

東京都 沖ノ鳥島・南鳥島に関する研究調査事業  
実施類型 B 実施機関 国立研究開発法人海洋研究開発機構

# 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4年度 成果報告書)

2023(令和5)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 .....	6
3. 1 カツオハビタットモデルの構築 .....	6
3. 1. 1 実施目的 .....	6
3. 1. 2 実施方法 .....	6
3. 1. 3 実施結果 .....	6
3. 1. 4 考察 .....	9
3. 1. 5 研究調査の成果、今後の課題・展望等 .....	10
3. 2 カツオ好適漁場推定・予測 .....	10
3. 2. 1 実施目的 .....	10
3. 2. 2 実施方法 .....	10
3. 2. 3 実施結果 .....	10
3. 2. 4 考察 .....	12
3. 2. 5 研究調査の成果、今後の課題・展望等 .....	14
3. 3 キンメダイハビタットモデル構築 .....	14
3. 3. 1 実施目的 .....	14
3. 3. 2 実施方法 .....	14
3. 3. 3 実施結果 .....	14
3. 3. 4 考察 .....	20
3. 3. 5 研究調査の成果、今後の課題・展望等 .....	20
4. まとめ .....	20
5. 資料 .....	21
5. 1 参考文献 .....	21
5. 2 資料 .....	21

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。初年度となる令和 4 年度は、① カツオハビタットモデルの構築、② カツオ好適漁場推定・予測、⑤ キンメダイのハビタットモデル構築の 3 項目に取り組んだ。

① カツオハビタットモデルの構築では、2015-2018 年における 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、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域を含む日本近海におけるカツオのハビタットモデルを試作した。その結果、試作したカツオハビタットモデルについて高い有用性 ( $AUC=0.846$ ) を得ることができ、カツオ漁場を推定可能な精度を持った漁場推定モデルが作成できた。② カツオ好適漁場推定・予測では、① で構築したカツオハビタットモデルを、MOVE/MRI.COM-JPN 海洋再解析データに適用することで日々のカツオ漁場の推定を行った。その結果、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域におけるカツオ漁場の季節変化及び年々変動についての基本特性を把握することができた。③ キンメダイのハビタットモデル構築では、広範囲でのモデルを試行することで、おおむね分布範囲を推定し、種別の分布傾向や海山地形との関係性が示された。

次年度は、カツオハビタットモデル構築については、使用する海洋環境変数や、入力に使用するカツオ漁場データ、モデル構築手法をさらに精査し、試作したカツオハビタットモデルの推定性能を向上するとともに、今年度得られた知見に基づき、カツオ漁場の変動がどのような海洋環境の変化に対応して起こっているかを明らかにすることで、カツオの漁場形成機構を明らかにすることを目指す。またキンメダイのハビタットモデルについては、解析範囲によって傾向が変わる点が種の特性によるものなのか、あるいはデータの偏りによるものなのかについて、また、解析変数や解析の解像度について等の課題を検討することでモデル性能の向上を目指す。

## 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。なかでも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。広大で深い海の世界環境データを網羅的に計測することは不可能であるが、最近の数理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な課題である。そこで、本研究では既存のデータを活用して数理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と認識している。

海洋におけ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ことが多くの研究から明らかにされている。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。しかし、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安定的な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、現在も研究が進められ北太平洋のアカイ

カ漁業などで実利用され始めている。しかしながら、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では、好適漁場推定ができておらず、主にこれら2種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重要な課題と認識している。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。

本研究は3カ年計画であるが、研究終了後も本研究で得られるノウハウは継続的に提供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。

なお、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 管理に必要な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、高精度なカツオの漁場推定・予測図を沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域において現業的に作成できるツールを構築する。また、キンメダイについては、未開拓領域における潜在的な漁場推定マップを作成することが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でき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<sup>\*3</sup>）、BISMaL（Biological Information System for Marine Life<sup>\*4</sup>）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る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、人間活動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

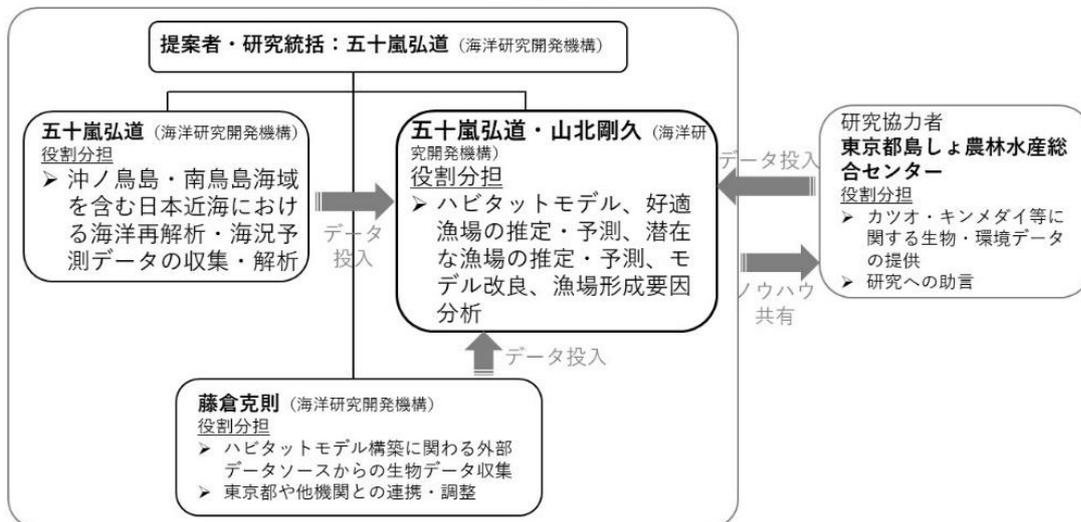
島・南鳥島を基点とした EEZ は広大で水深も深く常時計測しながらモニタリングすることは現実的ではない。

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。

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  
研究体制



### 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構築

##### 3. 1. 1 実施目的

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することで、カツオ漁場推定のためのハビタットモデルを構築する。

##### 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に使用する海洋環境データ及び生物関連データを収集した。AIS 漁船位置データ等を整備した。機械学習アルゴリズムに対して海洋環境データと漁場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試作した。計算は海洋研究開発機構が保有する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に必要なデータとして、海洋環境データ及びカツオ漁場データの収集を行った。

海洋環境データについては、海洋研究開発機構と気象研究所との共同で作成した北西太平洋海洋長期再解析データセット FORA-WNP30<sup>\*1</sup>、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<sup>\*2</sup>、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3種類のデータセットを収集した。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-WNP30	MOVE/MRI.COM-JPN	日本沿岸海況監視予測システム GPV
水平解像度	1/10°×1/10° (約 10km)	1/33°×1/50° (約 2km)	1/33°×1/50° (約 2km)
対象領域	117E-160W, 15N-65N	117E-160E, 20N-52N	117E-160E, 20N-52N
期間	1982/1/1-2016/12/31	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 2km 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。ただし、モデルの対象領域の南限が 20°N となってしまうと沖ノ鳥島の EEZ をカバーすることができないため、MOVE/MRI.COM-JPN 再解析の中間生成物である NP 再解析値で 15-20°N の領域を補う事とした。尚、FORA-WNP30 については、2007 年以前のカツオ漁場データをモデルに取り込むための

データセットとして、また日本沿岸海況監視予測システム GPV については、ハビタットモデル構築後にカツオ漁場を現業的に推定・予測するためのプロダクトとして、次年度以降に用いる予定である。

