

## 『柿田川における底生動物群集の構造と特徴』

京都大学防災研究所水資源研究センター

竹門康弘

### 1. はじめに

柿田川は、富士山系や箱根山系の地下水を起源とする湧水河川であり、湧水量は14t/秒にも達する。このうち4.2t/秒が用水に取られているため、現在の柿田川の流量は残る9.8t/秒となっている。これは、平均的な河川の基底流量としては、河道位数にして4~5程度の比較的大きな河川に相当する。つまり、通常は1~3の河道位数の支川が複数合流することによって成り立つ流量である。ところが、柿田川では、大量の湧水が小さな流域面積の谷に一気に流出しているため、「支川の影響を欠いた本流環境」というきわめて特異的な生態系を形成している。その結果、とくに底生動物の生息環境としては、以下のような際立った特徴を示す。すなわち、1) 全流程が短く1.2kmで狩野川に合流する、2) 表面流出による増水が起こりにくい、4) その結果斜面や上流からの土砂供給も限定的である、3) 湧水量が多いため全流程に渡り水温が年中15-16℃で安定している、4) 水質はCOD=0.5-0.6 mg/L, BOD=0.1-1.5 mg/L と貧栄養で透明度が高いが、全窒素=0.71-1.16 mg/L, 全リン=0.058-0.094 mg/L と栄養塩が多い、5) 水草や藻類の生産量や現存量が多い、6) 湧水源から狩野川合流点まで峡谷となっており兩岸が樹林で覆われているなどの特徴がある。

このような特徴を持つ柿田川は、水生昆虫の群集構造や生活史などの研究上、極めて興味深いフィールドと考えられる。ところが、柿田川の底生動物群集に関する調査事例は意外に少なく、特定の分類群についてファウナ記録がある程度であり、これまで群集全体を対象にした定量的な研究は行われてこなかった。そこで、本研究では、まず、湧水源から狩野川合流点までの全流程に沿って微生物場所の種類と配置に関する調査を行った。次いで、各流程における石礫底と水生植物体上に生息する底生動物群集について定量調査した。また、今回の分析では、確認された底生動物全121タクサのうち複数個体採集された63タクサの胃内容分析を行った。本報告書では、これらの結果に基づいて、柿田川底生動物群集の種構成、食性からみた群集特性、食物連鎖の構造に見られる特徴、湧水源から柿田川橋までの流程分布様式、水生植物と石礫底による種組成の違いなどを示した。なお、本研究は、河川環境管理財団河川整備基金の助成事業（三島次郎代表）の一環として実施した。野外

調査は、大阪府大学農学生命科学研究科の藤谷俊仁博士、京都大学防災研究所水資源研究センターの田中賢治、太田太一、甲山治、諸橋真琴、相馬一義、宮田昇平、田中武志、波多野圭亮の各氏に、採集物のソーティングは竹門緑の各氏に手伝いだいた。また、底生動物の同定に際しては、大阪府大学総合科学部の谷田一三博士、藤谷俊仁博士、神奈川県環境科学センターの石綿進一氏ならびに滋賀県琵琶湖博物館の中井克樹博士にご教示いただいた。なお、底生動物群集の食物網分析については、科学技術振興機構 CREST (永田俊代表) の研究費の一部を利用した。以上の方々に感謝の意を表する。

## 2. 方法

### 2-1. 環境条件と生息場所構造

2000年8月3-8日、2001年8月4-6日に、柿田川の生息場所構造の調査を行った。まず、柿田川の全流程を「湧水源」、「公園下」、「柿田川橋上流」の「柿田川橋下流」4流程に区分し、それぞれの流程について、50m区間ごとに全15種の微生息場所の有無を現地で目視確認する調査を行った。この調査は、「湧水源」では、第1展望台直下の湧水から第2展望台下流までの150mについて3区間調査した。また、「公園下」では、駿豆水道取水口の下流の左岸に湿原の広がる流程の200mについて4区間調査した。さらに「柿田川橋上流」では、柿田川橋の上流側150mについて3区間、「柿田川橋下流」では柿田川橋から狩野川合流点までの150mについて3区間調査した。

生息場所調査に際しては、表1の「河川生息場所調査票」を用いて、50m区間内の河川景観ごとに各種微生息場所の有無を○×で記録した。微生息場所の分類は、竹門(1999)を改変して、以下の16類型を用いた。すなわち、①基盤岩(Base rock) / 巨石(Large stone)、②飛沫帯(Hygropetric zone) ③モスマット(Moss mat)、④沈水根(Root mat)、⑤流倒木(Drift wood / Woody debris)、⑥ダム型リターパック(Trapped litter pack)、⑦浮き石(Loose stone)、⑧河床間隙水域(Hyporheic zone)、⑨はまり石(Burried stone)、⑩砂利(Gravel)、⑪砂(Sand)、⑫泥(Mud)、⑬堆積型リターパック(Accumulated litter pack)、⑭沈水植物(Submerged plant)、⑮抽水植物(Emergent plant)、⑯樹冠被覆の有無を判断した。なお、モスマットや沈水根などのような面積的に小さなものもある場合には、便宜的に25cm四方のサイズを超えるものについて有りと判断した。また、樹冠については、河道上における樹冠被覆部分の有無を基準とした。これについては、必ずしも微生息場所類型ではないが、各微生息場所の環境条件を左右する要因として記録した。

表 1. 河川生息場所調査票 (2000. 8. 4竹門作成版)

地点名		区間距離		m		区間内河川単位数		護岸の有無		右岸	左岸						
調査年月日	年	月	日	時刻	:	~	:	調査者氏名									
調査河川	川	気温	°C	水温	°C	電気伝導度	μS/cm	写真枚数	枚								
河道内位置		微生息場所要素															
景観型	基盤岩	飛沫帯	モスマット	沈水根	流倒木	ダム型	浮き石	河床内間隙	はまり石	砂利	砂	泥	堆積型	沈水植物	抽水植物	樹冠	
	Base rock	Hygro-petric zone	Moss mat	Root mat	Drift wood	リターパック Trapped litter pack	Loose stone	Hyporheic zone	Burried stone	Gravel	Sand	Mud	Accumulated litter pack	Submerged plant	Emergent plant	Tree canopy	
流心部 Central	小滝 Step/Rapid																
	早瀬 Riffle																
	平瀬 Glide																
	淵 Pool																
沿岸部 Peripheral	小滝 Step/Rapid																
	早瀬 Riffle																
	平瀬 Glide																
	淵 Pool																
	サイドプール Bankside pool																

## 2-2. 付着藻類量の測定

付着藻類現存量を比較するために、各調査地点のクロロフィル a 量を測定した。2000 年 8 月 3-7 日と 2001 年 8 月 4-6 日には、「湧水源」、「公園下」、「柿田川橋上流」の 3 地点、また 2002 年 7 月 21-23 日、2003 年 2 月 16-18 日には、「自然教材園」ならびに「柿田川橋上流」の 2 地点において、石礫上面に付着した藻類を採集しクロロフィル a 量を測定した。藻類の採集にあたっては、キッチンクロスを用いた擦り取り法（谷田ほか、1999）に従い、各地点で 4-5 サンプルの付着藻類を定量的に採集した。石礫上面から付着藻類を擦り取る際には、あらかじめ、直径 30mm の円形の穴が開いたゴムパットを石面に押し当てて、円内の付着藻類をキッチンクロス (6cm×6cm) 1-2 枚を用いて擦り取った。キッチンクロスは、アルミホイルで包んで持ち帰り、当日中に 99.5%エタノール 6cc に浸けて色素の抽出を行った。およそ 24 時間抽出した抽出液について、携帯型の分光光度計 (Spectronic mini 20, Milton Roy Ltd.) ならびに室内型分光光度計 (島津 UV-1650PC) を用いて各種波長の吸光度を測定した。エタノールを抽出液に使用した場合の波長の選定や、吸光度とクロロフィル a 量の関係式については、Holden (1976) にしたがった。

## 2-3. 底生動物の定量採集

2000 年 8 月 3-8 日に、「湧水源」、「公園下」、「柿田川橋上流」の 3 流程において、石礫底と水生植物群落内の底生動物群集をそれぞれ 5 サンプルずつ計 30 サンプルの定量採集を行った。また、2001 年 8 月には、「公園下」のバイカモ群落内

