

漢江流域の環境汚染管理に関する研究

— 大気汚染物質の移動と降下に関する研究 —

著者：姜寅求*、韓義正*、韓振錫*、辛燦基*、朴泰術*
崔守彦*、權坪洙*、張聖基*、金正洙*、柳承道*
内藤正明**、若松伸司**、鷓野伊津志**
宇都宮彬***、山下敬則****、森淳子****

訳編者：若松伸司**、宇都宮彬***

* 国立環境研究院(大韓民国)

** 国立環境研究所

*** 福岡県保健環境研究所(国立環境研究所客員研究員)

**** 長崎県衛生公害研究所(国立環境研究所客員研究員)

環境庁 国立環境研究所

序

エアロゾルによる大気汚染は都市環境問題の中でも重要な課題である。エアロゾルは、その発生源が人為起源、自然起源と多岐にわたるとともに、環境大気中における寿命時間が長いため、広域的な理解が必要である。このため国立環境研究所と韓国国立環境研究院との間で、1990年から1992年にかけてエアロゾルの動態把握に関する国際共同研究を行った。韓国での観測は、日本国際協力事業団（JICA）の研究協力事業として実施した。

本報告書は、韓国における観測結果をとりまとめたものである。内容は、韓国国立環境研究院報告NIER No.92-09-337（1992）を韓国国立環境研究院からの承諾を得て日本語に翻訳したものであるが、韓国国立環境研究院の了解のもとに内容の一部に関してデータ入力ミス、や記載等の不十分な点に関しての修正を行った。

この報告書では多くの新しい観測事実が示されており、今後のエアロゾル研究において貴重な知見を提供するものである。尚、この観測と並行して行った日本における観測結果についても別途公表を予定している。本観測結果の多方面での活用を期待したい。

地域環境研究グループ
総合研究官 若松伸司

要約文

1. 題目

漢江流域における環境汚染管理に関する研究
－大気汚染物質の移動と降下に関する研究－

2. 目的

本研究は大気汚染物質の測定・分析技術向上と大気中エアロゾルの成分変化特性、及び生成機構を解明し大気汚染物質の移動現象及び大気汚染物質による水系に負荷する汚染物質量を推定することを目的とする。

3. 研究内容と方法

- ・調査地域；ソウル、陽平、濟州
- ・大気中エアロゾル成分の分析
 - －ハイボリュームテープサンプラーによるエアロゾル採取
 - －水溶性成分分析： SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 K^+ 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+}
- ・大気中 NH_3 、 HNO_3 ガス濃度の測定
 - －2段サンプラーによる捕集
 - －時間別濃度変化観測
- ・大気汚染度資料の分析
 - －ソウル佛光洞測定所資料の分析
- ・発生源関連資料の分析
 - －土地利用の現況
 - －燃料消耗量
 - －自動車登録台数及び通行量
 - －排出施設現況
- ・気象資料の収集
 - －ソウル観測所、濟州高山観測所、陽平測候所
- ・気象観測
 - －地上気象観測：陽平
 - －上層気象観測：濟州道 高山
- ・エアロゾル濃度とガス濃度の季節変化解析
- ・エアロゾル成分相互間の関係解析
- ・ソウル地域と陽平地域のエアロゾル比較
- ・総降下粉塵量の評価

4. 研究結果

- 1) 2段フィルターサンプラーを利用して大気中エアロゾルの捕集と同時に NH_3 と HNO_3 ガスを捕集・分析することが出来た。
- 2) 観測期間中佛光洞の平均濃度は SO_2 0.031ppm, TSP $84\mu\text{g}/\text{m}^3$, O_3 13ppb, NMHC 0.48ppmであった。短期間の観測では陽平地域の SO_2 が10ppb以下で、濟州高山地域は1ppb以下であった。
- 3) 佛光洞地点のエアロゾル陰イオン成分中には SO_4^{2-} が90%以上を占めていた。 SO_4 全体平均濃度は $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, 冬期期間中の濃度は $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。
- 4) 陽イオン成分中 NH_4^+ の全体平均濃度は $3.49\mu\text{g}/\text{m}^3$, Ca^{2+} は $1.1\mu\text{g}/\text{m}^3$, Na^+ は $0.86\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。また NH_4^+ イオン成分が総陽イオン成分の58.7%を占めていた。
- 5) エアロゾルの総イオン濃度の増加は主に SO_4^{2-} と NH_4^+ によってもたらされていた。夏期には硫酸アンモニウムが主成分となり、冬期には硫酸アンモニウムと一緒に CaSO_4 , NH_4NO_3 , NH_4Cl 等の塩が増加することが観測された。冬期の SO_4^{2-} と NH_4^+ 濃度変化には周期性が認められた。
- 6) 佛光洞の NH_3 と HNO_3 の濃度分布は、それぞれ $0.46\text{--}2.0\mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.0\text{--}14.78\mu\text{g}/\text{m}^3$, であったが、冬期に比べ夏期の HNO_3 濃度が1.5倍程度高かった。夏期の HNO_3 濃度はエアロゾルの NO_3^- 濃度と逆相関関係を示し、硝酸アンモニウムの分解反応が進行していることを示唆された。
- 7) 濟州道高山観測は北西風の気流が流入する時に SO_4^{2-} 成分等の濃度が増加していた。また海塩粒子と土壌粒子の変換粒子である Ca^{2+} と Cl^- を主成分にする粒子の増加が観測された。
- 8) ソウル地域で冬期に発生した高濃度硫酸塩粒子は SO_2 濃度の変化様相と異なり、偏西風により外部から流入移動される過程で SO_2 ガスが反応・変換して生成した硫酸塩粒子の影響を受けたと推定できた。
- 9) 陽平地域のエアロゾルイオン成分濃度は佛光洞の約68%で、イオン成分の構成特性は佛光洞と類似していた。ソウル地域からのエアロゾル移動現象が陽平地域のエアロゾル濃度変化に影響を及ぼしていることがわかった。

- 10) ダストジャーによる水系に付加する大気汚染物質量の推定には種々の限界があるが、ダストジャーの測定値を用いて陽平地域の不溶性成分の降下量は佛光洞の71%程度であり、大気汚染物質の八堂湖の貯水面積(37.5km²)に降下する量は不溶性成分 97.1ton/30日, NH₄⁺ 8.8ton/30日, NO₃⁻ 7.5ton/30日, SO₄²⁻ 32.4ton/30日と算出された。

ABSTRACT

This study is carried out to develop the technology of air pollution measurement and to estimate the soluble component of aerosol, the transport of air pollutant and resultant deposition in Korea.

The study points were Bulkwang in Seoul, Yangpyung in Kyungki province and Gosan in Cheju island. We used with High Volume Tape Sampler and 2-stage Air Sampler for aerosol, NH_3 and HNNH_3 sampling. Dust jar for deposition measurement and Radio sonde for upper meteorology measurement.

Average concentration of SO_2 , O_3 , NMHC and TSP were respectively 0.031ppm, 13ppb, 0.48ppm and $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at Bulkwang in Seoul during the period of survey.

The percentage of $[\text{SO}_4^{2-}]$ for total anion concentration is 90% average $[\text{SO}_4^{2-}]$ is $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and mean $[\text{SO}_4^{2-}]$ in winter is $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at Bulkwang.

Average $[\text{NH}_4^+]$, $[\text{Ca}^{2+}]$ and $[\text{Na}^+]$ are respectively $3.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $0.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at Bulkwang.

The main component of aerosol is ammonium sulfate at Bulkwang, Yangpyung, and Gosan. The increasing of sulfate of aerosol had a frequency and this phenomenon was more clear in winter than summer.

Sulfate concentration was increased in Seoul when the wind direction was NW in winter and this sulfate was estimated to particle that transformed and reacted for SO_2 with soil particle and sea salt in during the period of transport to Seoul from China.

The sulfate at Gosan in Cheju island was increased with the increasing of $[\text{Ca}^{2+}]$ and $[\text{Cl}^-]$ when the wind direction was NW.

Ion component concentration of aerosol at Yangpyung was about 68% of that in Seoul. The resultant deposition for Paldang reservoir were 97.1ton/30days of insoluble component, 8.8ton/30days of NH_4^+ , 7.5ton/30days of NO_3^- and 32.4ton/30days of SO_4^{2-} .

目次

表 目次

図 目次

I. 研究背景及び目的	1
II. 観測概要	2
1. 観測地点	2
2. 観測内容	5
3. 観測項目と観測機器	5
4. 分析方法	7
III. 観測地点の気象特徴	10
1. ソウル	10
2. 陽平	10
3. 濟州道	10
4. 観測期間中の気象	12
IV. 観測地点の発生源の特徴	15
1. 土地利用現況	15
2. 自動車及び交通量の現況	15
3. 燃料使用量及び汚染物質排出量	17
4. 大気汚染排出施設の現況	21
V. 観測地点の大気汚染状況	23
1. ソウル地域の大気汚染状況	23
2. 陽平地域の大気汚染状況	26
3. 濟州道地域の大気汚染状況	31
VI. エアロゾルとガス濃度の季節変化の解析	35
1. エアロゾルと大気汚染濃度の解析結果	35
2. 季節変化の特徴	35
3. エアロゾルと NH_3 , HNO_3 の濃度変化	40
VII. エアロゾル成分相互の関係の解析	50
1. エアロゾル成分の濃度変化の特徴	50
2. エアロゾル成分間関係の解析	60
3. エアロゾルとガス状物質相互の関係の解析	69
4. ソウル地域と陽平地域のエアロゾルの比較	72
VIII. 総降下粉塵量の評価	75
IX. 結論	77
参考文献	79

表目次

表1. 観測日程及び観測内容	6
表2. 粒子状物質中の水溶性イオン成分の機器分析条件	9
表3. 陽平地域の月別気象概況 ('90-'91)	11
表4. 土地利用状況 (単位: km ²)	16
表5. 韓国における自動車数の年変化 (単位: 台数)	16
表6. 韓国における1990年の地域別自動車台数 (単位: 台数)	16
表7. 自動車登録台数 (単位: 台数)	18
表8. 交通量 (単位: 台数/日)	18
表9. '91年用途別市、道別無煙炭消費実績	18
表10. '91年用途別市、道別有煉炭消費実績	18
表11. '91年地域別用途別油種別消費実績	19
表12. '91年用途別市、道別SO ₂ 排出量	19
表13. '91年用途別市、道別CO排出量	19
表14. '91年用途別市、道別HC排出量	20
表15. '91年用途別市、道別NO ₂ 排出量	20
表16. '91年用途別市、道別TSP排出量	20
表17. 韓国における大気汚染発生施設の年変化	22
表18. 1990年における大気汚染発生施設の地域分布	22
表19. ソウル地域の年度別SO ₂ , TSPの濃度変化	24
表20. ソウル地域のSO ₂ , TSPの月平均濃度 (1992)	25
表21. 気象条件による日平均大気汚染濃度	27
表22. 気象条件と大気汚染物質濃度の相関性	32
表23. 濟州道高山測定所の気象要素の月平均値	34
表24. エアロゾル中の水溶性イオン成分濃度の基本統計値 ('90.8-'92.2)	36
表25. 観測期間中の大気汚染度の濃度の基本統計値 ('90.8-'92.2)	36
表26. 佛光地域での大気汚染度の月平均 ('90.8-'92.2)	36
表27. エアロゾル中のイオン成分月別平均濃度 (ソウル)	38
表28. ソウル地域のNH ₃ , HNO ₃ 濃度とエアロゾル (1990.12.10-12.12)	44
表29. ソウル地域のNH ₃ , HNO ₃ 濃度とエアロゾル (1991.6.10-6.12)	44
表30. ソウル地域のNH ₃ , HNO ₃ 濃度とエアロゾル (1991.8.12-8.14)	44
表31. 濟州地域のNH ₃ , HNO ₃ 濃度とエアロゾル (1992.2.17-2.19)	45
表32. 温位から求めた混合層高度	45
表33. エアロゾル中のイオン成分の相関係数	61

表34. 佛光洞におけるイオン成分濃度	73
表35. 陽平地域におけるイオン成分濃度	73
表36. 佛光洞における1992年の総降下量	76
表37. 陽平地域における1992年の総降下量	76

目次

図1. 観測地点の位置	4
図2. ハイボリュームテープサンプラーの構造	8
図3. 大気中粒子状物質の試料全処理過程	9
図4. '90年の風配図	14
図5. '91年の風配図	14
図6. ソウルのSO ₂ , TSP年度別平均濃度	24
図7. ソウル地域の月別SO ₂ , TSP平均濃度	25
図8. 春期の風向風速気温及び相対湿度の分布	28
図9. 秋期の風向風速気温及び相対湿度の分布	29
図10. 気象条件と大気汚染度の時間変化	31
図11. 高山地域のSO ₂ , NO, NO _y 及びO ₃ 濃度曲線	34
図12. 高山測定所2月及び3月の風配図	34
図13. 観測期間中の大気汚染度の変化	39
図14. 観測期間中の水溶性陰イオン成分濃度	39
図15. 観測期間中の水溶性陽イオン成分濃度	39
図16. エアロゾル中のNH ₄ ⁺ イオン成分の濃度変化	41
図17. エアロゾル中のSO ₄ ²⁻ イオン成分の濃度変化	41
図18. エアロゾル中のCl ⁻ イオン成分の濃度変化	42
図19. エアロゾル中のNa ⁺ イオン成分の濃度変化	42
図20. エアロゾル中のCa ²⁺ イオン成分の濃度変化	42
図21. エアロゾル中のNO ₃ ⁻ イオン成分の濃度変化	43
図22. エアロゾル中のK ⁺ イオン成分の濃度変化	43
図23. エアロゾル中のMg ²⁺ イオン成分の濃度変化	43
図24. ソウル地域のNH ₃ , HNO ₃ 濃度とエアロゾル('90.12.10-12.12)	47
図25. ソウル地域のNH ₃ , HNO ₃ 濃度とエアロゾル('91.6.10-6.12)	47
図26. ソウル地域のNH ₃ , HNO ₃ 濃度とエアロゾル('91.8.12-8.14)	48
図27. 濟州地域のNH ₃ , HNO ₃ 濃度とエアロゾル('92.2.17-2.19)	48
図28. ラジオゾンデで観測された温位と相対湿度の垂直分布	49
図29. エアロゾル中のイオン成分の累積濃度変化('90.8.10-8.17)	51
図30. エアロゾル中のイオン成分の累積濃度変化('90.10.10-10.17)	52
図31. エアロゾル中のイオン成分の累積濃度変化('90.12.10-12.17)	53
図32. エアロゾル中のイオン成分の累積濃度変化('91.2.11-2.18)	54
図33. エアロゾル中のイオン成分の累積濃度変化('91.4.15-4.22)	55

図34. エアロゾル中のイオン成分の累積濃度変化 ('91.6.10-6.17)	—————	5 6
図35. エアロゾル中のイオン成分の累積濃度変化 ('91.8.12-8.21)	—————	5 7
図36. エアロゾル中のイオン成分の累積濃度変化 ('91.10.14-10.26)	—————	5 8
図37. エアロゾル中のイオン成分の累積濃度変化 ('92.2.12-2.21)	—————	5 9
図38. SO_4^{2-} 量濃度と NH_4^+ 量濃度の変化 ('90.8.10-8.17)	—————	6 2
図39. SO_4^{2-} 量濃度と NH_4^+ 量濃度の変化 ('90.10.10-10.17)	—————	6 2
図40. SO_4^{2-} 量濃度と NH_4^+ 量濃度の変化 ('90.12.10-12.17)	—————	6 2
図41. SO_4^{2-} 量濃度と NH_4^+ 量濃度の変化 ('91.2.11-2.18)	—————	6 3
図42. SO_4^{2-} 量濃度と NH_4^+ 量濃度の変化 ('91.4.15-4.22)	—————	6 3
図43. SO_4^{2-} 量濃度と NH_4^+ 量濃度の変化 ('91.6.10-6.17)	—————	6 3
図44. SO_4^{2-} 量濃度と NH_4^+ 量濃度の変化 ('91.8.12-8.21)	—————	6 4
図45. SO_4^{2-} 量濃度と NH_4^+ 量濃度の変化 ('91.10.14-10.26)	—————	6 4
図46. SO_4^{2-} 量濃度と NH_4^+ 量濃度の変化 ('92.2.12-2.21)	—————	6 4
図47. Cl^- 量濃度と Na^+ 量濃度の変化 ('90.8.10-8.17)	—————	6 5
図48. Cl^- 量濃度と Na^+ 量濃度の変化 ('90.10.10-10.17)	—————	6 5
図49. Cl^- 量濃度と Na^+ 量濃度の変化 ('90.12.10-12.17)	—————	6 5
図50. Cl^- 量濃度と Na^+ 量濃度の変化 ('91.2.11-2.18)	—————	6 6
図51. Cl^- 量濃度と Na^+ 量濃度の変化 ('91.4.15-4.22)	—————	6 6
図52. Cl^- 量濃度と Na^+ 量濃度の変化 ('91.6.10-6.17)	—————	6 6
図53. Cl^- 量濃度と Na^+ 量濃度の変化 ('91.8.12-8.21)	—————	6 7
図54. Cl^- 量濃度と Na^+ 量濃度の変化 ('91.10.14-10.26)	—————	6 7
図55. Cl^- 量濃度と Na^+ 量濃度の変化 ('92.2.12-2.21)	—————	6 7
図56. Cl^- と NO_3^- の量濃度の合計と Na^+ 量濃度 ('90.8.10-8.17)	—————	6 8
図57. Cl^- と NO_3^- の量濃度の合計と Na^+ 量濃度 ('91.6.10-6.17)	—————	6 8
図58. Cl^- と NO_3^- の量濃度の合計と Na^+ 量濃度 ('91.8.12-8.21)	—————	6 8
図59. SO_2 濃度変化と SO_4^{2-} 濃度変化 ('90.8.10-8.17)	—————	7 0
図60. SO_2 濃度変化と SO_4^{2-} 濃度変化 ('91.6.10-6.17)	—————	7 0
図61. SO_2 濃度変化と SO_4^{2-} 濃度変化 ('91.8.12-8.21)	—————	7 0
図62. SO_2 濃度変化と SO_4^{2-} 濃度変化 ('92.2.12-2.21)	—————	7 1
図63. エアロゾル中のイオン当量濃度	—————	7 4

1. 研究背景及び目的

大韓民国は1960年初めから急激な経済成長を成し遂げたが、その反面急速な都市化と産業化による環境汚染といった新しい問題を持つようになった。特に水質管理問題においては南・北漢江水系に八堂ダムを初めとする人工湖水等が多く建設され、これら人工湖水における富栄養化を防止するために総合的な水質管理システム開発が国家的次元で緊急の要請となった。韓国国民の約40%にあたる1,400万人が、漢江本流に建設した八堂人工湖水に生活用水を依存している。

一方、水質汚染と同時に亜硫酸ガス及び粉じんのような大気汚染物質が都市地域で重要な問題となっており、これ等大気汚染物質等は異なる地域に移動拡散するのでダムのような広い水域面積に降下・沈着し、水質に影響を及ぼす可能性もある。

このような背景のもとに本研究においては漢江流域を対象に、総合的で実質的な成果を得るため日本で今まで研究した実用化できる湖沼の富栄養化管理モデル、河川水質管理モデル、大気汚染物質の移動及び沈着に関する解析方法、経済的な汚染負荷量削減技術等を我国に移転応用できるようにするため、韓国と日本との共同研究を推進するものである。

その推進経緯をふりかえれば、1988年3月“韓日科学技術協定”で我が国の国立環境研究院と日本国立環境研究所間で環境保全技術開発を行う施行契約を締結し、翌年1989年2月両研究院間で技術協力をを行い共同研究を推進する事が合議された。1989年11月18日に本韓日共同研究を推進するため合議がなされた。

本共同研究においては漢江流域を中心にした環境管理技術を開発するための共同研究及び情報交流と両国研究機関の相互技術交流の推進を目的としている。合わせて日本国際協力事業団（JICA）から本研究に必要な機資材を無償で支援を受けることも含まれている。

上記の内容中大気分野の「大気汚染物質の移動と沈着に関する解析方法開発の研究」の目的は、ソウル及びその周辺地域における大気汚染の生成機構を、韓国において従来の大気汚染観測資料及び1991年1992年に実施したフィールド観測資料を利用して大気化学的、物理的両面で把握する事である。この研究内容を基礎として、ソウル及びその周辺地域での発生源と環境濃度との関係を解析してその特徴を明らかにする。

II. 観測概要

1. 観測地点

観測地点は、ソウル地域の国立環境研究院（佛光洞）と京畿道の八堂湖に位置する湖沼水質研究所（陽水里）と済州道の高山高層気象レーダー観測所（高山里）3地点とし観測地点の位置を図1に示す。各観測地点の概況は次に示す。

1) 国立環境研究院

- ・所在地：ソウル特別市恩平区佛光洞280-17
- 東経127°56'30"，北緯37°36'35"
- 高度：海拔40m
- 測定地点：地上10m

ソウルは韓半島の中心部から西方に偏って位置しており、大韓民国の首都として政治、経済、産業、文化の中心地である。ソウルの面積は605.4km²で、北漢山、道奉山、冠岳山、牙差山等に囲まれている盆地であり漢江がソウルの中心部を流れている。

観測地点（国立環境研究院）がある恩平区はソウルの北西部方向に京畿道と境界を成している。この区的面積は29.67km²、人口は469,893人（1990年）、家屋数は119,248でこのうち佛光洞の人口は、33,857人、家屋数は8,767である。恩平区には、工業地域はなく、住居地域と商業地域が複雑に分布している。測定地点の周辺環境は測定地点の北東方向に海拔850mの北漢山国立公園が位置し、測定地点南方向約30m、西方向約100m離れた所に往復4車線の道路があり、出退勤時間帯の交通量は多い地域である。

2) 湖沼水質研究所

- ・所在地：京畿道陽平郡陽西面丙水里
- ・東経127°19'06"，北緯357°31'50"
- ・高度：海拔27m
- ・測定地点：地上8m

陽平郡はソウルを取り囲む京畿道の東部に位置し、北は、加平郡、西は南陽州郡の北漢江を境界とし、東は江原道に近く、南は、驪州と接している。北部一帯は山岳地域であり、中央と北部には龍門山が高くそびえているため、耕作地域が狭小に偏っているが、東部及び漢江流域に面する部分に平野地帯が若干散在している。

原州、忠州地方から流れている南漢江が驪州郡を貫通して陽平郡の南西部流域を流れているので、江上、江下に2つの湖が流れの南に存在している。

陽平郡の面積は872.7km²であり、東西延長52.96km²、南北延長42.32kmで総人口は19,915人である。

陽平郡中の陽西面の面積は59.45 km²で、陽平郡の11%であり、陽西面の家屋数は1,885、人口は7,640人である。湖沼水質研究所が所在している丙水里の家屋数は56、人口は210人で人口密度が低い農村集落地域である。

測定地点の周辺環境は、南漢江と北漢江が合流する八堂湖に近接している。北に約1 km離れた所に片道1車線の国道6号線が位置し、北には八堂湖が、南には作物栽培地域が位置している。

3) 高山高層気象レーダー観測所

- ・所在地：・濟州道北濟州郡翰景面高山里
 - ・東経126°10'30"，北緯33°17'00"
 - ・高度：海拔72 m
 - ・測定地点 高さ：地上5 m

濟州道は韓半島南端に位置し大韓民国第一の島で、濟州道中央に位置する漢拏山（死火山）の火山活動により生成した島である。

濟州道は、昔から石が多く、風が強いことで有名であり、美しい自然景観と豊富な観光資源を有し、活発な観光資源の開発と観光施設の拡充で大韓民国第一の観光地域である。大陸から遠くはなれており、濟州道内に工業地域はないため、大気汚染がない清浄地域として知られている。

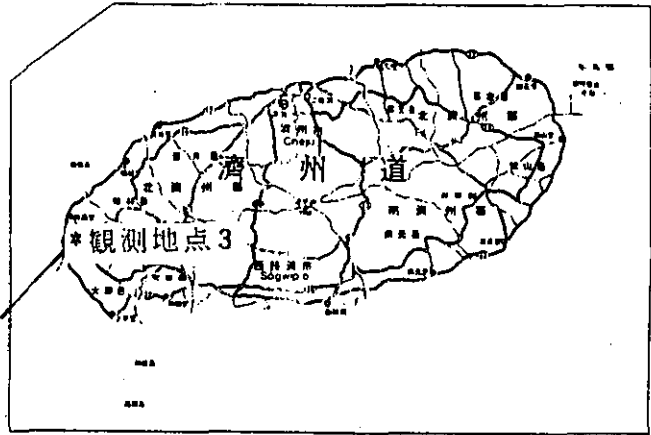
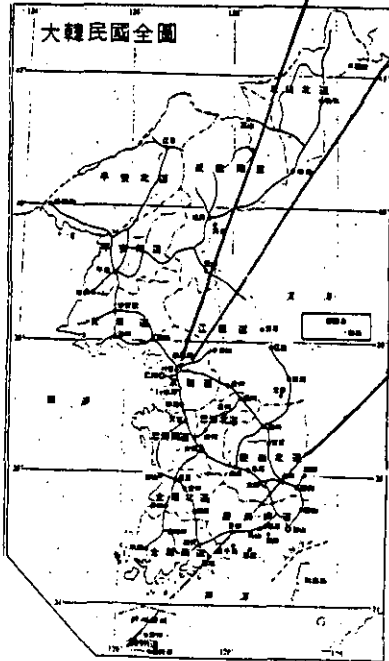
濟州道は濟州市、西帰浦市の2つの市と南濟州郡、北濟州郡の2つの郡で構成され、濟州道の総面積は、182,580 km²で、人口は514,680人である。

北濟州郡は濟州道の北西方向の海岸地域に位置しており、面積は70,501 km²、家屋数は26,784、人口は108,805人である。

観測地点である高山高層気象レーダー観測所がある翰景面は、北濟州郡の西海岸地域に位置しており、家屋数3,621、人口13,844人である。

翰景面高山里にある測定地点の周辺環境は小さい丘の頂上に位置し、西方向は海岸と接し絶壁で、東方向は草原地域で近隣には商業施設がなく、住居地にも遠く離れている。

東南方向に約1 km離れた所に濟州道周囲道路があり、片道1車線の国道12号線が位置しているが、交通量は少ない。



- * 観測地点 1 : ソウル市恩平区佛光洞
- * 観測地点 2 : 京畿道陽平郡陽西面丙水里
- * 観測地点 3 : 濟州道翰景面高山里

図 1 . 観測地点の位置

2. 観測内容

観測地点はソウル佛光洞（国立環境研究院）、京畿道陽平（湖沼水質研究所）、濟州道高山（高山高層気象レーダー観測所）で、地点別観測内容は異なる。

ソウル佛光洞観測地点では大気中粒子状物質を長期間採取し、水溶性イオン成分等の分析と一部ガス状物質（ NH_3 、 HNO_3 ）等の測定を行った。

京畿道陽平地点ではハイボリュームエアースンプラーによる粒子状物質の測定、濟州道高山地点では、2段捕集サンプラーによる粒子状物質とガス状物質（ NH_3 、 HNO_3 ）及び上層気象に関する観測をそれぞれ1回ずつ実施した。

各地点別観測内容及び観測日程は次の表1に示す。

3. 観測項目と観測機器

1) 観測項目

観測項目は、気象要素と大気汚染物質に分類される。気象要素については気象庁気象観測所の観測資料と気象分析資料を使用した。

濟州道高山地点の場合、上層気象観測を実施したが、観測項目は気温、湿度及び高度別風向、風速、湿度、温位、混合高等である。

一般大気汚染項目（ SO_2 、 NO_x 、 CO 、 O_3 、 TSP ）等は環境省佛光洞大気汚染自動測定所の測定資料を利用し、ハイボリュームテープサンプラーにより捕集した粒子状物質の水溶性イオン成分（ SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 K^+ 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ）の8種類の項目について分析を行った。2段エアースンプラーに基づく粒子状物質の捕集と同時に NH_3 ガスと HNO_3 ガスを捕集測定した。

2) 測定機器及び測定方法

①上昇気象観測：ラジオゾンデ（AIR-3A；Atmospheric Instrument Research社）は、高度別気象要素を観測する機器で、本研究では高度約5 km程度まで測定するエアーズンデを利用したが、測定高度間隔は約50 - 100 mで観測時間は、4 - 8時間程度である。

