



Title	大気汚染濃度の統計解析 (I)
Author(s)	若松, 伸司; 渡辺, 有治; 谷沢, 平八郎
Citation	衛生工学, 17, 1-10
Issue Date	1970-03
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/36202">http://hdl.handle.net/2115/36202</a>
Type	bulletin (article)
File Information	17_1-10.pdf



[Instructions for use](#)

## 大気汚染濃度の統計解析 ( I )

若松伸司\*  
 渡辺有治\*\*  
 谷沢平八郎\*\*\*

Characteristic Features of Continious  
 Air Quality Data by Statistical Method  
 (Part 1)

Shinzi WAKAMATSU  
 Yuzi WATANABE  
 Heihachiro YAZAWA

## ABSTRACT

Statistical methods to investigate the occurrence of the air pollution are useful for decreasing the average concentration at an urban area or planning a clean region.

The effects of air pollution on the health of the inhabitants are concerned with the average concentration for a season or a year and the extreme value for a short period.

In this report the statistical results from the mean values of sulfur dioxide concentration are presented.

An monitoring data at various cities in the country has been used to evaluate the estimates of the average concentration.

Generally, the factors relating to the occurrence of air pollution are; ① source strength, ② the distribution of sources, ③ climates, ④ topographical effects.

The accumulated frequency distributions were calculated using the date of mean values for an hour.

We discussed on the relation between statistical features and other concerning factors.

## 1. まえがき

最近数年間に国設のエア・モニタリング・ステーションを加えて、全国各都市において大気汚染物濃度の連続測定網が増加し各地の大気環境の1時間平均濃度値が集積されてきている。特に亜硫酸ガス濃度(電気伝導度法)および浮遊煤塵濃度指数(反射率あるいは透過率)の資料はところによっては5年間以上も継続されている。そしてこれらの資料の各都市における使用状態をみると、主に高濃度発生に関する監視、警報発令等の資料としての利用が主なものであって、都市の再開発又は汚染の発生しないような都市計画に利用するといった面では立遅れているように思われる。汚染源が多数散在しているような都市部の大気汚染発生の機構は、単純に1つの因子

を制御することでは解決されない問題であり、また考え得る多数の因子のうちどの因子が大きな比重を占めているかは、単純なモデルによって推定できない困難さがあるように思われる。今独立に影響力を持つと思われる汚染発生因子を過去の研究成果より列举してみると、①汚染物発生量、②発生源分布、③気象因子、④地形効果などがその主なものである。これらの効果の相互作用の結果が連続測定値に表われているわけであるが、これを特徴的な形で表現する方法の1つとしては、1時間平均濃度値の累積度数分布を作りその分布形を調べることである。

我々は各地の亜硫酸ガス濃度の測定結果から累積度数分布をつくり各々の汚染形態に関する統計的特性を調べた。解析に用いた地域は6都市17箇所の測定点である。また分布形と上記諸因子との関係については、主に①、②の項目について考察を加えた。連続測定された大気汚染物濃度の累積度数分布は、過去に Nashville, U.S.A.<sup>1)</sup>

\* 都市環境工学講座 大学院修士課程学生

\*\* " 助手

\*\*\* " 助教授

などの調査結果にみられる如く、「対数正規分布」によってよく近似され一般化されている。そしてその累積度数分布において汚染物発生量の制御に関する目安をつけるには分布曲線を対数正規確率紙上で平行移動させることによってその地域のすべての出現濃度値をある基準以下に減少させる比率を簡単に求めることが可能である。また本研究において、対数正規分布から大きくずれている分布に関しては、変数変換を施すことにより殆んど対数正規型に置き換えることが出来た。

以上のような統計的方法によって、各汚染地域の長期的な濃度評価を一般化することができ、かつ地域毎の統計的特性をある程度比較検討することが可能となり、地域住民の健康に大きな影響を及ぼす大気汚染濃度の推定がより適切に行なえたと考える。

## 2. 各地の汚染の統計的特徴

連続測定記録計により得られた汚染物濃度の累積度数と濃度との関係を対数正規確率紙を用いて整理し、各地各年の統計的特徴を明らかにした。

対数正規確率紙を用いた理由は次の三点からである。

1) 大気汚染物濃度の対数値（すべて常用対数を用いる事とする）は、 $n$  個の汚染発生因子の対数値の線形結合で、(1)式のように表現出来ると仮定する。

$$\log X = a_1 \log C_1 + a_2 \log C_2 + \dots + a_n \log C_n \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} X & \text{汚染物濃度} \\ C_1 \sim C_n & \text{汚染発生共通因子} \\ a_1 \sim a_n & \text{負荷定数} \end{array} \right.$$

ここで  $n$  個の確率変数  $a_1 \log C_1, a_2 \log C_2 \dots a_n \log C_n$  がそれぞれ独立で、ランダムに変動し、分散が有限ならば、 $n$  が十分大の時、 $\log X$  の分布は、正規分布となる事が証明される。

