

「ひまわり・しきさいを活用した好適漁場推定技術の高度化」の成果の概要について

実施体制	主管実施機関 研究代表者名	国立研究開発法人海洋研究開発機構 副主任研究員 五十嵐 弘道	実施期間	平成30年度～ 令和2年度 (3年間)	実施規模	予算総額（契約額） 59百万円		
	共同参画機関	(一材)リモート・センシング技術センター、北海道大学、(株)グリーン&ライフ・イノベーション				1年目 20百万円	2年目 20百万円	3年目 20百万円

背景・全体目標

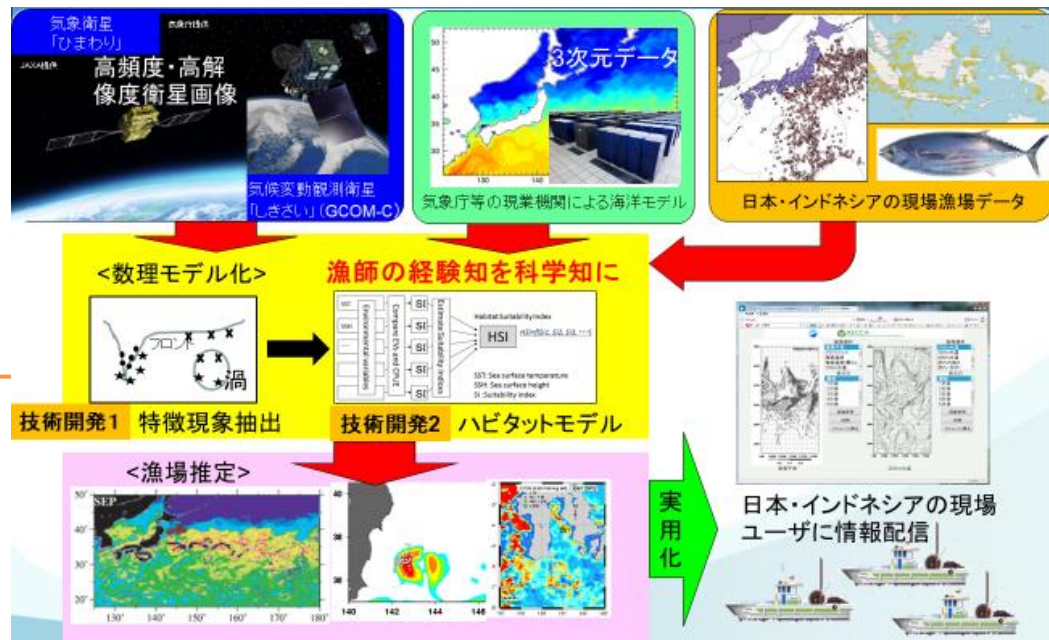
最新のひまわり及びしきさい(GCOM-C)の衛星観測により得られる高解像度・高頻度データと、海洋モデルによる実況推定値とを統合する解析を行うことにより、国内外で重要な魚種であるカツオ・マグロを主要な対象魚種とした好適漁場分布推定を高解像・高精度に行う技術を開発する。さらにその技術を日本近海及びインドネシア沿岸域に適用して実証試験を行い開発した技術の有用性を示すことで、高解像度衛星データの水産分野での利用促進につなげる。

全体概要・主な成果

本研究の目標を達成するための成果として、①最新のひまわり・しきさいによる高解像度・高頻度の観測データから漁場形成に関わる特徴現象を効率的に抽出する技術の開発、②その結果を活用した高精度の漁場推定モデルの開発、および、③これらの技術から得られる情報を日本近海及びインドネシア周辺海域における開発技術の実装のためのプロトタイプシステムの構築と実証試験の実施、の3つを得た。

①特徴現象抽出技術の開発では、雲域ノイズと特徴現象とを分離するパラメータを最適化することにより、**空間スケール別の特徴現象を毎日の衛星観測データから抽出できる**ようになり、実業化への道を開いた。さらに、この特徴現象データの導入が漁場推定モデルの高精度化につながっていることを示したことで従来技術に対する優位性を示した。②漁場推定モデルの開発では、最新の機械学習アルゴリズムにより日本国内及びインドネシアにおける**カツオ・マグロ類の漁場推定モデルを開発**し精度評価を行った。その結果として**高精度のモデルパフォーマンスを示す**とともに、従来用いられてきた漁場推定モデルとの比較を行い、日本国内・インドネシアどちらにおいても従来モデルに対する優位性を示した。③さらにこれらの実用化のための実証試験として、日本国内及びインドネシアにおいて、上記の開発技術を実装したプロトタイプシステムを用いて**現場の漁業者に情報配信テスト**を行いユーザからフィードバックを受けることで評価を行った。その結果として、調査を行った全ての漁業者及び漁業関係者から好意的な評価を受けるとともに、**国内外のユーザから事業終了後も継続利用したいというリクエスト**の声をいただき、実利用化への実証試験としての目標は達成した。

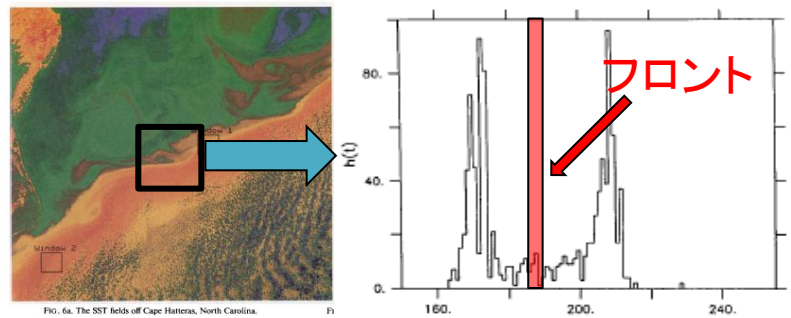
以上の成果を持って、所期の目標を実現するための技術を確立することができた。現状では、ハビタットモデルによる漁場推定は、国内外ともに研究段階のものが殆どであるが、本研究を通じて、最新の衛星データを活用した技術を構築することで、実利用化への道を開くことができた。



