

各研究テーマの成果概要

湖辺域における底質環境の評価（サブテーマ1）

研究概要・目的

底質の違い(泥質・砂質)と生物の多様性などの関係を解析し、評価するとともに、豊かな生き物を育むために望ましい底質条件の提示等を目指す。

研究成果の概要

提言等に関連する研究成果(アウトプット)の概要を記載

↓

(右端の数字は関連する提案・成果等の番号)

■ 豊かな生き物を育むための底質条件の解明 ①

- 南湖の湖底環境に影響を及ぼす要因の1つとして、夏季の沈水植物(水草)繁茂と、底生動物の生息密度の現状を把握した。水草は、特にコカナダモが2014年、2015年に増加したが、2016年は減少し、年変動が大きいことを再確認した(図1)。また、水草が多いほど、通常、底生動物において生息密度で優占する水生貧毛類(ミミズ類)が少なく、生息環境の悪化につながることを再確認した(図2)。

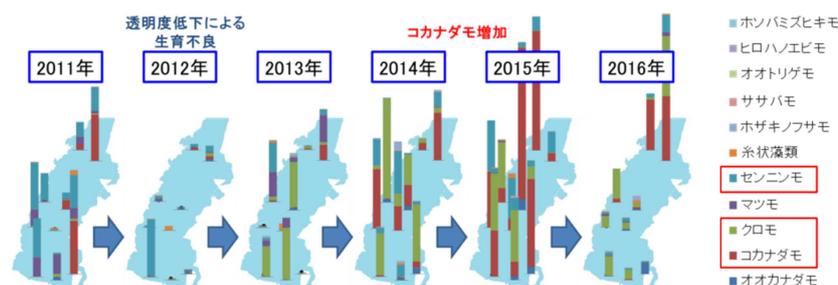


図1 南湖9定点における8月の水草種構成と乾燥重量相対値(2011年～2016年)。

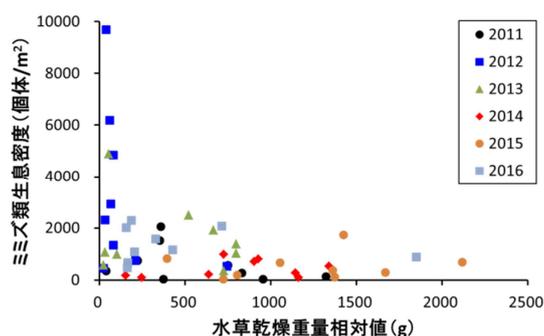


図2 南湖9定点における8月の水草乾燥重量相対値とミミズ類生息密度の関係(2011年～2016年)。

- 南湖湖内における底質条件と貝類の分布現況、およびそれらの関係を把握した。湖内では、湖底耕うん、覆砂等の事業が実施された場所で、シジミ類の生息密度が高いことが分かった(図3)。

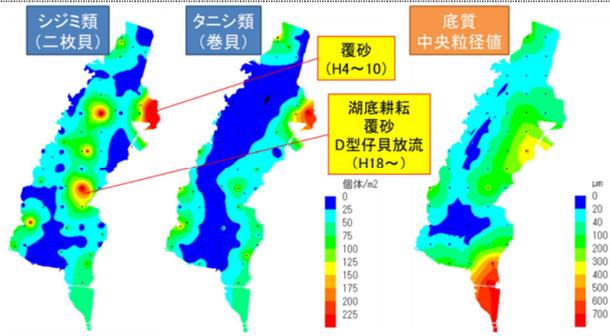


図3 南湖湖内における貝類と底質中央粒径値の分布(2014年)。

- 南湖沿岸域における底質条件と底生動物の分布現況、およびそれらの関係を把握した。沿岸域では、シジミ類や、底生動物で優占するミズ類の生息密度は、浅い砂地で高いことが分かった(図4)。

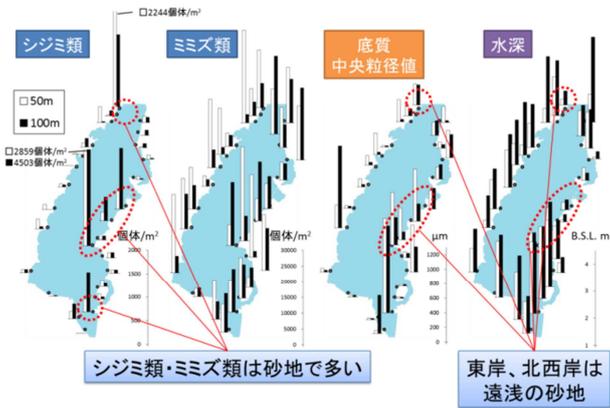


図4 南湖湖内における底生動物と底質中央粒径値、水深の分布(2015年)。

- 南湖の底質を粒径別に分画し、有機物、栄養塩とシジミ類生息密度との関係を評価した。その結果、粒径5~63μm分画に含まれるクロロフィルa(フェオ色素含む)含量の割合が高いほど、シジミ類の生息密度が高いことが分かった(図5)。

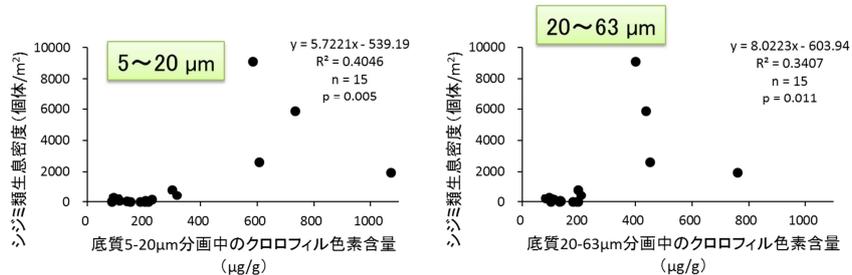


図5 底質分画(5~20、20~63μm)中のクロロフィル色素含量とシジミ類生息密度の関係。

■ 人工湖岸化が沿岸域の生態的機能に及ぼす影響評価

- 南湖において、自然的湖岸で砂地の地点と、人工的湖岸で泥地の地点の現状を比較(図 6)し、湖水の流れ、底質条件、底生動物、底質から発生する植物プランクトン等の相違を把握した。人工的湖岸の泥地では、①底生動物の生息密度・多様性が低いこと(図 7)、②湖水の流れが停滞しやすいこと(図 8)、③底質表層付近が嫌氣的になりやすいこと(図 9)、④底質中の有機物量は多いが、クロロフィル a(藻類)の割合が低いこと(図 10)、⑤動物プランクトンや底生動物の餌となりにくいと考えられる藍藻類が、底質中に多く存在し(図 11)、水中に発生しやすいこと(図 12)等を確認した。