2) 対数正規確率紙を用いると、ある操作をする事により、(3. で詳説)、各都市、各年のデータを統一して評価する事が出来る。

3) 対数正規確率紙上での曲線を考察する事により、濃度を環境基準以下にするための汚染防止計画に大きく寄与する事が可能である。

1) の仮定の通り濃度の対数値に対し、累積度数が、正規分布をしているならば、対数正規確率紙上では、その関係は直線となるのであるが、実際のデータを解析した結果では、直線となっていない場合が多い。この事は、必ずしも発生因子が互いに独立でランダムに変動をして

いない事、又その地域の特殊な要因の占めるウエイトが大なる事を示していると考えられる。実際の汚染と因子との関係は、(1)式に更に、幾つかの非線形項が追加される形で成立していると思われる。

汚染がどの様な関数形で表示出来るかという事は一つの重要な課題であろうが、ここではその点に関しては立ち入らず、対数正規確率紙上にプロットされた曲線の解析を進めて行く事とする。参考までに分布が、正規確率紙上でどの様な形になるのかを図-1 に示す。

解析にあたっては、期間を夏期と冬期に分類してある。夏期は4月から9月迄、冬期は10月から翌年の3月迄である。又日曜、祝祭日のデータと平日のデータを分離して整理してある。これは、季節による気象的影響や、ビル、家庭、工場等の汚染に対する寄与率を明らかにするためである。集計にあたっては一日の観測数が16個以上を有効とし、それ以下は、その日は欠測日と見なし、集計はしていない。

この様な方法で、全国6都市、50数例のデータ（室蘭市、札幌市、東京都、横浜市、大阪府、北九州市）を整理してみたわけであるが、その中の代表的なものを図-2~9で示してある。

参考までに、室蘭市と大阪府の冬期のヒストグラムを図-10, 11に示してある。

図-2~9は昭和42年度の各地の実測結果である。点線は夏期、実線は冬期を示しており、おのおのの細線は休日、祝祭日、太線は平日を示している。又左上のカッコの中の数字の左側は平日の、その期間内の測定総個数右側は休日、祝祭日の測定総個数である。

### 2.1 平日と休日との関係について

札幌市や、東京都などに代表される所謂、都市型の汚染形態を示す地域においては、明らかに分布に差を生じ、発生強度の小さいと思われる休日の分布が平日の分布の左側に位置している。そして工業都市の形態をとる室蘭市、北九州市などにおいては、その差異は殆ど認められない。

市街地のスケールや、気象条件が統計的に不変であるならば、発生源濃度の一様な増加、もしくは減少により、対数正規確率紙上で曲線は、左又は右に平行移動する。

冬期において暖房を必要とする地域においては、休日にはビルの発生源強度が一樣に減少する事から、統計的に見て、札幌市第2庁舎の図における実線の細線と太線との差（冬期の平日と平日の差）はほぼビル暖房の汚染への寄与率であり、実線の細線と点線の差がほぼ家庭暖

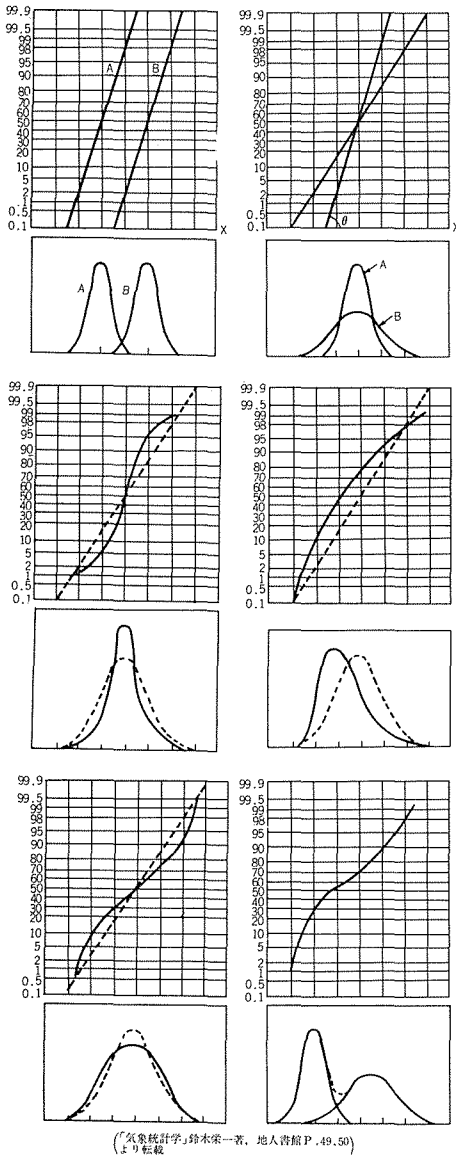


図-1

正規確率紙と各分布形態のその上における状況

(「気象統計学」鈴木栄一著、他人書館P.9, 0より転載)  
 房の汚染への寄与率であると考えられる事が出来る。一方同じ暖房地域でありながら、室蘭市輪西支所の図は、ビル暖房の汚染への寄与率が非常に小さい事を示している。

