

酸性雨モニタリングにおける積雪の採取

福崎 紀夫
新潟県衛生公害研究所

Snowpack sampling for acid precipitation monitoring

Norio Fukuzaki
Niigata Prefectural Research Laboratory for
Health and Environment

1 はじめに

雪は六方対称の美しい結晶形を見せる。江戸末期、古河藩主土井利位は雪の結晶のスケッチをまとめて出版した。この雪華図説(1832年)が雪の科学に関する本邦最初の本格的な記述とされている¹⁾。そのなかで雪の効用として「空気を清ふし汚濁を駆る」、「雪中に諸物を生育する酸塩活機の気を包含す。故に土地の肥沃を醸す。」²⁾と書き、雪による大気浄化、雪中化学成分についてこのときすでに指摘している。一方越後魚沼の住人鈴木牧之は雪国の生活を北越雪譜(1835)にまとめ積雪地住民の雪と闘う生活を描いた。その後中谷宇吉郎(1900~1962)の雪の結晶に関する物理学的研究はあまりにも有名なところとなっている。

世界の多雪地帯は本邦日本海側一帯のほか、米国・カスケード山脈周辺、カナダ・コースト山脈に沿う地域、スカンジナビア半島、アンデス西斜面などである。これらのなかで本邦北陸地域は北緯35度から38度の比較的低緯度に位置し冬期地上気温は他地域よりも高いにもかかわらず降雪は多いという特異な地域となっている。

日降雪量の最高値は米国コロラド州のシルバーレイクでの193 cm(1921年4月14~15日)で、本邦気象官署の測定では富山県真川の180 cm(1947年2月28日)、新潟県高田の176 cm(1927年2月9日)、新潟県高田の176 cm(1927年2月9日)、新潟県三頭の170 cm(1968年1月31日)がベスト3である。また旧国鉄の測定では信越線関山駅での210 cm(1946年1月17日)が最高値となっている³⁾。一方積雪の最深記録は米国・カルフォルニア州タマラックでの1,153 cmとされ、本邦気象官署の測定では富山県真川での750 cm(1945年2月26日)、長野県中土の742 cm(1927年2月13日)、新潟県栃尾又での708 cm(1936年2月15日)が上位3である。また旧国鉄の観測では飯

山線森宮野原駅の785 cm(1945年2月14日)が最深積雪とされている³⁾。

日本海側地域の多量の降雪は低気圧が本邦を通過した後、寒冷な季節風がシベリア大陸から吹き出し日本海上で多量の水蒸気を与えられ、この多湿な気流に対して日本列島の山岳がほぼ直角に位置すること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。これに対して太平洋側での降雪は南岸を通る低気圧によるものであるがその積雪量は多くて20~30 cmである³⁾。

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。雪雲中の降水粒子の研究から日本海側の海塩粒子や、中国大陸で大気中にまき上げられた土壌微粒子が氷晶核となっており、こうした氷晶核の存在が雲中の降水粒子の生長を促しているとの指摘もなされている。したがって雪の成分分析は水素・酸素の同位体比測定等と共に降雪機構研究上重要なこととなっている^{3),4),5)}。

日本海側の豪雪地帯において降雪としてもたらされる降水量は年間降水量の50%程度を占める地域もあり⁶⁾、各種化学成分の年間降水量を見積るとき降雪に伴う降水量の把握は欠かすことのできないものとなっている。降雪中の化学成分は冬期に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が、その溶け出しかたも均一ではなく溶け始めの融雪水への各成分溶出量が多く、河川水や湖沼水さらには水生生物への影響が懸念されている。こうした観点からも日本海側地域での雪の酸性化には十分な監視が必要とされている。日本海側の多くの地域では年間を通して見たとき冬期にpHの低い降水が観測される傾向にあることが報告されており⁷⁾、今後の推移には十分注目せねばならない。

しかしながら降雪の正確な採取には、採取器の雪に対

する捕集効率をはじめ雪の付着による採取面積の変化や採取時の雪の融解、融解水の蒸発などいろいろな問題点を伴う。一方積雪調査においては常に融雪の問題がある。すなわち初期の雪の融解に伴う含有成分の移動・溶出である。降雪の採取については別に解説した⁸⁾のでここでは主に積雪の採取を主題としその調査目的と採取法について総説し、分析用試料の調製法についても若干触れ今後の積雪調査の一助としたい。

2 積雪調査と採取法

2.1 積雪の分類

降雪が何度かあり、それらが消えないで残ると重なりあって雪の密度、硬さ、雪粒の大きさなど雪質の違いから積雪は層構造を呈する。雪質の違いによって積雪は基本的には新雪、しまり雪、ざらめ雪、しもざらめ雪に分類される。表-1には日本雪氷学会による積雪の分類を示した¹⁾⁹⁾。

