

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

①研究代表者	氏 名 (ふりがな)		所 属	役 職
	根岸 淳二郎 (ねぎし じゅんじろう)		北海道大学大学院地球環境科学研究院	准教授
②研究テーマ	名称	生物多様性の相補性に基づく堤内地氾濫原水域の保全・再生優先度評価手法の開発		
	政策領域	[分野] 地域課題分野 (河川) [公募課題]	融合技術	(リモートセンシング、非破壊検査、認知行動学 等)
③研究経費 (単位: 万円)	平成27年度	平成28年度	平成29年度	総 合 計
	※端数切り捨て。 209万円	177万円	112万円	499万円
④研究者氏名 (研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)				
氏 名		所属・役職 (※平成30年3月31日現在)		
小泉 逸郎		北海道大学大学院地球環境科学研究院・准教授		
山田 浩之		北海道大学農学研究院・講師		
⑤研究の目的・目標 (申請書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)				
<p>石狩川の堤内地氾濫原水域 (後背湿地や河跡湖) は洪水時の冠水や破壊、人工的なショートカットによって形成され、陸域と水域の中間的な止水環境を有する最も生物多様性の高い生態系の一つであり、多種の生物に貴重な生息場を提供している。一方で、周辺からの栄養塩流入などの環境負荷の増加に伴う生物多様性の保全のため水域環境向上が課題であり、内水を一時貯留するなどの治水機能を向上させることが見込まれることから生態系機能と治水機能を包括的に満たす水域管理が期待される場所である。しかしながら、生物多様性の評価の観点では、複数分類群毎に情報が断片的に存在しており、そして、相補性 (地域全体の視点からの相対的重要度) に係わる評価が欠如していることによって、氾濫原水域の保全・再生優先度評価手法が確立されていない状況である。本研究は、種・遺伝子レベルの生物多様性の相補性に着目し、石狩川近傍の氾濫原水域の保全・再生における管理優先度の評価手法の開発を行うことを目的とする。</p>				

⑥研究成果

(様式 E-10と同じ内容について、具体的にかつ明確に記入下さい。)

本年度の研究目的は、①対象地域氾濫原水域の魚類群集構造の定量的な特徴付け、②水域食物網内の炭素フローの解明と窒素負荷による影響有無の評価、および③種不明イシガイ目二枚貝(前年度よりドブガイ属の一種)について種および適正な魚類宿主を特定、することとした。

野外調査および室内実験は2017年4月から10月まで行った。既存データ(河川水辺の国勢調査など)と前年度取までの得済みデータと併せて次の分析を行った。第一に、魚類についての多変量解析による群集特徴付け、第二に、炭素・窒素安定同位体比分析による主要炭素基盤資源および人為的窒素負荷の把握と補正した各魚類の栄養段階解明、そして、第三に、高密度の生息が確認された種不明のイシガイ類二枚貝について、ミトコンドリアDNA遺伝子解析による種同定および寄生宿主に対する寄生成功率の定量化を行った。

1. 氾濫原水域の魚類群集構造に関する成果

測定手法の定量性や種同定の解像度などの点でデータの質が解析に耐える十分なレベルにあると判断された石狩川本流(13地点)と氾濫原水域(31地点)の合計44地点の魚類相について各所について各種の相対優先度を算出して主成分分析に供した。データの50%のバラツキが二つの主成分軸によって説明された。第一軸によって明瞭に本流と氾濫原水域は分かれた(図1)。さらに、氾濫原水域だけに注目した場合も、そのバラツキは第一軸に沿って現れた。このことは、氾濫原水域と本流では、第一軸スコアと相関した魚類の優占度の違いに沿って、水域間で魚類群構造が著しく異なることを示唆した。

