

利根源流の多雪森林地域における2年間の沈着量と流出負荷量

稲山賢信¹・瀧澤英紀²・水野一平¹・風間聖史¹・小坂泉²

1 日本大学生物資源科学部

2 日本大学大学院生物資源科学研究科

要旨：利根源流の多雪森林地域である水上演習林三つ又流域において、降水と渓流水の水量と溶存イオンについて2018/12/1~2020/11/30の2年間にわたり調査し、沈着量と流出負荷量について2019年と2020年の年間の物質収支を明らかにした。両年の物質収支を比較した結果、沈着量に対する流出負荷量の割合(out/in比率)は1.2~3.5で似た値を示したCl⁻, K⁺, Na⁺, SO₄²⁻, 大きな値を示したSi, HCO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, 1.0を下回る値を示したN(NO₃⁻-N+NH₄⁺-N)の3つに分かれた。流出負荷量から沈着量を差し引いた差(Δout-in)はSO₄²⁻, Ca²⁺, Mg²⁺において、2019年のΔout-inが2020年の5~7倍と大きく上回る値となり、他の物質が概ね近い値をとり、年により大きく異なった。

キーワード：森林流域, 物質収支, 多雪地

Deposition of rainfall and loads of runoff in Minakami university forest at snowy region in two years

Kenshin INAYAMA¹, Hideki TAKIZAWA², Ipppei MIZUNO¹, Masashi KAZAMA¹, Izumi KOSAKA²

1 College of Bioresource Science, Nihon University

2 Graduate School of Bioresource Science, Nihon University

Abstract: We observed water chemistry of precipitation and runoff through on Mitsumata catchment in Minakami university forest at snowy region during two years from 2019 to 2020. Annual precipitation depositions and annual loads of runoff in 2019 and 2020 were calculated, respectively. Results showed the ratio between annual loads of runoff and annual precipitation in 2019 and 2020 were almost 1.2~3.5 in Cl⁻, K⁺, Na⁺ and SO₄²⁻. These ratios were high in Si, HCO₃⁻, Ca²⁺ and Mg²⁺ in both year. These ratios of N (NO₃⁻-N + NH₄⁺-N) were under 1.0 in both year. In the difference of annual precipitation depositions and annual loads of runoff in 2019 and in 2020, there was 5~7 times different in SO₄²⁻, Ca²⁺ and Mg²⁺. Other elements were similar value in both year.

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

I はじめに

山地森林斜面の降雨流出過程において、渓流水は斜面土壌からの中間流と山体内の地下水流の混合と考えられており、滞留時間により中間流と地下水流の水質形成は大きく異なると考えられる(1, 2)。降水から渓流水に至る流出過程で流出経路とその水質形成の研究を進めるため、日本大学水上演習林では継続的な水文量と水質調査が継続的に行われてきた(1, 2, 3)。本研究では奥利根源流域の三つ又流域において、2019年と2020年の沈着量と流出負荷量を比較して、流域規模における水質形成、特に土壌・山体にて付加されるいくつかの物質の水質形成の特徴を気象・水文条件が異なる2年間分であるが明らかにすることを目的とする。

II 調査地と方法

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、新第三紀粟沢礫岩層を主体とし、ローム

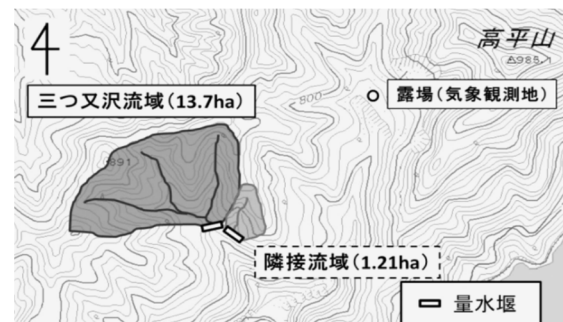


図-1. 調査対象流域

Fig.1. Experimental catchments

堆積も確認される。調査地周辺の年平均降水量は 1755 mm, 最大積雪深の平均は 2.1 m である(3)。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 2018 年 12 月から 2019 年 11 月までを 2019 年とし、2 年間に渡り調査を行った。降水量の観測は、上空の開けた露場(気象観測地)において、転倒マス式雨量計(大田計器製作所)を地上約 1 m に設置し、冬期は地上から約 6 m 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 4 m に設置して計測し、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 1 m にロータ(Φ21.2 cm)を設置し、ボトルに貯留し 1 ヶ月毎に採水した。なお、冬期はコンテナ(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概ね 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 48 時間(冬季は 24 時間)間隔で渓流水を採水した。測定項目は Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻イオン濃度および Si 濃度である。

