

(10) 都市河川におけるマイクロハビタットと 底生無脊椎動物群集構造の変動特性

玉井昌宏¹・上野山直樹²

¹正会員 大阪大学准教授 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)
E-mail: tamai@civil.eng.osaka-u.ac.jp

²正会員 (株)建設技術研究所 東京本社水システム部 (〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町3-21-1)
E-mail: uenoyama@ctie.co.jp

淀川下流域の右支川の一つである芥川において現地調査を実施し、底生無脊椎動物の群集構造に及ぼす小規模洪水の影響について検討した。早瀬、平瀬、砂礫、砂、植生、堰上、堰下の7つのタイプのマイクロハビタットにおいて、約58,000個体、58種の底生無脊椎動物を採取した。主成分分析を用いて、生活型からみた群集構造とマイクロハビタット特性、さらにそれらの小洪水に対する応答について検討した。底生無脊椎動物群集の生活型構成が、ハビタットの物理特性の嗜好性を表現する軸と、小洪水に対する応答特性を示す軸の2軸によって2次的に表現されることがわかった。小洪水擾乱によって、マイクロハビタットの物理的特性が変動する場合には前者の軸に沿って、また、物理的特性の変動が小さい場合には、後者の軸に沿って生活型構成が変化することを明らかにした。

Key Words : benthic macroinvertebrates, ecosystem, flood, urban river, field observation

1. 目的

底生無脊椎動物群集に及ぼす洪水の影響については種々研究が行なわれており、河床土砂の浸食、堆積、攪乱によって生息生物種を更新させたり、流量流速等の物理条件の急激な変動によって、種数や多様性を低下させることが確認されている¹⁾。人為的改変を受けていない自然河道では、多様な物理的環境が存在し、それが洪水時のシェルターとしての役割を果たすことが知られている²⁾。また、加賀屋³⁾によれば、洪水擾乱に対するリーチスケールの反応について、リーチを構成する多様なマイクロハビタットが特避所や供給源としての役割を果たすことで、擾乱に対する抵抗性や復旧に至る回復速度を増加させるとしている。

しかしながら、洪水といっても、日々の小洪水からリターンピリオドが数十年を超えるような大洪水まで、その規模は様々である。加えて、地形や地質といった自然条件のみならず、人為的改変の状況等によって河道条件は多様であり、それらの条件に応じて、洪水擾乱に対するマイクロハビタットの応答も全く異なる。多様なマイクロハビタットの中で、その特性に応じて群集構造が成立していることを勘案すれば、様々な時間と空間スケールに注目して、洪水擾乱によるハビタットの変動と無脊椎動物の群集構造の変動との関連性を検討することが重

要であると考えられる。

本研究では、淀川下流域の右支川のひとつである芥川を対象として現地調査を行ない、人為的な改変を強く受けた都市河川における、小規模洪水に対するマイクロハビタットと底生無脊椎動物の群集構造の応答と両者の関連性について検討した。とくに、生活型別個体数割合に注目した群集構造特性とマイクロハビタットの物理的特性との関係を、主成分分析を用いて検討した。

2. 調査の概要

(1) 調査地点とマイクロハビタット

図-1に芥川の位置および流域の概要を示す。芥川は淀川の三川(桂川、宇治川、木津川)合流地点の約10km下流、治水計画基準点である枚方ポイントより2km下流で、右岸より合流する一次支川である。京都府亀岡市と大阪府高槻市の市境をなす明神岳を源流とし、高槻市を南北に縦断して流下する。流域面積52km²、主流河川長25kmの一級河川である。芥川の流域は、上流の山地部と下流の市街地部の二つに大きく区分することができる。山地部の上流区間は溪流となっており、大阪府道6号線が併走しているが、周辺は民家が点在する程度で大きな集落はない。府道や集落のための護岸が一部整備されているのを除けば、河道はほとんどが自然の状

態のままである。山地部の下流区間は、水田と集落の点在する盆地となっており、その下流側には、景勝地でもある摂津峡と呼ばれる狭窄部がある。これを抜けると、扇状地となり河道幅が拡大し、平野部に接続している。平野部の河川周辺地域は、一部に水田もあるが、大半は市街地化されている。この平野部では、一般的な都市河川に見られるように、治水事業による護岸整備が進んでおり、河道の縦断形状は上流の山地部に比較して直線的である。また、平野部の下流区間では、淀川本川の洪水時に、そのバックウォーターの影響を受ける範囲があるが、本調査期間中には、そのような洪水は発生しなかった。

調査は、淀川合流地点より約1km上流の地点を最下流端とし、合流地点より12km上流の溪谷部を最上流端とする、約11km程度の区間で実施した。調査区間の河道状況と周辺土地利用状況から、5つの調査地点と調査区間全体から7つのタイプのマイクロハビタットを選定した。各調査地点の概要と抽出されたマイクロハビタットを表-1に示す。例えば、Merit et al.⁹⁾などの既往の研究成果は、底生無脊椎動物種にはそれぞれ選好する生息環境条件があることを示している。この環境条件は、河床粒径、流速、水深といった物理的な条件、水質条件、他の生物との関係についての条件などに分類される。マイクロハビタットとは、こうした環境条件が同一であると判断される領域の最小単位と考えることができる。本研究では、物理的な条件にのみ注目して、マイクロハビタットを選定している。筆者らのこれまでの調査経験⁹⁾に基づいて、水流の状況と河床粒径を視視観察することによって、早瀬、平瀬、植生、砂礫、砂の5つのタイプのマイクロハビタットを抽出した。ここで、平瀬ハビタットというのは、河床状況は親指大以上の大きさのレキが浮き石となっており、早瀬に比較すると河床勾配が緩やかで流速が小さいもののことである。植生ハビタットは、砂河床に植生が繁茂している箇所のこと、また、砂礫ハビタットはレキが砂に埋まっており沈み石となっ

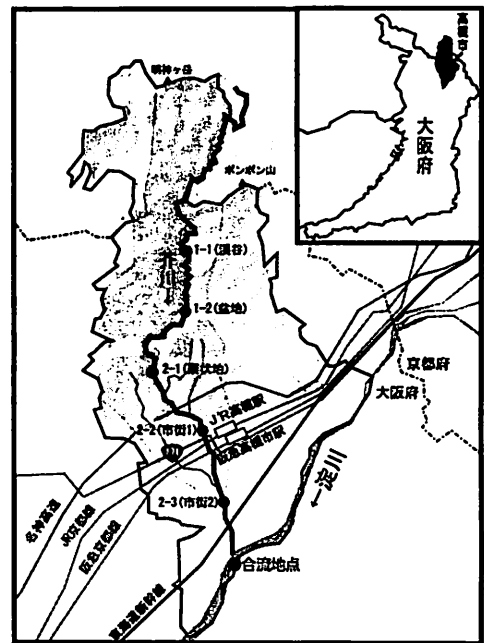


図-1 芥川の位置と調査ポイントの位置

ている箇所のことである。いくつかの調査地点には、河床安定のための落差工が設置されており、その上流側のバックウォーター区間を堰上ハビタットとした。落差工下流側については、既述のマイクロハビタットとの差異が明確である場合についてのみ、堰下マイクロハビタットを設定した。具体的なハビタット特性量の範囲は、後述する図-3で規定されることになる。第一回目調査において、調査区間全体で表-1に示した17のマイクロハビタットを抽出した。第二回目以降の調査においては、第一回目と同一のポイントにおいて調査を行い、マイクロハビタットの変動について調査した。

