

裏磐梯毘沙門沼融雪期の流入表流水量と水質の関係*

福島大学共生システム理工学類 三浦 淳
 福島大学大学院共生システム理工学研究科 渡辺 泰世
 福島大学共生システム理工学類・福島大学環境放射能研究所 横尾 善之
 福島大学共生システム理工学類 藤崎 志穂

1. はじめに

裏磐梯五色沼湖沼群は1888年の磐梯山噴火によって形成された。千葉(1988)によると五色沼湖沼群の水系は、瑠璃沼→青沼→弁天沼と弥六沼→父沼→母沼→柳沼の2つに分けられ、これらの水系が合流し竜沼→深泥沼→毘沙門沼の順に流れ、長瀬川へと排出されているとしている。また、千葉ら(1986)などによって以前から水質の調査が行われている。渡辺ら(2013)は五色沼湖沼群の末端に位置する毘沙門沼において水量の連続観測を行い、五色沼湖沼群の表流水量の把握を行っている。このように五色沼湖沼群の表流水の流動や流量、水質形成について調査、研究が行われている。

近年になって、福島県(2012)が裏磐梯湖沼の水質環境基準が達成されていないことやそこから水が流入している猪苗代湖のpHが上昇していることなど水環境変化について報告している。このような水環境変化を理解するためには水が流域内のどこを流れているか、つまり流出過程を知ることが重要になってくる。流出過程の解明は水文学的課題であり、水中に存在する物質をトレーサーとして用いて水量と水質の関係から流出過程を明らかにする研究が行われている。五色沼湖沼群では水量と水質の調査は行われているが、これらを組み合わせて流出過程を解明する研究は行われていない。

また、裏磐梯は融雪出水が卓越する地域であるが、融雪期を対象とした水質の連続観測や流出過程に関する研究は行われていない。融雪流出過程に関する研究としては、鈴木ら(1987)の研究がある。融雪期間中の水質をトレーサーとして用い、地表や地中からの流出過程を説明している。五色沼湖沼群で融雪期の水質の連続観測を行うことでトレーサーをみつけ、流出過程を解明できると考えられる。そこで、本研究は融雪期の毘沙門沼へ流入する表流水量と水質の関係から五色沼湖沼群の流出過程を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

2.1 対象調査地点

本研究では福島県の裏磐梯地域にある五色沼湖沼群毘沙門沼の流入口(北緯 37°39'、東経 140°05')で調査を行った(図-1)。流域面積は 10.54km² である。

2.2 水質測定および使用データ

平成 25 年 3 月 4 日から 1 台の自記水質計 (東亜ディーケーケー株式会社, WQC-24), 平成

*Relationship between quantity and quality of surface water flowing into the Bisyamon Pond during a snowmelt season by Jun Miura, Yasuyoshi Watanabe, Yoshiyuki Yokoo and Shiho Yabusaki

25年4月9日からもう1台の自記水質計（ワイエスアイ・ナノテック株式会社, EXO 2)を設置し、毎時の水質の連続観測を行った。2種類の水質計で共通している項目は、pH、溶存酸素(DO)、電気伝導率(EC)、濁度、総溶解固形分(TDS)、塩分、水温である。 K^+ 、 Cl^- 、 Ca^{2+} はWQC-24のみで測定した項目である。酸化還元電位(ORP)、総懸濁物質(TSS)、蛍光溶存有機物(fDOM)はEXO2のみで測定した。

今回、結果に示す水質データは特徴のあった K^+ 、 Cl^- 、 Ca^{2+} である。また、流量は渡辺ら(2013)のデータを用いた。降水量は、気象庁の気象統計情報の桧原観測所(北緯37°43'、東経140°04')のデータを用いた。

2.3 解析方法

解析期間は平成25年3月4日から7月3日である。水質項目、流量、降水量の時系列変化、水質項目同士の相関関係、流量と水質項目の流出負荷量との相関関係から解析を行った。流出負荷量に関しては橋ら(1996)の方法を利用した。流出負荷量は濃度と流量の積から求められ、整理すると(1)式で表せる。 $L(mg/m^2 \cdot h)$ は流出負荷量、 $Q(mm/h)$ は流量、 C 、 n は定数である。

$$L = C \cdot Q^n \quad (1)$$

3. 結果

3.1 水質項目、流量、降水量の関係

図-2に水質項目、流量(Q)、降水量(Precipitation)の時系列変化を示す。

流量は、3月下旬から増加し始め、4月上旬までその傾向が続いている。それ以降は、増減を繰り返しながら、推移している。しかし、5月下旬ごろから流量は減少し6月初めから安定している。これから融雪のピークが終わつたとみられる。このような流量変動からこの期間を融雪期とした。

