

東京タワーにおける大気汚染 垂直構造に関する研究

大 平 俊 男 福 岡 三 郎

The Study on the Vertical Mechanism of Air Pollution at Tokyo Tower.

Toshio Odaira Saburo Fukuoka

1. 研究の目的

過去に行われた東京タワーの高度別大気汚染調査の結果から、主として亜硫酸ガス濃度の高度別汚染状況がどのような要因で形成され、また高度によってその影響要因がどのようにちがうかを計算機を用いて解析し、都心部における立体的大気汚染構造を明らかにしようとするものである。

2. 研究の手法

高度別亜硫酸ガス濃度、気象測定値から高度別気象要素が亜硫酸ガス濃度に与える影響、また影響の高度によるちがいを調べるのであるが、ここでは重回帰分析をベースにした手法と成分分析の手法を用いた。

1) 重回帰分析による手法

ある測定点における亜硫酸ガス濃度が種々の要素からどのように説明されるかを検討するために、一つの推定モデル式を考えどの要素が亜硫酸ガス濃度に影響しているかをみようという手法である。この場合考えられるモデル式としては、線型モデル(数式のスタイルは、 $Z = ax + by + C$)と非線型モデル(例えば積型モデル…… $Z = Ax^a \cdot y^b$ のようなスタイル)とがある。

ア) 線型モデルによる場合

ある高度における亜硫酸ガス濃度は垂直軸全般にわたる気象の影響を受けるものとする。

$Y_i(t)$: 高度(l)、時間(t)における亜硫酸ガス濃度。

$X_{kj}(t)$: 高度(k)、時間(t)における気象要素(j)の測定値。

a_{ikj} : 高度(l)の亜硫酸ガス濃度に対し高度(k)

の気象要素(j)が影響を与える程度(回帰係数)

$\hat{Y}_i(t)$: 垂直軸全般の気象要素から、高度(l)の亜硫酸ガス濃度を推定した場合の推定値

$$\hat{Y}_i(t) = \sum_{k,j} a_{ikj} X_{kj}(t) + a_{i0} \text{----- (i)}$$

(i)式の推定値 $\hat{Y}_i(t)$ と測定値 $Y_i(t)$ との差(自乗和)を最小にするための a_{ikj}, a_{i0} を求めることになる。

$$Q = \sum_l \sum_t \left\{ Y_i(t) - \hat{Y}_i(t) \right\}^2$$

$$= \sum_l \sum_t \left\{ Y_i(t) - \left(\sum_{k,j} a_{ikj} X_{kj}(t) + a_{i0} \right) \right\}^2 \text{----- (ii)}$$

Q を最小にするには a_{ikj} について偏微分が 0 とあければよい。

$$\frac{\partial Q}{\partial a_{ikj}} = 0 \text{----- (iii)}$$

(ii)式を(iii)式に代入すると、

$$\left. \begin{aligned} \sum_y y = \sum_{x=1}^m \alpha \left\{ \frac{|\sum xy|}{|\sum x| \cdot |\sum y|} \right\} \text{----- (iv)} \\ \sum_{xx} = \{ \text{cov}(X_{kj}, X_{qp}) \} \quad \left(\begin{array}{l} k,j = 1 \sim m \\ q,p = 1 \sim m \end{array} \right) \\ \sum_{xy} = \{ \text{cov}(Y_{kj}, Y_i) \} \quad \left(\begin{array}{l} k,j = 1 \sim m \\ i = 1 \sim n \end{array} \right) \\ \sum_{yy} = \{ \text{cov}(Y_i, Y_e) \} \quad \left(\begin{array}{l} i = 1 \sim n \\ e = 1 \sim n \end{array} \right) \\ \alpha = \{ a_{ikj} \} \quad \left(\begin{array}{l} i = 1 \sim n \\ k,j = 1 \sim m \end{array} \right) \\ \text{cov}(X_{kj}, X_{qp}) = \frac{1}{T} \sum_t \left\{ X_{kj}(t) \cdot X_{qp}(t) \right. \\ \left. - \left\{ \frac{1}{T} \sum_t X_{kj}(t) \right\} \left\{ \frac{1}{T} \sum_t X_{qp}(t) \right\} \right\} \\ \text{cov}(X_{kj}, Y_i) = \frac{1}{T} \sum_t \left\{ X_{kj}(t) Y_i(t) \right\} - \left\{ \frac{1}{T} \sum_t X_{kj}(t) \right\} \left\{ \frac{1}{T} \sum_t Y_i(t) \right\} \\ \text{cov}(Y_i, Y_e) = \frac{1}{T} \sum_t \left\{ Y_i(t) Y_e(t) \right\} - \left\{ \frac{1}{T} \sum_t Y_i(t) \right\} \left\{ \frac{1}{T} \sum_t Y_e(t) \right\} \end{aligned} \right\}$$

(iii)式は連立方程式であり、これを解くことにより、高度別、亜硫酸ガス濃度と高度別気象要素との結びつきが求まる。

垂直構造解析全般にわたる解析程度を示す式は μ であり一種の重相関係数であるが、今回は算出してない。

イ) 積型モデルの場合

線型モデルの代りに積型モデルを考えると(i)式は

$$\hat{Y}_i(t) = \prod_{k,j} \{X_{kj}(t)\}^{a_{ikj}} \cdots \cdots (i)$$

となる。上式の変数を対数変換すると(i)式は(ii)式のように線型式となる。

$$Y_i(t) \leftarrow \log Y_i(t)$$

$$X_{kj}(t) \leftarrow \log X_{kj}(t)$$

$$A_{io} \leftarrow \log A_{io}$$

$$Y_i(t) = \sum_{jk} A_{ijk} \cdot X_{jk}(t) + A_{io} \cdots \cdots (ii)$$

(ii)式は(i)式と同じタイプとなり、したがって以降(i)と同じ手法をとる。

2) 成分分析による手法

ijk 等多数属性(風向・風速, 大気安定度, SO₂濃度, ...)間の関係の強さ(相関)から似た属性同志が一つにまとまり、関係の弱い属性とはかけはなれるように多数属性のグループ化、または属性間の共通要因把握を行なう方法である。

成分分析の結果、多数属性間から幾つかの共通要因が把握される。このとき幾つか把握された共通要因中どの要因が一番意味をもつか、二番目に意味をもつのはどの要因かと云うことが解ってくる。通常自然界の現象は5位(5次元)の因子でほとんど説明されると云われる。

