

大気中の金属濃度に関する統計的解析

(NASNデータによる考察)

Statistical Analysis of Metal Concentration in Air —Consideration of NASN(National Air Survey Network)data—

新井 真杉

要 旨

NASNのデータを用いて主成分分析を行い、項目を要約することにより、総合的汚染指標を求めることを試みた。その結果、大気汚染質項目の第1主成分は総合的大気汚染指標、金属濃度項目の第1主成分は総合的金属汚染指標、第2主成分は土壌起源金属汚染指標となることを示し、これらの汚染指標の地点別、月別変動を明らかにすることができた。

1 はじめに

浮遊粒子状物質に含有される金属類の中には人体に有害な金属もあり、その監視のために国及び地方公共団体は測定網を設置している。国においては、国設大気測定網(NASN)において浮遊粒子状物質の成分分析(31項目)を行っている。本県においても県内数地点において、重金属類(6項目)について監視している。

このように金属汚染の実態は、個別の項目について把握されているが、統計的解析を行い、総合的な汚染状況を把握した調査は^{1)~3)}少ない。換言すれば、ある地点の総合的な金属汚染を表す指標については十分研究されていないと言える。

そこで、測定金属項目の多いNASNのデータを用いて主成分分析を実施し、データを要約することにより、総合的金属汚染指標及び土壌起源の金属汚染指標を求めることを試みた。さらに、この汚染指標と気象要因との関連を検討した。なお、大気汚染質項目(SO₂、NO、NO₂等)についても同様に解析した。

2 解析方法

昭和56年度~58年度の「国設大気測定網(NASN)測定結果」(環境庁大気保全局大気規制課)に記載されている項目の中から解析対象項目として表1に示し

た項目を選定し、主成分分析^{4), 5)}を行い、金属項目及び大気汚染質項目の要約化を実施した。

NASNにおける浮遊粒子状物質の成分分析は31項目について実施しているが、検出限界以下のデータの多い項目を除き、19項目について解析した。

金属項目はデータをそのまま使用する金属濃度(ng/m³)だけでなく、金属濃度を浮遊粒子状物質濃度で除した金属含有率(粉体当りppm)についても主成分分析を実施した。

NASNにおける浮遊粒子状物質成分分析結果は、16地点について実施しているが、欠測の比較的多い地点を除き、金属項目については15地点、大気汚染質項目については12地点について解析した。その解析対象地点の所在地及び都市計画法第8条に定める用途地域区分を表2に示す。

主成分分析による金属項目の要約化により求めた金属汚染指標と気象要因との関連をみるために、NASNの東京測定所における昭和54年度~58年度の19金属項目について主成分分析を行い、月別金属汚染指標を求めた。この汚染指標の説明変数として表3に示した3項目の気象要因^{4), 5)}を用い、重回帰分析を行った。

3 結果及び考察

3・1 項目間の相関について

大気汚染質項目及び金属項目(濃度、含有率)間の

表1 解析対象項目

項目	測定法	
大気汚染質項目	SO ₂ 、NO、NO ₂ 、CO NMHC(非メタン炭化水素) MHC(メタン)	連続測定機による月平均値
	Ox(オキシダント)	連続測定機による月最高値
	SPM (浮遊粒子状物質)	LVエアサンプラーを用いて25日間連続採取
金属項目	Al、As、Br、Ca、Ce Co、Cr、Fe、Mn、Na Sb、Sc、Se、Sm、Ti V、Zn	SPM試料を放射化分析
	Cd、Pb	SPM試料を蛍光X線分析

表2 解析対象地点

測定所	所在地	用途地域
札幌	札幌市北区19条道公害防止研究所屋上	住居
仙台	仙台市本町 県庁北庁舎屋上	商業
東京	東京都新宿区百人町 都立衛生研究所敷地	住居
川崎	川崎市川崎区田島町 川崎市田島保健所屋上	住居
新潟	新潟市大山 市公害規制課敷地内	住居
名古屋	名古屋市千種区田代町 愛知県カンセンター敷地	住居
大阪	大阪市東成区中道 大阪府公害監視センター屋上	準工業
尼崎	尼崎市東灘成町 尼崎市衛生研究所敷地	住居
松江	松江市西浜佐陀町 島根県衛生公害研究所敷地内	未指定
倉敷	倉敷市美和町 倉敷消防局敷地	商業
宇部	宇部市神原町 婦人職業センター	住居
野幌	江別市西野幌 北海道自治研究所敷地	未指定
麓岳	宮城県遠田郡涌谷町	未指定
都八幡	八幡市男山雄徳 たんばば公園内	住居
筑後小	福岡県小郡市井上	未指定

