

(1) 研究課題名

「豊かな海」とは何か～文理の結節手法を探る～

(2) 共同研究者名（所属）

脇田和美（東海大学・海洋学部 教授）

杉野弘明（山口大学・国際総合科学部 講師）

鈴木崇史（鹿児島大学・水産学部 助教）

森本昭彦（愛媛大学化学汚染・沿岸環境研究拠点・環境動態解析部門
教授）

(3) 研究目的

瀬戸内海の目指すべき姿が2015年、「きれいな海」から「豊かな海」へと転換された。しかし、目指すべき「豊かな海」の議論は緒についたばかりで、その目標は抽象的である。今後、湾・灘ごとに栄養塩類の管理計画を策定していく必要があるが、目指すべき水質等の自然科学的な数値と、沿岸住民が望む「豊かな海」との結節はできていない。そこで本研究では、瀬戸内海に関する物理環境モデルによる自然科学的知見と、人間が求める「豊かな海」のイメージに関する社会科学的知見をつなぐ結節手法を明らかにすることを目的とする。具体的には、物理環境モデルのシミュレーションと、人々が望む「豊かな海」のイメージとの具体的なリンクを試みる。これによる本研究成果は、文理が融合した栄養塩類の管理手法の構築に資するものとなる。

(4) 研究方法

本研究では、瀬戸内海沿岸住民が描く「豊かな海」のアンケート調査結果（昨年度の研究成果（2023年度日本沿岸域学会論文賞受賞論文））をふまえて、文理融合による環境と人の意識との結節に関する先行研究の文献調査を行う。その上で、物理環境モデルにより瀬戸内海の将来像に関するシミュレーションを行っている森本（貴研究拠点・教授）と、申請代表者で沿岸域管理を専門とする脇田（東海大学・教授）、環境心理学を専門とする

杉野（応募申請時は東京大学大学院・助教、現在は山口大学・講師）、消費者行動学を専門とする鈴木（鹿児島大学・助教）が集中的に議論・検討することにより、瀬戸内海に関する物理環境モデルによる自然科学的知見と、人間が求める「豊かな海」のイメージに関する社会科学的知見をつなぐ結節手法の枠組みを構築した。2023年12月26日および27日に、山口大学の会議室において、森本、脇田、杉野の3名は対面で、鈴木は遠隔オンラインでの参加により、物理環境モデルと人間が求める「豊かな海」のイメージをつなぐ手法の枠組みを集中的に議論した。なお、2023年8月17日にも、東京大学において、森本、杉野、脇田の3名の対面により、研究の進捗の情報共有および手法の概要を議論した。

（5）研究成果

文献調査により、これまでに海洋の物理環境モデルによる自然科学的知見と、将来の海に関する望ましいイメージに関する社会科学的知見をつなぐ研究については、概念的な整理にとどまっていることが明らかとなった。例えば、但馬ら（2021）は、北海道・厚岸を事例とした社会・環境変動に関する地域将来シナリオを検討し、利害関係者の間でも海とのかかわり方などにより望む将来像に乖離がある点を明らかにしているが、自然科学的知見との結節については行われていない。また、Stelzenmüller et al（2024）では、ドイツの北海沿岸海域における将来の利用や保全のあり方を検討する海洋空間計画において、人間の望む将来像を海洋環境アセスメントにいかに関与させることができるか、を社会学者と自然科学者の議論により検討しているが、その結果は定性的な整理にとどまっており、定量的な議論には至っていないことが確認された。これにより、本研究の新規性、独自性を改めて位置づけることができた。

以上の文献調査結果をふまえ、本研究では共同研究者全員により、集中的な議論を行うことにより、森本が行ってきた物理環境モデルによりシミュレーション結果と、社会科学的な調査手法による豊かな海の将来像との結節手法の枠組みを検討した。森本はこれまでに、瀬戸内海の栄養塩に占める陸起源、海底起源、太平洋起源の栄養塩の比率を明らかにしてきた（図

1)。これによると、瀬戸内海の栄養塩環境における太平洋起源の栄養塩の占める割合は高く、外洋での栄養塩濃度が変化すると瀬戸内海の栄養塩濃度もそれに応じて変化することとなる。このことは、陸起源の栄養塩負荷量をどの程度減らせば、どの程度の栄養塩変化が生じるかをシミュレーションする際の基礎的なデータとなる。また、森本はあわせて、これまでに瀬戸内海の物理—底質—低次生態系結合モデルの開発を行ってきた。瀬戸内海全域および播磨灘について、物理環境、栄養塩、植物プランクトン、動物プランクトン間の関係性をモデル化してシミュレーションを行うことにより、陸起源、底質起源、太平洋起源の各栄養塩が、播磨灘の栄養塩に占める割合と、その時間変化を定量的に示すことができる（図2）。

