

オキシダントの高濃度汚染予測に 関する研究(第4報)

— 中 讃 地 域 の 場 合 —

Studies on the Prediction of High Level Oxidants (IV) — A Case of Chusan Area —

山本 務 中野 智
Tsutomu YAMAMOTO Satoru NAKANO

中讃地域における当日のオキシダント(以下Ox)日最高濃度を、経年的に精度良く予測できる式を検討した。過去5年間の資料を基に重回帰分析による手法を用い、年毎に予測式を求め、各年の予測精度が平均的に向上するように係数を選択した。その結果、54年作成の予測式が各年に比較的精度良く適合することが確認されたので、この式に改良を加え目的の予測式を作成した。この予測式の各年における適合率は相関係数で0.586～0.762で実用化できると考えられた。一方、解析に用いた変数間の関係については、主成分分析結果等から年毎の特徴を把握することができた。

はじめに

高濃度Oxを事前に予測する手法は種々開発されているが、一般的な手法として重回帰分析¹⁾がある。各自治体においてもこれを用いた報告例は多い²⁾³⁾⁴⁾。本県においても、重回帰分析と数量化理論第1類を用いた予測式を検討し、Oxの予測には重回帰分析による手法が優っていることを確認した。⁵⁾

Oxの測定方法が2%NBKI法に変更になった昭和53年度から57年度までの5年間の資料を用い、当日のOx濃度を経年的に精度良く予測できる式を重回帰分析法により検討したので報告する。

解析方法

1. Ox日最高濃度予測の対象地域

香川県下には、緊急時の発令地域が3地域(中讃、高松、直島)があるが、それらの地域はお互い地理的に区分されているので、3地域を同一視することはできない。そこで今回は、香川県随一の工業地帯番の州を有する中讃地域(坂出市、丸亀市、善通寺市、宇多津町、多度津町の3市2町、計8台のOx計を設置)を予測対象地域に選んだ。図1にその概要を示す。

2. 解析資料

昭和53～57年の5～9月間にテレメータシステムで得

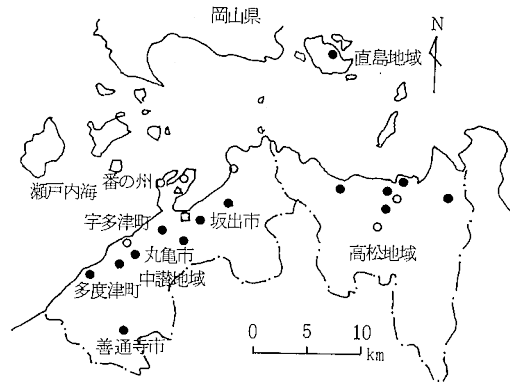


図1 測定局位置図

られた資料のほか、高松地方気象台の資料。なお、台風、降雨等で当日のOxが高濃度にならないと思われる日については、あらかじめノンポテンシャル日*と定め除外した。各年における解析対象日については表1に示すとおりである。

次に、解析に用いた変数は目的変数と説明変数に分けられ以下に示す。

1) 目的変数(Ox日最高濃度, OxMで表す)

中讃地域で常時監視しているOx計8台(川津局と善

通寺市役所局については55年度から測定開始)から得られたデータのうち、昼間の1時間値が最高となった値。

2) 説明変数

当日のOx高濃度を早期予測する必要上、午前9時までに定常的に入手できる資料を用いた。重回帰分析に使用できる変数は量的変数に限られるが、風向等の質的変数も予測に有用な変数であるので、これらについても数値化して用いた。数値化の手法については従来から行われている方法で、各カテゴリーをOx日最高濃度の高い順に並べて得点を与える方法である。しかし、この方法では年により、各カテゴリーの得点が前後することがあり不合理が生じる。これについては例えば、風向の場合には16方位をいくつかのグループにまとめて処理することにより、ある程度解決できた。

説明変数の選定については前報⁵⁾で用いた変数等を参考にした。上空の気象資料については、予測に重要な因子であるが、低層ゾンド、パイボール等のデータが定常的に入手できないので、四電坂出力200mH煙突に設置されている風向風速計、温度計の資料で代用した。次に、香川県の地形は瀬戸内海に対し半円状に突き出た地形であるので、早朝の海風侵入時の風向は一般風の影響を調べる意味において重要である⁶⁾。そこで、中讃地域と高松地域に吹込む海風の向きについても数値化して用いた。一方、高松地方気象台大気汚染気象センターにおいても、Oxに関して独自のポテンシャル予測を行っているので、これについても使用した。なお、このポテンシャルは気象ポテンシャルで、必ずしもOx日最高濃度の予測と一致するものではない。以上、表2に示すとおり量的変数が6項目、数値化した質的変数が4項目の計10変数を用いた。質的変数の数値化(得点)については表3に示す。

今回の解析で用いた10項目の説明変数と目的変数の計11変数について、年毎の平均と標準偏差を求めると表4に示すとおりである。また、Ox日最高濃度(目的変数)と各説明変数間の相関については表5に示す。

解析結果

1. 各年で求めた予測式の再現性

重回帰分析により各年毎に予測式を求めた。予測式の各係数(偏重回帰係数)については表6に示す。また、計算値と実測値に関する再現性の散布図は図2に示すとおりである。重回帰係数については56年の0.837が最も高く、その次はOxの緊急時の発令が20回も発令された53年で0.809、逆に57年と冷夏といわれた55年については、それぞれ0.647、0.686と少し低い値であった。散布図の高濃度域における再現性については56年が最も良く、以