カツオ漁場データとしては以下の複数の情報源から取得したデータを統合することでカツオ漁場データセットを作成した。まず第 1 の情報源として、国際的な海洋生物多様性データベースである OBIS (Ocean Biodiversity Information System<sup>※3</sup>) より、カツオの出現データを抽出し取得した。次に、日本のカツオ漁船の漁場を抽出するための手段として自動船舶識別装置 (Automatic Identification System: AIS) の受信記録からカツオ漁船の位置を特定し、さらに行動解析を行うことで各カツオ漁船の操業位置を推定し、その位置及び時刻をカツオ漁場データとして取得した。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 300t 以上の漁船を抽出対象とした。さらに第 3 の情報源として、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が所有する漁業調査指導船「たくなん」が過去に実施してきたカツオ調査データを提供いただいた。このうちカツオの漁獲が観測された地点を漁場として抽出し取得した。これらのデータをハビタットモデルを構築するための入力データとして使用した。尚、今年度試作するカツオ漁場推定モデルとしては、2015-2018 年の 4 年間のデータを解析対象とし、AIS によるカツオ漁場位置及び漁業調査指導船「たくなん」の調査データを用いた。ハビタットモデル構築に使用したカツオ漁場データの分布を図 1 に示す。

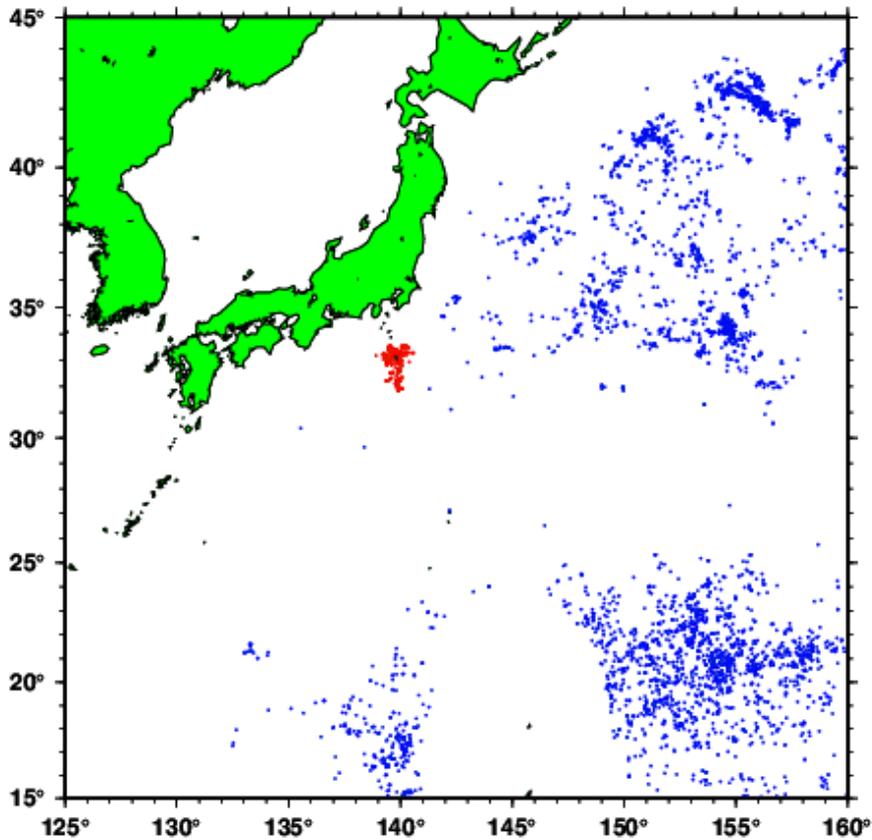


図 1. カツオのハビタットモデル構築に使用したカツオ漁場データ分布。

青色が AIS による漁場位置、赤色が漁業調査指導船「たくなん」による漁場位置を示す。

### 【ハビタットモデル構築】

収集した海洋環境データ及びカツオ漁場データを用いて、カツオのハビタットモデルを試作した。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）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。MOVE/MRI.COM-JPN 再解析データについては、海面高度に加えて海表面・50m 深・100m 深・200m 深の 4 深度における水温及び塩分の合計 9 変数を海洋環境の入力変数として用いた。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として 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。

以下に、MAXENT により構築したカツオハビタットモデルの性能について記述する。図 2 は、構築したカツオハビタットモデルの ROC 曲線及び AUC を示したものである（参考資料 2）。

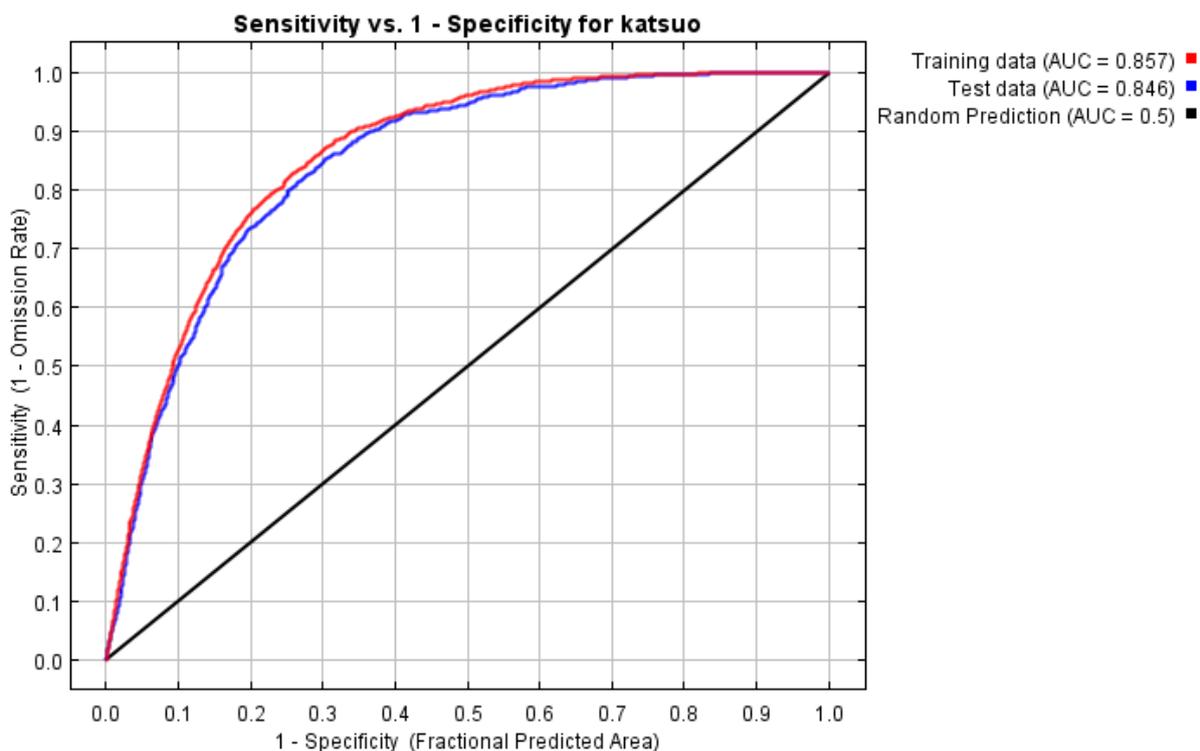


図 2.カツオハビタットモデルの ROC 曲線及び AUC.

