

光化学オキシダント高濃度汚染日の流跡線解析

宇田川 満 早 福 正 孝 石 黒 辰 吉

1 はじめに

光化学オキシダントの高濃度汚染現象については、室内実験、野外調査等の結果から生成機構はほぼ明らかにされているが、精度の高い光化学反応モデル、初期条件としての汚染エリアとその濃度および発生源の寄与率、反応系におよぼす一次汚染物質のオキシダント（以下Oxとする）濃度に対する影響等については、今もって十分解明されているとはいえない。

そこで上記の諸問題に焦点を合せた光化学反応拡散モデルの検討の一環として、都内で発生する光化学スモッグ高濃度汚染日（Ox濃度0.12ppm以上を高濃度汚染日とする）の初期汚染気塊を明らかにすることを目的として行った流跡線解析結果について報告する。なお1都6県の広範囲に及ぶ流跡線解析は、すでに報告¹⁾したが、ここでは東京都内を対象に、実際に高濃度汚染が生じた日にかぎり、場所別に解析を行った。

2 解析方法

(1) メッシュの作成方法

1都3県（東京都、千葉県、神奈川県、埼玉県）を縦横に分割する方法は、経緯度法に基づく標準地域メッシュの第2次地域区画（10倍地域メッシュ）として、北緯34°55'00"、東経138°37'30"を原点として、Xスパン7'30"、Yスパン5'00"とした一辺がほぼ10kmの区域である。

(2) 使用データ

風向、風速のデータは、東京都の測定局全局、神奈川県、千葉県の測定局8局、埼玉県の測定局14局、茨城県の測定局4局のものを用いた。

(3) Ox高濃度汚染日及び測定局の選出方法

東京都の大気汚染総合測定局のOxデータから、1977年、1978年の5月から9月までの日でOx濃度が0.12ppm以上の日を抽出し、この高濃度汚染日に、5日以上該当する測定局について、すべての高濃

度汚染日の地上流跡線を作成した。

（表1、図1参照）

表1 測定場所別の初期気塊スタート地点

No.	測定局名	日数	東京湾	相模湾	市街地	タイプ
1	国設東京	6	2	0	4	B
2	世田谷	8	6	0	2	A
3	中野	17	15	0	2	A
4	石神井	6	1	0	5	B
5	目黒	6	4	0	2	A
6	練馬北	11	6	0	5	B
7	久我山	6	3	0	3	B
8	品川	10	10	0	0	A
9	清瀬	26	16	1	9	B
10	田無	24	13	2	9	B
11	武蔵野	19	10	1	8	B
12	小平	19	12	3	4	A
13	小金井	13	12	0	1	A
14	府中	12	10	2	0	A
15	調布	19	16	1	2	A
16	狛江	21	16	2	3	A
17	東大和	23	9	7	7	C
18	立川	22	9	7	6	C
19	多摩	20	7	5	8	C
20	福生	22	3	10	9	C
21	町田	19	7	10	2	C
22	青梅	7	0	4	3	C
23	五日市	7	0	3	4	C

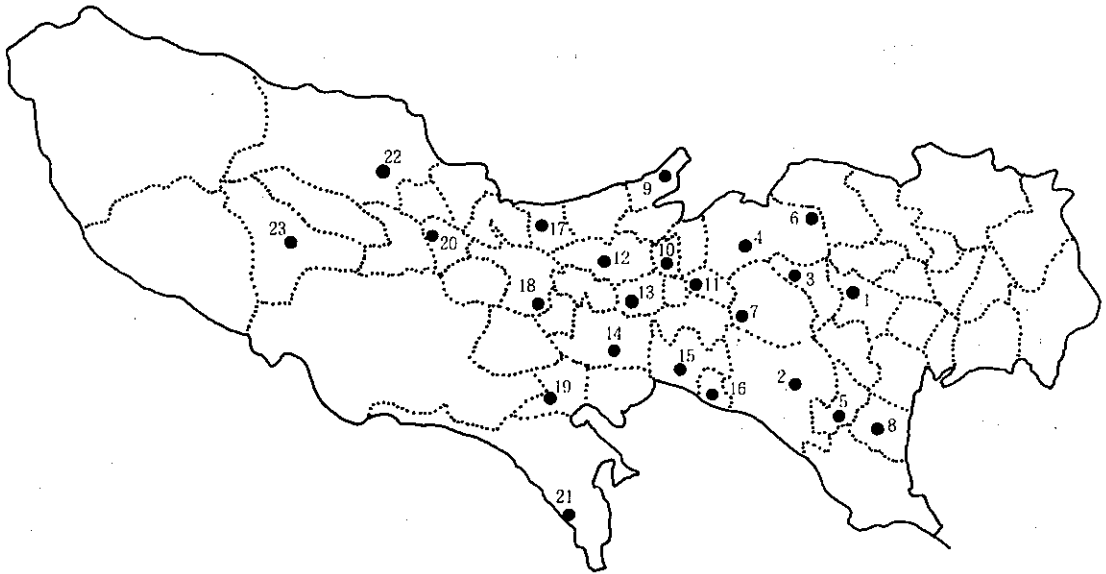


図1 流跡線解析対象測定局 (番号は表1の測定局名と対応)

