

福島・山形間における積雪環境の水文解析

福島大学共生システム理工学類 非会員 ○安達 翔
 総合地球環境学研究所 非会員 藪崎 志穂
 福島大学共生システム理工学類 正会員 川越 清樹

1. はじめに

温暖化に伴い将来の水文現象も変化すると見積もられているが、Kawase¹⁾らの研究等を参考にすると、平均的な積雪量が日本列島全域で減少する傾向の一方で、10年に1度の大雪の発生量は増加する地域も存在するとの結果が得られている。これらの結果は、着目するスケールの単位や地域に応じて水文現象の変化の度合いが異なることを示唆する。そのため、時間・地域スケールに応じた特徴を予めデータとして蓄積し、動向を明瞭にして、将来の環境に備える取り組みを進めなければならない。この取り組みにより、将来の環境、資源、災害の対応を検討することが可能になる。本研究では、「地域に到達する降雪プロセス」の精度を高めるとともに、解析データの整備を目的として、積雪試料のイオン組成や安定同位体比から地域の積雪環境の構成把握を試みた。

2. 研究対象領域、方法とデータセット

本研究の対象領域は積雪資源への依存度が高い阿賀野川流域と、流域内の桧原、流域に接する米沢、福島である。阿賀野川を中心とした空間的な降雪プロセスの検討(広域供給源調査解析, 最大49か所, 2018年2月22, 23日採雪)とともに、流域内外の地域で空間と時間を同定する(短時間供給源調査解析, 3地点, 降雪日採雪)ことを進めた。

研究の流れは以下の通りである。

- ① 阿賀野川流域, および流域内外の桧原・福島・米沢での採雪(2017~2018年)
- ② 積雪のイオン組成分析結果を用いた, 海塩性・非海塩性による経路同定の評価
- ③ 酸素と水素の安定同位体比分析を行い, *d-excess* 値の基準による経路同定
- ④ 経年の積雪量とイオン組成, 安定同位体比の空間分布を比較し, 流域内の積雪多少に伴う地域的な特徴の総合解析

解析②, ③は広域供給源調査解析, 短時間供給源調査解析で進め, これらの結果をもとに解析④の総合解析を実施した。なお, 広域供給源調査解析は2014年, 短時間供給源調査解析2016~2017年より実施しており, 解析では既往データ²⁾と比較した結果も記載する。イオン組成分析として, イオンクロマトグラフィー法を用いて降雪の各イオンの濃度を求め, 海塩性・非海塩性イオン濃度を求めた。*d-excess* 値の分析値は総合地球環境学研究所のPICARRO L2130-iより降雪における安定同位体比($\delta D, \delta_{18}O$)を得て, 以下の(1)式を用いて値を求めた。

$$d - excess = \delta D - 8 \cdot \delta_{18}O \quad (1)$$

イオン濃度と *d-excess* 値より経路同定の評価を進

めるが, *d-excess* 値はすでに20%を基準に日本海とそれ以外を分類する知見³⁾が得られており, これに準拠して解析を進めた。また, 各観測値の積雪多少を評価するため AMeDAS による積雪深観測値を基に求めることのできる多雪指標(Seasonal Snow Depth Index: 以下 *SSDI*)⁴⁾を用いた。*SSDI* は継続的に観測された期間(1985~2018年の計34年間)の各年で求め, 年単位の積雪量の多少を評価した。

3. 海塩性・非海塩性イオンによる解析結果

3.1 広域供給源調査解析

図1は過去から現在(2015~2018年)の阿賀野川流域内における海塩性・非海塩性イオンのバランス異常個所の空間分布図である。バランス異常抽出の基準は各年の海塩性イオンの平均値から $\pm 10\%$ 以上と設定した。異常個所の多い年は2015年と2018年であり, 土の双方で異常が認められたことから, 流域内の降雪の地域差が大きい年であったと推測される。特徴的な年は2015年であり, 2016~2018年の海塩性イオン割合が50%前後で安定する中で低い値(46.2%)を示した。当概年は, 人為活動によるイオン波及の強まりを示唆している。また, 全年通じて阿賀野川水系の屈曲する前で異常個所が多くなる傾向を示した。この結果から, 降雪を通じて波及する化学成分は, 水系に対して直線状に移動して, 山などで屈曲する際に降下する, 地形に依存した運動を呈しやすいことを推測される。

