

表六甲住吉川の水生昆虫と水理条件 との関連性について

RELATIONSHIP BETWEEN AQUATIC INSECTS AND HYDRAULIC CONDITIONS IN SUMIYOSHI RIVER

玉井昌宏¹・上野山直樹²・藤澤知親³

Masahiro TAMAI, Naoki UENOYAMA and Tomochika FUJISAWA

¹正会員 博(工) 大阪大学助教授 大学院工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

²学生会員 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻前期課程 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

³学生会員 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻前期課程 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

It is widely recognized that modifications of rivers for a variety of purposes or changes of their drainage area such as a change of land use strongly influence stream communities and that in particular, elimination of morphological heterogeneity of river habitats such as a riffle-pool structure or elimination of dynamic phenomena which give disturbances to make the heterogeneity is substantial. However knowledge from natural river ecosystems is almost useless when we consider how to regenerate an ecosystem appropriate to artificial rivers in urbanized areas. There are few studies to investigate ecosystems of artificial or heavily-modified rivers where the heterogeneity and the dynamic phenomena seem to be lost. The purpose of this study is to examine aquatic insects community structures in Sumiyoshi River of which natural geographical features have entirely destroyed because of soil erosion control works and to consider a possibility to regenerate ecosystems in artificial or heavily modified rivers.

Key Words : aquatic insects, macroinvertebrates, ecosystem, urban river, Sumiyoshi river

1. はじめに

河道や流域の人為的改変の河川生態系に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした研究は、比較的良好な物理的あるいは生物的条件を有する河川を中心に実施されてきた¹⁾。一方、人工水路や人為的改変を強く受けた河川については、これまで生態学や生物学の専門家の研究対象となつてこなかった。

ところが、下水道整備の進捗により従前に比較して河川水質が格段に向上するのに伴って、河川空間やそこの生物生息が重要な都市環境要素として捉えられるようになりつつある。人口稠密地帯を貫流し、高度成長期に高汚濁を経験した都市河川であっても、今後は自然再生あるいは創造の対象となっていくことが十分予想される。こうした河川において、いかにして自然を再生あるいは創造するかについて、検討すべき時期にきていると考えられる。

住吉川は六甲山頂付近を源流とし、神戸市東灘区を南流して、六甲アイランドの北側付近に河口を有する都市域の小河川である。砂防事業により上流から河口に至るまで多数の砂防堰堤と落差工が建設され、河道の物理的

性状は自然の姿を殆どとどめていない。一方、分流式下水道の整備により水質は比較的良好で、ホタルやカワセミなどの生息も確認されている。都市域の中の重要な自然として周辺住民の期待を集めており、好適な環境条件を有する都市河川の一つのモデルであると考えられる。

本研究では、住吉川におけるハビタットの水理学的諸特性と水生昆虫生物種との関連性を調査することにより、人為的改変を強く受けた河川の自然再生の可能性について検討することを目的とする。

2. 調査の概要

(1) 調査区間の概要

住吉川の流域面積と主流河川長はそれぞれ11.5km²、4.1kmである。調査区間は、河口より約3kmの地点に建設されている砂防ダム白鶴堰堤を上流端とし、河口より0.65km付近を下流端とする約2.4kmの区間である。区間平均の河床勾配は $S=1/90$ である。図-1は調査区間の代表的な河川断面形状を示している。調査区間の大半の断面形状は高水敷と低水路を擁する複断面形である。低水路護岸、高水敷、堤防護岸は石積みあるいはコンクリート製であり、低水路以外には水生生物のハビタット

