

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05759

研究課題名(和文)リアルタイム漁船位置データを活用したカツオ漁場推定精度の向上

研究課題名(英文)Improvement of Skipjack tuna PFG estimation by real-time update of HSI model

研究代表者

五十嵐 弘道(Hiromichi, Igarashi)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門(地球情報科学技術センター)・グループリーダー

研究者番号：10578157

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、漁船のAISデータを活用して漁場位置を推定し、そのデータを即時的に導入して漁場環境の急激な変化に即応したハビタットモデルにより高精度の漁場推定を実現することを目的とした。2015-2018年における日本のカツオ漁船のAISデータに隠れマルコフモデルを適用して得られたカツオ漁場位置データからカツオ漁場推定モデルを作成し、リアルタイムで漁場推定モデルを更新するシステムにより2019年を対象とした疑似リアルタイム漁場推定実験を実施した。その結果、年間のうち複数月で、リアルタイム更新により顕著なAUCの向上が見られた。一方でアップデート時のデータ量に結果が依存していることも確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた成果を漁業情報サービス企業や地方自治体の水産試験場等で社会実装して高精度の漁場推定精度のモデルプロダクトを漁業者に提供して、漁場探索にかかる燃油コストを削減することで、エンドユーザである漁業者の経営安定化につなげることができる。さらに、リアルタイムデータを活用して気候変動に即応した漁場推定を実現してハビタットモデルの更新前後で得られる差分を活用することで、気候変動に伴う漁場形成機構への影響を定量的に把握することができる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to accurately estimate the potential fishing grounds of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) by immediately introducing fishing position dataset derived from AIS from Japanese fishing vessels for real-time updating of a habitat model that can respond immediately to rapid changes in the fishing ground environments. A potential fishing ground estimation model for skipjack tuna is developed from fishing ground location data estimated by applying a hidden Markov model to AIS data of Japanese fishing vessels from 2015 to 2018, and a real-time model updating system are applied to the 2019 case for its validation. The results showed that real-time updates significantly improved AUC in several months of the year. On the other hand, it was also confirmed that the results depended on the amount of data at the time of update.

研究分野：環境動態解析

キーワード：カツオ ハビタットモデル 漁場推定 リアルタイム修正

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

沿岸～沖合～遠洋に生息する多くの漁獲対象魚種が、その資源量や生息域について海洋環境変動の影響を強く受けていることが、過去の多くの研究から明らかにされている(Yatsu et al.,2013)。また、これらの事実は漁業者の経験知としてもよく知られており、漁業者は海面水温など様々な海況情報に基づいた漁場探索を行っている。また近年ではハビタットモデルと呼ばれる、対象魚種の地理的分布に影響を与えている環境要因と対象魚種との統計関係を数式化し、その生息域を推定する統計モデルを用いて作成した漁場推定の結果を漁場探索に活用する事例も見られるようになってきている。しかしながら、漁業者が求める、漁場探索で大きなコストとなる漁船の燃油消費を抑え安定的な収益確保を図る手段としての高精度な漁場推定・予測を実現するために必要な漁場推定精度を現在のハビタットモデルでは確保できていない。

### 2. 研究の目的

過去のハビタットモデル研究では、漁場推定精度が頭打ちになってしまう大きな原因として、絶対的な漁場データ量の不足が指摘されている。さらには、近年の気候変動に伴う漁場形成環境の変化により、これまでの漁業者の経験知と実際の漁場形成条件が整合しない場合が増えている。これらを克服するため、リアルタイムで漁場の現況を把握し、その結果を迅速にハビタットモデルに反映することで経験知を適応修正する仕組みを構築する必要がある。船舶自動識別装置(AIS)を活用することで漁船位置データをリアルタイムで取得することができるが、当該漁船が操業状態か(当該位置が漁場か)を同定する手法が確立されていない。