2.2 積雪調査の目的と採取法の概略

積雪を採取する目的としては、①降雪機構、一降雪毎の降雪成分の特徴に関する研究、②降雪期の化学成分降下量とその地域変動、③融雪過程と融雪水の関係、④大気中への排出源周辺の汚染物質降下量の分布、⑤乾性降下量測定などであり、これらの調査目的にあった採取法が採用されている。①の目的のためには清浄な板などに積もった一降雪毎の積雪を降雪の終わった直後に採取せねばならない。一定期間にわたる積雪の採取を大別すれば積雪のコアサンプル採取か、その一部採取かである。上記目的②、③には主にコアサンプル採取法が、④、⑤には積雪表面の一部採取が多い。以下には積雪の調査事例をその調査目的別に採取法とともに紹介する。なお積雪断面観測法やスノーサンプラー取扱法など積雪調査の一般的注意事項について日本雪氷学会から「積雪観測法」(1965)⁹⁾として示されている。

2.3 降雪機構・降雪成分の特徴に関する研究

2.3.1 板などに積もった一降雪毎の採取

降雪の採取には調査対象地域の特性や調査目的に応じて円筒型、融雪型、乾性/湿性分別採取器などが用いられている⁸⁾が一降雪を比較的簡単に採取するには種々の

表-1 積雪の分類

名称	記号	名称	記号	密度 (g/cm ³)	乾湿の 区別
新雪	N			0.05-0.15	かわいた
しまり雪	S	こしまり雪	S1	0.15-0.25	雪には
しまり雪			S2	0.25-0.5	〔かわき、 D〕
ざらめ雪	G			0.3-0.5	湿った雪
しもざらめ雪	H	こざらめ雪	H1	0.3前後	には
		しもざらめ雪	H2		〔ぬれ、 W〕
		雪			をつける。

材質の板を用いることができる。

Neftelらはスイス東部の高山地域で降雪をポリカーボネート板などで採取し雲水中でSO₂の酸化及びOHラジカル源として重要な役割を果たすH₂O₂濃度を測定した¹⁰⁾。またLeuenbergerらはスイスの都市域において降雪をガラス板で採取しn-アルカン及び多環芳香族炭化水素濃度を測定し浮遊粒子状物質中濃度との関連性を報告している¹¹⁾。さらにMeyersらはインジアナ州南部において降雨・雪をアルミニウム皿上に採取しジクロロメタンで抽出可能な有機化合物をGC、GC-MS分析し¹²⁾、Cerlingらは米国ユタ州で霜、霧氷及び雪をポリエチレン板で採取している¹³⁾。

国内ではTunogaiらはエアロゾルの滞留時間に関する研究でポリエチレン板ないしポリエチレンシートを用いて降雪を採取し¹⁴⁾、また新潟県ではポリエチレンシートで包んだ板の上に積もった雪を1日1回ポリエチレン製円筒で採取して降雪の化学成分の地点・経日変動を調査した¹⁵⁾¹⁶⁾。さらにEckerは1日毎の降雪をポリエチレンフィルムで採取し可溶性、不溶性微量金属成分を長距離輸送との関連から測定し¹⁷⁾¹⁸⁾、丁字らは塩化ビニル板上に積もった雪を1日毎にポリエチレン製の円筒容器で採取し海塩と非海塩成分の地域分布、気象条件との関係などを調査した¹⁹⁾。村本らは富山で降雪をアクリル板上に採取するとともに雪片の落下速度を測定し気象条件とpH、Cl⁻、SO₄²⁻濃度との関連性を検討した²⁰⁾。一方寺田らは関東地方の雪をポリエチレン製バットを用いて採取し海水に比べた濃縮係数などを報告した²¹⁾。同様な採取器を用いてIchikuniは仙台市内で降雪を採取し、流跡線解析などから海塩に比べ過剰のCaは中国北部から季節風によって輸送された土壌ダスト中に含まれるカルサイト(CaCO₃)に起因するものと推定した²²⁾。

2.3.2 積雪表面を採取する方法

欧州におけるいわゆる「黒い雪」についてDaviesらはスコットランドに降った黒色酸性雪(pH: 3.0、不溶性成分の29%は炭素)について²³⁾、またLandsbergerらはやはりスコットランドで小さなプラスチックコップで積雪表面を採取し汚染の少ない雪と黒い雪(pH:3.4)の溶解性及び不溶性成分について報告している²⁴⁾。さらにMalissaらはオーストリアで見られた黒い雪を調査し不溶性成分の30%以上は炭素でこれは通常の雪の約1000倍であり、流跡線解析からポーランド、ドイツ、チェコスロバキアの国境に沿って流入した気団によるものと推定した²⁵⁾。

一方Anderssonらはスカンジナビア半島中央部を横断する8地点で新雪表層をポリエチレン製ひしゃくで採取し主要イオン成分とともに水素、酸素及びSr同位体比を測定し大西洋岸からの距離とともに海塩の影響は低下し人為活動の影響が大きくなることを報告している²⁶⁾。また

Chiouらは米国中部での降雪中のTe, Se及びSを分析した²⁷⁾.

