

道路周辺地域における浮遊粉じんの 時間変動

町田 茂 石井 達三

要 旨

道路周辺地域における浮遊粉じん及びその含有成分の挙動を明らかにするために、国道17号バイパスを対象道路とし、11月20日から11月25日まで3時間単位で測定を行った。浮遊粉じんの濃度は $371-36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で変動し、時間帯によって濃度の違いが大きかった。

また、浮遊粉じん中の炭素成分の量は浮遊粉じん量とよく似た時間変動を示し、総炭素量は $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えることもあった。浮遊粉じん中の元素分析結果ではAl, Si, Ca, Fe等の土壌起源元素が高濃度を示し、自動車走行に伴う土砂の巻き上げが浮遊粉じんの濃度に寄与しているものと思われた。

1 はじめに

浮遊粉じんの発生源は多岐にわたっているが、都市地域では交通量の増大に伴って自動車の走行に起因する浮遊粉じんが無視しえない状況となっている。特に最近ではトラック等による貨物輸送が増加しており、それらから排出される粒子状物質による大気汚染は社会問題となっている。

そこで本調査では、県内でも最も交通量の多い国道17号バイパスを対象道路とし、道路周辺地域における浮遊粉じん及び含有成分の挙動を時間単位で調べ、浮遊粉じんの濃度を大きく上昇させている主な原因の解明を試みた。

2 調査概要

2・1 調査地域

調査は戸田市美女木において、国道17号バイパスを対象道路とし、道路端より西8.2mに位置する戸田沿道環境測定局（高さ3.5m）で行った。国道は南北に走っており、調査地点周辺は工場、倉庫、住宅等が混在している。

2・2 調査期間

平成元年11月20日午前9時から11月25日午前9時に行った。

2・3 調査内容

ハイボリウムエアサンプラー（柴田科学 HVC-100型、以下“Hi-Vol”と言う）にパーフレックス石英ろ紙QAT-UP2500を装着し、3時間単位で浮遊粉じんを捕集し、浮遊粉じん量及び含有成分の分析を行った。表1に浮遊粉じん中の含有成分の測定項目及び分析方法の概要を示した。また、Hi-Volと並行してステップサンプラー（日本公害防止技術センター製）を用い、

表1 測定項目及び分析方法の概要

測定項目	分析方法
SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-	純水で超音波抽出後イオンクロマトグラフィー
NH_4^+	純水で超音波抽出後インドフェノール法
Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+	純水で超音波抽出後原子吸光度法
有機炭素 (OC)	CHN計 (He雰囲気のもと520℃に加熱)
元素状炭素 (EC)	CHN計 (O_2 , He雰囲気のもと900℃に加熱)

