

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

Runoff process of several ion concentration for two seasons at forest catchments on a heavy snow region

玉乃井梓^{*1}・豊泉恭平^{*2}・瀧澤英紀^{*2}・小坂泉^{*2}Azusa TAMANOI^{*1}, Kyohei TOYOIZUMI^{*2}, Hideki TAKIZAWA^{*2} and Izumi KOSAKA^{*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

Coll. Bioresource Sci., Nihon Univ., Fujisawa 252-0880

要旨: 隣接した大小2流域において、2015年と2016年の積雪・融雪期間を通して、溪流の水質・水量を観測した。2016年は2015年に比べ、積雪期間が短く、融雪による流量の増加が小さく融雪期間も短かった。多雪の2015年では、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻は融雪の進行に伴い濃度変動が見られた。少雪の2016年は、融雪の進行に伴う変動はほとんど見られず、NO₃⁻は小流域で非常に低い値を取り、SO₄²⁻は2流域で濃度変化がほとんど見られなかった。2流域間では、NO₃⁻は比較的表層の土壌が発生源となり、SO₄²⁻は基岩近傍の礫層が発生源となると考えると、流出経路の差が見られた。

キーワード: 森林流域、渓流水質、融雪流出

Abstract: We observed stream water chemistry of snowmelt runoff at two adjacent small and large forest catchments on a heavy snow fall region in 2015 and 2016. Snow cover period in 2016 was shorter than in 2015. The amount of discharge by snowmelt in 2016 was low. The variation range of the each average ion concentration of Cl⁻, NO₃⁻ and SO₄²⁻ in an observation day with the progression of snowmelt in 2015, much snow year, were bigger than 2016. In 2016 of little snow year, the concentrations of NO₃⁻ were exceptionally low, approximately zero, in the small catchment, and SO₄²⁻ of the two catchments were very small variations. The source of NO₃⁻ was relatively shallow soil and the source of SO₄²⁻ was in gravels formation above bedrock; therefore, it appeared that the runoff process was different at two catchments.

Keywords: forest catchments, stream water chemistry, snowmelt runoff

はじめに

渓流水中の溶存イオンは、降水由来、表層土壌の有機物由来、基岩由来のイオンの3つに大別され、流出成分分離のトレーサーとして用いる場合、単純で明瞭な発生源である必要がある。また、多雪地では融雪期に長期間流域全体が湿潤になり様々な場所で流量が豊富なため、流域の流出過程を解明するのに適していると考えられる(2)。しかし、溶存イオンの発生源は地形、地質などの影響により流域ごとに異なるため、溶存イオンを用いて流域の流出過程を検討する場合、その流出特性を知る必要がある。

本研究では、降雪地域の隣接した大小2流域を調査地とし、積雪および溪流の水質・水量の測定を行い、2014~2015年と2015~2016年の観測値の比較し、冬期の積雪期や融雪期の溪流への溶存イオンの流出特性を明らかにする。また、以降は2014~2015年は2015年、2015~2016年は2016年と表記する。

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。

2. 計測方法 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(HM 200 株式会社センシズ)にて測定し、データロガー(CR 10X, Campbell Co.)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(OW 34 B, 大田計器)を用いて計測し、冬季にはヒータ付き雨量計(52202, R.M.Young Co.)を用いた。欠測時には、藤原のAMeDASデータを用いた。積雪深は積雪深計(レベルセンサー 260-700, FieldPro)にて露場で測定した。

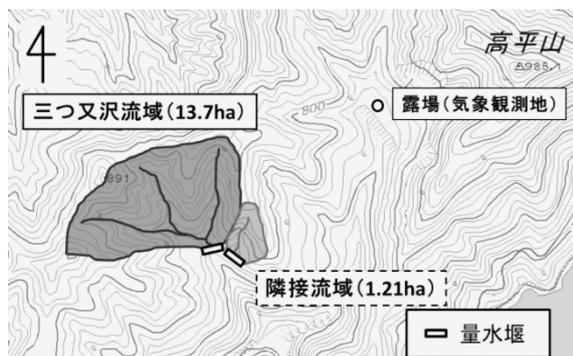


図 - 1 . 調査対象流域

Fig. 1 Experimental catchments

3 . 採水方法 融雪期間を進行に伴い区分し、各期間において1～2回の採水日を設定した。渓流水は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、2016年の4月19日、5月22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。積雪は2016年2月17日、3月2日、3月17日、4月6日の計4回、露場にて深さ10cm毎に積雪を採取し、求めた。

4 . 分析方法 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} を、イオン交換クロマトグラフィー（陽イオン：メトロームジャパン/ICA5000システム、TOA、陰イオン：863コンパクトICオートサンプラー）にて分析した。本研究では Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} についてのみ報告する。

