\}^2 + \left\{ r \sin \left(\theta - \frac{\varphi}{2} \right) - r_0 \sin \theta_0 \right\}^2 + (z - z_0)^2} \quad (2)$$

で表わされる。

式(2)に、フレネル近似 $r \gg (z - z_0)^2$ 、及びフランクホーファー近似 $r_0 \ll r$ を適用すると、式(1)は最終的に次の様になる。

$R_R =$

$$T \cdot \frac{1}{r} \exp \left[-j2k_0 \left\{ r - r_0 \cos \frac{\varphi}{2} \cos (\theta - \theta_0) + \frac{(z - z_0)^2}{2r} \right\} \right] \quad (3)$$

また、参照波 R_{ref} は、次式

$$R_{ref} = A e^{-j\phi} \quad (4)$$

で表現できるので、式(3)、(4)を2乗検波し得られたホログラム h は、次式となる。

$$h(r, \theta + \frac{\varphi}{2}, z) = C_1 \frac{1}{r} \exp \left[-j2k_0 \left\{ r - r_0 \cos \frac{\varphi}{2} \cos (\theta - \theta_0) + \frac{(z - z_0)^2}{2r} \right\} \right] \quad (5)$$

但し C_1 は、複素定数である。

式(5)は、円筒ホログラム・マッピング時の理論式である。

像再生

式(5)で得られたホログラムの半径を r 、円筒の長さを $2L$ とする。像再生は、波数 k の中心軸へ集束する円筒波で行う (図2 参照)。

ホログラム内部の点 $S(r', \theta', z')$ での再生界を、 $W(r', \theta', z')$ とすると、

$$W(r', \theta', z') = \int_{-L}^L \int_0^{2\pi} h(r, \eta, z) \frac{e^{jkR'}}{R'} r d\eta dz \quad (6)$$

となる。ここで、 R' は、点 (r, η, z) と (r', θ', z') との間の距離である。 R' をホログラム作成時の場合と同様の近似を行うと、式(6)は、次式となる。

$$W(r', \theta', z') = \int_{-L}^L \int_0^{2\pi} h(r, \eta, z) \exp \left[jk \left\{ r - r' \cos (\eta - \theta') + \frac{(z - z')^2}{2r} \right\} \right] r d\eta dz \quad (7)$$

式(7)の $h(r, \eta, z)$ へ位相 $\frac{\varphi}{2}$ の進みを考慮して $h(r, \theta + \frac{\varphi}{2}, z)$ を代入すると再生界は、次式で与えられることになる。

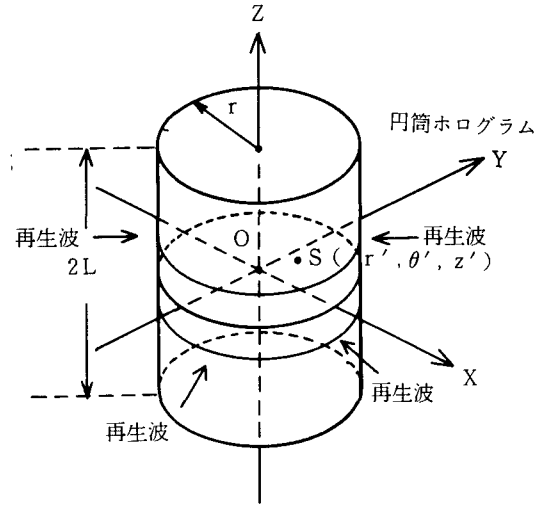


図2 像再生座標系

$$W(r', \theta', z') = C_2 W_1(r', \theta') \times W_2(z') \quad (8)$$

但し、

$$\begin{cases} W_1(r', \theta') = \int_0^{2\pi} \exp \left\{ j2k_0 r_0 \cos \frac{\varphi}{2} \cos (\eta - \theta_0 - \frac{\varphi}{2}) \right\} \exp \{-jkr' \cos (\eta - \theta')\} d\eta \\ W_2(z') = \int_{-L}^L \exp \left\{ -jk_0 \frac{(z - z_0)^2}{r} \right\} \exp \left\{ jk \frac{(z - z')^2}{2r} \right\} dz \end{cases} \quad (9)$$

である。

式(9)をベッセル関数の公式などを利用して変形すると $k = 2k_0$ の条件の下で $W_1(r', \theta')$ は式(11)となる。

$$W_1(r', \theta') = 2\pi J_0(2k_0 r'') \quad (11)$$

但し、 r'' は式(12)で与えられる。

$$r'' = \left\{ (r' \cos \theta' - r_0 \cos \frac{\varphi}{2} \cos (\theta_0 + \frac{\varphi}{2}))^2 + (r' \sin \theta' - r_0 \cos \frac{\varphi}{2} \sin (\theta_0 + \frac{\varphi}{2}))^2 \right\}^{1/2} \quad (12)$$

式(12)で、 $r' = r_0 \cos \frac{\varphi}{2}$ 、 $\theta' = \theta_0 + \frac{\varphi}{2}$ と置くと、式(11)は、

$$W_1(r', \theta') = 2\pi J_0(0) \quad (13)$$

となり、点物体が零次ベッセル関数の最大値として再生される。式(11) (及び式(12)) で、 $r_0 = 0$ のとき、つまり物体が円筒内部の軸上にあるとき、零次ベッセル関数の最初の零点迄の幅をもって分解能を評価すると、

$$r'' (= r') \approx \frac{\lambda_0}{5} \quad (14)$$

となるので、波長の $1/5$ 程度の分解能が得られることになる。

なお、再生像が理想的なデルタ関数でなく、零次ベッ

セル関数で得られるので、サイド・ローブが出来、画質を低下させること、及び、物体が軸付近にない場合には、歪んだ像となる問題点がある。

3. 数値的像再生法

式(6)より数値的に像再生する方法を示す。式(6)で、 $k = 2k_0, z$ 一定、 r 一定とすると、文献(1)の場合と同様に、再生界 $W_a(r', \theta')$ は、式(15)となる。

$$W_a(r', \theta') = C \sum_{n=-\infty}^{\infty} (-j)^n h_n J_n(2k_0 r') e^{jn\theta'} \quad (15)$$

但し、

$$h_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} h(\eta) e^{-jn\eta} d\eta \quad (16)$$

である。式(15)より、像再生の数値的演算過程は、まずホログラム・データ $h(\eta)$ にFFT (高速フーリエ変換) を施し各 h_n を求めその結果に $(-j)^n J_n(2k_0 r')$ を乗算し、逆FFTを施せば良いことになる。

4. 実験結果

以上で述べた円筒型ホログラムの理論及び数値像再生法の方法を検証するために実験を行った。図3に実験装置のブロック図を示す。実験では、簡単のために、送受信器を走査する代りに、物体をターン・テーブルにより

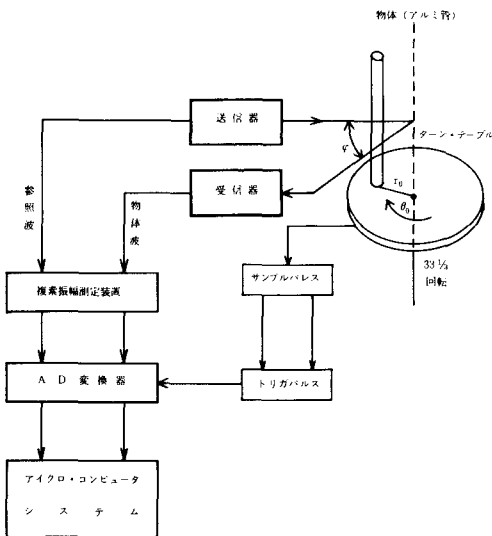


図3 実験装置ブロック図

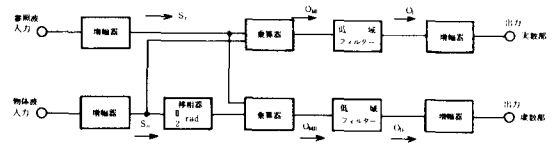


図4 複素振幅測定装置ブロック図

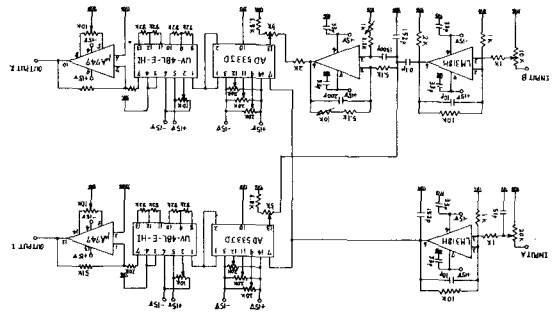


図5 複素振幅測定装置回路例

回転させた。物体波と参照波は、複素振幅測定装置により、複素ホログラム・データに変えられる。このデータは、実数部と虚数部に分離され、A/D変換され、マイクロ・コンピュータに取り込まれる。A/D変換のタイミングは、ターン・テーブルに貼付された白黒の模様の有無をフォト・トランジスタで検出し、パルスが発生させて行った。実験で使用した値は以下の通りである。

圧電素子 (40 KHz, 空気中での波長 $\lambda_0 = 8.55 \text{ mm}$)
 サンプル点数 (256点), 送受信器間の角度 ($\varphi = 40^\circ$)
 受信器とターン・テーブルの距離 (80cm)

図4に複素振幅測定装置のブロック図を示す。図5はその一回路例である。複素振幅測定原理を次に示す。参照波を S_r 、物体波を S_o とすると、

$$S_r = A_r \cos \omega t \quad S_o = A_o \cos (\omega t + \varphi) \quad (17)$$

と表わすことができる。図4の乗算器の各出力 O_{MI} 、 O_{MII} は、それぞれ以下の式で表現できる。

$$O_{MI} = A_r \cos \omega t \times A_o \cos (\omega t + \varphi) \\ = \frac{1}{2} A_r A_o \{ \cos \varphi + \cos (2\omega t + \varphi) \} \quad (18)$$

$$O_{MII} = \frac{1}{2} A_r A_o \{ \sin \varphi + \sin (2\omega t + \varphi) \} \quad (19)$$

式(18)、(19)を低域フィルタに通すと、 O_{MI} 、 O_{MII} は、最終的に次の様になる。

$$\begin{cases} O_I = \frac{1}{2} A_r A_o \cos \varphi \\ O_{II} = \frac{1}{2} A_r A_o \sin \varphi \end{cases} \quad (20)$$

式(20), (21)より, ホログラム h は,

$$h = O_I + j O_{II} \quad (22)$$

で与えられることになる。

以上の手法により得られたホログラム・データを図6に示す。使用したサンプルの物体は, 直径1.3 cmのアルミ管であり, ターン・テーブルの中心から $r_0 = 2.0$ cmの距離で, $\theta_0 = 45^\circ$ の位置に置いたものである。このホログラム・データを基にして, 数値的像再生を行った結果を, 図7に示す。これは再生像の強度を8段階の擬似カラーで, カラー・ディスプレイ上に表示したものを写真撮影した結果である。この図より, 元の物体の存在した位置に像再生されている様子を確認できる。

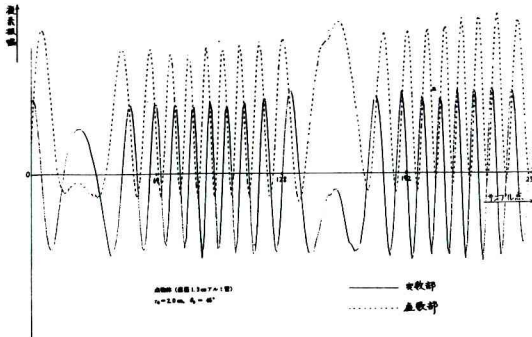


図6 ホログラムデータ実験値

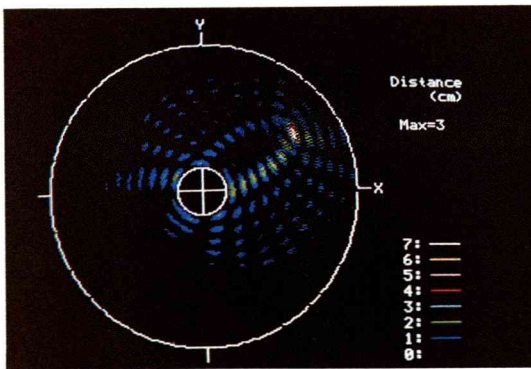


図7. 点物体の再生像 ($r_0 = 2.0$ cm, $\theta_0 = 45^\circ$)

5. 考 察

以上の実験結果より, 像再生が可能ことが確認でき円筒走査型ホログラムの有効性を検証できた。但し, 再生像は, 半径方向よりも角度方向に歪んだ楕円形になっている。これは, 物体が中心 ($r_0 = 0$ の点) に置かれていないために生じる歪みであり, 今後画質を問題とする場合に重要な問題となってくる可能性があるので, 検討を加えた。式(11)で与えられる再生界 $W_1(r', \theta')$ は, $r' = r_0 \cos \frac{\varphi}{2}$, $\theta' = \theta_0 + \frac{\varphi}{2}$ の点で, 強度最大となるが, $W_1(r', \theta')$ の強度分布の変化が r' 方向と θ' 方向では異なるからである。これらの定量的な変化を把握することは今後の課題である。

画質低下の, 他の要因は, ベッセル関数の性質上生じるサイド・ローブにある。この低減方法としては, 文献(3)の方法を適用することを目下検討中である。

文 献

- (1)世古, 成田: “円筒面走査による長波長ホログラム”
奈良高専研究記要 第16号(昭和55年)
- (2)世古, 成田: “円筒面走査による長波長ホログラムの基礎的実験”
昭和59年度電子通信学会光・電波部門
全国大会 予稿集
- (3)D.MENSA,G.HEIDBREDE: “Bistatic Synthetic —
Aperture Radar Imaging of
Rotating Objects ”
IEEE TRANS. ON AEROSPACE
AND ELECTRONIC SYSTEMS.
vol. AES-18, No 4, July 1982

署名文字切り出しの基礎検討

中 村 善 一 ・ 上 田 勝 彦

A Basic Study on Character Segmentation from Signature Image

Yoshikazu NAKAMURA and Katsuhiko UEDA

本研究は、既に書かれてある署名の文字切り出しについて検討を行ったものである。署名文字列は、一般の印刷文字列や手書き文字列に比べ、書かれてある文字が既知である、各文字の大きさ等に関する事前知識が得られるという特徴がある。我々の手法は、これらの特徴を利用し、8連結領域ラベリングされた署名画像に対して、予め得られた文字幅に関する知識を用いて、文字の切り出しと接触・分離文字の判定を行う。さらに、接触・分離文字に対してパターンマッチングを用い最適な切り出し位置を求める。単純な接触・分離文字を含む署名に対して実験を行った結果、本手法の有効性が確められた。

1. ま え が き

我々は、既に書かれてある署名の自動照合技術の確立を目的として、そのための基礎検討を行っている^{1)~3)}。現在までに、署名照合に有効な特徴量についての検討を行い、文字の配置や大きさ、概形に関する特徴量が照合に有効であることを明らかにした。そこで今回我々は、これら特徴量の抽出に欠くことのできない処理である、署名文字の切り出しについての基礎検討を行う。

文字切り出しは、自由書式文書の自動読み取りの主要な処理として、近年盛んに研究されるようになってきた。そのほとんどは印刷文字列を対象としたもので、1次元射影による方式⁴⁾、8連結ブロックによる方式⁵⁾などがある。これらの手法は、印刷文書の特徴を生かし、文字ピッチや文字の大きさなどに関する事前知識を利用している。また、自由手書き文字列に対して事前知識を用いずに分割・統合手法により文字の切り出しを行った例⁶⁾があるが、接触文字や分離文字に対して十分な切り出しは困難である。

本研究で対象とする署名文字列は、自由手書き文字列の一種であるが、書かれている文字が既知である、各文字の大きさ等に関する事前知識が得られるという特徴がある。そこで、本報告で提案する手法は、これら署名文字列の特徴を十分利用し、基本的には8連結領域ラベリ

ングを基にした分割・統合手法により文字の切り出しを行う。また、接触・分離文字に対しては、パターンマッチングを用いて最適な切り出し位置を求めている。

2. 署名文字切り出しのアルゴリズム

2.1 署名文字切り出しの流れ

署名文字切り出しの基本的な流れを図1に示す。本手法において入力となる署名画像は、画像の左上隅を原点($x=0, y=0$)とする座標(i, j)を持ち、各画素は濃淡8ビットで表現される。また、対象とする署名は一定枠内に楷書、横書きされたものである。

この入力画像に対して平滑化、2値化、雑音除去、および署名枠除去の前処理を行う。雑音除去は、2値化画像において黒画素が孤立点となった時にこれを雑音とみなして除去する。また枠の除去は、 x, y 方向に2値化画像を射影し、その最大値を検出することにより行う。これら前処理を施した後得られた2値化画像を $f(i, j)$ で表わす。ただし、 $f(i, j)$ は文字部分において1(黒画素)、背景部分において0(白画素)とする。

次に8連結領域ラベリングを行い、各領域を囲む最小矩形を求める。さらに、この最小矩形を各文字の標準文字幅を基準として統合するマージ処理を行う。マージ処理で得られた切り出し矩形の横幅と標準文字幅を比較し、接触・分離文字候補の判定を行う。接触・分離文字候補

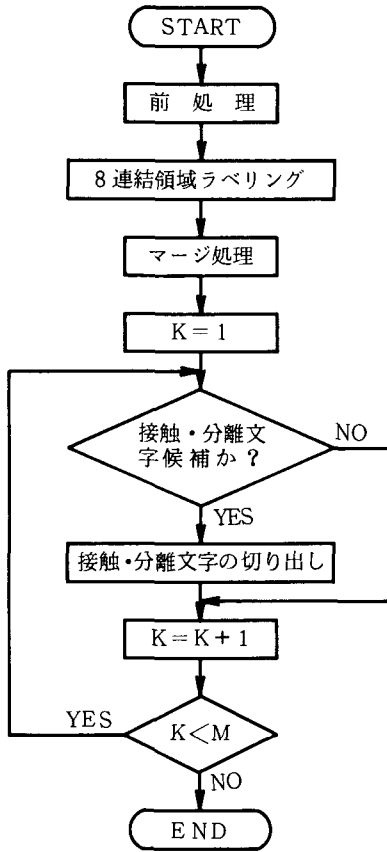


図1 署名文字切り出しの流れ

で無ければそのまま切り出し、候補であれば距離パターンによるマッチングを行い最適な切り出し位置を求める。この操作を署名文字数 $M-1$ 回くり返す。なお、くり返し回数を $M-1$ 回としたのは、 $M-1$ 文字目までがうまく切り出せれば、 M 文字目はうまく切り出せているとの仮定に基づく。

2.2 8連結領域ラベリング

前処理によって得られた2値化画像 $f(i, j)$ に対して黒画素の8連結成分を検出し、それらにラベリングを行う。この結果得られた8連結成分の1つを $g_k = \{f(i, j)\}$ としたとき、座標値

$$x_{1k} = \min \{ i | f(i, j) \in g_k \}$$

$$x_{2k} = \max \{ i | f(i, j) \in g_k \}$$

$$y_{1k} = \min \{ j | f(i, j) \in g_k \}$$

$$y_{2k} = \max \{ j | f(i, j) \in g_k \}$$

を求める。このとき、 (x_{1k}, y_{1k}) 、 (x_{1k}, y_{2k}) 、 (x_{2k}, y_{1k}) 、および (x_{2k}, y_{2k}) を4隅の座標とする矩形を4つの座標値を用いて、

$$r_k = (x_{1k}, x_{2k}, y_{1k}, y_{2k})$$

で表わし、これを8連結成分を囲む最小矩形と定義する。また、この矩形 r_k の集合を

$$R = \{ r_1, r_2, \dots, r_k, \dots, r_n \}$$

とする。ただし、 $x_{11} < x_{12} < \dots < x_{1k} < \dots < x_{1n}$ である。

2.3 マージ処理

対象とする署名は一定枠内に楷書、横書きされているので、文字の切り出しについては基本的に x 方向のみを考えればよい。また、署名各文字の標準的な大きさは予め求めておくことができる。これらの特徴を生かして、8連結領域ラベリングにより得られた最小矩形の集合 R に対して、署名文字の標準文字幅 w_m を基に矩形の統合を行い、各署名文字に対応すると考えられる切り出し矩形を求める。なお、 w_m は学習サンプルより求めた署名第 m 文字目の平均文字幅である。

具体的なアルゴリズムを以下に述べる。

今、 $m-1$ 文字目までのマージ処理が終わり、 $k-1$ 個の最小矩形が統合されているとする。このとき残りの最小矩形の集合 $\{r_k, r_{k+1}, \dots\}$ の任意の矩形 r_l について、

$$(x_{1k} \leq x_{1l} \leq x_{1k} + w_m) \wedge (x_{1k} \leq x_{2l} \leq x_{1k} + w_m)$$

ならば、 r_l を m 文字目の要素とする。また、

$$(x_{1k} \leq x_{1l} \leq x_{1k} + w_m) \wedge (x_{2l} > x_{1k} + w_m)$$

の場合、矩形 r_l と m 文字目の範囲 $[x_{1k}, x_{1k} + w_m]$ との重なり具合を

$$S = (x_{1k} + w_m - x_{1l} + 1) / (x_{2l} - x_{1l} + 1)$$

で表わし、 $S \geq 0.5$ ならば、すなわち矩形の半分以上が m 文字目の範囲内にあれば、 r_l を m 文字目の要素とする。また、 w_m を $w_m' = x_{2l} - x_{1k} + 1$ に変更し m 文字目の範囲を拡大する。

以上の処理を最小矩形の集合 $\{r_k, r_{k+1}, \dots\}$ に施し、この結果得られた m 文字目の要素に対して、これらを囲む最小矩形 r_m' を求め、これを切り出し矩形と呼

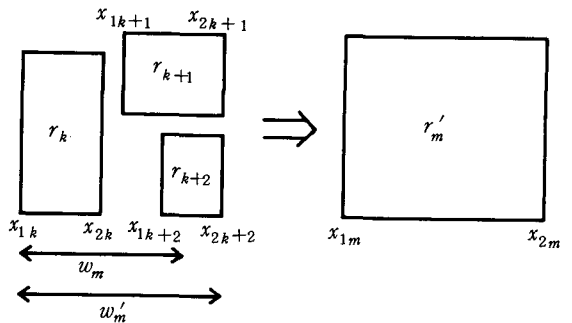


図2 マージ処理

ぶ。図2にマージ処理の例を示す。

2.4 接触・分離文字の判定

マージ処理によって求められた切り出し矩形 r'_m が、正確に文字を切り出しているかどうかの判断を行う。これは、一定枠内に書かれてある署名の各文字幅は比較的安定であるとの仮定に基づいている。

すなわち、切り出し矩形の幅 $h_m = x_{2m} - x_{1m} + 1$ が、 $(1-\beta) \times w_m \leq h_m \leq (1+\beta) \times w_m$ ($0.0 < \beta < 1.0$) ならば正確に切り出せたと判断する。そうでなければ、文字が接触あるいは分離している可能性が高いと考えられるので、接触・分離文字候補として次のパターンマッチングによる接触・分離文字の切り出し処理を行う。なお、具体的な β の値は 0.3 とした。

2.5 パターンマッチングによる接触・分離文字の切り出し

接触・分離文字の最適な切り出し位置を、パターンマッチングの手法を用いて検出する。すなわち、最適な切り出し位置において、切り出された文字のパターンと、対応する文字の標準パターンとの類似度が最大になるという考え方による。

なお、本手法で用いるパターンは切り出された文字パターンそのものではなく、我々が文字の概形情報を表わす特徴量として提案した距離パターン¹⁾を用いる。距離パターンとは、文字の概形をその外接矩形からの距離で抽出しようとするものであり、外接矩形の左上隅を原点とし時計回りに外接枠から垂直方向に文字に出会うまでの距離の系列である。また、類似度の尺度としては、切り出し文字の距離パターンと標準の距離パターン（学習サンプルの平均値）との相関係数を用いる。

接触・分離文字の切り出しアルゴリズムを以下に示す。

- (1) 接触・分離文字候補と判定された切り出し矩形 r'_m の距離パターンを求め、標準の距離パターンとの相関係数 c を求める。
- (2) 標準文字幅 w_m の $(1-\beta) \times 100\%$ から $(1+\beta) \times 100\%$ の範囲 $[x_{1m} + (1-\beta) \times w_m, x_{1m} + (1+\beta) \times w_m]$ で切り出し位置を動かし、距離パターンの相関係数の最大値 c_{max} とその時の切り出し位

置 x_{max} を求める。

- (3) もし $c_{max} > c$ ならば、 x_{max} に基づいて、切り出し矩形 r'_m 、 r'_{m+1} を変更する。
- (4) $c_{max} \leq c$ ならば、接触・分離文字でないと考えられるので、切り出し矩形の変更は行わない。

なお、 β の値は 2.4 節と同様に 0.3 とした。図3に接触・分離文字の切り出しの例を示す。

3. 実験結果および検討

実験に用いたデータは、縦15mm、横60mmの署名枠内に楷書体で書かれた、「木村伊一」、「京兼純」という2種類の署名各50個である。なお、奇数番目のデータを学習サンプルとして用いた。これらの署名データは、ITVカメラから濃淡8ビット、256 × 64 画素の大きさで入力される。

「木村」、「京兼」両データに対して、本手法により文字切り出しを試みた結果、両データとも100%の正答率を得た。「京兼」データについては、3文字署名であり比較的文字間隔が広いという理由から、全てのデータがマージ処理の段階で正しく切り出せた。「木村」データについては、43個のデータがマージ処理の段階で正しく切り出せ、残り7個がパターンマッチングにより正しく切り出せた。これら7個のうちの1個は、マージ処理の段階で正しく切り出せているが、2文字目の文字幅が

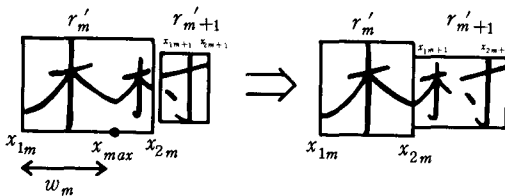
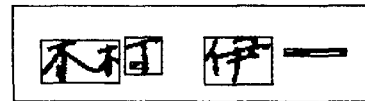
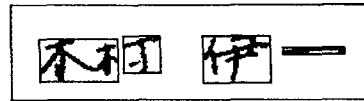


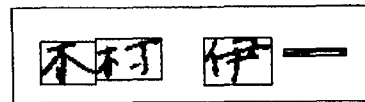
図3 接触・分離文字の切り出し処理



(a) 8 連結領域ラベリング処理



(b) マージ処理



(c) 接触・分離文字の切り出し処理

図4 実験結果の一例

大きく、標準文字幅の130%を越えたために接触文字と判断されたものである。他の6個は、図4に示すように「木」と「村」の一部が接触したデータである。図4に各処理段階の結果の一例を示す。

以上の結果から、実験に用いたデータは少ないが、本手法は図4に示すような単純な文字の接触を含む署名に対して有効であると考えられる。また、文字の接触が無い場合については、マージ処理までの段階で十分文字の切り出しが行えるといえる。しかし、複雑な接触、たとえばストロークの途中で接触し互いの文字が重なっているような場合は、本手法での切り出しは困難であり、今後検討しなければならない問題である。

4. む す び

本報告では、署名文字の切り出し手法について述べた。本手法は、書かれてある文字が既知であり、事前に文字の大きさ等の知識が得られるという署名文字列の特徴を利用するものである。基本的には、署名各文字の標準文字幅により切り出しを行い、接触・分離文字がある場合にはパターンマッチングにより最適な切り出し位置を見つけるというものである。単純な接触文字を含むデータに対して実験を行ったところ、本手法の有効性が確められた。

今回の実験では「木村」、「京兼」の2種類のデータしか用いなかったもので、今後は署名データの種類を増し本手法の信頼性について検討する必要がある。また、本手法は単純な文字の接触については十分有効であるが、ストロークの途中で文字同士の接触があるような場合に

は切り出しが困難になると考えられる。そこで、実際の署名においてどのような文字の接触が存在するのかを調査し、それらに対応する手法についても検討して行かなければならない。

最後に、日頃御指導頂く大阪大学産業科学研究所豊田順一教授に感謝いたします。また、データ収集に御協力頂いた本校電気工学科木村伊一教授、京兼純助教授に感謝いたします。

文 献

- 1) 中村, 上田: "配置と概形に関する情報を用いた署名照合実験", 信学技報, PRL 83-20 (1983)
- 2) 中村, 上田: "署名照合実験—特徴量の評価と照合方式の検討—", 情報処理学会第27回全国大会, 4H-2 (1983)
- 3) 中村, 上田: "文字の配置と概形情報を用いた署名照合実験", 奈良高専研究紀要, 19, pp. 25-30 (1984)
- 4) 秋山, 増田: "印刷物の記事領域における文字の切り出し", 信学技報, PRL 80-70 (1981)
- 5) 豊田, 野口, 西村: "日本語印刷文書における文字切り出し—新聞自動読み取りへの応用—", 情報処理学会論文誌, 24, 4, pp. 481-487 (1983)
- 6) 馬場口, 塚本, 相原: "手書き文字列における文字切り出しの基礎検討", 信学技報, PRL 83-58 (1984)

遺跡出土木材の保存処理に関する基礎的研究(第3報)*

(光電濃度法によるX線画像解析法のPEG含浸過程解明への応用)

石 垣 昭

Fundamental Study on the Conservation Methods of Waterlogged Wood [Ⅲ]

(X-Ray Photographic Image Analysis Applied to Explanation of PEG Impregnation)

Akira ISHIGAKI

Masstransfer phenomena on the PEG impregnation process have been studied by X-ray absorption photography using waterlogged hardwood test pieces. On the initial stage of the process, the aqueous PEG solution containing X-ray contrast medium permeates primarily by diffusion from outer surface of the test pieces. But in some case, the solution permeates by a capillary flow through a narrow orifice, which had been penetrated in the test pieces. Rate of the capillary flow varies by the direction of the test pieces dipping in the PEG solution.

1 緒 言

近年、考古学的発掘件数の急増に伴って出土品の中に土器類や金属製品と並んで重要な資料的価値を持つ木質遺物の発見が相次いでいる。

これらの出土木材の保存法には各種の方法が実用化されているが、その保存法についての国際的な比較検討も行なわれるなど、その重要性は増しつつある。¹⁾

その中で代表的な保存法であるPEG含浸法では出土木材中の水分の蒸発乾燥に伴う収縮、変形を抑え、原形を保つため不揮発性の水溶性樹脂であるPEG水溶液中に含浸し、次第にPEG濃度を高めて最後に完全に水分と置換する。

このほか凍結乾燥法も実施されているが、この場合も出土木材の質感と強度等を保持する目的からPEGの水溶液またはt-ブチルアルコール溶液で水分を置換してから凍結乾燥工程に移されることが多い。

このように出土木材の保存には内部の水分と含浸用薬

品を置換する含浸過程を必要とするが、この含浸過程については未解明な部分もあり、著者はこの問題についての基礎的研究を行ってきた。²⁾³⁾

本報では含浸初期における薬品の浸透状態を研究するため、X線造影法により写真計測の手法に基づくX線写真画像の解析を試み得られた研究成果について報告する。

2 実験方法

2.1 試料の調製、含浸条件、X線照射条件の設定

試料は奈良国立文化財研究所より提供された広葉樹環孔材の水浸出土木材(含水率85%)を使用した。

試料の調製法ならびに含浸方式、含浸条件は前報³⁾に記載した方法によった。

X線照射条件等についても同様に前報記載の方法によった。

2.2 光電濃度法によるX線画像等濃度線の作製法

前報で試みた造影剤の浸透状態を2次元的に捉える含浸法により得られたX線写真について、汎用の自記光電濃度計とパーソナルコンピュータの組合わせにより、画像濃度の分布を解析し等濃度線を簡単に求める方式を開

* 昭和60年度日本文化財科学会第2回大会(奈良)にて発表

発した。

今回、開発した方法ではX線写真の画像の濃淡を一定方向に走査できる自記光電濃度計を用いて計測し、画像濃度の変化をアナログ量として記録させ、走査線を平行にずらせながらX線写真ネガ像の全面にわたり画像濃度を計測し、各走査線毎の画像濃度の変化曲線をデジタイザによってデジタル量に変換し画像濃度の分布を3次元的に表示した。

また、これらの画像濃度の等しい部分をコンピュータ処理により抽出し、等濃度線として表示した。

自記光電濃度計としてTOYO DENSITROL DMU-33型（東洋科学産業KK製）を使用し、走査速度1mm/秒、2mm間隔で走査した。

デジタイザはKD-4030型（グラフテックKK製）を使用し、RS-232Cインターフェースを介してパーソナルコンピュータPC-9801F2で処理し、プリンターを用いて3次元図と等濃線を紙面に出力する方式とした。

2.3 X線造影剤の調製と分析法

X線造影剤として前報で使用した塩化バリウムを今回も使用した。このほかPEG末端の水酸基にX線を吸収する末端基を結合させPEGに近い分子量を持つ造影剤を合成し使用した。この造影剤の合成法は以下の通りである。

PEG 4000 とテトラブromo無水フタル酸の等モル混合物をベンゼンに溶解しピリジンを加え加熱還流する。これを減圧下に乾固し得られた半エステルピリジン塩をそのまま同量のPEG 4000 と混合し水溶液として使用した。（以下この半エステルをTBPA-PEGと略称する。）

含浸処理試料に部分的に含まれるPEGの含有量は試料を水中で細かく碎き、水溶成分を水中に移行させてから分析に供した。塩化バリウム、TBPA-PEGの分析もこの方法によった。

塩化バリウムの分析はキレート滴定法により、PEGとTBPA-PEGの分析はHPLCによった。前者の検出はRI法により後者はUV法によって行なった。分離用カラムとしてSHODEX OHpak B803を使用した。

3 結果と考察

3.1 X線造影剤濃度と画像濃度の相関

X線写真の画像濃度から等濃度線を作製する場合、画像濃度と造影剤濃度の間の相互関係を明らかにしておく必要がある。

本実験に使用した出土木材に含まれる水分は全体の90%に達することから、X線の出土木材による吸収量は近似的に水100%に等しいと仮定して次の実験を試みた。

外径3cm、内径2cmの塩化ビニルパイプを高さ約2cmに切断し、この円筒の底面に超軟X線でも透過率の高いPETフィルムをはりつける。この中へ各種濃度に設定した塩化バリウムを含む20%PEG水溶液を本実験で使用した試料木片の厚みに等しい15mmになるように注入し、上面からX線を照射し、X線写真の黒化度に相当する画像濃度を濃度計で求め、画像濃度と塩化バリウム濃度の相関を求めた。この結果を図1に示す。

この図では画像濃度の対数値と造影剤濃度との間に直線的相関のあることが示される。一般に造影剤濃度と画像濃度との間には適正露光量であれば直線関係が成り立つことが予想されるが、この実験で使用したX線装置は照射量が不足しており、このため光電濃度計で画像濃度1.0以下で測定している。このため画像濃度の対数値と造影剤濃度が直線関係を示すものと考えられる。

いずれにしてもこの直線関係を検量線として画像濃度から造影剤濃度を求めることは可能であることが判明した。

図1には造影剤濃度として塩化バリウム濃度を示したが、TBPA-PEGについても直線関係が得られており、これらの事実からX線写真の画像濃度の等しい部分を抽出すれば造影剤の等濃度域を求めることは可能である。

3.2 含浸中のPEGと造影剤の浸透状態の比較

前報ではPEG 4000水溶液に造影剤として塩化バリウムを加えPEGの浸透状態を調べようとした。しかし分子量の比較的大きいPEGと小さい塩化バリウムとは両者の拡散速度に差があることが予想される。したがって、このような実験では出土木材内部へのPEG共存下

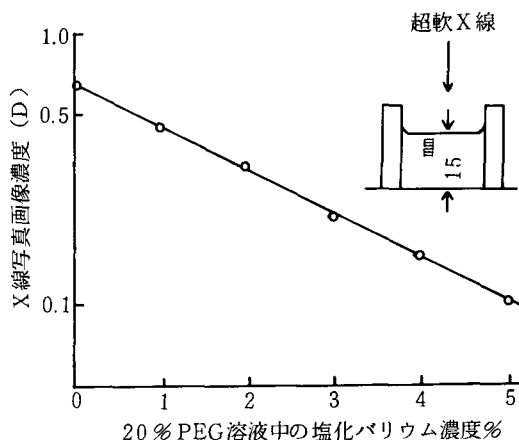


図1 造影剤濃度とX線写真画像濃度の関係

でのバリウムイオンの浸透過程についての情報は得られても、必ずしもPEGの浸透過程と正確に対応しているとはいえない。このことを確認するため出土木材片(3×3×3cm)を5%塩化バリウムを含む20%PEG4000水溶液に24時間浸漬し、外部から内部に到る各部分に含まれるPEGとバリウムイオンの濃度を測定し相互の関係を調べた。

もし塩化バリウムがPEGと行動を共にすると仮定すると各部分に含まれるPEG濃度と塩化バリウム濃度はほぼ比例するはずである。しかし図2に示す結果にみられる

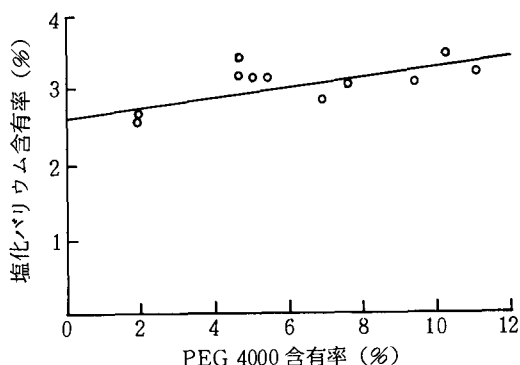


図2 含浸出土木材中の造影剤とPEG含有率の関係(1)

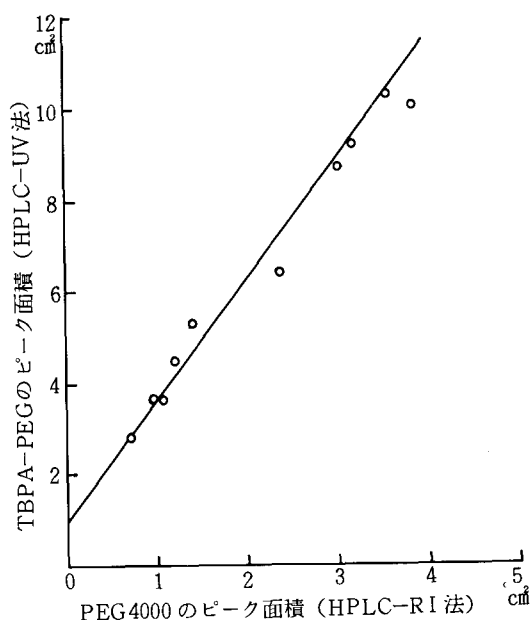


図3 含浸出土木材中の造影剤とPEG含有率の関係(2)

ように、両者には比例関係はなく、PEGの浸透の未だ及ばない内部でも塩化バリウムの浸透が進むことがわかる。この事実は塩化バリウムを造影剤とする方法ではPEGの正確な浸透状態を知ることが難かしいことを示す。しかし、出土木材内部の薬品の浸透過程を短時間に定性的に把握する目的には塩化バリウムは適当な造影剤といえる。

PEGの浸透過程を調べる目的にはTBPA-PEGが適当である。図3にTBPA-PEGとPEG4000を同量づつ混合した20%溶液に24時間浸漬し、同様に分析した結果を示す。この図では縦軸にHPLCによるUV検出器でのTBPA-PEGのピーク面積、横軸に示差屈折計(RI検出器)によるPEG4000のピーク面積を示してある。

この図で明らかなように、ほぼ両者は比例した直線関係にある。これは両者が極めて似た化学構造を有し、しかも分子量が近く、そのため両者はほぼ同じ状態で行動を共にしながら浸透してゆくためと考えられる。

TBPA-PEGを応用したPEG浸透状態の解明については後述する。

3.3 X線写真画像よりの等濃度線の作製

前項でX線写真の画像濃度が造影剤濃度と極めて密接な対応関係にあることを明らかにした。これはX線写真から造影物質の分布を等濃度線として抽出する可能性を示唆する。

写真を基にする等濃度線の計測については専用の作図用機器が市販されているが極めて高価であり、またサバチエ効果による写真法や、特殊フィルムによる写真法があるが技術的には難しい。⁴⁾

本報では次のような簡単な手法によって等濃度線を作製した。精度においては専用機器による場合より劣るが浸透過程を研究する目的には充分である。

具体的な例として前報³⁾の図3に示すNa2の写真について、画像濃度(D)0.4における等濃度線を作成して行く過程を図4から図6に示す。

図4は上記の写真(20%PEG, 5%塩化バリウム含有液中, 2時間含浸, 30°C)を基に作製した3次元図形である。この図では画像濃度の数値は上の方に行くほど低くなり造影剤濃度のレベルは逆に高くなる。

図5はこの3次元図形について画像濃度0.4より低い部分(造影剤濃度の高い部分)をカットした場合の図である。この断面の平面図をとり出すと図6に示す画像濃度0.4における等濃度線が得られる。

この処理を同一の写真をもとに各種の画像濃度の水準について行ないコンピュータで処理すれば画像濃度の分布をもとに造影剤濃度の濃度等高線図として表現することができる。

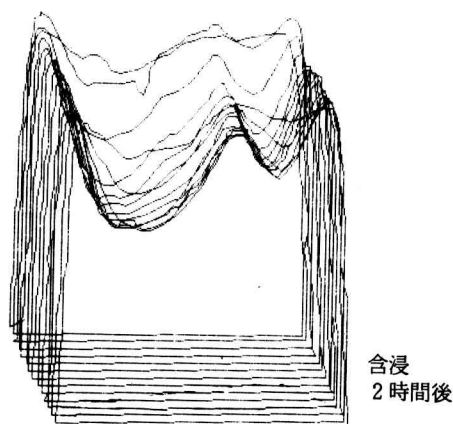


図4 X線画像濃度分布の3次元図
(含浸液20% PEG-5%, BaCl₂, 30°C, 直立方向)

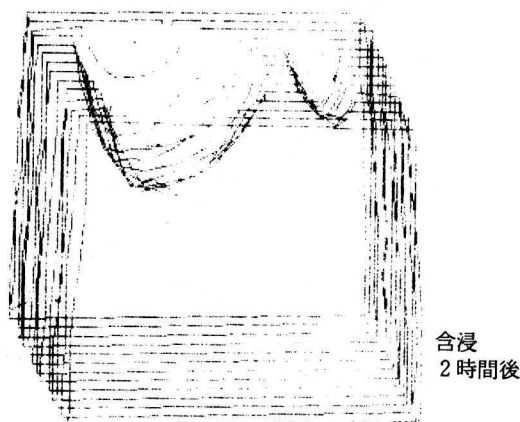


図5 画像濃度(D) 0.4 で切断した3次元図

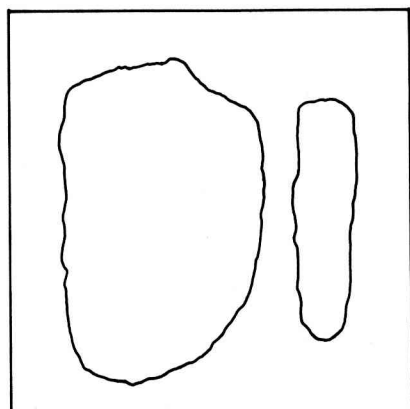


図6 画像濃度(D) 0.4 における等濃度線

3.4 含浸初期の薬液浸透過程

前報でX線造影剤として5%の塩化バリウムを含む、20%PEG4000 水溶液中に出土木材片を含浸し、塩化バリウムの浸透状態を経時的に調べた結果の一部を報告した。既に3.2の項でも述べたように、これらの結果は必ずしもPEGの浸透状態を正確に反映しているとはいえないが、含浸初期の薬液の浸透状態については、この結果に基づいて論議することは充分可能である。そこで、3.3の項に述べた方法によって含浸初期のX線写真について造影剤(塩化バリウム)の等濃度線を作製し、その浸透状態の経時変化を調べた。

使用した試料は前報の図3の写真に示すNo.2の試料を使用した。その理由はこの試料は内部に写真の上下方向に貫通した細孔を有し、他の試料と比較して特異な浸透過程を示すため研究対象として適しているからである。