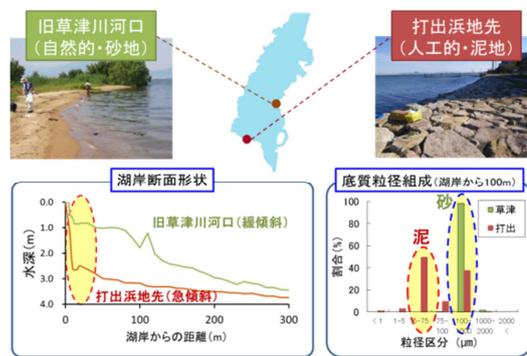


図 6 自然的湖岸(旧草津川河口)、人工的湖岸(打出浜地先)における湖岸断面形状と底質粒径組成。

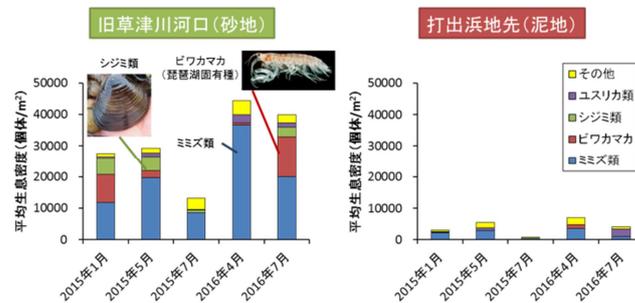


図 7 旧草津川河口、打出浜地先における底生動物生息密度(湖岸から 100m 地点)。

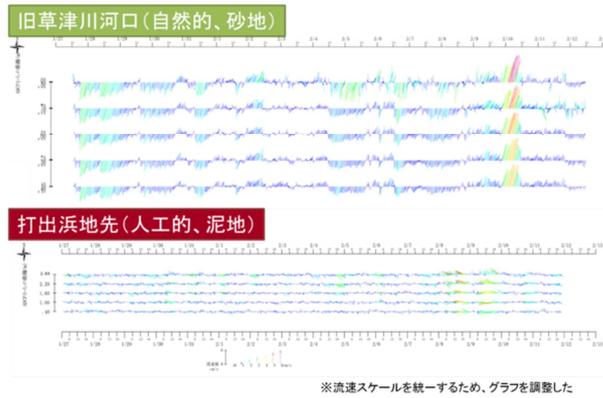


図8 旧草津川河口、打出浜地先における流向流速の変化(湖岸から100m地点、2015年1月～2月)。

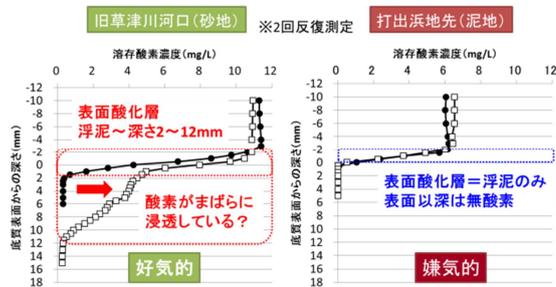


図9 旧草津川河口、打出浜地先における底質表面付近の溶存酸素濃度分布(湖岸から100m地点、2014年12月)。

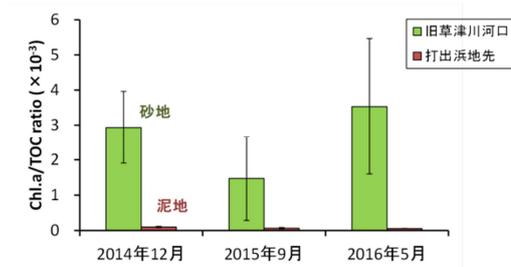


図10 旧草津川河口、打出浜地先における底質中の全有機炭素に占めるクロロフィルaの割合(湖岸から100m地点)。

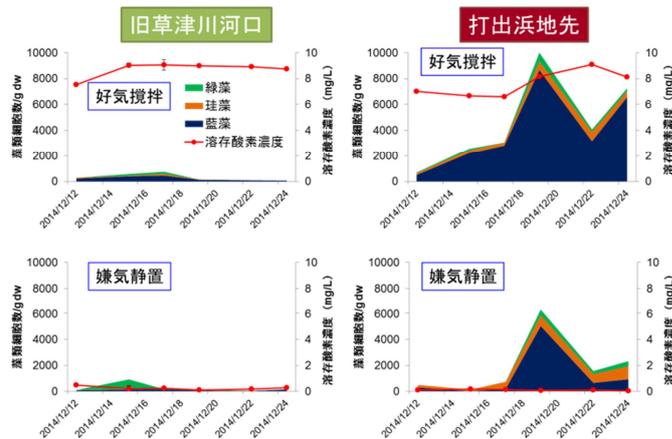


図 11 旧草津川河口、打出浜地先における底質中から発芽した植物プランクトン(例:湖岸から 100m 地点、2014 年 12 月採取、観察毎に水交換)。

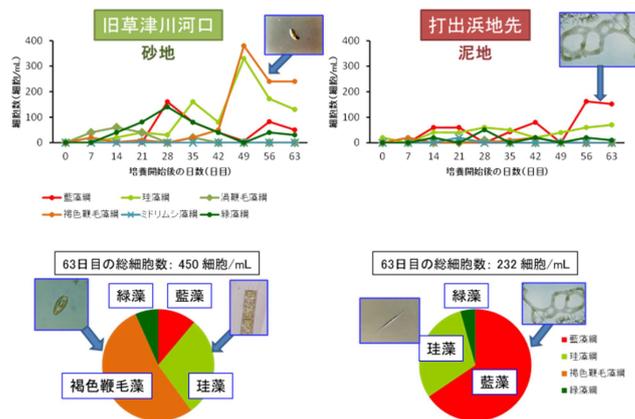


図 12 旧草津川河口、打出浜地先の底質から形成された植物プランクトン組成(例:湖岸から 100m 地点、2015 年 8 月、水交換なし)。

■ 沿岸域管理の方向性の検討

- ・ シジミ類をはじめ、底生動物の生息環境の回復につながる、良好な湖底環境の確保に向けて、「好適な砂地(泥化の防止)」、「好気的な湖底」、「堆積有機物中の高い藻類(植物プランクトン)割合」の確保が重要であることが分かった。
- ・ しかし、砂地を構成する粒径や、浅場といった構造、水質や沿岸の流れの形成、底生動物の餌となる藻類(植物プランクトン)の発生状況など、良好な湖底環境に関する諸要因間の関係性は分かっていない。これらを解明し、最も持続的で効果的な対策について検証が必要である。

関連図書等

- ・ 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書第 11、12、13 号(13 号は H30.1 に発刊予定)

水系のつながりと在来魚介類の分布・移動との関係把握（サブテーマ2）

研究概要・目的