そこで本研究では、主要漁獲対象魚種であるカツオに対して、漁船の動きから操業状態を推定して漁場位置を推定する仕組みを構築し、そのデータを即時的に導入するハビタットモデルを構築して漁場推定精度を向上させることを目的とする。

### 3. 研究の方法

対象海域は日本近海においてカツオ一本釣り漁船が操業を行っている北西太平洋亜熱帯海域～黒潮親潮移行域の黒潮を挟んだ 20-45°E、125-160°E の海域とする。カツオ漁が行われる 4-11 月が解析対象期となる。研究は以下のように進めていく。

(1)AIS から得られるカツオ一本釣り漁船の時刻ごとの位置(緯度・経度)・船速・船首方向のデータに対して隠れマルコフモデル(Hidden Markov Model: HMM)を適用して、各時刻の漁船の状態(航行・探索・操業)を推定する。HMM は不規則に変化する「隠れた状態」を、対になる観測値から得られる遷移確率に基づいて推定する統計モデルで、バイオロギング等で得られる野生動物個体の動きから行動様式を解明するためのツールとして広く使われているが、近年では漁船の行動を推定する手法としても利用され始めている(Walker and Bez,2010)。本研究ではカツオ漁船の AIS 位置情報に加えて、衛星観測及び海況予測モデルから得られる漁船周辺の海洋環境(海面高度、3次元の水温・塩分等)データを活用して HMM を構築し漁船の状態推定を行い、カツオ漁船が操業状態である場合の海洋環境と漁船行動の特徴を明らかにすることで、AIS データからリアルタイムで漁場位置を推定し抽出する手法を確立してカツオ漁場位置推定データを作成する。これに対して、実際のカツオ漁船の操業日誌から得られる漁場位置との比較を行い、HMM による漁場位置推定精度を評価する。

(2)(1)で作成したカツオ漁場位置推定データと衛星観測・数値モデルによる海洋環境データを入力値としてハビタットモデルを構築してカツオの漁場推定を行う。ハビタットモデルにより得られた漁場推定結果について実際のカツオ漁船の操業日誌から得られる漁場位置と比較することにより漁場推定精度を検証する。さらに、構築したハビタットモデルに対してリアルタイム漁場位置データを逐次追加することでモデルを更新するシステムを構築する。対象海域において特異な海洋環境を示した顕著年に対して本システムを適用し、顕著年以外の過去データを用いて作成したハビタットモデルの漁場推定結果に対する漁場位置の変化をハビタットモデルの感度として定量化することで気候変動に伴う影響を評価するとともに、逐次追加するデータの重みを自動的に調整する機能を導入することで効率的にハビタットモデルの推定精度を向上させる仕組みを整備する。

(3)ここまで得られた知見に基づき、いくつかの対象年を設定して、対象年以外のカツオ漁場位置推定データと海洋環境データを入力値として作成したハビタットモデルに対してリアルタイムデータによるモデル更新システムを適用することで疑似リアルタイム漁場推定実験を行い、ハビタットモデル更新機能の導入による漁場推定精度への効果を検証して、本研究で開発したシステムの実利用での有効性を評価する。

### 4. 研究成果

(1)AIS 船舶位置を用いたカツオ操業位置推定手法の開発

2015-2018 年の 4 年間を対象として、日本のカツオ一本釣り漁船 23 隻について、AIS から得られる時刻ごとの位置(緯度・経度)データから船速及び船首の転向角を計算してデータ化し、

これに隠れマルコフモデルを適用した。Walker and Bez, 2010 の手法を踏襲し、船速にはベータ分布、転向角には Wrapped Cauchy 分布を仮定してモデルを構成した。モデル設定の詳細については日向灘沖の巻き網漁船に適用した手法を踏襲した(五十嵐ほか, 2019) その結果として、移動・操業・探索の3つの状態を推定し、このうちの操業に相当する位置を漁場位置データとした。過去の研究では、船速に閾値を適用することでカツオ漁場の推定を行う事例があるが(朝賀ほか, 2009) 漁船ごとに個別に操業開始及び終了時間を設定することで、この手法による結果とほぼ同じ結果を得ることができた。HMMにより推定されたカツオ漁場位置の事例を図1に示す。

