

**沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域における
好適漁場推定モデルを活用した漁場管理情報の創出
(令和 6 年度 成果報告書)**

2025(令和 7) 年 2 月

目次

1. 報告内容の要旨	1
2. 研究調査の概要	2
2. 1 研究調査開始当初の背景及び課題	2
2. 2 研究調査の目的	3
2. 3 研究調査の達成目標・期待される効果	3
2. 4 研究調査の実施体制	5
3. 当年度の研究調査の実施内容	5
3. 1 カツオハビタットモデルの改良	5
3. 1. 1 実施目的	5
3. 1. 2 実施方法	6
3. 1. 3 実施結果	6
3. 1. 4 考察	14
3. 1. 5 研究調査の成果（達成目標に対する到達度）、今後の課題・展望等	14
3. 2 カツオ漁場形成要因の解析	15
3. 2. 1 実施目的	15
3. 2. 2 実施方法	15
3. 2. 3 実施結果	15
3. 2. 4 考察	17
3. 2. 5 研究調査の成果（達成目標に対する到達度）、今後の課題・展望等	17
3. 3 キンメダイ潜在漁場推定・予測	18
3. 3. 1 実施目的	18
3. 3. 2 実施方法	18
3. 3. 3 実施結果	18
3. 3. 4 考察	22
3. 3. 5 研究調査の成果（達成目標に対する到達度）、今後の課題・展望等	22
4. まとめ	23
5. 資料	24
5. 1 参考文献	24
5. 2 資料	24

この報告書は、東京都が行う「沖ノ鳥島・南鳥島に関する研究調査事業」として決定された研究調査「沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域における好適漁場推定モデルを活用した漁場管理情報の創出」について今年度の実施内容を取りまとめたものです。

1. 報告内容の要旨

本研究では、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域における海洋生態系の保全・排他的経済水域 (EEZ) 管理・水産資源管理・効率的かつ持続的漁業のための生物分布量の把握と予測に資する科学的情報の創出のため、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域の外洋性のカツオや深海性のキンメダイ類を対象に、好適な漁場を推定する手法を開発し好適漁場情報を創出することを目的とする。

そのために① 既存の海洋環境データとカツオの分布データを統合解析しハビタットモデルを構築 (カツオハビタットモデル構築)、② 構築したハビタットモデルを数値シミュレーションによる海況予測データに適用して沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域におけるカツオの好適漁場の推定・予測 (カツオ好適漁場推定・予測)、③ 好適漁場推定情報とカツオの分布データを対比させハビタットモデルの性能評価および改良 (カツオモデル改良)、④ ハビタットモデルを分析しカツオの漁場形成要因の解析 (カツオ漁場形成要因)、⑤ 既存漁獲データなど (伊豆諸島周辺海域) を用いたキンメダイ類のハビタットモデルを構築 (キンメダイハビタットモデル構築)、⑥ 構築したハビタットモデルを数値シミュレーションによる海洋再解析・海況予測データに適用して沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域におけるキンメダイ類の潜在的な漁場の推定・予測 (キンメダイ潜在漁場推定・予測) に取り組む。最終年度となる令和 6 (2024) 年度は、③カツオハビタットモデルの改良、④カツオ漁場形成要因の解析、⑥キンメダイ潜在漁場推定・予測の 3 項目に取り組んだ。

③カツオハビタットモデルの改良では、昨年度までに得られた知見に基づき MOVE/MRI.COM-JPN 再解析データ及び AIS 計測及び漁業調査指導船「たくなん」の調査によるカツオ漁場位置データを用いて構築したカツオのハビタットモデルを 2024 年の海洋環境に適用して漁場推定を実施し、八丈島周辺海域における実際の漁獲データと比較することで実証試験を行い、実利用に適用可能な推定精度を有することを示した。さらに、現業予測データを適用して漁場推定図を自動作成するソフトウェアを開発して、東京都島しょ農林水産総合センター八丈事業所に実装した。④カツオ漁場形成要因の解析では、③で構築したカツオハビタットモデルから得られる結果を解析し、漁場形成要因を考察した。その結果、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域では水深が 1500m よりも浅い領域であることが漁場形成の因子として重要であることを示した。⑥キンメダイ潜在漁場推定・予測では、領域を伊豆諸島周辺海域に絞り一般化線形モデルを適用することで、分布に加えて現存量を高い精度で推定することができた。

3 年間のプロジェクト期間を経て、カツオとキンメダイのどちらについてもハビタットモデルの構築を通じて漁場形成にとって重要である環境要因を評価できたことに加えて、潜在漁場推定による漁業効率化に資する社会実装もできた。さらに、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域における両種の分布状況の把握についても、現地調査を伴わずに環境データのみから分布推定が可能になった。今後は、気候変動に伴う海洋環境の変化が両種の分布にどのような影響を及ぼすかについて評価していくことが重要である。

2. 研究調査の概要

2. 1 研究調査開始当初の背景及び課題

人類の発展には海洋の保全と海洋からの持続的な生態系サービスの享受が欠かせない。日本は広大な排他的経済水域（EEZ）を有しており、同時に EEZ の状況を把握し管理する責務がある。東京都の沖ノ鳥島や南鳥島は EEZ 設定の重要な離島であるが、本州から遠距離に位置するため、これら離島周辺の海洋環境や生態系に関する科学的情報は極めて少ない。広大で深い海の環境データを網羅的に計測することは不可能であるが、最近の数値モデルやスーパーコンピュータの発展により、点在するデータから海洋環境を推定する技術が構築されている。同時に、生物の最適分布環境条件と照らし合わせながら、高精度に生物の分布も推定できるようになってきた。

沖ノ鳥島・南鳥島周辺には、カツオやキンメダイ類のように水産資源として有用な魚種も分布するが、漁獲対象としてのポテンシャルを示す科学的情報は発展途上である。海洋環境を保全しつつ食糧資源を獲得するには、海洋環境と生物分布量の把握と予測といった科学的情報の創出が不可欠である。そこで、本研究では既存のデータを活用して数値モデルやスーパーコンピュータによる解析を行うことで、実測されていない場所や時期における沖ノ鳥島・南鳥島周辺の海洋環境データと対比させながらカツオやキンメダイ類の分布を推定・予測することで、効率的・持続的な漁業および EEZ 管理に必要な科学的情報を創出することが、上記課題解決に有益である。

漁獲対象魚種の資源量や分布域は、海洋環境変動の影響を強く受けている。また、潮目やフロントなどの海洋現象が漁場形成に関わることは経験的に広く知られており、探索型漁業に携わる漁業者は、各自治体や漁業情報サービス会社から提供される様々な海況図と経験などに基づいて漁場探索を行っている。沖ノ鳥島・南鳥島周辺のように水揚げ漁港から遠距離にある場所で操業する場合、漁場探索で大きなコストとなる漁船の燃油消費を抑え収益確保を図る必要があるが、高精度な海洋環境情報が欠落しており、沖ノ鳥島・南鳥島周辺では漁場探索が非効率となる。そこで、高精度な漁場推定情報を基にした操業コストを抑えたスマート漁業化は喫緊の課題である。また、新規漁場の開拓や水産資源管理の観点からも、高精度な漁場推定情報のもとに効率的に調査を行い漁場開拓や資源管理につなげることが肝要である。

近年ではハビタットモデルを用いて好適漁場の推定ができるようになってきている。ハビタットモデルとは、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、その生息に好適な海域を推定する統計モデルであり漁場推定に有効なツールである。海面水温などの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できる。漁業の効率化、新規漁場開拓、水産資源管理にはハビタットモデルによる好適漁場推定情報を活用することは有効な手段の一つであり、北太平洋のアカイカ漁業などで実利用され始めている。しかし、沖ノ鳥島・南鳥島周辺の外洋性のカツオや深海性のキンメダイ類で

は、好適漁場推定ができておらず、これらを対象にしたハビタットモデルによる好適漁場推定を行うことで、漁業の効率化、新規漁場開拓、水産資源管理に有益な情報を提供することができる。さらに、EEZ 設定における重要な離島である沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域の管理を推進するために、並行して海洋環境や生態系に関する科学的情報の創出も求められている。

研究終了後も本研究で得られるノウハウは継続的に活用されることが求められると思われ、ノウハウをベンチャー企業や東京都の水産研究機関等に移転することも視野に入れることが肝要である。

本研究の提案者らは、これまでにアカイカやカツオを対象に日々の漁場推定が可能な高精度ハビタットモデル構築に成功し漁場形成要因を明らかにしてきた。この成果を、独自に開発した海況予測モデルに適用して好適漁場予測を行い漁業者に情報配信して実利用につなげた実績がある。さらに好適漁場推定モデル開発に必要な海洋環境・予測データセットやそれを創出するための海況予測モデル、さらに地球シミュレータ（スーパーコンピュータ）を含む大型コンピュータを有していることから、海洋研究開発機構のファシリティを活用することにより、効率的に本研究を実行できる。

2. 2 研究調査の目的

本研究は、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域の外洋性のカツオや深海性のキンメダイ類を対象に、好適な漁場を推定する手法を開発し好適漁場情報を創出することを目的とする。そのために、① 既存の海洋環境データとカツオの分布データを統合解析しハビタットモデルを構築（カツオハビタットモデル構築）、② 構築したハビタットモデルを数値シミュレーションによる海況予測データに適用して沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域におけるカツオの好適漁場の推定・予測（カツオ好適漁場推定・予測）、③ 好適漁場推定情報とカツオの分布データを対比させハビタットモデルの性能評価および改良（カツオモデル改良）、④ ハビタットモデルを分析しカツオの漁場形成要因の解析（カツオ漁場形成要因）、⑤ 既存漁獲データなど（伊豆諸島周辺海域）を用いたキンメダイ類のハビタットモデルを構築（キンメダイハビタットモデル構築）、⑥ 構築したハビタットモデルを数値シミュレーションによる海洋再解析・海況予測データに適用して沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域におけるキンメダイ類の潜在的な漁場の推定・予測（キンメダイ潜在漁場推定・予測）に取り組む。

2. 3 研究調査の達成目標・期待される効果

【達成目標】本研究は、沖ノ鳥島・南鳥島周辺の海域を対象に、数理モデルによる解析を行うことで海洋環境データと対比させながらカツオやキンメダイの分布を推定・予測し、効率的かつ持続的な漁業および EEZ 管理に資する科学的情報を創出することを達成目標とする。そのための個別目標は、① カツオハビタットモデル構築：カツオの好適漁場推定・予測に使えるハビタットモデルを構築すること、② カツオ好適漁場推定・予測：構築したハビタットモデルでカツオの好適漁場の推定・予測をできるようにすること、③ カツオモデル改良：カ

ツオのハビタットモデルを高精度にすること、④ カツオ漁場形成要因：カツオの漁場形成要因を明らかにすること、⑤ キンメダイハビタットモデル構築：キンメダイの潜在的な漁場の推定・予測に使えるハビタットモデルを構築すること、⑥ キンメダイ潜在漁場推定・予測：キンメダイの潜在的な漁場の推定・予測をできるようにすることとする。

本研究では、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域において高精度なカツオの漁場推定・予測図を現実的に作成できるツールを構築する。また、キンメダイ類については、未開拓領域における潜在的な漁場推定マップを作成できるハビタットモデルを構築することにより、新規漁業資源の開発に貢献する情報創生を目指す。さらに、これらのノウハウをベンチャー企業や東京都の水産研究機関等に移転することも目標の一つとなる。