流域における在来魚（アユ・ホンモロコ等）の移動・産卵への影響要因を解明するとともに、生息環境の再生に向けた対応策の検討および提示を目指す。

研究成果の概要

提言等に関連する研究成果(アウトプット)の概要を記載

↓

関連する提言・成果等の番号

■ 流域環境の把握と影響等の可視化

②

・ 河川の産卵・生息環境における河床の土砂について、次のことを確認した。

- ① アユの産卵に好適な土砂は 2-16mm 程度の小礫であり、河床がやわらかい(0.4kg/cm²)状態であることを確認した(写真1、2)。(現地調査)



写真1 知内川におけるアユが産卵する礫



写真2 アユの卵

- ② 愛知川におけるレーザープロファイラによる河道地形調査および河床材現地調査のデータを使った河床変動1次元シミュレーションモデルによる計算の結果、アユの産卵に好適な土砂は、河川の一部区域に分布が限られることが判明した(図1)。(愛知川をモデルとした土砂動態モデルによる検証)

愛知川の土砂移動シミュレーションモデル解析結果

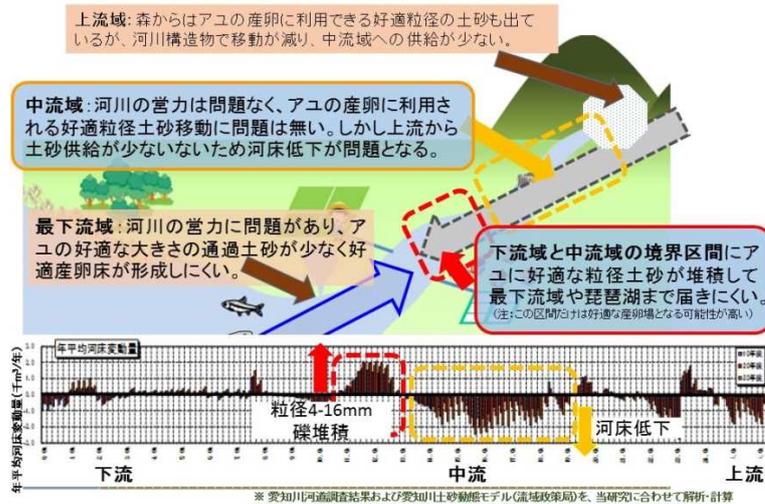


図1 愛知川の河床変動1次元シミュレーションの結果概要（流域政策局が実施）

- ③ 河川工学における流体力学的な理論式である岩垣の限界掃流力の理論式と、マンシングの平均流速公式から、アユやビワマスの産卵床となりやすい浮石帯に生じると考えられる礫粒径の理論値を推定した。その結果、琵琶湖流域の河川の場合には理論的に好適な河床状況を形成するアユ・ビワマスの好適産卵環境河川勾配は、中上流域まで広がっており、河川の広域で産卵環境ポテンシャルがあることが判明した(図2)。(愛知川等における理論値での検証)

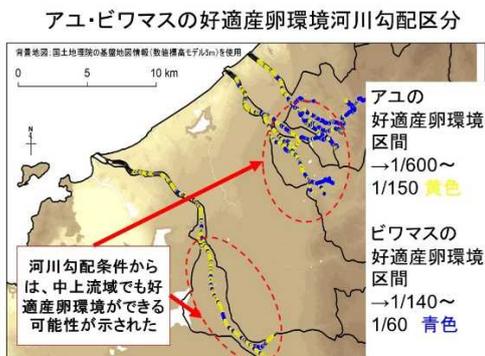
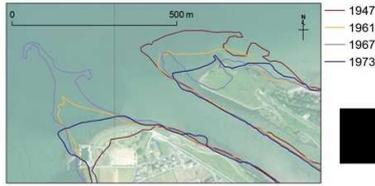


図2 岩垣の限界掃流力の理論式に基づく好適産卵環境区間ポテンシャルマップ

- ④ 地理情報システム(GIS)を用いて、河口部の堆積部分を過去の航空写真画像からトレースすることにより、土砂堆積状態の空間情報をデジタルデータに変換した。同様の手順によって、複数の年代について土砂堆積状態の空間情報を集めた。最後に、時系列的に空間情報解析を行い各年代の土砂堆積変動の特徴について明らかにした。その結果、近年では、河口の堆積変動が少なくなり、滯筋が固定化されるなど川の土砂移動動態のダイナミズムが失われていることが判明した(図3)。(愛知川での検証)