表1 解析対象日

年	5	6	7	8	9	計(N)
53	25	18	26	25	21	115
54	24	19	22	27	20	112
55	19	18	16	13	20	86
56	23	16	22	21	23	105
57	23	17	18	20	19	97

*ノンポテンシャル日：9時の気圧が1,000mb未満又は日降水量が1mm以上の日

表2 説明変数一覧表

	No.	略記号	単位	説明変数の内容	
大気汚染物質	1	SP9	μg/m ³	9時の浮遊粉じん濃度3局(坂出市役所、宇多津町役場、多度津町役場)の平均値	
	2	NO ₂ 9	ppb	9時の二酸化窒素濃度3局	
	3	Ox9	ppb	9時のオキシダント濃度3局	
	4	OxY	ppb	中讃地域局中、前日のオキシダント日最高濃度	
気象	5	WS9	m/s	9時の四電200mHの風速	
	6	T6	℃	坂出保健所6時の気温と四電200mH6時の気温差	
	質的変数	7	WD3・9		坂出保健所3時と9時の風向差(16方位)
		8	WD9		9時の四電200mHの風向(16方位)
		9	WDR9		9時の中讃地域と高松地域との風向の組合せ
		10	P+9		9時の高松地方気象台大気汚染気象センター発表の気象ポテンシャル

表3 質的変数の数値化

変数	7	8	9	10	Ox濃度の目安
	WD3・9	WD9	WDR9	P+9	
得点	0, 1, 2	SSWSW WSW	下記以外	0	0~79 ppb
1	0, 1, 2	SSWSW WSW	下記以外	0	0~79 ppb
2	3, 4, 5	無風	→→	0~1B	0~99
3	一方又は両方が無風	NNE NE ENE	↙↙	1B	80~99
4	6, 7, 8	W WNW	↘↘	1	80~119
5		NW NNW N	←←	1A	100~119
6		E ESE SE SSE S	↘↘	2	120~
7			↘↘		

* WDR9：表中、左側の矢印は中讃地域の風向、右側は高松地域の風向を表す。

下54年、53年の順で低下している。

2. 各年作成の予測式の適合性

各年で求めた予測式を他年に適用させた。表7にその

結果を示す。各年に共通して比較的良好な結果が得られた予測式は54年作成のものであった。しかし、この予測式で求めた予測値の標準偏差は実測値のそれよりも少し小さく、改良の必要がある。

3. 経年的に使用できる予測式の検討

各年で作成した予測式の係数を用い、経年的に使用可能な予測式を試行錯誤的に検討した。検討の具体的な方法としては、Ox日最高濃度と各説明変数間の偏相関係数(図4)、標準偏回帰係数(図5)等を参考に係数を決定し予測式を作成して、各年に適用させ実測値と予測値とに関する散布図、回帰式、平均、標準偏差等を求め

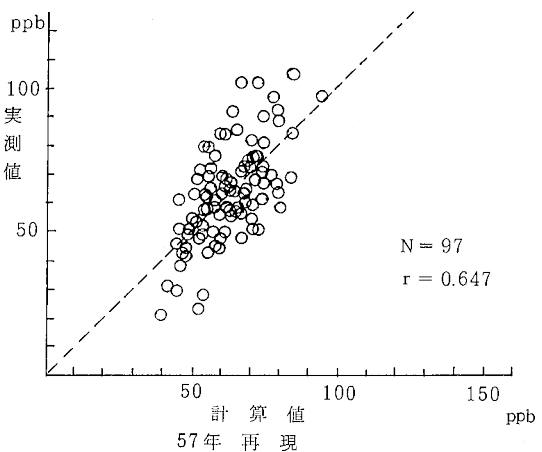
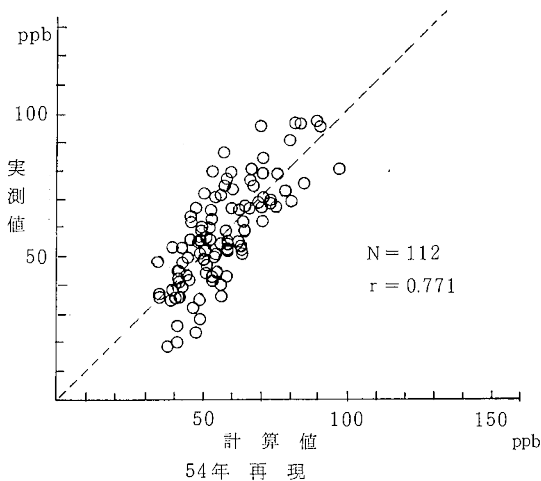
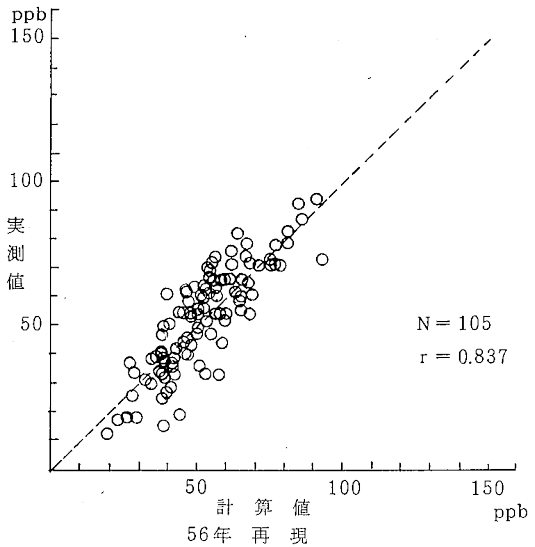
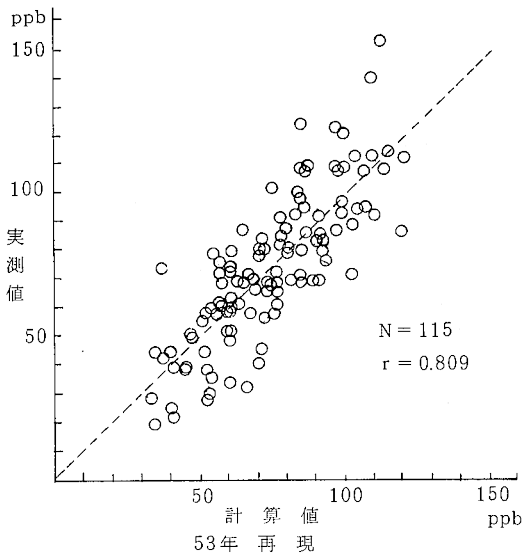
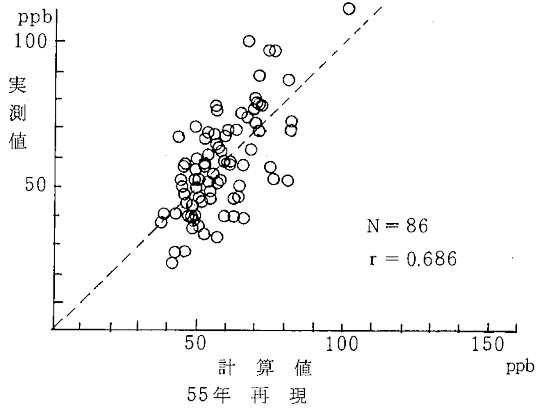


