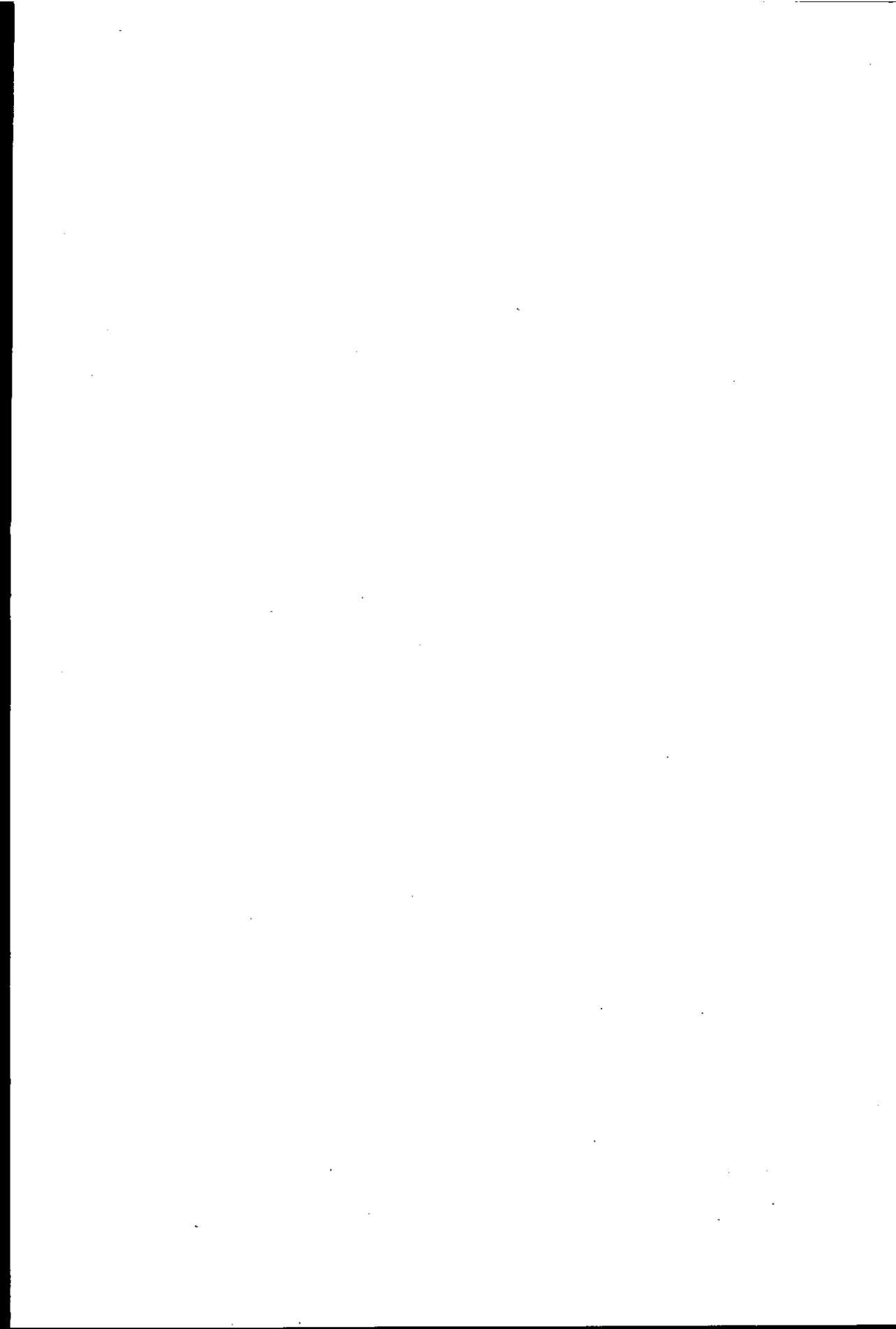


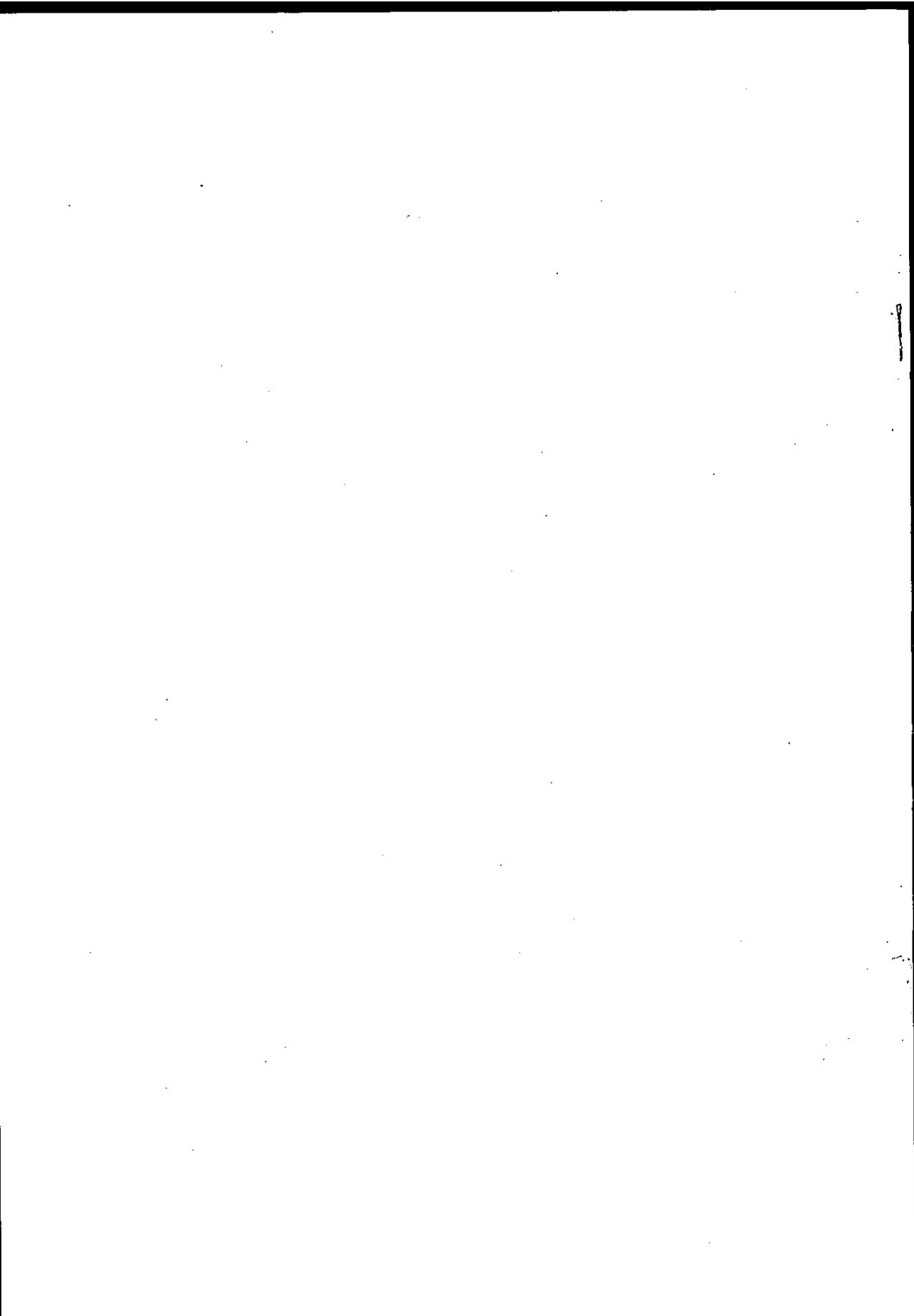
**第3回(昭和47年度)研究奨励金
受賞研究の概要**

昭和48年10月

財団法人 **日本情報開発協会**







この研究奨励金制度は、本協会に対する民間の寄附金の一部をもって基金を創設し、その果実を

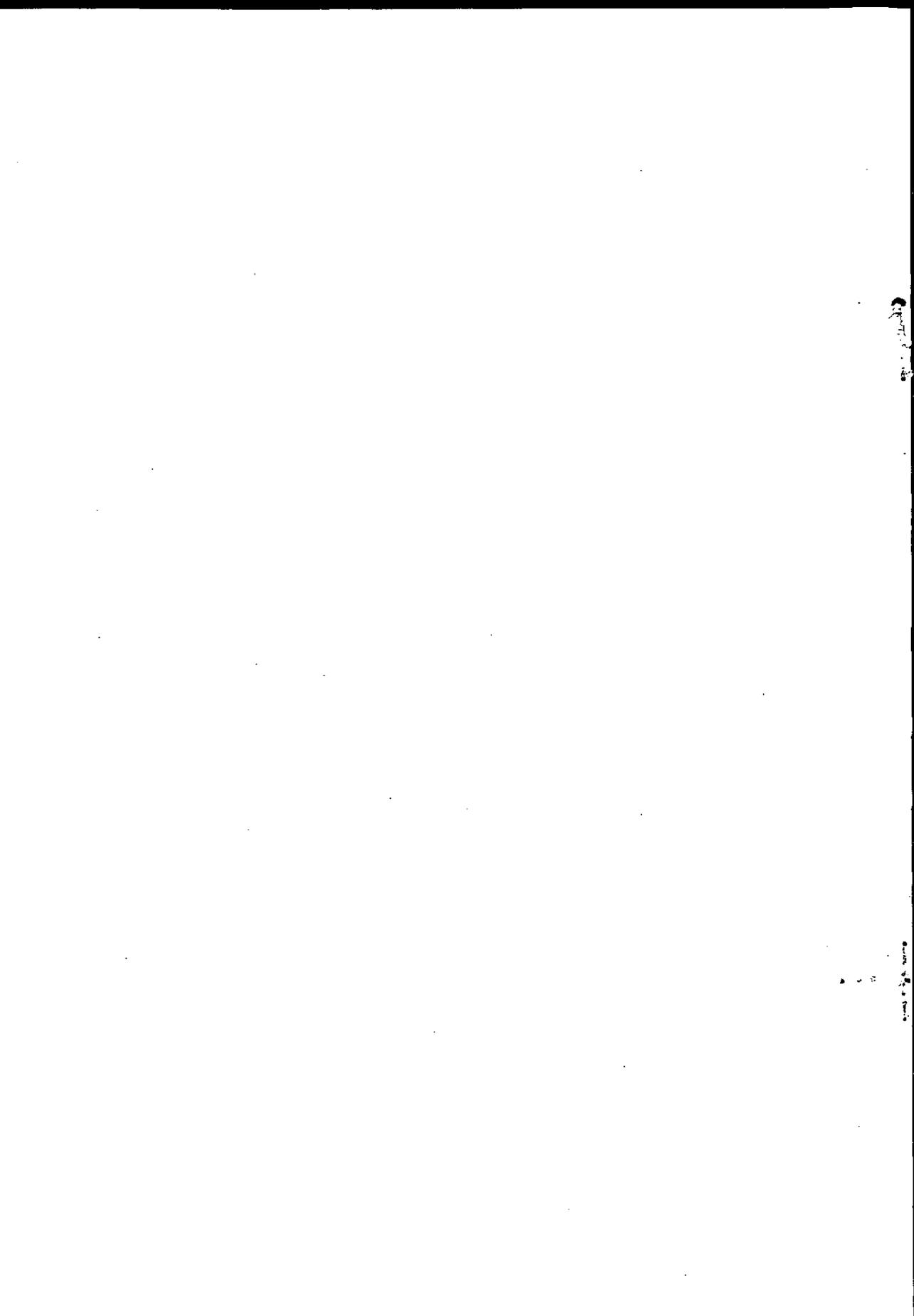
- (1) 電子計算機の高度利用に寄与する技術と知識に関する研究
- (2) 電子計算機の適用分野の拡大開発に寄与する技術と知識に関する研究

のうち優れたものに対し、研寄奨励金として交付することを目的としている。

公募は、年1回行なうことになっており、本協会の依頼した大学、研究機関、関連団体および本協会役員等の推薦人（機関）を通して推薦を受けることとしている。

審査は研究奨励金審査委員会において厳正公平に行なうことになっている。

今回はその第3回として昭和47年12月に公募を行なった。



目 次

I 推選および審査のあらまし	1
○ 推選状況	1
○ 選考方針および選考の経緯	3
○ 選考の結果	3
○ 研究発表会	7

II 受賞研究の概要

奨励金の部

医 療

1. 痛風における医療情報システムの開発その臨床的応用11
自治医科大学教授
御 巫 清 允 他 2 名
2. 子宮癌集団検診を目的とした高速スクリーニング装置の開発.....21
関西医療検査大学助教授
橋 本 良 夫 他 4 名

公 害

3. 大気汚染予測システムの開発に関する研究35
早稲田大学理工学部教授
塩 沢 清 茂 他 8 名
4. 公害監視システムの研究 別添
富士通㈱情報伝送技術部
電力方式課長
板 崎 泰 生 他 3 名

5. 環境画像処理のためのフィードバック機能をもつ

画像処理システム …… 59

京都大学工学部助教授

長尾 真 他1名

都 市

6. 都市開発及び都市防災のためのメッシュデータ作成言語

の開発と実用化 …… 75

大阪大学工学部教授

岡田 光正 他2名

7. 大都市における災害避難のシステム工学的研究 …… 別添

東京理科大学工学部助教授

原 文雄 他2名

自由課題

8. 組合せ情報数学によるファイリングシステムの実用化の研究 …… 109

広島大学理学部教授

山本 純 恭 他7名

9. ラボラトリー・オートメーション・システム実験データ

収集処理自動化の研究 …… 129

青山学院大学工学部

専任講師

矢頭 修介 他2名

10. 部品管理業務におけるミニコンピュータによる

データベースシステムの開発 …… 149

三井造船(株)社長室情報シス

テム部課長補佐

ト部 祀之 他3名

11. Conjoint Measurement 法を利用した評価関数

決定のための計算システムの開発……………163

東京理科大学理工学部

経営工学科助教授

佐 伯 胖 他1名

報奨金の部

12. 石油製品の需給構造モデルの開発……………189

日本開発銀行調査部副長

沢 隆 明 他

13. SMAP4 (土地造成分譲事業シミュレーション・モデル)……………211

日本開発銀行設備投資

研究所

池 田 喜 一 他

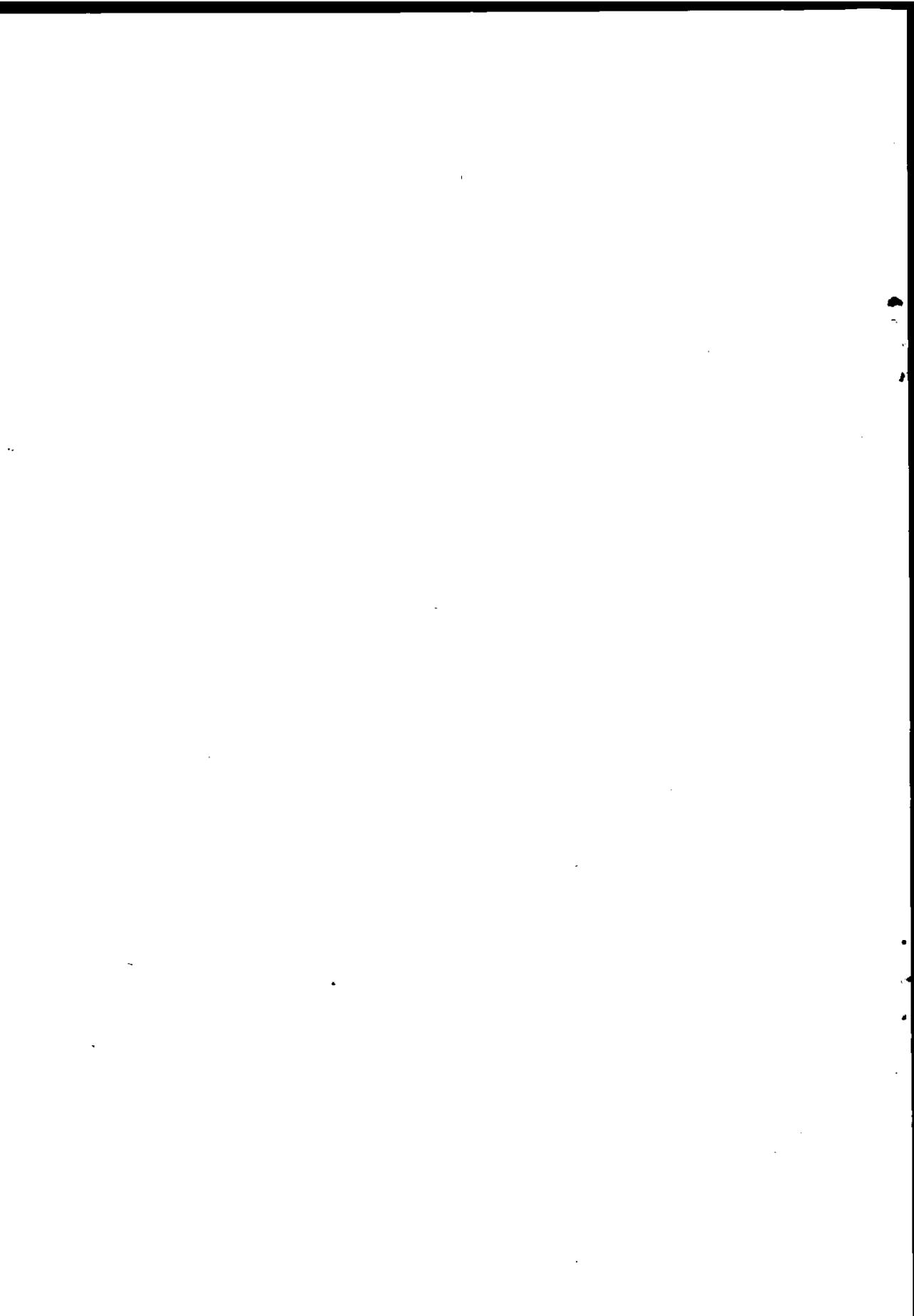
14. 世界石油シミュレーション・システム (WOTS) の

開発と事例研究……………217

センチュリー・リサーチ・セ

ンター

松 本 勝 男 他



I 推薦および審査のあらまし

○ 推 薦 状 況

本協会が依頼した推薦人(381人)から奨励金部門に54件、報奨金部門に14件の推薦があった。機関別の推薦状況は次の通りである。

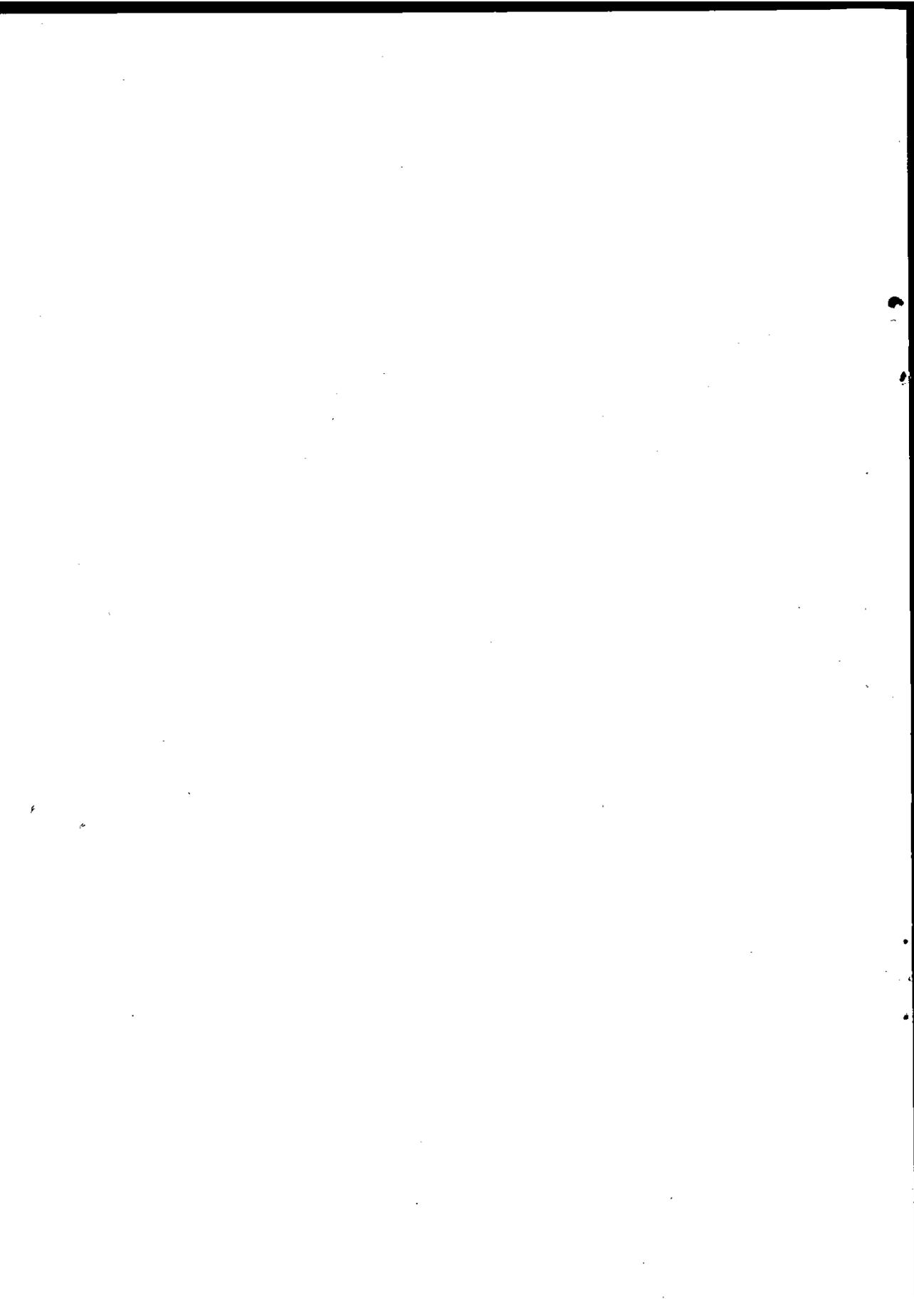
〔奨励金部門〕 54件

大 学	41件
会 社	11件
そ の 他	2件
<hr/>	
計	54件

なお、研究テーマの種類は次の通りである。

医療に関するもの	17件
公害に関するもの	10件
都市開発に関するもの	7件
流通に関するもの	1件
自由課題	19件
<hr/>	
計	54件

〔報奨金部門〕 14件



○選考方針および選考の経緯

- (1) 独創的な研究であり、近い将来利用に供せられる可能性の大きいもの、各種の専門分野にまたがる共同研究等を優先的に考慮した。
- (2) 選考は審査委員会（委員長 堀越禎三氏，副委員長 山内二郎氏）において厳正に行なわれた。

○選考の結果

選考の結果次の通り決定した。

件名	担当者	奨励金交付額 千円
奨励金の部		
医 療		
痛風治療における医療情報システムの開発及び臨床的応用	自治医科大学教授 御 巫 清 允 他 2 名	1,400
子宮癌集団検診を目的とした高速スクリーニング装置の開発	関西医療検査大学助教授 橋 本 良 夫 他 4 名	1,000
公 害		
大気汚染予測システムの開発に関する研究	早稲田大学工学部教授 塩 沢 清 茂 他 8 名	1,400
公害監視システムの研究	富士通(株)情報伝送技術部 電力方式課長 板 崎 泰 生 他 3 名	500

環境画像処理のためのフ
ィードバック機能をもつ
画像処理システム

京都大学工学部助教授
長尾 真
他1名

500

都 市

都市開発及び都市防災の
ためのメッシュデータ作
成言語の開発と実用化

大阪大学工学部教授
岡田 光正
他2名

1,200

大都市における災害避難
のシステム工学的研究

東京理科大学工学部助教授
原 文雄
他2名

1,200

自由課題

組合せ情報数学によるフ
ァイリングシステムの実
用化の研究

広島大学理学部教授
山本 純恭
他7名

500

ラボラトリー・オートメ
ーション・システム実験
データ収集処理自動化の
研究

青山学院大学工学部
専任講師
矢頭 修介
他2名

500

部品管理業務におけるミ
ニコンピュータによるデ
ータベースシステムの開
発

三井造船(株)社長室情報
システム部課長補佐
ト部 祀之
他3名

500

Conjoint Measure-
ment 法を利用した評価
関数決定のための計算シ
ステムの開発

東京理科大学工学部
経営工学科助教授
佐伯 胖
他1名

500

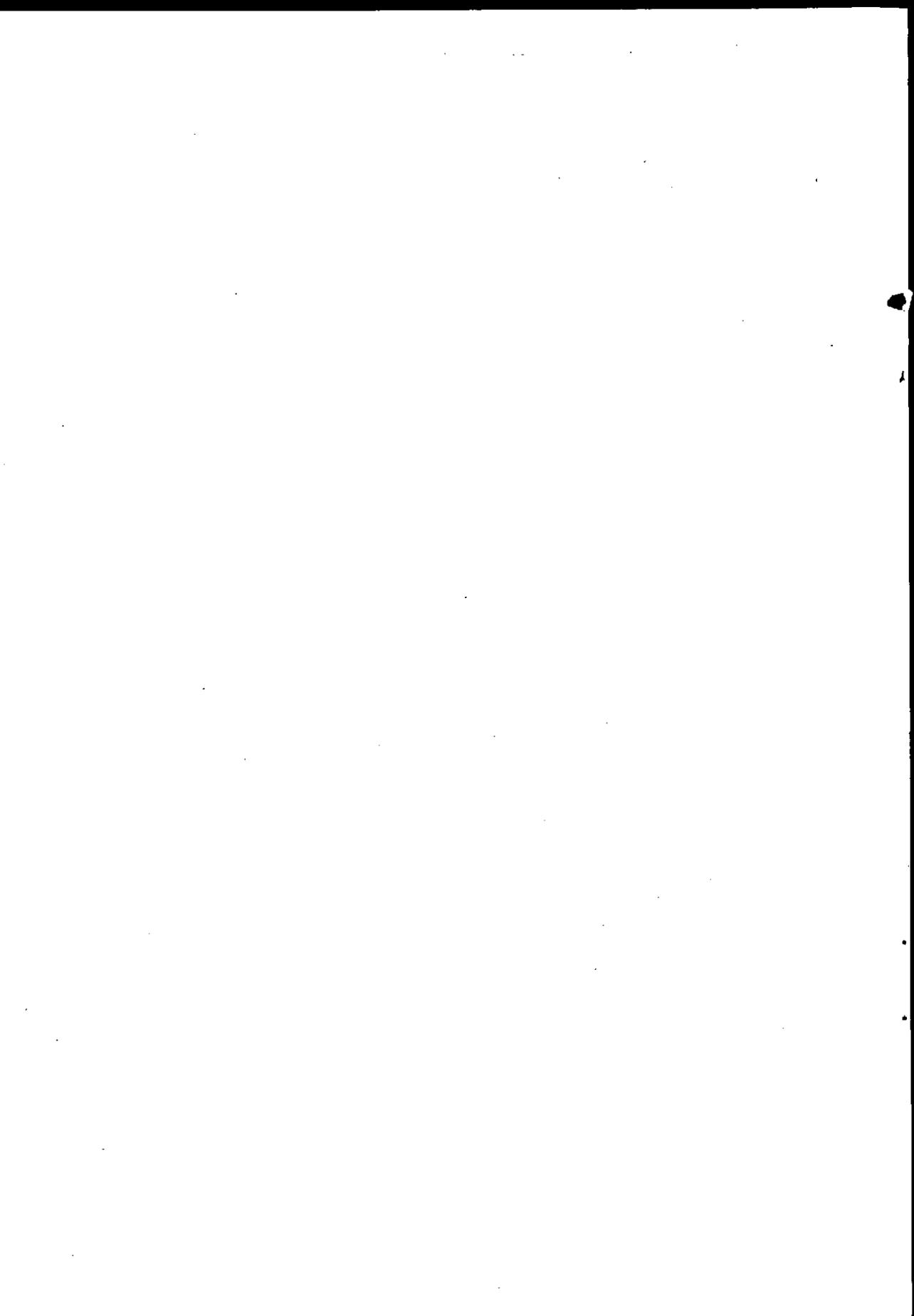
小 計

11件

9,200

報獎金の部

石油製品の需給構造モデルの開発	日本開発銀行調査部副長 沢 隆 明 他	100
SMA P 4 (土地造成分譲事業シミュレーション・モデル)	日本開発銀行設備投資研究所 池 田 喜 一 他	100
世界石油シミュレーション・システム(WOTS)の開発と事例研究	センチュリー・リサーチ・センター 松 本 勝 男 他	100
小 計	3 件	300
合 計	14 件	9,500



○ 研究発表会の開催

今回の交付対象となった研究は、いろいろの専門領域に分れているが、電子計算機の高度利用という点では強く結びついている。

一般にこのような優れた研究はそれぞれの専門領域で発表されているが、他の専門領域の研究者に広く知らされる手段が欠けており、しかも、最近の学術研究は異種の専門領域にまたがるものや、各専門の境界領域に位置するものが多くなっている。そこで本協会は研究奨励金の交付を機会に、これらの各領域の研究を一堂において発表し、他部門の研究者に広く周知していただき、電子計算機を媒介として知識や技術の交流を促進することを企画した。

第3回研究発表会は次の要領で開催する。

日 時	昭和48年10月26日(金)	13:30~16:30
	11月 9日(金)	9:30~16:30
	11月16日(金)	9:30~16:30
	11月21日(水)	9:30~16:30

場 所 (財) 日本情報開発協会 会議室

日時および講演題目(敬称略)

10月26日(金)

13:30~15:00 痛風治療における医療情報 システムの開発及び臨床的 自治医科大学教授 御 巫 清 允 他 応用

15:00~16:30 子宮癌集団検診を目的とし た高速スクリーニング装置 の開発 関西医療検査大学助教授 橋 本 良 夫 他

11月 9日(金)

9:30~11:00 大都市における災害避難シ ステム工学的研究 東京理科大学工学部 助教授 原 文 雄 他

- | | | |
|-------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 11:00~12:30 | 都市開発及び都市防災のためのメッシュデータ作成言語の開発と実用化 | 大阪大学工学部教授
岡田光正 他 |
| 13:30~15:00 | SMAP4(土地造成分譲事業シミュレーション・モデル) | 日本開発銀行
設備投資研究所
池田喜一 他 |
| 15:00~16:30 | 世界石油シミュレーション・システム(WOTS)の開発と事例研究 | センチュリー・リサーチ・センター
松本勝男 他 |

11月16日(金)

- | | | |
|-------------|---|----------------------------------|
| 9:30~11:00 | ラボラトリー・オートメーション・システム実験データ収集処理自動化の研究 | 青山学院大学理工学部
専任講師
矢頭修介 他 |
| 11:00~12:30 | Conjoint Measurement法を利用した評価関数決定のための計算システムの開発 | 東京理科大学理工学部
経営工学科助教授
佐伯 胖 他 |
| 13:30~15:00 | 組合せ情報数学によるファイリングシステムの実用化の研究 | 広島大学理学部教授
山本純恭 他 |
| 15:00~16:30 | 部品管理業務におけるミニコンピュータによるデータベースシステムの開発 | 三井造船㈱社長室情報システム部課長補佐
ト部 祀之 他 |

11月21日(水)

- | | | |
|-------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 9:30~11:00 | 大気汚染予測システムの開発に関する研究 | 早稲田大学理工学部教授
塩沢清茂 他 |
| 11:00~12:30 | 公害監視システムの研究 | 富士通㈱情報伝送技術部
電力方式課長
板崎泰生 他 |
| 13:30~15:00 | 環境画像処理のためのフィードバック機能をもつ画像処理システム | 京都大学工学部助教授
長尾 真 他 |

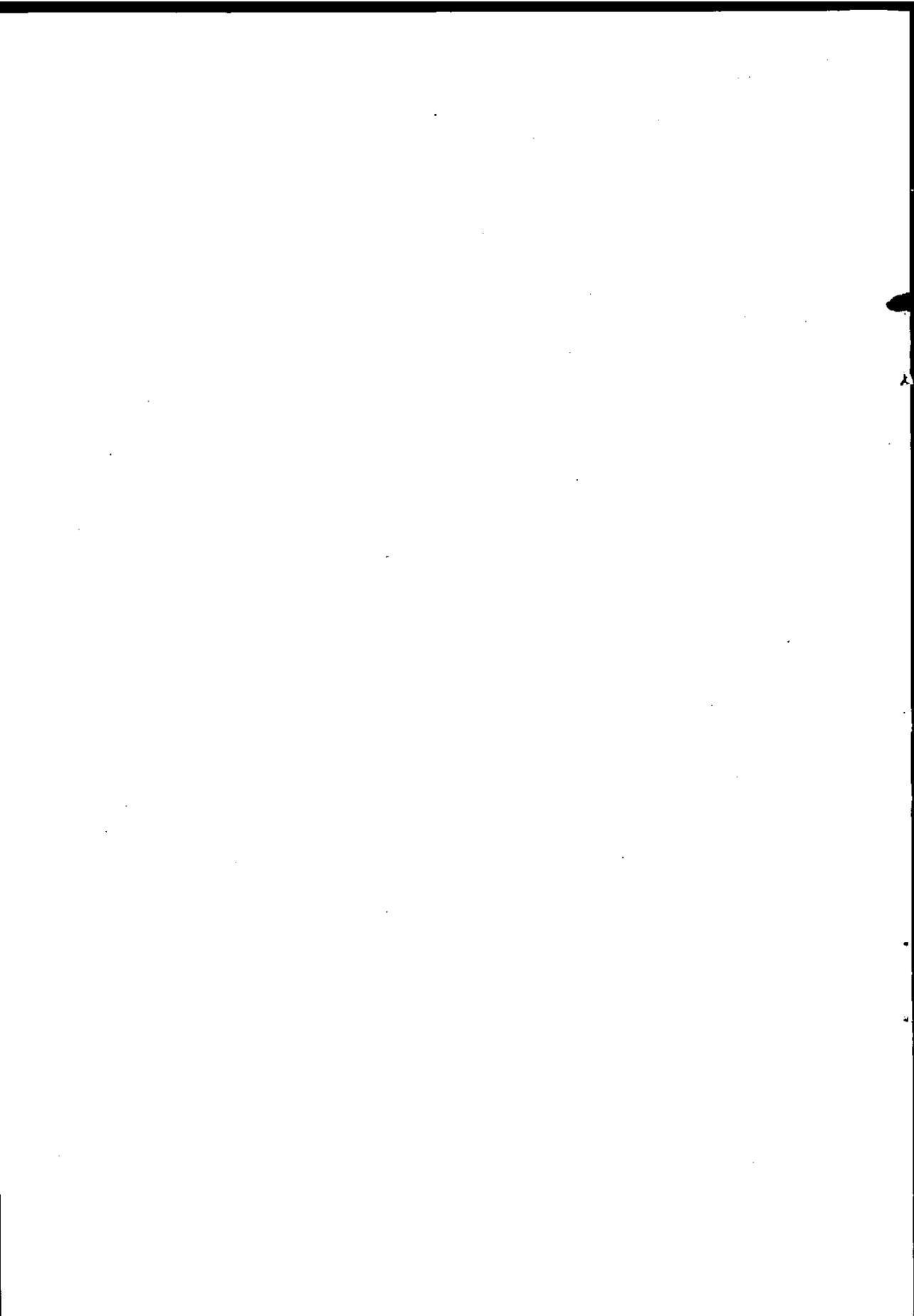
15:00~16:30

石油製品の需給構造モデル
の開発

日本開発銀行

調査部副長

沢 隆 明 他



痛風における医療情報システムの 開発とその臨床的応用

自治医科大学，痛風研究グループ代表

自治医科大学教授 御巫 清允

助教授 倉科 周介

講師 西岡久寿樹

『痛風における医療情報システムの開発とその臨床的応用』として，第3回日本情報開発協会学術研究奨励金の受賞対象となった本研究は，本年10月12日までに当初の目的のほぼ70%を満たし，その研究成果は，第12回日本M・E学会，^{注①} 第17回日本リウマチ学会国際リウマチ会議 Symposium^{注②, ③, ④, ⑤} on Epidemiology of Gout.^{注⑥, ⑦} で学術講演として報告された。^{注⑧}

現在までの研究成果は，下記の点に要約される。

1. 診療情報の整備
2. 情報処理の技術的諸問題の検討
3. 治療の理論確立とシュミレーションモデルの作成
4. 痛風発症にかんする疫学データの統計処理プログラムの作成

の以上の4点であり，その詳細は添附資料も参照していただきたい。

本年度中に達成するべき，プロジェクトとして以下の点について考慮している。

1. 各種診療情報の統計解析結果をデータベースとして，治療の第1歩である。診断のための基準（クライテリア）の作成。
2. シュミレーションモデルにおけるパラメーター推定のための基礎的情報の収録。
3. 疫学データの統計解析

以上の3点である。とくに、第1の点については、いわゆる Computer Diagnosis につながる重要ないみをもっており、これまでに作成された、各種診療情報プログラムのうえに立脚して、客観的なプログラムを作成する。

また、診療のシュミレーションは、添附資料に述べてあるように、四清巾の尿酸値を、各種薬剤でコントロールすることにその基礎理論がある。

したがって、われわれが報告した。シュミレーションモデルに対応するパラメーターを実際の診療情報のなかから、推定することによって、Computer Treatment (計量治療)へのプログラム開発へとつながるものである。

3の疫学データは、痛風と密接な関連を有する四清尿酸値を中心に Nomal Population を対象とした広はんいな Survey の結果を統計解析し、痛風の発症にかんする病態生理学的なアプローチを試みるものである。

これまでの研究成果、1、2、3、4のそれぞれより得られたデータをベースとして、痛風における医療情報システムの開発を診断、治療、病理発生という三つの点を中心にしてさらに推進してゆきたい。しかしながら、こういった研究については、今後ともかなり長期的な展望が必要とされることはいうまでもない。実際的に得られた成果のうえに立脚して、具体的な診療情報のシステムが、患者の側に立って進められるよう検討してゆきたい。なお、各種検査システムや、病院会計システムなど、いわゆる Hospital Automation System についての開発は、小グループの研究だけではとても不十分であり、病院全体の機構改革、医療制度全体ともかかわりを持つ重要な要素を持っているだけに、今回の研究テーマからは除外した。

注 釈

① 神沼二真，海野民代，西岡久寿樹，御巫清允，他

「痛風治療における制御理論の応用」

第12回日本M・E学会総会報告。May . 1973 . 東京

② 西岡久寿樹，御巫清允，松浦美喜雄他

痛風の成因にかんする疫学的研究〔資料1参照〕

第17回日本リウマチ学会総会報告。May . 1973 . 名古屋

③ 広瀬和彦, 西岡久寿樹, 御巫清允他

血清尿酸値の疫学的研究, 第II報

第17回日本リウマチ学会総会報告。May . 1973 . 名古屋〔資料2〕

④ 御巫清允, 大井淑雄, 西岡久寿樹他

痛風2500例の臨床, 第17回日本リウマチ学会報告。May . 1973

名古屋〔資料3〕

⑤ 西岡久寿樹, 御巫清允, 倉科周介他

血清尿酸値への制御理論の展開

第17回日本リウマチ学会総会報告。May . 1973 . 名古屋〔添附資料4〕

⑥ NISHIOKA.K., HIROSE.K. and MIKANAGI.K.:

Epidemiology of Serum Uric Acid and Gout in Japan.

Round Table Discussion on XIII International Congress of Rheumatology . Kyoto . Japan . September 30 - October 6 . 1973 .〔添附資料5〕

⑦ MIKANAGI.K., NISHIOKA.K. and DOI.Y.

Clinical Aspect of Gouty Patients.

Round Table Discussion on XIII International Congress of Rheumatology . Kyoto . Japan . September 30 - October 6 . 1973 .〔資料6〕

⑧ NISHIOKA.K., MIKANAGI.K.

Epidemiology of Gout and Hyperuricemia . in Japan .

Symposium on " Epidemiology of Gout " . October 4 .

Kyoto Hotel . Japan . 1973 .〔資料7〕

資 料 1.

10 : 45

座長 中 村 徹 博 士

82. 痛風の成因に関する疫学的研究第1報

自治医大整形外科	○西岡久寿樹
自治医大整形外科	御巫 清允
東京大学整形外科	松浦美喜雄
虎の門病院整形外科	広瀬 和彦
虎の門病院臨床化学	北村 元仕

目的 一昨年の本学会総会において痛風の診断および治療の指針として重要な役割をなしている血清尿酸値についての疫学調査の結果を報告した。今回2年間のその動態を調べ痛風発症における幾つかの因子および正常人の血清尿酸値についての性別、年齢別分布に関する知見を疫学的立場より得たので報告する。

対象集団および方法 1970年度調査と同様、三重県下の一離島住民2500名を対象とした。この計画は自治医大の地域医療システム開発の一環として行なわれそのうち血清尿酸値など痛風に関連をもつと思われる項目について抽出した。対象人員の内訳は別表に示した。

結果および考察 年齢別では、この集団の最高値は15才から20才までのいわゆる思春期の男性である、その後加齢とともに徐々に低下してゆく傾向にあった。性別には乳幼児期および老令期になると男女差はほとんどなくなる。以上のパターンは2年前の調査結果と全く同じであった。この事実はいわゆる無症候性高尿酸血症が思春期の年齢の男性において成立しそのまま長期的に持続

したものの中から代謝性痛風が発症することを示唆するものであろう。したがって痛風の発生要因を解決してゆく「カギ」はこの年代の男性の生体内での尿酸代謝経路に影響を及ぼす因子を解明していくことにあるといえる。その他同時に施行したプリン体摂取調査、環境遺伝因子等から得られた知見を併せ報告する。

年 代	男		女	
	例 数	平均値 (SUA)	例 数	平均値 (SUA)
0-5	31	4.85±1.32	34	4.38±1.20
6-10	150	4.73±1.20	119	4.72±1.00
11-15	208	5.34±1.23	116	4.80±0.92
16-20	68	6.98±1.11	45	4.64±1.07
21-30	106	6.26±1.19	81	4.47±0.95
31-40	110	6.28±1.52	138	4.48±1.20
41-50	174	6.08±1.31	156	4.45±1.12
51-60	71	6.29±1.61	112	4.80±1.24
61-70	85	5.78±1.37	76	4.85±1.37
71-80	40	6.07±1.56	54	5.03±1.24
81以上	9	5.19±1.73	8	5.05±1.32

資 料 2.

1972年 4月

8.3. 血清尿酸値の疫学的研究第Ⅱ報

虎の門病院整形外科 ○広瀬 和彦
 自治医大 整形外科 西岡久寿樹
 自治医大 整形外科 大井 淑雄
 同 上 御巫 清允
 虎の門病院臨床化学 北村 元仕

目的 痛風の治療は高尿酸血症をコントロールすることにつきるが、その場合われわれはそれぞれの年代および性別によっていわゆる正常値がきわめて異なる事を指摘して来たが、多数の正常人を対象集団としてそれぞれの年代および性別によるその正常値を決めることにある。その目的と同時に痛風の成因を明らかにして行くためにも、有力な手段となる。以上の観点から今回はその一環として都市の企業従事者 3,681 名を対象として血清尿酸値を測定し、それぞれの年代および性別に統計学的処理を行なったので報告する。

対象集団は、都内某企業に勤務する 3,681 名であり、血清尿酸値の測定は Patel の Auto - analyser 法により測定した。年齢構成は表 I に示した。同時に肝機能検査・中性脂肪、体重、既往歴等を調査した。

結果および考察 現在までに測定し得た例数は 1,427 例でありその結果は表 II に示した。この結果からは 20 才台の男性において 6.8 mg/dl と最高値を示したが、その 80% は 20 才前半の男性であった。この場合も前回の報告と同じように加齢とともに尿酸値は低下し、性別によっても著明な差が認められたがさらに全検体測定後に考察を加えたい。企業内での調査は年齢構成が一地域住民を対象とした場合よりも均等でないという欠点はあるが痛風患者の多いといわれている都市の疫学調査としては不可欠のものである。

1) 対象値 (表 - I)

(1972, 1月末日まで)

	Male	Female
15-20	155	127
21-30	1623	494
31-40	825	80
41-50	227	51
51-60	66	21
60以上	7	5
Total	2903	778

対象患者は表に示したように年時的に増加の一途を辿るがこれは食生活の変化といった環境要因の影響もさることながら、その診断技術の向上による影響が大きいといえる。診断のもっとも基本となる高尿酸血症については、2,3,4,7例の平均値は 9.8 mg/dl であり、最高値は 19.6 mg/dl であった。一方定型的関節炎症状、いわゆる痛風発作においては全例に認められもっとも多い部分は跖趾基関節であり全体の70%近くを占める。次いで足関節アキレス腱附着部の順となっているが、上肢関節が侵される症例も多い。一方多関節が侵されている症例は治療開始が遅れた症例に多い。血液所見ではRCCの上昇が特に著明であり、また血小板数、血色素量の上昇も認める症例が多い。その他遺伝的素因、諸検査データの相互関、合併症、死因統計についても言及したい。

昭和33年	4例	昭和36年	28例	昭和39年	89例
34年	7例	37年	43例	40年	105例
35年	23例	38年	54例	41年	161例
昭和42年	205例	昭和45年	347例	昭和48年	85例
43年	216例	46年	426例		
44年	277例	47年	355例		

資料 4.

8.9. 痛風治療への生体制御理論の応用

第一報 血清尿酸値への制御理論の展開

自治医大整形外科	○西岡久寿樹
自治医大整形外科	御巫 清允
自治医大公衆衛生	倉科 周介
虎の門病院臨床化学	北村 元仕
日立製作所情報システム研究所	神沼 二真

痛風の治療が現在血清尿酸値 $U(t)$ をコントロールする事により行なわれているが、その治療には客観的有効性をもったプログラム開発が可能であると思える。その場合、血清尿酸値を被制御量として投薬の種類と量を $x(t)$, $y(t)$ ……等を制御変数とする制御理論の問題に帰結することに着目し、まず手始めに使用する薬剤量を $x(t)$ に限定し幾かの数学的モデルを応用してみたので報告する。投薬前の $U(t)$ がどのように変化するかを知るため尿酸プールのモデルを使用した。血液中に流れ込む尿酸量を q_0 とし、腎機能が正常であれば尿中に出てくる尿酸量も一定になり $U(t)$ はバランスがとれて一定になる。腎機能に障害がおき、尿中の流量が q になれば、 $U(t)$ の変化は次式で考えられる。

$$\frac{du}{dt} = \frac{q_0 - q}{v} = A \quad \text{.....①}$$

- q_0 : 血液中への尿酸量
- v : 血液総量
- q : 尿中に流れる尿酸量

この場合 A は $\tan \theta$ の角度比になるから $U(t)$ は、直線的に増加するので生体の Regulation Factor を考慮に入れた場合には次式のモデルを考える。

$$\frac{du}{dt} = A - BU^\alpha \quad \text{.....②}$$

(B, α は定数であるが流体モデルの場合、 $\alpha=0.5$)

ここで高尿酸血症の治療を開始した時点では $U(t)$ の減少を意図するわけであるから次式が成り立つ。

$$\frac{du}{dt} = A - Bu^\alpha - Cu^\beta x \quad \text{.....③}$$

(C, β は定数、 x は投薬量を示す)

治療の原則としては最小限の投薬量でuを目標値u0に近づけることにあるから目的函数を設定し次式のモデルを導入する。

$$\int_0^T \{ (u-u_0)^2 + \lambda (x^2) \} dt \dots\dots\dots ④$$

③の下に④を展開すれば生体制御の問題に帰する。以上の他幾つかのモデルを加え、それらに実際の臨床データを応用し、電算機により解かせた具体的症例を併せ報告する。

294. Epidemiological surveys of serum uric acid and gout in Japan
K. NISHIOKA (Japan), K. HIRQSE and K. MIGNAGI [資料5]

Epidemiological surveys were carried out on 2 groups from 1970 to 1972 regarding hyperuricemia and related diseases for the purpose of clarifying the incidence of gout initially 2500 people living on the Toshi Island in the Ise Bay had their serum uric acid (SUA) levels determined. SUA was determined by Fiske's autoanalyser method. SUA levels were lower in children and older groups than in adults but no marked differences were noted between the sexes. The peak of SUA in males was at puberty and its mean value was 6.98 ± 1.11 g/100 ml. Generally the sex- and age-specific distributions of SUA were similar to Mikkelsen's studies, but in our data the SUA value in males increased more rapidly at puberty than in his results. The prevalence of gout was 0.16% on this island and hyperuricemia was seen in 6.91% of 1097 males. In this prospective study, the most significant changes in SUA value were recognized in the pubertal male. The same survey was carried out again in 3870 people in a large company in Tokyo. Comparative studies in these 2 groups are discussed with regard to environmental and genetic factors influencing the SUA levels.

[資料7] XIIIth International Congress of Rheumatology

Tokyo, August 15, 1973

Dr. Kusuki Nishioka
School of Medicine,
Tieibi Medical School
Minamikawachi-Hachi
Tochigi Pre. Japan

Dear Dr. Nishioka

XIIIth International Congress of Rheumatology
Sept. 30th - Oct. 6th, 1973, Kyoto

Taking the opportunity of the above Congress, it has been suggested that a special Symposium entitled 'EPIDEMIOLOGY OF GOUT' with certain doctor's short address should be added, and it will be held under the chairmanship of Prof. Mikanagi on 4th October, 1973 at the Kyoto Hotel from 17:30 to 19:30. A Buffet Party would be followed.

WE wish to take the liberty to request you that you are so kind enough to take party in this meeting and give your 15 minute address to the attendants who, we expect, will be around sixty. At the meeting, the simultaneous interpretation in English and Japanese and 35 mm slide facility will be served for the speaker.

Just for your reference, we are to send our invitation besides you to the doctors undermentioned for the speaker.

XIIIth International Congress of Rheumatology, Kyoto, Sept. 30th - Oct. 6th, 1973, Kyoto, Japan
 President: Prof. Yasuo Okada
 Vice-President: Prof. Yoshio Nakamura
 Executive Director: Prof. Shiroko Inoue

296. Clinical aspects of gouty patients in Japan
K. MIKANAGI (Japan), K. NISHIOKA and Y. OOI [資料6]

The incidence of gout was low in Japan about 10 years ago. However, recently gouty patients have been increasing in males of middle age. Our clinic was established in 1958 and we have seen 2,500 patients with gout during these 15 years. These patients were diagnosed as gout by using Snyth's criteria. At the first visit to our clinic, urate concentration in the serum and in 24-hour urine of the patients was examined. These tests were followed at intervals of 2 months to check the effects of drugs on the serum uric acid levels. 42 items concerned with general conditions, such as hematology, urine analysis, chemical analysis of the serum, and renal function have been measured. The general examinations have been carried out twice a year. The data from these 2,500 patients have been accumulated and analyzed with the computer. Based on these clinical and laboratory observations, we discuss specific correlations and non-correlations with gout.

子宮癌集団検診を目的とした 高速スクリーニング装置の開発

共同研究者

◎関西医療検査大学校 橋本 良夫
大阪府立成人病センタ 岸上 義彦
野田 定
大阪科学技術センタ 宮脇 一男

はじめに

女性における悪性腫瘍のトップである子宮頸部癌は、早期に発見しさえすれば、ほぼ完全に治癒させることができる。そのためには、自覚症状を全く持たない人を対象とした、広範な集団検診の実施が重要な課題である。

子宮頸部癌は、胃癌や肺癌と異なり、いわば、手の届くところにできた癌で、的確な材料の採取が可能で、細胞診による検査が強力な手段となる。

一方、細胞診は、職人の手仕事を思わせる、単調な仕事の繰返しであり、細胞診による集団検診の実行には、その自動化による省力化が必須条件である。

われわれは、数年来、婦人科集団検診を目的とした細胞診の、第1次スクリーニング

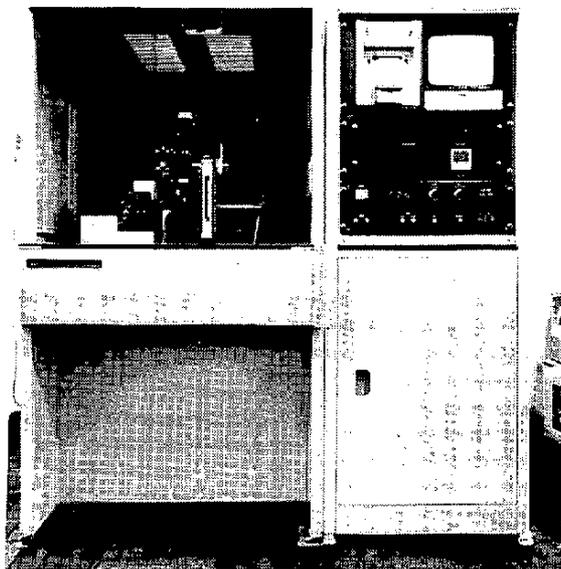


図1 オートサイトスクリーナ

の過程を省力化する装置 — オートサイトスクリーナを開発して来た。図 1 に本装置を示す、また本装置は、図 2 のシステム中 A・C・S とした位置を占るものである。

図 3 にそのブロック図を、表 1 に性能一覧を示すが、この性能を十二分に利用するためには、図 1 に見られる各パート、例えば、標本作製などの技術の協調が最も肝要である。本装置自身の問題点としては、判定精度と処理速度の向上が残されている。

判定精度の向上のために、コンピュータの導入を計画し、処理速度を低下させずに小容量のコンピュータを駆使し得る入力インターフェースの研究に助成を得た。

以下に、細胞診の自動化の研究の概容と助成を得た研究について述べる。

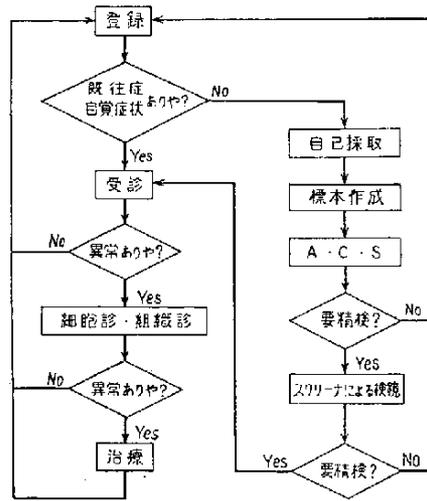


図 2 集検のシステム

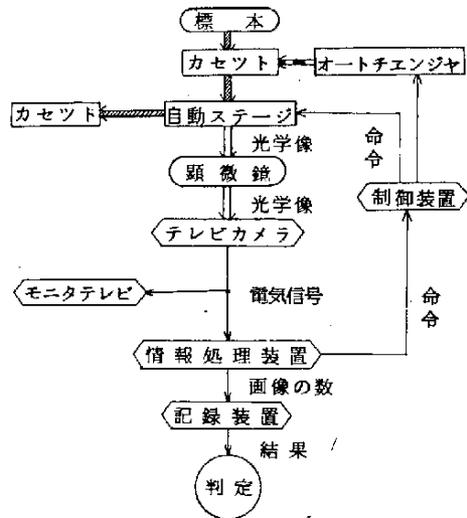


図 3 オートサイトスクリーナのブロック図

テレビカメラ	SYNC, CCU付	
使用撮像管	ブランピコンXQ-1020	
顕鏡 微	レンズ	対物10倍, 接眼10倍
	光源電球	ハロゲン電球 12V 100W
ステー ジ	動力源	パルスモータ 2個
	駆動単位	100 μ × 80 μ
	移動幅	最大2cm × 3cm
カセット	ガラススライド50枚収納可能	
情報処理装置	アナログ式計算機 精度 0.1%	
記録装置	標本番号1~50 測定面積 計数值	} を記録
設定可変箇所	検出基準 測定面積 測定打ち切り細胞数	
その他可能な機能	同一標本のくり返し測定 ステージの手動移動 光軸切換えによる直接検鏡 要注意細胞発見後停止	

表1 オートサイトスクリーナの性能一覧

細胞診自動化の研究の現況

細胞診は、癌細胞が示す図形的異常をとらえ、それを識別する、形態学的検査法の一つである。材料採取・標本作製・検鏡の異種の作業の組合せて、検鏡は、また、スクリーニングと判定の2つの作業に分けて考えられる。

検鏡の過程を自動化する研究も、スクリーニングの自動化と判定の自動化は別のもので考えなければならない。

癌細胞自体が、生体にとって全く異種のものではなく、とくに、形態学的な差異は決定的なものは認められない。細胞の判定の場合、とくに、境界領域の細胞については、専門医の判断の助けとなるようなデータは、光学顕微鏡の分解能ぎりぎりの、どちらかといえば、主観の相異に属するような微妙な点に存在する。一方、スクリーニング、とくに、集団検診のためのスクリーニングでは、少しでも疑わしい細胞を含む標本をピックアップすることが目的となるから、細胞判定の精度はある程度粗くてもよい。しかしながら、この場合は、省

力化の装置でなければならず、完全な無人運転が要求され、測定的位置合せ、焦点調節等々が不可能であり、判定の自動化とは異なる点が課題となってくる。

スクリーニングの省力化の装置を Cyto - Screener と呼び、測定の自動化のためのものを Cyto - Analyzer と呼ぶことにしているが、その相異点を表 2 に示す。

分類	用途	目的	自動化のレベル	問題点
Cyto Analyzer	研究用・診断用	個々の細胞の良悪を判定するデータを抽出する。	半自動も可	情報源=図形、対象の大きさ、色彩情報
Cyto Screener	省力用	疑わしい細胞を含む標本を選別する	全自動	速度、位置ぎめ、焦点調節、標本交換、雑物をも測定

表2 Cyto Analyzer と Cyto Screener の相異点

Cyto - Screener は、とくに、材料採取、標本作製などを含めたスクリーニングシステムとして研究を進める必要がある。

オートサイトスクリーナ

前述のように、婦人科集団検診における細胞診スクリーニングを自動化し、省力化することを目的とする装置である。

ガラススライド標本上の細胞の核を、顕微鏡（対物レンズ10倍、接眼レンズ10倍）によって拡大投影し、その画像をテレビカメラで撮影、電気信号を得る。その信号に適当な計算を施すことにより、画像の濃度（核の染色濃度）と大きさ（面積）を等価的に算出する。その値が所定の値を満足するときに、その画像が悪性細胞の核によるものであるとして検出表示する。

1視野（ $100\mu \times 80\mu$ ）の測定が終了（ $\frac{1}{60}$ sec間）すると自動ステージが標本の位置を変え、標本上の $2\text{cm} \times 3\text{cm}$ をくまなく検査する。その間に検出された画像の数（誤検出により、良性の細胞によるものも若干含まれている）

によって、その標本を提出した被検者を精密検診しなければならないか否かを判定する。

癌細胞判定のパラメータとその抽出

正常の細胞と癌細胞を鑑別するための基準は、Papanicolaou やその他の人々によって確立され、10数項目により構成されている。それらは、人間の高度なパターン認識能力によって判断されるものが多く、比較的定量的で、自動化装置の判定パラメータに利用可能なものは、

- ① 核の大きさ
- ② 核の形態
- ③ 核の染色濃度
- ④ クロマテンパターン
- ⑤ 核一細胞質面積比（NC比）

であるが、次の理由に基づき、本装置では、核の大きさと染色濃度を判定パラメータとした。

- ① スクリーニングが目的であり多少の誤判定、とくに、良性のものを悪性とする誤判定は許される。
- ② 子宮頸癌の組織型はそのほとんどが、扁平上皮内癌であり、細胞の核が比較的大型で染色すると濃染される傾向が、その癌細胞の特徴といえる。
- ③ 他のパラメータを採用すると、装置を極度に複雑化し、検鏡に所要する時間を増加させ、また、良性のものを悪性と誤まる率は減少するが、その反対の誤定が増加し、スクリーナとしての検出精度を低下させるおそれがある。

このパラメータ以外に、画像の大略の円近似が図形的パラメータとして採用されている。

これらのパラメータの抽出は、化学的処理、電氣的処理の2段階にわたって行なわれる。

細胞は、核染色により、その核のみが可視の状態にされる。染色という化学的段階における情報処理で、その染色法には、フォイルゲン反応法を採用したが、その理由は、

① 核以外のもの、例えば細胞質は当然であるが、その他にも赤血球細菌などを染めない能力が優れている。

② 濃染の原因である核クロマチンの定量性が良いからである。

顕微鏡により投影された画像は、テレビの方式に従って走査され電氣信号になる。その例を図4に示すが、走査点が画像を過ぎて行くに従って、その濃度が電圧として表示され、その変化が継続している時間に、画像の走査の方向の大きさが表出される。その時の電圧がある基準値より高くなっている時間を求め、その濃度レベルでの画像の走査線方向の大きさを表わすパラメータとする。その濃度レベルは3段階

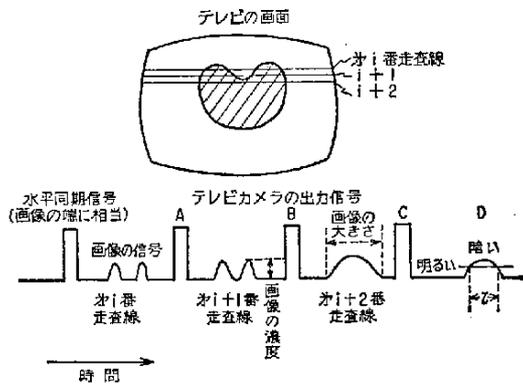


図4 画像とテレビカメラの信号

にわたって、癌細胞の特徴を十分に表現する値に任意に設定可能である。その設定の状況はテレビモニターを通じて観察することができる。その結果のパラメータをX・Y・Uと呼ぶがX、Yは癌細胞の特異的な大きさを求めるパラメータで、Uは細胞の核以外の主として無機性のゴミによる画像を認識するためのパラメータである。設定すべき濃度レベルについては、適当な大きさをもつ完全吸光性の物質による電圧の最大値を100%として、Xが10%、Yが40