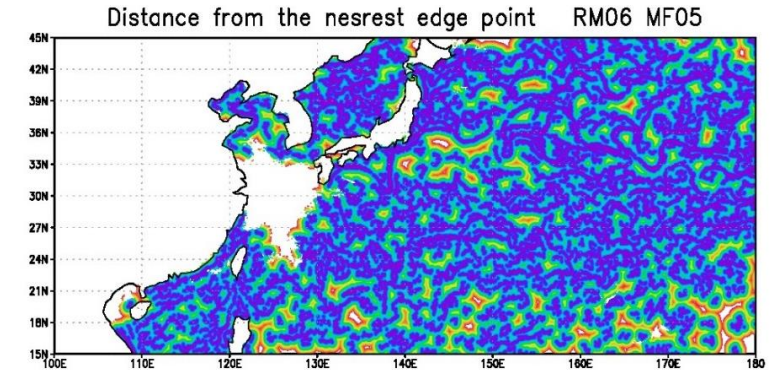
① 「海洋の特徴現象抽出技術開発」

実施内容・成果

- 【解決すべき課題】
- ・「潮目・フロント・渦は漁場形成に重要である」という漁業者の経験知に対する科学的裏付けがない。
 - ・フロント抽出手法が現業化できておらず、漁場推定に対する実効性が確かめられていない。

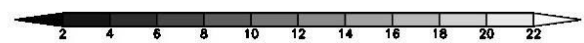


Cayula and Cornillon (1992) のフロント抽出法



最も近いエッジ点までの距離

【成果】 高頻度のひまわり衛星観測による海面水温・クロロフィルaデータから漁場形成に関わる特徴現象(潮目・フロント・渦 etc.)を空間スケール別に抽出する手法を確立して、漁場推定モデルに入力するフロントデータを常時作成できるようにした。



① 「海洋の特徴現象抽出技術開発」

実施内容・成果

【実施内容】

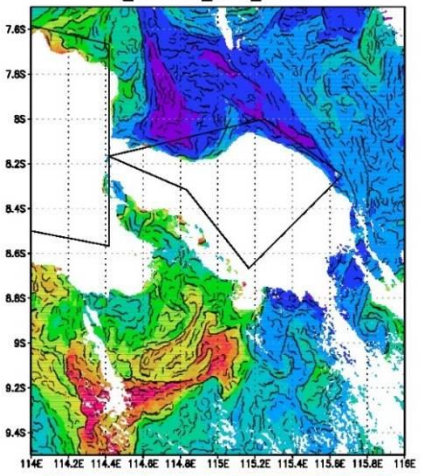
高解像度のしきさい衛星観測による海面水温・クロロフィルaデータから漁場形成に関わる特徴現象(潮目・フロント・渦 etc.)を空間スケール別に抽出する手法を確立してフロントデータを作成した。

【成果】

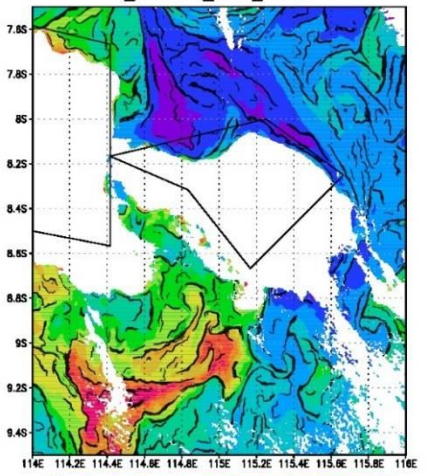
「潮目・フロント・渦は漁場形成に重要である」という漁業者の経験知を漁場推定モデルを用いて検証するためのベースとなるデータセットを作成することができた。

