

## 研究論文

# 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

山中 萌<sup>1)</sup>・井上光也<sup>2)</sup>・加藤元海<sup>1,3)\*</sup>

### 要旨

河川において底生動物の定量採集を行なう際、すべての個体を扱うには時間と労力を必要とする。そのため河川の底生動物群集に関して、体長と個体数、生物量の小さな個体まで網羅した関係についてはこれまで明らかにされていない。本研究では、夏季に仁淀川と四万十川の上流域で1地点ずつ底生動物に関する調査を行なった。単位面積当たりの底生動物の総個体数や優占種には違いがあったものの、両河川とも大きい個体から小さい個体へと体長区分を累積した個体数は直線的に増加した。同様に体長区分を累積した生物量の増加は、両河川とも小さい体長区分の個体を追加するにつれ飽和する傾向にあった。底生動物群集の中で優占する分類群に関しては、両河川とも大型の個体のみに限定した場合は個体数においても生物量においてもトビケラ目が優占したものの、小型の個体まで含めるとカゲロウ目が優占する傾向にあった。両河川とも、各体長区分に属する1個体当たりの平均乾燥重量は体長とともに指数的に増加し、乾燥重量1g当たりの平均個体数は体長とともに指数的に減少した。

キーワード：水生昆虫、体長区分、個体数、生物量、小型個体

生態学では、ある群集の調査において出現する種数は調査面積とともに増加することが知られている(嶋田ほか2005)。この面積と種数の関係は、はじめは調査面積の増加とともに急激に種数が増えるが、しだいに増加が緩やかになり飽和型の曲線になる(例えば、沼田・依田1955)。島嶼においても、島の面積が大きいほど種数が増加する傾向がある(Diamond and May 1976)。河川に生息する底生動物は様々な種から構成されており、形態からみても多種多様な動物がいる(津田1962)。河川の底生動物群集においても、種数は同様に飽和するものの採集面積とともに増加の一途を辿ることは明白であろう。節足動物門昆虫綱のうち水生の生活をするものは13目あり、多くの水生昆虫は幼虫のときは水中で生活し、成虫になると陸上で生活する(川合・谷田2005)。カゲロウ類やトビケラ類の羽化時期は様々であり、種によって異なることから(津田1962)、河川で定量採集を行なった場合の底生動物群集は一般

に様々な大きさの動物から構成される。

河川の底生動物群集において主要な構成要素である水生昆虫には体の小さな個体も少なくないことから、定量採集されたすべての個体を分類し、体長や生物量を測定するには途方もなく膨大な労力と時間を必要とする。そのため、体長区分と個体数や生物量との関係を明らかにした報告はこれまでのところない。本研究では、定量採集された底生動物群集の個体を可能な限り拾い上げて、体長ごとに底生動物を区分し、大きい個体から小さい個体へと体長区分を累積したときの個体数と生物量の増加の仕方を見た。大きい個体から小さい個体へ累積した個体数と生物量の増加パターンを明らかにすることにより、河川底生動物群集の真の個体数や生物量を推定することが可能になる。さらに、体長区分ごとに累積したときに底生動物群集の中で各目が占める割合や、代表的な目の中で各科が占める割合の変化についても調べた。

生態学的調査は、教育機関の夏季長期休暇と重なる時期に重点的に行なわれる場合が多いことから、本研究では梅雨明けして1週間後の天候と河川の流量が安定した時期における河川底生動物群集の体長、個体数、生物量の関係に着目した。本研究で明らかにされる体長、個体数、生物量の間関係が一

2016年2月1日受領；2016年2月10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) 高知大学大学院総合人間自然科学研究科  
〒780-8520 高知市曙町2-5-1

3) 高知大学黒潮圏科学部門  
〒780-8520 高知市曙町2-5-1

\*連絡責任者e-mail address: genkai@kochi-u.ac.jp

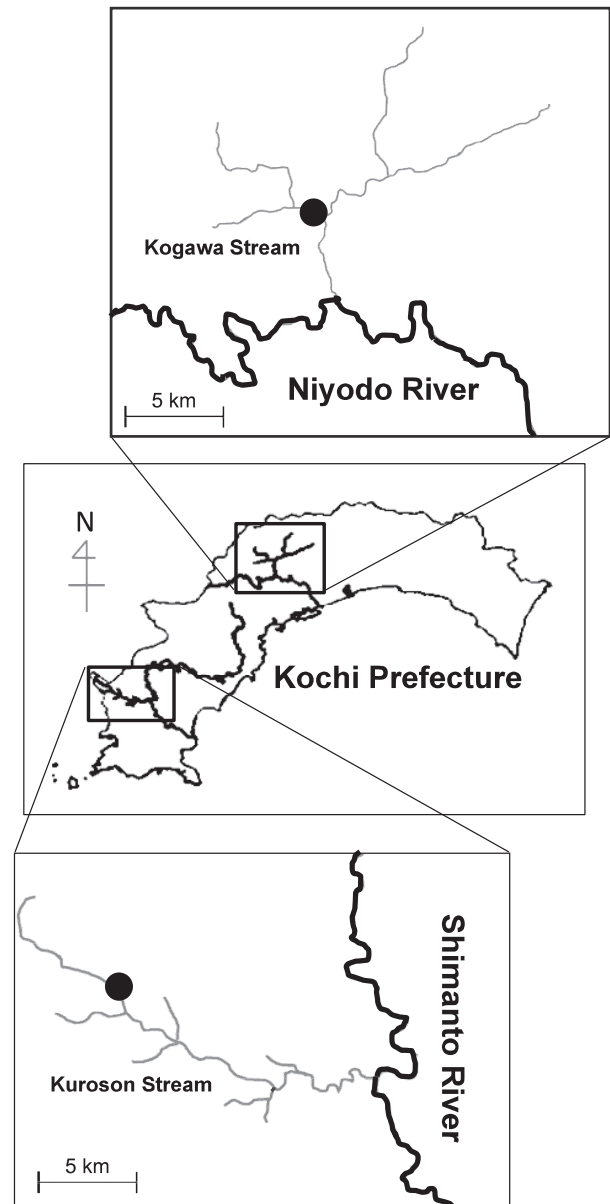
一般的な傾向であるかを検証するために、水系の異なる河川として四国を代表する仁淀川と四万十川を研究対象とした。仁淀川と四万十川は流域面積で高知県最大の2河川であり最終的には土佐湾に流れ込むことから、黒潮圏の生態系に大きな影響を与えうる。仁淀川は愛媛県の石鎚山に源を發し土佐湾に注ぐ流路延長124km、流域面積1560km<sup>2</sup>の一級河川であり、その上流域の底生動物相に関しては井上ら (2015) に詳しい。四万十川は高知県の不入山に源を發し土佐湾に注ぐ流路延長196km、流域面積2186km<sup>2</sup>の一級河川であり、その上流域の底生動物相に関しては江口ら (2014) に詳しい。