biplot of PCA scores on fish community structure in ishikari river

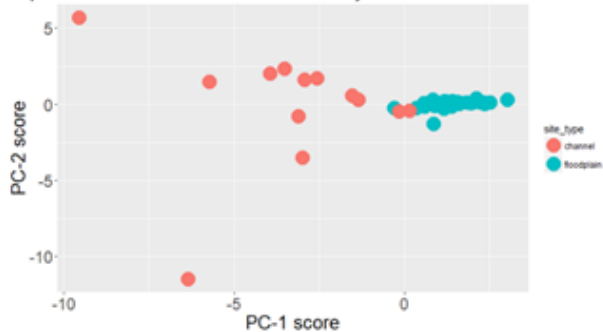


図1(左) 主成分分析によって定量化された本流(オレンジ色)と氾濫原水域(緑色)の魚類群集構造の空間変異

氾濫原水域の群集構造が主成分第一軸に対して大きな変異を示したことから、この変異を少なくするような可能性のある環境変数が当該地域の魚類相生物多様性の維持に対して重要な影響を与えると考えた。解析の結果、氾濫原水域間の主成分第一軸スコアの変異(平均値に対する絶対値のバラツキ)に対して水域の生産性の代替指標となる総クロロフィル濃度(水質汚濁の指標となると考えられるが)が負の関係を呈した(図2)。このことから次の二つの示唆が得られた。第一に、水域間の魚類群集の構造変異の程度を地域の生物多様性の指標として考えると、総クロロフィル濃度が各水域において高まるような環境変化が生じた場合、その指標値は低下することが予想される。第二に、現状の水域の保全優先度の観点から考えた場合、地域の生物多様性が最大化するためには、総クロロフィル濃度が低いレベルに維持されている各種水域の保全が重要であると考えられた。

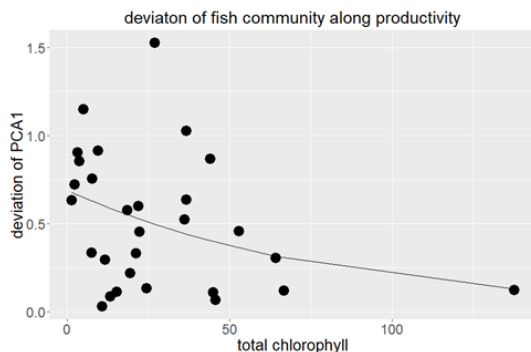


図2(左) 各水域の総クロロフィル濃度($\mu\text{g/L}$)に対する主成分第一軸の数値の変異。実線は統計的に有意な両者の関係を示す。

⑥研究成果（つづき）

2. 水域食物網内の炭素フローの解明と窒素負荷による影響に関する成果

各水域のイガイ目二枚貝と食物網の比較的上位に位置すると考えられた魚類（ナズやカムチー）の炭素安定同位体比の詳細解析から、両者は1対1の関係から大きく乖離しており（図3）、水域により炭素基盤資源が複数（少なくとも二種）存在することが示唆された。また、その乖離度は貝の値の上昇に応じて微小になった。クロフィル量と貝の炭素安定同位体比の間には強い正の関係があることから（前年度の成果）、総じて、水域の生産性が高い水域では水域内の炭素基盤資源が均質化し、底生の生物も遊泳性の栄養段階高次の生物も植物プランクトン由来の資源に強くする系へと移行することが示唆された。

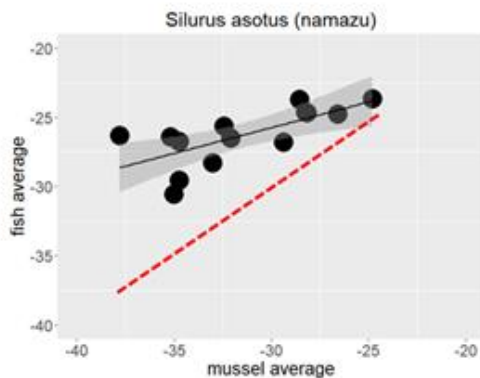


図3（左） イガイ目と魚類（ここではナズを例として）の炭素安定同位体比の関係。赤点線は両者が1対1の場合の関係を示す。実線は統計的に有意な両者の関係を示す。

実測のイガイ目の炭素安定同位体比と既往知見から得た補正式を用いて、各水域のイガイ目二枚貝の窒素安定同位体比の自然状態からの逸脱度を求めた。その値は、二枚貝の炭素安定同位体比の高い水域（クロフィル量も高いが）で、明瞭に上昇した（図4）。このことは、間接的に、生産性の高い水域では人為起源の窒素負荷の影響が多い可能性を示唆した。

