

阿賀野川流域内の比較検証による裏磐梯地域の積雪環境評価

井上浩太・鈴木絢美・川越清樹（福島大学共生システム理工学類）

要 旨

気候変動に対する積雪の地域固有性、および周辺環境との関係を明らかにすることを目的とし、阿賀野川流域を対象に、積雪サンプリング調査、および採雪試料のイオン組成を分析して地域固有性を求める研究に取り組んだ。只見川側ではマイナスイオンが多い傾向を示し、地形的に山地に囲まれ海域と隔たりはあるものの、海に関連深いことが示唆された。その一方で、先行研究より海水温との関連性が弱いと示された長瀬川流域はイオン総量が少なく、日本海からの波及影響の少ない地域固有性が明らかにされた。固有の水循環の存在や降雪イベントの影響も踏まえて、今後も積雪調査の実施を継続する。

I. はじめに

裏磐梯を含む長瀬川流域は、多雪地帯であり、融雪水が当該地帯の水環境、水資源へ形成に高い寄与を示す要素になることが、河川流量の状況、湿地形成される地勢状況より推測される。こうした現状に対して、数値気候モデルによる大気、水循環の推計より、気候変動に起因した将来の降雨事象の極端化が見積もられている。IPCC Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation は、「世界の多くの地域で 21 世紀中における強い降雨の発生頻度、あるいは総降水量に占める強い降雨の割合が増加する」ことを報告している(IPCC SREX 2011)。しかしながら、こうした極端的な事象発生は、降雨にとどまらず降雪も同様と推測されており、「これまでのモデルでは、冬期における平均降雪量を注目してきたが、温暖化が進行すると毎年生じる降雪の振幅幅が拡大することで極端な豪雪になる可能性があることが見過ごされている」と指摘している(Gorman 2012)。その一方で、2014 年 12 月 11 日に気象庁、および環境省は、今世紀末に予測される日本列島の降雪量変化を公表し、東日本・日本海側で最大-146cm の変化の結果を報告した。

① 本州の日本海側は世界有数の積雪地帯に属するが、日本列島自体が巨視的に雪氷圏の境

界に付近に位置するため、気候変動に応じて敏感に積雪変化する可能性を含んでいる。

② 東北地方日本海側から北陸地方は、冬季西高東低の気圧配置よりシベリア、中国大陸から乾燥、かつ寒冷な気団の流れ込みやすい地域であり、東進する寒冷・乾燥な気団が日本海上空を通過することで大量の水蒸気を含み冬季に降雪を与える雲を発達させる(Akiyama 1981)。

これら①, ②を原因に日本の降雪現象が生じているとした場合、一概に気候変動が降雪を減少させるだけではなく、むしろ海域の水温上昇に伴い降雪量が多くなる可能性も想定される。気象庁、および環境省の報告は、日本列島を 7 区域に大別した平年的なトレンドであるため、極端な事象を評価したものではない。着実な気候変動の影響を見積もる上では、巨視的な領域のトレンドを見積もることと並行して、局所的な地域、極端な事象の発生の可能性を推計していくことも重要といえる。気候変動に伴う降水現象に依存して生じる水資源、水環境に係わる問題を捉える場合、社会実装も踏まえて地域の特性を把握する試みが切望される。こうした中小領域の特性を考慮することで、水資源の代替、水環境の改善等の具体的な気候変動の適応策の議論が可能になる。中小規模

領域の現象を見積もる方法として、数値気候モデルのアウトプットをダウンスケーリングが挙げられる(例えば Iizumi 2013). しかし、ダウンスケーリングの実施に関しては、数値計算上の循環を系統化して求めるだけではなく、小領域に対する地域固有性を把握するアプローチも必要になる。地域固有性を把握する上で降雪、積雪の現象を検討する場合、積雪は地上での貯留(もしくは蓄積)過程を含むため降雪時もしくは降雪後の形跡を残存させる特徴を有している(鈴木 2000). そのため、積雪内の含有物質を分析することで、地域固有性と周辺環境の影響を分析することも可能である。こうした背景を踏まえ、気候変動に対する積雪の地域固有性、および周辺環境との関係を明らかにすることを目的に、積雪のイオン組成を分析して地域固有性を求める研究に取り組んだ。