%, Uが60%程に設定された時のデータが最も良く原画像の特徴を抽出するものであると確認された。

続いて, X, Yの大きさ(パルスとなって出て来るのでパルス巾)を測定し, その値が所定の値の範囲に納まっている時に, 癌細胞の核の画像の走査線方向の大きさに相当しているとの信号を送出する。その値は, 標本上の長さに換算して, Xについては $8\mu\sim 20\mu$, Yについては $5\mu\sim 10\mu$ が適当であったがこれも選択可能にしてある。

X, Yの測定結果の信号は, テレビの方式に従って, 画像を走査線が過ぎている間繰返し現われる。その数が, 画像のうち, 走査線方向の大きさが癌細胞に適当な大きさである部分の, 走査線に直角な方向の大きさを表現する。その数を, 総合的な画像の大きさを表わすパラメータとし, XによるものをZx, YによるものをZyと呼ぶ。

Zx, Zyについても, 癌細胞に適宜な値が存在し, その値の中に入っているか否かを計測する。その値は, やはり, 標本上の大きさ(長さ)に変換してZxが $8\sim 20\mu$, Zyが $5\sim 10\mu$ が最も信頼し得る値であった。

これらX, Y, U, Zx, Zyにより画像の大きさと濃度を求め, それぞれが所定の値に合格している時, その画像が癌細胞の核によるものであると判定し表示, その画像の数を計数記憶する。その様相を図5に示す。

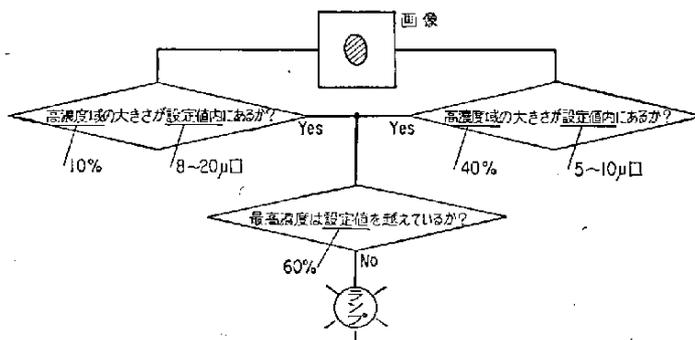


図 5 癌細胞検出の論理

Zx, Zyを求める過程で、同一の画像から出て来る信号のみを計数すべく、電氣的なマスクングを施すことと、X, Yの直に上限があり、1回でもその値を超えた時には癌細胞ではないと判定させていることにより、画像の円近似を得ている。また、数値的に表現されている画像の大きさは、それに内接する四辺形の大きさに相当する。

前述の如く、これらのパラメータの限界値は任意に設定可能で、それにより安全率を高めるか、弁別能を高めるかを選択可能である。

パラメータの信頼度の検定

あらかじめ専門医によってその細胞種別を検定した各種細胞を手動で本装置に供し、その反応により、判定のパラメータとその限界値の信頼度を検定した。その結果を表3に示す。

判 定 細胞の種類	個 数	赤ランプ		総 数
		点	滅	
癌 細 胞		190	13	203
良 性 異 型 細 胞		17	223	240
扁 平 上 皮 細 胞		7	966	973
白 血 球 凝 集 塊		49	32	81
核 の 崩 解 物		30	60	90
(ゴ ミ)		12	28	40

表 3 判定の信頼度

203個の癌細胞のうち190個はなんらかの形で正常でないと判定されている。見落された残り13個の癌細胞は、すべて、極度に膨化した染色性の悪い核であった。実際上は、このように著明に変性した核を有する細胞のみから形成される早期癌例はまずないと考えられ、十分に実用に耐え得る性能である。

良性の細胞の核でどくわずか誤って悪性として検出されているが、これらは、2個以上の核が重なりあったりしたためであり、確率的に見ても問題ではない。本成績中とくに問題となるのは、白血球（なかでも好中球が多い）の凝集塊やゴミであり、弁別能力が50%程度である上に、通常の標本ではその出現頻度が高い。単離の好中球は核の大きさからも濃度からも弁別可能であるが、塊になったものはこれらの2つのパラメータだけでは、弁別困難なようである。

1. カバーガラス上の塵
2. カバーガラスの疵
3. 標本中の塵
4. 細菌塊
5. 扁平上皮細胞に細菌，塵，好中球，核の崩壊物等が付着したもの
6. 扁平上皮細胞群
7. 核の崩壊物
8. 好中球群

表 4 種々の被測定物

その他にも、省力無人の装置であるために表3に示す各種のものが被測定物となつて来、細胞以外のものでも、丁度設定値を満足するようなパラメータを提出する場合もある。われわれの研究では、このようなものを、パターン認識技術によって除去する方針は採用せず、そのようなものを持ち込まないシステムの整備を企っている。

省力化装置としてのメカニズム

本装置は、省力化を目的としたものであるため、無人化を速度を低下させずに実現させるよう、特殊なメカニズム（機構）を有している。

ガラススライド標本は、カセットに50枚収納されて、装置にセットされる。1枚の標本をオートチェンジャが顕微鏡ステージの上に押し出すと測定が開始される。

その際の焦点調節が問題で、自動焦点調節も可能ではあるが、検査速度を低下させかねないし、また確実に細胞面に焦点を合せ、その他の面に合せないようにすることが困難である。

本装置では、図6に示すように、スライドガラスの細胞が付着している面を支持しながら、これと対物レンズの間の距離を一定に保ちつつステージを移動させるようにしている。また、対物レンズには、焦点深度の深いものを用い、その他の要因（各ガラスの厚さ等）によるピントの変動を軽減させている。

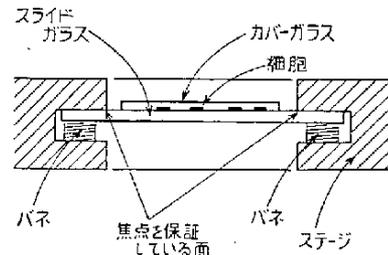


図6 スライドガラスの保持

ステージの移動（視野の移動）をテレビの方式と同期させ得るように、その駆動源にはパルスモータを使用している。また、テレビカメラには残像現象があり、投影画像を停止させてしばらく待たねば、十分な信号が得られない。本

装置では $\frac{2}{60}$ 秒間残像消去待ちを行ない、その後の $\frac{1}{60}$ 秒間で測定を実行している。

1枚の標本の測定が完了すると、データを記録した後次の標本と交換される。次の標本がオートチェンジャーに押されて、ステージ上にでて来ると、その標本に押されて前の標本が下に落ち、別のカセットに収納される。

すべての行程が全自動で実行され得るが、切換スイッチによって選択することにより、疑わしい細胞を発見した後に停止するようにでき、テレビモニターを通じて、また、顕微鏡より直接に、細胞を観察したり、別のスイッチの選択により、手動で視野下に細胞を提出したりする半自動モードが可能で、専門医による、装置の性能の検定ができるようになっている。

標本作製方法

前述のパラメータの信頼度の検定の頂の如く、ある種のものに対しては、装置は誤って悪性細胞と判定してしまふ場合がある。それらは、白血球の凝集塊や良性細胞の重なり合ったものであり、そのようなものを標本内に持ち込まない、または、標本作製に際して作らないような標本作製方法を採用することが検査システムとしての能力向上策である。

また、いかに癌例の標本であっても、細胞が殆んど存在しないようなものは、いかにしても検出不可能である。

これらより、一定数の単離の細胞を標本化することが望まれ、現在まで使用している方法は図7の如くである。粗大な塊を除き、単離の細胞を得るべく、ろ過振とうを行ない、一定数の細胞数を得るために、細胞浮遊液中の細胞密度を一定に制御すべく、液の濁度を測定する。

この方法は、現在もなお改良中であり、その一つとしては、液中の細胞密度の測定に、血球計数器を利用し、白血球と扁平上皮細胞数とを同時に測定可能であるようにした。

細胞の染色についても、その結果により細胞判定を行なうものであるから、

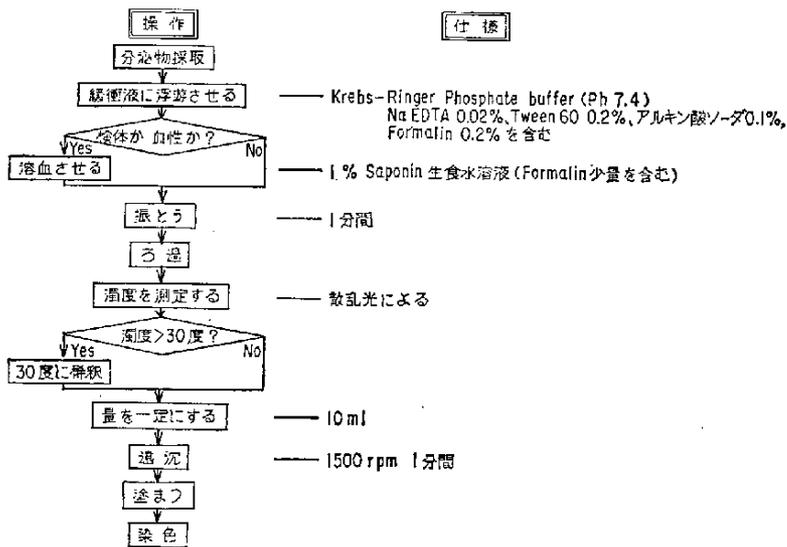


図7 標本作成法

あらゆる標本を全く同一の条件で染色しなければならない。そのためには、自動染色が望ましく、われわれは、フォイルゲン反応法による自動染色装置を開発し使用している。

検診例

大阪府立成人病センター外来患者および大阪府吹田市婦人会に対する集団検診

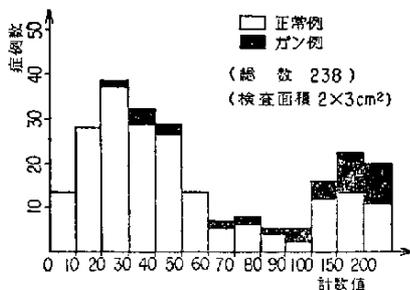


図8 検診例—外来患者

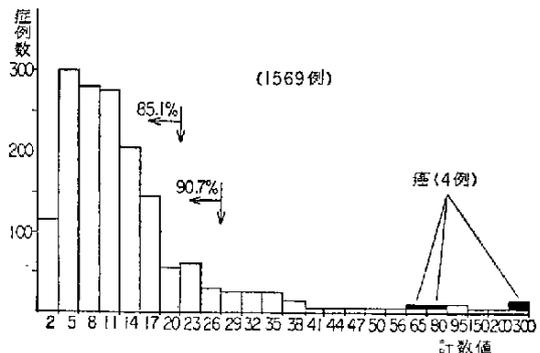


図9 検診例—集団検診

の受検者の試料による検診例を図8, 図9に示す。図は、横軸に、1枚の標本の検査中に悪性と判定した細胞の数をとり、縦軸には、その様な数をもたらしした標本の例数を示す。

外来患者のときに多く見られる、良性例で高い数値を示すものは、集検にはほとんど現われず、それらは表5のような各種疾患をもつ患者が極端に多いことが判る。

計 数 値	例 数	疾 患					
		子宮 癌術 後	子宮 筋腫	膈 部 ピ リ ン	膈 炎	機 能 性 出 血	ポ リ ー プ	局 所 所 見 な し
0 ~ 69	8	1	24	7	3	1	7
70 ~ 99		1	9	4			1
100 ~ 199			7	3	1		1
200 ~ 299			4				
300 ~ 399			2	1			
400 ~ 499							
500 ~ 999		1	3				
1000以上							

表5

ビデオ信号入力用インターフェース

本オートサイトスクリーナは省力化の装置癌検診の装置として、検査速度および細胞弁別能の2点について、さらに検討されるべきである。

現在では1枚を20~25分程度でスクリーニング可能であるが、人力によるスクリーニングが1枚5分ぐらいで、それと同程度までスピードアップすれば十分である。

細胞弁別能は前述の如くであるが、若干の図形認識、色彩情報による非細胞

成分除去を採用し今一段高精度のものができる。

速度の向上には、イメージダイセクタカメラが良く、精度に関してはコンピュータの導入が望まれる。

本助成研究では、コンピュータを導入する際のインターフェースを、イメージダイセクタカメラが採用された時の速度を低減させないように配慮しながら設計、試作している。

コンピュータの導入については、コストパフォーマンスから考えて、ミニコンが望ましく、その場合、画像よりのデータ数が4 KW 以下でないとうけない。

オートサイトスクリーナの開発を通じて得たわれわれの知見は、癌細胞を特異的に表現させるための画像濃度に関するものである。この知見に基づき、コンピュータへの入力情報も、適宜な濃度で白黒2値情報化したものを採用することにした。

図10の如く、ハードウェアによる癌細胞検出の情報を中心として、A-D変換のスタート点座標を設定し、その画像の周りの 120×128 点を情報化し入力する装置である。

入力データに関しては、円近似、および濃度レベルを変化させたときのデータ変化、光源フィルターを切換て色彩情報の分析などを行う。

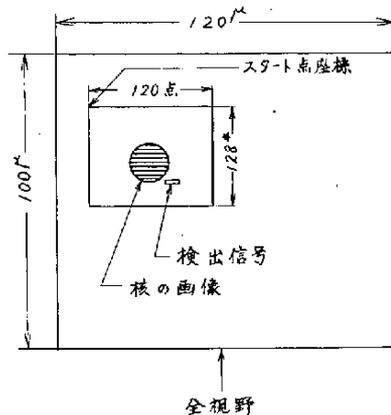


図10 A-D変換の広さ

大気汚染予測システムの開発に関する研究

早稲田大学教授 塩沢 清茂

明治大学専任助手 大滝 厚

早稲田大学博士課程 岡本 真一

1 緒言

大気汚染防止は、工学的見地からながめた場合、汚染質の排出防止技術の開発、汚染質のサンプリング技術、さらに大気汚染予測技術の開発が総合的に完成されることによって達成される。しかしながら、とくに排出防止の決定的な対策の実用化には、相当な期間を要すると考えられる状況下において、効果的な汚染防止対策としては、人の健康を害する程の汚染状態が予測されるような緊急時に注意報や警報を発令し、被害を最少限にとどめる方策が従来から考えられ一部実施されている。このため国・地方自治体では監視網の整備をはかり、観測データを汚染予測に積極的に利用しているが、予測方法など必ずしも完全なものでないために予測情報の正確さなどに問題が内在している。

本研究の目的は、各大気汚染観測点から中央監視システムに入力される観測資料を利用して、日常の大気汚染防止活動のための予測技術を開発することにおく。

2 大気汚染予測システムの概要

大気汚染注意報などの緊急時の措置基準は汚染質がかなり高濃度状態になってはじめて発令される。したがって、燃料規制などを行なってもその効果が現われるまでには数時間を要してしまう。このような高濃度が事前に(たとえば前日程度)定量的に精度よく予測されていれば発生源に対して有効な対策を実

施し、緊急時の措置基準に達するような状態を未然に防止できる。このためには大気汚染予測システムが必要である。

大気汚染予測システムは、大きく分類すると(1)各観測点から入力される汚染物質濃度と気象データの収集処理システム、(2)汚染発生源からの各種データの処理システム、(3)このシステムの中心となる汚染濃度の数式モデルによる予測システムから構成される。(1)、(2)については、国・地方自治体などで研究が進められ、すでに実施段階にある。こゝでは、(3)の予測システムの構成について、はじめに大気汚染現象の過程を考察し、予測モデル構成要素について検討する。つぎに予測方式とその問題点を概観する。

2.1. 大気汚染現象の過程

大気汚染は、汚染質が大気の自浄作用以上に大気中に排出されるために発生するものである。したがって、汚染質の運動を定める要因について考察することにより大気汚染現象の過程が記述されよう。

汚染物質の運動を定める要因としては、輸送、拡散、消滅、変質が考えられるが、このうち定量的な把握が不完全ながらもなされているのは、輸送と拡散である。

輸送は、大気が汚染物質を風下へ運ぶという明白な現象である。したがって、第1に考えなければならないのは対象地域の風の影響であろう。大気汚染と風速の関係をみると大都市域にみられる静穏時汚染と工場周辺など局地的に発生する疾風汚染とが考える。

拡散は、汚染質に働く大気の乱れによって生ずる現象であり、大気の安定度などその時の気象条件によって大きく左右される。

消滅は、雨や霧の核となって地上に落下する場合や大気中の浮遊物質や地表面への吸着などが考えられる。

変質は、酸化・還元などによるほか、放射線や日射の強さなどの熱の影響に

よる化学変化が考えられる。光化学スモッグと呼ばれている汚染現象がこの顕著な例といえる。

さらに、汚染質の運動を支配するものとして地形の幾何学的、熱的影響が考えられる。

以上のように、大気汚染現象の過程を記述するとき、単に汚染発生源付近の地形条件や局地的気象条件のほか、広域の気象条件をも考慮する必要があると考えられる。

著者らは、これらの要因を汚染質の輸送、拡散、消滅、変質の4現象へ直接影響する1次因子と1次因子を決定し、4現象に間接的に影響する2次因子とに分類し、その関係をFig. 2.1のようにまとめた。

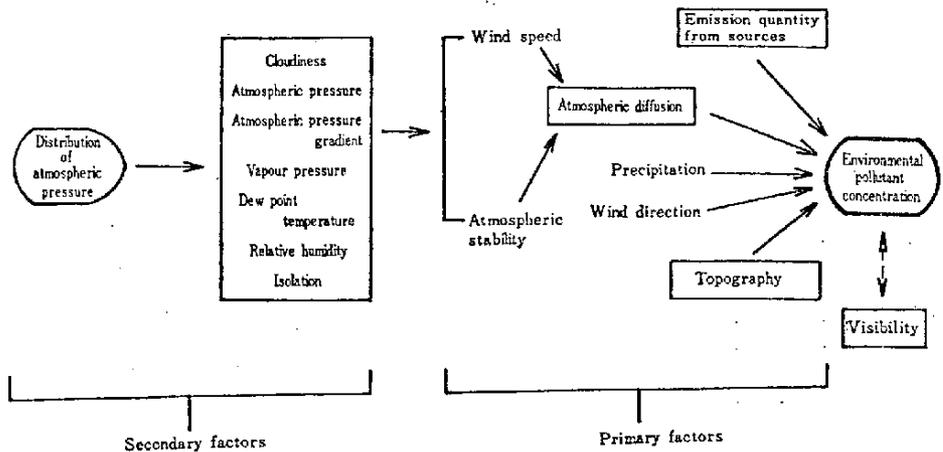


Fig. 2.1. Factors influencing on air pollution

この図で規程は、大気中の汚染質を含めてのエアロゾルと関係が深いため、対等関係に位置付けることが妥当と考えた。しかし、後述する統計的予測モデルでは因子のように取扱っている。

著者らは、このような汚染現象の過程でその影響が考えられる要因と汚染質濃度との関係を研究⁽¹⁾、⁽²⁾し、さらに、気象要素と汚染質濃度の時系列関係について研究⁽³⁾、⁽⁴⁾し、これらを利用して亜硫酸ガスの推定モデルを提案している。⁽⁵⁾

2.2. 予測モデルとその問題点

予測システムを構成する主要素は数式モデルであるが、モデルについて考える前に、システムから出力される予測情報を利用する目的や予測対象地域の範囲などを考察することにより、モデル構成の基礎概念が明確化されると思われる。

多数の高煙源や低煙源が混在する都市域の日常の大気汚染の目的と予測対象範囲を考えると次の2つに分類される。

- (1) 高濃度汚染の発生を対象地域内の各区域毎(1~10 Km)に数時間から10数時間前に予測し、これによって排出源を個々に規制する。
- (2) 都市域の汚染状態を全体として予測し、全域(10~50 Km)に対して一律に注意報ないし警報を発令する。

最近では上記の目的に沿った大気汚染ポテンシャルの予報が行なわれ、当日予報についてはきめ細かく予報を出しているが、前日予報や定量的予測精度など未だ多くの問題が内在しているように思われる。

つぎに、予測モデルについて概観する。

大気汚染の予測については従来から2つのアプローチが考えられている。

第1は、汚染発生源から排出された汚染質の運動を先に述べた輸送、拡散、消滅、変質などの現象過程を拡散方程式や物質収支の方程式により決定論的な

数学モデルによって記述する方法である。

この予測モデルは、方程式中に含まれるパラメータについての情報を完全に知ることができれば予測目的に対して最も優れた予測方式といえる。しかし、多くの場合、このモデルに含まれるパラメータは、気象条件から統計的に推定したり、多くの仮定を伴っておりその実用化にはかなりの制約があると思われる。このような問題を含んではいるが、近年における監視システムの整備や大気境界層の気象学的研究の進歩を考えると、このモデルの検討は、将来のシステム要素として重要になってくる。この点に関しては第4章で詳述する。

第2の方法は、過去の資料にもとづく統計的予測モデルである。

この方法は、過去の汚染質の濃度変化や気象条件、発生源の活動情況から未知のパラメータを推定し、将来の汚染質濃度を予測するもので、必ずしも濃度変化と各因子間の関係を物理的に説明できるものではない。

また、このモデルは、現在の排出強度を基準にしているので将来の都市計画の策定、たとえば、新しい道路や工場地域の計画に対しての影響調査などに適用することは不可能であるが前述の目的(1)、(2)に対しては適用可能である。現在行なわれている大気汚染予測の多くはこの統計モデルに属するものである。

さらに、定量的に汚染質濃度を予測するための統計モデルは、従来、平常時の予測精度が良くても、高濃度汚染はごくまれにしか発生しないために予測精度が平常時と同様保証されるとはかぎらないと考えられていた。しかし、近年監視システムの整備にともなうデータの集積が進んでおり、適切な予測理論が開発されれば統計モデルは、前述の決定論的数学モデルに比較し実用性のあるものと考えられる。第3章では、著者らの開発してきた統計モデルにもとづく汚染質濃度推定方式について詳述する。

3. 統計モデルによる汚染濃度推定方式

3.1. 従来の研究とその問題点

統計的予測方式にはつぎの2つの方法が考えられる。

- (1) 過去の汚染質の濃度変化のパターン、気象条件、発生源活動との関係から数時間から数10時間先の汚染質濃度を定量的に予測する。(5), (6)
- (2) 気圧配置などのシノプティックケールの気象条件を加味して汚染物質の一定濃度以上の汚染状態を定性的に予測する、いわゆるポテンシャル予報で、現在気象庁や各自治体を実施している予報である。(7)

上記2方式のうち(2)の方式は、定性的であるために、各観測点から入力される定量的情報を予測システムにおいてその情報量を減少させることになり、最も現実的ではあるがコンピュータシステムに組入れる方式としては適していない。また、現在の法律で定められている緊急時の措置基準からみても定性的方式より定量的方式が適合していると考えられる。著者らは、このような観点から(1)の定量的方式で、しかも予測目的(1)に適合した予測方式の設計のための基礎研究を行ってきた。

著者らは現在までの推定方式⁽⁵⁾では、全体的にみれば実測濃度への適合性はよいが、日内の最大濃度への追従性に難点があった。Figure 3.1にその結果を示す。

この原因は、その後の研究で、モデルに含まれる誤差に自己相関があるためによるものであることが明らかになった。次節では、著者らの開発してきた回帰構造に含まれる誤差が自己相関を有する場合の推定理論を適用した場合の汚染質濃度推定方式を示す。

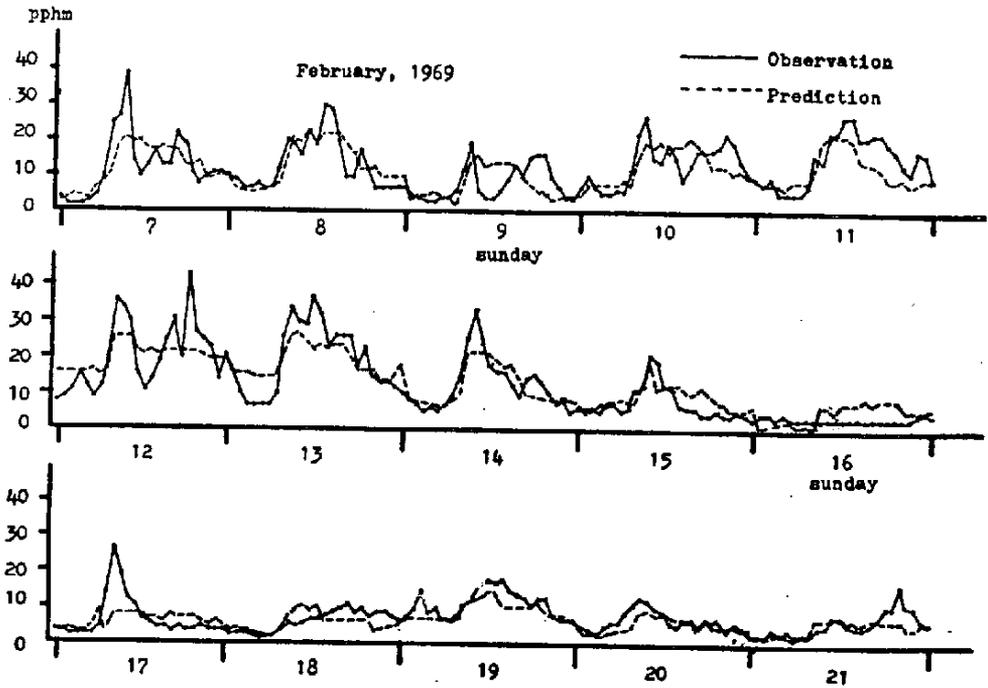


Fig. 3. 1. Difference between Observation and Prediction at Kojiya

3. 2. 汚染質濃度推定方式

こゝで用いられる推定理論については著者の1人(大滝)が詳細に報告⁽⁸⁾しているのので、理論の概要を簡単に述べたのち、汚染質濃度推定方式の概念を述べることにする。

一般に、線型回帰模型を次式で表わす。

$$Y_j(t) = \sum_{m=1}^P \sum_{u=-\infty}^{\infty} \beta_m(u) X_{jm}(t-u) + \theta_j(t) \quad (3.1)$$

ここに、 $j = 1, \dots, N$; $t = 0, 1, \dots$ である。 $X_{jm}(t-u)$ は、 t 時点より u 時間単位だけ先行した説明変数であり、 $\beta_m(u)$ は先行時間 u における各説明変数に対する偏回帰係数である。また、 $Y_j(t)$ は被説明変数である。誤差系列 $\theta_j(t)$ は、通常は独立かつ平均 0 の定常正規過程に従

うと仮定される。これを汚染質濃度の推定にあてはめると Fig . 3 . 2 のように表現できる。

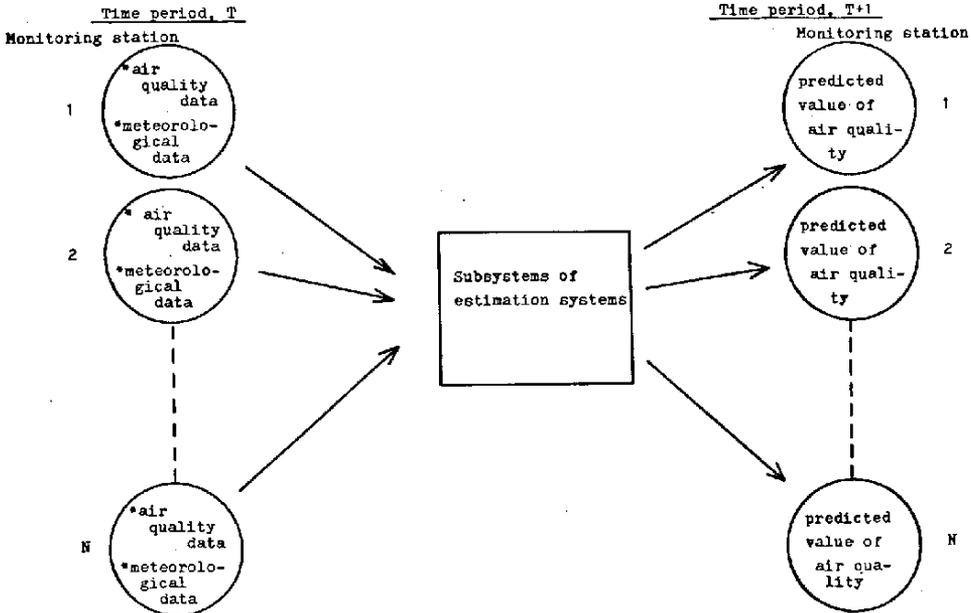


Fig.3.2. Systems for prediction of air quality.

時点 T において N 個の観測点から特定の汚染質濃度データ $Y_j(T)$ と m 種の気象データ $X_{jm}(T)$ が予測システムに入力される。これらのデータを用いて気象データにかけられる重み係数 $\beta_m(u)$ を推定し、それによって次の時点 $T+1$ の各観測点の汚染質濃度を推定することを意味している。

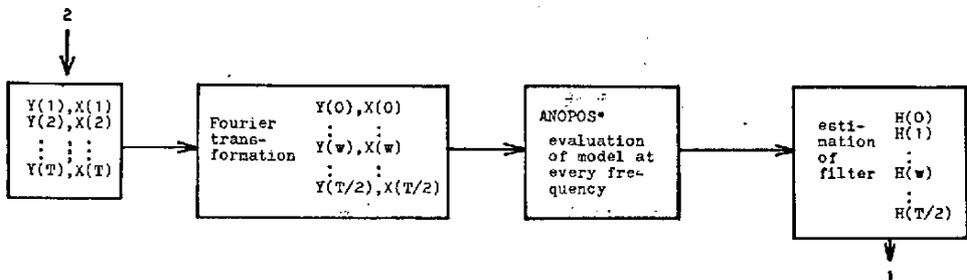
しかし、式(3.1)のモデルにおいて、前節で述べたように、誤差 $\epsilon_j(t)$ が時間に関して自己相関をもっているので、Fig. 3.1 にみられるように大気汚染予測においてもっとも重要な高濃度時の予測精度が好ましいものではない。そこで、著者らは、気象現象やそれに係わりをもつ汚染質の濃度が周期関数の合成変動で表わせることに着目して、周波数領域で回帰分析を行なう方法を開発した。この方法は、各観測点毎にえられる汚染質と気象データを周波数領域のデータに変換し、各周波数点で汚染質と気象データが N 個えられるので

式(3.1)と同様のモデルを構成し、各周波数点での未知の偏回帰係数を推定し、それによって時間領域の偏回帰係数を推定するものである。これによって各周波数点では近似的に誤差の独立性が保証され予測精度の向上が考えられる。以上のような考え方にもとずき汚染質の推定方式を示す。

3.2.1. モデルの適合性の評価とフィルター作成のためのサブシステム

Figure. 3.3にこのサブシステムを示す。

Fig. 3.3. Systems concept of prediction systems for air pollutants concentration (1)
(Subsystems for evaluation of model and estimation of filter.)



ANOPOS ; analysis of power spectrum.

Y(t) ; concentration at time t. (vector)

X(t) ; emission intensity and meteorological conditions at time t. (matrix)

Y(w) ; Fourier transformation of concentrations at frequency w.

X(w) ; Fourier transformation of emission intensity and meteorological conditions at frequency w.

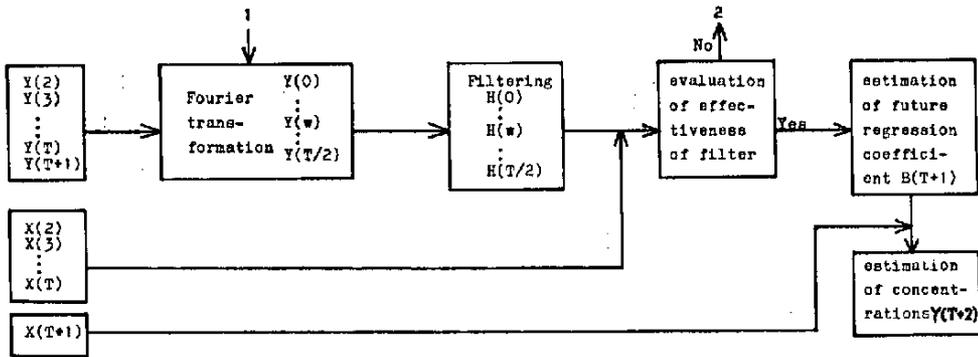
H(w) ; estimated filter at frequency w.

各観測点毎の汚染質濃度と気象データ、各排出源からのデータを高速フーリエ変換 (FFT) によって周波数領域のデータに変換したのち、各周波数点での汚染質の変動 (パワースペクトル) が排出強度と気象要素でどの程度説明されるかを回帰分析 (ANOPOS) によって評価し、それによって周波数領域でのフィルタを推定するサブシステムである。

3.2.2. フィルターの有効性と濃度推定のためのサブシステム

Figure. 3.4にこのサブシステムを示す。

Fig. 3.4. Systems concept of prediction systems for air pollutants concentration (2)
(Subsystems for evaluation of filter and estimation of concentrations.)



各観測点から新しく入力される濃度情報が入るたびにFFTによって周波数領域のデータに変換し、フィルターにかけ次の時点の濃度推定のための偏回帰係数を推定する。フィルターは、理論的には時間に関して不偏であるような線形作用素であるが、実際にはフィルターリングしていると物理的フィルター同様次第に劣化し、偏回帰係数の推定精度が悪くなることが考えられる。この場合、このフィルターにかけた時点の偏回帰係数も同時に出力されるのでその時点の排出強度と気象要素を用いて濃度推定を行ない、その時点での推定精度がよければ次の時点の濃度を予測し、もし推定精度が悪ければフィルターが劣化したものと考えフィルター推定のサブシステムへ戻り最適なフィルターを構成するフィードバック機構をもつシステムである。

3.3. 亜硫酸ガス濃度の推定例

著者らは、予測システムではN個の観測点の同時推定を考えているが、入手データの関係で次のようなモデルを想定しシステムの妥当性について検証した。

単位時間を1日として、その間に1時間値が $N = 24$ 回観測されたものとし、東京都糀谷測定点の1969年1月～9月までの256日間についてシミュレーションした。なお気象データは東京管区気象台で観測している地上気象観測項目のうち、海面気圧、気温、蒸気圧、湿度、風速、天気、雲量、視程、露点温度、日照時間の11項目を用い、日内の時間毎にデータをFFTによって周波数領域のデータに変換し、はじめから129の周波数点についての回帰モデルを構成した。

各周波数点における回帰分析の結果をFig. 3.5からFig. 3.8に示す。

Figure 3.5に示すように、各周波数点のパワースペクトルのうち基本波が最も大きく、他の周波数点ではそれに比較して10分の1以下である。基本波は、亜硫酸ガス濃度の日周変化を与えるものである。したがって、実際の濃度変化は日周変化にいくつかの周期変動が合成されたものと考えられる。

Figure 3.6は、基本波によって推定した日周変化と観測値との差異を示したものであるが、基本波が日周変化の良い推定値を与えていることがわかる。

Figure 3.7は、各周波数点で構成した気象要素にもとづく推定モデルの適合性を示したものである。検定結果では、全周波数点の80%近くでモデルが適合している。したがって、Fig. 3.5の基本波以外の誤差スペクトルとみられるようなものも、気象要素との対応においては意味のあるスペクトルであるといえる。これからも気象の微細変動が汚染質の濃度変動に影響していることがわかる。

Figure 3.8に観測値と推定値の差異を示す。これは、Fig. 3.1に示したものと同一の日時のものである。明らかに、Fig. 3.1に示す推定モデルと比較して推定値の観測値への追従性が向上している。とくに、日内の

最大濃度への適合性が飛躍的に向上していることがわかる。

なお、偏回帰係数についての考察から気象要素と汚染質濃度の関係は、気圧配置などによって変化し、必ずしも定常的な関係にはないことが明らかとなった。

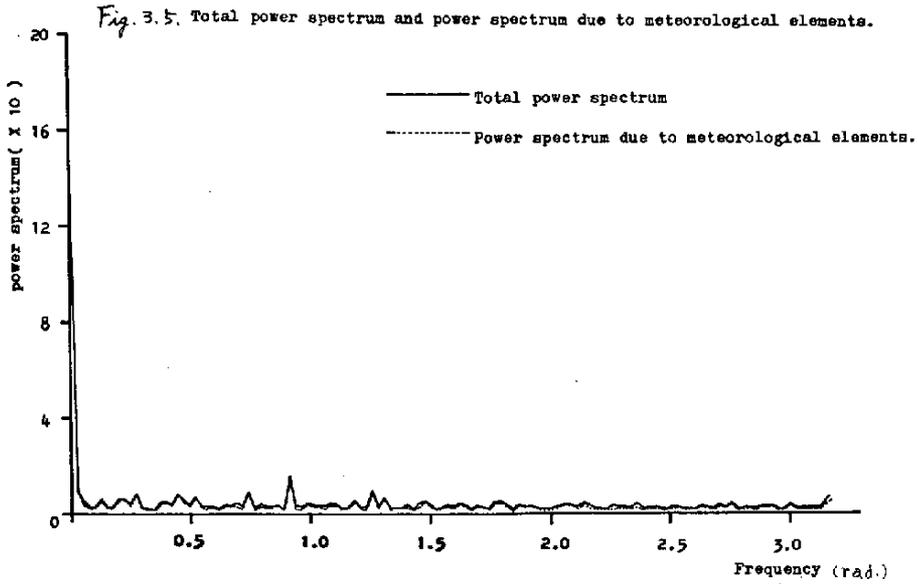


Fig. 3.6. Difference between observed diurnal variation and estimated diurnal variation.

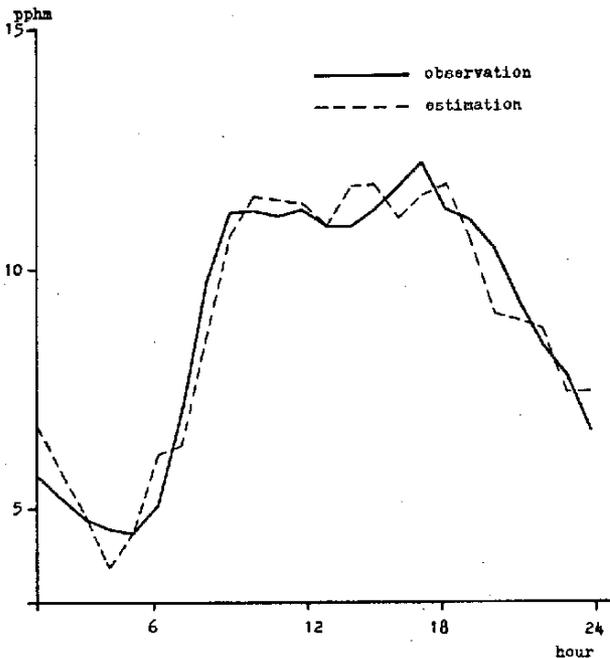


Fig. 3.7. Goodness of fit to the model (results of ANOPOS)

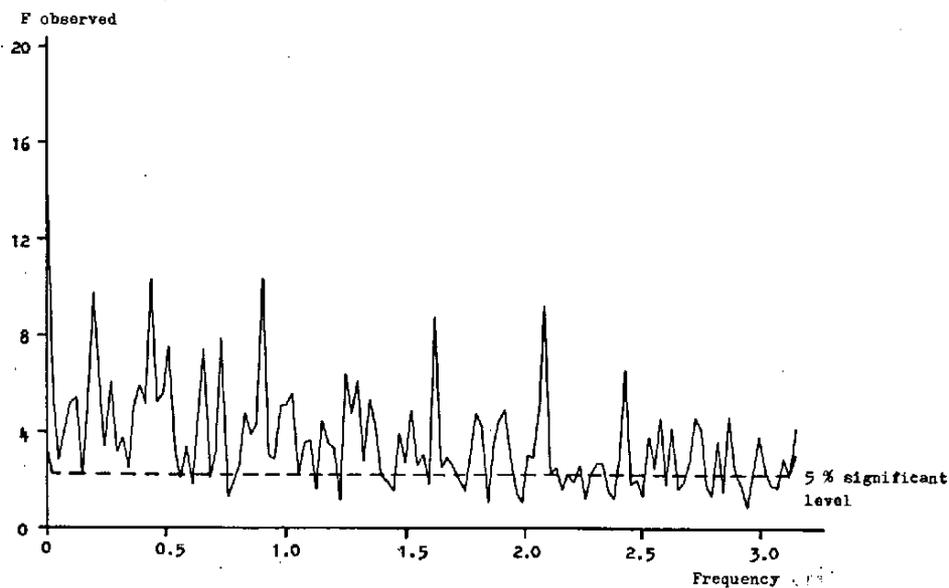
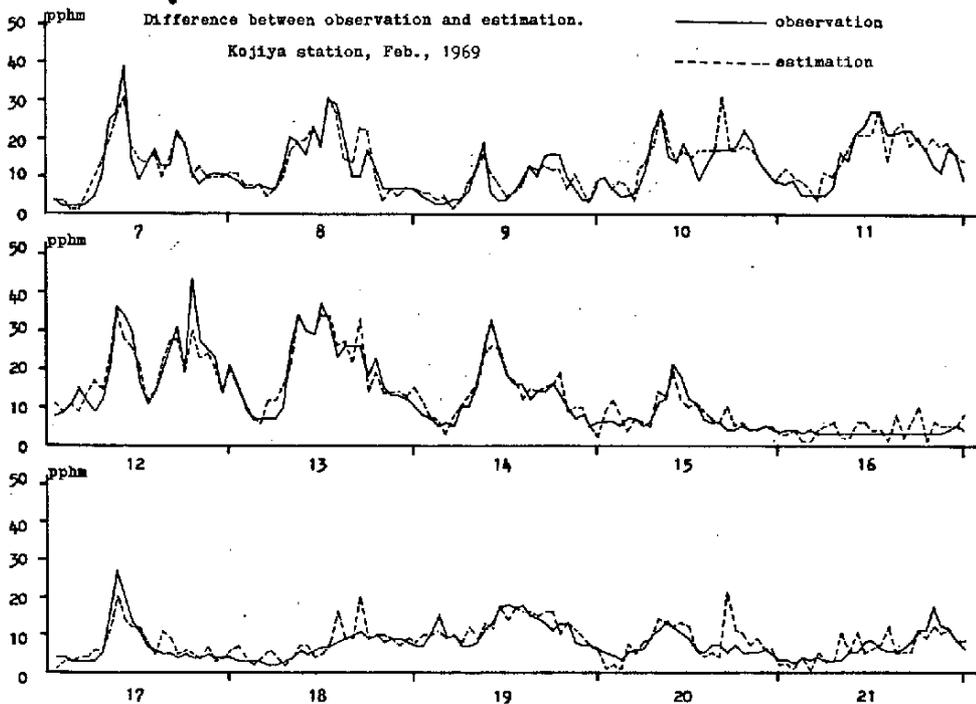


Fig. 3.8.



3.4. ま と め

以上の結果から著者らの開発してきた統計モデルの適合性は従来のものに比較して向上していることが明らかになった。今後は予測モデルで考えているN個の観測点の同時推定に適用し理論の妥当性の検証をはかりたい。

なお、計算は東京大学計算センターのHITAC 8800/8700システムを使用し、総計算時間は約4分であった。付記し、御礼申し上げる。

4 拡散モデルによる大気汚染シミュレーション

4.1 従来の研究とその問題点

近年多くの大都市では汚染濃度および気象資料を集めるために測定網の整備を進めている。そしてこれらの測定網によって、微風時や海陸風の交替時における複雑な風系も把握できるようになった。この場合従来多く用いられてきたブルームモデルでは、煙源あるいはその付近の観測点での風向風速によって全対象地域の濃度計算を行なうので、風向変動に伴い計算誤差が大きくなり、得られた気象資料が十分に利用されない欠点があった。

この点を考慮したモデルとしてはパフモデル、差分近似モデルなどがある。パフモデルは各種要因を適切にモデルに組み込むことができる優れた数式モデルであるが、計算時間が非常に長くかかるので、多数の煙源について計算することは難かしい。そこで、風系の非定常時にも適応できる多重ボックス型モデルによって低煙源の寄与率を計算し、ボックス型モデルでは考慮できない高煙源についてはパフモデルで計算し、重合着地濃度を求める二層モデルを考えた。

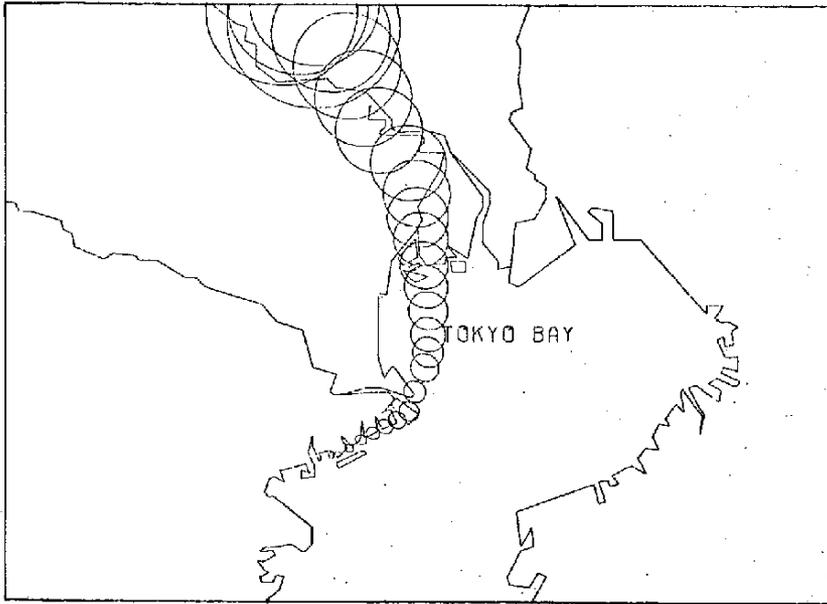


Fig.4.1. An Example of Puff Simulation

4.2 パフモデル

パフモデルは正規型パフ拡散式を使用し、この基本式は(4.1)式で示される。(9)

$$C = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{(x-x')^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-y')^2}{2\sigma_y^2} - \frac{He^2 - 0.693t}{2\sigma_z^2} \right]$$

C : (x, y) 地点の着地濃度 (4.1)

Q : 排出強度

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$: x, y, z 方向の拡散幅

He : 有効煙突高度

(x', y') : パフの中心位置

$T_{1/2}$: 汚染質の半減期

パフモデルによる計算に際し、次の諸条件を設定した。

- (1) 現時刻を含む10時間前までに排出された汚染質を拡散計算の対象とする。
すなわち10時間以前に排出されたものは、消滅あるいは対象地域内には影響しないものとする。
- (2) 汚染質の排出強度、風系、大気安定度は1時間単位に変動する。
- (3) 積分間隔およびパフの移流計算の間隔は15分とする。
- (4) 汚染質としては、亜硫酸ガスを対象とし、その半減期は4時間とする。
- (5) 計算時間短縮のため、パフ中心濃度の1/100以下の地点は濃度を0とする。
- (6) 拡散幅 σ_x は σ_y に等しいものとする。

まづパフが成長していく過程において、パフの中心座標を求める必要がある。本モデルにおいては風系が場所と時間によって変化するので、パフの位置は各時間ステップごとに逐次計算される。K番目の煙源から排出されたn個目のパフの Δt 時間後の位置は式(4.2)、(4.3)で計算され、新たなパフの排出によってn+1個目となる。

$$x'_{k, n+1} = x'_{k, n} + u \cdot \Delta t \quad (4.2)$$

$$y'_{k, n+1} = y'_{k, n} + v \cdot \Delta t \quad (4.3)$$

ここで、 u 、 v は風速の東西成分と南北成分であり、 $(x'_{k, n}, y'_{k, n})$ に最も近い格子点の値を採用する。

Table 4.1. Scheme of 2-layer model.

	lower layer	upper layer
Formulation	Multiple box model	Integrated puff model Concave plume rise formula
Source	Area Source ($H_0 < 60$)	Point Source (Power Plant etc.)
Meteorological Monitoring Station	8 points	1. point (Tokyo Tower 107m)

拡散幅の推定には Pasquill-Gifford 図を使用した。安定度分類は Pasquill を使用し、両端は中立側へ修正したものである。

式 (4.1) は仮定 (4.5) によって、次のように簡略化できる。個々のパフの濃度分布は正規分布を仮定しているのので、中心より 3.05σ 離れると濃度は中心の $1/100$ になる。したがって、計算地点よりパフの中心までの距離 d を計算し、これが $3.05\sigma_y$ より大きければ、このパフの影響はないものとする。すなわち重合計算には考慮しない。

$$d = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2} \quad (4.4)$$

$$C = \begin{cases} \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_y^2 \sigma_z} \exp\left(-\frac{d^2}{2\sigma_y^2} - \frac{H_e^2}{2\sigma_z^2} - \frac{0.693t}{T_{1/2}}\right) & (d < 3.05\sigma_y) \\ 0 & (d \geq 3.05\sigma_y) \end{cases} \quad (4.5)$$

4.3 排ガス上昇式

有効煙突高度 H_e は実煙突高度 H_o に排ガス上昇分 ΔH を加えたものである。

$$H_e = H_o + \Delta H \quad (4.6)$$

上昇分 ΔH の計算には、比較的簡単な Concave 式を利用した。ただし、ここで対象としている煙突はおもに火力発電所など大規模なものであるのので、煙源条件の似ている TVA の実測資料によって修正された係数⁽¹⁰⁾の式 (4.7) を使用した。

$$\Delta H = 0.414 \frac{Q_h^{0.444}}{\bar{U}^{0.694}} \quad (4.7)$$

Q_h : 熱排出量

\bar{U} : 平均風速

4.4 多量ボックス型モデル

多量ボックス型モデルにおいて、各ボックスごとの濃度変化を差分近似式で計算する。このモデルでは地表付近の低煙源のみを対象としているので、次の条件がなりたつ。

- (1) 地表近くの建築物の影響を強く受ける、乱流拡散作用の大きい層を仮想的完全混合ゾーンと呼ぶ。この中においては、大気中に放出された汚染物質は非常に短い時間に拡散希釈されるので、均一に分布するものとする。
- (2) 完全混合ゾーン内（汚染源を含むボックス内）で拡散希釈された汚染物質は風によってのみ輸送される。すなわち水平拡散項は水平移流項に比べて十分に小さいので無視し得るものとする。
- (3) 汚染源としては低煙源のみを扱っているので、鉛直方向の風による輸送と鉛直拡散は、濃度の減少を促進する働きをする。

この場合の濃度計算式は式(4.8)で示される。

$$\frac{\partial C_a}{\partial t} = -U \frac{\partial C_a}{\partial x} - V \frac{\partial C_a}{\partial y} + \alpha(C_a) - k \cdot C_a \quad (4.8)$$

C_a : 低煙源による汚染濃度

$\alpha(C_a)$: 排出強度（濃度増加量）

k : 濃度減少率

排出強度 $\alpha(C_a)$ は式(4.9)で計算される。便宜上、全計算領域内の完全混合ゾーンの高さ L は一定とし、時間によってのみ変化するものとする。 (i, j) 番目のボックスの時刻 t における排出量を $Q_{a i j t}$ 、濃度増加量を $\alpha(C_a)_{i j t}$ とし、以下 Q_a 、 $\alpha(C_a)$ と略記する。各ボックスは底面の1辺は Δx の正方形とする。また排出量の中でボックス内の汚染に寄与する割

合を汚染寄与率 $e f$ とする。

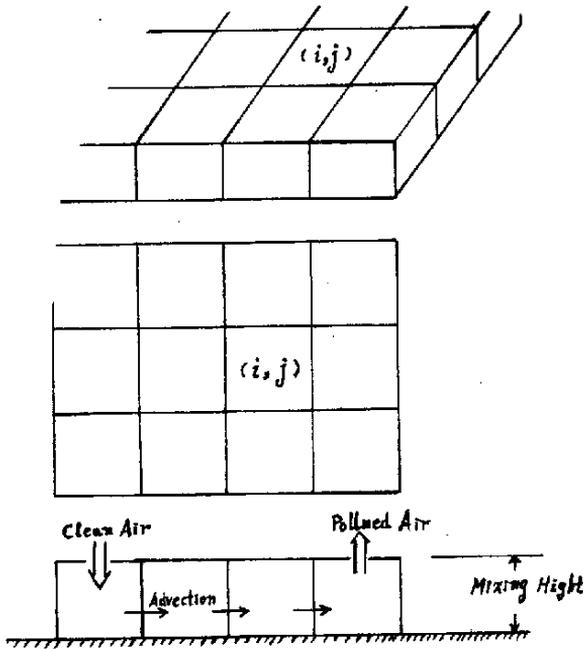


Fig. 4.2. A Schematic Diagram of the Box Model

$$\alpha(C_a) = \frac{e f \cdot Q a}{(A x)^2 \cdot L} \quad (4.9)$$

濃度減少率 k は、次の3項目より成るものとし、定量的に推定する方法を検討した。

- (1) 大気中での酸化などにより、指数的に減少するもので、亜硫酸ガスの半減期は4時間とする⁽¹⁾これを k_r とする。
- (2) 風速の鉛直成分による効果で、上空からの新鮮な空気の流入による濃度の減少と、上昇流によって上空へ汚染物質が飛散して濃度が低下するもので、これを k_v で表わす。
- (3) 鉛直拡散によって、上空へ汚染物質が飛散するもので、これを k_d で表わす。

以上のことを考慮して、*Fick* の拡散式を簡略化する。

まず水平拡散項は水平移流項に比較して十分に小さく、ボックスの上限より上では濃度は0と見なせるものとする。次にボックス内の濃度、風速を一定として、完全混合ゾーン上限までの積分平均を計算し、式(4.8)と比較すると、パラメータ k は式(4.10)で与えられる。⁽¹²⁾

$$k = k_r + k_v + k_d$$

$$k_d = \begin{cases} \frac{a^2 \sqrt{u^2 + v^2}}{2\varphi L} & (L \geq L_{max}) \\ 0 & (L < L_{max}) \end{cases}$$

$$k_v = \left| \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right| \quad (4.10)$$

4.5 気象観測資料と排出強度

気象資料としては、大気安定度、風向、風速、混合層高度が必要であり、東京管区气象台と東京タワーの観測値を使用した。

風系の推定には、地上観測網のデータを使用し、計算領域内の各格子点について、補間法により推定値を求めた。この一例をFig 4.3に示す。

汚染源は都内30Km四方を2Kmメッシュに分割し、実煙突高度60m未満について各メッシュごとの合計排出量を求める。比較的煙源高度の高い汚染源は一率に面源とすると、その寄与率を著しく過大評価する危険があるので、パフモデルを使用して個々に扱う。

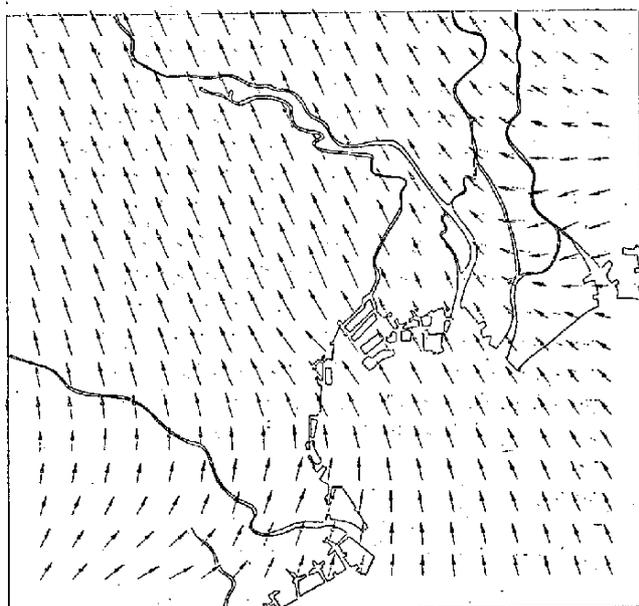


Fig. 4.3 Surface Wind Field (March 25, 1969 11:00)

4.6 計算結果

計算期間は東京を中心に広域 SO_2 高濃度汚染が発生した1969年3月25日を選んだ。多量ボックス型モデルによる計算は、午前0時における濃度分布を初期値として、毎時間の排出条件と気象条件を与えて、前進差分近似式で汚染濃度分布の変化を求めるものであり、これによって低煙源の汚染寄与率が計算できる。高煙源についてはパフモデルを適応し、午前0時より汚染質の排出を開始したものとて計算した。したがって午前9時以前は、上空での汚染質の滞留がモデルに考慮されていないので、午前10時より、高煙源の寄与分が正しく求められるものとした。

今回は計算機の演算時間などを考慮し、日中の6時間について、シミュレーションを行ない、実測濃度と比較した。この結果をTable 4.2に示す。また重合濃度分布の一例をFig. 4.4に示す。

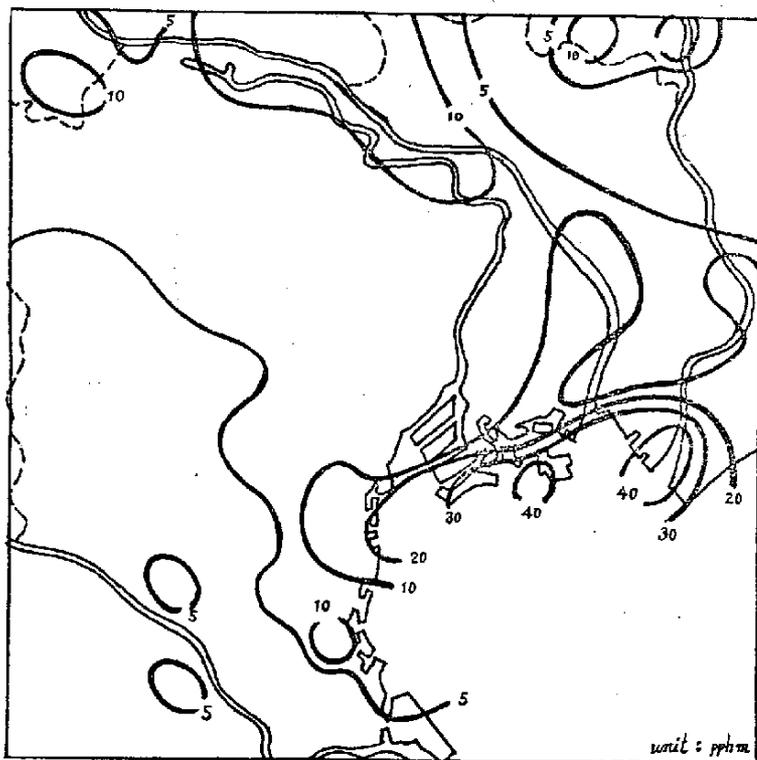


Fig 4.4 Calculated SO₂ concentration
(March 25, 1969 15:00)

Table 4.2 Comparison of model and measured concentration

	Measured	Model
	pphm	pphm
Tocho	23.6	17.4
Joto	17.7	14.7
Kojiya	17.1	13.3
NASH (Shinjuku)	10.1	9.6
Setagaya	8.6	5.6
Itabashi	9.3	6.7
Arakawa	16.4	22.1
Edogawa	11.4	6.1

7-hours averaged value (0:00-6:00)

March 25, 1969.

