

2020 年度水産海洋シンポジウム

陸域の人間活動が沿岸域の生態系と漁業資源に与える影響

開催方法：オンデマンド開催（2020年11月16日～11月21日公開予定）

共 催：一般社団法人水産海洋学会、日本海洋学会

後 援：京都大学

コンビーナー

：山下 洋（京大森里海ユニット）・山本民次（流域圏環境再生セ）・笠井亮秀（北大院水）

挨拶：山下 洋（一般社団法人水産海洋学会会長）

話 題

1. 環境 DNA を用いた新たな生物多様性評価の試み
笠井亮秀（北大院水）
2. 流域圏における” SATO NET” としての「里水」：瀬戸内海流域の水循環・物質循環からの事例
小野寺真一（広 大 総 研）
3. 河川を通じた陸域と沿岸域のつながり－北海道東部別寒辺牛川水系のケース
仲岡雅裕（北大北方生物圏セ）
4. 海域の人為的改変による環境悪化の現状と修復への課題－三河湾の事例－
和久光靖（愛知県農業水産局）
5. 森里海の連環の恵みを測る－広島湾における牡蠣養殖の視点から太田川流域由来の基礎生産力の向上をとらえる
松下京平（滋賀大経済）
6. 大阪湾における海域環境の長期変動と生物生産過程における転送効率の経年変化
山本圭吾（大阪府農水総研）
7. ニホンウナギから見た豊かな森里川海の絆の再生－環境 DNA 分析と GIS 解析の統合を目指して
亀山 哲（国環研）
8. 森の手入れで魚を育む－間伐材漁礁による漁獲増加の科学的評価
山本民次（流域圏環境再生セ）
9. 森から海までのつながりの科学－ケーススタディーから全国調査まで
山下 洋（京大森里海ユニット）
10. 陸域からの影響が大きい内湾における漁業資源
片山知史（東北大院農）

総合討論：山下洋（京大森里海ユニット）・山本民次（流域圏環境再生セ）・笠井亮秀（北大院水）

開催趣旨：日本の沿岸漁業漁獲量は、1985年に227万トン記録して以降長期的に減少し続けており、2016年にはついに100万トンを下回った（99.4万トン）。近年の沿岸域の異変は漁獲量の減少にとどまらず、磯焼け、貧酸素水域の増大などにもみることができる。沿岸生態系の劣化の重要な原因のひとつとして、河川・浅海域の人工改変や流域における人間活動の影響が指摘されている。しかし、流域と沿岸域の関係はきわめて複雑であり、森から海までの生態系のつながりと、その分断の実態解明は容易ではない。近年、陸域の人間活動が沿岸海域の環境と生態系に与えるインパクトに関する研究プロジェクトが、多面的あるいは総合的な観点からいくつかの地域で進められている。そこで本シンポジウムでは、これまでの研究の進捗をとりまとめて現状と課題を整理し今後の方向性を議論する。

公開方法：事前に全講演と総合討論をビデオ録画し、11月16日～11月21日に水産海洋学会ホームページでビデオを公開予定です。視聴者は興味のある演題を選んで視聴できます。また、公開期間中にGoogle Formで質問を受け付け、公開終了約1週間後から質問に対する返答を掲載します。なお、映像のダウンロードおよびコピーは禁止されています。

環境 DNA を用いた新たな生物多様性評価の試み

○笠井亮秀*

* 北大院水

キーワード：環境 DNA・多様性・モニタリング

1. はじめに

陸域の人間活動が沿岸域の生態系や漁業資源に与える影響を評価するには、沿岸域に生息する生物の情報を正しく得ることが重要である。しかしながら一般に、水中のどこにどのような生物がどれくらい生息しているのかわかることは困難である。従来の調査では、網や釣りによる生物の捕獲、目視観察、魚群探知機などが用いられてきた。しかしこれらの手法を用いた調査には多大な時間とエネルギーがかかるうえ、分類のための専門的な知識や、捕獲するための特殊な装置と技術が必要である。そのため、調査の機会やそこから得られるデータには自ずと限りが生じてしまう。また、調査員や調査器具、調査手法などによって結果にばらつきがみられることがあり、推定される資源量はしばしばその定量性が問題となる。これらの問題点を克服する新たな調査手法として近年注目されているのが、環境 DNA 分析である。

2. 環境 DNA とは

水中、土壌中、空気中などあらゆる環境中には、そこに生息している生物由来の DNA が存在している。その DNA を総称して、環境 DNA (environmental DNA, eDNA) と呼ぶ。水中には、マクロ生物から糞などの排泄物や分泌物の形で体外に放出された DNA が存在している。Ficetola et al. (2008) が池から汲んだわずかな量の水からウシガエルの DNA を検出して以来わずか 10 年ほどの間に、マクロ生物の環境 DNA 研究は大きな発展を遂げた。DNA は種に特異的なもので、環境 DNA を分析することで、生態系内の種の多様性や資源量など生物群集について様々な情報が得られる。この手法は生物を捕獲したり殺傷したりすることがないので、特に絶滅危惧種や固有種など、生息数の少ない生物の分布調査に有効である。また海洋保護区など生物の捕獲調査ができない場所でも、生息している生物種の目星を付けることができる。現場で行う作業は採水だけで簡便なので、調査員間の差を小さく抑えることができるという利点もある。

3. 環境 DNA を用いた生物多様性の評価

環境 DNA の調査は、環境水を採水し、採水サンプルをフィルターなどによって濾過して DNA を捕集したのち、濾物から DNA を抽出し、分析する、という手順で

行われる。この最後の分析の過程には、現在大きくわけて 2 つの方法が用いられている。特定の分類群に含まれる多くの種を網羅的に検出するメタバーコーディング法と、ある 1 種の生物のみを対象として検出する種特異的検出法である。前者は一度の分析で多種を同時に検出することができる。一方、後者は対象とする生物のバイオマスの指標となるようなデータを取得することができる。

