論文

融雪水の酸素同位体組成変化と積雪の層構造

鈴木啓助¹⁾

要 旨

積雪底面融雪水の $\delta^{18}\text{O}$ 、化学物質濃度の変化と積雪の化学的な層構造との関係を検討した。調査は、福島県南部の会津田島において行ない、使用した積雪ライシメータの面積は $1,647\text{ m}^2$ である。

ライシメータを介しての物質収支はほぼ一致し、調査方法の妥当性が認められる。会津田島における冬期降水の pH は $3.89\sim 4.36$ であり、酸性が比較的強い。さらに、降水時の平均気温と降水の $\delta^{18}\text{O}$ との間には相関が認められる。積雪底面融雪水の電導度は、融雪の進行に従い次第に小さくなり、 $\delta^{18}\text{O}$ は次第に大きくなる。積雪全層の $\delta^{18}\text{O}$ は、融雪によって大きくなり、電導度は小さくなる。積雪上部に $\delta^{18}\text{O}$ の大きな層、下部に値の小さな層が分布する場合には、積雪底面融雪水量の増加時に融雪水の $\delta^{18}\text{O}$ が大きくなるような日変化を示す。

1. はじめに

融雪最盛期の積雪底面融雪水の電導度や化学物質濃度は、融雪水量が増加すれば低下し、水量が減少するに従い増加するという、単純な日変化を示すと考えられていた (鈴木, 1990, 1991; 鈴木・遠藤, 1991)。ところが、積雪底面融雪水の化学物質濃度の日変化パターンが、積雪中の化学物質濃度分布に影響を受けている可能性を、鈴木ほか (1992) が報告した。それは、積雪底面融雪水の NO_3^- 濃度と SO_4^{2-} 濃度の日変化パターンが異なるのは、積雪下層の積雪内部融雪水と当日に積雪表層で形成される融雪水とで、それぞれのイオン濃度が異なるためであると推論したものである。つまり、鈴木ほか (1992) の報告の SO_4^{2-} のように、積雪表層の方が積雪下層よりも高濃度であれば、融雪水量の増加時に融雪水の濃度が増大することがある。

しかしながら、鈴木ほか (1992) では積雪中の化学物質濃度の分布については報告されていない。そこで、ライシメータによって積雪底面融雪水を採取・分析するとともに、積雪層ごとに積雪を採取・分析した。そして、積雪中の化学物質濃度と酸素同位体組成 ($\delta^{18}\text{O}$) の分布と、積雪底面融雪水中の化学物質濃度と $\delta^{18}\text{O}$ の変化との関連について検討した。

その結果、融雪最盛期には積雪底面融雪水量が日変化

するとともに、電導度や陰イオン濃度および $\delta^{18}\text{O}$ も日変化することが明らかになった。さらに、それらの日変化パターンと積雪中の分布との関連が、とくに $\delta^{18}\text{O}$ について明瞭である。

2. 研究方法

本研究における積雪底面融雪水の採取と、積雪の層ごとの採取は、福島県南会津郡田島町藤生の東京都立大学会津田島学外施設において、1992年融雪期に行なった。会津田島町は福島県南部に位置し、市街地 (標高570m) での1月の月平均気温は -2.6°C 、最深積雪深の年平均値は93cmである (気象庁, 1982, 1984)。本学外施設は、市街地から南西に約8km離れた標高700mの山地にあり、市街地よりも気温は低く、積雪深は大きくなる。

施設の一部として、テニスコートが2面設置されており、その表面はラバー・コーティングされ、降雨が地中に浸透せず、水はけが良いように設計されている。さらに、全体に 5° の傾斜が付けられており、雨水が速やかに流去するように配慮されている。このために、排水を1ヶ所に集めることができれば、ライシメータとして利用できる。そこで、排水溝を処理し、全体の傾斜の最低部1ヶ所から排水されるように改良し、積雪ライシメータとした。

本ライシメータの概略図を図1に示す。集水域は $41.8\text{m} \times 39.4\text{m}$ で、面積は $1,647\text{ m}^2$ である。コート表面は、積雪期前に洗浄し、ネットなども撤去した。融雪時