各要因の重要性の程度を表わす値を因子説明力と云う、成分分析の計算式は複雑でありここに全部を示すわけにはいかないが、その概略は次のようになる。

$$R = (r_{ik}) \quad R = \text{相関マトリクス}$$

$$r_{ik} = \text{変数 } i \text{ と } k \text{ の単相関}$$

固有根(λ), 固有ベクトル X から固有方程式

$$R X = \lambda X$$

が導かれる。

3. 使用データ

(1) 項目

(ア) 高度別亜硫酸ガス濃度, 25, 127, 223m

(イ) 高度別温度 2, 64, 103, 169, 221, 250m

(ウ) 高度別風向・風速 25, 107, 250m

(2) 期間

表 1 亜硫酸ガス濃度に対する風向別要因ウエイト

区分	風向別	都庁前 要因 ウエイト	城東(冬季) 要因 ウエイト
東京タワー 風 (該当時)	N(NE~NW)	-0.37673	-0.06758
	W(WNW~WSW)	-0.19224	0.25889
	S(SE~SW)	0.14159	-0.24456
	E(ESE~ENE)	0.09285	0.01589
	C	-0.32563	0.04627
東京タワー 風 (1時間前)	N(NE~NW)	-0.14316	-0.08879
	W(WNW~WSW)	0.13136	0.14303
	S(SE~SW)	0.03001	-0.01631
	E(ESE~ENE)	-0.06201	0.29114
	C	0.13960	-0.02979

昭和39~43年, 5カ年間の夏期(8月)2週間, 冬期(12月)1週間, 計3週間のデータ

(注) 風向は他測定値とちがって量的意味をもたない。しかし重回帰分析の場合には何らかの数量化の方法が必要になっている。ここでは昭和42年度の都市大気汚染現象研究会「地区別高濃度, 低濃度汚染と気象要素に関する研究」から数量化された風向要因ウエイトを使用することとした。東京タワー, 亜硫酸ガス濃度に影響する風向要因ウエイトは求まっていなかったので, 42年度同研究会「亜硫酸ガス濃度の地域代表性の研究」から東京タワーに似た動きを示す。夏季都庁前, 冬期城東保健所の風向要因ウエイトを代用した。夏季都庁前, 冬期城東保健所の亜硫酸ガス濃度に対する風向要因ウエイトを表1に示す。

4. 用語の説明

計算結果ならびにその検討をする前に簡単に用語の説明しておく。

◎COV : 共分散を示す記号で一種の分散である。分散が一つの変数についてのものであるのに対し、共分散は任意の2つの変数についてのものである。

◎//：連乗を表わす記号

◎重回帰分析：ある被説明因子を幾つか複数コの説明因子から説明しようとする手法であり、被説明因子とともに数個のデータからなる。手法の骨子は被説明因子と複数コの説明因子線型結合から説明されるものとの間の差を最小にするような各説明因子の説明力を見つけることからなる。

◎重相関係数：上記の被説明因子と複数コの説明因子線型結合から説明されるものとの間に、どの程度関連性があるかを示す値である。

◎偏相関係数：複数コの説明因子において、被説明因子

表 2 東京タワー亜硫酸ガス濃度平均と分散

	測定点高度	サンプル数	平均値	σ^2	σ
夏 季	223m	643	PPhm 5.51	38.25	6.18
	127m	812	4.17	17.51	4.18
	25m	980	4.19	11.53	3.39
冬 季	223m	356	5.88	472.46	21.73
	127m	382	6.07	211.96	14.55
	25m	390	7.64	27.09	5.20

表 3-1 高度別亜硫酸ガス濃度と気象要素との重相関係数一覧表（夏期線型）

要因		大気安定度 (2m— 64m)	大気安定度 (64m— 169m)	大気安定度 (169m— 250m)	風 (107m 該当時)	向風 (1時間 前)	向風 (253m)	速風 (25m)	定 数
高度別測定									重 相 関
223m 特別展望台	係 数	1.24381	-0.0103949	-3.13723	7.65673	0.601881	0.388775	0.561450	5.14586
	偏相関	0.175737	-0.001726	-0.246680	0.257906	0.008633	-0.147985	0.098793	0.400991
127m 展 望 台	係 数	0.752507	0.550469	2.16255	6.06668	1.40411	-0.172923	0.281047	3.30876
	偏相関	0.205787	0.149004	-0.312073	0.343034	0.036726	-0.082994	0.074824	0.571047
25m 科学館屋上	係 数	0.371345	0.391269	-1.38766	3.90153	1.22020	-0.130374	0.215369	3.70673
	偏相関	0.121214	0.123875	-0.232142	0.249801	0.035803	-0.069193	0.064390	0.436106

表 3-2 高度別亜硫酸ガス濃度と気象要素との重相関係数一覧表（夏期非線型）

要因		大気安定度 (2m— 64m)	大気安定度 (64m— 169m)	大気安定度 (169m— 250m)	風 (107m 該当時)	向風 (1時間 前)	向風 (253m)	速風 (25m)	定 数
高度別測定									重 相 関
223m 特別展望台	係 数	0.983080	0.0329486	-1.8126	4.11291	-2.07924	-0.405749	0.233762	0.227259
	偏相関	0.225208	0.008486	-0.28171	0.283107	-0.090310	-0.165739	0.066686	0.439322
127m 展 望 台	係 数	0.463985	0.441904	-1.42806	3.49674	-1.73216	-0.108809	9.82210	-0.263896
	偏相関	0.182077	0.161188	-0.338933	0.345568	-0.110223	-0.060562	0.035915	0.580300
25m 科学館屋上	係 数	0.236938	0.351587	-0.981578	2.42349	-1.01765	-0.102752	8.07636	0.303868
	偏相関	0.104608	0.142512	-0.254527	0.248654	-0.070057	-0.059762	0.034129	0.447885

を説明するのに、各々の説明因子がどの程度説明に役立つかを示す値である。

◎係数：各々の説明因子が被説明因子を説明する場合の寄与度合を示す値である。したがって、 $Z = ax + by + c$ と云った式があるとすればこの式の a, b に相当する。

5. 計算結果とその検討

(1) 平均値と分散

過去5年間の高度別亜硫酸ガス濃度平均と分散 (σ^2) 標準偏差 (σ) を表2に示す。表2にみるとおり、高度別亜硫酸ガス汚染状況は夏季と冬季とは全く逆で、夏季は223m地点が一番濃度が高く127mと25mはそれより

表 4-1 高度別亜硫酸ガス濃度と気象要素との重相関係数一覧表（冬期線型）

要因		大気安定度 (2m— 64m)	大気安定度 (64m— 169m)	大気安定度 (169m— 250m)	風 (107m 該当時)	向風 (107m 1時間前)	向風 (253m)	速風 (25m)	定数 重相関
223m 特別展望台	係数	0.211145	2.36064	-3.57688	-19.0960	-4.05034	-1.20715	1.56068	4.85864
	偏相関	0.047435	0.128138	-0.121774	-0.080875	-0.019041	-0.147000	0.093223	0.231338
127m 展望台	係数	-0.285925	0.157620	-0.578111	-27.9523	5.86659	-0.265733	-0.717005	7.9232
	偏相関	-0.093518	0.012639	-0.029308	-0.166812	0.047867	-0.047868	-0.066814	0.273485
25m 科学館屋上	係数	0.00252014	0.493364	-0.542564	-8.81064	2.01842	-0.386234	-0.582608	10.8665
	偏相関	0.002624	0.126742	-0.0873807	-0.173807	0.46239	-0.211117	-0.165382	0.539676

