

妙高山麓地域における早春の積雪中に含まれる酸性降下物

福崎 紀夫・大泉 毅・高橋 裕志・藤枝 義丸

Acid Deposition in the Snowpack Collected from the Piedmont of Mt. Myoko at Eeary Spring

N. Fukuzaki, T. Ohizumi, H. Takahashi and Y. Fujieda

Nine snow core samples were collected from the piedmont of Mt. Myoko and adjacent region from 18-19 March 1991. Conductivity, pH and concentrations of the major ions of the samples were measured. pH was found to range from 4.58 to 5.27, the mean being 4.72. The pH at sites with relatively deeper snowcover was found to be somewhat lower. The obtained concentrations of chloride and sodium ions which strongly affected by seasalt during the northwest monsoon were significantly lower than in the precipitation samples from other sites situated at an equal distance from the northwestern seacoast line in Niigata Prefecture. The lower nitrate to sulfate ratios, expressed as equivalents, indicated sulfate to possibly be largely responsible for the precipitated acidity in this region.

1 はじめに

本邦の日本海側地域には世界でも有数の多雪地帯があり¹⁾新潟県をはじめ北陸地域などでは年間降水量の50%程度が降雪としてもたらされる²⁾。中部山岳地域では年平均最深積雪量が3 mを超え³⁾、降雪中の各種化学成分は積雪として蓄積され春先に急激に溶け出すこととなる。その溶け出し方は均一でなく、溶けはじめの融雪水への成分溶出量が多いため、河川水や湖沼水のpH低下による水中生物への影響が懸念されている⁴⁻⁷⁾。実際に中部山岳地帯で酸性雨緩衝能力の小さい花崗岩地帯を流れる河川水では春期のpH低下が報告されている⁸⁾。一方、生態系への影響を考えると年間酸性物質降下量は重要な影響因子であり、積雪地帯におけるその降下量を見積るとき降雪にともなう降下量の把握は欠かすことのできないものとなっている。しかしながら山岳多雪地帯における降・積雪に関する調査例は欧米⁹⁻¹³⁾に比較してわが国では少ない。今後、多雪地帯の積雪中に含まれる化学成分の濃度と蓄積量の把握、それらの地域特性、融雪とその影響に関する調査研究は一層すすめられるべきものと考えられる。

ここでは新潟県上越地域に位置する妙高山麓で採取した積雪の全層コアサンプル中に含まれる主要化学成分の分析結果から、この地域の積雪中に含まれる化学成分濃度と蓄積量について報告するとともに当県内他地域における夏期・冬期の降水との比較、本邦他地域及び国外の積雪調査報告との比較からこの地域の積雪中の化学成分の特徴について述べることにしたい。

2 方法

2.1 試料採取

新潟県上越地方に位置する妙高山麓地域の7地点及びこれらと比較するために長野県北信地域内の2地点、計9地点で水田や畑など付近に建物などの無い開けた場所を選び、平成3年3月18日、19日に直径7.7 cm、長さ2 mの塩化ビニル製の円筒を用いて積雪全層のコアサンプルを採取した。採取地点を図-1に示す。試料採取にはまず地面まで雪壕を掘り、積雪量を測定したのち雪壕の近くに上述の円筒を積雪に垂直に打ち込み、その近くの雪を取り除きコアサンプルを採取した。2 m以上積雪のある地点では2回に分けて採取した。地面近くの積雪2~3 cmは廃棄した。試料採取地点をその標高、積雪量、

