

みなかみ演習林のスギ樹冠における通過降水沈着量と林外降水沈着量

瀧澤英紀¹・竹下幹太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：積雪域みなかみ演習林のスギ樹冠の通過降水沈着量と林外降水沈着量と流域流出負荷量を測定し、一年間の樹冠における物質収支および流域全体の物質収支を明らかにした。2020年の一年間の結果では、Cl⁻は樹冠と流域の物質収支でそれぞれ1.4と1.3となった。SO₄²⁻、Na⁺は樹冠では0.8～1、Ca²⁺、Mg²⁺は樹冠で1.4～1.6だったが、流域では1.9～5.5と増加した。K⁺は樹冠では5.5と大きい、流域ではCl⁻と同程度だった。HCO₃⁻、Siは樹冠では1～2.7程度だが、流域全体では極端に大きくなった。Nは樹冠では1.6であるが、流域では0.5と減少した。

キーワード：森林流域、物質収支、多雪地、樹冠

Variations of precipitation deposition and throughfall deposition of coniferous canopy in Minakami university forest

Hideki TAKIZAWA¹, Kanta TAKISHITA², Izumi KOSAKA¹

1 Graduate School of Bioresource Sciences, Nihon University

2 College of Bioresource Sciences, Nihon University

Abstract: To clarify elemental budgets of a canopy and a catchment we observed water chemistry of precipitation, throughfall of the canopy and runoff of a catchment in Minakami university forest at heavy snowy region. Annual precipitation depositions, annual throughfall deposition of coniferous canopy and annual loads of runoff were calculated by the observation through one year, 2020. Results showed the canopy budget and the catchment budget of Cl⁻ were 1.4 and 1.3, respectively. SO₄²⁻ and Na⁺ were from 0.8 to 1 in the canopy budget, Ca²⁺ and Mg²⁺ were from 1.4 to 1.6, the mass budget of these four elements in the catchment increased from 1.9 to 5.5. K⁺ was as large as 5.5 in the canopy, but 1.5 in the catchment, which was the same level as Cl⁻. HCO₃⁻ and Si were about 1 to 2.7 in the canopy, but became extremely large in the catchment. N was 1.6 in the canopy, but decreased to 0.5 in the catchment.

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

I はじめに

森林流域の水文過程と物質動態が関連付けて研究が進むと渓流水質からそれぞれの動態を推定できる(1)。降水による沈着量は季節的な気圧配置など年々で変化し、年降水量や積雪量のみならず物質の沈着量も年々変化すると考えられる(2)。樹冠における水質形成の研究は樹木生理や気象要因の影響のみならず、流域表層や山体内の水質形成や各水文プロセス研究にとって共に理解される必要がある。そこで、本研究では奥利根源流域積雪域のみなかみ演習林のスギ樹冠の通過降水沈着量と林外降水沈着量と流域流出負荷量を測定し、2020年の一年間の樹冠における物質収支および流域全体の物質収支を明らかにすることを目的とする。