2.2 期間による違いについて

夏期と冬期の分布についてであるが、測定地の地理的影響が大であり、札幌市、室蘭市以外は、その状況が十分調査出来なかったため、今回はこの二都市について考察を加える。

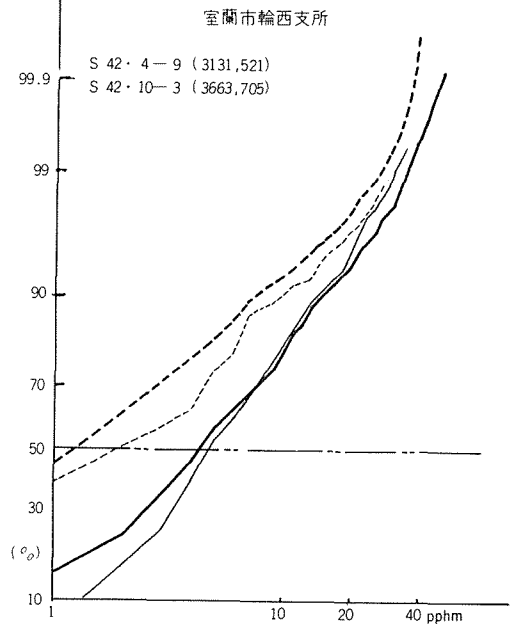


図-2

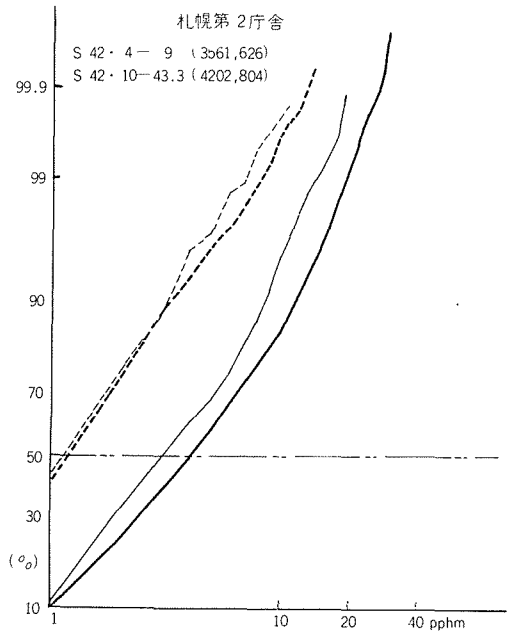


図-3

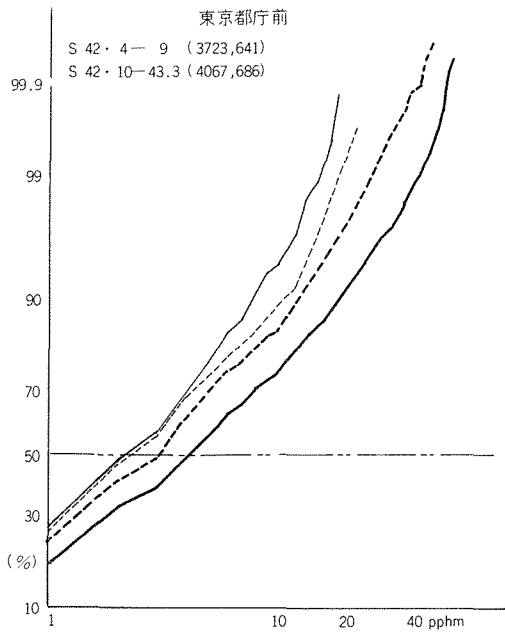


図-4

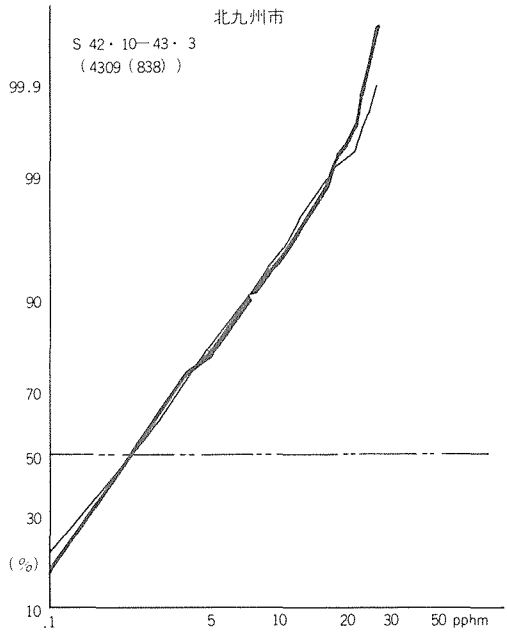


図-5

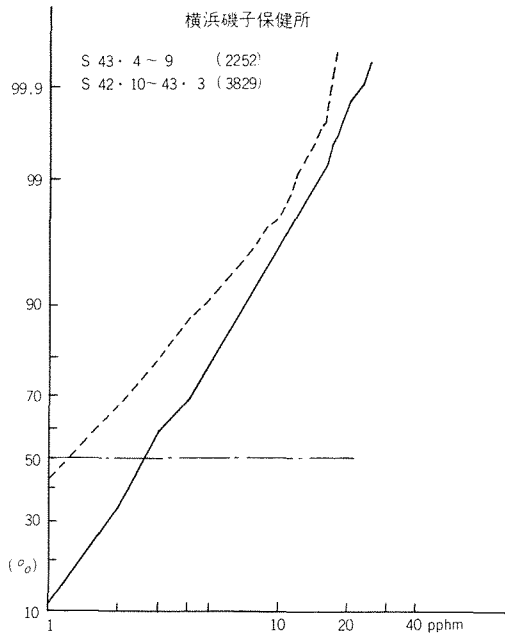


図-6

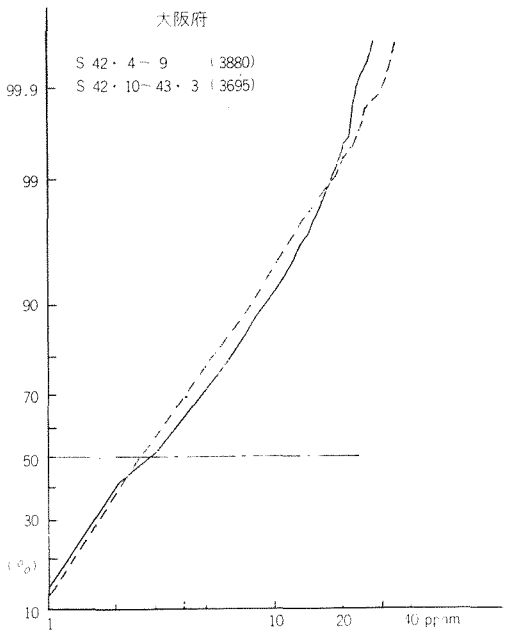


図-7

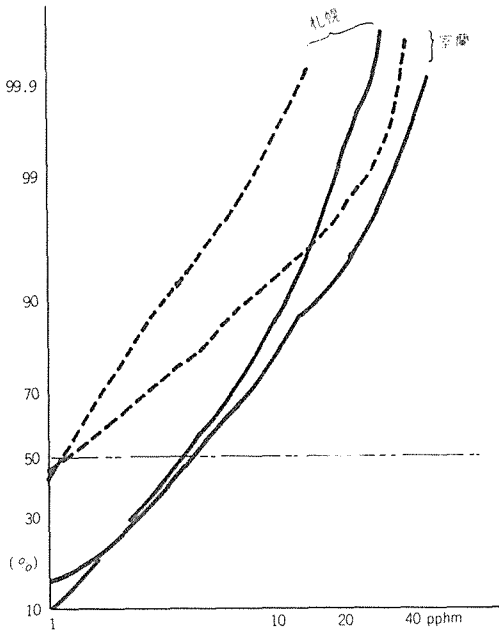


図-8

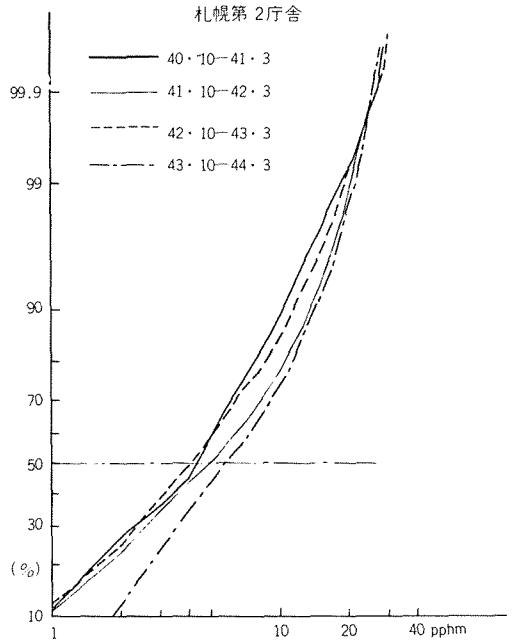