海面水温とクロロフィルaのフロント分布図を比較した結果、両者の出現位置がはっきりと異なることが新知見として得られた。

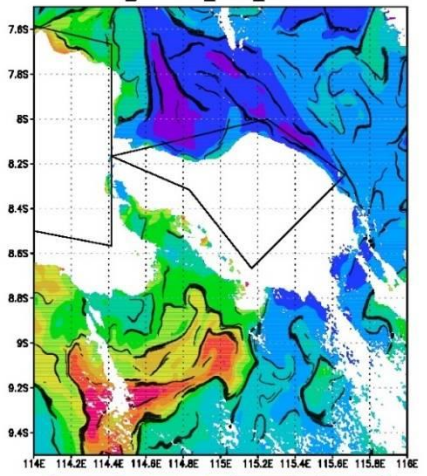
10*10 pixels



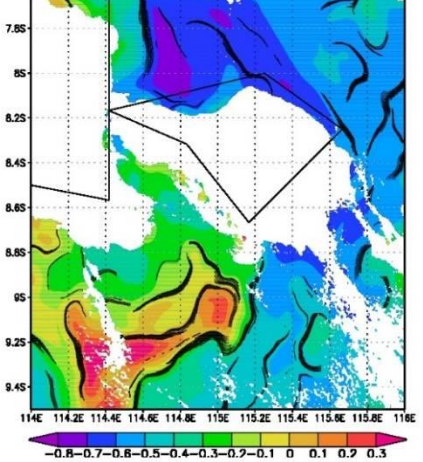
20*20 pixels



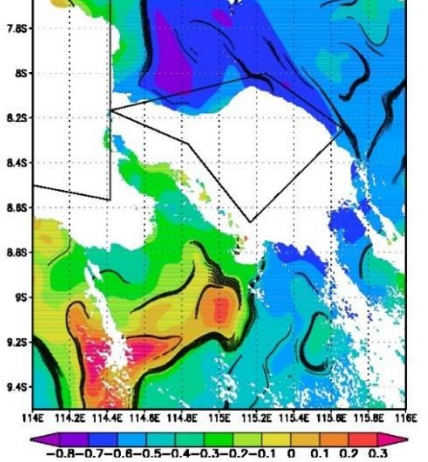
40*40 pixels



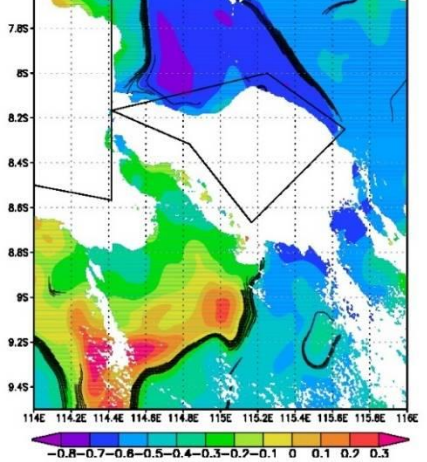
60*60 pixels



90*90 pixels



120*120 pixels



60*60 pixels

90*90 pixels

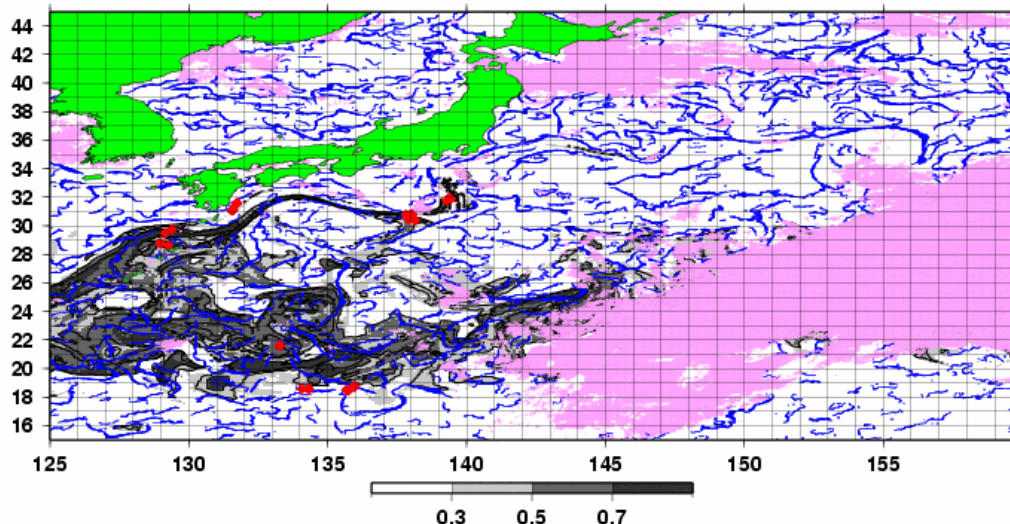
120*120 pixels

②-1 「漁場推定ハビタットモデル構築」 (日本近海)

実施内容・成果

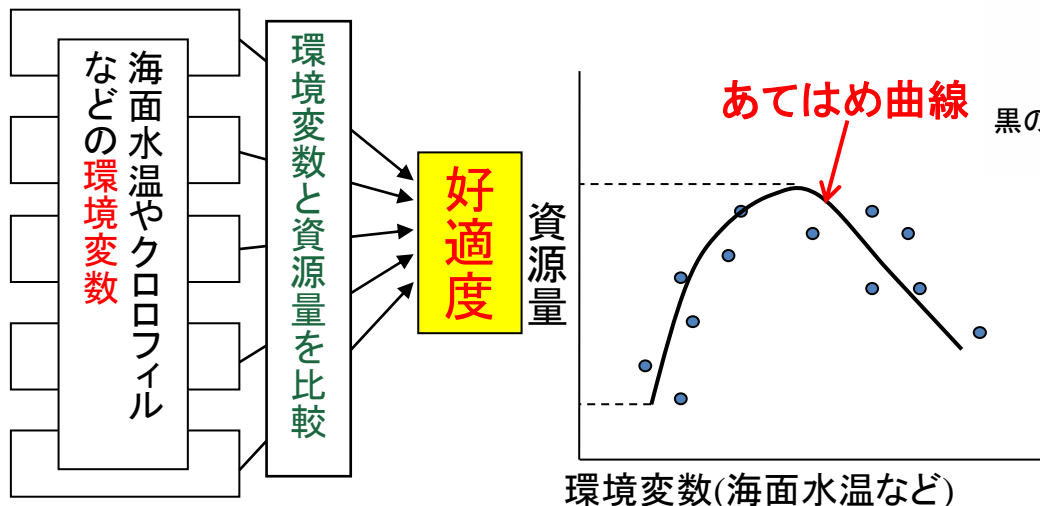
日本近海のカツオ漁業を対象とした漁場推定モデルを構築して、漁場推定精度を検証するとともにフロントデータの効果を評価した。

【成果】 対象海域が主漁場となる4-9月の6カ月間について漁場推定モデルを作成し、高い推定精度を確認した。さらに漁期を通じて、フロントデータを投入することで漁場精度が向上する新知見を得た。また「最近接フロントまでの距離」の有効性を示した。