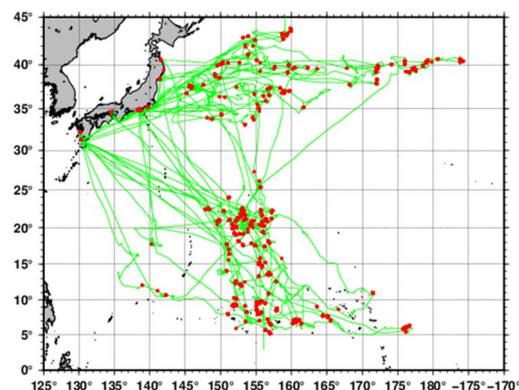


図1. カツオ漁船の操業位置推定事例  
(緑線が航跡、赤点が推定漁場位置)

(2)カツオのハビタットモデルの作成と性能評価

(1)で推定したカツオ漁場位置データと、気象庁気象研究所で作成された海洋再解析データ MOVE/MRI.COM-JPN dataset (doi:10.20783/DIAS.639) とを統合解析することにより、日本近海域におけるカツオ漁場推定モデルを作成した。モデル作成の機械学習アルゴリズムとして MAXENT (Phillips et al., 2006) を使用した。海洋再解析データのうち、水温及び塩分(それぞれ海面、50m、100m、200mの4層)と海面高度の計9変数をモデル構成のための入力値として使用した。尚、海洋再解析データの空間解像度は2km\*2kmである。

図2に、作成した漁場推定モデルから得られたカツオ漁場位置推定図の季節変化の事例を示す。左から順に6月・8月・10月の漁場位置を示しており、カツオ漁場が北上していく様子がよく捉えられている。モデル構築に使用した9変数のうち、統計的な貢献度が高かった変数は海面水温(49.3%)と50m深水温(12.5%)で、海面水温が18-25で漁場が形成されていることが示された。モデル性能を示す AUC=0.846 であり、十分な推定精度が確保できている。

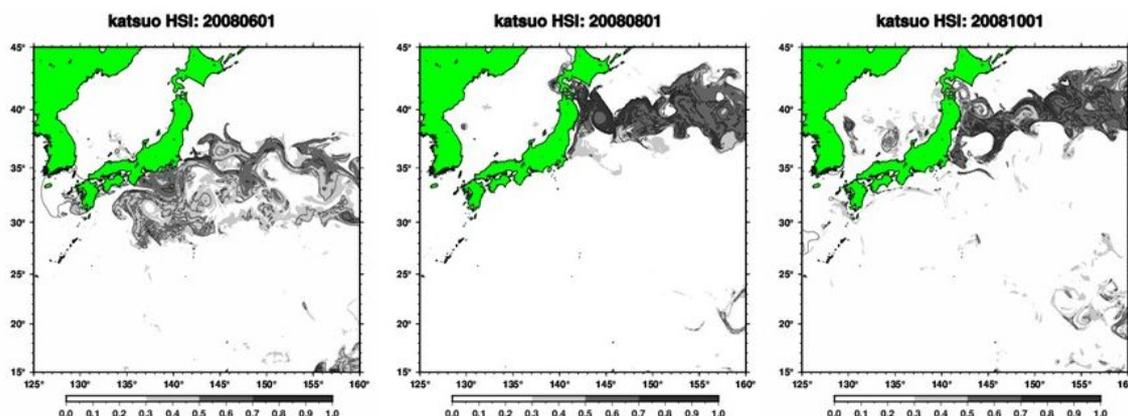


図2. カツオ漁場位置の季節変化(左から2008年6月1日、8月1日、10月1日の事例)  
濃淡が HSI 値を示しており、黒に近いほど好適漁場であることを示す。