図-9

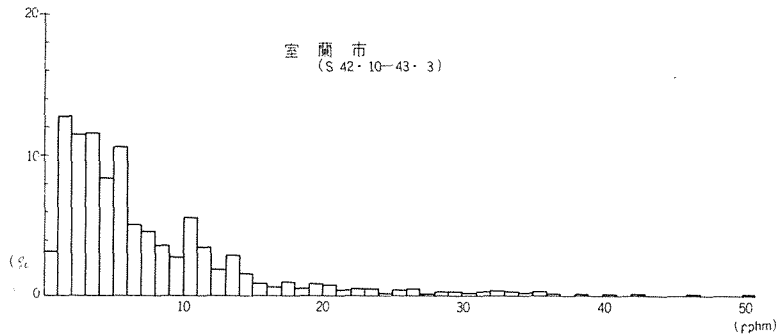


図-10

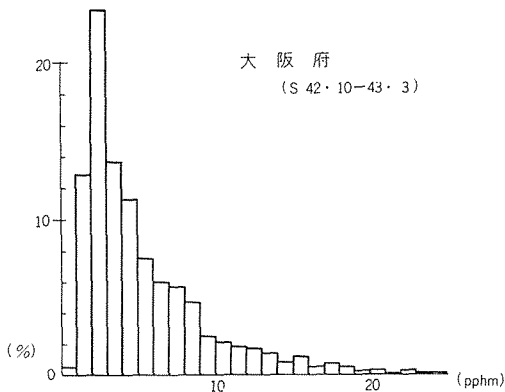


図-11

札幌市第2庁舎は市の汚染地域の中心に位置しており、この事から気象因子による分布への影響は長期間においては相殺されるものと思われる。又、夏と冬の分布が、ほぼ平行移動している事から両者の差は汚染物排出強度の一樣な減少、及び増加によるものであろう。

室蘭市においては測定位置はほぼ大汚染源の南東に位置しており、一方図-12に示した様に、この地域の風向は、夏期には南東風、冬期には北西風が卓越している。この事から汚染濃度が冬期には、夏期より高い値を示し又その分布型も異っている事が説明される。

### 2.3 経年変化について

一地点における経年変化は、分布の上でどのような変化

室蘭市輪西地区の風向百分率

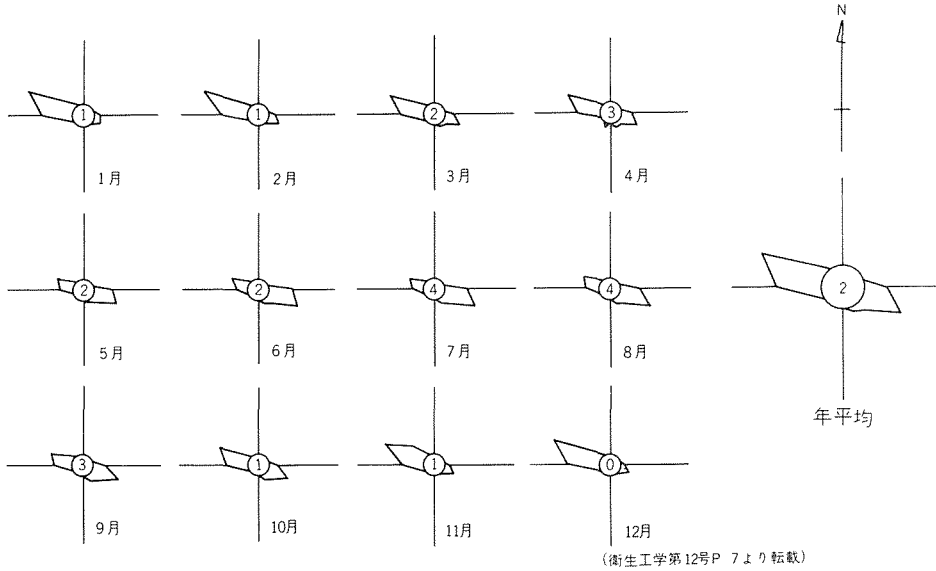


図-12

を示しているのであろうか。この点に関して札幌市第2庁舎で観測された、冬期の4年間の分布について考察してみる。

図-9では、昭和42年は別としてもほぼ0.25ppm，99.8%の点を要として年度とともに扇状に右方に曲線がずれている事がわかる。高濃度の出現率の変化は殆ど無く、低濃度値の増大化が札幌においては顕著である事を意味している。この原因に関しては、十分な解析はなされなかったが、冬期の気象条件が、この期間ほぼ統計的に等しかった、と仮定するならば、この分布の変化は都市の構造上の変化（排出源分布の拡大化）によるものと考えられる。

3. 各地の汚染の定量的把握

2.においては札幌市、室蘭市を中心として各地のデータを対数正規確率紙を用いてその特徴を定性的に明らかにしたわけであるが、より具体的にその現象をつかむためには、ある程度定量的に整理する必要がある。

そのため次に示す方法で各都市、各年の比較を行った。

3.1 方法

- $\sigma^2$  ; 直線の分散
- $\sigma_c^2$  ; 曲線の分散
- C ; 移動量
- $m_T$  ; 曲線の50%値(対数の真数)