ROC(Receiver Operating Characteristic)曲線は、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もので、横軸の好適度指数(Habitat Suitability Index: HSI)に対する感度を縦軸に取ることで、グラフが左上に張り付くほど高性能のモデルであることを示している。また、これを数値化した指数が AUC(Area Under the Curve)であり、ROC 曲線より下側

の面積を示したもので、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。本研究で構築したカツオハビタットモデルの AUC=0.846 となっており、ある程度の推定精度が得られていることが示された。(ROC 曲線及び AUC については、3.3.3 の参考に詳細を記述した。)

### 3. 1. 4 考察

以下に試作したハビタットモデルの特徴について記述するとともに得られた結果を考察する。カツオハビタットモデルの入力値として使用した各環境変数の貢献度及び Permutation Importance (PI) を表 2 に示す。貢献度及び PI どちらの指標も値が大きいほどその変数がモデル性能に対して重要であることを示しているが、今年度試作したカツオハビタットモデルについては海面及び 50m 深の水温と 100m 深塩分が漁場推定に重要な情報を持っている変数であることが示された。さらに、海面水温及び 50m 深水温についてハビタットモデルのレスポンス曲線を見ると (図 3)、海面水温については 23°C 付近が最も好適であり、この値から離れていくことで好適度 (HSI) が減少していくこと (図 3 左)、また 50m 深水温については 25°C 以上で HSI が高くなることから、亜表層でもある程度の高温がカツオの好適環境につながっていることが示唆される。

表 2.カツオハビタットモデル構築に使用した海洋環境変数の統計的貢献度及び Permutation Importance. 変数は海面高度(ssh),海面水温(t1),50m 深水温(t2),100m 深水温(t3),200m 深水温(t4),海面塩分(s1),50m 深塩分(s2),100m 深塩分(s3),200m 深塩分(t4)を示す.

Variable	Percent contribution	Permutation importance
t1	49.3	44.8
t2	12.5	22.9
s3	11.2	6.8
t4	8	10.9
s4	6.5	3
ssh	4.8	5.1
t3	3.6	3.1
s1	2.6	2.9
s2	1.4	0.4

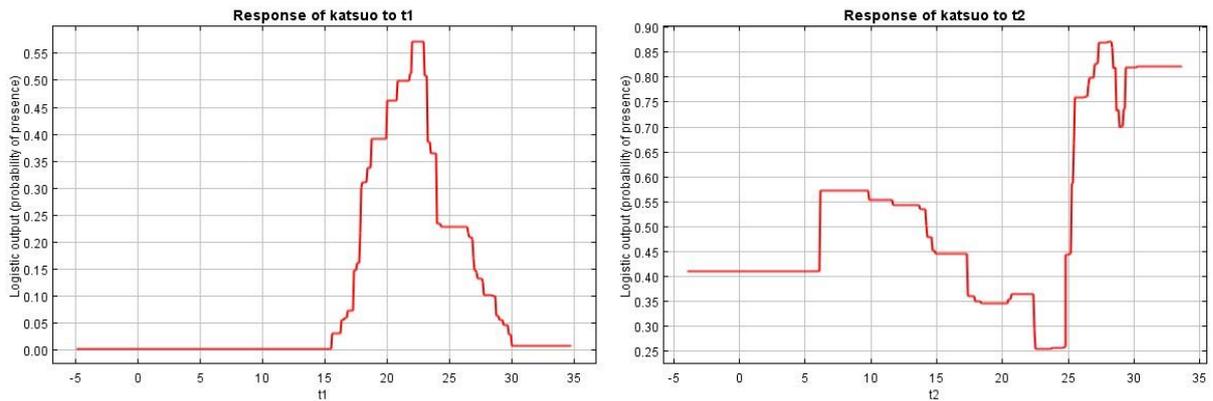


図 3. カツオハビタットモデルについて、海面水温（左）及び 50m 深水温（右）についてのカツオ漁場位置に対するレスポンス曲線。縦軸が HSI(Habitat Suitability Index)、横軸が各変数の値を示す。

### 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、2015-2018 年における 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、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域を含む日本近海におけるカツオのハビタットモデルを試作した。その結果、試作したカツオハビタットモデルの AUC=0.846 を得ることができ、カツオ漁場を推定可能な精度を持った漁場推定モデルを作成できた。次年度は、モデル構築に使用する海洋環境変数や、入力に使用するカツオ漁場データ、モデル構築手法についてさらに精査を加えることで、試作したカツオハビタットモデルの推定性能を向上させるとともに、今年度得られた知見に基づきカツオの漁場形成メカニズムの解明に取り組む。

### 3. 2 カツオ好適漁場推定・予測

#### 3. 2. 1 実施目的

3.1 で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を推定する。

#### 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。この海洋環境データをハビタットモデルの入力値として用いることにより漁場推定・予測を行い、カツオ漁場マップを作成した。計算は海洋研究開発機構が保有する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構築」で構築した、MAXENT によるカツオハビタットモデルを、MOVE/MRI.COM-JPN 海洋再解析データに適用することで日々のカツオ漁場の推定を行った。ハビタットモデル構築に用いた期間（2015-2018 年）を含む 2008-2018 年の 11

年間について、毎日のカツオ漁場推定マップを作成し、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域について推定漁場の変動特性について解析を行った。

図4に、MAXENT ハビタットモデルによるカツオ漁場推定図の事例（2018年1月1日）を示す。数値はMAXENTによって推定されたカツオにとっての好適度（Habitat Suitability Index: HSI）を示している。HSIは0-1の値を取り、1に近い値であるほどカツオにとって好適な環境であることを表している。図4では、色が濃い領域ほどカツオの漁場である可能性が高い。図中に赤丸及び赤四角で示した領域が、沖ノ鳥島及び南鳥島とその周辺海域を示している。さらに沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域について拡大したものを図5に示す。各海域の細かな海洋環境の分布に対応した漁場の変化の様子が示されている。

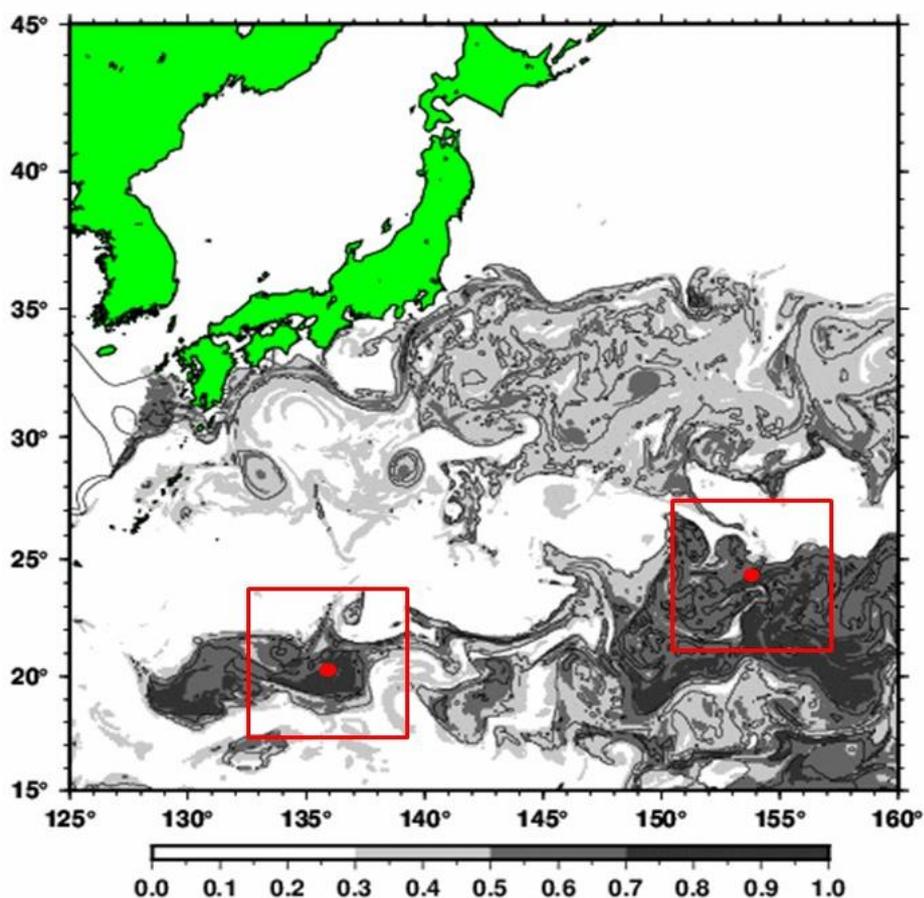


図4. MAXENT ハビタットモデルによるカツオ漁場推定図（2018年1月1日の事例）。

カツオにとっての好適度を0-1の数値で示したHSI（Habitat Suitability Index）の分布。HSIが大きいくほど（黒くなるほど）好適であることを示す。赤丸及び赤四角（左）が沖ノ鳥島及びその周辺海域（400海里四方）、赤丸及び赤四角（右）が南鳥島及びその周辺海域を示す。