メタバーコーディング法には多くの種類の DNA を同時に増幅できるユニバーサルプライマーが必要である。現在は、ある分類群に共通な 2 カ所の保守的な配列に挟まれた、種ごとに異なる比較的短い塩基配列を読むことで、その分類群の多数の生物種を一度に判別する、という方法がとられている。このプライマーを使って PCR により DNA の断片を増幅し、次世代シーケンサーで塩基配列を決定する。そして得られた塩基配列をリファレンスと比較して配列が一致する生物がいれば、その種が環境中に存在していたと推定する。これまでに、魚類、両生類、哺乳類など様々な分類群に有効なユニバーサルプライマーが開発されている。

4. 環境 DNA による森里海連環

全国 25 の一級河川の河口とその周辺海域において、2018 年の夏季に環境 DNA 調査を行った。得られたサンプルをメタバーコーディング解析した結果、全部で 290 種が検出された。これには、環境省レッドリスト 2019 に掲載されている魚種が 47 種も含まれており、希少種の分布域を調べるうえで環境 DNA が有効であることが実証された。そして、国交省国土数値データや環境省公共用水域水質データを用いて河川の流域環境と河口の魚種組成との関係を解析したところ、水温や緯度が魚種組成に影響していると推定された。また、レッドリスト記載種に対しては、河川下流や河口域の護岸率が負の影響を与えているという結果が得られた。

一方函館湾に流入する二つの河川の河口域～沿岸域で、周年にわたり環境 DNA 調査を行った結果、有機物負荷の小さい河川の方が種の多様性が高いという結果が得られた。これらの結果は、多様性や種の保全に流域の土地利用などの人間活動が大きく影響していることを示している。

2020 年度水産海洋シンポジウム
陸域の人間活動が沿岸域の生態系と漁業資源に与える影響
流域圏における” SATO NET” としての「里水」：瀬戸内海流域の水
循環・物質循環からの事例

小野寺真一（広大院先進理工）・齋藤光代（岡大院環境生命）

本発表では、流域圏における” SATO NET” を定義し、瀬戸内海流域の水循環・物質循環の事例をもとに、その意義について整理したい。

「里海」が提唱されて20年を超えた（環境省, 2018）が、同時に「森は海の恋人」や「森里海連環」（山下, 2011）などのキーワードとともに陸域の役割について議論されてきた。この間、海洋に関する総合的な法整備として海洋基本法が2007年に施行され、陸域の水循環に関する法整備として2014年に水循環基本法がスタートした。里海や里山の理念を水環境に適用したものが「里水」である（小野寺ら, 2018）。自然を保護するだけでなく活用しその持続的な利用のために積極的かつ健全に管理する（人手をかける）ことで、その自然資源を活性化し新たな資源を創生し活用する（利益を得る）もので、特に水資源が乏しく渇水リスクが高い瀬戸内海流域においては、古くから水を得るために「人手」をかけてきた。その結果、渇水被害の軽減という「利益」を得てきた。例えば、ため池は雨期に余剰の水を貯水し乾季に利用する農業用施設である。定期的に池に堆砂した土砂をかき出し堰堤を補修するという「人手」をかけることで、安定的に水資源を確保できるという「利益」を得てきた。さらに、ため池からは地下水へ漏水し下流域の地下水の人工涵養施設としても機能してきた。すなわち、資源創生・再配分に寄与してきた。また、河川流量の一部が貯水され地下水を經由して最終的に海へ流出していくが、地下水を經由することで栄養塩類も河川を流下するより高濃度になり、海への栄養塩供給にも寄与している。ただし、これらの維持管理作業は重労働であり、「里海」と同様に過疎化・高

齢化した地域では持続可能性に課題を抱えている。

すなわち、「人手」をかけて管理していく対象を「山」から「海（沿岸）」を含む流域全体（流域圏）に拡大していく構想とその実現が必要である。水・物質循環によって自然側の山と海は繋がっており、従来から上流から沿岸までの連鎖の概念（例えば「森里海連環学」）が提案されてきた。ただし、これまでは下流側（漁業者）が上流を利用するなど限定的であった。これに対して、人間側の水への関与と利益の獲得を「里水」と定義すれば、流域全体につながる水を通して山と沿岸の人との連携が起こりうる。小野寺ら（2018）は、「流域環境とそこに住む人々の利益のための持続可能な連携 (SATO-NET; Sustainable Association for the Total environment and Net benefit)」と提案している。

一方で、この発想には河川流量の減少/定常化という海洋/沿岸環境への懸念材料を含んでいる。その意味でも広い合意形成が必要となってくる。さらに、栄養塩を含む定量的な事例を多く踏まえつつ、人の連携を駆動する様々な仕組みも必要で、企業の役割も重要である。このことは、2030年までの達成目標であるSDGsとも親和性がある。流域圏として資源を共有し気候変動被害を軽減するための連携が、都市部と農村格差をも軽減して行く上で必須となってきている。

参考文献

山下 洋 (2011) 改訂増補 森里海連環学, 京都大学学術出版会.

小野寺真一・齋藤光代・北岡豪一 (2018) 瀬戸内海流域の水環境 - 里水 -. 吉備人出版.

