

湧水がもたらす底生無脊椎動物にとっての特異な生息環境 ：朱太川の事例

Unique habitats for macrobenthos formed in spring-fed environments in the Shubuto River system.

17N3100006F 岩渕 克哉 (保全生態学研究室)

Katsuya IWABUCHI/ WASHITANI Lab.

Key Words : crenophilous, distribution, groundwater, Hokkaido, macroinvertebrates

1. 背景

淡水生態系における様々な形態の生息環境の組み合わせが淡水生物多様性の維持・創出に関わっている。中でも、地中に潜った地下水が再度地表に現れて形成される湧水環境は、他の非湧水環境と比べ独特な物理・化学的環境が形成され、特異な生物相をもたらしていると考えられる。

湧水環境は、主に水温・水量・水質の3点において他の非湧水環境とは異なった特徴を有している。まず、湧水は湧出するまで大気と触れ合うことがないため気温による温度変化の影響が極めて小さく、年間を通して水温が安定している¹⁾。そのため夏季では湧水は非湧水と比べて相対的に冷たくなり、冷涼な水温条件に適応した湧水選好種に生息地を提供している²⁾。水量に注目すると、地下水は降水による直接的短期的な増加の影響を受けにくいいため、湧水は一般に安定した水量を供給することができる³⁾。そのため、大雨による洪水が起こりにくく河床攪乱強度が小さくなる。一方、渇水時においては湧水の安定した水量が恒常的な水域の維持に大きく貢献している。洪水や干ばつによる攪乱は底生無脊椎動物の群集構造に極めて多大な影響を及ぼすため⁴⁾、湧水河川の攪乱頻度の低さは底生無脊椎動物にとって安定した生産につながるのかもしれない。水質に注目すると、湧水は地下部を浸透し、濾過や基岩との化学反応を経て湧出する⁵⁾。そのため、表流水は地表面の有機分に大きく影響された水質である一方で、地下水は地質に応じてミネラル分が混合される。

本研究で調査を行った地域は黒松内低地帯に位置しており、新生代に形成された海成堆積岩類と凝灰岩の互層からなる黒松内層と瀬棚層で形成される⁶⁾。この地質を浸透したカルシウム成分を豊富に含んだ硬度の高い地下水が地表に湧出し朱太川水系に流入している。朱太川水系のほぼすべてが北海道寿都郡黒松内町を通っており、黒松内町ではこの朱太川水系を軸の一つとして生物多様性地域戦略が策定されている⁷⁾。朱太川水系の大きな特徴として、本川には魚類の遡上を妨げる

ようなダムなどの工作物がなく、通し回遊魚の魚類群集が豊かであるなど⁷⁾、全国的に見ても貴重な河川である。朱太川水系は黒松内低地帯を流れるという特徴から地下水によってもたらされた水域もいくつか存在している。本研究では、そのような朱太川水系における湧水環境を対象として、底生無脊椎動物とその生息環境を調査することによって湧水環境の特異性を示すとともにそこに成立する動物群集の特徴を把握することを目的とする。特に上述のような水温・水量・水質に焦点を当てながら湧水・非湧水環境の比較を行うことで、河川の生物多様性にとって湧水環境が果たする役割について考察する。これにより、朱太川水系における湧水環境の重要性を把握し、黒松内町が掲げる生物多様性地域戦略に寄与することをめざす。

2. 方法

(1) 調査区間

本研究は、北海道寿都郡黒松内町に流域の大部分をもつ朱太川流域で行われた。朱太川流域は冷温帯二次林や農地などによって構成され、河畔域にはヤナギ類を主体とした河畔林が発達する。朱太川流域の支川のうち、河川水の大部分が地下水の湧出によって維持されると考えられる上山川と、表面水の影響の大きいと考えられる歌才川と黒松内川をそれぞれ湧水河川、非湧水河川として選定した(図1)。上山川は河床から地下水が砂を巻き上げながら湧出し、黒松内低地帯を流れ本川へと合流する河川である。歌才川は上山川と隣接した非湧水支川であり、共通して北上しながら本川へと合流する河川である。黒松内川は上山川や歌才川から5.5kmほど離れた場所に位置しており、黒松内岳を源流にした山地溪流の非湧水支川である。なお、本研究では、湧水は地下水が地表に湧出したものを指し、目視にて確認できるほどの大規模な湧水点をもたない水域を非湧水と定義した。

