

2024 年度研究成果報告

「礫床河川における湧水の類型と形成維持機構及び指標生物」

研究期間：2024 年～2025 年

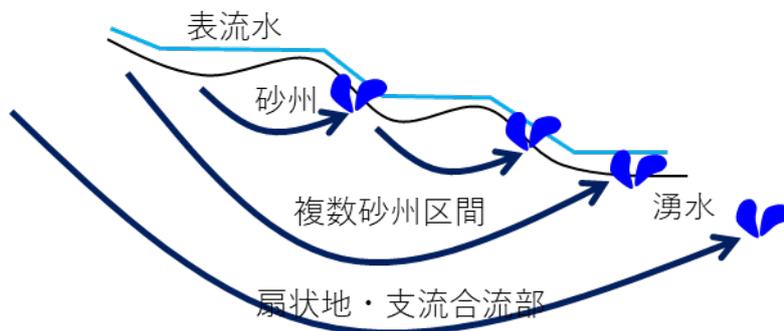
研究代表者：小林草平（京都大学防災研究所）

はじめに

河川水という場合主に表流水を扱うが、その一部は河床に浸透して伏流水や地下水となり、それらが「湧水」として表流水にもなる。湧水は透明度が高く、流量や水温の変動が小さいため、平水時は生物の保養場、増水時は生物の避難場として重要な役割がある。また、湧水の多さは河床の濾過能力あるいは希釈能力そのものである。本研究は、河川に見られる湧水を類型化し、各類型の水文・水質・生物特性、それらの形成維持機構を明らかにすることを目的とする。また、湧水に関する新たな河川健全性指標を見つける。

一般的な湧水は、山からしみ込んだ水が時間をかけて地表に出てきたものである。一方、河川の湧水は、扇状地や支流合流点等における深い伏流が関係するものから、一砂州内の浅い伏流に關係するものまで、地下での滞留時間に大きな幅があり、それにより生物生息場としての質も異なることが考えられる。扇状地や支流合流点に特有の湧水は基底流量に關係し長期的な影響を受ける一方、砂州の伏流に關係する湧水は砂州内の通水性に關係し短期的な影響を受けることが考えられる。

2024 年度は、河川内湧水に関する研究の情報収集をするとともに、複数の河川で湧水の調査を開始した。ここ数年大きな出水が少ないためか、砂州内の伏流水面が低く、また湧水量の多い場所を探すことができなかった。比較的多数の湧水箇所でも調査が可能であった天竜川での調査結果を報告する。



河川内湧水のイメージ

図 1 河川内湧水の概念図

調査内容

2025年の1月下旬(22-30日)に、静岡県浜松市の天竜川下流13k-17kの範囲に見られる湧水を探し、水質・水温の計測と底生動物採集を行った(全21調査点)。調査に先立ってドローン空撮を行い、後日に画像を基にオルソ画像を作成し、調査点の位置を確認し、伏流水の深さを推定した。一部の調査点では、空撮で水面の熱画像も取得し、温度の空間分布から湧水有無の判断に用いた(図2)。湧水場(upwell)とともに浸透場(downwell)、またリファレンスに分けて計測と採集を行った。各箇所で、水温、pH、電気伝導度(EC)、溶存酸素(DO)濃度、濁度(NTU)、カルシウムイオン(Ca)濃度、硝酸塩(NO₃)濃度を計測した。一部では、ボタン型ロガーを設置して水温の日周変化を調べた。湧水量について、水面幅、水深、流速から流量を求めた。河床軟度(シノ深)を計測した。底生動物はDフレームネット(口径50×50cm、網0.5mm目)で採集した。採集の簡易さとサンプル処理能力を踏まえ、湧き出し(or沈みこみ)かつ底質が無機的(砂から石)な場所の30×30cmの5ヵ所分で採集を行う半定量採集を実施した。分類群を同定し、多さをクラスで記録した(0: 1-3匹、2: 4-9匹、3: 10-39匹、4: 40-99匹、5: >100匹)



図2 熱画像による水温の空間変異の確認の例(左: 視覚画像、右: 熱画像)
岸際が暖色で温度が高いことが示されている

調査結果

浸透場2か所、湧水場15か所、本川2か所の計19か所で調査した(図3~図4に一部の調査点を示す)。湧水量はいずれも0.05 m³/s以下で、流速が計測できない場所もあったため、4クラス(<0.0001 m³/s、<0.001 m³/s、<0.01 m³/s、>0.01 m³/s)に分類した。1調査点において計測、採集、写真撮影などを含め2時間程度を要した。