において5サンプルの追加採集を行った。また、2002年7月21-23日と2003年2月16-18日には、「自然教材園」ならびに「柿田川橋上流」の32流程において、石礫底、砂利底、バイカモ群落内、コカナダモ群落内、エビモ群落内、フサモ群落内、ナガミクリ群落内、セリ群落内、オオカワヂチャ群落内のそれぞれについて1-4サンプルずつ計25サンプルの定量採集を行った。

採集に際して、石礫底と砂利底の採集では、25cm×25cmのコドラート付きサーバーネットを使用し、底生動物を石礫やリターごと採集した。底質表面に露出している石礫をすべてバット内に移した後、底質表面を攪拌して浮遊物をネットですくい終了とした。その結果、元の河床表面から4-10cm分の底質を採集した。石表面に付着した底生動物はブラシで落とし、粒径の細かい土砂については水とともにタライやバットに分け入れて十分攪拌してから、浮き上がった有機物を250 $\mu$ mのシーブに流し入れる方法で底生動物と有機物を分離採集した。一方、水生植物群落内の採集については、25cm×25cmのコドラート付きサーバーネットを、先に採集地点の水生植物体がサーバーネットに入れ込むように設置し、水生植物の根際から刈り取った。その後、砂礫の底質は掘り返さず表面のみを攪拌して浮遊物をネットですくい終了とした。

#### 2-4. 定量採集試料の処理方法

採集したサンプルは4mm, 2mm, 1mm, 0.5mm, 0.25mmのメッシュサイズの土壤分析用シーブでふるい分けてから、バットに内容物を洗い落とし、肉眼ないし実体顕微鏡にて有機物と底生動物の選別を行なった。選別した底生動物は、10%ホルマリン溶液で保存し、実体顕微鏡（ニコン製SMZ15ED-FUL2,  $\times 10-80$ ）や顕微鏡（LEITZ DM RB,  $\times 100-400$ ）を使用して種の同定を行った。

さらに、底生動物の選別後に残った有機物は、4mm, 2mm, 1mm, 0.5mm, 0.25mmの5サイズ分画に分け、アルミホイルに包み、自然乾燥させた。その後、電気定温乾燥機（ヤマト製DKN-601）を用いて60 $^{\circ}$ Cで約8時間乾燥させ、自動天秤（AG Gottingen Sartorius CP225D）を用いてそれぞれの分画の乾燥重量を0.1mg単位で計量した。

#### 2-5. 資料の分析と底生動物の胃内容分析の方法

流程間ならびに石礫底と水生植物群落間の群集の違いを、主にタクサ数や代表的なタクサの個体数について分散分析ならびに有意差検定によって比較検討した。また、複数個体得られたタクサのうち個体数密度の高かったタクサや既存の知見から食性が不明のタクサについて、1-6個体の腸管を摘出し、胃内容物のプレパラート標本を作成した。胃内容物の実体顕微鏡（ニコン製SMZ15ED-FUL2,  $\times 10-80$ ）の画像をCCDカメラでコンピュータに取り込み内容物の同定を行うとともに、NIH Image 1.62などで投影面積の測定を行った。胃内容物に同定に際しては、珪藻・ラン藻・緑藻などの付着藻類、水生植物の柵状組織、コケ植物の葉状組織、落ち葉の破片、木部の破片、各種動物の組織や器官、不定形になった有機物（FPOM）のカテゴリーに分類した。このうち付着藻類やFPOMの小さいものの割合について

は、顕微鏡（LEITZ DM RB, ×100～400）の画像を用いて、カウント法による割合の推定を行った。また、動物の組織や器官については、できる限り目・科・属・種までの分類を行った。これらの胃内容分析の結果を用いて、各タクサの餌型を分類した。さらに、その結果に基づいて柿田川の底生動物群集における食物連鎖図を作成した。

### 3. 結果と考察

#### 3-1. 柿田川の微生物場所構造

柿田川の微生物場所類型の出現度数を表2にまとめた。柿田川では、河床に段差のある小滝や白く泡立って流れるような早瀬は、柿田川橋下流の眼鏡橋付近にしか見られず。水面の滑らかな平瀬が卓越していた。また、全流程に共通する特徴として、平瀬の流心部にも水草が豊富に存在し、かつ砂利底や砂底が卓越していることがわかった。

つぎに、表2と現地観察結果から各流程の微生物場所構造の特性を分析した。湧水源では、早瀬の景観と浮き石底を欠いているほか、樹冠の水面被覆が多く、はまり石の表面にはモスマットの発達が著しいなどの特徴が認められた。また、公園下では、早瀬の景観と浮き石底を欠いている点は湧水源と共通するものの、川幅が広がり上空が開けるため開空度が高い特徴があった。湧水源と公園下では岸際に小規模の湧水や水たまりが点在していた。これらは、本研究ではサイドプールの類型に加えたが、湧水起源のものについては、通常の河川におけるサイドプールとは微生物場所の環境条件は異質であるかもしれない。

いっぽう、柿田川橋上流と下流では、下流の眼鏡橋の落差部分やその下流の狭窄部において早瀬と浮き石底が多く見られた。また、これらの流程では両岸が人工護岸となり開空度が高い特徴があった。これに伴い、岸際が切立ちサイドプールの生息場所が減少していた。

表2. 柿田川の各流程における微生息場所の出現度数（2000年8月，2001年8月測定）

柿田川湧水源（50m×3）

		基盤岩	飛沫帯	蘚苔 マット	沈水根	流倒木	ダム型 落葉落 枝	浮き石	河床内 間隙	はまり 石	砂利	砂	泥	堆積型 落葉落 枝	抽水植 物	水草	樹冠
流心部	小滝	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	早瀬	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	平瀬	0	0	3	3	3	2	1	3	3	3	3	3	0	3	3	3
	淵	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
沿岸部	小滝	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	早瀬	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	平瀬	0	0	3	3	3	3	1	3	3	3	3	2	0	3	3	3
	淵	0	0	2	2	2	0	0	2	1	1	2	2	1	2	2	2
	サイドプール	0	0	3	3	3	0	0	3	0	2	3	3	3	3	3	3

柿田川公園下（50m×4）

		基盤岩	飛沫帯	蘚苔 マット	沈水根	流倒木	ダム型 落葉落 枝	浮き石	河床内 間隙	はまり 石	砂利	砂	泥	堆積型 落葉落 枝	抽水植 物	水草	樹冠
流心部	小滝	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	早瀬	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	平瀬	0	0	3	4	2	2	1	4	4	4	4	2	0	4	4	1
	淵	0	0	3	2	1	1	0	3	0	3	3	2	1	3	3	0
沿岸部	小滝	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	早瀬	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	平瀬	1	1	3	4	3	3	1	4	4	4	4	3	0	4	4	3
	淵	0	0	3	3	2	0	0	3	0	1	3	3	2	3	3	3
	サイドプール	0	0	3	4	1	0	0	4	1	1	4	4	3	4	4	3

柿田川橋上流（50m×3）

		基盤岩	飛沫帯	蘚苔 マット	沈水根	流倒木	ダム型 落葉落 枝	浮き石	河床内 間隙	はまり 石	砂利	砂	泥	堆積型 落葉落 枝	抽水植 物	水草	樹冠
流心部	小滝	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	早瀬	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0
	平瀬	1	1	3	2	0	1	1	3	3	3	3	2	0	2	3	0
	淵	0	0	2	1	0	0	0	2	2	2	2	2	1	1	2	0
沿岸部	小滝	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	早瀬	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0
	平瀬	0	0	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	1	3	3	2
	淵	0	0	2	2	2	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	サイドプール	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

柿田川橋下流（50m×3）

		基盤岩	飛沫帯	蘚苔 マット	沈水根	流倒木	ダム型 落葉落 枝	浮き石	河床内 間隙	はまり 石	砂利	砂	泥	堆積型 落葉落 枝	抽水植 物	水草	樹冠
流心部	小滝	2	2	3	0	0	2	3	3	3	3	1	0	0	1	3	1
	早瀬	2	1	3	0	1	2	3	3	3	3	3	0	0	1	3	2
	平瀬	2	0	2	0	2	2	2	2	2	2	2	1	1	0	2	2
	淵	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0
沿岸部	小滝	3	1	3	3	0	1	3	3	3	3	3	0	0	2	3	3
	早瀬	3	1	3	3	1	1	3	3	3	3	3	0	0	3	3	3
	平瀬	2	1	2	2	2	0	2	2	2	2	2	1	0	2	2	2
	淵	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	サイドプール	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

