

## 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

## Stream water chemistry during snowmelt period at forest catchment of Okutone

豊泉恭平\*<sup>1</sup>・前島健人\*<sup>2</sup>・大類和希\*<sup>2</sup>・小坂泉\*<sup>2</sup>・長坂貞郎\*<sup>1</sup>・瀧澤英紀\*<sup>1</sup>Kyohei TOYOIZUMI\*<sup>1</sup>, Kento MAESHIMA\*<sup>2</sup>, Kazuki ORUI\*<sup>2</sup>, Izumi KOSAKA\*<sup>2</sup>, Sadao NAGASAKA\*<sup>1</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

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

**要旨**：多雪地森林域において、隣接した2流域の融雪期の溶存イオン流出特性を比較した。融雪進行に伴う濃度変化では、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub>-NはMg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>に比べて変化が大きく、2流域間ではCl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>は似た変化傾向であったが、NO<sub>3</sub>-Nは小流域よりも大流域で変化が大きかった。流量に対する濃度変化では、Cl<sup>-</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>は流量増加に対して濃度変化が小さく、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Na<sup>+</sup>は流量増加に対して濃度減少の傾向であり、特に小流域では減少傾向が小さかった。NO<sub>3</sub>-Nは流量増加に対して濃度増加の傾向であり、特に大流域において融雪の進行に伴いその増加の傾向が緩やかになった。NO<sub>3</sub>-Nは、比較的表層の土壌が発生源となり、高い濃度の土壌水の融雪水と混合して流出し、Na<sup>+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>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た。大流域の三つ又沢は、基岩近傍まで浸透せずに土壌水の流出の影響が大きかった。

**キーワード**：森林流域、渓流水質、融雪流出

**Abstract** : We observed stream water chemistry in snowmelt runoff at two adjacent forest catchments in a heavy snow region. In the variations of stream water chemistry with the progression of snowmelt, the concentrations of Cl<sup>-</sup> and NO<sub>3</sub>-N had changed significantly as compared to others. The tendency of variations of Cl<sup>-</sup> and Na<sup>+</sup> was similar in the two catchments; on the other hand, the variation of NO<sub>3</sub>-N was bigger in the large catchment than the small catchment. In the relationship between the ion concentration and discharge, where the discharge was increase, Cl<sup>-</sup>, Mg<sup>2+</sup> and Ca<sup>2+</sup> had small variations; in contrast, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and Na<sup>+</sup> were reduced, but in particular this decreasing trend was very small in the small catchment. NO<sub>3</sub>-N has tended to increase when the discharge was increase; especially this trend was strong in the large catchment, but this trend was getting a gentle with the progression of snowmelt. The source of NO<sub>3</sub>-N was relatively shallow soil; the high NO<sub>3</sub>-N concentration of soil water discharged with melting water. The source of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and Na<sup>+</sup> were in gravels layer above bedrocks; the groundwater discharged with melting water. The effect of the discharge of soil water which had weak SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> was bigger in the large catchment than the small catchment.

**Keyword** : forest catchments, stream water chemistry, snowmelt runoff.

## I はじめに

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となり(2)、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。渓流水中の溶存イオンは、降水由来、岩石・土壌からの溶出由来のイオンに大別され、流出成分分離のトレーサーとして用いる場合は単純で明瞭な発生源である必要がある(5)。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毎に異なる。例えば、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は鉱床からの湧水を点源とし融雪水により希釈される場合や(7)、積雪から大

きな供給がある場合(3)もある。そのため、水質を用いて流域の流出過程を検討する場合、溶存イオンの流出特性を知る必要がある。本研究では、積雪・融雪期を分類し、隣接する大小2流域において、溶存イオンの流出特性である融雪の進行に伴うイオン濃度変化および流量による変化を比較し、水質形成プロセスを推定した。

