

# 陸水物理学会報

## —第43回研究発表会（2022 釧路大会）講演要旨—

主催：陸水物理学会 後援：北海道河川財団

期日：2022年11月5日（土）～11月6日（日）

11月5日（土）研究発表会・特別講演・総会

11月6日（日）巡検「釧路湿原国立公園」

会場：釧路市観光国際交流センター

〒085-0017 釧路市幸町3-3

Tel: 0154-31-1993

URL: <https://ja.kushiro-lakeakan.com/kkc/>

研究交流会：海へ・釧路中央店

### 11月5日（土）

9:25 開会の挨拶 大会実行委員長・中津川 誠氏（室蘭工業大学）

\*各演者・各座長は時間厳守にご協力ください。

\*発表時間15分は発表12分、質疑2分、入替1分

\*発表時間10分は発表7分、質疑2分、入替1分

<Session 1> 9:30-10:45

9:30 1) 地表水水質に着目した火山周辺水環境の評価～火山間の比較を目指して～

\*猪狩彬寛（法政大・院，日本工営），小寺浩二（法政大・地理），堀内雅生（日本工営）

9:45 2) 河川の物質循環と生産性に影響を与えるワンドの生態系機能の解明

\*上羽涼太郎（農工大・農），梅澤有（農工大・農），楊宗興（農工大・農）

10:00 3) 多摩川水系浅川のNa/Cl比に関する研究

\*小田理人（千葉大院・融合理工学府），小寺浩二（法政大・地理）

10:15 4) 最上川流域の河川水質-現地調査の結果から-

\*山形えり奈（法政大・院），小寺浩二（法政大・地理）

10:30 5) 積雪寒冷地の地質条件が異なる流域の将来水温予測

\*鈴木啓明（室工大・工，道総研），中津川 誠（室工大・工），石山信雄（道総研）

10:45 6) 北海道釧路市の春採湖の結氷条件と将来の結氷日および解氷日の予測

\*牛塚貴博，亀田貴雄，吉川泰弘，佐藤和敏（北見工大・工）

11:00-11:15 休憩

<Session 2> 11:15-12:25

11:15 7) 摩周湖の全面結氷条件の解明およびそれに基づく2021～2023年冬季の全面結氷日の予測

\*亀田貴雄（北見工大・工），蜂谷 衛（無所属），仁平慎吾（北見工大・工），  
細川音治（無所属）

11:30 8) 北海道・然別湖の結氷下における水温特性について

\*大八木英夫（南山大），知北和久（北大・北極セ），澤田結基（福山市立大），  
金森晶作（とちぎ鹿追ジオパーク）

- 11:40 9) [北海道・然別湖における湖底水質の形成メカニズム](#)  
\*齋藤 圭 (京都大院・地熱), 長谷川祥樹 (道総研), 大八木英夫 (南山大)
- 11:50 10) [秋田県・田沢湖の水収支・化学物質収支に基づく水循環機構](#)  
\*知北和久 (北大・北極セ), 網田和宏 (秋田大・理工), 大八木英夫 (南山大), 岡田 純 (気象研)
- 12:00 11) [青森県・青池の青色呈色に関する研究：解析方法の改良](#)  
\*花石竜治 (青森県環境保健セ), 知北和久 (北大・北極セ)
- 12:10 12) [Coriolis 力の実験におけるスマートフォンの活用](#)  
戸田 孝 (滋賀県立琵琶湖博物館)

12:25-13:30 <昼休み>

<Session 3> 13:30-14:45

- 13:30 13) [秋田県傘杉の清水における自然電位の 3次元観測](#)  
\*網田和宏, 古田嶋峻大, 小澤舞桜 (秋田大・理工)
- 13:40 14) [御嶽山南麓の二酸化炭素ガス湧出湧水域の水域特性](#)  
\*宇佐見亜希子, 田代 喬 (名古屋大・減災セ), 野崎健太郎 (椙山女学園大・教育)
- 13:50 15) [御嶽山山麓の溪流河川における河川流量の計測](#)  
\*谷口智雅 (三重大・人文), 江端一徳 (豊田高専・環境都市), 宇佐見亜希子 (名古屋大・減災セ), 松本嘉孝 (豊田高専・環境都市)
- 14:00 16) [手取層群 \(赤岩亜層群\) における流水水質の特徴](#)  
\*苗村晶彦 (戸板女子短大・総合教養センター), 猪股弥生 (金沢大・環日本海域環境研究センター), 奥田知明 (慶應義塾大・理工学部)
- 14:10 17) [自然地下水調査法の必要性について](#)  
竹内篤雄 (自然地下水調査研究所)
- 14:20 18) [日本全国の河川水質とその変動に関する研究 \(2\)](#)  
- 「身近な水環境の全国一斉調査」2020年・2021年・2022年の結果を中心に  
\*小寺浩二 (法政大・地理), 王 操 (法政大・院), 猪狩彬寛 (法政大・院/日本工営), 齋藤 圭 (京都大院・地熱)
- 14:30 19) [Studies of northern river systems of the Kyrgyz Republic \(Talas river basin, Issyk-Kul lake basin and Chychkan, Bala-Chychkan river basin\)](#)  
Shaidyldaeva Nargiza (Central Asian Institute for Applied Geoscience, HIF Foreign Scholars Fellowship program at Hosei University)

注) 進行を円滑にするため、発表者は予め備付け PC に ppt ファイルをインストールしてください (ファイルは、研究会終了後に責任をもって削除します)

14:45-15:00 休憩・準備

15:00 <特別講演：水の生態系—釧路湿原—>  
新庄久志氏 (釧路国際ウェットランドセンター・主任技術委員)

16:00-16:20 討論

<総 会> 16:20-16:50

<表彰式> 16:50-17:00

<巡検説明> 17:00-17:05

<研究交流会> 18:00-20:00

- ・ 研究交流会会場：海へ・釧路中央店  
〒085-0014 釧路市末広町2丁目1 (Tel: 0154-32-2201)

11月6日(日)： 巡検「釧路湿原国立公園」

巡検案内者：中津川 誠 (室蘭工業大学)

集合場所：フィッシャーマンズワーフMOOバス停前 (8:00バス到着、8:30出発予定)。

8:20までにお集まりください

巡検ルート：MOO～岩保木水門～細岡展望台～茅沼蛇行復元地～釧ちゃん食堂～

(JR釧路駅 13:30)～温根内ビジターセンター～JR釧路駅(15:40 空港行きバスに接続)

～ MOO (15:40頃)

# 1. 地表水水質に着目した火山周辺水環境の評価～火山間の比較を目指して～

\*猪狩彬寛（法政大・院，日本工営），小寺浩二（法政大・地理），堀内雅生（日本工営）

## 1. はじめに

日本列島には数多くの火山が存在しているが、その形成要因や構成するマグマの成分などは火山によって異なる。こうした特徴の違いにより、火山周辺の河川や湧水の水質にも違いが表れることが予想される。調査と採水を実施した十勝岳、浅間山<sup>1)</sup>、草津白根山<sup>1)</sup>、御嶽山<sup>2)</sup>、箱根山<sup>3)</sup>、新燃岳等の火山地域における河川水の水質測定・分析結果より、各火山周辺地域における水環境の水質を比較し、火山の特徴と水質との関連性を把握することを試みた。

## 2. 対象地域概要、調査・分析方法

対象とする火山は、十勝岳（北海道）、草津白根山、浅間山（群馬県・長野県）、御嶽山（長野県・岐阜県）、箱根山（神奈川県）、新燃岳（宮崎県・鹿児島県）である。それぞれ数回～数十回の現地調査を毎月～半年程度の頻度で数年間実施。現地にて水温、pH(RpH)、電気伝導度( EC)、流量、COD等測定したほか、TOC（全有機炭素）及び主要溶存成分の分析を実施した。

## 3. 結果

電気伝導度( EC) は、御嶽山の周辺河川で全体的に値が小さく、草津白根山では地下熱水系の影響により水系によっては周辺温泉水と同等の EC を示す河川が存在する。また、十勝岳、草津白根山、箱根山、新燃岳には 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  以上の値の河川が存在し、特に草津白根山及び箱根山には 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  を超える河川が存在する。また、各火山における全サンプルの EC 中央値と最終火山活動（マグマ噴火）の間には一定の相関関係を示す結果が示された。EC には近年の噴火履歴や周辺の土地利用、風送塩等の影響もあることから、今後それぞれの影響を精査することで、地質の形成年代・地中での噴火活動が、地表水の水質への影響を与えていることが示せる可能性が示唆された。

## 4. まとめ

火山における地表水の水質分析結果より、火山間における水環境の特性を比較し、火山活動と地表水水質との関連性の把握を試みた。火山における最終火山活動（マグマ噴火）と、火山体周辺の EC 値との関係を見ると、一定の相関がみられるが、各火山での熱水系の発達や直近の火山活動によっては、表層水の水質により火山活動の影響を及ぼしていることが示唆された。今後は火山周辺での土地利用や風送塩の影響に留意した上で、溶存成分と火山活動との関係性に深く着目して火山間の比較研究手法を探っていきたい。

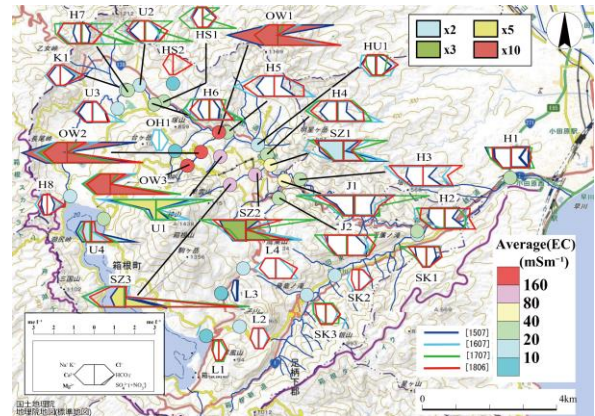


図1. 箱根山周辺河川における水質の空間分布 (2015年7月～2018年6月、堀内・小寺(2020)より)

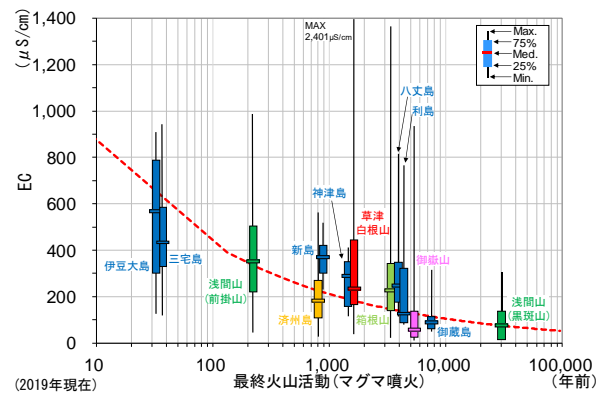
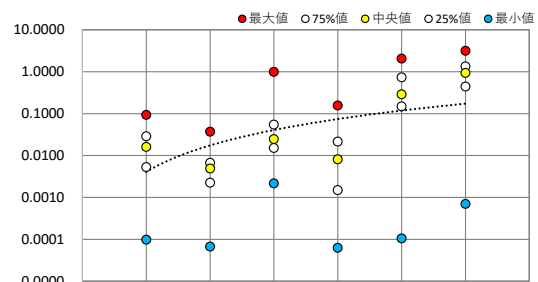


図2. 火山周辺河川における EC と最終火山活動 (2012年～2019年間の測定結果、猪狩ほか(2022)より)



C/Cl比	新燃岳	十勝岳	浅間山	草津白根山	箱根山	御嶽山
最終マグマ噴火	10年前(300年前)	100年前	240年前	1500年前	3200年前	5000年前
最大値	0.0936	0.0373	1.0019	0.1571	2.0821	3.1779
75%値	0.0288	0.0068	0.0549	0.0216	0.7386	1.3469
中央値	0.0162	0.0049	0.0247	0.0082	0.2891	0.9460
25%値	0.0053	0.0023	0.0152	0.0015	0.1498	0.4467
最小値	0.0001	0.0001	0.0022	0.0001	0.0001	0.0007

図3. 火山周辺河川水 (EC500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  以下) の C/Cl 比

## 参考文献

- 猪狩彬寛・小寺浩二・堀内雅生(2022)：火山地域における地表水水質の比較研究～火山活動履歴との関係に着目して～，水文・水資源学会 日本水文科学会2022年度研究発表会要旨。
- 浅見和希・小寺浩二・猪狩彬寛(2019)：御嶽山噴火(140927)後の周辺水環境に関する研究(8)，日本地理学会2019年度春季学術大会講演要旨集。
- 堀内雅生・小寺浩二 (2020)：箱根山の火山活動と周辺河川・降水の水質について，陸水物理学会誌, Vol.2, 15-24.

## 2. 河川の物質循環と生産性に影響を与えるワンドの生態系機能の解明

\*上羽涼太郎（農工大・農）、梅澤有（農工大・農）、楊宗興（農工大・農）

### 1. はじめに

ワンド（湾処）とは河川に沿って氾濫原に湾入して形成される静水域であり、近年ではダムの造成による河川流量の安定化や、河川環境の修復によりワンドの数は増加している。ワンドの機能として水生生物の生息域となることが知られている。一方で、ワンドの化学的な水質とその形成要因については明らかになっておらず、特にリンや窒素といった生元素の濃度変動要因を明らかにすることは、河川生態系の一次生産を評価する上で重要である。そこで本研究では、ワンドに供給される水に注目し、ワンド湧水部  $^{222}\text{Rn}$  濃度や水素・酸素安定同位体比 ( $\delta\text{D}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ ) を用いて水循環解析をおこない、並行して各種溶存イオン濃度や生元素濃度を測定することで、ワンドの生態系機能を水質化学的側面から評価した。

### 2. 対象地域の概要と方法

調査対象地として多摩川中流域（東京都府中市）に位置するワンドを選定した(図1)。測定地点として、ワンド内部を上流部、河川へと流れ込む場を下流部とし、2地点に分けた。ワンド上流部は河川側と段丘側の2か所で湧水が確認されたため、それぞれ湧水①および湧水②として採水をおこなった(図2)。また、浅層地下水のサンプルとして東京農工大学構内にて地下水の採水も行った。調査期間は2022年2月から7月であり、各調査は月1回の頻度で調査を行った。現地では地点毎にEC、水温、pH、DOを測定し、同地点にて、採水を行った。試料は未濾過ろ過試料、濾過済みに分けて分析をおこなった。濾過ろ過試料ではリン酸( $\text{PO}_4^{3-}$ )濃度、ケイ酸(DSi)濃度、アンモニウム( $\text{NH}_4^+$ )濃度を比色法により測定し、イオンクロマトグラフィーにより各種イオン( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ )を測定した。また水循環を解析するために、 $^{222}\text{Rn}$ 濃度を静電捕集型ラドンモニタ(Durridge社RAD7)により測定しにより  $^{222}\text{Rn}$ 濃度、水素・酸素安定同位体比は水同位体分析装置(Picarro社L2140-i)を用いて測定した。

### 3. 結果と討論

ワンド上流部の水温変動は調査期間(2022年2月～7月)において  $17.9^\circ\text{C}$ ～ $21.9^\circ\text{C}$ であり、河川での水温変動の  $16.3^\circ\text{C}$ ～ $28.5^\circ\text{C}$ より小さい変動幅であり、冬季には河川より高く、夏季には低い値を示した。 $^{222}\text{Rn}$ 濃度は河川に比べ3.6倍～13倍ほどワンド上流部で高く、ワンド上流部から地下水の湧出が起きていることが推察された。

降雨、河川、ワンド湧出部のそれぞれの水素・酸素安定同位体比は降雨で広い変動を示し、 $\delta\text{D}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ はそれぞれ、 $-140$ ～ $-28\text{‰}$ 、 $-15$ ～ $-4.4\text{‰}$ であった。

一方で、河川水とワンド湧水の変動は小さく、河川では $\delta\text{D}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ はそれぞれ、 $-62$ ～ $-55\text{‰}$ 、 $-9.3$ ～ $-8.3$ 、ワンド湧出部ではそれぞれ、 $-59$ ～ $-57\text{‰}$ 、 $-8.8$ ～ $-8.3\text{‰}$ で変動しており、ワンド湧出水の方がより狭い範囲で $\delta\text{D}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ の変動を示した(図3)。

$\text{PO}_4^{3-}$ 濃度は側方の河川と大きく異なっていた。河川の $\text{PO}_4^{3-}$ 濃度は $4.2$ ～ $10.9\ \mu\text{mol}$ で変動したのに対し、ワンド湧出部では $1.3$ ～ $2.1\ \mu\text{mol}$ で変動し、ワンドにおける $\text{PO}_4^{3-}$ 濃度変動が小さかった。これは他のワンドでもおおむね同様の傾向がみられた。

また硝酸態窒素( $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ )濃度も同様にワンドにおいて河川と比較して変動は小さく河川で $156$ ～ $364\ \mu\text{mol/L}$ で変動したのに対し、ワンド湧出部では $123$ ～ $265\ \mu\text{mol/L}$ で変動した。

ケイ酸濃度は河川—ワンド間の変動は類似していたが、 $\text{PO}_4^{3-}$ や硝酸態窒素とは異なり、ワンドが河川よりも一貫して $21$ ～ $43\ \mu\text{mol/L}$ 高いケイ酸濃度を示した。

### 4. 考察

ワンド湧水は河川と比較して、安定した水温と高濃度の $^{222}\text{Rn}$ を示したことから、ワンド涵養源は地下水と考えられた。しかし、トリリニアダイアグラムの地下水・湧出水の分布は中間混合型を示しており、涵養源の1つと考えられる武蔵野台地の浅層地下水は、先行研究において生活排水の地下浸透が示唆されている点(吉田・小倉, 1978)、採水した湧水のうち、河川側に存在したものは段丘側の湧水と比較して、 $2^\circ\text{C}$ ほど水温が高い月が存在する点から、湧水②は人間活動の影響を受けた地下水、湧水①は地下水に加え河川水伏流水の混合の可能性がある。