3時間単位で浮遊粉じんを捕集し、Al, Si, Fe等12元素をPIXE（陽子励起X線分析）法により分析した。

23日は多少雲が多くなったが、調査期間中は全般に風も弱く穏やかな天気が続いた。図1に調査期間中の測定地点での地上風の時間変化を示した。

3 結果及び考察

3・1 調査期間中の気象概況

調査開始の11月20日は、移動性高気圧に覆われ快晴であった。22日の午後弱い気圧の谷が東に抜けたため

3・2 浮遊粉じん量の測定結果

図2に調査期間の11月20日～11月25日の5日間、Hi-Volを用いて3時間単位で測定した浮遊粉じんの時間変化、及び戸田沿道環境測定局で常時測定してい

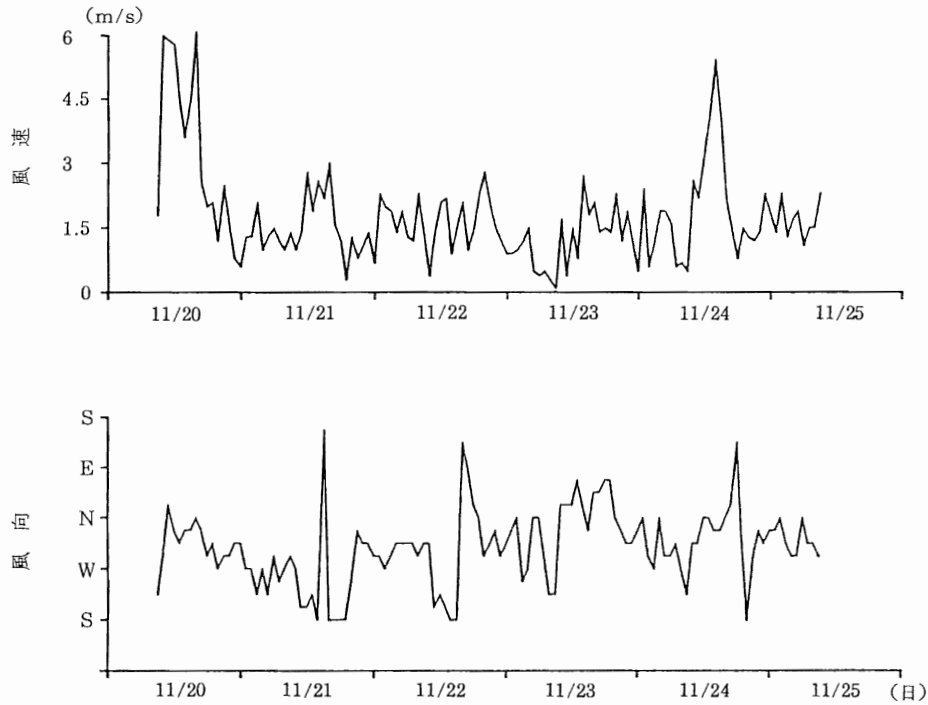


図1 調査期間中の風向，風速の時間変化

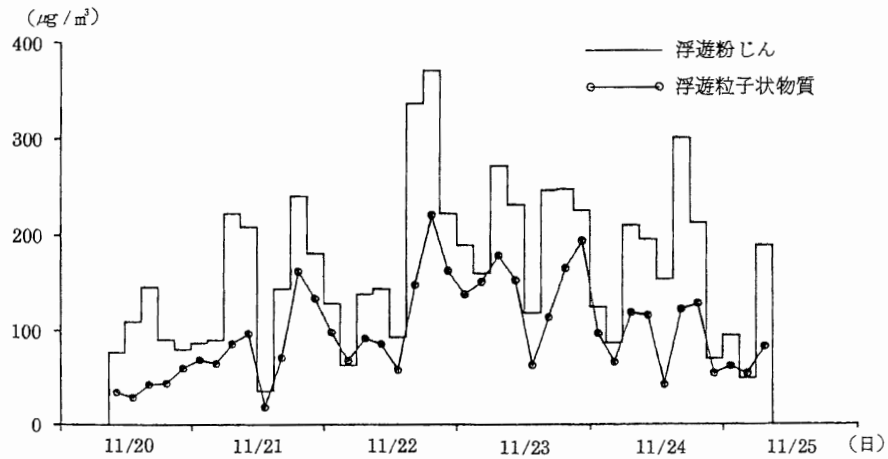


図2 浮遊粉じん及び浮遊粒子状物質の時間変化

る浮遊粒子状物質の時間変化（3時間ずつ平均した値）を示した。浮遊粉じんの濃度は $371\text{--}36\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で変動し、時間帯によって濃度の違いが大きかった。浮遊粉じんの濃度変動と浮遊粒子状物質の濃度変動のパターンは概ね類似していたが、浮遊粉じんは浮遊粒子状物質に比べて濃度変動が大きかった。浮遊粒子状物質が $10\ \mu\text{m}$ 以下の粒子を測定対象としているのに対し、浮遊粉じんが $10\ \mu\text{m}$ 以上の粒子についても測定対象としていることから、浮遊粉じんの極端な濃度上昇は $10\ \mu\text{m}$ 以上の粗大粒子によるもの大きいと考えられた。

建設省大宮国道工事事務局が1990年11月14日に戸田市笹目で行った国道17号バイパスの自動車交通量調査の結果を図3に示す。自動車交通量と浮遊粉じん濃度の関係を見ると、夕方から夜にかけての交通量のピークと、浮遊粉じん濃度のピークはほぼ一致して現れている。その後、交通量が深夜から早朝（0時～4時）にかけて減るとともに浮遊粉じん濃度も下がっており、夕方から早朝にかけては交通量と浮遊粉じん濃度の変動はおおむね対応していたと言える。しかし日中は、交通量にあまり変化がないにもかかわらず、浮遊粉じん濃度が著しく減少するなど、日中の交通量と浮遊粉じん濃度との関係は見られなかった。日中は、気温の上昇とともに大気が不安定になり、鉛直方向の拡散効果が大きくなったことが原因で浮遊粉じん濃度が減少したと考えられるが、浮遊粉じんの濃度変動はこのように自動車交通量による影響の他、気象要因の影響も大きいものと考えられる。