単相関係数を表4、5に示す。大気汚染質項目についてみると、NO、NO₂、CO、NMHC間の相関が高く、次いでSO₂、SPM間の相関が高かった。OxとMHCはすべての項目との相関が低かった。

表3 気象要因

気象要因	使用データ
月平均気温 減率	東京タワー(東京都港区芝公園)における気温減率(64m-205m)の月平均値
月平均風速	東京管区気象台(東京都千代田区大手町)における風速の月平均値
月間降雨日数	東京管区気象台における月間の降雨日数(0.5mm以上)

金属濃度項目についてみると、Al、Sc、Ca、Ti間、Cd、Pb、Zn、Mn間、Br、Sb、Se、V間の相関が高かった。Feは多くの項目との相関が高く、As、Naは他の項目と無相関であった。

金属含有率項目についてみると、Al、Sc、Ca、Ti間においては金属濃度項目と同様に相関が高かったが、他の項目間の相関は低かった。

表4 大気汚染質項目間の相関係数

	SO ₂	NO	NO ₂	CO	Ox	NMHC	MHC
NO	0.70						
NO ₂	0.79	0.81					
CO	0.73	0.83	0.85				
Ox	-0.13	-0.43	-0.19	-0.25			
NMHC	0.71	0.78	0.81	0.82	-0.08		
MHC	0.15	0.27	0.28	0.24	0.11	0.36	
SPM	0.69	0.64	0.64	0.68	-0.05	0.67	0.19

3.2 寄与率及び因子負荷量について

大気汚染質項目及び金属項目(濃度、含有率)の主成分分析結果を表6~8、因子負荷量を図1~3に示す。

大気汚染質項目についてみると、第2主成分までの累積寄与率は76%であり、第1、第2主成分で全体の情報を良く説明していた。因子負荷量についてみると、第1主成分はOx、MHC以外の項目において大きく、社会活動に伴う1次汚染質による大気汚染の程度を表していると考えられる。

