

大気汚染度推定のための統計的モデル

梶 秀 樹

(東京都研究員
東京工業大学)

1 はじめに

公害に対する人々の関心と危機感の強さにおいて、昭和45年は、まさに、「公害の年」であった。多くの論議がたたかわされ、さまざまな問題が表面化されたにもかかわらず、なんら解決の足がかりも得られないままに、いま、われわれは、公害問題に対し、新しい段階、すなわち、解決へ向って一步を踏みだすか、あるいは逆に、このまま意識の奥にしまいこみ、あきらめと忍従の生活に身を投ずるかの分れ道、を迎えようとしている。

公害は、社会構造の歪といわれ、政府の無策と、企業の社会的責任が追求されたのであるが、それが、複雑な社会システム内部の出来事である以上、発生と影響の因果序列には、多くの要素がかかり合い、それゆえ、とり得る方策もまた、極めて多様化する。われわれの成し得る努力の総和が限られ、あるいは、一度行なったことの修正に、より多くの労力を必要とする時、方策の効果に対しては、十分な見透しが必要であるが、複雑システムにおける波及とフィードバックの繰り返しは、思いがけないところに、思いがけない形の影響を表わし、その判断を極めて困難にする。企業の、低硫黄石油の使用や、排水浄化装置の設置が、価格を通じて、消費者の家計にしわ寄せされ、高い煙突の切り変えによる排煙の稀釈がかえって汚染を広域的にする。そして、ある地区における局地的公害を解消するために行なわれる土地利用の純化や、交通渋滞緩和の規制や改造が、他の地区の被害を高めることになりかねない。

このように、公害減少を目的とした政策立案には、直感や短期的見透しに基づくのではなく、複雑な社会システムの種々構成要素相互の、そして、出現する事象相互の因果連鎖メカニズムを、総合的、かつ、システムティックに把握することが、まず第1の課題であり、そのシステムの中で、種々政策がもたらす、要素、諸現象への波及効果を検討していくことが必要なのである。

極めて一般的に、このメカニズムは、次の3つの段階に分けて考えられる。

(1) 発生源の出現と、その地域分布のメカニズム

人口の集積・産業構造の変革と生産の増大は、都市地域における公害発生源を増大させる。それらが、都市内部のどこに立地してゆくかは、汚染の影響範囲を規定する上で重要であるが、それには、地価、水利、交通条件など、多くの要因が関連する。道路のネットワークは、立地条件としてのみならず、交通量を規定し、それらは騒音源、大気汚染源として都市内部に分布する。

新技術の開発により、あるいは、防止装置の整備により、これまで発生源であったものが、そうでなくなったり、低硫黄石油の使用により、発生量を緩和したり、バイパスの完成により、交通量の分布が変わったり、立地規制により、発生源を特定の地域からしめ出したり、逆に、特定地域へ誘導するといったような、直接発生源の状況へ作用するような対策は、その他、鉄道の新設、埋立て事業、工場誘致策などを含めて、すべてこのメカニズムにかかわるものである。そして、その結果は、次の第2、第3のメカニズムを通じて検討される。

本年報の、佐々木論文は、企業行動を中心にこのメカニズムについて、詳述している。

(2) 発生源濃度から接触地点濃度への変換メカニズム

大気汚染ならば、煙突から排出され、着地濃度として測定されるまでの、拡散と稀釈の過程が、この部分である。ここには、地形や気象条件(風向、風力、大気安定度)、建物高低など、多くの要因が関係する。光化学スモッグなどの発生過程も、この段階に含まれる。自動車騒音であれば、排気音の低減がどのように

なるかを追跡することになり、地盤沈下であれば、吸み上げ水量と、水脈、水量、沈下量の間の因果関係を明らかにすることになる。

対策からみれば、稀釈効果をねらって煙突を高くする、立体交差により、発進時の騒音、高排気を緩和する、公園等の緩衝地帯を設けるなどが、この間のプロセスに直接関係する。本小論は、この間のメカニズムを記述したひとつの統計的モデルである。