(2)調査項目

マイクロハビタットの特徴を表示する要素として、水

表-1 調査地点とマイクロハビタット

調査地点	セグメント	河川 形態 ⁷⁾	河床勾配	合流地点 からの距離	流域の主な 土地利用	主な河岸状況	抽出したマイクロ ハビタット
1-1 (渓谷)	山間部	Bb	1/20～1/90	12-	山地	山付	早瀬、平瀬
1-2 (盆地)			1/50-1/140	10-12	田・宅地	ブロック	平瀬、植生 堰上、堰下
2-1 (扇状地)	扇状地	Bc	1/80-1/440	6.5-10	農地・山地	ブロック、石 積、玉石護岸・ 階段護岸など	早瀬、平瀬 植生、堰上
2-2 (市街地1)	平野部		1/190-1/440	3.5-6.5	宅地		砂礫、砂 植生、堰上
2-3 (市街地2)			1/390-1/590	0.9-3.5	宅地・市街地		砂礫、砂、植生

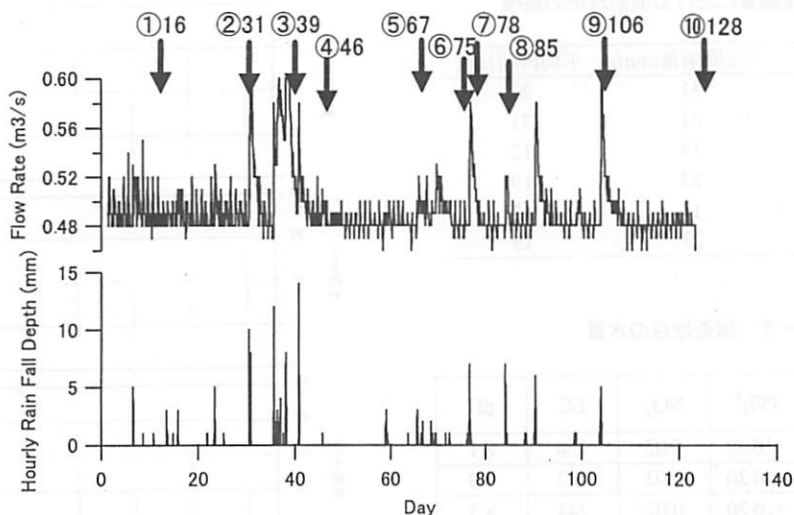


図-2 調査実施日と降雨量、流量の時間変動

深、流速、河床粒径、底質の詰まり具合、底質表面の藻類の状態、水質を調査した。水質については、水温、電気伝導度(HANNA社EC/TDS/Temp Waterproof Tester)、pH(YSI社Model15)、COD、 PO_4^{2-} 、 NO_2^- (柴田科学製 Simple Packシリーズ、比色簡易水質検査法)を計測した。

河床粒径は、1：シルト・泥 ($d \leq 1/16\text{mm}$)、2：砂 ($1/16 < d \leq 2\text{mm}$)、3：親指大 ($2 < d \leq 20\text{mm}$)、4：拳大 ($20\text{mm} < d \leq 200\text{mm}$)、5：人頭大 ($d > 200\text{mm}$)の5段階の階級に分類した。一つの階級が、マイクロハビタットの概ね80%以上を占める場合にはそれをそのまま階級値とした。近接した階級が混在していると判断される場合には、最も支配的な階級に2倍の重みを付けて、出現階級について加重平均したものを階級値とした。

底質の詰まり具合は、各マイクロハビタットにおいて底質状況を観察し、1：浮石が何層にも重なっている、2：浮石が砂など細かい底質上に横たわっている、3：沈み石が部分的に埋もれている、4：沈み石が完全に埋もれている、あるいは砂河床、5：コンクリートなど人工河床の5段階の階級に分類した。底質表面の藻類の状態は、触感と目視によって、1：藻類なし、2：短い藻類(触感：ヌルヌルした感触、目視：寒天質、膜状)、3：長い藻類(触感：フサフサした感触、目視：苔状)の3階級に分類した。このような分類を行うのは、藻類の繁茂状況が、物理的な要因として底生無脊椎動物の生息に影響を与えると考えたからである。

流速はマイクロハビタットごとに電磁流速計(KENEK社製VP200LG)を用いて、底から1cmの深さにおいて20秒間の時間平均流速を計測した。

粒径階級、水深、流速、河床の詰まり具合の階級、藻類繁茂状況階級は、ひとつのマイクロハビタット内にお

いてもばらつきがあるので、各マイクロハビタット内の任意の5ポイントで計測し、平均値を求めた。

底生無脊椎動物の採集方法は、表-1に示した植生以外のハビタットについては、Karr[®]のプロトコルに従った。すなわち、30cm×30cmの正方形コドラートを河床に設置し、その下流側に正方形のサーバーネット(1mmメッシュ)を河床に垂直になるように構える。コドラート内を足で20秒間攪乱し、流下する底生無脊椎動物を捕捉した。植生ハビタットについては、河床にコドラートを設置することができないので、河岸から15cm程度離れた箇所、サーバーネットを用いて底質を植生ごと採取した。マイクロハビタット毎に、3サンプルずつ採集し、それらを合計したものを分析した。植生以外のマイクロハビタットについては、サーバーネットに付着した底生無脊椎動物を、ポリバケツ内の水で洗い落とし、その水を100 μm メッシュの網により濾し取る。濾し取った底生無脊椎動物は80%のエタノールで固定した。植生ハビタットで採集された底質は、エタノールを加え、密封型のポリ袋に入れて、研究室に持ち帰った。

実体顕微鏡(オリンパス社製SZ60)を用いて、サンプルから底生無脊椎動物を選び分け、可能な限り属まで同定し、個体数を数えた。属の同定には丸山ら⁹⁾を参考にした。

(3)調査日の選定

調査期間は2005年8月16日～12月16日までの約4ヶ月間である。図-2に、大阪府の公開している河川テレメータデータの流量と時間降雨量の時系列を示している。

表-2 雨後調査における直前降雨の規模

調査回	実施日	一雨降雨量(mm)	平均再起日数
2	8/31	31	27
3	9/8	61	71
5	10/6	13	12
7	10/17	23	19
8	10/24	13	12
9	11/14	23	19