1) 東京都立大学理学部 〒192-03 八王子市南大沢1-1

図1 ライシメータの概略

に、コート表面に達した融雪水は、周囲のU字溝によって集水され、塩ビパイプを通して45°三角堰に流れ込む。その水位変動を圧力センサー（Druck製）で計測し、融雪水量を算出した。融雪水の電導度は、投げ込み式のセンサー（セントラル科学: UC-35）により計測した。水位と電導度の連続記録にはデータロガーKADEC-US）を使用した。さらに、自動採水器（ISCO-2900）を用いて融雪水の採取を行なった。

採取した融雪水試料は、ろ過した後pHと電導度を測定し、イオンクロマトグラフィー（DIONEX-2020i/SP）によって陰イオン（ Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} ）濃度を測定し、 $\delta^{18}\text{O}$ を質量分析計（Finnigan MAT: delta S）によって測定した。

積雪の採取は、Suzuki（1982）の方法と同様であり、積雪全層採取のプラスチック・パイプの直径が83mmに変わったのみである。積雪全層と各層ごとに積雪を採取し、積雪水量と密度を算出した。雪試料の融解後は、融雪水と同様な方法によって、pH、電導度、陰イオン濃度と $\delta^{18}\text{O}$ を測定した。

降水の採取は、直径30cmのプラスチック製のロートとサンプル瓶を用いて、数日間隔で行なった。ロートは開いたまま採取したので、乾性沈着物も含まれている。分析方法は融雪水、積雪と同様である。

なお、気象観測は観測露場で行ない、気温、降水量、積雪深を計測した。

3. ライシメータによる物質収支の検討

調査期間を通して、ライシメータ上には降水や乾性沈着によって物質が供給され、それらの物質は蒸発により失われる分を除くと、流出によってライシメータから排出される。漏水などが無ければ、ライシメータを介する物質ごとの収支は一致するはずである。本調査における降水の採取試料には乾性沈着による物質も含まれている。さらに、ライシメータから流去する融雪水の流出量と陰イオン濃度が測定されているので、収支を検討し、ライ

シメータ法の妥当性を吟味することができる。

収支を検討するのは、水と陰イオンの量である。水の供給量は、降水の採取重量をロートの開口面積で除して降水量を求め、それを合計することにより算出することができる。水の排出量は、ライシメータからの流出高を求めることにより、降水量と同じ単位で算出することができる。陰イオンの供給量は降水試料の濃度と降水量を乗ずることにより、単位面積あたりの量を求め、それを合計することにより算出することができる。陰イオンの排出量は、融雪水量と融雪水中の濃度を乗ずることにより求めることができる。しかしながら、イオン濃度は連続的ではなく、数時間間隔で計測されているにすぎない。そこで、ある融雪水試料の採取時と、前後の採取時までの中間の時間までは、その試料の濃度であると仮定し、排出量を算出した。

収支計算期間は、1991年12月24日9時から1992年3月17日24時までである。後述のように、3月16～18日には積雪深計のまわりでは積雪深が観測されず、ライシメータ上にはパッチ状に積雪が残っているのみである。3月17日24時における、ライシメータ上の積雪水量は少量であると考えられるので、積雪として残存する水と陰イオンの量は収支計算から除外した。また、3月11日に降水試料採取を開始しているが、3月11日から17日までは降水が観測されず、18日中日から降水が観測された。そのため、3月11日から19日までの降水試料は収支計算から除外した。以上の条件を加味して計算した、水と陰イオンについての収支計算結果を表1に示す。

本調査では、蒸発によって失われる水の量を見積もることができない。北海道母子里の4月中旬の快晴日における積雪表面からの正味蒸発量は0.9mmであると報告されている（竹内ほか、1990）。これから推定すると、本調査地でも表1の期間において数10mmの蒸発があるものと考えられる。蒸発を考慮しなければ、流出率は1.06となるが、実際には1.10を超えてしまうことが考えられる。これは、降水採取器による降雪の捕捉率の影響

表1 ライシメータを介した物質収支
(911224/900~920317/2400)

	水 (mm)	Cl ⁻ (mg/m ²)	NO ₃ ⁻ (mg/m ²)	SO ₄ ²⁻ (mg/m ²)
供給量	196	342	181	312
排出量	207	384	164	324
流出率	1.06	1.12	0.91	1.04

