

2025 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）

研究要約

砂州の中を伏流して湧出した水を“河川内湧水”と呼び、湧水の指標となる水質や底生動物を特定し、湧水量の時空間変異とその要因を明らかにするため、砂州の中に湧水が見られる複数の河川（天竜川、犬上川、宇治川、黒部川）でフィールド調査を行った。静岡の天竜川では、伏流の深さと水量の異なる 3 タイプに湧水が分けられること、また昨年度との比較から、河床の詰まり具合によって湧水量が変わり、水質や底生動物相に影響していることが分かった。滋賀の犬上川では、渇水期に流れが枯れるが、その下流では湧水の貢献で水量が増え、そのため真夏の水温が 20℃前後に保たれていることが分かった。京都の宇治川では、比較的水量の多い湧水が存在するものの、酸素濃度が低すぎて生物が少ないことが分かった。富山の黒部川では、本流水面と湧水場の比高差によって、湧水の有無や水量が決まる可能性が示された。これらの調査を通して、伏流水や湧水に特徴的な水質、特徴的な底生動物を明らかにした。河川間の比較も踏まえ、砂州の状態として特に砂礫の詰まり具合（出水による攪乱と、砂礫の入れ替えに関係）が湧水量に影響しうること、深い伏流ほど水温変動を抑制しミネラルが増えうるが、酸素濃度が低下し、条件によっては生物が少なくなる可能性が示された。

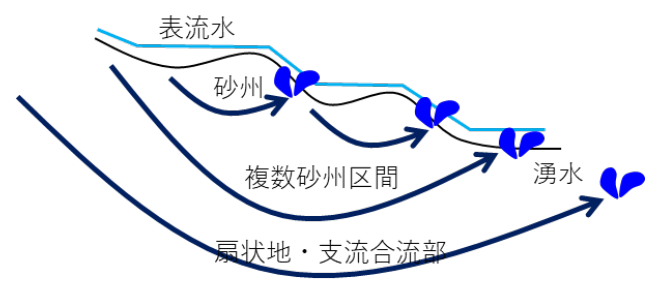
はじめに

河川の水は一部が河床を浸透して伏流水となり、下流の方で再び河床上に湧出する（図 1）。河川においてこのように浸透、伏流してから湧出したものを“河川内湧水（以降では湧水と省略）”と定義する。浸透と伏流の過程で水は、河床の土砂に濾されてきれいになり、また地中を通るため夏に冷やされ冬に温められる。これは川の自浄作用とも言え、また水の濁りや夏の高温に弱い水生昆虫や魚類にとっては無くてはならないプロセスでもある。

湧水の水量は河川内の場所によっても河川間でも様々である。湧水の多さはその河川生態系の健全度を表す 1 つと考えることができる。どのような河川で湧水が多いのであろう：例えば扇状地の河川は、水が良く河床に浸透し、河床中の水通しが良く、湧水量が多いことが予想される。しかし、様々な場所で浸透して湧出している水量を実際に評価するのは難しい。また、水の透明さや水温の違いから、湧水だと判断できる場合もあるが、もともときれいな川では、どこでも水は透明で、また日射によっても水温が大きく変わり、見た目では湧水の有無の判断が出来ない場合も多い。

本研究は、湧水の指標となる水質の項目や生物相、伏流の深さや時間と水質や生物との関

係、湧水量の時空間変化に影響している要因を明らかにすることを目的として、2024 年と 2025 年の 2 年間、研究を行った。砂州が発達した河川を選んだが、実際は湧水が見られず空振りのときもあった。分析可能なデータが得られたのは、夏または冬に調査した天竜川（静岡県）、黒部川（富山県）、犬上川（滋賀県）、宇治川（京都府）であった。まず、それぞれの河川で湧水の特徴や湧水による違いを明らかにした後に、河川間の比較を行った。



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

調査河川と調査日時を表 1 に示す。なお、天竜川の 1 つは 2024 年度の調査であるが、2025 年度との比較を行う。野外調査は基本的に数日中に行った。加えて、水温ロガーを 3 日から 2 週間水中に設置して異なる場の水温変動を観測した。犬上川と黒部川 1 回目の調査を除き、調査直前や調査中、水温観測中の出水はなかった。

表 1 調査対象河川

年月	河川	対象区間	砂州数	調査点
2025年1月	天竜川	浜北大橋－かささぎ大橋	2	19
2026年1月	天竜川	浜北大橋－かささぎ大橋	4	17
2025年8月	犬上川	JR鉄橋－南青柳橋	3	15
2025年7月	宇治川	宇治橋－隠元橋下流	3	9
2025年11月	宇治川	宇治橋－隠元橋下流	3	9
2025年12月	黒部川	下黒部橋下流	1	7
2026年2月	黒部川	新川黒部橋上流－下黒部橋	3	11

どの河川・時期においても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た。一部の河川では、ドローン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。調査点を湧出場（upwell）、浸透場（downwell）、またリファレンスの本川側岸（mainflow）に区分した。本川側岸（以降本川と略す）はなど、河床と河川の間の水の行き来（＝浸透や湧出）があまりない場を想定した。各調査点で、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、ケイ素（Si）濃度を計測した。また、水温の日周変化を調べるため、ボ

タン型水温ロガーを水中の河床上に置いた。湧水量について、水面幅、水深、流速から流量を求めた。河床の写真を周辺 5 カ所で撮り、後に ImageJ を用いて面格子法を習って 5 画像の計 75 点の粒径を計測し平均粒径を求めた。また、河床の柔らかさとして、シノ（針金締め）を用いて河床侵入深を周辺 5 カ所で計測した。