2次汚染質であるOxは、第2主成分において大きかった。また、自然界からの発生の多いMHCは、第3、第2主成分において大きかった。

これらの大気汚染質項目をグループ分けすると次のようになる。

- (i) SO₂、NO、NO₂、CO、NMHC、SPM
——社会活動起源
- (ii) Ox——2次汚染質
- (iii) MHC——自然界起源

表5 金属項目間の相関係数

	Al	As	Br	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Fe	Mn	Na	Pb	Sb	Sc	Se	Sm	Ti	V	Zn
Al	-0.12	-0.33	0.75	-0.03	0.21	0.21	-0.26	0.39	-0.19	0.30	-0.18	-0.45	0.92	-0.31	0.49	0.67	-0.11	-0.39	
As	0.05	0.06	-0.11	0.03	-0.14	-0.05	0.22	-0.07	0.45	0.23	0.17	0.13	-0.14	-0.05	-0.05	-0.10	0.01	0.21	
Br	0.01	0.18	-0.17	0.27	0.12	0.11	0.27	0.13	0.24	0.12	0.26	0.40	-0.33	0.45	-0.12	-0.10	0.32	0.21	
Ca	0.87	0.06	0.18	0.03	0.25	0.24	-0.08	0.40	0.00	0.23	-0.09	0.28	0.76	-0.25	0.45	0.62	-0.10	-0.29	
Cd	0.26	0.23	0.56	0.33	0.11	0.30	0.29	0.34	0.36	0.00	0.43	0.21	0.00	0.37	0.01	0.02	0.18	0.32	
Ce	0.48	0.01	0.40	0.52	0.43	0.32	0.25	0.47	0.13	-0.03	0.07	0.21	0.21	0.23	0.41	0.20	0.28	0.03	
Co	0.49	0.13	0.41	0.52	0.59	0.58	0.36	0.54	0.25	-0.04	0.20	0.11	0.25	0.18	0.25	0.20	0.18	0.20	
Cr	0.02	0.30	0.48	0.16	0.51	0.44	0.53	0.38	0.56	-0.03	0.31	0.39	-0.24	0.30	0.11	-0.08	0.33	0.33	
Fe	0.62	0.18	0.47	0.64	0.63	0.67	0.74	0.56	0.32	-0.01	0.21	0.10	0.42	0.32	0.47	0.36	0.29	0.07	
Mn	0.22	0.55	0.51	0.34	0.62	0.41	0.51	0.65	0.60	0.00	0.35	0.28	-0.19	0.18	0.12	-0.07	0.26	0.36	
Na	0.36	0.35	0.20	0.44	0.18	0.25	0.27	0.26	0.32	0.38	0.00	-0.22	0.30	-0.21	0.03	0.24	0.06	-0.29	
Pb	0.12	0.41	0.55	0.19	0.67	0.36	0.47	0.53	0.53	0.63	0.20	0.36	-0.19	0.04	-0.03	-0.07	0.30	0.34	
Sb	-0.06	0.20	0.65	0.08	0.51	0.43	0.32	0.51	0.39	0.46	0.04	0.57	-0.46	0.51	-0.04	-0.18	0.39	0.41	
Sc	0.94	0.02	-0.02	0.86	0.27	0.45	0.50	0.02	0.61	0.18	0.35	0.09	-0.09	-0.31	0.44	0.65	-0.21	-0.36	
Se	0.00	0.12	0.66	0.06	0.57	0.39	0.37	0.43	0.50	0.39	0.00	0.57	0.65	-0.03	-0.01	-0.13	0.46	0.32	
Sm	0.67	0.13	0.20	0.64	0.32	0.59	0.48	0.30	0.65	0.40	0.33	0.24	0.21	0.61	0.20	0.38	0.08	-0.13	
Ti	0.80	0.08	0.20	0.78	0.35	0.48	0.48	0.18	0.63	0.32	0.36	0.25	0.16	0.77	0.16	0.60	0.00	-0.19	
V	0.16	0.17	0.63	0.27	0.52	0.58	0.50	0.57	0.63	0.59	0.17	0.56	0.67	0.07	0.64	0.39	0.31	0.19	
Zn	0.01	0.35	0.51	0.10	0.60	0.31	0.42	0.49	0.39	0.54	0.07	0.61	0.56	0.02	0.46	0.15	0.17	0.49	

左下：金属濃度 右上：金属含有率

表6 大気汚染質項目の主成分分析結果

項目	因子負荷量		
	第1主成分	第2主成分	第3主成分
SO ₂	0.85	0.00	-0.25
NO	0.90	-0.20	0.15
NO ₂	0.92	0.00	-0.03
CO	0.92	-0.06	-0.01
Ox	-0.25	0.84	-0.43
NMHC	0.90	0.16	0.00
MHC	0.34	0.62	0.68
SPM	0.79	0.11	-0.27
固有値	4.90	1.18	0.82
寄与率(%)	61.3	14.8	10.3
累積寄与率(%)	61.3	76.1	86.5

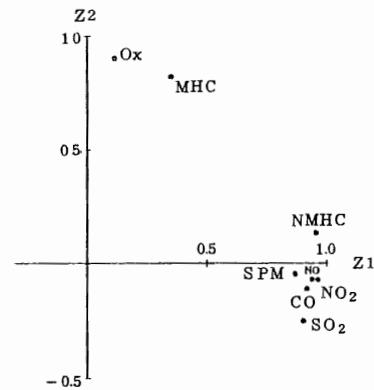


図1 大気汚染質項目の因子負荷量

金属濃度項目についてみると、第2主成分までの累積寄与率は63%であった。因子負荷量についてみると、第1主成分はAsとNa以外の項目において大きく、特に、Cd、Ce、Co、Fe、Mn、Pb、Vにおいて大きかった。すなわち、第1主成分は社会活動及び土壌に由来するほとんどの金属項目を含んでおり、総合的金属汚染の程度を表していると考えられる。