II. 研究対象領域

研究対象流域として、北日本の列島の脊梁をなす急峻かつ高標高の出羽山地、奥羽山脈を東西方向に貫くことで低地が広く形成され、流域全体まで寒冷気の流入しやすい地形状況を呈する阿賀野川流域を設定した(図1参照)。阿賀野川は、上流域に只見川、阿賀川、および猪苗代湖も含む長瀬川一日橋川の3つの支川を含む全長210km、流域面積7,710km²の流域である。当該河川は、栃木県、福島県、新潟県の急峻な山岳地を水源とし、この領域に分布する豊富な積雪を集水すること、比較的大きな流域面積であることより日本最大級の年間流量(年平均12,671×10⁶m³, 日本4位)を流出させている。また、積雪に寄与される安定かつ豊富な流出をもつことから、数多くの水力発電所が分布し、多様な水利用がなされている流域である。こうした特徴を持つため、気候変動に従う自然、社会環境の影響も甚大な流域といえる。

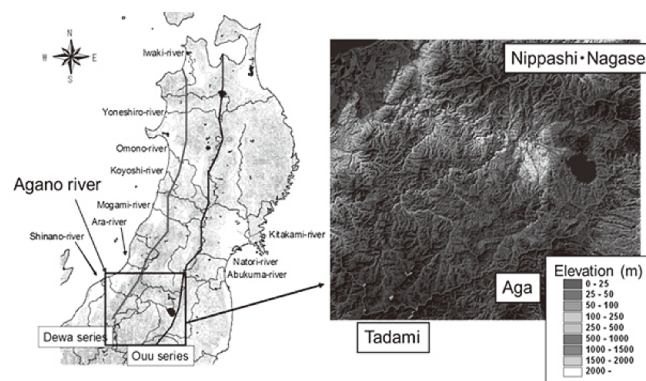


図1 研究対象領域(阿賀野川)

III. 先行研究の取り組み

磐梯朝日プロジェクトを通じて、阿賀野川の積雪調査解析は既に経年で取り組んでいるものである(中村他 2013). 現在までの取り組みの結果として、阿賀野川流域内の AMeDAS 観測地点の積雪深と日本海北冬季東部平均海面水温温度データの比較検証の結果を示す。この比較検証は、安田らによる只見川流域を対象にしたものの拡張版であり、只見川では、日本海海面平均温度上昇に従う積雪量減少の強い相関が認められている(安田 2010). 中村らの研究成果を参考にすると、阿賀野川全域中で海面水温の上昇に従って積雪深増加を示すのは猪苗代のみで、その他は全て海面水温上昇に従う減少が明らかにされている。近年になり日本海東北部の水温は上昇傾向にあることが明らかにされている(安田 2010)が、この海面水温温度の上昇は、従来よりも多くの蒸発を促す要因にもなるため、実際には東北地方日本海側から北陸地方には多降雪を生じさせる可能性を有している。Hori らによる 2009-2010 年の日本海沿岸域の豪雪の研究でも、豪雪時に日本海の海面水温が記録的な高温異常が生じていたと報告されている(Hori et al 2010). 水温上昇と積雪深の関係に対する物理的解釈と逆の関係が示されることに関しては、以下の①、②の原因が考えられる。