(4) 高濃度汚染日の地上流跡線の作成方法

各高濃度汚染日の最大Ox 濃度出現時刻に測定局を通過する気塊を、測定局をリセプターとして早朝の6時まで遡及し流跡線を作成した。

測定局の風向風速のデータから各時間ごとのu成分、v成分を求め、内挿により30分ごとの気塊の位置での風を求める。ただし、30分後の風のデータは次の時間のデータを用いる。気塊が近隣する測定局の500m以内に位置するときはその測定局の風のデータを用い、他の場合は次式により内挿する。

$$u = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \cdot (\frac{1}{r_i})^2}{\sum_{i=1}^n (\frac{1}{r_i})^2}$$

u_i : i 測定点での u 成分
 r_i : 気塊の位置と i 測定点との距離

まず半径10km範囲内の測定局で内挿する。ただし測定局が3局に満たない場合は半径を2倍に拡大し、3局以上になるまで繰返す。v成分についても同様に処理する。

(5) ノンリフトバルーン流跡線図の作成

ノンリフトバルーンの流跡線は1973年、1974年に当公害研究所で実施した結果を用いて、バルーンの水平距離をそのままプロットした。解析に使用したバルーンの放球場所及び数は次のとおりである。

横浜：高度200m	14個
高度400m	9個
川越：高度200m	8個
高度400m	2個
読売ランド：高度200m	4個
高度400m	4個
貿易センタービル：高度200m	4個
高度400m	1個
新宿三井ビル：高度400m	1個

(6) ノンリフトバルーンとの比較のための地上流跡線

地上流跡線図は、先に示したOx 高濃度汚染日の測定局別の流跡線図と同様な方法で内挿する方法を用いた。内挿方法は先ず気塊位置から半径20km以内の地上測定局のデータを探し、その数が3点に満たない場合は半径を倍にして3点以上になるまで半径を拡大していく、そこで内挿されたu、v成分を用いて20分後の位置を定める。上記の操作をバルーン停止時刻まで繰返す。なお風のデータは30分を境にして正時の時刻のものを使用する。作図はバルーン放球時からバルーン追跡終了時刻までとした。

3 結果と考察

(1) 地上流跡線とノンリフトバルーン調査結果からのバルーン流跡線との比較

過去に流跡線を用いた解析は数多く報告されているが、用いられているデータは各自治体で行っている地上観測局のものであり、地上10mから20m程度の高さのものが多い。風の鉛直分布については、パイロットバルーン調査から地上風と上層風のずれ、風速のプロファイル等について解析が加えられている²⁾。ここでは当研究所で行ったノンリフトバルーン調査結果³⁾と地上風による流跡線との比較を行い、地上流跡線の精度について検討を行った。図2に1例を示す。