第2主成分はAl、Sc、Ca、Tiにおいて大きく、土壌起源の寄与を表している。第3主成分はAsにおいて大きかった。

これらの金属項目をグループ分けすると次のようになる。

- (i) Al、Sc、Ca、Ti——土壌起源
- (ii) Fe、Co、Ce——社会活動起源、一部土壌起源
- (iii) Cd、Mn、Pb、V、Cr、Zn、Br、Se、Sb——社会活動起源

金属含有率項目についてみると、第2主成分までの累積寄与率は47%であり、金属濃度項目に比べて低かった。因子負荷量についてみると、第1主成分においては、正の数値ではAl、Sc、Ca、Tiが大きく、負の数値ではBr、Cr、Se、Smの絶対値が大きかった。前者は土壌起源、後者は社会活動起源の元素である。す

表7 金属濃度項目の主成分分析結果

項目	因子負荷量		
	第1主成分	第2主成分	第3主成分
Al	0.56	0.77	-0.01
As	0.33	-0.21	0.78
Br	0.64	-0.45	-0.13
Ca	0.64	0.65	0.00
Cd	0.76	-0.23	-0.01
Ce	0.73	0.13	-0.30
Co	0.77	0.11	-0.08
Cr	0.66	-0.36	0.12
Fe	0.89	0.17	-0.11
Mn	0.75	-0.23	0.38
Na	0.41	0.26	0.55
Pb	0.70	-0.39	0.15
Sb	0.60	-0.54	-0.20
Sc	0.52	0.79	-0.01
Se	0.60	-0.48	-0.33
Sm	0.66	0.42	-0.05
Ti	0.65	0.55	-0.04
V	0.74	-0.33	-0.21
Zn	0.59	-0.45	0.10
固有値	8.24	3.77	1.45
寄与率(%)	43.4	19.9	7.6
累積寄与率(%)	43.4	63.3	70.9

表8 金属含有率項目の主成分分析結果

項目	因子負荷量		
	第1主成分	第2主成分	第3主成分
Al	0.83	0.42	0.05
As	-0.24	0.01	0.80
Br	-0.51	0.24	0.00
Ca	0.68	0.49	0.09
Cd	-0.32	0.49	0.10
Ce	0.02	0.60	-0.33
Co	-0.03	0.65	-0.06
Cr	-0.50	0.50	0.20
Fe	0.07	0.84	-0.11
Mn	-0.44	0.46	0.50
Na	0.29	0.09	0.54
Pb	-0.48	0.37	0.17
Sb	-0.68	0.24	-0.16
Sc	0.83	0.41	0.05
Se	-0.59	0.37	-0.35
Sm	0.36	0.56	-0.09
Ti	0.58	0.47	0.03
V	-0.40	0.43	-0.15
Zn	-0.61	0.18	0.07
固有値	4.91	4.00	1.61
寄与率(%)	25.9	21.1	8.5
累積寄与率(%)	25.9	47.0	55.5