4.7 ま と め

計算結果は、Table 4.2に見るようにならずしも十分であるとは云えないが、多重ボックス型モデルおよびパフモデルを使用することにより、無風時や気象条件の非定常時のシミュレーションを行なうことが可能となった。

計算結果より、比較的に低煙源の汚染寄与率が高く、とくに都庁前測定室や国設東京測定所（新宿）ではこの傾向が強い。

なお、この計算には早大計算機室のIBM 7040(32KW)を使用し、総演算時間は約80分であった。

5. お わ り に

大気汚染予測システムについて、とくにその中心となる大気汚染予測のための推定モデルについて著者らの考え方を紹介した。

統計モデルについては、ある程度システムの概念的なものが確立されたと考えられるが、モデルで考えているN個のモニタリングステーションについての同時推定における予測精度やフィルターの有効性（信頼性と安定性）などについての検討が残されている。

拡散方程式による推定モデルは、研究の緒についた段階であり、たとえば、濃度予測に要する計算時間などさらに検討を要する問題が山積されている。

現在この点を解決するために、風の状態変化にも追従できるブルームモデルの検討などを行なっている。

これら残された問題を解決することにより著者らの予測システムの完成に努力したい。

参 考 文 献

- (1) 塩沢・大滝・岡本；早稲田大学理工学研究所報告， № 53 (1971)，
p.p. 131-181.
- (2) 塩沢・大滝・岡本；早稲田大学理工学研究所報告， № 54 (1972)，
p.p. 60-72.
- (3) 塩沢・大滝・古園・岡本；第12回大気汚染研究全国協議会大会講演，大
気汚染研究， Vol. 6， № 1 (1971) . p. 243.
- (4) 塩沢・大滝・古園・岡本；第12回大気汚染研究全国協議会大会講演，大
気汚染研究， Vol. 6， № 1 (1971)， p. 125.
- (5) Shiozawa, et.al.;Memoirs of the School of Science &
Engineering Waseda Univ, № 36 (1972)， p.p. 123-141.
- (6) 野本真一；第12回大気汚染研究全国協議会大会講演集，大気汚染研究，
Vol. 5， № 1.
- (7) 中野道雄；第11回大気汚染研究全国協議会大会講演集，大気汚染研究，
Vol. 5， № 1.
- (8) 大滝 厚；明治大学科学技術研究所紀要， № 12 (投稿中) .
- (9) Roberts J.J.et.al.;An Urban Atmospheric Dispersion
Model, Argonne National Laboratory, 1969
- (10) Thomas F.W.et.al.;Plume Rise Estimates for Electric
Generating Station, J.APCA vol 20 № 3
- (11) Turner B.D.;A Diffusion Model for an Urban Area,
J.Appl.Meteorol.vol 3
- (12) 塩沢・大滝・岡本；多重ボックス型モデルによる都市汚染の推定，早稲田
大学理工学研究所報告， № 61 (1973)
- (13) 都市大気汚染現象研究所，大気汚染防止のコンピューター利用に関する研
究， (1970)

環境画像処理のためのフィードバック 機能をもつ画像処理システム

共同研究者 ◎長尾 真 京都大学工学部助教授

金出 武夫 京都大学工学部大学院生

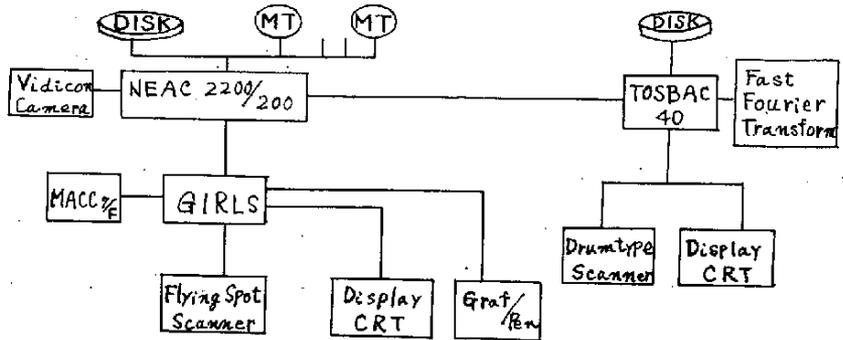
1. はじめに

現在問題となっている大気汚染、水質汚濁など公害問題や地域開発問題などでは航空写真の解析を特に必要としているし、胸部X線写真、胃のX線写真、染色体写真などの医療写真の解析などの重要性はいりまでもない。これらの写真はしかも大量に発生するため人手による解析ではまに合わないようになって来ている。本研究はこういった各種の画像の解析・認識のための基本的なシステム方式を確立することにある。

画像処理は大別して(1)画質の改善と、(2)パターン認識の2つに別れる。画質の改善としては雑音の除去、歪の修正、ぼけの回復、画像の強調などがあり、これは主としてフーリエ変換を中心とするものである。そしてこの目的は人間が見やすい画像を作ることにある。これに対しパターン認識は特徴抽出と判定を中心とするもので、人間にかわって認識を行なうことを目的とする。この両者いずれにおいても、画像処理システムは次のような形をとる。



このようなシステムで画像を解析する時に必要なことは、各段階の処理の結果を適切に評価し、それが満足すべきものであれば次の処理段階へ進み、それが満足すべきものでない時にはその原因をしらべ、パラメータ等を変更して再び処理を行うというフィードバックのルートをもったシステムを構成すること



NEAC 2200/200

32K character corememory の計算機(日本電気製)

MACC 7/F

16K Byte core memory の計算機(松下通信製)

GIRLS

図形入出力装置, 計算機等の切り換えのための装置(試作)

Flying Spot Scanner

1024×1024点で画像を走査し計算機へ入力できる装置, フィルム出力も出来る。(興和製)

Display CRT

画像を人間が直接見えるように出力することの出来る表示ブラウン管(ソニーテクトロニクス製)

TOSBAC 40

24K Byte core memory の計算機(東芝製)

Fast Fourier Transform

フーリエ変換を高速度で行なうハードウェア

Drum Type Scanner

大きな画像を走査入力することの出来る

装置(試作)

Graf/pen

1024×1024点の2次元平面からペンで指示する通りに線図形を入力できる装置

画像の入力装置としては典型的な装置を3種類もっている。

- (1) ビディコン・カメラ　これは普通のテレビジョンの入力装置である。画像は320×320点、濃淡は32段階とれる。この装置は明るい所で、写真でも実際の風景でもとれるという特色がある。
- (2) フライング・スポット・スキャナー　これは画像を1024×1024点の精度でサンプルでき任意の走査ができる画像入力装置としてすぐれたものであるが、装置全体を暗箱の中に入れて写真又はフィルムしか走査することができないという欠点がある。この装置は計算機の中に記憶された画像データをフィルムに焼付けることが出来る。写真の大きさは7cm×7cm程度の大きさである。
- (3) ドラム・タイプ・スキャナー　これは、25cm×34cm程度までの大きな写真を10本/mmの精度で走査できる装置で、前の2つのように画面の位置によって感度がちがうとか歪が存在するとかいった欠点がない。しかし走査には時間がかかる。

フライング・スポット・スキャナーからの画像入力はいったんMACC7/Fというミニコンピュータに入れられ適当な前処理をうけ、その結果得られる重要な情報だけがNEAC2200/200に送られて特徴抽出と認識が行なわれる。そしてその結果は再びMACC7/Fに送られて来て表示CRTに出力表示される。MACC7/Fはこのような画像の前処理だけでなく、フライング・スポット・スキャナーの走査をコントロールし、また表示CRTへの出力をもコントロールしている。画質の改善等を行なう場合は画像をNEAC2200/200からTOSBAC 40に送ってそこで高速フーリエ変換を行なう装置を使って処理

し、その結果を表示したり、またもとの計算機に結果をかえして画像表示したりするようなシステムの運用をするように電子計算機を相互に結合した。

3. 計算機による顔写真の解析

1. 顔写真処理の方法

1-1 写真の計算機入力と2値図形化

以前は、人の顔（またはその写真）を計算機と接続されたTVカメラを通じて入力していたが、現在は主としてフライング・スポット・スキャナ(FSS)を用いて、顔写真を濃淡デジタル化している。図1は我々が現在使用している画像処理研究システムの構成で、ミニコンピュータ(MACC7/F)がFSSをはじめ各入出力装置を高速で制御し、適当な前処理や判定もしながら、データ処理用の計算機(NEAC2200/200)とデータをやりとりし、主としてNEAC側で問題向きの処理をしたり、MTやディスクに記憶する方式をとっている。FSSはもともと一画面1024×1024本の解像度があるが、ミニコンピュータのテレタイプライタ(TTY)からのオペレータによる指令、あるいはNEACからのプログラムによる指令によって、図2に示すように、画面の任意の部分を、任意の間隔で、任意の大きさの(ソフトウェアで作られた仮想的な)スポット・サイズで走査することができる。この顔写真入力では、以前のTVカメラによるデータとフォーマットをそろえるため、4×4のスポットを用いて、横140×縦208、各点5ビット(32段階)の濃淡レベルにデジタル化した。図3(a)の顔写真をデジタル化したものをCRT上に表示したのが図3(b)で、それをラインプリンタに重ね打ちで出力したものが図3(c)である。

つぎに、この濃淡図形に図4(b)の9×9ラプラシアン・オペレータ(2次元2次微分)を作用させ、適当な閾値で2値化すると、濃淡変化の比較的はげしい部分がとりだされて、図4(a)の2値図形を得る。これは濃淡図形から輪郭線を抽出したのようになっており、図形構造に関する情報は十分残してい

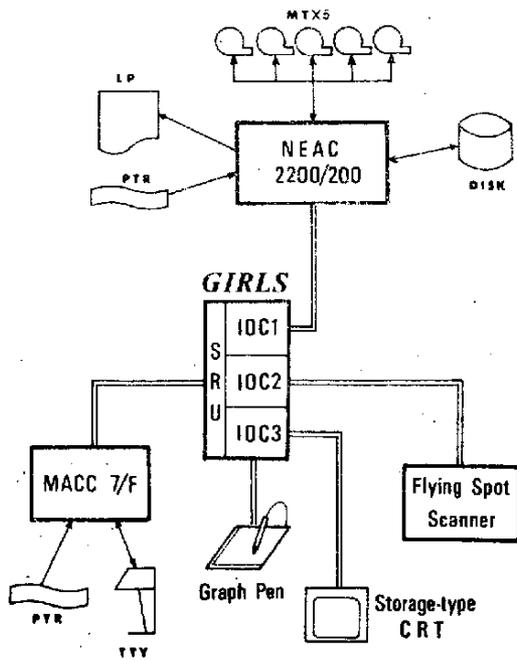
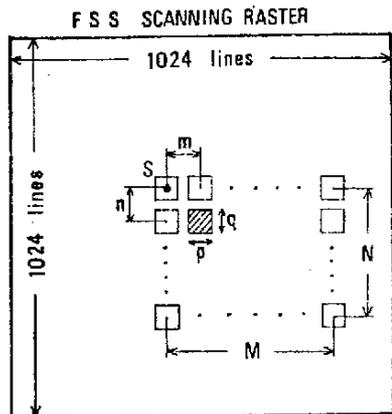


図1 画像処理研究システムの構成



S: 走査開始点
 m, n : 走査間隔
 M, N : 走査点数
 $p \times q$: スポット・サイズ

図2 フライング・スポット・スキャナの走査方法

と思われる。しかも2値であるので濃淡図形にくらべてはるかに扱いやすい。図4(b)のオペレータは広い範囲を考慮にいれ、平均化の操作と微分操作をうまく結合したもので、他の線抽出方法と比較して顔写真の線抽出に非常に良く働く。以後の特徴点抽出は現在のところすべてこの2値図形に対しておこなわれる。使用している計算機(NEAC2200/200, 6ビット=1キャラクタ/2 μ sec, 32Kキャラクタ)はかなり遅いものであるが、その可変語長とImplicitアドレスという特長を最大限に生かした効率の良いプログラムによって、一画面14秒で図3(c)から図4(a)へ変換することができる。



(a)



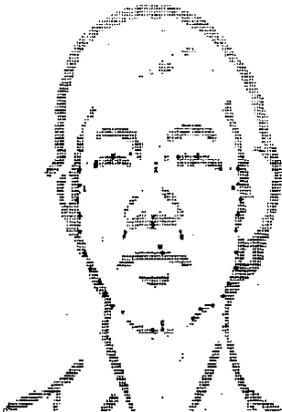
(b)

図3 顔写真の入力

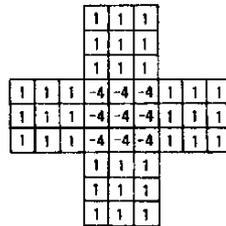
- (a) 原写真
- (b) CRT に表示された濃淡デジタル化写真 (FSSとCRTの座標系が逆のため裏がえしになっている)
- (c) ラインプリンタへの重ね打ち出力



(c)



(a)



(b)

図4 顔写真の2値図形化

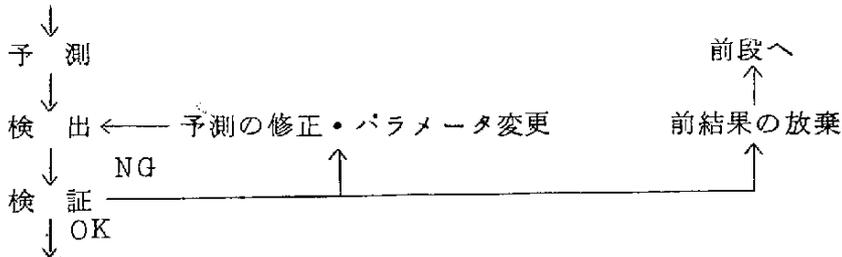
- (a) 2値図形化された写真と抽出された特徴点
- (b) 9×9 ラプラスアン・オペレータ

I-2 顔の特徴点抽出

具体的な特徴点抽出手順の細部については、他の論文⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾にゆずり、ここでは抽出手順の概略を書く。

図5は顔写真解析プログラムの流れを表わしたもので、顔の特徴点抽出手順を示す。一般に、比較の見つけやすい部分(例:頭頂)から、むずかしい部分(例:目)へ、大まかな答でよいもの(例:頭頂,顔のはし)から、正確な答の要求されるもの(例:顔の中心軸)の順に処理がすすむ。四角い枠でかこまれた各サブルーチンは、顔のひとつの部分に対応して、与えられた画面内の領域で一定の性質をもつ要素をみつけるように作られており、それに成功して画面に関する情報を増強するか、失敗するかで、つぎに実行するルーチンが選ばれたり、各種のプログラムパラメータが変更されたりする。通常は図6にあるように① 頭頂, ② ほおと顔の両端, ③ 鼻・口・あごのたて位置, ④ あごの線, ⑤ 顔の端の線, ⑥ 鼻の線, ⑦ 目, ⑧ 顔の中心軸の順で解析がすすむ。そして、最終的には図4(a)の例に示すような特徴点が抽出される。

このプログラムの特徴は、顔の各部分に対応する各段の処理が、



のごとく、すすむことであり、この修正・再試行の機能によって各段のルーチンが簡単化され、しかも全体として、相当融通性に富む処理ができるようになっている。探索のおおまかな範囲を決める予測段階では、精密でなくても雑音に強い方法を用い、いったんより狭い探索範囲が与えられれば、雑音に少し弱くても正確な答を与える方法を用いることができる。このように、1回で答を出すことをせず、だんだんと求めていく方法は、Problem-Solvingにおいてゲーム tree の探索をまず荒く行ない、それから細かい探索を部分 tree に

対して行なりようなProgressive Refinement的⁽⁷⁾な手法といえる。

上述の修正・再試行機能がどのように働くかの一例を図7 (a) でみてみよう。この場合、向って右側のあごの線は非常にうすくしか出ていない。あごの線検出段階では、それ以前に得られている(と考えられる)M(口), N(鼻) C(あご), L・R(顔の端)の位置から図7 (b) に示す範囲を設け、この中であごの線をさがすが、左側の線だけしか検出できない。しかし、この求めた左側の線から右側の線を推定して、さらに狭い範囲内で低い閾置で、もう一度同じルーチンを働かすことによって右側の線もみつかることができるのである。

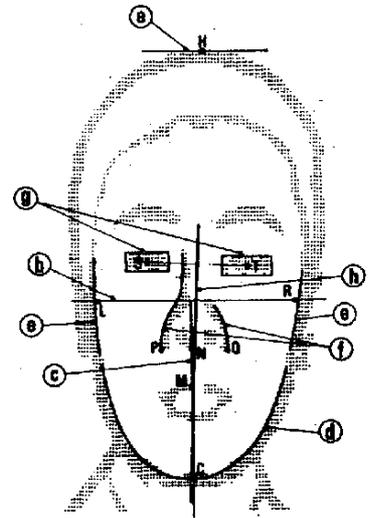
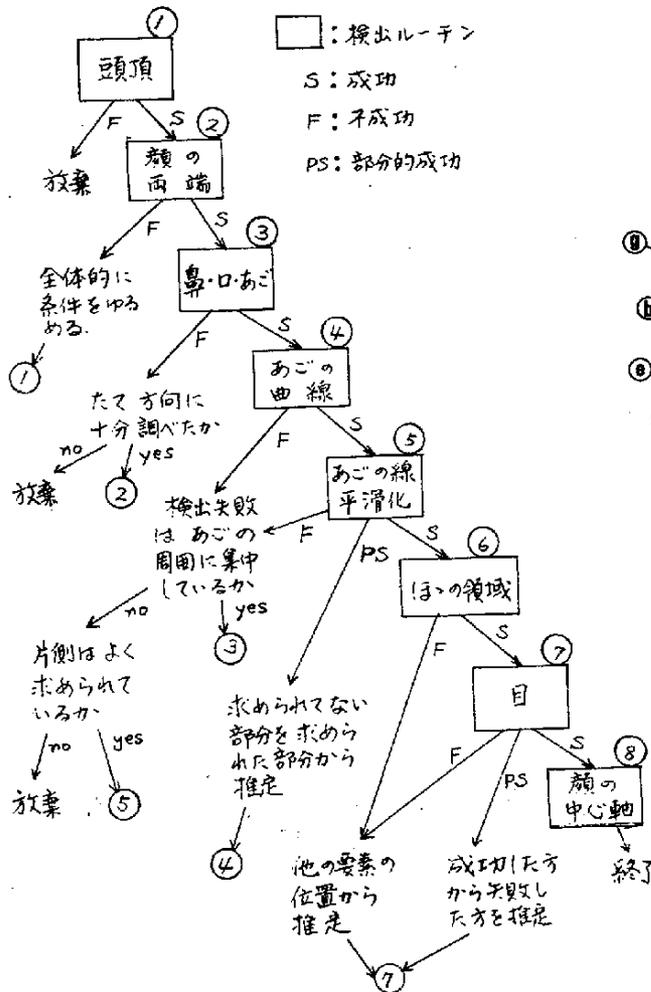
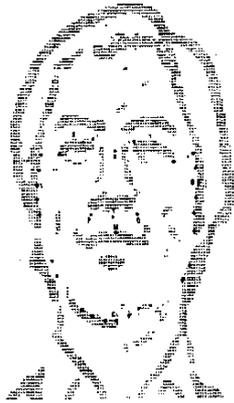
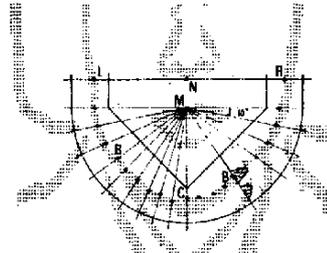


図6 顔の特徴点抽出順序

図5 顔写真解析プログラムの処理の流れ



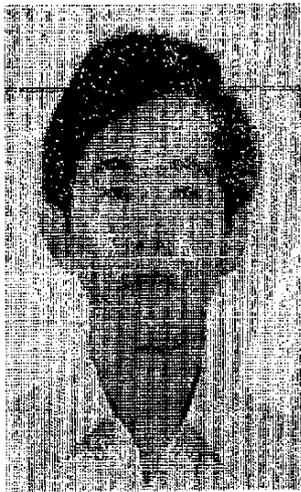
(a)



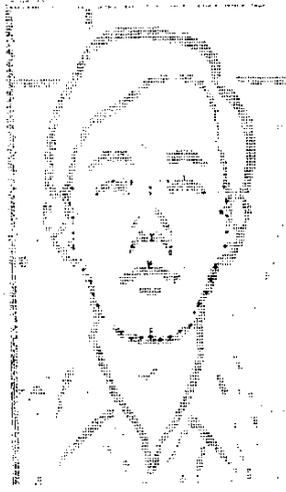
(b)

図7 あごの線抽出における再試行の例

(a) 抽出の結果 (b) 探索範囲の設定



(a)



(b)



(c)

図8 解析結果の例

(a) デジタル化濃淡写真 (b) 抽出された特徴点

(c) 原写真上に抽出された点を印したもの

表1

category of faces	number of faces	correct results	error or unrecovered failure	step in which the error or unrecovered failure occurred					
				face sides	nose mouth chin	chin contour	eyes	nose width	face axis
full face with no glasses or beard	607	552	55	5	10	15	18	3	4
full face with glasses	77		77	4	4	2	67		
turning face with no glasses	79	63	16	4	3	3	5		1
face with beard	25		25		10	4		11	

約800枚の顔写真の解析結果のまとめ
(ただし旧700枚によるものである)

図8に処理結果の例をあげる。図8(c)は図8(b)のように抽出された特徴点をもとの写真上に印をつけたものである。この例の場合もそうであるが、一般に、微分して得た2値図形で求めた特徴点は、あごの線(Bの系列)が耳の下あたりでやゝ内側にはいり、目の中心(SとT)が両方とも外側に少し寄る傾向がある。表1は約800枚の顔写真をこのプログラムで処理した結果のまとめである。入力写真を(1)メガネ・ヒゲのない正面向きの顔、(2)メガネをかけた正面向きの顔、(3)メガネのない少し横を向いた顔、(4)ヒゲのある顔とその他に分け、各々について全部の特徴点が求められたもの、途中で失敗したものの数をあげている。途中で失敗したものについては、どの部分がうまくできなかったかを分けて示してある。もともと、プログラムは上の(1)のような写真に対してよく働くように書かれたのであるが、(2)~(4)に対してもかなり良く働いている。なお、最近、プログラムの改良をしたが表1はそれ以前のものである。

このプログラムは扱っている人の顔についての知識が主として予測・検証の部分に組みこまれた形になっており、検出部分はその扱う画面の領域が顔の一定の部分である時にうまく働くように作られていることに注意する必要がある。これらの点は扱っている部分画面とは関係なしに、図形の構造を規則として導入するいわゆる言語的アプローチと異なる点である。

II. 高次処理と低次処理の間にフィードバックを含む処理

「目・口の形などの検出はその存在する位置をすでに知っているから、比較的簡単である。」という点について少し調べてみよう。

図9は図8(a)の濃淡図形を閾値 $\theta = 9$ で2値化し、この値より暗い濃淡をもつ点を示したものであるが、四角の枠内に口の形がでていいる。ところが顔の他の部分ではこの2値化はたいした意味はない。つまり、この2値化操作は“口の形を知ることの

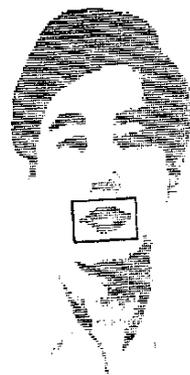


図9 口の形を検出するための2値化

み合目的な操作”であり、四角の枠内ではこの単純な操作が極めて有効となっているが、それはその内に口が存在することを知っているからである。

この枠内で適当な閾値 θ を自動的に選ぶことは、さしてむずかしくなく、画像処理でよく用いられる濃淡ヒストグラムを使って、つぎのようにして行なわれる。先に微分による2値図形の中で求められた、あごの先 (O)，あごの線 (Bの系列)，上唇 (M)，鼻の下 (N) の位置から口が確かに存在するはずの範囲を図10 (a) のごとく決める。そしてもとの濃淡図形の中で領域 $H_1H_2H_3H_4$ と $V_1V_2V_3V_4$ の濃淡値のヒストグラムを求めて加え合わせる。真中の領域を重ねて使うのは、ヒストグラム中に唇の部分にあたる濃淡値の頻度が多くなり、その他の部分の濃淡値との間に谷ができやすくなるためである。図10 (b) はこうして求めたヒストグラムで、その谷の位置から閾値 $\theta = 9$ が得られる。それで2値化すると図10 (c) のように口の形が求められるのである。図9および10 (c) のもとの濃淡図形である図8 (a) は平滑化をうけたものであるが、もっと解像度の高い図形に適用すれば、さらに正確な口の形が得られるだろう。

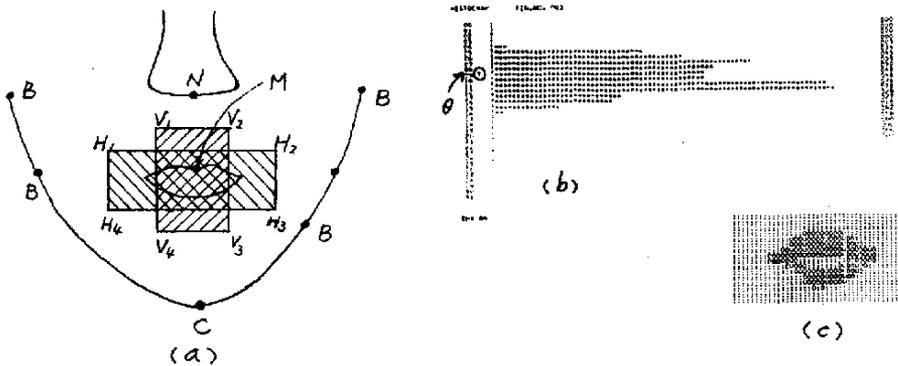


図10 (a)濃淡ヒストグラムをとる領域 (b)ヒストグラムと閾値 θ
(c)抽出された口の形

以上のやり方をまとめてみると、図11に示すように「もとの画面から比較

p1618 (昭47-12)

- (4) 坂井・長尾・金出：“図形の構造と処理 — 顔写真の場合 —”，昭46
電気4学会連大No.228
- (5) T.Sakai, M.Nagao and T.Kanade：“Computer Analysis and
Classification of photographs of Human Faces”，Proc 1st
USA-JAPAN Computer Conf. Tokyo p55 (1972)
- (6) 坂井・長尾・金出：“計算機による顔写真の解析”，通信学会論文誌(D)
(掲載予定)
- (7) C.Hewitt：“Procedural Embedding of Knowledge in planner”
Intern.Joint Conf.on AI Session 5 p167(1971)
- (8) W.W.Bledsoe：“Man-Machine Facial Recognition”，Panoramic
Research Inc., Palo Alto., Rep. PRI:22(Aug 1966)
- (9) A.J.Goldstein, L.D.Harmon and A.B.Lesk：“Man-Machine
Interaction in Human-Face Identification”，Bell Sys.Tech.
J.p399(Feb 1972)
- (10) Y.Kaya and K.Kobayashi：“A.Basic Study on Human Face
Recognition”，in Frontiers of Pattern Recognition, S.Wa-
tanabe(ed) P265(1972)
- (11) M.D.Kelly：“Visual Identification of People by Computer”，
Stanford Artificial Intelligence Project Memo AI-130
(July 1970)
- (12) R.Narasimhan：“Labeling Schemata and Syntactic Descrip-
tions of Pictures”，Information and Control 7,P151 (1964)
- (13) H.G.Barrow and R.J.Popplestone：“Relational Description
in Picture Processing”Machine Intelligence.6 P377
- (14) F.P.Preparata and S.R.Ray：“An Approach to Artificial
Non-symbolic Cognition”，Information Science.4.P65(1972)

- (15) A.C.Shaw : "Parsing of Graph-Representable Pictures",
Jour.ACM Vol 17 No3 P453 (July 1970)

的荒く、平均化した形の濃淡情報を得、微分によって2値図形化して扱いやすくし、その中で各部分の位置を求め、その結果を利用して特定の部分に合目的な操作を行ない、もとの画面から、さらに正確な情報を得る」という過程をとっていることがわかる。「合目的な操作」には特定のパターンを探すなどのほかに、扱う部分画面の解像度をかえたり、濃淡コントラストをあげてサンプルすることなど、画像の入力段階にまで関係することも多い。図1の画像処理研究に十分使えるように工夫されている。

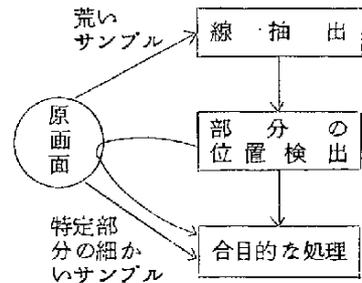


図11 フィードバックを含む処理の例

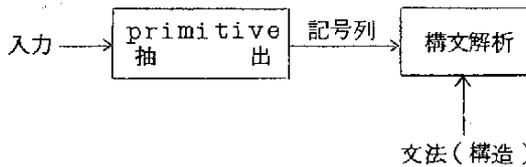
従来の入力 → 前処理 → 特徴抽出 → 分類という一方向的な処理でなく高いレベルの判断と低いレベルの処理が interactive にくりかえされることは、複雑な図形の認識には重要な点であると思われる。

4. む す び

図形構造を導入する標準的手法のひとつである言語的アプローチとよばれる方法⁽¹²⁾では図12に示すように、図形から独立に構成要素 (Primitive) を抽出し、図形をそれらの記号列として表現したあと、その構文解析をおこなってパターンを分類する。手書き文字、染色体写真などのおもに線分や弧からなる図形に対しては従来のパターン・マッチング法や統計的決定理論による方法とくらべ、柔軟性のある処理が可能となった。しかし、この方式では2次元的な構造記述がなかなかむずかしいという点のほかに、Primitive 抽出段階が後の構文解析と切り離されているため、今扱っている画面内でどの線分が意味があって、どれが意味がないかわからないという欠点がある。最近、画面を領域に分け、それらの間の包含や接し方などの関係記述を求めて画像の解析をする方法⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾が出されているが、言語的アプローチと同じ意味で、記憶されてい

る構造記述が現在の入力画面をどう扱うかの指示を与えるのでなければ有効な手法とならないだろう。このような欠点をおぎなうため Shaw⁽¹⁵⁾ は図形文法を top-down に展開していき、それに従って Primitive 抽出をする top-down goal-directed syntax analyzer を提案しているが、実際には“線の連絡”しか使っていない。

我々のとった方法は、基本的にいえば、「一定のデータがそろいと働くことのでき一定の結果を加えるサブルーチンをいくつか用意し、それらを（現在のところプログラマが予知できる程度



度の比較的浅く簡単なルートをとるが) 順次・適当に・何度か働かせて答を得る」という方法である。

図12 言語的アプローチ

探すべき部分とその予想位置を決めて処理していく top-down

goal-directed という点で Shaw の方法と似ているが、(1) 図形構造に関する知識がそれをどう扱うかという手順の形で入れられていること、したがって (2) Shaw のような部分間の head-tail 連絡という局所的情報でなく、より広い範囲の context を考慮して探すべき部分の予想範囲を決められること、(3) 結果のフィードバックによる修正・パラメータ変更・再試行などが楽にできることという特長がある。反面、問題向きの adhoc な部分と一般的部分のかねあいがむずかしい所がある。

参考文献

- (1) 坂井・長尾・金出：“ミニコン制御下の画像入力装置と汎用計算機の結合システム”，信学会オートマトンと言語研資 AL72-47 (July 1972)
- (2) 坂井・長尾・木戸出：“電子計算機による濃淡図形の処理——顔写真の場合——”，信学会論文誌 (c) 54-C, 6, p445 (昭46)
- (3) 長尾・金出：“パターン認識における線・線の抽出”，信学会誌 55, 12

都市開発および都市防災計画のためのメッシュ・データ作成言語 AMP S (Automatic Mesh Data Processing System) の開発と実用化

共同研究者 大阪大学工学部建築工学科

◎岡田研究室 岡田 光正

吉田 勝行

柏原 士郎

辻 正矩

国土計画，地域計画，都市計画などにおいては，従来，行政区画ごとの地域統計データを主として取扱ってきたが，最近，行政の各分野において，都市間にまたがる広域行政の必要性が増大し，かつ，小地域ごとのきめのこまかい施策が要望されるようになったために，データを統一的に処理するシステムを確立することが必要になった。

従来の境界に拘束されない恒久不変の小地域別統計資料を簡便，迅速に取扱える上に，国土全体をカバーできる統一的処理システムとして，メッシュ・データシステムがあるが，これを合理的に処理するシステムを開発することが重要な課題となってきた。

本研究は AMP S (Automatic Mesh Data Processing System) という言語体系を開発し，FORTRAN 等の計算機言語を知らない人でも，都市計画の分野で日常使われている用語を使って，メッシュ・データの作成と，それに付帯する作業が自動的にできるようすること，および，これによって得られたメッシュ・データを用いて，現実の都市計画，防災計画等を合理的にす

すめることを目的とするものである。なお、研究に際しては次の3点を中心として、作業を進めた。

1. メッシュ・データ処理システムに関する調査と分析
2. メッシュ・データ作成言語 (AMPS) の開発
3. メッシュ・データによる応用研究

1. メッシュ・データ処理システムに関する調査と分析

1.1 メッシュ・データ処理システムについて

メッシュ・データ処理システムにおける主要な問題は、1.メッシュの切り方、2.メッシュ・データの作成と表現の方法、3.メッシュの利用、という3点である。

メッシュの切り方については、国の機関では行政管理庁で定めた緯度経度による「標準メッシュ・システム」が採用されている。これは、メッシュの基準線が経緯度と一致し、国土地理院発行の2万5千分の1地図を、縦横それぞれ10等分することによって得られる、きわめて便利な方法である。

一方、県や市区町村においては、たとえば大阪市のように、UTM座標系や14座標系によるものが多い。

これは、都市レベルのデータでは、精度の高さが要求されており、3千分の1、5千分の1という大縮尺の地図が利用できることと、正方形の等形等積メッシュであるため、データの取扱いが便利だからであろう。

なお、UTM座標系による直角座標系から経緯度系に変換する方式が考案されているが、実際には、国と自治体との間で、メッシュ・データの変換による相互利用は行なわれていない。

メッシュ・データの作成の方法としては、

- (1) 調査区別、町丁目別などの小地域単位ごとのデータをメッシュに組みかえる。

(2) 地図や航空写真からメッシュごとに読みとり計測を行なう。

(3) メッシュごとにサンプル地点を選定し、現地調査により資料をそろえるなどである。

メッシュ・データはパンチ・カード、磁気テープ、ディスクなどに格納されるが、出力における表現は、メッシュ番号と対応させた数表形式でプリントさせるか、メッシュ・マップとして地図形式で出力する。

メッシュ・データとして、どのような項目を選定するかについては、基礎的データとして使われる可能性のあるものを網羅的にとり出し、データバンク的な行き方をするか、それとも目的を開発適地の選定、都市再開発計画、防災計画などと定め、それに必要なものにしぼるかによってことなる。データ・バンク的な方向としては、総理府統計局で、国土実態総合統計として国勢調査などの指定統計調査にもとづくもののメッシュ化が行なわれている。ある政策や計画の策定のためにメッシュ・データが用いられている例としては、人口分布の予測や生活環境度の測定、環境汚染対策、公共投資計画、交通網の計画、土地利用計画など多方面にわたっている。

たとえば、大阪市の土地利用計画策定のための研究においては、土地利用計画の基本的項目として次のような13の指標がとりあげられている。

(1)人口構造 (2)産業構造 (3)土地利用、市街地形態 (4)交通 (5)都市施設
(6)建物 (7)自然環境 (8)災害、公害 (9)現行都市計画及び事業 (10)情報 (11)行政・財政 (12)生活環境 (13)その他

この各々の項目は、実数あるいは指数で表わされた多数の要素項目を含むから、全項目について資料を収集するには、莫大な時間とエネルギーが必要である。

現在のところ、メッシュ・データを用いた研究は、試行錯誤的に行なわれている段階であり、今後は、このメッシュ解析を総合評価や将来予測など、より政策的に有効な手法として、発展させてゆかねばならない。

1.2 異なる座標系によるメッシュ・データの変換について

現在用いられている経緯度系のメッシュ・システムの代表的なものとしては、総理府統計局による「国土実態総合統計」がある。これは国勢調査や事業所統計などの指定統計調査より得られたデータを基に、国土全体にわたって、メッシュ化したものである。一方、大阪市で整備されつつある「大阪市土地利用計画策定のためのメッシュ統計」は、平面直角座標系によるメッシュ・システムの一つである。「国土実態総合統計」の場合、大阪市域の単位メッシュの大きさは約 $924\text{ m} \times 1,144\text{ m}$ となるが、大阪市のメッシュは3千分の1大阪地形図の基準点(14座標第VI系の原点よりX(北方向)=-146 Km, Y(東方向)=-45 Km)として、市域データについては $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ 、広域データについては、 $1\text{ Km} \times 1\text{ Km}$ の単位メッシュを採用している。この一例からも分るように、国あるいは県などの広域行政機関と、市町村などの地域行政機関とでは、メッシュ・データを用いる目的が違っており、実務上の要請からシステムを決めているために、一方的にどちらのシステムがよいかを判断することは、容易ではない。

これを調整するための今後の方向としては、次の2つの方向が考えられよう。

- (1) 国土全体の統一的なデータの取扱いを重視して、すべての自治体において、経緯度系による標準メッシュ・システムを採用する。
- (2) 末端での実務上の便宜を重視して、国や都道府県のレベルにおいては、標準メッシュ・システムを用い、市町村においては平面直角座標系(とくに14座標系)を採用する。

(1)の場合には、現在、府県あるいは、市で作成している2,500分の1、あるいは3,000分の1などの大縮尺の地図を、経緯度によるものに変更するか、地図上にあらかじめ経緯度の座標値を書き込んでおかねばならない。この際、同一市域内のメッシュ・サイズは、ほぼ同一と考えてよいが、府県あるいは地方くらいの広域になると、北部と南部とではメッシュ・サイズが異なることに注意しておかねばならない。

(2)の場合には、都道府県レベルにおいて各市町村の独自のメッシュを経緯度系に変換して、各市町村間のデータの調整をはかる必要がある。と同時に、市町村間ではシステムを統一し、さらに重要な項目については、共通なフォーマットを使用するなどの方法を取り、合理化をはからねばならない。

なお、国土計画、地方計画では1Km以上のメッシュを用いれば十分であるが、都市計画において、必要なメッシュ・サイズは、500m、250mあるいは100mである。したがって、直角座標系から経緯度系へデータを変換するのが妥当であろう。変換のさい、誤差がどのくらい生じるかについては、現在、実際のデータにもとずいて計算を行なっている。

1.3 メッシュ・データの項目について

「国土実態総合統計」は現在のところ、国勢調査と事業所統計調査から得られる項目しか取扱っていないが、データ・バンクとして有効に働くためには、土地利用や生活環境などの調査をも指定統計として準備しておかねばならない。また、各省庁でバラバラに行なわれている社会調査や健康調査なども一元化することが望ましい。

メッシュ・データとして必要な項目を、計画目的別に表1に掲げておく。あわせて、現在どのていどのデータが収集できるかを示すために、総理府統計局の国土実態総合統計と大阪市の土地利用計画関係の統計において収集された項目をあげておいた。当然のことながらある特定の計画を目的とする場合は、該当する項目だけでなく、関連のある種類の項目を付け加えなければならない。たとえば防災計画においては、8の災害、公害のほか1の人口構造や3の土地利用、4の交通、5の都市施設、6の建物などの項目が必要である。

表-1 都市計画, 防災計画に関する
要素とメッシュデータ化の可能性

(注 ○……総理府統計局でメッシュ化されているもの。
△……大阪市でメッシュ化されているもの。
×……メッシュ化が困難なもの。)

1. 人口構造		2. 産業構造		3. 土地利用、市街地形能		4. 交通	
常住人口	○△	産業別従業人口	○△	用途別土地利用 区画整理施面積	△	自動車保有台数	
幼少年令	○△	職業別従業人口	×	空地率	△	目的別、自動車 発生集中量	△
" 人口比率	○△	職業別就業人口	○△	宅地化率	○△	時間帯別自動車 発生集中量	△
生産年令	○△	産業別事業所数	○△	容積率	△	自動車交通量	△
" 人口比率	○△	事業所1人当 たり床面積	△	建ぺい率	△	街路密度	△
老令人口	○△	工業出荷額		道路率	△	鉄道混雑度	×
" 比率	○△	商業販売額		混合率	△	物資流動状況	×
人口密度	△	製造業事業所当 たり出荷額		過密率	△	パーセントリップ	×
人口増加率	△	卸小売業1店舗 当たり販売額		平均階数	△	用途別床面積当 りの交通発生量	
流出入人口		雇 用 者	○	歩、道率		高速鉄道駅まで の距離	
通勤・通学人口	○	自 営 業 主	○	D. I. D 面積		都市計画街路ま での距離	
昼夜間人口比	△	家 族 従 業 者	○	道路幅員		都心への時間距 離	
自然増人口	×			宅地面積	○	小売店への距離	
社会増人口	×			専用住宅地	○	同上時間距離	
世帯数	○△			併用住宅地	○		
普通世帯数	○△			戦前建築	○		
" 比率	○△			同上住宅地			
準世帯比率	○△			戦後建築	○		
世帯当り人員	○△			同上住宅地			
未婚者	○			近年建築	○		
有配偶者	○			同上住宅地			
外国人	○			木造住宅地	○		
住宅世帯	○			非木造住宅地	○		
持家世帯	○						
借家世帯	○						
間借り世帯	○						

9. 現行都市計画及び事業	10. 情 報		11. 行政・財政		12. 生活環境		13. そ の 他	
用途地域 防火地域 容積地区 高度地区 臨港地区 風致地区 道 路 公 園 区画整理 再開発計画	電話保有台数 電 話 回 数 公衆電話台数 市民苦情数	×	固定資産評 価額 市 民 税 × 法 人 税 × 都 市 計 画 事業別・財 源別事業費 市 民 所 得 × 生 産 所 得 ×		犯罪発生件数 し尿排泄量 × ゴミ排泄量 下水道処理区域 水洗便所普及率 道路舗装率 通学障害率 火災危険度 家 賃 × 1人当り畳数 住 宅 難 率 × 伝染病発生率 ×		文化財史蹟 地 価 景 観 × 水 資 源 × 市 民 意 識 ×	

2. AMP Sの概要

メッシュ・データ・システムを生データからの作成法という面からながめてみると、およそ次の3つの場合が考えられる。

- (1) 町丁別のデータなど、ある小さい範囲ごとにとまったデータがすでにあり、これをメッシュデータに変換しようとする場合。
- (2) 1件1件についての座標などがわかっており、これをメッシュに割付けてメッシュデータを作成する場合。
- (3) 上記の1と2が混在する場合

ここでは、これらのいずれの場合もあつかえる専用のシステムを開発することを目的とする。

AMP Sは、図 2.1 に示すようなブロックより構成される。この場合、電算機システムのハードウェアとしては、万能入出力装置、カードリーダー、ラインプリンター、磁気ディスク、グラフペン、XYプロッター等が設置されていなければならない。

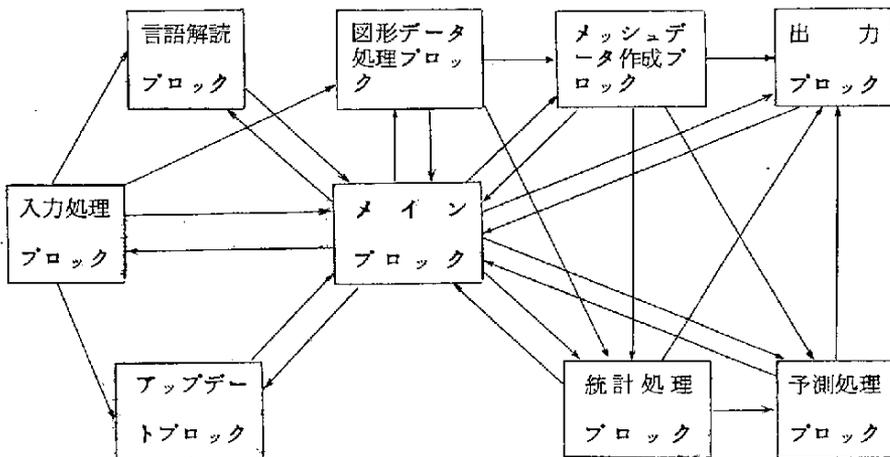


図 2.1 AMP Sの概念図

2.1 メインブロック

以下のサブシステムを制御し、全体を統括するブロックで、スイッチONされた場合の前処理、プログラム上にAMP S-O W A R I命令が検出された場合の後処理、および言語解説ブロックやアップデートブロックで検出された命令内容に従って、システム全体を総括する。

2.2 言語解説ブロック

プログラマーが、AMP S文法で書いたプログラムを解説し、結果をメインブロックに引きわたすサブシステムである。このブロックを作成するにあたっては、まずAMP Sの言語系を設計する必要があるが、これは現場でどのような言葉が使われているかを調査した結果にもとづいて行なわねばならない。

また言語設計は、ジョブ処理がT S S等を用いたオンライン処理で行なわれるか、バッチ処理によって行なわれるかによっても違って来るものと考えられる。バッチ処理であれば、プログラムはパラメーターカードに必要なパラメーターを設定するだけで作成できるようにするのが能率よく、オンラインであれば、会話型の言語系が親しみやすさという面でよいが、ただ会話型にすると、仕事の能率が悪くなるので、略記号の採用、標準手順の採用、くり返し設定の省略等を通じて、能率のよいシステムをめざす必要がある。

◎AMP Sによるプログラムの1例(ONLINE用AMP S)

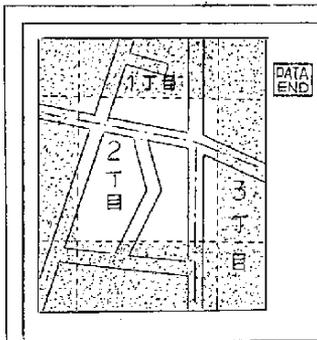


図 2.2 グラフペンにメッシュを入れた地図をはりつけたところ。

カードより町丁名と面積と人口を読み、
図 2.2 のメッシュの人口密度を求めるプログラム。

- * AMP S-HAJIME/
- * CHOCHOMEI NO TEIGI/
 - 1 * 1CHOME/
 - 2 * 2CHOME/
 - 3 * 3CHOME/

4. * TEIGI OWARI/
 * CHIZU O YOME/
 GENTEN*
 HIGASHI HASHI* } グラフペンより読込み。
 JUNBI KANRYO
 * CHOCHŌ NO MENSEKI KEISAN/
 ZAHYO O IREYO
 1CHOME* }
 2CHOME* } グラフペンより読込み。
 3CHOME* }
 * CARD YORI CHOCHOMEI, MENSEKI, JINKO O
 YOME/
 * JINKOMITSUDO O KEISAN SEYO
 * JINKOMITSUDO O PRINT SEYŌ
 6 2 8 3 6 2 2 NIN/HA
 * AMPS-OWARI/

2.3 図形データー処理ブロック

グラフペン等の座標読取装置より読込んだデーターより町丁面積、河川、道路、鉄道の面積や巾員を求めるブロックである。一例として、次のような問題を考える。

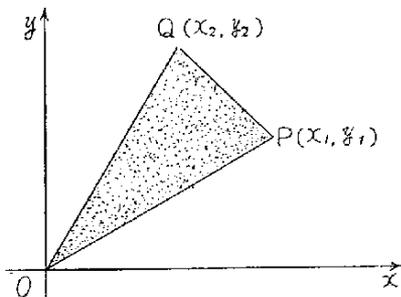


図 2.3

グラフペン等より読込んだ座標より面積を計算するアルゴリズムは、次のようになる。

すなわち、図 2.3 の 3 角形の面積 S は、

$$S = \frac{1}{2} [x_1 y_2 - y_1 x_2]$$

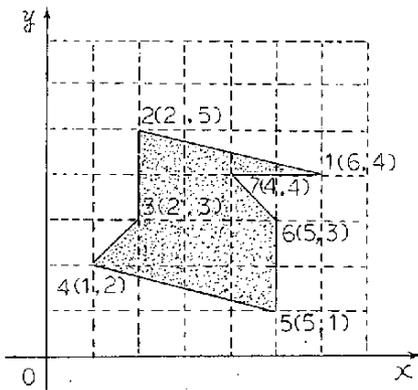


図 2.4

で求められる。これを何回もくり回して行いことにより、図 2.4 のような多辺形の面積も、求めることが可能である。

$$\begin{aligned}
 S = & \frac{1}{2} [6 \times 5 - 4 \times 2] + \frac{1}{2} [2 \times 3 \\
 & - 5 \times 2] + \frac{1}{2} [2 \times 2 - 3 \times 1] \\
 & + \frac{1}{2} [1 \times 1 - 2 \times 5] + \frac{1}{2} [5 \times 3 \\
 & - 1 \times 5] + \frac{1}{2} [5 \times 4 - 3 \times 4] \\
 & + \frac{1}{2} [4 \times 4 - 4 \times 6] = 10
 \end{aligned}$$

このような処理法を FORTRAN によりプログラム化すれば、次のようになる。

```

SUBROUTINE MENSEK
DIMENSION X(1000), Y(1000)
READ(5, 10)ENDX1, ENDX2, ENDY1, ENDY2
      — FUNCTION KEY DATAED の位置設定 —
10  FORMAT(4F12.0)

DO 50 I=1, 1000
READ(5, 20)X(I), Y(I)
20  FORMAT(2F12.0)

IF(.NOT.(X.GT.ENDX1.AND.X.LT.ENDX2))
                                GOTO 50
IF(.NOT.(Y.GT.ENDY1.AND.Y.LT.ENDY2))
                                GOTO 50

N=I-1

```

```

GO TO 60
50 CONTINUE
      — 求める図形の各頂点の座標の読み込み —
WRITE(6, 55)
55  FORMAT(1H△ :***TEN△GA△1000KO△O△KOETA***:)
      — 点を1000個以上取った時のエラーメッセージ —

S=0.0

DO 70 I=1, N-1
70  S=S+X(I)*Y(I+1)-X(I+1)*Y(I)

S=S+X(N)*Y(1)-X(1)*Y(N)
S=0.5*S

WRITE(6, 80)S
80  FORMAT(1H1, 2HS⇒, F12.6)

RETURN
END

```

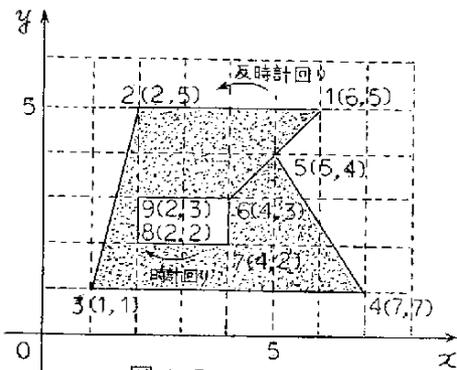


図 2.5

図 2.5 のように穴のあいている場合も、頂点の座標の番号のふり方を、外側は反時計回り、内側は時計回りとすることにより、このプログラムで求めることができる。

したがって、このプログラムを用いて

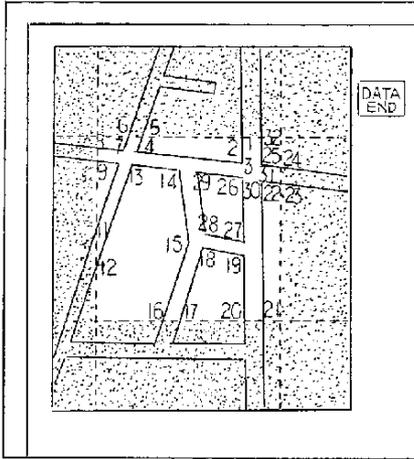


図 2. 6

図 2. 6 のメッシュ内の道路面積を求めるには、グラフペンのリーダーを 1 から 3 2 まで動かし、最後にファンクションキーとして設けた DATA END キーへリーダーをもって行けばよい。

なお、今後の問題としては、データーの入れまちがいを、簡単に修正することのできるアルゴリズムを付加する必要がある。

2. 4 入力処理ブロック

地図や図面をグラフペン等の座標読取装置を用いて、図のまま入力したり、地図面上の数字や定性データーを座標読取装置上に設定したファンクションキーを用いて読み込む際の処理を受持つブロックである。

地図面上のデーターには、点的な情報、線的な情報、面的な情報があり、これらを能率よく読み込むには、どのようなファンクション・キーの集合を座標読取装置上に設定すればよいか問題となるが、これは言語系の設計と関連しており、現場で使用されて言葉を、充分に表現しうるキー集合をまず求めなければならない。

2. 5 メッシュデーター作成ブロック

市町村別あるいは町丁別単位の各種データーを、1 4 座標系メッシュ、経緯度系メッシュなど任意のメッシュデーターに変換したり、ある系統のメッシュデーターを他の系のメッシュデーターに変換すると共に、あらかじめ座標のあたえられているデーターは、その座標に従って各メッシュに割付け処理を行なうブロックである。

図 2. 2 のメッシュのように、2 つ以上の町丁にまたがるメッシュ内では、面

積比，人口密度，建物密度，交通施設密度，ぬき取り調果結果等を考慮してメッシュデータに変換して行くようなシステムを考える必要がある。

2.6 統計処理ブロック

重回帰分析，因子分析，判別関数分析，数量化理論 1～4 類などのサブプログラムを支配下におき，任意の統計分析処理を可能とするブロックである。

2.7 予測処理ブロック

メッシュデータの動向を予測するブロックである。最小 2 乗法による外そう法，ロジスティックカーブ，ゴンベルツカーブ等による外そう法等を予定している。

2.8 出力ブロック

デジタルブロック，CRT，ラインプリンター等により，処理結果を図的に出力し表示するブロックである。

処理効率から考えると，ラインプリンターによる図的表示が望ましいが，これには，図 2.7，図 2.8，図 2.9 のような方式が考えられる。

2.9 アップデートブロック

入力したデータの部分変更や，出力結果を見ながらの再処理を行うためのブロックである。とくに図的データについては，入れまちがえるというケアレスミスが多発するものと予想されるので，その場合のリカバリーが最小の手間ですむよう処理する必要があるためである。

T= 2

```

+          +.....+
          .....
          ..12000.
          .1.....
+.....+-----+.....+
.....I      I.....
..14000I 4900I,14000.
.2.....I3      I4.....
+-----+-----+-----+.....+
I      I      I      I.....
I 9900I 4900I 7900I,14000.
I5      I6      I7      I8.....
+-----+-----+-----+-----+.....+
I      I      I      I      I.....
I 5900I 5000I 4900I 6900I,12000.
I9      I10     I11     I12     I13.....
+-----+-----+-----+-----+.....+
I      I.....I      I      I.....
I 10900I,17000I 10900I 7900I,12000.
I14     I15.....I16     I17     I18.....
+-----+-----+-----+-----+.....+
I      I      I      I      I.....
I 3900I 13900I 1900I 7900I,12000.
I19     I20     I21     I22     I23.....
+-----+-----+-----+-----+.....+
I      I      I      I.....
I 11900I 1900I 9900I,14000.
I24     I25     I26     I27.....
+-----+-----+.....+
.....I      I.....
..13000I 6900I,14000.
.28.....I29     I30.....
+.....+-----+.....+
          .....
          ..12000.
          .31.....
          +.....+

```

図 2.7 数字によるメッシュデータの表示

(SUBROUTINE MPRNTを使用)

T= 6

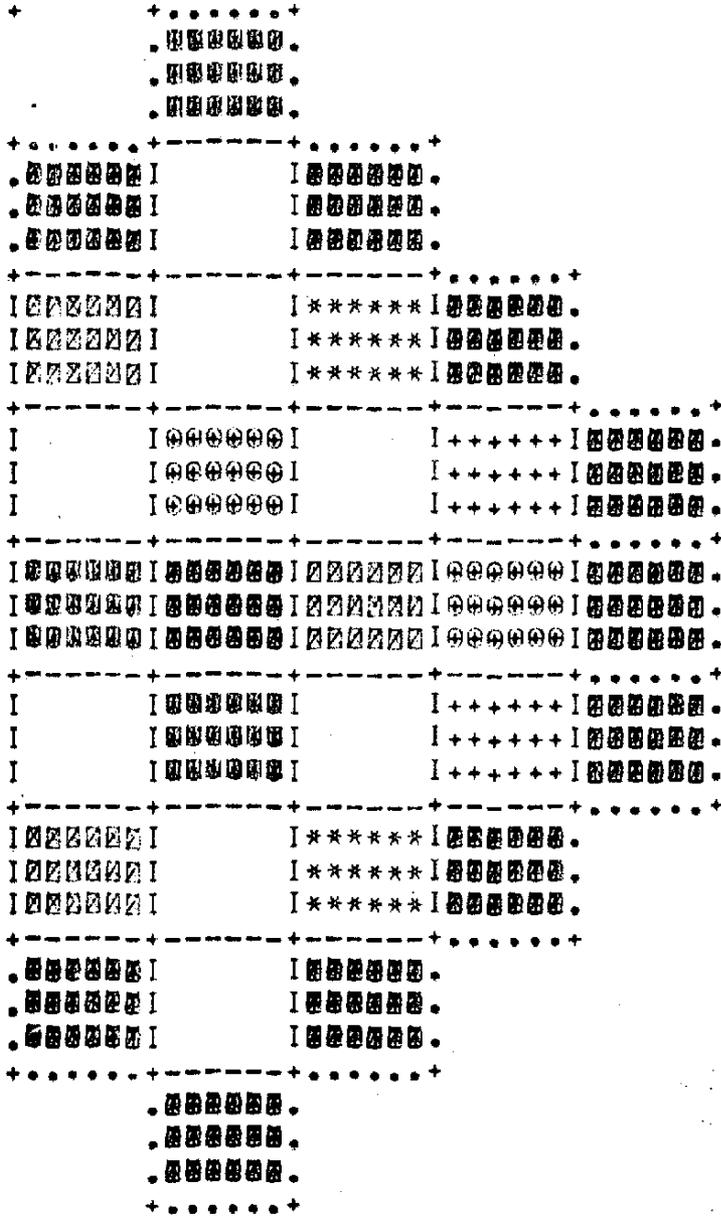


図 2.8 濃淡によるメッシュデータの表示(その1)

(SUBROUTINE MPRNTを使用)

3. 都市分野におけるメッシュデータの応用

詳細なメッシュデータが多種得られておれば、それらデータ間の関係等をA M P Sに設定した因子分析、重回帰分析、数量化理論等によって解析することにより、都市計画、地域計画に関する有用な情報を導き出すことができる。また、精密なシミュレーションモデルを作成して、都市や地域の今後の動向等を把握することが可能となる。

しかしながら、現状では、シミュレーションモデルを作成するのに必要な生データが得られていない場合も少なくない。この場合、都市計画や地域計画の実務にたずさされる側にとっては、すでに得られているデータで何ができるか、欠けたまゝのデータで何が言えるかが問題となる。

このように十分なデータがない場合には、まずいくつかの仮定を設けてシミュレーション・システムを作成し、データ不足の部分が全体にどれ程きいているかを試算してみて、その結果、大勢に影響のないことが判明すれば、システムは有効であるとして、おまかな結論をみちびき出すことができよう。

欠けたデータが大勢に影響をもつことが判明すれば、このデータは絶対に必要な整備すべきデータであるということが証明されるわけで、データの整備計画をたてて行く上で重要な資料となるであろう。

以上の考えかたにより、こゝではA M P Sにより求めたメッシュデータを用いて、都市開発の限界とか、大震災における避難計画の設定等を行なう。

なお、歴史的な重みをもって決定されている行政区画と違い、メッシュラインはあくまでも仮のものである。もしラインの両側で非現実的なくい違いがおこるならば、これは解釈する側で現実的に則した修正をほどこして受け取るよう留意すべきである。とくにメッシュラインの存在が、ライン両側の住民の不利益度に差をつけるような結果になってはならない。

3.1 都市開発の限界

都市開発の限界をおよそまかに知るためには、次のような方法が考えられる。

(1) ダイナミックシミュレーションモデルによる方法。

(2) 回帰式より限界値を見定める方法。

(3) 複合デルファイ法。

(1)は、メッシュデータをベースとして、DYNAMO型のシミュレーションを行なおうとするもので、メッシュ化可能な人口、地価、災害率、事故率、政策、緑地量、交通容量、時間距離、地形、雇用量、生産量、公害、犯罪件数等をベースとしてシステムを組み、これにメッシュ化困難と考えられる設備投資意欲、土地所有欲、魅力、教育文化水準、日照権等を順次仮定してシステムを動かす、メッシュ化困難と考えられているデータが、どの程度にきいているかを見定めた上で結論をみい出そうとするものである。

この場合、構造方程式を作成するについて、メッシュデータがあれば、かりに過去の時系列データが手に入らなくても、確度の高い方程式を作成することができるであろう。

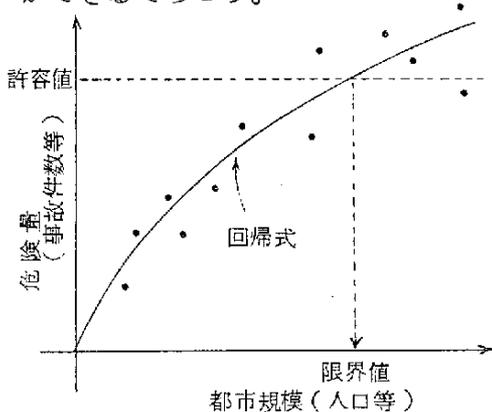


図 3.1

(2)は、メッシュデータから都市規模をあらわすデータと、危険状態をあらわすデータとを組み合わせ、図 3.1 に示すように回帰式を求め、危険状態の許容値から、都市規模の限界値を読み取る方法である。

(3)はシナリオライティングとデルファイ法を組み合わせた方法で、何人かの専門家がメッシュマップを見ながら、まず各個にシナリオを起算し、たがいに書いたシナリオを検討しあいながら、次のシナリオを書くというループをくりかえして、シナリオの内容で一致度が高まってきたものを順次ひろい出して行

く方法である。

3.2 大震火災における避難計画

こゝでは、次のような仮定のもとに、避難状況を把握するためのシミュレーションを試みる。

- (1) 各メッシュからの避難方向は、最も近い安全域に向ってなされる。これが、そのメッシュにおける避難ルールである。
- (2) あるメッシュから次のメッシュに移った群集は、移ったメッシュにおける避難ルールにしたがう。
- (3) メッシュ内の安全空地には、そのメッシュの人間がまず逃げこむ。そして余裕があれば、他のメッシュの人間が逃げこんでくるものとする。
- (4) あるメッシュにおいて、滞留可能人員をこえたら、そのメッシュへの流入は0とし、その他の方向への流出、流入は変らないものとする。
- (5) 算定式についてはプログラム(図3.3)参照。

シミュレーションのフローチャートと、シミュレーションの対象地域とした大阪市の概略図を図3.2, 図3.1に示す。

現在、デバッグを進めている段階であるが、これまでに、避難時間に

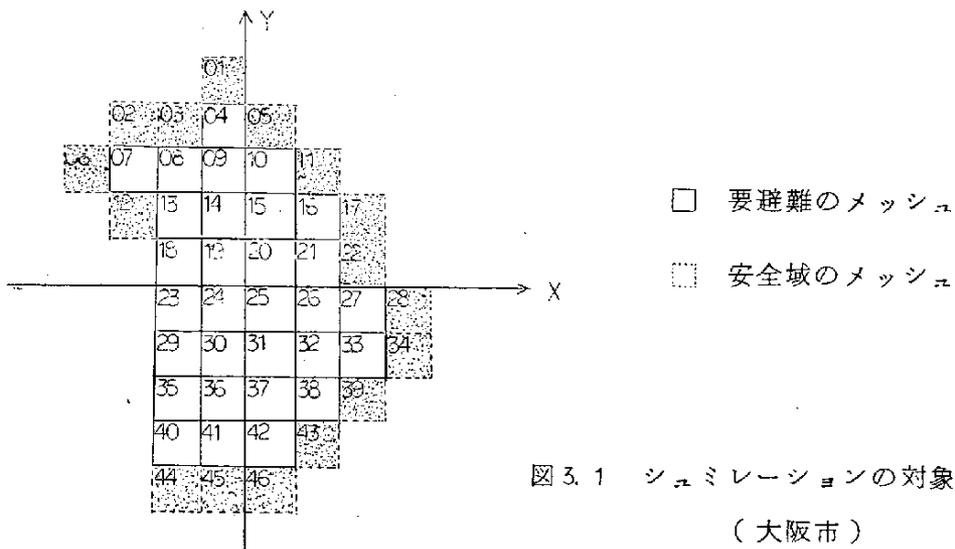


図3.1 シミュレーションの対象地域
(大阪市)

