

国立公害研究所 溝口次夫, 落合美紀子, 内藤正明
大阪府公害監視センター 内田和隆

1 まえがき

大気汚染の予測は、基本的にはフルームモデル、パフモデルなどの拡散式を数値計算して、個々の発生源が、どの地域にどれだけ影響しているかを、定量的に求めるのが一般的な方法であり、大気環境管理計画などに際しての長期的あるいは平均的な評価について、実際に、これらのモデルに基づき、大型計算機を駆使して、大都市域の多数の煙源からの地上濃度分布を求め、有効に利用されている。

しかし、大気汚染防止法第23条に規定されているような緊急時の予測および制御に適用するには、上記モデルに導入すべき、入力情報としての汚染物質排出量はもとより、大気安定度、拡散係数などの気象パラメータの十分な予知も困難であり、また、規制側の地方自治体の保有しているオンラインコンピュータの容量等も問題となる。実際に、光化学スモッグ注意報などの緊急時が発令された場合、計算上、煙源ごとに制御比率を決めることは可能であるが、わが国の産業構造から考えて、実施することは不可能であらう。そこで、地方自治体レベルの大気汚染監視システムで緊急時のような短期予測に適用しうる予測方式として、大気汚染ポテンシャル予測があるが、この方式の実用化などについて検討を行なったので報告する。

大気汚染ポテンシャルは、その地域の地形、気象条件によってほぼ決まる。ここでは、大阪府域を対象とし、大阪府における大気汚染測定値と気象要素等を統計処理し、現在、問題となっている光化学オキシダント濃度の予測を試みた。

2 大阪平野の気候の特徴^{1) 2)}

大阪府の地形は図-1に示されているように、西側は大阪湾に面し、他の三方は山地に囲まれている。すなわち、東側は南北に連なる生駒山地と金剛山地、北西側は六甲山地と、それから東北東へ連なる北摂山地がいずれも600~1,000mの高度で連なっている。南部は丘陵地を経て和泉山脈がほぼ東西に走って和歌山県境となっている。これらに囲まれた中央が大阪平野となっていて都市部が形成されている。平野部は東西約20km、南北約40kmの広さで、北東方向は淀川に沿って低地が開け、京都盆地に続いている。また、南方は生駒山地と金剛山地の間を大和川が奈良盆地から流れてくる。

大阪府は、面積僅か1850km²の地域であるが、以上のよ

うに複雑で変化に富んだ地形を有しているため、その局地気候は大阪平野特有のものである。ことに気圧傾度が低く、日射量が多い。好天時には、大阪湾からの海陸風と周辺の山地による山谷風等が、複雑な流れを形成する。したがって、気象要素それぞれの観測値がほぼ等しくても、大気汚染ポテンシャルは地形条件によって大きく異なるものと考えられる。

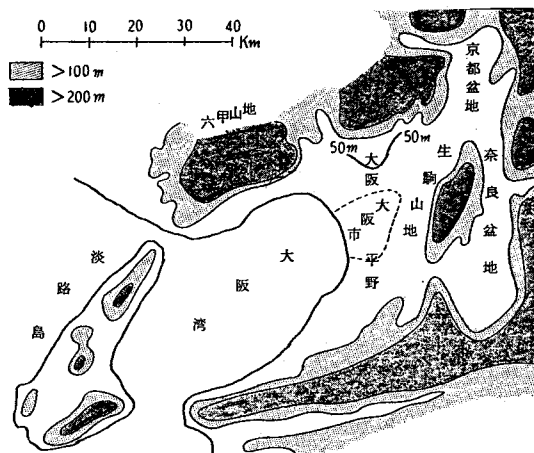


図-1 大阪平野とその周辺の地形

3 大気汚染ポテンシャルと気象条件³⁾

すべての気象要素は大気汚染ポテンシャルに影響するといえる。しかし、気象要素のなかでも風向、風速のよう、極めて影響の大きいものから、比較的少ないものまで様々である。また、大気汚染ポテンシャルといっても、亜硫酸ガスに代表される一次汚染物質と、光化学オキシダントのようない二次汚染物質とではそのポテンシャルを左右する気象条件が異なる。以下に、主な気象要素について、それぞれがどのように大気汚染ポテンシャルに関係するかを説明する。