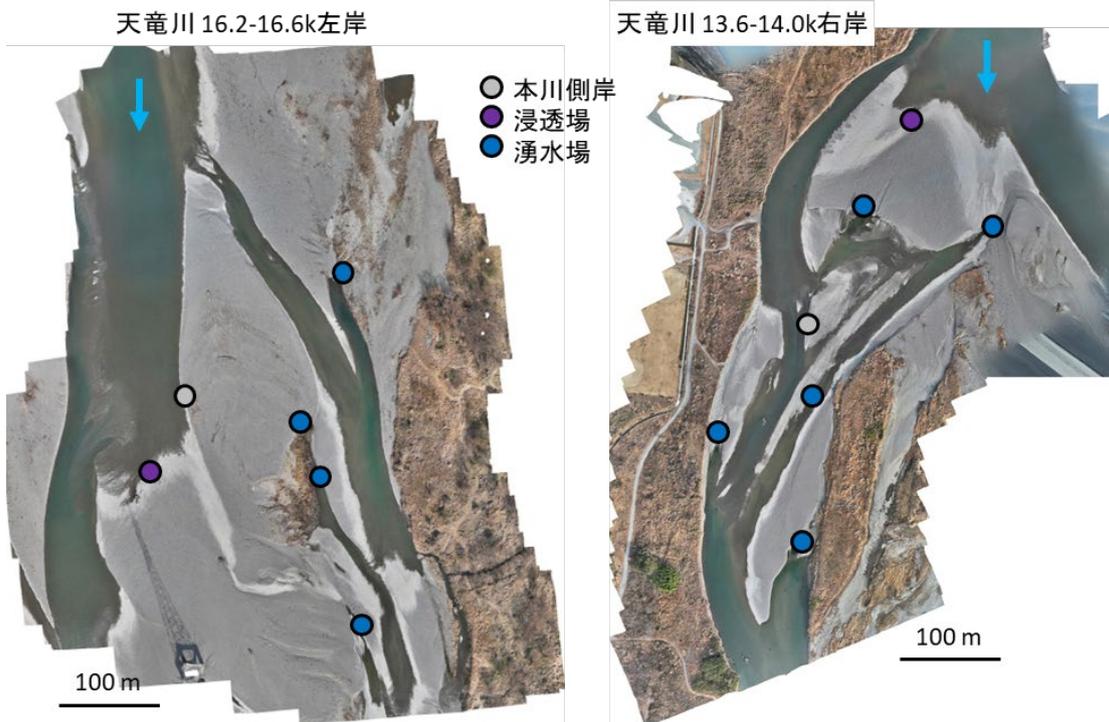


図3 天竜川のオルソ画像と調査点（一部）

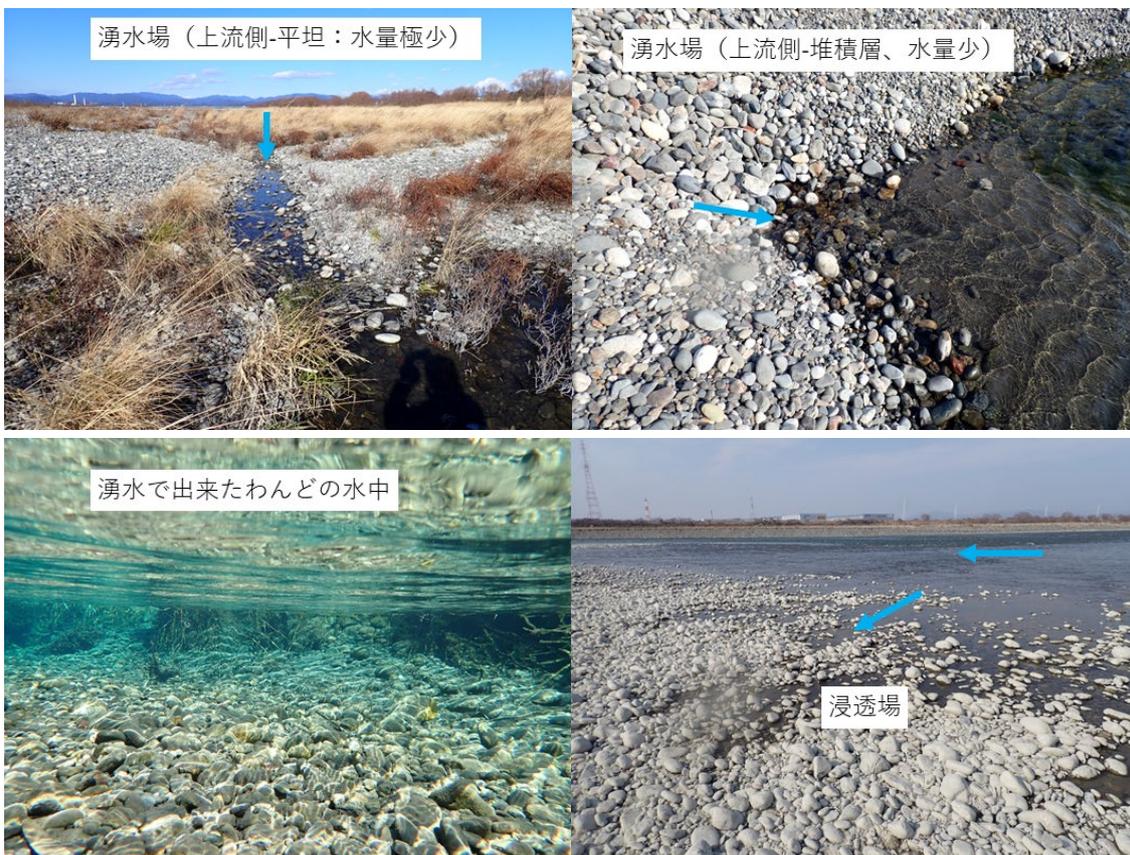


図4 調査点の様子

水質の結果

濁度は本川や浸透場（1-4 NTU）で湧水（0.2-1.2 NTU）よりもやや大きかった。pH も本川や浸透場（8.2-8.8）で湧水（7.8-8.6）よりもやや大きい傾向にあった。溶存酸素（DO%）は本川や浸透場（96-115%）で湧水（60-80%台が多い）より明らかに大きかった。カルシウム濃度は本川や浸透場（45-47 mg/L）よりも湧水場（47-53 mg/L）でやや大きい傾向にあった。このように表流水（本川、浸透場）と伏流水（湧水場）の違いは各水質項目を見ると不明瞭な場合もあるが、予想通り、伏流水の方が濁度が低く、光合成が行われなため pH が低く、DO が低く、ミネラル供給によりカルシウム濃度が高い傾向にあった。また、本川や浸透場と湧水場の違いよりも、湧水場による違いが大きかった。

