

## 北日本への大陸からの水蒸気の輸送機構の解明

# Transport Mechanism of Water Vapor from the Continent to Northern Japan

○田中 教幸 ‘, バシリー ミシュコフ “

○ Noriyuki Tanaka, Vassili F. Michoukov

‘北海道大学地球環境科学研究科, “太平洋域海洋研究所、ロシア科学アカデミー  
Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University, Pacific  
Oceanological Institute, Russian Academy of Sciences

Isotope signatures of water vapor and precipitation were observed for evaluation of water sources in northern Japan, especially in winter monsoon season. The results showed that D<sub>excess</sub> is a novel indicator for water vapor sources. However, it is not successful to quantify continental water vapor contribution in the precipitation observed in northern Japan

### 1 はじめに

北日本の気候は隣接する地球上で最大規模のユーラシア大陸の影響を強く受けている。特に冬季モンスーン期に大量にもたらされる降雪量はこの地域の年間降水量の大部分を占めている。この降雪の水蒸気の起源は日本海の表面海水の蒸発によりもたらされているとの通説は必ずしも現在までに地球科学的に証明されていない。シベリアを代表とする北東ユーラシア大陸もまた重要な水蒸気の起源であり、その相対的は重要性を把握することは今後の気候変動に伴う北日本の降水量、降水パターンの変化を予測上で必用不可欠な知見である。本研究計画では日本海を挟む2観測点で同時に降水をもたらす水蒸気、降雪、降水を採取しその同位体情報から日本海起源と大陸起源の水蒸気の降雪への寄与率を定量的に評価することを目的とした。

### 2 観測点

日本側の観測点として札幌市から北に約25 kmの所の海岸線に位置する厚田村嶺泊にある北海道日産自動車販売株式会社の研修所の屋上に降水採水器、水蒸気トラップ、気象観測装置を設置した。海面からの高さは約15メートルであり、約10メートルの崖に20メートルほどの幅の砂浜が広がっている。大陸側の観測点はウラジオストック郊外のサイエンスコンプレックスにある海洋生物研究所の屋上とし日本の観測点に設置したのと同様のものを設置した。この研究所は直接海岸に接して建っており海面からの高さは約30メートルである。両観測点ともに常に接地境界層の中に位置していることになる。また、補足的な観測として、母子里町北海道大学農学部付属演習林でのストーム毎の詳細な降雪観測を行って、降雪結晶目視観

測、地上気象観測、レーダー観測を実施して、メソスケールでの降雪現象と降雪中の同位体組成との関係を細査した。

### 3 観測機器

水蒸気トラップは堀部方式のトラップを基本に風向風速計との組み合わせにより北西からの風5メートル以上の時にサンプラーが水蒸気を捕集するようになっている。この種の水蒸気捕集器の捕集効率と同位体分別に関して詳細なテストは今まで行われていない。環境庁国立環境研究所にある清浄大気発生装置から得られた露点 $-40$ 度以下の乾燥空気と同位体比既知の水蒸気を注入して標準試料空気として捕集実験を行い、同位体比測定のための基本的な条件の検討を行っている。装置の詳細は図1に示した。この自家製の水蒸気サンプラーの他に蓋付きの降水降雪採取器(降雪(水)センサーにより蓋の開閉を行う。)とエアゾル捕集装置、自動気象観測装置を設置した。自動気象観測装置は15分毎の風向、風速、気温、露点、降水量のデータをラップトップコンピュータのハードディスクに保存する。両観測点には同一の装置を設置した。厚田村観測は1998年冬季モンスーン期から、ロシア共和国ウラジオストックの観測点は1999年冬季から観測を開始した。同位体分析

酸素、水素同位体の分析は平衡容器による間接測定法と亜鉛金属による還元法による。平衡容器法は水素、酸素同位体の両方を測定することが可能であるが、亜鉛金属還元法は水を亜鉛で還元して水素ガスを発生させるため、水素同位体のみの測定となる。ただし、測定に必需は水の量は平衡法の1000分の1以下で済む利点がある。

