

研究論文

四万十川上流域における河川環境と底生生物

江口葉月¹⁾・石田一馬¹⁾・井上光也¹⁾・加藤元海^{1, 2)*}

要旨

高知県西部を流れる四万十川上流域の12支流14地点を対象として、河川地形や水質などの物理化学的環境、付着藻類や底生動物などの生物相を調べた。調査を行なった14の地点間で河川規模や物理化学的環境に違いがみられた。調査地点の標高は435-1128 mで、流量は4.1-83 L/sの範囲であった。付着藻類量は1.4-36.4 mg/m²の範囲であり、同じく高知県内を流れる鏡川上流域と同程度であった。サワガニを除く底生動物の生物量は乾燥重量で0.2-4.7 g/m²の範囲であり、鏡川より多い傾向にあった。サワガニの生物量は標高が高いほど減少する傾向があった。付着藻類の生物量や底生動物群集の生物量もしくは多様性指数と、サワガニの生物量との間には明確な相関がみられなかった。四万十川上流域において過去にも1970年代から1980年代にかけて調査が行なわれており、優占する水生昆虫は本研究とは異なっていたが、この違いは本研究の調査地点がより河川規模の小さい上流側にあったことに起因すると考えられる。

キーワード：四万十川、上流域、水質、付着藻類、水生昆虫、サワガニ

高知県西部を流れる四万十川は、標高1336 mの高知県不入山にその源を發し四万十市下田より土佐湾に流入する延長196 km、流域面積2270 km²の1級河川である。四万十川はアユ漁、アオノリ漁、ゴリ漁などが行なわれて四万十川流域の住民との深い関わりがある(四万十市 2013)。四万十川流域特有の景観や人々の生活などは、重要文化的景観に選定されている(文部科学省 2009)。カヌーやキャンプなどアウトドアを楽しむことや、日本最後の清流とも呼ばれていることから、全国的にも知名度の高い河川である(四万十市 2013)。

河川に棲む底生動物の分布状況を調べることは、河川を知る手掛かりとなる。底生動物は種によって好適な環境条件が異なる(水野・御勢 1993)。そのため、種ごとに河川での分布様式が変化する(津田 1962)。河川の本流には多数の支流が流れ込む。また、上流域の環境は下流域の環境に影響を与える。河川の物理、化学、生物的な現状を知ることは、今後の河川環境の維持や改善のためにも重要である。本研究では、四万十川上流域の12支流を対象に河川地形や水

質、付着藻類の密度、底生動物の種類や生物量を調べた。

材料と方法

調査地 調査は2012年4月から10月の昼間に、高知県西部を流れる四万十川上流域の12支流の14地点で行なった(Fig. 1)。調査地点は標高が高い順に、天狗の池(地点1: 調査日8月8日、緯度N33°28'36"、経度E133°01'36"、標高1128 m)、枝の谷川(地点2: 8月8日、N33°28'11"、E133°00'00"、1090 m)、渡川(地点3: 4月23日、N33°26'25"、E133°04'11"、1030 m)、日曾の川(地点4: 8月8日、N33°28'27"、E133°03'16"、1019 m)、永野川1(地点5: 9月20日、N33°28'13"、E132°56'29"、1007 m)、四万川1(地点6: 10月10日、N33°27'50"、E132°52'59"、961 m)、四万川2(地点7: 10月10日、N33°27'49"、E132°52'33"、898 m)、永野川2(地点8: 9月20日、N33°27'41"、E132°56'37"、841 m)、太田戸川(地点9: 9月7日、N33°27'16"、E132°59'35"、705 m)、横貝川(地点10: 9月7日、N33°26'54"、E132°59'35"、678 m)、倉川(地点11: 5月28日、N33°24'04"、E133°04'27"、583 m)、烏出川(地点12: 5月21日、N33°25'14"、E133°03'21"、533 m)、西の谷川(地点13: 6月7日、N33°25'03"、E133°02'52"、524 m)、芹川(地点14: 6月7日、N33°23'49"、E133°02'55"、435 m)で行なった。

2013年10月18日受領；2014年2月23日受理

1) 高知大学理学部生物科学コース理論生物学研究室
〒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 address: genkai@kochi-u.ac.jp