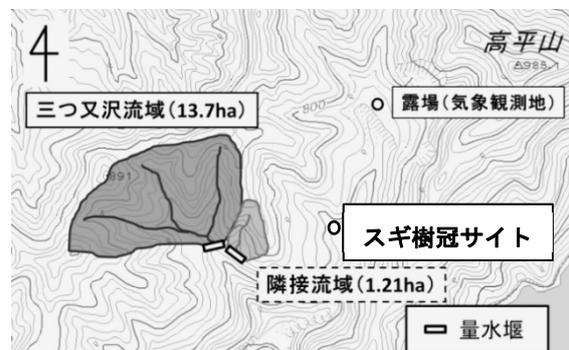


図-1. 対象樹冠サイト

Fig.1 Experimental site

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 158 ha, 標高 650~985 m）内にスギ樹冠の樹冠通過降水の採水サイトを設け、また、継続的に観測している三つ又沢流域の流出負荷量を調査に用いた（図-1）。対象とする閉鎖したスギ林分は樹高約 30 m, 胸高直径 25~50 cm, 樹齢約 50 年である。また、流出負荷量は三つ又沢流域 13.7 ha の調査結果を用いた。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 1755 mm, 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 降水量の観測は、上空の開けた気象観測地において、転倒マス式雨量計（大田計器製作所）を地上から約 1 m の高さに 2 つ設置し、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 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。降水サンプルは冬期の 2019 年 12 月 5 日から 2020 年 3 月 11 日まではコンテナ（内側 61×41 cm）上全部に堆積した降雪水の全量を切り出し、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。それ以降の 11 月 30 日までは地上 1 m にロート（φ21.2 cm）を 2 か所設置し、ボトルに貯留し 1 月毎に採水した。樹冠通過雨に関しては一年を通してコンテナ（内側 61×41 cm）を用いて採水した。林外の降水サンプルと樹冠通過降水サンプルのコンテナによる採水では、蒸発抑制は行っていない。また、三つ又沢では 90° V ノッチの量水堰により渓流量を、また、自動採水装置（3700, ISCO）により 24-48 時間間隔で採水した。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。

本林分の樹幹流量は樹冠通過雨量に対して量的に少なく、短期間の降雨に対する実験では、物質質量として Cl⁻ が比較的大きく、樹冠通過沈着量の 5% が樹幹流により移動した。本研究では樹幹流による物質移動は省略した。

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. 林外降水量と樹冠通過降水量と流出量 2019 年 12 月 1 日~2020 年 11 月 30 日までの 1 年間の林外降水量と樹冠通過降水量はそれぞれ、1714.8 mm, 1225.1 mm だった。その差額は 489.7 mm, 林外降水に対する樹冠通過降水量の比は 0.71 となった。林外雨に対する樹幹流量は 5% 程度なので、遮断損失を見積もると（1714 mm × (1 - (0.71 + 0.05))) およそ 400 mm となり、遮断損失としては若干多いもののほぼ妥当と考えられた。よって、物質質量としてはサンプル中から蒸発しないので、物質収支の精度は高いと考えている。また、三つ又沢の年間流出量は 1018.3 mm/yr となり、林外降水量との差は 696.5 mm/yr となり、その比率は 0.59 であった。

2. 林外降水沈着量と樹冠通過降水沈着量 図-2 a)~J) に採水ごとの林外降水量（input）と樹冠通過降水量（output）の樹冠の水収支および樹冠の物質収支の季節変化を示す。林外降水や樹冠通過降水の沈着量は、貯留ボトルまたはコンテナの貯水量に水質濃度を掛けて算出する。濃度が一定範囲で変化する場合は、沈着量の経時変化は降水量の変動と同調する。図-2 では、降雨による沈着量を図中の下段（下向き軸）に示し、流出負荷量は上段で上軸となる。2019 年 12 月~2020 年 3 月にかけて冬期の降水量は日平均で 4~5 mm/day であるが、積雪深はほぼ 50 cm 程度と多くない。このエリアでは平均 2 m 程の積雪があるので、2020 年度冬期は小雪である程度降水量がある温暖積雪域の傾向が強い年だった。また、6 月や 9 月の降水量が多かった。樹冠通過降水に関しても 2 月あたりは冠雪の影響などもあり少ないもの、おおむね林外降水量と同様の季節変化傾向にあった。

Cl⁻（図-2 b)）では林外降水沈着量（input）は、5~10 月が小さく、11 月~4 月中旬の冬期降水によるものが多かった。夏期は降水量が多いので降水濃度が低かったことになる。樹冠通過沈着量（output）は 3 月と 11 月に大きかった。年林外雨沈着量と年樹冠通過沈着量はそれぞれ 1107 と 1554 mg/m² となり樹冠から物質の溶脱あるいは乾性沈着物の洗浄により林外降水沈着量の 1.4 倍物質が滴下した。

SO₄²⁻（図-2 c)）の林外降水沈着量は夏季に低下することなく季節進行し、11~12 月の値が小さく、樹冠通過降水沈着量は林外降水とほぼ同調して推移した。年間の沈着量はそれぞれ 1117 と 926 mg/m² と林外の方が多く、これらの比率は 0.83 となり、樹幹流分を 5% と考えても 1 以下となった。よって、若干樹冠の吸収や吸着が考えられた。