ついで次のような結果が得られた。(図3.4, 図3.5, 図3.6, 図3.7参照)

(イ) 避難時間を短くするためには, 安全域を都市の周辺に設けるよりも, 都心近くに設けた方がよい。

(ロ) 収容人員の限られた安全空地を分散して設けても, その量が限られておれば全避難時間は余り短くならない。

なお, 火災の延焼をシステムにとり込むよう, プログラムを改造中である。

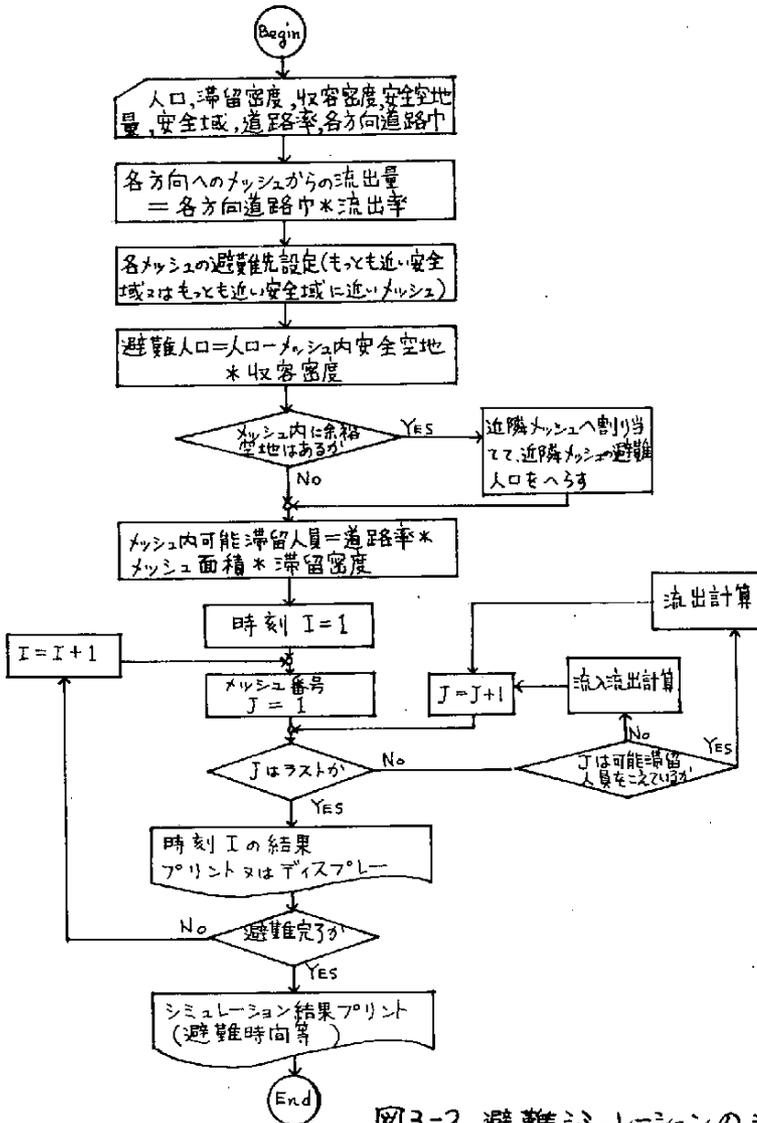


図3-2. 避難シミュレーションのシステムフロー

ISN	LABEL	FORTRAN STATEMENT	LINE#
	C	HISIM-3 PRGD. BY K.YOSHIDA	HNN 10
0001		COMMON/S1/IX(1000),IY(1000)/S2/M/S3/PH(1000)/S4/IKI(1000)	HNN 20
	1	/S6/NOO(6)	HNN 21
0002		DIMENSION P(1000),AKUCHI(1000),DRITSU(1000),DHABA(1000,4),	HNN 30
	1	PHM(1000),SHIGE(1000),RST(1000,4),	HNN 31
	2	NHOKO(1000,4),NHI(1000),MKT(1000),NHOKOW(1000,4)	HNN 32
0003		READ(5,10)M,ITLIM,MSL,TMITSU,SMITSU,RYURYO	HNN 40
0004	10	FORMAT(3I6,3F6.0)	HNN 50
0005		READ(5,11)MD,MP,HP,NP2,NOO(I),I=1,6)	HNN 60
0006	11	FORMAT(4I3,6F8.0)	HNN 70
0007		READ(5,12)(IX(I),IY(I),IKI(I),P(I),AKUCHI(I),DRITSU(I),	HNN 80
	1	(DHABA(I,J),J=1,4),I=1,M)	HNN 81
0008	12	FORMAT(2I3,2X,I1,7F8.0)	HNN 90
0009		M5=MSL**2	HNN 100
0010		DO 30 J=1,M	HNN 110
0011		IF(IKI(I).EQ.1)GO TO 30	HNN 120
0012		DO 20 J=1,4	HNN 130
0013	20	RST(I,J)=RYURYO*DHABA(I,J)	HNN 140
0014	30	CONTINUE	HNN 150
0015		DO 50 I=1,M	HNN 160
0016		IF(IKI(I).EQ.1)GO TO 40	HNN 170
0017		PH(I)=P(I)-AKUCHI(I)*SMITSU	HNN 180
0018		GO TO 50	HNN 190
0019	40	PH(I)=P(I)	HNN 200
0020	50	CONTINUE	HNN 210
0021		DO 80 I=1,M	HNN 220
0022		IF(IKI(I).EQ.1)GO TO 70	HNN 230
0023		IF(PHI(I).GE.0.0)GO TO 60	HNN 240
0024		PH(I)=0.0	HNN 250
0025		IKI(I)=1	HNN 260
0026		MKT(I)=AKUCHI(I)*SMITSU-P(I)	HNN 270
0027		GO TO 80	HNN 280
0028	60	MKT(I)=M5*DRITSU(I)*TMITSU	HNN 290
0029		GO TO 80	HNN 300
0030	70	MKT(I)=M5*SHITSU	HNN 310
0031	80	CONTINUE	HNN 320
0032		DO 90 I=1,M	HNN 330
0033	90	P(I)=0.0	HNN 340
0034		IF(MD.EQ.0)GO TO 101	HNN 341
0035		WRITE(6,100)	HNN 350
0036	100	FORMAT(1H1,8HT= 0)	HNN 360
0037		WRITE(6,670)(I,PH(I),I=1,M)	HNN 370
0038	101	IF(HP.EQ.0)GO TO 102	HNN 371
0039		CALL MPKNT(0)	HNN 380
0040	102	IF(NP2.EQ.0)GO TO 103	HNN 381
0041		CALL NPKNT2(0)	HNN 390
0042	103	IF(NP.EQ.0)GO TO 110	HNN 400
0043		CALL NPKNT(0)	HNN 410
0044	110	CONTINUE	HNN 420

図 3.3 避難シミュレーションのプログラム
(HISIM-3)

ISN	LABEL	FORTRAN STATEMENT	LINE#
0045		IKC=1	HNN 430
0046		DO 700 IT=1,ITLIM	HNN 440
0047		DO 120 J=1,J	HNN 450
0048	120	PHW(J)=PH(J)	HNN 460
0049		IF (IKC.EQ.0)GO TO 605	HNN 470
0050		DO 400 I=1,I	HNN 480
0051		IF (IKI(I).EQ.1)GO TO 400	HNN 490
0052		ICNT=1	HNN 500
0053		KYMX=999	HNN 510
0054		DO 150 J=1,J	HNN 520
0055		IF (IKI(J).NE.1)GO TO 150	HNN 530
0056		KYORI=JABS(IX(J)-IX(I))+JABS(IY(J)-IY(I))	HNN 540
0057		IF (KYORI.GT.KYMX)GO TO 150	HNN 550
0058		IF (KYORI.EQ.KYMX)GO TO 140	HNN 560
0059		ICNT=1	HNN 570
0060		KYMX=KYORI	HNN 580
0061		NIGE(ICNT)=J	HNN 590
0062		GO TO 150	HNN 600
0063	140	ICNT=ICNT+1	HNN 610
0064		NIGE(ICNT)=J	HNN 620
0065	150	CONTINUE	HNN 630
0066		ICT=ICNT	HNN 640
0067		ICNT=0	HNN 650
0068		DO 300 J=1,ICT	HNN 660
0069		NG=NIGE(J)	HNN 670
0070		IF (IX(I).NE.IX(NG))GO TO 170	HNN 680
0071		IF (IY(I).GT.IY(NG))GO TO 160	HNN 690
0072		IF (ICNT.NE.0)GO TO 155	HNN 700
0073		ICNT=ICNT+1	HNN 710
0074		NHOKO(I,ICNT)=1	HNN 720
0075		GO TO 300	HNN 730
0076	155	DO 156 K=1,ICNT	HNN 740
0077		IF (NHOKO(I,K).EQ.1)GO TO 300	HNN 750
0078	156	CONTINUE	HNN 760
0079		ICNT=ICNT+1	HNN 770
0080		NHOKO(I,ICNT)=1	HNN 780
0081		GO TO 300	HNN 790
0082	160	IF (ICNT.NE.0)GO TO 165	HNN 800
0083		ICNT=ICNT+1	HNN 810
0084		NHOKO(I,ICNT)=2	HNN 820
0085		GO TO 300	HNN 830
0086	165	DO 166 K=1,ICNT	HNN 840
0087		IF (NHOKO(I,K).EQ.2)GO TO 300	HNN 850
0088	166	CONTINUE	HNN 860
0089		ICNT=ICNT+1	HNN 870
0090		NHOKO(I,ICNT)=2	HNN 880
0091		GO TO 300	HNN 890
0092	170	IF (IY(I).NE.IY(NG))GO TO 190	HNN 900
0093		IF (IX(I).LT.IX(NG))GO TO 190	HNN 910
0094		IF (ICT.NE.0)GO TO 175	HNN 920

ISN	LABEL	FORTRAN STATEMENT	LINE#
0095		ICNT=ICNT+1	HNN 930
0096		NHOKO(I,ICNT)=4	HNN 940
0097		GO TO 300	HNN 950
0098	175	DO 176 K=1,ICNT	HNN 960
0099		IF(NHOKO(I,K).EQ.4)GO TO 300	HNN 970
0100	176	CONTINUE	HNN 980
0101		ICNT=ICNT+1	HNN 990
0102		NHOKO(I,ICNT)=4	HNN 1000
0103		GO TO 300	HNN 1010
0104	180	IF(ICNT.NE.0)GO TO 185	HNN 1020
0105		ICNT=ICNT+1	HNN 1030
0106		NHOKO(I,ICNT)=3	HNN 1040
0107		GO TO 300	HNN 1050
0108	185	DO 186 K=1,ICNT	HNN 1060
0109		IF(NHOKO(I,K).EQ.3)GO TO 300	HNN 1070
0110	186	CONTINUE	HNN 1080
0111		ICNT=ICNT+1	HNN 1090
0112		NHOKO(I,ICNT)=3	HNN 1100
0113		GO TO 300	HNN 1110
0114	190	IF(IX(I).LT.IX(NG))GO TO 210	HNN 1120
0115		IF(IY(I).LT.IY(NG))GO TO 200	HNN 1130
0116		IF(ICNT.NE.0)GO TO 195	HNN 1140
0117		ICNT=ICNT+1	HNN 1150
0118		NHOKO(I,ICNT)=2	HNN 1160
0119		ICNT=ICNT+1	HNN 1170
0120		NHOKO(I,ICNT)=4	HNN 1180
0121		GO TO 300	HNN 1190
0122	195	DO 196 K=1,ICNT	HNN 1200
0123		IF(NHOKO(I,K).EQ.2)GO TO 197	HNN 1210
0124	196	CONTINUE	HNN 1220
0125		ICNT=ICNT+1	HNN 1230
0126		NHOKO(I,ICNT)=2	HNN 1240
0127	197	DO 198 K=1,ICNT	HNN 1250
0128		IF(NHOKO(I,K).EQ.4)GO TO 300	HNN 1260
0129	198	CONTINUE	HNN 1270
0130		ICNT=ICNT+1	HNN 1280
0131		NHOKO(I,ICNT)=4	HNN 1290
0132		GO TO 300	HNN 1300
0133	200	IF(ICNT.NE.0)GO TO 205	HNN 1310
0134		ICNT=ICNT+1	HNN 1320
0135		NHOKO(I,ICNT)=1	HNN 1330
0136		ICNT=ICNT+1	HNN 1340
0137		NHOKO(I,ICNT)=4	HNN 1350
0138		GO TO 300	HNN 1360
0139	205	DO 206 K=1,ICNT	HNN 1370
0140		IF(NHOKO(I,K).EQ.1)GO TO 207	HNN 1380
0141	206	CONTINUE	HNN 1390
0142		ICNT=ICNT+1	HNN 1400
0143		NHOKO(I,ICNT)=1	HNN 1410
0144	207	DO 208 K=1,ICNT	HNN 1420

ISN	LABEL	FORTRAN STATEMENT	LINE#
0145		IF(NHOKO(I,K).EQ.4)GO TO 300	HNN 1430
0146	208	CONTINUE	HNN 1440
0147		ICNT=ICNT+1	HNN 1450
0148		NHOKO(I,ICNT)=4	HNN 1460
0149		GO TO 300	HNN 1470
0150	210	IF(IY(I).LT.IY(NG))GO TO 220	HNN 1480
0151		IF(ICNT.NE.0)GO TO 215	HNN 1490
0152		ICHT=ICNT+1	HNN 1500
0153		NHOKO(I,ICNT)=2	HNN 1510
0154		ICNT=ICNT+1	HNN 1520
0155		NHOKO(I,ICNT)=3	HNN 1530
0156		GO TO 300	HNN 1540
0157	215	DO 216 K=1,ICHT	HNN 1550
0158		IF(NHOKO(I,K).EQ.2)GO TO 217	HNN 1560
0159	216	CONTINUE	HNN 1570
0160		ICHT=ICHT+1	HNN 1580
0161		NHOKO(I,ICNT)=2	HNN 1590
0162	217	DO 218 K=1,ICHT	HNN 1600
0163		IF(NHOKO(I,K).EQ.3)GO TO 300	HNN 1610
0164	218	CONTINUE	HNN 1620
0165		ICHT=ICHT+1	HNN 1630
0166		NHOKO(I,ICNT)=3	HNN 1640
0167		GO TO 300	HNN 1650
0168	220	IF(ICNT.NE.0)GO TO 225	HNN 1660
0169		ICNT=ICNT+1	HNN 1670
0170		NHOKO(I,ICNT)=1	HNN 1680
0171		ICHT=ICHT+1	HNN 1690
0172		NHOKO(I,ICNT)=3	HNN 1700
0173		GO TO 300	HNN 1710
0174	225	DO 226 K=1,ICHT	HNN 1720
0175		IF(NHOKO(I,K).EQ.1)GO TO 227	HNN 1730
0176	226	CONTINUE	HNN 1740
0177		ICHT=ICHT+1	HNN 1750
0178		NHOKO(I,ICNT)=1	HNN 1760
0179	227	DO 228 K=1,ICHT	HNN 1770
0180		IF(NHOKO(I,K).EQ.3)GO TO 300	HNN 1780
0181	228	CONTINUE	HNN 1790
0182		ICHT=ICHT+1	HNN 1800
0183		NHOKO(I,ICNT)=3	HNN 1810
0184	300	CONTINUE	HNN 1820
0185		NH(I)=ICHT	HNN 1830
0186	400	CONTINUE	HNN 1840
0187		DO 600 I=1,M	HNN 1850
0188		IF(KI(I).EQ.1)GO TO 600	HNN 1860
0189		NHW=NH(I)	HNN 1870
0190		DO 540 J=1,NHW	HNN 1880
0191		NHOK=NHOKO(I,J)	HNN 1890
0192		GO TO (520,530,540,550),NHOK	HNN 1900
0193	520	DO 525 K=1,M	HNN 1910
0194		IF(IY(I).EQ.IX(K).AND.IY(I)+1.EQ.IY(K))GO TO 526	HNN 1920

ISH	LABEL	FORTRAN STATEMENT	LINE#
0195	525	CONTINUE	HNN 1930
0196	526	HHOKO(I,J)=K	HNN 1940
0197		GO TO 540	HNN 1950
0198	530	DO 535 K=1,M	HNN 1960
0199		IF (IX(I).EQ.IX(K).AND.IY(I)-1.EQ.IY(K))GO TO 536	HNN 1970
0200	535	CONTINUE	HNN 1980
0201	536	HHOKO(I,J)=K	HNN 1990
0202		GO TO 560	HNN 2000
0203	540	DO 545 K=1,M	HNN 2010
0204		IF (IX(I)+1.EQ.IX(K).AND.IY(I).EQ.IY(K))GO TO 546	HNN 2020
0205	545	CONTINUE	HNN 2030
0206	546	HHOKO(I,J)=K	HNN 2040
0207		GO TO 560	HNN 2050
0208	550	DO 555 K=1,M	HNN 2060
0209		IF (IX(I)-1.EQ.IX(K).AND.IY(I).EQ.IY(K))GO TO 556	HNN 2070
0210	555	CONTINUE	HNN 2080
0211	556	HHOKO(I,J)=K	HNN 2090
0212	560	CONTINUE	HNN 2100
0213	600	CONTINUE	HNN 2110
0214		IKC=0	HNN 2120
0215	605	DO 650 J=1,M	HNN 2130
0216		IF (IKI(J).EQ.1)GO TO 650	HNN 2140
0217		IRJ=RH(J)	HNN 2150
0218		RYUSTS=0.0	HNN 2160
0219		DO 610 K=1,NHJ	HNN 2170
0220		NHOK=HHOKO(J,K)	HNN 2180
0221		IF (PH(NHOW).GT.MKT(NHOW))GO TO 610	HNN 2190
0222		NHO=HHOKO(J,K)	HNN 2200
0223		RYUSTS=RYUSTS+RST(J,NHO)	HNN 2210
0224	610	CONTINUE	HNN 2220
0225		IF (PH(J).LT.RYUSTS)GO TO 630	HNN 2230
0226		DO 620 K=1,NPJ	HNN 2240
0227		NHOK=HHOKO(J,K)	HNN 2250
0228		IF (PH(NHOW).GT.MKT(NHOW))GO TO 620	HNN 2260
0229		NHO=HHOKO(J,K)	HNN 2270
0230		P(NHO)=RST(J,NHO)+P(NHOW)	HNN 2280
0231		PH(J)=PH(J)-RST(J,NHO)	HNN 2290
0232	620	CONTINUE	HNN 2300
0233		GO TO 650	HNN 2310
0234	630	PHWK=PH(J)	HNN 2311
0235		DO 640 K=1,NHJ	HNN 2320
0236		NHOK=HHOKO(J,K)	HNN 2330
0237		IF (PH(NHOW).GT.MKT(NHOW))GO TO 640	HNN 2340
0238		NHO=HHOKO(J,K)	HNN 2350
0239		P(NHO)=PHWK*RST(J,NHO)/RYUSTS+P(NHOW)	HNN 2360
0240		PH(J)=PH(J)-PHWK*RST(J,NHO)/RYUSTS	HNN 2370
0241	640	CONTINUE	HNN 2380
0242	650	CONTINUE	HNN 2390
0243		DO 660 J=1,M	HNN 2400
0244	660	PH(J)=PH(J)+P(J)	HNN 2410

ISR	LABEL	FORTRAN STATEMENT	LINE#
0245		IF (MD,EO,0) GO TO 671	HNN 2411
0246		IF (MOD(IT,MD),NE,0) GO TO 671	HNN 2412
0247		WRITE(6,665) IT	HNN 2420
0248	665	FORMAT(1H1,2H5=,I6)	HNN 2430
0249		WRITE(6,670) (J,PH(J),J=1,M)	HNN 2440
0250	670	FORMAT(1H ,2H5=,I5,2X,6HMINZU=,F12.2)	HNN 2450
0251	671	IF (MP,EP,0) GO TO 672	HNN 2451
0252		IF (MOD(IT,MP),NE,0) GO TO 672	HNN 2452
0253		CALL HPRM1(IT)	HNN 2460
0254	672	IF (MP2,EO,0) GO TO 673	HNN 2461
0255		IF (MOD(IT,MP2),NE,0) GO TO 673	HNN 2462
0256		CALL HPRM2(IT)	HNN 2470
0257	673	IF (NP,EO,0) GO TO 675	HNN 2480
0258		IF (MOD(IT,NP),NE,0) GO TO 675	HNN 2481
0259		CALL HPRM1(IT)	HNN 2490
0260	675	CONTINUE	HNN 2500
0261		DO 680 J=1,M	HNN 2510
0262		IF (PH(J),GT,0.000001) GO TO 685	HNN 2520
0263	680	CONTINUE	HNN 2530
0264		GO TO 710	HNN 2540
0265	685	DO 690 J=1,M	HNN 2550
0266		IF (PH(J),LT,MKT(J)) GO TO 690	HNN 2560
0267		IKI(J)=0	HNN 2570
0268		MKT(J)=MKT(J)+M5*DRITSU(I)*TRITSU	HNN 2580
0269		IKC=1	HNN 2590
0270	690	CONTINUE	HNN 2600
0271		DO 695 J=1,M	HNN 2610
0272	695	P(J)=0.0	HNN 2620
0273	700	CONTINUE	HNN 2630
0274		WRITE(6,705)	HNN 2640
0275	705	FORMAT(1H1,20H11NAN GERKAI O KOETA)	HNN 2650
0276		GO TO 800	HNN 2660
0277	710	WRITE(6,720) IT	HNN 2670
0278	720	FORMAT(1H1,10H11NAN KAHRYO JIKAN=,I6,3HMIN)	HNN 2680
0279	800	STOP	HNN 2690
0280		END	HNN 2700

<注> プログラムに用いた記号

P :	メッシュ内の人口	(人)
PH :	避難人口	(人)
AKUCHI :	安全空地面積	(m^2)
DRITSU :	道路率	(%)
DHABA :	メッシュ内各方向道路巾	(m)
PHW :	ワークエリア	
IKI :	安全域インディケータ (1.0ならば安全域)	
NIGE :	メッシュに1番近い安全域	
IC :	1番近い安全域の数	
RST :	単位時間当り流出人数 (人/分)	
IX, IY :	メッシュの座標	
NHOKO :	逃げるべき方向	
	(1;北, 2;南, 3;東, 4;西)	
NH :	逃げるべき方向の数	
MKT :	メッシュ内の滞留可能人口 (人)	
NHOKOW :	逃げるべきメッシュの番号	
M :	メッシュの数	
TMITSU :	滞留密度	(人/ m^2)
SMITSU :	収容密度	(人/ m^2)
RYURYO :	流出係数	(人/分 $\cdot m$)
ITLIM :	避難限界時間	(分)
MS :	メッシュの面積	(m^2)

T= 0

```
+ .....+
.....
..10000.
.1.....
+-----+
.....I I.....
..10000I 9900I,10000.
.2.....I3 I4.....
+-----+-----+-----+.....+
I I I I.....
I 9900I 9900I 9900I,10000.
I5 I6 I7 I8.....
+-----+-----+-----+.....+
I I.....I I I.....
I 9900I.....I 9900I 9900I,10000.
I9 I10.....I11 I12 I13.....
+-----+-----+-----+.....+
I I.....I I I.....
I 9900I,10000I 9900I 9900I,10000.
I14 I15.....I16 I17 I18.....
+-----+-----+-----+.....+
I I I I I.....
I 9900I 9900I 9900I 9900I,10000.
I19 I20 I21 I22 I23.....
+-----+-----+-----+.....+
I I I I.....
I 9900I 9900I 9900I,10000.
I24 I25 I26 I27.....
+-----+-----+-----+.....+
.....I I.....
..10000I 9900I,10000.
.28.....I29 I30.....
+-----+-----+-----+
.....
..10000.
.31.....
+-----+
```

図 3.4 シミュレーションの結果
初期状態(その1)

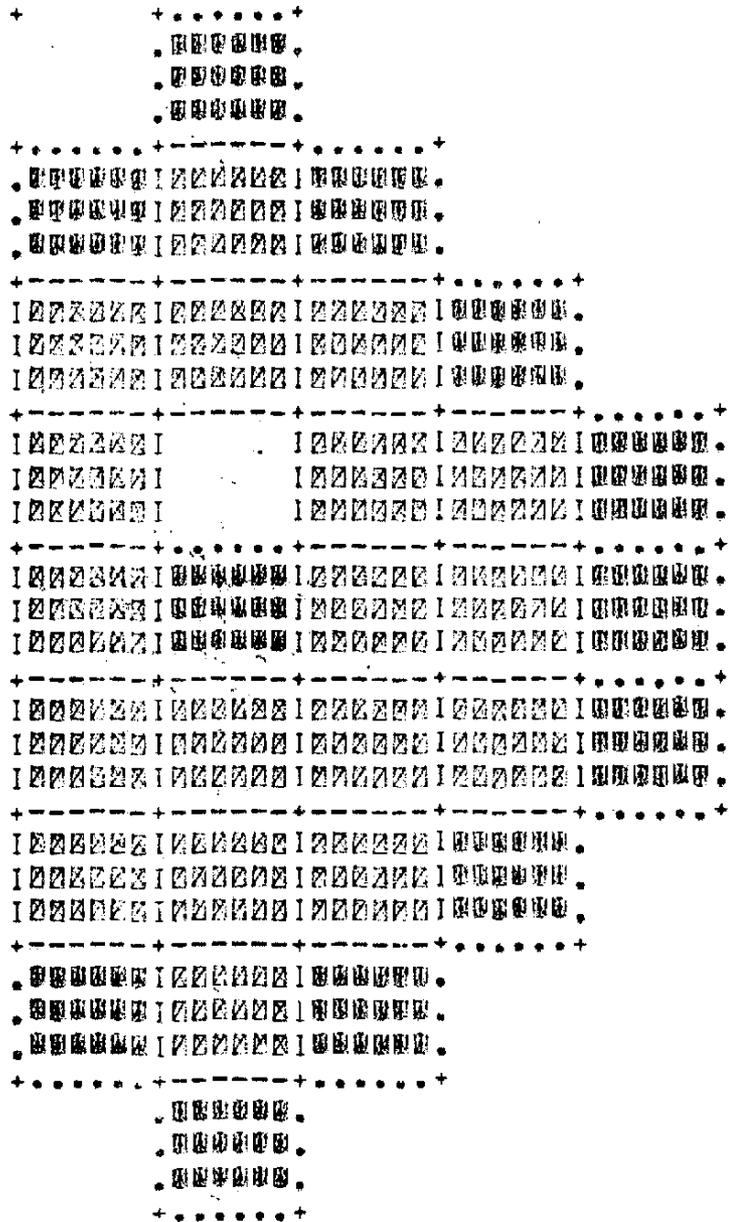


図 3.5 シミュレーションの結果

初期状態 (その2)

T= 12

```

+ .....+
. ....
.14041.
.1.....
+ .....+-----+ .....+
. ....I      I .....
.26041I      I.21216.
.2.....I3    I4.....
+-----+-----+ .....+
I      I      I      I .....
I 3091I      I      I.23237.
I5      I6      I7      I8.....
+-----+-----+-----+ .....+
I      I      I      I      I .....
I      I      I      I      I.16062.
I9      I10      I11      I12      I13.....
+-----+-----+-----+ .....+
I      I.....I      I      I .....
I 4166I.56416I 2600I      I.19900.
I14      I15.....I16      I17      I18.....
+-----+-----+-----+ .....+
I      I      I      I      I .....
I      I 6150I      I      I.16187.
I19      I20      I21      I22      I23.....
+-----+-----+-----+ .....+
I      I      I      I .....
I 3675I      I      I.23612.
I24      I25      I26      I27.....
+-----+-----+ .....+
. ....I      I .....
.23000I      I.23112.
.28.....I29      I30.....
+ .....+-----+ .....+
. ....
.15687.
.31.....
+ .....+

```

図 3.6 シミュレーション結果
T=12の時(その1)

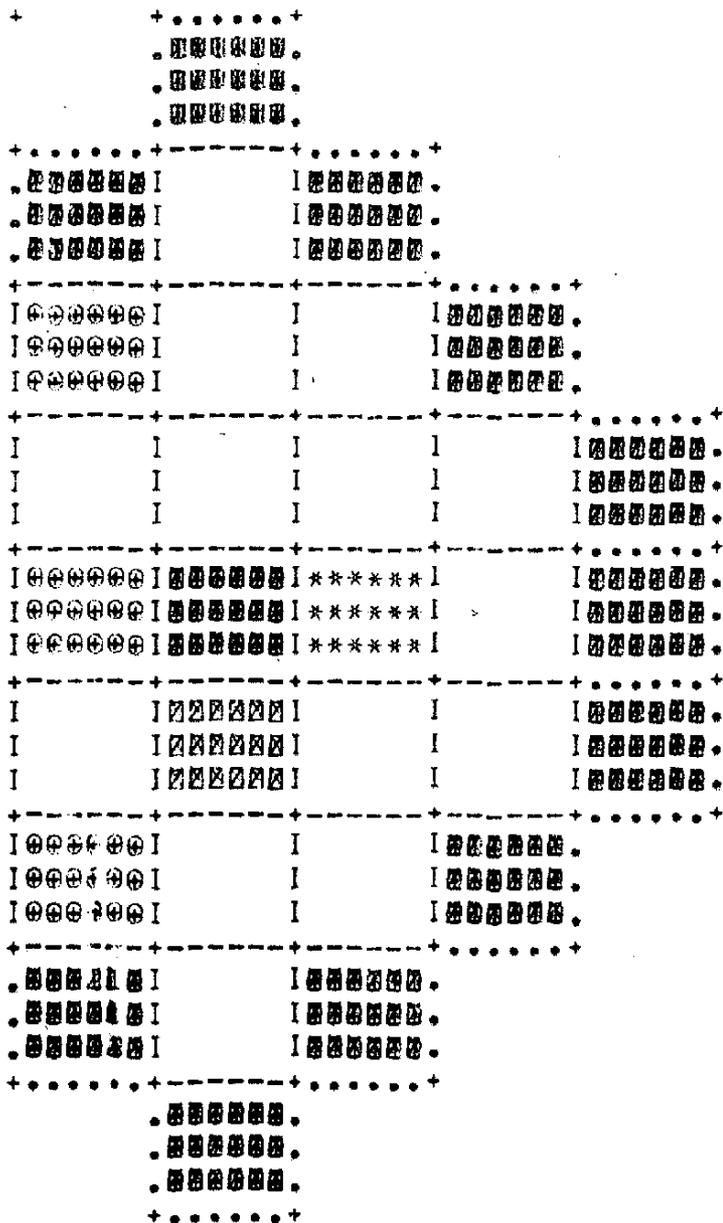


図 3.7 シミュレーション結果
T=12の時(その2)

参 考 文 献

1. 日本科学技術研修所；「メッシュ・データによる地域計画等の計量化に関する調査報告書」 S 4 5. 3
2. 総理府統計局；「国土実態総合統計の開発・整備に関する研究報告」
S 4 6
3. 建設省国土地理院；「メッシュマップに関する調査報告書Ⅱ」 S 4 5. 2
4. UG都市設計；「メッシュ・データ・システム」 S 4 6. 1 1
5. 日本科学技術連盟；「メッシュ・データの基礎」
6. 大阪市総合計画局；「大阪市土地利用計画策定システム開発」
S 4 7. 5, S 4 8. 3
7. 総理府統計局；「地域メッシュ統計地図・近畿・中京圏（昭和45年国勢調査結果）」 S 4 7
8. C. スタイニッツ＋P. ロジャーズ；「A Systems Analysis Model of Urbanization and Change」 1 9 7 0
邦訳「都市環境のシステム分析」

組合せ情報数学に基づく I R システムの基礎理論

共同研究者 広島大学

◎山本純恭, 浜田 昇

池田秀人, 重枝新成

王利文和

新居浜工専

潮 和彦

早稲田大学

高橋磐郎, 加藤一郎

藤原良叔, 米田 清

東京芝浦電気株式会社

中野博信, 鶴本良夫

古川博之

はじめに

この報告書は日本情報開発協会より, 第2回研究奨励金を授与され昭和47年11月末より現在まで当グループで研究してきた組合せ情報数学に基づく, 情報検索システムの基礎理論の中間報告である。

これまでの研究成果を以下の3つのテーマに分けて報告する。

1. CR性をもつIRシステムの基礎理論
2. 改良型NBFS(HUBFS)に基づくIRシステムの構成理論。
3. BFS(2)に基づくファイリングの基礎理論とそのパイロット・システム。

1. CR性をもつIRシステムの基礎理論

IBMのGhosh(1970, 71, 72)はレコードの集合Rを適当な順序に配列した系列 R_1 を作るとき、質問の集合Bのどの質問に対しても、それに該当するレコードが R_1 の中で一連に配列されているようにできるとき、RはBに対して一連検索可能性(CR性)をもつと定義した。たしかにこのような配列が可能であれば、検索時間のもっとも短いファイルが構成される。

このことはBが1つの質問 q_1 からなりたっているときは、 q_1, q_1^c に該当するレコードの集合を R_1, R_0 とし、系列 $R_1 = (R_1)$ を作ればよい。なお、各質問についてこのような配列を作るとは、転置ファイルの思想である。

Bが2つの質問 q_1, q_2 からなりたっているとき、 $q_1 \cap q_2^c, q_1 \cap q_2, q_1^c \cap q_2, q_1 \cap q_2^c$ に該当するレコードをそれぞれ $R_{10}, R_{11}, R_{01}, R_{00}$ とし、 R_{00} を除いて残りをこの順序に配列して $R_1 = (R_{10}, R_{11}, R_{01})$ を作れば、 q_1 に対しては配列 R_{10}, R_{11} が該当し、 q_2 に対しては R_{11}, R_{01} が該当するからたしかにCR性をもつファイルである。なお、この際Bの中に質問 $q_1 \cap q_2$ を加えても、該当するレコードは R_{11} であって、一連に配列されているからRはBに関してCR性をもつ、この場合、 q_1, q_2 に対して個別に転置ファイルを作る場合にくらべて、 $q_1 \cap q_2$ に該当するレコードの収納される回数が $\frac{1}{2}$ になることをあわせ考えると、ファイルの冗長度が低減される。

しかし、Bが3つ以上の質問を含むとき、このような都合のよい配列を作るとは、一般に可能ではない。すなわち3つの質問 q_1, q_2, q_3 を考え、 $q_1 \cap q_2, q_1 \cap q_3, q_2 \cap q_3$ に該当するレコード r_{12}, r_{13}, r_{23} がRの中に含まれていると、レコードの質問の結合行列

$$\begin{array}{c} \\ \\ \\ \end{array} \begin{array}{ccc} q_1 & q_2 & q_3 \\ \left(\begin{array}{ccc} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{array} \right) \end{array}$$

をみれば、 R の順序をどのように配列しても、CR性をもつ配列が得られないことがわかる。

Ghosh は、4項目からなる2値のレコードすなわち各項目について該当すれば1、しなければ0とする $(0, 1)$ ベクトル $(\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4)$ ($\delta_i = 1$ or 0 ($\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4) \neq (0, 0, 0, 0)$)の全体について、2値の質問すなわち質問に含まれる項目を1、含まれない項目を x とするベクトル全体 $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4)$ ($\varepsilon_i = 1$ or x , $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4) \neq (x, x, x, x)$)を考えると、質問を3つのバケツに分割し、それぞれがCR性をもつようにできることを示した。

B_1

レコード \ 質問	質問					
	1xxx	11xx	111x	1111	1x1x	1x11
(1000)	1	0	0	0	0	0
(1001)	1	0	0	0	0	0
(1010)	1	0	0	0	1	0
(1011)	1	0	0	0	1	1
(1111)	1	1	1	1	1	1
(1110)	1	1	1	0	1	0
(1100)	1	1	0	0	0	0
(1101)	1	1	0	0	0	0

B₂

質問 レコード	$x1xx$	$x1x1$	$11x1$	$xxx1$	$1xx1$
(0100)	1	0	0	0	0
(0110)	1	0	0	0	0
(1100)	1	0	0	0	0
(1110)	1	0	0	0	0
(0101)	1	1	0	1	0
(0111)	1	1	0	1	0
(1101)	1	1	1	1	1
(1111)	1	1	1	1	1
(1001)	0	0	0	1	1
(1011)	0	0	0	1	1
(0001)	0	0	0	1	0
(0011)	0	0	0	1	0

B₃

質問 レコード	$xx1x$	$x11x$	$x111$	$xx11$
(0010)	1	0	0	0
(1010)	1	0	0	0
(0011)	1	0	0	1
(1011)	1	0	0	1
(0111)	1	1	1	1
(1111)	1	1	1	1
(0110)	1	1	0	0
(1110)	1	1	0	0

われわれは、まず k 項目に関する 2 値のレコードの全体 $R^{(k)}$ と 2 値の質問の全体 $Q^{(k)}$ について、CR 性をもつバケツに含まれる質問の数の可能な最大個数 b_k を求め、 $b_k = 2k - 1$ であることを証明した。

つぎに、 $Q^{(k)}$ を CR 性をもつバケツに分割する問題 (CR 分割とよぶ) をとりあげ、分割数の最小値 P_k の下限を求め

$$P_k \geq \left\lceil \frac{\binom{k}{\lfloor \frac{k}{2} \rfloor} + 1}{2} \right\rceil$$

を得た。下限 t_k の数値例は下記の通りである。

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_k	1	1	2	3	5	10	18	35	63	126

つぎに、下限を与える CR 分割が可能かどうか？、そのよう分割を与えるアルゴリズムはどうか？ の問題を取りあげた。その結果、現在までに解明し得たところによると、 $k \leq 6$ については、最大バケツを軸として項目に適当な置換を施すことにより、下限を与える最小分割を生成することが可能であることが判明した。このことが一般になりたつという強い予想をもっている。

2. 改良型 NBFS (HUBFS) に基づく IR システムの構成理論

D. K. Chow ((1969)) は Abraham, Ghosh and Raychaudhuri ((1968)) の提案した BFS に対して NBFS (New balanced filing schemes) を提唱し、(1) BFS は有限体 (ガロア体) 上の幾何学を基礎として構成されるものであるから、項目数、バケツの大きさ等に制約が多いが、NBFS にはその制約がないこと、および (2) BFS ではバケツの番地を見出すために有限体上の連立方程式を解く必要があるが NBFS ではきわめて簡単な式によりバケツの番地を決定することができるとしている。

2 項目検索 (質問の指定する項目の数が 2 の場合) についてもっとも簡単な

例で両者を比較してみよう。いま項目の数 $\ell = 7$ 、パケットの含む質問の数 $C = 3$ の場合を考える。

BFS では 7 個の点 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 からなる有限射影平面を考え、その上の 7 本の直線 (それぞれ 3 点からなる) をパケットに対応させることにより、下表のような $\binom{7}{2} = 21$ 個の質問を 3 個ずつセットしてパケットが構成される。

パケット番号	直線上の点	質問のセット ($C=3$)
B_1^*	{ 1, 2, 4 }	{ (1, 2), (1, 4), (2, 4) }
B_2^*	{ 2, 3, 5 }	{ (2, 3), (2, 5), (3, 5) }
B_3^*	{ 3, 4, 6 }	{ (3, 4), (3, 6), (4, 6) }
B_4^*	{ 4, 5, 7 }	{ (4, 5), (4, 7), (5, 7) }
B_5^*	{ 5, 6, 1 }	{ (5, 6), (5, 1), (6, 1) }
B_6^*	{ 6, 7, 2 }	{ (6, 7), (6, 2), (7, 2) }
B_7^*	{ 7, 1, 3 }	{ (7, 1), (7, 3), (1, 3) }

一方 NBFS では質問 (i_1, i_2) はつねに $i_1 < i_2$ と仮定し、 ℓ 進数 $i_1 i_2 = i_1 \ell + i_2$ を対応させその大小の順 $\binom{\ell}{2}$ の質問を配列する。すなわち $\ell = 7$ のとき、

(1, 2) (1, 3) (1, 4) (1, 5) (1, 6) (1, 7) →
 → (2, 3) (2, 4) (2, 5) (2, 6) (2, 7) →
 → (3, 4) (3, 5) (3, 6) (3, 7) →
 → (4, 5) (4, 6) (4, 7) →
 → (5, 6) (5, 7) →
 → (6, 7)

とする。Chow の与えた式によると質問 (i, j) が上記順序づけで何番目であるかは容易に求まる。そこで Chow は $C = 3$ 個の質問のセットをこの順序に従って先頭から 3 個ずつまとめる方法を提案した。それによると

バケツ番号

質問のセット

B_1	$\{(1, 2), (1, 3), (1, 4)\}$
B_2	$\{(1, 5), (1, 6), (1, 7)\}$
B_3	$\{(2, 3), (2, 4), (2, 5)\}$
B_4	$\{(2, 6), (2, 7), (3, 4)\}$
B_5	$\{(3, 5), (3, 6), (3, 7)\}$
B_6	$\{(4, 5), (4, 6), (4, 7)\}$
B_7	$\{(5, 6), (5, 7), (6, 7)\}$

となる。

BFSでは質問のセット数 $C=3$ の場合のほか $C = \binom{8}{2}$ の型の場合に限り作ることができるが、その場合も項目数 l に相当の制限がつく欠点がある。しかしNBFSなら $C=4$ の場合でも $\binom{l}{2}$ が4でわり切れるかぎり、簡単にバケツが作れるというのがChowの主張の1つである。

したがってChowの主張する長所は(1)については制約が少ないとよみかえて同意できる。しかし、(2)については必ずしも同意できない。計算式の単純か複雑かの相違は計算機を用いるファイルシステムでは入出力に要する時間との比較においてほとんど問題にする必要がないと思われるからである。

むしろわれわれはChowのNBFSの特色は、レコードの分布の一様性を仮定した場合の平均重複収納数すなわち redundancy (冗長度) が同じパラメーターをもつBFSに比べて小さいという点にあると考える。

上記の例でChowの指摘するように、BFSの各バケツの冗長率(任意のレコードがそのバケツに収納される確率)はすべて $\frac{1}{2}$ であり、各レコードの平均重複収納数は $\frac{1}{2} \times 7 = 3.5$ であるが、NBFSでは B_1, B_2, B_3, B_5, B_6 の冗長率は $\frac{7}{16}$ で $\frac{1}{2}$ より小さく、 B_7 はBFSのバケツと同じく $\frac{1}{2}$ である。また B_4 は $\frac{17}{32}$ で $\frac{1}{2}$ より大きい。しかし、全体の冗長度は 3.2 となりBFSの 3.5 より小さい。また他の多くの例が示すようにNBFSの平均冗長率はBFSのそれより小さい。この意味でもNBFSはすぐれているといえる。

しかしながら、Chow の与えた N B F S は上記の例の示すようにバケツの構造が均一ではない。したがって、期待の冗長率を達成するためにサブバケツを構成する場合、B F S の場合のように統一かつ単純でないためのトラブルがさけられない。これは実用上の大きな障害である。

われわれは、冗長率が小さくなるという長所を生かし、かつ均一のバケツ構造をもつ N B F S を構成する可能性を追求して当面 2 項目検索の場合に限定し

- (1) バケツ型による冗長率の変化と、最小の冗長率を与えるバケツ型の決定
- (2) 最小の冗長率を与えるバケツのみで均一に分割された N B F S の構成法 (H U B F S とよぶ)

(3) 種々のパラメーターに対する B F S と H U B F S の優劣の比較を行なった。

詳細は省略して結論を要約すると

(1) C 個の 2 項目を含むバケツは、それを含む各項目を点、2 項目質問を 2 点を結ぶ C 本の線とする孤立した点のないグラフとみなすことができる。この多様なバケツは、Claw (ケツメ) 型 (1 点と C 点からなる完全 2 組グラフ $K(1, C)$) であることが証明された。

なお、B F S₂ のグラフは、s 点からなる完全グラフ K_s であって、2 項目の質問を $C = \binom{s}{2}$ 組合んでいることになる。

多項目質問を C 個含むバケツについても、拡張された Claw 型が最小の冗長率をもつことが判明した。

(2) ℓ 項目からなる 2 値のレコードに対する $\binom{\ell}{2}$ 組の 2 項目の質問を C 個ずつ集めてすべてを Claw 型にすること (Claw 分割) の可能性について、 $\binom{\ell}{2}$ が C の倍数であり、かつ $\ell \geq 2C$ であるとき、かつそのときに限り可能であることが証明された。

(3) B F S₂ と H U B F S₂ のパラメーターを、冗長率、チェイニング回数の上から比較するとつぎのようになる。

S	C	R _B	R _H	S _B	S _H	C _B	C _H
1	3	.5	.4375	4	7	2	4
2	6	.6875	.4922	11	63	4	32
3	10	.8125	.4995	26	1023	8	512
4	15	.8906	.5000	57	32767	16	16384
5	21	.9375	"	120	2097151	32	.
6	28	.9649	"	247	.	64	.
7	36	.9805	"	502	.	128	.
8	45	.9893	"	1013	.	256	.
9	55	.9941	"	2036	.	512	.
10	66	.9968	"	4083	.	.	.
11	78	.9983	"	8178	.	.	.
12	91	.9991	"	.	.	.	.
13	105	1.0000	"	.	.	.	.

冗長率 (R), サブパケット数 (S), チェイニング回数 (C)

3. BFS (2)に基づくファイリングの基礎理論とそのパイロット・システム

§ 1 キーワード型のファイル

各情報単位がいくつかのキーワードによって特徴づけられているようなデータ構造をキーワード型といい、ここではキーワード型のみを考える。

情報単位全体の集合を $U = \{u_1, u_2, \dots, u_N\}$, キーワード全体の集合を, $\Omega = \{w_0, w_1, \dots, w_{v-1}\}$ とし, u_j を特徴づけるキーワードの集合を $A_j (\subseteq \Omega)$ とする ($1 \leq j \leq N$)。これらの情報をたとえば表 1 のようにならべるとき, これはもっとも原始的な一つのファイルである。

表 1 のようなファイルがあったとき, たとえば, w_{i1}, \dots, w_{it} をもつような情報単位をすべてアウトプットする, つまり

$$A_j \Rightarrow \supseteq \{w_{i1}, \dots, w_{it}\} = \Gamma (\subseteq \Omega) \quad (1)$$

とするすべての u_j をアウトプットすることが質問 Γ に対する検索である。t 個のキーワードかならる質問を t 次の質問という。

表1 $\Omega = \{w_0, w_1, \dots, w_6\}$

u_j	
u_1	w_1, w_3
u_2	w_2, w_4, w_6
u_3	w_2
u_4	w_1, w_4
u_5	w_0, w_3
u_6	w_1, w_2
u_7	w_0, w_5
u_8	w_2, w_4, w_5
u_9	w_0, w_3, w_4, w_5
u_{10}	w_1, w_5, w_6
\vdots	\vdots

表2 完全転置方式

w_0	\dots
w_1	\dots
w_2	$u_3 \dots$
w_3	\dots
w_4	\dots
w_5	\dots
w_6	\dots
w_0, w_1	\dots
w_0, w_2	\dots
w_0, w_3	$u_5 \dots$
w_0, w_4	\dots
w_0, w_5	\dots
w_1, w_2	\dots
w_1, w_3	\dots
w_1, w_4	$u_4 \dots$
\vdots	\vdots
w_5, w_6	$u_{10} \dots$
w_0, w_1, w_2	\dots
w_0, w_1, w_3	\dots
\vdots	\vdots
u_4, w_5, w_6	\dots
\vdots	\vdots

表4 2次転置方式

w_0, w_1	\dots
w_1, w_2	$u_6 \dots$
w_2, w_3	\dots
w_3, w_4	$u_9 \dots$
w_4, w_5	$u_8 \dots$
w_5, w_6	$u_{10} \dots$
w_6, w_0	$u_9 \dots$
w_0, w_2	\dots
w_1, w_3	$u_1 \dots$
w_2, w_4	$u_2, u_8 \dots$
w_3, w_5	\dots
w_4, w_6	$u_2, u_9 \dots$
w_5, w_0	$u_7 \dots$
w_6, w_1	$u_{10} \dots$
w_0, w_3	$u_5, u_9 \dots$
w_1, w_4	$u_4 \dots$
w_2, w_5	$u_8 \dots$
w_3, w_6	$u_9 \dots$
u_4, w_0	$u_9 \dots$
w_5, w_1	$u_{10} \dots$
w_6, w_2	$u_2 \dots$

表3 1次転置方式

w_0	$u_5, u_7, u_9 \dots$
w_1	$u_1, u_4, u_6, u_{10} \dots$
w_2	$u_2, u_3, u_6, u_8 \dots$
w_3	$u_1, u_5, u_9 \dots$
w_4	$u_2, u_4, u_8, u_9 \dots$
w_5	$u_7, u_8, u_{10} \dots$
w_6	$u_2, u_9, u_{10} \dots$

§ 2 転置方式

表1のまま検索を行うには走査を行わねばならない。しかし表1を逆にして表2のようにストアしておけば検索が直接行える。表2で $w_i, w_i w_j$ など は情報単位をまとめて入れておくアドレスであり、このひとまとまりをバケツと呼ぶ。表2のような方式を完全転置方式と呼ぶことにする。

これに対する検索はたとえばつぎのようにすればよいだろう、まず各バケツのアドレスをたとえば

$$\begin{matrix}
 w_6 & w_5 & w_4 & w_3 & w_2 & w_1 & w_0 \\
 w_2 & w_3 & w_6 & - & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0
 \end{matrix} \quad (2)$$

のごとく (w_i があれば第 $i+1$ 桁を1なければ0とする) 2進数にコード化しておき、たとえば、 $\Gamma = \{w_2, w_4\}$ の質問がくれば

$$\{x_6 \ x_5 \ 1 \ x_3 \ 1 \ x_1 \ x_0 : 0 \leq x_0, x_1, x_3, x_5, x_6 \leq 1\}$$

なるすべてのコードに対するバスケット内の情報単位をアウトプットする。

完全転置方式の第1の難点は；普通バケットの総数 2^V に比べて情報単位の総数 N がきわめて小さく空席のバケットが多くなって効率が悪いこと，第2の難点は；普通情報単位全体がテープまたはディスクなどの記憶装置にストアされており，一つの質問に該当する情報単位が散在しているための検索の時間が長くなることである。

そこでまず一次の転置方式なるものが考えられる。これはキーワード1語からなるバケット W_0, W_1, \dots, W_{V-1} (これらを1次のバスケットと呼ぶ)のみを考え， $A_j \cap W_i$ なるすべての U_j を W_i にストアする方式(表3)である。これによれば完全転置方式の難点は一応除かれるが，2次以上の質問，たとえば $\Gamma = \{W_i, W_j\}$ がくると，バケット W_i 中の情報単位とバケット W_j 中のものとを両方出して，その共通部分をとるといふ走査を行わねばならないため，検索の時間がかかる。

そこでさらに2次の転置方式なるものが考えられる。これは表3のほか2次のバケット全体(表4)を考え，バケット $W_i W_j$ には $\{W_i W_j\} \subseteq A_{ij}$ なるすべての U_{ij} をストアする方式である。こうすれば2次以下の質問には即座に答えられるが，3次以上にはやはり走査が必要である。こうして理論的には3次，4次……の転置方式が必要となるが実用上ほとんど2次までが限度とみられる。

ところで1次，2次の転置方式は，同一の情報単位をいくつかのバケットにストアすることになる(表3，表4)。1つの情報単位が平均何回ストアされているかという平均ストア回数を冗長度という。

冗長度を求めるためには，各キーワードが対象全体にどのように分布しているかを示す確率分布が与えられてなければならぬ。任意に選んだ一つの情報単位が W_i をもつ確率を P_i とするとき，いまは一様性

$$P_i = P \quad (0 \leq i \leq V-1) \quad (4)$$

および独立性，つまり W_i, W_j, W_k, \dots を同時にもつ確率が $P_i P_j P_k$

………，を仮定する。

§ 3 新しいファイリングシステムの発想

完全転置方式の難点を除き，しかも2次転置方式と同等の検索特性（つまり2次以下の質問には即座に答えうる）をもち，冗長度が2次の転置方式より少なくなるように工夫されたものが新しいファイリング方式である。これには，いまのところR. C. Bose，他によるBFS（balanced filing system）（とくに2次のシステムという意味で，BFS（2）と書くことがある）山本純恭教授によるHUBFS（→本報告2.）とが考えられている。

いずれもファイル全体を b 個のブロックに細分し，各ブロック内では完全転置方式（ないしはこれに順ずる，冗長度1の方式）を用いるものとみることができる。この際各ブロック内でのバケットに空席ができることをされることを主として目的としたものがBFSであり，一つのブロック内の情報単位の数があまり多くならないことを主たる目的としたのが，HUBFSであると考えられる。

分割数 b が一定という条件の下で冗長度が最小となるものがHUBFSであり，一つのブロック内に含まれるキーワード数 k が一定の下で冗長度が最小となるものがBFSである。

§ 4 B I B

BFSの基本となる概念はBIB（balanced incomplete block）であるから，まずこれについて簡単にのべる。 Ω をキーワードの集合とし，その部分集合 B_j の集り $B = \{ B_1, \dots, B_b \}$ でつぎの条件をみたすものをBIBという；

$$| B_j | = k \quad (7),$$

$$| \{ \ell : B_\ell \ni w_i, 1 \leq \ell \leq b \} | = r \quad (8),$$

$$| \{ \ell : B_\ell \ni w_i, w_j, i \neq j, 1 \leq \ell \leq b \} | = \lambda \quad (9),$$

(ここで $|A|$ は集合 A の元を示す。)

表5に簡単なBIBを示す。(今後 W_1 を単に i と書く)。上の条件のうち(9)がBIBをもっとも特徴づけるもので、これなどの2つのキーワードをとってもそれを共通に含む B_j が丁度 λ 個あることを示している。

$B = \{ \emptyset \}$ は $b=1, k=v, r=\lambda=1$ なるBIBで、これを trivial BIB という。また B として \emptyset の各元を2つとった組合せ全体

を考える、とこれは $k=2, b=vC_2, \lambda=1$ なるBIBとなり、これを完全BIBという。この両極端の間にあるBIBをとることが実質的な意味をもたらす。

なお、ファイリングに用いるBIBはすべて $\lambda=1$ の場合に限られるから今後とくにことわらないときは $\lambda=1$ である。残りのパラメタ v, k, r, b には

$$vr=bk, v-1=r(k-1) \quad (10)$$

なる関係があるから、このうち2つ v, k を定めると後は定まる。任意に与えた v, k に対して(10)の整数解 r, b があつたとしてもBIBが存在するとは限らない。

§5 BFSの構造

$\lambda=1$ のBIB, $B = \{ B_1, \dots, B_b \}$ があるとき、各 B_j に対して、この中で完全転置方式を適用するというのが、BFSの原則である。

表5に対するBFSをつくると、たとえば $B_1 = \{ 0, 1, 3 \}$ に対しては、その部分集合、 $013, 01, 03, 13, 0, 1, 3$ がそれぞれバケットとなるが、こうすると1次のバケットには他のブロックに属するものと重複するものが出てくる。たとえば0なるバケットは B_5 や B_7 にも含まれる。

この重複をさけるためつぎのルールを採用するのが普通である [1] ;

表5 簡単なBIB
 $v=b=7, \lambda=1$
 $k=r=3$

B_1	0	1	3
B_2	1	2	4
B_3	2	3	5
B_4	3	4	6
B_5	4	5	0
B_6	5	6	1
B_7	6	0	2

$B_j \ni i, i+1$ のときのみ
 i なるバケットを B_j に属させる) (11)

($i = v - 1$ のとき $i + 1 = 0$ とする)

このルールにもとづいて表5のBIBに対するBFSのバケットをつくったものを表6に示す。さらに同じ $\Omega = \{ 0, 1, \dots, 6 \}$ に対する完全BIBから作られるBFSを表7に示す。これは2次の転置方式とほぼ同じものであるがある意味の改良型になっている。

〔ストアルール〕もBFSの原則から自然に定まるが、具体的にいうと、各 $B_j \in B$ に対して、

$A_i \cap B_j$ が B_j 中のバケットのどれか Γ_j と一致するときのみ
 u_i を Γ_j にストアする。) (12)

このルールにもとづいて表6, 表7に表1のデータがストアされている。

〔検索ルール〕2次の質問 $\Gamma = \{ m, n \}$ が与えられると $\Gamma \subseteq B_j$ となる B_j は ($\lambda = 1$ のBIBの性質から) ただ一つ定まるが、この B_j に対して完全転置方式の検索方式を適用すればよい。1次の $\Gamma = \{ m \}$ に対しては、 $\{ m, m + 1 \} \subseteq B_j$ なる B_j について同一のことを行えばよいことは(11)から明らかである。

たとえば $\Gamma = \{ 2, 6 \}$ なら表6では B_7 が定まり、したがって62, 602なるバケット中にある情報単位をすべてアウトプットすればよい。

また、 $\Gamma = \{ 2 \}$ なら $\{ 2, 3 \}$ から B_3 が定まり、したがって2, 25, 235なるバケット内のものをすべてアウトプットすればよい。

以上の検索、ストアともに、任意の2つのキーワード i, j を与えたとき、 $\{ i, j \} \subseteq B_\ell$ となるブロック B_ℓ を求めることが基本となっているが、このアルゴリズムについてわれわれのパイロットシステムではいろいろな工夫がなされている。ここでは、その詳細は省略するが、いずれにせよ、表の走査はなしにきわめて短時間に処理することができることのみをのべておこう。

表6 BFS.

B ₁	0 1 3	
	0 1	
	0 3	U ₅ , U ₉ .
	1 3	U ₁₀ .
	0	U ₇ .
B ₂	1 2 4	
	1 2	U ₆ .
	1 4	U ₄ .
	2 4	U ₂ , U ₈ .
	1	U ₁ , U ₁₀ .
B ₃	2 3 5	
	2 3	
	2 5	U ₈ .
	3 5	
	2	U ₂ , U ₆ , U ₆ .
B ₄	3 4 6	U ₉ .
	3 4	
	3 6	
	4 6	U ₂ ,
	3	U ₁ , U ₅ .
B ₅	4 5 0	
	4 5	U ₈ .
	4 0	U ₉ ,
	5 0	U ₇ ,
	4	U ₄ .
B ₆	5 6 1	U ₁₀ .
	5 6	
	5 1	
	6 1	
	5	
B ₇	6 0 2	
	6 0	U ₉ ,
	6 2	U ₂ ,
	0 2	
	6	U ₁₀ .

表7 Z次転置方式(改良)

B ₁	0 1	
	0	U ₅ , U ₇ , U ₉ .
B ₂	0 2	
B ₃	0 3	U ₅ , U ₉ .
B ₄	0 4	U ₉ .
B ₅	0 5	U ₇ .
B ₆	0 6	U ₉ ,
	6	U ₂ , U ₁₀ .
B ₇	1 2	U ₆ .
	1	U ₁ , U ₄ , U ₁₀ .
B ₈	1 3	U ₁ ,
B ₉	1 4	U ₄ ,
B ₁₀	1 5	U ₁₀ ,
	1 6	U ₁₀ .
B ₁₂	2 3	
	2	U ₂ , U ₃ , U ₆ , U ₈ .
B ₁₃	2 4	U ₂ , U ₈ .
B ₁₄	2 5	U ₈ .
B ₁₅	2 6	U ₂ ,
B ₁₆	3 4	U ₉ ,
	3	U ₁ , U ₅ .
B ₁₇	3 5	
B ₁₈	3 6	U ₉ .
B ₁₉	4 5	U ₈ .
	4	U ₂ , U ₄ , U ₉ .
B ₂₀	4 6	U ₂ , U ₉ .
B ₂₁	5 6	U ₁₀ .
	5	U ₇ , U ₈ .