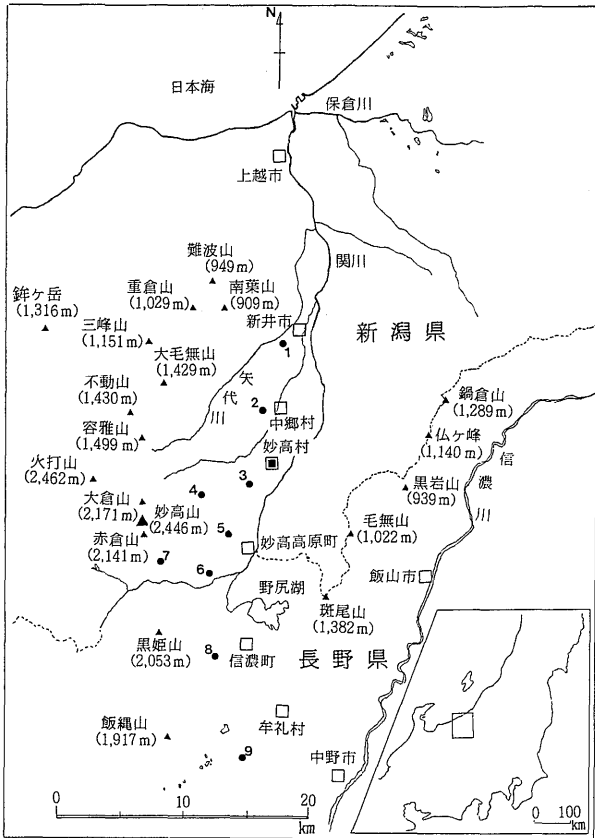


図-1 調査地点位置図

- 1 : 新井, 2 : 中郷, 3 : 大洞原, 4 : 関温泉,
- 5 : 新赤倉, 6 : 杉野沢, 7 : 杉の原,
- 8 : 柏原, 9 : 牟礼
- : 積雪量観測地点 (関山 : 妙高村役場)

表-1 採取地点一覧

No	地点名	採取地点	標高 (m)	積雪量 (cm)	採取日 (平成3年)
1	新井	新潟県新井市藤塚新田	70	32	3月18日
2	中郷	新潟県中郷村八斗峙新田	250	152	3月18日
3	大洞原	新潟県妙高村大洞原	510	170	3月18日
4	関温泉	新潟県妙高村 国民休暇村グラウンド	800	323	3月19日
5	新赤倉	新潟県妙高高原町新赤倉	625	237	3月18日
6	杉野沢	新潟県妙高高原町杉野沢	710	150	3月18日
7	杉の原	新潟県妙高高原町 杉の原スキー場山頂	1,490	283	3月18日
8	柏原	長野県信濃町柏原	660	81	3月19日
9	牟礼	長野県牟礼村高坂	740	27	3月19日

採取日とともに表-1に示す。

2.2 分析用試料の調製

採取した試料を室温で融解し、融雪水量をメスシリンダーで測定したのち、純水で洗浄したメンブランフィルター (ADVANTEC製, 硝酸セルロース, 直径47mm, 孔径0.8 μm) でろ過し分析時まで冷蔵保存した。

2.3 分析項目と分析方法

分析項目はpH, EC, SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺であり分析方法は環境庁の酸性雨調査マニュアル¹⁴⁾にしたがった。

3 結果と考察

本調査において最も積雪量が多かったのは表-1からわかるように関温泉 (No.4) における323cmであった。杉の原 (No.7, 標高1,490m, 積雪量283cm) が最も標高が高かったが積雪量は関温泉よりも少なかった。これは図-1からわかるように降雪をもたらす季節風に対して杉の原は妙高山によって遮られる地点に位置しているためと考えられる。

図-2には大洞原 (No.3) に近い妙高村役場 (妙高村関山, 標高335m) における平成3年1月から3月の積雪量¹⁵⁾の変化を示した。この図からわかるように平成3年の最深積雪は171cmで、試料採取を実施した3月18, 19日の積雪量は約115cmとその約70%となっている。したがって標高の低い地点ではすでに融雪がかなりすすんだものと考えられる。しかし杉の原や関温泉での積雪のようすは表層部の一部にざらめ雪がみられたものの下部はしまり雪となっており表層の融雪, あるいは積雪期間中の降雨による蓄積量の減少は小さいものと推定される。また積雪量が150cm以上の中郷 (No.2), 大洞原 (No.3), 新赤倉 (No.5), 杉野沢 (No.6) では降雪による成分降下量のうち大部分が保存されているものと考えられるが, 新井 (No.1), 柏原 (No.8), 牟礼 (No.9) など積雪量の少ない地点では当然のことながら融雪による成分の溶出が考えられる。したがってここでは試料採取日時点において溶けずに残存した積雪中の成分濃度及び蓄積量を対象として議論をすすめることとする。

なお関山での昭和46年から平成2年までの20年間の年間最深積雪量の平均値は220cmである¹⁶⁾。平成3年の最深積雪量は前述のように171cmであった¹⁵⁾ことから、平成3年の積雪量はこれよりもやや少ない量であったことがわかる。

