

酸性雨の化学組成とモニタリング

CHEMICAL COMPOSITION AND MONITORING OF ACID RAIN

山口晴幸* 小林弘樹* 福田誠** 黒島一郎**

Hareyuki YAMAGUCHI, Hiroki KOBAYASHI, Makoto FUKUDA, Ichirou KUROSHIMA

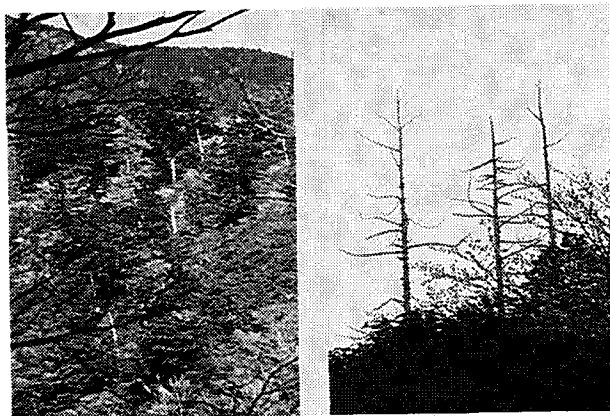
ABSTRACT; pH-values of the rainfalls sampled at Yokosuka city, Kanagawa Prefecture have been observed in about two years since May, 1991. In addition, by using liquid chromatograph apparatus, the chemical microanalyses for several anions of Cl^- , NO_2^- , NO_3^- and SO_4^{2-} were carried out on the some of rainfalls and snowfalls sampled at Kantou and Jyoutetsu districts. Based on the observation of pH and results of chemical microanalyses, some discussions are performed about the real conditions of acid rain in Kantou and Jyoutetsu districts and the anion-composition of rainfalls and snowfalls. Observation at Yokosuka city shows that the acid rain whose pH is less than 5.6 accounts more than about 70 % frequency of all the rainfalls during 1992. The frequency of acid rain increases every year. It is also found that almost of the rainfalls and snowfalls at Kantou and Jyoutetsu districts have the concentrations of NO_3^- less than 5 ppm and SO_4^{2-} less than 10 ppm.

KEYWORDS; Acid rain, chemical composition, ion chromatograph, rainfall, snowfall.

1. 緒言

昨年6月ブラジルリオデジャネイロで開催された「環境と開発に関する国際会議」(地球サミット)には、172の国と機関が参加し、地球環境を守る憲法「リオデジャネイロ宣言」とその実行計画「アジェンダ21」が採択され、温暖化防止条約や生物多様性条約等の国際条約と法律の調印がなされたのは周知の通りである。また政府間会議と並行して、市民版の地球サミットと言われる「'92グローバルフォーラム」も開催され、地球環境を守る問題が市民レベルまで、世界的に浸透していることが実証された。我国においては、本年6月に、水鳥の生息する湿地帯を開発から守り、その環境保全を目的としたラムサール条約の締約国会議が釧路市で、またリオデジャネイロでの地球サミットを受け、特に、ごみ投棄による海洋汚染、酸性雨、熱帯林乱伐などの問題をテーマとした「アジア・太平洋環境会議」(エコ・アジア'93)が千葉市の幕張メッセで開催される。このように、自然を守ることが人類にとっていかに重要であるかということから、地球規模的に自然環境を守り、環境破壊問題を地球規模的に検討することが、増々、加速されることになるであろう。

本研究では、首都圏周辺における酸性雨の問題を取り挙げる。我国においても、酸性雨によると思われるモミの木や杉の木の立ち枯れが報告されており(写真-1)、特に大都市周辺ではそのような地域が年々拡大する



神奈川県丹沢山系大山

埼玉県東松山市箭弓稻荷神社

写真-1 モミと杉の木々の立ち枯れ

*: 防衛大学校土木工学教室、Department of Civil Engineering, The National Defense Academy.

** : 三井建設株式会社、Mitsui Construction Company.

傾向にあることが指摘されている^{1)～3)}。また、銅像や彫刻等の貴重な文化財遺産への影響も懸念され⁴⁾、酸性雨問題に対する早急な行政的対策の必要が問われている。

本論文では、東京湾周辺での降雨や積雪についてのpH測定に加え、酸性雨の元凶と言われている硝酸イオン(NO_3^-)と硫酸イオン(SO_4^{2-})等の陰イオンの定量微量分析を実施し、化学組成レベルから酸性雨のモニタリング結果について考察する。さらに、上越線に沿って、太平洋側から日本海側の各地点で深さ方向に採取した積雪の化学組成分析結果より、日本海側では SO_4^{2-} 、太平洋側では NO_3^- が酸性雨の主因と言われている

表-1 調査地点とサンプルの状況 (番号は図-13中の番号にも対応する)

番 号	サンプル	pH値	サンプリングの地点	サンプリング の時期	備 考
P-1*	降雪(A)	5.8	新潟県佐渡郡金井町新保平スキー場付近	H5.3.14	・サンプリング地点の標高約510m。 ・降雪は3月13日のものをサンプリング。 ・(A)と(B)のサンプリング地点間の距離約1km。 ・サンプリング地点での積雪量約40～60cm。
	降雪(B)	5.0			
	積雪(A)	5.2～6.1			
	積雪(B)	5.1～5.7			
P-2	降 雨	4.6	新潟県佐渡郡外木町フェリー乗り場付近	H5.3.15	・AM7:30～8:00間の降雨をサンプリング。
P-3*	積 雪	5.3～5.7	新潟県JR越後堀之内駅付近、魚之川河川敷	H5.3.15	・サンプリング地点での積雪量約70～80cm。
P-4*	降 雪	5.3	新潟県六日町、JR六日町駅前	H5.3.16	・AM2:00～7:00間の降雪をサンプリング。
	積 雪	4.9～5.9	新潟県六日町、JR六日町駅付近、坂戸塚神社境内	H5.3.15	・サンプリング地点での積雪量約70～80cm。 ・サンプリング地点には、多数の木が育成していた。
P-5*	降 雪	5.1	新潟県越後中里、JR中里駅前、	H5.3.16	・AM8:30～9:30間の降雪をサンプリング。
	積 雪	4.9～5.6	越後中里スキー場付近		・サンプリング地点での積雪量約150～170cm。
P-6*	降 雪	4.8	群馬県水上町、谷川岳、天神平スキー場内	H5.3.16	・降雪は12:30～13:00の間をサンプリング。 ・サンプリング地点の標高約1300m。 ・サンプリング地点での積雪量約5m。
	積 雪	4.9, 5.0			
P-7	降 雪	4.5	群馬県水上町、JR水上駅付近利根川河川敷	H5.3.16	・降雪は14:45～15:30の間をサンプリング。 ・P-6*と標高差が約1000m程度である。
P-8	降 雪	5.3	群馬県、上毛高原JR新井駅駅前	H5.3.17	・降雪は3月16日のものをサンプリング。 ・JR大清トンネルを抜けた群馬県側。
P-9	降 雨	6.5	埼玉県大里郡寄居町、JR居町駅付近	H5.3.28	・降雨は15:00～16:00の間をサンプリング。
P-10	降雨(A)	6.9	埼玉県東松山市、JR東松山駅付近、 箭弓沼神社境内	H5.3.28	・降雨は13:30～14:00の間をサンプリング。 ・酸性雨の影響と思われる、杉の立枯れが観察される。
	降雨(B)	6.7			・雨どいを溜めた降雨の溜水。
P-11	降 雪	6.0	千葉県習志野市津田沼、JR津田沼駅付近	H5.3.12	・AM11:00～11:30間の降雪をサンプリング。 ・都内では、季節外れの大雪となる。
P-12	降 雪	6.3	東京都、JR東京駅裏、丸の内北口、皇居前	H5.3.12	・12:00～12:30間の降雪をサンプリング。
P-13	降 雪	6.3	東京都品川、JR品川駅付近	H5.3.12	・13:00～13:30間の降雪をサンプリング。 ・降雪はみぞれきみ。
P-14	降 雨	5.7	神奈川県、川崎市、 京浜川崎駅付近の神社の境内	H5.3.12	・14:00～14:30間の降雨をサンプリング。 ・降雨はみぞれきみ。
P-15	降 雨	5.9	神奈川県横浜、JR横浜駅西口前	H5.3.12	・14:50～15:20間の降雨をサンプリング。 ・降雨はみぞれきみ。
P-16	降 雨	4.4	神奈川県横浜、市走水、観音崎公園付近	H5.3.12	・降雨は3月12日のものをサンプリング。
P-17	降 雨	4.3	神奈川県伊勢原市、 丹沢山系大山、咲見台付近	H5.3.6	・酸性雨の影響と思われる、モミの原生林の 立枯れがよく観察できる。
P-18*	積 雪	4.7 4.8	静岡県裾野市、須走登山道5合目付近、 富士山南東斜面	H5.3.22	・サンプリングの地点は、標高約1250m。

