

## 多雪森林流域における溶存イオンの流出過程の2流域比較

## Comparison of runoff process of several ion concentrations at two forest catchments on a heavy snow region

玉乃井梓\*<sup>1</sup> ・木藤和紗\*<sup>2</sup> ・中野萌子\*<sup>2</sup> ・保泉亜子\*<sup>2</sup> ・小坂泉\*<sup>1</sup> ・瀧澤英紀\*<sup>1</sup>  
Azusa TAMANOI\*<sup>1</sup>, Kazusa KITOHO\*<sup>2</sup>, Moecko NAKANO\*<sup>2</sup>, Ako HOIZUMI\*<sup>2</sup>, Izumi KOSAKA\*<sup>2</sup>,  
and Hideki TAKIZAWA\*<sup>1</sup>

\* 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

College of Bioresource Science, Nihon University, Fujisawa, Kanazawa 252-0880

**要旨**：多雪年の2015年と2017年において、森林域の隣接した大小2流域における融雪期の溶存イオンの流出過程の比較を行った。2015年は融雪流出のピークが3回あり融雪最盛期が長い、2017年は融雪流出のピークが1回で融雪最盛期が短かった。2流域の濃度を比較すると、Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>は差が小さく、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>は大流域の方が高く、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は小流域の方が高かった。よって、Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>は山体などからのイオン付加が少なく、それ以外は2流域においてイオン付加量に差が生じる原因があると考えられた。流量に対する濃度変化や融雪の進行に伴う濃度変化では、Cl<sup>-</sup>は日周期の流量の変化に対して濃度変化が小さく、融雪初期に高濃度で流出し、その後低濃度となり、K<sup>+</sup>は流量変化と無関係に一定の濃度で流出した。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>は流量増加に対して濃度低下の傾向を示し、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>は流量増加に対して濃度上昇の傾向を示し、融雪初期に高濃度でその後低濃度流出した。多雪の両年では溶存イオンの流出の特徴は類似していた。

**キーワード**：森林流域、渓流水質、融雪流出

**Abstract**: We compared runoff process of ion concentration of stream water of snowmelt period of 2015 and 2017 at two adjacent large and small forested catchments. It was heavy snow in 2015 and 2017. In 2015 the numbers of peak of discharge were three and the melting period was long. On the other hand the melting period was short in 2017. The difference of ion concentrations of two catchments was small in Cl<sup>-</sup> and Na<sup>+</sup>. The concentrations of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> in the large catchment were higher than the small catchment, but SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> was lower. This suggests that Cl<sup>-</sup> and Na<sup>+</sup> were not much supplied from the mountains and the surface soil, and other ions were affected by the difference of the ion supply in the two catchments. While the discharge changed in diurnal cycle, the concentration of Cl<sup>-</sup> didn't change, but it was high concentration at the beginning of melting and gradually became low concentration. The change of the concentration of K<sup>+</sup> was small during whole snow melting period. In the relationship between the concentration and discharge, where the discharge was increase, the concentration of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> were reduced, but the concentration of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> was increased. NO<sub>3</sub><sup>-</sup> was high concentration at the beginning of melting and dropped greatly at the peak of snow melting. The characteristics of runoff process of ion concentration of stream water of snowmelt period in both heavy snow years were similar.

**Key-word**: forest catchments, stream water chemistry, snowmelt runoff

## I はじめに

森林流域からの溶存イオンの流出は、川や海への物質供給として重要である。特に多雪地では年降水量の半分に相当する500~1000mm程度の積雪水が短期間に連続して流出する。日本大学みなみ演習林内の隣接した大小2流域において、融雪期の流量と溶存イオン濃度につ

いて2015年から観測している。流量と濃度の関係では、流量増加に対してCl<sup>-</sup>濃度の変動は小さく、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>は濃度が上昇し、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は濃度が低下する傾向を示した(3)。また、2流域ではCl<sup>-</sup>の濃度差が少なく、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が大流域において高く、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度が小流域において高いと報告されている。更に、多雪年と少雪年における2流域の溶存

イオンの流出特性において、少雪年では  $\text{NO}_3^-$  は大流域で流出するが、小流域で極めて低く、表層土壌由来の土壌水の流出が極めて少ない可能性が報告されている(1)。よって、年々の積雪融雪過程は、個々の溶存イオン流出プロセスを持つ2流域において違って影響しており、継続的な観測が重要と考えられた。本研究では、多雪年である2015年と2017年の融雪に伴う各溶存イオンの流出特性を明らかにすること目的とした。