3.2 成分濃度

溶解性成分の測定結果を表-2に示す。

3.2.1 pH

得られたpHは4.58 (関温泉) から5.27 (牟礼) まで分

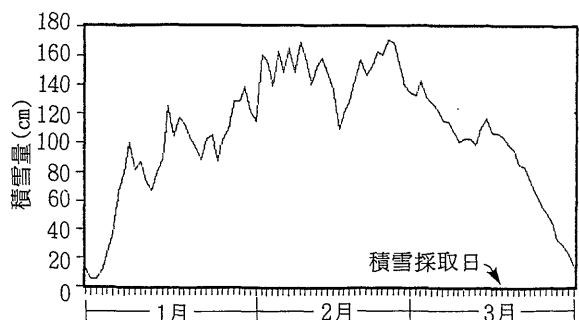


図-2 妙高村役場 (関山) における積雪量の変化 (平成3年1月~3月)

表-2 測定結果

地点	調査	降水量*	pH	EC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	nss-SO ₄ ²⁻	nss-Ca ²⁺	$\left(\frac{NO_3^-}{nss-SO_4^{2-}}\right)^{***}$
No.	地点	mm		μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
1	新井	125	5.02	10.5	0.72	0.10	1.31	0.69	0.08	0.05	0.10	0.14	0.55	0.02	0.14
2	中郷	637	4.77	15.2	1.16	0.19	1.71	0.88	0.07	0.08	0.14	0.17	0.94	0.05	0.16
3	大洞原	778	4.89	16.0	1.07	0.19	2.27	1.11	0.05	0.07	0.19	0.14	0.79	0.03	0.19
4	関温泉	1,383	4.58	17.0	1.50	0.28	2.08	1.07	0.11	0.11	0.17	0.17	1.23	0.07	0.18
5	新赤倉	1,256	4.63	22.2	1.70	0.38	2.67	1.32	0.18	0.15	0.22	0.20	1.37	0.10	0.21
6	杉野沢	611	4.76	13.0	1.07	0.24	1.08	0.61	0.05	0.09	0.10	0.15	0.92	0.07	0.20
7	杉の原	1,071	4.81	17.0	0.94	0.20	1.67	0.91	0.10	0.08	0.15	0.10	0.71	0.05	0.22
8	柏原	351	4.86	10.0	0.82	0.29	0.90	0.52	0.02	0.08	0.07	0.14	0.69	0.06	0.33
9	牟礼	101	5.27	5.9	0.32	0.19	0.64	0.31	0.02	0.05	0.03	0.11	0.24	0.04	0.61
算術平均		701	4.84	13.8	1.03	0.23	1.59	0.82	0.08	0.08	0.13	0.15	0.83	0.05	0.21
降水量で重み付けした平均値			4.72	16.1	1.24	0.26	1.91	0.98	0.10	0.10	0.16	0.16	1.00	0.06	-
参考(昭和60年度～平成元年度平均値) ¹⁷⁾															
夏期(6～9月)															
	新潟	468	4.83	15.8 ^{**}	1.70	0.75	0.89	0.51	0.13	0.30	0.10	0.57	1.58	0.28	0.37
	長岡	608	4.87	13.3 ^{**}	1.94	0.77	0.56	0.31	0.08	0.26	0.06	0.33	1.86	0.25	0.32
	六日町	626	4.80	13.9 ^{**}	2.07	0.94	0.38	0.22	0.07	0.23	0.04	0.38	2.01	0.22	0.36
冬期(11～2月)															
	新潟	613	4.86	64.6 ^{**}	4.26	1.01	12.0	6.56	0.51	0.79	0.86	1.04	2.61	0.55	0.30
	長岡	1,245	4.77	51.8 ^{**}	3.90	0.82	9.22	5.11	0.28	0.59	0.66	0.53	2.62	0.40	0.27
	六日町	870	4.87	29.5 ^{**}	2.85	0.79	4.10	2.33	0.16	0.43	0.30	0.56	2.27	0.34	0.27

* 融雪水量を採取円筒の断面積で除した値

** pH～NH₄⁺の濃度から計算される値

*** 当量濃度比

布し、その降水量で重み付けした平均値(以下、単に「平均値」という。)は4.72であった。積雪量の多かった関温泉及び新赤倉でやや低い傾向にあった。昭和60年度から平成元年度までの5年間の新潟、長岡、六日町における冬期(11月から2月)のpHの平均値は、それぞれ、4.86、4.77、4.87である¹⁷⁾ことから、今回得られた関温泉や新赤倉における値はこれらと同程度かやや低い値と考えられる。なお標高1,490mの杉の原におけるpHは平均値程度の4.81であった。

