

モンテカルロ法を用いた食物連鎖モデルによる播磨灘における漁獲圧に対する生態系の応答性評価

Evaluating the Effects of Fishing Pressure on Bioecosystems at Harima-Nada in Seto Inland Sea Using Monte Carlo-based Food Chain Model

○岡崎 舜 (大阪大学)
嶋寺 光 (大阪大学)
PINTOS ANDRCOLI Valentina (大阪大学)
松尾 智仁 (大阪大学)

古賀 佑太郎 (兵庫県環境研究センター)
佐藤 祐一 (滋賀県琵琶湖環境科学研究センター)
鈴木 元治 (兵庫県環境研究センター)
近藤 明 (大阪大学)

Shun OKAZAKI*1 Yutaro KOGA*2 Hikari SHIMADERA*1 Yuichi SATOH*3 Valentina PINTOS ANDRCOLI *1
Motoharu SUZUKI*2 Tomohito MATSUO*1 Akira KONDO*1

*1 Osaka University *2 Hyogo Prefectural Institute of Environmental Sciences. *3 Lake Biwa Environmental Research Institute

There is a high fishing pressure, which affects the marine ecosystems, and a decreasing trend of fishery production in Harima-nada. For sustainable resource management, the relationship between the pressure and the ecosystems needs to be investigated. In this study, we evaluated the response of the ecosystems to the pressure in the Harima-nada using Monte Carlo-based food chain model that takes fishery into account. The results indicated that piscivorous fish decreased with increasing fishing pressure, but planktivorous fish increased because the impact of the decrease in its predator was larger than that of increasing fishing pressure.

はじめに

瀬戸内海は、昭和 45~55 年代での単位面積当たりの海面漁業生産量が地中海の約 25 倍であり、非常に漁獲圧が高い¹⁾。近年では、瀬戸内海海面漁業生産量が約半分に減少しているが、依然としてこの海域は非常に高い水準の漁獲圧を維持している。一方、漁業活動は漁獲対象種の資源に直接的な影響を与えるだけでなく、生態系内の他の生物種にも間接的な影響を与えるとされている²⁾。瀬戸内海は高い漁獲圧を維持している水域であるため、漁業活動が生態系になんらかの影響を与える可能性があるが、漁業と海洋生態系における関連性は不明確である。また近年では、海面漁業生産量が減少傾向である。そのため漁獲圧が生態系に与える影響を把握し、持続可能な資源管理を目指す必要がある。そこで、瀬戸内海東部の播磨灘を対象に漁獲を考慮した食物連鎖モデルを用いて、播磨灘の海洋生態系の応答を評価した。

1. 方法

1.1 生態系モデル概要

漁獲圧変化に対する生態系の応答性を評価するため、高島ら³⁾の播磨灘 NPZFF モデル (従来モデル) に漁獲死亡を導入した。モデルの概要図を Fig. 1 に、計算領域を Fig. 2 に示す。窒素と各バイオマス・のマスバランスを式(1)~(5)、本研究で導入した漁獲死亡を式(6)で表す。

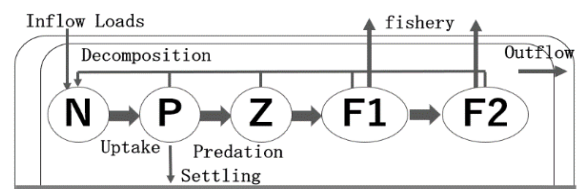


Fig.1 Structure of food chain model, N: Nutrients, P: Phytoplankton, Z: Zooplankton, F1: Planktivorous Fish, F2: Piscivorous Fish