### 材料と方法

**調査地** 調査は、2014年7月29日に仁淀川支流の小川（こがわ）川（緯度N33°31'30.16"、経度E133°17'38.20"、標高67m）と、7月31日に四万十川支流の黒尊（くろそん）川（N33°08'12.42"、E132°40'33.53"、244 m）で行なった（Fig. 1）。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、測定間隔は各河川の川幅から小川川では1 mごとに、黒尊川では50cm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の深さで流速計（モデルCR-7 WP、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（L/s）を求めた（加藤 2014）。

**水質と底生藻類** 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（NO<sub>3</sub>-N）はサリチル酸ナトリウム法（Kalf 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すべての調査地点で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。それぞれの表面を適当な図形、またはその組み合わせ（楕円、長方形、三角形、台形など）として近似し、面積算出のために必要な寸法とともに野帳に記録した（野崎・加藤 2014）。バットの上で



**Fig.1. Sampling stations (●) in the Kogawa and Kuroson Streams.** The Kogawa and Kuroson Streams are tributaries of the Niyodo and Shimanto Rivers, respectively.

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。底生藻類密度の指標として光合成色素であるクロロフィルaをユネスコ法で分析した（SCOR/UNESCO 1966）。クロロフィルa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。

**底生動物** 底生動物は水深30cm以下の瀬でサーバーネット（25cm×25cm、網目475 μm：No. 5514、離合社）を用いて、川の流れを利用して石ごと採集

した。サーバーネットで採集された底生動物は、砂利や礫、木片などの有機物ごとすべてプラスチック製容器に入れ（ただし大きな石は表面を河川水でよく洗ってから除外した）、70%エタノールで固定した。採集は各調査地点で3回繰り返し、3回分を合わせて集計し、最終的には底生生物の密度を河床単位面積当たりの値 ( $m^{-2}$ ) として求めた。

採集した底生動物を含む試料は後日室内において、肉眼で底生動物とそれ以外のものに仕分けした。底生動物は実態顕微鏡下で原色川虫図鑑（丸山・高井 2000）、日本産水生昆虫（川合・谷田 2005）を用いて同定した。同定した底生動物は目盛りが1 mmの方眼紙の上で体長1 mmごとに分け、体長5 mm以上の個体は電子ノギス (Digimarc Caliper, Mitutoyo) を用いて体長を0.01 mm単位で測定した。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) を用いて測定し乾燥重量として求めた。乾燥重量の場合、1個体の重量を測定できないため、目ごとに初めに体長5 mm以上の個体を集めて重量を測定し、次に体長4 - 5 mmの個体を上乗せして全重量を測定し（つまり、体長4 mm以上の個体の重量）、以後1 mmごとに小さな個体を順に累積して重量を求めた。

## 結果と考察

小川川と黒尊川の河川環境については、小川川のほうが黒尊川より川幅が広く流量も大きかった (Table 1)。水温は小川川のほうが高かった。CODは両河川とも同じような値であったが、硝酸態窒素は黒尊川のほうが高かった。底生藻類密度は、小川川のほうがやや高い傾向にあった。

河床面積  $1 m^2$  当たりの底生動物の総個体数は小川川で11,620個体、黒尊川で1,333個体であった (Table 2)。個体数が最も多かった分類群 (科) は、小川川でカゲロウ目 (Ephemeroptera) のコカゲロウ科 (Baetidae)、黒尊川ではカゲロウ目のヒラタカゲロウ科 (Heptageniidae) であった。小川川のみで見られたものは甲虫目 (Coleoptera) のドロムシ科 (Dryopidae) とヒラタドロムシ科 (Psephenidae) とマルハナノミ科 (Scirtidae)、双翅目 (Diptera) のアミカ科 (Blephariceridae) とブユ科 (Simuliidae)、カゲロウ目のチラカゲロウ科 (Isonychiidae)、トビケラ目 (Trichoptera) のコエグリトビケラ科

**Table 1. Physical and chemical characteristics of the Kogawa and Kuroson Streams.**

	Kogawa Stream	Kuroson Stream
Stream width (m)	12.4	5
Maximum depth (cm)	56	59
Discharge ( $m^3/s$ )	1.78	0.39
Water temperature ( $^{\circ}C$ )	25	20
pH	7.5	6
COD (mg/L)	0.47	0.50
$NO_3-N$ ( $\mu g/L$ )	150	325
Chlorophyll <i>a</i> ( $mg/m^2$ )	6.14	6.99

(Apataniidae) とナガレトビケラ科 (Rhyacophilidae) であった。黒尊川のみで見られたものはトビケラ目のクロツトビケラ科 (Uenoidae) であった。

河床  $1 m^2$  当たりの底生動物の総個体数を各体長区分で見ると小さな体長区分ほど個体数が多くなる傾向があったが、両河川とも体長2 - 3 mmの区分に属する個体が最も多かった (Fig. 2)。底生動物は砂利や木片などと同様な体色をもっているものが多いため、底生動物とその他のものを仕分ける際に体長が2 mm未満の個体を見落とししていた可能性がある。両河川とも、体長1 - 2、2 - 3、3 - 4 mmの区分ではカゲロウ目が最も優占していた。小川川では、体長2 - 3と3 - 4 mmの区分ではカゲロウ目に次いで双翅目が優占していた。

河床  $1 m^2$  当たりの底生動物の個体数を目ごとに各体長区分で見ると、小川川では各区分でブユ科 (Fig. 3a)、黒尊川ではユスリカ科 (Chironomidae) が多かった (Fig. 3b)。小川川では、3回の採集のうち、1回でブユ科の幼虫が採集され、その数はサーバーネット ( $0.0625 m^2$ ) 当たり597個体であった。ブユの幼虫は流れの速い水深の浅い岩上で集団をつくることが知られている (津田 1962、滋賀県小中学校教育研究会理科部会 1991)。カゲロウ目に関して、小川川ではコカゲロウ科 (Fig. 3c)、黒尊川ではヒラタカゲロウ科が多かった (Fig. 3d)。カワゲラ目 (Plecoptera) に関して、両河川ともカワゲラ科 (Perlidae) が多かった (Fig. 3e, f)。トビケラ目に関して、両河川ともシマトビケラ科 (Hydropsychidae) が多く、黒尊川では小さな体長区

