

資 料

立山における酸性雨観測結果 (2019) *

加藤 咲

富山市科学博物館

939-8084 富山市西中野町一丁目8-31

Observation Reports of Acid Rain Collected on Mt. Tateyama (2019)

Saki Kato

Toyama Science Museum

1-8-31 Nishinakano-machi, Toyama 939-8084, Japan

1. はじめに

立山は富山県南東に位置する標高3,000 m級の高山であり、その北西側斜面は日本海に面している。同地は、ユーラシア大陸を起源とする大気汚染物質や黄砂粒子等の長距離輸送の観測地に適しており、これまでも大陸起源物質の測定や霧水・降水の化学分析が行われてきた（例えば、青木・渡辺, 2009; 朴木・渡辺, 2006; 渡辺ほか, 2005, 2006）。

富山市科学博物館では2003年から立山有料道路沿いにおける酸性雨観測を開始し、標高別に降水中のイオン濃度, pH, 電気伝導度, 粒子個数濃度（粒子個数濃度の測定は2012年より開始）の挙動をモニタリングしてきた（朴木・渡辺, 2004, 2006, 2007, 2008, 2010, 2011, 2012 a, 2012b, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 朴木ほか, 2009）。

本報告では、2019年の観測結果について報告する。なお、2019年より、2018年まで継続して観測を行ってきた朴木英治博士から著者が研究を引き継ぎ、観測を行ったが、現地での観測方法や試料の測定方法にできるだけ差異が生じないように注意した。

2. 観測地点と観測期間

観測地点と観測期間を表1に示した。観測地点は標高660～2,450 mの範囲に、高さ130～310 m間隔で10ヶ所設け、積雪のない期間に観測を行った。なお、標高により雪解けと積雪の時期が異なるため、観測期間は標高により異なる。

表1 立山における酸性雨観測地点と観測期間。

観測地点名	標高 (m)	観測期間*
室堂平 (自然保護センター敷地)	2,450	7月22日～10月8日
天狗平 (駐車場)	2,305	7月22日～10月8日
天狗鼻 (第二駐車場)	2,110	7月22日～10月8日
弥陀ヶ原 (駐車場)	1,930	7月22日～10月23日
追分 (駐車場)	1,800	7月9日～10月23日
弘法平 (有料トイレ設置駐車場)	1,620	7月22日～10月23日
上ノ小平 (駐車スペース)	1,420	7月9日～10月23日
滝見台 (駐車場)	1,280	7月9日～10月29日
美女平 (駅舎屋上)	970	7月9日～10月29日
桂台 (料金所敷地)	660	7月9日～10月29日

* 観測期間はすべて2019年のため、個別表記を省略した。

3. 観測方法

各観測地点にて降水を捕集し、捕集した降水試料は富山市科学博物館に持ち帰り、化学分析を行った。降水の捕集には、常時開放されたバルクサンプラー（開口部口径226.9 cm², 貯蔵タンク容量10L）を使用した。貯蔵タンクは2週間から1ヶ月に1回のペースで回収・交換した。降水試料は、貯蔵タンクごとに重量, pH（ガラス電極法）、電気伝導度（電気伝導率計法, Supplementary fileでのみ示している）、イオン濃度（イオンクロマトグラフ法）、粒子個数濃度（光遮蔽粒子計数法）を測定した。イオン成分の測定時は、孔径0.45 μm（陽イオン）と0.2 μm（陰イオン）のメンブランフィルターでろ過した降水試料を使用した。測定機器は次の通り；重量：電子天秤（エー・アンド・ディEW-12Ki）、pH：pH計（堀場製作所D-14）、電気伝導度：伝導率計（堀場製作所ES-14）、イオン：イオンクロマトグラフ（島津製作所HIC-6A（陽イオン）、ダイオネクスICS-2000（陰イオン））、総粒子個数：液中微粒子計（HIAC 9703+, 計測粒径範囲：1.5～150 μm）。

