

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05803

研究課題名（和文）機械学習を用いたハビタットモデルによる魚種間関係の解明と漁場予測精度の向上

研究課題名（英文）Development of potential fishing ground estimation models by machine learning for understanding interspecies relationships

研究代表者

五十嵐 弘道（Igarashi, Hiromichi）

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(情報エンジニアリングプログラム)・副主任研究員

研究者番号：10578157

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、黒潮親潮移行域におけるカツオ・アカイカ・サンマ3魚種を扱う統合ハビタットモデルを構築して漁場形成要因としての魚種間の捕食・被食関係を定量的に評価し、3つの魚種間の漁場形成に相互関係が見られることを統計的に明らかにした。さらに統合モデルとして、顕著な関連が見られたサンマとカツオの魚種間関係を考慮したハビタットモデルを構築し、サンマの推定分布を活用することでカツオの漁場推定が高精度化する漁場推定モデルを構築して、実利用に耐えうる高い推定精度を有することを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、個別魚種のハビタットモデルによる推定した分布を他の2魚種のモデルに取り込むことで複数魚種の相互相関から捕食・被食の重要性を定量的に明らかにし漁場推定・予測精度の向上を実現した点が学術的に意義がある。これにより、これまで活用されていなかった異なる魚種の分布情報を機械学習モデルに反映することで、漁業者から求められる、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を実現するモデル構築につながる要素技術が開発できた。

研究成果の概要（英文）：We developed an integrated habitat model for estimating spatial distributions of three species, skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*), Pacific saury (*Cololabis saira*), and neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the western North Pacific, and examined their prey-predator relationships using this machine learning model. As the results, we found the statistical relationships with the distribution of these three species in the Kuroshio-Oyashio transition region and the integrated habitat model developed for estimating Skipjack tuna distribution using potential suitable area for Pacific saury shows good performances for a practical use of fishing ground exploration.

研究分野：水産海洋学

キーワード：カツオ アカイカ サンマ ハビタットモデル 魚種間関係 漁場推定

1. 研究開始当初の背景

日本沿岸の黒潮と亜寒帯前線帯に挟まれた「黒潮親潮移行域」はシロザケ、カラフトマス、スケトウダラ、マイワシ、サンマ、マサバ、アカイカ、カツオなど多くの魚種の漁場が形成される (Yatsu et al., 2013) ことから漁場推定と水産資源管理 (Igarashi et al., 2018) の両面から多くの研究が行われているが、特に漁業者からは、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・予測が求められている。ハビタットモデルは、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であり漁場推定にも有効なツールである。現在では、海洋環境データと漁獲・漁場位置データとの統計解析から魚種ごとの好適生息環境 (ハビタット) を推定することで、ある程度の精度を持った漁場推定が可能である。

2. 研究の目的

過去のハビタットモデル研究の結果は、多くの魚種のケースで摂餌環境が対象魚種のハビタット形成条件として重要であることを示唆しているが、個別魚種と海洋環境との関係しか扱わない従来の手法では、実際に大きな影響を及ぼし得る魚種間の捕食・被食関係が全く表現されないことから、結果としての漁場推定精度が頭打ちになっていると考えられる。対象海域に生息する魚種間の捕食・被食の関係について、胃内容物の解析からカツオはイカ類やサンマを、アカイカもサンマを捕食していることが確認されている (Watanabe et al., 2004) が、捕食・被食関係が魚のハビタットに及ぼす影響はほとんど解明されていない。

そこで本研究では、カツオ・アカイカ・サンマ 3 魚種を扱う統合ハビタットモデルを構築して、3 魚種のハビタットの相互位置関係から漁場形成条件を抽出することで、漁場形成要因として魚種間の捕食・被食関係がどの程度寄与しているかを定量的に評価し漁場予測に反映させることを目的とする。

3. 研究の方法

対象海域はカツオ・アカイカ・サンマ漁業が行われる黒潮親潮移行域の 145-160°E 海域及び日本のアカイカ漁船が主力漁場としている 170°E-170°W 海域とする。3 魚種の漁が重なる 7-10 月が解析対象期となる。本研究は以下のように進めていく。

(1) 2013-2015 年を対象として、カツオ漁船の AIS データにカツオ漁場を抽出する手法 (朝賀ほか, 2009) を適用してカツオ漁場データを作成するとともに、NPP 衛星 VIIRS センサーによる夜間可視画像から抽出された船舶位置データからサンマ漁場位置を判別する手法を新たに開発し、それぞれハビタットモデルの入力値としてデータベース化する。