【期待される効果】

○効率的な漁業の展開

本研究で得られる沖ノ鳥島周辺海域におけるカツオのハビタットモデルを海況モデルプロダクトに適用することで、数日先のカツオの漁場予測が可能となる。この予測とこれまでに得られた漁業者等の経験知を併用し、より正確な漁場の予測ができるようになり漁場探索で大きなコストとなる漁船の燃油消費を抑え効率的な漁業が推進される。また、ハビタットモデル解析から得られる情報からカツオの好適漁場形成メカニズムを明らかにすることができ、他海域への展開も期待できる。

キンメダイについても、伊豆諸島周辺海域やデータベース（OBIS（Ocean Biodiversity Information System^{※3}）、BISMaL（Biological Information System for Marine Life^{※4}）など）における既存漁獲・分布データからハビタットモデルを構築して、これを沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域の海洋環境データに適用することで、潜在的なキンメダイ漁場を推定し可視化できる。そして、東京都におけるカツオ・キンメダイ漁業の効率化や新規漁場の開拓に貢献できるとともに、操業計画の最適化により漁業者の QOL(Quality Of Life)の向上につながる事が期待できる。

○持続的な漁業の展開

本研究で得られるカツオの好適漁場推定やキンメダイ漁場推定には、いつ、どこに、どれだけの対象種が分布していそうかといった定量的な情報も含まれる。持続的な漁業には、資源を保全しながら漁獲量を制御しなくてはならない。本研究の成果は、東京都の水産資源管理政策に対して基礎データを提供でき、さらに他海域や他種へ適用することで持続的な漁業と食糧資源の享受に貢献できる。

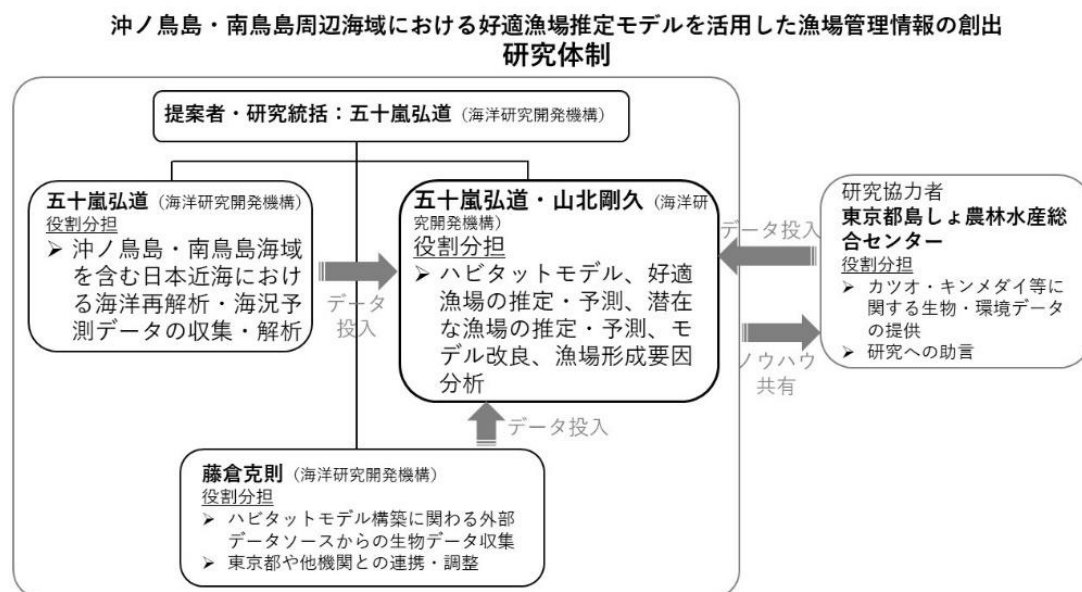
○EEZ の保全と管理

沿岸国は、自国の EEZ を管理することが重要であり、そのためには EEZ の環境や生物多様性等をモニタリングし変動を把握することが求められる。しかしながら、沖ノ鳥島・南鳥島を基点とした EEZ は広大で水深も深く常時計測しながらモニタリングすることは現実的ではない。

本研究では、実測できない場所や時期における海洋環境データを高精度に推定できるようになる。また、カツオやキンメダイといった限られた種のみであるが、生物多様性情報も創出できる。研究終了後も、本研究のノウハウを用いることで、EEZ の環境や生物多様性をモニタリングしている状況を生み出すことができ、東京都から発信されるデータは EEZ の保全と管理の情報に活用できると期待できる。

2. 4 研究調査の実施体制

研究全体の統括は、五十嵐弘道（海洋研究開発機構）が担当する。ハビタットモデル構築及びこれを用いた漁場推定・予測に必要な沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域における海洋環境データの収集・解析は五十嵐弘道（海洋研究開発機構）が担当する。東京都が保有するカツオ・キンメダイ及びその漁場環境に関する観測データは東京都島しょ農林水産総合センター等から提供を受ける（提供可能であることを事前に相談済み）とともに、これを含んだカツオ・キンメダイの漁獲情報の収集及び統合解析によるハビタットモデル構築とその性能評価、漁場形成要因の解明については五十嵐弘道及び山北剛久（海洋研究開発機構）が共同で行う。国内外のプロジェクトや外部機関が保有する生物情報の収集や関係機関との調整は藤倉克則（海洋研究開発機構）が担当する。最終プロダクトとなる実装化プロトタイプの構築については五十嵐・山北が実施する。



3. 当年度の研究調査の実施内容

3. 1 カツオハビタットモデルの改良

3. 1. 1 実施目的

昨年度実施したカツオハビタットモデルの改良で得られた海洋環境変数・機械学習アルゴリズム・漁場データの組合せ等についての最適な選択を実装したプロダクトモデルを完成させるとともに、このモデルから得られる好適漁場推定情報と東京都島しょ農林水産総合セン

ターが取得した 2024 年度における実際の漁業情報データと比較することで、漁場推定モデルが社会実装に耐えうる推定精度を有することを評価する。さらに、このプロダクトモデルを東京都島しょ農林水産総合センター等で活用するためにソフトウェア化し、現場で情報創生ができる形で実装する。

3. 1. 2 実施方法

海洋研究開発機構で既に入手済みの海洋環境データに加えて、東京都島しょ農林水産総合センター等からカツオ漁場推定モデル構築およびモデル精度の検証に使用する海洋環境データ及び生物関連データ、自動船舶識別装置(Automatic Identification System: AIS)漁船位置データを追加収集した。昨年度実施した海洋環境変数・機械学習アルゴリズム・漁場データの組合せ等の最適選択を反映したハビタットモデルを構築して高精度化を図った。計算は海洋研究開発機構の計算サーバで実行した。

3. 1. 3 実施結果

【データ収集】

カツオのハビタットモデル構築およびモデル精度の検証に必要な海洋環境データ及びカツオ漁場データを収集した。

海洋環境データについては昨年度収集した、気象研究所が作成した日本沿岸海洋再解析データセット MOVE/MRI.COM-JPN※¹、気象庁の現業解析値である日本沿岸海況監視予測システム GPV の 2 種類のデータセットの収集に加えて、海洋研究開発機構と気象研究所と共同で作成した日本沿岸海洋再解析データセット FORA-JPN60 (仮称) の特性を調査した。それぞれのデータ特性について表 1 に示す。

表 1. 海洋環境データセットの特性

	FORA-JPN60 (仮称)	MOVE/MRI.COM-JPN	日本沿岸海況監視予測システム GPV
水平解像度	1/33°×1/50° (約 2 km)	1/33°×1/50° (約 2 km)	1/33°×1/50° (約 2 km)
対象領域	117E-160E, 20N-52N	117E-160E, 20N-52N	117E-160E, 20N-52N
期間	1960/1/1-2020/12/31	2008/01/01-2019/12/31	2020/10/1-現在運用中

この 3 種類のデータセットは、いずれも気象研究所が開発した海況モデル MRI.COM 及び四次元変分法データ同化システム MOVE-4DVAR を用いて作成されており、相互の親和性が高いデータセットとなっている。本研究でカツオのハビタットモデルを構築するために、今年度使用する海洋環境データとしては、水平解像度が約 2 km と高解像度で、かつカツオ漁場データの取得期間とよく一致している MOVE/MRI.COM-JPN 再解析データを採用した。また、構築したカツオのハビタットモデルを 2024 年の実証試験に適用するための海洋環境データとしては、日本沿岸海況

監視予測システム GPV による現業解析値を使用した。

カツオ漁場データについては、これまでにモデル構築に使用してきたカツオ出現データに加えて、昨年度まで実施してきた AIS の受信記録からカツオ漁船の操業位置を推定することで得られるカツオ漁場データのアップデータを行った。水産庁が公表している遠洋かつお・まぐろ漁業許可船名簿に掲載されている 300 t 以上の漁船を抽出対象として 2024 年データを追加で収集しデータを拡充した。さらに、本研究の研究協力者である東京都島しょ農林水産総合センターの漁業調査指導船「たくなん」が過去に実施してきたカツオ調査データについても引き続き使用することでハビタットモデルを構築した。

ハビタットモデル改良のための環境変数データとして、昨年度入手した海底地形データ ETOPO60 についても引き続きモデル構築に使用した。これはアメリカ海洋大気庁 NOAA でアーカイブされている海底地形データであり、全球の水深を 1/60 度の解像度でカバーしているデータである^{※3}。

2024 年の実際の現場における実証試験に使用するカツオ実測データとして、東京都島しょ農林水産総合センターから、2024 年 1-5 月における八丈島での旬別カツオ水揚げ量データ及び調査船「たくなん」による 2024 年 4-6 月に実施された調査漁獲データの提供を受けた。この 2 種類の現場データとカツオのハビタットモデルから得られる漁場推定結果とを比較することで実証試験を実施した。

【プロダクトモデルの構築と実証試験】

R4 年度に試作したカツオのハビタットモデルをベースとして、R5 年度に漁場推定精度の向上を図るための改良を行い、以下の 2 点の改良がモデルの推定精度向上につながることを示した。

① 通年モデルの各月ごとへの分割

② モデル構築に使用する海洋環境変数の拡充としての海底地形データの導入

R6 年度は、R5 年度までに構築したハビタットモデルに対してこの 2 点を反映した統合化モデルを構築してその推定精度の評価を行った。尚、モデル構築に使用したデータは、2015-2018 年における MOVE/MRI.COM-JPN 再解析データ（15-20°N の NP 再解析を含む）・ETOPO60 海底地形データ及び AIS によるカツオ漁場位置及び漁業調査指導船「たくなん」の調査データである。また、ハビタットモデルの作成に利用した機械学習アルゴリズムも昨年度に引き続き MAXENT を使用した（参考資料 1）。MAXENT は、機械学習モデルの一つで不完全な観測情報下でエントロピーを最大化することで対象魚種の存在可能性分布を推定することができるモデルであり (Phillips et al., 2006)、「魚が獲れた」という情報を持つ漁場位置データ（「在データ」）のみを用いて対象魚種の好適生息域が高精度で推定できるという利点を持つ。

