

河道における物理的環境と底生動物の挙動との関係

太田 太一*・池淵 周一・竹門 康弘

* 京都大学大学院工学研究科

要 旨

河川改修や整理を行なうにあたり、生物にとって好ましい生息場所構造を保全するためには、生息場所の各種物理的環境条件と生物群集との相互関係を明らかにしていく必要がある。本研究では淀川水系高時川において、(1) 底生動物に対する生物調査地点の物理的環境の影響と、生物調査地点よりも上流域の物理的環境の影響とを比較した結果、調査地点の物理環境により強く影響を受ける底生動物と、上流域の影響をより強く受けている底生動物が存在することがわかった。(2) 調査地点の河床材から、底生動物の生息場所の類型化を試みた。(3) 河道のフラクタル次元を河道地形の複雑さの指標として、底生動物との対応を検討した結果、調査地点を含む1~4 kmの河道内において、地形の複雑さと底生動物の種類数・個体数・現存量が相関する現象が見出された。

キーワード：高時川，名張川，フラクタル次元，物理的環境

1. 序論

1.1 本研究の背景

近年、「環境」問題に対する関心が世界的に高まり、土木工学領域では、環境保全対策に重点がおかれるようになった。河川整備においても、多自然型川づくりや自然復元事業が行なわれるようになった(玉井 2001)。そのため、多種多様な生物が共存できる河川環境条件を評価することが、工学的にも重要な課題となっている(玉井ほか 2000)。

河川生態系には、たえず一方向に卓越する流れがある結果、連続性という際立った特徴がある。したがって、ある地点の保全策を考える場にも、この特徴を踏まえたうえで、考える必要がある。一方、河川生態系における生物多様性と生息場所の多様性とは、密接な関わりがある(竹門ほか 1995)。したがって、具体的に河川生態系の保全を考えるときには、生態系の多様性・種の多様性・生息場所の多様

性に注目するのが妥当であろう。応用的な保全生態学、あるいは河川工学の立場にたってみると、生態系の下部構造として、生息場所(棲み場所)の多様性が極めて重要になる(竹門ほか 1995)。生息場所の量や多様性が増すことは、生息可能な空間的ニッチ(生態的地位)の増加につながる。その結果、生物の種が増し、種の多様性へとつながる。種が多様化することで種間とのかかわりが生じ、種間の関係が多様化することによって生態系の多様性へとつながると考えられる(谷田 1996)。

これまでの土木事業は、下部構造である生息場所の多様性を減少させることによって、生物多様性に大きく影響を与えることが指摘されてきた(竹門 1997)。さらに、生息場所の多様性の創出や維持に働いている、自然的攪乱の働きに注目する必要がある。河川の生物多様性や健全な物質循環を保全するためには、まず近似的に種の多様性と生息環境を構成する物理的環境との間における相関関係を示すこ

とが有効であろう。生態現象との相関が高い物理的環境条件を検出することによって、河川生物の棲み場所構造の意義を明らかにできることが期待される。

1.2 研究の概要とその特徴

本研究では、多様な生息環境と、河川生物の分布特性との関係を明らかにすることを目的とする。対象の河川生物として、比較的移動性が少なく環境の変化に敏感な底生動物を用いた。琵琶湖流域の高時川及び木津川流域の比奈知ダム下流域での生物調査結果と、内外の生物学的知見に基づき、河川全流域を通じた生物生息環境と生物の応答を考察する。その際、底生動物の生息に与える各種環境条件の空間的な範囲を調べる。これらの応用的な意義は、河川改修事業等において、環境影響を考慮すべき空間的範囲に対する提言となることである。

2. 高時川の概略および研究方法・結果

2.1 調査河川と調査地点

本研究で対象となる高時川は、琵琶湖の北に位置し、標高 535 m～84 m を流れており、全長 44.58 km の河川である。調査は、高時川本川とその支川で行なった。高時川は、河口から 3.08 km の位置で姉川と合流し、琵琶湖に流れ込む。

高時川は、栃ノ木峠にその源を発し、国道 365 号線に沿って流れ、中河内を通り山間部に入る。中河内は比較的ひらけており、川周辺は集落や田畑などの土地利用がなされている。山間部に入ると、川辺が森林に囲まれた丹生溪谷を流れ、菅並・上丹生・下丹生に至ると市街地が増え始める。大見でもう一度溪流になり、杉ノ川に合流すると河口まで平野部を流れる。この様に高時川は、上流部で人為的改変を受け、中流部では自然の中を流れ、下流部で再度人為的改変を受ける特徴を持つ。

可児 (1944) の河床型によると、最下流である姉川では B c 型、高時川においては、下流から B b 型・A a - B b 移行型・A a 型に移行している。B b 型と A a - B b 移行型との境界は杉野川との合流点である。

奥川並川及び尾羽梨川では、高時川に合流する前は A a - B b 移行型、その上流は A a 型、その他のほとんどの支川では A a 型となっている。このように、高時川は、B c 型の区間の存在しない中・上流河川であるといえる。

本研究で用いたデータは、筆者らが高時川河道沿いに踏査した目視観測データ及び、丹生ダム生態保全検討委員会において、河川形態・瀬・淵の分布な

ど、河川環境の主に物理的な項目に関する状況を把握するために現地踏査をして、得られたデータである (ダム水源地環境整備センター 1999)。現地踏査の行われた時期は 1997 年 9 月 24 日～10 月 2 日、1997 年 12 月 24 日～25 日 (高時川下流区間等) である。雪解け水・梅雨などによる水位変動のみられる時期を避け、平水時である上記の時期に行われた。なお、高時川頭首工から姉川河口までの一部分の下流区間では、夏期に渇水状態が続くため、河道に流水がもどる冬期に調査が行われた。

高時川における生物調査は 1998 年 7 月、10 月、12 月、1999 年早春の計 4 回石れきの瀬で行なわれた。調査は、4 回とも高時川本川に 7 つの調査地点 (st1～st7)、奥川並川で 2 点 (st8、st9)、鷲見川・尾羽梨川・針川の計 12 地点において 1 箇所ずつ定置量採集する方法で実施された。一調査地点につき、0.5 メートル×0.5 メートルのサーバネットを用いて 2 回採取しており、それらの合計値を本研究で用いた。また、環境条件として、河床材料・水面植被率・標高・河岸植被度・浮石割合・流速・水深・水温が測られた。

高時川では、st1～st7 までは本川にあたり、st8～st12 が支川になる。このような分類をした後、独立 2 群の差の検定を行なった。高時川では、st1～st3 が位数 5、st4～6・st8・st9 が位数 4、st7・st11・st12 が位数 3、st10 が位数 2 である。

2.2 解析手法

本研究では、12 地点の底生動物群集の各種変数 (種類数、個体数、現存量、多様度指数) について、調査地点の物理環境条件 (河岸植被度・水面植被度・浮石割合・S I 値・勾配) の相関分析を行なうと同時に、上流に遡った物理環境 (水面植被度、河床材など) の影響がどの程度かを解明する。本研究では各種生物群集変量について、調査地点のみならず上流域の各種物理環境条件との相関分析 (ピアソンの相関係数あるいはスピアマンの順位相関係数による) を行なった。まず、生物調査地点の物理環境条件 (水面植被度等) と生物群集変量との相関係数を求めた。次に、調査地点の一つ上流のユニット (一つの河床形態を 1 ユニットと呼ぶ) の物理環境条件と、調査地点の物理環境条件を平均し、底生動物群集の各種変数について、その物理環境条件の平均値との相関分析を行なった。さらに、調査地点の物理環境条件と、調査地点よりもさらに上流の 2 ユニット分の物理環境条件を平均し、3 ユニット分の物理環境条件の平均値算出した。そして、底生動物群集について、その物理環境条件の平均値との相関分析を行っ

た。これら1連の操作を同様に上流の19ユニットまで繰り返し、相関係数の変化を算出した。この相関係数の変化から、底生動物の特性を考察した。

河道の蛇行と底生動物との関係を見出す。蛇行により、流速・水深・生息場所などの物理的環境が変化に富むため、河川の蛇行は底生動物にとって重要であると考えられる。そこで、河道の蛇行具合（屈曲の複雑さの程度）を表す値を客観的に表すため、フラクタル次元を取り入れた。フラクタル次元は、地図上で河川の座標が解かれれば容易に計算することが可能である。このフラクタル次元についても、生物群集変量との相関分析を行なった。

調査地点から上流・下流にむかって任意の区間をとり、その区間のフラクタル次元を求め、生物群集変量について、そのフラクタル次元との相関分析を行なった。次に調査地点からの距離を少し長く取り、その区間についてのフラクタル次元を求め、生物群集変量について、そのフラクタル次元との相関分析を行なった。同様の操作を、調査地点からの距離が10 kmになるまで繰り返した。なお、生物データについては、各種物理環境条件との対応を考察する上で、生態学的な解釈をしやすいように摂食機能群（グレーザー・シュレッダー・コレクター・プレデター）、ならびに、生活形（掘潜型・携巢型・固着型・造網型・遊泳型・匍匐型）の類型ごとに分析を行なった。

