

# 大気汚染の予報に関する気象学的研究 (I)

藤原輝男\*・山本雅史\*\*

## Meteorological Study on Prediction of Air Pollution (The 1st Report)

Teruo FUJIWARA\* and Masafumi YAMAMOTO\*\*

### Abstract

Today, it is very important to predict the occurrence of the air pollution, because if the air becomes dirty, clean air does not return easily by only stopping the issuing.

Authors tried to analyze the phenomena of the air pollution in the city along the Suō Nada in Japan from the view of meteorology by using the data in July, Oct. and Dec., 1970.

The result shows that the type of air pollution in this city is not by inversion layer but wind, because the occurrence of SO<sub>2</sub> high concentration is related to the wind direction remarkably.

Also, we calculated the concentration of SO<sub>2</sub> by Pasquill's Eq., and obtained pretty good result with measured data.

Though tried to know the influence of wind velocity, we could not obtain notable result from the data used. We are going to continue the analysis moreover.

### 1. 緒言

産業の著しい発展にともない大気汚染公害も深刻さを増している。公害のない大気を取り戻すには、その根源を断ち切って汚染物質を排出しないことが最終的な解決策であり、排出した汚染物質の処置を考えると、この傾向にある今日のやり方は、真の解決策とは言えない。しかし、有害成分の除去装置に関しては技術面、経済性どちらもいま一步の感があり、その一般的な普及もまだまだ先のことと予測され、大気汚染の場合でも残念ながら排出汚染物の影響を最小限に止めるという段階にしかないというのが現状である。

著者らは、その対策を気象要因による汚染予報に求めており、まずその第一歩として、大気汚染の顕著な周防灘沿いのA市を取り上げ、その気象上の特徴を調べてみた。

A市のある県では、県下の大気汚染防止法指定地域に大気汚染状況測定局を置き、それを県庁内の中央監視局とを無線で結ぶテレメーターシステムをとり、各地の大気汚染状況を常時監視している。測定内容は、各正時刻ごとの大気中のSO<sub>2</sub>濃度(10<sup>-3</sup> PPM単位)、風向(16方位)、風速(10<sup>-1</sup>m/sec単位)の3項目で、一部では粉塵量もあわせて測定している。そ

して、測定されたSO<sub>2</sub>濃度にしたがってスモッグ情

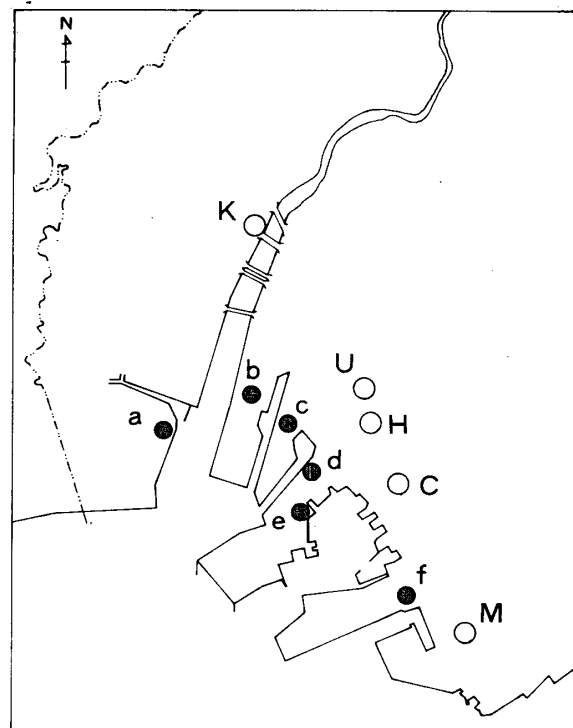


Fig. 1 Map of measuring station and issuing factory of SO<sub>2</sub> (○ : measuring station, ● : issuing factory)

\* 土木工学科

\*\* 九州大学大学院工学研究科水工学専攻

報、同注意報、同警報などを発令し、規制対象となっている県内の各工場に燃料中のイオウ分カットを要請するなどしてその解消を図っている。

しかし、現在までの多くの汚染例が示すように、一度高濃度が記録されはじめるとそのような処置をとっても即効性は薄い。ここに汚染を前もって予知する汚染予報の必要性がある。

A市には、Fig. 1に示すように5つの測定局があり、汚染状況を監視している。今回は、それらの局で測定された資料のうちから、1971年7、10、12の3ヵ月分を使用し、各季節ごとの汚染特性を調べてみた。

## 2. A市の大気汚染の型

### ——疾風汚染型か逆転汚染型か——

大気汚染には大きく分けて、風下の煙道にあたる地域が局部的に汚染される疾風汚染型と呼ばれるものと、上空に発達した逆転層の下にばい煙がこもった状態で起こる逆転汚染型と呼ばれるものとの2つがあるが、汚染地域がこのいずれに属するかを知ることは予報においてはきわめて重要なことである。すなわち、前者ならばその風向を、また後者ならば逆転層を予測すればだいたいの予報はできるからである。