主成分分析の結果にも、本川や浸透場と湧水場の違い、湧水場による水質のばらつきの大さき、各水質項目の傾向が現れている（図 5）。また、湧水場の中でも、湧き出しの上流側が 1m 以上の砂州前縁の段差がある場合（水がやや砂州の中を深く進んできたと思われる）、水質が本川や浸透場と対極の位置にあることを示した（図 5）。

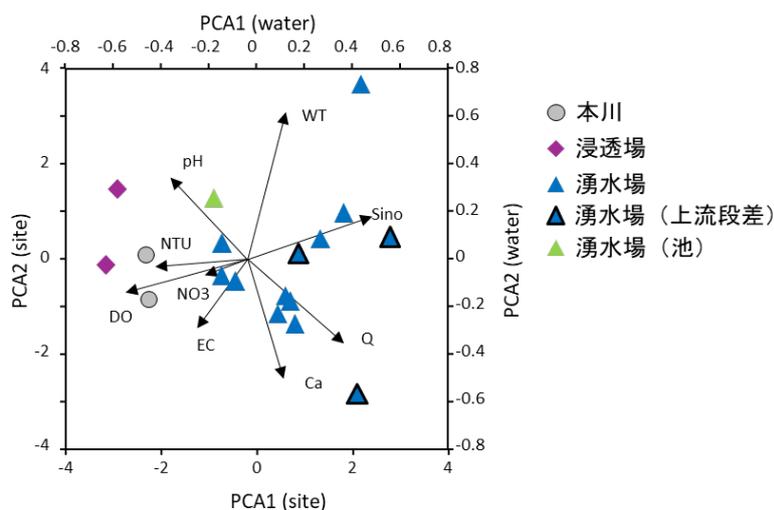


図 5 水質の主成分分析の結果（各調査点の位置づけ、各水質の影響が分かる）

水温変動の結果

水温変動は調査点により大きく異なった（図 6）。まず、浸透場で大きく、1 日で 10℃ 近くの変動があった。日により変動の大きさが異なるが、変動の小さい日は曇りであった。本川でも 1 日で 2℃ 以上の変動があった。湧水場では基本的に小さい変動であるが、調査点による違いも大きかった。上流側に砂州前縁の段差がある湧水は、平均温度がやや高め（10℃ 付近）であるか変動が 0.5℃ 以下であった（図 6 の濃青線）。砂州のやや深い部分を通ってきたため、気温の影響を受けにくい、砂州表面の温度変化の影響を受けにくい場所を通ってきた水だと思われる。