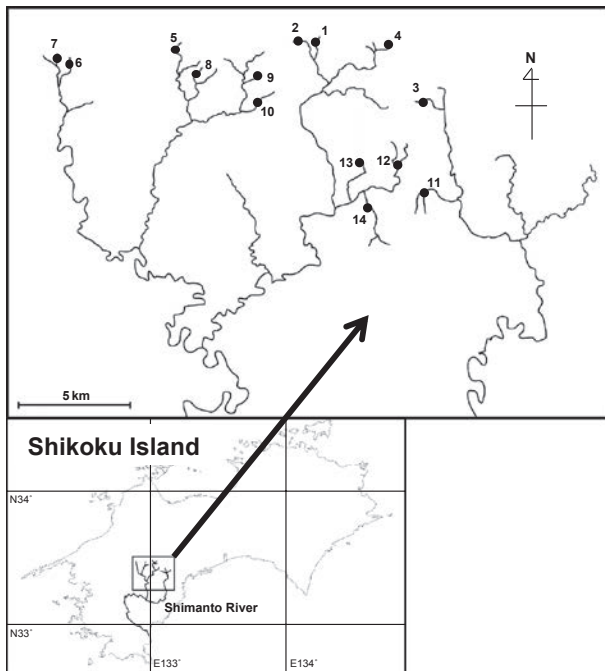


Fig. 1. The Shimanto River and sampling locations (●). Sampling was conducted in the summer of 2012 at 14 stations in the upstream region: Tengunoike Stream (Stn 1), Edagatani Stream (Stn 2), Watari Stream (Stn 3), Hiso Stream (Stn 4), Nagano Stream #1 (Stn 5), Shima Stream #1 (Stn 6), Shima Stream #2 (Stn 7), Nagano Stream #2 (Stn 8), Otato Stream (Stn 9), Yokokai Stream (Stn 10), Kura Stream (Stn 11), Karasude Stream (Stn 12), Nishinotani Stream (Stn 13), and Seri Stream (Stn 14).

河川地形 河川の横断面構造を調べるため、各調査地点の川幅、水深、流速を測定した。川幅は巻尺で測定し、水深は川幅によって10、15、20、25、または30 cmごとに折れ尺で測定した。流速は、水深を測定した場所の2分の1水深で流速計（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。川幅、水深、流速の測定結果から流量を求めた。

水質 水温は棒温度計で測定した。水質に関しては、pH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（日本分析化学会北海道支部 2005）、アンモニア態窒素（NH₄-N）はインドフェノール青法（Solórzano 1969）、亜硝酸態窒素（NO₂-N）はジアゾ化法（Bendschneider and Robinson 1952）、硝酸態窒素（NO₃-N）はサリチル酸ナトリウム法（Kalff and Bentzen 1984）、リン酸態リン（PO₄-P）はモリブデン青法（Murphy and Riley 1962）を用いて測定した。化学的酸素要求量と各無機態栄養塩類は渡川で2サンプル、他の調査地点では1サンプルずつ、溶存酸素濃度

については、西の谷川では2サンプル、他の調査地点では3サンプルずつ河川水を採取し、平均値を用いた。溶存酸素はウィンクラー法で求めた。

付着藻類 河川の一次生産者である付着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。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分析まで冷凍保存した。付着藻類密度の指標となる光合成色素の測定には、クロロフィル a と、その分解産物で活性を失ったフェオフィチン a に分けて測定するため、ロレンツェン法（Lorenzen 1967）で分析した。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）を用いて測定した。調査地点の光環境として、光量子計（Apogee SE-MQ200、セネコム）を用いて相対光量子密度を測定した。直射日光が差し込む解放空間での光量子密度を I_0 、付着藻類を採集した河川水面直上での光量子密度を I とすると、相対光量子密度は $I/I_0 \times 100$ (%) で表される。

底生動物 底生動物は以下の手順で採集した。底生動物稚魚すくい網（IS40-1W、1-mm mesh、Hoga）を川底に置き、すくい網の底辺を一辺とする40 cm × 40 cm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。採集は各調査地点で3回繰り返し、採集した底生動物は10%ホルマリンで固定した。

採集した底生動物は後日室内において、滋賀の水生昆虫（滋賀県小中学校教育研究会部会 1991）、原色川虫図鑑（丸山・高井 2000）、日本産水生昆虫（河合・谷田 2005）を用いて同定を行なった。各調査地点で採集された底生動物の個体数を基に多様性指数を求めた。多様性を表す指標としてShannon-Wienerの指数 H' を算出した（Shannon & Weaver 1949）。

$$H' = -\sum p_i \log_2 p_i$$

ただし、 p_i は分類群 i の底生動物全体に対する相対優占度を表す。

分類した底生動物は湿重量を電子天秤（CP224S、Sartorius）で測定した。底生動物の乾燥重量については、60℃で24時間乾燥させたのち、前述の電子天秤を用いて測定した。サワガニ（*Geothelphusa dehaani*）の甲幅は電子ノギス（シリーズNo. 500、ミットヨ）を用いて0.1 mm単位で測定した。甲幅が10 mm以上のサ

ワガニについては、性別と胃内容物を調べた。性別は水野ほか(1995)を基に判断し、胃内容物は解剖して内容物を実体顕微鏡で観察した。一般に、単位面積当たりの生物量は乾燥重量によって表されることが多い(Begon *et al.* 1996)。本研究では、底生動物の湿重量から乾燥重量を計算するため分類群ごとの乾燥重量と湿重量との比を求め、さらにサワガニに関しては簡便に甲幅から乾燥重量を算出するためにその換算式を作成した。サワガニの乾燥重量と、河川の物理環境もしくは底生生物との関係については、ピアソンの相関分析を行なった。

結果と考察

川幅は、地点5の0.52 mから、地点14の3.7 mの範囲であった(Fig. 2a)。最大水深では、地点5の7 cmから、地点14の31 cmの範囲であった(Fig. 2b)。流量で見ると、少ないところで地点6の4.1 L/sから、多いところで地点2の83 L/sと、約20倍の差があった(Fig. 2c)。水温は、地点3の9.8°Cから、地点9の16.5°Cの範囲であった(Fig. 2d)。水温が地点3で著しく低かったのは、調査が4月であったという季節的な要因が考えられる。pHに関しては、低いところで地点4の

