

## 研究論文

# 河川源流域における流程に伴う河川環境と底生動物群集の変化

井上光也<sup>1)</sup>・宮地 萌<sup>1)</sup>・加藤元海<sup>2)</sup>\*

### 要 旨

河川における上流域から下流域までの流程に沿った底生動物群集の変化は多くの報告があるが、源流域内における流程に伴う底生動物群集の変化はほとんど報告されていない。高知県内を流れる仁淀川支流の小川川と四万十川支流の黒尊川を対象に、調査地点は各河川でそれぞれ源流点を含む6地点の合計12地点、2014-2015年の毎年各季節に1回ずつ調査を行なった。各調査地点の標高は25-1000 m、流量は0.7-3244 L/sの範囲であった。十脚目を除く底生動物群集の生物量および個体数は、水温が低く、底生藻類密度が高いほど多かった。分類群別では、流量とともに藻類食性カゲロウや造網性トビケラの個体数が増加した。底生動物が底生藻類密度とともに増えたのは、藻類食性のカゲロウや造網性トビケラのヒゲナガカワトビケラの増加が原因であると考えられる。底生藻類密度と流量には正の相関があったことから、流下物を主な餌とする造網性トビケラのシマトビケラも底生藻類密度とともに増えたと考えられる。河川上流域では、底生動物群集において生物量で優占するのは造網性トビケラ、個体数ではカゲロウ類が優占する傾向にあることから、底生動物群集の生物量と個体数は底生藻類密度とともに増加したのであろう。

キーワード：源流域、水温、流量、底生藻類、水生昆虫

河川源流域は流量が少ないとともに日照条件が悪く栄養が貧弱なため、生息する底生動物の生物量や個体数は限定される。しかし、下流に向かうにしたがって流量は増加し、日照条件が改善されると底生藻類が増える (Stevenson 1996)。それに伴い底生動物群集の生物量と個体数は変化する。特に河川では上流域から下流域にかけて生物群集の特性が変化する河川連続体仮説が知られている (Vannote et al. 1980)。河川連続体仮説やこれまで行なわれてきた研究では、河川上流域から中流域を経て下流域へと至る広い視点での底生動物群集の変化に注目してきた。特に底生動物を餌によって分類した摂食機能群の変化に着目した研究が多い (Vannote et al. 1980, Hawkins and Sedell 1981, Grubaugh et al. 1996)。一方で、源流域の中で流量の増加とともにどのように生物量や個体数が増えるのかを明らかにした研究はこれまでのところほとんどない (ただし、

Grubaugh et al. 1996)。特に源流点は交通アクセスが悪く、川幅が狭くまたは底生動物相が限定的であることから、これまで群集の生物量や個体数に関する研究の対象とされてこなかった (ただし、井上ほか 2015)。一般に河川上流域と呼ばれる場所は、源流域と比べて瀬や淵など空間構造が複雑であり、樹木による日光の遮断が少ないため、破碎食者や収集食者、藻類食者、肉食者など様々な摂食様式をもった底生動物が多く生息している。本研究では、源流点から上流域にかけて源流域の底生動物の生物量と個体数が地理的、物理的な環境のうち、どの条件と強く関連して変化するのかを明らかにすることを目的とした。

流程に伴った河川環境と底生動物群集の変化の関係を調べるにあたって、四国を流れる仁淀川と四万十川の2つの水系の異なる河川を調査対象とした。仁淀川は愛媛県石鎚山に源を発し、土佐湾に注ぐ流路延長124 km、流域面積1560 km<sup>2</sup>の一級河川であり、上流域の底生動物相に関しては井上ら (2015) に詳しい。四万十川は高知県の不入山に源を発し、土佐湾に注ぐ流路延長196 km、流域面積2186 km<sup>2</sup>の一級河川であり、上流域の底生動物相に関しては江口ら (2014) に詳しい。

2018年11月30日受領；2019年1月30日受理

1) 高知大学大学院総合人間自然科学研究科

〒780-8520 高知市曙町2-5-1

2) 高知大学大学院黒潮圏科学部門

〒780-8520 高知市曙町2-5-1

\* 連絡責任者 e-mail: genkai@kochi-u.ac.jp

## 材料と方法

2014年から2015年までの2年間、春(4月)、夏(7-8月)、秋(9-10月)、冬(11-2月)の各季節に毎年1回ずつ昼間に調査を行なった。仁淀川支流の小川川の源流域(略号N)と四万十川支流の黒尊川の源流域(S)を対象として、各河川6地点ずつ調査を行なった(図1)。各河川の調査地点は源流点(記号0)と下流で5地点(記号1-5)ずつ調査を行なった。源流点とは、下流から川を遡り水流が最初に途切れた地点と定義する。調査地点は次の通り:小川川源流点(地点略号N0)、小川川1(N1)、小川川2(N2)、小川川3(N3)、小川川4(N4)、小川川5(N5);黒尊川源流点(S0)、黒尊川1(S1)、黒尊川2(S2)、黒尊川3(S3)、黒尊川4(S4)、黒尊川5(S5)。なお2015年2月の調査では積雪のため、黒尊川1地点の調査はできなかった。ある季節に1つの地点で行なった調査を1回と数え