結果

1 . 融雪の進行に伴う区分 2015年と2016年の積雪・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、2016年は1月18日あたりより積雪深の増加が見られるようになり、融雪開始日は2015年では2月22日、2016年では2月12日、融雪終了日は2015年では5月6日、2016年では4月5日となった。よって、融雪期間は2015年では74日間、2016年では54日間となった。

融雪期間について進行に伴い区分すると、融雪開始後の単発的な気温の上昇により流量の増加が見られる期間を融雪初期、日変化を伴い流量の大きな変化が見られる期間を融雪最盛期、積雪深が減少し流量の増加が小さくなる期間を融雪後期とした。よって、融雪初期は2015年では2月22日、2016年では2月12日から開始し、融雪

最盛期は2015年では3月8日、2016年では2月19日、融雪後期は2015年では4月10日、2016年では3月3日から開始とし、採水日の区分は図-2のようになった。

2015年と2016年を比較すると、最大積雪深が2015年は265.1cmであるのに対し、2016年は177.89cmだった。また、12月から5月の0以下の日の総降水量が、2015年は582mmであるのに対し、2016年は169mmと非常に少なく、融雪による流量の増加が小さかった。

2 . 融雪を伴う溶存イオン濃度変化 2015年と2016年の融雪期開始前から融雪終了までの各イオン濃度の変化を図-3に示す。1日6～7回の観測データから平均イオン濃度を算定し、エラーバーにて最大値、最小値を示した。

Cl^- では2015年は変動が大きく、融雪前期に濃度が上昇し、融雪後期に低下の傾向が見られたが、2016年において変動が小さく融雪期終了後も低下の傾向にあった。また、2流域でイオン濃度差は小さかった。

NO_3^- では、2015年において融雪前期に濃度上昇、融雪後期に低下の傾向があり、2016年において濃度変動が小さかった。2流域を比較すると、2015年は融雪前期で濃度差が大きく、融雪が進むにつれて濃度差が小さくなったが、2016年は濃度差が常に大きい値となり、隣接流域は融雪期に濃度が非常に低い値を示した。

SO_4^{2-} は、2015年では融雪前期に濃度が低下、融雪後期に上昇し、2016年は濃度変動が小さく常に高い値を示した。また、2015年では融雪が進むにつれ2流域の濃度差が大きくなり、一方、2016年の融雪後期に大きな濃度差は生じなかった。

3 . 流量と溶存イオンの関係 流量と溶存イオンの関係を図-4に示す。また、2016年の積雪の鉛直方向に10cm毎の濃度変化を図-5に示す。

Cl^- は流量の変化に対して濃度変化が小さく、2015年は融雪の進行を伴った流量増加に対する濃度の変化が見られたが、2016年はほとんど見られなかった。 NO_3^- は隣接流域に比べ三つ又沢流域で濃度が高く(図-3)、2015年の流量の増加に対して濃度増加の傾向があったが、2016年においては大きな変化は見られなかった。 SO_4^{2-} は三つ又沢流域に比べ隣接流域で濃度が高く(図-3)、2015年に流量の増加に対して濃度低下の傾向が見られ、2016年には大きな変化は見られなかった。

積雪中の Cl^- 濃度において、2月17日は直前に融雪が進行しており、上層は濃度が低く下層は高い濃度となり、3月2日は前日の積雪により表層のみ3.28mg/Lと濃度が高く、40cm以深では0.43mg/Lと低い値を取り、3月17日は積雪がほとんどなく、濃度は低い値となった。