2.3 解析に用いる変数の説明

(1) フラクタル次元

フラクタル (fractal) とは、複雑な形を記述するための概念で、マンデルブロー (1975) によって創案された。フラクタル図形は、自己相似性をもち、その形状を特徴づける非整数値の次元（フラクタル次元）が定義される。（フラクタル次元が大きいものほど複雑に見える。）これまでの研究によって、河川の自然環境の特徴を把握する手法の一つとしてフラクタル手法に着目し、良好な自然環境を示す河川においては、河川を構成している水際線形状、樹木の枝の分布等にフラクタル性がみられることが明らかになっている（杉山 1984）。

フラクタル手法のうち、算出方法として箱型計算法とRD法の2つがあり、前者の手法ではプログラミング方法が容易であるといった特徴をもつが、精度に多少問題があることが知られている（宝 1991）。そこで、本研究ではRD法を用いた。フラクタル次元の説明を以下に述べる。任意の一定長さ r の線分で河道を下流端から上流に向かって分割してゆく。

得られる線分の総数は、 r の大きさに依存するため、 $N(r)$ と記す。もし、河道が一直線であれば、

$$N(r) \sim \frac{1}{r} = r^{-1}$$

なる関係を満たすはずである。しかし、河道は複雑に曲がりくねっているため、 r を小さくすると、 r が大きかったときに見逃していた小さな構造が見えてくるため、一般に

$$N(r) \sim r^{-D}$$

なる関係がある。この D をその河道のフラクタル次元と定義する。

(2) 底質指数 (S I 値)

底質環境の指標として底質指標 S I（森林機能研究会 2000）を用いた。底質指数 S I の算出手法は以下のとおりである。まず、底質の種類として、岩盤・浮石・沈石・砂利・粗砂・細砂・泥・落葉落枝・倒木に分類を行なう。調査場所の各格子点の範囲内で被度の卓越する底質について上位の3つを記録する。第1位から第3位の底質のスコアをそれぞれ3,2,1倍した値の合計値を各地点における底質指数とする (Table 1)。底質スコアは、河床材料の粒径に応じて大きなものから小さなものまで6点から1点の間の値で与えられる。底質指数は6~36の数値となり、点数が高いほど土砂や有機物が侵食を受けの傾向にあり、点数が低いほどこれらが堆積傾向にあると解釈できる。

(3) 多様度指数

通常、生物多様性は、種類数を意味することが多い。しかしながら、種類数が多くても、ある特定の種のみが卓越する場合、多様性が保たれているとはいえない。実際、底生動物においても、コンクリート張りの単純な環境下では、ある特定の種が大量に発生することがある。よって、生物多様性を議論する場合、各種の個体数配分を考慮した指標が必要となる。そのために、様々な多様度指数が考案されているが、今回はシャノン (1963) の多様度指数 H' を用いた。

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{x_i}{N} \ln \frac{x_i}{N} \quad (1)$$

S : サンプル中の総種類数

x_i : 種 i の個体数

N : 総個体数

Table 1 Method for calculation of substrate index (SI) based on scores of substrate types. SI relatively indicates whether sediment inclination is depositional or erosional.

The score of substrate type			
substrate type	symbol	score	
mud, detritus foods, litter pack	(M, D, L)	1	deposition
sand (< 4 mm)	(S)	2	↑
gravel (4~50 mm)	(G)	3	
buried stones (> 50 mm)	(H)	4	
loose stones (> 50 mm)	(U)	5	↓
large stone (> 250 mm)	(R)	6	erosion

$$SI = S1 \times 3 + S2 \times 2 + S3$$

S 1 : score of first coverage substrate

S 2 : score of second coverage substrate

S 3 : score of third coverage substrate

この指数は、全ての個体数に差が少なくなるほど高くなり、全ての個体数は等しくなった時、ln Sをとる。つまりこの指標は、種の多さと個体数の均等性を示すものである。

2.4 解析結果

(1) 位数間・本川ー支川間の比較

摂食機能群による比較 グレーザーの個体数が多かったのは、エルモンヒラタカゲロウ、フタバコカゲロウなどであり、現存量が多かったのは、エルモンヒラタカゲロウ、ユミモンヒラタカゲロウなどであった。グレーザーの種類数に関しては、本川ー支川間で差は認められず (ns, t-test)、位数間での有意差は検出できなかった (ns, one way ANOVA)。グレーザーの個体数に関しては、本川で有意に多かった ($p < 0.05$, U-test) が、位数間においては有意差は認められなかった (ns, one way ANOVA)。平均値の値は、本川で多く、位数が増加するにつれて減少する傾向が見られた。位数間で有意差が検出されていない理由として、st9 で、ヤマトビケラが大量に発生しているため、位数4でのばらつきが大きくなったことが挙げられる。グレーザーの現存量は、本川ー支川間では差がなかった (ns, t-test) が、位数4と位数5とでは有意差が検出され、位数5で有意に大きかった ($p < 0.05$, 多重比較)。多様度指数は、本川ー支川間 (ns, t-test)、位数間共に、有意差は認められなかった (ns, one way ANOVA)。

シュレッダーで個体数の多かったのは、携巢型トビケラのコカツツトビケラ、現存量の多かったの

はガガンボ属であった。シュレッダーの種類数は、本川ー支川間 (ns, t-test)、位数間 (ns, one way ANOVA) とともに有意差は検出されなかった。シュレッダーの個体数については、本川ー支川間で有意差が検出されず (ns, t-test)、位数間での有意差は認められなかった (ns, one way ANOVA)。平均値で比較しても、本川で若干高いが、本川、支川、位数のどの群内でもばらつきが大きいため有意差が検出されなかったと考えられる。平均値でも変化は小さい。現存量は、ガガンボ属の寄与が大きく、本川ー支川間、位数間での有意差は検出されなかった。ガガンボは現存量の大きいものが生息しており、個体数が小さくても現存量が極端に大きくなることがあった。st3、st4、st10 などはその典型であり、本川・支川・各位数における群内のばらつきが大きくなった理由であると考えられる。多様度指数においても、本川ー支川間での有意差は検出出来ず (ns, t-test)、位数間での有意差は検出されなかった (ns, one way ANOVA)。

コレクターで、個体数の多かったのは、シロハコカゲロウ、ウルマーシマトビケラなどで、現存量の多かったのはオオヤマシマトビケラ、ヒゲナガカワトビケラであった。種類数は、本川で有意に大きく ($p < 0.01$, t-test)、位数間では有意差がなかった (ns, one way ANOVA)。個体数は、本川で有意に大きく ($p < 0.025$, U-test)、位数間での検定では位数5が有意に大きかった ($p < 0.01$, one way ANOVA)。多重比較をおこなったところ、位数3と位数5の間 ($p < 0.025$)、位数4と位数5の間 (p

<0.025) で有意差が認められた。現存量は、本川で有意に大きく ($p < 0.01$, t-test)、位数間での有意差は認められなかった (ns, one way ANOVA)。多様度指数は本川ー支川間で有意差は認められず (ns, t-test)、位数間での有意差は認められなかった (ns, one way ANOVA)。

ブレデターで、個体数の多かったのが、ムナグロナガレトビケラ、カミムラカワゲラ属などで、現存量の多かったのが、ヘビトンボであった。種類数は、本川で有意に大きく (t-test, $p < 0.05$)、位数間での有意差は認められなかった (ns, one way ANOVA)。個体数は、支川・本川間 (ns, t-test)、位数間ともに、有意差は認められなかった (ns, one way ANOVA)。現存量は、本川で有意に多く ($p < 0.05$, t-test)、位数5で有意に多かった ($p < 0.01$, one way ANOVA)。ヘビトンボは、1個体の現存量が大変大きく、ヘビトンボが1個体でも発見されれば現存量が格段に増加してしまうことから、ブレデターの現存量を考えることは、ヘビトンボの現存量変化を考えることとなり、注意が必要である。実際、st6、st9、st12以外は、現存量において大半がヘビトンボの現存量で占められていた。多様度指数は、本川で有意に大きく (t-test, $p < 0.05$) 位数間では有意差は認められなかった (ns, one way ANOVA)。