6.4から、高いところで地点8の8.3であった(Fig. 2e)。溶存酸素濃度は、地点2の8.2 mg/Lから、地点5の10.3 mg/Lの範囲であった(Fig. 2f)。

水質に関しては、CODは地点2と地点8-10では0 mg/Lの値をとり、高いところでは地点7で4.1 mg/L、地点13で5.3 mg/L、地点6で6.1 mg/Lという値となった(Fig. 3a)。溶存態栄養塩については、アンモニア態窒素(NH₄-N)が地点5と10では0 µg/Lとなった一方で、地点3と8で9 µg/L以上の高い値となった(Fig. 3b)。亜硝酸態窒素(NO₂-N)は、地点3の2.4 µg/Lから地点10の22.3 µg/Lの範囲であった(Fig. 3c)。硝酸態窒素(NO₃-N)は、地点1の4.4 µg/Lから地点6の25.2 µg/Lの範囲であった(Fig. 3d)。リン酸態リン(PO₄-P)は、地点13の1.8 µg/Lから地点9の34.1 µg/Lの範囲であった(Fig. 3e)。窒素とリンの比を硝酸態窒素とリン酸態リンの比でみたところ、地点13が206と圧倒的に高く、その他の地点では3.4-30の範囲であった(Fig. 3f)。

付着藻類量に関して、クロロフィル a とフェオフィチン a を合わせた全光合成色素の濃度は、地点3で36.4 mg/m²、地点11と12では、10 mg/m²を超え、その他の地点では1.4-6.2 mg/m²の範囲であった(Fig. 4)。付着藻類は主要な栄養塩である窒素(N)とリン(P)がモル比で17であるときに成長速度が最適となるが

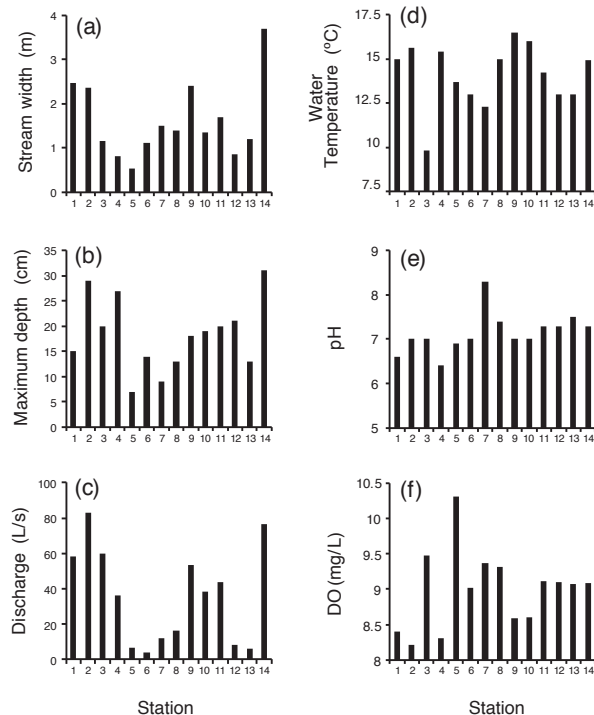


Fig. 2. Stream width (a), maximum depth (b), discharge (c), water temperature (d), pH (e), and dissolved oxygen concentration (f) at the 14 stations of the Shimanto River.

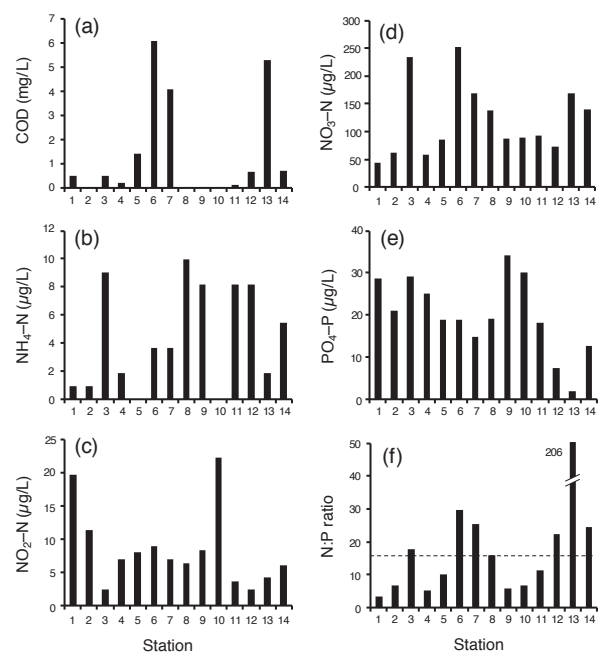


Fig. 3. Chemical oxygen demand (a), concentrations of ammonium nitrogen (b), nitrite nitrogen (c), nitrate nitrogen (d), phosphate phosphorus (e), and the ratio of nitrogen to phosphorus by atoms (f) at the 14 stations on the Shimanto River. The broken, horizontal line indicates the ratio at N:P = 17.