表-3 調査地点の水質

項目 地点	COD	PO ₄ ³⁻	NO ₂ ⁻	EC	pH
1-1	3	<0.20	0.02	156	8.1
1-2	3	<0.20	0.03	242	7.9
2-1	5	<0.20	0.02	244	8.3
2-2	4	0.26	0.05	261	8.6
2-3	6	0.32	0.05	302	7.9

(単位: COD, PO₄³⁻, NO₂⁻: mg/L, EC: μS/cm)

流量については、図-1の調査地点2-2の近傍において、また、時間降雨量については、調査地点1-2付近において計測されたデータである。横軸は、2005年8月1日からの日数である。上段は流量図であり、実線はテレメータ流量値である。図中の矢印は調査日を示しているが、丸数字は調査回、その後の数字は2005年8月1日からの日数である。下段は時間降雨量の時系列である。図-2の矢印で示したように、調査期間中に10回の調査を実施した。概ね1ヶ月に一度の定期調査(第1回、第4回、第6回、第9回、第10回)に加えて、比較強い降雨が発生した場合に、雨後調査を行った。雨後調査は、上述の河川テレメータデータを参照して、水位や流量に明確な変動が現れたことを確認して実施した。従って、一雨雨量が数mm程度の小降雨後には、調査は実施していない。降雨終了後、河川水位が低下して、安全に調査が実施できるのを確認してから調査を行なった。

表-2は、雨後調査直前の降雨量の規模を示している。今回の調査流域に比較的近い大阪府箕面市内のアメダス観測ポイント(地点番号62036)の1991~2000年の10年間のデータを用いて、一雨降雨量の生起確率密度分布を作成し、それを用いて生起確率を推定した。調査期間中最大の一雨降雨量は61mmであり、その生起確率は年5回程度のものであった。

3. マイクロハビタットの特徵

(1)調査地点の水質

表-3は、定期調査において計測された水質の平均値である。CODやECが下流に向かって増加傾向にあり、

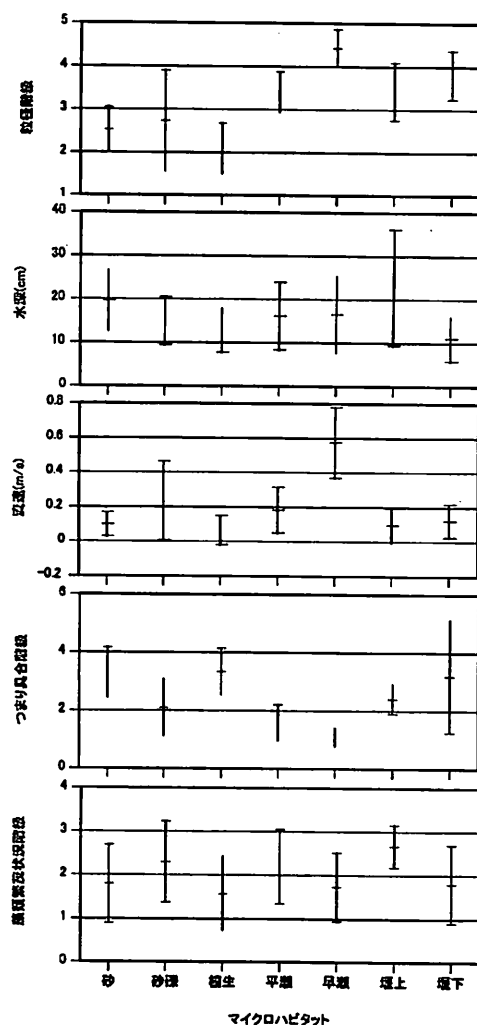


図-3 マイクロハビタットの特性

(upper bar: 平均値+標準偏差, middle bar: 平均値, lower bar: 平均値-標準偏差)

水質が低下していることがわかる。富栄養化の原因物質であるPO₄³⁻は概ね0.2mg/L未満、NO₂⁻は上流部で0.03mg/L以下、下流部で0.05mg/L以下であり、富栄養化に水質にとくに悪影響を及ぼすレベルではない。CODについては全般的に大きな値を示しており、水道水源に適さないレベルである。大阪府¹⁰⁾の実施している定期観測データを参照すると、ここ数年間の本河川のBOD年平均値は、2-1付近で1mg/L程度、2-3付近では3mg/L程度となっている。BODとCODの差異はあるが、大阪府実施の水質調査は今回の調査に比べて良好な水質となっている。この理由についてはわからない。ECは清浄な河川では100μS/cm以下とされているが、CODと同様に、下流に向かって水質が低下していることがわかる。pHについては、芥川流域の温泉がアルカリ性を示

表-4 主成分分析の主成分負荷量

要素	主成分負荷量	
	主成分№1	主成分№2 要素
詰まり具合	-0.81	-0.21
水深	-0.25	0.64
藻類繁茂	-0.23	0.75
河床粒径	0.75	0.43
流速	0.87	-0.19

表-5 主成分分析の固有値と寄与率

固有値表	固有値	寄与率	累積寄与率
主成分№1	2.1	0.42	0.42
主成分№2	1.2	0.25	0.67

すことから、全体的にややアルカリ性となったが、環境省の掲げる水道、水産一般のpH基準6.5以上8.5以下を満たしている。本研究では芥川の水質は流下方向に低下しているものの、底生無脊椎動物群集構造の空間的变化を決定するほど大きなものではないと仮定して検討を進める。

(2)マイクロハビタットの物理的特徴

図-3に、各マイクロハビタットの粒径階級値、水深、流速、詰まり具合階級値、藻類繁茂状況階級値の平均値と標準偏差を示す。4回の定期調査において、各マイクロハビタットに対して5ポイントの測定を行っており、合計20サンプルの平均値と標準偏差である。