3. 分析方法 Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻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。HCO₃⁻濃度は硫酸滴定により測定した。

III 結果と考察

1. 両年の降水と流出量の比較 2019 年と 2020 年の年降水量は、それぞれ 2027 mm/yr. と 1704 mm/yr. となり、比率は 0.84 であった。年流出量はそれぞれ 1285 mm/yr. と 1044 mm/yr. となり、比率は 0.81 であった。2019 年の最大積雪深は、1 月 29 日で 1.98m であり、1 月～2 月の積雪は 1 m を超えていた。2020 年の最大積雪深は、2 月 11 日で 0.67 m であり、1 月～2 月の積雪は 0.5 m に満たなかった。2019 年は多雪年で 2020 年は少雪年と言える。

2. 両年の沈着量と流出負荷量の比較 図-2(a)~(v)に採水ごとの水収支および物質収支の季節変化を示す。図-2では、降水による沈着量を図中の下段に、流出負荷量を上段に示し、2019 年を左側(a)~(k)に、2020 年を右側(l)~(v)に示す。また、表-1 に沈着量(input)と流出負荷量(output), 沈着量に対する流出負荷量の割合(out/in 比率)と、流出負荷量から沈着量を差し引いた値(Δout-in)を年毎に示す。

流出負荷量は流量に濃度を掛けて算出するが、濃度変化が大きい場合は流出量の季節変化に対応した形状

となる。NH₄⁺を除いた物質は、流出負荷量と流出の波形が概ね似ている。両年の沈着量の違いをみると SO₄²⁻, Ca²⁺以外の物質は 0.6~0.9 倍、流出負荷量は SO₄²⁻, Ca²⁺, Mg²⁺以外の物質は 0.7~0.9 倍となり、年降水量と年流出量の 0.84, 0.81 とほぼ同じ値を示した。NH₄⁺について、2019 年 7~8 月と 11 月の流出負荷量に値がみられ、2020 年にはみられない。

Cl⁻(図-2(b), m))は、out/in 比率は両年で 1.2, 1.3 と近く、また Δout-in は 92.2 Eq/ha/yr., 94.1 Eq/ha/yr. と概ね同量となった。

K⁺(図-2(c), n))は、out/in 比率は両年で 1.4, 1.5 と近く、また Δout-in は 42.9 Eq/ha/yr., 39.9 Eq/ha/yr. で概ね同量となった。

SO₄²⁻(図-2(d), o))は、out/in 比率は 2.0, 1.9 とほぼ同じ値を示したが、Δout-in は 2019 年が 319.5 Eq/ha/yr., 2020 年が 56.4 Eq/ha/yr. で約 6 倍の差となった。

Na⁺(図-2(e), p))は、Na⁺は海塩由来として Cl⁻と同調して沈着するとされる。out/in 比率は 3.5, 3.1 で、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。

Ca²⁺(図-2(f), q))は、out/in 比率も 7.1, 5.5 と異なり、Δout-in は 2019 年が 3082.6 Eq/ha/yr., 2020 年が 623.6 Eq/ha/yr. で約 5 倍の差となった。

Mg²⁺(図-2(g), r))は、out/in 比率も 9.5, 2.7 で大きく異なり、Δout-in は 2019 年が 572.3 Eq/ha/yr., 2020 年が 82.2 Eq/ha/yr. で約 7 倍の差となった。

Si(図-2(h), s))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-2(i), t))は out/in 比率で 8.5 と 9.3 と大きく増加し、両者ともに土壌・山体内から付加される化学風化由来の物質と考えられる。

NO₃⁻(図-2(j), u))や NH₄⁺(図-2(k), v))の降水による沈着量は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。そこで両イオンをあわせた N(NO₃⁻-N + NH₄⁺-N)として物質収支をみると out/in 比率は 0.9, 0.5 で唯一流出負荷量が沈着量を下回った。

NH₄⁺を除き両年の流出負荷量を比較すると、2019 年は融雪期の 3 月・4 月、台風発生時期の 7 月・10 月でピークを形成するが、2020 年は融雪期にはわずかにピークがあるが、一年を通して平均して流出している。

3. 両年の沈着量と流出負荷量の大きな差異 2019, 2020 年では、out/in 比率が大きく 3 つに分かれ、①1.2~3.5 と両年ともにほぼ同じ値を示した Cl⁻, K⁺, Na⁺, SO₄²⁻, ②大きな値を示した Si, HCO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, ③1.0 を下回る値を示した N(NO₃⁻-N + NH₄⁺-N)に区分される。