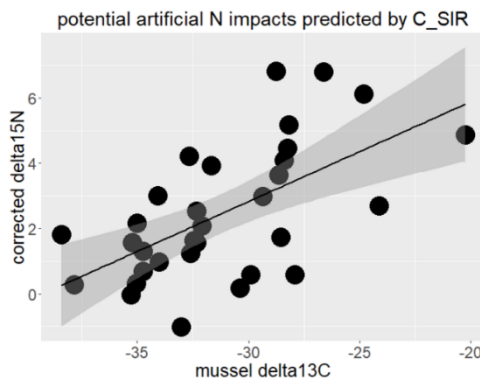


図4（左） イガイ目二枚貝の炭素安定同位体比と補正した窒素安定同位体比の関係。実線は統計的に有意な両者の関係を示す。

これらの補正式を用いて各魚種の段階を可能な限り正確に推定した（図5）。最高次の栄養段階に位置するのは、マチブやウキコリといったに食魚類であり、ナズやカムチーはかならずしも最上位には位置せず、そのバラツキの大きさから、低次の消費者を含めて多様な生物を捕食していることが示唆された。

特に後背湿地において高密度での生息が確認されたイガイ目二枚貝（前年度成果）について種を特定すべく、二つの水域で採取した当該種個体をミトコンドリアDNAのCOI領域の塩基配列を特定した。この際、先行研究により報告されているドブガイ属2種（ヌマガイとカガイ）および、フネドブガイ属3種（フネドブガイ、カトドブガイ、タドドブガイ）の配列データを用いて最尤法(ML法)に基づく分子系統樹を作成した。採集した個体は、全てフネドブガイ属のクレードに、また種レベルで見るとタドドブガイに含まれた（図6）。

⑥研究成果 (つづき)

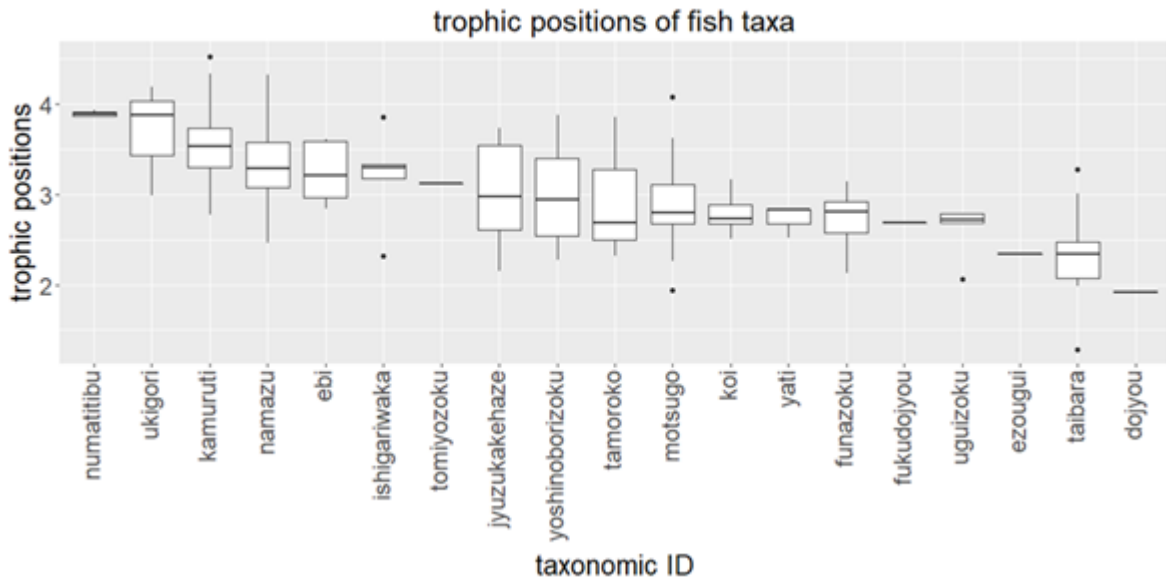


図5 補正した一次消費者(イシガイ目二枚貝)とその他水生生物の窒素安定同位体比の差分から算出した各水生生物の栄養段階を示す. マチブ(numatitibu)、ウキコリ(ukigori)、ナマス(namazu) およびカムルチ(kamuruti)