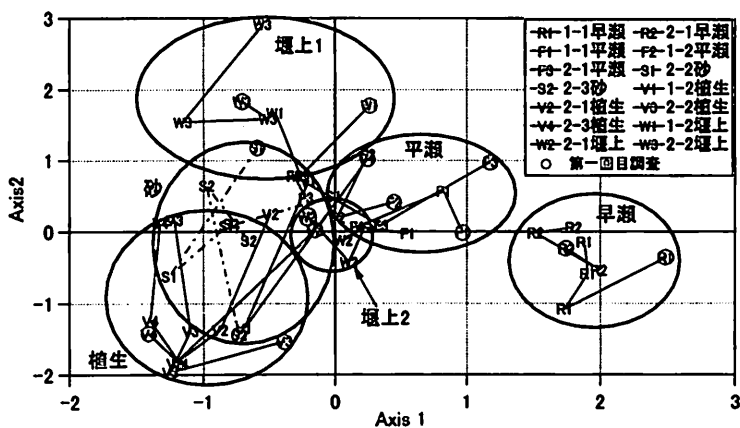
植生ハビタットは、砂ハビタットと類似したハビタットであるが、水深、流速ともに砂より幾分小さい。また、これらのハビタットの流速変動は小さい。早瀬ハビタットは、相対的に粒径と流速が大きく、詰まり具合が小さい。水深と藻類繁茂状況階級値は、他のハビタットと差異はない。平瀬ハビタットは、詰まり具合階級値の小さい、粒径階級値の比較的大きいハビタットであるが、流速と水深は砂や植生ハビタットと同程度である。砂礫ハビタットは、粒径階級値と流速、詰まり具合階級値の標準偏差が相対的に大きい。これは、場所によるバラツキ、あるいは各ハビタットの時間的な変動が大きいことを意味している。このことについては、後で示される図-4を用いて詳しく述べる。堰上ハビタットは、粒径階級値や流速の平均値から、平瀬に類似したマイクロハビタットであるといえる。水深は相対的に大きい、その標準偏差も極めて大きい。これは、堰によるバックウォーター区間であり、堰直上付近では水深は大きい、上流に向かって水深が減少していくからである。粒径が大

く、流速と詰まり具合階級値が小さいために、藻類繁茂に好適な条件となっている。堰下ハビタットは、河床の詰まり具合の変動が大きいのを除けば、平瀬ハビタットに類似した特徴を持っている。

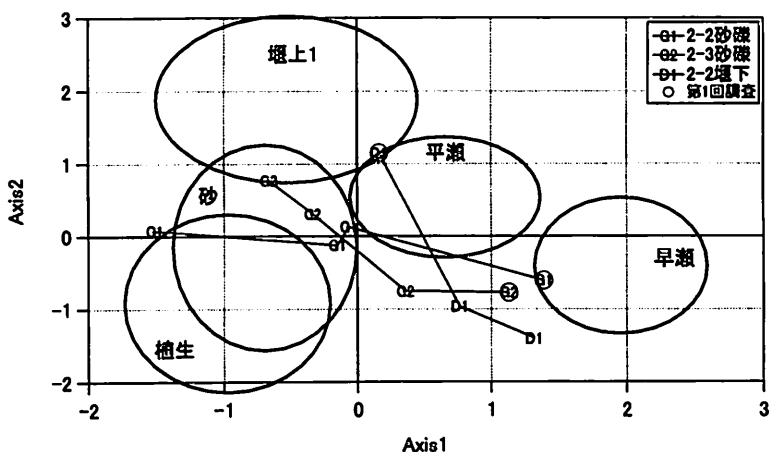
各マイクロハビタットの相対的な類似性と時間変動について調べるために、粒径階級値、水深、流速、詰まり具合階級値、藻類繁茂状況階級値を用いて、主成分分析を行なった。表-4、5は、それぞれ主成分負荷量と固有値、寄与率である。第2主成分までの累積寄与率が、約67%となっており、これら上位2つの主成分を用いて、マイクロハビタットの特性を概ね表現することが可能であることがわかる。第1主成分は、流速、粒径がプラス、河床詰まり具合がマイナスの負荷量を示しており、流速が大きいと、粒径が大きくなり、また、浮き石状態になるという、通常、河川で観察される物理的特性の様相を表示している。一方、第2主成分は、藻類、水深、河床粒径がプラスの負荷量を持っている。この成分の意味については後述する。

図-4は、各マイクロハビタットの主成分得点の散布状況とその時間変化を示している。各マイクロハビタットは実線あるいは一点鎖線で接続されており、時間変化がわかるようになっている。第1回定期調査の結果については、記号に丸印が付されている。図-4(a)は砂礫と堰下ハビタットを除くマイクロハビタットの散布状況を示している。早瀬ハビタットは、第1主成分の得点値が大きく、流速や粒径階級値が大きいポイントに分布している。一方、砂と植生ハビタットの第1主成分の値は小さい。平瀬ハビタットは、早瀬と砂ハビタット両者の中間的な性格を持っていると考えられる。調査地点2-1の堰上ハビタット(図中、堰上2の円)については、砂ハビタットに類似している。調査地点1-2、2-2の堰上ハビタット(図中、堰上1)は、第2主成分得点値が大きい。これらは、いずれも、藻類の繁茂状況階級値と水深、粒径階級値が大きな値を示していた。堰上げ背水の影響により、水深が大きく、流速が小さくなっているにも拘わらず、河床粒径が比較的大きいことで、藻類繁茂に好適な条件が得られたと考えられる。これらのことから、主成分第2軸は、水深の大きさと藻類繁茂に対する好適さを表現する軸であると判断される。各マイクロハビタットの散布位置は時間と共に変化している。

表-6は、各マイクロハビタットの主成分得点地の変動特性を示している。表中の σ_j と r_j はそれぞれ各マイクロハビタット別の2方向主成分得点について2乗平均された標準偏差と較差である。これらは次式により算出される。



(a) 早瀬, 平瀬, 砂, 植生, 堰上ハビタット



(b) 砂礫, 堰下ハビタット

図-4 マイクロハビタットの主成分得点の散布図

$$\sigma_j = \left(\frac{\sigma_{j1}^2 + \sigma_{j2}^2}{2} \right)^{1/2} \quad (1) \quad r_j = \left(\frac{r_{j1}^2 + r_{j2}^2}{2} \right)^{1/2} \quad (2)$$

ここに、 σ_{ji} ：第jマイクロハビタットにおける第i主成分得点の標準偏差、 r_{ji} ：第jマイクロハビタットにおける第i主成分得点の較差（最大値と最小値の差）である。同表より、砂礫、砂、植生ハビタットに比較して、早瀬や平瀬ハビタットの変動が小さく、安定したハビタットであることがわかる。

早瀬や平瀬ハビタットの変化の程度は、砂や植生ハビタットに比較して小さいことから、小さな洪水擾乱に対して安定したハビタットであると考えられる。

図-4(b)には、砂礫ハビタットと堰下ハビタットの散布図を示している。砂礫のプロット点は時間とともに大きく変化しており、早瀬に類似したハビタットから、砂ハビタットに近いものへと大きく変化している。

表-6 各マイクロハビタットの変動特性

	1-1 早瀬	2-1 早瀬	1-1 平瀬	1-2 平瀬	2-1 平瀬	—
σ_j	0.37	0.23	0.32	0.38	0.56	—
r_j	0.85	0.54	0.70	0.70	1.23	—
	1-2 堰上	2-1 堰上	2-2 堰上	1-2 堰下	2-2 砂礫	2-3 砂礫
σ_j	0.47	0.23	0.50	1.05	0.87	0.79
r_j	0.87	1.07	1.98	1.98	2.12	1.67
	2-2 砂	2-3 砂	1-2 植生	2-1 植生	2-2 植生	2-3 植生
σ_j	0.65	0.63	0.97	0.80	0.72	0.61
r_j	1.55	1.49	1.80	1.66	1.62	1.40