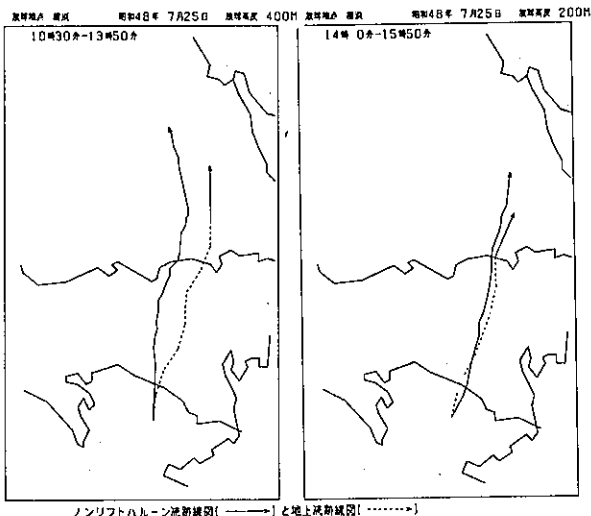


図2-1

ノンリフトバルーン流跡線と地上流跡線との比較

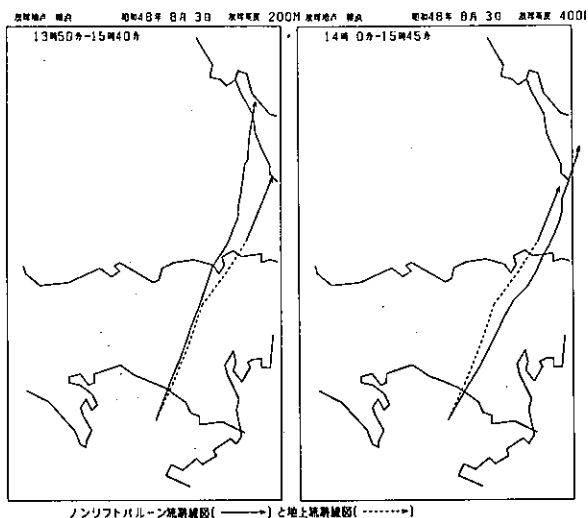


図2-2

ノンリフトバルーン流跡線と地上流跡線との比較

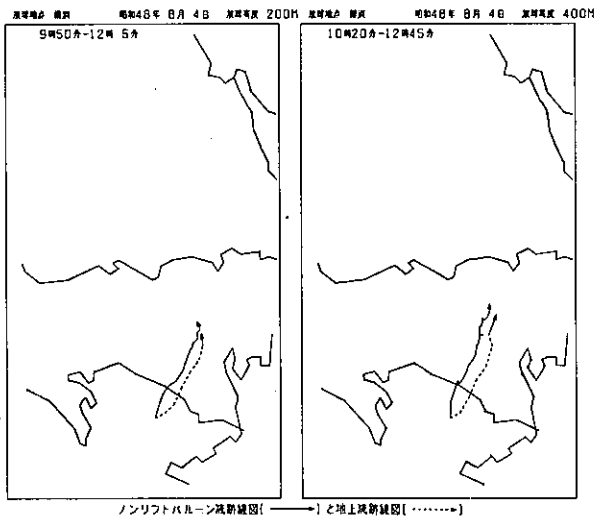


図2-3

ノンリフトバルーン流跡線と地上流跡線との比較図

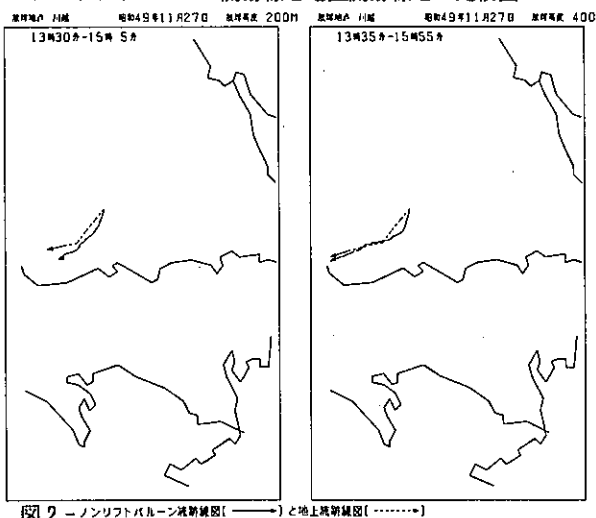


図2-4

ノンリフトバルーン流跡線と地上流跡線との比較図

ア 風 速

地上風と上層風との関係については次式で示される方法で補正が行われている。

$$u = u_0 \cdot (Z/Z_0)^n$$

u : 上層の風速

u_0 : 地上観測所の風速

Z : 上層風の高さ

Z_0 : 地上観測所の高さ

n の値は大気安定度によって異ってくるが、いま、仮によく用いられる $n = \frac{1}{7}$ を用いて、地上観測所の高さを10mとして高度200m、高度400mでの風速の補正係数を求めるとそれぞれ1.53、1.69と比

較的大きな値となる。本来ならば地上流跡線とノンリフトバルーン流跡線（以下バルーン流跡線とする）とを比較する場合は流跡線の長さを考慮すべきであるが、ここでは流跡線の到達場所を重視するので、放球場所から到達場所までの直線距離と放球点をスタート地点とした地上流跡線の同時間での到達場所までの直線距離との比較から補正係数を求めた。

ノンリフトバルーン放球高度別にバルーン流跡線の直線距離と地上流跡線の直線距離の比の分布をみると、図3に示すように、高度200mでは0.9以上1.5未満のものが全体の86%を占める。一方、高度400mの場合はバラツキが大きく、比較的風速が強い順風の場合以外はやや誤差が大きい。高度200mの場合で比の値が1.5以上の3例を除き、26例の平均値を求めると、両者の距離の比の値は1.15となり、先の計算値よりも小さな値である。

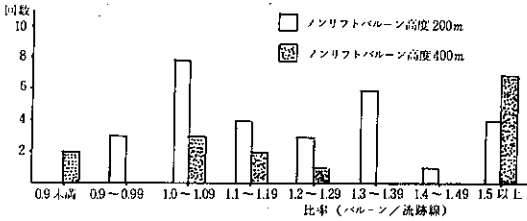


図3 ノンリフトバルーンと地上流跡線の直線距離の比の分布

イ 風 向

通常はパイロットバルーンの観測からねじれの角度の分布をみているが、ここではバルーン流跡線と地上流跡線からそれぞれ到達地点まで直線を引きその狭角を求めた。その分布は図4に示すとおりである。この

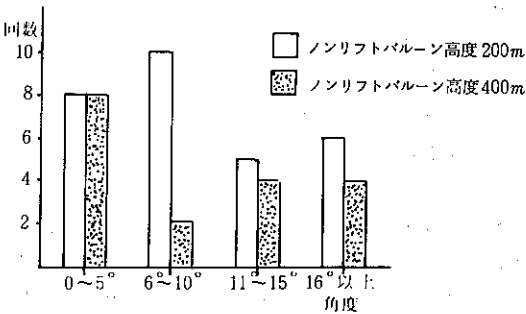


図4 ノンリフトバルーンと地上流跡線の狭角の分布

結果によると高度200mでは5度以下が29%, 10度以下では62%, 15度以下では80%となり、例外的な6例を除き平均値を求めると7.6度ある。高度400mでの角度では距離の場合と異なり高度200mの場合とはほぼ同じ結果となっている。

ウ 到達地点間の距離

上記の各々の距離の比の平均値と角度の平均値を用いて、バルーン流跡線、地上流跡線の各々の到達点間の距離を計算してみると、補正係数1.15、角度を7.6度にして地上流跡線の直線距離を50kmとすると風速による距離は7.5kmで、角度による距離は6.6kmとなる。この両者をあわせると2点間の距離はほぼ10kmとなる。この値はOx汚染エリアを考えた場合にはほとんど問題とにならない程度のもと思われる。

