

VIII 報 文

秋田県内の大気汚染マップ作成に関する調査研究（第1報）

斎藤 学 佐々木 誠* 成田 理

1 はじめに

近年、環境問題に対する関心が高まっているなか、県内全体の大気環境濃度や居住する地域の大気環境濃度が、どの程度の状況になっているかを、視覚的にわかりやすい方法で知りたいという要望が強くなってきている。

さらに、リゾート開発に代表される各種開発事業が、適正な環境利用を行う資料とするため、大気環境状況を単一の汚染項目のみならず総合的な環境指標で表現した全体図が必要となってくるものと考えられる。

そこで、当センターでは今年度から3年計画で既設大気汚染常時監視測定局をもとに、県内数カ所に補完調査地点を設けて大気環境濃度を測定し、県内全体の大気環境濃度を視覚的に把握できる大気汚染マップの作成に関する調査を行っている。今回は、県内の中央地域である秋田市について、大気汚染項目のSO₂およびNO₂濃度の分布状況を調査したので報告する。

2 調査方法

2.1 調査地点

調査地点は図一1に示す秋田市管理局の既設測定局10局と、補完調査地点4地点で、その概要は表一1のとおりである。

補完調査地点Aは、秋田市の市街地から外

れた南方向の環境濃度を把握するため、同じくB地点は濃度差の大きい⑧の茨島局と⑨の仁井田局の中間点の濃度を、また、C地点は市街地の西方向の濃度を、さらにD地点は近年発展が目覚ましい秋田駅東地区の濃度を把握するために、それぞれ設置したものである。

2.2 調査時期

調査時期は、既設測定局が平成2年度の通年調査。補完調査地点は季節毎に年4回実施し、1回の調査期間は概ね15日間で次のとおりである。

春季	平成2年	5月9日～23日
夏季	〃	8月1日～17日
秋季	〃	10月19日～11月5日
冬季	平成3年	2月15日～3月2日

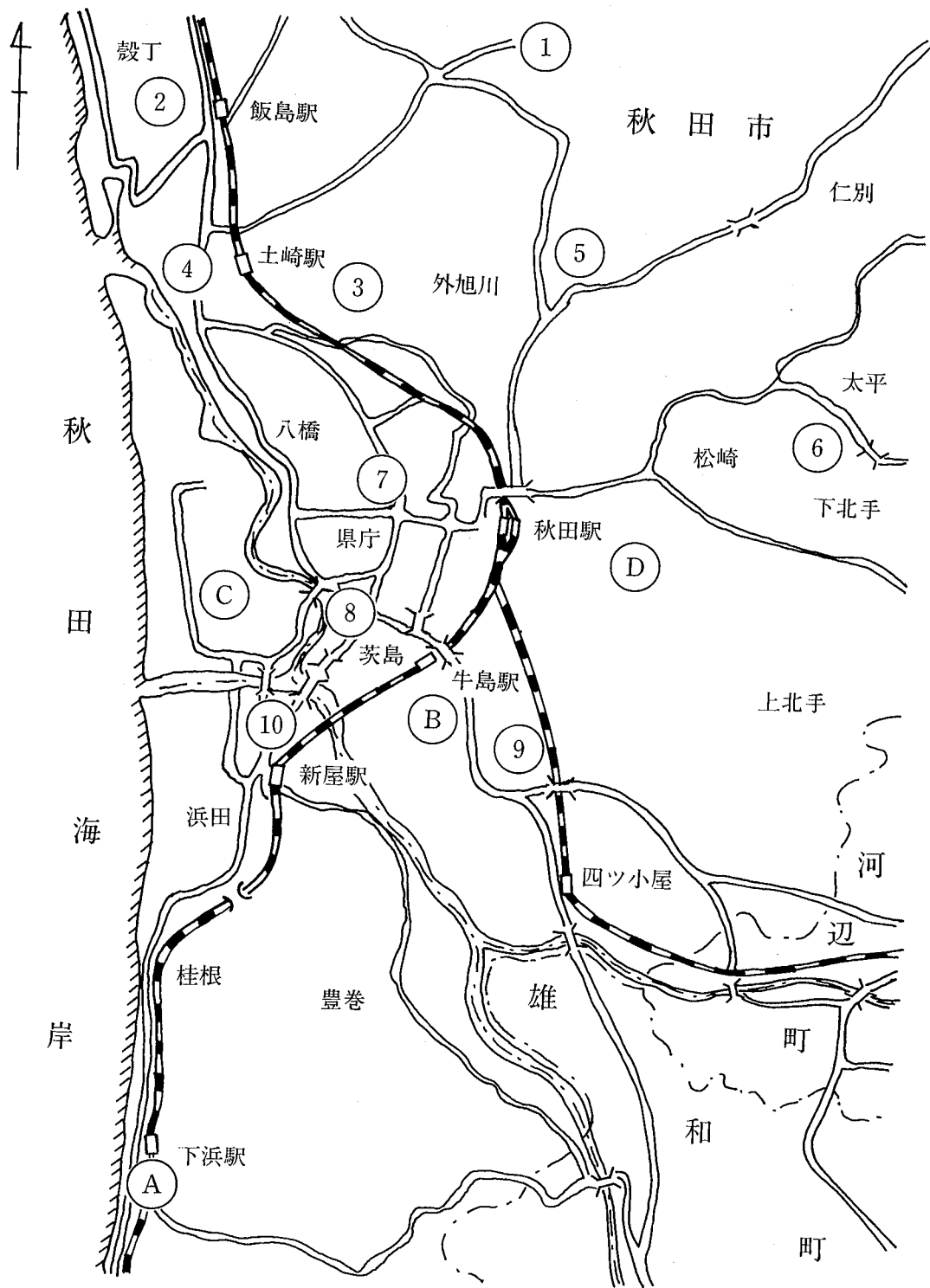
2.3 測定方法

SO₂の測定は溶液導電率法、NO₂についてはザルツマン試薬による吸光光度法により、それぞれ自動測定機を用いて測定した。

2.4 汚染分布図の作成方法

既設測定局の測定データは、平成2年度大気汚染常時監視測定結果の年平均値を使用し、補完調査地点については各項目とも測定データの平均値を年平均値として使用した。汚染濃度の分布図は得られた平均値を使用し、濃度データを補間するための方法としてはスプライン法による推定法^{1,2,3)}を用いて作成した。

※現環境保全課



図一 1 調査地点

表-1 調査地点の概要

	No.	局名及び地点名	調査地点概要	
既 設 測 定 局	1	上新城	秋田市上新城	上新城小学校地内
	2	堀川	〃 飯島字堀川	三吉神社境内
	3	将軍野	〃 土崎港北	県立ろう学校地内
	4	土崎	〃 土崎港西	土崎支所2階
	5	添川	〃 添川	添川小学校跡地内
	6	太平	〃 太平目長崎	太平地域センター地内
	7	山王	〃 山王1丁目	市役所3階
	8	茨島	〃 茨島1丁目	市立茨島体育館地内
	9	仁井田	〃 仁井田上新田	仁井田中央会館地内
	10	新屋	〃 新屋扇町	新屋支所2階
補 完 地 点	A	下浜	〃 下浜羽川	下浜地域センター地内
	B	仁井田	〃 仁井田緑町	教育センター内
	C	新屋	〃 新屋下川原	旧消防学校地内
	D	広面	〃 広面谷地田	井島宅地内

3 結果と考察

3.1 SO₂濃度分布

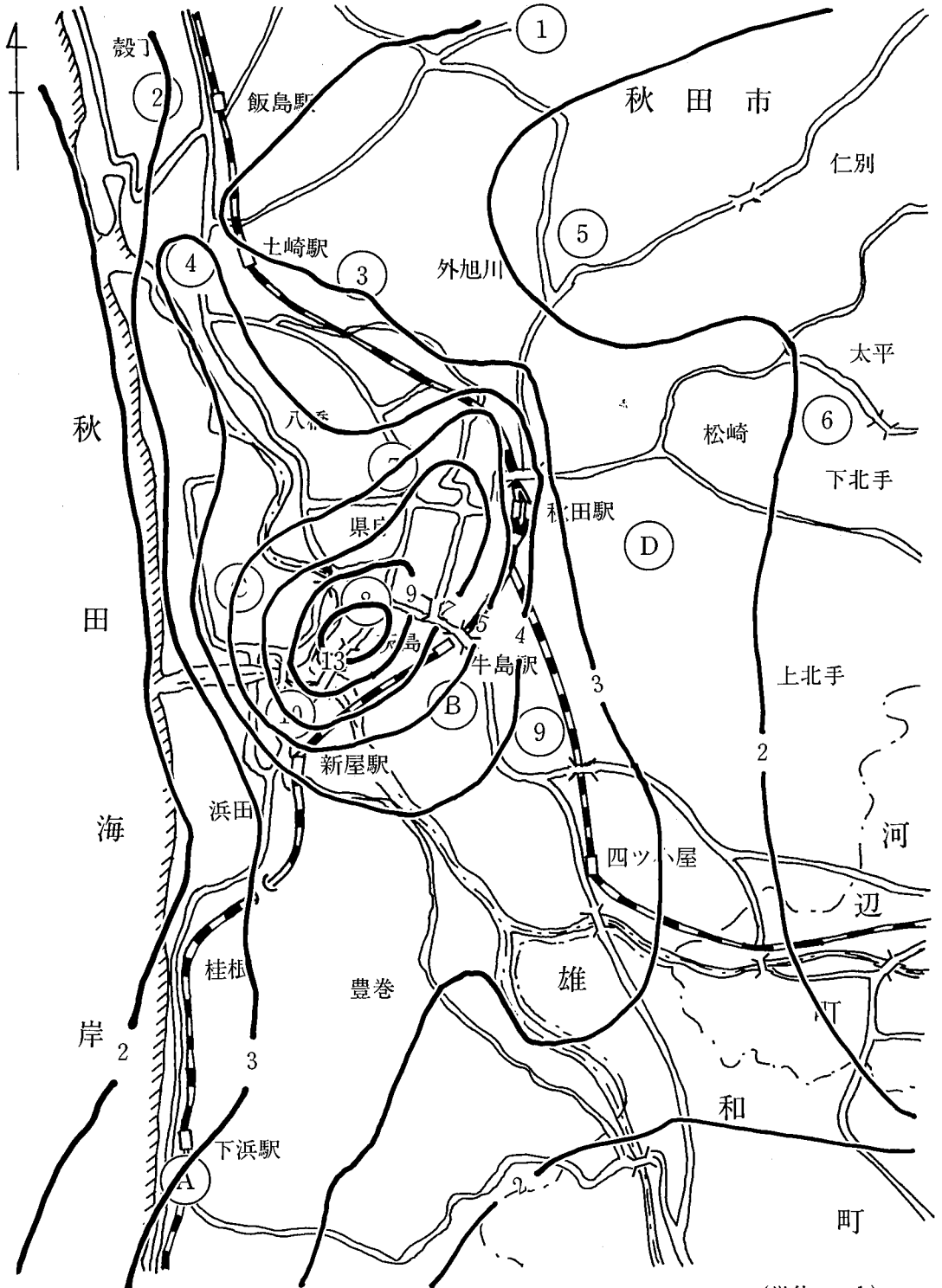
図-2にSO₂の濃度分布を示す。最も濃度の高い地域は茨島工業地帯に隣接する茨島地域であるが、環境基準の40ppbに対し13ppbと濃度レベルは低い。13から5ppbまでの等濃度曲線が得られる範囲は、茨島地域を中心に東部が秋田駅、西部が秋田商業高校、南部が新屋支所、北部が天徳寺付近で、市街地の南西から北東にかけての楕円形の地域となっている。また、5ppb未満の地域は市街地を中心に日本海側と内陸山間部の方向に濃度が減衰している。

3.2 季節別SO₂濃度分布

図-3にSO₂の季節別の濃度分布と茨島局における風配図を示す。使用データは補完調査地点が季節毎の測定データの平均値を、既設測定局については補完調査地点と同時期のデータの平均値を使用した。また、春季の茨島局の風向風速が欠測のため、春季については茨島局とほぼ同様の傾向を示す山王局の風

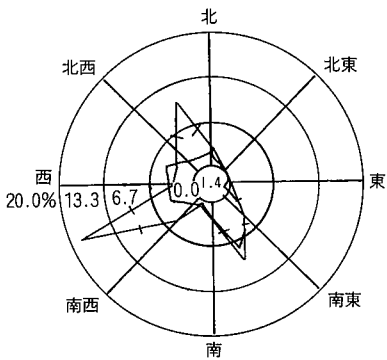
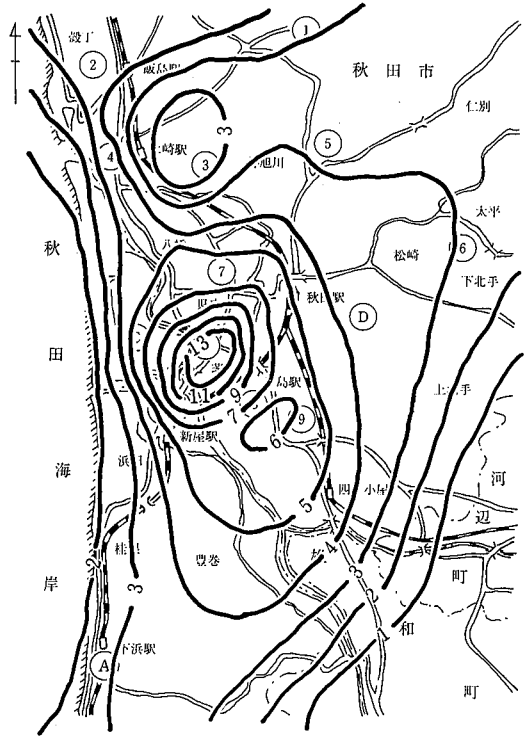
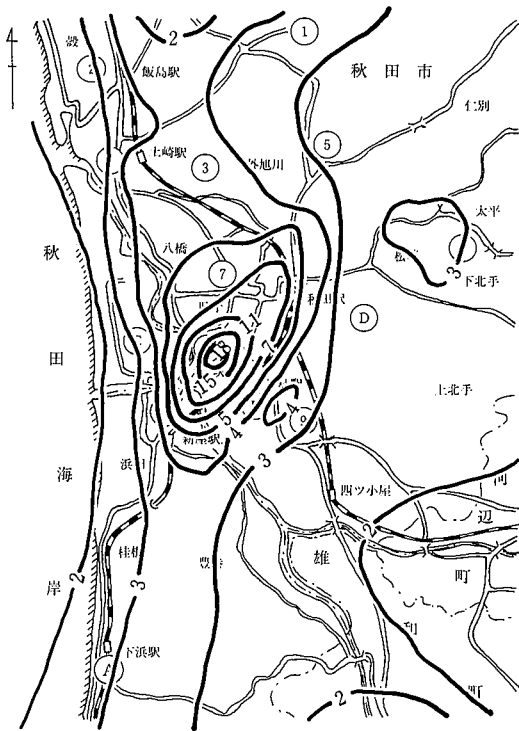
配図を使用した。

