

1. はじめに

我が国においては、1960年代に高度成長のツケとして公害問題が深刻化し、このため各種公害の対策が講じられてきた。1970年代は、この様な対策の効果が表われてきた時期であった。1980年代においては、この様な消極的な公害対策にとどまらず、予見的・科学的な知見に基づく環境汚染の未然防止、環境資源の適切な利用、及び生活空間としての環境の保全をも含めた最適な環境の創造等、新たな視点に基づいて環境対策が要求されてきた。このためには、環境の特性を踏えて各種の施策の効果を環境の利用に伴う環境への影響等の予測を行い、環境を適切に制御する方策を導くシステムを確立する必要がある。この様な環境管理システムの確立には、種々の環境値の構造を解析し、予測を行うシステムが不可欠である。この為、多くの解析予測の手法が提案されてきたが、ここでは特に、予測のための数学モデルについて考察する。

環境値の予測を行う数学的手法は、環境値の物理的・化学的特性を考慮した決定論的な方程式に基づいてモデル化を行う手法と、環境値の測定データの特性に基づいてモデルを構成する統計的手法とに大別される。環境値の挙動は、一環に非常に複雑であり、その構造等が良く知られていないのが大半である。この為、決定論的なモデル化が可能なケースは少ない。また、統計的な予測モデルを作成する際にも、系の非線形性を考慮しなければならない場合が多い。従って本稿においては、複雑な系の同定に効力を発揮する手法であるGMDHを用いて環境値の予測モデルに因して筆者らが開発した例について概要を述べる。

第2章では、GMDHの概要を説明し、第3章では光化学スモッグの予測制御システムについて述べ、第4章においては、大阪府における化学的酸素要求量(COD)濃度分布予測モデルについて、また第5章においては、ランドサットMSDデータを用いた環境騒音予測手法について説明し、最後に第6章においてモデルの問題点、及び今後の発展方向について考察する。

2. 改良型GMDHの概要¹⁾

GMDHはソ連のA. G. Ivakhnenko等²⁾により開発された入出力データの関係から自己組織的に複雑な系のモデリングを行う手法である。初期のGMDHは①変数をモデル作成のためのデータと4エングの為のデータとに分割するため、その分割の仕方はモデルが依存する。②部分表現式を層ごとの重ね合わせで完全な表現式を作成する手法であり、部分表現式の形にモデルが依存する。③各層における、中間変数の選択個数にもモデルが依存する。等の問題点があり種々の改良がなされてきた。³⁾⁴⁾

近年、田村等により提唱されている、最適な部分表現式の自己選択、中間変数の自己選択、多層構造の層の打ち切り等にAIC(赤池の情報量規準)、又はPSS(予測平方和)を用いる改良型のGMDH^{1),2),3)}は、これらの問題点を可成りの程度解決するものである。従って、本稿ではモデル構造に基き、この改良型GMDHを用いている。以下に、改良型GMDHの概要について説明する。

図1-1及び図2-2に改良型GMDHのアルゴリズムのフロー図に最適な部分表現式の発生源の概念図を示す。

発生源 $G_1 \sim G_n$ の内、どの発生源を選択するかの、 N 個のデータ(4エングデータと

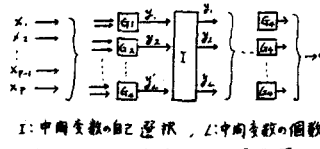


図2-1. 改良型GMDHのフロー図¹⁾

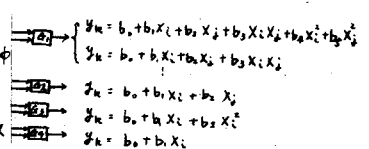


図2-2. 中間変数の発生源¹⁾

トレーニングデータに分類しない)を用い、

$$PSS = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \hat{y}_i^*)^2 / (I - X^T(XX)^{-1}X)$$

または

$$AIC = N \log S_k^2 + 2(k+1) + C$$

$$S_k^2 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

k: 変数の個数

を選択基準として決定する。又、ここで中間変数としてPSS(又はAIC)の値の小さいものから、1個選択する。次に、この1個の中間変数を入力データとして、次の層へ移り、同様の手続をくり返す。部分表現式の発生器として、全24が選択された層において、計算は打ち切られる。