1) 風

風向、風速とも、大気汚染ポテンシャルを考えると欠かすことのできない気象要素である。風には、気圧傾度から起きる一般風と、海陸の温度差等から起きる局地風がある。大阪の場合、いわゆる傾度風がなく、晴天の場合、大阪湾からの西風が日中卓越するが、海岸線に沿って火発生源が連なっているため、汚染物質が内陸へ運ばれることになる。したがって、大阪では西よりの風向がポテンシャルが高くなる。また、気圧傾度の大きさが同じ場合、海底を打消す方向、すなわち、傾度風が東よりの場合がポテンシャルが高くなる。

2) 日射

日射量の強さは、大気汚染ポテンシャルを高くする場合と、逆に低くする場合とがある。日射は鉛直方向の流れを大きくし、大気の乱れを生じる。したがって一般的には大気汚染ポテンシャルを低くする方向になる。しかし、光化学オキシダントは、大気中で紫外線によって窒素酸化物、炭化水素などが反応して生成されるものであるから、紫外線の強いことが条件となり、したがって、日射量は光化学オキシダントのポテンシャルを高くする。

3) 気温

大気汚染における気温の問題は鉛直分布が重要な要素となる。鉛直方向に温度差がない、あるいは逆転している場合、大気は安定となり、汚染物質は滞留して大気汚染ポテンシャルは極めて高くなる。また、光化学オキシダントはある程度気温の高いことが条件となる。

4) 雨

雨、雪などは汚染物質の浄化作用があり、その強さに応じて大気汚染ポテンシャルは低くなる。

以上のほかにもポテンシャルに影響する気象要素は多くあるが、それらをシノプティックにあらわしたものととして天気図がある。図-2に夏季の典型的な大気汚染ポテンシャルの高い天気図を示す。

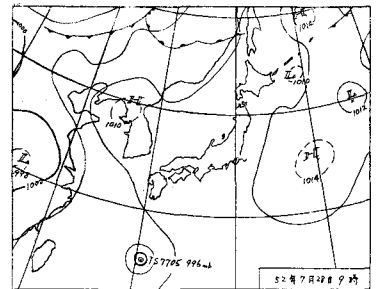


図-2 1977年7月28日の地上天気図

4. 光化学オキシダントポテンシャルの予測

前述したように、ほとんどの気象要素が大気汚染ポテンシャルに関与するが、このうち、入手しやすい気象要素や、しかも、数少ない項目で高精度のポテンシャル予測をするのが本研究の目的である。

大阪平野は、大阪湾の存在によって海陸風が顕著であり、夏季は冬季に比べ海風が卓越する。大阪における光化学オキシダントの濃度は海風の挙動と極めて関係が大きい。したがって、大阪府の北部と南部とでは地形の影響等もあって異なった汚染パターンを示している。

4-1 チェックシートによるオキシダント濃度の予測

大阪平野を北部、南部の二地域に分け、それぞれの地域の汚染ポテンシャルを、風、天気、日照時間等をチェック項目として予測を試みた。

1) オキシダント濃度ランクの区分

調査期間は、昭和50～52年6～8月の合計276日とした。オキシダントの測定値は、現在と異なる10%KI溶液によるものであるが、その測定値を補正せずに利用した。測定点は昭和52年度における大阪府のオキシダント

基準測定点(26地点)を利用し、その6~20時の間での最高値によって、表-1に示すように0、1、2の3段階に区分した。また、地域は、大阪府のオキシダント緊急時等の発令地域区分(7地域)の境界により、図-3のように北部、南部に区分した。それぞれの地域での濃度ランク別日数は、表-2に示すとおりである。北部、南部共に0ランクは131日と同数であるが、2ランクは北部の方がやや多い。

図-3 オキシダント濃度測定点と地域区分

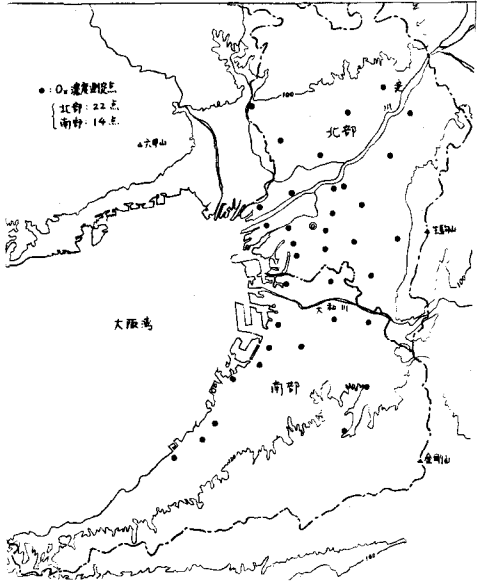


表-1 オキシダント濃度ランク

オキシダント濃度ランク	
2	日最高値が15pphm以上
1	日最高値が10pphm以上
0	- 日最高値が9pphm以下 1地点のみが10pphm以上であつても、他の全地点で9pphm以下であればランク0とする。