河川とワンドの水素・酸素安定同位体比は降雨に比べ、変動幅は小さかったことから、河川、ワンド共に、混合されることで均一化している周辺の地下水の供給が示唆された。一方で、河川がワンドより変動幅が広い要因としては、近隣の下水処理場からの排水や、支流からの流入の可能性がある。

河川とワンドのDIN:DIP比は共にレッドフィールド比の16:1より大きく、特にワンドでは平均してDIN:DIP比は178:1であり(図4)、強いリン制限下であることが明らかになった。一方で、DIN:DSi比は河川で1.7～3.2:1、ワンドでは1.1～1.7:1を示した。一般的に植物プランクトンのDIN:DSi比は1～2:1程度で(図5)、河川ではケイ酸が不足する時期が存在する一方で、ワンドでは湧水によりケイ酸が十分に供給されている可能性がある。

以上よりワンドは側方の河川とは異なった水循環過程を有することで、内部の生元素濃度が異なるこ

とが明らかとなった。今後は氾濫原に採水孔を設置しての伏流水採水や、武蔵野台地複数地点での地下水採水により、ワンド湧水の混合割合や水質の形成要因の解明に取り組む。

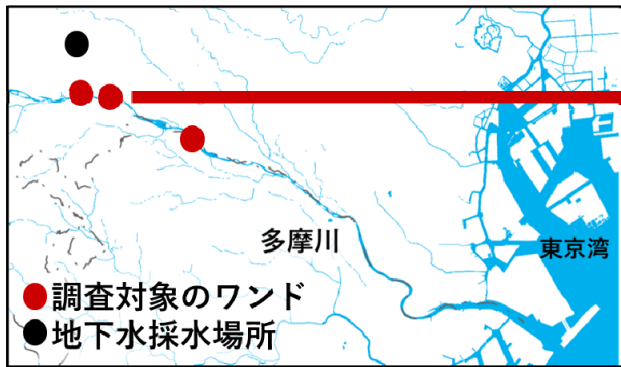


図1. 調査対象のワンドと採水位置

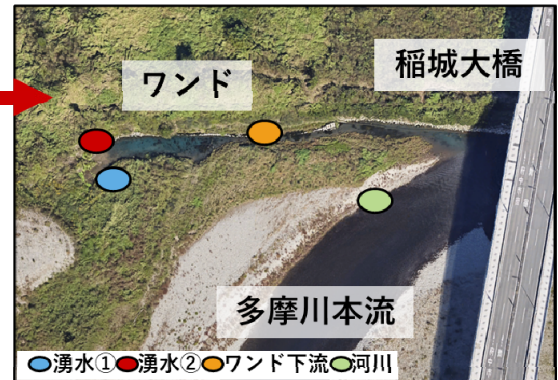


図2. ワンドにおける測定地点

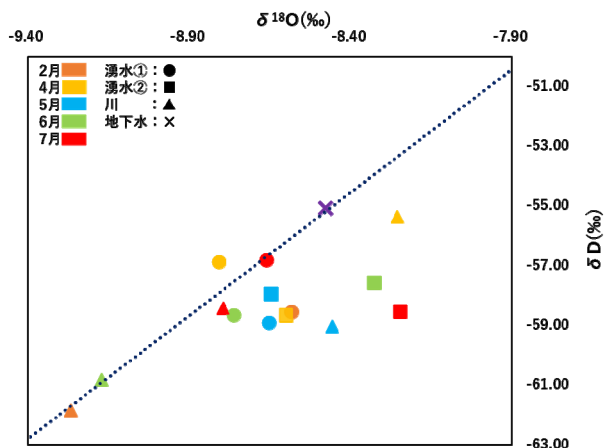


図3. 河川水とワンド湧水の水素・酸素安定動態比 (色が採水月、マーカーの形が採水位置を表す)

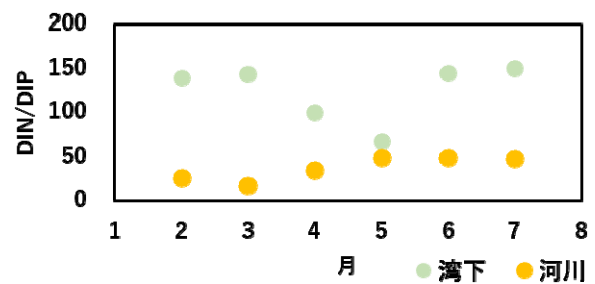


図4. 河川とワンドにおける、DIN/DIP 変動

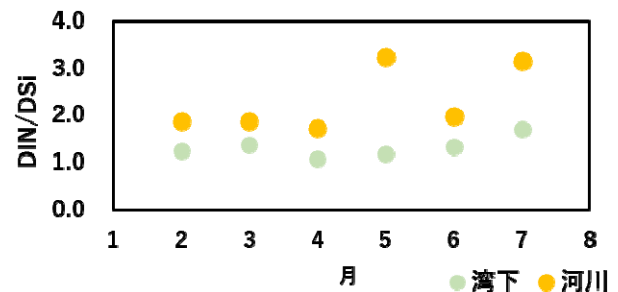


図5. 河川とワンドにおける、DIN/DSi 変動

参考文献

吉田和広, & 小倉紀雄. (1978). 野川湧水中の硝酸塩濃度とその起源. 地球化学, 12(2), 44-51.

\*小田理人（千葉大院・融合理工学府），小寺浩二（法政大・地理）

### 1. はじめに

ナトリウムイオンや塩化物イオンは、陸水の基本的な溶存成分である。これらは人為的な影響をみるための指標ともなりうる物質である。陸水の Na/Cl 比に関する研究は多くが降水中の Na/Cl 比に関するものであり、河川水を扱ったものは菅原(1961)などがあるが数は多くない。河川水中の Na/Cl 比をみることは、流下に伴い河川水質が人為の影響を受けて変化していく過程を観察するのに適した方法であると言える。多摩川水系の浅川は比較的短い区間に山林から都市域までが分布する流域であり、流下に伴う河川水質の変化を観察するのに適した流域である。本研究は多摩川水系浅川をモデルフィールドとして流下に伴う河川水の Na/Cl 比の変化とそれに人間活動が与える影響を解明することを目的とする。

### 2. 対象地域の概要と方法

浅川は東京都八王子市及び日野市を流れる多摩川水系の一级河川である。高度経済成長期に人口増加による人口増加に伴い水質汚濁が問題化した。

2020年6月～2021年9月にかけて月に1回の頻度で浅川流域内の34地点において河川水のサンプリングを実施し、現地で水温、電気伝導度、水素イオン濃度の計測を行った。サンプリングした河川水のうち、電気伝導度の値を鑑みて選定した2020年7月、10月、2021年1月、9月のものは Shimazu 社製のイオンクロマトグラフィーを用いて硝酸イオンの計測を行った。測定されたナトリウムイオンと塩化物イオンの値を等量濃度で Na/Cl 比を求めた。

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 浅川本流

本流の地点(地図上の A の地点)では、上流部はいずれの地点でも 2.4 以上であり、ナトリウムイオンの方が多く存在している。このことは塩化物イオン以外の陰イオンも多く存在していることを示しており、森林生態系の窒素飽和により森林土壌から流出した硝酸イオンや地質由来の硫酸イオンが多いとみられる。流下と支流の合流により Na/Cl 比は下がる傾向にあり、塩化物イオンの占める割合が高くなっている。人為的起源の塩化物イオンが支流や市街地から供給されているとみられる。

#### 3.2 南浅川流域

南浅川流域の地点(地図上の MA の地点)Na/Cl 比は本流と比べて低く、上流においても 1.2～2.0 程度の地点が多く、本流よりも塩化物イオンの割合が高い。南浅川では上流においても河川沿いに民家が点在していることが多く、浄化槽排水等人為的影響による塩化物イオンの供給による影響と考えられる。

#### 3.3 山田川及び湯殿川

下流で合流する山田川(地図上 YM の地点)及び湯殿川(地図上の YD の地点)では 1.1～1.7 の値を示し、他の地域と比べ塩化物イオンの割合が高く、塩化物濃度が多いことが分かる。これらの河川の流域は人口密度の非常に高い地域であり、人為起源の塩化物イオンが多く存在しているとみられる。湯殿川では、流域面積に占める浄化槽整備区域の割合は低いが、浄化槽整備区域内の建物用地の割合が最も高い流域であり、浄化槽排水からの影響が考えられる。

#### 4. おわりに

浅川の流域では地域により河川への人為的影響が異なり、Na/Cl 比の分布もそれにより大きく異なることが明らかとなった。今後はより詳細な無機イオンの分布の要因を解明するため、他のイオンの分布及び季節変化等についても検討する必要がある。

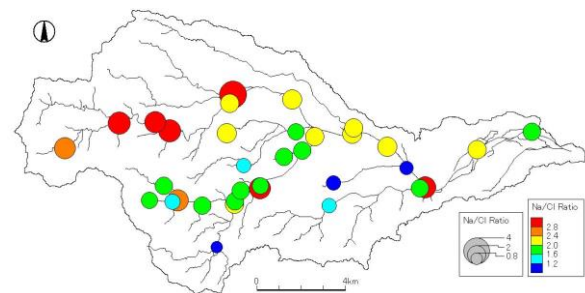


図 1. Na/Cl 比の空間分布 (中央値)

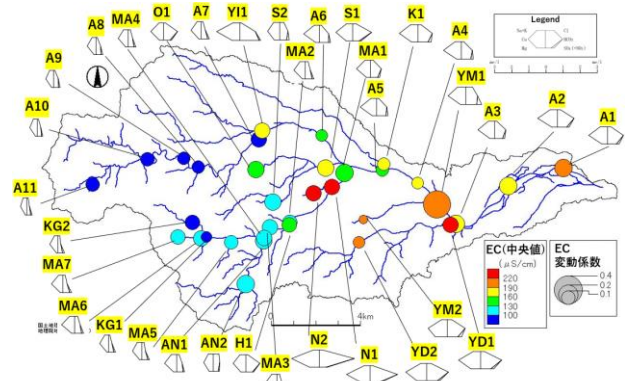


図 2. EC とシュティフダイアグラム (中央値)

#### 参考文献

小田理人・小寺浩二(2022):多摩川水系浅川の水質に関する水文地理学的研究(4).日本地理学会発表要旨集,2022s(0),56.

菅原健(1961):陸水の Na, Cl 及び Na/Cl に就て.陸水学雑誌 22 49-65.

\*山形えり奈(法政大・院), 小寺浩二(法政大・地理)

### 1. はじめに

河川を取り巻く環境は、その河川ごとに異なり、その違いは、河川水質の違いとして現れる。河川には、大気中の浮遊物質が含まれた雨、地質の影響を受けた地下水、地表水、そして生活雑排水や工場排水等の排水の各成分が含まれる。河川水質を調べることは、その流域の特徴を知ることにつながり、また、流域の課題を知る手掛かりとなるため、研究の目的として重要である。

本稿は、河川水質を明らかにする目的で行った調査の結果を報告する。

### 2. 対象地域の概要と方法

対象地域である最上川は、山形県を流下する、幹川流路長約 229 km (全国第 7 位)、流域面積約 7,040 km<sup>2</sup> (同 9 位) の一級河川である。

当流域について、2022 年 3 月から 8 月まで現地調査を行った。調査地点は本流支流を合わせ計 53 地点であり、現地では気温、水温、比色 pH、比色 RpH、電気伝導度 (EC) を測定し、採水を行った。

### 3. 結果と考察

調査結果から、本流の EC は 70~129  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (中央値) で、流下を通して増減する傾向を確認できた (図 1)。EC は上流部で増加するがその後減少し、流域内で最も低い値を示したのち中流部で再び増加と減少があり、下流部では大きく変化せず日本海へ流れ出る。EC が増加する場所は、上流部は米沢盆地、中流部は山形盆地にあたる。山形盆地では、温泉が流入する須川の EC が高く (t19, 196  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )、その合流を受けて本流の EC も上昇すると見受けられる (図 2)。

また、最上流部である m01 では、pH 4.8 (いずれも中央値) を記録し、他の地点が pH 6.7~7.0 であることと比較すると、特異的な結果であった。最上川は、火山群である吾妻連峰の一部、西吾妻山 (標

高 2,035 m) を源とすることから、火山性の成分が反映されていることが推察される。

支流では、t06~t08, t21, t23 など EC 80  $\mu\text{S}/\text{cm}$  以下と低かった。これらの河川は、同時に水温も 8.8~13.5°C (中央値) で他の地点より低く、各流域の上流部が山岳地帯であるため、雪解けの水の影響が調査結果に反映されていると思われる。

支流において、EC の最低値を最も多く記録した月は 4 月 (17 地点)、次いで 3 月 (12 地点) であった。3 月は須川流域 (t09~t19)、4 月は上流部 (t01~03) および鮭川流域 (t26~t33) で最低値を示す地点が多かったことから、山岳部の雪解けのピークが地域によって異なることが示唆された。また、5 月が最も多くの地点で EC の最高値を記録し (14 地点)、須川流域の地点が多かった。

### 4. おわりに

調査を行うことで、各流域で異なる特徴が見られた。今後調査を継続し、季節的な変動を確認するとともに、主要溶存成分を分析し、河川水質およびその形成要因の議論を深めていきたい。

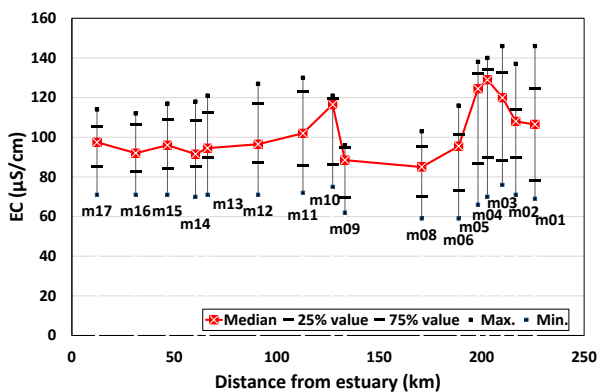


図 1. 本流の EC の縦断方向の変化

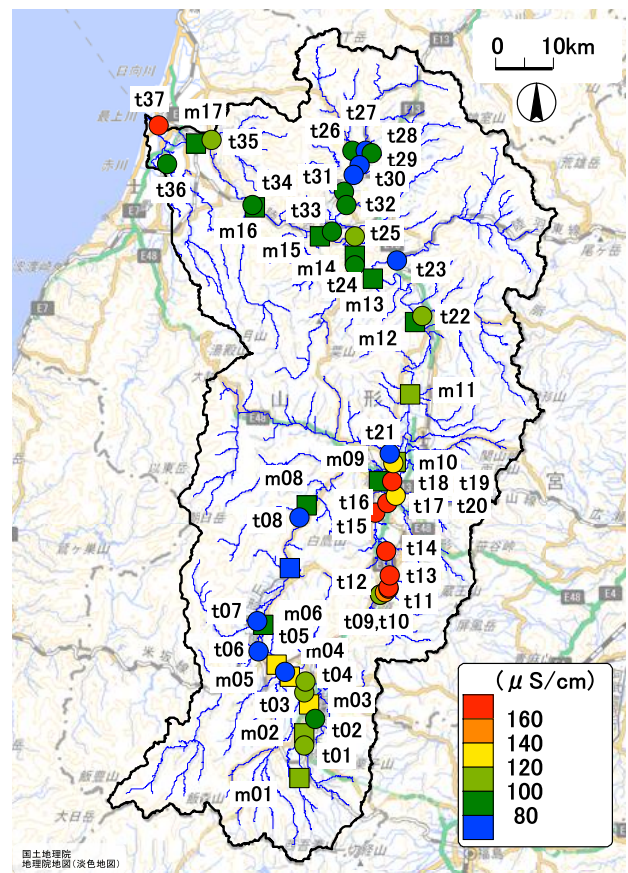


図 2. EC の空間分布



## 5. 積雪寒冷地の地質条件が異なる流域の将来水温予測

\*鈴木 啓明(室工大・工, 道総研), 中津川 誠(室工大・工), 石山信雄(道総研)

### 1. はじめに

気候変動に伴い、積雪寒冷地では冷水性魚類の生息適地の縮小など、水温上昇による河川生態系への影響が懸念される。適応策の検討のためには、河川水温の変化に関する詳細な予測が重要である。影響の程度は地域特性に応じて異なり、地質の違いは重要な要素の一つと考えられる<sup>1)</sup>。そこで本研究では、積雪過程を考慮した水循環モデル及び水温推定モデルを用いて、地質条件の異なる積雪寒冷地の河川において、気候変動に伴う河川水温の将来予測を行った。

### 2. 方法

2018年3月から2019年9月まで、北海道空知川上流部(図1)の主に第四紀火砕流堆積物が分布する2つの小流域、及び主に中生界が分布する2つの小流域で水位と水温を測定した。現地調査から求めたマンギングの粗度係数をマンギングの平均流速の式に適用し、日平均水位を河川流量に換算した。この河川流量と水温を、後述のモデルで算出した値の再現性の検証に利用した。

積雪と融雪のプロセスを組み込んだ大気・陸面過程モデル<sup>2)</sup>を用いて、1kmメッシュごとに日別の降水量、融雪量及び蒸発散量を計算した。入力する気象データとして、現況(2018年3月から2019年9月)の再現には日本気象協会北海道支社のダウンスケーリングデータを、過去気候(1985-2004)と将来気候(2081-2100)の計算には上田ら<sup>3)</sup>のダウンスケーリングデータを使用した。

大気・陸面過程モデルから得た1kmメッシュごとの有効降水量を菅原<sup>4)</sup>の4段タンクモデルに入力し、斜面流出量を求めた。火砕流堆積物分布域では、地下水の伏流を考慮してタンクモデルのタンク4段目の底に孔を追加し、その孔から浸透した水量が、その小流域の下流の空知川本流で流出すると仮定して計算した。タンクモデルのパラメータは、最適化手法の一つであるSCE-UA法を用いて小流域ごとに探索し、試行錯誤により調整した。斜面流出量を合計し、Kinematic Wave式を用いて河道追跡を行い、河川流量を算出した。

