

大気汚染に関する基礎的研究

藤原輝男*・金山和雄*

Basic Study of the Air Pollution

Teruo FUJIWARA and Kazuo KANAYAMA

Abstract

Authors obtained the following results by analysis of the relation between the meteorological elements (wind direction, wind velocity) and the concentration of SO_2 polluted by a group of industrial exhaust smoke.

- (1) The concentration of SO_2 has a tendency to show the high value when the wind comes from WNW direction.
- (2) In most cases, high concentrated pollution occurred from noon to sixteen o'clock during a day.
- (3) In east side areas like a city hall, Misaki elementary school etc., the concentration of SO_2 showed high value when the wind velocity is from 5 to 9 m/sec.

Moreover, as the result of the theoretical analysis, authors suggested the five more measuring stations are needed in Ube city and pointed out their locations on the map. Also investigated the influence on the height of the industrial chimney for the concentration of SO_2 .

1. ま え が き

近年、公害問題は全国各地においてますます深刻化し、特に都市周辺におけるいちじるしい工業活動の発展に伴って、大気汚染対策が重要問題となっている。

宇部市では、戦後産業の復興とともに石炭産業を基盤として栄えたため、「ばいじん」による市民の健康上の問題がとりあげられたが、近年の燃料エネルギー革命により現在では重油による亜硫酸ガス (SO_2) などの有害ガスによる問題が新たに起こっている。これらに対して、宇部市でも「宇部大気汚染対策委員会」などを設置し、大気汚染問題と取り組み、技術的、法的な対策を実施している。

著者らは、宇部市の大気汚染の現況を測定データにより解析し、

- (1) 煙突の高度化による汚染対策の理論的検討。
- (2) 現測定点の位置の適不適の検討。

を行なった。

これらの考察を進めるにあたって、まず宇部市における主工場からの排煙による汚染現況をみるために、Fig. 2 に示す 4 測定点の風向、風速のデータを解析し

て宇部市の大気汚染の特色を把握した。さらに理論的解析には、Bosanquet-Pearson 式を用いることによって、測定点のない地点での汚染濃度を推定すると同時に、測定点のあり方および煙突を高くする事による汚染濃度、汚染面積の変化などについて検討した。

2. 大気汚染に関する既往の研究

大気汚染に関する研究は以前よりかなり種々の方法でなされ、発表されている。

2-1 Pasquill 法による煙の重合

一般流による拡散を計算し、これを実際と比較して局地風の効果を見ることおよび SO_2 濃度分布から煙突の立地条件を見るという手法である。拡散式は、Pasquill 式 (英国気象局法式) を用い有効煙突高度の計算には Holland 式を用いる。Holland 式を用いる理由は Stimmhe が成層が安定、不安定、中立の各状態について Stewart, Bosanquet, Rauch の実測と種々の計算式 (実験式、理論式) との詳しい比較を行なった結果 Holland 式が一番標準偏差が小さいとしている事および 桜庭らの拡散実験から Holland 式がチラバリが小さい事などからである。Pasquill の式によって

* 土木工学科

各安定度ごとに平均風速について標準図を作る。調査しようとする地区の適当な地図に合わせたスケールを作り、白地図にそのスケールに適当な尺度で格子を設ける。各安定度に応じて Fig. 1 のような拡散のものをさしを煙源に合せ、風向に合わせて向け、この格子点上の濃度を読みとる。各煙源の相対位置からの煙が重なり、一つの格子点上に何個かの読み取り値が得られる。これを合計（求めたい時間間隔の間くり返し）して平均を求めらる。

この方法は非常に理解しやすく、また煙の重合の計算には便利であるが、本論文においては縮尺やその他の点を考慮してこの方法を用いず、直接計算することによって重合した地点の濃度を求めた。

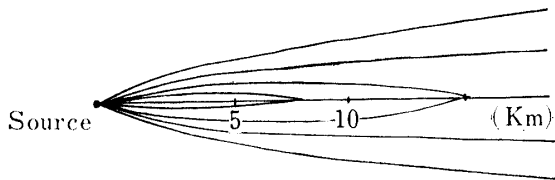


Fig. 1 Scale on the Diffusion of Smoke

2-2 いぶし型の濃度

この研究は既往の研究というより将来さらに行なわれることを必要としているものである。

Hewson によると気温の鉛直分布と煙の形の関係を5種類に分けているが、その一つにいぶし型がある。一般に濃度を計算する過程には安定度などのパラメーターは入るが、いぶし型のような場合の濃度の計算には定まった方法がとられていない。もっとも簡単な取扱いは、逆転層の底の高さで煙の広がり h を風下距離 x に無関係におさえる方法がとられている。アメリカの Oak Ridge における気象調査 (1953) では、普通の Sutton 式を Z 方向に 0 から無限大まで積分して、普通正規分布している煙を地面から逆転層の間で一様分布すると仮定し、その逆転層の底の高さを hi とすると、濃度は放出の高さに無関係に次の様に表わされる。

$$C = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} C_y u h_i x^{2-n/2}}$$

3. 風向及び汚染の特性

大気汚染は風向、風速、大気安定度などの気象条件により大きく影響されると共に煙突高さなどの物理的条件にも左右される。この章ではその内の風向、風速について測定点のデータを用い、それらと汚染の特色

との関係について考察を進めた。

3-1 風向の特性

使用したデータは Fig. 2 の4つの SO₂ 濃度測定点 (市役所、岬小学校、鶴ノ島小学校、市役所厚南支所)

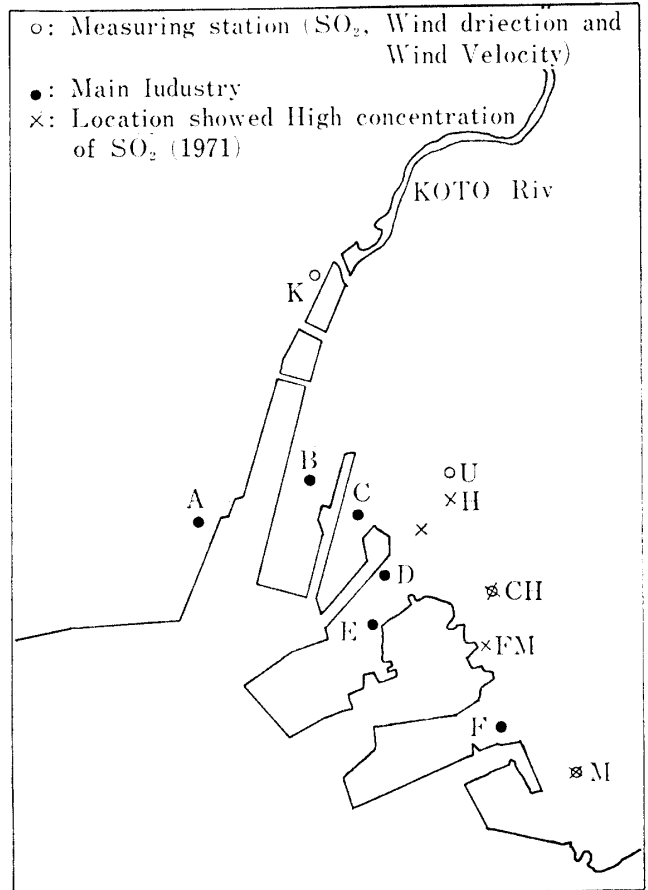


Fig. 2 Map of the Central Part of UBE City

- K : KONAN Branch Office
- H : KINEN Hospital
- CH: City Hall
- M : MISAKI Elementary School
- U : UNOSHIMA Elementary School
- UK: Main Building of UBE KOSAN
- FM: Fish Market

の昭和46年度のものである。4測定点の風向の特色は Fig. 3~Fig. 6.