実際にバルーン流跡線と地上流跡線の到達地点間の距離を例外的なものを除いて平均すると、高度200mの場合は6.8kmとなり推定計算値より小さい値である。

以上の結果から、当研究所で実施したノンリフトバルーン調査結果と地上流跡線との比較結果からは高度200m程度の上空の気流の流れは地上流跡線でかなり精度良く追従することができるものと思われる。しかし高度400m以上の上空の気流の場合は比較的強い順風の場合はよく追従するが弱風で蛇行しているような場合は必ずしも追従できるとはいえ難いが、このような条件では移流距離が少なく2点間の距離は比較的小さい場合が多い。したがって400m程度の上空までは海風前線の影響を強く受けなければ地上流跡線で代表しうるものと思われる。

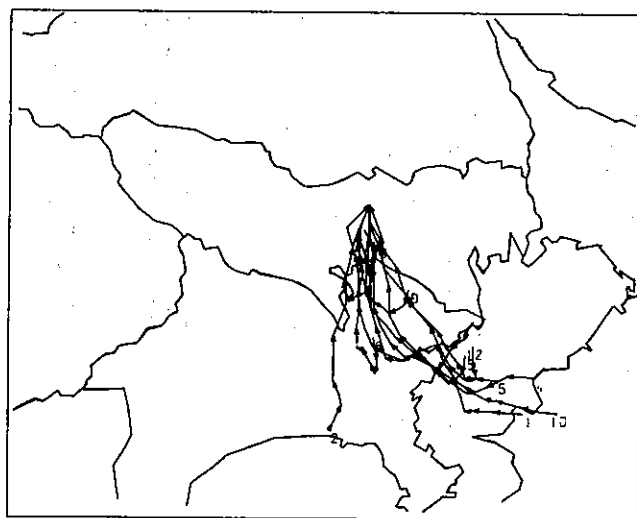
(2) オキシダント高濃度汚染日の流跡線解析結果

前項で地上流跡線の精度について検討を加えたが、実際には、光化学大気汚染の初期気塊が存在するエリア、高度、各汚染物質の濃度等については明確ではなく、さらに海風等の影響を受けどのように移流し、移流過程での一次汚染物質の流入が反応系にどのような影響を与えるか等についても十分解明されていない。ここではこれらの問題のうち、汚染地域がどこの初期気塊に強く影響されているかを流跡線を用いて調べた結果である。なお流跡線については対象が東京都内に限られており、移流距離が比較的小さいため補正を行っていない。対象日は1977年、1978年の高濃度汚染日の46日である。

ア 地域別の傾向

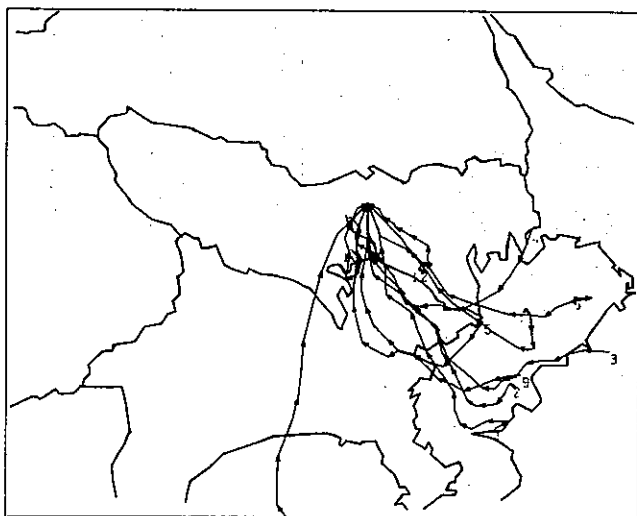
都内23箇所の測定局について解析を行った結果、場所別に流跡線による初期気塊の位置をみると、汚染の地域によって異った傾向がみられている。そこで場所別にどのエリアが初期気塊となっているかを相模湾

風系、東京湾風系、市街地に分けてみた結果(表1参照)と、おもな測定局の流跡線を図5に示す。測定局別に初期気塊とみられるエリア即ち流跡線のスタート地点(早朝6時)から分類すると3つのタイプに分類できる。Aタイプは圧倒的に東京湾風系の影響の強い地



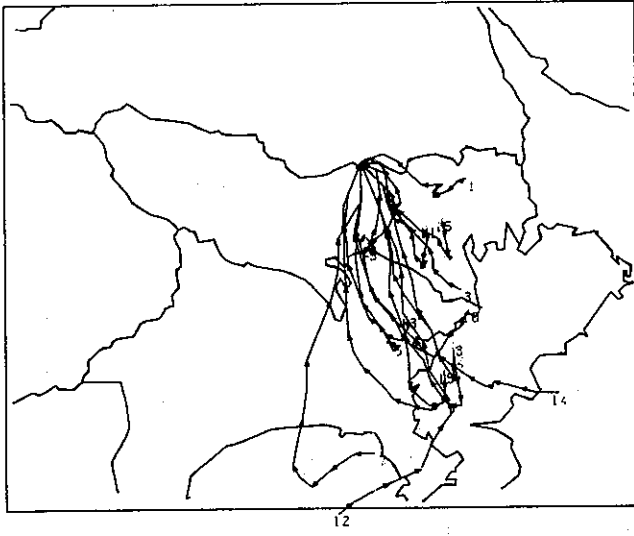
田無 (1978年度)			
	月/日	最大OX濃度 (PPB)	出現時刻 (時)
1	5/16	150	15
2	5/17	130	12
3	7/ 4	140	13
4	7/ 6	120	14
5	7/19	120	14
6	8/ 5	140	14
7	8/ 6	130	14
8	8/10	120	15
9	8/13	120	12
10	8/28	180	15
11	8/29	120	13
12	8/30	140	14

