

# 光化学スモッグ発生時の地上風による風系分類

宇田川 満 早福正孝 伊藤政志

## 1 はじめに

光化学スモッグを未然に防止するためには、光化学反応の初期気塊の位置、一次汚染物質濃度を正確に予測することが必要である。

光化学スモッグの発生は当日の気象条件に負う所が多く、特に高濃度エリアは初期気塊の位置、一次汚染物質濃度、及び風系に大きく左右される。

風系のパターン分類については、種々の方法が考えられているが、ここでは関東地域の地上風のみに着目して、風系のパターン分類を行い、分類されたパターン別に平均的な風系、流跡線、及び汚染エリアについて検討を加えたので報告する。

る固有値で重み付けを行って、サンプル(日)間のユークリッド距離を算出する。

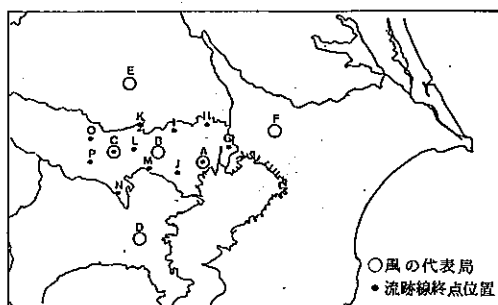


図1 風の代表局・流跡線終点位置図

## 2 分類方法

### (1) 代表測定局

関東地域を平均的にカバーし得る地点として、図1(○印)に示す測定局を代表局に選定した。以下に測定局名を示す。

- 東京都……………晴海, 久我山, 立川
- 神奈川県……………戸塚
- 埼玉県……………川越
- 千葉県……………豊富

### (2) 対象年度

昭和55年～58年(4月～10月)

### (3) 手 法

上記の代表局について、1日4回(前日21時, 当日3時, 9時, 15時)の風のデータを東西成分(U), 南北成分(V)のベクトルに分け、

局数×2成分(U, V)×4時間

を変数として相関分析を行う。この相関行列を主成分分析にかけ、第15成分までのサンプル・スコアを対応す

表1 主成分分析結果

№	固有値	寄与率	累積寄与率
1	15.60529	0.32511	0.32511
2	6.40544	0.13345	0.45856
3	4.22784	0.08808	0.54664
4	3.02213	0.06296	0.60960
5	2.10303	0.04381	0.65341
6	1.47124	0.03065	0.68406
7	1.21033	0.02522	0.70928
8	1.07979	0.02250	0.73177
9	0.93311	0.01944	0.75121
10	0.78711	0.01640	0.76761
11	0.67941	0.01415	0.78177
12	0.64549	0.01345	0.79521
13	0.59396	0.01237	0.80759
14	0.55643	0.01159	0.81918
15	0.51888	0.01081	0.82999

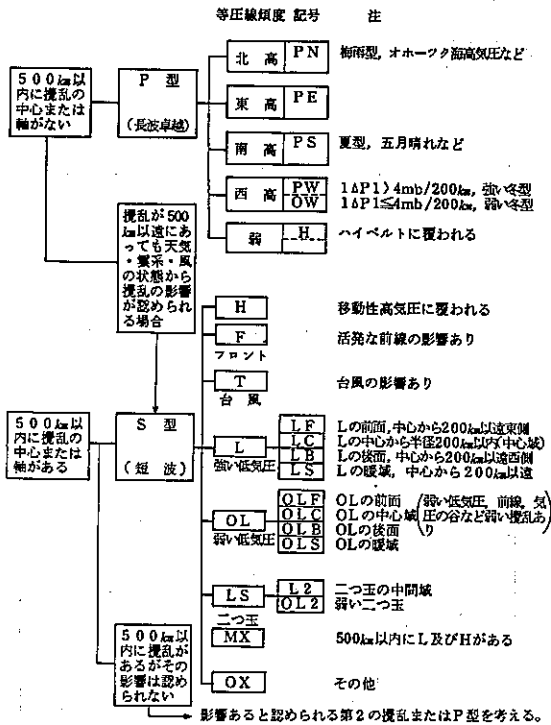


図2 気象協会 20分類型

この距離を用いてサンプル間の距離マトリックスを作成し、最大距離法によるクラスター分析にかけた。

なお、欠測日と過去に一度も高濃度の出現を見ない天気図型の日を除外した。

### 3 結果と考察

#### (1) 風系のパターン分類

風系のパターン分類を行う場合、その代表測定局の選定が重要な鍵となる。今回は、図1に示すように、臨海部、内陸部を平均的に代表し得る地点を選定した。

前述したように、期間を昭和55～58年度の4年間における4月～10月としている。したがって、その対象日数は856日となるが、計算時間を短縮するため、天気図型からみて、過去に一度も光化学スモッグの出現がみられない日をあらかじめ削除した。天気図型の分類については東京都方式<sup>2)</sup>による12分類もあるが、後に風系との比較検討をしやすくするために、ここでは、図2に示されるような、日本気象協会が開発した、鹿島地域を対象とした天気図の客観的分類法による分類型を採用した。