これらの図から、例えば市役所の場合 Fig. 3, (a) は、春、東風及び西北西にかけての風が全体のほとんどを占める。その内、西北西から北北西にかけての風が東風の倍くらいであることを示す。なお、Fig. 3, (e) の1年間の傾向を見ると卓越風向は、

- ① 北北西 18%

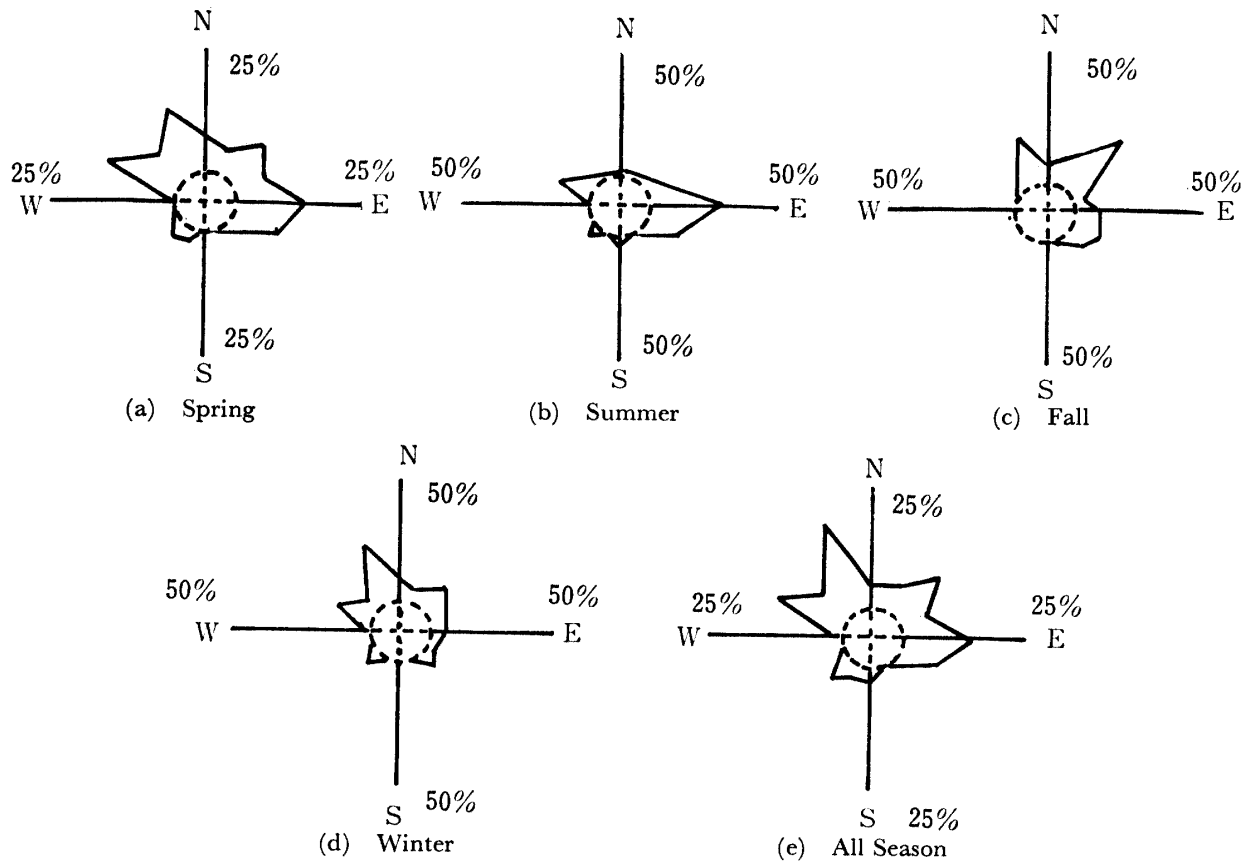


Fig. 3 Wind Rose (At City Hall)

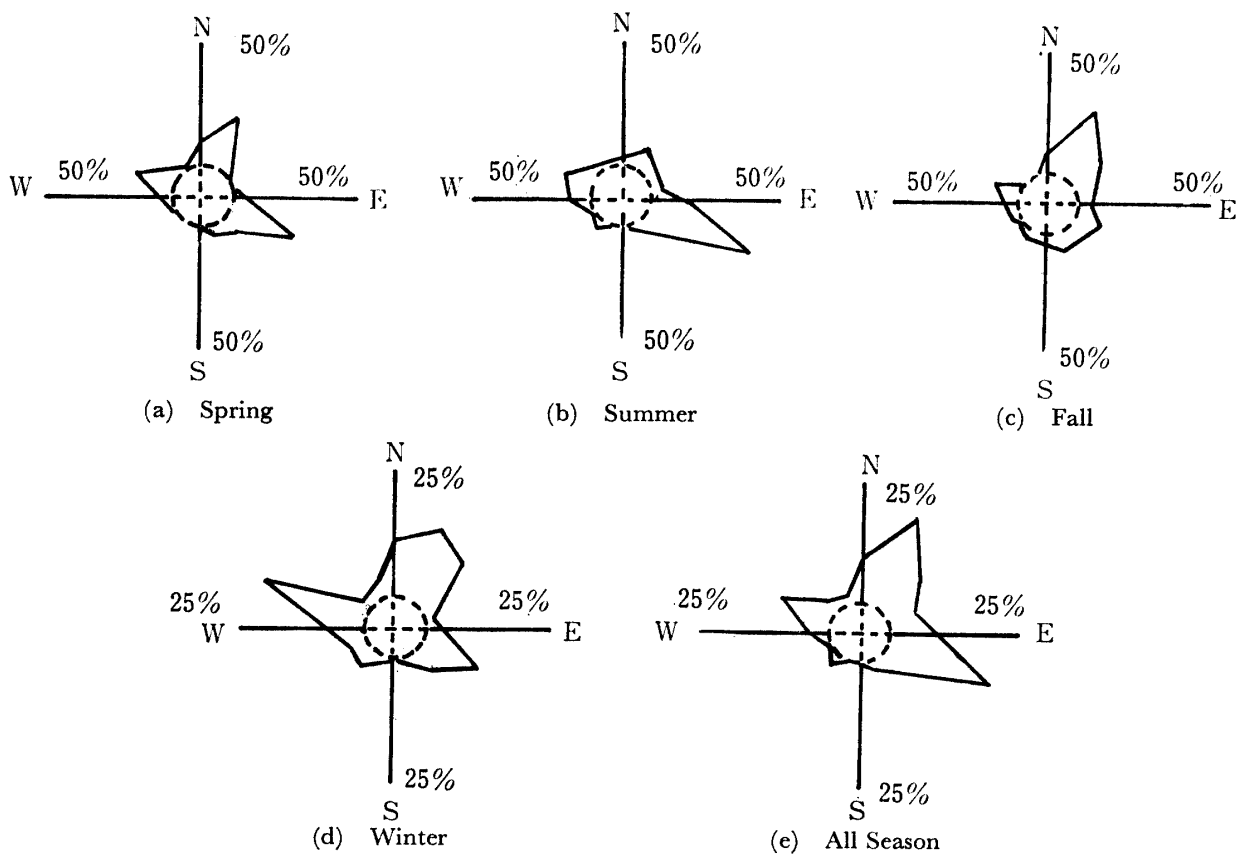


Fig. 4 Wind Rose (At MISAKI Elementary School)