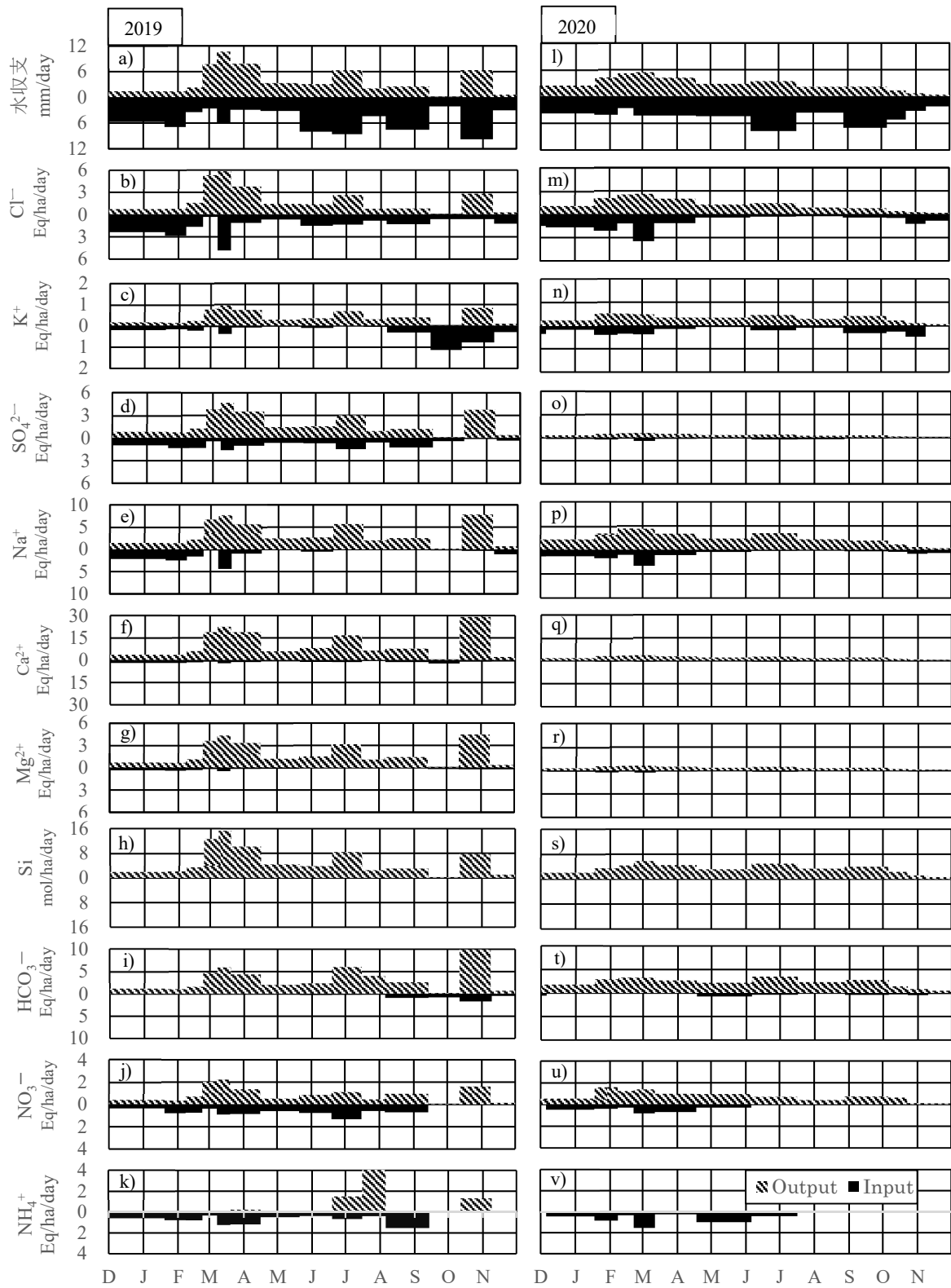


図-2. 2019年と2020年の三つ又流域における沈着量と流出負荷量の経時的変化

a)~k)は2019年, l)~v)は2020年のそれぞれ水収支, Cl^- , K^+ , SO_4^{2-} , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Si , HCO_3^- , NO_3^- , NH_4^+ の物質質量である

Fig.2. Elemental variations of deposition from rainfall and load of runoff at Mitsumata catchment in 2019 and 2020. a) to k) are showed water budget, Cl^- , K^+ , SO_4^{2-} , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Si , HCO_3^- , NO_3^- and NH_4^+ in 2019, respectively. l) to v) are showed in 2020.