この天気図の分類では、強い低気圧の存在を示すL型、台風が存在を示すT型では光化学スモッグの出現は一度もない。したがって、これらの日と同様に光化学スモッグの発生をみないDW型(1日)、MX型(10日)、L2型(9日)を加え計60日を削除した。また、データの欠測共で98日が対象日除外となり、対象日は758日となった。

まず、この対象日について相関分析を行い、次いでこの相関行列を主成分分析にかけた。その結果を表1に示す。クラスター分析に際しては累積寄与率が0.83となる第15成分までを使用した。クラスター分析の結果を類似度の高いものに分割すると、表2に示すようにおおむね23の風系パターンに分類することができた。

このグループについて、0.12ppm以上のO<sub>x</sub>濃度(以下注意報レベルとする)の出現状況を見ると、№2～№6で22回、№15～№19で44回出現しており、他のグループでは1回も出現していない。この結果から代表6局の地上風からの分類でも、注意報レベルのO<sub>x</sub>の出現するパターンと、しないパターンとに分類し得ることが判明した。

以下に、高濃度O<sub>x</sub>の出現回数の多い№2, 5, 15, 16, 17, 19(以下A, B, C, D, E, F風系パターンとする)について解析を加える。

#### ア 風系パターンと風の分布

前述の方法で分類した各パターンが平均的にどのような風系となっているかをみよ。

各パターン毎に注意報レベルのO<sub>x</sub>出現日について、3, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 18時の平均風向、風速分布図を作成し、風系パターン毎の特徴から、風の分布型の類型化を試みた結果、次のような結論が得られた。

高濃度O<sub>x</sub>の出現する条件の一つに、早朝に弱風域を形成し、日照に伴って海風が進化する気象パターンが挙げられる。A～Fの風系パターンはいずれもこの条件を備えている。各々の風系パターンに特徴を与えているのは、早朝の陸風の状態と、東京湾、相模湾、鹿島灘の海風の発達状況である。以下にそれぞれの型の特徴を示す。

TK型: 東京湾風系(T), 鹿島灘風系(K)によって特徴づけられるパターンで、鹿島灘方向からの東成分の風の進入によって、東京湾風系

表2 風系パターン別天気図型出現頻度

高濃度O<sub>x</sub> : 0.12 ppm以上

風系	PN	PE	PS	OW	H	F	OLF	OLC	OLB	OLS	OL2	OX	合計	O <sub>x</sub> 高濃度日
1	7	5	0	2	17	4	8	0	7	2	1	1	54	1
②→④	3	7	3	3	16	20	5	2	17	1	7	2	86	8
3	7	2	2	1	10	4	5	0	2	0	0	0	33	4
4	0	0	2	5	3	1	2	0	3	1	2	0	19	2
⑤→⑧	2	4	2	3	17	11	2	5	6	1	1	0	54	6
6	0	0	2	0	1	1	0	1	1	0	0	1	7	1
7	0	0	0	2	12	3	4	0	6	0	2	1	30	0
8	2	4	0	2	4	3	4	3	2	0	0	0	24	0
9	3	2	0	1	15	2	2	1	8	0	1	0	35	0
10	0	1	0	9	3	1	0	0	2	0	0	0	16	0
11	4	1	0	2	5	1	3	0	10	1	0	0	27	0
12	2	0	0	1	1	3	1	0	3	0	1	2	14	0
13	10	3	0	0	7	6	3	1	3	1	2	3	39	0
14	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	5	0
⑮→㉔	0	2	7	0	11	8	3	2	4	1	1	0	39	10
⑮→㉔	3	5	7	2	18	3	6	0	2	3	0	0	49	9
⑮→㉔	3	11	3	0	16	9	6	0	4	3	3	0	58	11
18	0	0	0	0	2	5	2	1	2	0	1	0	13	1
⑮→㉔	1	12	17	3	15	12	7	1	2	3	0	1	74	11
20	1	6	13	0	4	4	3	1	1	4	0	0	37	2
21	0	4	9	1	0	5	2	0	0	3	0	0	24	0
22	0	0	0	1	0	6	0	1	0	0	0	0	8	0
23	0	0	2	1	0	6	2	0	0	2	0	0	13	0
合計 (y)	48	69	69	41	180	118	70	19	85	26	22	11	758	
出現率 (y/758)	6.3	9.1	9.1	5.4	23.7	15.6	9.2	2.6	11.2	3.4	2.9	1.5	-	-
O <sub>x</sub> 高濃度日 (x)	2	8	16	1	19	6	2	5	4	2	1	0		66
出現率 (x/66)	3.0	12.1	24.2	1.5	28.8	9.0	3.0	7.6	6.1	3.0	1.5	0		
確率 (x/y)	4.2	11.6	23.2	2.4	9.5	5.1	2.9	26.3	4.7	7.7	4.5	0		

がブロックされ、東京の中部から多摩西部にかけて、両風系による収束域が形成されるタイプである。このタイプに属するのは類似度の高いA、B風系パターンである。A、Bの違いは東成分の風の強さと時間である。