ここではまず、資料を昼間(7時～18時)、[夜間(19時～翌6時)および1日中の3種に分け、それぞれについて風配図を作成して汚染の風向特性を調べ、次に、それらをまた工場方向、異方向に分けてそれぞれの平均濃度を比較していずれに属するかの判断を試みた。

### 2・1 風配図による分析

風配図は、各月、各測定点ごとに16方位を用いて作成し、その測定点において、ある一定基準濃度(7月:0.100PPM, 10月:0.050PPM, 12月:0.030PPM——各基準濃度は、測定濃度が夏に高く冬に低いという傾向にあわせて、特色がつかみやすいように定めた)以上を記録した場合の風向の分布と比較した。このようにすれば、汚染の風向特性は一目瞭然で、疾風汚染型ならば、一定風向に対して汚染の度合いが高くなり、逆転汚染型の場合はその傾向が薄らぐと考えられる。

ここでは紙面の都合上から、特徴のはっきり現われているもののみをFig. 2に示した。風配図は、全資料に対する比率で表わし、その内で、基準濃度以上を記録した場合を黒で示した。

それぞれについて検討した結果を述べておこう。

#### (1) M測定点

工場方向(北北西から西北西)からの方向性が明らかにしている。特に7月における北西風時の汚染率は高く、全日でもみた場合、北西風61回のうち70%にあたる43回が0.100PPM以上に汚染されている。その他の場合でも、風流線は工場上空を通っていることが各測定点での風向から判断される。冬になるほど方向性は薄らぐが、基準濃度自体が低く逆転汚染の傾向は見られない。それに、10月、12月とも、0.100PPMを越える場合は、やはり風流線が工場上空を通るものばかりで、高濃度汚染時の方向性はきわめて高い。

#### (2) C測定点

工場は北西から西南西の間および南の方向へ集中しているが、この方向からの風による汚染率は高く、ここでも方向性が高い。特に0.100PPM以上の汚染は、10月においても、工場方向の風によって起されている。

#### (3) H測定点

ここでの特徴は、工場側の風向頻度の低いこともさることながら、むしろ反対方向からの風の時の汚染率の方がずっと高いということである。そしてこの傾向は逆転層の発達しやすい夜間に強く、したがってこの場合の汚染は逆転汚染型に属すると判断できそうである。

その他のUおよびK測定点では地形的な影響も入り傾向がつかみにくい。

### 2・2 昼夜別、風向別平均濃度の比較

昼夜に分けた資料をさらに工場方向からの風とそうでない場合とに分けてそれぞれの平均濃度を求めたのがTable 1である。

これで見ると、M点およびC点での汚染がきわめて方向性の高いものであることがよくわかる。特に夏期において、工場方向の平均濃度は0.100PPM前後まで上がり、工場方向の風が吹けば必ず何らかの実害を伴うと言っても過言ではないほどである。平均濃度は低くても、U点についても同じ傾向が見られる。

ここで注目すべきはH点のみ異方向の濃度が高いことで、特に夜間において、冬期としては高い平均濃度を示しており、逆転層が冬期の夜間に発生しやすいということと一致している。

なお、異方向時の最大濃度にかかなり高いものが記録されている場合があるが、これらは、風流線図を書いて調べれば工場上空を流れてきているのがほとんどであり、逆転層によるものではない。

