

酸素同位体比を用いた立山山岳地積雪の堆積時期推定

遠山 和大¹⁾、鈴木 悟郎¹⁾、佐竹 洋¹⁾、川田 邦夫²⁾、飯田 肇³⁾

I. はじめに

立山をはじめとする北アルプスの山岳地帯には冬季に大量の積雪がもたらされ、融雪期を迎えるまでの間、低温の環境下で解けることなく積雪として保存される。この積雪は地面から表面に向かって、初冬から晩冬にかけての降水の時系列試料として用いることができる。例えば立山・室堂平では長年にわたって積雪試料が採取され、その物理・化学的な性質の調査が行われている(川田ほか, 1999)。

このような積雪試料について、それが「いつ降った雪なのか?」を知ることは重要である。特に化学成分の解析においては、試料を採取した積雪層がいつ形成されたかがわかれば、その当時の気象状況などから、各化学種の起源や輸送経路を推定することができるからである。しかし、冬期間の詳細な気象情報を得ることが難しい山岳域では、積雪の形成時期を推定することが困難である。

このため、山岳積雪の形成時期の推定には、圧密を考慮した積雪モデルと海塩起源化学成分の鉛直分布を用いる方法(木戸ほか, 1997)、飛来した日付がわかっている黄砂を含む層を用いる方法(飯田ほか, 2001)など、今までにさまざまな方法が試みられてきた。ここでは新しい方法として、積雪試料の酸素同位体比($\delta^{18}\text{O}$ 値)の鉛直分布と、その積雪が形成されたのと同期間の降水試料の $\delta^{18}\text{O}$ 値を対比する、積雪時期の推定法を提案する。

複数地点間の $\delta^{18}\text{O}$ 値を比較して積雪時期を推定する方法は、Watanabeら(1986)の例にも見ることができる。また、篠田(1999)は室堂平の積雪と富山市の降水の δ -値を比較して積雪時期の推定を行った。しかし、この方法を一冬にわたる長期間の、広範囲の山岳積雪に応用するのは本研究が初めての例であろう。

II. 研究の方法

2001年3-4月に、立山西面の異なる標高の3地点(室堂平: 海拔2450m・弥陀ヶ原: 1930m・雷鳥バレースキー場上部: 1200m)において、融雪期以前に積雪層の断面観測を行い、3cm(室堂平・雷鳥バレー)または10cm(弥陀ヶ原)毎の連続的な試料を採取した。各地点での積雪採取は、なるべくその地域の積雪深を代表すると思われる平坦な所で、かつ周囲の樹木や建造物・人の侵入による攪乱の無いと判断される場所を選定して行った。採取した試料は蒸発による同位体分別の影響が無いように密閉した容器内に保存して持ち帰り、富山大学の質量分析計(Micromass社製PRISMモデル)を用いて $\delta^{18}\text{O}$ 値を測定した。

また、富山大学理学部(海拔9m)の屋上で2000年12月2日-2001年3月12日の期間に降水を採取した。1回の降水ごとに試料を採取し、その間隔は1-5日程度である。この試料についても $\delta^{18}\text{O}$ 値の測定を行った。

III. 結果

i. 積雪の断面観測

図1に各地点の積雪断面構造を概略で示した。細かい層の境界は省略してある。

標高1200mの雷鳥バレースキー場の積雪層は、底部(105cm以下)を除いて大部分がしまりゆき層から成っていた。雪温はほぼ全層にわたって0℃であり融雪直前の状態だったと見られるが、少なくとも融解水の影響を受けていないしまりゆき層の部分では同位体比の変化は起こっていないと考えられる。

底部(105cm以下)と中間部(265~233cm)にはざらめゆき層が見られた。これらは気温が高かった時期に積雪層の一部が融解したことを示す。しかし、中間部のざらめゆき層より下には融解していないしまりゆき層があり、融解水が積雪層中を深く浸透する程の