②一般大気汚染項目

- ・亜硫酸ガス：紫外線蛍光法
- ・浮遊粉塵（ TSP ）： β 線吸収法
- ・オゾン：紫外線吸収法
- ・炭化水素：ガスクロマトグラフ法

③ハイボリュームテープサンプラー

本装置は大気中の浮遊粒子状物質をロール型のテープフィルター上に連続採取するように設計・製作されたもので、フィルターはテフロンを使用した。

ロール型テープフィルターの幅は100 mmで装置内には自動的にテープを動かすことのできるプログラムコントロールが装着され、高性能タービンブロワーにより100 l/min以上の大流量で空気を吸入できる。粒子状物質の採取を行うため、67.7 l/min前後の流量で4時間及び6

表1. 観測日程及び観測内容

観測日程	観測地点	観測内容
'90. 8.10 - 17	ソウル	ハイボ リウムテ-プ サンプ ラ-
10.10 - 17	ソウル	ハイボ リウムテ-プ サンプ ラ-
12.10 - 17	ソウル	ハイボ リウムテ-プ サンプ ラ-、2 段捕集サンプ ラ-
'91. 2.11 - 18	ソウル	ハイボ リウムテ-プ サンプ ラ-
4.15 - 22	ソウル	ハイボ リウムテ-プ サンプ ラ-
6.10 - 17	ソウル	ハイボ リウムテ-プ サンプ ラ-、2 段捕集サンプ ラ-
8.12 - 21	ソウル	ハイボ リウムテ-プ サンプ ラ-、2 段捕集サンプ ラ-
10.14 - 21	ソウル	ハイボ リウムテ-プ サンプ ラ-
'92. 2.12 - 21	ソウル、濟州	ハイボ リウムテ-プ サンプ ラ-、2 段捕集サンプ ラ- 上層気象観測
'91. 5, 7, 8, 10, 12	陽平	大気汚染度測定、気象観測
'92. 5. - '92.12	ソウル、陽平	降下粉塵

時間の間隔で2週間連続測定を実施した。ハイボリュームテープサンプラーの構造を図2に示す。

④ 2段捕集エアースンプラー

2段エアースンプラーは通常粒子状物質と一部ガス状物質を同時に捕集・測定するために使用できる。本調査においては47mmの2段エアースンプラーを利用した。

2段エアースンプラーは捕集する部分とポンプ流量計等で組み立てられ、捕集ホルダーは捕集フィルターを2段階に分けて装着されるように構成されている。

捕集フィルターの1段階には、PTFEフィルターを装着し、大気中粒子状物質を捕集し、2段階には Quartzフィルターを装着し、NH₃ガスを捕集した。

QuartzフィルターによりNH₃ガスを捕集するためにQuartzフィルターは5V/V%、H₃PO₄/エチルアルコール溶液に30分間浸した後60分間乾燥した。また、粒子状硝酸塩とガス状HNO₃を捕集するために、47mmポリアミドフィルターを使用し、PTFEによる硝酸イオン濃度を差し引きHNO₃濃度を算出した。

2段エアースンプラーの吸入流量は、15-25ℓ/minで、積算吸入空気量を測定するために乾式ガスメーターを使用した。

4. 分析方法

1) 大気汚染物質及び気象資料

測定した大気汚染資料及び気象庁ソウル測候所から得た気象観測資料の統計処理は統計分析プログラムSPSS等を使用し、32ビットパーソナルコンピュータを利用し大気汚染度と気象との関連性を検討した。

2) エアロゾル分析の前処理

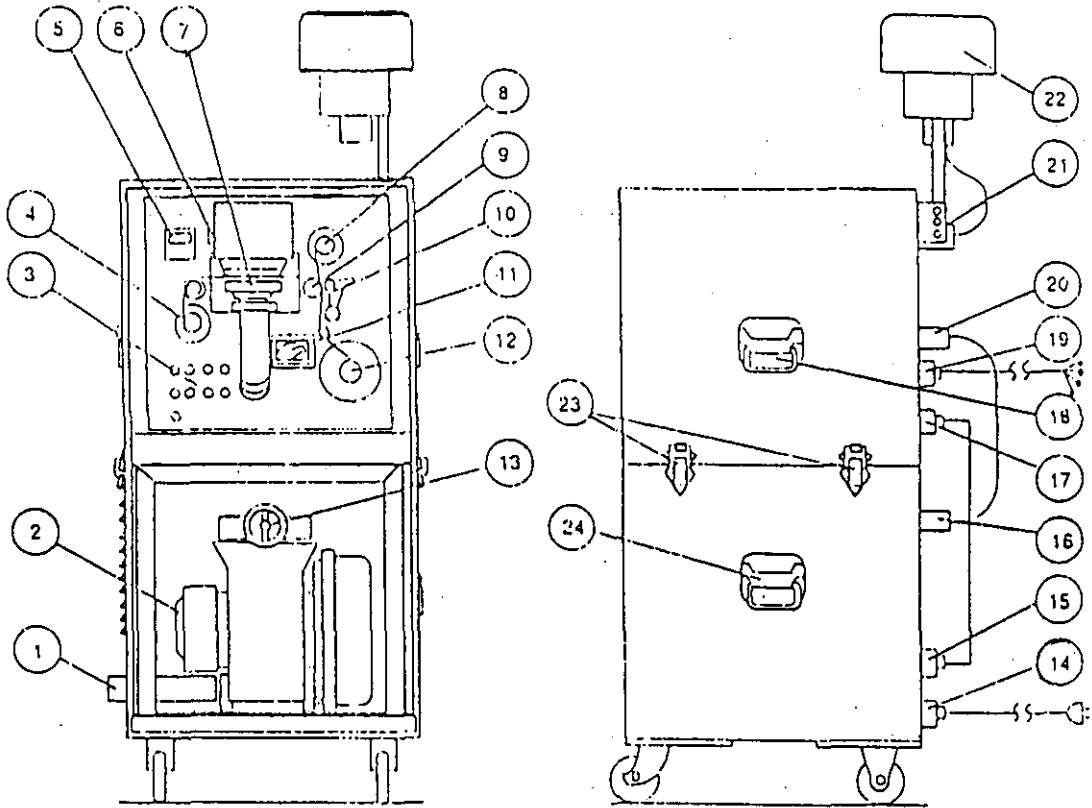
ハイボリュームテープサンプラーと2段エアースンプラーによる粒子状物質を捕集した試料は三角フラスコ(100ml)に入れ、それぞれ蒸留水40ml、20mlに浸せきした後、口をふさぎ振動機で2時間振動させた後濾過して試料液として使用した。

3) NH₃とHNO₃の分析

試料を採取したQuartzフィルターとポリアミドフィルターを粒子状物質の前処理方法と同様に、蒸留水10ml、20mlに浸せきし、振動させた後イオンフロマトグラフによりNO₃⁻イオンとインドフェノール法によりNH₄⁺を測定した後、HNO₃とNH₃濃度値に換算した。

4) エアロゾル成分分析

分析項目は、水溶性イオンを対象にし、陰イオン成分(SO₄²⁻、NO₃⁻、Cl⁻)はイオンクロマトグラフィー(Dionex 2010i)により分析し、陽イオン成分のうちK⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺は原子吸光光度法(IL 910)により分析した。NH₄⁺はインドフェノール法により可視紫外吸光光度計(UVIDEC 505)を利用した。その分析条件等を表2と図3に示す。



No.	Part name	No.	Part name
1	vent	13	flow adjust valve
2	blower pump	14	main power connector
3	control switches	15	control input connector
4	sample filter reel	16	suction inlet
5	timer	17	control output connector
6	filter sensor	18	carrying handle
7	filter holder	19	telemeter connector
8	cover filter reel	20	sampler outlet
9	capstan	21	sampler inlet
10	pinch-roller	22	sampling head
11	flow meter	23	fixing joint
12	roll-up reel	24	carrying handle

図2. ハイボリュームテープサンプラーの構造

表 2. 粒子状物質中水溶性イオン成分機器分析条件

I. C	Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}	Column:HPIC-AS4A, flow rate:1.5ml/min Eluent:2mM Na_2CO_3 , Output range:30 μ s Regenerate:0.025N H_2SO_4
A. A. S	K^+ Na^+ Ca^{2+} Mg^{2+}	Abs:766,5nm, HCL:7ma, B.W:1.0nm Abs:589,0nm, HCL:8ma, B.W:0.5nm Abs:422,7nm, HCL:7ma, B.W:1.0nm Abs:285,2nm, HCL:3ma, B.W:1.0nm
U/V. S	NH_4^+	Indo-Phenol method measurement absorpton:640nm

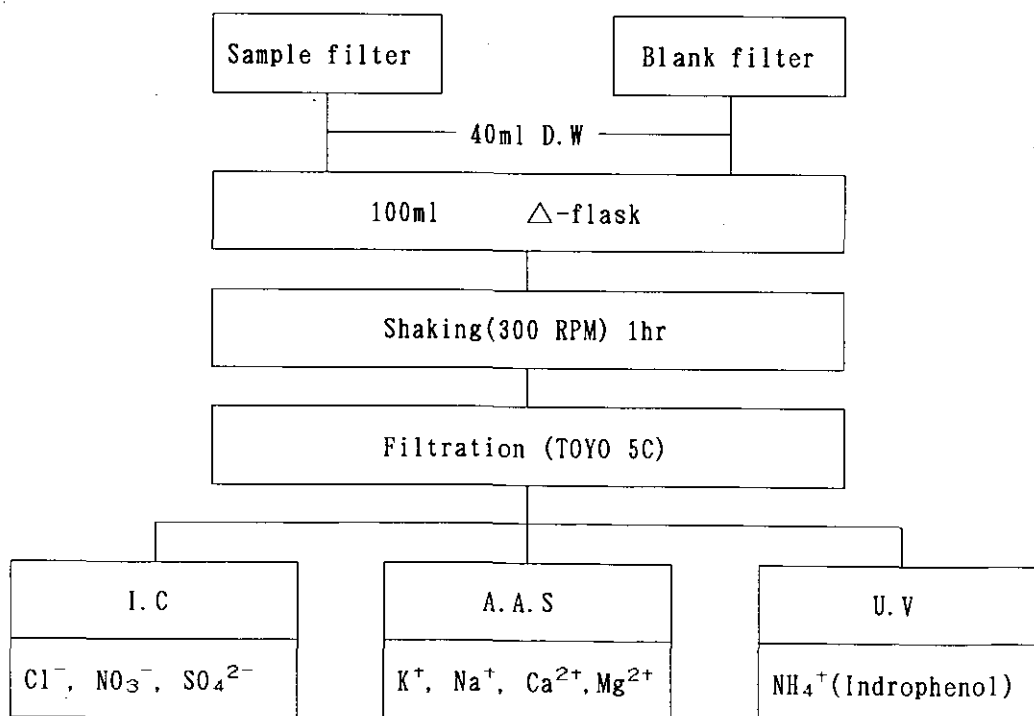


図 3. 大気中粒子状物質の試料全処理過程

Ⅲ. 観測地点の気象特徴

1. ソウル

ソウル地域の約30年間('51-'80)気象資料によれば年平均気温は、7.5℃で、月平均気温中1月が-7.4℃で最も低く、8月が22℃と最も高くなっている。

平均降水量は1365mmであり、このうち6月は151.1mm、7月は383.1mm、8月は263mmで、夏期に降水が集中するという特徴がみられた。年平均相対湿度は69%であり、降水影響のため夏期の7、8月にそれぞれ82%、79.2%であった。年平均風速は2.5m/secであり、日照時間は年間2092.7時間、蒸発量は年間1112.2mmと報告されている。ソウル地域は冬期に大陸から寒冷な季節風の影響を受け、また西海に近接しているため海陸風の影響圏に属している。

2. 陽平

陽平地域は内陸に位置し内陸性気候の特徴をもち、漢江と八堂湖の広い水表面を有しているため、一年を通して霧の日が30日前後となっている。気象庁の陽平気象観測所1990年及び1991年月例気象観測資料を表3に示す。

陽平の年平均気温は'90年11.4℃、'91年10.9℃で、11℃前後で1月の平均気温は'90年-5.2℃、'91年-5.6℃と最も低く、8月の平均気温は'90年25.6℃、'91年24.5℃と年間を通して最も高い月となっている。

年降水量は、'90年2254.9mm、'91年1286.1mmを記録し、'90年の9月(590.2mm)及び冬期の1月、11月12月が平年度とは著しく多い降水量となっている。平年の年降水量は1100mmから1500mmの分布を有している。'90年の総蒸発量は840.9mmで、相対湿度は、'90年74%、'91年75%で他の地域より高く、この数値は広い水表面積の影響を受けたことが考えられる。

年間の平均風速は1.2m/secで、冬期と春期に我が国の全域に影響を及ぼす季節風の影響も加わり風速は速い。冬期の主風向はNW、SWで夏期にはSW、SE、秋にはE、NEの主風向が観測される。

3. 濟州道

濟州道は、気候分類学上亜熱帯圏に属し海洋性気候であり気温、降水量、風等が陸地とは非常に異なっている。濟州測候所の30年間('51-'81)の観測資料では、年平均気温は、15.1℃で、冬期の1月、2月の月平均気温は、5.2℃、5.6℃であり、年降水量は1440mm、平均風速は4.2m/secで、内陸地域に比べ強い風速である。年間で、冬期と春期の月平均風速は5.0m/sec以上が観測され、相対湿度は74%であった。

濟州測候所と異なり高山地域の10年間('81-'91)年平均気温は、15.7℃であり、平均日較差は5.0℃で、年平均相対湿度は76%で濟州道の他の地域に比べ5-10%程度高い数値を観測している。平均降水日数は119日、年平均降水量は993.1mmであり、濟州、城山、西帰浦等に比べ少ない降水量である。高山地域は、冬には主に北風系に8.0-14.0m/s

表3. 陽平地域の月別気象概況 ('90-'91)

Year	Month	Temp. (0.1°C)	Precipitation (0.1mm)	Wind		Evaporation R · H (0.1mm)	R · H (%)
				Speed(0.1m/s)	Direction		
1990	1	-52	490	14	NW		68
	2	17	810	12	NW		72
	3	59	685	17	E		66
	4	103	800	19	W		64
	5	158	1060	14	SW		73
	6	205	4655	11	SW		79
	7	248	5045	9	NE		81
	8	256	2386	8	SW		77
	9	199	5902	-	NE		78
	10	121	41	10	NE		76
	11	73	462	11	NE		77
	12	-19	213	16	SW		76
Annual		114	22549	-	NE	8409	74
1991	1	-56	190	11	SW	-	75
	2	-25	346	13	SW	-	72
	3	43	478	18	SW	-	69
	4	116	629	16	W	-	64
	5	168	739	15	W	-	68
	6	223	1173	10	W	-	77
	7	243	5404	9	SW	-	85
	8	245	1081	10	SE	-	76
	9	194	2041	8	E	-	79
	10	111	95	12	NE	-	72
	11	40	251	13	E	-	71
	12	2	441	10	NW	-	75
Annual		109	12861	12	E	-	74

の速度を持つ風の頻度が多く、夏には南東系の風3.4-7.9 m/sで陸地に比べ強い。

またこの地域は、冬に比べ相対的に弱い風がみられ、海洋の影響と季節風の影響をよく反映していると報告されている。

4. 観測期間中の気象

'90年8月(10-17日)の観測期間には、時々多くの雨が降り、全般的に西風系の風が吹き、都心からではなく測定所周辺または外部からの影響を多く受けたものと分析された。

'90年10月(15-22日)の測定期間は比較的温和で晴の日が続いたが、16、17、18日を除いては弱い風が吹き、全般的に西風系が優勢であった。

'90年12月(10-17日)の観測期間中は気圧の谷の通過のため小雨がたびたび降り、14、15日は比較的強い西風と同時に雨がみられ、17日には雪が降った。

'91年2月(11-18日)の観測期間中には気圧の谷が幾つか通過したため曇りでありしばしば降雨が認められた。14日午前までは、停滞した高気圧後面にはいり大気汚染が生じやすい条件であった。14日午後から15日には南から拡張した低気圧の影響のため多くの雨が降った。18日には弱い気圧の谷の影響で比較的強い西風と同時に若干の雨がみられた。

'91年4月(15-22日)の観測期間中には15日まで移動性高気圧の影響圏に入り、比較的晴れた日がみられた。17、18日には中国上海付近に低気圧が発達し黄海上を経て韓国の中部地方を通過したため強風と共に多くの雨が降った。19日からは高気圧の影響により晴れた日が多かった。

'91年6月(10-17日)の観測期間中には10日は高気圧の端に入り雲が厚かったが、11日から西側の低気圧の影響で南西風の強い暴風雨があった。その後弱い高気圧の影響圏には入り比較的晴れた日が多かった。

'91年8月(12-19日)の観測期間中には全国が広範囲な北太平洋高気圧の影響圏に入り比較的晴れた日が続いた。観測期間中午前には無風または、微弱な東風、午後には西風系の風が主にみられる。全般的に風は弱く、汚染物質の高濃度発生の可能性は高かったが季節特性上排出量が少なく高濃度にはならなかった。

'91年10月(14-21日)の観測期間中の14、15日は大陸性高気圧が発達し、全般的に晴れ、風も弱まった。16、17日は発達した低気圧が前線を伴って中北部地方を通過し雨が降った。この期間中には比較的強い風と降雨のため大気質には良好な条件であった。

'92年2月(12-21日)の観測期間中には比較的晴れていた。気圧の谷の通過のため強風と共に雪が降ったが、全般的には北東風が多く吹いた。

'90年と'91年度のソウル、濟州高層、原州観測所で観測された年間風向、風速資料を利用して作成した風配図は図4及び図5に示す。陽平地域には気象観測所がないため原州観測所の資料を利用した。

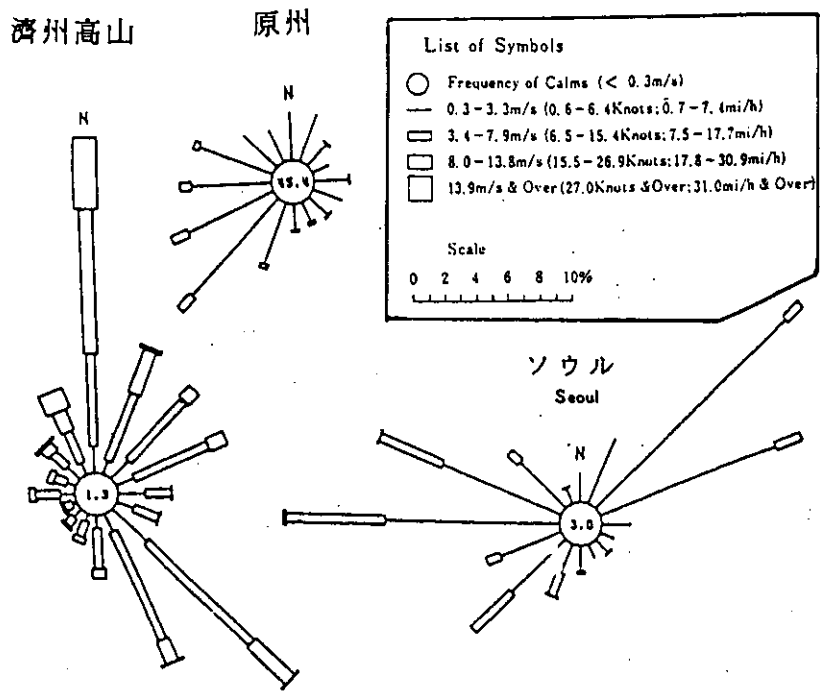


図4. '90年の風配図

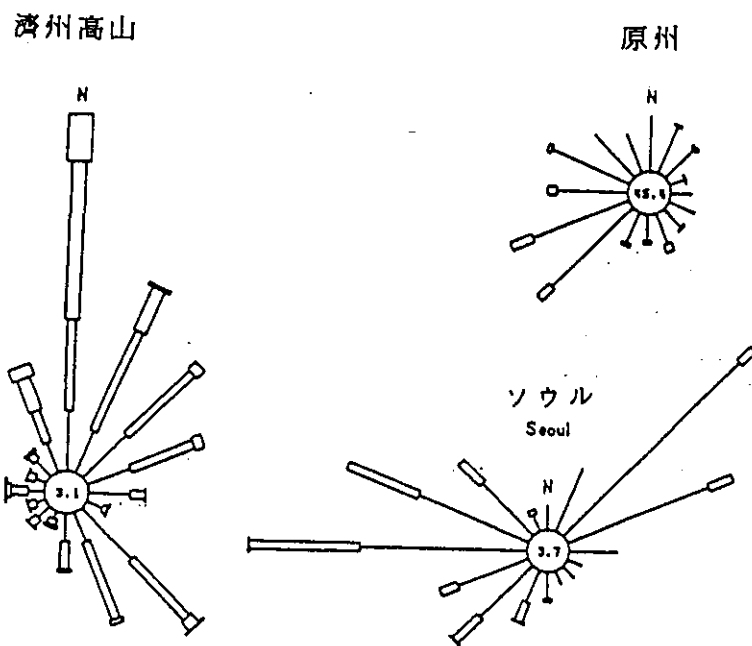


図5. '91年の風配図

IV. 観測地点の発生源の特徴

1. 土地利用現況

ソウル、京畿道、済州地域の用途別土地利用現況は表4に示す。表4によりソウル地域の総面積605.3km²のうち住居地域は204.7km²、山林地域は163.7km²、道路は62.4km²、河川は51.3km²、田は27.4km²、畑は26.9km²であり、工場地域は4.5km²である。

このうち工場地域は九老区の九老工業専用地域と城東区の工業専用地域が大部分を占めており、観測地点が属している恩平区には工業専用地域がなく典型的な準商業住居地域となっている。

京畿道の土地利用現況みると山林地域は6178.5km²、畑は1.797km²、田は1.205km²、河川は391km²、住居地域は248km²、道路は217km²であり山林地域及び河川耕作地が全体の約89%となっている。

工場地域は41.3km²であるが京畿道の安山市安山工業専用地域、富川市富川工業専用地域、安養市、松炭市、議政府市等に工業地域が密集している。

観測地点が属している陽平郡陽西面の土地利用現況は、総面積4.98km²のうち田が4.07km²、道路及び鉄道が0.97km²と山林地域と河川が大部分を占めており、工場はひとつもなく人口7640人、家屋数1885の農村集落地域である。

済州道の場合は総面積1,826km²で中山林地帯が962km² (52.7%)、田畑及び果樹園、草地等の耕作地が684km² (37.5%)で90%以上を占め、住居地域は41.5km²、工場地域は0.9km²である。住居地域と工場地域は済州道の済州市及び西帰浦に密集しており大部分の地域は山林地域と耕作地で構成されている。観測地点が属している翰景面においても一部果樹園と木草地帯、山林地域が主流をなしている。

観測地点の用途別土地利用現況をみると京畿道の陽平と済州道の高山地域は、非汚染地域で工場及び住居施設等の発生源と遠く離れ、観測地点に影響を及ぼす恐れのある特定点汚染源は存在していないか、1km以上離れて国道が唯一の発生源と考えられる。ソウル、佛光洞地域の場合準商業地域及び住居地域であり、暖房燃料の使用によるものと隣接している道路が主発生源であると考えられる。

2. 自動車及び交通量の現況

韓国の自動車登録台数は毎年急激な増加を示し(表5参照)、1990年12月末全国の乗用車が2百万台であるのに比べ、バス38万台、トラック92万台、特定車11万台で、乗用車とこれら車量の比が1:0.7になっている。バス、トラック、特定車等は大部分軽油を燃料に使用しているので、これら軽油自動車の比率がアメリカ等に比べ高いと報告されている。

ソウル及び京畿道、済州道の自動車登録現況は表6のとおりである。全国の場合と同じくソウルと京畿道・済州道でも軽油自動車の比率が高くなっている。観測地点のうち京畿道の陽平地点(湖沼水質研究所)が属している陽平郡と陽西面の自動車登録現況は表7に示すように自動車保

表4. 土地利用状況 (単位: km²)

Province	Total	Dry Field	Paddy Field	Orch -ard	Past -ure	Porest	Resi -den	Facto -ry	School	Road	Rail Site
Seoul	605.3	27	27	0.2		164	205	5	17	62	5.8
Kyonggi	10,772.9	1,205	1,797	13	31	6,179	248	41	17	217	13.2
Cheju	1,825.9	387	9	123	164	962	42	1	5	53	-

continuous

River	Bank	Pool & Reserv.	Water -work	Park Ground	Play Pleasure	Public	Religion	Histori -cal	Grave Yard	Various Yard
51.3	3.9	1.14	1.15	5.75	0.70	0.28	0.73	1.33	2.0	17.30
390.6	15.5	70.01	1.96	2.46	1.16	20.27	1.45	0.69	31.4	180.88
22.8	0.1	1.97	0.35	0.11	0.18	3.51	0.39	0.05	0.05	19.27

表5. 韓国における自動車数の年変化

(unit: car)

Year	Total*	Car	Bus	Truck	Special Car	Motor Cycle
'83	785,316	380,993	87,282	304,158	12,883	528,803
'84	948,319	465,149	108,018	360,364	14,788	640,297
'85	1,113,430	556,659	128,309	412,739	15,723	711,439
'86	1,309,434	664,226	154,627	472,601	17,980	812,349
'87	1,611,375	844,350	200,456	546,450	20,119	924,187
'88	2,035,448	1,117,999	259,600	635,445	22,404	1,066,841
'89	2,660,212	1,558,660	323,402	768,943	9,207	1,187,766
'90	3,394,803	2,074,922	383,738	924,647	11,496	1,385,247

*: The number of moter-cycle is not included

表6. 韓国における1990年の地域別自動車台数

(unit: car)

	Total	Car	Bus	Truck	Special Car	Motor Cycle
Seoul	1,193,633	883,415	103,833	204,641	1,744	194,122
Kyonggi	447,334	249,804	61,574	134,607	1,349	188,482
Cheju	43,185	19,606	6,043	17,499	37	24,930

有台数が少なくなっている。しかし、濟州道の場合は地形上の理由により外部地域車両の流入がほとんどないことも推定されるが、京畿道 陽平郡陽西面陽水里地域は主要国道6号線を含んでいるため外部地域車両による交通量が多い地域で、交通部の1991年の交通量調査結果は表8のとおりである。

表8に示した京畿道陽平郡陽水里地点での国道6号線の日平均交通量は乗用車4,300台、バス2,300台、トラック3,300台で濟州道高山地点での国道12号線の交通量に比べて高くなっている。国道6号線は観測地点から八堂湖を隔てて1km以上離れているが、多い交通量、特に軽油自動車等の汚染物質排出の影響を一部受けていると考えられる。

3. 燃料使用量及び汚染物質排出量

ソウル、京畿道、濟州道地域の無煙炭及び有煉炭、油類の1991年使用実績を表9-11に示す。無煙炭全量は暖房燃料として使用されている。油類の使用量は濟州道に比べソウルと京畿道地域は $41,392 \times 10^3 \text{Bbl}$ 、 $47,910 \times 10^3 \text{Bbl}$ と高い水準にあるが、ソウル地域は自動車によるガソリン使用量が京畿道に比べ多い。京畿道の場合はB-Bオイル及びB-Cオイルの使用量が相対的に多くなっている。

ソウル及び京畿道の一部首都圏地域においては一定規模以上の工場と地域暖房のための燃料として都市ガス(LNG)の利用が進んでいる。1991年のLNG使用量はソウル地域で $492,759 \times 10^3 \text{m}^3$ 、京畿道で $115,400 \times 10^3 \text{m}^3$ 、仁川で $99,188 \times 10^3 \text{m}^3$ であった。首都圏地域における都市ガスの供給量は毎年急増しているため燃料対策効果が期待されている。

1991年の油類及び石炭使用量から推定した SO_2 、 CO 、 HC 、 NO_2 、 TSP 排出量を表12-16に示す。表12によればソウルにおける暖房施設からの年間 SO_2 排出量は84,317tonで、全体の68.4%を占めており、産業施設の13.1%、自動車の13.7%と比べて住居暖房のための燃料使用による SO_2 の排出割合が多い。

自動車からの SO_2 排出は軽油自動車の保有比率が高いことによる。京畿道においては、産業施設が52.7%、暖房施設が16.6%、自動車を含む交通関係が15.9%となっておりソウルに比べて産業施設からの SO_2 排出の比重が大きいことがわかる。

ソウルにおいては CO と HC 、 NO_2 排出量は産業施設の比率が低く、自動車が最も大きな排出源であり次いで暖房施設となっている。京畿道においても同じ傾向におるが、 NO_2 については、交通手段、産業施設、暖房施設の順となっている。濟州道の場合は燃料消費量が少なく全般的に汚染物質排出量は小さい。 SO_2 の排出量は暖房施設からが最も多く、 CO 、 NO_2 、 HC 、 TSP の場合は自動車が最も大きな排出源となっている。