河川水温については、斜面からの流出水の水温フラックスと水面熱収支式に基づく大気・水面間の水温フラックス(水温フラックスは流量と水温の積、 $m^3/s \cdot K$ )をそれぞれ計算し、順次加えて河道追跡を行い、水温フラックスの和を流量で除して日ごと・メッシュごとに推定した。斜面からの流出水については、タンクモデルの各タンクからの流出成分ごとに異なる水温を与えた。タンク1段目の水温は、積雪時は $0^\circ C$ 、非積雪時は気温と平衡していると仮

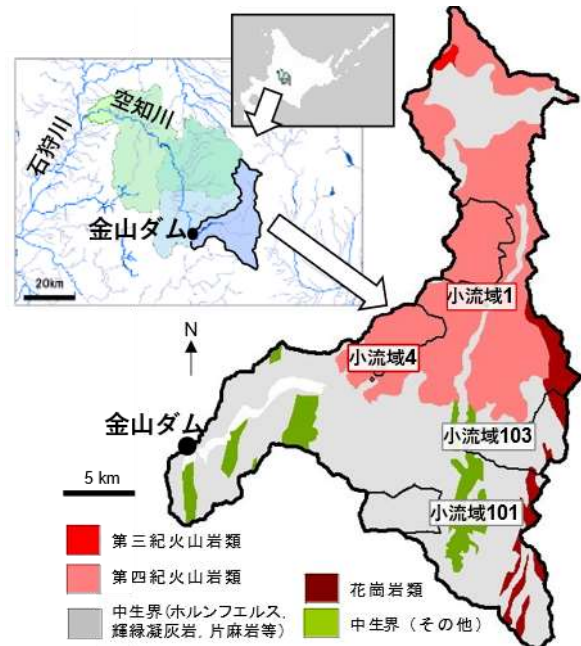


図1. 対象流域と地質構成

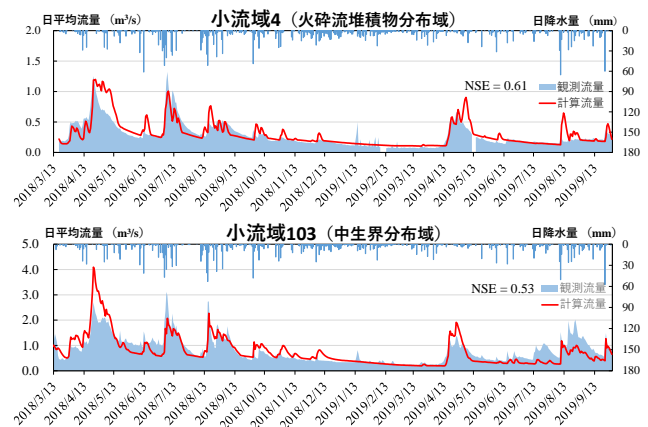


図2. 小流域の河川流量の現況再現結果

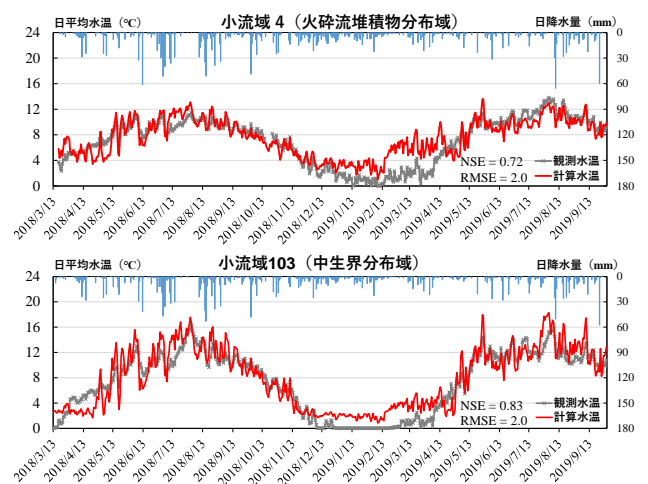


図3. 小流域の河川水温の現況再現結果

定して日平均気温（下限 0 °C）を与えた。タンク 4 段目の水温は恒温層の地温に相当すると仮定し、現況再現及び過去気候では年平均気温に 1.5 (°C)を加えて与えた。将来気候では、地下水温が気温にどう応答するか不明であるため、(a) 過去気候と将来気候で平均的な地下水温が変わらない場合と、(b) 気温の上昇量と等しく地下水温が上昇する場合の 2つの場合を計算した。タンク 2 段目とタンク 3 段目の水温は、タンク 1 段目とタンク 4 段目からの流出水の水温を按分して与えられると仮定した。観測水温をよく再現できるよう、タンク 2 段目とタンク 3 段目、火砕流堆積物分布域と中生界分布域のそれぞれについて、異なる按分係数を与えた。

### 3. 結果と考察

流域 4 及び小流域 103 における流量の再現結果を図 2 に、水温の再現結果を図 3 に示す。積雪期の再現には課題が残るものの、年間を通じた実際の流量及び水温が概ね良好に再現された。より地下水流出の寄与の大きい火砕流堆積物分布域（小流域 4）では、中生界分布域（小流域 103）に比べ年間の流量変動及び水温変動が小さくなっている。

過去気候と将来気候における 4 つの小流域の河川水温を図 4 に、河川水温の過去気候から将来気候にかけての変化量を各月の平均値で図 5 に示す。

(a), (b) のいずれの場合も、火砕流堆積物分布域では年間の水温変動が比較的小さく、夏の水温は中生界分布域よりも低く保たれることが確認された（図 4）。ただし、火砕流堆積物分布域の水温上昇量は、地下水温の上昇がないと仮定した (a) では年平均 1.4 °Cにとどまるのに対し、地下水温が気温と同じだけ上昇すると仮定した (b) では年平均 4.6 °Cとなる（図 5）。中生界分布域の水温上昇量（a : 2.5 °C 上昇, b : 3.9 °C 上昇）と比較すると、(a) ではやや小さいが、(b) では同程度かやや大きい。すなわち、気温上昇に伴い地下水温がどの程度上昇するかによって、火砕流堆積物分布域の水温上昇を地下水が緩和する効果の大きさが異なり、地下水温の上昇が大きい場合はこの効果が弱くなる。

以上のような、気候変動の影響下における地質条件の違いに応じた河川水温の将来変化に関する知見は、冷水性魚類のために優先的に保全すべき河川の検討など、河川生態系に関する適応策検討に有用と考えられる。

#### 謝辞

本研究は国土交通省河川砂防技術研究開発公募地域課題分野（河川生態）の助成（FY2018～FY2022）を受けて実施した。

#### 参考文献

1) Ishiyama et al., The role of geology in creating stream climate-change refugia along climate gradients. bioRxiv, doi:10.1101/2022.05.02.490355, 2022.

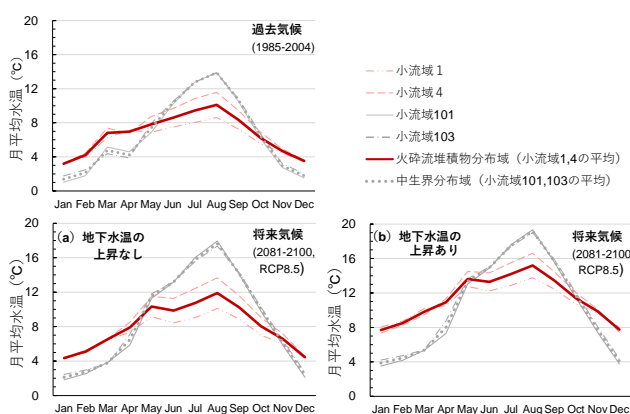


図 4. 過去気候と将来気候 (RCP8.5) の河川水温の推定。

a : 地下水温が過去気候から変わらないと仮定。  
b : 地下水温が気温と同じだけ上昇すると仮定。

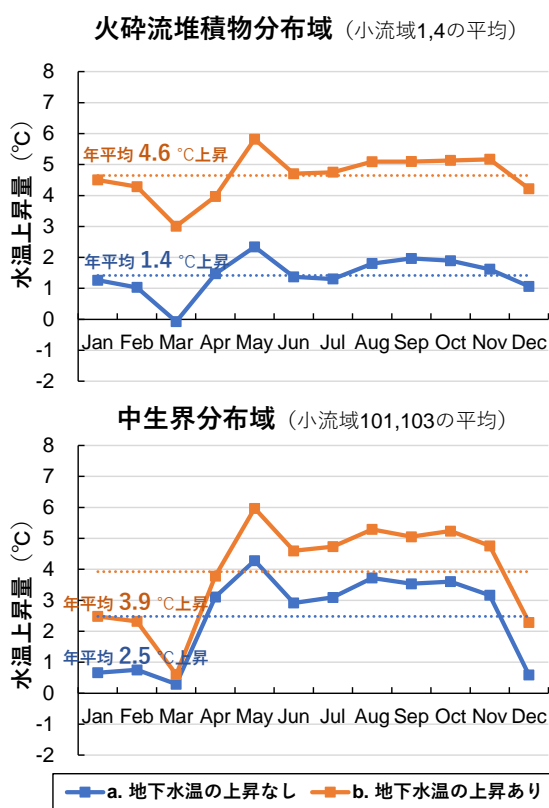


図 5. 河川水温の変化量

(過去気候と将来気候 (RCP8.5) の差)。

a : 地下水温が過去気候から変わらないと仮定。  
b : 地下水温が気温と同じだけ上昇すると仮定。

- 2) 臼谷ら, 石狩川流域における水循環の定量化について, 水工学論文集, Vol.49, pp.229-234, 2005.
- 3) 上田ら, 北海道を対象とした流域水収支の検証に基づく高解像度ダウンスケーリング気候情報の推定, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.76, No.2, pp. I\_25-I\_30, 2020.
- 4) 菅原, 流出解析法, 共立出版, 1972.

## 6. 北海道釧路市の春採湖の結氷条件と将来の結氷日および解氷日の予測

\*牛塚貴博（北見工大・工学），亀田貴雄（北見工大・工学），  
吉川泰弘（北見工大・工学），佐藤和敏（北見工大・工学）

### 1. はじめに

北海道釧路市にある春採湖は毎年冬季に全面結氷する。本研究では春採湖の結氷データと気象データを用いて春採湖の結氷過程や結氷条件，結氷前に全面結氷日や全面解氷日を予測する方法，全面結氷日，全面解氷日，氷厚の将来予測を行うこと方法を明らかにすること目的とする。本研究では次の項目について調べている。(1) 気象データ（日平均気温の移動平均，月平均気温）と結氷データの関係，(2) 気候パターンや SST (Sea Surface Temperature) と結氷の関係，(3) 氷厚の数値計算，(4) 全面結氷日や全面解氷日の予測，結氷状況の将来予測，(5) インターバルカメラ画像，衛星画像を用いた春採湖の結氷過程。当日は上記の内容について発表する。

### 2. 対象地域の概要と解析方法

春採湖は北海道釧路市に位置する海跡湖である(図 1)。湖周辺は市街地である。春採湖の面積は 0.36 km<sup>2</sup>，平均水深は 1.7 m と周囲の塘路湖などと比較しても浅く小さい湖である。春採川という流入河川がある。海への流出部には堰が設けられており，海水の逆流を防いでいる。湖岸は公園として利用されており，多くの市民が散歩などに利用している。

湖岸に位置する釧路市立博物館では 1985 年以降，毎年の春採湖の全面結氷日と全面解氷日を記録している。本研究では全面結氷日と全面解氷日の記録と気象データの関係について調べる。気象データは釧路地方気象台の移転補正済み日平均気温および月平均気温のデータを用いた。気象庁の釧路沿岸 SST，各種気候パターンの index (NOAA の CPC:Climate Prediction Center)，再解析データ ERA5 (ECMWF)，海面水温データ OISST (NOAA) と結氷データや釧路の気温との関係についても調べた。熱収支モデルによる氷厚の数値計算のパラメータ決定には春採湖の氷厚データ (Toukairin1994 など) を用いた。再解析データの将来予測モデルデータ (CMIP6) を用いた将来予測も実施した。

### 3. 結果

図 2a に釧路地方気象台の日平均気温の 121 日移動平均がその年初めてマイナスになった日および月平均気温と全面結氷日の関係を示す。図 2a，図 2b とともに t 分布検定で有意水準 0.1 % で有意な関係があった。図 2a の相関係数は 0.82 であり，相関係数が 0.70 となった図 2b の関係よりも相関が強い。この理由は，11 月もしくは 12 月に入っすぐの時期に全面結氷を迎えた場合は 12 月の気温の影響を受けないため 12 月平均気温を用いると関係が弱く



図 1. 釧路市周辺の航空写真と春採湖の位置。国土地理院，地理院地図（電子国土 Web）から引用。

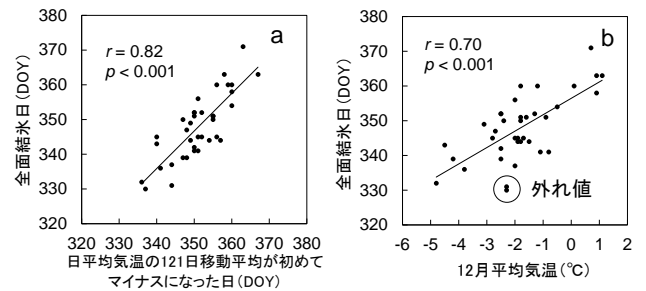


図 2. (a) 日平均気温の 121 日移動平均が初めてマイナスになった日と全面結氷日の関係，(b) 12 月平均気温と全面結氷日の関係

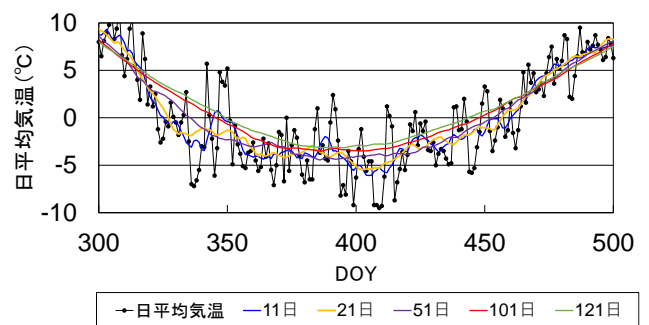


図 3. 気温の移動平均の計算期間を 11 日から 121 日の範囲で計算期間を変えたときの 1990 年の例

なるが，日平均気温の移動平均を用いた図 2a の関係ではこのような問題が発生しないからだと考えられる。11 日から 121 日の範囲で計算期間を変えたときの 1990 年の例を図 3，各計算期間での図 2a の関係の相関係数を図 4 に示す。図 4 では計算期間を 121 日にしたときの相関係数が最も高かったため，計算期間には 121 日を使用した。移動平均の計算方

法は、121日移動平均であれば中央日と前後60日の平均を移動して計算した。図5に図2aの関係と過去の気温データから推定した1911年以降の全面結氷日を示す。月平均気温との関係(図2b)から推定した全面結氷日は10.5 days/100yrの割合で遅くなっていることに対して、図2aの関係を用いて推定した全面結氷日は8.2 days/100yrの割合で遅くなっている。

気象庁は28日間の平均気温の予報を「1か月予報気温」として提供しており、リアルタイムの予報データに加え、現在の技術を用いて過去の予報を再度行った再予報データを提供している。気象庁の1か月気温予報の再予報データが入手可能な1992年から2021年の12月3日から12月30日の28日平均気温の再予報値と全面結氷日の関係を調べたところ、有意な関係があった(図6)。この関係を用いると、12月30日時点で±6日の精度で全面結氷日が予測できることがわかった。全面結氷日の実測値と図6の関係から推定した全面結氷日を図7に示す。

当日は再解析データのSSTデータ(OISST)や地上2m気温(ERA5)と釧路の気温の関係、インターバルカメラ画像や衛星画像を用いた春採湖の結氷過程の推定(図8,9)、結氷状況の将来予測についても報告する。

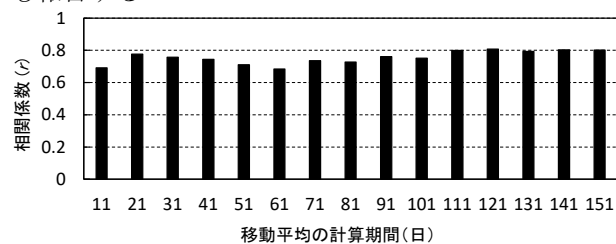


図4. 日平均気温の移動平均の計算期間を変えたときの図2aの関係の相関係数

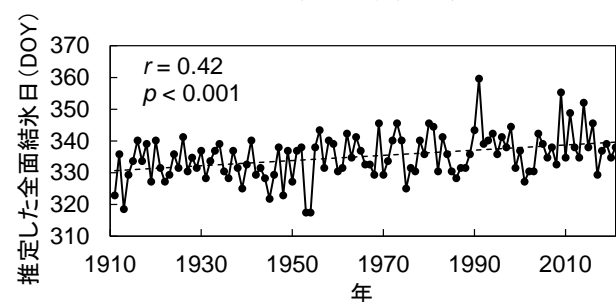


図5. 図2aの関係と過去の気温データから推定した1911年以降の全面結氷日

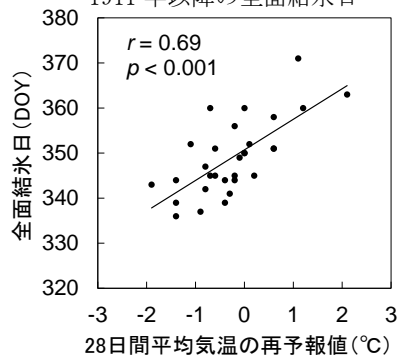


図6. 1992年から2021年の12月3日から12月30日の28日平均気温の再予報値と全面結氷日の関係

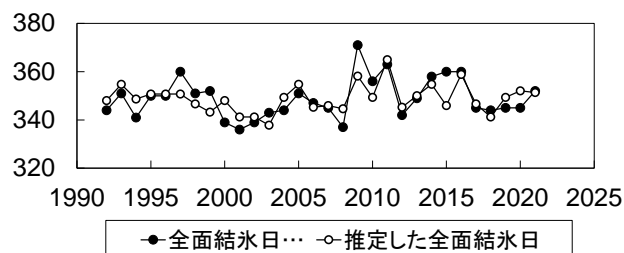


図7. 全面結氷日の実測値と図6の関係から推定した全面結氷日



図8. 湖岸に設置したインターバルカメラと気温測定用の温度計

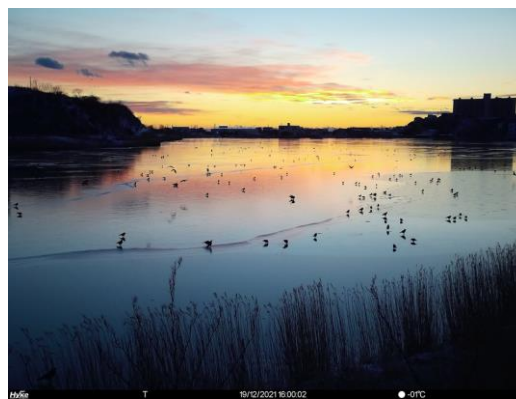


図9. 春採湖が全面結氷したときのインターバルカメラ画像

#### 参考文献

- 1) 牛塚 貴博, 亀田 貴雄, 吉川 泰弘, 野本和宏, 貞國 利夫, 加藤 ゆき恵, 山代 淳一: 北海道釧路市の春採湖の結氷と気象データの関係, 雪氷研究大会(2021・千葉)講演要旨集.
- 2) 牛塚 貴博, 亀田 貴雄, 吉川 泰弘: 北海道釧路市の春採湖の氷厚の変化傾向と将来予測, 雪氷研究大会(2022・札幌)講演要旨集.
- 3) Toukairin, A., 1994: Frequency and variation of radially-grown melt patterns on ice plates by the effect of sea water inflow beneath ice plates caused by tide-generating force. *Proceedings of the 9th International Symposium on Okhotsk Sea and Sea ice*, 9, 301-306.