また、それぞれの測定値を基に、降水量（貯蔵タンクの降水試料の重量）で重み付けをした月ごとの加重平均値を求めた。4. 結果と考察では、月ごとの加重平均値から、2019年の酸性雨観測結果を議論した。1ヶ月とみなす期間は、7月を7月9日～8月7日、8月を8月7日～9月9日、9月を9月9日～10月8日、10月を10月8日～10月29日とした。なお、各月の中で観測ができなかった期間がある観測地点では、ほかの観測地点との整合性が取れないため、その月の加重平均値は求めず、グラフにも示していない。各測定値及び加重平均値はSupplementary data (<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12061668>) に示す。

* 富山市科学博物館研究業績第570号

4. 結果と考察

4.1 降水量

立山の降水量は、標高が高くなるにつれて増加する傾向がみられる（例えば、朴木・渡辺，2017など）。

各月の降水量の高度分布を図1に示した。全体としては標高が高くなるにつれて降水量が多くなる傾向がみられた。全観測地点のデータが揃っている8月、9月は、8月には標高2,450 mの観測地点、9月は標高2,305 mの観測地点で最多となった。また、8月は標高2,305 m以上の観測地点で降水量が多かった。

標高660～1,280 mの観測地点では、10月の降水量が最も多かった。しかし、過去の観測においては、10月の降水量が最多となったのは2012年と2013年のみである（朴木・渡辺，2013，2014）。これは、2019年10月に台風19号が富山県に上陸したことが一因と考えられる。また、標高970 mの観測地点は、すべての月で、他の観測地点より降水量は少なかったが、この理由はよくわからなかった。なお、標高970 mの観測地点ではアンモニウムイオン濃度、非海塩性カルシウムイオン濃度、pH、総粒子個数濃度についても、他の観測地点の傾向とは異なることが多く、何らかの要因があると考えられる。

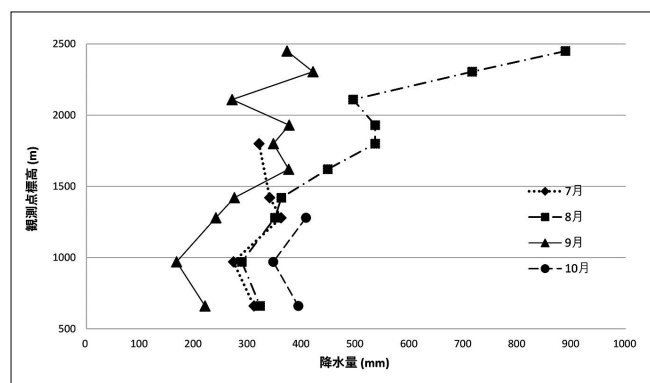


図1 各月の降水量の高度分布。

4.2 ナトリウムイオン濃度

ナトリウムイオン (Na^+) は海塩由来であり、立山では標高が高くなるにつれて低濃度となる傾向がみられる（朴木・渡辺，2006）。

各月の Na^+ 濃度の高度分布を図2に示した。全観測地点のデータが揃っている8月と9月は、1,280 mより標高の高い観測地点において、標高が高くなるにつれて低濃度となる傾向がみられた。また、8月は標高1,280 mの観測地点で、9月は標高970 mの観測地点で濃度は最大となった。