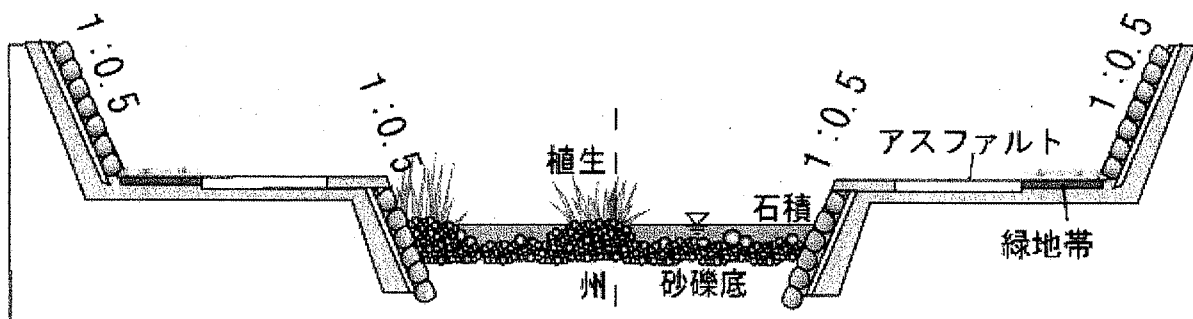


図-1 調査区間の代表的な断面形状

はない。高水敷と堤防天端高さの差異は数m程度であり、堤防天端は両岸共に一般道となっている。

調査区間内では交通量の多い国道2号線が、また、調査区間のすぐ下流で国道43号線や阪神高速道路神戸線が河川を横断しており、大気環境は良好とは言えない。しかしながら、調査日が冬季の平日であったにも拘わらず、高水敷遊歩道を散歩あるいはジョギングをする人々が数多く見られた。高水敷遊歩道と後述する高水敷広場は付近の学校の遠足や距離走のコースとしても利用されているようであり、利用頻度は高い。しかしながら、ゴミの投棄などはほとんど見られなかった。

平成12年5月から9月の間において任意の無降雨日6日間の調査結果によると、平均流量、最大流量、最小流量はそれぞれ0.055(m³/s)、0.12(m³/s)、0.006(m³/s)である。

(2) 調査の概要

本調査に先駆けて実施した現地踏査と兵庫県住吉川改修計画概要図とをもとに、断面形状および河床勾配の異なる7つの調査区域を選定した。図-2に調査区域Ⅰ～Ⅶの位置を示している。それぞれの区域において河床状況の違いにより「石張り」、「砂礫」、「植生」、「石」、

「砂」などの特徴的なマイクロハビタットを抽出した。マイクロハビタットごとに任意に3ポイントを選定し、昆虫採集等を行った。表-1は各調査区間の概要である。表中に各区間で抽出されたマイクロハビタットタイプを示している。

調査は2003年12月15、17、18、22日の4日間にわたって実施した。いずれの日も天候は概ね晴天であり、調査期間内に大雨などによる河川環境の大規模な攪乱はなかった。

表-1 調査区域の概要

区間	D(m), S	区間の特徴と抽出されたハビタットタイプ
I	646 ～1340 , 1/100	砂礫底中に植生州が点在し、落差工、床固めのための石張り河床区間が数箇所が存在する。水深は大部分で膝下程度である。G, V, P, St×2
II	1340 ～1565 , 1/70	区間Ⅰに概ね同じ。G, V, P, St
III	1565 ～1646 , 1/25	完全にコンクリート三面張りのプール式の人工段差であり、底にはわずかに砂が堆積している部分がある。C
IV	1646 ～1870 , 1/50	区間Ⅲの直上流は石張り河床が続く、さらに、その上流は砂礫底に植生州が点在し、石張り河床、落差工が数箇所存在する。植生州の割合は下流側の区間Ⅰ、Ⅱよりも高くなっている。G, V, P×2, St
V	1870 ～2400 , 1/85	落差工が比較的多く、礫底中に部分的に砂が堆積している。それ以外はⅠ、Ⅱ、Ⅳと同様の特徴である。G, V, P, St, Sa
VI	2400 ～2900 , 1/100	高水敷には広場があり、全体的に下流区間より川幅が広がっている。河床に砂の堆積したプール状区間、三面張りの段差区間、密生した植生とその間の礫底を流れる細い流れが構成する区間、連続落差工、砂防ダム、石張り底区間などにより構成される。G, V, P, St, Sa, C
VII	2900 ～3030 , 1/100	住吉堰堤から上流白鶴堰堤までの二つの砂防ダムに挟まれた区間で、堆砂面上に河畔林が成長している。半壊状態のコンクリート護岸や床止め工がある。G, V, St, Sa