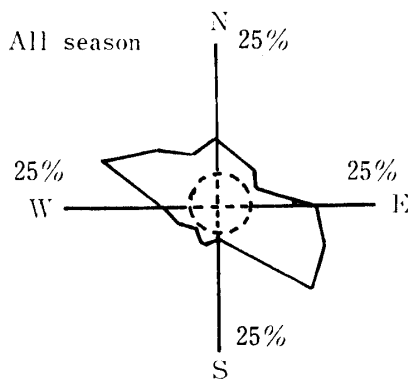


Fig. 5 Wind Rose
(UNOSHIMA Elementary School)

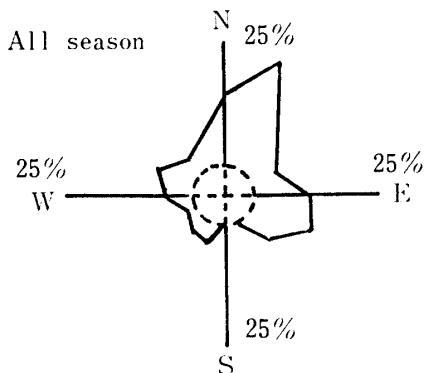
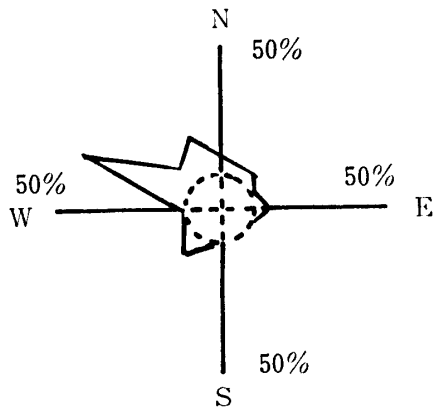
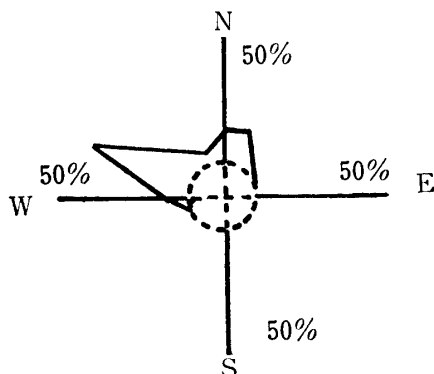


Fig. 6 Wind Rose
(KONAU Branch Office)



(a) City Hall



(b) MISAKI Elementary School

② 西北西 16%

③ 東 14%

と推定できる。以上これらの一年間の傾向を、測定点別に表示すると Table. 1 のようになる。

Table 1 Frequency of Wind Direction at each Measuring Station (%)

	N	NNE	E	ESE	SE	WNW	NNW
CH			14			16	18
M		20		23		14	
U				15	17	18	
K	14	24					

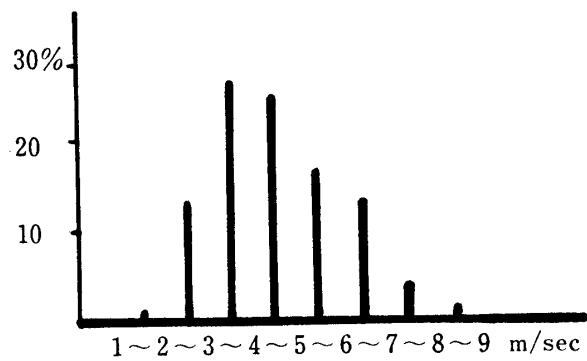
CH K: Measuring station (See Fig. 2)

N NNW: Wind direction

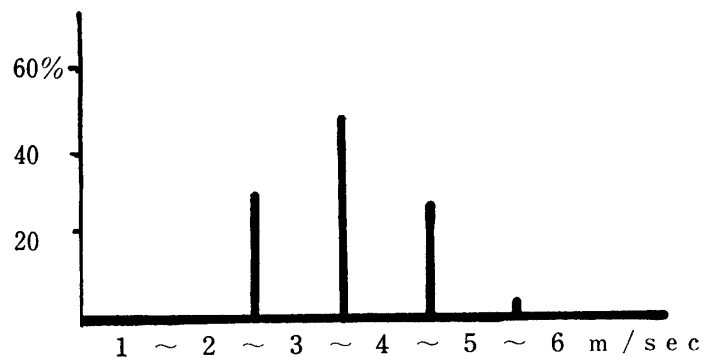
3-2 風の特徴と汚染状況

SO₂ 最高濃度が 0.1ppm 以上を記録した日の卓越風向と卓越風速を図示すると Fig. 7, Fig. 8 のようになり 1 年間の卓越風向別日数は Table. 2 のようである。

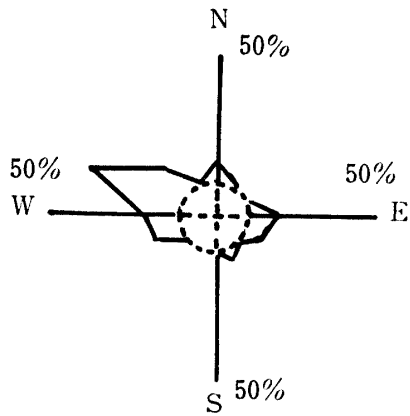
Table から分かるようにたとえば市役所では年間を通じて 0.1ppm 以上の高濃度が記録された日数は 85 日あり、その時の風向を見ると西北西風が 36 日 (42%)、北北西風が 15 日 (18%)、北西風が 11 日 (13%) を占