(2) カツオ・アカイカ・サンマの 3 魚種について、3 次元海洋環境データ FORA を使用したハビタットモデルをそれぞれ構築する。モデル構築には変数間の非線形相互関係が表現可能な機械学習アルゴリズムを採用する。次に構築した 3 魚種のモデルに対して、対象魚以外の 2 魚種のモデルで推定した漁場分布を新たな説明変数として導入したハビタットモデルを構築する。単魚種モデルと複数魚種モデルから得られる 3 魚種の漁場推定図を比較することにより、説明変数に加えた 2 魚種が漁場予測対象魚種の漁場形成に与える影響を抽出し魚種間の捕食・被食関係を検討する。具体的には、サンマの漁場形成に対してアカイカ・カツオからの逃避行動が含まれているか、カツオ漁場はサンマ・アカイカの分布の影響を受けているか、さらに食物網で両者の中間に位置するアカイカはサンマ・カツオとどのような位置関係を保って漁場を形成しているかを明らかにする。さらにモデルにおける各項の重みの比較や漁場推定精度の結果から、3 魚種の捕食・被食関係の影響を定量的に評価する。

(3) ここまでに得られた知見に基づきハビタットモデルの統合化を行い、機械学習アルゴリズムを適用した統合ハビタットモデルを構築して漁場推定実験を実施して漁場推定精度を検証し、実利用での有効性を示す。

4. 研究成果

(1) サンマ漁場抽出手法の開発

NPP 衛星 VIIRS センサーによる夜間可視画像から抽出された船舶位置データ (Elvidge et al., 2015) からサンマ漁場位置を判別する手法を新たに開発した。過去の研究では、日本のサンマ漁船の位置情報解析から、海面水温が 17 もしくは 18 以下の海域で漁場が形成される (四之宮ほか, 1993 ; 為石, 2000 ; 木村ほか, 2004) とともに、親潮フロントとの関係も指摘されていた (四之宮ほか, 1993)。しかしながら、海面水温が 18 以下で親潮の指標となる 100m 深水温 5 以下という環境条件と実際の船舶位置とを比較すると、主

Pacific saury (VBD) T100: 2013/09/05

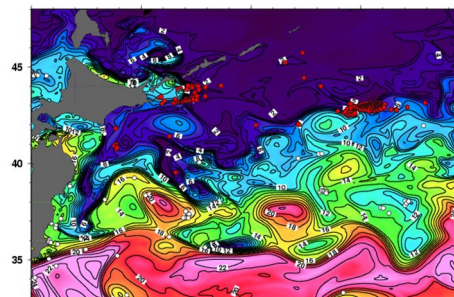


図 1. サンマ漁船位置と 100m 深水温 (2013 年 9 月 5 日の事例)

に沿岸付近で操業を行う日本漁船の操業位置とは合致する一方で、沖合～外洋で操業を行う外国船については、不整合が見られることが判明した。本研究では、外国籍のサンマ漁船も含めた包括的なサンマ漁場形成の環境条件を再考した結果、海面水温が 10 - 19 かつ 100m 深水温が 8 以下という条件で日本船と外国船のどちらも抽出できることが分かった。図 1 は 100m 深水温図にサンマ漁船位置を○で示した事例である。道東沖の日本漁船に加えて 43° N、155° E 付近で操業する外国船も抽出することができている。

(2) 3 魚種のハビタットモデル構築と魚種間関係の評価

カツオ・アカイカ・サンマの 3 魚種について 2013-2015 年の夏季を対象として、3 次元海洋環境データ FORA を使用して、海洋環境のみを説明変数として導入した単魚種モデルと、対象魚以外の 2 魚種のモデルで推定した漁場分布を新たな説明変数として導入した複数魚種モデルを構築して、これらのモデル結果を比較することにより魚種間関係について考察した。尚、モデル構築には MAXENT 機械学習アルゴリズム (Phillips et al., 2006) を採用した。

まずカツオ・アカイカ・サンマの単魚種モデル・複数魚種モデルそれぞれについて ROC 曲線を作成し精度指標として AUC を計算した結果、カツオが 0.899(単)・0.901(複)、アカイカがどちらも 0.931、サンマがどちらも 0.938 となり、単魚種モデル・複数魚種モデルとで漁場推定精度に差異は見られないという結果を得た。しかしながら、用いた説明変数の統計的貢献度に顕著な違いが見られた。