以上逆転汚染型の場合には、同時に数ヵ所が高濃度を記録することが考えられるが、A市の場合せいぜい

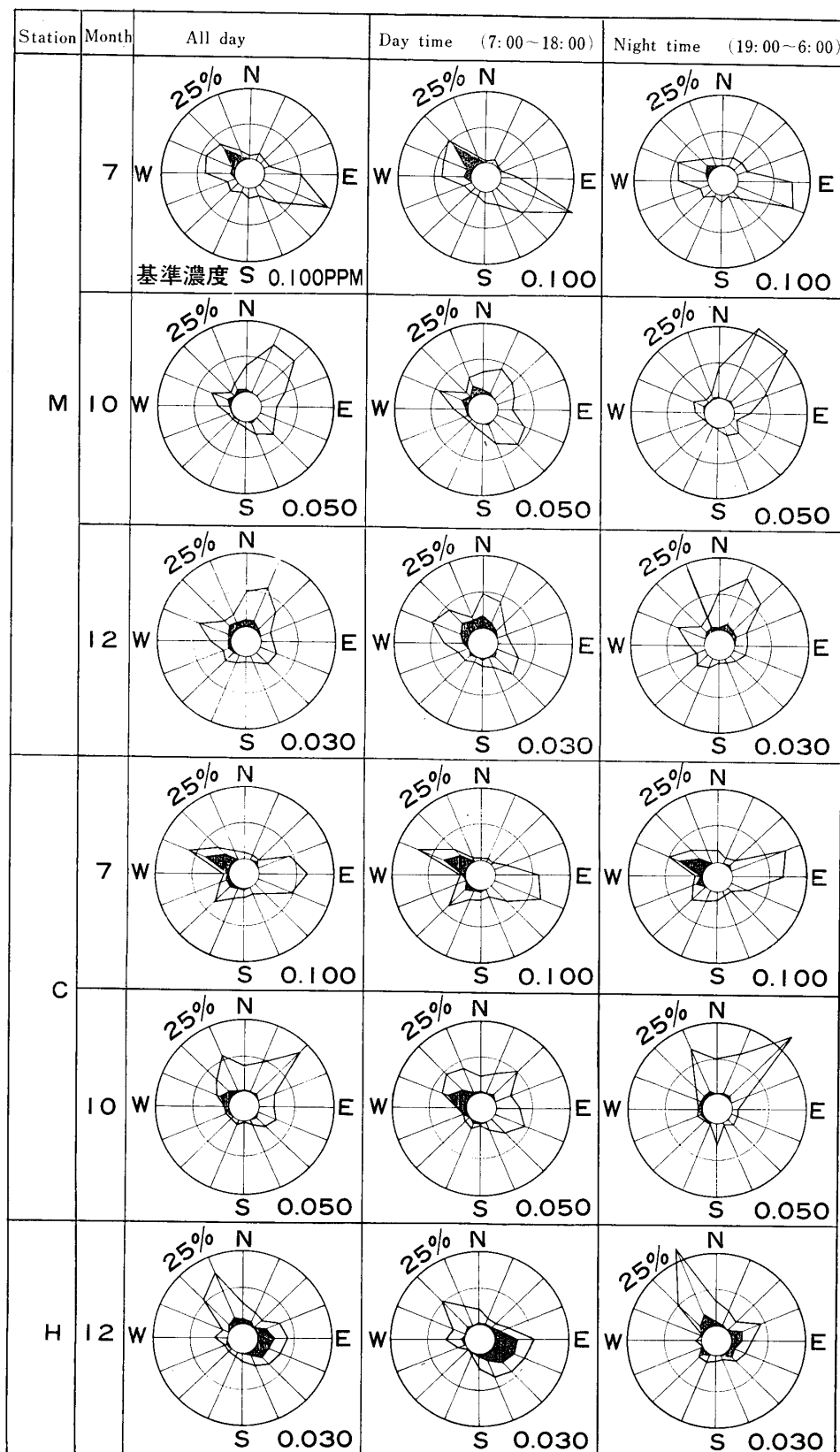


Fig. 2 Wind rose (25% shown at out-circle line means percentage of frequency to whole data and also black part shows the frequency of high concentration over SO<sub>2</sub> basic concentration value noted at lower part to the frequency of each wind direction)

Table 1 SO<sub>2</sub> concentration at measuring station classified by time and wind direction

Measuring station	Month	Time	All direction			From factory				From the others		
			Max.	Min.	Ave.	%**	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.
M	7	a*	324	3	43.0	24.6	324	12	103.2	172	3	24.4
		b	324	3	55.0	27.1	324	12	131.7	172	3	26.5
		c	199	9	30.2	21.0	199	17	61.5	127	9	22.3
	10	a	165	1	23.5	14.1	165	8	45.4	157	1	19.9
		b	165	1	28.4	20.5	165	8	52.6	157	1	22.5
		c	133	8	18.4	8.0	133	11	27.0	65	8	17.6
	12	a	235	1	19.7	21.5	235	2	35.9	195	1	15.4
		b	235	2	22.5	24.6	235	2	41.0	142	3	16.5
		c	215	1	17.1	18.6	215	4	27.8	195	1	14.6
C	7	a	216	0	46.9	30.1	216	0	97.1	178	0	28.5
		b	185	0	49.2	32.8	185	0	87.8	178	0	32.1
		c	216	0	44.4	21.1	216	0	97.2	151	0	24.7
	10	a	381	1	32.5	17.3	381	1	71.7	137	6	24.3
		b	381	1	39.5	24.9	381	1	76.8	82	6	26.9
		c	275	9	25.7	9.7	275	18	56.8	137	9	22.2
U	7	a	66	1	14.2	19.4	44	3	17.7	66	1	13.5
		b	41	1	14.3	21.9	41	3	16.7	34	1	13.8
		c	66	5	14.1	16.3	44	5	18.9	66	6	13.3
	10	a	141	1	13.7	12.0	141	4	22.9	85	1	12.7
		b	141	1	15.6	15.9	141	4	23.7	85	1	14.1
		c	64	5	11.9	8.0	64	5	20.6	41	5	11.4
	12	a	119	2	13.4	16.7	119	3	23.4	71	2	11.5
		b	108	2	14.8	21.7	108	3	24.4	71	2	12.3
		c	119	3	11.9	11.6	119	3	21.4	48	3	10.9
K	7	a	178	0	23.4	12.3	141	0	40.5	178	0	19.5
		b	178	0	27.6	16.5	141	0	49.7	178	0	23.4
		c	62	0	15.9	7.6	47	0	15.9	62	0	15.8
	10	a	194	1	12.5	4.1	133	12	42.7	194	1	11.9
		b	194	2	16.2	8.2	133	14	44.8	194	2	13.8
		c	46	1	8.8	0.6	14	12	13.0	46	1	8.8
	12	a	167	0	11.7	6.6	167	4	35.7	118	0	10.0
		b	167	1	15.4	11.2	167	4	41.6	118	1	12.2
		c	74	0	8.1	2.1	14	6	8.8	74	0	5.1
H	12	a	123	0	19.7	17.8	123	0	18.5	120	0	19.9
		b	123	0	22.2	27.6	123	0	20.4	120	0	22.8
		c	104	0	17.2	8.8	46	0	12.3	104	0	17.6