3.2 短時間供給源調査解析

2つの期間(2016~2017年, 2017~2018年)の3地点の経年の海塩性・非海塩性の変動の結果から, 各年とも桧原では総じてイオンの割合が低い傾向が得られた。飯豊山の地形効果によりイオンが山形山麓側に降下するため, 桧原にイオン到達しにくい²⁾状況が通年で認められることが明らかにされた。なお, 特徴的なイオンの結果として $Nss-K^+$ が挙げられ, 2016~2017年では降雪初期に米沢で割合が高くなり, 春先に福島で割合が高くなる結果が得られた。2017~2018年は降雪初期に福島, 春先に米沢に割合が高まる逆の結果を示した。なお, $Nss-K^+$ の割合増加時は pH, EC も高い値を示す傾向も認められた。 K^+ の増加には植生由来の影響が示唆されるため, 降雪初期, 春先の森林帯の大気の通過の影響が推測される。ただし, 地域に応じた時期的な不規則性が結果として得られている, 局所的な移動の影響が $Nss-K^+$ の増減に寄与する可能性が高い。

4. *d-excess* 値による解析結果

4.1 広域供給源調査解析

図2は経年の阿賀野川流域内における *d-excess* 値

キーワード: 積雪, 降雪, 時空間変化

連絡先 〒960-1296 福島県福島市金谷川1 福島大学共生システム理工学類 Tel and Fax 024-548-5261

の空間分布図である。2018年は、日本海起源の積雪が概ね占めるものの、桧原で流域20%以下の領域となること、流域北東部が低いd-excess値になることの結果を得た。経年と比較すると、流域北東部で低いd-excess値が得られた過去の型とは異なる型の積雪環境となった。各年の降雪状況に応じて日本海由来の波及範囲は異なるものの、桧原でd-excess値が低くなった事例として2014年が挙げられる。2014年の空間分布は流域東部の広い範囲で太平洋起源のd-excess値が認められた型で示されている。なお、桧原を含む裏磐梯領域が著しく低いd-excess値を示したことに関して、降雪期間に異常な気温上昇も認められたことから周辺水域由来の降雪を推測した²⁾。2018年は、当時と比較してSSDIより積雪状況も異なり(2014年：平年並み、2018年：多雪)、降雪までのプロセスに差異があると推測される。そのため、短時間スケールの降雪状況も精査する必要がある。

4.2 短時間供給源調査解析

表1は2つの期間(2016~2017年,2017~2018年)の3地点の降雪イベントにあわせた特徴に応じたd-excess値を整理したものである。d-excess値に関すれば、3地点とも概ねのイベントで日本海起源の降雪である結果が得られている。ただし、イベント③の2018年1月22日に福島で日本海起源外のd-excess値になる。この当時の天候は南岸低気圧による降雪日である。2016-2017年の結果²⁾を参考にしても、福島では時期により日本海由来の降雪が認められないケースも確認している。福島は位置的に太平洋岸に最も接近しており、天候の状況に応じて太平洋起源の影響も認

められることを示す。

5. 総合解析結果,およびまとめ

広域供給源調査解析から、d-excess値の分布にはいくつかの型があり、その年の積雪量や気象状況に応じて変化すると推測される。イオン組成からは、積雪状況よりも地形等の地域依存度が大きい結果を得た。これらの結果は、地球温暖化の影響により全体的な降雪過程の結果は変化すると推測される一方で、地域と地域に生じた事象も細かにデータとして取得する必要を示している。

謝辞：本研究の一部は、文部科学省気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)、河川環境財団研究助成、総合地球環境学研究所同位体環境学共同研究事業の支援によって実施されました。ここに謝意を示します。