河川を通じた陸域と沿岸域のつながり

—北海道東部別寒辺牛川水系のケース

○仲岡雅裕*・柴田英昭*・井上貴央*・芳賀智宏**・松井孝典**・阿部博哉***

* 北海道大学・**大阪大学・***国立環境研究所

キーワード：土地利用・気候変動・生態系モデル・将来予測

1. はじめに

陸上生態系の変動が沿岸海洋系に与える影響については、いわゆる「森は海の恋人活動」に代表される漁業者による森林生態系の保全活動などを通じて、その重要性の認識は広がっているが、科学的な検証は十分とは言えないのが現状である。陸上生態系と沿岸生態系の間には、気象・水文学的プロセス、地球化学的プロセス（栄養塩動態など）、生物による物質輸送プロセスなど、時空間スケールの異なる多数のプロセスが同時に進行しているため、その解明に向けては、異なる専門分野の研究者の共同研究による統合的な解析が望まれる。

北海道東部の別寒辺牛川流域から厚岸湖・厚岸湾に至る水域は生産性が高く、林業・農業・水産業も盛んな地域である。ここでは、陸域と海域の関連性に関するさまざまな研究教育が行われてきた。本講演では、別寒辺牛川水系の特性とこれまでの研究から明らかになってきた陸域と海域の相互作用について紹介する。また、講演者らは現在、この地域における今後の社会的変化（人口減少に伴う土地利用の変化など）や気候変動（温暖化や降雨の集中化など）が、陸域・海域のつながりを通じて、沿岸生態系にどのような影響を与えるかについて予測評価する研究課題に取り組んでいる。本講演ではその途中経過についても紹介したい。

2. 別寒辺牛川水系について

別寒辺牛川は、厚岸町、標茶町、別海町の3町にまたがる約700 km²の流域を形成する。流域の約7割を森林が、約2割を牧草地が占める。本流である別寒辺牛川の中流から下流には日本で第2の広さを誇る別寒辺牛湿原（83km²）があり、さらにその下流には汽水湖である厚岸湖（32km²）がある。厚岸湖は幅400mの海峡を通じて厚岸湾（103km²）に注ぐ。

厚岸湖の潮間帯にはかつて天然のカキ礁が形成されていたが、1980年代までに消失した。カキの斃死については、森林伐採による流入水の水温の低下が関連していることが1930年代より指摘されている。流域の河川水の栄養塩濃度は牧草地を流れる河川が森林を流れる河川よ

り高く、また時間的な変動も大きいことが知られている。また、河川より厚岸湖に流入する栄養塩は融雪時の4~5月および多雨期の7~9月に多くなる。しかし、河川水や栄養塩の流入が厚岸湖や厚岸湾の生態系に与える影響についての定量的な評価はこれまで十分には行われてこなかった。

3. 生態系モデルを用いた変動予測

全国の他の地域と同様に、北海道東部でも今後、人口減少に伴う土地利用の変化（農地の放棄など）や気候変動に伴う温度や降水量の変化が進むことが予想されている。このような社会や環境の変化が陸域・海域生態系に与える影響について、定量的な人口シナリオおよび気候シナリオに基づく将来予測を行っている。まず、陸域の土地利用の変化にともなう生態系動態の変化については、森林景観モデル（LANDIS-II）を用いて、当該地域の人口減少率や気候変動に関する複数のシナリオに基いた植生の変化、および河川への栄養塩の流出量の変化を予測している。一方、厚岸湖・厚岸湾の生態系の動態については、アマモ場、カキ・アサリ養殖場などの主要生態系構成要素の変化を変数として取り込んだ「厚岸湾・厚岸湖における流動・生態系動態統合モデル」を開発し、陸域モデルが予測する河川からの栄養塩流出量の変異を取り入れ、厚岸湖への影響を解析中である。

現在進行中の解析の途中経過では、陸域の土地利用の変化や気候変動に伴う植生の変化により、河川水中の栄養塩濃度は今後約1.5~2倍程度変化することが予測されるが、厚岸湖の一次生産への影響は限定的であることが明らかになってきた。一方、気候変動に伴う降雨の集中化による淡水流入量の増加が、厚岸湖の塩分環境を変化させ、生態系の主要要素であるアマモ場や二枚貝類などに大きな影響を与えることが示唆された。今後解析を継続することにより、陸域から沿岸域への影響について、異なるプロセスの相対的重要性を明らかにしたいと考えている。

海域の人為的改変による環境悪化の現状と修復への課題 —三河湾の事例—

○和久光靖

愛知県農業水産局

キーワード：三河湾・デッドゾーン・貧酸素水塊・干潟浅場

1. はじめに

三河湾は面積が 604 km² で東京湾の 6 割程度であり、平均水深は 9.2 m と浅く、湾に注ぐ矢作川、矢作古川、豊川の河口域を中心に干潟・浅場が広がっている。この存在によって、かつて三河湾は生物多様性の高い豊かな漁場であった。しかし、1970 年代から現在にかけて、夏季に大規模な赤潮が発生するようになり、これに起因する貧酸素水塊の発達により、生物の多様性が損なわれ、底びき網を中心とした漁業生産の減少傾向が続いている。赤潮、貧酸素化の拡大は、大規模な埋め立てによる干潟・浅場の急減と同時期に起こっていることから、その原因は干潟・浅場に生息する多様な底生生物群集による植物プランクトン摂食圧の低減であると考えられている。このため、三河湾では、干潟・浅場の造成による水質浄化機能回復への取り組みが進められている。

2. デッドゾーンの分布実態

一方、湾の中でも生態系機能の高い沿岸域、とくに水深 5 m 以浅の極沿岸域とその周辺には、窪地、航路・泊地、入り江等、人為的に改変された水域が多く存在している。これらは上述の大規模な埋め立てと同時並行的に作られた。漁業者は、その多くで、局所的な環境悪化により、水質浄化機能や生物生産機能などの生態系機能が著しく低下したと経験的に認識しており、その環境改善を強く求めている。この現状を踏まえ、局所的環境悪化に伴う生態系機能低下水域に対し、従来、湾スケールの生態系機能低下海域に用いられていた、「デッドゾーン」の概念を適用し、デッドゾーンとしてその分布を見積もった。漁業者に対する聞き取り調査と、マクロベントス群集の現場観測を行い、底生動物の種類数を基準に、デッドゾーンの分布を推定した。その結果、デッドゾーンの合計面積は 27.8 km² と見積もられた (図 1)。これは、埋め立てによる三河湾東部の消失干潟・浅場面積の 2.3 倍に相当する。このように、大規模な埋め立てが、浚渫や地形の閉塞化等の人為的改変を通じ、干潟・浅場の消失面積を大きく上回る面積をデッドゾーン化させている実態が明らかとなった。