すなわち、第1主成分は、粉じん中の金属含有率に及ぼす社会活動及び土壌の寄与を表していると考えられる。

第2主成分はFe、Ce、Coにおいて大きく、第3主成分はAsにおいて大きかった。

これらをグループ分けすると、金属濃度項目と同様に3グループに分けられた。

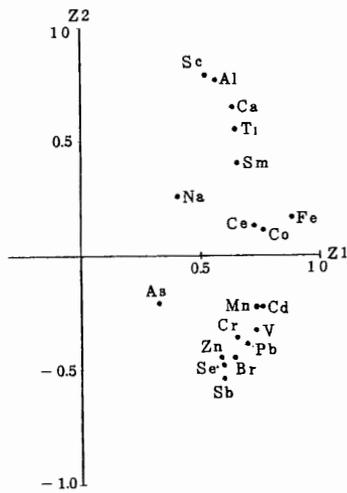


図2 金属濃度項目の因子負荷量

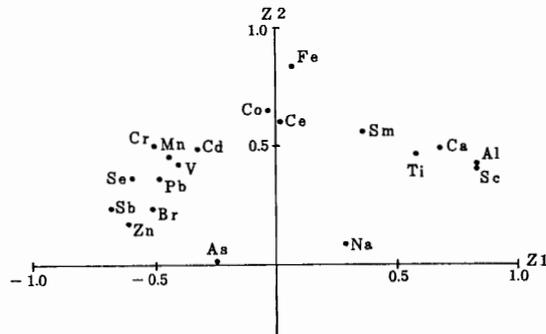


図3 金属含有率項目の因子負荷量

3.3 スコアについて

大気汚染質項目及び金属項目（濃度、含有率）の地点別スコア（3年×12か月の平均）を図4～6に示す。

1次汚染質による総合的な大気汚染を表す大気汚染質項目の第1主成分についてみると、大阪、川崎、尼崎、東京のスコアは正の数値で大きく、汚染が著しい地点であることを示している。籠岳、松江のスコアは負の数値であり、その絶対値は大きく、清浄な地点であることを示している。

総合的な金属汚染を表す金属濃度項目の第1主成分についてみると、大阪、川崎のスコアは正の数値で大きく、汚染が著しい地点であることを示している。筧岳、野幌、松江のスコアは負の数値で、その絶対値は大きく、清浄な地点であることを示している。

土壌起源の金属汚染を表す第2主成分についてみると、札幌、仙台、野幌、松江、宇部、筧岳、筑後小郡において正の数値であり、土壌に由来する金属汚染が著しいことを示している。

社会活動及び土壌の寄与を表している金属含有率項

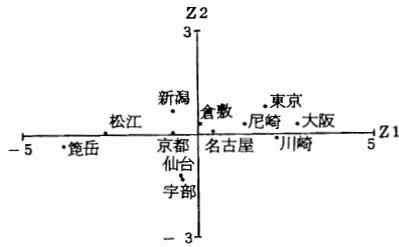


図4 大気汚染質項目の地点別スコア

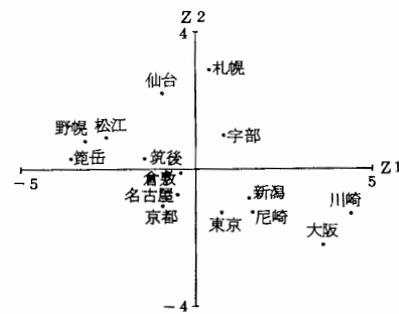


図5 金属濃度項目の地点別スコア

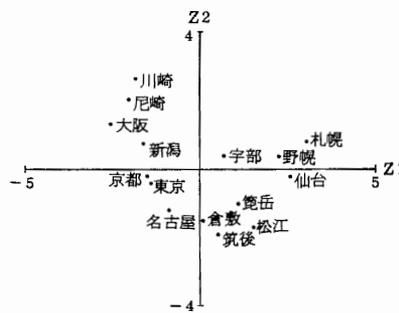


図6 金属含有量項目の地点別スコア

目の第1主成分についてみると、札幌、仙台、野幌、松江、筧岳のスコアは正の数値で大きく、土壌による影響が大きいと考えられる。大阪、川崎、尼崎は負の数値で、その絶対値は大きく、社会活動の影響が大きいと考えられる。

大気汚染質項目、金属濃度項目の月別スコア（3年の平均）の典型的な例を図7～9に示す。

総合的な大気汚染を表す大気汚染質項目の第1主成分についてみると、大阪、川崎、東京、尼崎のスコアは12月をピークとする1山型を示し、その汚染レベルは高かった。名古屋、仙台、宇部、倉敷においても1山型を示したが、その汚染レベルは中程度であった。筧岳、松江は年間の変動が少ないフラット型であり、その汚染レベルは低かった。

12月のスコアが大きい理由としては、12月は一般に接地逆転層が発達しており、大気は安定である。また、暖房期であり、SO₂、NO_x等の大気汚染質の発生源からの排出量も大きいことが考えられる。

総合的な金属汚染を表す金属濃度項目の第1主成分についてみると、大阪、川崎、尼崎、東京、仙台、札幌、京都八幡、名古屋においては、4～5月と11月～12月をピークとする2山型を示した。特に、大阪、川崎、尼崎において、その傾向が著しく汚染レベルも高かった。