**Table 2. Density of benthic invertebrates (ind/m<sup>2</sup>) in the Kogawa and Kuroson Streams.**

Taxon	Kogawa Stream	Kuroson Stream
Acarina	27	27
Coleoptera		
Dryopidae	5	0
Elmidae	85	11
Psephenidae	85	0
Scirtidae	5	0
Diptera		
Blephariceridae	27	0
Chironomidae	336	43
Simuliidae	3,195	0
Tipulidae	16	5
Ephemeroptera		
Baetidae	5,520	133
Ephemerellidae	469	59
Heptageniidae	859	587
Isonychiidae	43	0
Leptophlebiidae	69	53
Others	5	0
Plecoptera		
Nemouridae	5	5
Perlidae	144	85
Others	0	21
Trichoptera		
Apataniidae	5	0
Hydropsychidae	635	144
Lepidostomatidae	21	128
Rhyacophilidae	27	0
Stenopsychidae	32	16
Uenoidae	0	16
Others	5	0
Sum	11,620	1,333

分でカクツトビケラ科 (Lepidostomatidae) が多かった (Fig. 3g, h)。

小川川と黒尊川の間で個体数に約10倍の差があるものの、体長の大きいものから小さいものへと体長区分 1 mmごとに個体数を累積すると、両河川ともほぼ直線的に増加する傾向にあった (Fig. 4a, b)。したがって体長が 1 区分小さい個体数を累積することによる累積個体数の増加率は、両河川とも小さいものへと体長区分を追加するとともに減少する傾向にあった (Fig. 4c)。体長 5 mm以上の個体数から体長 4 mm以上の個体数への増加率は両河川の間で異なったが、さらに小さい体長区分を累積していった

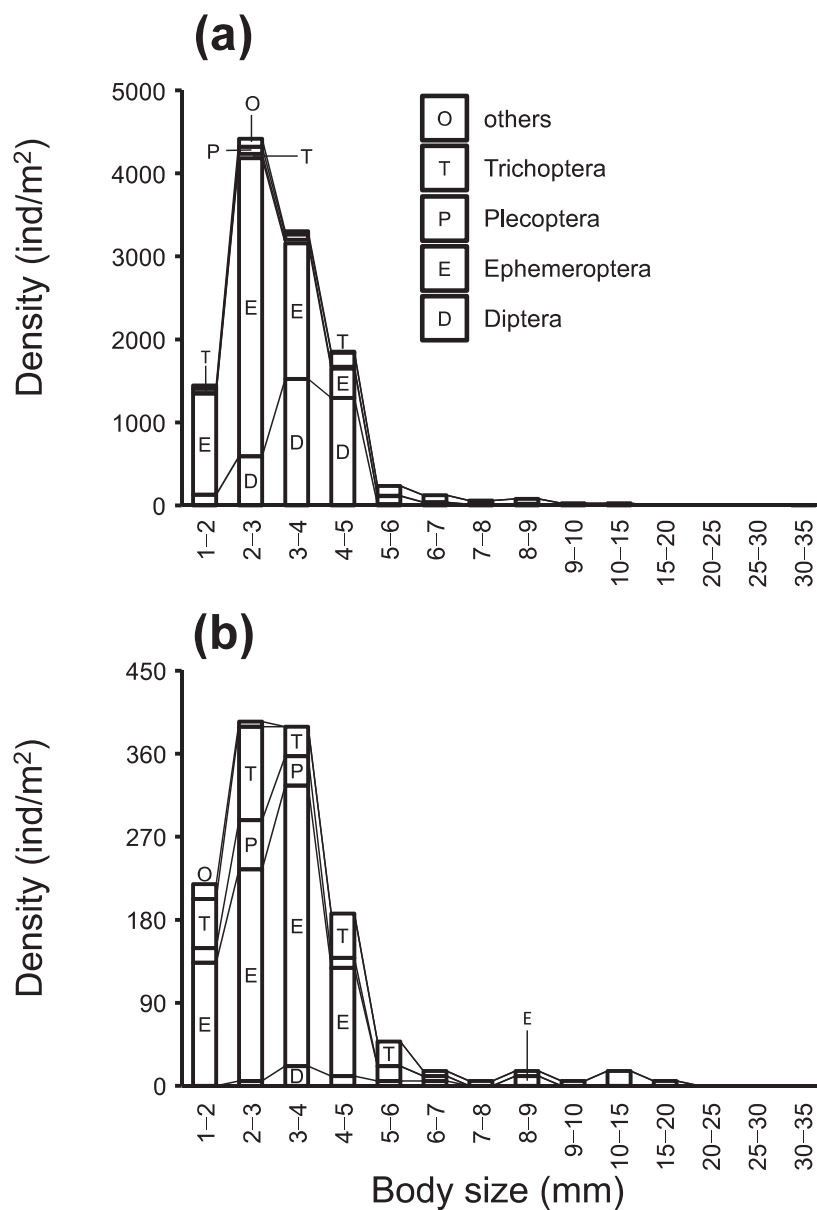
場合、両河川での増加率はほぼ等しい値であった。体長 5 mm以上の個体数に対する累積個体数の増加率は、黒尊川より小川川のほうが高かった (Fig. 4d)。増加率に関して河川間で差が出たのは、小川川で双翅目のブユ科幼虫が採集され、体長 3 – 5 mmの区分で著しく増加したことが要因であろう。

累積された個体数に関して、それぞれの分類群 (目) が占める割合でみると、両河川ともより大型の個体に着目する (体長区分の下限を大きくする) ほどトビケラ目が優占し、一方、体長がより小さな個体 (特に 5 mm未満) を含める (体長区分の下限を小さくする) ほどカゲロウ目の割合が増加した (Fig.

5)。小川川では、体長5 mm未満の個体を考慮した場合（体長区分の下限を5 mmより小さくすればするほど）、双翅目（主にブユ科）の割合が著しく増加した（Fig. 5a）。

累積された個体数に関して、それぞれの分類群（科）が占める割合でみると、双翅目に関しては、小川川では大型個体はユスリカ科が優占し、小型個体はブユ科が優占した（Fig. 6a）。黒尊川の双翅目についてはユスリカ科が優占した（Fig. 6b）。カゲロウ目に関しては、小川川ではより大型の個体に着目

するほどヒラタカゲロウ科が優占する一方、体長がより小さな個体を含めるほどコカゲロウ科の優占率が増加した（Fig. 6c）。黒尊川のカゲロウ目ではヒラタカゲロウ科が優占した（Fig. 6d）。カワゲラ目に関しては、両河川ともカワゲラ科が優占した（Fig. 6e, f）。トビケラ目に関しては、両河川でシマトビケラ科が優占した（Fig. 6g, h）。両河川とも、より大型の個体に着目するほどヒゲナガカワトビケラ科（Stenopsychidae）の優占率が増加した。小川川では体長が小さい個体を含めるほどシマトビケラ科の