3. デッドゾーンが全湾環境悪化に与える影響とその対策

現場観測を基にした数値シミュレーションにより、三

河湾の全デッドゾーンにおける無酸素水の貯留量を見積もった。その結果、貯留量は、三河湾の水深 5 m 以浅の海域における海水容量の 25% に及ぶと算出され、その湧昇による近傍の浅場生態系破壊と、それに起因する全湾の物質循環停滞の危険性が明らかとなった。

航路・泊地のデッドゾーンは全デッドゾーンの面積の 79% を占めることから、全湾の物質循環停滞に大きく影響していると考えられる。その影響軽減に関しては、これまで、構造物による無酸素水の湧昇抑制効果について評価を試みたが、効果は限定的であった。このため、より効果的な影響軽減策の検討が喫緊の課題である。

本発表では、三河湾の航路・泊地のデッドゾーン底泥における、溶存硫化物と鉄の時空間分布の変動に関する観測結果についても紹介し、新たなデッドゾーンの影響軽減策の可能性についても議論する。

なお、本発表で報告する研究は、環境省の環境研究総合推進費 (5-1404) および愛知県水産試験場と日本製鉄株式会社の共同研究により実施されたものを含む。

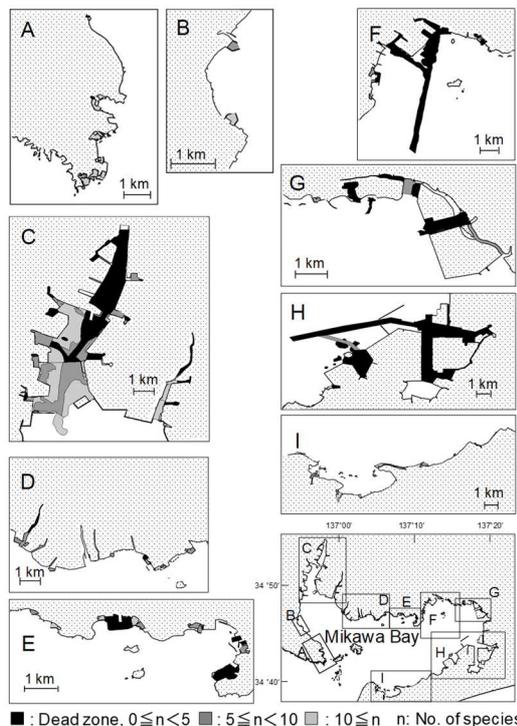


図 1. 三河湾におけるデッドゾーン(■部)の分布推定結果。

森里海の連環の恵みを測る

○松下京平*・堀正和**・山根史博***・浅野耕太****

* 滋賀大学 **水産研究・教育機構 ***広島市立大学 ****京都大学

キーワード：広島湾・牡蠣養殖・森里海の連環・社会経済的価値

1. 研究の目的

森里海の連環は、それがもたらす生態系サービスの重要性にも関わらず、世界各地で分断の危機に晒されている。これまで、沿岸域もしくは比較的沿岸から近い陸域での土地利用変化が海域環境に与える影響については数多くの先行研究で検証がなされているが、森里海のように空間的広がりを持ち、ある場所で外的攪乱が生じた際に、関連する影響の発現が空間的にも時間的にもずれを伴うような関係にある生態系間の繋がりによって生み出される生態系サービスの社会経済的価値に焦点を当てた研究は多くない。

本研究では、広島湾および太田川流域に着目し、長期パネルデータを用いて、上流域に位置する森林および中流域に位置する農地の土地利用変化が海域環境および沿岸域での牡蠣養殖に及ぼす影響を検証することを目的とする。また、今後予想される将来シナリオに基づき、自然保全・管理が森里海の連環から生み出される生態系サービスに与える影響を予測し、その社会経済的価値を計測する。

2. 研究の方法

本研究の分析手順は以下の通りである。第一に、太田川流域における土地利用変化が広島湾の植物プランクトン(chl.a濃度で代理)に与える影響を定量化する。その際、動学モデルを用いて土地利用変化の影響を短期的および長期的な影響に分解する。第二に、広島湾で行われる牡蠣養殖に水質環境(chl.a濃度を含め、海水温、溶存酸素量等)が与える影響を、牡蠣の生育過程を考慮に入れつつ、定量化する。最後に、上述の知見を統合し、空間的・時間的に離れた生態系間の繋がりという視点から、太田川上流域に位置する森林に着目し、森林保全・管理が、水質変化を介して、広島湾の牡蠣養殖に及ぼす影響を定量化すると同時に、その影響の社会経済的価値を計測する。

3. 研究の結果

太田川流域における森林および農地等の土地利用変化は、広島湾のchl.a濃度に対して、即時的な影響を及ぼすものではないが、長期的には正の影響を及ぼすことが明らかとなった。一方、牡蠣養殖は、海水温上昇およびchl.a濃度不足という問題に直面していることが確認された。

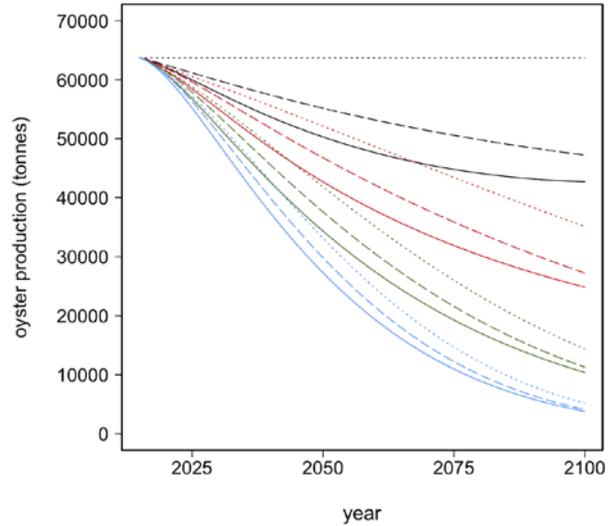


図1. 森林減少および海水温上昇と牡蠣養殖量の関係

他の諸条件を一定とした上で、今後想定される海水温上昇ならびに太田川上流域に位置する森林減少を考慮した場合、将来的に広島湾で行われる牡蠣養殖は大幅に減少することが予見された(図1)。