D(m): 河口からの距離, S: 河床勾配,

ハビタットタイプ G: 砂礫, V: 植生, Sa: 砂, St: 石, P: 石張り, C: コンクリート落差

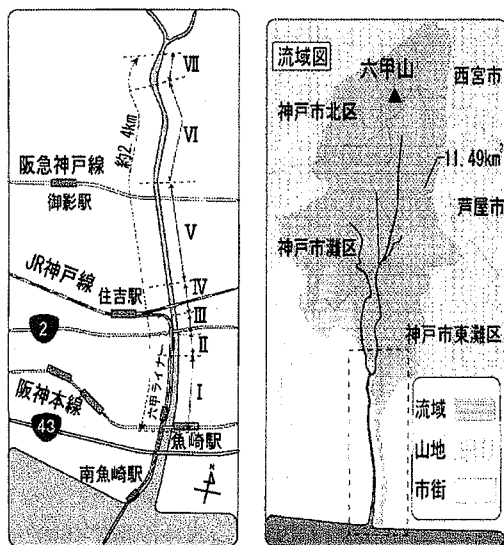


図-2 住吉川の概要と調査区間

(3)調査項目と方法

水質についてはCOD, NO₂, PO₄, pH, DOの項目を計測した. このうちCOD, NO₂ およびPO₄はパックテストによる比色簡易水質検査法にて, マイクロハビタットごとに計測した. また, pHはハビタットごとにpHメータ(YSI社製Model15)により計測, 水温とDOは区間ごとにDOメーター(YSI社製Model660)によって計測を行った.

流速はポイントごとに電磁流速計(KENEK社製VP200LG)により底から1cmの深さにおいて60秒間の時間平均流速を計測した. 3ポイントの平均流速を各ハビタットの代表流速とした. 川幅はハビタットごとにその場所の横断方向の水面幅を巻尺により計測し, 水深はポイントごとに計測した. また, 底質材料の大きさは, ハビタットごとに, a: 頭大, b: こぶし大, c: 親指大, d: 砂利, e: 砂, f: 泥, g: 石張り, の7種に区分し, +: 多少存在する, ++: 多く存在する, +++: 大部分を占める, の3段階で存在状況を記録した.

水生昆虫採集方法は, Karrのプロトコル²⁾に倣った. 川底に30×30cmコドラートを設置し, その内側の河床を攪乱して流下する昆虫を直下に構えたサーバーネットにより捕獲採集した. 次に, 水を入れたポリ容器の中でサーバーネットに付着した水生昆虫を洗い落とし, その後, 容器内の水を100μmメッシュの網により濾過した. 網ごとポリ製の密封型袋の中に入れ, エタノールを注入, 固定し, 研究室に持ち帰った. 持ち帰ったサンプルは実体顕微鏡(オリンパス社製SZ60)で観察し, 検索表を参照して可能なものは属まで, それ以外は科まで同定を行い, ハビタットごとに種と個体数を記録した.

3. 結果と考察

(1)水理量と水質

表-2に水理量あるいは水質の測定結果を示している. マイクロハビタットの平均値, 標準偏差, 平均値で規格化した無次元標準偏差を示している. また, 区間毎に実施したパックテストの結果, CODは最下流の区間Iにおいて4mg/L, 区間V, VIIにおいて2mg/L, 他の区間では0mg/Lであった. NO₂とPO₄は, 区間Iにおいて, それぞれ0.02mg/Lと0.2mg/Lであったが, これ以外の点では検出限界未満の濃度(NO₂:0.02mg/L, PO₄:0.2mg/L)であった. 概して水質は良好であり, 地点間あるいはハビタット間の変動は小さい.