3.2.2 Na⁺, Cl⁻

日本海側地域の降雪は西高東低の気圧配置によってシベリア大陸からもたらされる寒冷な北西季節風が日本海上で多量の水蒸気をあたえられ、この多湿な気流に対して日本列島がほぼ直角に位置し、地形による上昇気流と強い季節風による雪雲の輸送が原因となっている。水蒸気を含む空気が上昇することによってできた雲粒から雪や雨が降るためには有効に働く氷晶核が存在するかあるいは-30℃の寒気に曝される必要がある¹⁸⁻¹⁹⁾。雪雲のなかの降水粒子の研究から日本海の高塩粒子や中国大陸で大気中にまきあげられた土壌の微粒子が氷晶核となっているといわれている²¹⁾。また、強い北西季節風の吹きだしは、海洋における高塩粒子の生成が活発になると、大気の乱れが大きく大粒径の高塩粒子が運ばれるため、降

塩量の増大をもたらす。このようなことから降・積雪中の高塩成分の主要成分であるNa⁺、Cl⁻に代表される高塩粒子濃度は冬期に増大する²⁰⁾。

表-2からわかるように得られたCl⁻濃度は、最も海岸から離れた牟礼の0.64mg/lから新赤倉の2.67mg/lまで分布しその平均値は1.91mg/lであった。この値は夏期の新潟、長岡、六日町におけるろ過式採取に基づく降水濃度(表-2参照)よりは高値であるものの、それらの冬期の濃度よりは低値となっている。

新潟、長岡、六日町における測定地点から北西方向の日本海海岸線までの距離は、それぞれ約3、18、45kmである。今回の調査地点で最も海岸線から離れている牟礼の海岸までの距離は約46kmとほぼ六日町と同じで、また新井は長岡とほぼ同じ距離である。牟礼と六日町、新井と長岡のCl⁻及びNa⁺濃度を比較すると、冬期ではともに妙高山麓から北信地域の方がかなり低値となっていることがわかる。

角皆らは日本海側地域での降水中のCl⁻濃度(C:mg/l)と海岸からの距離(Z:km)との間に

$$C = 10.5 \exp(-0.029Z)$$

の関係があることを報告している²⁰⁾。冬期の新潟県内の3地点に対して減衰項を同じにして減衰初期濃度項を

10.5から15.0と高くする, すなわち,

$$C = 15.0 \exp(-0.029 Z)$$

とすることによって新潟, 長岡, 六日町のCl⁻濃度はそれぞれ13.8, 8.90, 4.07 mg/lとほぼ実測値(それぞれ, 12.0, 9.22, 4.10 mg/l)と一致する. このようなことから冬期の上記3地点における減衰初期濃度は他の日本海側地域における値よりも大きいものの距離減衰はほぼ他の地域と同様になっているといえる.

一方上の式による計算値は今回調査の上越・北信地方での実測値(0.64~2.67 mg/l)よりかなり大きくあてはまらない. 初期濃度項は上越地域と中, 下越地域で大きな違いはないものと考えられることから, 減衰項の方を-0.029から-0.075と大きくすると大洞原(海岸線から26km), 牟礼(同46km)の計算値はそれぞれ2.13 mg/l, 0.48 mg/l(実測値: 2.27 mg/l, 0.64 mg/l)となってほぼ実測値と一致する. すなわち, 今回の調査地域は日本海側の一般的な地域よりも減衰効果が大きい地域といえる. これは図-1に示すように調査地点の北西方向には重倉山(1,029 m), 三峰山(1,151 m), 大毛無山(1,429 m), 不動山(1,430 m), 容雅山(1,499 m), 火打山(2,462 m), 妙高山(2,446 m), 黒姫山(2,053 m)などの1,000 mを超える山々が連なっており, これらによって季節風の影響が弱められるためではないかと考えられる. なお新潟県による県内23地点での昭和58年度の降雪の一斉調査(1週間ごと2回)では, 妙高村における

ECの値及びNa⁺濃度は最低値となっており²¹⁾海塩粒子の影響が最も小さい地域となっている. これらの点については今後県内の他地域においても調査し, 比較検討することが必要と考えられる.

