

中部山岳地域における積雪の化学組成・同位体比の広域分布—冬季における内陸部への化学物質の長距離輸送状況—

Spatial distribution of chemical and isotopic compositions in snow cover over central Japan mountainous region: winter long-range transportation of chemical substances to the inland area—

(提出先：富山大学大学院理工学研究科，2007年)

遠山和太 (Kazuhiro Toyama)

所属：富山大学大学院理工学研究科 (現在：富山大学総合情報基盤センター)

冬季に大陸から種々の物質が輸送され、日本海沿岸の平野部にもたらされることは良く知られている。それらの中には黄砂のような土壌に由来する物質のほか、人間活動に由来する硫酸イオン (SO_4^{2-}) や硝酸イオン (NO_3^-) のような、酸性汚染物質も含まれている。しかし、このような物質が、平野部の背後に位置する中部山岳地域にどの程度到達しているのか、またどの程度の内陸部にまで及んでいるのかについては、未だ明らかにされていない。本研究では、中部山岳地域積雪の化学成分を分析し、これらの点を解明することを目的とした。

化学成分の解析においては、試料を採取した積雪層が何時形成されたかを知ることが重要である。本研究では、積雪の堆積時期を推定するために、積雪中の酸素・水素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$ 値・ δD 値)、あるいは d -値の鉛直分布と、日付が既知である富山市の降水試料の各値を対比させる方法を用いた。2000/01年冬季の立山周辺積雪については $\delta^{18}\text{O}$ 値、2001/02年冬季には立山—白馬八方尾根—西穂高岳という、海拔3000 m を越える北アルプスの、山脈をまたいだ広い範囲で d -値を比較した。 $\delta^{18}\text{O}$ 値・ d -値の積雪中での鉛直分布と富山市降水での経時変化パターンは良い一致を示し、降雪時期の特定が困難である冬季の山岳積雪の堆積時期を推定できた。同位体比による推定法では、2日～1週間程度の分解能で時期を決定することが可能であり、これまでに用いられてきた方法と較べて、より詳細に時期を決めることができる。また、季節風に対して北アルプスの風下側となる白馬岳や、北アルプス南端という内陸に位置する穂高岳のような地域でも、同位体比の変動パターンや d -値がおおよそ一致したことは、この地域における冬季の降水がおおよそ同一の場所で発生する雲からもたらされていることを示している。

冬季の中部山岳地域で、内陸部への化学物質輸送状況を調べるため、北アルプス南端に位置する西穂高岳において2002～2004年の3冬季にわたり、積雪の化学成分を分析した。その結果、海岸から100 km 内陸の西穂高岳積雪にも $\text{SO}_4^{2-} \cdot \text{NO}_3^-$ といった酸性成分が含まれていたが、各成分の濃度は積雪層を通して均一ではなく、高濃度の積雪層が間欠的 (スパイク状) に存在する傾向が認められた。その濃度は、高濃度の部分で100 $\mu\text{eq/L}$ にも及び、都市部の降水に匹敵する場合があることがわかった。その起源を $\text{SO}_4^{2-} \cdot \text{NO}_3^-$ の当量濃度比 (S/N 比) を指標にして検討したところ、3冬季ともに大部分の積雪の S/N 比は中国起源 (>4) と国内起源 (<2) の間に分布した。しかし、3冬季を比較すると、年毎 $\text{SO}_4^{2-} \cdot \text{NO}_3^-$ 濃度の変動傾向や、S/N 比の分布範囲は異なっていた。全体的傾向として、 $\text{SO}_4^{2-} \cdot \text{NO}_3^-$ 濃度は強い冬型の場合に高く、冬型が弱まる南岸低気圧型の場合に低くなり、大陸からの物質輸送は気象状況に

よって大きくコントロールされていることが判明した。これに対応して、冬型が強かった2001/02年冬季は $\text{SO}_4^{2-} \cdot \text{NO}_3^-$ の一冬を通した総沈着量はそれぞれ1.7 $\text{g/m}^2 \cdot 0.9 \text{g/m}^2$ と多く、S/N 比が3～4程度の高い値に多く分布した。一方、冬型が弱かった2002/03年・2003/04年の総沈着量はそれぞれ1.1 $\text{g/m}^2 \cdot 0.6 \sim 0.7 \text{g/m}^2$ と少なく、S/N 比も2～3程度の低い値に分布することが多かった。また、2002/03年の積雪について SO_4^{2-} の硫黄同位体比 ($\delta^{34}\text{S}$ 値) の測定も行った。全ての積雪の $\delta^{34}\text{S}$ 値は +4～+5%程度と、日本国内で消費される石油の値 (-1%程度) より高く、華北の石炭の値 (+5～+8%程度) に良く一致した。さらに $\delta^{34}\text{S}$ 値と S/N 比の関係から、低 S/N 比 (2.3) 高 $\delta^{34}\text{S}$ 値 (+5.6%) のロシア極東部や、高 S/N 比 (2.8) 低 $\delta^{34}\text{S}$ 値 (+3.1%) の華南に由来する SO_4^{2-} の存在も示唆された。こうして、冬季の中部山岳地域には、中国の石炭に由来する酸性物質が大陸から輸送されていること、そしてその輸送状況は、その年の気象状況によって大きく左右されることが判明した。

化学物質が3000 m を越える北アルプスの山脈を越え、どの程度内陸まで到達するのかを調べるため、2001/02冬季には立山—白馬八方尾根—西穂高というほぼ北アルプス全域をまたぐ範囲で、2003/04年冬季には日本海の海岸線付近の医王山から西穂高岳を経て信州八ヶ岳に至る、季節風の風向に沿った、北西から南東に向かう150 km 以上の測線にわたって、積雪の化学成分を比較検討した。その結果、降雪中の化学成分濃度は、一般的には季節風の風上側の地点で高く、風下側で低い傾向が見られた。また化学成分濃度の鉛直分布は各地点間である程度的一致が認められた。このような観測の結果、冬季の中部山岳地域では、季節風の風向に沿って雪雲が約3000 m の北アルプスを越えるときに、上空にある化学物質を降雪と共に降下させ、風下に向かうにしたがって減少させていくという輸送過程が明らかになった。しかし、この減少の過程はイオン種によって異なり、例えばアジア大陸から輸送されてきたとみられる SO_4^{2-} は内陸に向かって指数関数的に減少していくのに対し、国内からの寄与が大きいと考えられる NO_3^- は比較的緩やかな減少傾向を示した。このことは、S/N 比が内陸ほど低くなり (<2)、国内起源を示すことにもあらわれている。これらの結果から、3000 m 級の北アルプス山脈が、大陸から輸送された汚染物質である SO_4^{2-} の除去に大きく貢献していることが示唆された。

本研究の結果、内陸部の山岳域における化学物質の輸送状況や、各地点の降下量が明らかになった。この結果は冬季の内陸部の大気環境や、山岳地の生態環境を解明する上で、重要な基礎データとなるものである。