2018年4月1日～9月30日の漁場推定図

黒の濃淡が漁場推定結果、ピンクは雲による欠測、青はフロント、赤は実際の漁場位置



$$\text{好適度} = f(S1, S2, \dots, M1, M2, \dots, C1, C2, \dots)$$

衛星データ モデルデータ 特徴現象データ

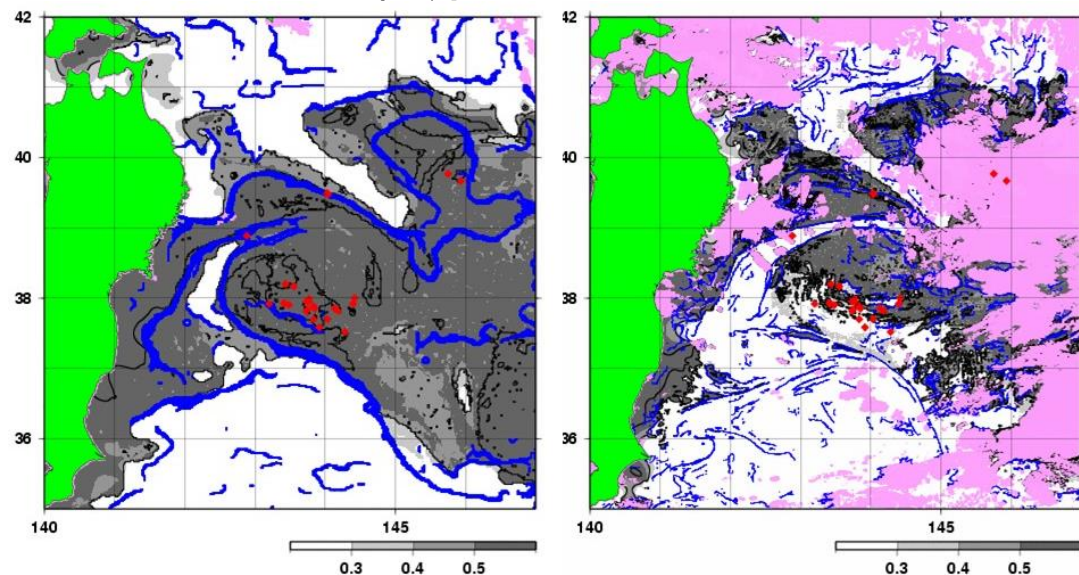
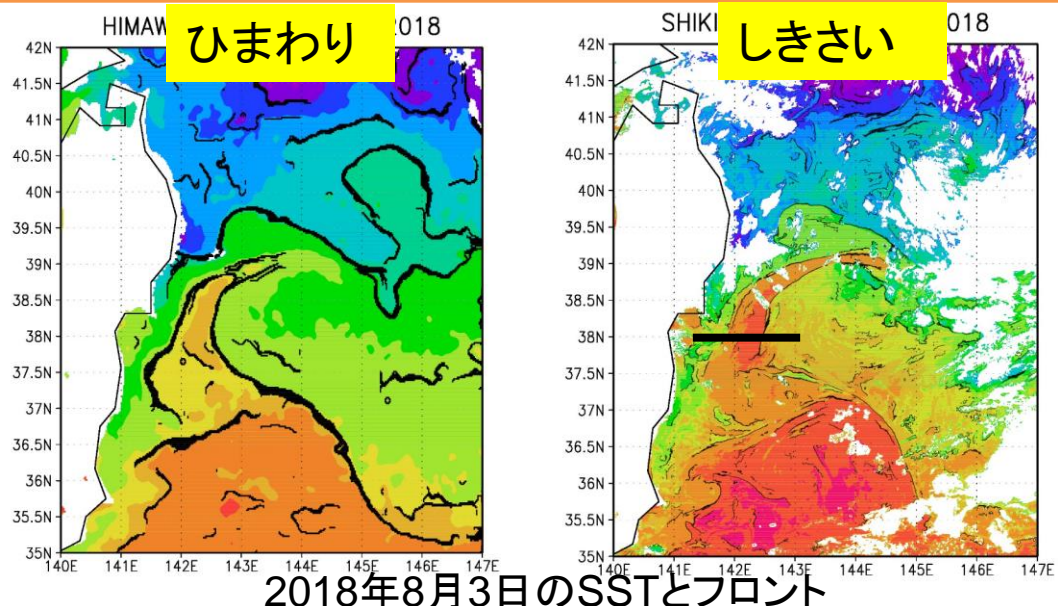
MAXENT機械学習を用いた漁場推定モデル



フロントデータ投入により漁期を通じてスコアが向上

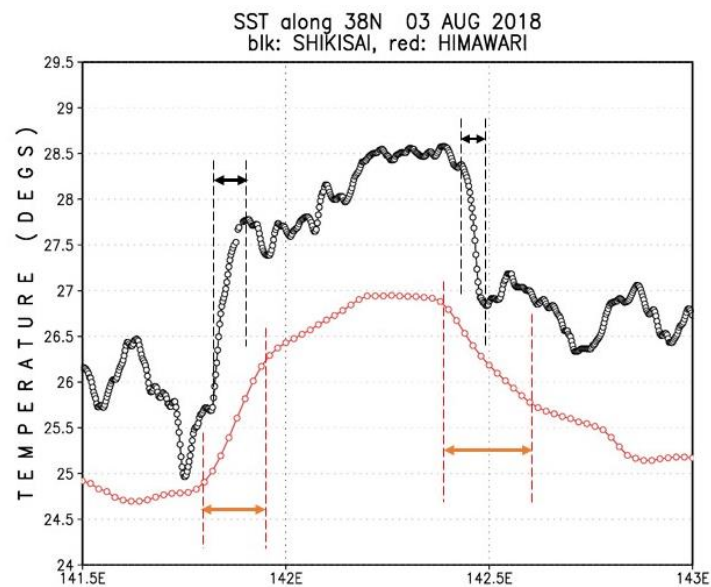
②-1 「漁場推定ハビタットモデル構築」 (日本近海)

実施内容・成果



特徴抽出及びカツオ漁場推定モデルにしきさい衛星観測による海面水温データを適用して、漁場推定精度への効果を評価した。

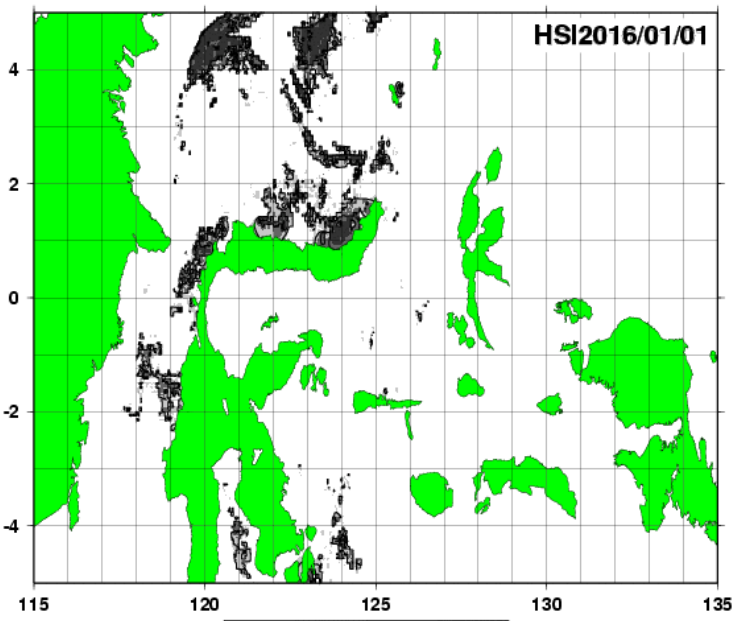
【成果】 衛星データの空間解像度の違いにより、抽出されるフロントの特徴に差異が現れるが、どちらも正確に抽出できていることを示した。さらに、しきさい海面水温データを用いることでカツオ漁場推定精度が向上することを示した。