国内では渡辺ら²⁸⁾は札幌市の降水のpH変動要因を水質分析項目との相関関係から、また金沢らは兵庫県引原ダム湖水質と降雪の主要成分濃度との関係について報告している^{29), 30)}. さらに上木らは山形県の日本海側で降雪・雨を採取し SO_4^{2-} によるpH低下を報告している³¹⁾.

2.4 降雪期の化学成分降下量とその地域変動

この調査目的のためには表層積雪と積雪のコアサンプルが採取されることが多い。

米国北部における広範囲な調査としてMungerの報告がある。米国中北部ノースダコダプレーリーから北部ミネソタの森林まで600 kmにわたって積雪のコアサンプリング(13地点)と降水毎のサンプリング(3地点)が実施され降水の酸性度に及ぼす硫酸塩, 硝酸塩, アンモニウム塩及び石灰質土壌粒子の影響が検討された。積雪のコアサンプル採取には断面積38.5 cm²のPlexiglass管を用いている。この地域の降水の酸性度は人為起源の酸をアルカリ性土壌ダストとガス状アンモニアの供給がコントロールしていると報告している³²⁾。またThorntonらは米国中北部ミネソタ州でWet-onlyの降水(Aerochem Metric社製)と積雪コア(7×50 cmのPlexiglass管を使用して積雪の最上部からあらかじめポリエチレンシートを敷いた地表面までの積雪を1地点1～4本採取)を採取し降水に対する土地利用(農業, 草原, 森林)の影響を報告している³³⁾。

米国の山岳積雪の調査としてPagenkopfらはモンタナ州西部山岳で37の積雪表面試料と積雪ピット壁から40の積雪コア試料を採取するとともに河川及び湖沼水29試料を採取し化学組成を分析している。幾つかに酸性降水(最低pH: 4.15)が確認されたが全般的には酸性雨の問題は少ないことを報告している³⁴⁾。またLairdらは米国西部Cascade-Sierra Nevada山脈の山岳地帯(標高1280-3140 m)の積雪コアを約25 km間隔で直径3.77 cmのステンレス製サンプラーで1地点当り数本採取し大気降下物の地理的な変動を調査した。pHは5.11～5.88で、 NO_3^- 濃度は低値であったが北部地域では H^+ と NO_3^- は強い相関を示すことなどを報告している³⁵⁾。さらにGunzらはカルフォルニア州中部及び南部の山岳地域において新雪と積雪コアをポリエチレン製直径5 cmのサンプラーで採取し通常のイオン種とともに H_2O_2 濃度を測定した。風向など気象状況によって海洋と人為起源の影響割合が変化し、同じ時期標高の低い地点で採取された雨に比べて雪の H_2O_2 濃度は2-3倍低値であること、積雪中ではその深さとともに H_2O_2 濃度は減少するのに対し SO_4^{2-} 濃度の増加がみられること³⁶⁾、またカルボニル化合物やカルボン酸などの重要性について報告している³⁷⁾。

一方カナダのLandsbergerらはモントリオール市の

周辺で95 cm×11 cmのプラスチックシリンダーを積雪に差込む手法で34カ所の積雪を1日間で採取し、積雪の化学成分の地域変動を調査した。Al, Fe, Ni, Znの地域変動が大きく、Ni, Cu, Zn, Cd, Pbは人為起源でありバックグラウンドに比べ大幅に高濃度であったことを報告した³⁸⁾。またこのようにして採取された積雪中の可溶性及び不溶性の硫黄の濃度を陽子励起X線放出法(PIXE)法で測定し含有硫黄の85-90%は可溶性であることを明らかにした³⁹⁾。さらにBarrieはカナダ東部楯状地における主要イオン成分と痕跡量の金属成分降下量を同地域で20地点の積雪コアを採取することから求め報告している⁴⁰⁾。

南極の雪についてGjessingは海岸から1, 60, 120 km地点の積雪コアを3 mのたて坑を掘ることによって7 cmごとに採取し7種のイオン成分の深度分布の違いと海洋及び非海洋からの寄与率を算出している⁴¹⁾。またDavidsonは北極での雪による硫酸塩の洗浄に関して南部グリーンランドで雪壕(深さ2.4 m, 長さ8 m, 幅2.5 m)から5 cmごとに積雪を採取し、硫酸塩の雪中濃度と大気中濃度から硫酸塩の洗浄比と乾性降下速度を計算した。報告によれば全降下量の10-30%は乾性降下が占めるという⁴²⁾。一方Mayewskiはグリーンランド南部において雪壕と新雪中の Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ を測定しこれらの濃度に及ぼす地形, 発生源, 気象条件などの影響を調べた。積雪採取にあたってはポリエチレン製手袋とマスク, クリーン衣服を着用し汚染に注意している⁴³⁾。またWeissらはアラスカの積雪中にはMnを基準として地殻組成よりも $\text{Na} < \text{Cu} < \text{Zn} < \text{As} < \text{Sb} < \text{Cd} < \text{S} < \text{Se} < \text{Hg}$ の順に元素が濃縮されていることを示した⁴⁴⁾。またDickらは南極Windless Bightの表層雪中のHg濃度について報告している⁴⁵⁾。日本では金森らは南極みずほ高原の積雪中の化学成分地点差などについて報告している⁴⁶⁾。