## 7. 摩周湖の全面結氷条件の解明およびそれに基づく 2021~2023 年冬季の全面結氷日の予測

\* 亀田貴雄 (北見工業大学), 蜂谷 衛 (無所属)  
仁平慎吾 (北見工業大学学生, 現在は茨城県大子町役場勤務), 細川音治 (無所属)

### 1. はじめに

摩周湖は全面結氷になる年と部分結氷になる年があることが知られている (細川・蜂谷, 2004)。亀田ら (2022) は 1974 年冬季以降, 摩周第一展望台および第三展望台から毎年実施されている結氷観測のデータと周囲 (川湯, 弟子屈) の気象データを用いて摩周湖が全面結氷する気象条件を明らかにした。その結果, 川湯の 2 月の月平均気温が  $-8.9^{\circ}\text{C}$  以下になると, 95.5% の確率で全面結氷することがわかった。また, 摩周湖は 1974 年から 2021 年冬季までの 48 年間で 27 回全面結氷しており, その割合は 56.3% であることもわかった。

一方, 亀田ら (2022) は摩周湖の全面結氷には前年の夏季気温, 特に 6 月から 8 月の日最高気温の平均 ( $T_{\max, \text{JJA}}$ ) と相関が高いことを指摘した。これは摩周湖には定期的な流入および流出河川がないため, 巨大な「水たまり」と考えることできる。このため夏季に湖水が蓄えた熱量が結氷時期に影響を与えていることを示唆している。摩周湖の透明度は現在でも 20~25 m 程度であり (弟子屈町, 2021), 透明度が高いことが知られている。このことも夏の気温と冬の結氷との関係の成立に影響している可能性がある。つまり, 摩周湖の全面結氷は 2 月の気温とともに, 夏季の気温の影響を受けていることを指摘した。

また, 亀田ら (2022) は夏季の気温と全面結氷と関係を用いることで摩周湖の全面結氷日が予測できる可能性も示した。これは観光業にとっても有益な情報になると考えられる。

今回は最初に亀田ら (2022) の結果を紹介し, 次に 2021 年から 2023 年冬季の全面結氷日の予測について報告する。ここで, 2021 年冬季の予測は亀田ら (2022) ですでに報告したが, 2022 年冬季の予測と実際, 2023 年冬季の予測は今回初めて報告する。

### 2. 全面結氷日の予測方法

図 1a に川湯アメダスの夏季気温と摩周湖の全面結氷日までに日積算寒度との相関係数, 図 1b に弟子屈アメダスと同様の結果を示す。この結果, 前年 11 月 1 日から摩周湖の全面結氷日までの日積算寒度の絶対値 ( $T$ ) は川湯アメダスの 6 月 1 日から 8 月 31 日までの日最高気温の平均 ( $T_{\max, \text{JJA}}$ ) と最も相関が高いことがわかった。図 2 にこの関係を示す。図 2 の回帰直線は(1)式となった。

$$T = 38.3T_{\max, \text{JJA}} - 132.8 \quad (1)$$

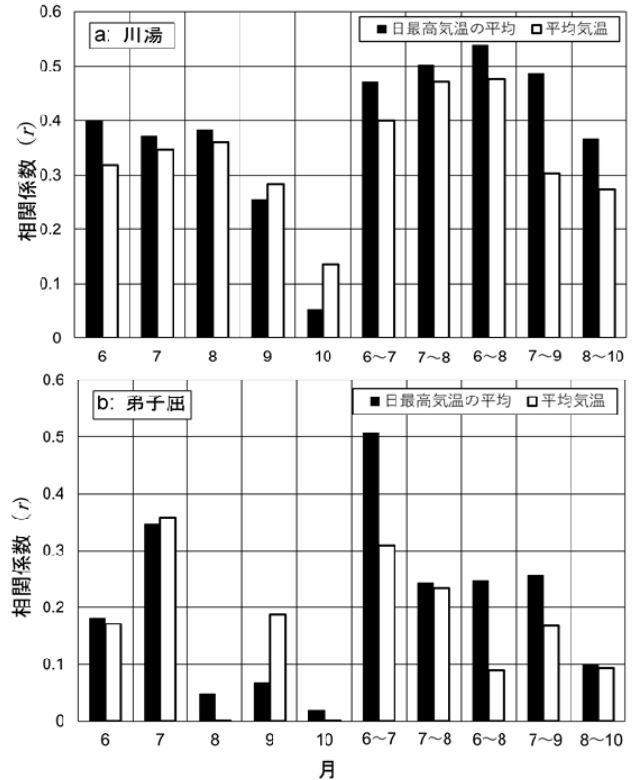


図 1. (a)川湯アメダスの夏季気温と摩周湖の全面結氷日までの日積算寒度との相関係数および (b)弟子屈アメダスの夏季気温と摩周湖の全面結氷日までの日積算寒度との相関係数. 川湯アメダスで夏の気象データが存在する 1978 年 6 月 1 日以降で, 全面結氷した 24 年間で全面結氷日が不明な 3 年間 (1979, 1980, 1987), 2003 年および 2021 年を除いた 19 年間で比較 (亀田ら, 2022 の図 13 を転載) .

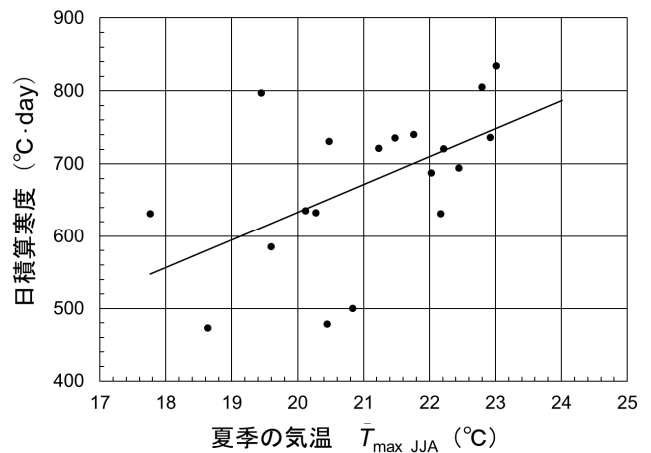


図 2. 全面結氷日までの日積算寒度と 6~8 月の日最高気温の平均 (川湯アメダス) の関係 (亀田ら, 2022 の図 14 を転載) .

### 2.1 9月1日での全面結氷日の予測

9月1日時点での全面結氷日の予測は亀田ら(2022)にも記載のように、(1)式の結果と亀田ら(2022)の表6を用いた。

### 2.2 1月1日での全面結氷日の予測

1月1日時点での全面結氷日の予測は亀田ら(2022)にも記載のように、(1)式の結果と11月1日から12月31日までの積算寒度および亀田ら(2022)掲載の表7a~7cのどれかを用いて実施した。1月1日時点の全面結氷予測では12月31日までの冬季気温のデータが使えるため、この期間での積算寒度に基づき、その年の冬を寒冬、通常の冬、暖冬に分類し、それに基づき表7a(寒冬用)、7b(通常の冬用)、7c(暖冬用)を使用した。

### 2.3 1月15日時点での全面結氷日の予測

11月1日から翌年1月14日までの日積算寒度を用いて、2.2項と同様に実施した。日積算寒度と日付との関係は、表8a(寒冬用)、表8b(普通の冬用)、表8c(暖冬用)を使用した。

## 3. 2021年から2023年冬季の全面結氷日の予測

表1に2021年から2023年冬季での全面結氷日の予測と実際をまとめた。2021年冬季の結果はすでに亀田ら(2022)で報告済みである。

2022年冬季は前年の6月1日から8月31日が暖かい日が多く、この期間の川湯アメダスの日最高気温の平均は23.61℃であった(1991~2020年の平均気値は21.4℃)。このため、全面結氷に必要な日積算寒度が大きな値(771.46℃)となり、2021年9月1日時点での全面結氷日の予測は3月1日±13.8日となった。

また、11月1日から12月31日までの日積算寒度は164.0℃・dayであり、暖冬となった。このため、2022年冬季全面結氷日の予測は亀田ら(2022)の

表7c(暖かい冬用)を用いた。この結果、2022年1月1日時点での全面結氷日は3月10日±9.5日と予測できた。1月16日の予測は3月11日±7.6日となった。これまでの観測で最も遅い全面結氷日は3月2日(2005年)であり、これらの結果はそれよりも遅い日となった。このため、2022年1月25日に北見工業大学が出した亀田ら(2022)のプレスリリース資料(北見工業大学、2022)では全面結氷しない可能性を亀田は指摘した。実際、2022年冬季の摩周湖は全面結氷せず、部分結氷であった。

同様の方法で2022年9月1日時点での2023年冬季の全面結氷日を予測すると、表1に示すように2023年2月21日±12.3日となり、2023年冬季の摩周湖は1年ぶりに全面結氷する可能性があることがわかった。

そのため、実際の2023年冬季に摩周湖がどのような結氷状況になるのか、今から楽しみである。

### 参考文献

- 細川音治, 蜂谷 衛 (2004) : 表 5.8 摩周湖の結氷記録. GEMS/Water 摩周湖モニタリングデータブック, 96, <https://www.cger.nies.go.jp/publications/report/m016/M016.pdf>
- 亀田 貴雄, 蜂谷 衛, 仁平 慎吾, 細川 音治 (2022) : 摩周湖の全面結氷条件の解明およびそれに基づく2021年2月の全面結氷日の予測. 雪氷, **84(1)**, 65-88.
- 北見工業大学 (2022) : 48年間の観測データから摩周湖が全面結氷する状況を解明 ~2022年冬季の結氷も予測~. <https://www.kitami-it.ac.jp/wp-content/uploads/2022/01/20220125pressrelease.pdf>
- 弟子屈町 (2021) : 摩周湖の透明度推移. <https://www.town.teshikaga.hokkaido.jp/kurashi/soshi/kiichiran/kankyoseikatsuka/1/2/2667.html>

表1. 2021~2023年冬季の摩周湖の全面結氷日の予測と実際.

予測日	全面結氷日 (予測)	全面結氷日 (実際)	予測誤差	出典
2020年9月1日	2021年2月22日±13.0日 (2月9日~3月7日)	2月14日	+8日	亀田ら(2022)
2021年1月1日	2021年2月10日±8.5日 (2月1日~2月19日)	2月14日	-4日	亀田ら(2022)
2021年1月16日	2021年2月8日±8.6日 (1月31日~2月17日)	2月14日	-6日	亀田ら(2022)
2021年9月1日	2022年3月1日±13.8日 (2月15日~3月15日)	なし (部分結氷)	-	-
2022年1月1日	2022年3月10日±9.5日 (2月28日~3月20日)	なし (部分結氷)	-	-
2022年1月16日	2022年3月11日±7.6日 (3月3日~3月19日)	なし (部分結氷)	-	-
2022年9月1日	2023年2月21日±12.3日 (2月8日~3月6日)	今後	-	-

## 8. 北海道・然別湖の結氷下における水温特性について

\*大八木英夫（南山大），知北和久（北海道大），  
澤田結基（福山市立大），金森晶作（とちち鹿追ジオパーク）

### 1. はじめに

ジオパークは、ユネスコの正式プログラムで、地球科学的価値の高い自然環境を保護・保全し、教育やツーリズムに活用しながら、地域の持続可能な開発を進める地域認定プログラムである。2022年10月現在、46地域が日本ジオパークネットワークに加盟しており、その内9地域がユネスコ世界ジオパークである。「とちち鹿追ジオパーク」は、北海道東部に広がる十勝平野の北西部に位置する鹿追町全域をエリアとし、2013年12月に日本ジオパークネットワークに加盟している。とちち鹿追ジオパークの地域のテーマは、「火山と凍れ（しばれ）が育む命の物語」であり、風穴地帯の永久凍土をはじめとする然別湖およびその周辺の自然環境で構成されている。然別湖では、冬季に湖上に雪と氷を使った建物が造られ、湖の結氷を観光資源にしている地域でもある。気候変動の影響を最も強く受ける水環境は水温と凍結現象であり、凍結現象が観光資源になっている然別湖において水温環境の解明は急務であるといえる。本発表では、湖水の主に水温環境の季節変動について議論する。

### 2. 対象地域の概要と方法

然別湖は、大雪山国立公園唯一の自然湖であり、標高804mと北海道内では最も高い場所に位置する。最大深度は98.5m、流入河川（主にヤンベツ川）と流出河川（然別川）のある開放湖である。観測は、湖内（10地点）および流入・流出河川において実施し、各地点において水温、電気伝導度（EC）、溶存酸素（DO）、濁度、クロロフィルの鉛直観測（JFEアドバンテック社 RINKO Profiler）を実施した。また、最深地点では、表層（1m、1.5m、2m、3m、20m、50m、90m、95m、湖底（98.5m））に水温計（Onset社水中用温度計測データロガーおよびJFEアドバンテック社高精度水温計）を設置し、湖底にはJFEアドバンテック社小型メモリー水温塩分計を係留した。

### 3. 結果と討論

夏季（2021年8月）の観測日の透明度は17.4mで、水温躍層は約8~15mにかけて形成されていた。水深40mの水温分布に注目すると、4.0~4.3℃の範囲にあり、深度が増すにつれて概ね水温が上昇傾向にある。しかし、地点毎にばらつきはあるものの部分的に水深約50mや約90mの層では、水温が顕著な低下傾向にあるなど、他の大深度湖沼の深層の水温環境と比べると異なる傾向にある。この傾向は、結氷期（2022年2月）や2022年の夏季

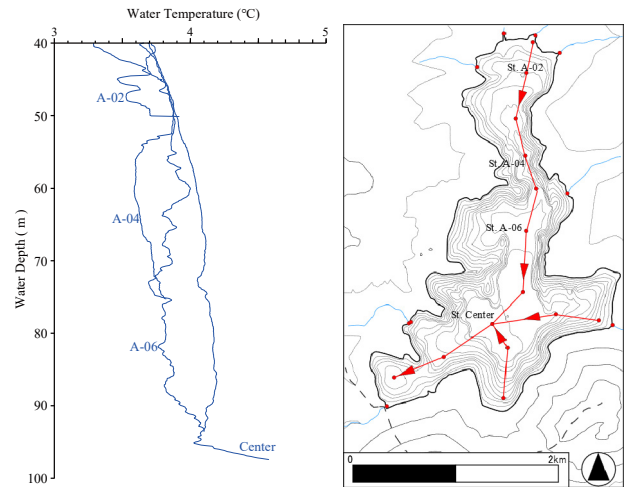


図1 結氷期における40m以深の水温鉛直分布  
左図には、横断的に各地点の水温を示し、右図には観測地点を示す。

も同じような傾向にあった。結氷期に注目すると（図1）、全面結氷状態では、一般的に水面が風応力を直接受けないため鉛直循環が不活発になり、深層では水温の変動はほとんど生じないが、水深40m以深で3.3~4.6℃の範囲で変化した。また、1年間の水温計測の結果（図2）、春の循環期間が短く（5/6・5/7の2日間）、それ以降、水深50m層と90m層の水温が逆転しており、特徴的な水温変化がみられた。結氷した場合は、吹送流がなくなり、密度流も弱くなるため傾斜流が顕著に表れ、結氷期の水温鉛直分布（図1）からも、その影響がみられたと考えられる。