(2) 水温と水位の変動・水質

調査区間内の水底付近でロガーを単管パイプに固定し、30分ごとに水温・絶対圧力を記録した。観測期間

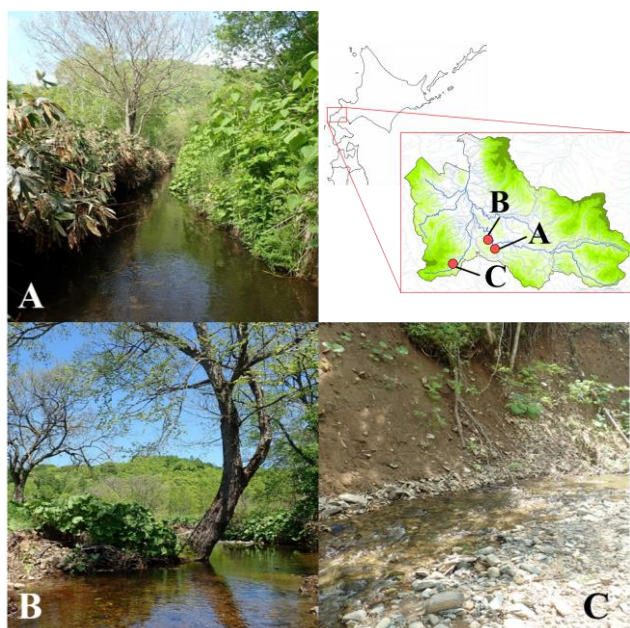


図 1. 各調査地の写真。A: 上山川、B: 歌才川、C: 黒松内川。

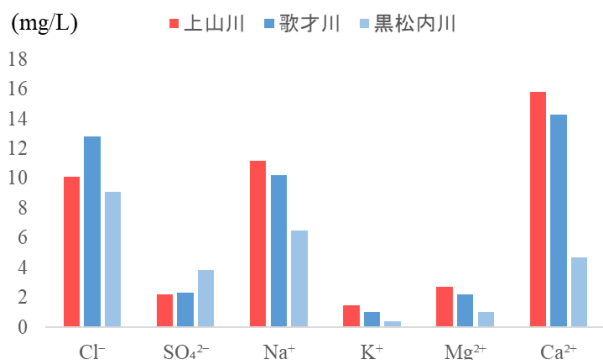


図 2. 各調査区間で検出されたイオン濃度 ($n=1$)。

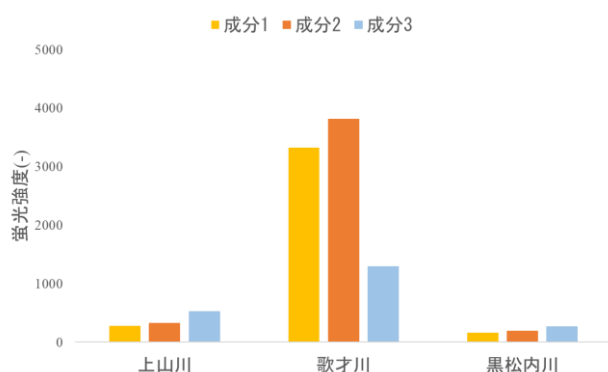


図 3. PARAFAC 法による各成分の蛍光強度。成分 1、成分 2: フルボ酸様物質、成分 3: タンパク質様物質。

はすべてのロガーが稼働していた2018年5月末から10月上旬とした。自動記録された絶対圧力 (kPa) のデータは現地でも実測した水位 (cm) に基づき絶対圧力データを水位に変換した。また、湧水河川である上山川においては流量を把握する調査を行った。川幅を記録し0cm地点から20cmごとにポイントを設け、水深と流速を求めた。区間ごとの流量を断面積と流速から求め、全区間の流量を足し合わせることで全体の流量として記録した。また、河川水のミネラル組成を把握するためイオンクロマトグラフを用いて河川水を分析した。さらに蛍光特性を把握するために上山川と歌才川それぞれの本川との合流後を含めた水サンプルを採取した。採取された水サンプルは励起蛍光マトリクス (EEM) を用いた蛍光光度分析を行った。