¹⁾富山大学理学部、²⁾富山大学極東地域研究センター、³⁾立山カルデラ砂防博物館

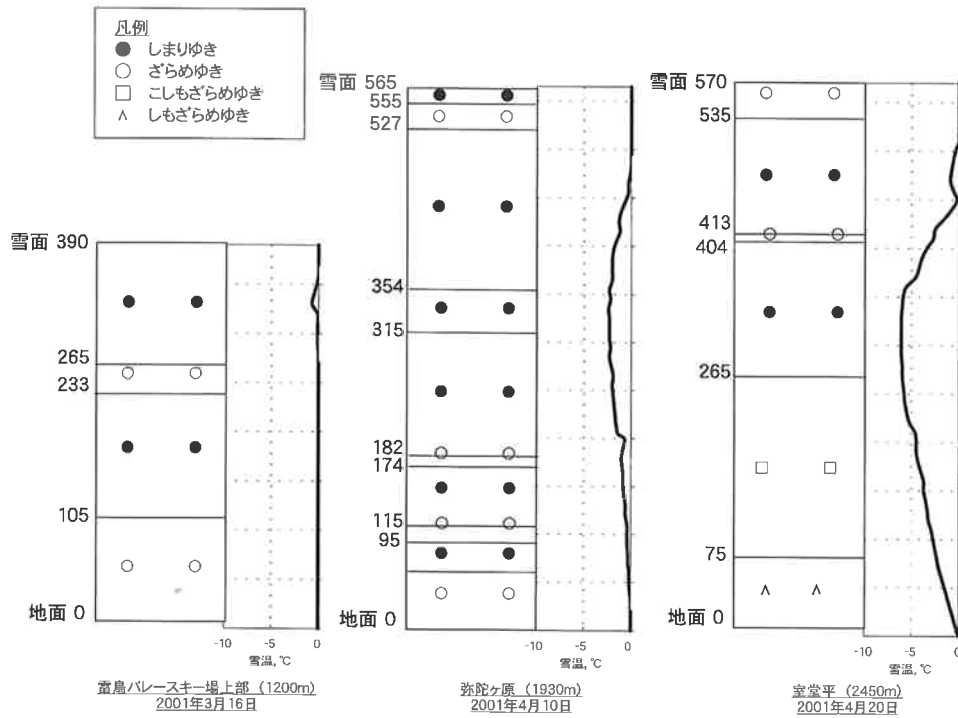


図1 各観測地点での積雪構造図

強い融雪が起こってはいなかったと考えられる。これらのざらめゆき層は融解の影響を受けて同位体比が多少変動している可能性があるが、非常に強い融解によって同位体比が一様に均されていなければ、変動のパターンを見るための試料としては有効であろう。

標高1930mの弥陀ヶ原・2450mの室堂平の結果は、高い標高による低温を反映してほぼ全層にわたってしまりゆき層・こしもざらめゆき層から成っており、融解水の影響は表面付近を除いてほとんど見られなかった。雪温も全層にわたって0℃以下を示し、降雪時の同位体比をほぼ保存している試料であると考えられる。

これらの試料は地面から積雪表面に向かって、積雪が形成された初冬から試料採集をした日（多くの場合春先である）にかけての、その地点での降水の連続的な時系列試料である。

ii. 各地点の降水量

調査・試料採取を行った立山西面は、海拔約3000mの立山山頂に至る斜面であり、海岸線から山頂までの距離は約50km程度と短い。主として北西季節風が卓越する冬期間においては、日本海で生成された雪雲がこの斜面に沿って上昇する過程で、大量の積雪をもたらす。

この立山に最も近い大山町の気象庁アメダス観測点と、富山市の観測点における2000-2001年冬季の日降水量を図2に示す。降水量そのものの値に多少の差はあっても、両者は非常に良い対応関係にあり、平野部の富山市と山岳部の立山周辺ではおおよそ同時に降水があり、同一の雲から降水がもたらされていると考えられる。

