

令和元年6月7日現在

機関番号：82708

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H07413

研究課題名（和文）水産資源の加入量変動要因の解明および予測モデルの開発

研究課題名（英文）Development of predictive models for fish stock dynamics by elucidating mechanisms underlying the variability in recruitment

研究代表者

西嶋 翔太（Nishijima, Shota）

国立研究開発法人水産研究・教育機構・中央水産研究所・任期付研究員

研究者番号：50805116

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：水産資源の加入量の予測精度を高めるためのモデル開発・解析に取り組んだ。トロール調査のデータから、マサバ太平洋系群では卓越年級の発生時には東経160度付近の局所密度が増加することが明らかになった。マサバの産卵量データの解析を行い、水温上昇の影響により5～7月において産卵場が北上していることが示された。コホート解析にスパース推定法を応用し、マサバ太平洋系群の加入量にhyperdepletionという現象が生じていることが検出された。状態空間モデルを使用し、再生産関係と残差の自己相関から加入量が精度よく予測できることが示唆された。トラフグやスルメイカの統合型資源評価モデルの開発に取り組んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

加入量調査の時空間データを効率的に解析可能な手法を開発した。この手法により算出された指標値を使い、マサバ太平洋系群の資源評価を行い、潜在的なバイアスが減少することが明らかになった。この結果は、すでに、生物学的許容漁獲量を算出するのに使用されている。また、水温上昇の影響により、マサバの産卵場が北上していることが明らかになり、気候変動が加入量に影響を与える可能性が示唆された。産卵期間も同時に延長しており、本研究は空間分布と生物季節の両面から気候変動の影響を明らかにした点で重要性が高い。状態空間モデルや、除去法とコホート解析を統合したモデル等を開発し、日本の資源評価の推定精度の改善に貢献した。

研究成果の概要（英文）：I addressed to develop and analyze predictive models for the recruitment of fisheries stocks. By analyzing trawl survey data, I found that the local density of Pacific chub mackerel became high around east longitude of 160 degrees when strong year classes occurred. I also revealed that spawning grounds of this stock moved northward between May and July because of increased sea surface temperature. A cohort analysis with sparse modeling detected “hyperdepletion” in the recruitment of this stock. Furthermore, we analyzed a state-space stock assessment model and it was suggested that the number of recruits was accurately predicted by a stock-recruitment relationship with autocorrelated residuals. We also addressed to develop an integrated stock assessment models for tiger pufferfish and Japanese flying squid.

研究分野：水産資源学、生態学、保全生物学

キーワード：卓越年級 時空間分布 状態空間モデル 資源評価 水産資源 スパース推定法 自己相関モデル 再生産関係

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

低迷期にある水産資源の状態は加入量に大きく依存するが、一般に魚類の加入変動は大きく、予測が難しい。加入量を左右する要因として、親魚量・気候要因・体サイズなどが考えられてきたが、各要因について別個に調べた研究が多い。また、加入量が著しく大きい卓越年級の発生メカニズムについては、その重要性にも関わらず、未解明な部分が多い。

2. 研究の目的

本研究の目的は、国内外の水産資源における加入量変動の複合要因の相対的重要性を解明し、これらの要因を明示的に組み込んだ新たな資源評価モデルを開発することである。特に、卓越年級発生のメカニズムに迫るため、年齢組成や空間分布にも着目する。この研究により、環境変動下における加入量の予測精度が向上し、水産資源の安定的な供給への一助となることが期待される。

3. 研究の方法

- (1) ゼロデータを含む2段階の解析手法である delta-GLM と魚類の時空間分布の海区層化を自動的に行う GLM-tree を統合したモデル“delta-GLM-tree”を開発した。この手法を、北太平洋のトロール調査に応用し、マサバ太平洋系群の加入群の時空間分布を明らかにした。さらに、同じデータに対して生物の個体数と平均と分散の関係を表す Taylor のべき乗測を計算した。
- (2) マサバ産卵量の長期データを用いて、気候変動の影響を解析した。まず、近年開発された vector-autoregressive spatio-temporal (VAST) モデルを用いて、40年分の各月の産卵場の重心を求めた。次に、産卵場の重心の移動が水温の変化で説明できるかについて、ランダムマイゼーション検定やカルバックライブラー距離を用いた解析を行った。
- (3) スパース推定法を応用したコホート解析 (ridge-VPA) を用いて、マサバ太平洋系群の資源評価を行った。このモデルによる、最終年の漁獲係数が過大評価されるという問題点が解消される。また、資源量と指標値の関数に非線形を仮定してパラメータ推定を行った。
- (4) コホート解析を状態空間モデルに発展させたモデル (state-space assessment model) を用いてマサバ太平洋系群の資源評価を行った。このモデルは従来のコホート解析とは異なり、再生産関係を考慮することで加入量の推定を安定させることができる。本研究ではさらに、再生産関係の残差の自己相関を考慮したモデルを検討した。
- (5) 除去法 (デルリー法) とコホート解析を組み合わせ、漁具能率の変動要因を明らかにするためのモデル開発を行った。このモデルをトラフグ伊勢三河湾系群に対して適用し、はえ縄漁業の漁具能率の変動要因を明らかにした。
- (6) 加入量変動に大きく影響すると考えられるレジームシフトに関する解析も行った。スルメイカを対象に、単純に再生産関係を当てはめた場合と親魚量の推定誤差を考慮した場合 (変数誤差モデル) で、レジームの有無・再生産関係を比較した。さらに、種間相互作用を考慮した数理モデルを解析し、生態系のレジームシフトの予測や管理における複数種アプローチの有効性を探った。