(3) 底生無脊椎動物群集

各調査区間内から淀みがなく礫が堆積する河床を5ヶ所選定し、サーバーネットを用いた定量採取法によって底生無脊椎動物を採集した。できる限り下位の分類群まで同定し、それぞれの分類群に生活型と摂食機能群を割り当てた。同定結果から調査区間ごとの全個体数密度と各生活型と摂食機能群の個体数密度を算定した。さらに全個体数のうち1%以上を占める分類群を優占分類群と定義⁸⁾し、各調査区間の優占分類群を把握した。

(4) 水深・流速・底質・光環境

底生無脊椎動物サンプルの採集を行う際、底生無脊椎動物の詳細な生息環境を調査するため、サンプリングに先立ってサーバーネットのコロラード内で水深と流速、細粒土砂 (>2mm) の被度を記録した。また河川の高さを求めるため川幅を計測した。続いて付着藻類の生産やリターの供給のポテンシャルを把握するため開空度の調査を行った。

(5) 餌資源

底生無脊椎動物を採集した際に得られた有機物を堆積デトリタスとしてその量を把握した。底生無脊椎動物を取り除いた後に、残留した有機物を乾燥させ強熱減量を求めた。付着藻類は各調査区間内の石礫面から4cm²の範囲内でブラシを用いて擦り取り採取をした。持ち帰った試料をガラス繊維フィルター (Whatman GF/F) に吸引濾過させ乾燥し強熱減量を求めた。

(6) 統計解析

底生無脊椎動物群集については、各調査区間における各優占分類群の個体数密度、各生活型および摂食機能群の個体数密度データからサイト間を要因とする一元配置分散分析およびTukeyの多重比較を実行した。水深、流速、細粒土砂被度、川幅、開空度、餌資源については、底生動物群集と同様に一元配置分散分析およ

表 1. 各調査区間における優占分類群の個体数密度、生活型、摂食機能群、環境要因、餌資源の平均値と一元配置分散分析の結果。底生無脊椎動物群集の各要因は個体数密度 (m²) で示した。

	上山川		歌才川		黒松内川		F ₂	P
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
個体数密度	13193.6	± 3934.01	1222.4	± 407.39	1456	± 792.85	59.05	<0.001
生活型								
Sprawlers	44.8	± 34.69	387.2	± 238.77	1100.8	± 578.82	13.89	<0.001
Burrowers	13148.8	± 3921.98	448	± 127.50	339.2	± 269.02	86.26	<0.001
Swimmers	0	± 0.00	387.2	± 177.95	16	± 22.63	31.32	<0.001
摂食機能群								
Collector-gatherers	12902.4	± 3880.27	425.6	± 124.24	275.2	± 147.25	124.50	<0.001
Grazers	3.2	± 7.16	412.8	± 180.81	236.8	± 45.82	66.76	<0.001
Predators	288	± 239.20	384	± 212.87	886.4	± 592.39	1.99	0.18
環境要因								
水温(°C)	9.08	± 0.49	14.66	± 2.36	13.66	± 2.52	—	—
水位(cm)	20.94	± 5.76	30.05	± 8.49	-4.11	± 6.32	—	—
水深(cm)	12.43	± 0.80	13.80	± 6.28	13.60	± 3.37	0.064	0.939
流速(cm/s)	12.06	± 2.94	22.59	± 4.50	35.82	± 12.93	18.48	<0.001
細粒土砂の被度(%)	78.00	± 4.47	15.00	± 7.91	10.00	± 6.12	30.36	<0.001
川幅(cm)	422	± 33.47	542	± 62.61	330	± 82.46	13.74	<0.001
開空度(%)	57.70	± 12.16	60.92	± 10.39	50.92	± 6.79	1.241	0.324
餌資源								
堆積デトリタス量(g)	1.58	± 0.42	0.17	± 0.09	0.88	± 0.64	15.93	<0.001
付着藻類の現存量(mg)	3.68	± 0.29	4.52	± 0.97	2.62	± 0.33	12.15	<0.005