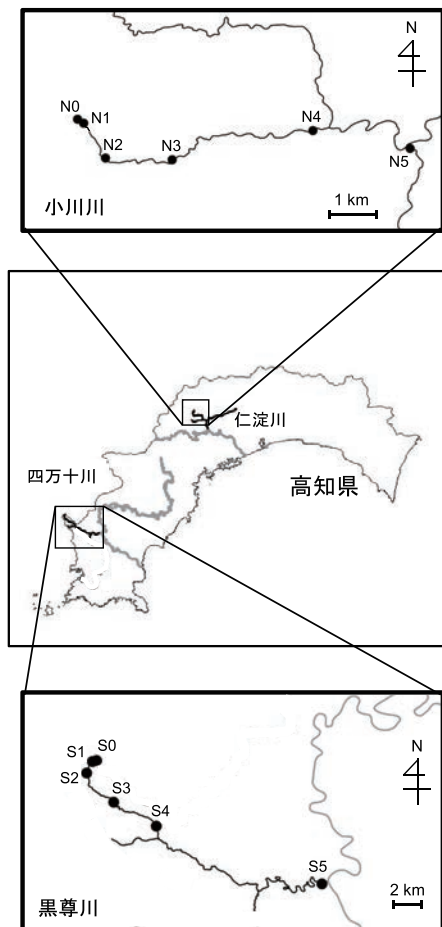


図1. 仁淀川支流の小川川(N0-N5)と四万十川支流の黒尊川(S0-S5)および各調査地点。

ると、本研究では2014年から2015年にかけての2年間に全95回の調査を行なった(12地点×4季節×2年-1)。

河川の流量を調べるため、各調査地点の川幅、水深、流速を測定した。川幅は巻尺もしくは折れ尺で測定した。水深は川岸から対岸に向かって測定を行ない、測定間隔は川幅によって5-200 cmごとに折れ尺で測定した。流速は、水深を測定した地点の中間地点において、水深の2分の1の深さでプロペラ式流速計(モデルCR-7WP、コスモ理研)を用いて3回測定し、その平均値を用いた。ただし、源流点においては、川幅が20 cmに満たない場合、水深と流速は中央部(流心)で測定した。流速を測定する際、プロペラが完全に水中に沈まないような浅い地点では、水の流れによってプロペラが回転することを確認し、推定値として流速を求めた。川幅、水深、流速の測定結果から流量(L/s)を求めた(加藤2014)。

水温は棒温度計で測定した。水質に関しては、pHはパックテスト(KR-pH、共立理化学研究所)、化学的酸素要求量(COD)は過マンガン酸カリウム酸性法(日本分析化学学会北海道支部2005)、硝酸態窒素( $\text{NO}_3\text{-N}$ )はサリチル酸ナトリウム法(Kalff and Bentzen 1984)を用いて測定した。化学的酸素要求量と硝酸態窒素は各調査地点で1サンプルずつ採水した。

河川の一次生産者である底生藻類の密度を推定するため、各調査地点において川底から3つの石を採取した。採集した石の表面を台形などの適当な図形として近似し、折れ尺を用いて表面積を求めた(野崎・加藤2014)。バットの上でそれぞれの石表面をブラシで擦り取り、洗い流した河川水とともに100 mLポリ瓶に入れた。野外では保冷剤を入れたクーラーボックス内で低温暗所保存し、その日の夜までに研究室に持ち帰り分析まで冷凍保存した。底生藻類密度の指標となる光合成色素の測定には、ロレンツェン法を用いて(Lorenzen 1967)、クロロフィルaとフェオフィチンaを合わせた値を求めた。光合成色素の抽出には90%アセトン溶液を用い、分光光度計(SP-300、Optima)を用いてクロロフィルaとフェオフィチンaを測定した。

底生動物の密度を推定するため、すくい網を川底に置き、網口の幅を一辺とする正方形の面積に収まる上流側の石を網に入れ、川の流れを利用して石ご

と底生動物を採集した。すくい網の大きさは、調査地点の川幅と水深に応じて、底辺13–40 cmのものを使い、底生動物の密度は単位面積あたりの値 ( $m^{-2}$ ) として求めた。採集は各調査地点で3回繰り返し、採集した底生動物は70%エタノールで固定した。底生動物採集では十脚目であるサワガニとテナガエビも捕獲されるが、1個体あたりの重量が大きいため、結果では十脚目は他の底生動物と分けて記述した。

採集した底生動物は後日室内において、原色川虫図鑑(丸山・高井 2000)、日本産トンボ目幼虫検索図説(石田 1996)、日本産水生昆虫(川合・谷田 2005)を用いて同定を行なった。分類がまだ十分に検討されていない分類群の同定は科までとした。貧毛綱(Oligochaeta)、ヒル綱(Hirudinoidea)、腹足綱(Gastropoda)、ヨコエビ目(Amphipoda)、ウズムシ目(Tricladida)、ハリガネムシ目(Gordioidea)、鱗翅目(Lepidoptera)は科まで同定しなかった。同定した底生動物の生物量については、60°Cで24時間乾燥させたのち、電子天秤(AX224, Sartorius)を用いて測定して乾燥重量として求めた。

源流域における河川環境間との関係を検討するため、標高、水温、流量、または底生藻類密度の間で単回帰分析を行なった。源流域に生息する底生動物とこれら環境条件(標高、水温、流量、底生藻類密度)との関係を検討するため、底生動物の生物量もしくは個体数を目的変数として、標高、水温、流量、または底生藻類密度を説明変数とした単回帰分析を行なった。分類群についても同様に環境条件との関係を検討した。その際、一定のデータ数を確保するため、全95回の調査のうち、3分の1である32回以上の調査で出現した分類群についてのみ検討を行