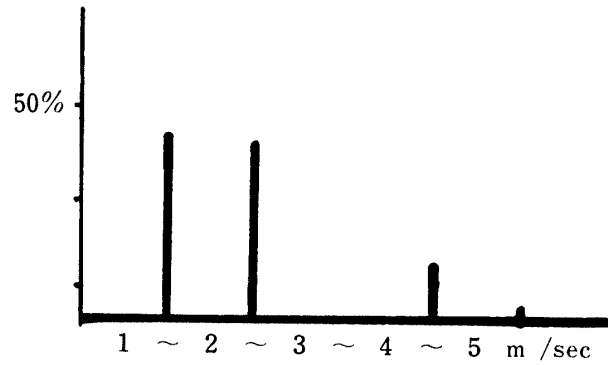
(a) City Hall



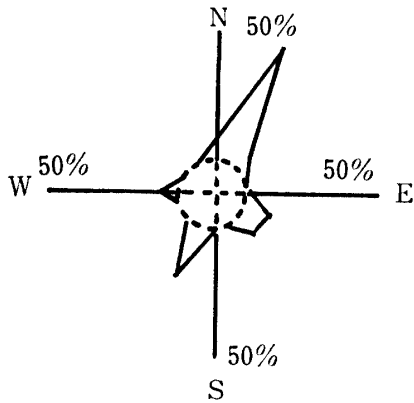
(b) MISAKI Elementary School



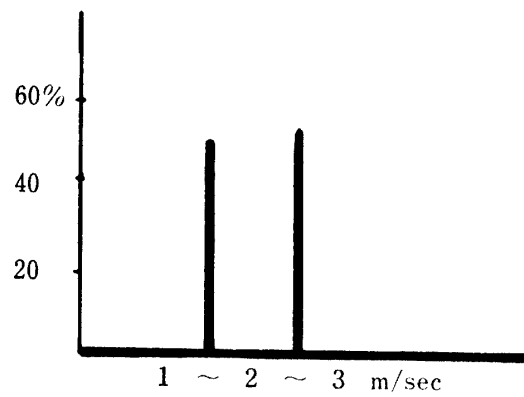
(c) UNOSHIMA Elementary School



(c) UNOSHIMA Elementary School



(d) KONAN Branch Office



(d) KONAN Branch Office

Fig. 7

Fig. 8

The Number of a Distinguished Wind Direction at each Measuring Station in Days when the Concentration of SO₂ became greater than 0.1 ppm

Table 2 The Number of a Distinguished Wind Direction at each Measuring Station in Days when the Concentration of SO₂ became greater than 0.1 ppm during One year (1971)

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	
CH	4	2	3	1	3	1	0	0	
M	9	9	1	0	0	0	0	0	
U	2	1	0	0	2	1	0	1	
K	2	14	1	0	0	2	2	0	
	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Σ
CH	1	1	5	1	1	36	11	15	85
M	0	0	0	0	6	23	6	3	57
U	0	0	0	3	4	10	3	0	28
K	0	5	0	0	2	0	0	0	28

め、西北西風の時に汚染が大きくなる傾向を示した。また3-1節で推定した卓越風向の一つである東風のときは、わずか3日(4%)であったが、これは市役所が工場群の東側中央に位置するためである。またFig. 8よりその時の平均風速を見ると3~6 m/secが半分以上であった。なお、岬小学校、鶴ノ島小学校でもほぼ同様の傾向を示すが、厚南支所のみは工場地域からかなりの距離にあり、また工場地域の北方に位置するにもかかわらず、北北東風の時に汚染濃度0.1 ppmを超える日が14日もあり厚南支所測定点での年間のその50%を示しているが、この点についてはその理由が不明である。

なお、煙突の高さでの上空の風速を考えると風速の垂直分布が対数分布をしていることから地上より大となり汚染時に、ほぼ5~9 m/secの風速と推定される。

3-3 汚染状況の特色

3-3-1 高濃度の場所

昭和46年度の宇部市の公害に関する統計では、高濃度汚染場所は工場地域においては魚市場、興産本社など商業地域においては市役所、岬小学校、記念病院などが挙げられている。しかし、これらの高濃度汚染場所の決定に際しては既述した4測定の測定値によったもので、あくまでも4測定の間の相対的な値にしかすぎないと言う問題点を有する。すなわち、他の地点では測定点よりも大きい高濃度汚染を受けている可能性もある。ここで測定点の位置が問題となってくるがこの事は、5-2において述べる。

3-3-2 濃度の時間帯

1日最高濃度時刻の分類をすると、Table. 3より4濃度測定点のいずれも12~16時が30~50%ともっとも多い。これは12~16時の間は、風向が海風であり、媒煙が商業、住宅地域に拡散される度合いが大となるた

Table 3 Classification of the Time when the Maximum Concentration occurred during a day

MP \ T	T						Σ
	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24	
CH	6	2	12	43	20	11	94
M	4	5	17	33	19	7	85
U	4	2	15	18	8	6	53
K	1	2	27	41	4	3	78

T: Time MP: Measuring Point
CH~K: SEE Fig. 2

めで、日射量が多く大気不安定になることもその一因と考えられる。

3-4 大気汚染の濃度基準および法令²⁾

現在、公害基本法および大気汚染防止法が施行実施されているが、工場立地はこの法規制を満足することを前提に進めることが要求されている。すなわち、

- (1) 昭和44年2月12日閣議決定のいおう酸化物の環境基準値を地域によって定められた達成期間内に実現すること。
- (2) その実施については各県知事によって具体的防止計画を策定し有効実施すること。
- (3) 地域毎に定められた排出基準を各発生源で満足すること。

また、いおう酸化物の環境基準を示すつぎのようである。

- (1) (a) 年間を通じて、1時間値が0.2 ppm以下である時間数が総時間数に対し99%以上維持されること。
(b) 年間を通じて、1時間値が0.05 ppm以下である日数が総日数に対し70%以上維持されること。
(c) 年間を通じて、1時間値が0.1 ppm以下である時間数が総時間数に対し88%以上維持されること。
- (2) 年間を通じて、1時間値の年平均が0.05 ppmをこえないこと。
- (3) いずれの地点においても、年間を通じて大気汚染防止法に定める緊急時間の措置を必要とする程度の汚染の日数が総日数に対し、その3%をこえずかつ3日以上続かないこと。

また、山口県における大気汚染注意報および警報の規定はつぎの通りである。

1カ所以上の測定点で次の要件に至り、気象条件などから判断してなお継続すると認められるとき。

- (1) 注意報(媒煙量減少措置協力要請)
 - (a) 0.2 ppm以上2時間継続したとき。
 - (b) 48時間平均値が0.15 ppm以上になるおそれのあるとき。
- (2) 第1警報(媒煙量20%減少措置勧告、立入検査)
 - (a) 2測定点で0.2 ppm以上3時間継続したとき。
 - (b) 2測定点で0.3 ppm以上2時間継続したとき。
 - (c) 1測定点で0.5 ppm以上。
 - (d) 48時間平均値が0.15 ppm以上。
 - (e) その他必要なとき。
- (3) 第2警報(媒煙量50%減少措置勧告、立入検査)

(a) 1測定点で0.5ppm以上2時間継続したとき、これら上記の環境基準値と宇部の汚染の現況(昭和45年度)を対比してみると、記念病院は平均0.042ppm、市役所は平均0.03ppmで、環境基準では記念病院が一部不適合となっており、また注意報も十数回出されている。

4. 理論解析

3章では宇部市の大気汚染の特色について、主として風向、風速と高濃度汚染地域との関係の面から考察を進めて大雑把ではあるが特性を把握した。

本章ではこれらの事を理論的に検討し、かつ測定データのみでは表現できない汚染濃度分布、高濃度汚染場所の推定、さらには単純化したモデルによる煙突の効果すなわち煙突高の変化による高濃度汚染面積の変化などの考察に必要な大気拡散理論の展開を試みた。本論文では、特に Bosanquet-Pearson 式を用い解析を進めた。

4-1 従来の大気拡散方程式の展開

多くの実用的な拡散式は、ガスの質量保存則により得られた次の拡散微分方程式を解くことによって得られる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (1)$$

煙軸は空間に定常的に固定され、その軸を風下方向に取ることにし、しかも風下方向の拡散は風下方向への煙輸送より充分小さいものとすれば(1)式は次のようになる。

$$u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (2)$$

ここに x, y, z は直角座標でそれぞれ風速 u の方向、水平面内で x 軸に直角および鉛直座標にとる。風向は一定で高さによって変わらないとする。 c は濃度、 K_x, K_y はそれぞれ x および y 方向の拡散係数で気象条件特に大気の成層状態によって大きく変化し、また地面の凹凸や被覆状態によっても影響を受ける。濃度はこれらの拡散係数や煙源からの風下距離によって著しく変化する。種々の拡散式は K_x, K_y の関数形の差異によるものである。