6月下旬に流量が短時間増加しているが、これは降水に反応し一時的に増加したとみられる。

各イオンについては4月8日までは、流量の増加とともに濃度が上昇してい



図-1 調査地点

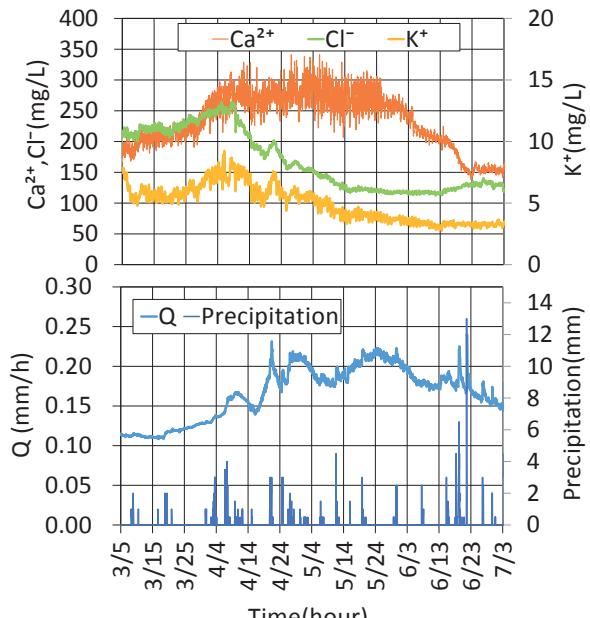


図-2 水質項目、流量、降水量の時系列変化

る。それ以降の K^+ , Cl^- 濃度は流量に似た変動を示していたが、5月10日を境に減少した後、安定しており傾向が変わった。 Ca^{2+} 濃度は6月18日まで流量に似た変動を示し、以降は急に減少した後、安定している。イオンと降水量については特に関係がみられなかった。

3.2 各イオンの関係

各イオン関係図を図3~5に示す。図-3で決定係数は0.787であり、 K^+ と Cl^- には正の相関があり同じような変動していることが分かる。一方、 Ca^{2+} と K^+ 、 Ca^{2+} と Cl^- の間には相関がみられなかった。

3.3 各イオンの流出負荷量と流量の関係

解析期間を区分し流量と各イオンの流出負荷量の関係を表したもの図6~8に、 L と Q についての相関係数 R 、(1)式から得られた n , C を表1に示す。

橋ら(1996)によると $n>1$ の場合、流量の増大、すなわち雪解け水の流出とともに地表から洗い出されていることを示すとしている。また、 $n<1$ を示すこと、融雪が進むにつれて時計回りにデータが推移することは濃度が流量によって希釈されることを示すとしている。

Ca^{2+} の流出負荷量は、相関係数が0.835であり、流量とは正の相関が高いことがいえる。また、表1で示した n の値は、 $n>1$ であった。図6からは、6/10までは、同じ傾向で推移していることが分かる。一方、 Cl^- は相関係数が低かった。また、 $n<1$ であった。期間ごとのデータは融雪が進むにつれ時計回りに推移していることが分かる。 K^+ も Cl^- と同様に相関がみられず、 $n<1$ 、また、期間ごとのデータの推移でも同様の傾向がみられた。各イオンの流出負荷量は、流量と関係性があることが分かった。