なった。上流側の地点でのみ出現して下流側の地点では出現しなかった、もしくは上流側で出現せず下流側の地点に出現した分類群を対象に、その分類群の出現と環境条件との関係についてロジスティック回帰分析を行なった。目的変数はその分類群が1匹でも出現した地点を1、1匹も出現しなかった地点を0として解析を行なった。ヒラタカゲロウ科についてはヒラタカゲロウ属(*Epeorus* spp.)とヒメヒラタカゲロウ属(*Rhithrogena* spp.)の2属、大型のカワゲラ科(Perlidae)についてはカミムラカゲラ属(*Kamimuria* spp.)、クラカケカワゲラ属(*Paragnetina* spp.)、オオヤマカワゲラ属(*Oyamia* spp.)およびトウゴウカワゲラ属(*Togoperla* spp.)の4属については、各属の個体数が解析するにあたって十分に採集されたことから、科ではなく属に分けてロジスティック回帰分析を行なった。AIC(Akaike's information criterion)が最も低かった環境条件に対して出現確率が50%となる点(回帰式の変曲点)を求めた。以上の分析においては、変数の正規性および分散の均一性を確保するために生物量、個体数、流量、または底生藻類密度を常用対数変換した。統計処理はフリーの統計分析ソフトウェアRを用いた(R Development Core Team 2015、R version 3.2.2、<http://www.r-project.org/>、2016年2月9日確認)。

## 結果

全調査地点の標高は最も高い地点で黒尊川S0の1000 mから、最も低い地点の黒尊川S5の25 mであった(表1)。水温の平均値は小川川N1で最も

表1. 小川川(N0–N5)および黒尊川(S0–S5)の各調査地点における物理化学的環境と底生藻類密度。底生藻類密度は単位面積あたりのクロロフィル *a* とフェオフィチン *a* の合計値とした。値は2014–2015年の調査の平均値。

調査地点	緯度	経度	標高(m)	水温(°C)	流量(L/s)	pH	COD(mg/L)	NO <sub>3</sub> -N(μg/L)	底生藻類密度(mg/m <sup>2</sup> )
N0	33°37'52.65"N	133°13'37.87"E	775	11.0	0.7	7.3	0.99	91	2.6
N1	33°37'50.17"N	133°13'41.19"E	740	10.5	2.3	7.4	0.34	79	4.5
N2	33°37'22.63"N	133°13'58.17"E	390	12.6	34	7.3	0.29	167	4.9
N3	33°37'20.66"N	133°14'50.71"E	243	13.9	225	7.1	0.28	233	22.2
N4	33°37'44.25"N	133°16'41.38"E	103	15.9	864	7.4	0.32	178	39.4
N5	33°37'30.43"N	133°17'57.44"E	61	15.0	3244	7.4	0.42	131	11.3
S0	33°11'0.82"N	132°38'1.01"E	1000	10.8	3.5	6.2	0.39	500	6.4
S1	33°10'57.92"N	132°37'49.21"E	898	13.1	15	6.2	0.90	469	4.4
S2	33°10'28.52"N	132°37'35.09"E	662	12.0	192	6.5	0.46	305	6.1
S3	33°9'12.25"N	132°38'44.60"E	364	13.4	547	6.5	0.54	261	9.6
S4	33°8'11.57"N	132°40'33.83"E	262	14.5	750	6.5	0.48	276	30.5
S5	33°5'41.14"N	132°47'50.39"E	25	17.3	3182	6.8	0.31	166	16.0

低く10.8℃であった。一方、標高が最も低い黒尊川S5では17.3℃であった。流量の平均値は最も少なかった地点で小川川N0の0.7 L/sから、最も多かった小川川N5で3244 L/sの範囲であった。pHの平均値はすべての調査地点で6.2-7.4の範囲であった。水質に関しては、CODの平均値は全調査地点で1 mg/L未満であった。硝酸態窒素 (NO<sub>3</sub>-N) 濃度の平均値は91-500 μg/Lの範囲であった。底生藻類

密度の平均値は、小川川N0で最も低い2.6 mg/m<sup>2</sup>、小川川N4で最も高い39.4 mg/m<sup>2</sup>であった。

単回帰分析の結果、水温、流量、および底生藻類密度は標高との間に有意な負の相関関係があった(表2)。水温および底生藻類密度は流量との間に有意な正の相関あり、水温と底生藻類密度との間には相関はなかった。標高が低いほど水温が高く、流量と底生藻類密度は増加した(図2)。流量の増加と

表2. 各環境条件間での回帰式  $y = ax + b$  を用いた単回帰分析の結果 ( $n = 95$ )。底生藻類密度は単位面積あたりのクロロフィル  $a$  とフェオフィチン  $a$  の合計値とした。流量および底生藻類密度の値は対数変換 ( $\log_{10}$ ) を行なった。

$y$	$x$	$a$	$b$	$R^2$	$F$	$P$
水温	流量	1.71	10.2	0.15	5.31	<0.001
	標高	$-5.47 \times 10^{-3}$	15.8	0.10	5.48	0.002
流量	標高	$-3.31 \times 10^{-3}$	3.37	0.69	0.73	<0.001
底生藻類密度	標高	$-7.32 \times 10^{-4}$	1.16	0.23	0.44	<0.001
	流量	0.176	0.501	0.21	0.45	<0.001
	水温	$-7.57 \times 10^{-3}$	0.928	0.01	0.50	0.401