各季節とも茨島地域を中心として等濃度曲線が描かれ、曲線の展開方向は風速2m/secを超える風の強い時の主風向と比較的よい相関を示している。また、他季節に比較して風速が2m/sec以下の弱風が少なく、風の強い日が多い冬季において、市街地の等濃度曲線の密度が粗く、中心部の濃度も低いことから、風向および風速が市街地の濃度分布に大きく関与しているものと考えられる。



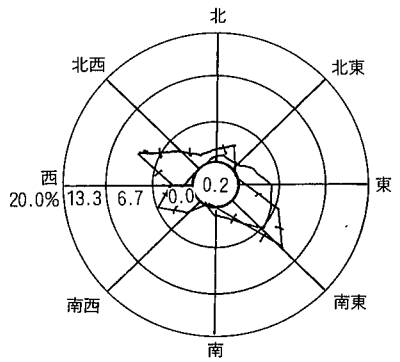
(単位 ppb)

図一2 SO₂の濃度分布図



春季

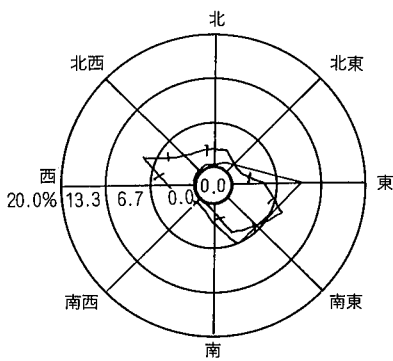
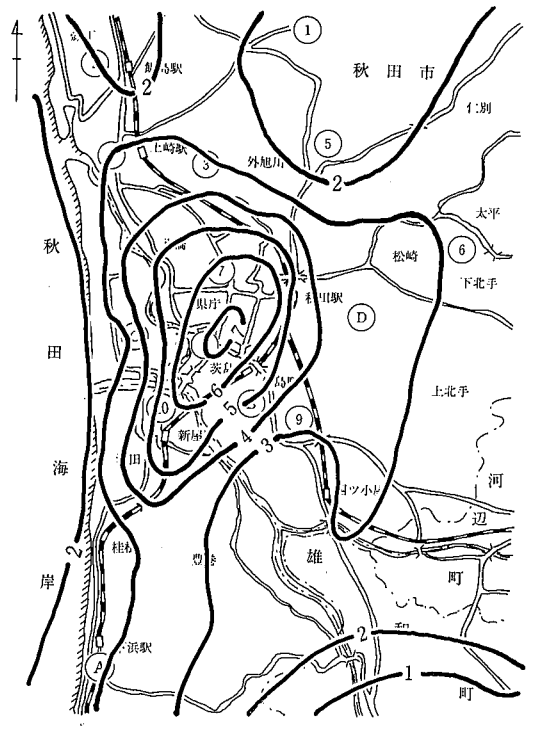
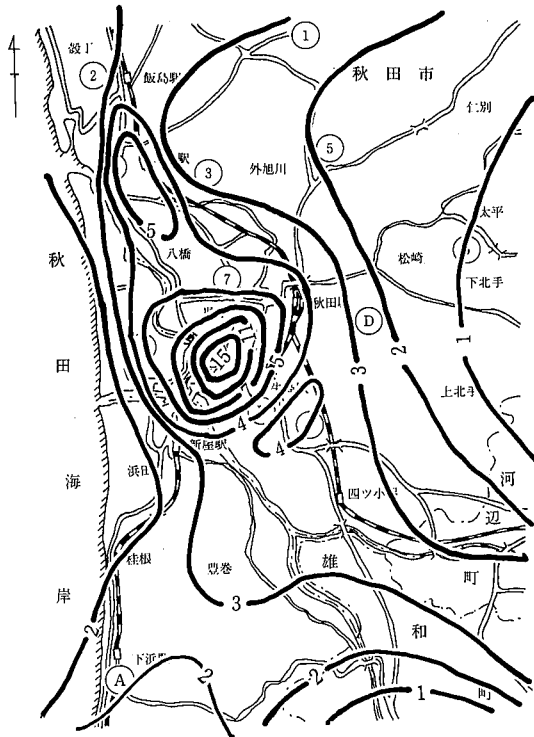
(単位 ppb)



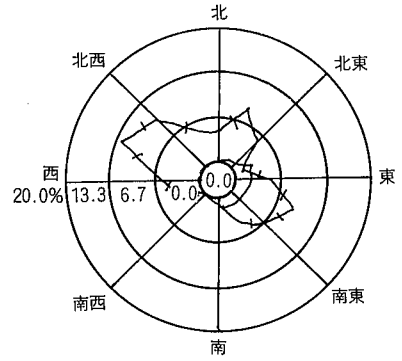
夏季

円内数字力—△%
 ~ 2.0m/s —
 2.1~m/s —+

図一3 季節別SO₂濃度分布図



秋 季

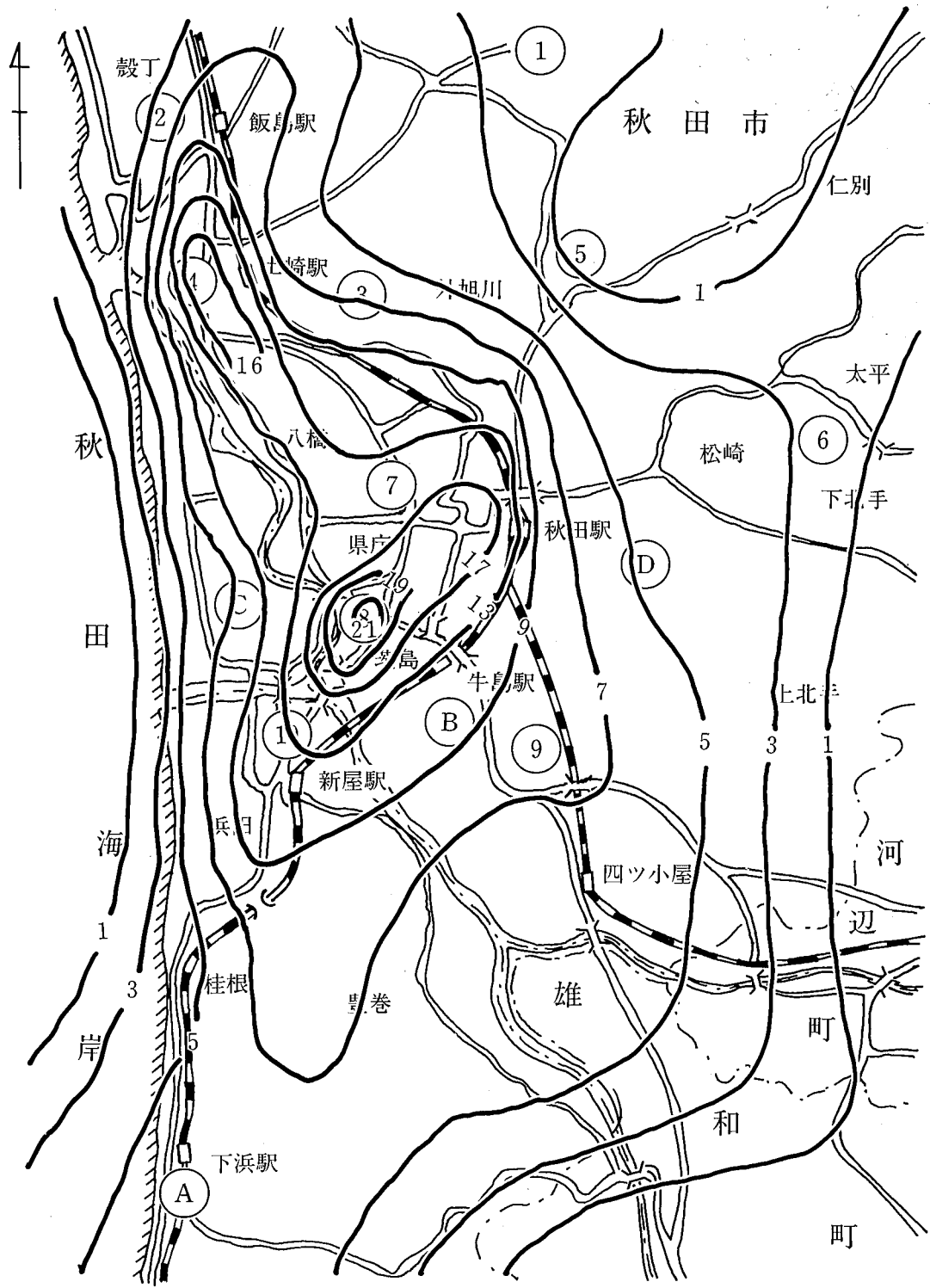


冬 季

3. 3 NO₂濃度分布

図-4にNO₂の濃度分布を示す。最も濃度の高い地域はSO₂濃度と同様茨島地域で21ppbとなっているが、環境基準の40~60ppbのゾーンの下限値に対して約1/2と低い濃度レベルである。21から17ppbまでの等濃度曲線が得られる範囲は、秋田大橋付近から秋田

駅付近の方向に広がる細長い楕円形の地域となっているが、市街地の中でも交通量の多い道路がある地域のため、自動車排出ガスの影響を受けているものと考えられる。また、13ppbの等濃度曲線が得られる範囲は茨島、土崎の2地域を中心としており、この2地域はほぼ国道7号線に沿った細長い地域を通じて



(単位 ppb)

図-4 NO_2 濃度分布図

つながっている。13ppb未満の地域はSO₂濃度と同様、市街地を中心に日本海側と内陸山間部の方向に濃度が減衰している。

3. 4 季節別NO₂濃度分布

NO₂濃度の季節による濃度分布の形状変化は、SO₂と異なりほとんどみられない。このことから、NO₂はSO₂のように風向および風速の関与で濃度分布の形状が変化しやすい大規模な固定発生源の影響より、近傍道路の自動車排出ガスによる影響が大きいものと考えられる。

3. 5 汚染物質の複合指標分布図

これまではSO₂、NO₂それぞれ単一項目による汚染物質の濃度分布をみてきた。しかし、大気環境は多数の汚染物質が複合的に関与しあっており、単一項目の濃度分布だけではその地域の汚染の度合いを総合的に評価できないため、汚染物質の他に種々の要素を組み合わせた複合指標図を作成している機関^{4,5)}も多い。ここでは、これまで得られたSO₂およびNO₂の2項目の濃度の組み合わせから指標を考え、分布図を作成することを試みた。

指標は表-2に示すとおり、SO₂およびNO₂濃度を5段階に区分し、マトリクスによ

りIからVまでの5ランクの指標値を得た。指標値Iのランクの地域は、市内では最も大気環境が良好な地域と考えられ、指標値Vのランクの地域はSO₂もしくはNO₂の濃度が最も高いか、双方とも濃度が高い地域で、市内の中では大気環境に最も恵まれない地域になるものと考えられる。

図-5には、各調査地点にマトリクスから得られた指標値を入れて作成した複合指標分布図を示す。指標値IV以上の地域は、茨島および土崎の2地点を中心として形成され、茨島地点は南西から北東に広がる楕円形の地域、土崎地点は南東から北西にかけた細長い地域として描かれる。また、指標値IIIの地域は指標値IV、Vを抱合する秋田市の市街地のほぼ全域を示し、大気環境の良好な指標値II、Iの地域が日本海側と内陸山間部の方向に開かれている。

表-2 大気環境の複合指標

		SO ₂ 濃度 (ppb)				
		3 未満	3~ 6	6~ 9	9~ 12	12 以上
NO ₂ 濃度 (ppb)	5 未満	I	II	III	IV	V
	5~ 10	II	III	IV	V	V
	10~ 15	III	IV	V	V	V
	15~ 20	IV	V	V	V	V
	20 以上	V	V	V	V	V

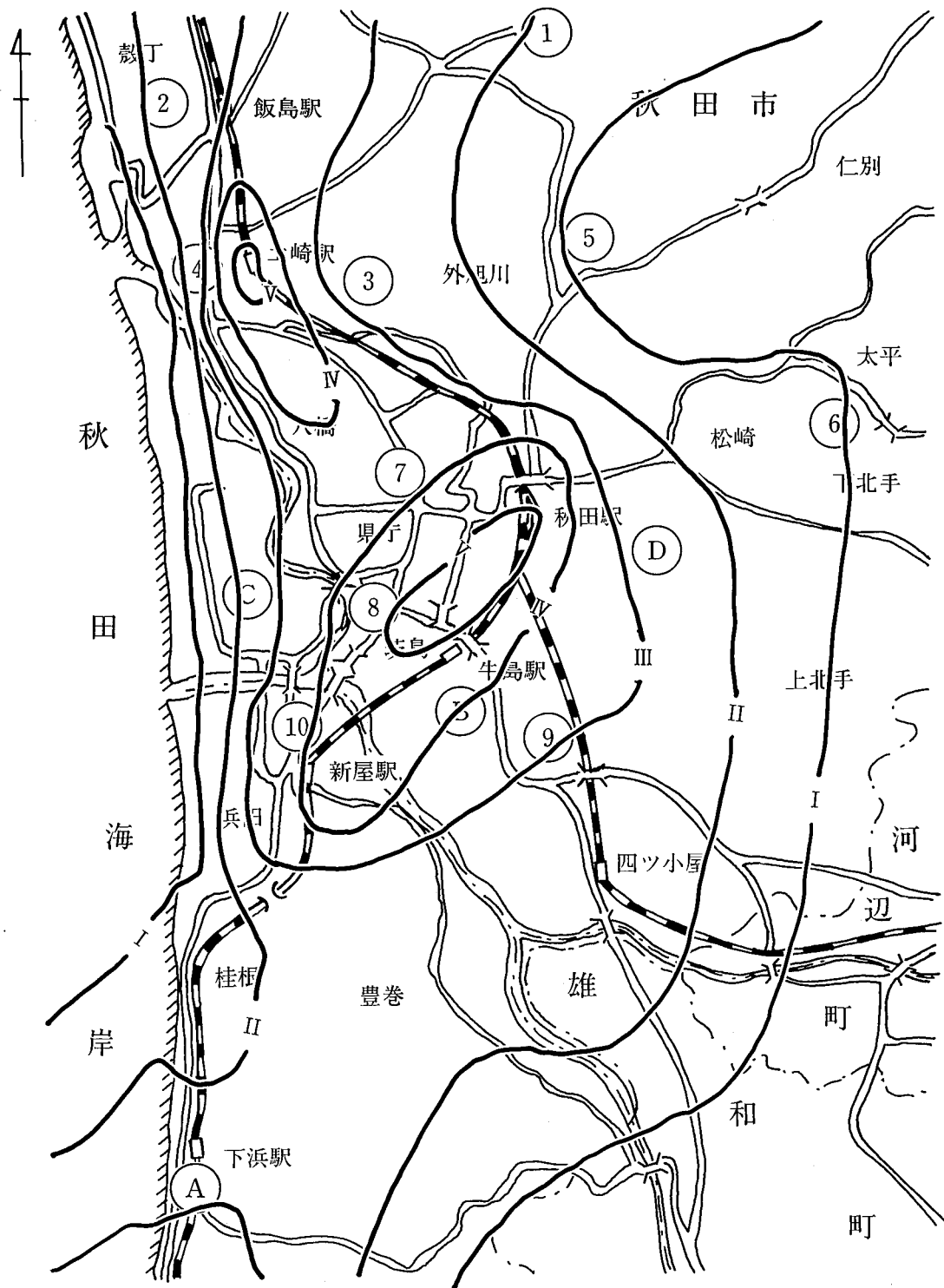


図-5 複合指標分布図

4 まとめ

県内の大気汚染マップ作成のため、今年度は秋田市内の既設測定局10局と、4カ所の補充調査地点を設けて秋田市内の大気環境濃度を測定し、SO₂およびNO₂の濃度分布図を作成した。その結果は、次のとおりである。