月ごとの濃度を比較すると、標高660～1,280 mの観測地点においては、10月の濃度が最も高かった。この傾向は過去の観測においても度々報告されている（例えば、

朴木・渡辺，2019など）。

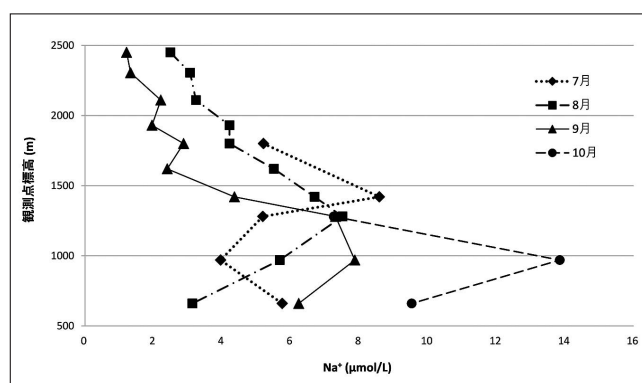


図2 各月の Na^+ 濃度の高度分布。

4.3 非海塩性硫酸イオン濃度

非海塩性 (non-sea-salt : nss) 硫酸イオン (SO_4^{2-}) は、測定した SO_4^{2-} 濃度から海塩性由来分を差し引くことで、降水の酸性化に影響を与える、海塩に由来しない SO_4^{2-} 濃度として算出される。それらの起源は、火山から排出されるガスや化石燃料の燃焼によって生じる二酸化硫黄であり、立山では標高が高くなるにつれて低濃度となることが多い（朴木・渡辺，2016）。

各月の nss- SO_4^{2-} 濃度の高度分布を図3に示した。全体としては、標高が高くなるにつれて低濃度となる傾向がみられた（10月は除く）。

9月は標高1,800 mの観測地点で、他の観測地点と比べて濃度が高かった。月ごとの濃度を比較すると、標高660～1,280 mの観測地点においては、10月の濃度が最も低かった。10月の濃度が極端に低くなった事例は過去に無く、原因は分からなかった。

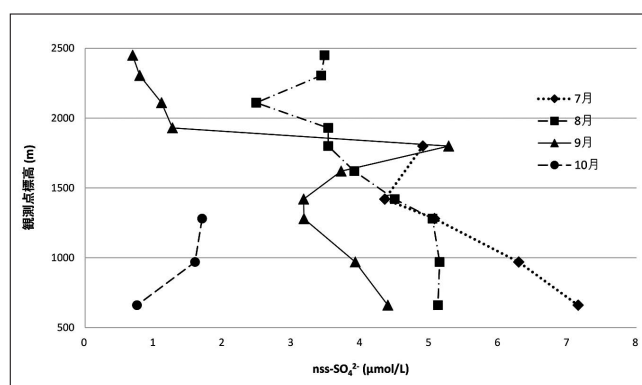


図3 各月の nss- SO_4^{2-} 濃度の高度分布。

4.4 硝酸イオン濃度

硝酸イオン (NO_3^-) の起源は、化石燃料の燃焼によって生じる窒素酸化物であり、立山では標高が高くなるにつれて低濃度となることが多い（朴木・渡辺，2010）。

各月の NO_3^- 濃度の高度分布を図4に示した。全体的

に濃度のばらつきが大きく、標高が高くなるにつれて低濃度となる傾向はみられなかった。全観測地点のデータが揃っている8月と9月は、どちらの月も2,305 mで濃度は最小となり、標高の高い観測地点で低濃度となることが確認された。

月ごとの濃度を比較すると、標高660～1,280 mの観測地点においては、10月の濃度が最も低く、標高660 mの観測地点では NO_3^- は検出されなかった。10月における NO_3^- 濃度の変動は、同月の nss-SO_4^{2-} 濃度の変動と同じ傾向であった。また、10月のみ他の月と比べて極端に低濃度となった事例は過去になく、原因は分からなかった。

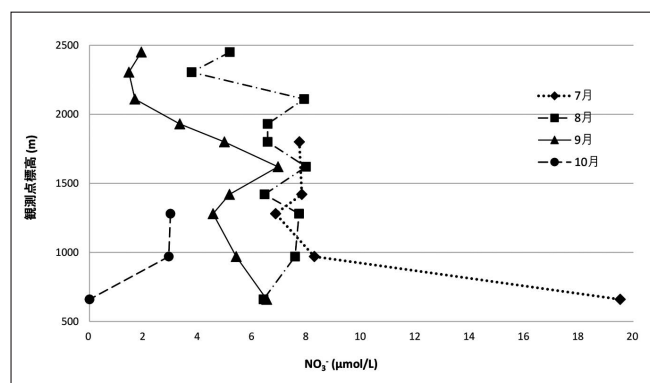


図4 各月の NO_3^- 濃度の高度分布。

4.5 硝酸寄与比

硝酸寄与比は、酸性雨の原因物質である nss-SO_4^{2-} と NO_3^- に占める NO_3^- の割合を示したものであり、酸性雨の形成過程を把握する指標となる（朴木・渡辺, 2005）。立山では標高が高くなるにつれて低濃度となる傾向がみられる（例えば、朴木・渡辺, 2015）