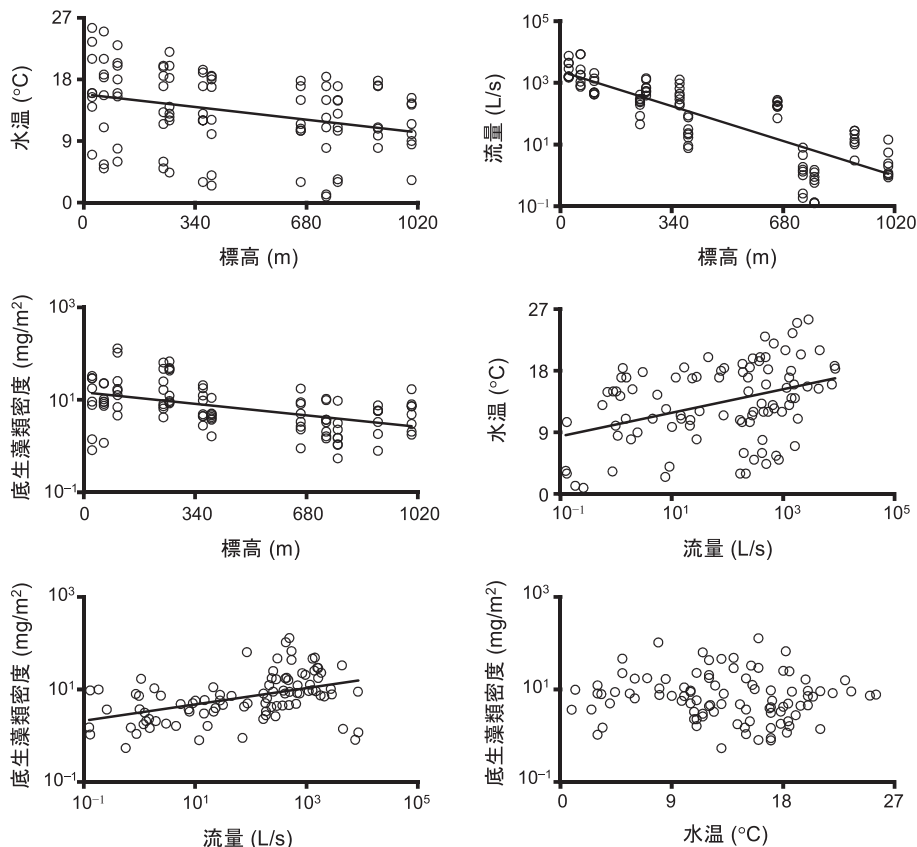


図2. 環境条件間での関係。単回帰分析の結果、有意 ( $P < 0.05$ ) であった場合は回帰直線を示した。底生藻類密度は単位面積あたりのクロロフィル  $a$  とフェオフィチン  $a$  の合計値とした。

ともに水温は高くなり、底生藻類密度は増加した。

十脚目（サワガニとテナガエビ）を除く底生動物群集の生物量と個体数は、標高もしくは流量との間に有意な相関はなかった（表3）。一方で底生動物群集の生物量と個体数は、水温との間に有意な負の相関があり、底生藻類密度との間に有意な正の相関があった。底生動物群集の生物量と個体数は、水温が低いほど、底生藻類密度が高いほど増加した（図3）。

全95回の調査において採集された底生動物は6綱14目70科であった。以下の解析では70科に、貧毛綱、ヒル綱、腹足綱の3綱と、ヨコエビ目、ウズムシ目、ハリガネムシ目、鱗翅目の4目を加えて77の分類群として扱った。全95回の調査のうち、32回以上出現したのは19の分類群であった。19分類群の密度（生物量または個体数）と環境条件（標高、水温、流量または底生藻類密度）の組み合わせのうち、有意な相関があり決定係数が比較的高かった（ $R^2 \geq 0.25$ ）

表3. 底生動物群集の生物量もしくは個体数と環境条件（標高、水温、流量、底生藻類密度）との関係について単回帰分析を行なった結果（回帰式  $y = ax + b$ ）。底生藻類密度は単位面積あたりのクロロフィル  $a$  とフェオフィチン  $a$  の合計値とした。生物量、個体数、流量および底生藻類密度は対数変換（ $\log_{10}$ ）を行なった。  $n = 95$ 。

$y$	$x$	$a$	$b$	$R^2$	$F$	$P$
生物量	標高	$7.96 \times 10^{-5}$	-0.278	0.003	0.52	0.630
	水温	-0.0280	0.131	0.10	0.50	0.002
	流量	0.0471	-0.329	0.01	0.52	0.255
	底生藻類密度	0.413	-0.583	0.16	0.48	<0.001
個体数	標高	$-2.39 \times 10^{-5}$	2.79	0.001	0.42	0.799
	水温	-0.0212	3.06	0.09	0.40	0.004
	流量	$-9.34 \times 10^{-3}$	2.80	0.001	0.42	0.779
	底生藻類密度	0.356	2.49	0.18	0.38	<0.001