注：測定点数は府北部は22地点、南部は14地点である。

表-2 オキシダント濃度ランク別日数

地域 年月	北 部			南 部			全 域		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
'75.Jun.	11	9	10	12	11	7	9	10	11
'75.July.	13	8	10	12	9	10	10	8	13
'75.Aug.	11	11	9	14	6	11	11	5	15
'76.Jun.	16	9	5	15	9	6	14	8	8
'76.July.	18	6	7	18	6	7	16	4	11
'76.Aug.	15	6	10	17	9	5	15	6	10
'77.Jun.	18	4	8	17	7	6	15	7	8
'77.July.	12	6	13	11	14	6	10	7	14
'77.Aug.	17	6	8	15	10	6	13	7	11
計	131	65	80	131	81	64	113	62	101

2) 気象要素による低濃度(ランク0)の予測について
オキシダントは、その発生原因から考えられるように、天気が悪く雨の場合、日照が非常に少ない時等は、風の条件にかかわらず低濃度となる。

日照時間、日中(6~18時)の天気と濃度ランク(全域)の関係をみると表-3のようになる。ランク2の日数は日照時間が多くなるほど多いが、日照時間が多い場合でも0ランクの日数はかなりあるので、濃度を高める要因として単独には利用できない。しかし、日照時間0.5時間以下の場合をみると、総数30日のうち29日が0ランクとなっている。また、日中の天気との関係をみると、雨または雨一時曇の場合にはすべて0ランクである。

以上の結果により、日照時間0.5時間以下、日中の天気が雨または雨一時曇の場合をランク0とした。この条件により275日のうち44日はランク0と判定されるが、残りの232日について、次に気圧傾度および高層風との関連を調べる。

気圧傾度は、大阪、舞鶴、潮岬、名古屋、高松の5地点の9時の気圧により算出したものである。図-4は、気圧傾度と濃度ランクの関係を示したものである。気圧傾度の分布は北西~南東方向に長い形に分布しているが、ランク0の分布は、図に示すように北西・南東象限では1.5mb以上、南西象限では0.8mb以上の部分に多く、

表-3 日照時間・日中の天気とオキシダント濃度ランク(全域)

(1)日照時間とオキシダント濃度ランク

日照時間 ランク	0 ^h	0-0.5 ^h	0.6-2.0 ^h	2.1-5.0 ^h	5.1 ^h 以上
0	28	11	14	14	46
1	2	1	4	13	42
2	1	0	4	14	82

(2)日中(6~18時)の天気とオキシダント濃度ランク

天気 ランク	南東は雨一時曇	南東は雨一時曇以外の降雨日	降雨なし
0	22	50	41
1	0	20	42
2	0	28	73

また、 120° 付近から 270° にかけても分布が多くなっている。0~ 80° および 130° ~ 270° の部分は、図のような範囲で分けると境界外の部分はすべてランク0が分布している。 80° ~ 150° および 270° ~ 360° の部分は気圧傾度が大きい場合でもランク1、2があるが、図のように 1.5mb で分けると27日中21日がランク0になる。一方、高層の平均風速を、 $100\sim 500\text{m}$ および $500\sim 1000\text{m}$ について求め、風速と濃度ランクとの関係を見ると表-4.のようになる。風速が強いほど濃度ランク0の割合が多くなっており、10%以上では、16日のうち15日がランク0である。

気圧傾度と高層の平均風速でさらに48日がランク0と判定され、日照時間・天気と合わせると、これらの4条件で合計92日がランク0と判定される。これら92日の実況は、ランク0が81日、ランク1が10日、

ランク2が1日となり適合率は88%である。

3) 気象要素による高濃度の予測について

2)によって、276日のうち92日が低濃度の条件に類別されたが、残りの184日は、日照があり、一般風は弱く局地風があらわれやすい条件を備えていると考えられる。そこで、北部、南部地域のそれぞれについて、気圧傾度と高層風との関係を詳しく調べた。図-5・6は、