図7にこの試料片の含浸液への浸漬方向と一定時間経過後、取り出してX線写真を撮影する場合のX線照射方向を概念的に示す。

前報³⁾において試料片内部へのPEGの浸透が単なる表面よりの拡散のみでなく、内部の水分とPEG溶液の比重の差による対流にもとづく流動現象によってもおこることを示した。しかし、具体的な内容までは詳しく説明できなかった。

本報ではこの拡散と流動による含浸液の浸透状態をX線画像濃度高線より検討した結果を示す。

図8には直立方向で浸漬した試料片中への含浸液中の塩化バリウムの浸透状態を示す。

前述のようにこの試料には細孔があり上下方向右寄りに貫通している。含浸1時間後、すでにこの細孔を通じて下部から上部に向かっての液の流れてゆく状態が明瞭に認められる。(図8上の図の画像濃度0.5の等濃度線を参照)

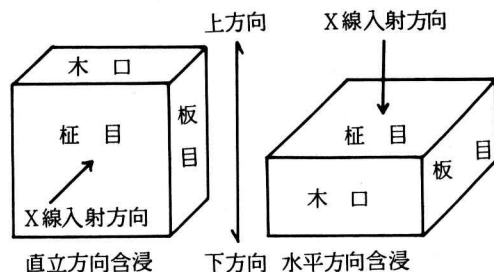
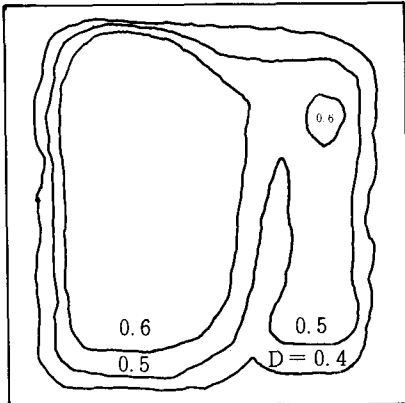
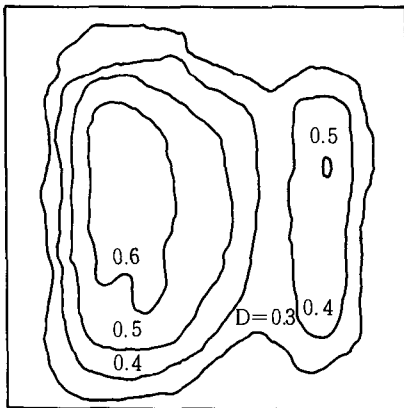


図7 試料片の浸漬方向とX線照射方向の概念図

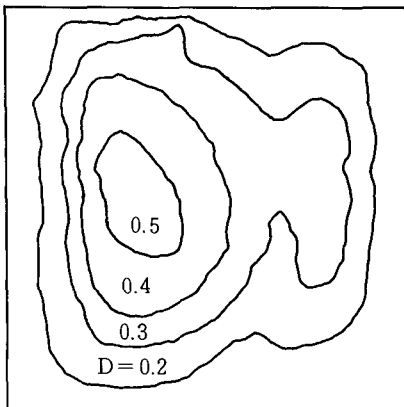
2時間経過後にはこの細孔内の造影剤濃度がさらに増加して上下に貫通し、表層からの拡散による濃度増加とともに細孔内壁からの二次的拡散によって次第に内部の造影剤濃度が増加してゆく状態が明瞭に認められる。4時間後はかなり浸透が進んだものの含浸むらが認められ、この図（図8下の図）から含浸時の薬品の浸透が困難となる部分の状態を具体的に知る手がかりが得られる。



含浸
1時間後



含浸
2時間後



含浸
4時間後

図8 X線画像濃度等高線図(1)

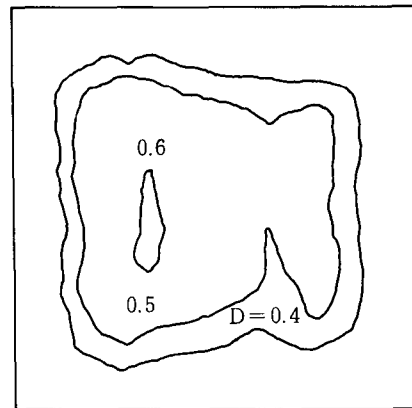
（含浸液20%PEG-5% BaCl₂, 30°C, 直立方向浸漬）

次に同じこの試料を水平方向に置いて含浸した場合、どのように造影剤の浸透状態が直立方向と比較して変化するかを調べた。図9に結果の一部を示す。

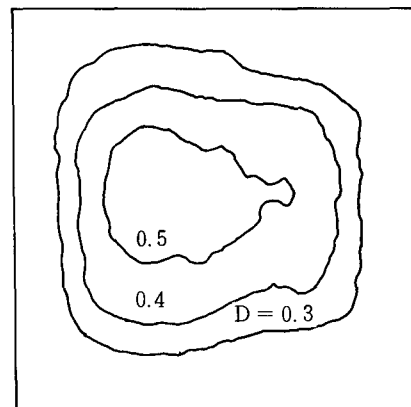
この結果注目すべき事実が二点ある。一つは直立方向での含浸で明瞭に認められた細孔を通じての造影剤の貫流が僅かしか認められないこと。さらに一つは、このため表層からの拡散による浸透が主となり、濃度勾配のゆるやかな均等な浸透がおこり含浸むらが少ないことである。

この事実から考えられることは、浸漬に際して内部を貫通している孔や、肉眼で判定し難いようなひび割れを持つ出土木材では含浸槽内の浸漬方向によって含浸結果に差を生じる可能性を示唆する。

この際、貫通していない細孔を持つ出土木材では貫流現象が余り認められないこと、内部の液と外部の液の比重に差がない場合、造影剤の浸透は完全に拡散過程のみに依存する等の興味ある結果が得られているが今回の報告では割愛した。しかし、これらの事実から出土木材の含浸過程が拡散と流動の組合せにより起ることが分った。



含浸
2時間後



含浸
4時間後

図9 X線画像濃度等高線図(2)

（含浸液20%PEG-5% BaCl₂, 30°C, 水平方向浸漬）

3.5 塩化バリウムと新X線造影剤の比較検討

前項で塩化バリウムを造影剤として使用した結果について考察をすすめてきた。しかし、分子量の比較的大きいPEG4000と塩化バリウムではその浸透過程がかなり異なることは3.2項に示した通りである。そこで含浸過程のPEGの浸透過程を知るため、前述のPEG末端に造影効果を持つ官能基を結合させた新造影剤TBPA-PEGを用いて実験した。

ほぼ等しいX線吸収度を持つように調整した塩化バリウムとTBPA-PEGを含むPEG水溶液を別々に調整し、比重の若干の違いによる影響を少なくするために水平方向に浸漬する方式で造影剤の浸透状態を比較検討した。

図10には塩化バリウムを使用した場合のX線写真について、その中央部について走査した画像濃度分布の経時変化を、また図11にはTBPA-PEGを使用した場合についての経時変化を示す。

この両者を比較すると明らかにTBPA-PEGの方が浸透がおくることが分る。両者の含浸状態の比較から、TBPA-PEGの浸透速度は塩化バリウムの半分またはそれ以下になるものと考えることができる。

謝 辞

本研究は昭和59年度文部省特定研究経費によって行った。本研究の遂行にあたり貴重な出土木材試料の提供を受け、また貴重なご意見を戴いた奈良国立文化財研究所の関係者の皆様に厚くお礼申し上げる。また、画像処理等についてご教示戴いた上田勝彦助教授、成田紘一助教授および片倉勝己助手にお礼申し上げる。さらに卒業研究を通じて協力を得た長村秀樹、龍清則、綿田正志の諸君に深謝する。

参 考 文 献

- 1) 沢田正昭：日本文化財科学会報，6号，p.12（1984）
- 2) 石垣 昭：奈良高専研究紀要，19号，p.39（1983）
- 3) 石垣 昭：奈良高専研究紀要，20号，p.75（1984）
- 4) 藤波重次：写真計測法（1977），共立出版

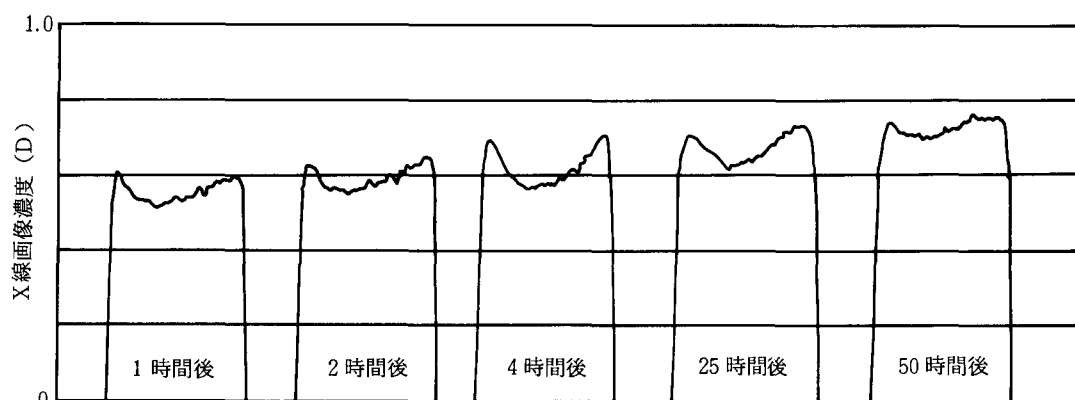


図 10 試料中央部のX線画像濃度分布の経時変化（水平方向浸漬，造影剤BaCl₂）

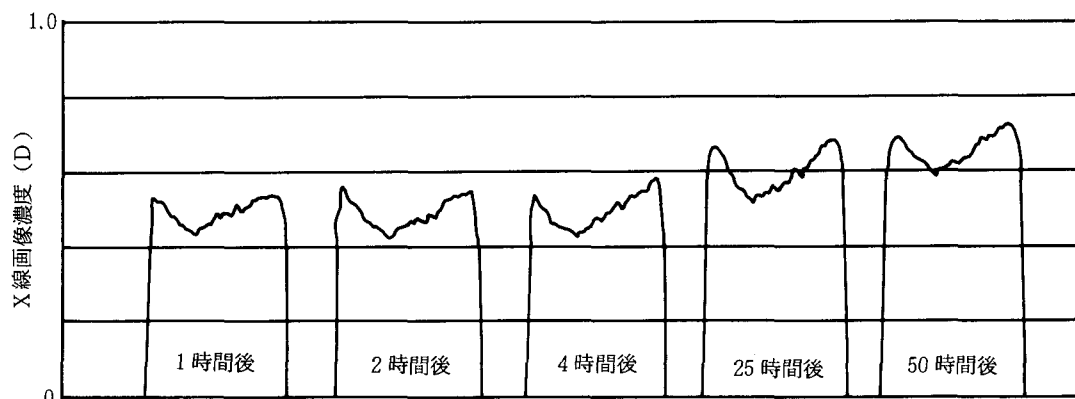


図 11 試料中央部のX線画像濃度分布の経時変化（水平方向浸漬，造影剤TBPA-PEG）

木造文化財保存に関する光電気化学的研究

泉 生 一 郎 ・ 石 垣 昭

A Photoelectrochemical Approach to the Conservation of Wooden Cultural Property

Ikuichiro IZUMI and Akira ISHIGAKI

Sawdusts of Japanese cypress in oxygen-containing solutions were decomposed photocatalytically into carbon dioxide under illumination with a Xe lamp. The photocatalytic behavior suggested an apprehension of the decomposition of wooden cultural property in the presence of sunlight, semiconductor powders of metal oxide, oxygen and water. The photocatalytic decomposition as well as a photochemical reaction was directed toward the waste treatment of PEG which has been used on the stage of PEG impregnation into a waterlogged hardwood.

1 緒 言

最近、金属酸化物半導体粉末による不均一系光触媒反応に関する研究が、太陽エネルギーの化学的変換利用を意図して活発に行われている^{1)~4)}。筆者の一人は、この半導体触媒の強い反応性を利用して、種々の難分解性有機化合物の分解処理に取り組んできた^{5)~7)}。このような光触媒能を有する金属酸化物は土壌成分として含有し得るもので、特に木造文化財にそれらが付着し長期間太陽光にさらされているような場合には、光触媒反応により木質が劣化することが十分考えられる。また、建造物や絵画に使われる各種顔料によっても同様のことが予想される。顔料の光触媒作用については、接着剤等のチョーキング(白堊化)に関する研究がなされている⁸⁾が、別の観点からのものである。

他方、大型出土木質遺物の保存処理法として、現在、PEG-4000 による含浸処理が適用されており、その含浸過程についての研究も進められている⁹⁾が、PEG廃液については未処理のまま、都市排水として放たれている現状である。無害とされている PEG ではあるが、将来的な影響を考慮して効率の良い分解処理法の開発が望まれる。

以上のような木造文化財保存に係る両問題を解決するてがかりとして、本研究では、光触媒作用による木質の劣化をひのき材のソーダスト(大鋸屑)の分解により、また PEG 廃液の処理を紫外線および光触媒分解により、それぞれ実施し、光電気化学的考察を加えた。

2 実 験

2.1 ソーダストの光触媒分解

冷却管付属の石英セル内で、ひのき材からの約 1.25 μm の粒径をもつソーダスト 0.1 g と、金属酸化物粉末(TiO_2 , SiO_2 , Fe_2O_3) 0.1 g を蒸留水 0.025 dm^3 に懸濁させ、マグネチックスターラーでかくはんしつつ、酸素通気下で 1kW Xe 光照射を行った。発生した二酸化炭素は酸素と共にアルカリ性水酸化バリウム溶液に通じ、沈殿した炭酸バリウム量より定量を行った。

2.2 PEG-4000 の分解

PEG-4000 (平均分子量 3000) の 0.1% 水溶液 0.2 dm^3 に酸素あるいは窒素を通気しながらかくはんし、300 W 低圧水銀灯による光照射で紫外線分解を実施した。試料溶液は 1 時間おきに採取し、高速液体クロマトグラフィー(日立 638-50 型、以下 LC と略す)により分析し、PEG 分解の経時変化を調べた。

他方、1kW Xe 光照射によるPEG-4000 の光触媒分解については、PEG 0.1 g を含む 0.025 dm³ の水溶液に光電析法で調製した白金担持 TiO₂ 粉末¹⁰⁾ 0.1 g を懸濁させ、前項で述べたと同様の方法で実施した。

2.3 光電気化学測定

作用極に白金線電極 (1 mm φ, 14 mm) または TiO₂ 薄膜電極 (2 mm φ, 11 mm) を、対極に平滑白金板電極 (19 × 15 mm²) をそれぞれ使用して、既報⁷⁾と同様に暗所および 500 W Xe 光照射下でのサイクリックボルタメトリーを実施した。なお、基礎液には 0.3 mol · dm⁻³ 硫酸ナトリウム溶液を用い、電極電位はすべて飽和甘コウ電極基準 (vs. SCE) で表わした。

3 結果と考察

3.1 光触媒作用によるソーダストの分解

木造文化財に付着した土壌成分に含まれる金属酸化物や塗布された各種顔料が、光触媒作用によって素地材料の木質を劣化させることについて、ひのき材のソーダストの光触媒分解を行って検討した。Fig. 1 にはソーダストと各種金属酸化物粉末を水中に懸濁させ、酸素通気下で Xe 光照射をしたときの発生二酸化炭素量と光照射時間との関係を示してある。図から明らかなように、光照射によってソーダストの分解が起り、照射時間と共に発生二酸化炭素量が増大した。また白金担持 TiO₂ 粉

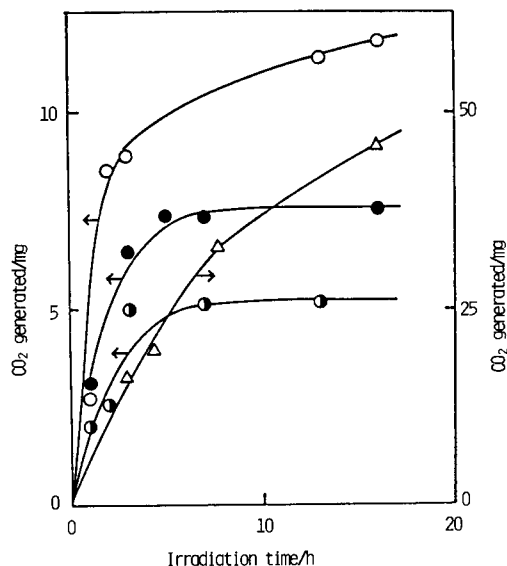


Fig. 1 Photocatalytic decomposition of sawdusts on TiO₂ (○), SiO₂ (●), Fe₂O₃ (●) and platinized TiO₂ (△)

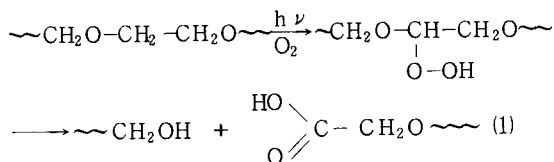
Table 1 Controlled experiments for photocatalytic decomposition of sawdusts (for 10h reaction)

catalyst (platinized TiO ₂)	atmosphere	irradiated	CO ₂ generated/mg
yes	O ₂	yes	45.50
no	O ₂	yes	5.35
yes	N ₂	yes	1.03
yes	O ₂	no	7.85

末では無担持に比べ、およそ 5 倍の速さで分解することが分った。光触媒作用が顕著なこの白金担持 TiO₂ 粉末を用いて、種々の条件規制下でのソーダストの分解を行った結果が Table 1 にまとめてある。光触媒作用を抑えたこのような条件下での発生二酸化炭素量が、Fig. 1 の Fe₂O₃ 粉末での光照射下における発生量とはほぼ同程度であることから、Fe₂O₃ 粉末では TiO₂ や SiO₂ などの粉末とは異なり、ソーダストの光触媒分解が起りにくいものと考えられた。

3.2 PEG-4000 の分解

種々の条件下で PEG-4000 の分解を試みた。先づ、水溶液中、酸素通気下での紫外線分解では、紫外線照射 1 時間後に分子量が約 1600、2 時間後には約 870 となり、1 時間当り分子量がおおよそ 1/2 に低下することが分った。このような PEG の分子量の低下は、次式の反応に起因しているものと考えられる^{11) 12)}。



一方、紫外線照射をせずに酸素通気を行っても、LC 分析からは PEG の分解が認められなかった。また、酸素の代りに窒素を通気しながらの紫外線照射からは、一部分子量の低下が見られたもののむしろ PEG の分子量が増大した。この場合光照射 1 時間後の分子量は約 19000 で、2 時間後には 20000 前後の分子量に達した。このような無酸素条件下での分子量の増大は、PEG-4000 の分解処理にはそぐわないが、文化財保存技術としての応用が可能である。すなわち、PEG-4000 を含浸させた木片の表面に窒素気流中で紫外線照射することにより PEG の分子量を高め、吸湿性を改良することが考えられる。

なお白金担持 TiO₂ 粉末を懸濁させ、酸素通気下で紫外線照射を行った場合の LC 分析結果は Fig. 2 のようになった。分子量 10000 ~ 20000 に小さなピークが見られるけれども、紫外線照射によってピークが急激にくずれ、

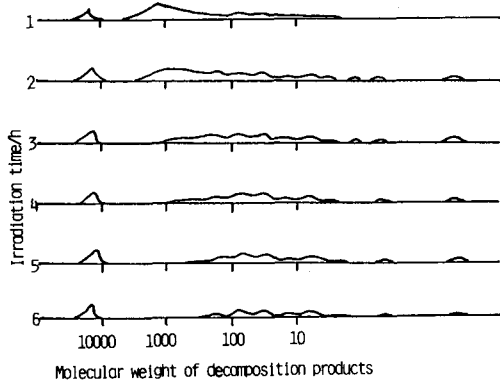


Fig. 2 Photocatalytic decomposition of PEG-4000 on platinized TiO_2 under ultraviolet irradiation while bubbling O_2

分子量が低分子量側に一樣に分散していることが分る。同様に Fe_2O_3 粉末を用いて実施したが、PEG の分子量の低下が極めて緩慢であった。

次に実際面への応用を考え、太陽光と類似したスペクトルを有するXe 光の照射によって、酸素通気、白金担持 TiO_2 粉末の存在下で PEG-4000 の分解処理を試みた。この時発生した二酸化炭素量を光照射時間に対してプロットしたのが Fig. 3 である。これによると、発生二酸化炭素量が3時間ぐらいまではほぼ直線的に、その後は急激に上昇した。これは、PEG が低分子量化した

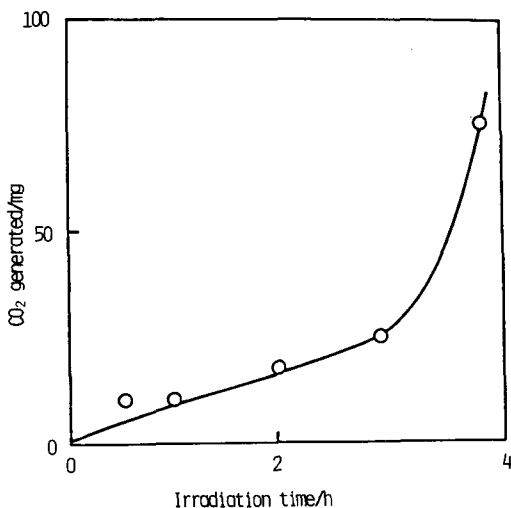


Fig. 3 Photocatalytic decomposition of PEG-4000 on platinized TiO_2

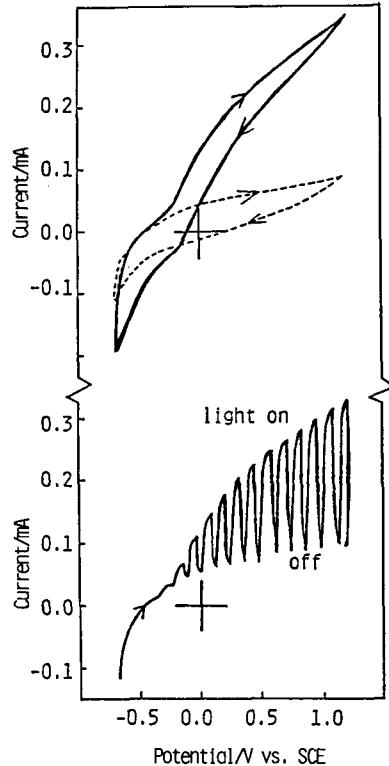


Fig. 4 Voltammetric curves at TiO_2 thin film electrode in solution containing $0.3 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ Na_2SO_4 as the supporting electrolyte
—: under irradiation,: in the dark

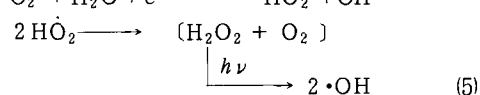
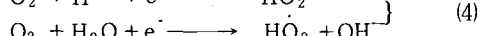
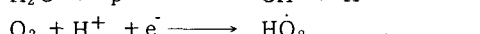
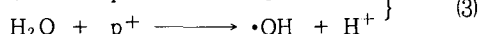
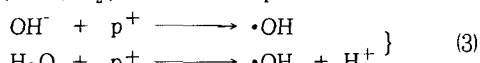
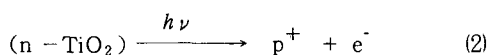
後に二酸化炭素にまで完全分解されることを示唆する結果である。この場合、PEG は約4時間で分子内炭素のおよそ36%が二酸化炭素にまで分解されたことになる。したがって10数時間の光照射により、PEG-4000 が完全に二酸化炭素にまで分解できることになり、廃 PEG の分解処理に光触媒分解が利用できることは明らかで、ただ太陽光を利用する場合、その光強度に問題が残されている。

3.3 光触媒機構

前項までの実験結果のうち、酸素と水の存在下、光触媒によってソーダストやPEGが分解することについて、その反応機作を光電気化学的な測定を加えて以下に考察した。Fig. 4 は $0.3 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 硫酸ナトリウム溶液中、 TiO_2 薄膜電極を用い、暗所および光照射下でサイクリックボルタンメトリーを行って得られた電流-電位曲線である。これはPEG-4000を含む溶液についてもほぼ同じで、アノード走査の約 -0.2 V で光電流が観察された。この光電流は、アノード走査での光チョッピングの繰り返しによっても明らかにすることができる。アノード光

電流を生じるのは、電解液中の半導体表面に形成された空間電荷層が乾式太陽電池におけるp-n接合と同じ働きをするため、この空間電荷層内部の電位こう配で伝導帯の励起電子と価電子帯の正孔が効率良く分離され、それがアノード方向のバイアスをかけることによってさらに促されるためである。一方、カソード走査においては、光照射による影響があまりなくアノード光電流とはほぼ同一電位で、カソード電流の立ち上がりが見られた。これらのことから、半導体粉末では光照射部が光半導体アノードとして、暗部がカソードとして機能しているものと考えられる。

他方、白金電極を用いたサイクリックボルタンメトリーでは、0 V付近から酸素および白金酸化層の還元に基づくカソード電流が観察された。これは、TiO₂ 半導体電極でのアノード光電流が流れ始める電位よりも正電位側にあり、明らかにこれらの電極の組み合わせで電気化学光電池を構成させることができる。白金担持TiO₂粉末で光触媒機能が高いのは、おそらくこのような電気化学光電池の形成により、励起電子と正孔の分離が効率良く行われるためであると考えられる。また、有機質の分解については次式に示すような、光触媒上で生じた・OHやHO₂などの活性種により攻撃を受けて進行するものと推定される。



なお、Fe₂O₃粉末ではすでに知られているように¹³⁾、それ自体が光化学反応でFe(Ⅲ)からFe(Ⅱ)に還元されるために、光触媒としての機能が失われているものと思われた。

4 結 言

木造文化財の保存環境を検討する目的で、金属酸化物半導体粉末によるソーダストの光触媒分解を、また大型出土木質遺物の保存処理に使用されるPEG-4000の廃液処理法を開発する目的で、PEG-4000の紫外線および光触媒分解をそれぞれ実施し、概略以下のような結論を得た。

1) ソーダストの分解実験から、水の存在下あるいは

湿度の高い環境のもとで木造文化財が長期間太陽光などにさらされていると、付着したTiO₂やSiO₂などの土壌成分によって木質の光触媒分解が起こり得ることが示唆された。

2) 廃PEGの分解処理には、酸素通気下での紫外線照射、および白金担持TiO₂粉末による酸素通気下での光触媒分解が効果的であった。

3) Fe₂O₃粉末では、それ自体の光化学反応のため、光触媒効果はほとんど見られなかった。

本研究は昭和59年度文部省特定研究経費の助成を受けて行った。研究の遂行に当り実験に協力して戴いた長村秀樹、布目雅彦両君に深甚の謝意を表します。

文 献

- 1) 坂田忠良, 電気化学 **53**, 15 (1985)。
- 2) 山口経一, 佐藤真理, 日本化学会誌 **1984**, 258 (1984)。
- 3) I. Izumi, F. F. Fan, A. J. Bard, J. Phys. Chem. **85**, 218 (1981)。
- 4) H. Reiche, A. J. Bard, J. Am. Chem. Soc. **101**, 3127 (1979)。
- 5) I. Izumi, W. W. Dunn, K. O. Wilbourn, F. F. Fan, A. J. Bard, J. Phys. Chem. **84**, 3207 (1980)。
- 6) 泉 生一郎, 電気化学 **53**, 178 (1985)。
- 7) 泉 生一郎, 大西康幸, 水処理技術 **26**, 233 (1985)。
- 8) H. G. Völz, G. Kaempf, H. G. Fitzky, A. Klaeren, Preprints of Papers Presented by the Division of Organic Coatings and Plastics Chemistry at the American Chemical Society 179th National Meeting, Houston, Texas, March 23~28, p. p. 660~666 (1980)。
- 9) 石垣 昭, 昭和58年度特定研究成果報告書“文化財の科学的測定並びに保存についての新材料の開発に関する研究” p. 21 (1984)。
- 10) 泉 生一郎, 京兼 純, 奈良高専研究紀要 **19**, 43 (1983)。
- 11) 小方芳郎, “酸化と還元” p. 110 (1964) 南江堂。
- 12) W. G. Lloyd, J. Am. Chem. Soc. **78**, 72 (1956)。
- 13) 馬淵久夫, 富永 健編, “考古学のための化学10章” p. p. 196~197 (1981) 東大出版会。

回分型晶析装置における粒径分布シミュレーション

中 谷 武 志

Simulation of Size Distribution in Batch Crystallizer

Takeshi NAKAYA

晶析操作において、粒径分布制御は核発生速度を制御することにつき、核発生速度を推定することが重要である。核発生速度の測定法には直接法、間接法それぞれにおいて種々の方法が報告されている。本研究は、核発生速度を一次核発生速度と二次核発生速度の和であると考え、回分晶析のダイナミックスをポピュレーションバランスモデルにより解析し、間接的に一次核発生速度及び二次核発生速度を求めた。その結果、二次核発生速度係数と攪拌速度の相関関係が得られ、攪拌速度による核発生速度制御の足がかりが得られた。また、シミュレーション結果より、回分晶析における攪拌速度と臨界過飽和度の関係及び平均粒子半径の経時変化について実験結果とよく一致する事が分かった。

1. 結 言

晶析は、分離操作の一つとして重要な位置にある。最近、特にファインケミカルにおいて、高品質の製品が要求されるようになり、結晶の形状・純度・平均粒径・分散等を制御することが必要になった。そのため、晶析現象を表わす的確なモデルが要求されている。晶析現象には未知の分野も多く、媒晶作用・核発生機構・成長機構について現在も研究が続けられている。本研究は、核発生速度及び結晶成長速度について数式モデルを作り、ポピュレーションバランスモデルにより回分晶析のシミュレーションを行ない、数式モデルの検証を行なった。また、シミュレーション結果から、一次核発生速度係数及び二次核発生速度係数を求めた。

2. 理 論

結晶核発生機構は多種多様であり、それぞれについて研究が続けられている。核発生機構を分類すると、結晶の助け無しで過飽和溶液から発生する一次核発生と、結晶の存在下で結晶の助けを借りて発生する二次核発生がある。一次核発生は、さらに自然発生的に過飽和溶液から発生する均一核発生と器壁や埃等が因子となる不均一

核発生に分類される。

2.1 一次核発生機構と発生速度

二個の分子が衝突して、二分子の結合したクラスターと呼ばれる会合体ができ、そこへまた一分子が衝突して三分子のクラスターとなり……という会合過程、あるいは逆に離脱過程を繰り返して、次第に大きな集合体が形成されていく。Gibbs-Thomson の式によれば、この集合体には臨界値があり、これを臨界径という。クラスターの径がこの値より大きくなれば、過飽和溶液の自由エネルギーがクラスターの自由エネルギーより高くなり、クラスターは自由エネルギーの減少する方向、即ち、結晶へと相変化し、大きな結晶へと成長していく。従って、一次核発生は、臨界径を越えるクラスターの発生速度であると考えられ、統計熱力学より理論式が求められている。しかし、現在、その式に使用されているパラメーターの正確な値が分かっていないので、実際に応用できない。また、結晶形はそのモデルで仮定されているような球形ではなく、界面エネルギーの異なる格子面で囲まれているので、同一過飽和度における臨界径は一定ではなく、分布を持っていると考える方が自然である。従って、結晶核の径が正規分布を持つと考え、理論式を基にして

一次核発生速度を実験式(1)で近似した。

$$B_1 = 0 \quad (\Delta c < \Delta c^*)$$

$$B_1 = k_1 D(\alpha, r^*) \Delta c^q \quad (\Delta c > \Delta c^*) \quad (1)$$

ここで、関数 $D(\alpha, r^*)$ は結晶核半径の分布であり、平均界面エネルギーから求まる臨界結晶核半径 r^* を最確値とする正規分布の式より誘導した(2)式で表わされる。

$$D(\alpha, r^*) = \frac{2\sqrt{\alpha}}{2\Gamma(\frac{1}{2}) - \Gamma(\frac{1}{2}, \alpha r^*)} \exp\left\{-\alpha(r-r^*)^2\right\} \quad (2)$$

2.2 二次核発生機構と発生速度

二次核発生因子は、結晶核が結晶-結晶、結晶-器壁、結晶-攪拌羽根間の衝突によって発生するマクロアトリションや、粘性流体の剪断力により結晶表面に付着しているクラスターが離脱して結晶核となるマイクロアトリション及び種晶の添加の際、種晶表面に付着している微結晶が核となるイニシアルブリーディングがある。イニシアルブリーディングは種晶の履歴や添加方法により予期しない核発生を招ねくので注意を要する。マイクロアトリションは、結晶の表面積及び過飽和度に比例すると考えられ、マクロアトリションは、結晶の体積に比例すると考えられるので、二次核発生はそれぞれ(3)、(4)式で表わされる。

マイクロアトリションによる二次核発生速度

$$B_2 = k_2 A D(\alpha, r^*) \Delta c \quad (3)$$

マクロアトリションによる二次核発生速度

$$B_3 = k_3 \left(\frac{W}{\rho}\right) D(\alpha, r^*) \quad (4)$$

2.3 ポピュレーションバランスモデル

槽内は完全混合であり、核発生速度は一次核発生速度と二次核発生速度の和であると考ええる。従って、核発生速度は(5)式となる。

$$B = B_1 + B_2 + B_3 \quad (5)$$

結晶の成長速度については、種々理論が提案されている。拡散理論による式や結晶表面のキンク・ステップの

前進速度の解析から得られるBCF理論による式がある。いずれも、成長速度は過飽和度の指数乗に比例する形で表わされている。実際には、攪拌槽内では、結晶粒径の違いによる摩擦や拡散速度の差を考慮しなければならない。これらを考慮して、結晶成長速度を一般に粒径に依存する(6)式で表わす。

$$\frac{dr}{dt} = (a_1 r + a_0) \Delta c^l \quad (6)$$

ポピュレーションバランスモデルは(5)、(6)式を用いて(7)式で表わされる。

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} \left\{ \left(\frac{dr}{dt} \right) n \right\} - \epsilon B = 0 \quad (7)$$

(7)式の両辺に r^n を掛け、 $r = 0 \sim \infty$ まで積分し整理すると、 n 次モーメントの常微分方程式に変形される。ここで、 $A = \phi_s \mu_2$ 、 $W/\rho = \phi_v \mu_3$ である。

$$\begin{aligned} \frac{d\mu_n}{dt} &= n \Delta c^l (a_1 \mu_n + a_0 \mu_{n-1}) \\ &+ \epsilon (k_1 \Delta c^q + k_2 \phi_s \mu_2 \Delta c + k_3 \phi_v \mu_3) E(n, \alpha, r^*) \end{aligned} \quad (8)$$

槽内の液相中の物質収支は、槽内溶液の体積一定とすると、

$$\begin{aligned} \frac{dc}{dt} &= \left(c - \frac{\rho}{M}\right) (3\phi_v \Delta c^l) (a_1 \mu_3 + a_0 \mu_2) \left(\frac{1}{\epsilon}\right) \\ &+ \left(c - \frac{\rho}{M}\right) \phi_v (k_1 \Delta c^q + k_2 \phi_s \mu_2 \Delta c + k_3 \phi_v \mu_3) \\ &E(n, \alpha, r^*) \end{aligned} \quad (9)$$

$E(n, \alpha, r^*)$ は結晶核の粒径分布の n 次モーメントである。粒径分布がデルタ関数 $\delta(r - r^*)$ とすると、 $E(n, \alpha, r^*) = r^{*n}$ となる。

質量基準の平均粒子半径、標準偏差をモーメントで表わすと、

平均粒子半径

$$r_{wm} = \frac{\int_0^\infty r \rho \phi_v r^3 n(r) dr}{\int_0^\infty \rho \phi_v r^3 n(r) dr} = \frac{\mu_4}{\mu_3} \quad (10)$$

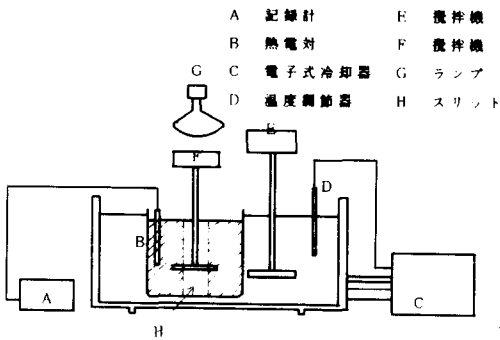


図 1. 回分型晶析装置

平均粒子半径で正規化した標準偏差

$$\nu = \left\{ \frac{\int_0^\infty (r - r_{wm})^2 \rho \phi_v r^3 n(r) dr}{\int_0^\infty \rho \phi_v r^3 n(r) dr} \right\}^{1/2} \left(\frac{1}{r_{wm}} \right)$$

$$= \frac{\sqrt{\left(\frac{\mu_5}{\mu_3} \right) - \left(\frac{\mu_4}{\mu_3} \right)^2}}{\left(\frac{\mu_4}{\mu_3} \right)} \quad (11)$$

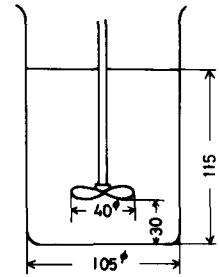
3. 実験方法

実験装置は図 1. に示す回分型晶析装置を用いた。晶析槽の詳細は図 2. に示す。ある温度で飽和した硫酸銅溶液の上澄み液を晶析槽に移し、その飽和温度より約10℃程高い温度に加熱し、溶液内に含まれている微結晶を完全に溶解する。次に攪拌速度を所定の値に調整し、クールクサーキュレタを用い一定の冷却速度約10℃/hrで冷却する。溶液のサンプリングはフィルター付スポイトで15分～20分間隔ごとに行ない、キレート滴定法で硫酸銅溶液の濃度を測定する。この過程を攪拌速度 0 rpm, 250 rpm, 500 rpm, 750 rpm, 1000 rpm について行なった。

4. 実験結果及び考察

攪拌速度 0 rpm における核発生は、一次核のみと考えられるので、パラメーターフィッティングで一次核発生速度係数 k_1 が求められる。結果を図 3. に示す。 $k_1 = 0.1 \times 10^9$ の時、溶液濃度変化パターンがよく一致した。その他の攪拌速度の場合、核発生速度は一次核発生速度と二次核発生速度の和であり、一次核発生速度は攪拌速度の影響を受けないと考え、既に 0 rpm で求めた値を用い、各攪拌速度についてパラメーターフィッティングにより

二次核発生速度係数 k_2 を求めた。但し、二次核発生は、攪拌速度1000rpmまではマイクロアトリションに比較してマクロアトリションは無視できると考え、二次核発生をすべてマイクロアトリションに含


 図 2. 回分型晶析槽
攪拌羽根(スクルー)
径40mm, ピッチ73mm

めている。攪拌速度 500 rpm, 1000 rpm についての結果を図 4. に示す。また、求められた二次核発生速度係数と攪拌速度の相関関係を図 5. に示す。攪拌速度 N と二次核発生速度係数 k_2 の関係式は $k_2 = 6.78 \times 10^{-6} N^{2.4}$ となった。

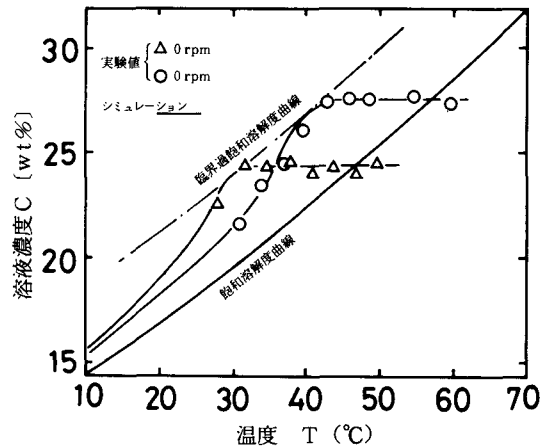


図 3. 攪拌速度 0 rpm における槽内温度と溶液濃度の関係

得られた核発生速度係数を用い、各攪拌速度における平均粒子半径及び過飽和度の経時変化を求めた。0 rpm, 500 rpm, 1000 rpm について、その結果を図 6. に示す。攪拌速度の増加は、二次核発生を増加させ平均粒子半径を小さくする事が分かる。

5. 結 言

結晶核発生速度を一次核発生速度と二次核発生速度の和と考える事によって、攪拌速度と臨界過飽和度の関係が明白となった。また、このモデルを用いて回分晶析をシミュレーションすることによって、核発生速度を間接的に推定できることが分かった。

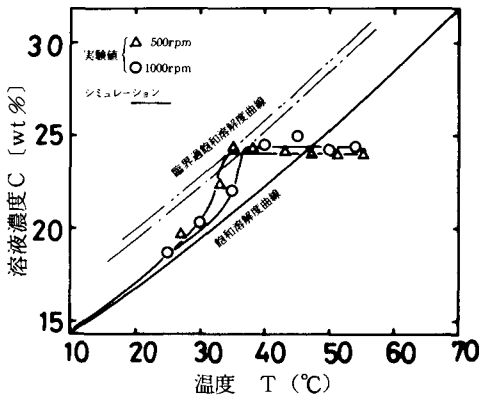


図4. 攪拌速度500rpm, 1000rpmにおける槽内温度と溶液濃度の関係

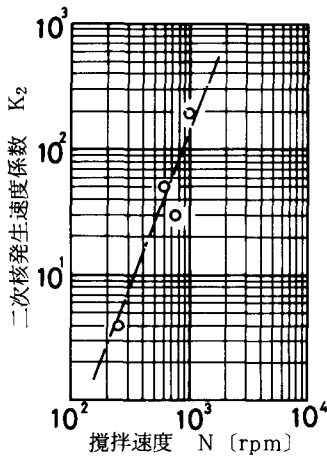


図5. 攪拌速度と二次核生成速度係数の関係

Nomenclature

- A : surface area of crystals per unit volume [cm^2/cm^3]
 B, B₁, B₂, B₃ : nucleation rate [$1/\text{cm}^3 \cdot \mu \cdot \text{hr}$]
 c : solute concentration [mol/cm^3]
 Δc : supersaturation [mol/cm^3]
 Δc^* : critical supersaturation for primary nucleation [mol/cm^3]
 k, k₁, k₂, k₃ : nucleation rate constants
 M : molecular weight of crystals [g/mol]
 W : weight of crystals per unit volume [g/cm^3]
 n : population density of crystal suspension [$1/\text{cm}^3 \cdot \mu$]

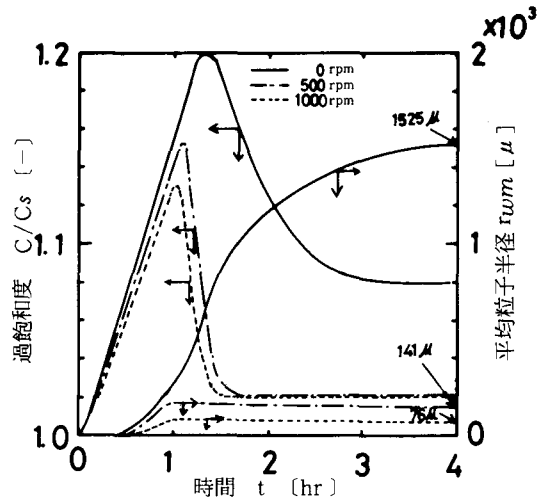


図6. 攪拌速度0rpm, 500rpm, 1000rpmにおける過飽和度及び平均粒子半径の経時変化

- r : radius of crystals [μ]
 r* : mean radius of nucleus [μ]
 t : time [hr]
 α : $\alpha = 1/2 \sigma^2$ (σ = standard deviation of nucleus distribution) [$1/\mu^2$]
 μ_n : n-th moment of population density [μ^n/cm^3]
 ϕ_s : surface shape factor [—]
 ϕ_v : volume shape factor [—]
 ϵ : fractional volume of solution [—]

Γ : gamma function

<subscripts>

- 1 = primary nucleation
 2 = secondary nucleation by microattrition
 3 = secondary nucleation by macroattrition

References

- 1) Charles G. Moyers, Alan D. Randolph : AICHE Journal, 19, 1089 (1973)
- 2) M.B. Sherwin, REUEL SHINNAR, and STANLEY KATZ: AICHE Journal 13, 1141 (1967)

