富山市科学博物館
TOYAMA SCIENCE MUSEUM

立山における酸性雨観測結果（2020）

著者	加藤 咲
雑誌名	富山市科学博物館研究報告
号	45
ページ	113-117
発行年	2021-07-01
URL	http://repo.tsm.toyama.toyama.jp/?action=repository_uri&item_id=2033

富山市科学博物館研究報告第45号，pp. 113－117；(2021)
Bulletin of the Toyama Science Museum, (45): 113－117；(2021)

資　　料

立山における酸性雨観測結果（2020）*

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 (2020)

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，これまでに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，2004，2006，2007，2008，2010，2011，2012a，2012b，2013，2014，2015，2016，2017，2018，2019，朴木ほか，2009，加藤，2020）．

本報告では，2020年の観測結果について報告する．なお，2020年は各観測地点で行った気温観測の結果も報告する．

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，高度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	6月30日～9月28日
天狗平（駐車場）	2,305	6月30日～9月28日
天狗鼻（第二駐車場）	2,110	6月30日～9月28日
弥陀ヶ原（駐車場）	1,930	6月30日～10月12日
追分（駐車場）	1,800	6月30日～10月12日
弘法平（有料トイレ設置駐車場）	1,620	6月30日～10月12日
上ノ小平（駐車スペース）	1,420	6月30日～10月12日
滝見台（駐車場）	1,280	6月30日～10月28日
美女平（駅舎屋上）	970	6月30日～10月28日
桂台（料金所敷地）	660	6月30日～10月28日

* 観測期間はすべて2020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 cm^2，貯蔵タンク容量 10 L）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（ダイオネクスIC-1600），総粒子個数：液中微粒子計（HIAC 9703+D，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，2020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６月30日～７月31日，８月を７月31日～８月31日，９月を８月31日～９月28日，10月を９月28日～10月28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S１～５としてSupplementary data（https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14411102）に示す．

気温の観測には，データロガー（Onset社U23-002A：室堂平，弥陀ヶ原，追分，弘法平，上ノ小平，滝見台，

＊富山市科学博物館研究業績第583号

Onset社MX2201：天狗平，天狗鼻，美女平，桂台）を用い，いずれもソーラーラジエーションシールドの中に設置し，バルクサンプラーと同じ場所で観測を行った．データは10分毎に取得した．「４．結果と考察」では，月ごとの単純平均値を示しており，１ヶ月とみなす期間は，降水試料の結果と同じにした．なお，天狗平，天狗鼻，美女平，桂台は，８月19日から気温の観測を始めたため，それ以降のデータを使用した．

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にある（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．８，９，10月は，すべての月において標高2,450 mの観測地点で最多となった．

月ごとに降水量を比較すると，７月が他の月の降水量を大幅に上回った．また，８月の降水量は，標高2,450 mと2,305 mを除いた全ての観測地点において，200 mm以下で最も少なかった．なお，８月に複数の観測地点で降水量が200 mm以下になる事例は，過去の観測において２回報告されているのみであることから（朴木・渡辺，2012，2018），例年と比べても降水量が少なかったと考えられる．

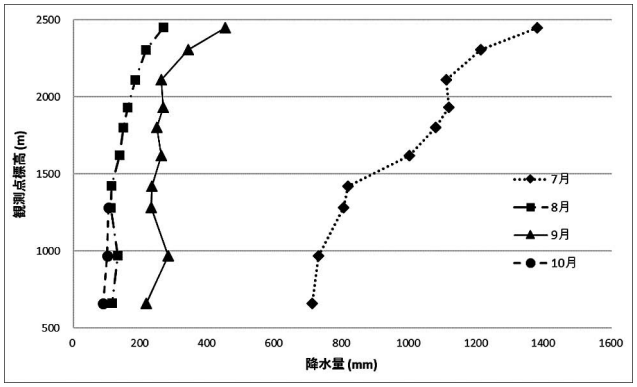


図1　各月の降水量の高度分布．

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．９月は，標高970 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．しかし，その他の月は上記のような傾向はみられず，７，８月はそれぞれ1,930 m，2,305 mより標高の高い観測地点で高濃度となった．