- (1)SO₂濃度は茨島地域を中心に、市街地の南西から北東にかけて楕円形の地域が比較的濃度が高くなっているが、環境基準に対しては低い濃度レベルである。
- (2)市街地のSO₂濃度は風向および風速に大きく影響を受けている。
- (3)NO₂濃度は交通量の多い道路を有する茨島および土崎の2地域を中心とした分布図が得られるが、環境基準に対しては低い濃度レベルである。
- (4)SO₂およびNO₂濃度の2項目をもとに、大気環境の複合指標値を得て指標の分布図を作成した結果、比較的大気環境が汚染されている地域は茨島、土崎を中心とした市街地で、その周囲を大気環境が良好な地域が日本海側と内陸山間部に広がっている。

謝 辞

この調査にあたり、データの提供をいただいた秋田市公害課の皆様に深く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1)藤原 正弘ほか：「大気汚染濃度分布パターンのスプライン法による推定法」 環境技術, VOL.11, No.9, 21(1982)
- 2)市田 浩三、吉本 富士市 共著：「スプライン関数とその応用」 シリーズ新しい応用の数学
- 3)木村 秀樹ほか：「青森市における硫黄酸

化物濃度分布の推定 —スプライン法を用いて—」 青森県公害調査事務所所報, No. 5, 47(1983)

- 4)宮城県：「仙台地域環境利用ガイド」 (昭和61年度環境庁委託業務報告書) 地図集 59(1987)
- 5)岡崎 淳：「大気汚染物質濃度と人口、交通量、緑被率との関係」 千葉県公害研究所研究報告, 22(1), 9 (1990)

沿道地域の浮遊粉じん等に関する調査研究

成田 理 齊藤 学 佐々木 誠*

1 はじめに

沿道地域における大気汚染物質として、スパイクタイヤ使用に伴う粉じんがある。平成2年6月に「スパイクタイヤ粉じんの発生の防止に関する法律」が制定されたことに伴い、今後はスタッドレスタイヤ等への移行が進み、道路粉じんの状況が質的、量的に変化するものと考えられる。

今年度は、これまで継続調査を実施している地点において、スタッドレスタイヤへの移行期間における浮遊粉じん等の濃度変化、成分濃度変化について調査を行ったので、その結果を報告する。

2 調査方法

2.1 調査地点

調査地点は図-1及び図-2の地点で、その概要は表-1のとおりである。

2.2 調査時期及び調査内容

調査は、スパイクタイヤ非装着期の平成2

年11月及び装着期の平成2年12月、平成3年1月、3月の計4回実施した。

非装着期調査 11月26日～12月1日

装着期調査 12月17日～21日

1月21日～25日

3月11日～16日

調査内容は、表-2のとおりである。ハイボリウムエアースンプラーは、1試料につき24時間（10時から翌日10時まで）採取した。ローボリウムエアースンプラーは、期間中4日または5日間連続で採取した。

2.3 分析方法

2.3.1 ベンゼン抽出物質

ソックスレー抽出法¹⁾により行った。

2.3.2 金属成分濃度

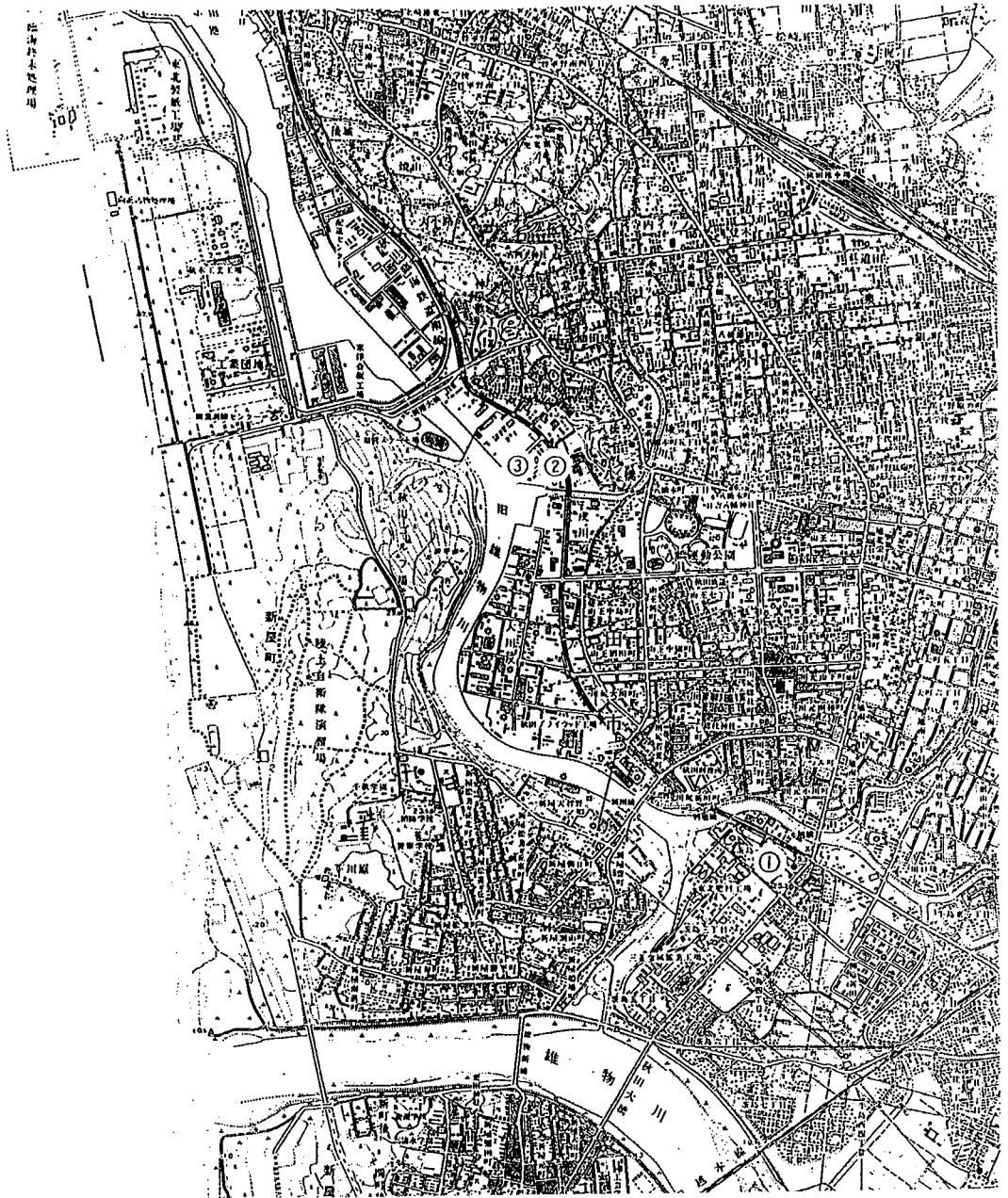
硝酸、過酸化水素法により分解し原子吸光法で定量した。

表-1 調査地点の概要

地点 No	調査地点名		設置位置の状況			面する道路の状況			
	地点名	略称	設置面	道路端からの距離(m)	地上からの高さ(m)	路線名	幅員	舗装状況	交通量 (台/12h)
1	茨島自動車排出ガス測定局	茨島	局舎上	5	2.5	国道7号線	4	アスファルト	27,576
2	環境技術センター	八橋(0m)	地上(芝生)	2	0	国道7号線	4	アスファルト	36,962
3	環境技術センター	八橋(50m)	地上(芝生)	50	0	-	-	-	-

注 交通量は平成2年度道路交通センサスによる。

※現 環境保全課



图—1 調査地点(1)

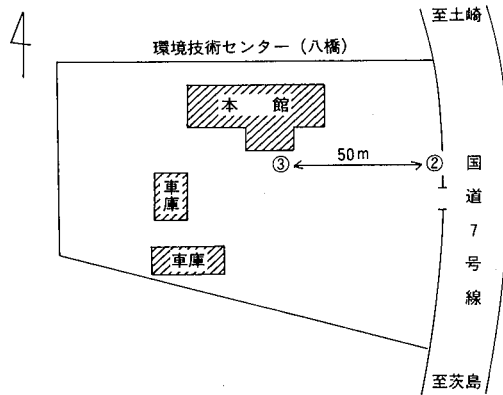


図-2 調査地点(2)

表-2 調査内容

調査項目	使用機器	分析項目
浮遊粉じん	ハイボリュームエアースンプラー (ろ紙：石英繊維ろ紙2500QAST)	浮遊粉じん濃度 ベンゼン抽出物質濃度 金属成分濃度(Fe, Mn, Al, Ca, Zn)
浮遊粒子状物質	ローボリュームエアースンプラー (ろ紙：ハイボリュームエアースンプラーと同じ)	浮遊粒子状物質濃度

3 気象概況

調査期間中の気象概況²⁾を表-3に示す。スパイクタイヤ非装着期の11月は、期間中平年より気温も高く一時雨もあったが、一般的に晴天の日が多かった。装着期の12月は、前半に降雪があり、また、後半は雪が雨に変わって路面は湿潤状態の日が多かった。スパイクタイヤの装着率は、49.8%であった。1月は、平年より雪が少なく、期間中6~7cmの積雪はあったが路面には雪がなく前半乾燥状態、後半2~3cmの降雪で湿潤状態に変わった。スパイクタイヤの装着率は、74.9%であった。3月は、前半積雪がなく乾燥状態だったが、後半7cmの降雪で路面は湿潤状態に変わった。スパイクタイヤ装着率は、78.4%であった。

4 調査結果及び考察

4.1 浮遊粉じん濃度

各調査地点における浮遊粉じん濃度の測定結果は表-4及び図-3のとおりである。浮遊粉じん濃度の期間平均値は、茨島地点及び八橋0m地点でスパイクタイヤの非装着期の11月が105~135 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、装着期の12月、1月、3月が331~1134 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と装着期が約3~8倍高くなっている。

図-4、図-5に各月ごとの茨島地点及び八橋0m地点の浮遊粉じん濃度の期間平均値の経年変化³⁻¹⁰⁾を示す。スパイクタイヤ非装着期の11月は年度による変動が少ないが、装着期の12月、1月、3月は、路面の積雪状態及び乾湿の状況で年度によって大きく変動している。浮遊粉じん濃度は、路面が雪で覆われる1月に低くなる傾向にあるが、本年度の

表-3 調査期間中の気象概況及びスパイクタイヤ装着率

調査月日	項目	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	降雪深さ (cm)	積雪量 (cm)	路面状況	スパイクタイヤ 装着率(%)
11月	26~27日	10.2	3.5	-	-	-	-
	27~28日	8.3	-	-	-	-	
	28~29日	10.6	-	-	-	-	
	29~30日	10.7	-	-	-	-	
	30~1日	13.2	2.5	-	-	-	
12月	17~18日	0.8	3.5	3	5	湿潤	49.8
	18~19日	2.6	0.0	1	3	乾燥のち湿潤	
	19~20日	2.6	3.5	0	0	湿潤のち乾燥	
	20~21日	3.6	0.0	0	-	乾燥	
1月	21~22日	3.2	0.0	-	7	乾燥	74.9
	22~23日	1.0	1.5	3	6	乾燥のち湿潤	
	23~24日	-1.3	1.5	2	7	湿潤	
	24~25日	0.9	0.5	0	6	湿潤	
3月	11~12日	2.5	0.0	0	-	乾燥	78.4
	12~13日	2.8	1.0	0	-	乾燥一時湿潤	
	13~14日	0.9	2.0	0	-	湿潤一時乾燥	
	14~15日	-1.5	2.5	7	6	湿潤	
	15~16日	-1.3	0.5	1	2	湿潤	

表-4 浮遊粉じん濃度の測定結果

(単位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

地点名	11月	12月	1月	3月
茨 島	105 (42~160)	331 (55~484)	455 (98~1057)	512 (103~952)
八 橋 (0m)	135 (48~182)	676 (148~1023)	1134 (151~2885)	816 (287~1651)
八 橋 (50m)	48 (27~61)	144 (52~244)	156 (50~398)	137 (50~329)