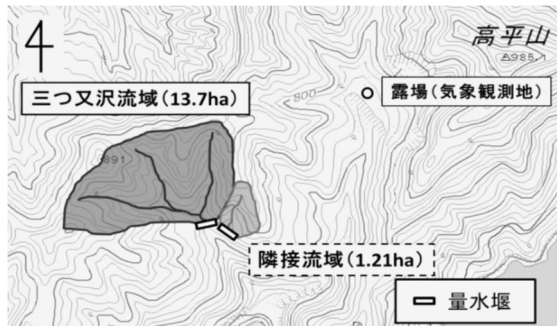


図-1. 調査対象流域  
Fig. 1 Experimental catchments

## II 方法

**1. 調査対象流域** 調査対象流域は群馬県利根郡みなかみ町の日本大学演習林内に位置する標高 760~900m、流域面積 13.7ha の三つ又沢流域と、隣接する標高 770m~840m、流域面積 1.2ha の隣接流域である(図-1)。三つ又沢流域の植生はブナ、ミズナラ、コナラ林が約7割、カラマツ林が約2割分布し、隣接流域ではコナラ、ミズナラ林が約6割、カラマツ林が約3割分布している。地質は、デイサイト流紋岩と第三紀層堆積岩である。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(2)。

**2. 調査項目** 流出量は、90°Vノッチを設置した量水堰を用いて測定した。水位は投げ込み式水位センサーにて測定し、データロガーに記録した。降水量は、流域から600m離れた上空の開けた露場にて、転倒マス式雨量計を用いて計測し、冬季にはヒータ付き雨量計を用いた。積雪深は積雪深計にて露場で測定した(1)。欠測時には、藤原の AMeDAS データを用いた。

**3. 採水方法** 融雪期間を流量と積雪深の関係に基づいて区分し、各期間において1~2回採水日を設定し、各採水日の開始時刻から約24時間、計6~7回の採水を行った。2015年の5月22日、2017年の5月8日は消雪後であり融雪による流量の日変化がないため、1回だけ採水を行った。積雪融雪期に関して、2014~2015年は2015年、2016~2017年は2017年と示した。

**4. 分析方法**  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$

の濃度について、イオンクロマトグラフィー(883, メトローム)を用いて測定した。

## III 結果

**1. 融雪期の区分** 2015年と2017年の融雪期の降水量、気温、積雪深、流量及び採水時刻を図-2に示す。融雪開始日は、積雪開始日以降の無降雨期間において気温の上昇による流量の増加が確認できた最初の日とし、融雪終了日は流量の日変化及び無降雨期間における流量の増加が見られなくなった日とした。よって、2015年は12月5日、2017年は12月8日あたりより積雪深が増加し、融雪期間は2015年では2月22日から5月6日の74日間、2017年では2月15日から5月3日の71日間となった。融雪期間については、進行順に、単発的な気温の上昇により流量が増加する期間を融雪初期、日変化を伴い流量が急激に増加する期間を融雪最盛期、積雪深が減少し流量が通減する期間を融雪後期とした(図-2)。

2015年と2017年を比較すると、最大積雪深が2015年は293cmであるのに対し、2017年は197cmだった。融雪期の総流量は、2015年は577.4mm、2017年は589.3mmとなり、最大流量は2015年で2.8mm/h、2017年で5.4mm/hとなった。

**2. 融雪の進行に伴う溶存イオン濃度変化** 2015年と2017年の積雪期から融雪終了後までの溶存イオン濃度の変化および、各観測日のデータから平均イオン濃度を算定し、図-2に示した。 $\text{Cl}^-$ は、両年で融雪初期に濃度が上昇し、融雪後期に低下の傾向が見られ、2流域でイオン濃度差は小さかった。 $\text{NO}_3^-$ は、両年で融雪初期に濃度上昇、融雪後期に低下の傾向があった。2流域を比較すると、三つ又沢流域の方が隣接流域より濃度が高く、融雪が進むにつれて濃度差が小さくなった。 $\text{SO}_4^{2-}$ は、両年で融雪初期に濃度が低下、融雪後期に上昇した。2流域を比較すると、隣接流域の方が三つ又沢流域より濃度が高く、融雪が進むにつれ濃度差が大きくなった。 $\text{Na}^+$ は、両年で融雪初期に濃度が低下、融雪後期に上昇の傾向が見られ、2流域でイオン濃度差は小さかった。 $\text{K}^+$ は、融雪の進行によるイオン濃度変動が小さく、2流域を比較すると三つ又沢流域の方が隣接流域よりわずかに高い傾向が見られた。 $\text{Ca}^{2+}$ と $\text{Mg}^{2+}$ は、両年で融雪初期に濃度が低下、融雪後期に上昇した。2流域を比較すると、三つ又沢流域の方が隣接流域より濃度が高い傾向が見られた。

**3. 流量と溶存イオン濃度の関係** 流量と溶存イオンの関係を図-3に示す。両年で $\text{Cl}^-$ は連続した流量の増減に対して濃度変化が小さかった。 $\text{NO}_3^-$ は流量増加に対して濃度上昇の傾向を示し、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ は、流