3.2.3 その他のイオン濃度

前述したように海塩粒子の影響は冬期の新潟, 長岡, 六日町よりも小さいことから, このほかの海塩粒子に係るSO₄²⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺濃度もこれらよりも低値となっている. また, Na⁺濃度を基準として, 全硫酸イオン濃度から海塩粒子寄与分を除いた残りの非海塩性硫酸イオン(nss-SO₄²⁻)濃度及び同様に求めた非海塩性カルシウムイオン(nss-Ca²⁺)濃度はいずれも夏期及び冬期の上記3地点における濃度よりかなり低値となっている. さらに海水影響を受けないNO₃⁻及びNH₄⁺濃度も上記3地点の両期の濃度よりも低値となっている. これらの理由については今後の検討課題である.

3.2.4 NO₃⁻ / nss-SO₄²⁻

非海塩性硫酸イオン(nss-SO₄²⁻)濃度に対する硝酸イオン(NO₃⁻)濃度の当量濃度比(以下, 「N/S」比という.)は降水の酸性度に対する相対的な寄与率として硫酸イオンが大きいか硝酸イオンが大きいかの指標となる. 表-2からわかるようにN/S比は柏原, 牟礼でそれぞれ, 0.33, 0.61とやや高くなった他は0.14(新井)から0.22(杉の原)と低値であった. したがって妙高山麓地域の降水の酸性化には硫酸イオンが硝酸イオンよりも大きく寄与していることが推定される.

表-3 蓄 積 量

地点 No.	調 査 地 点	H ⁺ mg/m ²	SO ₄ ²⁻ g/m ²	NO ₃ ⁻ g/m ²	Cl ⁻ g/m ²	Na ⁺ g/m ²	K ⁺ g/m ²	Ca ²⁺ g/m ²	Mg ²⁺ g/m ²	NH ₄ ⁺ g/m ²	nss-SO ₄ ²⁻ g/m ²	nss-Ca ²⁺ g/m ²	不溶解性成分 g/m ²
1	新 井	1	0.09	0.01	0.16	0.09	0.01	0.01	0.01	0.02	0.07	<0.01	1.85
2	中 郷	11	0.74	0.12	1.09	0.56	0.05	0.01	0.09	0.11	0.60	0.03	3.29
3	大洞原	10	0.83	0.15	1.77	0.86	0.04	0.01	0.15	0.11	0.62	<0.01	2.73
4	関温泉	36	2.07	0.39	2.88	1.48	0.15	0.15	0.24	0.24	1.70	0.10	3.72
5	新赤倉	29	2.14	0.48	3.35	1.66	0.23	0.19	0.28	0.25	1.72	0.13	3.63
6	杉野沢	11	0.65	0.15	0.66	0.37	0.03	0.06	0.06	0.01	0.56	0.04	1.44
7	杉の原	17	1.01	0.21	1.79	0.98	0.11	0.09	0.16	0.11	0.76	0.05	1.40
8	柏 原	5	0.29	0.10	0.32	0.18	0.01	0.03	0.03	0.05	0.24	0.02	1.20
9	牟 礼	1	0.03	0.02	0.07	0.03	<0.01	0.01	<0.01	0.01	0.02	<0.01	1.76
参考(昭和60年度~平成元年度平均値) ¹⁷⁾													
夏期(6~9月)降下量													
	新 潟	7	0.80	0.35	0.42	0.24	0.06	0.14	0.04	0.27	0.74	0.13	1.41*
	長 岡	8	1.18	0.47	0.35	0.19	0.05	0.16	0.04	0.20	1.13	0.15	2.00*
	六日町	10	1.30	0.59	0.24	0.14	0.04	0.14	0.02	0.24	1.26	0.14	1.62*
冬期(11~2月)降下量													
	新 潟	9	2.61	0.62	7.35	4.02	0.31	0.49	0.53	0.63	1.60	0.34	3.10*
	長 岡	21	4.86	1.02	11.50	6.36	0.35	0.73	0.82	0.66	3.26	0.49	5.51*
	六日町	12	2.48	0.79	3.56	2.03	0.14	0.37	0.26	0.48	1.97	0.30	3.25*