期間平均値
()内は最低値~最高値

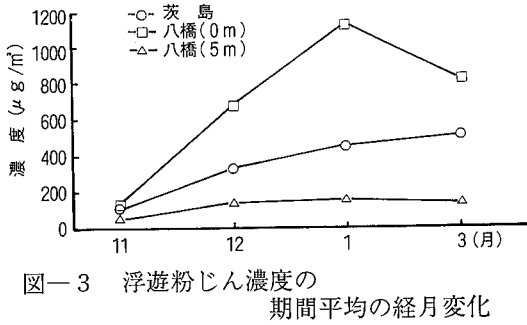


図-3 浮遊粉じん濃度の
期間平均の経月変化

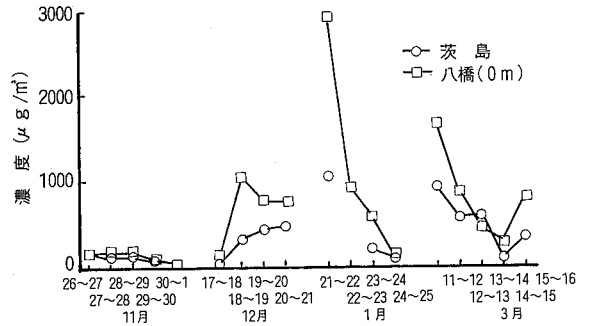


図-6 浮遊粉じん濃度の日変化

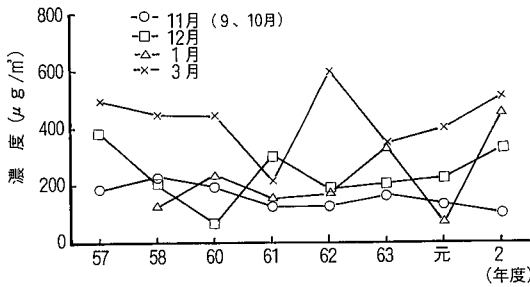


図-4 茨島地点における浮遊粉じん濃度の
期間平均値の経年変化

(59年度欠測
57年の11月データは9月分のデータ、また61・62年の
11月データは10月分のデータを使用)

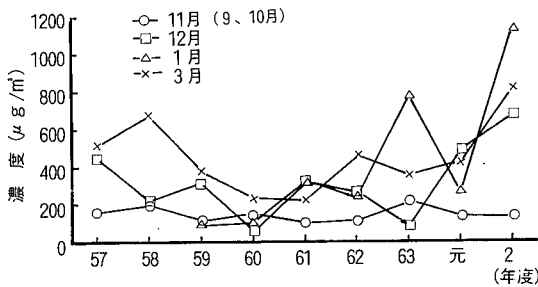


図-5 八橋0m地点における浮遊粉じん濃度の
期間平均値の経年変化

(57、59年の11月データは9月分のデータ、また61・62年の
11月データは10月分のデータを使用)

調査では1月の調査期間中積雪が少なく、路面に雪がなかったことから、八橋0m地点では3月より1月に高い値を示した。図-6に浮遊粉じん濃度の日変化を示す。非装着期の11月は、浮遊粉じん濃度も低く変動も少なくなっているが、装着期は濃度も高く変動幅も大きくなっている。1月の八橋0m地点では、1月21~22日に最高値を示し、その後徐々に低くなって24~25日に最低値を示しているが、その差は2734 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と非常に大きくなっている。1月21~22日は、降雪がなく路面は乾燥状態であったため、路上堆積物等が飛散しやすい状態になり、浮遊粉じん濃度の増大につながったもので、その後の22日の3cm、23日の2cmの降雪で路面が湿潤状態に変わり路上堆積物等の飛散が抑えられ浮遊粉じんの濃度が低くなったものと考えられる。

道路端からの距離と濃度の関係についてみると、図-3に示すとおり、スパイクタイヤ装着期の浮遊粉じん濃度が、八橋0m地点と八橋50m地点では50m地点が約1/7~1/3になっていることから、距離による減衰が大きいことが分かる。

4. 2 浮遊粒子状物質濃度

各調査地点における浮遊粒子状物質濃度の測定結果は、表-5及び図-7のとおりであ

表-5 浮遊粒子状物質濃度の測定結果

(単位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

地点名 \ 月	11月	12月	1月	3月
茨島	27	60	87	113
八橋(0m)	18	126	183	148
八橋(50m)	12	47	40	37

表-6 浮遊粉じん中のベンゼン抽出物質濃度及び含有率

地点名 \ 月	11月		12月		1月		3月	
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%
茨島	1.4 (0.1~2.3)	1.3 (0.3~1.4)	4.7 (1.0~7.0)	1.4 (0.3~7.4)	5.9 (2.0~12.8)	1.3 (1.2~2.0)	7.7 (2.8~13.2)	1.5 (1.3~2.7)
八橋(0m)	2.6 (1.2~3.8)	1.9 (1.6~2.5)	11.4 (2.6~16.7)	1.7 (1.6~1.8)	16.0 (2.4~40.7)	1.4 (1.3~1.6)	12.2 (5.1~22.8)	1.5 (1.2~2.0)
八橋(50m)	0.7 (0.5~1.1)	1.5 (1.2~2.1)	2.3 (ND~3.9)	1.6 (ND~1.6)	2.0 (1.0~4.6)	1.3 (1.0~2.0)	2.6 (0.8~5.7)	1.9 (1.5~2.4)

期間平均値 () は最低値~最高値

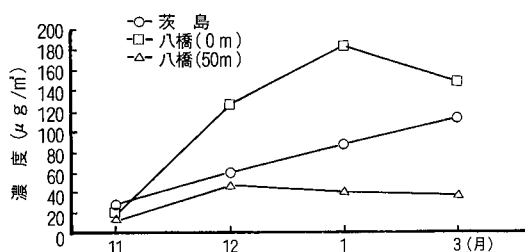
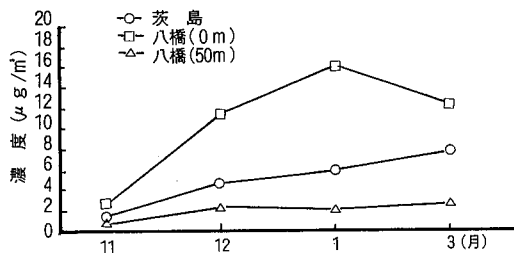


図-7 浮遊粒子状物質濃度の経月変化

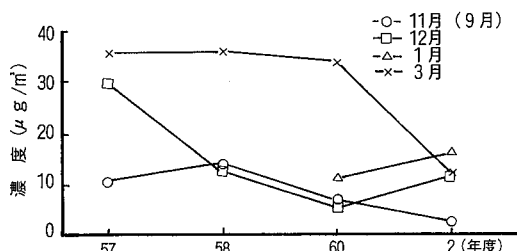
る。各地点とも図-3に示した浮遊粉じん濃度と同様な推移になっており、茨島地点及び八橋0m地点ではスパイクタイヤ非装着期が $18\sim 27\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、装着期が $60\sim 183\mu\text{g}/\text{m}^3$ と装着期が約2~10倍高くなっている。また、スパイクタイヤ装着期の茨島地点と八橋0m地点の浮遊粉じん濃度及び浮遊粒子状物質濃度を

比較してみると、浮遊粒子状物質濃度の占める割合が約16~22%と少なく、 $10\mu\text{m}$ 以上の粗大粒子が多いことが分かる。このことから前述の浮遊粉じん濃度が距離による減衰が大きいということが推察できる。浮遊粒子状物質も図-7に示すとおり浮遊粉じん同様に距離による減衰はあるが、八橋50m地点で浮遊粒子状物質が約25~32%占めていること、また、濃度が約 $1/4\sim 1/3$ になっていることから、減衰が浮遊粉じん濃度ほど大きくない。

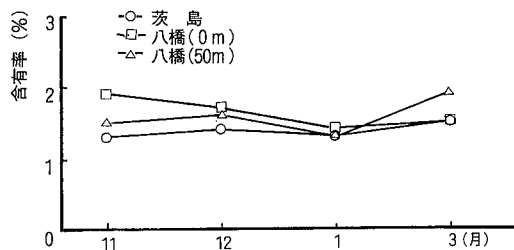
4.3 浮遊粉じん中のベンゼン抽出物質
各調査地点における浮遊粉じん中のベンゼン抽出物質濃度の分析結果は表-6、図-8のとおりである。また、図-9に八橋0m地点



図—8 浮遊粉じん中のベンゼン抽出物質濃度の経月変化



図—9 八橋0m地点における浮遊粉じん中のベンゼン抽出物質濃度の経年変化 (57年の11月データは9月分のデータを使用)



図—10 浮遊粉じん中のベンゼン抽出物質含有率の経月変化

でこれまで分析を行った年度の各月ごとのベンゼン抽出物質濃度の期間平均値の経年変化^{3,4,6)}を示す。浮遊粉じん濃度と同様に各年度によって変動しており、一定の傾向がみられない。本年度は、茨島地点及び八橋0m地点で非装着期の11月が $1.4\sim 2.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、装着期が $4.7\sim 16.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ と装着期が約3～6倍高くなっており、浮遊粉じん濃度と同様に装着期が高く、アスファルト粉じんによる影響がみられる。また、道路端からの距離と濃度の

関係を見ると、スパイクタイヤ装着期で八橋50m地点では八橋0m地点の濃度と比べ約 $1/8\sim 1/5$ になっており、浮遊粉じん濃度と同様距離による減衰がみられる。また、図—10に浮遊粉じん中のベンゼン抽出物質の含有率を示す。非装着期、装着期とも、各地点でほぼ一定の割合で存在している。

4. 4 浮遊粉じん中の金属成分

浮遊粉じん中の金属成分濃度としてFe、Mn、Al、Ca、Znについて分析を行った。各調査地点における金属成分濃度の分析結果は表—7、図—11—1～5のとおりである。また、図—12—1～5に八橋0m地点でこれまで分析を行った年度の各月ごとの金属成分濃度の経年変化^{3,4,6)}を示す。各年度ともおおむねスパイクタイヤ装着期に高く、非装着期に低くなっている。本年度は、各金属成分濃度とも茨島地点及び八橋0m地点で非装着期より装着期のほうが高くなっているが、その中で特にCaが約6～13倍と他の金属成分と比べ大きく増加している。また、図—13—1～5に浮遊粉じん中の金属成分の含有率を示す。Fe、Mn、Alについては、全地点で非装着期、装着期ともベンゼン抽出物質の含有率と同様にほぼ一定の含有率を示しているが、Caは、非装着期に低く装着期に約2倍高い傾向を示した。表—8に新潟県の調査による道路粉じんの諸発生源試料の多元素分析結果¹¹⁾を示したが、これによると、Fe、Al、Znについては、アスファルト舗装材及び土壌中とも含有率がほぼ一致するが、Caは土壌中よりアスファルト舗装材中のほうが約3倍高い含有率を示している。このことから、Caが非装着期に低く装着期に高いのは、アスファルト舗装材に含まれているCaがアスファルト舗装材の摩耗とともに増加したものと推察される。

表-7 浮遊粉じん中の金属成分濃度及び含有率

地点名	月	Fe		Mn		Al		Ca		Zn	
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	ng/m^3	%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%
茨 島	11	2.19	2.1	85	0.08	1.35	1.3	2.68	2.5	0.40	0.4
	12	7.20	2.2	208	0.06	3.49	1.1	15.5	4.7	0.52	0.2
	1	5.42	1.2	275	0.06	6.59	1.4	20.5	4.5	0.99	0.2
	3	8.51	1.7	365	0.07	7.73	1.5	23.7	4.6	0.68	0.1
八 橋 (0m)	11	2.92	2.2	71	0.05	1.84	1.4	3.16	2.3	0.55	0.4
	12	14.1	2.1	316	0.05	9.48	1.4	31.4	4.6	0.86	0.1
	1	11.3	1.0	498	0.04	16.5	1.5	42.8	3.8	1.36	0.1
	3	9.18	1.1	412	0.05	12.2	1.5	33.9	4.2	0.66	0.1
八 橋 (50m)	11	0.88	1.8	25	0.05	0.63	1.3	1.26	2.6	0.15	0.3
	12	2.79	1.9	81	0.06	2.03	1.4	7.02	4.9	0.20	0.1
	1	3.23	2.1	83	0.05	2.53	1.6	6.52	4.2	0.25	0.2
	3	2.59	1.9	74	0.05	1.82	1.3	5.29	3.9	0.17	0.1

期間平均値

表-8 新潟県における道路粉じん諸発生源試料の多元素分析結果 ($\mu\text{g}/\text{g}$)

元 素	Fe	Mn	Al	Ca	Zn
発生源					
アスファルト	<80	<2	30	<300	<3
アスファルト舗装材	17000	—	41000	26000	40
自動車排気粉じん	54000	200	6200	4800	3700
タイヤトレッド	<400	4.4	410	660	8400
スパイクタイヤ	660000	2900	4900	<7300	<1800
路面標示ペイント	2400	52	1700	170000	120
土 壌 平 均 値	18000	630	50000	7900	140

- 1) 自動車排気粉じんはガソリン車とディーゼル車の平均値
- 2) タイヤスパイクは「チップ」「シャンク」「マカロニ型」の平均値
- 3) 路面標示ペイントは白色と黄色の平均値