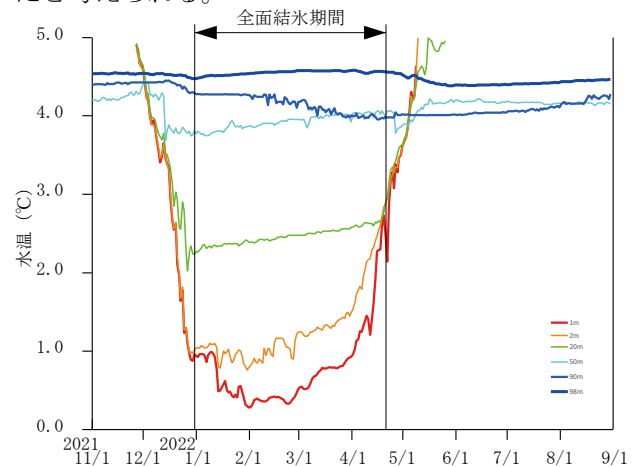


図2 然別湖における水温の季節変動

謝辞

本研究における水質分析は、北海道立総合研究機構にて行った。当機構における山口高志氏、長谷川祥樹氏には、心よりお礼申し上げます。

## 9. 北海道・然別湖における湖底水質の形成メカニズム

\*齋藤 圭（京都大院・地熱），長谷川祥樹（北海道立総合研究機構），大八木英夫（南山大）

### 1. はじめに

然別湖は大雪山国立公園に属する唯一の自然湖である。2013年12月に日本ジオパークに認定された「とち鹿追ジオパーク」の重要なサイトで、地球科学的に価値の高い自然環境として認知されている。また、湖周辺には然別湖温泉が湧出（揚湯有）し、冬季の湖の結氷現象と併せて観光資源としての価値も高い。一方、然別湖と然別湖温泉の水質・泉質特性などに関する研究はそれほど多くない。湖の保護・保全について考える際、湖の水質形成メカニズムの理解は重要である。そこで本研究では、然別湖の湖底水質の形成メカニズムの把握を目的とし、湖と温泉の関係について考察した。

### 2. 対象地域の概要と方法

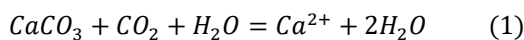
然別湖は北海道十勝地方北部、標高804mに位置する堰止湖である。火山地域であることから、安山岩質の火砕流堆積物が大部分を占め、他は一部の流入河川周辺で河川堆積物がみられる程度である。然別湖温泉は湖南西部に位置し、深さ100mから揚湯されている。泉質は食塩泉に分類され、泉温は50～60℃と比較的低温である。

分析試料（2022年分析）は湖岸から排水されて湖へ流入する温泉（H1）と民間会社が保有する温泉（H2）、解析試料（2021年分析）は先述に加え、湖心における水深0、30、65、90、98mの湖水、流入河川水（ヤンベツ川、St.A）の合計8本である。解析はアメリカ地質調査所が無料で公開している地球化学コード、PHREEQCを用いた。

### 3. 結果と考察

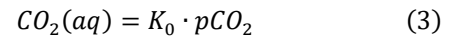
湖の水質形成メカニズムを把握するため、流入河川水と温泉の混合シミュレーションを行った（図1）。河川水（St.A, Ca-HCO<sub>3</sub>型）と各温泉水（Na-Cl型）を1:1～200:1の比率で混合させ、その時に生成される混合液の水質をそれぞれプロットしている。湖水は混合液と非常に近い位置にあることから、湖の水質は濃度の低い一般的な河川水・地下水とそれらよりも高濃度な温泉水の混合によって形成されると考えられる。しかし、水質の濃度を考慮すると、湖底水質は他と比べてCa<sup>2+</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が高く、混合シミュレーションでは説明がつかない。

Ca<sup>2+</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が高くなる原因はCalcite（方解石）との化学平衡が考えられ、Calciteと水との溶解反応は次式(1)で示される。



このことから、湖底の水質におけるCa<sup>2+</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度

の増加は外部からのCO<sub>2</sub>ガスの供給によるものだと考え、CO<sub>2</sub>ガス供給シミュレーションを行った。二酸化炭素と水の化学反応は気液平衡と水溶液中の化学平衡で示すことが出来る（式(2)、(3)）。



ここで、K<sub>0</sub>は気液平衡のヘンリー一定数である。シミュレーションでは、水深60mと90mの試料を基に、湖底を想定した圧力下（8 atm）において、あるpCO<sub>2</sub>値と平衡状態であると仮定して、Calciteの平衡計算を行った（実際の湖底水におけるCalciteの飽和指数-1.69に準じた）。結果として、湖底の水質はpCO<sub>2</sub>にして0.02～0.04 atm相当が平衡状態であれば、実際の水質タイプと同質になることが示唆された。周辺の温泉水のpCO<sub>2</sub>値（0.2～0.3 atm）とδ<sup>13</sup>C値（11.37～11.94‰）から、マグマ由来に近いCO<sub>2</sub>ガスの影響がみられ、それらの影響が湖底水質にも反映されていると考えられる。一方で、湖底水質ではNa<sup>+</sup>とCl<sup>-</sup>の濃度増加は微量であることから、温泉水の湖底への直接的な流入はほとんどないと考えられる。

### 謝辞

本研究はJSPS科研費JP21K13150の助成により行われた。研究を進めるにあたり、とち鹿追ジオパーク推進協議会の金森晶作氏には現地コーディネーターとしてお世話になった。心より御礼申し上げます。

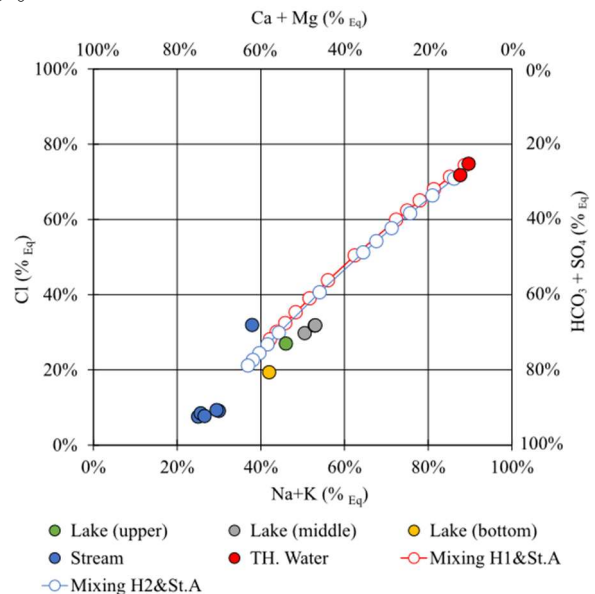


図1. 混合シミュレーションの結果を反映させたキーダイヤグラム



# 10. 秋田県・田沢湖の水収支・化学物質収支に基づく水循環機構

\*知北和久(北大・北極セ), 網田和宏(秋田大・理工), 大八木英夫(南山大), 岡田純(気象研)

## 1. はじめに

秋田県・田沢湖では、発電と灌漑のため 1940 年に強酸性温泉水を含む玉川の水が導入され、これによって湖水の pH が 6.7 から 4.2 に低下し、固有種のクニマス（紅鮭の陸封型）が絶滅した（図 1）。1991 年に、玉川温泉下流に中和処理施設が建設され、これによって湖水 pH は 4.2 から 5.2 に上昇し、現在に至っている。本発表では、田沢湖に流入する玉川（図 1 の導水路 A）と先達川（pH=6.5~7）（同導水路 B）、および流出導水路 C の流量に関する水収支と  $\text{SO}_4^{2-}$  の負荷量収支の評価から、同湖の地下水流入量・流出量を定量的に求め、pH をはじめとする同湖の水質変動を長期的に探ることとする。また、これまでの研究で評価された火口湖やカルデラ湖の地下水流入量・流出量を比較し、湖を形成させた火山噴火規模と湖水循環の規模との関係を明らかにする。

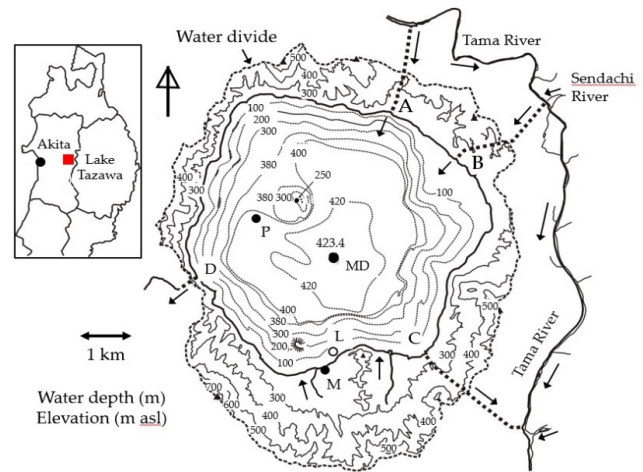


図 1. 秋田県田沢湖と観測点の位置.

## 2. 対象地域の概要と方法

田沢湖は、今から 170~200 万年に形成された古いカルデラ湖で、最深点（図 1 の MD 点）は 423.4m と日本で最も深い湖である。1940 年に玉川と先達川の水を導入する前は、図 1 の D 点でのみ 1.2  $\text{m}^3/\text{s}$  程度の湖水流出があり、平均滞留時間は約 195 年（現在は約 9 年）であった。筆者らは、2017 年 12 月から田沢湖 M 点で気象観測と雨水採取、L 点で湖面の水温・電導度と湖水水位のロガー観測、最深点 MD 点と P 点で随時水質プロファイル観測を行い、湖底堆積コアを採取した。また、玉川と先達川では導水路上流で電導度・水温の観測と水質測定を行い、随時、湖水と川水を採取した。さらに、湖水・河川水・コア中間隙水・雨水に対し、溶存主要イオンに関する化学分析を行った。

ここでは、田沢湖に対する水収支式（下記の(1)式）から未知量である地下水の流入量  $G_{in}$  と流出量  $G_{out}$  の差  $G$  を求め、次に化学物質収支式（同(2)式）との連立により、 $G_{in}$  と  $G_{out}$  を個別に求めた。

$$\Delta V/\Delta t = (P-E)A_0 + R_{in} - R_{out} + G_{in} - G_{out} \quad (1)$$

$$\Delta(CLV)/\Delta t = C_{Rin}R_{in} - C_{Rout}R_{out} + C_PPA_0 + C_{Gin}G_{in} - C_LG_{out} - S \quad (2)$$

ここで、 $V$ : 貯留量 ( $\text{m}^3$ ),  $P$ : 降水量 ( $\text{m/s}$ ),  $R_{in}, R_{out}$ : それぞれ導水路の流入量・流出量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $\Delta t$ : 収支期間 ( $\text{s}$ ),  $E$ : 蒸発量 ( $\text{m/s}$ ),  $A_0$ : 湖水面積 ( $\text{m}^2$ ),  $C_L$ : 湖水の代表的イオン濃度 ( $\text{g/m}^3$ ),  $C$ : 河川・地下水・雨水（下付きの記号に着目）のイオン濃度 ( $\text{g/m}^3$ ),  $S$ : 降下

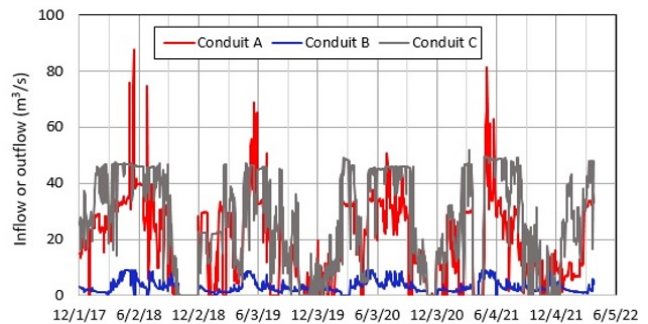


図 2. 導水路 A, B, C (図 1) における日平均流量

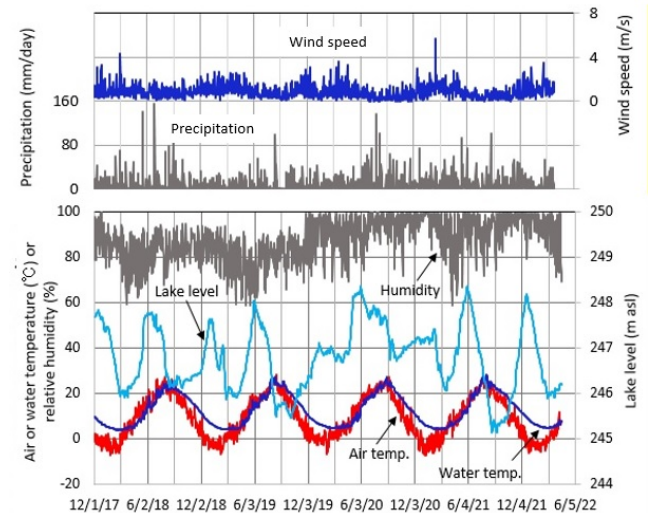


図 3. M 点の気象と L 点の湖水水位・湖面水温の時間変化.

沈殿量 ( $\text{g/s}$ ), である。

## 3. 結果と討論

図 2 に導水路 A, B, C における日平均流量の時間変動を示す。流量は各導水路にある発電所（東北電

力が管理)によって完全に制御されており、灌漑期が過ぎた10~11月に、約1か月間流量をzeroにして各施設の点検管理を実施している。図3はM点での日平均の気温と相対湿度、日降水量およびL点での湖面水温・湖水位の変動を示す。予想されるように、湖水位はA, B, C導水路の流量によって変化し、年間の振幅は2m程度である。湖面水温の毎年の最低値は4°C前後であり、湖底水温が4.20°Cで一定のため、湖水は全循環しない年があることが想像される。

図4に、2021年7月に得た各試水のpHと25°C電導度(EC25)、およびスティフ・ダイアグラムを示す。図より、玉川は深部熱水(Cl-リッチ)の影響を受けた酸性水、先達川は比較的浅部の熱水(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>リッチ)の影響を受けたほぼ中性の水であり、田沢湖は両者の混合率により玉川により近い水質を示す。試水全体に対し、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度とEC25との関係を図5に示す。先達川で若干のバラツキがあるが、その他については、相関性が高い。ここでは、この2本の回帰式を用いて各点のECログ値をSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度に変換し、これを化学物質収支式に適用した。なお、ここでは、(2)式の沈殿フラックスSはzeroと仮定し、雨水のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度C<sub>p</sub>は平均値0.77 mg/L、C<sub>gin</sub>のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度としてコア間隙水の平均値42.6 mg/Lをそれぞれ一定として与えた。また、田沢湖全体のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度C<sub>L</sub>は、最深点でのEC25プロファイルと湖盆図から、水平多層構造を仮定してEC25の体積積分を求め、これとL地点のECログ観測値との相関(R<sup>2</sup>=0.700, p<0.01)から、図5の回帰式によってC<sub>L</sub>の時系列を得た。

表1は、導水路の流量が全てzeroであった期間に対して計算されたG<sub>in</sub>とG<sub>out</sub>の結果を示す。流量zeroの期間を選んだ理由は、Gの絶対値が小さく、導水路流量と湖水位の変動が大きいため、G値に対し大きな誤差を与えるためである。なお、ここではEC25値とある程度相関のあるCl濃度についても計算した。結果として、G<sub>in</sub>とG<sub>out</sub>の平均値は、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度についてはそれぞれ6.01 m<sup>3</sup>/s, 7.37 m<sup>3</sup>/s, Cl濃度についてはそれぞれ4.54 m<sup>3</sup>/s, 5.90 m<sup>3</sup>/sと求められた。

図6は、本研究の田沢湖、中尾ほか(1967)の倶多楽湖、Chikita et al. (2004)の屈斜路湖など、これまでの研究で評価された地下水流出量と湖の貯留量との関係を示す。両者には、高い相関があり、このことから湖の貯留規模を決める火山噴火規模により地下水循環規模も決まることが分る。ただし、鹿児島県・池田湖は回帰線より下部にプロットされる。このことから、中尾(1987)の指摘通り、同湖の地下水

表1. 導水路流量 zero の期間での湖の代表的濃度 C<sub>L</sub> と雨水の負荷量 C<sub>p</sub>PA<sub>0</sub> および計算された G, G<sub>in</sub>, G<sub>out</sub>.