- ① 寒候期の降水量自体は海面水温の影響によ

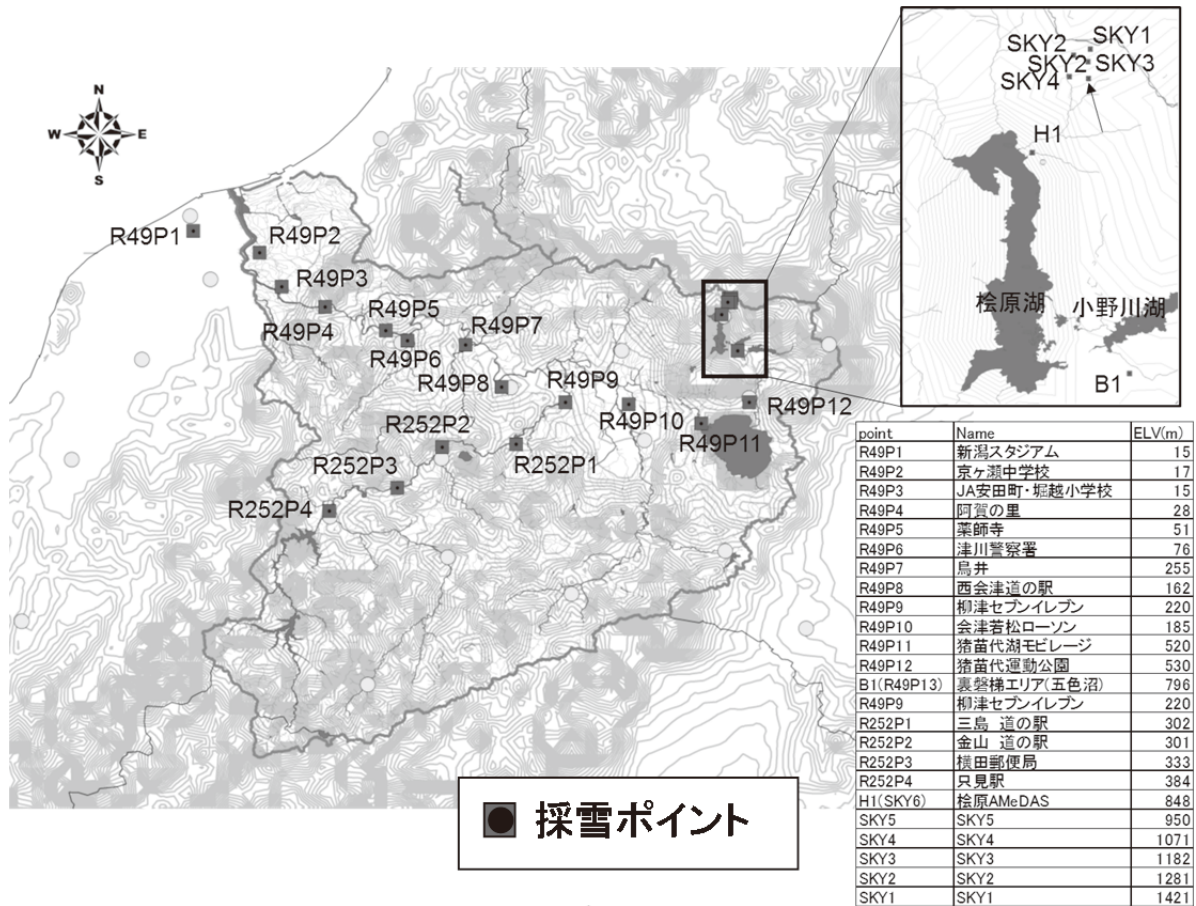


図2 採雪ポイント位置

り増加するが、陸域も温暖化しているため降雪量が減少して降雨量が増加する過程が生じる。降雨発生は積雪の融解も促すため、積雪深も減少する。

② 平均的海水温の時間に関わり短期の豪雪イベントを再現できていない。

また、こうした流域全体の傾向に対して、猪苗代周辺は、地域的な地形、もしくは地形に依存する気象要因が積雪過程に影響している可能性も示唆された。

IV. 調査分析方法

積雪のイオン組成を分析して地域固有性を求める研究を進めるため、阿賀野川流域内の多点で採雪を行い、各々の試料についてイオン組成を分析し、空間的な広がりをもつことを試みた。こうした研究のアプローチから積雪の空間的特

徴を把握する取り組みは日本各地で実施されている(鈴木 2012)が、本研究では、阿賀野川沿いに交通路として整備されている以下の①から④で調査を実施した(図2 参照)。

- ① 国道 49 号線沿線(新潟県新潟市—福島県猪苗代町、観測ポイントは R49〇〇)
- ② 国道 252 号沿線(福島県柳津町—福島県只見町、観測ポイントは R252〇〇)
- ③ 磐梯スカイバレー近辺(福島県磐梯町—北塩原村、観測ポイントは SKY〇〇)
- ④ 裏磐梯五色沼周辺(北塩原村、観測ポイント B1,H1)で積雪を採取し、積雪のイオン組成の分析を実施した

調査ゾーン①、②の採雪をもっとも積雪深が最大になる2月(実施日：平成26年2月21-22日)に、調査ゾーン③の採雪を磐梯スカイバレーの通



写真1 阿賀野川採雪調査



写真2 磐梯スカイバレー採雪調査

行止めの解除される4月(実施日:平成26年4月26日)に実施した(写真1,2参照)。また、調査ゾーン③については、平成26年1月から4月まで月1回の頻度で採雪を行った。いずれも、道路沿線を調査ポイントとしているが、車両排気ガスの到達しない範囲、自然積雪地点を抽出しながら採雪は実施されている。また、採雪は積雪の上層、中層、下層で行なうが、積雪高15-40cmの場合は2ポイント(上下のみ、中はなし)、積雪高15cm未満の場合は1ポイントでの実施としている。この積雪高による基準は器具の直径により規定されている。イオン組成の分析は、採雪試料を低温融解し、イオンクロマトグラフィーを用いて行われた。採雪時の積雪状況、および標高的な位置関係を図3に示す。図3より、新潟・福島県境で約160cm、只見川流域で110~190cmの積雪が認められている一方で、新潟平野、会津盆地の平地の