D フレームネット（口径 50×50cm、網 0.5mm 目）で半定量の底生動物採集をした。30×30cm の河床 3 カ所分の範囲を、5 センチくらいの深さまで足で掘り起こし、水中に巻き上がったものを D ネットにかきだした。基本的に水中河床と陸地河床の境界から陸地側を採集範囲とした。採集した底生動物を含む有機物はアルコール 75% で固定した。室内において 0.5mm の篩上にサンプルを出し、より細かいもの優しく洗い流し、底生動物とそれ以外に分け、底生動物の分類群を実体顕微鏡で特定した（主に科、属まで）。日本産水生昆虫 第二版：科・属・種への検索（川合・谷田 2018）と *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*（Merritt et al., 2018）を参考にした。各分類群、計数した数を $\log_{10}(x + 1)$ 変換したものを多さの値とした（0→0、1→ $\log_{10}2$ 、9→1、99→2）。

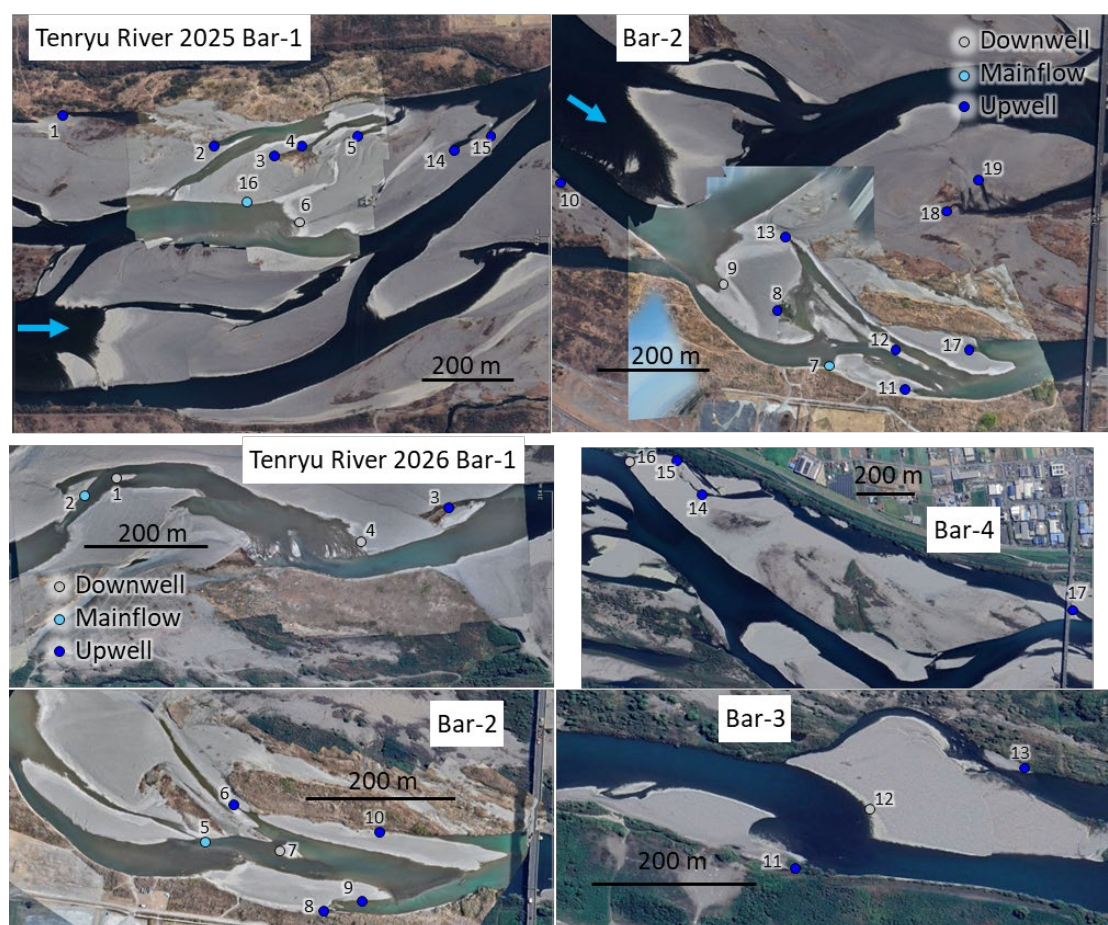


図 2 天竜川 2025（上）と 2026（下）の調査点

結果

天竜川

2025 年の 1 月と 2026 年の 1 月に調査した。2025 年は 5 つの砂州 19 点（浸透 2、本川 2、湧出 15）、2026 年は 3 つの砂州の 17 点（浸透 6、本川 2、湧出 9）を対象とした（生物採集はその一部）（図 2）。

どちらの年においても、湧出場の特徴として、浸透場や本川に比べて、DO が低く、pH が低く、濁度（NTU）が低く、Ca が高く（2026 年度は Si も高く）、河床柔らかさが大きく、粒径が小さいという傾向が見られた（図 3 は 2025 年の結果、2026 年の結果は省略）。また、浸透場や本川側岸に比べて、平均水温が高く、水温の日変化が小さかった。例えば、どちらの年においても、平均水温は本川では 6℃前後で湧出場では 8℃前後、日変化は浸透場では 8–10℃前後なのに対して、湧出場では 1℃前後であった。