1940～1970年代の河口域湖岸線の変化



1940～1970年代前半、湖岸線の位置が大きく変化

左岸：前進後、後退
右岸：後退

※ 航空写真のオルソ補正の精度は、写真により異なるが、すべての写真について水平誤差が約5m以下になるように処理した。

1980～2000年代の河口域湖岸線の変化



近年(1980年代以降)、湖岸線の位置の変化は小さい

1998年以降、1991年以前と比べて河道幅が拡大

図3 年代別の愛知川の河口の堆積変動のGIS解析結果

■ 森林環境の変化に伴う土砂流出状況の把握

- 森林からのアユの産卵に好適なサイズの土砂供給に関して、以下のことを確認した。②
- ① 花崗岩地帯の森林である野洲市の大篠原の光善寺川の上流域に設置されたコンクリート製の土砂堆積測量柵を用いて、ホートンストレーラーの1次の支流域レベルの空間範囲の森林域における、土砂流出量の調査を行った。加えて、土砂を持ち帰り、ふるい分け法によって、流出土砂の粒径分布の特徴の調査も行った。その結果、小型のアユの産卵期にちょうど良いタイミングで好適な粒径(2-16mm)の土砂が供給されていたことが明らかになった(図4)。

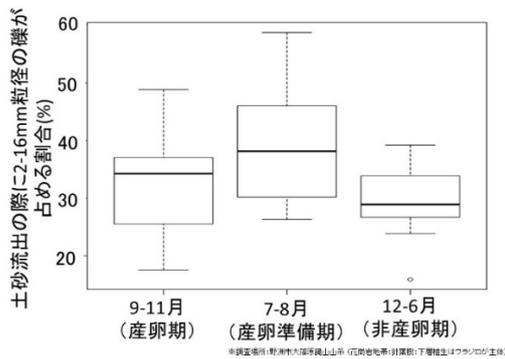


図4 森林からの土砂流出の粒径割合(針葉樹・花崗岩地帯:野洲市大篠原)

- ② 花崗岩地帯であり100年生のヒノキ林という管理された人工林のある比叡山の森林域において、シカ柵の設置の有無を試験対照区として、林床表層に複数の土砂受け箱を複数設置する方法により、林床表層の土砂移動動態の調査を行った。その結果、シカの食害があるとアユの産卵環境に悪影響を及ぼす、より細かい土砂の流出が増えて「近くの川が泥っぽくなる」可

能性があることが明らかとなった(図5)。

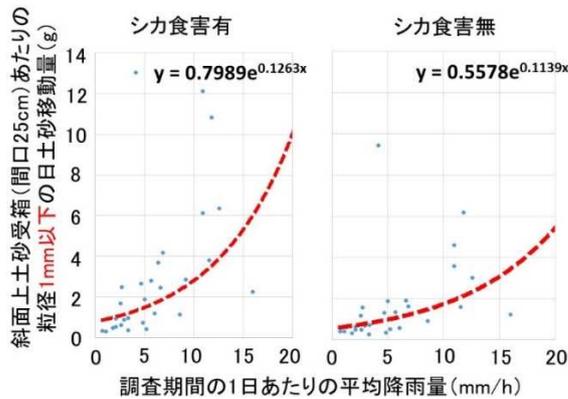


図5 シカ食害の有無による粒径1mmの土砂移動動態の違い(針葉樹・花崗岩地帯:大津市比叡山)

■ 水田・内湖のつながり研究成果

- ・ ニゴロブナやホンモロコが水田・内湖地帯の水系から琵琶湖に出たあと、再び自分が生まれ育った水田・内湖に戻ってくるという学術的に知られていなかった産卵回帰に関する生態行動を発見確認することができた(図6, 7) ③

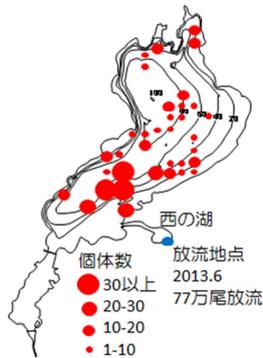


図6 西の湖から放流されたホンモロコの琵琶湖での分布(2013~2014年)

産卵期の常楽寺放流魚の割合(2016)

放流地点付近の採捕は続いたが、割合は低下した。

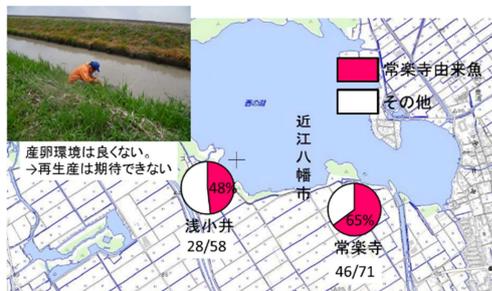


図7 西の湖に戻ってきた個体の確認と産卵環境(2013~2014年)

- ・ ホンモロコが水田・内湖地帯の内湖の岸部だけではなく周辺河川でも産卵するという学術的にも知られていなかった新たな産卵生態行動を発見確認することができた。
- ・ ホンモロコやニゴロブナが産卵回帰でふるさとの水田・内湖地帯に戻ってきた時に、好適な産卵場所が少ないためにより効率的な再生産ができていないことがわかった。

■ 河川における魚類の生息環境調査

- ・ 魚類の生息環境からみた琵琶湖と流入河川とのつながりの重要性について、例えば、アユは流速・流量と正の相関があり、堰堤とは負の相関があることなどがわかった*。

(*引用論文:石崎大介・亀甲武志・藤岡康弘・水野敏明・永田貴丸・淀 太我・大久保卓也 (2016年)『魚類の生息環境からみた琵琶湖と流入河川とのつながりの重要性』、日本魚類学会、魚類学雑誌 63 巻 2 号、pp.89-106. 第 2 期、第 3 期つながり研究成果の知見も含む)

■ 下水道および農業排水処理施設の排水が及ぼす魚等への影響

- ① 農業集落排水処理施設の流入による魚類の存在状況の関係性は明確でなかった(写真3)。(放流先水路での調査)



写真3 農業集落排水処理施設の流入水路等の現地調査の様子

- ② 下水処理水に関し、アユの忌避行動の閾値が 0.025-0.05mg/L にあることが分かった。また、流域下水処理水に対して忌避は見られなかった(図8)。(水槽実験)