改良点を統合化したプロダクトモデルを構築することにより得られた、カツオ漁場形成要因についての新知見については 3.2 で言及するが、ここでは今年度完成したプロダクトモデルにより得られるカツオ漁場推定図の特徴とモデル性能の評価について記述する。まずはモ

デル性能評価の結果として、図1にプロダクトモデルのAUCを示す。MAXENTモデルの性能評価については、これまでと同様にAUCを用いた。AUC(Area Under the Curve)は、モデルによる好適度の判定がどの程度有用であるかを可視化したROC(Receiver Operating Characteristic)曲線を数値化した指数であり、0.5から1までの値を取り1に近いほどモデル性能が良いことを示す指標である（R4年度報告書及び巻末の参考資料2を参照）。

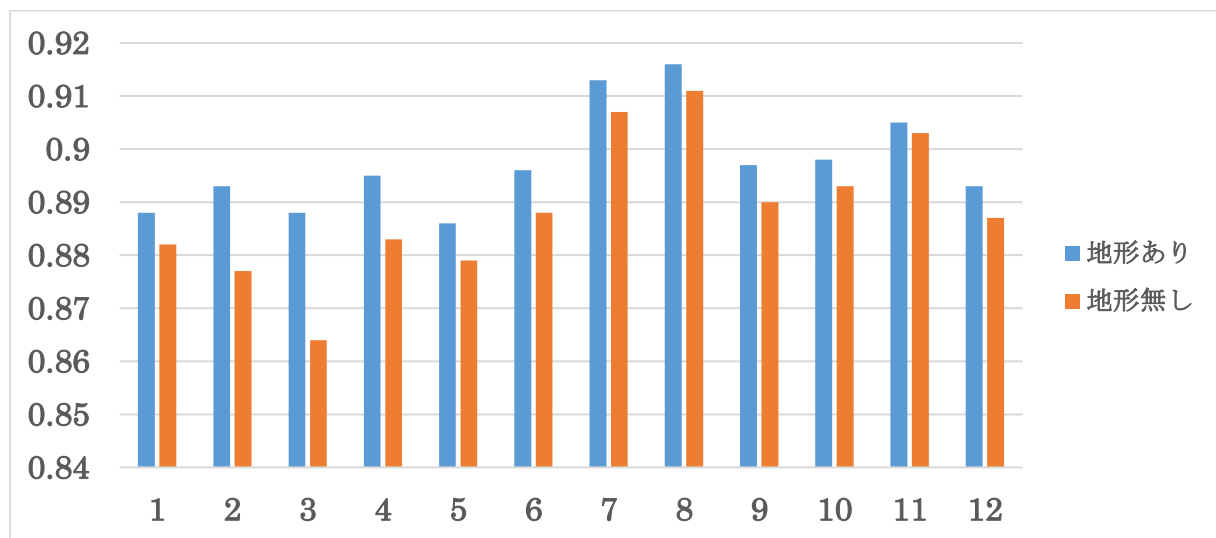


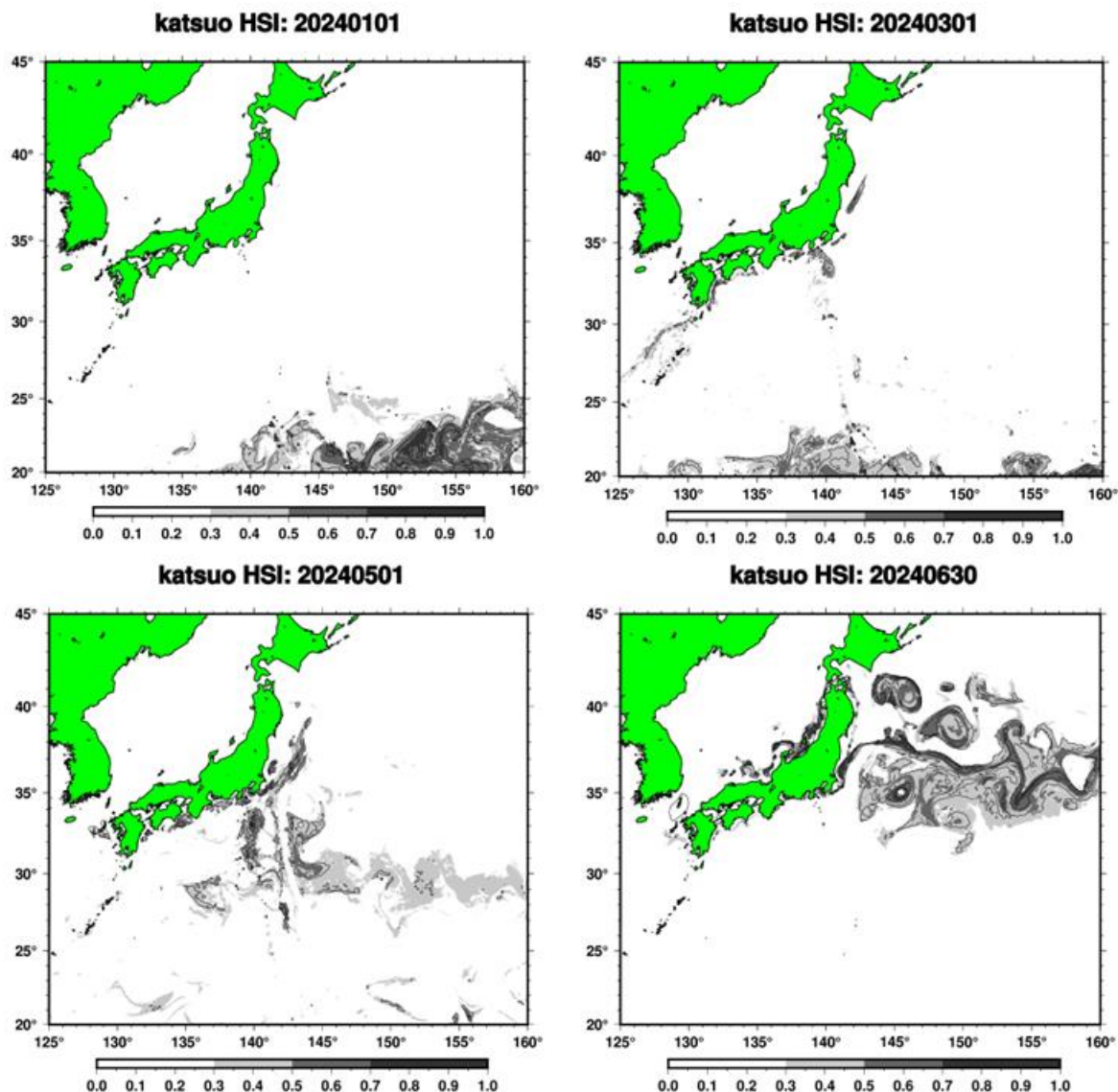
図1. 各月ごとに構築したカツオのプロダクトモデルのAUC.

横軸は月、縦軸はAUCを示す。青線がプロダクトモデルの結果、オレンジは地形データを使用しない場合（R5年度に構築したプロトタイプモデル）の結果を示す。

構築したモデルのうち、8月のモデルのAUCが最も高く（AUC=0.916）、5月のモデルが最も低い値（AUC=0.886）を示した。季節変化の傾向として、冬季～春季と比較して夏季～秋季のAUCが高くなっている特徴は、R5年度のモデルとR6年度のプロダクトモデルでは同様の傾向を示した。R4年度に構築した通年のカツオハビタットモデルのAUC=0.846であり、これと各月のAUCを比較すると、最も値が低いモデルにおいても、通年モデルのAUCを上回っているに加えて、地形データを導入することで全ての月でR5年度のモデルのAUCを上回っており、特にR5年度のモデルで相対的にAUCの低かった3月も大きな改善が見られることから、1年を通じて高精度の漁場推定が可能になった。

これまでの結果を踏まえた上で、完成したプロダクトモデルを用いた現場での実証試験として、2024年1-7月におけるカツオの漁場推定を実施し、現場での漁獲データとの比較から、現地実装に耐えうる推定精度を有するかについての性能試験を実施した。

まず今年度に統合化したプロダクトモデルを、気象庁の現業解析値である日本沿岸海況監視予測システムGPVによる海洋環境データ（海面高度、海表面・50 m深・100 m深・200 m深の4深度における水温及び塩分の合計9変数）及びETOPO60海底地形データに適用することで2024年1月1日から2024年6月30日までのカツオ漁場推定図を作成した。図2は、2024年1月1日、3月1日、5月1日、6月30日の漁場推定図を示したものである。



(左上) 2024 年 1 月 1 日、(右上) 3 月 1 日、(左下) 5 月 1 日、(右下) 6 月 30 日。
図 2. プロダクトモデルによるカツオ漁場推定図. 白黒の濃淡がカツオの HSI を示しており、
値が 1 に近いほど好適な漁場であることを示す。

2024 年については 1 月初頭から冬季にかけては、南鳥島周辺海域では漁場が形成されている一方で沖ノ鳥島周辺では漁場形成が見られなかった。実証試験の対象となる八丈島周辺海域においては、3 月上旬ごろから HSI 値が高くなりはじめ、5 月中旬にピークを迎え、6 月に入るとさらに北上して八丈島周辺海域では漁場が形成されなくなるという季節変化を示した。

モデルから得られた漁場推定結果と、実際の漁獲の結果との比較を行った。図 3 は、東京都島しょ農林水産総合センターから提供された八丈島における旬別のカツオ水揚げ量の時系列を示したものである。これに対して図 4 は、プロダクトモデルから得られたカツオ漁場推定図から八丈島周辺海域における日別 HSI 値の領域平均値の時系列を示したものである。