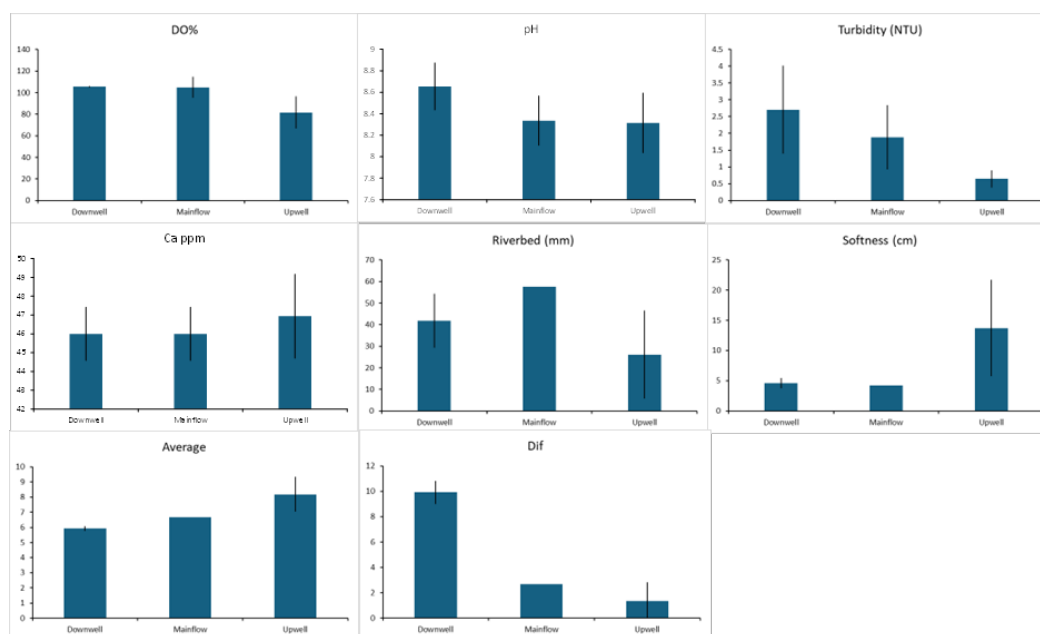


図 3 浸透場、本川側岸、湧出場による DO、pH、濁度、Ca 濃度、粒径、柔らかさ、水温、水温日変動の違い（2025 年結果）。平均値と標準偏差を示す

浸透場や本川と比べて湧出場に特徴的な底生動物群集が見られた。どちらの年においても、分類群数や分類群数＋多さにおいて浸透場より湧出場で高く、湧出場では甲殻類（Crustacea）とコウチュウ目（Beetle）の相対的割合が大きかった（2026 年はカワゲラ目 Stonefly の割合も大きい）。湧出場に特徴的な分類群は、海川回遊性のテナガエビ（*Macrobrachium*）、眼点を欠き地下水性とされるヨコエビの仲間（Amphipoda）、ホソカワゲラ科（Leuctridae）、フタツメカワゲラ（*Neoperla*）、コナガカワゲラ（*Flavoperla*）、ミドリカワゲラ科（Chloroperlidae）、カキダヒメトビケラ（*Hydroptila kakidaensis*）、コエグリトビケラ（*Apatania*）などであった（一部の底生動物の画像は参考資料に）。前者 6 分類群は雑食か

腐肉食、後者 2 分類群は藻類食と考えられる。また、1 個体であるが伏流水性とされる濾過食者のトゲタニガワトビケラ (*Kisaura*) が確認された。一方、浸透場に特徴的な分類群は、収集食のトウヨウモンカゲロウ (*Ephemera orientalis*)、デトリタス食のクロカワゲラ科 (Capniidae) などであった。

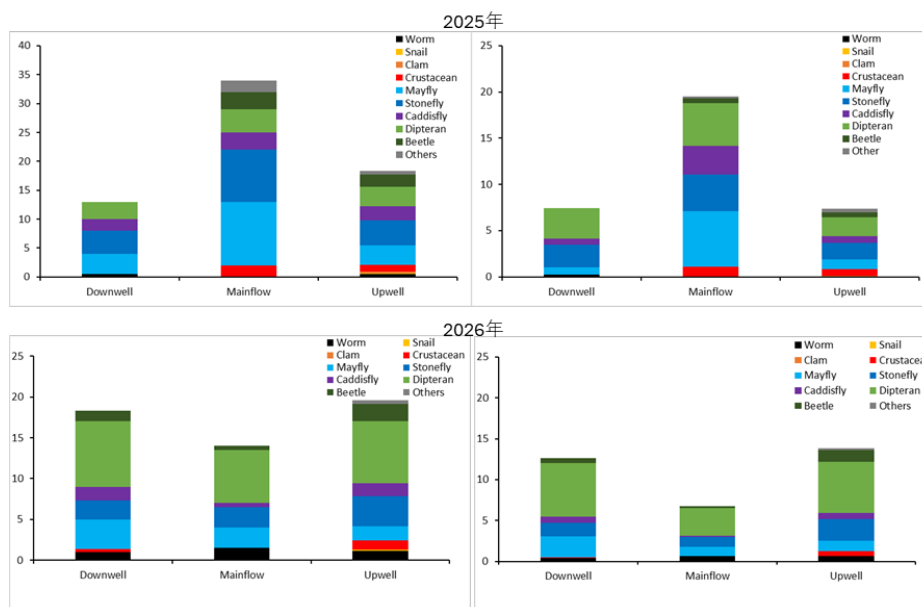


図 4 天竜川における浸透場、本川、湧出場による出現分類群数と分類群数+多さの違い (上段が 2025 年、下段が 2026 年)。複数の調査点の平均を示す

湧出場のみを対象とした水質の主成分分析の結果では、2025 年は第 1 軸に沿って、相対的に DO、pH、粒径、水温の日変化が大きいグループ (4 点、1, 2, 4, 12) と、相対的に Ca 濃度、河床柔らかさが大きいグループ (3 点、3, 8, 11) に分けられた (図 5)。前者は浸透場が近くにあり、比較的浅い河床を通ってきた湧水と考えられる。後者は浸透場が遠く、砂州の前縁に位置し、比較的深く長い時間伏流してきた湧水と考えられる。ただし、水温が高く流量が小さい点 (11) と、水温が低くて流量が大きい点 (8) があり、より深く通過に時間のかかる砂の層と、水通しの良い礫の層を通過してきた違いではないかと考えられる。

2026 年の主成分分析においても、DO、pH、粒径が大きく浸透場が近くで比較的浅い河床を通ってきたと考えられる湧水 (図の左下、6, 9, 13)、水温が高く流量と水温の日変動が小さく砂の層を通ってきたと考えられる湧水 (図の上、8, 10)、平均水温も水温の日変動も小さく流量が大きく礫の層を通ってきたと考えられる湧水 (図の右下、3, 14) で分かれる傾向が見られた (図 5)。