以上の結果に基いて整理すると、以下のようにまとめられる。グレーザーの個体数・現存量、コレクターの種類数・個体数・現存量、ブレデターの種類数・現存量が共に、支川より本川で有意に大きいことから、下流になるに従い、これらの種が増加していることを意味している。一方、シュレグダーは、本川ー支川間の有意差は見出せなかった。連続体仮説ではシュレグダーが上流で増加するとあるが、その結果と相反する結果が得られた。位数間の有意差検定では、グレーザーの現存量、コレクターの個体数が位数5で有意に大きかった。位数間での比較では、独立3群での比較であったため、本川ー支川間の独立2群の比較に比べて有意差が検出されにくかったと考えられる。

生活型間の比較 掘潜型の個体数の多かったのは、フタスジモンカゲロウとヤマユスリカ属で、現存量が多かったのはガガンボ属とハマダラナガレアブであった。掘潜型の種類数は、本川で有意に大きく ($p < 0.05$, t-test)、位数間では有意差が認められなかった。掘潜型の個体数は、本川ー支川間 (ns, t-test)、位数間 (ns, one way ANOVA) とともに有意差は認められなかった。平均値の値で比較する

と、本川で大きく、位数が小さくなるにつれて減少していた。掘潜型の現存量は、本川ー支川間 (ns, U-test)、位数間 (ns, Kruskal-Wallis test) とともに有意差は認められなかった。ガガンボは「シュレグダーの分布特性」で考察したときと同様の理由から有意差が検出されなかったものと考えられる。掘潜型の多様度指数は、本川ー支川間 (ns, t-test)、位数間 (ns, one way ANOVA) とともに有意差は認められなかった。

携巣型で個体数が多かったのは、ヤマトビケラ属であり、現存量が多かったのはヤマトビケラであった。携巣型の種類数は、本川で有意に多く ($p < 0.05$, t-test)、位数間での有意差は認められなかった (ns, one way ANOVA)。携巣型の個体数は、本川ー支川間 (ns, U-test)、位数間 (ns, Kruskal-Wallis test) とともに有意差は認められなかった。st9では329個体生息しているが、st1で8個体しか生息しないなど、大変ばらつきの大きな分布をしているのが特徴であった。携巣型の現存量は、本川ー支川間 (ns, t-test)、位数間 (ns, one way ANOVA) とともに有意差は認められなかった。携巣型の多様度指数は本川で有意に大きく ($p < 0.01$, t-test) 位数間でも有意差が検出され ($p < 0.05$, one way ANOVA)、多重比較したところ、位数3と位数5で有意差が認められ、位数5が有意に多かった。

造網型で個体数が多かったのはウルマーシマトビケラであり、現存量が多かったのは、ウルマーシマトビケラとヒゲナガカワトビケラであった。造網型の種類数は、本川ー支川間 (ns, t-test)・位数間 (ns, one way ANOVA) とともに有意差は認められなかった。造網型の個体数は、本川で有意に多く ($p < 0.025$, U-test)、位数間 (ns, Kruskal-Wallis test) では有意差が認められなかった。平均値の値は、位数5が大きい、各位数の群内にばらつきが見られるため、有意差が検出されなかったと考えられる。造網型の現存量は、本川で有意に多く ($p < 0.05$, t-test)、位数間では有意差は認められなかった (ns, one way ANOVA)。造網型の多様度指数は、本川ー支川間 (ns, t-test)、位数間 (ns, one way ANOVA) とともに有意差は認められなかった。

遊泳型の個体数が多かったのは、シロハラコカゲロウとヒメトビイロカゲロウで、現存量が多かったのはシロハラコカゲロウであった。遊泳型の種類数は、本川で有意に大きく ($p < 0.01$, t-test)、位数間では有意差は認められなかった (ns, one way ANOVA)。遊泳型の個体数は、本川で有意に大きく (U-test, $p < 0.025$)、位数間では有意差は認め

られなかった (ns, Kruskal-wallis test)。平均値は、位数 5 で最大値をとっていた。遊泳型の現存量は、本川で有意に大きく ($p < 0.05$, U-test)、位数間では有意差が認められなかった (ns, Kruskal-Wallis test)。遊泳型の多様度指数は、本川—支川間 (ns, t-test)、位数間 (ns, one way ANOVA) とともに有意差が認められなかった。

匍匐型で個体数が多かったのは、ヒメヒラタカゲロウ、クシゲマダラカゲロウ、ミジカオカワゲラ科で、現存量は、ヘビトンボが多かった。匍匐型の種類数は、本川で有意に大きく ($p < 0.025$, U-test)、位数間では有意差が認められなかった (ns, Kruskal-Wallis test)。匍匐型の個体数は、本川で有意に大きく ($p < 0.025$, U-test)、位数間では有意差が認められなかった (ns, Kruskal-Wallis test)。個体数の平均値は、位数 5 で最大だった。匍匐型の現存量は、本川—支川間 (ns, U-test)、位数間 (ns, Kruskal-Wallis test) とともに有意差が認められなかった。匍匐型の多様度指数は、本川—支川間 (ns, t-test)、位数間 (ns, one way ANOVA) とともに有意差は認められなかった。

固着型の個体数が多かったのは、ヒラタドロムシ、ヤマトアミカ、ミヤマヤマトアミカなどであり、現存量が多かったのはヒラタドロムシ・クロバアミカなどであった。固着型の種類数は、本川—支川間 (ns, U-test)・位数間 (ns, Kruskal-Wallis test) とともに有意差は認められなかった。固着型の個体数は、本川—支川間 (ns, U-test)・位数間 (ns, Kruskal-Wallis test) とともに有意差は認められなかった。固着型の現存量は、本川—支川間 (ns, U-test)、位数間 (ns, Kruskal-Wallis test) とともに有意差は認められなかった。固着型の多様度指数は、本川—支川間 (ns, t-test)、位数間 (ns, one way ANOVA) とともに有意差は認められなかった。

高時川は、摂食型であればコレクターが主体であり、生活形であれば匍匐型が主体であった。現存量ではヘビトンボとガガンボ属が多かった。種類数においては、本川で有意に大きく ($p < 0.05$, t-test)、位数間では有意差が検出されなかった (ns, one way ANOVA)。個体数においては、本川で有意に大きく ($p < 0.05$, t-test)、位数間でも有意差が検出され ($p < 0.05$, one way ANOVA)、多重比較の結果、位数 3 と位数 5、位数 4 と位数 5 とに有意差が検出され、位数 5 で有意に大きかった。現存量は、本川で有意に大きく ($p < 0.05$, t-test)、位数間でも有意差が検出された ($p < 0.05$, one way ANOVA)。多重比較の結果、位数 4 と位数 5 に有意差が検出さ

れ、位数 5 で有意に大きかった。多様度指数は、本川—支川間・位数間で有意差は検出されなかった。平均値のみで比較すれば、位数 3 で最大値であった。

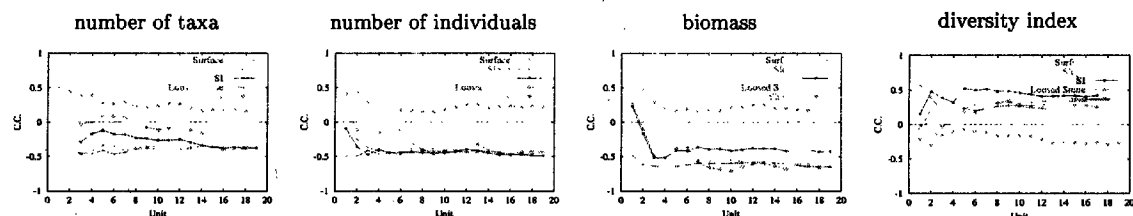
以上の結果に基づいて整理すると、遊泳型の種類数・個体数・現存量、匍匐型の種類数・個体数、掘潜型の種類数、造網型の個体数・現存量、携巣型の種類数は、ともに本川で有意に大きかった。一方、固着型は、本川—支川間での有意差は検出されなかった。位数間では、すべての生活形の個体数・種類数・現存量について、有意差は検出されなかった。これにより、下流で底生動物が増加するのではなく、本川で増加していると予想されるが、本川は位数の大きな調査地点の集まりであり、その結果有意差が検出された可能性もあり、今後、調査地点数を増やして検証する必要がある。