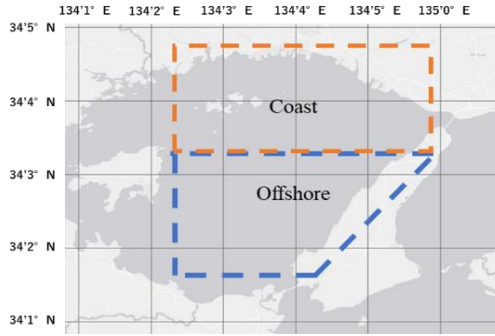


Fig.2 Calculation domain of Harima-nada NPZFF model

$$\frac{dC_N}{dt} = L_N - O_N + DP_N + DZ_N + DF1_N + DF2_N - I_N \quad (1)$$

$$\frac{dM_p}{dt} = G_p - P_p - E_p - R_p - D_p - O_p + L_p \quad (2)$$

$$\frac{dM_z}{dt} = G_z - P_z - E_z - R_z - O_z + L_z \quad (3)$$

$$\frac{dM_{F1}}{dt} = G_{F1} - P_{F1} - E_{F1} - R_{F1} - H_{F1} \quad (4)$$

$$\frac{dM_{F2}}{dt} = G_{F2} - E_{F2} - R_{F2} - H_{F2} \quad (5)$$

$$H_{F1} = M_{F1} \cdot C_{F1} \quad H_{F2} = M_{F2} \cdot C_{F2} \quad (6)$$

ここで C_N は窒素濃度, I_N は植物プランクトンの窒素摂取速度, DX_N は各バイオマス (X は P : 植物プランクトン, Z : 動物プランクトン, $F1$: プランクトン食性魚, $F2$: 魚食性魚) 由来の窒素量, M_i は各バイオマス濃度, G_i は成長量, P_i は捕食量, E_i は消滅量, R_i は呼吸及び自然死滅量, H_i は漁獲量, C_i は F_i に対する漁獲死亡率, D_i は沈着量, O_i は流出量, L_i は流入量, i は各栄養段階 (N : 窒素, P , Z , $F1$, $F2$) を表す。

1.2 漁獲死亡の導入

従来モデルでは、魚類の死亡は全て自然死亡によるもので、死亡後は分解されて窒素が系内循環すると仮定していた。本研究では、魚類の死亡を自然死亡と漁獲死亡に区分し、漁獲による窒素の系外への除去を表現した。漁獲を表現するためのパラメータとして、漁獲死亡率を追加した。それに伴い、従来モデルから自然死亡率も変更した。

漁獲死亡率は、播磨灘の年別プランクトン食性魚・魚食性魚漁獲量をプランクトン食性魚・魚食性魚バイオマス量で除することで算出した。年別漁獲量に関しては 2010~2015 年の兵庫県⁴⁾、独立行政法人統計センター⁵⁾の種別水揚量を用いた。魚類バイ

オマス量に関しては、従来モデルによる計算値³⁾を用いた。このバイオマス量は炭素重量であるため、漁獲量は乾燥重量、レッドフィールド比を考慮し、炭素重量に換算した。

自然死亡率は、田内・田中の式 (自然死亡率 (/year) = 2.5 ÷ 魚種別寿命)⁶⁾を用いて算出した。魚種別寿命は国立研究開発法人水産研究・教育機構⁷⁾から取得し、魚種をプランクトン食性魚、魚食性魚に区分して自然死亡率を得た。

1.3 計算手順

従来モデル同様、モンテカルロ法を用いて以下の手順で計算を行った。

STEP1: モデルパラメータを文献等から定めた幅の範囲内でランダムに設定。20 年間の計算を行う。

STEP2: 以下の条件を満たす場合にそのモデルを採用する。採用されなかった場合は STEP1 に戻る。
①20 年目の窒素濃度, 各バイオマスの平均値が設定した範囲内。
②20 年目の窒素濃度, 各バイオマスの変動係数が 0.2 以下。

STEP3: 計算初期値を STEP2 で計算した 20 年目の平均値に置き換え、計算目的に応じた条件に再設定して、さらに 20 年間の計算を行い、最終年次 (20 年目) における窒素濃度および各バイオマスを計算する。

STEP4: 各 1000 パターンの結果が得られるまで STEP1 ~3 の計算を繰り返す。

1.4 再現計算及び漁獲死亡率変更計算条件

まず、モデル性能評価のために 2010 年代での再現計算を行った。次に、プランクトン食性魚、魚食性魚に対して漁獲圧を変更する、漁獲死亡率変更条件で計算を行った。再現計算条件では、窒素濃度、植物プランクトン濃度の計算値と広域総合水質調査⁸⁾の観測値を比較した。漁獲死亡率変更条件では STEP3 において、漁獲死亡率を 0.2 倍から 2.0 倍の範囲で変化させた。

2. 結果

2.1 再現計算

2010年代での再現計算結果を Fig. 3 に示す。窒素濃度に関しては、沖合の平均濃度が沿岸より高くなった。植物プランクトン濃度に関しては、沿岸の平均濃度がより高くなっており、播磨灘の特性を再現できた。