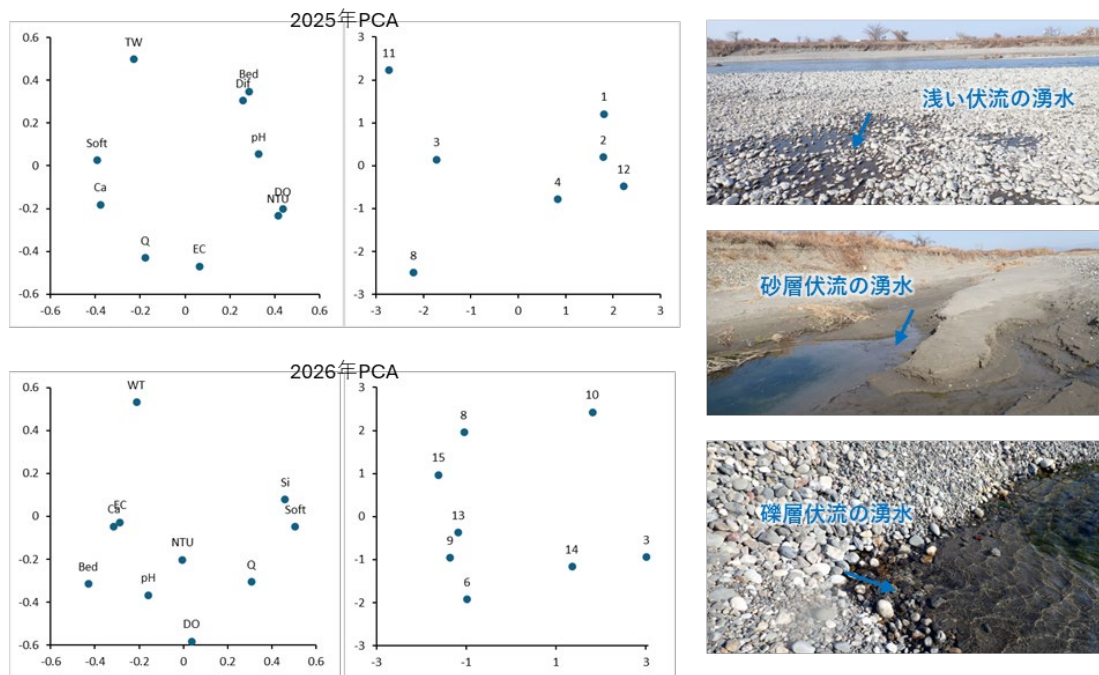


図 5 天竜川における湧出場のみを対象とした水質の主成分分析の結果と湧水のタイプ

2025 年の湧出場のみを対象とした底生動物の多変量解析 NMDS の結果では、水質と対応するように、浅い伏流水の湧水 (1, 2, 4, 5, 12)、砂層伏流の湧水 (11)、礫層伏流の湧水 (3, 8) で群集が分かれる傾向にあった (図 6)。2026 年も同様に、調査点 3 を除くと、浅い伏流水の湧水 (6, 9, 13)、砂層伏流の湧水 (8, 10)、礫層伏流の湧水 (14) で群集が分かれる傾向にあった (図 6)。分類群ごとの傾向としては、浅伏流の湧水に藻類食のカゲロウ (*Afronurus yoshidae*) やトビケラ (*Hydroptila*, *Apatania*) と雑食・腐肉食の無眼ヨコエビが、砂層伏流の湧水にデトリタス食のガガンボ (*Tipula*) やミビワバエ (*Ephydriidae*) が、礫層伏流の湧水に雑食・腐肉食のカワゲラ (*Leuctridae*, *Neoperla*, *Flavoperla*) が多い傾向にあった。

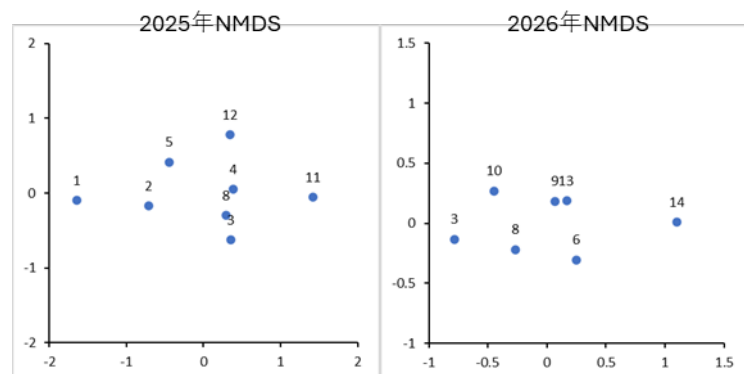


図 6 湧出場のみを対象とした底生動物群集の NMDS の結果

犬上川

2025 年の 8 月に、3 つの砂州の計 15 点（浸透または本川 10、湧出 5）を対象に調査した（図 7）。水量が少ないため広く瀬涸れした状態で、調査区間は支流流入点からで、上流の砂州から 2 番目の砂州までに水量が約 2 倍、3 番目までに 4-5 倍と、下流へ水量が増えた（図 7）。この間に表面流の合流はなく、全て伏流水が湧出してきたものであった。濁度は最初の砂州を流れる間に 1NTU を切り、水温は最初と 2 番目の砂州の間で 28℃から 20℃へと下がった（図 7）。一番目の砂州の下流から 3 番目の砂州まで、EC に大きな変化がないことから、伏流水の由来は、支流ではなく、主に河川上流において浸透した水と考えられる。