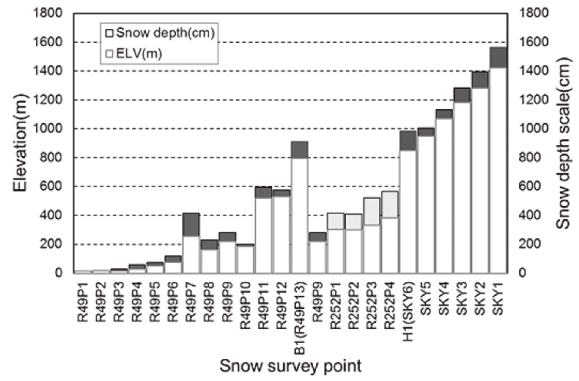


図3 調査実施時積雪状況

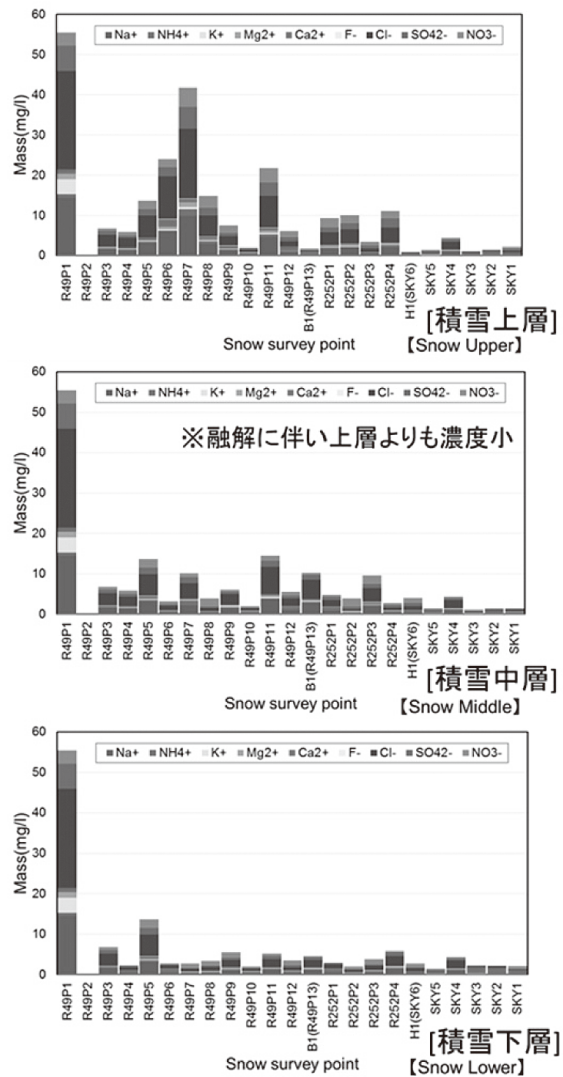


図4 阿賀野川の積雪イオン組成

積雪量は50cm未満の状況であることが理解できる。平地に関する積雪は、根雪でない可能性も示唆される。

V. イオン組成の分析

図4に積雪のイオン組成を上中下層で分析した結果を、イオン総量で示す。図のポイントは概ね左側が海側、右側が陸側を示している。結果は以下の①から③に示すとおりである。

- ① 基本的に海側ポイントの上層は海水に由来するマイナスイオン(湿性沈着の要因が大きい)が多く、海岸距離に従ってイオンが減少する。ただし、新潟・福島の間境もマイナスイオンが上昇する傾向があり、個の領域までは海水の影響が強いと示唆される。
- ② 只見川側ではマイナスイオンが多い傾向を示す。そのため、地形的に山地に囲まれ海域と隔たりはあるが、海に関連深いことが示唆される。
- ③ 長瀬川側(裏磐梯)では、マイナスイオンが少なく、海水の影響は小さいことが示唆される。

これら①から③の結果を更に分析するため、上層のマイナスイオンの推移と Cl^-/Na^+ 比の推移を検証した。 Cl^-/Na^+ 比については、富山海域の海水で $Cl^-/Na^+=1.8$ になることが呉らの報告(呉他2004)より示されており、海水の影響を推測できる指標になりうる。この検証結果は図5に示されるとおりである。図5より以下の①、②の結果が得られた。