真意について定量的に考察を試みる。

2. 調査

酸性雨の調査地点とサンプリング状況を表-1にまとめている(図-13参照)。調査地点は東京湾周辺と上越線沿いの18箇所とした。*印を付した番号の地点では、直接降った雨や雪(降雨、降雪)に加え、冬季に積もった雪(積雪)を深さ方向に採取している。サンプリング時期は

いずれも本年3月中であるが、P-16地点では、平成3年5月～平成5年3月末日までの3箇所所で採取した降雨の長期モニタリングの結果も提示する。P-11～P-16地点でのサンプルは、時間差は有るが、同一日のものであり、東京湾沿いでの降雨の化学組成を調べる一助となる。なお、P-10とP-17地点では、杉やモミの木が実際に立ち枯れており(写真-1)、酸性雨の影響が懸念されている地点である。

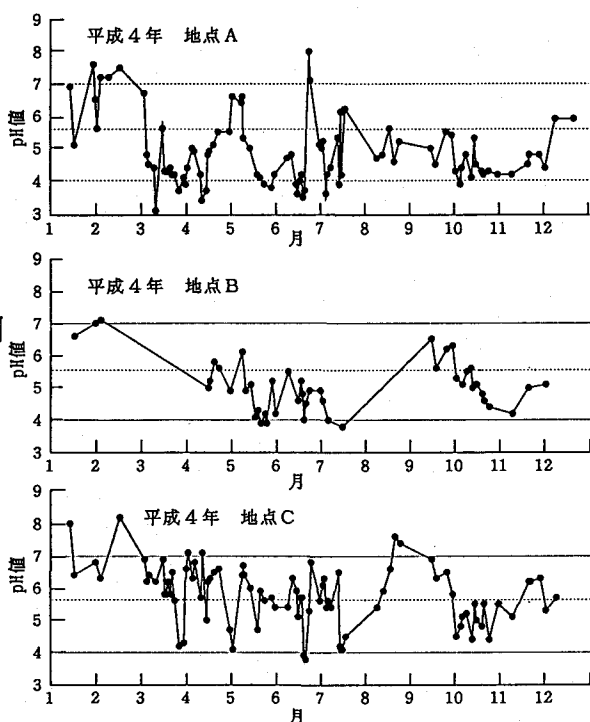


図-1 平成3と4年の降雨のpH値

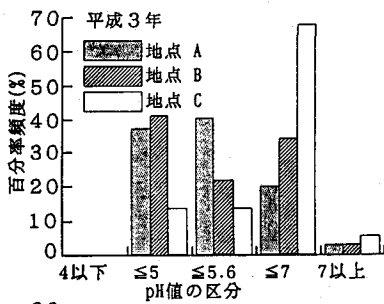
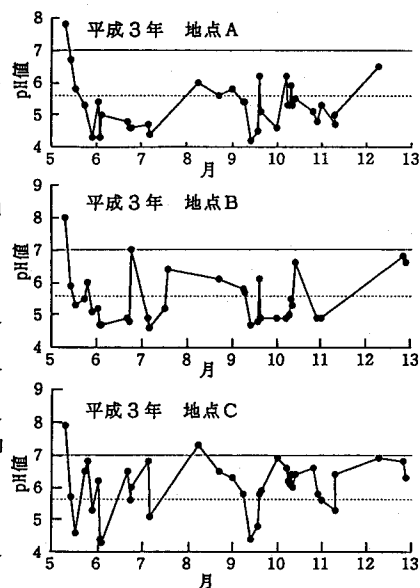


図-2 酸性雨の頻度状況

3. イオンクロマト分析条件

イオン交換クロマトグラフィーによる微量分析技術を導入して、雨水

と雪水中のフッ素イオン(F⁻)、塩素イオン(Cl⁻)、亜硝酸イオン(NO₂⁻)、硝酸イオン(NO₃⁻)、硫酸イオン(SO₄²⁻)の5種類の陰イオンの定量分

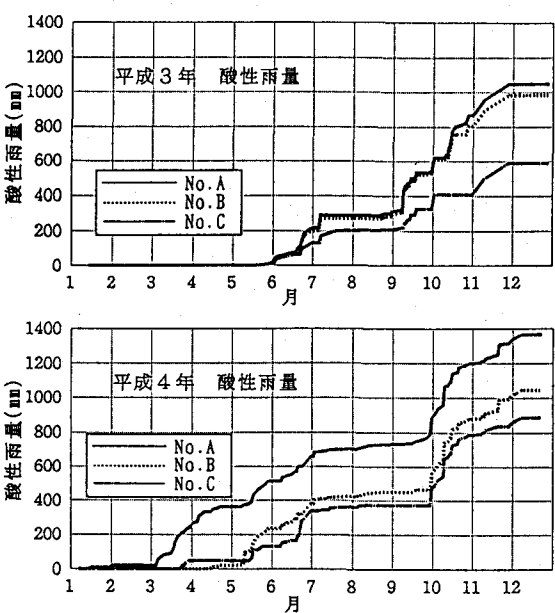


図-4 酸性雨の年間累積量

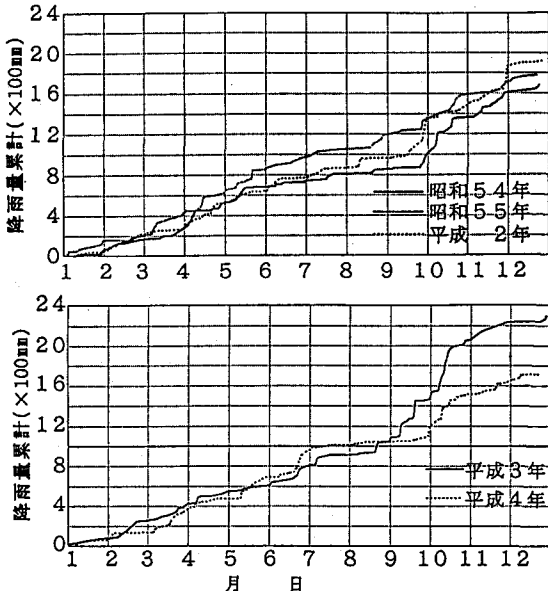


図-3 近年の年間累積日降雨量

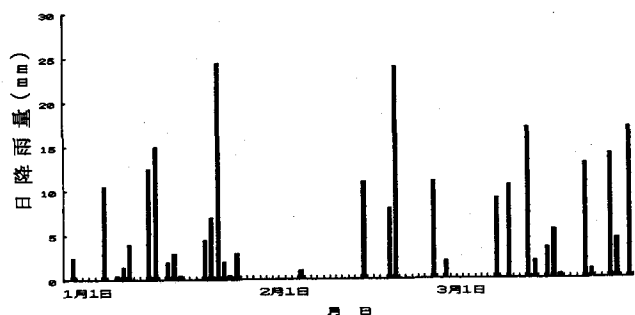


図-5 平成5年3月末日までの日降雨量

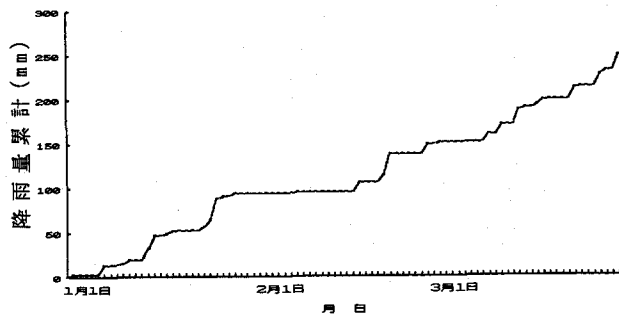


図-6 平成5年3月末日までの累積日降雨量

析を行った。第4級アンモニウム基を交換基としてポリアクリレート樹脂を充填した無機イオン分離カラムを用いた。移動相としては、2.5mMのフタル酸と2.4mMのトリス（ヒドロキシルメチル）アミノメタンを混合した希薄溶液を用いた。トリスアミノメタンは移動相のpHを4.0に調整する役割がある。移動相に用いた水は電導度約 $1\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下のイオン交換を行った蒸留水を用いた。また、移動相は空気中の炭酸ガスを吸収し易いため、炭酸ガストラップをリザーバに取付けて分析を行った。