電子計算機を用いて、改良型GMDHによる解析を行う場合のフローを図2-3に示す。

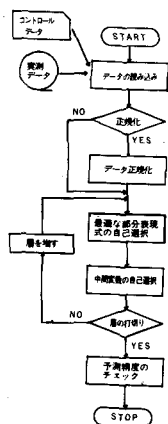


図2-3 改良型GMDHによる解析フロー

3. 光化学スモッグ短期予測と排出源制御システム⁹⁾

3-1. 光化学スモッグ制御システムの概要

気象が高く、日射量の高い昼間においてオキシダントが高濃度化する現象は光化学スモッグとして広く知られている。大阪府においても、これに対処するため、図3-1に示すシステムにより、被害の抑制に努めている。即ち、府下の42箇所の測定局から毎10分にテレメータ入力される測定データを基にして予測判断を行い、緊急時の発令を無線電波を通して大衆生源工場、交通規制局へ削減交通規制措置を取る様に要請する。また、市町村及び保健所等へも同時に無線により協力要請を行う。光化学スモッグの発令及び解除に当たっては、オキシダント濃度が上昇するか、下降するかを数時間先に察して予測する必要がある。これには、豊富な経験と気象に関する知識が要求される。

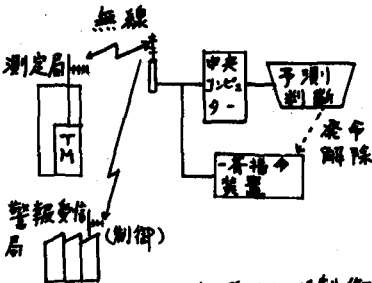


図3-1. 光化学スモッグ制御システム

表3-1 測定項目

1	二酸化硫黄	9	風
2	浮遊粉じん	10	風
3	一酸化窒素	11	温
4	二酸化窒素	12	湿
5	一酸化炭素	13	日射量
6	オキシダント	14	雨量
7	全炭化水素	15	交通量
8	非メタン炭化水素		

今回、開発した予測モデルは、このような光化学スモッグの緊急時における判断を補助し、モニタリング→予測→判断→発令(解除)→排出源制御という緊急時の措置を効率良く、かつ速やかに行うシステムの確立を目的としたものである。

3-2. 光化学スモッグ短期予測モデル

光化学スモッグの短期予測モデルには、反応拡散系のシミュレーションを行う決定論的なモデルと測定データの時系列予測に基づく統計的モデル^{10),11)}とがある。前者は、発生源の環境濃度に基づき影響が分かるため、発生源規制の効果が予測できる等の長所を持つが、反面、計算に膨大な時間を要する等の短所があり、迅速性を要求される緊急時の際の予測に使用するには困難点が多い。そこで、実用的な手法として統計的モデルを用いることとした。光化学オキシダントは複雑な反応の結果生じる2次汚染物質であり、また気象条件により変化するため、そのモデリングに当たっては非線形性を考慮すること、及び気象条件の分類、予測を行うことが重要となる。

従って、ここでは気象条件(特に因条件)の数量化を組み込んだ改良型GMDHを用いたオキシダント濃度予測を行うモデルについて述べる。

3-3. 改良型GMDHによる予測結果-単独予測

府下の測定局で測定している項目は表3-1のとおりである。予測に使用するデータ項目は、迅速性を考慮し

オンライン測定データ(1時間値データ)のみを用いた。業務における実用性から3時間程度先の予測を行う必要があるため、3時間先の予測モデルを作成することにした。

改良型GMDH法の下テスト計算として、府下の内陸部4測定局を1局選定、54年8月のデータを用いて予測計算を行った。最初、風データを東西方向成分と南北方向の成分とに分割し、表3-3に示す10項目を用いて評価基準としてAICを用いて改良型GMDH法により予測計算を行った。計算結果は、予測値と実測値との相関係数は0.88であり、図3-2に示す様に予測期間において、高濃度領域での再現性が良くなかった。光化学スモッグ予測に必要なのは、オキシダントの高濃度領域における予測精度が良いことである。