表-1. 2019年・2020年の年間の沈着量・流出負荷量と物質収支

Table 1 Annual deposition, annual load of runoff and annual elemental budgets in 2019 and 2020

Elements (Eq/ha/yr.)		Cl ⁻	K ⁺	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Si (mol/ha/yr.)	HCO ₃ ⁻	N
沈着量 <i>input</i>	2019年	521.5	100.5	313.9	333.9	504.3	67.10	1.4	134.0	220.4
	2020年	360.4	79.9	63.3	293.7	139.1	47.4	0.3	91.3	136.4
流出負荷量 <i>output</i>	2019年	614.4	143.4	633.4	1163.9	3586.9	639.4	1719.3	1141.2	202.7
	2020年	454.4	119.8	119.7	916.3	762.7	129.6	1231.1	852.7	68.0
<i>output/input</i> *1	2019年	1.2	1.4	2.0	3.5	7.1	9.5	1228	8.5	0.9
	2020年	1.3	1.5	1.9	3.1	5.5	2.7	4820	9.3	0.5
<i>Δout-in</i> *2	2019年	92.2	42.9	319.5	830.0	3082.6	572.3	1718	1007.2	-17.7
	2020年	94.1	39.9	56.4	622.6	623.6	82.2	1231	761.4	-68.5

*1: 沈着量に対する流出負荷量の割合 *2: 流出負荷量から沈着量を差し引いた差

*1: Ratio of load of runoff to deposition from rainfall. *2: Difference of subtracted load of runoff from deposition from rainfall.

①は沈着量そのまま流出するあるいは少量が付加されて流出するもの、②は土壌・山体内で大きく付加されるもの、③は土壌・山体内で吸着や消費されるものである。 $\Delta out-in$ では2019年のSO₄²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺が2020年の5～7倍と大きく上回る値となるが、それ以外の物質は概ね近い値をとった。前者は年ごとの土壌・山体内で付加される量が大きく異なり、後者はあまり変わらず、降水量の増減量相当の物質が付加、または減少していると考えられる。

4. 両年の沈着量と流出負荷量の差異 両年における多くの沈着量では1.1~1.6倍となったが、SO₄²⁻が5.0倍、Ca²⁺が3.6倍と大きく異なった(表-1)。流出負荷量では概ね1.2~1.4倍となったが、SO₄²⁻が5.3倍、Ca²⁺が4.7倍、Mg²⁺が4.9倍と大きく異なった。 $\Delta out-in$ では概ね1.0~1.4倍となったが、SO₄²⁻が5.7倍、Ca²⁺が4.9倍、Mg²⁺が7.0倍と大きく異なった。両年の降水や流出の違いでは、2019年は多雪年で融雪出水が極めて大きかったが、2020年は少雪年で融雪出水が小さかった。降水量について、表-2に降水量50mm/day以上の大きい順に示す。2年間で4回生じており、2019年10月12日の156mm/dayの台風イベントが最も大きく、流出負荷量も大きく増加している。一方で、2番目に大きなイベントは2020年9月9日の110mm/dayで、その時の流出負荷量は極端に増加していない。

SO₄²⁻、Ca²⁺の沈着量の差異もあるが、Mg²⁺も含めてこれらは土壌・山体内で付加されてくる化学風化物質を多く含み、大きな融雪出水や上記の台風イベントのような大きな水移動が山体内の地下水を押し出した影響により物質が流出したと考えられる。

大気からの硫黄、窒素酸化物など沈着物の変化は、森林や土壌、山体風化にも影響する。山地森林利用が変化し、土砂移動も周期的な小規模崩壊から深層崩壊へと変貌する危険性もある。多雪の山地森林域における山体内部の水質形成研究は社会的意義が深く、年降水量が変わらないが物質毎に年間収支傾向が異なり、大規模イベントなどの山体への影響を指摘した科学的意義は大きい。

表-2. 50mmを超えた日付と降水量
Table 2 Precipitation on the day over 50 mm

2019/10/12	156 mm/day
2020/9/9	110 mm/day
2019/5/21	53.5 mm/day
2020/4/18	53.5 mm/day

引用文献

- (1) 瀧澤英紀・風間聖史・小坂泉(2021)多雪域のみなみ演習林森林流域の沈着量と流出負荷量の季節変化。関東森林研究 72(1):89-92
- (2) 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
- (3) 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