ソウル地域の TSP 排出量は暖房施設が25,747ton/年と60.5%であり、自動車が35%、産業施設が2.8%である。一方京畿道地域では交通手段が41.9%を占めており、産業施設が27.6%、暖房施設が23%となっている。 TSP の排出量推定は燃料使用量の統計資料のみを用いているため実際の TSP 発生量の50~60%程度であると考えられる。飛散ダストを始めとしてガス状物質が粒子状物質となったものや、海塩粒子等による TSP 発生量が大きな比重を占めているものと推察される。

表7. 自動車登録台数 (単位: 台数)

Sites	Total	Sedons	Bus	Cargo	Special Type
Yangpyung-kun	1997	799	273	972	11
Yangseo-myon	237	89	24	106	-

表8. 交通量 (単位: 台数/日)

Road No.	Car	Bus	Truck	Bicycle
National 6 line	4,303	2,336	3,272	182
National 12 line	598	496	1,041	415

表9. '91年用途別市、道別無煙炭消費実績

(unit:1000Bbl)

Site	Total	Heater	Industrial	Transport	Power electric
Seoul	4,792	4,792	0	0	0
Kyonggi	1,020	1,020	0	0	0
Cheju	86	86	0	0	0

表10. '91年用途別市、道別有煉炭消費実績

(unit:1000Bbl)

Site	Total	Iron	Cement	General	Electric Power
Seoul	0	0	0	0	0
Kyonggi	146	0	0	146	0
Cheju	0	0	0	0	0

表11. '91年地域別用途別油種別消費実績

(unit:1000Bbl)

Site	Total	Gasoline	Kerosene	Light-oil	B-A oil	B-B oil	B-C oil
Seoul	41,392	8,483	4,658	16,822	173	158	11,098
Kyonggi	47,910	4,573	4,762	19,673	174	246	18,482
Cheju	3,703	245	121	1,982	0	295	1,060

表12. '91年用途別市、道別SO₂排出量(unit:ton)

Site	Total	Heating	Industry	Transport		Electric Power
				Car	etc	
Seoul	123,221	84,317	16,084	16,918	0	5,902
Kyonggi	189,155	31,491	99,683	13,902	16,222	27,857
Cheju	11,522	3,350	1,428	1,437	19	5,288

表13. '91年用途別市、道別CO排出量(unit:ton)

Site	Total	Heating	Industry	Transport		Electric Power
				Car	etc	
Seoul	531,881	217,054	513	313,775	0	539
Kyonggi	191,192	47,026	1,722	142,828	135	481
Cheju	17,886	3,962	53	13,723	0	148

表14. '91年用途別市、道別H C 排出量(unit:ton)

Site	Total	Heating	Industry	Transport		Electric Power
				Car	etc	
Seoul	59,083	19,962	98	38,919	0	104
Kyonggi	23,493	4,595	311	18,464	25	98
Cheju	2,167	362	11	1,758	0	36

表15. '91年用途別市、道別N O₂排出量(unit:ton)

Site	Total	Heating	Industry	Transport		Electric Power
				Car	etc	
Seoul	127,237	15,094	4,382	97,105	0	10,656
Kyonggi	97,203	7,245	16,610	62,673	1,607	9,068
Cheju	9,961	621	312	6,716	5	2,307

表16. '91年用途別市、道別T S P 排出量(unit:ton)

Site	Total	Heating	Industry	Transport		Electric Power
				Car	etc	
Seoul	42,574	25,749	1,211	14,905	0	709
Kyonggi	28,058	6,455	7,741	10,622	1,148	2,092
Cheju	2,230	589	85	1,138	3	415

4. 大気汚染排出施設の現況

大韓民国では大気汚染排出施設は施設別燃料使用量を無煙炭として換算して規模別に5種類に分類して管理している。表17に示すように、1990年末現在の全国の排出事業所数は25,943事業所であり、1種は372個所で、2種は879個所、3種は1,010個所、4種は3,331個所、5種は20,351個所である。これらの排出事業所は1980年代中頃に急激に増加したが、最近は増加率は鈍ってきている。1987年以降の増加率は、年間約4%であり、このうち小型事業所(4種0.4%、5種4.1%)より大型事業所(1種10.5%、2種10.7%)の増加率が顕著であり、産業施設の大型化を反映している。

一方1990年のソウル、京畿道、済州道の排出事業所分布を表18に示したが、首都圏に密集していることがわかる。ソウルに、仁川、京畿道を含んだ首都圏地域が総数で9,934個所と全体の約38%を占め、1,2種の大型事業所数も458個所と全体の約37%を占めており首都圏の大気質に悪影響を及ぼす主要な原因となっている。

表17. 韓国における大気汚染発生施設の年変化

Year	Total	class 1	class 2	class 3	class 4	class 5
'83	16,582	230	510	597	3,041	12,204
'84	17,894	223	500	665	3,193	13,313
'85	19,714	256	507	709	2,846	15,396
'86	21,507	278	600	735	3,002	16,892
'87	23,213	283	665	845	3,287	18,133
'88	24,063	281	689	847	3,104	19,142
'89	25,049	325	762	915	3,116	19,931
'90	25,943	372	879	1,010	3,331	20,351

class 1 : The facilities which use the fuels above 10,000ton per year equivalent to solid fuel

class 2 : The facilities which use the fuels between 2,000ton/yr and 10,000ton/yr

class 3 : The facilities which use the fuels between 1,000 and 2,000ton/yr

class 4 : The facilities which use the fuels between 200 and 1,000ton/yr

class 5 : The facilities which use the fuels less than 200ton/yr

表18. 1990年における大気汚染発生施設の地域分布

(unit:each)

Province	Total	class 1	class 2	class 3	class 4	class 5
Seoul	3,921	27	153	178	572	2,891
Kyonggi	4,369	46	164	160	762	3,236
Cheju	329	3	3	9	71	243

V. 観測地点の大気汚染状況

1. ソウル地域の大気汚染状況

大韓民国では1979年2月にSO₂、1983年8月にCO、NO₂、O₃、HC、TSP、1991年2月に鉛の大気環境基準が設定され現在まで用いられている。項目によっては長期基準と短期基準がそれぞれ設定されている。最近は、長期的な汚染低減対策のために環境基準を達成したSO₂等一部項目の基準を強化する計画がある。

大気環境基準項目の中で、NO₂、O₃、CO、HCについては環境基準を維持しているが、最近の自動車の増加により、NO₂、O₃等の一部項目の汚染度が上昇するとの推定があり憂慮されている。過去十余年間に於けるソウル市を含む大都市ではSO₂とTSPの汚染度が環境基準を越えていたが、燃料政策により最近汚染度が漸次減少する傾向にある。ソウル市におけるSO₂、TSPの年度別平均濃度は表19、図6の通りである。

ソウルのSO₂濃度は、1980年の0.094ppmから漸次減少し、1988年以降、1989年には0.056ppm、1990年には0.051ppm、1991年には0.043ppmと明瞭な減少傾向にある。1991年には初めて環境基準(0.05ppm)を達成した。TSPの場合も1988年以降、1989年には149μg/m³、1990年には150μg/m³、1991年には121μg/m³と減少傾向を示し、環境基準(150μg/m³)を達成することが出来た。

このようなソウル地域でのSO₂、TSP汚染度の減少傾向は、首都圏地域における低硫黄燃料油の供給拡大と燃料政策の転換による効果によりもたらされたものと考えられる。首都圏地域の仁川火力発電所とソウル火力発電所ではそれぞれ1988年7月以降、1992年10月以降、すべてLNGに燃料転換を行った。また1990年9月からソウル市内の占有面積25坪以上の集合住宅(アパートメント)に対してLNGの使用を義務化している。一方京仁火力発電所においては1990年10月から硫黄含有量1.3%以下の重油の使用を行っている。

1993年からはソウル市を始めとする大都市地域及び大部分の全国地域で1.0%以下のB-C重油と0.2%以下の軽油の使用を義務化するとともに、集合住宅とビルディングに対するLNGの供給を拡大する計画が進められており首都圏地域の大気質の改善が期待される。

ソウル地域の月別のSO₂とTSPの平均濃度を表20と図7に示す。図7に見られるようにSO₂は冬期および早春に高濃度が出現し、11月から1月の期間の濃度は環境基準値である0.05ppm以上となっている。月平均濃度では1月が最も高く0.098ppmである。

このような現況は、ソウル地域における暖房用燃料の使用量が冬期に増加することによるものと思われるが、冬期においては、偏西風の影響により中国大陸から汚染物質が移流することと、放射逆転現象により大気の拡散が抑制されることも要因として考えられる。TSP濃度の月変化に関してもSO₂濃度の変化と同様の傾向が認められる。

表19. ソウル地域の年度別SO₂、TSPの濃度変化

	'80	'82	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91
SO ₂ (ppb)	94	57	66	56	54	56	62	56	51	43
TSP(μg/m ³)	-	-	-	216	183	175	179	149	150	121

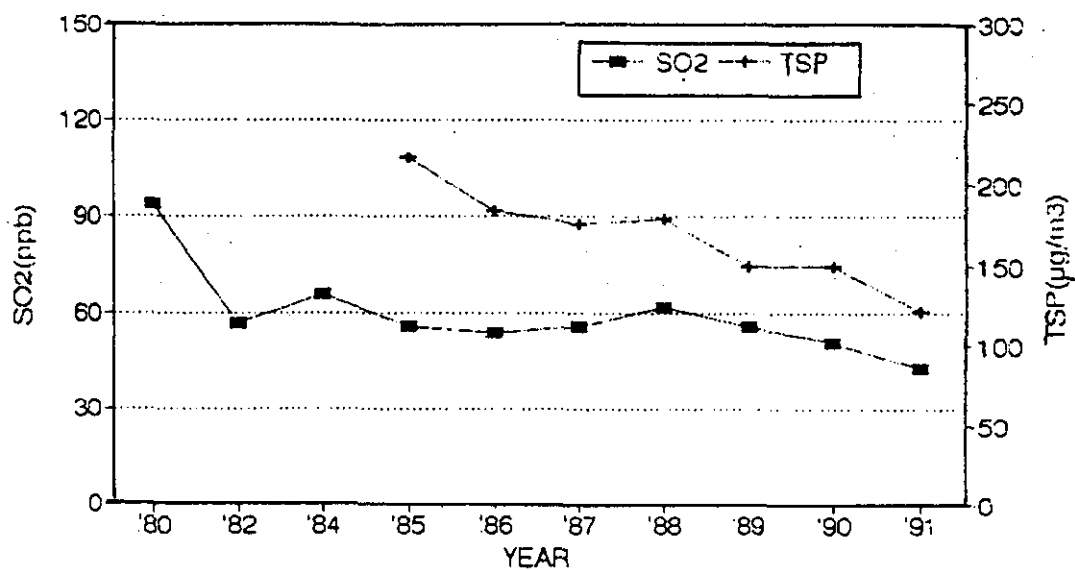


図6. ソウルのSO₂、TSP年度別平均濃度

表20. ソウル地域の年度別SO₂、TSPの月平均濃度（1992）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SO ₂ (ppb)	98	71	53	46	25	18	11	9	14	36	62	68
TSP(μg/m ³)	162	140	134	136	107	116	81	82	94	110	148	144

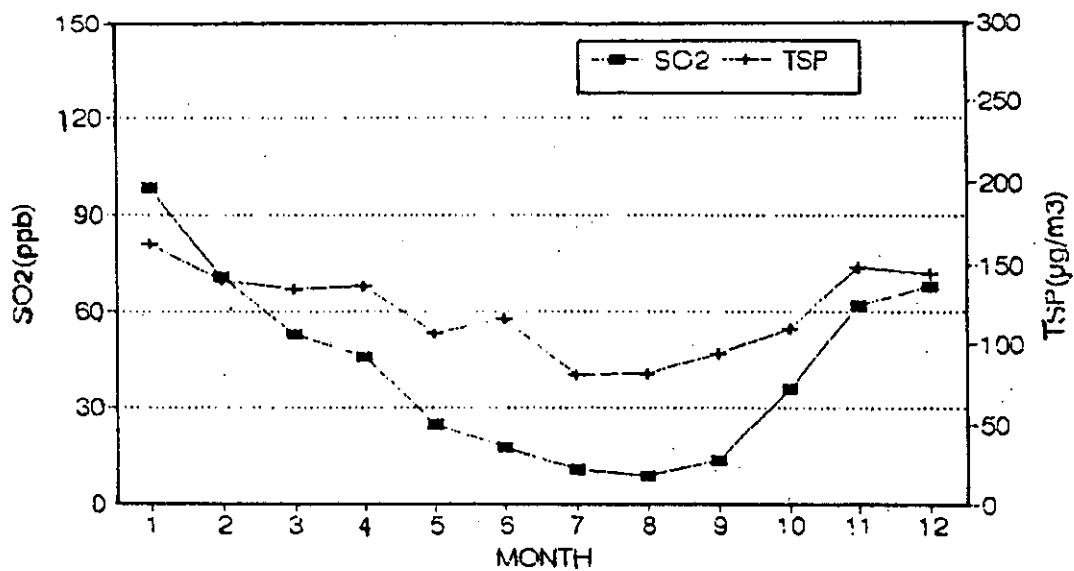


図7. ソウル地域の月別SO₂、TSP平均濃度

2. 陽平地域の大气汚染状況

①日平均大气汚染濃度と気象状態

日平均大气汚染濃度と気象状態を表2-1に示す。最大混合層高度はHolzworthによる混合層高度算定方法により、エアゾンデで測定された温度と湿度の垂直分布データを用いて求めた。また風向の欄に示した数値は、1日24時間の当該風向出現頻度である。一般的に大气汚染濃度は風速の逆数に比例するため風速が弱い日は汚染濃度は高くなると考えることが出来るが、測定結果はこのような関係を示していない。春と秋のSO₂濃度は逆に風速と正比例の様相を示している。このような結果が得られたのは、観測日が非常に少ないことと、地上風だけでは大气汚染濃度の変化特性を十分に把握出来ないことによる。図8と図9にはそれぞれ春と秋においてSO₂濃度が高かった日と低かった日の上層気象の比較を示した。

春期にSO₂濃度が高かった5月9日と、SO₂濃度が低かった5月8日を比較すれば、両日も混合層高度は約1,300mと同じで、風向出現頻度も良く類似していた。また5月9日の地上の日平均風速は強く(表2-1参照)大気も多少不安定であったため濃度が高くなる特別な理由は認められず、逆に濃度が低くなる条件を示していた。風向の高度別分布を見れば、5月9日は地上近くでは西風であったが高度とともに漸次北西風に変わってから更に西風と北西風の間での若干の変動がみられた。一方5月8日は地上近くでは北風であったが高度が高くなるにつれ漸次北西風に変わってから、更に西風と南西風の間での若干の変動を示していた。この2日間において地上風は5月8日、5月9日ともに北風系であった。

秋期にSO₂濃度が高かった10月20日とSO₂濃度が低かった10月19日の気象状態を比較すると、20日と19日の最大混合層高度はそれぞれ約1,500mと1,750mで20日の方が若干低い。また地上風速はそれぞれ1.3m/sと3.2m/sで20日の方が大巾に低い値であった。(表2-1参照)上空の風速についても20日の方が地上から上空800mまでの風速が19日の場合よりもかなり低く高濃度汚染が出現しやすい条件であった。表2-1に示した地上風の風向別出現頻度を比較すれば、20日は東風系の時間が多く、19日には西風系が卓越していた。20日において汚染物濃度が高かった時間帯の11時から16時の間の地上風は西風であり、19日、20日とも似た結果であった。風向の高度別分布を見れば10月20日は地上近くでは東風であったが高度とともに南西風に変わってからまた北西風に変わっていたのに対し10月19日は地上付近で西風で高度とともに北西風となっていた。

春期と秋期の事例解析の結果、陽平地域のSO₂濃度は、春期の例のように地上近くでの風向に差が無い時には、混合層高度、大気安定度、風速などの気象要素の複合的な影響を受け、秋期の場合のように風向に差がある時にはこの影響を最も大きく受けると判断される。陽平地域においては大气汚染濃度が極めて低く、解析事例も少ないため今後、継続して気象と大气汚染濃度の測定を行い、総合的な解析を行うことが必要であると考えられる。

表21. 気象条件による日平均大気汚染濃度

DATE	SO ₂ ppb	TSP μg/m ³	NO ₂ ppb	O ₃ ppb	WS m/sec	N hr	E hr	S hr	W hr	MMH m
1991-05.08	0.9	48	20	23	1.7	12	2	7	3	1,300
05.09	5.0	55	20	21	2.4	10	3	9	2	1,300
05.10	2.4	54	21	23	1.6	11	1	10	2	-
05.11	2.9	68	19	21	0.8	11	2	7	4	-
05.12	2.3	60	24	20	2.3	16	3	4	1	-
07.30	1.9	43	11	14	0.9	4	7	10	2	-
07.31	0.2	51	11	11	0.6	13	4	1	6	-
08.01	0.0	65	17	25	0.6	8	7	6	3	-
08.02	0.0	46	15	23	1.7	14	1	4	5	-
08.03	0.0	39	10	18	0.5	7	2	8	7	1,150
08.04	0.0	30	10	9	1.4	21	1	2	0	-
10.15	1.7	34	12	10	0.6	4	17	0	3	1,250
10.16	0.2	42	17	11	0.9	7	9	1	7	750
10.17	3.9	32	14	18	3.7	1	5	3	15	-
10.18	3.4	32	13	16	3.0	2	6	6	10	2,000
10.19	0.0	31	10	16	3.2	2	6	1	15	1,750
10.20	1.9	34	15	11	1.3	0	14	4	6	1,500
12.11	7.2	49	11	11	4.3	18	1	5	0	-
12.12	4.7	37	12	12	1.8	7	10	6	1	-
12.13	7.8	38	15	7	1.2	0	9	15	0	-

WS:Wind Speed

N, E, S, W:Total hour by which north, east, south, and west wind have been occurred, respectively.

MMH:Maximum Mixing Height

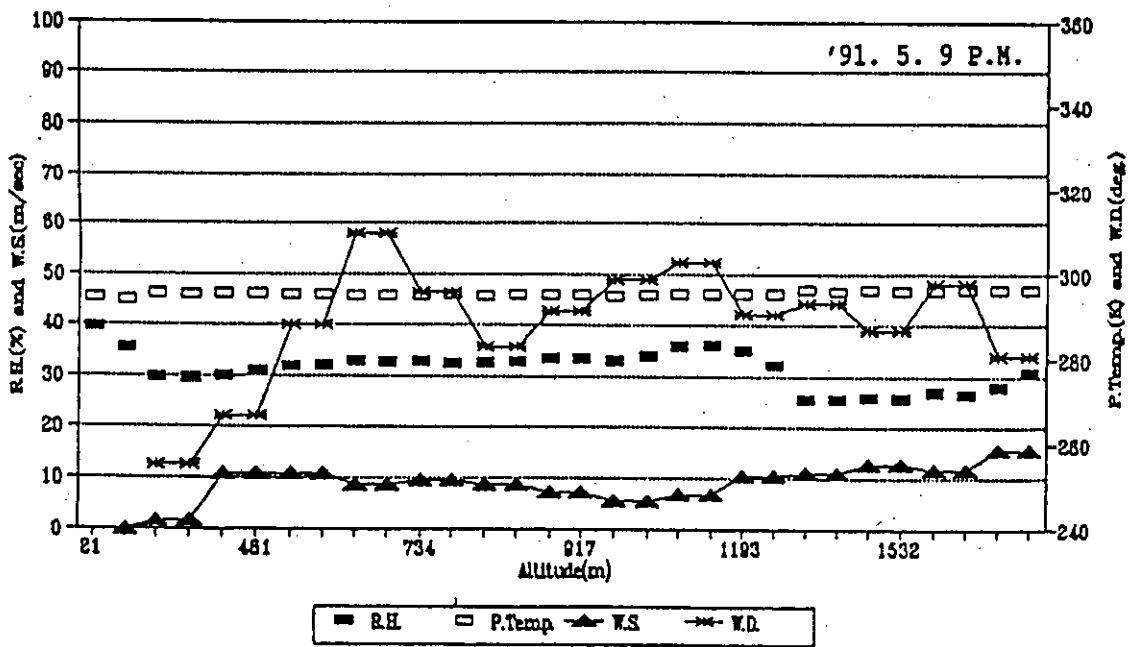
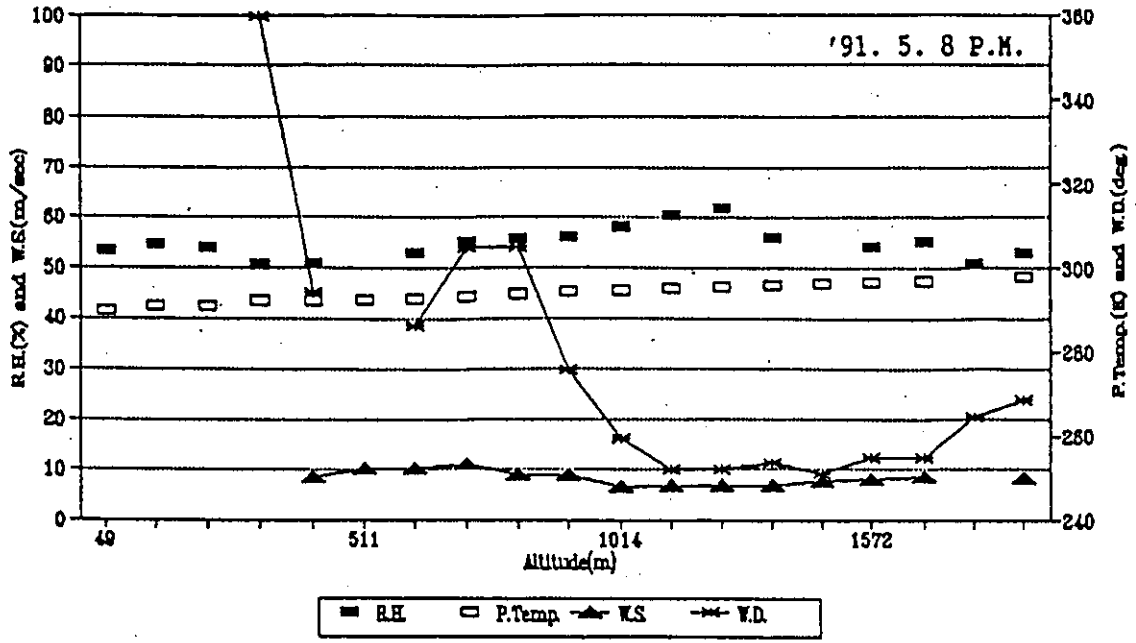


図 8 . 春期の風向風速気温及び相対湿度の分布

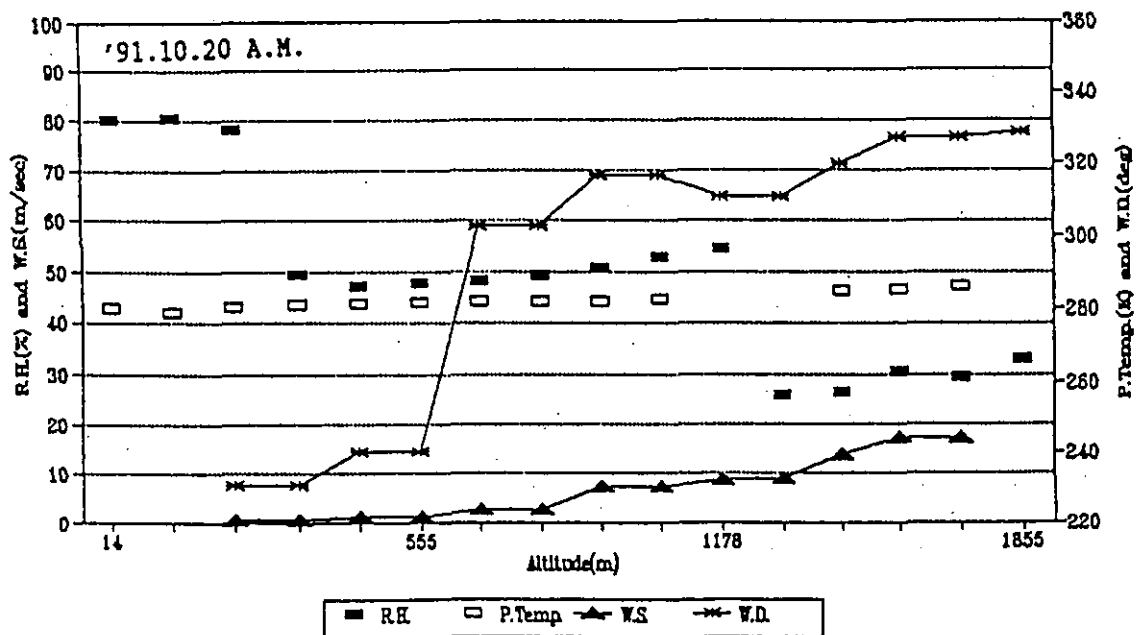
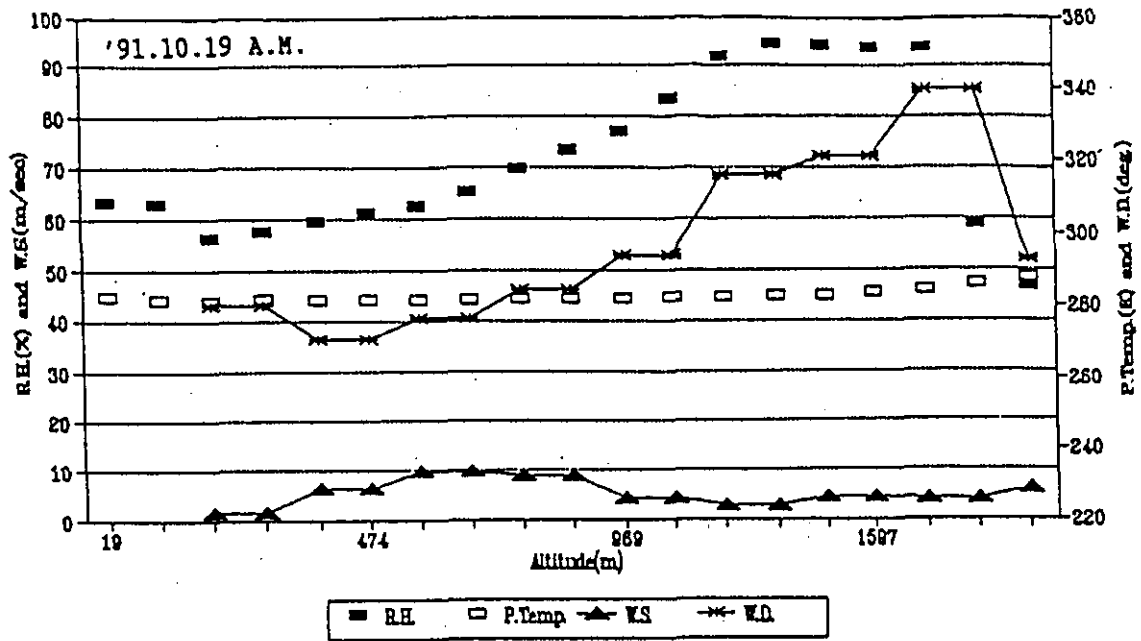


図9. 秋期の風向風速気温及び相対湿度の分布

②大気汚染濃度と気象の時間変化

陽平地域の季節別大気汚染濃度と気象状態の時間別変化を図10に示す。表22には、大気汚染物質濃度及び気象要素の時刻変化の相関分析結果を示す。

春期には O_3 は主に光化学反応により生成するため日射量が強く気温が高い午後の時刻に濃度が上昇し、夜間には低下する。TSPは昼の方が夜間より濃度が高い。これは一般的にはTSPは自然発生源及び浮遊ダスト由来の寄与が大きいいため、日射量が強く大気が不安定な午後の時刻に濃度が上昇するものと推察される。しかし SO_2 濃度については、大気が安定で混合層が低い夜間と午前が高濃度が出るといった一般的な傾向とは異なり午後に濃度が高くなっていた。これは陽平地域においては SO_2 の発生源が殆んど無いため風が比較的強い午後の時刻に周辺地域から SO_2 の流入することによるものと推定される。 NO_2 は夜間に濃度が上昇し、日中は若干低い。相関分析の結果によれば、 O_3 、TSP、 SO_2 の濃度変化は、気温、風速の変化と有意の正相関関係を示しているが、 NO_2 は気温及び風速と有意な相関関係を示さなかった。

夏期の場合も O_3 の濃度変化パターンは気温のそれと一致していた。またTSPは大気が不安定な時間帯である午後に濃度が高かった。時刻による風速の変化は大きくはないが、日射量が多い時間帯に風速が幾らか大きくなっていた。 SO_2 濃度は非常に低くて濃度の変化パターンを把握することが出来なかった。 NO_2 は概ね午前よりは午後の時間帯に濃度が高くなっていた。相関分析の結果 O_3 とTSPの濃度変化は春期と同様に気温変化と有意な正の相関関係を示していた。しかし SO_2 と NO_2 は気温及び風速と有意な相関関係を示さなかった。