図2 予測式作成年の散布図(再現性)

表4 変数の平均及び標準偏差

No	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		目的変数	
変数	SP9		NO ₂ 9		Ox9		OxY		WS9		T6		WD _{3・9}		WD9		WDR9		Pt9		OxM	
年	AVE	SD	AVE	SD	AVE	SD	AVE	SD	AVE	SD	AVE	SD	AVE	SD	AVE	SD	AVE	SD	AVE	SD	AVE	SD
53	58.0	36.5	18.1	8.7	21.7	9.6	71.8	25.5	3.0	2.9	2.0	1.4	2.1	1.0	2.3	1.4	4.4	2.3	1.8	1.4	73.9	26.0
54	56.3	34.9	16.6	7.0	19.1	10.0	56.9	18.1	3.0	2.5	0.6	1.3	2.2	1.1	2.5	1.4	4.3	2.1	1.5	1.2	57.5	16.9
55	52.4	36.0	18.6	9.2	14.2	8.1	54.4	18.3	3.1	3.0	-1.1	1.9	2.4	1.1	2.4	1.4	4.0	2.3	1.3	0.8	58.4	17.3
56	68.1	49.9	21.7	10.4	13.0	6.8	50.0	17.8	3.0	2.6	-0.9	1.5	2.3	1.1	2.4	1.3	4.0	2.1	1.4	0.8	52.6	17.9
57	58.1	36.8	16.6	7.7	16.9	8.1	60.7	17.3	2.8	2.4	-0.2	1.2	2.2	1.2	2.5	1.5	4.0	2.3	1.4	0.8	63.5	17.1

表5 Ox日最高濃度との相関係数

No	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10			
年	N	変数	SP9		NO ₂ 9		Ox9		OxY		WS9		T6		WD _{3・9}		WD9		WDR9		Pt9	
53	115		** 0.526	** 0.483	** 0.422	** 0.545	** 0.483	** 0.288	** 0.357	*	0.203	** 0.420	** 0.618									
54	112		** 0.432	** 0.309	** 0.488	** 0.518	*	-0.224	** 0.271		0.069	0.167	** 0.410	** 0.549								
55	86		** 0.384	** 0.383	** 0.295	** 0.433		-0.122	** 0.358		0.179	0.009	*	0.260	** 0.450							
56	105		** 0.553	** 0.528	** 0.412	** 0.638	** 0.294		-0.159	** 0.351	*	0.207	** 0.432	** 0.586								
57	97		** 0.511	** 0.461	0.025	** 0.467	** 0.369	** 0.341	*	0.250	*	0.240	** 0.305	** 0.360								

**：有意水準1%有意 *：同5%有意

表6 重回帰式の偏回帰係数

No	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		定数	
年	係数		SP9		NO ₂ 9		Ox9		OxY		WS9		T6		WD _{3・9}		WD9		WDR9			Pt9
53	-0.034		0.749		0.834		0.133		-1.701		3.32		2.727		1.738		2.170		5.356		3.963	
54	0.102		0.096		0.610		0.089		-0.613		-0.899		-1.293		0.388		1.390		4.117		25.388	
55	0.109		0.224		0.962		0.058		-0.795		-1.282		-0.915		-0.979		0.853		4.582		27.789	
56	0.047		0.494		0.775		0.192		-0.225		1.877		0.303		3.825		1.171		4.991		-0.042	
57	0.161		-0.099		0.362		0.237		-0.898		-2.731		-1.426		-0.048		1.463		0.114		34.332	

た。検討の途中で、重点的にチェックした点は、散布図における実測値と予測値が高濃度域において良い対応を示しているか否かである。10回程試みたが、試作予測式に共通している点は55年と57年での適合性が悪く、特に高濃度域では実測値の変動に対して予測値のそれが小さくなり、この方法では良い結果は得られなかった。