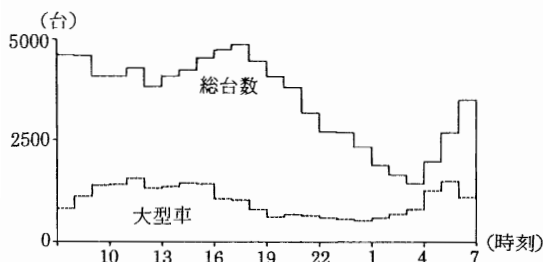


図3 国道17号バイパスの交通量（戸田市笹目）

（建設省関東地方建設局大宮国道工事事務局が平成元年11月14日に行った道路交通情勢調査より）

3・3 浮遊粉じん中の炭素成分の時間変化

Hi-Volを用いて3時間単位で捕集した浮遊粉じん中の元素状炭素及び有機炭素の濃度変動を図4に示し

た。元素状炭素は $68.9\text{--}5.0\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、有機炭素は $40.7\text{--}0.9\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で変動し、時間帯によって濃度の違いが大きく、総炭素量（元素状炭素と有機炭素の和）は、 $100\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えることもあった。この結果と図2に示した浮遊粉じんの濃度変動を比較すると、浮遊粉じん濃度と炭素濃度は類似した変動を示した。図5に浮遊粉じん中に占める炭素成分の割合の時間変化を示した。元素状炭素の割合は $26.7\text{--}7.8\%$ （平均 16.4% ）、有機炭素の割合は $15.0\text{--}1.2\%$ （平均 9.8% ）で、総炭素量の割合は $39.1\text{--}9.0\%$ （平均 26.2% ）であった。

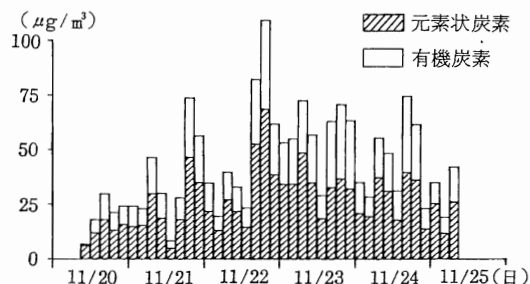


図4 元素状炭素及び有機炭素濃度の時間変動

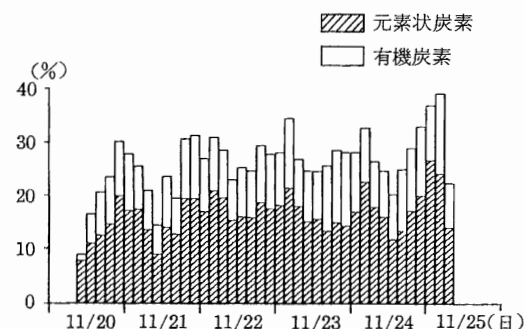


図5 浮遊粉じん中に占める炭素成分の割合の時間変化

3・4 浮遊粉じん中の水溶性成分の時間変化

浮遊粉じん中の水溶性成分の時間変動を図6に、また各成分の相関係数を表2に示した。 NH_4^+ と Cl^- は強い相関があり、よく似た時間変動を示した。また SO_4^{2-} は他の成分と比べると濃度変動が最も小さかった。新井ら¹⁾は自動車排ガス中には SO_4^{2-} の一次粒子が存在することを報告しているが、今回の調査では SO_4^{2-} 濃度変動と交通量との対応はほとんど認められず、したがって SO_4^{2-} の濃度の上昇が自動車排出ガス中の SO_4^{2-} の一次粒子によるものとは認められなかった。