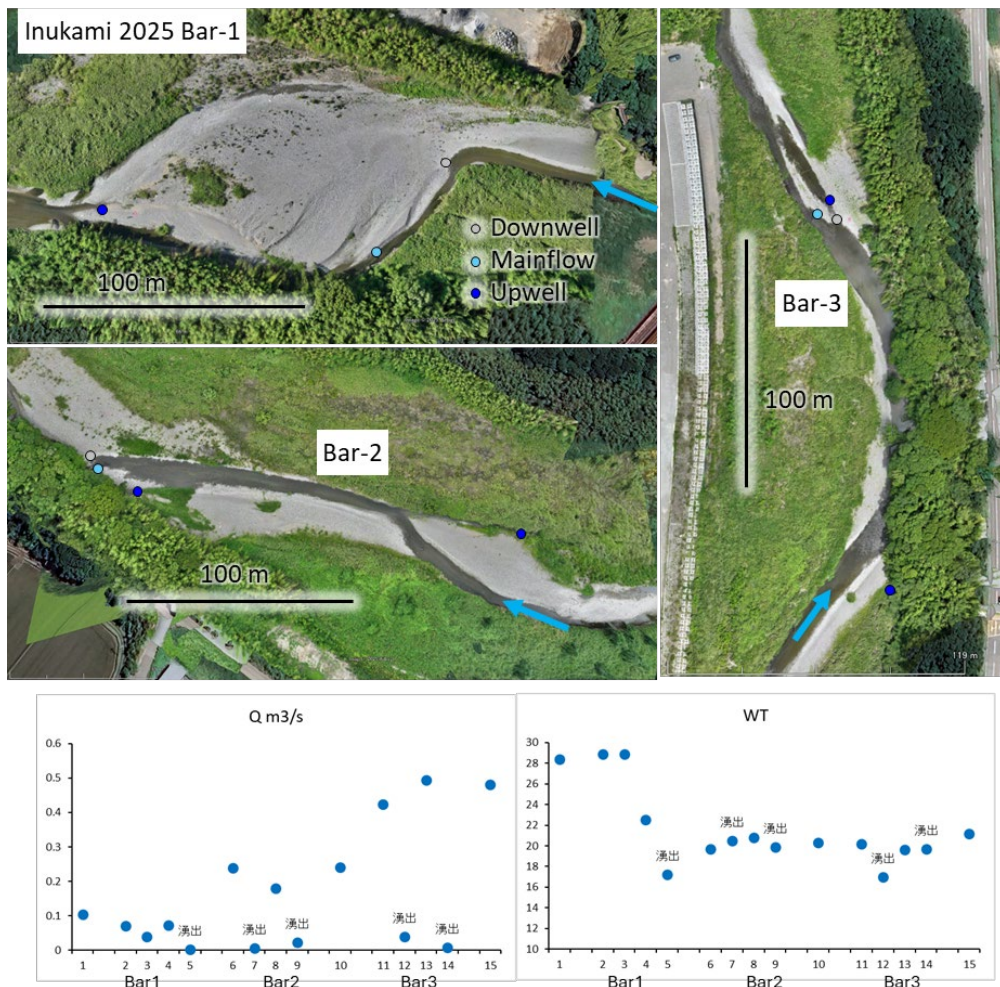


図 7 犬上川の調査点と上流から下流への流量、水温、EC の変化

1 番目と 2 番目の砂州では、浸透場と本川に比べて湧出場で河床の柔らかさが高く河床粒径が小さかったが、3 番目の砂州では浸透場と湧水場による大きな違いは見られなかった（図 8）。出水後の水温ロガーの消失により、2 番目砂州の湧出場の水温変動は分からなかった。一番目の砂州では浸透場や本川に比べて湧出場で平均水温と水温の日変動が小さかったが、3 番目の砂州では、場所による違いは小さかった。1 番目と 2 番目では砂州が発達

しており、砂州の上流（侵食卓越）側と下流（堆積卓越）側で水質と河床に不均一性が生じたが、3 番目では平坦な砂州で上流側と下流側で不均一性が生じにくいと考えられる。

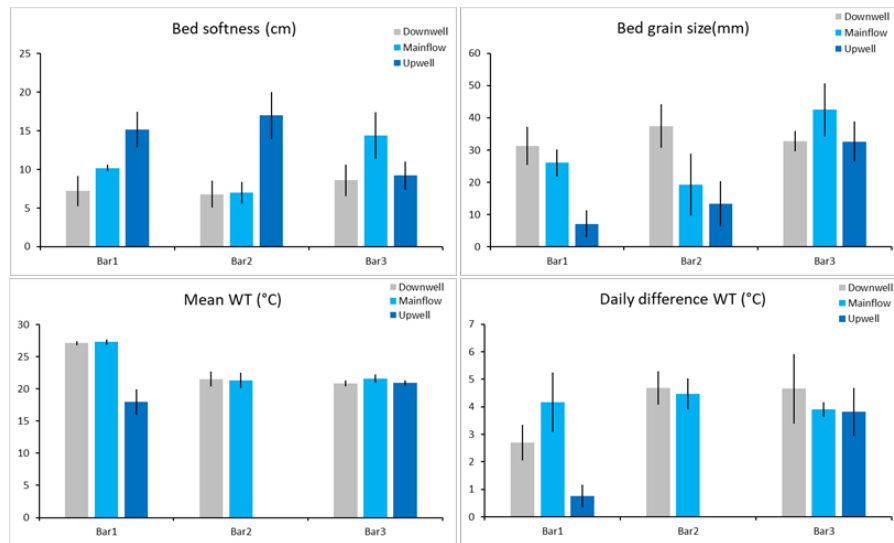


図 8 犬上川における砂州による調査点による河床柔らかさ、粒径、平均水温、水温日変動の違い。平均値と標準偏差を示す

底生動物の分類群数や分類群数＋多さは、浸透場と本川に対して湧出場で高く、湧出場は2 倍以上の大きさがあった。天竜川に比べると湧出場の底生動物が多い傾向にあるが、甲殻類、ハエ目、コウチュウ目が多く、カワゲラ目は逆に少なかった。深く長く潜った伏流水の湧水で、また夏の時期であるため、湧出場で DO が低く、そのような環境に適した底生動物が多いと考えられる。