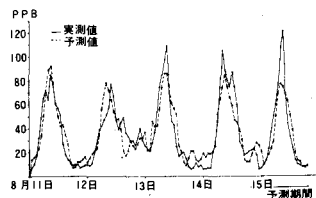


図3-2 オキシダント3時間先予測結果(単純予測)

次節で、風要素の数量化を考慮してモデルの改良を行う。

3-4. 改良型GMDHによる予測結果-数量化を組み込んだGMDH

モデルの改良には、次の項目を考慮した。

表3-2 気象予測の各アイテムとカテゴリ

アイテム	海側局の風向	海側局の風速	内陸局の風向	内陸局の風速	鉛直測定局(65m地点)の風向	鉛直測定局(65m地点)の風速	鉛直測定局(160m)の風向	鉛直測定局(160m)の風速
カテゴリ	N	0.5M/S以下	N	0.5M/S以下	N	0.5M/S以下	N	0.5M/S以下
	W	0.5~1.5M/S	W	0.5~1.5M/S	W	0.5~1.5M/S	W	0.5~1.5M/S
	S	1.5~2.5M/S	S	1.5~2.5M/S	S	1.5~2.5M/S	S	1.5~2.5M/S
	E	2.5~3.5M/S	E	2.5~3.5M/S	E	2.5~3.5M/S	E	2.5~3.5M/S
		3.5M/S以上		3.5M/S以上		3.5M/S以上		3.5M/S以上

- ① 前節で用いたが、項目の追加
- ② 他局のデータの活用
- ③ 鉛直気象測定局データの活用
- ④ 気象要素の数量化

このため、風項目を表3-3に示すアイテム

とカテゴリに分類し、目的変数として3時間先のオキシダントを用いて数量化問題によるオキシダント予測計算を行い、予測結果であるオキシダント濃度を新たに気象変数としてGMDHによる予測計算に使用する。数量化を組み入れたGMDHアルゴリズムにより予測モデルを作成した。GMDHによる予測計算には表3-1に示す項目を用いた。

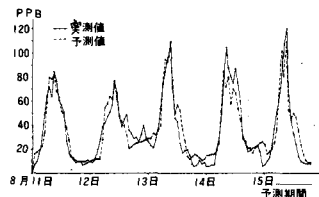


図3-3 オキシダント3時間先予測結果(数量化含)

図3-3に示すとおり、予測結果は高濃度の領域でもよく予測しており、又予測値と実測値の相関係数0.92と非常に良い結果を得た。

なお、予測計算は大阪府公害監視センターの電

子計算機ACOS 500を用いて行い、計算に要したCPU時間は約1分20秒であった。同様の計算をPSSを評価基準とする改良型GMDH法により実行すると、約16分要した。予測精度は双方とも同様の結果となったため、実用的手法としてAICを評価基準とする改良型GMDH法を用いることにした。

表3-3 3時間先予測に用いた項目

項目No.	項目名称	項目No.	項目名称
1	オキシダント3期遅Ox(t-3)	12	二酸化窒素3期遅NO ₂ (t-3)
2	同4期遅Ox(t-4)	13	日射量3期遅S _a (t-3)
3	同5期遅Ox(t-5)	14	日射量4期遅S _a (t-4)
4	気温3期遅T(t-3)	15	数量化I類予測結果y _v (t)
5	気温4期遅T(t-4)	16	同1期遅y _v (t-1)
6	気温5期遅T(t-5)		
7	湿度3期遅H(t-3)		
8	湿度4期遅H(t-4)		
9	東西風3期遅U(t-3)		
10	南北風3期遅V(t-3)		
11	一酸化窒素3期遅NO(t-3)		

今、1測定局を例として予測モデルの検討を行い、良好な結果を得た。今後実用化に向けて、他の測定局及び他の期間に対して予測モデルの検討を行う。

4. 大阪湾における化学的酸素要求量(COD)濃度分布予測モデル⁽¹²⁾

4-1. COD濃度分布予測モデル

大阪府では、図4-1に示す地点で毎月(リン、窒素等は年2回)大阪湾の水質測定を行い、大阪湾の水質を評価すると、最も代表的な項目は化学的酸素要求量であり、図4-1に示すA,B,C各領域毎に、環境