(2) 物理的環境との相関分析結果

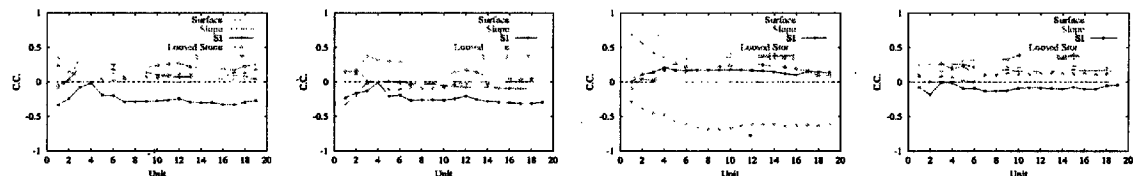
摂食機能群による分析 グレーザーの種類数・個体数・現存量は、いずれも水面植被度と負の相関が見られ、近い地点から遠い地点にかけてそれほど相関係数が変化しなかった (Fig 1a)。これは、開空率の多い場所でグレーザーが増加するという、河川連続体仮説 (Vannote et al 1980) で言われている知見と一致する。勾配と負の相関を示している理由は、勾配が大きい渓流域では、一般に谷が深いため、上空の植被度が小さくても日照時間が減少する結果、藻類生産が阻害され、結果グレーザー減少につながったものと考えられる。ただし、河岸植被度と正の相関がある説明が明確ではない。ここで、グレーザーの多様度指数の相関図を参照すると、近い場所で (1 ユニット時) 水面植被度とやや強い正の相関が見られた。

河川連続体仮説によると、水面植被度に覆われている区間でシュレッダーが増加することが考えられるが、明確な相関関係は見られなかった (Fig 1b)。シュレッダーの種類数と物理的環境との関係、シュレッダーの個体数と物理的環境との関係はともに似た傾向を示しており、近隣ユニットの平均勾配・浮石と正の相関、水面植被率とのゆるやかな負の相関が見られ、遠くの地点まで平均すると相関係数が 0 に収束していた。相関係数が近隣のユニットまでで 0 に近づくことから、シュレッダーは近隣の物理環境に影響を強く受けていることが予想される。シュレッダーの現存量は、種類数・個体数との性質と異なり、近隣の水面植被度と正の相関、河岸植被度と負の相関が見られた。水面植被度と正の相関があることは、連続体仮説での知見と一致する。多様度指数は、浮石割合とかながら相関が見受けられる程度

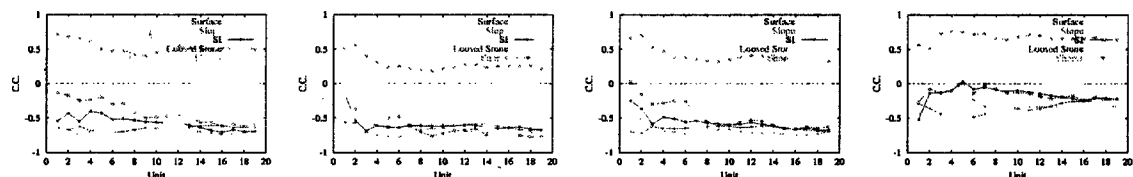
(a)grazers



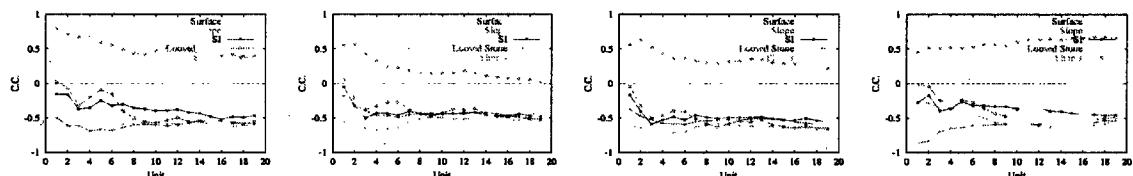
(b)shredders



(c)collectors



(d)predators



(e)total

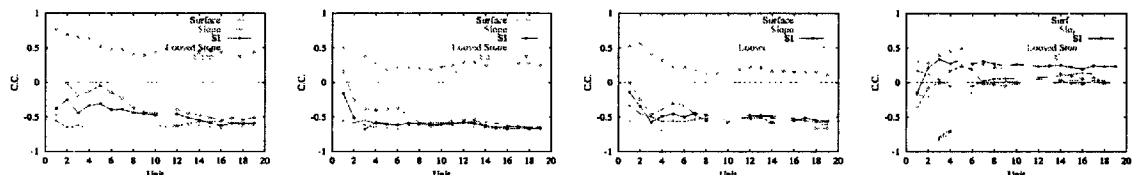


Fig. 1 Changes in correlation coefficients for each functional feeding group with increasing area of upper stream reaches (units) from the study site calculated between biotic parameters (number of taxa , number of individuals , biomass and diversity index) and physical factors (surface vegetation cover , slope , SI , ratio of loose stone area and shore vegetation cover).

であった。シュレッダーの種類数・個体数・多様度指数は、全体的に物理的環境と相関は低かった。

連続体仮説によると、コレクターの量は上流から中流に向けて格段に増加すると予測される。分析の結果、種類数・個体数・現存量いずれにしても、河岸植被度と強い正の相関があり、勾配・SI値・浮石割合・水面植被度全てにおいて負の相関があった (Fig 1c)。これは、上記の予測と合致することである。コレクターの多様度指数に関しては、河岸植被度との強い正の相関が見受けられた。これは、コレクターの多様性にとって河岸植被度が重要であることを示唆している。ツルヨシ群落は他の生息場所 (早瀬・平瀬など) に比べて有意にPOM量が多い

と考えられる。そのため、餌環境が整っているツルヨシ群落の近辺で多様性が増加すると考えられる。多様度指数が、河岸植被度に比べて、勾配や水面植被度などにそれほど強い相関を示していない事からも、ツルヨシ群落の重要性が示唆された。

プレデターでは、種類数・個体数・現存量・多様度指数では共に、勾配・SI値・浮石割合・水面植被度と負の相関、河岸植被率と正の相関が認められた (Fig 1d)。これは、コレクターの示す挙動と類似していることが見て取れる。プレデターの個体数とプレデターの現存量でみると、グレーザーの挙動とも類似している。これは、プレデターが物理的環境に左右されるのではなく、グレーザーやコレクターの

現存量・個体数の多い地点に生息していることを示している。そこで、プレデターとグレーザーの現存量、プレデターとコレクターの現存量との相関分析を行なったところ、それぞれ強い相関 ($r = 0.76$, $p < 0.01$) ($r = 0.75$, $p < 0.01$) が見られた。また、プレデターの多様度指数とグレーザーとコレクターの現存量合計の相関分析をおこなった結果強い相関 ($r = 0.69$, $p < 0.05$) が得られた。つまり、河岸植被度などの物理環境と相関関係が見られたのは、コレクター・グレーザーなどの生息する場所にプレデターが生息するため、見かけの相関が見られたと考えられる。

底生昆虫のトータルの全種類数・個体数・現存量はいずれも、河岸植被度と正の相関を示し、勾配・水面植被率と負の相関が認められた (Fig 1e)。多様度指数は、河岸植被度・S I 値と正の相関があった。フラクタルとの相関は、種類数で正の相関、個体数で負の相関、現存量で負の相関が認められたものの、多様度指数での相関は小さかった。

以上の結果を環境要因の調査地点からの距離に基いて整理すると、以下のようにまとめられる。底生動物の測度が調査地点近傍の環境の影響をより強く受ける事例を列举すると、コレクターの現存量・プレデターの種類数・プレデターの現存量・全種類数が、調査地点近傍の河岸植被度と強い正の相関を示し、さらに上流になるに従い相関係数が減少してゆく傾向が見られた。同様の関係が、シュレッダーの現存量と水面植被度との間にも見出された。これにより、これらの底生動物にとって、上流の環境よりも、生息している場所の環境条件が重要であることが示唆された。

調査地点近傍のみならず、さらに上流まで環境条件の影響を受ける事例として、コレクターの種類数と水面植被度、プレデターの現存量と勾配の関係が挙げられる。いずれも 0~19 ユニットの全流程について負の相関が見られた。これにより、コレクターの種類数・プレデターの現存量にとって、長区間の環境条件が重要であると考えられる。

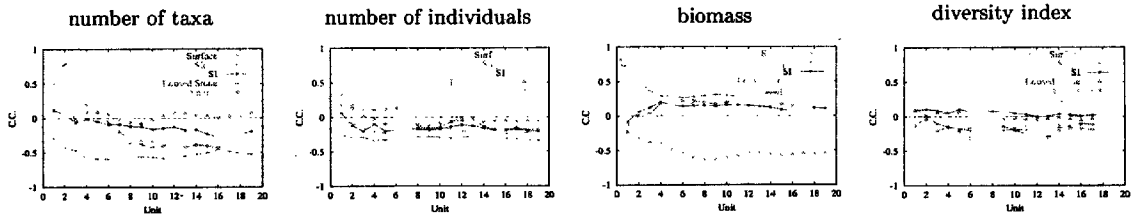
調査地点近傍よりも、さらに上流の物理条件により強く影響を受ける事例が最も多かった。その事例として、グレーザーの現存量と浮石・水面植被度・勾配の相関関係は、調査地点近傍の相関が低く、さらに上流になるに従い有意な負の相関を示す傾向が見受けられた。同様の傾向が、シュレッダーの現存量と河岸植被度、コレクターの個体数と勾配・浮石・水面植被度・勾配・S I、コレクターの種類数と勾配・浮石・勾配・S I 値、プレデターの種類数と浮石