と考えられる。降雪の捕捉率は風速の増大とともに低下する(高橋・魚津, 1975)ので, 収支算出期間において, 降水量が過小に見積もられたことが考えられる。

陰イオンのうちCl⁻については, 流出率が1.12と見積もられているが, 蒸発によってCl⁻が排出されることは考えられないので, Cl⁻の供給量が約1割程度過小に見積もられていると考えられる。以上のように, 蒸発の効果, 捕捉率と分析精度を考慮すれば, 水とCl⁻, SO₄²⁻イオンについては, ライシメータを介する物質収支が, ほぼ一致しているといえる。ところが, NO₃⁻については流出率が小さく, 供給量に対して排出量が少なくなっている。積雪中のNO₃⁻は, 生物活動によって消費されることが, Jones and Deblois (1987) や Suzuki et. al. (1993) によって報告されている。本調査地においても, 積雪中においてNO₃⁻が何らかの過程で消費されているために, 流出率が小さくなっているものと考えられる。

以上のように, 降水, 積雪, 融雪水をライシメータ法を介して調査することの妥当性が, 物質収支から支持された。

4. 降水の化学的性質

降水の電導度, pH, 陰イオン濃度および $\delta^{18}\text{O}$ の1991年12月11日から1992年3月21日までの変化を図2に示す。それぞれの試料の採取期間は, 図に点と点を結ぶ線で示されている。電導度は5.9~34.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の間で変動し, pHは3.89~4.36の間で変動している。降水のpHとしてはかなり酸性が強いといえる。電導度, pHとも経時的な傾向を示す変動はみられないが, 相互の相関係数は-0.78と比較的高い相関関係にある。降水中の溶存物質濃度が高いときに, 降水のpHは低くなるといえる。

陰イオン組成は試料ごとに変動し, イオンごとの多寡もまちまちである。しかし, 3月6~11日の降水はNO₃⁻濃度が極端に高い。そして, この降水の電導度は高く, pHは低くなっている。

$\delta^{18}\text{O}$ の値は経時的な変動を示しているようにみえる。つまり, 気温のより低いときには $\delta^{18}\text{O}$ は小さな値を示

図2 降水の電導度・pH・陰イオン濃度および $\delta^{18}\text{O}$ の変化

し, 気温が上がると大きな値を示すようにみえる。そこで, 降水採取期間の平均気温と $\delta^{18}\text{O}$ の関係を調べてみる。気温と降水量のデータを1時間ごとに揃え, 降水が観測された時間の気温のみを抽出し, 採取期間について単純平均をとったものを, 降水試料に対する平均気温とする。この平均気温と降水の $\delta^{18}\text{O}$ の関係を図示したのが図3である。降水採取期間の初日を一緒に図示した。全サンプルについて平均気温と $\delta^{18}\text{O}$ の相関係数を求めると0.59となる。しかしながら, 2/06, 2/20と3/06に始まる降水を除くと相関係数は0.95となり, 降水の $\delta^{18}\text{O}$ が降水時の気温に大きく左右されることがわかる。降水の $\delta^{18}\text{O}$ は, 主として水蒸気の凝結温度によって決まる(Dansgaard, 1964)ので, 平均気温と降水の $\delta^{18}\text{O}$ の相関が良くなるものと考えられる。ただし, 降水の $\delta^{18}\text{O}$ は, 降水をもたらす気象条件や降水雲の移動経路などによっても変化する(藤井, 1989)ので, 降水の $\delta^{18}\text{O}$ を決める要因は複雑である。2/06, 2/20と3/06に始まる降水は, 気象条件などが他の降水と異なっているものと考えられる。地上の気温と降水粒子形成時の温度との間に関連があるとは一概にいえませんが, 少なくとも本調査については, 降水の $\delta^{18}\text{O}$ と降水時の平均気温との間に高い相関が認められる。

5. 積雪底面融雪水の長期変動

降水量, 気温, 積雪深および積雪底面融雪水量の1991

図3 降水時の気温と降水の $\delta^{18}\text{O}$ の関係

図4 降水量・気温・積雪深および積雪底面融雪水量の変化

年12月28日から1992年3月25日までの変化を図4に示す。積雪深は毎日9時の値である。3月26日以降も、ライシメータの上には積雪がパッチ状に残っており、融雪水量も観測されているが、降雨の直接流出が混流したりするので、積雪期間のみ図示した。