iii. 試料の $\delta^{18}O$ 値

各地点の積雪の $\delta^{18}O$ 値の鉛直分布と、積雪層が堆積したのとはほぼ同じと考えられる期間の富山市の降水

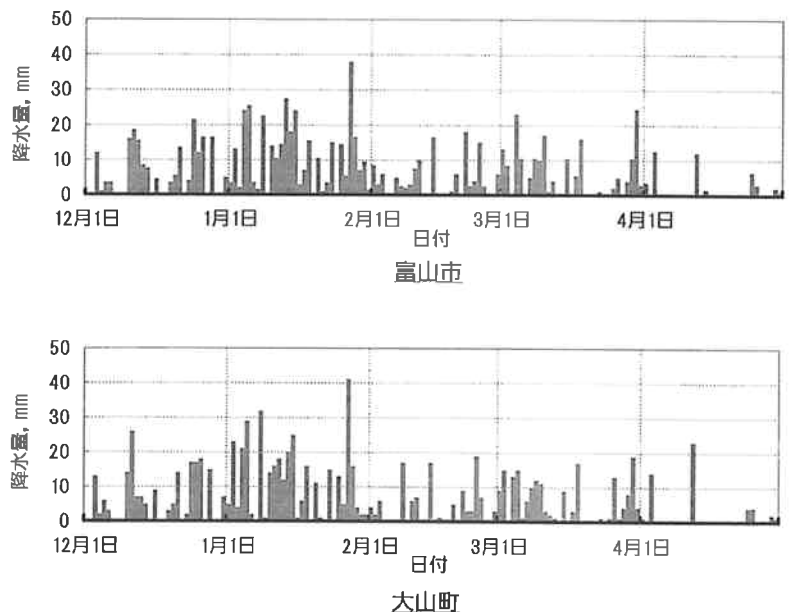


図2 富山市および大山町の日降水量 2000-2001 (気象庁, 2004)

の $\delta^{18}\text{O}$ 値の変動を図3に示す。

$\delta^{18}\text{O}$ 値は平野部の富山市降水で0～-15‰、1200mの雷鳥バレー積雪で-5～-18‰、2000mの弥陀ヶ原で-8～-20‰、2500mの室堂平では-8～-22‰という範囲で変動し、標高が高い地点ほど低くなっていく傾向があった。これは、同一の雲からもたらされる降水の $\delta^{18}\text{O}$ 値が標高が上がるほど低くなるという高度効果によると考えられる。

各地点での $\delta^{18}\text{O}$ 値は、相対的に高い方と低い方に交互にピークを作りながら変動し、そのシグナルの形態は各地点間で一致が見られた。鉛直分布の対応は、室堂平と弥陀ヶ原の試料について非常に良かった。雷鳥バレーの試料は、105cm以上の層について室堂平・弥陀ヶ原と良い対応を示した。このように、富山から室堂間の4地点の変動はよく対応していることが認められた。富山市と大山町の降水パターンには良い対応関係があり(図2)、同一の雲からの降水があると見られることから、 $\delta^{18}\text{O}$ 値の変動も良い対応関係を示したと考えられる。

図4ではプラス方向、図5ではマイナス方向のそれぞれ対応すると考えられるピークを線でつないで示した。また、これらのピークについて、採取した期間が明らかな富山市の降水試料を基準に日付を決定した。

日付の分解能は2日～1週間程度であり、冬期間における1回の降水イベント毎に形成された積雪層を決定する為には充分である。

雷鳥バレーの試料のうち、105cm以下のざらめゆき層では変動の幅が小さく融解に伴う均一化の影響が考えられるが、ピークのシグナルは保存されていた。このようにシグナルは有っても顕著でない部分の対応は破線で示した。他に富山市降水のうち図4の2月9日・図5の2月7日に対応する積雪部分が明瞭には見られなかった。これは他の3地点の試料に較べて富山市の試料採取間隔が大きい為、 $\delta^{18}\text{O}$ 値の変動を捉えきれなかったためと思われる。

IV. まとめ

積雪試料の酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$ 値) の鉛直分布と、日付が既知の降水試料の $\delta^{18}\text{O}$ 値を対比させることで、地理的・気象的な条件により降雪時期の特定が困難である、冬期間の山岳積雪の堆積時期を推定することができた。

この方法によれば2日～1週間程度の分解能で積雪層の堆積時期を決定することができ、これまでに用いられた方法に較べてより詳細に時期を決めることができた。しかし、従来からある方法との整合性の確認は今後の課題である。

