

大都市の平均大気汚染濃度予測に関する研究

PREDICTION OF URBAN SCALE AIR POLLUTION

池田有光*・平岡正勝**・戸高広明***

By Yuko Ikeda, Masakatsu Hiraoka and Hiroaki Todaka

1. 結 論

汚染物質が拡散伝播する領域における大気混合拡散係数、風向、風速、気温などの立体的分布を実測することは、大気汚染物質の拡散伝播過程を分析解明する場合に理想とするところである。しかしながら、そのような規模の実測は経済的、技術的に困難であるため、地上ないしは上層の天気図、局所的な地上の気象観測データと限られたテレビタワーなどで測定されるデータに依存せざるを得ない。したがって汚染物質の拡散伝播過程は、汚染濃度の実測結果と、数少ない気象データから推定解析せねばならない。データの不足は定量的に現象を表わす式とその式に含まれるパラメータの精度に場所的にも時間的にも制限を与える。このような条件の下で、次のような事柄が重要な研究の課題となっている。

① 汚染物質の伝播に関する諸現象を明らかにし、さらに現象を忠実に表わす汚染濃度をより正確に推定できる数学モデルを作成すること。

② 大気汚染濃度予想の目標（たとえば、場所的には都市域全体、あるいは数 m から数 100 m の局地域、時間的には 1 週間、日平均、日変化の予想）を満足させるために必要な気象因子の種類、量、および精度を明らかにすること。

いずれにしても、大気汚染濃度の正確な予想は大気条件の正確な予想を行わずして不可能である。

広域の大気汚染の高濃度発生の可能性を定量的にかつ簡潔に評価する方法の例として Miller, M.E.^{(1),(2)} らが提案した大気の混合層高さとその層内の平均移送風速を使用する方法があげられる。すでにアメリカでは実際に全土にわたる大気汚染のための巨視的な気象情報として

この方法を使っている。しかしわが国ではその方法をそのままの形で用いることには問題点が多い。それは次のような理由による。

- (i) 地形に起伏が多く、気象の局地性が強い。
- (ii) 小さな列島であり、海岸では海陸風が発生し、その影響を無視できない。
- (iii) 気象の変動の周期が短い。

このような特徴を考慮して、本論は汚染濃度データと気象条件とから広域の都市スケールの大気の拡散浄化能力を評価する方法を明らかにする研究を行なった。2. では広域拡散数学モデルを示し、3. では気象条件と数学モデルパラメータの関係を、4. では数学モデルを使って広域の汚染濃度の計算による推定を行ない、それを実測値と比較検討した。

2. 都市スケールの大気拡散モデル

(1) 定 式 化

汚染された大気のある塊に着目するとき、排出した大気汚染物質が広がりうる大気の容積と汚染大気の移動速度が、固定した地点の大気汚染濃度を定める重要な因子となる。したがって大気の汚染濃度は、対象地域を覆う大気の容積とその槽に流入する空気の単位時間単位容積当りの流量を示標に選ぶことによって表わすことができる。巨視的に広域汚染濃度と汚染物質の生成消滅に関して物質収支をとると、式(1)のような集中定数系表示を得る。

$$\frac{d\bar{C}}{dt} = -\Gamma(\bar{C} - C_{out}) + \frac{Q_{tot}}{V} - \phi \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 \bar{C} は対象とする都市域を覆う大気の計算による汚染濃度、 t は時間、 V は平均濃度 \bar{C} の大気の容積、 Γ は空気の換気回数、 C_{out} は V なる槽の外部の大気の汚染濃度で Γ なる値で槽内へ流入する。 Q_{tot} は V

* 正会員 工修 京都大学助手 工学部衛生工学科

** 正会員 工博 京都大学教授 工学部衛生工学科

*** 京都大学工学部学生

なる槽内に排出される汚染物質排出強度である。 ϕ は対象汚染物質がいわゆる酸化物の場合、筆者ら³⁾ の推定によると $\phi = k \cdot C$ となり、 k は降雨強度が $W(\text{mm/hr})$ のとき $0.47W$ で与えられる。 C はいわゆる酸化物の ppm 濃度である。

対象都市域の面積を S とする。 S を底とする気柱の高さを Z とすると、 $V = S \cdot Z$ とおくことができる。汚染物質の浄化能力は式 (1) の中に含まれるパラメータ Γ, Z および k で評価される。 Z が大きな値をとっても $(\Gamma + k)$ の値が小さいならば、濃度は高くなるがその逆も成り立つ。したがって $(\Gamma + k)$ と Z の積の値を大気汚染物質の浄化能力を定量的に表示する合成パラメータとみなすことができ $(\Gamma + k) \cdot Z$ ないしは $\Gamma \cdot Z$ を大気汚染浄化指数と名づけた。その指数が大きいことは大気汚染浄化能力が大きく、高濃度汚染が発生しにくいことを表わす。式 (1) のパラメータ Γ はそれがもつ物理的な意味によって風速、都市径、大気の混合拡散量と次のような関係をもつものと推定できる。

$$\Gamma \sim \frac{a}{L} + \left(\begin{array}{l} \text{鉛直方向の拡散による} \\ \text{見かけの換気回数} \end{array} \right)$$