それぞれ184日について、北部、南部地域の濃度ランクと気

圧傾度の関係を示したものである。ランク2の分布は北部、南部ではかなり違った分布をしている。北部では、 140° ~ 270° 以外の気圧傾度の小さい部分にランク2が大部分含まれてお

り、図に示したように 270° ~ 360° では 0.9mb 以下、 0° ~ 20° では 0.8mb 以下、 20° ~ 90° では 0.5mb 以下、 90° ~ 140° では 0.7mb 以下の領域でランク2の数が多し。また、 140° ~ 270° の 0.4mb 以下の部分にはランク1、2がほぼ同数分布している。その他の領域にはランク1の分布が多い。一方、南部では、ランク2は気圧傾度がやや大きい部分にも分布しており、気圧傾度の小さい部分にランク1の分布も多い。北部のようにランク1と2を区別することは難しいが、 270° ~ 360° ~ 20° および 80° ~ 110° のやや気圧傾度が大きい部分にランク2が多く、 180° ~ 270° では気圧傾

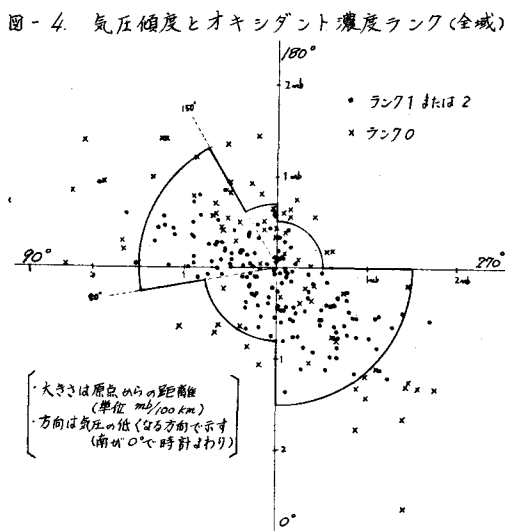
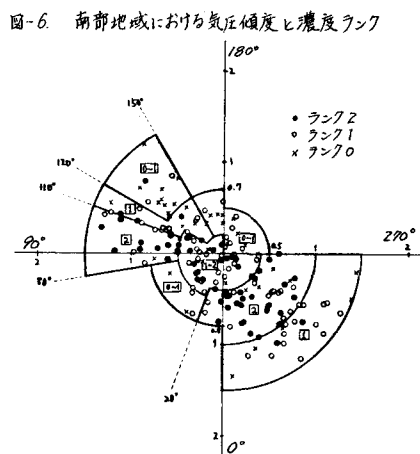
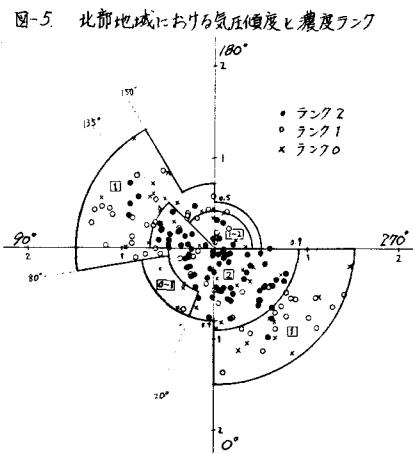


表-4. 高層風の平均風速とオキシダント濃度ランク(全域)

100-500 m, 500-1000 m の平均風速 ランク	0-4.9 %		5.0-9.9 %		10.0 % 以上	欠測
	一方が 0-4.9 % 他方が 5.0-9.9 %	一方が 0-4.9 %	一方が 5.0-9.9 %	他方が 10.0 % 以上		
0	22	16	13	15	7	
1	42	11	5	1	0	
2	90	6	1	0	3	

注：1000m以下で欠測となっている場合は、観測されている高度まで集計した。



度にかかわらずランク2は分布していない。このことは、北部地域の高濃度には気圧傾度が小さい、すなわち一般風が弱いという条件が大きな要素になっているが、南部地域では、むしろ一般風の風向が高濃度の条件になっていることを示していると考えられる。ランクの判定は図に示したような領域に区分して予想に利用した。次に、パイロットバルーンの飛跡型を検討する。接地層が北東風の場合に全域で高濃度の日が多く、上空が南東風の場合に南部に高濃度が多い。西風が卓越する場合に北部地域で高濃度となっている。