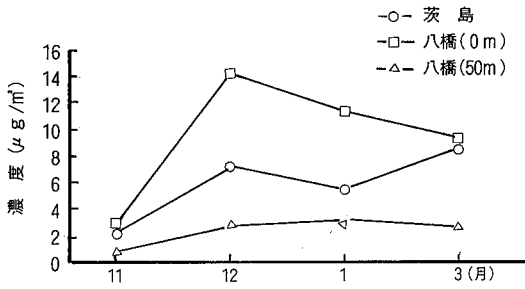


図-11-1 浮遊粉じん中のFe濃度の経月変化

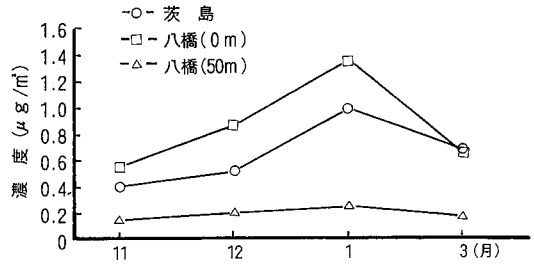


図-11-5 浮遊粉じん中のZn濃度の経月変化

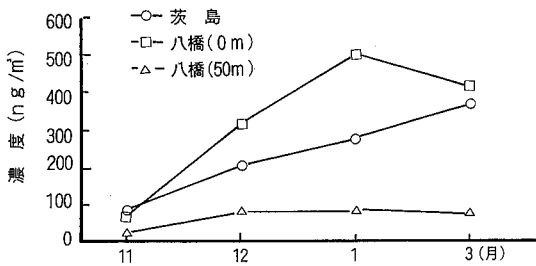


図-11-2 浮遊粉じん中のMn濃度の経月変化

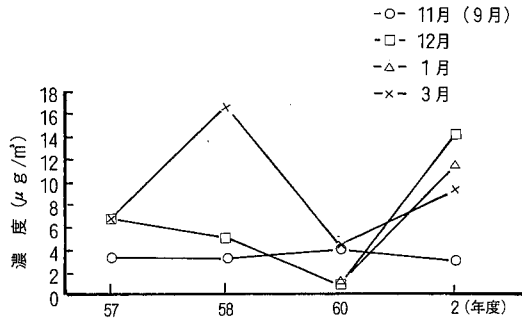


図-12-1 八橋0m地点における浮遊粉じん中のFe濃度の経年変化

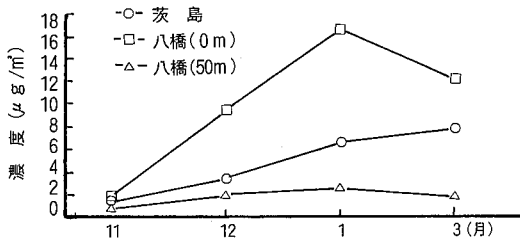


図-11-3 浮遊粉じん中のAl濃度の経月変化

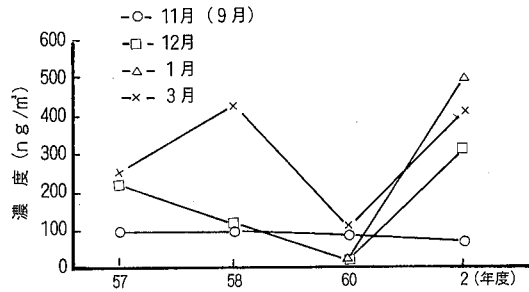


図-12-2 八橋0m地点における浮遊粉じん中のMn濃度の経年変化

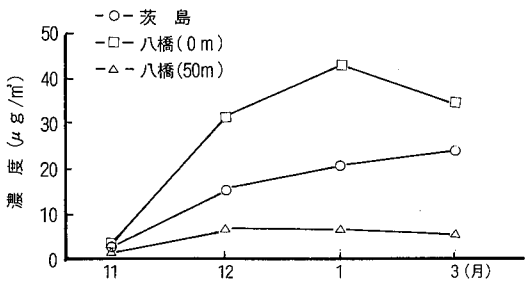


図-11-4 浮遊粉じん中のCa濃度の経月変化

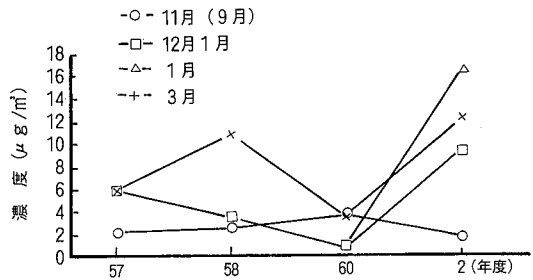


図-12-3 八橋0m地点における浮遊粉じん中のAl濃度の経年変化

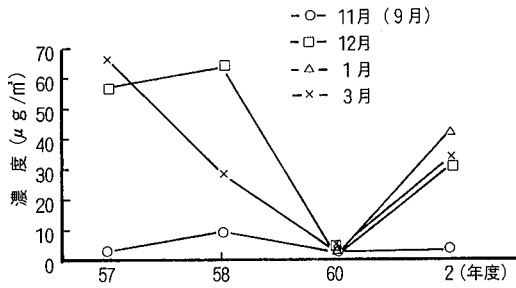


図-12-4 八橋0m地点における浮遊粉じん中のCa濃度の経年変化

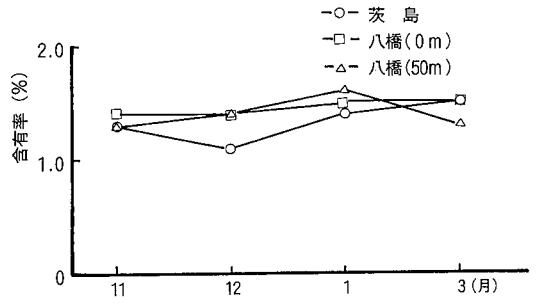


図-13-3 浮遊粉じん中のAl含有率の経月変化

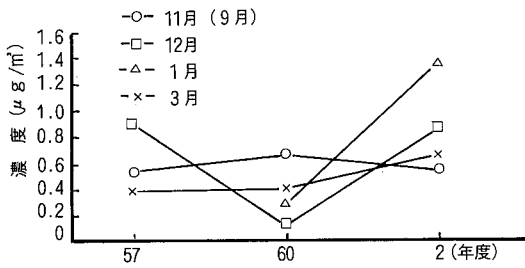


図-12-5 八橋0m地点における浮遊粉じん中のZn濃度の経年変化
(57年の11月データは9月分のデータを使用)

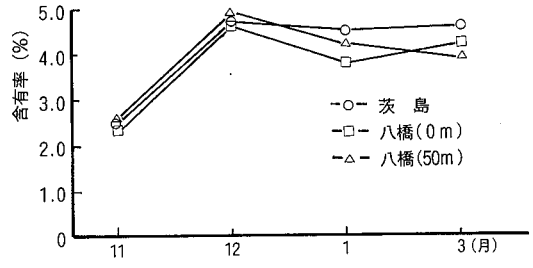


図-13-4 浮遊粉じん中のCa含有率の経月変化

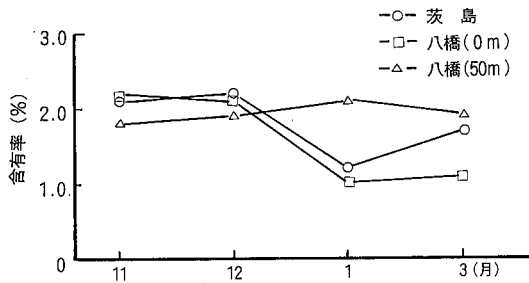


図-13-1 浮遊粉じん中のFe含有率の経月変化

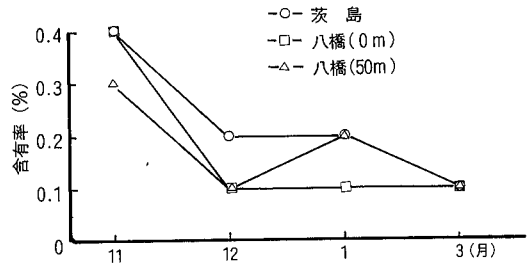


図-13-5 浮遊粉じん中のZn含有率の経月変化

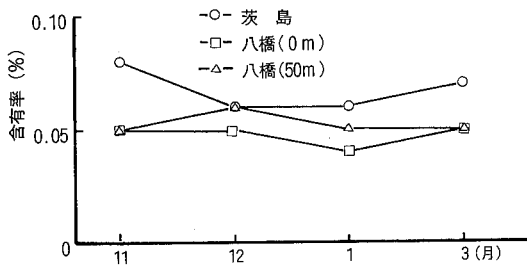


図-13-2 浮遊粉じん中のMn含有率の経月変化

5. まとめ

- (1)浮遊粉じん濃度は、スパイクタイヤ装着期が非装着期と比べ約3～8倍高くなっている。
- (2)浮遊粒子状物質濃度は、浮遊粉じん濃度と同様に装着期が約2～8倍高くなっている。
- (3)浮遊粉じん中の浮遊粒子状物質が占める割合は、約16～22%で10 μ m以上の粗大粒子が多いことが分かった。
- (4)浮遊粉じん濃度は、天候及び路面の乾湿の状態に大きく影響されており、乾燥状態では浮遊粉じん濃度が高く、湿潤状態では低くなっている。
- (5)浮遊粉じん中のベンゼン抽出物質濃度及び金属成分濃度についても同様に装着期が高くなっている。
- (6)浮遊粉じん中のCa含有率は、非装着期に低く装着期に約2倍高くなっている。
今年度は、スパイクタイヤ使用禁止に向かう移行期間中の調査であったが、スパイクタイヤ装着率が3月で78.4%と依然として高く、スパイクタイヤによる影響が認められた。

参 考 文 献

- 1)環境庁大気保全局：スパイクタイヤによる浮遊粉じん中の各成分濃度等測定方法指針(1983)
- 2)秋田県地方气象台：秋田県気象月報
- 3)吉田 昇ほか：秋田県環境技術センター年報, NO.10, 72 (1982)
- 4)藤島直司ほか：秋田県環境技術センター年報, NO.11, 65 (1983)
- 5)藤島直司ほか：秋田県環境技術センター年報, NO.12, 63 (1984)
- 6)高橋 浩ほか：秋田県環境技術センター年報, NO.13, 51 (1985)
- 7)高橋 浩ほか：秋田県環境技術センター年報, NO.14, 55 (1986)
- 8)高橋 浩ほか：秋田県環境技術センター年報, NO.15, 45 (1987)
- 9)石郷岡晋ほか：秋田県環境技術センター年報, NO.16, 88 (1988)
- 10)齊藤 学ほか：秋田県環境技術センター年報, NO.17, 53 (1989)
- 11)新潟県公害研究所：道路粉じんによる大気汚染実態調査結果 (1984)

秋田市街地の降水成分の高度差について

井島 辰也 大畑 博正 成田 理

1 はじめに

秋田市における降水の成分濃度等については、昭和58年度より調査を実施してきており、これまでの調査結果によれば、季節により差はあるものの、降水が雨、雪の状態¹⁾⁻⁴⁾で採取されたことに関わらず、おしなべて市街地の降水のpHは、市街地の後背地のそれよりも高く観測されてきている。この原因として、市街地地域では地表付近の浮遊粉塵による酸性雨の中和現象によるところが大きいとされてきた。

そこで市街地において、地表付近から発生する浮遊粉塵の影響が少ない高層部と影響の大きい地表付近とで、同時に降水を採取することにより、高度差による成分濃度等の差を明らかにし、市街地での降水酸性化機構を把握するため調査を行った。

2 調査方法

2. 1 調査期間

平成2年6月～平成3年3月

2. 2 調査地点

秋田市街地で異なる高度で2地点を選び、降水の採取地点とした。

L地点 地上高約 8m ビル屋上

H地点 地上高約 60m ビル屋上

調査地点は、秋田市の市街地の中心部に位置し、ビルや商店街が密集している。西方の日本海まではおよそ5kmである。L地点とH地点の水平距離はおよそ150mである。

2. 3 降水の採取方法

2. 3. 1 ろ過式採取

酸性雨等調査マニュアル⁵⁾に準じ、ろ過式採取装置を自作し、原則として月曜日から月曜日までの1週間、採取面を開放状態のまま降水を採取した。12月下旬以降は、融雪及び凍結防止のため、上記装置外周にシリコンチューブヒーターを巻き、サーモスタットで温度制御を行い緩やかに加温した。

2. 3. 2 初期降水分取

小笠原計器製R-150型を用い、1降水(降水から次の降水までの時間が3時間を越えた場合、別の降水とした。)の降り始めから1mm単位で5ステージと、それ以降の全量との6区分で採取した。採取した降水は、直ちに各ステージ毎にポアサイズ0.8 μ mのメンブランフィルターでろ過し、試料とした。採取期間は平成2年6月から12月までである。

2. 4 調査項目

ろ過式採取及び初期降水分取とも、次の10項目について、酸性雨等調査マニュアルに準じて分析を行った。降水量は留水量を補集面積で除して求めた。

pH、EC、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+

3 調査結果及び考察

3. 1 ろ過式による降水

3. 1. 1 降水成分濃度

調査期間中、ろ過式採取方式ではL地点及びH地点でそれぞれ38試料を採取した。降水量により重み付けした平均成分濃度(以下、

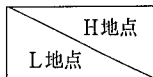
表-1 ろ過式一週間採取の降水成分平均濃度

地点	月	降水量 mm	pH	EC μS/cm	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	
L地点	7	259	5.01	20.5	3.23	1.10	1.09	0.55	0.11	0.95	0.09	0.81	
	8	128	4.62	22.2	3.06	1.15	0.91	0.59	0.10	0.41	0.08	0.59	
	9	273	5.06	11.5	1.29	0.63	0.61	0.40	0.09	0.33	0.06	0.26	
	10	130	4.91	28.8	2.23	0.87	3.44	2.03	0.14	0.31	0.27	0.41	
	11	194	4.79	88.3	4.92	0.89	18.92	10.14	0.43	0.68	1.34	0.42	
	12	170	4.86	97.0	6.15	1.40	20.00	10.80	0.45	1.45	1.52	0.65	
	1	109	5.59	118	6.70	1.01	24.74	14.02	0.55	2.35	2.08	0.48	
	2	142	4.93	56.9	4.30	0.84	9.52	5.36	0.22	1.10	0.76	0.38	
	3	74	5.19	65.0	5.71	2.26	10.89	5.99	0.24	2.38	0.82	0.59	
	平均		4.93	50.3	3.81	1.03	8.74	4.82	0.24	0.94	0.67	0.51	
	H地点	7	261	4.63	26.3	3.38	1.14	1.08	0.55	0.12	0.33	0.08	0.84
		8	122	4.62	25.0	3.09	1.18	1.09	0.73	0.10	0.50	0.09	0.56
9		278	4.91	13.4	1.33	0.64	0.74	0.47	0.10	0.14	0.06	0.26	
10		132	4.79	30.5	2.38	0.90	3.55	2.06	0.14	0.26	0.28	0.39	
11		188	4.87	116	5.90	0.95	27.26	14.33	0.58	0.90	1.93	0.43	
12		163	4.80	111	6.68	1.50	23.67	12.82	0.54	1.30	1.76	0.68	
1		114	4.92	123	6.84	1.12	26.92	15.02	0.57	1.53	2.09	0.46	
2		146	4.70	63.0	4.34	0.87	10.46	5.94	0.26	0.81	0.82	0.37	
3		80	4.96	81.1	6.80	2.42	12.63	7.22	0.31	2.44	1.11	0.56	
平均			4.78	58.8	4.11	1.08	10.57	5.78	0.28	0.74	0.80	0.51	