サンプル量の限られた水蒸気試料は水素同位体のみを亜鉛還元法で水素同位体のみ測定を行った。

### 4 結果と考察

#### 4-1 メソスケール降雪現象と降雪同位体組成(母子里集中観測)

降雪中の同位体情報を的確に使用するためには、その形成過程において、その決定因子と同位体分別効果を定量的に把握しなければならない。北大農学部雨竜地方演習林内にある母子里作業所にて(北緯 $44$ 度 $40$ 分東経 $141$ 度 $40$ 分海拔 $100$ メートル)降雪の観測は積雪の舞上がりによる雪によるコンタミを防止するために高さ約4メートルの防風ネットを設置してその中で降雪の観測を行った。降雪の結晶型、降雪強度測定は光学顕微鏡映像のビデオ撮影によって連続的に行った。4メートルの防風ネットには温湿度計を設置して15分毎の温度、湿度を記録した。北海道石狩沖の雪雲の分布と動態は降雪レーダーにより観測した。この観測では時間毎の試料採取を行った。採取期間中、同一の空気塊からと思われる降雪の同位体は大きく変動した。地上気温と同位体組成との間には一般的に見られる負の相関関係は必ずしも見られなかった。しかしながら、観測期間中に急激な気温の低下がありそれに連動する様に過剰重水素量の減少が例外なく見られた。これは温度変化に伴う相対湿度の変化に起因する過剰重水素量の期待される変化の方向と逆方向となる。

#### 4-1-1 降雪の結晶と気象条件、同位体との関係

雪結晶の形成時の温度、湿度は結晶型と決定することが知られている。これは必ず

しも地上温度、湿度と降雪の結晶型との関係が成り立つことを保証しているものではない。今回の観測結果においても結晶形と地上温度、湿度との間には明確な相関関係はみられなかった。加えて、上空で形成された雪結晶に雨滴が付着して氷結することによって雲粒型の無定形雪粒が形成されることが多々あることが今回の観測でも確認され、雪結晶情報を利用するのは形状、同位体組成ともに北海道の気象条件では困難なことが多いことが判明した。

過剰重水素の量は降雪が季節風の吹き出しによって形成された雪雲か低気圧の寒冷前線によるものかで大きく異なることが判明した。前者の場合過剰重水素は25パーミルを超える値をとるが後者の場合その値ははるかに低くなることが明確に観測結果に現れた。

#### 4-2 厚田村嶺泊観測所通年観測

##### 4-2-1 同位体組成季節変動

降水採水器によって採取された降水、降雪中の酸素、水素同位体測定を1997年1月に行った。得られた観測結果を図2に示す。個々のデータセットでは大きくばらついているが、酸素同位体、水素同位体共に大きな夏季に重く冬季に軽くなる季節変動を示した。過剰重水素量は冬季に増大し夏季に減少する傾向を示した。つまり、地上気温と高い逆相関を示していることが判明した。過剰重水素量は海水が蒸発する際の相対湿度によって主にコントロールされることが今までに知られている。よって、夏季に南太平洋からもたらされる降水の水蒸気が発生する際の相対湿度が南洋で高くその結果過剰重水素量が減少することで定性的に説明が可能であるが、逆に冬季間に

水蒸気含有量が少ないシベリア起源の空気が日本海で温められて相対湿度を下げて、過剰重水素をもった水蒸気を取り込むことでも説明が可能である。水蒸気と降雪を同時に採取して同位体比を測定した。その結果同位体ひそのものは大きく異なるが過剰重水素は変わらない結果(表1)となり、水蒸気が降雪になる過程では過剰重水素量は変わらないことが観測によって確かめられた。よって蒸発時の相対湿度の変化で説明ができると考えられる。しかしながら同時に観測結果は水素、酸素同位体組成は大幅に減少するために多量に日本海からの蒸発による水蒸気を取り込めないと結果となる。これはしばしば日本海上で発達する雪雲の水蒸気の起源を日本海から供給できないことを意味する結果であり、今後の検討が必要な課題である。