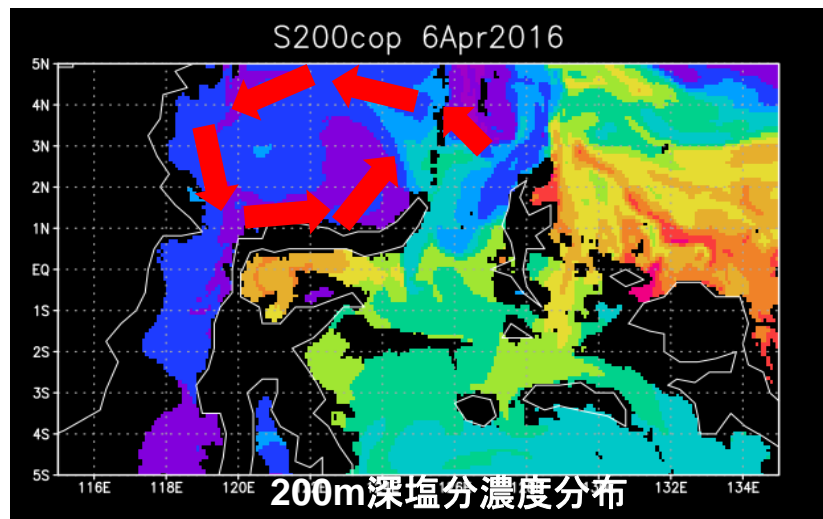
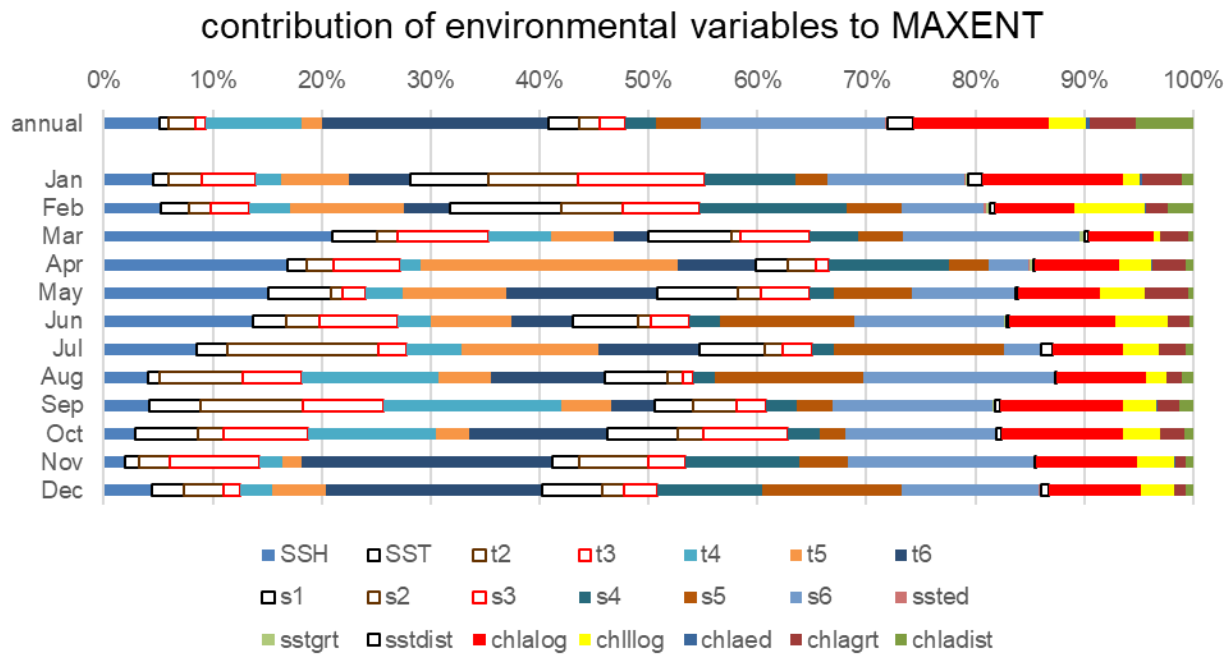
38° Nに沿ったSSTの経度断面図
赤線がひまわり、黒線がしきさい

②-2 「漁場推定ハビタットモデル構築」 (インドネシア海域)