Na⁺（図-2 d)）は海塩由来として Cl⁻ と同調して林外降

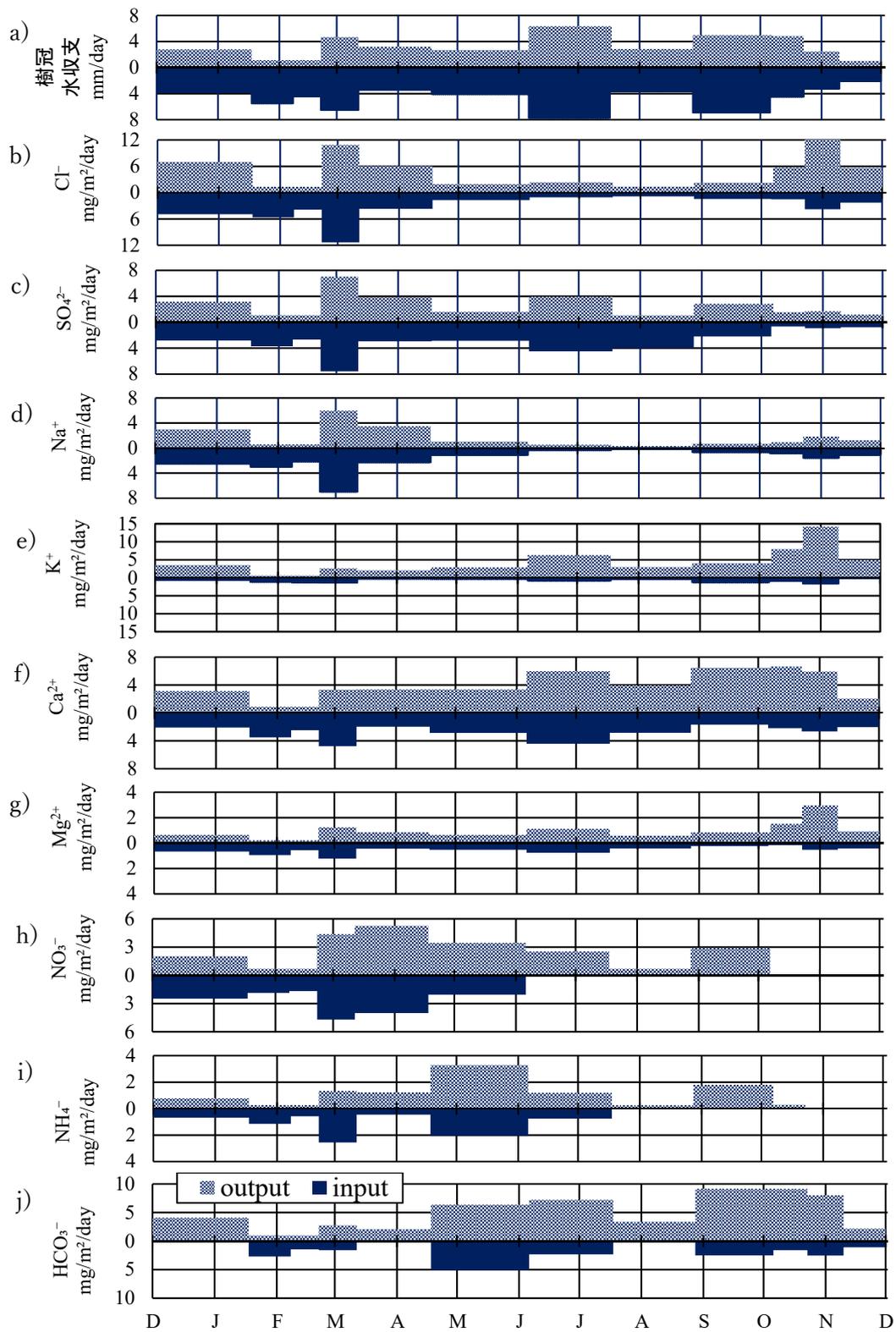


図-2. 採水ごとの林外降水沈着量と樹冠通過降水沈着量の経時的変化

a)~j)はそれぞれ樹冠水収支, Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NO₃⁻, NH₄⁺, HCO₃⁻の物質質量である

Fig.2 Elemental variations of precipitation deposition and throughfall deposition for each water sampling.

a) to j) are showed water budget in a canopy, Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NO₃⁻, NH₄⁺ and HCO₃⁻, respectively

表-1. 1年間の樹冠の流域における物質収支
Table 1 Annual elemental budgets in a canopy and a catchment