表-2 ろ過式一週間採取の降水成分間の単相関

成分	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Ma ²⁺	NH ₄ ⁺	nssSO ₄ ²⁻	nssCa ²⁺	H ⁺
SO ₄ ²⁻		** 0.701	** 0.808	** 0.834	** 0.865	** 0.706	** 0.854	** 0.488	** 0.796	** 0.517	** 0.293
NO ₃ ⁻	** 0.649		** 0.217	** 0.268	* 0.356	** 0.521	** 0.311	** 0.585	** 0.906	** 0.505	** 0.566
Cl ⁻	** 0.841	** 0.230		** 0.995	** 0.976	** 0.543	** 0.988	** 0.121	** 0.290	** 0.272	-0.079
Na ⁺	** 0.841	** 0.226	** 0.997		** 0.983	** 0.549	** 0.997	** 0.140	* 0.330	** 0.278	-0.045
K ⁺	** 0.871	** 0.316	** 0.979	** 0.979		** 0.528	** 0.980	** 0.234	* 0.401	** 0.260	0.062
Ca ²⁺	** 0.636	* 0.357	** 0.493	** 0.491	** 0.450		** 0.573	** 0.167	** 0.606	** 0.955	-0.183
Mg ²⁺	** 0.848	** 0.230	** 0.989	** 0.996	** 0.973	** 0.515		** 0.154	* 0.367	** 0.306	-0.037
NH ₄ ⁺	** 0.503	** 0.673	** 0.127	** 0.119	** 0.236	** 0.066	** 0.123		** 0.682	** 0.143	** 0.421
nssSO ₄ ²⁻	** 0.836	** 0.867	** 0.410	** 0.405	** 0.478	** 0.576	** 0.421	** 0.729		** 0.580	** 0.552
nssCa ²⁺	** 0.511	** 0.340	* 0.323	** 0.320	** 0.279	** 0.982	* 0.347	** 0.047	** 0.539		-0.194
H ⁺	0.234	** 0.510	-0.050	-0.047	0.085	-0.274	-0.061	** 0.492	** 0.442	-0.288	

注) *危険率5%で有意、**危険率1%で有意



単に平均濃度という。)を表-1に、各成分間の単相関を表-2に示した。降水量により、成分濃度は大きな変動を示すことが多いが両地点間で降水量に差は殆ど無く、成分濃度を比較する上での支障は無い。

pHについては、全試料の平均濃度ではL地点で4.93、H地点で4.78と、高度の高い方が低い値を示した。月を単位とした時系列変化(以下、単に月変化という。採取期間が二月にまたがる場合、採取期間日数の多い方を含む月に組み入れた。30日換算はしていない。)を図-1に示した。月平均値について、

H地点では最高4.96～最低4.62と、比較的狭い範囲での変化であったのに対し、L地点では最高5.59～最低4.62と変動が大きく、特に降雪期にH地点より高い値を示した。また、pHの1週間値を両地点を通してみた場合、最高値(7.01)及び最低値(4.15)ともL地点で観測されており、高度差50mの間でのウォッシュアウトによる、降水への様々な成分の取り込みや、無降水時の乾性降下物による影響等が伺える。

陰イオン成分の月平均当量濃度の変化を図-2に示した。全試料の平均では、 SO_4^{2-} が

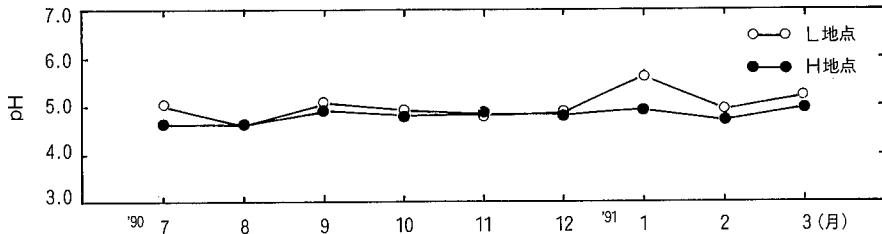


図-1 pHの月変化

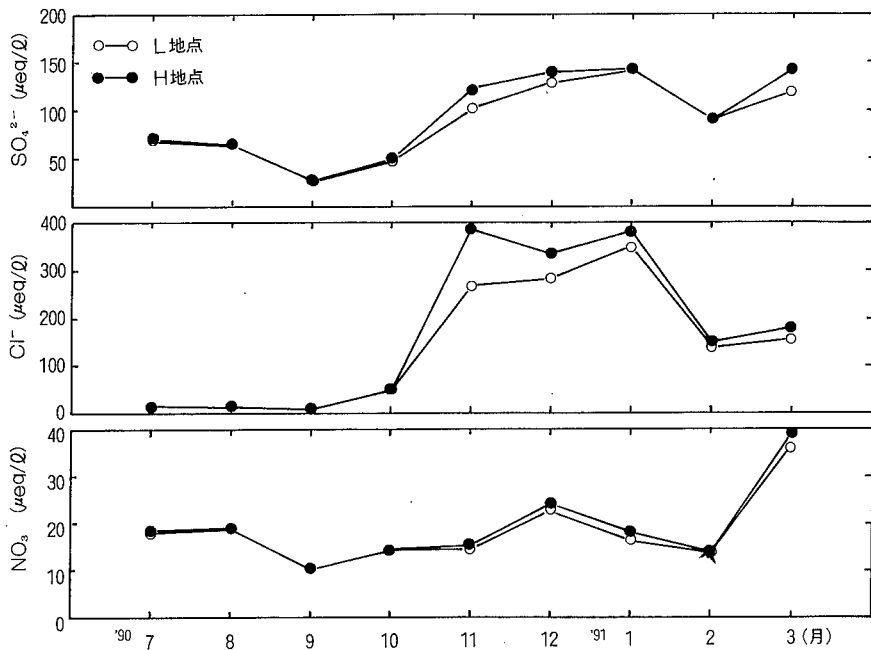


図-2 陰イオン成分平均当量濃度の月変化

L地点で79.4 $\mu\text{eq}/\ell$ 、H地点で85.6 $\mu\text{eq}/\ell$ 、Cl-がL地点で247 $\mu\text{eq}/\ell$ 、H地点で298 $\mu\text{eq}/\ell$ といずれもH地点が高い値を示している。月変化でみた場合、11月以降の両地点間の差が大きい。

非海塩由来の SO_4^{2-} (Na^+ を全て海塩由来とみなし、海水中の Na^+ と SO_4^{2-} との比から海塩由来の割合を求め、降水成分濃度から差し引いたもの。以下 nssSO_4^{2-} と記す。)と SO_4^{2-} との当量濃度比の月変化を図-3に示したが、7~9月の間、0.94程度と大部分を

非海塩由来で占めていたのに対し、10月以降この比が低下し、特に11~1月間に0.5以下にまで落ち込んでいる。

NO_3^- はL地点で17.5 $\mu\text{eq}/\ell$ 、H地点で16.6 $\mu\text{eq}/\ell$ と殆ど差がなく、月変化パターンでも差は見られない。

主な陽イオン成分の月平均当量濃度の変化を図-4に示した。陽イオン成分の平均当量濃度については、 Na^+ がL地点で209 $\mu\text{eq}/\ell$ 、H地点で251 $\mu\text{eq}/\ell$ 、 K^+ がL地点で6.1 $\mu\text{eq}/\ell$ 、H地点で7.2 $\mu\text{eq}/\ell$ 、 Mg^{2+} がL地点で

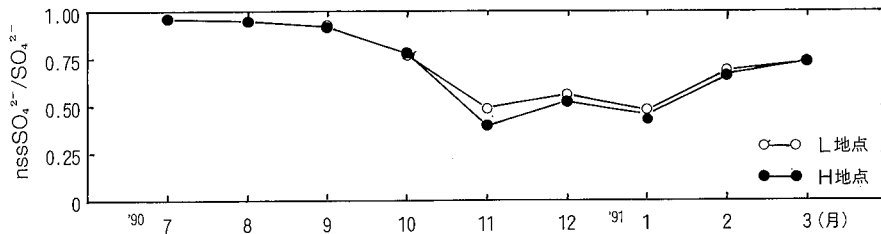


図-3 nssSO₄²⁻/SO₄²⁻の月変化

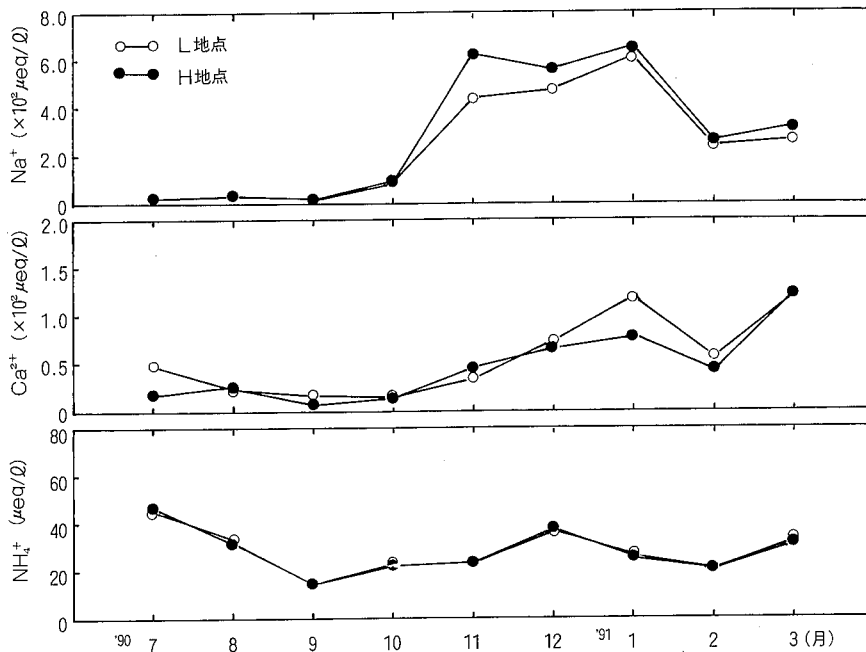


図-4 陽イオン成分平均当量濃度の月変化

55.4 $\mu\text{eq}/\ell$ 、H地点で65.6 $\mu\text{eq}/\ell$ といずれもH地点が高く、月変化でも11月から1月までが極めて高い、良く似た傾向を示している。これは Cl^- の月変化とも一致しており、これら月変化パターンが類似している成分相互の相関が高いこと、図-5に見られるように、降水中の Cl^-/Na^+ 当量濃度比が海水中の当量濃度比、約1.17に良く一致することから、これらは海水中の塩分に大きく影響を受けていることがわかる。また、この影響はL地点よりも高層のH地点の方がより大きい。

Ca^{2+} は、L地点で47.2 $\mu\text{eq}/\ell$ 、H地点で36.8 $\mu\text{eq}/\ell$ と、測定した成分(当量値)の中で唯一L地点の方が高い値を示した。月変化パターンでみると7月及び1月にL地点での高

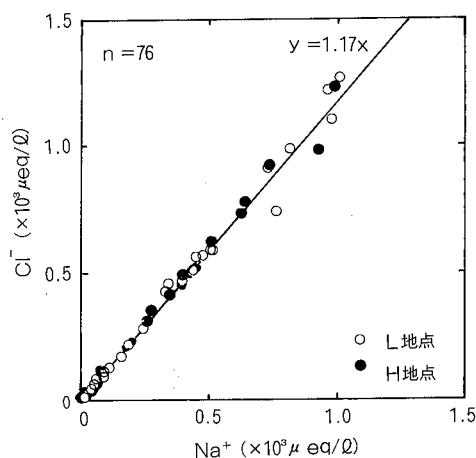


図-5 Naと Cl^- の関係

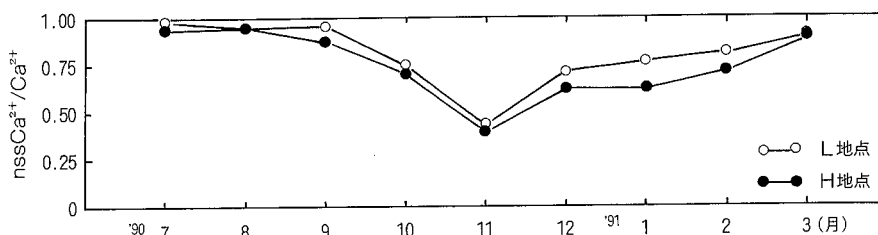


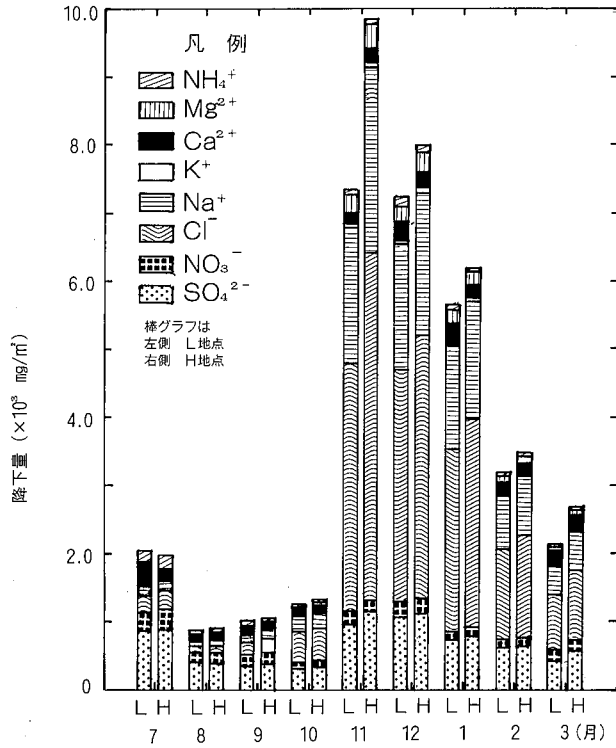
図-6 $\text{nssCa}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ の月変化

濃度が目立つものの、概ね同じ傾向にある。非海塩由来の Ca^{2+} (以下 nssCa^{2+} と記す。)と Ca^{2+} との比の月変化を図-6に示したが、調査期間を通じ僅かではあるがH地点の方が低く12~2月はその差がやや開く傾向にある。また、海塩由来成分量が多くなるこの期間は、相対的に $\text{nssCa}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 比が下がるが、海塩の影響がより強いH地点でも、12、1月にこの比が思ったほど下がっていない。渡辺らは、横浜市内の酸性降水物の鉛直分布調査から、地上30m付近での道路粉塵起因の Ca^{2+} の影響を指摘しているが、秋田市においてはこの期間、自動車のスパイクタイヤ使用等による道路粉塵起因の Ca^{2+} が多くなるため、地表近くのL地点でこの影響が顕著なことは当然として、地上60mのH地点においても、なお道路粉塵起因による Ca^{2+} の影響を受けているものと考えられる。