期間	日数	C <sub>L</sub> (mg/L)		C <sub>p</sub> PA <sub>0</sub> (g/s)		G (m <sup>3</sup> /s)	G <sub>in</sub> (m <sup>3</sup> /s)		G <sub>out</sub> (m <sup>3</sup> /s)	
		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
2020/11/5-11/17	13	15.75	20.31	0.73	0.24	-1.02	5.60	4.31	6.62	5.33
2020/11/21-11/29	9	15.78	20.37	0.93	0.30	-1.23	5.85	4.27	7.08	5.51
2021/3/25-4/8	15	15.64	20.12	0.97	0.31	-1.73	6.46	4.91	8.19	6.64

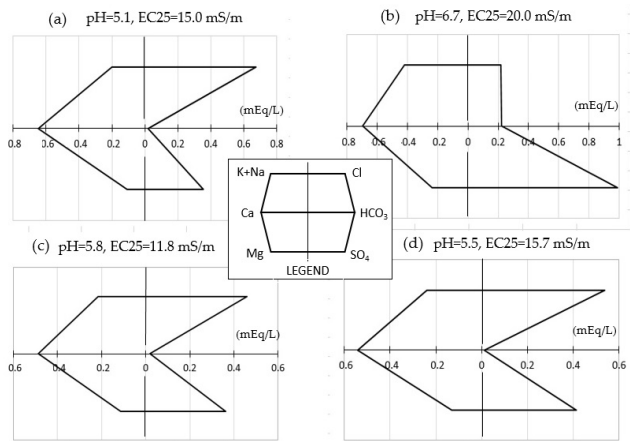


図4. 各試水に対する pH・EC25 の値とスティフ・ダイアグラム。(a) 玉川, (b) 先達川, (c) 田沢湖表面, (d) 田沢湖 400 m 深

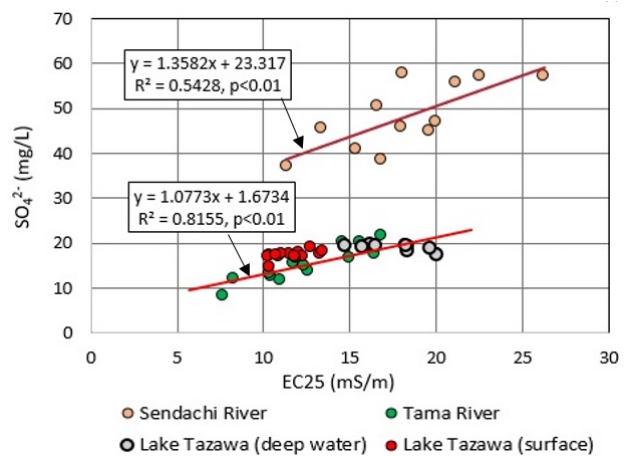


図5. 各試水に対する EC25 と SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度との関係。

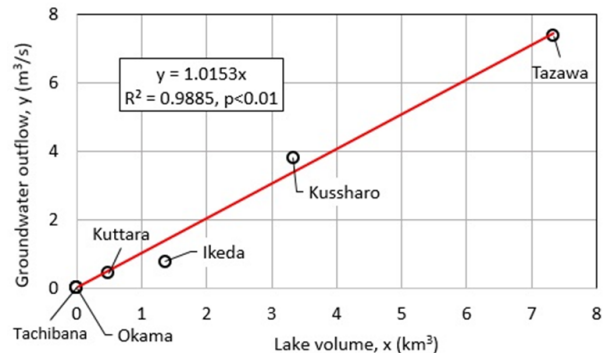


図6. 先行研究と本研究で評価された日本のカルデラ湖・火口湖の地下水流出量と貯留量との関係。

流出は、他湖に比べ水位の調節機能が低いことが分る。

\*花石竜治（青森県環境保健センター），知北和久（北海道大学北極域研究センター）

### 1. はじめに

water body の呈色は，その水質を表わすことから重要である。呈色の要因の一つである光は水中で吸収と散乱を受け，水そのものも含めた着色物質や懸濁物質がこれらに影響する。

コンピュータグラフィックスの分野では，water body の呈色について，Premoze et al. [1] の研究がある。そこでは，上空の日射条件，水面の波，water body 内部での光挙動を考慮して，水面の呈色が計算された。

演者ほかは，湖水の「青さ」の原因が未解明であった青森県・青池を研究対象とし，研究目的を呈色機構の物理的理解，最終目標を呈色の理論的再現と位置づけ，2016 年から現地調査や水質分析を行ってきた[2]。当該研究は，上記の先行研究よりも単純ではあるが，観測点と水面の位置関係，入射光の太陽高度，湖水の光学的な条件などを設定している。

今回，呈色機構に対応する光強度式の確認と修正，画像解析法の改良を行ったところ，研究に進捗があ

ったので報告する。

### 2. 対象地域の概要

青森県・青池は，津軽国定公園内の世界自然遺産白神山地の山麓にある十二湖（じゅうにこ）に属する湖岸 125 m，最大水深 8.8 m の山間小湖で，十二湖の中の越口ノ池（こしぐちのいけ）湖群の最上位に位置する（図 1）。同湖に流入出する河川はないことから，その涵養は地下水の湧出のみによりなされると考えられており，湖水は，夏でも全層で 10℃前後と安定している[3]。

なお，青池の湖水の滞留時間は，その集水域面積  $1.2 \times 10^5 \text{ m}^2$ ，夏季における深浦（ふかうら）地点の降水量 160 mm/月，蒸発散量 100 mm/月および湖底を回転放物面と近似した場合の湖容積  $3.4 \times 10^3 \text{ m}^3$  から，14 日と見積もられる。

青池の水質については過去に報告があるが，水以外に着色物質は検出されておらず，可視領域の吸光スペクトルは，純水と同じと報告されている[4]。

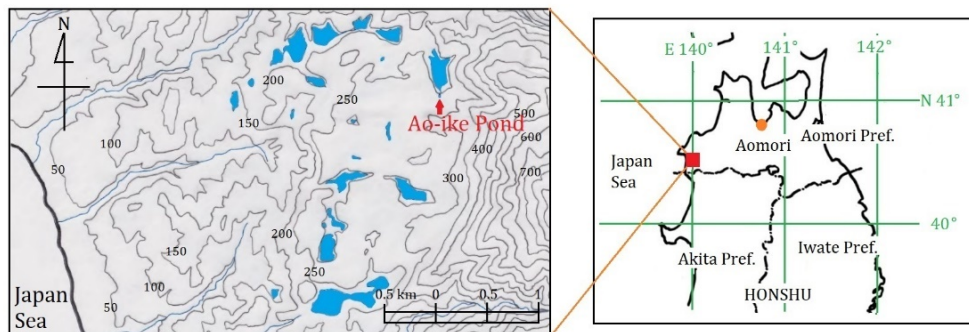


図 1. 青池と関連湖沼の位置図および海面からの高度 50 m あるいは 100 m 間隔の等高線図。

### 3. 解析方法の改良

#### (1) 各呈色機構の光強度式の改良

この光強度式は，湖底乱反射，水の密度変動散乱および懸濁物質のミー散乱について記述し，Hanaishi and Chikita [2]で公表した。そこでは，湖底乱反射あるいは湖内散乱が，それぞれ面積区間，体積区間で起こると考えたが，今回，これらの現象が離散的な点で起こると考えて記述を変更した。なお，演者らの方法である，各反射・散乱点に対応する湖面上の離散的な輝度から連続的な輝度を得る方法を確認した。

また，湖底乱反射が Lambertian（完全拡散的）な湖底で起こることを考慮した。

#### (2) デジタルカメラ画像から湖面上座標値の取得方法の改良

カメラ光学の分野で知られる「ホモグラフィ変

換」の方法により，平面としての湖面の座標から，別の平面としてのカメラのピクセル座標への透視変換の行列を求め，これらを相互に変換した。

#### (3) デジタルカメラの感度係数の決定

理論で得られた湖面上呈色の RGB 値が，湖面をデジタルカメラで撮影した場合に得られる RGB 値を再現するよう，デジタルカメラの感度係数を決定する必要がある。今回，Hanaishi and Chikita [2] の方法を改良して，カメラ業界の規定によって感度係数を求めた。

#### (4) デジタルカメラのホワイトバランス係数の決定

演者は，まず，フォーレルの水色計をデジタルカメラで撮影し，この画像から RGB 値を取得した。次いで，成ヶ沢ほか[5]にある，フォーレルの水色計の色標準が色度図上で取り得る座標値から，

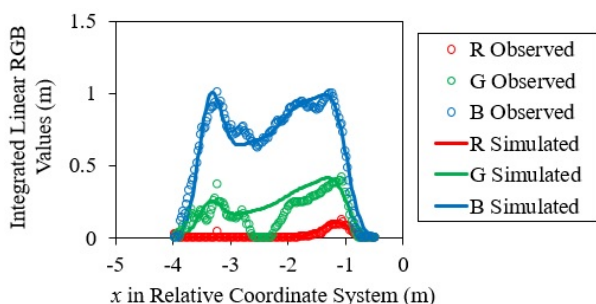
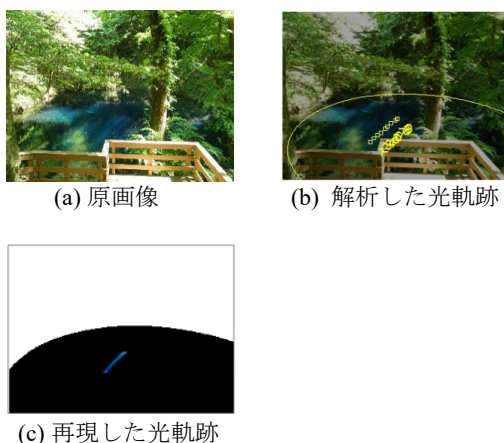
RGB 値を読み取った。これらの二つの RGB 値を比較することで、ホワイトバランス係数を決定した。これにより、理論計算で得られた湖面上呈色の RGB 値を、デジタルカメラで取得した RGB 値と比較できた。

#### 4. 木漏れ日画像の解析

ここで、木漏れ日とは、湖面上の木の葉の隙間から日射が射し込み、water body 内へ入射する現象をいう。これは、Nishita et al. [6]が "shaft of light" (光跡) とした、水面の波面で集光されて生じた光束が水中に入射するものと同じ意味である。ただし、青池の場合には、木の葉の隙間からの入射であり、波面を考慮していない。

木漏れ日画像の解析は Hanaishi and Chikita [2]の解析理論を一部改良して行った。

図 2 に 2022 年 5 月 25 日 13:39(JST)に観測された画像およびその解析結果を示す。解析の結果、ミー散乱の寄与はなく、それらの画像の木漏れ日光軌跡に寄与しているのは、水の密度変動散乱および湖底乱反射であることが示された。



(d) 線形 RGB 値の光軌跡に直交する方向での積分値とその理論値

図 2. 木漏れ日画像の解析結果. 2022 年 5 月 25 日 13:39(JST)撮影.

#### 5. 早春の画像の解析

2022 年 4 月 21 日に撮影した画像から、線形 RGB 値を抽出し、これを再現するモデルパラメータを推定した。図 3 に例として、4 月 21 日 11:32(JST)の青池画像について示す。フィッティングでは、前セクションの木漏れ日画像解析の結果である、ミー散乱

の寄与がないことを前提にした。図 4 にこの場合の各寄与別の呈色を示す。図 3c の理論的再現および図 4 は、決定されたモデルパラメータによる計算結果である。

解析から、青池の青色は、水の密度変動散乱によってもたらされる深い青色と、湖底乱反射による緑色を帯びた青色の重ね合わせと考えられた。これらは、ともに水そのものの性質に由来する。

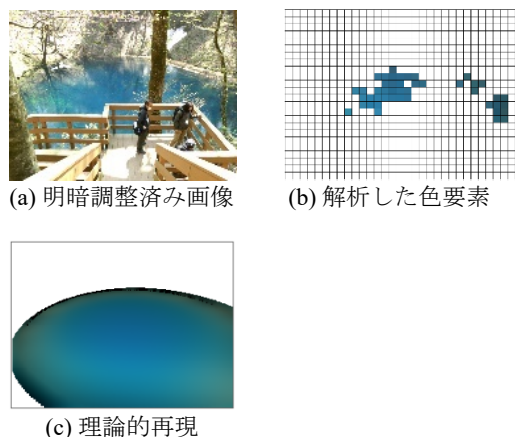


図 3. 早春の画像の解析結果. 2022 年 4 月 21 日 11:32(JST)撮影.

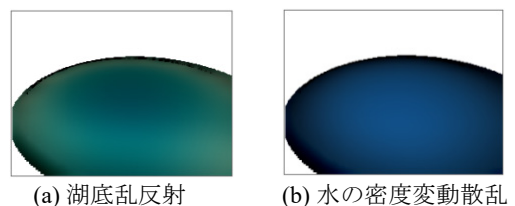


図 4. 図 3c の理論的再現における湖底乱反射および水の密度変動散乱の寄与.

#### 6. 結論

画像解析法などを改良し、青池画像を解析した結果、その呈色に懸濁物質のミー散乱は寄与しておらず、青色呈色の主要な原因は水の密度変動散乱であり、これに湖底乱反射が加わっていると推定された。

今回得られた結果と、これまでの研究の結果から、青池が青い理由は、湖水が可視領域で光学的に純水に近く、水そのものの性質が際立つためであるという結論が得られた。

#### <文献>

[1] Premoze et al. (2001): *Comput. Graph. Forum* **20**:189-199.  
 [2] Hanaishi and Chikita (2021): *Appl. Sci.* **11**:9231.  
 [3] 吉村信吉(1935):*地理学評論* **11**:437-454.  
 [4] 花石ほか(2017): *青森県環境保健センター年報* **28**:56-62.  
 [5] 成ヶ沢ほか(1982): *写真測量とリモートセンシング* **21**:17-22.  
 [6] Nishita et al. (1994): *Proc. SIGGRAPH'94* **1994**-7:373-380.

戸田 孝（滋賀県立琵琶湖博物館）

### 1. はじめに

流体地球物理学において、海洋や気象などでは地球自転効果（Coriolis 効果）がほとんどの状況で重要であるし、陸水現象でも琵琶湖全体を巡るような大きな規模の現象、例えば琵琶湖環流（戸田 2014）などでは考慮が不可欠となる。これはもちろん数式的な記述が可能であるが、数式的理解と直感的理解との間のギャップが他の力学的原理と比べても大きくなってしまっている傾向がある。単に結果として Coriolis 力が横向きに作用することを感じるの容易であるが、それを定性的な幾何学的論理の積み上げで理解しようとする、動径方向の運動と半径方向の運動の各々で作用する Coriolis 力を統一的に理解することが困難であるなど直感的理解の妨げとなる事実が多々あり、しかもそれらが数式的には全く同一という事実がさらに混乱を招く。

Coriolis 力を直感的に理解する最も確実な方法は、観察者自身が回転系の中に入って実験することである。このような体験ができる公開施設として、日本国内では 1996 年開館の滋賀県立琵琶湖博物館（戸田 1998a, 1998b）と 2003 年開館の青森県立三沢航空科学館で回転実験室が運用されていたが（写真 1）、各々 2016 年および 2021 年公開のリニューアルを機に廃止された。八王子市こども科学館にも回転実験装置があるが、安全性を優先して回転の角速度も速度も極めて遅くしているため、Coriolis 効果以外の影響が無視できなくなっている。他には、管見の限りでは気象庁気象研究所の研究用回転実験装置が日限定で一般公開されているのを残すのみである。



写真 1. 琵琶湖博物館の回転実験室で過去に実施されていた実験

もちろん、回転系の力学を体感できる実験装置は各地の科学館に存在するが、その多くは角運動量保

存の観点に基づくものであり、Coriolis 力を直接体感できるものは少ないようである。これは、Coriolis 力そのものを体感するには、観察者が回転系の中に入ったうえ、観察者自身または直接認識できる物体が移動する必要があるため、少なくとも直径 3m 程度以上の回転実験室が必要になるため、製作や維持管理の費用はもちろん設置スペースの確保にも困難を来すからであると考えられる。

滋賀県立琵琶湖博物館では地域の自然環境や生活環境を広く扱っており、物理現象に関する疑問等への対応の需要は依然として多い。そこで、この状況への効果的な対応方法を探るべく、「琵琶湖地域の物理現象」に特化した期間限定の展示企画「平成 3 年度第 2 回ギャラリー展示 琵琶湖の虹が映（ば）える理由（わけ）—湖の「なぜ」がわかる物理学—」を 2022 年 1 月 4 日～3 月 6 日に開催した。この中で、廃止された回転実験室に代わる手法の開発を試みた（戸田 2022a, 2022b）ので、その結果に基づいて考察を加える。

### 2. 実践の経緯

展示企画では解説パネルや説明模型などによる静的な展示とは別に「実演コーナー」を設けた。ここに、滋賀県立大学から借用した島津理化器械の電動回転台 M0-60（回転部直径 50cm）を設置し、リニューアル以前の回転実験室で実施されていたものに相当する実験を試みた（写真 2）。



写真 2. 回転実験台を利用した実験例（実験台を回さずにボールを転がした対照実験）

通常、卓上型回転台上の現象は回転系の外からしか観察できない。しかし、回転台上に設置したカメラの映像を介して、あたかも観察者自身が小さくなって回転台上に載っているような疑似体験をする形で観察できる可能性がある。

この実験装置で疑似体験を実現するには、カメラ

を設置すること、そのカメラの映像を回転台の外から見えるようにすること、そして観察しようとする現象が回転台上で発生するよう外から制御することが必要である。このうち、現象発生については、適度に跳ねるボールを回転台外から投げ込む方法で問題無いことが判明し、解決している。

問題はカメラである。昨今は小型化が進んでいるので当初は楽観的に考えていたのだが、今回の目的に合う形で市販されているものが意外と少なく難渋した。

そんな中で、来館者が所持する携帯電話（スマートフォン）の動画録画機能を活用するアイデアに思い至った（写真 3）。ほとんどの来館者は録画機能を日常的に使っているため、機器操作の問題に起因する支障は皆無であった。録画した映像は十数秒後には再生確認し、必要があれば直ちに再実験できることになる。



写真 3. 撮影した動画の例  
(連続する 5 コマを合成)

### 3. 考察

実験結果をその場で確認できることによる臨場感の本質について改めて考えてみると、結果に納得できなければ直ちに再実験できることが重要であることに気付く。すなわち、この事例では「再実験の容易性」という意味においてはリアルタイムと考えてよい状況が実現できていることになる。

実際、回転台にボールを投げ込む強さや方向が適正でなく、録画した映像にボールが巧く映っていないという失敗が少なからずあったが、直ちに再実験を行うことにより成功させることができた。

また、来館者が所持する機器に映像データが残ることになるので、帰宅後に追体験したり、他者に体験を語ったりすることができる。すなわち、映像データが「おみやげ」として機能するので、これにより実験の教育的効果が高まることも期待できる。

本論の事例においては、スマートフォンは所有者の「分身（アバター）」として機能しており、自身の代理として特定の状況に置くということが本質的である。そして、そのような機器が「各個人に属する形で分散して普及している」という特性が活用されていることになる。スマートフォンのこの特性を活かした利用方法としては、例えば住民参加型調査などで多数の参加者が同時的に同一行動をとる状況での活用事例が知られている。しかし、同時性にこだわることなく専ら「分散して普及している」あるいは「自らの代理として特定の状況に置ける」という特性に着目した活用法も、種々のフィールドワーク等に応用可能であるかもしれない。

### 謝辞

本研究の一部は令和 3～5 年度科学研究費助成事業（基盤研究(C)）「地域博物館での科学館活動で抽象的科学原理を扱う方法論の開発」（JSPS KAKENHI Grant Number 21K02897）によって実施した。来館者が所持するスマートフォンを撮影機材に使うことによって「おみやげ」として機能することについてはカガクテラスの広瀬公美氏の教示を得た。携帯電話の具体的な設置方法は、琵琶湖博物館広報営業課の福井ゆめ氏により確立したものである。

### 参考文献

- 戸田孝（1998a）：琵琶湖博物館の回転実験室—一回転系力学の体験的理解を求めて—, 展示学（日本展示学会誌）, 22, 46-47
- 戸田孝（1998b）：コリオリ力の体感実験—琵琶湖博物館における実践—, 日本教育学会年会論文集, 22, 249-250.
- 戸田孝（2014）：琵琶湖環流の研究史, 陸水学雑誌, 75, 35-48.
- 戸田孝（2022a）：スマートフォンを利用した体感型回転実験, 全日本博物館学会研究大会発表要旨集, 48, 14.
- 戸田孝（2022b）：スマートフォンを利用した Coriolis 力の疑似体験, 日本科学教育学会年会論文集, 46, 372-375.