ここで a は高さ Z と地上間の主風向平均風速で、 L は対象都市域の主風向に沿った都市径を表わす。

(2) 数値実験の計算条件

パラメータ Γ と Z は、汚染物質排出強度 Q_{tot} と汚染濃度実測データから推定される。計算の対象とした地域は大阪市を中心とする表-1 に示された総面積 438.5 km² の区域である。

i) 排出強度データ：昭和 43 年 12 月平日に関して重油、石炭の燃料使用量の日変化データが大阪府によって得られている。

ii) 汚染濃度データ：計算に使用した汚染濃度データは昭和 43 年 12 月、同 44 年 1 月のもので、休日とその翌日および年末 27 日から年始 7 日のものを除く。汚染濃度は 14 カ所の固定の大気汚染観測所で 1 時間平均値の日変化が得られている。欠測の日時は各局で存在す

るが、14 地点で同時に起きることはない。平均濃度は 14 地点の代表面積を重み係数とした相加平均で与えられる。 i 地点の面積を S_i 、観測濃度を C_i とすると次式で表わされる。

$$C_{obs} = \frac{\sum_{i=1}^{14} S_i \cdot C_i}{\sum_{i=1}^{14} S_i} \dots \dots \dots (2)$$

3. 気象要素と浄化能力

高濃度の大気汚染を発生させる気象条件に関する研究は多くの研究者によって行なわれており^{4),5),6),7)}、汚染濃度と、気圧パターンの関係は定性的に明らかにされている。冬期に高濃度汚染の発生する気象条件は、その地域が帯状高気圧ないしは局地高気圧におおわれた時、あるいは、気圧の鞍部にある時などがその例にあげられる。また、個々の気象要素から見たとき、高濃度汚染は風速が弱く、日射量が少ないとき、あるいは、数 100 m 上空に逆転層の底があるときに発生しやすい。気象要素と汚染濃度推定の時間的場所的關係を示すと図-1 のように示せる。本節では気象条件と数学モデルパラメータの關係の検討を、特に気象因子に気圧配置のみを与えたとき、および風向、風速、その他の個々の因子を与えたときとの 2 つの場合について行なった。

(1) 気圧配置による汚染物質浄化能力の評価

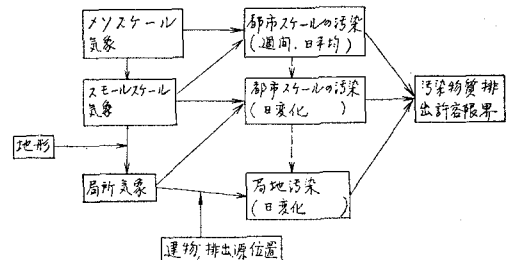


図-1 気象と大気汚染のスケール

表-1 観測地点とその代表地域面積

濃度観測地点	吹田局	守口局	市衛研局	此花局	淀局	センター局	平尾局	摂陽局	布施局	八尾局	堺局	府立大局	浜寺局	抗瀬局
代表面積 (km ²)	43.5	26.2	17.0	29.0	11.0	29.8	85.2	53.5	32.8	26.2	36.4	25.2	28.5	23.8

表-2 燃料使用量日変化

時刻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
石炭 (ton)	213.7	181.6	192.6	194.9	212.9	250.5	266.4	302.0	318.4	326.4	331.3	321.1
重油 (kZ)	400.0	400.0	400.2	406.0	404.6	412.7	471.5	543.8	655.6	659.5	628.3	609.5
時刻	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
石炭 (ton)	305.6	326.4	315.2	310.7	312.2	304.4	295.9	294.4	296.5	291.3	258.1	251.9
重油 (kZ)	581.8	571.0	570.8	534.6	515.9	497.0	435.5	410.2	407.8	448.6	423.3	409.5