(3) 接触地点濃度から人体・植物への影響のメカニズム

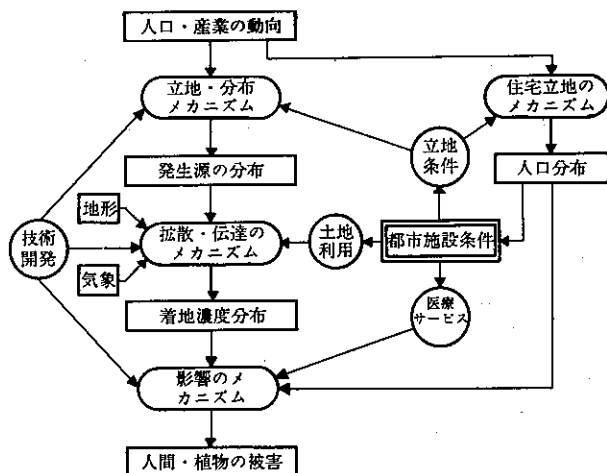
これは、SO₂をどのくらい吸ったら機能障害を起こすか、あるいは生命に危険があるか、騒音と精神病発生率との間には、どんな関係があるか、有機水銀やカドミウムの人体に及ぼす影響は？、といった類の、医学、心理学、生態学などの領域に関する、因果連鎖

メカニズムの追求である。新薬や、新治療法の開発のみならず、医療施設、救急態勢の確立などの政策の一部は、このメカニズムに直接作用するものであろう。本論文集では、掘論文が、住民意識を中心にこの部分を扱っている。

これら各段階における因果連鎖のメカニズムを、あらゆる公害現象に対して詳細に記述することは、多くの専門分野の協力と、成果の蓄積を必要とし、現段階では、到底不可能であろうが、各分野の研究努力が、こうした総合システムの部分部分を解明するという形で収斂していくことが望まれる。

図1は、都市施設条件を政策変数の中心におき、大気汚染について、以上のことをまとめたフローチャートである。

図1



(注) このフローチャートでは、都市施設条件が、政策変数であり、環境基準を越えない範囲（制限条件）で、人間・植物の被害最少なる都市施設配置（＝対策リスト）を求めるものである。

2 亜硫酸ガスの地域分布推定モデル

ある地点Pにおける亜硫酸ガス濃度は、ふつう、煙源からの距離、煙突の高さ、自然気象条件などを考慮した拡散方程式によって考えられている。煙源がひとつでなく、数多くある場合には、計算された単一煙源による汚染点の代数和が、全煙源からの相加汚染度と考えられる。

拡散方程式によれば、このように、1地点の汚染度を算出するためには、大気状況についての細かい情報と、煙源(=煙突)についての排煙温度、排煙速度等のデータが必要となる。しかし、それでも、現実には、高い建物による障害、乱気流による攪乱などにより、高煙源(たとえば、地上30m以上の煙突)の、広域汚染推定には有効であっても、低煙源による局地的汚染には、ほとんど当てはまらないのが実情であろう。

ここでは、地域政策的な意味合いから、東京都23区を対象とし500mメッシュぐらいの地域単位で測定される局地的汚染について、その差違を明らかにし、土地利用規制のような政策が、地域汚染に対して、いかに作用するかを検討し得るモデルを考えてみた。

そのためには、拡散方程式に含まれるようなマイクロピクなデータを処理するというより、むしろ、政策と直接結びついた変数による、そして、SO₂濃度のある特定時点の絶対値を知るというより、平均的な、そして各地域相互の相対比較が可能な推定を行なう必要があるのである。

このような観点にたち、以下に示すモデルでは、各地域単位で計測された業種別、規模別工場数を出発点として、汚染度推定の理論化が行なわれている。

いま、煙源となるメッシュ内には、大小さまざまな、各業種の工場が含まれており、煙突の数も、それに対応して何本となくある。ここでは、煙源もまた、地域単位で考えることにするが、これは、これら全部の煙突から排出されると同じだけの量の煙を排出するただ1本の巨大な煙突が、各メッシュの中央にあるものと考えたことを意味する。そこで、iメッシュを煙源と考えた場合、この巨大な煙突から排出される亜硫酸ガスの総量Qiについて考えてみよう。