NH_4^+ と Cl^- は23日の21時～24時に測定期間中では

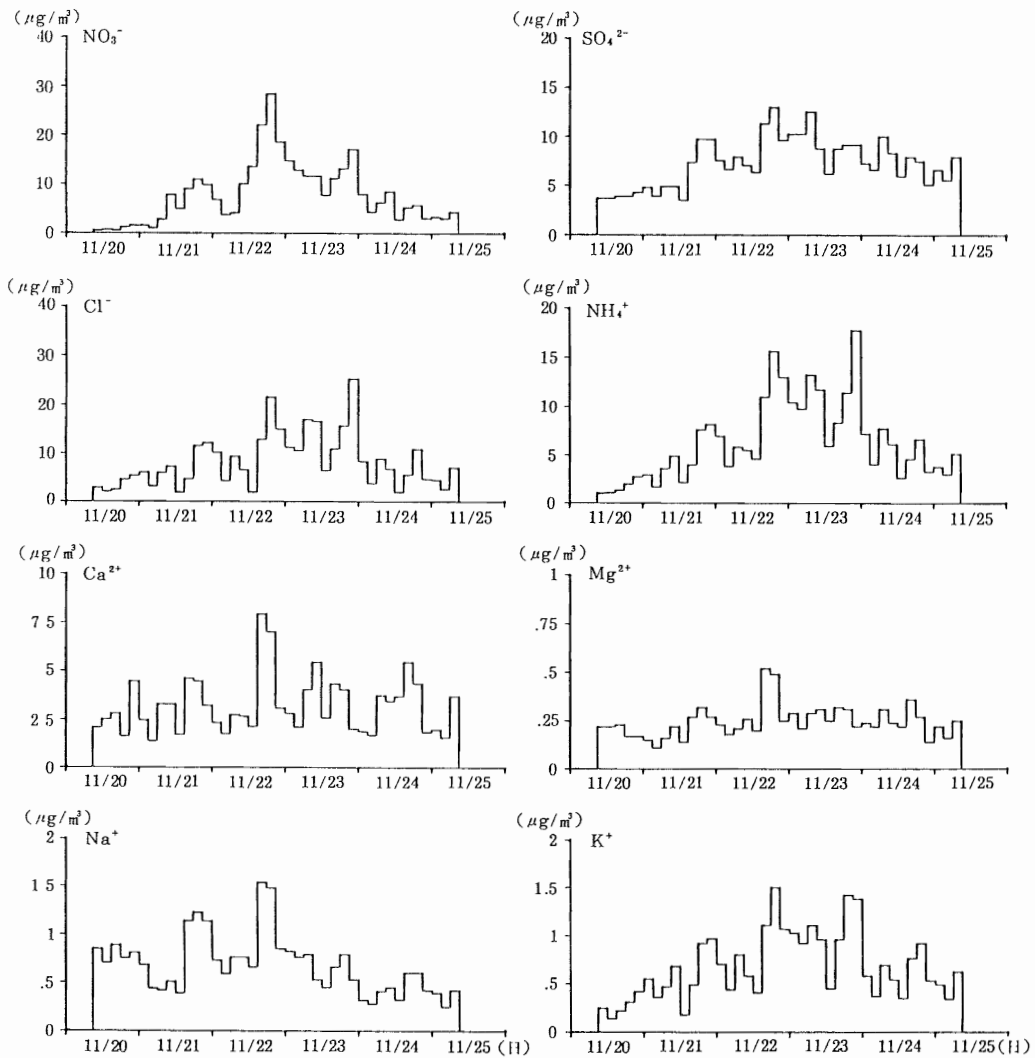


図6 浮遊粉じん中の水溶性成分の時間変化

表2 水溶性成分項目間の相関関係

	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
NO ₃ ⁻		0.81	0.78	0.87	0.56	0.73	0.58	0.82
SO ₄ ²⁻			0.79	0.87	0.58	0.75	0.48	0.86
Cl ⁻				0.96	0.46	0.56	0.41	0.94
NH ₄ ⁺					0.45	0.61	0.38	0.93
Ca ²⁺						0.87	0.62	0.55
Mg ²⁺							0.65	0.66
Na ⁺								0.48

最高濃度を示したが、他の成分はそれほど高濃度にならなかった。図2を見ると、この時間帯は10µm以下の浮遊粒子状物質の濃度が急に上昇しており、浮遊粉

じん中に占める微少粒子の割合が高くなった。NH₄⁺とCl⁻が高濃度になった原因は不明であるが、調査期間中では特異な変化を示した時間帯であった。

測定期間中で最も浮遊粉じんが高濃度となった22日15時～21時をみると、全ての成分が同じように変動し高濃度となった。この時間帯の風向風速を表3に示す。風速の変化は小さいが、風向が南西(12時)から北(19時)まで反時計回りに大きく変化した。測定地点は国道の西8.2mに位置しており、道路方向からの風が測定地点に向かって吹いたことになる。この時間帯の濃度の上昇は、風向が大きく影響していたと推測された。

表3 11月22日の風向、風速の変化

時間 (時)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
風速 (m/s)	0.1	2.1	2.2	0.9	1.6	2.1	1.0	1.5	2.3	2.8	2.0
風向	SSW	SW	SSW	S	S	SE	E	NNE	N	WNW	NW