表 4-2 高度別亜硫酸ガス濃度と気象要素との重相関係数一覧表（冬期非線型）

要因		大気安定度 (2m— 64m)	大気安定度 (64m— 169m)	大気安定度 (169m— 250m)	風 (107m 該当時)	向風 (170m 1時間前)	向風 (253m)	速風 (25m)	定数 重相関
223m 特別展望台	係数	0.369980	0.341776	-0.248404	-5.54881	2.77983	-0.823316	0.374004	9.13495
	偏相関	0.214005	0.119843	-0.053191	-0.181817	0.097854	-0.356160	0.101786	0.499151
127m 展望台	係数	-0.244340	0.310740	-0.160546	-6.45012	4.65136	-0.241671	-0.413499	8.72003
	偏相関	-0.171765	0.132495	-0.041920	-0.236057	0.206218	-0.132363	-0.139992	0.506306
25m 科学館屋上	係数	0.0336334	0.295492	-0.289837	-1.169662	2.19980	-0.366328	-0.457864	3.74398
	偏相関	0.29446	0.166112	-0.092163	-0.082453	0.120725	-0.236437	-0.183499	0.557716

表 5 測定地域別気象要因偏相関係数順位

季節	モデル	高度	①		②		③	
			要因	係数值	要因	係数值	要因	係数值
夏	線型	223m	風向該当時	0.257906	上層大気安定度	-0.245580	下層大気安定度	0.175737
		127m	同上	0.343034	同上	-0.312073	同上	0.205787
		25m	〃	0.249801	〃	-0.232142	〃	0.121214
季	非線型	223m	風向該当時	0.284107	上層大気安定度	-0.28171	下層大気安定度	0.225208
		127m	同上	0.345568	同上	-0.338933	同上	0.182077
		25m	上層大気安定度	-0.254527	風向該当時	0.248654	中層大気安定度	0.142512
冬	線型	223m	風速253m	-0.147000	中層大気安定度	0.128138	上層大気安定度	-0.121774
		127m	風向該当時	-0.166812	下層大気安定度	-0.093518	風速25m	-0.066814
		25m	風速253m	-0.254527	風向該当時	-0.173807	風速25m	-0.165382
季	非線型	223m	風速253m	-0.356160	下層大気安定度	0.214005	風向該当時	-0.191817
		127m	風向該当時	-0.236057	風向時間前	0.206218	下層大気安定度	-0.171765
		25m	風速253m	-0.236437	風速25m	-0.183499	中層大気安定度	0.155112

やや低い。冬季は25mが一番濃度が高く、127、223mと高度が高くなるにしたがい濃度は低くなる。

平均値に対して分散は夏冬とも高度が高いほど大きく、とくに冬季の223mは分散値が大きい。223m冬季の σ は21.73で平均値の4倍の値を示しており、非常にデータがばらついていて亜硫酸ガス濃度の上昇、下降の振巾が大きいことがわかる。223m地点のような場所では地域汚染源の影響はうすれ、有効煙突高の高い大規模汚染源からの高濃度亜硫酸ガスの影響が強く、気象条件のちょっとした変化で濃度の上り下りがはげしくなっているのだろう。このために分散値が大きな値をとっているものと推定される。

(2) 重回帰分析結果

東京タワーの亜硫酸ガス濃度と気象要因との重相関を線型モデル、非線型モデルとで重回帰分析した結果を表3、4に示す。被説明因子である亜硫酸ガス濃度と説明因子である各気象要素との間にどの程度の関連性があるかを示す重相関係数についてまず検討してみよう。

結論から先に云えば線型モデルによる結果、非線型モデルによる結果ともに推定モデル式として使うには不十分である。通常重相関を検討する場合有意である、重相関係数は0.7以上である。しかし今回の計算結果では数値の大きいものでも0.58(夏季、非線型、展望台)小さいものにいたっては0.23(冬季、線型、特展)程度で、推計式としては使えない結果となっている。

重相関係数が小さい値となっている原因として考えられることは、発生源関係の要因が抜けていること、データ数が少なかったことなどがあげられよう。

一般に線型モデルより非線型モデルの方が重相関係数の値が大きく、また測定点別では夏季は127m地点、冬季は25m地点の重相関係数の値が大きい。

つぎに個々の要因が亜硫酸ガス濃度に対してどの程度関係しているかを偏相関係数の値から検討してみよう。偏相関係数の値(絶対値)が大きいと云うことはその地点の亜硫酸ガス濃度に対しそれだけ関与しているということである。夏季、冬季の場合の測定地点別、気象要因別偏相関係数を大きさ(絶対値の大きさ)順に3位まであげると表5のようになる。表にある各係数値のもつ意味を説明すると下記のようになる。

風速：(+)の係数値ならば強い風速が要因としてきて

いることを示す。

(-)の係数値ならば弱い風速がウエイトを占めているところを示す。

安定度：(+)の係数値ならば下層-上層=プラスの意味、即ちてい減。

(-)の係数値ならばその逆で逆転の状態を示す。

風向：(+)の係数値の場合は前記要因ウエイトの(+)の値
(-)の値の場合は要因ウエイトの(-)の値のものが意味をもってくる。

表5から東京タワーにおける亜硫酸ガス濃度と各気象要素との関係を検討してみよう。

—夏季—

(i)夏季の亜硫酸ガス濃度に寄与している要因は高度別3点ともあまり異なる。

(ii)夏季の亜硫酸ガス濃度に寄与しているウエイトが一番高い要因は風向(該当時)である。とくにS成分、E成分の風が高濃度に寄与しているようだ。

(iii)風向の次にウエイトの高い要因は上層の大気安定度(逆転の状態)である。

(iv)3番目にウエイトの高い要因は下層の大気安定度(てい減)であるが前者に比し、そのウエイトの大きさは低くなる。

—冬季—

(i)夏季の東京タワー亜硫酸ガス濃度に寄与している気象要因が高度別3点同じであるのに対し、冬季は高度によって多少異った傾向を示す。

(ii)冬季の亜硫酸ガス濃度に寄与しているウエイトが一番大きい要因は223mと、25mとでは223m地点の風速(弱い)であり、127mでは該当時の風向(S成分)である。

(iii)2番目にウエイトの高い要因は線型モデル非線型モデルとでは異なるが、説明力の大きい非線型モデルをとれば223mでは下層の大気安定度(てい減)、127mでは1時間前の風向(E成分またはW成分)、25mでは25mの風速(弱い)である。