次に、54年作成の予測式を基に、改良を加え、要因減少法的に説明変数を減少させた場合について検討した。その結果、削除可能な変数はWS9、WD_{3・9}、WD9の3変数で、これらはOx予測にほとんど寄与しない説明変数である。求めた予測式を散布図で検討すると54年作成の予測式のものとはほぼ同じ結果で、予測精度も低下していなく、標準偏差はやや改良されていることが確認された。

5年間の資料を用いて求めたこの予測式(仮に、予測式TU-1と呼ぶ)が将来にまで使用できるという保証はないが、少なくとも現在のところ有効な予測式であると

考える。以上より、経年的に使用可能な予測式は次に示す式である。

$$OxM' = 0.11 \times (SP9) + 0.15 \times (NO_2 9) + 0.6 \times (Ox9) + 0.12 \times (OxY) - 1.5 \times (T6) + 1.4 \times (WDR9) + 4.5 \times (Pt9) + 23.5$$

OxM': Ox日最高予測濃度(ppb)

この予測式TU-1を各年に適用させた結果については表8に、散布図については図3に示す。

考 察

気象因子は経年的に変化するので、それに伴って大気汚染物質濃度も微妙に変化することは周知のとおりである⁷⁾。ここでは、予測に用いた変数、予測式で用いた係数等について経年的な変化を調べ、求めた予測式TU-1の精度について考察する。

1. 変数の平均と標準偏差

表4によると、10説明変数のうち年により平均値の変動が大きいものはOx9, OxY, T6である。年により変動が大きい変数を予測に用いると予測精度が低下する恐れがある。目的変数OxMの平均値についても、最も高い年は53年の73.9ppb、最も低い年は56年の52.6ppbで、その差は21.3ppbもある。目的変数の経年的な変動を説明変数の変動で補うことが、予測の精度を向上させる点で大切である。表8の実測値と予測値の平均の差($yAVE - xAVE$)については各年とも10ppb以内の差で、良い対応を示しているが、 x が高濃度の時、例えば $x = 100$ ppbとすると、 y は53年で115ppb、54~57年で91~97

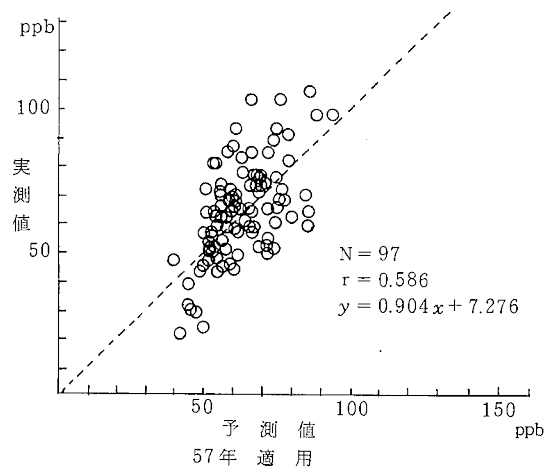
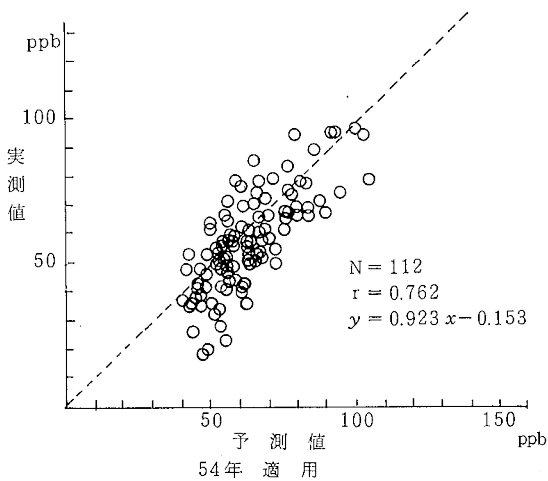
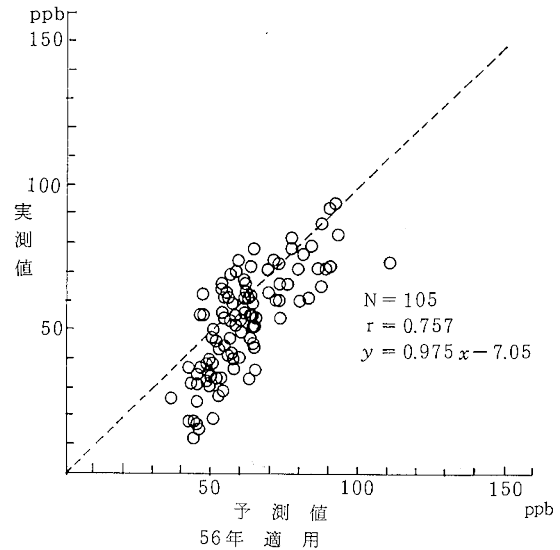
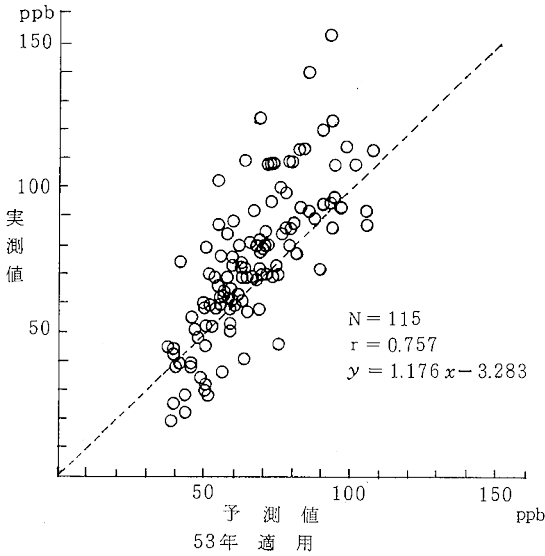
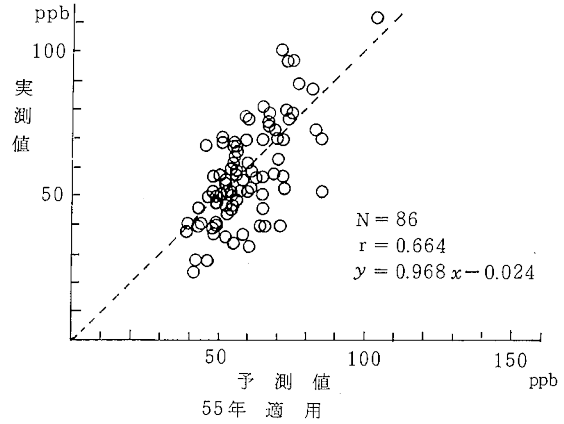