積雪中の化学成分の水平, 垂直方向の変動についてTranterらはスコットランドの人里離れた地域において多数の表層積雪と積雪コアを採取し報告している⁴⁷⁾。

国内において、Suzukiは札幌市内20地点で雪壕を掘り積雪コアサンプルを直径58 mmのプラスチック製パイプを用いて採取し、異なる起源を持つ各種イオンの降下量を評価した。報告によれば塩化物イオン濃度は海岸近くで高く市内中心部で最低となり、その濃度分布は積雪量と同様の傾向を示し、平均風速との関係が深いという⁴⁸⁾。

加藤ら(1983)は、秋田, 山形, 宮城, 岩手, 新潟県内の積雪250試料を15 mlのガラス瓶に採取し塩化物, 硫酸, 硝酸イオンを測定しこれらの地域分布を報告している⁴⁹⁾。日本海側から内陸部に入るに従ってNaCl, Mgは減少し CaSO_4 が残留するが、これらの変化は塩類の水に対する溶解度に関係し、溶解性の高いMg塩, Na塩あるいは塩化物の減少が早いのに対してCa塩, SO_4 塩は

溶解性が低く残留しやすいことから説明されるとしている⁵⁰⁾。また関東地方を中心にかなりの降雪の見られた1984年冬期には幹線道路周辺の塩化物、硫酸、硝酸イオンによる汚染状況を報告している⁵¹⁾。一方北野は北陸地域の積雪(積雪層1 mから2 m)と中国地域の積雪(表層積雪)を比較しその違いについて記述した^{52), 53)}。

安部らは新潟県中越地方及び山形県最上川流域で降雪時ポリプロピレン製のスコップを用いて新雪を採取しCu, Ni, Zn, V等の微量成分濃度とその分布を調査し⁵⁴⁾、また関東地方南部で20~30 cmの降雪があった1984年1月には降雪中および降雪直後に表層1 cmの積雪を取り除いた上層5 cmの積雪を採取しCa, Znなどの地域分布を報告している⁵⁵⁾。

地方自治体の調査では、北海道の荒木らは札幌市など道内10市町において積雪最大期に塩び筒(直径18 cm, 長さ80 cm)を用いて積雪コアを地面側から15 cmごとに採取し、積雪の地域特性を報告している⁵⁶⁾。また1986年には道内11地点においてほぼ10日ごとの積雪を前述の積雪採取器によってコアサンプルとして採取し地域の酸性雪の実態を調査した⁵⁷⁾。さらに1988年には道内78地点から積雪最大期にスノーサンプラー(断面積20 cm², 金属性円筒)を用いて1地点2試料を採取し積雪の多い地域ではpHが低く、また非海塩寄りのSO₄²⁻の含・蓄積量が高い値となる傾向を報告した⁵⁸⁾。秋田県の斉藤らは積雪最大期に県内11地点で口径25 cm長さ150 cmの塩び筒を用いて積雪コアを採取し秋田県内の積雪成分の地域分布状況などを報告し⁵⁹⁾、群馬の矢島らは尾瀬沼の富栄養化を解明するための研究の一環として、尾瀬沼に近接した地域で中層の積雪を冬期降水の代表として採取し主要化学成分濃度を降雨中のそれらの濃度と対比して調査している^{60), 61)}。また福崎らは妙高山麓地域において早春の積雪中に含まれる酸性降下物量について報告している⁶²⁾。

2.5 特定発生源による影響の調査

Jernelov はスウェーデンにおける5つの塩素-アルカリ電解プラントの周辺積雪を直径15 mmのガラス管を用いて採取し大気中に放出された水銀の雪上への降下実態を報告している⁶³⁾。またPhillipsらはカナダFlin Flon地域のHudson Bay精錬所周辺で融雪直前の積雪表層部を工場から40 kmまでの7地点で直径3.7 cmの亚克力管を用いて採取しZn等の排出物の環境への影響を報告している⁶⁴⁾。

国内では漆山らは火力発電所、肥料工場などが立地する新潟東港周辺における積雪をポリエチレン製円筒を用いて採取し主要な化学成分の分布状況を報告し⁶⁵⁾、また福崎は大気中への年間水銀排出量が異なるセメント工場、塩素-アルカリ電解工場、石油専焼火力発電所周辺の積雪中水銀濃度を深度別に調べ、大気中への水銀排出量との対応関係を報告している⁶⁶⁾。