(iv)3番目に大きい要因も非線型モデルで判断すれば、223mでは該当時風向(N成分)、127mでは下層大気安定度(逆転)、25mでは中層大気安定度(てい減)となっている。

以上の結果をもとにして東京タワーにおける亜硫酸ガ

スの立体的汚染構造についてさらに考察をすすめてみよう。

ア) 夏季の汚染構造

東京タワーにおける夏季の立体的汚染構造は一樣で、高度によって差はない。そして夏季の汚染を構成する気象要因は当該時間の風向（N成分）と大気安定度（上層

逆転，下層でい減）であり，風速が関与している度合は著しく小さい。これらのことから判断すれば，夏季の東京タワーの立体的な汚染は地域汚染源より遠隔汚染源から運ばれて来た汚染質によって支配されっていると云えよう。

イ) 冬季の汚染構造

表 6 夏季 高度別 成分分析結果

① 線型 223m

要 因	COMM UNAL	1	2	3	4
0	0.45029	0.01232	-0.08398	-0.50511	0.43353
1	0.83695	0.05277	0.73899	-0.53120	0.07665
2	0.77867	-0.11102	-0.00991	-0.87333	-0.05945
3	0.88208	-0.01043	0.89884	0.25251	-0.10142
4	0.68256	-0.46925	-0.00491	-0.08170	0.67503
5	0.67726	0.18785	-0.02133	0.01991	0.80059
6	0.88078	-0.91204	-0.21617	0.02118	0.04224
7	0.87225	0.90315	0.18946	-0.11739	-0.08298
因子説明力		0.23979	0.18054	0.17314	0.16414

④ 非線型 127m

要 因	COMM UNAL	1	2	3	4
0	0.71212	0.27435	0.08312	-0.42690	-0.66910
1	0.75976	0.01778	0.01016	-0.86779	-0.07926
2	0.64202	0.06810	0.08589	-0.78031	-0.14531
3	0.84032	0.17312	-0.01900	-0.10193	0.89420
4	0.83700	0.84861	0.29343	-0.11168	-0.13519
5	0.83652	0.89423	-0.12378	-0.01095	0.14640
6	0.91291	0.08597	0.92705	0.09450	-0.19274
7	0.91984	0.02600	0.92625	-0.22154	0.11015
因子説明力		0.20475	0.22920	0.20315	0.14046

② 非線型 223m

要 因	COMM UNAL	1	2	3	4
0	0.56855	0.22022	-0.13153	-0.17362	0.68746
1	0.83776	0.04725	-0.01881	0.73552	0.54238
2	0.66338	0.00406	0.20754	0.09870	0.78137
3	0.85944	0.09988	0.00467	0.89107	-0.23541
4	0.82561	0.84020	0.30962	0.00869	0.15402
5	0.81453	0.88866	-0.08756	0.11484	0.06287
6	0.90200	0.13869	0.91349	-0.21824	-0.02594
7	0.87948	0.01758	0.91033	0.20238	0.09751
因子説明力		0.22843	0.22843	0.18460	0.18382

⑤ 線型 25m

要 因	COMM UNAL	1	2	3	4
0	0.61633	0.12233	-0.39868	-0.63585	0.19520
1	0.71660	0.08360	-0.82067	0.06900	-0.17703
2	0.61037	0.02817	-0.76629	-0.11522	0.09533
3	0.80133	0.01017	-0.13543	0.85379	0.19167
4	0.60869	0.55858	-0.11813	-0.34569	0.40400
5	0.84583	-0.10795	0.06809	0.08649	0.90667
6	0.85375	0.91038	0.08030	-0.11675	-0.06986
7	0.89318	0.90330	-0.20672	0.12989	-0.13275
因子説明力		0.24890	0.18823	0.16975	0.14038

③ 線型 127m

要 因	COMM UNAL	1	2	3	4
0	0.68394	0.11967	0.51938	-0.54081	0.32769
1	0.75858	0.00080	0.85646	0.13078	-0.08919
2	0.59268	0.05952	0.75659	-0.12910	0.00591
3	0.87840	-0.01416	0.03936	0.93472	0.05436
4	0.67014	0.43907	0.13502	-0.23406	0.63587
5	0.76317	-0.25786	-0.12831	0.11044	0.81732
6	0.87654	0.91265	-0.10360	-0.18116	-0.00682
7	0.90371	0.91890	0.19381	0.13200	-0.06585
因子説明力		0.24433	0.20753	0.16465	0.14939

⑥ 非線型 25m

要 因	COMM UNAL	1	2	3	4
0	0.67046	0.04386	-0.25423	-0.34456	-0.69655
1	0.71479	0.11849	-0.00233	-0.83510	0.05782
2	0.63507	0.02383	-0.13330	-0.77655	-0.11706
3	0.78812	-0.02214	-0.22939	-0.15473	0.84324
4	0.83556	0.34035	-0.83050	-0.12579	0.11901
5	0.85786	-0.08467	-0.91158	-0.94599	0.13261
6	0.90511	0.93174	-0.10325	0.05576	-0.15232
7	0.90596	0.91604	-0.05295	-0.23324	0.09810
因子説明力		0.23091	0.20865	0.18982	0.15974

冬季の東京タワーの汚染構造は夏季に比べ非常に複雑になっている。冬季は夏季に比べて大気安定度も増し、地域汚染源の活動が活発になっており汚染形態もそれだけ複雑になっているのだろう。高度別に汚染に寄与している要因を簡単に記すと、

223m：第1番目に253mの風速(弱い)がきき、次い

で大気安定度で線型モデルでは上、中層、非線型モデルでは下層の大気安定度が汚染に寄与している。

127m：この地点のみ風向が一番良くきいていて、次いでは下層大気安定度が汚染に寄与している。

25m：127mとは反対に風速が汚染に寄与している度

表7 冬季 高度別 成分分析結果

① 線型 223m

要因	COMM UNAL	1	2	3	4
0	0.94765	-0.02825	0.02566	-0.02042	-0.97251
1	0.52312	0.17075	0.12587	-0.68636	0.08384
2	0.80491	0.08489	0.88426	-0.02898	-0.12224
3	0.75011	-0.02471	0.83522	-0.21720	0.06871
4	0.58306	0.22796	-0.03755	0.78363	0.12391
5	0.51401	-0.47067	0.43266	0.28130	0.16171
6	0.80052	0.87716	0.08378	0.05542	0.14493
7	0.84555	0.91729	-0.00262	0.02973	-0.05687
因子説明力		0.24026	0.21146	0.15209	0.12980