T S型： 東京湾風系(T)と相模湾風系(S)がそれぞれ、東成分の風の影響を受けることなく北上するタイプで、もっとも光化学スモッグに関係深い。C、D風系パターンがこれに属

している。なお両者の風向、風速の平均の分布はよく類似しており、差はみられない。

TSC型： T S型風系に千葉臨海部(C)の風が入り込み、広範囲にわたって3つの風系の収束域が形成される。E風系パターンがこれに属している。この風系からみて、T S型と同様に広域的な汚染が予測される。

TSW型： タイプとしてはT S型と同様に東京湾、相模湾海風がそれぞれ北上する風系であるが、

陸風、海風とも西成分の風の影響を受けているため、他のタイプと異なった様相を呈している。F風系パターンがこれに対応している。

以上風の分布について、4つの型に集約してみたが、各々の型がどの程度の代表性をもつかが問題となる。以下に流跡線、 $O_x$ 濃度分布について風系型との対応をみてる。

イ 各風系パターンの流跡線と $O_x$ 濃度分布

流跡線については風系と同様に注意報レベルの汚染日の平均風向、風速を用いて、次に示す地点(図1●印参照)をリセプターとし、最高濃度時をスタート時として午前1時まで逆算して求めた。

A:晴海	G:江戸川	H:足立	I:練馬
J:目黒	K:清瀬	L:武蔵野	M:狛江
C:立川	N:町田	O:福生	P:八王子

流跡線を用いた $O_x$ 汚染についての解析は種々行ってきたが、ここでは $O_x$ 濃度予測に利用し得るように、風系パターン別に注意報レベルの日の平均的な流跡線と $O_x$ 濃度分布について検討を加えた。先の風系型に沿ってその特徴をみてる。

T K 型: A, B風系パターンが属している型で平均風系では傾向として類似しているが、流跡線ではかなり異なった動きとなっている。図3-1にみられるように、A風系パターンでは東京の南寄りの地域では東京湾、相模湾風系の影響を強く受けている。北寄りの地域では鹿島方向からの東成分の風の影響が強い。

$O_x$ 平均濃度分布でもこの傾向が現れており、図4-1にみられるように、東京多摩南部と神奈川に高濃度エリアが出現している。

一方B風系パターンでは東成分の風のブロックが弱く、短時間であるため図3-2にみられるように、東京湾風系が主流となっている。従って、 $O_x$ 平均濃度分布は西部地域に高濃度エリアが広がっている。

このように類似した風系パターンでも各風系の強弱によって、移流経路、風系の影

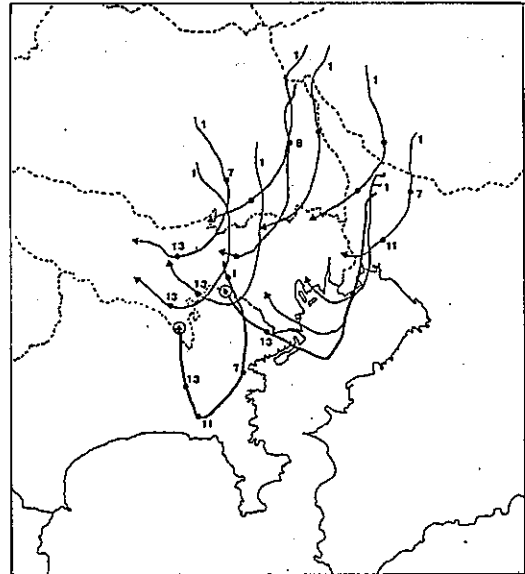


図3-1 高濃度日平均風による流跡線  
風系パターン(02)(A)

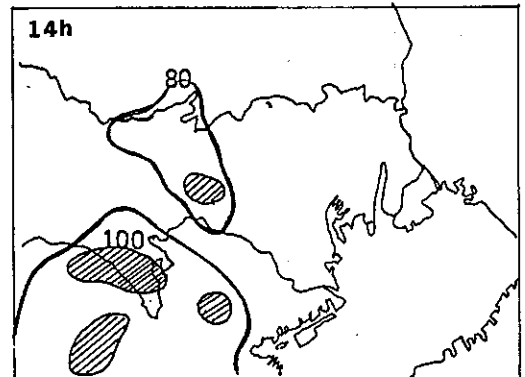


図4-1-1  $O_x$ 高濃度日(0.12ppm以上)の平均濃度  
風系パターン(02)(A)

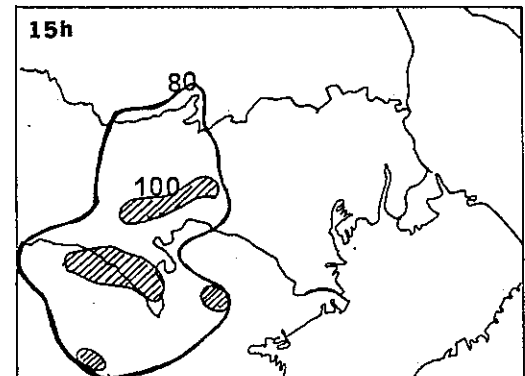


図4-1-2  $O_x$ 高濃度日(0.12ppm以上)の平均濃度  
風系パターン(02)(A)