## II 対象流域及び測定方法

**1. 対象流域** 本研究では2014年12月から2015年5月を対象に融雪流出の観測を行い、イオン濃度と流量の関

係を調べた。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760m～900m、流域面積13.7haの三つ又沢と、隣接する標高770m～840m、流域面積1.21haの隣接流域である。2流域の最高点の標高差は60mある。各流域の植生は、三つ又沢はブナ、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。流域から約6km離れた藤原のAMeDAS（標高700m）における2000年から2010年までの年平均降水量、平均最深積雪深はそれぞれ1755mm、2.1mであり、12～3月の総降水量の平均は722mmである（9）。

**2. 水文素過程の観測方法** 流量は90°Vノッチを設置した量水堰を用い、水位を投げ込み式水位センサー（HM-500-02 株式会社センシズ）にて測定し、データロガー（CR-10X Campbell co., 及びLR5041 日置電機（株））に記録した。降水量は流域から600m離れた標高770mに位置する上空の開けた露場において転倒マス式雨量計（OW-34-BP大田計器）を、冬季にはヒータ付き雨量計（52202 R.M.Young co.）を用いて測定し、欠測時は藤原の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）によって露場、流域内の2点で測定し平均値を用いた。

**3. 積雪水および渓流水の採水方法** 積雪水は2015年2月12日、2月25日、3月19日、3月31日、4月17日の計5回、露場にて深さ20cm毎に採取し、全層平均のサンプルとした。渓流水は三つ又沢では2月11日から、隣接流域では2月25日から採水し、5月22日を最終日とした。各採水日の開始時刻から4時間おきに計6回（2月11日は7回）の採水を行い、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。

**4. イオンの分析方法** 溶存イオンはNa<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub>-N、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>をイオン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。

### III 結果と考察

**1. 融雪期の分類について** 2014年12月から2015年3月の本調査地の総降水量は683.2mm、最深積雪深は2.6mであり、例年と比べ多かった。図-1 a)～d)に降水量、気温、積雪深、流量を示す。積雪深は12月中頃から上昇するが、流量は大きな変化を示さなかった。2月中旬から単発的な気温の上昇により流量の増加が見られ、3月中旬より気温の上昇に伴い積雪深は減少、流量は日変化を伴い大きな値を示した。4月中旬以降、気温は上昇するが、積雪深の減少により流量の増加は小さくなっ

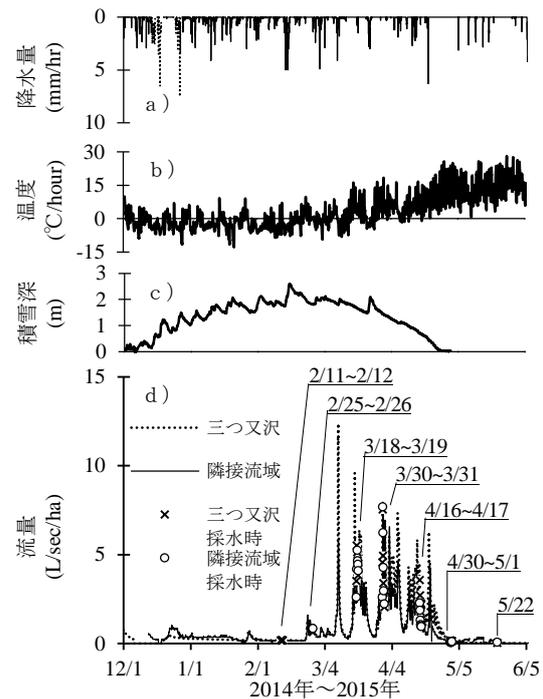


図-1 2014年12月から2015年5月の降水量・気温・積雪深・流量及び採水時

Fig.1 Rainfall, temperature, snow depth, discharge and sampling timing from Dec 2014 to May 2015

た。5月中旬には融雪流出による流量の日変化は見られなくなった。よって、2月11～12日は融雪開始前に属し、2月25～26日は融雪初期、3月18～19日と3月30～31日は融雪最盛期、4月16～17日、4月30日～5月1日は融雪後期、消雪後の5月22日は融雪終了後の期間に属するとした。