④ 非線型 127m

要因	COMM UNAL	1	2	3	4
0	0.70278	0.49391	0.26588	-0.08754	0.61682
1	0.81545	-0.01186	0.37972	-0.09572	-0.81360
2	0.78792	-0.12513	0.87438	0.07663	-0.04291
3	0.74235	0.01687	0.85229	0.04005	-0.11861
4	0.82849	-0.23585	-0.08589	0.87490	0.00601
5	0.79847	0.23160	0.22177	0.83329	0.03560
6	0.81471	-0.89104	0.12164	0.02700	-0.07227
7	0.83953	-0.91028	0.03214	-0.02181	-0.09704
因子説明力		0.24898	0.22228	0.18567	0.13428

② 非線型 223m

要因	COMM UNAL	1	2	3	4
0	0.79917	0.36632	-0.00289	-0.05565	0.81355
1	0.68523	-0.35220	0.32474	-0.04772	0.67338
2	0.74902	-0.07199	0.84353	0.07048	0.16528
3	0.82092	0.06109	0.90401	0.01896	0.02655
4	0.81041	-0.21009	-0.09776	0.85662	-0.15139
5	0.80775	0.20834	0.19903	0.84904	0.06211
6	0.82825	-0.89620	0.07220	0.03208	-0.13722
7	0.81203	-0.89859	-0.04790	-0.02456	0.04094
因子説明力		0.24552	0.21137	0.18338	0.14883

⑤ 線型 25m

要因	COMM UNAL	1	2	3	4
0	0.55557	0.73750	0.07831	0.06645	0.03334
1	0.90801	-0.10271	0.04209	-0.01968	0.94620
2	0.81016	-0.06695	0.89114	-0.10687	0.01089
3	0.78985	0.03077	0.88490	0.02520	0.07220
4	0.71180	-0.39605	-0.18814	-0.59931	-0.40045
5	0.79223	0.30486	0.19685	-0.80038	0.14114
6	0.77769	-0.87339	0.04010	0.03327	0.10120
7	0.79692	-0.86042	0.10625	0.21172	0.02156
因子説明力		0.28934	0.20902	0.13283	0.13659

③ 線型 127m

要因	COMM UNAL	1	2	3	4
0	0.74041	-0.12785	0.03218	0.02549	-0.84992
1	0.74394	0.06351	0.12433	-0.77078	0.36103
2	0.80699	0.07869	0.89413	0.02084	0.02998
3	0.77027	-0.00183	0.85899	-0.16684	-0.06757
4	0.72607	0.11248	-0.01681	0.72908	0.42611
5	0.54881	-0.57602	0.37161	0.20570	0.19132
6	0.76886	0.83695	0.15945	0.06500	0.19684
7	0.84529	0.90458	0.06538	0.07333	0.13174
因子説明力		0.23622	0.21524	0.15081	0.14156

⑥ 非線型 25m

要因	COMM UNAL	1	2	3	4
0	0.60950	0.76635	0.05714	0.05574	-0.12584
1	0.96794	-0.09407	0.19298	-0.04478	-0.95908
2	0.79113	-0.04281	0.87482	0.06380	-0.14108
3	0.80107	0.02670	0.89080	0.02372	-0.07917
4	0.81106	-0.22456	-0.050925	0.86283	0.10655
5	0.80505	0.22593	0.17126	0.84924	-0.05879
6	0.79124	-0.87747	0.01549	0.07280	-0.12547
7	0.79366	-0.87582	0.06581	-0.00370	-0.14914
因子説明力		0.27964	0.20474	0.18510	0.12683

① 夏 線型 特別展望台 SO₂

② 夏 非線型 特別展望台 SO₂

凡例

- 0-SO₂
- 1-F層大気安定度
- 2-中層大気安定度
- 3-上層大気安定度
- 4-風向(該当時)
- 5-風向(1時間前)
- 6-風速(253m)
- 7-風速(25m)

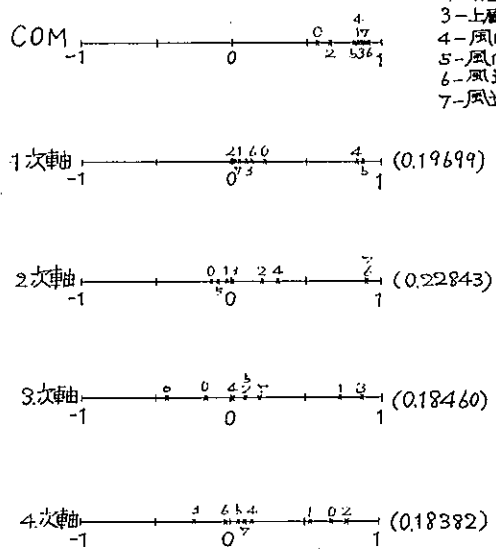
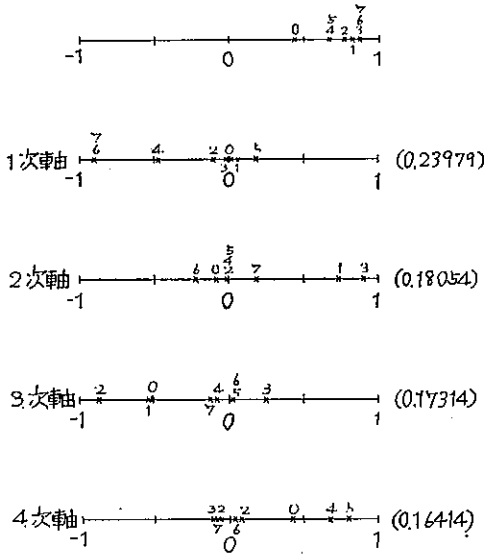