表一 生活型の特徴と採集された主な種

生活型	特徴	採集された主な種
遊泳型	主に遊泳して移動する	コカゲロウ属(<i>Baetis leach</i>), チラカゲロウ属(<i>Isorychnia eaton</i>)
匍匐型	石の表面などを歩いて移動する	ヒメドロムシ(<i>Elmidae</i>), トゲマダラカゲロウ(<i>Drumella needham</i>), ヒメトビイロカゲロウ(<i>Choroterpes eaton</i>)
造網型	糸を用いて網を張り、餌を濾し取る	シマトビケラ(<i>Hydropsyche</i>), ヒゲナガカワトビケラ(<i>Stenopsychidae</i>)
携巣型	石や落ち葉で巣を作り、巣ごと移動する	ヒメトビケラ(<i>Hydropsyche</i>), カクツツトビケラ(<i>Lepidastomatidae</i>)
掘潜型	砂や泥の中に潜って住んでいる	ユスリカ(<i>Chironomidae</i>), モンカゲロウ(<i>Ephemera strigata</i>)
固着型	石表面に固着し、あまり移動しない	ブユ(<i>Simuliidae</i>)
滑走型	体は扁平で石表面を滑るように移動する	タニガワカゲロウ(<i>Ecdyonurus eaton</i>), ヒラタカゲロウ(<i>Epeorus eaton</i>)

砂礫ハビタットの基本的な特徴は、レキと砂が混在していることであるが、第1回目調査においては、レキの比率が大きく、詰まり具合も低かった。調査が進むにつれて、レキが砂に埋もれていくことで、第1主成分の得点が低下していったと考えられる。堰下ハビタットは、早瀬と平瀬ハビタットに類似したものであるが、散布位置は砂礫ハビタットとは逆方向に変動している。

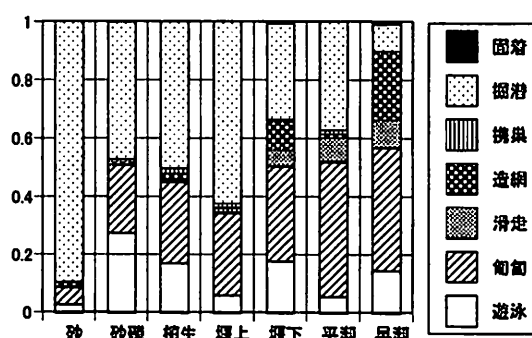
4. 底生無脊椎動物群集

(1) 調査区間全体の生活型別個体数の変動

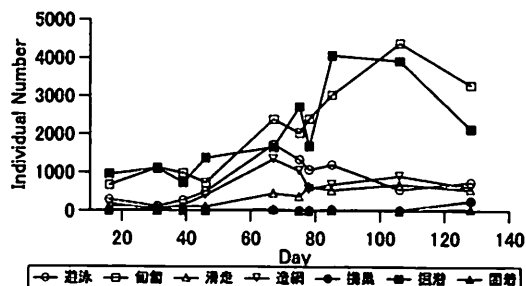
全10回の調査の結果、計57526個体の底生無脊椎動物サンプルを得た。カゲロウ、トビケラ、カワゲラについては属まで、その他は科まで同定した結果、58種類となった。

表一に示した生活型についてグループ分けした。生活型の判別には、竹門¹¹⁾、Merritt et al.⁹⁾を参考にした。同表中に各生活型の特徴と本調査において採集された主要な種を示した。

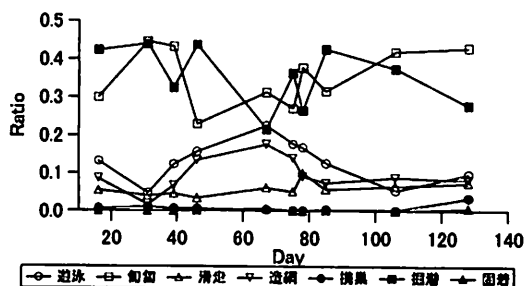
図一5は、全てのサンプルのマイクロハビタット別の各生活型の出現個体数割合である。造網型は早瀬や堰下ハビタットで多く採集されるが、その他のハビタットではほとんど採集されない。これは造網型が強いハビタット選好性を持つことを表している。遊泳型は砂ハビタットを除いて、偏りなく採集されていることから、選好性が比較的弱いと考えられる。物理的特性に対する選好性を検討するために、流速が大きく、河床粒径が大きい早瀬と平瀬ハビタットと、反対の傾向の植生と砂ハビタットの生活型割合を比較する。造網型、滑走型、匍匐型が高流速・大河床粒径を選好するのに対して、掘潜型が低流速・小粒径を選好することがわかる。



図一5 各マイクロハビタットの生活型別出現個体数割合



(a) 個体数



(b) 個体数割合

図一6 生活型別個体数と個体数割合の変動

図-6(a)に、調査区間全体の各生活型の出現個体数の時間変動に示す。調査期間を通して、匍匐型と掘潜型が多いが、これらの生活型は、第4回調査から第8回調査にかけて増加している。遊泳型と造網型は、第3回から第5回にかけて増加し、その後は減少している。いずれの生活型の個体数も、第8回調査以降は概ね安定している。

図-6(b)は、各調査回で採集された生活型別個体数を、各調査回の採集総個体数で除した個体数割合の時間変化である。この生活型割合の時系列を用いて、相関分析を行ったところ、遊泳型-造網型間に正の相関(相関係数0.84, 有意水準1%), 匍匐型-遊泳型間に負の相関(相関係数-0.68, 有意水準5%), 匍匐型-造網型間に負の相関(相関係数-0.70, 有意水準5%), 掘潜型-滑走型間に負の相関(相関係数-0.64, 有意水準5%)がそれぞれ得られた。遊泳型と造網型の個体数割合が、第3回から第5回調査にかけて増加し、その後に減少していることがわかる。匍匐型と造網型のハビタット選好性は類似していることが、それにも拘わらず両者は逆位相で変動している。造網型と滑走型についても類似した選好性をもつと考えられるが、両者の変動特性も異なっている。一方、遊泳型は明瞭なハビタット選好性が認められないが、造網型と同位相で変動している。このように、調査区間全体の生活型別個体数割合の変動は、ハビタット選好性だけでは説明できないものがある。匍匐型、造網型、遊泳型の60日程度の時間スケールの大きな変動は、調査期間中で最大降雨の直後に実施した第3回以降に始まっていることや季節変動とするには変動の時間スケールが短いことから、この降雨による洪水擾乱によるものであると推測される。

(2) マイクロハビタット内の生活型別個体数割合

各マイクロハビタット内の生活型別個体数割合間の相関係数を次式により計算した。

$$C(m, n) = \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (r_{jkm} - \bar{r}_m)(r_{jkn} - \bar{r}_n) / NA}{\sigma_m \sigma_n} \quad (3)$$