表-2 水理量と水質

	平均値	標準偏差	無次元標準偏差
水深(m)	13.5	9.40	0.70
流速(m/s)	0.34	0.26	0.75
水温(℃)	8.2	1.1	0.13
pH	8.2	0.23	0.028
DO(mg/l)	11.3	0.49	0.043
DO(%)	95.3	3.2	0.033

これに対して, 水深, 流速の偏差は大きく, 底質とともにハビタット間の差異を特徴づけている.

(2)多様性の流下方向変化

7区間, 30ハビタットから科あるいは属で分類して34

表-3 採集された属あるいは科

属・科	Habit Category (生活型)	Trophic Category (摂食機能群)
コカゲロウ属(Baetis)	Sw, Cm, Cg	CG, Sc
フタバコカゲロウ属(Baetiella)	Sw, Cg	CG
ヒラタカゲロウ属(Epeorus)	Cg	CG, Sc
トウヨウマダラカゲロウ属(Cincticostella)	Cg, (Sp, Sw)	CG, (Sc), ((Sh))
シリナガマダラカゲロウ属(Ephacera)		
モンカゲロウ属(Ephemera)	Bu	CG, Pr
コガタシマトビケラ属(Cheumatopsyche)	Cg<NS>	CF
シマトビケラ属(Hydropsyche)	Cg<NS>	CF
ナガレトビケラ属(Rhyacophila)	Cg	Pr, (Sc, CG, Sh)
コカクツツトビケラ属(Goerodes)	Cm, Sp, Cg	Sh
グマガトビケラ属(Gumaga)	Sp	Sh,
コエグリトビケラ科(Apataniidae)	Cg, Cm, Sp	Sc, CG
ニンギョウトビケラ属(Goera)	Cg	Sc
アミメカワゲラ科(Perlodidae)	Cg	Pr
フタツメカワゲラ属(Neoperla)	Cg	Pr
フサオナシカワゲラ属(Amphinemura)	Sp	h
ヒラタドロムシ科(Psephenidae)	Cg	Sc
ブユ科(Simuliidae)	Cg	CF
ミズムシ科(Asellus hilgendorfi)	Sp	Sh, CG
ガガンボ科(Tipulidae)	Bu	Sh, CG
ヒメドロムシ科の一種(Elmidae)	Cg, ((Cm))	CG, Sc

(): some, (()): a few, <NS>: Net Spinners

表-4 摂食機能群の記号説明

記号	名称	内容
CG	Collector Gatherers (堆積物採集食者):	沈殿している餌を集めて食べる.
CF	Collector Filterers (濾過者):	流下する有機物を網などで濾しとって食べる
Sc	Scrapers(刈取食者)	付着藻類などをはぎ取って食べる.
Pr	Predators(捕食者)	肉食
Sh	Shredders(破砕者)	落葉や水草をかじって食べる.

表-5 Habit Categoryの記号説明

記号	名称	流れに対する露出度
Sw	Swimmers	普段は石などにしがみついているが, 移動時は流, 静水中を泳ぐ.
Cg	Clingers	流れの速い瀬の岩などに張り付いている. 長く曲がったツメや扁平な体, 吸盤などを持つ.
Cm	Climbers	水生植物や有機物堆積上に棲む. 茎を伝って昇降する.
Sp	Sprawlers	水草の葉の表面や砂底に棲む.
Bu	Burrowers	砂や泥底, 有機物堆積層などに穴を掘って潜り潜んでいる.

種、5745個体を採集した。表-3は、採集された種の中で、10個体以上採集された種の生活型カテゴリーと摂食機能群を示している。表-4、表-5は生活カテゴリーと摂食機能群³⁾の記号の内容を示している。

表-3に示さなかった種は、ヒトリガカゲロウ属、ヒメカゲロウ属、マルバネトビケラ属、ヒメトビケラ属、山トビケラ属、タテヒゲナガトビケラ属、カワゲラ属、ナガドロムシ科、ゲンジボタル、ヘビトンボなどである。また、ユスリカ科については、全区間、全ハビタットで多数採集されたが、科以下の同定が難しいことから、ここでは考察対象外とした。