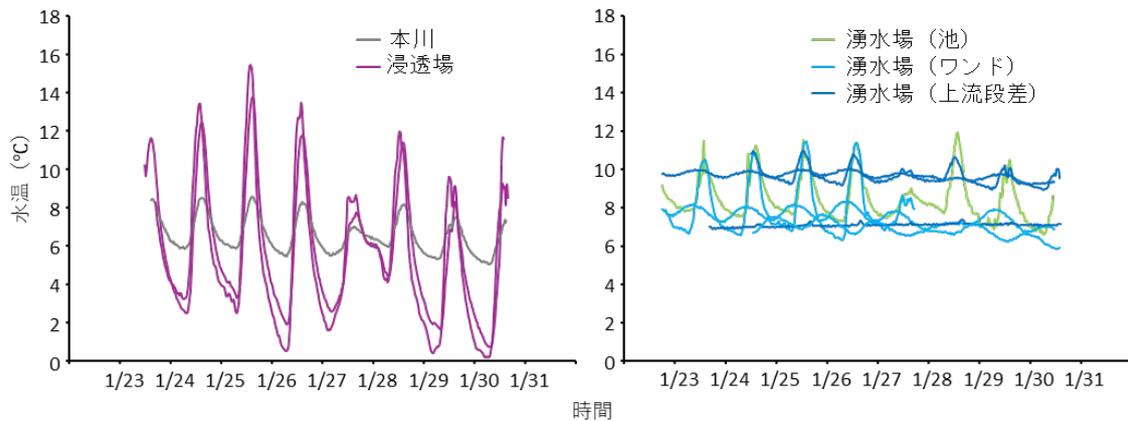


図 6 9 調査点における 1/23～1/31 における水温変動

底生動物群集の結果

1 調査地点で 5-30 の分類群、全体で 64 の底生動物の分類群が確認された (図 7)。全体的に流水環境に特徴的なカゲロウ、カワゲラ、トビケラの 3 目が多いことから、湧水場は止水的ではなく流水的であることを示している。分類群数は本川で一番多く、一方で浸透場で低い傾向にあった。湧水場の中で違いが大きく、上流側に段差のある湧水では分類群数が低い傾向にあった。深く長く伏流していると DO が低いことなどが、底生動物の生息を下げる要因になっていると思われる。

特徴的な底生動物がいくつか見られた。1 つは海から川を遡上するテナガエビである。テナガエビは湧水場に多かった。本川との接続があると、流れが終わるまで (湧水場) 遡上していることを示している。また、地下水性と思われるミズムシ (等脚目) の仲間が数種、湧水場に出現した (特に浅い伏流水に起源すると思われる湧水)。ハエ目はユスリカ科とガガンボ科が多かったが、それ以外にもミギワバエ科など地下水性の可能性のある分類群が見られた。本川や浸透場と比較して湧水場に出現する分類群は、色が白いものが多く、伏流・地下水性であることを表しているのかもしれない。