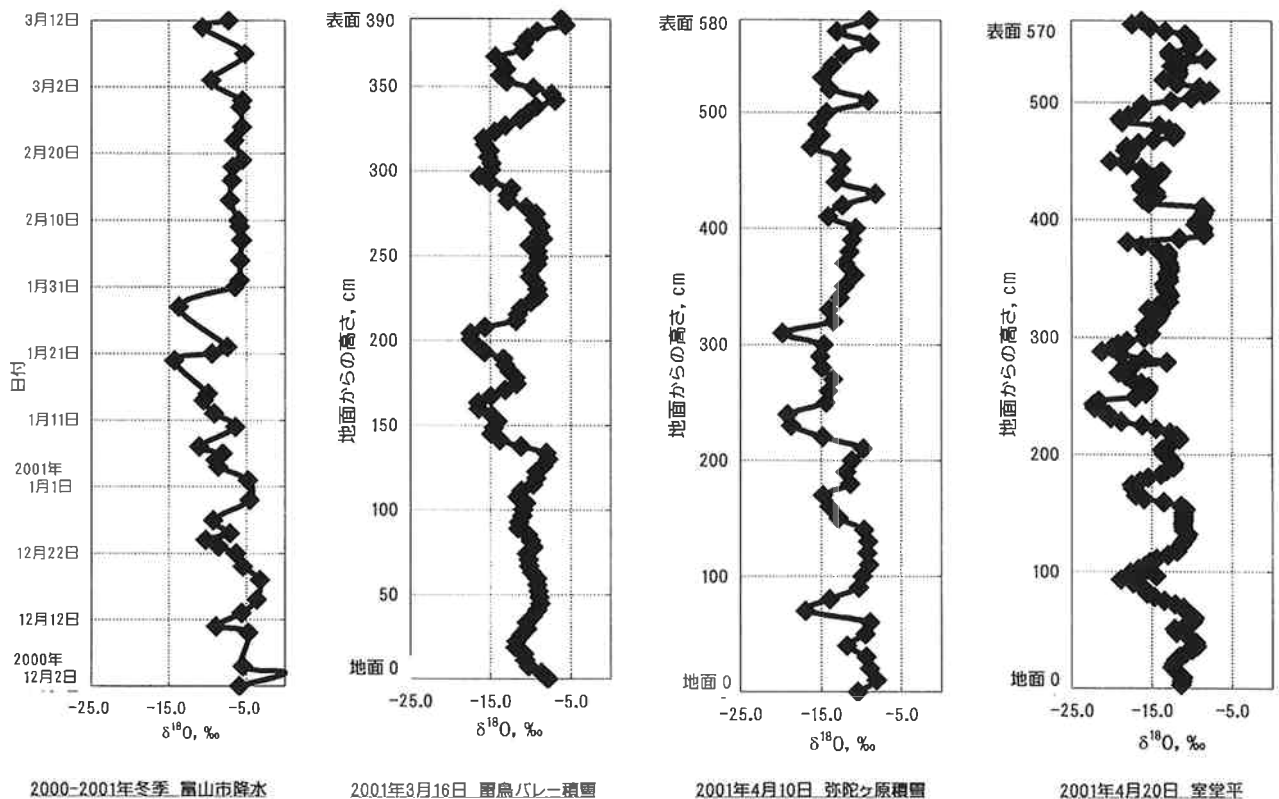


図3 富山市降水の $\delta^{18}\text{O}$ 値の経時変化と、立山周辺積雪の $\delta^{18}\text{O}$ 値鉛直分布

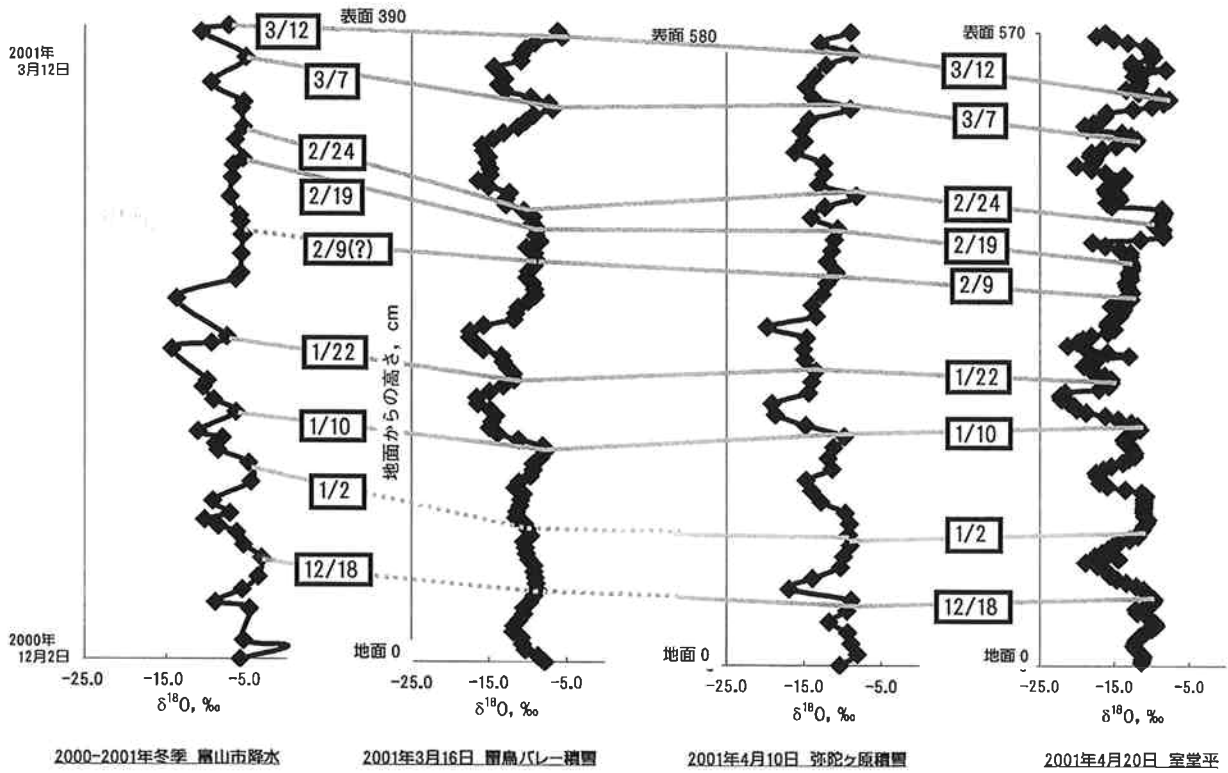


図4 富山市降水を基準とした立山周辺積雪の積雪時期推定(1)