図-3は各調査区域において採集された種数(属、種あるいは科)とその個体数を、それぞれこれらの総数で無次元化して示している。加えて、次式で表されるShannon-Wiener関数⁴⁾によって計算されるShannon Diversity Indexを併せて示している。

$$H'_j = - \sum_{i=1}^{S_j} \frac{n_{ij}}{N_j} \ln \left(\frac{n_{ij}}{N_j} \right) \quad (3-1)$$

ここに、 H'_j : 情報量尺度、添字 i, j : 第 i 属、第 j サンプル、 S_j : 第 j サンプルの総属数、 n_{ij} : 第 j サンプル第 i 属の個体数、 N_j : 第 j サンプルの総個体数であり、次式により計算される。

$$N_j = \sum_{i=1}^{S_j} n_{ij} \quad (3-2)$$

H'_j インデックスは、各サンプル内での多様性を表す尺度となる。このインデックスは全ての種が等しい個体数を持つ場合に最大の多様性を示すと仮定している。区間Ⅲを除いて、種数、個体数ともに流下とともに減少傾向にある。多様性の差異もそれほど大きくない。区間Ⅲはコンクリート製のプール式の落差工であり、土砂などの堆積が非常に少ないために、生息できる種や個体数が限定されるからである。

図-4、5、6は、各昆虫種個体数の流下方向変化を摂食機能群でまとめて示している。Shreddersは区間Ⅲを

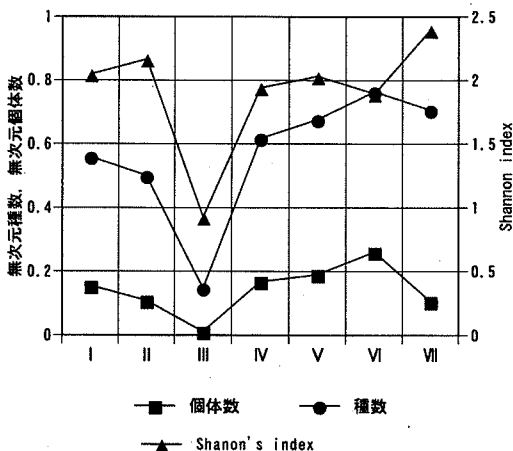


図-3 個体数、種数、多様性指数の変化

除くと概ね流下方向に減少しているが、その傾向はあまり明瞭でない。これは、上流の河畔林からの落葉のみならず、植生の繁茂した砂州が各区域内に点在するからであると考えられる。Scrapersは付着藻類の生育条件に左右されると考えられており、一般的に日射と水深、流速などの条件が好適となる中流付近で豊富になることが知られている。ニンギョウトビケラ属とヒラタドロムシ科はいずれも下流付近で増加する傾向にあることがわかる。図-6はPredatorsの個体数の流下方向変化である。流下方向に一樣に減少する傾向にあることがわかる。