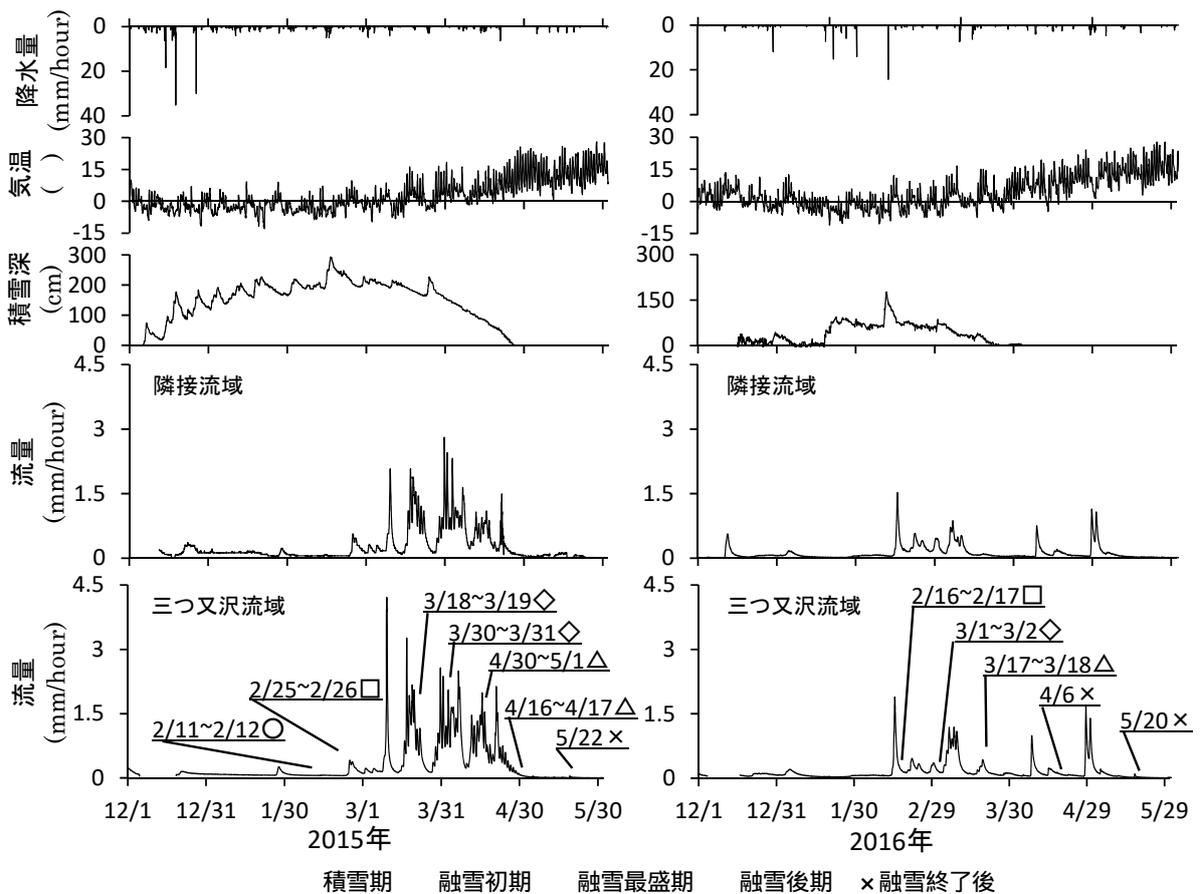


図 - 2 2014年から2015年・2015年から2016年の12月から5月の降水量・気温・積雪深・流量及び採水時
Fig. 2 Rainfall, temperature, snow depth, discharges of two catchments and sampling timing from Dec. to May.

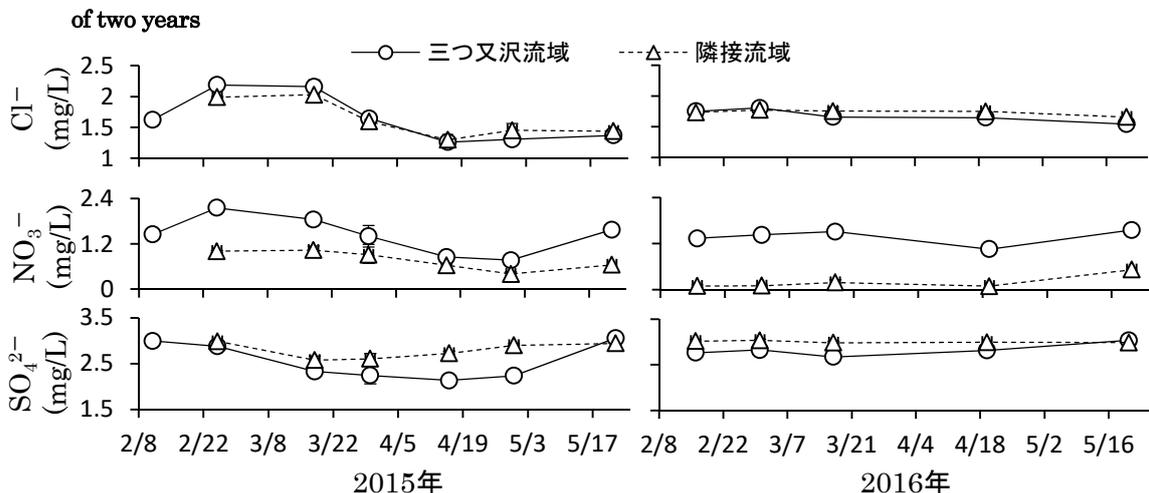


図 - 3 2015年・2016年の観測日平均イオン濃度の融雪に伴う変化
Fig. 3 Variations of the each average ion concentration in an observation day with the progression of snowmelt in 2015 and 2016

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2016年における溶存イオン濃度の流出特性の比較を行い, 流出経路を考察する。2016年は2015年に比べて積雪期の開始日が遅く, 積雪