参考文献：

- 1) Kawase, H. et al : Enhancement of heavy daily snowfall in central Japan due to global warming as projected by large ensemble of regional climate simulations. Climatic Change, Vol.139, pp.265-278, 2016
- 2) 鈴木絢美他：化学分析による地域スケールに対応する降雪イベント特徴の同定,土木学会論文集G(環境),74(5),1-9,2018.
- 3) 早稲田周・中井信之：中部日本・東北日本における天然水の同位体組成,地球化学, Vol.17, pp.83-91, 1983
- 4) 中井専人：“多雪指数”を用いた全国が多雪・少雪の年々変動と分布, 天気, Vol.62, No.3, pp.187-199,2015

表1 短時間供給源調査解析結果一覧表

降雪状態	番号	日付	桧原		米沢		福島		気象の特徴
			EC	d値	EC	d値	EC	d値	
平均的な降雪	①	2017/12/13	8.2	33.41	6.7	35.64	27.1	39.35	冬型
	②	2018/1/3	15.3	27.1	14.2	26.69	31.1	27.22	冬型
福島:EC低い	③	2018/1/22	18.8	27.42	—	—	2.4	18.68	南岸低気圧
福島:EC高い	④	2018/2/27	—	—	—	—	111	21.91	特定不可

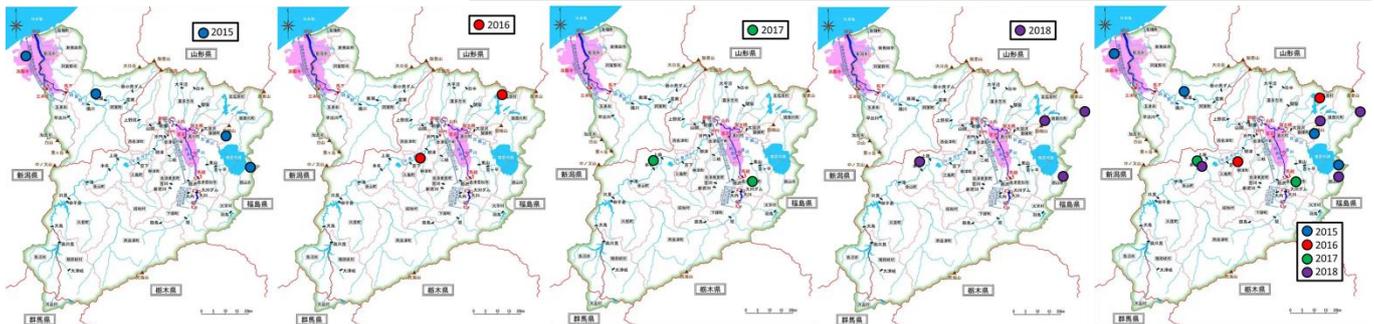


図1 降雪の海塩性・非海塩性イオンのバランス異常個所分布図

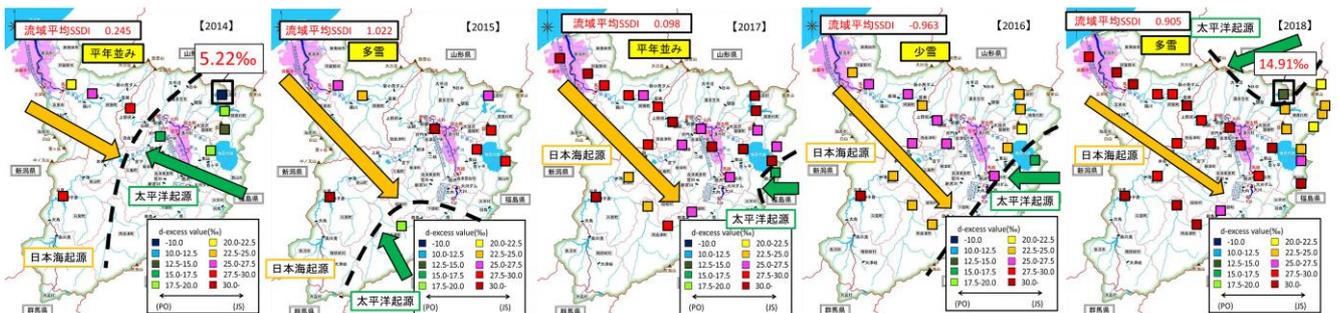


図2 経年のd-excess値の変化図