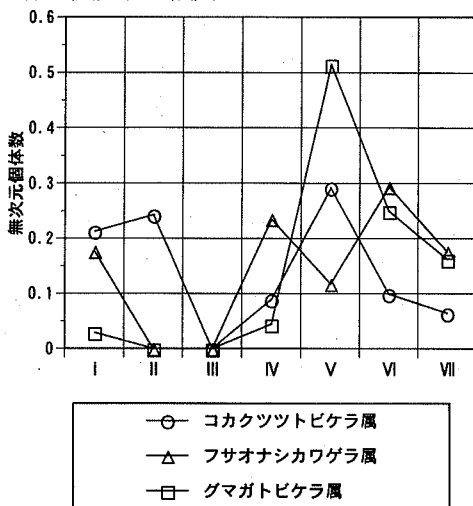


図-4 Shreddersの個体数の流下方向変化

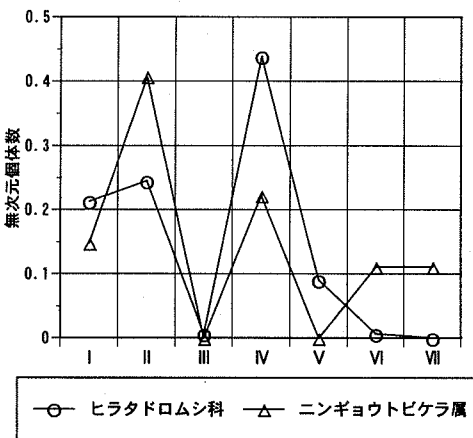


図-5 Scrapersの個体数の流下方向変化

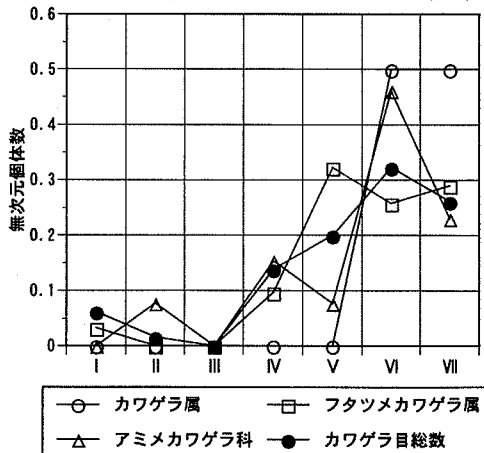


図-6 Predatorsの個体数の流下方向変化

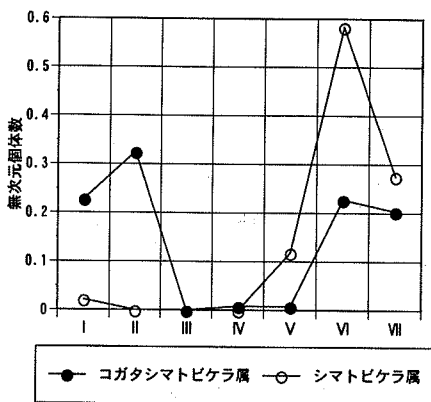


図-7 シマトビケラ属とコガタシマトビケラ属

こうした変動傾向は、図-4において示した個体数や種数のそれに概ね一致しており、Predatorsの減少がそれを支える被食者の減少によるものであることが推測される。図-7はシマトビケラ属とコガタシマトビケラ属の個体数の流下方向変化である。これらはいずれも造網型の濾過者であるが、目の粗さの異なる網を持つとされる。一般的に、有機物粒子の大きい上流域では網の目の粗いシマトビケラが多く、より下流域でコガタシマトビケラが多くなる傾向にある⁹⁾。図-7はこうした傾向と見事に一致している。

(3) ハビタット間の差異

図-8, 9はハビタット別の種数とShannon indexの平均値と分散値を示している。ハビタット間で比較すると、砂礫、植生に比べ、石張りは種数が少なく、多様性に乏しい。石張りでの種数、多様性の減少は、多くの既往の研究⁹⁾において報告されているように、ハビタットの構造の均質化や待避場所の無いことなどが影響していると考えられる。各ハビタットにおける水生昆虫の種数について分散分析を行なったが、礫と石張り、礫と石、そして植生と石張り、植生と石の間に有意水準5%、植生と砂、石張りと砂、石張りとは石との間に有意水準1%で差が見られた。

(4) 水生昆虫群集の構造

相対優先度1%以上の水生昆虫の種類(属ごと)別の個体数、Habit(生活型)別の個体数、FFG(摂食機能群)別の個体数について主成分分析⁹⁾を行った。図-10, 11にそれぞれ水生昆虫の生活型別の個体数と水生昆虫のFFG別の個体数について分析した結果を示している。得られた主成分を第二主成分まで示す。生活別型については、第1主成分の寄与率は37%、第2主成分は23%であった。また、FFGは、それぞれ31%と24%であった。

生活型における第1主成分負荷量はClimber, Sprawler, Clingerなどで正の値が同程度大きく、Burrowerで正の値が小さいほかSwimmerで大きな負の値を示している。前