降水量は、気温が 2°C 以上の場合には降雨として、降雪と分けて図示した。1, 2月にも日中の気温が比較的高くなるときがあるが、降雨はほとんど観測されず、2月29日～3月1日にまとまった降雨があるのみである。12月下旬, 1月末と2月20日前後に、まとまった降雪があり、その際に積雪深が増加し、今冬期の最深積雪深は2月23日の108cmである。

積雪底面融雪水量は、1月24～29日の間は欠測したが、2月末までは顕著な水量の増加がみられない。1, 2月の日中の気温の上昇も、夜間の低温による積雪の冷却を解消し、積雪底面に達するような活発な積雪表面での融雪を生じさせてはいない。2月27日には日本海を低気圧が通過したために気温が上昇し、29日には前線をともなった低気圧が通過し降雨となった。この間に最初のまとまった積雪底面融雪水が流出した。その後一時的に低温となり、3月8日頃からは融雪水量が明瞭な日変化を示すようになる。

2月末から3月初めにかけての降雨にともなう融雪流出後、3月4日から21日までの融雪水量と融雪水の電導度、 $\delta^{18}\text{O}$ の変化を図5に示す。3月16～18日は積雪深計の周りでは積雪深が観測されていないが、ライシメータ上の一部にはパッチ状に積雪があり、少ないながらも融雪水量が観測され日変化も示している。そして、18日午後まとまった降雪があり、再び積雪深が観測される。3月14日と15日の夜間の水量の増加は降雨によるものではなく、気温と湿度の増加によるものである。それ以外は、融雪水量は明瞭な日変化を示し、呼応するように融雪水の電導度も日変化している。水量の増加する午後に電導度は小さくなり、水量が減少する夜間から未明にかけて電導度は大きくなる。さらに、融雪の進行に従い積雪底面融雪水の電導度は次第に小さくなる。ちなみに、1, 2月の積雪底面融雪水の電導度は、 $30\sim 40\mu\text{S}/\text{cm}$ で安定した値を示している。積雪底面融雪水の電導度が、融雪期間中に次第に小さくなる現象は、Johannessen and Henriksen (1978) や鈴木 (1990, 1991) によっても報告されている。

融雪水の $\delta^{18}\text{O}$ は、融雪の進行に従い値が大きくなり、次第に重い酸素の多い水が流出する様子がわかる。水の相変化により同位体組成は変化する (O'Neil, 1968) が、融雪現象を考えれば、雪粒子が融解し液相の水になる際

図5 積雪底面融雪水量と融雪水の電導度・ $\delta^{18}\text{O}$ の変化

に、液相の方が $\delta^{18}\text{O}$ がより小さくなる。そのために、積雪の $\delta^{18}\text{O}$ は次第に大きくなり、結果として融雪水の $\delta^{18}\text{O}$ も融雪の進行に従い大きくなる。融雪期における積雪と融雪水中の $\delta^{18}\text{O}$ が、次第に大きくなる現象はStichler, W. et al. (1986) によっても報告されている。融雪水中の $\delta^{18}\text{O}$ の短期間の変動は、電導度の変動と鏡像関係にある。たとえば、3月9, 12, 20日のように、日中の電導度の低下量が大きい場合には、 $\delta^{18}\text{O}$ の増加量が大きくなっている。それ以外の場合にも、融雪水の $\delta^{18}\text{O}$ と電導度の変化は鏡像関係にあり、全体の変動も逆になっている。

6. 積雪底面融雪水の日変化と積雪の層構造

6.1 積雪層ごとの化学的性質

積雪底面融雪水の電導度が、融雪の進行とともに値が小さくなったり、 $\delta^{18}\text{O}$ が次第に大きな値を示すようになるのは、積雪中の値が融雪の進行とともに変化するからである。また、前述のように積雪底面融雪水中の化学物質濃度の日変化パターンは、積雪内部における化学物質濃度の配置によって規定されていることが考えられる。そこで、積雪全体の $\delta^{18}\text{O}$ や陰イオン濃度の変化と、積雪層ごとのそれらの変化を検討する。

積雪全体と層ごとの電導度、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 濃度と $\delta^{18}\text{O}$ の変化をそれぞれ図6, 7, 8, 9, 10に示す。それぞれの図には、断面観測を行なった日の層位を、明瞭に連続的に認定できる場合には実線で、不明瞭な場合には点線で結んで示した。積雪全層の値は下線を引いて、