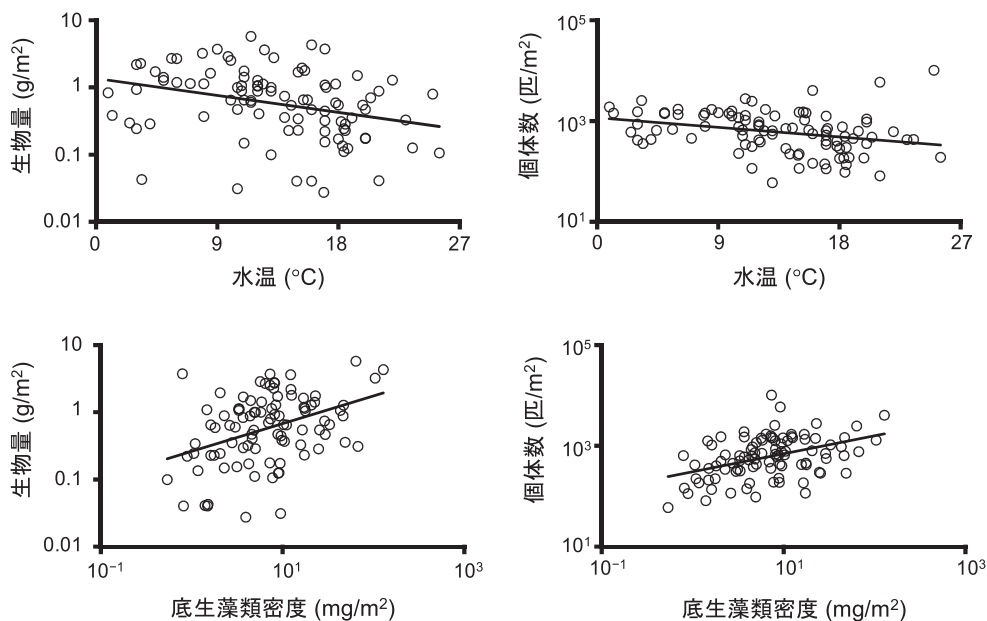


図3. 底生動物群集の生物量および個体数と環境条件との関係。直線は回帰直線を表す。底生藻類密度は単位面積あたりのクロロフィル  $a$  とフェオフィチン  $a$  の合計値とした。

のは12通りの組み合わせであった(表4、図4)。生物量に関しては、高い相関がみられた組み合わせはなかった。

ロジスティック回帰分析の結果、流程とともに出現確率が高くなった分類群はマダラカゲロウ科、ヒゲナガカワトビケラ科、ヒラタカゲロウ科の2属、カミムラカワゲラ属、クラカケカワゲラ属、および

オオヤマカワゲラ属であった(表5)。一方、流程とともに出現確率が低くなった分類群はトウゴウカワゲラ属であった。出現確率が50%となる環境条件は、流量に関してはヒラタカゲロウ属の2.1 L/sからクラカケカワゲラ属の2465 L/sの範囲であった。標高については、トウゴウカワゲラ属の278 mからカミムラカワゲラ属の345 mの範囲であった。

表4. 各分類群における生物量もしくは個体数と環境条件との関係を単回帰分析により解析した結果(回帰式  $y = ax + b$ )。底生藻類密度は単位面積あたりのクロロフィル  $a$  とフェオフィチン  $a$  の合計値とした。各分類群の生物量および個体数は対数変換し、それぞれ  $\log_{10}$  (生物量+1)、 $\log_{10}$  (個体数+1) とした。  $n = 95$ 。

分類群	$y$	$x$	$a$	$b$	$R^2$	$F$	$P$
カゲロウ目							
マダラカゲロウ科	個体数	標高	$-1.91 \times 10^{-3}$	1.77	0.42	0.737	<0.001
		流量	0.449	0.0685	0.37	0.769	<0.001
		底生藻類密度	1.218	-0.107	0.40	0.752	<0.001
ヒラタカゲロウ科	個体数	標高	$-1.25 \times 10^{-3}$	2.30	0.34	0.567	<0.001
		流量	0.305	1.16	0.33	0.574	<0.001
十脚目							
サワガニ科	個体数	標高	$1.24 \times 10^{-3}$	0.203	0.39	0.506	<0.001
		流量	-0.270	1.27	0.30	0.545	<0.001
カワゲラ目							
オナシカワゲラ科	個体数	標高	$1.47 \times 10^{-3}$	0.336	0.31	0.716	<0.001
		流量	-0.339	1.64	0.27	0.741	<0.001
トビケラ目							
ヒゲナガカワトビケラ科	個体数	標高	$-1.02 \times 10^{-3}$	0.878	0.34	0.461	<0.001
		底生藻類密度	0.598	-0.0804	0.28	0.485	<0.001
ウズムシ目	個体数	標高	$1.37 \times 10^{-3}$	-0.162	0.42	0.530	<0.001

表5. 各分類群の出現と標高もしくは流量との関係をロジスティック回帰分析(回帰式  $y = 1/[1 + e^{-(ax+b)}]$ )により解析した結果。目的変数 ( $y$ ) は出現した場合に1、出現しなかった場合は0とした。流量は対数変換 ( $\log_{10}$ ) を行った。変曲点 ( $I_p$ ) は、回帰式から求めた出現確率が50% ( $y = 0.5$ ) となる  $x$  の値。

分類群	$x$	$n$	$a$	$b$	$\chi^2$	$P$	$I_p$
マダラカゲロウ科	流量	95	1.70	-3.12	26.6	<0.001	69 L/s
ヒラタカゲロウ科							
ヒラタカゲロウ属	流量	66	2.03	-0.632	10.6	0.001	2.0 L/s
ヒメヒラタカゲロウ属	流量	66	4.79	-13.1	11.9	<0.001	531 L/s
カワゲラ科							
カミムラカワゲラ属	標高	58	$-8.11 \times 10^{-3}$	2.81	13.0	<0.001	346 m
クラカケカワゲラ属	流量	58	1.44	-4.02	8.83	0.003	2465 L/s
オオヤマカワゲラ属	流量	58	1.04	-3.53	5.32	0.021	618 L/s
トウゴウカワゲラ属	標高	58	0.0261	-7.25	7.71	0.006	277 m
ヒゲナガカワトビケラ科	標高	95	$-6.64 \times 10^{-3}$	1.94	22.9	<0.001	292 m