以上の結果から、気圧傾度と高層風によってランクを判定し、それらを組み合わせ、表-5によるチェック方式を決めた。ランクの判別が困難な場合に、日最高気温および午前9時の視程を利用することとした。

4) 結果

以上の結果に基づいて作成したオキシダント濃度予測のチェックシートを図-7に示す。この流れ図によって判定した濃度ランクと実況との比較は、表-6に示すとおりである。実際には、日照時間・天気・日最高気温などは予測値を使うことになるが、これらの値はかなり高い確度が期待できる。

北部地域と南部地域でのオキシダント濃度の差異は、気圧傾度の方角および大きさ、高層の風の状況が大きな要因となっている。経験的にも知られているが、北部の高濃度発生は午前中の弱風による一次汚染物質の帯留が条件となるが、南部、特に泉南地域では晴天時の南東から東系の風の時に、和泉山脈の影響で南部に侵入する海風によってもたらされる高濃度があり、必ずしも弱風という条件が高濃度につながっていない。

表-6 濃度ランク予測の適合率

(1) 大阪府北部

予想 実況	0	1	2
0	106	22	3
1	5	48	12
2	1	13	66

(2) 大阪府南部

予想 実況	0	1	2
0	103	24	4
1	10	53	18
2	1	18	45

表-5 パイロットバルーンの飛跡および気圧傾度による判定

(1) パイロットバルーンによる高層風観測値が得られている場合

		パイロットバルーンの飛跡による判定				
気圧傾度 による判定		0	0-1	1	1-2	2
	0-1	0	0-1(注1)	1	1	1
	1	0	0-1(注2)	1	1	1-2(注1)
	1-2	0	1	1	1-2(注1)	2
	2	0	1	1-2(注1)	2	2

(注1) 高ランク、低ランクの判定は以下による

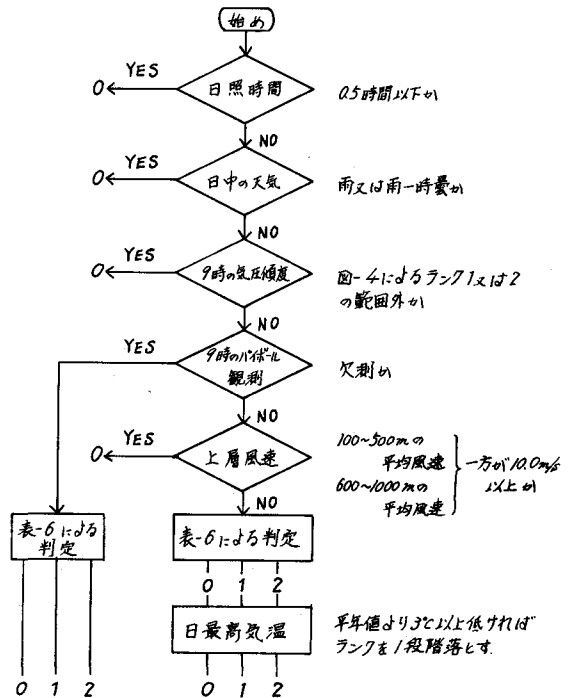
- ① 日最高気温 $\geq$ 平年値 + 2°C ならば +1
- ② 9時の視程 $\leq 5km$ ならば +1
- ③ 9時の視程 $\geq 30km$ ならば -1
- 以上の①~③合計が+1, +2のときは高ランク、0または①~③の条件にあてはまらないときは低ランク。
- (注2) 9時の視程 $\geq 30km$ であれば低ランク(0)とする。

(2) パイロットバルーンによる高層風観測値が欠測の場合

		気圧傾度は 欠測			
下記①~③ の合計		0-1	1	1-2	2
	-2	0	0	0	0
	-1	0	0	1	1
	0	0	1	1	2
	+1	1	2	2	2

- ① 日照時間 2時間以下 : -1
- ② 日最高気温 $\geq$ 平年値 - 3°C : -1
- ③ " " $\geq$ " + 2°C : +1

図-7 オキシダント濃度ランク予測フローシート



4-2. 数学モデルによるオキシダント濃度の予測

昭和50年6月～8月の3ヵ月間のデータを
使用して、オキシダント濃度の予測式を求め
た。使用した変数を表-7に示す。オキシダ
ント濃度は大阪府北部地域8ヵ所の測定点で
の最大値を用いた。