(Hillebrand & Sommer 1999)、地点3ではこの比に近い18であったことが高い附着藻類密度をもたらしたのかもしれない (Fig. 3f)。全光合成色素に対するクロロフィルa濃度の割合は、地点5と9で10%以下の低い値となった。相対光量子密度は地点5と13では1%と低く、地点1では直射日光が当たっていた (Fig. 4)。高知県中部を流れる鏡川上流域の光合成色素濃度は4.7–30.5 mg/m²であったことから (大西・加藤 2013)、四万十川上流域の附着藻類量は鏡川と同程度であった。

四万十川上流域にある12支流の14調査地点で採集された底生動物 (サワガニを除く) はTable 1のとおりであった。総個体数でみると、地点11が225個体と最も多くなった一方で、地点5と10では8個体であった。調査地点ごとに最も多い個体数が採集された底生動物は、地点1と8ではフタスジモンカゲロウ (*Ephemera japonica*)、地点2ではヒラタカゲロウ属 (*Epeorus*)、地点3ではコカゲロウ属 (*Baetis*)、地点4ではタニガワカゲロウ属 (*Ecdyonurus*)、地点5ではヒル綱 (Hirudinea)、地点6と7ではヨコエビ (*Gammarus nipponensis*)、地点9と13ではトウゴウカワゲラ属 (*Togoperla*)、地点10では双翅目 (Diptera)、地点11ではエルモンヒラタカゲロウ (*Epeorus latifolium*)、地点12ではヒラタドロムシ (*Mataeoapsephus japonicus*) とフタスジモンカゲロウ、地点14ではヒゲナガカワトビケラ (*Stenopsyche marmorata*) であった。カゲロウ目 (Ephemeroptera)、トビケラ目 (Trichoptera)、カワゲラ目 (Plecoptera) が採集されたのは地点1–4、地点11と12であった。ヨコエビ、ヒラタドロムシ、双

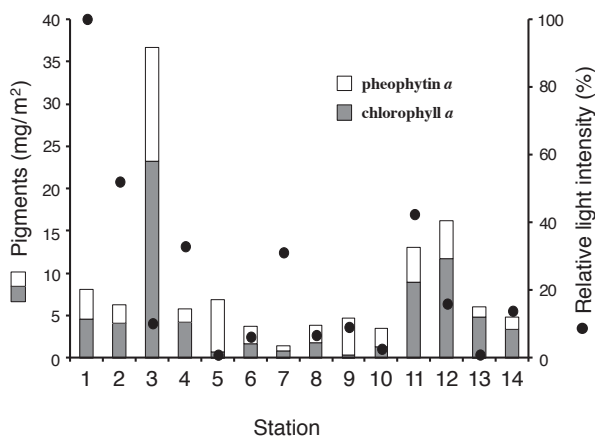


Fig. 4. Densities of attached algae (bars) and their light conditions (closed circles) at the 14 stations of the Shimanto River. Algal densities were expressed as photosynthetic pigments (chlorophyll a and pheophytin a). The light condition was defined as the relative light intensity at each sampling site to the site exposed to direct sunlight.

翅目、フタスジモンカゲロウ、トウゴウカワゲラは14地点中の半数以上の調査地点で採集された。ミミズ (貧毛綱: Oligochaeta)、ウズムシ目 (Tricladida)、ヘビトンボ目 (Megaloptera)、ヤゴ (トンボ目: Odonata) は限られた支流に生息していた。

分類群ごとの乾燥重量: 湿重量の比は、キチン質の割合が少ない双翅目 (15%) やヘビトンボ目 (17%) は比較的低い値をとり、キチン質の割合が高いカワゲラ目 (29%) で高い値をとる傾向にあった (Table 2)。ミカドガガンボ (*Holorusia mikado*) は平均値で7.6%となり、90%以上が水分であった。トビケラ目平均の比率は28%であるのに対して、大型の種であるヒゲナガカワトビケラは20%と比較的低い値であった。サワガニにおける比は24%であった。また、サワガニの甲幅 (L) と乾燥重量 (W) との間には相関が高い回帰式が得られた ($W = 0.022 L^{3.5}$, $R^2 = 0.97$, $P < 0.001$, $n = 149$, Fig. 5)。

サワガニを除く底生動物の生物量に関しては、地点14が最も多く乾燥重量で4.7 g/m²であり、その80%をトビケラ目が占めた (Fig. 6)。地点14を除けば、地点4と6で0.2 g/m²から地点3の1.6 g/m²の範囲であった。地点3と10では双翅目の割合が高かった。高知県中部の鏡川上流域の生物量は0.1–0.6 g/m²であったことから (大西・加藤 2013)、四万十川上流域の生物量は鏡川と比べ同程度か多い傾向にあった。

調査した14地点における1 m²あたりのサワガニの個体数は地点8が79.2匹で最も多く、地点1と5が2.1匹で最も少なかった (Fig. 7a)。生物量では、地点13において乾燥重量で51 g/m²と最も大きく、地点1で0.03

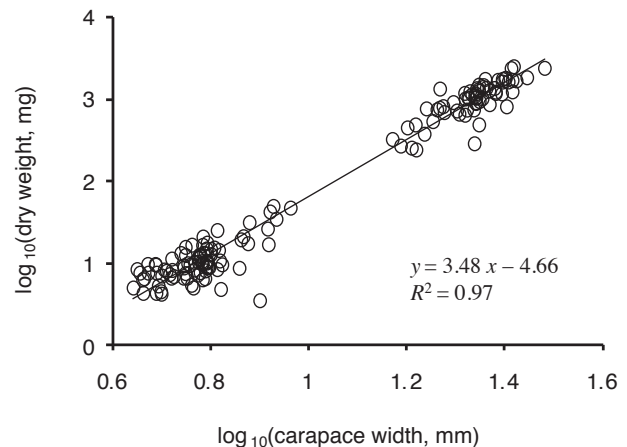


Fig. 5. Relationships of carapace width to dry weight of the freshwater crab *Geothelphusa dehaani*. The regression line was obtained from 149 individuals collected from the upstream region of the Shimanto River.