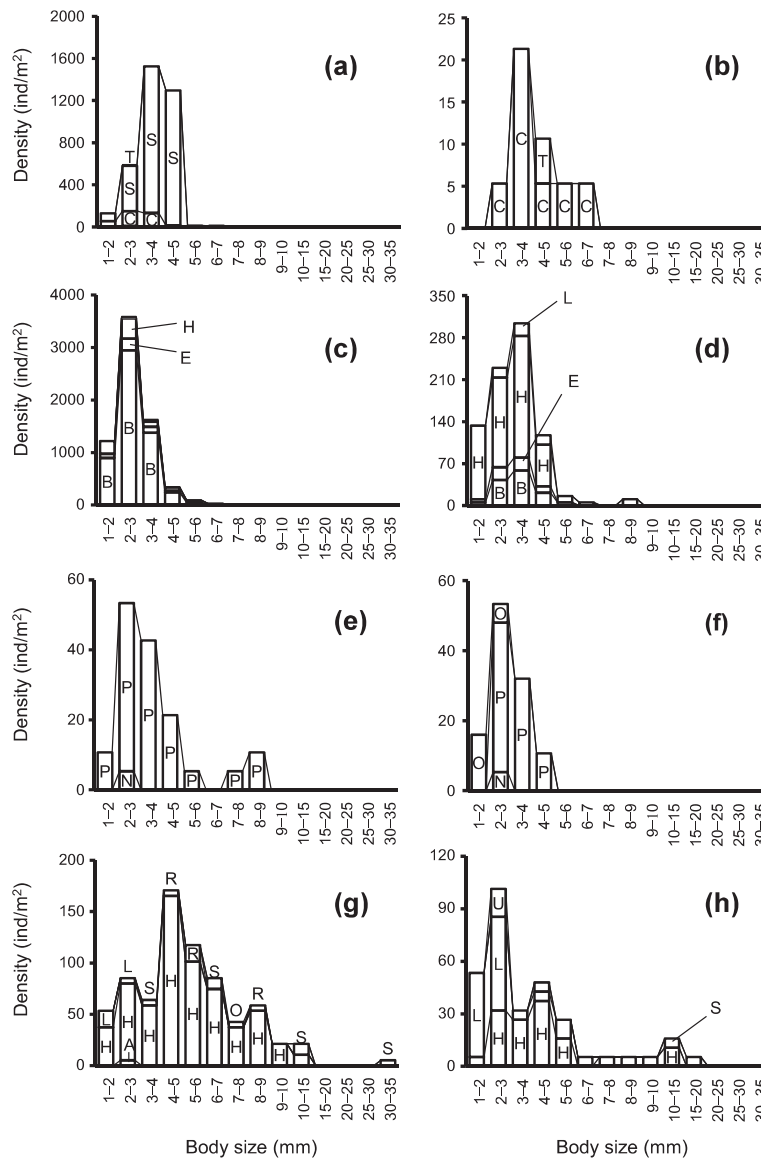


**Fig. 2.** Density of benthic invertebrates per square meter belonging to each body-size range in the Kogawa (a) and Kuroson Streams (b). For example, the body-size range 2-3 means individuals equal to or greater than 2 mm and smaller than 3 mm in body length.

優占率が増加し、黒尊川ではカクツトビケラ科の優占率が増加した。

体長の大きいものから小さいものへと体長区分1 mmごとに生物量を累積すると、小川川と黒尊川の間で生物量に約4倍の差があるものの、両河川とも小さい体長区分の個体を追加するほど生物量の増加

が飽和する傾向にあった (Fig. 7a, b)。体長が1区分小さい生物量を累積することによる累積生物量の増加率は減少する傾向にあり、両河川でほぼ同じ値となった (Fig. 7c)。体長5 mm以上の個体数に対する累積生物量の増加率についても両河川でほぼ等しい値をとった (Fig. 7d)。

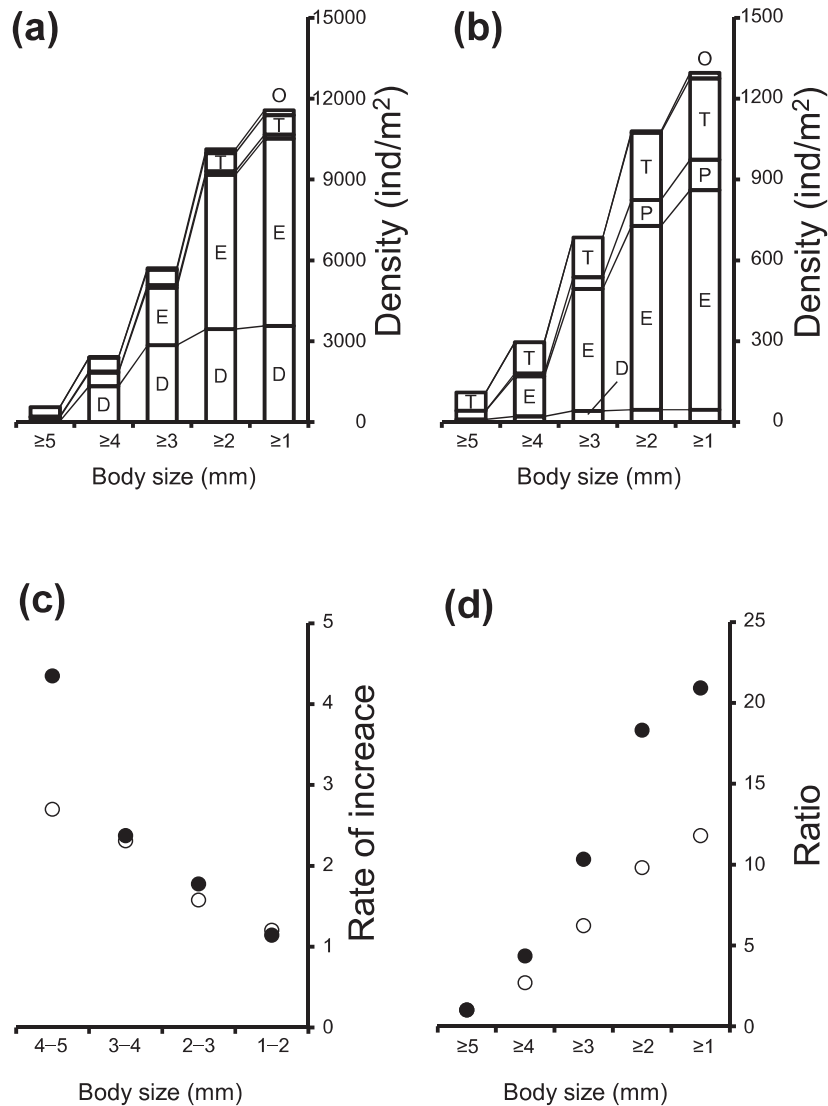


**Fig. 3.** Density of benthic invertebrates per square meter belonging to each body-size range: Diptera in the Kogawa (a) and Kuroson Streams (b), Ephemeroptera in the Kogawa (c) and Kuroson Streams (d), Plecoptera in the Kogawa (e) and Kuroson Streams (f), Trichoptera in the Kogawa (g) and Kuroson Streams (h). Abbreviations with regard to family name are as follows. For Diptera, B: Blephariceridae, C: Chironomidae, S: Simuliidae, T: Tipulidae. For Ephemeroptera, B: Baetidae, E: Ephemerellidae, H: Heptageniidae, I: Isonychiidae, L: Leptophlebiidae. For Plecoptera, N: Nemouridae, P: Perlidae. For Trichoptera, A: Apataniidae, H: Hydropsychidae, L: Lepidostomatidae, R: Rhyacophilidae, S: Stenopsychidae, U: Uenoidae. O: others.