実施内容・成果



2016年1月1日^{0.3}~12月31^{1.7}日の漁場推定図



200m深塩分濃度分布

インドネシアのカツオ・マグロ巻き網漁業の漁場推定モデルを構築して、漁場推定精度を検証し漁場形成メカニズムを調査した。

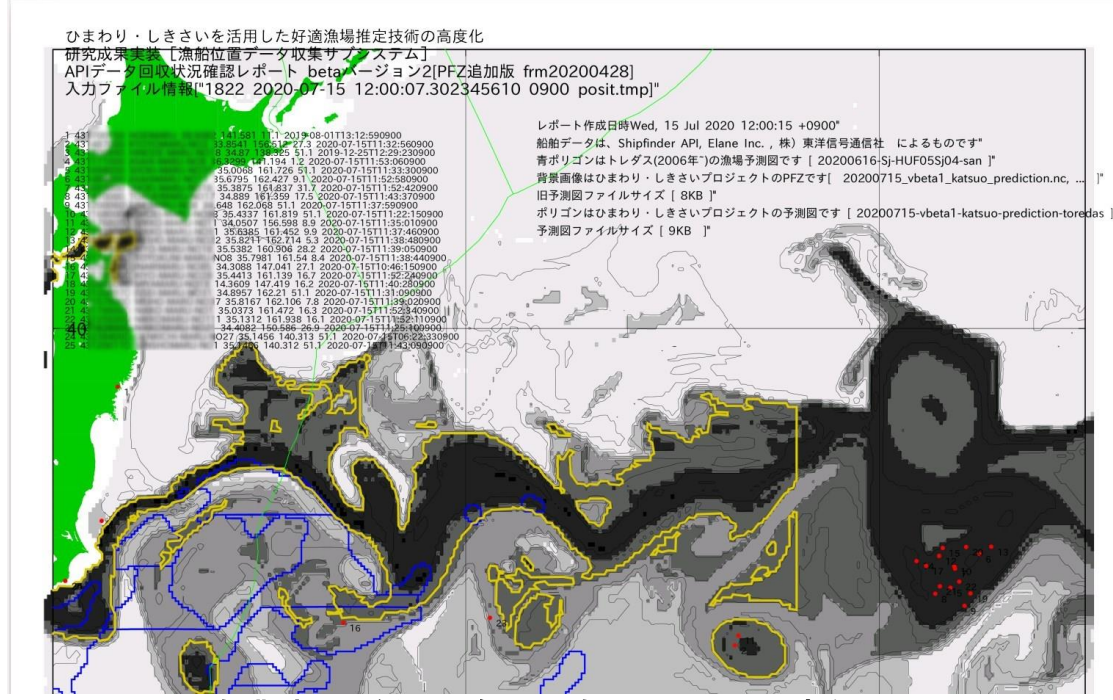
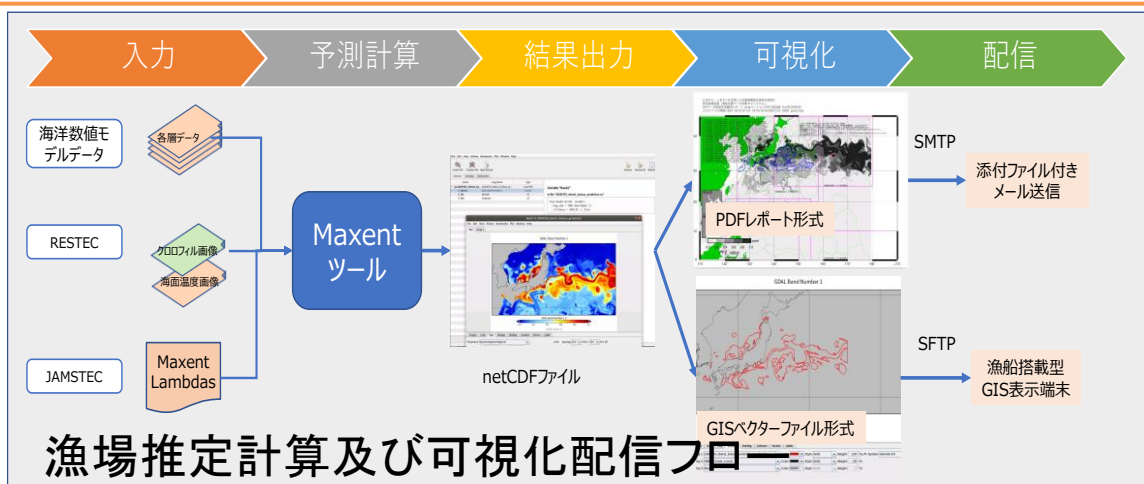
【成果】 1年間の各月ごとに漁場推定モデルを作成し、高精度の推定精度(AUCが0.9以上)を確認した。さらに、漁場形成メカニズムに対して、海面水温はほぼ無関係なのに対して、海面クロロフィルaと100-200m深の亜表層水温・塩分分布が関係していることを示した。

③ 「日本国内における開発技術の実装」

実施内容・成果

本研究で開発した漁場推定モデルを用いて、日本国内のカツオ漁業を対象とした漁場推定情報配信についての実証試験を実施し、その効果について漁業者にヒアリングした。

【成果】 調査を行った全ての漁業関係者から概ね好意的な評価を受けた。特に、洋上で魚群を見失った場合や探索海域を大きく変える場合(他の漁船のいない海域で探索しようとする場合)に漁場推定モデルの結果が有効であるといった、具体的なユースケースを含む回答を得ることができた。

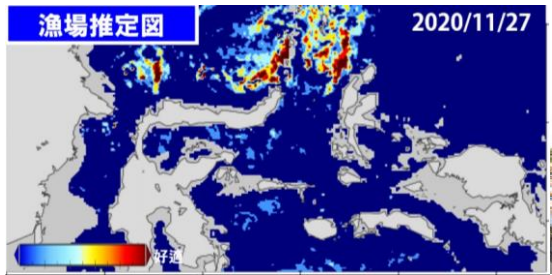
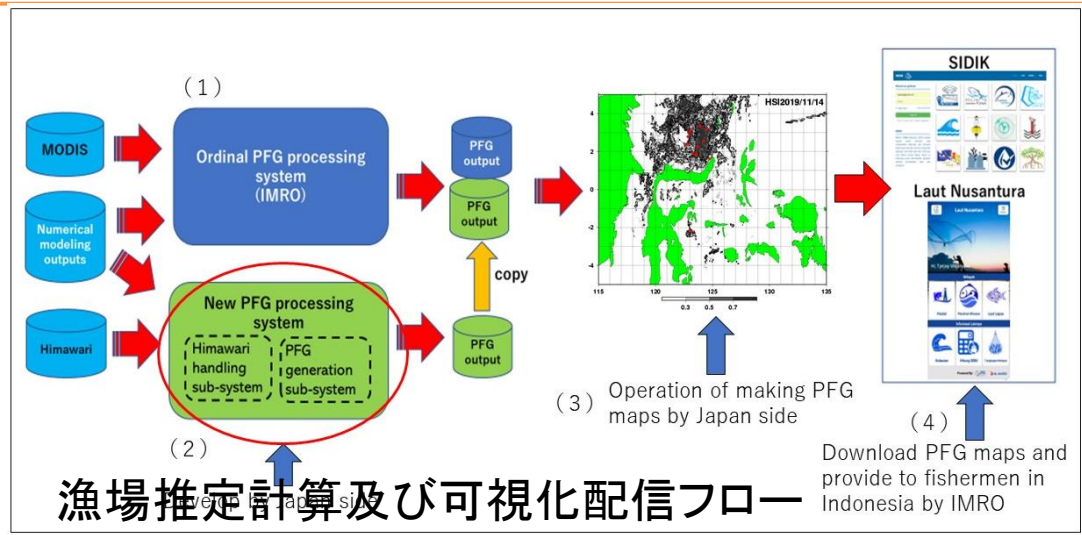