割合・勾配・水面植被度、プレデターの現存量と浮石割合・水面植被度、全個体数と浮石割合・勾配・水面植被度、全種類数と水面植被度・勾配・S I、全現存量と浮石割合・勾配・水面植被度の関係にも見受けられた。この結果から、生息している地点の環境条件よりも、さらに上流の環境条件を重要とする底生動物が、多く存在することが示唆された。シュレッダーの現存量のみは、他のものとは異なり、河岸植被度と負の相関を示しており、独特の生息場を持っていると考えられる。

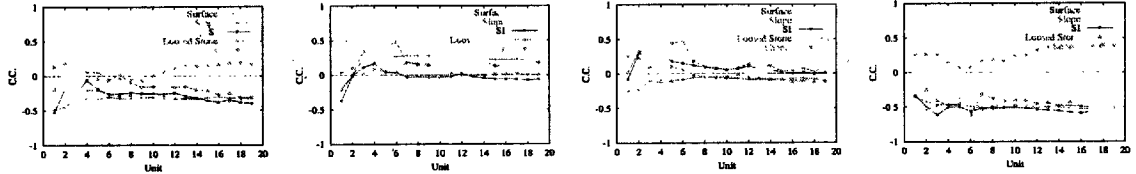
生活形による分析 掘潜型の個体数は、物理的環境 (勾配・S I 値・浮石割合・水面植被度) とそれほど強い相関が見受けられない (Fig 2a)。本来掘潜型は砂・泥に潜伏して生息するため、S I 値と負の相関が見られると予想されたが、実際はほとんど相関がない状態となっている。掘潜型の種類数は、近隣の地点で河岸植被度との相関が高かった。また、勾配・水面植被度と負の相関があることから、下流域で種数が増加しているものとして考えられるが、本川ー支川間の有意差検定での、本川で有意に大きいという検定結果と合致している。現存量は、ガガンボが主体であることから、シュレッダーのグラフと類似している。そのため、河岸植被度との負の相関や、水面植被度との正の相関は、シュレッダーの特性を受けているものと考えられる。掘潜型の多様度指数は、近隣の勾配にやや強い負の相関が見られた。ユニットを増加させるにしたがって相関が無くなることから、局所的に勾配の緩やかな地点で掘潜型の多様性がうまれることとなる。しかしながら、種類数・個体数・現存量・多様度指数全てにおいて S I 値との相関が見られなかった。掘潜型はもともと淵に生息する種であり、調査地点が全て石れきの瀬であることから、S I 値との対応が明確には現れなかったことも考えられ、今後の淵の調査を通して考察を加えることが課題である。

携巣型の種類数との相関図を参照すると、勾配と負の相関が見られた (Fig 2b)。携巣型の個体数は、近隣の物理環境との相関が高く、ユニットを増加させるに従い相関が 0 に収束していくことが特徴であった。勾配との正の相関が高く、S I 値と負の相関があった。これは、局所的に急勾配で S I 値の小さい (粒径の小さい) 地点で個体数が増加したことを示している。これは、急勾配の地点では、ある特定の種のみが大量発生したことを意味する。実際のデータでみると、st5、st9 でヤマトビケラが大量発生しており、この 2 点は勾配が局所的に急であった。よって、局所的に急勾配な地点はヤマトビケラ

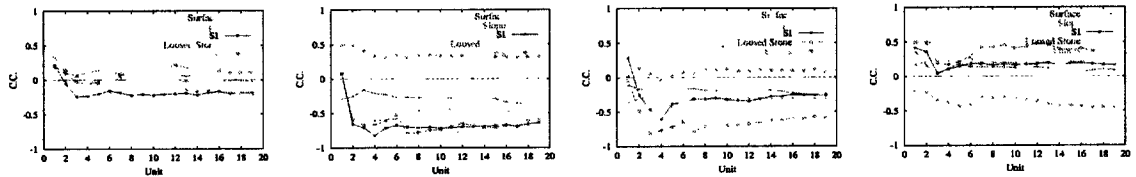
(a) burrowers



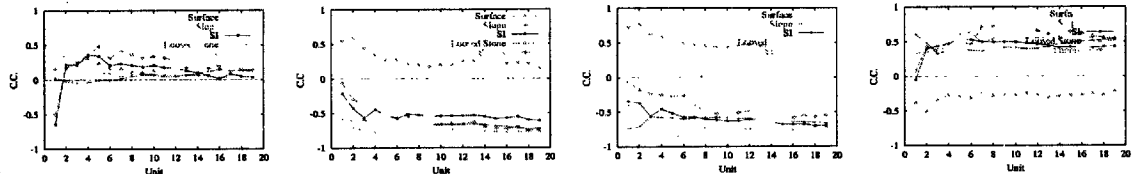
(b) case-bearers



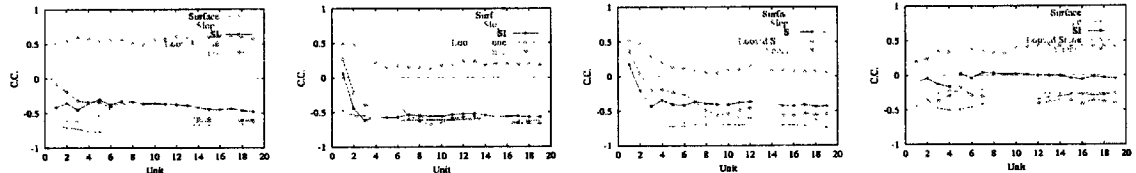
(c) attachers



(d) net-spinners



(e) swimmers



(f) creepers

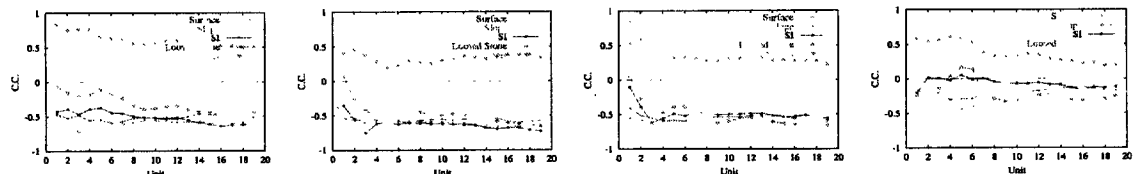


Fig. 2 Changes in correlation coefficients for each life form with increasing area of upper stream reaches (units) from the study site, calculated between biotic parameters (number of taxa, number of individuals, biomass and diversity index) and physical factors (surface vegetation cover, slope, SI, ratio of loose stone area and shore vegetation cover).

にとって棲みよい環境であるが、種類数が増加するには、勾配の緩やかな場所のほうが適しているといえる。実際、多様性指数のグラフでは、勾配と負の相関が見られることから明らかである。

固着型の種類数は調査地点近隣（ユニット1）で浮石割合と若干正の相関をもったあと、0に収束してしまうが、個体数は、河岸植被度と正の相関を持ち、SI値・浮石率・勾配と強い負の相関が見られ

た（Fig 2c）。固着型の現存量は、浮石割合と強い負の相関がみうけられた。本来、固着型は石れきなどに吸着して生活するため、当然SI値と正の相関を持つべきである。ところが、固着型の個体数・現存量は共に強い負の相関を持っていた。この場合、特定の種が大量に中流域で発生し、見かけ上の相関が出た可能性がある。固着型の現存量は、ヒラタドロムシ・DBタニガワトビケラが多く発生しており、

個体数も同じくこの両者が増加していた。しかし、この両者が S I 値と負の相関をもつことは考えづらく、なぜこのような結果が生じたのかは考察できない。

造網型の個体数は、勾配・水面植被率・S I 値・浮石割合と強い負の相関を持ち、河岸植被率と正の相関があった (Fig 2d)。これにより、勾配の小さい区間に造網型の個体数が増加すると考えられる。この特質は、現存量と物理環境との相関図にも現れていた。造網型の種類数は、勾配などとの相関が逆転していた。この結果から、特定の種のみが勾配の小さい地点で大量発生した可能性が示唆される。造網型の多様度指数は、勾配・水面植被率・S I 値・浮石割合と強い正の相関が、河岸植被度と負の相関が見られた。つまり、勾配の小さい区間で、ウルマーシマトビケラが大量発生してしまい、結果として多様度指数が減少してしまったことがわかる。本来、造網型は、早瀬を好み、結果として S I 値の大きい地点を好むはずであるが、ウルマーシマトビケラが中流域に大量発生したため、個体数・現存量では逆の相関が現れたものと考えられる。