累積された生物量についてそれぞれの分類群(目)が占める割合でみると、両河川ともより大型の個体に着目するほどトビケラ目が優占する一方、体長がより小さな個体を含めるほどカゲロウ目の割合が増加した (Fig. 8)。小川川では体長5 mm未満の個体を考慮すると、双翅目の割合が著しく増加した (Fig. 8a)。

生物量については各体長区分を累積して重量を計測したが、各体長における累積生物量を差分することにより、各体長区分に属する個体の生物量を求めた (Fig. 9)。両河川とも大型の体長区分ほど生物量が大きく、トビケラ目が優占する5 mm以上の体長区分で最大の生物量をとった。

各体長区分の個体数と生物量から、各体長区分に



**Fig. 4.** The cumulative individual number of benthic invertebrates per square meter in the Kogawa (a) and Kuroson Streams (b). The body-size range  $\geq 5$  mm means individuals equal to or greater than 5 mm in body length. (c) Rate of increase of the cumulative individual number per square meter when the fraction of the next smaller 1-mm size range is added to the body-size range in the Kogawa (●) and Kuroson Streams (○). For example, the individual numbers of the body-size ranges  $\geq 5$  mm and 4-5 mm were 110 and 187, respectively, in the Kuroson Stream. Addition of 4-5 mm range to the body-size range  $\geq 5$  mm results in 297 individuals with body length  $\geq 4$  mm. Thus the rate of increase for 4-5 mm range is  $297/110 = 2.7$ . (d) The ratio of the individual number of each body-size range to the individual number of the body-size range  $\geq 5$  mm. For example, the number of individuals  $\geq 3$  mm is 685 in the Kuroson Stream. In this case, the ratio is  $685/110 = 6.2$ . D: Diptera, E: Ephemeroptera, P: Plecoptera, T: Trichoptera, O: others.

属する底生動物 1 個体当たりの乾燥重量の平均値を求めた (Fig. 10a)。1 個体当たりの乾燥重量は体長区分が大きなものほど大きかった。同様に、各体長区分に属する底生動物の乾燥重量 1 g 当たりの個体数を求めた (Fig. 10b)。乾燥重量 1 g 当たりの個体数は、体長区分の小さなものほど多かった。

### 結論

夏季における仁淀川と四万十川の上流域では、各体長区分で累積した個体数の結果から、大型の個体

はトビケラ目が優占し、小型の個体はカゲロウ目が優占する傾向にあることが明らかになった (Fig. 5)。小型の個体にカゲロウ目が多かったのは、カゲロウは春から初夏に羽化する種が多いため (川合・谷田 2005)、夏季には終齢幼虫のほとんどが羽化した後であった可能性がある。一方、トビケラの羽化は春から秋にかけて長い間みられる種が多く (津田 1962)、両河川においてトビケラ目で優占していたシマトビケラ科は本州以南の河川では年に 2 世代以上の生活環をもつ種や夏季の世代重複が大きいことが知られている (谷田 1980)。

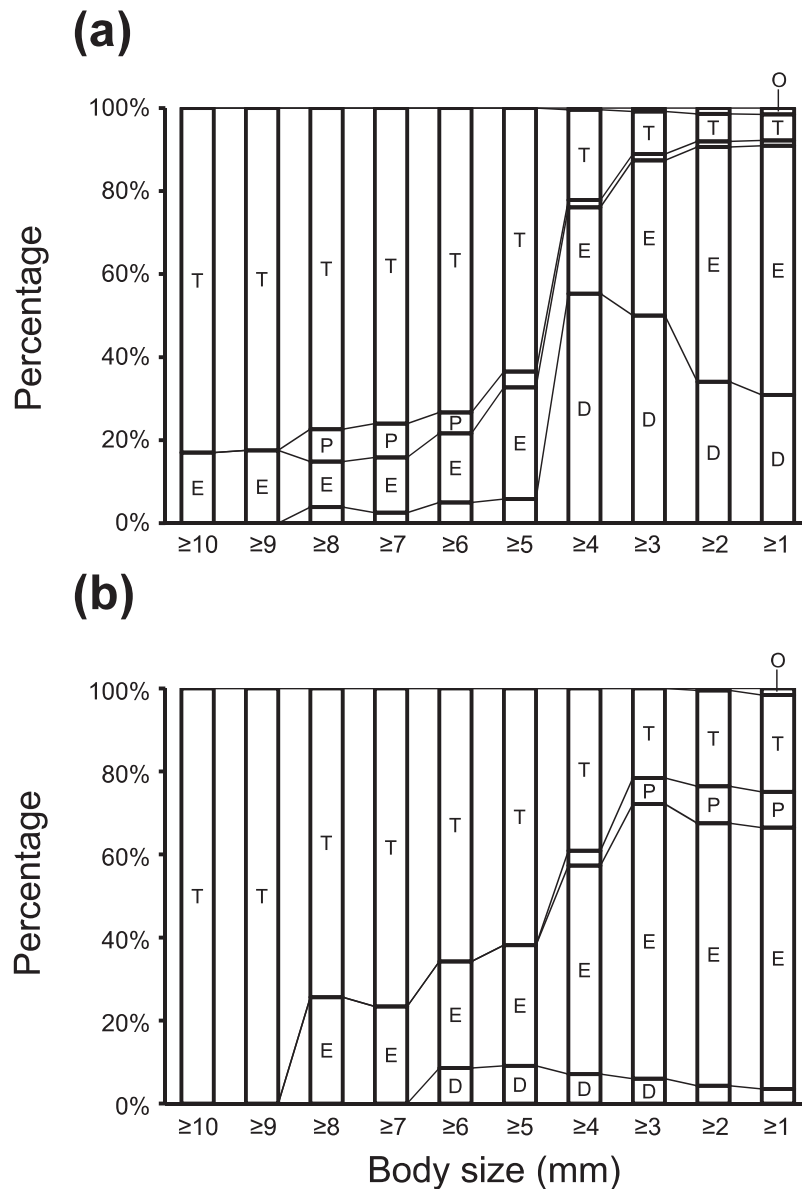
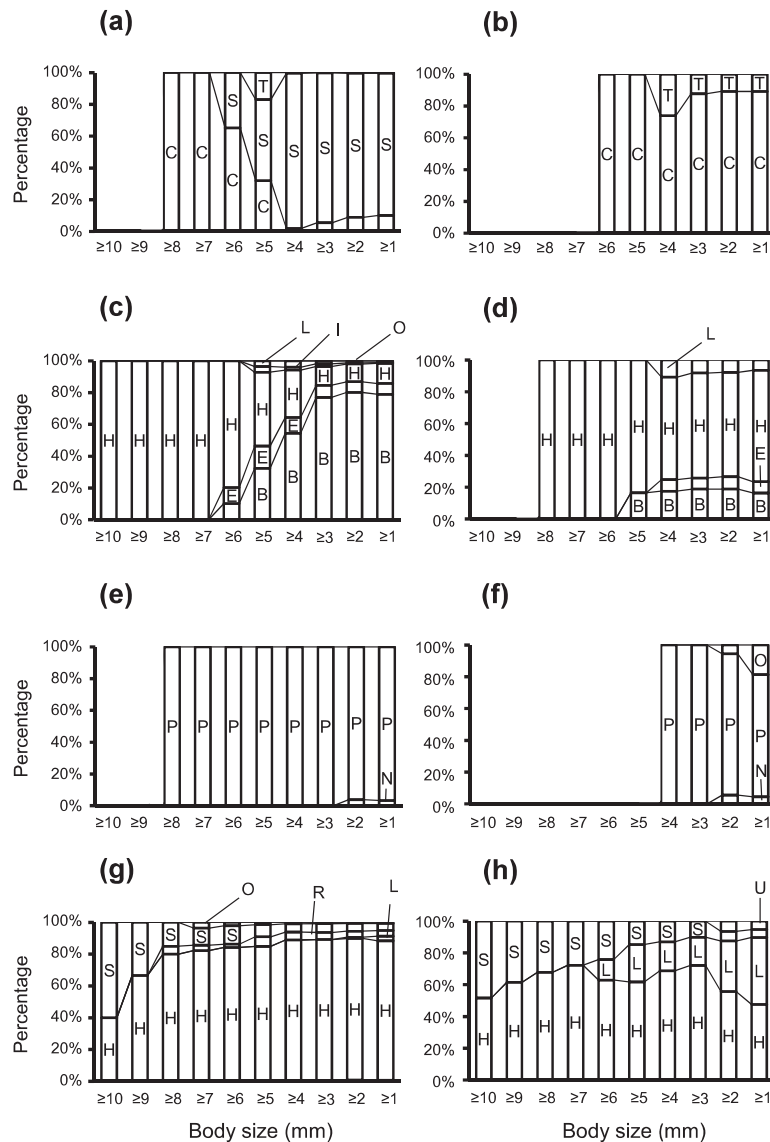