**2. 融雪に伴う溶存イオン濃度変化** 融雪開始前から融雪終了後まで各イオン濃度の変化を図-2に示す。マークは採水日の6～7回の測定値の平均であり、エラーバーとして最大値と最小値も示した。

Cl<sup>-</sup>は、観測期間を通して変化が大きく、融雪初期、融雪最盛期に高い濃度を示し、融雪後期にかけて濃度減少、その後濃度増加の傾向を示した。Cl<sup>-</sup>は降水により供給され、積雪中からの選択的流出によって融雪初期に高い濃度を示し、積雪中の濃度低下と共に融雪の進行につれて渓流水の濃度を下げるイオンである（4, 6）。本調査地の渓流水は積雪水と比べ高濃度ではあるが、融雪初期の渓流水の濃度増加に対し、積雪水の濃度は若干減少した。また、2流域でイオン濃度の差は小さく、融雪に違いは少ないと考えられた。Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、NO<sub>3</sub>-Nは融雪初期に高い濃度を示し、融雪最盛期・融雪後期に濃度を減少させ、融雪終了後に濃度を増加させた。また、融雪初

期, 融雪終了後において2流域のイオン濃度に差が見られた。NO<sub>3</sub>-Nは融雪に伴うイオン濃度の変化が最も大きかった。Ohte et al. (1)の結果では, ベルモントの森林流域において, 渓流水中のNO<sub>3</sub>-Nは, 融雪初期には流路上, および溪流近傍の積雪からの寄与が大きく, 融雪中期以降は土壌中からの溶出による寄与が徐々に大きくなった。本調査地では, 融雪初期に2流域でNO<sub>3</sub>-N濃度差が大きく, Clの濃度差が小さいことから, 積雪ではなく土壌中からの溶出あるいは融雪前の土壌水の濃度が2流域で大きく異なると考えられた。Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は, 融雪に伴うイオン濃度変化が比較的小さく, 三つ又沢では融雪後期まで濃度減少, 融雪終了後にかけて濃度増加であり, 隣接流域では融雪最盛期まで濃度減少, 融雪終了後にかけて濃度増加であった。これらは他の4イオンと異なり, 融雪初期に濃度上昇していないので, 土壌水中からの溶出の影響が小さく, 融雪による希釈の影響と考えられた。

**3. 流量と溶存イオン濃度の関係** 流量と溶存イオン濃度の関係を図-3に示す。Clは流量の増加に対してイオン濃度の変化は見られず, 2流域間でも違いは見られなかった。このことから, 積雪前の降雨から融雪にかけて2流域で類似していると考えられた。NO<sub>3</sub>-Nは2流域共に流量増加に対して濃度増加の傾向であった。三つ又沢では隣接流域と比べ濃度変動幅が広く, 融雪初期, 融雪最盛期, 融雪後期の3本の近似曲線上に分布するように見える。図中にはそれぞれの近似曲線式と共にR<sup>2</sup>も示した。一方, 隣接流域では融雪期を通じて1本の近似曲線上に分布した。これらから, 三つ又沢では, NO<sub>3</sub>-N濃度の高い土壌水が融雪初期に押し出され, 徐々に融雪水と入れ替わり濃度を低下させ, 希釈されたと考えられた。隣接流域では, 融雪水が流入する毎にNO<sub>3</sub>-Nが溶出すると思われた。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup>では, 2流域で流量の増加に伴い濃度減少の傾向であった。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は, 三つ又沢で隣接流域に比べ流量増加に対してイオン濃度の減少傾向であった。隣接流域では, 図-3の近似曲線上にほぼ分布し, 濃度が緩やかに減少した。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は, 岩石に由来し, 融雪期の流量増加に伴い濃度を低下させる報告(7)もあり, 本調査地においては, 融雪水が基岩近傍の礫質の土層を流下する過程で溶出したと思われる。Na<sup>+</sup>は, 北関東地方において深い基岩から供給される報告(9)があることから, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>と類似した傾向を示したと思われる。また, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup>を多く含む基岩近傍の土壌水は, 融雪水の供給により, 流量増加時に希釈されると考えられた。Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>は流量の増加に対して明瞭な濃度変化の傾向を示さなかった。しかしながら, 融雪の進行に伴う濃度変化(図