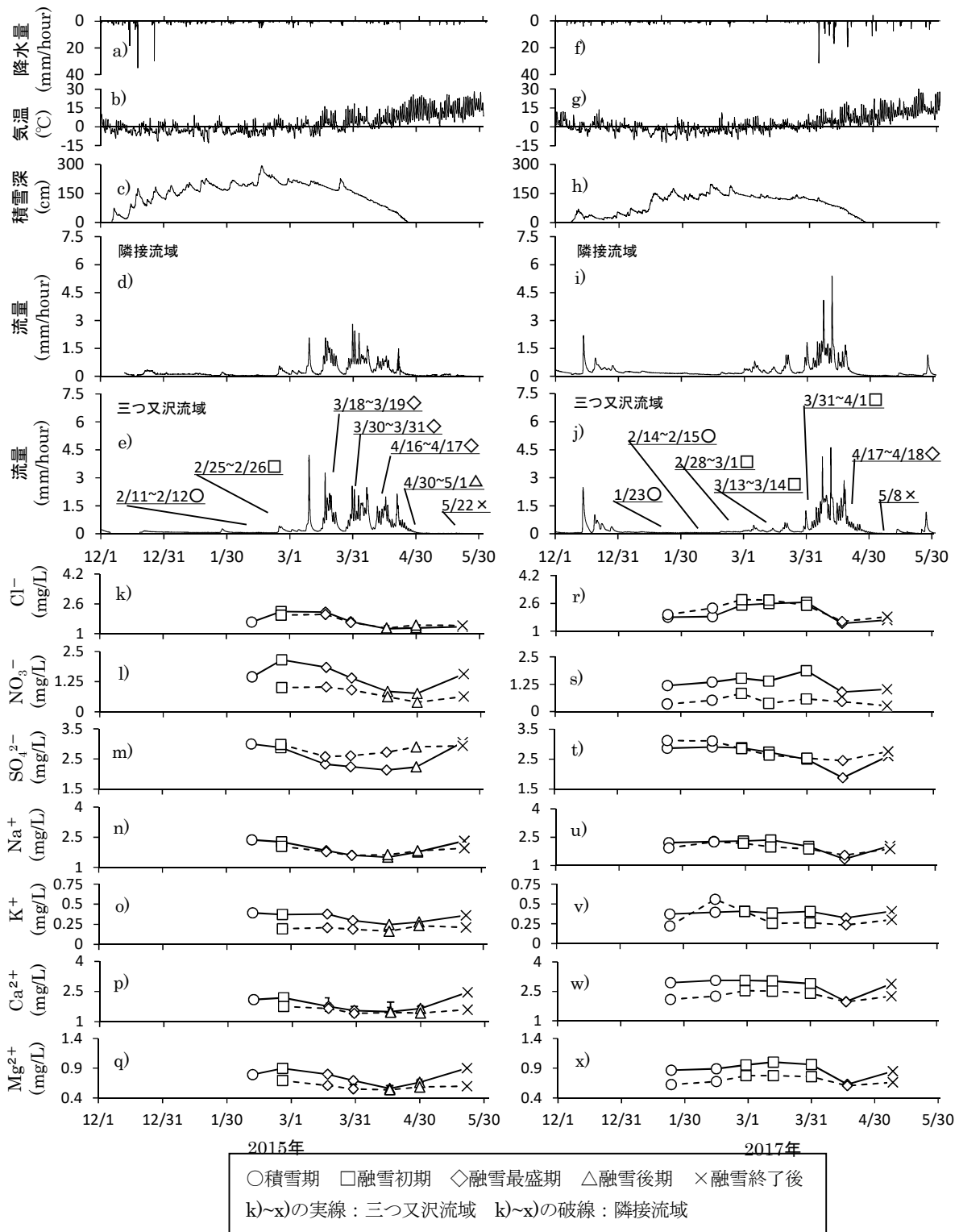
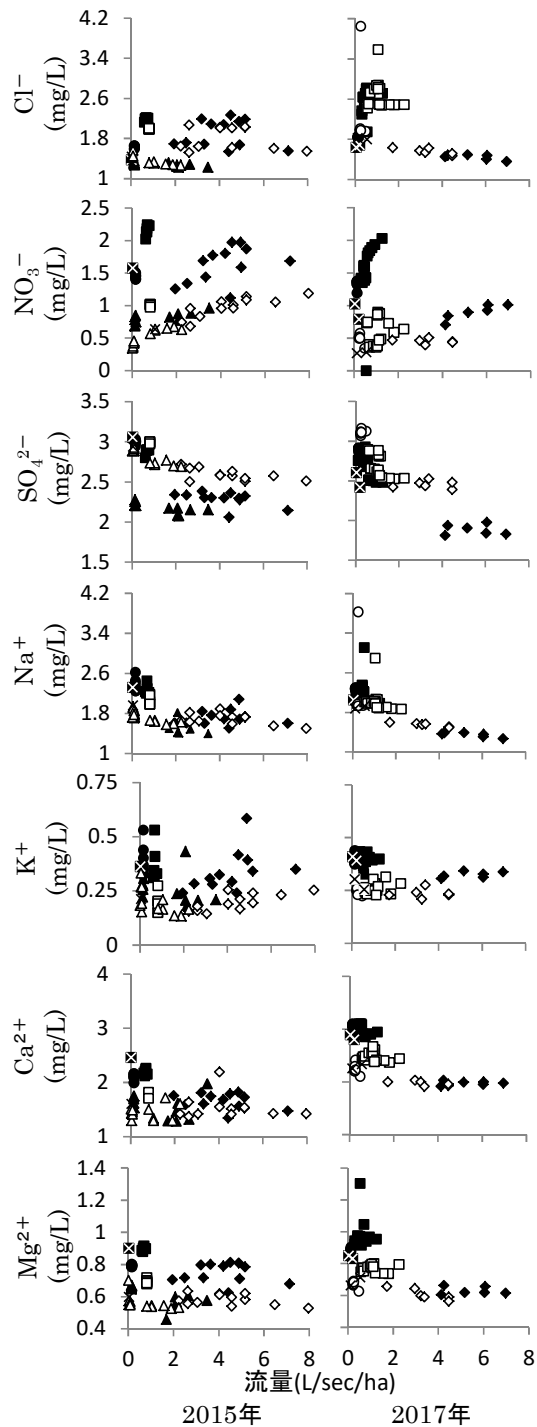