図3 予測式TU-1適用の散布図(適合性)

表7 予測式の適合性一覧表

	回 帰 式	相 関 係 数	$\frac{y}{\text{AVE}}$	$\frac{x}{\text{AVE}}$	$\frac{y}{\text{SD}}$	$\frac{x}{\text{SD}}$	備 考
53年に適用							
53年作成の予測式を使用	$y = x$	0.809	73.9	73.9	26.0	21.0	作成年
54 "	$y = 1.29x - 4.68$	0.767		60.9		15.4	
55 "	$y = 1.03x + 5.95$	0.732		66.2		18.5	
56 "	$y = 1.05x + 1.44$	0.778		69.1		19.3	
57 "	$y = 1.25x - 3.51$	0.718		62.2		15.0	
54年に適用							
53年作成の予測式を使用	$y = 0.69x + 14.19$	0.705	57.5	62.7	16.9	17.2	作成年
54 "	$y = x$	0.771		57.6		13.0	
55 "	$y = 0.83x + 6.01$	0.753		62.4		15.4	
56 "	$y = 0.74x + 13.12$	0.725		59.8		16.5	
57 "	$y = 0.94x - 0.08$	0.704		61.1		12.6	
55年に適用							
53年作成の予測式を使用	$y = 0.59x + 27.18$	0.501	58.4	52.8	17.3	14.6	作成年
54 "	$y = 1.11x - 1.51$	0.659		54.1		10.3	
55 "	$y = x$	0.686		58.4		11.8	
56 "	$y = 0.74x + 20.38$	0.552		51.5		12.9	
57 "	$y = 0.84x + 6.82$	0.601		61.7		12.4	
56年に適用							
53年作成の予測式を使用	$y = 0.78x + 10.52$	0.766	52.6	53.7	17.9	17.6	作成年
54 "	$y = 1.12x - 8.83$	0.769		55.1		12.4	
55 "	$y = 0.88x + 0.09$	0.727		59.5		14.8	
56 "	$y = x$	0.837		52.6		15.0	
57 "	$y = 0.88x - 2.32$	0.693		62.2		14.1	
57年に適用							
53年作成の予測式を使用	$y = 0.56x + 31.23$	0.506	63.5	57.7	17.1	15.5	作成年
54 "	$y = 1.03x + 5.06$	0.593		56.7		9.8	
55 "	$y = 0.76x + 17.09$	0.513		61.2		11.6	
56 "	$y = 0.68x + 25.28$	0.542		56.6		13.7	
57 "	$y = x$	0.647		63.5		11.0	

x : 予測値 y : 実測値

表8 予測式TU-1の適合性

	回 帰 式	相 関 係 数	$\frac{y}{\text{AVE}}$	$\frac{x}{\text{AVE}}$	$\frac{y}{\text{SD}}$	$\frac{x}{\text{SD}}$
53年に適用	$y = 1.18x - 3.28$	0.757	73.9	65.6	26.0	16.7
54年 "	$y = 0.92x - 0.15$	0.762	57.5	62.5	16.9	14.0
55年 "	$y = 0.97x - 0.02$	0.664	58.4	60.4	17.3	11.8
56年 "	$y = 0.98x - 7.05$	0.757	52.6	61.2	17.9	13.9
57年 "	$y = 0.90x + 7.28$	0.586	63.5	62.1	17.1	11.1

