

報告番号	甲 第 11876 号
------	-------------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 河川水系を一貫した物理場・物質循環・生態系統合解析モデルの開発
(Development of Integrated Model of Hydraulics, Material Cycle and Ecosystem along a River)

氏 名 溝口 裕太

論 文 内 容 の 要 旨

河川生態系は、山間地域や扇状地、自然堤防帯、感潮域といった流程方向にダイナミックに遷り変わる景観変化に加えて、上流から輸送される水・物質の質や量に大きく依存した、特徴的な生物群集や物質循環を有しており、これらは河川連続体仮説として概念的に記述されている。

例えば、川幅が狭く水面への日射の透過が河畔林に遮られる河川上流域では、付着藻類による有機物生産が水域内で期待できないものの、河畔林から落葉・落枝などが供給され、この外来性有機物に依存した水圏生態系が成り立っている。また、川幅が広く水深が比較的小さい河川中流域では、河床まで日射が到達し、付着藻類による一次生産が活発となることから、生物群による有機物消費と比して、藻類を主体とした有機物生産が上回ると言われる。また下流域では、水深が大きく河床への日射の到達が見込めないため、藻類による有機物生産は縮小する一方、上流部からの有機物供給に依存した腐食連鎖が卓越するようになる。これに加えて、水生生物である底生無脊椎動物群集は、餌資源である有機物の偏在に依存して、水系内に分布することが認められている。

これまでに、河川連続体仮説に立脚した水系スケールでの物質や生物の連続性や、河川生態系に関わる物理基盤、物質循環、生物相の物理・生物・化学的プロセスと、これらの相互作用系への理解など、多数の研究が実施され知見の集積が図られてきた。しかしながら、これらの成果を実河川での環境管理へ活用するには、現地モニタリングによる現象理解・解明の深化および、定量的な議論に耐えうる適切な将来推定など課題が多く、工学的

な応用を一層深めてゆくことが、流域・水系を俯瞰した河川環境管理の側面から強く期待されている。

そこで本研究では、水系スケールでの物質・エネルギーフラックスの連続性を記述するために、粒状有機物および底生無脊椎動物群集を導入し、特徴的な水域環境を対象として構築されてきた、これまでの数値解析モデルの発展的な統合を試みた。これに加えて、出水攪乱に伴う河床地形変動を取り扱うことが可能な数値解析スキームを構築し、水質汚濁や食物網解析など物質循環や生物相を対象としてきた既往の数値解析モデルでは考慮されなかった、物理基盤への河川生態系の応答性を踏まえて理解することが可能な、物理場・物質循環・生態系統合解析モデルの開発を進めた。また、河川生態系に関わる諸現象を数値解析モデルによって記述することを目的とし、河川連続体仮説に基づく粗粒有機物と底生無脊椎動物群集の流程分布および、観測データに基づく生態系代謝の再現計算に加えて、物理場の顕著な相違が確認されるダム周辺の河川を対象に、物理基盤への生物相の応答性を明らかにし、物理基盤の生態学的な機能への理解を深めた。

まず第 1 章では、河川連続体仮説に基づき、源頭部から河口域を含む河川水系を一貫して捉えることの重要性を示すとともに、水系スケールの物質循環および生態系を整理する上で不可欠な粒状有機物、底生無脊椎動物群集および生態系代謝の流程に沿った分布傾向を記述した。また、物理基盤—物質循環—生物相のサブシステムとして河川生態系が成り立つことを示し、各々の系内で完結する物理・生物・化学的プロセスと、これら系間の相互作用系を包括的に捉えることが重要であるとの立場を明らかにした。

第 2 章では、水系スケールを対象として構築した物理場・物質循環・生態系統合解析モデルの全容を物理・生物・化学的プロセスに基づき詳述した。まず、流れ場、河川地形、水温のサブユニットから構築される物理場解析モデルは、生息場および物質循環場として重要な瀬淵に代表される河川横断地形を記述するために平面 2 次元解析を基本とし、また、礫床区間を想定した河床構造解析の導入による底生無脊椎動物群集の生息環境のモデル化について論じた。次に、付着藻類、付着性従属栄養生物、動植物プランクトン、底生無脊椎動物群集、魚類を対象生物とする生物相解析モデルは、摂食機能群の 5 類型および河床生息型の 3 類型を取り扱う底生無脊椎動物群集動態モデルを中心に述べ、これらの餌資源および生息場への依存性と、魚類の捕食圧に代表されるトップダウンの影響のモデル化について詳述した。最後に、有機物(粗粒、微粒および溶存態)、リン酸態リン、窒素三態(硝酸態、亜硝酸態、アンモニア態)および溶存酸素を対象とする物質循環解析モデルについては、河畔林からの外来性有機物を粗粒有機物としてモデル化し、これらの破砕プロセスに基づく微粒有機物の生成過程を考慮することで有機物の形態変化を包括的に取り扱い、水系スケールでの有機物動態の記述を目的とした数値解析モデルを構築した。