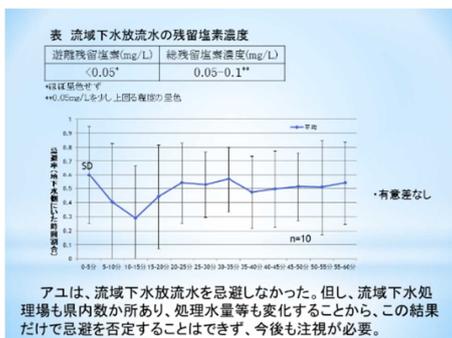


図8 下水放流水のアユ忌避実験結果

- ③ OECD テストガイドライン 202 に基づくオオミジンコを用いた生態毒性試験では、急性毒性は認められなかった。(毒性試験)

■ 多様な主体の協働による保全活動のあり方の提示

- ・ 家棟川流域において、地域の人々を中心に行政や専門家、企業など多様な主体が協働して産卵床造成や魚道設置、調査監視を行うことにより、ビワマスの産卵・遡上環境回復が可能であることを確認した(図9)。 ⑤
- ① 地域の人々による生息魚介類の調査を専門家とともに支援した。その結果、在来種が 22 種生息しており県内河川でも屈指の数であること、ビワマスが遡上するものの産卵適地がほとんどないことが確認された。また、外来魚の影響も無視できない程度あることが示唆された。
 - ② 地域の関係者と環境保全の方針について協議を行ったところ、ビワマスを家棟川のシンボルとし、ビワマスが遡上、産卵、繁殖できる環境を整えることなどを通じて、家棟川およびその支流河川の自然環境を再生し、ひいては野洲市のまちづくりや活性化につなげていくことを合意した。また 2015 年 8 月には、それを実施するための「家棟川・童子川・中ノ池川にビワマスに戻すプロジェクト」を結成した。
 - ③ 2015 度において、専門家の指導および多様な主体の協働のもと、4 箇所のビワマス産卵床の造成を行った。その結果、遡上したビワマスが造成した産卵床に産卵し、春季には初めて稚魚が確認された。2016 年度は 5 箇所の産卵床の造成を行うとともに、落差工に仮設魚道を設置し、また地元住民による違法採捕の監視などが実施された。その結果、ビワマスの稚魚確認数が大幅に増加した。



図9 家棟川・童子川・中ノ池川にビワマスを戻すプロジェクトの活動内容と結果

関連図書等

- ・滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書第11、12、13号(13号はH30.1に発刊予定)
- ・平成26年度滋賀県水産試験場事業報告
- ・平成27年度 滋賀県水産試験場事業報告
- ・平成28年度滋賀県水産試験場事業報告
- ・大久保卓也(2014)下水処理水の放流が河川・湖沼の生物に及ぼす影響把握, 平成26年度河川整備基金助成事業「調査・研究」部門 成果報告書, 公益財団法人河川財団.
- ・石崎大介・亀甲武志・藤岡康弘・水野敏明・永田貴丸・淀 太我・大久保卓也(2016)魚類の生息環境からみた琵琶湖と流入河川とのつながりの重要性. 日本魚類学会 魚類学雑誌 63 巻 2号. pp.89-106.
- ・ホンモロコの琵琶湖から内湖への産卵移動時期の性差: 亀甲武志 魚類学雑誌 62: 157-162, 2015
- ・Diel patterns of larval drift of honmoroko *Gnathopon caerulescens* in an inlet of Ibanaike Lagoon, Lake Biwa: 亀甲武志 Journal of Fish Biology80, pp409-415, 2015

環境のつながりからみた在来魚介類資源量への影響評価（サブテーマ3）

研究概要・目的

プランクトン食魚（アユやホンモロコ等）が、琵琶湖の沖帯で食べる餌の量と質は、十分なのかを評価し、餌環境からみた影響要因を解明する。

研究成果の概要

提言等に関連する研究成果(アウトプット)の概要を記載

関連する提 ↓

言・成果等の番号

■ 植物プランクトンの長期変動

⑥

- ・ 全りん濃度が高い 1980 年代以降の植物プランクトンの傾向として、動物プランクトンの餌の観点から以下のことを確認した。
 - 植物プランクトンの種組成は、1987 年頃を境に、緑藻類主体の種組成から、珪藻類や藍藻類等が主体となる種組成へと変化していた。
 - 細胞サイズで植物プランクトンを分類した場合、動物プランクトンが摂食できないと考えられる不可食サイズ(40 μm 以上)は経年的な減少傾向にあった(図1)。
 - 動物プランクトンの可食サイズ(40 μm 以下)の植物プランクトンは、経年的な増加傾向の後、2005 年以降は減少しつつあった。