図 1 夏季特別展望台成分分析値プロット図

① 夏 線型 展望台 SO₂

② 夏 非線型 展望台 SO₂

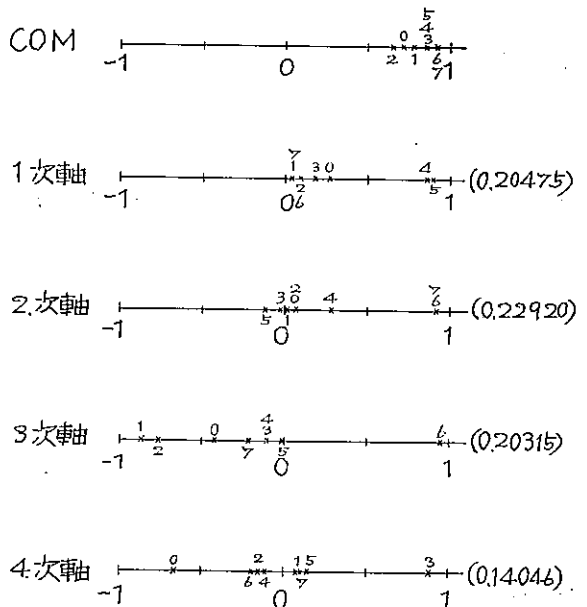
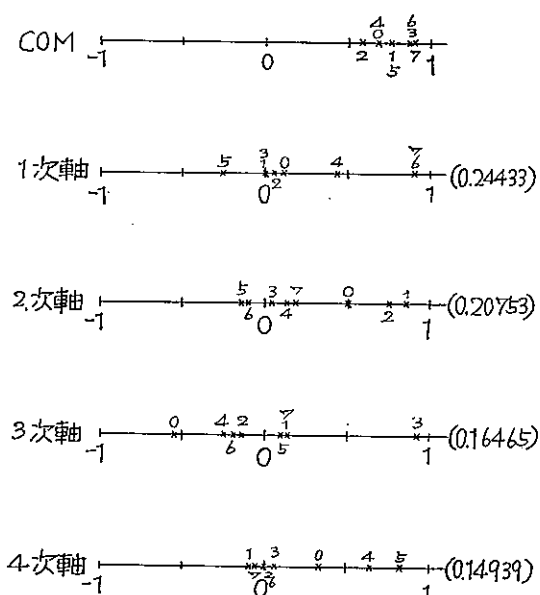
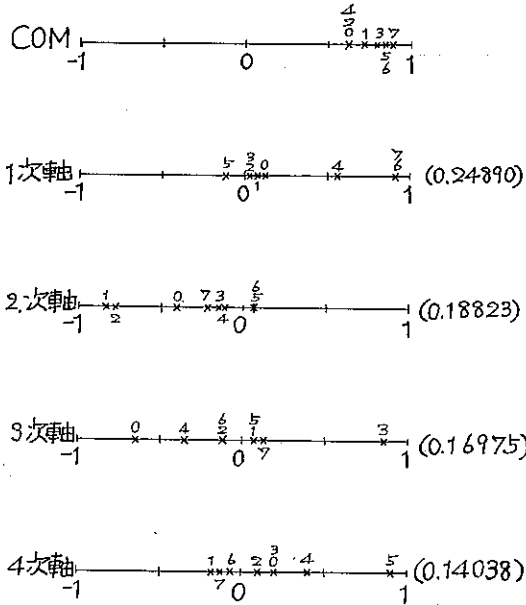


図 2 夏季展望台成分分析値プロット図

① 夏、線型 屋上科学館SO₂



② 夏、非線型 屋上科学館SO₂

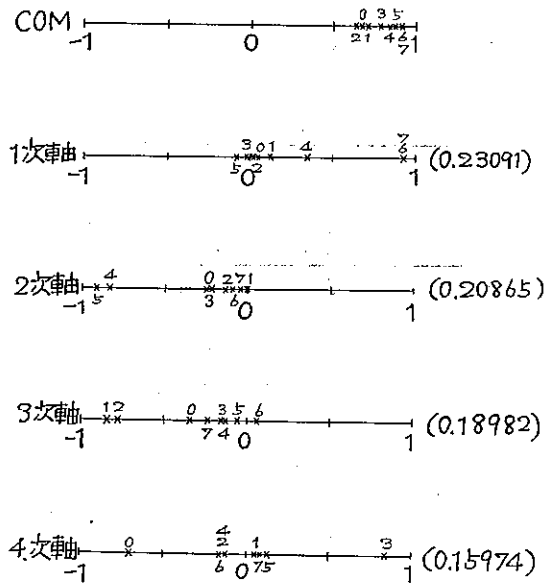
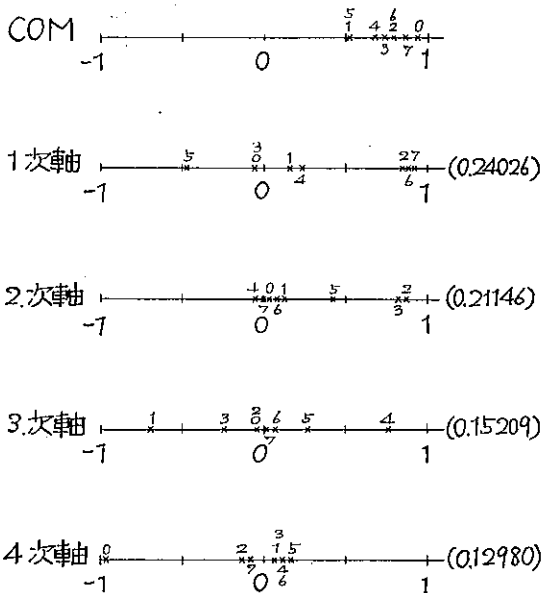