Table 1. Benthic invertebrates excluding the freshwater crab *Geothelphusa dehaani* collected at 14 stations in the upstream region of the Shimanto River. Units are individuals per 0.48 m². See Fig. 1 for the names and locations of the stations.

	Species	Station													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Amphipoda	<i>Gammarus nipponensis</i>	1	1			1	23	34	4	2					
Coleoptera															
Epilichas				1				1							
Psephenidae	<i>Ectopria</i> sp.	1													
	<i>Mataeopsephus japonicus</i>	5		2	1		1		9			39	5		
Diptera															
Tipulidae	<i>Holorusia mikado</i>			3							1			2	1
	others	9	3		1				2		4	7	1		1
Ephemeroptera															
Baetidae	<i>Baetis</i> spp.								2			40			
	<i>Centroptilum rotundum</i>														
	other												1		
Dipteromimidae	<i>Dipteromimus tipuliformis</i>							3							
Ephemerellidae	<i>Drunella basalis</i>											5			
	<i>Drunella ishiyamana</i>														9
	<i>Drunella kohnoi</i>											40			
	<i>Drunella sacharinensis</i>														1
	others	6													
Ephemeridae	<i>Ephemera japonica</i>	15	1	17	5	1	2	1	60			11	5		6
Heptageniidae	<i>Cinygma lyriformis</i>		2												
	<i>Eclyonurus</i> spp.	9		18	14		1								
	<i>Epeorus ikanonis</i>			2				1							3
	<i>Epeorus latifolium</i>			1								52			10
	<i>Epeorus nipponicus</i>														1
	<i>Epeorus</i> spp.	1	27						2						
	others								8			12	4		1
Oligoneuriidae	<i>Oligoneuriella rhenana</i>										1				
Siphonuridae					1										
Megaloptera															
Corydalidae	<i>Parachauliodes continentalis</i>													1	
	<i>Protohermes grandis</i>											1			6
Odonata															
Calopterygidae	<i>Mnais</i> sp.										1				
	other						1								
Epiophlebiidae				6				1		1				1	
	others								3						
Plecoptera															
Chloroperlidae				7											
Nemouridae								1							
Peltoperlidae	<i>Cryptoperla japonica</i>											1			
	other														1
Perlidae	<i>Calineuria</i> sp.								1						
	<i>Gibosia</i> spp.											2			
	<i>Kamimuria tibialis</i>												2		
	<i>Kiotina</i> spp.										5				2
	<i>Niponiella limbatella</i>			1											
	<i>Neoperla</i> spp.	2												1	
	<i>Oyamia</i> spp.				6							5			2
	<i>Paragnetina tinctipennis</i>							1							5
	<i>Togoperla</i> spp.	1	9	17			1	2	12	6	1		1	9	9
Trichoptera															
Hydropsychidae	<i>Hydropsyche</i> spp.											5			
	others				4								1		
Hydroptilidae				8											16
Lepidostomatidae	<i>Goerodes</i> spp.			12											
Philopotamidae											1				
Polycentropodidae												1			
Psychomyiidae															1
Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila kawamurae</i>														3
	<i>Rhyacophila</i> sp.														1
	others			3											
Stenopsychidae	<i>Stenopsyche marmorata</i>											5			29
Xiphocentronidae															
	other	1	1							3					
Tricladida				6	4					3					
Hirudinea						5	1	3							1
Oligochaeta						1					3				
Sum		51	44	133	36	8	34	44	109	19	8	225	20	14	109

四万十川上流域における河川環境と底生生物

Table 2. Ratios of dry to wet weight (D:W ratio) of benthic invertebrates in the upstream region of the Shimanto River. *n*: sample number.