秋期の場合も O_3 の濃度変化パターンは気温変化と一致しており、TSP、 NO_2 はともに気温が高い午後の時間帯に濃度が高く、 SO_2 も午前より午後の時間帯に濃度が高くなっていた。相関分析の結果によれば、 O_3 と SO_2 の濃度変化は気温変化と正の有意な相関関係を示し、TSPと SO_2 は風速と負の有意な相関関係を示した。

冬期の場合には、 O_3 と SO_2 の濃度変化は気温変化と一致していた。相関分析の結果によれば、 O_3 と SO_2 の濃度変化は気温変化と正の有意な相関関係を示したが、TSPについては気温や風速と有意な相関関係を示さなかった。

陽平地域における大気汚染物質濃度と気象状態の時刻変化を総合的にまとめると、以下のような点が明らかとなった。大気汚染濃度の変化をもたらす最も大きな要因は、排出量の変化のほかには、風速変化が考えられ、この風速は、日射量が多い午後の時間帯に強くなっていた。 O_3 と気温の時刻変化との間には正の相関関係があった。 SO_2 の濃度変化は夏期を除けば気温と正の相関関係があり、 NO_2 については秋期と冬期に風速との間に負の有意な相関関係を示した。TSPに関しては、気象要素との関係は季節により一定していないことが分った。

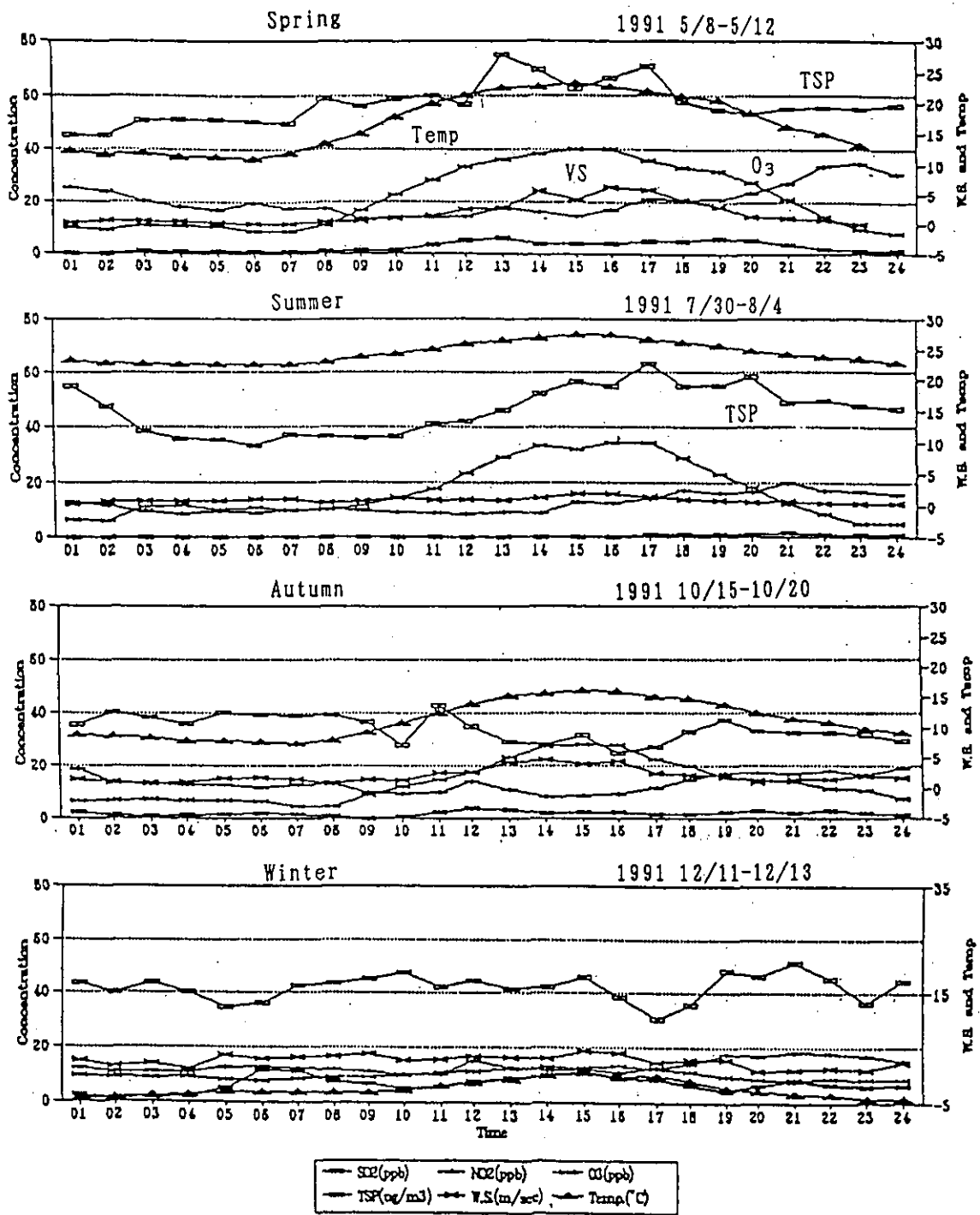


図10. 気象条件と大気汚染度の時間変化

表22. 気象条件と大気汚染物質濃度の相関性

	SO ₂	NO ₂	DUST	O ₃	WS	TEMP
SO ₂	1.0000					
NO ₂	-.1945	1.0000				
SPRING DUST	.6503**	-.2893	1.0000			
O ₃	.8958**	-.4110	.7550**	1.0000		
WS	.7512**	-.3010	.7375**	.8977**	1.0000	
TEMP	.8892**	-.3618	.7875**	.9889**	.8693**	1.0000
SO ₂	1.0000					
NO ₂	.9156**	1.0000				
SUMMER DUST	.5362*	.6449**	1.0000			
O ₃	-.0088	-.0428	.5496*	1.0000		
WS	-.2257	-.2379	.2275	.7856**	1.0000	
TEMP	.0980	.1212	.6664**	.9439**	.6912**	1.0000
SO ₂	1.0000					
NO ₂	.2384	1.0000				
AUTUMN DUST	-.1477	.1144	1.0000			
O ₃	.4187	-.4364	-.6455**	1.0000		
WS	.4149	-.5162*	-.5444*	.8947**	1.0000	
TEMP	.4927*	-.3026	-.6103**	.9715**	.8104**	1.0000
SO ₂	1.0000					
NO ₂	.1086	1.0000				
WINTER DUST	-.0836	.2848	1.0000			
O ₃	.3349	-.3283	-.1846	1.0000		
WS	.4354	-.4819*	-.0864	.4914*	1.0000	
TEMP	.5684*	-.1712	-.2001	.9054**	.5475*	1.0000

Minimum pairwise N of cases:24 1-tailed Signif: *-.01 **-.001

3. 濟州道地域の大气汚染状況

濟州道地域においては韓国科学技術院の朴らの研究チームが太平洋圏探査計画に関する共同研究の一環として1992年1月末からSO₂、NO、NO_y、O₃の観測を行っている。観測報告によれば、1992年2月の平均濃度は、SO₂が0.15 ppb、窒素化合物(NO_y)が0.26 ppb、O₃が44.68 ppbであった。物質別の濃度変化を図11に示す。図から明らかなように、この地域におけるSO₂、NO_y濃度は、非汚染地域におけるバックグラウンド濃度レベルであり、近くに大気汚染の発生源が殆んど無いことを示している。

観測期間が冬季に限られているがこの地域のO₃濃度は、ソウル地域のO₃濃度(1991年の平均値で12 ppb)よりも遙かに高い値が持続していた。高気圧の気象条件下で成層圏のO₃が地上に降下することによりO₃濃度が上昇するものと考えられる。

大気汚染の観測期間である2月と3月の月平均気象要素を表23に示す。2月から3月にかけて3.3℃の月平均気温の上昇がみられ、相対湿度はこの間67.9%から77.9%に増加した。2月に比べて3月は降雨日数が4日から19日と増え降水量も6倍程度増加している。この地域の2月3月の風配図を図12に示したが、2月には北風が圧倒的に卓越し、3月には北風から東風が卓越していた。測定期間中には北東風が比較的強かった。

表23. 濟州道高山測定所の気象要素の月平均値

Month	Temperature (°C)	R. Humidity (%)	Rainfall (mm)	Dewpoint (°C)	Seapressure (mb)
2	6.85	67.9	21.9	1.4	1020
3	10.11	77.9	131.9	6.4	1019

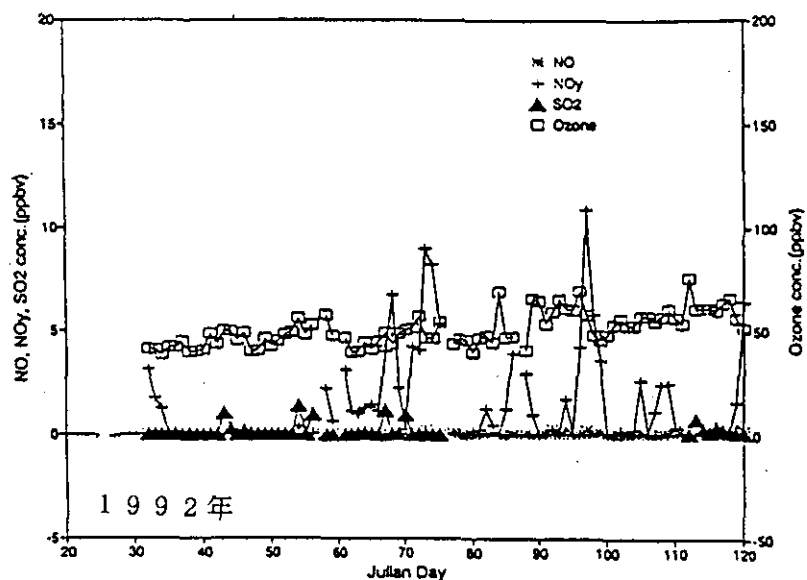


図11. 高山地域のSO₂, NO, NO_y及びO₃濃度

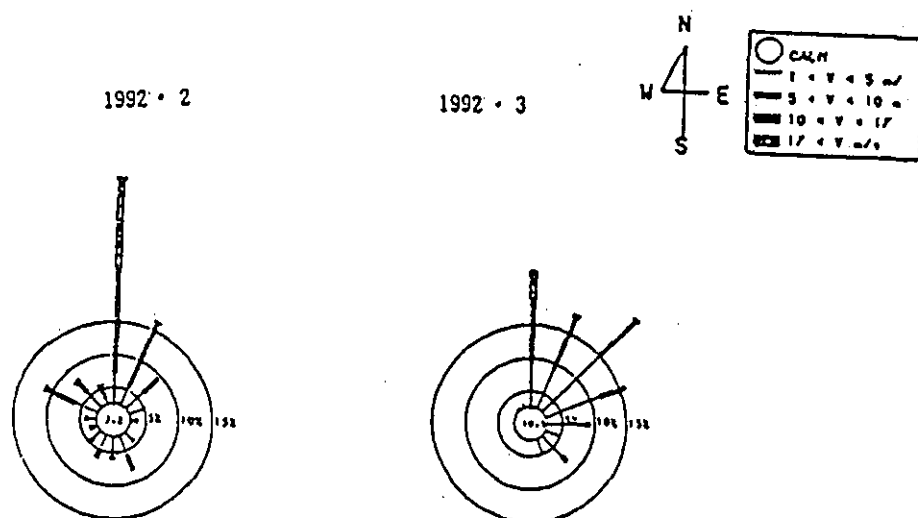


図12. 高山測定所2月及び3月の風配図

VI. エアロゾルとガス状物質の季節変化の解析

1. エアロゾルと大気汚染濃度の解析結果

①エアロゾルの分析結果

ソウルの佛光洞にある国立環境研究院においてハイボリウムエアサンプラーを用いて1990年8月から1992年2月まで9回にわたり1週間ずつエアロゾルのサンプリングを行った。エアロゾル中の水溶性イオン成分の分析結果を表24に示す。水溶性イオン成分中の陰イオンと NH_4^+ は試料数368の分析結果であり、 NH_4^+ を除外した Ca^{2+} 等の陽イオン成分は362の試料の分析結果である。

陰イオン成分中 SO_4^{2-} イオン濃度は平均 $10.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、 Cl^- の $1.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 NO_3^- の $1.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に比べ遙かに高い。 SO_4^{2-} イオン濃度の範囲は、 $1.33 \sim 30.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ でありこのうち約15%が $15.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を越えていた。 NO_3^- イオンの濃度範囲は、 $0.02 \sim 11.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 Cl^- は $0.06 \sim 9.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

陽イオン成分の平均濃度は NH_4^+ が $3.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.26 \sim 10.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、 Ca^{2+} が $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.01 \sim 4.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、 Na^+ が $0.861 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.01 \sim 4.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、 K^+ が $0.370 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.02 \sim 1.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、 Mg^{2+} が $0.175 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.02 \sim 1.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$)であった。全体的に NH_4^+ イオンが総陽イオン成分の約58.7%を占めていた。また NH_4^+ イオンの15%が $5.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を越えていた。

②観測期間中の大気汚染濃度

観測期間中の大気汚染物質濃度分布を知るために環境省常時大気汚染測定網の一つである佛光洞測定所の測定値を利用した。測定項目は SO_2 、TSP、 O_3 、NMHCであり、基本統計処理結果を表25に示す。

SO_2 及び各測定項目の毎時間平均値は、ハイボリウムテープサンプラーのサンプリング時間帯の値を用いたものである。統計処理に用いたデータ数は欠測期間を除外して SO_2 は350、TSPは323、 O_3 は258、NMHCは287個である。

SO_2 の濃度は $0.003 \sim 0.52 \text{ ppm}$ (平均 0.031 ppm)、TSPは $18.5 \sim 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (平均 $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、 O_3 は $0 \sim 65 \text{ ppb}$ (平均 13 ppb)、NMHCは $0 \sim 1.25 \text{ ppm}$ (平均 0.478 ppm)であった。

2. 季節変化の特徴

①大気汚染濃度の季節変化

大気中におけるガス状物質の濃度変化は、それぞれの汚染物質の発生源の特性や、大気中における反応、消滅過程に支配される。

観測期間中にソウル地域の佛光洞測定所で測定された大気汚染濃度の平均値を表26と図13に示す。サンプリング時間(1992年2月を除外して4時間サンプリング)別の平均データを基礎に観測期間別に平均値を求めたものであり、必ずしも季節別の濃度変化パターンを十分に反

表24. エアロゾル中の水溶性イオン成分濃度の基本統計値 ('90.8-'92.2)

Variable:	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
Sample size	368	368	368	368	362	362	362	362
Average	1.66	1.92	10.76	3.49	1.09	0.18	0.37	0.86
Std dev.	1.74	1.76	5.78	2.09	0.73	0.15	0.25	0.70
Minimum	0.06	0.02	1.33	0.26	0.01	0.02	0.02	0.01
Maximum	9.92	11.88	30.30	10.36	4.4	1.56	1.87	4.76
Lower quartile	0.45	0.94	6.09	1.58	0.6	0.09	0.18	0.37
Upper quartile	2.15	2.32	15.42	5.02	1.38	0.21	0.51	1.06

表25. 観測期間中の大気汚染度の濃度の基本統計値 ('90.8-'92.2)

Variable:	SO ₂ (ppm)	TSP(μg/m ³)	O ₃ (ppb)	N-CH ₄ (ppm)
Sample size	350	323	258	287
Average	0.03	83.91	12.99	0.48
Std dev.	0.04	37.21	11.63	0.20
Minimum	3E-3	18.5	0	0
Maximum	0.52	249.75	65	1.25
Lower quartile	0.01	56.75	3.75	0.33
Upper quartile	0.04	106	19	0.6

表26. 佛光地域での大気汚染度の月平均 ('90.8-'92.2)

DATE	SO ₂ (ppm)	TSP(μg/m ³)	O ₃ (ppb)	N-CH ₄ (ppm)
'90.OCT.	0.014	79.0	20.8	0.555
'90.NOV.	0.026	94.0	5.2	0.304
'90.DEC.	0.062	86.0	9.7	0.486
'91.FEB.	0.061	71.7	12.2	0.586
'91.APR.	0.049	94.8	18.4	0.732
'91.JUN.	0.012	79.1	9.2	0.654
'91.OCT.	0.008	99.8	-	0.275
'91.NOV.	0.020	64.3	-	0.251
'92.FEB.	0.037	-	13.6	0.483

映したものではない。

SO₂の場合は夏の期間には低い濃度を示し冬期には高く、これは暖房用の燃料の使用パターンとの関係が深いことを示している。しかしその他の汚染項目については、はっきりとした変化を見ることが出来ない。

②エアロゾル成分濃度の季節変化

ソウル地域における大気エアロゾルの主要発生源としては、自然起源の発生源である土壌と、人為起源の発生源であるディーゼル自動車および暖房施設からのものが報告されている。表26と図13に示した月別の値は黄砂期間に測定したデータも含まれているため4月におけるTSP濃度が高くなっている。冬期には暖房燃料使用量が增大するためSO₂濃度が上昇する。また冬期の場合には北西の季節風が北東アジア地域においては支配的であるため中国大陸からの大気汚染物質の長距離移動による影響が他の季節より大きいと考えられる。

ソウル地域の佛光洞で観測期間中に捕集し分析したエアロゾルの各成分濃度の平均値を表27に示す。また図14と図15は陰イオン成分と陽イオン成分の累積値を表したものである。陰イオン成分中の90%以上を占めるSO₄²⁻イオンは、観測期間中の1990年10月(15 μg/m³)、12月(14.8 μg/m³)、1992年2月(12.8 μg/m³)に高くなっており、1991年2月には7 μg/m³、1991年10月には4.1 μg/m³と相対的に低かった。1991年の2月と10月の観測期間中には降雨によりエアロゾルが洗浄されたため、季節特性を示さなかったものと考えられる。

Cl⁻とNO₃⁻の濃度はSO₄²⁻の増加パターンと一致していないが、この二つのイオンの変化パターンは類似しており、冬期が他の季節に比べて相対的に高くなっていた。

陽イオンの中で最も大きな割合を占めるものはNH₄⁺イオンでSO₄²⁻イオンの変化と一致している。Na⁺の場合は、陰イオンのCl⁻とNO₃⁻と類似しており冬期に相対的に濃度が増加する様相を呈したが、その他の陽イオンについては明瞭な季節的な変化の特徴を見出すことは出来なかった。

水溶性イオン成分の増減に於いて、陰イオンであるSO₄²⁻と陽イオンであるNH₄⁺の構成比に変化がみられた。すなわち総イオンが高くなる時には、この二つのイオン成分が増加していた。

エアロゾル中のそれぞれのイオン成分濃度の変化の様相を調べるために、全観測期間に関しての濃度変化を図16-23に示す。図16、図17ではエアロゾルイオン成分中最も大きい割合を占めているNH₄⁺とSO₄²⁻イオン濃度を示したが、観測期間中大きい幅で変化し、季節別濃度変化の特徴をはっきりとは示していない。高い濃度を示す期間は、NH₄⁺の場合は1990年10月と12月、1991年4月と8月、1992年2月であり、SO₄²⁻の場合は、1990

表27. エアロゾル中のイオン成分月別平均濃度 (ソウル)

(unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

DATE	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+
1990. 8.	0.446	1.478	11.356	3.201	0.965	0.140	0.428	0.451
1990.10	0.739	0.882	15.018	4.135	0.390	0.756	1.148	0.229
1990.12	0.786	1.674	14.760	4.669	0.615	0.139	0.491	0.767
1991. 2.	3.056	2.931	7.077	2.726	0.586	0.201	0.328	1.455
1991. 4.	1.796	1.733	10.576	3.588	0.936	0.267	0.591	0.891
1991. 6.	0.496	1.368	10.752	3.556	0.919	0.142	0.398	0.504
1991. 8.	1.345	1.905	10.180	3.693	1.358	0.143	0.298	0.906
1991.10.	2.804	1.680	4.816	1.291	1.719	0.125	0.161	0.959
1992. 2.	4.035	4.101	12.792	4.927	1.797	0.179	0.220	1.044

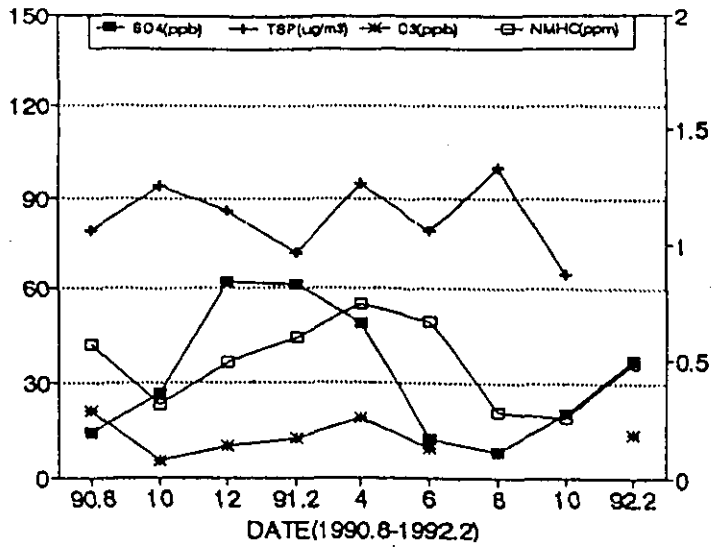


図13. 観測期間中の大気汚染度の変化

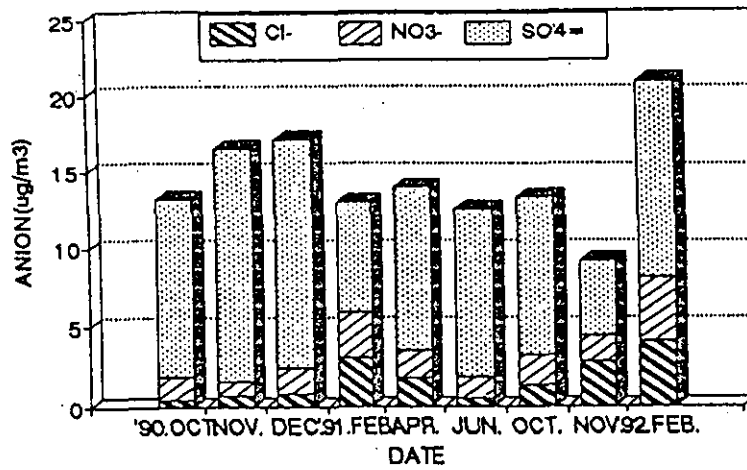


図14. 観測期間中の水溶性陰イオン成分濃度

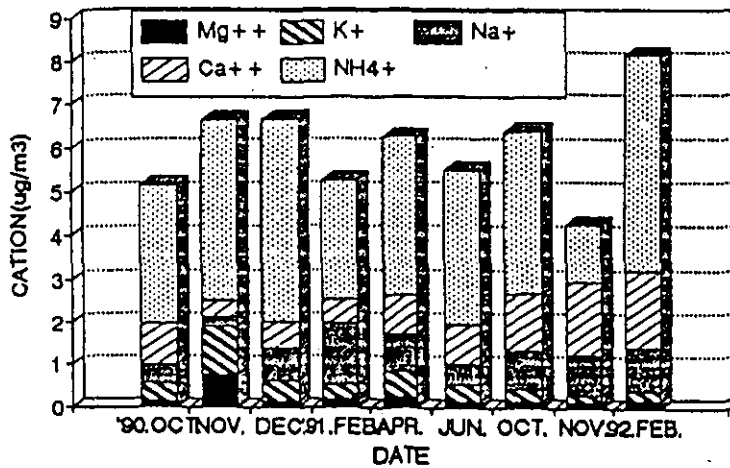


図15. 観測期間中の水溶性陽イオン成分濃度

年10月と12月、1991年4月、1992年2月であった。これらの期間は大部分は西系の風が卓越する冬期と春期であった。

冬期のうちで1991年2月と10月の場合には観測期間中に降雨があったため比較的低い濃度を呈していた。 NH_4^+ と SO_4^{2-} の変化の様子は全般的に一致していたことから、これらのイオンの結合形態として硫酸アンモニウムが、エアロゾルの構成成分中に大きい比重を占めていたと考えられる。このようにエアロゾル中の硫酸アンモニウムは大気中に排出された SO_2 ガスが大気中で色々な化学反応により出来る H_2SO_4 が NH_3 ガスと反応して生成する。また SO_2 が粒子の表面で反応することにより生成する。従って SO_2 ガスが長距離移動する過程で変換生成した物質であると推定される。冬期において多量に排出される SO_2 ガスの影響及び偏西風による大陸からの汚染物質の移動の可能性が大きく、これらの原因により冬期に硫酸アンモニウム形態の粒子が増加するものと考えられる。

図18と図19に示した Cl^- イオン濃度と Na^+ イオン濃度の変化は SO_4^{2-} 及び NH_4^+ の場合と異なっていた。1991年の2月と4月に Na^+ と Cl^- イオン濃度が同じ様相で高濃度を示していたが、この期間の気象状態は強い西風が卓越しており、西の海上で生成した海塩粒子が移動して来たことによるものと推察される。

Cl^- イオンの場合には NH_4Cl 等の粒子が高温の気象状態でガス化することによる Cl^- の損失現象が知られており、このために冬期に比べて夏期に Cl^- 濃度が低くなる現象が報告されている。今回の観測期間中においてはソウル地域では海塩粒子の流入による直接的な影響が大きかったため変換による夏期の Cl^- 損失現象ははっきりとは認められなかった。冬期の NO_3^- 濃度についても Na^+ イオン濃度の変化と類似した傾向を示していた。1992年2月には全般的に Na^+ 、 NH_4^+ 、 NO_3^- 濃度の増加が見られた。 Ca^{2+} の場合は1992年8月-2月の期間に大幅に濃度が増加していた。 K^+ と Mg^{2+} については高くはならなかったが、1990年10月に増加現象が見られ、1991年4月には K^+ 濃度が高い値を示した。

観測期間中の気象状態がそれぞれ異なり、降水条件等により各イオン濃度の季節別の特徴を一括的に示すことは出来ないが、エアロゾルの陰イオンと陽イオンとの間にある一定の関係を示す濃度変化が認められた。総合すれば、季節別イオン濃度の変動には降水現象が大きく影響を及ぼしており、1991年2月と10月の期間を除外して考えれば、1990年12月、1992年2月には $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4NO_3 、 NH_4Cl と CaSO_4 、 MgSO_4 、 K_2SO_4 の形態のエアロゾルの比重が増加していると推定出来た。これに反して1991年6月と8月には硫酸アンモニウムが高くなりまた夏期に比べて冬期には変換した海塩粒子が増大すると考えられる。

3. エアロゾルと NH_3 、 HNO_3 の濃度変化

大気中で NH_3 ガスは、 SO_2 、 NO_2 等との化学反応により変化し、更に硫酸、硝酸、塩酸と反応しアンモニウム塩粒子を生成するとともに硫酸、硝酸等の生成反応を促進する重要な役割を持っている。一方温度依存性が大きい NH_4NO_3 と NH_4Cl の反応は 20°C 以上では逆反応である分解反応が進行する。関係する反応式を以下に示す。