§ 6 BFSの特性

BFSの特性はその基になるBIBのパラメタ k や b に依存する。 k があまり大きくないかぎり検索時間は2次の転置方式にくらべてほとんど差がない。したがって特性として問題となるのは冗長さのみである。冗長さの計算の際にはむしろ§2でのべた一様性(4式)および独立性が成立つものと仮定している。

まずパケットの総数 C は $\lambda=1$ のBIBの性質から明らかなように、

$$C = b \sum_{\ell=3}^k k C_{\ell} + v C_2 + v C_1 \quad (13)$$

となり、したがって冗長さ R は $1 - P = q$ として

$$R = b \sum_{\ell=3}^k k C_{\ell} P^{\ell} q^{k-\ell} + v C_2 P^2 q^{k-2} + v C_1 P q^{k-1} \quad (14)$$

となる。

とくに $k=2$ の場合つまり完全BIBに対する、(つまり改良型2次の転置方式に対する)、冗長さを \bar{R} とすると、

$$\bar{R} = v C_2 P^2 + v C_1 P q \quad (15)$$

となるから、(10)を利用して $Pv \gg q$ とすると

$$\frac{R}{\bar{R}} \doteq q^{k-2} \left(1 + \sum_{\ell=3}^k k C_{\ell} \left(\frac{P}{q} \right)^{\ell-2} / k C_2 \right) \quad (16)$$

となり $P=1/2$ の場合、この比は

K	3	4	5	6	7
R/\bar{R}	$2/3$	$1\frac{1}{24}$	$1\frac{3}{40}$	$1\frac{9}{80}$	$5/28$

となる。

§ 7 テストデータの構造

ここに用いたテストデータは東芝における技術分献の一部に、ある補正を加えて作製したものである。

- 情報単位総数 $N = 990$
- 情報単位のもつキーワードの最大個数は10,
つまり $|A_j| \leq 10, 1 \leq j \leq N$
- キーワードの平均個数は4.93個,

$$\text{つまり } \sum_{j=1}^N |A_j| / N = 4.93$$

- キーワードの分布

$|A_j| = r$	f_r
1	117
2	134
3	126
4	109
5	91
6	100
7	92
8	70
9	87
10	64
<hr/>	
	990

キーワード出現延数

$$\sum_{r=1}^{10} r \times f_r = 4881$$

- キーワードの総数 $V = 50$
- キーワードの分布は一様性の仮定(4), §2)をみたす。独立性についてはチェックしていない。
- キーワードの情報単位全体上への出現平均個数 = 97.6

§8 BFS(2)と2次転置方式(改良)との冗長度の比較

- BIBとして用いた構造は,
PG(5, 2)(たとえば[2]参照)で,
 $V = 63, k = 3, b = 651$
(BIBの構成を簡単にするために1.3個のダミーを入れてある)

・ストア回数と冗長度

	(B F S)	(2次転置)
ストア回数	1 6 5 2 2	1 7 3 3 6
冗長度	1 6. 6 8 9	1 7. 5 1 4

2次転置に比べてBFSの冗長度の減少が少ないのは、 $P \neq 0.1$ や $k = 3$ が小さいことに起因している。いわばこのテストデータはもっともひかえ目な例である。

・ブロック内のバケットへのストア回数

	(B F S)	(2次転置)
1 次のバケット	3 8 5 6	3 8 5 6
2 次のバケット	1 2 2 5 9	1. 3 4 7 0
3 次のバケット	4 0 7	

BFSにおけるうちわけは $B_j = \{W_1 W_2 W_3\}$ としたとき

(バケット)	(総数)	(平均)
W_1	: 3 8 5 6	6.12 (=3856/63)
$W_1 W_2$	: 4 4 2 5	6.3 (=12259/630 ₂)
$W_1 W_3$	: 3 9 1 7	
$W_2 W_3$	: 3 9 1 7	
$W_1 W_2 W_3$	: 4 0 7	0.62 (=407/651)

・ブロック内への平均ストア回数

1ブロック当り平均ストア回数 = 2 5. 3 8

1次のバケットをもつブロックの平均ストア回数 = 8 0. 7 0

1次のバケットをもたないブロックの平均ストア回数 = 1 9. 5

・理論値との比較

$P \approx 0.1$ と推定

(	3次	のバケツトに入る平均個数	$NP^3 = 1$
	2次	"	$NP^2(1-P) = 9$
	1次	"	$NP(1-P)^2 = 80$

実際値：ダミーワードのため使用されないブロックをとりのぞいた残りのブロック数 = 592

(	3次	のバケツトに入った平均個数	$407/592 \approx 0.7$
	2次	"	$\frac{1}{2}(12259/592) \approx 6.9$
	1次	"	$3856/50 \approx 77.1$

尚, TOSBAC-5600で作成したパイロットシステムで上記テスト・データを基にストア, 検索を行った例を一部, 以下に示しておこう。

SNUMB = 07665, ACTIVITY # = 02, REPORT CODE = 06, RECORD COUNT = 09465

1	0	}	1	6	}
2	0		2	12	
3	0		4	24	
4	0		8	48	
5	0		16	33	
6	0		32	3	
7	0		7	26	
8	0		14	52	
9	0		28	41	
10	0		0	45	
11	-1		0	42	

Short cycles

Initial Block No.

Blocks

$n=63 \quad k=3 \quad PG(,)$

Bucket No.	1 [100]	2 [101]	3 [111]	4 [100]	5 [101]	6 [110]	7 [111]	← Bucket No. Serial Ledger (Buckets)
1	0	0	7	73	13	12	2	107
2	0	0	17	71	13	3	2	103
3	0	0	11	50	14	3	2	120
4	0	0	11	58	7	8	2	95
5	0	0	11	90	23	7	2	121
6	0	0	12	92	7	13	4	118
7	0	0	8	91	5	18	4	114
8	0	0	9	86	4	7	2	112
9	0	0	7	73	12	13	1	112
10	0	0	4	70	2	7	0	108
11	0	0	6	74	12	21	0	97
12	0	0	13	45	12	2	0	125
13	0	0	7	56	11	3	1	117
14	0	0	9	59	8	0	0	109
15	0	0	9	59	13	3	0	99
16	0	0	15	30	11	11	3	117
17	0	0	11	74	12	3	3	125
18	0	0	10	79	12	1	1	107
19	0	0	11	97	13	3	3	111
20	0	0	3	74	15	10	3	99
21	0	0	9	51	15	7	3	102
22	0	0	9	72	12	12	1	98
23	0	0	9	72	12	7	0	109
24	0	0	9	90	12	3	0	102
25	0	0	13	94	3	13	0	128
26	0	0	7	78	14	12	0	112
27	0	0	6	81	14	13	0	109
28	0	0	8	59	3	7	0	111
29	0	0	6	75	5	7	0	70
30	0	0	9	56	4	13	1	103
31	0	0	14	77	13	3	1	86
32	0	0	3	73	7	15	0	111
33	0	0	5	78	7	3	0	115
34	0	0	11	62	3	7	0	101
35	0	0	9	93	11	11	2	94
36	0	0	9	72	7	7	1	108
37	0	0	8	80	11	7	1	103
38	0	0	14	72	7	13	0	108
39	0	0	12	70	15	13	0	110
40	0	0	8	79	5	5	1	111
41	0	0	7	75	3	7	1	90
42	0	0	7	70	5	12	0	104
43	0	0	4	77	11	3	0	97
44	0	0	10	59	12	13	0	101
45	0	0	9	92	7	11	0	104
46	0	0	3	76	7	14	0	103
47	0	0	3	77	7	3	0	98
48	0	0	3	74	7	3	0	105
49	0	0	0	35	7	15	0	87
50	0	0	0	33	7	6	0	91
51	0	0	0	0	7	0	0	93
52	0	0	0	0	7	0	0	0
53	0	0	0	0	7	0	0	0
54	0	0	0	0	7	0	0	0
55	0	0	0	0	7	0	0	0
56	0	0	0	0	7	0	0	0
57	0	0	0	0	7	0	0	0
58	0	0	0	0	7	0	0	0
59	0	0	0	0	7	0	0	0
60	0	0	0	0	7	0	0	0
61	0	0	0	0	7	0	0	0

THE TIME OF STORAGE (6532)
 THE NUMBER OF DATES (39)
 REDUNDANCY (16.6833)

$v=63, k=3$ PG.

BUCKET NO. IS 1

BUCKET NO. 1 ***	E4PTf																			
BUCKET NO. 2 ***	E4PTf																			
BUCKET NO. 3 ***	84	193	272	343	430	623	780													
BUCKET NO. 4 ***	7	15	24	27	45	61	73	79	105	111	113	113	153	133	181	175	205	214	242	251
	257	275	295	301	413	324	347	394	355	375	433	417	413	421	461	425	468	513	540	542
	764	586	589	577	612	615	532	650	562	573	577	683	653	637	690	576	708	712	726	745
	755	772	803	833	865	857	882	896	942	952	970	973	991							
BUCKET NO. 5 ***	99	115	171	232	266	405	536	692	597	747	553	883	894							
BUCKET NO. 6 ***	20	42	67	497	497	513	315	530	787	372	390	593								
BUCKET NO. 7 ***	103	974																		

BUCKET NO. IS 2

BUCKET NO. 1 ***	E4PTf																			
BUCKET NO. 2 ***	E4PTf																			
BUCKET NO. 3 ***	110	292	421	551	568	733	775	843	975	905										
BUCKET NO. 4 ***	6	11	18	27	33	35	42	46	61	64	75	96	116	122	225	239	331	239	258	272
	290	342	383	407	459	457	497	518	523	550	577	670	581	592	515	617	634	644	645	649
	666	684	685	675	710	724	724	735	737	754	756	773	733	747	787	773	733	824	830	840
	360	372	899	375	398	902	309	951	267	974	380									
BUCKET NO. 5 ***	58	84	103	179	193	243	298	359	430	633	735	881								
BUCKET NO. 6 ***	55	69	440	445	516	622	337	940												
BUCKET NO. 7 ***	515	846																		

BUCKET NO. IS 3

BUCKET NO. 1 ***	E4PTf																			
BUCKET NO. 2 ***	E4PTf																			
BUCKET NO. 3 ***	36	61	204	335	455	559	679	759	775	782	910									
BUCKET NO. 4 ***	29	62	89	191	110	135	139	146	165	175	130	197	232	205	224	265	381	289	299	318
	121	359	360	377	382	394	401	417	418	421	440	445	473	459	515	532	544	551	594	508
	586	591	594	605	610	529	550	655	583	702	733	711	725	727	728	733	752	757	762	765
	775	797	800	814	843	844	846	847	854	857	836	875	889	933	905	740	943	952	976	991
BUCKET NO. 5 ***	53	157	174	232	236	652	767	806	916	883	936	930	977	952						
BUCKET NO. 6 ***	4	26	55	234	301	411	449	513	515	540	521	763	953							
BUCKET NO. 7 ***	50	837																		

BUCKET NO. IS 4

BUCKET NO. 1 ***	E4PTf																			
BUCKET NO. 2 ***	E4PTf																			
BUCKET NO. 3 ***	83	174	192	223	242	378	598	688	709	726	735									
BUCKET NO. 4 ***	4	11	16	23	26	27	36	35	47	98	132	112	124	131	142	154	260	274	297	301
	320	325	336	345	359	391	404	411	413	459	452	655	492	511	514	515	557	550	571	577
	589	612	624	543	642	677	580	671	594	698	758	723	763	757	778	779	782	789	795	801
	126	832	837	353	910	927	953	957												
BUCKET NO. 5 ***	90	164	294	497	513	657	768													
BUCKET NO. 6 ***	24	61	115	173	449	494	654	870												
BUCKET NO. 7 ***	234	412																		

SOURCE DATA

1	29	49	8	43	0	0	0	0	0	0	0	0
2	10	20	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	23	45	38	3	16	4	49	31	6	0	0	0
5	36	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	33	21	32	11	2	0	0	0	0	0	0	0
7	8	19	28	24	1	0	0	0	0	0	0	0
8	10	12	18	45	40	19	28	29	0	0	0	0
9	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	6	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	37	2	13	25	4	34	46	0	0	0	0	0
12	8	43	24	19	49	0	0	0	0	0	0	0
13	33	31	40	17	12	45	13	0	0	0	0	0
14	49	28	42	24	47	43	44	39	0	0	0	0
15	12	1	11	35	13	6	33	45	0	0	0	0
16	29	50	43	16	4	6	0	0	0	0	0	0
17	14	12	38	17	5	45	0	0	0	0	0	0
18	58	36	19	40	15	14	2	0	0	0	0	0
19	13	41	19	40	0	0	0	0	0	0	0	0
20	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	26	19	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	18	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	17	44	47	4	0	0	0	0	0	0	0	0
24	39	31	5	12	1	4	35	33	27	40	0	0
25	25	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	42	3	34	11	4	18	0	0	0	0	0	0
27	1	4	31	12	26	44	22	34	0	0	0	0
28	46	48	35	25	0	0	0	0	0	0	0	0
29	23	32	42	13	47	18	3	15	0	0	0	0
30	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	32	43	24	5	17	43	0	0	0	0	0	0
32	11	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	2	6	15	30	0	0	0	0	0	0	0	0
34	10	8	45	15	34	44	0	0	0	0	0	0
35	19	28	46	29	41	26	0	0	0	0	0	0
36	2	12	29	19	39	9	4	40	13	0	0	0
37	39	44	21	6	15	31	18	24	45	30	0	0
38	22	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	50	12	46	24	0	0	0	0	0	0	0	0
41	24	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	12	1	5	21	2	27	14	11	0	0	0	0
43	9	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	7	22	27	9	0	0	0	0	0	0	0	0
45	17	40	5	21	1	50	35	9	11	0	0	0
46	2	38	31	47	0	0	0	0	0	0	0	0
47	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	39	33	5	14	19	0	0	0	0	0	0	0
49	38	45	27	21	0	0	0	0	0	0	0	0
50	3	17	4	44	33	37	10	41	0	6	0	0
51	34	25	49	33	15	0	0	0	0	0	0	0
52	15	45	43	31	12	16	0	0	0	0	0	0
53	23	36	9	21	19	45	9	47	3	45	0	0
54	6	29	42	18	0	0	0	0	0	0	0	0
55	21	23	42	19	3	4	2	0	0	0	0	0
56	37	39	12	36	20	11	42	0	0	0	0	0
57	37	15	50	24	33	26	0	0	0	0	0	0
58	5	15	35	2	11	18	31	3	0	0	0	0
59	10	11	12	27	21	0	0	0	0	0	0	0
60	50	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	5	40	27	18	45	4	33	43	0	2	0	0

D-TABLE

1	1	0	1	2
2	2	0	1	2
3	6	0	1	3
4	3	0	1	2
5	1	1	2	3
6	1	0	1	3
7	7	0	1	2
8	4	0	1	2
9	10	0	1	2
10	2	2	2	3
11	8	52	1	3
12	2	0	1	3
13	9	28	2	3
14	8	0	1	2
15	4	48	1	3
16	5	0	1	2
17	5	16	2	3
18	10	45	1	3
19	7	7	2	3
20	3	4	2	3
21	11	-1	0	0
22	9	41	1	3
23	4	48	2	3
24	3	0	1	3
25	8	52	2	3
26	7	0	1	3
27	10	45	2	3
28	9	0	1	2
29	6	3	2	3
30	5	33	1	3
31	6	32	1	2

QUERY OF ORDER 1 (9, 10)
 4 0 0 1
 0 0 0 2
 THE BLOCK NUMBER IS 10
 THE SUBBUCKET NUMBER IS 4
 THE NUMBER OF INDICES IS 73
 2, 3, 5, 50, 62, 73, 35, 96, 121, 123, 127, 134, 146, 148, 149, 164, 165, 166, 175, 186, 221
 : 278, 280, 284, 289, 271, 345, 361, 367, 383, 400, 409, 429, 445, 455, 475, 477, 504, 527
 : 542, 552, 591, 627, 628, 533, 639, 645, 674, 678, 688, 595, 697, 732, 769, 718, 726, 728, 742
 : 768, 769, 776, 809, 841, 337, 912, 920, 928, 971, 979, 983
 4 0 0 1
 0 0 0 2
 5 0 0 0

THE BLOCK NUMBER IS 10
 THE SUBBUCKET NUMBER IS 5
 THE NUMBER OF INDICES IS 3
 34, 121, 318, 378, 403, 412, 508, 861
 4 0 2 1
 0 0 0 2
 6 0 0 0
 THE BLOCK NUMBER IS 10
 THE SUBBUCKET NUMBER IS 6
 THE NUMBER OF INDICES IS 7
 59, 125, 174, 192, 242, 319, 513, 629, 630
 4 0 3 1
 0 0 0 2
 7 0 0 0
 THE BLOCK NUMBER IS 10
 THE SUBBUCKET NUMBER IS 7
 THE NUMBER OF INDICES IS 2
 264, 686

QUERY OF ORDER 1 (18, 19)
 4 0 0 1
 0 0 0 2
 THE BLOCK NUMBER IS 19
 THE SUBBUCKET NUMBER IS 4
 THE NUMBER OF INDICES IS 47
 7, 9, 12, 16, 19, 21, 35, 36, 53, 55, 62, 72, 82, 37, 108, 155, 159, 199, 245, 274
 : 209, 318, 339, 351, 364, 355, 382, 407, 410, 420, 499, 501, 513, 524, 536, 540, 559, 575, 598
 : 511, 624, 644, 659, 553, 530, 683, 695, 716, 735, 748, 754, 755, 763, 767, 819, 845, 857
 : 801, 802, 876, 883, 886, 794, 769, 976, 981
 4 0 0 1
 0 0 0 2
 5 0 0 0

THE BLOCK NUMBER IS 19
 THE SUBBUCKET NUMBER IS 5
 THE NUMBER OF INDICES IS 12
 77, 347, 351, 447, 450, 464, 474, 671, 694, 715, 743, 751
 4 0 2 1
 0 0 0 2
 6 0 0 0
 THE BLOCK NUMBER IS 19
 THE SUBBUCKET NUMBER IS 6
 THE NUMBER OF INDICES IS 5
 117, 272, 314, 533, 691, 735, 792, 941, 947
 4 0 1 1
 0 0 0 2
 7 0 0 0
 THE BLOCK NUMBER IS 19
 THE SUBBUCKET NUMBER IS 7
 THE NUMBER OF INDICES IS 2

QUERY OF ORDER 1 (27, 28)
 4 0 0 1
 0 0 0 2
 THE BLOCK NUMBER IS 28
 THE SUBBUCKET NUMBER IS 4
 THE NUMBER OF INDICES IS 59
 7, 14, 67, 73, 75, 90, 94, 103, 123, 133, 159, 166, 130, 210, 225, 235, 251, 284, 285, 294
 : 296, 307, 329, 336, 338, 354, 381, 406, 408, 411, 421, 429, 435, 474, 493, 503, 525, 530, 543
 : 509, 575, 608, 610, 615, 624, 667, 674, 699, 718, 723, 725, 737, 753, 763, 774, 512, 835, 843
 : 807, 877, 895, 903, 916, 725, 934, 939, 947, 959, 961
 4 0 0 1
 0 0 0 2
 5 0 0 0

THE BLOCK NUMBER IS 28
 THE SUBBUCKET NUMBER IS 5
 THE NUMBER OF INDICES IS 3
 80, 105, 201
 4 0 2 1
 0 0 0 2
 6 0 0 0
 THE BLOCK NUMBER IS 28
 THE SUBBUCKET NUMBER IS 6
 THE NUMBER OF INDICES IS 7
 81, 95, 116, 189, 216, 236, 349, 419, 856
 4 0 3 1
 0 0 0 2
 7 0 0 0
 THE BLOCK NUMBER IS 28
 THE SUBBUCKET NUMBER IS 7
 THE NUMBER OF INDICES IS 1
 531

QUERY OF ORDER 1 (36, 37)
 4 0 0 1
 0 0 0 2
 THE BLOCK NUMBER IS 37
 THE SUBBUCKET NUMBER IS 4
 THE NUMBER OF INDICES IS 80
 11, 20, 56, 57, 66, 73, 82, 93, 105, 110, 116, 119, 125, 139, 147, 171, 174, 186, 215, 222
 : 224, 239, 250, 270, 275, 279, 301, 318, 320, 355, 349, 349, 362, 372, 403, 447, 434, 489, 498
 : 529, 524, 539, 537, 554, 559, 560, 564, 584, 629, 631, 633, 633, 642, 647, 686, 709, 710, 711
 : 725, 740, 752, 767, 771, 775, 794, 798, 833, 857, 854, 860, 867, 877, 892, 919, 927, 935, 940

おわりに

本研究会び本報告書作成までに開催してきたCFS研究会に参加し、御指導いただいた広島大学の正法池講師、白倉助手、垂水助手、友枝教務員、岡山理科大学の藤井助教授、海上保安大学の桑田助手、愛媛大学の森大助手、立教大学の中野猛夫教授の各易に心から感謝の意を表します。

尚、本研究に際し、深い御理解と御鞭撻をいただいた東京芝浦電気(株)電算機事業部新井正技師長、吉村賢讓官公システム部長、半沢久生応用ソフトウェア開発課長、丸本修主任、斉藤孝主事の各位に厚く御礼申し上げます。

[参 考 文 献]

- 1) Ghosh, S.P "On The Theory of Storage of Relevant Records " (1970)
- 2) Ghosh, S.P "File Organization : The Consecutive Retrieval Property" (1970)
- 3) Ghosh, S.P "File Organization : Consecutive Storage of Relevant Records on A Drum Type Storage " (1971)
- 4) Chow, D.K. " New Balanced File Organization " Information and Control, Vol. 15, pp. 377-396 (1969)
- 5) 第1回CFS研究会アブストラクト集(12/20~21, 1972)
- 6) 第2回CFS研究会アブストラクト集(4/6, 1973)
- 7) 第3回CFS研究会アブストラクト集(6/27~28, 1973)
- 8) S. Yamamoto & T. Teramoto & K. Futagami " Design of a Blanced Multiple-valued on Cyclically Genevated Spread in Finite Projective Geometry " (1972) No. 1 Information & Control
- 9) 高橋磐郎 " 組合せ的ファイリング・システム " 早稲田大学生産研究所 紀要 No. 4 (1973)

ラボラトリー・オートメーション・システム 実験データ収集処理自動化の研究

共同研究者 青山学院大学

◎専任講師 矢頭 俊介（研究責任者）

教授 高木 貫一

講師 甲斐 孝一

第一章 心理学，人間工学における実験研究の実態

このシステムは，心理学，人間工学等の実験の自動化に計算機を利用してその能率向上をはかろうとするものである。この分野の実験の様相の1つの特徴は，人間の反応のバラツキの問題を処理する為に，実験の繰返しを行い，必然的に実験回数が増加する事である。又研究において，実験を行うものが比較的大きな割合を占める。理論的モデルの研究でも最終的には実験を行って，現実の人間の特性との一致を吟味している。この様に数多い実験でそのルーチン作業を計算機に委ねる事が出来れば，研究者は実験全体の監視を行うだけで済み，その与えられた時間を，実験の検討や，被験者の他の面からの観察記録等にあてる事ができる。

この様に実験を自動化する事の利点は次の通り考えられる。

1. 機械的作業の正確性が増す。
2. 実験条件の再現性が高い。
3. 実験そのものを観察者の立場から検討しながら行える。
4. タイミング・刺激，反応の数等通常手動で可能な範囲外の実験が可能である。
5. 自動収集したデータを計算機のデータ処理能力と関係しやすい。

実験自動化のシステムを作成するために、その基礎データとして、心理学、人間工学で行われている実験の実態を把握する必要がある。

この調査は次の二つから成る。

- 1) 過去2年間に心理学、及び人間工学の学会誌に発表された論文の中から、又口答発表の論文集から実験を行った研究を採り上げ、その形態を整理する。
- 2) 上の調査では調べきれぬ更に詳しい実験の実態を知るため、心理学、人間工学の研究機関に対してアンケート調査を行う。

第二のアンケート調査に関しては、回収がおくれ、集計整理が未了であるので、第一の調査において得られた結果についてシステム設計の参考となったものだけを述べる。

a) 発表研究の中で、実験を行っているものの割合

{	心理学	約7割
	人間工学	約8割

但し、ここで言う実験とは、行動規定要因の統制を行うものすべて、すなわち差異法も含める。しかしアンケート調査等は含めない。

b) 反応測定において、測定量は物理量として入力可能なものか、それとも主観的な評定であるか、

心理学実験	物理量	4割
	評定量	4割
人間工学実験	物理量	5割
	評定量	4割

を占めている。両者共残りはロールシャッハテスト等どちらの分類にも入らぬものである。

c) 測定した物理量と反応の測度

計算機による自動データ収集のためには各種の物理量は電気信号化され

ていなければならない。使用する測定装置が電気信号化を行うものは、時間、頻度、長さ、圧力（血圧）等であるが、これらは実験機関の持っている装置の種類に全く依存している。

d) 実験回数

被験者数は4名から600名まで巾広いが中央値は約15名である。

条件数は最少4，最大64であり，中央値は約18である。

繰返しについては5回～10回の繰返しを行うのが普通である。トラッキング実験の様に比較的一回の測定時間が長いものには繰返しを行わぬものもある。

e) 与える刺激の種類

これは，図形等の様に計算機から制御をするよりは，人間がオペレータとして介佐した方が，はるかに容易で安価なものが多い。一方トラッキング実験の様な複雑な波形を直接すべて計算機内部で発生し与えようとするとは現在の計算機の能力を越えたものになる。この様に現在の所，計算機から制御できる実験条件を持つ実験は範囲が限られている。

以上の結果として，刺激についても反応についても，計算機との間の接続は多様であり，多くの部分をカバーできるインターフェイスの作成は困難である事がわかった。

第2章 実験装置とのインターフェイス

2.1 第一章の調査で見られる通り，実験に利用される装置は，測定装置も，刺激発生装置も多様であり，しかもそれら装置は計算機との接続を考慮して製作されたものは少ない。これは早くから，計算機利用が提唱されている医療機器においてさえも言えることである。従って，現状では，すべての実験装置と“プラグ”のレベルで接続可能なインターフェイスは不可能であり，又将

来においても接続方法、仕様の標準化が徹底して行われたい限り、可能性は少ない。不用意な標準の設定が、かえって将来の発展を妨げるとの慎重論や、各メーカー間の事情で標準化は進みにくいのであろうが、標準化されていないために、その都度インターフェイスの問題を考慮する労力の浪費を考えると、少くとも電気信号仕様と接続の機械的仕様位の最少の標準設定が行われてほしいものである。比較的早くから、測定に計算機が利用されていた核物理関係では“CAMAC”方式として計測機器と処理装置の間のインターフェイスの標準が1968年から提唱され、各機関に採用されている。実験心理においては今後、この様な標準化を利用する事も一方法であると考えられる。

上記の様な標準化が行われていない現状では、現在利用されている信号の出来るだけ多くの部分をカバー出来る様な入出力装置を用意し、それで補いきれぬ部分(この部分が実は大変多いのであるが)を実験毎に作成して行くと言う方法をとる。

2.2 反応の測定に関して

測定する反応は、第一章にある如く多種であるが、

- (1) 長さ、重さ、明るさ等の物理量のある時点での値
- (2) (1)と同じ物理量の時間的变化
- (3) 時間間隔、頻度
- (4) 実験者、被験者の評定値

に大別する事ができる。

- (1) これに対しては、各物理量から電気信号へのトランスデューサーはこのシステムの側では用意しない。実験に使用する反応測定装置がこの変換を行って、電気信号化してあるものとする。当システムで受け入れる事の出来る信号仕様は以下の如くである。

A) アナログ信号

最大16チャンネル

単極/差動入力

入力範囲 $\pm 5 \text{ V}$ (但しその内4チャンネルは前置増巾器付で
 $\pm 10 \mu\text{V} \sim \pm 100 \text{ V}$)

B) デジタル信号

16 bit を1グループとして4グループ

信号電圧 "0" ; 0 V

"1" ; -12 V

(但し、その内2グループは、レベルコンバーターがあり、TTL
での入力が可能)

(2) 入力信号仕様は(1)と同一

最大サンプル速度 10.0 サンプル/秒 (1チャンネル当り)

1波形のサンプル点数 最大1024点

(これら制約はハードウェア上のものではなく、後に述べるソフトウ
ェアとの関連によるものである。又トラッキング実験の長期間の波形を
詳細に分析する必要のある時は、直接記憶装置にその場で入れずに、デ
ータレコーダを後述の刺激制御の信号を利用して操作し、それに記録す
る方式を取る)

(3) 時間間隔、頻度を測定するにはある事象の発生を信号として入力せね
ばならない。1つの事象発生の通知にはデジタル入力の1つのビットを
利用する信号として16bit 2グループの接点入力が利用できる。時
間間隔は、

a) X事象発生からY事象発生までの間隔

b) X事象の発生から消滅までの間隔

の二種を測定できる。

頻度に関しても、

a) 事象発生の信号をソフトウェアでカウントする — 時間的に余裕の

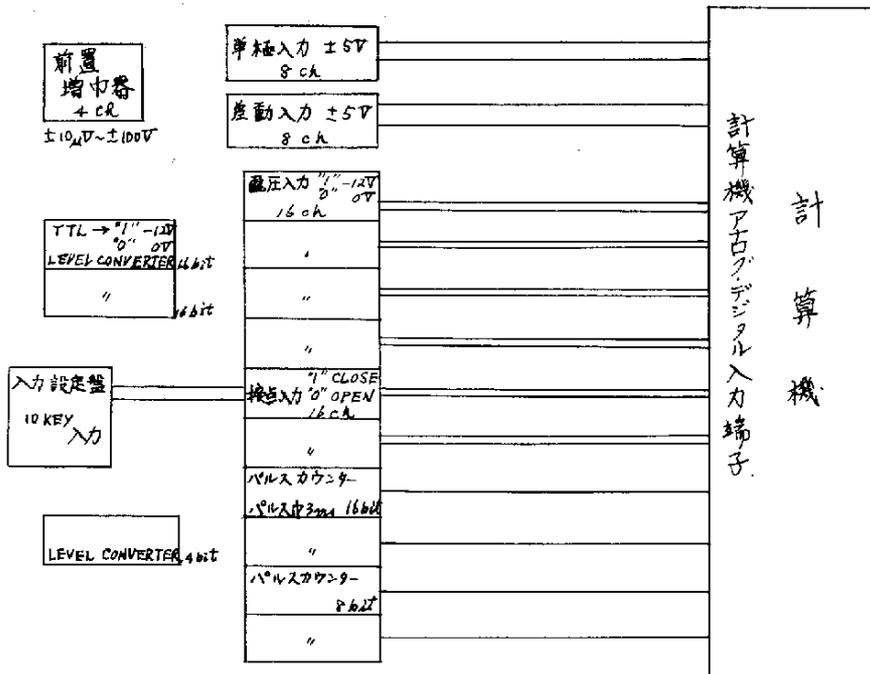
ある場合

- b) 事象発生のお知らせをパルス信号（“1”，“0”レベルはデジタル信号電圧と同じ）で行い、ハードウェアのカウンターを用いる。パルスカウンターは4個まで使用できる。

時間間隔測定の精度は1/100秒である。

- (4) 評定値は最大10分類までとし、入力盤を用いて手動で（自照式押ボタン）入力する。入力盤は上記デジタル信号の接点入力に接続してある。入力盤として最も汎用で柔軟性のあるのはタイプライター入力であるがこれより入力されるメッセージの処理について、統一した処理方法を決めるのは困難であり、現システムでは反応の測定装置としては含めていない。

以上本システムでの測定値入力のための機能である。下にその図示をしておく。



2.3 刺激の呈示, 実験条件の設定に関して

呈示する刺激の種類, 実験条件は測定すべき反応の種類よりも更に多様であるが, これらを一応, 計算機より制御すると言ひ面から見て, 次の様に分類せざるを得ない。この分類は現在利用できる実験装置の内容とも関連しており, 実験の統制を計算機側から考えた時に, 実験装置, 実験施行者と計算機とのインターフェイスの問題である。

- (1) 刺激, 実験条件が, 計算機からアナログまたはデジタル信号で直接に, 或いは何らかの装置を通して, コントロールできる。
- (2) 刺激呈示, 実験条件設定の内容が機械化しにくく, 計算機からの制御は人間のオペレータを介して行った方が現実的である。

- (1) これに該当する実験は光刺激の強度を変化させる等の様に比較的単純な実験である。

コントロールに使用する信号は,

(a) アナログ信号

4チャンネル, $\pm 10\text{V}$

(b) デジタル信号

- 電圧出力, 16bit 3グループ

信号仕様 TTL

- 接点出力 16bit 2グループ

信号仕様 "0"; 接点开/"1", 接点閉

- パルス出力, 16bit 1グループ

信号仕様は電圧出力と同一だが3msのパルスとなる。

- 回転角出力

パルス出力を $15^\circ/\text{STEP}$ のパルスモーターに接続したものを。

機械的位置の出力として利用できる。

- (2) オペレーターへの操作指示の形で制御を行うので操作指示盤を用意した。

指示盤は、表示ランプを、10個づつ横4列に並べたもので、1つの列がコントロールすべき要因の種類を表わしその列の中のランプがその要因中の水準を表わすとする。各要因の水準数が8以下であれば4要因まで10以下であれば3要因まで指示できる。これ以上要因×水準数が多かたり、より複雑な内容の指示はプリンターによる。

刺激呈示や実験条件の設定にはこの他にタイミングのコントロールを指定する必要があるが、これは実験遂行のソフトウェアの問題である。

以上の計算機への信号の入出力はすべて自立型シャーシ上のラックに端子を設け、接続の便をはかっている。

第3章 ソフトウェア

実験の自動化には、第2章に述べた測定値の収集や、実験装置の制御だけではなく、実験手続きそのものを何らかの形式的な方法で記述し、その記述に従って実験の手続き、スケジュールを運用して行く管理プログラム、及び収集したデータを速やかに整理し、解析するためにデータ処理プログラムとの関係が必要である。

実験自動化のためのソフトウェアとしては従って、以下の様な構成で考える。

- 1) 実験の手順を記述するための枠組み
- 2) その枠組みで実験手順を表現するための言語
- 3) その言語のプロセッサ
- 4) 言語で表現された手順に従って、実験をコントロールする管理プログラム
- 5) 種々の補助ルーチン

3.1 実験の手順を記述する枠組み

心理学、人間工学関係の実験（行動科学実験と称する事にする）の実験形態は、多種多様であるが、一応実験の設計としてまとまった段階で考えると、計算機に指示すべき内容は、次の4つの要素に分割できる。

- (A) 実験条件設定等の上部管理部分
- (B) 刺激、反応のインタラクション部分 これは被験者が刺激を与えられてから反応し、それについての測定値が入力されるまでの段階を言う。
- (C) 測定するデータ項目とそれに対応する入力信号
- (D) その実験における実験条件とそれに対応するコントロール信号

(A) の内容は先ず (D) の実験条件に関する情報を利用して、実験条件の設定（次にどの様な実験条件のもとでの測定を行うかと言う事）を行う。これには実験順序の決定（ランダムイズ）その順序にもとづいた刺激条件を設定し、その条件を入力データとして、(B) の部分を PROCEDURE として呼ぶ (B) からの出力はその条件のもとでの測定データである。そのデータを格納し、更に次の刺激条件に従って (B) の部分を呼び、測定を反復する。実験手順の記述を (A)、(B) の二つのレベルに分けたのは、行動科学実験においては、多数の実験条件（要因数×水準数）を採り上げ、しかも反復数が比較的多いと云う類型が見いだされるからである。

- (B) ある刺激条件のもとで測定値を得るために行う実験手続きの内容を記述するものである。この記述には、心理実験で言われる S-R notation の考え方に従う。すなわちここでは、刺激から反応までにどの様な状態を遷移して到るかと言う観点から、手続きの内容を記述すればよい。
- (C) データとして測定したい量に名前をつけ、その量がどの入力から得られる量であるかを定義する。又入力信号として直接得られる量でない場合（たとえば、経過時間）にその量の定義を行う。更に外部からの事象の発生を通知する信号についての情報を与える。

(D) その実験で変化させようとする要因と各要因毎の水準数を規定する。更に、実験条件は必ず、計算機からの出力信号によって直接に（或いは、オペレーターを介して間接に）与えられるものとしているので、ある要因のある水準と、ある出力信号のある値とを対応させねばならない。

例として、簡単な選択反応の反応時間を測定する実験のこの枠組みでの記述を行う。

〔実験の内容〕 赤、青、黄の3色のランプと同じく3色のボタンがある。ある色のランプが灯点したら、それと同じ色のボタンを押す。ランプ光の刺激が与えられてから、押ボタンによる反応が起るまでの時間（選択反応時間）を測定する。各水準で10回づつ計30回、実験条件がランダムに与えられる様に測定する。

〔実験の記述〕

(D) 実験条件

要因1 水準数3 水準1 ; No.1に出力

変数名「STIM」（この信号で赤のランプをつける）

水準2 ; No.2に出力

水準3 ; No.3に出力

(C) 入力データ

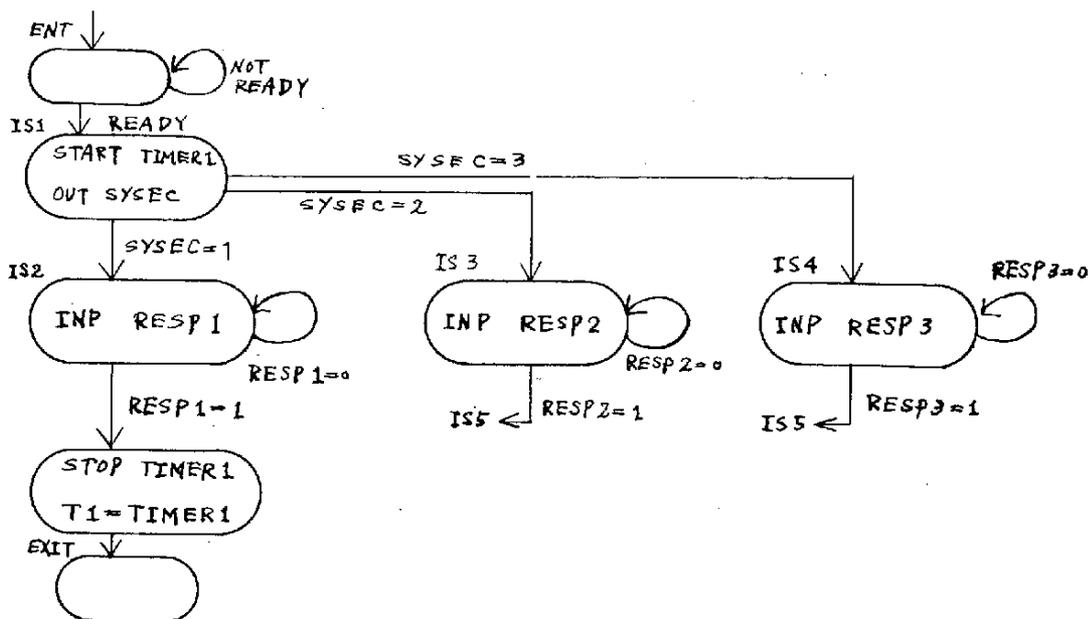
入力信号1 変数名「RESP1」 ; No.1入力

入力信号2 変数名「RESP2」 ; No.2入力

入力信号3 変数名「RESP3」 ; No.3入力

(B) インタラクションの記述

状態図で表わす、印は状態を表わしそれにつけられたラベルが状態名である。印の中の記入はその状態に入った時、取られるアクションであり、印から出て行く線は状態遷移を表わし、その線の傍の記入は状態遷移の生じる条件を表わす。



(A) 実験全体の管理

i) 実験条件のランダム化 すなわちこの場合、赤、青、黄の刺激を各 10 回づつ含むようなランダムな刺激系列を作成する。

ii) 上記系列より呈示すべき刺激条件を得て（これを SYSEC で表わす）
 (B) へコントロールをわたす。(B) の部分はこの SYSEC を入力として、指示されている様に手続きを行い、時間間隔を T1 としてコントロールをもどす。

iii) 得られた測定値（この場合 T1）をその条件と共に格納する。

iv) 更に呈示すべき刺激があれば ii) へもどり、なければ実験を終る。

補足説明すると、(A) の i) の部分で要因の各水準が 10 回づつ表われる様な乱数系列を作成する。（たとえば 12 11 31 23...）この先頭は 1 であるから、SYSEC=1 として (B) の部分に入る。(B) では先づ被験者の準備を確かめ（READY 信号の ON/OFF）、準備がなされていれば IS1 へ移り、時間計測のためのタイマーを START させ、同時に (A) の部分で決められた刺激条件に従って刺激を与える。SYSEC=1 であれば (D) で決められている様

にNo. 1に出力がなされこの場合赤ランプが点灯する。SYSEC=1であるから次にIS 2に移り、ここで赤の押ボタンが押されるまで、すなわち(C)にある通り、No. 1の入力をRESP 1に読み込み、これが“1”になるまで(赤の押ボタンが押されるまで)待つ。

“1”になればIS 5へ移り、ここでTIMERを止めそれまでの経過時間をT 1へ入れて(A)にもどる。(A)のiii)では得られた測定値をある領域にプールしてiv)で乱数系列の次の数字“2”を指定してii)へもどり、同様な手順を30回反復する。

以上が計算機に対し実験手順を指示するための枠組とその例である。

3. 2 言語の解説

3. 1の枠組に従って、実験手順を表現し計算機に指示するための言語は次の5つのSECTIONを構成している。

- | | |
|--------------------------|---------|
| 1) #EXPERIMENT CONDITION | SECTION |
| 2) #INPUT DATA | SECTION |
| 3) #INTERACT | SECTION |
| 4) #PROCEDURE | SECTION |
| 5) #DATA REDUCTION | SECTION |

(但し、第5のSECTIONは手順記述ではなくデータ処理のためのものである。)

以下 各SECTIONについて、文形、内容を説明する。

(1) #EXPERIMENTA CONDITION SECTION

前記枠組(D)に対応するSECTIONである。

(形 式)

#EXP SEC

```

FACTOR-1 'Vname 1' LEVELn1  1 =出力点, 出力値
                                2 =      "
                                :
                                n1 =      "
FACTOR-2 'Vname 2' LEVELn2  1 =      "
                                :
                                n2 =      "
FACTOR-m 'Vname m' LEVELnm  1 =      "
                                :
                                nm =      "

```

<END>

実験条件としての各要因をFACTOR文で規定する。その要因のどの水準がある実験時に採り上げられているかを示す変数が 'Vname i' であり、その要因の水準数が n_i である。各水準に関連する出力点と出力値を指示するのが = 記号の右辺であり、この右辺に記入する出力指示は次の通りである。

- 1) アナログ出力 AOi(valve) アナログ出力チャンネル i に valve の値を出力する。
(valve は定数)
- 2) デジタル出力 DOi(/ZZZZ) デジタル出力チャンネル i に ZZZZ (16進表示4桁) の値を出力する。
- 3) デジタル出力(ビット) DOiBj デジタル出力 i チャンネルの j 番目のビットに "1" を出力。
- 4) 操作指示盤 OPC(i-j) 操作指示盤の i 行, j 番目のランプを点灯。

(2) #INPUT DATA SECTION

前記枠組 (C) に対応するもの。

(形式)

INP SEC

D-1	'dname1'	入力点指示
D-2	'dname2'	"
⋮		
D-n	'dnamen'	"

<END>

外部からの測定データとして読み込む入力点(入力点指示)とそれにつける名前(dname i)を指示する。入力点指示の形式は次の通り、

- 1) アナログ入力(1点) AI i アナログ入力 i チャンネルからの値を読む。
- 2) アナログ入力(連続読み) AI i (SR= nn , SP= mmm) アナログ入力第 i チャンネルから nn サンプル/秒で mmm サンプル読む。
- 3) 入力設定盤 IK(n) 入力盤で押されたKEYの位置を読む。 n はその実験で用いられるKEYの数。
- 4) デジタル入力 DI i , DI i (j) デジタル入力の i チャンネル, i チャンネルの j ビットを読む。
- 5) 外部事象の通知 PI i (j) インタラプトチャンネル i の第 j ビットがONになった事を表わす。

(3) # INTERACT SECTION

(C) における状態遷移記述を, 文形式に変換するものである。

(形式)

このSECTIONにおける1つの文は次の形式で、

ラベル; ACTION欄/TRANSITION欄;

状態遷移図の1つの状態とそれからの遷移条件に対応する。

ラベルは図の状態につけられたラベルであり, ここではENTER, EXIT, IS n ($n=01\sim 20$)が許される。ENTER, EXITは夫々このSECTIONの開始と終了の状態を表わすものである。

ACTION 欄にはその状態を取るべきACTIONを“,”で区切って指定する。ACTIONの種類は次の通り、

- 刺激発生 OUT SYSEC
- 入力信号読取 INP vname
- 変数のASSIGN Vname1=Vname2(const)
Vname1=Vname2±const
- タイマーの制御 START TIMERn
STOP TIMERn(n=1~5)

TRANSITION欄は状態遷移を起す条件と遷移先を指定する。TRANSITIONの種類と形式は次の通り、

- 無条件遷移 GO TOラベル
- 一定時間後遷移 STAY nn SEC GO TOラベル
- 不定時間後遷移 STAY nn-mm SEC GO TOラベル
nn-mmの一樣乱数を取りその時間だけ待合せ。
- 条件遷移 IF(LE)GO TOラベル ELSE GO TOラベル
LE:論理式 Vname1 LO Vname2(const)
LO:論理演算子 <, >, =, <=, >=, !=

各文の意味は明らかであろう。

SECTION全体は

```
#INT SEC
```

```
文1 EN TER;
```

```
文2 { IS1;
```

```
}
```

```
ISR:
```

```
文n EXIT; EXIT文はラベルだけ
```

```
<END>
```

(4) #PROCEDURE SECTION

(形式)

```
#PRO SEC  
    コマンド-1  
    コマンド-2  
    コマンド-n  
  
<END>
```

このSECTION は行うべき実験の上部手順をコマンドの系列として逐次指示して行く、システムで用意するコマンドは次の通り、

```
$ RANDOMIZE(N, REP(m)) { (N, *REP(m)) }
```

実験順序の確率化を行うもの、Nは確率化に用いる乱数発生ルーチン用の初期値、REP(m)は各条件下での反復回数の指定でこの場合は繰返しも含めて確率化する。*記号は確率化した条件の下でm回の繰返しを行う事を示す。

\$ SET データ領域のクリア、各変数のリセットを行う。

\$ PERFORM \$ RANDOMIZE で決められた実験条件の順序の先頭から実験条件を取り上げ、それをSYSECに入れ、その条件のもとで#INTERACT SECTION にコントロールをわたして1回の測定を行い、測定データを受け取る。

\$ STORE DATA

\$ PERFORM で得られたデータを実験条件と共にシステムのデータプールに格納する。

\$ NEXT

\$ RANDOMIZE で決められた実験順序をすべて尽したかを調べ、残っていれば、先頭のポインタを1つ先へ動かして\$ PERFORM へ戻る。

\$ SUBJECT n \$ PERFORM, \$ NEXT と同じくペアで用いられる。

\$ SNEXT 被験者に対する繰返しを指定する。

\$ EXIT #PROCEDURE SECTION から出て次の SECTION へ移
る事を示す。

(5) #DATA REDUCTION SECTION

#PROCEDURE SECTION の実行で得られたデータを整理し、出
力し、必要に応じデータ処理を行う部分であり、コマンド列として行うべ
き作業を指示する。

(形式) #PRO SECが#DAT SECに代るだけで#PROCE-
DURE SECTION と同一、

このSECTIONにシステムとして用意するコマンドは次の通り、

\$ RECORD FILEn (n=1~5) \$ STOREでシステムの一時
的なデータプールに貯えられたデータをFILEnの名を持つDISK FILE
に移す。

\$ SORT 実験を行った順序で入っているデータを実験条件をKEY
として配列し直す。

\$ BASIC STAT データに対して指定された項目について基本的
統計量(平均, 分散最大, 最小)を求めプリントする。

3.3 実験手順の変更指示

実験手順は必ずしも事前に厳密に規定された系列で最後まで完了するもの
に限らない。被験者が人間であるから、反応のミスもあり得るし、測定
のやり直しも生じる。又実験の途中で実験内容の修正を行いたい場合も
起る。こうした場合に対して、その都度、3.2の言語で表現し直して再
実験を行うのでは実験の能率化は望めない。本システムではこの問題を
次の様に処理する。

#PROCEDURE SECTION を実行している時、すなわち実験遂行中、
割り込みをかけて予定の実験の系列を中断できる。中断後コントロールは
#PROCEDURE SECTION のプロセッサの中の話型部分に移る。こ

の部分からKEYBOARD からコマンドを入力し、それを解釈実行する。

ここで使用できるコマンドは次の6つである。

i) \$INSPECT

\$INSPECT(I₁, I₂, ..., I_n; Vname₁, Vname₂, ..., Vname_m)

要因1を水準I₁に、要因nを水準I_nにとった実験条件のもとで、1回#INT SECを実行し、その測定値をVname₁~Vname_mに入れる。

ii) \$LIST \$INSPECT で得た測定値を10進、16進でプリンターに出力する。

iii) \$STT STORE TEMPORARY であり、\$INSPECTでの測定値を専用のデータプールに格納する。

iv) \$REDEFINE #INT SECを修正するためのコマンドである。

v) \$MODIFY \$REDEFINE は新たに#INT SEC全体を再定義するもの、\$MODIFYはその1部の修正で1行単位で、追加、抹消、変更を行う。

vi) \$RETURN コントロールを会話型部分からもどす。

例えば\$INSPECTを用いれば、失敗した測定だけを後で再実験できるし、又実験装置のテスト、実験前の馴致期間にも使用できる。

\$REDEFINE, \$MODIFYと\$INSPECTを組み合わせると用いれば、#INT SECの定義を、始めから完全なものにせずとも、試行しながら次第に希望のものに近づけて行く事ができる。

3.4 処理の手順と管理プログラムの概要

実験手順は前記の言語で記述され、その記述(SOURCEプログラム)は1行を1枚のカードにパンチする事で本システムへの入力デックを構成する。このシステムによる処理のphase1はこの入力を読み、言語プロセッサがこれを翻訳する事である。翻訳処理では、#EXP, #INP SECの役割は変数

宣言、変数と外部信号との対応等翻訳時の補助情報を与えるのにとどまる。

#INT SECの各文は、次のphase2でインタプリティブに実行される様な中間的コードに変換される。#PRO #DAT SECにおける各コマンドは、そのコマンドで指定された作業を行うサブルーチン、又はロードモジュールへのCALL命令に変換されるだけである。

翻訳処理結果は、変数群、テーブル、中間コードプログラム、CALL命令系列から成っておりDISK上に一時格納され次のphase2へ移る。

phase2では#INT SECの解釈実行ルーチンをふくむ#PRO SEC用のプロセッサがコントロールを持つ、これはphase1の翻訳結果をDISKから読み込み、#PRO SECの翻訳結果であるCALL命令群を逐次実行して行く。#INT SECの翻訳結果の中間コードは#PERFORMコマンドに対応して呼ばれるルーチンで解釈実行される。更にこのphaseのプロセッサの中には割り込み時に入力される会話型コマンドの解釈実行部分をも含む。\$EXITコマンドに到達するとコントロールは次のphase3に渡される。

phaseでphase1の翻訳結果の内の#DATSECの部分も読み込み、そのCALL命令列に従って必要なサブルーチン、ロードモジュールを呼び出し、データの整理解析を行う。

phaseの移行を司どるため、最上部に小さなスケジューラーを1つ設けてある。

翻訳プログラムは、言語の形式が固定しており、又許されるオペレーションも少ないため、単純な構造のものである。

3.5 コマンドの拡張について

#PRO, #DAT SECで使えるコマンドは比較的限られており、特に#DAT SECのデータ処理用のコマンドは不十分である。(FILEに格納したデータをダンプして、別のJOBで種々の統計処理を行う事もできるがデ

ータ収集と処理の密接な関係と言う本システムの目的からは望ましくない。))

統計的処理方法は多様であり、又新たな手法が常に加えられて行く事から考えても、最初からすべての統計的方法を包含したシステムの作成は現実的でない。

従ってコマンドに関してはその翻訳と実行を open endedなものにして、必要に応じコマンドとそれに対応する処理を実行するルーチンをシステムに追加できる様にすることが望ましい。このアプローチの仕方については IBM の PLAN なるシステムの例があり、今後本システムでもその様な拡張が可能な様に発展させて行きたい。

更に今後の話題としては、

- 1) 複数の刺激、反応のインタラクションを同時に並行して行う場合を扱える様に記述方法と、処理方法を拡張すること。
- 2) # INT SEC の ACTION を拡張しより多様な実験形態に対処できる様にすること。
- 3) # INT SEC の中にレベル構造やモジュール構造を取り入れて、より手続の記述を容易にすること。

等がある。

部品管理等業務における ミニコンピュータによるデー タ・ベースシステムの開発

三井造船株式会社

社長室情報システム部

共同研究者 ◎ト部 祀之

西岡寺公友

中島 治夫

岡 弘明

1. はじめに

三井造船では、本社（東京）に設置した汎用大型機を、高速データ通信回線を利用し各工場に分散配置されたI/O専用機から共同で利用している。この方式を「多目的共同利用システム」（略称：MACS）とよび、独自の階層構機によるコンピュータ・ネットワーク構想から計画された。現在その第1期の計画（MACS/I）として、リモートバッチによる集中処理が行われている。

この計画の最終的なねらいは、大小のコンピュータの機能に応じて使いわけ、それぞれの役割を分担させることにより、業務の特性に応じたコンピュータ利用環境をつくりだすことにある。

ミニコン利用によるデータ・ベースシステムの開発は、その第2期計画（MACS/II）として、生産に関する原始データを発生現場で把握し、直接処理を行うことにより間接事務作業の合理化を実現することを目標とする。

2. 間接事務作業の合理化

生産活動にともなう現場事務作業はますます複雑になり、その処理量も多くなってきている。そして第一線の現場管理者やそのスタッフの立場の人々の負担を重くする傾向にある。

MACS/Iの開発を完了して、さらにこれに続くコンピュータの利用環境の整備の方法を検討しているとき、生産現場の事務の簡素化システムの開発を望む声が強くなってきた。

2.1 従来の事務処理パターン

一般的に事務処理といわれるものは、発生トランザクション毎に記票される「伝票」と、それぞれの部署でその処理形態に応じた「台帳」を中心に作業が行われている。この場合、基本的な動作として、①伝票の分類・仕訳作業、②該当台帳の選択・描出作業、③追加記入照合又は転記作業、④集計作業、⑤関連部署に対する連絡、などがその大部分を占める。これ等の業務を省力化し、事務量の増大に対応する手段の一つとして、コンピュータを利用する方法がいろいろな形で行われてきた。その代表的なパターンを図示すると〔図-1〕に示すような型になる。そして多くの場合、この形式での処理の能率を向上させることに重点を置き、インプットのデータがある一定量まとまった時点で一括処理をする、という「バッチ処理」がなされてきた。しかも機械化の対象となった業務の面から考えてみると、その管理目的別にそれぞれ独立したシステムとして開発されたケースが多い。

たとえば、給与計算業務、原価計算、支払い計算、在庫管理のための入出庫統計などという個々のシステムが、それぞれ違った開発ニーズから、お互いに独立したシステムとして実施されてきたためである。

この方法では、個別データの集約や、トレンドの把握のためには都合がよいが、全体からみると、インプット内容の重複、処理内容の重複、ファイル内容

の重複が少くない。

そのうえに

- インプット作業がめんどろだ。
- インプット結果が戻るまでに時間がかかりすぎる。
- ペーパー・ラッシュになる。

などといった不満を生むことにもなる。

このような問題点を解決するために、従来の情報処理のパターンを脱し、何かそれに代る新しい処理パターンを確立する必要がある。

2.2 ダイレクト・データプロセッシング

1人の人間が、自分だけで完結した作業を行い、他人に全く影響を及ぼさない場合には、事務処理作業は必要としない。それは必要なデータが全て自分の頭の中に記憶されていて、状況の変化に対応してその都度適当な処理を行うことができるからである。

ところがある目的のために、多数の人間がそれぞれ業務を分担しながら共同で仕事を進める場合、円滑なコミュニケーションは欠くことが出来ない要素であり、そのために事務処理作業が必要となる。この事務処理作業を行うための道具として利用されてきたものが「伝票」であり「台帳」であった。伝票の発行は取引(トランザクション)の発生を意味し、台帳への転記はそれ以後の管理目的に都合のよい形式に整理して記憶しておくことに相当する。共同で事務処理を行う場合にも、次のような事が実現できることが望ましい。

- ① 取引(トランザクション)が発生する都度処理を行う。
- ② データの発生現場で処理をする。

この場合、データは5W1H(いつ、どこで、誰が、なにを、なぜ、どんな方法で)の必要にして充分なだけのものが、ダイレクト・インプットでできる。

- ③ 取引の関連ファイル(台帳)は、共同で利用でき、データの内容に従っ

て、ただちに更新される。

④ 消込，更新，固定情報，基準値等の検索や照合が多角的に行える。
などである。

この条件を満足させるためには，事務処理のパターンを〔図-2〕に示すように，トランザクションの発生を直接処理に結びつけるデータ・ベース機能を備えたファイルを中心とするダイレクト・データプロセッシングに変化させる必要がある。

3. ミニコンによるデータ・ベース・システム

〔図-2〕に示すような処理を行うために，中型以上のコンピュータによるデータ・ベースシステムを採用することが多い。

一方ダイレクト処理を行う場合，その処理全体を業務に密着させ，専用のシステムとして運営できれば，より大きな効果が期待できる。さらに現場第一線の作業者が，容易に直接操作できることが望ましい。

しかし大型機利用による方法で，この条件にあてはめて運営することは，経済的にみて困難な場合が多い。そこで大型機利用以外の方法でデータ・ベースシステムを実現する手段として，ミニコンを利用する方法について検討した。

その結果

- 1) 専用システムとして利用する場合，ミニコンでも機能的には十分満足できる。
- 2) 安価である。
- 3) 特殊な専用端末機器類の接続が比較的容易である。
- 4) 専任のオペレータを要しないで運営できる。

などの理由により，ミニコンを利用したデータ・ベース・システム(mini-DBS)の開発を開始した。

3.1 ハードウェア・システム

このシステムのハードウェア構成は〔図-3〕に示す通りであるが、実線で示す装置を最小構成とし、各業務の必要に応じて追加拡張できる。センター側にミニコンを中心としてデータ・ベース格納用磁気ディスク・磁気テープその他周辺機器があり、遠隔地の作業場所に分散配置された専用端末から伝送回線を通じて入力されたデータを直接処理をする。

先産現場用の専用システムの実施が容易に行えるようにするため、次の点を考慮した。

- 1) 特定オペレータでなくとも、作業者が直接入力できる専用ターミナルを備える。

このため、㊸入力専用型、㊹会話型 の二種類のタイプを用意する。

- 2) モデムを必要としない伝送方式の採用
 - 3) 工場の親時計との連動を可能にする。
- などである。

3.2 ソフトウェア・システム

ソフトウェアシステムの構成について、具体的な検討範囲を明確にするため、次のように定めた。

- 1) 利用言語 (DBAL/I) により、基本システムと利用システムに分離する。
- 2) 基本システムには、開発の主対象である実行システムと、それをサポートする周辺システムがある。
- 3) 実行システムは、専用OS (DBOS/I) とアプリケーションを実行処理するデータベースファンクション (DBF) からなる。

これらの関連は〔表-1〕のように表わすことができる。

3.2.1 実行システムのソフトウェア

開発の主対象である実行システムのソフトウェアは、〔表-2〕に示すようにデータ・ベースを用いたアプリケーションをとりあつかう専用のオペレーティング・システム(DBOS/I:Data Base Operating System)を中心に、データ・ベース・ファンクション、OSサポート・ユティリティ、独立ユーティリティからなる。

① DBOS/I

DBOS/Iの設計にあたり

- ・ トランザクション処理を主体にした専用OSとして、必要十分な各種の管理サービス機能をもつ。
- ・ ミニコンピュータの制約を緩和する。
- ・ I/O依頼形式を統一し、ユーザ・タスク側のI/O制御を簡素化する。
- ・ 将来、リモート・バッチ・ステーションのためのOSとしても流用できるものとする。

という方針で検討した。

DBOS/Iの機能概要は次の通りである。

- 1) 仮想バッファの概念を採用する。このためデータ領域は仮想バッファ制御マクロにより、仮想バッファ上に確保することができる。(〔図-4〕は仮想バッファ上からの読み込みの処理を示す)
- 2) タスクの多重度は、任意に設定できる。
- 3) 動的オーバ・レイ機能をもつ。
- 4) レジスタの保存に関するマクロを用意する。このためリエントラント構造のタスクが作りやすい。
- 5) 複数事象の単一待合せ、および全待合せを行い、タスクの同期制御を行なう。
- 6) 各種の待行列管理を行なう。
- 7) トランザクション等のデータを、タスク間で相互に転送するマクロを用

意する。

- 8) すべてのデバイスに共通の入出力マクロを用意する。
 - 9) 時間に関するサービス・マクロを用意する。
 - 10) DOSDはすべて相対論理レコードアドレスによるものとする。
 - 11) セルフタイマーによるプログラムの自動起動を可能にする。
- などである。DBOS/Iの構成とその関連を〔図-5〕に示す。

② データ・ベース・ファンクション (DBF) : DBFは

- 1) メッセージ制御プロセッサ (MCP)
- 2) アプリケーション・エグゼキュータ (APEX)
- 3) データ・ベース制御プロセッサ (DBP)

の三つの独立したプログラムが、トランザクション・データを相互に転送してアプリケーションの実行処理を行う。

DBFは現在仕様検討中であり、不確定要素も多いが次のような機能をもつ。

- a) 同時に複数の異ったトランザクション処理を行うマルチ・アプリケーション機能をもつ。
- b) データ・エントリはバッチ型、会話の両方式が可能で、ディスプレイ・ターミナルが利用できる。
- c) アプリケーション処理手順は、ハイレベルの利用言語 (BBAL/I) により簡単に記述できる。

このBBAL/Iの処理形態はコンパイラ型とはせず、解読トレース型とする。

- d) 解読された処理手順はテーブル形式に展開されライブラリーに登録される。
- e) アプリケーションの実行は、実行プログラム (APEX) がプロシジャを取出してトレースすることにより行われる。
- f) データ保全のため、トランザクションログ及びチェック・ポイントをとる。

これ等の処理の流れを〔図-6〕に示す。最小24KWのメモリーで稼働できるものとし、〔図-7〕に示す範囲で検討している。

4. データ・ベース構造について

各ターミナルからインプットされた各種のデータにより、リアルタイムで応答し、内容を更新できるデータ・ベースの構造について、いろいろな角度から検討を行った。現在もなお検討中であり未確定の分野も多数残されているが、次のような方針で検討した。