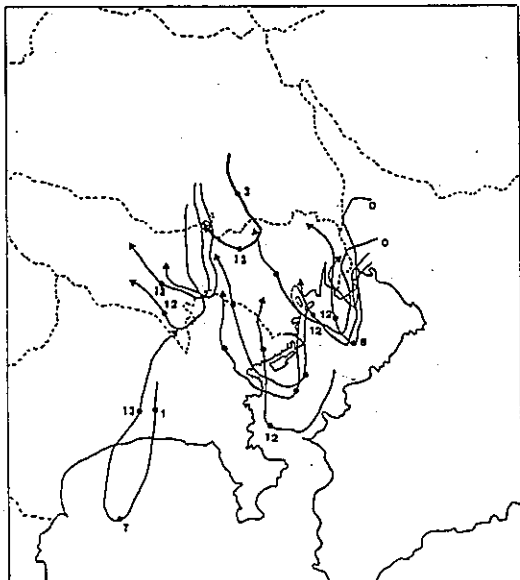


図3-2 高濃度日平均風による流跡線  
風系パターン(05)(B)

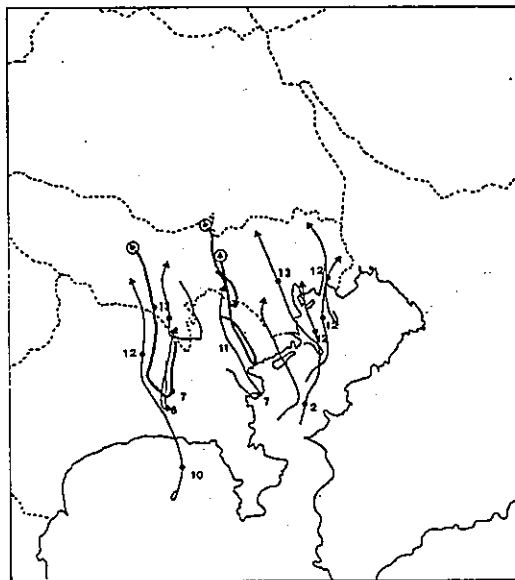


図3-3 高濃度日平均風による流跡線  
風系パターン(15)(C)

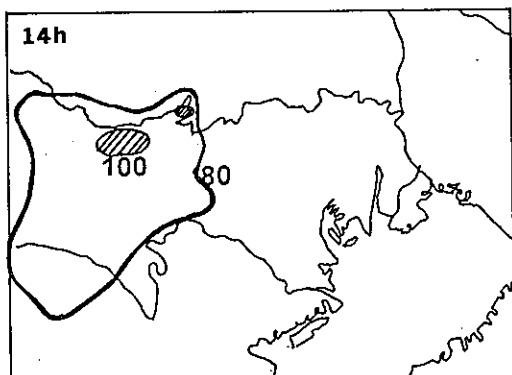


図4-2-1 Ox高濃度日(0.12ppm以上)の平均濃度  
風系パターン(05)(B)

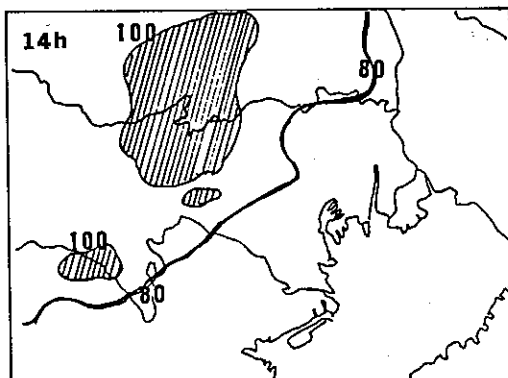


図4-3-1 Ox高濃度日(0.12ppm以上)の平均濃度  
風系パターン(15)(C)

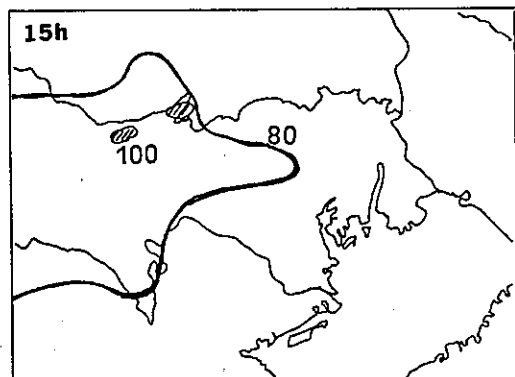


図4-2-2 Ox高濃度日(0.12ppm以上)の平均濃度  
風系パターン(05)(B)

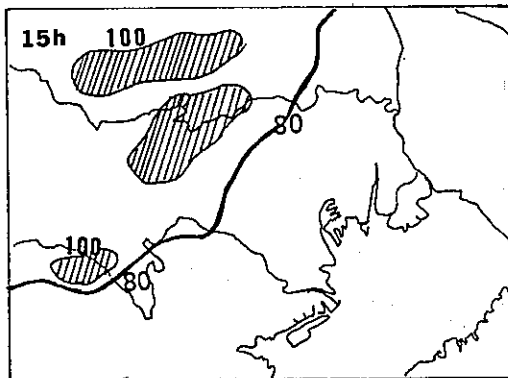


図4-3-2 Ox高濃度日(0.12ppm以上)の平均濃度  
風系パターン(15)(C)