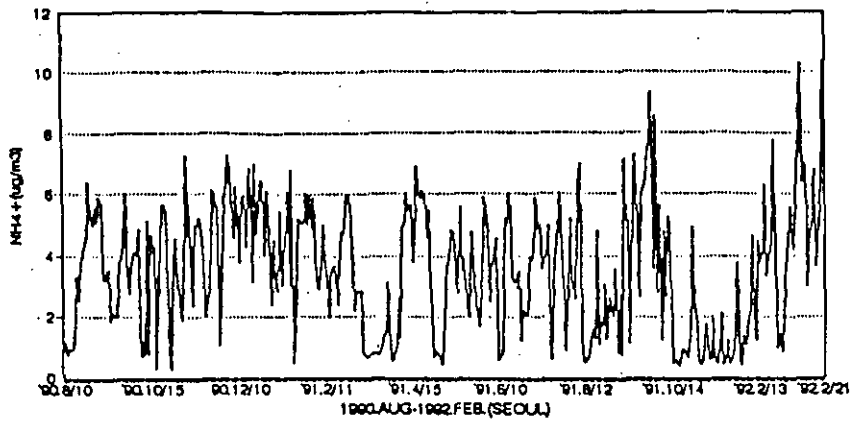


図16. エアロゾル中の NH_4^+ イオン成分の濃度変化

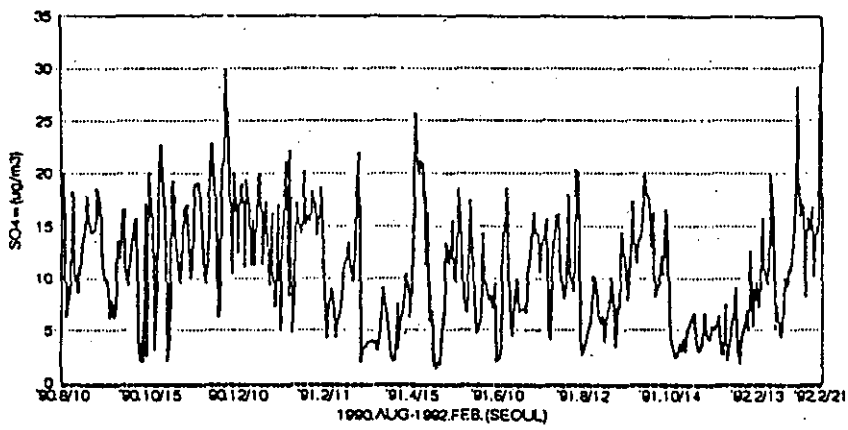


図17. エアロゾル中の SO_4^{2-} イオン成分の濃度変化

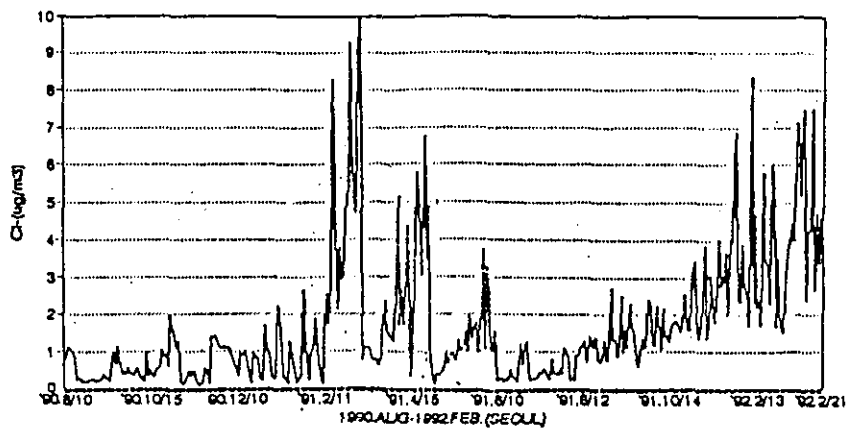


図18. エアロゾル中の Cl^- イオン成分の濃度変化

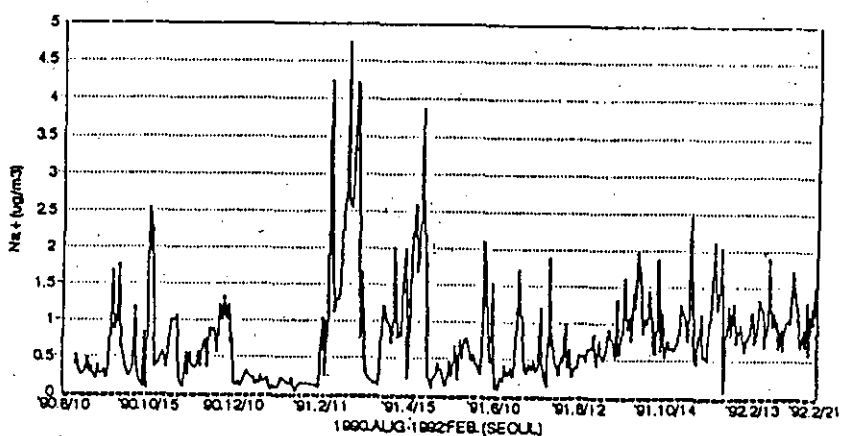


図19. エアロゾル中の Na^+ イオン成分の濃度変化

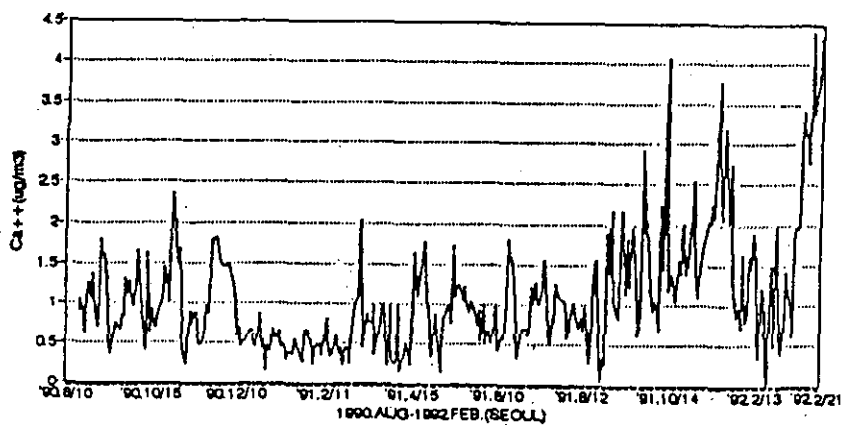


図20. エアロゾル中の Ca^{2+} イオン成分の濃度変化

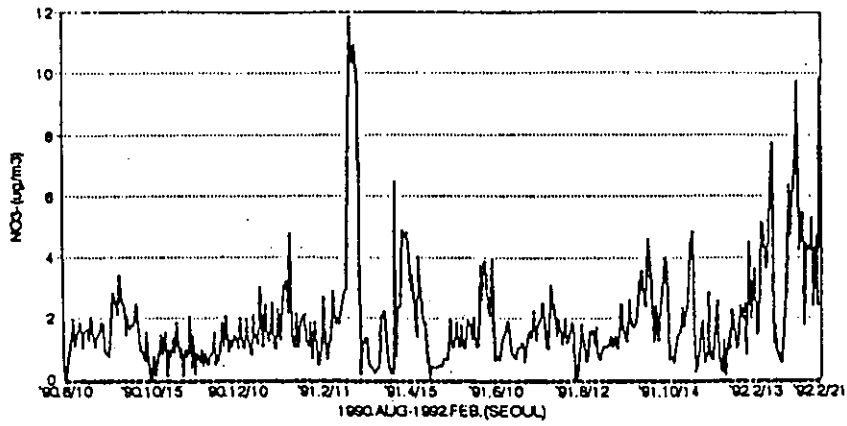


図21. エアロゾル中の NO_3^- イオン成分の濃度変化

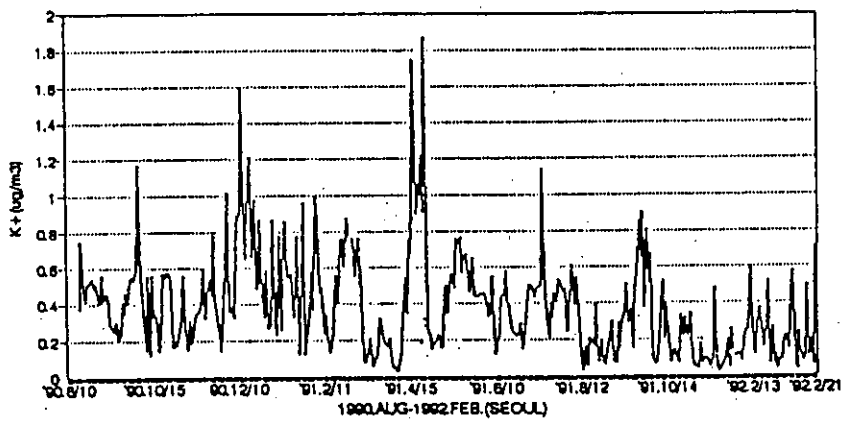


図22. エアロゾル中の K^+ イオン成分の濃度変化

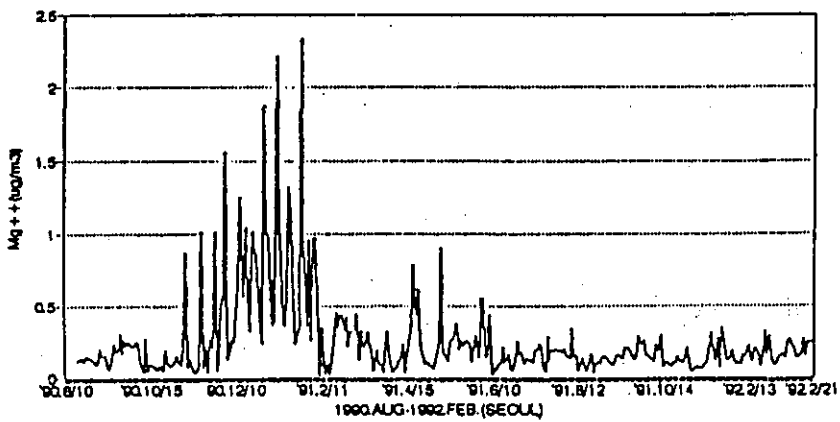


図23. エアロゾル中の Mg^{2+} イオン成分の濃度変化

表28. ソウル地域のNH₃、HNO₃濃度とエアロゾル (1990.12.10-12.12)

(unit: μg/m³)

TIME	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	NH ₃	HNO ₃
12:00-18:00	6.06	10.99	19.68	0.95	0.34	**欠**	0.21	2.00	1.80	8.90
18:00-06:00	5.81	6.93	20.71	1.33	0.85	**欠**	0.40	2.00	2.00	4.61
06:00-12:00	6.30	1.63	9.82	0.38	0.39	**欠**	0.16	0.70	0.50	0.55
12:00-18:00	2.99	1.75	6.36	0.47	0.27	**欠**	0.11	0.80	0.60	ND
18:00-06:00	3.95	3.89	15.57	0.90	0.70	**欠**	0.28	1.30	1.20	0.99
06:00-12:00	5.96	1.54	7.45	0.60	0.47	**欠**	0.14	1.10	0.90	ND
平均	5.18	4.46	13.27	0.77	0.50	**欠**	0.22	1.32	1.17	2.51

表29. ソウル地域のNH₃、HNO₃濃度とエアロゾル (1991.6.10-6.12)

(unit: μg/m³)

TIME	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	NH ₃	HNO ₃
12:00-18:00	6.59	4.44	10.69	2.11	3.72	2.38	0.27	2.22	1.02	欠
18:00-06:00	7.66	6.01	7.06	0.73	1.42	1.51	0.16	8.13	0.40	欠
06:00-12:00	17.97	22.56	29.92	1.35	2.15	0.20	0.17	13.85	1.01	欠
12:00-18:00	12.27	8.17	12.86	0.84	1.68	0.67	0.18	8.69	1.05	欠
18:00-06:00	9.10	6.70	9.55	0.84	1.54	3.04	0.30	5.86	0.46	欠
06:00-12:00	9.79	12.69	12.14	1.17	2.24	2.13	0.29	12.65	1.83	欠
平均	10.56	10.09	13.71	1.17	2.12	1.65	0.23	8.57	0.96	欠

表30. ソウル地域のNH₃、HNO₃濃度とエアロゾル (1991.8.12-8.14)

(unit: μg/m³)

TIME	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	NH ₃	HNO ₃
12:00-18:00	13.39	5.41	5.38	1.75	3.28	4.88	0.21	2.99	0.88	0.40
18:00-06:00	2.41	3.12	4.63	0.58	0.85	2.92	0.12	0.60	0.63	0.85
06:00-12:00	4.17	4.07	9.88	0.57	1.43	4.10	0.29	10.17	1.80	8.14
12:00-18:00	5.91	5.94	16.32	1.34	2.18	3.31	0.28	5.63	0.82	5.73
18:00-06:00	5.71	5.01	13.11	0.80	1.84	1.73	0.03	3.50	0.65	ND
06:00-12:00	4.73	0.81	5.89	0.39	1.02	2.03	0.21	6.55	1.95	5.21
平均	6.05	4.06	9.20	0.90	1.77	3.16	0.19	4.91	1.12	3.39

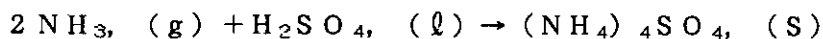
表31. 濟州地域のNH₃、HNO₃濃度とエアロゾル (1992. 2. 17-2. 19)

(unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

TIME	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	NH ₃	HNO ₃
12:00-18:00	11.84	0.00	1.06	0.65	2.04	8.24	0.41	1.31	0.00	ND
18:00-06:00	4.07	0.00	1.16	0.22	0.81	2.20	0.10	0.31	0.00	0.03
06:00-12:00	6.45	0.00	2.20	0.32	2.04	6.02	0.32	0.38	0.00	4.30
12:00-18:00	6.07	1.75	3.41	0.92	1.97	4.89	0.26	1.40	0.00	ND
18:00-06:00	11.40	3.94	7.32	0.24	3.38	2.79	0.32	1.27	0.00	ND
06:00-12:00	14.79	0.00	1.53	0.51	3.57	5.10	0.28	0.51	0.00	ND
平均	9.10	0.95	2.78	0.48	2.30	4.87	0.28	0.86	0.00	0.72

表32. 温位から求めた混合層高度

Date	'92. 2. 17	'92. 2. 17	'92. 2. 18	'92. 2. 18	'92. 2. 18	'92. 2. 19
(Time)	(15:01)	(17:51)	(07:24)	(12:18)	(18:05)	(07:43)
MH (m)	1,000	900	480	400	1,450	850



g a s (g), liquid (l), solid (s)

大気中での NH_3 、 HNO_3 ガス濃度の変化と、エアロゾル成分の濃度変化との関連性と調べるために、エアロゾルと NH_3 、 HNO_3 ガスのソウルと濟州地域における測定分析の結果を表28-31、及び図24-27に示す。

ソウル地域での観測結果では、 NH_3 と HNO_3 ガスの濃度はそれぞれ0.40から2.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、0.0~14.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり1990年12月、1991年6月、8月の NH_3 平均濃度は、1.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、0.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、1.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 HNO_3 ガスの濃度は2.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、4.49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、3.39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で冬期に比べて夏期の HNO_3 濃度の方が高かった。冬期の NH_3 、 HNO_3 濃度はエアロゾル成分濃度の変動と同様な傾向を示しており、エアロゾル成分中の SO_4^{2-} イオンと NH_4^+ イオン成分の構成比は、冬期には SO_4^{2-} が夏期には NH_4^+ が高くなることが明かとなった。夏期には冬期とは異なり NO_3^- イオン濃度が減少するが、 HNO_3 濃度は増加する傾向を見せており硫酸アンモニウムの生成反応が温度に支配されていることを示唆していると考えられる。

濟州道で観測した結果によれば、 NH_3 ガス濃度は検出限界に近かったが、 HNO_3 は4.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 認められた。エアロゾル中の陰イオン成分の内 Cl^- は9.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 SO_4^{2-} は2.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、陽イオン成分のうち Ca^{2+} が4.87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 Na^+ 2.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 NH_4^+ が0.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

1992年2月17-19日に濟州道高山に於いてラジオゾンデを用いて観測した相対湿度の垂直分布を図28に示す。またこの値を用いて混合層高度を求めた結果を表32に示す。観測期間中の混合層高度の変化を見ると2月17日の15時の混合層高度は約1Kmで湿度が高く風速が強い。風系は北風であり、18時頃の観測時にも同様の傾向が見られた。またこの時の混合層高度より上空の気流は、比較的乾燥した北西風であった。

18日07時頃においては混合層内の気流は北東風系であったが、12時頃には揚子江付近に張り出した温暖な低気圧の影響圏に入り、高度約1,450m迄混合層高度が上昇した。以後18日午後から冷たい高気圧が勢力を拡張しつつ19日7時の観測時には北風系の気流が通過した。図27と表32で明らかのように、 SO_4^{2-} 濃度は2月18日の12時から増加を始め18時以降急増していた。この SO_4^{2-} 濃度の増加は、18日12時からこの地域が温暖な低気圧の影響を受けこれに伴って北西方面からの気流が流入し、更に18時にはその影響を顕著に受けたことに起因すると考えられる。

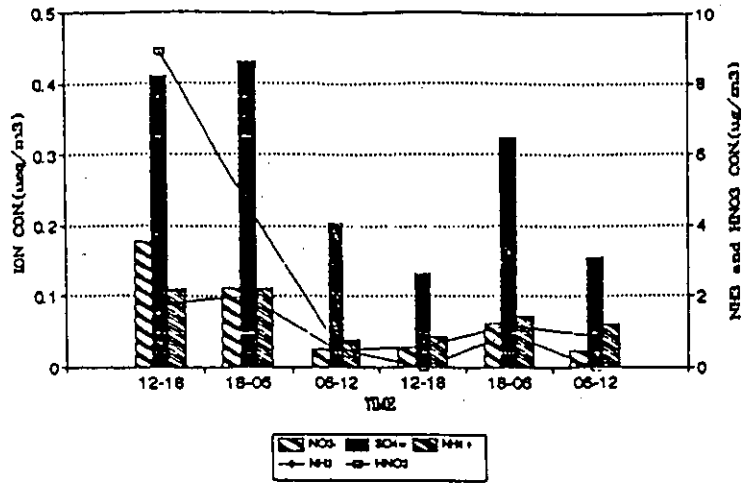


図24. ソウル地域のNH₃, HNO₃濃度とエアロゾル ('90.12.10-12.12)

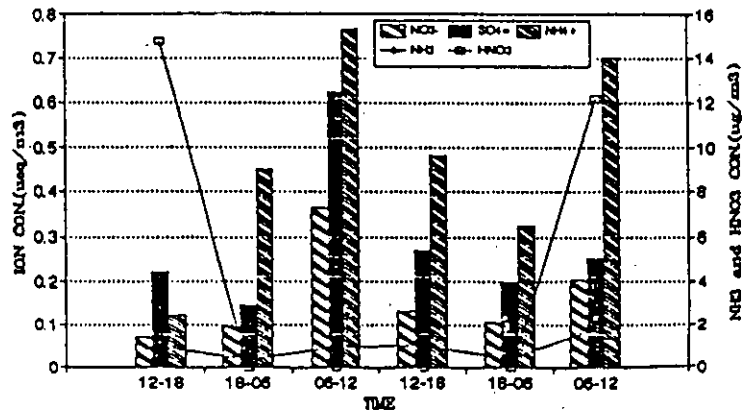


図25. ソウル地域のNH₃, HNO₃濃度とエアロゾル ('91.6.10-6.12)

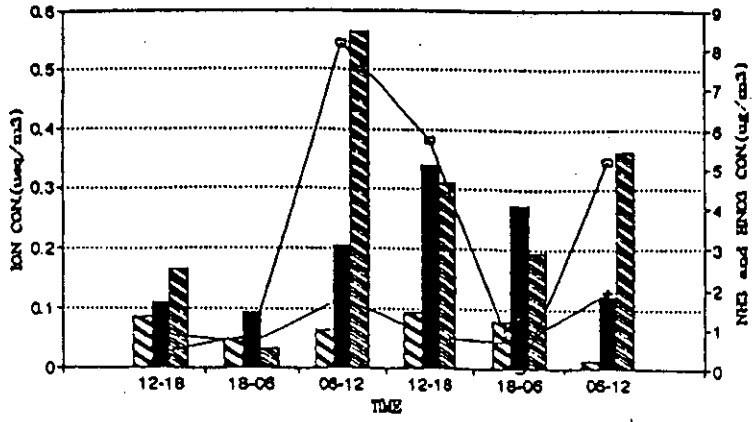


図26. ソウル地域のNH₃, HNO₃濃度とエアロゾル ('91.8.12-8.14)

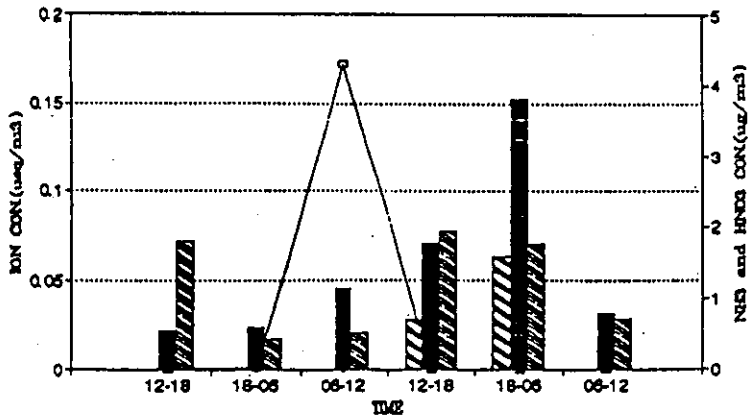


図27. 済州地域のNH₃, HNO₃濃度とエアロゾル ('92.2.17-2.19)

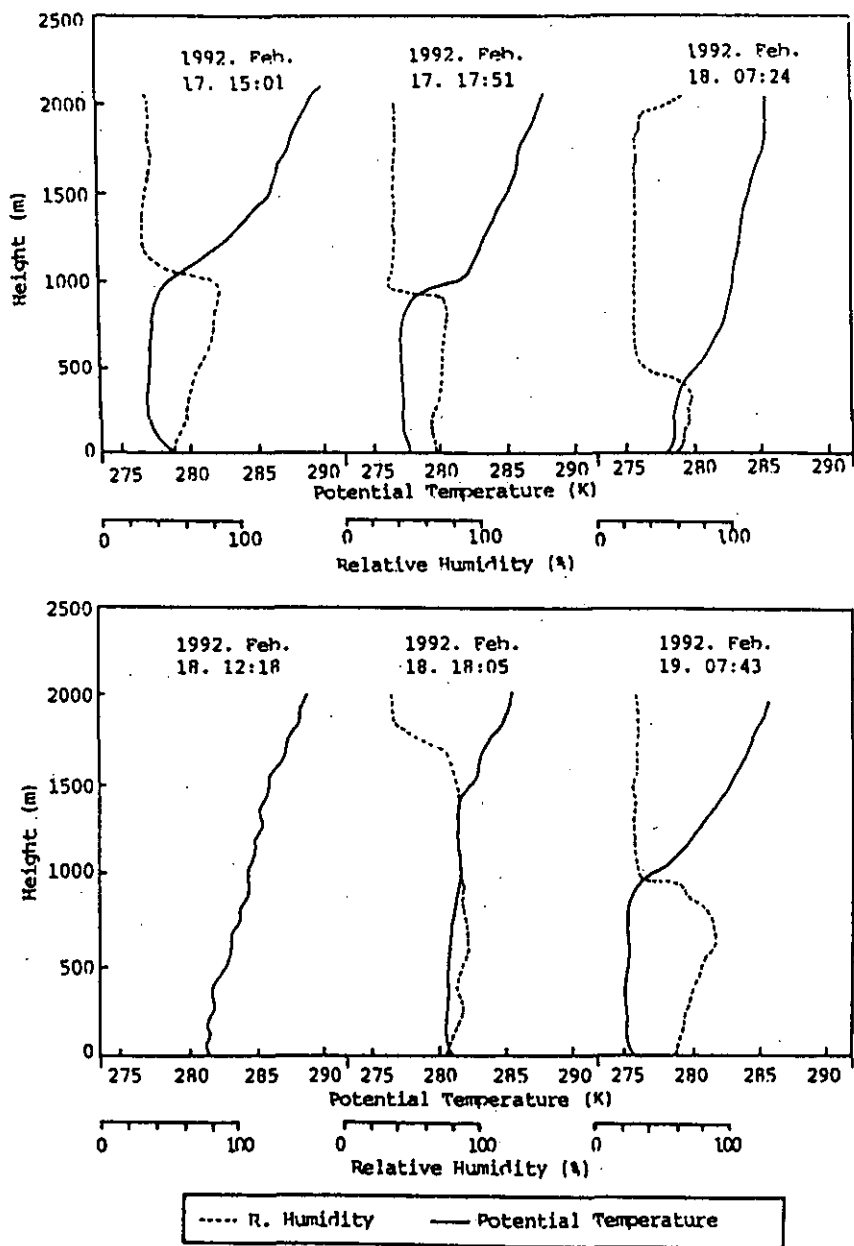


図28. ラジオゾンデで観測された温位と相対湿度の垂直分布

Ⅵ. エアロゾル成分相互の関係の解析

1. エアロゾル成分の濃度変化の特徴

観測期間中に分析した各イオン成分は、陰イオンと陽イオンがそれぞれ等量濃度ずつ結合存在しており全体的にイオンバランスをとっている。

観測期間別の陰イオンと陽イオンそれぞれの当量濃度累積値を図29-37に示す。全観測期間を通じて陰イオンと陽イオンの変動の様相は同じであり、全体として SO_4^{2-} と NH_4^+ が陰イオンと陽イオンの濃度変化を支配していることが認められた。

1990年8月の観測期間中には降雨のため14日の SO_4^{2-} と NH_4^+ の濃度が低下する現象が認められ、この期間中に相反する現象として陰イオン中の Cl^- と NO_3^- が、また陽イオン中の Na^+ の濃度が若干増加する現象がみられた。

1990年10月と12月には特徴的な濃度変化が見られ SO_4^{2-} と NH_4^+ の濃度が同時に周期性を持って変化していた。12月の観測期間中の変化の周期は10月のそれに比べて短く、10月には Na^+ が12月には Mg^{2+} と Cl^- が同様の変化を示していた。

1991年2月13日と14日には東方海上を通過する移動性高気圧の影響でソウル地域では風が弱くなる停滞現象がみられ、この期間の特徴として海塩粒子の寄与によると思われる Na^+ と Cl^- の成分が増加した。14日の午後から揚子江付近から張り出した低気圧の影響を受け多量の降雨がありこのため急激なイオン成分濃度の低下が認められた。

1991年4月15日からのソウル地域の気象状況は揚子江付近の高気圧が韓半島南部と日本の九州地域に勢力を拡張し晴天であり、16日のソウルを含む韓半島中部地方は弱風で大気の停滞が認められた。このため陰イオン中の SO_4^{2-} と Cl^- 、陽イオン中の NH_4^+ と Na^+ の濃度が上昇した。17日に入り強風になると同時に多量の降雨があり濃度の急激な低下がみられた。尚15日の気流は中国大陸の北京、天津を通過して来たものであった。

1991年6月の場合、1990年8月と類似した様相を示しており、1991年8月の観測期間中には広大な北太平洋高気圧の影響圏に入り比較的天気の良い日が続いた。全般的に弱い北東気流であり周期性を示して濃度が蓄積していた。

1991年10月には強風と多量の降雨のためエアロゾル濃度は低かったが、 Na^+ と Cl^- の構成比率が相対的に高かった。

1992年2月の観測期間中は比較的晴天であったが、しばしば気圧の谷が通過し強風とともに時々雪が降り全般的に北東風が卓越した。15日にソウル地域に流入した気流は北京付近を通

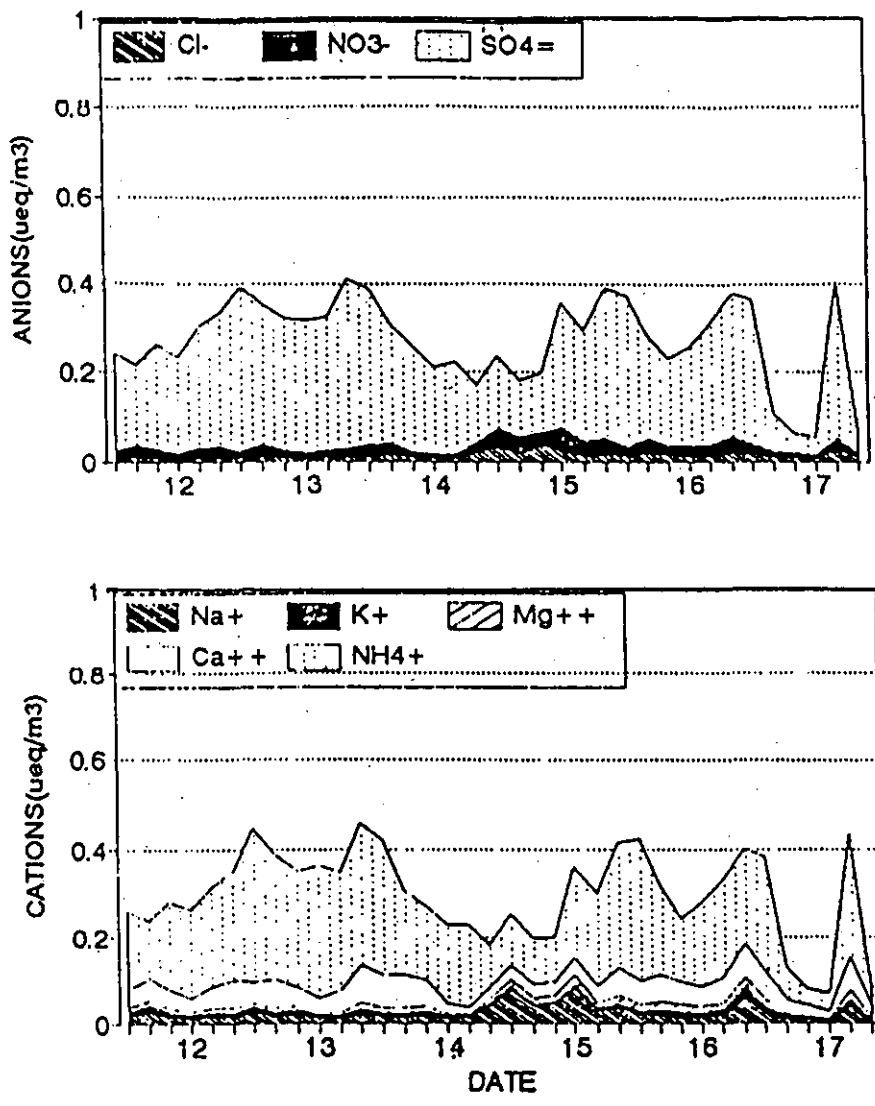


図29. エアロゾル中のイオン成分の累積濃度変化 ('90.8.10-8.17)