* 昭和60年度~昭和62年度の3年平均

表-4 他地域との比較

	pH	nss-SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	nss-Ca ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	積雪量 cm	採取年月	文献
本調査									
関温泉	4.58	1.23	0.28	0.17	0.07	1.07	323	1991, 3	
杉の原	4.81	0.71	0.20	0.15	0.05	0.91	283	1991, 3	
北海道									
喜茂別町中山峠	5.16	0.82	0.42	0.07	0.20	2.30	245	1988, 2-3	25)
滝の上町浮島	5.49	1.02	0.56	0.09	0.34	1.10	240	1988, 2-3	25)
米国									
ミネソタ州北東部	4.70	0.80	1.09	0.17	0.15	0.15	134	1978, 3	9)
カスケード-シラネバダ山脈	5.52	0.12	0.11	0.10	0.04	0.07		1983, 2-3	12)
カリフォルニア州中北部(新雪)	5.39	0.17	0.28	0.10	0.06	0.19		1988, 2	13)
スカンジナビア半島中央部	4.87	0.24	-	-	0.01	0.87		1988, 2	25)
フランス・ボーシュ山脈	4.18	2.17	4.40	-	-	-		1985, 3-4	26)
スコットランド山地	4.46	0.58	0.60	-	-	1.24		1984, 2	27)
ノルウェー南部	4.32	2.8	0.54	0.50	0.51	1.16		1974, 1	7)

3.3 蓄積量

試料採取時点において単位面積当りの積雪中に含まれる主要イオン成分を新潟, 長岡, 六日町における夏期, 冬期降水量とともに表-3に示す。

前述したように本年度の最深積雪量は過去20年間の平均値の約8割程度であった。採取された積雪を降水量として示すと関温泉, 新赤倉, 杉の原の降水量は長岡における11月から2月の間(以下, 「冬期」という。)の降水量にはほぼ匹敵するかあるいはそれを上回っている。nss-SO₄²⁻の積雪中の含有量(以下, 「蓄積量」という。)は長岡, 六日町での冬期の降水量よりも低値であり, さらにNO₃⁻は新潟, 長岡, 六日町における降水量をはるかに下回っている。また, Na⁺, Ca²⁺, NH₄⁺蓄積量はこれら3地点での冬期降水量よりもはるかに少ない。しかし, 関温泉と新赤倉におけるH⁺蓄積量(関温泉: 36mg/m², 新赤倉: 29mg/m²)は新潟, 長岡, 六日町の冬期における降水量を上回っていた。これは前述したように両地点のpHが新潟, 長岡, 六日町における平均値よりやや低く, また降水量がこれらを上回っているためである。

3.4 他地域との比較

積雪調査に関しては新潟県²¹⁾, 秋田県²²⁾, 北海道²³⁻²⁵⁾での調査報告をはじめ種々の報告がなされているが山岳地域における積雪全層にわたるコア採取の報告例は少ない。表-4には米国カスケード-シラネバダ山脈, スカンジナビア半島中央部, フランスボーシュ山脈, スコットランド山地などでの調査結果における平均値を示した。また北海道における調査のうち積雪量の多い2地点での調査結果を本調査における妙高山麓地域の関温泉及び杉の原での調査結果とともに示した。こうした比較は採取状況などが同じでないことから必ずしも適当でないかもしれないが, 各地域の概略は理解されるものと考え

られる。

ボーシュ山脈やノルウェー南部地域ではpHが低くこれらの地域では妙高山麓の2地点や北海道内の2地点に比較してnss-SO₄²⁻やNO₃⁻の濃度が高くなっている。関温泉及び杉の原でのNO₃⁻, NH₄⁺, nss-Ca²⁺濃度はカリフォルニア州中北部における値と同程度であるがNa⁺, nss-SO₄²⁻濃度は本邦の北海道や妙高山麓における濃度の方が高い値となっている。また, 関温泉と杉の原の調査結果を北海道内の2地点と比較するとnss-SO₄²⁻濃度は同程度であるが, pHはやや低くなっている。

4 ま と め

新潟県上越地方の妙高山麓地域7地点とこれに隣接する長野県北信地域内の2地点において山岳地域の雪解けが本格化する前に積雪全層のコアサンプルを採取し, pH, ECをはじめ主要イオン種濃度を測定した。その結果以下のことが判明した。

- 1) 得られたpHは4.58から5.27まで分布し平均4.72であった。積雪量の多い関温泉及び新赤倉でやや低い傾向にあった。
- 2) 海塩粒子の影響を強く受けるCl⁻濃度は0.64mg/lから2.67mg/lまでの範囲にあった。この値は新潟, 長岡, 六日町における冬季の降水中濃度よりかなり低値となっており, 調査地点の北西方向にある1,000mを超える山々によって北西季節風が弱められるためと考えられる。
- 3) 妙高山麓地域内における(N/S)比は0.14から0.22と低値であり降水の酸性化にはSO₄²⁻の寄与が大きいと推定される。
- 4) 積雪中に含まれる主要イオン量は通年調査を実施している新潟, 長岡, 六日町での冬期降水量を大部分の