各微生息場所の出現頻度については、区間数が少ないことから、湧水源～公園下の7区間と柿田川橋上流～狩野川合流点までの6区間について集計し比較した（図1）。その結果、湧水源～公園下では出現頻度の低い微生息場所類型が多く、生息場所の多様性が低いことが分かった。これは湧水源～公園下に小滝や早瀬の景観や岩や巨石の底質を欠いていることが主因と考えられる。

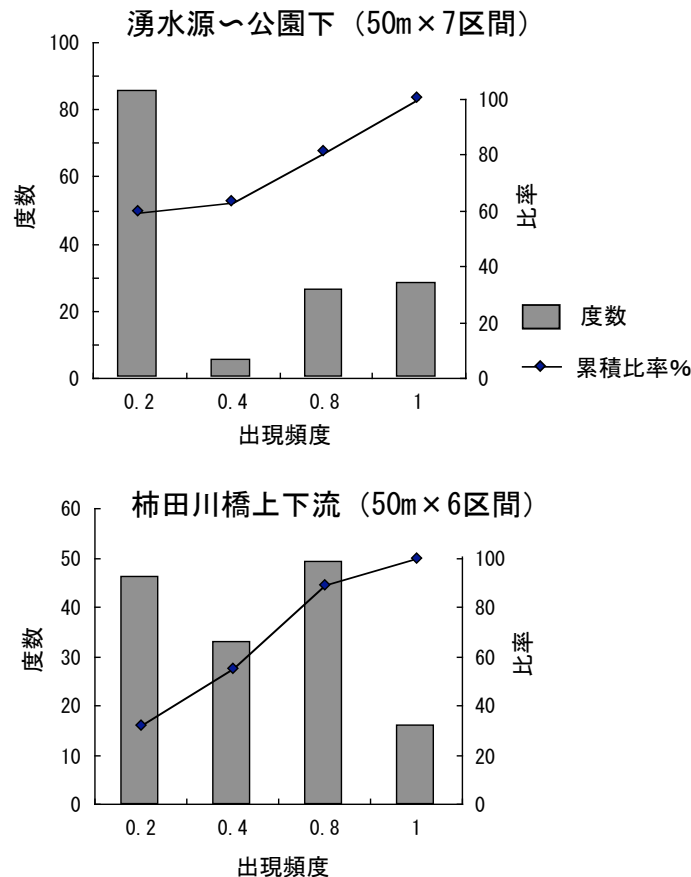


図1. 柿田川の湧水源流程と柿田川橋流程における微生物場所類型 (144類型) の出現頻度分布. 微生物場所類型については, 表1を参照.

### 3-2. 付着藻類現存量 (クロロフィル *a* 量)

2001年8月に底生動物採集地点の浮き石ないしはまり石から採取したクロロフィル *a* 量は, 平均30.8 mg/m<sup>2</sup> (SD=16.2, range=9.4-65.6, n=15) に達した (図2). 一般の河川における付着藻類現存量 (クロロフィル *a* 量) は, 最頻値が約20mg/m<sup>2</sup> であり, 貧栄養河川では0.5-3mg/m<sup>2</sup>, 中栄養河川では3-60mg/m<sup>2</sup>, 富栄養河川では25-260mg/m<sup>2</sup>, *Cladophora*などの糸状緑藻類の繁茂した河川では600-900mg/m<sup>2</sup> に昇ることもある (Stevenson, 1996). したがって, 柿田川の石礫に現存する付着藻類量は中栄養河川のそれに相当している.

また, 流程間のクロロフィル *a* 量を比較した結果, 樹冠に覆われ比較的開空度の小さい湧水源の方が, 明るく開けた公園下よりも多い傾向が認められた (P<0.01, t-test with Welch's correction) (図2). このような現象を生じる原因としては, 1) 湧水源から100区間は比較的勾配が大きく, 底質に滞留している砂が少ないのに対して, 公園下では勾配が小さく砂の滞留量が多い上に四方からの湧水が集まり流量が増す結果, 乱流による砂の移動量が多くなり石表面から藻類を剥離する機会が多くなっている可能性や, 2) 公園下では光環境が良いために藻類の生産速度は高いのだが, これに依存する付着藻類食者の現存量も多い結果, 藻類の被食量が多く現存量が減少している可能性が考えられる.

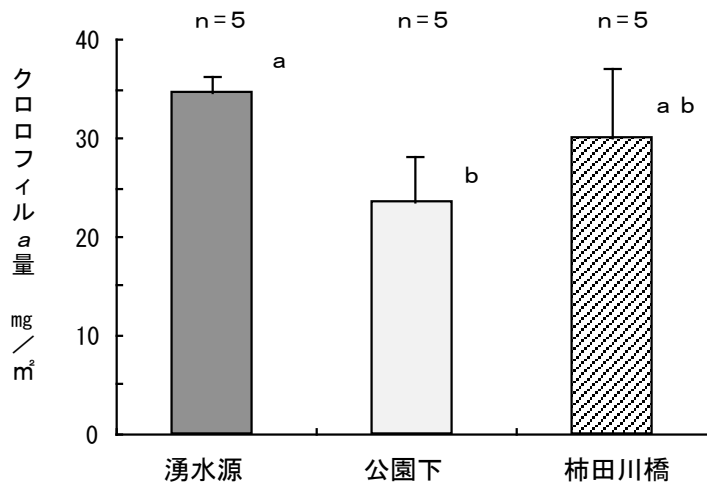


図2. 柿田川の付着藻類量. 擦り取り法によるクロロフィル a 量を測定した. 2001年8月5日調査の結果: 湧水源と公園下の平均値間には1%水準で有意差が認められた. (t-test with Welch's correction)

### 3-3. 柿田川の底生動物群集の特徴

#### 3-3-1. 底生動物群集の分類群組成の特徴

湧水源, 公園下, 柿田川橋の3流程における底生動物群集の定量採集結果をAppendix 1に示した. 本報告書作成時点で分析の終了した全29サンプルから, 総計121タクサ, 19,981個体を得た. タクサ数の構成は, 図3のようにユスリカ科34タクサ, カゲロウ目22タクサ, トビケラ目21タクサの順で多く, これらのグループが全体の64%を占めていた. ユスリカ科では, エリユスリカ亜科のタクサ数(19)が多く, 次いでユスリカ亜科(10)であった. モンユスリカ亜科(3)にはPentaneuriniの数種が見られたが属まで同定できなかつたので, さらに数タクサが含まれるものと思われる. 次にカゲロウ目では通常の河川に比べて著しいタクサ構成の偏りが見られた. とくに, コカゲロウ科(12)とマダラカゲロウ科(6)が多く, これらだけで全体の82%を占めることや, ヒラタカゲロウ科(2)やフタオカゲロウ科(0)の種数の少ないことが柿田川の特徴といえる. このうちマダラカゲロウ科については, マダラカゲロウ属*Ephemerella*が多い点とトゲマダラカゲロウ属*Drunella*を欠く点が特徴的であった. いっぽう, トビケラ目では, ヒゲナガトビケラ科(4), カクスイトビケラ科(3), ナガレトビケラ科(3)が比較的多かった. また, シマトビケラ科(2)については, 通常の河川に比べてタクサ数と個体数が少ない傾向があった.