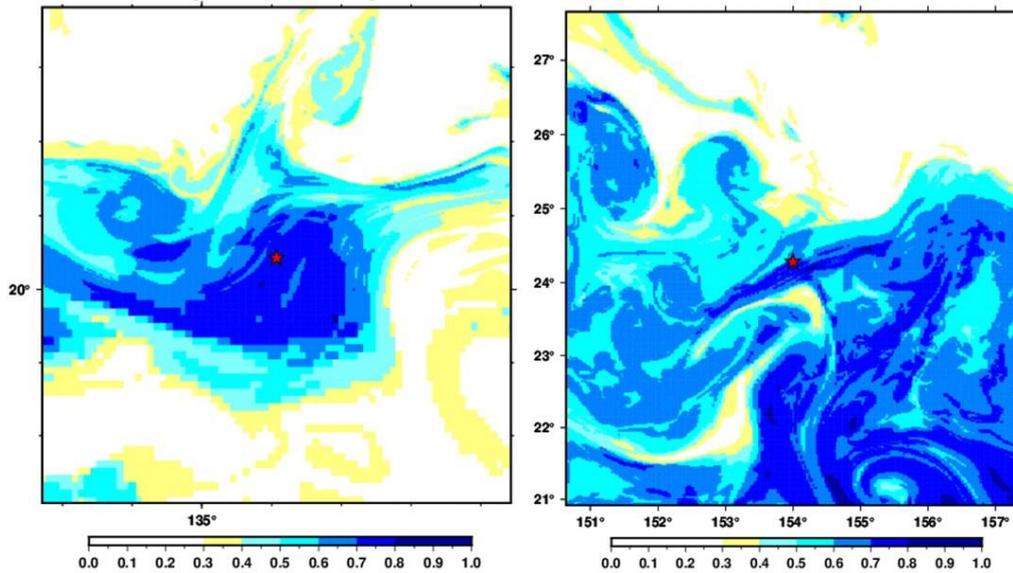


図5. MAXENT ハビタットモデルによるカツオ漁場推定図（2018年1月1日の事例）。  
 沖ノ鳥島（左）及び南鳥島（右）周辺海域における HSI 分布を示す。HSI が大きいほど（青くなるほど）好適であることを示す。

### 3. 2. 4 考察

以下に推定した 2008-2018 年における沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域での日々のカツオ漁場分布の変動特性について記述するとともに、得られた結果を考察した。

MAXENT ハビタットモデルにより推定されたカツオ漁場の変化について、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域（それぞれの島を中心とした 400 海里四方）における HSI の領域平均値の季節変化を図 6 に示した。沖ノ鳥島周辺海域で推定されたカツオ漁場の変動特性としては、11 月下旬から 1 月下旬までに HSI 値が高く 6 月下旬頃に最低値を示す季節変化となっており（図 6(上)）、秋季から冬季に漁場が形成されていた。また南鳥島周辺海域についても同様の傾向が見られ、HSI 領域平均値のピークは 12 月頃、最低値は 7 月頃に見られた（図 6(下)）。

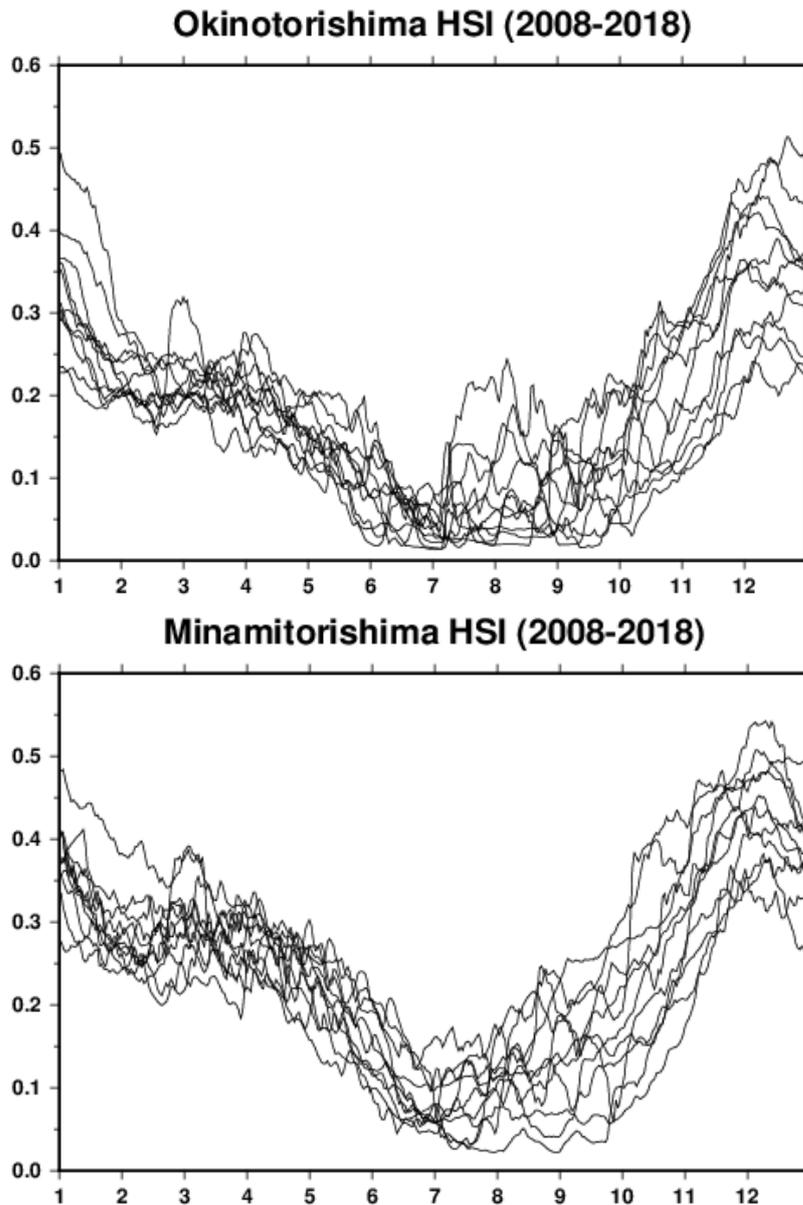


図6. 沖ノ鳥島（上）及び南鳥島（下）周辺海域におけるカツオ HSI 値の季節変化  
横軸は月を示す。各線が 2008-2018 年の結果を示す。

さらに、年々変動の傾向について見ると、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域どちらについても、3-6月の HSI 領域平均値が減少していく時期については、HSI 領域平均値の年によるばらつきが比較的小さいのに対して、7月から冬季に向かう HSI 領域平均値が減少していく時期については、年によるばらつきが大きかった。また冬季の HSI 領域平均値がピークに達する時期における年最大値も年によるばらつきが大きいことがわかり、両島周辺海域におけるカツオの漁場形成は海洋環境の年々変動に対応して大きく異なっていることが示唆された。