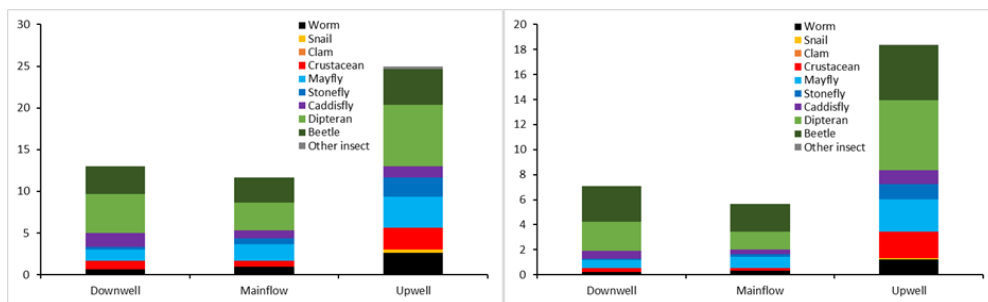


図 9 犬上川における浸透場、本川、湧出場による出現分類群数と分類群数＋多さの違い。複数の調査点の平均を示す

湧出場に特徴的な分類群として、無眼ヨコエビ、等脚目ミズムシ (*Asellus hilgendorfi*)、ヒメトビイロカゲロウ (*Choroterpes*)、コナガカワゲラ、フタツメカワゲラ、ナガラトビケラ (*Rhyacophila*、湧水に多いとされる *R. nipponica* の可能性) などが出現した。また、琵琶湖と川を回遊するビワヨシノボリも湧出場に多かった。浸透場と本川ではシジミガムシ

(*Laccobius*) が多かった。

宇治川

2025 年の 7 月と 11 月のそれぞれで、3 つの砂州の計 9 点で調査した。7 月に比べて 11 月で湧水量が少ないのは、水位が低いのと対応していた。一方、7 月に比べて 11 月は、水温が低い一方で DO は高かった。7 月に設置した水温ロガーのデータから、平均水温と水温日変動は、浸透場と本川よりも湧出場で小さく、下流の砂州ほどその違いは大きかった。下流の砂州ほど湧水量が少なく、天竜川の結果を踏まえて湧水を考えると、1 番目の砂州では浅い伏流の湧水、2 番目と 3 番目の砂州では砂層伏流の湧水であると考えられた。

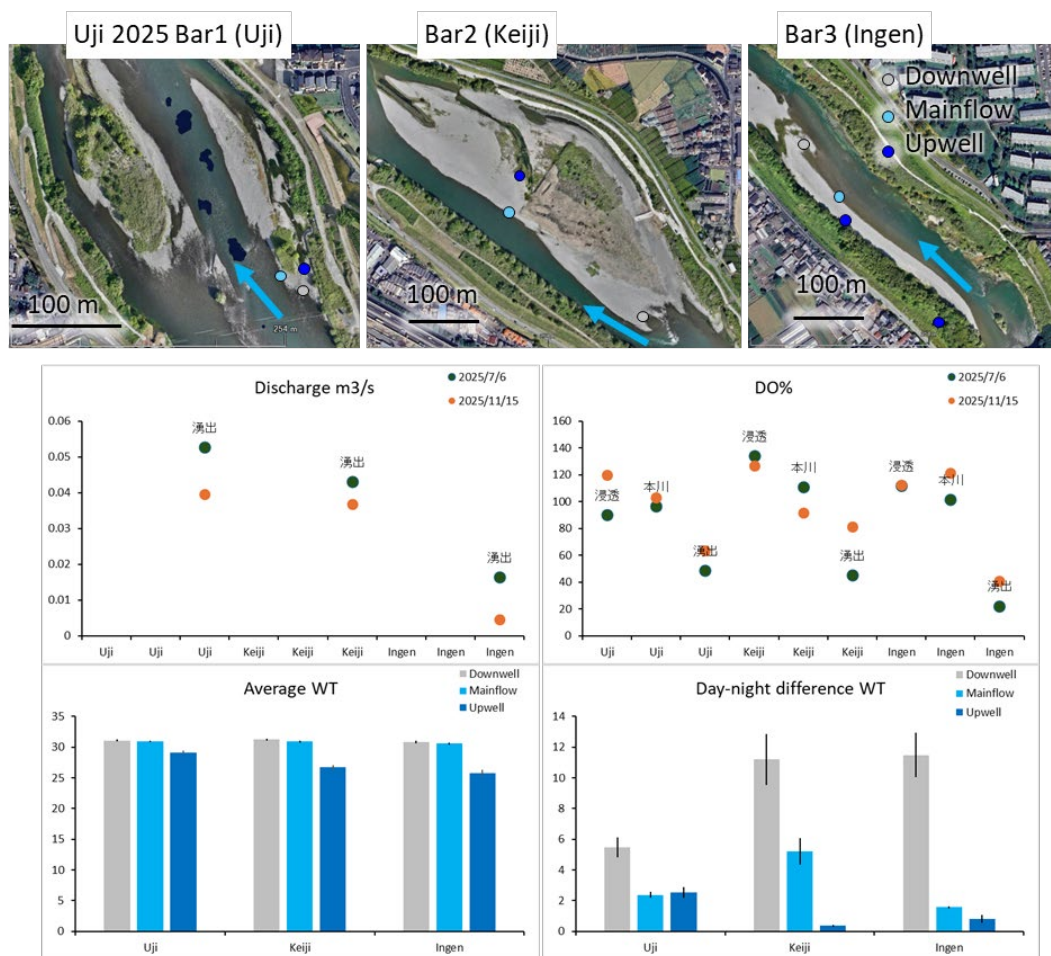


図 10 宇治川の調査点と、湧水量、DO 飽和度、平均水温、水温日変動の違い。棒グラフは平均値と標準偏差を示す

宇治川 7 月における底生動物は、天竜川と犬上川と比べて、分類群数も分類群+多さも圧倒的に小さかった。また、浸透場と本川に比べて湧出場で底生動物が顕著に多い傾向もなかった。7 月は特に DO が低く、3 番目砂州の湧出場で DO 飽和度が 20% であった。宇治川の砂州の表層は石が大きくしかもはまり石で間隙が少ない場所が多いことに加えて、酸素