一方、太田川上流域に位置する森林を1ha保全することで防ぐことのできる、広島湾における牡蠣養殖の将来的な経済的損失は、今後の海水温上昇の程度次第ではあるが、およそ1,400-2,900万円となった。同等の面積を他の土地利用として用いたときに将来的に得られる社会経済的価値(森林保全に伴う機会費用)は430万円であり、森林保全が牡蠣養殖にもたらす社会経済的価値はその機会費用を上回ることが分かった。

4. 研究の考察

森、里、海それぞれの領域では最適な自然・資源管理計画のあり方がこれまでにも検討されてきた。しかし、本研究が示すように、事象の原因と結果がしばしば空間的・時間的なずれを伴う森里海の連環から生み出される自然の恵みは、しばしば政策意思決定の現場において見過ごされる傾向にある。すなわち、森、里、海という個々の領域における最適化行動は流域全体の視点から考える最適化行動とは必ずしも一致しない可能性を本研究は示しており、持続可能な自然資源管理の観点から、以上の点に留意した包括的な流域ガバナンスが望まれる。

大阪湾における海域環境の長期変動と 生物生産過程における転送効率の経時変化

○山本圭吾

大阪環農水研

キーワード：大阪湾・環境変化・低次生産・転送効率

1. 目的

かつては世界でも有数の生産力を誇った瀬戸内海では、近年海域によっては栄養塩濃度の低下による水産資源への影響が指摘され、海域の生産力向上を図るための研究・開発が求められるようになった。瀬戸内海の東端に位置する大阪湾は、流入する大河川の流域および沿岸に大都市を有する水深の浅い内湾であるため、陸域における人間活動の影響を特に受けやすい海域であり、これまで典型的な富栄養海域として認知されていた。本講演では、大阪湾における物理・化学的環境の長期変動を紹介し、環境の影響を受けやすい低次生産を中心に、プランクトン食性魚までの生産速度と転送効率がどのように変化したか、検討した結果を報告する。

2. 方法

物理・化学環境の変動解析は(地独)大阪府立環境農林水産総合研究所(以下、環農水研とする)で行われている浅海定線調査結果のうち、水温、塩分、透明度、溶存無機態窒素(DIN)・溶存無機態リン(DIP)、クロロフィル a (Chl a)について行った。基礎生産の解析には浅海定線調査データと、大阪府が行っている公共用水域常時監視調査(以下、公共用水域調査とする)資料のうち透明度とChl a のデータを使用した。浅海定線調査データは原則的に月1回月上旬に大阪湾全域の20定点の表層、公共用水域調査のデータは、月1回小潮時に大阪湾東部の12定点において、バンドン採水器を用いて水深1m層から採水された試水のデータである。一次消費(動物プランクトン)の解析には、公共用水域調査資料のうち種類別個体数データを用いた。二次消費(プランクトン食性魚)の解析には環農水研が実施している資源評価調査のカタクチイワシデータを用いた。一次生産者の生産速度は広島湾の調査で得られたパラメータから梅原ほか(私信)に従い計算した。一次消費者の生産速度は種別の個体密度に種ごとの平均体積を乗じた後炭素量に変換し、種ごとの成長速度を乗じることで見積もった。カタクチイワシの生産速度は、漁獲量と体長組成から計算した月別資源尾数に月齢別固体成長速度を乗じることで計算した。

3. 結果と考察

物理環境の長期変動では、水温が年 0.02°C 、透明度が年 0.03m の上昇傾向であった。化学環境ではDIN、DIPとも低下傾向(それぞれ年 0.27 、 $0.01\mu\text{M}$)であった。Chl a は年 $0.26\mu\text{g/L}$ の低下傾向であったが、2000年以前は頻繁に観察された高濃度のChl a が近年ほとんど確認されなくなったのが特徴的であった。

基礎生産速度は2調査とも低下傾向であった。動物プランクトンは個体数の98%を繊毛虫と節足動物が、節足動物の97%をカイアシ類が占めたため、一次消費者の解析は繊毛虫とカイアシ類について行った。繊毛虫とカイアシ類の生産速度の変動は大きく異なり、前者が1990年代後半に大きく低下したのに対し、後者は横ばいであった。また、カタクチイワシの生産速度は微増傾向であった。各栄養段階の転送効率は基礎生産—繊毛虫で1990年代後半から大きく低下していた一方、基礎生産—カイアシ類は微増傾向にあった。このことは、繊毛虫に流れていたエネルギーの一部がカイアシ類に移行した可能性を示唆する。さらに、両分類群を合わせた一次消費—カタクチイワシの転送効率は上昇傾向にあった。

基礎生産と繊毛虫、カイアシ類の生産速度、転送効率の関係を検討した結果、Chl a に対する生産速度は両群とも二次曲線の当てはまりがよく、繊毛虫でより高濃度で極大を示した。転送効率は両群ともChl a 濃度の上昇に伴い急速に低下したが、繊毛虫類でやや緩やかな低下を示した。すなわち、繊毛虫はカイアシ類より富栄養環境に適応した群と推察される。以上から、大阪湾はカイアシ類より高栄養に適した繊毛虫の生産に影響する程度に低栄養状態となっている可能性が示唆された。

大阪湾では1990年代以降マイワシ資源が大きく減少し、カタクチイワシ主体となった。2013年の東部瀬戸内海域で生態系モデル(Ecopath)により食物網を構築した結果、カタクチイワシとマイワシは同じ食物段階にあるが、動物プランクトンから多くがカタクチイワシへ流れる系となっていた(大美未発表)。すなわち、マイワシの減少でカタクチイワシへの転送効率が維持された可能性はあるが、大阪湾のプランクトン食性魚までの生産構造は瀬戸内の他の海域と比べ大きく悪化していないと考えられた。