### 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構築」で構築した MAXENT によるカツオハビタットモデルを、MOVE/MRI.COM-JPN 海洋再解析データに適用することで日々のカツオ漁場の推定を行った。その結果として、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域におけるカツオ漁場の季節変化及び年々変動についての基本特性を把握することができた。次年度は、このようなカツオ漁場の変動がどのような海洋環境の変化に対応して起こっているかを明らかにすることで、カツオの漁場形成機構を明らかにする。

## 3. 3 キンメダイハビタットモデル構築

### 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既に入手済みの海洋環境データ・深海映像データに加えて公表された文献等からキンメダイ漁場推定モデル構築に使用する海洋環境データ及び生物関連データを収集した。AIS 漁船位置データ等を整備した。海洋研究開発機構で既に入手済みの海洋環境データ・深海映像データ等からキンメダイ漁場推定モデル構築に使用する海洋環境データ及び生物関連データを収集した。機械学習アルゴリズムに対して海洋環境データと漁場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試作した。計算は海洋研究開発機構が保有する計算サーバで実行した。

### 3. 3. 3 実施結果

キンメダイ類の分布範囲の検討に必要なデータとして、海洋環境データ及びキンメダイ類分布観測データの収集を行った。海洋環境データとして、Mean Annual Sea Surface Temperature 2003-2007 (2008)および ETOPO\_2022\_v1\_60s を収集した。キンメダイ類の分布データとしては、国際的な海洋生物多様性データベースである OBIS(Ocean Biodiversity Information System<sup>※3</sup>)をはじめとするグローバルな種分布データ及び文献に掲載された情報からキンメダイの出現データを取得した。さらにキンメダイ漁を行っている日本漁船の AIS データを取得した。

キンメダイ類の分布範囲について検討するために、種分布データおよび文献から抽出した分布データを用いて、広域のキンメダイ属の種別の分布について検討を行った。対象とした種はキンメダイ (*Beryx splendens*)、ナンヨウキンメ (*Beryx decadactylus*)、フウセンキンメ (*Beryx mollis*) の3種である。いずれも「きんめだい」として流通しており、関東地方近辺で漁獲が見られる種である（参考資料3）。

これらの種の分布の適地の推定を行うにあたり、対象とする範囲を日本近海の北西太平洋と世界全体の2つを設定した。分布を規定する変数としては、表層海水温の気候値、水深、地形上の位置を表す Topographic Position Index(TPI)を用いた（参考資料4；気候値と水深

は UNEP WCMC MODIS Mean Annual Sea Surface Temperature 2003-2007 (2008) および ETOPO\_2022\_v1\_60s)。モデルとして出現のみのデータから推定が可能である Maxent を用い、バックグラウンドとして、5km および 0.5 度のグリッドを設定したものから、ランダムに 1% を選択したものを用いた。

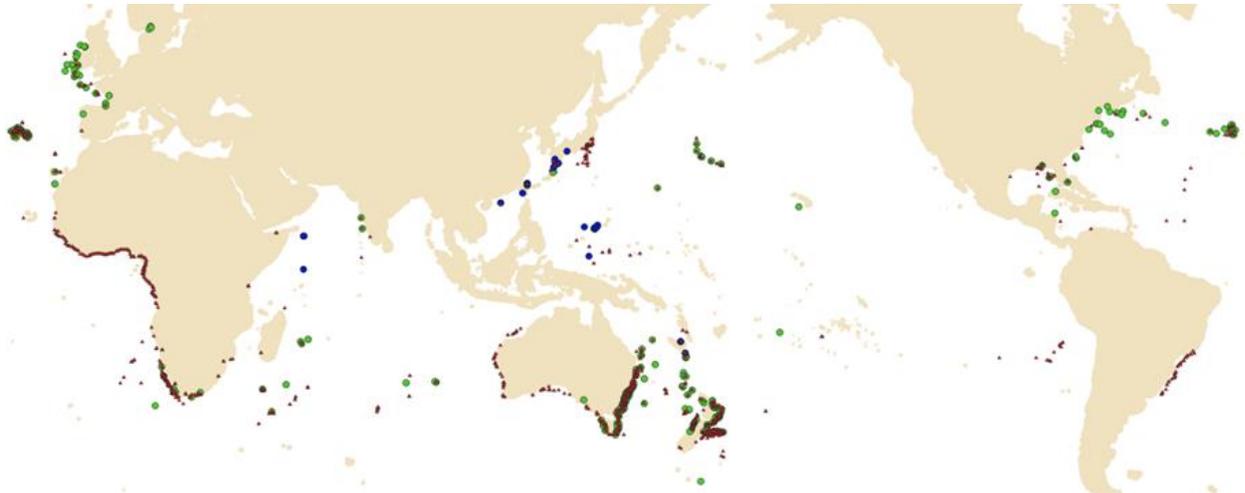


図 7. ハビタットモデルに使用したキンメダイ類の分布データ (赤: キンメダイ、緑: ナンヨウキンメ、青: フウセンキンメ)。

### 1) 世界全体での解析結果

世界全体で検討した場合ではキンメダイが温帯に、ナンヨウキンメはやや不明瞭に温帯域に分布し、熱帯にフウセンキンメが分布した (図 7)。なお、モデルの計数および精度は、順に 0.96, 0.97, 0.95 といずれも比較的高い AUC が得られた (図 8)。一方でバックグラウンドの量が多く、サンプリング地点に偏りがある点が課題である。

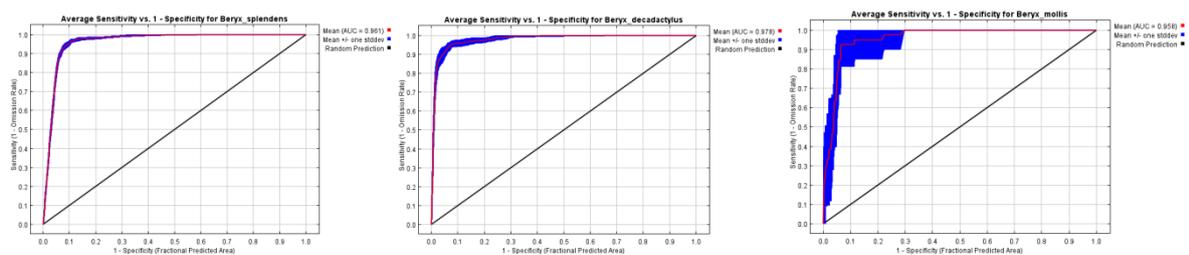


図 8. 3 種の世界全体のモデルの評価指標である ROC 曲線と AUC. 左からキンメダイ、ナンヨウキンメ、フウセンキンメの結果を示す。

変数としては、表層海水温と水深の影響が強く、キンメダイやナンヨウキンメでは相対的に水深の効果が、フウセンキンメでは表層海水温の効果が強く見られた (表 3)。

表 3. 3種の世界全体のモデルにおける変数の寄与（%寄与率）

Variable	キンメダイ	ナンヨウキンメ	フウセンキンメ
表層海水温	44.1	43.2	52
水深	55.7	52.1	38.1
TPI	0.2	4.6	10

また、キンメダイが出現海域の水深 400m 前後、ナンヨウキンメが、450m 前後、フウセンキンメが 2000m より浅い場所で存在確率が高いことが示された（図 9）。また表層海水温については、キンメダイ、ナンヨウキンメがおおよそ 14-19°C にピークを持つのに対して、フウセンキンメはおおよそ 28°C にピークを持っていた。