\* a : All day , b : Day time, c : Night time

\*\* Ratio of wind frequency from factory side to all wind direction

2カ所までで、それも、0.100PPMを基準にしてみれば、それを越えた例は7月に42、10月に3例あるが、U点-K点の組合せが10月に1例ある以外すべてM点-C点の組合せで、いずれにしても汚染時の方向性は高い。

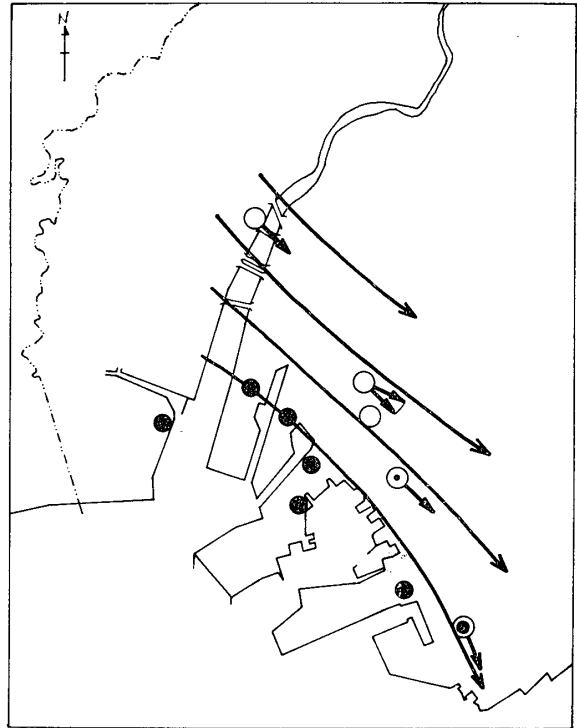
以上の結果をまとめると、いずれの月においても0.100PPMを越えるような高濃度汚染はすべて疾風汚染型に属するものといえることになる。したがって現時点では、SO<sub>2</sub>排出時に風向に対して十分な配慮がなされない限り、A市の大気汚染はいつまでもくり返されることになる。

3. A市の高濃度汚染発生時の気象上の特徴

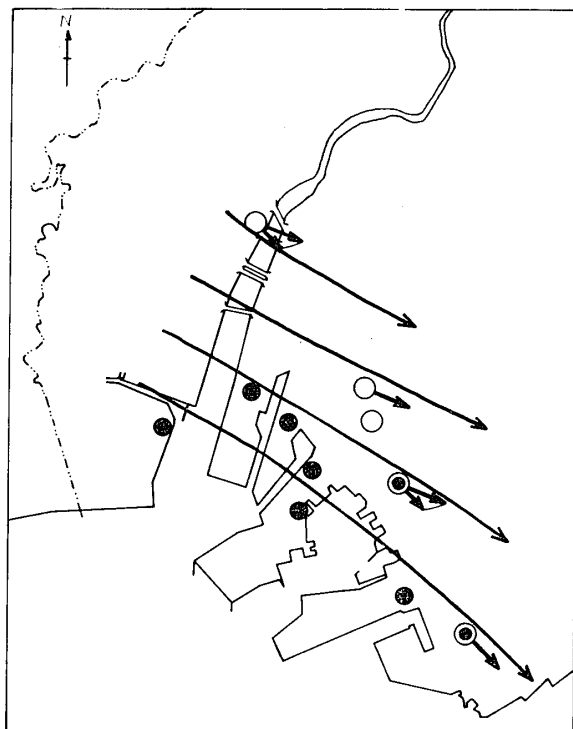
—どのような気象状態がA市に大気汚染をもたらすか—

A市の高濃度汚染は疾風汚染型に属すると判断され、したがって、汚染に最も関係の深いのは風ということになり、風向と風速との組合せによって汚染される地域およびその程度がほぼ決まるのではないかと考えられる。その関係がつかめれば、次にその予報という段階へ進めるわけである。ここでは、高濃度汚染の起こりやすい風流線および風速について調べてみた。