ニホンウナギから見た豊かな森里川海の絆の再生

～環境 DNA 分析と GIS 解析の統合を目指して～

○亀山哲・今藤夏子・松崎慎一郎

国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター

キーワード：ニホンウナギ・環境 DNA・森里川海・GIS

1. 背景と目的

陸域と海域の生態系を繋ぎ、我々日本人にとって伝統的にも非常になじみが深いニホンウナギ。しかし現在、乱獲や生息域の劣化に加え森里川海の繋がりの脆弱化等がニホンウナギを絶滅の危機に追い込んでいる。我々の研究目的は、ニホンウナギの資源量の回復に加え、流域圏における生息適地と移動環境を保全・復元する事である。そして一連の活動の先には、ウナギ類を含む多くの絶滅危惧種の存在と人間の社会活動とがしなやかに調和した「自然共生社会」の実現を目指している。

今回は革新的な生態系モニタリング技術である環境 DNA 分析にも触れ、その技術が持つ流域圏の研究分野における有効性についても紹介する。

2. 研究対象及び解析方法

流域圏におけるウナギ資源回復のための研究アプローチは主に次の3点である。1) ウナギの生息状況に関する最新の実態把握と有効なモニタリング技術の確立。2) 資源量の減少要因の分析と具体的な適応策の検討。3) 先の二つの知見を基礎とした流域生態系の保全・復元のための具体的な施策提言。

1) の生息の実態把握においては、既存の魚類調査データに加え環境 DNA 分析による結果を統合化し GIS データベースを拡充した。これらの元データには位置情報の他、調査年月日が記録されており、その情報を基にウナギ生息状況の時空間的な変化を解析した。具体的には GIS を用いて全捕獲データを2次元的に地図化し、捕獲年別に生息の有無を分離した。この結果日本全体のウナギがいつからどの地域で捕獲されなくなったのか？時空間的に解明する事が可能となった。また、ニホンウナギの生息地情報(在/不在)を基に一般化線形回帰モデルを作成し、ニホンウナギの生息地ポテンシャルを計算して全国を対象に地図化した。さらに、環境 DNA 分析による調査結果を順次追加する事で淡水魚類データベースを拡充し、ウナギのみならず他の水生生物についても存在確率の高い地点を検出した。今回は新たに追加された絶滅危惧種を含む淡水魚類の空間情報を利用し、瀬戸内海流入流域を対象とした淡水魚類の多様性情報を地図化した。

3. 結果と考察

図1は全国の淡水魚類調査地点の中からニホンウナギが捕獲された地点を選択し地図化したものである。ニホンウナギが捕獲された全地点を白色の丸印で示し、次に1991-2001年までに生息が確認された地点についてはグレーの丸印を重ねて表示した。つまり地図中の白いポイントで示した場所がニホンウナギ生息地の主な減少地域である。これらの場所は何らかの理由で生息環境が変化し、特に1991年以降ニホンウナギの生息適地(条件)が喪失したと考えられる。(二つのデータの境界の年を1990年とした根拠はIUCNカテゴリー決定におけるニホンウナギの3世代時間を約30年と想定した為である)。

環境 DNA 分析は非常に有効なモニタリング技術であり、ウナギのみならず過去に捕獲困難であった絶滅危惧種について生息環境を検出することが可能となった。この結果、淡水魚類全体の種多様性の評価が高度化した。

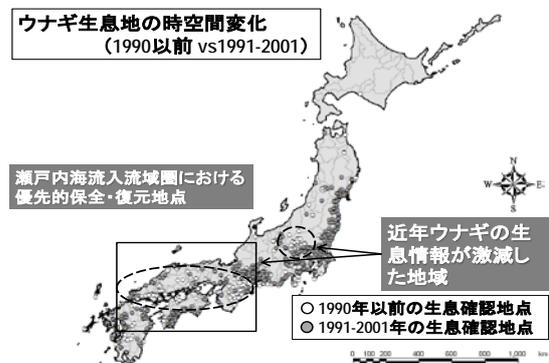


図.1 全国のウナギ生息地の時空間的な変化

4. まとめと提言

現在、河畔林や氾濫原といった生息適地の消滅や人為的な流域の改変、河川構造物による移動阻害また農薬等の化学物質などの影響は無視できない状況にある。具体的な対応策として、魚道やウナギラダーの設置等、回遊魚類の移動を容易にする河川横断構造物の改善はより積極的に取り組むべきである。また、グリーンインフラとしての機能を最大限有効活用した氾濫原等も絶滅危惧種の生息地として非常に重要な場所である。

森の手入れで魚を育む

—間伐材魚礁による漁獲増加の科学的評価

○山本民次

流域圏環境再生センター（広島県環境協技術顧問）

キーワード：魚礁・間伐材・リサイクル・循環

1. 内容

我が国では、水産資源の増加を狙った魚礁の設置が行われてきている。水産庁は、「水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン」（水産庁漁港漁場整備部，2016）により、魚礁による水産資源増加について費用対効果を事前に見積もることを勧めている。その方法は、公共事業としての予測計算であり、実際の効果の評価を行うものではない。

一方、我が国の森林率は60%以上で、環境省によれば、生物多様性を脅かす危機の1つとして、手入れがなされないことが挙げられている（生物多様性国家戦略 2012-2020）。森林の間伐によって発生する木材を再利用することは、循環型社会の形成を推進する観点からも重要であることから、農林水産省でも、公共事業における間伐材等木材の利用を推進している（改定「新農林水産省木材利用推進計画」；農林水産省，2016）。

このようなことから、本研究では、循環型社会形成を目指す地方のあり方として、森の間伐を行うことで、森の手入れを行うと同時に、間伐材を材料として魚礁を作成して設置し、どれくらいの漁獲量増加につながるかについて、生態系モデルを用いて評価した。研究対象とした東広島市安芸津町にある三津湾は、県による定期調査の結果から、貧栄養な海域であり、漁獲量の低下は著しく、カキ養殖も危機に瀕している。