2.6 乾性降下量測定

積雪表面への乾性降下量の測定はある期間において2回以上積雪を採取し汚染物質の濃度上昇より求める方法とWet/Dry サンプラーの乾性降下物採取部に雪を置き同様に濃度上昇から求める方法とがある。いずれも気温が高くなく雪が一定期間保存される必要がある。後者の方法でCadleらは窒素酸化物、二酸化硫黄及び種々の粒子状物質の雪への降下速度をミシガン州北部で測定している⁶⁷⁾。またDaschらは米国ミシガン州Warrenにおいて上記二つの方法によりガス状及び粒子状物質の乾性降下量を求めている。乾性沈着量は全沈着量の42~80%に及ぶことからその重要性が指摘されている⁶⁸⁾。

このほか、積雪採取によるものとしてDovlandらは降雪の直前に10枚の30 cm角ポリエチレン製捕集板を地面に置き、降雪後6回直径20 cmのポリエチレン製円筒を用いて雪を採取することにより大気中の鉛、硫黄の2週間での雪表面への降下速度を測定した⁶⁹⁾。またForlandらはノルウェー西部Bergenにおける大気汚染物質の乾性降下量を降雪があったすぐ後とその3日後に積雪の表面を採取・測定し、乾性降下量は都市域では湿性降下量と同程度であったが田園地域では小さいことを報告している⁷⁰⁾。さらにReynoldsは中部ウェールズ地方の高地田園地帯において積雪表面に広口ポリプロピレンジャーを埋め降雪中あるいは降雪後2, 3時間以内の新雪と降雪後3~7日程度経過した積雪中の化学成分を比較し、雪の中の成分濃度は時間とともに高くなることを報告している⁷¹⁾。

2.7 融雪過程の研究

最大積雪時前後における化学成分の積雪層への蓄積量の把握と融雪過程でのそれら化学成分の積雪層内の移動並びに融雪水と積雪層の化学成分比較は雪国において重要な研究課題となっている。したがってこうした課題に関する報告は多数あるが、ここではそれらのうち主なものについて紹介するととめる。

Englishらはカナダ・オンタリオ州Sault Ste Marieの北50 kmのTurkey Lakes Watershedにおいて融雪前の積雪を直径15 cmのPlexiglass管で採取するとともに、湖に面した丘の斜面を利用して採取装置を組み立て融雪水を採取し、融雪水とカナダ楕状地土壌との相互作用を調査・報告している⁷²⁾。またSemkinらは同地点で融雪期に積雪と降下物を1週間ごとに採取し積雪層における主要イオン成分の保持と流出過程について調査した。融雪水は積雪よりも主要イオンを2~10倍濃縮しており、積雪が30%溶けるときに約50%のH⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻が溶け出すことなどを報告している⁷³⁾。

米国ミシガン州北部でCadleらは直径10.2 cmのPlexiglass管で1週間毎に積雪コアを採取するとともに融雪水をライシメータで日単位で採取し、H⁺, NO₃⁻, SO₄²⁻の濃度変化を報告し^{74), 75)}、スコットランドの山地でTranter

らは降雪後6時間以内の新雪と1週間ごとに掘られた雪壕から積雪と融雪水を採取し、これら試料間の主要イオンの挙動を報告している⁷⁶⁾。

国内ではSuzukiは均一な成層積雪が得られる北海道大学農場においてプラスチック製スコップを用いて雪壕面の積雪を各層ごとに採取するとともに、直径5.8cmのプラスチック管で積雪の全層コアを数回採取し、融雪による積雪層の化学成分濃度、pH等の変化を報告した⁷⁷⁾。また坂井らは新潟県六日町で約2mの積雪を直径40cmの円筒形に採取して融雪実験を行い、積雪が20%溶けるときの全含有イオン量の約50%が溶出することなどを報告している⁷⁸⁾。このほか融雪に関連して諸外国での報告^{79),80),81),82),83)}がある。

2.8 分析用試料溶液の調製

以上述べてきた各種の雪採取法によって雪が採取され実験室に持ち込まれることとなる。これらを通常の雨の試料に準じて各種の溶存成分を分析するための試料とするには雪の溶解が必要である。

雪の溶解に関して詳細に検討された報告はほとんど見あたらない。わずかに青森県の早狩らは、室温で融解した試料(A)と水浴上で加熱融解した試料(B)の成分濃度の違いを報告している。融解時には時計皿で覆われ、融解時間はAが約2時間、Bが約3分であった。この間の水分蒸発は1%以内であったが、同一試料5回の測定で SO_4^{2-} 濃度では差がみられなかったのに対し、EC, NO_3^- , NH_4^+ ではBが有意に高かったとしている^{84),85)}。