図5-1 地点別地上流跡線



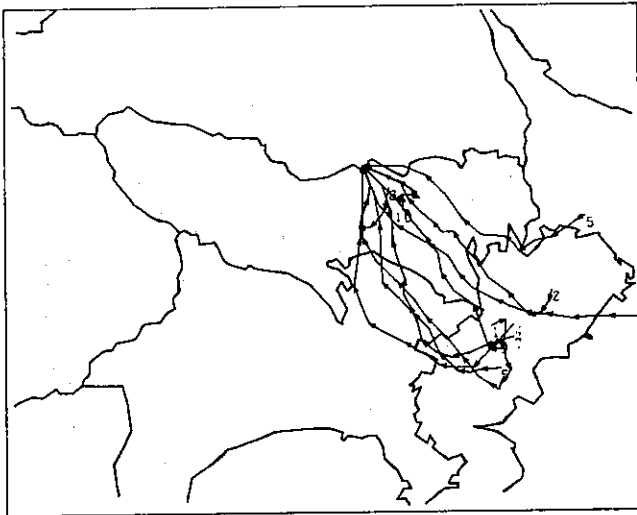
田無 (1977年度)			
	月/日	最大OX濃度 (PPB)	出現時刻 (時)
1	5/ 6	140	15
2	5/13	140	15
3	5/28	130	15
4	6/ 4	130	13
5	7/12	170	14
6	7/14	170	13
7	7/15	140	15
8	7/19	120	13
9	7/21	120	14
10	7/22	120	12
11	8/ 3	180	14
12	8/29	210	14

図5-2 地点別地上流跡線



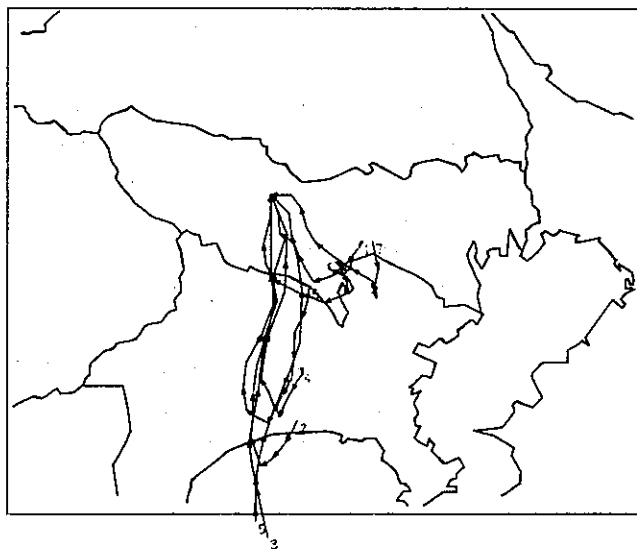
汚濁	(1978年度)		出現時刻 (時)
	月/日	最大OX濃度 (PPB)	
1	5/16	130	14
2	5/17	120	12
3	5/26	120	12
4	6/14	120	14
5	7/ 3	140	13
6	7/ 4	160	14
7	7/ 6	120	15
8	7/ 8	120	13
9	8/ 5	130	15
10	8/ 6	130	14
11	8/10	150	15
12	8/11	140	15
13	8/13	150	13
14	8/28	170	15
15	8/29	120	14
16	8/30	120	14

図5-3 地点別地上流跡線



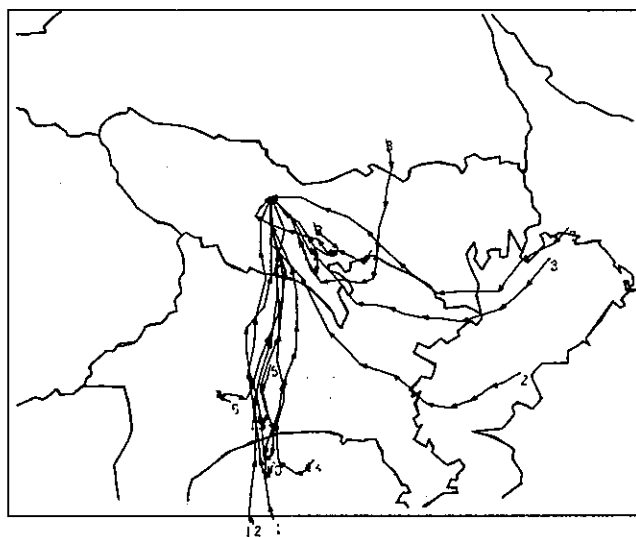
汚濁	(1977年度)		出現時刻 (時)
	月/日	最大OX濃度 (PPB)	
1	5/ 6	140	14
2	5/13	120	15
3	5/28	120	15
4	7/12	180	14
5	7/14	140	13
6	7/15	150	13
7	7/21	140	14
8	7/22	130	11
9	8/ 3	180	15
10	8/29	160	14