基準が設定されている。このため、CODの濃度分布を予測するモデルの作成をすることが重要である。

通常、COD濃度分布の解析予測には、保存系の拡散シミュレーションによりCOD濃度分布を計算する手法がよく用いられている。この場合には、①計算値と実測値との回帰式は非常に勾配のよい値となる(通常3~4)、②境界条件としてCOD濃度の実測値を用いると境界近傍のCOD計算値が低くなる、③夏季と冬季とで計算値は大きな差がないのに、実測値の場合は相違が大きい、等の問題点があり、このため富栄養化を考慮したモデルが数々の提案されている⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。しかし、これらのモデルは反応・拡散・沈降・流出等に関するデータが必要であり、現時点においては、これらのデータは十分には得られていない。このような富栄養化モデルを実用化するためには、CODの生成・消費等に関して今後多くの調査を積み重ねて行く必要がある。

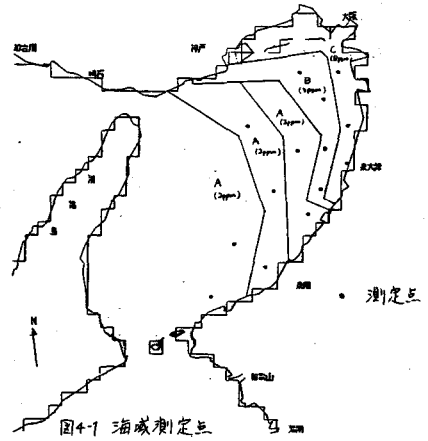


図4-1 海域測定点

今回提するモデルは、保存系の拡散シミュレーションにより3週COD濃度計算を行い、更に3週COD濃度から環境基準が設定されている酸性价に於けるCOD濃度測定値への交換を改良型GMDHを用いて行う手法である。

4-2. COD拡散シミュレーション

COD濃度分布の解析のフローは図4-2に示す様に、第一ステップで潮流計算を行い、次のステップにおいて潮流計算結果を用いて保存系のCOD拡散計算を行う。COD計算結果は、3週COD実測値と高い相関を示す。最後のステップで各種の実測データと3週COD濃度からCOD濃度への変換を行う。以下に、モデルの概要について説明する。

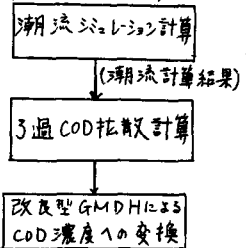


図4-2. 解析手順

(i) 潮流シミュレーション

潮流計算は、ナヴィエ-ストークス方程式を2次元2層に変換したレベルモデルを使用した。シミュレーションはADI法を用いて行、たが、潮流、恒流とも良好な結果を得た⁽¹²⁾。

(ii) COD拡散シミュレーション

第一ステップで求めた潮流計算結果を用いて、2次元2層のCOD保存系拡散計算を行った。開放端の境界条件として、 $(\partial C/\partial n = 0)$ 、 C_i はi層における濃度、 α は拡散係数(0.9)を用い、閉鎖端においては $(\partial C/\partial n = 0)$ 。

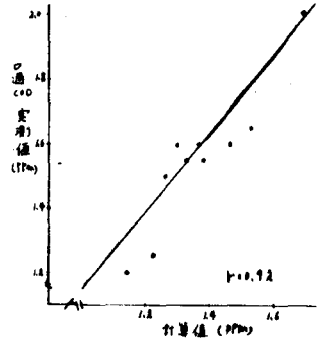


図4-3. COD拡散結果

図4-3に示す様に、拡散計算結果と3週COD実測値との相関は、

相関係数0.92と高く、また回帰式の勾配も1.22と1に近い良い値となった。次に、3週CODから酸性价に於けるCOD濃度への変換について述べる。

4-3. 改良型GMDHによるCOD濃度解析モデル

CODは、海域において生物化学的反応、底質からの溶出等により増加し、また沈降・浄化等により減少する。このため、COD生成・消費を解析するモデルとして、複雑な生態系モデルが必要である。ここでは、Ontario湖に於ける生態系解析モデル⁽¹¹⁾に基づき、改良型GMDHを用いたモデル作成を行った。