4. 横須賀地域での降雨のモニタリング状況

横須賀地域（図-13でのP-16地点）での降雨の採取を平成3年5月から3箇所（A,B,C地点）で開始している。3箇所の採取地点は三浦半島の東京湾沿いに位置し、標高約80mの高台である。3地点は互いに約300～500m離れており、AとB地点は約10mの建物の屋上に、C地点は木々に囲まれた地上に集水器をセットしている。平成4年まではpHのみを降雨のたびに測定していたが、平成5年からの降雨

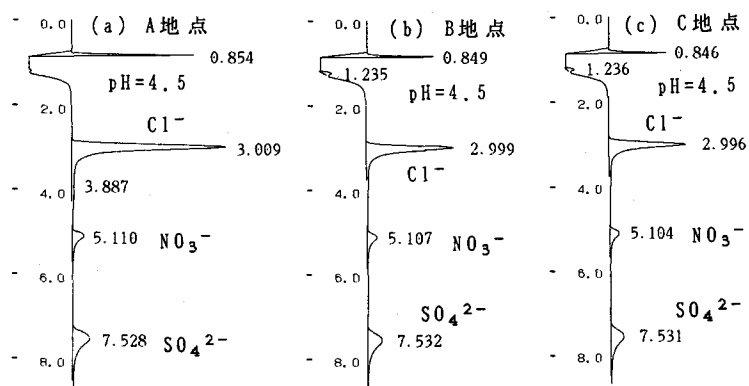


図-7(a) 平成5年1月15日の降雨の陰イオン分析

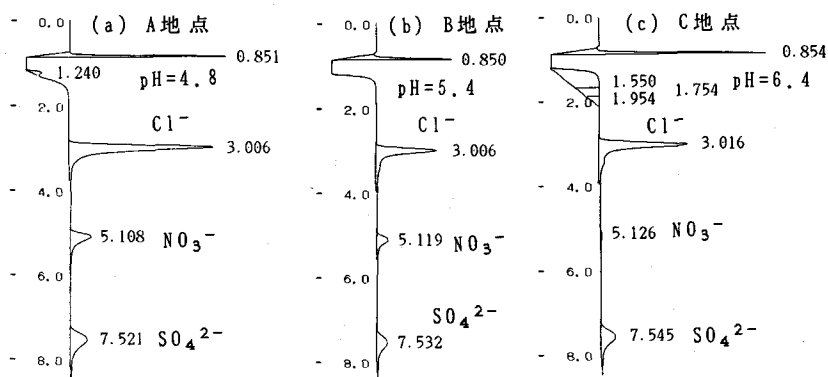


図-7(b) 平成5年2月28日の降雨の陰イオン分析

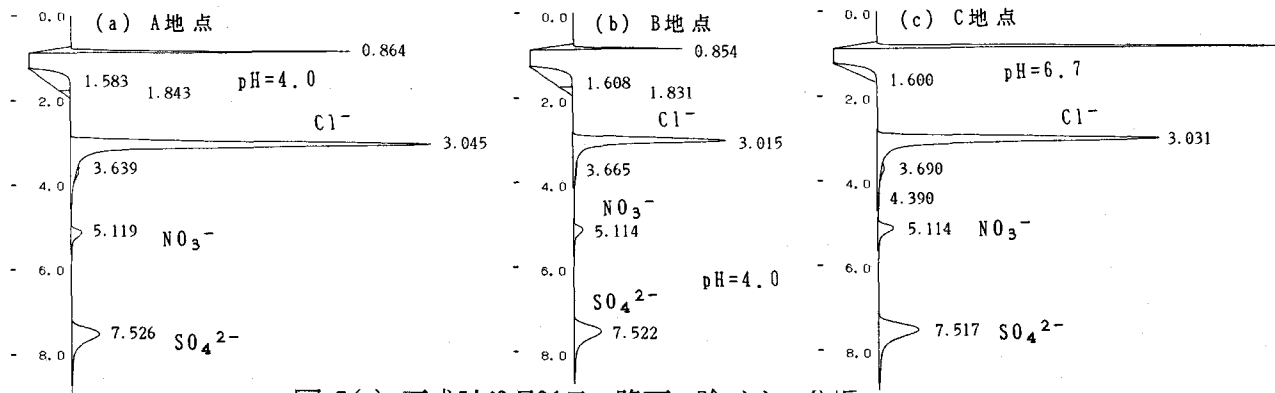


図-7(c) 平成5年3月31日の降雨の陰イオン分析

(C地点では一部) については、同時に陰イオンの定量分析を開始した。図-1は平成3年と4年の降雨のpHの状況を示している。横須賀地域での降雨には、pH5.6以下の酸性雨がかなりの頻度で測定される。平成3年から4年に至るに従い酸性雨の頻度は徐々に増している。図-2に示すように、特に、AとB地点での降雨では、pH5.6以下の酸性雨の頻度が平成4年では70～80%以上に達している。平成3年から4年でのpHの年間の平均値はA地点で5.3から4.9、B地点で5.5から5.1、C地点で6.0から5.8となっている。

図-3と4には、年間の日降雨量の累積（昭和54,55と平成2年を並記）と、pH5.6以下の日降雨量を累積した酸性雨量を示している。測定地域での年間の降雨量は約1700～2000mmであるが、それに占めるpH5.6以下の酸性雨量は600～1000mmに達しており、年間の降雨量の概ね50～70%を占めている。

このように、横須賀地域でも、深刻な酸性雨の問題が懸念される。そこで、さらに、酸性雨の元凶に定量的に迫るために、平成5年1月からの降雨については、イオンクロマトグラフィーの微量分析技術を導入し、フッ素イオン(F⁻)、塩素イオン(Cl⁻)、亜硝酸イオン(NO₂⁻)、硝酸イオン(NO₃⁻)、硫酸イオン(SO₄²⁻)の5種類の無機陰イオンの定量分析を実施し、化学組成レベルから酸性雨のモニタリングを開始している。図-5と6には、平成5年1月から3月末日までの日降雨量の状況とその累積を示している。また、3箇所(A,B,C地点)でのイオンクロマトグラフィーによる陰イオンの定量微量分析結果を図-7～10と表-2にまとめている。AとB地点では、降雨のたびに、C地点では、代表的降雨についてイオン分析を試みている。平成5年3月末日までには約250mmの降雨量がある(図-6)。その降雨は、図-8(a),9(a),10(a)に示すように、pH5.6以下の酸性雨の頻度が年々増し、特に、AとB地点では95%以上の頻度で酸性雨が観測されている。

1,2,3月での代表的降雨日での3地点でのクロマトグラフィーのチャートを例示した図-7に見られるように、横須賀地域での降雨中の陰イオンはCl⁻,NO₃⁻,SO₄²⁻が主成分となっている。そこで、図-7～

表-2(a) 降雨の陰イオン分析結果 (A地点)