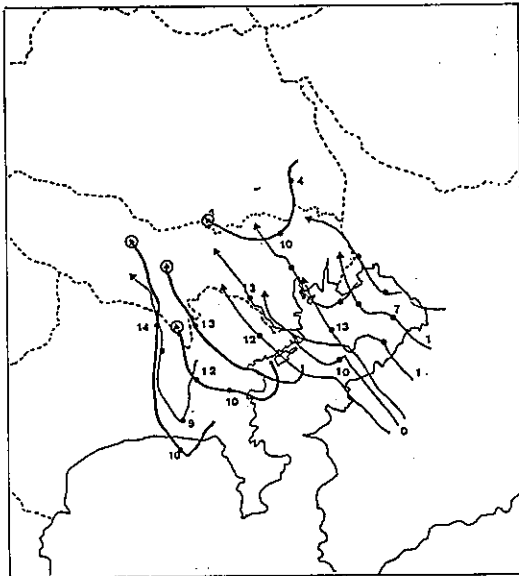


図3-4 高濃度日平均風による流跡線  
風系パターン(17)(E)

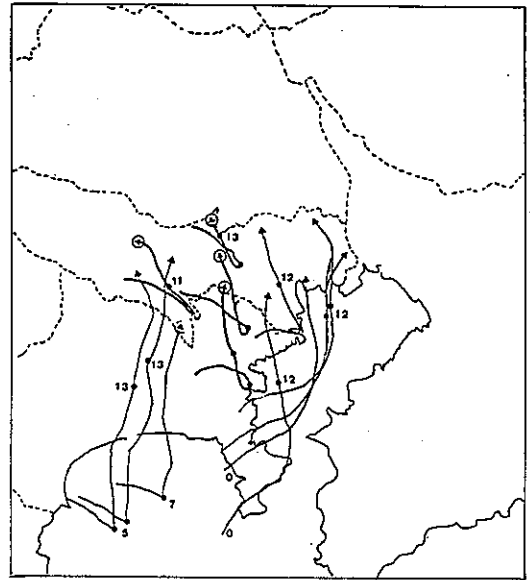


図3-5 高濃度日平均風による流跡線  
風系パターン(19)(F)

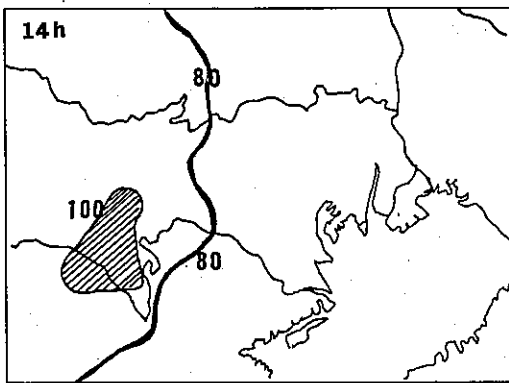


図4-4-1 Ox高濃度日(0.12ppm以上)の平均濃度  
風系パターン(17)(E)

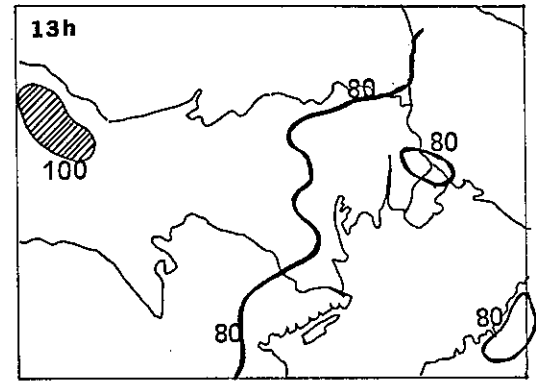


図4-5-1 Ox高濃度日(0.12ppm以上)の平均濃度  
風系パターン(19)(F)

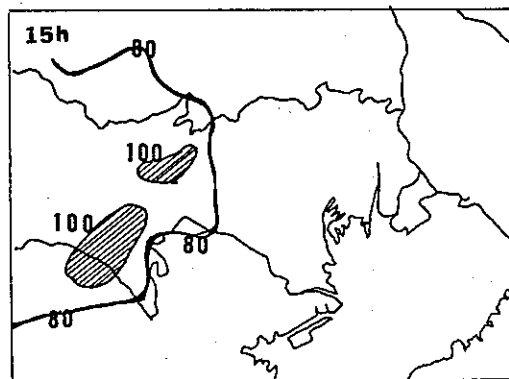


図4-4-2 Ox高濃度日(0.12ppm以上)の平均濃度  
風系パターン(17)(E)