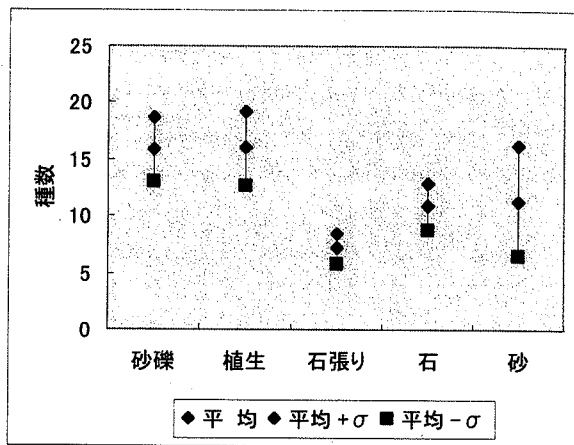


図-8 各ハビタットの種数の平均と分散

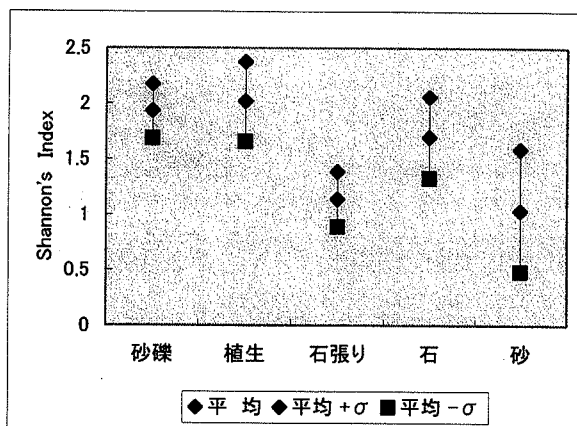
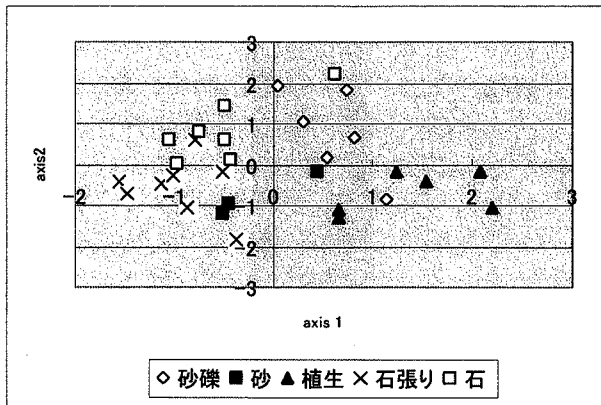
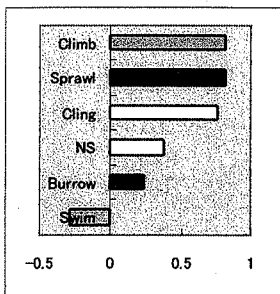


図-9 各ハビタットのShannon Indexの平均分散

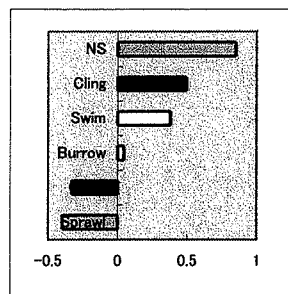
者は植生や有機物、砂など堆積物の隙間を利用するのに対して、後者は石表面など平坦あるいはなめらかな面上で生活するものである。従って、第1主成分は、こうした生活型における堆積物の利用方法との関係を表していると見なすことができる。また、第二主成分について見ると、NS, Clinger, Swimmerなどが大きな正值となり、SprawlerやClimberが大きな負値をとった。前者はより流速の速い箇所においても生活できるような機能を備えていることから、この成分は流れの速い場所に対する適用性を示していると考えられる。底質の構成は生活型の構成には影響が大きい、摂食機能群への影響は異なる。各負荷量を見ていくと第1主成分が全体的な食物の豊富さ、第2主成分は底生生物の利用できる栄養資源の形態の違いを示していると考えられる。Rempel et al.⁷⁾の研究によるとShredderの分布はCPOMの影響と相関関係が有り、CGの分布はCPOMと正の相関、せん断速度と負の相関を持つとされている。生物の生活型は底質の構成を明瞭に反映する。一方、FFGは利用可能な資源物質の影響を反映しているが、同時に、底質-水理条件とも関連している。グループ化の明瞭さの違いはそこからきていると考えられる。