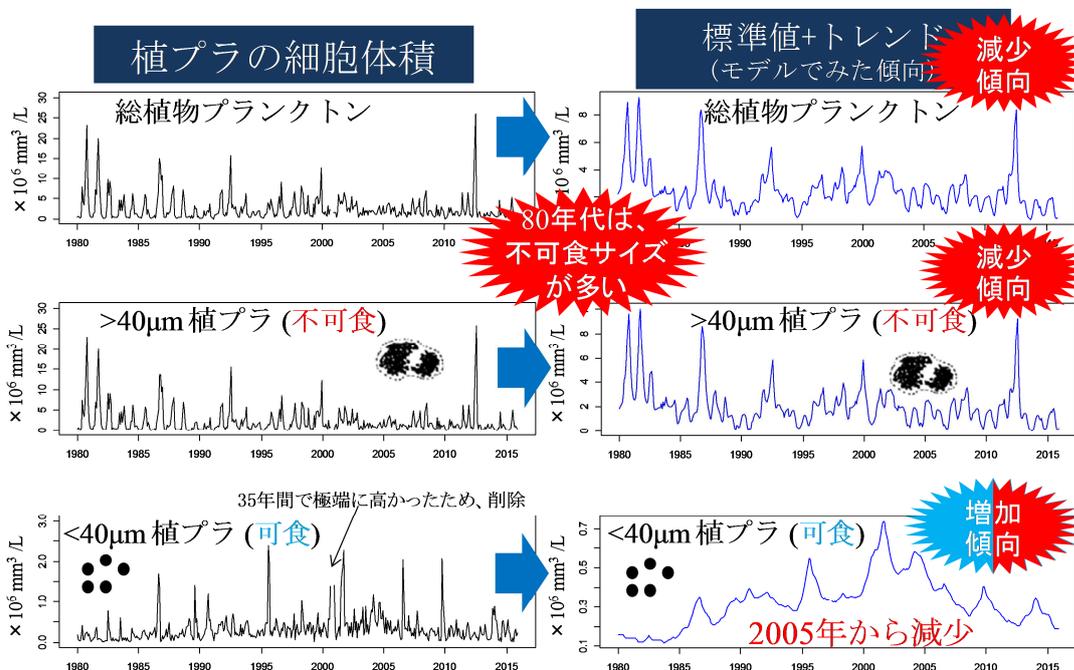


図1 サイズで分類した植物プランクトンの量の増減傾向（今津沖中央 17B, 0.5m). 動物プランクトンの不可食サイズを 40 μm 以上, 可食サイズを 40 μm 以下とした. トレンドは状態空間モデル (dlm) で推定. データ: 琵琶湖センター

■ 水質－植物プランクトンの関係解析

- ・ 植物プランクトンと気象や水質との関係を統計的に解析し、以下のことを確認した。
 - 近年の珪藻類や藍藻類の増加には、風速の上昇による影響(波による攪拌等)が関与している可能性が示された。
 - 可食サイズの植物プランクトンは、風速および全窒素量の増加に伴って増える可能性が示された(表1)。
 - 対照的に、不可食サイズは、風速の増加で減少する傾向があった。

表1 気象や水質に対する可食サイズ、不可食サイズの植物プランクトンの相関係数

	水温	降水量	全天日射量	風速	全窒素	全りん
可食	0.2495	0.076	-0.056	0.501 **	0.437 *	-0.295
不可食	-0.359	0.049	-0.175	-0.451 *	0.034	0.305
クロロフィルa	-0.432 *	0.147	-0.410 *	-0.581 **	0.270	0.492 *

*, $p < 0.05$; * *, *

$p < 0.01$

■ 動物プランクトンの長期変動

- ・ 在来魚の餌資源になるミジンコ類等の動物プランクトンの傾向として、以下のことを確認した。
 - 動物プランクトンの種組成は変化しており、特に 1999 年頃からプリカリア等のミジンコ類が新たに見られはじめた。
 - 動物プランクトンの現存量は、経年的な増加傾向にあったが、2007 年以降は減少しつつあった(図2)。
 - 優占種(ヤマトヒゲナガミジンコ)の再生産量(仔虫を生む量)に、経年的な減少は見られなかった。

※本研究における 1963-2010 年までの動物プランクトンのデータは、滋賀県立大学の伴修平教授にご提供いただいた。

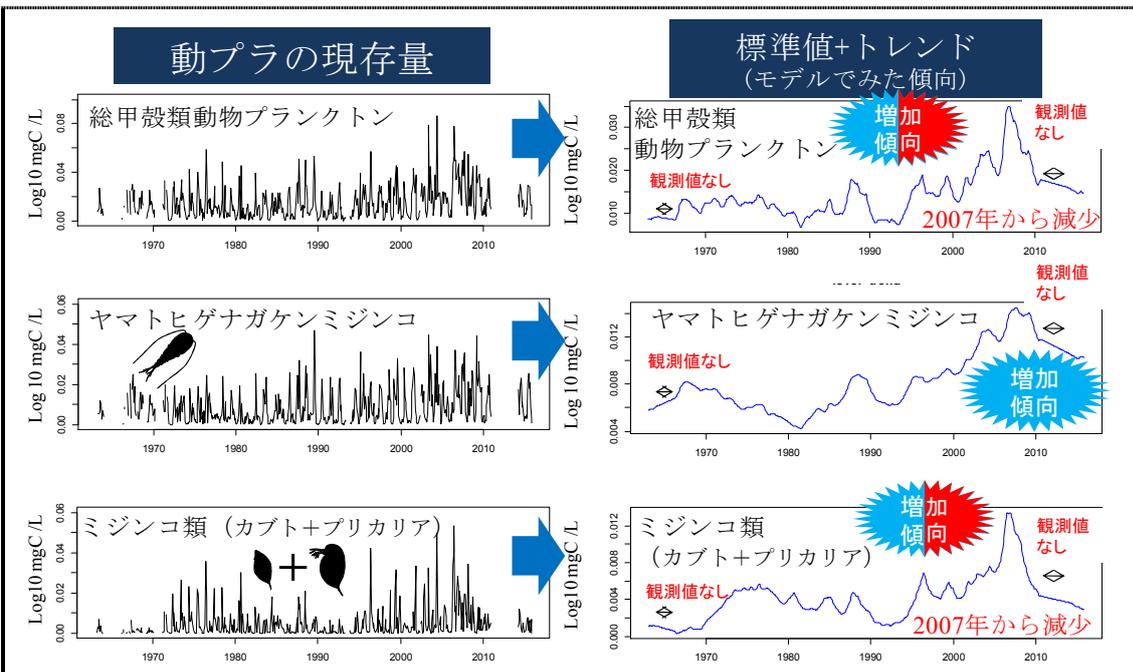


図2 動物プランクトン（ミジンコ類等）の現存量の増減傾向。1963-2010年は彦根沖，2014-2015年は今津沖中央17B，各地点の0-20m層。トレンドは状態空間モデル（dlm）で推定。
 データ：1963-2010年は県大・伴，2014-2015年は琵琶湖センター