図5-4 地点別地上流跡線



福生	(1978年度)		最大OX濃度 (PPB)	出現時刻 (時)
	月/日	日		
1	7/	4	120	13
2	7/	6	140	14
3	7/	8	150	13
4	8/	5	120	14
5	8/	6	120	15
6	8/	12	130	15
7	8/	27	140	14
8	8/	28	140	16

图5-5 地点別地上流跡線



福生	(1977年度)		最大OX濃度 (PPB)	出現時刻 (時)
	月/日	日		
1	5/	13	140	15
2	5/	28	120	15
3	6/	4	140	14
4	7/	4	120	13
5	7/	6	130	15
6	7/	12	120	14
7	7/	14	140	14
8	7/	16	120	14
9	7/	19	130	13
10	7/	21	130	14
11	7/	22	130	11
12	8/	3	180	15
13	8/	4	130	12
14	8/	29	170	16

图5-6 地点別地上流跡線

域で図6に示す区部城南から調布、府中、小平市が含まれている。Bタイプは風系として東京湾風系であるが、流跡線のスタート地点は東京湾岸よりやや内陸部に入った市街地の場合が多いタイプで、区部城北から清瀬、田無、武蔵野市が含まれる。Cタイプは明らかに相模湾風系の影響を受ける地域で、東大和、立川市以西の地域で多摩、町田市もこのタイプに属する。

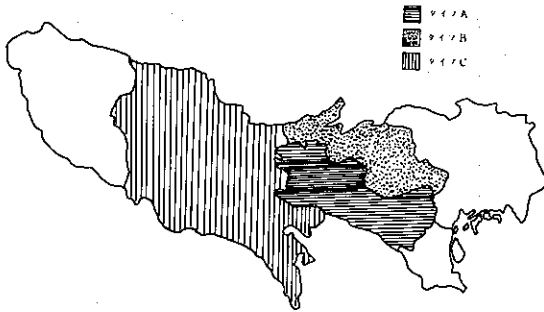


図6 流跡線解析からの地域分類

イ 高濃度オキシダント発生日別

流跡線は当然気象条件によって大きく左右されるものである。したがって高濃度汚染が生じる気象条件下でも日によってかなり異なることが予測される。そこで10箇所以上高濃度汚染を記録した広域汚染日14

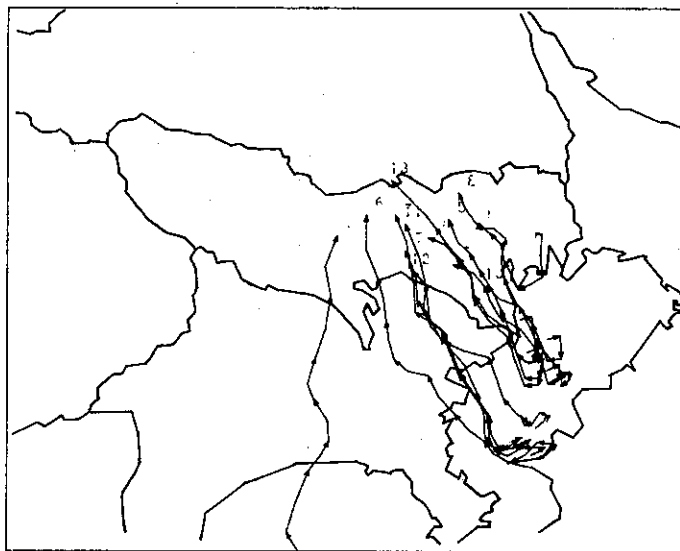
日についてその傾向をみてみると、東京湾風系のみで広域に汚染されている日は図7-1から図7-3に示される3日間だけである。その他の日はいずれも相模湾風系と東京湾風系とに分かれている。その主な例を図7-4から図7-6に示す。

汚染エリアをみると東京湾風系のみの場合には区部で高濃度汚染が多くみられているが、1977年度に現われており、1978年度では測定法が改定されているため一概に比較はできない。

以上の結果から推定されることは光化学反応の初期気塊と考えられるエリアは、同じ日について相模湾、東京湾の両方の風系で高濃度汚染が出現すること、東京湾岸、相模湾岸付近の市街地からスタートしている例がかなりみられること等から考えて、光化学反応の初期気塊は東京湾から相模湾にかけてかなり広い範囲を考える必要があるものと思われる。

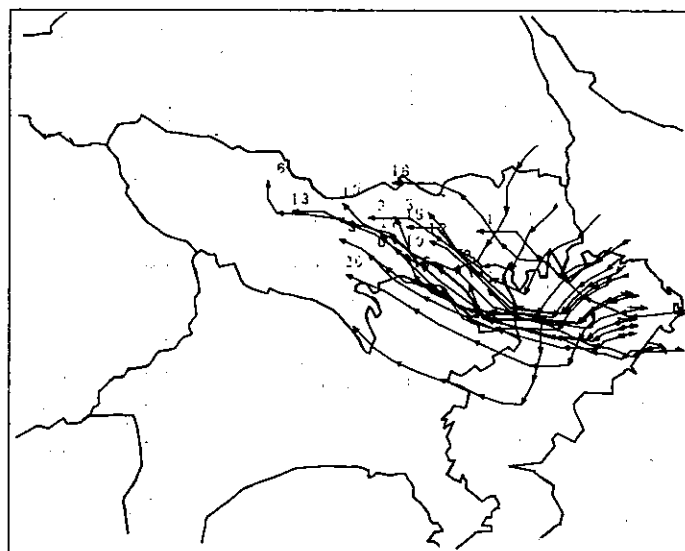
4 おわりに

光化学大気汚染に関する反応拡散モデルを検討するためには、初期条件とそのエリア、移流コース、移流時間帯等を正確に把握するとともに精度の高い光化学反応モデルが必要となる。ここでは自治体を実施している地上の気象観測データを用いてどの程度まで移流の精度が得られるか、また地域によって初期気塊のス