次に底生動物群集の個体数構成を分析した(図4). カゲロウ目, ユスリカ科, 巻貝類, トビケラ目の個体数が多く, この4グループだけで全体の85.3%を占めていた. このうち, カゲロウ目では, コカゲロウ科10種とマダラカゲロウ科6種が, それぞれカゲロウ個体数全体の73.6%と25.6%を占め, ヒラタカゲロウ科やトビイロ



カゲロウ科の種数は通常の河川よりも少ない特徴が見られた。コカゲロウ科では、とくにGコカゲロウ、Hコカゲロウ、Eコカゲロウの個体数が多く、マダラカゲロウ科では、クシゲマダラカゲロウやイマニシマダラカゲロウなどの*Ephemerella*属の種数が多かった。ユスリカ科では、ナガレツヤユスリカ属、ニセテンマクエリユスリカ属などの個体数が多かった。トビケラ目では、通常の河川に比べてシマトビケラ科の種数と個体数が少なく、マルツツトビケラ属とヒゲナガトビケラ科の種数や個体数の占める割合が多い特徴があった。また、全個体数の29%巻を占めた貝類では、コモチカワツボの個体数密度が高く軟体動物の総個体数の95%を占めていた。

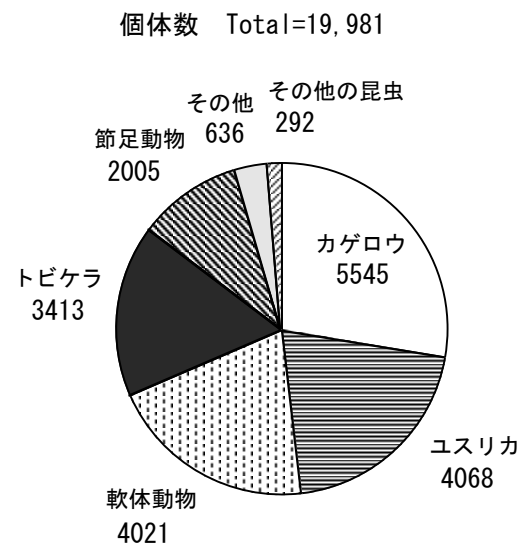
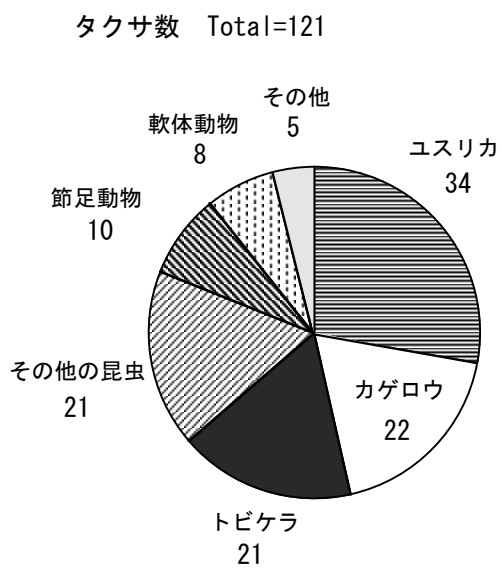


図3. 柿田川の底生動物群集におけるタクサ構成

図4. 柿田川の底生動物群集における個体数構成

### 3-3-1. 底生動物の餌型分析

柿田川の底生動物の食性を明らかにするため、今回の調査で確認された全 121 タクサから比較的個体数の多かったものや既存の知見では食性が不明であるものなど全 63 タクサについて腸管を取り出し、胃内容分析を行った。各タクサについて、できるだけ多くの個体から胃内容を分析することが望ましいが、今回はタクサ数が多かったため、合計 110 個体（タクサ当たり平均 1.8 個体、range=1~6 個体）の解剖結果に基づいて分析した。また、採集地点間による食性の違いも予想されるものの、今回の分析では、できるだけ広い範囲から標本抽出することによって柿田川全体の食性様式を示すことにした。

柿田川の底生動物の腸管内には、きわめて多様な餌品目が出現した (Appendix 2)。それらの類型化にあたり、付着藻類については、珪藻、藍藻、緑藻を合計した割合を示し、組成の表記では印象で多い順に記した。また、いずれかしか出現しない場合にも記録した。水生植物の柵状組織やコケ植物の表皮組織については、陸上植物由来の落ち葉や木部と形態的に区別することができたので、前者を水生植物 (Plant)、後者を落ち葉 (Litter) とした。また、複数の餌品目が同時に出現

現しかつ面積や個数割合が均衡する場合もあったが、量的に最も多いものから順位をつけ、上位3種類の並びに方で餌型の詳細類型 (Food type detailed) を表した。Appendix 2 のこの欄をみれば、各タクサにおける食性の特徴を知ることができるが、全体の構成を分析するにはカテゴリーが多くなりすぎるため、便宜的に量的に第1位の餌品目をそのタクサの餌型として集計した。その結果、食性は付着藻類、FPOM、動物食、水生植物、陸上植物に分類された。本研究では、これを餌型と呼び、生活型や摂食機能群との対応を分析した。

全63タクサの餌型の判定結果から、最も多い餌型は付着藻類食、次いで水生植物食、動物食、FPOM食、陸上植物の落ち葉食となった(図5)。多くの目で付着藻類とともに、水生植物を食べているタクサが見出された。カゲロウ目では、Gコカゲロウ、イマニシマダラカゲロウ、クシゲマダラカゲロウが多くの水生植物組織を食べていた。また、フサオナシカワゲラ、センカイトビケラ属の2種、ヒメガガンボ亜科 (*Erioptera*) の一種、ハムグリユスリカ属の一種、サワガニ、モクズガニ、ヒメモノアラガイなどが、比較的大きな割合で水生植物を食べていた。いっぽう、マルツツトビケラ属の2種やミズメイガ亜科の1種については、コケ植物の葉状組織が胃内容のほとんどを占めており、コケ植物専食と考えられた。

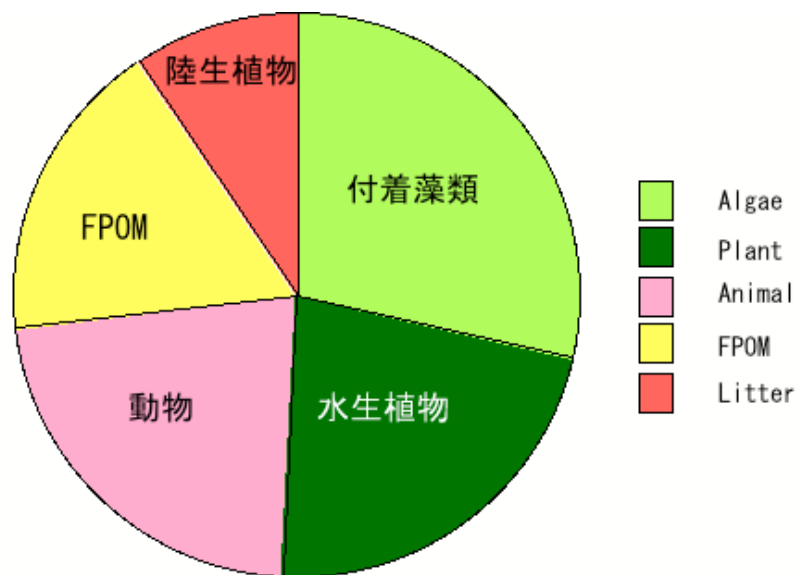


図5. 柿田川の底生動物63タクサの胃内容分析に基づく餌型の構成割合

### 3-3-2. 柿田川底生動物群集の生態型特性

上記餌型のタクサ数構成から、柿田川の底生動物群集にける食物連鎖では、付着藻類と水生植物に依存するタクサが多く、一般の山地溪流に比べてFPOMに依存するタクサ数が少ないと考えられる。ただし、121タクサ中63タクサしか分析しておらず、未分析の分類群にはユスリカ科のように通常FPOMを食べるとされるものが多く含まれていた。そこで、食性未分析のタクサについても近縁種の判定結

果や食性に関する既存の資料を参考にして全 121 タクサの餌型を推定した。また、摂食機能群については、Merritt & Cummins (1996)などを参考にして、生活型については、Imanishi (1941), 津田 (1962), 水野・御勢 (1972)などを参考にして、それぞれ全 121 タクサの底生動物を分類し、Appendix 3 にまとめた。