図2 2015年・2017年の降水量・気温・積雪深・流量・採水時刻  
および観測日日平均イオン濃度の融雪に伴う変化

Fig. 2 Variations of precipitation, temperature, snow depth, discharges of small catchment and large one with sampling timings from the top. And variations of the each average ion concentration in an observation day. The figures on the right is in 2015 and the left is in 2017.



○積雪期 □融雪初期 ◇融雪最盛期 △融雪後期  
 ×融雪終了後 黒塗り：三つ又沢流域 白抜き：隣接流域

図-3 2015年・2017年の融雪期の流量と溶存イオンの関係

Fig. 3 Relationship between ion concentration and discharge in 2015 and 2017

量増加に対して濃度低下の傾向を示した。K<sup>+</sup>は濃度変動が小さかった。

#### IV 考察

多雪森林域の隣接した大小2流域(13.7ha, 1.2ha)の積雪、融雪の異なる2015年と2017年における溶存イオン濃度の流出特性の比較を行った。2017年は2015年比べて積雪量がやや少ないが、融雪後期に降雨があり、結果として両年の融雪期の総流量は変わらなかった。大きな流量減少が、2015年では複数回あったのに対し、2017年ではなく、流量のピークは2017年の方が大きかった。また、2015年に比べ2017年は流量の上昇が急激であり、融雪最盛期が短くまとまっていたが、融雪の進行に伴うイオン濃度の変動傾向は両年で同じであった。

融雪の進行による渓流水の濃度変動では、Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>は融雪初期に積雪から高濃度で流出し、その後の最盛期に低くなるイオンであった。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>は融雪期に濃度上昇せず融雪水により希釈されるのみで、融雪の終了後に平常濃度となると考えられた。K<sup>+</sup>は融雪の進行や流量増加に左右されず一定の濃度で流出し、融雪水により希釈されないイオンと考えられた。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>は融雪初期に濃度が高く、その後低下するイオンと考えられた。

2流域間の溶存イオン濃度差では、Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>は差が小さく、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>は差があった。これらは地質や地形などの相違による、表層土や山体からのイオン付加が影響し、濃度差が生じたと考えられた。すなわち、Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>は山体などからのイオン付加が少なく、それ以外は2流域においてイオン付加量に差が生じる原因があると考えられた。

以上の結果より、多雪年の2015年、2017年の両年は流量の増減回数や最大流量など融雪最盛期に差が見られ、融雪の進行に伴う濃度増減などの波形は異なったが、融雪によるそれぞれの溶存イオンの希釈あるいは付加形態、2流域間の流出特性はほぼ同じであることがわかった。

#### 引用文献

- (1) 玉乃井梓・豊泉恭平・瀧澤英紀・小坂泉 (2017) 多雪森林小流域における2年間の溶存イオンの流出過程について、関東森林研究 68 : 177-180
- (2) 豊泉恭平・加藤拓斗・瀧澤英紀 (2014) 奥利根源流部の多雪地森林小流域における流況曲線について、関東森林研究 66 : 249-252
- (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 : 93-96