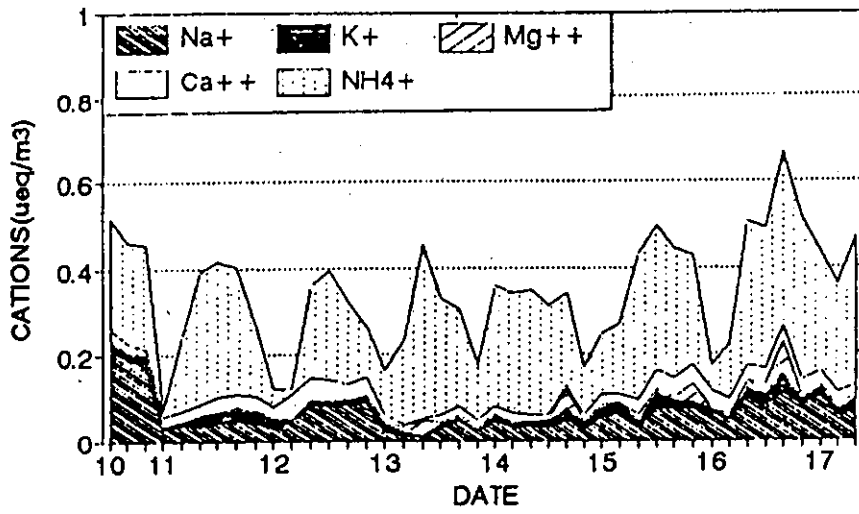
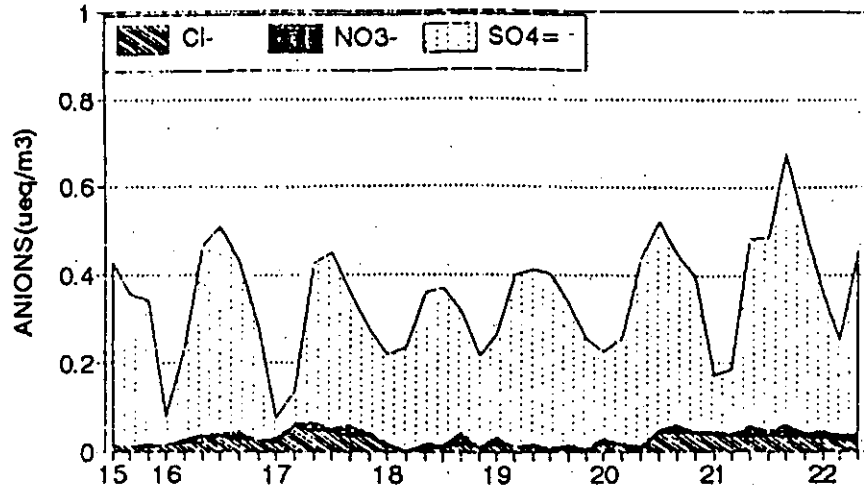


図30. エアロゾル中のイオン成分の累積濃度変化 ('90.10.10-10.17)

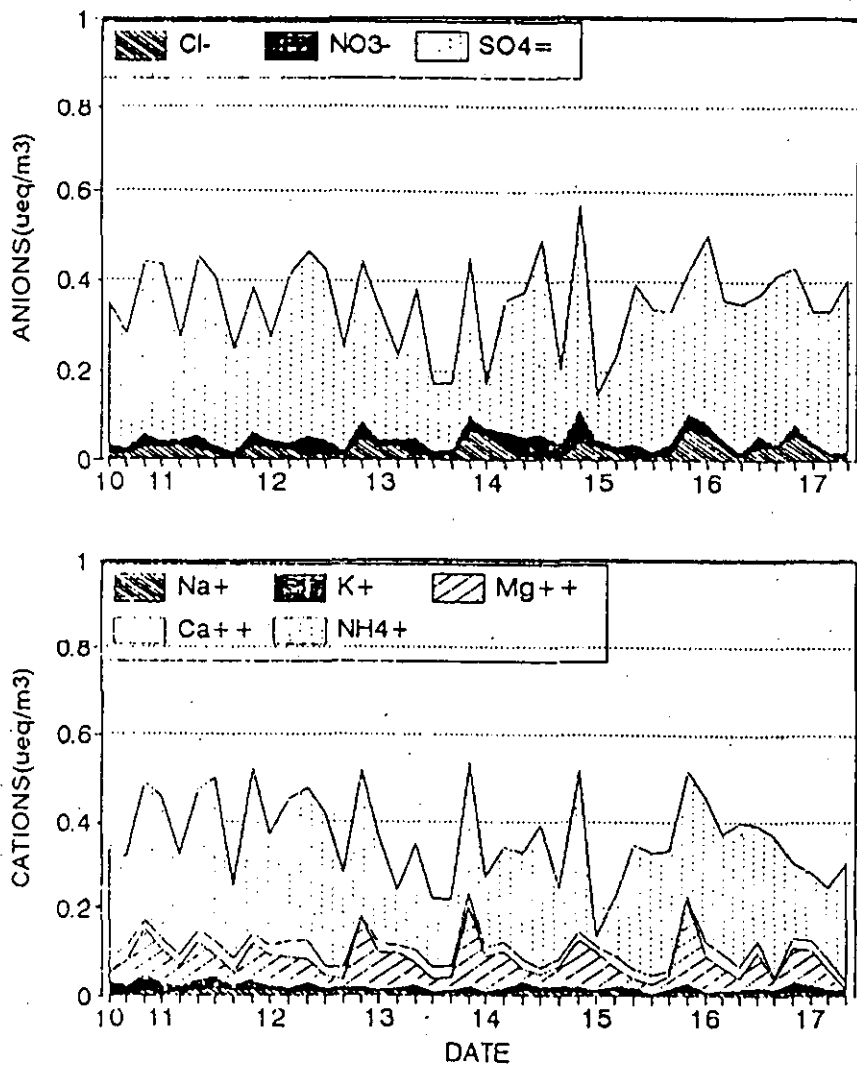


図31. エアロゾル中のイオン成分の累積濃度変化 ('90.12.10-12.17)

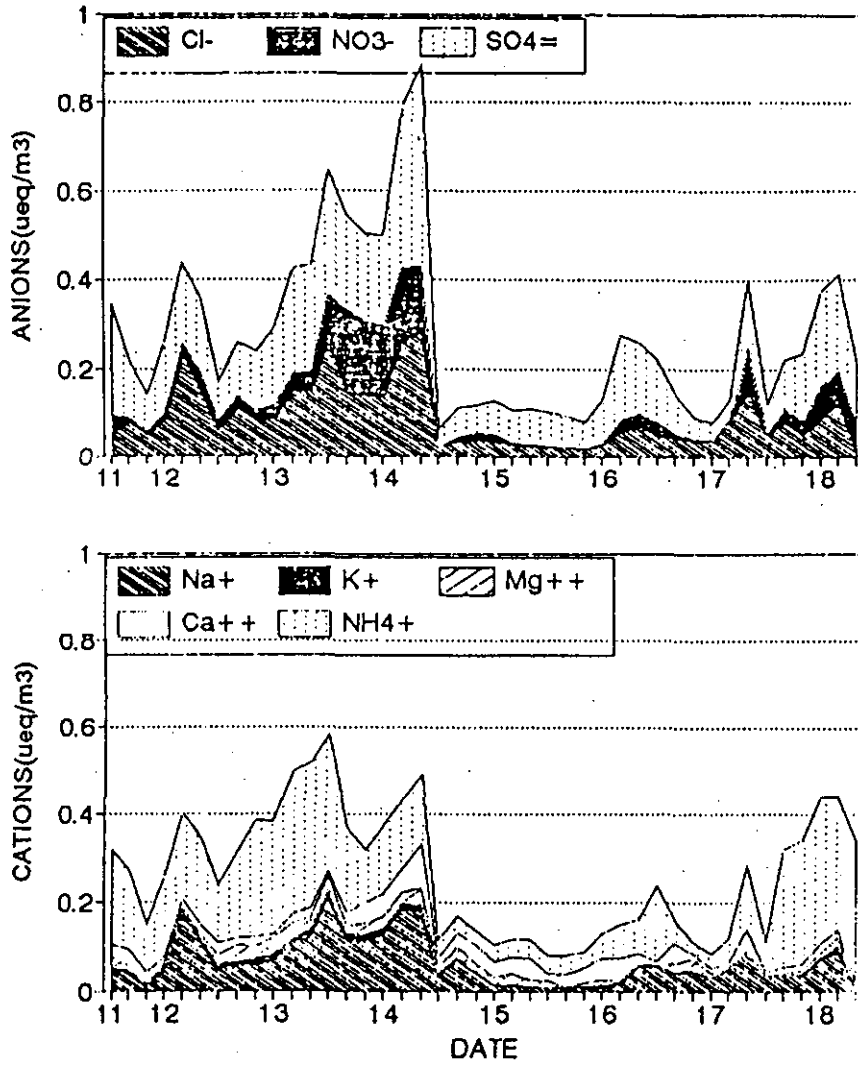


図32. エアロゾル中のイオン成分の累積濃度変化 ('91.2.11-2.18)

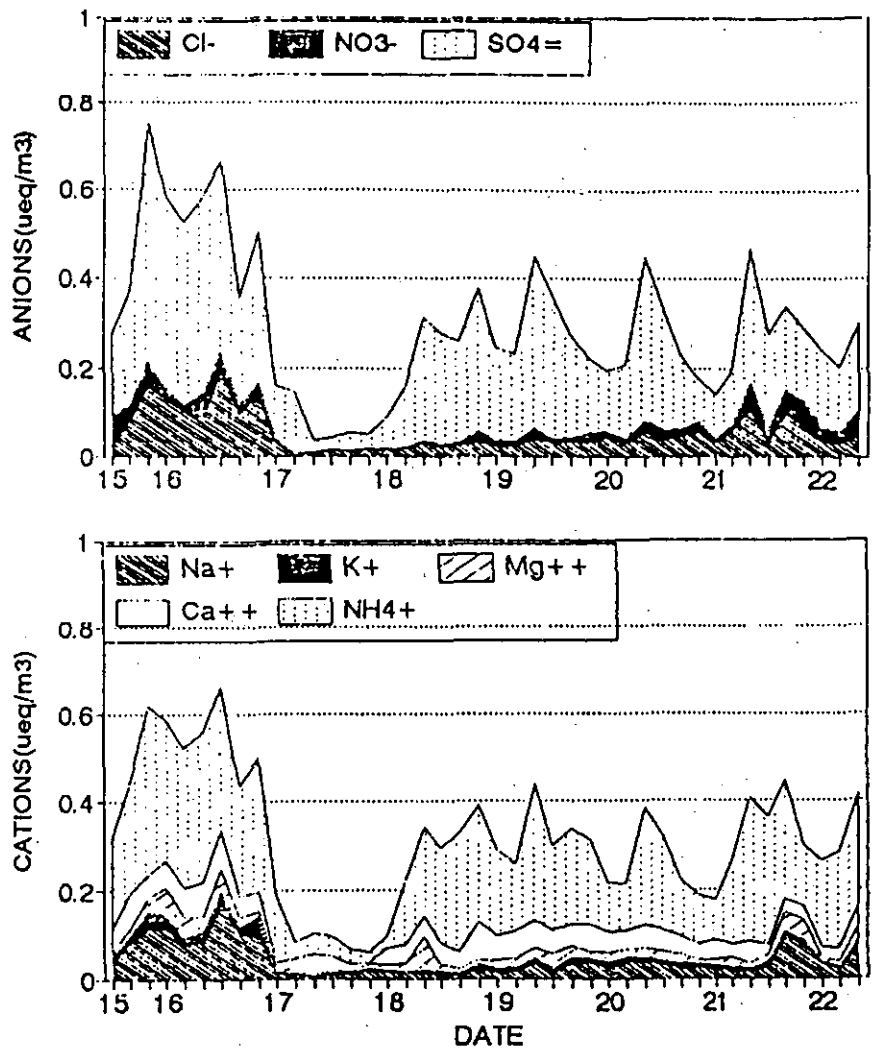


図33. エアロゾル中のイオン成分の累積濃度変化 ('91.4.15-4.22)

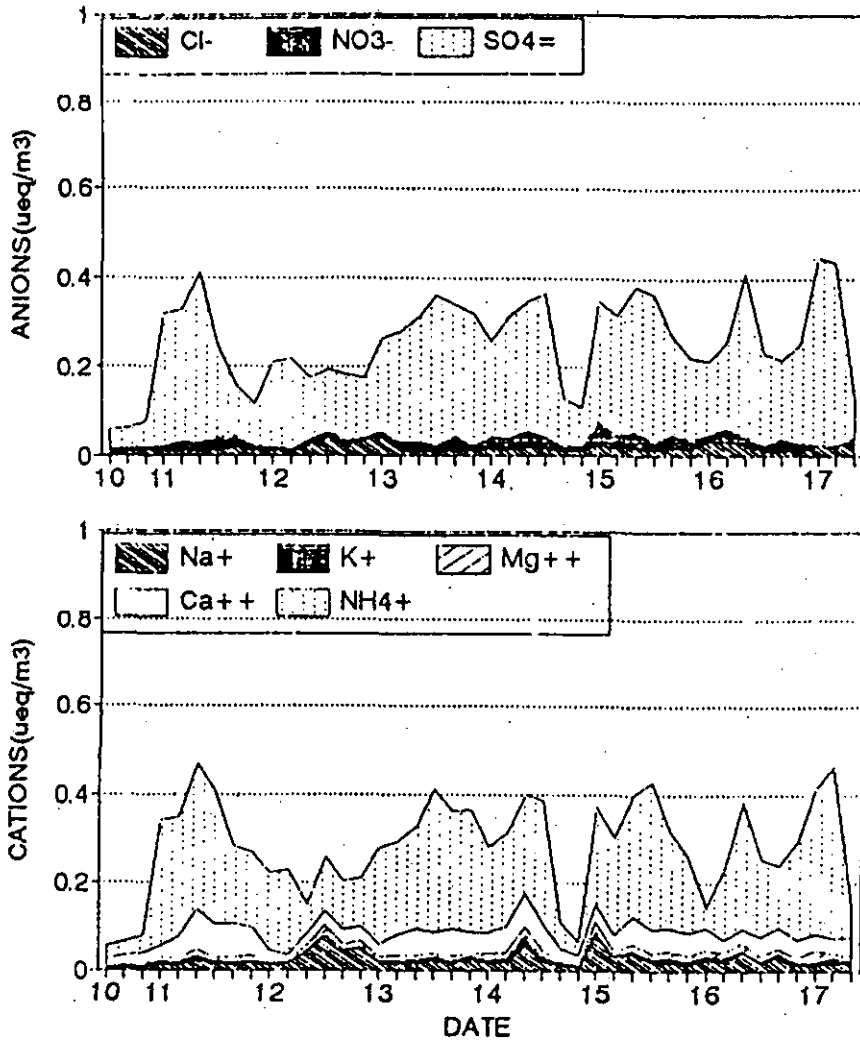


図34. エアロゾル中のイオン成分の累積濃度変化 ('91.6.10-6.17)

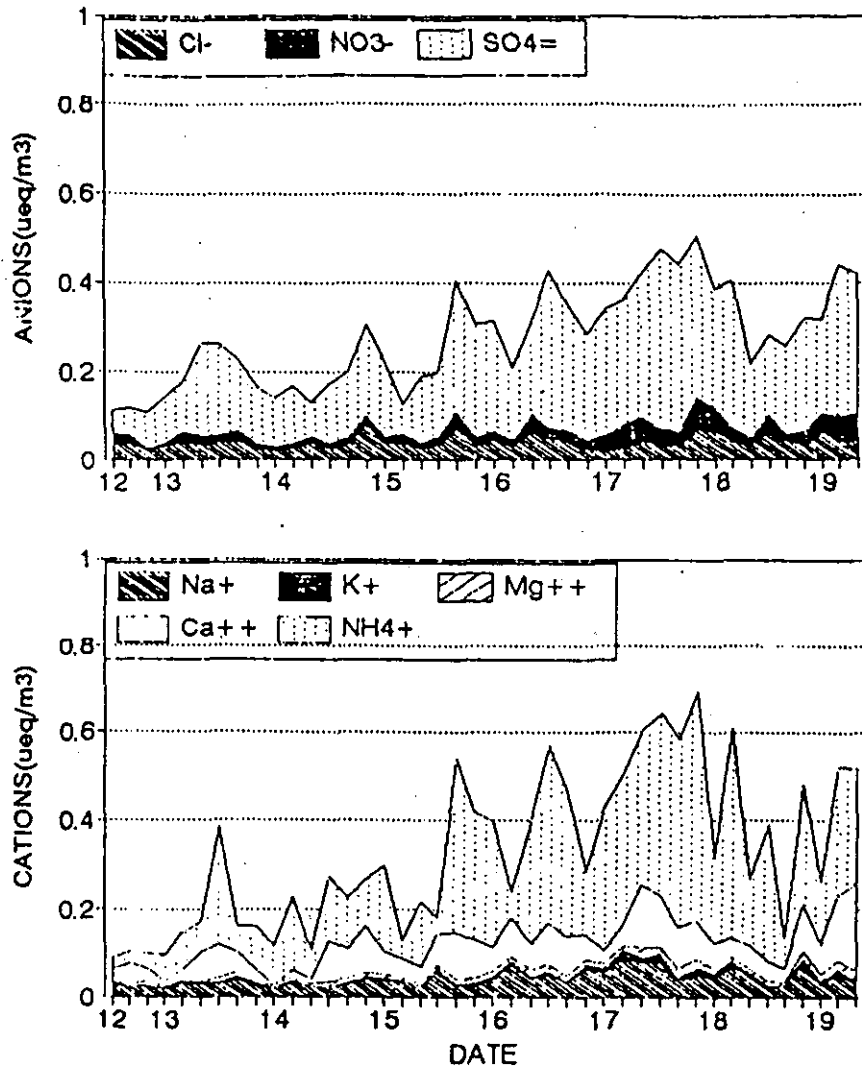


図35. エアロゾル中のイオン成分の累積濃度変化 ('91.8.12-8.21)

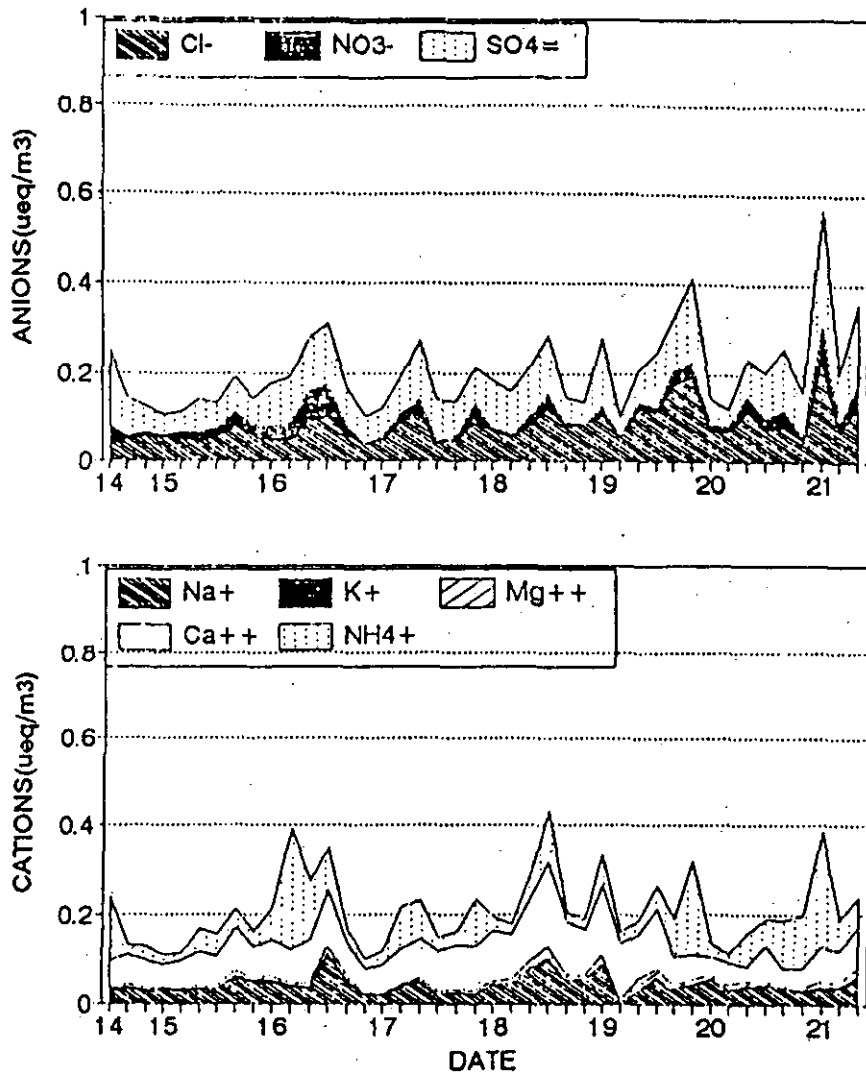


図36. エアロゾル中のイオン成分の累積濃度変化 ('91.10.14-10.26)

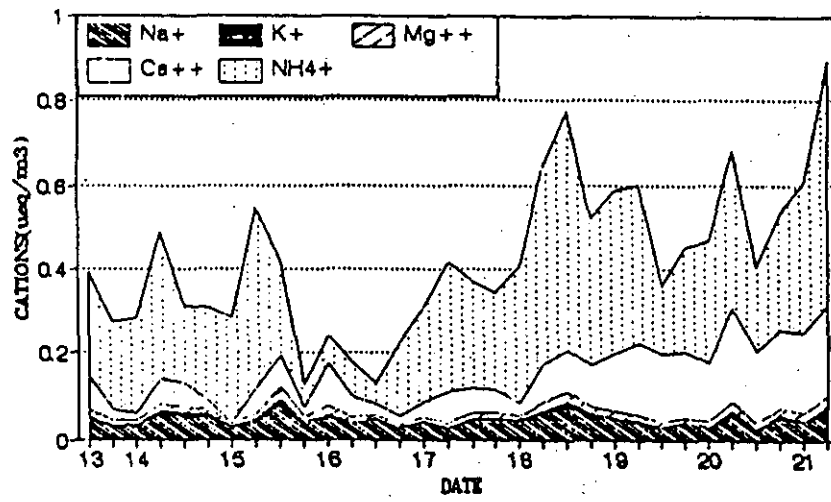
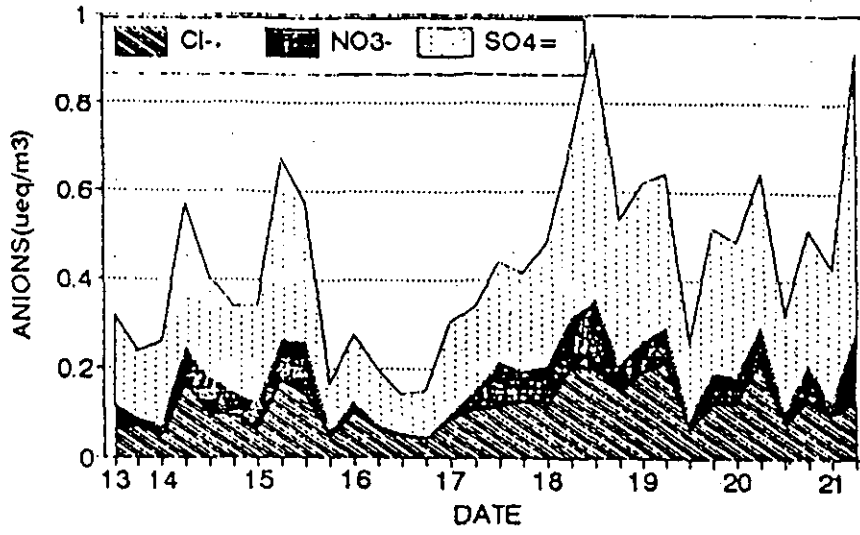


図37. エアロゾル中のイオン成分の累積濃度変化 ('92.2.12-2.21)

過して来たものであり SO_4^{2-} と NH_4^+ の濃度が上昇した。この期間の濃度変化は気流の変化のためとその濃度変化幅には差があるものの、1990年10月、12月の場合と同様にはっきりとした周期性を示していた。 NO_3^- と Cl^- 、 Ca^{2+} の濃度変化も周期的な様相を呈していた。これは冬期における主要な発生源である暖房用燃料からの SO_2 排出パターンと、西海岸を横断する間に硫酸アンモニウムと海塩粒子とが反応、変換する現象を反映しているものと推察される。

2. エアロゾル成分間の関係解析

分析したエアロゾルの水溶性イオン相互の関係を考察するために、362個のデータについて単純相関係数を求めその結果を表33に示す。

Cl^- イオンの場合、 NO_3^- との相関係数が、0.639、 Na^+ との相関係数が0.884と高く、 NaCl のような海塩粒子形態のエアロゾルと関係があることが認められた。 NO_3^- の場合も Na^+ と0.614で高い相関関係を示した。

SO_4^{2-} の場合は NH_4^+ と0.844、 K^+ とは0.523であり、 NH_4^+ と K^+ は0.481で一つのグループを形成していた。特に SO_4^{2-} と NH_4^+ との高い相関関係は硫酸アンモニウム形態のエアロゾルの存在可能性を高く示唆していた。

Ca^{2+} の場合は SO_4^{2-} と0.425の相関係数を示したが、 NH_4^+ や K^+ とは低い相関関係にあった。陽イオンの Mg^{2+} は他のイオン成分総てとの間に低い相関関係を示した。

相関分析等の結果からも明らかなようにイオン成分の中でも大きい比重を占めていたのは $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 形態のエアロゾルであったため、 NH_4^+ と SO_4^{2-} の二つのイオンの当量濃度の変化を図38-46に示した。全般的に二つのイオンの当量濃度はほぼ一致していたが、1990年10月と12月の一部の期間には SO_4^{2-} 当量濃度が高く、1991年2月の一部の期間には NH_4^+ の当量濃度が相対的に高かった。1991年2月の該当期間中には、 Cl^- と NO_3^- が相対的に増加しており、これらがアンモニウム塩となっていたことが原因であろうと推察される。

海塩粒子として広く知られている NaCl はその変化の状況や相関分析の結果からも確認されているが、 Na^+ と Cl^- の当量濃度の変化を図47-55に示す。 NH_4^+ と SO_4^{2-} の場合のように二つのイオンの当量濃度は正確には一致しないが、似た傾向が見られ、観測期間中の冬期には Cl^- 濃度が相対的に高く、夏期には Na^+ 濃度が高くなっていた。冬期の Cl^- イオンは Na^+ との結合のほかに前述のように NH_4^+ イオンと結合して塩酸アンモニウムの形態で存在する可能性が大きい。夏期において余剰の Na^+ と結合する可能性が大きい NO_3^- の影響を検討するために Cl^- と NO_3^- の当量濃度の合計と Na^+ の当量濃度の変化を1990年8月と1991年6月及び8月について図56-58に示した。1990年8月と1991年6月には両者の当量濃度のバランスは比較的良好であるが、1991年8月には陰イオン濃度の方が大きかった。

夏期においては気温の影響により NH_4NO_3 の分解及び生成阻害により HNO_3 ガス濃度が増加しこの HNO_3 ガスが海塩粒子と反応して NaNO_3 の形態に変化することが考えられる。このような現象は、韓国に移流して来るエアロゾルが海洋を通過する過程でも容易に起こるエアロゾルの変換現象であると思われる。