3週CODからCOD濃度(酸性价)への変換モデルは、従って2次の高次項を考慮して構築することとした。

① 将来予測に用いられる様に、予測が容易に行える項目のみを用いる。

② 生態系モデルを暗に内包するようにモデルを作成する。

③ 大阪市の各地点で同時に変換できるモデルとする。

以上の点を考慮して、解析を行った。解析に用いたデータ項目及び結果の一例を次に示す。

```

R02 = - 0.00005 + 1.00001 * W06
W06 = - 0.02924 + 0.54188 * V05 + 0.46586 * V07
V05 = + 1.00000 * W03
V07 = - 0.00013 + 1.00003 * W07
W03 = - 0.15042 + 0.40502 * Z03 + 0.43462 * Z07
W07 = - 0.84518 + 0.39201 * Z05 + 0.15329 * Z02 + Z05 - 0.19032 * Z05**2
Z02 = - 0.18275 + 0.82080 * Y01 + 0.13016 * Y01*Y03 - 0.09710 * Y01**2
Z03 = - 0.36024 + 0.51365 * Y03 + 1.61643 * Y07 + 0.35957 * Y03*Y07 - 0.35390 * Y07**2
Z05 = - 1.55233 + 0.14101 * Y03 + Y05
Z07 = - 0.71992 + 0.70998 * Y07 + 0.48044 * Y06
Y01 = - 1.81590 + 0.84555 * X03 + 1.19213 * X06 - 0.26897 * X03*X06 + 0.10376 * X03**2 - 0.31981 * X06**2
Y02 = - 25.40057 + 3.97280 * X04 - 0.25889 * X03*X04 + 0.18775 * X03**2
Y03 = - 8.49385 + 0.29935 * X02 - 1.80045 * X03 - 0.01593 * X02*X03 + 0.01167 * X02**2 + 0.18076 * X03**2
Y05 = - 34.97954 + 4.31027 * X04 - 0.01441 * X06 - 0.92356 * X04*X06
Y06 = - 0.02077 + 2.39045 * X06 - 0.10901 * X06**2
Y07 = - 63.40869 + 3.98349 * X04 + 2.75209 * X07 - 0.05363 * X07**2
    
```

X01: 水質(m)
 X02: 水質(度)
 X03: 透明度(m)
 X04: PH
 X05: DO(ppm)
 X06: 3箇COD(ppm)
 X07: 温度(℃)

ここで、計算値と実測値との相関は、0.89とす、た。

CODの様に、物流拡散し、かつ反応・沈降・流出等、より変化する物質を予測する場合、そのばね機構がある程度既知であり、それらに関するデータも豊富な際には、反応拡散モデルによりシミュレートするのが最適である。しかし、正確な情報が少ない場合には、今回の様に段階毎にその予測精度を確かめつつ、解析を行い、適切な方法が望ましい方法と考えられる。

5. ランドサットMSSデータを用いた環境騒音予測モデル

5-1. 環境騒音予測モデル

環境騒音は、不特定多数の音源(車、工場等)により構成されており、特に建物等の遮へい物により反射回折するため、その予測に際しては音源、地域特性等に関する情報を得る必要がある。

環境騒音の予測モデルには既に筆者らに¹⁸⁾、¹⁹⁾開発したモデルがある。このモデルは次の要件を満たすものである。

- ① 音源データとしては、行政管理庁標準メッシュをベースとした、幹線交通量ファイル、側街路ファイル、業務別工場面積ファイル等を用いる。
- ② EPAモデル²⁰⁾を基本とし、対象メッシュ内における4等パワーの音源を分布しているものとする。
- ③ 音源の分布の将来予測には、政策シミュレーション、上位計画との整合性がとられる様システムタイナミクスモデルと連結させて²¹⁾。
- ④ 騒音の伝播係数を定めるに当たって、地域特性を考慮するためメッシュ毎の建物面積率を用いて遮へい等の効果をとり入れた。