\*網田和宏・古田嶋峻大・小澤舞桜(秋田大・理工)

### 1. はじめに

自然電位法は、地下を流動する水に対して感度を有する物理探査法であることから、多くの地熱・火山地域や丘陵地、斜面などで地下水や熱水の流動系を理解することを目的とした調査が行われてきた。また、水域においても水底（地下）で生じている自然電位分布は、水中や水面上に設置した電極によって測定可能であることが知られており、海底湧水調査や海底熱水鉱床探査などに活用されている（例えば、後藤ほか, 2004 ; Kawada and Kasaya, 2017）。しかし、水底で生じた電位差を水面（あるいは水中）の電極で測定する場合に受ける様々な影響については不確定である要素も多く、そのため、電極－水底間距離（水深）が変化するような場合に得られる自然電位分布の解釈を難しくしている。

そこで本研究では同一地点において測定深度を変えながら、水面・水中での自然電位測定を実施し、各層で得られた水平方向の電位分布について比較を行い、水深などの測定環境の違いが電位分布に与える影響について検討を行った。

### 2. 研究地域の概要と観測方法

自然電位の測定地点は、秋田県横手市雄物川地区に位置する自然湧出泉である傘杉（からかさすぎ）の清水とした。この清水の湧出箇所は長方形（縦 90cm, 横 130cm）のコンクリート製の枠組みで周囲を仕切られており、砂利の敷き詰められた底面のみが露出した状態にある。泉水はこの枠組みの中に湧出しており、下流側に設置された2ヶ所の排出溝から常時オーバーフローしていることが確認できるため、時々湧出状態を把握することが可能である。枠組み内における水の湧出箇所の詳細については把握できなかったが、年間を通じて湧水が涸れることはない（周辺住民からの情報提供）。底砂利の凹凸により水深は一定でないが、任意の数地点で水深を測定した際の平均値は約 48cm（2021年10月測定）であった。以上の様に、① 地下からの泉水の湧出が確実視でき、② 湧出量の季節変化に応じた観測が可能であり、③ 深度別の自然電位測定を行えるだけの十分な水深を有している点などを考慮し、本研究における研究対象地としての条件を満たしていると判断した。

電位の測定は2021年10月と11月、2022年の1月に行った。枠内を8×8の格子状に分割して座標化し、各格子点を測定点とした。また、比較のために格子の分割数を4×3（12点）、5×5（25点）とした場合についても測定を行った。深度別の電位測定については水面（上層）、底面から20cm深度の水平面（中層）、そして底面から5cm深度の水平面

（下層）の3層を設定し、各層における格子点位置において電位差の測定を行った。電極には、自作の銅－硫酸銅電極を使用した。水中など電極の姿勢が不安定になる中で使用することを想定したため、内部液の飽和硫酸銅溶液についてはゲル化し、液漏れなどが生じないようにした。

### 3. 結果および考察

得られた結果の一例として、下層において得られた等電位線図を図1に示した。枠内において最も東端に位置する格子点を測定上の基準点（0 mV；白い菱形で示した）として各格子点の電位を計算している。また各等電位線の電位値については枠外に記した。図1より、下層の等電位線は清水の上流側にあたる南東側から下流側の北西側に向けて緩やかに電位が低下していく分布傾向を有していることが分かる。この電位分布にみられた傾向は格子数や測定日、測定面の違いに関係なく測定のたびに再現された。一方で、測定深度の異なる3層については、表層、中層、下層の順に同一面内における最大電位と最小電位の差（ $\Delta V$ ）が大きくなり、等電位線の間隔が密になる、という結果が得られた。

深度の異なる測定面（格子数5×5）について（1）同一測定面内に基準点（最東端の格子点）を設けて電位差を測定した場合と、（2）上層に基準点を固定し、上層基準点に対して中層ないし下層の格子点の電位差を測定した場合に得られる結果について比較を行った。水中において3次元電位分布が成立している場合には、基準点をどこに取っても得られる同一平面の電位分布は同じになるが、例えば、下層における比較結果では、格子点ごとに0.2～2.5 mV（平均1.53 mV）の差異が認められた。下層における $\Delta V$ が約21 mVであることを考慮すれば、7%程度の違いが認められたことになる。その一方で、電位分布の傾向については保たれていたことから、水中において3次元的に観測を行った場合でも大まかな電位の空間分布傾向を把握することが可能であることが示された。

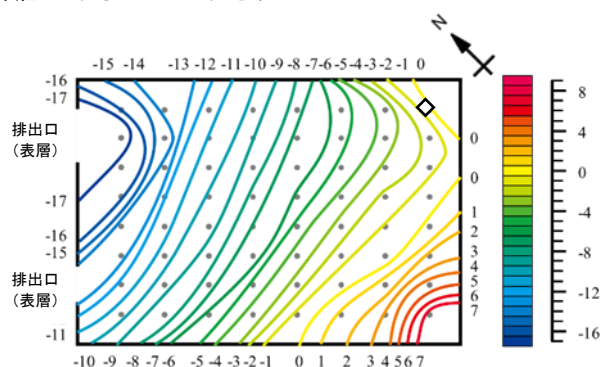


図1. 下層の電位分布より得られた等電位線図

\*宇佐見亜希子, 田代喬 (名古屋大・減災セ), 野崎健太郎 (椋山女学園大・教育)

### 1. はじめに

火山山麓の周辺には  $\text{CO}_2$  ガスをともなう湧水が点在することが知られており、その水質形成過程や火山活動との関連の研究が盛んにおこなわれている<sup>1)</sup>。しかし、その水質による水環境への影響や生態系の仕組みについての研究は少ない。恒常的に  $\text{CO}_2$  ガス湧出をともなうという特異的な水域は、河川生態学におけるフロンティアの1つであり、また、希少な水生生物の存在が示唆されており(野崎、田代:未発表)生物多様性に寄与すると考えられる。本研究では、恒常的に  $\text{CO}_2$  ガスを湧出する水環境の特性を把握し希少な水生生物の生息環境の基礎情報を得ることを目的とし、水質および河床付着物から湧水域の水環境の特性を調べた。

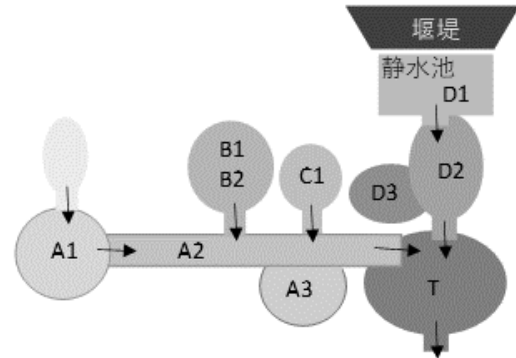


図1. 調査地点の模式図

A, B, C, D は水流の系列, T は合流後, 矢印は水の流れを表す。

### 2. 対象地域の概要と方法

調査対象の湧水域は牧尾ダム堰堤の直下にあり、王滝川の流れが遮断されることで出現(顕在化)している。ダム放流の影響のない2021年11月から2022年6月に湧水域約200m<sup>2</sup>内の10ヵ所で試料を採取した(図1)。水質に関しては、pH、EC、DO、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、アルカリ度を測定した。河床付着物については乾燥重量(105℃乾固)、強熱減量(600℃2時間)、クロロフィルa量(Chl. a量: Lorenzen法)を測定した。また、水および河床付着物のAl、Fe、Mn、Na、Mg、K、Ca、Si、SはICP発光分光分析装置にて定量した。

調査地点の無機的特性を解明するために主成分分析(12項目:pH、EC、DO、溶存Al、溶存Fe、溶存Mn、溶存S、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、河床付着Al、河床付着Fe、河床付着Mn)にて解析した。

### 3. 結果と考察

図2に第1、第2主成分の因子負荷量の関係を示す(第1、第2、第3主成分の寄与率:33%、27%、13%)。第1主成分の因子負荷量はDO、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、河床付着Mnが高く、溶存Mn、溶存Fe、溶存Alが低い。このことから、第1主成分は、酸化還元に関する因子であると判断される。第2主成分の因子負荷量は、pH、河床付着Alが高く溶存Feや溶存Alが低いことから、酸性度合に関する因子と考えられる。

図3に各地点の主成分スコアプロットを示す。図2との位置関係より、地点D1が最も酸化のおよび中性の水環境、地点C1、D3が最も還元のおよび酸性の水環境であることを明確にできた。DO、pH値だけでなくそれらの変動に追従して形態が変化するAl、Fe、Mnなどを含めて主成分分析することで各地点の特性を詳細に把握でき、狭い水域内に様々な水環境の存在を確認できた。

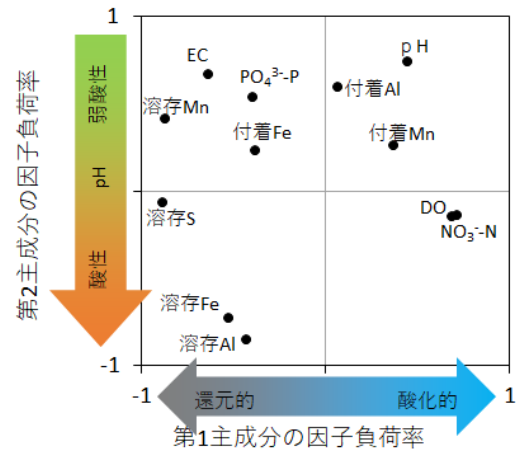


図2 第1,2主成分の因子負荷率

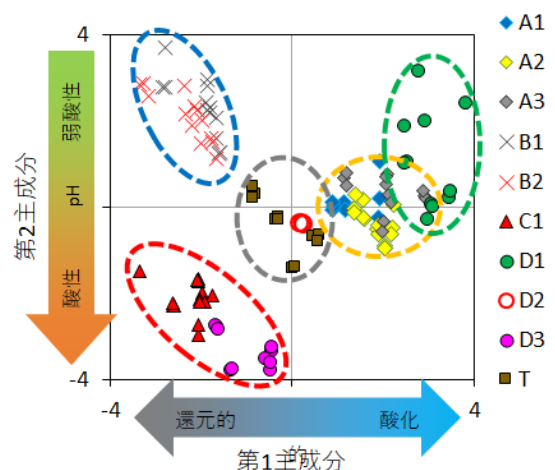


図3 各地点の第1,2主成分スコアプロット

#### 引用文献

- 1) 大沢信二(2016):温泉と地球科学(日本温泉科学会 大沢信二・西村進(編))ナカニシヤ出版, pp. 3-36.



\*谷口智雅（三重大・人文）、江端一徳（豊田高専・環境都市）  
宇佐見亜希子（名古屋大・減災セ）、松本嘉孝（豊田高専・環境都市）

### 1. はじめに

河川流量の観測方法として、河川横断面積と流速による算出、水位・流量曲線、塩分瞬間投入法による希釈法などがある。任意の地点での一般的な流量観測方法である河川横断面積と流速による算出についても、川幅や水深など川の状況などによって、水深観測の間隔や流速の測定深度も一点法、二点法など様々である。公的な流量観測の規定はあるが、各観測者の経験や目的によって測定方法は異なる。水循環や物質循環、流出過程の把握など流量観測には、観測結果の再現性（観測結果の正確性と信頼性）が重要であるが、水質と異なり観測者間の差異についての議論は必ずしも多くない。

2014年9月27日に噴火した御嶽山を対象に、複数のメンバーで噴火が陸水に与えた影響、火山地域における陸水環境の生態的・化学的な調査・研究を実施し、水収支・物質収支の観点から河川流量の把握も行っている。本発表では、流量観測の観測者および測定方法の差異による河川流量の違いについて検討を行ったので、その結果について報告する。

### 2. 研究方法

今回検討した河川流量は、2022年5月28日に実施した濁川上流支流の濁沢川と伝上川の合流地点のそれぞれ合流前と濁沢川と伝上川、発電用の河川取水後の濁川（柳ヶ瀬）の流量である。今回は、測線・水深は同様で、異なる観測者、流速計、測定方法によるものである。また、日時および観測者、測線、水深、流速計、測定方法など異なるが、2022年5月27日、8月25日・26日・27日・29日実施の河川流量を用いた比較検討も行った。

流量観測は、乱流等による誤差を抑えるためなるべく河床が安定している横断測線を取り、測線上下流1~2mで大きな礫を事前排除した。各地点の水深観測数は、川幅と河床の安定性を考慮して0.05~0.25m間隔とし、観測間隔のキリの良い川幅に調整して実施している。流速は60%水深の一点法で、流速計の10秒平均値を三回測定し、中間値とした。但しバラツキがある時には回数を増やし、近い値の三つ中での中間値を取ることにした（観測方法A）。異なる測定方法の流量観測は、水深観測数は1m毎を基本とし、各区間の中央の水深約60%で流速を測定した。河床や川幅の調整作業は基本実施せず、流速は三回測定しその平均とした（観測方法B）。

### 3. 結果と考察

5月28日実施における両方法による流量観測結果では、今回の中で一番流量の少ない濁川では観測

方法Aで0.427461m<sup>3</sup>/秒、観測方法Bで0.4289833m<sup>3</sup>/秒と誤差はほとんどない。濁沢川では、観測方法Aで0.833019m<sup>3</sup>/秒、観測方法Bで0.8102798m<sup>3</sup>/秒と観測方法Bの流量が少なくその誤差は3%程度である。伝上川では観測方法Aで0.60239375m<sup>3</sup>/秒、観測方法Bで0.7057166m<sup>3</sup>/秒と17%の誤差が生じている。濁川と濁沢川は、流速にバラツキがなく、結果的に両観測方法による流量に大きな差はない。伝上川については、誤差の小さい河川に比べて測線の川幅は短く、川岸の流速が遅いため、観測結果の差が大きくなったと考えられる。河川断面と平均流速から求めた流量は、観測方法A、Bいずれも少なく見積もられており、河川中央部と河岸で流速差の大きい伝上川では特に顕著である。このことは、水深測定間隔が広い場合には、流れの遅い箇所がある流量観測には留意が必要と言える。

### 4. おわりに

水質に比べて流量は観測者によって差異を生じやすい。今回は限られた地点数であるが、事前に大きな礫を排除した乱流等の抑制、流れの遅い区間の回避・調整は、異なる観測者や測定方法で行われた河川流量の再現性においても有効であることが確認された。溪流の流量観測は、様々な制限から一般的な調査の実施が困難な場合はあるが、広域な陸水環境の理解や把握のための協同研究において、効率的・効果的な流量観測を行うためにも、観測者間の校正・調整は重要であると言える。

本研究は JSPS 科研費・基盤研究(B)『自然災害/資源開発を受容する火山山麓地域の自然共生に向けた水文水質・生態機構の解明、研究代表者；田代喬（課題番号 19H04318）』の一部として実施した。

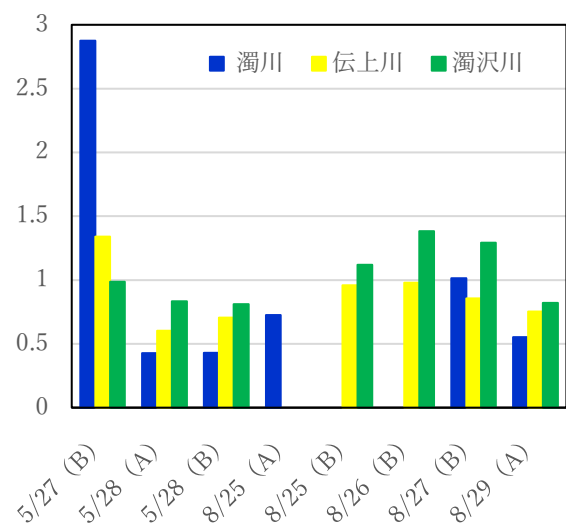


図1 各地点・各実施日の河川流量の観測結果  
(A) (B)は観測方法を示す。単位：m<sup>3</sup>/秒

\* 苗村 晶彦（戸板女子短大・総合教養センター）・猪股 弥生（金沢大・  
環日本海域環境研究センター）・奥田 知明（慶應義塾大・理工学部）

### 1. はじめに

渓流水質は主に大気沈着や地質の影響によって決定づけられるが、大気沈着の影響が小さい時には地質の影響が大きくなると考えられる。北陸地方には日本の地質学および古生物学の研究が発展するきっかけとなった手取層群がある。手取層群は主に福井県と石川県に分布するが、日本列島がまだ大陸の一部だった頃の中生代のジュラ紀（201.3～145.0 Ma）から白亜紀（145.0～66.0 Ma）にかけて存在し、大きな湖に堆積した礫岩層である。

ところで渓流水中の  $\text{NO}_3^-$ 濃度は平水時において時間代表性があるとされ（楊, 2000；伊東ほか, 2004）、渓流水中の  $\text{Cl}^-$ 濃度についてはその変動が小さく特に時間代表性があることが報告されている（苗村ほか, 2017；苗村, 2018）。本研究では、手取層群における渓流水を採取し、渓流水中の  $\text{NO}_3^-$ 濃度を中心に考察した。