筧岳、松江、野幌、筑後小郡、倉敷、宇部、新潟においては、4～5月をピークとする1山型を示した。4～5月のスコアが大きい理由としては、大陸から移送される黄砂の影響が考えられる。黄砂の出現頻度は5月に最も多く、次いで4月である。11～12月のスコアが大きい理由は、大気汚染質項目と同様の理由である。

土壌起源の金属汚染を表す第2主成分についてみると、札幌、仙台においては、夏季、秋季に低く、冬季、春季に高い季節変動を示し、その汚染レベルは高かった。

筧岳、松江、野幌、筑後小郡、宇部、倉敷においては、5月をピークとする1山型を示し、その汚染レベルは中程度であった。

大阪、川崎、東京、新潟、尼崎、名古屋は、上述の地点と同様に5月をピークとする1山型を示したが、その汚染レベルは低かった。

5月のピークは、黄砂の影響であると考えられる。

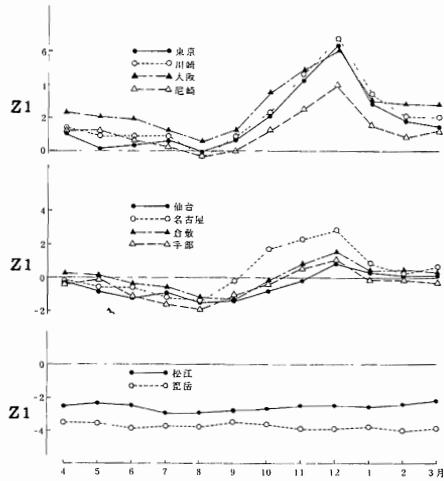


図7 大気汚染質項目の月別スコア (Z1)

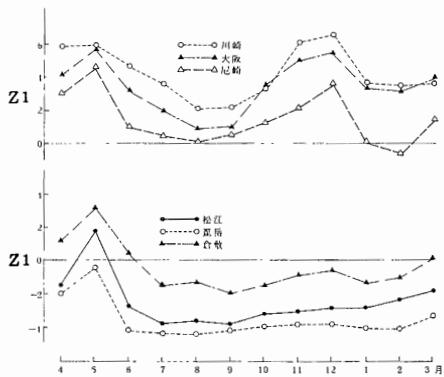


図8 金属濃度項目の月別スコア (Z1)

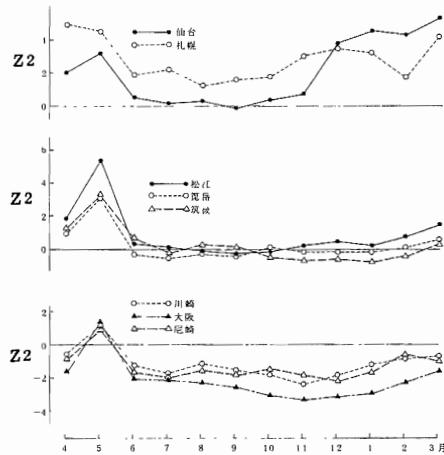


図9 金属濃度項目の月別スコア (Z2)

3.4 汚染指標と気象要因の重回帰分析

前述のように金属濃度項目の主成分分析により得られる第1主成分スコアは、社会活動及び土壌に由来する総合的金属汚染指標であると考えられる。そこで、総合的汚染指標と気象要因との関連をみるために、重回帰分析を行った。

表9 金属濃度項目の主成分分析結果 (東京測定所)

項目	因子負荷量		
	第1主成分	第2主成分	第3主成分
Al	0.74	-0.54	-0.24
As	0.48	0.17	0.38
Br	0.42	0.51	-0.01
Ca	0.79	-0.31	-0.30
Cd	0.31	0.64	-0.24
Ce	0.76	-0.09	0.00
Co	0.42	0.05	0.66
Cr	0.33	0.24	0.02
Fe	0.71	-0.36	0.41
Mn	0.72	0.47	-0.14
Na	0.55	-0.36	0.07
Pb	0.67	0.18	0.43
Sb	0.67	0.53	-0.09
Sc	0.75	-0.52	0.02
Se	0.12	0.58	0.35
Sm	0.82	-0.32	0.10
Ti	0.73	-0.23	-0.30
V	0.64	0.19	-0.41
Zn	0.54	0.71	-0.16
固有値	7.33	3.32	1.61
寄与率(%)	38.6	17.5	8.5
累積寄与率(%)	38.6	56.1	64.6