分布の加法性（再生性）について

入 江 隆

Reproducing Property of Distribution

Takashi IRIE

高専の学生に対する数学の講義に際して、どの分野でも教え方に困難を感じる箇所がいくつかあるものである。それが守備範囲の狭い定理であったり、本当に高度でむずかしいものである場合なら、適当に処理してしまっても後味の悪さはそれ程でもないのであるが、その分野で重要な意味をもち、守備範囲の広い定理である場合は証明を省略することによって、何となく気持の悪い思いをするものである。これは、高専で数学を担当する教官が抱く共通の思いではなかろうかと思うのである。確率・統計の講義での、このような意味での第一の関所となるものは分布の加法性（再生性ともいう）であろうと思う。ここでは、これについての講義の仕方について調べることにする。特に正規分布の加法性が重要なものであることに異議はないであろう。多少の無理はあるけれども、モーメント母関数（積率母関数ともいう）による方法が、二項分布やポアソン分布の加法性も一挙に証明でき、その上、平均値や分散の計算にも割合簡単に使用できるので、適当ではないかと思っている。そういった観点からここに整理することにした。

1. モーメント母関数とは

$$\phi(\theta) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{\theta x} f(x) dx$$

確率変数 X と、変数 θ に対して、 $e^{\theta X}$ の平均 $Ee^{\theta X}$ を X の積率母関数とかモーメント関数という。

例1) 標準正規分布 $N(0, 1): f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$

$$\phi(\theta) = Ee^{\theta X}$$

とかく。以下ではモーメント母関数と呼ぶ。

一般には $\phi(\theta)$ は存在するとは限らないが、 $\theta = 0$ を含む範囲で $Ee^{\theta X}$ が存在するとき θ の関数とみる。

また、2つの確率変数 X, Y のモーメント関数 $\phi(\theta)$ が原点 $\theta = 0$ を含む範囲で一致するとき、 X と Y が同じ分布に従う。

$$\phi(\theta) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{\theta x} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2} + \theta x} dx$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\theta)^2}{2} + \frac{\theta^2}{2}} dx$$

$$= e^{\frac{\theta^2}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\theta)^2}{2}} dx = e^{\frac{\theta^2}{2}}$$

2. 具体的な例

確率変数 X が離散的なとき、確率分布を $p(a_k)$ とする。つまり、確率 $P\{X = a_k\} = p(a_k)$ のとき、

$$\phi(\theta) = \sum_k e^{a_k \theta} p(a_k)$$

また、 X が連続的なとき、確率密度関数を $f(x)$ とすると、

例2) 2項分布 $B(k; n, p) = {}_n C_k p^k q^{n-k}$

ただし $p+q=1$

$$\phi(\theta) = \sum_{k=0}^n e^{k\theta} {}_n C_k p^k q^{n-k}$$

$$= \sum_{k=0}^n C_k (pe^\theta)^k q^{n-k} = (pe^\theta + q)^n$$

例3) ポアソン分布 $p(k; \lambda) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!}$

即ち, X がパラメータ λ のポアソン分布に従うとき,

$$\begin{aligned} \phi(\theta) &= \sum_{k=0}^{\infty} e^{k\theta} e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!} = e^{-\lambda} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(\lambda e^\theta)^k}{k!} \\ &= e^{-\lambda} e^{\lambda e^\theta} = e^{\lambda(e^\theta - 1)} \end{aligned}$$

3. 独立な確率変数のとき

確率変数 X, Y が独立なとき, モーメント母関数をそれぞれ $\phi(\theta), \psi(\theta)$ とするとき, $X+Y$ のモーメント母関数は $\phi(\theta) \cdot \psi(\theta)$ である。

X, Y が独立のときは $e^{\theta X}, e^{\theta Y}$ は独立で,

$$\begin{aligned} Ee^{\theta(X+Y)} &= Ee^{\theta X} \cdot Ee^{\theta Y} = Ee^{\theta X} \cdot Ee^{\theta Y} \\ &= \phi(\theta) \cdot \psi(\theta) \end{aligned}$$

n 個の確率変数 $X_1, X_2, \dots, X_n$ が独立なとき, それぞれのモーメント母関数を $\phi_1(\theta), \phi_2(\theta), \dots, \phi_n(\theta)$ とすると, $X_1 + X_2 + \dots + X_n$ のモーメント母関数は $\phi_1(\theta) \cdot \phi_2(\theta) \cdot \dots \cdot \phi_n(\theta)$ となる。

4. $aX + b$ のモーメント母関数

a, b は定数とし, X のモーメント母関数を $\phi(\theta)$ とするとき, $aX + b$ のモーメント母関数 $\psi(\theta)$ は

$$\begin{aligned} \psi(\theta) &= Ee^{\theta(aX+b)} = Ee^{a\theta X} e^{b\theta} \\ &= e^{b\theta} \cdot Ee^{a\theta X} = e^{b\theta} \phi(a\theta) \\ (\phi(\theta) &= Ee^{\theta X} \text{ だから}) \end{aligned}$$

このことから, 確率変数 Y が正規分布 $N(m, \sigma^2)$ に従うとき, $X = (Y - m) / \sigma$ は $N(0, 1)$ に従うこと, そして X のモーメント母関数 $\phi(\theta)$ は,

$$\phi(\theta) = e^{\frac{\theta^2}{2}}$$

であることを知っているから, $Y = \sigma X + m$ のモーメン

ト関数は,

$$\begin{aligned} \psi_1(\theta) &= e^{m\theta} \phi(\sigma\theta) \\ &= e^{m\theta} e^{\frac{\sigma^2 \theta^2}{2}} = e^{\frac{\sigma^2}{2} \theta^2 + m\theta} \end{aligned}$$

となることがわかる。

5. 正規分布の加法性 (再生性)

確率変数 X, Y が互いに独立で, 正規分布 $N(m_1, \sigma_1^2), N(m_2, \sigma_2^2)$ に従うとき, 各々のモーメント母関数は

$$\phi(\theta) = e^{\frac{\sigma_1^2}{2} \theta^2 + m_1 \theta}, \quad \psi(\theta) = e^{\frac{\sigma_2^2}{2} \theta^2 + m_2 \theta}$$

であるから, $X+Y$ のモーメント母関数は,

$$\phi(\theta) \psi(\theta) = e^{\frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}{2} \theta^2 + (m_1 + m_2) \theta}$$

であり, これは $N(m_1 + m_2, \sigma_1^2 + \sigma_2^2)$ なる正規分布に従う確率変数のモーメント母関数である。

6. 平均値と分散

確率変数 X に対して, $\mu_n = EX^n$ とおき, 原点のまわりの n 次のモーメントという。 $\mu_1 = EX$ は X の平均値である。($E(X - \mu_1)^n$ を平均値 μ_1 のまわりの n 次のモーメントという。 $n = 2$ の場合が分散である。)

分散は, $\sigma^2 = EX^2 - (EX)^2 = \mu_2 - (\mu_1)^2$ とかける。

$$E \sum_{n=1}^{\infty} X^n = \sum_{n=1}^{\infty} EX^n \text{ を仮定できれば,}$$

$$\begin{aligned} e^{\theta X} &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(\theta X)^n}{n!} \text{ より, } \phi(\theta) = Ee^{\theta X} \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\theta^n}{n!} EX^n = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\phi^{(n)}(0)}{n!} \theta^n \text{ それゆえ,} \end{aligned}$$

$$EX^n = \phi^{(n)}(0) \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

つまり

$$\begin{aligned} \mu_0 &= EX^0 = 1, \quad \mu_1 = EX = \phi'(0), \\ \mu_2 &= EX^2 = \phi''(0), \dots \end{aligned}$$

がわかる。これが分布の平均値, 分散の計算に使える。詳細は参考文献 (1) 参照。

7. 再び分布の再生性について

これは 5. に続けてもよいし、省略してもよいかもしれない。

例 1) 2 項分布の再生性

2 つの独立な確率変数 X, Y が、それぞれ二項分布 $B(k; n, p), B(k; m, p)$ に従うとき、 X, Y のモーメント母関数を $\phi(\theta), \psi(\theta)$ とすると、

$$\phi(\theta) = (pe^\theta + q)^n, \psi(\theta) = (pe^\theta + q)^m$$

であったから、確率変数 $X+Y$ のモーメント母関数は

$$\begin{aligned} \phi(\theta) \cdot \psi(\theta) &= (pe^\theta + q)^n (pe^\theta + q)^m \\ &= (pe^\theta + q)^{n+m} \end{aligned}$$

従って、 $X+Y$ は $B(k; n+m, p)$ なる二項分布に従う。

例 2) ポアソン分布の再生性

2 つの独立な確率変数 X, Y が、パラメータ λ_1, λ_2 のポアソン分布に従うとき、 $X+Y$ はパラメータ $\lambda_1 + \lambda_2$ のポアソン分布に従う。

X, Y のモーメント母関数は $e^{\lambda_1(e^\theta - 1)}, e^{\lambda_2(e^\theta - 1)}$

であるから、 $X+Y$ のモーメント母関数は、

$$e^{\lambda_1(e^\theta - 1)} e^{\lambda_2(e^\theta - 1)} = e^{(\lambda_1 + \lambda_2)(e^\theta - 1)} \quad \text{となり}$$

パラメータ $\lambda_1 + \lambda_2$ のポアソン分布であることがわかる。

あ と が き

平均値や分散の計算は 6. のようにできるが、正規分布の場合などはやはり積分を用いて計算させる方が、置換積分、部分積分のよい練習にもなるので望ましいと思う。厳密にやるには、何箇所かで無理があるのも仕方がないと思います。

参 考 書

- (1) 現代教養統計学 (サイエンス社) 国沢, 羽鳥著
- (2) 大学教科統計学要論 (共立出版) 竹之内監修
- (3) 数理統計学 (東洋経済) 竹内啓著
- (4) An Introduction to Probability theory and Its Applications (John Wiley) W. Feller.

非定値空間のストーンの定理

北 川 誠之助

An Analogue Theorem of Stone's theorem on Non-definite space.

Seinosuke KITAGAWA

この小論においては、ヒルベルト空間上でよく知られている、一口径群についてのストーンの定理を非定値空間上に拡張する。

1. はじめに

近年ヒルベルト空間のみならず非定値空間上の表理論が活発に論議されている。この小論においては最も基本的なストーンの定理を拡張する。

以下で使用する記号の説明をする。 h をヒルベルト空間として、 h の元を ξ, η 等のギリシャ文字で表わす。 h の内積 (ξ, η) で表わすことにする。 P を h 上の射影として、 $Q=1-P$ とおく、今 P, Q を用いて h 上の非定値内積 $\langle \xi, \eta \rangle = (P\xi, \eta) - (Q\xi, \eta)$ で定義する。 $\{h, \langle, \rangle\}$ をミンコフスキー空間と呼ぶ。特に、 P 又は Q の次元が有限の時は、ポントリヤギン空間と呼ぶ。

内積の時と同様に非定値内積 $\langle, \rangle$ についても、作用素の随伴作用素を定義する。 A を h 上の閉作用素とする $D(A)$ の元 ξ に対して、 $\langle A\xi, \eta \rangle = \langle \xi, \eta^\# \rangle$ を満足する $\eta^\#$ が存在する時、 $A^\# \eta = \eta^\#$ と定義して、 $A^\#$ を A の $\#$ -随伴作用素という。内積の場合との対応で以下の作用素が定義される。

$$\begin{aligned} A : \# \text{-対称} & \iff A^\# \supset A \\ A : \# \text{-自己随伴} & \iff A^\# = A \\ A : \# \text{-等距離} & \iff \langle A\xi, A\eta \rangle = \langle \xi, \eta \rangle \\ A : \# \text{-ユニタリ} & \iff A \text{は} \# \text{-等距離で,} \\ & A^\# A = A A^\# = 1 \\ A : \# \text{-射影} & \iff A = A^\#, A = A^2 \end{aligned}$$

自己随伴作用素と $\#$ -自己随伴作用の固有値の有限次元の場合に考察する。自己随伴の場合は、固有値は実数であり互いに直交している。

A を $\#$ -自己随伴行列とする。 A をジョルダンの標準形に直すと、 $A = P A_1 P^{-1}$ となり A_1 は次の様に表わさ

れる。

$$A_1 = \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 1 & \lambda_1 \end{pmatrix} & & \\ & \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 1 & \lambda_1 \end{pmatrix} & \\ & & \begin{pmatrix} \lambda_n & 0 \\ 1 & \lambda_n \end{pmatrix} \end{pmatrix}$$

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ は A の固有値、 $(A-Z)^{-1} = PBP^{-1}$

$$B = \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{\lambda_1 - z} & 0 \\ -1 & \frac{1}{\lambda_1 - z} \end{pmatrix} & & \\ & \begin{pmatrix} \frac{1}{\lambda_n - z} & 0 \\ -1 & \frac{1}{\lambda_n - z} \end{pmatrix} \end{pmatrix}$$

λ を A の固有値、 C を λ を内部に含む閉曲線とした時

$$E(\lambda) = \frac{1}{2\pi i} \int_C \frac{dz}{Z-A}$$

$E(\lambda)$ は固有値 λ への射影である、

$$\langle E(\lambda)\xi, \eta \rangle = \frac{1}{2\pi i} \int_C \langle \frac{1}{Z-A}\xi, \eta \rangle dZ$$

$$= \frac{1}{2\pi i} \int_C \langle \xi, \frac{1}{\bar{Z}-A}\eta \rangle dZ = \langle \xi, E(\bar{\lambda})\eta \rangle$$

もしも、固有値 λ が実数ならば $E(\lambda)$ は $\#$ -射影である、 λ が複素数ならば上記の事より、 $E(\lambda)^\# = E(\bar{\lambda})$ であって、 A の固有値は、実軸に対称に表われる。この性質は一般のミンコフスキー空間で成立する。

2. 定 理

ストーンの定理に対応して次の定理を説明する。

$\{U(t)\}$ は一口径 $\#$ -ユニタリー群で次の性質を満たす。

- (1) $U(t+s) = U(t)U(s)$
- (2) $U(0) = I$
- (3) $s\text{-}\lim_{t \rightarrow 0} U(t)\xi = U(t_0)\xi$

ξ は h の任意の元。

この時

$$(*) A\eta = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{U(h)\eta - \eta}{h} \text{ で定義される。}$$

作用素 A は閉作用素であって次の性質を満たす。

- (1) iA は $\#$ -自己随伴作用素である。
- (2) $|n|$ が十分大きければ、 $(n-A)^{-1}$ は存在して有界であり、ノルムに関して

$$\|(n-A)^{-k}\| \leq \frac{M}{(n-\beta)^k} \quad (k=0, 1, 2, \dots \text{ を満たす})$$

但し、 M, β は n に無関係な定数である。

逆に閉作用素 A が、(1), (2) を満たすならば、一口径 $\#$ -ユニタリー群 $U(t)$ が存在して、(*) で A を定義することが出来る。

補題 1. U を $\#$ -ユニタリ作用素とする時、 U は有界である。

h はヒルベルト空間だから当然バナッハ空間である。従って U の有界性を示すには、 U が閉作用素であることを示せば、閉グラフ定理により U の有界性が導びかれる。

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \xi_n = 0, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} U\xi_n = \xi \text{ の仮定で、}$$

$\xi = 0$ を示せばよい。

$$\langle \xi, \eta \rangle = \lim \langle U\xi, \eta \rangle = \lim \langle \xi, U^*\eta \rangle = 0$$

η は h の元だから、 $\xi = 0$ よって U が閉作用素であることが示された。

$U(t)$ は有界な一口径群だから [1], § IV より、 $M > 0, \beta > 0$ で次の条件を満たすものが存在する。

$$\|U(t)\| \leq Me^{\beta|t|}$$

補題 2. (*) で定義される A の定義域が h で dense なること。

h の元 ξ に対して、 ξ のラプラス変換を ξ_n^L と書く。

$$\xi_n^L = \int_0^\infty e^{-nt} U(t)\xi dt$$

まず、 $s\text{-}\lim_{n \rightarrow \infty} \xi_n^L = \xi$ を示す。

条件(3)より $U(t)\xi$ は強連続より、任意の $\varepsilon > 0$ に対して $\delta > 0$ が存在して、

$$\|U(t)\xi - \xi\| < \frac{\varepsilon}{2} \quad |t| < \delta \text{ あれば}$$

を満たす。

$$\xi_n^L - \xi = n \int_0^\infty e^{-nt} U(t)\xi dt - \xi$$

$$= n \int_0^\infty e^{-nt} (U(t) - I)\xi dt$$

$$\|\xi_n^L - \xi\| \leq n \int_0^\infty e^{-nt} \| (U(t) - I)\xi \| dt$$

$$= n \left[\int_0^\infty dt - \int_\delta^\infty dt \right]$$

$$\int_0^\infty e^{-nt} \| (U(t) - I)\xi \| dt \leq \frac{\varepsilon}{2} \int_0^\infty e^{-nt} dt = \frac{\varepsilon}{2n}$$

$$\int_\delta^\infty e^{-nt} \| (U(t) - I)\xi \| dt \leq \int_\delta^\infty e^{-nt} [\|U(t)\| + 1] dt$$

$$\|\xi\| dt \leq \int_0^\infty e^{-nt} (Me^{\beta t} + 1) \|\xi\| dt$$

$$= \left[\frac{M}{n-\beta} e^{(\beta-n)\delta} + \frac{e^{-n\delta}}{n} \right] \|\xi\|$$

$$\|\xi_n^L - \xi\| \leq \left\{ \frac{\varepsilon}{2n} + \left(\frac{M}{n-\beta} e^{(\beta-n)\delta} + \frac{e^{-n\delta}}{n} \right) \|\xi\| \right\} n$$

$$s\text{-}\lim_{n \rightarrow \infty} \xi_n^L = \xi$$

$$U(h)\xi_n^L = n \int_0^\infty e^{-nt} U(t+h)\xi dt$$

$$= n \int_0^\infty e^{-n(t-h)} U(t)\xi dt$$

$$A\xi_n^L = n(\xi_n^L - \xi)$$

補題 3. 十分大きな $|m|$ に対して $(m-A)^{-1}$ が存在して、(2) を満たすこと。

$m > 0$ に対して示す、 $(m-A)\xi = 0$ なる ξ が存在すれば、 η を h の元として、 $f(t) = \langle U(t)\xi, \eta \rangle$ で $f(t)$ を定義すれば、 ξ の仮定により、 $f'(t) = \langle U(t)A\xi, \eta \rangle = m \langle U(t)\xi, \eta \rangle = mf(t)$
 $f(0) = \langle \xi, \eta \rangle$ より

$$f(t) = \langle \xi, \eta \rangle e^{mt} \dots\dots\dots(1)$$

$$|f(t)| = |\langle U(t)\xi, \eta \rangle| \leq Ce^{\beta|t|} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 C は ξ, η で定まり、 n は無関係な定数であり、
(1), (2)は矛盾する。よって、 $m > \beta$ ならば、 $(m-A)^{-1}$
は存在する。又、 $A\xi_n^L = m(\xi_n^L - \xi)$ より、 $(m-A)\xi_n^L$
= $m\xi$ だから、 $\xi_n^L = (m-A)^{-1} m\xi$ 。

$(m-A)^{-1}\xi = 1/m \xi_n^L$ より、 $(m-A)^{-k}\xi = 1/m^k \xi$
 ξ^k は ξ を k 回ラプラス変換した元である。

$$\begin{aligned} \|\xi^k\| &= m^k \int_0^\infty e^{-mt_1} \int_0^\infty e^{-mt_2} \cdots U(t_1 + \cdots + t_k) \xi dt_1 \cdots dt_k \\ &\leq m^k \int_0^\infty \cdots \int_0^\infty e^{-m(t_1 + \cdots + t_k)} \|U(t_1 + \cdots + t_k) \xi\| dt_1 \cdots dt_k \\ &\leq m^k \int_0^\infty \cdots \int_0^\infty e^{-m(t_1 + \cdots + t_k)} M e^{\beta(t_1 + \cdots + t_k)} \|\xi\| dt_1 \cdots dt_k \\ &= M m^k \left\{ \int_0^\infty e^{(-m+\beta)t} dt \right\} = M m^k / (m-\beta)^k \end{aligned}$$

よって、(2)が示された。特に両辺に m^k を掛けることに
より、

$$\left\| \left(1 - \frac{A}{m}\right)^k \right\| \leq \frac{M}{(1-\beta/m)^k}$$

$m < 0$ の時は、 ξ のラプラス変換を行う区間を負の無限
大から0まで行えば良いから同様の不等式が得られる。
最後に $A^\# = -A$ であることは、 $U(t)$ は $\#$ -ユニタリ
だから、 $\langle U(t)\xi, \eta \rangle = \langle \xi, U^\#(t)\eta \rangle = \langle \xi, U$
 $(-t)\eta \rangle$ $D(A)$ に属する元 ξ, η に対して、微分する
ことにより、 $\langle U(t)A\xi, \eta \rangle = \langle \xi, -U(-t)A\eta \rangle$
より、 $A^\# = -A$ であるが、 $|m|$ が十分大きければ、
 $(m-A)^{-1}$ は存在して、有界だから、

$$\left((m-A)^{-1}\right)^\# \supset \left((m+A)^{-1}\right), \quad (m+A)^{-1} \text{ は有界}$$

従って、 $\left((m-A)^{-1}\right)^\# = (m+A)^{-1}$ よって、

$A^\# = -A$ を示す事が出来る。

十分条件なること、

$J_n = (1 - A/n)^{-1}$ とおく時、 $\|J_n\| \leq M/(1 - \frac{\beta}{|n|})$
であるから、一様に有界である。まず、

$$s - \lim J_n \xi = \xi \quad \text{を示す。}$$

ξ が $D(A)$ の元であるなら、 $J_n(1 - A/n)\xi = \xi$
より、

$$J_n \xi - J_n \frac{1}{n} (A\xi) = \xi \quad \text{より示される。}$$

一般の元に対しては、 J_n の一様有界性より示される。

次に A を微分子とする一口径群を作るために、次のよ
うな一口径群の列を考える。

$$U_n(t) = \exp(tAJ_n) \quad \text{とする。}$$

$$U_n(t) = \exp\left[tn(J_n - I)\right] = \exp(-nt) \exp$$

$$(ntJ_n)$$

$$(2)の仮定により、\left\| \left(1 - \frac{A}{n}\right)^k \right\| \leq M \left[\frac{1}{1-\beta/n} \right]^k$$

$$\| \exp(ntJ_n) \| = \left\| \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} (ntJ_n)^k \right\|$$

$$\leq \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} (nt)^k \|J_n^k\| \leq M \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} \left[\frac{nt}{1-\beta/n} \right]^k$$

$$= M \exp\left(\frac{nt}{1-\beta/n}\right)$$

$$\|U_n(t)\| \leq M \exp\left(-nt + \frac{nt}{1-\beta/n}\right)$$

$$= M \exp\left(\frac{\beta t}{1-\beta/n}\right)$$

$U_n(t)$ は n に関して一様に有界である。

次に $U_n(t)$ が n に関して強収束することを示す。

$$\left[U_n(t) - U_n(t) \right] \xi = \int \frac{d}{ds} (U_n(s) U_n(t-s))$$

$$\xi dt$$

$$\frac{d}{ds} U_m(s) U_n(t-s) = (AJ_n - AJ_m) U_n(s) U_n$$

$$(t-s)$$

ξ が $D(A)$ の元ならば、

$$\frac{d}{ds} U_m(s) U_n(t-s) \xi = U_m(s) U_n(t-s) \left[J_n$$

$$- J_m \right] A\xi$$

最初に示した様に、 J_n は I に強収束する。各 $U_m(t)$
は n に関して有界であるから、 $U_m(t)$ は強収束する。
 h の元に対して、同様に $U_n(t)$ が一様であることから
示される。 $U_n(t)\xi$ の極限を $U(t)\xi$ で定義する。 $U(t)$
の一口径群であること、すなわち、 $U(0) = I$ $U(t+s)$
= $U(t)U(s)$ 等は、それぞれ定義と U_n の n に関する
一様有界性より導き出される。 $U(t)$ の強連続は、 $D(A)$
に属する ξ に対して、

$$(U_n(s) - U_n(s_0))\xi = \int_{s_0}^s \frac{d}{dt} U_n(t) \xi dt$$

$$= \int_{s_0}^s U_n(t) AJ_n \xi dt = \int_{s_0}^s U_n(t) J_n A\xi dt$$

$$\left\| (U_n(s) - U_n(s_0))\xi \right\| \leq \int_{s_0}^s \left\| U_n(t) J_n A\xi \right\| dt$$

$$\leq \int_{s_0}^s \left\| U_n(t) \right\| \left\| J_n A\xi \right\| dt \leq M \int_{s_0}^s e^{\beta t} \left\| J_n A\xi \right\| dt$$

$J_n A\xi$ は $A\xi$ に強収束するから n に関して有界, よって $U_n(s)\xi$ は n に一様に強連続であるから, $U(t)\xi$ も強連続である. h の元に対して, $U_n(t)$ の n に関するノルムの有界性と $D(A)$ が h 上で dense なる事により示される.

$U(t)$ が $\#$ -ユニタリであること.

$D(A)$ の元 ξ, η に対して, $f(t) = \langle U(t)\xi, \eta \rangle$ とおけば, $f(0) = \langle \xi, \eta \rangle$

$$\frac{d}{dt} f(t) = \langle U(t)A\xi, U(t)\eta \rangle + \langle U(t)\xi, U(t)A\eta \rangle$$

$$A\eta = \langle U(t)A\xi, U(t)\eta \rangle - \langle U(t)A\xi, U(t)\xi \rangle$$

$$\eta = 0$$

よって, $f(t)$ は一定で, $f(t) = \langle \xi, \eta \rangle$

$U(t)$ の微分が A に等しいことは, $D(A)$ の元 ξ に対して,

$$U_n(t)\xi = \int_0^t \frac{dU_n(t)}{dt} dt = \int_0^t U_n(t) J_n A\xi dt$$

$J_n A\xi$ は $A\xi$ に強収束し, $\|U_n(t)\| \leq M e^{\beta|t|}$ より

$$U(t)\xi = \int_0^t U(t)A\xi dt, \quad \frac{d}{dt} U(t)\xi = U(t)A\xi$$

$U(t)$ の微分可能な元 ξ と $D(A)$ の元 η を取る,

$f(t) = \langle U(t)\xi, \eta \rangle$ とする時,

$$\frac{d}{dt} f(t) = \langle \frac{dU(t)}{dt} \xi, \eta \rangle = \frac{d}{dt} \langle \xi, U(t)\eta \rangle$$

$$= \langle \xi, \frac{d}{dt} U(-t)\eta \rangle = \langle \xi, -U(-t)A\eta \rangle = \langle U(t)\xi, -A\eta \rangle$$

$$(t)\xi, -A\eta \rangle$$

$D(A)$ は h 上 dense だから, ξ は $D(A)$ に属し

$$\frac{d}{dt} U(t)\xi = A\xi$$

よって(1), (2)を満足する A が一口径群の微分となることが示された.

特にこの定理の応用として次の定理を考える.

$H = H_1 + iH_2$, H_1, H_2 は h 上の自己随伴作用素. H は $\#$ -自己随伴作用素とする. この時 iH は定理の(1), (2)の条件を満足する, iH はある $\#$ -ユニタリー一口径群の微分となる. 但し, H_2 は有界であるとする.

$$(I - \frac{i}{n}H) = (1 - \frac{i}{n}H_1) + \frac{H_2}{n} = (1 - \frac{i}{n}H_1) \left[1 + (1 - \frac{i}{n}H_1)^{-1} H_2 \right]$$

$$(I - \frac{i}{n}H)^{-1} = \left[1 + (1 - \frac{i}{n}H_1)^{-1} \frac{H_2}{n} \right]^{-1} (1 - \frac{i}{n}H_1)^{-1}$$

$$\left\| (1 - \frac{i}{n}H)^{-1} \right\| < 1, \quad \left\| (1 - \frac{i}{n}H_1)^{-1} \frac{H_2}{n} \right\| \leq \frac{\|H_2\|}{n}$$

$$\left\| \left[1 + (1 - \frac{i}{n}H_1)^{-1} \frac{H_2}{n} \right]^{-1} \right\|$$

$$\leq \frac{1}{1 + \left\| (1 - \frac{i}{n}H_1)^{-1} \frac{\|H_2\|}{n} \right\|}$$

$$\left\| (I - \frac{i}{n}H)^{-1} \right\| \leq \left\| \left[1 + (1 - \frac{i}{n}H_1)^{-1} \frac{H_2}{n} \right]^{-1} \right\|$$

$$\leq \frac{1}{1 - \frac{\|H_2\|}{2n}}$$

よって,

$$\left\| (I - \frac{i}{n}H)^{-k} \right\| \leq \frac{1}{\left(1 - \frac{\|H_2\|}{2n} \right)^k}$$

n を十分大きく取れば, (1), (2)の条件を満たすことが出来る.

定理, ポントリヤーギン空間 $(h, P, Q, \langle, \rangle)$ で Q の次元を有限次元とする時, h 上の $\#$ -自己随伴作用素は, $H = H_1 + iH_2$, H_1, H_2 は h 上の自己随伴作用素で, H_2 は有界に取ることが出来る. よって上に述べた事により, ポントリヤーギン空間上の任意の $\#$ -自己随伴作用素は, 一口径 $\#$ -ユニタリー群の微分となっている.

参考文献

- (1) K. Yosida
Functional Analysis, Springer.
- (2) K. Kato
Perturbation Theory, Springer.
- (3) M. A. NAIMARK
An Analogue of Stone's theorem in a space with an indefinite metric
Soviet Math DUKL
1966, No.5
- (4) 関数解析の諸問題 (科研費総合研究報告集)

The Human Relations in *Emma*

Shozo NAKANISHI

Jane Austen's novel *Emma* does not take to being grasped in its essence, that is, what it is all about at a first reading. We are likely to find a new aspect of it at each perusing.

This essay is an attempt to get at a deeper phase of it by studying the human relations in which the heroine places herself with her neighbors. In this novel one personal relation brings about another, and they make up a complicated network of human relationship. *Emma* is a story of how the heroine comes to find her identification through her encounters with various people.

I

Man's life essentially consists of encounters with other human beings. In her novel *Emma* Jane Austen has created a uniquely developed scheme of human encounters. It is generally said that her novels are the stories of a small world. But in *Emma*, for example, there are a lot of people living and meeting one another. It is impossible to explain and analyze every personal relation found in this novel in this short essay. Here the human relations the heroine Emma experiences will be taken up as an attempt to throw light on the core of the novel.

Emma is different from the author's other works in some important points. There is set in this novel a secret device which no other characters can suspect, let alone discover, before the person who has set it reveals it. The existence of the secret stipulates the inner logic of the development of the story by controlling the pattern and content of communication among people in the village Highbury. That is why *Emma* can be read as an intricate mystery.

In *Emma*, the author uses the heroine's eye to describe the story as she does in her other works. But there are inserted in the novel a few important chapters in which the heroine does not appear at all, or in which she is the subject talked about by other people. In Chapter 2, for example, the narrator herself tells the reader about Mr

Weston's personal history and his family situations. In Chapter 5, Mrs Weston and Mr Knightly exchange their opinions about the heroine. This chapter is planned to give the reader the prior knowledge of the heroine before the real drama begins. It would have been impossible to put such a chapter in the early part of *Pride and Prejudice*. In that novel there are no persons who can talk about the heroine Elizabeth Bennet so intelligently. Chapter 5, therefore, tells the reader about the people with whom the heroine lives as well as about her personality.

But as the story proceeds, the author sticks to the heroine's point of view. She uses Emma's eye rather exclusively to point up the way the heroine is and to heighten the suspense of the story. The exclusive use of it, however, distorts the reader's vision,⁽¹⁾ for the heroine's vision itself is distorted and her channels of information are limited.

The author has created several new types of characters such as Emma the heroine, Mr Knightly the hero, Jane Fairfax, Frank Churchill, Mr Woodhouse, and Miss Bates. Emma is a young woman of vigorous imagination who 'expends her energy in creating and maintaining her illusions.'⁽²⁾ Unlike the author's other male characters, Mr Knightly is a reliable gentleman who has deep perception and a 'downright, decided, commanding manner.' Emma says, "You might not see one in a hundred with *gentleman* so plain-

ly written as in Mr. Knightly.” (p. 33) Jane Fairfax stands against the heroine with the unpenetrable reserve that the author's other characters have never shown. Miss Bates, who is ‘one of the important mediums by which Jane (=the author) creates her Highbury community’⁽³⁾ has a unique ability of making conversational topics of little matters. She may be regarded as one of the precursors of the Dickensian type of characters.

The most remarkable difference is that much less space is allotted in *Emma* to the description of the relationship between heroine and hero, though it is certainly the author's another happy-ending love story. A great part of the novel is devoted to describing how the heroine experiences the outside world after her governess Miss Taylor marries Mr Weston. The clue to the core of this novel seems to lie in this fact.

II

The heroine Emma is introduced to the reader as:

Emma Woodhouse, handsome, clever, and rich, with a comfortable home and happy disposition, seemed to unite some of the best blessings of existence; and had lived nearly twenty-one years in the world with very little to distress or vex her. (p. 1)

Her characteristic personal trait is her way of using imagination. The trouble with her, some critics say, is that her judgment is seriously affected by her imagination. But her problem cannot be simplified that way. Imagination and judgment are not intrinsically opposed to each other. They are compatible with each other. Or rather they can cooperate. As for Emma, her preconceptions bias the way her imagination works, and distort her judgment. Her imagination works in such a way as to appeal to her preconceptions.

Her preconceptions come from her overconfidence and her class consciousness. She is full of self-confidence because she is beautiful and intelligent as well as rich. Her class feelings are

clearly seen in the way she leads Harriet Smith, her reaction to Mr Elton's offer of marriage to her, her regards for the Coles, and her reference to Frank Churchill's indifference to a confusion of rank.

At the beginning of the story we see Emma thinking disconsolately about how she and her father should lead their Hartfield life. Miss Taylor, who has lived in their family as her governess since her mother died in her childhood, has got married to Mr Weston and left Hartfield. Emma has lost her ‘friend and companion such as few possessed, intelligent, well-informed, useful, gentle, knowing all the ways of the family, interested in all its concerns and peculiarly interested in herself...’ (p. 6)

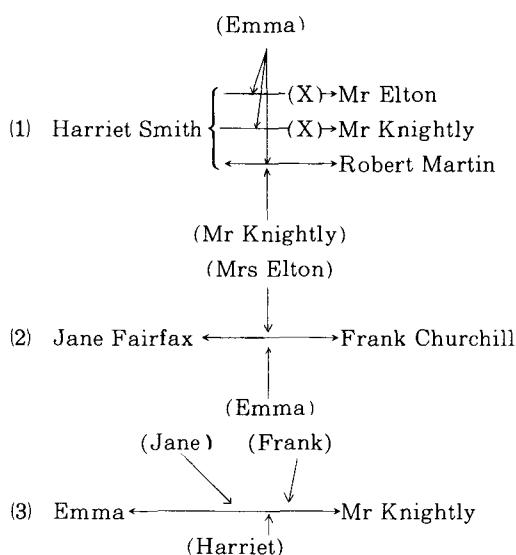
Emma has never missed anything in her life. She has enjoyed a happy family life in which her way of ‘having too much her own way’ and her ‘disposition to think too well of herself’ have caused no real trouble at all. In other words, she has never had any chance of behaving in the form of taking her own responsibilities. Now she faces the objective world for the first time in her life. She is first of all ‘in great danger of suffering from intellectual solitude. She dearly loved her father, but he was no companion for her.’ (p. 7)

The governess's marriage has brought about a great change in Hartfield life. The Woodhouses are reported to abhor changes. Their life is so stable and comfortable that they are naturally very conservative. Mr Woodhouse, in particular, raises objections, rather comically, to any change in life. Emma, however, takes a different view of her governess's marriage. Though Emma misses her awfully, she has got a sense of achievement out of it. She is convinced that it is she that has arranged their marriage, though Mr Knightly flatly denies her the credit, arguing, “‘Why do you talk of success? Where is your merit? What are you proud of?— You made a lucky guess; and that is all that can be said.’” (p. 13) As is seen from their talk, Emma is greatly interested in making a match for other people. She retorts to Mr Knightly by declaring that she will find a

wife for Mr Elton, Vicar of Highbury.

It is true that Emma has a strong interest in match-making, and such attitude of hers is analyzed and interpreted as a symptom of her desire of 'gaining experience by proxy.'⁽⁴⁾ But it should be taken as the expression of her readiness to take part in social life herself. As for her intervention in Harriet Smith, it is doubtful whether making a match between Harriet and Mr Elton will have any validity as vicarious experience for Emma who has an intense class awareness. Further, Emma is very active herself and is full of youthful vitality. We must also remember that her officiousness is quite different from Mrs Elton's.

Miss Taylor's marriage is one of the most important moments in Emma's life. It has given a cue to begin a new life in the outside world to Emma who has been self-satisfied in her home circle in which she has been free to think and behave without being checked by anyone except Mr Knightly. Highbury life begins to take a new turn, too. New comers join it and more social occasions take place. The story of *Emma* develops around three female characters' match-makings. Emma is concerned in every match-making intentionally or unintentionally. In the following chart the person in parentheses gives positive or negative influences on the match-making. (X) shows that the match-making is unsuccessful.



III

Emma's new life begins with an encounter with Harriet Smith. She is a natural daughter of somebody. She is a student staying at Mrs Goddard's school. Mrs Goddard introduces her into Hartfield. Emma thinks 'that she(=Harriet) must have good sense and deserve encouragement,' and that though she is a natural daughter, she is above 'inferior society of Highbury and its connections.'

Emma begins to lead Harriet by inducing her to decline the marriage proposal from Robert Martin. She thinks that it will sink Harriet forever to accept the proposal. She puts it in an extremely unfavorable light, citing every reason she can think of, such as Mr Martin's plain appearance, his entire want of gentility, his station in life as a farmer. Emma threatens Harriet by saying that she would not see her any more if she married Mr Martin. Emma goes on inculcating the idea into Harriet that 'There can be no doubt of your being a gentleman's daughter and you must support your claim to that station by every thing within your power, or there will be plenty of people who would take the pleasure in degrading you.' (p.30) Emma is to reap the result of her education of Harriet in the latter part of the story.

The root reason that Emma has forced Harriet to refuse the proposal from Mr Martin is that Emma has chosen her for Mr Elton's fiancée. She has hit on the idea of making a match between Harriet and Mr Elton during the very first evening of Harriet's coming to Hartfield. Once she has got an idea, she never stops to check the realizability of her plan. She does not wonder what the people concerned will think about her plan. She is interested in her performance as an agent of match-making. To be more exact, Emma tries to convince herself that Mr Elton and Harriet are attracted by each other on the basis of such facts as Mr Elton's deep interest in the portrait of Harriet painted by Emma, or their standing by themselves by the window wrapped up in a very friendly atmosphere.

But the real fact is that his strong interest in the portrait is the expression of his love for Emma. She is far from suspecting him of such feelings. To her astonishment and resentment, Mr Elton proposes not to Harriet but to Emma herself. She naturally refuses him, because she thinks that though Mr Elton is a gentleman himself, he does not come from 'any family that could fairly object to the doubtful birth of Harriet.' It is out of the question for a lady in Emma's station in life to accept the proposal from him. Mr Elton should have known that 'in fortune and consequence she was greatly his superior.' Emma shows her class feelings decisively in her reaction to his offer.

In the course of the Harriet-Mr Elton affair, the narrator sticks to Emma's point of view to describe it, and does not put in her own comment. Only Mr Knightly points out to Emma the discrepancy between her imaginary world and the real one. She could have availed herself of his suggestions, but she persists in seeing the outside world with her own monocle. Her imagination does not work in such a way as to widen her vision, and her judgment is hampered by her preconceptions. In other words, what she thinks people and things are has the ultimate priority in her mind.

Emma reflects, however, on her unsuccessful attempt for the match-making, and criticizes herself:

It was foolish, it was wrong, to take so active a part in bringing any two people together. It was adventuring too far, assuming too much, making light of what ought to be serious, a trick of what ought to be simple. She was quite concerned and ashamed, and resolved to do such things no more. (pp. 136-137)

But in spite of her severe self-criticism it cannot be said that she has had any valid experience of the objective world through her intervention in their affair. She still lives in an extended part of the world in which the way she is is never checked or challenged.

The Harriet episode does not end with Emma's failure in match-making. The failure brings about

much more consequences than the success would have done. Mr Elton, who has been spurned by Emma, brings back Miss Hawkins as his wife into Highbury. Mrs Elton begins her social life in high spirits there and becomes one of the female characters who stand against Emma the queen of Highbury society. Emma and Harriet continue the relationship of leader and follower until the climax of the novel, when Harriet the disciple comes up before her as her equal.

IV

There is no character in the novel who is so much talked about before he appears on the stage as Frank Churchill. The reader gets the first report of him from the narrator.

Frank Churchill is the son of Mr West and his first wife. He was adopted by his rich maternal uncle and aunt, the Churchills of Enscombs because of his mother's early death. Mr West sees his son in London once a year. His father talks of him so proudly and affectionately in his village that people there are also proud of him, and 'his merit and prospect' has become 'a kind of common concern' in the village.

Now on his father's marriage, Frank Churchill sends his new mother a 'handsome' letter of congratulation saying that he will visit Randalls to pay respect to his new mother. Mrs West his new mother is deeply moved by his 'pleasing attention' and convinced of his 'good sense.' She forms such a favorable image of her son-in-law that she goes so far as to imagine making a match between Emma and her son-in-law.

As for Emma, she also has a strong interest in him and looks forward to seeing him. The narrator tells the reader how she feels about him:

Now, it so happened that in spite of Emma's resolution of never marrying, here was something in the name, in the idea of Mr. Frank Churchill, which always interested her. She had frequently thought—that if she *were* to marry, he was the very person to suit her in age, character and condition. He seemed... to belong to her. She could not but suppose

it to be a match that everybody who knew them must think of. (pp. 118-119)

The second report of him is presented as Highbury people's reaction to the sudden change of Frank's schedule. He has suddenly altered his plan of visiting Randalls for the reason that he cannot be spared by his family in Enscombe. People in Highbury are quite disappointed, for the day of his arrival would have been 'the gala-day to Highbury entire.'

Mrs Weston is naturally 'exceedingly disappointed.' Mr Weston, who is rather 'an easy, cheerful tempered man,' easily reasons himself into believing that it would be better for Frank to come a few months later because of the season. But there is one person who sees Frank's change of mind in severe light. He is Mr Knightly. He criticizes him for egoism and waywardness. He cannot imagine that Frank 'who is twenty-three or four, has not the power of coming if he made a point of it.' Further, he points out a surprising fact that Frank is a playboy who has enough money and leisure to enjoy himself as freely as he likes 'at the idlest haunts in the kingdom.' He gives Emma a downright warning that her own good sense 'could not endure such a puppy when it came to the point.'

Emma, who has been looking forward to seeing him 'with great curiosity to see him, a decided intention of finding him pleasant, of being liked by him to a certain degree, and a sort of pleasure in the idea of their being coupled in their friends' imagination,' takes a rather detached attitude.

V

Finally Frank Churchill 'so long talked of, so high in interest' arrives in Highbury. He is not contented with meeting his new mother nor with having a rendezvous with his secret fiancée. He gets on in Highbury society actively. He visits both the Woodhouses and the Bates on the day of his arrival.

Emma's first impression of him is that 'She did not think too much had been said in his praise,' and that everything about him is 'unexcep-

tionable.' She has an unconditional high opinion of him, and 'felt...that she should like him; and there was a well-bred ease of manner, and a readiness to talk, which convinced her that he came intending to be acquainted with her, and that acquainted they soon must be.' (p.190)

The way Emma and Frank associate with each other is described through Emma's eye. She behaves in the same way while meeting Frank as she did in her interference in the Harriet-Mr Elton affair, in which she made up such images as appealed to her fancy using facts she had picked up arbitrarily from the outside world. As for Frank, too, she is engaged in making up a fanciful image of him. On the second meeting, after enjoying walking with him, she feels 'herself so well acquainted with him, that she could hardly believe it to be only on their second meeting. He was not exactly what she had expected;... better than she had expected.' (p. 203) She judges that 'he had a very amiable inclination to settle early in life, and to marry....' In Emma's eyes, Frank is, if not really in love with her, at least near it. She believes that he is stopped at that stage by 'her own indifference', and that he is marked out for her by all their acquaintances!