上記④の伝播係数を広域域、経常的に得るシステムの確立を目的として、ランドサットMSSデータにより、重回帰分析を用いて建物面積率を推測し、環境騒音の予測を行う手法を開発した。²²⁾

本稿では、さらに改良型GMDFを用いてランドサットMSSデータから建物面積率と道路面積率を推測し、それにより伝播係数を定め、環境騒音の分布を計算するモデルについて述べる。

5-2. 改良型GMDFによるランドサットデータ解析

ランドサットMSSデータはバンド4(0.5~0.6μm)、バンド5(0.6~0.7μm)、バンド6(0.7~0.8μm)及びバンド7(0.8~1.1μm)の4つのバンドからなり、分解能は約80m程度である。

図5-1に改良型GMDFを用いた解析の概要を示す。4つのバンドに強度データと各々のバンド強度の逆数データを入力データとし、航空写真判読による建物面積率と人工構造物率(建物面積率+道路面積率)データに基づいて解析計算を行った。なお、

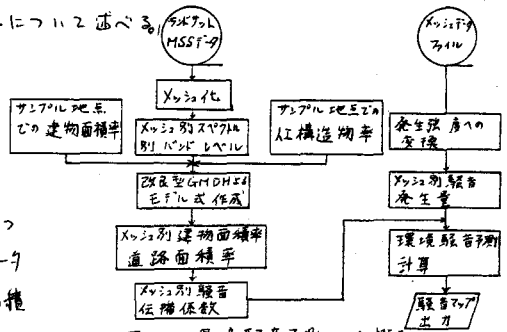


図5-1. 環境騒音予測手法概要

人工衛星データと航空写真をも1981年9月のデータを用いた。

PSSを評価基準とすGMDHを用いた、予測値と計算値の相関は人工構造効率(建物面積率+道路面積率)では0.96と高く、建物面積率では0.92であった。結果の一例を次に

人工構造面積率

$$Z04 = +1.00000 \cdot Y06 \\ Y06 = -0.04237 \cdot X01 + 0.60187 \cdot X02 + 0.61871 \cdot X08 + 0.50636 \cdot X02 \cdot X08 - 0.13154 \cdot X08^{*2}$$

建物面積率

$$Z02 = +0.50224 \cdot Y02 + 0.50444 \cdot Y07 \\ Y02 = 0.43551 + 1.59604 \cdot X03 + 2.53505 \cdot X08 - 0.43561 \cdot X08^{*2} \\ Y07 = -0.50893 - 0.40321 \cdot X03 - 1.55644 \cdot X06 + 0.40809 \cdot X03 \cdot X06 + 0.07235 \cdot X03^{*2} + 0.49398 \cdot X06^{*2}$$

ここで、X01:バンド4, X02:バンド5, X03:バンド6, X04:バンド7, X05:1/バンド4, X06:1/バンド5, X07:1/バンド6, X08:1/バンド7

5-3. ランドサットMSSデータによる環境騒音予測結果

先に求めた、建物面積率及び道路面積率を用いた環境騒音予測計算結果を図5-2に示す。ランドサットによるリモートセンシングは経常的に広域のデータが容易に入手できるという利点を持ったため、今後さらに広い分野での活用が期待できる。

ランドサットMSSデータの解析にGMDHを用いた例は少ないが、判別分析等分類による方法と相俟って今後の発展が期待できる。但、今回の例においては、層は第一層で打ち切られている為、入力データを適当に選べば線形の重回帰モデルでも同様の結果を得ることは出来る。

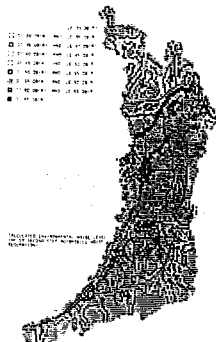


図5-2.大阪府域環境騒音マップ

6. おわりに

GMDHのようなブラックボックスモデルの適用については、データ含めせにしない様に十分な注意が必要である。ここでは、各々、①決定論的なモデルを適用するに計算時間、コスト等の面で適宜でない、②決定論的な方法を適用するにはデータが十分でない、③系の性質とものが決定論的な方法には馴染まない等の性質をもつ系に対して改良型GMDHの適用が有用であることを示した。今後、更にモデル改良及び、広い分野への応用を行っていく。