いおう含有率 石炭 0.01, 重油 0.027

a) 気圧配置の分類

予想可能な気象条件が、気圧配置のみであるものとして大気汚染を考える。

汚染物質の浄化力とその気象条件との相関を研究するとき、もっとも困難な問題は、気象条件が常に変化し、しかも、その気圧配置などのパターンの状態の厳密な意味での繰り返しが無いことである。そこで離散的に類似した気象のパターンをいくつかのグループに分類して、各グループに対して平均的な浄化能力の評価を加える方法が1つの手段となる。ここではこれまでの研究結果を基礎にして、気圧配置をいくつかのグループに分類する作業を行なった。表-3 は行なった気圧配置の分類を示す。大阪はほぼ北緯 34.7°、東経 135.5° に位置するため、気象状態の考察の範囲を、高気圧の場合は、北緯 30° から 40°、東経 120° から 150° とし、高気圧以外の場合には、北緯 30° から 40°、東経 130° から 140° としている。分類中の M とは上記分類に含まれないあらゆる場合の気象パターンをいっている。いずれの分類にも属さない場合の気象パターンはさらにいくつかの気象特性に応じて分類せねばならないが天気図に出現回数が少ないので行っていない。

b) 数学モデルの適用とパラメータ推定法

Γ と Z は時間によって刻々変動する量であるが、時間的に変動する排出量データは誤差を少なからず含むも

表-3 気圧配置の分類

1	高気圧の前面 (HB) i) 中心が 120°~130°E, 30°~40°N の範囲にある。 ii) 大阪が高気圧の中心より 4mb 以内にある。
2	高気圧の中心 (HC) i) 中心が 130°~140°E, 30°~40°N の範囲にある。 ii) 大阪が高気圧の中心より 2mb 以内にある。
3	高気圧の後面 (HA) i) 中心が 140°~150°E, 30°~40°N の範囲にある。 ii) 大阪が高気圧の中心より 4mb 以内にある。
4	日本海に寒冷前線 (CB) 130°~140°E, 30°~40°N の範囲にかかる。かつ日本列島上にかからない。
5	寒冷前線の接近 (CC) 130°~140°E, 30°~40°N の範囲にかかる。かつ日本列島上にかかる。
6	寒冷前線通過後 (CA) 130°~140°E, 30°~40°N にかかる。かつ日本列島上大阪の東にある。
7	冬型気圧配置 (WP) i) 強いとき ii) ゆるみ
8	低気圧が大阪より南, 30°N より北にある (L) i) 130°E より西にあり接近する。 ii) 130°~140°E の範囲にある。
9	気圧の鞍部 (P)
10	高気圧通過後西から低気圧が接近 (HL)
11	低気圧通過後西から高気圧が接近 (LH)
12	以上の分類に含まれない (M)

のとみなされるため、2つのパラメータを短時間のデータから同時に推定することは計算上好ましくない。そこで次にあげる2つのパラメータ推定方法を試みた。

その1つは Z を1時から24時までの間変化せぬ量、 Γ を時刻によって変動する量と仮定する。したがって、1日に平均的な値として1つの Z と短時間平均として時刻ごとの Γ が推定される。

その2は、 Γ が24時間にわたって変化せぬものとして Z を時刻によって変動する量と仮定する。

2つの場合の評価関係は次のような離散表示によって示される。

(A) Z : 24時間一定, Γ : 変動

$$\begin{cases} \varepsilon_{1j}(\Gamma_j) = \sum_{i=1}^3 \{ \bar{C}(t_j + (i-1)\Delta t, \Gamma_j) - C_{obs}(t_j + (i-1)\Delta t) \}^2 \rightarrow \text{最小} \\ \varepsilon_1(Z) = \sum_{j=1}^{22} \varepsilon_{1j}(\Gamma_j) \rightarrow \text{最小} \dots\dots\dots (4) \end{cases}$$

(B) Γ : 24時間一定, Z : 変動

$$\begin{cases} \varepsilon_{2j}(Z_j) = \sum_{i=1}^3 \{ \bar{C}(t_j + (i-1)\Delta t, Z_j) - C_{obs}(t_j + (i-1)\Delta t) \}^2 \rightarrow \text{最小} \\ \varepsilon_2(\Gamma) = \sum_{j=1}^{22} \varepsilon_{2j}(Z_j) \rightarrow \text{最小} \dots\dots\dots (5) \end{cases}$$

ここで i は時間, j は時刻, ε_{1j} , ε_1 , ε_{2j} , ε_2 はおのおの誤差を示し, ε_{1j} , ε_1 および, ε_{2j} , ε_2 が最小値をとるように Γ および Z を決定する。排出強度, 観測値ともに1時間値として与えられるため Δt は1時間となる。濃度計算値, 観測値は連続3時間を計算の単位としているので, 方法 (A) では Γ が, 方法 (B) では Z が3時間にわたる値として評価関数から推定される。

e) パラメータの推定結果および考察

最適値探索の数理手段には最大傾斜法はじめいくつかの方法がある。これらの手段は評価関数の持つ形状や、最適値探索のための初期値の与え方によってすみやかに収束することもあるが、非常に長時間を要する場合もある。したがって、類似した形状や初期値を持たぬ評価関数を短期間のうちに多数回にわたって推定するには適さない。そこであらかじめパラメータのとり得る値の範囲を適当な格子点に分け、そのうちもっとも評価関数式(4)ないしは式(5)を満足するような値の組を近似解として求めた。たとえば方法 (A) による Z の値は最小値を100mとし、最大値を1500mとした。そのうち100m~400mの区間区分を50mとし、400m~700mの区間を100m, 700m~1500mの区間を200mごとの格子の値をとりうるものとした。表-4 は方法 (A) と (B) によって推定された各日のパラメータ Z の値を示している。データは昭和43年12月のものを利用している。表-4 中の方法 (B) の Z の推定値は日変化しているの

