

多雪域のみなかみ演習林森林流域の沈着量と流出負荷量の季節変化

瀧澤英紀¹・風間聖史²・小坂泉¹

1 日本大学大学院生物資源科学研究科

2 日本大学生物資源科学部

要旨: 多雪域のみなかみ演習林森林流域において降水と流出の水量と水質について 2019 年の一年間観測し, 森林流域の沈着量と流出負荷量の季節変化と年間の物質収支を明らかにした。Cl⁻, Na⁺の沈着量は北西風の影響を受けて冬期に高い値を示した。年間の物質収支では, Cl⁻, K⁺, NO₃⁻, NH₄⁺は沈着量と流出負荷量がバランスをとった。Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, Si, HCO₃⁻は流出負荷量が多く, 流域内の化学風化により多量に付加されていた。

キーワード: 森林流域, 物質収支, 多雪域

Variations of precipitation deposition and loads of runoff in minakami university forest at snowy region

Hideki TAKIZAWA¹, Masashi KAZAMA² and Izumi KOSAKA¹

Graduate School of Bioresource Sci. Nihon Univ., Fujisawa 252-0880 1

Coll. Bioresource Sci. Nihon Univ. 2

Abstract: We observed water chemistry of precipitation and runoff of a catchment in minakami university forest at heavy snowy region through one year, 2019. Precipitation depositions and loads of runoff were calculated to obtained elemental budgets. Results showed the deposition of Cl⁻ and Na⁺ were high in winter due to the northwesterly wind. In the annual mass balance, between the deposition and the outflow load of Cl⁻, K⁺, NO₃⁻ and NH₄⁺ were balanced. The elements with large outflow loads were Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, Si and HCO₃⁻, and the material was added mainly by chemical weathering in the hydrological process.

Key-word: Forest catchment, elemental budget, snowy region

I はじめに

近年のアジア域の発展によるエアロゾルなど物質排出の増大は季節風などにより日本へ到達する可能性もあり, 湿性乾性沈着物として供給され自然生態系への影響も少なからず危惧されている。中でも硫黄酸化物 (SOx) や窒素酸化物 (NOx) は降水酸性化の因子でもあり, 日本海側地域の冬期降水の pH への影響が大きく (4), 積雪域の物質循環の研究も注目される (2, 3, 5)。本研究の対象地は日本列島の脊梁山脈の南側に位置し, 利根川の源流域であり, 日本海沿岸域から 70km も離れており, 日本海沿岸域の冬期降水の水質変化と, どの程度同調しているかは不明である。日本海沿岸流域の研究結果では (8), 硫酸の溪流への流出負荷量のうち, 風化由来と降水由来を分けて求めた結果では, 降水水質の季節性だけでなく, 風化量の季節性も示した。

本研究では奥利根源流域の降水により供給されるものと溪流により流出する物質負荷量について一年を通して明らかにすることを目的とする。

II 材料と方法

1. 調査地 調査対象地は群馬県利根郡みなかみ町の日本大学演習林 (面積 158ha, 標高 650~985m) 内に調査流域を設けた (図-1)。本研究では三つ又沢流域 13.7ha の調査結果を示す。地質は, 新第三紀デイサイト流紋岩と黒色泥岩, 新第三紀栗沢礫岩層を主体とし, ローム堆積域も確認される。調査地周辺の年平均降水量, 平均最深積雪深はそれぞれ 1755mm, 2.1m である (7)。

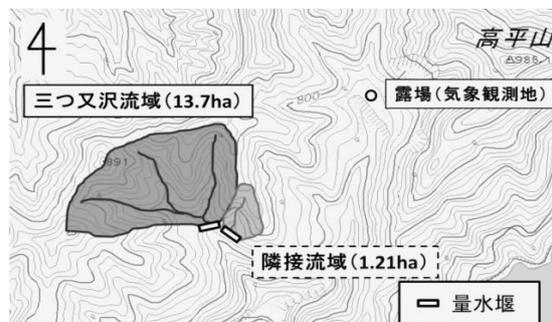


図-1. 調査対象流域

Fig.1. Experimental catchments

植生は落葉広葉樹林が主体で、ブナ・ミズナラ・コナラ林が約7割、カラマツ・スギ人工林が約3割分布する。

2. 調査項目 降水量の観測は、三つ又沢流域の量水堰より600m離れた上空の開けた気象観測露場において、転倒マス式雨量計（大田計器製作所）を地上から約1mの高さに2つ設置し、冬期は地上から約6mの高さにヒータ付き雨量計（52202 R.M.Young）、および不凍液プールを使用した転倒マス式雨量計（antifreeze CS705 with TE525 Campbell Sci.INC.）を約4mの高さに1つ設置して計測し、欠測時には藤原のAMeDASデータを用いた。降水サンプルは地上1mにロート（φ21.2cm）を2か所設置し、ボトルに貯留し1月毎に採水した。なお、冬期の2018年12月5日から2019年4月15日まではコンテナ（61×41cm）上全部に堆積した降雪水を切り出し、融かした後に採水した。積雪期の測定間隔はおおむね2週間毎に行った。三つ又沢では自動採水装置（3700, ISCO）により24~30時間間隔で渓流水を採水した。測定項目は Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- イオン濃度およびSi濃度である。