図6 積雪全体と各層ごとの電導度の変化

図7 積雪全体と各層ごとの Cl^- 濃度の変化

図8 積雪全体と各層ごとの NO_3^- 濃度の変化

それぞれの断面の最上位に示す。層位が明瞭に認定できるのは、数日間のみとまった降雪によって形成された積雪層の上下である。各層の形成初期には、沈降によって層厚が急激に小さくなり、密度が大きくなる。しかし、数日後には層厚がそれほど変化しなくなり、密度も一定になる。積雪最下層のみは、底面融雪によって次第に消失する。2月22日に最深積雪深を記録した後は、3月18日までとまった降雪がなく、融雪が活発に起こっている。その間の積雪全層の電導度の変化を見ると(図6)、

図9 積雪全体と各層ごとの SO_4^{2-} 濃度の変化 図10 積雪全体と各層ごとの $\delta^{18}\text{O}$ の変化

次第に小さな値を示すことがわかる。これは、積雪底面融雪水の電導度が次第に小さくなることと一致する。各層の電導度の変化は、層ごとの値の相対的な大小を持続しながら変化する。たとえば、1月下旬の降雪によって形成された層の電導度は、その上下の層より高い値を示しながら、層が消失するまで持続する。最上層を除けば、層ごとの電導度は安定的であるといえる。

積雪全層の陰イオン濃度も、電導度と同様に融雪の進行とともに低下する（図7, 8, 9）。1月下旬に形成された電導度の高い層の NO_3^- と SO_4^{2-} 濃度は、上下の層に比べて明らかに大きい。 Cl^- についてはそれほど顕著ではない。これは、図2に示すように1月22～28日の降水の Cl^- 濃度が、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 濃度よりも低いことと対応する。1月18～19日の降雪によって形成された層の NO_3^- 、 SO_4^{2-} 濃度は3月6, 12日に顕著に増加しているが、 Cl^- の変化量はそれほど大きくない。積雪内部層のイオン濃度は、融雪によって上層の影響を受け変化するが、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} と Cl^- で変化の仕方が異なるようである。これは今後の課題である。最上層のイオン濃度は、融雪によって急激に低下することが Suzuki (1982) によって報告されているが、2月28日と3月6日の最上層の陰イオン濃度は、どのイオンについても顕著に低下している。

図10の $\delta^{18}\text{O}$ の変化を見ると、全層の $\delta^{18}\text{O}$ は融雪によって増大しており、積雪底面融雪水の $\delta^{18}\text{O}$ が融雪の進行によって増加する（図5）ことと調和的である。1月下旬に形成された層の $\delta^{18}\text{O}$ 値は、上下の層より大きく、融雪期を通して安定している。

6.2 融雪水の日変化

積雪底面融雪水の採取は、1日当たり最低3回行なったが、図5に明らかなように、3月4～6日、11～12日、19～21日には、日変化を調べるために比較的短い時間間隔で採取した。3月4～6日は、融雪水量の日変化量が

小さく変動が明瞭でないので、3月11～12日と19～21日について日変化を検討する。

まず、3月11～12日の融雪水量と融雪水の電導度の連続的な変化と、融雪水の $\delta^{18}\text{O}$ と陰イオン濃度の変化を図11に示す。両日とも融雪水量は明瞭な日変化を示し、12日の方が最大水量が大きい。その変化に呼応するように、融雪水量の増加時に融雪水の電導度は低下し、12日の方が低下量が大きい。このように、融雪水量の増加時に電導度が低下するのは、普遍的な現象であるというよりは、積雪層ごとの電導度がいかに分布しているかによると考えるべきである。図6の3月12日における積雪層ごとの電導度の分布を見れば、最上層に値の小さな層があり、下層に電導度の比較的大きな層がある。未明から

図11 積雪底面融雪水量と融雪水の電導度・ $\delta^{18}\text{O}$ ・陰イオン濃度の変化 (920311～12)

午前までの積雪底面融雪水量の減時には、積雪下層からの融雪水の供給により、また、日中の水量の増加時は、最上層における当日の融雪によって融雪水が供給されていると考えられる。それに対応し、電導度の小さな上層からの融雪水が供給されるに従い、積雪底面融雪水の電導度は小さくなる。最大水量の大きな12日の方が、融雪水の電導度の低下量が大きくなることも矛盾しない。もし、積雪表層の電導度が下層よりも高く、表層で活発に融雪が起これば、積雪底面融雪水量の増加時に融雪水の電導度は大きくなると考えられる。