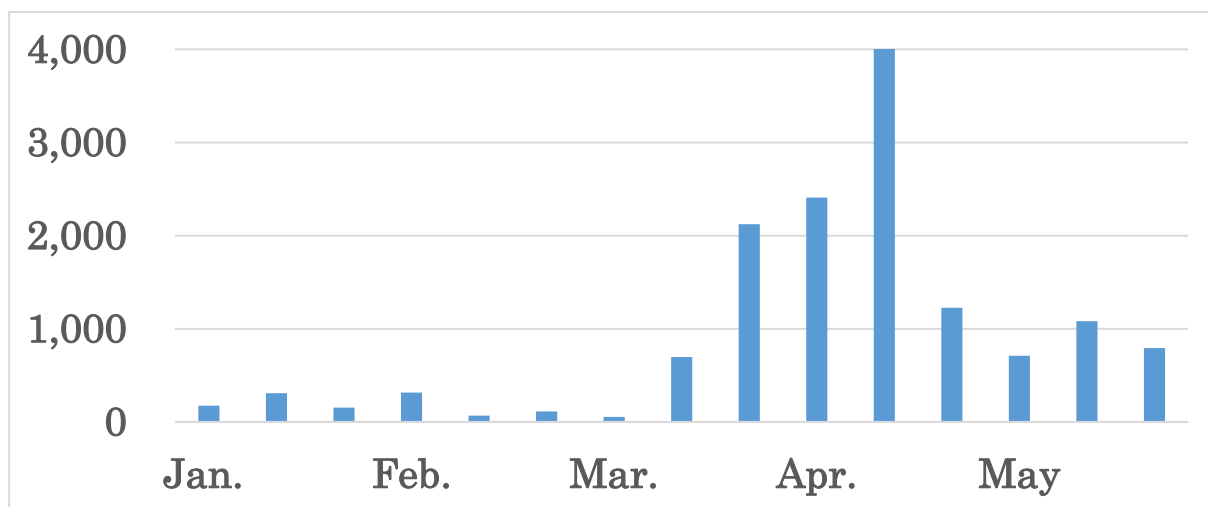


図 3. 八丈島における旬別カツオ水揚げ量（2024 年 1-5 月）（単位：kg/10days）。

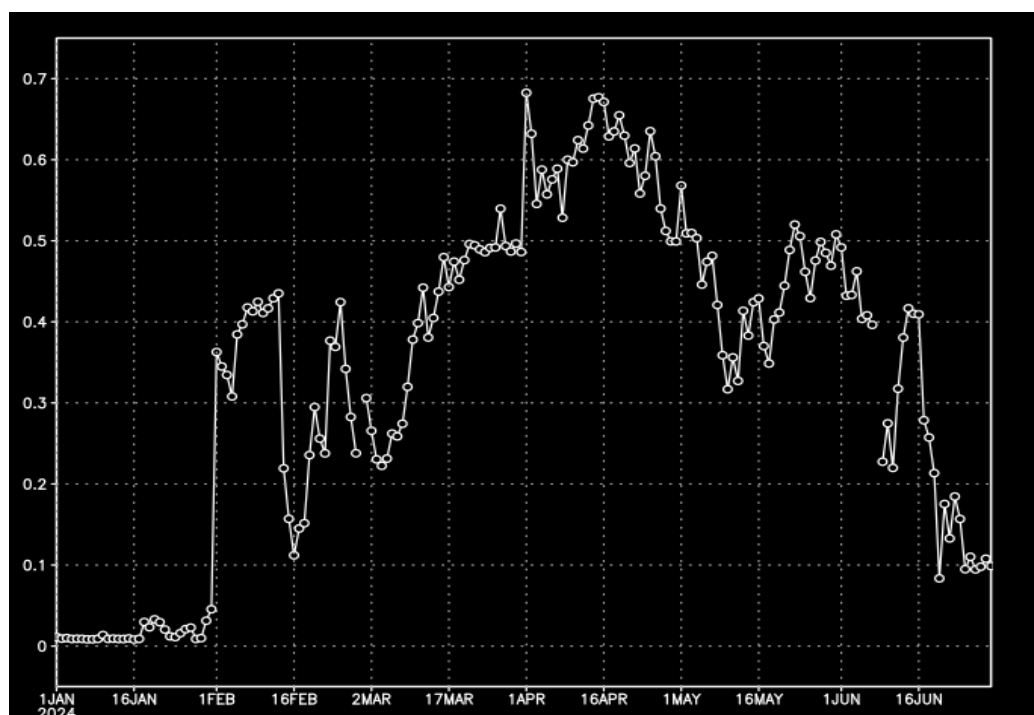


図 4. 八丈島周辺海域における日別カツオ HSI 領域平均値（2024 年 1-6 月）

図 3 と図 4 の両者の時間変化の特徴を比較すると、八丈島周辺海域におけるカツオモデルの HSI 値は 1 月末までほぼ 0 に近い値を示していたが 2 月初旬に 0.4 まで上昇した。これに対して、実際の八丈島におけるカツオ水揚げ量も 2 月上旬に 315kg の極大値を示し、八丈島における漁期の開始と一致した。その後、一旦 HSI 値は 0.2 程度まで低下し 3 月中旬頃に再び上昇し 0.5 を超える値を示すのに対して、カツオ水揚げ量も 3 月中旬に 696kg、3 月下旬に 2121kg を示しており、カツオ漁の本格時期についても両者がよく一致した。HSI 値は 4 月中旬に 0.7 に迫るピークに達するが、実際の水揚げ量も 4 月中旬に 9785kg と最大値を示してお

り、HSI 値の領域平均値が水揚げ量の季節推移を正確に表現していると言える。その後、HSI 値は徐々に下降を続け 6 月中旬には 0.1 まで低下するとともに八丈島周辺海域での水揚げ量も低下した。さらに、各時期におけるカツオ漁場推定図を見ると（図 5）、本格漁期前に少し水揚げのあった 2 月中旬（図 5 左）には、八丈島周辺のごく限られた領域のみ HSI 値が 0.5 を超えているのに対して、本格的な漁期開始後の 3 月下旬（図 5 中）には HSI 値が 0.5 を超える領域が広範囲に広がるようになった。さらに最盛期の 4 月中旬には HSI 値が 0.7 を超える領域が出現するようになっていた。このことから、HSI 値の分布の状況と領域平均値を併用することにより、確度の高い漁期の予測が可能であることが示唆された。

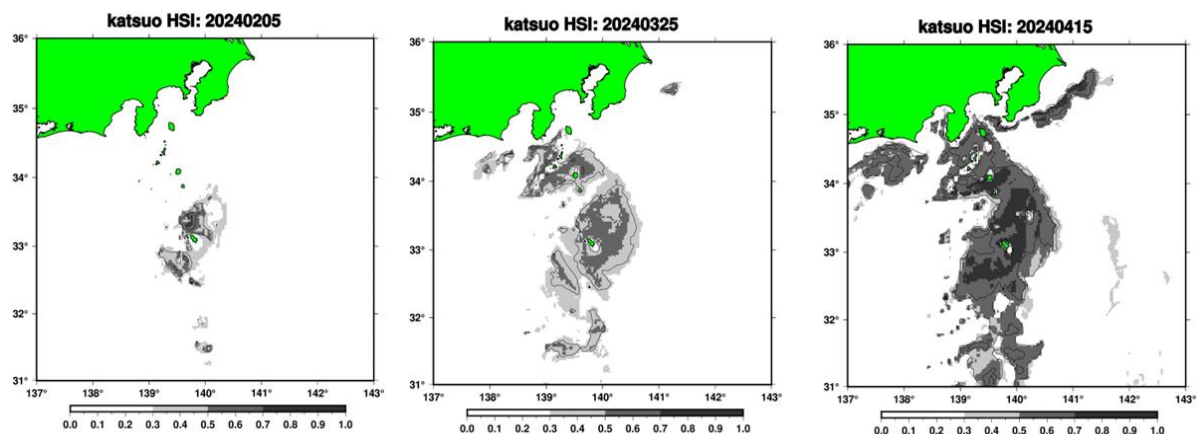


図 5. プロダクトモデルによるカツオ漁場推定図（八丈島周辺海域拡大図）。白黒の濃淡がカツオの HSI を示しており、値が 1 に近いほど好適な漁場であることを示す。（左）2024 年 2 月 5 日、（中）3 月 25 日、（右）4 月 15 日。

実測との比較として、東京都島しょ農林水産総合センターから提供された調査船「たくなん」による調査操業データとモデルによるカツオ漁場推定図とを比較した。図 6 は、調査船「たくなん」による調査操業が行われた 2024 年 4 月 25 日、6 月 7 日、6 月 27 日におけるカツオ漁場推定図に、「たくなん」の航跡及びカツオ採捕地点を重ねたものである。図 3 および図 4 を参照すると、「たくなん」による調査が実施された 3 日間のうち、4 月 25 日はカツオ漁の最盛期を少し過ぎた時期であり、6 月 7 日及び 6 月 27 日は八丈島周辺海域での操業をほぼ終えた時期となっている。4 月 27 日（図 6 左）は、八丈島周辺海域においてまだ広範囲に HSI 値の高い領域で覆われており、「たくなん」の調査海域もその中に含まれている。カツオが採捕された八丈島の北側の海域においても HSI 値は 0.5 を超えており、カツオにとって好適な環境が形成されていることがわかる。一方で 6 月 27 日（図 6 右）は、八丈島周辺海域には HSI 値が 0.3 を超える領域は存在せず、既にカツオの好適環境から抜けてしまっている状況である。「たくなん」調査では八丈島の北東海域でカツオが採捕されているが、漁場が形成されるような環境下ではなかったと推察される。6 月 7 日のケースについては、「たくなん」の調査は浮き漁礁が設置されている地点で実施されており、魚が集まりやすい環境

が人工的に作られた状況下であったが、この時期においてもまだカツオにとっての好適環境が維持されていることを漁場推定図が示しており、調査とモデル結果に一致が見られる。

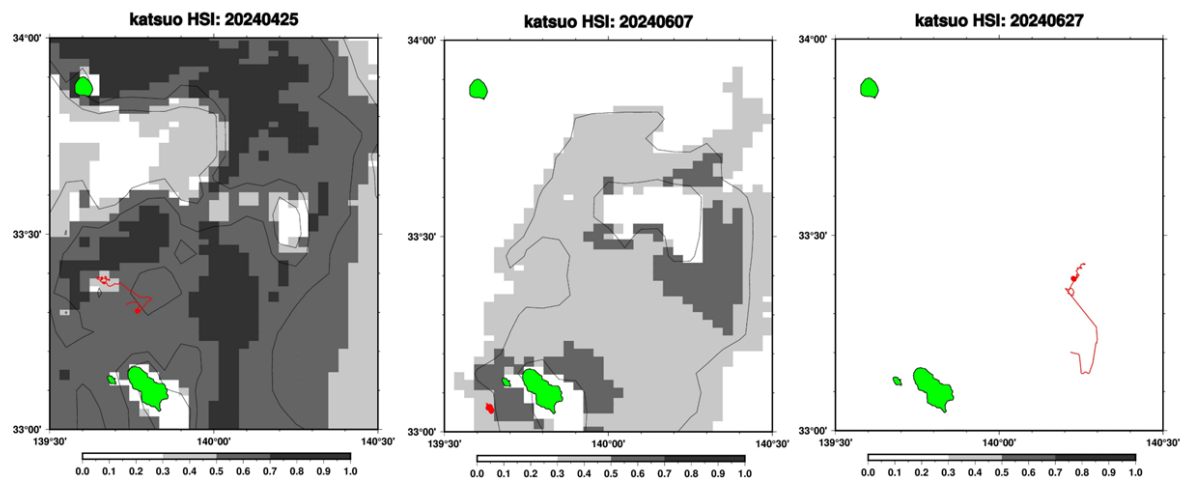


図 6. プロダクトモデルによるカツオ漁場推定図（八丈島周辺海域拡大図）と調査船「たくなん」によるカツオ調査漁業の結果. 白黒の濃淡がカツオの HSI を示しており、値が 1 に近いほど好適な漁場であることを示す. (左) 2024 年 4 月 25 日、(中) 6 月 7 日、(右) 6 月 27 日. 赤線が「たくなん」の航跡を示し、赤丸がカツオ採捕地点を示す。

【ハビタットモデルの東京都島しょセンターへの実装】

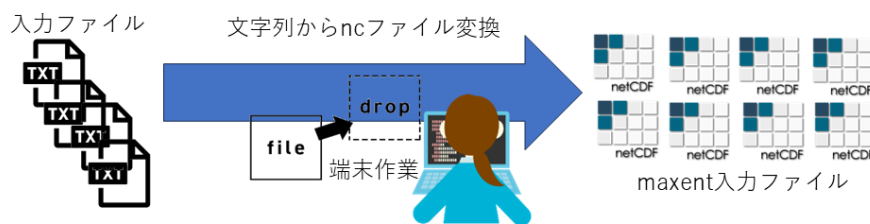
本研究では、これまでに作成したプロダクトモデルを東京都島しょ農林水産総合センター等の現場で漁場推定を実施し情報配信ができる形で実装するための手段として、漁場推定と可視化のためのソフトウェアを開発した。