1) 利用した予測式

予測式は、重回帰分析と GMDH (The ^{4), 5)} Group Method of Data Handling) を適用し

て求め、モデルの適合度

重回帰分析は、変数増減法により、寄与率の高い変数の組を使用した。

GMDHアルゴリズム
の構造を図-8に示す。

手順は次のとおりである。

①入力変数として表-7
の $x_1^{(1)}, \dots, x_n^{(1)}$ を選択する。

ii) 第 t ステップの入力変数 $x_1^{(t)}, \dots, x_{N_t}^{(t)}$ に対して、

そのすべての2変数の

組合せについて. 中間多項式

$$Z_l^{(t)} = a_0^{(t)} + a_1^{(t)} x_1^{(t)} + a_2^{(t)} x_2^{(t)} + a_3^{(t)} x_i^{(t)^2} + a_4^{(t)} x_j^{(t)^2} + a_5^{(t)} x_i^{(t)} x_j^{(t)} \quad \dots (1)$$

$$\left(\begin{array}{cc} i, j = 1, \dots, N_k & i \neq j \\ l = 1, \dots, M & M = N_k C_2 \end{array} \right)$$

により第 l ステップの中間変数 $Z_l^{(k)}$ ($l = 1, \dots, M$) を求める。

iii) ii) で求めた中間変数, $Z_l^{(e)}$ ($l = 1, \dots, M$) について

予測式 $\hat{y} = b_0 + b_1 z_1^{(t)} + \dots + b_M z_M^{(t)}$ に対する寄与率の低い変数の組 $\{z_{\sigma(1)}^{(t)}, \dots, z_{\sigma(N_{t+1})}^{(t)}\}$ を求め、第 $(t+1)$ ステップの入力変数 $\{x_1^{(t+1)}, \dots, x_{N_{t+1}}^{(t+1)}\}$ とする。

iv) $N_{\ell+1} \geq 2$ ならば、 ℓ を $\ell+1$

と置換えて、手順 ii) に戻る。

手順 ii), iii) を繰り返す, $N_{k+1} = 1$

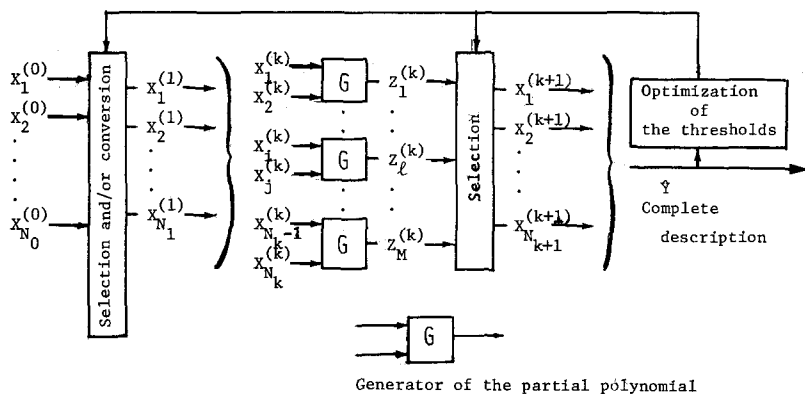
になれば計算を停止する。前回までに計算された(1)式を次々に代入して、完全表現が定まる。

2) 結果

以上によって得られた予則式
を表-8に示す。両予則式の、

表 - 7 The Input and Output Variables

y	O _x (t)				O _x (t): オキシダント濃度
x ₁ ⁽⁰⁾	Sun(t)	x ₁ ⁽¹⁾	x ₁ ⁽⁰⁾		Sun(t): 日射量
x ₂ ⁽⁰⁾	Press(t)	x ₂ ⁽¹⁾	1/x ₂ ⁽⁰⁾		Press(t): 気圧傾度 (大きさ) Pressθ(t): 気圧傾度 (向き)
x ₃ ⁽⁰⁾	Pressθ(t)	x ₃ ⁽¹⁾	1/x ₄ ⁽⁰⁾		Pibal(t): バイロトルルン (大きさ) Pibalθ(t): バイロトルルン (向き)
x ₄ ⁽⁰⁾	Pibal(t)	x ₄ ⁽¹⁾		99.7+23.3 COS(x ₃ ⁽⁰⁾⁾ +20.0 COS(3 x ₃ ⁽⁰⁾⁾	
x ₅ ⁽⁰⁾	Pibalθ(t)				