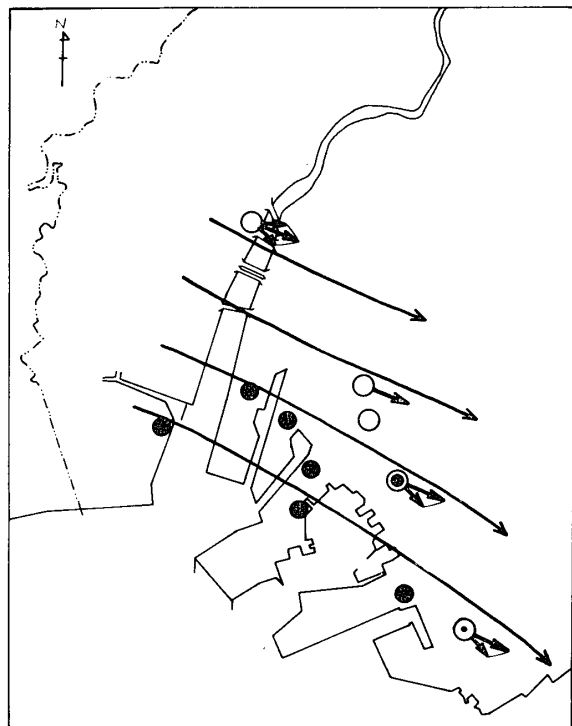
3・1 高濃度汚染と風向との関係



(b) Measuring station M (Oct., '70)

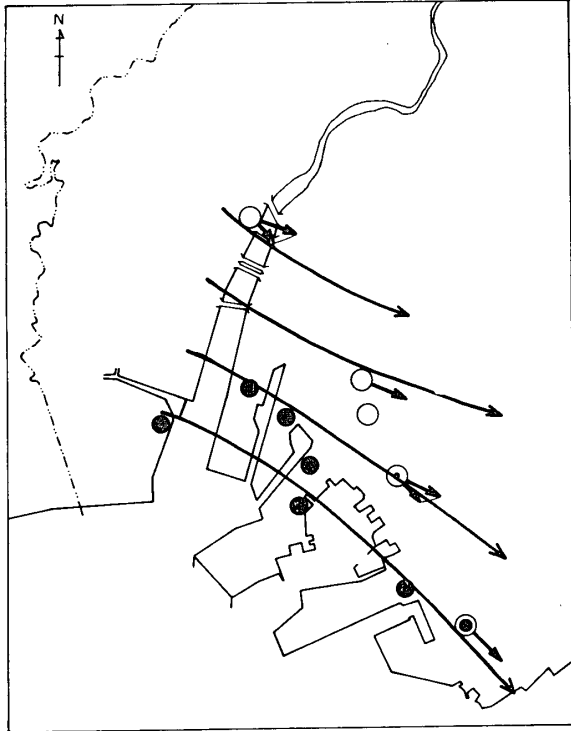


(a) Measuring station M (July, '70)

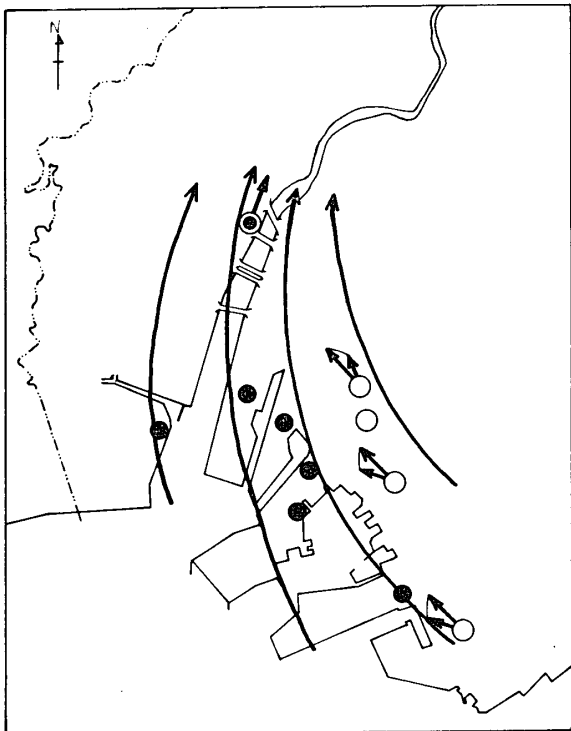


(c) Measuring station C (July and Oct., '70)

Fig. 3 Typical wind stream line when each measuring station was polluted over 0.100ppm (SO<sub>2</sub>) (◎ : Polluted station)