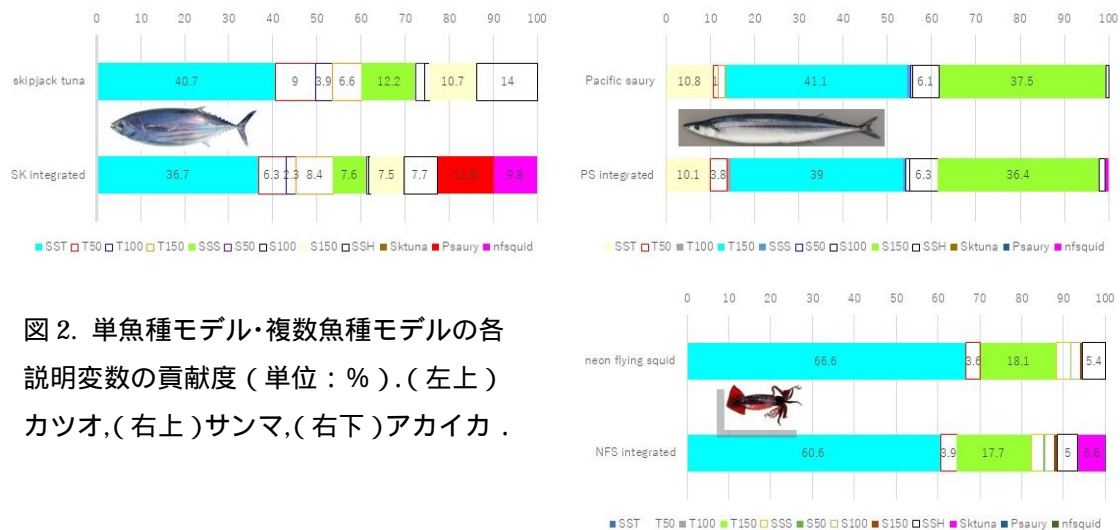


図 2. 単魚種モデル・複数魚種モデルの各説明変数の貢献度 (単位: %). (左上)カツオ, (右上)サンマ, (右下)アカイカ.

図 2 は、カツオ・アカイカ・サンマの単魚種モデル・複数魚種モデルそれぞれについて、使用した各説明変数の漁場推定に対する統計的貢献度を示したものである。ここで使用した環境変数は、海面高度 (SSH) 及び水温・塩分 (海面, 50m, 100m, 150m) の 9 変数である。各図の上段が単魚種モデルの結果、下段が複数魚種モデルの結果を示しており、下段には上記 9 変数に加えて他 2 魚種の推定分布が説明変数として加わっている。単魚種のハビタットモデルでは 3 魚種とも漁場推定に対する海面水温の貢献度が約 40% と高い値を示した。複数魚種モデルとの比較では、サンマは 2 つのモデル結果にほとんど差が見られなかったのに対して、カツオは海面水温などの貢献度のうち全体の 20% 程度がサンマ・アカイカ分布にとって代わり、アカイカでも海面水温の貢献度の 6.6% がカツオ分布にとって代わった。つまり被食者のサンマの分布推定に対して捕食者のカツオの影響は見られないのに対して、捕食者のカツオの分布推定に対してはサンマ・アカイカの影響が 10% 程度ずつ見られるという結果が得られた。この結果から、特にカツオとサンマの関係について、サンマの推定分布を活用することでカツオの漁場推定が高精度化する可能性が示された。また、カツオ及びサンマの複数魚種モデルによる分布推定結果を見ると (図 3)

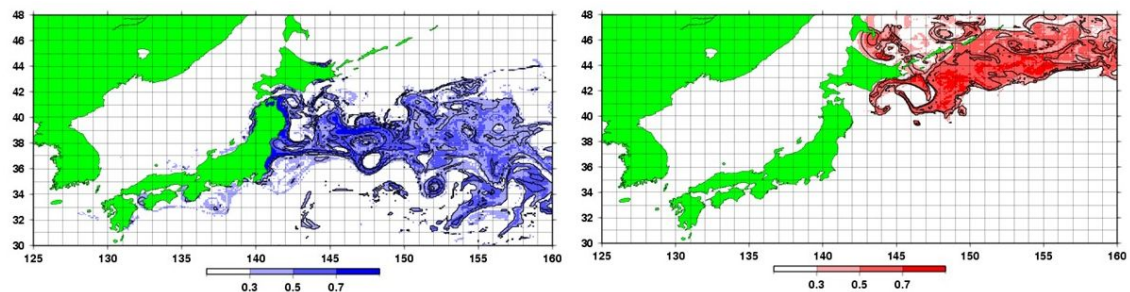


図 3. カツオ(左)及びサンマ(右)分布推定図 (2013 年 8 月 2 日の事例)