ここに、 $C(m, n)$: 第 m 生活型と第 n 生活型の間の相関

係数、 K : 全調査回数、 J : マイクロハビタットの総数、 r_{jkm} : 第 j マイクロハビタット、第 k 回調査、第 m 生活型の個体数割合である。また、 $NA = J \times K$,

$$\bar{r}_m = \frac{1}{NA} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K r_{jkm}, \quad \bar{r}_n = \frac{1}{NA} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K r_{jkn},$$

$$\sigma_m = \left[\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (r_{jkm} - \bar{r}_m)^2 / (NA - 1) \right]^{1/2} \text{である。}$$

表-8は、生活型間の相関係数とその有意水準を示している。固着型については、採集された個体数が少なかったため除外している。同図中には、調査区間全体の生活型個体数割合の相関係数を併せて示している。図-7は、1-1早瀬、1-2平瀬、2-2砂礫の3つのハビタット内での生活型別個体数割合の変動である。これを参考に表-7を考察する。掘潜型は、匍匐型、滑走型、造網型に対して、有意な負の相関を持つ。図-7(c)で示しているとおり、この砂礫ハビタットでは、匍匐型優占から掘潜型優占へと移行している。このことは、図-4(b)において、このハビタットの第1軸の得点がマイナス方向へ移動していることに対応している。従って、掘潜型-匍匐型間の逆位相の変動は、掘潜型が匍匐型と逆のハビタット選好性を持つこととマイクロハビタットの物理的特性の変動によって説明できると考えられる。掘潜型-滑走型間、掘潜型-造網型の負の相関、匍匐型-滑走型間、造網型-滑走型間の正の相関についても、同様に、ハビタット選好性とマイクロハビタットの物理的特性の変動によって説明できると考えられる。

造網型-匍匐型間には、図-6において逆位相の変動が観られた。また、図-7(a)のように、1-1早瀬ハビタットにおいて、これらの生活型は逆位相の変動傾向が認められる。それにも拘わらず、表-7のようにハビタット内では有意な相関が得られないのは、造網型が早瀬ハビタットを除いて、ほとんど採集されなかったからである。これらの生活型が類似したハビタット選好性をもつこと、図-4で示したように、早瀬ハビタットの物理的特性の変動が小さいことを勘案すれば、この早瀬ハ

表-8 生活型個体数割合の相関

	遊泳型	匍匐型	滑走型	造網型	携巣型
匍匐型	-0.20 ** (-)	—			
滑走型	0.12	0.29 **	—		
造網型	0.16 *(+)	0.04 (-)	0.23 **	—	
携巣型	-0.07	0.12	-0.07	-0.05	—
掘潜型	-0.32 **	-0.72 **	-0.52 **(-)	-0.42 **	-0.11

有意水準 **1% * 5%, (+), (-): 図-6においてそれぞれ有意な正の相関関係、負の相関関係が認められたもの

ビタットの逆位相の変動は、第3回調査直前の降雨擾乱の影響を表しているものと考えられる。

一方、遊泳型—匍匐型間、遊泳型—掘潜型間の負の相関、遊泳型—造網型間の正の相関は、遊泳型が明確なハビタット選好性が認められないことから、ハビタットの物理的変動によっては説明できない。

次に、各マイクロハビタットの生活型別個体数割合の時系列に主成分分析を適用した。表-9、10は主成分負荷量と固有値、寄与率である。第2主成分までの累積寄与率は60%弱であり、この2つの主成分によって生活型構成が概ね表示できることが確認される。第1主成分の負荷量は、掘潜型のみ負値、匍匐型、滑走型、造網型、遊泳型が正值となっている。この関係は、表-7の相関表における掘潜型とこれら四生活型との関係と同じである。第1主成分は、ハビタットの物理的特性に対する選好性を表示していると判断される。一方、第2主成分の負荷量は、遊泳型、造網型が正值、匍匐型、携巢型が負値である。図-6より、正の負荷量を示した二つの生活型はいずれも第3回調査以降増加し、その後減少しており、負の負荷量を示した生活型は概ね逆の位相の変動を示している。こうしたことから、この第2主成分は、第3回調査直前降雨による洪水擾乱に対する応答様式を表していると考えられる。

図-8に、調査回別、マイクロハビタット別の主成分得点の散布図を示す。図中には、各ハビタットのプロット点を概ね包含する実線の楕円が描かれている。早瀬ハビタットは、第1主成分について比較的大きい得点を持っているが、これは、高流速、大河床粒径といったハビタットを嗜好する生活型が多いことを表している。また、第2軸についても、早瀬ハビタットのプロット点は、概ね正值を有しており、降雨擾乱に対して一時増加するような滑走型や造網型が多いことを表している。

表-9 主成分分析の主成分負荷量

要素	主成分負荷量	
	主成分№1	主成分№2
遊泳	0.26	0.73
匍匐	0.71	-0.58
滑走	0.69	0.11
造網	0.51	0.42
携巢	0.08	-0.49
掘潜	-0.96	0.03