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，加藤，2020など）．

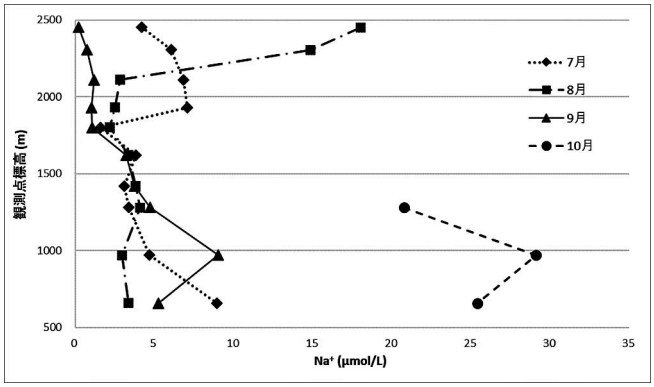


図2　各月のNa^+濃度の高度分布．

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が，その傾きは硝酸イオン（NO_3^-）より小さい（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．どの月も標高が高くなるにつれて低濃度となる傾向がみられなかった．８月においては，標高2,305 m，2,450 mの観測地点で高濃度となった．

月ごとの濃度を比較すると，全ての観測地点において，８月の濃度が最も高かった．後方流跡線解析で空気塊の経路を調べたところ，西之島の噴煙の影響を受けた可能性があると考えられた．

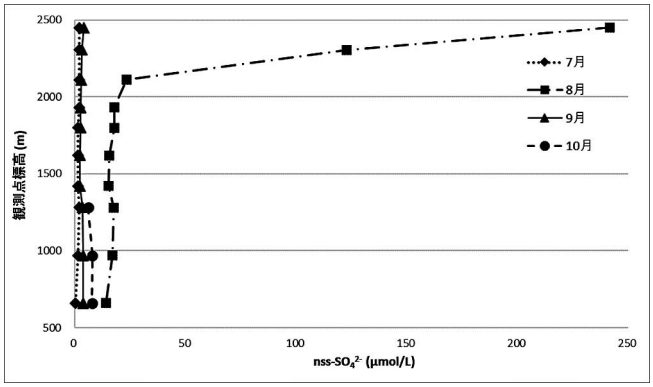


図3　各月のnss-SO_4^{2-}濃度の高度分布．

4.4. 硝酸イオン濃度

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．7 月は標高660 mの観測地点で，8 月は標高2,305 m，2,450 mの観測地点で高濃度となった．この傾向は，同じ月の$nss\text{-}SO_4^{2-}$ 濃度の変動と同じであった．その他，次章以降で示すアンモニウムイオン（NH_4^+），非海塩性カルシウムイオン（$nss\text{-}Ca^{2+}$）でも同様の傾向がみられた．霧水と降水を比較すると，各イオン成分は降水よりも霧水の方が10倍以上高くなることがある（朴木・渡辺，2004）．8 月は降水が少なく，標高2,450 mと2,305 mの観測地点では，温かい雨により発生した霧水が多く含まれることが考えられた．

月ごとの濃度を比較すると，標高660 mの観測地点を除くと，9 月の濃度が低かった．

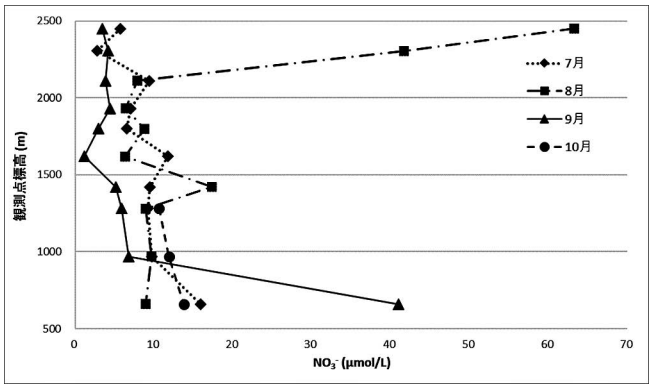


図4　各月のNO_3^- 濃度の高度分布．

4.5. 硝酸寄与比

硝酸寄与比は，酸性雨の原因物質である$nss\text{-}SO_4^{2-}$ 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，2006）．立山では標高が高くなるにつれて低くなる傾向がみられる（例えば，朴木・渡辺，2015）．