On the third day Frank unexpectedly leaves for London, leaving his acquaintances puzzled by his 'sudden freak'. The narrator tells the reader nonchalantly that Frank has 'no more important view that appeared than having his hair cut.' In Emma's opinion, his freak

did not accord with the rationality of plan, the moderation in expense, or even the unselfish warmth of heart which she had believed herself to discern in him yesterday. Vanity, extravagance, love of change, restlessness of temper,...; heedlessness as to the pleasure of his father and Mrs. Weston, indifference as to how his conduct might appear in general; he became liable to all these charges. (p. 205)

But his freak is excused after all as one of the little whims which Mrs Weston says 'all young people would have.' Only Mr Knightly does not tolerate him so easily. He believes that Frank is 'a trifling, silly fellow.'

Emma regards Frank as an excellent young man in spite of her criticism of his 'sudden freak', and she believes that he has visited Highbury to get acquainted with her. Mr Knightly, on the other hand, will not change his opinion that Frank is a silly playboy who is not worth bothering about. There are two quite contradictory images of Frank presented before the reader, and the author does not endorse either of the two images.

VI

It is very easy for Frank to get along with Emma, for she, who believes that 'his manner has no air of study or exaggeration,' has made up a very favorable image of him before they know each other well. At the party held at the Coles, Frank leads her as he likes. Before the party she enjoys a prospect 'of judging...of the meaning of his manners towards herself;...and of fancying what the observations of all those might be, who were now seeing them together for the first time.' (p. 212)

But all she can do at the party is to be in tune with Frank. He approaches her 'with a cheerful eagerness which marked her as his peculiar object, and at dinner she found him seated by her—and, as she firmly believed, not without some dexterity on his side.' (p. 214)

One of the topics at the table is the mystery of the piano which has been sent to Jane Fairfax. Nobody knows who has sent it. Emma catches Frank smiling to hear the mystery discussed, and asks why he smiles. Frank parries her question by challenging her to solve the mystery. Emma, who is flatteringly encouraged by him, tells him a scandalous story which she has made up about Jane Fairfax as her answer to the piano mystery. He lets her talk as she likes, assuring her that "Indeed you injure me if you suppose me unconvinced. Your reasonings carry my judgment along with them entirely." Frank, who is the real sender of the piano, enjoys telling the secret truth that the piano is 'an offering of love.' Frank is an adroit manipulator of language who tells his own truths under the guise of talking of

another person's affairs.

Even after the dinner, he does not leave Emma's side. When the dance begins, he, 'coming up with most becoming gallantry to Emma,' secures her hand, and leads her up to the top, before his secret fiancée Jane Fairfax.

The party at the Coles motivates Frank to plan another one. Emma is also interested in planning the party, because she 'had inclination enough for showing people again how delightfully Mr. Frank Churchill and Miss Woodhouse danced, for doing that which she need not blush to compare herself with Jane Fairfax.' Frank Churchill behaves as if he were planning the party in honor of Emma by asking her for her hand for the two first dances of their projected ball.

But the party is postponed, because Frank has to leave Highbury because of his aunt's sudden illness. Emma can do nothing but lament and exclaim.

The loss of the ball—the loss of the young man—and all that the young man might be feeling!—It was too wretched!—Such a delightful evening as it would have been!—Every body so happy! and she and her partner the happiest! (p. 259)

Before he leaves Highbury, Frank visits Emma to spend all the rest of his time at Hartfield. He declares that "My regard for Hartfield is most warm." Emma believes that 'He was more in love with her than Emma had supposed.' She is convinced also that she too 'must be a little in love with him in spite of every previous determination against it.'

After Frank has left Hartfield, Emma is lost in thought about what Frank and she are to each other, and what they should be to each other.

VII

At the beginning of the story Emma fabricated a fanciful human situation in which she caused her protégée Harriet to try to have an unsuccessful love affair with a gentleman who had never thought of her in the course of his life. This time she has made a fanciful story of love affair for

herself. There was no other promoter in the Harriet-Mr Elton affair than Emma, but there are conspirators in the Emma-Frank episode. They encourage Emma to amplify her imaginative mood. They are Mr and Mrs Weston.

Before Frank arrives in Highbury, Mr Knightly is afraid that Frank's letter of excuse for changing the plan of his first visit to Randalls will not satisfy Mrs Weston. In his opinion, it 'hardly can satisfy a woman of her good sense and quick feelings: standing in a mother's place, but without a mother's affection to blind her.' When he arrives there, however, Mrs Weston is as happy to see him as her husband. Both of them think of making a match between Emma and their son. They express their feelings in their attitudes.

While Emma and Frank are talking together, for example, Mr Weston looks at them in such a way as to assure Emma 'of what Mr. Weston was often thinking about. His quick eye she detected again and again glancing towards them with a happy expression; and even, when he might have determined not to look, she was confident that he was often listening.' (pp. 192-193) Mr Weston tries to make Emma understand that 'Frank admired her' extremely. Mrs Weston supports her husband's idea. Mrs Weston Emma's ex-governess, who is as fanciful as her pupil, does not play the part of the guide for her. Mr Knightly, on the other hand, testifies that 'Emma was his (= Frank's) object. Everything declared it; his own attentions, his father's hints, his mother-in-law's guarded silence; it was all in unison; words, conduct, discretion, and indiscretion told the same story.' (p. 343) Mr Knightly is really convinced that Emma and Frank are in love with each other.

Now Emma faces the new situation in which Frank seems to be in love with her. She has been taking delight in interpreting his words, attitudes, behaviors in such a way as to substantiate her supposition that Frank may be in love with her. He has been really paying exclusive attention to her. But he has not said anything definite to commit himself in relation with her before. They have been, as it were, in an amor-

phous relation, to which Emma has been enjoying giving her own meanings. She has been experiencing their relations that way.

The imaginary situations which she has been making up have come to have a new meaning. Frank's last words have made Emma come to herself with a start. She realizes that she cannot go on with their idle love affair that way. She has been trying to persuade herself into feeling more than she does. She knows that she cannot feel more than she does. Frank's feelings are certainly warm, but she suspects that they are rather changeable. She does not believe his 'steadiness and constancy.' She doubts that Frank is necessary to her happiness. She decides to take a detached attitude to him, though he continues his amorous approach to her.

Emma summarizes her adventure with him as one of the cases that 'they say everybody is in love once in their lives.' But she has got more valuable experience of the outside world from her love affair with Frank than her summing-up implies. The main reason why she has decided to put an end to their love affair is that she cannot leave her father. But there is a much more important reason for the change of her attitude, which she herself is to find later.

VII

Jane Fairfax is one of the most important characters in relation both to the heroine Emma and to the plot of the novel. While Frank Churchill is a sponge which absorbs everything that Emma expresses in both spoken and silent languages, Jane is a wall which repels it. Emma cannot have any real communication with either of them. Jane is the only person who refuses to communicate with Emma. Emma experiences the otherness of other people for the first time in her life in meeting Jane.

Jane Fairfax is an orphan, the only child of Mrs Bates's youngest daughter. She had 'an excellent education. Living constantly with right-minded and well-informed people, her heart and understanding had received every advantage of

discipline and culture.' (p. 164) She is as old as Emma. She is now staying with her grandmother before seeking work.

It was unfortunate for Jane to be introduced to Hartfield by Miss Bates. Emma has a strong prejudice against Miss Bates. Miss Bates is a great talker and bores her neighbors with her long story of Jane. Emma cannot endure her talkativeness and projects her prejudice upon Jane.

It is a puzzling question why Emma does not like Jane. According to Mr Knightly, 'it was because she saw in her (=Jane) the really accomplished young woman, which she wanted to be thought herself.' Emma's own reason is that 'there was such coldness and reserve (about Jane)—and then, her aunt was such a talker!' Though Emma admires her graceful figure, she does not approve her attitude. In Emma's eyes, 'She was ...so cold, so cautious! There was no getting at her real opinion. Wrapt up in a cloak of politeness, she seemed determined to hazard nothing. She was disgustingly, was suspiciously reserved.' (p. 169) Her secret fiancé Frank himself, while they are talking about Jane, tells Emma that "I never could attach myself to any one so completely reserved." As Emma points out, Jane is reserved and never softens her attitude towards Emma.

Jane Fairfax, who looks firmly uncompromising in Emma's eyes, amazes her by accepting 'such society and friendship as the Vicarage (= Mr and Mrs Elton) had to offer.' Jane is 'a riddle' to Emma. She cannot understand why Jane can endure 'the mortifications of Mrs. Elton's notice and the penury of her conversation.'

Jane is, as Emma says, a riddle, of which the solution is absolutely beyond her reasoning. Jane is entangled tightly in the plot of the novel. She is not allowed to explain herself. Only Mr Knightly tries to defend her by his explanations 'that Miss Fairfax awes Mrs. Elton by her superiority both of mind and manner; and that face to face Mrs. Elton treats her with all the respect which she has a claim to. Such a woman as Jane Fairfax probably never fell in Mrs. Elton's way before—and no degree of vanity can prevent her acknowledging her own comparative littleness in

action, if not in consciousness.'" (pp. 286–287)

Emma's imagination and penetration do not work in any way in relation to Jane Fairfax.

All Jane can do in the story is to maintain her reserved attitude, but Frank develops new relations with another girl. He goes so far as to say before his fiancée:

"Well, I have so little confidence in my own judgement, that whenever I marry, I hope somebody will choose my wife for me. Will you? (turning to Emma.) Will you choose a wife for me?—I am sure I should like any body fixed on by you...." (p. 373)

Jane cannot understand her fiancé, and decides to change her mind. She accepts the offer of work as a governess from Mrs Elton. Her acceptance of the offer makes Frank put an end to his noncommittal attitude.

IX

Emma has experienced a few important turning points in her life. Now she is going to have another one. Harriet Smith Emma's protégée confounds her with her confession that she loves Mr Knightly.

After Emma has decided to associate with Frank only as a friend, she begins to think of making a match between Harriet and Frank. Emma is as fanciful as ever even after her failure in the Harriet-Mr Elton affair. In this case, however, she has got the idea from the gipsy incident in which Frank has saved Harriet.

To Emma's great surprise, Harriet declares that she does not care about Frank Churchill in the least, and that she knows better than to care for Mr Martin. Further she shocks Emma by confessing her affection for Mr Knightly. She talks with deep emotion about the kindness which Mr Knightly showed in asking her to dance at the party, when Mr Elton would not stand up with her. She assures Emma that she is not what she used to be thanks to Emma's instruction and encouragement, and that she will deserve Mr Knightly. She is convinced that Mr Knightly is returning her affection to her.

Emma has been 'at pains to give Harriet notions of self-consequence.' She has taught her 'that she was to elevate herself if possible, and that her claims were great to a high worldly establishment.' She is now forced to stand before an unavoidable option as a result of her uncalled-for efforts. Harriet's confession reminds Emma of what she is in danger of losing:

Till now that she was threatened with its loss, Emma had never known how much of her happiness depended on being *first* with Mr. Knightly, first in interest and affection. —Satisfied that it was so, and feeling it her due, she had enjoyed it without reflection; and only in the dread of being supplanted, found how inexpressibly important it had been. (p. 415)

The author has created Lady Catherine in *Pride and Prejudice* and has made her accelerate the development of the story. The reader is amused by her arrogant way of managing other people. In *Emma* she uses a powerless young woman to put an antithesis of love before the heroine. Emma is really dismayed by Harriet's confession. But she thinks of a possible match-making between Harriet and Mr Knightly only in terms of their social ranks and of her own future. She does not think of Harriet's feelings at all. Harriet's egocentric boss Emma only hopes that Harriet will be disappointed in her love to Mr Knightly, and tells her not to come to Hartfield for some time.

X

There is not such emotional entanglement between Emma and Mr Knightly as Elizabeth and Darcy have to get over in *Pride and Prejudice*. Instead they are placed in a situation which may be defined as moratorium. Their situation has been caused by their comfortable and stable life, their age difference, and lack of organized social activities in their village.

Her governess's marriage, however, sets Emma initiating herself into the adult world. Emma experiences her initiation through associating with Harriet Smith, Frank Churchill, Jane Fairfax,

and so on under the guidance of Mr Knightly. Mr Knightly is the only person who can be severe to her and whom she can obey. Mr Knightly is a mirror in which Emma can see herself.

Mr Knightly has been assigned two functions to perform in the novel. He has to serve firstly as the medium through which the author communicates with the reader, and secondly as Emma's lover. He discharges his first function by taking the part of the adviser and commentator to Emma. He tells the reader how far her recognition of the outside world is off the mark through his talk with her. In the first half of the story, however, he is chiefly engaged in his first role, so that he looks like an outsider to Emma's world in spite of his affectionate interest in her. In the latter half, he behaves more actively as her lover, and the author also changes her way of treating him.

It has taken Mr Knightly rather long to slip out of his prolonged adolescence. It is partly because of his personality which we know from his attitude to social gatherings, but more because of the conditions of his life. As Emma changes, Mr Knightly also begins to change. It may seem that he has been stirred up by his jealousy of Frank. But to do him justice, he learns to see Emma in a new light by watching her associating with people from the outside world. He finds in Emma an adult young woman to whom he can make an offer of marriage. He has known Emma too long and too well.

Finally Emma and Mr Knightly are married happily. Emma has broken out of her old shell, and that without being hurt herself. It has been fortunate for her that all the people in her world 'are good at heart.'⁽⁵⁾ Emma has really learned a lot, but she has still more to learn and unlearn.

Notes

The page numbers in parentheses in the essay refer to the pages of *the Novels of Jane Austen IV Emma*, ed. R. W. Chapman, (Oxford, 1952)

1. R. W. Chapman, *Jane Austen: Facts and Problems* (Oxford, 1948), p. 204.
2. John Odmark, *An Understanding of Jane*

Austen's Novels (Oxford, 1981), p. 26.

3. F. B. Pinion, *A Jane Austen Companion* (Macmillan, 1979), p. 121.
4. P. J. M. Scott, *Jane Austen: A Reassessment* (London, 1982), p. 64.
5. F. B. Pinion, op. cit., p. 116.

Bibliography

The works which are not referred to in the

text are given here:

1. Marilyn Butler, *Jane Austen and the War of Ideas*, (Oxford, 1975).
2. David Monaghan, *Jane Austen: Structure and Social Vision*, (Macmillan, 1980).
3. Marvin Mudric, *Jane Austen: Irony as Defense and Discovery*, (Princeton, 1952).
4. Stuart M. Tave, *Some Words of Jane Austen*, (Chicago, 1973).

Non-Finite Verbs in the Stonor Collection

— Gerund —

Kiyokazu MIZOBATA

The gerund was originally a verbal noun ending in *-ing* or *-ung*, but in the course of time it has come to acquire certain verbal qualities: now it can take an accusative or a dative, and also a nominative, not a genitive, as the sense subject; it can be qualified by an adverb; it can be used in such compound forms as passive and perfect.

In this paper all the *-ing* forms in the Stonor collection which are defined in the *OED* as verbal substantive are divided into three classes (Nominal Gerund, Mixed Gerund and Verbal Gerund) according to their development and analysed in terms of syntactic characteristics in order to see the behaviour of the gerund in the Stonor collection.

I. Introduction

The Stonor collection is the nearest rival of the Paston collection in its amount and date,¹⁾ but there is a significant difference between the two: the Paston collection consists of letters exchanged between members of a family, whereas the Stonor collection comprises correspondences sent to the family by a variety of people — more than one hundred writers — say, magnates, countrysquires, clerics, merchants, etc. Because of a wide range of writers, the Stonor collection may be taken to be a more faithful reflection of the colloquial English in the late ME period. Therefore we can expect that the Stonor collection will provide us with important linguistic data. The purpose of this paper is, from a syntactic viewpoint, to delineate the uses of the gerund in the Stonor collection in as much detail and with as many illustrations as possible.

II. Nominal Gerund, Mixed Gerund and Verbal Gerund

The gerund was originally a verbal noun end-

ing in *-ing* or *-ung*, but in the course of time it has come to acquire certain verbal qualities: now it can take an accusative or a dative, and also a nominative as the sense subject; it can be qualified by an adverb; it can be used in such compound forms as passive and perfect.

In the Stonor collection we have focused our attention on all the *-ing* forms which are defined in the *OED* as verbal substantive and divided them into three classes according to their development: 'Nominal Gerund', 'Mixed Gerund' and 'Verbal Gerund'.

1. Nominal Gerund

This class of the gerund is a verbal noun in *-ing* in an undeveloped stage and has the following nominal qualities:

- (1) it can form a plural.
- (2) it can be used with a definite or indefinite article.
- (3) it can take an adjective or adjective modifier.
- (4) it can have a genitive.
- (5) it can enter into compounds.

2. Mixed Gerund

This class of the gerund which belongs to a transitional stage in the development of the

gerund has certain nominal and verbal qualities at once.

3. Verbal Gerund

The Verbal Gerund is in the stage where the verbal rection is fully established and can be distinctly separated from the Nominal Gerund: it can not only take a subject in the nominative and an object without any preposition, but also be qualified by an adverb.

III. Syntactic Characteristics

In this chapter we analyse each class of the gerunds in terms of syntactic characteristics. The gerund of the present-day English can be used as a subject or a complement in a sentence, and as the object of a verb as well as of a preposition. But the gerund was not endowed with all these functions in the early stage. It has gained them in the process of its development. The following table shows the distribution of the gerunds in terms of their function within a sentence.

2)

Class		Nominal G.	Mixed G.	Verbal G.	Total
Function					
as subject		20	1	0	21
as subjective complement		4	0	0	4
as object		47	5	0	52
as objective complement		1	0	0	1
as object of preposition	in	94	11	3	108
	at	38	8	0	46
	of	37	3	0	40
	for	30	22	1	53
	by	14	1	0	15
	with	11	2	0	13
	others	35	3	2	40
Total (%)		331 (84.2%)	56 (14.3%)	6 (1.5%)	393

On the basis of this table, we describe the syntactic characteristics of Nominal, Mixed and Verbal Gerunds with illustrations.

1. Nominal Gerund

1.1 As subject

A. (In) Definite Article + (Adj.) + Ving +

$\left\{ \begin{array}{l} \phi \quad (3)^3 \\ \text{of NP (Noun Phrase)} \quad (1) \end{array} \right.$

ϕ : 60/9⁴⁾ what the wrytynge is I wot not as yet: ...
91/3 and the there was a sone wytyng: ...
230/5.

Of NP : 46/12 to wyche endenturys lakketh þe selyng of my uncle Belknap, ...

B. Adj. + Ving (1)

175/16 lytell gettyng suld be therin.

C. Pronominal Adj. + (Adj.) + Ving (6)

This : 110/15 þis wrytyng may recomaund me and my wyfe...

162/22 this powre wrytynge may have me lowly recomended...

96/17 ; 115/12; 212/12.

These : 227/1 Thise ensuyng bene the parcelles...

D. Genitive + Ving + $\left\{ \begin{array}{l} \phi \quad (8) \\ \text{Modifier (except the of-phrase)} \quad (1) \end{array} \right.$

ϕ : 87/22 whether my wrytyng be come to hym or no, ...

208/7 ; 219/ 21; 251/28; etc.

Modifier : 106/8 your abyddyng at home be no nodyrwyse þan yt ys, ...

1.2 As subjective complement

A. (In) Definite Article + Ving $\left\{ \begin{array}{l} \phi \quad (1) \\ \text{of NP} \quad (1) \end{array} \right.$

ϕ : 282/24 hit shalbe...to me and myn a making for ever.

Of NP : 294/5 My husbonde be the mevyng, procuryng, and struyng of my lady hys modyr, ...

B. Adv. + Adj. + Ving (1)

113/12 which as your maystership knoweth well was right shorte warnyng, ...

C. Genitive + Ving (1)

177/8 hit shalbe my feeyng, and non odir.

1.3 As object of verb

A. (In) Definite Article + (Adj.) + Ving +

$\left\{ \begin{array}{l} \phi \quad (2) \\ \text{of NP} \quad (4) \\ \text{Modifier} \quad (6) \end{array} \right.$

ϕ : 218/34 ye shall make with Godes helpe a worshipfull endyng...

231/10 havyng fro your maistershep a writeyng...

Of NP : 217/48 ye wryte me the curtesse del-
ynge off my mayster...

284/22 for my servant which had the
gedinge of my shoppe is fro
me,...

262/12 ; 303/12.

Modifier :

166/31 I send you the blissyng pat our
Lady gaveffe hir dere sonne,...

312/11 and ye for to have þe delyng betwyx
W. Walche and hym.

172/19 ; 175/19 ; etc.

B. (Adj.) + Ving + $\begin{cases} \phi & (13) \\ \text{of Pronoun} & (1) \\ \text{Modifier} & (4) \end{cases}$

ϕ : 69/10 it must have wytty gydyng,...

126/29 ye pray you that 3e sende wrytyng
by him...

162/17 ; 165/2 ; 165/17 ; etc.

Of Pronoun :

298/14 as ye may have larger undyrstondyng
of thys...

Modifier :

120/12 my housbond or I may have wrytyng
fro þe quene with her awn hand,...

181/2 I sent yow not long ago by my chap-
lan wrytyng in þe wyche I desyrede
youe...

116/13 ; 199/6.

C. Pronominal Adj. + (Genitive) + Ving (5)

Some : 167/17 he shall nate have some wryt-
yng ffro you.

This : 181/24 I pray yow remembre þis my
wrytyng...

No : 170/9 as ffore my son Betson I have no
wrytyng...

173/17 ; 185/19.

D. Genitive + (Adj.) + Ving + $\begin{cases} \phi & (9) \\ \text{Modifier} & (3) \end{cases}$

ϕ : 97/1 I sende yow Goddes blessing and
myne.

158/1 ; 177/6 ; 217/43 ; etc.

Modifier :

106/7 I beseke yow to aschusyt and to con-
tend your litylle abyddyng at home,...

132/6 ; 166/13.

1.4 As objective complement

Only one instance is found in a relative clause.

Adj. + Ving :

241/13 which he thynketh onkynde delyng.

1.5 As object of preposition

The majority of instances are as objects of
six prepositions : *in*, *at*, *of*, *for*, *by* and *with*.
We shall describe the instances preceded by
these six prepositions in order of frequency.

1) In

A. Definite Article + Ving + $\begin{cases} \phi & (1) \\ \text{of NP} & (4) \end{cases}$

ϕ : 281/6 he cowde persayve in the begynnyng:...

Of NP : 75/18 I beche yow of yowre gode coss-
yne hode yn þe performyng off
my husbondes dessyr &c.

249/20 ; 271/2 ; 291/2.

B. (Adj.) + Ving + $\begin{cases} \phi & (29) \\ \text{Modifier} & (1) \end{cases}$

ϕ : 62/21 Yschall yn wrytyng send unto Yn-
gram,...

64/38 ; 68/15 ; 75/12 ; etc.

Modifier :

124/7 in brekyng with my seid Mastres:...

C. Pronominal Adj. + (Genitive) + Ving (2)

That : 79/19 for lak of that doying hyt is to
my grete hurt and damage &c.

All : 144/12 I pray God be with yow in all
your doyinges.

D. Genitive + (Adj.) + Ving + $\begin{cases} \phi & (55) \\ \text{Modifier} & (2) \end{cases}$

ϕ : 46/20 the holy gost have yow in hys kepyng.

110/20 in hys most mercyful kepyng.

53/12 ; 57/6 ; 118/14 ; etc.

Modifier :

298/14 yn yowr next comyng unto the contre:...

113/5.

2) At

A. Definite Article + Ving + $\begin{cases} \phi & (1) \\ \text{of NP} & (7) \end{cases}$

ϕ : 176/15 hit was nothyng as hit was spokyn
of at þe begynnyng:...

Of NP : 267/13 at the comyng of yowr trewe
servantes,...

81/5 ; 134/7 ; 134/10 ; etc.

B. Pronominal Adj. + Ving (1)

This : 164/7 now at this shippyng:...

C. Genitive Adj. + (Adj.) + Ving +

$$\left\{ \begin{array}{l} \phi \quad (15) \\ \text{Modifier (14)} \end{array} \right.$$

ϕ : 142/16 iffe ye shall be at your comyng,...

273/8 ye shall well understand at oure
next metyng.

93/17 ; 148/4 ; 176/26 ; etc.

Modifier :

106/8 at your hasty goyng in to Devenscheyr:...

125/2 hit was agreed by you and my counsell
at your beyng at Dorchester...

146/33 ; 163/21 ; 168/5 ; etc.

3) Of

A. Definite Article + (Adj.) + Ving + $\left\{ \begin{array}{l} \phi \quad (2) \\ \text{of NP(4)} \end{array} \right.$

ϕ : 124/3 I wrytt not to you of the demyng
&c.,...

276/8

Of NP : 80/73 atte the tyme of the seid takyng,
arestyng or imprisonment of
the seid John Frend...

152/7 ; 348/1 ; 348/9.

B. (Adj.) + Ving + $\left\{ \begin{array}{l} \phi \quad (3) \\ \text{Modifier (3)} \end{array} \right.$

ϕ : 275/17 whedir she be in wey of mending &c.

331/22 I pray you pardone me of mor wryt-
yng,...

350/8.

Modifier :

304/12 for drede of arestinge by write or for
suerte of the pease:...

276/19 ; 319/13

C. Pronominal Adj. + Adj. + Ving (1)

This : 61/7 after the date of thys present wryt-
yng...

D. Genitive + (Adj.) + Ving + $\left\{ \begin{array}{l} \phi \quad (20) \\ \text{Modifier (4)} \end{array} \right.$

ϕ : 94/17 prayng you that ye write to me of
youre commyng,...

118/2 mekely besechyng of yowur dayly
blessyng:...

298/26 of whose comyng y wot well they
wyll be ryth glad.

116/3 ; 122/2 ; 127/3 ; etc

Modifier :

130/15 the denyer of these premisses is oon
of the causez of my writtyng to your
mastership:...

113/5 ; 135/2 ; 247/4.

4) For

A. Definite Article + Ving + $\left\{ \begin{array}{l} \phi \quad (3) \\ \text{of NP (14)} \end{array} \right.$

ϕ : 111/36 and as for your toll, never the
nerrer for the fyndyng:...

227/7 ; 335/10.

Of NP : 127/25 he ys dysplesyd sore with
them for the reseyyng of the
money,...

67/5 ; 96/9 ; 96/10 ; etc.

B. (Adj.) + Ving + $\left\{ \begin{array}{l} \phi \quad (5) \\ \text{Modifier (4)} \end{array} \right.$

ϕ : 331/18 per ar men in ther placez for sure
kepyng.

93/7 ; 146/22 ; etc.

Modifier :

96/23 for wedyng in the whete, iij. s. j. d.;...

96/24 ; 104/7 ; 146/33.

C. Genitive + Ving (4)

89/18 ye woll se my pore howse for yowr
logyng;...

102/2 ; 132/9 ; 151/19.

5) By

A. ϕ + Ving (2)

249/33 I pray you shewe it me by writing...

67/15.

B. Pronominal + (Genitive) + Ving (2)

This : 119/2 by this wrytyng I may be recom-
mendid to my Maistres,...

326/15 by thys my wrytyng bynd me to
abyde,...

C. Genitive + Ving (10)

99/2 I conseve by zowr wrytting that my
wyffe, zowr suster that wasse,...

267/11 by the morow sons rysyng y wold be
ther my selfe...

123/2 ; 175/5 ; 208/4 ; etc.

6) With

A. (In) Definite Article + Ving + $\left\{ \begin{array}{l} \phi \quad (3) \\ \text{of NP (1)} \\ \text{Modifier (1)} \end{array} \right.$

ϕ : 140/33 j stondyng Cuppe of sylver y-gylt
wyth a keveryng...

227/9 ; 227/13.

Of NP : 239/8 with the kepyng of the woodes
called Kellerygge and Kinges-
wood,...

Modifier :

60/8 they have seled up the halle dore with
a wrytynge ther apon,...

B. (Adj.) + Ving + $\begin{cases} \phi & (2) \\ \text{Modifier} & (1) \end{cases}$

ϕ : 314/2 I recommaund me unto you with
right herty and manyfold thank-
ynges...

227/22.

Modifier :

129/41 excep' the grete chamber with fre go-
yng therto,...

C. Genitive + (Adj.) + Ving (3)

256/3 the Kyng and oþer the lordes be right
well plesid with your worshipfull
demenyng:...

123/31 ; 213/34.

2. Mixed Gerund

2.1 As subject (1)

ϕ + Ving + of Noun :

290/10 his opynyon ys that beryng of chil-
dren shuld ease hire infirmyte,...

2.2 As object of verb

A. ϕ + Ving + $\begin{cases} \text{of Pronoun} & (1) \\ \text{therof} & (3) \end{cases}$

Of Pronoun :

172/52 zee wold send this gere to me that I
myght take rekenyng of hyre:...

Therof : 126/10 yf he my3t have understand-
yng therof...

302/20 ; 310/5.

B. Definite Article + Ving + Adv. + of NP (1)

327/5 he may justefie the takyng away of
the cornys,...

2.3 As object of preposition

We shall describe all the instances in order of
frequency.

1) For

A. ϕ + Ving + of NP (20)

47/41 Payd for coloryng of xxij^{ti} yardes
of clothe, v.s.x.d.

88/7 for havynge of the revercyon of hys
maners, landes and tenements...

86/3 ; 93/6 ; 95/10 ; etc.

B. Genitive + (Adj.) + Ving + Adv. (2)

275/5 praythe daily for your prosperite
and wusshuppe, in especiall for
your sone comynge home &c.

335/11 he must be alowyd for my lyyng
ther vjs. viij d.

2) In

A. ϕ + Ving + of NP (8)

74/13 the chirchemen of Dudcote wer in
bargenyng off a ryke off weete...

168/4 youre expediscion that ye have
made in plesynge off my brodyr
Stocker off his bucke:...

79/22 ; 86/5 ; 200/11 ; etc.

B. Genitive + Ving + $\begin{cases} \text{NP} & (1) \\ \text{Adv.} & (2) \end{cases}$

NP : 49/16 Almythy God have 3ow ever in his
kepyng body and soule.

Adv.: 67/29 I pray yow remembre Mowne in
your comyng homward þat he
woll be my gode Cosyn,...

76/10 in my þer beyng he hath made
estate of xl. markes of his lond,...

3) At

A. ϕ + Ving + of NP (1)

180/16 hyt plesyd you to wyshe me with
you at redyng off my letter:...

B. Genitive + Ving + Adv. (7)

94/4 at my comyng thethyr ther was
the Shiriffe and also William Mar-
myon:...

166/22 at my comyng home I will tell you
mych more betwene you and me
and God beffore.

166/33 ; 176/12 ; 216/7 ; etc.

4) Of

A. ϕ + Ving + of NP (1)

150/3 the day of making of thies pres-
entes...

B. Genitive + Ving + Adv. (2)

169/8 I am right hevye and sory of your
beyng there,...

195/9 I shall purvey for them, and of ther
komyng hom.

5) With (2)

ϕ + Ving + of NP :

175/6 you have had very meych a do with
holdyng of cortes and odir besynes,
...

307/5 no colyers nor oder destrye nat the
young sp[r]yng with stoppyng of
there sattes.

6) By (1)

ϕ + Ving + of NP :

303/4 by relevyng off many oþer suche as
cummys to þour maistryrshyp at
divers tymes in þe 3ere,...

7) As ffor (1)

Definite Article + Ving + Adv. + of NP :

217/39 as ffor the sendyng hedyr off my
Cossen Kateryn,...

8) Against (1)

Genitive + Ving + Adv. + Modifier :

225/13 I schulde take in ayenst your com-
yng home unto London.

9) To (1)

NP + Ving + Adv. + Modifier :

73/15 [the truce is] to endure to the sonne
goynge down of the first day of Oc-
tobre than next suyng :...

3. Verbal Gerund

All the instances of the Verbal Gerund, of which the earliest one is dated 1472, appear as the object of a preposition.

A. ϕ + Ving +

- { Dative Object + Adv. + Accusative Object (1)
- { Accusative Object (3)

Dative Object + Adv. + Accusative Object :

121/12 shee hath layn it ayen to my seid
lord for yelding her yerly iiij_{xx}
marcs.

Accusative Object :

123/38 wher as shee may revolve at her
lyberte wip oute controllynge every

pyng þat longeth to loves daunce,
...

158/5 Wherefore I pray you to do aftyr
hys desyre yn supportyng your
ryght,...

287/13 Wheteley hath sheywyd to my lord
of Gloucestre and his Councell
your labor in serchyng dyvers
townys.

B. ϕ + Ving + Adv. (1)

181/22 I pray yow let me have no mor
coste in sendyng heyr for,...

C. Nominative + Ving + Modifier + *that*-clause(1)

127/9 and as after Selenger seyyng in to
my ladys counsell and hys that
my lady wold not nother he but
that your tytyll shuld be knowyn
and no maner of fraude by them
leyd to abatryt,...

IV. Other Nominal Natures

1. Plural form (3)

123/31 ye have ben syth vexid wip her sey-
inges.

144/12 ; 314/2.

2. With indefinite article (7)

We find no instance followed by the *of*-phrase.

249/10 and he felle into a grete slombering, ...
60/8 ; 91/3 ; 140/33 ; etc.

3. With definite article (59)

There are 41 instances followed by the *of*-phrase and 18 instances not followed by the *of*-phrase.

With the *of*-phrase: see below Chap. V, 2 and Chap. VI, 2.

Not with the *of*-phrase:

322/5 your mastership must remembre the
favourable delyng and alliance by-
twene yow:...

147/19 ; 172/13 ; 176/15 ; etc.

4. With pronominal adjectives and other adjectives

Some of these adjectives are quoted here in

order of frequency.

Pronominal adjectives : this(10); no(2); that(1);
all(1); some(1); these(1).

Other adjectives : blessed(16); last(8); dayly(6);
next(4); more(3); merciful(3);
worshipful(2); little(2); great
(2); etc.

5. Compounds

There are two types of compounds in the Stonor.

(1) As first part of compound(14)

93/15 drinkyng money; 96/7 half a foote of
cloutyng ledyr; 101/18 the ffullyng mylle;
138/9 syngyng wyne, syngyng brede; 138/28
sittyng plasis; 140/56; 140/62; 140/63; etc.

(2) As last part of compound (6)

The first part of each instance functions as
the object of the gerund.

67/20 pe offyse ffyndyng; 121/14 the mariage
makyng; 218/13 good exortacions gyffynge;
234/4 a peyre of botys dytyng; 289/40 my let-
ter wretinge; 328/9 a newe livere suyng.

V. Object of the Gerund

No instance of the objective genitive is found
in the Stonor collection. The object is indicated
in the following ways.

1. First part of compound (6)

See above Chap. IV, 5-(2)

2. Definite Article + Ving + of NP (30)

In this construction the object of the gerund is
indicated by the *of*-phrase and the Ving is al-
ways preceded by a definite article, though there
is one exception preceded by an adjective in :

298/14 as ye may have larger undyrstondyng
of thys yn yowr next comyng unto the
contre:...

Of NP :

152/4 Yef hyt plese yow to wytt at the mak-
yng off thys letter I was in god hell,...

96/1 ; 146/6 ; 127/25 ; etc.

3. Ving + of { Noun (1)
NP (33)
Pronoun (1)

This type is the most frequent construction in
the Mixed Gerund. The gerund, the object of
which is indicated by the *of*-phrase, is not pre-
ceded by any adjunct. For their instances, see
above Chap. III, 2.

4. Genitive + Ving + NP (1)

In this construction the gerund preceded by the
genitive pronoun has an object without any prep-
osition. We find only one instance in:

49/16 in his keypyng body and soule.

5. Ving +

{ (Dative Object) + (Adv.) + Accusative Object(4)
Modifier + *that*-clause (1)

This is the type of construction in which the
gerund with no determiner takes an object not
preceded by the preposition *of*.⁵⁾ The gerund in
this construction is classified as the Verbal Ger-
und for its verbal character. For their instances,
see above Chap. III, 3-A.

VI. Subject of the Gerund

The subject of the gerund was mainly indicat-
ed by a noun in the genitive case or a posses-
sive pronoun, and sometimes by the analytical
form '*of*-phrase'. We find even a newer construc-
tion where the subject is shown in the common
case.

1. Subjective genitive (184)

Most of the subjects in the genitive are pos-
sessive pronouns and only 11 instances are com-
mon or proper nouns with *s*-genitive.

81/12 he schall ordeyne any haye ayenst yower
comyng.

42/28 And touchant my maysteris beyng at
London,...

93/22 to goe to Richard Tayler's [*sic*] wedd-
yng iiij.d.

48/2 ; 53/12 ; 106/6 ; etc.

2. Definite Article + Ving + of NP (10)

In this construction the Ving is always preceded by a definite article.

152/7 the day of the departyng of the Kyng
and the duk of Burgayn,...

46/12 ; 134/7 ; 262/12 ; etc.

3. Ving + of NP (1)

This type doesn't have any definite adjunct preceding the gerund.

60/10 wythoute any knowliche or wetynge of
my lady,...

4. Subject not in the genitive (2)

For this type we find 2 instances in our corpus.

127/9 and as after Selenger seyyng in to my
ladys counsell and hys...

73/15 [the truce is]to endure to the sonne goyng
down of the first day of Octobre than
next suyng:...

In the latter instance we cannot definitely judge whether the noun 'sun' is an accusative or an old genitive.⁶⁾

VII. Gerund with Adverb

Our corpus gives as many as 20 instances where the gerund is modified by a simple adverb. What is to be noted is that there is in all only one case where the gerund is premodified by an adverb in: 76/10 in my per beyng. The remaining 19 gerunds are postmodified.

Nearly all the adverbs found in our corpus are place-adverbs. We find no instance where the gerund is negated by *not* in our corpus.⁷⁾

Adverbs occurring with the gerund:

home(6 instances); there(3); here(3); down(2)
homeward(1); hither(1); thither(1); away(1);
last(1); yearly(1).

VIII. Conclusion

In this study we have divided all the verbal nouns ending in *-ing* in the Stonor collection into three classes of the gerund and examined their syntactic characteristics. To sum up the results,

the Nominal Gerund, as the table shows, overwhelmingly predominates over the other classes in frequency and has various types of construction, of which 'Genitive + (Adj.) + Ving' is the major type. In the Mixed Gerund the following two types of construction frequently appear: 'ϕ + Ving + of NP'; 'Genitive + Ving + Adv'.

The Verbal Gerund, which makes its first appearance in 1472, is not so often found in the Stonor collection as to represent its peculiarity.

The major construction to indicate the object of the Nominal Gerund is 'Definite Article + Ving + of NP' and that of the Mixed Gerund 'ϕ + Ving + of NP'. On the basis of this fact, we can assume that the construction 'ϕ + Ving + NP' has been established through the following generative process: 'Definite Article + Ving + of NP' → 'ϕ + Ving + of NP' → 'ϕ + Ving + NP'.

Turning our eyes to the functions of the gerund, we find that in the Stonor collection there are many instances where the gerund is preceded by a preposition. A. C. Partridge points out the same tendency in the Paston collection.⁸⁾ Especially all the instances of the Verbal Gerund and a greater part of the Mixed Gerund appear as the object of a preposition. A clue to this phenomenon we may find in the fact that the gerund preceded by a preposition can express compactly a notion that might otherwise be represented by an awkward subordinate clause.

As for the verbal characteristics of the gerund,⁹⁾ they may be summed up as follows:

(1) The chief way to show the logical object is by the preposition *of* and the modern pattern 'Ving + Object' is, though not often, also found in our corpus.

(2) The logical subject is, in most cases, expressed in the genitive case, but we find two instances of modern construction where the subject is expressed in the common case.

(3) The gerund with a pure adverb is rather frequently found. Its main type is an analytical expression 'Ving + Adverb'.

On the whole, it must be admitted that in the Stonor collection the verbal nature of the gerund is not fully developed, but we can certainly follow

a process of the gradual development of the modern gerundive construction.

Notes

- 1) The Stonor collection contains approximately 300 documents written in English, of which the earliest one is dated 1420 and the latest 1483; according to Norman Davis, the Paston collection 'includes over 360 letters and memoranda written by or for the family, of which the earliest autograph document is credibly dated 1425, and the latest 1503.'
- 2) This is the table used in my paper, 'Gerund in the Stonor Collection' (*Studia Anglistica*, No. 2, Osaka University of Education, 1982), p. 72.
- 3) The number in the parentheses refers to the total of instances.
- 4) All references to the Stonor collection are to Charles L. Kingsford's edition of *The Stonor Letters and Papers 1290-1483* (Camden Society, 3rd series, Vols. 29 and 30, 1919); and 'Supplementary Stonor Letters and Papers' in *The Camden Miscellany* (Camden Society, 3rd series, Vol. 34, part 2, 1924).
- 5) Cf. Jespersen, *MEG*, V, 9.3.1.
- 6) Cf. Mustanoja, *ME Syntax*, p. 574.
- 7) Cf. Jespersen, *MEG*, V, 9.1.6.
- 8) A. C. Partridge, *A Companion to Old and Middle English Studies* (London: André Deutsch, 1982), pp. 431-432.
- 9) Our corpus gives no instance of such compound forms as passive and perfect.

Colloquial English の聴取についての試み

— 誤聴分析に基づいて —

守 屋 雅 博

A Study on Listening to Colloquial English

— based on the analysis of listening —

Masahiro MORIYA

My students often complain that when they listen to rapid speech in English, it's spoken too fast for them to understand at all. That's because there are some changes and disappearances of sounds in English spoken by native speakers at a natural speed. So they must know the features of rapid speech in order to understand native speakers' English.

R. Lado and N. Brooks point out that dictation doesn't seem to be a good testing device. But I believe that we can learn about our students' weaknesses from errors made in taking dictation. In this paper, I made my students take dictation of words or sentences after listening to the dialogues spoken in real-life situations, and investigated how effective teaching the rules of sound changes was on their listening. And I've come to the conclusion that we can improve their listening to rapid speech by teaching the rules of sound changes.

1. はじめに

国際化している現代社会においては、いろいろな国からの情報が入り乱れて入ってくる。また英米人だけでなく、その他の国の多くの人々とも接する機会が急速に増えてきたことも事実である。1978年10月26日付の毎日新聞に「おまわりさんも英語が必要な時代」の記事があり、外国の人々と接することが多くなるにつれ、世界共通語としての英語の必要性が高くなる。

「英語が話せるようになりたい」と願う学習者は多い。しかし、話せるようになるためには、まず相手の言うことを理解できなくてはならない。一方的に話すだけでは相手との communication は成立しないからである。

「聞くこと」は4技能の中でも一番基礎的な技能と考えられているが、逆に一番伸びにくい技能ではないかと思う。書かれた英文を読めば意味がよく理解できても、その英文がある程度のスピードで話されると、音声変化が起こり、単語がいろいろな形で結びついてしまうからである。Spoken English の音声変化の特性を知ることによって「聴き取る力」も伸びてくるように思う。

2. Spoken English に見られる音声変化の特性

書きことばでは、視覚的に示される一語一語の単語の切れ目や句読点、符号などがあるが、話しことばでは連続体として聞こえる。例えば、次のような対話がなされたとする。

{ A: Would you like to drink a cup of coffee?
B: No, thank you. I want to eat an apple.