3. 分析方法 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} の濃度について、イオンクロマトグラフィー（883 basic IC, メトローム）を用いて測定した。Si濃度はマルチタイプ発光分光分析装置（ICPE-9000, 島津製作所）により測定した。 HCO_3^- 濃度は硫酸滴定により測定した。

III 結果と考察

1. 降水量と流出量 2018年12月~2019年11月までの1年間の日降水量と日流出量の揭示変化を図-2に示す。12月中旬に降水に対して流出ハイドログラフが増加したが、その後は2月中旬程度までは降水はあるが、流出ハイドログラフが増加していない。したがって主に降雪による積雪が生じていることがわかる。その後2月下

旬から4月中旬にかけて融雪出水があり、積雪に対して流出の数か月の遅れがある。冬期の最大積雪深は2月の初旬に198cm程度となったが、2月中旬あたりの融雪開始前では130cm程度と例年に比べ積雪の少ない年であった。また、8月初旬と9月は流出が極めて少ない渇水期が続き、2019年10月12日前後数日で200mm程度の台風に伴う大きなイベントがあった。

2. 降水と流出量の季節変化 図-3a)~k)に採水ごとの水収支および物質収支の季節変化を示す。水収支では、年降水量と年流出量はそれぞれ2014mm/yr.と1278mm/yr.であった。年流出率は63.4%であり、両者の差額736mm/yr.は1年で流域水収支がバランスをとると仮定すると年蒸発散量に相当する。単純に水のみ蒸発したと仮定すると、物質量は変わらないが濃度が1.57倍濃くなることになる。12月5日から4月15日のコンテナでは降水量655mmに対し、流出量は572mmとなった。

3. 降水による沈着量と流出負荷量 流出負荷量は流量に濃度を掛けて算出するが、濃度変化が大きくない場合は流出量の季節変化が基本的な曲線形状となる。図-3では、降雨による沈着量を図中の下段（右軸）に示し、流出負荷量は上段で左軸となる。

Cl^- （図-3b）では降水による沈着量は、4月~10月の値に比べると11月~3月中旬の融雪最盛期まで多く、降水量（図-3a）と比べると冬期が夏期より高濃度である（4）などと同様であった。すなわち、北西からの季節風による海塩由来の沈着が多いことがわかる。流出負荷量に関しては3月上旬の融雪初期の値は融雪後期の4月上旬よりも高く、これは流出水には見られない。 Cl^- は融雪初期に高濃度で流出する現象（1, 4, 7）と一致し、濃度だけでなく負荷量としても融雪初期に多量に流出していた。 Cl^- の物質収支をみると積雪・融雪のタイムラグはあるが年間量としてはほぼバランスをとった。