以上に Sutton, 坂上, Bosanquet-Pearson の式について誘導し、簡単に特色を述べる。

4-1-1 Sutton の式の誘導と特色³⁾

(2)式において K_x, K_y を x だけの関数とおくと

$$K_x = K_x(x), \quad K_y = K_y(x)$$

また濃度の標準偏差で表わされる煙の横方向及び縦方向の幅を δ_y, δ_z とすると、

$$\delta_y^2 = \frac{2}{u} \int K_y dx, \quad \delta_z^2 = \frac{2}{u} \int K_z dx$$

で表わされ、煙源は $(0, 0, h)$ にあると地表面での完全反射の条件

$$\left[K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right]_{z=0} = 0$$

および連続の条件

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u C dy dz = Q$$

により(2)式の解を求めると

$$C = \frac{Q}{2\pi u \delta_y \delta_z} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\delta_y^2}\right) \left[\exp\left\{-\frac{(z-h)^2}{2\delta_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+h)^2}{2\delta_z^2}\right\} \right] \quad (3)$$

ここに、 Q は煙源の強さである。

Sutton の拡散式は(3-3)式において

$$\delta_y^2 = \frac{1}{2} C_y^2 x^{2-n}, \quad \delta_z^2 = \frac{1}{2} C_z^2 x^{2-n}$$

とおいたもので次式で表わされる。

$$C_N = \frac{Q}{\pi C_y C_z u x^{2-n}} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{C_y^2 x^{2-n}}\right) \left[\exp\left\{-\frac{(z-h)^2}{C_z^2 x^{2-n}}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+h)^2}{C_z^2 x^{2-n}}\right\} \right] \quad (4)$$

ここに C_y, C_z は y, z 方向の Sutton 拡散係数であり、 n は大気安定度のパラメータである。

地表面濃度 C_{N1} は(4)式に $z=0$ とおいて

$$C_{N1} = \frac{2Q}{\pi C_y C_z u x^{2-n}} \cdot \exp\left[-\left(\frac{y^2}{C_y^2} + \frac{h^2}{C_z^2}\right) \cdot \frac{1}{x^{2-n}}\right] \quad (5)$$

と与えられる。

主軸上の地上濃度 C_{N2} は(5)式に $y=0$ とおくことにより

$$C_{N2} = \frac{2Q}{\pi C_y C_z u x^{2-n}} \cdot \exp\left(-\frac{h^2}{C_z^2 x^{2-n}}\right) \quad (6)$$

となる。

また、地上最大濃度 C_m は

$$C_m = 0.234 \frac{C_z Q}{C_y u h^2} \quad (7)$$

最大濃度の現われる距離 x_m は

$$x_m = \left(\frac{h}{C_z} \right)^{\frac{2}{2-n}} \quad (8)$$

これを用いて、最大濃度と任意地点の軸上濃度は、つぎのように簡単な関係に書ける。

$$\frac{C_{Nz}}{C_m} = \left(\frac{x_m}{x} \right)^{2-n} \cdot \exp \left\{ 1 - \left(\frac{x_m}{x} \right)^{2-n} \right\} \quad (9)$$

以上が Sutton 式の展開であり、これを見ると次の事項が特色として考えられる。

- ① 主軸（風下方向）と直角方向に汚染質の濃度分布が正規分布である。
- ② Sutton 式の適用範囲としては、大気の成層が中立状態で風下距離が小さい間がよい。

4-1-2 坂上の式の誘導と特色³⁾

(2) 式において K_z を高さの直線関数とし K_y を x だけの関数とおくと

$$K_z = puz, \quad K_y = q^2 u x$$

ここに p, q は拡散係数である。

Sutton 式と同様の条件で(2)式を解くと

$$C = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} u p q x^2} \cdot \exp \left(-\frac{y^2}{2q^2 x^2} \right) \cdot \exp \left(-\frac{z+h}{px} \right) \cdot I_0 \left(2 \cdot \frac{\sqrt{zh}}{px} \right) \quad (10)$$

ここに I_0 は虚数引数のベッセル関数である。坂上の式は(10)式に

$$A = 2q^2 x^2 \quad B = px$$

とおいたもので次式で与えられる。

$$C_s = \frac{Q}{u} \cdot \frac{1}{\sqrt{A\pi}} \cdot \frac{1}{B} \cdot \exp \left(-\frac{y^2}{A} \right) \cdot \exp \left(-\frac{z+h}{B} \right) \cdot I_0 \left(2 \frac{zh}{B} \right) \quad (11)$$

地上濃度 C_{s1} は(11)式に $Z=0$ とおいたもので

$$C_{s1} = \frac{Q}{u} \cdot \frac{1}{\sqrt{A\pi}} \cdot \frac{1}{B} \cdot \exp \left(-\frac{y^2}{A} \right) \cdot \exp \left(-\frac{h}{B} \right) \quad (12)$$

で与えられる。

坂上は A, B についてテイラーの統計的方法と結びつけ

$$A = q_A (\varphi_A x + e^{-\varphi_A x} - 1)$$

$$B = q_B (\varphi_B x + e^{-\varphi_B x} - 1)$$

で与えられることを示し、多くの実験より $q_{A,B}$ および $\varphi_{A,B}$ と坂上の安定度 ζ^* との関係を求めている。

坂上の式の特色としては次の事項があげられる。

- (1) 拡散係数が地表面で自動的に零になることを利用した点。
- (2) 汚染質の濃度分布に鉛直方向の分布を含めた点。
- (3) 鉛直方向の拡散係数を高さ z に比例すると考えた点。

4-1-3 Bosanquet-Pearson の式の誘導と特色^{1),3)}

(10) 式において $z=0$ とおくと任意地点の地上濃度 C は次式で与えられる。

$$C = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} \cdot u \cdot pq \cdot x^2} \cdot \exp \left(-\frac{y^2}{2q^2 x^2} \right) \cdot \exp \left(-\frac{h}{px} \right) \quad (13)$$

ここに、 p, q は Bosanquet-Pearson の拡散係数で次項で述べる。

さらに風下軸上の濃度 C_B は(3)式において $y=0$ とおくと次式より求める。

$$C_B = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} \cdot p \cdot q \cdot u \cdot x^2} \cdot \exp \left(-\frac{h}{px} \right) \quad (14)$$

風下軸上の最大濃度の表われる煙源からの距離 x_m は(14)式を x について微分すると求められる。

$$x_m = \frac{h}{2p} \quad (15)$$

風下軸上の最大濃度 C_m は(15)式を(14)式に代入すると次式で表わされる。

$$C_m = 0.215 \left(\frac{p}{q} \right) \cdot \frac{Q}{u h^2} \quad (16)$$

この最大濃度 C_m を用いて任意の風下軸上における濃度 C_B を無次元要素示にすると

$$\frac{C_B}{C_m} = \left(\frac{x_m}{x} \right)^2 \cdot \exp \left\{ 2 \left(1 - \frac{x_m}{x} \right) \right\} \quad (17)$$

