

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

Seasonal variation of stable isotope profile of snow layer at Kitami

八久保 晶弘¹, 滝澤 楓¹, 白川 龍生¹

Akihiro Hachikubo¹, Kaede Takizawa¹, Tatsuo Shirakawa¹

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

厳冬期から融雪期にかけて、北見工業大学露場における積雪層の水安定同位体比プロファイルの経時変化を観察した。積雪層の $\delta^2\text{H}$ は -180‰ ~ -50‰ , $\delta^{18}\text{O}$ は -25‰ ~ -10‰ の広い範囲にそれぞれ分布し、一つの降雪イベントの中でも大きく変化していた。また、突出した負方向のピークが時間とともに均されていく様子がみられた。最下層約 10 cm 厚の発達したしもぎらめ層では、d-excess が地面に向かって約 30 から 5 以下に急減し、積雪の最下層では融解ないし昇華蒸発に伴う軽い水分子の消耗が示唆される。

1. はじめに

極地の氷床コアから得られる水安定同位体比プロファイルは過去の気候変動の時系列的な記録であり、気温変化の復元等に利用される。しかしながら、雪結晶が生成した上空の気温情報は、雪面での大気中の水蒸気とのやりとりや、降雪後の雪面近傍における大きな温度変化に伴う水蒸気輸送によって変質し、また積雪表層中の移流 (wind pumping) 等の影響を受けると考えられる。そして、埋没後も温度勾配に伴う水蒸気輸送によりプロファイルは均されていく。以上のように、氷化深度以浅では、積雪が多孔質体であることに起因するあらゆる二次的なプロセスが、氷床コアから得られる情報の解釈に影響を及ぼすことを示唆しており、多くの研究者の関心を集めてきた。

積雪層の水安定同位体比プロファイルの観測は世界各地で行われている¹⁻³⁾。特に大気中の水蒸気と雪面との間における交換過程の寄与が大きい、との指摘がある⁴⁾。また一方では、積雪後の水蒸気輸送による同位体効果を積雪モデルに組み込む研究も進められている⁵⁾。本研究では、北海道道東の北見における季節積雪に注目し、比較的短い時間スケールでの積雪層の水安定同位体変化について観測した結果を報告する。

2. 野外観測

北見工業大学敷地内の露場にて、2024年1月中旬~3月下旬までの間、積雪断面観測を実施した。雪質・粒径・雪温・密度プロファイルの取得と同時に各積雪層を採取した。観測初期には特定の積雪層を採取していたのに対し、3月からは1~2 cm の

層厚毎に雪面から地表面までを連続的に全層採取した。サンプリングには雪ベラを用いて、ポリエチレン袋に一定量を採取し、のちに室内で融解させてポリビンに保存した。

水安定同位体比測定には、DELTA V (Thermo Fisher Scientific) および前処理装置に GasBench II (同) を用いた。水の酸素・水素同位体比 ($\delta^2\text{H}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$) については、試料水に $\text{He}+\text{H}_2$ ないし $\text{He}+\text{CO}_2$ 混合ガスをそれぞれ接触させ、前者には白金触媒を加える方法で、同位体平衡法の原理により測定された。同位体比データは V-SMOW スケールに換算した。

3. 実験結果および考察

測定結果の一例を図1に示す。1/22に雪面近傍の約10 cm 厚を1 cm 刻みに調べたところ、 $\delta^2\text{H}$ で -166 ~ -74‰ の広範囲に分布し、負の鋭いピークが見出された。これは1/14-15の降雪が1週間経過して、こしもぎらめ化した層に概ね対応する。この積雪層はその後、圧密されてやや下方に移動しているが、融解イベント直前の2/19にはピークが既に均されて不明瞭になっている。

2/26-27には南岸低気圧の通過により約20 cm の降雪があった。3/5の $\delta^2\text{H}$ プロファイルでは、降雪初期に $\delta^2\text{H}$ が高め (-111‰) で、その後は急激に低下し、1月中旬の降雪層と同様の負のピーク (-184‰) が現れている。3/5の雪面近傍で $\delta^2\text{H}$ が約 -80‰ まで増加しているのは、3/1-2の同位体的に重い降雪によるものである。興味深いのは、3月中旬から度々あった融解イベントによるぎらめ化を経ても、約1ヶ月後の3/25でなお、 $\delta^2\text{H}$ の負のピー