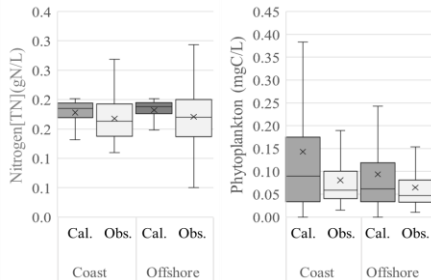


Fig.3 Comparison of calculated and observed TN concentration and Phytoplankton biomass 2010s for 1000 patterns. The top and bottom of the box represent 75th and 25th percentiles respectively. The top and bottom of the vertical line represent 95th and 5th percentiles. The inner line is the median and the asterisk represents the average.

2.2 漁獲死亡率変更計算

漁獲死亡率の変更倍率 0.2 倍, 1.0 倍, 2.0 倍の場合の沿岸部における窒素濃度, 各バイオマス濃度および生産量の平均値の栄養段階毎の推移を Fig. 4 に示す。Fig. 4 では漁獲死亡率が増加するにつれて, 魚食性魚生産量が低下し, プランクトン食性魚生産量は増加した。また動物プランクトン生産量, 植物プランクトン生産量は増加したが, 変化率は魚類と比較して小さかった。また TE (転換効率=捕食者の生産量/餌生物の生産量) は漁獲死亡率増加につれて魚類間は低下, プランクトン食性魚・動物プランクトン間は増加, プランクトン類間は低下し, 上位栄養段階間ほど変化率は大きかった。

漁獲死亡率の変更倍率毎の沿岸部における窒素濃度, 各バイオマス濃度変化とプランクトン食性魚, 魚食性魚の漁獲死亡率倍率毎の漁獲死亡率と総死亡率 (自然死亡率と漁獲死亡率の和) の比率の推移を Fig. 5 に示す。漁獲死亡率の増加に対して窒素濃度, 各バイオマス濃度がそれぞれ一定の傾向で変化した。

魚食性魚に関しては, 漁獲死亡率が増加するほどバイオマスが減少する傾向を示し, プランクトン食性魚については, バイオマス濃度が増加する傾向が見られた。動物プランクトンに関しては, 減少傾向を示し, 植物プランクトンに関しては増加傾向を示した。またバイオマス濃度の変化率は魚類の方が大きかった。TN 濃度に関しては, 漁獲死亡率が増加した際, 減少する傾向が見られた。

2.3 考察

漁獲死亡率増加に伴う, 窒素濃度, 各バイオマス濃度変化についての考察を以下に述べる。

魚食性魚は, バイオマス濃度, 生産量の減少が見られた。これは漁獲死亡率が増加すると, 漁獲される種の生物量が減少し, 生産量も減少するためだと考えられる。

プランクトン食性魚は, バイオマス濃度, 生産量の増加が見られた。魚食性魚は次栄養段階がなく, 漁獲による死亡や自然死亡で, バイオマス濃度が減少するが, プランクトン食性魚は漁獲による死亡や自然死亡以外にも, 次栄養段階の捕食影響を受ける。Fig. 4 では漁獲死亡率増加につれて, 魚類間で TE が減少し, 被捕食機会が損なわれていることが見て取れる。そのため, 漁獲死亡率を上げた際の魚食性魚バイオマス濃度減少に伴うトップダウン効果により, バイオマス濃度が増加したと考えられる。これは漁獲圧の増加が単純なプランクトン食性魚資源量の減少にはつながらない可能性があることを示した。

動物プランクトンバイオマス濃度の減少に関しては, プランクトン食性魚による捕食死亡率増加の影響が前栄養段階の影響よりも優先し, バイオマスが減少したと考えられる。植物プランクトンバイオマス濃度の増加に関しては, 窒素濃度減少によるボトムアップ効果よりも, 動物プランクトンバイオマス減少に伴うトップダウン効果が大きいと見られる。植物プランクトンバイオマス濃度が増加したと考えられる。