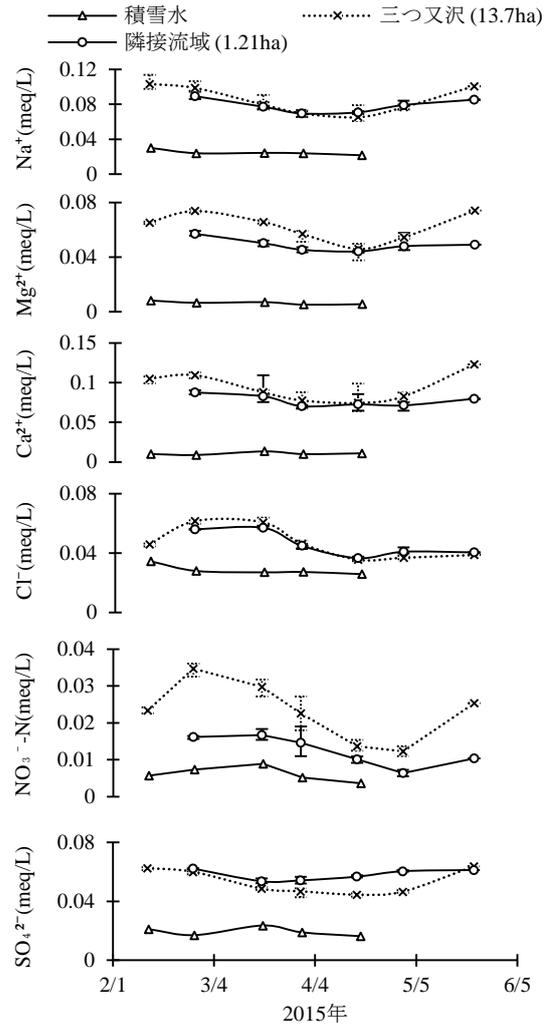


図-2 観測日平均イオン濃度の融雪に伴う変化  
Fig.2 Variations of the each average ion concentration in an observation day with the progression of snowmelt

2) ではNO<sub>3</sub>-Nと類似した傾向を示しており, さらに複雑な水質形成プロセスが存在すると思われた。

**IV まとめ**

多雪地森林域の隣接した大小2流域(13.7ha, 1.2ha)において, 溶存イオンの流出過程の比較を行った。その結果, 降水や融雪水で供給される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思われた。NO<sub>3</sub>-Nは, 比較的表層の土壌が発生源となり, 高い濃度の土壌水と融雪水が混合して流出し, Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>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思われた。水質形成プロセスでは, 融雪水の増加に伴いイオン濃度は希釈されるが, 大流域の三つ又沢では表層土壌の水質形成が比較的大きく, 基岩近傍まで浸透せずに土壌水の流出過程が大きいのに対し,