表-4 パラメータ Z の推定値

月	日	Z(m)		月	日	Z(m)		月	日	Z(m)	
		方法A	方法B			方法A	方法B			方法A	方法B
12	4	700	700	12	12	100	130	12	20	1300	900
	5	100	91		13	500	940		21	500	560
	6	900	1010		14	100	210		24	600	530
	7	700	710		17	700	810		25	1100	1110
	10	900	850		18	400	530		26	700	660
	11	700	670		19	300	240				

で1日の平均値を算出した結果である。両者の方法による推定値は本来近似的に等しくなるはずであるが、少し値が異なる場合もある。これは計算方法上の誤差と見なした。

方法(A)によって求めたパラメータを表-3にしたがう気象区分と関係づけると表-5となった。Zの値は各気象区分の平均値である。ΓとZの積は降雨による浄化効果を除いた場合の浄化指数を示している。晴れている場合概してZは大きく、天気の良いときは低い傾向が認められた。もっとも浄化能力の高い気象区分は(6)で、次いで(7)-iである。両気象状況はともに風が強く、逆転層が発生しにくい場合に当たる。一方、もっとも浄化能力の低い気象区分は(2)、次いで(5)であり、いずれも曇りないしはうす曇りで風が弱く大気が安定となる日に当たる。図-2は各時刻が区分(1)、(2)、(7)、(8)に属するときの浄化指数のパターンを示したものである。

表-5 方法Aによる浄化能力の推定

気象分類	Z(m)	Γ(1/hr)	Z・Γ(m/hr)	気象分類	Z(m)	Γ(1/hr)	Z・Γ(m/hr)
1	600	0.65	387	6	500	1.3	650
2	1100	0.31	346	7-i	700	0.70	490
3	1100	0.21	234	-ii	700	0.61	427
4	1100	0.29	326	8	300	1.7	510
5	500	0.58	290				

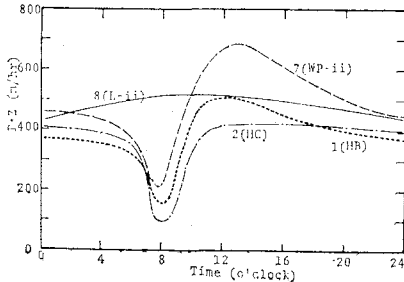


図-2 浄化指数の日変化パターン

晴れている日には朝6時頃から10時頃までの浄化指数は小さい。これは夜間にできた逆転層の底によって汚染物質の上方への拡散を阻止されるためであろう。いおう酸化物質はその空気中への排出地点が地表から数10m、とくに巨大点源は数100mの地点であるため、煙のFumigationの現象が浄化指数の値に強く作用しているものと推定される。午前10時頃から以後の時刻については13時頃を頂点として大きい値をとる。これはかなり上空にいたるまで大気が温度成層上不安定となることによるものと推定される。

一方天気の悪い気象区分である(8)のときなどは浄化指数が時刻によってほとんど変化していない。これは太陽輻射量、夜間放射量が少なく、温度成層上安定度が時刻によって変化せぬことによるものと推定される。

図-3と図-4は昭和43年12月25日のデータによって推定されたパラメータΓとZの方法(A)および(B)の計算結果を示している。同日の大阪地方の気象条件を表-6に示す。これによると日中日射によって大気が不安定となりΓまたはZが増加するが、12時から15時にかけて減少している。これは表-6からわかるように、13時まで吹いていた陸風がその後海風となり、海上に出ていた汚染された空気がふたたび大阪上空へ運ばれてくるのでC_{out}≠0となる。しかしその値が明らかでないのでC_{out}=0として計算していることによるものと考えられる。このような結果から海陸風が臨海都市の大気汚染に大きな作用をしていることがわかる。