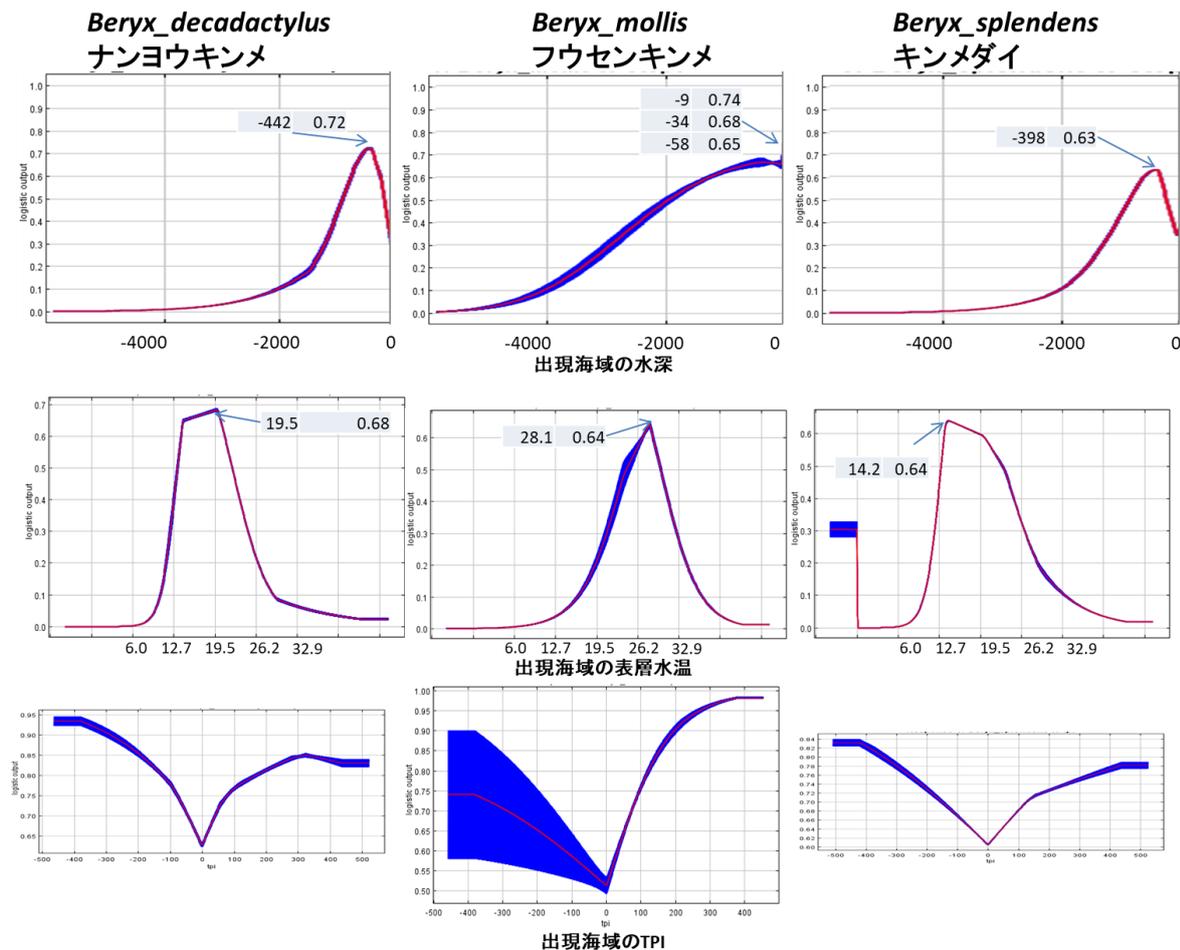


図 9. 水深、水温、地形（TPI）との関係性、各環境変数を変化させたときの、予測される存在確率の変化を示している。色は 10 回の反復実行の平均応答（赤）と平均 +/- 1 標準偏差（青）を示す。グラフ内の数値は試行のうちのある 1 回のピークの値を示す。

上記に基づく生息適地を分布図で図示すると（図 10）、南鳥島、沖ノ鳥島周辺部分については、世界全体の分布データと水温、水深、地形（TPI）の情報からは、主に海山周辺がフウセンキンメの生息適地であり、それぞれ最大 0.94、0.96 の分布確率と推定された。一方でキンメダイはそれぞれ 0.37、0.43、ナンヨウキンメは 0.28、0.36 と推定され、低い値であった。

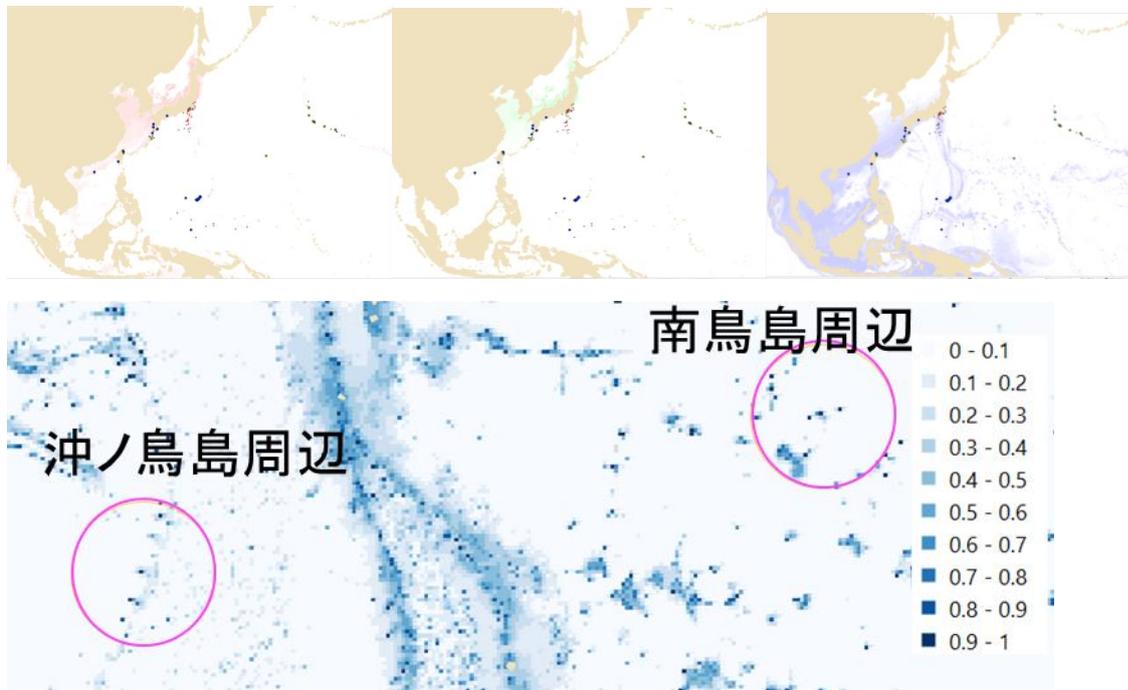


図 10. キンメダイ類 3 種の地形（TPI）と水温の気候値による分布適地推定の拡大図（上）（赤：キンメダイ、緑：ナンヨウキンメ、青：フウセンキンメ）およびフウセンキンメの分布の拡大図（下）。

## 2) 北西太平洋のみの範囲での解析結果

同様の解析を北西太平洋のみの範囲で検討した結果、キンメダイが温帯域、ナンヨウキンメがやや熱帯域、フウセンキンメが熱帯域に分布する傾向が得られた。なお、モデルの計数および精度について、以下のとおり順に 0.95、0.92、0.95 であり、いずれも比較的高い AUC が得られた（図 11）。