(d) Measuring station M and C (July and Oct., '70)



(e) Measuring station K (July and Oct., '70)

観測点で高濃度を記録した場合の代表的な風流線図を求めたのが Fig. 3 で、これは、まず汚染観測点での汚染多発風向を求め、その風向時の他の観測点での風向の頻度が高いものを記入して求めたものである。どの例を見ても、汚染地区を通る風流線が工場上空を流れてきたものであるということがはっきり出ている。12月においても、0.100PPMを越えることは何度もあったが、この月はC点が欠測であったので十分なものが得られず省略した。しかし、傾向はだいたい7月、10月と同じようである。

### 3・2 高濃度汚染と風速との関係

汚染と風速との関連性を調べるためにここでは、次のような操作を行なった。すなわち、まず、疾風汚染型の傾向の強いM点およびC点の場合には、工場のある方向からの風のみを取り出し、また、逆転汚染型の傾向の強いH点の場合には全風向について、1 m/sec 単位の風速頻度と一定濃度を起える回数とを比較し、その率をグラフに表わした。その代表的な例を Fig. 4 に示すが、高風速時の資料が少ないので断言はできないにしても、疾風汚染型の場合、高風速ほど汚染頻度が高いと言えそうである。逆に、H点での汚染は低風速の方に頻度が高く、このことがまたこの点での汚染が逆転汚染型に属するという事を裏付けている。

以上の結果から、A市の大気汚染は疾風汚染型であり、高風速の風が工場上空を流れる時に、その風下にあたる地域が高濃度に汚染されるということが言える。そして、このような傾向は冬期より夏期に、夜間より昼間において著しい。これらの中には気温と風速に差が見られ、前者が気温が低く風速も小さいのに対し、後者はその逆であるということが後節の分析でわかっている。したがって、冬期あるいは夜間では、温度の高い煙が上空へ逃げやすい状態にあり、大気の安定度も夏期や昼間より良いので拡散も少なく、それらが汚染濃度を低くする原因となっていると考えられる。しかし、安定度が良く拡散しにくいということは、裏を返せば煙道にあたる部分の濃度は安定度が悪い場合よりも、さらに高くなるということで、冬期の強風下のような場合には、風下地域は、むしろ非常に高濃度に汚染される危険性を含んでいると言える。実際、そのような例もいくつか記録されている。

一方、逆転層は冬期の夜間に最も発生しやすいが、今まで調べた中では、そのための汚染はせいぜい工場付近に限られ、濃度も、一般に低く、逆転層内に煙がこもっている例はしばしば観測されるものの、その場合でも地表面付近へは影響が少ないものと考えられ