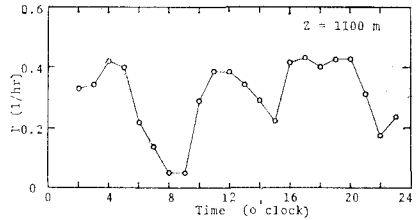


図-3 方法AによるΓの推定値例

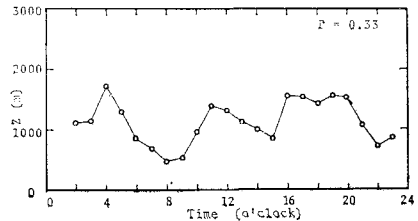


図-4 方法BによるZの推定例

表-6 昭和43年12月25日の大阪管区気象台データ

時刻		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
風	向	1	16	1	2	2	3	2	1	1	2	1	1	7	10	11	10	10	8	9	7	9	7	3	2
風	速	1.8	1.7	3.0	2.0	2.0	2.7	1.7	2.0	3.0	0.7	2.3	1.5	1.2	4.8	5.0	4.3	3.2	3.5	1.0	2.3	2.0	2.5	1.8	3.5
日	射																								
天	気	○	○	○	①	①	②	②	○	①	∞	∞	①	∞	②	③	③	③	①	○	○	○	○	○	○

(2) 個々の気象因子と汚染物質浄化能力

a) 数学モデルの適用とパラメータ推定法

対象とする地域の平均的な風速の鉛直分布がわかれば、パラメータ Γ は式 (2) の関係によって与えられたが、ここでは Γ を直接推定可能な量とするため式 (2) の右辺第 2 項を無視して風速のみの関係とみなし、新たに Γ を式 (6) によって定義した。

$$\Gamma = \frac{1}{LZ} \int_0^Z u(z) dz \dots \dots \dots (6)$$

ここで、 L は主風向の方向の汚染対象地域の代表径(m)で、 $u(z)$ は水平輸送風速の鉛直分布を表わす。 Z は式 (6) を式 (1) に代入して求めた濃度計算値が式 (7) を満たすように選ばれた値として定義される。

$$\epsilon = \sum_{i=1}^3 \{C_{obs}(t + (i-1)\Delta t) - \bar{C}(t + (i-1)\Delta t, Z_j)\}^2 \rightarrow \text{最小} \dots \dots \dots (7)$$

Z は定性的に対象とする地域面積 S の上空で汚染物質が拡散し得る高度と密接な関係をもつ量と見なすことができる。したがって Z は大気の安定度、特に鉛直方向の混合力の大きさの支配を受けるものと見なせる。風向、風速の鉛直分布は詳しく測定されていないので、式 (6) 中の $u(z)$ は明確ではない。そこで式 (6) から Γ を求めるため次のような仮定を行なった。① 1000 m 近辺までの風の状態が指数分布法則で表わせ、その指数を 0.4 とする。② 都市の代表径 L を簡単化するために大阪地方の対象地域を円形とみなし、 L はその直径 23.64 km に等しいものとする。③ 測定地点の平均高度 Z_0 は 15 m とする。④ 風は大阪全域で同一方向に吹く。風速は平均汚染濃度を求める場合と同じ方法によって 14 の局で測定された値を平均化した。式 (6) は上述した仮定によって次式となる。

$$\left. \begin{aligned} Z \leq 1000 \text{ m } \Gamma &= 0.1086 \cdot u(z_0) \cdot \left(\frac{Z}{z_0}\right)^{0.4} (1/\text{hr}) \\ Z > 1000 \text{ m } \Gamma &= 0.152 \left(1.0 - \frac{286.0}{Z}\right) \cdot u(z_0) \cdot \left(\frac{1000}{z_0}\right)^{0.4} (1/\text{hr}) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (8)$$

b) パラメータの推定結果および考察

パスキル⁸⁾は大気の拡散能力を風下に流れる煙の濃度分散と与え、その値を地上 10 m の高さの風速と日射量、雲量との離散的な因子の組合せによって求めている。風速は排出した汚染物質の稀釈にもっとも大きな影響を与える量であり、日射量と雲量は気温鉛直分布を風速とともに決定する因子である。ある時点の気温分布はその時点までの日射量、雲量、風速などの要素によって決定されるので、混合拡散力を求めようとするればその時

点のリチャードソン数や気温分布、風速の値を使って、ある程度推定することが可能である。しかし大気の混合拡散力を地表面で観測された風速、日射量、雲量によって推定しようとするならば、それは過去数時間におたる諸気象現象の履歴の結果として与えられるので、過去数時間の諸データを同時に採用せねばならない。以上の観点からパラメータ Z は次のような気象因子と重回帰方程式によって関係づけられた。

- ① その時点での対象地域の地上平均風速 (m/sec)
- ② 4 時間前からその時点までの雲量の平均値
- ③ その時点までのその日の全水平面日射量 (cal/cm²)

図-5、図-6 は 17 時から 5 時にかけてのパラメータ Z と平均風速の関係を示しているが、図-5 は 15, 16, 1~3 方位から風が吹き続ける場合の Z と u の関係を示し、図-6 は 7~14 方位から風が吹いている場合のものを示す。風向が異なった場合に Z の値と u の関係が異なる。海風の場合に Z が小さい理由は対象地域に分散する汚染源分布密度が大阪湾よりも高いことによるものと考えられる。したがって仮に排出源が均一に分布しているものと仮定すれば、その 2 つの曲線の間のどこかに Z の値が来るものと見なしてよい。各時刻に推定したパラメータ Z とそのときの気象因子について重回帰方程式を求めると表-7 となった。夜間の Z は風