図-13において、原データからプロットされた曲線の50%値の対数値を

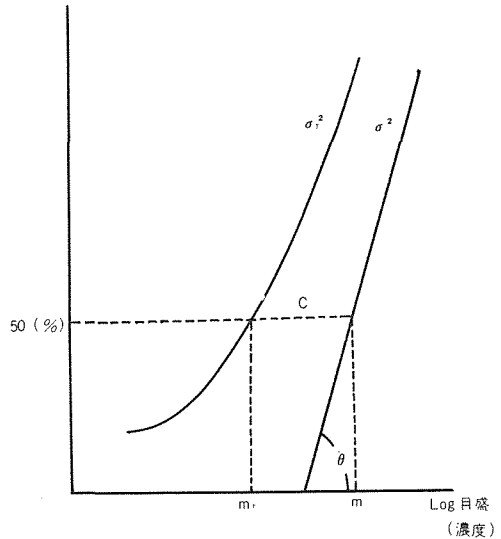


図-13

$$\log m_T \dots\dots\dots (2)$$

とする。 $\log(x-c)$ が正規分布をする時変数変換

$$t = \{\log(x-c) - \log m\} / \sigma$$

によって規準正規分布となり、 $\log(x-c)$ と $t$ とは直線関係になる。

Cは $x(t+h)$ と $x(t)$ との定差図を作る事により最小自乗法で求められる。hは任意の値であり今回は0.25とした。

上式から

$$x(t) = 10^{\log m + \sigma t} + C$$

となり

$$\begin{cases} x(t+h) = 10^{\sigma h} \cdot x(t) - C(1 - 10^{\sigma h}) \\ x(t) = x(t+h) \end{cases}$$

の二式より  $C$  が求められる。

$C$  は曲線が下に凸の場合は正となり、上に凸の場合は負となる。

$$C \dots\dots\dots (3)$$

$C$  が求まると、曲線は、分散  $\sigma^2$  の直線となりそれが横軸との間につくる角を  $\theta$  とすれば、分散は、

$$\sigma = 1/\tan \theta \dots\dots\dots (4)$$

より求まる。

次にこの直線の分散から、もとの曲線の分散 ( $\sigma_T^2$ ) を求める。

一般に

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum (\log \frac{x}{m})^2$$

で表わされる分布を  $C$  だけ移動した場合、移動された分布の分散は、

$$\sigma'^2 = \frac{1}{n-1} \sum (\log x - c/m - c)^2$$

となる。そこで  $\sigma'^2$  を  $\sigma^2$  で表わす事により  $\sigma_T^2$  は  $\sigma$  で表わす事が出来る。

$\sigma'^2/\sigma^2$  を計算すると

$$\sigma'^2/\sigma^2 = \frac{\sum (\log \frac{x}{m} (1 + \frac{c}{m}))^2}{\sum (\log \frac{x}{m})^2} \quad (\because |c/m| < 1)$$

$$= 1 + \frac{\sum (\log (1 + \frac{c}{m}))^2}{(n-1)\sigma^2}$$

$$= 1 + \frac{n (\log (1 + \frac{c}{m}))^2}{(n-1)\sigma^2}$$

$$\therefore \sigma_T^2 = \sigma^2 + \left( \log \left( 1 + \frac{c}{m} \right) \right)^2 \left( \frac{n}{n-1} = 1, n \rightarrow \infty \right)$$

この事により、曲線の分散 ( $\sigma_T^2$ ) は直線を  $-c$  移動させた事により、

$$\sigma_T^2 = \sigma^2 + \left( \log \left( 1 - \frac{c}{m_T + c} \right) \right)^2 \dots\dots\dots (5)$$

となる。

更に変動係数 ( $CV$ ) を

$$CV = \sqrt{\sigma_T^2} / \log m_T \dots\dots\dots (6)$$

曲線の歪み率 ( $D$ ) を

$$D = C / (m_T + C) \dots\dots\dots (7)$$

と定義する。

以上(2)~(7)を用いて各地、各年の汚染を定量的に把握する。

又、 $\bar{x}$  を対数値をとらない値の算術平均値、 $a^2$  をその分散とするならば、

$$\lg \bar{x} = \log m_T + \frac{\sigma_T^2}{2} \dots\dots\dots (8)$$

$$\log \{ a^2 + \bar{x}^2 \} = 2(\log m_T + \sigma_T^2) \dots\dots\dots (9)$$

となる事は明らかである。

### 3.2 結果

6個の変量は、互に独立ではなく、その関係は表-1に示される。

(2)~(7)の変量を用いて各地のデータを整理した結果を表-2、3に示す。

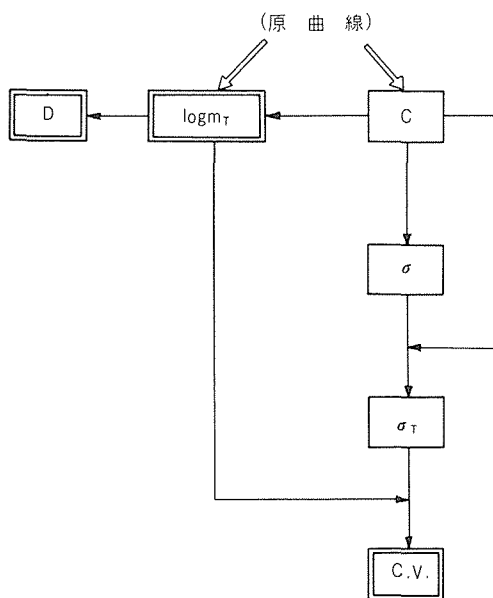


表-1

それで  $D$  と  $\log m_T$  と  $CV$  との関係に関して整理してみた。その結果が図-14, 15であり、札幌市第2庁舎の3個の値の経年変化が図-16である。