2.7までに引用した文献では雪試料の融解には室温で融解したとの記載が多く、また雪の融解に関する特別な記述がない場合を室温で融解されたものと解釈すると多くの場合室温融解が採用されているといえる。融解に特別な注意が払われた報告としては、溶かし始め2,3時間は室温において80%程まで溶かし、その後4℃を超えない冷蔵庫などでゆっくり溶かす方法^{86),86)}や冷蔵庫中0℃よりわずかに上の温度⁴⁰⁾, 2℃¹³⁾, 4℃以下⁸⁵⁾でゆっくり溶かす方法があげられる。これらはいずれもバクテリアによる窒素分や炭酸塩成分の消費を抑えるため^{85),86)}と考えられる。一方同位体比測定や金属分析などのために多量のサンプルが必要なときには40℃の温湯に浸す方法²⁴⁾や50℃のサウナに入れる方法²⁰⁾が採用されるがこれらは特殊な例と考えられる。なお、融解後は0.45μm程度のメンブランフィルターなどで速やかにろ過し分析時まで4℃程度で冷蔵保存される場合が多い。

3 おわりに

以上主に積雪の採取目的とその採取方法についてこれまでの文献を見てきたが、積雪の採取には清浄なプラスチック製円筒などが使用されることが多いようである。積雪採取の場合には降雪採取ほど採取器の違いによって

測定値に重大な影響を及ぼすとは考えにくく、むしろ積雪調査にあたっては使用器材よりその調査実施時期が雪の融解に関連し化学成分移動とのかねあいから重要なものと考えられる。積雪調査は多くの場合最大積雪期に行われるが、調査実施まで降雨があった場合は特に、雨が全く無い場合でも積雪層内の化学成分の移動があることを念頭に調査されねばならない。したがって積雪中の蓄積量把握のためには積雪の全層サンプリングが行われるべきものとする。さらに冬期間の総降下量把握には積雪採取予定地点にあらかじめポリエチレンシート等を敷くなどして融雪水の流れ出しをくいとする手だても必要と考えられる。

本邦中部山岳地帯は世界でも有数の多雪地帯であり、冬期間の化学成分の降下・蓄積量についても関心が高まっている。こうした蓄積量を把握するにあたっては例えば早春期の積雪調査は有効な手段であると考えられる。しかし欧米に比較してわが国の山岳地帯における積雪成分の調査研究例は少なく今後積雪のコアサンプル採取から蓄積量の把握と、積雪期間を通しての融雪に関する調査及び地域による違いに関する調査研究が積極的に実施されるべきものとする。また、このような調査から日本海側と分水嶺をはさんだ太平洋側の積雪・降雪成分の違い、その原因なども明かにされていくものと考えられる。

日本海側地域における冬期pH低下は非海塩硫酸イオン(nss-SO_4^{2-})による寄与が大きいとされておりその起源に関しての調査研究も報告されつつある。水素、酸素、窒素、硫黄の安定同位体比測定に基づく研究はこれまで主に地球化学の分野で行われてきたが、今後 SO_4^{2-} , NO_3^- , H^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ などの主要イオンの測定値とこれらの安定同位体比測定、土壌起源トレーサー測定(たとえばPb-210)、ガス状・粒子状物質の同時測定に基づく洗浄比計算などが総合的に調査されることにより降雪機構や雪の酸性化機構の解明が一層進展するものとする。さらに、これまで測定例の少なかった有機成分や微量元素、 H_2O_2 などの測定もそれらの起源と役割が長距離輸送に関連して実施されるべきものとする。

しかしながら、こうした調査研究も日本のみで実施されてもその成果は一定の範囲にとどまるものであって、今後東アジアの国々との国際的共同調査研究が望まれるところとなっている。

文 献

- 1) 浅井富雄, 内田英治, 河村 武: 気象の事典, p.462 (1986), (平凡社).
- 2) 加納一郎: 北海道の山と雪, p.173 (1986), (教育社).
- 3) 気象ハンドブック編集委員会: 気象ハンドブック, p.104, p.169, p.643 (1984), (朝倉書店).