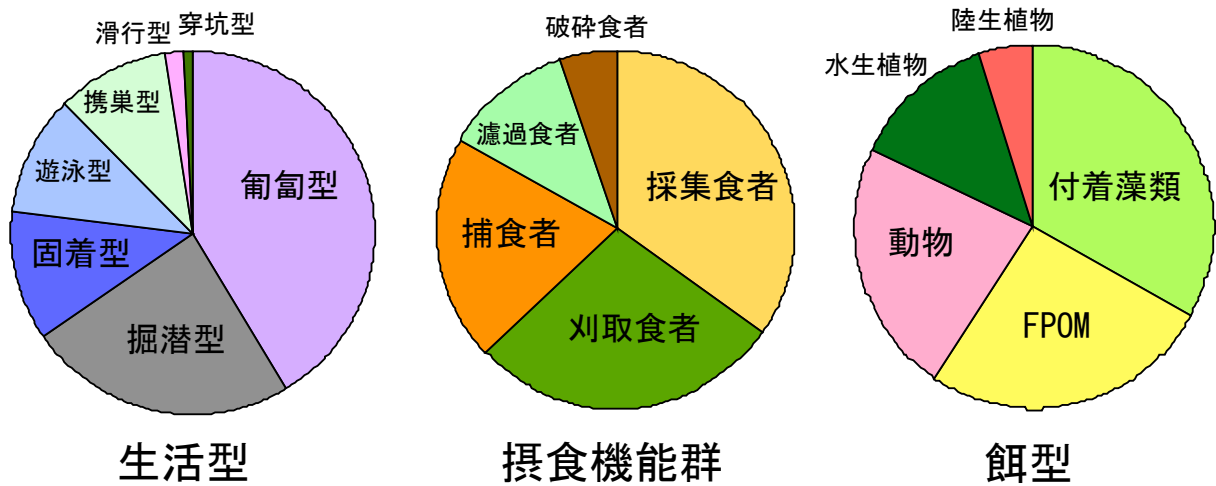


図 6. 柿田川の底生動物群集 (全 121 タクサ) における各生態型のタクサ数組成

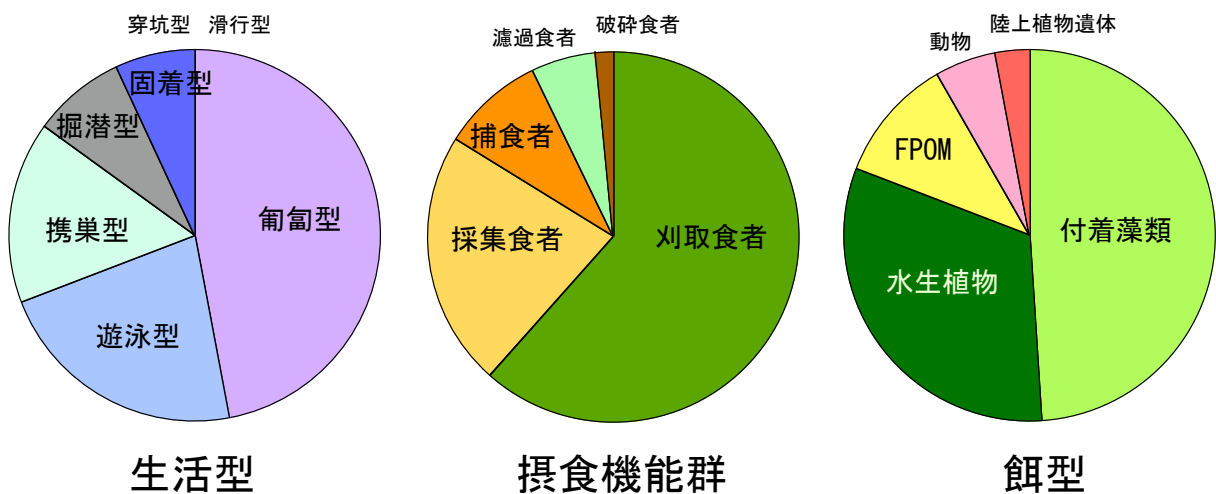


図 7. 柿田川の底生動物群集 (19,980 個体) における各生態型の個体数組成

これら 3 種類の生態型の構成を、タクサ数組成については図 6 に、個体数組成については図 7 に示した。柿田川の底生動物群集における生活型を、匍匐型、掘潜型、固着型、遊泳型、携巢型、滑行型、穿坑型に分けた場合、タクサ数割合は、匍匐型、掘潜型、固着型の順に多く、ヒラタカゲロウ類などのような滑行型が特に少なかった。また、個体数割合では、匍匐型に次いで遊泳型と携巢型が多く、これらで全個体数の 80%に達した。柿田川の底生動物群集では、タクサ数の割に掘潜型や固着型の個体数が少なく、遊泳型や携巢型の個体数が多い点が特徴的で

あった。

いっぽう、摂食機能群については、タクサ数割合では破碎食者と濾過食者が少ないものの採集食者、刈取食者、捕食者が拮抗していたが、個体数割合では刈取食者が圧倒的に多く、採集食者と合わせて 80%に達した。また、破碎食者と濾過食者は、個体数割合も少ない点が特徴的であった。

さらに餌型については、全タクサ数の割合では FPOM 食と推定されるユスリカ科などのタクサが加わったため FPOM 食者の割合が相対的に増え、陸上植物遺体食者の割合が減少した。ところが、個体数割合でみると付着藻類食者と水生植物食者の割合が非常に多く全体の 80%近くを占めた。FPOM 食者や動物食者はタクサ数の割に個体数が少ない特徴が認められた。

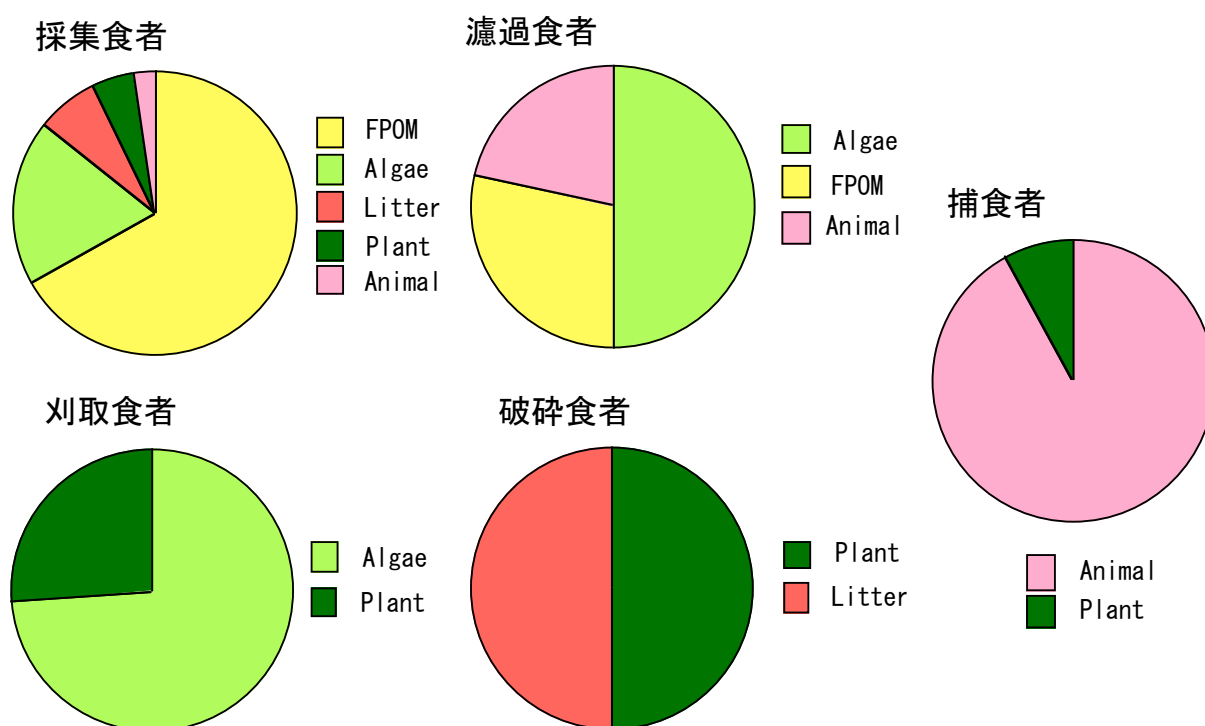


図 8. 柿田川底生動物群集の各摂食機能群における餌型のタクサ数組成

一般に河川の底生動物群集においては、採集食者や濾過食者の胃内容には FPOM が多く含まれており、摂食機能群の類型では刈取食者、捕食者、破碎食者に分類されるものも FPOM を利用しているケースが多い（新名，1996 など）。ところが、柿田川の底生動物群集では、採集食者のタクサ数割合や個体数割合に比べて FPOM 食者の割合が少なかった（図 6，7）。そこで、各摂食機能群における餌型のタクサ数組成（図 8）ならびに個体数組成（図 9）を分析したところ、柿田川では、採集食者や濾過食者も比較的多くが付着藻類を含んでおり、逆に刈取食者、破碎食者、捕食者には、FPOM 食者を含んでいないことがわかった。いっぽう、刈取食者、破碎食者、捕食者には、比較的大きな割合で水生植物食者が含まれていた。とくに個体数割合において、水生植物食者に分類される捕食者、刈取食者、破碎食者