期及び融雪期が短く, 積雪深は低く, 総降雪量は非常に低い値を示した。そのため, 2015年に対して2016年では融雪による土壌水の押し出しや希釈があまり起こらず, 流量の変動に対してイオン濃度の変動が小さいと考えられた。

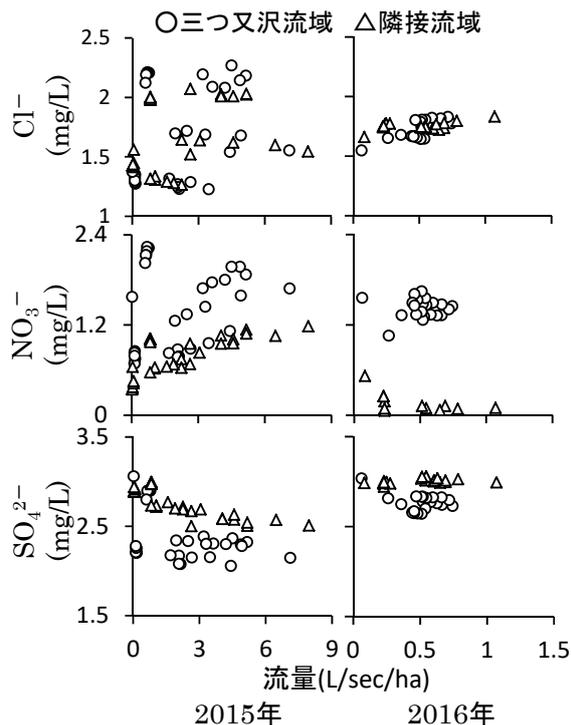


図 - 4 2015年・2016年の融雪期の流量と溶存イオンの関係

Fig. 4 Relationship between ion concentration and discharge in 2015 and 2016

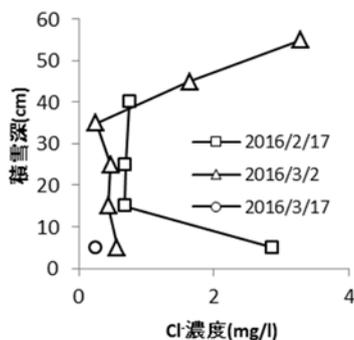


図 - 5 2016年の積雪の鉛直方向のCl⁻濃度変化

Fig. 5 Vertical variation Cl⁻ ion concentration of snow cover in 2016

本対象流域のCl⁻の流出は2流域で差が小さく、積雪量や融雪の進行の違いは小さいと考えられている。2016年は積雪において、新雪中のCl⁻が融雪の進行に伴って優先的に融け出し、下層にCl⁻が留まり、上層より下層で濃度が高くなると考えられ、融雪後期には低い濃度のCl⁻のみ残存していると考えられた(図-5)。Cl⁻は融雪により積雪中の濃度低下と共に渓流水の濃度を下げるようなイオンである(1)が、2016年ではCl⁻は積雪中の濃度分布幅に比べ一定の濃度で流出したと考えられた。

降水や融雪水で供給されるNO₃⁻は、比較的表層の土壤

が発生源となり、2015年では融雪前期に融雪水による押し出しで土壤中に存在していた融雪期前の高い濃度の土壤水が渓流へ流出した影響が強く、その後融雪水により希釈された土壤水が流出すると考えられた(2)。2016年では、融雪水による流量の増加が小さく、濃度変動に至らなかったと考えられた。三つ又沢流域は隣接流域に比べて傾斜が緩いので、土壤層が厚いと仮定する。2流域を比較すると、Cl⁻濃度の融雪に伴う変化が同じであるので、融雪の浸透から流出の滞留時間は2流域で変わらないと考えられる。NO₃⁻は三つ又沢流域の流出が高濃度であり、表層土壤で付加されるNO₃⁻が多かったと考えられる。土壤層が厚いと高濃度NO₃⁻の土壤水が多く存在したと考えられる。三つ又沢流域では供給された融雪水による土壤水の押し出しが生じたが、隣接流域ではNO₃⁻のイオン濃度が非常に低く、土壤水の押し出しよりも基岩近傍を通してNO₃⁻濃度の低い水が流出したと考えられた。

SO₄²⁻は基岩近傍の礫層が発生源となり地下水と融雪水が混合して流出すると考えられており、融雪の多い2015年のみで2流域で濃度上昇の時期が異なったことから、土壤の厚い三つ又沢流域は降水の供給量が少なくても土壤水による希釈があり、土壤の薄い隣接流域は土壤水による希釈の影響が小さく、濃度上昇が早いと考えられた。

引用文献

- (1) 鈴木啓介・小林大二(1987) 森林小流域における融雪流出の形成機構. 地理学評論 60(A-11): 707-724
- (2) 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
- (3) 塚本良則(1992) 森林水文学. 文永堂出版, 東京: p227-231