月日	イオン濃度 (ppm)			イオン含量 (ppm)		pH値
	① Cl ⁻	② NO ₃ ⁻	③ SO ₄ ²⁻	①+②+③	②+③	
1. 4	82.22	16.10	37.56	135.88	53.66	5.6
1. 6	10.44	3.83	7.30	21.57	11.13	5.3
1. 7	11.52	1.19	4.14	16.85	5.33	4.7
1. 9	14.08	3.66	8.13	25.87	11.79	4.5
1.11	5.17	4.07	5.96	15.20	10.03	4.5
1.15	8.73	1.98	3.46	14.17	5.44	4.5
1.16	14.10	3.59	7.95	25.64	11.54	4.8
1.17	-	-	-	-	-	-
1.18	3.17	2.20	3.21	8.58	5.41	4.5
1.23	7.66	3.92	5.27	16.85	9.19	4.7
1.24	10.88	2.08	5.51	18.47	7.59	4.6
1.25	24.62	0.63	4.61	29.86	5.24	4.7
1.27	9.22	7.10	6.43	22.75	13.53	4.0
2. 7	-	-	-	-	-	-
2.16	13.27	8.02	15.40	36.69	23.42	5.5
2.17	7.42	1.48	4.92	13.82	6.40	5.0
2.21	2.73	1.78	2.76	7.27	4.54	4.6
2.28	8.01	3.59	3.45	15.05	7.04	4.8
3. 1	23.15	9.97	10.05	43.17	20.02	4.2
3. 7	15.93	8.44	6.08	30.45	14.52	4.3
3. 9	12.34	8.00	6.97	27.31	14.97	4.2
3.12	6.60	2.29	3.93	12.82	6.22	4.4
3.15	-	-	-	-	-	-
3.18	21.81	14.69	9.69	46.19	24.38	4.4
3.19	13.80	12.85	5.04	31.69	17.89	4.1
3.24	2.87	5.60	3.43	11.90	9.03	4.3
3.25	10.79	11.82	8.34	30.95	20.16	4.1
3.28	3.38	3.52	4.50	11.40	8.02	4.1
3.30	10.47	2.54	3.66	16.67	6.20	4.2
3.31	20.04	1.65	5.23	26.92	6.88	4.0

表-2(b) 降雨の陰イオン分析結果 (B地点)

月日	イオン濃度 (ppm)			イオン含量 (ppm)		pH値
	① Cl ⁻	② NO ₃ ⁻	③ SO ₄ ²⁻	①+②+③	②+③	
1. 4	7.91	3.28	10.31	21.50	13.59	6.5
1. 6	7.56	2.95	7.46	17.97	10.41	5.4
1. 7	8.64	1.14	3.89	13.67	5.03	4.9
1. 9	9.47	2.92	7.59	19.98	10.51	4.8
1.11	5.22	3.64	5.95	14.81	9.59	4.6
1.15	4.81	1.71	3.01	9.53	4.72	4.5
1.16	7.22	2.68	5.94	15.84	8.62	3.1
1.17	-	-	-	-	-	-
1.18	3.19	2.35	3.46	9.00	5.81	4.7
1.23	4.23	2.56	4.32	11.11	6.88	5.4
1.24	5.44	1.39	4.00	10.83	5.39	5.3
1.25	7.59	0.37	2.06	10.02	2.43	5.0
1.27	4.66	5.57	4.89	15.12	10.46	4.0
2. 7	73.93	16.67	22.75	113.35	39.42	6.5
2.16	8.64	5.03	7.78	21.45	12.81	6.1
2.17	2.02	0.70	1.81	4.53	2.51	4.9
2.21	2.94	1.29	1.98	6.21	3.27	4.7
2.28	3.39	1.67	1.92	6.98	3.59	5.4
3. 1	14.07	8.61	7.97	30.65	16.58	4.4
3. 7	9.88	5.57	4.62	20.07	10.19	4.9
3. 9	8.05	5.79	5.54	19.38	11.33	4.5
3.12	5.57	2.24	3.98	11.79	6.22	4.6
3.15	-	-	-	-	-	-
3.18	12.09	12.19	8.17	32.45	20.36	5.2
3.19	12.91	10.41	4.47	27.79	14.88	5.0
3.24	1.59	3.39	2.86	7.84	6.25	5.0
3.25	14.80	10.56	8.28	33.64	18.84	3.3
3.28	3.22	2.95	4.16	10.33	7.11	4.2
3.30	7.34	1.61	2.89	11.84	4.50	4.4
3.31	8.37	1.48	5.10	14.95	6.58	4.0

10と表-2にまとめた陰イオン分析結果に基づいて、横須賀地域での測定範囲内での降雨の陰イオン化学組成の主な特徴について要約する。①気象条件や季節的影響があると思われるが、陰イオンの組成は、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} が主体であるが、測定地点が東京湾に面していることから、

表-2(c) 降雨の陰イオン分析結果 (C地点)

月日	イオン濃度 (ppm)			イオン含量 (ppm)		pH 値
	① Cl^-	② NO_3^-	③ SO_4^{2-}	①+②+③	②+③	
1.15	4.31	1.54	2.63	8.48	4.17	4.5
2.28	4.97	0.32	2.63	7.92	2.95	6.4
3.7	11.64	4.13	6.08	21.85	10.21	6.6
3.9	5.73	4.91	4.80	15.44	9.71	4.4
3.12	4.64	1.99	3.37	10.00	5.36	5.0
3.30	9.79	2.68	6.51	18.98	9.19	6.1
3.31	15.72	2.43	7.61	25.76	10.04	6.7

Cl^- 濃度が非常に高く、10ppm以上を示す降雨が大部分を占めている。②酸性雨の元凶と言われている NO_3^- と SO_4^{2-} がいずれの降雨にも観測され、ほとんどの降雨において、 NO_3^- に比較して SO_4^{2-} 濃度が高い。③降雨によって NO_3^- と SO_4^{2-} 濃度はかなり異なる。 NO_3^- 濃度は5ppm範囲、 SO_4^{2-} 濃度は10ppm範囲の降雨が多いが、両イオン濃度が10ppm以上の降雨もしばしば観測される。④降雨のpHが異なっても、pHに呼応した明瞭な傾向は NO_3^- と SO_4^{2-} 濃度には認められない。例えば、図-7に例示しているように、pH5.6以上の降雨と以下の酸性雨での NO_3^- と SO_4^{2-} 濃度には、あまり大きな差異は認められない。⑤3箇所の地点は互いに300～500m離れている程度であるが、採取した降雨のpHや陰イオン濃度にかなり相違のある場合があり、降雨の陰イオン組成に比較的敏感に採取地点の影響が現れる。