第 3 章では、河川源頭部から河口部を含む水系スケールのモデル河川に対して、第 2 章で構築した数値解析モデルを適用し、物質循環と生物相の動態記述に焦点をあてた数値解析を実行することで、河川連続体仮説に基づく数値解析モデルの再現性の検討を行った。

粗粒有機物の解析結果より、陸域から供給された粗粒有機物は供給源近傍に堆積し、破碎食者や微生物による破碎・分解作用を受けて生成された微粒有機物として下流部へと流送されることを明らかとした。また、摂食機能群に基づく底生無脊椎動物群集は、これら餌資源の水系内での偏在に応じて優占種が遷り変ることを確認し、河川連続体仮説で指摘される生物群集の水系内での分布傾向と概ね一致することを確認した。

第4章では、現地観測に基づき生態系代謝を推定するとともに、総生産速度、生態系呼吸速度および純生態系生産速度から、河川景観に依存した代謝構造の特徴を抽出し、対象とした矢作川での傾向を明らかにした。セグメント1から2に設定した5つの観測地点における溶存酸素の連続データに基づく推定結果から、観測期間にわたって純生態系生産速度が独立栄養となる観測地点をセグメント1(礫床区間)に確認したが、対象とした観測地点の殆どは従属栄養となった。なお、河川連続体仮説によると、付着藻類が繁茂する河川中流域では独立栄養となる傾向が示される一方で、人工系の影響を強く受ける水系では、生態系呼吸の基質となる有機物負荷量の増加に伴い、従属栄養となる可能性が示唆されており、当該地点ではこの傾向が表れたものと考えられた。この他、4月下旬から10月下旬にかけての観測期間中に複数回の出水を確認したことから、生態系代謝の出水攪乱からの回復特性を分析した。ここでは、礫床区間での総生産速度と生態系呼吸速度、また、砂床区間の一次生産/呼吸比(P/R)の各値が出水後の非攪乱期の経過日数に伴って回復する傾向を示すとともに、総生産速度については付着藻類 Chl.a 量、生態系呼吸速度は強熱減量、一次生産/呼吸比(P/R)は強熱減量/付着藻類 Chl.a 量比との関係性が認められた。さらに、観測に基づき抽出された生態系代謝の流程変化を検討材料として、数値解析モデルが有する再現性や応答性の把握を進めた。数値解析による河川生態系代謝の検討において、セグメント1では独立栄養、またセグメント2では従属栄養となる流程変化を記述するとともに、純生態系生産速度の観測値をオーダーレベルで再現した。出水攪乱効果の検討では、出水に伴う純生態系生産速度の著しい低下と、その後の回復過程を数値解析により表現した。また、現地観測では礫床と比して、砂床区間での出水攪乱に対する生態系代謝の高い応答性を確認しており、この観測データと一致する解析結果となった。

第5章では、数値解析モデルの核である底生無脊椎動物動態モデルについて摂食機能群および河床生息型に基づく群集構造の推定と、魚類動態モデルの河川低次生態系への導入効果、物質循環および生物相に関するパラメータの感度分析を実施した。なお、ここでは河床物理環境に相違が認められる、ダム周辺河川を対象水域として検討を行った。まず、底生無脊椎動物群集については、生物群集の生息環境である河床構造に群集構造が依存することを詳述するとともに、観測されたダム上・下流区間での群集構造の傾向を数値解析によって表現した。他方、河川低次生態系への魚類動態モデルの導入については、これら魚類と摂餌競合の関係にあり、かつ捕食圧を受ける底生無脊椎動物群集のうち捕食者と刈取食者が、他の生物群集と比して強い影響を受けることを確認した。感度分析において、物質循環では微粒状有機物、また生物相では付着藻類、付着性従属栄養生物、底生無脊椎

動物および魚類に関係するパラメータが高感度であることを認めた。

最後に第 6 章では、各章で得られた主要な結論を示すとともに、これらを総括し、本論文の結論とした。流域からの物質負荷や、河川改修に伴う地形改変など、人為的な影響を多大に受ける河川では、原始的な河川を対象とする河川連続体仮説の適用に際して、実情を踏まえた検討の重要性が示唆された。特に、河川地形については、中規模河床形態(単列、複列砂州)と物質循環および生物相との作用系に関する、研究成果の蓄積が重要であると考えられ、これらと河川連続体仮説との統合的な議論により、河川生態系の理解の深化に繋がる可能性が示された。