Fig. 5. Dominant taxonomic orders and body-size range in terms of density per square meter in the Kogawa (a) and Kuroson Streams. Abbreviations are the same as in Fig. 2a.



仁淀川と四万十川で、底生動物群集の個体数では約10倍、生物量では約4倍の差があったものの、体長と個体数、生物量の間には両河川に共通する関係がいくつかみられた。体長と個体数の間には、体長2-3mmの区分に属する個体が最も多く (Fig. 2)、体長が大きいものから小さいものへの累積個体数は直線的に増加した (Fig. 4a, b)。体長と生物量の間には、体長が大きいものから小さいものへの累積生物量の増加は飽和する傾向がみられた。すべての体長区分において、トビケラ目とカゲロウ目が個体数においても生物量においても優占したが、大型個体に限定した場合にはトビケラ目が優占する傾向が

あった (Figs. 5, 8)。梅雨明け1週間後の7月末から8月初めにかけては全国的に晴天が続くことから、一般に河床が安定する。河床が安定した場所では造網性トビケラ類が優占することが知られている (津田1962, 谷田・竹門 1999)。ここでは四国の河川を対象としたが、本研究で得られた体長と個体数、生物量の関係は、夏季の河床が安定した時期に限定すれば、他地域の河川でも同様の傾向があるのかもしれない。水生昆虫の生活史は種によって異なることから (津田 1962)、本研究の次のステップとしては、体長、個体数、生物量の間季節ごとの関係を明らかにすることであろう。



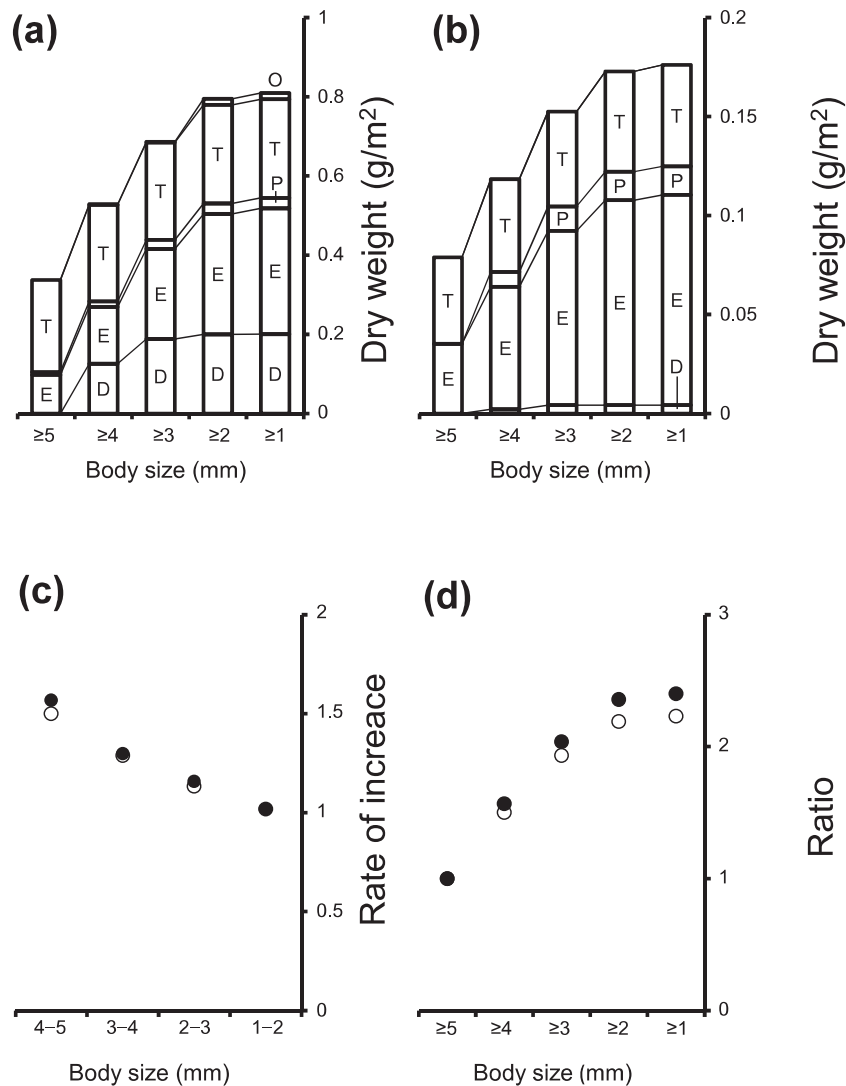
**Fig. 6. Dominant taxonomic families within each order and body-size range in terms of density per square meter: Diptera in the Kogawa (a) and Kuroson Streams (b), Ephemeroptera in the Kogawa (c) and Kuroson Streams (d), Plecoptera in the Kogawa (e) and Kuroson Streams (f), Trichoptera in the Kogawa (g) and Kuroson Streams (h). Abbreviations are the same as in Fig. 3.**