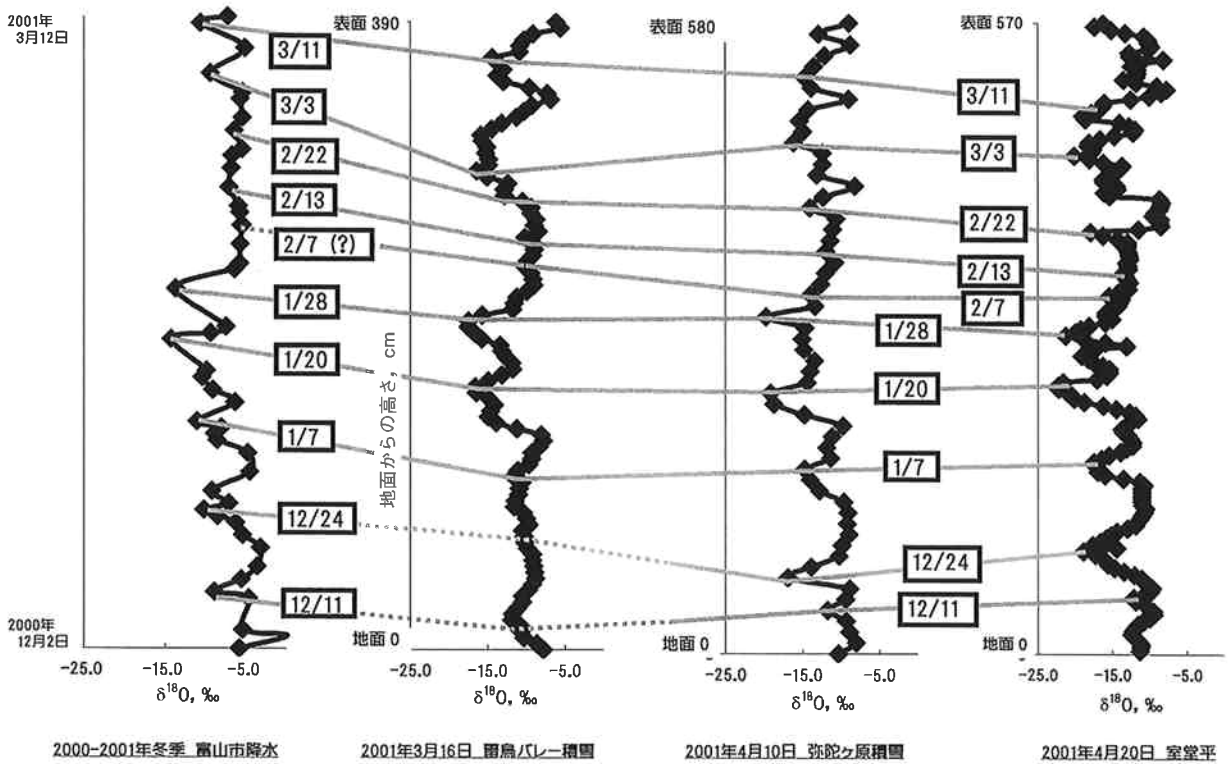


図5 富山市降水を基準とした立山周辺積雪の積雪時期推定(2)

今回は立山周辺という狭い地域での観測を行ったが、ほぼ同様の降雪機構に支配されるより広い範囲(例えば北アルプス全域など)で、この方法が適用できるかを検討する必要がある。

また今回は $\delta^{18}\text{O}$ 値による比較のみを行ったが、同時に水素同位体比(δD 値)を測定してd-値($d = \delta\text{D} - 8\delta^{18}\text{O}$)を求め、降水過程での同位体分別の影響をキャンセルした状態での比較を行うことも、今後の課題である。

V. 参考文献

飯田肇,長田和雄,木戸瑞佳,川田邦夫,上田豊(2001), 立山における冬季降水量分布の推定, 2001年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, 91.
川田邦夫,佐竹洋,酒井英男,飯田肇,貴堂靖昭(1999),

山岳域の気象雪氷モニタリングに関する研究, 富山県域の雪の特性解明と利雪に関する高度利用研究, 109-124.

木戸瑞佳,長田和雄,矢吹裕伯,飯田肇,瀬古勝基,幸島司郎,對馬勝年(1997), 立山・室堂平における積雪層の堆積時期の推定, 雪氷, 59巻3号, 181-188.

気象庁(2004), 電子閲覧室, <http://www.data.kishou.go.jp/>.

篠田裕美(1999), 立山山岳地帯における降水・積雪の化学組成と同位体比, 富山大学生物圏環境科学科平成10年度卒業論文.

Watanabe,O., Kanamori,N., Sugimoto,A., Iida,H., and Higuchi,K. (1986), Regional Characteristics of Snow Cover in the Mountain Region of Central Japan, J. Earth Sci.Nagoya Univ., Vol.34, 67-108.

[要 旨]

山岳地の積雪が「何時降ったか?」を知ることは、降水に含まれる化学組成を調べる上で重要である。しかし、地理的・気象的な制約から積雪時期を知ることは困難である。本研究では、立山周辺の室堂平(標高2450m)・弥陀ヶ原(1930m)・雷鳥バレースキー場(1200m)の3地点で積雪を採取し、酸素同位体比($\delta^{18}\text{O}$ 値)の鉛直分布と、日付が既知である富山市(9m)の降水試料の $\delta^{18}\text{O}$ 値を対比させることで、積雪時期の推定を行った。各地の $\delta^{18}\text{O}$ 値の変動はよく一致し、2日~1週間程度の分解能で積雪層の堆積時期を決定できた。従来からある推定法との整合性の確認、より広範囲の地域への応用、さらに水素同位体比の測定からd-値の利用による比較を行うことが今後の課題である。