が少なく湧水に生物が棲みにくい状態かもしれない。

宇治川の分類群数や分類群数＋多さの値は、天竜川や犬上川と比較して小さかった（特に湧出場）。また、他の河川で湧出場の特徴であった無眼ヨコエビやカワゲラ多くの分類群が出てこなかった。DO が低すぎるため、水が透明で水温がマイルドではあるが、少し流れて曝気されるまで、生物が棲みにくいと考えられる。

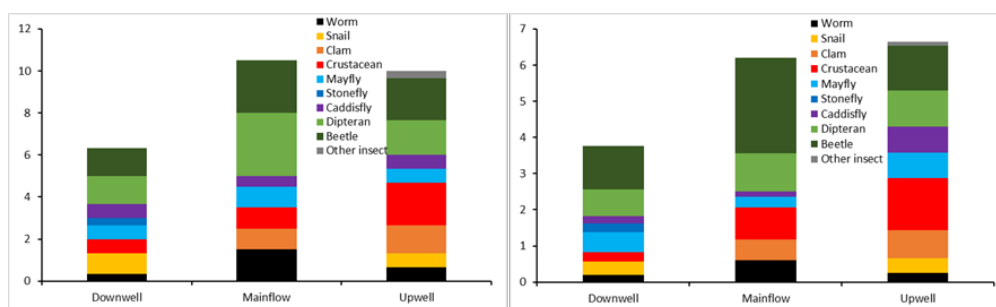


図 11 宇治川における浸透場、本川、湧出場による出現分類群数と分類群数＋多さの違い。複数の調査点の平均を示す

黒部川

2025 年 12 月（天候が悪く水質計測のみ）と 2026 年 2 月に調査を行い 3 砂州の計 11 点で調査した。他の河川に比べて河床粒径が大きく、底生動物の十分な採集ができなかった。3 砂州は横断形状に大きな違いがあり、いずれも主流と二次流路が見られるが、主流の比高が 2 番目の砂州では低く、3 番目の砂州では高く、1 番目の砂州ではそれらの中間であった。そのため、3 番目の砂州では湧出場が複数あったが、2 番目の砂州では湧出場は 0 で、1 番目の湧出場は 1 であった。3 番目の砂州では、比高の低い湧出場ほど湧水量が多かった。

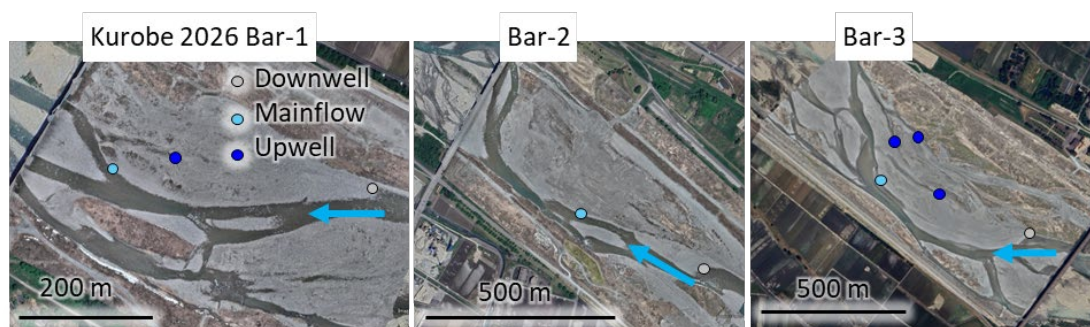


図 12 黒部川 2026 の調査点

黒部川では他の河川で見られたような水質における浸透場や本川と湧出場の大きな違いは見られなかった。黒部川は表流水と伏流水がかなり混ざりきっている状態なのかもしれない。3 番目の砂州では、水温の日変動においては違いが見られ、浸透場と本川では 2-3℃の違いがあったが湧出場ではほとんど変化がなかった。比高が低い湧出場ほど平均水温が高く、より深い層を通った湧水であると考えられた。

湧出場のない 2 番目砂州では他と比べて河床粒径が大きく、柔らかさが小さかった。横断形状的にも河床粒径的にも湧水が生まれにくい砂州であった。3 番目の砂州では浸透場に比べて湧出場の河床粒径は小さく、柔らかさは大きかった。本川側岸の河床粒径が一番小さいのは、川岸に不安定土砂の堆積があるためである。