Aはあらたまった言い方であるのに対して、Bは少しだけた言い方をしているが、ごく自然な会話であるとすれば、

{ A: /wudʒulaɪktədrɪŋkəkʌpəvʌkəfi/
B: /nouθæŋkjʊ/aɪwənəɪtənəpl/

のような連続体として発音記号で表される。このように短い文のやりとりでは、AもBもほとんどポーズを置かず一気に言ってしまうだろう。その場合、この二人の対話にはいろいろな音声変化が生じることになる。[wudʒu] は相互同化、[wənə] は[want] と[tə]の間でまず[want]の[t]の省略が生じ、次いで相互同化が生じる。[drɪŋkə], [kʌpəv], [θæŋkjʊ], [i:tən], [ənəpl],

では連結が生じる。you, to, a, of, an は当然弱形が用いられる。書きことばとしての英文を見れば意味がよく理解できるが、その文を聞いた場合には何を言っているのか理解できないということは当然起こってくるのである。

話しことばに見られる音声変化には、同化、連結、省略、弱化などがある。

(1) 同化 (Assimilation)

鳥居・兼子 (1979, p.142) は「2つの音が連続すると、どちらかの音が他の音に影響して、それとまったく同じ音になってしまうか、あるいは、似かよった音になってしまうことがある。時としては、一方が他方に影響を及ぼすのではなく、たがいに影響しあって近づきあうこともある。」現象を同化と呼んでいる。そして影響を及ぼす方向によって、①前進同化 (Progressive Assimilation) ……前の音が後の音に影響を与えるもの ②逆行同化 (Regressive Assimilation) ……後の音が前の音に影響を与えるもの ③相互同化 (Reciprocal Assimilation) ……相互に影響しあうもの、の3つに分類することができる。また確立の程度によって、同化された形が標準音となっているものを確立同化 (Established Assimilation)、一時的な現象として起こるものを偶発同化 (Accidental Assimilation) と分類することもできる。

(2) 連結 (Linking)

大西 (1976, p.50) は「音節の末尾の子音と、後続音節の母音、又は半母音とが連結して新たな音関係を形成する現象」を連結と述べている。there is を [ðeəriz] のように [r] が次にくる母音 [i] と結びつくのは r-linking, an hour [ə nauər] は n-linking である。その他の子音として、[d, t, p, k, ð] が連結を起こす。その結果、an aim/a name, an icebox/a nice box はかなり類似した連続音となり、識別は文意から判断していかなければかなり困難である。

(3) 省略 (Elision)

鳥居・兼子 (1979, p.145) は「2つ以上の語が連続する場合、そのうちのいずれかが、弱化作用を受けるため、あるいは、前後の音と調音位置または調音方法が似通っているため、「入り」「持ち」「出」の3つの段階のうちのいずれか、あるいは、その全部が省略されてしまうことがある。このような現象を「音の省略」(Elision) という。」と説明している。

I have, I am などはふつう [aiv], [aim] と縮約形が用いられるため、省略が起こっている。さらに, night time [nai taim], next day [neks dei], old man [oulmæn] のように, [d] [t] の省略はよく起こる。

(4) 弱化 (Weakening)

英語のリズムは stress-timed rhythm であり文強勢の置かれている語は他と比べて強くはっきり発音される。逆に、文強勢の置かれていない語は弱く発音されて、音声変化を受けやすい。これを弱化という。特に機能語 (代名詞、助動詞、前置詞など) はふつう強形 (strong form) 以外にいくつかの弱形 (weak form) を持っていて、単独に用いられる時、文尾などの特定の位置にくるとき、特に強調すべき必要のあるとき以外は弱形を用いるのがふつうである。小栗 (1971, p.151) は、「外国人は英語発音の弱形をマスターしない限り、“foreign accent” を避けられないし、英語のじょうずな発音を期待しえない。弱形で発音することは不注意なぞんざいな発音とは違う。弱形を強く発音すると文中の他の語、もっと重要な語を区別することができない。」と述べている。

強形と弱形を持つ語は約50~79語あるが、弱形を用いる指導をできるだけ早い時期から行うべきである。

3. Dictation の有効性

Dictation は耳で聞いたことばを文字として表現する方法で、英語指導ではよく用いられてきた。

R. Lado (1961, p.138) は、dictation では語順、語いが与えられるので単に綴り、屈折変化、句読点のテストにしかすぎないと指摘し、N. Brooks (1972, p.254) は「書きとりは教室外ではあまり有用でない技能を必要とする。」と述べ、dictation が効果的な方法とは言えないことを指摘している。

しかし、H. Cartledge は、

Dictation, then, is not a teaching exercise but a testing exercise, and contextualization of this kind is an excellent way of assessing a student's grasp of current speech.

と述べ、聴取できたかを評価する方法として dictation は、秀れた方法であることを指摘している。

さらに、A. F. Deyes (1971, p.151) は、

The dictation exercise can therefore make us aware of the learner's difficulties with spelling, the recognition (and production) of sound segments, and aural comprehension and grammar. It is important for the learner to be made aware of these weaknesses as soon as possible after the dictation has been given and to compare his ver-

sion with the correct one.

と述べ、学習者の困難点がどこにあるかを教授者にも学習者自身にも気付かせるのに役立つといった利点を指摘している。

Dictation の結果を分析することによって、学習者にとってどの語が聴き取りにくいのか、どの語を他の語と聴き誤っているのか、どの連続音が聴き取れていないのかといった聴取過程における学習者の困難点を解き明かし、その後の指導に生かしていくことができるわけである。

4. 実験の目的とその方法

(1) 実験の目的

slow speech では、それぞれの語句がかなり明瞭に話されるので聴取しやすいが、rapid speech になると、生徒は「速すぎてわからない」と半ばあきらめがちになる。rapid speech では音声変化が顕著に起こるため、2・3語が1語のように聞こえたり、1文が1つの連続音に聞こえてしまうからである。

守屋 (1984, p.117-130) は slow speech と rapid speech における聴取内容を調査した結果、rapid speech では、音声変化する語群の聴取率が極端に悪いことがわかった。弱形を中心に音声変化の法則を指導することによって、rapid speech の聴取を伸ばすことができると考えられる。

(2) テスト実施の方法

奈良工業高等専門学校3年生(1回目153名、2回目152名であるが、両方のテストを受けていない者はテスト結果処理の時点で除外し、144名とした)を対象にテストを実施した。

テスト問題(資料参照)は3部に分かれ、問題1では、対話の一部を抜き出し、問いまたは答えの文を dictation させた。問題2では、一つのまとまりのある対話文の中の文を dictation させた。問題3は弱形、音声変化する語を中心とした spot dictation であった。問題1、問題3は Nina Weinstein (1982) *Whaddaya Say?* の未習のところから、問題2は、長谷川潔(編)(1971)『ニューヴィスタ英会話シリーズ1』からの出題である。

1985年4月25日に第1回目のテストを実施した。テスト実施の方法は、各問題とも1回目は聴くだけで、2回目、3回目に書きとらせた。

第1回目のテスト実施後、*Whaddaya Say?* を教材にして、8時間(5月2日、5月16日、5月23日、5月30日、6月6日、6月20日、6月27日、7月4日)LL

教室で指導した。

指導の手順は、まず始めに音声変化の法則を説明し、slow speech と rapid speech で話される同一文を比較しながら注意して聴かせ、口頭練習させた。その後、rapid speech による対話文を録音させ、何回も繰り返し聴かせて spot dictation をさせた。

1985年7月11日に第2回目のテストを行った。テスト問題は第1回目と同一のもので、同一条件で dictation させた。

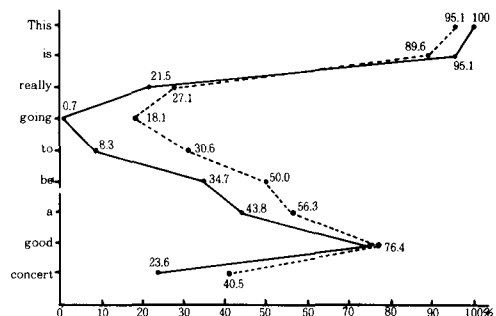
(3) テスト結果の分析とその考察

各テストの語、語群の聴取率を示すとともに、主な誤聴例を列挙して考察を加えていきたい。語聴取率を示す——線は第1回目のテストでの平均聴取率を、……線は第2回目の平均聴取率を示す。聴取率は%で示し、()内は人数である。また(3, 6)とあるのは、1回目のテストで3名、2回目のテストで6名であることを示す。

① 問題1の結果から

① (課題文) This is really going to be a good concert.

㊦ 語聴取率



① 語群聴取率と誤聴例

	語 群	聴取率	誤 聴 例
1 回 目	This is	94.4 (136)	This will (3)
	really	21.5 (31)	will (8) wearing (2) willy (2)
	going to be	0.7 (1)	be (3) to be (5) go to be (2) got to be (2)

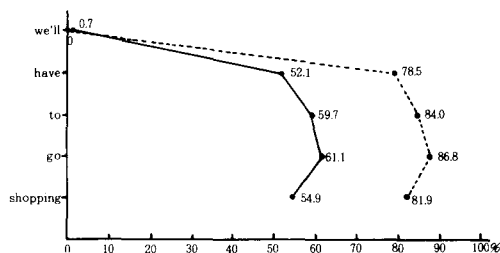
	a good concert	12.5 (18)	good (25) good concert (15) a good (13) (a, the) good dancer(s) (7)
2 回 目	This is	86.1 (124)	This will (7) This (5)
	really	27.1 (39)	will (19) a really (3) we are (3)
	going to be	13.9 (20)	be (36) to be (7) going to (4) go to be (2)
	a good concert	26.4 (38)	good (23) a good (13) good concert (8) (a) good danc- er(s) (6) (a) big concert (6)

(考察)

really, concert の内容語が聴き取れていないし、2 回目のテストでもあまり聴取率が伸びていない。really を will に誤聴しているのは、[l] 音が影響しているのと、[r] [w] と両唇を丸く突き出して発音するからである。そして concert は文意に関わる語であるのでもっと注意して聴き取らなければならない。[t] は歯茎破裂(閉鎖)音で、語尾の [t] は語頭の [t] に比べると氣息音が弱く、内破音となって明瞭に聞こえてこないからであろう。going to be は [gounəbi] と発音され、生徒の耳には be が強く残っているようだ。going to を going, got (to), get (to), go (to) と誤聴する者も多い。going to be の聴取伸び率は 13.2% と高いが、聴取率そのものは低く、まだまだ聴取できているとは言えない。This is の聴取率が 2 回目には 8.3% も下がっている。指示代名詞 this には弱形はなく、少し文強勢が置かれる。is には [z, s] の弱形があるが、ここでは This is は [ðisiz] と発音されている。is を will (2, 10) と誤聴したり、聴き落としもある。

② (課題文) we'll have to go shopping.

㊦ 語聴取率



④ 語群聴取率と誤聴例

	語 群	聴取率	誤 聴 例
1 回 目	we'll	0.7 (1)	I (42) we (15) they (10)
	have to	48.6 (70)	after (10) how to (7) had to (5) have (5) had (3)
	go shopping	39.6 (57)	shopping (13) go to shopping (7) go (8) go on a shopping (3)
2 回 目	we'll	0 (0)	I (71) we (20) you (6) they (4) I'll (2)
	have to	73.6 (106)	how to (7) have (6) after (4) had to (2)
	go shopping	61.1 (88)	go to shopping (16) shopping (6) go to the shopping (3)

(考察)

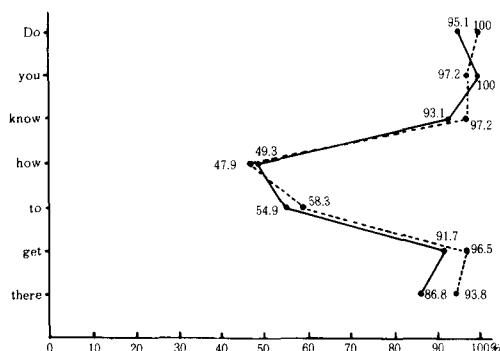
短縮形 we'll の聴取が悪いのは、文頭に Then という副詞があり、その語に文強勢があるために we'll が一層弱く聞こえてしまうからである。1 回目のテストでは聴き落としが目立ったが、2 回目のテストでは、主語の働きをする語がそこにあるということを生徒の文法操作能力によって聴き取っているように思える。we'll を I (42, 71), we (15, 20), they (10, 4) などに誤聴していて、'll [l] を聴き取っている者は皆無に近い。I've (2, 0), you're (1, 0), we're (1, 1), I'll (1, 2), they'll (1, 0) の誤聴も見られ、短縮形の聴取の困難さを示している。have to の聴取伸び率は 25.0% と高い。have to は、[hæftə], [həftə] と逆行同化が起こる。[h] は声門摩擦で呼吸を伴うが、[h] 音を聴き落としてしまうと after [æftə] と誤聴してしまうのはうなずける。how to [hau tə] は [f] の聴き落としによると思うが、耳に聞こえてくる音にあまりにも頼りすぎて文意を考えないために起る誤りである。go shopping の誤聴例から考えて、go to school, go to the store, go on a picnic の表現が基になって文法操作能力が作用し、補って聴いているのではないだろうか。

③ (課題文) Do you know how to get there?

㊦ 語聴取率

④ (課題文) How much do you want to spend for the car?

㊦ 語聴取率

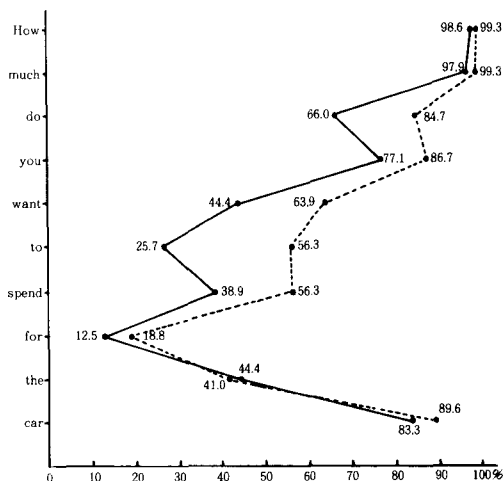


① 語群聴取率と誤聴例

	語 群	聴取率	誤 聴 例
1 回 目	Do you	95.1 (137)	Did you(4)
	know	94.4 (136)	誤聴例なし
	how to	37.5 (54)	hurry(23) how(15) to(7) have(5) had(3) have to(3)
	get there	84.7 (122)	get(4) getter(4)
2 回 目	Do you	97.9 (141)	Did you(1) Do(1)
	know	97.2 (140)	誤聴例なし
	how to	37.5 (54)	hurry(18) how(8) have to (7) hurry to(6) hard to(4)
	get there	95.1 (137)	get to(2) getter(2) get up(2)

(考察)

この課題文では1回目と2回目の差がほとんどなく、同じような聴取率を示している。how to の聴取率が低い。how to を hurry と誤聴しているのは、アメリカ音で water [wɔ:tə] の [t] のように、前に強勢のある母音があって、後に強勢のない母音のある [t] は有聲化して [t̬] になったり、弾音 [ɾ] になることがある、ということによるのであろうか。get there では [ge ðeə] と [t] の省略が起こるので getter と、また to get there を together と誤聴するのであろうが、聴取率は良い。



① 語群聴取率と誤聴例

	語 群	聴取率	誤 聴 例
1 回 目	How much	98.6 (142)	誤聴例なし
	do you	66.0 (95)	did you(14) is it(2)
	want to	25.0 (36)	want(22) want a(5) know(4)
	spend	38.9 (56)	spent(20) expensive(10) spencer(またはspenser)(13)
	for the car	10.4 (15)	the car(23) car(18) a car(15) your car(8) of car(6)
2 回 目	How much	99.3 (143)	誤聴例なし
	do you	89.6 (129)	did you(4) do your(3) are you(2)
	want to	54.2 (78)	want(13)
	spend	56.3 (81)	expensive(13) spent(9) spencer(またはspenser)(13)
	for the car	16.0 (23)	the car(39) car(29) a car(20) your car(11) of a car(4)

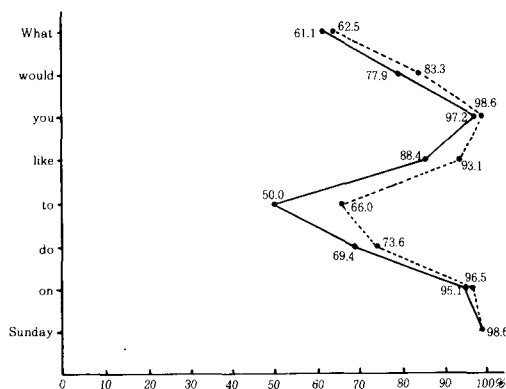
(考察)

聴取率に差が出ている語群は do you, want to である。do you は相互同化を起こして [dʒu] と発音される。did you [didʒu] と誤聴している者が多いが、語頭の [d] が聞こえないと同じになってしまう。対話の流れの中の redundancy からも意味を把握しようとしなければ、過去形か現在形かが決まるだけに大切である。want to は逆行同化を起こして [wanə] と発音される。[want tə] が [wanə] に音声変化するということを知らなければ、文意から推測することは難しい。do you, want to の聴取伸び率は、do you が 23.6%, want to が 29.2% で共に高く、指導の効果があったと言える。内容語 spend の聴取は意外に悪い。spend の語尾の [d] は、しばしば無声化されて [d̥] になることがあるので、spent と誤聴したり、want to spend が [wanəspend] と発音されるので want expensive と誤聴するのであろうか。for, the はふつう [fə], [ðə] と弱形が用いられるので、for を of(11, 8), to(3, 5) に, the を a(20, 30), your(10, 13) と誤聴している。さらに、聴き落としても多く、for は (110, 102), the は (49, 42) の者が聴き落としている。弱形の聴き取り練習をすることが英語のリズムで聴けるカギのように思う。

② テスト 2 の結果から

⑤ (課題文) What would you like to do on Sunday?

㊦ 語聴取率



① 語群聴取率と誤聴例

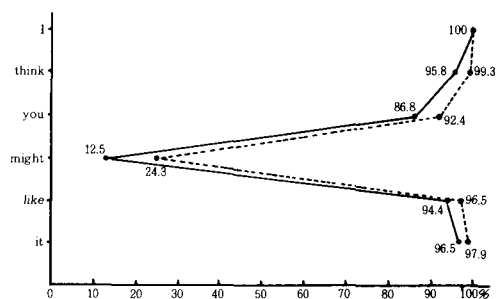
	語 群	聴取率	誤 聴 例
1 回 目	What	61.1 (88)	Where(36) Well(5) Why(2) Wow(2) How(2)
	would you	79.2 (114)	do you(18) did you(4) will you(2)
	like to do	45.1 (65)	like do(25) like(16) like to go(12) do(9)
	on Sunday	94.4 (136)	Sunday(6)
2 回 目	What	62.5 (90)	Where(29) Well(9) When(3) Wow(3) Why(2) How(2)
	would you	84.0 (121)	do you(18) did you(12)
	like to do	57.6 (83)	like(18) like do(17) do(7) like to go(6) like to(5)
	on Sunday	96.5 (139)	Sunday(2)

(考察)

この課題文では 1 回目と 2 回目の差がほとんどなく、同じような聴取率を示している。疑問詞 What の聴取率が意外に低く、Where(36, 29), Well(5, 9) などに誤聴している。would you は相互同化を起こして [wudʒu] と発音されるが、聴取率は高い。like to do の聴取伸び率が 12.5% であるのは、2 回目に to の聴取率が伸びたからである。to はふつう [tə] と弱形が用いられる。like to do を [laɪktədʊ:] と like と do に文強勢を置く分、to が一層弱く聞こえるため like do と to を抜かして聴いてしまうのである。

⑥ (課題文) I think you might like it.

㊦ 語聴取率



① 語群聴取率と誤聴例

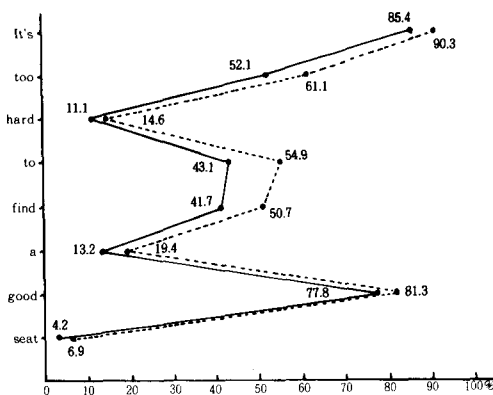
	語 群	聴取率	誤 聴 率
1	I think	95.1 (137)	I thank(4)
回	you might	11.8 (17)	you my(66) you(24) my(5) you may(6) you mind(4)
目	like it	92.4 (133)	it(2) look it(1)
2	I think	98.6 (142)	I thank(1)
回	you might	24.3 (35)	you my(60) you(4) you may(9) my(4)
目	like it	93.8 (135)	it(3)

(考察)

聴取率が著しく悪いのは助動詞 might である。might の [t] 音は無声歯茎破裂（閉鎖）音で、特に語尾にくる [t] は内破音となって開放されないのではほとんど聞こえない。そのために、might を my(75, 67) と誤聴しているのであるが、文構造からいって（助）動詞がくるべきだという文法力が必要である。聴取した語句を点的に結んでいって文の意味を把握するのではなく、語句を線的に文の形につないでいって文の意味を理解していかなければならない。like it は [lai kit] と連結を起こすが聴取率は高い。

⑦ (課題文) It's too hard to find a good seat.

㊦ 語聴取率



㊧ 語群聴取率と誤聴例

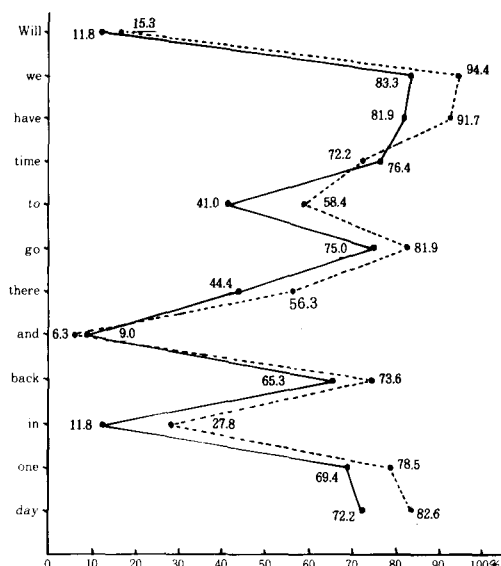
	語 群	聴取率	誤 聴 例
1	It's	85.4 (123)	It(17)
回	too hard	10.4 (15)	too(27) too high(12) too fine(10) too hide(6) too good(3)
目	to find	20.1 (29)	find(28) to(16) to hide(3) fine(2) do fine(2)
2	a good seat	1.4 (2)	good see(35) good to see(14) (a)good seen(10) (the)good seat(s)(7) good sea(6) a good sea(5)
回	It's	86.1 (124)	It(18)
目	too hard	14.6 (21)	too(20) too high(17) too hide(10) too find(5) too fine(3)
回	to find	26.4 (38)	find(21) to(18) to fine(4) and find(3) fine(3)
目	a good seat	2.8 (4)	good see(35) good to see(10) a good see(9) good sea(7) to good see(6) (a)good seen(6) a good sea(5)

(考察)

この課題文の聴取率は全体的に低く、聴取困難な文といえる。内容語である hard, seat の聴取率がとりわけ低く、生徒にとっては意味が全く理解できない文になって、誤聴例も多岐にわたっている。hard を high(17, 17), fine(9, 4), hide(6, 10) と誤聴したり、hard と find の混同も見られる。a の聴取率が低いのは、find a [faɪndə] と連結を起こすため、a を the(7, 9), to(3, 7), and(4, 1) に誤聴しているが、聴き落としも(102, 97)と多い。seat は see(55, 66), sea(22, 15), to see(21, 15), seen(11, 5) と誤聴している。「形容詞＋名詞」の文法知識があれば good see という誤りははないと思うのだが、聞こえた音の流れのままに聴きとっているのである。確かに、seat は、語尾の [t] が内破音となって聞こえにくいので see, sea と聞こえても不思議ではないが、その語の意味を situation の中で理解していかなければならないことを今後指導していかなければならない。

⑧ (課題文) Will we have time to go there and back in one day?

⑦ 語聴取率



① 語群聴取率と誤聴例

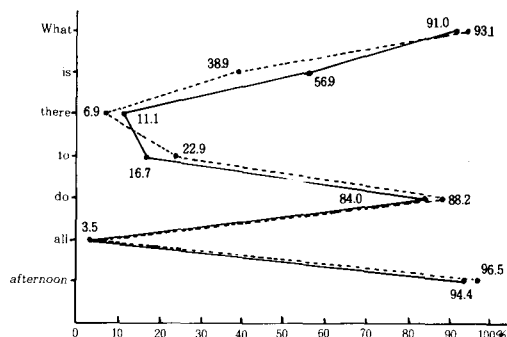
語 群	聴取率	誤 聴 例
1		
Will we	8.3 (12)	We(59) Do we(12) When we(4) Where we(4) Oh we(4)
have time	49.3 (71)	have(25) have a time(13) time(18) have the time(5)
to go there	21.5 (31)	go there(25) go(25) to go(21)
and back	4.9 (7)	back(60) in back(14) to back(3)
in one day	7.6 (11)	one day(68) on Monday(12) on one day(8) for one day(7) on Sunday(5)
2		
Will we	12.5 (18)	We(48) Do we(20) Well we(7) Oh we(6) Wow, we(3)
have time	55.6 (80)	have(28) have a time(9) have to time(4) have the time(3)
to go there	45.8 (66)	to go(22) go there(18) go(15)
and back	4.9 (7)	back(74) in back(16) to back(3) and go back(2)
in one day	21.5 (31)	one day(60) on one day(14) on Monday(11) in a day(4) for one day(3)

(考察)

この課題文では Will, and, in の聴取率が特に低い。Will の弱形はふつう [wəl] と発音される。Will を Do (13, 21), Well (2, 7), Where (8, 2), Oh (4, 7) などに誤聴しているが、多くの者は聴き落としている。音調から判断してこの文が疑問文だと気付くことも大切である。and の弱形は [ənd, ən, nd, n] と発音される。[n] 音が耳に残るため、in (13, 17) と誤聴しているが、やはり多くの者が聴き落として、go there back, go back there と誤聴している。前置詞 in には強勢を置かないで弱く発音されるため、in を on (27, 30), for (7, 3), to (0, 4), of (1, 1) と誤聴している。また one day を Monday (17, 15), Sunday (5, 2) に誤聴しているのは -day に引かれたのであろうが、one day と Monday は [w] と [m] の違いで音的には近いように感じる。1 回目と 2 回目の聴取率で差が大きいものに、to, in がある。to の聴取伸び率は 17.4% で、in は 16.0% である。逆に聴取率が下がっているのは、time と and で、time の聴取伸び率は -4.2%、and は -2.7% である。この文は 12 語文で長く retention の面からも文強勢の置かれる内容語ほど聴覚記憶に残り、機能語は忘れられがちになるのだろう。

⑨ (課題文) What is there to do all afternoon?

⑦ 語聴取率



① 語群聴取率と誤聴例

語 群	聴取率	誤 聴 例
1		
What	91.0 (131)	Where(6)
is there	11.1 (16)	is(33) is it(18) do you(11) Will we(10) do we(4) is the(4)

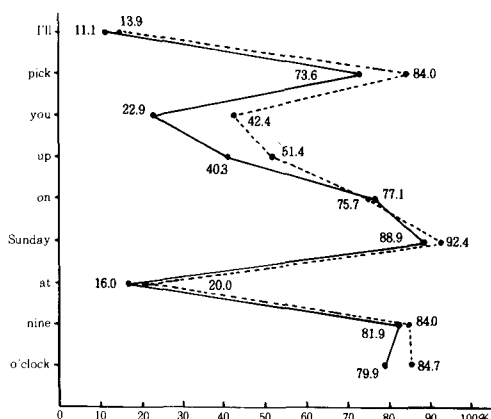
2 回 目	to do	14.6 (21)	do(97) doing(5)
	all afternoon	2.1 (3)	afternoon(82) our after- noon(23) on afternoon(5)
	What	92.4 (133)	Where(3)
	is there	6.3 (9)	is(19) do you(19) is it(11) will we(16) will you(4)
	to do	19.4 (28)	do(96)
	all afternoon	3.5 (5)	afternoon(79) our after- noon(25) this afternoon(5)

(考察)

is, there の聴取伸び率が -18.0%, -4.2%と2回目のテストで聴取率が大きく下がっている。is は [is, z, s], there は [ðær, ðə] となり, is there は, [izðær, zðə] に発音される。特に there を it(15, 12), they(3, 2), the(4, 0) と誤聴したり, 聴き落としも目立つ。生徒は文法操作能力を使って, 「What + 助動詞 + 主語 + do + afternoon」の文型に聴いているので, is there を do you, is it, will we, will you に誤聴しているのである。all afternoon は [ɔ:læftənʊ:n] と連結が起こり, all の聴取率が大変低くなっている。all を our (22, 23), hour(3, 1), about(2, 3), on(5, 5) などに誤聴している。

⑩ (課題文) I'll pick you up on Sunday at nine o'clock.

⑦ 語聴取率



① 語群聴取率と誤聴例

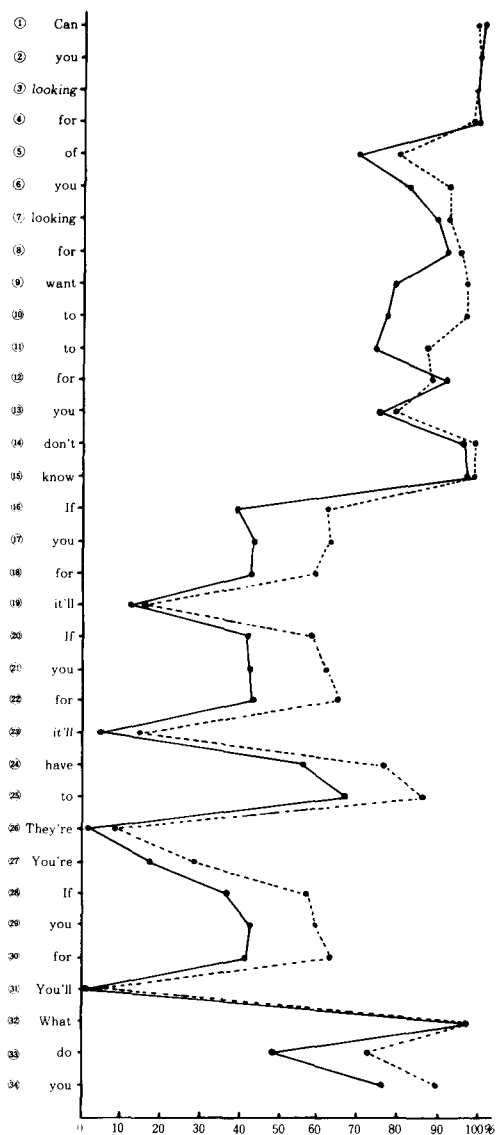
	語 群	聴取率	誤 聴 例
1 回 目	I'll	10.4 (15)	A(62) I(51)
	pick you up	10.4 (15)	pick up(24) pick you(19) picnic(15) pick(15) pick you(9) pick up you(8) pick upon(4)
	on Sunday	74.3 (107)	Sunday(20) upon Sunday(12)
	at nine o'clock	14.6 (21)	nine o'clock(91) nine(3) in nine o'clock(3)
2 回 目	I'll	13.9 (20)	A(63) I(47)
	pick you up	16.7 (24)	pick up(26) pick you(7) pick up you(14) pick your (12) pick(9) picnic(3)
	on Sunday	74.3 (107)	Sunday(18) upon Sunday(11)
	at nine o'clock	20.8 (30)	nine o'clock(86) on nine o'clock(4)

(考察)

短縮形 I'll の聴取率が悪い。I'll を A(62, 63), I(51, 47) と誤聴している。「A + (助) 動詞」という形は文法的にも間違っていることに気付かないのだろうか。今まで学んできた文法面の知識を, 聴く場合にも生かしていかなければならない。pick you は [pi kju] と連結を起こしているので, you の聴取率が悪くなっている。you を your(21, 29) と誤聴しているのは, you up [juap, jəʌp] と発音するからであろう。副詞 up には文強勢があるので, you を抜かして pick up と聴いてしまうのだろう。up on [ʌpən] を upon [əpʌn] と誤聴しているが強勢の位置に注意すべきである。前置詞 at は [ət, t] と弱形を用いるのがふつうで, 多くの者が聴き落としている。you と up の聴取伸び率は 19.5%, 11.1% と比較的高いが, 1回目と2回目の聴取率はほとんど同じようなグラフを描いている。

③ テスト3の結果から

テスト3は音声変化する語句を中心とした spot dictation である。



(考察)

この問題では、① Can、④ for、⑫ for の聴取伸び率は -1.6%、-0.7%、-3.5% で、これらを除くと全て 2 回目のテストの方が聴取率が伸びている。聴取伸び率の大きなものに、⑫ for (21.5%)、⑳ for (21.5%)、㉔ have (20.8%)、㉔ you (19.4%)、㉕ to (18.9%) などがある。聴取率の低いのは短縮形である。⑲ it'll は、it (14, 18), will (6, 26), to (10, 21) などに誤聴し、未答者が 1 回目 86 名、2 回目 36 名もいる。㉓ it'll も it (16, 16), will (5, 27), to (10, 21) などに誤聴し、未答者は 1 回目 88 名、

2 回目 34 名である。㉖ They're は you (22, 27), it's (14, 23), it (8, 12), They (5, 5) と誤聴し、未答者は 1 回目 29 名、2 回目 12 名である。㉗ You'll は you (56, 80), I (7, 4) などに誤聴し、未答者は 1 回目 59 名、2 回目 22 名である。いずれも 2 回目の方が未答者が少なく、主語に相当する語句を聴き取っていることは確かである。1 回目の平均聴取率は 60.3%、2 回目の平均聴取率は 72.0% で、11.8% の平均聴取伸び率を示している。

5. 実験結果からの解釈

(1) 指導の効果

rapid speech の聴取力を伸ばすにはどうすればよいのか。「英語が速すぎて分らない」と生徒が不満を述べているにもかかわらず、単に英語を聞かせているだけでは効果は上がらない。少しでも聴取力を伸ばすためには、語い、聴覚記憶、文法などの総合的な英語力を養う必要がある。さらに東後勝明 (1978, pp.2-4) のいう「音法」を指導することも聴取力を伸ばす大切な方法である。

テスト 問題	1 回目	2 回目	聴取伸び率
問題 1	58.3	67.8	9.5
問題 2	59.5	64.1	4.6
問題 3	60.3	72.0	11.8
平均	59.4	67.4	8.0

表 1 各テストの問題別語聴取率

表 1 には 1 回目、2 回目のテストの各問題の平均語聴取率および聴取伸び率を示した。1 回目の各問題の平均聴取率が 59.4%、2 回目は 67.4% で、平均聴取伸び率は 8.0% である。

さらに、問題 1、問題 2 の平均語群聴取率を調べてみると、問題 1 の 1 回目は 48.0%、2 回目は 58.2% で平均語群聴取伸び率は 10.2% である。問題 2 の 1 回目は 38.2%、2 回目は 43.1% で平均語群聴取伸び率は 4.9% となり、どちらも平均語聴取伸び率よりも大きいことを示している。

さらに、1 回目と 2 回目のテスト結果から、指導効果を測定するために、羽鳥博愛 (編) (1979, pp.201-202)

$$\text{の関連ある標本を用いた場合の } t \text{ 検定 } t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N \sum D^2 - (\sum D)^2}{N-1}}}$$

$df = N-1$ (N = 対になっている標本の大きさ、 D = 対になっている測定値の差) を行った。自由度 143 で片側検

定1%水準のときの t の値は2.326である。問題1は9.039, 問題2は6.999, 問題3は11.741となり, 総合的には14.663となって, いずれも1%水準で有意差があった。すなわち指導効果が大きかったといえる。

(2) 内容語と機能語

小栗(1971, pp.137-151)は, 内容語 — 名詞, (一部の)代名詞, 本動詞, 形容詞, (一部の)副詞, 間投詞 — は, 通例文強勢が置かれるが, 機能語 — 助動詞, (一部の)代名詞, 冠詞, (ある種の)副詞, 前置詞, 接続詞 — は, ふつう文強勢のない弱勢の語であると述べ, さらに, 「語強勢(Word stress)が比較的固定しているのに反し, 文強勢は相対的なものであり, 状況によって変化する。話す人の主観により, 時と場合によっていろいろに変わる。速く発音する場合には特別強調を要する語だけに文強勢がある。」と説明している。

問題	テスト	1回目	2回目	聴取伸び率
問題1	内容語	66.6	74.8	8.2
	機能語	50.0	60.7	10.7
問題2	内容語	67.6	71.9	4.3
	機能語	51.4	56.2	4.8
平均	内容語	67.1	73.4	6.3
	機能語	50.7	58.5	7.8

表2 内容語と機能語の聴取率

表2は, 問題1と問題2の内容語と機能語の聴取率を示している。機能語に比べて内容語の方が聴取率が高いのは当然であるが, 指導が加えられたことによって, 機能語の聴取伸び率の方が内容語の聴取伸び率より大きいことがわかる。機能語の多くが弱形を持っているので, 弱形の指導によって機能語の聴取率が伸びたと言える。さらに, 弱形や音声変化の法則を指導することによって, 語群が明確になり, 内容語自体の聴取率が6.3%伸びていることにも留意しなければならない。

(3) 音声変化する語

問題1, 2, 3に出ている音声変化する語群を同化, 連結, 省略, 弱化に分けて調べてみた。

① 同化

表3に示されているように, 1回目の平均聴取率は50.7%と低く, なかでも[gounə]と発音されるgoing toの聴取率は著しく低い。want to [wənə]の聴取は比較的よい。平均聴取伸び率が16.8%も伸びているのは指導の効果ができていると考えられる。

語群	回数	1回目	2回目	聴取伸び率
going to	1	0.7	17.4	16.7
have to	2	52.1	75.0	22.9
do you	3	69.9	86.3	16.4
want to	2	51.4	75.0	23.6
would you	1	79.2	84.0	4.8
平均		50.7	67.5	16.8

表3 同化する語群の聴取率

② 連結

表4からもわかるように, 連結する語群の聴取は最も難しいと言える。like itは[lai kit]となり, 代名詞itは前接語となり, 聴き落としがちであるが, ここではよく聴き取れている。all afternoonは[ɔ:læftənu:n]となり, allの聴取ができていない。pick youは[pi kju]となり, youをyourと誤聴したり, やはり聴き落としが目立つ。聴取伸び率は5.7%と低く, 十分に反復練習をして耳馴らしをしないと聴取力を伸ばすことは難しいといえる。

語群	回数	1回目	2回目	聴取伸び率
like it	1	92.4	93.8	1.4
find a	1	13.2	19.4	6.2
back in	1	11.8	27.9	16.0
all afternoon	1	3.5	3.5	0
nine o'clock	1	79.9	84.0	4.1
up on	1	40.3	51.4	11.1
pick you	1	30.6	31.9	1.3
平均		38.8	44.5	5.7

表4 連結する語群の聴取率

③ 省略

語群	回数	1回目	2回目	聴取伸び率
get there	1	84.7	95.1	10.4
hard to	1	11.1	14.6	3.5
we'll	1	0.7	0	-0.7
it's	1	85.4	86.1	0.7
I'll	1	11.1	13.9	2.8
it'll	2	8.7	13.9	5.2
They're	1	2.1	9.0	6.9
You're	1	17.4	28.5	11.1
You'll	1	0.7	3.5	2.8
平均		24.7	29.4	4.7

表5 省略が起こる語群の聴取率

表5に示されているように、it'sを除いて短縮形の聴取率は極端に低い。we'll, I'll, it'll, You'llなどの'll [əl, l]音はほとんど聴き取れていない。They're, You'reも're [ə, r, e]を聴き落とす者が多い。'llや'reのような前接語は、聴き取るのが困難なので、聞き手の文法操作能力を駆使して補って聴き取ることも必要である。聴取率も低く、聴取伸び率も4.7%と低いので、省略が起こる語群の指導はなかなか難しいといえる。

④ 弱形

強形と弱形の両方を持つ語は、鳥居・兼子(1979, p. 144)によると、助動詞18語、代名詞11語、前置詞7語など51語である。小栗(1971, pp.154-168)は動詞・助動詞21語、代名詞22語、前置詞13語など79語とし、大西(1976, pp.54-58)は代名詞26語、動詞・助動詞21語、前置詞9語など71語としている。ここでは大西に基づいて分類し、特に、動詞・助動詞、代名詞、前置詞をとりあげて検討してみた。

㊦ 動詞・助動詞

表6では、is [iz, z, s], can [kən, kn, kŋ]の聴取率は2回目の方が悪くなっている。特にisは、-11.7%という大きなマイナスの聴取伸び率を示している。聴取率自体はそれほど低くはないが、聴取伸び率が悪いということは、isは意外と聴取困難な語と言えるのではないか。willは[wəl, əl, l]と発音され、短縮形になりやすく、聴取の難しい語である。ところで、助動詞mightは弱形を持たないので、調査から除外したが、1回目の聴取率は12.5%, 2回目の聴取率は24.3%で聴取率の低い語である。

語	回数	1回目	2回目	聴取伸び率
is	2	76.0	64.3	-11.7
be	1	34.7	50.0	15.3
do	3	69.9	85.4	15.5
would	1	79.9	83.3	3.4
will	1	11.8	15.3	3.5
have	3	63.2	82.2	19.0
can	1	100	98.6	-1.4
平 均		62.2	68.4	6.2

表6 動詞・助動詞の聴取率

④ 代名詞

表7に示されているように、代名詞の聴取率は高い。youやitのように主格と目的格が同形のものは、目的格の聴取の方が難しい。

語	回数	1回目	2回目	聴取伸び率
you (主格)	10	74.6	83.7	9.1
you (目的格)	2	48.6	60.5	11.9
I	1	100	100	0
it (目的格)	1	96.5	97.9	1.4
we	1	83.3	94.4	11.1
平 均		80.6	87.3	6.7

表7 代名詞の聴取率

㊦ 前置詞

表8に示されているように、前置詞の聴取率は低い。特にatは[ət, t]と発音され、聴取困難な語の一つと言える。前置詞inや不定詞につくtoは、inには弱形がなく、toは前置詞ではないのでこの調査からは除外したが、聴取率の低い語である。

語	回数	1回目	2回目	聴取伸び率
for	5	45.9	58.2	12.3
on	2	86.1	86.2	0.1
at	1	16.0	20.0	4.0
of	1	69.4	79.9	10.5
平 均		54.4	61.1	6.7

表8 前置詞の聴取率

6. 今後のListening指導への課題

(1) 指導方法に工夫を

「聴く」という活動では、総合的な英語力を発揮して聴き取らなければ、とんでもない間違いが起こってくる。書かれたものを見ればふつつ起こらないような誤りが聴き取る時には起こるからである。聴取力を伸ばすにはそれだけ配慮した指導が必要になってくる。テープ教材やビデオ教材の使い方、視聴させる時期、さらには、プリントや教材提示装置などの利用についても工夫し、一時間の授業計画を綿密にして効果あるものにしていかなければならない。

(2) 内容語から機能語へ

意味理解のためには内容語を正確に聴き取ることが大切である。意味伝達の上で重要な語には必ず文強勢があり、それらの語を追うだけでもおよその意味は把握できるが、機能語を聴き取らなければ正確な聴取力は身につかない。多くの弱形をもつ機能語の指導によって、内容語がより明確に聴取できるようになるのは確かであるが、まず内容語に焦点をあてた聴き取りから、機能語に焦点をあてた聴き取りへと指導すべきだと思う。

(3) 語群としての聴き取りを

一語一語にとらわれていては正確な聴き取りはできない。stress-timed rhythm ののって、文強勢のない語句は数語でも一語のように聞こえてくる。音声変化の法則を知り、弱形を学ぶことによって、語群としての聴き取りが可能になってくると思う。語群を単位とした聴き取りから文単位の聴き取りへと聴取の幅を広げていくようにしなければならない。

(4) 反復練習を大切に

守屋(1984, p.127) が指摘しているように、slow speech と rapid speech の聴取力には大きな差がある。rapid speech を聴いて、「速すぎてわからない」からといって、聴くのをあきらめてしまうと聴き取る力は生まれてこない。文意を考え、反復して聴くことによって聴取できる語句が増えてくる。英語の音の流れに浸ることによって、今まで聴き取れなかった音が聴こえたり、意味がわかったりするものである。授業中にも反復して練習させるだけの時間の余裕を生み出したいと思う。

7. おわりに

英米人が自然に話す英語を聴き取れるようになるには、slow speech ばかり聴いていたのではいつまでたっても聴き取れるようにはならない。現在では、茶の間にいて、生の英語の番組や、イギリス、アメリカなどのニュースが英語でとびこんでくる。生の英語に触れる機会は随分多くなったと言える。

D. O'Connor(1980, p.105) は、

All these examples of changes and disappearances of sounds should encourage you to listen most carefully to the *real* shapes of English words, which are so often different from the shapes which the ordinary spelling might suggest. You can always find the normal shape of a word by looking for it in a pronouncing dictionary, for instance Daniel Jones's *English Pronouncing Dictionary*, which is most useful for any foreign user of English, but the most important thing, as always, is to use your ears and really *listen* to as it is.