一方、杉野はこれまでに社会的変数同士の因果構造を推定し、変数の多寡により全体への影響を算出することが可能なベイジアンネットワークについて、よりロバストな推定が可能であり、かつ変数の粒度やレイヤーが異なるネットワークモデルを接続して全体の推定が可能となる 2-step

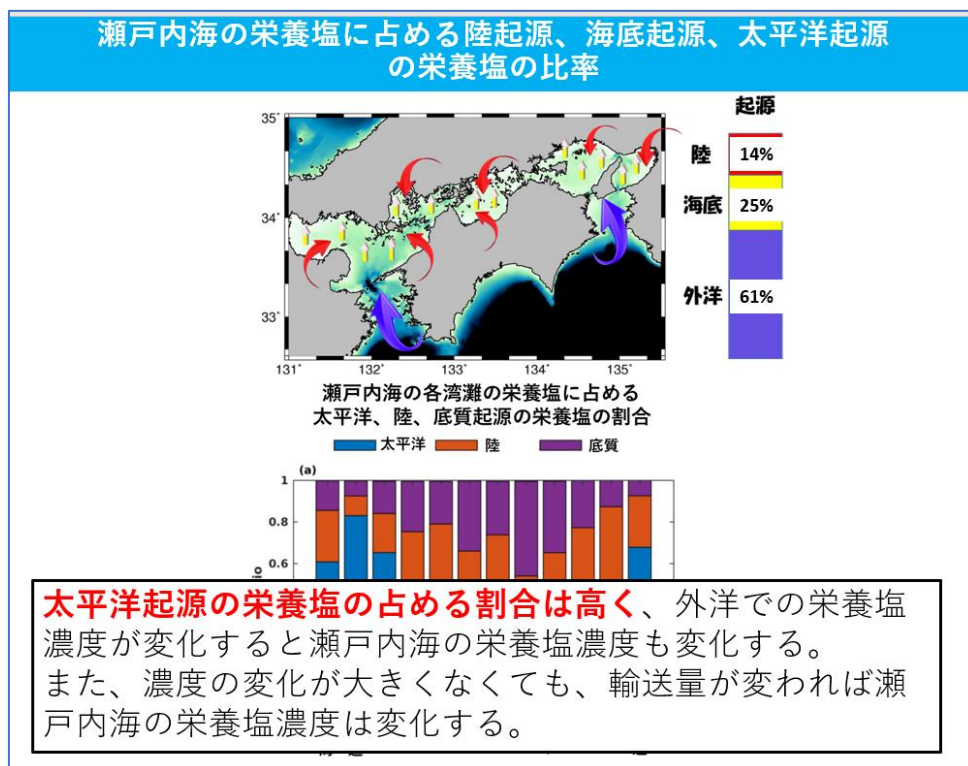


図1 瀬戸内海の栄養塩に占める陸起源、海底起源、太平洋起源の栄養塩の比率のシミュレーション結果（2023年12月26日の森本発表資料）

物理—底質—低次生態系結合モデルの開発（愛媛大学）

陸起源、底質起源、太平洋起源の各栄養塩が播磨灘の栄養塩に占める割合と、その時間変化を定量的に示すため、2種類の数値モデルを開発。

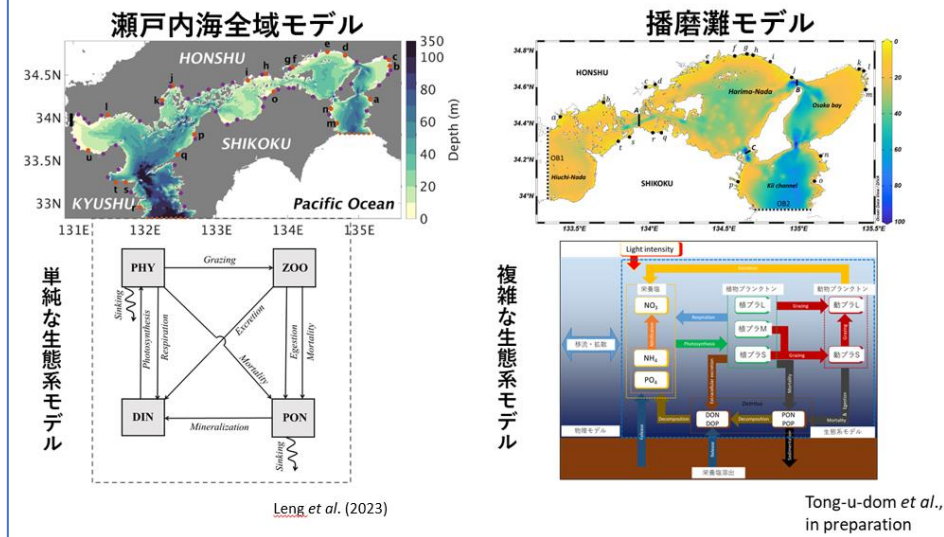


図2 物理—底質—低次生態系結合モデル（2023年12月26日の森本発表資料）

Nested Bayesian Network（仮訳：2段階入れ子構造のベイジアンネットワーク）を用いて、複数種にわたる漁業資源量の変動、複数漁船の漁獲量データ、販売店舗での魚の販売量、の3者間の関連について、その関係性の変動の多寡を定量的に示すことに成功してきている（図3）。