■ 植物プランクトンー動物プランクトンの関係解析

- ・ 動物プランクトンと餌となる植物プランクトンとの関係を統計的に解析し、以下のことを確認した。 ⑥
 - 可食サイズ(40 μm以下)の植物プランクトンの量の増加に伴って、動物プランクトンも増加する傾向にあることが分かった(図3)。
 - 季節ごとに動物プランクトンと植物プランクトン、水温との関係を解析した結果、特に春(4~6月)と夏(7~9月)に可食サイズの植物プランクトンの量が多いと、動物プランクトンが多くなる傾向がみられた(図4)。
 - 対照的に、不可食サイズが多いと、動物プランクトンは減少する傾向がみられた。

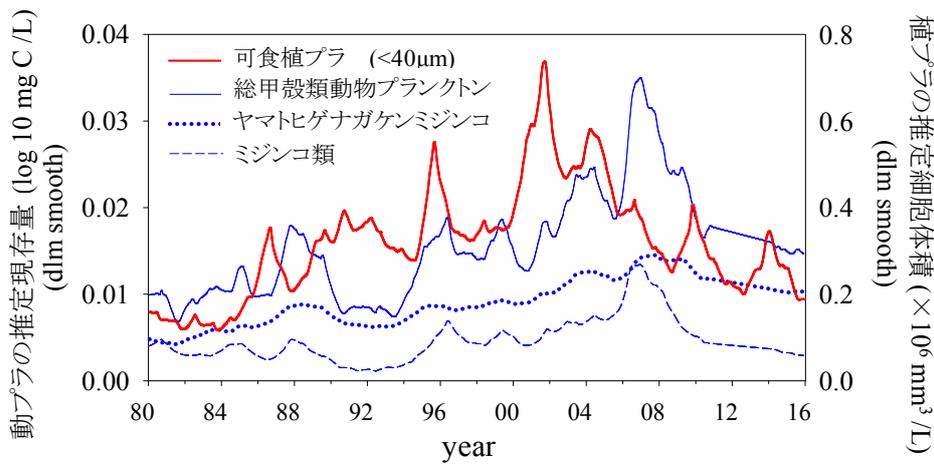


図3 状態空間モデル (dlm) で推定したトレンドでみる植物プランクトンと動物プランクトンとの関係

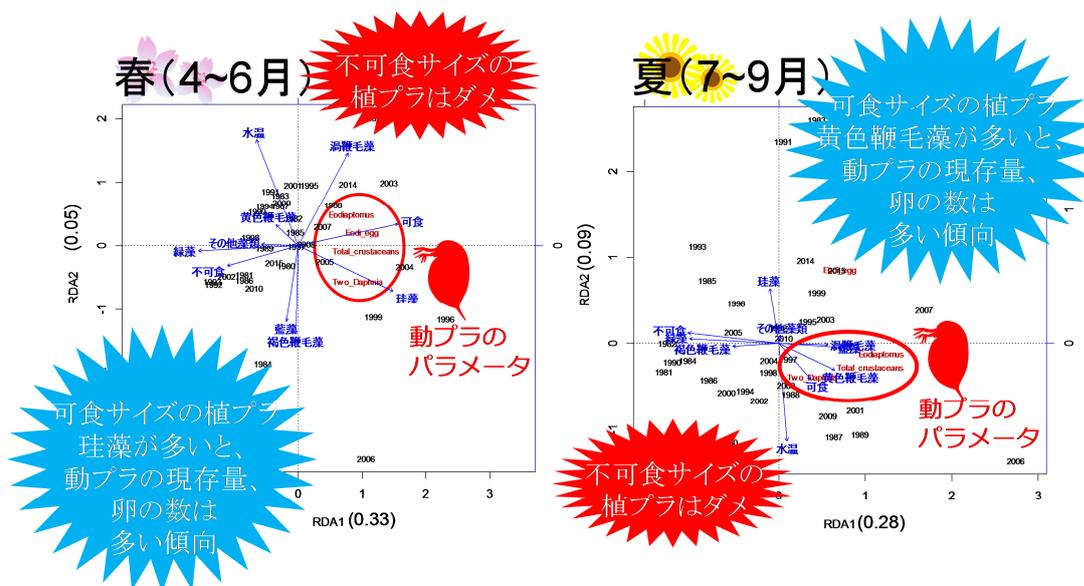


図4 春(4~6月)と夏(7~9月)における動物プランクトンと植物プランクトン、水温との関係。季節ごとの平均値で解析。冗長性分析 (RDA)。

■ 餌環境のつながりからみた在来魚介類への影響評価

⑥

- ・ プランクトンの長期的変動と魚介類の水産資源学的推定結果等から餌生物と在来魚との量的関係をエコパスモデルで解析し、以下のことを確認した。
 - 1960年代や1980年代に比べて2000年代では、動物プランクトンの増加に反して在来魚の現存量は半減し(表2)、見かけ上、動物プランクトンの生産速度が低下している可能性が示された(表2)。
 - 植物プランクトンの現存量が少なかった1960年代では、従属栄養微生物による有機物のリ

サイクルが大きな役割を果たしていた可能性が示唆された(表3)。

- 外来魚の存否によって在来魚や大型植物プランクトンの現存量が大きく変動することから(図5)、動物プランクトンの生産性の変化には植物プランクトンや従属栄養微生物によるボトムアップ効果だけではなく、捕食者によるトップダウン効果も影響している可能性が示された。
- 外来魚を根絶しないと餌環境を改善しても在来魚が増えない可能性が示された。

表2 年代別モデルにおける捕食者の現存量

機能グループ	1960年代 (t/km ²)	1980年代 (t/km ²)	2000年代 (t/km ²)
1 カワウ	—	—	0.100
2 魚食性鳥類	0.014	0.014	0.014
3 ビワコオオナマズ	0.037	0.037	0.037
4 ビワマス	0.215	0.286	0.573
5 大型肉食魚	4.139	2.255	1.798
6 小型肉食魚	1.840	1.386	1.460
7 アユ	1.805	7.000	3.723
8 イサザ	15.027	13.190	2.022
9 ホンモロコ	1.086	0.209	0.074
10 ニゴロブナ	5.866	2.403	0.782
11 その他雑食魚	8.074	3.600	3.136
12 オオクチバス	—	0.000	0.834
13 ブルーギル	—	0.000	2.728
14 スジエビ	2.073	2.191	0.982
15 ヨコエビ	10.185	12.722	4.296
16 その他底生動物	4.981	2.778	2.778