びTukeyの多重比較を行った。水質測定では得られたEEM結果に対して多変量解析法 (PARAFAC法) を適用し、個々のピークを分解し蛍光成分を求めた。

3. 結果

(1) 水温と水位の変動・水質

表1より湧水によって形成されている上山川の水温は約10°Cで安定して推移しており、歌才川、黒松内川と比較し季節変動、日変動ともに明らかに小さかった。水位変動に注目すると、特に歌才川の変動が大きかった。標準偏差を比較すると、上山川は歌才川、黒松内川よりもばらつきが小さい値を示した。上山川の流量を求めた地点の川幅は約340cmであり、推定された流量は0.11m³/sであった。イオンクロマトグラフィで検出された6成分中Na⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺は黒松内川で低い傾向がみられた。PARAFAC法によって河川水の蛍光物質が3成分に分離され、成分1、成分2はフルボ酸様物質、成分3はタンパク質様物質と判断された⁹⁾。図3は3成分の蛍光強度を各調査区間で比較したグラフである。歌才川はいずれの成分も高い値を示した。

(2) 底生無脊椎動物群集

本研究で河川調査区間から採集された底生無脊椎動物は合計5,757個体であった (上山川: 4,453個体、歌才川: 622個体、黒松内川: 682個体)。確認できた分類群数は合計62分類群であった (上山川: 35分類群、歌才川: 32分類群、黒松内川: 42分類群)。また、上山川に

おいて湧水選好種であるイズミコエグリトビケラ属sp. (*Allomyia* sp.)、エゾヨコエビ (*Sternomoera yezoensis*)、マメシジミ科 sp. (*Pisidiidae* sp.) が確認された¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾。

得られた総個体数より、合計58個体数以上確認できた分類群を優占分類群とし、11分類群が優占分類群に該当した。最も多く確認された優占分類群はオオユキユスリカ属 sp. (*Pagastia* sp.) であり、全個体数密度の約42.9%であり、上山川で極めて多く確認できた。

表1より個体数密度は上山川が歌才川、黒松内川に比べ有意に高かった (p<0.001)。生活型では掘潜型が上山川で他の2支川より有意に高く (p<0.001)、摂食機能群では上山川で収集食が他の河川より有意に高かった (p<0.001)。また、エリユスリカ亜科 sp.a (*Orthocladinae* sp.a) を除く優占分類群のユスリカ科の個体数密度は上山川が他の2支川より有意に高かった (p<0.005)。

(2) 水深・流速・底質・川幅・光環境および餌資源

水深はすべての調査区間で20cm未満であり、各サイト間で有意な差は得られなかった。流速は上山川が歌才川、黒松内川より有意に低く (p<0.05)、緩やかであった。細粒土砂の被度は歌才川、黒松内川が10~20%であるのに対し、上山川が80%と有意に高く (p<0.001)、より砂泥が堆積していた。川幅は上山川が約420cm、歌才川が約540cm、黒松内川が約330cmであり、黒松内川が有意に小さかった (p<0.05)。開空度はどの調査区間も約50~60%であり各サイト間で有意差は見られなかった。

堆積デトリタス量は上山川、黒松内川が歌才川より有意に高く ($p<0.05$)、上山川で黒松内川より高い傾向がみられた ($p<0.1$)。付着藻類を比較すると上山川、歌才川が黒松内川より有意に多かった ($p<0.05$)。

4. 考察

上山川、歌才川でミネラル成分が高い傾向がみられたことから、黒松内低地帯を流れる支川は地下水だけでなく表流水においても貝化石層由来のミネラル成分が寄与している可能性が示唆された。また、河川水の蛍光特性から、非湧水である歌才川では他の調査地と比べフルボ酸様物質、タンパク質様物質に高い値が確認でき、地表水に強く依存した水域であることが考えられた。一方、湧水水域である上山川と山地溪流の黒松内川の蛍光特性は類似しており、低地帯における湧水河川と山地溪流はどちらも地下水の寄与が大きい水域であると考えられた。

底生無脊椎動物の優占分類群は湧水河川である上山川が非湧水河川の2支川と比べ極めて高い個体数密度を示した。特に上山川ではユスリカ科が極めて高密度に生息しており、その割合は上山川で得られた全個体数密度の約88%であった。上山川で得られたユスリカ科のほとんどは掘潜型、収集食者に該当した。掘潜型は砂泥に潜って生活する動物を指し、上山川に卓越する砂泥質な河床とユスリカ科の優占はよく対応した結果であると考えられた。また、上山川で堆積デトリタス量が多い傾向にあったことから、餌資源の観点からも堆積デトリタスを収集して摂食する収集食者の高密度化につながっていると推察された。このことから、流量の安定した湧水河川では細かい土砂だけでなく、デトリタスも流亡せずに堆積することが、高い掘潜型および収集食者の生息密度を招いていると結論される。