表-10 主成分分析の固有値と寄与率

固有値表	固有値	寄与率	累積寄与率
主成分№1	2.2	0.37	0.37
主成分№2	1.3	0.22	0.59

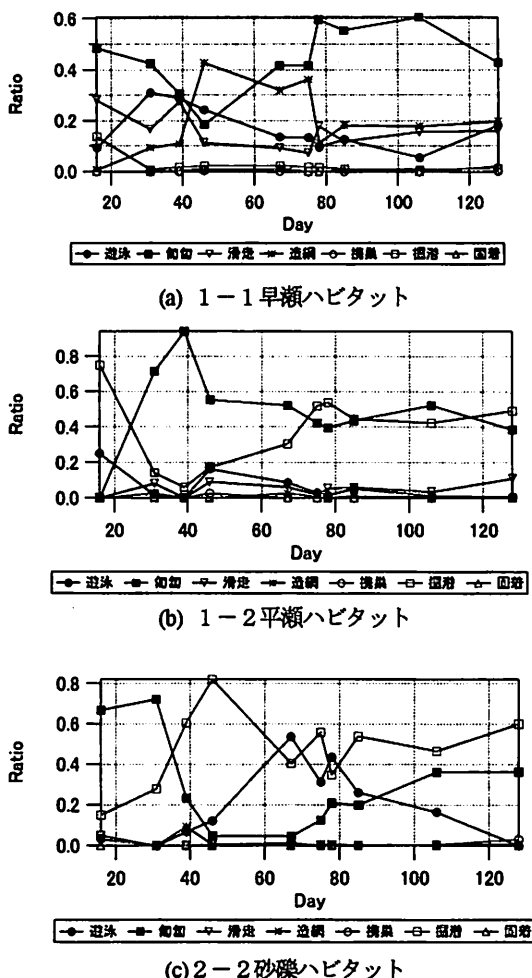


図-7 ハビタット内の生活型別個体数割合の変動

(AXIS1,AXIS2) =(1.8,2.5)付近を中心とする小円は、造網型と滑走型が優占するサンプルであることを示している。1-1 早瀬ハビタットにおける生活型構成は、第2軸の方向に大きく変動している。これは、降雨擾乱に対する応答特性が異なる生活型構成に変化していることを意味する。ハビタットの物理的特性への選好性に関する変動が小さいのは、図-4(a)において示したように、早瀬ハビタットの物理的特性の変動が比較的小さいからである。砂ハビタットの生活型構成は、第1主成分についてはマイナスの得点をもっているが、これは小流速、小河床粒径を嗜好する掘潜型が優占しているからである。洪水擾乱に対する応答が明確でない掘潜型が優占することにより、第2主成分得点は概ね0付近に分布している。平瀬と砂礫ハビタットの生活型構成は、砂ハビタットのプロット領域と早瀬ハビタットのそれとの中間的なものであることがわかる。時間変動が非常に大きく、早瀬ハビタットに類似した生活型構成と、砂ハビタットに類似

した構成との間で、第1主成分方向に大きく変動している。図-8(b)に植生ハビタットで採集されたサンプルの生活型構成の時間変化を示す。下流の2-2、2-3地点の植生ハビタットで採集されたサンプルの大半は、砂ハビタットと同じ掘潜型優占となっている。2-3植生で第1象限と第4象限にプロットされているサンプルがある。(AXIS1,AXIS2)=(0.7,4.2)のサンプルでは遊泳型が、(AXIS1,AXIS2)=(1.2,-1.8)のサンプルでは匍匐型が優占していた。1-2植生と2-1植生ハビタットは、(AXIS1,AXIS2)=(0,0)付近に集中しているが、1-1早瀬ハビタットと同様に、第2主成分方向に変動している。これらの植生ハビタットは、洪水擾乱による改変は小さいものの、待避所として利用される⁹⁾ことで、生活型構成が変動していると考えられる。図-8(c)に堰上ハビタットと堰下ハビタットで採集されたサンプルの散布位置を示す。堰下ハビタットの生活型構成は早瀬あるいは平瀬ハビタットで採集されたものに類似している。第2主成分方向の変動が顕著であり、ハビタット物理特性の変動より降雨擾乱の影響が大きいことがわかる。

図-9は、主要なハビタットの主成分得点の散布状況と変動パターンをまとめたものである。図中には、造網滑走型優占、遊泳型優占、掘潜型優占サンプルの位置を小円で示している。既述の通り、第1主成分は、ハビタットの物理特性の選好性を示しており、高流速・大河床粒径を選好する造網型、滑走型優占と反対の選好性を示す掘潜型優占との間の変動を表す軸である。変動パターンAはこの軸に沿う変動であり、図-4で示したマイクロハビタットの主成分得点散布図の第1主成分方向の変動に対応するものであると考えられる。例えば、図-4において、第1主成分軸方向に大きく変動した砂礫ハビタットでは、図-9の第1主成分方向の変動が大きくなっている。第2主成分方向の変動を示すパターンBは、匍匐型と遊泳型、造網型、滑走型との間の変動を示す軸である。既述の通り、この軸は、降雨擾乱に対する応答の様式を表している。早瀬ハビタットや植生ハビタットでは、小降雨ではハビタット物理特性の変動は小さく、パターンAの変動は小さい。このような場合に、パターンBのような生活型構成の変動が現れると考えられる。

表-11に、図-8に示した群集構造の主成分得点と図-4で示したマイクロハビタットの主成分得点との相関係数を示す。物理特性の主成分得点と群集構造の主成分得点との間には、第1主成分間に正の相関係数(相関係数0.68, 有意水準1%)が、物理特性の第2主成分と群集構造の第1主成分間には正の相関係数(相関係数0.31, 有意水準5%)が認められる。無脊椎動物群集構造の変動が、ハビタットの物理特性の変動に強く影響されていることがわかる。また、第2主成分間には負の相

表-11 群集構造と物理特性の相関関係

物理的特性	無脊椎動物群集構造	
	主成分№1	主成分№2
	主成分№1	主成分№2
	0.68**	-0.13
	0.31*	-0.27*

有意水準 **: 1%, *: 5%

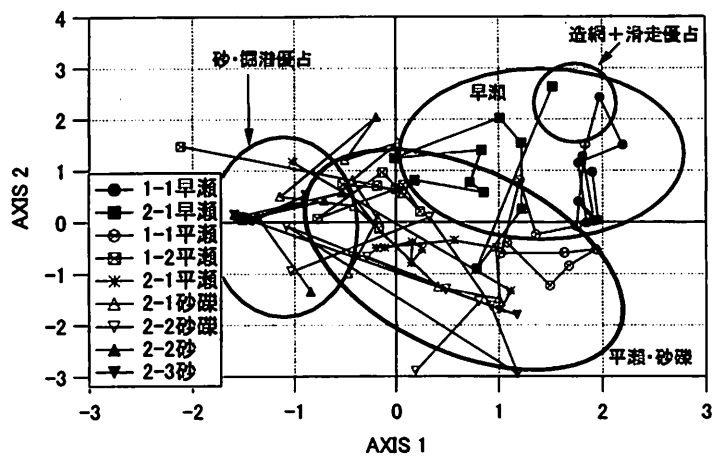
関係数(相関係数-0.27, 有意水準5%)が得られた。既述の通り、群集構造の第2主成分は、調査期間中の最大降雨の影響を、物理特性の第2主成分は、藻類繁茂状況を示している。比較的大きい降雨により、藻類繁茂カテゴリーが低下、それによって礫などの表面を利用する造網型が増加するといった関係を表示していると考えられる。

5. 結論

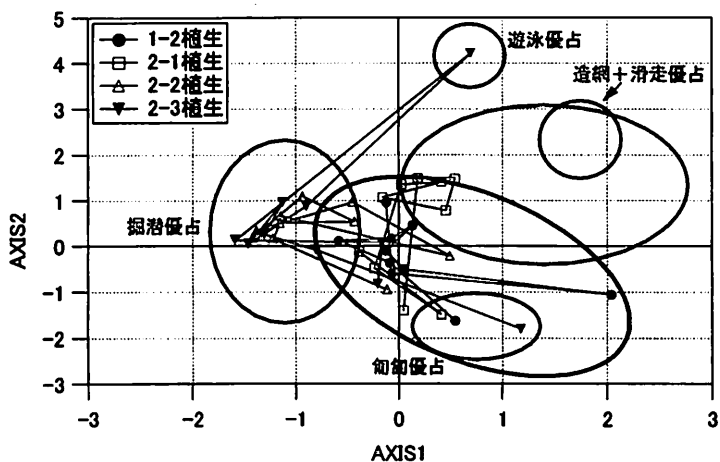
本研究では、淀川下流域の一次支流である芥川において現地調査を行い、マイクロハビタットと底生無脊椎動物群集構造に及ぼす小規模降雨の影響について検討した。調査期間中に生じた最大降雨の規模は、1/5年程度のリターンピリオドであった。早瀬、平瀬、砂礫、砂、植生、堰上、堰下の7つのマイクロハビタットタイプから、約58,000個体、58種の底生無脊椎動物を採集した。