3・5 PIXE分析による含有成分の測定結果

調査期間中の11月20日～11月25日の5日間、ステップサンプラーを用いて3時間単位で浮遊粉じんを捕集し、Al, Si, Tiなど12元素をPIXE法により分析した。その結果を図7に示した。Al, Si, Ca, Fe等の濃度が高い値を示しており、互いに濃度変動が類似してい

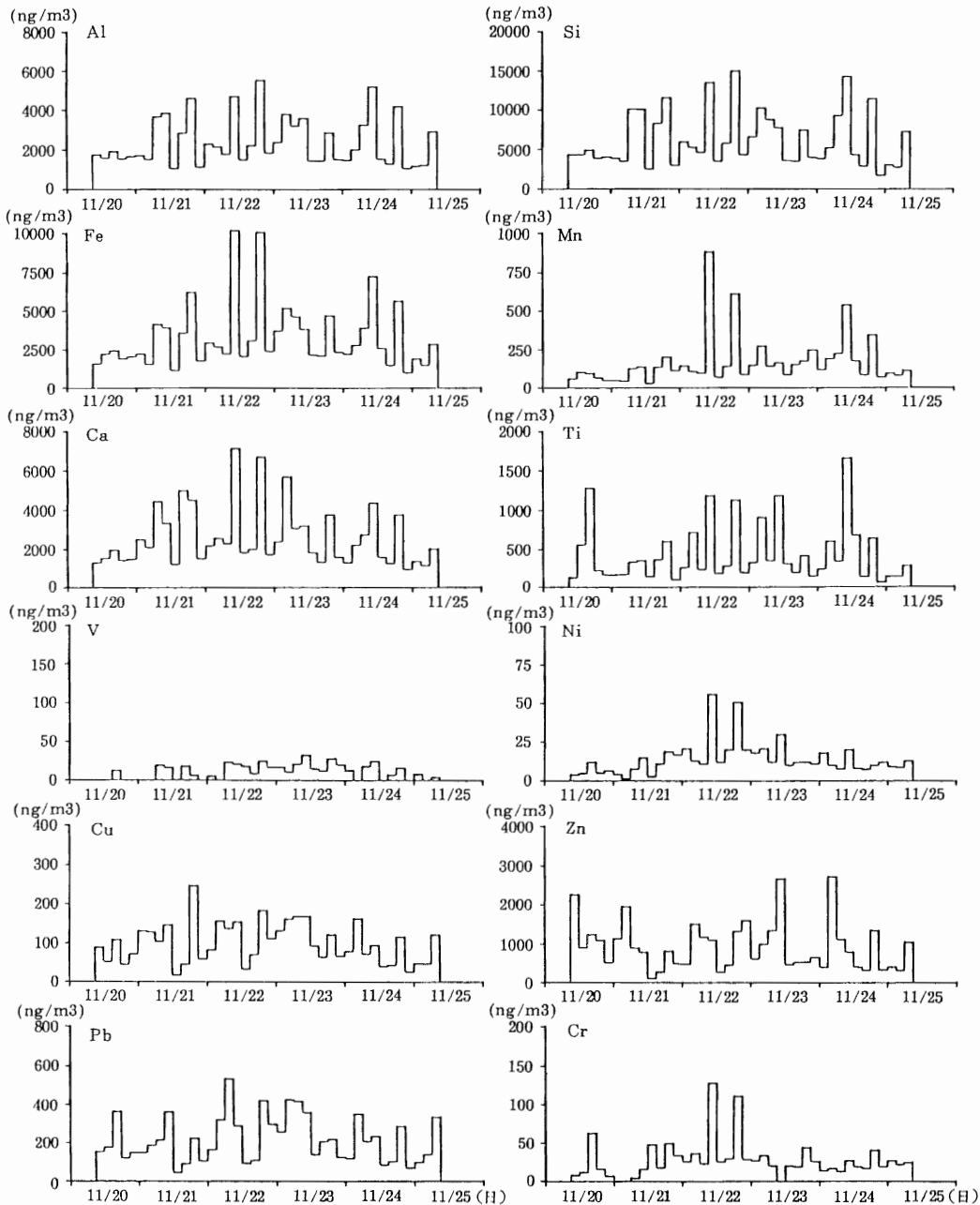


図7 PIXE分析結果(戸田)

表4 土壌のPIXE分析結果 (単位:%)