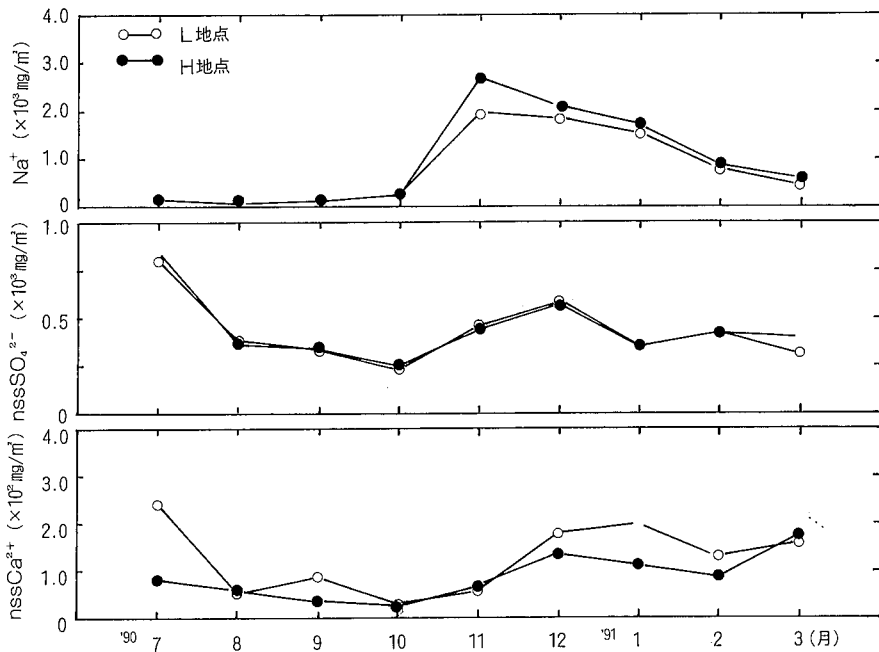
NH_4^+ はL地点で28.2 $\mu\text{eq}/\ell$ 、H地点で28.7 $\mu\text{eq}/\ell$ と差は無く、月変化の傾向及び濃度でも差は見られない。

3. 1. 2 成分降下量

両地点の総降下量の月変化を図-7に示した。また Na^+ 、 nssSO_4^{2-} 、 nssCa^{2+} の月変化を図-8に示した。



図一七 総降下量の月変化



図一八 Na^+ 、 nssSO_4^{2-} 、 nssCa^{2+} 降下量の月変化

総降下量は11月になると急激に増加し、それ以降3月までに漸減している。また、L及びH地点の差を見ると、7~10月までは殆ど差は無いが、11月以降3月までの間H地点での降下量が多く、特に11月では約35%も多くなっている。これらは前項でも指摘した通り大部分が海塩の影響であり、高層の方がこれを強く受けるためと考えられる。

各成分の降下量の月変化については、Na⁺、K⁺、Mg²⁺、及びCl⁻では、何れも7~10月の間、低い一定のレベルで推移し、11月になると急激に増加、それ以降3月までに漸減するパターンであった。両地点間の差では、11月以降3月までの間、H地点での降下量が多く、特に11月が顕著であった。SO₄²⁻は7月も降下量が多く、それ以降は前述の5成分と同様の傾向であった。

NH₄⁺、NO₃⁻、及びnssSO₄²⁻では、7月に最も降下量が多く、さらに12月にも極値を持つ良く似た月変化を示し、高度による差も見られなかった。Ca²⁺は、L地点では7月に近隣のビル解体工事の影響で降下量が高くなるなど、月による高下が目立つが、両地点とも概ね11月以降に降下量が増え、12~2月に両者の差が大きい。nssCa²⁺は、月変化の立ち上がりが12月になることを除けば、Ca²⁺の傾向と概ね同じであった。

3. 1. 3 pHに影響を及ぼす成分

pHに影響を及ぼす成分の季節による高度差を考察するため、3.1.1項で示したように、北西の季節風が吹き出してくる概ね11月を境に成分濃度に差が出てくることから、L地点及びH地点で得られたデータを10月末までに得られたもの、及びそれ以降と各々19個ずつ(6月採取の2試料を含む。)に分け、便宜上それぞれ夏期、冬期と区別した。

NO₃⁻/SO₄²⁻当量比(以下、N/S比という。)及びNO₃⁻/nssSO₄²⁻当量比(以下、N/nssS比という。)を表-3に示した。N/S比は、調査期間中の全平均値でL及びH地点とも0.25で差はなく、季節区分毎でも地点間の差は見られなかった。N/nssS比も0.32~0.33と同様に差は見られない。季節区分毎のN/S比の変化は、海塩由来のSO₄²⁻が増えるため、冬期区分で相対的に低い値を示すようになる。この傾向は、全国的な調査結果⁷⁾の日本海側の傾向と一致している。

表-3 季節区分毎のN/S比、N/nssS比

地 点	L 地点		H 地点	
	N/S	N/nssS	N/S	N/nssS
夏	0.31	0.35	0.31	0.35
冬	0.18	0.31	0.19	0.29
平 均	0.25	0.33	0.25	0.32

N/S比及びN/nssS比とpHの関係については、種々論じられているが、本調査^{8) 9)}では季節区分毎及び調査期間全体を通じても、これらに明確な関係は見いだせなかった。

各成分濃度(当量濃度)から海塩由来分を除いたものを説明変数に、H⁺を目的変数として重回帰分析(変数増減法、5%F値による打ち切り)を行った。その結果は、次に示す通りであった。

L地点夏期

$$[H^+ \text{予測値}] = -1.53 + 2.03 \times [NO_3^- (1.23)] - 3.43 \times [nssMg^{2+} (-0.39)] - 0.21 [nssCa^{2+} (-0.25)] - 0.20 \times [NH_4^+ (-0.24)]$$

$$R^2 = 0.88$$

(R²は自由度調整済決定係数、[]中の()内数値はその成分の偏回帰係数。以下同様。)

H地点夏期

$$[H^+ \text{予測値}] = -1.08 + 0.36 \times [nssSO_4^{2-}]$$

$$(0.69)] + 0.88 \times [\text{NO}_3^- (0.55)] - 0.42 \times [\text{NH}_4^+ (-0.52)]$$

$$R^2 = 0.84$$

L地点冬期

$$[\text{H}^+ \text{予測値}] = -0.12 + 0.40 \times [\text{nssSO}_4^{2-} (1.11)] - 0.16 \times [\text{nssCa}^{2+} (-0.97)] - 0.41 \times [\text{NH}_4^+ (-0.51)] + 3.28 \times [\text{nssK}^+ (0.35)]$$

$$R^2 = 0.79$$

H地点冬期

$$[\text{H}^+ \text{予測値}] = 1.31 + 0.42 \times [\text{nssSO}_4^{2-} (1.12)] - 0.25 \times [\text{nssCa}^{2+} (-0.91)] - 0.21 \times [\text{nssMg}^{2+} (-0.23)]$$

$$R^2 = 0.87$$

これらの結果から、pHを下げる方向に働く成分としては、それぞれの偏回帰係数の絶対値の大きさより、夏期区分の地表近くでは NO_3^- が強く作用し、高層では nssSO_4^{2-} と NO_3^- がほぼ同程度である。反対にpHを高める方向には、夏期区分の地表付近では nssCa^{2+} 、 nssMg^{2+} 及び NH_4^+ が緩やかに働き、高層では NH_4^+ が効いてきているのがわかる。また、冬期区分ではL地点及びH地点とも nssSO_4^{2-} がpHを強く下げる方向に働き、 nssCa^{2+} がpHを押し上げる方向に強く働いている。

ただしこの冬期区分の nssCa^{2+} は、後述するように、乾性降下物の影響が少ない初期降

水分取によると、冬期区分に該当する降水で高度による成分濃度の差がろ過式採取(1週間)の場合ほど大きくないことから、大部分の nssCa^{2+} は非降水時に乾性降下物として雨水採取装置に捕捉され、降水により水溶液中に取り込まれた可能性が大きい。

本調査の範囲では、前述の通り H^+ 当量予測値の大部分を、 NH_4^+ 、 nssCa^{2+} 、 NO_3^- 及び nssSO_4^{2-} の4成分で説明できることから、pHを高める側の NH_4^+ 、 nssCa^{2+} の当量値の和と、pHを下げる側の NO_3^- 、 nssSO_4^{2-} の当量値の和の比(以下、 $(\text{NH}_4^+ + \text{nssCa}^{2+}) / (\text{NO}_3^- + \text{nssSO}_4^{2-})$ 比という。)をとり、この月変化を図-9に示したが、図-1に示したpHと良く一致した月変化傾向が見られる。

3. 2 初期降水分取による降水

3. 2. 1 降水成分濃度

降水を雨として分取できた12月中旬までの間に、L及びH地点でそれぞれ59降水を採取できたが、欠測等で有効な対のデータを得られなかった13降水を除き、46降水について解析を行った。各ステージ毎の平均濃度を表-4に、また主な成分当量濃度を図-10に示した。季節風の吹き出しが始まる10月下旬以降、西高東低の冬型気圧配置になったとき、ステージ1での各成分の取り込み量が極端に大きいため、結果として平均濃度もこれにほぼ従う形となっている。

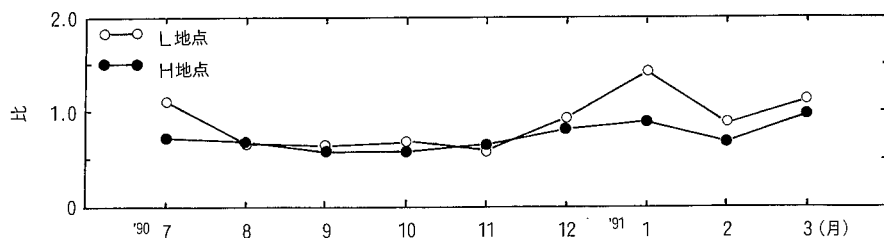


図-9 $(\text{NH}_4^+ + \text{nssCa}^{2+}) / (\text{NO}_3^- + \text{nssSO}_4^{2-})$ 比月変化

表-4 初期降水分取による降水成分平均濃度

地点	ステージ	pH	EC μS/cm	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l
L	1	4.81	72.7	6.47	2.81	11.02	6.24	0.47	2.34	0.89	0.94
	2	4.70	47.6	3.79	1.50	6.81	3.90	0.27	0.82	0.53	0.54
	3	4.65	39.3	3.26	1.37	5.06	2.85	0.22	0.58	0.39	0.47
	4	4.70	34.6	2.88	1.11	4.68	2.66	0.20	0.43	0.35	0.44
	5	4.71	28.8	2.53	0.95	3.45	1.98	0.17	0.33	0.26	0.42
	6	4.84	33.0	2.42	0.72	5.09	2.72	0.16	0.31	0.37	0.37
	平均	4.81	36.0	2.76	0.92	5.41	2.95	0.19	0.46	0.40	0.42
H	1	4.80	101.1	8.14	3.37	17.74	10.23	0.61	2.18	1.41	1.14
	2	4.71	54.1	4.20	1.69	8.39	4.77	0.31	0.87	0.65	0.59
	3	4.64	39.6	3.32	1.39	5.02	2.88	0.24	0.55	0.39	0.52
	4	4.71	36.7	2.90	1.14	5.27	2.94	0.21	0.46	0.40	0.41
	5	4.71	35.2	2.74	0.98	5.07	2.90	0.20	0.37	0.37	0.40
	6	4.79	23.1	2.20	0.74	2.74	1.49	0.13	0.23	0.19	0.37
	平均	4.77	31.4	2.77	1.01	4.28	2.39	0.18	0.41	0.32	0.44

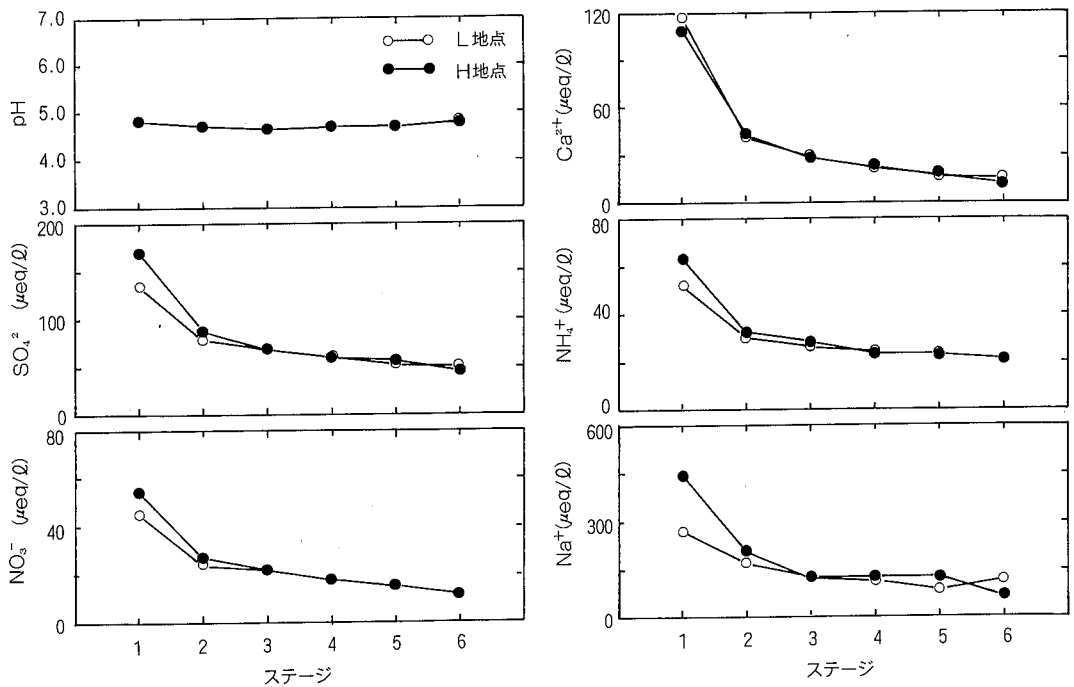


図-10 pH及び主な成分当量濃度のステージによる変化

pH については、L地点とH地点の間に差は見られず、ステージのシフトに伴う変化傾向も同じであった。陰イオン成分では、ステージ1及び2で何れの成分もH地点の方が高い値を示し、ステージ3以降は高度による差は殆ど見られなかった。ステージのシフトに伴う変化傾向については、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 及び Cl^- ともステージ1から2の間に大きく濃度が下がり、ステージ2以降ステージ6まで漸減あるいは横ばいである。