	Species	<i>n</i>	D:W ratio (%)	
			Mean \pm SD	Range
Amphipoda	<i>Gammarus nipponensis</i>	75	12.5 \pm 7.1	4.8–41.7
Coleoptera		62	23.7 \pm 12.1	7.7–74.2
Epilichas		2	51.0 \pm 32.8	27.8–74.2
Psephenidae		60	22.8 \pm 10.4	7.7–50.0
	<i>Ectopria</i> sp.	1	20.0	20.0
	<i>Mataeopsephus japonicus</i>	59	22.9 \pm 10.4	7.7–50.0
Decapoda	<i>Geothelphusa dehaani</i>	149	24.8 \pm 6.8	8.5–44.3
Diptera		33	15.5 \pm 10.6	4.8–44.1
Tipulidae	<i>Holorusia mikado</i>	7	7.6 \pm 1.0	6.6–9.4
others		26	17.6 \pm 11.0	4.8–44.1
Ephemeroptera		364	28.8 \pm 17.4	1.3–96.2
Baetidae		55	27.3 \pm 19.9	8.1–96.2
	<i>Baetis</i> spp.	49	26.0 \pm 19.7	8.1–96.2
	<i>Centroptilum rotundum</i>	5	34.2 \pm 19.7	10.3–62.5
	other	1	58.3	58.3
Ephemerellidae		57	17.1 \pm 10.4	5.9–50.0
	<i>Drunella</i> spp.	53	16.2 \pm 9.2	5.9–42.6
	others	4	28.7 \pm 19.4	10.3–50.0
Ephemeridae	<i>Ephemera japonica</i>	105	22.4 \pm 13.8	5.7–90.9
Heptageniidae		146	25.7 \pm 19.2	1.3–93.3
	<i>Cinygma lyriformis</i>	2	15.1 \pm 7.8	9.5–20.6
	<i>Ecdyonurus</i> spp.	31	45.6 \pm 29.9	12.1–93.3
	<i>Epeorus</i> spp.	92	20.2 \pm 10.7	1.3–73.2
	others	21	21.9 \pm 6.7	11.1–42.5
Oligoneuriidae	<i>Oligoneuriella rhenana</i>	1	90.0	90.0
Megaloptera		8	17.1 \pm 4.6	9.0–24.4
Corydalidae	<i>Parachauliodes continentalis</i>	1	15.8	15.8
	<i>Protohermes grandis</i>	7	17.3 \pm 4.9	9.0–24.4
Odonata		14	28.9 \pm 14.3	13.1–54.6
Calopterygidae		2	16.6 \pm 3.1	14.4–18.8
	<i>Mnais</i> sp.	1	18.8	18.8
	other	1	14.4	14.4
Epiophlebiidae		9	35.2 \pm 14.3	13.1–54.6
others		3	18.0 \pm 3.3	14.5–21.4
Plecoptera		106	29.4 \pm 13.7	9.4–73.3
Chloroperlidae		7	44.4 \pm 17.8	9.8–66.7
Peltoperlidae	<i>Cryptoperla japonica</i>	1	27.3	27.3
Perlidae		98	28.4 \pm 12.8	9.4–73.3
	<i>Calineuria</i> sp.	1	13.8	13.8
	<i>Gibosia</i> spp.	2	24.4 \pm 2.5	22.6–26.2
	<i>Kiotina</i> spp.	7	36.5 \pm 18.9	21.4–73.3
	<i>Neoperla</i> spp.	3	19.2 \pm 3.7	15.4–22.8
	<i>Niponiella limbatella</i>	1	43.2	43.2
	<i>Oyamia</i> spp.	13	27.3 \pm 11.2	14.6–57.9
	<i>Paragnetina tinctipennis</i>	6	23.1 \pm 1.4	20.8–24.8
	<i>Togoperla</i> spp.	65	28.7 \pm 13.0	9.4–66.7
Trichoptera		81	26.2 \pm 12.7	6.1–84.6
Hydropsychidae		9	30.4 \pm 10.8	16.7–50.0
	<i>Hydropsyche</i> spp.	5	23.5 \pm 6.1	16.7–31.8
	others	4	39.0 \pm 9.2	29.7–50.0
Hydroptilidae		24	28.4 \pm 8.2	6.1–50.0
Philopotamidae		1	27.5	27.5
Polycentropodidae		1	84.6	84.6
Rhyacophilidae		8	37.5 \pm 7.8	28.7–52.9
	<i>Rhyacophila</i> spp.	6	35.9 \pm 5.2	28.7–41.6
	others	2	42.2 \pm 15.2	31.4–52.9
Stenopsychidae	<i>Stenopsyche marmorata</i>	34	20.0 \pm 10.6	11.3–58.3
Xiphocentronidae		4	19.6 \pm 5.1	13.1–25.1
Tricladida		10	35.8 \pm 20.2	13.2–73.3
Hirudinea		10	21.0 \pm 8.8	7.5–35.1
Oligochaeta		4	30.8 \pm 3.5	26.3–34.5

g/m²と最も小さかった (Fig. 7b)。サワガニの量と底生動物の多様性の関係をみるため、Table 1にある各分類群と個体数にしたがってサワガニを除いた底生動物群集の多様度指数を求めた。その結果、底生動物

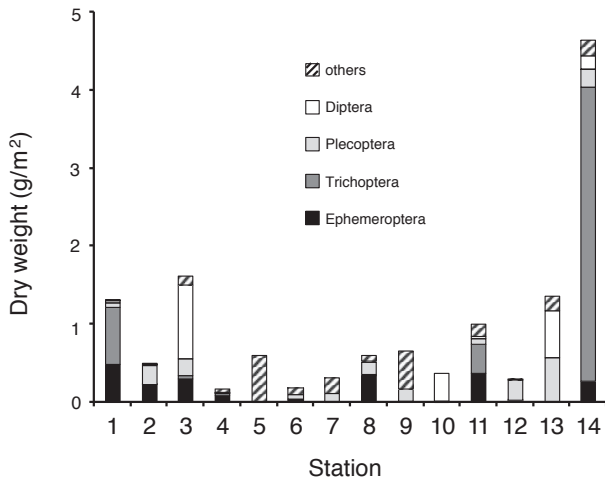


Fig. 6. Biomass of the benthic invertebrate communities (excluding freshwater crabs) expressed as dry weight per square meter at the 14 stations of the Shimanto River.