8 - 8 The Structure of the GMDH algorithm

表 - 8 Prediction Models

Linear Model	$\hat{y}_1$	$-20.2+0.108 \ x_1^{(1)}+127 \ x_3^{(1)}+0.561 \ x_4^{(1)}$ (R=0.73)
GMDH	$x_1^{(2)} = z_2^{(1)}$	$32.0+381. \ x_3^{(1)}+0.000115 \ x_1^{(1) \ 2}-330. \ x_3^{(1) \ 2}$ (R=0.78)
	$x_2^{(2)} = z_5^{(1)}$	$1.33+20.1 \ x_2^{(1)}+0.692 \ x_4^{(1)}-0.916 \ x_2^{(1) \ 2}$ (R=0.61)
	$\hat{y}_2 = z_1^{(2)}$	$-86.0+0.765 \ x_1^{(2)}+1.52 \ x_2^{(2)}-0.00441 \ x_2^{(2) \ 2}$ (R=0.83)

(Multiple Correlation)

Scatter Diagram を図-9,10に示す。重回帰分析による予測データの相関係数は 0.73、適合率は、ランク1のとき 0.84、ランク2のとき 0.86 であった。

また、GMDHによる予測データの相関係数は 0.83、その適合率は、ランク1のとき 0.85、ランク2のとき 0.90 であった。

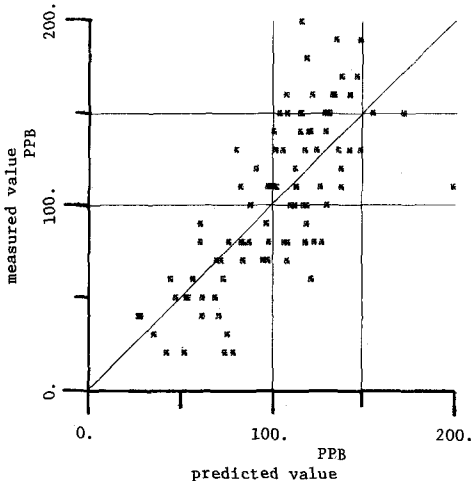


図-9 Scatter diagram of the predicted values and the measured values based on the linear model.

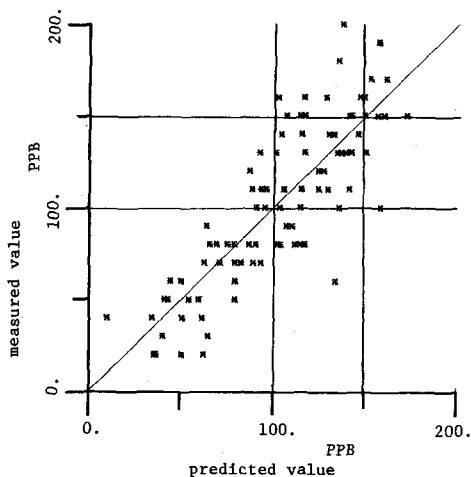


図-10 Scatter diagram of the predicted values and the measured values based on the GMDH.

5. あとがき

光化学オキシダント濃度の予測を従来から行われているチェックシートによる方法と、数学モデルを用いた方法とについて行ったが、いずれも、かなり高い適合率を示した。両方法とも、パラメータの数をできるだけ少なくして実用化できるように注意した。大阪地域は、すでに述べたように、局地的な気候が複雑であり、しかも、大気汚染ポテンシャルに影響の大きい混合層高度など、上空の気象要素がほとんど観測されていない。したがって、これらの観測値（または予測値）が使える地方では、その地域の気候を十分把握した上でこの手法を用いれば、さらに精度の高い予測が可能であろう。

参考文献

- 1) 近畿の風 昭和46年9月 大阪管区気象台
- 2) 気象からみた大阪の大気汚染 昭和43年2月 大阪管区気象台
- 3) 大阪平野の局地気象と大気汚染気象予報 昭和53年3月 大阪管区気象台
- 4) S. Ikeda, M. Ochiai, and Y. Sawaragi: Sequential GMDH algorithm and its application to river flow prediction, IEEE Trans. Systems, Man, and Cybern., vol. SMC-6, No 7, pp 473-479, 1976.
- 5) 池田三郎, 榎本義一: GMDH (発見的自己組織化法) と複雑な系の同定・予測, 計測と制御, 14-2, 185/195, 1975.