となる。

また風下軸上以外の濃度を求めるには、最大濃度点 x_m における主軸上濃度の $1/10$ となる点を y_{0m} と定義すると(13)式より次式を得る。

$$\frac{C_B}{10} = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} p q x_m^2} \cdot \exp \left(-\frac{y_{0m}^2}{2q^2 x_m^2} \right) \cdot \exp \left(-\frac{h}{p x_m} \right) \quad (18)$$

さらに(15)、(16)式を代入し整理すると

$$y_{0m} = 1.073 \cdot \frac{q}{p} \cdot h \quad (19)$$

となる。この y_{0m} を用い、主軸上濃度とそれ以外の方向の濃度比を求めると(13), (14)式より

$$\frac{C}{C_B} = \exp\left(-\frac{y^2}{2q^2x^2}\right) = \exp\left\{-2.303\left(\frac{x_m}{x}\right)^2 \cdot \left(\frac{y}{y_{0m}}\right)^2\right\} \quad (20)$$

となる。これが風下軸上以外の地上濃度を表わす式である。

以上が Bosanquet-Pearson 式の展開であるがこの式の特徴として

- (1) 他の多くの拡散式のように濃度分布は正規分布をしていないで指数分布で表わした点。
- (2) 鏡像の原理を用いて地表面で物質が流れなくなるように考えた点。
- (3) 鉛直方向の拡散係数を高さ z に比例するとした点などがある。

4-1-4 Bosanquet-Pearson 式の p, q 値について¹⁾

p と q は、Non-dimensional な、主軸 (x 軸) に直交する y, z 方向の拡散係数である。Bosanquet-Pearson は p, q の値として、 $p=0.05, q=0.08$ を実験から与えたが、その後の研究により p, q は大気安定度に伴って変わるものと考えられ、また実際には現地の地形、地物の影響にもよるとされている。一般に不安定な成層では p, q は大きくなり、安定な成層では小さくなる。そこで本論文では現在比較的まとまった結果としてある Falk らの実験式を用いて宇部の p, q を決定した。Falk らの実験式の概略は次に述べる通りである。

風向変動などは間接的に安定度を示す量となる事から、風速の標準偏差/平均風速 (σ_u/U) および風向の

標準偏差 (σ_e) を用いて実験結果を整理し、Fig. 9 のような結果を得た。Fig. 9 の結果から Falk らはつぎの実験式を与えた。

$$\left. \begin{aligned} p &= 0.57\sigma_u/U \\ q &= 0.048 + 0.015\sigma_e \end{aligned} \right\}$$

4-2 理論解析

理論解析においては前述の3式の内 Bosanquet-Pearson 式を用いて、3章で述べた宇部の大気汚染の特徴をもとにして宇部の汚染状況を理論的に表現し大雑把な宇部全体の汚染濃度分布を把握し、測定点などに検討を加えた。また、汚染濃度軽減の一手法として考えられる煙突の高度化による効果が宇部においてはどの程度まで期待できるかなどについて考察を進めた。

4-2-1 宇部の p, q の決定¹⁾

宇部の p, q を決定するため(21)の Falk らの実験式を用いることにしたが、普通の気象観測用の風向、風速計では、風向や風速の変動の標準偏差を求める事は困難(特に著者らは、下関気象台宇部空港出張所のエーロベンによる風向、風速観測データを借用した。)なので、次の方法を用いた。

10分間内の風向、風速の記録へ平均変動幅(平均風向、風速からの偏差の平均)を用いそれを γ_e, γ_u とすると $\gamma_e/4 = \sigma_e, \gamma_u/4 = \sigma_u$ と表わせる。

上記より Falk らの実験式(21)を用い、宇部の四季における平均風速 5~9m/sec に対する代表的な p, q 値を求めたその結果を Fig. 10 に示す。

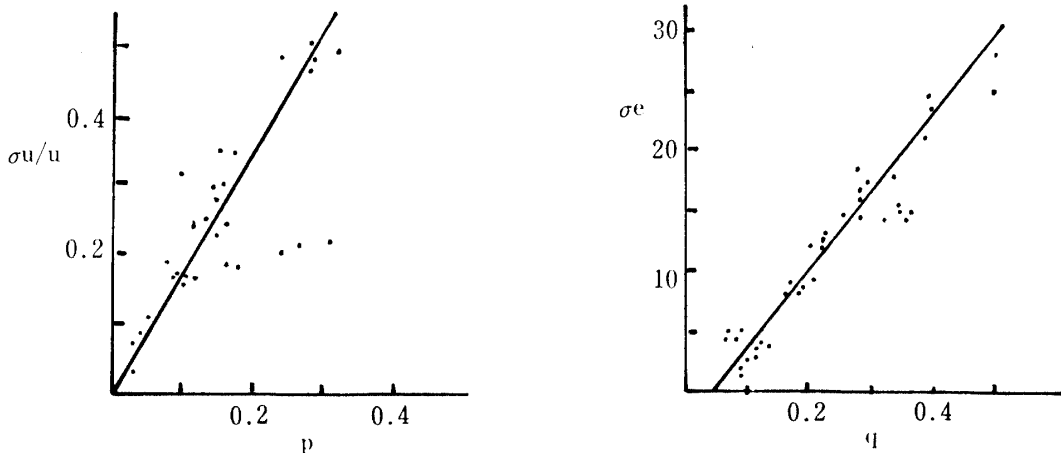


Fig. 9 Relation between the Values of p and q and the Variance of Wind Direction (After Falk)

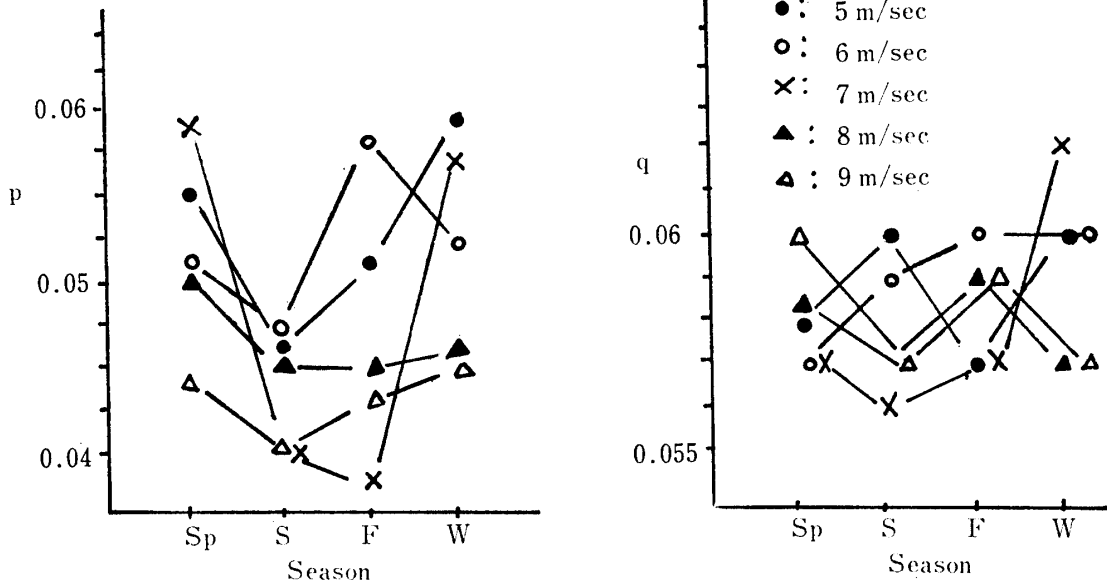


Fig. 10 Change of the Values of p and q with Seasons (in Ube City)