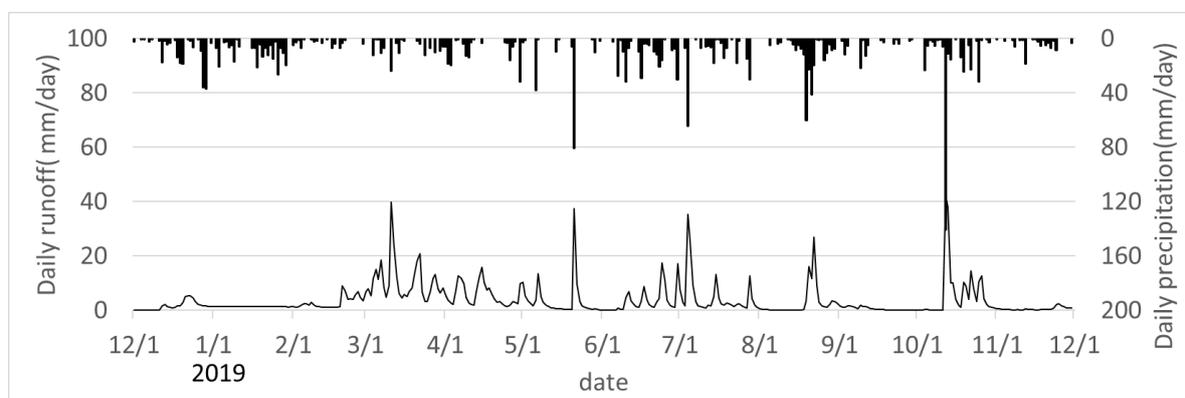


図-2. 2019年の降水量と三つ又沢流域の流出量の経時変化

Fig.2. Variation of precipitation and runoff at mitumata catchment in 2019

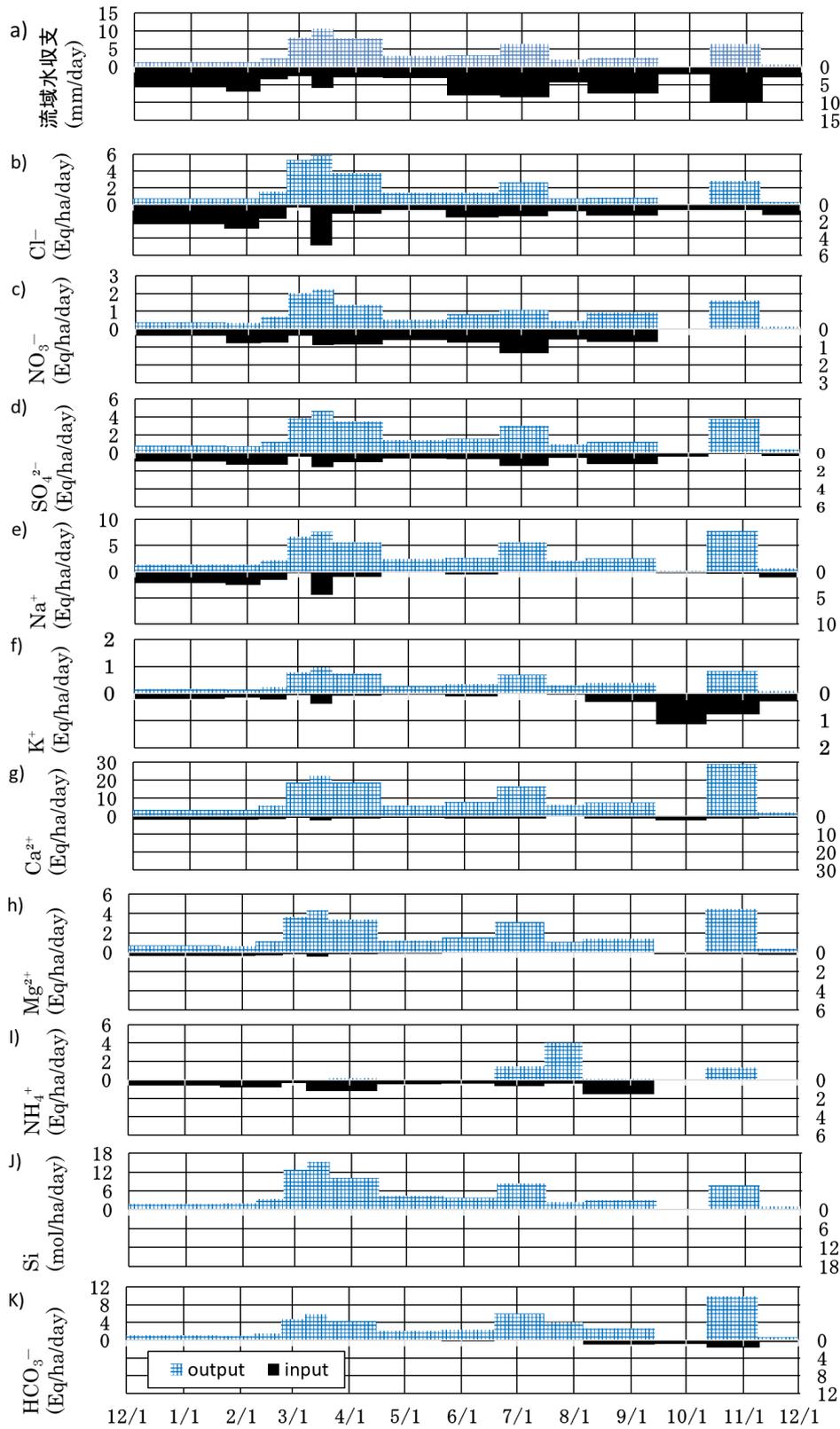


図-3. 採水ごとの大気からの物質沈着量と流出負荷量の経時的変化

a)~k)はそれぞれ水収支, Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Si , HCO_3^- の物質質量である

Fig.3. Elemental variations of deposition from atmosphere and load of runoff for each water sampling period.

a) to k) are showed water budget, Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Si and HCO_3^- , respectively

表-1. 1年間の物質収支

Table 1. Annual elemental budgets

Elements	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Si	HCO ₃ ⁻
<i>output/input</i>	1.2	1.5	2.0	3.5	0.8	1.4	7.1	9.5	1237	8.5