遊泳型の種類数・個体数・現存量・多様度指数全てが河岸植被度と正の相関を持ち、水面植被度・勾配と負の相関を示していた (Fig 2e)。遊泳型はその移動方法から、底質との関係とは無関係であると考えられるため、S I 値・浮石割合との相関は、中流域で遊泳型の個体数などが増加しているため、見かけ上の相関が現れていると考えられる。遊泳型の種類数・個体数・現存量・多様度指数が類似した挙動を示したことから、勾配の緩い中流域で種類数・個体数が共に増加し、勾配の緩い中流域が遊泳型にとって棲みよい環境であるということができる。

匍匐型の種類数・個体数・現存量・多様度指数全てについて、河岸植被率と正の相関、水面植被度・勾配と負の相関を示していた (Fig 2f)。そこで、中流域で多様性が維持されていることが導かれるが、匍匐型の種類数が河岸植被率と大変高い相関があることが遊泳型との違いである。高時川にツルヨシ群落を匍匐する底生動物が生息していることが考えられるが、これだけのデータでは確実なことは言えない。なお、匍匐型の現存量は、ほぼ大半がヘビトンボ (摂食機能群：プレデター) で占められており、考察は「摂食機能群による分析」で述べた。匍匐型の多様度指数の相関図では、河岸植被度と強い相関があり、ツルヨシ群落が多様性を維持する 1 要因になっていると考えられる。

以上の結果を環境要因の調査地点からの距離に基

いて整理すると、以下のようにまとめられる。底生動物の測度が調査地点近傍の環境条件の影響をより強く受ける事例として、造網型の個体数と河岸植被度、匍匐型の種類数と河岸植被度の関係が挙げられる。いずれも調査地点近傍で正の相関が強く、遠方になるに従い相関がなくなる現象が見受けられた。同様の傾向が、掘潜型の現存量と水面植被度との間にも見受けられた。掘潜型の現存量だけは、他の底生動物とは違い、水面植被度と正の相関があった。結果、造網型・匍匐型・掘潜型は、生息している地点の環境条件が、上流の環境条件より重要であることが示唆された。

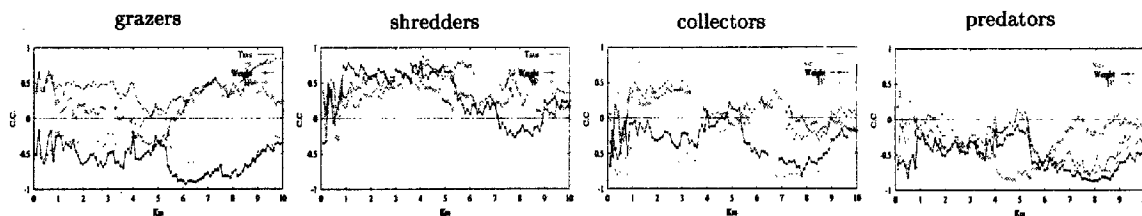
次に、調査地点近傍のみならず、さらに上流の環境条件の影響をより強く受ける事例として、造網型個体数・遊泳型種類数と水面植被度・勾配の関係が挙げられる。いずれも 1~19 ユニットの全流程について負の相関が認められた。同様の傾向が、遊泳型現存量と勾配との間にも見出された。これにより、造網型と遊泳型は、長区間の環境条件の影響を強く受けていることが示唆された。

調査地点近傍より、さらに上流の環境条件の影響をより強く受ける事例が最も多く見受けられた。その事例として、掘潜型の種類数と水面植被度は、調査地点近傍の相関係数は小さいが、さらに上流になるに従い有意な負の相関を示す傾向があった。同様の傾向が、掘潜型現存量と河岸植被度、固着型個体数と S I 値・浮石割合、固着型現存量と浮石割合、造網型個体数と S I・浮石割合、匍匐型個体数と水面植被度・勾配・S I・浮石割合、匍匐型種類数と S I・水面植被度・勾配、匍匐型現存量と水面植被度・勾配・S I・浮石割合、遊泳型と水面植被度・勾配・浮石割合、遊泳型種類数と浮石割合、遊泳型現存量と水面植被度との間にも見られた。遊泳型の種類数は、他のものと異なり、調査地点の河岸植被度に比べ、より上流の河岸植被度と強い正の相関が見受けられた。この結果から、生息している地点の環境条件よりも、さらに上流の環境条件に影響を受けている底生動物が、多く存在することが示唆された。遊泳型の種類数と河岸植被度との相関関係や、掘潜型の現存量と河岸植被度との正の相関などは、ほかのものとは違った傾向を示しており、この結果、遊泳型や掘潜型は独特の生息場環境を持っていると考えられる。

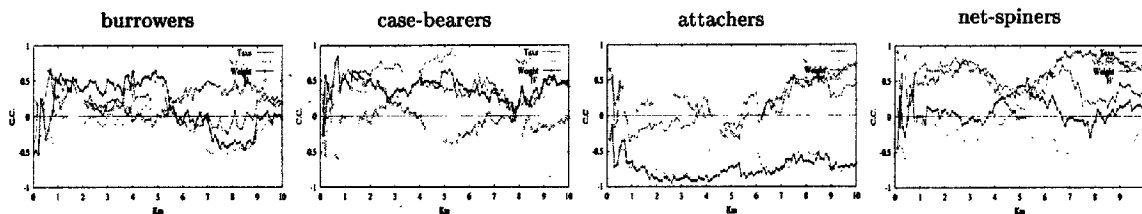
(3) フラクタル次元との相関分析結果

摂食機能群間の比較 グレーザーの個体数と現存量は共に、フラクタルと負の相関があるが、種類数と多様度指数は、負の相関があった (Fig 3a)。フラ

(a) functional feeding group



(b) life form



(b) life form and (c) total

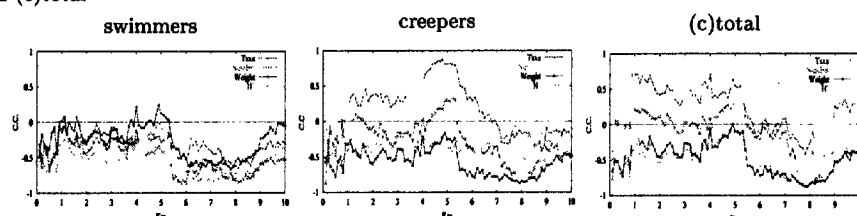


Fig. 3 Changes in correlation coefficients between biotic parameters (number of taxa, number of individuals, biomass and diversity index) and fractal dimension, with increasing stream length including the study site, calculated for each functional feeding group (a), life form (b) and total (c).

クタルの増加する山間では多様性が増加し、平野部（中流域）では特定の種の個体数・現存量が増加し、多様度が低下することが示されている。グレーザーの個体数が、調査地点近傍で河岸植被度と正の相関が見られたのは（Fig 1a）、グレーザーの個体数が中流域で増加することが原因であると考えられる。グレーザーは開空率が大きい場所である中流域に生息すると考えられるが、そのような場所ではツルヨシなどの河岸植生が繁茂しやすい環境にあるといえる。つまり、河岸植生と正の相関があるのは、河岸植生に直接影響を受けているのではなく、中流にツルヨシが繁茂しやすいため見かけ上の相関が見られたと考えられる。

シュレッダーの種類数・個体数・現存量・多様度指数全て正の相関が見受けられた（Fig 3a）。つまり、蛇行区間のある場所でシュレッダーが生息していることとなる。蛇行区間では落葉などが引っかかりやすいため、CPOMを餌とするシュレッダーにとって環境条件が整っているためであると予想される。水面植被率や勾配・位数などの環境よりも、蛇行区間により強い相関が見られたことから、シュレッダーにとっての重要な要素は、河道の複雑さであることが示唆される。

コレクターの種類数とフラクタルは正の相関、コ

レクターの個体数とフラクタルとは負の相関、コレクターの現存量とフラクタルとはかすかな負の相関、コレクターの多様度指数とフラクタルとはかすかな正の相関を示していた（Fig 3a）。単調な河道では、単調な環境であることが予想され、単調な環境ではある特定の種が大量発生することが考えられる。その結果、フラクタル次元の小さな区間でコレクターの個体数・現存量の増加が起ると考えられる。

プレデターの個体数・現存量・多様度指数が全て負の相関があるが、これらの値が全てグレーザー・コレクターの現存量と相関があるため、グレーザー・コレクターの現存量グラフに類似してくるためであるとえられる（Fig 3a）。

以上の結果をまとめると、シュレッダーの個体数・種類数・現存量はフラクタル次元と有意な正の相関、コレクターの個体数・グレーザーの個体数はフラクタル次元と有意な負の相関が見出された。この結果、他の底生動物に比べてシュレッダーは、個体数・現存量のみならず種類数も河道複雑な区間で増加しており、シュレッダーの生息に河道の複雑さが重要であることが示唆される。また、河道が直線的な地点ほどコレクターとグレーザーが増加することが示唆される。