成分で下回っていたが関温泉と新赤倉の H^+ 量はこれらを上回っていた。

- 5) 関温泉, 杉の原での NO_3^- , NH_4^+ , $nss-Ca^{2+}$ 濃度は米国カルフォルニア州中北部における調査報告値と同程度と考えられるが Na^+ , $nss-SO_4^{2-}$ 濃度はやや高い値となっている。

今後, 県内の他地域においても山岳の積雪全層のコアサンプルを採取し新潟県の降・積雪中に含まれる酸性成分の量とその特徴を明らかにする必要があると考えている。

参 考 文 献

- 1) 気象ハンドブック編集委員会：気象ハンドブック，p.105，p.643(1984)，(朝倉書店)。
- 2) 加藤健二(酸性雨対策検討会大気分科会)：雪採取法の検討(酸性雨対策調査中間報告書)，p.74(1987)。
- 3) 村松郁栄, 佐藤 滋, 梅林 正, 武田 徹, 加藤 明：雪氷，52，1(1990)。
- 4) English M. C., Jeffirs D. S., Foster N. W., Semkin R. G. and Hazlett：Water Air and Soil Pollut., 31, 27(1986)。
- 5) Cadle S. H., Dash J. M. and Grossnickle N. E.：Water Air and Soil Pollut., 22, 303(1984)。
- 6) Hultberg H.：Water Air and Soil Pollut., 7, 279(1977)。
- 7) Johannessen M. and Henriksen A.：Water Resources Research, 14, 615(1987)。
- 8) 栗田秀実, 植田洋匡：第31回大気汚染学会講演要旨集，p.407(1990)。
- 9) Munger W. J.：Atmos. Environ., 16, 1633(1982)。
- 10) Thrnton J. D. and Eisenreich S. H.：Atmos. Environ., 16, 1945(1982)。
- 11) Pagenkopf G. K.：PB Rep. - 84 - 190123(1983)。
- 12) Laird L. B., Tylor H. E., Kennedy V. C.：Environ. Sci. Technol., 20, 275(1986)。
- 13) Gunz D. W. and Hoffman M. R.：Atmos. Environ., 24A, 1661(1990)。
- 14) 環境庁大気保全局：酸性雨等調査マニュアル，平成2年3月。
- 15) 日本気象協会新潟支部：新潟県気象月報，平成3年1月号～3月号。
- 16) 日本気象協会新潟支部：新潟県気象月報(1～3月)，昭和46年度～平成2年度。
- 17) 新潟県環境保健部：酸性雨調査報告書(昭和59年度～平成元年度)，平成3年3月。
- 18) 水谷義彦：富山の雪の総合研究，p.23(1987)。
- 19) 対馬勝年, 川田邦夫, 中川正之：富山の雪の総合研究，p.23(1987)。
- 20) 角皆静男, 品川高儀：地球化学，11，1(1977)。
- 21) 新潟県環境保健部：湿性大気汚染調査報告書，p.43(1986)。
- 22) 斉藤 学, 江川義則, 泉 博克：秋田県環境技術センター年報，15，50(1987)。
- 23) 荒木邦夫, 青木孝夫, 加藤拓紀：北海道公害防止研究所報，12，59(1985)。
- 24) 荒木邦夫, 青木孝夫, 加藤拓紀, 野口 泉：北海道公害防止研究所報，13，69(1986)。
- 25) 荒木邦夫, 加藤拓紀, 田淵修二, 野口 泉, 高橋英明, 坂田康一, 青井孝夫：北海道公害防止研究所報，15，73(1988)。
- 26) Anderson P., Lofvendahl R. and Aberg G.：Atmos. Environ., 24A, 2601(1990)。
- 27) Colin J. L., Jaffrezo J. L., Lescort V., Renard D. and Pinart J.：Phys. Behav. Atmos. Pollut., 551(1986)。
- 28) Tranter M., Brimblecombe P., Davies T. D., Vincent C. E., Abraham P. B. and Blackwood I.：Atmos. Environ., 20, 517(1986)。