

博士論文（要約）

河川底生動物の空間分布を決定する
河床単位スケールの効果

加賀谷 隆

事由：本論文は全章にわたり、学術雑誌論文として出版する計画のある内容が含まれているため、全文について公表できない。これらの内容は5年以内に出版する予定である。

河川底生動物の分布パターンを決定する要因は、流域 (>数 10 km) や流程 (上流 vs 下流; (~数 km)) といった比較的大きな空間スケールや、ひとつの瀬の中の微生物場といった小さい空間スケール (~数 10 cm) においては理解が進んでいる。それに対し、中間的な空間スケールである河床単位 (早瀬, 平瀬, 淵; 数 m~数 10 m) における分布パターンの形成機構については理解が不十分である。従来は, 同一河川区間 (数 100 m~1,000 m) 内の限られた範囲に存在する早瀬と平瀬の間の生息密度の違い, あるいは個々の早瀬の間の生息密度の違いは, それぞれの河床単位における微生物場スケールの物理環境 (流速などの水理環境や河床底質) の総和に帰着して説明されることが多かった。しかし, ひとつの河床単位は, 個々の微生物場が単純に相加的に集積されたものではなく, 微生物場の構成や配置といった「河床景観」と称すべき固有の特性を有する。

本研究は, 河川底生動物の空間分布を決定する, 河床単位スケールの効果を明らかにすることを目的とする。

2章では, 河川底生動物の河床単位間における空間分布を検討するにあたり, ①それよりも大きな空間スケール (水系内河川区間間) における底生動物の空間分布を明らかにするとともに, ②小さな空間スケール (河床単位内微生物場間) における底生動物の空間分布を決定する要因として, 葉リターの樹種の効果を検討した。第一に, 多摩川水系におけるトビケラ類の標高, 河川規模に関する分布を明らかにした。底生動物の流程分布 (1本の川の上下流軸における分布) の知見は多いが, 水系網のなかで, 標高と河川規模の2軸における分布を区別して示した例はほとんどない。1989~1992年に, 多摩川水系の165河川区間においてトビケラ類の採集を行い, 普通種47種について, 標高と河川規模に関する分布を明らかにした。多くの種の出現地点は, それぞれ一定範囲の標高, 河川規模の河川区間に限定されており, 標高と河川規模のいずれかの軸の限定が特に強い種が認められた。一水系内における河川区間の間の空間分布は, 主に水温の変動様式に支配されていると考えられた。

第二に, 落葉破碎食底生動物4種の樹種選択性と摂食様式を明らかにした。淵に生息する落葉破碎食底生動物のうち, カワゲラ類2種は岸際のリター堆積に, トビケラ類2種は淵の流心部のリター堆積に分布が偏ることが知られている。フサザクラの落葉は, チドリ

ノキの落葉よりも岸際に堆積する傾向が観察されていることから、樹種選択性が河床単位内の空間分布を決定している可能性がある。そこで、以下の2つの野外実験と観察を行った。(1) 1986年12月に、秩父演習林内の溪流においてフサザクラとチドリノキの枯葉を封入したリターバッグを設置し、底生動物の定着密度を比較することで、各種の樹種選択性を明らかにした。(2) 樹種選択性の相違を生じうる要因として、各種の摂食様式を比較した。カワゲラ類2種の定着密度は、チドリノキよりもフサザクラで高いのに対し、トビケラ類2種の定着密度に樹種間の差は認められなかった。カワゲラ類は削り取り型の摂食様式を示すのに対し、トビケラ類は噛み砕き型の摂食様式を示した。カワゲラ類とトビケラ類では、摂食様式の違いが樹種選好パターンの違いを生じ、それが河床単位内における空間分布の違いを生ずる一因である可能性がある。

3章では、様々な河床単位を含む同一河川区間において、底生動物各種の微生物場単位での空間分布と水理環境や底質との関係を明らかにした。1997年5月に、多摩川の550 m区間（東京都福生市永田地区）に存在する2か所の早瀬、2か所の平瀬、1か所の淵から34サンプル（ $\approx 0.1 \text{ m}^2$ ）を採取し、代表種17種の生息密度について、各サンプル（微生物場）の流速、水深、底質サイズ、礫の状態（はまり石の割合）、河床粗度から予測するモデルを構築した。調査区間は上流に取水堰が存在するために流量変動が小さく、かつ適度な濃度の栄養塩が含まれるため、底生動物各種の生息密度が高レベルに達する。多くの場合において、決定係数70%以上を示す予測性の高いモデルが得られた。区間全体では流速が、早瀬のみでみた場合には底質サイズが、底生動物の分布を決定するうえで最も重要な変数であった。