本ソフトウェアは、Windows PC 上でのドラッグ&ドロップ作業のみで、入力ファイルを maxent が読み込むことができる形式に変換して HSI 値を計算し、マップファイルとして可視化を行うことができるものであり、これを用いることで東京都島しょ農林水産総合センターの担当者が漁業者への情報配信を簡便に実施することができる。概要を以下に示す。

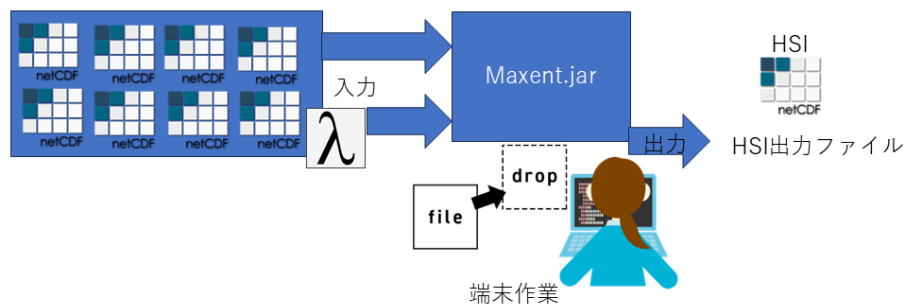
本事業で開発したカツオ漁場推定・可視化ソフトウェアの概念図を図 7 に示す。まず、漁業情報配信担当者は、漁場推定・予測を実施したい日時における海洋環境データを準備する。本研究では、東京都島しょ農林水産総合センターが現業で使用しており、国立研究開発法人水産研究・教育機構が水管関連現業機関向けに情報配信している FRA-ROMS II (<https://fra-roms.fra.go.jp/fra-roms/>) を入力対象データとして使用した。サイトからダウンロードした要素別・深度別の海洋環境データ（テキスト形式）を、本ソフトウェアのアイコンにドラッグ&ドロップすることで Maxent に入力可能な netcdf 形式のファイルに変換する（図 7 【STEP1】）。さらに変換後のファイルを本ソフトウェアのアイコンにドラッグ&ドロップすることで Maxent が windows 上で実行され HSI 値の計算結果が出力される（図 7 【STEP2】）。さらに、この HSI 値の netcdf ファイルを本ソフトウェアのアイコンにドラッグ&ドロップすることで、八丈島周辺海域における漁場推定図が jpeg 形式と

geotiff 形式の 2 種類で出力される（図 7 【STEP3】）。jpeg 形式のファイルは計算結果をすぐに確認するためのものであり、geotiff 形式のファイルは QGIS などの GIS ソフトウェアに読み込み可能なもので、東京都島しょ農林水産総合センターが所有するウェブ配信システム上に画像をアップロードするための形式となっている。以上のように、windows 上での簡便な作業により、日々の海洋環境に対応したカツオ漁場推定結果のアップデートが現業的に実施できるツールを作成することで、本事業で構築したカツオ漁場推定技術を現地実装することができた。実際に東京都島しょ農林水産総合センター八丈事業所に実装した様子を写真 1 に示す。

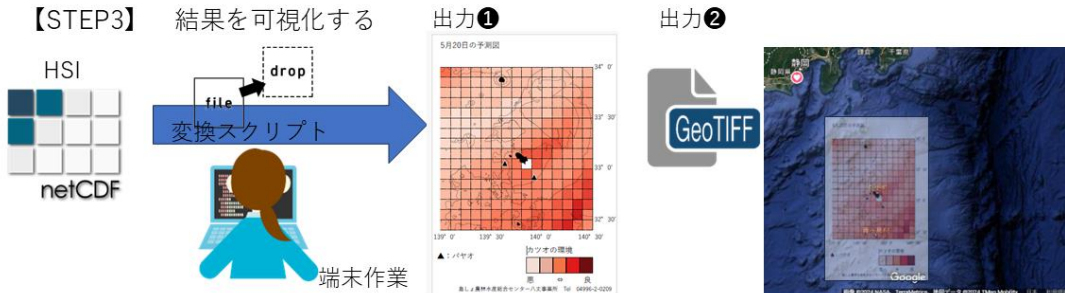
【STEP1】 MAXENTのプロジェクトを行うための入力データを作成する。



【STEP2】 MAXENTのプロジェクトを行う



【STEP3】 結果を可視化する



クイックルック用のマップファイル（出力①）とウェブ公開用のGeoTIFFファイル（出力②）を同時に出力する。

図 7. カツオ漁場推定・可視化ソフトウェア概念図。



写真 1. カツオ漁場推定・可視化ソフトウェアを東京都島しょ農林水産総合センター八丈事業所で実装している様子。

3. 1. 4 考察

今年度は、プロジェクト最終年度として昨年度実施したカツオハビタットモデルの改良で得られた海洋環境変数・機械学習アルゴリズム・漁場データの組合せ等についての最適な選択を実装したプロダクトモデルを完成させるとともに、このモデルから得られる好適漁場推定情報と東京都島しょ農林水産総合センターが取得した 2024 年度における実際の漁業情報データと比較することで、漁場推定モデルが社会実装に耐えうる推定精度を有することを評価した。その結果、カツオ漁場推定における AIC が年間を通じて 0.88 を超える高い数値を維持したプロダクトモデルを構築するとともに、2024 年の実際の現場データとの比較結果としても漁場形成の推移を精度良く推定できると考えられる。さらに、このプロダクトモデルを東京都島しょ農林水産総合センター等で活用するためのソフトウェアを開発して、現場で情報創生ができる形で実装を完了した。

3. 1. 5 研究調査の成果（達成目標に対する到達度）、今後の課題・展望等

本研究では、プロジェクト最終年度として高い予測精度を持つカツオ漁場推定モデルを完成させるとともに、これを用いた現場実証試験を行い、八丈島周辺海域における漁場の推移を精度良く再現していることを示し、現場における有効性を確認することができた。本研究の重要な目的として、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域における EEZ 管理としてのカツオ漁場分布を精度良く推定することがあるが、本成果をもって両海域におけるカツオ漁場分布について

も十分に推定できると考えられる。今後は、さらに観測情報を増やしていくことでモデルの改良を進め高精度化を進めていくとともに、気候変動に伴う沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域におけるカツオ分布の影響について評価していくことを目指す。

3. 2 カツオ漁場形成要因の解析

3. 2. 1 実施目的

構築したカツオのハビタットモデルから得られる結果を解析し、カツオ漁場形成に対する各環境変数の影響を評価することで、カツオの漁場形成要因を明らかにする。

3. 2. 2 実施方法

海洋再解析データ MOVE/MRI.COM-JPN の各海洋環境データを使用した。構築したカツオのハビタットモデルについて、各環境変数のカツオ漁場形成への貢献度を評価することで漁場形成要因について考察した。計算は海洋研究開発機構の計算サーバで実行した。

3. 2. 3 実施結果

「3.1.カツオハビタットモデルの改良」で構築した、MAXENT によるカツオ漁場推定のためのプロダクトモデルについて、モデル構築の結果得られた情報からカツオ漁場の形成要因について解析した。

「3.1.3 実施結果」【ハビタットモデル改良】で統合化した以下の2つの項目、

① 通年モデルの各月ごとへの分割

② モデル構築に使用する海洋環境変数の拡充としての海底地形データの導入

について、それぞれを統合化したことにより得られた新知見についての記述を行った。

図8に、上記①に基づいて月ごとに構築したカツオハビタットモデルに使用した海洋環境変数の統計的貢献度を示したものであるが、上記②の海底地形データをモデルに導入して再構築した結果を示した。R5年度に構築した海底地形データ無しのモデル結果と比較すると、6-8月の夏季に海面水温の貢献度が高いのに対して、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域でカツオ漁場が形成される11-2月の冬季には50m深水温・塩分の貢献度が高くなり、亜表層の海洋環境の貢献度が増加するという傾向はR5年度のモデルと今年度のプロダクトモデルで同様な特徴であった。一方で、海底地形の貢献度の季節変化をみると、3-4月の春先と7-8月の夏季に2つの極大値を示しており、特に4月の貢献度が40%以上と高い数値を示した。

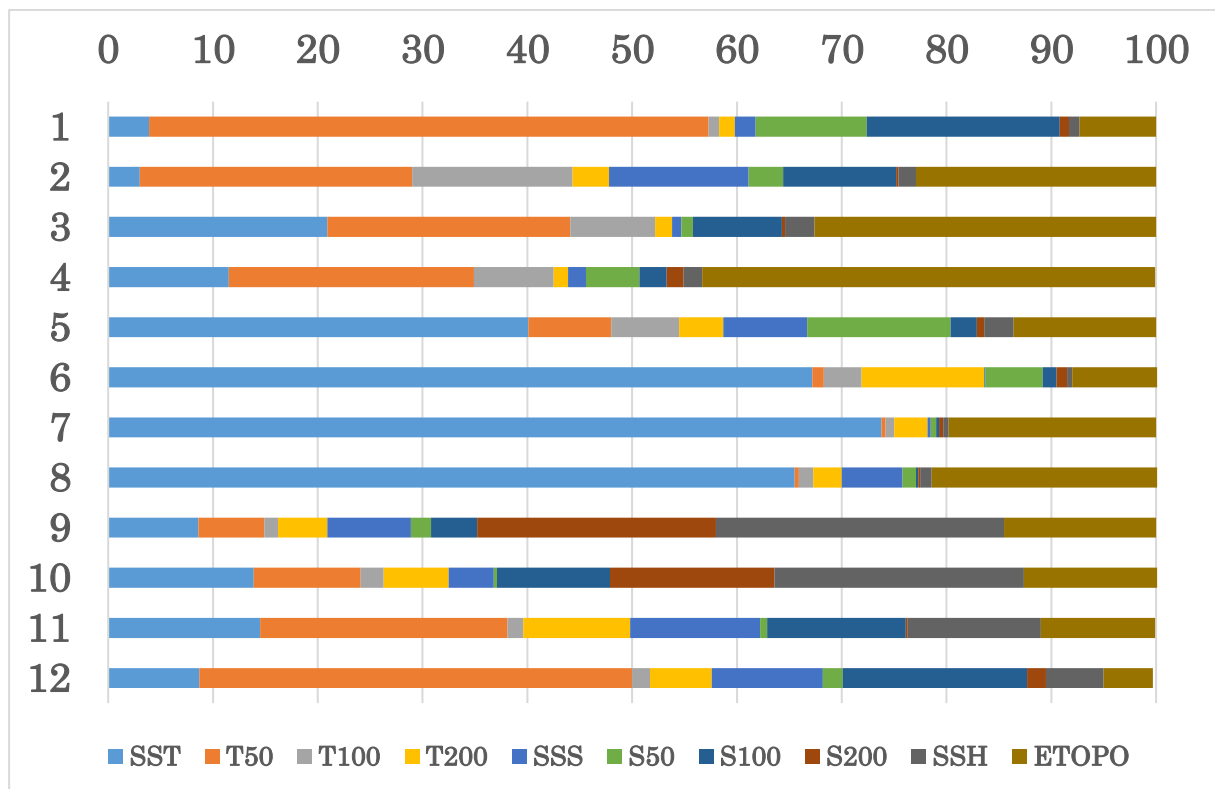


図8. 月ごとに構築したカツオハビタットモデルに使用した海洋環境変数の統計的貢献度. 変数は海面高度(ssh), 海面水温(t1), 50 m 深水温(t9), 100 m 深水温(t12), 200 m 深水温(t17), 海面塩分(s1), 50 m 深塩分(s9), 100 m 深塩分(s12), 200 m 深塩分(s17), ETOPO60 海底地形を示す. 各棒線が各月の貢献度を示し、左側の数字が 1-12 月を示す.