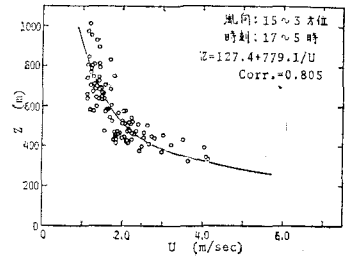


図-5 Z と風速の関係

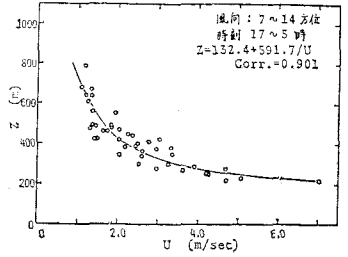


図-6 Z と風速の関係

表-7 パラメータ Z と気象因子の重回帰曲線

時 間	回 帰 方 程 式	重 相 関 係 数	デ ー タ 数
17~5 (風向 15~3) (風向 7~14)	$Z=127.4+779.1/U$	0.805	93
	$Z=132.4+591.7/U$	0.901	41
6	$Z=282.8+443.0/U+13.7 C_d/U$	0.704	17
7	$Z=277.6+240.3/U-3.14 C_d/U$	0.779	17
8	$Z=346.8+51.9/U$	0.160	17
9	$Z=469.9+24.3 q/U-294.6/U$	0.467	18
10	$Z=465.6+20.9 q/U-443.4/U$	0.710	18
11	$Z=438.5+10.2 q/U-223.8/U$	0.592	18
12, 13	$Z=297.2+34.2 C_d/U+2.66 q/U$	0.678	19

U : 風速 (m/sec) C_d : 雲量 q : 水平面日射量 (cal/cm²)

速のみの関数として式の重相関係数が高い値をとっている。14時から16時までの Z のデータについてはその回帰方程式を求めていないが、その理由は、図-3、図-4からもわかるようにその時には海陸風の発生によって1度海上に出た汚染大気が再び地域上空にもどってくる場合が多いため、それが推定した Z の値に影響を与えその結果、採用すべきデータの量が少なくなり、統計分析するのに不適當となったことによる。12時と13時の Z は同じく海陸風の影響でデータが少なくなったので2時間のデータをまとめて1つの回帰方程式で表わした。ここでこの方程式の日射量はその日の総日射量を与えており、他の式と因子の与え方が異なっている。日中の回帰方程式の重相関係数が夜間のそれよりも小さい原因は、毎時刻に回帰方程式を求めると、データの数が夜間のそれよりも少なくなるため、式を海風と陸風の場合の2種類に分けて作らなかったことが1つの理由にあげられる。8時と9時の Z と気象因子との回帰方程式の重相関係数はとくに小さな値をとっている。その原因としては次のようなことが考えられる。第1に複雑な汚染拡散の現象を単純な数学モデルとパラメータによって表現したこと、第2には、8-9時頃は、それまで温度成層的に乱れていなかった大気が不安定になり乱れ始める時期にあたるが、特に安定な状態にあった大気が温度成層的に不安定となり、その結果乱れが生じ始める時刻は何らかのきっかけにより遅れたり早まったりすることによる。それはリチャードソン数が小さければ小さいほど大気の乱れの起きる可能性が大きいことを表わすが、必ずしもその値がその時の乱れの尺度とはならないことと対応する。

前節で Γ を式(8)とにおいて推定した Z はその値がいずれも表-5にあげた平均値の Z と異なっている。その原因には次の事柄があげられる。

① 風速プロファイルに指数法則を仮定し、地上平均風速を上方に延長して Γ を推定しているため、実際の風のプロファイルと異なっていると思われる。

② 風向の鉛直方向の変動、あるいは風の循環、収束、発散を無視する結果、推定した Γ が現象論的な量と異なる値をとることになる。

③ 風のもつ特徴として、計器による風速の測定値はある方向へのみ流れる風以外の成分も含むので、 Γ は単に測定値に比例するとは限らない。

風速の鉛直プロファイルは気圧配置によってそのプロファイルに特徴を持つものと考えられ、 Γ をより合理的に表わすためには詳細な測定を行なう必要がある。

4. 汚染濃度推定結果および考察

汚染濃度の推定は前章の1節と2節の気象条件がわかかったとして、日平均値と日変化値について行なった。図-7は気象条件に気圧配置がわかかった場合の気象区分にしたがう日平均汚染濃度推定値と実測値をそれぞれ縦座標と横座標として表わしたものである。これによると日平均値が0.05 ppmを越えるか否かを推定するとき、推定値のあたる確率は0.591であり、0.06 ppmについては0.773となっている。一方図-8は風速、日射量、