- 1) データ・ベースは1以上のファイルからなり、ファイルには階層順にデータが配列される。
- 2) ファイルのデータ構造は、階層マトリックス構造とし、同一セグメントに対する2通りの論理的な配列を可能にする。
- 3) ファイル間の論理的な結合は、構造的なものではなく、アプリケーションの手順記述により、ファイルを乗り換えを行う。
- 4) データ・ベースの利用登録時に、パスワードによる保護検定を行うことができるようにする。

などである。

これ等は、検討の最初の段階では機能的には非常に欲ばったものを考え、ミニコンの制約やファイルのメンテナンス等の負荷その他の条件を考慮した結果できたものである。

特に考慮の対象になったものは、論理的構造の取扱いについてであった。一般的に大型機の利用による形で汎用のデータ・ベース・プロセッサとして提供されるものは、かなり複雑な論理構造が取扱えるようになってきている。ところがこの論理構造の処理は、効率の面から考えるとマイナスの要素が大きい。従って前述の3)項に示すような考え方で処理を採用することにした。

4.1 階層マトリックス構造

データ・ベース・プロセッサ (DBP) が取扱う最小の単位はセグメントである。このセグメントは、ポインター (PTR), キー (KEY), データ (DATA) の各部より成る。このうちデータ部はN個のフィールドから成り、データとしてKEYを持つことも許される。セグメントは階層的につながりを持ち、どのセグメントにも属さない最上位のマスターセグメントを中心に構成される。各セグメントは複数のチャイルドセグメントを持つことができ、それぞれ同一タイプのツインセグメントが許される。各アプリケーションから必要なデータを検索するためには、通常の場合はKEYを指定し該当するマスターセグメントをサーチし、それからPTRをたどって目的のデータを探し出す。しかしその外にマスターセグメント以外のスレーブセグメントに対する直接検索の必要な場合、システムセグメントを指定することにより、セიმセグメントを検索することも可能である。

これ等の構造を図示したものが〔図-8〕であり、システムセグメントとセიმセグメントの考え方を採用したことが、最大の特徴であるといえる。

4.2 セグメントの格納形態

各セグメントはDASDのアクセス単位である。ページ番号に変換され格納される。そのページの集まりが一つのファイルを構成する。そして数種のファイルの集合によりデータ・ベースが構成される。〔図-9〕にその格納の状態を示す。

各セグメントの格納はそれぞれのセグメントタイプによってその方式が異なるが、次のような形態の格納ができるコマンドを用意する。

(1) マスターセグメントの格納

指定されたKEYをランダムイズして、ページ番号を決定する。決定したページの空領域にアプリケーションプログラムによってセットされたセグメントを格納する。

このときDBPによってポインター部(PTR)が付加される。

(2) システムセグメントの格納

セームセグメントのペアレントであるシステムセグメントの格納は、D/B定義(DBD)の段階で、セグメントタイプとしてセームを指定したものに關してDBPが自動的に行う。このときの手順はマスターセグメントの場合と同様である。

但しこのシステムセグメントは、DBPのみが関与できるセグメントであり、その他のアプリケーションプログラムからは、直接アクセスすることはできない。

(3) スレーブセグメントの格納

この場合新セグメントを格納すべきページ番号が求められた後でなければならぬ。

主としてマスターセグメントやシステムセグメントの近くにそのスレーブを順次格納する場合に用いる。

(4) 追加・挿入

DBDで定義された結合順序に従って追加挿入される。

該当セグメントの先頭に追加する場合、最後尾に追加する場合、KEYの正順又は送順に追加する場合を前もって定義しておく必要がある。

(5) セグメントの内容変更

前もって検索されたセグメントのデータ部の修正を行い、同一場所に格納する。

この内容修正の間に、複数のアプリケーションから同一セグメントのアクセスがされないよう排他モードにしておく必要がある。

(6) セグメントの削除

このコマンドが実行されるとセグメントにデリート・フラグが立てられ、そのセグメントとそれに従属するチャイルドセグメントは全て削除されたことを意味する。

4.3 セグメントの検索形態

階層マトリックス構造の各セグメントをDBPが検索する形態として次のような種類を用意する。

(1) 直接検索

KEYを指定して直接検索する方法。

次の二種類のやり方を予定している。

a) ランダマイズ・アルゴリズムによる検索

セグメントの格納時及び検索時に同一のランダマイズ手順を利用する。

b) リファレンス・コードによる方法

セグメントの格納時に、DBPがそのリファレンス・コードをアプリケーションプログラムに通知し、これを利用する。

(2) 順次検索 (同一階層レベル)

一つのリストに沿って順次検索する形態である。

FORWARD ポインターを持つことにより対処する。

(3) 逆順次検索 (同一階層レベル)

一つのリストに沿って逆方向に順次検索をする形態である。BACKWARD ポインターにより行う。

(4) マスター検索

スレイブセグメントの検索の途中で、そのマスターに直接戻る形態である。マスターポインタを参照して行う。

(5) チャイルド検索

一つのリスト内の検索途中で、もう一段下のレベルのセグメントに方向を変えてサーチする形態である。この場合下のレベルのセグメントの方向 (PATH) を指定し、引続き順次検索を行うことにより実行する。

(6) ペアレント検索

スレイブセグメントの検索途中からそのペアレントセグメントに戻る。

ペアレント検索とマスター検索の違いは前者が1レベル上の親に戻るの

に対し、後者は最上位のマスターに戻る点である。

(7) 同種検索

同一レベルの同種セグメントで同一のキイをもつものを、セームポイントにより行う。

4.4 適用例

在庫管理を中心とした、部品管理業務を例に考えてみると、〔図-10〕に示すような構造のものが適用できる。

「部品予約」又は「在庫引当」を行う場合、ディスプレイ端末を利用して次の手順で業務を実行させることができる。

- ①処理手順を呼出す
- ②ディスプレイの指示に従って、パーツ番号を入力する。
- ③パーツ番号をKEYとした部品在庫SEGをサーチし、部品名称や現在保有量等が表示される。
- ④予約番号、予約数量をインプットする
- ⑤予約SEGに進加され、同一予約番号での一括出庫ができるようシステムSEGとして登録される。

この場合同時に有効在庫量、最低保有量等を調べ、必要に応じて発注指示が行われる。

このような方法によって、その他一連の作業が同様の処理手順により行われ、トランザクションの発生と同時にインプット作業とデータ処理が実行される。

5. おわりに

このシステムが完成すれば、特定の一部署でも、必要に応じて自家用のコンピュータを持つような形で、専用のリアルタイム・システムを実現することができるだろう。

この場合システム全体の運営も利用者にまかされ、生産現場の意志が十分に反映されたものとなり、生産に直結した意義のあるものが開発できると思われる。

MACS/IIの開発は、具体的な検討を加えてゆく過程で、当初考えていたよりも、はるかに多くの作業を必要とすることがわかった。ハード・ソフトの両面にわたり、それぞれ分担して検討を行っているが、まだ未検討分野も多い。

データベース・ファンクションに関しても、ファイル構造とその検索方式、格納方式についての基本的な構想は出来上りつつあるが、具体的にどのようなロジックに従ってランダムサイズすればよいか、シノニムが発生した場合の格納方式、検索方式をどうするか、又効率の面で満足されるか等のかなり重要な課題が残されている。この件に関しては、特定業務の実際データをもとにシミュレーションを行う等の方法でさらに検討をする予定である。

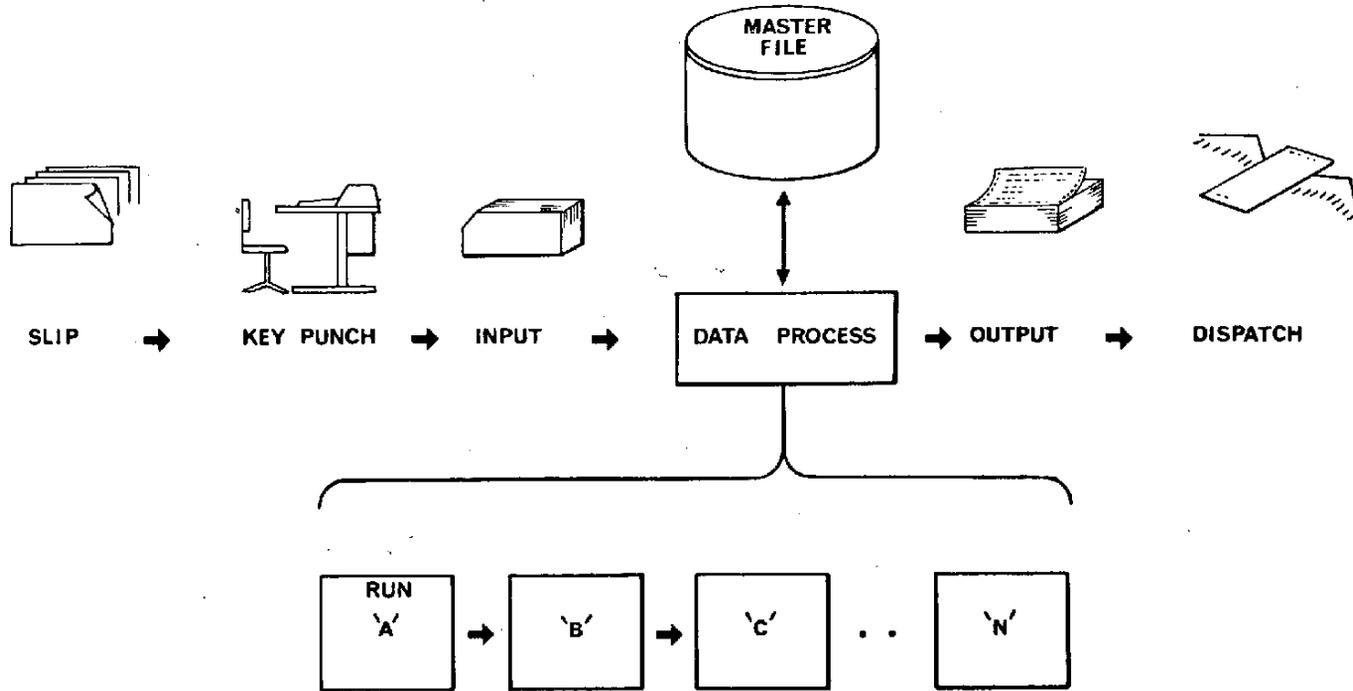
一方データ・ベース格納用のディスクファイルとして、現在は一台当たり5Mバイトから20Mバイト程度のものを対象に検討しているが、さらに大容量ファイルが必要とするアプリケーションが将来予定されており、その追加を可能にしておく必要がある。このために大容量ファイルから、アプリケーションが必要とする特定項目のみを、指定エリア内に取り出してくるまでの処理を、ハードウェアのプロセッサを利用して処理させるシステムの研究を行う予定である。

〔参考文献〕

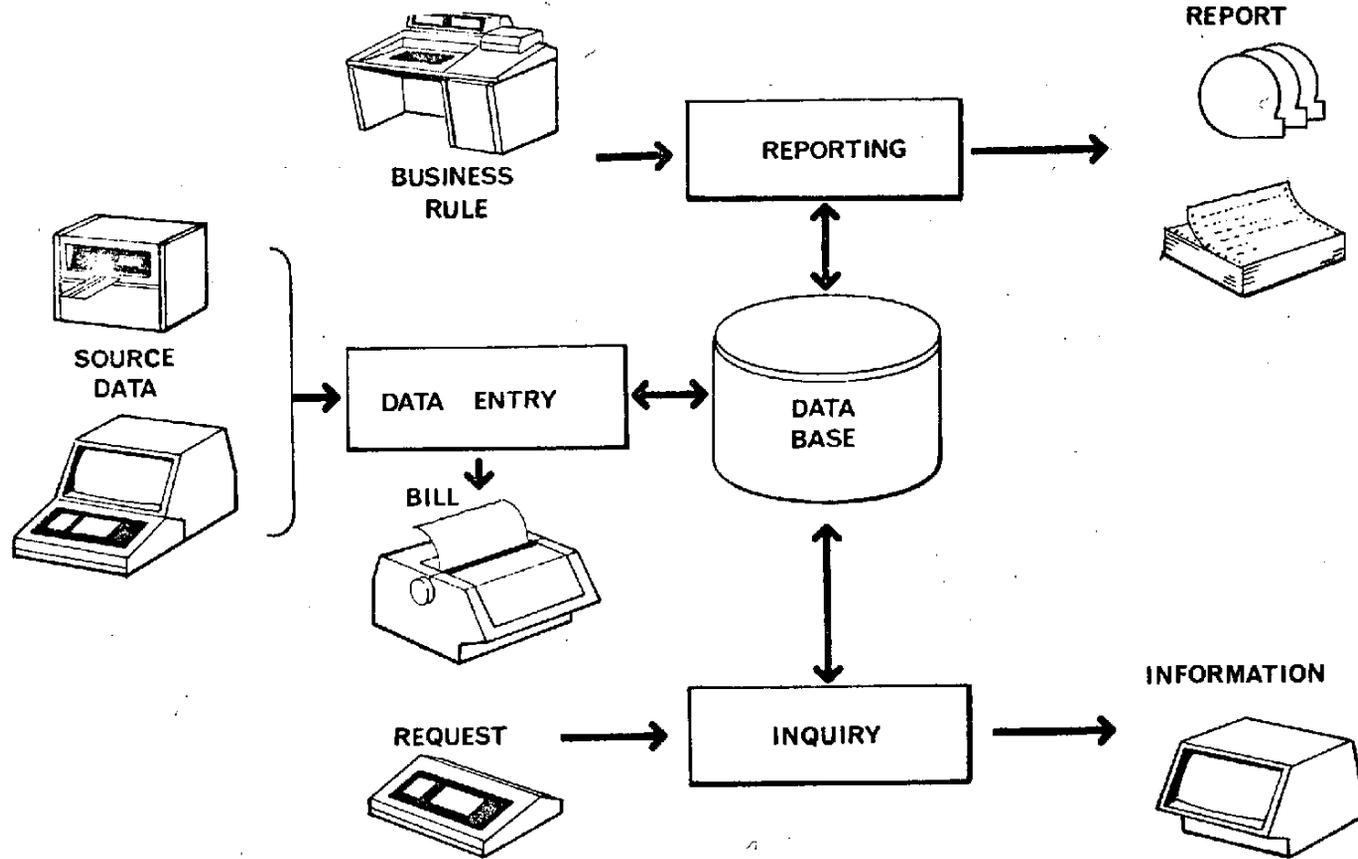
1. 岡本, 岡本, 由良: 三井造船におけるMACSの開発とその環境づくり
(全国IBMユーザ協議会 経営機械化シンポジウム-1973)
2. 岡本, 由良: FACOM/230-25をフロントエンド・コンピュータとして活用したハイアルキーシステム
(FACOMファミリー会, EDP論文集-1973)

3. H. AYA, T. EZAKI, Y. OKAMOTO: MACSNET-HIERARCHICAL COMPUTER NETWORK IN MITSUI SHIPBUILDING & ENGINEERING CO., LTD
(ICCAS PAPERS-1973)

162-1



[X-1] CONVENTIONAL DATA PROCESSING



[2 - 2]

DIRECT DATA PROCESSING

MACS-II ソフトウェア	利用システム		
	基本システム	実行システム	専用 OS (DB ₀ S/I)
			データベース・ファンクション
			実行用ユーティリティ
		周辺システム	開発用システム
			支援システム
保存システム			

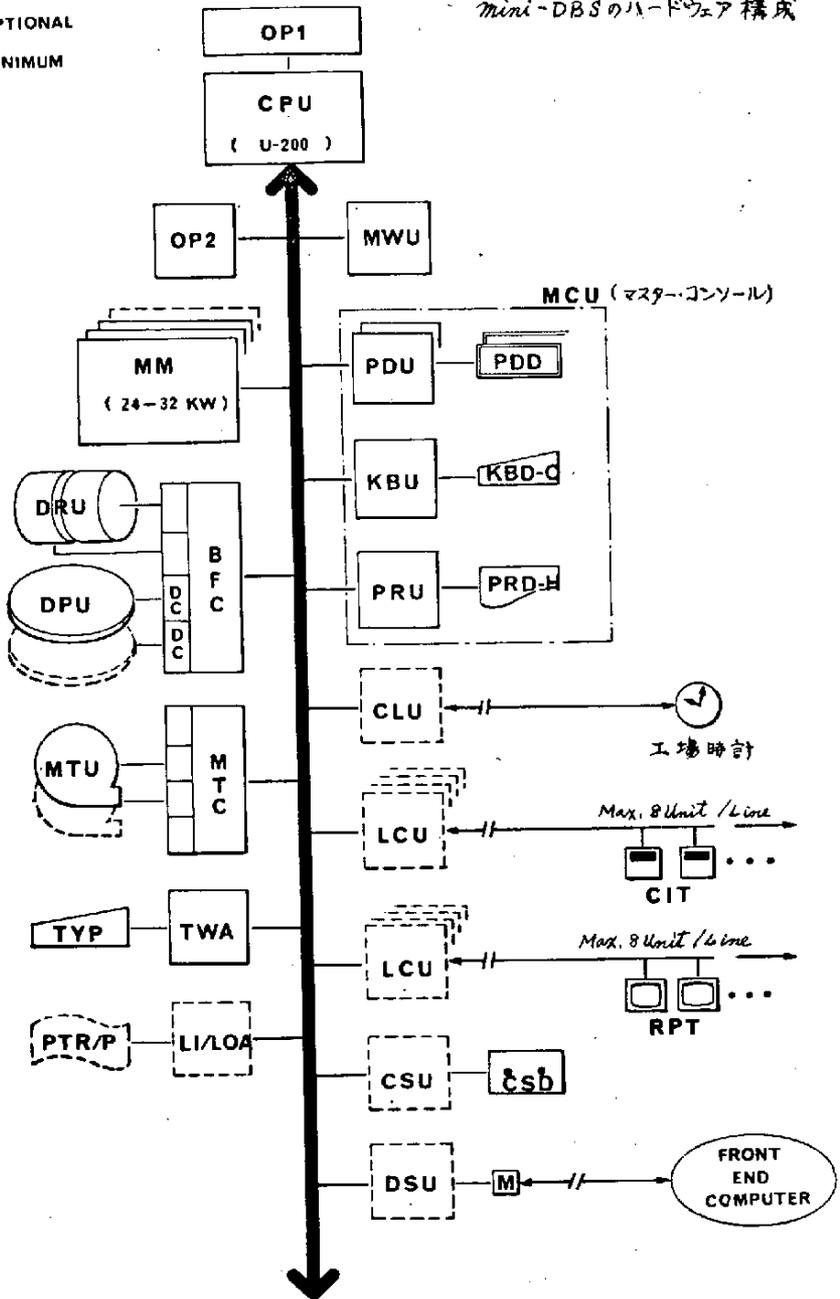
[表-1] MACS-II ソフトウェアの構成要素

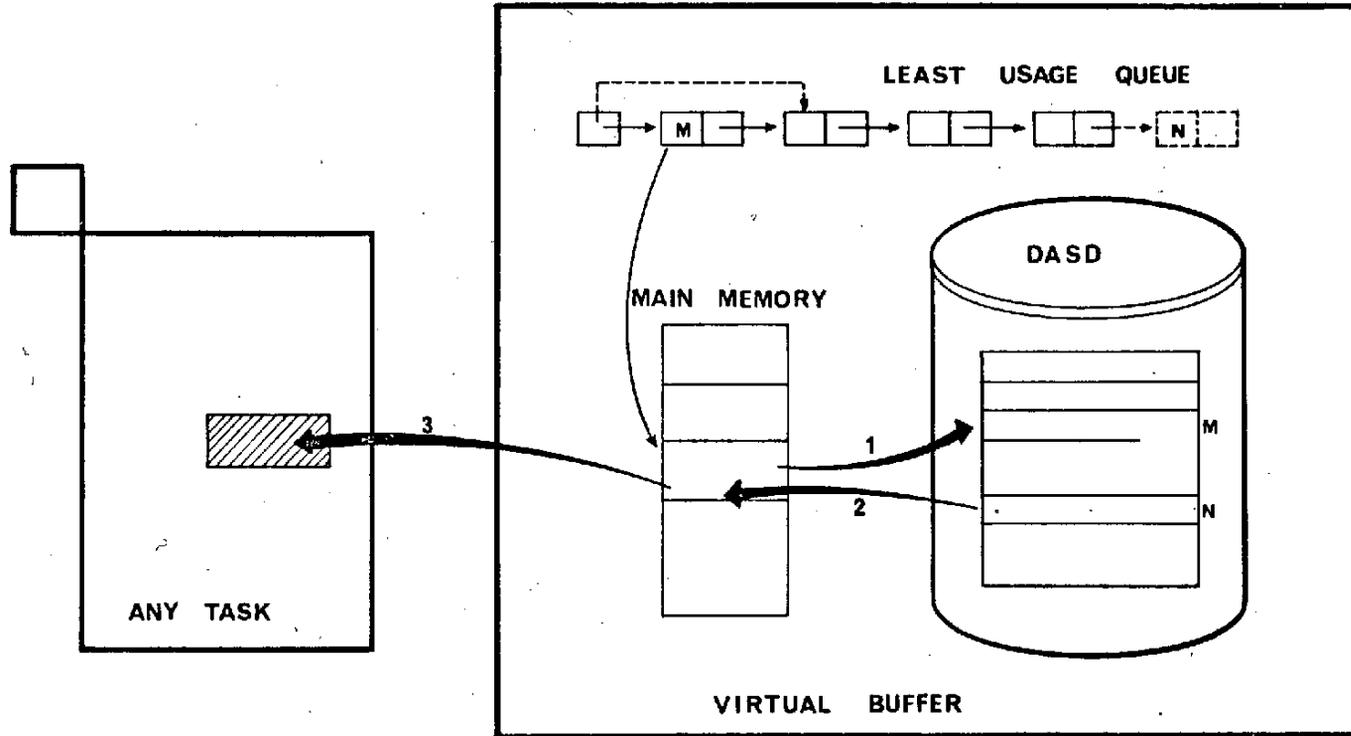
D B O S/ I	D	DBP	Data Base Processor
		MCP	Message Control Processor
	B	APEX	Application Program Executer
		DBAL	Data Base Application Language Processor
		DBUP	Data Base Support Utility Programs
		OSUP	OS Support Utility Programs
独立ユーティリティ		開発用, メンテナンス用, ハード診断用プログラム,	

[表-2] 実行システムのソフトウェア構成

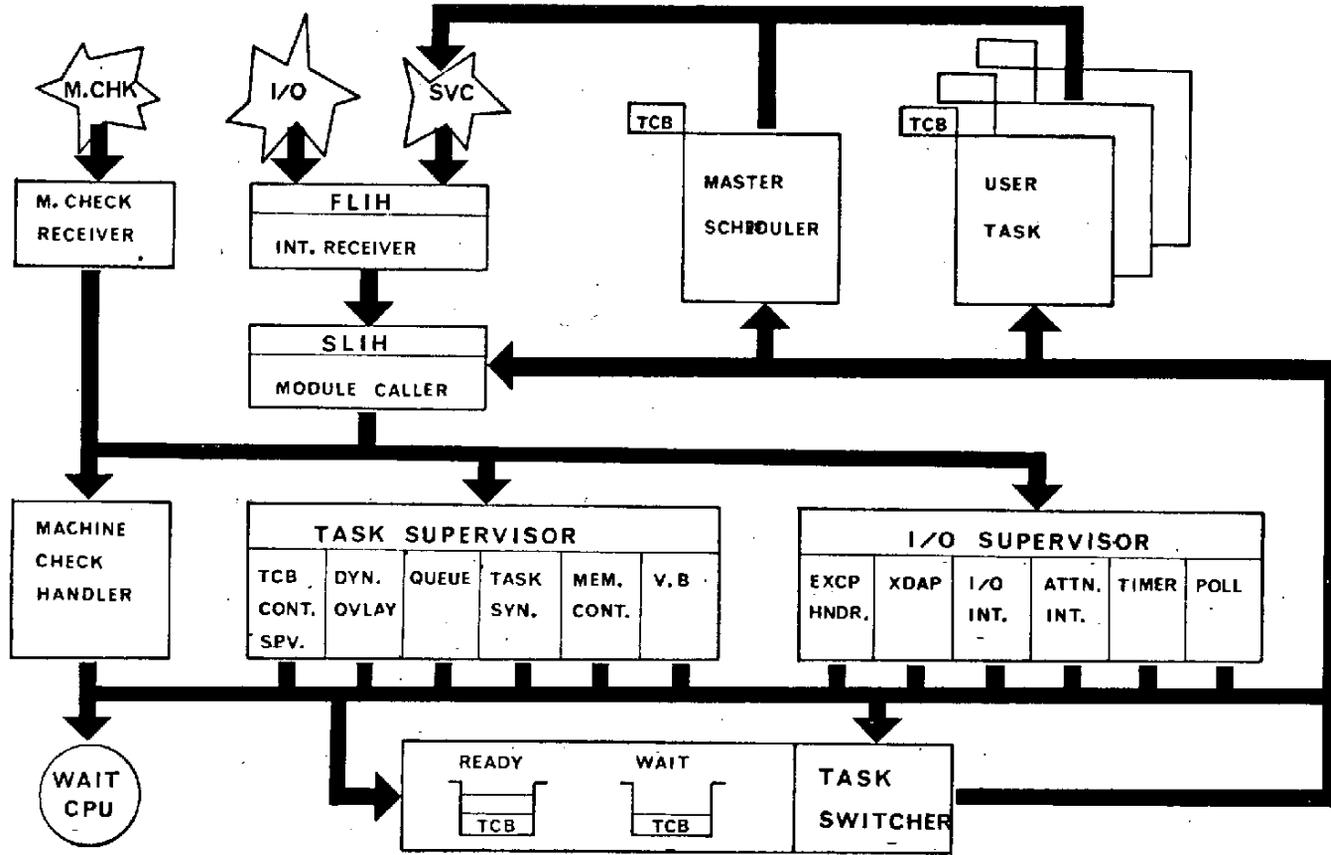
〔図-3〕
Mini-DBSのハードウェア構成

□ : OPTIONAL
□ : MINIMUM

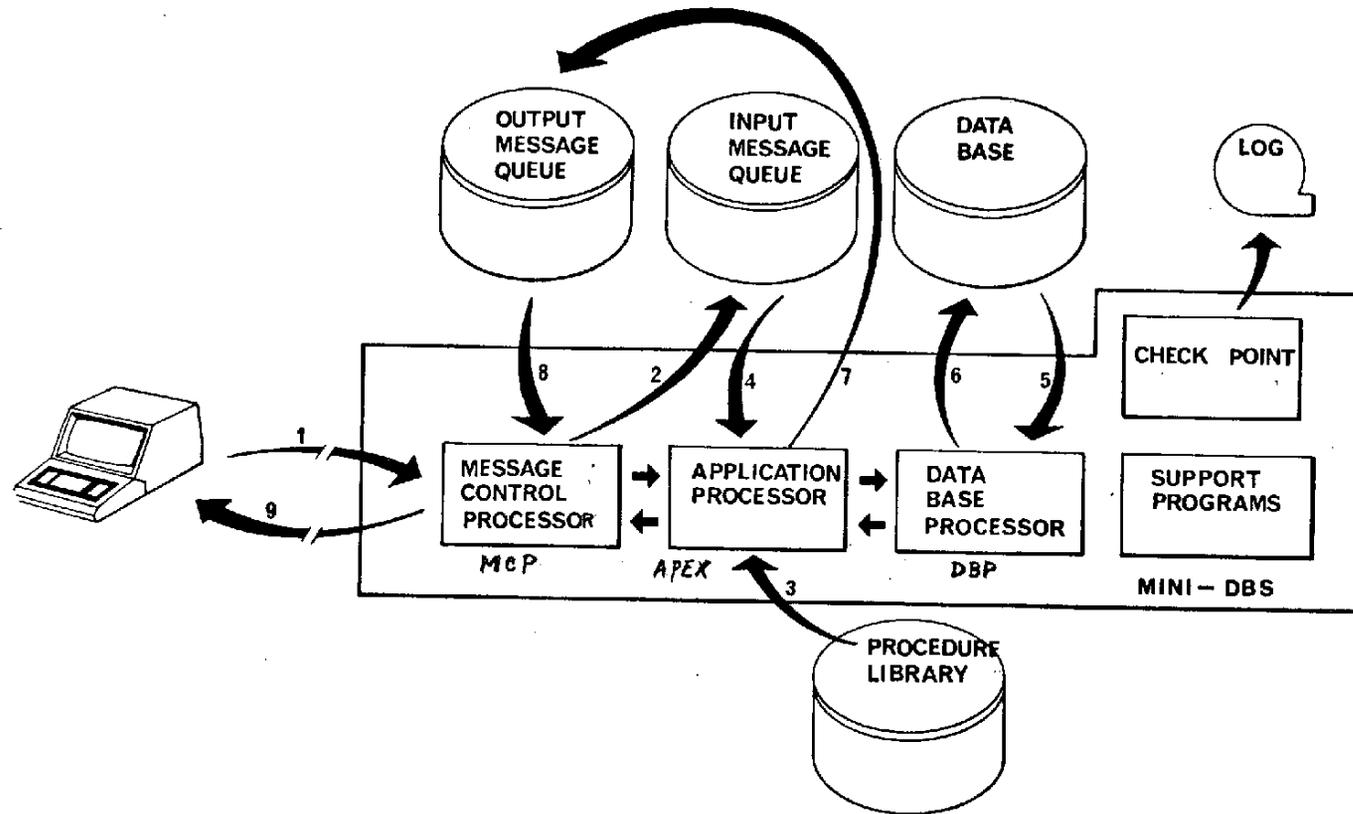




(4-4) COPY VIRTUAL TO REAL

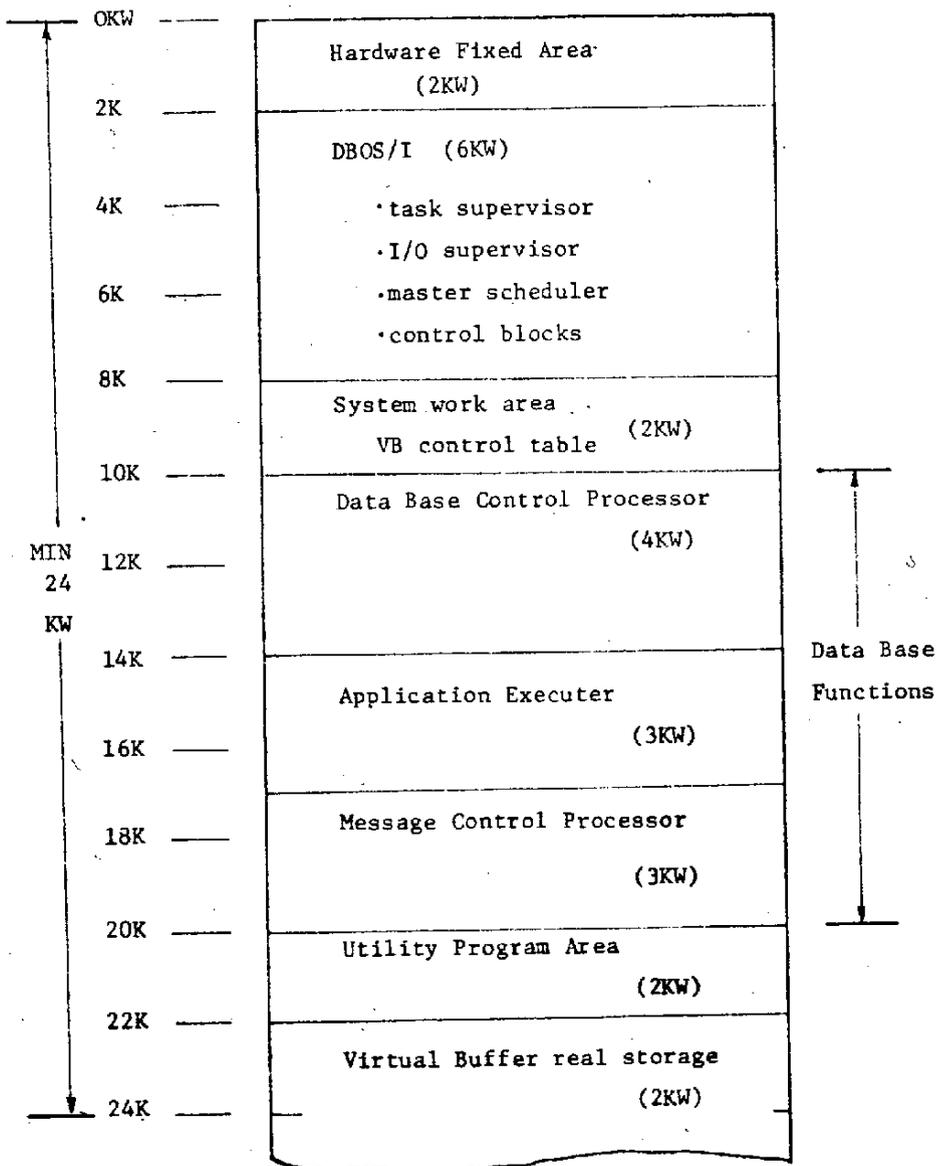


[5-5] CONTROL IN DBOS/1 NUCLEUS



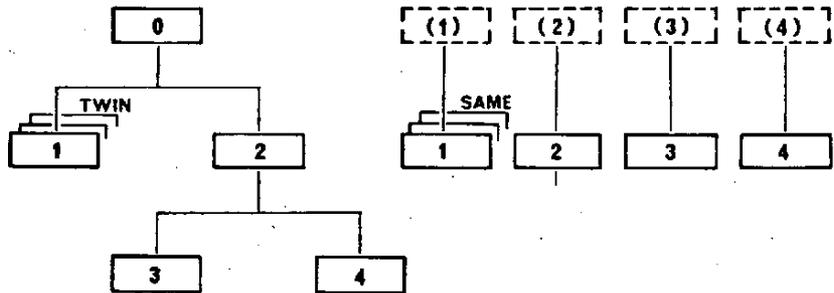
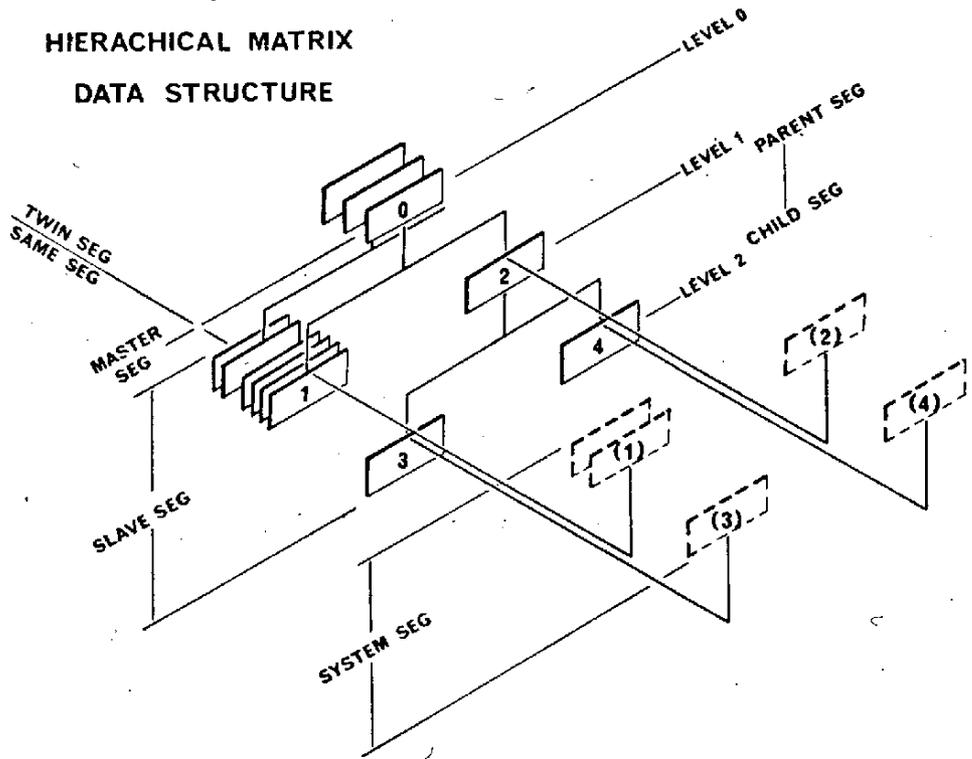
[6-6] DATA FLOW IN MINI-DBS

[X-7] MINI-DBS MEMORY LAYOUT

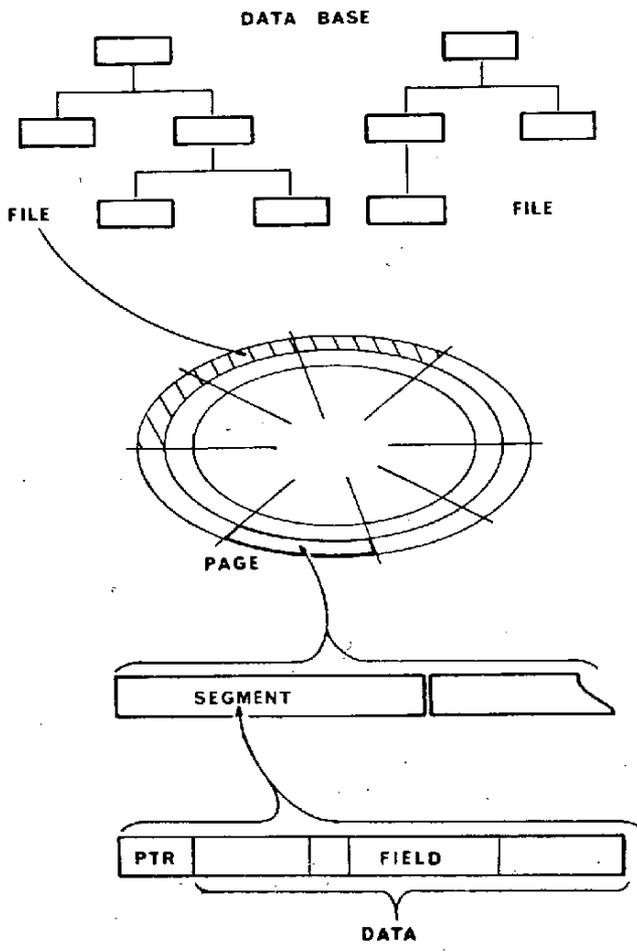


[8] - 8

HIERACHICAL MATRIX DATA STRUCTURE

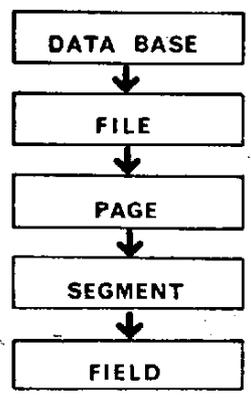


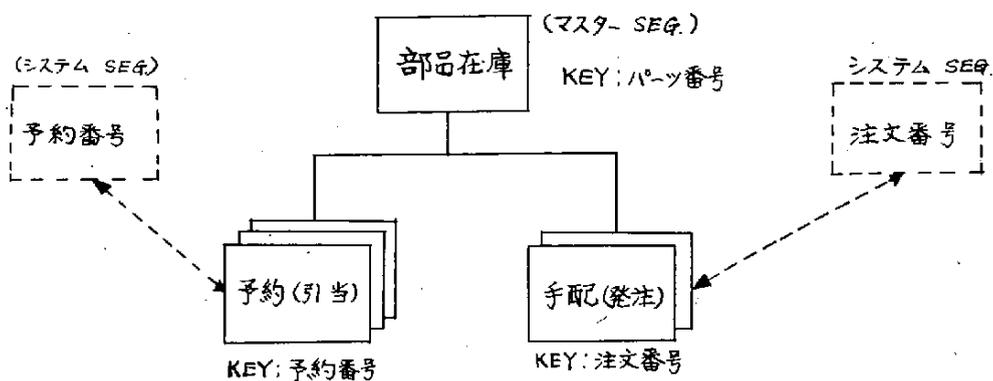
EQUIVALENT STRUCTURE



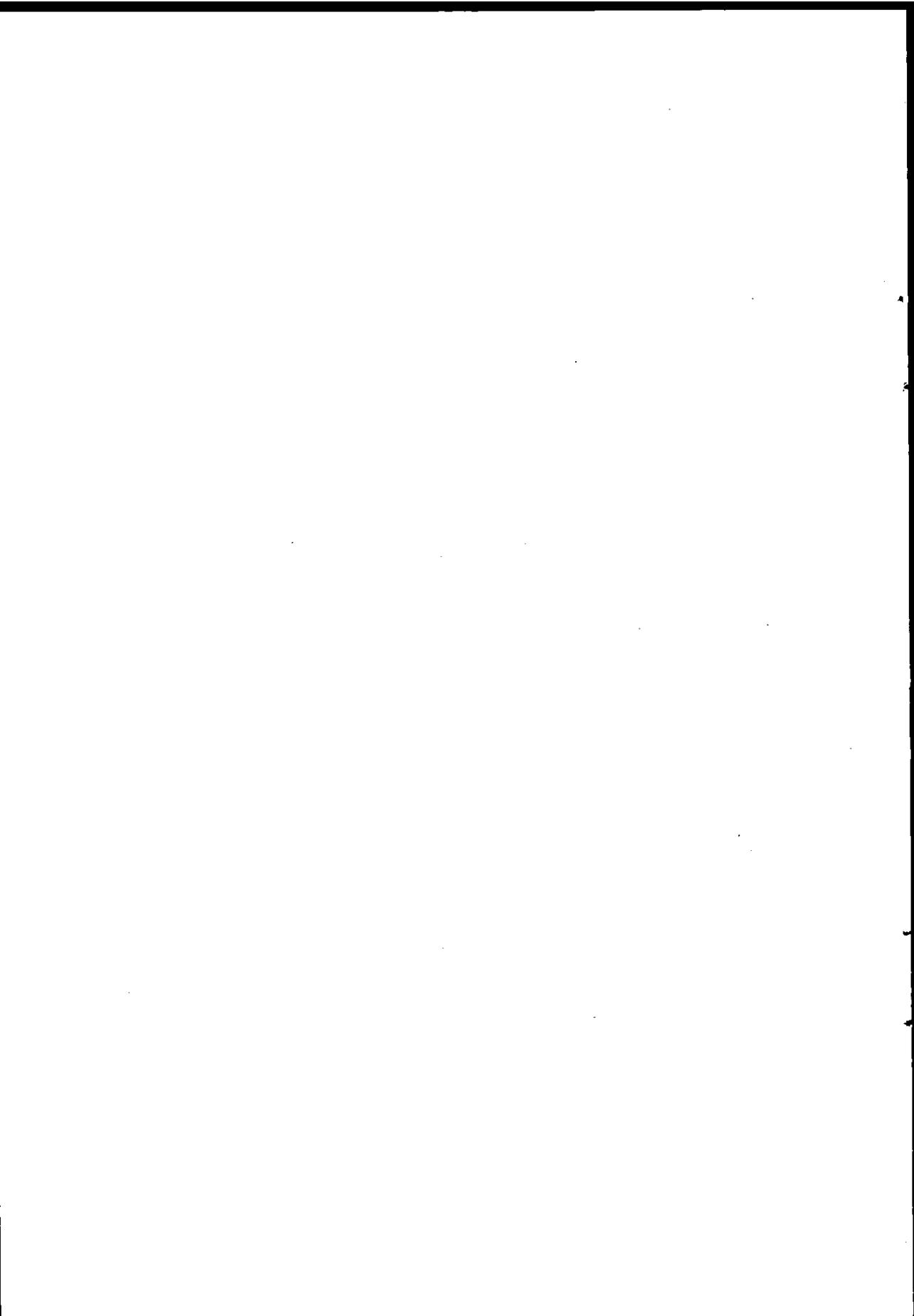
[9 - 9]

**HIERACHICAL PAGED
DIRECT ORGANIZATION**





[図-10] 部品在庫管理図 D/B (例)



Conjoint Measurement法を利用した 評価関数決定のための計算機システムの開発

共同研究者

◎東京理科大 佐伯 胖

" 溝口 文雄

1. Conjoint Measurement 理論 (解説と実験)

§1 序

「評価」ということの重要性が現代ほどさげばれている時代はないであろう。企業体組織体のもつべき目標は、増々、多元的となり複雑にからみあって来ている。その中で、評価事項に対する「数量化」ということがきわめて重要になって来ている。

しかるに、従来の考え方では、「数量化」という場合、まず特定の関数形、たとえば線型関数、を前提にして出発し、与えられたデータからその関数のパラメータを推定し、そして最後に、そのアテハメの適合度を「検定」する、ということがくりかえされて来た。ここで、「検定」が行われるといっても、この場合もとの関数形そのものに対してはその適否についての吟味は殆んど行われないうちにされるのが通常である。その結果、我々はともすると、本来数量化できない性質のものを数量化したり、本来数量化できるものをわざわざ数量化をおそれて避けたり、本来独立できない項目を独立に扱ったり、本来独立なものを非独立とみなすことをくりかえして来てはいないだろうか。

たとえば次の事例を考えてみよう。

<例1>シドウスキーとアンダーソンは次のような実験を行った (Sidowski and Anderson, 1967)。まず40人の学生を対象に4つの都市に対す

る「好み」を調べた。その結果、都市Aは最も好まれ、都市Bは次、都市Cは3番目、都市Dは第4番目に好ましいとされた。(平均評点による。)そこで次に、4種の職業、(会計士、教員、弁護士、医師)を想定させ、それぞれの職種に対して「どの都市が最も適切か」等、各都市の評価を行わせた。(1~9の評点をつける。)平均評点は表1の如くになった。

<表 1>

職 種	A	B	C	D
弁護士・医師	7.3	6.8	5.7	4.4
教 員	7.3 ⁽⁻⁾	6.7	5.3	3.2 ⁽⁺⁾
会 計 士	5.9	5.4	4.3	3.2

表1において「弁護士・医師」が同時に書かれているのは、両者に対する評価が殆んど変らなかったのをまとめてあることを示す。7.3⁽⁻⁾は四捨五入によって7.3以下のものが7.3にくりあがったものを示し、3.2⁽⁺⁾は逆に3.2を越えていた数値が切捨てられて3.2となったことを示す。

さて、表1は明らかに「交互作用」の存在を示している。すなわち、弁護士・医師対会計士の差は各都市を通してほぼ一定であるが、教員に対する評価は、都市Aでは弁護士・医師に近く、都市Dでは会計士の評価に近い。事実、分散分析の結果、交互作用効果は $p < 0.001$ で有意となっている。ところが表1のデータに対し、当研究で紹介するconjoint measurement法による定性分析を試みたところ、評価構造は加法的(都市の効用と職種の効用を加法的に結合した形で都市=職種の組合わせに対する効用がきまっている事)

であることを示していた。そこで、Kruskalの開発したMONANOVA(monotonic analysis of variance)によって、表1のデータに対して大小関係はもとのまゝを維持し、最少限度の修正を行って交互作用効果を消滅させてみたところ、表2のようになった。これは7.3⁽⁻⁾→6.9、3.2⁽⁺⁾→4.0、3.2→3.0と変換しただけである。表2においては明らかに都市=職種の組合

わせに対する効用は、都市の効用と職種の効用の完全な加法的表現（誤差項＝0）となっている。

<表 2>

職 種	A	B	C	D
弁護士・医師	7.3	6.8	5.7	4.4
教 員	6.9	6.4	5.3	4.0
会 計 士	5.9	5.4	4.3	3.0

すなわち、たとえば、

$U(\text{弁護士・医師}) = 3.40$ 、 $U(\text{教員}) = 3.00$ 、 $U(\text{会計士}) = 2.00$ とし、さらに、

$V(A) = 3.9$ 、 $V(B) = 3.4$ 、 $V(C) = 2.3$ 、 $V(D) = 1.0$ と定めると、職種＝都市の組合わせに対する効用を W としたとき、

$$W(X, Y) = U(X) + V(Y)$$

となっている。

以上の実例で明らかのように、「交互作用効果」が分散分析の結果「有意」と出た場合でも、評定者の評価構造が本当に交互作用を考慮して評定していたか疑わしい場合がある。そのような場合には、やはり評定データの定性的側面だけをたよりに評価構造を推測するプロセスが不可欠であろう。

当研究でとりあげた conjoint measurement 理論は、多次元の対象物に対する評定者の順位づけ判断だけをもとにして、

- (1) 評価の数量化の可否
- (2) 特定の評価関数形の同定
- (3) 関数表現の一義性

などについての保証を与えるものである。

§ 2. <conjoint measurement 理論>

conjoint measurement 理論は Duncan Luce と John Tukey によって 1964 年に創始され (Luce and Tukey, 1964), その後 Krantz, Tversky らのすぐれた数理心理学者によって発展させられたものである。この理論の数学的側面の紹介は、すでに佐伯 (1973) によってなされているのでここでは省略する。ここでは、この理論のもたらした結論的部分のみについて紹介し、その応用面についての過去の研究の例と、我々が当面行っている研究についての解説を試みる。

2.1 消去律 (cancellation law)

conjoint measurement 理論の中心になっているのは、消去律 cancellation law であり、与えられた順位づけデータが様々な種類の消去律をみたすか否かによって、背景になっている代数的構造が決定される。すべての消去律はそれぞれの代数的表現からみちびかれる 必要条件 であるが、conjoint measurement 理論により、それらがいくつか組合わさっていけば、だんだん 十分条件 に近くなることが判明している。(但し、アルキメディアン Archimedean 仮設とよばれる一種の連続性の仮設だけは cancellation laws だけでは如何ともしがたく、独立に仮定せざるを得ない。)

たとえば今、2次元の対象物集合 $Z = X \times Y$ があり、任意の対象物 $Z = (x, y) \in Z$ に対して加法的効用関数が存在したとする。すなわち、すべての $Z = (x, y)$, $Z' = (x', y') \in Z$ に対し、

$$Z \succeq Z' \quad \text{iff} \quad f(x) + g(y) \geq f(x') + g(y') \dots \dots \dots (1)$$

なる実関数 f, g が存在したとする。ここで \succeq というのは好まれる順位を示すもので、 $Z \succeq Z'$ というのは“ Z は Z' より好まれるかもしくは同時に好まれる”ことを意味している。

さて、(1)式の不等式に対して様々な消去律が考えられる。たとえば、 $y = y'$

と仮定し、 $f(x) + g(y) \geq f(x') + g(y)$ ならば、すべての $w \in Y$ に対し、

$$f(x) + g(w) \geq f(x') + g(w).$$

が成立つはずである。このことから、

一重消去 (又は独立性) :

$$A. 1: (x, y) \succeq (x', y) \quad \text{iff} \quad (x, w) \succeq (x', w) \\ \text{for all } w \in Y.$$

$$A. 2: (x, y) \succeq (x, y') \quad \text{iff} \quad (u, y) \succeq (u, y') \\ \text{for all } u \in X.$$

が成立っていなければならない。しかし、一重消去をみたしていたからといって評価関数が加法的なものにかぎるというわけではない。反例として有名なものに、辞書的順位づけ lexicographic ordering がある。辞書的順位づけ というのは

$$(x, y) > (x', y') \quad \text{iff} \quad x > x' \quad \text{or} \\ x \sim x' \quad \text{and } y > y' \\ (x, y) \sim (x', y') \quad \text{iff} \quad x \sim x' \quad \text{and } y \sim y'$$

というような順位づけで、このような順位づけは実関数によって表現できない (すなわち、評価関数なるものが存在しない) ことが判っているが、この順位づけルールは A. 1, A. 2, をともに満足している。

そこで次に、やはり実不等式の性質から、

2重消去 (double cancellation)

$$A. 3. \quad (x, y) \succeq (x', y') \\ (x', w) \succeq (u, y) \\ \hline \text{imply } (x, w) \succeq (u, y')$$

なる関係がみちびかれる。同様にして、

3重消去 (triple cancellation)

$$A. 4. (x, y) \succeq (x', y')$$

$$(x'', y') \succeq (u, y)$$

$$(x', w) \succeq (x, y'')$$

$$\text{imply } (x'', w) \succeq (u, y'')$$

なる順位づけ関係がみちびかれるであろう。このように、消去の次数をどんどん高めていけば、しだいに加法的表現以外ではありえないものへとなっていくであろうことは直観的にも明らかであろう。事実、対象物集合 Z が有限の場合には、最高次数 (これも有限となる) の cancellation まで成立てば、加法的表現は完全に保証される (Fishburn, 1970)。

2.2 多項式コンジョイント法

Krantz と Tversky (1971) は尺度値 (scale value) として正の実数をとる場合の 3 因子単純多項式 (three-factor simple polynomials) の診断手順を、さまざまな消去律の組合わせから導き出している。ここで、単純多項式 simple polynomials とは次の性質によって定義されるものである:

- a. 任意の 1 変数はそれ自体単純多項式である。
 - b. 共通変数をもたない 2 つの単純多項式の和、積もまた単純多項式である。
- 特に、3 つの異なる変数 (又は因子) の場合の単純多項式は次のようになる。

A, P, V を独立変数 (= 因子) として、

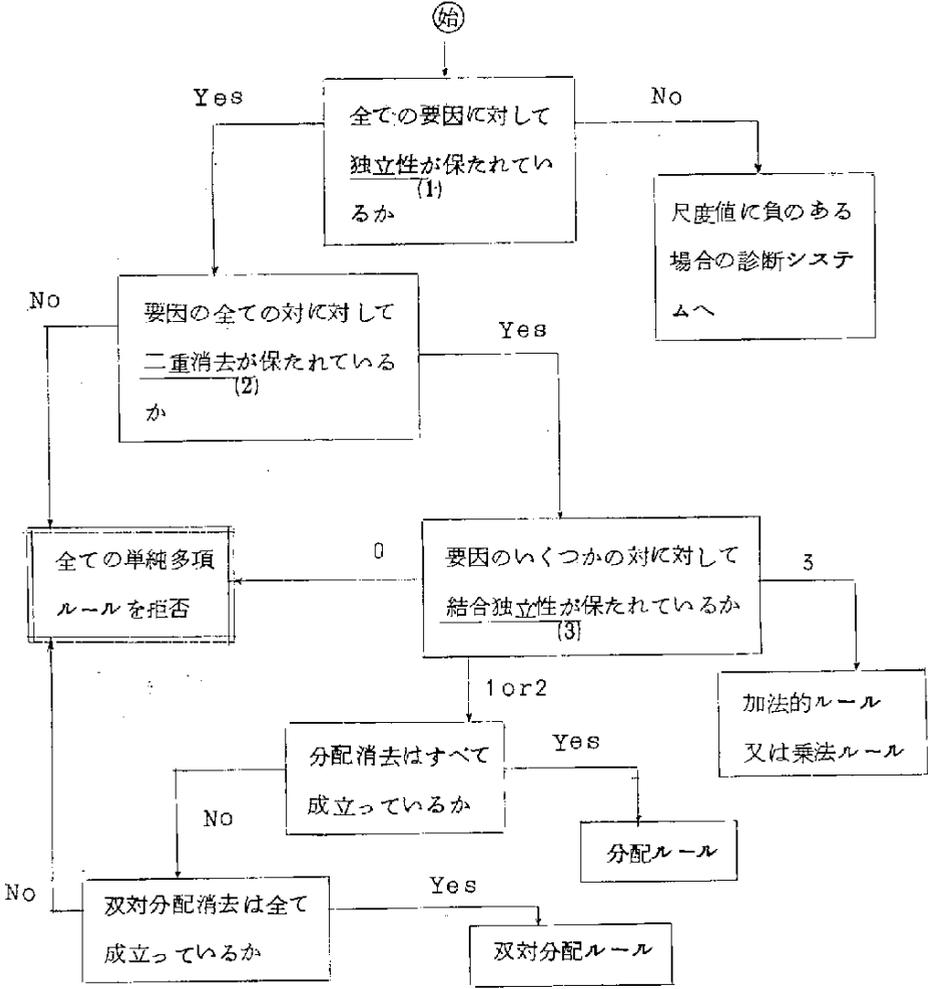
(i) $A + P + U$: 加法的ルール (additive rule)

(ii) $(A + P)U$: 分配ルール (distributive rule)

- (ii) AP+U : 双対分配ルール (dual-distributive rule)
- (iii) APU : 乗法ルール (multiplicative rule)

尚, Krantz と Tversky は尺度値が正負両方とりうる場合も考慮しての診断システムを提唱しているが, ここでは尺度値はつねに正をとるものと仮定する。従って, (i)と(iii)とはこの場合区別できない(何故なら, (iii)を対数変換すれば(i)となるから)。

診断システムは次に示す通りである。(図1参照)



[図 1] 診断手順

ここで、 A, P, U を3つの要因とし、それぞれのエレメントを $A = \{ a, b, c, \dots \}$, $P = \{ p, q, r, \dots \}$, $U = \{ u, v, w, \dots \}$ と定義する。そこで、図1にふくまれた各消去律は次のように定義される。

(1) 独立性 (independence)

$$(a, p, u) \succeq (b, p, u) \text{ iff } (a, q, v) \succeq (b, q, v)$$

for all $a, b \in A, p, q \in P, u, v \in U$

$\Rightarrow A$ は P, U に対して独立。

(2) 二重消去 (double cancellation)

$$\left. \begin{array}{l} (a, q, u) \succeq (b, r, u), \\ (b, p, u) \succeq (c, q, v), \end{array} \right\} \Rightarrow (a, p, u) \succeq (c, r, u)$$

(3) 結合独立性 (joint independence)

$$(a, p, u) \succeq (b, q, u) \text{ iff } (a, p, v) \succeq (b, q, v)$$

$\Rightarrow A, P$ は U に対して結合。

(4) 分配消去 (distributive cancellation)

$$\left. \begin{array}{l} (a, p, u) \succeq (c, r, v) \\ (b, q, u) \succeq (d, s, v) \\ (d, r, v) \succeq (b, p, u) \end{array} \right\} \Rightarrow (a, q, u) \succeq (c, s, v)$$

(5) 双対分配消去 (dual-distributive cancellation)

$$\left. \begin{array}{l} (c, s, v) \succeq (a, r, w) \\ (d, p, u) \succeq (b, t, x) \\ (d, r, x) \succeq (e, s, u) \\ (e, q, y) \succeq (c, t, y) \\ (a, t, y) \succeq (d, q, y) \end{array} \right\} \Rightarrow (a, p, v) \succeq (b, q, w)$$

以上の各種消去律を計算機プログラムで実現することが当研究の課題であるが、現在のところは独立性、二重消去（結合独立性はデータの入れ方さえ変えれば二重消去到にふまれる）、三重消去（若干の修正によって分配消去到にもなる）までであり、双対分配消去到に関しては何らかの簡略法や近似解をさぐらないかぎり現存する電子計算機では実現不可能なほどの時間がかかることが判明している。

次に、この我々の開発した消去法プログラムTRICA によって、作為的データの解析を試みたのでその結果を報告する。（表3参照）

<表 3>

データ・マトリックス	独立性	二重消去	三重消去
1 5 9 13 2 6 10 14 3 7 11 15 4 8 12 16	1 2 / 1 2	1056/1056	42456/42456
1 2 4 7 3 5 8 11 6 9 12 14 10 13 15 16	1 2 / 1 2	1028/1028	41416/41416
1 2 3 4 9 10 11 12 5 6 7 8 13 14 15 16	1 2 / 1 2	1056/1056	42456/42456

データ・マトリックス	独立性	二重消去	三重消去
1 2 3 4 12 13 14 5 11 16 15 6 10 9 8 7	3 / 1 2	970/1042	44697/47127
1 2 3 4 8 7 6 5 9 10 11 12 16 15 14 13	6 / 1 2	1056/1056	43744/43744
1 3 7 14 5 15 13 8 9 12 16 4 11 10 6 2	0 / 1 2	754/1164	41356/60110
1 5 11 15 8 2 6 12 13 9 3 7 16 14 10 4	0 / 1 2	688/1202	40493/64091

⑨ 各消去律の欄における分数表現で，“分母”は条件不等式をみたした回数，“分子”はそのうち結論不等式もみたしたものの回数を示している。

参考文献(第I部のみ)

1. Fishburn, P.C. Utility Theory for Decision Making. (Publications in operations research No.18), New York;Wiley, 1970.
2. Krantz, D.H., and Tversky, A. Conjoint-measurement analysis of composition rules in psychology. Psychological Review, 1971, 78, 151-169.
3. Luce, R.D., and Tukey, J.W. Simultaneous conjoint measurement: A new type of fundamental measurement. Journal of Mathematical Psychology.
4. 佐伯 胖 公理論的アプローチ-Conjoint measurement 理論. 心理学研究法 17. (印東編:東大出版会) 1973年
5. Sidowski, J.B., and Anderson, N.H. Judgments of city-occupation combinations. Psychonomic Science, 1967, 7, 279-280.