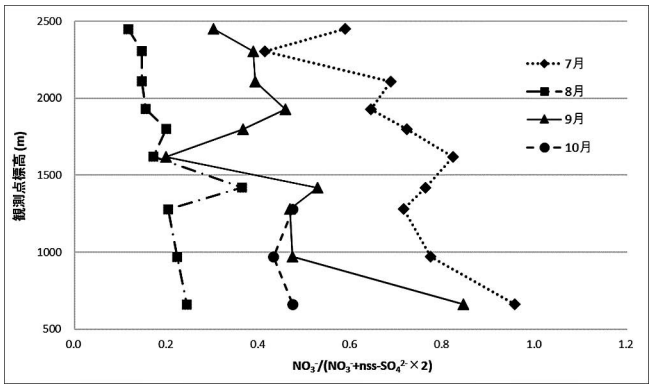


図5　各月の硝酸寄与比の高度分布．

各月の硝酸寄与比の高度分布を図5に示した．全体的にばらつきが大きいが，標高が高くなるにつれて低くなる傾向がみられた．

月ごとの硝酸寄与比を比較すると，全ての観測地点において 8 月が最も低かった．NO_3^- 濃度とSO_4^{2-} 濃度が高濃度であった，8 月の標高2,305 m，2,450 mの観測地点における硝酸寄与比は，それより標高の低い観測地点の分布傾向から大きく外れることはなかった．2 つの観測地点において，NO_3^- 濃度とSO_4^{2-} 濃度は，同じように高濃度となったと考えられた．

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．8 月は標高2,305 m，2,450 mの観測地点で高濃度となった．

月ごとの濃度を比較すると，標高660 mの観測地点を除き，8 月の濃度が最も高かった．また，7 月は全観測地点で 5 μmol/ L以下で低濃度であった．

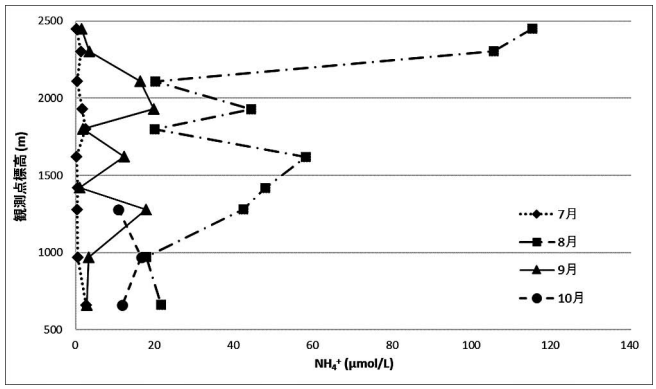


図6　各月のNH_4^+濃度の高度分布．

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（$nss\text{-}Ca^{2+}$）は，海塩と土壌粒子が起源であり，$nss\text{-}SO_4^{2-}$ と同様に，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，$nss\text{-}Ca^{2+}$ 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（例えば，朴木・渡辺，2016）．

各月の$nss\text{-}Ca^{2+}$ 濃度の高度分布を図 7 に示した．8 月は標高2,305 m，2,450 mの観測地点で，9 月は標高660 mの観測地点で，10月は標高660 m，970 mの観測地

点で，それぞれ高濃度となった．

月ごとの濃度を比較すると，標高1,620 mの観測地点を除き，７月の濃度が最も低かった．

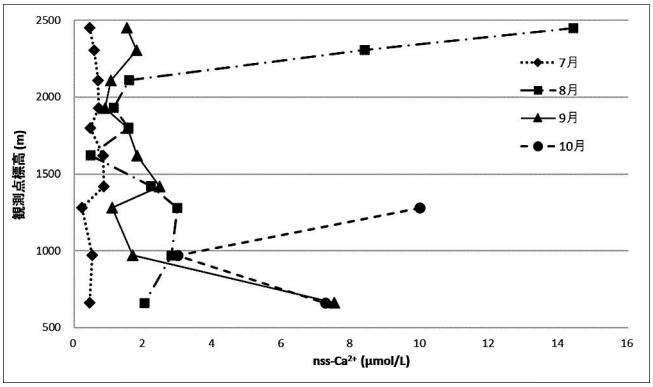


図7　各月のnss-Ca^{2+} 濃度の高度分布．

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5.30であった．この平均値は2019年（加藤，2020）よりもやや高かった．８月と９月においては，標高が低い観測地点においてpHが低く，標高が高くなるにつれてpHは高くなり，それぞれ最大値を標高1,800 mと1,620 mの観測地点でとると，最も高い観測地点にかけては標高が高くなるにつれてpHが低くなる傾向があった．