表33. エアロゾル中のイオン成分の相関関係

	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	TEMP	R. H	W. S	SO ₂	TSP	O ₃
Cl ⁻	1.00													
NO ₃ ⁻	.63	1.00												
SO ₄ ²⁻	.07	.16	1.00											
NH ₄ ⁺	.08	.17	.84	1.00										
Ca ²⁺	.04	.09	.42	.20	1.00									
Mg ²⁺	.25	.17	.33	.28	.21	1.00								
K ⁺	.32	.30	.52	.48	.27	.36	1.00							
Na ⁺	.88	.61	.22	.19	.09	.29	.38	1.00						
TEMP	-.31	-.16	.10	.05	.44	.04	.10	-.21	1.00					
R. H	-.26	-.13	-.06	-.08	.03	-.07	-.02	-.23	.18	1.00				
W. S	-.14	-.01	.06	.09	.11	-.09	-.06	-.08	.09	-.26	1.00			
SO ₂	.54	.42	.10	.08	-.24	.04	.14	.44	-.67	-.11	-.26	1.00		
TSP	.29	.33	.48	.39	.26	.12	.48	.38	.13	.03	-.00	.32	1.00	
O ₃	-.15	-.07	-.13	-.20	.07	-.09	-.03	-.14	.37	-.19	.37	-.34	-.11	1.00
NMHC	.23	.15	-.25	-.16	-.13	-.01	.12	.13	-.08	.18	-.29	.24	-.04	-.06

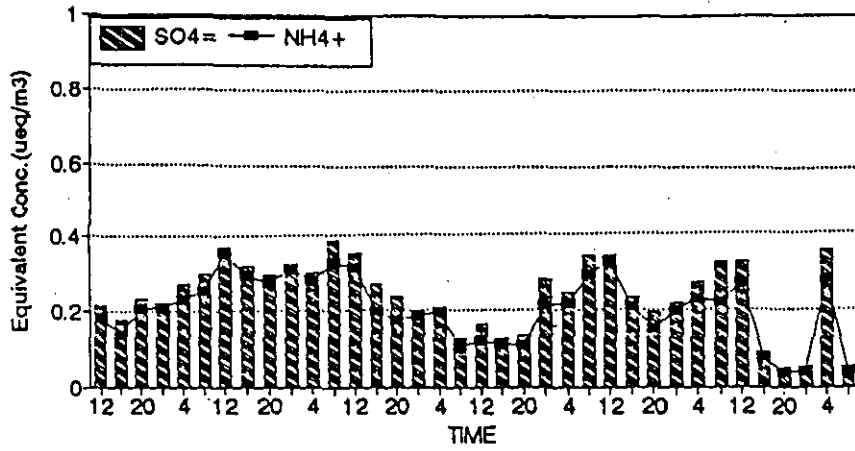


図38. SO_4^{2-} 量濃度と NH_4^+ 量濃度の変化 ('90.8.10-8.17)

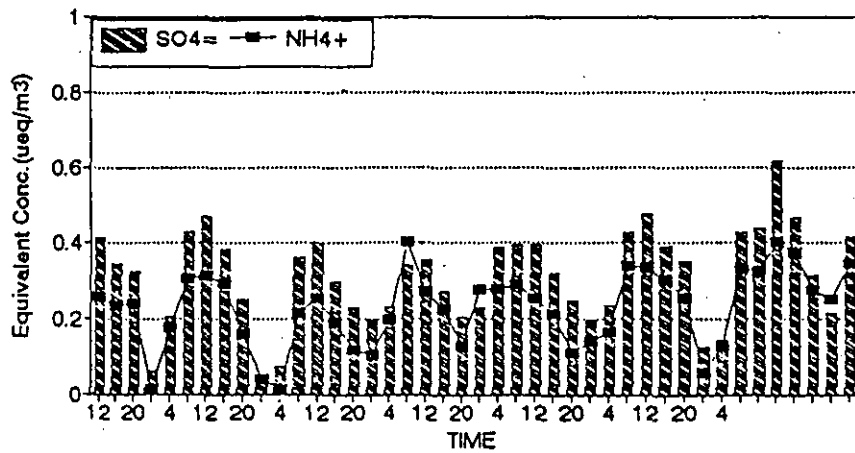


図39. SO_4^{2-} 量濃度と NH_4^+ 量濃度の変化 ('90.10.10-10.17)

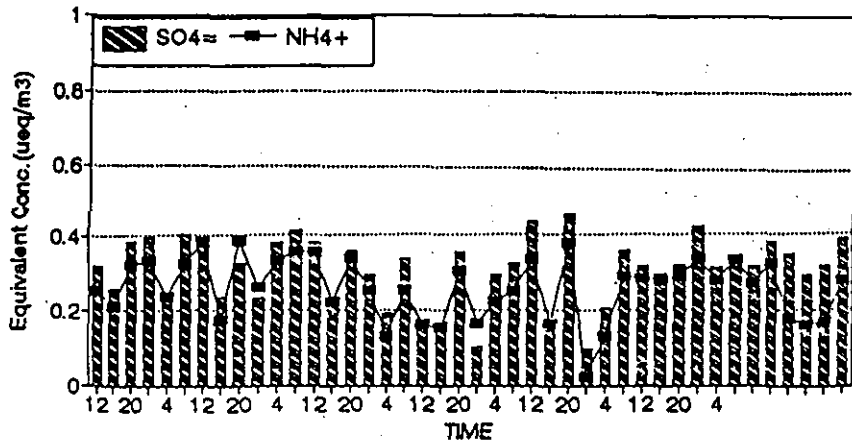


図40. SO_4^{2-} 量濃度と NH_4^+ 量濃度の変化 ('90.12.10-12.17)

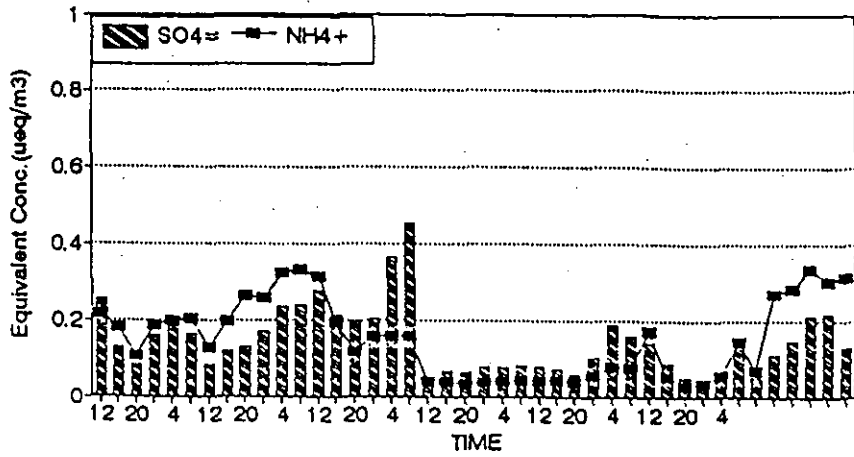


図41. SO_4^{2-} 量濃度と NH_4^+ 量濃度の変化 ('91.11-2.18)

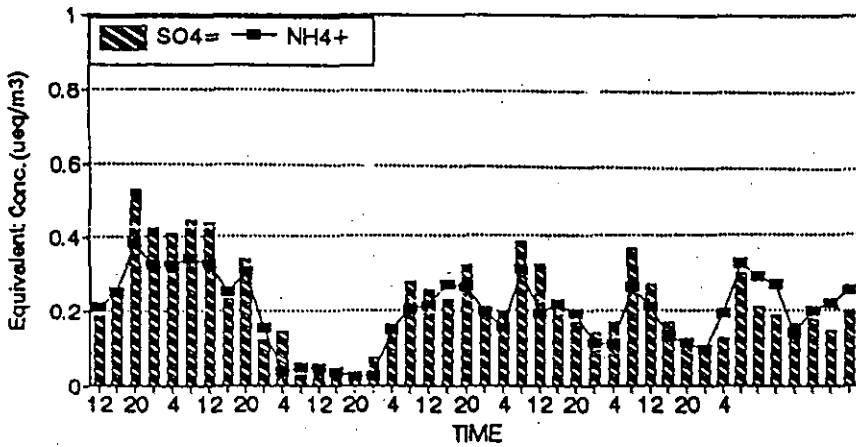


図42. SO_4^{2-} 量濃度と NH_4^+ 量濃度の変化 ('91.4.15-4.22)

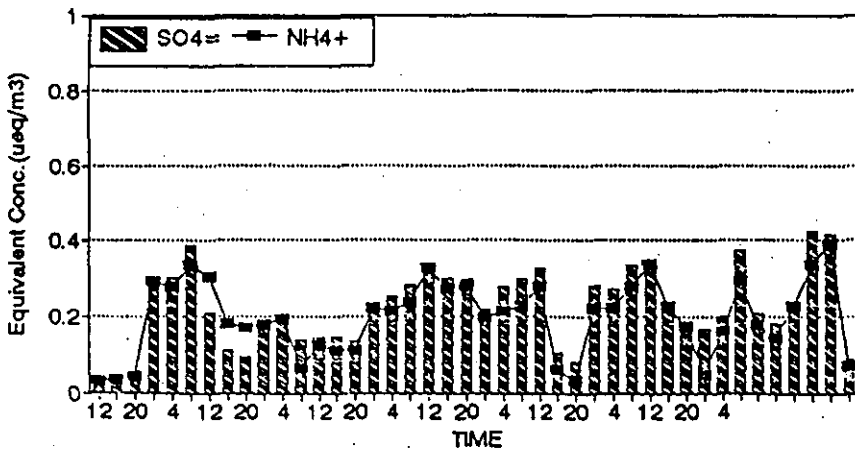


図43. SO_4^{2-} 量濃度と NH_4^+ 量濃度の変化 ('91.6.10-6.17)

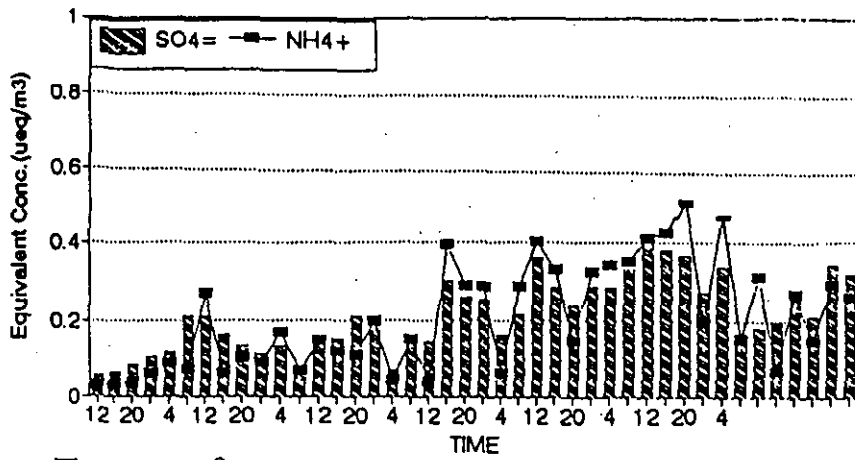


図44. SO_4^{2-} 量濃度と NH_4^+ 量濃度の変化 ('91.8.12-8.21)

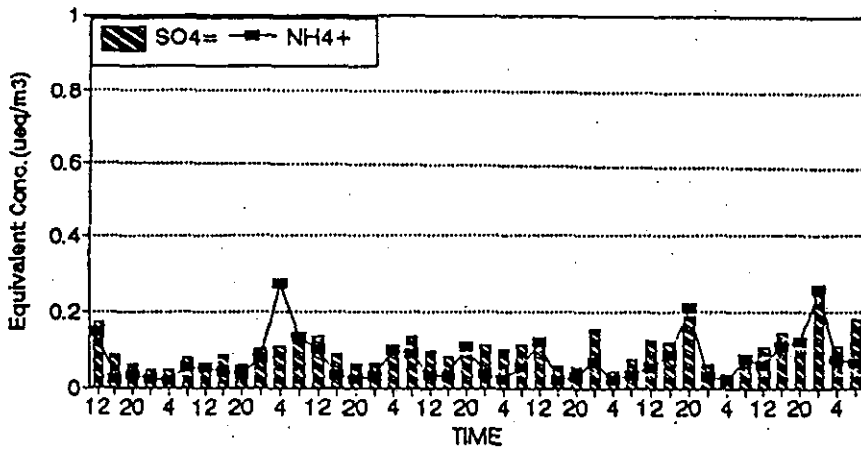


図45. SO_4^{2-} 量濃度と NH_4^+ 量濃度の変化 ('91.10.14-10.26)

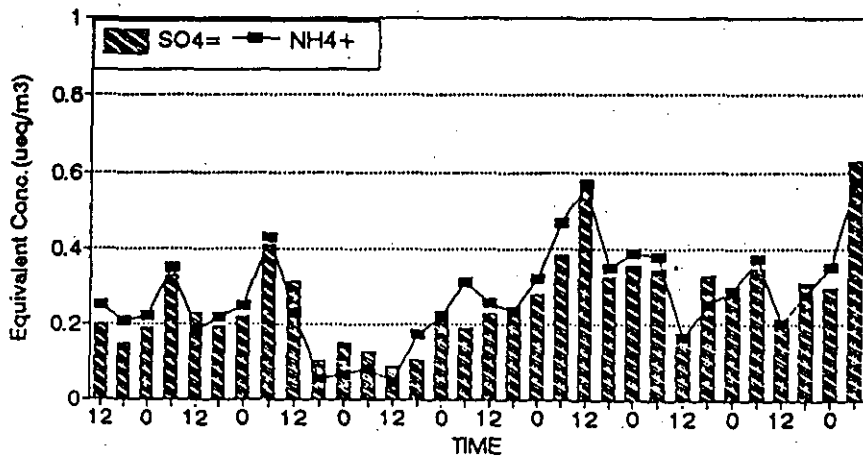


図46. SO_4^{2-} 量濃度と NH_4^+ 量濃度の変化 ('92.2.12-2.21)

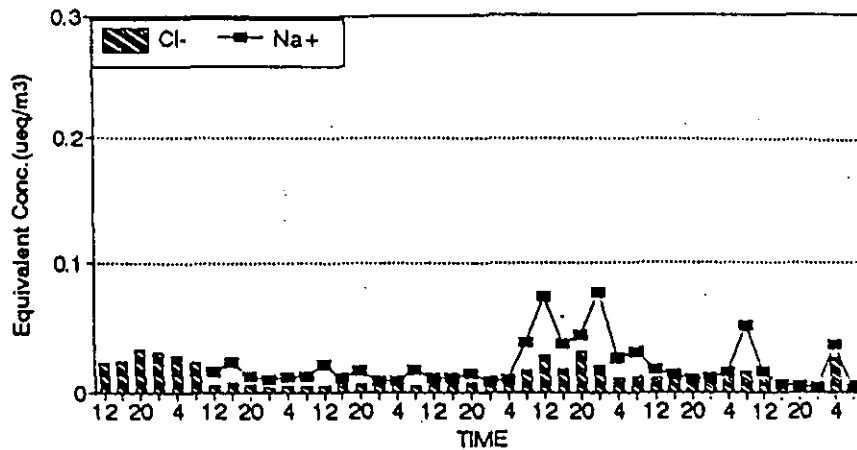


図47. Cl^- 量濃度と Na^+ 量濃度の変化 ('90.8.10-8.17)

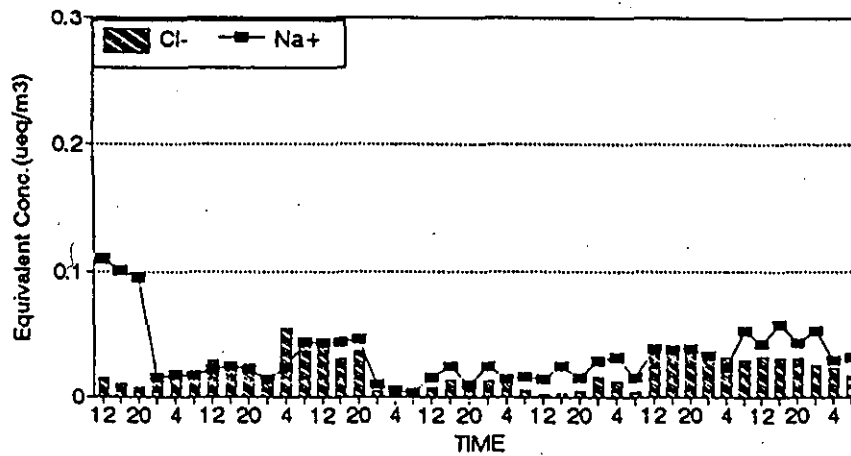


図48. Cl^- 量濃度と Na^+ 量濃度の変化 ('90.10.10-10.17)

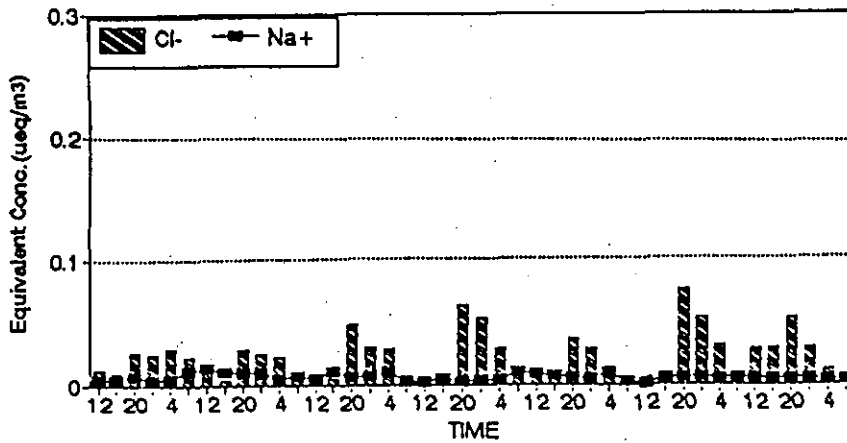


図49. Cl^- 量濃度と Na^+ 量濃度の変化 ('90.12.10-12.17)

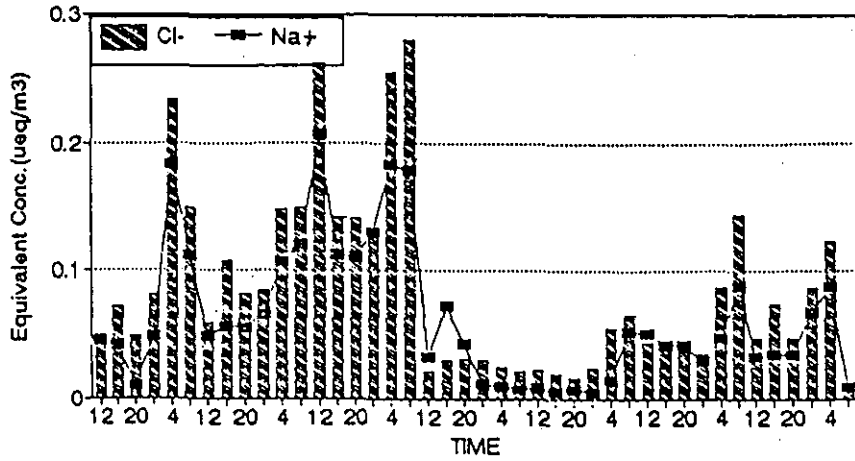


図50. Cl^- 量濃度と Na^+ 量濃度の変化 ('91. 2. 11-2. 18)

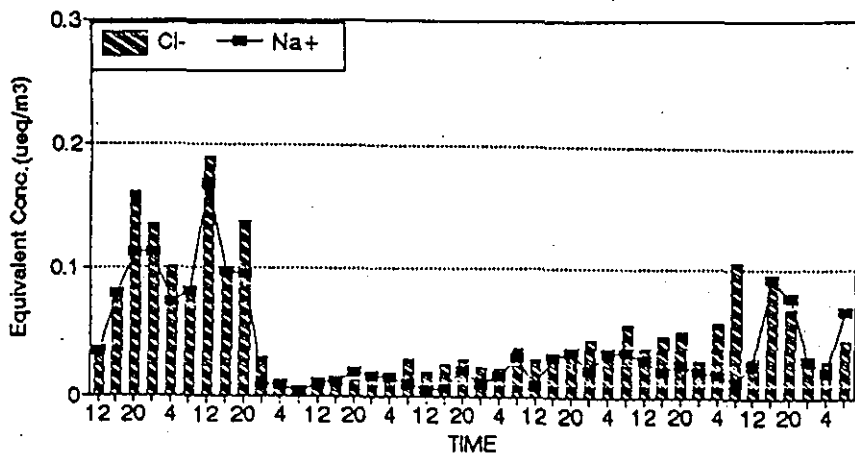


図51. Cl^- 量濃度と Na^+ 量濃度の変化 ('91. 4. 15-4. 22)

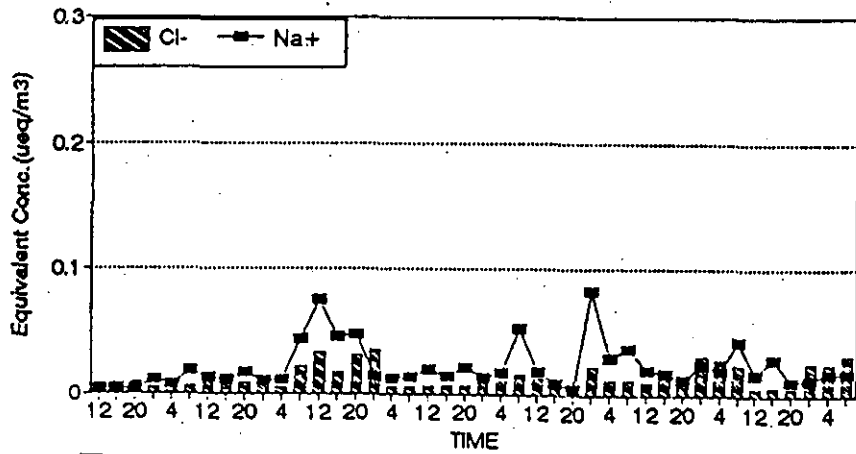


図52. Cl^- 量濃度と Na^+ 量濃度の変化 ('91. 6. 10-6. 17)

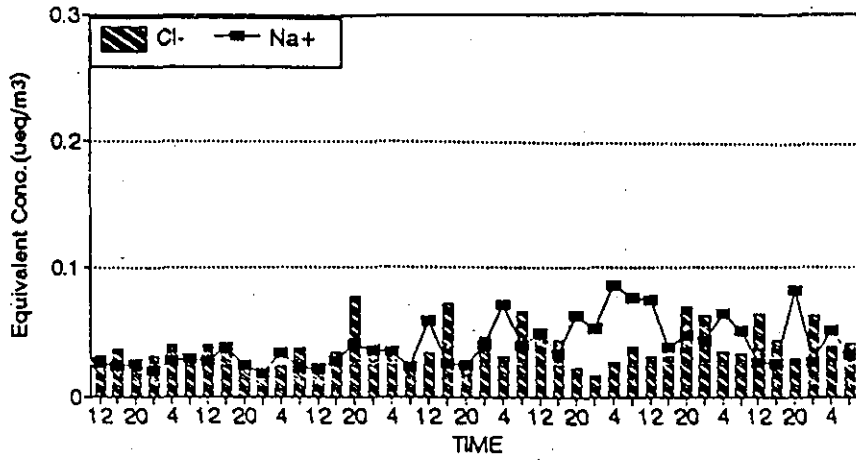


図53. Cl^- 量濃度と Na^+ 量濃度の変化 ('91.8.12-8.21)

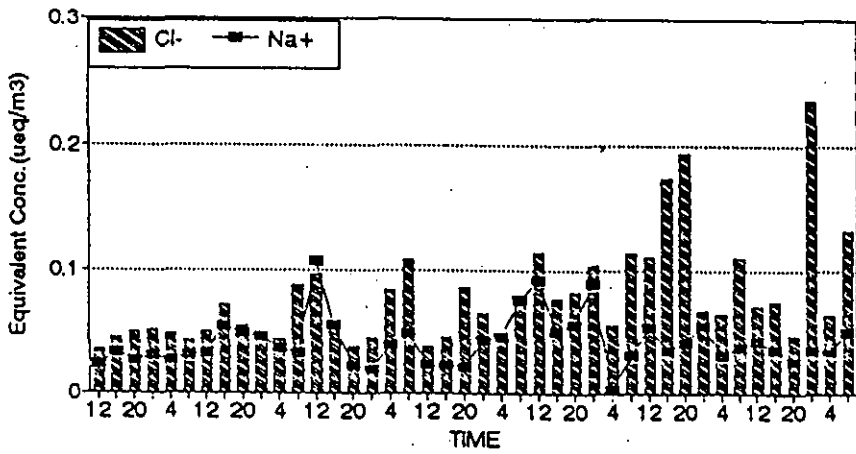


図54. Cl^- 量濃度と Na^+ 量濃度の変化 ('91.10.14-10.26)

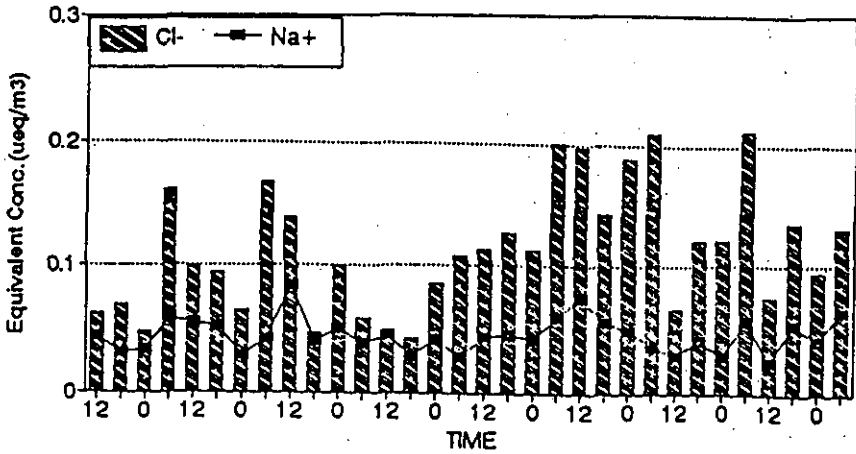


図55. Cl^- 量濃度と Na^+ 量濃度の変化 ('92.2.12-2.21)

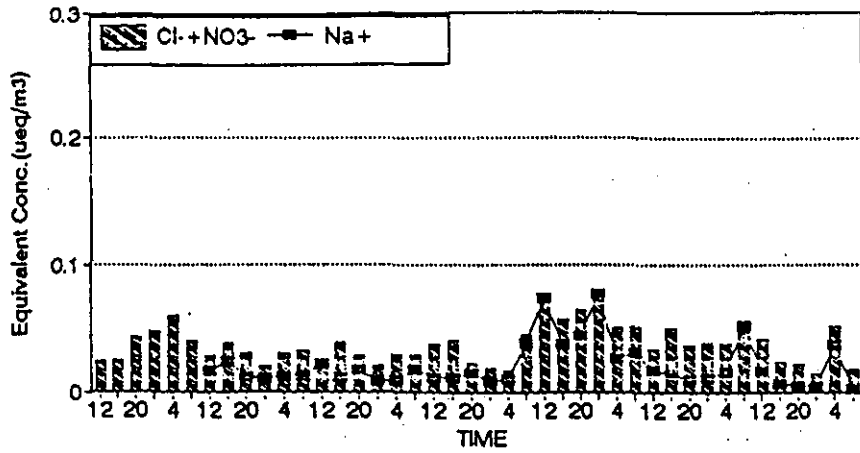


図56. Cl^- と NO_3^- の量濃度の合計と Na^+ 量濃度 ('90.8.10-8.17)

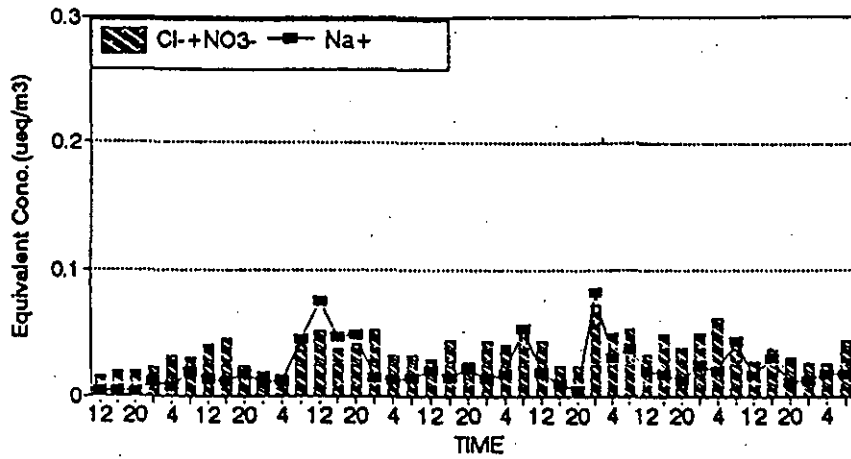


図57. Cl^- と NO_3^- の量濃度の合計と Na^+ 量濃度 ('91.6.10-6.17)