河川源流域の環境と底生動物

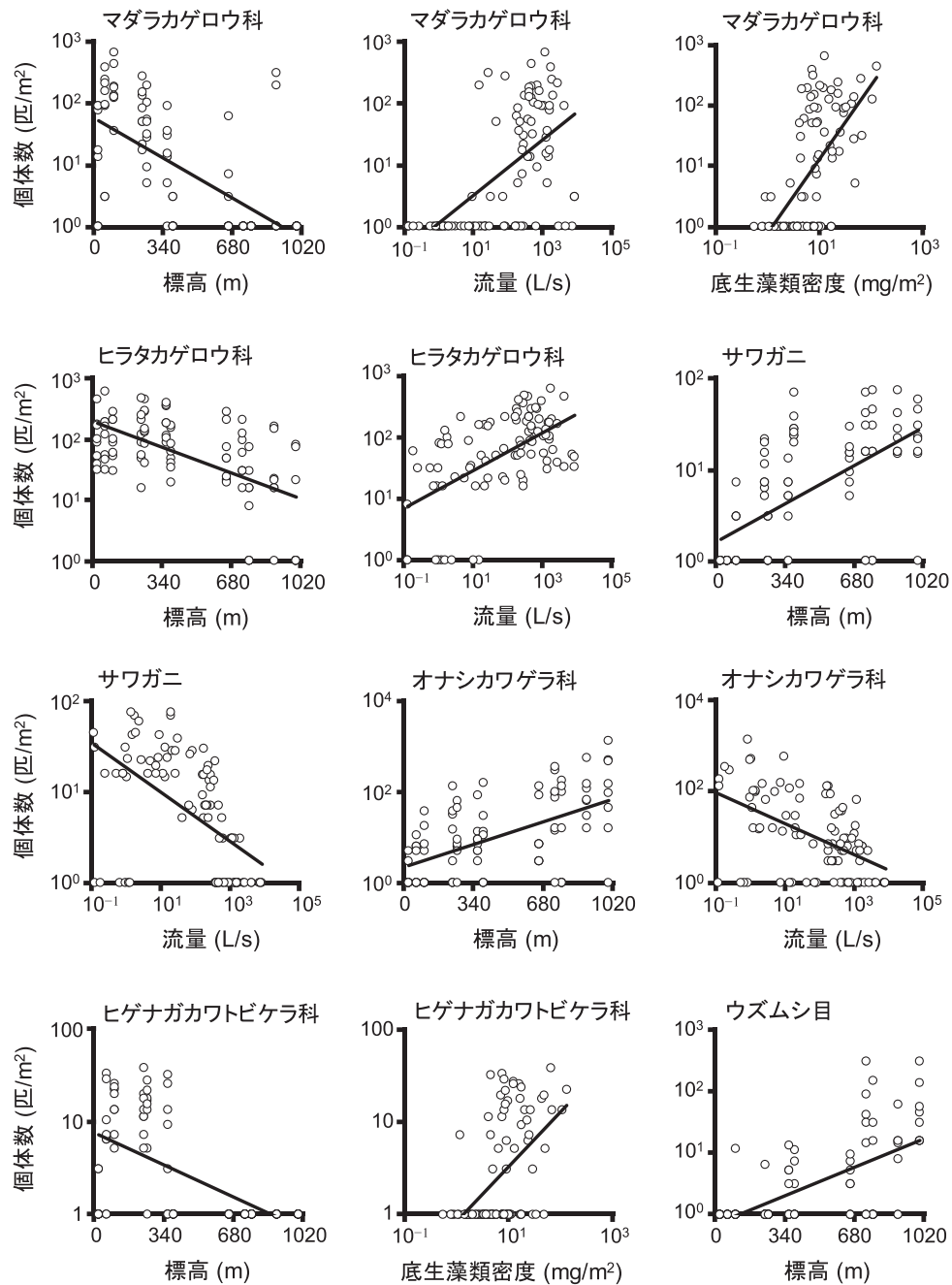


図4. 各分類群における個体密度と環境条件との関係。縦軸は単位面積あたりの個体数、横軸は高い相関となった環境条件（標高、流量、または底生藻類密度）。底生藻類密度は単位面積あたりのクロロフィル $a$ とフェオフィチン $a$ の合計値とした。直線は回帰直線を表す。

考察

十脚目を除く底生動物群集の生物量と個体数は水温が低くなるとともに増加した。カゲロウなど多くの分類群で羽化は春に集中し（川合・谷田 2005）、生物量は水温の低い早春に最大となる溪流や河川が多