x : 予測値 y : 実測値

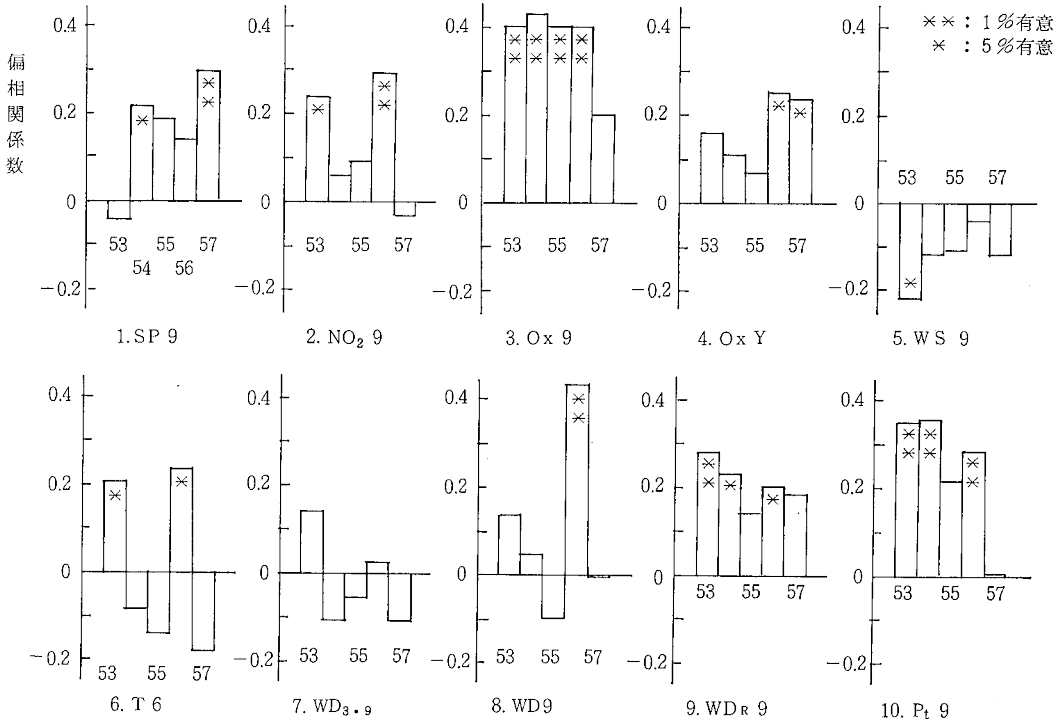


図4 O₃日最高濃度との偏相関係数

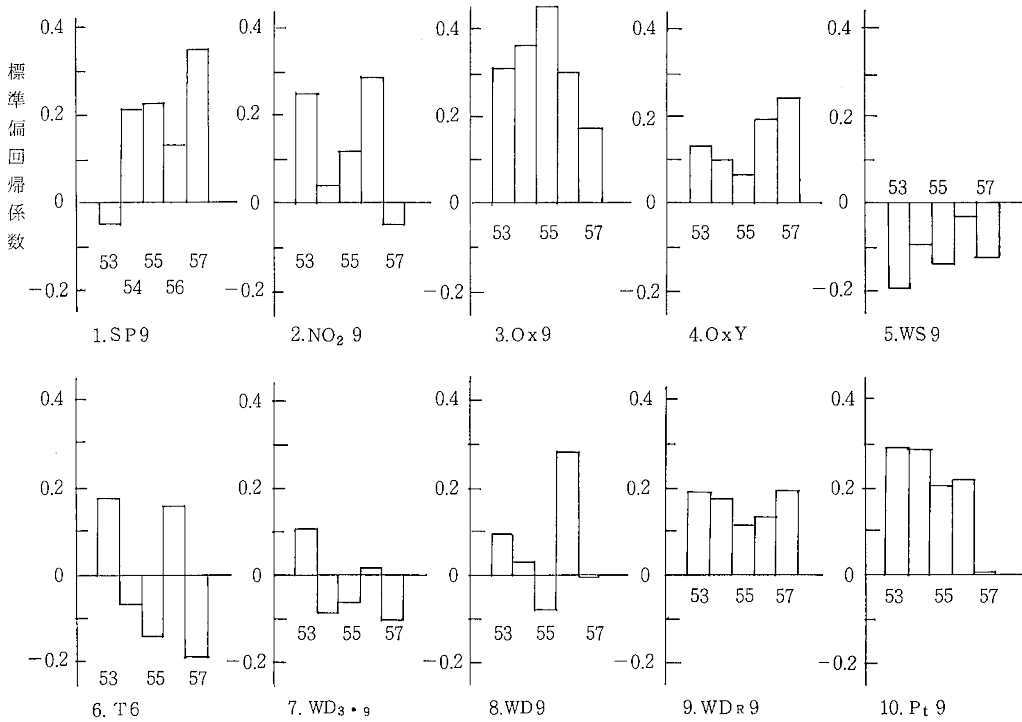


図5 重回帰式の標準偏回帰係数

ppbと求まり、53年で15ppb程低く予測したことになる。54～57年については、やや高く予測したことになり、予防の意味からは好ましいと思われる。

標準偏差については表8に示すように、すべての年で予測値の標準偏差の方が小さい値を示している。このことは予測値が中央(平均値)付近に集まりやすいことを意味し、高濃度・低濃度域での予測精度が低いことを表している。予測式TU-1を求める過程の中で、予測値の標準偏差が実測値のそれに近くなるように係数を選択した予測式も試作したが、散布図における分布状態が幅広くなってしまい、予測精度が低下して実用化は無理であった。

2. 予測式の偏相関係数

この係数は予測のための精度に関する因子である。予測精度を向上させる条件としては、各年における偏相関係数の有意水準が高く、かつ一定であるような説明変数が必要である。図4からは、これらの条件を満たす説明変数は見出せない。しかし、Oxの予測値は各説明変数毎の得点の総和であることを考慮すると、Ox9, OxY, WDR9, Pt9は比較的有效な変数で、経年的に使用可能な変数である。一方、WS9, T6, WDa.9, WD9については有意水準が低く、年により値が正負となり精度の面からは好ましくない変数である。

次に、年毎に偏相関係数を検討すると、重相関係数の低い55年と57年では有意水準1%を満たす説明変数はそれぞれ1変数で、これらの年では予測精度が低いことを示している。