優占分類群には選定されなかったものの、上山川には湧水のような清冽な水環境を好む種であるイズミコエグリトビケラ属 (*Allomyia* sp.)、エゾヨコエビ (*Stemmoera yezoensis*)、マメシジミ科 (*Pisidiidae*) が確認できた。他種のヨコエビ類や二枚貝類が確認できなかったことから、エゾヨコエビやマメシジミ科は殻形成に必須であるカルシウム成分が豊富な水質を好んでいるというよりむしろ、夏期における上山川の冷涼な水温を強く選好しているのかもしれない。また、ヨコエビ類の多くは洪水による流失の影響を受けやすく¹³⁾、そのような流失のリスクが少ない上山川は、ヨコエビ類にとって好適な生息地を形成しているのかもしれない。

今回の調査によって朱太川水系の湧水河川では、洪水攪乱が少なく安定した水量が維持され、掘潜型、収集食者が極めて高密度に生息することが明らかとなっ

た。底生無脊椎動物は、食物連鎖の中で上位捕食者である魚類やクモ類の重要な餌資源となることから¹⁴⁾、湧水河川に高密度で生息する底生無脊椎動物は周辺の捕食者群集を支える役割を果たしているのかもしれない。また、湧水河川は安定した水温を選好する動物が生息しうる特異的な水域を形成していることが推察された。今後、湧水河川に特異的に生息する底生無脊椎動物を保全するとともに、食物網における餌資源供給源としての湧水河川の生態系機能を明らかにすることが、朱太川の水系ネットワークの生物多様性と生態系サービスの維持につながると考えられる。

5. 参考文献

- 1) Death RG, Winterbourn MJ (1994) Environmental Stability and Community Persistence: A Multivariate Perspective. J. N. Am Benthol. Soc, 13:125-139.
- 2) 森誠一 (1994) 魚と人を巡る水環境—ハリヨのこれまで、いま、これから. 水資源・環境研究, 7:22-29.
- 3) Borgan MT, Boersma KS, Lytle DA (2015) Resistance and resilience of invertebrate communities to seasonal and supra-seasonal drought in arid-land headwater streams. Freshwater Biol, 60:2547-2558.
- 4) Sear DA, Armitage PD, Dawson FH (1999) Groundwater dominated rivers. Hydrol. Process, 13:255-276.
- 5) 池谷 仙之, 林 慶一 (1982) 北海道渡島半島黒松内地方の地質. 地質学雑誌第 88:613-632.
- 6) 黒松内町環境政策課 (2012) 黒松内町生物多様性地域戦略. 黒松内町, 北海道.
- 7) 宮崎 祐介, 照井 慧, 久保 優, 畑井 信夫, 高橋 興世, 齋藤 均, 鷲谷 いづみ (2011) 北海道南西部の朱太川水系における魚類相とその保全生態学的評価. 保全生態学研究 16:213-219.
- 8) Braun AC. (2015) Taxonomic Diversity and Taxonomic Dominance: The Example of Forest Plantations in South-Central Chile. J. Ecol, 5:199-212.
- 9) Chen W, Westerhoff P, Leenheer JA, Booksh K (2003) Fluorescence Excitation-Emission Matrix Regional Integration to Quantify Spectra for Dissolved Organic Matter. Environ. Sci. Technol, 37(24):5701-5710.
- 10) Nishimoto H, Kuhara N (2001) Revision of the Caddisfly Genus *Allomyia* Banks of Japan (Trichoptera : Apataniidae), with Descriptions of Seven New Species. Entomol. Sci, 4(2):157-174.
- 11) Uéno M (1933) Three noticeable freshwater Crustacea of Hokkaido. Annot. Zool. Japon, 14:115-122.
- 12) 波部 忠重, 伊藤 潔 (1965) 原色世界貝類図鑑 第 1 (北太平洋編). 保育社, 大阪.
- 13) Kobayashi S, Gomi T, Sidle RC, Takemon Y. 2010. Disturbances structuring macroinvertebrate communities in steep headwater streams: relative importance of forest clear-cutting and debris flow occurrence. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 67:427-444.
- 14) Iwata T (2007) Linking stream habitats and spider distribution: spatial variations in trophic transfer across a forest-stream boundary. Ecol. Res, 22:619-628.