④ 「インドネシアにおける開発技術の実装」

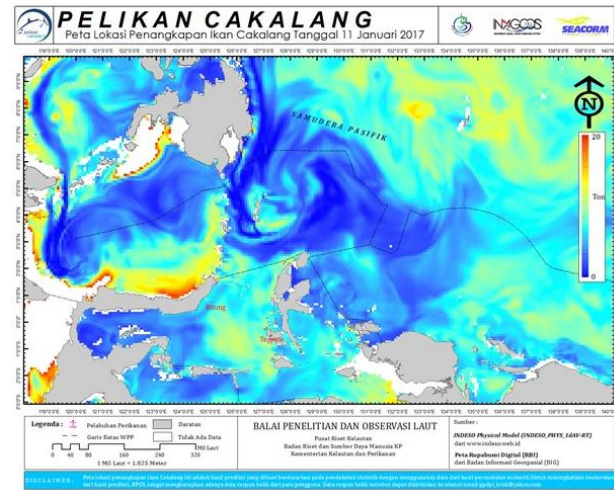
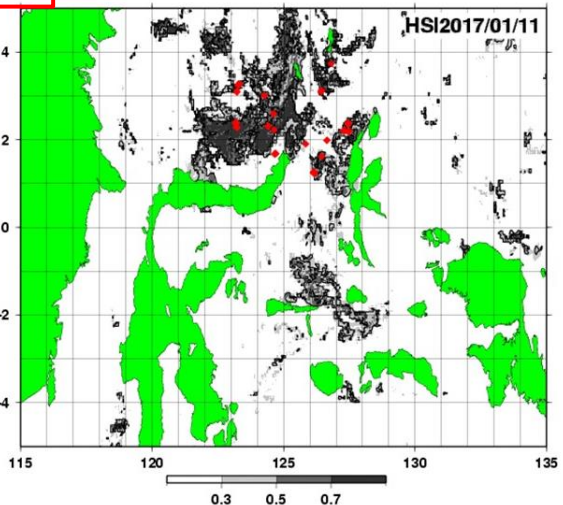
実施内容・成果

本研究で開発した漁場推定モデルを用いて、インドネシアのカツオ漁業を対象とした漁場推定情報配信についての実証試験を実施し、その効果についてIMROの協力により漁業者にヒアリングした。

【成果】 漁港から近い漁場で操業することで燃油コストを抑えたいという漁業者の志向を満たす漁業情報として有効であり、ひまわり観測を活用することで従来からIMROで行っている情報配信よりも欠測が少なく精度も高いので参考になるとの回答を得た。



漁業者へのヒアリング



本研究による漁場推定図(左)とIMROによる漁場推定図(右)の比較

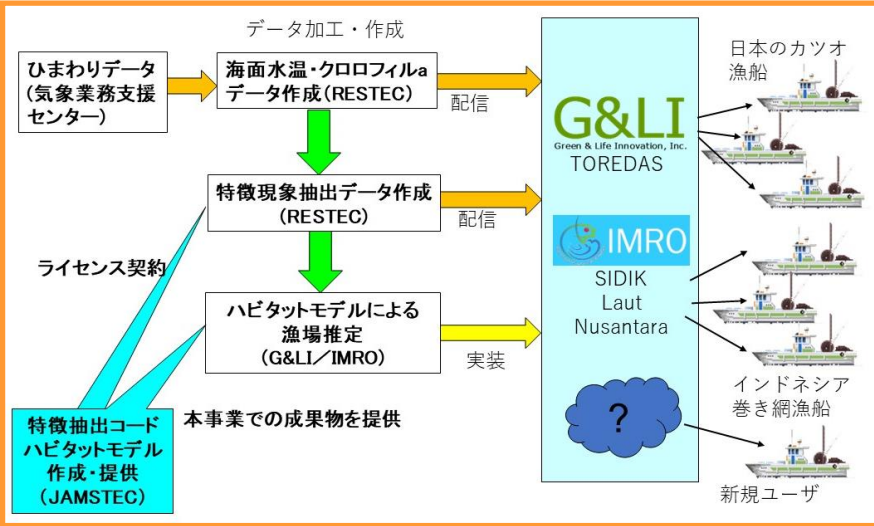
その他の成果

これまで得られた成果 (特許出願や論文発表数等)	特許出願	査読付き 投稿論文	その他研究発表	実用化事業	プレスリリース・取材対応	展示会出展
	国内：0 国際：0	国内：2 国際：0	国内：6 国際：2	国内：1 国際：1	国内：0 国際：1	国内：0 国際：0
受賞・表彰リスト						

成果展開の状況・期待される効果

本研究で開発した特徴現象抽出ツール及び漁場推定モデルの実装について、日本国内のカツオ漁業及びインドネシアのカツオ・マグロ巻き網漁業を対象とした漁場推定モデルによる情報配信が、(株)グリーン&ライフ・イノベーション及びIMROにより実証試験後も継続中であり、漁業者からのニーズが高いことから、今後の本格運用を視野に入れた実用化を進めていく予定である。また特徴現象抽出ツールを適用して得られたフロントデータについては文部科学省「データ統合・解析システム」のプロダクトとしての情報配信を検討中である。

さらに期待される波及効果として、新たなベンチャー企業や地方自治体等との連携により、他魚種への拡張を含む国内外への社会実装化を進めていくことによって、多種多様な漁業者の漁業効率化への貢献が期待できる。



今後の研究開発計画

本研究での成果を踏まえた今後の開発としては、カツオ・マグロ類で実施した成果を生かして**他魚種への拡張を目指していく**。本研究ではカツオ・マグロ類の漁場データとしてAIS・GPSによる船舶位置情報を用いたが、これに加えて人工衛星による夜間可視画像を用いた漁火観測データを活用して**サンマ漁業**に拡張することを目指している。またインドネシア向けとしては、しきさいの高解像度クロロフィルa観測を用いた**カタボシワシ漁**への適用も検討している。さらなる開発として、AIS・GPS・漁火データ等の漁船IoTデータの入手と漁場推定モデルへの投入を自動化して、自律的に漁場推定精度を向上させるAIの仕組みを開発していく予定である。

また、漁業の現場への実装化については、本研究での成果を踏まえた新たな実装先として、**宮崎県沖のマサバ巻き網漁業に適用する事業**をJAMSTECと宮崎県水産試験場との間で進めており、数年後には宮崎県から県内の漁業者に対して情報配信をするという形での事業化を目指している。さらに、JAMSTEC及び京都大学のベンチャー企業として漁業情報サービスを行っている**株式会社オーシャン・アイズ**と**特徴現象抽出ツールの利用**についての協議を進めており、国内外における他魚種への拡張の事業化を進めていく予定である。また、沿岸の定置網漁業や養殖漁業との連携も含めたスマート漁業化に資する研究開発を今後も進めていき、JAMSTECが交付金事業として進めている「付加価値情報創生システム」のプロダクトの一つとして、今後も漁業者への付加価値情報の実利用配信についての研究開発・環境整備を行うことで、本研究の成果を社会実装することを継続して行っていく予定である。