2 つの極大を示す 4 月と 8 月について、それぞれのモデルにおける海底地形のレスポンス曲線を示した (図 9)。昨年度のモデル結果と比較すると、R5 年度に実施した単年度モデルに対して海底地形を導入した場合の結果として、1500m 深よりも浅い領域及び 2500–6000m 深の 2 つの深度にカツオハビタットのレスポンスピークが見られていたが、今年度に再構築した月別のモデルにおける海底地形のレスポンス曲線を見ると、1500m 深よりも浅い領域のレスポンスピークは 4 月のみ、2500–6000m 深のレスポンスピークは 8 月のみに見られることが分かった。すなわち、八丈島周辺海域からその南方に漁場が形成される 4 月には 1500m 深よりも浅い領域で HSI 値が高い値を示すことを意味しており、これは伊豆諸島から小笠原諸島周辺の海底が相対的に浅い領域にカツオの回遊が集中していることを示された。一方で三陸から東北の東方沖にカツオの漁場が形成される 8 月には 2500–6000m 深という海底が相対的に深い領域にカツオ漁場が形成されることを示しており、レスポンスピークの 2 つの極大が領域・季節ともに異なっていることが新知見として得られた。

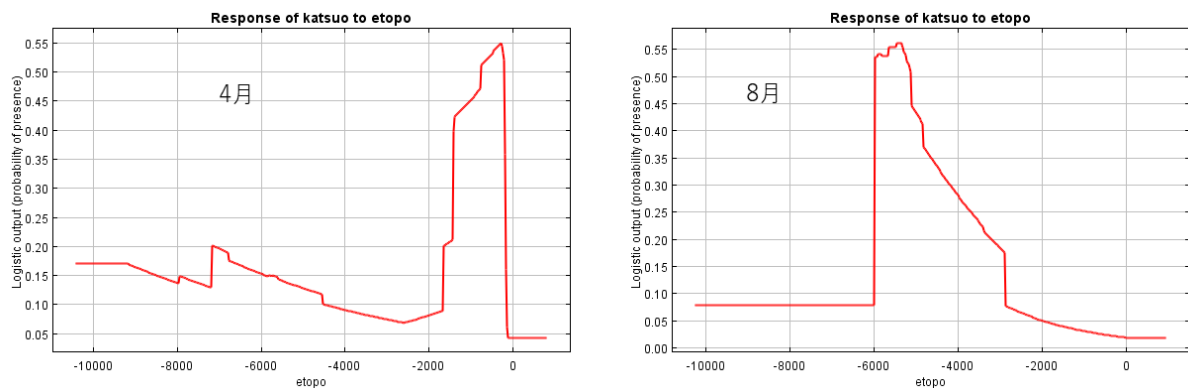


図 9. カツオハビタットモデルについて、海底地形（水深）のカツオ漁場位置に対するレスポンス曲線。縦軸が HSI(Habitat Suitability Index)、横軸が水深（m）を示す。

（左）4 月、（右）8 月。

3. 2. 4 考察

「3.1.カツオハビタットモデルの改良」で構築した、MAXENT によるカツオ漁場推定のためのプロダクトモデルについて、モデル構築の結果得られた情報からカツオ漁場の形成要因について解析した。その結果、カツオの漁場形成に関わる因子としての海底地形は、4 月と 8 月の 2 つの時期に高い貢献度を示すが、季節により領域によりレスポンス曲線の特徴が異なることが示された。特に、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域における漁場形成に関連すると思われる春先のレスポンスピークが 1500m 深よりも浅い領域で見られることから、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域における漁場形成の因子として重要であることが示唆された。昨年度までの知見を総合すると、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域におけるカツオの漁場形成にとって、亜表層の水溫・塩分環境に加えて海底の水深が 1500m 深以下であることが重要であることが示されており、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域におけるカツオの漁場形成要因がモデルに導入できたことで、高精度の漁場推定が可能となったと考えられる。

3. 2. 5 研究調査の成果（達成目標に対する到達度）、今後の課題・展望等

本研究では、「3.1.カツオハビタットモデルの改良」で再構築した MAXENT によるカツオハビタットモデルから得られる結果について解析を行い、カツオの漁場形成と海洋環境との関係について把握することで漁場形成要因についての考察を行った。その結果、カツオ漁場と海底地形との関係は、秋季～冬季における沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域の場合と下記の三陸沖～黒潮親潮混合域の場合とで、その特性が顕著に異なることが明らかとなった。

3. 3 キンメダイ潜在漁場推定・予測

3. 3. 1 実施目的

既存漁獲データなど（伊豆諸島周辺海域）を用いたキンメダイ類のハビタットモデルを構築する。

3. 3. 2 実施方法

海洋研究開発機構で入手済みの海洋環境データ・深海映像データ等および、新たに入手した漁獲データ等からキンメダイ漁場推定モデル構築にデータを整備した。統計モデルを用いて海洋環境データと漁場のデータを入力値として使用することでハビタットモデルを構築した。計算は海洋研究開発機構の計算サーバで実行した。

3. 3. 3 実施結果

【データ収集】

現存量についてのモデル構築に必要なデータとして、新たに既存の資源推定の資料等からのキンメダイの量のデータの収集を行った。特に令和6年度 キンメダイ太平洋系群資源評価会議資料として公表されている漁獲量の CPUE (kg/操業回数) の外れ値を除く平均値データを活用し、2000 年から 2020 年までの 5 年ごとのキンメダイ類の現存量を応答変数とした（図 10）。

海洋環境データについては、昨年度利用した、Mean Annual Sea Surface Temperature 2003-2007 (2008)から、気象庁気象研究所によって開発された海洋モデル・データ同化システムによる水平解像度約 2 km 日本沿岸海洋再解析データセット「MOVE/MRI.COM-JPN Dataset」の海底水温について 2008 年から 2012 年の月平均値を平均処理した気候値データの海底値を使用した。また、昨年度収集した、BIORACLE から、各種の海洋環境の広域データの値および、海底地形については、同様に解像度が異なるものを複数作成した上で、それぞれの解像度での地形の傾きおよび地形上の位置の指標（TPI）を計算した。

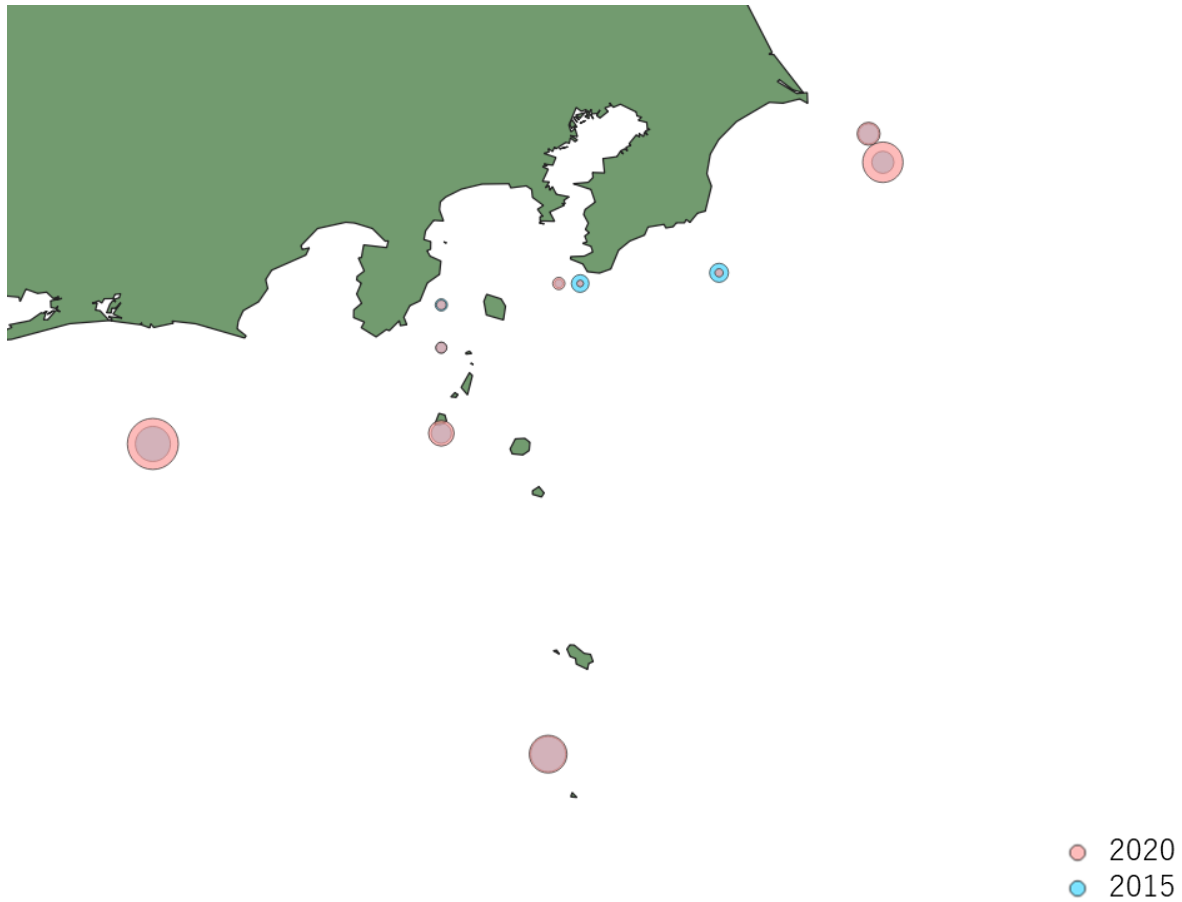


図 10.モデル作成に使用したキンメダイ類の量のデータ. 円のサイズは相対的な量の差を示す（サイズは線形ではない）.