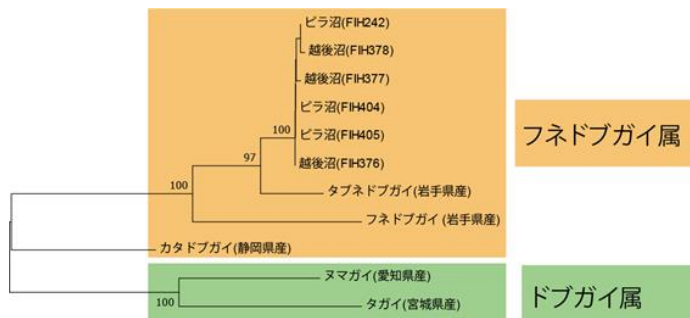
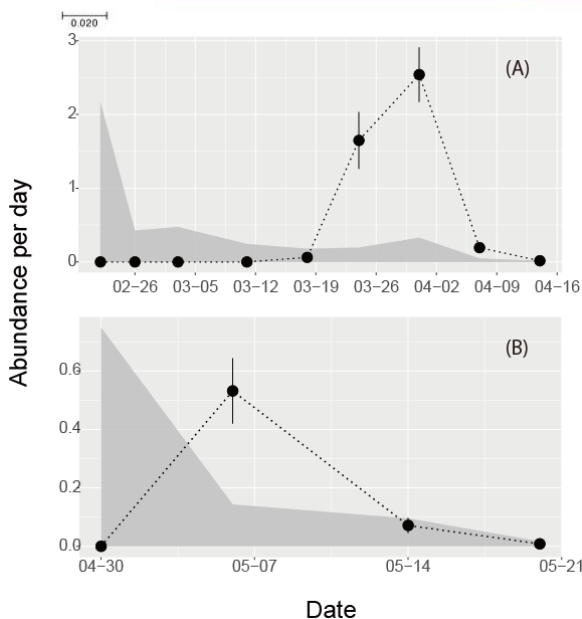


図6 (左) ミトコンドリア DNA COI 領域 658 bp に基づく分子系統樹(ML 樹). ノードの数値はブーストラップ確率を示しており、90 以下は省いた.



対象水域に現状広く分布するジュズカケゼを寄宿主魚類としてタネドブガイと判明した二枚貝の人工寄生実験を行い、その寄生生態の詳細を把握した. 冬季から春季に再生産を実施することが確認され、その寄生期間は水温依存で左右され、水温が低く寄生者への生体免疫反応の低下する3月であれば、およそ1か月後に変態成功した稚貝が宿主から脱落することが明らかになった(図7). 平均して50%の変態成功率を示し、本研究対象地で当該魚種が極めて重要な二枚貝分布の生物的要因として機能していることが示された.

図7 タネドブガイとジュズカケゼを用いた人工寄生実験において変態成功した稚貝個体数の時間変化 (A : 2月実施、B : 5月実施). 背後の灰色は変態に失敗して脱落した個体数を示す.

⑥研究成果（つづき）

まとめ

氾濫原水域が地域の水生生物多様性に対して大きな寄与をしていることが明らかになり、本水域群が適切に管理されるべきである根拠を与えた。また、氾濫原水域群内での魚類群集構造に注目した場合、生産性の上昇とともに、水域群で平均的に観察される群集へと収束していくことが示唆された。このことは、水域の植物プランクトン量の比較的低い、富栄養化の程度が小さな水域の保全の重要性を示唆した。この示唆は、食物網構造の水質栄養化に対する応答にも関係性を有しており、栄養化の進んだ水域では食物網の炭素基盤資源が均質化した。補正した二枚貝の窒素安定同位体比からは、このような栄養化が人為的な窒素流入の影響である可能性が示唆された。タゴトブガイが選好するのも、栄養化の程度が比較的低い水域であり、栄養化程度の小さな水域保全が本対象地域の水域生物の地域レベルでの生物多様性保全に重要である可能性が示唆された。なぜ、タゴトブガイ等の特徴的な生物が栄養化の程度の低い水域で生息できるのかの機構解明が今後の対象地域の水域保全対策を具体化する上での重要な研究課題である。

3年間で、水域生物の食物網の基盤や構造を解明した。周辺土地利用からの水質劣化、そしてその食物網への影響が想定されたが、そのような単純な機構で生物相への影響が波及するのではない可能性も示唆された。また、後背湿地に代表されるような成因に基づいた物理構造が、底生動物分布や食物網の栄養基盤の特徴に影響を与えていることが示唆された。今後の管理・保全事業においては、物理的に構造に変化を及ぼすなど、水域の形を変える作業あるいは触らず放置するといった選択肢を選ぶことが必要になろう。ここで得られた知見は、石狩川氾濫原水域の自然環境保全に配慮した事業効果の予測精度の向上に大きく寄与すると期待される。

⑦研究成果の発表状況

書籍出版

『北のウェットランド』北大出版会 第10章『底生動物と湿地環境』根岸淳二郎・三浦一輝

研究発表（口頭発表）

Are freshwater unionid mussels ecological indicator in floodplain lakes? 朱夢鈴・根岸淳二郎・三浦一輝・泉北斗 第64回日本生態学会（2017年3月、東京）