4章では、同一河川区間内の限られた範囲に存在する早瀬と平瀬の間の生息密度の違い、および個々の早瀬の間の生息密度の違いについて、微生物場スケールの効果を排除したうえで、河床単位スケールの効果が検出されるかを明らかにした。2章のサンプルのうち早瀬と平瀬における結果を用い、代表種17種について、各サンプル（微生物場）における生息密度の実測値を目的変数、2章のモデルから求めた生息密度の予測値と、早瀬・平瀬もしくは個々の早瀬を説明変数とした共分散分析を行った。早瀬・平瀬や個々の早瀬の効果、もしくはそれらと共変量の交互作用が有意であった場合、河床単位スケールの効果が検出されたものとみなした。65%の種において早瀬・平瀬間の河床単位スケールの効果が、18%の種において個々の早瀬間の河床単位スケールの効果が認められた。すなわち、河床単位における生息場好適性は、微生物場の好適性の単なる総和ではないことが示唆された。

河床単位スケール独自の好適性がどのような機構で形成されているかは不明であるが、好適な微生物場の集合度と底生動物の移動様式の関係、瀬の全体的な形状（微生物場の空間配置）、上流に連結する河床単位の特性といったものが考えられた。

5章では、早瀬の全体的形状の違いが、底生動物の生息密度や多様性に対する河床単位スケールの効果を生じるかを明らかにした。2003年5月に、多摩川の1,400 m区間（東京都あきる野市）において、形状が異なる3か所の早瀬（平行縦長型、平行横長型、狭窄型）から各10サンプル（ $\approx 0.1 \text{ m}^2$ ）を採集し、優占種23種の生息密度と群集の種数を比較した。各早瀬の微生物場における物理環境（流速、水深、底質サイズ）の平均値や範囲はほぼ同じであるが、物理環境の異なる微生物場の空間配置は早瀬間で異なる。39%の種において、平均生息密度の早瀬間における違いが認められた。微生物場における物理環境と生息密度の関係を早瀬間で比較した結果、生息密度の早瀬間の違いは微生物場スケールの物理要因に帰着できるものではなかった。底生動物群集の違いは、早瀬の形状に起因する礫の安定性、および好適な微生物場の空間配置の違いによるものと考えられる。礫列構造が主体となる平行横長型の早瀬では、多くの種で高い生息密度が示され、群集の高い多様性が示された。ただし、反復のない比較のため、早瀬間の底生動物群集の違いが早瀬の形状の違いに帰着できるかどうかは結論できなかった。

次に、早瀬の形状タイプ間の比較を行う追加調査を意図したが、多摩川水系では河床低下にともない瀬の形状の不明瞭化が進行しており、適切な調査地が得ることはできなかった。そのため、6章では、早瀬における礫列構造の有無と、底生動物群集の関係を明らかにした。2012年に、秋川の550 m区間（東京都あきる野市）において、礫列構造を主体とする早瀬1か所と礫列構造を含まない早瀬2か所から各15サンプル（ $\approx 0.1 \text{ m}^2$ ）を採集し、優占種の生息密度を比較した。個々の早瀬における15サンプルは、①早瀬全体から方形枠採集を行った5サンプル、②限られた一定範囲の物理環境から礫単位採集を行った10サンプルからなり、比較はそれぞれ別に行った。①は微生物場スケールと河床単位スケールの効果を共に反映するもの、②は河床単位スケール効果のみを反映するものとみなした。①では優占種47種のうち、31%の種において平均生息密度の早瀬間における違いが認められ、そのうち47%の種は礫列構造を主体とする瀬で生息密度が高かった。②では優占種22種のうち、46%の種において平均生息密度の早瀬間における違いが認められ、そのうち70%の種は礫列構造を主体とする瀬で生息密度が高かった。早瀬間の生息密度の違いを決定するうえで、河床単位スケールの相対的重要度は平均73%と評価された。以上よ

り、早瀬における礫列構造の存在は、底生動物の生息密度を高めることが示されるとともに、河床単位スケールの効果を構成する重要な要因であることが示唆された。

本論文では、河川底生動物の空間分布を決定するうえで、河床単位スケール独自の効果が存在することを示した。河床単位スケール独自の効果として、早瀬の形状や礫列構造の有無の重要性が示唆された。微生物場の構成や配置の効果が生じる機構として、底生動物の河床単位内における移動様式は重要であるが知見に乏しい。野外における実験的検証や、移動に関する観察を蓄積する必要がある。早瀬の形状は土砂動態によって決定され、礫列構造の形成は河床低下や取水堰の存在により妨げられる。本研究の成果は、河川の生態系管理において有益な知見をあたえるものである。