2. 方法

本研究は、東広島市による地方創生事業助成金および市独自の予算措置により行われたものであり、広島大学と同市の包括協定により推進された成果である。

直径約 10 cm、長さ 1.5 m の間伐材を縄を用いて井桁に組み、高さ 1.5 m の方形とした。これらを安芸津町三津湾内の 2 か所に 15 基ずつ設置した。井桁内部に、カゴにカキ殻を詰めたもの、枝葉を詰めたもの、何も詰めないもの、の 3 種類の魚礁をランダムに設置した。2015 年 11 月に設置し、2018 年 8 月まで、年 4 回の調査を行った。調査は、通常の海洋観測項目に加え、魚類については、8 台の GoPro カメラを用いて出現種について種の同定と 5 cm きざみの大まかなサイズ測定を行った。

生態系モデルは、溶存態窒素 3 形態、溶存リン 2 形態、微細藻 2 形態、大型藻、デトライタス、動物プランクトン、付着・底生生物 11 グループ、魚類 6 種など、合計 30 以上のコンパートメントから成る。付着・底生生物および魚類の摂餌速度および摂餌選択性については、すべて文献調査による。魚類については、GoPro の撮影シーンから、魚礁での滞在時間や移動を割り出した。

また、三津湾および魚礁サイトでの窒素・リンの収支について算出した。以上の計算は、STELLA Architect v. 1.6.0 を用い、 $\Delta t=0.015$ day、4 次 Runge-Kutta 法で、調査期間 1020 days とした。

3. 結果および考察

すべてのコンパートメントについて、調査結果をほぼ再現することができた。付着・底生生物に対する魚類の捕食量は、枝葉入りの魚礁で一番大きく ($37.9 \text{ g m}^{-3} \text{ day}^{-1}$)、魚礁の無い場所に比べて 3 倍程度であった。漁獲量も、枝葉入りの魚礁で最も多く ($5.4 \text{ kg m}^{-3} \text{ year}^{-1}$)、魚礁の無い場所に比べて 2 倍以上であった。メバルが最も多く漁獲された魚種であり、33-51% を占めた。

窒素・リンの濃度は魚礁サイトで高く、これは生物量が増えることで循環量が増えるためであると考えられた。また、湾外が魚礁について窒素・リン濃度が高く、魚礁サイト以外の湾内が一番濃度が低かった。三津湾に対する河川や下水処理場からの窒素・リンの流入は極めて小さいことから、三津湾は極めて貧栄養な海域であり、同湾の生物生産が、基本的に湾外からの物質の負荷に依存していること、また魚礁の設置により、湾内での物質の循環が加速され、このことが漁獲量の増加に寄与することが理解できた。

間伐材魚礁は、5 年程度で朽ちて崩壊することが、潜水観察から分かった。この点では、コンクリート魚礁に比べて持続性の点で劣る。間伐して手入れすべき森林域は東広島には広くあることから、5 年サイクルで、間伐材を入れ続け、森の手入れと漁獲量の増加を図ることこそ、循環型社会形成にとって有効であると講演者は考えている。

森から海までのつながりの科学

ケーススタディーから全国調査まで

○山下 洋

京都大学森里海連環学教育研究ユニット

キーワード：森里海連環学・栄養塩・スズキ・ウナギ

1. はじめに

我が国の沿岸漁業漁獲量が長期的に減少している。その大きな要因のひとつとして沿岸生態系の劣化が考えられる。沿岸域は陸域の人間活動と密接な関係を有し、埋め立て、護岸、堰などに加えて、河川や湧水によって沿岸域に運ばれる水、栄養塩、有機物、無機粒子などから直接的な影響を受けている。また、海と川の間を行き来する生物も多い。健全な沿岸生態系のためには、健全な陸域と沿岸域の相互関係が必要であり、森から海までの生態系のつながりの修復が、沿岸生態系の再生に不可欠である。しかし、森から海までの生態系の構造は複雑であり、生態系の連環と分断の実態、及びそのメカニズムを解明することは容易ではない。私たちは、九州から東北までのいくつかの地域で森里海連環に関する詳細なケーススタディーを行うとともに、近年急速に進歩した環境 DNA 分析技術を用い、日本全国の河川で河口・沿岸域の魚類相と流域構造との関係を調べ、森から海までのつながりの包括的な把握を試みた。

2. 由良川・丹後海

京都府の由良川と丹後海において、長期的に多様な観点から調査を行ってきた。その中のいくつかの成果を紹介したい。森里海連環の鍵を握る栄養物質として溶存鉄が注目されている。由良川流域では溶存鉄の主要な供給源は都市と農地であり、森林の寄与は小さかった。ところが、河川水中の溶存鉄のほとんどは河口域において除去され、丹後海まで運ばれる溶存鉄は、森林を起源とする有期錯体鉄であることが示唆された。丹後海の基礎生産に森林起源の溶存鉄が貢献していることが推察されたが、溶存鉄は基礎生産の制限要因とはなっておらず、溶存鉄の動態と役割の複雑さを示した。

スズキは丹後海の沖合で産卵し沿岸に輸送された仔魚は、丹後海浅海域と由良川を幼稚魚期の成育場として利用した。丹後海の定置網で漁獲されるスズキ成魚のうち、約 3~4 割が幼稚魚期に由良川を成育場としていたことが明らかになった。スズキ幼稚魚の主食は丹後海ではニホンハマアミ、由良川ではイサザアミであり、スズキは沿岸域の生産力と河川の実産力を柔軟にかつ合理的に利用する実態が明らかになった。

3. 国東半島

国東半島の中心部にある両子山において、渓流水中に高濃度の溶存態窒素が含まれていることがわかった。窒素の起源は大気降下粒子と考えられるが、それが直接河川に流入するのではなく、森林内で長期に循環し再生産されて河川に出ていることが明らかになった。世界農業遺産に指定されている国東半島の農業・ため池システムの中で、下流に向かって過剰な窒素が消費されリンが供給されることにより、河口域では C/N 比がレッドフィールド比に近くなり、農業の影響を通して栄養塩が沿岸の生物生産に有効な状態に変化する可能性が示された。また、国東半島を流れる河川の河口域のスズキ稚魚の成長速度は、窒素飽和が観察されない対象区の河川と比較して有意に高かった。