と、自然に話される英語を聴くことの大切さを述べている。

教科書準拠のテープだけを生徒に聴かせていたのではいつまでたっても rapid speech の英語は「速くてわか

らない」ままになる。視聴覚教材を用いて生の英語をできるだけ多く shower するべきである。その時、自然に話される英語の特性を説明し、注意して聴かせることによって聴き取る力は急速に伸びるはずである。

参考文献

- 1) N. ブルックス (1972), 『言語と言語学習—理論と実際』(大修館).
- 2) Cartledge, H.A.(1967), "A Defence of Dictation," *English Language Teaching*, Vol.22, No. 3, pp.226-231.
- 3) Dayes, A. F.(1972), "Learning from Dictation," *English Language Teaching*, Vol.26, No.2, pp.149-154.
- 4) Gimson, A. C.(1980), *An Introduction to the Pronunciation of English* (Edward Arnold).
- 5) 羽鳥博愛(編) (1979), 『英語指導法ハンドブック ④評価編』(大修館).
- 6) 長谷川潔(編) (1971), 『ニュー・ヴィスタ英会話シリーズ 1 <発想別>』(三省堂).
- 7) 垣田直己(編) (1979), 『英語教育学研究ハンドブック』(大修館).
- 8) 国弘正雄(1970), 『英語の話し方 — 同時通訳者の提言』(サイマル出版会).
- 9) 守屋雅博(1984), 「Colloquial English の聴取についての一考察」『奈良工業高等専門学校研究紀要』第20号, pp.117-130.
- 10) 小栗敬三(1971), 『英語音声学』(篠崎書林).
- 11) O' Connor, J. D.(1980), *Better English Pronunciation* (Cambridge University Press).
- 12) 織田稔(1982), 「英語聴き取りの困難点 — 述語動詞を中心に」『英語科教育研究』第3輯, pp.15-24.
- 13) Oller, J. W. Jr.(1971), "Dictation as a Device for Testing Foreign-Language Proficiency," *English Language Teaching*, Vol.25, No.3, pp. 254-259.
- 14) Oller, J. W. Jr.(1974), "Close, Dictation, and the Test of English as a Foreign Language," *Language Learning*, Vol.24, No.2, pp.245-252.
- 15) 大西雅行(1976), 『英語の音声法則』(学書房出版).
- 16) R. ラドー(1961), 『言語科学と言語テスト』(大修館).
- 17) 東後勝明(1978), 『英語発音のコツ』(金星堂).
- 18) 鳥居次好・兼子尚道(1979), 『英語の発音 — 研究と指導』(大修館).

- 19) Vallette, R. M. (1967), *Modern Language Testing* (Harcourt, Brace & World).
 20) Weinstein, N. (1982), *Whaddaya Say?* (ELS Publications).
 21) 吉田一衛 (編) (1984), 『英語のリスニング』 (大修館).

(資 料)

問題1. 次の対話文を聞いて、下線部に英語の文を書きなさい。

1. A: They are coming on the stage. Can you see them?
 B: Yes, I can see them. Wow! ① This is really going to be a good concert.
2. A: I've invited a lot of people to the party tonight.
 B: Then ② we'll have to go shopping.
 It's a quarter of three now.
3. A: No, I don't. ③ Do you know how to get there?
 B: Sure. I know an easy way to get there.
 It's fast, too.
4. A: What year are you looking for?
 B: I'm looking for a '78 or '79. ④ How much do you want to spend for the car?

問題2. 次の対話文を聞いて、下線部に英語の文を書きなさい。

- Fred: ⑤ What would you like to do on Sunday?
 Jun: There's a new movie at the palace.
 A friend told me it's very good.
 ⑥ I think you might like it.
 F: I've seen it already. Anyway, I don't like to go to the movies on Sunday. It's always very crowded. ⑦ It's too hard to find a good seat.
 J: What would you like to do then?
 F: Have you ever been to Green Mountain Park?
 Maybe we could go there and have a picnic.
 J: That's an idea. But it's very far away, isn't it?
 F: I guess it's about a three hour drive.
 J: ⑧ Will we have time to go there and back in one day?

F: Yes, sure. We can leave early in the morning. If we get there about noon, we'll have lots of time. We won't have to start back until about six.

J: ⑨ What is there to do all afternoon?

F: There's a path up the mountain. After lunch, we can climb to the top.

J: Okay. That sounds like fun. Let's go to Green Mountain park.

F: I'm sure you'll like it. ⑩ I'll pick you up on Sunday at nine o'clock.

問題3. 次の対話文を聞いて、() 内に適当な語を書きなさい。

SALESMAN: (① Can) I help (② you)?

JOHN: Yes. I'm (③ looking) (④ for) a used car.

S: What kind (⑤ of) car are (⑥ you) (⑦ looking) (⑧ for)?

J: I (⑨ want) (⑩ to) try (⑪ to) find a late model economy car.

S: Say no more. I have the perfect car (⑫ for) (⑬ you). Follow me.

J: Is this it?

S: This is the one. Isn't it beautiful?

J: I (⑭ don't) (⑮ know). The paint's chipped.

S: No problem. (⑯ If) (⑰ you) pay a few dollars (⑱ for) a paint job, (⑲ it'll) be as good as new.

J: How many miles has it got?

S: Oh, around 95,000. But (⑳ If) (㉑ you) pay a few dollars (㉒ for) an overhaul, (㉓ it'll) be as good as new

J: The tires (㉔ have) (㉕ to) be changed. (㉖ They're) bald.

S: (㉗ You're) right. But (㉘ if) (㉙ you) pay a few dollars (㉚ for) new tires, (㉛ you'll) have a beautiful car. Right? Right! Now (㉜ What) (㉝ do) (㉞ you) say?

宗教的信念と唯心論

——ウィリアム・ジェームズの
唯物論批判についての考察——

木村 倫 幸

Religious Belief and Spiritualism

— A Study of William James's Criticism on Materialism

Tsuneyuki KIMURA

ウィリアム・ジェームズにとって唯物論や自然主義に対する闘いは、特別に重要な意味を有していた。ジェームズの基本的立場からすれば、これらの主張は、その決定論的傾向から不可避免的に宿命論へと行き着かざるを得ないものと考えられたが故に許し難いものであったのである。しかも十九世紀末から二十世紀初頭にかけての科学の大幅な発達には、ますますこれらの主張に裏付けを与え、その優位性を誇示するような状況を出現させたから、彼においてはそれだけなおこれらに対する反発と批判の姿勢が強まって行くことになるのである。

これらの主張は、科学の発展の波に乗って、科学的に確証され得る知識や論理以外のものをすべて妄想として片付けてしまい、特に神の觀念に徹底的な批判を加えるものであった。さらに、これまた徹底した意志の自由の否定をその特徴とするものでもあった。

ジェームズは、かかる思潮の流行に対して、その哲学を開始する最初の時点から、自己の宗教的信念を擁護する強固な主張を展開したが、このことは彼の最初の哲学的著作である『信する意志』(“The Will to Believe and Other Essays in Popular Philosophy”)において既に明らかにされている。そこではジェームズは、決定論に対して意志の自由を主張し、我々の生きる価値の奥底には神あるいは宇宙の広大な精神が存在していること、そしてそれへの確信がまさしく生きる価値への重要な条件となっていることを強調している。すなわちジェームズの立場からは、我々の精神がある広大な精神に結びついているという確信こそが何ものにもまして我々に満足と平安を与え、救いをもたらすものであって、この確信を持つことは、——たとえ実際にその存在する可能性がいかに少なくとも、またそのために大いなる誤りに導かれる危険があろうとも——誤りを恐れるあまり希望を最初から全て捨ててかかるよりは遥かに良いことであるとされる。というのも確信を持つことによって初めて希望の可能性が生じるからであり、またこの選択を前にしてそこで逡巡することは、まさしく一つの選択——希望を捨てるという選択——をなすことに他ならないからである。

従ってかかる確信への道を最初から拒否する唯物論や自然主義こそすべての救済の可能性に自ら扉を閉ざしてしまうものであって、有神論に根本的に対立するものであった。ジェームズは、これに対して執拗に批判を繰り返す訳であるが、その批判では右に述べた確信の擁護が中心的な課題となっている。

しかし同時に、ジェームズの主張が、この点に関して次第に非合理的神秘的な色合いを帯びてくることも以前に指摘したところである。① その結果、内容はともかく自己の信念を持つこと自体が生きている価値を産み出すというように受け取られかねない主張となされてきたこともまた周知の事柄であろう。そして我々は、このような極端な主張のなされる根底にはジェームズの唯物論についての理解が大いに関係していることを見出すことができる。またジェームズの唯物論理解には、宗教的信念擁護のための、現代とも通じる典型的な観念論的立場からする批判が含まれており、我々はこのことを説明することによって、彼の思想の特徴をその基本的な部分で把握することができると考える。

さらにジェームズの主張は、最終的には有神論の徹底として、彼のヴィジョンに適合した汎神論的な多元論的世界観——根源的経験論 Radical Empiricism——へと導かれるのであるが、そこには唯心論 Spiritualism②というよりも、その主知主義的傾向を超越した心靈要素すら見えるのであり、ここにいたってジェームズの宗教的関心の何であるかが明白となるのである。従ってこのような事情からすれば、唯物論への批判、無視は当然の前提として置かれなければならないが、この前提の意味するところは、それほど簡単に処理されてしまうようなものではないと思われる。

小論は、以上の問題意識を踏まえて、ジェームズにとって唯物論はいかなる意味を有したかの説明を通じて、彼の宗教的信念への道すじを見出すことを目指している。

二

ジェームズは、近代科学の発展が社会的に影響を与えた結果として、「今日ほど、疑いもなく経験論的傾向の多くの人間が存在したことはかつてなかった」(B, p. 14)、「我々の子供達は、ほとんど生まれつき科学的であると誰でも言うかもしれない」(ib.)ということを描き出す。つまり事実を重要視する風潮が一般化しているというのである。ところがこの経験論的な傾向の思想——それはジェームズの分類によれば「硬い精神 tough-minded」ということになるが——は同時に「唯物論的」「非宗教的」等々の特徴を有しており、この傾向の徹底は、合理論的傾向——「原理に基づくもの」「軟い精神 tender-minded」と——との間に「科学と宗教との間の対立抗争」(ib. p. 15)を喚び起こす。この結果後者すなわち合理論的傾向の側では、伝統的な有神論の擁護よりも、「超越的観念

論 transcendental idealism」「絶対者の哲学 philosophy of the absolute」といった極端にいたることになり、これがまたジェームズの批判を招くことになる。③

しかしこのことは増くとして、ジェームズは経験論的傾向の伸長を次のように評価するのである。

「過去百五十年の間に科学の進歩は、物質的世界の拡大と人間の重要性の縮小をもたらしたように思われる。その結果は、人々が自然主義的感情あるいは実証主義的感情の成長と呼ぶものである。」(ib. p. 15)

右のような状況は、とりまなおさず唯物論的な思想の拡大に他ならないとされるのであり、この説明による宇宙とは、「自然、それは確固として存在しているものであり、人間、それは自分自身を適応しなければならないものである」(ib.)という基本的視点と、「より高次なものはより低次なものによって説明され、そして絶えず『それだけのもの』の事例として——すなわち全く下位の種類の何かであるだけのものとして——取り扱われる」(ib.)という方法論的特徴を備えたものとされる。

ジェームズは、この唯物論に関する理解を次のように続ける。すなわち唯物論によれば、「自然界の諸法則が事物を動かしている」(ib. p. 49)のであって、世界のあらゆる事象はこの諸法則によって説明されることになるが、これらは人間の存在や意志とは無関係に盲目的に動く。これらによって世界を説明するとは、人間の存在や精神をこれらの諸法則の対象としてのみ扱うことであり、具体的には人間の精神活動を生理学の諸法則によって述べることに他ならない。④ それ故人間の精神のあるべき姿として「自然がそうであるところの特質を記録し、それが自然の盲目的な諸法則によって作用しているとして書き留めておかねばならない」(ib.)のであるし、さらには「人間をして真理を記録せしめよ、たとえそれがどんなに非人間的なものであろうとも、そして服従させよ！」(ib. p. 15)ということになる。このような理解からジェームズは、これを唯物論というよりも「自然主義」と名づけた方がよいとも主張するのである。

右に見られるように、ジェームズの唯物論についての理解は、極めて機械論的、決定論的であり、これに従えば最終的には宿命論に行き着く他ないと予想されるものである。

しかしこの見地は、ジェームズのプラグマティズムの方法を適用すれば、過去に関しては、有神論の見地と何の差異もないものとされる。すなわち「我々が世

界を物質の結果であつたと見なすかどうか、あるいは我々が神的精神をその創造者であつたと考えるかどうかは、世界の過去に関する限り、少しの違いもないのである。』(ib. p. 50) 換言すれば、「現実に経験された世界は、どちらの仮説の上に立っても細部にわたって同じであると考えられる」(ib. p. 51) のである。プラグマティズムの方法論の特徴が、その実際の効果、差異によって事物や観念を判断するという点にあるとすれば、まさしく世界の過去は「取り返され得ない贈物 a gift which can't be taken back」(ib.) のであつて、唯物論の見地も有神論の見地も変りのないものとされる。

それ故ジェームズの唯物論批判は、将来に対する観点に、現に今我々が立っているこの時点から以後の展望に向けられることになる。何故なら「もしも将来でのいかなる経験あるいは行為の詳細な記述も我々の仮説から導き出されないとすれば、唯物論と有神論の間の論議は、全く無益な、意義のないものとなる」(ib. p. 52) からである。かくして唯物論と有神論との世界観上の対立は、将来における我々の行為の差異として認識されねばならない。この意味でジェームズは、「すべての真の意味での形而上学の論議においては、たとえ推測に基づくわずかなものであつても、何らかの実際的な論点が含まれている」(ib.) と指摘するのである。

三

さてジェームズは、将来における世界観上の差異の検討にあたつて、この問題が、現在の世界の本質的な性格をどのように考えるかという問題と密接な関連を有していると主張する。というのはこの世界をどう見るかによって世界の本性が規定され、その結果として将来の我々の行為もまた規定されてくるからである。

従つて彼の唯物論批判もこの点から出発しなければならぬ。そしてかかる問題に関するジェームズの姿勢は、その初期の段階から終始一貫していると考えられる。

例えば『心理学原理』(『The Principles of Psychology』)における次のような叙述は、その後もしばしば表われる彼の問題提起の典型と言えよう。

「宇宙(Kosmos)は、その内的な本性において合理的な知性の表われであるのか。それとも純粹で単純な、粗野な外的事実であるのか。もし我々が宇宙について熟慮するときに、それが何ものかのために存在しているという印象を我々自身追い払うことができないでいるのを感じるならば、我々は宇宙の中心に知性を

置くのであり、我々は宗教を持つことになる。これと反対に、宇宙のもとにもどすことのできぬ流れを見渡すとき、我々が、現在を単に過去から機械的に発生し未来に対して無関係に起こるものとしてのみ考えることができると思えば、我々は無神論者や唯物論者となる。」(PP, p. 21)

すなわちジェームズによれば、唯物論哲学は「ある種の外来の客か余所者のように人間の魂を自分の上に置いている」というような世界を定義する」(PU, p. 15) とされ、ここから「唯物論は物事におけるなじまないもの(the foreign)を本来のもの、永久のものであると信じる」(ib. p. 19) のである。従つてまた「唯物論は、我々が最も大事にするほとんどすべての衝動(impulses)の対象の実在性を否定する」(W.B. p. 71) 思想でもある。この思想の立場に依拠する限り、「世界は単に非常な現実、事実上の(de facto)存在」(ib. p. 84) であるといふこと以上のことはなく、「それについて語られる最も深遠なことは、それがそのように存在するように生じている」(ib.) ということのみとなる。

つまり唯物論とは、ジェームズによれば、右に見てきたような、全く機械的に動くものとしてしか世界を考えることができない、従つてその世界の中で生存する人間に対しても何ら関心を払わず、いわんやその人間の本質的特徴であると考えられている衝動、感情、関心を無視するものであり、その結果当然のこととして人間の自由意志や精神的活動性を排除する立場を取るものである。それ故唯物論の行き着く先は、機械的進化論の予言と同様、宇宙の必然性にひたすら従うことで宇宙の終末へと進む他ないのであつて、「全くの最終的な破壊と悲劇が、現在理解されている科学的唯物論に不可欠なものとなつている」(PU, p. 86) とされるのである。

しかし宇宙の本質をこのようにしか考えることができないとすれば、そこには何の希望も生き甲斐も見出されないことは明らかである。確かにこのような世界は、ある意味では合理的であるかもしれない。しかしまたこの世界は「出来事を数学的な計算に服従させる」(PU, p. 55) が故に、「算術が醜い(ugly)のと同様に醜い」、そして非道德的である。」(ib.)

そこでジェームズは、最後には破壊へと進む他ない唯物論に対して、「我々は……(中略)……それ(唯物論——引用者)が次のようでないことに苦情を申し立てる、すなわちそれが我々のより理想的な関心に対する永遠の保証ではないことに、我々の最も遠い希望を満たしてくれるものではないことに、苦情を申し立てる」(PU, p. 55) としてそのヴィジョンのなさ、悲観主義を批判する。そして

これに対して、「永遠の道德的秩序」というこの要求は、我々の胸の最も深い要求の一つである「(ib)」が故に我々は「物理的秩序がただ部分的な秩序であることを信じる権利」(W.B, p. 49)を有していること、および「この物理的秩序を(中略)精神的秩序によって補う権利」(ib)を有していることを主張する。

換言すれば、唯物論の機械的必然性の主張、宿命論への転落、道德的秩序の否定に対して、人間には、魂を「ある種の外来の乗客か余所物」のように扱うような世界ではなくて、「親密で人間的なものが厳しいものを取り囲み、その根底にある」(P.U, p. 16)とする世界、道德的秩序がその基礎に存在する世界を構築する権利があるとするのである。この後者が唯心論的な思考方法であって、この意味では有神論、唯心論は、「少くとも、数学的観念に対して永遠に耐え抜かれるべき理想的秩序を保証するというこの実際のな優位性を持っている」(P, p. 55)のである。

かくして唯物論に対するジェームズの基本的な思想が明白となった。それは端的に言ってしまうと、唯物論の機械的必然性の冷たさ、厳しさにじっと耐える世界に対して、我々が信頼すべき秩序を有している世界を、その親密さの中で我々が安んじてくつろげる世界を目指していたのである。従ってジェームズにとっでは唯物論と唯心論との対決は、どちらの哲学を受け入れるかという問題としてよりも、どちらの生活を我々が受け入れるかという問題として提起されてくるのである。ジェームズの言葉を借りれば、「すなわちここに、これらの異なる感情のおよび実際の訴えに、希望と期待に関しての我々の適応の具体的な態度に、そしてそれらの違いが伴うすべての微妙な結果に、唯物論と唯心論との真の意味が存在している」(ib)のである。

このことは具体的には次のように述べられる。

「実用的な観点からすれば、なじまないものを背景に生きていること(唯物論——引用者と親密なものを背景に生きていること(唯心論——同)との差異は、一般的な警戒の習慣と信頼の習慣との差異を意味する」(W.B, p. 19)と。

つまり我々はいずれの立場に立つかによって異なった生き方をするようになる訳である。この場合我々が警戒もしくは信頼する対象は、「我々全部の共通の仲間(socius)」(ib)であり、我々全部がその子供である宇宙なのであるから、ここからしても我々が唯物論の立場で生きようとするれば、我々はこの仲間(宇宙)を警戒しつつ疑って生きて行かねばならないし、反対に唯心論の立場で生きるのであれば、我々は恐れを持つこともなく、信頼して生きて行くことができること

になる。従ってこの生き方の差異は「社会的な差異」(ib)と呼ばれ得る。

四

このように唯物論の哲学を否定し去ったジェームズは、これよりも優れた信頼できる哲学として有神論、唯心論の哲学を持ち出してくることになるが、その差異の端的な表われは生活の姿勢の差として出てくることになった。そしてこの場合我々が唯物論よりも唯心論の方を選択する理由は、まず第一に精神的気質にあると考えられる。^⑤ すなわち唯心論による世界の見方をすれば、物事の本性と我々の個人的自我との間に類似性が与えられるとされるのである。というのもジェームズによれば「我々自身の思考は、我々がそれに最も精通しているものであり、我々が恐れることの最も少いものである」(ib, p. 75)から、「そこで宇宙は本質的には思考であると述べることは、私自身が少なくとも潜在的にはすべてであると述べることなのである」。(ib)従って唯心論の立場からは宇宙には「親密さ」が充満しており、我々はこれと「共に(mith)」行動することに確信を持つことができるのである。

ここでジェームズは、唯心論が、我々と宇宙との対立ではなく、それとの共通性を、すなわち我々がこの宇宙の一部であるとの確信を抱かせるが故に、唯物論よりも優れており、正しいとする。換言すれば「一撃で、それは世界の死んだ空虚なそれ(ib)を、すべての人間が関係を持つ生き生きした汝(thou)に変える」(ib, p. 101)のである。従ってこの結果世界はまさしく我々に親しいものとなり、生きる価値のあるものとなる。

この唯心論の優位は、「実践的合理性(practical rationality)」の問題にいたるとさらに明白となる。このことについてジェームズは次のように説明する。すなわち唯心論(有神論)も唯物論、不可知論もそれぞれの理論は、ジェームズによる精神の機能の第二段階——理論的段階、ここでは物事の本性の定義を行ない、諸定義を用意する——から起ってくる。次にここから双方の理論は第三段階(行動、反応の段階)へと移り、物事の解決を与えることになる。すなわちこの段階では「我々の本性の活動的な諸力の全隊列は、いかにして自分自身を人生に対して最も深くかつ価値あるように発射するかということについて知らせてくれる言葉を性急に待っている状態である」(ib, pp. 100-101)まさしく我々の精神の活動的諸力が待ち望んでいるように、今やそれらの理論が我々に行動するべき目標を与えるべきときなのである。

ところがこの時によりによって唯物論は言う。世界は原子とその法則によって成り立っているのであるから、「原子とそれらの衝突とに反応せよ」(ib. 9)と。また不可知論は言う。「我々は知らず、我々は知らざるならん」(ib. 10)と。これらの理論の主張する全く期待外の言葉によって我々の本性の活動諸力は行くべき目標を失い、そのエネルギーは当てもなくどこかをさまよわなければならぬことになる。かかる不幸な結末が唯物論、不可知論によってもたらされる以上、我々は「実践的合理性」の見地から、これらを合理的でないと見なさねばならない。

これに対して唯心論(有神論)がもたらす世界は、既に述べたように「世界の死んだ空虚なそれ(ib. 11)」を「生き生きとした汝(thou)」に変えるものであり、我々に行動するための確信を与えてくれるものであるが故に「最も実践的に合理的な解決法」(ib. p. 101)と云い得る。我々は右の理由により、唯心論(有神論)をこそ真なる思想として採用すべきである。

ジェームズは、以上のように主張することで、精神的気質の点からも、実践的合理性の点からも、唯心論(有神論)の優位を強調する訳であるが、最初の所で述べたように、その究極の目的は、宗教的信念を擁護することにあつた。従つてこれを公然と否定する唯物論はまさしくその主張の故に葬られねばならなかったのである。それ故この後かかる主張を推し進めることによって、ジェームズが次第に非合理的な色彩の濃い「信ずる意志」へと接近して行ったのも当然の結果であると言えよう。このことについて詳細に論じるのは小論の主旨から離れることになるが、要するにジェームズは、唯物論の否定、唯心論(有神論)の強調を踏み台にして、「(行動によつて測定されるものとしての)信念は、いつも科学的証拠にまさり、またまさらねばならない」(ib. p. 102)という主張を展開することになる。そしてここからはすぐに「信念がその实在の告発者であると同時に要因でもあるところのある種の真理が存在する」(ib. 103)、「この種類の真理に関しては、確信は、合法、適切であるのみならず、本質的、不可欠でもある」(ib. 104)という主張が出て来、客観的事実のみでなく我々の確信が真理を真理たらしめる条件であることが強調されることになるのである。これは人生の価値の問題や宗教的問題については特にあてはまるとされ、かくしてジェームズの思想は、「信ずる意志」の方向を信念を持って進むことになる訳である。

五

さてこれまで見てきたように、ジェームズの唯物論に対する批判には終始変ら

ぬものが存在していることが理解されよう。それは、何度も繰り返すことになるが、宗教的信念の擁護の問題——この宇宙の本質が道德的であるのか否かにかかわる人生の根源的問題——であり、ある意味ではこのためにジェームズの思想は存在してきたと言ふことができるであらう。

つまりジェームズの前には客観的状況として科学の発展があり、その影響で「人間の本性には、実際に触れることのできる事実のみしか承認することのできない、深くしみ込んだ自然主義や唯物論の考えが含まれている」(ib. p. 105)そこでジェームズは、唯物論哲学の分析を行ない、これが事実を尊重する経験論の傾向を持つとともに、自然法則による機械的決定論に他ならないことを指摘するのである。このことはただちに唯物論が宿命論へと連つていくことを意味すると同時に、科学による世界の解明の限界、とりわけ人間精神を「科学的」に説明することの限界をジェームズに確信させることとなった。

しかしここで我々は、ジェームズによる唯物論の内容把握に目を向ける必要があると考える。というのはジェームズにとつて唯物論とは、右に述べた機械的唯物論に他ならなかったことが明白であるからである。自然の盲目的な諸法則による世界——人間の精神を含む——の説明ではジェームズを満足させることは無論不可能であり、いわんや宇宙とのつながりの確信などは問題外の事柄であつた。それ故にジェームズは唯物論の世界観を非道德的なものと見なす訳であり、またそれだけになおさら宗教的信念の擁護を重視することになる。

しかしながら我々は、ジェームズが唯物論を機械的決定論としてのみ扱えたこと、あるいはそのようなものとしてしか扱えることができなかったことを問題にしなければならぬ。ジェームズが唯物論をかかものとした背景には、当時(十九世紀後半)流行していた俗流唯物論(vulgarisierter Materialismus)に対する批判が存在していることは疑うことができない。この唯物論の「思想の脳髓に対する関係は、胆汁の肝臓に対する、もしくは尿の腎臓に対する関係のごときものである」という主張や「憐なくして思惟なし」とする宣言は、まさしく機械的運動の因果法則性によつてすべての事物、人間の精神、意識をも説明しようとするものであつた。^{⑦⑧}従つてこれに対してジェームズが批判攻撃を加えて否定すべきものとしたことには一理あるであらう。何故なら俗流唯物論によつては人間存在の社会性、意識を十分に把握することができないからである。

ところがジェームズにとつては、これ以外の唯物論は存在しなかつたのであり、この唯物論の主張に対する攻撃がジェームズの唯物論批判の全てであつた。こ

のことはジェームズの立場を科学とは異なる、それを超越した世界の信念へと導いたことと無関係ではないと考えられる。すなわち唯物論の機械論に対して「信ずる意志」を、道徳秩序の否定に対してその肯定を、破壊と悲劇の宿命論に対して救いの有神論を、一言にて表わせば物理的秩序に対して精神的秩序を対置し、後者が我々の支えとなり、生きるに値する世界を形作ると主張するジェームズの思想は、この機械的唯物論に対する反発なくしてはあり得なかったのである。従ってジェームズが最終的に行き着くところのあの主観的世界「信ずる意志」の世界は、唯物論、科学の「合理性」が機械的に把握されればそれだけ非合理的なものにならざるを得なかった。

このことは我々がジェームズの言う「実践的合理性」を検討するときに一層明白となる。ジェームズが唯物論よりも唯心論（有神論）を選じた際の有力な理由のひとつであったこの「実践的合理性」と称するものは、言わば行動にあたっての決意であり、何の科学的な根拠も有さないものであった。ところがこれが唯物論、不可知論との対決において重要な条件として使用されているという点、とりもなおさずジェームズの非合理性をよく示していると言えよう。

以上我々は、ジェームズの唯物論批判の特徴とその目的を検討してきた。その中で我々は、この批判が、分量としてはそれほど多くを占めないとはいえ、ジェームズがその思想を展開して行く上に不可欠の前提を成していたことを見出した。さらに言えばジェームズの唯物論批判の特徴が、現在においても、宗教的信念を擁護し、観念論的立場から世界を考える人々の唯物論批判と相通じるものを持っていることを指摘しなければならない。そうであればこそ今日なおジェームズが論議の対象となっているのである。

そして最後に我々は、ジェームズが懸命に機械的唯物論を批判して自己の宗教的信念を擁護していたまさにその時代に、思考と存在、精神と自然の関係の問題をめぐって、唯物論と弁証法とを結合させることによって、マルクスとエンゲルスが、人間の社会発展の原動力、社会的実践を説明した理論（弁証法的唯物論）を提出したという事実をも指摘しておかねばならない。この理論が機械的唯物論の欠点を批判し、唯物論をより高い段階へと引き上げたことは疑う余地がないように思われる。しかしこのことに関してジェームズは一言半句も語らない。これについての究明は課題として残される。

註

本文におけるジェームズの著作からの引用文の略号は次の通りである。

P.P. = *The Principles of Psychology*. Volume I, Harvard

U.P., 1981.

W.B. = *The Will to Believe and Other Essays in Popular*

Philosophy. H.U.P., 1979.

Pr. = *Pragmatism*, H.U.P., 1975.

P.U. = *A Pluralistic Universe*, H.U.P., 1977.

- ① 拙稿「意志と多元的世界——ウィリアム・ジェームズの『信ずる意志』についての考察」（奈良高専研究紀要第二十号、一九八四年）参照。
- ② ジェームズにおいては厳密には唯心論Spiritualismと有神論Theismは区別されるべきものであり、前者は唯物論に対立する概念として、また後者は前者の下位概念として、その中に一神論と汎神論を含む。しかし本稿では唯物論との対立の側面を強調するために便宜上両者を同様なものと見なした。（*cf.* *P.U.*, pp. 15 ~ 19）
- ③ 「絶対者の哲学」に対するジェームズの批判については『プラグマティズム』第一講「哲学における今日のディレンマ」（*Pr.*, pp. 16 ~ 17）および『多元的宇宙』第二講「一元論的観念論」（*P.U.*, p. 25 ~）を参照のこと。
- ④ *cf.* *Pr.*, p. 15 および *ib.* p. 49
- ⑤ ジェームズが「哲学史は、大部分が人間の気質のある一定の衝突の歴史である」（*Pr.*, p. 11）と述べているのはよく知られた事柄であらう。
- ⑥ *Du Bois-Reymond*, *Die sieben Welträtsel*, 1882. からのジェームズ自身による引用。
- ⑦ 前者はフォークト（*Karl Vogt*, 1817 ~ 96）の、後者はモーレスコット（*Jakob Molescott*, 1822 ~ 93）の主張である。これらの俗流唯物論は後に、弁証法的唯物論との対比においてエンゲルスによって批判された。
- ⑧ なおジェームズのこの理論に対する検討は、『心理学原理』第三章「懐と思考」の項（*P.P.*, pp. 106 ~ 8）を参照のこと。

大和守源頼親小考

On Yorichika Minamoto, Governor
of the Province of Yamato

Hiroshi ASAKURA

朝
倉
弘

大和守以前の源頼親

本稿は大和源氏の祖といわれている源頼親についての基礎的事項を中心に究明しようとするものである①。

源頼親は『尊卑分脈』では、清和源氏の「満仲息男頼光・頼親・（頼信）・頼平・頼範流」（傍点筆者、以下同）のうちにみられ、頼親は清和源氏源満仲の息男と考えられる②。同分脈では頼親についてつぎのとおり記されている。

住大和国豊嶋郡 惣而以当流号大和源氏

大和周防淡路信濃等守 左兵尉 宮内丞正四下 左衛門尉従五位下叙留

舎兄頼光朝臣卒去之後世人加武将四天王内云々

永承五正廿五依興福寺訴配流土左国 母左衛門権佐藤原致忠女

右の事項がすべて事実かどうか問題であるが、必要に応じて検討を加えたい。当面右の記録では頼親の生年・没年は不明であるが、あとでふれることにして、まず頼親の記録にもとづいて、年次順に考察する。頼親の初見③は、『日本紀略』正暦五年（九九四）三月六日条の、つぎの記録である。

召_レ武勇人源満正朝臣、平維時朝臣、源頼親朝臣、同頼信等_一、差_二遣山々、令_レ搜_二盗人_一、

『本朝世紀』の同日条にも同じ記録がみられるが、派遣先については「京中并国々盗人」とみえ、『北山抄』第四の「大素事」では「可踏索其方山々」とあり、一〇世紀末は藤原道長が政権を掌握する時期であるが、これら記録によると、諸国の山々はもちろん、京周辺の山々、さらには京中にも盗賊のいたことが知れよう。

『本朝世紀』の前掲条にも源平出身の武者のほかに「又六衛府馬寮各相分遣_二左右京_一」とあり、おそらく京中や周辺の山々には六衛府や馬寮の役人が盗賊追捕に出動したが、そのほかに武者たちも派遣されたことがうかがえる。このうち武者、武勇人の一人として源頼親が、叔父の満正（政）や兄弟の頼信、その他平氏とともにあげられている。頼親は若くして記録に残る武勇人であったことがうかがえよう。

一方、中央政界では、翌長徳元年（九九五）五月一日には、藤原道長は内覧となり（『公卿補任』）、続いて同年六月一九日には右大臣へと昇進した（『日本紀略』）。こうした道長の急速な台頭は、中関白と称された兄藤原道隆の子内大臣伊周との対立をもたらした（『小右記』、同年七月二四日条）、翌二年正月伊周は弟隆家とともに、従者に花山院法皇を射らせるといふ企みをすめた（『小右記』一六日条）。この陰謀は発覚して伊周兄弟は左遷され（『日本紀略』四月

二四日条)、妹の一条院皇后定子は落飾した(『日本記略』五月一日条)。

右の事件をへて政敵が没落すると、道長は同年七月には左大臣となり(『公卿補任』)、実質中央政府における権力を掌中に収めた。時に三十一歳であった。この花山院事件のなかでの禁中警固に関して、『栄華物語』五の「うらうらのわかれ」にはつぎのとおり記されている。

内には陣に、みちの国の前守維のふ、左衛門尉惟時、備前々司頼光、周防前司頼親などいふ人々、みなこれ満中(仲)、貞盛か子むまこ也、をのをつは者共、かすしらすおほくさふらふ、春宮の帯刀や滝口やなといふものとも、よるひるさふらひて、せきをかためなどして、いとうたてあり、

これによると、朝廷では万一にそなえて源平両氏の「つは者共」、その他をもつて禁中の警固にあたせたことがうかがえるが、そのうちに「周防前司」として頼親が頼光らとともにみられる。

以上は、大和守となる以前の源頼親の動きについての記録であるが、彼の生年は前記のとおり不明であり、ここで、いちおうの推測をおこなっておく。

頼親が初めて大和守に補任されたのは、後述のとおり寛弘三年(一〇〇六)であるが、三回目の大和守の任期が終ろうとする時点で興福寺大衆によって大和国衙の館をおそわれたのは永承四年(一〇四九)二月二十八日である。もちろん、右の間ひき続いて大和守であったわけではないが、四四年の歳月が経過している。また、この襲撃事件のなかで頼親は、息男の加賀前司頼房とともに応戦し、多くの興福寺僧徒を殺害したようで、そのため翌年興福寺に訴えられて土佐へ配流になったという。『百鍊抄』永承五年正月二十五日条にはつぎのとおり記されている。

大和守頼親配流土佐国、依興福寺訴也、先有罪名定、土記云、法家勸文、身為上請、宣待勅处分云、是被優八十圍之意、外記勸

申天平宝字元年中納言広足停任例、

右の「優八十圍」は多くの者より優れていたとも理解できるが、引きあいの広足との関係からみると、「八十圍」より饒(多)しと考えることもできるのではない。多治比広足は天平宝字元年停任とあるが、広足はこのとき七歳であった(『公卿補任』)。高齢のため勅によって処置(停任)された例といえよう。

後者のように考えれば、右の記録は頼親の生年を知る拠り所となるものである。彼は八〇歳をどれだけ越えていたかは不明であるが、父満仲、兄弟の頼光・頼信らと比較しながら後者の立場で、頼親のおおよその生年を推測してみたい。まず、『尊卑分脈』では、頼親と同母の兄弟として彼のつぎに頼信が記されて

いる。記載順は年令順といえよう。また頼信については「満仲三男」ともある。冒頭の頼親の記録には「舎兄頼光」とあるので、いちおう、頼光は長男、頼親は次男、頼信は三男とみなされる。

このうち頼親と同母の頼信は永承三年(一〇四八)四月十七日、八一歳で没した(『系図纂要』)と考えるのが妥当であり、すると同年頼親は八二歳以上とみる必要がある。この限り彼が配流となった永承五年には八四歳以上であったはずである。この前提で彼の父や兄、その他大和守初任前の頼親の動きとの関係を年齢上検討してみよう。計算上永承五年に八四歳であったと仮定しておく。

まず、父満仲との関係では、彼は長徳三年(九九七)に八五歳で没した(『尊卑分脈』)とすると、頼親の生年は康保四年(九六七)となるから、満仲が五五歳のとき頼親が出生したことになる。

兄頼光との関係では、頼光の生年は通説では天曆二年(九四八)となっているから、頼光は頼親より一九歳とし上となる。もっとも頼光の母は「近江守源俊朝臣女」であり、頼親とは異母兄弟といえよう。この一九歳の年齢差からみると、いちおう頼親や頼信は後妻、あるいは側室の子といえよう。

『尊卑分脈』では満仲の息男は一〇人記されている。そのほかに女子が三人あったようである。女子はともかくとして、この一〇人のうち四番目に記されている頼平と九番目の頼賢には「母同頼光」とある。他の五人については不明である。長男頼光と二男頼親の年齢差一九歳と満仲息男一〇人を考慮すると、母の不明な五人についても可能性はあるが、少くとも母が長男満仲と同じ右の二人は頼親よりは年齢が上であったとみなしえよう。従って『尊卑分脈』の記載順は出生順とはいえないものがあるとみるのが穏当であろう。こうしたうえに立って頼親は頼信の弟であつたろうとする所説がある(麓谷氏前掲論文)。

麓谷氏は「頼親が頼信よりも年長であつたとすると、永承五年には八五歳を越えていたことになり、(中略)問題は八五歳を越えて現役の国守であつたか否かということである。この点何ともいえないが、管見ではその例を知らない」として、頼親の生年を天禄年間(九七〇〜九七二)頃生まれたとし、頼親を頼信の弟とされている。同説によると天禄元年に出生したとして、永承五年に八一歳になる。私見との違いは頼親の出生を数年おくらせ、頼信の弟とした点にある。同説は全くもつともな所説と考えられるが、つぎの点を考慮する必要はないものか。『尊卑分脈』の記載順は年令順と限らないものがありうることは前記のとおりであるが、これまでとりあげた他の記録、『日本記略』や『本朝世紀』の記載は、

ともに特定の事実の記録である点で『尊卑分脈』とは異なるものがある。これら特定の事実の記録の背後には武者たちの行動が現実展開されていたといってもよからう。そうした背景のもとで頼親は頼信に先んじて記されているのである。つまり、頼親は兄として行動していたので頼信の前に記されたのではなからうかということである。『尊卑分脈』は多くの事実の記録を集積して作成されたものと考えられ、時期的に前後することもありえたものといえよう。

また頼親は永承四年二月末で任期が終ったはずで、永承五年春の除目で新しく大和守が任ぜられることになっていたものである。この限り私見でいうと、頼親は頼信と一歳違い(年子)であったとすると、八三歳で大和守を停任となったものと考えられる。これは最年少にみた場合である。

つぎに、頼親が大和守に初任するまでについて考えてみるに、前記の正暦五年盗賊追捕に参加したときは二八歳、寛弘三年大和守に補任されたときは四〇歳となろう。大和は大国であり、初めから同国守に任ぜられるのは無理とすれば、その前に周防守になったものと推測されるが、とするとそれは三〇歳前後とみてよからう。もっとも頼親の周防守についての記録は、前掲の『栄華物語』以外にはみられないので、果して事実かどうか不詳である。また長徳二年の時点で前司であったとすると、前記の盗賊追捕の時期に周防守であった可能性がみとめられる。当時二八歳くらいであり、また、六衛府などの役人と別記されている点からみると、周防守であったかも知れない。なお、前司とは『栄華物語』作成の時期からみてのことということもありうる。とすると長徳二年に在任の可能性もある④。以上で、頼親の生年についての考察を終るが、いずれにしても特定の年次を指定することはむづかしく、臆合説も私見も、基本的には同じと考えられる。

第一回大和守の時期

大和守頼親の初見は後掲の『御堂関白記』寛弘三年(一〇〇六)条である。同記寛弘元年二月七日条、『小右記』同二年六月七日条では、ともに大和守は景齊(藤原)とあり、『権記』寛弘三年三月一六日条には「前大和守景春(齊か)」と記されている点からみると、頼親は寛弘三年春の除目で大和守に補任されたものとみてよからう。ところが就任後間もなく事件が起こった。それは興福寺との衝突であって、『御堂関白記』を中心に考察してみる。寛弘三年七月一二日条には、つぎのとおり記されている。

十二日、壬子、定澄僧都来云、昨日参上、是依可参明日寺僧綱・己謹可参也、蓮聖愁事也、十五六日間可参大衆可参、若無事定間、候門下并大和守(頼)頼

親宅辺、(中略)寺持法師等、只今来申云、大衆参上木幡山大谷云所、二千許参着云々、(下略)

これは興福寺別当定澄の、藤原道長への報告であるが、その概要は、興福寺僧蓮聖の愁訴(大和守頼親による)に反撥して興福寺大衆二千人ばかりが、すでに木幡山大谷に到っており、いずれ数日のうちに道長邸の門前や大和守頼親宅(京宅)辺りに押しよせてくるであろうと理解される。

この事件について、時期的に少しさかのぼる関連事項を『御堂関白記』のうちからあげてみるに、約一か月近く前の同年六月一四日条には興福寺からの訴えがみられる。つぎのとおりである。

十四日、甲申、従山階寺、為馬允為頼被打池辺園領(預力)被仰作有寺解文、召為頼間、人云、従山階寺三千人許僧行爲頼私宅行焼亡数舍焼亡云々、路辺田畠二百余町損云々、聞奇不少、

ここには、まず山階寺(興福寺)からの訴えとして、同寺領池辺園領が馬允為頼によって殺害されたことがうかがえよう。この訴えについて道長が為頼を召喚したところ、その従者と考えられる「人」が、山階寺僧三千人ばかりが為頼の私宅をおそい数舍を焼き払い、周辺の田畠二百町余を損じた旨を報告している。これに対し道長は「奇不少」としているが、この限りでは両事件の関係は明らかではない。この点後述するとして、馬允為頼は「神木動座之記」(内閣文庫所蔵)引用の『小右記』寛弘三年六月二七日条にみえる「右馬允当麻為頼」と同一人と考えられる。おそらく大和国葛下郡・広瀬郡に在地していた当麻氏とみて違いない。また池辺園は広瀬郡に隣接している城下郡内の池辺庄(興福寺推役免庄)の前身であろう⑤。

つぎに、数日後の同記六月二〇条では、大和守頼親からの解文「山階寺僧蓮聖催徴数千僧俗国内亡損」が道長のもとにいたっている。これは前掲の興福寺僧による為頼私宅の焼亡、田畠踏損を訴えたものである。しかし頼親は池辺園領の殺害事件は報告していないようである。この頼親の愁訴により、数日後の六月二四日条では、内裏での四十口御統経初に招かれていた蓮聖は、その招待から除かれている。

ついで七月三日条では、大和守頼親からの解文にもとづいて官旨が下り、蓮聖をして下手人の僧・俗を差出させ、彼の公請は停止されている。その後七月七日条には、興福寺大衆からの愁訴があったが、「前解文相違」ということで返送されてしまった。以上の経過のうえで前掲七月一二日条に続いている。