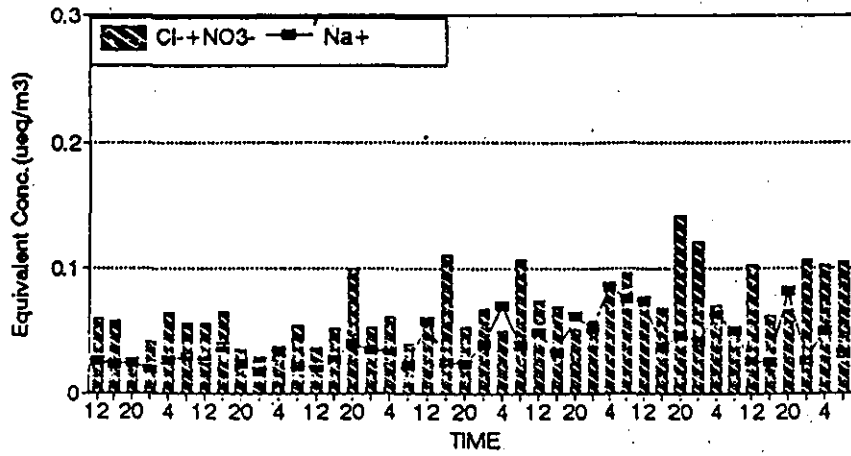


図58. Cl^- と NO_3^- の量濃度の合計と Na^+ 量濃度 ('91.8.12-8.21)

3. エアロゾルとガス状物質相互の関係解析

エアロゾルのイオン成分とガス状物質及びTSPとの間の相関係数を表33に示した。全体的な相関係数0.6以下と低い値である。SO₂はCl⁻、NO₃⁻、Na⁺とそれぞれ0.543、0.423、0.449の相関係数を示し、これらのイオン成分と似た様相を持つことを示唆していた。しかしエアロゾルの主要構成成分である硫酸化物のSO₄²⁻とは0.1の相関係数であり低い相関関係を示した。これに反してTSP濃度とSO₄²⁻及びNH₄⁺との相関係数はそれぞれ0.485と0.485であり、ソウル地域の気中のエアロゾル濃度増加の主要原因物が硫酸アンモニウムと深い関係があることがわかった。

NMHCについては、その他の物質との相関が殆ど無くまたO₃の場合は大部分が逆相関の関係を示しており一次汚染物質の排出量の直接的関係が無いことがわかる。

相関分析の結果SO₂とエアロゾルのSO₄²⁻の間には直接的な関係が無いことが認められた。しかしエアロゾル中のSO₄²⁻は気中に排出されたSO₂が化学反応を起こすことにより生成する部分が大きな比率を占めていることはよく知られている事実である。SO₂とエアロゾルのSO₄²⁻の濃度変化の関係を考察するために、観測期間中におけるSO₂とエアロゾル中のSO₄²⁻の濃度変化を図59-62に示した。

1990年12月と1992年2月には0.05ppm以上の高濃度のSO₂が認められた。特に1990年12月の観測期間中のSO₂濃度はピーク値で0.1ppmを越えていた。ソウル地域においてはSO₂の日中濃度変化は、午前8時前後にピークになると報告されている。このようなSO₂濃度の周期的な変化は、冬期にはもっと顕著である。これは、冬期には暖房用燃料の使用量が増加することと早朝に頻繁に発生する接地逆転によって、大気汚染物質が蓄積する現象が起こるためであると思われる。しかしエアロゾル中のSO₄²⁻濃度の変化は、SO₂の濃度変化とは若干異なる様相を見せていた。すなわちSO₄²⁻濃度レベルは、夏期に比べて冬期が高いもののSO₂の濃度変化とSO₄²⁻濃度の変化は一致していなかった。1990年12月のSO₂の濃度に比べて1992年2月18日-21日のSO₂の濃度は1/2程度であったが、SO₄²⁻濃度は、1.5倍となっており、SO₂とSO₄²⁻の濃度変化の様相が若干異なっていることが示された。これに反して夏期の1991年6月と8月にはSO₂とSO₄²⁻の濃度変化の様相が類似していた。このような現象は冬期間中のエアロゾル中のSO₄²⁻は、ソウル地域からのSO₂排出源による寄与とともに外部地域から流入する粒子の影響を受けることによるためと考えられる。

SO₂ガスが多くを経路を通して硫酸塩に転換するにあたっては若干の時間が必要であり、冬期には偏西風により大陸から移動流入するSO₂の大部分が硫酸塩粒子に変換したものと推定される。

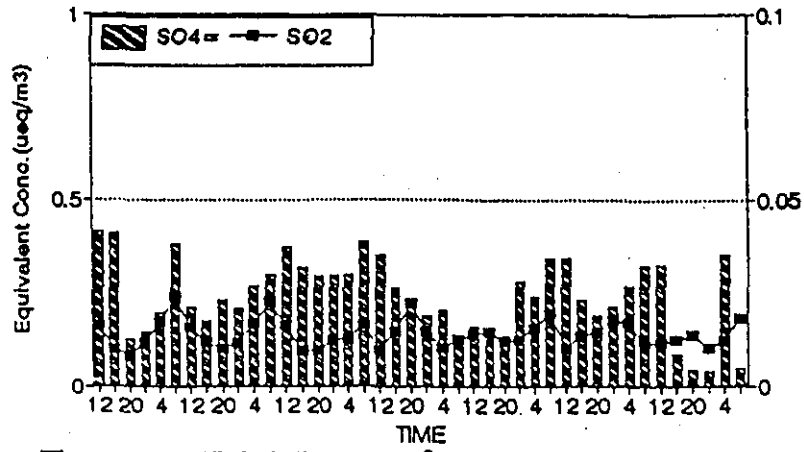


図59. SO₂濃度変化とSO₄²⁻濃度変化 ('90.8.10-8.17)

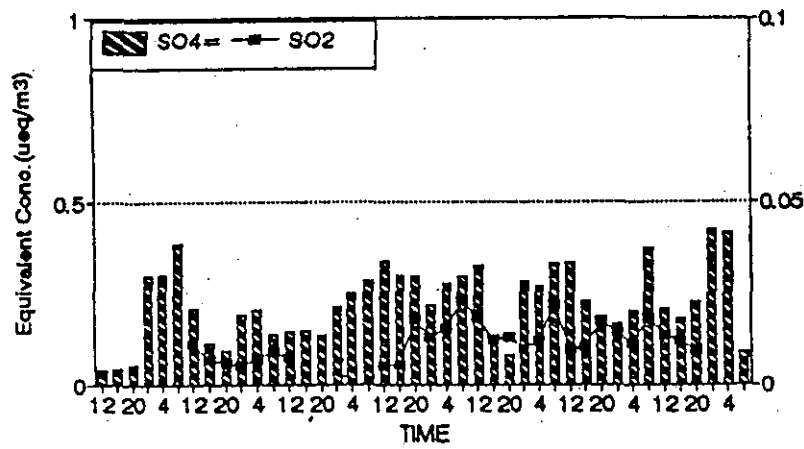


図60. SO₂濃度変化とSO₄²⁻濃度変化 ('91.6.10-6.17)

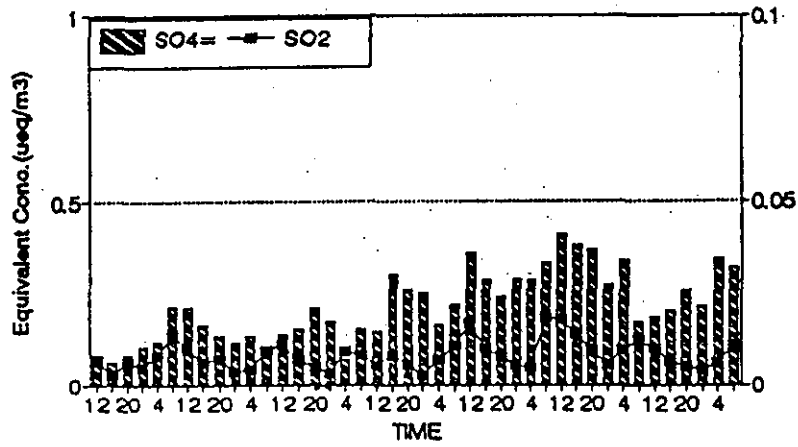


図61. SO₂濃度変化とSO₄²⁻濃度変化 ('91.8.12-8.21)

4. ソウル地域と陽平地域のエアロゾルの比較

ソウルと陽平地域のエアロゾル成分濃度を比較するために1992年6月15日から17日までの期間に二地点で同時にハイボリウムテープサンプラーを利用して6時間間隔でエアロゾルを捕集分析した。表34と35には期間中に測定したエアロゾルのイオン成分を当量濃度で示した。

エアロゾル中の総陰イオンと総陽イオンの当量濃度はそれぞれ佛光洞地点が $0.178 \mu\text{eq}/\text{m}^3$ 、 $0.227 \mu\text{eq}/\text{m}^3$ 、陽平地域が $0.122 \mu\text{eq}/\text{m}^3$ 、 $0.151 \mu\text{eq}/\text{m}^3$ でありともに陽イオンの方が多かった。

佛光洞地点の陰イオン成分中 SO_4^{2-} 78%陽イオン成分中 NH_4^+ は71.5%、 Ca^{2+} は24.5%であり、 Cl^- と NO_3^- は10%のレベルであった。陽平地域のイオン成分濃度は佛光洞の約68%前後のレベルであり NH_4^+ は87.8%、 Ca^{2+} は44.6%であった。

観測期間中の二地点での SO_4^{2-} と NH_4^+ の濃度変化を図63に示す。陽平地点での SO_4^{2-} と NH_4^+ の濃度変化は全期間で一致していた。佛光洞の場合は6月15日12時から16日12時までは二つの成分間の濃度が良く一致していたが、16日12時以降の SO_4^{2-} の濃度が高レベルとなった。この期間は佛光洞地点の Ca^{2+} 濃度が表34で示すように同時に上昇していた。これは CaSO_4 粒子が増加したことによると考えられる。また同観測期間中の佛光洞と陽平地点のエアロゾル中のイオン成分の構成特性は類似しており、時間変動についても同様の傾向が見られた。陽平地域においてはエアロゾル、特に硫酸塩粒子の排出源が近くにないためソウル地域の影響圏からの汚染物質の移流によるものと考えられる。またソウルに比べ陽平地域の SO_4^{2-} と NH_4^+ の濃度レベルが一致しているが、これはソウル郊外地域に豊富にある NH_3 ガスとの反応により硫酸アンモニウムが生成したためであり、同時に大陸地域からの移動過程で生成変換したと考えられる CaSO_4 粒子の影響がソウルに比べて相対的に小さいことによると考えられる。

表34. 佛光洞におけるイオン成分濃度

(unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

DATE	TIME	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
92. 6.15	12	0.641	0.924	4.468	0.148	0.158	1.726	0.068	1.720
	18	0.815	0.765	5.761	0.280	0.290	1.618	0.081	2.364
92. 6.16	24	0.382	0.394	3.486	0.078	0.087	0.537	0.018	1.385
	6	0.845	1.533	5.120	0.156	0.166	1.826	0.071	1.774
	12	0.808	1.511	9.820	0.174	0.184	2.353	0.110	2.836
	18	0.982	2.061	8.902	0.331	0.340	2.604	0.160	2.170
92. 6.17	24	0.571	1.199	8.394	0.228	0.238	1.131	0.091	2.906
	6	0.732	1.065	7.491	0.230	0.240	1.573	0.097	2.547
平均		0.722	1.182	6.680	0.203	0.213	1.671	0.087	2.213

表35. 陽平地域におけるイオン成分濃度

(unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

DATE	TIME	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
92. 6.15	12	0.477	0.347	1.579	0.000	0.010	0.334	0.000	0.941
	18	0.419	0.371	2.000	0.018	0.028	0.328	0.006	1.349
92. 6.16	24	0.415	0.681	4.186	0.019	0.028	0.718	0.037	1.802
	6	0.394	1.079	7.741	0.055	0.065	1.978	0.123	2.755
	12	0.403	0.934	6.730	0.018	0.028	0.959	0.073	2.369
	18	0.287	0.598	6.675	0.085	0.095	0.580	0.031	2.675
92. 6.17	24	0.287	0.824	4.678	0.037	0.046	0.330	0.018	1.771
平均		0.383	0.691	4.798	0.033	0.043	0.747	0.041	1.952

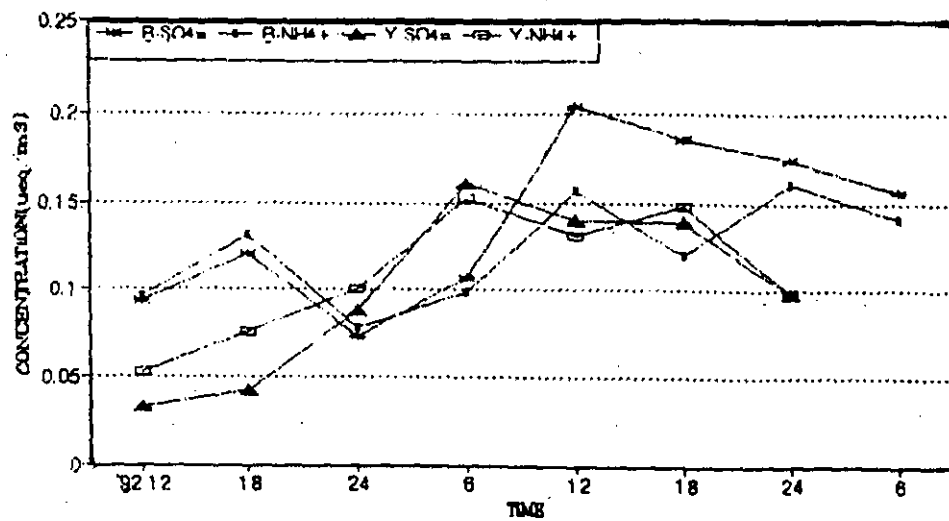


図63. エアロゾル中のイオン当量濃度

Ⅵ. 総降下粉塵量の評価

大気中の浮遊粒子は自然重力沈降やブラウン運動等により地表面と水系に沈降し沈着する。このような大気汚染物質の地表面と水系への沈降・沈着現象は、粒子状物質だけではなくガス状物質によっても起きているが、その量は相対的に小さいことが報告されている。大気中の浮遊粒子状物質の中で地表面に降下する粒子は粗大粒子が主であるが、降雨現象による洗浄作用によっても地表面や水系に大気汚染物質が付加される。降下粉塵は、測定方法により乾性沈着と湿性沈着に区別される。本調査ではダストジャーを利用して乾性沈着と湿性沈着の総量を測定した。

大気汚染物質の降下・沈着現象により水系に付加された量を推定するために、1992年5月から12月まで佛光洞と陽平で測定・分析した総降下物質量を表36、37に示す。

総降下物質中の不溶性成分量の平均は、佛光洞で $3.63 \text{ ton/km}^2/30 \text{ 日}$ 、陽平で $2.59 \text{ ton/km}^2/30 \text{ 日}$ であった。この期間においては降水量が多い6月と7月と黄砂現象期間が含まれる5月の濃度が相対的に高かった。降下物質の水溶性陰イオン成分の中で SO_4^{2-} の降下量が最も多く NO_3^- 、 Cl^- の順であり、陽イオン成分は NH_4^+ が最も多く Ca^{2+} が次いでいた。

陽平の不溶性成分降下量は佛光洞の71.3%でありエアロゾルの場合と似たレベルである、降水の比重が大きい水溶性イオン成分は、佛光洞の約50%レベルであった。従って陽平地域での乾性沈着の場合もエアロゾルの場合と同様に、ソウル地域のエアロゾルの移動現象による影響を受けていると考えられる。

ソウル市の主要上水源である漢江流域の水質管理上最も重要な意味を持っている八堂湖に対する粒子状物質等の降下・沈着量を推定するために、八堂湖の貯水面積(37.5 km^2)に表37の単位面積あたりの降下物質量をかけて算出した。八堂湖に付加する不溶性成分量は 97.1 ton/30 日 で、湖沼内生物系及び水質管理上重要な因子の一つである NH_4^+ 降下量は 8.8 ton/30 日 、 NO_3^- は 7.5 ton/30 日 でありイオン成分中最も大きい比重を占めている SO_4^{2-} 降下量は 32.4 ton/30 日 であった。

ダストジャーによる水系に付加する大気汚染物質量の推定には種々の限界があるため、今後はこれに関する測定技術の補完を行うとともに、大気汚染物質の移動現象と大気汚染物質と水系間の相互作用に関する継続的な研究、開発が必要である。

表36. 佛光洞における1992年の総降下量

(unit:ton/km³/30days)

Date	Dry Deposition	Wet Deposition							
		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
5.2 - 6.2	5.123	0.02	0.17	1.347	0.02	0.02	0.162	0.014	0.364
6.2 - 7.9	5.514	0.01	0.17	1.307	0.02	0.04	0.037	0.014	0.165
7.9 - 8.3	4.620	0.28	1.26	1.804	0.01	0.23	0.473	0.044	1.476
8.3 - 9.2	2.895	0.31	0.47	2.393	0.04	0.08	0.323	0.016	0.393
9.2 -10.7	2.266	0.04	0.16	1.281	0.01	0.06	0.204	0.013	0.123
10.7 -11.9	2.609	0.11	0.28	1.535	0.01	0.07	0.294	0.030	0.156
11.9 -12.9	2.400	0.13	0.48	3.128	0.01	0.08	0.306	0.027	0.148
Average	3.632	0.13	0.43	1.828	0.02	0.08	0.257	0.023	0.404

表37. 陽平地域における1992年の総降下量

(unit:ton/km³/30days)

Date	Dry Deposition	Wet Deposition							
		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
5.6 - 6.2	4.200	0.04	0.26	0.929	0.02	0.02	0.164	0.013	0.328
6.2 - 7.6	3.985	0.04	0.25	0.943	0.02	0.04	0.286	0.013	0.073
7.6 - 8.5	3.071	0.09	0.34	0.770	0.01	0.08	0.196	0.017	0.694
8.5 - 9.2	1.535	0.51	0.08	1.450	0.86	0.16	0.258	0.014	0.089
9.2 - 10.5	1.234	0.07	0.02	0.688	0.00	0.03	0.138	0.001	0.120
10.5 - 11.10	1.918	0.08	0.14	0.505	0.01	0.04	0.111	0.014	0.096
11.10- 12.11	2.188	0.22	0.31	0.763	0.04	0.12	0.216	0.031	0.240
Average	2.590	0.15	0.20	0.864	0.14	0.07	0.196	0.010	0.235

IX. 結論

大気汚染物質の測定・分析技術向上と大気中エアロゾルの成分変化特性、生成機構を考察するため大気汚染物質の移動現状及び大気汚染物質による水系に付加する汚染物質量を推定するため、ソウル、佛光洞、京畿道、陽平郡、陽水里、濟州道高山地点を中心にして、'90年8月から'92年12月期間について、エアロゾル及び降下物質、 NH_3 、 HNO_3 ガスの測定・分析と気象観測、大気汚染測定網資料の分析等を実施した。本調査研究を通じて得た主要研究結果を以下に示す。

1. 2段フィルターサンプラーを利用して大気中エアロゾルの捕集と同時に NH_3 と HNO_3 ガスを捕集・分析することが出来た。
2. 観測期間中佛光洞の平均濃度は SO_2 0.031ppm, TSP $84\mu\text{g}/\text{m}^3$, O_3 13ppb, NMHC 0.48ppmであった。短期間の観測では陽平地域の SO_2 が10ppb以下で、濟州高山地域は1ppb以下であった。
3. 佛光洞地点のエアロゾル陰イオン成分中には SO_4^{2-} が90%以上を占めていた。 SO_4 全体平均濃度は $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、冬期期間中の濃度は $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。
4. 陽イオン成分中 NH_4^+ の全体平均濃度は $3.49\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 Ca^{2+} は $1.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 Na^+ は $0.86\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。また NH_4^+ イオン成分が総陽イオン成分の58.7%を占めていた。
5. エアロゾルの総イオン濃度の増加は主に SO_4^{2-} と NH_4^+ によってもたらされていた。夏期には硫酸アンモニウムが主成分となり、冬期には硫酸アンモニウムと一緒に CaSO_4 、 NH_4NO_3 、 NH_4Cl 等の塩が増加することが観測された。冬期の SO_4^{2-} と NH_4^+ 濃度変化には周期性が認められた。
6. 佛光洞の NH_3 と HNO_3 の濃度分布は、それぞれ $0.46\text{--}2.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $0.0\text{--}14.78\mu\text{g}/\text{m}^3$ であったが、冬期に比べ夏期の HNO_3 濃度が1.5倍程度高かった。夏期の HNO_3 濃度はエアロゾルの NO_3^- 濃度と逆相関関係を示し、硝酸アンモニウムの分解反応が進行していることを示唆された。
7. 濟州道高山観測は北西風の気流が流入する時に SO_4^{2-} 成分等の濃度が増加していた。また海塩粒子と土壌粒子の変換粒子である Ca^{2+} と Cl^- を主成分にする粒子の増加が観測された。
8. ソウル地域で冬期に発生した高濃度硫酸塩粒子は SO_2 濃度の変化様相と異なり、偏西風により外部から流入移動される過程で SO_2 ガスが反応・変換して生成した硫酸塩粒子の影響を

受けたと推定できた。

9. 陽平地域のエアロゾルイオン成分濃度は佛光洞の約68%で、イオン成分の構成特性は佛光洞と類似していた。ソウル地域からのエアロゾル移動現象が陽平地域のエアロゾル濃度変化に影響を及ぼしていることがわかった。
10. 陽平地域の不溶性成分の降下量は佛光洞の71%程度であり、大気汚染物質の八堂湖の貯水面積(37.5km²)に降下する量は不溶性成分97.1ton/30日, NH₄⁺ 8.8ton/30日, NO₃ 7.5ton/30日, SO₄²⁻ 32.4ton/30日と算出された。

参考文献

1. 이민희, 한의정, 한진석 등(1986), 대기중 에어로졸 동태에 관한 조사연구, 국립환경연구원.
2. 이민희, 한의정, 신찬기, 한진석등(1987), 대기중 입자상물질의 생성 및 동태에 관한 연구, 국립환경연구원.
3. 한의정, 신찬기, 한진석, 박태술등(1991), 도시대기질 개선에 관한 연구, 국립환경연구원.
4. 중앙기상대(1982), 한국기후표.
5. 환경처(1992), 환경연감.
6. 기상청(1992), 기상연보.
7. 기상청(1992), 기상월보.
8. 박경윤 등(1992), 한국대기보전학회 요지문.
9. 양평균(1991), 양평군백서.
10. 건설부(1992), 도로교통량 통계연보.
11. 통계청(1992), 한국통계전산정보시스템(KOSIS).
12. 坂本和彦(1981), 浮遊粒子状物質に関する文献学的調査, 日本科学技術情報センター、環境庁委託調査報告書, 89-96.

13. Appel, B.R., L.K. Evaldo, M.H. Emanuel, M.H. George and W. Jerome(1978), Sulfate and Nitrate Data from the California Aerosol Characterization Experiment (ACHEX), Environ. Sci. Technol., 12(4), 418-425
14. Appel, B.R., S.M. Wall, Y. Takiwa and M. Haik(1980), Simultaneous Nitric Acid, Particulate Nitrate and Acidity Measurements in Ambient Air, Atmos. Environ., 14, 549-554.
15. Calver, J.G., W.R. Stockwell(1983), Acid generation in the troposphere by gas-phase chemistry, Environ. Sci. Technol., 17(9), 428A-443A.
16. Middleton, P. and C.S. Kiang(1979), Relative importance of Nitrate and Sulfate Aerosol Production Mechanisms in Urban Atmospheres, Ann Arbor Science, 269-288.
17. Miford, J.B. and C.I. Davison(1987), The sizes of Particulate Sulfate and Nitrate in the Atmosphere- A Review, JAPCA, 37(2), 125-133.
18. Miller, D.F. and C.W. Spicer(1975), Measurement of Nitric Acid in smog, JAPCA, 25(9), 940-942.
19. Orel, A.E. and H. Seinfeld(1977), Nitrate Formation in Atmospheric Aerosols, Environ. Sci. Technol., 11, 1000-1007.
20. Sander, S.P. and J.H. Seinfeld(1976), Chemical Kinetics of Homogeneous Atmospheric Oxidation of SO₂, Environ. Sci. Technol., 10-(12), 1114-1123.
21. Spicer, C.W., J.E. Howes, Jr. T.A. Bishop and L.H. Arnold and R.K. Stevens(1982), Nitric Acid Measurement Methods : An Intercomparison, Atmos, Environ., 16(6), 1487-1500.
22. Jon. W(1978), Measurement of the Filtration Efficiencies of Selected Filter Type, Atmos. Environ., 12, 2015-2019.
23. Tesch, J. (1979), Selective Collection and Measurement of Particulate Nitrate and Gaseous HNO₃ in Ambient Air, EPA-600/2-79-051, 67-77.

24. 김양균 외20인(1990), 대기오염물질의 장거리이동과 산성비 강하에 관한 연구(Ⅱ), 과학기술처.
25. 강인구 외20인(1991), 대기오염물질의 장거리이동과 산성비 강하에 관한 연구(Ⅲ), 과학기술처.
26. Y. Mamame and J. Gottlieb(1992), Nitrate Formation on sea-salt and mineral particles-A single Particle Approach, Atmospheric Environ., 26A-9, 1763-1769.
27. H. Ueda, S. Komori and K. Fukui(1988), 에어로졸研究、大氣汚染長距離運送時のエアロ졸挙動, NIES 3(3), SR-7-'91, 178-186.
28. I. Uno, S. Wakamatsu(1990), 公害と対策, 浮遊粒子状物質中の二次粒子の生成と大氣中の挙動, NIES 26(2), SR-7-'91, 49-54.
29. S. Wakamatsu, I. Uno and K.L. Schere(1988), Application of a three dimensional photochemical smog formation model to the Tokyo Metropolitan area, Air pollut., Modeling & Its Application, NIES VI 26(2), SR-7-'91, 259-270.
30. 環境庁国立環境研究所(昭和61年度-平成元年度), 雲物理過程を伴う列島規模大氣汚染に関する研究, SR-7-'91.

漢江流域을 中心으로 한 環境管理 技術開發

— 大氣汚染物質의 移動과 降下에 關한 研究 —

A Development of the Environment Management Technics for the Han River Basin

— Transport of Air Pollutants and Resultant Deposition —

韓國側 研究者

國立環境研究院 大氣研究部長：姜寅求

大氣化學研究(擔)：韓義正, 韓振錫, 辛燦基
朴泰術, 崔守彥, 權坪洙

大氣物理研究(擔)：張聖基, 金正洙, 柳承道

日本側 研究者

國立環境研究所 地域環境研究group部長：內藤正明

都市大氣保全研究 team：若松伸司, 鷺野伊津志

福岡縣 保健環境研究所 環境科學部 大氣課：宇都宮彬

長崎縣 衛生公害研究所 公害研究部 大氣課：山下敬則, 森 淳子

Korean researcher

N.I.E.R Air Quality Research Department Director : I.G.KANG

Atmospheric Chemistry Division : E.J.HAN, J.S.HAN, C.K.SHIN,
T.S.PARK, S.U.CHOI, P.S.KWON

Atmospheric Physics Division : S.G.CHANG, J.S.KIM, S.D.YU

Japanese researcher

N.I.E.S Reginal Environment Division Director : M.NAITHO

Urban Air Quality Research Team : S.WAKAMATSU, I.UNO

FUKUOKA I.H.E.S Environment Science Research Department : A.UTSUNOMIYA

NAGASAKI I.P.H.E.S Pollution Research Department : T.YAMASHITA, A.MORI

國立環境研究院

【平成6年9月27日編集小委員会受理】

〔国立環境研究所資料 F-67-'94/NIES〕

漢江流域の環境汚染管理に関する研究
—大気汚染物質の移動と降下に関する研究—

問い合わせ先：地域環境研究グループ 若松伸司
または、福岡県保健環境研究所 宇都宮彬

平成6年11月10日発行

発行 環境庁 国立環境研究所
〒305 茨城県つくば市小野川16番2
電話 0298-51-6111

印刷 株式会社 イセブ
住所 つくば市天久保2-11-20