4. ニホンウナギ

九州、紀伊半島、東北の河川・河口域でニホンウナギの生態調査を行った。本種は環境の受容範囲と順応性に優れており、大小河川、農村型・都市型河川まで、多様な河川に回遊して生活していることがわかった。本種は柔軟な摂餌生態と移動性をもち、この特性を有効に発揮できる環境が、本種資源の保全と培養の鍵となることがわかってきた。前述のスズキとともに、コンクリート護岸や堰など餌料環境を悪化させ移動を阻害する構造物は、資源生物個体群の健全な生産の障害となることが示された。

5. 全国調査

全国 32 河川の河口・沿岸域において採水を行い、環境 DNA メタバーコーディング法により水域の魚類相を分析し、流域の人間活動との関係について解析を行った。解析に用いたいずれの人間活動の指標も種多様性に影響しなかったが、放棄農地などの荒廃地面積や河川・沿岸の護岸率は環境省レッドリスト掲載種の多様性に負の影響を与えた。このことは、人間活動の影響は、環境の変化に脆弱なレッドリスト掲載種においてより顕在化しやすいことを示した。一方、森林面積は河口域のレッドリスト掲載種の多様性と正の関係性を有しており、全国的な調査により、河口域と森林との関係が初めて確認された。そのメカニズムについても検討したい。

陸域からの影響が大きい内湾における漁業資源

○片山知史*

*東北大院農

キーワード：内湾資源・メバル類・炭素窒素安定同位体比・中長期変動・NPIW

1. 背景

東京湾、伊勢三河湾、大阪湾、瀬戸内海といった内湾域においては、埋め立てによりアサリの漁獲量が1980年代半ばまでに10万トンも減少した。1980年後半からは、浮魚の漁獲量は安定しているものの、底魚類や底生甲殻類の減少傾向が継続している。特にマコガレイ、シャコといった内湾を代表する資源が、漁業管理を徹底した中でも回復していない。内湾における漁獲量の低迷の要因については、1990年代半ばから秋冬期の底層TN、TPの減少が顕著になったことなどから、陸域からの栄養塩供給不足が指摘され、瀬戸内海を中心に種々対策も検討されている。

一方内湾資源は、中長期的な資源変動を示す魚種が多く、さらに資源変動が地理的に離れた内湾間で同調しており、日本列島全体を左右する気象海洋学的な要因抜きには説明できない。すなわち、内湾の漁業資源の変動を検討する際には、人間活動を含めた陸域からの影響と、気象海洋学的な外海との関係といった視点の異なる両面から検討する必要があると思われる。

本報告では、この両面からの検討例として、メバル類の炭素窒素安定同位体比を用いた陸域からの影響の評価と、外海からの栄養塩供給が内湾の生産性に与える影響についての仮説を紹介する。

2. メバル類の成長と食性

メバル（アカメバル、クロメバル、シロメバル）は沿岸域の岩礁域や藻場に生息する重要漁業資源である。これら3種の生活史特性と食性を明らかにするために、志津川、七ヶ浜（宮城県）、東京湾、小浜（福井県）、伊吹島（燧灘）、周防灘（瀬戸内海）のメバル類の耳石解析と食性分析を行った。クロメバル、シロメバルの成長を海域間で比較したところ、東京湾は極限体長が小さかった。また、仙台湾の七ヶ浜は他海域と同程度の成長を示した。これらメバルの成長の海域間の差は水温よりも食物環境を反映したものと考えられた。3種が漁獲された伊吹島において種間の成長比較を行ったところ、アカメバルが他2種よりも明らかに小型であることが分かった。

メバル類はいずれの海域でも、ヨコエビ、ワレカラ等の甲殻類や、多毛類、介形類といった多様な食物生物を

摂食しており、3種間で食性の違いは認められなかった。炭素・窒素安定同位体比は種間よりも海域による違いが大きかった。特に窒素同位体比 $\delta^{15}\text{N}$ は、13.7（志津川）から19.5（東京湾）まで幅広い値を示した。溶存硝酸塩の $\delta^{15}\text{N}$ は、肥料や下水などの影響を受ける。そこで海域の N-NH_4^+ （mg/L）濃度とメバルの $\delta^{15}\text{N}$ と比較したところ高い相関が認められた。この結果は、人間活動の影響がメバルの生物生産に影響していることを示している。

3. 内湾資源と外海水の関係

内湾・沿岸域の代表的な資源であるスズキについては、漁獲量が数十年スケールで変動すること、また日本各海域で同期して変動することが報告されている。またコウイカ、コノシロ、ガザミも同様の変動パターンであることが示されている。すなわち、内湾生物の資源変動に気象海洋学的な要因が関与していることが示唆される。

近年、沿岸域における中長期的な海洋変動の指標として、国土地理院が宮崎県北部に設置している細島潮位が用いられるようになった。渡慶次ら（投稿中）は具体的に、日向灘のマダイ資源と細島潮位が2年のタイムラグをもって相関していることを明らかにし、北太平洋規模の長期的な海況変動の影響を受けて、太平洋から底入り潮として豊後水道に栄養塩豊富な底層冷水が浸入し、栄養塩バイパスによる基礎生産の増加に伴ってマダイの食物生産が増加したというメカニズムを提示した。

紀伊水道を介した大阪湾や、熊野灘への栄養塩供給源についても、外海水の特に北太平洋中層水（NPIW）が大きな役割を持っていることが示されている（藤原ら2009など）。したがって、内湾・沿岸域の海洋生態系における生産性については、NPIWの流入量が重要な変動要因の一つであるという仮説が立てられる。NPIWの中長期的な変動機構の解明、およびNPIWの基礎生産への寄与度を把握するための定量的な測定が今後必要な課題と思われる。