

北見における積雪最下層の水安定同位体比の変化

Variation of water stable isotopes in the bottom layer of seasonal snow at Kitami

八久保 晶弘¹, 大橋 康樹¹, 白川 龍生¹

Akihiro Hachikubo¹, Koki Ohashi¹, Tatsuo Shirakawa¹

Corresponding author: hachi@kitami-it.ac.jp (A. Hachikubo)

¹ 北見工業大学

¹ Kitami Institute of Technology

積雪初期における、北見での積雪最下層の水安定同位体比プロファイルの経時変化を観測した。根雪となる12月中旬の降雪層はわずか2 cm程度の厚さであり、極めて大きな温度勾配がかかり、数日でもしめ雪に変化した。この層の $\delta^2\text{H}$ は、降雪直後は約-120‰であったが、わずか9日間で-55‰まで増加した。 $\delta^{18}\text{O}$ も同様に、-19‰から-8‰まで増加した。 $d\text{-excess}$ は32から2まで減少した。北見のように積雪の比較的小さい地域では、積雪初期の急激なしめ雪化により昇華蒸発が卓越し、 δ 値と $d\text{-excess}$ が極端に変化すること、またそのプロファイルが融雪期まで長期間維持されることがわかった。

1. はじめに

しめ雪は、積雪中の温度勾配が水蒸気濃度勾配を形成し、高温側の積雪粒子が昇華蒸発し、水蒸気が空隙を拡散して低温側の積雪粒子に昇華凝結することで成長する。発達すると元の粒子は次第に消失し、かつ粒子間のボンドの発達が妨げられるため、典型的な弱層の一つとして雪崩研究者に注目されてきた。また、降雪結晶が水安定同位体比として保持する生成時の温度情報等は、しめ雪の生成にともなう相変化により変質する。極地氷床コアの解析においては、過去の気温等の解釈等に影響を与える過程でもある。

北見工業大学では、大学敷地内の野球場および陸上競技場にて冬季間に積雪断面観測および気象観測を実施している¹⁾。昨シーズンからは、積雪断面観測時に積雪層の水安定同位体比プロファイルの変化を記録している²⁾。以前の報告では、積雪最下層の $d\text{-excess}$ が極めて小さい特徴が示されたものの、積雪初期の記録が欠けていたために、詳細な過程が不明であった。本報告は、特に2024-2025シーズンの最初期の積雪に注目し、安定同位体プロファイルの変化を記録した例について報告する。

2. 野外観測

2024年12月中旬~4月上旬まで、北見工業大学敷地内の露場にて積雪断面観測を実施した。ここでは例年、週2回程度の雪質・粒径・雪温・密度プロファイルの観測が行われている。積雪の最初期では12/12と12/16にそれぞれ降雪があり、

本稿ではこの2層に注目した。雪質の記録とともに、ポリエチレン袋に積雪層それぞれ数10 gを採取し、のちに室内で融解させてポリビンに保存し、速やかに水安定同位体比を測定した。

水安定同位体比測定には、DELTA Q (Thermo Fisher Scientific) および前処理装置にGasBench II (同)を用いた。水の水素・酸素同位体比($\delta^2\text{H}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$)については、同位体平衡法の原理によりそれぞれ測定された。同位体比データはいずれもV-SMOWスケールに換算し、両者のデータから $d\text{-excess}$ を求めた。以上の同位体解析法については前報告²⁾と同様である。

3. 測定結果および考察

測定結果を図に示す。12/12の降雪は2 cmで、わずか2日後には骸晶の発達したしめ雪に変化した。露場では、白金抵抗温度計を用いて積雪下面温度(地面温度)が測定されており、また赤外放射計により雪面温度が見積もられている。積雪深がわずか数cmであったため、データの正確さには欠けるものの、これらの温度差は夜間に最大で8℃、日中でも2~6℃に達しており、常に雪面温度が積雪下面温度より低かった。温度勾配は数℃ cm⁻¹に達していることから、福澤・秋田谷³⁾が報告した雪面近傍でのしめ雪の急激な発達過程と同様、短時間でもしめ雪化したと考えられる。積雪下面温度は日中を除いて常に-5℃以下であり、ほぼ凍結しているために地熱で積雪下層が融解して失われていくことはない。したがって、積雪層は上方への昇華蒸発によ