- 4) 水谷義彦 (富山大学雪の総合研究会) : 積雪をもたらす水蒸気の起源と挙動, p.23 (1987).
- 5) 対馬勝年, 川田邦夫, 中川正之 (富山大学雪の総合研究会) : 降雪粒子の研究, p.13 (1987).
- 6) 加藤健二 (酸性雨対策検討会大気分科会) : 酸性雨対策調査中間報告書, p.74 (1987).
- 7) 北村守次 : 第31回大気汚染学会講演要旨集, p.174 (1990).
- 8) 福崎紀夫 : 公害と対策, **27**, 1458 (1991).
- 9) 日本雪氷学会 : 積雪観測法 (昭和40年1月).
- 10) Neffel A., Sigg A. and Jacob P. : Phys. Behav. Atmos. Pollut., **45** (1986).
- 11) Leuenberger C., Czuczwa J., Heyerdahl E. and Giger W. : Atmos. Environ., **22**, 695 (1988).
- 12) Meyers P. A. and Hites R. A. : Atmos. Environ., **16**, 2169 (1982).
- 13) Cerling T. E. and Alexander A. J. : Water Air Soil Pollut., **35**, 373 (1987).
- 14) Tunogai S. and Fukuda K. : Geochem. J., **8**, 141 (1974).
- 15) 新潟県環境保健部 : 湿性大気汚染調査報告書, 昭和61年3月.
- 16) 福崎紀夫, 漆山佳雄, 大泉 毅, 市川義夫, 中野雅夫, 貴船育英 : 1984年度日本地球化学会講演要旨集, p.52 (1984).
- 17) Ecker F. - J. : 第1回国際学術研究公開シンポジウム'89 - 環日本海域における酸性雨・雪, p.41 (1989).
- 18) Ecker F. - J., Hirai E., Choji T. : Atmos. Environ., **24A**, 2593 (1990).
- 19) 丁字哲治, 平井英二, 中川千枝 : 第2回国際シンポジウム環日本海における酸性雨・雪, p.101 (1990).
- 20) 村本健一, 椎名 徹 : 同上, p.81 (1990).
- 21) 寺田信之, 藤田慎一, 山極晶子 : 1984年度日本地球化学会講演要旨集, p.144 (1984).
- 22) Ichikuni M. : Geophys. Res., **83**, 6249 (1978).
- 23) Davies T. D., Abrahams P. W., Tranter M., Blackwood I., Brimblecombe P. and Vincent C. E. : Nature, **312**, 58 (1984).
- 24) Landsberger S., Davies T. D., Abrahams P. W., Draka J. : Atmos. Environ., **23**, 395 (1989).
- 25) Malissa H., Pell E. and Biebl P. : Aerosol Sci. Technol., **10**, 140 (1989).
- 26) Andersson P., Lofvendahl R. and Aberg G. : Atmos. Environ., **24A**, 2601 (1990).
- 27) Chiou K. Y. and Manuel O. K. : Environ. Sci. Technol., **22**, 453 (1988).
- 28) 渡辺紀元, 岸 政美, 早川 修 : 水処理技術, **26**, 185 (1985).
- 29) 金沢良昭, 中野貴彦, 田中英樹 : 兵庫県公害研究所研究報告, **20**, 115 (1988).
- 30) 金沢良昭, 中野貴彦, 田中英樹 : 同上, **120** (1988).
- 31) 上木勝司, 飯田俊彰 : 第2回国際学術研究公開シンポジウム'90 - 環日本海域における酸性雨・雪, p.87 (1990).
- 32) Munger W. J. : Atmos. Environ., **16**, 1633 (1982).
- 33) Thornton J. D. and Eisenreich S. J. : Atmos. Environ., **16**, 1945 (1982).
- 34) Pagenkopf G. K. : PB Red. - 84 - 190123 (1983).
- 35) Laird L. B., Tylor H.E., Kennedy V. C. : Environ. Sci. Technol., **20**, 275 (1986).
- 36) Gunz D. W. and Hoffman M. R. : Atmos. Environ., **24A**, 1661 (1990).
- 37) Gunz D. W. and Hoffman M. R. : Atmos. Environ., **24A**, 1673 (1990).
- 38) Landsberger S., Jervis R. E., Aufreiter S. and Van Loon J. C. : Chemosphere, **11**, 237 (1982).
- 39) Landsberger S., Jervis R. E., Kajrys G., Monaro S. and Lecomte R. : Environ. Sci. Technol., **17**, 542 (1983).
- 40) Barrie L.A. and Vet R. J. : Atmos. Environ., **18**, 1459 (1984).
- 41) Gjessing Y. : Atmos. Environ., **18**, 825 (1984).
- 42) Davidson C. I., Honrath R. E., Knadane J. B., Tsay R. S., Mayewski P.A., Lyons W. B. and Heidan N. Z. : Atmos. Environ., **21**, 871 (1987).
- 43) Mayewski P. A., Spencer M., Lyons W. B. and Twickler M. S. : Atmos. Environ., **21**, 863 (1987).
- 44) Weiss H. V., Herron M. M. and Langway C. C. Jr. : Nature, **274**, 352 (1978).
- 45) Dick A. L., Sheppard D. S. and Patterson J. E. : Atmos. Environ., **27A**, 973 (1990).
- 46) 金森暢子, 金森 悟, 瀬古勝基, 古川晶夫, 渡辺興亜, 西川雅高 : 1990年度日本地球化学会講演要旨集, p.5 (1990).
- 47) Tranter M., Davies T. D., Abrahams P. W., Blackwood I., Brimblecombe P. and Vincent C. E. : Atmos. Environ., **21**, 853 (1987).
- 48) Suzuki K. : Atmos. Environ., **21**, 1773 (1987).
- 49) 加藤龍夫, 花井義道 : 横浜国立大学環境科学研究センター紀要, **10**, 3 (1983).
- 50) 加藤龍夫, 馬 丹 : 同上, **15**, 1 (1988).
- 51) 加藤龍夫, 花井義道 : 同上, **12**, 61 (1985).
- 52) 北野 康, 金森暢子, 渡辺興亜 : 1981年日本地球化学会講演要旨集, p.312 (1981).
- 53) 北野 康 : 地球環境の化学, p.118 (1984), (裳華房).
- 54) 安部喜也, 西川雅高 : 第24回大気汚染学会講演要旨