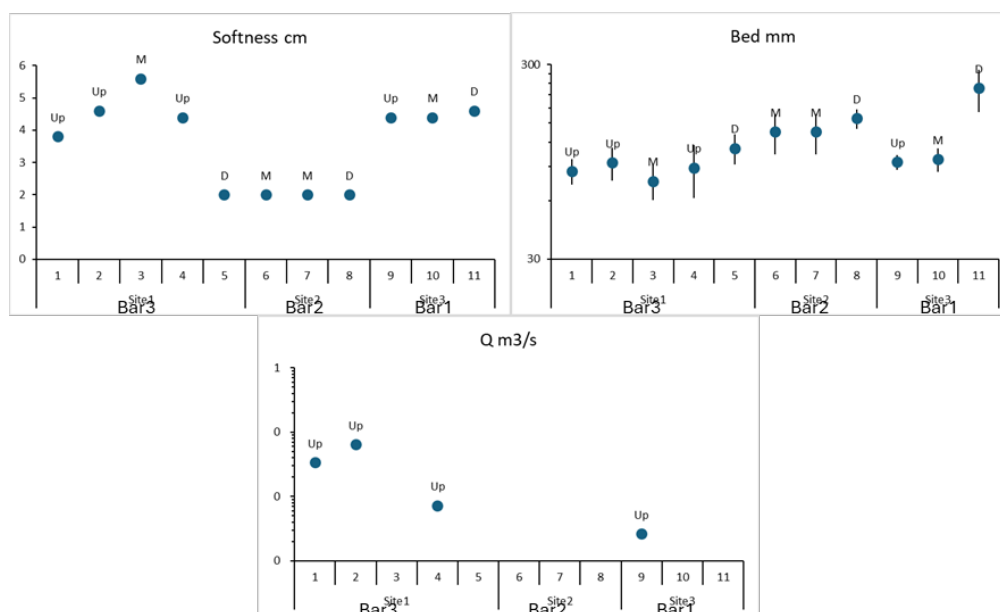


図 13 黒部川 2026 の調査点と、河床柔らかさ、粒径、湧水量

湧水量の時空間変異

河川間、また湧水場により水量は大きく異なった（図 14）。個々の湧水量には動水勾配や河床の詰まり具合が関係していると考えられるが、今回はドローン空撮の地形測量が完全ではなく、動水勾配の評価がうまくできなかった。4 つの河川で犬上川は最も規模が小さいにも関わらず、天竜川と同程度かそれ以上の湧水量があった。犬上川は砂礫が適度に動き、河床の透過性が良いのかもしれない。宇治川に比べて、出水後に濁りが多いと考えられる天竜川と黒部川は湧水量が低い傾向にあった。細かい成分による河床の目詰まりの影響があるのかもしれない。天竜川では 2025 年から 2026 年に湧水量が減少した。2025 年の夏秋に大きな出水が無かったため、この期間に河床が目詰まりを起こした可能性がある。推定浸透場と湧水場の距離も、2025 年と比べ 2026 年では長くなっていた（図 14）。河床が詰まる、または本流の河床が下がると、より低い標高で伏流水が流れて最後に湧出するため、湧出場がより下流へと移ると考えられる（図 15）。

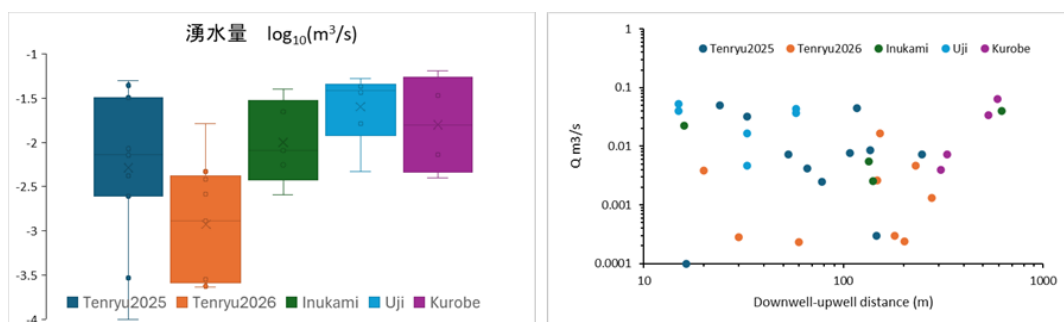


図 14 各河川における個々の湧水量のヒストグラム（左）、推定浸透場－湧水場の距離と湧水量の関係（右）

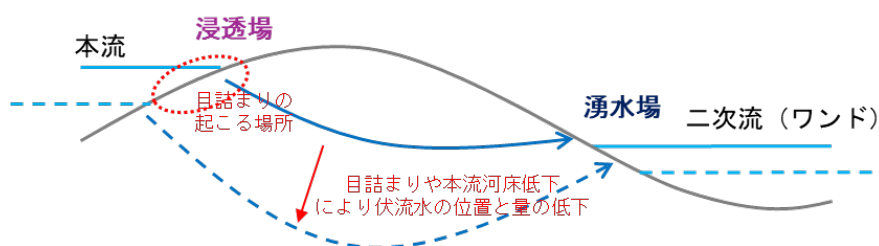


図 15 河床の目詰まりによる湧水量低下のプロセスの仮説

まとめと今後

本研究の成果を以下にまとめる。

- ・ DO 濃度、pH、濁度、Ca 濃度、Si 濃度が河川内湧水の指標となりうる。しかし相対的な大きさを見る必要があり、また複数項目を確認する必要がある。水温日変動は単独で湧水の良い指標となりうる。
- ・ 底生動物においては無眼ヨコエビ類、雑食・腐肉食性のカワゲラ類、藻類食トビケラ類、回遊魚・甲殻類が河川内湧水の指標となりうる。
- ・ 河川内湧水には、浅伏流タイプ、砂層伏流タイプ、礫層伏流タイプがあり、水質水温、底生動物群集に違いがみられる。
- ・ 湧水量に河川間や年間の違いが見られ、河床の目詰まりが影響していることが考えられた。河床が詰まると、水量が減少するとともに、湧水の質も、浅伏流や礫層伏流タイプから砂層伏流タイプへと変わり、水質や底生動物群集も変化することが考えられる。

河床の目詰まりは、現地の粒径分布や出水とそれによる砂礫の供給や交換の度合いや頻度が関係していると考えられる。この点を今後も調べていきたい。適度に出水があり砂礫が動く河川が湧水と生物が豊かになることが一つの仮説である。

当初は、より長い距離を伏流した湧水を調査したかったが、見つからなかった。ただ、今回の結果から、伏流が深いほど、距離が長いほど、水温はより安定するが、DO が下がり、底生動物群集も砂層伏流タイプにより近いことが考えられる。

河床内の水の流れと河床表面の地形の関係は、未だに不明な点が多いため、調査を継続してこの点を明らかにしていきたい。

発表

小林草平、礫河川における砂州の浸透場と湧水場の水温、水質、底生動物群集特性、応用生態工学会第 28 回新潟大会、新潟、2025 年 9 月 11 日－13 日

Sohei Kobayashi, Characteristics of water and benthic invertebrates at surface–hyporheic interfaces in riverbeds, 第 73 回日本生態学会、京都、3 月 11 日－15 日

河川内湧水に関する既存研究は国内外にほとんどなく、本研究で新しい知見がたくさん得られたので、今後国際誌の投稿を検討している。

本研究中に出現した河川内湧水に特徴的な底生動物