い（加賀谷 2013）。一方、水温の高い夏から秋にかけて高知県は台風常襲地帯に位置し（国土交通省 [http://www.mlit.go.jp/river/basic\\_info/jigyokeikaku/gaiyou/seibi/pdf/niyodogawa88-1.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyokeikaku/gaiyou/seibi/pdf/niyodogawa88-1.pdf), 2016年2月7日確認; [http://www.mlit.go.jp/river/basic\\_info/jigyokeikaku/gaiyou/seibi/pdf/](http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyokeikaku/gaiyou/seibi/pdf/)

watarigawa89-1.pdf、2016年2月7日確認)、洪水によって攪乱を受けるため底生動物が減少したのである。

底生動物群集の生物量と個体数は底生藻類密度とともに増加する傾向がみられた。底生藻類と強い相関があったのは、マダラカゲロウ科とヒゲナガカワトビケラ科の個体数であった。マダラカゲロウ科は消化管の内容物解析から収集食者や捕食者とともに藻類食者とされる(小林ほか2010)。ヒゲナガカワトビケラ科は造網性トビケラの中でも巣の網目は粗く(加賀谷2013、谷田2014)、流下物食者であるとともに重要な藻類食者であることが示唆されている(古屋1998、Doi et al. 2007)。一方、流量との間に強い相関がみられたのはヒラタカゲロウ科の個体数であった。また、流量は底生藻類密度との間に正の相関があった。河川源流域で底生藻類が少ないのは、栄養が少なく日照条件が悪くだけでなく、上流側から流下してくる底生藻類が少ないことも重要な要因である(Stevenson 1996)。ヒラタカゲロウ科の多くは藻類食者であることから(竹門2005)、底生藻類密度の高い下流側で個体数が増えたのであろう。河川上流域では、底生動物群集で優占するのは、生物量ではトビケラ目であるのに対し、個体数ではカゲロウ目であることが多いことから(山中ほか2016)、底生藻類密度とともに底生動物群集の生物量と個体数が増加したのであろう。

河川における流程に沿った底生動物の分布につい

ては、調査地点ごとに各分類群が出現した個体数を表として示したものが多く(津田・古屋1974、Milner et al. 2001)、分類群がどの流程において出現するのとは離散的にしか解読できなかった。本研究ではロジスティック回帰分析を用いることにより、環境の変数を連続化して底生動物の出現確率を示した。標高と流量との間の回帰式( $\log_{10}[\text{流量}] = -0.00331 \times \text{標高} + 3.37$ 、表2)を用いると、出現確率が50%となる流量から標高、もしくは標高から流量に換算することができる(表6)。流程とともに流量は増加するのに対し、標高は低くなることに注意されたい。流程とともに出現確率が変化した分類群の多くは、下流に向かうにつれて出現確率が高くなっていった。流程とともに日照条件などが改善され一次生産が活発になることが要因であろう(Stevenson 1996)。様々な底生動物が増えることで、それらを捕食する大型のカワゲラも増えたと考えられる。出現確率が50%となる流量から、大型のカワゲラ科4属は上流からトウゴウカワゲラ属、カミムラカワゲラ属、オオヤマカワゲラ属、クラカケカワゲラ属の順に出現することが示唆される。ただし、トウゴウカワゲラ属のみ下流に向かうにしがって出現確率は減少した。トウゴウカワゲラ属の分布は、カミムラカワゲラ属とは重複するが、オオヤマカワゲラ属とは重複しない。トウゴウカワゲラ属とオオヤマカワゲラ属は体長30 mm前後まで成長するが、カミムラカワゲラ属は20 mm前後と少し小さい

表6. 各分類群におけるロジスティック回帰式から求めた出現確率が50%となる流量および標高の値。流量と標高の間の変換は表2の回帰式( $\log_{10}[\text{流量}] = -0.00331 \times \text{標高} + 3.37$ )を用い、変換の方向を矢印で示した。流量が増えるにしたがって出現率が増加する場合は「+」、減少する場合は「-」と表記した。クラカケカワゲラ属の場合は流量から換算した標高が負の値となった。

分類群	+/-	流量 (L/s)		標高 (m)
マダラカゲロウ科	+	69	→	463
ヒラタカゲロウ科				
ヒラタカゲロウ属	+	2.0	→	927
ヒメヒラタカゲロウ属	+	531	→	195
カワゲラ科				
トウゴウカワゲラ属	-	284	←	277
カミムラカワゲラ属	+	168	←	346
オオヤマカワゲラ属	+	618	→	175
クラカケカワゲラ属	+	2465	→	-
ヒゲナガカワトビケラ科	+	253	←	292



(丸山・高井 2000)。オオヤマカワゲラ属はカミムラカワゲラ属と比べると肉食傾向が強い (Miyasaka and Genkai-Kato 2009)。トウゴウカワゲラ属は、大型で肉食の傾向が強いオオヤマカワゲラ属との遭遇を回避しているのかもしれない。

河川連続体仮説やこれまでの研究では、河川の上流域から下流域にわたる巨視的な視点で底生動物群集の摂食機能群の変化に着目してきた (Vannote et al. 1980, Hawkins and Sedell 1981, Grubaugh et al. 1996)。本研究では上流域の中でも人為的影響の比較的低い源流域を対象に、環境条件を考慮に入れて流程に沿った底生動物群集の変化に着目した。本研究から、流程に沿って底生藻類が増え、底生動物群集の生物量と個体数が増えることが示されたが、各分類群に分けてみた結果、生物量が増加したのは造網性のトビケラが増えたことが主な要因であり、個体数が増えたのはカゲロウ類が増えたことが主な要因であることが明らかになった。本研究では、大型のカワゲラ科など比較的整理された一部の属以外では分類群の同定は科までとした。今後の研究の発展として、属まで分類を進めることによって、流程に沿った新たな分布様式や環境条件の変化に伴う各分類群の反応が明らかになるであろう。

### 謝辞

本研究を実施するにあたり助言をいただいた椋山女学園大学教育学部の野崎健太郎氏と兵庫県立人と自然の博物館の三橋弘宗氏に感謝いたします。査読者の方々からは本原稿に対して有益な助言をいただきました。

### 引用文献

Doi H., Takemon Y., Ohta T., Ishida Y., Kikuchi E. 2007. Effects of reach-scale canopy cover on trophic pathways of caddisfly larvae in a Japanese mountain stream. *Marine and Freshwater Research* 58: 811-817.