本研究では、ここで構築した漁場推定モデルに対してリアルタイム漁場位置データを逐次追加することでモデルを更新するシステムを構築した。

(3)カツオのハビタットモデルによる疑似リアルタイム漁場推定実験

(2)で作成したハビタットモデルに対してリアルタイムデータによるモデル更新システムを適用する仕組みを構築して、2019年を対象に疑似リアルタイム漁場推定実験を行い、ハビタットモデル更新機能の導入による漁場推定精度への効果を検証した。リアルタイムデータの更新手法として、推定対象月の1か月前のデータのみを加えてモデルを更新する方法(図3上, additive)と、1か月ごとに前月のデータを加え続ける方法(図3下, sequential)の2種類の手法の効果を検証した。

それぞれの手法についての実験結果を図4に示す。図4は2019年4-11月の8か月間について、図3に示した手法でモデル更新を実施した結果、得られた AUC の値を表している。モデル更新を全く行わな

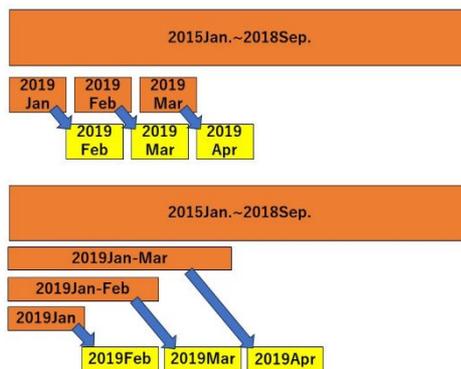


図3. 疑似リアルタイム実験概念図

った青線に対して、additive (赤線)及び sequential (緑線)により改善されたか、もしくは悪化したかが示されている。その結果として、年間のうち複数月で、リアルタイム更新により顕著な AUC の向上が見られた (10月:AUC=0.608から0.674など)。一方で、アップデートの施行により必ずしも AUC に向上が見られるわけではなく、かえって AUC が低下してしまうケースも見受けられる (5月や8月)。その原因として、アップデートの対象となる期間に得られた漁場位置データの量や質に結果が大きく依存してしまっており、特に特異データの混入やデータ量そのものが少ないことがモデルの性能向上を阻害していることが確認されている。今後は、こういった質・量のリアルタイムデータが収集できた場合にモデル性能に向上が見られるかについて、さらなる手法の改良が必要であるという知見を得た。

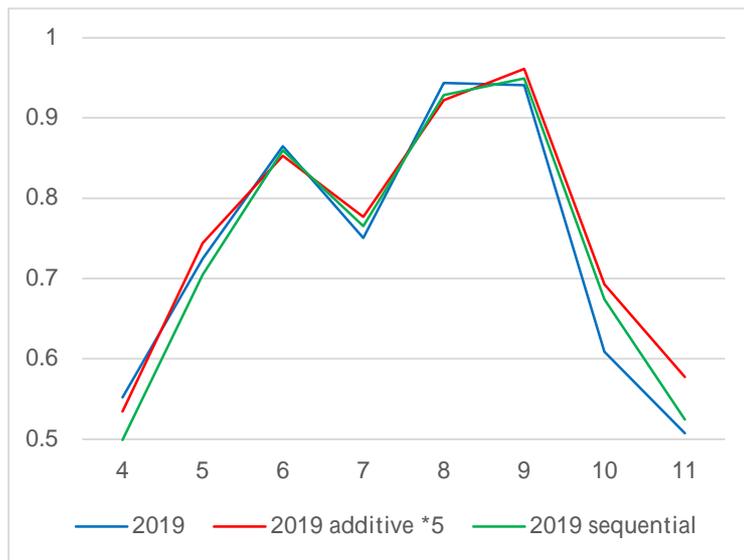


図 4. リアルタイムモデルアップデートによる AUC の変化 (青：更新無し、赤：一時的更新、緑：逐次更新)