窒素濃度に関しては減少がみられたが, 漁獲による系外への窒素流出により減少したと考えられる。窒素濃度の減少は植物プランクトンバイオマスの減

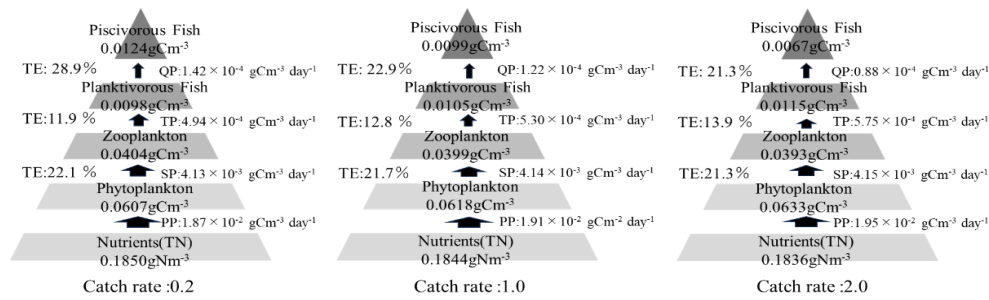


Fig.4 Material flows and stocks for each catch scenario calculated in the Harima-nada model (fishery pressure multipliers from left to right: 0.2, 1, and 2). represent the average of 1000 patterns. (PP: primary production, SP: secondary production, TP: tertiary production, QP: quaternary production, TE: trophic transfer efficiency (= predator production/prey production)).

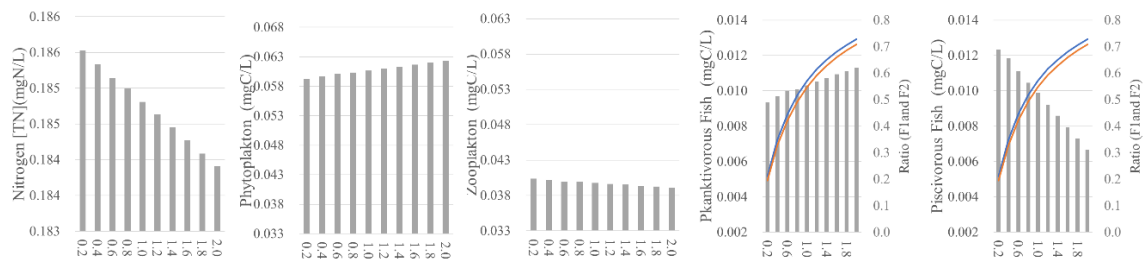


Fig.5 TN and biomass concentrations and ratios of fishery mortality to total mortality for each fish species (blue line: F1, orange line: F2) at different fishery pressure (lower axis: catch multipliers). Plot are results of the average of 1000 patterns for each mode

1.

少を引き起こすが、動物プランクトンが植物プランクトンの増減を律速しているため、漁獲による窒素減少の植物プランクトンの増減に対する影響は小さいことが示された。

3. 総括

播磨灘における漁獲圧に対する生態系の応答性評価の結果をまとめる。

- 1) 漁獲死亡率の増加により、魚食性魚は減少することが示された。一方、プランクトン食性魚においては、直接の漁獲死亡率増加の影響を、魚食性魚減少による被食減少の影響が上回り、増加の傾向を示した。
- 2) 漁獲死亡率の増加により、窒素濃度の減少がみられた。しかし、この窒素濃度の減少は植物プランクトンの増減にあまり影響を与えないことが示された。

参考文献

- 1) 瀬戸内海の現況等について 環境省、

<https://www.env.go.jp/content/900542073.pdf>

- 2) 平成 28 年度 水産白書 水産庁
https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/h28_h/trend/1/t1_1_3_3.html
- 3) 高島知樹、古賀佑太郎、嶋寺光、松尾智仁、近藤明、モンテカルロ法を用いた食物連鎖モデルによる播磨灘における窒素負荷量に対する生態系の応答性評価、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文
- 4) 水産業の概況 兵庫県、農林水産部、水産漁港課:<https://web.pref.hyogo.lg.jp/org/suisan/documents/suisangyougaikyou.pdf>
- 5) 海面漁業生産統計調査、兵庫(昭和31年～平成27年)、独立行政法人統計センター
- 6) 水産資源管理談話会報第 38 号、一般財団法人日本鯨類研究所
- 7) 令和4年度魚、種別資源評価国立研究開発法人水産研究 教 育 機 構
<https://abchan.fra.go.jp/hyouka/last-year/>
- 8) 環境省、広域総合調査、<https://water-pub.env.go.jp/water-pub/mizu-site/mizu/kouiki/dataMap.asp>