各月の硝酸寄与比の高度分布を図5に示した。全体的に濃度のばらつきが大きく、標高が高くなるにつれて低濃度となる傾向はみられなかった。2018年の観測（朴木・渡辺, 2019）と比較すると、2019年の観測では標高2,110～2,450 mの観測地点において硝酸寄与比が高かった。標高の高い観測点において、人為起源である NO_3^- の割合が過

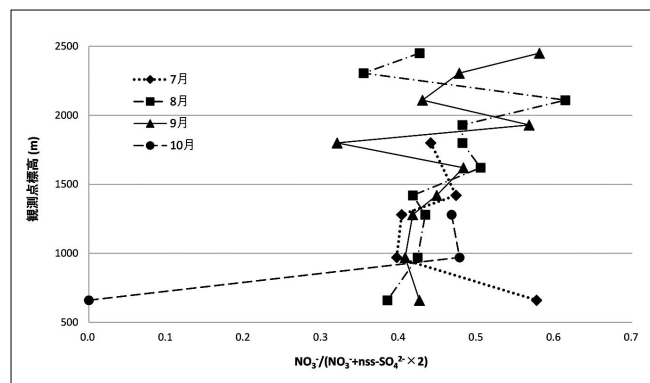


図5 各月の硝酸寄与比の高度分布。

去に比べ増えている可能性が考えられるため、今後の挙動を注視する必要があると考える。

4.6 アンモニウムイオン濃度

アンモニウムイオン (NH_4^+) は家畜の糞尿や化学肥料、化石燃料の燃焼により発生し、立山では標高が高くなるにつれて低濃度となる傾向がみられることが多い（朴木・渡辺, 2016）。

各月の NH_4^+ 濃度の高度分布を図6に示した。全体的に濃度のばらつきが大きく、標高が高くなるにつれて低濃度となる傾向はみられなかった。

9月は、標高2,450 mの観測地点において他の観測地点より濃度は高かった。また、7月は全観測地点で10 $\mu\text{mol/L}$ 以上の比較的高濃度な数値を示した。なお、7月に高濃度となる事例は、過去の観測において3回報告されているが（朴木・渡辺, 2015, 2017, 2018），この要因は分からなかった。

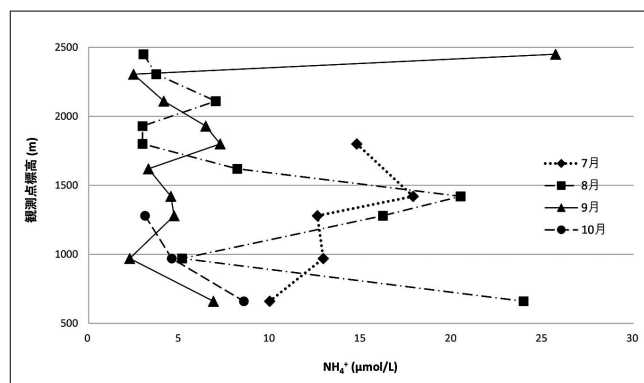


図6 各月の NH_4^+ 濃度の高度分布。

4.7 非海塩性カルシウムイオン濃度

非海塩性カルシウムイオン (nss-Ca^{2+}) は、海塩と土壌粒子が起源であり、測定した Ca^{2+} 濃度から海塩性由来分を差し引くことで算出される。なお、 nss-Ca^{2+} は、酸性化された降水を中和する（朴木・渡辺, 2006）。立山では、観測地点によって濃度がばらつくことが多い