ところで、七月一二日条の興福寺大衆約二千人の上洛愁訴（神木動座か）について『日本紀略』寛弘三年七月一三日条には今日、興福寺三綱以下二千余人参八省院、有愁申事、令却去了、とみえる。また『百鍊抄』同日条には「興福寺大衆数千人参左大臣等、有愁申事、先集斗会八省院、依宣旨追却、」とある。

これらによると、興福寺大衆約二千人は、八省院へ、ついで道長邸に押しよせたが、いずれも追返されたことがうかがえる。このような状況のなかで七月一五日には、興福寺別当・五師・已講が道長邸に来て、申文四か条を進めている。

『御堂関白記』同日条の四か条はつぎのとおりである。

十五日（乙卯脱）天晴、興福寺別当・五師・已講等来、於西廊相合、諸僧等罷帰、但進申文参人云々、見其申文四箇条、一条云、給官使、所申国司所申為寺家僧焼亡為頼宅焼亡事併踏損田畠路損、信実不被行追捕事、二件事我云、件事被行様余申也、故申解文後無定前致悪行、是如無長者所思也、仍所不致用意也、二条守頼親停任事、是又極奇事、頼親身無罪、所申無便、三条、為頼已又停任云々、是又奇事、為人焼宅、有愁者也、不罪焼人をハ、不被罪愁人被罪、極無便事也、三（四力）条云、蓮聖被停公請、可被免由也、件条雖有罪名者也於申有何事、有罪有者、被免事恒例、雖然歟入件申文入内、仍不能奏聞、若可申、以他申文可奏聞、示此等示雜事、每事称道理之由還去、不注子細、有衆人聞事、

これは興福寺申文四か条とそれに対する道長の意見であるが、そのあらましはつぎのとおりであろう。

申文第一条は、興福寺僧による為頼宅焼亡と田畠踏損の事件について、興福寺が、その関係者を追捕しないよう求めているのに対して、道長は、この二つの件は寺家から解文が進められた（六月一四日、前掲）あと、未だ定（裁定）が出されないうちにおこなった悪行であるから、これは長者の意志を無視した行為であり、追捕をおこなわないわけにはいかない、として興福寺の要望を否定している。

第二条は、興福寺が大和守頼親の停任を求めたものであるが、道長は、これは極めて奇妙なことで頼親は無罪であるとして、これを拒否している。

第三条は、興福寺が馬允為頼の停任を求めたものであるが、道長は、これもまた奇妙なこととし、宅を焼かれて愁訴があった場合、焼いた者を罪せず、焼かれた被害者を罪人として、停任することはできないとしている。

第四条は、興福寺僧蓮聖の公請の停止を免除してほしいというものであるが、

道長は、これに対して蓮聖の罪は明白である。しかし、罪あるものでも免ぜられる余地はある。もっともこの件を申文のうちに入れている限り、その奏請はできない。これを申文のうちから除けば、他の方法で公請停止の免除を奏請してもよい、と答えている。

つぎに、この申文四か条にいたるこの事件について、さらに詰めてみたい。

まず、馬允為頼の池辺園預殺害事件と蓮聖による為頼宅焼亡・田畠踏損事件の関係であるが、右の興福寺申文第一条に対する道長の意見によると、池辺園預殺害が先行していたことをうかがわせる。従ってこの殺害に対して興福寺が為頼宅を焼亡したりなどしたものと考えられる⑥。この限りでは為頼に非があったものといえよう。もっとも何故に為頼が池辺園預を殺害したかは不明であるから⑦一概に為頼に非があったとのみ考えるわけにはいかないであろう。記録による限り、この事件の是非は不明というほかないが、なお後述したい。

当面の問題として、大和守頼親が興福寺の愁訴（池辺園預殺害の件、六月一四日条、前掲）におくれること数日にして、おそらく池辺園預殺害を知っておりながらこれを伏せて、蓮聖による為頼宅焼亡・田畠踏損事件の方のみを、蓮聖による国内損亡という趣旨で訴えた（六月二〇日条、前掲）ことが指摘される。この一方的な訴えのために興福寺は約二千人の大衆を動員して上洛愁訴したものと考えられる。また頼親の一方的な訴えは、興福寺が申文第二条で頼親の大和守停任を求めた根拠であろう。もっとも、頼親が大和守として、何故一方的立場で興福寺に不利となる形で訴えをおこなったかは明らかではないが、さしあたり馬允為頼は頼親の配下にいたであろうこと⑦が考えられる。また、頼親は殺人の能手ともいわれた人物であり⑧、場合によっては、池辺園預は頼親の内ないの指示にもとづいて、彼の配下の為頼によって殺害されたものかも知れない。いちおうの推測であるが、当時として可能性がなかったわけではない（後述）。頼親が、池辺園預殺害事件を伏せて、その復しゅうともいふべき為頼宅焼亡・田畠踏損事件のみを朝廷に、蓮聖による国内損亡事件として訴えた根拠は、右の事情によるものではなかったかと推測される。

この点ともかく、興福寺大衆約二千人による上洛・愁訴、申文四か条の提出は、興福寺の立場を不利にしたことは、申文四か条に対する道長の意向からうかがえるのみならず、申文自体のうちにもみられる。道長は、大和守頼親は無罪、馬允為頼は被害者と断じた。また興福寺は申文のなかで、池辺園預の為頼による殺害については、一言も触れるところがなく、その復しゅうとして蓮聖がおこなった

為頼宅焼亡・田畠踏損について、追捕しないよう訴える始末となっている。興福寺の敗北は明らかといえよう。道長の云うところによれば、興福寺は池辺園預の為頼による殺害を訴えたにもかかわらず、道長の裁定をまつことなく、彼の意志を無視し、勝手に蓮聖をして復しゅうさせたことに敗北の原因があったといえよう。道長は池辺園預殺害事件を知っているながら、それについての穿さくはしようとしていない。興福寺に対して、道長は冷淡であったといえよう。たとえば、道長の裁定をまつたとしても興福寺は敗北したかも知れない。頼親の指示によって池辺園預が殺害され、それが明らかとならない限りにおいては。つまり、興福寺は敗れるべくして敗北したといえよう。それにはそれなりの根拠があったらう。それは根深いものであったに違いない。

安和の変以来の満仲と摂関家の結びつきのもと、兄頼光の道長への経済的奉仕を背景に、大和守となった頼親が、摂関家の氏寺興福寺と対立したとすれば、そのこと自体、道長の言葉を借りれば、「奇不少」といえよう。しかし、それにはそれだけの理由があったわけで、頼親には彼自身の立場、道長への経済的奉仕、それは道長からの期待でもあったはずで、また頼親自身の抛り所でもあったが、この点で興福寺と対立する面があったものと推測される。

一方、道長は、興福寺大衆の約二千人による上洛愁訴をころよからず思う点があったにしても、それ以上に興福寺が摂関家の威を募って大和国内を始め周辺諸国にも荘園の拡大をすすめており、この点で道長はこの動きを抑圧する必要を感じていたものと推測される。頼親の大和守補任はその一環であったとも考えられ、頼親自身もこのことを承知していたものであらう。

一〇世紀末頃から一一世紀初めにかけての興福寺領荘園の確保は維摩会料所の獲得を中心としていたもので、池辺園も同料所と考えられる。そのほか大仏供養、葛上郡菓子園などがあげられる。これらはいずれ雑役免庄となる。東大寺領としては香菜邑の形成がすすんでいたが、興福寺程のことはなかった。これら寺領の形成と平行して、その基盤ともなった、官人・寺僧の私領の形成もみられた。それは大和では、初め便宜要門田(便田)の形体をとっていた。その初見は正暦五年(九九四)の「大僧正寛朝帖」(㊟二の三五八号)である。頼親は一一世紀二〇・三〇年代頃、自己の便田六〇町などの地に東大寺灯油料所を設定・立券しているが、彼は「大和守着任早々、ないしはそれ以前から便田の獲得につとめていたものとみて違ひなからう」^⑨。

ところで官人・寺僧の私領のもとには農民としての田堵がいたが、その獲得に

ついては、一〇世紀末以降臨時雑役が過重となつてくるので、その免除をテコに田堵を獲得し私領を拡大することもあったが^⑨、そればかりではなかったらう。永承五年(一〇五〇)の「太政官符案」(㊟三の六八二号)では、私領の獲得について「或押奪平民之田畠、構成私領、如此之類、不可勝計、凡暴悪不善之輩、住国内之間、強窃二盜放火殺害連綿不絶」とみえる。これは和泉国の一一世紀中頃についての記録である。大和でも一一世紀初頭前後以来私領の形成・寄進がすすみ、右と同様の社会現象は珍らしいことではなかったらう。治安四年(一一二四)の従儀師仁静解(㊟二の四五五号)は殺害事件の一例としてあげられる。

右のような動向は、池辺園預殺害事件の背景であつたらうと推測される。同事件は、基本的には、興福寺と大和守頼親とが、寺領(維摩会御園)と私領の拡大のために田堵の獲得をめぐる争うなかで起こった事件であつたものか^⑥。この際道長は頼親の味方であり、興福寺領拡大の抑圧のほか荘園の道長への寄進を、心ひそかに期待していたのではなからうか。もっとも荘園の寄進、摂関家領の実現は、第二回大和守の時期以後と考えられるので、別稿にゆづりたい。

つぎに、以上の興福寺大衆約二千人による上洛・愁訴事件以後の大和守頼親の動きについて「御堂関白記」を中心に考察してみる。同記寛弘四年二月一日条には、

大和守頼親参春日、還間興福(寺脱カ)垣辺以不折之云々、件事昨日云々、と

みえる。これによると頼親はなお大和守であり、前記事件を逃げ切ったことがうかがえるとともに、春日社参の帰途興福寺辺りで、誰かに石を投げつけられたが、大したことはなかったことが知れよう。これは敢えて推測すれば、前記事件から約半年のちのことであり、興福寺が誰かに指示しておこなわせたことであつたかも知れない。

ついで、同記寛弘四年五月三日条では、道長邸における諸道論議において、「非時大和守頼親朝臣」とあり、頼親は午後の食事の準備を仰せ付けられていたことがうかがえる。また、同記同年八月一三日条には、

従広大野着(ママ)国司儲膳、借(仮)屋数屋立、国司給馬、着泉河岸上借(借)屋、大和守所為、即乗舟、

とある。これは道長の家来詣の帰途についての記録であるが、頼親は大和守として食事の準備や舟の用意に万全を期していることが知られる。

なお、「小右記」寛弘五年十一月一日条によると、道長の外孫敦成親王の「五十日」の儀には、頼親は肴や菓子などの奉仕をしたが、それは「盡善盡美」ほど

のものであったと、藤原実資は記している。

以上は、任国大和や都における、頼親の、道長への奉仕の状況であるが、それは兄頼光のそれと同じ程度のもので、彼として最善をつくしたものだといえよう。しかし、右のような道長への奉仕にもかかわらず、頼親は翌寛弘六年には秩満を待つことなく大和守を辞さなければならなかった。『権記』同年三月四日条にはつぎのとおりみえる。

左大臣着陣座、即令申所宛文、頭弁下申文等、播万申文、又大和守頼親辞任国事、可然哉、令諸卿定申、若可許、其替人同可举申、雖在任終年、農節以前也、被許有何事哉、即播万大和等国可任之人举申、即被奏聞、播万（中略）大和、輔尹、兼忠（裏書、輔尹）

これによると、頼親は任終の年に及んで大和守の辞任を申し出たことがうかがえる。寛弘六年いっばいは任期であったはずである。道長は陣定においてその可否を諸卿に尋ねている。諸卿は、任期までにまだ期間があり、農繁期以前であるから差しつかえない旨答え、その代りの人物をも推せんし、奏聞された。大和守としては、輔尹と兼忠があげられたが、裏書によると藤原輔尹が任命されたことが知られる。

ところで、頼親の、あと約一〇か月を残しての大和守辞任の理由は記されておらず、不明というほかない。前記寛弘三年における興福寺との対立では、見事に事件を処理し、乗り越えてきた頼親を考えるならば、このたびは余程の事態に陥ったものと推測される。道長にしても善処の余地がなく、ついに後任を諸卿に推せんさせたのであろう。この辞任の理由は不明ではあるが、興福寺との何等かの対立によるものではなかったか。

以上、頼親の生年の究明、第一回大和守の任終をまたずして辞任するにいたる間の諸問題について考察し、多少の推測をおこなってみた。頼親は道長のもとで、官人として、また一方では武勇人・武者として、いわゆる世に出たものといえよう。第一回大和守辞任以後については稿を改めたい。（一九八五年九月一七日投稿）

註

① 藤谷壽氏「大和守源頼親伝」（『古代学』一七卷二号、昭和四五年）参照。

② 源満仲の父経基は陽成天皇皇子元平親王の子とする史料、河内守源頼信告文案（④三の六四〇号）があり、経基は陽成源氏の祖とする余地もないではないが、右史料一点のみであり、清和源氏と考えておく。

③ 「一代要記」（『改訂史籍集覧』）寛和二年（九八六）七月一三日条に「南都衆徒参集八省」、依「大和守源頼親罪科」也」とあるが、これは寛弘三年を寛和二年と誤ったものであろう。

④ 一〇世紀末の周防守は、正暦四年二月二日藤原輔成見任（『小右記』）、長徳四年正月藤原資平補任（『公卿補任』寛仁元年頃、権守か）がわかるのみである。従って頼親が周防守であった余地はありえよう。

⑤ 『奈良県史』10 莊園篇。

⑥ 「神木動座之記」所引の『小右記』寛弘三年六月二七日条には「（前略）蓮聖与右馬允当麻為頼有競田刀、口（従力）前美乃守頼光大和国司親頼（頼親）威副権殖（下略）」とあり、蓮聖と当麻為頼の間では田刀（田堵）をめぐる争いがあったことも、いちおう考えられ、とすると蓮聖による為頼宅焼亡・田畠踏損事件は、池辺園預殺害事件とは関係なく、たまたま時期的に相前後したものとも考えられるが不詳。

なお、蓮聖は興福寺僧であるこというまでもないが、この勢力に対抗するために為頼は前美濃守源頼光、大和守源頼親の権威を募ったものと考えられる。この点からみると、山田英雄氏が「今昔物語集における殺人事件二つ」（『日本歴史』一四四号）で指摘されているとおり、為頼は大和守頼親の郎党か従者であったとみなしえよう。

⑦ 西岡虎之助氏は「古代における神社の莊園」（『莊園史の研究』下巻一）で「為頼の池辺園損亡の源流を探れば、添上郡春日莊々田にたいする東大寺と興福寺との争論にあったらしい。東大寺要録五」と述べられている。もっともこの所説が問題であることは赤松俊秀氏が指摘されているが（『東大寺領大和国春日莊について』、『仏教史学』一一卷二号所収）、藤谷氏も前掲論文で両氏の所説を要点的に紹介し、意見を述べていらる。問題は『東大寺要録』に誤記があるものと考えられる。

⑧ 『御堂関白記』寛仁元年三月一日条に「件頼親殺人上手也」とある。

⑨ 「大和国雑役免莊の研究」（『奈良県史』10 莊園篇所収）。

付記、⑩は『平安遺文』の略記である。

『桜の実の熟する時』論

——キリスト教との関わり——

細井誠司

A Study on "Sakura no mi no jukusuru toki"

—— In Relation to Christianity ——

Seiji HOSOI

一

藤村第四の長編小説『桜の実の熟する時』は、藤村の作品系列の中においても、また近代日本文学の中においても、固有の位置を占めている作品である。キリスト教信仰の問題とまっとうに取り組み、信仰への懷疑からやがて文学へと歩むその精神遍歴を語って、典型的なキリスト教文学たり得ているからである。

藤村は、明治二十一年六月十七日高輪台町教会で、木村熊二牧師からキリスト教の洗礼を受けた。前年の九月に開校されたばかりのミッションスクール明治学院普通学部に入學してから十カ月が経過し、第一学年の終了も間近に迫った時期である。数え年十七歳であった。しかし、その信仰生活も五年足らず続いたのみで、明治二十六年には早くも離教してしまっている。いかなる心的変化を生じたのか、藤村は、自伝小説『桜の実の熟する時』において、離教して行く自分の心的過程を語っている。そうした意味では、『桜の実の熟する時』はさまざまなテーマを抱えながら、棄教物語と呼び得る一面をも持っているのである。本稿においては、この作品の主人公捨吉のキリスト教との関わりを探ることを通して、そうした藤村の信仰の実態に迫ってみようと思う。

もちろん『桜の実の熟する時』は、小説であるから虚構を伴っている。しかし、自伝的色彩の濃いこの作品は、藤村自身の内的真実をかなり正確に伝えていると考えられるから、主人公捨吉の信仰の内実は、そのまま作者藤村のそれと理解して大筋で誤りはないであろう。そう考えて、捨吉イコール藤村と読み替え、『桜の実の熟する時』から窺えるその信仰の実態を検討してみることとする。

二

『桜の実の熟する時』は、全部で十二章からなる長編小説であるが、その第四章の中ほどのところに次の一節がある。

お前はクリスチャンか、とある人に聞かれたら捨吉は最早以前に浅見先生(㊦ 木村熊二牧師のこと)の教会で洗礼を受けた時分の同じ自分だとは答へられなかつた。日曜々々に定った会堂へ通ひ説教を聞き讃美歌を歌はなければ済まないことをしたと考へるやうな信者気質からは大分離れて来た。三度々々の食前の祈禱すら廃して居る。では、お前は神を信じないか、とまたある人に聞かれたら自分は幼稚ながらも神を求めて居るもの一人だと答へたかつた。あやまつて自分は洗礼なぞを受けた、もし真実に洗礼を受けるな

「是からだ、と答へたかつた。

右の告白は、捨吉が三年生の夏休みのおりのことであるから、受洗後満二年にして早くもこうした心境の変化が生じていたわけで、「あやまつて」洗礼を受けたとの自己認識は、受洗が未熟なるが故の軽率妄動に類するものだった、との自省の言葉として解される。

入学当初の捨吉は、家を出て保護監督する者の目から離れたことで解放感を味わい、「楽しい幸福は到るところに彼を待つて居るやうな氣」になって自由奔放に振舞う。学友と流行を競い合ったり、「若い男や女の交際する場所、集会、教会の長老の家庭なぞに出入し、自分の心を仕合にするやうな可憐な相手を探し求め」たりする。年長の繁子との交際もその一端で、捨吉には、若いキリスト教徒男女間における公明正大な交際との自信があったが、「あられもない浮名」をたてられるその一事をきっかけに、捨吉は「眼が覚め」、やがて自己嫌悪に陥り、彼を夢中にさせていた華やかなもの一切が幻のように消え去ってしまう。

いま、捨吉はそうした時点に立っているわけで、自我に覚醒した後の喪失感と虚無感、しかしまた新生への道を新たに模索しようとする気持ち、そうした中に在る右の告白である。

したがって、教会と言ひ洗礼と言っても、かつて彼を夢中にさせた華やかな世界の中の一事象に過ぎなかったわけで、信仰の内実への理解や十分な心の備えがなされた上での受洗ではなかった。「あやまつて」受洗したとの認識は、そうした浮薄な生き方への深刻な自己反省から生まれたものである。

しかし、そうした受洗を「あやまり」として「葬り去りたい過去の記憶」の中に一括してしまう捨吉の精神構造は、「もし真実に洗礼を受けるなら是からだ」という決意（これとて留保含みだが）にもかかわらず、信仰に懷疑を抱き、離反した現状を肯定する時点にいるわけで、この問題は、そもそも藤村には福音信仰がキリスト論的に成立していなかった、したがって離教と呼ぶのはともかくとして、背教などあり得なかったのだという論につながるものを含んでいるのである。

三

かつて彼を夢中にさせたところの華やかなもの一切（教会や礼拝もその一つであった）を嫌悪するようになった捨吉は、喪失感・虚無感に苦しみ、教会をいわば最後の拠り所として久しぶりに訪れることで、安息と救いを得ようとする。しかし冷めきった捨吉の心は、ついに燃えあがることなく、思いは満たされない。

冒頭第一章における教会や礼拝の情景は、そうした世界から既に疎外され、教会のキリスト教から離れかかっている捨吉の心に映じたものとして、描写されている。

静かな日曜の朝が来た。寄宿舎に集った普通学部青年で教会に籍を置くものは、それ〴〵支度して、各自の附属する会堂へと急いで行く。食堂につづいた一棟の建物の中に別に寄宿する神学生なども思ひ〴〵の方角をさして出掛けて行く。人々は一日の安息を得、靈魂の糧を得ようとして、その日曜を楽しく送らうとした。

浅見先生が牧師として働いて居る会堂は学校の近くにあつた。そこに捨吉も教会員としての籍が置いてあつた。

「一日の安息を得、靈魂の糧を得よう」とする「人々」の群れから、捨吉は既にはみ出しかけており、教会とのつながりも籍だけの問題になりかけているのだ。会堂の入口近くで、「ちつとも御見えに成りませんね。岸本さんは奈何なすつたらうって、御噂しますよ」と優しく迎えてくれる浅見夫人も、捨吉にとっては、「相変らず無邪気な、人の好きさうな調子」の奥さんでしかない。

信仰の力で娘の病が奇跡的に癒されたという話も、また、その話を路上で語り合う信者の群れも、ともにどこか諷刺的で、揶揄の調子で描かれている。

教会の中の情景描写にしても、「こゝへ来て靈魂をあづけるかのごとき人達」が、「その日行はれる儀式によつて日頃にまさる感激を待受けるかのやうに見えた」とか、「捨吉はある靴屋と並んで、皆の後の方に黙然と腰掛けた」・「捨吉は器械のやうに立ったり、腰掛けたりした」など、会堂の雰囲気や溶け込めぬまま疎外されているその捨吉の心情を、浮かび上がらせるような描き方である。

そして、聖書も洗礼式も讃美歌も、すべてが「空虚」にしか感じられない捨吉は、「逸早く靴屋の側を離れ、皆の中を通り抜けて、会堂の出入口にある石の階段を下り」て行く。このようにして、藤村は、教会離れと孤立感をいっそう強めていく主人公の姿を、小説の冒頭においてまず描き出しているのである。

四

明治二十三年七月、第二回キリスト教夏期学校が明治学院で開催された。『桜の実の熟する時』第三章は、この夏期学校に捨吉が出席した話を中心に構成されている。

木村駿吉編『精神的基督教』（明治二十三年十月）によれば、夏期学校の講師は、

押川方義・海老名強正・植村正久ら当時の錚々たるメンバーであった。『桜の実の熟する時』では、「日本にある基督教界の最高の知識を殆んど網羅した」その当時としては最も進んだ講演」と書かれている。

捨吉は、鬱屈した思いを遣るべく期待に胸をはずませながら出席し、講演に聴き入る。「空虚な声」も多かったその中で、捨吉を感動させたのは、S学士（㊤大西 祝）の「希臘道徳より基督教道徳に入るの変遷」と題する講演で、その時の印象は、次のように語られている。

恍惚、感嘆、微笑、それらのものが人々の間に伝はつて行く中で、学士は講壇の上から希臘道徳の衰へた所以、基督教道徳の興つた所以を文明史の立場から説き初めた。時とすると学士はフロック・コオトの後の隠袖から白い帕子を取り出し、広い額の汗を拭つて、また講演を続けた。時々捨吉は身内がゾーとして来た。清しい、和かな、しかも力の籠つた学士の肉声から伝はつて来る感覚は捨吉の胸を騒がせた。それを彼はポーと熱くなつて来たり、また冷めて行つたりするやうな自分の頬で感じた。

これによれば、捨吉が強く印象づけられたのは、もっぱらS学士の風貌や肉声、挙措動作であり、その印象の強さを、ただ「ゾー」とか「ポー」とか感覚的に表現しているだけで、講演の内容に立ち入って語られてはいない。しかし、自我に覚醒し、己が進むべき道を模索しつつあった捨吉が、講演のいかなる点に感動したのかを闡明することは、この周知の場面がこの作品の中において持つ意義を明らかにする上で、非常に重要なことだと考える。

『大西博士全集』第五卷（明治三十七年五月）所収の「希臘道徳が基督教道徳に移りし次第」によれば、この講演の中で大西は、キリスト教思想と対比する形で、ギリシャ道徳思想の一般的特質を論じ、ソクラテスらの倫理學説を概観した後、ストア學派を経て新プラトニー派に至るギリシャ思想史の展開を跡づけている。大西の立場は、學問的客観的であり、両者のいずれか一方に与する類いのものではないが、捨吉がこの講演から強い感銘を受けたのは、例えば次のような一節ではなかったかと考えられる。

希臘人は此美はしき、此吾人の目の前に広がつて居る自然界の外に、現世の外に、安心立命の地を求めるの必要を感じなかつたと思はれる、其道徳思想は皆現世に於て、自然の世界に於て実行され得べきもの、其求むる幸福は全く人間自然の性情から起るものであつた、然し其幸福を求め、天性の需要を充たすと云ふ所に一ツ、所謂希臘風なる所がある。

或いは、

肉牀の欲として強ちわるい者ぢやない、度を過ぎない様に節してさへ行けばよい、釣合よく、調和よく、人間の天然生まれついて持つて居る心と牀の性能を發達して行くがよい、生まれついて持つて居るものに悪いもののあるべき筈はない筈とは、此れ寧ろ希臘の思想で基督教の思想ぢやない……要するに、眞の幸福は、キリスト教道徳が説くように彼岸に求めるものではなく、どこまでも現世的に、人間自然の要求に従つて求めればよく、自己本然の性質能力を理性的に發達させ、美的に調和させて行くのがよい。

大西の講演から、捨吉はこのような点を聴き取つたものと思われる。

キリスト教思想と對蹠的なこの未知の世界の発見は、捨吉をして「言ひあらはし難い歎喜」を覚えさせる。「何か新しいもの」を暗中に模索していて、一条の光を見出したと思ひであつたのだ。それは、一言で言つて、キリスト教倫理からヒューマニズムへの転換、と表現してよからう。

「基督教主義で催さ」れた夏期学校での学びは、捨吉の信仰を内面的に深めさせる方向とは逆に、キリスト教からの離脱を促す結果をもたらしたのである。

藤村の精神的歩みは、離教からヒューマニズムへと要約されようが、『桜の実の熟する時』の中でも、捨吉の前には、信仰にとつて替つて恋愛や文學の世界が新たに現出するようになる。

作者藤村が、夏期学校での大西の講演を第三章（作品全体から見れば初めの部分）に書き記したのは、これが、捨吉ひいては藤村にとって、自己の歩みに一大転換をもたらした記念すべき出来事であつたからに他なるまい。

五

捨吉が寄食する田辺家には、三人のキリスト教信者が出入りしている。眞勢さんと玉木夫婦である。眞勢さんはこの小説の第三章、玉木夫婦は第四章を中心に登場して来る。

同じ浸礼教会に籍を置きながら、信者としての生き方が異なるこの二組の人物を対照的に描き出すことによって、藤村は、既成の教会や信者への批判を意図しているように見てとれる。以下この問題について検討してみることとする。

捨吉の好きな眞勢さんは、大勝の帳場で働く、「十年一日のやうな信仰に生きて来た」「素朴」な人で、「アーメン嫌ひな田辺のお婆さん」たちの前では「宗教臭い話をするでもな」い、「食前の感謝も、極く簡単に」人の気のつかないやう

に」する。真勢さんは、多忙で「安息日すら」守ることが出来ないが、「自分の信仰だけは是で出来てる積り……」基督だけはちゃんと見失はない積り……」と語り、「教会の空気に興味を失った」捨吉も、「斯うした信徒の話は可憐し」く思つて聞き入る。

教会への批判を裡に秘めた藤村は、教会生活とは関わりなく個人的に信仰を守り通している真勢さんの姿に、信仰者のあるべき理想を見ているのであり、「基督だけはちゃんと見失はない積り」という言葉には、藤村の秘かな自負が込められていよう。第一・四・七・十一の各章にわたってしばしば登場する捨吉の密室での祈りの姿は、このことと関わりがある。

一方、田辺の小父さんの妹夫婦で、真勢さんとは縁つづきの玉木さんの場合はどうか。伝道者を志している玉木夫人は、神の摂理を信じ福音の尊さを他人に説いて聞かせる、まっとうな信者である。しかし、熱心で一途なあまり他者への配慮を欠きやすく、「物に感じ易い」捨吉は、「憎んだ」り、居たたまれない思いをさせられたりする。

作者藤村は、こうした信者の在りようには当然批判的である。素朴で謙虚な信仰の持ち主真勢さんとは対照的に、玉木夫人の描き方には、皮肉で揶揄の調子が含まれているのである。

夫の玉木さんもまた、伝道者を志している。しかし、捨吉から見れば、気位の高さとは裏腹に「淋しさう」で、「活々としたところは少しも感じ」られず、「貧しい弱いものの味方になつて呉れる基督教の教会へ行つて靈魂を預けるより外には、もう奈何にも斯様にもならないやうな、極度の疲労と倦怠とで打ち震へる人の傍にでも居るやうな気が」するのである。ここにもまた、藤村の教会観が揶揄調で語られていると言つてよからう。

捨吉は、「基督教会」の先輩から影響を受けて、「や、もすれば斯の世を果敢なみ避けようとするやうな、隠遁的な気分」になりがちであったが、玉木さんは、まさにそうした人物の典型ということになる。したがって玉木さんの気負いも、捨吉には敗残者の「負惜み」のように感じられ、「哀憐」の情を禁じ得ない。そこで、「聞こえよがし」の讃美歌に時に反発を覚えながらも、次第にこの夫婦と共に祈るようになるのである。藤村の批判は、教会に連なる信者の生き様、生活実践に向けられていることが分かる。

信者への批判はまた、第五章の次の一節に見られるやうな教会への批判にもつながっている。

神は何故に斯く不思議な世界を造つたらう。何故にあるものを美しくし、あるものを殊更醜くしたりう。何故に雀の傍に鷹を置き、羊の側に狼を置き、蛙の側に蛇を置き、鶏の側に鼯鼠を置いたらう。何故に平和な神の教会にまで果しなき暗闘を賦与し、富める長老と貧しい執事とを争はすだらう。

平林武雄・秋山繁雄両氏によれば、明治二十三年・四年当時、東京中会において異端思想をめぐって確執があり、木村熊二がその解決に苦闘したという。また、木村は二十四年末に台町教会を辞任していることを、明らかにしておられる。こうした一事に限るまいが、信仰に生きる群れの中に世俗の醜い争いを見て、嫌気がさしたことが教会離れの一因となった、というところは十分考えられるのである。

六

明治二十四年の初夏に学校を卒業した捨吉は、田辺家の横浜の商店を一時手伝う。しかし、店員という仕事が自分に不向きであることを思い知らされ、新たな道を索し求める。その結果雑誌社を経営する吉本さん(㊸ 巖本善治)から翻訳の仕事に分けてもらい、さらには、麴町の学校(㊹ 明治女学校)で女生徒を教えることになる。

田辺のお婆さんは、「女の子」を教えるのが気に入らないなどと、「氣に成るやうな」ことを言い、捨吉にとつても、「女の子」の問題は、繁子との忘れられない一件があつて以来、「長いこと触れることを好ま」ず「無関心を続け」、「一種の輕蔑」さえ抱いて来た問題であつたが、糊口のためにその「辛い」思いに耐える。住まいも、田辺家から牛込の下宿に移転した。

こうした状況が伏線としてあつて、再び恋愛問題が起る。すなわち、捨吉は教え子の勝子を知り、愛するようになるのだ。第十一章に出て来るこの話は、その最初の場面が、教会に設定されていることに注目したい。

ある日曜に、彼は田辺の家の人達を見に行かないで、麴町の方で時を送らうとして居た。学校から左程遠くない位置にある会堂へ行つて腰掛けた。

曾て空虚のやうに捨吉の眼に映つた天井の下、正面にアーチの形を描いた白壁、十字架を彫刻んだ木製の説教台、厚い新旧約全書の色縁の光輝、それらのものがもう一度彼の眼にあつた。復た彼は会堂の空気に親まうとして、教会員としての籍を高輪から麴町に移したが、しかし吉本さんの家族や雑誌社の連中を除いてはその教会での馴染も極く薄かつた。彼は会堂風な高い窓に近い席の一つを択んで後の方に黙然と腰掛けた。いくつとなく眼前に置並

べてある長い腰掛の平行した線は過去つた高輪教会時代の記憶を、あの牧師としての浅見先生の前に立つて信徒として守るべき箇条を読み聞かせられた受洗の日の記憶を、彼の胸に喚起した。

そこへ、勝子ら三・四人の女学生がはいって来る。

やがて聖書翻訳の大事業に与つて力があると言はれて居るその教会の牧師が説教台のところへ進んで来た。訳した人によつて訳された聖書が読まれる頃は、会堂の内は聴衆で一ぱいに成つた。勝子等はもう捨吉の居る所から見えなかつた。あの旧の高輪の学窓のチャペルで、夏期学校で、あるひは其他の説教の会で、捨吉には既に親しみのある半分吃つたやうな声がポツリ／＼と牧師の口から泄れて来た。

しばらく捨吉は一切を忘れて窓際に腰掛けて居た。蠅の比喩なぞが牧師によつて説出された。薄暗い夕暮時の窓の光をめぐっては飛びかふ小さな虫の想像。無限に対する人生の帰趣。説教は次第に高調に達して行つた。それを聞いて居ると、捨吉の心は捉へどころの無いやうな牧師の言葉の方へ行つたり、自分の想像する世界の方へ行つたりした。捨吉に言はせると、彼自身の若い信仰は詩と宗教の幼稚な心持の混じつたやうなもので、大人の徹した信仰の境地からは遠いものだつた。彼の基督はあまりに詩的な人格の幻影で、そこが彼自身にも物足りなかつた。

丁度その日曜は聖餐の日に當つて居た。骨の折れた説教の後で、葡萄酒を盛つた銀のコップ、食糧麴の片を容れた皿が、信徒等の間にあちこちと持廻られた。葡萄酒はやがて基督の血、麴麴はやがて基督の肉だ。会堂の内でのこの小さな食事は楽しかつた。捨吉は執事らしい人から銀のコップを受取つて、一口飲んだやつを隣の人に渡すと、隣の人はゴク／＼と音をさせて、さも甘さうにそのコップから飲んだ。

斯うした静かな天井の下で、極りのやうな集金の声を聞くほど夢を破られる心持を起させるものは無かつた。集りの終る頃には、捨吉は人よりも先に会堂の前の石段を下りた。十字架を高く置いた屋根の見える町の外へ出て、日に／＼濃くなつて行く青葉の息を呼吸した。

明治二十五年一月に恩師の木村熊二が小諸へ去つたことも与つてか、藤村は、同年の四・五月ごろ高輪台町教会から麹町一番町教会に籍を移している。一番町教会が転入先として選ばれたのは、高名な牧師植村正久の牧する教会であり、下宿や勤務先からも近かつたためと思われる。

小説の中では、転会の理由について、「復た彼は会堂の空気に親まうとして」と記している。「復た」に込められた捨吉の決意の程は大きかつたはずである。程なく捨吉は、「私儀感ずるところ有之、今回教会員としての籍を退きたく、何卒御除名下されたく候」と退会届を出し、「切ない恋のためには」「教会をさへ捨て、出て行」つてしまふ(第十二章)。そうした離教寸前のいわば最後の踏ん張りとして、この場面は設定されていると言つてよからう。「桜の実の熟する時」に礼拝の情景が描かれているのは、第一章とこの第十一章の二箇所のみである。したがつて、この場面は第一章に呼応し、離教へのコースを歩む捨吉の最後の自己確認の場という意味合いを持っている。

しかし、「もう一度」の期待や決意も空しく、捨吉の心は燃え上がらず疎外されたまま、教会に訣別し、出て行く。牧師の説教や聖餐式、献金などの様子が、冷えた捨吉の心を通して、皮肉や諷刺、揶揄の調子を込めて描かれていることは、第一章に見られた礼拝の情景の描写と変わらない。

さて、この礼拝の場面に、「女の子」を登場させていることに注目したい。しかも、捨吉が高輪時代を回想し「浅見先生の前に立つて信徒として守るべき箇条を読み聞かせられた受洗の日」を思い出している場面、その直後に、それと対比する形で、「女の子」を登場させているのである。「女の子」は、第一章の礼拝の場面にも登場していた。嫌な思い出から避け通した繁子である。それが、この場面では、捨吉が好きになり始めた勝子に替つたのだ。

神に出会うべき場所で恋人に出会う——このように場面を設定することによつて作者藤村が何を意図していたかは、もはや明らかである。禁忌であつたエロスの世界を、宿命的に避け難いものとして公然と認知・肯定し解放してやること——これが、作者の意図であつたのだ。神に替つて恋人が神の座にすわる——これは、キリスト教倫理からヒューマニズムへの転換をはっきりと告げている場面である。

右の引用と同じ第十一章には、次のような一節がある。

ある日、捨吉は麹町の学校から下宿へ戻つて来た。彼は自分の部屋の畳へ額を押宛てるやうにして、独りで神の前に跪いた。

捨吉が幼い心の底にある神とは、多くの牧師や伝道者によつて説かるゝ父と子と精霊の三位を一体としたやうなものでは無かつた。神は知らざるところなく、能はざるところなく、宇宙を創造し摂理を左右して余りあるほどの大きな力の発現であるとは言へ、左様した神の本質は先入主となつた極く幼

稚な知識から言へるのみで、捨吉の心の底にあつた信仰の対象は必ずしも基督の身に実際に体现せられ、基督の人格に合致したやうなものではなかつた。有体に言へば、エホバの神とはあの三十代で十字架にかゝつたといふ基督よりももつと老年で、年の頃およそ五十ぐらゐで、親しい先生のやうでもあれば可畏いお父さんのやうでもある肉体を具へた神であつた。半分は人で、そして半分は神であるやうな斯の心像に、捨吉は旧約的な人物に想像せらるゝやうな風貌を賦与へて居た。例へば、アブラハムの素朴、モオゼの嚴肅。斯のエホバの神が長いこと捨吉の心の底に住んで居たと聞いたら、笑ふ人もあるだらうか。實際他界のことにかけては、捨吉は少年時代からの先入主となつた単純な物の考へ方に支配されて居て、まるで子供のやうにその日まで暮して来たのであつた。

隠れたところを見るといふ斯の神の前に捨吉は跪いた。おごそかなエホバの神のかはりに、自分の生徒の姿が瞑つた眼前にあらはれて来た。若々しい血潮のさして来て居るその頬。かゝやいたその眸。白い、処女らしいその手。

「主よ、こゝにあなたの小さな僕が居ります。」

祈らうとしても、妙に祈れなかつた。

この場面での勝手の姿は、いわばエロスの世界の象徴として感覚的に表現されている。捨吉の信仰の力は、そのエロスの魔力に圧倒されてしまふわけで、読む者に強い印象を残すところだ。

作者藤村が、自分の理解した「神の像」について率直かつ具体的に語っている点にも注目したい。捨吉によれば、三位一体の神は知識としては理解出来ても、人格神としてキリストに具現されているとの教説は納得出来なかつた。エホバの神は、「五十ぐらゐ」の「老年」で、アブラハムやモオゼの風貌をそなえた「親しい先生」や「可畏いお父さん」のようであつたという。

観念性を排除した具体的な神のイメージである。藤村の神の観念が、形而上性に欠けていることは、夙に指摘されてい^④るとおりである。

もう一つ注意すべき点は、捨吉の祈りについてである。教会から離れても、捨吉は完全に信仰を捨てたわけではない。右の引用の冒頭にあるように、「自分の部屋の畳へ額を押宛てるやうにして、独りで神の前に跪く。密室での祈りであり、神に直接向き合うところに、捨吉の必死な姿勢が読み取れよう。

しかし、ついに「祈らうとしても、妙に祈れないのである。第一・四・七・十一の各章に出て来る捨吉の密室での祈りの姿は、「祈つた」——「祈禱の気分

浸らうとした」——「祈つて見た」——「祈らうとしても、妙に祈れなかつた」と変換し、第一章の例を除けば、いずれも留保含みで不徹底であることが分かる。キリスト教倫理の世界に留まり得ず、解放と自由を求める精神は、信仰の世界に別れを告げ、エロスの世界を肯定し文学の世界へと歩み出すのだ。

七

姦淫する勿れ、処女を侵す勿れ、嫂を盗む勿れ、其他一切の不徳はエホバの神の誡むるところである。……

藤村は、明治四十三年に妻冬子に死別した後、深刻な倦怠と虚無の淵に沈んでいて、いわゆる新生事件を惹き起す。家事を手伝ひに来ていた姪のこま子との近親相姦がそれで、こま子は妊娠し、藤村は、二度と祖国の土を踏まえ決意を抱き、「知らない人の中へ」行つて恥かしい自分を隠す（『新生』一の五十六）べく、フランスへ逃避する。『桜の実の熟する時』は、この新生事件の渦中にある書き継がれ、右に引用した第五章の一節はフランスで書かれたものである。

この一節を書き継ぐ藤村の感慨は、いかなるものであつたらうか。

予期せぬ陥穽に陥つた藤村の艱難と苦悩がいかに深刻なものであつたかは、この『桜の実の熟する時』を書きあぐね、雑誌の掲載が幾度か中断し、完成までに六年を要したその一事からみても容易に想像される。しかし、この作品から、藤村の罪の意識を感じ取ることは、ついに出来ないものである。こま子の手記「悲劇の自伝」（『婦人公論』昭和十二年五・六月）に俟つまでもない、一女性の一生を台なしにした、その償いきれない罪についての意識である。

もちろん、この作品が、ストーリーの展開の上からは新生事件とは何の関わりもないものであつてみれば、それはむしろ当然のことかも知れない。しかし、この小説からは、新生事件の罪責感に起因する苦悩が明らかに読み取れるのである。苦悩は読み取れるのであるが、それが罪の自覚という形を取らないで、恥の意識や恐怖感となつて表れているところに特色がある。そこに注目したいと思う。

一・二の例を挙げてみよう。次の引用は、第二章の初めの部分の一節である。今々斯の世の中へ生れて来たかのやうな心持でもつて、現に自分の仕て居ることを考へて見ると、何時の間にか彼は目上の人達の知らない道を自分勝手に歩き出して居るといふことに気が着いた。彼はその心地から言ひあらはし難い恐怖を感じた。

『桜の実の熟する時』執筆当時の藤村の意識を探るうえでのキーワードの一つ

は、ここに見られる「恐怖^{おそれ}」という言葉である。

自我に目覚め己が道を歩み始めた捨吉の意識であるから、ここは、前途への「不安」を感じたとあれば分かり易いところである。しかし、「恐怖」という言葉が使われている。「恐怖」とは、「目上の人達」にそれと知られては困るような秘密を抱き、後ろめたさをさえ感じているとのニュアンスを含んだ表現である。いかにも捨吉には秘密があるが、その秘密と「恐怖」との必然的な結びつきがあまり感じられないのだ。結局ここには、新生事件の影を負った作者の、深い心の翳りが投影されている——どうしても、そう見ざるを得ないのである。

誰か後方から追ひかけて来るものがある。逃れ行く自分を捉へに来るものがある。この恐怖、東京の方の空を振返る度に襲つて来るこの恐怖は、余計に捨吉の足を急がせた。

これは、第十二章作品の末尾、教え子の勝手を愛した捨吉が、その苦悩に堪えかねて関西への旅立ちを急ぐ場面である。羈絆の一切を断ち切って旅に出る捨吉の姿が、係累の一切から逃がれて、慌しくフランスへと旅立って行った作者その人の姿に重ね合わせて描かれていることに注目したい。

この第十二章は、新生事件を扱った次作の長編小説『新生』と並行して書かれているが、中島国彦氏は、その『新生』（一の四十七）の一節「隠して置いて来た節子と彼との隔りは既に東京と神戸との隔りで、それだけでも彼女から離れ遠ざかることが出来たやうなもの、目に見えない恐ろしさは絶えず彼を追つて来た」に触れながら、右の引用に見られる「恐怖」の実態について論ずる中で、これは、八存在そのものの「恐怖」にまで深まっていると述べておられる。

「追ひかけて来るもの」の影に脅えながら逃れ行く捨吉の姿は、罪に脅える藤村自身の姿であつたはずである。しかし、新生事件という実体験に基づく恐怖が作者にまずあって、その恐怖でもって捨吉自身の内面を色濃く塗り上げていくから、その結果として、捨吉がなぜそれ程までに脅えなければならないのかその理由の説得力に欠け、読んでいても不自然な感じを免れないのである。