生活形間の比較 掘潜型の個体数とフラクタルとの間にはそれほど高い相関は見受けられなかった (Fig 3b)。掘潜型は砂・泥で多様性が高まることが予想されるため、複雑さとは無関係であると考えられたが、種類数・多様度指数はフラクタルと正の相関が出ている。複雑な地形では、瀬淵が隣接しており、淵で生息している掘潜型昆虫が石れきの瀬である調査地点に出現するため、種類数・多様度指数が増加するのではないかと予想される。現存量に対してはガガンボの特性を反映しているため、すでに考察している。

携巢型の個体数・種類数・現存量ともに、フラクタル次元と強い正の相関が見られた (Fig 3b)。携巢型の個体数・現存量の主体はヤマトビケラであり、局所的な急勾配を好むため、蛇行区間の多い森林域に生息すると考えられ、結果として正の相関が見られたと考えられる。種類数においても複雑な地形で種類数が増加していると考えられるが、多様度指数は、複雑さとは相関が見られない。これは、局所的な急勾配でヤマトビケラが大量発生することで、種類数が増加しても多様度指数自体が増加しないためであると考えられる。

固着型の個体数とフラクタルとは強い負の相関、固着型の種類数とフラクタルとは相関がなく、固着型の現存量とフラクタルとは強い負の相関、固着型の多様度指数と相関が見受けられなかった (Fig 3b)。この結果より、固着型は、河道の複雑な地点で個体数・現存量が増加すると考えられる。

造網型の種類数とフラクタルとは強い正の相関、造網型の個体数とフラクタルとは負の相関、造網型の現存量とフラクタルとは相関がなく、造網型の多様度指数とフラクタルとは強い正の相関を示していた (Fig 3b)。造網型の個体数と現存量が負の相関を示しているのは、ウルマーシマトビケラが中流域で大量発生したためであり、本来造網型の多様性は、種類数・多様度指数に表れているように複雑な地形に依存していると考えられる。ウルマーシマトビケラが中流で大量発生している理由として、以下のことが考えられる。もともと、造網型はコレクターが主体であり、F P O Mを餌とする。そのため、餌環境の面だけで考えれば緩勾配の中流域のように P O Mのたまりやすい地点は生息場所として最適である。ウルマーシマトビケラは上流から下流まで幅広く生息していることが知られており、他の底生動物に比べて小さい河床材でも生息可能なのではないかと考えられる。実際、造網型の個体数と物理環境との相関図・現存量と物理環境との相関図は、コレク

ターのそれと類似している。また、蛇行区間が造網型の多様性を上昇させる理由を考えると、複雑な地形は、P O Mを引っかかりやすくする。また、造網型は石れきに網を張る種が多いことから、石れきの河床材が必要となる。この両面を満足する生息場所は、地形の複雑な上流域であると考えることができる。以上の結果から造網型の多様性と複雑さとの相関は高くなると考えることができる。

遊泳型の種類数・個体数・現存量・多様度指数全てがフラクタル次元と負の相関を示していた (Fig 3b)。つまり、中流域の、河道が複雑ではない場所で遊泳型は多様性を増加させることとなる。遊泳型の性質として、流れの緩やかな淵に生息する傾向があると言われているが、その結果と合致しているといえる。高時川で調査された遊泳型は、緩やかな流速を好むと考えられ、中流域で多様性を維持できると考えられる。

匍匐型の種類数とフラクタルとは正の相関、匍匐型の個体数とフラクタルとは負の相関、匍匐型の現存量とフラクタルとは負の相関、匍匐型の多様度指数とフラクタルとは相関が見受けられなかった (Fig 3b)。つまり、匍匐型は、地形の複雑な場所で種類数が増加し、地形が単純な場所で個体数が増大するが、複雑さと多様性は関係が見出せないこととなる。このような現象が起こる理由として、下流域では個体数が増加するが、特定の種だけでなく数種の個体数が増加し、上流域においても、種類は増加するが、その各個体数が小数であることが考えられる。なぜこのような現象が発生するかは考察できていない。

底生動物トータルの全種類数・個体数・現存量は共に、河岸植被度と正の相関をとり、勾配・水面植被率と負の相関があり、多様度指数は、河岸植被度・S I 値と正の相関があった (Fig 3c)。フラクタルとの相関を参照すると、種類数で正の相関、個体数で負の相関、現存量で負の相関、多様度指数では相関が小さいという結果が得られた。トータルで見た場合、それぞれの摂食型・生活形の特質が合計されたために、多様性とフラクタルとの関係が見出せなかったものと考えられる。

以上の結果をまとめると、携巢型の種類数・個体数・現存量はフラクタル次元と有意な正の相関、固着型の個体数・現存量と有意な負の相関、造網型の種類数と有意な正の相関、全種類数と有意な正の相関が見出された。この結果、他の底生動物に比べ携巢型は、個体数・現存量のみならず種類数も河道の複雑な区間で増加しており、複雑な河道が携巢型の生息にとって重要であることが示唆される。また、

固着型は河道が直線的な区間で増加していることが示唆される。加えて、フラクタル次元と種類数と正の相関を示していることから、河道の複雑な場所で、底生動物の種類数が増加していることが示唆される。

3. 名張川の概略及び研究結果

3.1 比奈知ダム下流域名張川調査地点

木津川水系の名張川（宇蛇川合流点直下までの流程約 17 km）を対象として、河岸植生調査、物理環境調査及び底生動物調査が行われた。物理的環境と生物との比較を行なう際、底生動物の総種類数と物理環境との比較を行なう必要がある。しかし、種類の中には摂食型や生活型など、特有な環境にそれぞれ適して生存していると考えられる。そこで、生活型・摂食型などを区別することとした。

底生動物と物理環境との関係を明らかにするには、高時川での生物調査データでは不足していると言える。そこで、比奈知ダム下流域の四間橋で行なわれた調査データから、さまざまな物理環境と生物とのかかわりを考えることとした。四間橋の底生動物調査は、自然流況下での 1997 年 4 月、試験放流後の 5 月、そして 11 月、1999 年 4 月、6 月、10 月、11 月の 8 回実施された。底生動物の多様なハビタットを考慮して、毎調査につき、20 地点程度において 25 cm × 25 cm のコドラート内の砂礫等を採取し、目合 0.25 mm 以上の底生動物等が採集した。なお、四間橋は淵が存在しない平坦化した河床であり、調査期間中の著しい侵食・堆積は見られなかったが、砂の移動が多い地点である。流心は右岸側に偏っており、右岸が人工護岸、左岸が網状区間、砂礫地、ツルヨシ群落などになっていた。

3.2 研究手法と結果

棲み場所の多様性が種の多様性を保障するとの立場から景観分析と群集構成種の棲み場所条件とをつきあわせる方法として棲み場所構造を河床形態の微地形と関連づけることが必要となる。比奈知ダム下流の四間橋調査データには、河床形態（早瀬・平瀬等）のデータが取られており、生物調査データと付き合わせることでどの微地形に生物が棲みやすいかを判断することができる。本研究ではまず、生息場所マトリクスを作製する。そのマトリクスの要素として、横軸に河床材（S I 値）・ツルヨシ・砂礫堆・護岸をおき、縦軸に河床形態（早瀬・平瀬）をとる。河床形態は、中心にある場合と河川沿岸にある場合の 2 通りに分ける。マトリクスの作成方法は以下の

とおりである。

例えば、1997 年 9 月のデータを用いた場合、まず、それぞれの調査地点についての S I 値を算出する。次に、その調査地点の生物個体数が全調査地点の中で何位になるかをカウントする。1997 年 9 月のデータは 30 地点で取られているため、1～30 のスコアリングができることとなる。例えば調査地点が、早瀬・S I 値が 36・生物量の順位が 25 あれば、マトリクス内の該当する箇所に、25 をスコアリングする。しかし、1997 年 9 月のデータであれば、早瀬の調査地点が 5 箇所存在し、そのうち S I 値が 36 の点が 2 箇所存在するため、重複してしまうケースが生じる。この場合、両者の順位を平均することとする。これを 30 地点繰り返し、1997 年 9 月版マトリクスとする。