5. 関東・上越周辺広域モニタリング

表-1に示したように、平成5年3月中旬から下旬に東京湾周辺と富士山南東斜面等及び上越線に沿って佐渡

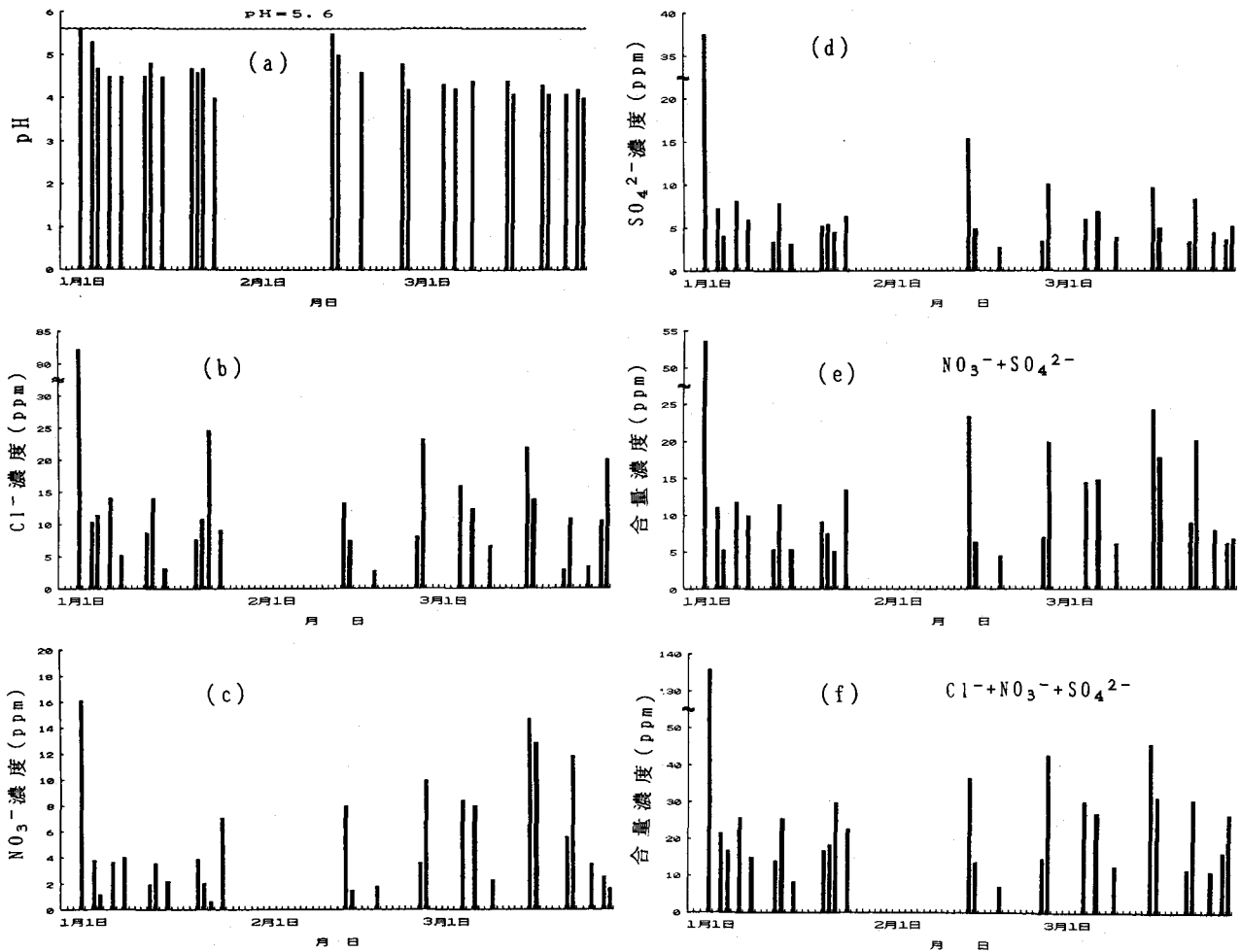


図-8 A地点での降雨のpH値と陰イオン組成

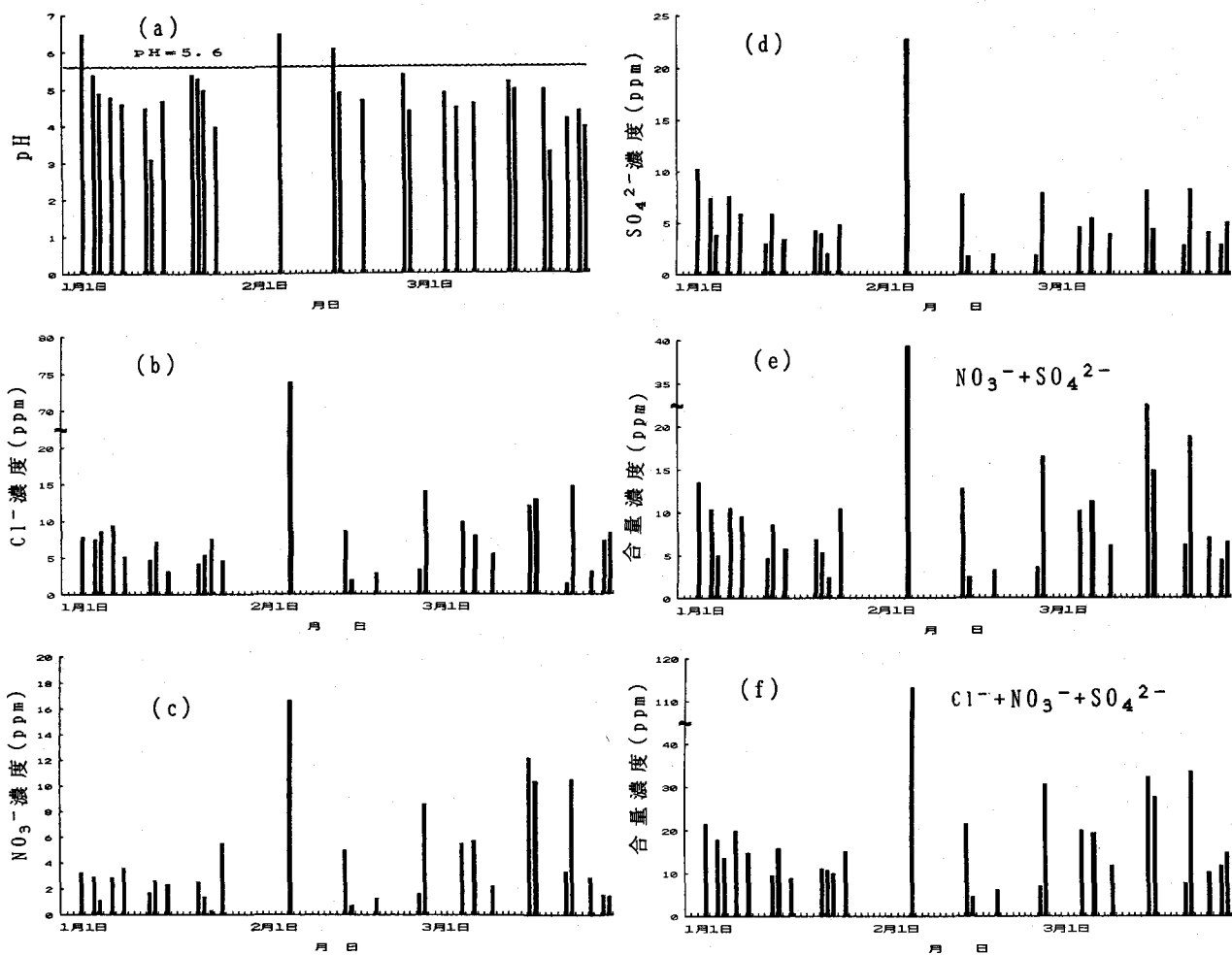


図-9 B地点での降雨のpH値と陰イオン組成

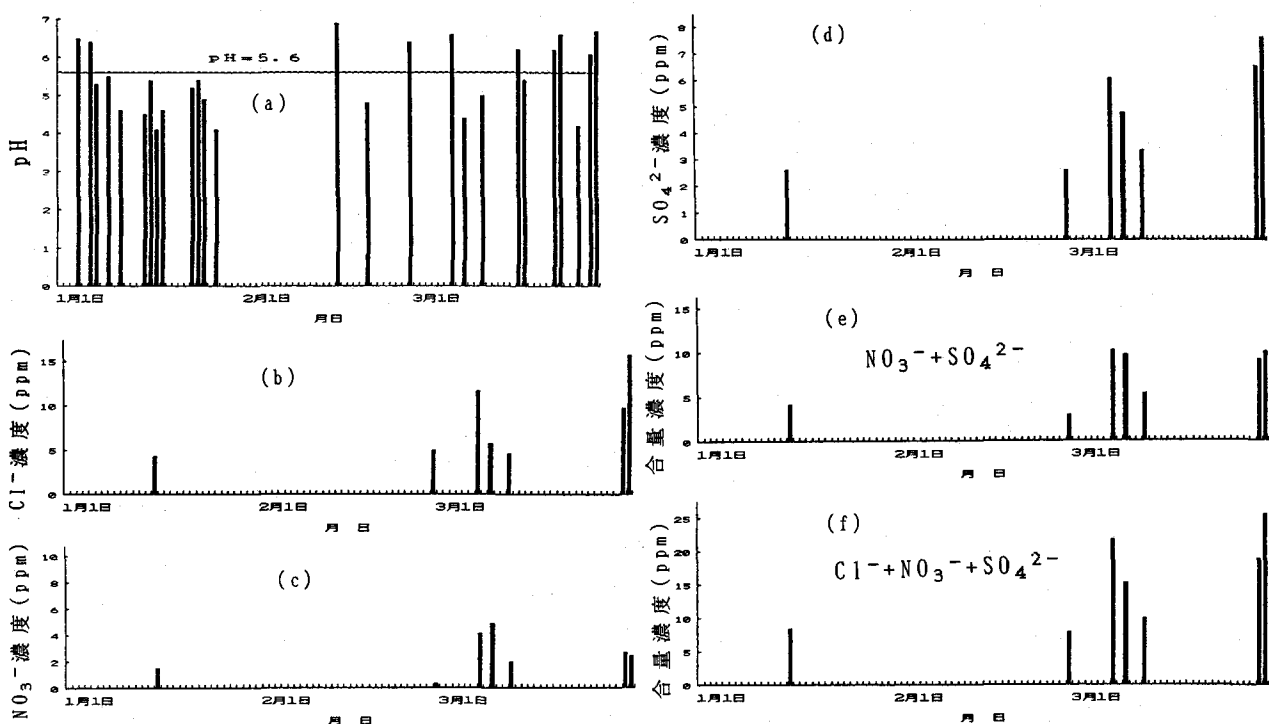


図-10 C地点での降雨のpH値と陰イオン組成

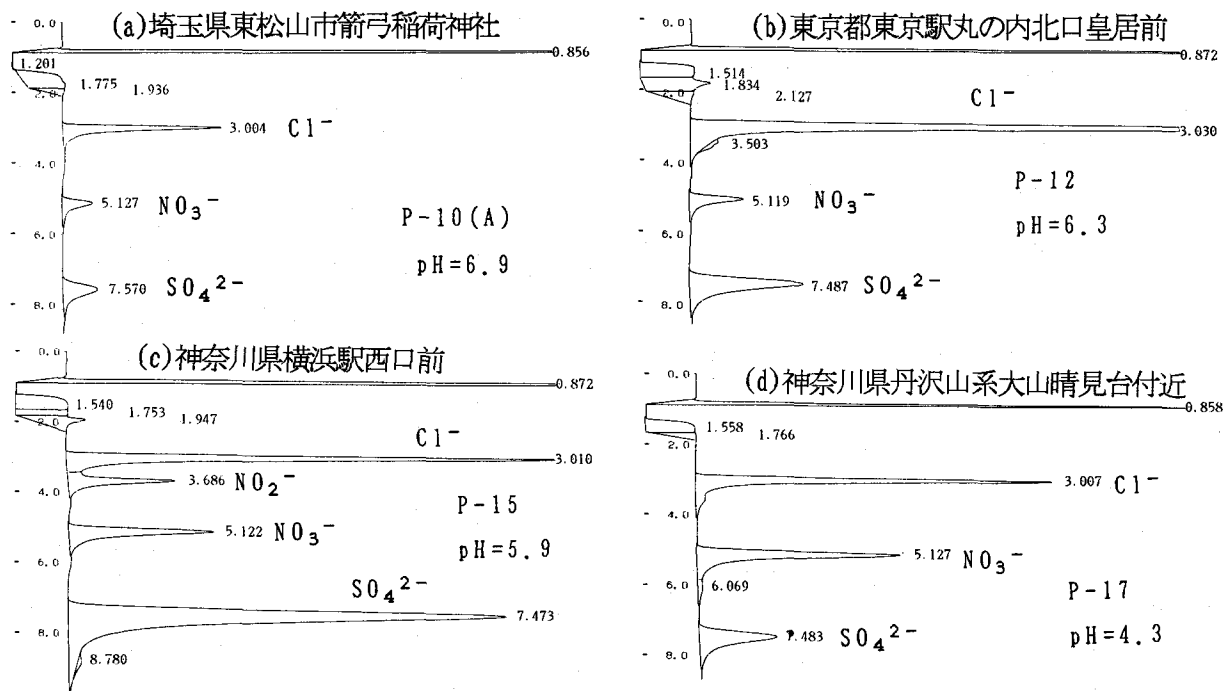