- ① 内陸側になるにしたがい Na^+ 、 Cl^- が減少、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- が増加する傾向を把握した。 Na^+ 、 Cl^- の減少に関しては、海塩起源の含む降雪は落下速度が大きいため沿岸域付近で落下する形態が示されていると推測される。
- ② Cl^-/Na^+ 比で海水 ($Cl^-/Na^+ : 1.8$) と比較すると只見側はここでも $Cl^-/Na^+=1.8$ と海に近い値を示すが、猪苗代エリアは1.8とかけ離れた値を示す。

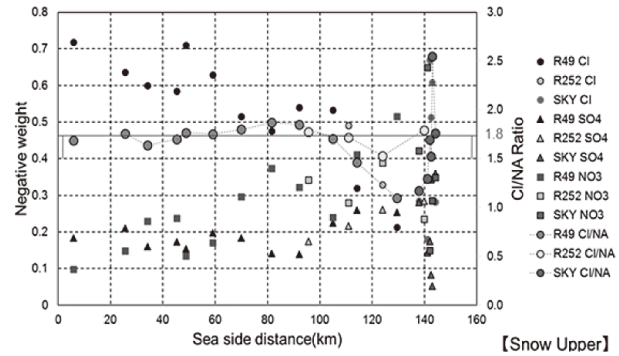


図5 採雪ポイントのマイナスイオンと Cl^-/Na^+ の関係

こうした結果より、磐梯スカイバレー近辺、裏磐梯五色沼周辺を含む長瀬川流域には日本海水の波及する影響が少ないことが示される。

VI. 考察

イオン組成の分析について考察を加えるため、降雪に影響を及ぼしやすい気象事象である冬季の風況(過去5年、および平年の AMeDAS データ)と平成25年2月20日に実施された採雪のイオン分析の比較を行った。

1. 風況による分析

阿賀野川流域の風況の結果を図6に示す。流域の中には概ね3つの風況の傾向が認められ、沿岸域は北東方向、只見川流域内は南方向、流域全体は南東方向に卓越した風向が認められる。沿岸域に関しては、日本海南側の海水が到達しやすいが、流域内は河道に沿って上流側への海水流入が生じることを示唆している。したがって、海域のイオンは流域全体に拡散する様相が明らかにされた。ただし、V章で示した長瀬川流域は海水の到達が少ないため、降雪に伴うイオン降下が新潟・福島の間境で活発である過程が推測される。その一方で、長瀬川流域に関すれば、道路が冬季通行止めされるほどの積雪になるため、海水由来とは別の降水発生源の存在も考えられる。地形的に猪苗代湖も介しているため、猪苗代湖に起因する水循環の存在も示唆される。一方、只見川流域は南

方向が卓越するが、流域を伝った海水由来の降雪が生じているのではなく日本海北陸エリアからの降雪も想定される。

2. 平成 25 年とのイオン比較

阿賀野川流域の平成 25 年との積雪イオンとの比較結果を図 7 に示す。平成 25 年は、会津盆地より上流以降に認められる不安定な Cl^-/Na^+ 比が認められてなく、 $Cl^-/Na^+=1.8$ でほぼ安定する。阿賀野川流域の積雪は総じて、平成 25 年が多いことが示され(図 8 参照)、積雪、およびの大小により、海水由来ものも変化し、固有の特徴が認められなくなることも示唆される。積雪量が多い場合は、海由来の影響大になっている可能性が見てとれる。

VII. おわりに

積雪によるイオン組成の調査分析より、長瀬川流域への日本海からの波及影響の少ない地域固有性が明らかにされた。ただし、当該流域は多雪地帯であるため、固有の水循環の存在も示唆される。今後は長瀬川流域の流末に存在する猪苗代湖との関係性についても調査分析する意向である。また、降雪の大小により海水由来の影響度の変化も示唆されたため、今後、短期降雪イベントの影響も見積もる予定である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、藪崎志穂助教、流域環境システム研究室の教務補佐員今泉友香様、学生にデータ整備の協力を得た。この場を借りて深く感謝する。

引用文献

IPCC(2011) Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, <http://ipcc-wg2.gov/SREX/>. Site viewed 09/02/2015.