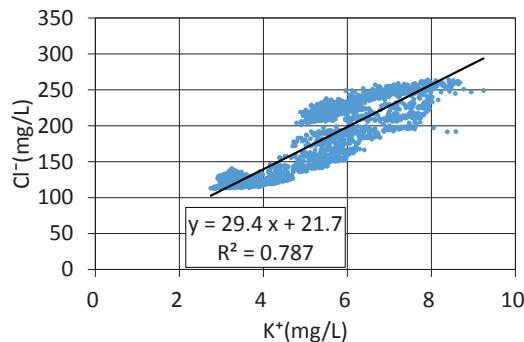


図-3 K^+ と Cl^- の関係

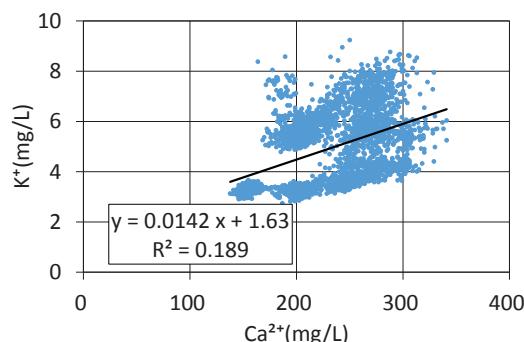


図-4 Ca^{2+} と K^+ の関係

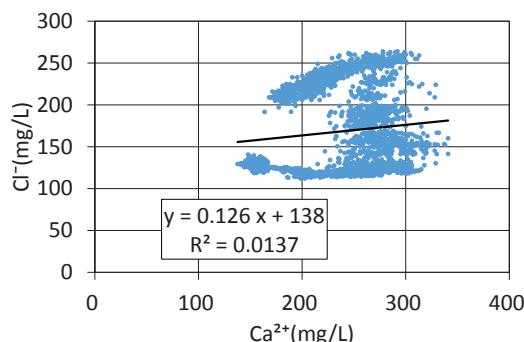


図-5 Ca^{2+} と Cl^- の関係

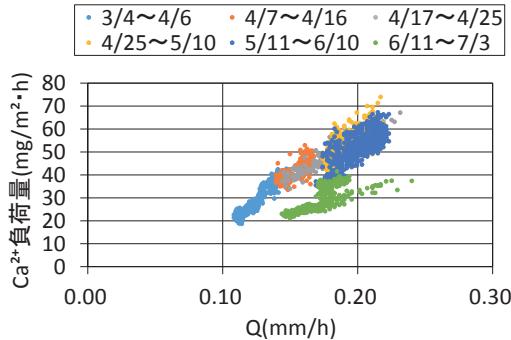
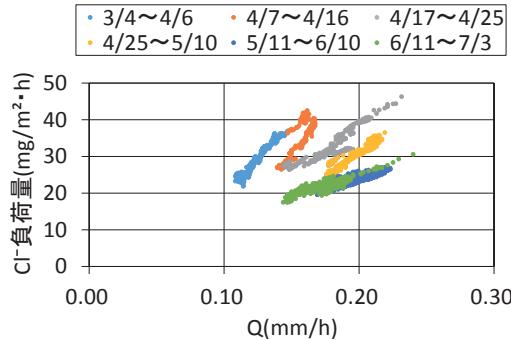
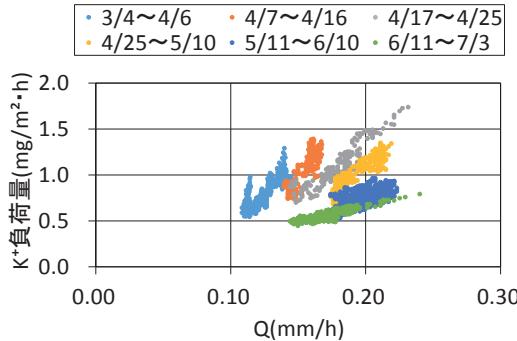
図-6 Ca^{2+} の流出負荷量と流量の関係図-7 Cl^- の流出負荷量と流量の関係図-8 K^+ の流出負荷量と流量の関係

表 1-流量と流出負荷量の関係

N:サンプル数 R:相関係数 n, C:定数

| 項目 | N | R | n | C |
|------------------|------|---------|---------|------|
| Ca^{2+} | 2913 | 0.835 | 1.34 | 424 |
| Cl^- | 2913 | 0.00548 | 0.00498 | 26.4 |
| K^+ | 2913 | 0.273 | 0.345 | 1.45 |

4. 考察

融雪期の流量変動が水質に影響を与えることが分かった。イオンは特徴的な変動をしていた。それらがどのような過程で流入してきたのかを考察する。

Ca^{2+} は、図-6 から流量と正の相関がみられた。また、 $n > 1$ であった。結果で述べたように、流量の増大によって地表から流されてきたことを示すとされている。これから Ca^{2+} は、融雪出水とともに表層土壤から流されてきたのではないかと考えられる。鶴木ら(2002)は、地表面に達した融雪水は土壤が凍結していないとき地下に浸透し、土壤表層が凍結または飽和状態のときは地表面を流出するとしている。表層土壤の状態についても考慮する必要がある。

Cl^- と K^+ は、融雪開始時期から 5 月 10 日ごろまで流量と似た変動をしていた。しかし、 Ca^{2+} とは違い、相関がみられないこと、4 月上旬にピークをむかえていることが分かる。志知ら(2005)によれば、一般的に融雪が始まったころの水質は高濃度になることが知られている。これは、融雪期まで積雪中に蓄積し、それが濃縮して融雪出水とともに流出してきたことが原因であるとしている。その後、融雪が進むにつれて濃度が低下するが、これは積雪中から低濃度の融雪水が負荷される希釀効果によるものであるとされている。また、図-7, 8 から期間ごとのデータは融雪が進むにつれて時計回りに推移していたこと、表 1 から $n < 1$ であることから結果で述