4-2-2 濃度分布の理論計算及びその考察

(1) 等濃度分布曲線

4-1 で展開した理論を用いて等濃度分布曲線を作成する。まず Table 4 に宇部の主工場の諸量を示す。

Table 4 Exhausted SO₂ and chimney height of Main factory (in UBE city)

	A	B	C	D	E	F		
H (m)	75	60	75	60	92	54	75	60
Q (cm ³ /sec) $\times 10^5$	2.59	0.36	0.74	1.8	0.78	0.2	0.4	0.93

A F: Main Factory H : Height of chimney
 Q : Exhausted SO₂

また前述した p, q については計算シーズンを夏とした事から各風速について p, q は Table. 5 とした。

Table 5 The Values of p and q , (in Summer)

Wind Velocity	5 m/sec	6	7	8	9
p	0.046	0.047	0.04	0.045	0.04
q	0.06	0.059	0.056	0.057	0.057

計算の手順としては、

(a) $x_m = \frac{H}{2p}$ (15) 式により

最大濃度点を求める。

(b) $C_m = 0.215 \left(\frac{p}{q} \right) \cdot \frac{Q}{uH^2}$ (16) 式により

主軸最大濃度を求める。

(c) $\frac{C_B}{C_m} = \left(\frac{x_m}{x} \right)^2 \cdot \exp \left\{ 2 \left(1 - \frac{x_m}{x} \right) \right\}$ (17) 式

$$\frac{C}{C_B} = \exp \left\{ -2.303 \cdot \left(\frac{x_m}{x} \right)^2 \cdot \left(\frac{y}{y_{0m}} \right)^2 \right\}$$

(20) 式により

任意点の濃度を求める。

(a), (b), (c) の手順により求めた等濃度曲線の代表例を示したものが Fig. 11~Fig. 14 である。これらの分布曲線を考察することにより煙突高の変化および風速の変化および風速の変化による汚染状況の変化が推察できる。

(2) 考察

(a) 煙突高の変化による分布曲線の変化

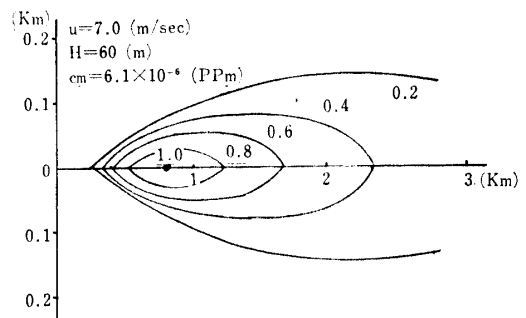


Fig. 11

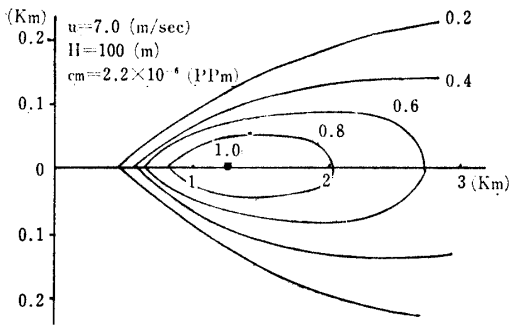


Fig. 12

Distribution Curves of Equi-Concentration (Fig. 11, 12)

Fig. 11, 12 により風速 $u=7\text{m/sec}$, 排出量 $1\text{cm}^3/\text{sec}$ としたときの煙突高の変化による分布曲線の変化が著しく表われている事が判明する. すなわち最大濃度点, 最大濃度, 汚染面積に大きな変化が現われている. これらを詳細に検討する事により大気汚染の抑制策への示唆が得られるであろう.

(b) 風速の変化による濃度分布の変化

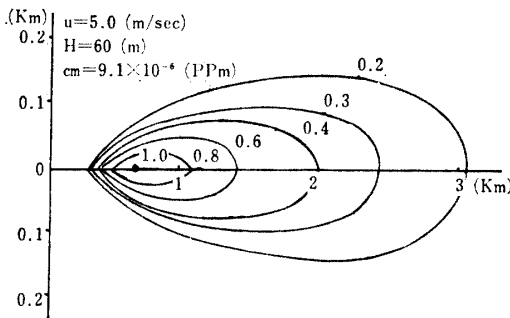


Fig. 13

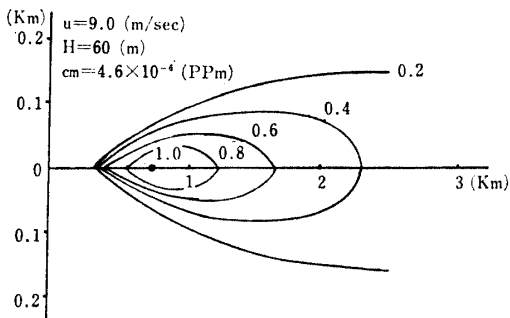


Fig. 14

Distribution Curves of Equi-Concentration (Fig. 13, 14)

Fig. 13, 14 を見ると煙突高 $H=60\text{m}$, 排出量 $1\text{cm}^3/\text{sec}$ としたときの風速の変化による分布曲線の変化も, 煙突高の変化によるそれと同様な事が分かる. すなわ

ち, 最大濃度点および最大濃度は勿論変化しているが, 加えて汚染面積も変化する. 図から $u=5\text{m/sec}$ の分布図における最大濃度比 0.3 の線上と同一濃度を示すのは, $u=5\text{m/sec}$ の場合 $C_m=9.1 \times 10^{-6}\text{ppm}$ に対し $u=9\text{m/sec}$ の場合は $C_m=4.6 \times 10^{-6}\text{ppm}$ で約半分の濃度のため $u=9\text{m/sec}$ ではほぼ 0.6 の線上であり, 煙突からの最遠距離では 1km 近くも違っている. このように風速が大きくなれば同一濃度での汚染面積は小さくなる.

なお, 風速の変化による最大濃度の変化を示したのが Fig. 15 である.

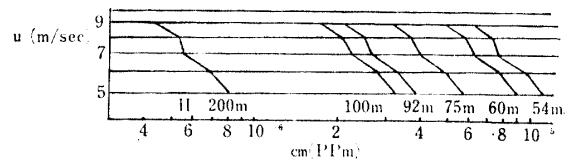


Fig. 15 Relation between Wind Velocity and Maximum Concentration

(c) 最大濃度点の変化

Fig. 16 は煙突高の変化によって最大濃度点がどのように変化するかを煙突高 H_{mi} , 最大濃度点の風下距離 x_{mi} を無次元化することによって示している. これを見ると煙突高の変化と最大濃度地点の変化とは線形関係があり, 煙突高を 2 倍にすれば最大濃度地点の風下距離も 2 倍になる事が判明する.