II. Conjoint Measurement と多次元尺度構成

(1) 多次元尺度構成の発展過程

人間の判断, 選考などの順序データを用いて, そこに何らかの数量化を試みる方法は, Conjoint Measurement の理論とはまったく独立に開発されてきた。即ち, 多次元尺度構成の発達過程は1963年のLuce & Tukey による Conjoint Measurement の確立とは別に, ほぼ2つの段階の歴史的変遷をへてなされてきたと考えられる。

第1段階は多次元尺度構成に対してメトリックのアプローチをしていた, 主

としてPrinceton派，すなわちTorgersonグループの貢献である。このメトリック多次元尺度構成に分類されている諸方法では，観測した得たデータから距離に対応する測度としてユークリッドの距離と同一になるかどうか確認する必要がある。その十分条件のための数学的基礎はYoung & Householderの定理として，むしろ後になって確立された。Princeton派の研究者はGulliksonの計量心理学に関連した人々で，Messik, Abelson とも含まれているが，この段階の代表的な著書はTorgerson²⁾(1958)の“Theory and methods of scaling”であろう。

メトリック多次元尺度構成による解析では，モノ i とモノ j との間の非親近性データ $\{S_{ij}\}$ を基礎にしているが， $\{S_{ij}\}$ は数値として決められていなければならない。この $\{S_{ij}\}$ は非親近性連続体上で一次元の尺度として測定される。このとき，原点と単位を任意に定めて $\{S_{ij}\}$ を間隔尺度として測定する場合と，原点が心理的に定まっていると仮定して， $S_{ij} \geq 0$ として単位のみが任意の定数である比例尺度として測定する場合がある。この $\{S_{ij}\}$ をYoung & Householderの定理から多次元のユークリッド空間に n 個のモノの空間配置を決定する方法がメトリック多次元尺度構成である。この他に，個人の親近性データを扱って，個人差のモデルを扱うTucker & Messickの方法³⁾(1963)，また最近になってCarroll & Changの方法⁴⁾(1970)がある。

第2の段階はノンメトリック多次元尺度構成と呼ばれる諸方法を発展させたベル研究所のShepard & Kruskalのグループによって，1960年頃から始まっていった。メトリック多次元尺度構成では間隔尺度，又は比例尺度で測定された(非)親近性を出発点としていたのに対して，ノンメトリックの多次元尺度構成では(非)親近性の測度に対しては順序尺度でもよい。ただ，入力データとなる順序尺度上で測定された測度が対応する距離における順序関係と一致するかどうかを認識する必要がある。こうした順序データを用いて空間配置を決定していくアプローチは，そのデータの点間距離の順序にもとづいてな

されるのであるが、このことはすでにAbelson & Tukey¹⁾(1963)によって報告されている。特に、一次元尺度構成において、高次順序距離尺度 (higher orderd metric scale) は尺度上の点の個数が増えるにしたがって間隔尺度に近づいていくことが指適され、この考え方は多次元尺度構成にも適用できることが述べられている。事実、Coombsの展開法 (multidimensional unfolding⁵⁾(1964)は一次元のみならず多次元の展開法を利用したプログラムがすでに選好構造の写像法 (Preference Mapping) としてCarroll & chang⁴⁾(1969)によって開発されている。

Shepard⁷⁾の汎親近性 (Proximity) による解析はこのような背景のもとにノンメトリック多次元尺度構成に接近していったものと考えられる。Shepardの方法では、距離がユークリッド距離であったのに対して、Kruskal¹¹⁾(1964)はさらに拡張して、ミンコフスキーの L_p 距離ができる空間にまで解析の対象を広げた。そして、Kruskalは空間配置を最小次元の空間とする基準のために、回帰分析における誤差自乗和の概念にもとづいてストレス (stress) なる量を定義して適合度の基準を設定した。そして、ストレスが小さいほどある最小次元の空間による適合度がよいことを意味している。Shepard & Kruskalによるノンメトリック多次元尺度構成は、その後McGee⁸⁾(1968), Young & Torgerson⁹⁾(1969), Guttman¹⁰⁾(1968)らによって諸方法が開発されるに至っている。いずれにせよ n 個のモノから二つのモノ(i と j)に対して、類似性、親和性、結合性、相互性、相関性といったものを一般に、広く汎親近性を表わすデータ $\{S_{ij}\}$ を考えている。そして、許容できる近似内で、点間距離 d_{ij} が汎親近性データ $\{S_{ij}\}$ と、 $S_{ij} > S_{kl} \rightarrow d_{ij} < d_{kl}$ の単調関係があることを仮定して、最小次元の(ユークリッド)空間に n 個の点の空間配置を決める。点の最適空間配置を見出すためにグラジェント法を適用するために、汎親近性データ $\{S_{ij}\}$ と距離 d_{ij} とに成立する単調関係からのズレを最小にするための評価基準を関数として定義しておく必要がある。Kruskalの方法では汎親近性データ $\{S$

i, j } に対して, $S_{ij} < S_{kl} \rightarrow d_{ij} \leq d_{kl}$ の単調関係をもつことを条件として, 距離 d_{ij} とそれに対応づけられた擬似距離 \hat{d}_{ij} との差の2乗の和をとって S' と定義する。すなわち,

$$S' \equiv \sum_{i < j} (d_{ij} - \hat{d}_{ij})^2 \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

とする。この \hat{d}_{ij} はモノの間の汎親近性を維持するために d_{ij} の距離のうち必要なものを修正したもので擬似距離と言える。例えば, 図2のように単調

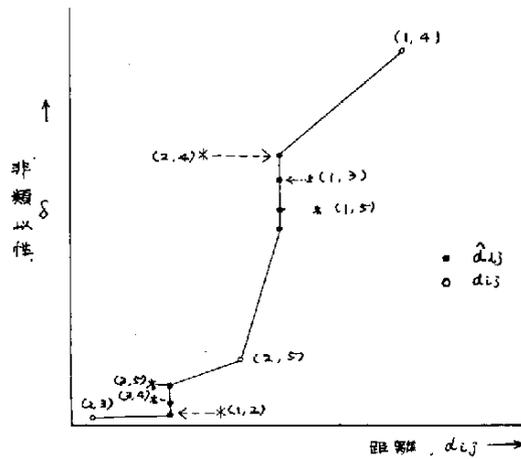


図2 擬似距離 \hat{d}_{ij} の図解

関係を維持しながら, そこかズレのある距離を擬似距離として, (d_{ij}, d_{ij}) を (\hat{d}_{ij}, d_{ij}) に修正している。距離 d_{ij} は空間配置の平行移動, 反射, 回転に対して変化しないので S' も変化しないが, 座標を一様に拡大または縮小すると S' は変わってくる。そのため

$$T' = \sum_{i < j} d_{ij}^2 \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

を単位にとって

$$\frac{S'}{T'} = \frac{\sum_{i < j} (d_{ij} - \hat{d}_{ij})^2}{\sum_{i < j} d_{ij}^2} \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

とすれば S'/T' は空間配置の拡大, 縮小に対して不変となる。これから単調

増加の曲線 S' の適合度として次のような関数を定義する。

$$S \equiv \frac{S'}{T'} = \sqrt{\frac{\sum_{i < j} (d_{ij} - \hat{d}_{ij})^2}{\sum_{i < j} d_{ij}^2}} \quad \text{-----} \textcircled{5}$$

これがストレスである。その他の Guttman の最小次元解析 (Smallest Space analysis, SSA)¹⁰⁾ でも何んらかの意味で適合度 μ を設定し、 μ をニュートン法のような逐次計算で最大化し、空間配置を決める点は Kruskal の方法と同様の考え方である。

ただこれらの方法はいずれも、最初のモノの空間配置への設定、多次元空間の次元数などは明確なアルゴリズムがない。ただ性質上、繰返し計算による手順にたよるために、モンテカルロ法、ランダムサンプルとして初期状態を決定し、もしストレスが局部最小値に収束してしまう場合は、再度計算していく方式で最適な空間配置を決定している。

さて、第2の段階(1962-1968年)以降の状況はメトリック、ノンメトリックの利点を統合していく計算機プログラムの開発にあると考えられる。ことに、Kruskal の M-D-SCAL5M と Torgerson のメトリックな方法によって初期の空間配置を定める TORSCAG とを結合した KYST が Kruskal, Young, Shepard, Torgerson¹¹⁾ (1972) によって、より汎用のノンメトリック多次元尺度構成プログラムが開発されるに至っている。

(2) 多項式 Conjoint Measurement 法による多次元尺度構成への接近。

ノンメトリックとメトリックとを融合した多次元尺度構成プログラムの開発の方向とは別に、データ構造を Conjoint Measurement 法によって "Conjoint データ" に調整した段階で、尺度化をねらう方向も考えられる。さらに、多項式 Conjoint Measurement 法によってノンメトリック多次元尺度構成のアルゴリズムを構成する試みが Young, F.W.¹²⁾ (1972) により始められている。これは Luce & Tukey¹³⁾ (1964) の Conjoint Measurement が公理系、定理系として築かれて以来、Krantz, D.H.¹⁴⁾ (1964) による拡張、Tversky, A.¹⁵⁾ (1967) の多項式 Conjoint Measurement へ

と発展をとげ、それが単なる測定論の数学的基礎としてでなく、数値解析のアルゴリズムの基礎モデルの構築に利用されるに至ったことを意味している。したがって、ノンメトリック多次元尺度構成に多項式 Conjoint Measurement 法を導入する解析法は、多次元尺度問題に対して新しい段階に入ったとも考えられる。事実、Young, F.W の提案はノンメトリック多次元尺度のアルゴリズムを構成する一般的アプローチが多項式 Conjoint Measurement 法の解析アルゴリズムを構成するひとつのきっかけをつくることにあると考えられる。このことは、結局、ノンメトリック多次元尺度構成が多項式 Conjoint 解析のひとつの特別のケースと考えられるからである。これを別の視点でみれば、まず、ノンメトリック多次元尺度構成のアルゴリズムを Conjoint Measurement 法の形でどのようにして構成したらよいかを考察し、次にノンメトリック多次元尺度構成を包含する Conjoint Measurement 法による一般的なノンメトリック多次元尺度構成のアルゴリズムを確立するためのステップをつくっていくことにもなる。

ノンメトリック多次元尺度構成、例えば Kruskal の方法では最良の単調変換が得られるようにして、ミンコフスキーの空間にあるものならどのようなものでも類似性の解析をすることができる方法であると言えよう。これを多項式 Conjoint Measurement 法の言葉で表現しなおしてみると、Kruskal の方法はミンコフスキーの距離がデータマトリックス(例えば類似性)に関して単調にあるような座標(空間配置)を同時に求めるようにミンコフスキーの距離関数で定義された結合ルールを用いることになる。マトリックで表現すると、Kruskal の方法は次のように表現できる。

$$\mathcal{S} \hat{D} \hat{D} \hat{D} = f(X) \dots\dots\dots ⑥$$

ここで \mathcal{S} は n 個のモノの間の類似対称マトリックス

\hat{D} は n 行 n 列の擬似距離の対称マトリックス

また、 \hat{D} は、もし $S_{ij} > S_{kl}$ ならば $d_{ij} \leq d_{kl}$ であり、もし $S_{ij} = S_{kl}$ ならば $d_{ij} = d_{kl}$ であることを示す。また、 \hat{D} は最小二乗近似を

表わす。マトリックス D は、次の関数 $f(X)$ によって空間配置 X と関係づけられる。Kruskal の方法では $f(X)$ はミンコフスキーの距離関数であり次のように定義できる。

$$f(X) = \left[\sum_{a=1}^r |x_{ia} - x_{ja}|^c \right]^{\frac{1}{c}}, \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

ここで、関数 $f(X)$ は X についての行のすべてのペアにある要素に対応して定義され、 c はミンコフスキーの定数で $c \geq 1$ とする。この式 (6), (7) から、ノンメトリック多次元尺度アルゴリズムを多項式 Conjoint Measurement 法によって一般的アルゴリズムを構成することができる。

(2.1) 類似性データの多項式 Conjoint 解析

類似性データの多項式 Conjoint 解析によるアルゴリズムを構成するモデルには、ノンメトリック尺度構成について二つの一般的モデルを設定する。ひとつは、マトリックス X とマトリックス D に関係づける関数を修正するための一般的モデルであり、もうひとつはマトリックス S が対称マトリックスとならない場合も包含するモデルである。

(i) 長方形マトリックスの解析

長方形マトリックスを含む一般的方法を処理するキポイントはスパーマトリックスの概念である。⑥式をスパーマトリックスで書換えてみると、

$$\begin{array}{cc|c} S_{11} & S_{12} & m \\ \hline S_{21} & S_{22} & \end{array} = \begin{array}{cc|c} \tilde{D}_{11} & \tilde{D}_{12} & \\ \hline \tilde{D}_{21} & \tilde{D}_{22} & \end{array} \sim \begin{array}{cc|c} D_{11} & D_{12} & \\ \hline D_{21} & D_{22} & \end{array} = f\left(\frac{X_1}{X_2}\right) \quad (8)$$

すなわち、類似性のマトリックス S をスパーマトリックスで再定義して、それにもなって次々にマトリックス \tilde{D} , D , X もスパーマトリックスで再定義する。⑧式のスパーマトリックスを考察してみる。マトリックス S_{11} には刺激セット 1 の類似性データがある。ここでの類似性はセット 1 内の刺激より得られたものである。マトリックス S_{22} には刺激セット 2 内の類似性データがある。したがって、これらの S_{11} , S_{22} は対称マトリックスでなければならない。 S_{11} における行と列の数を n_1 , S_{22} のそれを n_2 とする。次にマトリックス S_{12} について考えてみると、ここではセット 1 とセット 2 におけ

る刺激間の類似性をもっていることになる。したがって、マトリックスは n_1 、 n_2 列の長方形マトリックスをもつことになる。また、 S_{21} は S_{12} の転置マトリックスと考えられる。その他のマトリックス、 \tilde{D} 、 D も同様のことが考えられる。それらに対応して、マトリックス X_1 、 X_2 はそれぞれセット 1、2 における刺激に対する空間配置である。したがって、 X_1 は n_1 行 r 列、 X_2 は n_2 行 r 列のマトリックスとなる。対称マトリックスと同様にして長方形マトリックスを解析するために、類似性データがセット 1 とセット 2 との刺激が得られたと仮定すると、次のように書くことができる。

$$S_{12} \stackrel{m}{=} \tilde{D}_{12} \approx D_{12} = f' \left(\frac{X_1}{X_2} \right) \dots\dots\dots (9)$$

ここで S_{12} は \tilde{D}_{12} と単調関係にある類似性の長方形マトリックスとする。マトリックス \tilde{D}_{12} は D_{12} への最少二乗近似とする。また、 D_{12} はそれぞれ、空間配置 X_1 、 X_2 で表わされたセット 1、2 の点間距離とする。関数 f の定義をそれぞれ X_1 、 X_2 における各行の比較ということにすると、次のように定義できる

$$f(X) = \left[\sum_{a=1}^r |x_{ia} - x_{ja}|^c \right]^{\frac{1}{c}}, \quad (i=1, 2, \dots, n_1; j=1, 2, \dots, n_2) \dots\dots\dots (10)$$

(7)式で定義された関数 f をサブマトリックス X_1 、 X_2 に適用すると次のようになる。

$$D_{11} = f(X_1) \dots\dots\dots (11)$$

$$D_{22} = f(X_2) \dots\dots\dots (12)$$

X_1 、 X_2 を考察してみると、これらのマトリックスは解析された時の空間の次元に対応した r 列をもっている。 X_1 における行の数は S_{12} における行の数 n_1 に対応し、 X_2 の行の数は S_{12} の列の数 n_2 に対応する。したがって、マトリックス S_{12} の行の効果を、また X_2 はデータマトリックス S_{12} の列の効果を表わしていると考えられる。 X_1 と X_2 とは同一の次元数をもっていることが必要であり、これは "Joint" ユニットと回転から決められる。

以上をまとめると、マトリックス X_1 、 X_2 は関数 f' により結びつけられ

て、マトリックス D_{12} をつくりだす。 D_{12} は \tilde{D}_{12} がデータマトリックス S_{12} に単調関係が完全にたもたれているという条件のもとで \tilde{D}_{12} への最小二乗回帰から求められる。単調性は減少でも、増加でもよい。マトリックス D_{11} は関数 f によって X_1 と、 D_{22} は関数 f によって X_2 と、それぞれ関係づけられる。

(ii) 一般化関数

ノンメトリックの第2の一般的モデルは距離のマトリックス D と空間配置のマトリックス X とを関係づける関数をゆるめていくことにある。対称マトリックスの場合に、その関数を g と書くと、次のように定義できる。

$$g(X) = g_1(g_2(x_{i.}, x_{j.})) \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad \text{---(13)}$$

長方形マトリックスの場合、 g' と書くと、次のように定義できる。

$$g'(X) = g_1'(g_2'(x_{i.}, x_{j.})) \quad \text{---(14)}$$

$$(i = 1, 2, \dots, n_1; j = 1, 2, \dots, n_2)$$

ただし、 $x_{i.}$ は X の i 番目の行全部を示す。類似性データの多項式 Conjoint 解析によって対称マトリックスの場合のモデルは次のように表わすことができる。

$$S \stackrel{m}{=} \tilde{D} \simeq D = g(X) \quad \text{---(15)}$$

ただし、 g は(13)式で定義されている。

長方形マトリックスの場合のモデルは次のように表わすことができる。

$$S_{12} \stackrel{m}{=} \tilde{D}_{12} \simeq D_{12} = g' \left(\begin{matrix} X_1 \\ X_2 \end{matrix} \right) \quad \text{---(16)}$$

ここで g' は(14)式で定義されている。関数 g を長方形マトリックスの場合の X_1, X_2 に用いると、

$$D_{11} = g(X_1) \quad \text{かつ} \quad D_{22} = g(X_2) \quad \text{---(17)}$$

以上のようにマトリックス D と X についての関数 g を(13), (14)式のように一般的に定義することができたが、これでは実際の多次元尺度構成にどのようにして対応づけていくかの具体的なイメージがつかめない。したがって、これらの関数

から、いくつかの多次元尺度のサブモデルを導いてみよう。

(a) ユークリッドの尺度

ユークリッド距離によるノンメトリック多次元尺度構成は次のように考えればよい。

$$g_1(g_2) = [g_2]^{\frac{1}{2}} \quad \text{かつ} \quad g_2(x_{i.}, x_{j.}) = \sum_{a=1}^r (x_{ia} - x_{ja})^2 \quad \dots\dots\dots (18)$$

(b) ミンコフスキーの尺度

ミンコフスキー空間による多次元尺度構成のサブモデルは次のように考えればよい。

$$g_1(g_2) = [g_2]^{\frac{1}{c}} \quad \text{かつ} \quad g_2(x_{i.}, x_{j.}) = \sum_{a=1}^r |x_{ia} - x_{ja}|^c \quad \dots\dots\dots (19)$$

ただし、 C はミンコフスキーの定数とする。以上の(18), (19)式から、それぞれ Shepard の方法, Kruskal の方法で用いられる距離の定義を得る。

(2.2) 結合ルール (Combination Rule) の導出。

多次元尺度構成ではデータ構造の解析が、結局、単調性にもとづいたある次元数をもつ空間配置にもち込むことが第1の目的である。しかし、多項式 Co-joint Measurement 法によれば各独立変数の順序を保ちながら、従属変数のスケールと、その多項式の展開形式を求めることが可能である。この時、多項式の結合形式、あるいは結合ルールが重要な役割をもつのであるが、このルールが(13), (14)式から導びくことができる。(13), (14)式から、次のように定義する。

$$g_1(g_2) = (g_2)^b \quad \text{かつ} \quad g_2(x_{i.}, x_{j.}) = \sum_{a=1}^r g_3(x_{ia}, x_{ja})^c \quad \dots\dots\dots (20)$$

距離もしくは結合の定義が与えられると、ルールは次のようになる。

$$d_{ij} = \left[\sum_{a=1}^r g_3(x_{ia}, x_{ja})^c \right]^b \quad \dots\dots\dots (21)$$

ただし、関数 g_3 は以下で定義された一価の実数関数である。

(a) 加法的結合ルール

$$\left. \begin{aligned} g_s(x_{ia}, x_{ja}) &= x_{ia} + x_{ja} \\ d_{ij} &= \left[\sum_{a=1}^r (x_{ia} + x_{ja})^c \right]^b \end{aligned} \right\} \text{-----} \textcircled{22}$$

(b) 減法的結合ルール

$$\left. \begin{aligned} g_s(x_{ia}, x_{ja}) &= x_{ia} - x_{ja} \\ d_{ij} &= \left[\sum_{a=1}^r (x_{ia} - x_{ja})^c \right]^b \end{aligned} \right\} \text{-----} \textcircled{23}$$

(c) 乗法的結合ルール

$$\left. \begin{aligned} g_s(x_{ia}, x_{ja}) &= x_{ia} \cdot x_{ja} \\ d_{ij} &= \left[\sum_{a=1}^r (x_{ia} \cdot x_{ja})^c \right]^b \end{aligned} \right\} \text{-----} \textcircled{24}$$

また絶対値の場合についても導びける。

(d) 絶対加法的結合ルール

$$\left. \begin{aligned} g_s(x_{ia}, x_{ja}) &= |x_{ia} + x_{ja}| \\ d_{ij} &= \left[\sum_{a=1}^r |x_{ia} + x_{ja}|^c \right]^b \end{aligned} \right\} \text{-----} \textcircled{25}$$

(e) 絶対減法的結合ルール

$$\left. \begin{aligned} g_s(x_{ia}, x_{ja}) &= |x_{ia} - x_{ja}| \\ d_{ij} &= \left[\sum_{a=1}^r |x_{ia} - x_{ja}|^c \right]^b \end{aligned} \right\} \text{-----} \textcircled{26}$$

(f) 絶対乗法的結合ルール

$$\left. \begin{aligned} g_s(x_{ia}, x_{ja}) &= |x_{ia} \cdot x_{ja}| \\ d_{ij} &= \left[\sum_{a=1}^r |x_{ia} \cdot x_{ja}|^c \right]^b \end{aligned} \right\} \text{-----} \textcircled{27}$$

これらの結合ルールはすべて加法差モデル (Berls, Krantz, & Tversky, 1968) に属しているものである。

実際には、これらの結合ルールは擬似距離 \hat{d}_{ij} を変換して x_{ia} , x_{ja} を求めるために用いられる。例えば、加法的結合ルール d_{ij} に適用すれば、次式のようになる。

$$\hat{d}_{ij}^{1/b} = \sum_{a=1}^r (x_{ia} + x_{ja})^c \text{-----} \textcircled{28}$$

近似式から

$$\hat{d}_{ij}^{1/b} = (x_{i1} + x_{j1})^c + \sum_{a=2}^r (x_{ia} + x_{ja})^c \text{-----} \textcircled{29}$$

これは次式と等しい。

$$\hat{d}_{ij}^{1/cb} = x_{i1} + x_{j1} + \left[\sum_{a=2}^r (x_{ia} + x_{ja}) c \right] \frac{1}{c} \quad \text{--- 30}$$

$$\text{これから, } x_{i1} = \hat{d}_i^{1/cb}, \quad x_{j1} = \hat{d}_j^{1/cb} \quad \text{--- 31}$$

ここで \hat{d}_i は擬似距離の i 行の平均とする。

次に、残余マトリックスに対して

$$z_{ij} = \hat{d}_{ij}^{1/cb} - x_{ia} + x_{ja} \quad \text{--- 32}$$

$$\text{とし, } z_{ij} = \left[\sum_{a=2}^r (x_{ia} + x_{ja}) c \right] \frac{1}{c} \quad \text{--- 33}$$

を考えると、29式と同様にして

$$z_{ij} = x_{i2} + x_{j2} + \left[\sum_{a=3}^r (x_{ia} + x_{ja}) c \right] \frac{1}{c} \quad \text{--- 34}$$

この34式から

$$x_{i2} = z_i, \quad x_{j2} = z_j \quad \text{--- 35}$$

以上の操作を r 次元まで実行していけば、加法的結合ルールをみたすマトリックス X の空間配置を求めることができ、これから距離マトリックス D を求められる。

実際の計算機のプログラムでは、最小二乗回帰のための最適化アルゴリズムの構成が重要であり、Kruskal の方法を用いられた gradient 法以外の Fletcher & Powell (1963) の方法による最適化法を検討することもできるが、特に多項式 Conjoint 解析とは深いつながりがないので省略した。以上の多項式 Conjoint Measurement 法による多次元尺度構成の計算機プログラムは完全な形では開発されていない。現在までに、Conjoint Measurement 法を利用しているプログラムシステムは次の四つにすぎない。

1. Monotone analysis of variance (MONANOVA), Kruskal¹⁷⁾
1965
2. Additivity analysis, Tversky & Zivian¹⁸⁾ 1966
3. Guttman-Lingoes Conjoint measurement (CM-I, CM-II)²⁰⁾ 1968
4. Categorical Conjoint measurement, Carroll¹⁹⁾ 1969

ここでは、多項式 Conjoint Measurement 法を多次元尺度構成をどのよ

うに適用していけばよいかを考察するにとどめたが、順序データをひとまず Conjoint データに変換する部分として、各種の Cancellation を適用する段階を我々は試験的に開発したが、次の段階は結合ルールのアルゴリズム化と考えられる。

参考文献

1. 多次元尺度構成関係

1. Abelson, R.P. & Tukey, J.W., Efficient Utilization of Non-Numerical Information in Quantitative Analysis : General Theory and the Case of Simple Order, *Annals of Mathematical Statistics*, vol. 34, 1963, PP 1347-69
2. Torgerson, W.S., *Theory and Method of Scaling*, New York, John Wiley 1968
3. Tucker, L.R. & Messick, S., An individual differences model for multidimensional Scaling, *Psychometrika*, vol. 28, No. 4, 1963, PP 333-367
4. Carroll, J.D. & Chang, J.J., Analysis of individual differences in multidimensional scaling via an N-way generalization of "Eckart-Young" decomposition, *Psychometrika*, vol. 35, No. 3, 1970, PP. 283-319
5. Coombs, C.H., *A theory of data*, New York, John-Wiley, 1964.
6. Kruskal, J.B. *Multidimensional Scaling by op-*

timizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis, Psychometrika, vol.29, No1.1964-a. PP.

1-27

7. Shepard, R.N. The analysis of proximities: Multidimensional Scaling with an unknown distance function II, Psychometrika, vol.27, No.3, 1962-b. PP.219-245
8. McGee, V.E., The multidimensional analysis of 'Elastic' Distance, British Journal of Mathematical and Statistical Psychology, vol.19. 1966, PP.181-96
9. Young, R., W., & Torgerson, W.S. TORSCA, A FORTRAN IV program for Shepard-Kruskal multidimensional scaling analysis. Behavioral Science, vol.12. 1967, P498
10. Guttman, L., A general nonmetric technique for finding the smallest coordinate space for a configuration of point. Psychometrika, vol.33, No4.1968, PP469-506
11. Kruskal, J.B. et al, How to use KYST, Bell Telephone Lab.(1972)
12. Young, F..W. A model for Polynomial conjoint analysis algorithms. In R.N. Shepard et al (Eds.). Multidimensional Scaling, New York:

Seminar Press. 1972.PP69-102

2. Conjoint Measurement 関係

13. Luce, R.D, & Tukey, J.W. Simultaneous conjoint measurement: a new type of fundamental measurement. J.Math.Psychol., 1964. vol.1, 1-27.

14. Krantz, D.H. Conjoint measurement: the Luce-Tukey axiomatization and some extensions. J.Math.Psychol. 1964. vol 1. 248-277

15. Tuersky, A.A general theory of Polynomial conjoint measurement, J.Math.Psychol. 1967. vol.4. 1-20(a)

16. Krantz, D.H, Luce, R.D et al. Foundation of measurement, vol.1. New York, Academic Press. 1971.

3. Conjoint Measurement のプログラム関係

17. Kruskal, J.B. et al. MONANOVA: A FORTRAN program for monotone analysis of variance. Behavioral Science, 1969, vol.14. 165-166.

18. Tversky, A., and Zivian, A. An IBM 7090 program for additivity analysis. Behavioral Science. 1966, II, 78-79.

19. Carroll, J.D. Categorical conjoint measurement, Mathematical Psychology Meetings. Ann Arbor. Michigan August 1969.

20. Lingoos, J.C. An IBM 360/67 Program for Guttman-Lingoos conjoint measurement-Ⅱ, Behavioral Science, 1968, vol 13, 421-422.
4. Conjoint Measurement の応用例
21. Green, P.E, Rao, V-R. Conjoint Measurement for Quantifying Judgmental Data. J. of Marketing Research, vol Ⅷ, PP353-63(1972)
22. Green, P.E, et al Subjective evaluation model and conjoint Measurement, Behavioral Science. vol 17, 1972, PP288-299
23. Levelt, W.J.M. et al. Binaural additivity of loudness, Br.J.math. Statist. Psychol. 1972, 25, PP51-68
24. Wallsten, T.S. Conjoint Measurement framework for the study of Probabilistic Information Processing, Psychological Review, vol 79. NO.3. 245-260(1972)
25. Tuersky, A. Additivity, Utility, and Subjective Probability. J. Math. Psycho. 4, PP175-201(1967)

石油製品の需給構造モデル

日本開発銀行

設備投資研究所 主任研究員 永井 純一

調査部 副 長 沢 隆明

はしがき

本システムは、需要予測モデルによって各種石油製品の将来の需要量を予測し、予測結果による石油製品需要量および代替燃料の需要量に対して、硫黄ならびに自動車用ガソリンからの公害因子の排出を許容限度内に制約しつつ、コストを最小にする供給方式を線型計画モデルによって求めるという目的を持っている。

本システムの特色としては、①需要予測モデルは、回帰式を利用して各石油製品ごとに詳細に行なっている。②線型計画モデルでは、重油の混合材源を多くし、重質油のガス化等将来の脱硫技術の進歩をも考慮して低硫黄化対策を豊富にし、将来公害規制が厳しくなった場合の分析を行なうことができる。③重油の代替燃料として、原油生だし、ナフサ専焼、ガス化燃料、LNG および原子力があり、石油製品の分野を越えた広い範囲を分析の対象としている。④公害因子の排出については濃度規制に止まらず、日本全体での総量規制を考え、また、石油製品ならびに代替燃料を供給するための総コストを目的関数とする等、国民経済全般を視野に入れた高い分析態度にたっている、ことがあげられている。

以上の特色をシステムに持たせたため、その規模はやや大きく、線型計画モデルの部分は条件式約700、変数約1600となっている。本システムを使用すれば、将来の各年度についての望ましい低硫黄化対策を描き、また、低硫黄原油等の稀少資源や低硫黄化装置の経済的評価、低硫黄化による石油製品の製造コストの上昇額等を知ることが出来るので、国あるいは企業の立場でとる

べき低硫黄化対策の方向について、また低硫黄化装置の目標とすべき経済性についての情報を与え、意志決定に寄与することができると思われる。

I 石油製品の需要予測モデル

1. 石油製品需要予測の前提と結果

この需要予測は、昭和60年度を目標年次として、わが国の石油製品およびそれと競合する燃料の最適な供給パターンを検討する際に用いられるLPモデルに対して、その制約条件のひとつである石油製品の需要量を確定するために行ったものである。予測の方法は、各製品別に需要関数を推定し、それに用いた説明変数の予測値を外挿して求めるもので、製品の区分や積上げの手順は、石油業法に基づいて行なわれる石油供給計画の需要見通しの方式にしたがっている。

予測の前提になる60年度の経済規模（実質国民総生産、187兆円、40年基準価格）の想定は、下村治博士の46年7月時点での長期推定に基づいており、その特徴は、①50年度以降のGNP成長率の鈍化：年平均実質成長率50/45 1.8%、55/50 8.3%、60/55 4.5%、60/45 通算8.2%、②民間設備投資主導型への転換：GNP構成比（名目）45年度民間設備投資21%、政府支出16%→60年度民間設備投資7.5%、政府支出28%、の二点に要約される。60年度のエネルギー需給バランスに関連する主要項目を見ると、鉱工業生産指数（40年100）748、自動車保有台数4,682台、エチレン生産量1,015万トン、九電力発電電力量9,468億KWH、原子力発電能力6,000万KW、LNG輸入量28百万トン、都市ガス供給量（1万Kcal 換算）171億 m^3 等である。

これらの諸前提から計算された60年度の石油製品の必要供給量は、燃料油合計574百万KL（年平均増加率7.2%）であり、石油製品需要の対GNP弾力性は0.88で、過去5年間の実績値1.41に比べて大幅に低下する。エネ

ルギー消費全体の対G N P弾力性が1.02であることからみて、エネルギー消費における石油依存度がやゝ低下し、原子力、L N Gの利用でエネルギー源が多様化する傾向がうかがわれる。製品別に見ると、平均以上の伸びを示すのはジェット燃料油(8.5%)、重油(7.6%)、灯油(7.4%)であり、平均以下の伸びを示すのは揮発油(5.1%)、ナフサ(6.6%)、軽油(6.9%)である。したがって製品別需要構成では、揮発油・ナフサの割合が低下し、重油の割合が上昇するが、電力用原油生だきを考慮すると、その変化は小幅なものになると予想される。

2. 製品別需要関数の推定結果の概要

上述の需要予測に用いた各需要関数は、製品別に需要決定要因のパラメータの値を最小自乗法により推定したものであり、その一部を掲げると、以下の通りである。

(1) 揮発油・軽油

① 揮発油需要(G)*

$$\log G = 8.4157 + 0.8000 \log DG \quad \bar{R}^2 = 0.993$$

(43.9)

$$Edg \cdot g = 0.8$$

DG: ガソリン車保有台数

② 軽油需要(D)

$$\log D = 55.756 - 0.3024 \log PD + 1.0409 \log DD \quad \bar{R}^2 = 0.998$$

(2.4) (78.9)

$$Epd \cdot d = 0.3$$

$$Edd \cdot d = 1.0$$

PD: 軽油価格(国民総支出のインプリシット・デフレーターで
デフレートした)

DD: 軽油車保有台数

揮発油需要は自動車用が全体の97%を占め、ガソリン車の保有台数と稼働状況に依存する割合が大きい。ガソリン価格の変化による影響はみられない。

ガソリン車の主力である普通自家用自動車の普及は著しかつたが、今後は保有台数も屈折点に近づき、さらに一台当りの揮発油使用量も、排気量の大型化による消費原単位の上昇が都市交通の過密化による稼働率の低下で相殺されることが予想される。

*パラメータの() : t-値, \bar{R}^2 : 自由度調整済決定係数, $E_{dg \cdot g} : dg$ のgに対する弾力性

軽油需要もまた93%が自動車用であり、輸送単位の大形化、輸送区間の長距離化を反映して増大している。軽油車保有台数の軽油需要に対する弾力性はガソリン車よりも高く、また軽油需要の価格弾力性も僅かながら計測された。

(2) ナフサ

① プラスチック生産指数 (I)

$$I = 3855.4 + 0.0142 \text{ GNP} - 399.38 \text{ PI/PW} \quad \bar{R}^2 = 0.954$$

(4.6) (6.8) $E_{\text{gnp} \cdot i} = 0.8$

$E_{\text{pi} \cdot i} = 1.9$

PW: 卸売物価指数

② ポリエチレン生産量 (Y)

$$Y = 120732 + 945531 \text{ I} - 75298 \text{ PY/PP} \quad \bar{R}^2 = 0.986$$

(36.6) (2.3) $E_{i \cdot y} = 1.0$

$E_{\text{py} \cdot y} = 0.6$

ナフサの需要先は石油化学用、肥料用、都市ガス用などがあるが、石油化学用が90%を占め、そのうちの85%以上がエチレン用である。エチレンの誘導品はプラスチックやその他有機化学品の基礎原料であり、いずれも装置工業のスケール・メリットを反映して価格低下が著しく、従来の石炭系化学品に代替し、さらに新規需要を開拓してきた。しかし最近では石油化学への原料転換も一巡し、価格の低減傾向も底をついた感があり、これまでのような代替需要は今後期待できないだろう。上例のプラスチックを例にとると、価格弾力性は

S-1: 前期の重油/石炭の需要比率

重油需要の31%は電力業の火力発電用燃料であり、残りは運輸・船舶・農林・水産・鉱業・民生用を除いて、大半が製造業で消費される燃料である。製造業の燃料需要としての重油は石炭と代替関係にあった。したがって重油と石炭を合計した燃料需要は、製造業の生産活動と一定の関係をもち、その内訳すなわち重油と石炭の比率は、重油と石炭の相対価格によって決定されるものと考えられる。望ましい重油と石炭の比率を S^* とすると、現実の S は次のように表わすことができる。

$$(i) S/S-1 = [S^*/S-1]^\lambda \quad \text{但し } S-1 \text{ は一期前の } S \text{ である。}$$

S^* は相対価格の関数と考えられ、次のように特定化された。

$$(ii) S^* = \alpha p^\beta \quad \text{但し } p \text{ は重油価格/石炭価格である。}$$

(ii) を (i) に代入して両辺の対数を取り、整理すると、

$$(iii) \log S = \lambda \log \alpha + \lambda \beta \log p + (1-\lambda) \log S-1$$

これが上掲のシェア決定関数である。

3. 今後に残された課題

石油製品の需要は他のエネルギー源と代替関係にあり、製品別需要関数にはこの代替関係が石油製品と代替品との相対価格を通じて反映するように意図されているが、結果はすべてについて成功したわけではない。今回の需要予測はこの他にもなおいろいろな問題が残されているが、主な点をあげると次の通りである。

- (1) 石油製品相互間には同一の石油精製プロセスからの連産品として生産されるという性格がある。このため石油製品の需要構成の変化は供給構造に変化をもたらし、その相対価格の変化を通じて石油製品需要に影響を及ぼすという関係があると考えられるが、こうした需要と供給の相互依存関係のモデル化は今後の課題である。
- (2) 石油製品を含むエネルギー需要にもっとも大きな影響を及ぼす要因のひとつ

つは、産業構造の変化であろう。これまでの重化学工業中心のエネルギー多消費型産業構造から、省エネルギー化、知識集約化を志向する産業構造への転換が今後進む場合のエネルギー需要への影響はここでは十分に検討されていない。このためには産業連関モデルを利用したエネルギー需要の予測が有効になろう。

Ⅱ 石油製品供給構造の最適化モデル

1. 問題の所在

Ⅱ章では、石油製品の需要量を与えられたものとして、供給コストを最小にするような供給構造を求めることを、目的としている。その際、石油製品の燃焼によって排出される硫黄の量ならびに自動車用ガソリンからの公害因子の排出を許容限度内に迎えることを前提としている。

昭和45年度においては、重油の使用によって大気中に排出された硫黄は約200万トンにおよぶと推定されるが、今後、燃料使用量の増加につれて、燃料の低硫黄化がいつそう推し進められねばならない。石油系燃料を低硫黄化する手段としては、原油自体の低硫黄化を図るほか、いくつかの方法が可能であり、たとえば、軽質留分の燃焼、原油生だき等によるならば、燃料の使用者側にとって比較的手軽な方法で低硫黄化の効果をあげることができるが、石油製品の持つ連産品としての性格から、これらの手段に過度に偏するならば、石油製品の供給体系を攪乱し、資源のミスアロケーションによる経済的非効率等好ましくない影響を生じることとなる。

石油系燃料の低硫黄化体策を大別すれば、低硫黄原油の使用、低硫黄重油の使用、ナフサ等の軽質留分の使用、重油の脱硫、間接脱硫、重質油の分解脱硫、および排煙脱硫があげられる。現実にはどのような低硫黄化対策をとるべきかは、わが国の石油製品需給全般を含む視点に立ち、各種の石油製品の需要量を満たすだけの供給を維持することをまず前提とし、できるだけ経済的に有利な低硫黄

化対策を組合せて行ない、全体としての石油製品の供給構造を矛盾のないシステムとして完結させた結果として解答されねばならない。こうして、上述の各種の低硫黄化対策相互間に競合関係が生じるとともに、石油系以外の燃料であるLNG、原子力発電も低硫黄化された石油系燃料と経済的に競合し、わが国全体の場合での供給コストを最小にするような供給構造が目指されることとなる。

以上のような問題意識により、石油製品の供給装置、低硫黄化装置、ガソリンの無公害化装置、LNGおよび原子力の供給を含んだシステムをLPモデルとして組立て、供給コストを最小とする最適化計算を行なっている。

2. モデルの構造

LPモデルの概要は図1のフローシートに示されている。モデルに投入される資源としては原油、輸入重油、輸入ナフサ、LNGおよび原子力があり、各種の装置を経過して精製、脱硫、調製等の加工が行なわれ、ナフサガソリン、灯・軽油、A重油、B・C重油、潤滑油およびアスファルトに対する需要を満足すべく供給される。これらのうち、B・C重油需要には、公害対策の意味を持ちながら重油と代替的に使用される原子力、LNG、原油生だき、ナフサ専焼およびガス化燃料をも含んでいる。モデルは、まず、投入資源が多くの装置を通して加工され、需要に対して供給される物量バランス式で形成されており、さらに、投入資源量、供給される製品の性状、加工過程での技術的条件等に関する諸種の制約式が加えられている。これらの諸式は一次方程式または一次不等式の形をし、全体としてLPモデルのシステムを作っている。

(1) 物量バランス式

原油等の投入資源および中間製品はつぎの段階の装置にかけて加工ないし精製し、あるいは他の中間製品と混合調整するために配分される。物量バランス式は、これらの配分の前後における物量のバランスを示している。若干の例をあげれば、つぎのとおりである。

T/Pからの重油の配分(アラビアン・ライトの場合)

$$0.435 CRTP_6 = TCDES_6 + TCVAC_6 + TCE_6 + TCX_6 + TCG_6$$

CRTP6 : T/P に通油されるアラビアン・ライト原油の量

TCDES6 : 直接脱硫装置に通油される重油量

TCVAC6 : VAC (減圧蒸溜装置)に通油される重油量

TCE6 : 重油混合用の重油量

TCX6 : 排煙脱硫される重油混合用の重油量

TCG6 : ガス化脱硫装置に通油される重油量

上式は T/P に通油されたアラビアン・ライト原油から得られた重油が、右辺に示す各用途に配分されることを述べており、各原油について同様の式が必要になる。

(2) 最終需要バランス式

図 1 に示すように、石油化学用ナフサに始まり、20種類の石油製品需要量がモデルに存在している。各種の装置や混合過程を経た石油製品は、それぞれの最終需要を満足するだけの量が確保されねばならない。これを表現したものが最終需要バランス式でつぎの例を掲げる。

BC重油需要(電力用過密地域需要1-1の例)

$$CE_{31}B + 0.9616(CX_{31}B + DE_{31} + 0.9616DX_{31} + NF_{31} + VF_{31} + L_{31} + A_{31}) \geq 12,813 \text{ (万 } kl \text{)}$$

CE₃₁B : 重油燃焼用重油の量

CX₃₁B : 排燃脱硫用重油の量

CE₃₁ : 原油生だき量

DX₃₁ : 排煙脱硫される原油生だき量

NF₃₁ : ナフサ専焼量

VF₃₁ : ガス化燃料の量

L₃₁ : LNG使用量

A₃₁ : 原子力発電使用量

上式は過密地域における電力用BC重油需要が12,813万klあり、これを

各種の石油系燃料または代替燃料で供給する必要があることを示している。式中の各変数は、 $9,900 \text{ K Cal/l}$ の重油換算量で定義されており、また、 0.9616 は(1-排煙脱硫用燃料消費率)である。

重油および排煙脱硫用重油は将来低硫黄化手段の多様化することを予想し、それぞれ35種類の材源から成りたっている。したがって、上式のうち、 $CE31B$ および $CX31B$ は、モデルの中で作られる35種類の中間製品を合計する物量バランス式で別に定義されている。同様に、 $DE31$ および $DX31$ は、8種類の原油を合計する物量バランス式から導かれている。

(3) 資源制約式

① ミナス原油

$$C1 \leq 4,000 \text{ (万 } kl \text{)}$$

② 原子力発電

$$A \leq 8,834 \text{ (万 } kl \text{)} : 6 \text{ 千万 } KW \text{ の原子力発電規模の重油換算量}$$

この例のように、各種の投入資源には、入手可能量について制約を設けている。

脱硫装置の建設量については、外生的な制約は設けていない。

(4) 製品の性状に関する制約式

石油製品は用途に応じた技術的な性質を備えることが本来必要であるほか、環境汚染の防除のために、公害の原因となる物質の排出を許容量以内に止める目的からも、製品の性状に関する制約を設けている。

(4-7) 公害対策に関連する制約

公害対策に関連する制約としては、燃料を使用した場合大気中に排出される硫黄分を限度内に抑えることと、ガソリン(並級および高級ガソリン)は無鉛化したうえで、芳香族含有率および FOC ガソリン混入比率を制限し、煤、 CO 、アクロレイン、オレフィン の発生を抑えることを制約とした。

① 並級ガソリンの芳香族含有率に関する制約式

$$0.02 \text{ LTNAGR} + 0.55 \text{ RFMTIR} + 0.2 \text{ FCGASOR} \leq 0.4 \text{ GR}$$

LTNAGR: ライトナフサ量

RFMTIR: 改質ガソリン量

FCGASOR: FCCガソリン量

CR : 並級ガソリンの量

この式は、並級ガソリンの3種類の混合材源に含まれる芳香族の量を並級ガソリン総量の40%以内に止めることを要求している。

② 全国排出硫黄量

$$\text{SLA} + \text{SL11} + \text{SL12} + \dots + \text{SL34} \leq 100 \text{ (万トン)}$$

SLA: A重油の使用により大気中に排出される硫黄量

SL11, …… , SL34: 各BC重油需要の使用により排出される硫黄量

式中に現れるSL11等は各々のBC重油需要が諸種の石油系燃料を組合わせて使用した場合に排出される硫黄量であって、つぎの例に示すように、使用した燃料の硫黄含有率から計算されている。

③ 過密地域1-1の電力用BC重油需要から排出される硫黄量

$$\text{SL31} \leq 0.094 \text{ Z1} - 0.094 \text{ L31} - 0.094 \text{ A31}$$

SL31: 過密地域1-1の電力用BC重油需要から排出される硫黄量で、後述の式から集計される。

Z1 : 過密地域1-1の電力量BC重油需要量

L31: 上記のBC重油需要で使用されるLNG量

A31: 上記のBC重油需要で使用される原子力発電の量

上記の式は、過密地域1-1の電力用BC重油需要から排出される硫黄量がLNGおよび原子力を除いた石油系燃料について0.1W/O (= 0.094

W/V%)以下でなければならないことを要求している。

$$SL31 = S(\text{硫黄含有率}) \times (\text{使用燃料})$$

SL31 で表わされている過密地域 1-1 の電力用 BC 重油需要は、重油
燃焼用重油および排煙脱硫用重油にそれぞれ 35 種の混合用材源、生だし用
原油および生だし排煙脱硫用原油としてそれぞれ 8 種の原油、ガス化脱硫し
た 8 種類のガス化燃料およびナフサ専焼用ナフサを使用することが出来、こ
れらの使用燃料は、それぞれ硫黄含有率が異なっている。上式は、これら 95 種
類の使用燃料から排出される硫黄量を集計している。

(4-2) その他の制約式

製品の性状に関する制約式のうち、公害対策としてではなく、石油製品の
用途から技術的に要求される制約がある。すなわち、ガソリン(並級ガソリ
ンおよび高級ガソリン)に関するオクタン価ならびに比重の維持を要求する
制約と、重油の粘度および流動点に関する制約である。

つぎに例を示す。

並級ガソリンのオクタン価制約式

$$88 GR \leq 65 LTNAGR + 95 RFMT1R + 92 FCGASOR \\ + 92 ALKY1R + 96 ALKY2R$$

GR : 並級ガソリンの量

LTNAGR : ライトナフサ量

RFMT1R : 改質ガソリンの量

FCGASOR : FCC ガソリンの量

ALKY1R : オクタン価 92 のアルキレートの量

ALKY2R : オクタン価 96 のアルキレートの量

並級ガソリンを作るに当って、5 種類の材源を選んで混合し、オクタン価
を 88 以上にすることが要求されている。

(5) 目的関数

上述した各種の条件式や制約式の本数は約700本で、それらの各式に現れる変数は約1,600個である。

1,600個の変数は制約式に低触しない範囲においてある変域内の値を取ることができるが、それらの無数の可能解のうち、目的関数の値を最小(または最大)にするような変数の組合わせがLPモデルの最適解となる。

本モデルによる計算に当ってこれまで実際に使用した目的関数は、石油製品と代替燃料の供給に伴って発生する総コストを示す費用関数と、燃料の使用によって排出される総硫黄量を示す排出硫黄量関数である。そのうち、費用関数を例に説明するとつぎのとおりである。

費用関数は、つぎの項目の総和として定義されている。

原油等の投入資源の投入費用	①
石油精製設備通油費用	②
低硫黄化対策費用	③
副生品廃棄費用	④
LPG収入(マイナス項目)	⑤
既設装置固定費	⑥

若干の説明を補うと、上記のうち①は原油、輸入ナフサ、輸入重油、LNGおよび原子力の投入費用を含み、②はT/P、ガソリン洗浄、R/F、アルキレーション、灯軽油脱硫装置、VAC、FCC、水素発生装置、硫黄回収装置、潤滑油装置の費用を含んでいる。③には、間接脱硫、直接脱硫、ナフサ混焼、ナフサ専焼、原油生だき、生だき排脱、重油排脱、ガス化の費用が含まれている。④は、副生品としての回収硫黄およびアスファルトのうち、需要量を超過したものを廃棄する費用である。LPGについては、T/P、FCC、およびR/Fから発生するLPGのうちアルキレーションに使用しなかった余剰分が販売用になりLPG輸入を減少できるものとして取り扱っており、LPGの単価を6,440円/kgとして⑤を算出し、費用の減少項目とした。石油精製および低硫黄化対策としての各装置は昭和45年度末時点で既設と新設に区別され、既設分の固定費

は装置の使用と関係なく項目⑥によってコストが掛るようなモデルになっている。ただし、昭和60年度の計算を行なう場合には、多くの設備が耐用年数を経過してしまうので、既設・新設の区別をせずにLP計算を行なった。

3. 推定結果

本モデルは、昭和60年度までの時点を対象とした計算を予想して作られており、種々な前提条件の下で最適化計算を行なっている。そのうち、昭和60年度を対象年度とし、全国の排出硫黄制約量を100万トン（ほぼ昭和38年度レベル）としたケースを中心に計算結果をとりまとめ末尾の表および図に示した。計算結果からつぎのような情報が得られる。

- ① 投入資源の最適な組合せ（表1）
- ② 石油精製装置および脱硫装置の最適規模（表2）
- ③ ガソリンの最適混合方法（表3）
- ④ 燃料の最適な組合せ（表4）
- ⑤ 重油の最適混合方法（表5）
- ⑥ 各種原油の経済的評価（図2）
- ⑦ 重油混合材源の経済的評価（図3）
- ⑧ 石油製品の供給コスト（表6）
- ⑨ 公害防止に必要な設備投資額（表7）

図1 石油製品供給構造モデル・フローシート

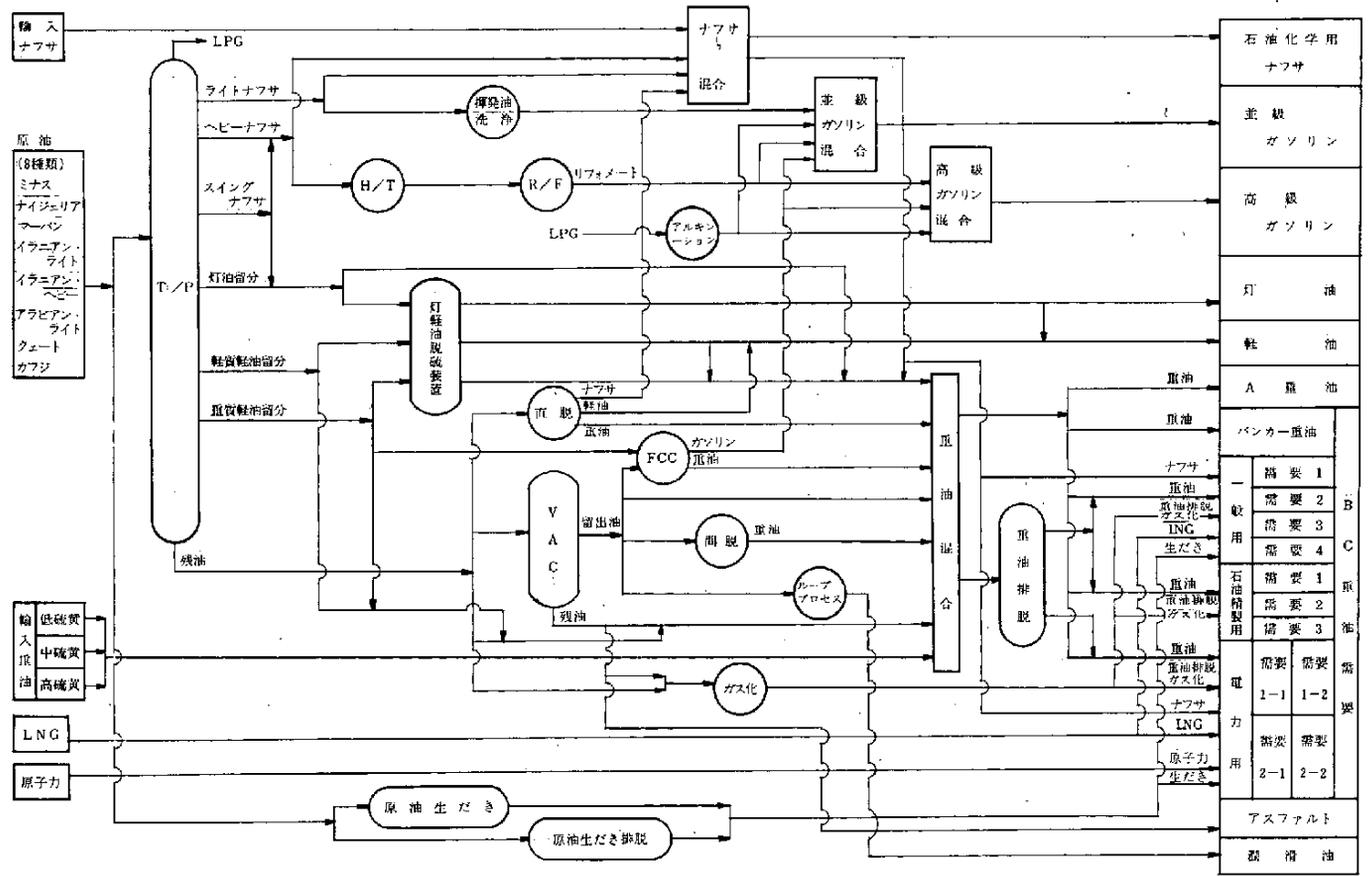


表 1 投入資源の最適組合せ

		昭和 6 0 年 度		昭和 4 5 年 度 実 績	
		数 量 (万kl)	比 率 (%)	数 量 (万kl)	比 率 (%)
需 要 量		7 2, 3 1 3	1 0 0. 0	2 1, 0 7 6	1 0 0. 0
資 源 投 入 量	原 油	5 6, 2 6 3	7 7. 8	2 0, 0 7 4	9 5. 2
	うち 精 製 用	5 3, 5 0 9	7 4. 0	1 9, 3 0 5	9 1. 6
	うち 生 だ き 用	2, 7 5 4	3. 8	7 6 9	3. 6
	ミ ナ ス	◎ 4, 0 0 0	5. 5	2, 5 7 6	1 2. 2
	ナ イ ジ ェ リ ア	0	0. 0	2 6 8	1. 3
	マ ー バ ン	0	0. 0	9 2 7	4. 4
	イ ラ ニ ア ン ・ ラ イ ト	1 3, 2 6 3	1 8. 3	2, 4 2 8	1 1. 5
	イ ラ ニ ア ン ・ ヘ ビ ー	0	0. 0	7, 0 6 4	3 3. 5
	ア ラ ビ ア ン ・ ラ イ ト	◎ 3 5, 0 0 0	4 8. 4	3, 2 3 2	1 5. 3
	ク ェ ー ト	× 2, 0 0 0	2. 8	1, 7 9 9	8. 5
	カ フ ジ	× 2, 0 0 0	2. 8	1, 7 8 0	8. 4
	輸 入 重 油	6, 6 2 0	9. 2	1, 5 1 1	7. 2
	輸 入 ナ フ サ	◎ 7, 5 0 0	2. 1	6 4 9	3. 1
	L N G	(3, 4 4 0万トン) ◎ 4, 4 1 7	6. 1	(7 2万トン) 9 2	0. 4
原 子 力	(6, 0 0 0万KW) ◎ 8, 8 3 4	1 2. 2	(1 3 4万KW) 9 7	0. 5	

- 注 1. 昭和 6 0 年 度 に つ い て は , 排 出 硫 黄 量 を 1 0 0 万 ト ン 以 下 に 制 約 した 場 合 の 最 適 組 合 せ を 示 す。
2. 昭 和 4 5 年 度 は 実 績 を 示 す。
3. 昭 和 6 0 年 度 の 需 要 量 7 2, 3 1 3 万 kl は , I 章 に お け る 需 要 予 測 量 5 7, 4 0 7 万 kl の ほ か , L N G , 原 子 力 , 油 滑 油 , ア ス フ ェ ル ト の 予 測 値 を 含 ん で い る。
4. ◎ は 資 源 制 約 量 の 上 限 , × は 同 じ く 下 限 を と っ て い る こ と を 示 す。

表2 精製装置, 脱硫装置の最適規模 (万kl)

	昭和60年度 (A)	昭和46/3末実績 (B)	A/B
T/P (常圧蒸留)	53,509	19,085	2.8
ガソリン洗浄	451	624	0.7
リフォーマー (オクタン価95)	1,823	1,744	1.0
リフォーマー (オクタン価95)	308	0	—
灯軽油脱硫	14,299	2,705	5.3
VAC (減圧蒸留)	22,478	4,438	5.1
FCC (接触分解)	3,972	823	4.8
アルキレーション	715	0	—
水素発生	471	86	5.5
間接脱硫	9,319	1,312	7.1
直接脱硫	1,577	493	3.2
ガス化脱硫	5,986		—
排煙脱硫	6,617	176	37.6

注 昭和60年度の排出硫黄制約量は100万トンである。

表3 ガソリン混合材源の最適組合せ

		昭和60年度	
		数量(万kl)	構成比(%)
並級 ガソリン (オクタン価88)	ライトナフサ (65)	451	11.9
	改質ガソリン (95)	1,367	35.9
	FCCガソリン (92)	1,522	40.0
	アルキレート (92)	64	1.7
	アルキレート (96)	400	10.5
	合計	3,805	100.0
高級 ガソリン (オクタン価95)	改質ガソリン (97)	231	34.4
	FCCガソリン (92)	225	33.5
	アルキレート (92)	0	0
	アルキレート (96)	215	32.0
	合計	671	100.0

注 1. 排出硫黄制約量は100万トンである。

2. ()内の数字はオクタン価を示す。

表 4 燃料の最適な使用パターン

	昭和 6 0 年 度		昭和 4 5 年 度 実 績	
	使用量 (万 kℓ)	構成比 (%)	使用量 (万 kℓ)	構成比 (%)
重 油 燃 焼	2 0, 4 5 3	4 2. 0	1 1, 9 4 9	9 2. 2
重油熱焼十排煙脱硫	6, 2 6 6	1 2. 9	1 4 0	1. 1
原油生だき	2, 5 6 1	5. 3	6 8 5	5. 3
ナフサ専焼	1, 1 3 2	2. 3	0	0
ガス化脱硫	4, 9 8 4	1 0. 2	0	0
L N G	4, 4 1 7	9. 1	9 2	0. 7
原子力	8, 8 3 4	1 8. 2	9 7	0. 7
合 計	4 8, 6 4 7	1 0 0. 0	1 2, 9 6 3	1 0 0. 0

注. 昭和 6 0 年度の排出硫黄制約量は 1 0 0 万トンである。

表 5 重油の最適な混合パターン

	昭和 6 0 年 度		昭和 4 5 年 度 実 績	
	使用量 (万 kℓ)	構成比 (%)	使用量 (万 kℓ)	構成比 (%)
ナ フ サ	1, 0 4 1	3. 8	0	0
灯 油 留 分	1, 2 4 6	4. 5	0	0
軽 油 留 分	5, 0 1 6	1 8. 1	1, 0 4 3	8. 6
間 接 脱 硫 軽 油	9, 2 2 5	3 3. 3	1, 3 1 6	1 0. 8
直 接 脱 硫 重 油	1, 3 4 3	4. 9	4 5 8	3. 8
FCC サイクルオイル	1, 3 5 0	4. 9	3 6 7	3. 0
輸 入 重 油	6, 6 2 0	2 3. 9	1, 5 1 1	1 2. 4
重 油 (T/P 残油)	7 9 4	2. 9	6, 1 8 6	5 0. 8
V A C 残 油	1, 0 3 5	3. 7	1, 2 8 6	1 0. 6
合 計	2 7, 6 7 0	1 0 0. 0	1 2, 1 6 7	1 0 0. 0
*同, カロリ-換算後, 排脱後	2 6, 7 1 9	9 6. 6	1 2, 0 8 9	9 9. 4

注 1. * カロリ-換算後とは、BC重油の場合 9, 9 0 0 (Kcal/l) の重油量に換算した量で、排脱後とは、排煙脱硫装置の消費燃料を差引いた量であることを示す。