べたように濃度が希釈されていると考えられる。これらから各イオンをトレーサーとして用い、融雪水が表流水として直接流出していることを説明できると考える。しかし、地下水など基底流出によって運ばれてきた過程について説明するトレーサーをみつけられなかつたので今後は今回観測しなかつた水質項目についても考慮する必要がある。

また、上流から流入する水によって濃度が変動している可能性を挙げる。これは千葉ら(1986)が五色沼湖沼群の水質について Ca-SO_4 型と Na-Cl 型の混合によって生成しているとしており、これが影響していると考えるからである。 K^+ は前者の型の方には少なく、後者の方に多く含まれている。 Cl^- は後者に非常に多く含まれている。 Ca^{2+} はどちらの型にも多く含まれている。この2種の型の割合が融雪期に変化することで濃度が変動するのではないかと考えられる。また、國井ら(2013)によると毘沙門沼に流入するのは深泥沼以外に赤沼というどの系にも属さない湖沼の可能性を挙げており、それらの湖沼の水質との比較や毘沙門沼への流入割合についても考慮し、各イオンがどのような過程で運ばれてきたかを検討する必要がある。

5. 結論

- 毘沙門沼流入口で水質測定を行い、そこでの融雪流出について解析し、以下の結果を得た。
- ① 融雪期において K^+ , Cl^- , Ca^{2+} の濃度変動は流量との関係性がみられた。また、 K^+ と Cl^- の濃度には正の相関がみられた。
 - ② K^+ , Cl^- の流出負荷量と流量の関係から冬期間に大量に貯留されていたものが流出し、4月上旬にピークをむかえ、その後は流量の増加によって希釈されたとことを説明できた。 Ca^{2+} の流出荷量と流量には正の相関がみられ、融雪流出とともに洗い出されていることを説明できた。これらのイオンは融雪期のトレーサーになり、融雪水が直接流出する過程について説明できる。
 - ③ 流出過程についてより明確にするために基底流出を説明できるトレーサーをみつけることが課題であり、今回測定しなかつた水質項目についても測定する必要がある。また、積雪中の成分、土壤、他の湖沼についても考慮に入れて検討する必要がある。

今後は今回得られた課題について検討していく予定である。また、融雪期だけでなく年間を通して水質の連続観測をし、五色沼湖沼群の流出過程を解明していくことを考えている。

謝辞

本研究は福島大学共生システム理工学研究科プロジェクト研究「遷移途中有る自然環境を自然遺産として良好に保全するための研究モデルの策定-磐梯朝日国立公園の人間-自然環境系(生物多様性の保全)に関する研究-」〔文部科学省特別経費(プロジェクト)採択事業〕、科学研究費補助金(若手研究B, 24760388)、科学研究所補助金(基盤研究B, 22360192)、JST/CREST「安全で持続可能な水利用のための放射性物質移流拡散シミュレータの開発」、東北大災害科学国際研究所「特定プロジェクト研究(B-18)」の成果である。気象データには気象庁のデータを利用した。ここに謝意を表す。

参考文献

- 鶴木啓二, 長澤徹明, 井上京, 山本忠男 (2002), 農業流域における融雪期の水質環境と土地利用, 水文・水資源学会誌, Vol.15, No.4, pp.391-398.
- 國井芳彦, 渡邊稔, 佐久間智彦 (2013), 裏磐梯五色沼湖沼群の湖水の化学的な成分に関する調査結果 (第 2 報), 磐梯朝日遷移プロジェクト 裏磐梯五色沼湖沼群の環境調査報告書, pp.26-35.
- 志知幸治, 橋本徹, 三浦寛, 相澤州平, 池田重人 (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溪流水質, 日林誌, Vol.87, No.4, pp.340-350.
- 鈴木啓助, 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 Ser.A , Vol.60, No.11, pp.702-724.
- 橋治国, 清水達雄, 中川佳久 (1996), 石狩川の融雪期水質, 水文・水資源学会誌, Vol.9, No.5, pp.444-456.
- 千葉茂, 朝倉誠司, 松本仁志 (1986), 裏磐梯五色沼の水質とその成因について, 福島大学教育学部論集理科報告, 38, pp.19-29.
- 千葉茂 (1988), 猪苗代湖・裏磐梯湖沼群の水質, 地学雑誌, Vol.97, No.4, pp.376-381
- 福島県 (2012), 猪苗代湖及び裏磐梯湖沼水環境保全推進計画(中間整理案),
<http://wwwcms.pref.fukushima.jp/download/1/keikaku.pdf>
- 渡辺泰世, 横尾善之 (2013), 裏磐梯毘沙門沼の表流水量調査の中間報告, 磐梯朝日遷移プロジェクト, 裏磐梯五色沼湖沼群の環境調査報告書, pp.11-17.