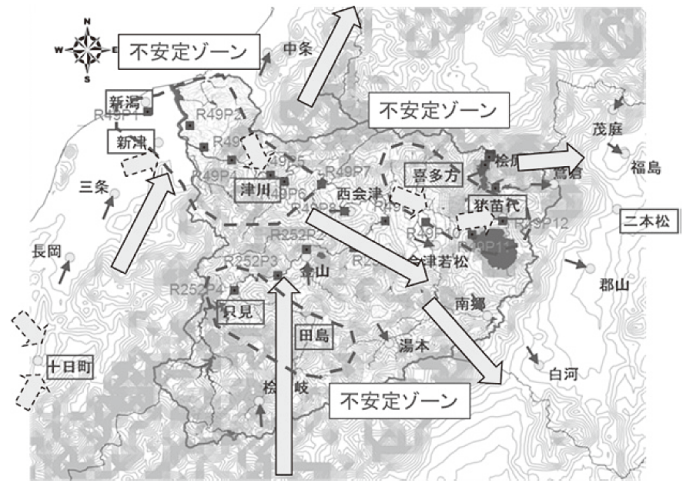


図 6 阿賀野川流域の風況

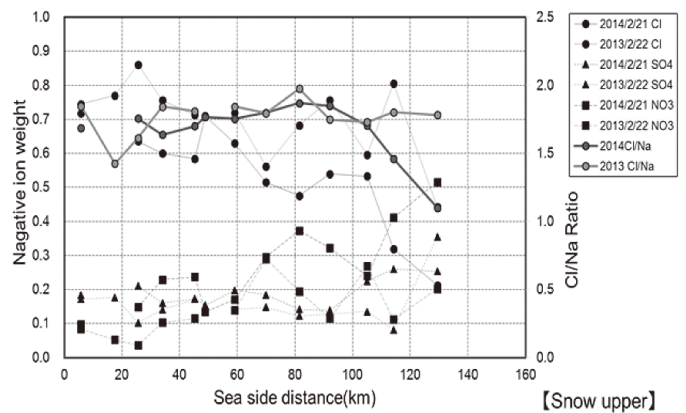


図 7 平成 25 年と平成 26 年のイオン比較

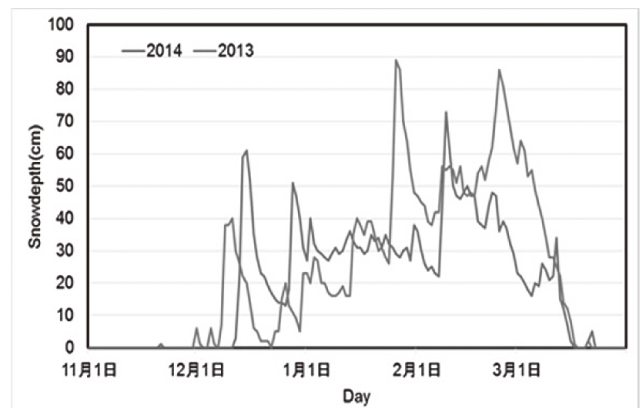


図 8 会津若松の積雪深

Paul A. O' Gorman(2012) Sensitivity of tropical precipitation extremes to climate change, *Nature Geoscience*, .5, 697-700, doi:10.1038/ngeo1568.
Akiyama, T. (1981) Time and spatial variations of heavy snowfalls in the Japan Seacostal region. Part II: Large-scale situations for typical spatial distribution of heavy snowfalls classified by EOF.

Journal of Meteorological Society of Japan, 59, 591-590.

Iizumi, T., M. Nishimori and F. Uno (2013) Climate downscaling as a source of uncertainty in projecting local climate change impacts. Journal of Metrological Society Japan, 90, 83-90.

鈴木啓助 (2000) わが国における雪氷化学研究, 雪氷, 62, 185-196.

中村光宏・佐藤佑哉・川越清樹 (2013) 気候変動による裏磐梯地域の水環境変化の予測, 地球環境シンポジウム講演集, 21, 167-172.

安田正次 (2010) 只見における積雪量と日本海海面温度との長期的関係, 海洋バイオシステム研究, 24, 1-6.

Hori, M. E., J. Inoue, T. Kikuchi, M. Honda, and Y. Tachibana (2011): Recurrence of Intraseasonal Cold Air Outbreak during the 2009/2010 Winter in Japan and its Ties to the Atmospheric Condition over the Barents-Kara Sea. SOLA, 7, 25-28.

鈴木啓助 (2012) 季節積雪地域の雪氷化学, 低温科学, 70, 119-129.

呉 佳紅・佐竹 洋 (2004) 富山の降水における Na/Cl 比と塩素同位体比の関係, 日本地球化学会年会要旨集, 51, 55-55.