図3 夏季科学館屋上成分分析値プロット図

① 冬、線型 特別展望台SO₂



② 冬、非線型 特別展望台SO₂

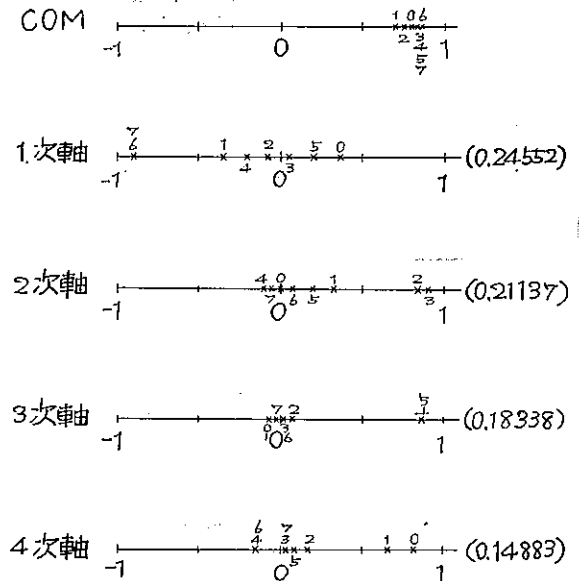


図4 冬季特別展望台成分分析値プロット図

① 冬 線型 展望台 SO₂

② 冬 非線型 展望台 SO₂

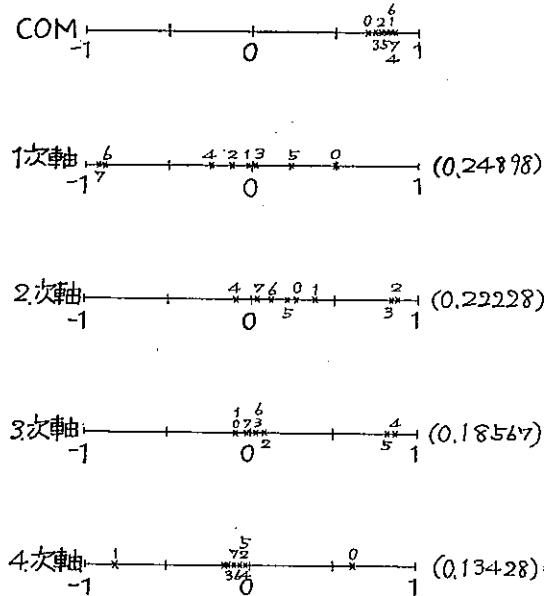
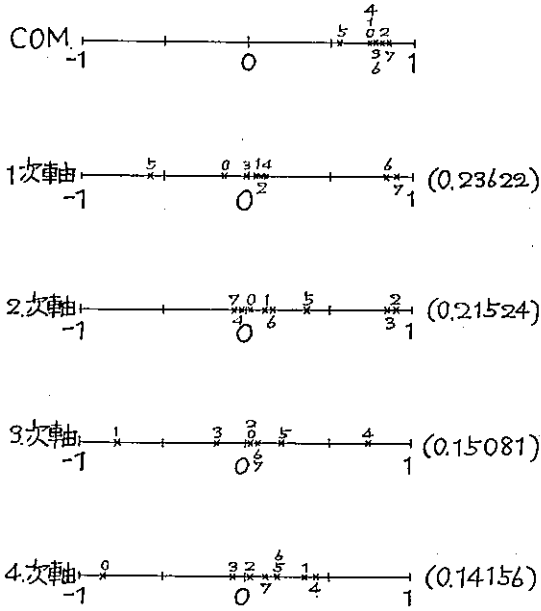


図 5 冬季展望台成分分析プロット図

① 冬 線型 屋上科学館 SO₂

② 冬 非線型 屋上科学館 SO₂

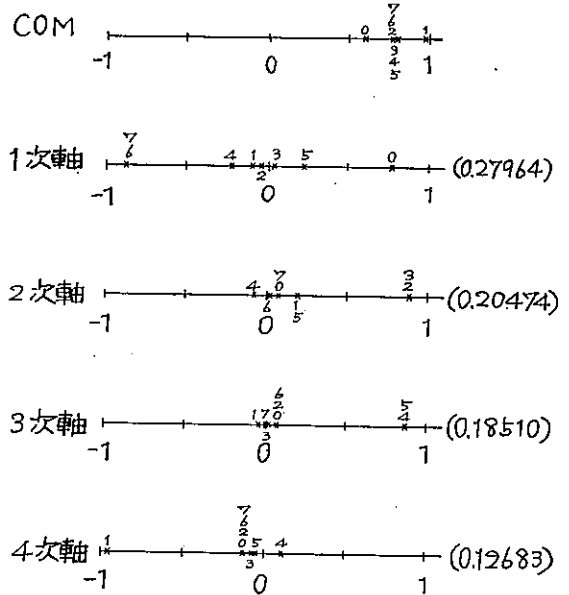
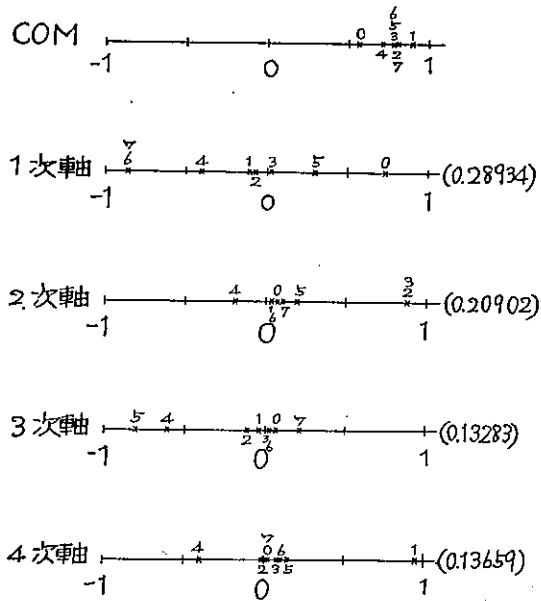


図 6 冬季科学館屋上成分分析プロット図

合が大きく、次いでは線型モデルでは風向該当時、非線型モデルでは中層大気安定度である。

以上のように冬季は東京タワー高度別各層の亜硫酸ガス汚染に寄与している。気象要因は各層まちまちであり、また線型モデル、非線型モデルとも大きなちがいをみせている。したがって冬季の汚染構造を25m, 253m地点では風速(弱い)が大きなウェイトを占めているから地域汚染源の影響、127m地点は風向の寄与度合が大きいから遠隔汚染源の影響と云う具合に単純に判断することは危険である。データ数をもう少し多くしないと冬季の立体汚染構造は解析しにくいと云えるかも知れない。

ウ) 亜硫酸ガス高濃度汚染に寄与する気象要因に関する検討:

東京タワーにおける高濃度亜硫酸ガスに寄与する気象要因の特徴について少し検討してみよう。

—大気安定度について—

表5の測定地点別気象要因偏相関係数順位表の係数値から解るように、大気安定度では上層は逆転の状態のとき、中下層ではい減の状態が高濃度汚染に寄与しているようである。この傾向からみる限り高濃度汚染における大気安定度の役割は上層(169~250m)にあっては、いわゆるフタをして汚染質の拡散を妨げること。中下層(169m以下)にあっては汚染質の鉛直混合(Fumigation)をしていることと云う具合に解釈できる。

—風向について—

高濃度汚染に寄与している風向は1時間前のものより該当時間の風向の方が大きなウェイトを占めている。このことにより風向の測定値の時間的的代表性は案外あり、汚染濃度の動きとうまく対応していると判断される。

—風速について—

風速は偏相関係数が何れも(-)で風速が弱いときに高濃度汚染に関与していることがわかるが25mの風速値より253mのそれの方が説明力が大きい。ビルが乱立する都心部においては高度の高い253mの風速値の方が代表性があり汚染濃度との結びつきが強くなるものと思われる。

3) 成分分析結果

東京タワー亜硫酸ガス濃度と各気象要素との間の共通属性を求めるために成分分析を(2)と同じく線型ならびに

非線型モデルで行った。タワー高度別成分分析結果を表6~7に示す。表6~7ではなかなか解りにくいところもあるのでこの数値を一次軸~四次軸に分けてグラフにして図1~6に示す。

まず図のみかたから説明する。各図におけるCOM(communal)の図はこの成分分析の四次軸までの値で説明される割合を示したもので、亜硫酸ガス(0)の値が1に近ければ近い程その説明度合は強い。例えば図1, 2, 6などでは0の絶対値が小さく、他の要素からも離れておりこの四次までの分析では説明しきれないことを意味している。各図の一次~四次軸上に示したグラフは成分分析値をそれぞれプロットしたものである。数字はそれぞれの要因番号を示す。表6~7の分析値は属性を見分けられやすいように回転操作した(Rotated Factor matrix)数値であり、したがって図では各軸上でその次元では何が共通属性として語られているか一目でわかるようになっていく。例えば図1の場合一次軸では7, 6の因子に関するものが説明されており、二次軸では3(又は1)の因子に関するものが説明されている。したがって亜硫酸ガスと気象要因との共通属性はその軸で説明されている因子との距離によって求まってくる。(近ければ近い程同属性が強い)その次元で説明されている因子以外の因子同志が近似値となって接近して図にプロットされている場合は(一般的には絶対値の小さい値即ち0の付近にプロットされている)同属性が強いとは説明にはならない。各グラフの右側の数値は因子説明力であり、数値大なるもの程説明力は強い。一般に第一軸が一番数値が大きく順次小さくなって行く。