陽イオン成分でも、地点間の関係及びステージのシフトに伴う変化傾向について、陰イオン成分と同様の傾向がみられた。ただし、 Ca^{2+} では他の成分と異なり、ステージ1及び2においても、地点間の濃度差は殆ど見られず、全ステージを通じてほぼ同じ濃度変化を示した。

図-11に各ステージにおける Na^+ と Cl^- の当量濃度の関係を示したが、ステージによる Cl^-/Na^+ 当量濃度比に殆ど差がなく、海水中の当量濃度比、約1.17に近いこと、ステージ3以降の Na^+ 及び Cl^- の濃度にほとんど変化が見られないことから、ステージ1での海塩

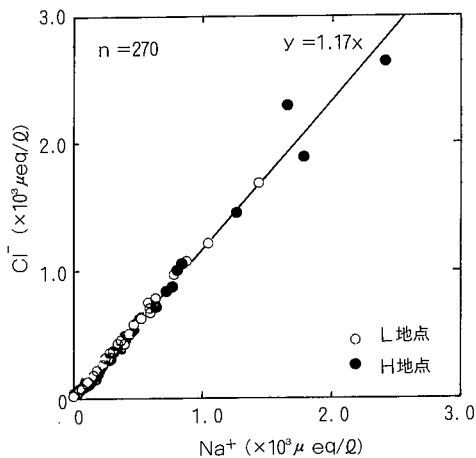


図-11 Na^+ と Cl^- の関係

由来成分の大部分は、海風塩をウォッシュアウトにより取り込んだものであり、ステージ2以降はレインアウトによる取り込まれたものと考えられる。

3. 2. 2 気象因子別の降水成分濃度

前節で述べたように、初期降水分取による全降水の平均濃度及びステージのシフトに伴う変化傾向には、高度による顕著な差は見られない。そこで、降水をもたらず気象因子毎に降水を分類し、比較検討には、大まかな気象因子分類のうち、特徴的な①台風型(台風が近接したもののみ。直近で温帯低気圧に変わったものを含む)、②西高東低型を選び、明らかにこれらに属するもので、ステージ6までの試料を採取できた降水の平均当量濃度を用いた。各ステージ毎の平均濃度を表-5に示した。

pHの各ステージにおける変化を図-12に示した。気象因子別では、台風型の方が高度によらず西高東低型よりも高い値を示し、同じ台風型のなかではL地点の方が高かった。いわゆる冬型気圧配置になると、初期降水分取のステージ1では Na^+ が 200mg/l を越える場合もあり、 Na^+ 濃度の高度による差も大きいことから、一降水個々には海塩成分によるpHへの影響も考慮する必要があるが、本調査における、西高東低型の場合は高度による差は見られず、ステージのシフトにかかわらずほぼ一定の値を示している。

ここでは気象因子を詳細に分類できなかったため、他の気象因子による降水の性状を述べないが、平木¹¹⁾や鶴田¹²⁾らの指摘と同様に、台風による降水のpHは、他の気象因子による降水の平均値に比較して、明らかに高い値を示した。

陰イオン成分濃度については、ステージ1

表-5 気象因子別各成分当量濃度比

気象因子	地点	ステージ	$\frac{\text{nssSO}_4^{2-}}{\text{SO}_4^{2-}}$	$\frac{\text{NO}_3^-}{\text{SO}_4^{2-}}$	$\frac{\text{NO}_3^-}{\text{nssSO}_4^{2-}}$	$\frac{\text{nssCa}^{2+}}{\text{Ca}^{2+}}$	$\frac{\text{NH}_4^+ + \text{nssCa}^{2+}}{\text{NO}_3^- + \text{nssSO}_4^{2-}}$
台風 (n=4)	L	1	0.89	0.53	0.60	0.97	1.42
		2	0.89	0.38	0.43	0.95	1.06
		3	0.91	0.36	0.39	0.95	0.83
		4	0.90	0.36	0.40	0.94	0.86
		5	0.87	0.35	0.41	0.90	0.79
		6	0.96	0.35	0.37	0.93	0.49
	H	1	0.87	0.49	0.56	0.94	0.98
		2	0.88	0.41	0.47	0.92	0.90
		3	0.91	0.37	0.41	0.93	0.66
		4	0.89	0.36	0.40	0.92	0.73
		5	0.90	0.36	0.40	0.91	0.65
		6	0.96	0.32	0.33	0.85	0.37
西高東低 (n=4)	L	1	0.58	0.39	0.67	0.77	0.84
		2	0.60	0.34	0.56	0.69	0.65
		3	0.60	0.28	0.47	0.63	0.55
		4	0.64	0.28	0.44	0.58	0.49
		5	0.65	0.24	0.37	0.57	0.56
		6	0.60	0.18	0.30	0.30	0.41
	H	1	0.43	0.31	0.74	0.62	0.75
		2	0.55	0.34	0.63	0.66	0.67
		3	0.60	0.31	0.51	0.60	0.53
		4	0.63	0.30	0.48	0.59	0.55
		5	0.57	0.23	0.41	0.57	0.65
		6	0.61	0.17	0.28	0.35	0.43

では何れの成分も、西高東低型の方が台風型よりも高く、同じ気象因子ではH地点の方がL地点よりも高い。ステージ2以降は気象因子別では、 SO_4^{2-} 及び Cl^- については西高東低型の方が高いが、 NO_3^- ではその差が殆ど無い。また同じ気象因子内での高度による差は見られない。 $\text{nssSO}_4^{2-}/\text{SO}_4^{2-}$ 当量濃度比について表-5に示した。台風型で0.9前後、冬型で0.6程度と気象因子による差が大きい。台風型では、高度差及びステージのシフトに伴う差も無くほぼ一定の値を示すが、西高東低型では第1ステージでH地点の比が低く、第2ステージ以降はほぼ等しい。

陽イオン成分濃度の各ステージにおける変化を図-13に示した。 Na^+ 、 K^+ 及び Mg^{2+} については、ステージ1では西高東低型の方

が台風型よりも高く、同じ気象因子では西高東低型でH地点の方がL地点よりも高いが、台風型ではその差が殆ど無いか、あっても差は小さい。ステージ2以降は気象因子別では西高東低型の方が高いが、同じ気象因子では、高度差及びステージのシフトに伴う差も無くほぼ一定の値を示している。 NH_4^+ 、 Ca^{2+} については、気象因子及び高度による濃度差に、これら以外の成分ほど顕著な傾向が見られず、ステージ1から2の間の濃度差が大きく、ステージ2以降ステージ6まで漸減あるいは横ばいであった。

$\text{nssCa}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 当量濃度比について表-5に示した。台風型で0.9を越え、西高東低型で0.6程度と、 $\text{nssSO}_4^{2-}/\text{SO}_4^{2-}$ 当量濃度比同様、気象因子による差が大きい。また西高東

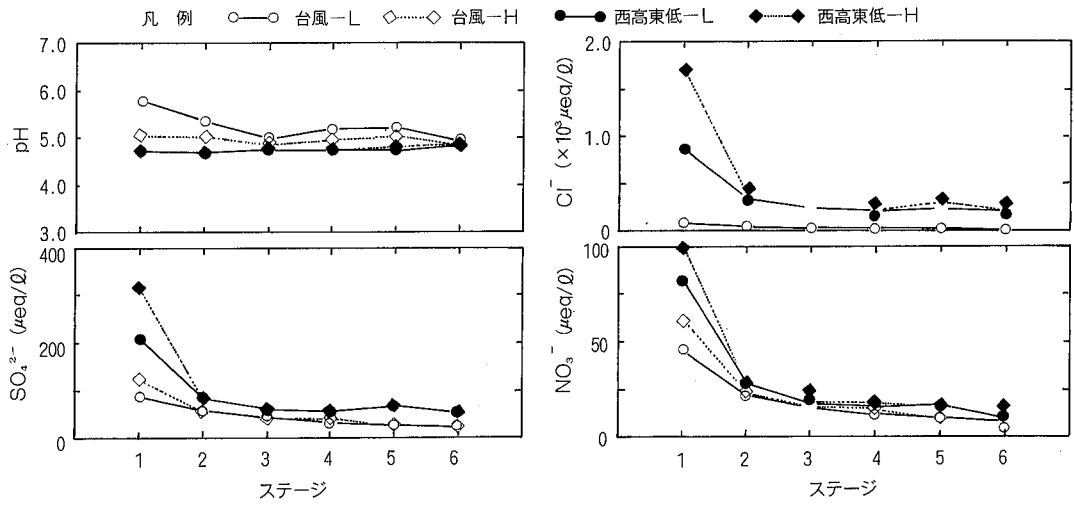


図-12 気象因子別pH及び陰イオン成分当量濃度のステージによる変化

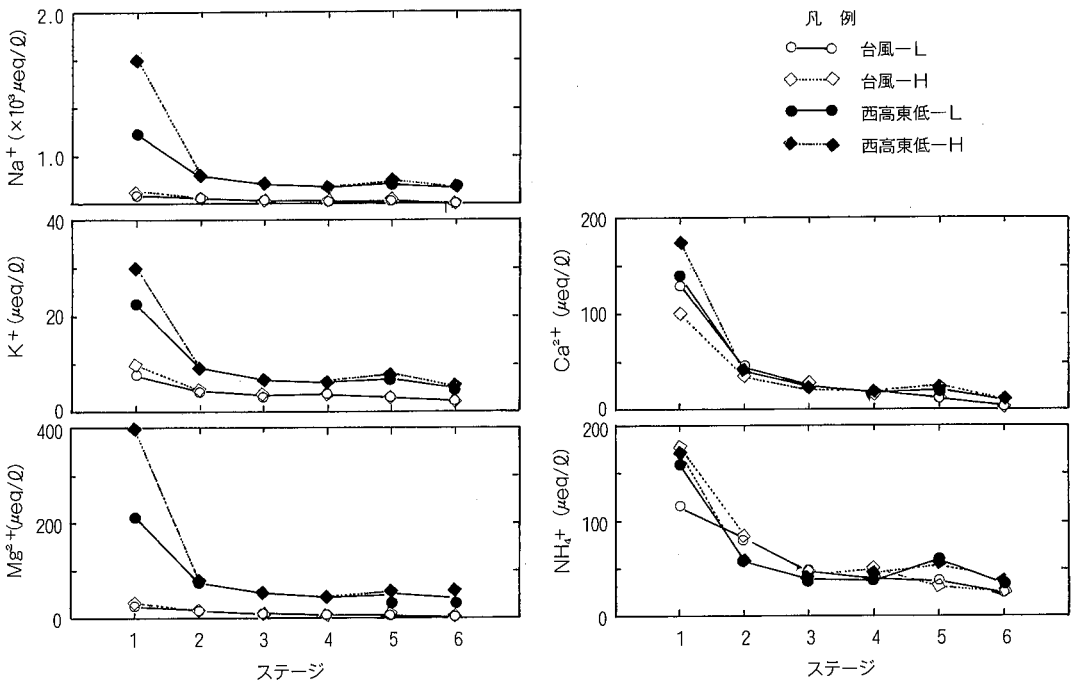


図-13 気象因子別陽イオン成分当量濃度のステージによる変化

低型では、地表付近であるL地点のステージ1で0.77と比較的高く、1週間ろ過式ほどではないが、道路粉塵によると思われる nssCa^{2+} 増加が見られた。

N/S比、N/nssS比及び $(\text{NH}_4^+ + \text{nssCa}^{2+})/(\text{NO}_3^- + \text{nssSO}_4^{2-})$ 比を表-5に示した。N/S比は、両地点とも台風型の方が高く、同じ気象因子内ではステージ1を除き殆ど変わらない。pHとこれらの比の関係は、台風型ではL及びH地点で、pHとN/nssS比との間に、正の相関関係が見られるが、西高東低型ではその関係が明確ではない。

4 まとめ

降水成分濃度の高度による差を見ることにより、秋田市街地における降水の酸性化機構の実態を把握するため、平成2年7月～平成3年3月までの間、1週間ろ過式及び初期降水分取方式による降水の採取を実施した。この調査の結果、次のような知見を得た。

- (1) ろ過式1週間採取の降水のpHは、調査期間中の平均値で0.15、高層よりも地表近くが高く、月平均値で見ると、1～3月の間にこの傾向が強い。また、この期間は降水成分濃度に与える海塩由来成分の影響が大きいが、この度合いは地表近くよりも高層の方が強い
- (2) ろ過式1週間採取の降水成分濃度で算出した降下量は、海塩の影響を強く受ける11月以降に急激に増加し、総降下量では地表近くよりも高層の方が多い。
- (3) ろ過式1週間採取の降水でpHを下げる方向に働く成分としては、夏期の地表近くでは NO_3^- が、高層では nssSO_4^{2-} と NO_3^- が働き、pHを高める方向には、夏期の地表付近では nssCa^{2+} 等が、高層では NH_4^+

が効いている。また、冬期区分では両地点とも nssSO_4^{2-} がpHを下げる方向に働き、 nssCa^{2+} がpHを押し上げる方向に働いている。

- (4) 初期降水分取による降水では、pHについては全ステージの平均値及びステージ毎の平均値に、高度による差は見られなかった。
- (5) 初期降水分取による降水を気象要因別に分類すると、分類毎の差や高度による差が見られたが、本調査の例数が少ないことから、これについては今後継続的な酸性雨のモニタリングを通し、さらに詳しい解析が必要である。

謝 辞

この調査を実施するにあたり、快く調査場所の提供を頂きました、秋田アトリエンビル(株)を始め、ご協力頂いた関係各位に、深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 信太 穰ほか：本報，No.11，82(1983)
- 2) 斉藤 学ほか：本報，No.12，94(1984)
- 3) 斉藤 学ほか：本報，No.13，69(1985)
- 4) 斉藤 学ほか：本報，No.16，55(1988)
- 5) 酸性雨等調査マニュアル(改訂版)：平成2年3月，環境庁大気保全局
- 6) 渡辺善徳ほか：横浜市公害研究所報，No.13，19(1989)
- 7) 酸性雨対策調査報告書：平成2年1月，酸性雨対策検討会大気分科会
- 8) 正賀 充ほか：兵庫県立公害研究所研究報告：No.22，17(1990)
- 9) 玉置元則ほか：大気汚染学会誌，26，1(1991)

- 10) 山口幸祐ほか：大気汚染学会講演要旨集，第32回，383(1991)
- 11) 平木隆年ほか：大気汚染学会講演要旨集，第30回，348(1989)
- 12) 鶴田治雄ほか：大気汚染学会講演要旨集，第32回，392(1991)