図-14は  $C.V$  と  $\log m_T$  の17個の観測例を両対数グラフを用いて整理したものである。 $C.V$  は、平均値のまわりの“ちらばり”を示す無次元量であり、 $\log m_T$  が互に逆比例の関係にある事を意味しており、その方向係数は-1.2である。

図-15は、 $D$  と  $\log m_T$  との関係である。 $D$  は曲線の



表-2

	期間	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
		$\log m_{\tau}$	$-C$	$\sigma$	$\sigma_{\tau}^2$	$C.V$	$D$
札幌 —第2庁舎—	40.10-41.3	0.63	8.28	0.26	0.28	0.84	0.66
	41.4-41.9	0.17	0.35	0.49	0.25	2.95	0.19
	41.10-42.3	0.68	24.33	0.14	0.64	1.17	0.84
	42.4-42.9	0.07	1.83	0.45	0.37	8.39	0.61
	42.10-43.3	0.61	16.03	0.19	0.51	1.17	0.80
札幌	43.4-43.9	0.06	2.83	0.40	0.46	10.59	0.72
	43.10-44.3	0.77	8.99	0.22	0.21	0.60	0.61
室蘭 湖西	42.4-42.9	0.10	37.18	0.19	0.23	15.39	0.97
	42.10-43.3	0.64	10.00	0.34	0.39	0.98	0.70

表-3

	期間	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
		$\log m_{\tau}$	$-C$	$\sigma$	$\sigma_{\tau}^2$	$CV$	$D$
東 —都庁前—	42.4-42.9	0.50	6.56	0.40	0.40	1.27	0.68
	42.10-43.3	0.62	36.69	0.20	1.02	1.62	0.90
	43.4-43.9	0.47	18.32	0.21	0.68	1.76	0.84
大阪	42.4-42.9	0.41	1.59	0.53	0.32	1.38	0.38
	42.10-43.3	0.46	9.07	0.30	0.47	1.45	0.76
横 —磯 浜子—	42.10-43.3	0.42	1.77	0.47	0.27	1.25	0.42
	43.4-43.9	0.08	14.60	0.21	1.30	14.43	0.92
北九州	42.10-43.3	0.36	13.00	0.20	0.71	2.28	0.85