Na⁺ (図-3e) は海塩由来として Cl⁻ と同調して沈着し、両曲線がほぼ同じ波形をしたと考えられる。しかし、沈着量と流出負荷量のバランスは Cl⁻ に比べて著しく大きく、Na⁺ は土壌・山体内から付加される化学風化物質を多く含むと考えられる。このようなものは他に、Ca²⁺ (図-3g)、Mg²⁺ (図-3h)、SO₄²⁻ (図-3d) などがあり、これらも土壌・山体内からの化学風化により物質が供給されていると考えられる。

SO₄²⁻ の沈着量の季節性に関しては、海塩同様に沈着量が冬期に増えることはなく、冬期も夏期も同程度の沈着量を示す。本試験地は日本海沿岸域より 70km 内陸にあり、硫酸の供給源が季節風に強く依存するものではないか、あるいは夏期の降水にも同レベル程度供給する発生源があることを意味する。

Si (図-3j) は降水にはほとんど含まれず、化学風化物として流出し、HCO₃⁻ (図-3k) についても降水にはほとんど含まれていない。両者ともに土壌・山体から付加される化学風化由来の物質と考えられている(6)。両者の季節変化では、3つの大きなイベントとして3月の融雪期、7月、10月の台風がある。Si では融雪期が最も量的に大きいのに対し、HCO₃⁻ は融雪期より7月や10月の台風の時の方が量的に大きい。これは HCO₃⁻ は化学風化だけでなく、微生物の土壌呼吸活性による高濃度土中 CO₂ に由来し、渓流水中に溶解してきたため、融雪期よりも10月の台風時期の方が高い土壌温度により流出負荷量が増えたものと考えられる。

NH₄⁺ (図-3i) や NO₃⁻ (図-3c) では降水による沈着量として季節性を持たず供給されたが、10~11月では観測されていない。NH₄⁺ は流域内で NO₃⁻ に変化し流出すると考えているが、7~8月の流量が小さいときや台風の時高い流出負荷量を示した。これは自動採水器の採水口に溜まった有機物などの影響なども考えられるので、確認の観測が必要と考えている。一方、NO₃⁻ では Cl⁻ 同様に3月初旬の融雪期初期に水流出に比べて高い負荷量を示し、溶存イオンの優先的流出を示した(1, 4, 7)。また、降水による沈着量と流出負荷量がほぼバランスをとって流出していた。

K⁺ (図-3f) に関しては通年を通して供給され、4~7月あたりは極めて小さな値を示し、落葉期の9~10月

には大きな値を示した。これは樹冠付着水の飛沫などが本研究の降水水質観測に影響を与えたか確認が必要と考えている。

4. 物質収支 年間の沈着量に対する流出負荷量の割合を示す(表-1)。Cl⁻、K⁺、NO₃⁻、NH₄⁺ は両者の割合が1に近くバランスをとった。Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻、Si、HCO₃⁻ は沈着量に対し流出負荷量が多く流域内の化学風化による付加が大きかった。

引用文献

- (1) 飯田俊彰・上木勝司 (1993) 融雪初期における酸性汚染物質を高濃度に含む融雪水の流出現象. 農業土木学会論文集 166: 55-61
- (2) 飯田俊彰・上木勝司・塚原初男 (1998) 多雪山地小流域における陰イオンの収支解析. 農業土木学会論文集 195(66-3): 77-84
- (3) 倉元隆之・鈴木啓介 (2005) 山地森林流域における河川水質変動と化学物質循環. 日本水文科学会誌 35(4): 188-189
- (4) 鈴木啓介 (2004) 渓流水の酸性化をもたらす融雪水. 地球環境 9(1): 49-60
- (5) 柴田英昭・市川一・野村陸・佐藤冬樹・笹賀一郎・石井吉之・小林大二 (2002) 積雪寒冷地域の森林流域での融雪期における物質収支. 日本水文科学会誌 32(2): 49-56
- (6) 瀧澤英紀・鈴木峻平・小坂泉 (2020) 山地森林流域源頭部における湧水の水質特性. 関東森林研究 71(1): 113-116
- (7) 豊泉恭平・前島健人・大類和希・小坂泉・長坂貞郎・瀧澤英紀 (2016) 奥利根源流部の多雪地森林小流域における融雪期の水質形成について. 関東森林研究 67(1): 93-96
- (8) Toshisuke Maruyama, Masashi Yoshida, Keiji Takase, Hiroshi Takimoto, Shigeo Ishikawa, Sadao Nagasaka (2013) Quantitative analysis of the rate of geochemical weathering of sulfur from sedimentary rocks using atmospheric deposition, concentration and river discharge data., J. of Water Res. and protection, 5:511-519