	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na	Ti	P	S
道路端	24.7	12.8	4.6	1.8	1.2	1.2	0.7	0.6	0.4	0.3
敷地内	17.2	9.9	6.2	1.3	1.0	0.8	0.5	0.7	0.3	0.2

た。これらの元素は表4 (道路端及び道路端より8.2 m離れた敷地内で採取した土壌のPIXE分析結果) に示したように土壌中の主要構成元素である。これらの土壌起源元素は短時間の濃度ピークがいくつか見られ、特にFeは22日9時-12時、18時-21時に高いピークが見られた。

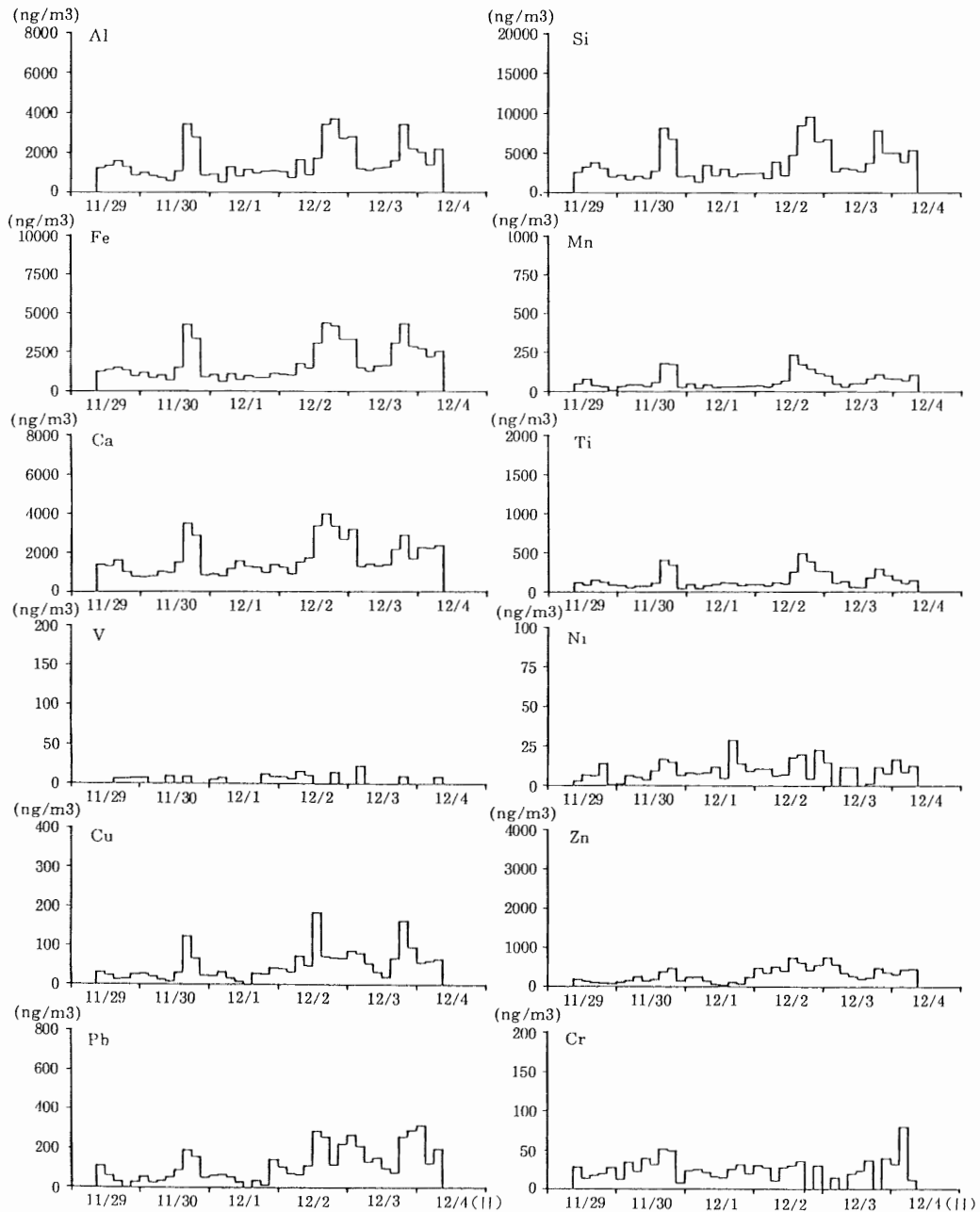


図8 PIXE分析結果 (公害センター)