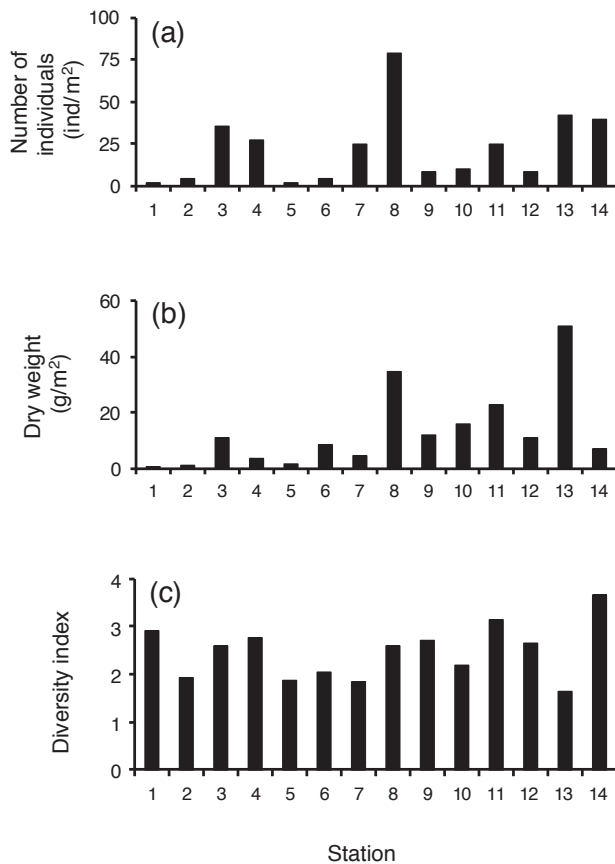


Fig. 7. The number of individuals (a) and dry weight (b) of the freshwater crab *Geothelphusa dehaani* per square meter, and Shannon–Wiener's index of diversity for the benthic communities excluding *G. dehaani* (c) at the 14 stations of the Shimanto River.

の多様性はサワガニの乾燥重量が最も多かった地点13で最も低く、サワガニの量が少ない地点14で高かった (Fig. 7c)。

サワガニの生物量と河川の物理環境との関係では、標高との間で有意な負の相関があった ($r = -0.534$, $P = 0.049$, $n = 14$, Fig. 8a)。サワガニの標高別の分布に関して、鹿児島県の屋久島では標高850 mを超えると個体数が減少し、1250 m以上には分布していないとの報告があり (岡野 2001)、今回の結果と合致する。一方、川幅もしくは流量との間には有意な相関はなかった (川幅: $r = -0.169$, $P = 0.563$, $n = 14$; 流量: $r = -0.355$, $P = 0.214$, $n = 14$)。底生生物との関係では、付着藻類もしくはサワガニを除く底生動物の間には有意な相関はなかった (全光合成色素濃度: $r = 0.034$, $P = 0.909$, $n = 14$; 底生動物乾燥重量: $r = 0.023$, $P = 0.937$, $n = 14$)。サワガニを除く底生動物の多様度指数とサワガニ生物量との間に有意な相関はみられなかった ($r = -0.176$, $P = 0.547$, $n = 14$, Fig. 8b)。サワガニの生物量が他の生物の多様度にも生物量にも相関しないという本研究の結果は、サワガニの環境適応能力の高さを示唆しているか、あるいはサワガニの生物量に対するより強い因子があるかどうかであろう。甲幅が10 mm以上のサワガニは72個体おり、その性比はオス44%、メス56%であった。胃内容物の空胃と非空胃の割合は、それぞれ33%と67%であった。胃内容物として餌動物の分類群が判別できたのは17個体であり、カゲロウ類の体の一部が見られたのは9個体 (53%)、カワゲラ類は6個体 (35%)、トビケラ類は2個体 (12%) であった。

四万十川上流域においては過去に、1974年8月、同年10–11月、1975年5月、1987年9月、1988年3月に枝の谷川 (地点2) と日曾の川 (地点4) の2支流が合流する王在家と、永野川 (地点5と8) と太田戸川 (地点9) と横貝川 (地点10) の3支流が合流

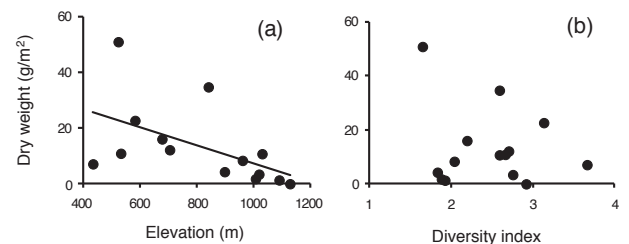


Fig. 8. Relationships of dry weight of freshwater crabs to elevation (a), and Shannon–Wiener's index of diversity for benthos (b) in the upstream region of the Shimanto River. The dry weight was negatively correlated with elevation.