最後に、本研究の推進にあたり貴重な助言を賜り、大阪大学工学部田村助教に感謝致します。

(参考文献)

- (1) 田村近雄: 最近のGMDHの方法論と応用, オペレーション・リサーチ, PIC4/110, 1978年2月
- (2) A.G.Ivakhnenko: Polynomial Theory of Complex Systems; IEEE Trans., Syst., Man, Cybern., SMC -1-4, 364/378(1971)
- (3) A.G.Ivakhnenko, et al: Long-Term Prediction of Random Processes by GMDH Algorithms Using the Unbiasedness Criterion and Balance-of-Variables Criterion; Part 1, Soviet Automatic Control, 7-4, 40/45(1974); Part 2, S.A.C., 8-4, 24/38(1975); Part 3, S.A.C., 9-2, 28/42(1976); Part 4, S.A.C., 9-4, 16/27(1976)
- (4) J.J.Duffy and M.A.Franklin: A Learning Identification Algorithm and Its Application to Environmental System; IEEE Trans., Syst., Man, Cybern., SMC-5-2, 226/240(1975)
- (5) H.Tamura and T.Kondo: Large-Spatial Pattern Identification of Air Pollution by A Combined Model of Source-Receptor Mix and Revised GMDH; Proc. IFAC Sympo. on Environmental Systems Planning, Design and Control, 373/380, Kyoto(Aug., 1977)
- (6) 近藤, 田村: 情報量規準AICを用いた改良型GMDH: 第3回システムシミュレーション講演論文集(計測自動制御学会主催), 143/148(1977)
- (7) 藤田, 葉山, 正木: 大気汚染の短期予測-オキシダントの予測手法を中心として-, 環境技術, Vol. 11, No. 3(1978)
- (8) 岡本他: 多量体モデルによる大気汚染シミュレーション-光化学大気汚染の解明, 大気汚染研究, Vol. 11, No. 1(1978)
- (9) Gong-Yuh Lin: Oxidant Prediction by Discriminant Analysis in The South Coast Air Basin of California Atmospheric Environment Vol. 16, No. 1(1982)
- (10) 榊山, 茂本, 美: 多重回帰分析法によるオキシダント濃度予測の試み, 公害, Vol. 11, No. 6(1976)
- (11) 古谷, 北川: O₃濃度予測における数量化の方法について, 大気汚染学協講演要旨集(1977)
- (12) S.Fujita, et al: The Calculation of Pollution of Osaka Bay by A Combined Model of Finite Difference Method and Revised GMDH(in preparation)
- (13) 速水, 他: 瀬戸内海における海水の交流と物質拡散, 第17回海岸工学講演会論文集, 土木学会(1976)
- (14) 堀口, 他: 三次元モデルによる流れと拡散の数値解法について, 第24回海岸工学講演会論文集, 土木学会(1977)
- (15) 田畑, 他: 富栄養化水域の水質シミュレーションについて, 環境創造, Vol. 7, No. 7, (1977)
- (16) 環境庁水質保全局: 水質変化予測モデル調査報告書, 昭和52年3月
- (17) H.Tamura and E.Halfon: Identification of A Dynamic Lake Model by The Group Method of Data Handling: An Application to Lake Ontario, Ecological Modelling, 11, 81/100(1980)
- (18) 河田, 厚井, 青井: 騒音による環境汚染予測システムについて (1), 田舎等学会講演要旨集(1981春)
- (19) 青井, 厚井, 田村: 同 (2), 日音響(1981春)
- (20) 高木: 環境騒音の記憶に関するいくつかの問題点とその考察, 環境技術, Vol. 8, No. 10(1978)
- (21) 厚井: 多地域SDモデルに基づく情報活用による道路騒音予測システムについて, 第3回土木学会土木計画学研究会(1981)
- (22) 厚井, 他: 騒音による環境汚染予測システムについて-モデル・データの活用-, 日音響(1981秋)
- (23) K.Naito and S.Hanaki, et al: Correlation Studies between Landsat MSS Data and Population Density in Japan, ISP HAMBURG, 1980