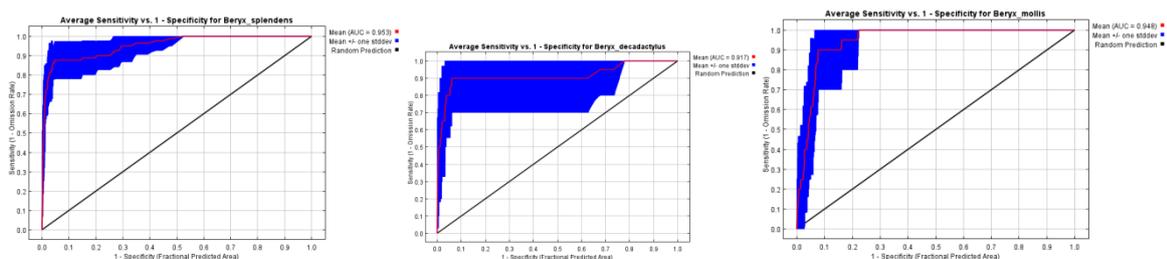


図 11. 3 種のモデルの評価指標である ROC 曲線と AUC

北西太平洋の分布データと表層海水温、水深、地形（TPI）の情報からは、フウセンキンメで表層海水温の影響が大きく、表層海水温と水深の影響はほぼ同等であり、地形の影響は小さかった（表4）。

表4. 3種の北西太平洋のモデルにおける変数の寄与（%寄与率）

Variable	キンメダイ	ナンヨウキンメ	フウセンキンメ
表層海水温	48.4	48.1	66.2
水深	46.2	47.1	36.1
TPI	5.5	4.8	1.7

水深についてはキンメダイ、ナンヨウキンメともに 350m 前後にピークをもち、フウセンキンメは浅い場所に向かって存在確率が単調増加した。また表層海水温については、キンメダイとナンヨウキンメが 22°C に、フウセンキンメはおよそ 28°C にピークを持っていた。

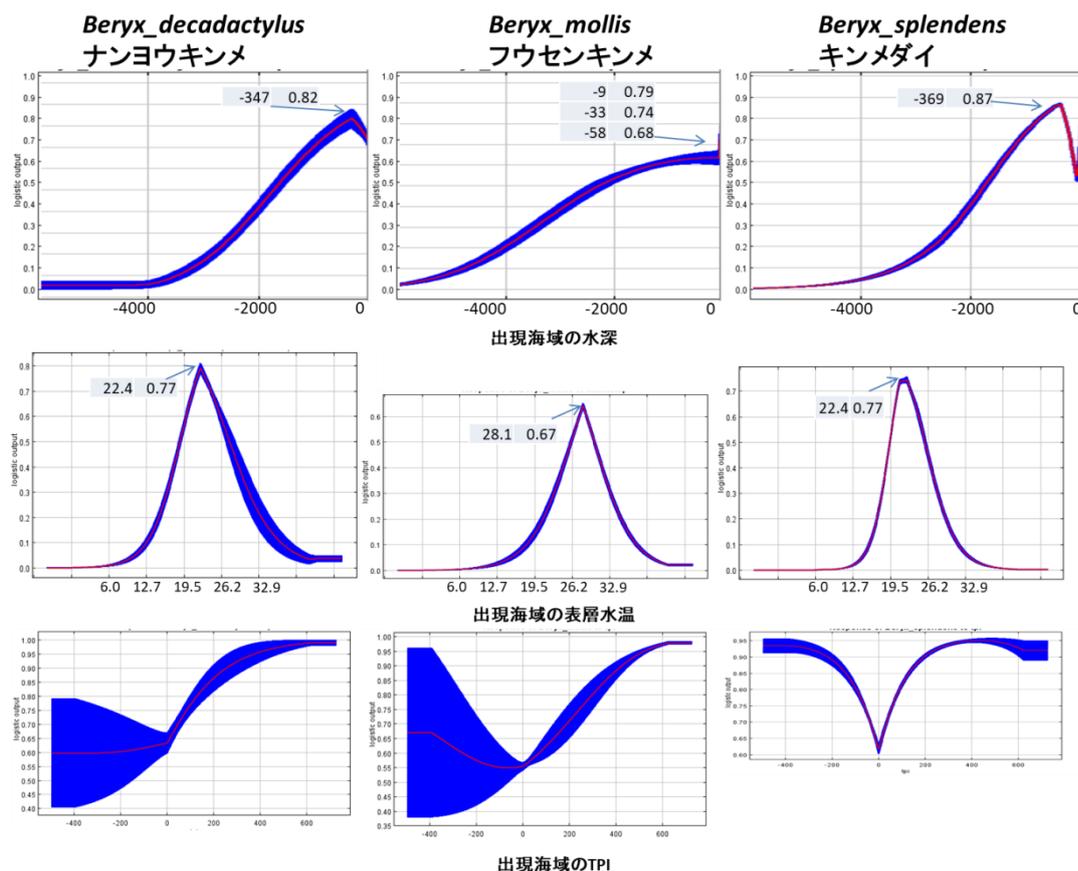


図 12. 水深、表層海水温、地形（TPI）との関係性、各環境変数を変化させたときの、予測される存在確率の変化を示している。色は 10 回の反復実行の平均応答（赤）と平均 +/- 1 標準偏差（青）を示す。グラフ内の数値は試行のうちのある 1 回のピークの値を示す。

分布図で図示すると（図 13）、南鳥島、沖ノ鳥島周辺部分については北西太平洋の分布データと水温、水深、地形（TPI）の情報からは、主に海山周辺が適地であり、キンメダイはそれぞれ 0.83、0.99、ナンヨウキンメは 0.87、0.99、フウセンキンメの生息適地であり、それぞれ最大 0.82、0.91 の分布確率と推定された。

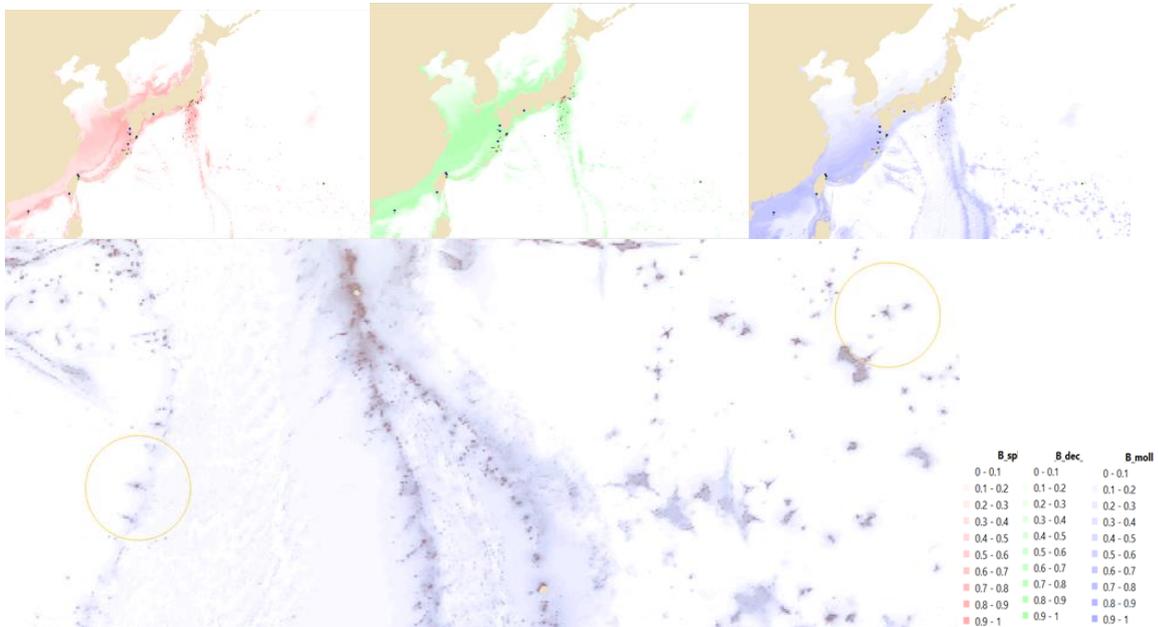


図 13：北西太平洋のデータによるキンメダイ 3 種の地形（TPI）と表層海水温の気候値による分布適地推定図（上）およびその拡大図（下）（赤：キンメダイ、緑：ナンヨウキンメ、青：フウセンキンメ）。