2. 昭和 6 0 年度の排出硫黄制約量は 1 0 0 万トンである。

図2 原油の経済的評価

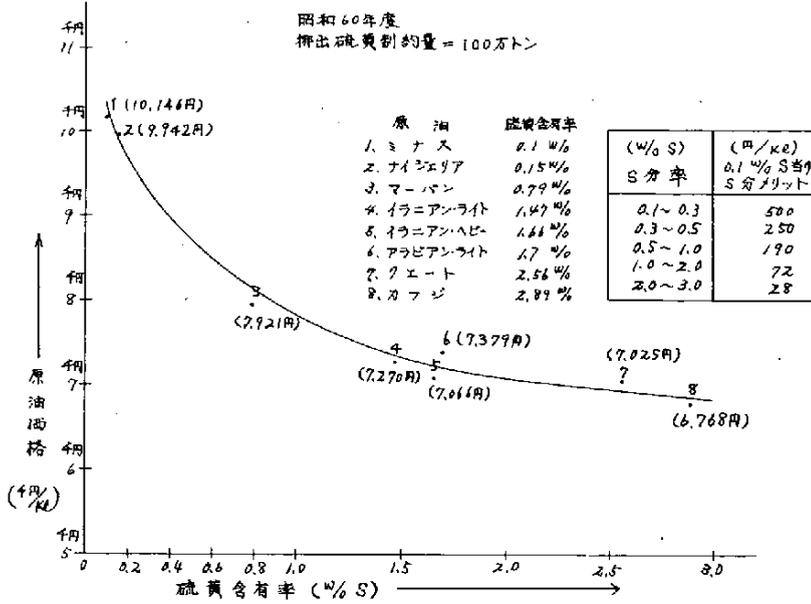


図3 重油混合料の経済的評価

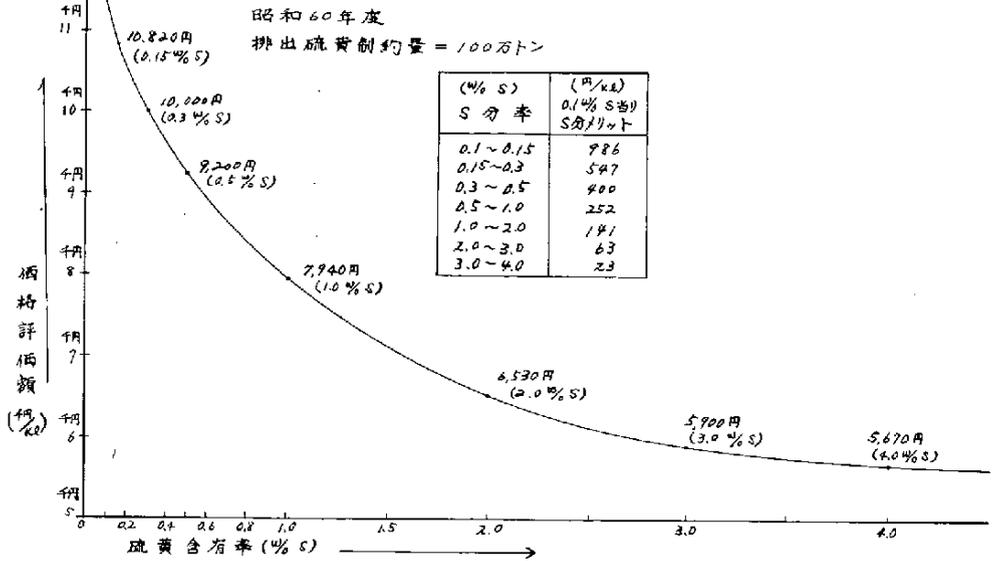


表 6 石油製品の供給コストとシャドープライス

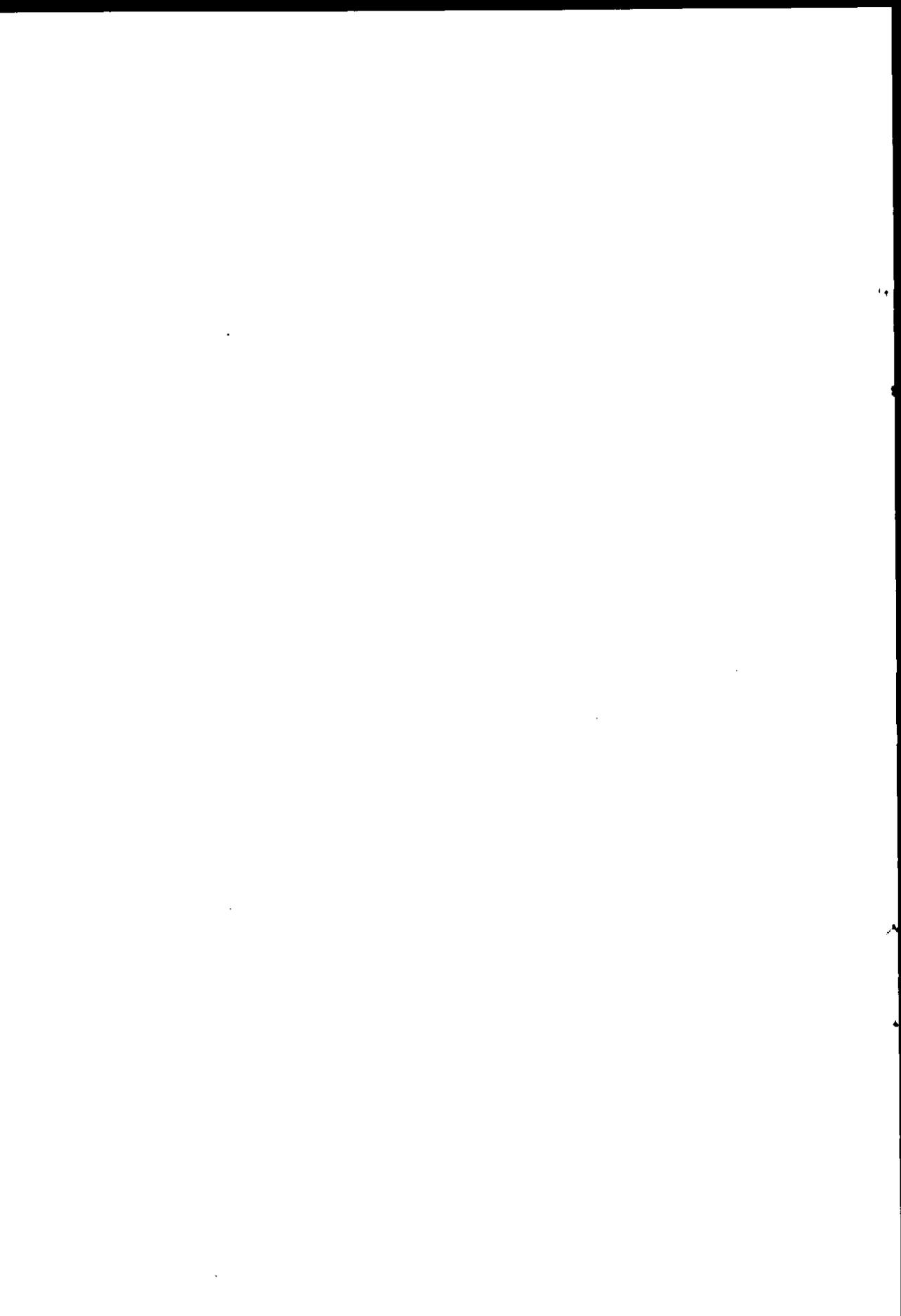
		昭和45年度	昭和60年度	
A石油製品需要量(万kl)		21,356	70,267	
排出硫黄量(万トン)		198	896	100
年間供給コスト	B総額(億円)	11,653	5,723.1	6,723.2
	kl当り B/A	5,457	8,145	9,568
	上昇の内容	—	2,688	2,688
	投入資源の価格上昇	—	0	1,423
	公害対策	—		1,423
	45年度からの上昇計	—	2,688	4,111
石油製品のシャドープライス(円/kl)	並級ガソリン	6,301	9,846	10,537
	高級ガソリン	6,876	10,198	10,838
	石油化学用ナフサ	5,042	7,900	9,222
	灯油	5,504	8,437	9,981
	軽油	5,364	7,789	9,607
	A重油	4,948	7,299	10,309
	B C重油	4,723	7,628	10,883
	うち電力用重油	4,842	7,628	11,038
	潤滑油	20,000	24,532	25,982
	アスファルト	4,177	7,628	5,527
昭和45年度に比較した、電力用BC重油のシャドープライス上昇額(円/kl)		—	2,786	6,196
電気料金要調整率(%)		—	10.1	22.4
(万トンS) 脱硫装置からの回収硫黄量		64	0	490

注 昭和60年度については、排出硫黄制約量を100万トンとしたケースと、何ら公害制約を設けず排出硫黄量が計算結果として896万トンになったケースを示した。

表7 昭和60年度の公害防止設備投資額

排出硫黄量(万トンS)		896	100
(億円) 設備投資額	昭和46～60年度合計	71,546	93,604
	昭和60年度投資額	18,042	24,379
	(A) うち、公害防止投資額	—	6,337
(B) 除去した排出硫黄量	(万トンS)	—	796
(A/B) 除去した硫黄量当り公害防止投資額	(万円/トンS)	—	796

注 昭和60年度については、排出硫黄制約量を100万トンとしたケースと、何ら公害制約を設けず排出硫黄量が計算結果として896万トンになったケースを示した。



S M A P . 4

(土地造成分譲シミュレーションモデル)

日本開発銀行設備投資研究所

元主任研究員	宮島 章好
前 研究員	吉田 幸弘
研 究 員	池田 喜一
嘱 託	小林 龍一
嘱 託	津田 義和

三菱地所株式会社

前機械計算室	小池 裕
機械計算室	飯塚 延幸
不 動 産 部	森本 淳之

1. 財務シミュレーションモデルについて

シミュレーションにより将来の姿を予測する — これは今日多くの分野で取り入れられている予測手法である。特に電算機の性能向上とともに、諸種の計量、統計、数学等の手法や理論を活用して、社会科学の分野でも広く応用されている。大きなものでは、一国の経済計画の策定といったものから各種の需要予測、あるいは地域社会・経済の動向等々、各種のシミュレーションが行われている。

この方法を企業業績の予測に応用したものが、ここでいう財務シミュレーションである。

より端的に言うならば、企業の投資行動の収益状況の予測といってもよいであろう。

一般に社会科学分野の問題には、各現象が完全な因果関係で結ばれてはいないという性格があるために確実な将来結果の計算はなし得ないし、また実験も

できないという性質があるが、部分的にみれば一定の関係を保つ部分もあり、またほぼこういう傾向となるという法則はあろう。

財務の分野でも将来の問題についてはこういった性質はあてはまり、予測をしなければならぬ部分（例：ある製品の需要量、それに関連するある会社の販売量といったもの）と、ある一定の関係で示されるもの（例：売上高－費用＝損益といった関係）とがある。

そこで財務の計算におけるこれらの諸関係を示す計算式をまとめて相互関連をもたせ、推定等にかかわる部分は外生値としてその諸関連式のどこかに入り込むように組立て、時間の経過を追って（通常は1年又は半年単位で）それらが計算されてゆくようにすれば、財務分野のシミュレーションが可能となるであろう。

ここで企業の将来の状態を予測する場合の接近法として、マクロの側からの接近（例：国民所得等の全体指標の動向との関連から接近するもの）と、その投資活動そのものから生まれる結果を追いかけてゆく、いわばミクロ的接近法が考えられるが、一般的には、個別の企業、個別の投資計画の将来（採算、回収等）を予測する方法としては、やはり後者の直接的な接近法の方が、より確実性が認められよう。

そのようなことから、“ある投資活動の効果ないし、将来の収益・回収状況を逐年計算してゆく”ことを具体的なイメージとして作られたものが我々の場合のシミュレーションモデルである。

それでは、そのような予測をするためのモデルを作ることの有用性ということが、次の問題となろう。

企業の立場から言えば、ある投資活動を行う時、その投資により、どれだけの収益を得られるか、また何年で投下資本を回収し得るかという点が、投資決定の最大のポイントとなり、立場をかえてそのプロジェクトに融資する銀行の立場からみてもやはり上記の点や貸付金回収年数等が、融資可否の判断基準となることは当然である。

ここで実際に重要なことは、前述の如く、社会現象は流動的であり、ある確定した法則により動いているわけではないということである。従ってあるひとつの計算結果が必ず当る（実現する）というわけではない。それはその計算の前提となった全条件がたまたま成立した場合にのみ実現するだけであって、現実には前提が100%適中することはまずあり得ない。そこでAの条件が変わった場合、Bの条件が変わった場合、それらの組合せといったように多くのケースが考えられることになる。

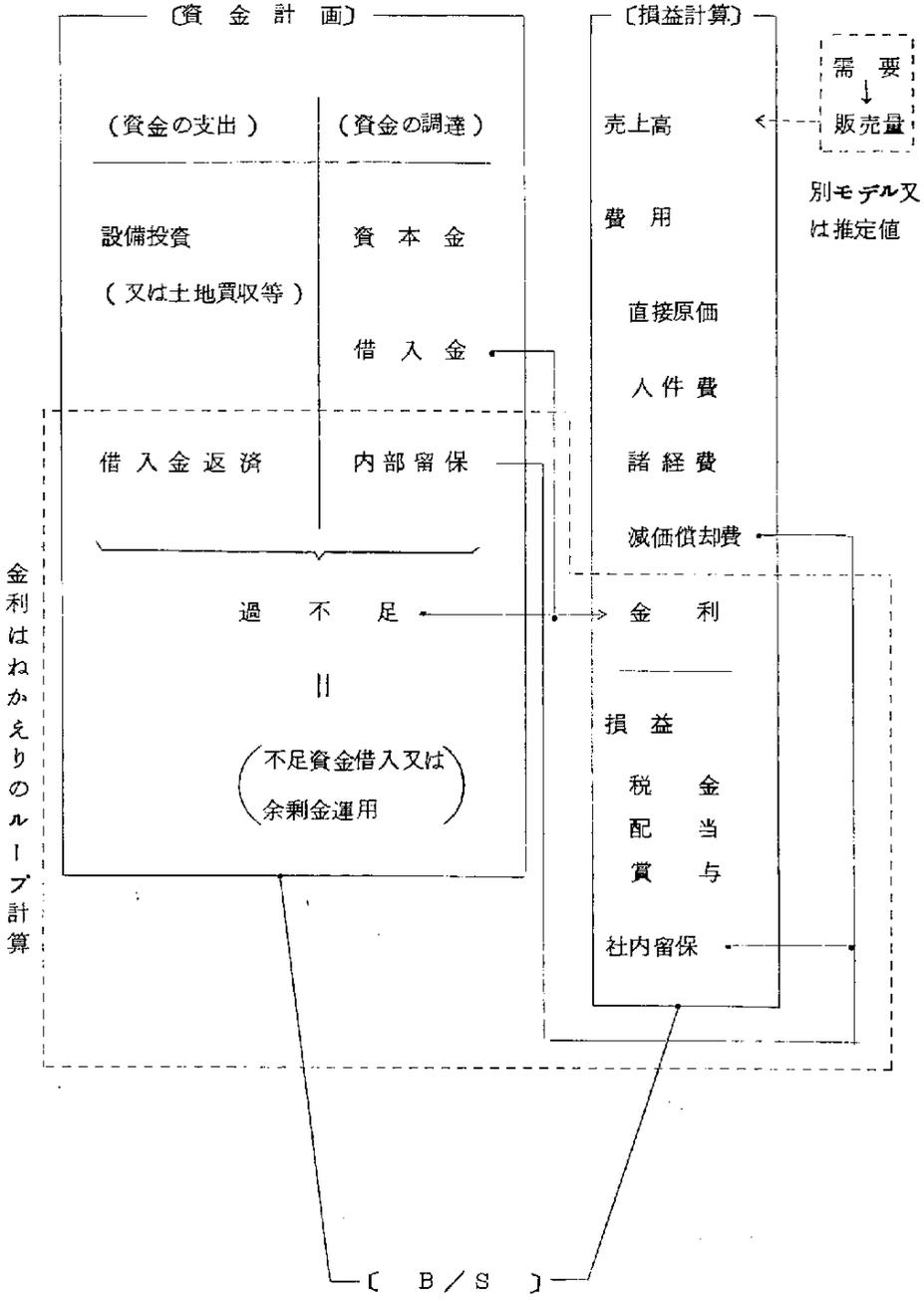
人間の手計算によってもある1組の前提の場合を計算することは、さほどむつかしいことではない。ある程度の時間（通常数時間～数日といったところであろう。）さえかければ可能である。しかしこれが幾通りものケースとなれば、時間的制約、人間の忍耐の問題等から不可能に近い作業となる。また人間の計算にはある程度の間違ひは避け得ない。

このような事情により、この種の計算を適確かつ迅速に行うモデルを作ることには充分な意義が認められるわけである。

2. 財務モデルの構成

次にこの種のモデルの概略（＝財務計算の骨組）を示せば、次の図の如くである。

この財務計算に於ける煩瑣な点は、金利のはねかえり計算であろう。各年度で、資金過不足→金利再計算→損益再計算→内部留保増減→資金過不足増減のループの繰返し計算を行うのは手計算ではかなりの作業量と誤算の可能性を伴う。この点は同時にモデル作成の技術上も相当の注意と工夫を要する点である。またこの図は、財務に共通の仕組を骨格のみ示したものでこれを具体的なモデルにする場合には、想定する業種によって、各項目の内訳やその計算式は当然、様々なものとなってくるわけである。



3. SMAP . 4 の概要

そこで今回我々の作製したSMAP . 4についてその概略を記述しよう。

SMAPは、Simulation Model of Management Planning
の略である。

SMAP . 4は土地の買収・造成・分譲事業を対象としている。近年急成長を遂げているこの事業は、財務的にみた場合、他の一般の事業と異なる特徴をもっている。

この事業は土地の買収（又は埋立）→造成→分譲という形をとるわけであるが、

- ① 買収、造成の期間が長い
- ② 買収費や分譲価格等が時点・場所により、どんどん変わる。
- ③ 減歩等特殊な性質を有する。

といった特徴があるため、財務面では、当初（買収～造成期）資金がどんどん支出されるが、損益計算上の支出には計上されず、後半に至ってまとめて売上収入があって損益上のコストは立つものの資金はその時には出ていかないといった特色がある。そして初めにかかった買収・造成費用を後の各期の分譲分見合原価としてどのように配分するかという問題が生ずる。

これらが前述の金利のはねかえり計算という財務特有の計算に加わってこの事業の計算を複雑なものとしている。

SMAP . 4ではこれらの計算を、買収・造成および分譲の各年度の面積と金額をインプットするだけで、適確に処理するよう設計されており、上記の原価配分も面積比例・移動平均、先入先出のモードを指定するだけで内生計算されるようになっている。

以上が当モデルのポイントをなす点であるが、その他の特徴をあげれば、

① 上記の如く、中心となる分譲原価の計算、売上高の計上方法、これらと資金の出入の関係につき、各種の計算方法をモード指定等で簡単に指示できる

ようにした。反面ほとんどの項目に、内生・外生両方法の選択を可能とする等柔軟性を保つことにも気を配っている。

② データのインプットは、容易になし得るように設計し、アウトプットは必要に応じ種々の形態をとり得るようにした。例えば、年単位の計算も半年単位の計算もどちらでもできるようにした。

③ また修正計算はデータ変更部分の指示だけで足り、何通りものケースを簡単に計算できるため、ユーザーや電算機室の負担軽減にもなっている。

④ 上記の通常のシミュレーション計算の他に、総コストに対する利益率を指示することにより販売価格を逆算することも出来、一種の売価決定モデルもなっている。

といった諸点を挙げられ、実務上有効な計算モデルとなっている。

なお、このモデルは約 2,500 ステップの大きさであり、中型の電算機で十分に足りる。また計算期間は1ケース1～2分である。

このモデルの開発は、財務シミュレーションモデルに関する経験を有する日本開発銀行と、土地分譲事業のエキスパートたる三菱地所㈱の協力によって行われた。開銀は長期の設備資金供給を業とする銀行であり、したがって土地の造成分譲や、埋立等に関するプロジェクトの採算相談、融資の検討等に当モデルを有効に活用しており、また、三菱地所では宅地開発等のプロジェクトの企画・採算予測等に活用している。

このように当モデルは既に多くのプロジェクトに活用されているが、それらの経験を通じ更に一層の充実を図るべくモデルの多部門化、諸種の新機能の追加等のレベルアップが課題となっている。

以上

世界石油シミュレーション・システム(WOTS) の開発と事例計画

共同研究者(WOTS研究開発チームメンバー)

松 本 勝 男
神 田 担
塩 川 昌 澄
長 田 紘 一
伊 藤 浩 吉
佐 藤 研 三
八 原 忠 彦

1. WOTS開発の経緯

1-1 問題意識

周知の通り、世界のエネルギー需要は引き続き増大が見込まれるが、供給源としては原子力の実用化、天然ガスの活用などの進展がみられるとしても、今後15～20年間は、いぜん、石油が中心的な役割を果たすであろう。しかし、今や石油を取り巻く国際情勢は大きな転換期を迎えている。すなわち、1960年代の世界的な原油買手市場の時代から、売手市場の時代に突入したことである。1970年秋以降OPEC諸国は原油値上げ攻勢を展開すると共に事業参加を要求しており、主導権が国際石油会社から原油国側に傾斜しつつある。これに伴い消費国は石油の低廉安定確保、国際石油会社は収益改善のための諸施策を迫られることになった。ことにわが国のように原油の99%以上を輸入している国にとっては深刻な問題である。そのため各消費国、国際石油会社ともアラスカ、北海、東南アジアなど非OPEC圏への探鉱活動による固有の資源確保に活発な動きをみせている。

ここで主要消費地域の輸入先をみると、北米が南米に輸入量の70%、ヨーロッパが中近東に50%、アフリカに40%、日本が中東に90%、東南アジアに10%弱依存している。ことに米国の輸入依存度は1970年で23%であるが、10年後には40%前後に達することが見込まれており、これが世界のオイルフローに及ぼす影響は無視できない。一方、ソ連圏の石油がヨーロッパを中心に自由世界に流れ込んでいるが、いまだにその量は少ない。しかし今後は国家間の関係好転に伴い中国を含む共産圏の石油も国際石油市場で、漸次、重要な役割を果たすことになるであろう。

また製油所は世界的に消費地立地が支配的であるが、今後、そこにおける環境問題や立地難等から生産地精製および中間地精製が促進されることになる。その場合には立地の選択が重要な課題となる。

最後に質的側面をみると、先進工業国においては環境保全に対する規制が強まる傾向にあるため、資源的に乏しい低硫黄原油に対する需要が高まることは必至で、この面からも石油をめぐる国際競争は激化が予想される。

1-2 日 的

そこで、われわれは、以上のような問題意識の下に、このモデルの目的を次のように設定した。すなわち、基本は現在の世界における石油の需給構造を解明し、将来のオイルフローを予測することであるが、具体的に示せば、

- ① 1969年における原油および石油製品の国別、地域別需給バランスの解明。
- ② 1975年、1980年、1985年における①と同様の予測。
- ③ 需給環境に大きな変化が予想される場合の予測。例えば、重油中の硫黄規制が厳しくなる場合、北海から大量に原油が生産される場合、スエズ運河の再開や中東パイプライン閉鎖に伴うフロー変化の予測である。
- ④ 製油所増設量、同投資額の算定。
- ⑤ 石油輸送量の増減に伴うタンカー必要量の算定。

である。

1-3 効 用

以上の目的にそったこのモデルの計算結果は、1969年でとらえた現実の石油需給構造を鮮明に再現しており、これを踏まえて行なった予測も極めて興味深いものになった。これらの諸結果については後述するとして、その効用面にふれると、冒頭にも述べたように石油を取り巻く国際情勢が1つの転換期を迎えている一方、主要消費国では公害問題の高まりもあり、国際的に良質かつ低廉な原油の安定的確保が急務となっている。それだけに世界の石油需給関係が将来どのように展開するかは衆目の一大関心事といつてよい。このWOTSは、後述するようなケース・スタディが実行可能であり、その結果の分析・評価を通じて以上のような要請に応えられると思う。すなわち、政府の石油政策決定をはじめとして、メジャー、商社、石油精製会社の経営戦略、内外の造船会社、海運会社、プラント・エンジニアリング会社のマーケティング、金融機関の融資政策、産油国における原油評価などの諸方面において基礎的な判断資料として活用できるものと思う。

2. モデルの構造

2-1 国および地域

まずモデルを構成する国と地域についてみると、第1表に示すように、このモデルは12地域39カ国から成る。この決定に当たってはマーケットの大きな国、大産油国、日本に関係の深い国は独立させ、地理的に隣接し且つ経済関係の深い国は統合し、それほど重要でないと思われる国は当該地域内の「その他」に集約した。また米国は国土の大きさと重要性に鑑み二分した。その分け方はPAD (PETROLEUM ADMINISTRATION FOR DEFENSE) DISTRICTS のI~IVを東部、Vを西部とした。また東南アジア、オセアニア、ソ連圏は1地域1国とした。

第1表 対象地域および国

地 域	国 (数)
東 ア ジ ア	日本, 台湾, 韓国, 香港 (4)
東南 ア ジ ア	インドネシア, マレーシア, フィリッピン, シンガポール, その他 (5)
中南 ア ジ ア	(インド, パキスタンなど) (1)
西南 ア ジ ア	アブダビ, イラン, イラク, クウェイト, サウジアラビア, 中立地帯, その他 (7)
オセアニア	(オーストラリア, ニュージーランドなど) (1)
西ヨーロッパ	西独・オーストリア, フランス・スイス, オランダ・ベルギー・ルクセンブルグ (3)
南ヨーロッパ	イタリア, スペイン・ポルトガル, その他 (3)
北ヨーロッパ	英国, その他 (2)
アフリカ	アルジェリア, リビア, ナイジェリア, その他 (4)
北アメリカ	カナダ, 米国東部, 米国西部, その他 (4)
南アメリカ	アルゼンチン, ブラジル, ヴェネズエラ, その他 (4)
ソ 連 圏	(ソ連, ポーランドなど) (1)

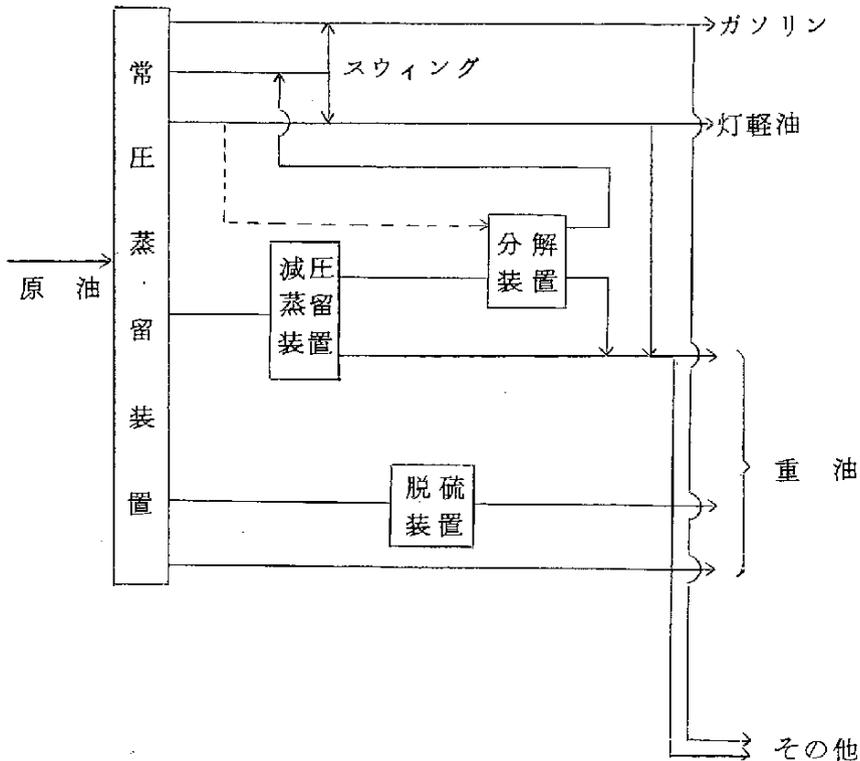
2-2 国別の構成要素

つきに世界の石油の流れを現わすために、これらの国または地域に設定される要素についてみると、原油項目として生産量、得率、硫黄留分、製油所項目として精製、脱硫、分解の各能力、脱硫率、分解率、マーケット項目として製品別需要量、硫黄規制、コスト項目として原油FOB価格、製油所オペレーション・コスト、フレート、関税、それにパイプライン能力を採り上げた。

2-3 前提条件

モデルは、これらの諸要素を一定の前提条件のもとに有機的に結合して世界全体の経済合理性を追求した場合に原油と石油製品がどのように動くかを示す構造になっているわけであるが、ここでモデル簡略化のために採用した前提条件に若干ふれると以下の通りである。すなわち①原油生産量＝1国1種類 ②得率＝ガソリン，スウィング，中間流出油，残渣油 ③需要パターン＝ガソリン，灯軽油，重油，その他。但し日本および米国は「その他」なし ④硫黄規制＝日本，米国，ヨーロッパ ⑤フレート＝1国1港とし原油はワールドスケール100，製品運賃はガソリン，灯軽油が原油の20%増，重油，その他は10%増 ⑥パイプライン＝中近東の原油輸送に限定 ⑦関税＝原油・製品とも1国1種類 ⑧製油所＝第1図等である。

第1図 プラント・コンビネーション



(----- は米国型のみ追加とする)

2-4 技術的側面

モデル作成に当たっては、経済分析の手法に線型計画法を採用し、計算用プログラムにはOPHELIE IIを、コンピュータはCDC 6600を使用した。システムをコード化するためのプログラム(マトリックス・ジェネレータ) 計算結果をみやすくするためのプログラム(レポート・ライター)などを開発したことにより、システム作成からレポートに至るまでコンピュータによる一貫した自動作業が可能となっている。以下システムの構成と部門別構造について略述する。

(1) システム構成

WOTSシステムはCDC 6600用に開発されたプログラム・システムであり、その中核をなすのは線型計画法(LP)による最適化計算部門である。WOTSシステムはこのLP計算部門と、それに付随するマトリックス・ジェネレータ、レポート・ライターの3つの部門から構成されており、以下にこれら3部門の機能を簡単に説明する(第2図参照)。

① マトリックス・ジェネレータ(MG)

モデルに必要なデータが全て網羅されているデータ・ファイルからデータを読み込み、LPモデルの作成を行ない、最適化計算のためのLPインプット・ファイルを準備する。

効率のよいモデルとするため、変数に対する上・下限(BOUND)、条件式に対する上・下限(RANGE)を使用している。

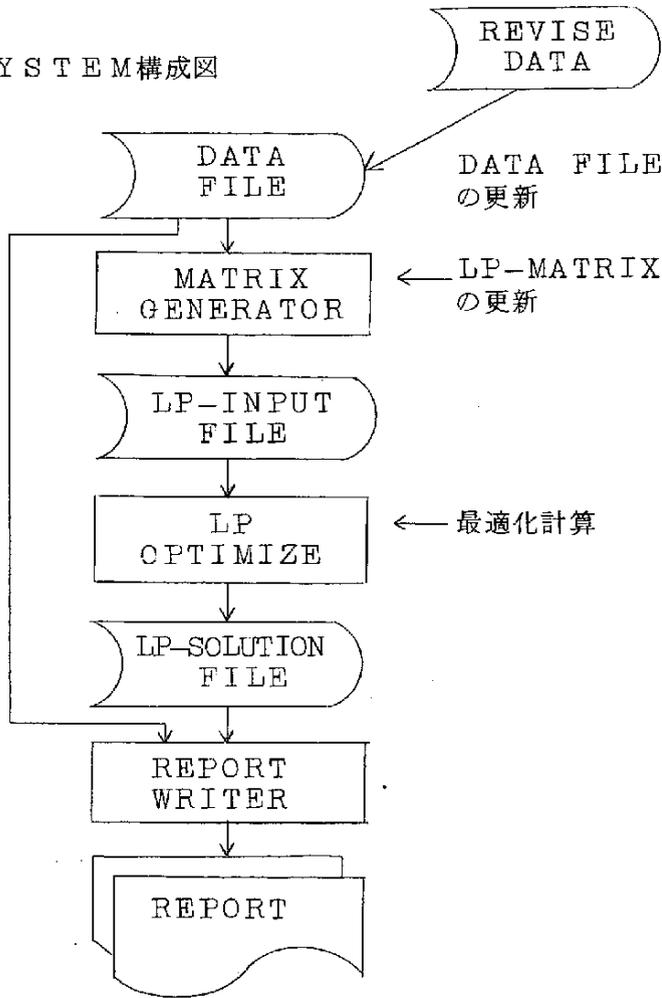
② LPによる最適化

MGで作成されたLPモデルにより世界のコストミニマムを目的関数として最適化計算を行ない、報告書作成のために必要な最適解ファイルを作成する。

③ レポート・ライター(RW)

最適解ファイルとデータ・ファイルを用いて解の編集作業を行ない、

第 2 図 SYSTEM構成図



ユーザが分析に必要とする全ての情報を見やすいフォームで出力する。タンカ
必要量、製油所投資額の算定はこの部門で行なわれる。

以上のようにモデル作成から分析レポートまでコンピュータによる一貫作業
が行なわれ、WOTSのユーザはデータ・ファイルを準備するだけで充分である。

(2) モデルの部門別構造

WOTSのLPモデルは大別して8部門から構成されているが、ここで

はこのうちの主な4部門について簡単に説明する。

① 原油供給部門

原油はO/D表(Origine and Destination Table)に従って各国製油所に供給され、生産量は上限のみが設定される。

$$\sum_{j=1}^n CR_{ij} \leq b_i \quad (i=1, \dots, n)$$

CR_{ij} …………… i 国から j 国への原油供給量

b_i …………… i 国の原油産出量

② 製油所部門

この部門での主な条件式には製油所各装置能力、原油性状バランス、サルファ・バランス、各種コストなどのROWがある。一例として製油所能力の式を示すと次の通りである。

$$TOP_j \times 0.85 \leq \sum_{i=1}^n CR_{ij} \leq TOP_j \times 0.9 \quad (j=1, \dots, n)$$

$\sum_{i=1}^n CR_{ij}$ …………… j 国で使用される原油合計量

TOP_j …………… j 国の製油所能力

(このモデルでは稼働率を85%~90%としている)

製油所部門はCOLUMNを増やすことによりROWを減少させる方法を用いた。従来の方法では各原油ごとにTC(Topped Crude)のYIELDのROWを作るのであるが、本モデルでこの方法を用いるとTCのROWだけでもぼろ大な数になる。これを避けて効率よいLPモデルとするためCOLUMNを増やす方法を用いた。この方法によればTCのROWは1製油所につき1本のみであり、しかも従来の方法と同じ効果がある。

③ マーケット部門

各国で製造された製品は自国も含めて各国に供給され、その総計がマ

マーケット量に等しくなる。

$$\sum_{i=1}^n PR_{ijk} = b_{jk} \quad (j=1, n)$$

PR_{ijk} …………… i 国から j 国への k 製品の供給量
 b_{jk} …………… j 国の k 製品の需要量

④ 目的関数

このモデルでは製品価格は考慮せずコスト関係のみを計上した。コスト項目としては原油フレート、製品フレート、輸入関税、原油FOB、オペレーティング・コスト、原油増産費、製油所増設費があり、これらの全世界総計を最少にすべく最適化計算を行なうわけである。

原油フレート+製品フレート+輸入関税+原油FOB+オペレーティング・コスト
 +原油増産費+製油所増設費 → MINIMUM

2-5 モデルの規模

以上のような内容をもつ本モデルの規模を1969年のスタンダード・ケースについて示すと下記の通りである。

ROW	503
COLUMN	4,576
NON ZERO ELEMENT	24,188
RIGHE HAND SIDE	246
DENSIYY	1.05%
推定計算時間	25~30分 (但しベースのない場合)

2-6 データ・ファイルと計算事例

モデルの構造は以上の通りであるが、このモデルのために用意されているデータおよびわれわれが行なった計算事例を示すと第2表および第3表の通りである。

以下、計算結果について説明することにする。

表2表 データ・ファイル項目

○印あり； ×印なし

項 目		実績値	予想値	備 考
原 油	生 産 量	○	○	実績値は1969, 1970, 1971年 予想値は1972~1985年
	価 格	○	○	実績値は1969年 予想値は1970~1975年
	得 率	○	×	
	硫 黄 留 分	○	×	
製 油 所	精 製 能 力	○	×	実績値は1969, 1970年
	分 解 能 力	○	×	同 上
	脱 硫 能 力	○	×	同 上
	オペレーションコスト	○	×	1万B/D想定による試算
	建 設 コ ス ト	○	×	同 上
マ ー ケ ッ ト	需 要 量	○	○	実績値は1969年 予測値は1970~1985年
	需 要 パ タ ー ン	○	×	
	硫 黄 規 制	○	○	日本と米国のみ
運 賃		○	×	ワールドスケール100
パ ラ イ ブ ン	輸 入 能 力	○	○	実績値はIPCO, TAP, イスラエルライン 予想値は計画ないし提案中のものを含む
	コ ス ト	○	×	カナダ→米国
関 税	原 油	○	×	
	製 品	○	×	
タンカー建造コスト		○	×	
航 海 回 数		○	×	
製油所建設コスト		○	×	実投資額を原油増産量で割ったもの
油田開発コスト		○	×	同 上
流通設備コスト		○	×	同 上
製 品 生 産 量		○	×	1969年
製 品 貿 易 量		○	×	1969年
原油プラス製品の貿易量		○	×	1969, 1970, 1971年

第3表 計算事例

ケース		年次			
		1969	1975	1980	1985
スタンダード・ケース		○	○	○	○
関税	関税のない場合	○			
硫黄規制の変更	日本 1.5% アメリカ 0.5% ヨーロッパ 2.0%		}	○	
	日本 1.0% アメリカ 0.5% ヨーロッパ 1.0%				
スエズ運河の再開			○		
パイプラインの閉鎖			○		
原油生産の変動	生産量制限なし			○	
	オーストラリア増産			○	
	北海の本格生産				○
	尖閣列島 "				○
	チュメニ原油の日本輸出				○

3. モデルの分析事例

3-1 分析可能テーマ

WOTSは、手法的にはLPを用いているので、各国の需要バランス・航路設定条件・政策変数などをインプットの際変更することにより容易に幅広いケース・スタディの分析が可能である。実行可能なケース・スタディのパターンとしては次のようなものが考えられる。

① スタンダード・ケース

需給状態、価格、輸送経路などのインプット・データとして最も妥当と考えられるものを用いて将来の石油フローを予測する。

これにより将来の最も生起確率の高い状態におけるフロー予測が行なわれるが、この予想結果はその他ケース・スタディ結果との比較基準となる重要なものである。

② 関税のない場合

政策的な費用である各国の輸入関税を撤廃または軽減した時、世界的にどの程度の貿易量の拡大があるかを検討することができる。

世界的にみて関税はケネディ・ラウンド以降軽減化の傾向にあり、その影響を数量的に把握することは有益なことである。

③ 輸送経路に変更のある場合

中近東における政治・軍事情勢の変化は、中東原油のヨーロッパ向輸出、すなわち東地中海向の中東パイプライン、スエズ運河などの運営に重要な影響を与える。

これらの影響は、オイルフローの定性・量的変化よりも、タンカー必要船腹量の変化という形で分析した方が有益な情報が得られる。

④ 需給関係に変化のある場合

新油田発見の世界フローへの影響、競合エネルギーの普及による需要パ

ターンの変化の影響についても容易にシミュレーションを行なうことができる。

これによりチュメニ原油開発の経済性および世界フローへの影響の把握ができる。また電気自動車等の普及によって石油需要パターンが変化した場合の影響の分析なども行なうことができる。

⑤ 硫黄規制の変更

近年世界的に公害問題に対する認識が高まってきたが、重油中の硫黄留分をどのように制限するかをWOTSにインプットすることにより硫黄規制の強化に伴う様々な影響の分析がなされる。

各国が低硫黄原油をどのように選択し、どれだけの脱硫装置が必要かという表面的な分析だけでなく、シャドウ・プライスをみることにより各国の原油の評価がどのように変化しているかもわかり、石油の消費国、輸出国のいずれにも有益な情報が得られる。

以上に述べたケース・スタディについては、すでにCRCにおいて検討と実行が行なわれており、有意義な判断資料として広く利用されるものと確信する。

3-2 予測の結果

CRCでは、このモデルにおいて10数ケースのスタディを試みたが、その中から3つの例をあげて説明する。

① 1980年の原油フロー（第3図参照）

まず1980年のスタンダード・ケースについて説明する。マーケットの規模が日本1,000万バレル/日、米国2,100万バレル/日、ヨーロッパ2,200万バレル/日、自由世界全体で6,900万バレル/日、(OGJ誌1969年11月10日号による)、一方、原油生産量が中東3,100万バレル/日、北米1,600万バレル/日、南米700万バレル/日、アフリカ900万バレル/日、東南アジア200万バレル/日、自由世界全体

で6,700万バレル/日(国連資料を基に加工), ソ連圏の原油輸出200万バレル/日と想定した場合に, 日本の原油輸入量は800万バレル/日に達するが, その85%を中東に, 15%を東南アジアに依存する。また米国の輸入依存度は, 1969年の24%から38%へと高まり, 原油輸入量は350万バレル/日となるが, 内訳はカナダから15%, ヴェネズエラから43%, アフリカから22%, 中東から12%; 東南アジアから7%の割合である。またヨーロッパの原油輸入は2,100万バレル/日で中東に68%, アフリカに24%を依存するようになる。これを図示すれば第3図の通りである。

② 硫黄規制の強化(1975年) (第4表参照)

現在, 世界的な傾向として環境保全に対する認識が高まり, 大気中に出来る硫黄分の規制も強化される方向にある。規制強化に対する対策としては, ローサルファ原油の活用, 脱硫装置(製油所内)の設置, 排煙脱硫装置の設置(ユーザ・サイド), 原油生だし, LNG等代替燃料の利用が現在考えられている。

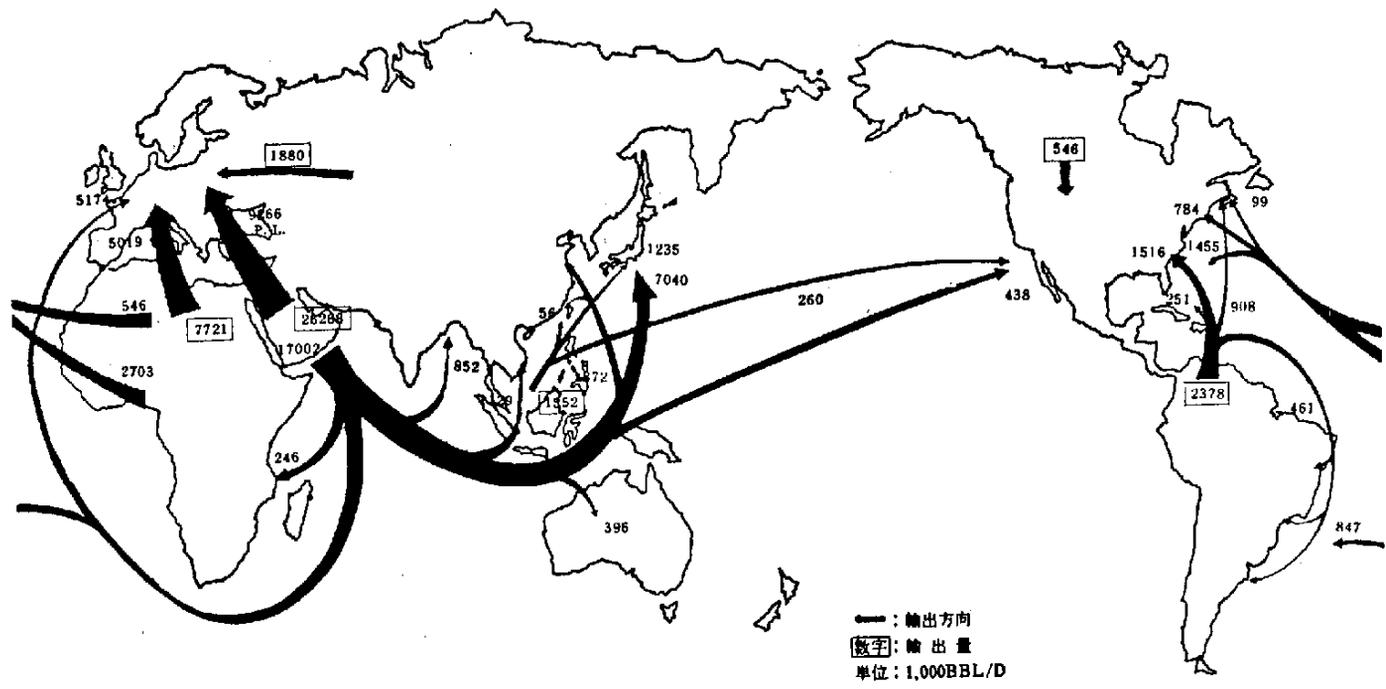
これらの対策の内, 第1, 第2番目の対策と関連して重油中の硫黄分に対する規制の強化が打出されている。そこで今回は1975年について, 主要消費国で重油中の硫黄分に対する規制が強化された場合の世界の原油フローへの影響について研究を行なってみた。

なお, このような分析は世界モデルであればこそ可能であると言える。

<重油中の硫黄留分> (W%)

		スタンダード・ケース	規制強化後
日	本	2.0%	→ 1.5%
米	国	1.0%	→ 0.5%
ヨーロッパ	各国	なし	→ 2.0%

第3図 1980年の世界原油フロー



第4表 硫黄規制の変更ケース・スタディ(1975年)

<原油輸入>

単位：千BBL/D

消費地	輸入先	1975 スタンダード・ケース		1975サルファ規制付		
		輸入量 a	%	輸入量 b	%	b/a
日本	西南アジア	5,061	87	5,091	87	1.01
	北アメリカ					
	南アメリカ					
	アフリカ					
	東南アジア	761	13	731	13	0.96
	その他					
	計	5,822	100	5,822	100	1.00
米 国	西南アジア					
	北アメリカ	1,066	43	1,140	46	1.07
	南アメリカ	1,086	44	786	32	0.72
	アフリカ					
	東南アジア	341	14	566	23	1.66
	その他					
	計	2,493	100	2,493	100	1.00
ヨーロッパ	西南アジア	9,895	62	9,329	58	0.94
	北アメリカ					
	南アメリカ					
	アフリカ	4,708	29	5,266	33	1.12
	東南アジア					
	その他	1,432	9	1,432	9	1.00
	計	16,036	100	16,027	100	1.00

上記のように硫黄規制を強化した場合のオイルフローへの影響は次の通りである。

<世界的特徴>

ローサルファ原油であるアフリカ、東南アジアの原油は、世界的に希少な資源として相対的に重視されてきている。一方、比較的ハイサルファの中東原油の重要性は相対的に低下してきている。

このことは、LP解のシャドウ・プライスをみることにより定量的に確認される。例えば、代表的なローサルファ原油であるインドネシア原油は、スタンダード・ケースにおいては、1.559ドル/bblであったが、規制強化後は、1.697ドル/bblと約14セント上昇している。一方、中東の代表的原油であるイラン原油は、ハイサルファであるために、1.113ドル/bblから0.995ドル/bblと約12セント下がっている。

<日 本>

ローサルファ原油である東南アジア原油を米国に一部持って行かれ（4%減）、その不足分約3万バレル/日を比較的ハイサルファである中東原油に依存することになっている。規制が強化され、また従来よりもハイサルファの原油が入るため国内の脱硫装置を増強しなければならなくなっている。

<米 国>

ハイサルファである南アメリカ原油の輸入を約30万バレル/日減らして79万バレル/日に押え、その不足分をローサルファであるカナダ原油と東南アジア原油の輸入を増やすことにより補っている。

<ヨーロッパ>

ローサルファであるアフリカ原油の輸入が約55万バレル/日増え、

中東からの輸入がその分だけ減ってきている。なお、製品の動きをみると、スタンダード・ケースでは約67万バレル/日のローサルファ重油が米国に向けて輸出されていたが、ヨーロッパにもサルファ規制が入ったことにより米国向けの輸出量は17万バレル/日に減っている。

③ 輸送経路に変更のある場合 — タンカー必要船腹量の変化

(1975年) (第5表参照)

各国間の原油・製品移動量がLPモデルを解くことにより求めたが、この量と各国間(各航路)のタンカーの年間航海回数とから、各航路に必要とされるタンカーの船腹量を求めることができる。

第5表 輸送経路に変更のある場合(1975年)

<必要船腹量>

[単位：百万トン]

ケース 内訳	スタンダード・ ケースa	%	スエズ 再開b	%	b/a	パイプライン 閉鎖c	%	c/a
東アジア向	38.1	26	37.6	28	0.99	37.6	21	0.99
ヨーロッパ向	69.7	48	57.0	43	0.82	98.9	56	1.42
北アメリカ向	25.2	17	25.0	19	0.99	24.8	14	0.98
その他向	13.7	9	13.9	10	1.01	14.1	8	1.03
世界計	146.7	100	133.5	100	0.91	175.4	100	1.20

<スエズ運河の再開>

スエズ運河が再会された場合、最も強い影響を受けるのは、当然のことながらヨーロッパ向のものである。

ヨーロッパ向の必要船腹量は約18%(スタンダード・ケース比)減り、世界計では約9%減って1億3,350万DWTとなっている。

ヨーロッパ向以外については、ほとんど有意な変化は見られない。

＜中東→東地中海パイプラインの閉鎖＞

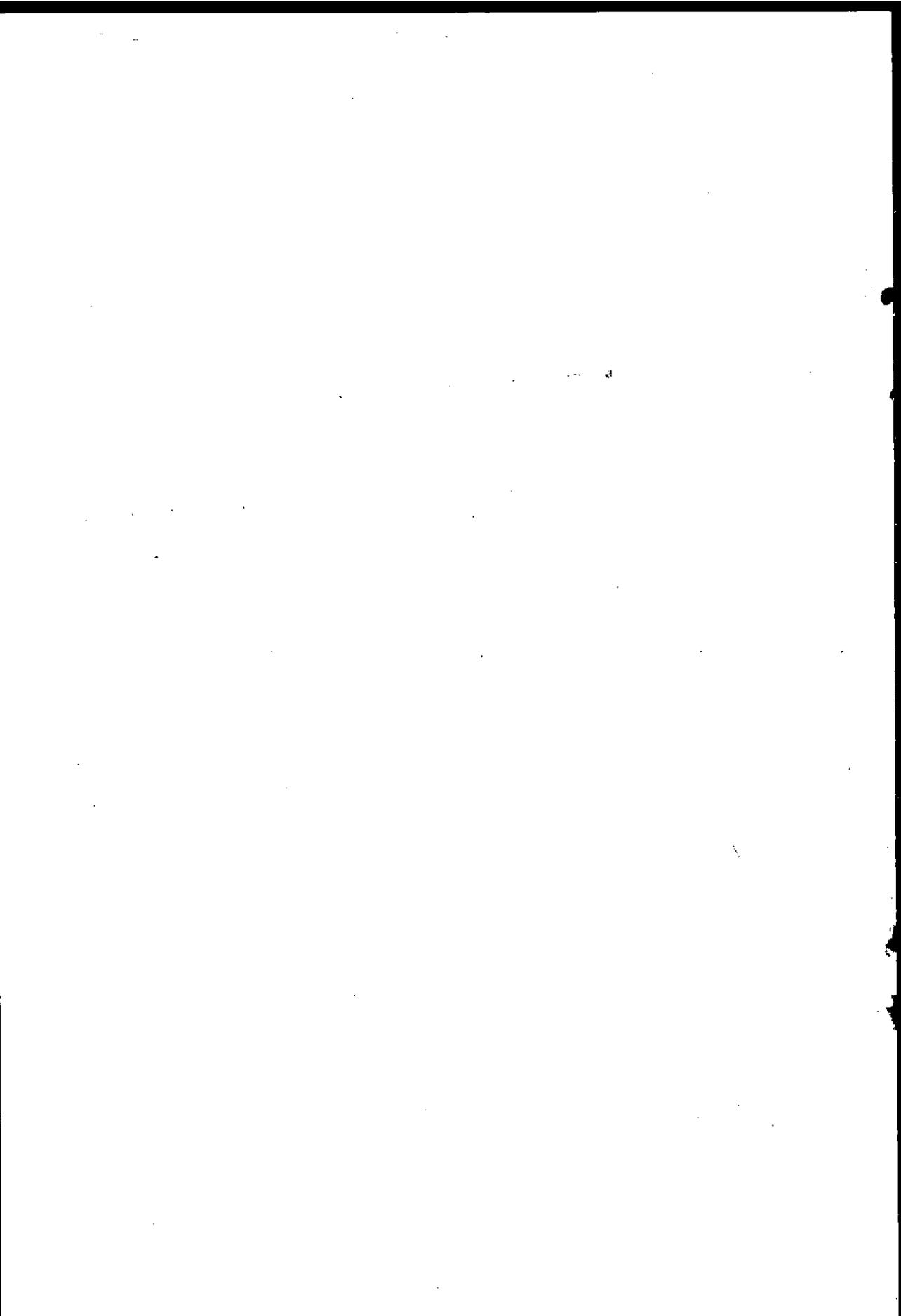
先のケースとは逆に、中東から東地中海にぬけるパイプライン(1975年時点で各パイプライン稼働能力の合計として520万バレル/日を設定した)を閉鎖した場合においては、ヨーロッパ向のタンカー必要船腹量は42%増となっている。これはスエズ再開と逆に中東の原油でヨーロッパに輸出されるものはすべてケープタウン廻りとなったことによるものである。

他の地域での必要船腹量はほとんど変化せず、結局世界計で約20%増の1億7,540万DWTとなっている。

このように中近東を中心とする輸送経路の変更による影響は、ヨーロッパに集中して現われている。世界最大の原油輸出地域である中東からヨーロッパに向けて輸出される量は中東の輸出量の56%を占めているので、この経路変更のタンカー必要船腹量に及ぼす影響は世界的にみても-9~+20%と大きなものとなっている。世界のタンカー需要は、今後とも中近東の政治情勢の影響を敏感に受けることが、WOTSからも立証されている。

4. 今後の展望

このモデルは、以上の説明からも解るように、世界全体の原油および石油製品の需給構造がどうなっており、将来の需給関係がどう変化するかをみるためのものである。原油生産量と石油需給量を与えた時原油と石油製品が産油地と消費地間でどのように動くか、フロー問題にアプローチを試みたモデルである。従って、一国の石油需給関係をみるためには当該国内の石油および同関連産業モデルやエネルギー・モデルが必要であり、さらに個別企業行動に密着させるためには企業モデルが必要と思う。こうした観点に立って展望すると、WOTS—国内産業モデル—企業モデルという一連のリンクをすすめた総合システム・モデルの確立が今後の課題といえよう。



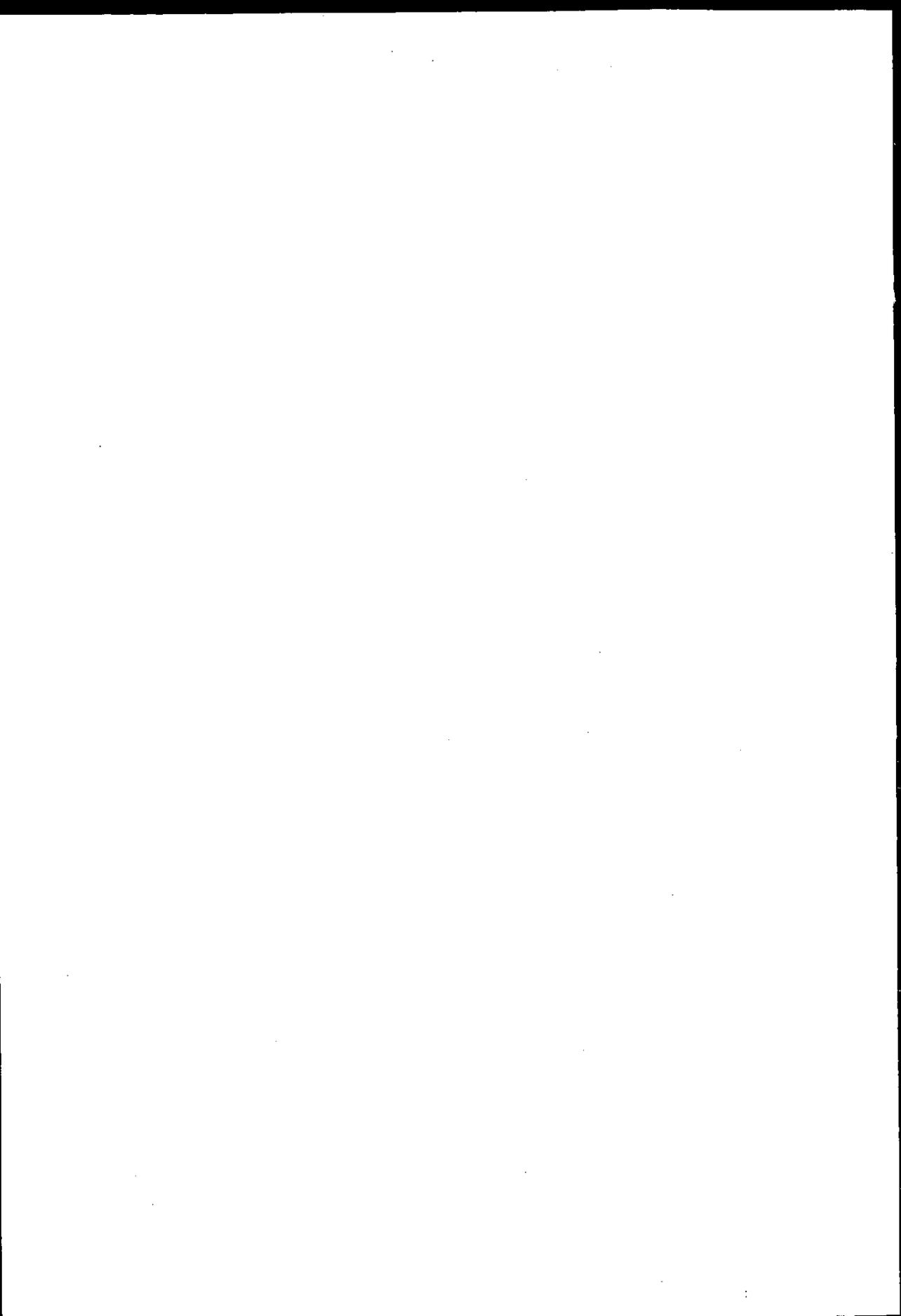
請求
番号 日・47-1.ア

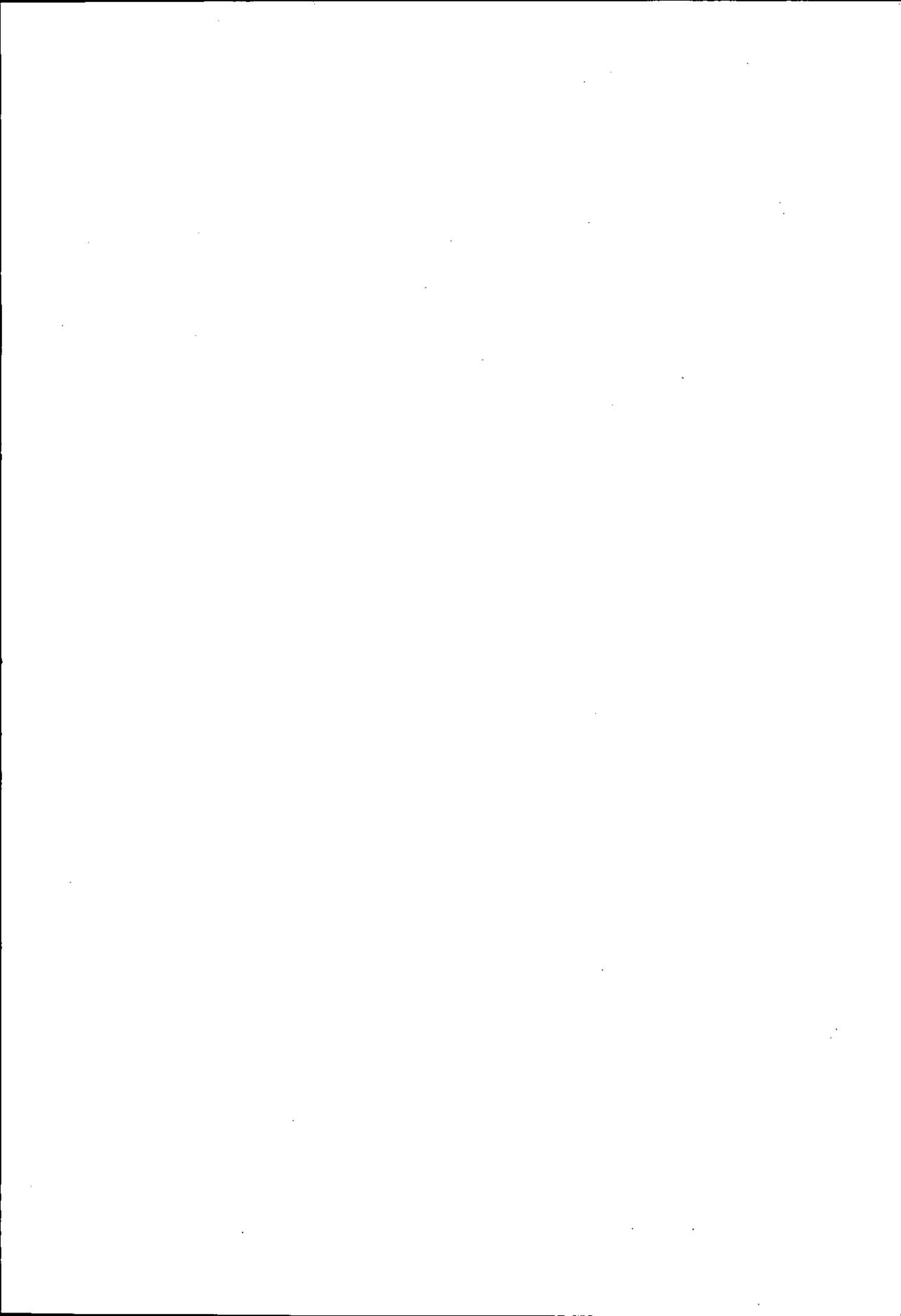
登録
番号

著者名 日本情報開発協会

書名 第3回(昭和47年度)研究奨励金
受賞研究の概要

所属	帯出者氏名	貸出日	返却	
			予定日	返却日





Japan Computer Usage Development Institute

財団
法人 日本情報開発協会

東京都千代田区霞ヶ関3丁目2-5 霞ヶ関ビル30階 TEL 581-6401(代)