1977年		5月6日	
		最大O _x 濃度 (ppb)	出現時刻 (時)
1	国設東京	120	13
2	世田谷	120	13
3	立川	140	16
4	田無	140	15
5	中野	130	13
6	小平	120	16
7	調布	130	14
8	練馬北	140	13
9	久我山	140	13
10	品川	120	13
11	武蔵野	140	13
12	コマ江	120	15
13	清瀬	140	14

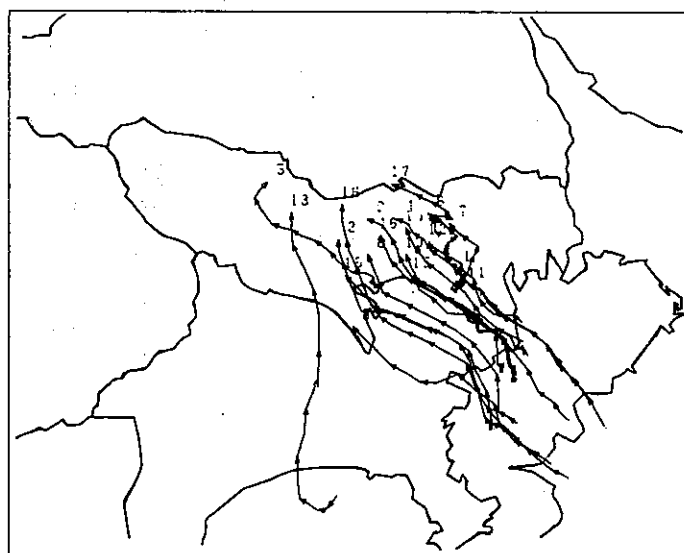
図7-1 高濃度汚染日地上流跡線



1977年 7月14日

	最大Ox濃度 (ppb)	出現時刻 (時)
1	120	12
2	150	12
3	170	13
4	190	13
5	170	13
6	120	15
7	120	12
8	170	13
9	150	13
10	150	12
11	140	12
12	140	12
13	140	14
14	120	11
15	140	12
16	180	12
17	150	13
18	140	13
19	130	14
20	200	13

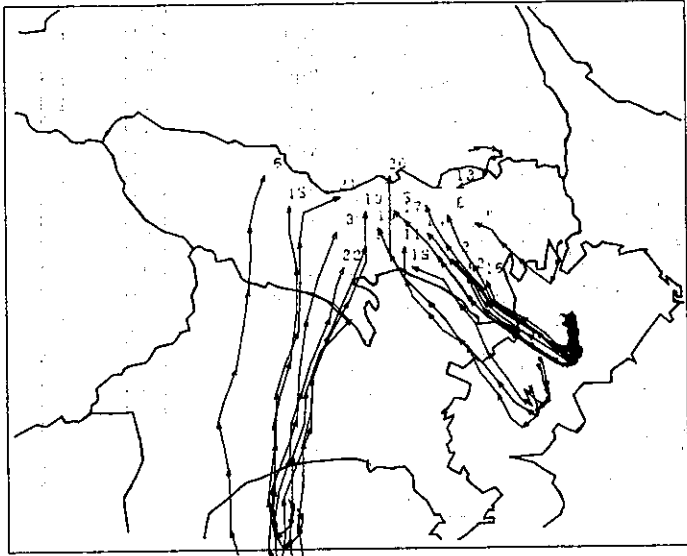
図 7 - 2 高濃度汚染日別地上流跡線



1977年 8月29日

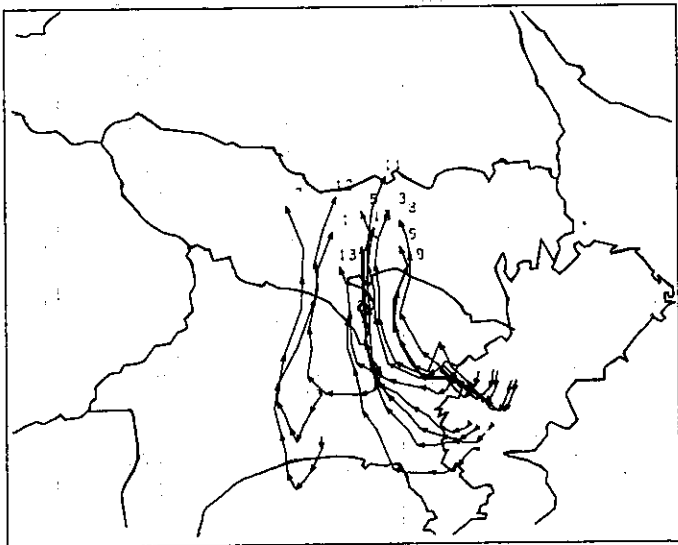
	最大Ox濃度 (ppb)	出現時刻 (時)
1	160	12
2	190	15
3	150	15
4	210	14
5	130	16
6	150	13
7	150	12
8	180	14
9	180	15
10	180	13
11	140	12
12	140	13
13	170	16
14	200	14
15	180	13
16	190	14
17	160	14
18	180	16
19	180	15