が多いことは柿田川の底生動物群集の際立った特徴である。

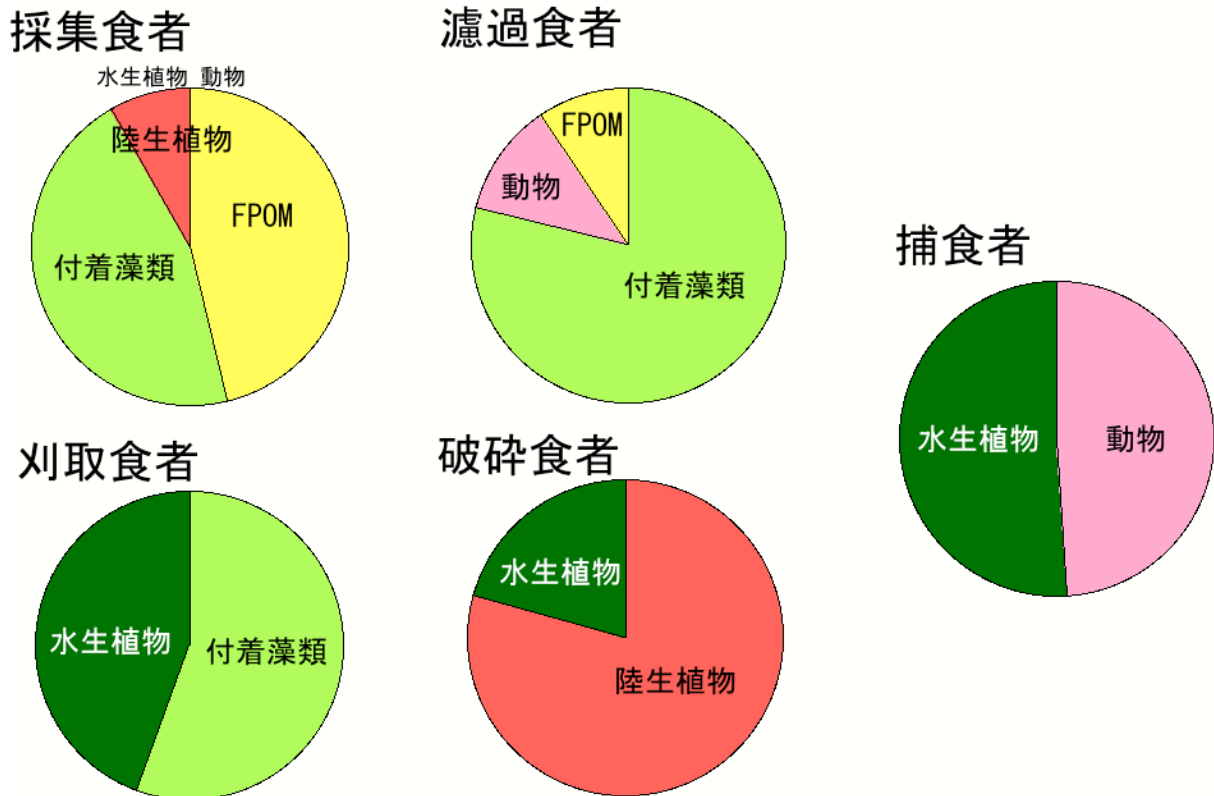
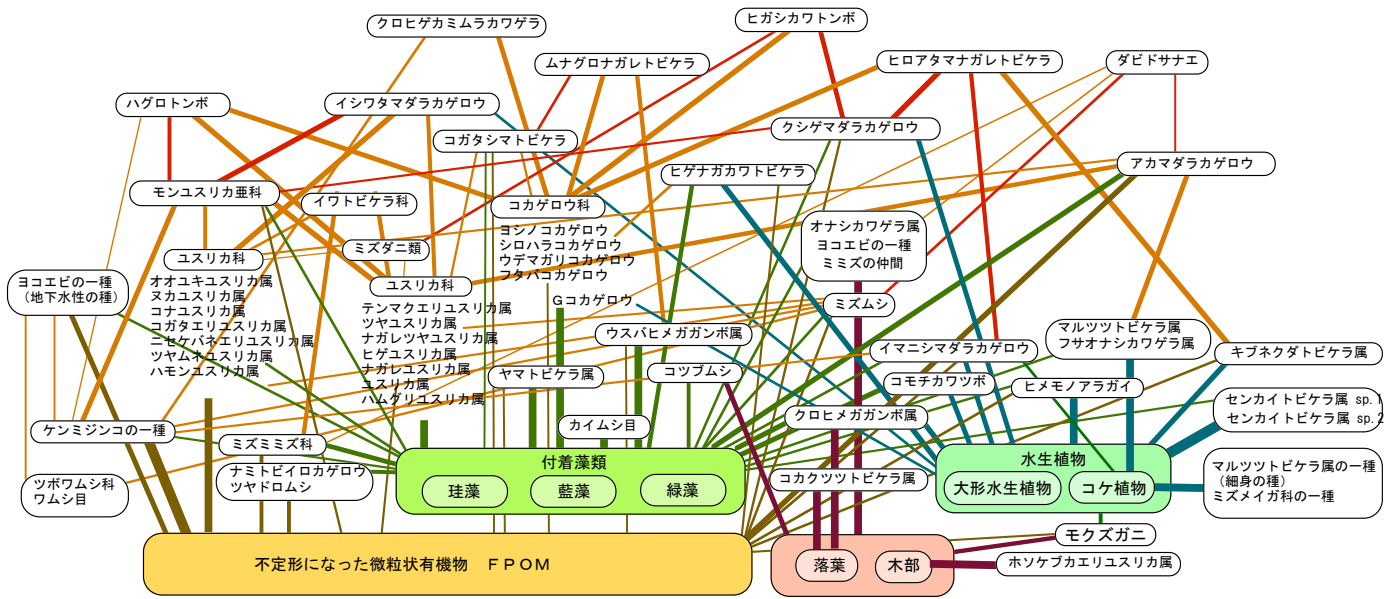


図 9. 柿田川底生動物群集の各摂食機能群における餌型の個対数組成

### 3-3-3. 柿田川底生動物群集の食物網

Appendix 2 の情報を基に, 全 63 タクサについての食物網図を作成した (図 10). 図中の低次消費者は, FPOM への依存の強いものが左側に, 付着藻類への依存の強いものが中央左寄りに, 陸上植物起源の落ち葉や木質部への依存の強いものが中央右寄りに, そして水生植物への依存の強いものが右側に, それぞれ配置されている. 本食物網の特性については, 連結数の構造など未だ多くの未分析の課題を残しているものの, 付着藻類や水生植物を利用するタクサが卓越している特徴や FPOM への依存が少ない特徴が表れている. また, 動物食のタクサについて捕食被食関係をみると, ワムシ類やケンミジンコ類などのメイオベントスやユスリカ科, コカゲロウ科などの水生昆虫が高次消費者の餌資源として重要であることが確認された.



- FPOM
- 付着藻類
- 落葉落枝
- 水生植物
- 動物（2次消費者）
- 動物（3次消費者）

図10. 柿田川の底生動物群集における食物網図. 2000年8月と2001年8月に採集した底生動物全121タクサのうち63タクサについて、それぞれ1~6個体の胃内容を分析した結果に基づいて作成した. 3段階の線の太さは、胃内容の投影面積の80%以上占めるもの、30~80%を占めるもの、30%未満で段階分けしたが、モンユスリカ亜科、ヒロアタマナガレトビケラ、ならびにアカマダラカゲロウについては、分析した個体間で割合が大きく異なったため、個体ごとの割合をそのまま示した.