謝辞

本研究を実施するにあたって、助言をいただいた兵庫県立人と自然の博物館の三橋弘宗研究員と愛媛大学工学部の三宅洋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。本研究の一部はJSPS科研費(24770023、代表加藤元海)の助成を受けたものです。

引用文献

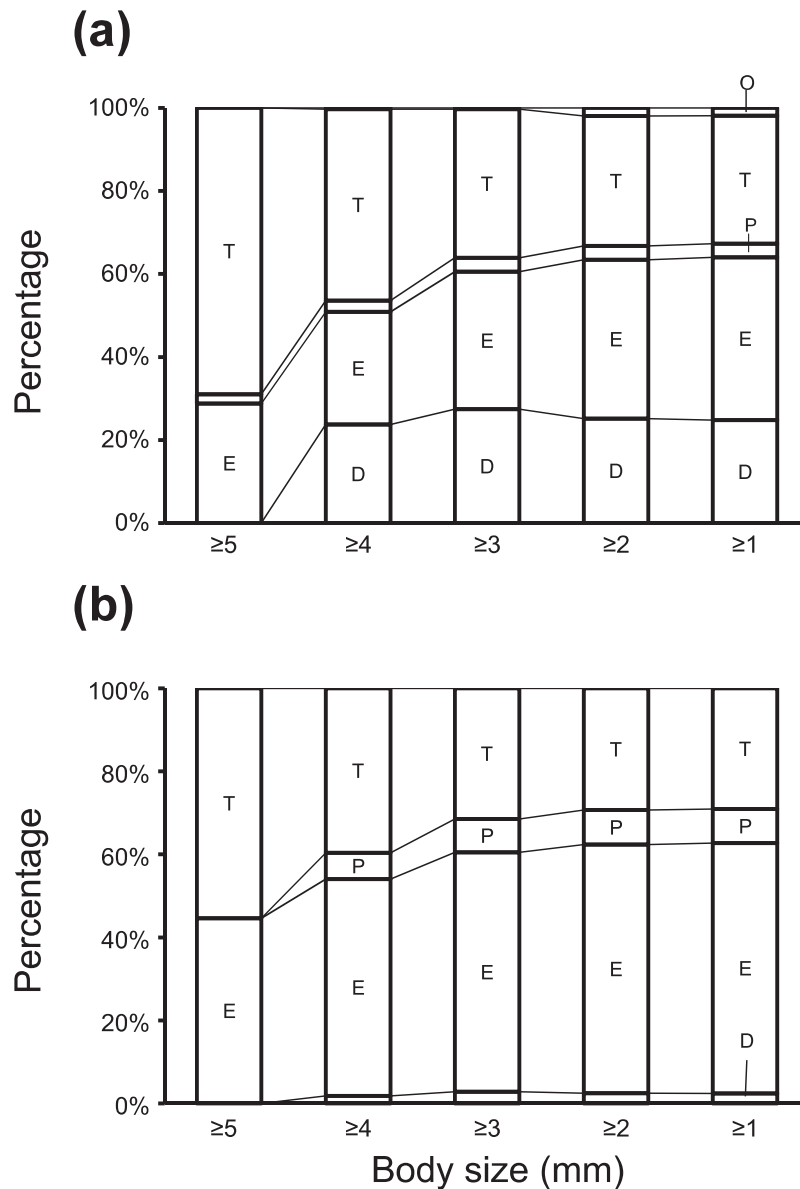
Diamond, J. M. and May, R. M. 1976. Island biogeography and the design of natural reserves. In: Theoretical Ecology, R. M. May (ed.) Principles and Applications, Blackwell Scientific Publications, pp. 228-252.  
江口葉月・石田一馬・井上光也・加藤元海. 2014. 四万十川上流域における河川環境と底生生物. 黒



**Fig. 7. Cumulative biomass of benthic invertebrates per square meter in the Kogawa (a) and Kuroson Streams (b).** (c) Rate of increase of the cumulative biomass per square meter when the fraction of the next smaller 1-mm size range is added to the body-size range in the Kogawa (●) and Kuroson Streams (○). For example, dry weights of the body-size ranges  $\geq 3$  and  $\geq 2$  mm are 0.15 and 0.17 g, respectively, in the Kuroson Stream. Thus the rate of increase is  $0.17/0.15 = 1.13$  when the fraction of 2-3 mm range is added. (d) The ratio of the cumulative biomass of each body-size range to the biomass of the body-size range  $\geq 5$  mm. For example, the biomass  $\geq 5$  mm is 0.079 g in the Kuroson Stream. In this case, the ratio of biomass  $\geq 2$  mm to biomass  $\geq 5$  mm was  $0.17/0.079 = 2.15$ . Abbreviations for taxa are the same as in Fig 2a.

潮圏科学, 7: 123-131.  
 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.  
 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, 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.  
 丸山博紀・高井幹夫. 2000. 原色川虫図鑑. 全国農村教育協会.  
 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.  
 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, pp. 51-53.  
 沼田真・依田恭二. 1955. 竹林における種類数と面積. 千葉大文理紀要, 1: 232-236.  
 SCOR/UNESCO. 1966. Working Group 17, Determination of photosynthetic pigments in



**Fig. 8. Dominant taxonomic orders and body-size range in terms of biomass in the Kogawa (a) and Kuroson Streams (b).** Abbreviations are the same as in Fig. 2a.

sea water. UNESCO.

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.