主成分分析により、マイクロハビタットの物理的特性が、流速、河床の粒径と詰まり具合の程度を表示する軸と、水深と藻類の繁茂状況を表示する軸の2軸によって概ね表現できることがわかった。同様に、各マイクロハビタットの底生無脊椎動物群集の生活型構成は、ハビタット物理的特性に対する選好性を表現する軸と、小洪水に対する応答特性を示す軸によって2次的に表現されることがわかった。小洪水擾乱によって、マイクロハビタットの物理的特性が変動するハビタットでは、前者の軸に沿って、また、物理的特性の変動が小さい場合には、後者の軸に沿って生活型構成が変化することを明らかにした。

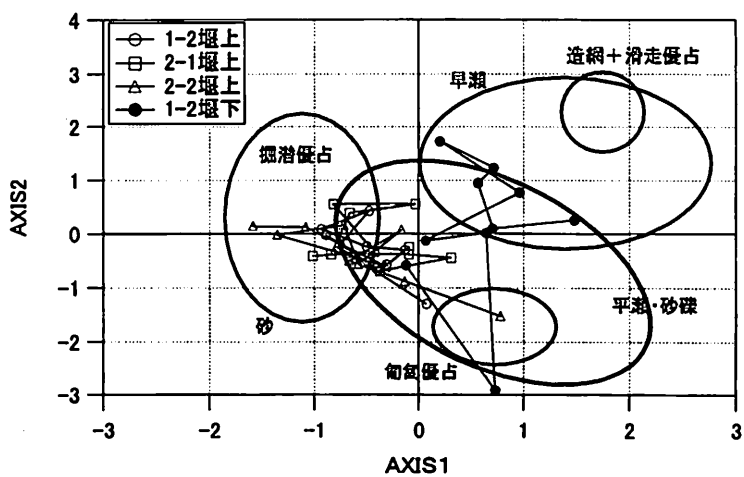
本研究では、小降雨によるマイクロハビタットの変動に注目していることから、比較的短い調査期間とした。より大きな規模の降雨事象のマイクロハビタットや群集構造に及ぼす影響については、別途検討が必要であることはいうまでもない。また、ここでは水質の底生無脊椎動物群集に及ぼす影響については十分検討しなかった。これらの問題点については、今後の検討課題としたい。



(a) 早瀬・平瀬 砂礫・砂ハビタット



(b) 植生ハビタット



(c) 堰上・堰下ハビタット

図-8 無脊椎動物群集サンプルの主成分得点の散布図

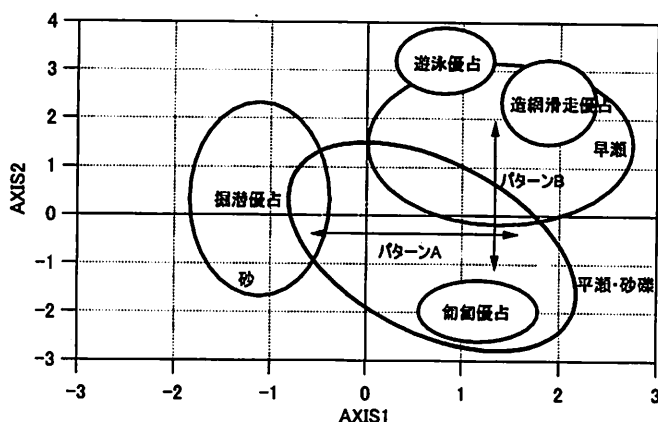


図-9 生活型割合の主成分得点散布と変動の状況

参考文献

- 1) Lake, P. S. (2000) : Disturbance, patchiness and diversity in streams, J. of the North American Benthological Society, 19, pp.573-592..
- 2) Lancaster, J and Hildrew, A.G. (1993) : Characterizing in-stream flow refugia, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 50, pp.1663-1675.
- 3) Negishi, J.N., Inoue, N. and Nunokawa, M. (2002) : Effects of channelisation on stream habitat in relation to a spate and flow refugia for macroinvertebrates in north Japan, Freshwater Biology, 47, 99.1515-1529.
- 4) 加賀屋隆(2005) : 自然的攪乱・人為的インパクトに対する底生動物の応答特性 : 出水が底生動物に及ぼす影響, 小倉紀雄, 山本晃一編, 自然的攪乱・人為的インパクトと河川生態系, 7章, pp.259-282., 技報堂出版.
- 5) Merritt R.W. and Cummins K.W.(1996) : An introduction of the aquatic insects of north america, 3rd edn., Kendall Hunt.
- 6) M.Tamai, T. Fujisawa and N. Uenoyama (2005) : Freshwater invertebrate community structure in a small urban river, Environmental Hydraulics and Sustainable Water Management, Vol.1, pp.933-938.
- 7) 水野信彦, 御勢久右衛門(1993) : 河川の生態学, 1. 河川の概要, pp.4-13, 築地書館
- 8) Karr, J.K. (1999) : Defining and measuring river health, Freshwater Biology 41: 221-234.
- 9) 丸山博紀, 高井幹夫(2000) : 原色川虫図鑑, 全国農村教育協会.
- 10) 大阪府環境農林水産部環境管理課(2005) : 大阪府環境白書, かんぼう.
- 11) 竹門康弘(2005) : 底生動物の生活型と接触機能群による河川生態系評価, 日本生態学会誌, Vol.55, pp189-197.

(2010.5.21受付)

FLUCTUATIONS OF MICROHABITAT CHARACTERISTICS AND OF BENTHIC MACROINVERTEBRATE COMMUNITY STRUCTURES IN A URBAN RIVER

Masahiro TAMAI and Naoki UENOYAMA

Although responses of benthic macroinvertebrate community structures to flood disturbances strongly depend on flood severity, relationships between the flood severity and the response have never been clarified so far. In this study, field investigations were carried out in the Akuta River which is a tributary of the Yodo River to clarify influences of relatively small rainfall events on benthic macroinvertebrate community structures and on microhabitats. Benthic macroinvertebrates were sampled in 7 types of microhabitats and about 58,000 individuals or 58 species of macroinvertebrates were collected. The responses of the habit type structures and microhabitats to the rainfall events were analyzed by using the Principle Components Analysis. The relationship between fluctuations of microhabitat characteristics and those of habit type structures was also examined.