### 3-3-4. 底生動物群集の地点間比較

柿田川の底生動物群集の流程間の違いについて分析を行った. ここでは、湧水源のバイカモ2サンプルとカワヂチャ1サンプル, 公園下のバイカモ2サンプルとフサモ1サンプル, 柿田川橋のバイカモ2サンプルとエビモ1サンプルの計9サンプルの水生植物(本節では以下水草と呼ぶ)の底生動物群集データと各地点3サンプルずつの石礫上底生動物群集データとに基づいた分析結果を示す. まず, 地点と底質によるタクサ数への影響を調べたところ, いずれの地点においても水草より石礫底のタクサ数の方が多かった(図11). また, 個体数密度については, 流程間でも底質間でも違いが認められなかった. とくに石礫底の個体数密度は平均700個体前後で安定していた(図12). 水草と石礫底では, 地表面の面積が同じでも立体構造が異なるので, 個体数密度については必ずしも定量的とはいえないかもしれないが, 水草上の方が石礫底よりも特定の種の個体数密度が高い傾向があった.

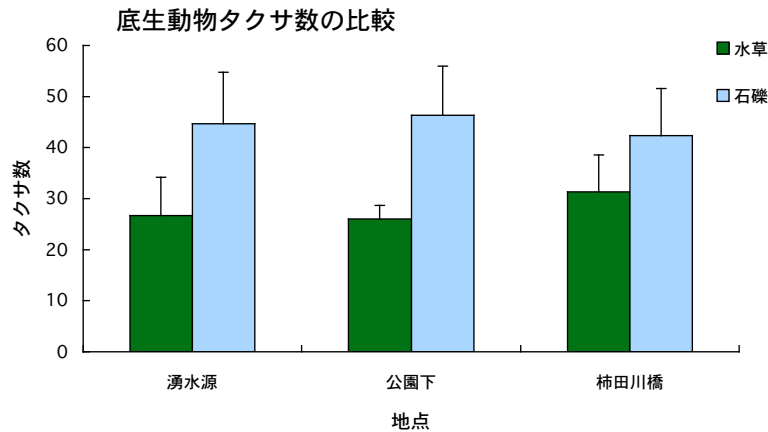


図 11. 柿田川の流程と底質による底生動物群集タクサ数の比較結果. グラフは, 25cm×25cm 方形区内の平均タクサ数と標準偏差 (n=3 ずつ) を示す. 底生動物群集のタクサ数は, 流程間で変わらず, 水草上よりも石礫底の方が多かった. この傾向は流程間で変わらなかった. (流程間: ns., 底質間:  $p < 0.005$ , 交互作用: ns., two-way-ANOVA)

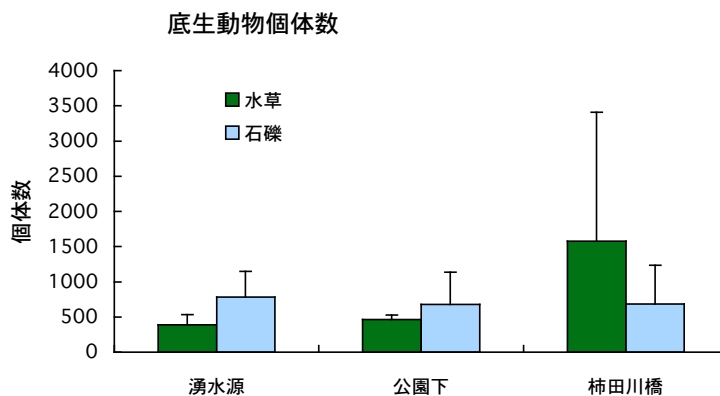


図 12. 柿田川の流程と底質による底生動物群集個体数密度の比較結果. グラフは, 25cm×25cm 方形区内の平均個体数密度と標準偏差 (n=3 ずつ) を示す. 個体数密度は, 流程間や水草上と石礫底とで違いが認められなかった. (流程間: ns., 底質間: ns., 交互作用: ns., two-way-ANOVA)

次いで, 個体数の多い種の中からいくつかの種を選んで流程と底質による分布を比較したところ, 極めて特徴的な様式を示す例が見られた. まず, イマニシマダラカゲロウ (*Ephemarella imanishi*) は湧水源と公園下の水草に多かった ( $P < 0.01$ , two-way-ANOVA) (図 13). 同様の傾向は, G コカゲロウ (*Labiobaetis* sp. G (*atrebatinus* group)) でも認められた ( $P < 0.05$ , two-way-ANOVA) (図 14). ただし, イマニシマダラについては, 湧水源と公園下の方が柿田川橋よりも多かった

(( $P < 0.05$ , two-way-ANOVA)) に対して、G コカゲロウでは地点間の差は有意ではなかった。いずれにしても、これらの水生昆虫が石礫底よりも水草に多かったことは、両種の餌型が水生植物食型であったことと符号している。両種の水草への顕著な生息場所選択性が、餌選択性に由来するとすれば、胃内容分析で得られた水草と生息場所の水草の種の対応関係が次の研究課題であろう。

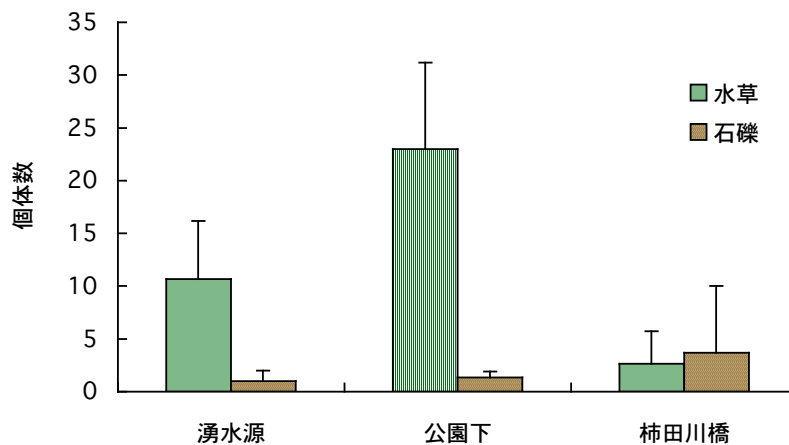


図 13. イマニシマダラカゲロウ (*Ephemera imanishi*) の分布様式. 25cm × 25cm 方形区内の平均個体数密度と標準偏差 (n=3 ずつ) を示す.

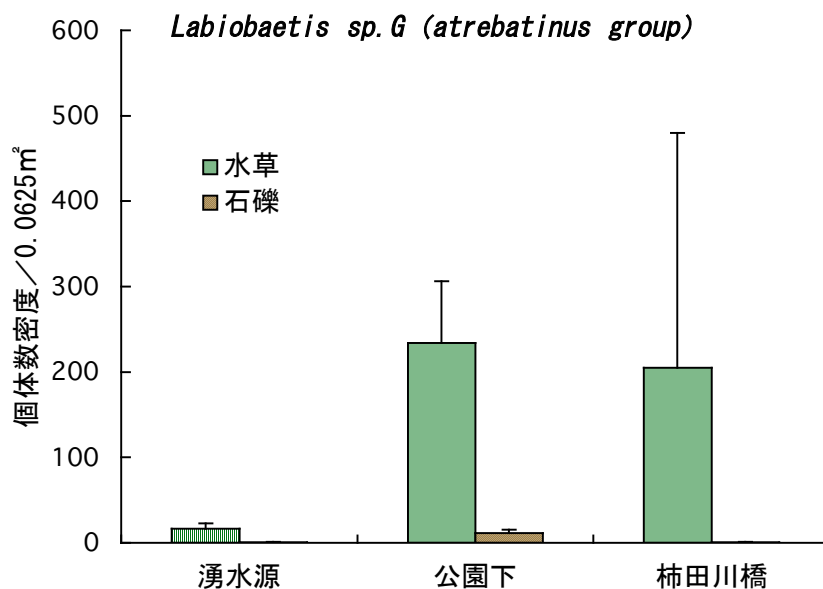


図 14. G コカゲロウ (*Labiobaetis sp. G (atrebatinus group)*) の分布様式. 25cm × 25cm 方形区内の平均個体数密度と標準偏差 (n=3 ずつ) を示す.



一方、これらの種とは対照的に、トゲトガリコカゲロウ (*Tenuibaetis ursinus*: Eコカゲロウ) では、湧水源には分布せず、公園下と柿田川橋に多く生息していた ( $P < 0.05$ , Fisher's PLSD) (図 15). また、水草よりも石礫底に集中的に分布していた ( $P < 0.05$ , Fisher's PLSD). 本種の餌型が付着藻類食型であったことから、石礫表面の餌資源を利用する生態的地位を占めているものと考えられる.