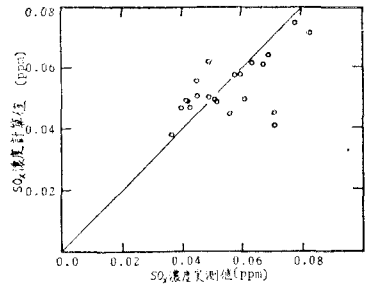


図-7 気圧配置に基づく1日平均汚染濃度推定値と実測値の比較

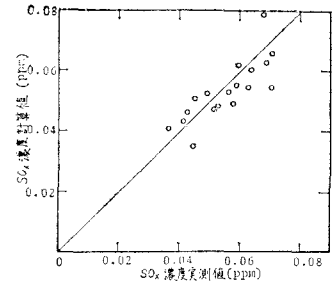


図-8 個々の気象因子に基づく1日平均汚染濃度推定値と実測値の比較

雲量など個々の条件がわかかったときに表-7の中の定式と式(8)を使って得た濃度の日変化推定値を日平均して図-7と同様にプロットしたものである。この図によると0.05 ppmを越えるか否かを正しく判定する確率は0.765であり、0.06 ppmのそれは0.778である。両図を比較すると後者の方法があたる確率が高いといえることができる。

次に日変化の濃度推定の場合を考えてみる。大阪地方は地形的には西は大阪湾に面し、北は六甲山系、東は生駒山系に囲まれて、東北方面は淀川を中心に京都盆地まで平地がひらけている。大阪管区気象台で測定される地上風向は西の風と北北東の風が高頻度に記録される。高気圧の中心におおわれた時など、海陸風の発生をみる。対象とする都市の上空外へ出た汚染大気の塊の濃度が単

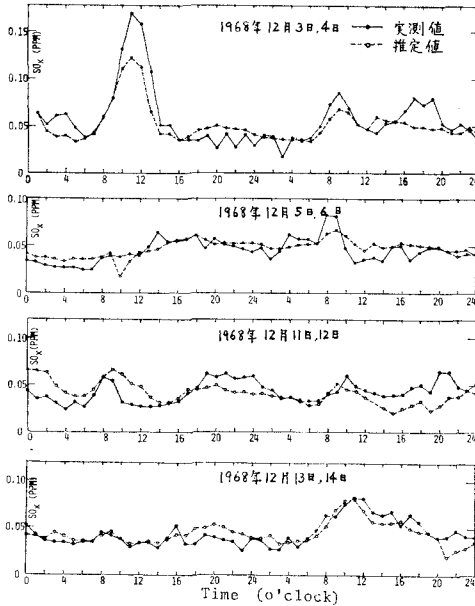


図-9 汚染濃度の実測値と推定値の経時変化

位時間にどの程度稀釈され、さらにその塊の何%が再び上空へもどってきて臨海地域の汚染に寄与するかはきわめて複雑で、これから解明されねばならない課題である。シカゴにおいてミシガン湖の上へ出た汚染大気の挙動についての研究がされているが、その現象はまだ十分定量的に明らかにされていない⁹⁾。日変化濃度を推定するには、このような汚染大気の逆流入を無視することは濃度予想に大きな誤差を生ずる原因となる。

図-9 は前節 3.(2) の方法で行なった日変化汚染濃度推定結果を求めた例である。推定日時は昭和 43 年 12 月 3 日 1 時より 6 日 24 時までと同月 11 日より 14 日までの連続 4 日間である。

図-10 は日変化をする汚染濃度の 1 時間平均値の実測値と気圧配置による方法からの推定値をプロットしたものである。同図から実測値を 1.0 としたときにそれに対して求められた推定値の標準偏差は 0.436 である。図

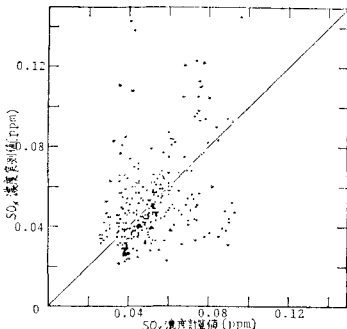


図-10 気圧配置に基づく 1 時間平均濃度推定値と実測値の比較

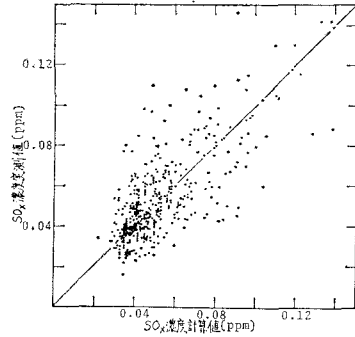


図-11 個々の気象因子に基づく 1 時間平均濃度推定値と実測値の比較

表-8 基準とする濃度より高いか低いかを正しく判定する確率

基準とする濃度 (ppm)	気圧配置のみ使用して濃度推定 (データ数 270)	個々の気象因子を使用して濃度推定 (データ数 395)
0.05	0.646	0.790
0.06	0.735	0.763
0.07	0.840	0.884
0.08	0.862	0.896