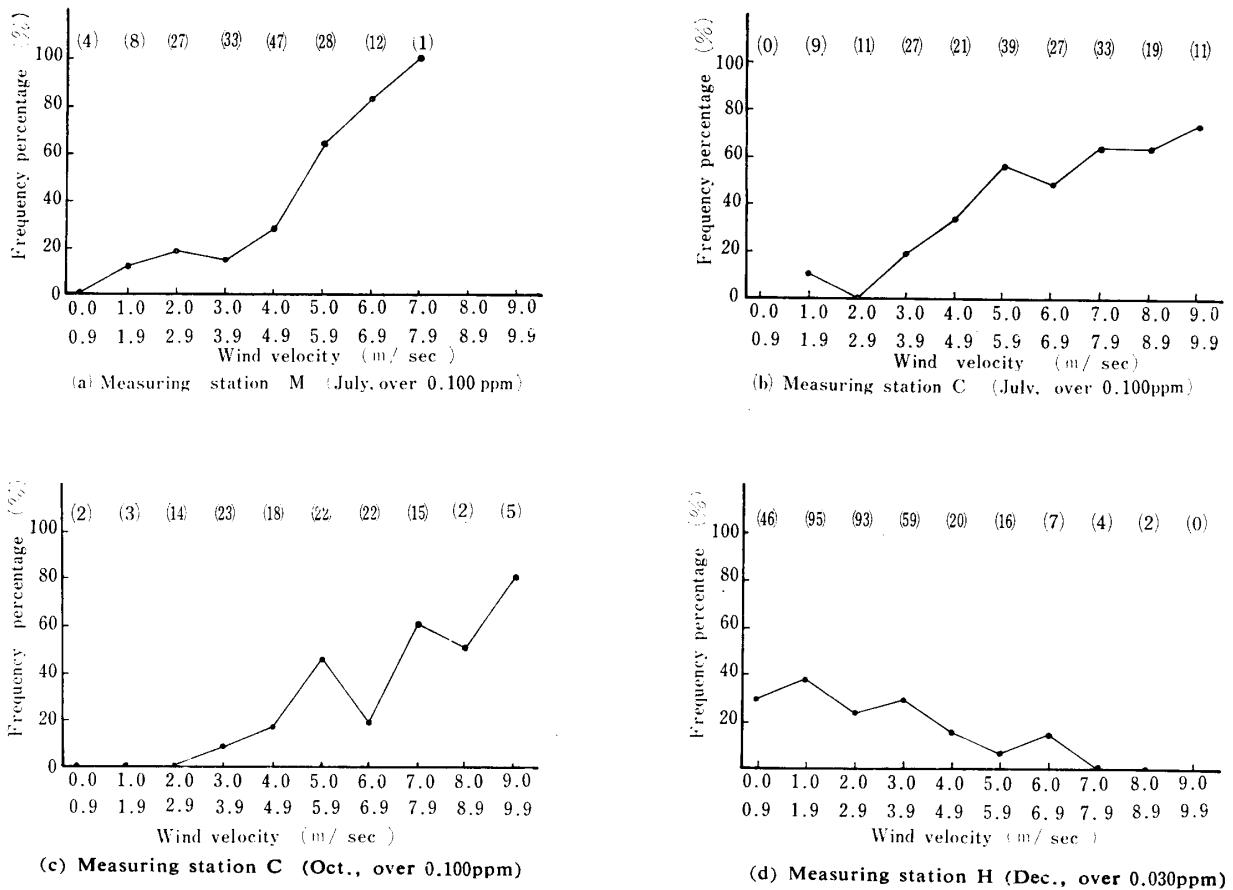


Fig. 4 Frequency percentage of SO<sub>2</sub> concentration over fixed standard to wind velocity. Parenthesized value noted in upper part shows number of data

る。

以上でA市の汚染のだいたいの傾向はつかめたが、汚染が市の南東部に著しく、北西部では頻度がずっと低いということなど、解明すべき問題点もまだいくつか残っている。

#### 4. 拡散式による汚染濃度の推定

最後に、拡散式(英国気象局式)がA市の大気汚染に対して、どの程度の適合性を持つかを調べて見た。適合性が明らかになれば種々の気象条件下における汚染濃度を計算から予測できるわけであり、また逆に、測定濃度から工場の排出量を推定することもできるようになる。

英国気象式<sup>1)</sup>すなわち Pasquill の式は、

$$C_a = Q \times (2.8 \times 10^{-3} / (u \cdot d \cdot \theta \cdot h)) \times F_1(h/H) \times F_2(\theta/\alpha)$$

$C_a$  : 測定濃度 (PPM),  $Q$  : 放出量 (ml/min)

$u$  : 風速 (m/sec),  $d$  : 風下距離 (km)

$\theta$  : 地表濃度が風下軸上濃度の1/10になる2点が放出点をさむ角 (deg)

$h$  : 風下軸上濃度の1/10になる高さ (m)

$H$  : 煙突高度 (m),  $\alpha$  : 測定点の軸からの離れ角 (deg),  $F_1$  : 煙突因子

$F_2$  : 測定点の軸からの離れによる補正係数

で表わされるものである。

今回は0.100PPM以上の濃度を記録した場合を取り上げることにし、7月13日から17日にかけて連続5日間M測定点で高濃度を記録しスモッグ注意報が発令され続けた時の資料を用いて式から得た結果と比較してみた。なお放出濃度は所轄管庁に申告されているものを用いた。

計算上の操作として、まず、各時刻ごとにA市上空の風流線図を描き、 $d$ や $\alpha$ はそれに沿うように測った。そして、 $u$ は、工場上空から測定点まで一定であると仮定し、M点での測定値をそのまま用いた。

計算結果は実測値と比較して Fig. 6 に示した。全般に計算値の方が実測値よりも大きく出ているが、値はごく近いものであり、オーダー的には全く一致している。時間ごとの増減の傾向もほぼ似かよっており、中でも13日における場合など完全に同じである。

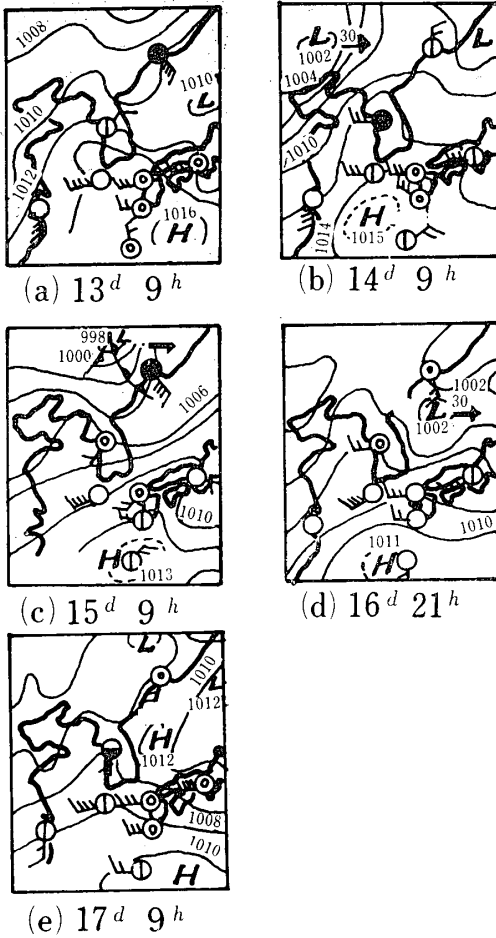


Fig. 5 Weather chart (July 13~July 17, '70)