今回の調査地点から北北西5.8kmに位置し、道路からの直接的な影響が少ないと思われる埼玉県公害センター（一般環境測定局）で11月25日-12月5日の期間、同じようにステップサンプラーを用い3時間単位で浮遊粉じんを捕集し、PIXE法により分析した。その結果を図8に示した。図8の公害センターでの測定結果を見ると、Al, Si, Ca, Feの短時間の濃度ピークは見られなかった。したがって、図7の道路端での測定結果に見られたようなAl, Si, Ca, Fe等の土壌起源元素の極端な濃度上昇は、自動車走行に伴う土砂の巻き上げによって起こったと考えられた。

Zn, Pbの濃度変化を見ると、図7の道路端の測定結果では短時間の高濃度ピークがいくつか見られたが、図8の公害センターの測定結果と比べると、道路端の測定結果は濃度が高く変動が大きかった。

3・6 含有成分の主成分分析による解析

浮遊粉じん中の含有成分について主成分分析を行った。主成分分析は、各含有成分項目間の関係をもとに各含有成分の測定値を構成する主成分を求め、説明力の大きい二、三の主成分の値をもって測定値を説明するという統計解析的手法である²⁾³⁾⁴⁾。表5にその解析結果を示した。第一主成分の固有値は11.4、第二主成分の固有値は3.4であった。第二主成分までの累積寄与率は70.4%であり、したがって第一主成分と第二主成分で情報の70%を説明できると考えられた。第一主成分の因子負荷量を横軸に、第二主成分の因子負荷量を縦軸にとり、各項目の因子負荷量をプロットしたものを図9に示した。第一主成分は全ての項目と正の相関にあり、したがって大気汚染の程度を示す因子と考えられた。各項目で因子負荷量が同程度なのは関係が深いと考えられるが、図9から〔NH₄⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, OC, EC〕と〔Al, Si, Fe, Mn, Mg, Ca, Ti〕がそれぞれのグループをなしていると思われる。前のグループは二次粒子、自動車等、人為的発生源に由来する項目、後のグループは土壌等、自然発生源に由来する項目であり、第二主成分は浮遊粉じんの発生源寄与に関する因子であると評価できた。

図10は主成分スコアを時間帯別にまとめ、第一主成分（Z1）を横軸に、第二主成分（Z2）を縦軸にしプロットしたものである。主成分スコアはサンプルがその主成分に対してどの位置にあるかを示すものである。前述の如く第一主成分は大気汚染の総合指標を示し、第二主成分は浮遊粉じんの発生源寄与を示すものと考

表5 主成分分析の結果

項目	因子負荷量	
	第1主成分	第2主成分
Al	0.89	-0.32
Si	0.89	-0.33
Fe	0.92	-0.27
Mn	0.79	-0.29
Na	0.56	-0.22
K	0.94	-0.01
Ca	0.86	-0.36
Mg	0.80	-0.42
Ti	0.65	-0.49
V	0.71	0.18
Ni	0.80	-0.06
Cu	0.68	-0.21
Pb	0.61	-0.19
Zn	0.23	-0.30
Cr	0.63	-0.19
EC	0.76	0.52
OC	0.64	0.63
Cl ⁻	0.66	0.65
NO ₃ ⁻	0.69	0.58
SO ₄ ²⁻	0.72	0.58
NH ₄ ⁺	0.67	0.69
固有値	11.4	3.4
寄与率	54.1%	16.3%