図-11 関東周辺の代表的地点での陰イオン分析結果

に至る範囲で、降雨と降雪及び積雪を深さ方向に亘って採取し、陰イオン分析を実施した。その結果を図-11～14に示している。まず、3月中旬～下旬にかけての降雨と降雪に着目する。東京湾沿いで、採取した3月12日の降雨と降雪(P-11～P-16)は、P-16(pH=4.4, 横須賀市)以外は、pHが5.6以上で酸性雨

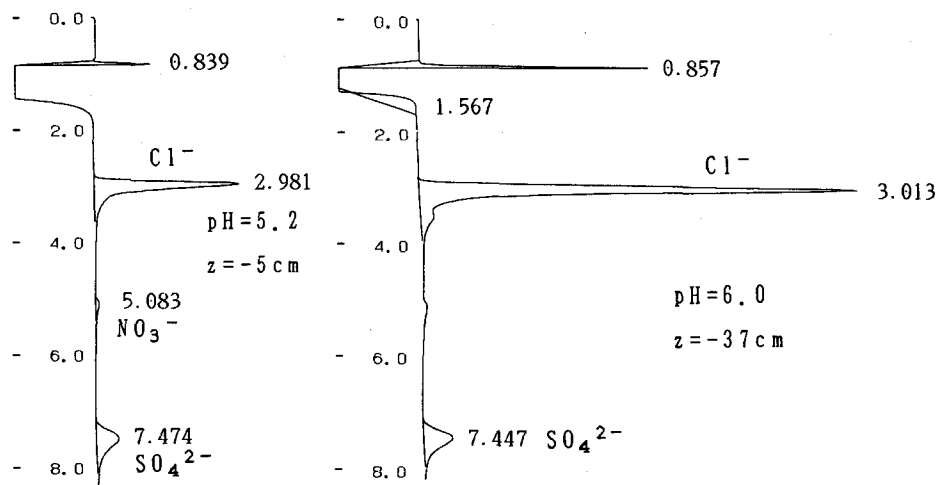


図-12(a) 新潟県佐渡、平スキー場付近 (積雪)

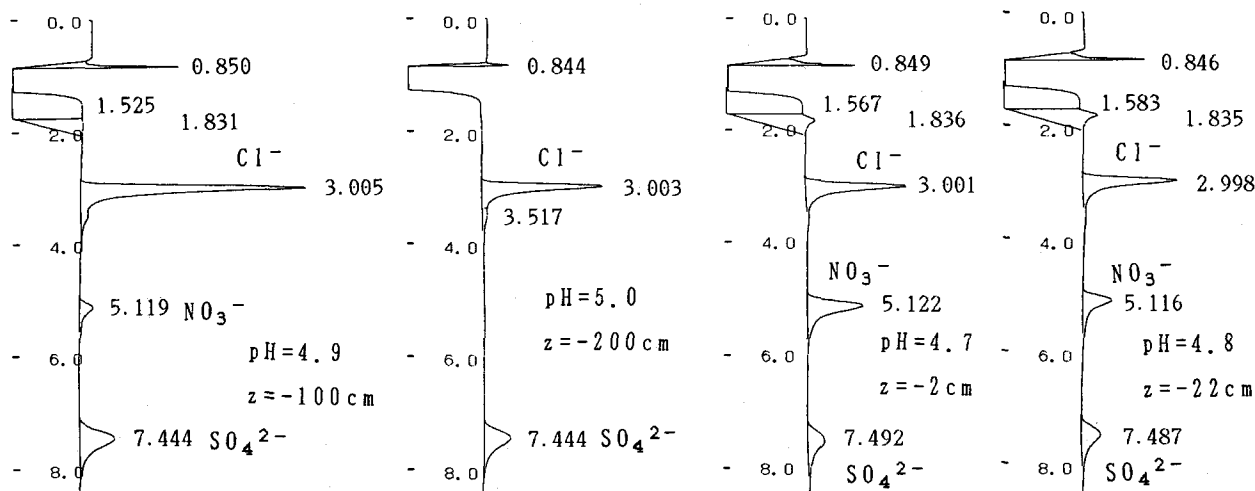


図-12(b) 群馬県水上町、天神平スキー場内 (積雪)