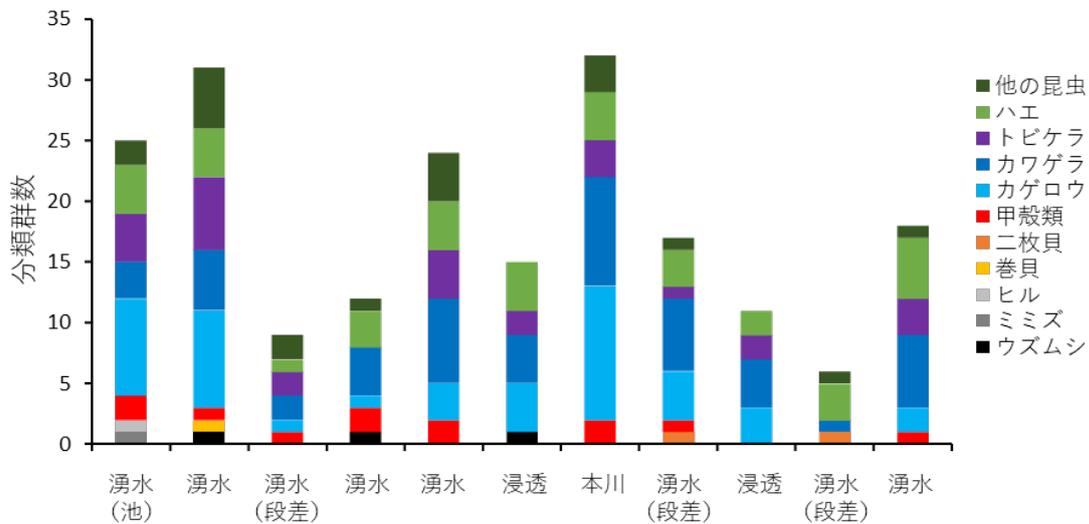


図7 各調査点における出現分類群数

底生動物群集の NMDS による座標付けの結果、調査点による群集の違いが明らかになった (図 8)。この解析グラフでは 2 次元で群集の分類群組成の観点での位置、また点間の距離により群集の違いの程度が分かる。本川、浸透場、湧水場で分布範囲が違うことから、分類群組成が異なることが明らかである。本川や浸透場に多いのは、クロカワゲラ科やコカクツツトビケラ属など一般に落葉食者と、コガタシマトビケラ属などの濾過食者の分類群であった。湧水場に多いのはミドリカワゲラ科、フタツメカワゲラ属、クロヒメガガンボ属など、一般に捕食者の分類群であった。また、湧水場の中でも群集の違いが大きく、上流側に段差のある湧水場はその他と分布範囲が異なった。地下水性と思われるカワゲラの仲間やミズムシ (等脚目) の仲間が多いのは、比較的浅い伏流水起源の湧水場、ミギワバエなどが多いのは比較的深い伏流水起源と思われる湧水場であった。

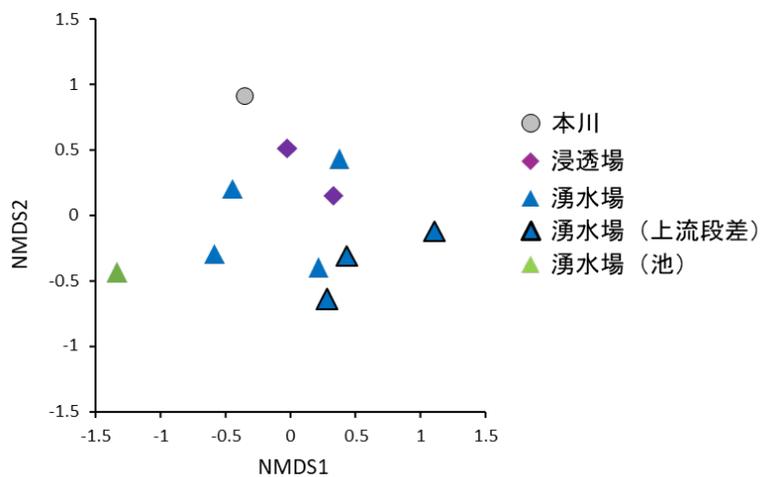


図8 NMDS による底生動物群集の座標付け

まとめと今後

天竜川において、河川内湧水の特徴を知るために、同じく表流水ー伏流水の境界である浸透場と本川側岸と、水質や底生動物を比較した。河床で水が濾過され湧水は成分的にはきれいであるが、餌となる有機物や溶存酸素が低く、それらの要求が高い底生動物は生息できない環境と思われる。湧水場による水質や底生動物の違いは大きく、伏流の深さや滞留時間に関係すると思われる違いも見られた（図 9）。湧水場では、通常の調査ではなかなか採集されない地下水性と思われる等脚類のほか、上流移動中に迷い込んだと思われる回遊性のエビの仲間も確認された。

今回は水量が少ない湧水場が多かった。2025 年度は、より多くの河川で調査を行い、結果に一般性を持たせるとともに、伏流の長さや滞留時間と湧水場の水質や底生動物の関係について明らかにし、湧水場における環境の質の違いの指標底生動物を明らかにしたい。また、多様な生息場がバランスよく河川内に存在することが生物多様性や生態系機能に良く河川健全性を高めているという仮定のもとで（図 9）、どのような流量や土砂の条件で多様な湧水環境が形成維持されるかを引き続き追求する。また、研究成果を応用生態工学関係の学会や学術誌に論文として発表する。