太字は本研究における水産資源学的推定値、斜体はソフトウェアによる算定値、ほかは文献や統計にもとづいて推定した入力値を示す。

表3 年代別モデルにおける餌生物の生産パラメータ

1960年代	現存量 (t/km ²)	生産率 (PB/年)	摂食率 (QB/年)	同化率 (PB/QB)	EE
ミジンコ類	1.968	197	394	0.500	0.950
カイアシ類	5.784	49	122	0.400	0.950
大型植物プランクトン	4.176	30			0.930
小型植物プランクトン	0.004	188,272			0.950
従属栄養微生物	10.000				2.747
1980年代					
ミジンコ類	2.598	207	414	0.500	0.950
カイアシ類	4.747	70	175	0.400	0.950
大型植物プランクトン	20.922	30			0.082
小型植物プランクトン	0.841	1,212			0.950
従属栄養微生物	10.000				1.307
2000年代					
ミジンコ類	5.402	46	91	0.500	0.950
カイアシ類	8.777	18	44	0.400	0.950
大型植物プランクトン	1.960	30			0.740
小型植物プランクトン	0.802	1,212			0.468
従属栄養微生物	10.000				0.781

EE (Ecotrophic Efficiency) は生産物が他者によって利用される割合を示すモデル上の値。従属栄養微生物はこのモデルではプランクトン由来のデトリタス(無生物)であるためEEはその収支(流出/流入)を示す。太字は本研究における推定値、斜体はソフトウェアによる算定値、ほかは仮の入力値を示す。

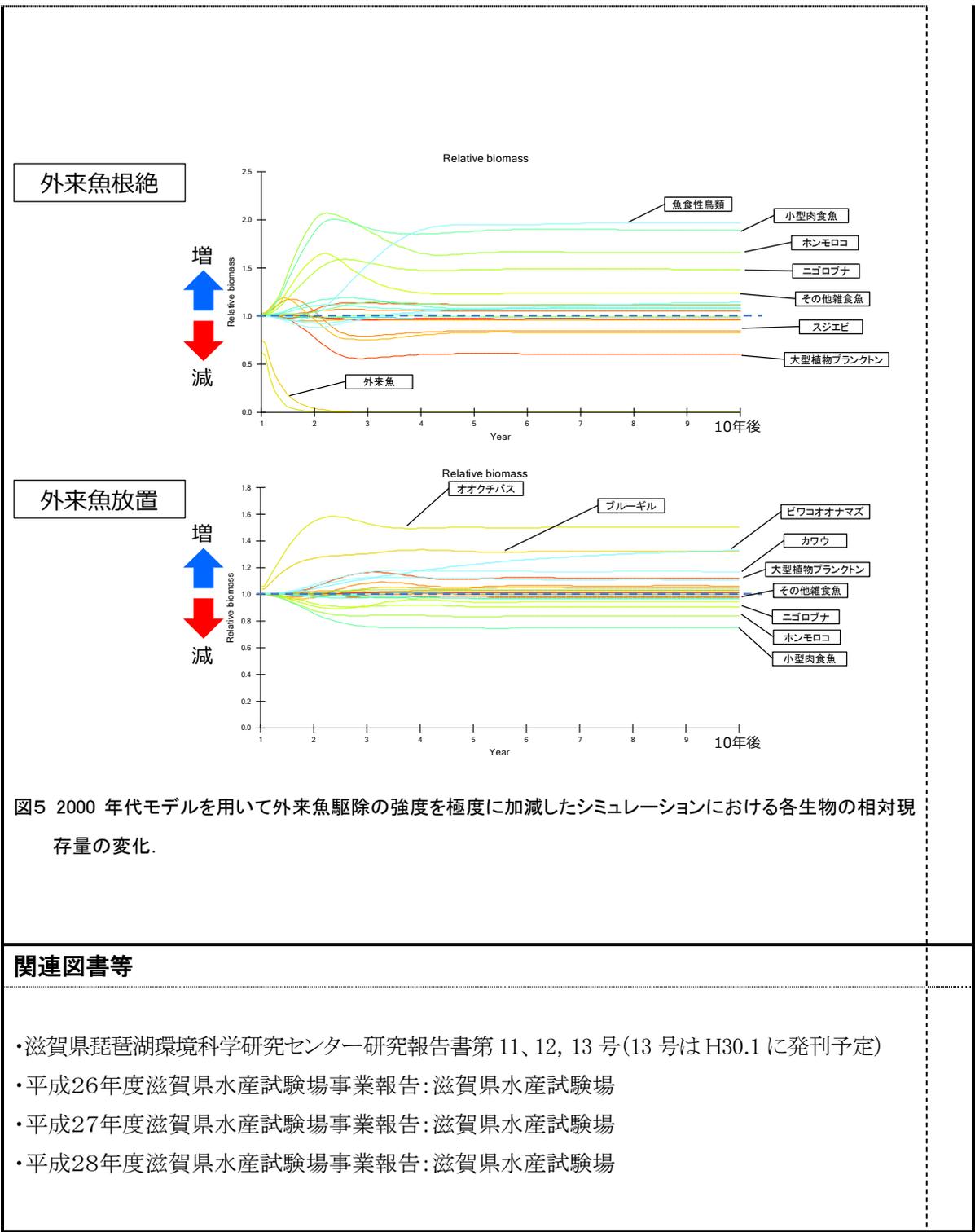


図5 2000年代モデルを用いて外来魚駆除の強度を極度に加減したシミュレーションにおける各生物の相対現存量の変化.

関連図書等

- ・滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書第 11、12、13 号(13 号は H30.1 に発刊予定)
- ・平成26年度滋賀県水産試験場事業報告: 滋賀県水産試験場
- ・平成27年度滋賀県水産試験場事業報告: 滋賀県水産試験場
- ・平成28年度滋賀県水産試験場事業報告: 滋賀県水産試験場