月ごとのpHを比較すると，標高1,420 m，1,620 m，1,800 mの観測地点を除き，８月のpHが最も低かった．

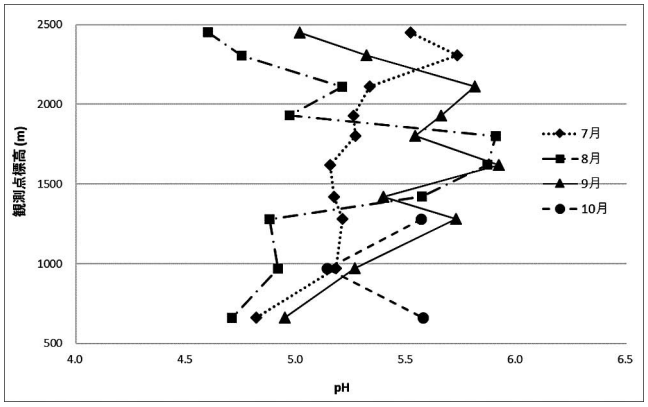


図8　各月のpHの高度分布．

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１ml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，燃焼起源と考えらえる黒色粒子と黄砂などの土壌粒子がある（朴木・渡辺，2013）．

各月の総粒子個数濃度の高度分布を図９に示した．全体としては標高が高くなるにつれて高濃度となる傾向がみられた．

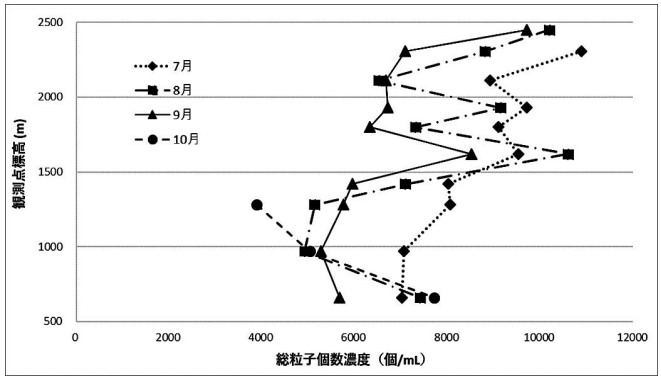


図9　各月の総粒子個数濃度の高度分布．

4.10. 気温

各月の気温の高度分布を図10に示した．全体としては標高が高くなるにつれて気温が低くなる傾向がみられた．

月ごとに気温を比較すると，８月が最も高く，10月が最も低く，７月と９月は同程度であった．各月の標高に対する気温の変動は，どの月も同じ傾向であった．標高に対して直線的に気温は低くならず，標高970 m，2,110 mの観測地点において，気温はそれぞれの１つ下の観測地点より高くなる傾向があった．上記２つの観測地点はいずれも崖に面しており，気塊の流れが他の観測地点と異なることが一つの原因である可能性が考えられた．

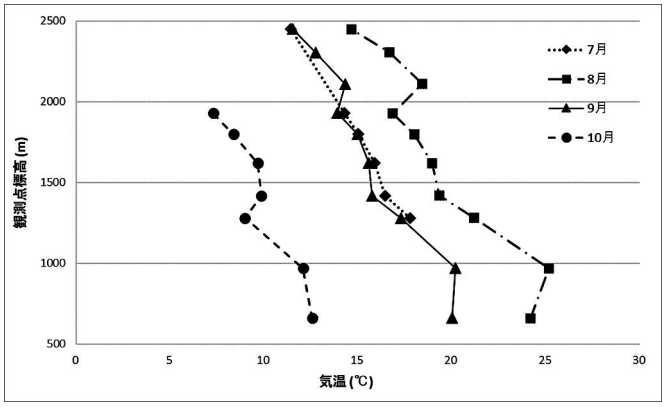


図10　各月の気温の高度分布．

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，富山県公安委員会，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．また，イオン分析にご協力いただいた，富山県立大学工学部環境・社会基盤工学科教授，渡辺幸一博士と森絢三朗氏に感謝申し上げる．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る．

なお，本研究の一部は令和２年度富山県美術館・博物館研究補助（富博協第24号）の助成を受けた．

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．

加藤咲，2020．立山における酸性雨観測結果（2019）．富山市科学博物館研究報告，（44）：103-107．

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．立山における標高別の酸性雨観測結果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）．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．