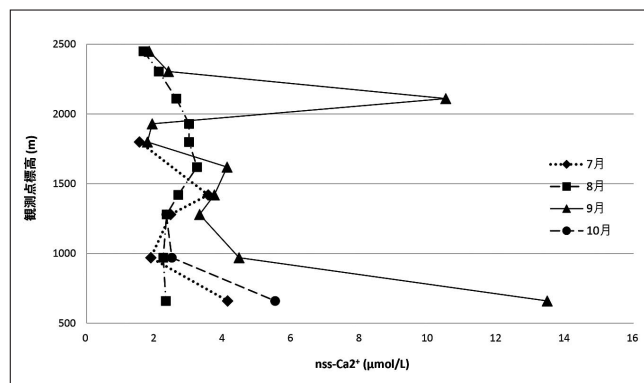


図7 各月の nss-Ca^{2+} 濃度の高度分布。

(例えば、朴木・渡辺, 2016)。

各月の nss-Ca^{2+} 濃度の高度分布を図7に示した。全体としては、9月における標高660 mと2,110 mの観測地点以外、すべての濃度が、1～6 $\mu\text{mol/L}$ の範囲で変動していた。

4.8 pH

降水のpHの値は、非海塩性硫酸イオン濃度及び硝酸イオン濃度（酸性化に影響を与える）と、アンモニウムイオン濃度及び非海塩性カルシウムイオン濃度（酸性化された降水を中和する作用を持つ）のバランスによって決まり（朴木・渡辺, 2013）、一般的にpH 5.6以下の降水のことを酸性雨と呼ぶ。

各月のpHの高度分布を図8に示した。全期間におけるpHの平均値は5.19であった。この平均値は2018年よりも低かった（朴木・渡辺, 2019）。そのほか、全体としてはばらつきが大きく、特徴的な傾向はみられなかったが、7月においては標高が高くなるにつれてpHは高くなった。

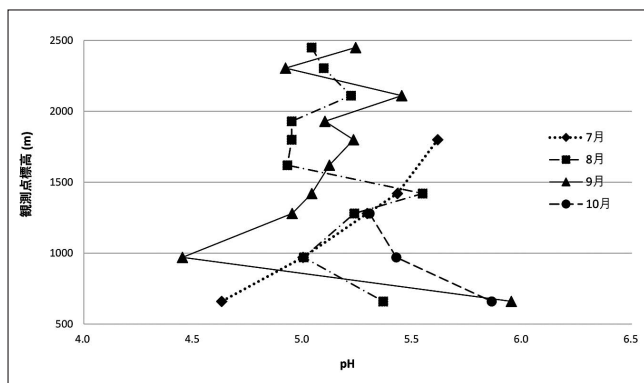


図8 各月のpHの高度分布。

4.9 総粒子個数濃度

総粒子個数濃度は、捕集した降水試料1 mlに含まれる粒子の個数の合計である。粒子の起源としては、燃焼起源と考えられる黒色粒子と黄砂などの土壌粒子がある（朴木・渡辺, 2013）。