〔仮定1〕 亜硫酸ガス総排出量は、他区iの全工場における重油の総使用量に比例するものとする。

〔仮定2〕 1工場における重油使用量は、その工場の生産規模に比例するものとし、ここでは、その規模はデータ制約上、従業員総数で表わすことにする。

$$B_l(k) = A X_l(k) \dots\dots\dots(1)$$

但し、B_l(k) : k業種l工場の重油使用量

X_l(k) : k業種l工場の従業員総数

〔仮定3〕 (1)式のパラメーターaは、各業種により異なるが、同一業種については、一定とする。

$$B_l(k) = \alpha_k X_l(k) \dots\dots\dots(2)$$

α_k : k業種についての従業員1人当たり重油使用量

ここで、任意の業種についての従業員1人当たり重油使用量を1とした時の、他の業種のそれを、これに対する相対的ウェイトで表わせば、

$$\alpha_k = A \alpha_k$$

であり、したがって(2)式は、

$$B_l(k) = A \cdot \alpha_k X_l(k) \dots\dots\dots(3)$$

α_k : 任意の業種kの従業員1人当たり重油使用量を1とした時の他の業種の相対的ウェイト

となる。仮定1より、i地区のSO₂総排出量Qiは

$$\begin{aligned} Q_i &= P \sum_k \sum_l B_l(k) + q \\ &= P \sum_k \sum_l \{ A \cdot \alpha_k X_l(k) i \} + q \\ &= A \cdot P \sum_k \sum_l \alpha_k \cdot X_l(k) i + q \\ A \cdot P &= K \text{ とすれば} \\ Q_i &= K \cdot \sum_k \alpha_k \cdot \sum_l X_l(k) i + q \end{aligned}$$

p : 比例定数

q : コンスタント

となる。ここで、

$$\sum_l X_l(k) i = S_{ki}$$

とすれば

$$Q_i = K \sum_k \alpha_k S_{ki} + q \dots\dots\dots(4)$$

S_{ki} : i地域におけるk業種の総従業員数

となり、これが、煙源iにおける亜硫酸ガス総排出量を求める式である。

次に、汚染地域jにおける亜硫酸ガス量C_j(SO₂)

を考えてみよう。

ここで、1つの煙源*i*による、地区*j*の地上濃度*C_{ij}*と、*Q_i*との比を*D_{ij}*とする。

$$\frac{C_{ij}}{Q_i} = D_{ij} \dots\dots\dots (5)$$

これを用いて、地区*j*の総亜硫酸ガス量は、次式で表わされる。

$$C_j(SO_2) = \sum_i C_{ij} = \sum_i d_{ij} Q_i \dots\dots (6)$$

*d_{ij}*にかかわりあう具体的要因は、距離をはじめ、気象条件、障害建築物、その他種々あるが、(6)式をひとつの重回帰方程式と考えれば、回帰係数として、*d_{ij}*を統計的に求めることができる。それゆえ、*d_{ij}*についてのここの仮定を整理すると、

〔仮定4〕 大気状況は、地域差のないものとする。

〔仮定5〕 煙突平均高さも地域差のないものとする。

*j*地区に影響する*i*の範囲については種々異論のあるところで、明確な観察はないが、風向を南北と仮定し、風向方向2km、鉛直方向を1kmに限定すれば、*d_{ij}*は理論的に45個のパラメータになる。さらに、煙源からの拡散を対象と仮定すれば、15個のパラメータを推定すればよいことになる。(図2)

風向を南北と仮定したのは、東京が年間を通じてみれば、南北風に支配されると考えたからである。

以上により、*C_j(SO₂)*について、いくつかの地点で、実際の濃度を測定すれば、パラメータ*d_{ij}*を決定することができ、これを理論式として、その他の地区の亜硫酸ガス濃度を推定することができる。

この時の理論式は、(4)、(6)式より

$$C_j(SO_2) = \sum_i d_{ij} \left\{ K \sum_k \alpha_k S_{ki} + q \right\} \\ = K \sum_i d_{ij} \sum_k \alpha_k S_{ki} + q \sum_i d_{ij} \dots\dots (7)$$