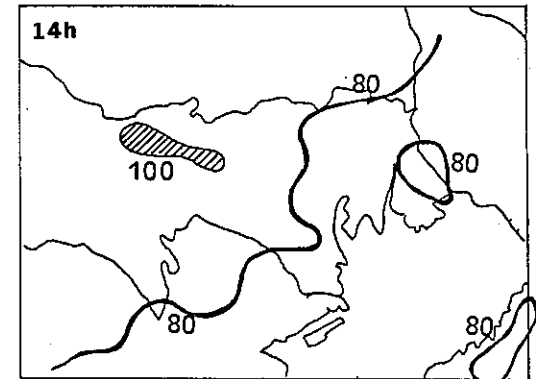


図4-5-2 Ox高濃度日(0.12ppm以上)の平均濃度  
風系パターン(19)(F)

表3 風系別O<sub>x</sub>高濃度発地域(一都三県代表局)

	E	M	W	S	EM	MW	MS	WS	EMW	EMS	MWS	EMWS	LOW	HIGH	トータル出現回数(地域別)			
															E	M	W	S
A	0	1	4	2	0	1	1	2	0	0	6	0	69	17	0	9	13	11
B	1	3	1	0	1	0	1	2	3	1	0	1	40	14	7	10	8	6
C	2	1	4	0	0	4	0	0	1	0	4	4	19	20	7	14	17	8
D	0	0	2	0	1	3	0	1	3	0	5	1	33	16	5	13	15	6
E	0	1	8	0	0	2	0	0	0	0	9	0	38	20	0	12	19	9
F	0	1	9	0	1	2	0	0	2	0	5	5	49	25	8	16	23	10
	0	1	3	0	0	5	0	0	1	0	0	1	63	11	2	8	10	1

E: 東部 M: 中部 W: 西部 S: 多摩南部  
 上段 0.10 ppm } 以上  
 下段 0.12 ppm }

響範囲, それに伴うO<sub>x</sub>平均濃度分布もかなり異なってくるのが分かる。従って, A, B風系パターンはそれぞれTK-1, TK-2に分割する必要がある。

T S 型: このタイプに属すC, D風系パターンは流跡線においても良く一致している。図3-3に示すように, 広い範囲で東京湾, 相模湾風系の影響が現れる典型的なO<sub>x</sub>広域汚染型のパターンである。O<sub>x</sub>平均濃度分布も図4-3に示すように広い範囲で高濃

度となる様相を呈している。

T S C型: 風系では海上の風のデータが欠如しているため, 千葉臨海部の風が東京湾を回り込むように東京に流入しているようにみられるが, 流跡線では東京湾上の風について, データ補間をしているため, 海上を横断して東京に流入している(図3-4参照)。このような現象は筆者ら<sup>9)</sup>が行ったトレーサー実験で確認されている。

この流跡線の影響を受けて, O<sub>x</sub>高濃度

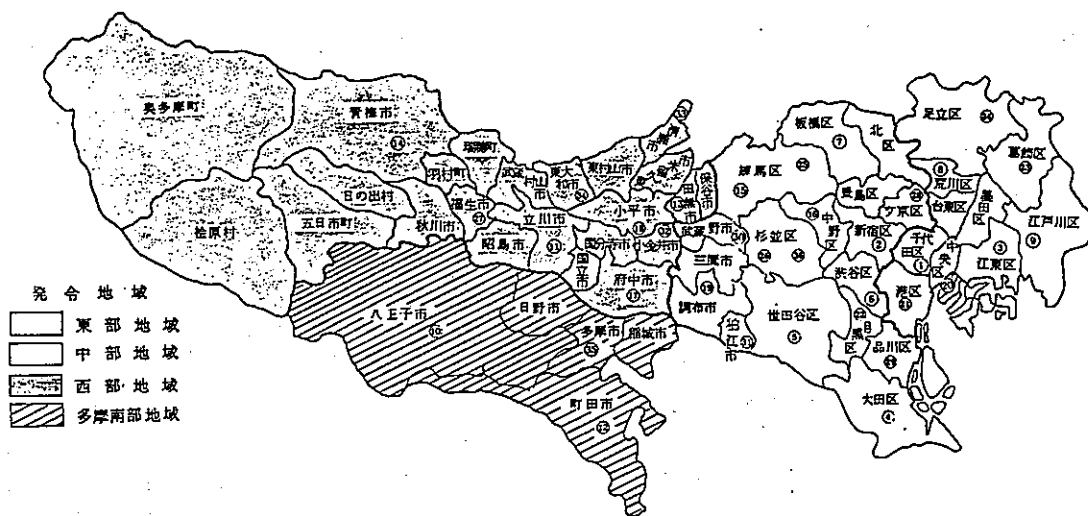


図5 発令地域区分<sup>2)</sup>

エリアは西部地域が中心となっている。

**TSW型:** このタイプでは、西成分の風が入り込んでいるため、図3-5にみられるように他のタイプと異なっている。全般的には相模湾風系が主流となっている。

$O_x$  高濃度エリアは図4-5に示すように、早朝の弱風域の出現の影響によって、比較的内陸部寄りに形成された初期気塊による $O_x$  高濃度エリアが多摩の内陸部にみられるが、全般的にみると広い範囲で平均濃度は高い。