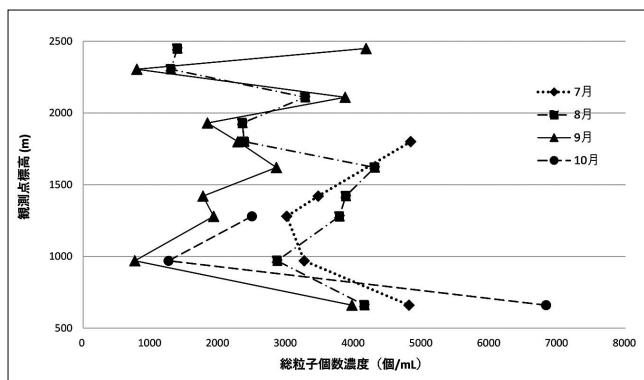


図9 各月の総粒子個数濃度の高度分布。

各月の総粒子個数濃度の高度分布を図9に示した。全体的にばらつきが大きく、特徴的な傾向はみられなかった。

5. 謝辞

本研究を進めるにあたり、立山への観測装置の設置を許可していただいた、環境省中部山岳国立公園立山管理官事務所、林野庁富山森林管理署、富山県自然保護課、富山県立山土木事務所、富山県道路公社、富山県道路公社立山有料道路管理事務所、立山黒部貫光株式会社、富山県上市警察署に感謝申し上げる。また、試料の回収に際し、富山県立山センター・富山県自然保護センター、立山有料道路管理事務所・桂台料金所、美女平駅の各職員の皆様から様々なご協力をいただいた。感謝申し上げます。また、調査へ同行いただくとともに、分析・解析手法、本稿の校閲でもご指導たまわった富山市科学博物館ボランティアの朴木英治博士に厚く御礼申し上げます。

6. 引用文献

- 青木一真・渡辺幸一, 2009. 立山連峰における大気エアロゾル観測. エアロゾル研究, 24 (2) : 112-116.
- 朴木英治・渡辺幸一, 2004. 立山における酸性雨観測および降水と雲粒との化学成分濃度の違いに関する調査. 富山市科学文化センター研究報告, (27) : 81-85.
- 朴木英治・渡辺幸一, 2006. 立山における標高別の酸性雨と霧水の違いに関する調査結果2004. 富山市科学文化センター研究報告, (29) : 123-131.
- 朴木英治・渡辺幸一, 2007. 立山における標高別の酸性雨観測結果2005. 富山市科学文化センター研究報告, (30) : 89-97.
- 朴木英治・渡辺幸一, 2008. 立山における酸性雨観測結果2006. 富山市科学博物館研究報告, (31) : 105-112.
- 朴木英治・渡辺幸一・米谷正広, 2009. 立山における酸性雨観測結果2007. 富山市科学博物館研究報告, (32) : 125-131.
- 朴木英治・渡辺幸一, 2010. 立山における標高別の酸性雨観測結果2008. 富山市科学博物館研究報告, (33) : 113-120.
- 朴木英治・渡辺幸一, 2011. 立山における酸性雨観測結果 (2009) . 富山市科学博物館研究報告, (34) : 151-158.
- 朴木英治・渡辺幸一, 2012a. 立山における酸性雨観測結果 (2010) . 富山市科学博物館研究報告, (35) : 119-128.
- 朴木英治・渡辺幸一, 2012b. 立山における酸性雨観測結果 (2011) . 富山市科学博物館研究報告, (36) : 13-26.

- 朴木英治・渡辺幸一，2013. 立山における酸性雨および懸濁粒子観測結果（2012）. 富山市科学博物館研究報告，(37)：89-102.
- 朴木英治・渡辺幸一，2014. 立山における酸性雨・懸濁粒子観測結果（2013）. 富山市科学博物館研究報告，(38)：105-120.
- 朴木英治・渡辺幸一，2015. 立山における酸性雨・懸濁粒子観測結果（2014）. 富山市科学博物館研究報告，(39)：69-86.
- 朴木英治・渡辺幸一，2016. 立山における酸性雨・懸濁粒子観測結果（2015年）. 富山市科学博物館研究報告，(40)：51-69.
- 朴木英治・渡辺幸一，2017. 立山における酸性雨・懸濁粒子観測結果（2016）. 富山市科学博物館研究報告，(41)：41-58.
- 朴木英治・渡辺幸一，2018. 立山における酸性雨観測結果（2017）. 富山市科学博物館研究報告，(42)：49-59.
- 朴木英治・渡辺幸一，2019. 立山における酸性雨観測結果（2018）. 富山市科学博物館研究報告，(43)：47-51.
- 渡辺幸一・名取千晶・朴木英治，2005. 立山における霧水の化学分析. 大気環境学会誌，40（3）：122-128.
- 渡辺幸一・朴木英治・吉久真弘・西野幹・柳瀬友治，2006. 立山・美女平におけるオゾン，窒素酸化物および二酸化硫黄濃度の測定. 大気環境科学誌，41（5）：268-278.