NASNの東京測定所データの主成分分析結果を表9に示す。第1主成分の因子負荷量は、Al、Ca、Ce、Fe、Mn、Pb、Sb、Sc、Sm、Ti、V、Znにおいて大きく、社会活動及び土壌に由来する金属項目を含んでおり、金属汚染の総合的指標と考えられる。

この金属汚染指標と気象要因(月平均気温減率、月平均風速、月間降雨日数)との重回帰分析の結果を次に示す。

$$Y = 71.8X_1 - 0.571X_2 - 0.202X_3 + 4.61$$

Y : 第1主成分スコア

X₁ : 月平均気温減率

X₂ : 月平均風速

X₃ : 月間降雨日数

重相関係数は0.29であり、検定の結果、有意性は認められなかった。今回の金属汚染指標を気象要因で説明する試みは成功しなかったが、今後、説明変数として社会指標（人工密度、工業製品出荷額、耕地面積等）を用いる方法を検討する予定である。

4 まとめ

国設大気測定網（NASN）のデータを用いて主成分分析を行い、項目を要約することにより総合的汚染指標を求めることを試み、次の知見を得た。

- (1) 大気汚染質項目の第1主成分は、社会活動に伴う1次汚染質による総合的大気汚染指標となる。
- (2) 金属濃度項目の第1主成分は、社会活動及び土壌に由来する総合的金属汚染指標となり、第2主成分は、土壌起源の金属汚染指標となる。
- (3) 総合的大気汚染指標を地点別にみると、大阪、川崎、尼崎、東京において大きく、筥岳、松江において小さかった。
- (4) 総合的金属汚染指標は、大阪、川崎において大きく、筥岳、野幌、松江において小さかった。
- (5) 土壌起源金属汚染指標は、札幌、仙台、野幌、松江、宇部、筥岳、筑後小郡において大きかった。
- (6) 総合的大気汚染指標を月別にみると、大阪、川崎、尼崎、東京、名古屋、仙台、宇部、倉敷においては、12月をピークとする1山型を示し、筥岳、松江は年間変動の少ないフラット型であった。
- (7) 総合的金属汚染指標は、大阪、川崎、尼崎、東京、仙台、札幌、京都八幡、名古屋においては、4～5月と11月～12月をピークとする2山型を示し、筥岳、松江、野幌、筑後小郡、倉敷、宇部、新潟においては、4～5月をピークとする1山型を示した。
- (8) 土壌起源金属汚染指標は、札幌、仙台においては、冬季、春季に高い季節変動を示し、筥岳、松江、野幌、筑後小郡、宇部、倉敷においては、5月をピークとする1山型を示した。大阪、川崎、東京、新潟、尼崎、名古屋も1山型を示したが、その汚染レベルは低かった。
- (9) 月別変動における12月のピーク発生の原因としては、接地逆転層の発達による大気の安定と、発生源からの排出量の増大が考えられる。また5月のピークは、黄砂による影響であると思われる。
- (10) 総合的金属汚染指標を気象要因で説明する試み

は成功しなかったが、今後、説明変数として社会指標を用いる方法について検討する。

気象データの収集に当たり、御協力いただいた東京都環境科学研究所大気部伊藤政志氏に深謝の意を表します。

文 献

- 1) 福永 健一ら：大気中浮遊粒子状物質の主成分分析法による地域特性の解析，山口県公害センター年報〔8〕，pp.69～70（1982）
- 2) 大野 勝弘ら：小地域における大気汚染の統計的解析，岐阜県公害研究所年報〔11〕，pp.21～25（1983）
- 3) 石井 達三ら：浮遊粉じん中の重金属について、埼玉県公害センター年報〔9〕，pp.55～60（1982）
- 4) 奥野 忠一ら：多変量解析法，pp.192～226，日科技研（1983）
- 5) 芳賀 敏郎ら：回帰分析と主成分分析，pp.172～180，日科技研（1983）