図-12(c) 静岡県御殿場市富士山 (積雪)

あるいは酸性雪ではなかった。しかし、図-13に示すように、 NO_3^- と SO_4^{2-} 濃度はP-16の酸性雨のそれに匹敵するほどで、比較的高い。特に、P-14(川崎市)とP-15(横浜市)では、亜硝酸イオン(NO_2^-)が混入しており、P-15のそれは約3ppmを示している(図-11(c))。モミと杉の木が実際に立ち枯れており(写真-1)、酸性雨の影響ではないかと懸念されているP-17(丹沢山系大山)とP-10(東松山市箭弓稲荷神社)の降雨では、 Cl^- の濃度以上あるいはそれに匹敵する程度の NO_3^- と SO_4^{2-} の濃度が測定されている。この傾向はP-10と約20km離れているP-9(寄居町)でも認められる。即ち、東京湾周辺での降雨や降雪に混入している NO_3^- と SO_4^{2-} の濃度は、東京湾沿いよりもむしろ、そこから約50~70km陸側の山麓や平野部で高くなる傾向にある。また、図-13でのP-9~P-17の関東周辺での陰イオン分析結果を見ると、太平洋側の大都市周辺では NO_3^- 濃度は高いが、かならずしも卓越しているわけではなく、 SO_4^{2-} 濃度も非常に高く、むしろ NO_3^- に比較して SO_4^{2-} 濃度がほとんどの測定地点で高い。このことは、前節で記述したP-16での長期モニタリングの結果からも明らかである。

次に、東京周辺から上越線に沿って日本海側の佐渡までの降雪と積雪の陰イオン組成に着目する。図-13での結果によると、谷川岳を超えた日本海側での降雪、降雨では、 SO_4^{2-} に比較して、 NO_3^- の濃度が非常に低い。この傾向は、図-12と14に示すように、冬季に堆積した積雪について

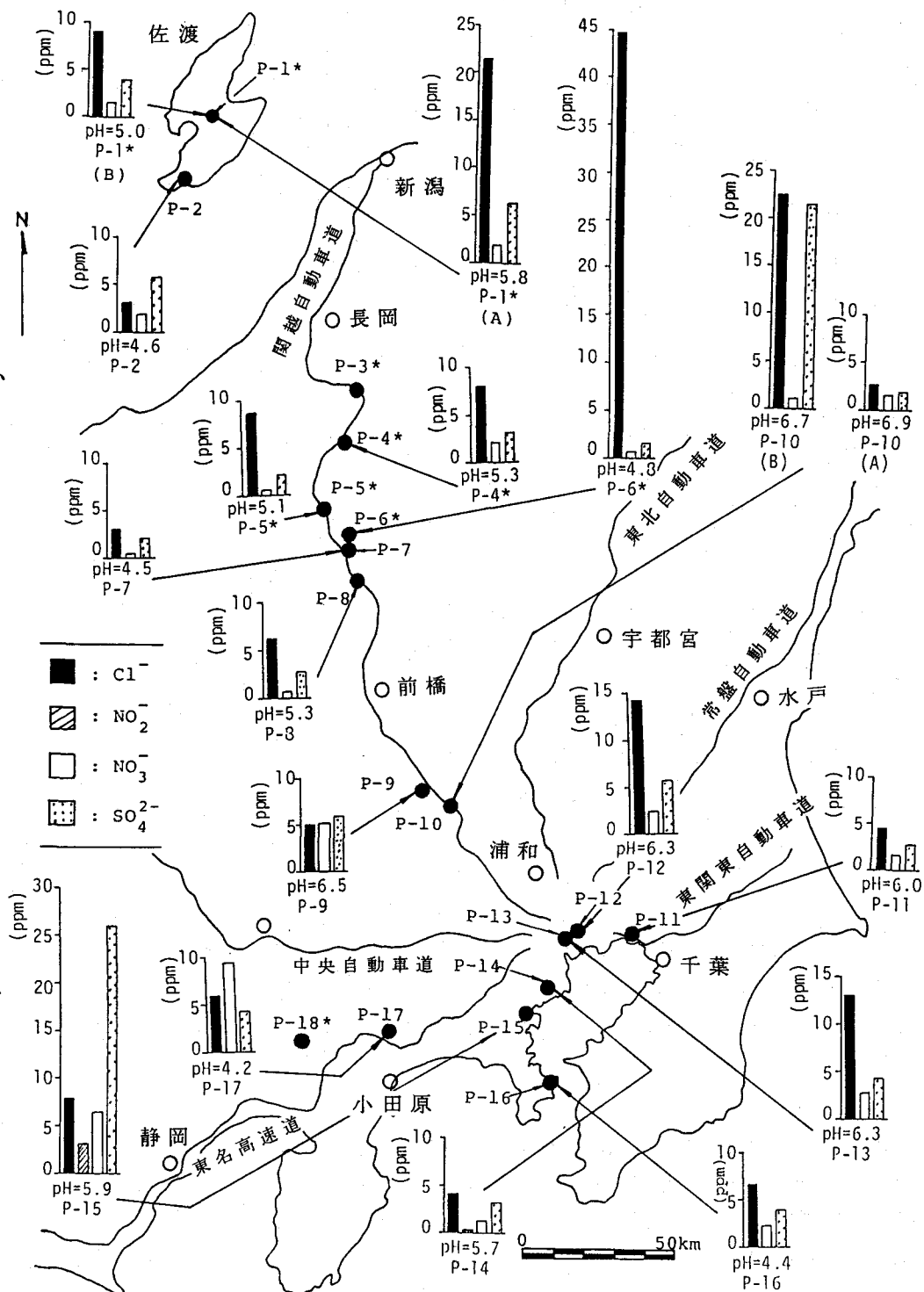


図-13 東京湾周辺と上越線沿いの各地点での陰イオン分析結果 (平成5年3月の降雨と降雪)

でも確認でき、深さ(Z)方向に亘って NO_3^- 濃度が極めて低いことから、平常的な陰イオン組成を示しているものと考えられる。しかし、日本海側での SO_4^{2-} が NO_3^- より高い濃度を示すとしても、太平洋側での東京湾周辺で示す SO_4^{2-} 濃度よりも明瞭に高いとは言えない。むしろ、絶対量は低い