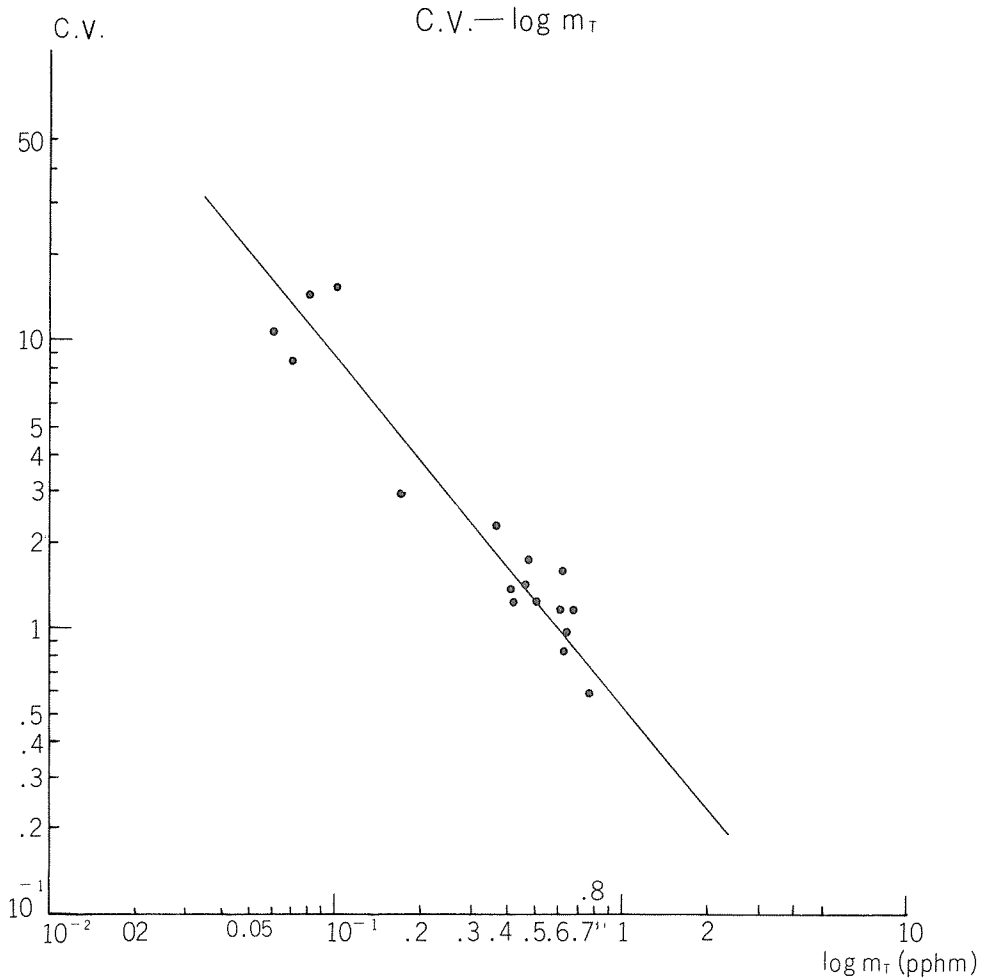


図-14

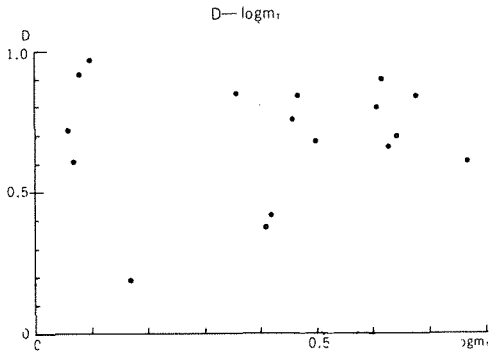


図-15

札幌第2庁舎

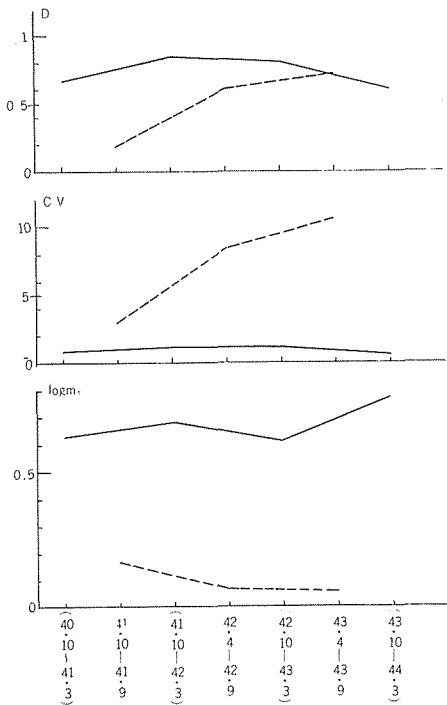


図-16

“ゆがみ”を示す無次元量であるが、この図で見た限りでは両者の間に相関関係は認められない。

図-16は、札幌市の経年変化を示したものである。実線は冬期、点線は夏期の変化を表わしている。夏期においては  $\log m_T$  が減少の傾向があり、それに伴う  $C.V.$ 、 $D$  についての顕著な変化はみうけられない。

#### 4. 今後の課題

対数正規確率紙を使用する事により各地、各年の汚染の特徴を定性的に把握する事が出来たと同時に、長期に

わたる大気汚染の特性を、いくつかの変量により数量的に記述する事が出来た。しかし、各変量の構造的意義づけをするには至っていない。今後は次の事が必要であろう。

- 1) 測定地の位置による分布への影響（例えば測定点が汚染地域の中にあるのか外にあるのか、など）が大であり、その点も含めての都市の汚染の立体的な構造をつかむ必要がある。対象地域の他の測定点との相関関係を調査する事により、一測定点の測定結果で全体の状況を把握する事は可能であろう。
- 2) 確率紙にプロットされた曲線を考察してみるならば、汚染は必しも一つの分布に従っていない。今後この点に関しては分布の函数型を追求する作業をすすめる中で明確にして行く必要がある。
- 3) 汚染の防止計画を進めるにあたっては、医学的な意味での環境基準（濃度と曝露時間との関係や、変動曝露に対する生体負荷の問題など）に関してのより具体的な研究が期待される。

最後に、貴重なデータを快く提供して下さった、札幌市役所、北海道庁、横浜市役所、東京都庁、厚生省の各局の方々に深甚なる謝意を表するとともに、複雑なデータの処理に労をおさず協力して下さいました当教室の小田、村上両嬢に心から感謝致します。

#### 参考文献

- 1) A. C. Stern. Air Pollution ; Academic Press. §2. Gaseous Pollutant in the air . §51 Air pollution standards. (1968)
- 2) R. I. Larsen  
A method for determining source reduction required to meet air quality standards ; J. Air Poll. Cont. Asso. Vol. 11 NO.2 (1961)
- 3) C. E. Zimmer, R. I. Larsen  
Calculating air quality and its control ; J. Air. Poll. Cont. Asso. Vol. 15 NO. 12 (1965)
- 4) R. I. Larsen  
A new mathematical model of air pollutant concentration averaging time and frequency ; J. Air Poll. Cont. Asso. Vol. 17 NO. 17 (1969)
- 5) K. J. Marsh, M. D. Foster  
An experimental study of the dispersion of the emissions from chimneys in Reading I; The study of long-term average concentrations of sulphur dioxide ; Atmospheric Environment.

Pergamon press Vol.1 (1967)

- 6) 鈴木栄一 気象統計学 地人書館 (1968)
- 7) 井上力太, 渡辺有治, 中島 敏  
多重汚染源による風下の地上濃度分布についての一解  
析; 衛生工学 第12号 (1966)
- 8) 中山伊知郎編集 統計学辞典 (増補版) 東洋経済新  
報社 (1957)