#### <引用文献>

- Yatsu, A., S.Chiba, Y.Yamanaka, S.Ito, Y.Shimizu, M.Kaeriyama, Y.Watakabe, Climate forcing and the Kuroshio/Oyashio ecosystem. *ICES Journal of Marine Science*, 70-5, 2013, 922-933
- Walker, E. and N. Bez, A pioneer validation of a state-space model of vessel trajectories (VMS) with observers' data. *Ecological Modelling*, 221, 2010, 2008-2017.
- 五十嵐弘道、石川洋一、田中裕介、渡慶次力、堀江ひかり、隠れマルコフモデルによる日向灘沖の巻き網漁船の状態推定、水産海洋学会研究発表大会講演要旨集、42、2019
- 朝賀紳介、齊藤誠一、高橋文宏、Vessel Monitoring System データを用いたカツオ漁船行動の解析、水産海洋学会研究発表大会講演要旨集、46、2009.
- [http://metadata.diasjp.net/dmm/doc/MOVEJPN\\_MRI\\_2020-DIAS-ja.html](http://metadata.diasjp.net/dmm/doc/MOVEJPN_MRI_2020-DIAS-ja.html)
- Phillips, S.J., R.P. Anderson, R.E. Schapire, Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 2006, 231-259.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 齊藤 誠一, 高橋 文宏, 五十嵐 弘道	4. 巻 41
2. 論文標題 水産分野におけるリモートセンシング利用の現状・課題・展望	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本リモートセンシング学会誌	6. 最初と最後の頁 189-199
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11440/rssj.41.189	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 石崎 廣, 五十嵐 弘道, 荒井 頼子, 蒲地 政文, 石川 洋一, 齊藤 誠一	4. 巻 60
2. 論文標題 「ひまわり」及び「しきさい」衛星の海面水温とクロロフィルa データに対するヒストグラム解析に基づくフロント検出法の適用: 初期平滑化の重要性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Memoirs of the Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University	6. 最初と最後の頁 1-31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14943/mem.fish.60.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 大納進太郎, 阿部泰人, 五十嵐弘道, 齊藤誠一
2. 発表標題 自動船舶識別装置(AIS)を用いた中国・日本アカイカ漁船の動態解析と漁場位置
3. 学会等名 水産海洋学会創立60周年記念大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ohno, S., H. Abe, H. Igarashi, and S.-I. Saitoh
2. 発表標題 A comparison study for behavior of Japanese and Chinese neon flying squid vessel in the North Pacific using Automatic Identification System.
3. 学会等名 North Pacific Marine Science Organization (PICES) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Lis Lindal Jorgensen, Sei-Ichi Saitoh, and Martine van den Heuvel-Greve
2. 発表標題 Activities of the ICES-PICES-PAME working group on Integrated Ecosystem Assessment for the Central Arctic Ocean (WGICA)
3. 学会等名 North Pacific Marine Science Organization (PICES) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sei-Ichi Saitoh, Yasuyuki Miyakoshi, Takafumi Hirata, Irene D. Alabia and Fumihiro Takahashi
2. 発表標題 Application of multiple satellite datasets to sustainable use of salmon resource under changing climate
3. 学会等名 North Pacific Marine Science Organization (PICES) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 五十嵐 弘道
2. 発表標題 海況モデルを活用した漁場推定-日本近海とインドネシアの事例-
3. 学会等名 水産海洋学会地域研究集会 第4回海と漁業と生態系に関する研究集会 海洋モデルデータの水産・海洋研究への活用
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	阿部 泰人 (Abe Hiroto) (40627246)	北海道大学・水産科学研究院・准教授  (10101)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	齊藤 誠一  (Saitoh Sei-Ichi)  (70250503)	北海道大学・北極域研究センター・研究員     (10101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関