【現存量のハビタットモデルの作成】

キンメダイ類の分布の適地の推定を行うにあたり、対象とする範囲を一昨年の北西太平洋と世界全体、昨年の日本の房総半島より西側の範囲からさらに狭め、統計情報の得られた伊豆諸島周辺に設定した。分布を規定する変数としては、複数検討したのち、共線性や有効性などを考慮した結果、水深（15 秒、0.5 度の解像度）、地形位置指数（0.5 度から 60 秒の解像度）、表層植物プランクトン濃度、リン酸、海山からの距離、海底流速、海底水温の気候値を用いた。モデルについては、昨年度まではキンメダイ類の存在確率を推定していたが、2024 R6 年度は現存量（努力量あたりの漁獲量）を推定することから、一般化線形モデル（ガンマ分布、対数リンク）を作成した。なお、年に相当する効果は今回用いなかった。

一般化線形モデルを実行した結果、逸脱度 0.67、補正済 R 二乗値 0.58、元データとの相関係数 0.95 と高い推定精度を示した（図 11）。

変数としては、植物プランクトン濃度と、海山からの距離の近さが特に有意な効果があり、水温は低い方が現存量が多く、0.5 度の解像度で計算された地形指数（TPI）は正に有意であり、地形の尾根付近ほど現存量が多いことが示された（表 2、図 12）。

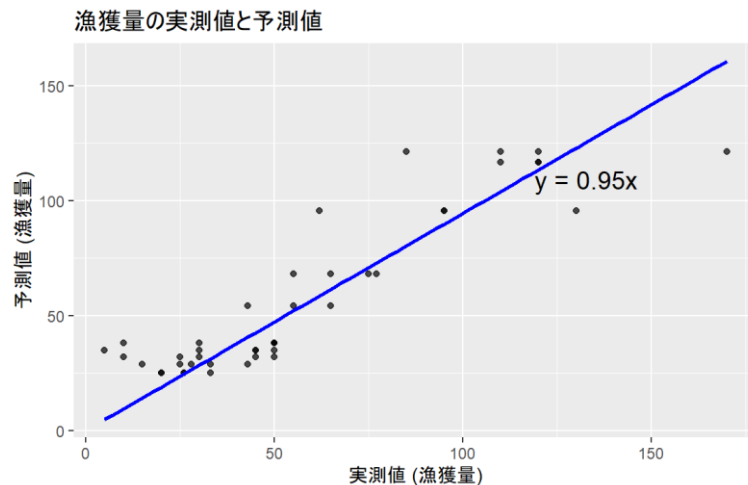


図 11. モデルの予測値と実測値の散布図と線形回帰の結果.漁獲量は CPUE によって指標されているものを示す.

表 2. モデルの変数ごとの結果と編回帰係数(水深(etopo15s)、植物プランクトン濃度(phyc)、リン酸(po4)、海山からの距離(mtdist)、海底流速(sws)、海底水温(thetao)、地形位置指数(tpi) 各解像度(0.5 度から 60 秒)を示す)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	coef_stats	estimate	sim_estimate
Intercept	8.84	2.85	3.10	0.00			
etopo15s	0.00	0.00	1.17	0.25	0.01	0	19
phyc	8.74	1.91	4.58	0.00	0.05	8688	6618341
po4	-0.40	0.68	-0.59	0.56	-0.01	-23	-1837
mtdist	0.00	0.00	-4.29	0.00	-0.01	0	-1
sws	-6.06	3.42	-1.77	0.09	-0.01	-310	-633610
thetao	-0.48	0.17	-2.79	0.01	-0.05	-272	-36645
tpi0.5d	0.00	0.00	7.75	0.00	0.02	0	81
tpi15s	-0.13	0.06	-2.09	0.05	-0.01	-8	-9200
tpi60s	0.00	0.00	1.44	0.16	0.00	0	26

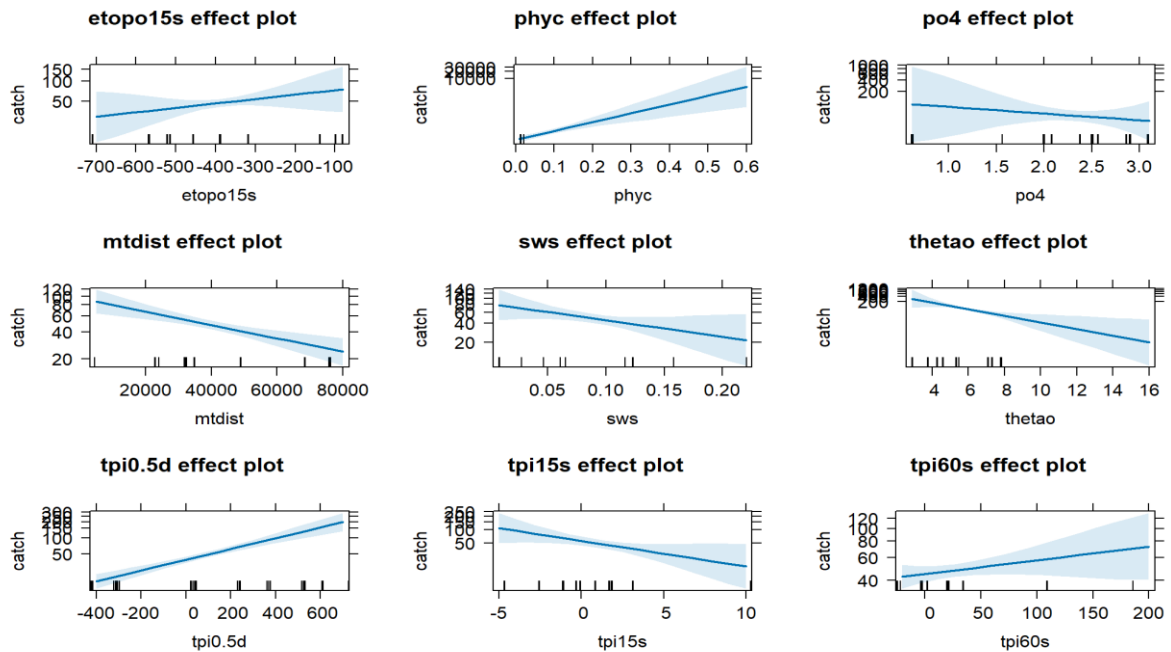


図 12. 一般化線形モデルの変数の効果. 水深 (etopo15s)、植物プランクトン濃度 (phyc)、リン酸 (po4)、海山からの距離 (mtdist)、海底流速 (sws)、海底水温 (thetad)、地形位置指数 (tpi) 各解像度 (0.5 度から 60 秒) を用いた。

上記に基づく生息量の推定値を分布図で図示すると (図 13)、伊豆半島沖から八丈島周辺にかけての伊豆七島や、黒瀬海盆・銭洲海底谷、明神海山・須美寿海丘・鳥島海丘の周辺で分布量として高い値の範囲がひろがっていることが分かった。房総半島東沖や駿河灘付近でも分布量推定値が高い場所が見られた。

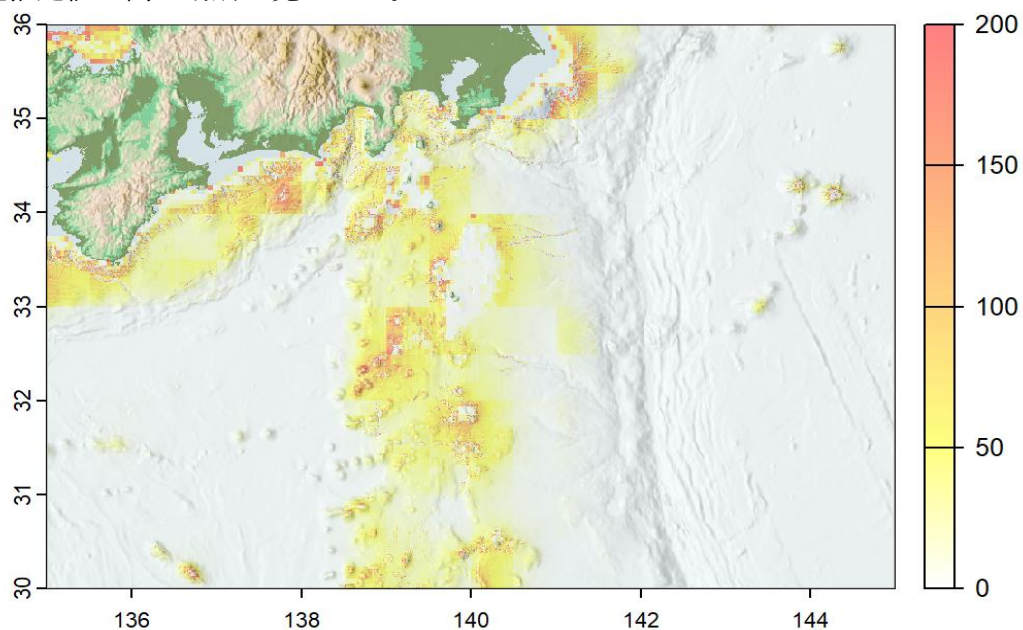


図 13. キンメダイ類の地形と水温の気候値などによる量の一般化線形モデルによる推定結果 (データの範囲から大きく外れる 200 以上の値は描画していない)

3. 3. 4 考察

キンメダイ類の分布について、従来の在不在の推定だけではなく、新たに、分布量を推定することが可能になった。特に、これまで在不在のモデルでは特別に重要な変数とされずにいた、海山などの地形の効果がより明瞭に見えるようになったことは特筆に値する。また、過去のほぼ同じ変数を用いた在不在のみの分布適地推定（図 14）と比較しても、大きな矛盾は見られず、双方で推定しているものは異なるものの、一定の有効性を支持するものである。

本モデルを用いて、これまで漁場とされていない地点を含めた、キンメダイ類の潜在分布を特定するという当初の目的を達成できた。モデルの作成に使える漁獲や分布データがなく、大幅な外挿となるために、図示しなかったが、モデルとしては、当初目的とした南鳥島周辺についても推定可能である。今後、現地調査の情報を入れることで、この方法を活用した適地推定や利用可能性の検討に活用が期待される。

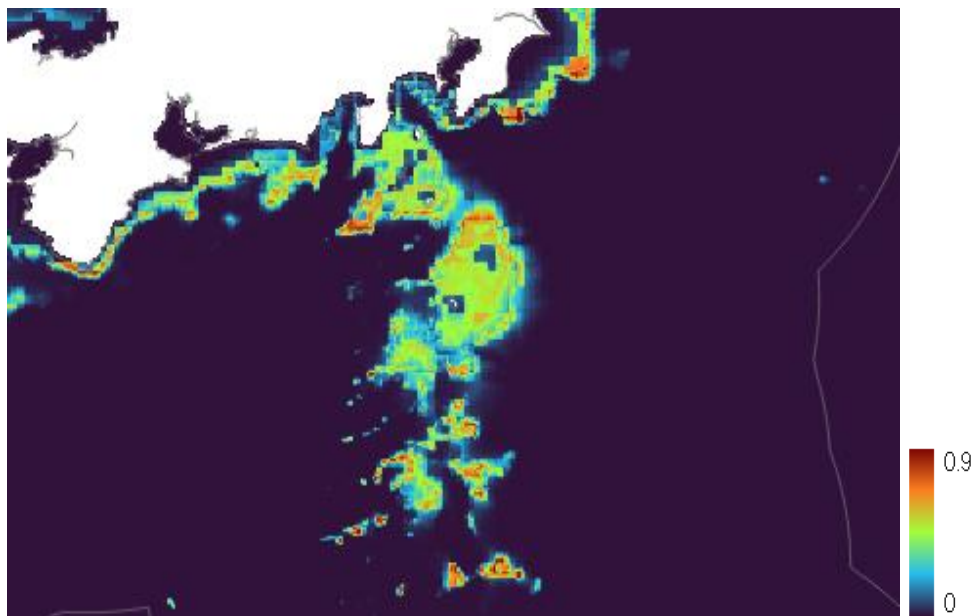


図 14. 比較のための昨年度の分布適地（在不在）の推定結果

3. 3. 5 研究調査の成果（達成目標に対する到達度）、今後の課題・展望等

沖ノ鳥島・南鳥島周辺の海域を対象に、数理モデルによる解析を行うことで海洋環境データと対比させながらカツオやキンメダイ類の分布を推定・予測し、効率的かつ持続的な漁業および EEZ 管理に必要な科学的情報を創出する達成目標に対し、今年度はキンメダイ類の潜在的な分布域推定について解析対象領域を絞り、一般化線形モデルを用いた解析を行うことにより、現存量を推定することができるモデルを構築することができた。モデルにより得られた分布図は、伊豆・小笠原周辺海域における潜在漁場探索に活用することができるとともに、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域におけるキンメダイ類の現存量推定にも有効であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域における海洋生態系の保全・排他的経済水域 (EEZ) 管理・水産資源管理・効率的かつ持続的漁業のための生物分布量の把握と予測に資する科学的情報の創出のため、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域の外洋性のカツオや深海性のキンメダイ類を対象に、好適な漁場を推定する手法を開発し好適漁場情報を創出することを目的とする。最終年度となる令和 6 (2024) 年度は、③カツオハビタットモデルの改良、④カツオ漁場形成要因の解析、⑥キンメダイ潜在漁場推定・予測の 3 項目に取り組んだ。