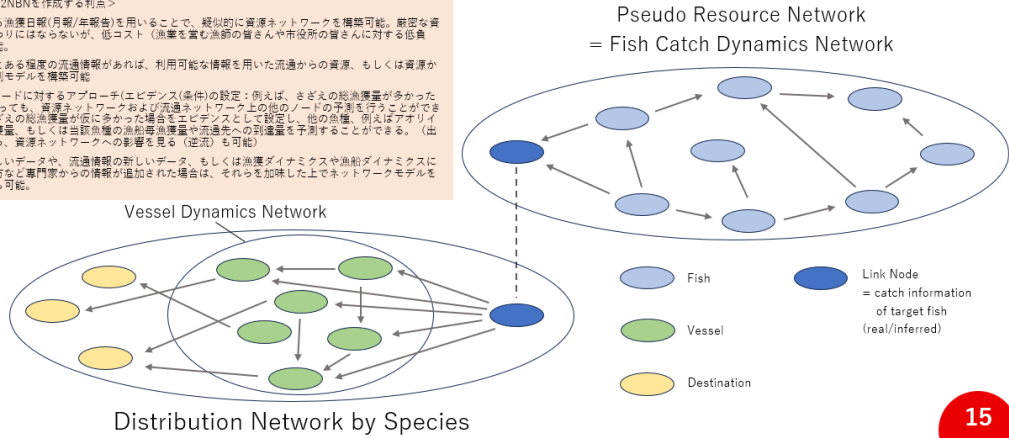
本研究グループにおける集中的な議論の結果、この2段階入れ子構造のベイジアンネットワークを用いれば、物理環境、栄養塩、植物プランクトン、動物プランクトンの関係性を表す物理環境モデルを片方の構造として用い、もう一方の構造として、人々が望む豊かな海の将来像に関するモデルを位置付けることにより、物理環境から人々が望む豊かな海の将来像までを、一連のリンク（つながり）として捉え、表現することが可能となるというアイデアにたどりついた。その際、両方のモデルをつなぐためのリンク・ノード（結節点）（図3の濃い青色の楕円に相当）に何を利用できるか、が鍵となる。これについては、議論の結果、瀬戸内海のアイコン的な存在でもあり、動物プランクトンまでの低次生態系モデルとのつながりが比較的近いと考えられる、イカナゴにするのがよい、という結論に至った。



2-step Nested Bayesian Network (Inference)

<ローカルレベルで2NBNを作成する利点>

- 漁獲で採られる漁獲日額(月額/年報告)を用いることで、疑似的に資源ネットワークを構築可能。厳密な資源量調査の代わりに、低コスト(漁業を営む漁師の皆さんや市役所の皆さんに対する低負担)で構築可能。
- 上記漁獲情報とある程度の流通情報があれば、利用可能な情報を用いた流通からの資源、もしくは資源からの流通の予測モデルを構築可能。
- 2NBNのどのノードに対するアプローチ(エビデンス(条件)の設定:例えば、さざえの総漁獲量が多かった場合などであっても、資源ネットワークおよび流通ネットワーク上の他のノードの予測を行うことができる。さざえの総漁獲量が依に多かった場合エビデンスとして設定し、他の魚種、例えばアオリイカやアジの漁獲量、もしくは当該魚種の漁船毎漁獲量や流通先への到達量を予測することができる。(出荷先の設定から、資源ネットワークへの影響を見る(逆流)も可能)
- 漁獲情報の新しいデータや、流通情報の新しいデータ、もしくは漁獲ダイナミクスや漁船ダイナミクスに関する漁師の方など専門家からの情報が追加された場合は、それらを加味した上でネットワークモデルを更新することも可能。



15

漁業と港と地域と人の活性化を”繋がり”で考える

図3 2段階入れ子構造ベイジアンネットワークのモデル (2023年12月26日の杉野発表資料)

(6) 今後の課題

今後は、今回の研究成果をもとに、実際に2段階入れ子構造ベイジアンネットワークを構築し、シミュレーションを行うことにより、物理環境モデルと社会科学モデルの統合モデルを確立する必要がある。これにより、人々が望む豊かな海という将来像の実現に向け、目指すべき栄養塩類の管理の検討に有用となるデータが提示できるようになる。

参考文献

- V. Stelzenmüller et al (2024) Framing future trajectories of human activities in the German North Sea to inform cumulative effects assessments and marine spatial planning. Journal of Environmental Management 349: 119507.
- 但馬英知ら (2021) 社会・環境変動に関する住民意識調査に基づく 地域将来シナリオの検討 - 北海道・厚岸を事例に - . 沿岸域学会誌 34 巻1号: 37-46.