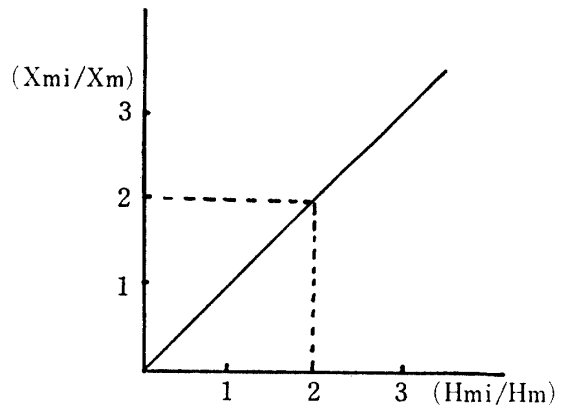


Fig. 16 Relation between Height of Chimney and Maximum Concentration Point

(d) 最大濃度の変化

Fig. 17 は $u=7\text{m/sec}$ の場合の, 煙突高の変化による最大濃度の変化を示しているが, これを見ると勾配の大きい間は煙突の高度化による最大濃度の減少効果が大きく, 煙突高が 200m を越えるとほとんど最大濃

度は減少しない事を示している。さらに Fig. 18 の無次元化した図によって、現在の煙突高を 50m とし、それを 200m にした場合現在の最大濃度は $\frac{C_{mi}}{C_m} = \frac{1}{\left(\frac{H_{mi}}{H_m}\right)^2}$ の関係により 1/16 となる事がわかる。

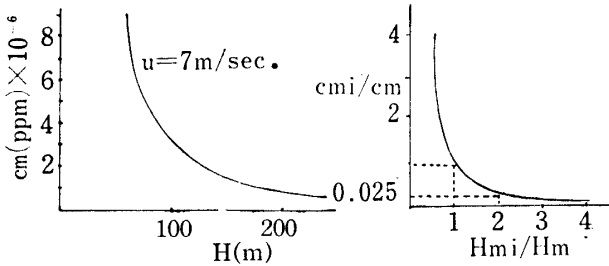


Fig. 17 Relation between Height of Chimney and Maximum Concentration
 Fig. 18 Non Dimensional Curve of Fig. 17

(e) 汚染面積の変化

Fig. 19 は風速をパラメータとして、宇部市で最大の排煙量を排出する煙突に対し、煙突高の変化により 30.2 ppm 以上の汚染面積の変化を見たものであり、煙突高を増し拡散領域を拡大する事によりどの程度汚染を希釈できるかがえる。図より、例えば $u=5$ m/sec の場合煙突高 $H=160$ m ぐらいまでは煙突高が 20m 程度高くなっても汚染面積はあまり変化しないが $H=180\sim 200$ m ぐらいで急激に減少している。計算では $H=220$ m で完全に 0.2 ppm 以上の汚染面積はなくなる。同様に $u=7$ m/sec, $u=9$ m/sec ではそれぞれ $H=170$ m, $H=150$ m で 0.2 ppm 以上の汚染面積はなくなる。

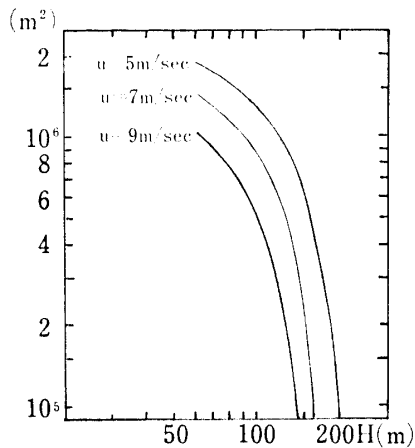


Fig. 19 Relation between Height of Chimney and Polluted Area

5. Bosanquet-Person 式の宇部市大気汚染への適用

5-1 等濃度分布曲線の重合による濃度分布

分布曲線の重合を試みるにあたっては、風向は高濃度汚染を誘発する風向の中で最多頻度を示した西北西の風を用い、風速は 5m/sec の場合とした。考慮に入れた煙突の諸量は Table-4 を用いた。これにより宇部市の汚染状況を再現することができ、これを考察する事により測定点データでは把握できない諸点が明らかになる。それを示したのが Fig. 20 である。

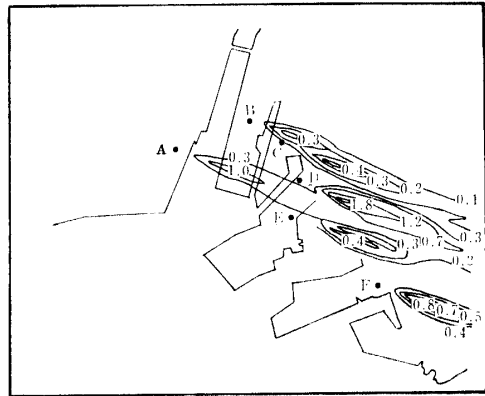


Fig. 20 Over-lapping of Distribution Curve in Case of WNW Wind

Fig. 20 より高濃度地点を順番に列挙すると

1. 真締川河口付近
2. 厚東川河口付近
3. 常盤町, 新天町付近
4. 松山町四丁目付近
5. 港町付近
6. 西本町付近

が挙げられる。

いま 3-3 で挙げた宇部市の 46 年度の公害に対する統計による高濃度の場所と対比してみよう。魚市場(港町付近), 興産本社(西本町付近), 岬小学校(松山町四丁目付近)はほぼ結果と一致し市役所, 記念病院も汚染地域に近い。

5-2 測定点のあり方

本論文において問題としてきた測定点のあり方として著者らは以上の解析において興味ある結果を得た。すなわち、前述したとおり警報と測定値の間に信頼できる関係がある事が必要である。その意味において宇部市における測定点は岬小学校, 市役所はその役割を

はたしているものと思われる。また鶴ノ島小学校も風向次第で影響が出るものと思われるし、鶴ノ島周辺には学校や住宅地域などがあるので必要であろう。

これらによると既存の測定点（市役所、岬小学校、鶴ノ島小学校、厚南支所）の他に測定点を（真締川河口付近、常盤町、新天町付近、魚市場付近、西本町付近）に新設する事が必要と言える。また将来のためにも密な測定網を組み、科学的にも研究の場所としての条件を備えて大気汚染防止の策を得る事が必要であろう。

結 論

データ解析より求められた宇部市の汚染の特色は、次の様にまとめられる。

- (1) 西北西風によって高濃度が出現する傾向がある。
- (2) 高濃度汚染が出現する時間帯は12～16時が圧倒的に多い。
- (3) 工場群の東側、いわゆる市役所、岬小学校方面において風速 5～9m/sec で高濃度汚染を示す。

理論解析により得られたものとしてつぎのものが挙

げられる。

(1) 現測定点の内、市役所、岬小学校、鶴ノ島小学校は目的を達しているものと思われるし、備えのためには厚南支所も必要であろう。さらに、現在必要と思われる地点は真締川河口付近、常盤町、新天町付近、魚市場付近、西本町付近である。

(2) 煙突の高度化による汚染対策として、現在の宇部の状態であれば、最大濃度の変化、汚染面積の変化から推定して煙突高 200m 以上で高濃度汚染は解消すると思われる。

なお理論式の計算には、FACOM 231 (ALGOL) 電子計算機を用いた。

参 考 文 献

- 1) 大気汚染気象ハンドブック 大気汚染全国協議会コロナ社 (1965) pp. 180～239.
- 2) 宇部市の公害 宇部市市民部公害課 1972
- 3) 桜庭、森口他 日本気象協会研究時報 19. 9. pp. 469.

(昭和 51 年 3 月 26 日 受理)