図 7 - 3 高濃度汚染日別地上流跡線



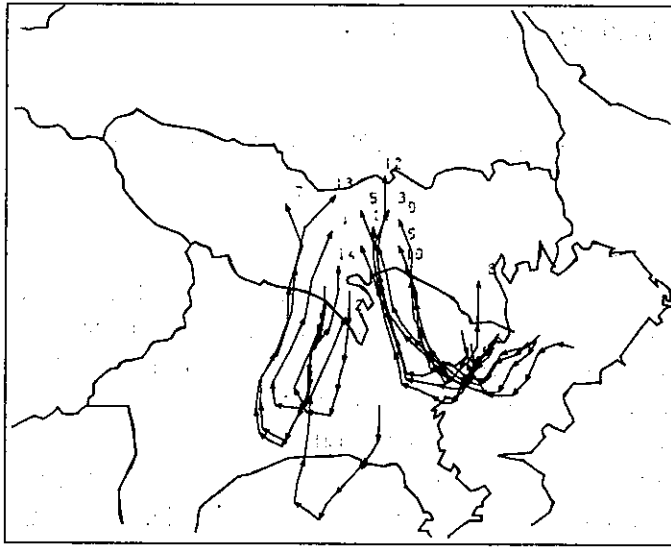
1977年		8月3日	
		最大OX濃度 (ppb)	出現時刻 (時)
1	国没東京	140	12
2	世田谷	160	12
3	立川	180	15
4	町田	150	14
5	田無	180	14
6	香取	170	16
7	石神井	180	14
8	中野	160	14
9	府中	190	15
10	小平	220	15
11	調布	200	14
12	目黒	140	13
13	練馬北	140	12
14	久我山	140	14
15	福生	180	15
16	品川	120	12
17	武蔵野	200	14
18	コマ江	190	14
19	小金井	210	14
20	清瀬	180	15
21	東大和	210	15
22	多摩	160	14

図7-4 高濃度汚染日別地上流跡線



1978年		8月5日	
		最大OX濃度 (PPB)	出現時刻 (時)
1	立川	140	14
2	町田	130	13
3	田無	140	14
4	府中	130	14
5	小平	140	14
6	調布	150	14
7	福生	120	14
8	武蔵野	130	14
9	知江	140	13
10	小金井	130	14
11	清瀬	130	15
12	東大和	130	14
13	多摩	150	13

図7-5 高濃度汚染日別地上流跡線



1978年 8月 6日

	最大Ox濃度 (PPB)	出現時刻 (時)
1 立川	140	14
2 町田	170	14
3 田麻	130	14
4 府中	120	13
5 小平	140	14
6 羽布	140	13
7 習生	120	15
8 品川	120	14
9 武蔵野	120	14
10 知江	130	13
11 小金井	120	14
12 清瀬	130	14
13 東大和	130	15
14 多摩	160	14

図 7-6 高濃度汚染日別地上流跡線

スタート地点およびコースがどのように異なっているかについて検討を加えたものである。この結果から主に次の事項が判明した。

- ① 流跡線について、ノンリフトバルーンとの比較した結果から、高度 200 m のバルーン流跡線と地上流跡線との間では比較的差は小さく、補正係数は 1.15 である。したがって移流距離が短い場合および海風前線の強い影響を受けない場合には補正しなくとも問題はなさそうである。
- ② 高度 400 m との比較では、比較的強い順風時については高度 200 m の場合と同様に差は小さい。しかし弱風で著しく蛇行しているような場合にはやや異なった動きがみられる。
- ③ 東京周辺の空間では高度 400 m 程度までは風のねじれは小さい。高度 200 m の場合で例外的なものを除いた平均値は約 8 度であり、50 km 移流した場合でも 7 km 以下の差であり、風速による差を加えても 10 km 程度となる。バルーン流跡線と地上流跡線の実際の到達地点間の距離の平均は例外的なものを除くと高度 200 m の場合で 6.8 km である。
- ④ 流跡線解析の結果では汚染地域によって初期気塊

のスタート地点は異なっており、相模湾周辺、東京湾周辺および市街地に分類される。

⑤ Ox 広域高濃度汚染日においては同じ日であっても東京湾風系、相模湾風系で高濃度汚染が出現することから判断して、初期気塊は東京湾から相模湾にかけた広い地域が考えられる。

以上の結果から、光化学 Ox 高濃度汚染を未然に防ぐためには、初期気塊の存在するエリアとその高度および非メタン炭化水素、窒素酸化物の濃度さらにこの初期気塊に対する各発生源の寄与率等の調査を 1 都 6 県の協力のもとで実施する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 宇田川満ほか：関東地域光化学オキシダント広域解析調査，光化学共同解析委員会，（1978）。
- 2) 横山長之ほか：大気汚染質の拡散に関する研究，公害資源研究所報，第 15 号，（1979）公害資源研究所。
- 3) 福岡三郎ほか：東京周辺の地表面付近の気流の特長，東京スモッグに関する研究第 3 報，（1979）。東京都公害研究所。