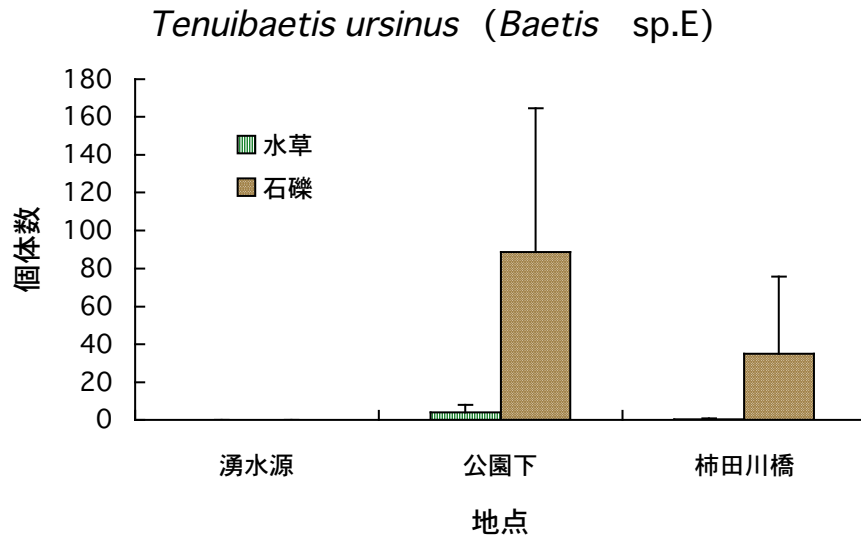


図 15. トゲトガリコカゲロウ (*Tenuibaetis ursinus*: Eコカゲロウ) の分布様式. 25cm×25cm 方形区内の平均個体数密度と標準偏差 (n=3 ずつ) を示す.

また、柿田川に特徴的なグループである MB マルツツトビケラ *Micrasema* sp. MB, ハナセマルツツトビケラ *Micrasema hanasense*, *Micrasema* sp. (ホソミマルツツトビケラ仮称) の 3 種について分析をおこなったところ、*Micrasema* sp. MB では湧水源が柿田川橋よりも多かった ( $P < 0.05$ , Fisher's PLSD) ものの水草と石礫底間では差は認められなかった (図 16). ところが、ハナセマルツツトビケラとホソミマルツツトビケラでは、石礫底に多い傾向があった ( $P < 0.05$ , Fisher's PLSD) (図 17, 18). いずれの種も、餌型がコケの葉状組織を中心とした水生植物食型であったことから、石礫表面に密生するコケ植物を微生物場所と同時に餌資源としても利用している結果であると解釈できる.

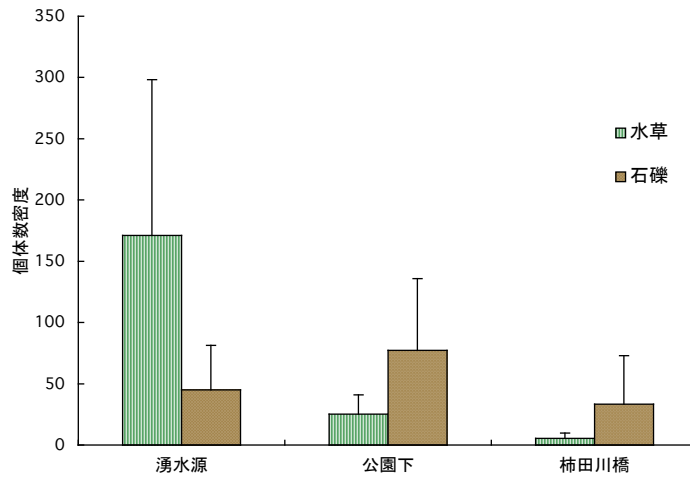


図 16. MB マルツツビケラ (*Micrasema* sp. MB) の分布様式. 25cm×25cm 方形区内の平均個体数密度と標準偏差 (n=3 ずつ) を示す.

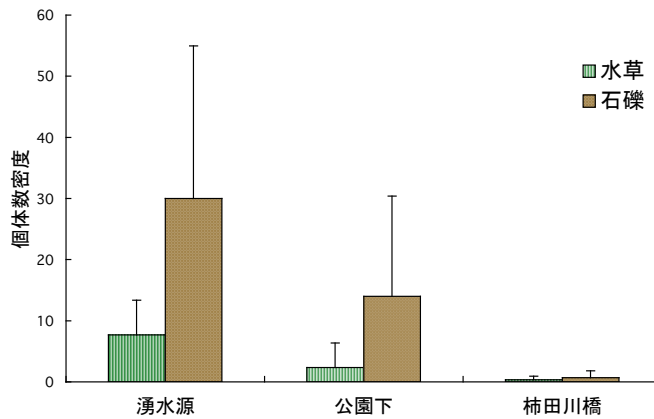


図 17. ハナセマルツツビケラ (*Micrasema* hanasense) の分布様式. 25cm×25cm 方形区内の平均個体数密度と標準偏差 (n=3 ずつ) を示す.

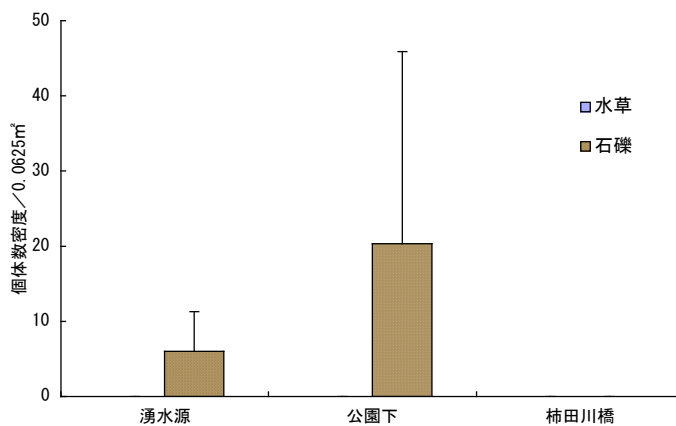


図 18. ホソミマルツツビケラ (假称) (*Micrasema* sp.) の分布様式. 25cm×25cm 方形区内の平均個体数密度と標準偏差 (n=3 ずつ) を示す.

## 引用文献

- Harrison, Simon S. C. & Harris, Iain T. (2002) The effects of bankside management on chalk stream invertebrate communities. *Freshwater Biology* 47: 2233-2245.
- Holden, M. (1976) Chlorophylls. In: Goodwin, T. W. ed., *Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments*. 2nd Edition. Vol.2 Part IV. Analytical Methods. pp. 1-37. Academic Press, London.
- Imanishi, K. (1941) Mayflies from Japanese torrents. X. life forms and life zones of mayfly nymphs. II. Ecological structure illustrated by life zone arrangement. *Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ.(B)* 16: 1-35.
- 可児藤吉 (1944) 溪流棲昆虫の生態. 可児藤吉全集(1970)所収. 思索社.
- Merritt, R., and K. W. Cummins (eds.) (1996) *An introduction to the aquatic insects of North America* (3rd ed.). Kendall / Hunt, Dubuque, Iowa 862pp.
- 水野信彦, 御勢久右衛門 (1972) 河川の生態学. 築地書館.
- 太田猛彦・高橋剛一郎 (1999) 溪流生態砂防学. 東京大学出版会.
- 谷田一三・三橋弘宗・藤谷俊仁 (1999) 特殊アクリル繊維による付着藻類定量法. *陸水学雑誌*, 60: 619-624.
- 新名史典 (1996) 河川昆虫群集の食物網, 多様性と動態. *海洋と生物*, 107 (vol. 18 no. 6), 434-440.
- Stevenson, R. J. (1996) An introduction to algal ecology in freshwater benthic habitats. In: Stevenson, R. J. , Bothwell, M. L., and Lowe, R. L. eds., *Algal Ecology*. pp. 3-30. Academic Press, San Diego.
- 津田松苗 (1962) 水生昆虫学. 北隆館.
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W. et al. (1980) The river continuum concept. *Can J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 130-137.