小流域の隣接流域は基岩近傍の流出過程が大きいと考えられた。

### 引用文献

- (1) OHTE, N, SEBESTYEN, D. S, SHANLEY, B. J, DOCTOR, H. D, KENDALL, C, WANKEL, D. S, and BOYER, W. E (2004) Tracing sources of nitrate in snowmelt runoff using a high-resolution isotopic technique. *Geophys. Res. Lett.* **31** : L21506, doi: 10. 1029/2004GL020908
- (2) 坂本康・竹内邦良 (1985) 融雪流出水水質の特徴と流出解析への利用についての基礎的検討. 水理講演会論文集 **29** : 143-148
- (3) 志知幸治・橋本徹・三浦寛・相澤州平・池田重 (2005) 東北地方内陸部の森林流域における年間および融雪期の渓流水質. *日林誌* **87** (4) : 340-350
- (4) SUZUKI K. (1982) : Chemical change of snow over by melting. *Japanese. J. Limnol.* **43** : 102-112
- (5) 鈴木啓介 (1996) 温暖積雪地における渓流水質変動. *地学雑誌* **105** (1) : 1-14
- (6) 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
- (7) 橘治国・安藤正治・大森博之・飯田真也・梅本延彦 (1991) 融雪期における山地森林流域河川からの栄養塩流出. *衛生工学研究論文集* **27** : 33-43
- (8) 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** (2) : 249-252
- (9) 塚本良則 (1992) *森林水文学*. 文永堂出版, 東京 : p227-231

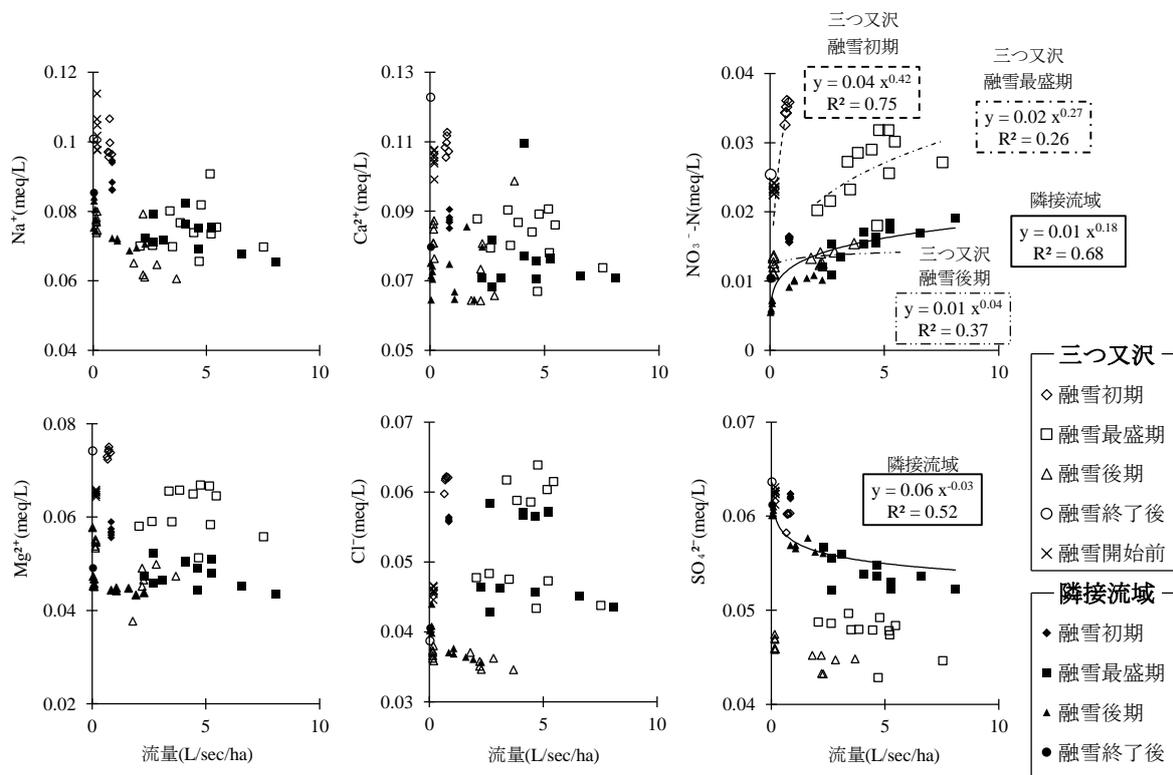


図-3 流量と溶存イオン濃度の関係

Fig.3 Relationship between ion concentration and discharge