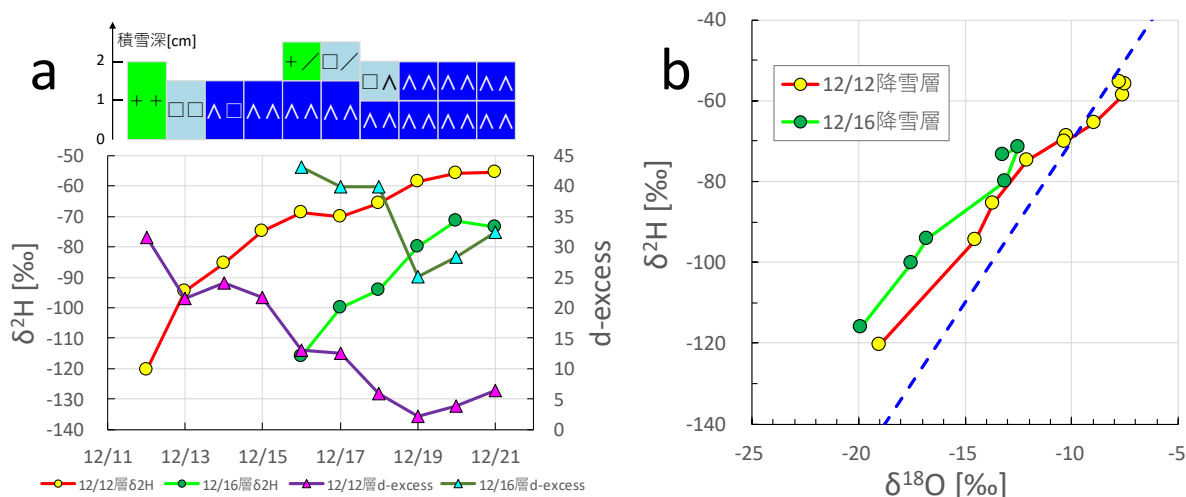


図 a) 積雪 2 層の層位記録, および水素同位体比 ($\delta^2\text{H}$) と d-excess の経時変化.
b) 積雪 2 層の $\delta^2\text{H}$ と酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) との関係.

る消耗しかないことは明らかである.

12/16 には新たな降雪があり, こちらも 3 日後にはしもぎらめ化した. これらの 2 層のしもぎらめの発達具合には差があり, 下層 (12/12 降雪層) では結晶が鉛直方向に連結した, よく発達したしもぎらめ雪特有の形状が維持されていた.

これらの 2 層の水安定同位体比の変化をみると, 下層は $\delta^2\text{H}$ が 9 日間で -120‰ から -55‰ まで増加し, 上層は 5 日間で -116‰ から -73‰ まで増加した. この増加に呼応するように, d-excess は下層で 32 から 2 まで, 上層は 43 から 25 まで減少した. 12/20–21 の 2 日間は d-excess の変化が増加に転じており, $\delta^2\text{H}$ の増加もやや鈍っている様子がわかる. 12/20–21 では, それまでと比較して積雪中の温度勾配は比較的小さかったものの, 気象条件に関する明確な違いはみられなかったため, d-excess の増加傾向は大気中の水蒸気による影響と考えられる.

2 層の $\delta^{18}\text{O}$ は $\delta^2\text{H}$ と同様に増加したが, d-excess の傾向で示されるように, 増加率はやや大きい. しもぎらめ雪を人工的に生成し, その安定同位体比プロファイル調べた結果⁴⁾では, 昇華蒸発が卓越する積雪層では d-excess が小さくなり, 図(b)のように安定同位体比の変化グラフの傾きは天水線の傾きである 8 よりも小さくなる. すなわち, 北見で 12 月に観察された 2 層の薄い積雪層は, 大気中の水蒸気とのやりとりによって相対的に軽い水分子が失われた結果, 上図のような安定同位体比の増加につながったとみられる.

その後, 積雪最下層の d-excess は変動しつつも

小さな値を維持し続け, 昨シーズンと同様に融雪期まで継続した. 比表面積の大きい上層では, 時間とともに安定同位体プロファイルは均されていくものの, 比表面積の小さい下層ではその変化が小さく, プロファイルの特徴が積雪シーズン全体にわたって維持されやすいと考えられる.

4. まとめ

積雪表面では大気中の水蒸気とのやり取りにより, 水安定同位体比の増加・減少の両方向の変化がありうる. 「積雪表層であり, かつ積雪最下層」でもある 12 月の北見の積雪について調べた結果, 昇華蒸発傾向が卓越し, $\delta^2\text{H} \cdot \delta^{18}\text{O}$ とともに劇的に増加し, その特徴的な同位体プロファイルは融雪期まで維持されていた.

【参考文献】

- 1) 白川龍生, 八久保晶弘, 大橋康樹 (2024): 2023/24 年冬期, 北見で見られた積雪の特徴—少雪, 2 月の暖気, その後の低温の影響—. 北海道の雪氷, **43**, 91-94.
- 2) 八久保晶弘, 滝澤楓, 白川龍生 (2024): 北見における積雪層の水安定同位体比プロファイルの季節変化. 北海道の雪氷, **43**, 95-96.
- 3) Fukuzawa, T. and Akitaya, E. (1993): Depth-hoar crystal growth in the surface layer under high temperature gradient. *Ann. Glaciol.*, **18**, 39-45.
- 4) Hachikubo, A., Hashimoto, S., Nakawo, M. and Nishimura, K. (2000): Isotopic mass fractionation of snow due to depth hoar formation. *Polar Meteorol. Glaciol.*, **14**, 1-7.