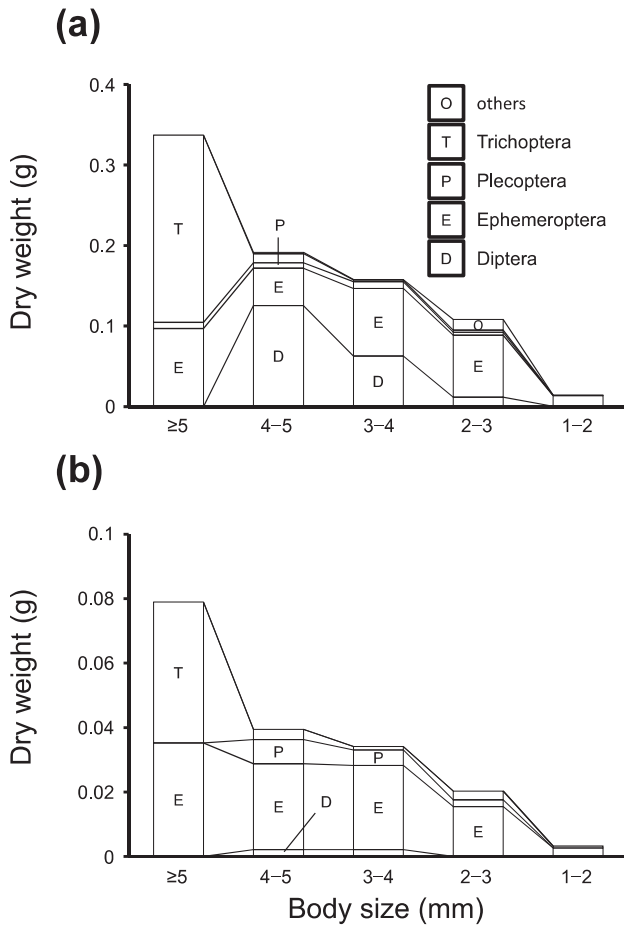
嶋田正和・山村則男・粕谷英一・伊藤嘉昭. 2005. 動  
物生態学新版. 海游舎.

谷田一三. 1980. 貴船川におけるシマトビケラ属3種  
の生活史と分布, とくに生活環の変異と密度と

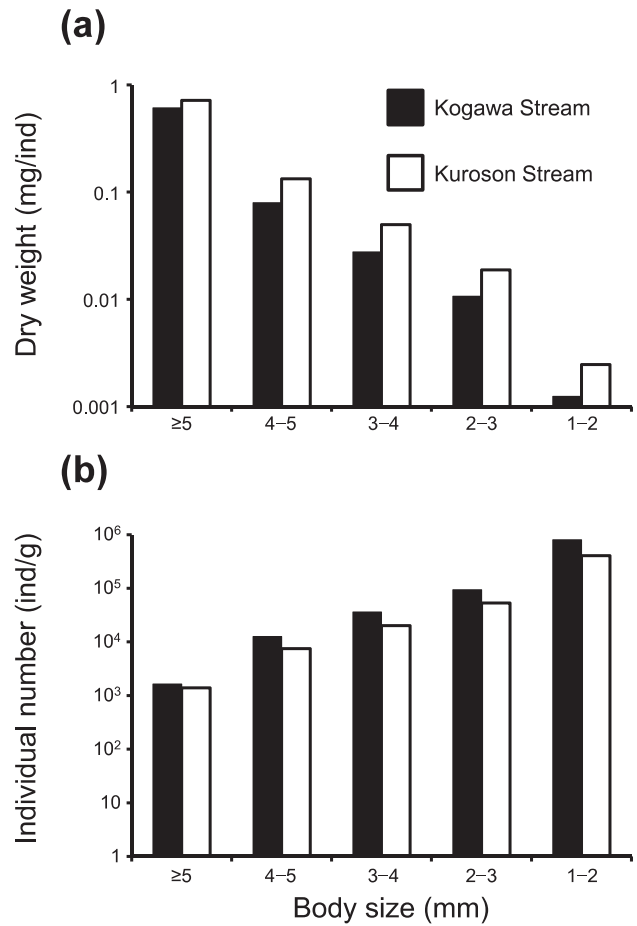
幼虫の成長との関連について. 陸水学雑誌, 41:  
95-111.

谷田一三・竹門康弘. 1999. ダムが河川の底生動物へ  
与える影響. 応用生態工学, 2: 153-164.

津田松苗. 1962. 水生昆虫学. 北隆館.



**Fig.9. Biomass of benthic invertebrates per square meter belonging to each body-size range in the Kogawa (a) and Kuroson Streams (b).** The biomass of each body-size range was calculated based on the cumulative biomass shown in Fig. 7a, b. For example, the biomass belonging to the body size range 3-4 mm was calculated by subtracting the biomass of individuals  $\geq 4$  mm from the biomass of individuals  $\geq 3$  mm.



**Fig. 10. Relationships between the individual number, biomass, and body size in the Kogawa and Kuroson Streams.** (a) The averaged dry weight per one individual of the benthic invertebrate community belonging to each body-size range. (b) The averaged individual number per 1-g dry weight of the benthic invertebrate community belonging to each body-size range.

**Relationships between body size, individual number and biomass of benthic invertebrates in summer at upstream sites of the Niyodo and Shimanto Rivers**

Mei Yamanaka<sup>1)</sup>, Mitsuya Inoue<sup>2)</sup>, and  
Motomi Genkai-Kato<sup>1), 3)\*</sup>

<sup>1)</sup> Department of biology, Faculty of Science,  
Kochi University, 2-5-1 Akebono-cho,  
Kochi 780-8520, Japan

<sup>2)</sup> Graduate School of Integrated Arts and Sciences,  
Kochi University, 2-5-1 Akebono-cho,  
Kochi 780-8520, Japan

<sup>3)\*</sup> Graduate School of Kuroshio Science,  
Kochi University, 2-5-1 Akebono-cho,  
Kochi 780-8520, Japan

**Abstract**

Quantitative samplings of benthic invertebrates in streams often treat individuals larger than a certain size, because inclusion of smaller size classes would take a great deal of exertion to conduct sorting and identification. We

here conducted quantitative samplings at two upstream sites of the Niyodo and Shimanto Rivers in summer and collected benthic invertebrates as small as one millimeter in body length. Collected invertebrates were classified according to size classes of 1-mm intervals, and we focused on the patterns of increase in the cumulative individual number and biomass when individuals of smaller size classes were taken into consideration. Although the number of individuals and dominant taxa were different between the sites, the cumulative number of individuals linearly increased at both sites. The cumulative biomass increased in a saturating manner. When larger individuals were taken into consideration, the benthic invertebrate communities tended to be dominated by trichopterans. Inclusion of smaller size classes resulted in a shift of dominant taxon to ephemeropterans. The averaged dry weight per one individual of a benthic invertebrate increased exponentially with the size class. In contrast, the average number of individuals per one gram of dry weight decreased exponentially with the size class.

**Key words:** Aquatic insect, size class, individual number, biomass, small individual.