EC：元素状炭素 OC：有機炭素

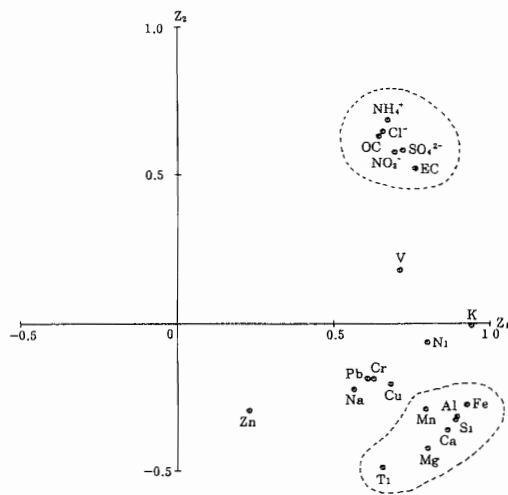


図9 各測定項目の因子負荷量

えられるが、図10から、6時-9時、9時-12時及び18時-21時の各時間帯は汚染の度が高く（Z1が大きい）、0時-3時、3時-6時及び12時-15時の時間

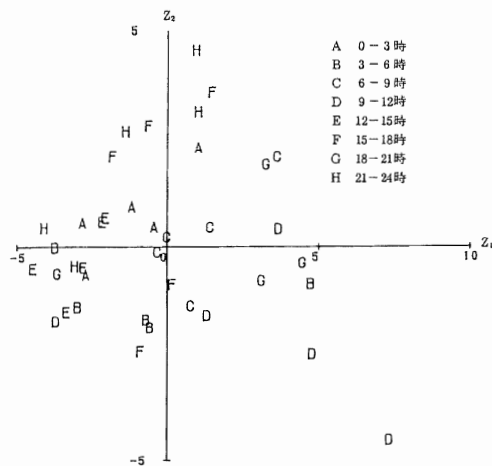


図10 時間帯別による主成分スコア

帯は低い。また、15時～18時及び21時～24時の各時間帯は第二主成分（Z2）の値が大きく、二次粒子、自動車等人為的発生源からの影響が大きかったものと評価できた。

4 まとめ

国道17号バイパスを対象道路とし、11月20日から11月25日まで3時間単位で浮遊粉じんを捕集し、浮遊粉じん量及び含有成分を測定した。その結果から次の知見を得た。

- (1) 調査期間中の浮遊粉じんの濃度は $371\text{--}36\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で変動し、時間帯によって濃度の違いが大きかった。
- (2) 浮遊粉じん濃度は、夕方から早朝にかけては交通量とおおむね対応していたが、日中は浮遊粉じんと交通量との対応は見られなかった。浮遊粉じんの濃度は交通量その他、気象要因の影響が大きいのと考えられた。
- (3) 浮遊粉じん中の炭素の濃度は、元素状炭素が $68.9\text{--}5.0\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、有機炭素は $40.7\text{--}0.9\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲で変動し、時間帯によって濃度の違いが大きく、総炭素量（元素状炭素と有機炭素の和）は $100\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えることもあった。また浮遊粉じん中の炭素の濃度は、浮遊粉じん濃度とよく似た時間変動を示した。浮遊粉じん中に占める割合は平均で元素状炭素が16.4%、有機炭素が9.8%であった。
- (4) 浮遊粉じん中の SO_4^{2-} の濃度変動は他の水溶性成

分と比べて小さかった。 SO_4^{2-} の濃度変動と交通量との関係はほとんどなく、 SO_4^{2-} の濃度の上昇が自動車排出ガス中の SO_4^{2-} の一次粒子によるものとは認められなかった。

- (5) 浮遊粉じん中の元素分析結果では、Al, Si, Ca, Fe等の土壌起源元素が高い濃度を示し、互いによく似た時間変動を示した。また、これらの元素は短時間の高濃度ピークが見られ、自動車走行に伴う土砂の巻き上げが浮遊粉じん濃度に寄与しているものと考えられた。
- (6) 浮遊粉じん中のZn, Pbでも短時間の高濃度ピークが見られ、道路からの直接的な影響が少ないと思われる埼玉県公害センターにおけるZn, Pbの測定結果と比べると、道路端は濃度が高く変動が大きかった。
- (7) 各含有成分に主成分分析を適用したところ第一主成分に大気汚染の程度を示す因子が、第二主成分に発生源寄与を示す因子が抽出された。また、二次粒子、自動車等、人為的発生源に由来する項目（ NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , OC, EC）、及び土壌等、自然発生源に由来する項目（Al, Si, Fe, Mn, Mg, Ca, Ti）がそれぞれグループ分けできた。時間帯別にまとめた主成分スコアでは、15時～18時及び21時～24時の時間帯が二次粒子、自動車等の人為的発生源からの影響が大きいのものと評価できた。

文 献

- 1) 新井久雄ら：自動車排出ガスによる道路周辺での大気汚染に関する研究（第7報）、横浜市公害研究所報、〔7〕、15-26、1982。
- 2) 田中豊・脇本和昌・多変量統計解析法、現代数学社53pp、1983。
- 3) 新井真杉：大気中の金属濃度に関する統計的解析、埼玉県公害センター年報、〔12〕、58-64、1985。
- 4) 鈴木正雄：横浜市内における大気中の浮遊粒子状物および重金属濃度の調査結果とその主成分分析による解析、横浜市公害研究所報、〔4〕、25-34、1979。