4. 研究成果

- (1) Delta-GLM-tree によりトロール調査のデータを解析し、マサバ太平洋系群の0歳魚の分布を予測するための海区層化を行った (図1)。その結果、海区は5つに分かれ、年によって分布が大きく変化していることが示された。2013年以降、卓越年級が発生していることが明らかになり、その際は東経160度付近の海区における個体数が増加していることが分かった。交差検証を行い、GAM に比べて、delta-GLM-tree の方が漁獲率の予測精度が向上することが示された。生物の分布と密度の関係を表す Taylor のべき乗測を計算したところ、係数の推定値は期間を通じて一定であった。

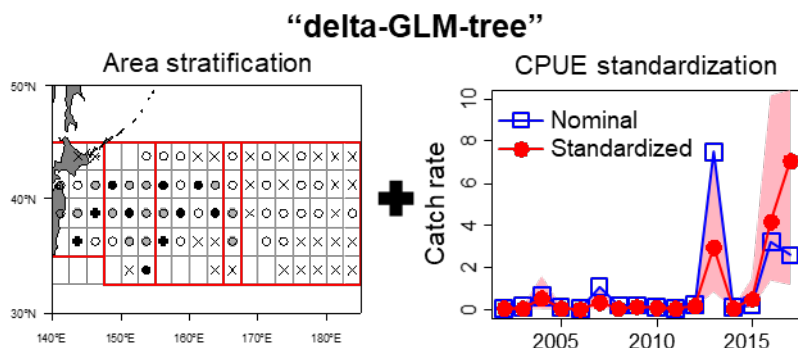


図1. Delta-GLM-tree による海区層化(左)と加入量指数の時系列トレンド(右)。

- (2) VAST を使用して、マサバ産卵量の時系列データを解析したところ、5~7月に産卵場が北

上していることが明らかになった。さらにランダムマイゼーション検定やカルバックライブラー距離を使用した解析により、分布シフトは水温の変化によって説明できることが分かった。一方で、産卵時期は遅れが見られており、これまで指摘されていた繁殖時期が早まるというパターンと異なっていた。これらの結果は、気候変動がマサバの加入量に影響する可能性を示している。

- (3) Ridge-VPA によりマサバ太平洋系群の資源評価を行った。これにより、加入量とその指数には、hyperdepletion と呼ばれる非線形な関係が見られることが明らかになった。ここから、マサバ0歳魚の分布がランダムではない可能性が示唆された。この手法は、マサバの資源評価として、生物学的許容漁獲量を算出するのに使用されている。
- (4) 状態空間資源評価モデル SAM の解析をしたところ、加入量や資源量の推定値の信頼区間は、ridge VPA と比べて減少することが明らかになった。また、再生産関係との残差に自己相関を考慮した結果、予測精度が向上し、レジームシフトのような加入パターンをある程度は反映されるモデルとなった。
- (5) 除去法とコホート解析の統合モデルを解析したところ、トラフグのはえ縄漁業の漁具能率が努力量や個体数によって変化していることが明らかになった(図2)。漁具能率の変動は資源評価にバイアスをもたらすが、このモデルによって漁業データだけからでも適切な補正が可能となることが示された。この成果については、すでに Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 誌にて公表されている。