カツオ分布の北限・サンマ分布の南限でお互いの分布が重なり合っていることから、お互いの分布の境界付近でカツオ分布推定にサンマの分布が影響を及ぼしていると考えられる。

(3)統合化ハビタットモデルの作成とその性能評価

(2)の成果を踏まえて、顕著な関連が見られたサンマとカツオの魚種間関係を考慮したハビタットモデルを構築し、研究対象期間とした 2013-2018 年の秋季について漁場推定精度の検証を行った。カツオ・サンマそれぞれのハビタットモデルの結果から ROC 曲線を作成し精度指標として AUC を計算した結果、カツオが 0.873、サンマが 0.878 となり、どちらの漁場推定モデルについても実利用に耐えうる高い推定精度を有することを確認した。

< 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
- Igarashi, H., S.Saitoh, Y.Ishikawa, M.Kamachi, N.Usui, M.Sakai, Y.Imamura, Identifying potential habitat distribution of the neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) off the eastern coast of Japan in winter. *Fisheries Oceanography*, 27-1, 2018, 16-27
- Watanabe, H., T. Kubodera, T. Ichii, S. Kawahara, Feeding habits of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the transitional region of the central North Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, 266, 2004, 173-184
- 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
- Elvidge, C.D., M. Zhizhin, K. Baugh, F.C. Hsu, Automatic Boat Identification System for VIIRS Low Light Imaging Data, *Remote Sensing*, 7, 2015, 3020-3036
- 四之宮博、為石日出生、小沼一徳、四之宮玲子、東北海域におけるサンマ漁獲変動と親潮分枝の挙動、日本大学農獣医学部学術研究報告、50、1993、101-106
- 為石日出生、サンマの回遊と漁場形成、日本水産学会誌、66、2000、304-305
- 木村典嗣、岡田喜裕、K. Mahapatra、本州東方海域におけるサンマ漁場と衛星データから得られる海況との関係、東海大学紀要海洋学部、2、2004、1-12
- Phillips, S.J., R.P. Anderson, R.E. Schapire, Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, 190, 2006, 231-259

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Mugo Robinson, Saitoh Sei-Ichi	4. 巻 12
2. 論文標題 Ensemble Modelling of Skipjack Tuna (<i>Katsuwonus pelamis</i>) Habitats in the Western North Pacific Using Satellite Remotely Sensed Data; a Comparative Analysis Using Machine-Learning Models	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 2591 ~ 2591
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs12162591	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 該当する

1. 著者名 Alabia Irene D., Saitoh Sei-Ichi, Igarashi Hiromichi, Ishikawa Yoichi, Imamura Yutaka	4. 巻 12
2. 論文標題 Spatial Habitat Shifts of Oceanic Cephalopod (<i>Ommastrephes bartramii</i>) in Oscillating Climate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 521 ~ 521
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs12030521	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 該当する

1. 著者名 Mugo Robinson, Saitoh Sei-Ichi, Igarashi Hiromichi, Toyoda Takahiro, Masuda Shuhei, Awaji Toshiyuki, Ishikawa Yoichi	4. 巻 15
2. 論文標題 Identification of skipjack tuna (<i>Katsuwonus pelamis</i>) pelagic hotspots applying a satellite remote sensing-driven analysis of ecological niche factors: A short-term run	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 1-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0237742	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 該当する

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 H. Igarashi, Y. Ishikawa, Y. Tanaka, S. Saitoh, H. Abe, Y. Imamura
2. 発表標題 Development of integrated habitat suitability index models of skipjack tuna, Pacific saury and neon flying squid in the western North Pacific
3. 学会等名 Ocean Science Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiromichi Igarashi, Sei-ichi Saitoh, Fumihiro Takahashi, Yoichi Ishikawa, Masafumi Kamachi
2. 発表標題 A statistical approach to estimate optimal habitat suitability of skipjack tuna and neon flying squid in the western North Pacific
3. 学会等名 14th Pan Ocean Remote Sensing Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 五十嵐弘道
2. 発表標題 東北沿岸～沖合域における海況モデルを活用した漁場推定～漁業者の利用をめざして～
3. 学会等名 第2回環境モニター報告会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>本研究成果として以下の卒業論文が作成された。 大納進太郎(2021)「日本・中国漁船に搭載の自動船舶識別装置(AIS)を用いた北太平洋におけるアカイカ漁船分布の比較」北海道大学水産学部卒業論文</p>

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・助教 (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