伊東一夫氏は、この自伝小説が藤村の自伝そのままではなく、かなりの虚構が施されていることを指摘し、捨吉が関西への旅に出るこの場面についても、藤村の実際の旅立ちは、必ずしも無茶な行為ではなかったことを実証しておられる。捨吉の「恐怖」は実体の伴わないものであつたのだ。その「恐怖」に作者藤村の実体験に基づく「恐怖」が塗り込められているのである。

八

新生事件の渦中であつて書きあぐねていた『桜の実の熟する時』であつたが、初稿から六年後の、大正七年六月に至つて完結した。

滞りがちな『桜の実の熟する時』の筆を前へと書き進めさせたもの——その一つは、自己の生の原点へ回帰し、それを確認することであつた。純情無垢な幼き日々に立ち帰り、その日々を自分の生命の源として確認することによって、直面した苦難からの脱出する力を新たに得ようとするのである。藤村が頻用したこのような難局打開策は、この『桜の実の熟する時』においても採られている。第八章の初め、捨吉が四年間の学校生活を回想する次の一節はその一例である。

思はず彼は拾ひ上げた桜の実を嗅いで見て、お伽話の情調を味つた。それは若い日の幸福のしるしといふ風に想像して見た。

『桜の実の熟する時』の冒頭に、エピソードとしても掲げられているこの周知の一節は、捨吉が若き日々を回想しているところである。その若き日々は幸福であつたと、現在の苦境と対比する形で、捉えられていることに注目したい。

難渋する筆を先へ進ましめたものの第二は、「自分のやうなものでも、どうかして生きたい」（『春』百三十二）という生への強い意志であつた。「春を待ちつつ」堪えしのお姿勢と言つてもよい。

さてこの二点すなわち、自己の生の原点は幸福であつた、しかし現在の苦難はいつかは解消され幸福は必ず回復されると信じ、前途に希望を見て努力する——こうした精神構造が、旧約聖書の楽園喪失とその回復という主題と類比関係にあることに注意したいと思う。

創世記によれば、始祖アダムとエバは、楽園で幸福に生きるべく、神によって創造されていた。しかし、神の禁令を犯した結果、罪責感に苦しみ、神の目を逃れて木陰に隠れざるを得なくなる。そのあげくは楽園追放である。こうした罪の姿は、人間本来のありようではない。しかし、楽園はいつかは回復するのだという。——こうした希望は、旧約の時代を一貫して預言者たちによって語り継がれて来た、聖書の重要なメッセージである。

かつて楽園はあつたとアブリオリに信じていること。しかし失われた楽園はこの苦難の果てにいつかは回復されると信じて努力していくこと。——こうしたところに、キリスト教信仰の藤村に与えた大きな影響を見てとることが出来る。離教したとは言え、信仰の痕跡がこうした形で残っているのだ。そう言って差し

支えないと思う。

信仰的に言えば、楽園の回復は、まず自分の罪を認識して神の前に告白懺悔し、赦しをこうことによってであらう。そうして救われることが、生きる力になるはずだ。しかし藤村の場合には、新生事件をめぐっての罪の現実を認めず、居直って「自分のやうなもので、どうかして生きたい」と願い（藤村は、この願いを人間の「自然」として肯定するヒューマニズムもしくは自然主義の立場に立っている）、自分の力でひたすら努力する。しばしば描かれている捨吉の祈りの姿も、その努力の表れではあるが、捨吉の祈りに懺悔は伴っていない。ここに、信仰的な立場との違いを認めることが出来るように思う。

捨吉の「恐怖」の中には、実体験から来る藤村の「恐怖」が塗り込められていることについては既に論じた。その「恐怖」という表現は、『桜の実は熟する時』の中で、第二・七・八・十一章の各章に一カ所、終章の第十二章には二カ所というように頻出する。

それともう一つ、『桜の実は熟する時』執筆当時の藤村の意識を探るうえでのキーワードとして、「(他者から身を)隠す・隠れる」という言葉にも注目したいと思う。捨吉の隠れるイメージである。一章の冒頭で捨吉は、俚上に繁子の姿を認めると、「葬り去りたい過去」を思い出し、自虐的なまでの嫌悪感・悔恨の情に襲われて、路傍の桑の木の下に「自分を隠したいと願つて」いる。この繁子に『新生』の節子(㉔ こま子)が重ねられていることは既に指摘されているとおりである。

また第十一章には、神の前に跪いて祈ろうとする捨吉の姿が描かれているが、その神には、「隠れたところをも見るといふ」との形容句がつけられている。捨吉の身にとって、秘密や恐怖は、影のように常に付いてまわるのである。

そして終章の第十二章には、恐怖に脅えながら関西へ「逃れ行く」捨吉の姿が、放浪者のイメージで描かれている。この捨吉の姿が、新生事件から逃避してフランスへと脱出した藤村の姿に重なって見え易いことは言うまでもない。

以上の例から分かるように、『桜の実は熟する時』に描かれている捨吉の姿は、罪を犯し神の目から逃れて木陰に身を隠し、さらには楽園から放逐されるアダムとエバの姿を連想させるのである。藤村は、捨吉の姿を堕罪というキリスト教的発想で描いているのだ。

しかしそれは、いわば形を借りただけのものであるから、捨吉がいかに「恐怖」に脅え逃げ隠れたとしても、罪の問題は欠落したままなのである。それは、小説

『新生』において、主人公捨吉の心情を表現するのにしばしば用いられている恥という言葉が、もっぱら世間体・他者の目を意識しての恥や脅えであり、罪の意識が希薄であったのと一体のことなのである。

既にふれたように、藤村の神についてのイメージは、形而上性を欠いていた。したがって見えない神を畏れるという意識は希薄であり、専ら恐れたのは目に見える具体的な神、すなわち世間の目の方だったと言える。

このように、藤村には、宗教オンチと皮肉られる一面があったとはいえ、青春の一時期親しんだキリスト教は、未来に「春」を信じて粘り強く努力するという藤村固有の生き方を生み出し、さらには『破戒』や『新生』など『桜の実は熟する時』以外の作品にも、用語の上で或いは発想の上で、大きな影響を残していると言ってよいであらう。滞仏以後の時代における、カトリックへの接近の問題については、稿を改めたいと思う。

〔注〕

- ① 佐伯 彰一『近代日本の自伝』
- ② 佐古純一郎『明治文学とキリスト教』（『文学』昭和三十七年六月）
- ③ 平林 武雄・秋山 繁雄
「明治学院と藤村の青春」（『島崎藤村』所収）
- ④ 笹淵 友一『「文学界」とその時代下』の「藤村とキリスト教」の項
- ⑤ 中島 国彦『「桜の実は熟する時」の構造』（『島崎藤村全集別巻』所収）
- ⑥ 伊東 一夫『「桜の実は熟する時」論考』（『島崎藤村Ⅱ』所収）
- ⑦ 同右
- ⑧ 吉村 善夫『藤村の精神』

Effect of Hydrogen Charging Direction on Hydrogen-Induced Phenomena of High Strength Steel

(5th Report, Fundamental Study on Delayed Fracture of High Tension Steel)

Yasuyoshi IWAI and Junichi ARIMA

Journal of the Society of Materials Science
Vol. 34, No. 377, pp. 171~177 Feb. 1985.

To study the effects of hydrogen charging direction on the hydrogen-induced phenomena and susceptibility to hydrogen embrittlement of SCM 435, static bending tests, and observations of hydrogen blistering and hydrogen-induced cracking were carried out, and the plastic deformation on the specimen surface due to hydrogen introduction was investigated by X-ray diffraction technique.

The main results obtained are summarized as follows;

(1) The hydrogen blistering was observed in the case of hydrogen charging perpendicular to the rolling direction not only on low strength steels but also on high strength level steels having tensile strength up to 1200 MPa. On the other hand, in the case of hydrogen charging parallel to the rolling direction, no hydrogen blistering appeared in all specimens.

(2) It was found that the susceptibility to hydrogen embrittlement depended on the strength level of material and was affected by the hydrogen charging direction in the case of materials sensitive to hydrogen such as those tempered at 300°C and 400°C.

(3) From the measurements of half-value breadth and residual stress by X-ray diffraction, it was estimated that the values of plastic deformation due to hydrogen dissolution for the specimens tempered at 500°C, 600°C and the annealed specimen were about 0.8%, 1.2% and 2.2%, respectively, while those of the specimens tempered at 300°C and 400°C were within 0.5%.

(4) Hydrogen-induced cracking initiated around the nonmetallic inclusions (MnS) or microsegregation bands and grew parallel to the rolling direction. Their fracture morphology was quasi-cleavage fracture such as river like pattern.

ダイレスフォーミングの開発と応用

Development of Dieless Forming and its Application

関口秀夫・小島耕二・市瀬辰己

第98回塑性加工シンポジウム（多種少量生産のための新しい塑性加工技術）；昭和60年・5，P. 21～34.

素形材加工における重要な課題としては、難加工性材料や先端金属材料の加工、加工プロセスにおける材質改善（新機能の創成）、複合化技術の開発などがある。本論文ではこうした問題解決への試みとして、温度制御によるダイレスフォーミング（ダイレス引抜き、ダイレス曲げ）についての筆者らの研究状況を述べた。また、多種少量生産方式あるいはFMSに関するダイレスフォーミングの役割についても検討している。

ダイレスフォーミングとは、工具を用いる代りに材料を局部加熱し、加熱域を移動させながら材料に変形を与える加工法である。この方法は引抜きや曲げ加工に応用することができる。ダイレス引抜きにおいては、比較的小さな力で加工が行え、1回の引抜きで大きな加工度を与えることができる。また、工具と無接触（無摩擦）であるので、低温では高強度であり高温では高摩擦のために加工し難い、いわゆる難加工性材料の加工に有効である。図1に、Ti-6Al-4V合金のダイレス引抜き材の機械的性質を示す。比較のため各種処理材の値（文献から引用）もプロットした。ダイレス引抜き材の引張強さは冷間伸線材と同程度であり、延性についてはいずれの処理材よりも優れている。このようにダイレス引抜きでは、加工性の向上のみならず加工条件の選択によって材質改善を図ることもできる。

ダイレス曲げは、厚肉大径管の曲げ加工法としてすでに利用されているが、これらは曲げ半径が比較的大きな加工が主である。ここでは、通常の曲げ加工法では加工不能な小径異形管の新しい曲げ加工法としてダイレス曲げを考えた。図2に、各種異形管の曲げ加工限界値を示す。管の断面形状によって直線の傾きは異なるが、管の厚さに対する変形幅（加熱幅）の比 W/t_0 を小さくすることによって加工限界値は向上する。ダイレス曲げ加工は、円形の加熱コイルと材料を固定する簡単な治具を必要とするだけであり、多種少量生産方式に適している。

また、加熱と冷却技術の改善によって加工精度と加工限界を従来法よりも高めることができる。さらには曲げ加工部の材質改善が可能であり、加工と熱処理との複合化技術としての新しい発展が期待できる。

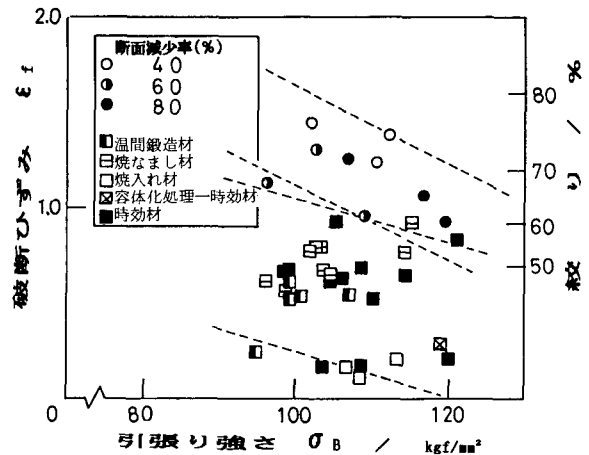


図1 Ti-6Al-4V合金の機械的性質

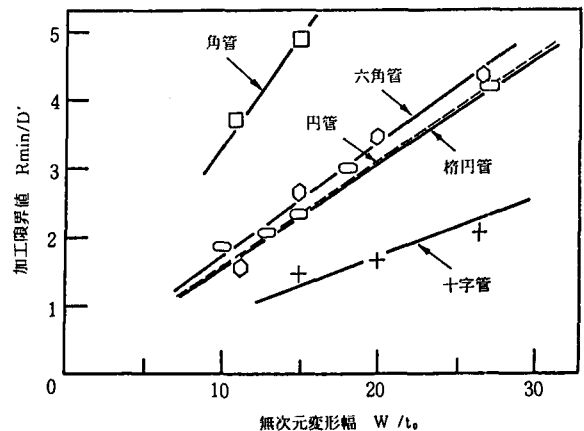


図2 円管および异形管の加工限界

円孔列を持つ帯板の面内曲げ

On the Stress Concentration in a Strip with a Row of
Circular Holes Subjected to In-plane-bending

浜田 実*, 水嶋 巖, 渋谷陽二**

日本機械学会論文集 (A編), 51巻 462号 (昭和60-2), p. 354~359.

円孔付き帯板の応力集中問題は、機械設計における重要な基礎的問題の一つである。面内曲げを受ける場合の問題に関する従来の研究としては、円孔が1個の場合には多くの研究があるが、2個以上に対しては、帯板の中心線に対して直角な方向に配列された2円孔の場合の研究があるのみのようである。

そこで本論文では、大きさの等しい有限個の円孔が等間隔で中心線上に配置されている帯板に、面内曲げの荷重が作用する場合の応力集中問題を解き、円孔の数、大きさおよびピッチを種々に変えて、応力集中係数に関する一連の値を求めた。その方法は、著者らが引張りを受ける円孔付き帯板の応力解析に対して提示した解法を拡張したものであり、フーリエ解析法を用い円孔縁の境界条件を満足させる過程と、フーリエ変換法を利用して帯板直線縁の境界条件を満足させる過程とを、解が十分収束するまで反復させる方法である。

計算の結果、円孔数 N が2以上で増加しても応力集中係数値はあまり変化しないことが明らかとなり、さらに N が無限大の場合の応力集中係数との関連も得られた。図1には $N=3$ の場合の結果を示すが、上記の理由により、この図は実用上 $N \geq 2$ に対する応力集中係数の線図として用いてよいものである。図中の記号 K_e , K_c は帯板直線縁と円孔縁に対する応力集中係数を表し、 λ と ζ は板幅に対する円孔径とピッチの比を表す。また応力集中係数の基準応力としては、帯板最小断面にはり理論を適用して得られる直線縁の応力をとるものとする。

なお、円孔数 $N=1$ の場合に対して本解と従来の解との比較を行い、また $N=3$ の場合に対しては有限要素法

による解や電気抵抗線ひずみ計による実験値も求めて、本解の妥当性を確認した。

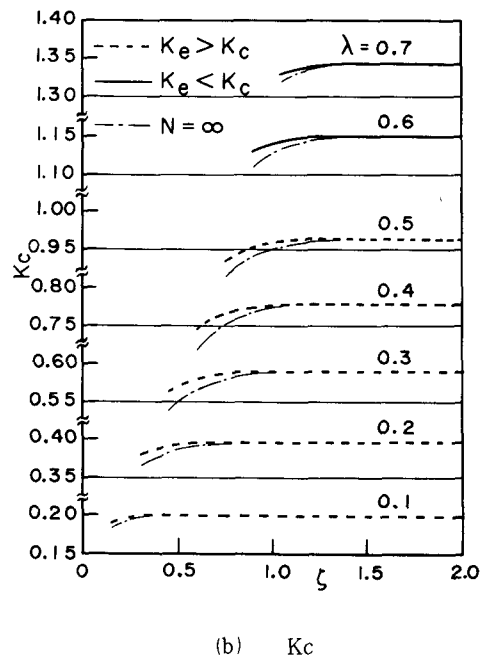
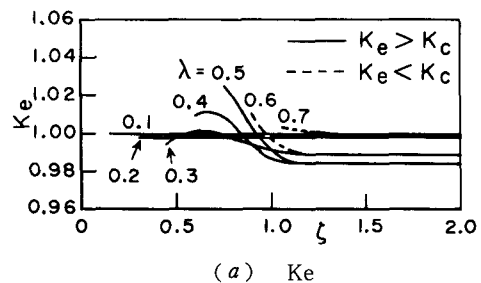


図1 応力集中係数 ($N=3$)

* 大阪大学工学部

** 東京芝浦電気(株) 重電技術研究所

白金担持酸化チタン粉末によるLBSおよびPCBの光触媒分解

Photoassisted Decomposition of LBS and PCB at Platinized TiO_2 Powders

泉 生一郎

電気化学および工業物理化学 Vol. 53, No. 3, pp. 178~180 (1985)

半導体粉末の懸濁系すなわち不均一系光触媒を用いた太陽エネルギーの化学的変換利用に関する研究が、最近活発に行われている。この光触媒についてこれまで、水素製造のための水の分解を始め、窒素や二酸化炭素の還元、光コルベ反応、さらに種々の有機合成への応用が試みられてきた。しかし、太陽光利用という観点からはエネルギー変換効率の向上が前提となり、まだなお基礎研究が必要な状況である。したがって現段階では、効率よりもむしろ半導体表面の強い反応性を利用し、太陽エネルギーを系に導入することに重点を置いた廃水処理への応用がまず考えられる。このような意図で、すでに有害物質の無害化のために $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ の光触媒還元、 CN^- や SO_3^{2-} の光触媒酸化などの研究がなされている。また著者らは、酸素ふん囲気下での水溶液中で、ベンゼンや種々のアルカンが光触媒によって二酸化炭素にまで完全酸化され得ることを報告した。このことは難分解性の有機化合物の分解処理が、反応条件によっては可能であることを示唆するものである。

そこで本研究では、ラウリルベンゼンスルホン酸ナトリウム (LBS) とポリクロロビフェニル (PCB) について、白金担持酸化チタン (Pt/TiO_2) 粉末を光触媒に用いてこれらの分解処理を試み、Fig.1 および Fig.2 に示すような良好な結果を得た。これらの光触媒分解をひきおこす原因となっている中間活性種の OH ラジカルは、高い反応性を有している一方、反応の選択性に乏しいけれども、本研究のように廃水処理を目的とする場合にはこれらの特徴を生かすことができる。したがってここでは今日的重要性から LBS と PCB の分解を扱ったに過ぎず、他の難分解性有機化合物の分解にもこの不均一系光触媒が効果的であることは当然期待されてよい。ただ実際面では、可視光域まで利用できる低廉な光触媒の探索が必要不可欠な今後解決すべき課題として残されている。

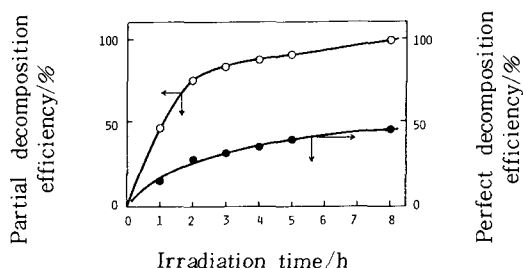


Fig. 1 Photoassisted decomposition of LBS under irradiation with 1 kW Xe lamp while bubbling O_2 in 0.1 dm^3 aqueous solution containing 100 ppm of LBS and 0.2 g of platinized TiO_2 powders

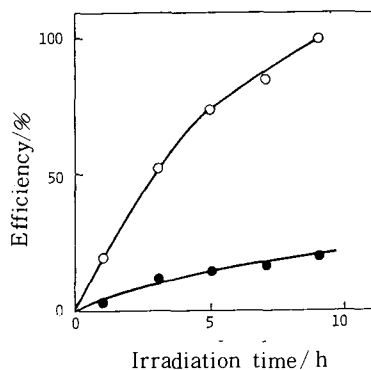


Fig. 2 Photoassisted decomposition of PCB under irradiation with 800 W Xe lamp while bubbling O_2 in 0.035 dm^3 aqueous solution containing 143 ppm of PCB and 0.1 g of platinized TiO_2 powders
○ : Perfect decomposition efficiency/%, ● : Dechlorination efficiency (%) estimated without considering the amount of HCl and Cl_2 eliminated from the reactant solution

半導体光解媒による有機化合物の分解処理

Photocatalytic Decomposition of Organic Compounds at Semiconductor Powders

泉 生一郎・大西 康幸

水処理技術 Vol. 26, No. 4, PP. 233~237 (1985)

太陽光利用による化学的排水処理技術の開発を意図して、不均一系光触媒を用いた有機化合物の光分解処理を試み、以下の結論を得た。

(1) 試料Ⅰの水溶液（酢酸－エタノール水溶液）20ml に0.1gの酸化チタン半導体粉末触媒を懸濁させ、酸素雰囲気下で1kWキセノン光を照射すると、6時間で溶液のTOCがなくなり有機化合物が完全分解することが分った。また、半導体粉末に白金を担持すると2時間で完全分解に至った（図1）。

(2) 試料Ⅱの水溶液（酢酸－エタノール－フェノール水溶液）について同様の実験を行い、白金担持触媒では3～4時間の光照射で完全分解することが分った。

(3) 太陽光照射によっても、試料Ⅱの溶液中のTOCが照射時間とともに明らかに減少した。

(4) 各種条件規制下における実験から、白金担持触媒と酸素の存在下で光照射を実施すれば有機化合物の分解を最も効率良く進行させ得ることが分った。

(5) 光電気化学特性の検討により、光照射下では酸化チタン薄膜電極上での水の酸化反応と白金電極上での酸素の還元反応が、外部電圧を加えなくとも同時に起こり、これらが光電池の機能をもった電極の組み合わせとなっていることが分った。このことから、白金担持酸化チタン粉末触媒の粉末の1個ずつが、それぞれ微小短絡光電池としての機能を有しているものと考えられた（図2）。

(6) 微小短絡光電池機構にしたがって、光触媒表面上に生成したOHラジカルが有機化合物の分解をひき起こすものと推定した。

不均一系光触媒は水と酸素があれば他の難分解性有機化合物の分解にも適用し得ることは容易に理解できるが、近紫外領域の光で励起する酸化チタンとは別に、可視光領域まで利用できる安定な光触媒の開発が今後の課題となるであろう。

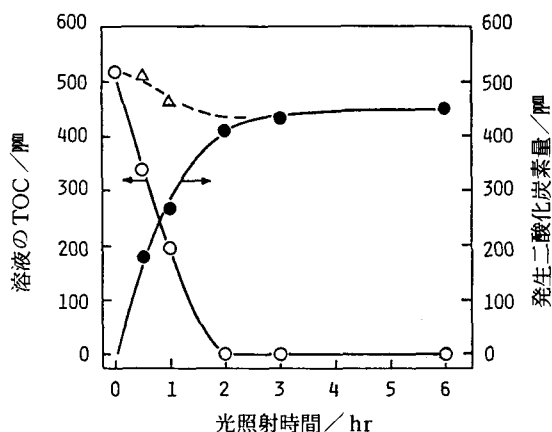


図1 白金担持酸化チタン粉末を用いた試料Ⅰの水溶液（酢酸－エタノール水溶液）の光触媒分解
△：発生二酸化炭素量と溶液内TOCの総和

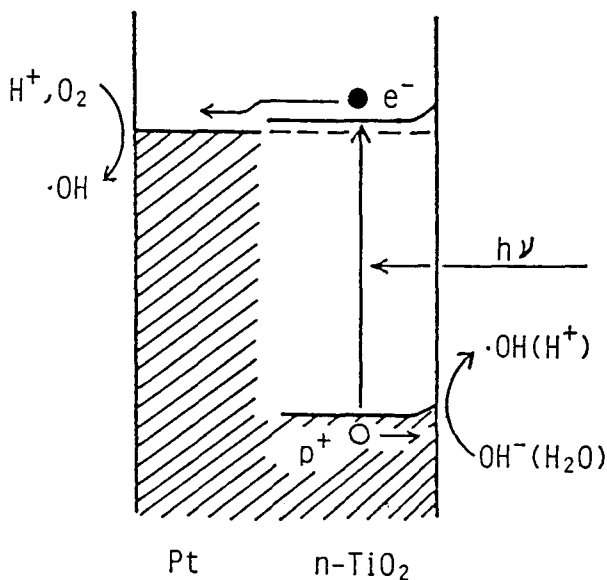


図2 微小短絡光電池を考えた光触媒機構

学生実験における電極電位法による分解電圧測定

Determination of Decomposition Voltage by the Electrode Potential Method in the Student Experiment

泉 生一郎・大西 康幸

化学教育 Vol. 33, No. 4, PP. 338~341 (1985)

分解電圧測定法として従来学生実験に採用されてきた槽電圧法では、アノード反応とカソード反応とを別個に考察することができないなど、得られる情報の質に問題点の多いことが痛感される。そこで本研究ではこのような点を克服するために、電極電位法による分解電圧測定の検討を行い、槽電圧法に比較してはるかに良質の情報が得られ、考察の内容を深められることが明らかになった。電極電位法の利点を列挙すると、以下ようになる。

(1) 水の分解を酸素発生と水素発生、すなわちアノード反応とカソード反応に分けて考えることができる。

(2) 水よりも小さな分解電圧をもつ塩酸のようなハロゲン酸では、析出電位と熱力学的な考察からアノード反応が OH^- ではなくむしろ Cl^- の放電であることが理解できる(図1)。

(3) 水よりも大きな分解電圧をもつ硫酸亜鉛や硫酸ニッケルについては、残余電流の観察と、電極上に析出した亜鉛やニッケルでの水素過電圧の高いことから考察することができる。

(4) 酸とアルカリでは、分解電圧が一致するという結果だけではなく、酸素発生および水素発生析出電位がそれぞれネルンストの式にしたがって変化することがわかり、測定結果との対応を見ることができる。

電極電位法のこれらの利点はいずれも、槽電圧法(図2)で欠落していたアノード反応とカソード反応との区別を明確にできるところにある。事実、本校の物理化学実験において槽電圧測定によった場合に比べて、電極電位測定のほうが報告書の中での考察が深められており、中でもごく自然に両極での反応を考察の中に加えて議論していることは特筆すべきことと思われる。さらに実験指導者からの助言を加えれば、分解電圧測定には従来の槽電圧法よりも電極電位法によるほうが、教材として数段教育的効果が大きいものといえる。

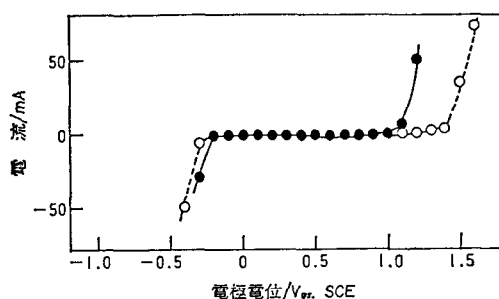


図1 白金電極上での電流—電位曲線

—: 1 mol. dm^{-3} HCl, ---: 0.5 mol. dm^{-3} H_2SO_4

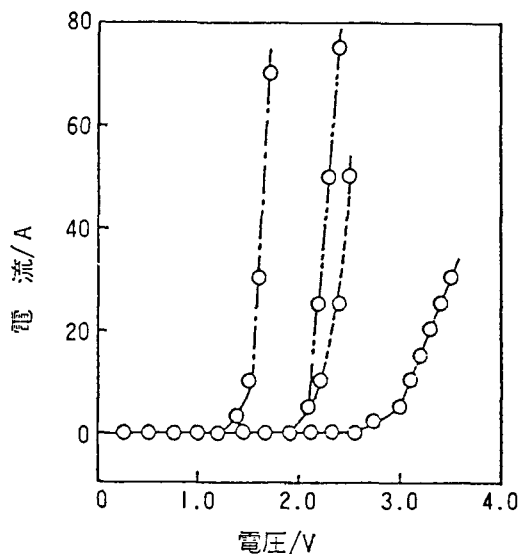


図2 白金電極上での電流—電圧曲線

----: 0.5 mol. dm^{-3} H_2SO_4 , —: 1 mol. dm^{-3} NaOH
—: 0.5 mol. dm^{-3} ZnSO_4 , ----: 1 mol. dm^{-3} HCl

可動式多孔板塔のガス側物質移動特性

Gas-phase Mass Transfer Properties in a Double-perforated Plate Column

河越幹男, 大竹伝雄¹⁾, 野田泰夫²⁾

化学工学論文集, Vol. 11, No. 3, 365~367 (1985)

可動式多孔板塔は従来の多孔板塔とバルブトレイの特徴を兼ね備えた気液接触装置であり, 安定操作範囲がひろく, 圧損が小さいなど, 優れた特性を持っている(化学工学論文集, 6, 123 (1980))。

段塔で扱われる気液接触操作ではガス側物質移動律速となる場合が比較的多いが, 理論的な解析が困難なため, 従来のガス側物質移動に関する研究は, 操作変数, 装置形状の影響を実験式の形で整理したものがほとんどである。これらはいずれも限られた操作条件, 装置形状のもとで得られた相関式であるため, 型式の異なる装置に適用することはできない。本研究ではエネルギー消散速度がガス側物質移動に対する支配的因子であることを見出し, 装置型式に無関係に適用できる相関を得た。

高ガス流速で操作される液深の浅い段塔の場合, 気液混相内は攪乱状態となり, 気泡は浮力よりも乱流の影響を強く受けるようになる。このような条件下では, 系に投入されたエネルギーが物質移動特性を支配する主因子になると考えられる。そこで, 塔単位断面積当たりの物質移動容量係数とガスのエネルギー消散速度との関係を調べた。その結果, Fig. 1 に示したようにガス側物質移動速度とエネルギー消散速度の間には良好な相関関係があることが分かった。Fig. 1 の横軸 e は塔単位断面積当たりのエネルギー消散速度であり, 縦軸は塔単位断面積当たりのガス側容量係数にシュミット数の補正を行なった値である。本実験から得られた結果の一般性を検討するため, 従来の種々の型式の多孔板塔のデータを用いて, Fig. 1 と同様のプロットを行なった。Fig. 2 がこれである。Fig. 2 から, 本研究で得た相関は, 装置型式に関係なく, 一般的に適用できることがわかった。

上で示した結果を用いて段効率を計算した。その結果, 段効率は主に全圧損失によって決まり, 通常の操作範囲では50~95%程度であることが明らかとなった。

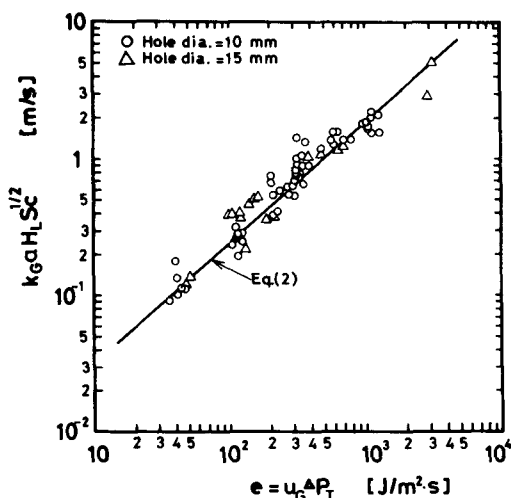


Fig. 1 Correlation of $K_G a$ in a double-perforated plate column

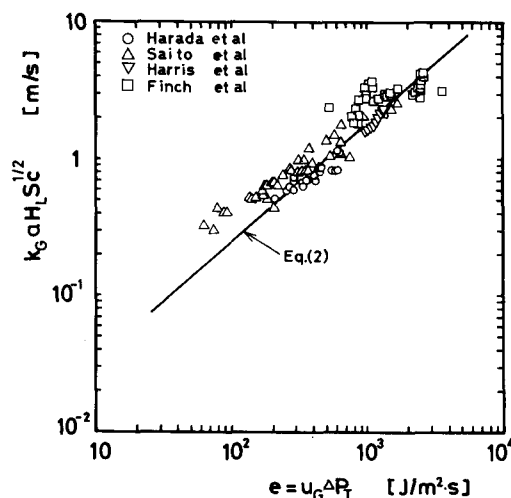


Fig. 2 Correlation of $K_G a$ in ordinary perforated plate columns

1) 中部大学工学部工業化学科

2) 関西化学機械製作株式会社

教官研究活動一覽表

(機械工学科)

高強度鋼の水素誘起現象に及ぼす水素侵入方向の影響について—高張力鋼の遅れ破壊に関する基礎的研究(第5報)—

岩井保善, 有間淳一

材料, Vol. 34, No. 377, (1985) 171 ~ 177

(昭和60年2月)

温度制御による加工技術の複合化

関口秀夫

(財) 素形材センター, 先端金属材料加工技術調査報告書(昭59-10), 35~43.

管材の引抜きおよび曲げ加工

関口秀夫

日本塑性加工学会チューブフォーミング分科会

(昭和60年5月13日 講演)

ダイレスフォーミングの開発と応用

関口秀夫, 小島耕二, 市瀬辰己

第98回塑性加工シンポジウム—多種少量生産のための新しい塑性加工技術—

(昭和60年5月23日 講演)

近年開発の加工技術・加工機の動向

関口秀夫

(社) 日本鍛圧機械工業会, 鍛圧機械の技術予測調査報告書(昭60-6), 83 ~ 169.

温間鍛造への加工熱処理の適用

関口秀夫

日本塑性加工学会鍛造分科会

(昭和60年6月10日 講演)

鉄鋼材料のダイレス加工と加工熱処理

関口秀夫

素形材センター技術講演会

(昭和60年7月28日 講演)

新金属加工プロセスの開発について

関口秀夫

中国・東北工学院, ハルビン工業大学, 北京鋼鉄学院等において

(昭和60年8月4日~昭和60年8月19日 一連の講演)

電縫管の二次加工技術

関口秀夫

日本塑性加工学会昭和60年度ロールフォーミング公開セミナー

(昭和60年8月27日 講演)

Warm Temper Forging (its strengthening mechanism and application)

H. Sekiguchi, K. Kobatake & K. Osakada (Hiroshima Univ.)

The 18th Plenary Meeting of the International Cold Forging Group, Sweden (Sept. 12, 1985)

Development of New Thermomechanical Treatment

H. Sekiguchi

Politechnika Warszawska, Poland (Sept. 23, 1985)

Unburned Hydrocarbons in a Spark - ignition Engine Cylinder

Y. Hamamoto (Okayama Univ.), T. Wakisaka (Kyoto Univ.), E. Tomita (Okayama Univ.), T. Nakata

Bulletin of JSME, 28-237 (March 1985), 461 ~ 467

円孔列を持つ帯板の面内曲げ

浜田実(阪大・工), 水嶋巖, 渋谷陽二(東芝・重電技研)

日本機械学会論文集(A編), 51-462(昭60-2), 354 ~ 359.

周縁を部分的に支持または固定された円板の曲げ

浜田実(阪大・工), 井上豊(阪大・工), 水嶋巖, 三船忠志(阪工大), 森沢吉孝(阪大・院)

日本機械学会関西支部第60期定時総会講演会(昭和60年3月20日講演)

Massless Lorentz Gauge Field

宮本止戈雄, 大谷晃也(関西外大), 福岡一巳, 中野董夫, 田村佳信(以上, 阪市大)・
日本物理学会1984年秋の分科会
(昭和59年10月2日講演)

Massless Lorentz Gauge Field Consistent with Einstein's Gravitation Theory

—The Case $a+2a/3=\beta-2a/3=r+3a/2=0$ —

K. Fukuma*, S. Miyamoto, T. Nakano*, T. Ohtani** & Y. Tamura* (* Osaka City Univ. ** Kansai Univ.)

Progress of Theoretical Physics, vol. 73, No. 4 (April, 1985) 874 ~ 883

Measurements of pulsating and oscillating flow of non-Newtonian fluids through concentric and eccentric cylinders

N. Mori, T. Wakabayashi, A. Horikawa (Osaka Univ.), K. Nakamura (Osaka Univ.)

Rheol. Acta, 23-5 (September/October, 1984), 508 ~ 513

内管回転偏心二重円管内における非ニュートン流体の圧力流れ (第一報 数値計算)

森 教安, 江口孝彰(阪大・工), 中村喜代次(阪大・工), 堀川 明(阪大・工)

繊維機械学会論文集, 38-2 (昭60-2), 49~57.

内管回転偏心二重円管内における非ニュートン流体の圧力流れ (第二報 実験)

森教安, 矢上光宏(阪大・工), 江口孝彰(阪大・工), 中村喜代次(阪大・工), 堀川明(阪大・工)

繊維機械学会論文集, 38-3 (昭60-3), 39~44.

偏心二重円管内における粘弾性流体の脈動流および振動流の数値計算

森教安, 中村喜代次(阪大・工), 堀川明(阪大・工)

繊維機械学会論文集, 38-4 (昭60-4), 45~53.

千鳥状配列円柱群を有する平行平板伝熱面

矢尾 匡永, 中谷 洵, 鈴木健二郎(京大・工)

第22回日本伝熱シンポジウム

(昭和60年5月20日講演)

(電気工学科)

ステートメントとプロトコールの研究(5)

仁保寛二(阪電通大), 石桁正士(阪電通大), 上田勝彦

日本科学教育学会年会

(昭和60年8月23日講演)

理解状態およびそのプロセスの科学的分析

(7)

石桁正士(阪電通大), 上田勝彦, 大西良雄(阪電通大)

日本科学教育学会年会

(昭和60年8月23日講演)

自動印鑑照合システムの照合性能評価

上田勝彦, 中村善一

情報処理学会第31回全国大会

(昭和60年9月11日講演)

高分子の残留電圧に及ぼす放射線照射効果Ⅲ

京兼 純, 吉野勝美(阪大・工)

昭和59年度電気関係学会関西支部連合大会

(昭和59年11月11日講演)

P E フィルムの残留電圧に及ぼす放射線照射効果

京兼 純, 吉野勝美(阪大・工)

昭和60年度電気学会全国大会

(昭和60年4月2日講演)

導電性高分子材料の表面電位測定

京兼 純, 具 轄本, 朴 大熙, 吉野勝美(以上, 阪大・工)

第18回電気絶縁材料シンポジウム

(昭和60年9月30日講演)

改訂 高電圧工学

今西周蔵, 鷺見 篤(都立高専), 京兼 純

コロナ社

円筒面走査による長波長ホログラムの基礎的実験

世古 忠, 成田 紘一

電子通信学会 光・電波部門全国大会

(昭和59年10月4日講演)

インタフェースの周辺回路とプログラミング

高橋晴雄, 上向井照彦(阪市大)

日刊工業新聞社(昭和60年2月出版)

(化学工学科)

エポキシライニング材の化学薬品環境下での劣化

井口高行, 奥田 聡(同志社大・工)

化学工学協会第50年会

(昭和60年3月29日講演)

本校における学生指導について—厚生補導教職員研修会をふまえて—

犬田修正

高専教育, 第8号(1985.2) 98~103

X線画像解析による出土木材含浸過程についての知見

石垣 昭

昭和60年度日本文化財科学会第2回大会

(昭和60年3月21日講演)

在外研究員の体験は如何にいかされているか

泉 生一郎

関西工業教育協会高専部会セミナー

(昭和59年12月19日講演)

関西工業教育協会高専部会だより, No.16(昭和60年7月), 3~4

フェノールからの電解重合被膜電極による塩素イオンのアノード酸化に対する選択的抑制効果

泉 生一郎

日本化学会第50春季年会

(昭和60年4月3日講演)

Co(II)—4, 4', 4'', 4'''—テトラカルボキシフタロシアン薄膜の電気化学的挙動

楠田貢典(阪市大・原研), 山口英昌(阪市大・原研),

泉 生一郎

日本化学会第50春季年会

(昭和60年4月3日講演)

工業化学実験教材の研究(4)界面化学実験に関する一考察

大西康幸, 泉 生一郎

日本化学会第50春季年会

(昭和60年4月4日講演)

白金担持酸化チタン粉末によるLBSおよびPCBの光触媒分解

泉 生一郎

電気化学および工業物理化学, Vol.53, No.3(昭和60年3月), 178~180

半導体光触媒による有機化合物の分解処理

泉 生一郎, 大西康幸

水処理技術, Vol.26, No.4(昭和60年4月), 233~237

学生実験における電極電位法による分解電圧測定

泉 生一郎, 大西康幸

化学教育, Vol.33, No.4(昭和60年8月), 338~341

Synthesis and Cation-Binding Properties of Poly- and Bis(thiacrown ether)s

M.Oue, A.Ishigaki, K.Kimura,* Y.Matsui,* and T.Shono* (* Osaka Univ.)

Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition, Vol.23, (1985) (7), 2033.

可動式多孔板塔のガス側物質移動特性

河越幹男, 大竹伝雄(中部大・工), 野田泰夫(関西化学機械)

化学工学論文集, Vol.11, No.3, (1985年5月), 365~367

(一般教科)

Reverse Psychological Predicates の指導
について — 教科書分析および理解度調査に
基づいて —

溝端清一, 樋口忠彦(大阪教育大)

第11回全国英語教育学会千葉研究大会

(昭和60年8月4日講演)

学校の内と外での児童英語教育 (シンポジウ
ム)

守屋雅博

日本児童英語教育学会第4回秋季研究大会

(昭和59年9月30日講演)

早期英語学習者の追跡調査 (その1) ——
Speaking の技能を中心に

樋口忠彦(大阪教育大), 守屋雅博, 北村豊太郎(梅田
学園), 三浦一朗(近畿大), 中山兼芳(加藤学園)

日本児童英語教育学会第6回全国大会

(昭和60年6月9日講演)

中世の高田 (庄園, 国衆の動向)

朝倉 弘

大和高田市役所 (昭和59年11月30日)

アララギの作家群像

小谷 稔

短歌現代8月号 (短歌新聞社)

(昭和60年7月25日)

奈良工業高等専門学校 研究紀要第21号
昭和61年3月15日発行

編集兼 奈良工業高等専門学校
発行者 大和郡山市矢田町22

印刷所 共同精版印刷株式会社
奈良市三条大路2-2-6

RESEARCH REPORTS

of NARA TECHNICAL COLLEGE

No. 21, 1985

CONTENTS

Effect of Carbon Content on Hydrogen Embrittlement of 800 MPa Carbon SteelsYasuyoshi IWAI and Junichi ARIMA	1
Study on Digital Controles of Screw Cutting in LatheKatsuya KAGA, Yoshihiro OSHIDA and Yasuhiro HAYAKAWA	7
Relation between Time and Space Intervals and Accuracy of Du Fort - Frankel's Method for Unsteady Heat Conduction Equation	11
Prosperity and Decay of Mercury Mining Industry in Nara District	17
Numerical Analyses on Positioning of Piston in Pneumatic CylinderYasuhiro HAYAKAWA	23
Technical Report on Two Dimensional Graphic Subroutine PackageMasanori YAO and Makoto NAKATANI	27
Output Control of GTO Chopper Circuits by Applying Micro-ComputerShigeji IMURA and Nobuyuki MAKIOKA	33
Electrical Transport and Breakdown of Poly-p-PhenylenesulfideJun KYOKANE, Mun Soo YUN, Masanori OZAKI, San Hyon KIM, Katsumi YOSHINO and Yoshio INUIISHI	39
Long Wavelength Hologram by Cylindrical Scanning (II)Tadashi SEKO and Hirokazu NARITA	47
A Basic Study on Character Segmentation from Signature ImageYoshikazu NAKAMURA and Katsuhiko UEDA	51
Fundamental Study on the Conservation Methods of Waterlogged Wood (III) X-ray Photographic Image Analysis Applied to Explanation of PEG ImpregnationAkira ISHIGAKI	55
A Photoelectrochemical Approach to the Conservation of Wooden Cultural PropertyIkuichiro IZUMI and Akira ISHIGAKI	61
Simulation of Size Distribution in Batch Crystallizer	65
Reproducing Property of Distribution	69
An Analogue Theorem of Stone's theorem on Non-definite spaceSeinosuke KITAGAWA	73
The Human Relations in <i>Emma</i>	77
Non-Finite Verbs in the Stonor Collection - Gerund -	87
A Study on Listening to Colloquial English -based on the analysis of listening -Masahiro MORIYA	97
Religious Belief and Spiritualism - A Study of William James's Criticism on MaterialismTsuneyuki KIMURA	116
On Yorichika Minamoto, Governor of the Province of Yamato	122
A Study on "Sakura no mi no jukusuru toki" -In Relation to Christianity -Seiji HOSOI	130
Abstracts	131
Research Activities in 1984-1985	139