(ただし、濃度は 1 時間値)

一11 は 3.(2) によって推定した汚染濃度の 1 時間値と実測値を 図-10 と同様にプロットしたものである。この図から実測値を 1.0 としたときそれに対して求められた推定値の標準偏差は 0.29 である。表-8 は 3.(1) と 3.(2) による汚染濃度推定結果の精度を比較したものである。

これらの計算結果から個々の気象条件がわかった場合に予測した計算値の方が気圧配置の分類のみを情報とする予測濃度よりもはるかに推定の精度が高くなることがわかった。

5. 結 論

都市域の大気汚染の特徴は排出源が集中している地域とその風下では局所的な高濃度汚染を経験するが、一般的にはスモッグという言葉から連想できるように汚染が広域にわたりかつ高濃度で持続することである。

本論では大阪地方を対象にこの広域の汚染濃度の推定方法として数学モデルを提示し、式中の 2 つのパラメータの値で浄化能力を評価した。そして気象条件がどの程度まで詳細にわかれば大気汚染濃度がどの程度まで高い精度で推定できるかを明らかにするために 2 つの濃度推定法を試みた。その 1 つは気圧配置をいくつかのパターンに分類しそのカテゴリーに代表されるパラメータを求めその値を使って推定する方法であり、他の 1 つは風向、風速、日射量、雲量を知ることによってパラメータを求めその値を使って推定する方法である。

パラメータ推定および濃度推定の結果、次のようなことが明らかとなった。

(1) 浄化能力をパラメータ Γ と Z で現象論的にみて合理的に表わせる。また浄化指数で汚染のポテンシャルをよく表わせる。

(2) 図-7 および図-8 が示すように日平均濃度の推定を目的とするならば前者の方法でもその推定精度が後者の方法にくらべてひどく劣っているとはいえない。

(3) 日変化濃度の推定は2つの方法ではその実測値からの推定値の標準偏差が相当異なり、後者の推定法がはるかに高い精度で濃度予測を行なうことを可能にしている。

しかしながら今後に残された問題は、

(4) パラメータ Γ と風速の関係式(8)は必ずしも適当であるとは言いがたく、それを明らかにするには上空の気流の詳細な検討をすること。

(5) 海陸風が汚染物質を逆流させるメカニズムを解明すること。
があげられる。

目的とする汚染濃度の空間的あるいは時間的なスケールに応じて必要な気象因子、その精度等が変わってくるであろうが、都市域をいくつかのブロックに細分化し、本論と同じように浄化能力を評価すれば、そのデータは広域計画、都市計画、工場の立地計画に利用することが可能となろう。

おわりにあたり本研究に関して京都大学工学部高松武一郎教授、内藤正明助教授、京都大学防災研究所中島暢太郎教授にご教示ご検討を賜ったことを記して謝意を表します。

なお本研究は昭和45年度文部省科研費奨励研究Aの補助を得、また本論文中の数値計算は京都大学大型計算機センターを利用し、重回帰分析には東大ライブラリープログラム G2/TC/MRAF を使用したことを記しておく。

参 考 文 献

- 1) Miller, M.E. (1967): Forecasting Afternoon Mixing Depth and Transport Wind Speed, Monthly Weather Review, 95, 35-44
- 2) Miller, M.E. (1964): Semi Objective Forecasting of Atmospheric Stagnation in the Western United States, Monthly Weather Review, 92, 23-32
- 3) 高松武一郎・池田有光 (1970): 大気汚染防止計算機制御システムに関する研究, 大気汚染研究, 14, 194-203.
- 4) 大阪管区気象台 (1968): 気象からみた大阪の大気汚染.
- 5) 中島暢太郎 (1967): 大気汚染からみた京阪神地方の局地気候, 京大防災研究所年報, 10-B, 1-9.
- 6) 中野道雄・成川二郎 (1970): Predictions of Air Pollution Potential in Osaka, Preprint of IFAC Kyoto Symposium Workshop
- 7) 大阪府公害監視センター (1969): 大阪の大気汚染状況と気象要素, 2.
- 8) Pasquill, F. (1961): Atmospheric Diffusion, D. Van Nostrand Company LTD, London, 179-183
- 9) Hewson, E.W. et al. (1967): Lake Effects on Air Pollution Dispersion, J. Air Poll. Controll Assoc., 17-11, 757-761.

(1972. 1. 7・受付)