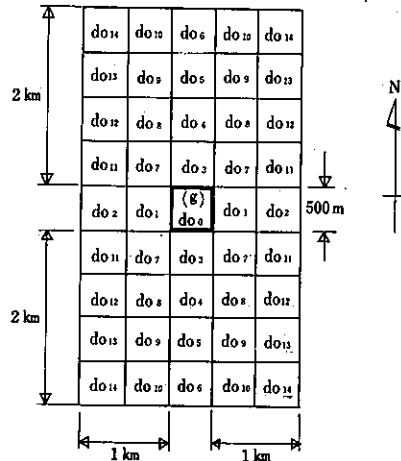
となり、一般の重回帰方程式に帰着する。

この時*d_{ij}*は、偏回帰係数として定められるが、制約として

$$d_{ij} > 0$$

が成立しうのような推定が行なわれねばならぬことはいうまでもない。

図2



3 計算手順と計算結果

(1) *S_{ki}*の算定

昭和41年の「全国工場通覧」(日刊工業新聞社発行、工業統計の個票をもとに作成されている)から、ひとつひとつの工場を、産業中分類別、従業員規模別、メッシュ別に集計した。ただし10人以下の規模のものについては、東京都経済局の事業所統計調査個票転記リストにより補った。

(2) α_k の算定

各業種によって重油使用量が、単位規模あたり、どの程度異なるかについての資料は皆無である。そこで、東京都首都整備局公害部発行の、業種別公害陳情処理状況から、1工場当たり陳情件数を求め、これを推定した。これは、陳情と、媒煙発生量との比例関係を仮定したことになる。この統計は、処理統計であるため、1年の統計だけでは、多少ひずみがある。そこで3年間の平均を出し、処理件数の多くなる傾向のあるもの、頻度の少ないものなどを考慮して係数を推定した。

(表1)

(3) *C_j(SO₂)*の測定

東京都首都整備局都市公害部の測定結果を用いた。これは、都内40個所について、過酸化鉛法により測定したものである。このうちから、28地点を選び、昭和42年度の平均値をもって*C_j(SO₂)*とした。(表3)

表1 αK の推定

	業種別工場数			ばい煙ふんじんについての1工場当り陳情件数(×100)					騒音についての1工場当り陳情件数				
	36年	38年	40年	36年	38年	40年	平均	推定値	36年	38年	40年	平均	推定値
1 鉄鋼	728	888	811	4.4	2.8	4.7	3.9	3.7	4.1	3.5	1.0		3.7
2 非鉄金属	887	1,085	1,039	3.4	2.8	5.0	3.7	3.8	1.6	2.1	1.2		1.4
3 金属	8,622	11,966	12,061	0.4	0.6	0.7	0.6	0.6	1.2	1.5	1.0		1.2
4 機械	4,861	6,398	6,286	0.5	0.3	0.5	0.4	0.4	5.7	1.6	1.6		1.7
5 電気	4,172	5,369	4,783	0.4	0.4	0.9	0.6	0.6	0.3	0.4	0.4		0.4
6 輸送機器	1,697	2,163	1,771	0.6	0.6	1.1	0.7	1.1	1.9	0.1	0.1		1.4
7 精密機器	2,130	2,999	2,795		0.1	0.2	0.1	—		0.1	0.1		—
8 パルプ紙加工	2,054	3,378	3,208	0.1	0.1	0.1	0.1	—	0.3	0.1	0.2		—
9 化学工業	1,082	1,350	1,093	3.4	2.6	5.0	3.7	4.1	2.4	3.6	3.1		3.7
10 ゴム	542	879	912	5.4	2.0	3.1	3.2	3.1	1.3	0.9	0.7		0.8
11 皮革	2,108	3,903	3,625		0.2	0.1	0.1	—		0.3	0.1		—
12 石油	61	53	50		5.7	2.0	3.9	—		3.8	—		—
13 窯業	1,110	1,429	1,261	3.1	2.2	2.5	2.6	2.6	0.3	0.6	1.1		0.8
14 繊維	1,926	4,710	2,605	0.6	0.5	1.1	0.8	1.0	0.4	0.4	0.5		0.5
15 織物	2,478	3,689	4,084		0.4	0.6	0.5	0.5		0.0	0.0		—
16 家具	2,742	2,474	3,359	0.6	0.2	0.3	0.3	0.3	0.8	0.2	0.0		—
17 木材	1,796	3,930	2,204		0.7	2.3	1.5	1.8		1.7	1.4		1.6
18 食料	2,932	3,930	3,477	1.2	1.4	1.9	1.5	1.9	0.6	0.4	0.7		0.6
19 出版印刷	3,959	7,816	7,461	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	1.8	0.8	0.5		0.8
20 その他	4,917	8,028	7,441	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5	1.3	0.9	—		0.9