Aquatic food-web structure in floodplain waterbodies in relation to nutrient pollution, ecosystem size, and invasive species. JN Negishi, M Zhu, K Miura ISE2018（2018年8月、東京）

Flexible resource usage of unionoid mussels reveals a convergence of dietary carbon pathways in eutrophic floodplain aquatic food webs. JN Negishi, M Zhu, K Miura Freshwater Mollusk Conservation Society International meeting（2018年9月、Verbania, Italy）

学術論文投稿（受理）

Chestnut goby, *Gymnogobius castaneus* (O' Shaughnessy 1875), as a suitable host of *Anemina arcaeformis* (Heude 1877) in floodplain waterbodies, Hokkaido, Northern Japan. JN Negishi, K Miura, H Izumi, Y Negishi *Limnology* (in press)

学術論文投稿（査読通過後修正中）

Eutrophication drives a convergence of dietary carbon pathways in floodplain aquatic food webs. JN Negishi, M Zhu, K Miura. *Aquatic Sciences*.

⑧研究成果の社会への情報発信

（ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。）

現在のところ特になし

⑨表彰、受領歴

(単なる成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

該当なし

⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や河川政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

第一に、氾濫原水域の魚類群集構造は本流域のそれとは異なり、その保全は石狩川低地帯の魚類群集多様性保全に対して極めて重要である。主成分軸スコアと強い関係を有した魚類分類群を特定することで、氾濫原水域の重要性が種レベルでより具体化できる。第二に、総クロロフィル量とTNやTPは統計的に有意な関係を示さず、人為的栄養塩負荷による影響とそれに関わる詳細な機構については、さらなる研究が必要である。たとえば、脱窒によって窒素は大気中に放出され、この過程によっても生態系内に存在する窒素の安定同位体比の値は上昇する。また、水中の窒素やリンの現存量が単純に線形関係を有してクロロフィル量に反映されるとは限らない。第三に、今回測定した多くの雑食性魚類よりも比較的低次に位置すると思われるその他生物（たとえば水生昆虫などの底生動物）などの安定同位体比を取得することでより詳細な食物網の現状が理解できるであろう。第四に、ジュズカケハゼは多く場所で確認される普通種である一方でそれを好適な宿主とするフナブガイが後背湿地に集中的に分布したことを考えると、イシガイ科二枚貝の生息分布に影響を与える未計測の強い環境要因の存在が推察された。今後、この要因の特定が当該地域の生物相の多様性や成り立ちを理解する上で極めて重要である。最後に、イシガイ科二枚貝の夏繁殖2種について絶滅負荷が示唆され、水域を現状のまま維持しても、生物生息環境が時間とともに劣化していく可能性が示唆された。この過程のモニタリングや詳細な機構把握が急務である。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、河川政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

現在、北海道開発局では、石狩川下流自然再生計画書に基づく将来事業計画を検討中である。本研究で開発される評価指標はこれまで対象地域に対して検討されたことはなく、社会的ニーズに大きく応えるものである。

相補性に配慮した多分類群の地域レベルでの種多様性保全を考えた場合、それぞれの分類群にとって保全優占度の傾度に合わせて各水域を得点化することが有効であろう。例えば、水鳥に関して、現状で種多様性あるいは利用個体数が多い水域とその周辺環境を保全することは最優先事項であり、その水域には高いスコアが与えられよう。この上で、複数分類群のスコアの合算をしたうえで、各水域の総合評価軸が完成する。基本的にこのスコアの高い箇所は、人為的な環境改変を極力避けるべきである。一方で、人為的改変が必要である場合、その消失が地域全体の種多様性にどのような影響を及ぼすのかを計算により予測し、その影響予測に基づき柔軟に改変の可否や程度が議論されるべきである。この際、生物多様性の保全の観点においては、どの分類群の保全に相対的な価値を見出すか、ということについて判断が必要になるであろう。この点については、地域住民との話し合いや各種生物が潜在的に有する生態系サービスの評価など、可能な限り多面的な情報を土台にして合意形成を行うことが肝要である。本研究では、このような評価枠組みの基本骨格となる基準、すなわち、“水域環境の尺度”を提案した。

同様の手法は石狩川の当該水域に限定されるものなく、今後の分断化された水域管理に適用可能であり自然環境管理に関わる政策に重要な科学的根拠を与える。