Elements	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Si	N
樹冠 <i>output/input</i>	1.4	0.8	1	5.5	1.4	1.6	2.7	ほぼ 1	1.6
流域 <i>output/input</i>	1.3	1.9	3.1	1.5	5.5	2.7	9.3	4819.6	0.5

水により沈着し、ほぼ同じ曲線と考えられる。さらに林外降水沈着と樹冠通過沈着量はそれぞれ 587 と 581 mg/m²で、これらの比は 0.99 となり Na⁺は樹冠における収支がゼロとなり、溶脱も吸収も相殺されており、両者の曲線形も非常に似ていた。また、12～4、5月の期間では Cl⁻、SO₄²⁻、Na⁺の林外および樹冠通過沈着ともに類似性が強い傾向を示した。

Ca²⁺ (図-2f) では、林外と樹冠通過降水の年沈着量はそれぞれ 1007 と 1448 mg/m²となり、この比率は 1.44 とほぼ Cl⁻の比率に等しい。Mg²⁺ (図-2g) では両者それぞれ 203 と 323 mg/m²でその比率が 1.59 とほぼ Cl⁻の比率に等しかった。Mg²⁺に関しては樹冠通過沈着量の 11月に高い値を示す傾向は Ca²⁺にはなかった。

K⁺ (図-2e) では林外と樹冠通過降水の年沈着量はそれぞれ 265 と 1475 mg/m²となり、その比率は 5.55 と樹冠から溶脱などで物質が増加している。その値は全ての物質で最も大きい。さらに樹冠通過沈着量では 11月の値が特に大きく、Mg²⁺、Cl⁻も同じ傾向を示した。

NH₄⁺ (図-2i) と NO₃⁻ (図-2h) のそれぞれの経時変化では、7月以降の林外降水沈着量が検出されていない期間があった。ここでアンモニア態窒素と硝酸態窒素の年間量を求めると林外降水沈着量はそれぞれ 202 と 115 mg/m²であり、樹冠通過降水沈着量は 319 と 182 mg/m²となった。それぞれの合算値で比率を求めると 1.58 となり、樹冠からの溶脱などにより樹冠通過雨で物質が増加していた。図では NH₄⁺が 4～5月において樹冠通過沈着量が高く、NO₃⁻が 2～5月で沈着量大きい傾向があった。

HCO₃⁻ (図-2j) では、年間の林外降水沈着量と樹冠通過降水沈着量でそれぞれ 663 と 1793 mg/m²となり、その比率が 2.7 となり樹冠からの溶脱など樹冠通過沈着で増加していた。季節的には 5～6月と 9～10月の樹冠通過降水沈着量で大きな値を示した。

Si に関しては、降水にも樹冠通過雨にもほとんど含まれず、検出されない場合が多かったため図には示さなかった。なお、表-1の樹冠における年間の Si 収支では両者の値が極めて小さいので樹冠とのやり取りはほぼ無い

ため「ほぼ 1」とした。

3. 樹冠と流域の物質収支 表-1に樹冠における物質収支と降水と流域末端の流出における物質収支を示す。Cl⁻は樹冠と流域においてそれぞれの物質収支が 1.4 と 1.3 となり樹冠で若干溶脱あるいは洗脱傾向であるが、ほぼそのまま流域負荷量として流域外へ流出していた。SO₄²⁻、Na⁺は樹冠では 0.8～1 と吸収傾向あるいは中立であるが、SO₄²⁻、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺は流域全体では 1.9～5.5 と土壌・山体内で付加され流出していた。K⁺は樹冠では 5.5 と溶脱傾向が大きいが、流域全体では Cl⁻程度の 1.5 倍と減少し、流域外へ多量に流出していない。HCO₃⁻、Si は樹冠では 1～2.7 程度であるが、流域全体では非常に増大し、土壌・山体系の風化に起因する物質供給が存在した。NO₃⁻-N と NH₄⁺-N の合算値でみると N は樹冠では 1.6 と若干の溶脱傾向であるが、流域末端では 0.5 と吸収や脱窒などで消費されていた。以上の様に本試験地では樹冠における物質収支と土壌・山体系の流域全体における物質収支の過程の一端が明らかになりつつあると考えている。

謝辞: コロナ禍により県をまたぐ移動が制限されるなか、森林環境保全学研究室 2020 年度学生やスタッフの協力により連続データが取れたこと感謝します。

引用文献

- (1) 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
- (2) 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
- (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