積雪底面融雪水の $\delta^{18}\text{O}$ は、水量の増加時に大きな値を示すような日変化をしている。図10の3月12日における積雪層ごとの $\delta^{18}\text{O}$ の分布を見れば、上部に値の大きな層、下部に値の小さな層が堆積している。電導度と同様な融雪水形成過程を考えることにより、積雪底面融雪水量の増加時に $\delta^{18}\text{O}$ の値が大きくなることが説明できる。しかしながら、 $\delta^{18}\text{O}$ の値のピークは融雪水量のピークに対して僅かに遅れてあらわれる。この現象が、積雪中における融雪水の押し出し流（鈴木, 1993）によるものかどうかは不明である。陰イオンについても全く同様であるが、3月12日の融雪水量増加時の濃度低下の度合いが、 Cl^- については NO_3^- 、 SO_4^{2-} よりも小さい。これは、積雪上層と下層における、それぞれのイオン濃度の差異に起因すると考えられる。つまり、積雪上層と下層における Cl^- 濃度の差が、 NO_3^- と SO_4^{2-} 濃度の

差よりも小さいためと考えられる。

3月19～21日の融雪水量と融雪水の電導度の連続的な変化と、融雪水の $\delta^{18}\text{O}$ と陰イオン濃度の変化を図12に示す。3月20日には調査期間中最大の積雪底面融雪水量を記録した。翌21日には降雪と低温のため、積雪表面での融雪は起こらなかった。積雪底面融雪水量と融雪水の電導度は明瞭な鏡像関係にあり、陰イオン濃度も水量増加時に小さくなる。一方、 $\delta^{18}\text{O}$ は水量増加時に値が大きくなる変動を示し、3月11～12日の場合と同様な変動パターンを示す。3月19日にも積雪試料の採取を行っているが、18日の連続した降雪によって形成されているために、層位を認定することができず、全層の採取のみを行なった。そのために、3月11～12日の融雪のように、積雪内部の分布との対応を検討することができない。しかしながら、積雪上層に、電導度と陰イオン濃度が小さく $\delta^{18}\text{O}$ の大きな層があり、下層に電導度と陰イオン濃度が大きく $\delta^{18}\text{O}$ の小さな層があることが推定できる。

7. まとめと今後の課題

ライシメータによって積雪底面融雪水を採取・分析するとともに、積雪層ごとに積雪を採取・分析し、積雪中における $\delta^{18}\text{O}$ と化学物質濃度の分布が、積雪底面融雪水の $\delta^{18}\text{O}$ と化学物質濃度の変化にいかに関与しているかを検討した。

本研究で明らかになった点は次のようにまとめられる。

- 1) ライシメータを介しての物質収支を見積もった結果、降雪の捕捉率を考慮すれば、水と Cl^- 、 SO_4^{2-} については収支がほぼ一致する。しかし、 NO_3^- については、流出率が小さい。
- 2) 会津田島における冬期降水のpHは3.89～4.36であり、酸性が強い。降水時の平均気温と降水の $\delta^{18}\text{O}$ との間には相関が認められる。
- 3) 融雪期間を通してみると、融雪の進行に従い積雪底面融雪水の電導度は次第に小さくなり、 $\delta^{18}\text{O}$ は次第に大きくなる。
- 4) 積雪全層の $\delta^{18}\text{O}$ は、融雪によって大きくなり、電導度は小さくなる。
- 5) 積雪上部に $\delta^{18}\text{O}$ の大きな層、下部に値の小さな層が分布する場合には、積雪底面融雪水量の増加時に融雪水の $\delta^{18}\text{O}$ が大きくなるような日変化を示す。

以上、本研究により積雪底面融雪水の化学的な日変化は、積雪の化学的な層構造と関わっていることが明らかとなった。今後は、積雪上部に $\delta^{18}\text{O}$ の小さな層、下部に大きな層が堆積した際の、積雪底面融雪水の $\delta^{18}\text{O}$ の日

図12 積雪底面融雪水量と融雪水の電導度・ $\delta^{18}\text{O}$ ・陰イオン濃度の変化 (920319～21)