図 3

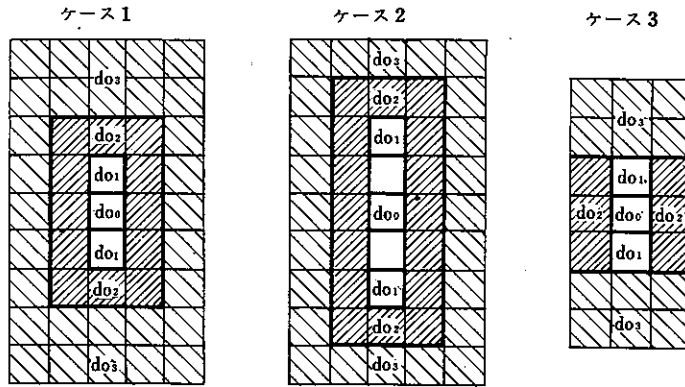


表 2

	偏回帰係数	偏相関係数
d_{03}^*	0.00444	0.498
d_{02}^*	0.00231	0.355
d_{01}^*	0.00031	0.077
d_{00}^*	0.00012	0.081
$q \sum d_{ij}$	0.48215	

$R=0.7532$

$(d_{ij}^* = k d_{ij})$

(4) d_{ij} の推定 (重回帰分析)

前述したモデルでは、 d_{ij} は15のパラメータで示されているが、被説明変数が28地点しかないのもっと減らす必要がある。そこで図3に示されるような3つのケースを設定し、各々について、パラメータを求めてみて、 $d_{ij}, 0$ の条件を満たし、かつ、重相関係数 $R \rightarrow \max$ なる d_{ij}^* を最終値として決定した。

この結果、ケース3以外は $d_{ij} < 0$ の推定値がでて、いずれも不適当となり、上記の条件を満たすのは、ケース3のみとなった。重相関係数は0.75であり、かなりよい説明が可能であることを示した。

(5) 地区別亜硫酸ガス濃度の推定

以上の結果を用いて、地区別の亜硫酸ガス濃度を算出した。被説明変数に用いた28地区のデータのディメンションが、過酸化鉛法による測定結果であるためこの推定額もまた、これと一致している。

このディメンションの調整は、すべてKによっている。

$(\text{mg SO}_2 / \text{day} / 100 \text{cm}^2 \text{ Pb O}_2)$

図 4

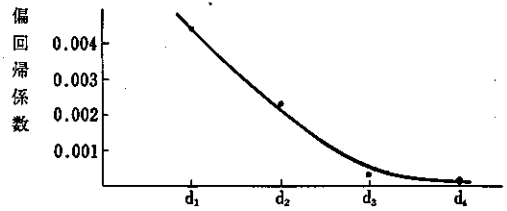
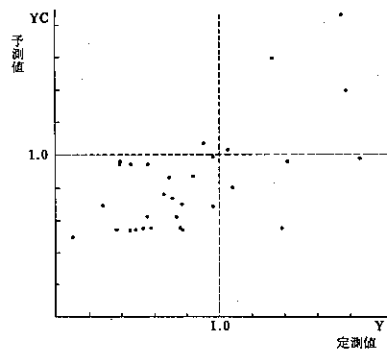