次に計算結果の検討をする。

各図にみるとおり風に関する要因は風向同志(7, 6)、風速同志(4, 5)それぞれ強い同属性を示している。しかし大気安定度については夏季と冬季ではちがった同属傾向を示す。即ち夏季は下(2m~64m)、中(64m~169m)層の大気安定度が同属であるのに対し、冬季は上(169m~250m)、中層の同属性が強い。これは夏季と冬季とでは大気安定度の構造がちがっていることを示しており、云いかえれば冬季は夏季に比し逆転層の高度が下がっていると云えるかも知れない。

亜硫酸ガスと各気象要因との同属性について図1~6で検討してみよう。夏季、冬季、線型、非線型の各ケー

スとも亜硫酸ガスと各気象要因との結びつきは非常に弱い。各軸で説明されている気象要因と亜硫酸ガス分析値が比較的近似値をとるケース（絶対値で差が0.5以下）を試みに拾い出してみると

夏季 223m 線型 中層の安定度, 風向
(1時間前)

223m 非線型 中層の安定度

127m 線型 同上

127m 非線型 中, 下層の安定度

25m 線型 同上

冬季 223m 非線型 下層の安定度

以上のように同属性の強い要因は非常に少ない。気象要因間の同属性を求める時はともかく、亜硫酸ガスと云う他の要因を含めて成分分析をすることは成分分析のもつ意味を考えた場合ちょっと疑問がある。

今回行った成分分析は、(2)の重回帰分析を補捉する意味で実施したものであるが、亜硫酸ガスと気象との関連性を検討する資料としては不十分である。成分分析の結果同属性が強いということは、時系列パターンが似ていると云うことである。亜硫酸ガスの時系列パターンがある気象要素のそれと似ていればある程度は両者間に関係があるとしても、その気象要因が亜硫酸ガス濃度に影響を与えていると断定するのは危険である。数量化した風向とか風速の強弱の変化パターンが亜硫酸ガス濃度の変化パターンに似たとしてもあまり意味がないし、また計算結果でも同属性が強いと云う結果になっていない。

夏季の成分分析結果で、大気安定度の各要因が亜硫酸ガス濃度と同属性が強い傾向になっているが、この結果から直ちに、大気安定度が亜硫酸ガス濃度に大きく影響していると云う証明にはならない。また仮に影響しているとしても、大気安定度のどう云う状態が亜硫酸ガス濃度を左右しているかと云うことは成分分析結果では解らないと云うことである。

6. まとめ

東京タワーの立体的大気汚染構造を解明する手法としては、例えば、手計算によっては亜硫酸ガス日変化パターンを比べるとか、風向風速別亜硫酸ガス平均値を求めるなどの方法がとられようし、計算機を使うとすれば、高度別3点の亜硫酸ガス濃度の平均、分散の算出、累積度数分布の算出さらには高度な数学的処理（重回帰分

析、成分分析、判別分析）などが考えられる。これらの方法のうち今回は、重回帰分析、成分分析を中心とした手法を用いたわけであるが、勿論今回の手法で、立体的大気汚染構造を十分解明できたわけではない。今後は同じ手法を繰り返して試行すると同時に他の有効な手法をも検討することが必要である。

重回帰分析や成分分析による手法が他の手計算による手法と根本的にちがう点は、解析（説明）度合がはっきり表明できると云うことである。今回の分析結果では、前に述べたように、この解析度合がかなり低く、立体的な東京タワーにおける亜硫酸ガス汚染構造の十分な説明はできない。解析度合は低いが、重回帰分析では、東京タワーの亜硫酸ガス汚染の立体構造について或る程度のこと解ったので以下にまとめてみる。

—夏季—

一般に夏季は、冬季に比べ汚染構造が単純で、データの分散も冬季より散らばっていない。亜硫酸ガス濃度に寄与している気象要因もみつけやすく、高度別3点同一の気象要因が亜硫酸ガス濃度に寄与している。東京タワーの亜硫酸ガス濃度に寄与している度合が一番大きいのは、南成分の風であり、このことから高度別3点の亜硫酸ガス濃度に寄与している発生源は、同一に近いと判断される。風向に次いで寄与しているウエイトが高い要因は、上層の大気の大気安定度（逆転）次いで下層の大気安定度（てい減）である。

—冬季—

冬季は夏季に比べ汚染構造が、はるかに複雑になっている。言いかえれば、高度別3点それぞれちがった気象要因、ちがった発生源の影響によって濃度が左右されていると云うことである。冬季の亜硫酸ガス汚染の鉛直構造中注目すべき点は、223m 地点で、夏季は高度別3点中一番平均濃度が高かったが、逆に冬季は一番平均濃度が低い。また夏季と冬季の平均濃度の差が他2点より小さい。冬季は遠隔汚染源より暖房施設などの地域汚染源が活発になっているため、地上に近い25m 地点、127m 地点の亜硫酸ガスの濃度の平均値が上り、地域汚染源の影響の少ない223m 地点は夏冬とで濃度の差があまり変わらないと云うことが言えるであろう。

平均値とは、逆に分散は高度が高い地点程大きな値をとっている。これは上空程汚染の状況が一様でなく、ち

よったした気象条件の変化で、濃度の上下りがはげしいことを表わしており、時には高濃度亜硫酸ガスの流れが通過しているのではないかと推定される。

冬季の東京タワーの亜硫酸ガス濃度に寄与している気象要因のうちもっとも強いのは風速である。これは夏季には全く見られなかった傾向である。風速の要因のなかでも、弱い風速が高濃度亜硫酸ガスに関与している。このことから冬季の地域汚染源の東京タワーの亜硫酸ガス濃度に与えている影響が大きいことがわかる。風速に次いで冬季の亜硫酸ガス汚染に寄与している要因は高度

別3点それぞれ異なり、またモデル式の手法によっても異なっていて判別がむずかしい。

以上述べた如く夏季と冬季とでは東京タワーにおける鉛直汚染構造は全く異っている。異っている原因として一番大きいのは発生源の要因（とくに地域汚染源）であろうと推定される。今回の解析度合が低いのも、発生源のデータをインプットしていなかった点にあると思われる。今後東京タワーにおける立体汚染構造を解明するには、発生源のデータも入れて計算処理すべきだろう。