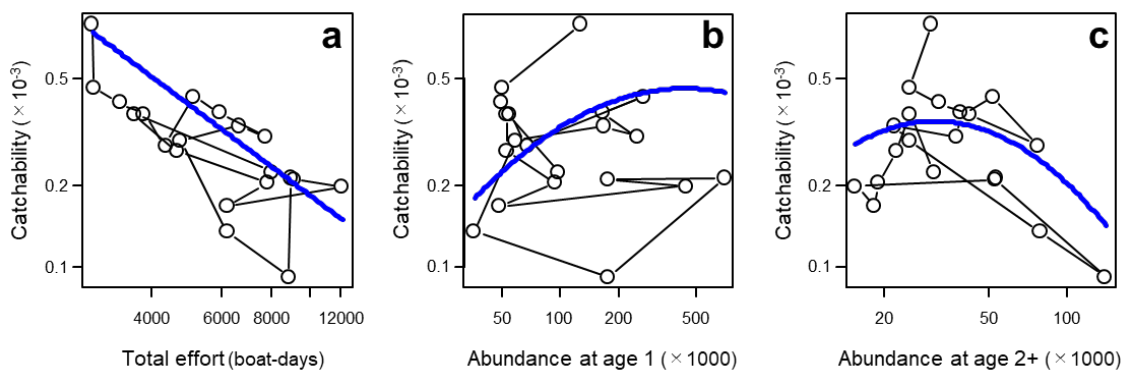


図2. 統合モデルから予測された漁具能率と努力量 (a)、1歳魚個体数 (b)、2歳魚以上個体数 (c) の関係。

- (6) スルメイカにおいて変数誤差モデルを適用すると、レジームシフトの可能性が減少し、親魚量と加入量の関係が明確になることが示された。これは、加入量を正確に予測するためには、再生産関係の親魚量の推定誤差も考慮することの重要性を示唆している。さらに、数理モデルを用いて、単一種ではなく複数種に注目することでレジームシフトの予測や管理が効果的に行えることを提示し、その成果を総説論文として Ecological Indicators 誌に発表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

- (1) Shota Nishijima, Shigenori Suzuki, Momoko Ichinokawa, Hiroshi Okamura. (in press) Integrated multi-timescale modeling untangles anthropogenic, environmental, and biological effects on catchability. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 【査読有】
<https://doi.org/10.1139/cjfas-2018-0114>
- (2) Hiroshi Okamura, Yuho Yamashita, Momoko Ichinokawa, Shota Nishijima. (2018) Comparison of the performance of age-structured modes with few survey indices. ICES Journal of Marine Science 75: 2016-2024. 【査読有】
<https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy126>
- (3) Kohmei Kadowaki*, Shota Nishijima*, Sonia Kéfi, Kayoko O. Kameda, Takehiro Sasaki (2018) Merging community assembly into the regime-shift approach for informing ecological restoration. Ecological Indicators 85: 991-998. 【査読有】
<https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.035>

〔学会発表〕(計 11 件)

- (1) 西嶋翔太、岡村寛. Template Model Builder を用いた状態空間評価モデルと水産資源への応用. 第66回日本生態学会大会. 2019年3月. 兵庫県神戸市.
- (2) 金森由妃、高須賀昭典、西嶋翔太、岡村寛、市野川桃子. 気候変動が引き起こすマサバ体系系群の産卵場の北上と産卵期間の延長. 第66回日本生態学会大会. 2019年3月. 兵庫県神戸市.

- (3) 西嶋翔太、由上龍嗣、市野川桃子、岡村寛．リッジ VPA を用いたマサバ太平洋系群の資源評価．2018 年度水産海洋学会研究発表大会．2018 年 11 月．千葉県柏市．
- (4) 金森由妃、高須賀昭典、西嶋翔太、岡村寛、市野川桃子．Long-term changes in spawning patterns and spawning ground of chub mackerel in the Pacific Ocean. 第 34 回個体群生態学会大会．2018 年 10 月．東京都文京区．
- (5) Shota Nishijima, Shigenori Suzuki, Momoko Ichinokawa, Hiroshi Okamura. Integrated multi-timescale modeling reveals anthropogenic and biological effects on time-varying catchability. 第 148 回アメリカ水産学会年次大会. 2018 年 8 月．アメリカニュージャージー州．【国際学会】
- (6) Hiroshi Okamura, Yuuho Yamashita, Momoko Ichinokawa, Shota Nishijima. Comparison of the estimation performance of ridge-VPA and SAM for the situation with few abundance indices. 第 148 回アメリカ水産学会年次大会. 2018 年 8 月．アメリカニュージャージー州．【国際学会】
- (7) Momoko Ichinokawa, Hiroshi Okamura, Shota Nishijima. Visualizing the future. Facilitating decision-making among stakeholder: A case study toward rebuilding Japanese Fisheries Stocks. 第 148 回アメリカ水産学会年次大会. 2018 年 8 月．アメリカニュージャージー州．【国際学会】
- (8) 橋本緑、西嶋翔太、由上龍嗣、市野川桃子、岡村寛、上村泰洋、古市生、渡邊千夏子．マサバ太平洋系群の加入量指標の標準化．平成 30 年度日本水産学会春季大会 2018 年 3 月．東京都港区．
- (9) 西嶋翔太、市野川桃子、岡村寛．変数誤差モデルを用いたスルメイカ個体群の再生産関係・MSY・レジームシフトの再検討．第 65 回日本生態学会大会．2018 年 3 月．北海道札幌市．
- (10) Nishijima Shota. Integrated multi-timescale modeling untangles anthropogenic, environmental, and biological effects on catchability. 日本生態学会関東地区会公開シンポジウム. 2018 年 2 月. 東京都文京区．【招待講演】
- (11) Nishijima Shota. Inferring causes for time-varying catchability from an integrated modeling of multi-timescale fisheries data. Mini-symposium: Future of Statistical Fisheries Science and Ecology. 2018 年 2 月. 神奈川県横浜市．【招待講演】

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年：
 国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 取得年：
 国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<https://sites.google.com/site/nishijimash/home>

6．研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。