③カツオハビタットモデルの改良では、昨年度までに得られた知見に基づき MOVE/MRI.COM-JPN 再解析データ及び AIS 計測及び漁業調査指導船「たくなん」の調査によるカツオ漁場位置データを用いて構築したカツオのハビタットモデルを 2024 年の海洋環境に適用して漁場推定を実施し、八丈島周辺海域における実際の漁獲データと比較することで実証試験を行い、実利用に適用可能な推定精度を有することを示した。八丈島周辺海域におけるカツオ漁場推定モデルから得られた HSI 値の領域平均値と八丈島における実際の水揚げ量の時系列を比較した結果として、カツオ漁の開始期から最盛期を経て終了に至るまでの時系列変化に一致が見られたことで、カツオの漁場形成状況を精緻に再現できていることが示された。さらに、現業予測データを適用して漁場推定図を自動作成するソフトウェアを開発して、東京都島しょ農林水産総合センター八丈事業所に実装することで、本研究で構築したカツオ漁場推定モデルによる現業的な漁場推定図の作成が可能となった。④カツオ漁場形成要因の解析では、③で構築したカツオハビタットモデルから得られる結果を解析し、漁場形成要因を考察した。その結果、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域で漁場が形成される春季の漁場推定モデルのレスポンスとして水深が 1500m よりも浅い領域が漁場形成に重要であることが示された。⑥キンメダイ潜在漁場推定・予測では、領域を伊豆諸島周辺海域に絞り一般化線形モデルを適用することで、分布に加えて現存量を高い精度で推定することができた。

3 年間のプロジェクト期間を経て、カツオとキンメダイ類のどちらについてもハビタットモデルの構築を通じて漁場形成にとって重要である環境要因を特定することができたことに加えて、潜在漁場推定による漁業効率化に資する社会実装を達成できた。さらに、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域における両種の分布状況の把握についても、現地調査を伴わずに環境データのみから分布推定が可能になった。今後は、両種の長期的な資源量の変遷を見極めることが重要であり、特に気候変動に伴う海洋環境の変化が両種の分布にどのような影響を及ぼすかについて評価していくことが重要な課題であると考えられる。

5. 資料

5. 1 参考文献

- Phillips, S.J., Anderson, R.P. and Schapire, R.E., 2006, Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, 190, 231-259.
- Salinas-Melgoza, M.A., M. Skutsch, and J. C. Lovett, 2018, Predicting aboveground forest biomass with topographic variables in human-impacted tropical dry forest *Ecosphere* 9(1):e02063. 10.1002/ecs2.2063

5. 2 資料

※1 https://mri-ocean.github.io/mricom/mri.com-user_jpn_start.html

※2 <https://obis.org/>

※3 <https://www.ncei.noaa.gov/products/etopo-global-relief-model>

※4 <https://www.godac.jamstec.go.jp/bismal/j/>

※5 <https://www.speciesbiology.org/publications/e-book/2.html>

※6

http://assess.env.go.jp/3_shiryoku/3-1_government/reportdetail.html?category_1=01&category_2=02&sort=desc&sortfield=yearmonth&limit=100&offset=0&getcountunlimited=false&keyword=&max=106&page=govreport&year=&year_before=&year_after=&tag=&overseas=false&kid=169

参考資料 1：生息適地推定手法について



図 9.3 分布推定モデルの枠組みとモデルに用いる散布図の例。

環境データと生物分布との統計的關係から生物の生息適地の空間分布を推定する方法をまとめて、「種の分布モデル (Species Distribution Models ; SDMs) 」と呼びます (上図)。解析手法が容易になったことや生物の分布データと対応させる環境データのデータベースがそろってきたことから近年多く用いられています。この方法は「ニッチモデリング」や、「最適生息地モデル」などの別名でも呼ばれるように、種の分布が環境によって規定されているという仮説に基づいています。データの統計的な関係性を重視するため、詳しい生態が野外で知られていない生物の分布を現実的な範囲で推定することができ、同時に重要な要因の絞り込みを行うこともできます。そのため、生態がよく知られていないものも含む、多数の生物の潜在的な生息地を推定する目的に適しています(山北 2018 種生物学研究 東日本大震災後の海の変化を知る－地理情報システムの活用と地理情報科学(GIScience)より^{※5})。

参考資料 2：AUC について

モデルの評価指標として ROC 曲線を作成した時に、グラフの曲線より下の部分の面積、AUC (Area Under the Curve) を用いることがあります。まず、ROC 曲線(Receiver Operating Characteristic Curve)とは、SDM の結果出力された出現確率が何割以上あれば出現とみなすかというカットオフ値を徐々に変化させた時に、横軸に偽陽性率 (1-特異度で、実際には不在の地点を在だと誤って予測する率)、縦軸に真陽性率 (感度、実際に在の地点を在だと予測する率) をプロットして表した曲線です。モデルの結果が完全にランダムな場合は、ちょうど偽陰性率と正解率とが 1 : 1 で図の対角線上に比例し、モデルの当てはまりが良いほど、擬陽性が少なく陽性の正解率が高く、図の左上に線が引かれます。この曲線の下に面積に相当するものが AUC です。ランダムな場合のおよそ 0.5 から完全に一致する場合の 1 の間をとることができ、一般に 0.7 以上で中程度、0.9 以上で精度が高いモデルを評価されます。

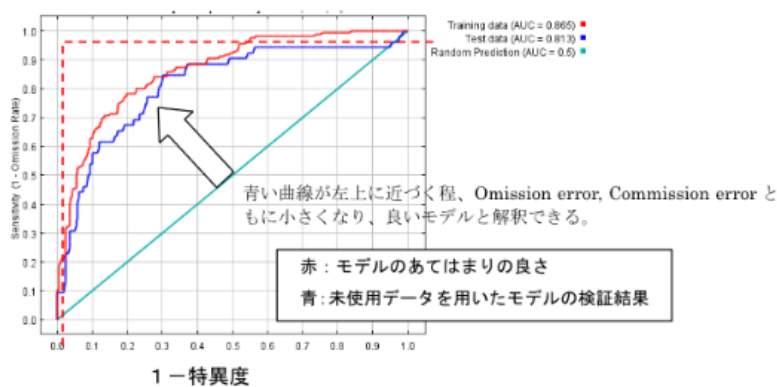


図 3-12 ROC 曲線の概念図

環境省 2013 年 3 月 環境影響評価における生物多様性保全に係る空間・地理情報の把握活用手法 暫定案 より※6

参考資料 3：キンメダイ類の種について

キンメダイ科にはキンメダイ属 3 種とキンメダマシ属 7 種の計 10 属があり、日本にはキンメダイ属のすべての種と、キンメダマシ属の 1 種の、計 4 種が分布するとされています。その多くは食用にされます。種による違いは亘ら（2017）の報告に詳しいため、参考に画像を引用いたします。

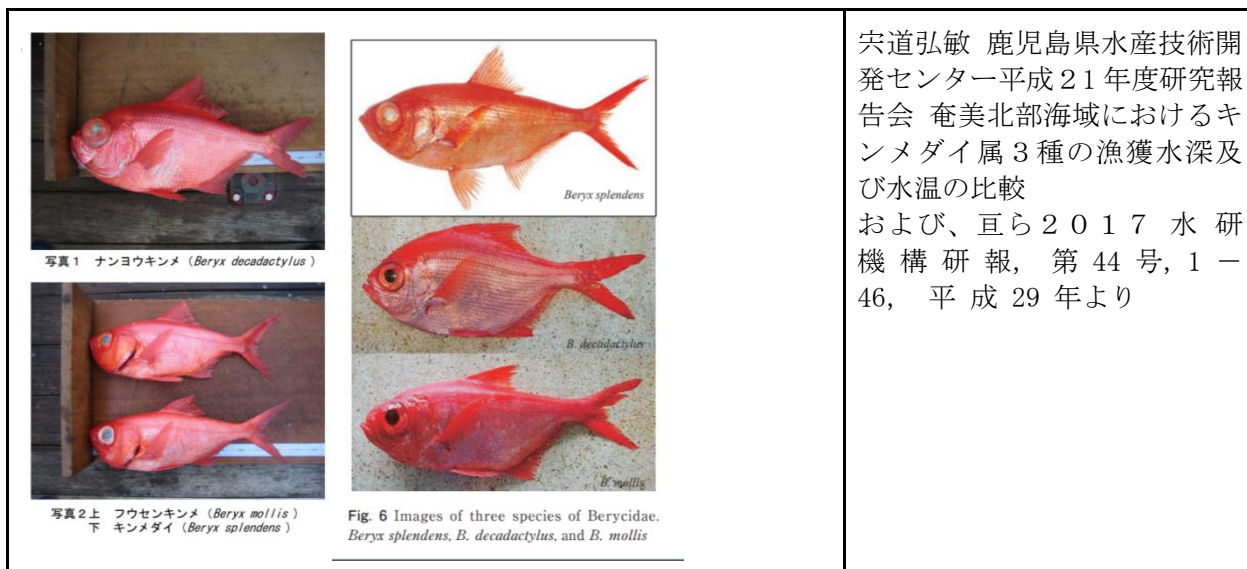


Fig. 6 Images of three species of Berycidae. *Beryx splendens*, *B. decadactylus*, and *B. mollis*

参考資料4：Topographic Position Index(TPI)について

地形的位置指数ともよばれ、近傍のセルの平均値から中心セルの値を引くことで計算されます。対象地点が、周辺に対してへこんでいるか、出っ張っているのかの指標になるため、丘の上、尾根、平坦な平野、谷底、斜面の上下などの地形の特徴を区別することができます。海底では、こうした地形と対応して、水のとどみややすさや流れやすさの目安にもなると考えられます。下の図のように、解析する解像度（近傍の範囲）によって周辺に対する対象点の凸凹の見え方が変わるため、適切な半径を検討すべき点に注意が必要です（Salinas-Melgoza et al. 2018）。