#### 5 あとがき

本研究では日本とロシア極東部の大気科学研究者との間で実質的な研究体制を確立して今後の確固たる協力関係を形成することも重要な目的のひとつであった。研究調査に必要な機器の開発も電源の不安定でしかも交換部品が殆ど入手困難であるロシアで稼動するものを目指して行ったため多くの困難を伴った。研究機材のロシアへの搬入の際の輸入手続き等でロシア研究者には多大な労力と時間を割いていただかなければならなかった。

これは我々民間レベルではどうしようもないことであり、今後日露の国家間で何らかの措置がとられることを願うのみである。本研究では水の安定同位体、水素放射性同位体を利用して大陸起源水と日本海起源水を見分ける試みをおこなったが、同位体分

別の基礎的な理論の弱さと放射性水素同位体の放射能レベルの壊変、希釈による低下で十分な精度で議論することが困難であることが判明して、このままの規模、観測期間の研究計画では目的の成果を十分えることが困難であることが分かった。しかしながら、本研究での対象範囲を含む東アジアでの水循環の研究が科学技術庁の協力のもと地球フロンティア研究計画の最重要課題としてとりあげられ実施されようとしている。本研究の推進の経験が今後この研究計画遂行に活かされていくことになることを確信する。

### 6 謝辞

この研究の遂行には現在東京工業大学大学院博士課程に在学中の栗田直幸君の卓異稀な、研究遂行能力と実行力によるところが大きい。本研究の殆どの部分において彼の貢献が大きかったことを記してその努力に報いたいと思います。厚田村の観測所の借用にあたっては日産科学助成の菱田さんの協力なしでは実現出来ませんでした。ここで深く感謝の意と表します。観測所整備にあたっては古川電工の協力、渡邊修一助教授、成田尚之助手の援助がなければ観測所としての機能を得ることが出来ませんでした。観測所の維持には多くの大学院生の協力があったことも忘れてなりません。ここに深く感謝いたします。厚田村望来駐在所、嶺泊漁港の協力により観測機器の安全が確保されました。母子里集中観測では北海道大学低温科学研究所の遠藤辰雄助教授の協力がなければ実現できませんでした。ここに深くお礼申しあげます。

発表論文リスト

#### 1. Contribution of continental water to

the precipitation in Japan deduced from tritium, 1995 Proceedings of 4th Symposium IGBP-IGAC, Nagoya, Japan (N. Tanaka)

#### 2. カナダ BASE プロジェクトで観測された降雪の安定同位体、1996 日本気象学会支部会、北海道大学理学部 (栗田直幸、遠藤辰雄、田中教幸)

図 1

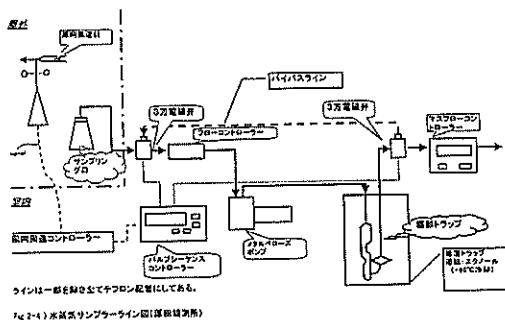


図 1-1 水採取ライン図(厚田村観測所)

図 2

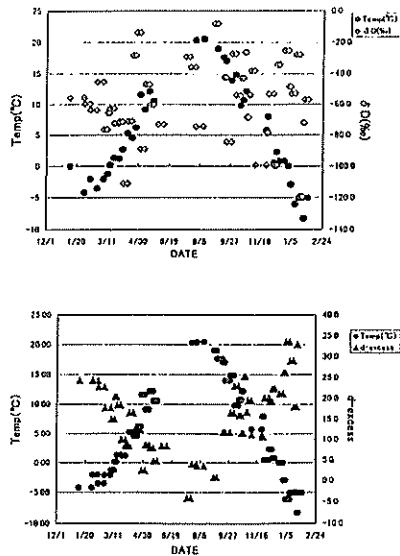


表 1

NO	Sampling	Snow		Vapor	
		$\delta D(\%)$	d-excess	$\delta D(\%)$	d-excess
1	12/25-1/11	-47.9	30.0	-79.7	15.9
2	1/11-1/18	-27.9	29.0	-90.5	26.4
3	1/23-2/1	-56.6	26.9	-129.0	27.3