¹ 北見工業大学

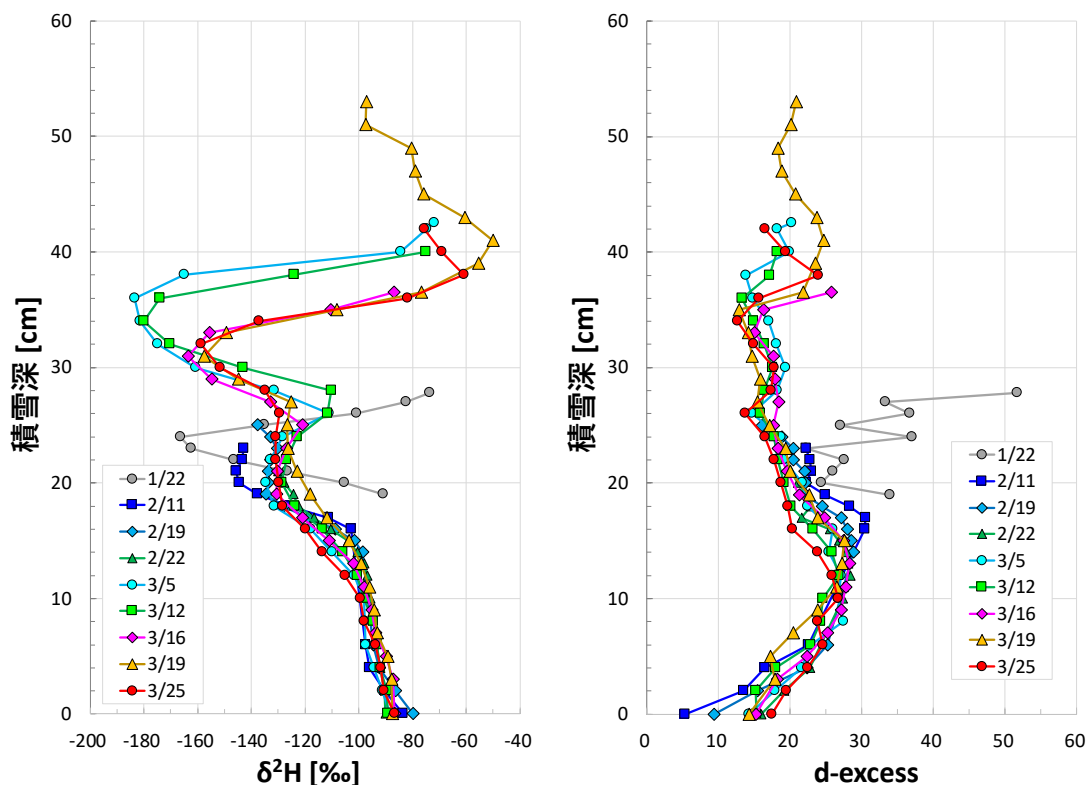


図1 各積雪層の水素同位体比 ($\delta^2\text{H}$) および d-excess の深度分布。

クがはっきりみられることである。

融雪期には、積雪層内に鉛直構造をもつ凍結した水みちや、水平方向に発達する氷板が観察された。同深度の水みちと積雪層双方の安定同位体比を調べたところ、大小関係は様々であるものの、融解水が通過する積雪層の同位体比の影響を受けつつも、さらに上方の積雪層の同位体比を有していた。3 次元的には不均一ながらも、融解水と積雪層が交換を行っていることを示唆する。

一方、d-excess に注目すると、値は概ね 5~30 の範囲にあった。特に、積雪最下部のしもざらめ層では、昇華蒸発ないし融解による軽い水の脱離によって重い水が残り、かつ d-excess が低下している。融雪期になるとこの傾向は緩和されている。なお、1/22 の複雑なプロファイルは、雪面近傍にかかる大きな温度勾配に起因する水蒸気輸送が原因とみられるが、現段階では詳細は不明である。

4. まとめ

降雪イベントに起因する水安定同位体比プロファイルは、厳冬期には積雪表層内外での水蒸気移動により均一化されやすいのに対し、融雪期にはプロファイルが比較的保持されやすい可能性がある。今後はしもざらめ化や表面霜の形成（昇華凝結）、雪面の昇華蒸発イベントでの安定同位体比変

動について詳細に調べていく予定である。

【参考文献】

- 1) Ala-aho, P., Welker, J. M., Bailey, H., Højlund Pedersen, S., Kopec, B., Klein, E., Mellat, M., Mustonen, K.-R., Noor, K. and Marttila, H. (2021): Arctic snow isotope hydrology: A comparative snow-water vapor study. *Atmosphere*, **12**, 150.
- 2) Levasseur, S., Brown, K., Langlois, A. and McLennan, D. (2021): Measurement of snow physical properties and stable isotope variations in the Canadian sub-Arctic and Arctic snowpack. *Atmos. Ocean*, **59**, 137–151.
- 3) Carroll, R. W. H., Deems, J., Maxwell, R., Sprenger, M., Brown, W., Newman, A., Beutler, C., Bill, M., Hubbard, S. S. and Williams, K. H. (2022): Variability in observed stable water isotopes in snowpack across a mountainous watershed in Colorado. *Hydrol. Processes*, **36**, e14653.
- 4) Wahl, S., Steen-Larsen, H. C., Hughes, A. G., Dietrich, L. J., Zühr, A., Behrens, M., et al. (2022): Atmosphere-snow exchange explains surface snow isotope variability. *Geophys. Res. Lett.*, **49**, e2022GL099529.
- 5) Touzeau, A., Landais, A., Morin, S., Arnaud, L. and Picard, G. (2018): Numerical experiments on vapor diffusion in polar snow and firn and its impact on isotopes using the multi-layer energy balance model Crocus in SURFEX v8.0. *Geosci. Model Dev.*, **11**, 2393–2418.