する下本村の2ヶ所で底生動物相の調査が行なわれている(古屋 1990)。1970年代から1980年代にかけてのこれら上流域での調査では、ヒゲナガカワトビケラ科(Stenopsychidae)が最も優占しており、ヘビトンボも優占していた。その他には、1970年代にオオヤマカワゲラ属(*Oyamia*)とトゲマダラカゲロウ属(*Drunella*)が優占しており、1980年代にシマトビケラ属(*Hydropsyche*)が優占していた。1970年代から1980年代にかけて調査が行なわれた王在家と下本村に近い場所としては本研究の調査地点2、4、5、8-10が相当するが、オオヤマカワゲラ属が地点4で採集されたほかはみられなかった。代わって本調査では、フタスジモンカゲロウやタニガワカゲロウ属、ヒラタカゲロウ属などのカゲロウ目とトウゴウカワゲラ属が多くみられた。ヒゲナガカワトビケラ科は河川上流域から下流域にかけて生息するのに対して、フタスジモンカゲロウは上流域や細流に生息することが知られている(丸山・高井2000、川合・谷田 2005)。カワゲラ目の中でも、オオヤマカワゲラ属は山地溪流から規模の大きな河川まで生息するのに対して、トウゴウカワゲラ属は規模が小さい溪流や源流に個体数が多い(川合・谷田 2005)。本調査地点は各支流の上流部であるのに対して、王在家や下本村は2ないし3つの支流が合流する地点である。そのため、過去の調査と本調査との間で優占する水生昆虫に違いがみられたのは、本調査地点が過去の調査点より河川規模の小さい上流側の位置であったことに起因すると考えられる。

謝辞

本研究を実施するにあたり協力していただいた高知大学大学院総合人間自然科学研究科の渡邊礼雄氏、高知大学理学部の佐藤大紀氏と三好智子氏、椋山女学園大学教育学部の野崎健太郎博士に感謝いたします。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

- Begon, M., Harper, J. L., and Townsend, C. R. 1996. 生態学：個体・個体群・群集の科学(堀道雄監訳). 京都大学学術出版会.
- Bendschneider, K. and Robinson, R. J. 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *Journal of Marine Research*, 11: 87-96.
- 古屋八重子. 1990. 四万十川の動物—底生動物. 四万十川<しぜん・いきもの>, 高知市民図書館, pp. 161-220.
- Hillebrand, H. and Sommer, U. 1999. The nutrient stoichiometry of benthic microalgal growth: Redfield proportions are optimal. *Limnology and Oceanography*, 44: 440-446.
- 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.
- 河合禎次・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.
- 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.
- 水野信彦・御勢久右衛門. 1993. 河川の生態学. 築地出版.
- 水野丈夫・矢島稔・今泉忠明・武田正倫. 1995. 生き物の飼育. フレーベル館.
- 文部科学省. 2009. <http://www.bunka.go.jp/bunkazai/shoukai/keikan.html>. (2014年1月27日閲覧)
- Murphy, J. and Riley, J. P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36.
- 日本分析化学会北海道支部. 2005. 水の分析 第5版. 化学同人.
- 岡野智和. 2001. 本邦産サワガニ類の分類と生態に関する研究. 鹿児島大学博士論文.
- 大西由希子・加藤元海. 2013. 鏡川上流域における河川環境と底生生物. *黒潮圏科学*, 6: 208-216.
- Shannon, C. E. and Weaver, W. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Chicago.
- 滋賀県小中学校教育研究会理科部会. 1991. 滋賀の水生昆虫・図解ハンドブック. 新学社.
- 四万十市. 2013. <http://www.city.shimantolg.jp/simanto/gaiyou/gaiyou.html>. (2014年1月27日閲覧)
- Solórzano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenylhypochlorite method. *Limnology and Oceanography*, 14: 799-801.

津田松苗. 1962. 水生昆虫学. 北隆館.

Benthic invertebrates and attached algae in the upstream region of the Shimanto River, Kochi Prefecture

Hazuki Eguchi¹⁾, Kazuma Ishida¹⁾, Mitsuya Inoue¹⁾ and Motomi Genkai-Kato^{1,2)*}

¹⁾Department of Biology, Faculty of Science, Kochi University, 2-5-1 Akebono-cho, Kochi 780-8520, Japan

^{2)*}Graduate School of Kuroshio Science, Kochi University, 2-5-1 Akebono-cho, Kochi 780-8520, Japan

Abstract

Surveys were conducted for water chemistry and benthic algae and invertebrates at 14 stations of 12 upstream tributaries of the Shimanto River, Kochi Prefecture, in western Japan. The ranges of elevation and discharge at these stations were 435–1128 m above sea level and 4.1–83 L/s, respectively. The density of attached algae ranged from 1.4 to 36.4 mg/m² of photosynthetic pigments (chlorophyll *a* and pheophytin *a*). The biomass of benthic invertebrates excluding the crab *Geothelphusa dehaani* ranged from 0.2 to 4.7 g dry weight/m². The biomass of *G. dehaani* tended to decrease with elevation, but it did not correlate with the biomass or diversity of benthic invertebrates. The dominant aquatic insects in this study were different from those surveyed in the 1970s and 1980s. This difference could be attributed to the difference in the sampling locations and stream scales between the present study and past surveys, because the stations in this study were located in upper reaches and therefore had smaller discharges than those in the past surveys.

Key word:

Aquatic insects, attached algae, freshwater crabs, Shimanto River, water quality