以上各風系パターンについて、流跡線と $O_x$  濃度分布について解析を加えたが、両者の間には、はっきりとした対応がみられている。なお、風系パターンの集約化に当たっては、東京湾、相模湾、鹿島灘の海風の勢力によって、かなり異なった $O_x$  高濃度エリアが出現するため、流跡線と $O_x$  濃度分布を十分考慮する必要があるものと思われる。

**ウ  $O_x$  高濃度出現地域と風系パターン**

風系パターン別の $O_x$  注意報レベルの日の平均的な風の分布、流跡線、及び $O_x$  濃度分布から風系パターンを5つの型に集約されることが判明した。

ここで対象日について、実際に学校情報、注意報が発令された日と風系パターンとの関係のみてみる。表3に風系パターン別に学校情報、注意報の発令回数と発令地域を示す。この結果から、風系パターンとの対応をみると、次のようになる。

- ① 中西部I型: 学校情報、注意報レベル以上の高濃度汚染が中西部(図5参照)を中心に出現するが、西部寄りでも東部での出現の可能性が小さい特徴を持っている。この型にはA、E風系パターンが対応しているが、発生メカニズムが全く異なっていることは、

すでに述べたとおりである。なお東成分の風が関与している点は類似している。

- ② 中西部II型: 注意報レベルでは中西部I型と同様に中西部が中心となっているが、学校情報レベルでは広域型の傾向を示すタイプでB風系パターンがこれに対応する。この理由としては先に述べたように、東成分の風が弱いことが挙げられる。

- ③ 広域I型: 注意報、学校情報レベルの高濃度出現エリアは広く、いわゆる広域型で、C、D風系パターンがこれに対応する。

C、D風系パターンについては、いずれの要素についても良く一致することから、同一パターンとみなし得る。

- ④ 広域II型: 広域型に属すが、注意報レベルの出現回数が多摩南部で少ない型で、F風系パターンが対応するもので、発生メカニズムからみて広域I型とは異なる。

以上の結果、注意報、学校情報レベルの高濃度汚染の出現に関しては、中西部型と広域型に大別されるが、中西部型は3つの型に分類され、広域型も2つの型に分類される。

このように、地上風を用いてのクラスター分析による風系のパターン分類が $O_x$  高濃度汚染のメカニズムの説明要因と成り得ることが判明した。

**(2) 風系パターンと天気図型**

風系パターンの分類結果が $O_x$  高濃度汚染の出現、非出現型の分離、風系分布、流跡線、 $O_x$  濃度分布の類型化、更に $O_x$  高濃度汚染エリアの推定とメカニズムの解明に有効であることが明らかとなった。

この分類が天気図型と一対一の対応が得られれば、光

表4 天気図型の出現率(東京都方式)

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	T	合計
回数	12	80	108	52	123	30	60	30	17	94	103	23	732
出現率%	1.6	10.9	14.8	7.1	16.8	4.1	8.2	4.1	2.3	12.8	14.1	3.1	
$O_x$ 高濃度日	0	7	11	15	21	0	1	0	1	5	7	0	68
出現率	0	10.1	16.7	22.7	30.3	0	1.5	0	1.5	7.6	9.1	0	
高濃度 $O_x$ 出現確率	0	8.8	10.2	28.8	17.1	0	1.7	0	5.8	5.3	6.8	0	

S55年~58年 4月~9月



化学スモッグの予測の上で有意義なものとなる。

今回は、天気図型についての検討は行っていないため、既存の東京都方式、日本気象協会方式の天気図型分類結果について、風系との対応性をみてみた。

ア 天気図型の出現傾向

各天気図型の対象期間中の出現傾向を表2、表4に示す。気象協会方式の各天気図型出現傾向では、H型の出現率が高くなっている。注意報レベルの出現回数は多いが、出現確率は小さい。PS型の出現率は高くはないが、注意報レベルの出現確率は28.8%ともっとも高くなっている。弱い低気圧の存在を示すOL型では、OLC型が出現回数は多くないが、注意報レベルの出現確率が高くなっている。全般的にみて、O<sub>x</sub>高濃度汚染は長波型、ハイベルト型に集中している。

一方、東京都方式での各天気図型出現傾向はH3、H5、F3型の出現率が高く、注意報レベルの出現確率は圧倒的にH型が高く、大半を占めている。

この両者の対応をみると、表5、図6に示すように一対一の対応はみられない。

イ 天気図型と風系パターン

表5 天気図型の対応

O<sub>x</sub> : 0.12 ppm以上の日

	PN	PE	PS	OW	H	F	OLF	OLC	OLB	OLS	OL2	計
H <sub>2</sub>	1		1	1	2	1						6
H <sub>3</sub>	1	1	1		5			1	1			10
H <sub>4</sub>			8		4	2		1	1			16
H <sub>5</sub>		7	6		6	1			1			21
L <sub>2</sub>									1			1
F <sub>1</sub>										1		1
F <sub>2</sub>							1	2		1	1	5
F <sub>3</sub>					2	2	1	1				6
計	2	8	16	1	19	6	2	5	4	2	1	66