3. 予測式の標準偏回帰係数

各年で作成した予測式の偏回帰係数については表6に示したとおりであるが、各変数毎の重みを一定にして検討する必要から、標準偏回帰係数を求めた。図5にその結果を示す。この係数は予測のための寄与度に関する因子である。この係数が大きい説明変数は目的変数に大きく寄与することになる。経年的に使用可能と考えられる説明変数は、Ox9, OxY, WDR9, Pt9で、これらは前項で使用可能と判断した変数と一致する。逆に、好ましくないものについても前項のそれと一致する。経年的に精度良い予測式を求めるには、偏相関係数と標準偏回帰係数の値が高く、しかもそれらの値が年により変化しないことが大切である。この条件をある程度満たす説明変数は上述の4変数である。なお、予測式TU-1中でSP9, NO₂9, T6も使用しているが、これらの変数は散布図で予測式を検討している段階で必要と判断したためである。

4. Ox日最高濃度に関する検討

今回の予測では、目的変数を特定局とせず、中讃地域全体の中でのOx日最高濃度としたため、日最高濃度を示す局は日々異なり、年別の日最高濃度出現局の状態も変化している。図6に局別の出現比率を示す。出現率の高い局は、53～54年では宇多津町役場局、城坤小学校局であったが、2局増設となった55年からは増設局のうちの川津局であった。次に局全体の経年的な変動を調べるため、日別局別にOx日最高濃度を求め主成分分析をし、各主成分の固有値の寄与率を求めた。この結果、図7に示すとおり、重相関係数の低い55年と57年での第1主成分の寄与率は他年に比べ小さく、第2, 第3主成分の寄与率が大きくなっている。すなわち、第1主成分の寄与率が高い年については、中讃地域全体はよくまとまりのある変動をしているが、逆に低い年は局により変動に地域差があることを示している。このことから第1主成分は瀬戸内スケールの気象に関する因子、第2と第3主成分は地域特性に関する因子と推察される。

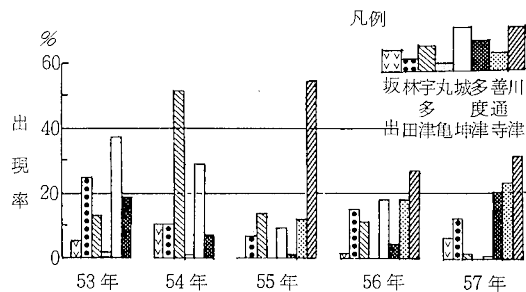


図6 局別日最高濃度出現率

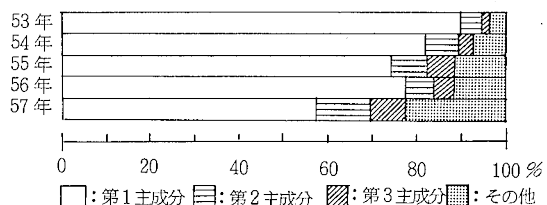
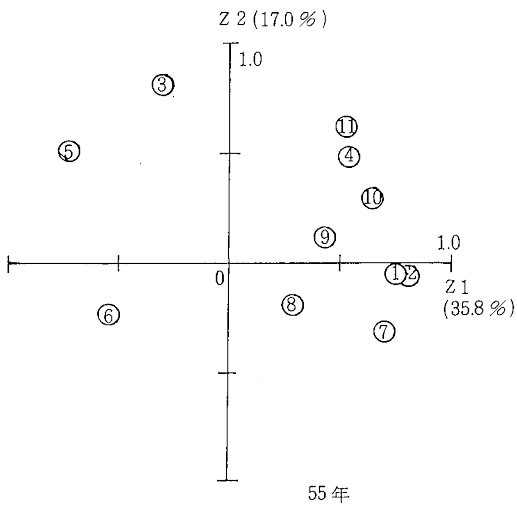
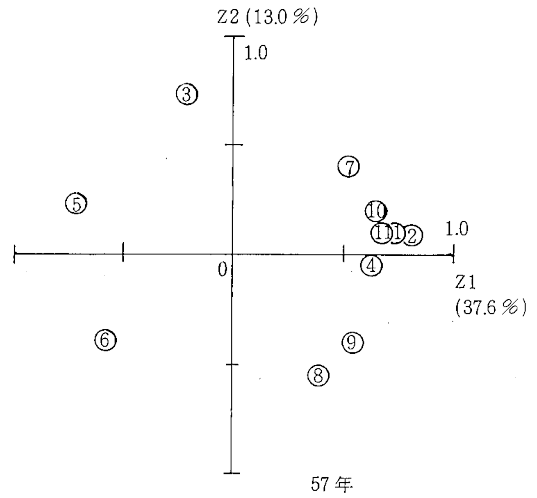
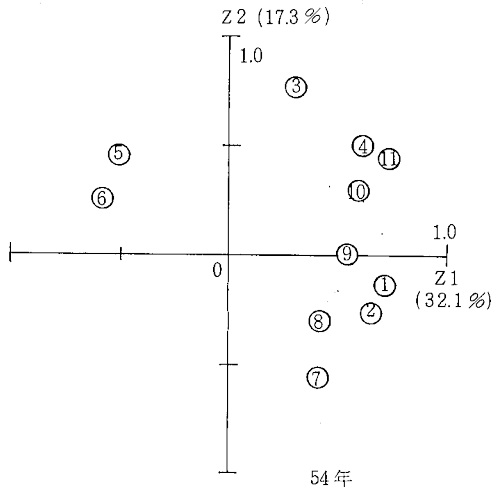
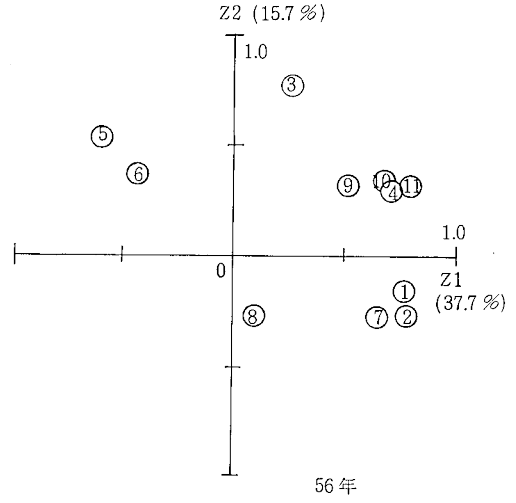
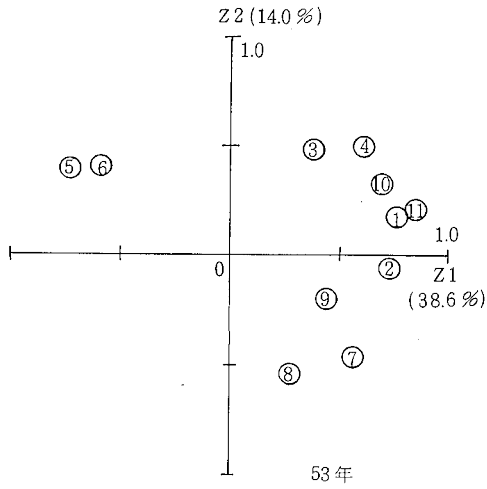