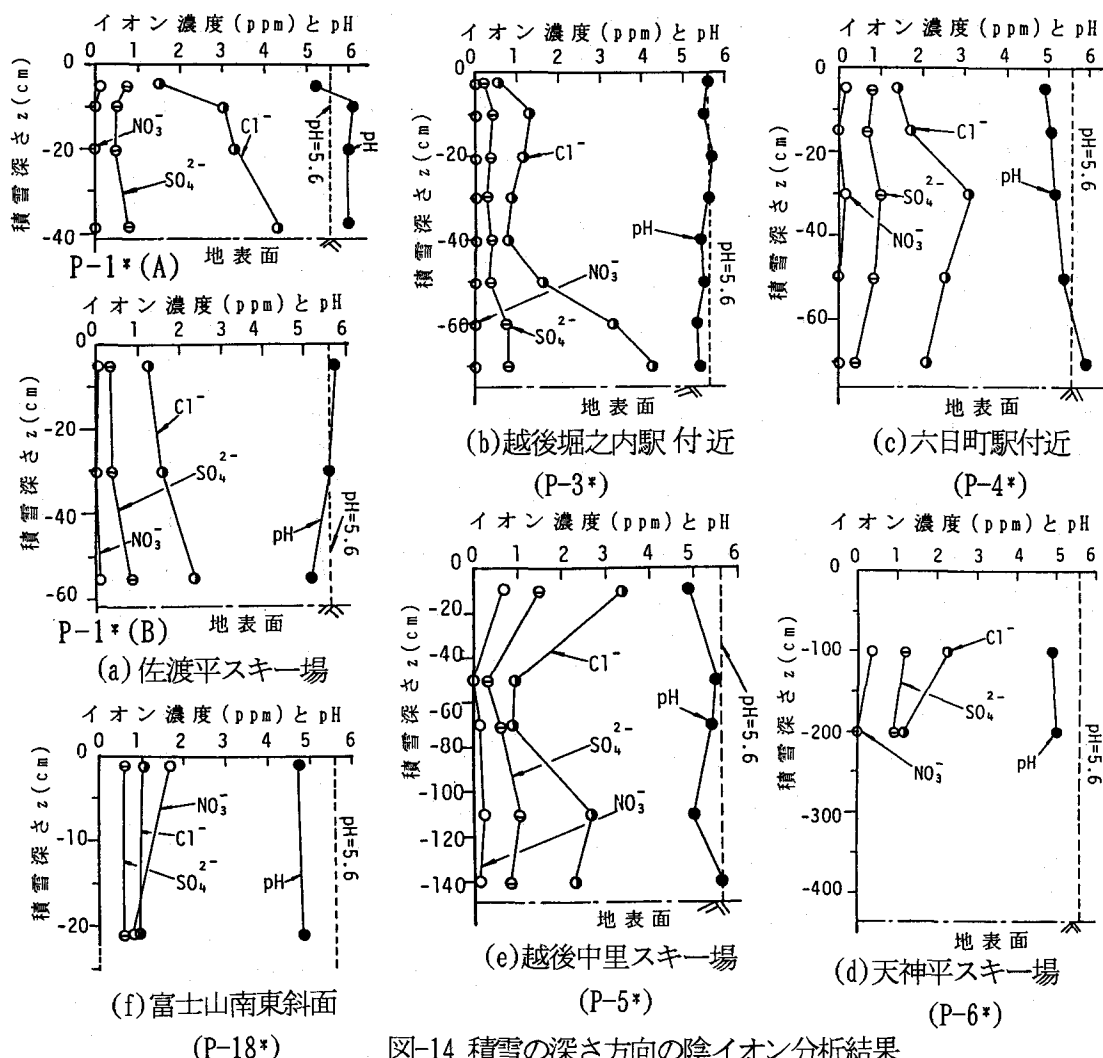


図-14 積雪の深さ方向の陰イオン分析結果

傾向にある。また、P-1*, P-5*, P-6*での降雪と積雪は標高がかなり高いスキー場内やその付近で採取している。しかし、pH5.6以下の酸性雪と成っている場合が多い。この傾向はP-18*の富士山南東斜面での積雪にも認められる。富士山での積雪は酸性雪(pH=4.7, 4.8)であった。しかし、図-12(c)と図-14(f)に示すように、 Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} の各陰イオン濃度は2ppm以下と非常に低い。また、図-14(a)~(e)に示す上越と佐渡での積雪の陰イオンの濃度状態とは異なり、 NO_3^- が SO_4^{2-} の濃度より、多少高くなっている。なお、図-13でのP-6*の天神平スキー場内で採取した3月16日の降雪は、標高約1300mの谷川岳山系の山腹のものである。採取日の気象状態に左右されると思われるが、 Cl^- 濃度が極めて高い。陰イオンの中で Cl^- は主に海水からの供給によるものと言われている。そのため、一般に、海に近い地点ほど、 Cl^- 濃度が高いとされている。しかし、P-6*の本結果が示すように、山岳地でも気象条件によっては、かなり高い Cl^- 濃度を示す場合がある。

6. 結論

神奈川県横須賀地域での長期に亘る降雨のモニタリングと、東京湾周辺と新潟県佐渡に至る上越線に沿った太平洋側から日本海側までの降雪や積雪についての陰イオン分析結果に基づき、東京湾周辺の大都市での降雨(降雪)に混入している陰イオンの組成状況や太平洋側と日本海側での陰イオン組成の相違や特徴等について考察を試みた。

東京湾沿いの大都市周辺で測定した降雨や降雪では、硝酸イオン(NO_3^-)と硫酸イオン(SO_4^{2-})が常に同時に観測され、横浜と川崎の測定結果では、さらに亜硝酸イオン(NO_2^-)の混入が確認された。この地域では、

ほとんどの場合、 NO_3^- に比較して SO_4^{2-} の濃度が高かった。 NO_3^- の濃度は約5ppm以下の降雨が多いが、 SO_4^{2-} の濃度は10ppmを超える場合もしばしば観測された。

また、降雨のpHの推移と NO_3^- と SO_4^{2-} 濃度との規則的な対応はかならずしも認められず、例え、pH5.6以上の非酸性雨の降雨であっても、 NO_3^- と SO_4^{2-} の濃度がpH5.6以下の酸性雨に匹敵するあるいはそれより高い測定例もかなり多く、酸性雨や酸性雪の問題を論じる場合には、pHのみならず、化学組成レベルからの長期に亘るモニタリング分析が不可欠と考えられる。

最近、我国における降雨の酸性雨化の問題について、 SO_2 や NO_x の「大陸からの飛来説」がマスコミ等を賑わしている⁵⁾。最後に、このことについて、関東・上越方面に亘って採取した降雨（降雪）や積雪についての本イオン分析結果に基づいて、若干の見解を述べる。上述したように、太平洋側の関東周辺での降雨や降雪では、常に NO_3^- と SO_4^{2-} が同時に測定され、日本海側の上越方面での降雪や積雪中の濃度に比較してかなり高い。太平洋側の大都市周辺では自動車等の排気ガスから生じる NO_x が注目され、降雨中の NO_3^- 濃度が高くなる特徴があると指摘されている。確かに、測定された降雨では、 NO_3^- 濃度は日本海側の降雨や積雪中のものに比較して高いが、それ以上に SO_4^{2-} 濃度が高くなっていることが多いことに注目する必要がある。

「大陸からの飛来説」では工場煤煙が主体であると言われていることから、日本海側では SO_4^{2-} 濃度が高くなると考えられている。確かに、上越方面での降雪や積雪では、pH5.6以下の酸性雨や酸性雪の測定例も多い。また、 NO_3^- 濃度それ自体が非常に低く、しかも、その濃度は SO_4^{2-} 濃度に比較して非常に低い。このことからすれば、「大陸飛来説」が支持できそうである。しかし、日本海側での SO_4^{2-} 濃度を太平洋側でのそれと比較すると、濃度にかなり差があり、逆に、日本海側での SO_4^{2-} 濃度がかなり低くなっている。このことを考えると、「大陸飛来説」による太平洋側では NO_3^- 濃度が、日本海側では SO_4^{2-} 濃度が高くなると単純に評価することには賛同しかねるところもある。このことの真意をさらに究明し、我国における酸性雨問題に貢献するためにも、今後、降雨や降雪の化学組成レベルからの長期的モニタリングの継続と、日本海沿岸の列島縦断方向における化学組成レベルからの資料収集を試みる必要がある。

参考文献

- 1)朝日新聞社(1989)：朝日新聞夕刊(1989.9.13)、関東のスギを枯らすのは酸性雨？
- 2)読売新聞社(1991)：読売新聞朝刊(1991.10.22)、大山、強い酸性雨発生、モミ立ち枯れ促す？
- 3)読売新聞社(1993)：読売新聞夕刊(1993.3.26)、写撃'93、木も枯らす汚染の素
- 4)読売新聞社(1992)：読売新聞夕刊(1992.11.4)、写撃、酸性雨が目にしみる
- 5)読売新聞社(1993)：読売新聞朝刊(1993.2.8)、酸性雨もたらす SO_2 、 NO_x 、「大陸からの飛来」確認