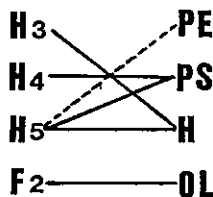


図6 天気図型相互関連図

各風系パターン別に天気図型との対応をみたものが表6である。各風系パターン毎の天気図型の出現確率の特性は明確ではない。強いて関連づけると、A、

B風系パターンではH型、F型の出現率が高く、C、D、F風系パターンではH型、PS型の出現率が高い。F風系パターンは他と異なってPE型と対応している。

注意報レベルのO<sub>x</sub>高濃度汚染日についても、いずれの風系パターンも色々な天気図型となっており、明確な対応はみられない。

以上の結果から、同じ天気図型であっても風系は異なっており、いいかえると天気図型が異なっても、類似した風系パターンを示すことを示唆している。従って、ここで採用した天気図型分類では光化学スモッグ予測に活用することはできない。今後は数多くの情報を用いての天気図型分類が必要と思われる。

3 まとめ

光化学スモッグ濃度予測手法を検討する場合、単に物理モデルのみに頼ることは得策とはいえない。光化学スモッグの発生しやすい気象条件を的確に捉え、数値化することが、予測手法の簡素化と精度の向上につながるものである。

本報告は、上記関連手法の一つとして、地上風データからの風系のパターン化と気象条件、O<sub>x</sub>高濃度エリア、天気図型との対応をみたものである。

先に述べたように、地上風を用いてのクラスター分析による風系のパターン分類の結果がO<sub>x</sub>高濃度汚染の出現、非出現型の分離、風系分布、流跡線、O<sub>x</sub>濃度分布の類型化、O<sub>x</sub>高濃度汚染のメカニズムの説明要因と成り得ることが判明した。更にO<sub>x</sub>高濃度汚染エリアの推定とメカニズムの解明に有効であることが明らかとなった。従って、この手法を用いて、過去のO<sub>x</sub>高濃度発生日の類型化、O<sub>x</sub>濃度予測時の初期気塊の位置推定、移流経路のパターン化等に活用し得るものと思われる。

しかし、解析の対象として採用した低気圧、高気圧、前線の位置等から分類された天気図型では風系との対応は困難である。代表測定局を替えても結果は変わらなかった。

今後は、低気圧、高気圧の大きさ、気圧傾度、気温等の多くの情報を盛り込んでの天気図型の分類を併わせて行いたい。

表6-1 風系パターン別天気図型(気象協会)

	PN	PE	PS	OW	H	F	OLF	OLC	OLB	OLS	OL2	OX	計	高濃度O <sub>x</sub> 日
A	3	7(2)	3	3	16(2)	20(1)	5	2(1)	17(2)	1	7	2	86	8
B	2	4	2	3	17(2)	11(1)	2	5(2)	6	1(1)	1	0	54	6
C	0	2(1)	7(3)	0	11(2)	8(2)	3(1)	2	4	1(1)	1	0	39	10
D	3(1)	5	7(4)	2	18(4)	3	6	0	2	3	0	0	49	9
E	3	11(2)	3(3)	0	16(6)	9	6	0	4	3	3	0	58	11
F	1	12	17(3)	3(1)	15(3)	12(1)	7(1)	1(1)	2(1)	3	0	1	74	11
計	12	41	39	11	93	63	29	10	35	12	12	3	360	
O <sub>x</sub> 高濃度日	1	5	13	1	19	5	2	4	3	2	0	0		55
出現率%	8.3	12.2	33.3	9.1	20.4	8.0	7.0	40.0	8.6	16.7	0	0		

( )内0.12ppm以上

表6-2 風系パターン別高濃度日の天気図型(東京都)

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	T	計
A	0	1	2	0	3	0	1	0	0	0	1	0	8
B	0	0	0	1	2	0	0	0	0	3	0	0	6
C	0	0	2	3	2	0	0	0	1	0	2	0	10
D	0	2	0	3	2	0	0	0	0	0	2	0	9
E	0	0	3	4	4	0	0	0	0	0	0	0	11
F	0	2	1	4	3	0	0	0	0	1	0	0	11
計	0	5	8	15	13	0	1	0	1	4	5	0	55

参考文献

- 財団法人日本気象協会：「天気図型分類解析作業報告書」(1974)
- 東京都環境保全局：「今夏における光化学スモッグについて」(1980~1983)
- 宇田川 満 他：「オキシダント高濃度汚染日の流跡線解析」東京都公害研究所年報(1982)
- 宇田川 満 他：「発生源削減によるオキシダント濃度低減効果の推定計算」東京都公害研究所年報(1984)
- 関東地方公害対策推進本部大気部会，光化学共同解析委員会：環境庁委託作業結果報告書「関連地域光化学オキシダント広域解析調査」(1978)
- 宇田川 満 他：「東京湾周辺における気象・汚染物質調査 - トレーサー実験 -」東京都公害研究所年報(1984)
- 宇田川 満 他：「東京湾周辺における気象・汚染物質調査 - トレーサー実験(第2報) -」東京都環境科学研究所年報(1986)