図7 各主成分固有値の寄与率

5. 変数間の空間分布

年毎に、用いた11変数を主成分分析し、変数間の空間分布を調べた⁸⁾。図8に第1主成分をZ1, 第2主成分をZ2とする散布図を示す。各年とも第1主成分の寄与率が32～39%, 第2主成分のそれは13～17%と年による差は小さく、第1と第2主成分で全変動の約50%を占める。



図中、()内の%は各主成分の寄与率を表す

- ①: SP₉
- ②: NO₂₉
- ③: O_x₉
- ④: O_xY
- ⑤: WS₉
- ⑥: T₆
- ⑦: WD_{3.9}
- ⑧: WD₉
- ⑨: WD_{R9}
- ⑩: Pt₉
- ⑪: O_xM

図8 因子負荷量の散布図

Z1, Z2 平面上の分布状態を大別すると, 53, 54, 56 年のグループと 55, 57年のグループに分けられた。これは重相関係数の高いグループと, そうでないグループに一致する。次に, 各年に共通して同様な変動をしている変数はSP9とNO₂9, また, 目的変数OxMと似ているのはOxYとPt9である。その他, WD_{3.9}, WD9, WDR9についても似ていると考えられる。一方, Ox9については他の変数と区別され, 第2主成分の寄与率が高く第1主成分で説明できない変動を補っており, 予測上大切な因子である。

空間分布がお互いに似ている変数は, 同様な変動をしていることになるので, そのような変数は一方のみで代表させることが可能である。予測式TU-1ではWS9, WD_{3.9}, WD9を省いているので, WS9はT6で, WS_{3.9}とWD9はWDR9でそれぞれ代表させたことになる。なお, SP9とNO₂9, OxYとPt9についてもお互いがよく似た変動を示しているため, それぞれのどちらかを省いた予測式を作成することも可能であると思われたが, 検討しなかった。

ま と め

中讃地域を対象に, 経年的にOx日最高濃度を精度良く予測できる式を重回帰分析を用い検討した。経年的に変化するシノプティックな気象を把握できる因子を予測式に用いることは困難であったので, 過去5年間の資料を用い, 各年に平均的に適合できる予測式を求めた。解析結果をまとめると次のとおりである。

1. 予測式作成年(再現性)の重相関係数は, 説明変数を10項目用いた結果, 0.647~0.837である。
2. 目的の予測式TU-1は説明変数を7項目用いた。

各年の適合性については相関係数で0.586~0.762である。この予測式は現在のところ, 将来に対しても実用化できると考えられる。

3. 今回使用した説明変数のうち, 経年的に使用可能な変数はOx9, OxY, WDR9, Pt9の4項目である。

4. 中讃地域8局のOx日最高濃度の変動には経年的な差異がみられ, 年により局別の出現率が異なり, 予測精度が低下する要因となる。

5. 11変数の変動を主成分分析による空間座標に表すと, 変動が類似している項目がみつき, 説明変数を減少させる点で役立つ。また, OxMと各説明変数間の関連についても特徴を把握することができた。

文 献

- 1) 河口至南:多変量解析入門I, 3, 森北出版(1982)
- 2) 長野県:長野市における高濃度オキシダント調査, (1981)
- 3) 北村守次:光化学オキシダント濃度予測の1事例, 石川県衛生公害研究所年報, 19, 299(1982)
- 4) 瀬戸信也, 笹倉兼夫:大気汚染の短期予測(第2報), 広島県環境センター研究報告, 3, 1(1982)
- 5) 山本務, 中野智:オキシダントの高濃度汚染予測に関する研究, 四国公衆衛生学会雑誌, 28, 1, 164(1983)
- 6) 佐橋謙:岡山周辺の高濃度汚染について, 天気, 25, 5, 357(1978)
- 7) 新谷光三:光化学大気汚染の解析, 天気, 28, 7, 49(1981)
- 8) 村田元秀:オキシダント濃度の予測に関する研究(第2報), 三重県公害センター年報, 3, 29(1975)