### 2. 方法

調査地は、石川県手取川水系の源流域で、手取層群の赤岩亜層群を対象とした。形成時期は中生代白亜紀前期の後半にあたり、赤谷、岩屋俣谷川および今宿谷川について 2019 年度から 2020 年度にかけて 3 回の調査を行った。また、その地域の地質の異なる六万山山麓の第四紀の火成岩にて湧水を採取した。採取した試料については、ADVANTEC 社のメンブレンフィルター（ポアサイズ 0.45  $\mu\text{m}$ ）で濾過した後、溶存成分については Dionex 社のイオンクロマトグラフィー（ICS-2100/1100）を用いて測定した。

### 3. 結果と考察

手取層群（赤岩亜層群）における渓流水中の



図 1. 渓流水中の  $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度の高い手取層群の赤谷（2020 年 10 月 9 日）

$\text{NO}_3^-$ 濃度の平均値は 19.1  $\mu\text{M}$  ( $n=9$ ) となり、変動係数は 26.7 %だった。また、渓流水中の  $\text{Cl}^-$ 濃度の平均値は 50.4  $\mu\text{M}$  ( $n=9$ ) となり、変動係数は 39.1 %だった。 $\text{Cl}^-$ 濃度については標高が低い調査地ほど高くなる傾向であった。また、赤谷、岩屋俣谷川および今宿谷川の調査地で  $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度の平均値は 719  $\mu\text{M}$ 、122  $\mu\text{M}$  および 28.5  $\mu\text{M}$  となり、赤谷は特筆すべき高濃度であった。

それらの調査地のエリアに第四紀の六万山山麓の湧水が存在するが  $\text{NO}_3^-$ 濃度は検出されなかったため、手取川水系の源流域で、大気沈着および森林生態系における物質循環の影響を受けないと判断すると、手取層群として約 20  $\mu\text{M}$  前後の  $\text{NO}_3^-$ 濃度が随時流出していると考えられた。

大気沈着の影響が非常に小さい和歌山県古座川水系源流域では、 $\text{NO}_3^-$ 濃度の平均値が 4.27  $\mu\text{M}$  ( $n=18$ ) であり、それと比較すると手取層群における渓流水中の  $\text{NO}_3^-$ 濃度は 4.5 倍に及んだ。また、福井県に点在する中・後期ジュラ紀付加体において源流で調査したところ  $\text{NO}_3^-$ 濃度が 34.6  $\mu\text{M}$  であり（苗村ほか, 2022）、ジュラ紀前後の地質の渓流水中の  $\text{NO}_3^-$ 濃度が相対的に高いことが考えられた。

謝辞：本研究は金沢大学環日本海域環境研究センター全国共同利用研究の支援により実施されました。記して感謝致します。

#### 参考文献

- 伊藤優子・三浦覚・加藤正樹・吉永秀一郎 (2004) 関東・中部地方の森林流域における渓流水中の  $\text{NO}_3^-$ 濃度の分布. 日本林学会誌, **86**, 275-278.
- 苗村晶彦 (2018) 神奈川県三浦半島北部における渓流水質の特徴. 自然環境科学研究, **29**, 5-9.
- 苗村晶彦・初山守・奥田知明 (2021) 降水中の  $\text{NO}_3^-$ 濃度が低い四万十帯における渓流水質. 環境科学会誌, **34**, 40-45.
- 苗村晶彦・齋藤圭・猪股弥生・奥田知明・山本博文 (2022) ジュラ紀付加体における流域圏の自然環境. 福井大学地域環境研究教育紀要「日本海地域の自然と環境」, **29**, 印刷中.
- 苗村晶彦・渡邊善之・小柳信宏・楊宗興・渡辺幸一 (2017) 福島県中通りにおける阿武隈川水系源流域の渓流水質. 土木学会論文集 G(環境), **73**, 172-176.
- 楊宗興 (2000) 陸水学の視野を広げる: 陸域研究との相互作用. 陸水学雑誌, **61**, 166-167.

竹内 篤雄（自然地下水調査研究所）

1. はじめに

これまでに実施されてきている地下水調査法は、主として利用することのできる地下水がどこにどれだけ存在しているかに関する情報を得ることを目的としている。この調査法を地盤災害や地下水障害に適用してきたところにいるろいろな齟齬が生じていたのではないかと思う。

2. 新しい調査法の提案

地盤災害・地下水障害に悪影響を与えている地下水はどのような形態で地中に存在しているのか、各種の現場で検討してみた。その結果、上記の事象に悪影響を与えてる地下水は、地下水流脈（「水ミチ」）として存在している可能性の高いことが判ってきた。このことから地下水のあるがままの姿（自然状態の地下水）を明らかにする必要があるのではないかと考えて、その調査法を「自然地下水調査法」と名付けることにした。

3. 「水ミチ」と地盤災害の関係

「水ミチ」状に存在している地下水が地盤災害に大きな悪影響を及ぼしていることは、地すべり地での長期観測結果によって明らかにされている。つまり、「水ミチ」の規模が拡大すると土塊活動が活発になり、縮小すると沈静化することが示された。

4. 自然地下水調査法の構成

「水ミチ」状に存在する地下水を探索する手法として、「温度」という物理的因子に基づいた調査手法を提案してきている。その手法は、1 m深地温探査、多点温度検層、単孔式加熱型流向流速計である。これを行うことにより、地下水の存在状態を三次元的・定量的に把握できる。

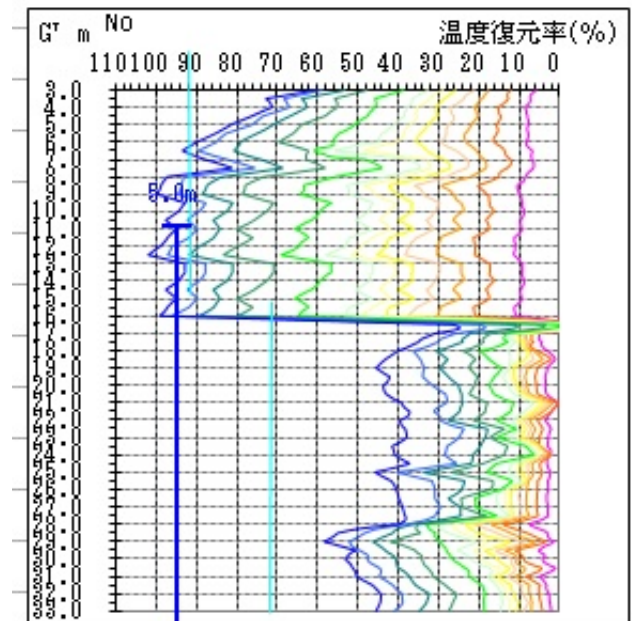


図1. 多点温度検層結果

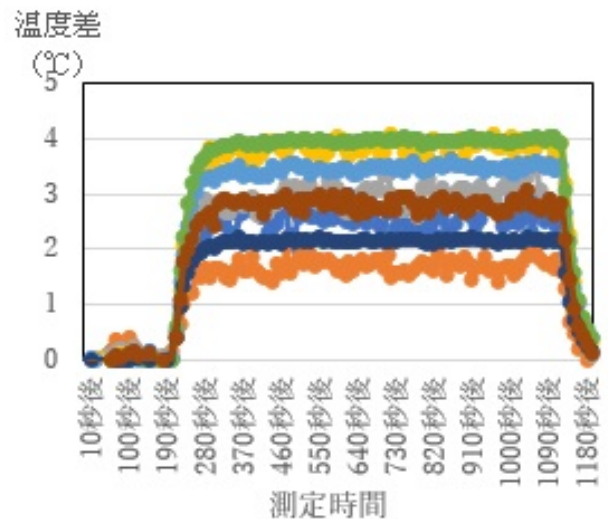


図2. 単孔式加熱型流向流速測定結果

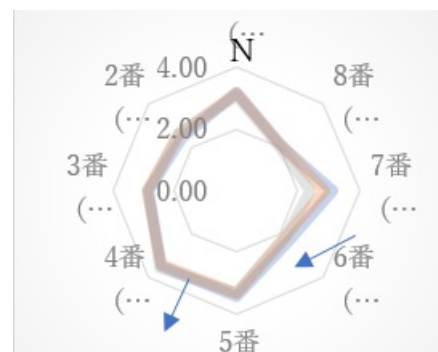


図3. 流動方向計測結果

## 日本全国の河川水質とその変動に関する研究(2)

- 「身近な水環境の全国一斉調査」2020年・2021年・2022年の結果を中心に -

\*小寺浩二(法政大・地理)・王 操(法政大・院)・猪狩彬寛(法政大・院/日本工営)・齋藤 圭(京都大)

## 1. はじめに

日本では高度成長期に全国で水質汚濁が問題となったが、法整備や排水処理施設の普及などにより、急速に水質が改善されてきた。しかし、現在でも都市への人口集中が進み、郊外などで水質汚濁が激しい地域も残っている。行政によって1971年から継続されてきた「公共用水域の水環境調査」結果や、市民団体を中心に2004年に始まった「身近な水環境の全国一斉調査」といった全国規模の観測記録を中心に、日本の河川水質の長期変動について検討してきたが、本稿では、「身近な水環境の一斉調査」の第17回(2020年)、18回(2021年)に加え、第19回(2022年)の法政大学測定結果をあわせて考察する。

## 2. 研究方法

国立環境研究所のデータベース「公共用水域の水質調査結果」を用いて1971年以降の水質変化を整理し、「身近な水環境の全国一斉調査」については、2004年～2018年のCODの調査結果を整理して長期変化について考察した。1971年以前に関しては、研究成果のデータを整理し、2018年以降については、研究室の全国規模の観測記録を用いた。さらに、2020、2021、2022年に関しては、研究室関係者が実施した2,000前後の観測結果を対象とした。

## 3. 結果と考察

## 1) 公共用水域の水質調査結果

1971年に約1,000点だった観測地点が、1986年には5,000点を超え、その後6,000点弱の地点で観測が継続されてきた。BODの経年変化では、当初3以上が半数だった(1971年)が、1976年には2以下が半数となり、最近では、2以下が約8割を占めている(2018年)。1～4の地点数は変わらず4以上が減少し、1以下が全体の約半数に増えている。

## 2) 身近な水環境の全国一斉調査

2004年は約2,500地点だったが、2005年には約5,000地点となり、その後6,000地点前後で推移し、2018年には約7,000地点となった。COD4以下が約半数で変化なし。2020年は、新型コロナウイルスの影響で、観測地点が減ったが、約2,000地点の法政大学の沿岸域の調査結果を解析した。さらに、2021年は、より内陸の約1,400地点と比較した

## 3) 1971年以前の水質

先駆的な小林(1961)による研究成果などはあるものの、系統的に観測された水質データは入手しづらく、研究論文や、報告書などから抜粋し整理したが、十分な水質復元はできず、過去の水質を明らかにすることの困難さが浮き彫りとなった。

## 4) 最近の水質

2017年～2022年にかけて、毎年全国2000前後の箇所調査したデータを整理し、近年の河川水質の現状を明確にした。

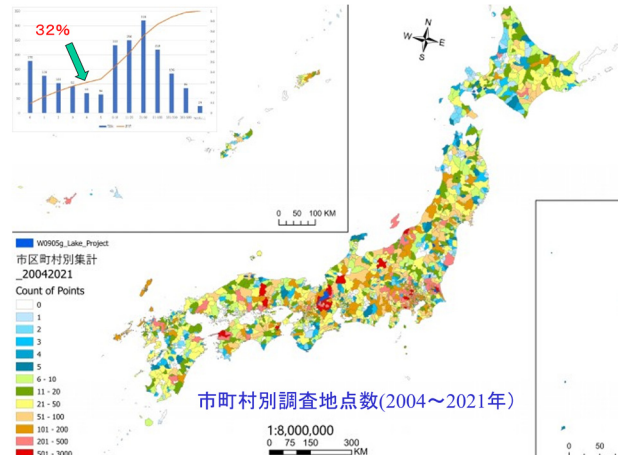


図1 「身近な水環境の全国一斉調査」市町村別地点数

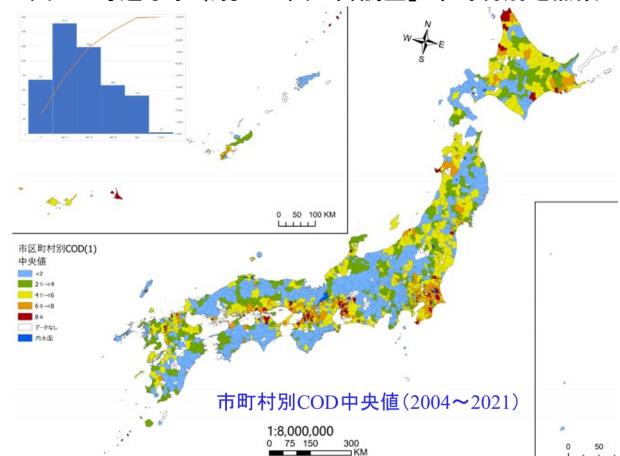


図2 市町村別COD中央値(2004～2021)

## 4. おわりに

全国規模の長期的な観測結果に加え、1971以前のデータを収集整理して過去の水質の復元を試みた。最近の水質に関しても、全国規模で2,000地点前後の観測を行い、現況を明らかにした。特に、2020年の沿岸域、2021年の内陸部、未調査市町村を補う2022年の調査結果をまとめることで、市町村別検討できるようになった。今後も広域な調査を継続し精度を上げていきたい。

## 参考文献

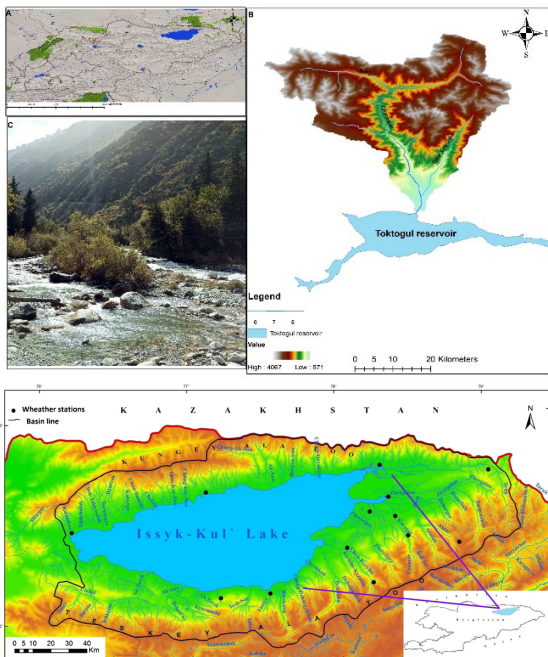
- 小林 純(1961)：日本の河川の平均水質とその特徴に関する研究. 農学研究,48-2,63-106.  
 小寺浩二ほか(2021)：日本における河川水質の長期変動に関する水文地理学的研究(3)  
 - 「身近な水環境の一斉調査」第17回・18回の結果を中心に, 日本地理学会発表要旨集, 2021a,

# 19. Studies of northern river systems of the Kyrgyz Republic (Talas river basin, Issyk-Kul lake basin and Chychkan, Bala-Chychkan river basin)

\* Shaidyldaeva Nargiza (Central Asian Institute for Applied Geoscience, HIF Foreign Scholars Fellowship program at Hosei University)

## 1. Introduction

The study of mountain rivers is now more relevant than ever when not only the climate is changing, but also many other factors have appeared that affect the hydrological process. The work is devoted to clarifying the reasons for the trends in the decrease in the magnitude of the long-term runoff of the Chychkan and Bala-Chychkan rivers under the conditions of climate change, located in the Ketmen-Tube basin. The study of little-studied rivers flowing into the Toktogul reservoir is caused by the economic and social significance of this water body.



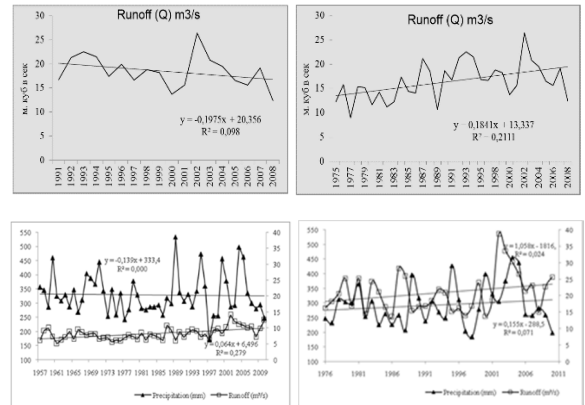
## 2. Data and method

The data which were used for this study were obtained from several resources as Hydroposts and meteorological stations. To determine the role of individual climatic factors on the runoff of the Chychkan and Bala-Chychkan, Talas rivers, linear trends were calculated based on the data of all meteorological stations.

## Results and discussion

The results showed that the runoff of the Chychkan, Bala-Chychkan and Talas rivers depends on the long-term variation in the amount

of atmospheric precipitation in the low-lying, valley zone and has a long-term trend similar to them at comparable time intervals.



## 3. Conclusion

Based on the results of the analyzes, it can be concluded that a significant role in reducing river runoff is played by the long-term trend of increasing air temperature in basins with slight glaciation, where a slight increase in precipitation in the high-mountain zone cannot compensate for the increase in evaporation and ablation of glaciers, as well as a decrease in the amount of precipitation in the lower part of the basin.

## References

- Mamatkanov, D.M., Bajanova, L.V. and Romanovskiy, V.V. (2006) Water Sources of Kyrgyzstan at the modern stage. Bishkek: 68. 79. 87-94.105-107.114.130.155.196 (Russ).
- Morrison, J., Quick, M.C. and Foreman, M.G.G. (2002) Climate change in the Fraser River watershed: flow and temperature projections. Journal of Hydrology. (26): 230-244.
- Shaidyldaeva N. M., Yaning Ch., Abdyzhapar uulu S. Climate change and its impact on the hydrological processes of the Talas river in Central Asia. Fresenius Environmental Bulletin, Volume 23 – No 5. 2014
- Shaidyldaeva, N.M. (2011) Water resources of Talas Valley and their uses. Bishkek: Vestnik of KNU by J. Balasagyn. ISBN 9967-21533x. 95-98 (Russ).