しかし、工場排出の量を推定するためにはいま一步の確実さが要求されよう。ただ、今回は

- 1) 地形を平坦として取り扱っている。
- 2) 煙の上昇角度を無視している。
- 3) 風速を、工場上空から測定点まで一定と仮定している。しかし、実際には、隣りのC点とでさえ、5 m/sec 近い差がある場合があり、大気安定度の決定などに矛盾を含む。
- 4) 資料の採取時間や採取場所に対する配慮が十分でない。
- 5) 測定時刻以前の気象状態が測定値におよぼす影響をほとんど考慮していない。

などの不備な点を含んでいるから、この程度の誤差はむしろ当然とも言える。いずれにしても、この式の有用性は実に高いと判断される。

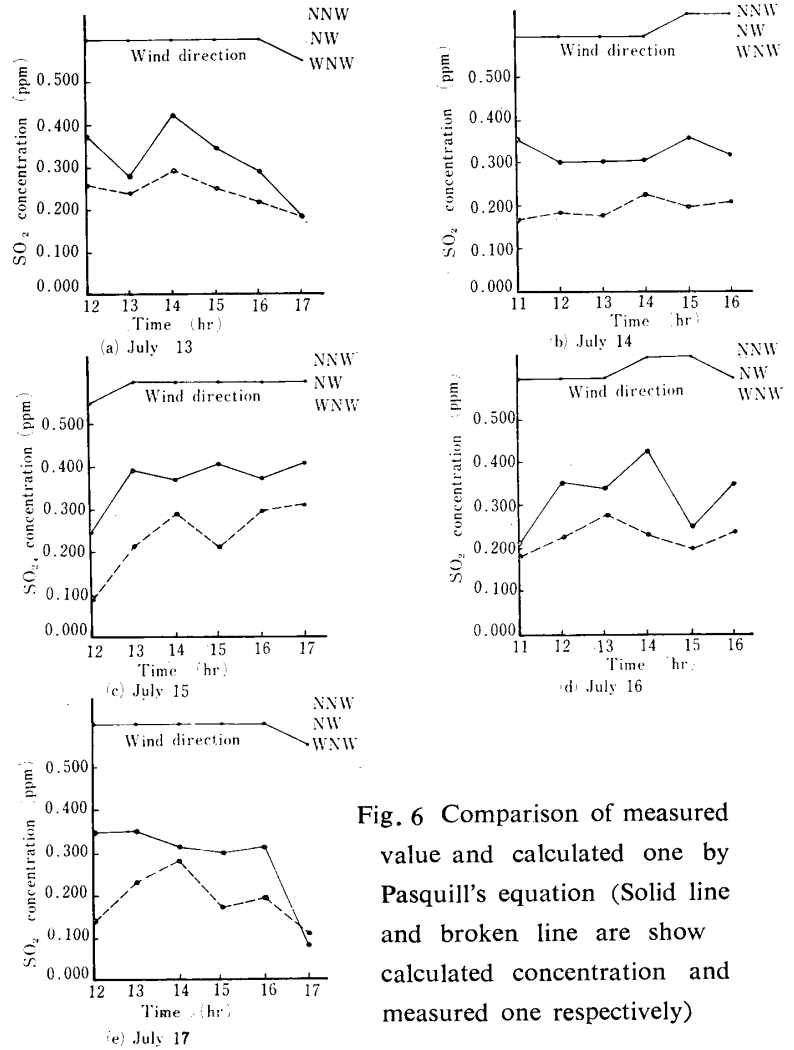


Fig. 6 Comparison of measured value and calculated one by Pasquill's equation (Solid line and broken line are show calculated concentration and measured one respectively)

### 5. 結 語

解析の結果、広い空間の汚染にも規則性があるということがわかった。今回の解析は1年分の資料にとどまったが、さらに、2年3年と進めていき、同じ傾向と判断されるならば、それを予報するという次の段階へ移行することができる。また Pasquill の式が、市街地にも適合するということが示された。しかしいずれにしても、まだ問題点がいくつか残っているので、今後さらに研究を進めてゆく予定である。

### 参 考 文 献

- 1) 大気汚染研究全国協議会第三小委員会：大気汚染気象ハンドブック、コロナ社 (1965)

(昭和47年9月15日受理)