江口葉月・石田一馬・井上光也・加藤元海. 2014. 四万十川上流域における河川環境と底生生物. *黒潮圏科学* 7: 123-131.

古屋八重子. 1998. 吉野川における造網性トビケラの流程分布と密度の年次変化、とくにオオシマトビケラ (昆虫、毛翅目) の生息域拡大と密度増

加について. *陸水学雑誌* 59: 429-441.

Grubaugh J.W., Wallace J.B., and Houston E.S. 1996. Longitudinal changes of macroinvertebrate communities along an Appalachian stream continuum. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53: 896-909.

Hawkins C.P. and Sedell J.R. 1981. Longitudinal and seasonal changes in functional organization of macroinvertebrate communities in four Oregon streams. *Ecology* 62: 387-397.

井上光也・小原直子・加藤元海. 2015. 仁淀川源流域における河川環境と底生動物. *黒潮圏科学* 8: 118-125.

石田勝義. 1996. 日本産トンボ目幼虫検索図説. 北海道大学図書刊行会, 北海道.

加賀谷隆. 2013. 底生無脊椎動物. 中村太士 (編) 河川生態学. 講談社, 東京, pp. 88-116.

Kalff J. and Bentzen E. 1984. A method for the analysis of total nitrogen in natural waters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 41: 815-819.

加藤元海. 2014. 流速と流量. 日本陸水学会東海支部会 (編) 身近な水の環境科学: 実習・測定編. 朝倉書店, 東京, pp. 35-38.

川合禎次・谷田一三. 2005. 日本産水生昆虫 科・属・種への検索. 東海大学出版会, 神奈川.

小林草平・中西哲・尾嶋百合香・天野邦彦. 2010. 愛知県豊川における瀬の物理特性と底生動物現存量. *陸水学雑誌* 71: 147-164.

Lorenzen C.J. 1967. Determination of chlorophyll and pheo-pigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography* 12: 343-346.

丸山博紀・高井幹夫. 2000. 原色川虫図鑑. 全国農村教育協会, 東京.

Milner A.M., Taylor R.C., and Winterbourn M.J. 2001. Longitudinal distribution of macroinvertebrates in two glacier-fed New Zealand rivers. *Freshwater Biology* 46: 1765-1775.

Miyasaka H. and Genkai-Kato M. 2009. Shift between carnivory and omnivory in stream stonefly predators. *Ecological Research* 24: 11-19.

日本分析化学学会北海道支部. 2005. 水の分析 第5版. 化学同人, 京都.

野崎健太郎・加藤元海. 2014. 藻類. 日本陸水学会東

海支部会（編）身近な水の環境科学：実習・測定編. 朝倉書店, 東京, pp. 53-55.

Stevenson R.J. 1996. The stimulation and drag of current. In: Stevenson R.J., Bothwell M.L., and Lowe R. L. (eds), *Algal Ecology*. Academic Press, San Diego, pp. 321-340.

竹門康弘. 2005. 底生動物の生活型と摂食機能群による河川生態系の評価. *日本生態学会誌* 55: 189-197.

谷田一三. 2014. 河川生態系の連続性と循環. 小倉紀雄, 武村幸太郎・谷田一三・松田芳夫（編）*水辺と人の環境学*. 朝倉書店, 東京, pp. 28-43.

津田松苗・古屋八重子. 1974. 仁淀川の底生動物相調査報告. 津田松苗（編）*多摩川、旭川、仁淀川、名取川の生物調査報告書*. 奈良女子大学動物学研究室.

山中萌・井上光也・加藤元海. 2016. 夏季の仁淀川と四万十川の上流域における底生動物群集の体長、個体数、生物量の関係. *黒潮圏科学* 9:124-136.

Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R., and Cushing C.E. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130-137.

### **Longitudinal changes in benthic invertebrate communities in headwater regions of two streams on Shikoku Island**

Mitsuya Inoue<sup>1)</sup>, Mei Miyaji<sup>1)</sup>,  
and Motomi Genkai-Kato<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup> Graduate School of Integrated Arts and Science,  
Kochi University, 2-5-1 Akebono-cho,

Kochi 780-8520, Japan

<sup>2)\*</sup> Graduate School of Kuroshio Science,  
Kochi University, 2-5-1 Akebono-cho,  
Kochi 780-8520, Japan

### **Abstract**

Longitudinal changes in the benthic invertebrate communities from upstream to downstream regions have been studied in many streams, whereas little is known for longitudinal changes within the headwater regions. Surveys were conducted in the headwater regions in the Kogawa Stream (tributary to the Niyodo River) and the Kuroson Stream (to the Shimanto River), Kochi Prefecture, western Japan in 2014–2015. The ranges of elevation and discharge at the sampling stations were 25–1000 m a.s.l. and 0.7–3244 L/s, respectively. There was a positive correlation between discharge and density of benthic algae. The biomass and abundance of the benthic invertebrate communities as a whole, excluding Decapoda, increased with decreased water temperature or increased algal density. The abundance of grazer mayflies and net-spinning caddisflies increased with discharge. Taking it into consideration that the benthic invertebrate communities are likely to be dominated by net-spinning caddisflies in biomass and by mayflies in abundance in upstream regions in Japan, the increase in the benthic invertebrate communities with algal density could be attributed to the increases in grazer mayflies and collector caddisflies.

**Key words:** Aquatic insect, benthic algae, discharge, headwater region, water temperature.