変化について検証する必要がある。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、ライシメータの設置には東京都立大学事務局の金森滋氏と会津田島学外施設の湯田進氏に多大のお世話を頂きました。また、酸素同位体組成の分析には五十嵐誠氏（現国立極地研究所大学院生）の助力を得た。ここに深く感謝の意を表します。

本研究の一部には、文部省科学研究費補助金・一般研究 (B) (課題番号：03455020) の一部を使用した。

文 献

- Dansgaard, W., 1964: Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, **16**, 436–468.
- 藤井理行, 1989: 氷床コアと古環境. 地学雑誌, **98**, 535–561.
- Johannessen, M. and Henriksen, A., 1987: Chemistry of snow meltwater: changes in concentration during melting. *Water Resources Research*, **14**, 615–619.
- Jones, H. G. and Deblois, C., 1987: Chemical dynamics of N-containing ionic species in a boreal forest snowcover during the spring melt period. *Hydrological Processes*, **1**, 271–282.
- 気象庁, 1982: 気象庁観測技術資料. 46, 東京, 205pp.
- 気象庁, 1984: 気象庁観測技術資料. 49, 東京, 140pp.
- O'Neil, J. R., 1968: Hydrogen and oxygen isotope fractionation between ice and water. *Journal of Physical Chemistry*, **72**, 3683–3684.
- Stichler, W., Herrmann, A. and Rau, R. G., 1986: Modelling snowmelt runoff using environmental isotope and conventional methods. *Modelling Snowmelt-Induced Processes (Proceedings of the Budapest Symposium)*. IAHS Publ. no. **155**, 231–244.
- Suzuki, K., 1982: Chemical changes of snow cover by melting. *Japanese Journal of Limnology*, **43**, 102–112.
- 鈴木啓助, 1990: 融雪水の酸性化現象. 日本河川水質年鑑, 東京, 山海堂, 973–986.
- 鈴木啓助, 1991: 融雪水中の溶存成分濃度の日変化. 雪氷, **53**, 21–31.
- 鈴木啓助・遠藤八十一, 1991: 十日町市における酸性の融雪水. 森林立地, **33**, 71–75.
- 鈴木啓助・石井吉之・兒玉裕二・小林大二・H.G. Jones, 1992: カナダ東部, 北方針葉樹林地における融雪水の流出Ⅱ—化学物質の流出過程—. 低温科学, **51**, 93–108.
- 鈴木啓助, 1993: 積雪中における押し出し流の形成. 地理学評論, **66A**, 416–424.
- Suzuki, K., Ishii, Y., Kodama, Y., Kobayashi, D. and H. G. Jones, 1993: Chemical fluxes through a boreal forest snowpack during the snowmelt season. *Bulletin of Glacier Research*, **11**, 33–38.
- 高橋延男・魚津博, 1975: 吹雪時の降雪量について. 雪氷, **32**, 71–77.
- 竹内由香里・兒玉裕二・小林大二, 1990: 電子天秤を用いた積雪表面からの蒸発量の連続測定. 1990年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, 36.

Oxygen-18 of snow meltwater and snow cover

Keisuke SUZUKI

*Department of Geography, Tokyo Metropolitan University
Minami-Ohsawa 1-1, Hachioji, 192-03 Japan*

Abstract: Chemical studies of the snow meltwater discharged from a snowpack were conducted at Tahima, Fukushima prefecture. Chemical characteristics of precipitation and snow layers were studied.

The snow meltwater discharged from a snowpack was collected by a large lysimeter with an area of 1,647 m². Discharge of meltwater was measured by a 45° V-notch weir and a pressure gauge. Conductivity of meltwater was monitored automatically. Periodical samples of meltwater were collected by an automatic water sampler. Precipitation was collected by a bulk sampler.

The pH value of precipitation is from 3.89 to 4.36, indicating acidity of snow falls at Tajima. Significant correlation was found between $\delta^{18}\text{O}$ of precipitation and mean air temperature. Conductivity of meltwater decreased, and $\delta^{18}\text{O}$ of meltwater increased gradually as the snowmelt progressed. The $\delta^{18}\text{O}$ of meltwater shows the diurnal variations during the active snowmelting period. The daily peak value of $\delta^{18}\text{O}$ is observed in the afternoon.

(1993年6月18日受付, 1993年7月18日改稿受付, 1993年9月17日受理; 討論期限1994年6月30日)