- 集, 540 (1983).
- 55) 安部喜也, 西川雅高: 第25回同上, 316 (1984).
- 56) 荒木邦夫, 青井孝夫, 加藤拓紀: 北海道公害防止研究所報, **12**, 59 (1985).
- 57) 荒木邦夫, 青井孝夫, 加藤拓紀, 野口 泉: 同上, **13**, 69 (1986).
- 58) 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: 同上, **15**, 73 (1988).
- 59) 斉藤 学, 江川義則, 泉 博克, 高橋 浩: 秋田県環境技術センター年報, **15**, 50 (1987).
- 60) 矢島久美子, 兼子万理枝, 長井綾子, 田中昭雄, 原善彦, 狩野和男, 氏家淳雄: 群馬県衛生公害研究所年報, **15**, 133 (1983).
- 61) 氏家淳雄, 矢島久美子, 田中昭雄, 原 善彦: 同上, **16**, 116 (1984).
- 62) 福崎紀夫, 大泉 毅, 高橋裕志, 藤枝義丸: 新潟県衛生公害研究所年報, **6**, 105 (1990).
- 63) Jernelov A. and Wallin T.: Atmos. Environ., **7**, 209 (1973).
- 64) Phillips S. F., Wotton D. L. and Mceachern D. B.: Water, Air, and Soil Pollution, **30**, 253 (1986).
- 65) 漆山佳雄, 谷中和子, 佐々木寿子, 真貝春男, 渡辺紀, 真島正策: 第22回大気汚染学会講演要旨集, p.182 (1981).
- 66) 福崎紀夫: 新潟県衛生公害研究所年報, **1**, 78 (1986).
- 67) Cadle S. H., Dasch J. M., Mulawa P. A.: Atmos. Environ., **19**, 1819 (1985).
- 68) Dasch J. M. and Cadle S. H.: Proc. Annu. Meet. Air Pollut. Control Assos, **78**, [85.6B.3.1] (1985).
- 69) Dovland H. and Eliassen A.: Atmos. Environ., **10**, 783 (1976).
- 70) Forland E. J. and Gjessing Y. T.: Atmos. Environ., **9**, 339 (1975).
- 71) Reynolds B.: Atmos. Environ., **17**, 1849 (1983).
- 72) English M. C., Jeffirs D. S., Foster N. W., Semkin R. G. and Hazlett: Water Air, and Soil Pollution, **31**, 27 (1986).
- 73) Semkin R. G. and Jeffries D. S. Water Air, and Soil Pollution, **31**, 215 (1986).
- 74) Cadle S. H. and Dasch J. M.: Environ. Sci. Technol., **21**, 295 (1987).
- 75) Cadle S. H., Dasch J. M. and Grossnickle N. E.: Water, Air, and Soil Pollution, **22**, 303 (1984).
- 76) Tranter M., Brimblecombe P., Davies T. D., Vincent C. E., Abrahams P. W. and Blackwood I.: Atmos. Environ., **20**, 517 (1986).
- 77) Suzuki K., : Jap. J. Limnol., **43**, 102 (1982).
- 78) 坂井正昭, 山内武雄, 丸田文之, 大泉 毅: 新潟理化学, **12**, 19 (1986).
- 79) Johannessen M. and Henriksen A.: Water. Resources Reseach, **14**, 615 (1978).
- 80) Berg N.: Water, Air, and Soil Pollution, **30**, 1015 (1986).
- 81) Hultberg H.: Water, Air, and Soil Pollution, **7**, 279 (1977).
- 82) Colbeck S. C.: Water Resources Reseach, **17**, 1383 (1981).
- 83) Bales R. C., Sommerfeld R. A., Kebler D. G.: Atmos. Environ., **24A**, 2749 (1990).
- 84) 青森県: 昭和57年度環境庁委託業務結果報告書, 分析の自動化に関する研究 (酸性雨測定方法), 昭和58年3月, p.106 (1983).
- 85) 早狩敏夫, 坂本正昭: 青森県公害センター所報, **6**, 90 (1983).
- 86) Berg N. H., Mcgurk B. J., Marka D., Melack J. M. and Dawson D.: PB Rep. (PB-89-225387), (1989).