### 3. 3. 4 考察

3種のキンメダイ属魚類について、広範囲でのモデルを試行することで、おおむね分布範囲をつかむことができ、種別の水温による分布傾向や海山の水深との広範囲の関係性が示された。一方で、解析範囲によって傾向が変わる点について、種の地理的な特性によるものなのか、データの偏りによるものなのか、変数を0.5度や5kmの荒い解像度で取得していることによるものなのかの検討が関連資料のレビューとともに必要である。また、現状では大陸棚など浅い水深で水温が適当な地域がすべて含まれているため、他の解析変数の追加について検討が必要である。特に解析した0.5度や5kmの解像度での地形の指標がほとんど寄与しなかった点や、海山のどのあたりが適地か不明であるなど、解析の解像度に起因すると思われる課題がある。特に、九州パラオや和歌山、沖縄での観測点や細かい地形と対応した解像度での観測点が不足しており、今後、観測点の追加、解像度の向上などが必要である。

### 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の潜在的な漁場の推定・予測のための広範囲のデータを用いたハビタットモデルを構築できた。また、そのモデルを用いて、キンメダイ潜在漁場推定・予測について、推定結果の地図化ができた。沖ノ鳥島、南鳥島周辺の分布適地を試行的に示すことができた一方で、モデルによって適地にばらつきも見られた。解析に用いた変数や解像度、データは限定的であり、特に地形の要因の寄与が低かったため、今後、環境変数について精査することで、推定の改善が期待される。

## 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。初年度となる令和4年度は、カツオハビタットモデルの構築、カツオ好適漁場推定・予測、キンメダイのハビタットモデル構築の3項目に取り組んだ。カツオハビタットモデルの構築では、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、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域を含む日本近海におけるカツオのハビタットモデルを試作した。その結果、試作したカツオハビタットモデルについて高い有用性（AUC=0.846）を得ることができ、カツオ漁場を推定可能な精度を持った漁場推定モデルが作成できた。さらに構築したカツオハビタットモデルを、MOVE/MRI.COM-JPN海洋再解析データに適用して日々のカツオ漁場の推定を行った。そ

の結果、沖ノ鳥島・南鳥島周辺海域におけるカツオ漁場の季節変化及び年変動についての基本特性を把握することができた。キンメダイのハビタットモデル構築では、広範囲でのモデルを試行することで、おおむね分布範囲を推定し、種別の分布傾向や海山地形との関係性が示された。次年度は、カツオハビタットモデル構築については、使用する海洋環境変数や、入力に使用するカツオ漁場データ、モデル構築手法をさらに精査し、試作したカツオハビタットモデルの推定性能を向上するとともに、今年度得られた知見に基づき、カツオ漁場の変動がどのような海洋環境の変化に対応して起こっているかを明らかにすることで、カツオの漁場形成機構を明らかにすることを目指す。またキンメダイのハビタットモデルについては、解析範囲によって傾向が変わる点が種の特性によるものなのか、あるいはデータの偏りによるものなのかについて、また、解析変数や解析の解像度について等の課題を検討することでモデル性能の向上を目指す。

## 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://www.godac.jamstec.go.jp/fora/j/dataset.html>

※2 [https://mri-ocean.github.io/mricom/mri.com-user\\_jpn\\_start.html](https://mri-ocean.github.io/mricom/mri.com-user_jpn_start.html)

※3 <https://obis.org/>

※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\\_shiryou/3-1\\_government/reportdetail.html?category\\_1=01&category\\_2=02&sort=desc&sortfield=year month&limit=100&offset=0&getcountunlimited=false&keyword=&max=106&page=govreport&year=&year\\_before=&year\\_after=&tag=&overseas=false&kid=169](http://assess.env.go.jp/3_shiryou/3-1_government/reportdetail.html?category_1=01&category_2=02&sort=desc&sortfield=year month&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<sup>※5)</sup>。

## 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、実際には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。

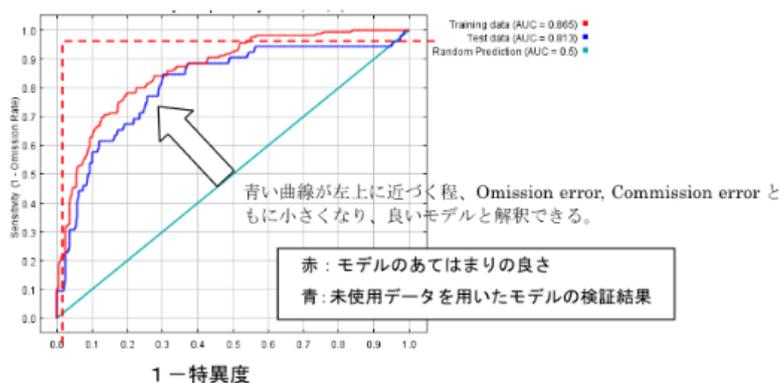
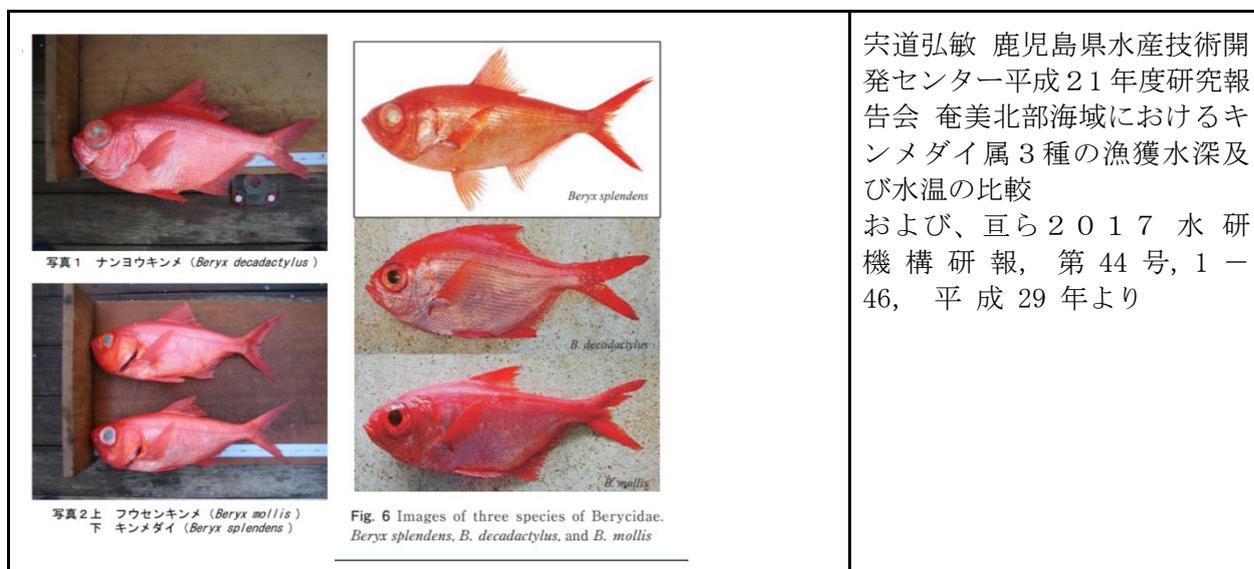


図 3-12 ROC 曲線の概念図

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。



### 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、水のおよみ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）。