しかしながら、1997 年のデータのみではマトリクス内の群がほとんど満たされない。そのため、1998 年 4 月・5 月・11 月、99 年 4 月・6 月・10 月・11 月のそれぞれについて、マトリクスを作製する。最後にこれら全てのマトリクスデータを平均化するのだが、8 回の調査での調査場所数は 30 地点・20 地点・19 地点・25 地点・20 地点・20 地点・21 地点・10 地点であり、スコアリングの点数をそのまま平均してしまうと、調査地点の多い地点に重みがついてしまうため、スコアを調査地点数で割り、0～1 の数値に基準化した後平均することとする。この時点では、群内の数値が低いほど生物が好んで生息する場所であることとなるため、これの逆数を取った値を、選好度として名づける。これにより、選好度が高いほどその生息場所に住みやすいこととなる。これのマトリクスを以下に示す。マトリクス上では見やすいように、選好度の高い地点に◎、ついで○、一、低い地点に×をつけている。なお、マトリクスは底生動物の全体の個体数のみならず、摂食型・生活形によっても作製した。例として、掘潜型のマトリクス（Table 2）と固着型のマトリクス（Table 3）を載せるが、掘潜型は、S I 値の小さいところ、またはワンドなどで生息場所の潜在適性が高いという結果となった。

3.3 高時川への適用

高時川での調査データでは、河床形態（早瀬・平瀬・ワンド・中州等）のデータが存在するため、前章のマトリクスと照らし合わせることが可能である。それぞれの摂食型・生活形での分布特性をこのスコアリングから見出すことが目的である。比奈知ダム下流域四間橋は、中流域にあたり、それを高時川全域に適用することはやや大胆ではあるが、今回は中

Table 2 The microhabitat matrix for burrowers based on data collected at Shikenbashi in Nabari River. SI represents substrate index. Symbols : ⊙=very abundant, ○=abundant, −=rare, ×=very rare.

position in a channel	physiognomic type	S I					
		36~33	32~27	26~21	20~15	14~9	8~6
central	fast rapid	×	×	—	—	—	—
	slow riffle	—	—	—	○	—	—
	slow and deep riffle	—	—	—	—	—	—
	pool	—	—	—	—	—	—
peripheral	bar island	—	—	⊙	○	○	—
	rapid fast	—	—	○	○	○	—
	slow riffle	—	—	○	○	○	—
	slow and deep riffle	—	—	—	—	—	—
	bankside pool	—	—	—	⊙	⊙	—
	cove	—	—	○	—	⊙	—
	braided flow	—	—	○	⊙	—	—

Table 3 The microhabitat matrix for attachers based on data collected at Shikenbashi in Nabari River. SI represents substrate index. Symbols : ⊙=very abundant, ○=abundant, −=rare, ×=very rare.

position in a channel	physiognomic type	S I					
		36~33	32~27	26~21	20~15	14~9	8~6
central	fast rapid	—	⊙	○	—	○	—
	slow riffle	—	—	○	—	—	—
	slow and deep riffle	—	—	○	○	—	—
	pool	—	—	—	—	×	—
	bar island	—	—	○	—	×	—
peripheral	fast rapid	—	—	○	—	—	—
	slow riffle	—	—	○	—	—	—
	slow and deep riffle	—	—	—	—	—	—
	bankside pool	—	—	—	—	○	—
	cove	—	—	—	—	—	—
	braided flow	—	—	—	—	×	—

流域の特性が河川全域に適用できると作業仮説を立てて適用した。それを示したのが Fig4, Fig5 である。この図は河川の流程での変化がわかりやすいように、スコアリングした値を 1 km 区間で平均したものをプロットしている。これにより、河川全域を通して、どの地点が生物にとって棲みよい環境にあるかの概略が示すことができた。例えば、掘潜型の場合 (Fig 4)、ワンドや S I 値の小さいと予想される下流域で値が高くなり、固着型の場合 (Fig 5)、中上流で高くなるという結果が得られた。なお、Fig 4, Fig 5 の横軸は河口からの距離、縦軸は生息場所の潜在適性を表わしている。

4. 結論

本研究の分析により、底生動物の生活形・摂食機能群により、様々な特性があり、コレクター等は近隣の物理的環境 (河岸植被度) により強い影響を受け、プレデター等は長区間の物理環境 (勾配) の影響を受けることを確認できた。フラクタル次元と生物群集変量の相関分析を行った結果、底生動物は、河道の複雑な区間で種類数が増加することが確認できた。河道の複雑な区間は、生息環境が複雑である

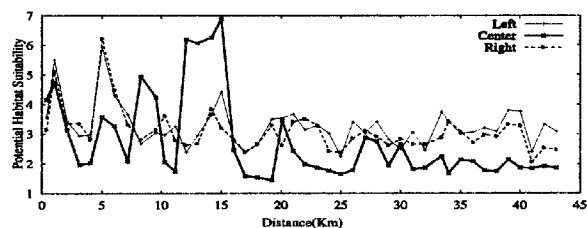


Fig. 4 Potential Habitat Suitability estimated for burrowers based on the habitat matrix method shown in Table 2. Distance indicates that from the rivermouth at Lake Biwa.

と予想され、その結果、底生動物の種類数とフラクタルに相関関係が表れたと考えられる。河道の複雑さと生息環境の複雑さとの関係を明らかにすることが今後の課題である。

生物分布のモデル化においては、生息場所と S I 値を用いて生物分布を類型化することを試み、それと高時川への適用を行なった結果、掘潜型は河口近くで高い評価が得られ、固着型は中流域で高い評価が得られた。しかし、その妥当性については、今後、実証的な研究が必要である。

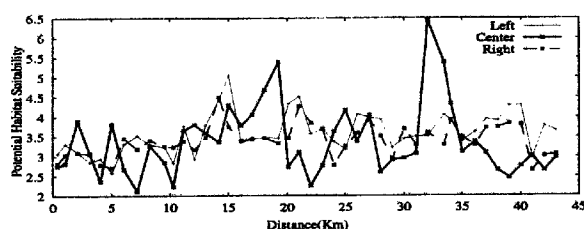


Fig. 5 Potential Habitat Suitability estimated for attachers based on the habitat matrix method shown in Table 3. Distance indicates that from the rivermouth at Lake Biwa.

5. 謝辞

本研究を行うにあたり、高時川のデータについては水資源開発公団丹生ダム建設所、比奈知ダム四間橋データについては(財)ダム水源地環境整備センターの好意により使用させて頂きました。これらの関係者の方々に対し深く感謝の意を表します。

参考文献

- I F I M入門 (2001) : アメリカ合衆国内務省/国立生物研究.
 可児藤吉 (1944) : 溪流棲水生昆虫の生態, 日本生物誌, 昆虫, 上, 研究社, 東京.
 杉山寿伸 (1984) : 異次元の世界をさぐる—はたして川はフラクタルか—, 名古屋大学フラクタル研究会.
 宝馨・高棟琢馬・杉原宏章 (1991) : 数値地形情報に基づく河川流域のフラクタル次元について, 水工

学論文集, Vol.35, pp.135-142.

水源地森林機能研究会 (2000) : 水源地森林機能に関する研究, 水源地森林機能研究会.

竹門康弘・谷田一三・玉置昭夫・向井宏・川端善一郎 (1995) : 棲み場所の生態学, 平凡社.

竹門康弘 (1997) : 溪流における水生昆虫の棲み場所保全, 砂防学会誌, Vol.50, No.1, pp.52-60.

谷田一三 (1996) : 生息場所・種・生態関係の多様性から「多自然の川作り」を考える, 水処理技術, Vol.337, No.9, pp.443-451.

玉井信行・奥田重信・中村俊六 (2000) : 河川生態環境評価法.

玉井信行 (2001) : 多自然型川づくりから自然復元へ, 河川, Vol.664, No.11, pp.1-3.

ダム水源地環境整備センター (財) (1999) : 丹生ダム生態系保全検討委員会中間報告書案.

水野信彦・御勢久右衛門共著 (1972) : 河川の生態学, 築地書館.

Shannon, C.E. and Weaver, W. (1963) : The mathematical theory of communication. Univ. of Illinois Press, Urbana.

Stantzner, B. and B. Higler (1985) : Questions and Comments on the River Continuum Concept.

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

Ward J.V. and J.A. Stanford (1983) : The serial discontinuity concept of lotic ecosystems, In: stream Ecology, application and testing of general ecological theory, (Barnes, J.R. and Minshall, G.W. eds.), Plenum Press, pp.265-278.

Interrelationship between physical processes and bio-eco systems in river channel network

Taichi OTA*, Shuichi IKEBUCHI, Yasuhiro TAKEMON

* Graduate School of Engineering, Kyoto University

Synopsis

It is indispensable for conservation of riverine nature to improve physical processes functioning habitat structure. The purpose of this study is to show correlation between physical processes and benthos communities by analyzing the data surveyed in the Takatoki River and Nabari River. Based on the results, discussion was made on the following three subjects : (1) relative importance of habitat structure in the upperstream areas rather than that at the sampling site for benthic animals, (2) validity of substrate index reflecting erosional / depositional increment at the site in prediction of benthos occurrence, and (3) the complexity of water course morphology as a determinant factor for abundance of benthic animals.

Keywords : the Takatoki River, the Nabari River, fractal, physical processes