(a) 第1, 第2主成分における分散図



(b) 第1主成分の負荷量



(c) 第2主成分の負荷量

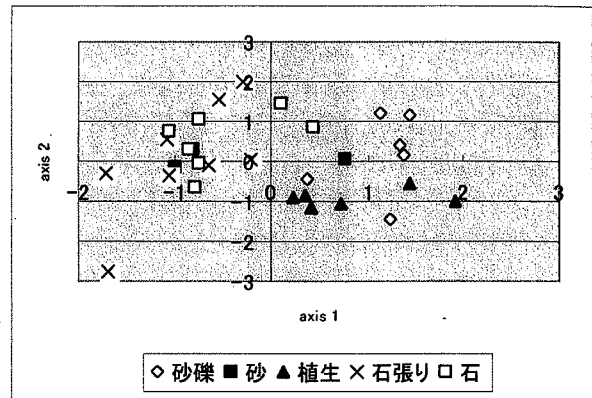
図-10 生活型の主成分分析

5. まとめ

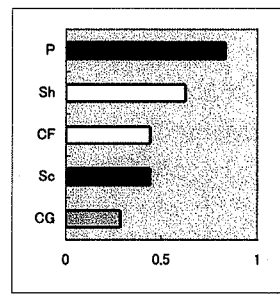
本研究では、人為的な影響を強く受けた河川の一つとして、表六甲河川の一つである住吉川を取り上げ、水生昆虫の分布と構造について検討した。

調査区間がわずか3kmと短いにも拘わらず、上流域からの有機物供給および河床勾配の影響により水生昆虫群集は流程方向に構造を持っている。しかしながら、水生昆虫の群集構造の差異は、区間どうしよりも、区間内のハビタット間でより顕著であることがわかった。本河川での多様性は流下方向のマクロな河川形状の変化ではなく、区間内に偶然出現した様々なマイクロハビタットにより支えられていることがわかった。

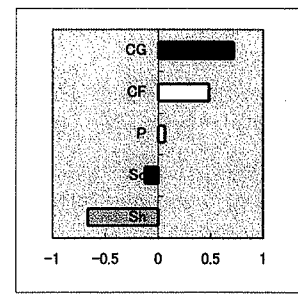
本研究は、平成15年度科学研究費補助金基盤研究(B)課題番号14350268「石礫など透過性材料を用いた河川構造物の環境水理設計」研究代表者神戸大学教授道奥康治の補助を受けた。記して謝意を表する。



(a) 第1, 第2主成分における分散図



(b) 第1主成分の負荷量



(c) 第2主成分の負荷量

図-11 摂食機能群による主成分分析

参考文献

- 1) 例えば, R. A. Sponseller, E. F. Benfield and H. M. Villet (2001): Relationships between land use, spatial scale and stream macro-invertebrate communities, *Freshwater Biology*, Vol.46, vol.1409-1424.
- 2) <http://www.salmonweb.org/salmonweb/pubs/sampling.html>
- 3) Merritt R.W. and Cummins K.W. (1996): *An Introduction of the Aquatic Insects of North America*, 3rd edn., Kendall Hunt.
- 4) 小林四郎 (1995): 生物群集の多変量解析, 蒼樹書房.
- 5) 林義雄, 町田和俊, 尹順子 (2001): 多摩川水系におけるコガタシマトビケラ属幼虫の分布と環境要因について, *陸水学雑誌*, 第62巻, 第1号, pp.51-60.
- 6) 例えば, Toyoshima T., Nakano S. Inoue M. Ono Y. and Kurashige Y. (1996): Fish population responses to stream habitat improvement in a concrete-lined channel, *Japanese Journal of Ecology*, 46, 9-20
- 7) Rempel L., Richardson J.S. & Healey M.C. (2000): Macro-invertebrate community structure along gradients of hydraulic and sedimentary conditions in a large gravel-bed river, *Freshwater Biology*, 45, 57-73

(2004. 4. 7受付)