図 5 東京都亜硫酸ガス濃度の予測



4 おわりに

ここでの作業は、不十分な情報と、短い研究期間の下に行なわれたものであり、多くの大胆な仮定と、推論によって補完されている。結果の妥当性は、仮定のひとつひとつをチェックし、データのないために代替した情報の適切さを検討することにより、斟酌されなければならないが、拡散方程式1本をいろいろ操作する従来の汚染度算定の方法とは異なった方法論として、少なくとも、

現実を推定するモデルとしては有効なものと思われる。近年の研究成果によれば、煙源の風上でも高濃度の亜硫酸ガスが記録されており、この原因としては、高・低気圧による大気の水循環のほか、海陸風的な垂直循環などが考えられる。これは、現在の拡散方程式の不備を指摘するものであり、新しい方程式開発のために、本論に示されるような、統計的方法論を併用して、推論してゆくことが望まれる。

表3 PbO₂法による観測値と、ケース4における発生推定値

No.	座 標		観 測 地 点	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	41 年	41 年	41 年	42 年
	X	Y						平 均	7.8 月	12.2 年	平 均
1	28	36	中 央	40.4	66.3	256.1	428.4	1.71	2.06	1.75	1.86
2	27	37	赤 坂	6.8	1.1	35.8	102.1	0.65	0.60	0.88	0.76
3	33	34	東京タワー地上	16.7	110.4	265.6	356.7	1.51	1.76	2.16	1.41
4	42	45	都 立 衛 研	4.1	56.0	46.0	166.0	1.27	1.53	1.28	0.96
5	37	44	牛 込	10.8	48.6	103.3	153.4	0.72	0.83	0.93	0.77
6	34	45	小 石 川	44.7	12.2	200.9	161.4	1.03	1.24	1.21	1.06
7	19	41	城 東	186.0	99.1	541.7	830.1	1.16	0.86	1.28	1.74
8	16	41	大 島 第 3 小	135.0	55.0	206.0	599.7	2.23	2.67	1.76	1.77
9	17	43	龟 戸 中	150.7	81.7	267.4	913.1	1.55	1.63	1.68	1.32
10	35	25	品 川	0	206.8	240.0	194.6	1.01	1.07	1.22	0.90
11	45	26	碑 文 谷	5.3	20.1	100.8	190.8	0.63	0.63	0.75	0.56
12	39	17	大 森	10.3	162.1	178.9	398.3	1.12	1.53	1.21	1.05
13	50	32	世 田 谷	0	1.0	99.3	62.9	0.41	0.42	0.63	0.45
14	50	24	玉 川	5.6	9.6	7.5	36.1	0.55	0.47	0.80	0.48
15	42	36	渋 谷	3.6	6.2	39.8	67.0	0.77	0.76	1.06	0.77
16	49	49	中 野	28.6	15.5	49.8	142.4	0.49	0.51	0.88	0.29
17	56	44	杉 並 西	6.3	7.4	22.4	13.3	0.38	0.28	0.58	0.37
18	40	50	池 袋 東	1.1	3.3	130.4	424.8	0.79	0.78	0.97	0.73
19	37	57	王 子	47.4	16.0	199.5	425.7	0.83	0.85	0.97	0.84
20	40	63	袋 小	0	2.1	160.0	47.6	0.66	0.71	0.74	0.58
21	28	53	荒 川	0	75.8	510.5	940.2	0.90	0.92	1.27	0.96
22	40	54	板 橋 東	40.9	48.5	302.5	373.9	0.67	0.55	0.86	0.56
23	44	61	志 村 小	17.5	17.6	223.3	495.0	0.71	0.83	1.01	0.66
24	60	53	石 神 井	0	0	13.7	15.1	0.17	0.12	0.21	0.10
25	23	59	足 立	33.3	73.9	230.5	382.4	0.52	0.73	0.47	0.46
26	14	53	葛 飾	0	0	416.0	607.0	0.77	1.07	0.73	0.71
27	13	44	江 戸 川	0	108.3	209.4	347.5	0.72	0.67	0.98	0.69
28	11	38	葛 西	0	0	83.9	242.8	0.67	0.50	1.19	0.53