事後評価票

令和3年3月末現在

1. 宇宙利用技術創出プログラム
2. ひまわり・しきさいを活用した好適漁場推定技術の高度化
3. 国立研究開発法人海洋研究開発機構・副主任研究員 五十嵐 弘道
4. 一般財団法人リモート・センシング技術センター、国立大学法人北海道大学、株式会社グリーン&ライフ・イノベーション
5. 平成30年度～令和2年度
6. 59百万円
7. 課題の実施結果
(1) 課題の達成状況
「所期の目標に対する達成度」
◆ 所期の目標 本研究では、最新のひまわり及びしきさいの衛星観測により得られる高解像度・高頻度データと、海洋モデルによる実況推定値とを統合する解析を行うことにより、国内外で重要な魚種であるカツオ・マグロを主要な対象魚種とした好適漁場分布推定を高解像・高精度に行う技術を開発する。さらにその技術を日本近海及びインドネシア沿岸域に適用して、従来の衛星観測では捉えられなかった漁場に特徴的な海洋現象の詳細な変動に基づく漁場推定技術を確立するとともに、その技術を社会実装につなげることで、高解像度衛星データの水産分野での利用促進につなげる。この技術の確立により、漁業者は漁場探索のための燃油消費を抑えることで漁業の効率化を実現できるとともに水産関連行政機関では漁業管理情報に役立てることが可能となる。日本近海での漁場推定は、既存の漁業情報サービス会社やベンチャービジネス等を通じて社会に還元できるように実用化を行う。
◆ 達成度 本研究では、以下に示す4つの実施項目を実施することにより所期の目標を達成することを目指した。まず①「衛星データ収集・加工処理及び特徴現象抽出技術開発」では、衛星データプロダクト・特徴抽出の従来技術に対する優位性を示すことを目標とし、抽出した特徴現象が漁場推定モデルで有効に機能しているかをスコア化することを評価指標としたが、本研究では、ひまわり・しきさい衛星観測による海面水温及びクロロフィルa濃度の分布図から、雲域ノイズを含む画像からでも現業的にフロント抽出を行うことができる技術を開発して特徴現象データを作成し、それを漁場

推定モデルに導入することにより、漁場推定精度の指標となる AUC (0.5-1.0 の値を示し、1.0 が最高値) が 0.02-0.20 上昇することを確認し、季節を通じて漁場推定精度の高度化に寄与することを示した。②「衛星観測・海洋モデルデータによるハビタットモデル構築」では、特徴抽出プロダクトを用いた漁場推定の従来技術に対する優位性を示すことを目標とし、漁場推定モデルによる漁場推定精度を評価指標としたが、本研究では、日本近海におけるカツオ漁業を対象とした漁場推定モデル及びインドネシア海域におけるカツオ・マグロ巻き網漁業を対象とした漁場推定モデルを作成し、AUC が、それぞれ 0.891-0.944・0.889-0.923 を示し、モデルが有効である基準となる AUC=0.8 をはるかに上回る値であることを確認し、それぞれの現場で用いられている従来モデルよりも高性能であることを示した。③「インドネシアにおける開発技術の実装」では、実装プロトタイプを作成し試験運用を行い現場で有効であることを示すことを目標とし、実証試験によりユーザから評価を受けることを評価指標としたが、本研究では、R2 年度にインドネシアの水産研究所である IMRO が有する漁業者への情報配信システムを介して、本研究で開発した漁場推定モデルによる推定漁場分布図をインドネシア漁業者に対してリアルタイム配信試験を実施し、その効果について IMRO によるヒアリング調査を行った。その結果として、漁港から近い漁場で操業することで燃油コストを抑えたいという漁業者の志向を満たす漁業情報として有効であり、ひまわり観測を活用することで従来から IMRO で行っている情報配信よりも欠測が少なく参考になるとの回答を得ることができ、現場での有効性を確認した。最後に④「日本国内における開発技術の実装」では、実装プロトタイプを作成し試験運用を行い現場で有効であることを示すことを目標とし、実証試験によりユーザから評価を受けることを評価指標としたが、本研究では、R2 年度に本研究で開発した漁場推定モデルによる推定漁場分布図を、連携研究機関である株式会社グリーン&ライフ・イノベーションの顧客である日本のカツオ漁業者に対してリアルタイム配信試験を実施し、その効果について漁業者へのヒアリング調査を行った。その結果として、洋上で魚群を見失った場合や探索海域を大きく変える場合(他の漁船のいない海域で探索しようとする場合)に漁場推定モデルの結果が参考になるといいう回答を得るとともに、特に若手の漁業者からは漁場推定技術に対する期待が大きく今後も本研究での情報を参考にしたいという意見が得られたことから、現場での有効性を確認した。以上の結果から、本研究の実施により所期の目標を達成できたと考えられる。

「必要性」

【社会的・経済的意義】本研究の必要性を示す第 1 の評価項目は、「国内外の漁業者のニーズを満たす社会実装に耐えうる漁場推定技術の確立の必要性」である。沿岸～沖合～遠洋に生息する多くの漁獲対象魚種の生息域は海洋環境変動の影響を受けているため、漁業者は衛星観測などの様々な海況図を漁場探索に利用しているが、その情報が断片的かつ不十分な解像度であることに加えて、探索手法も確立されておらず個別の漁業者の過去の経験や勘に基づいて行われているため、非効率な操業となってしまっている。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が必要とされており、最新のひまわり及びしきさいの衛星観測により得られる高解像度・高頻度データを活用して、国内外で重要な魚種であるカツオ・マグロを対象とした好適漁場分布推定を高解像・高精度に行う技術を開発し、現業的に情報配信を行うことにより探索型漁業の効率化を実現することで、衛星データの水産分野での利

用促進の必要性に応えることができる。

【科学的・技術的意義】第2の評価項目は、「衛星観測データの利点を生かした漁場形成メカニズム解明に資する漁場推定モデル構築の必要性」である。潮目やフロント、メソスケール渦といった、いくつかの特徴的な海洋現象が漁場形成に関わっていることは漁業者の経験知として知られているが、その影響を科学的に評価した事例はほとんどない。特に日本国内においては、漁業者の高齢化により過去の経験知が失われてしまうという危惧が漁業者にあり、個別魚種の漁場形成メカニズムを科学的に明らかにして漁業者の経験知を科学知に変換することで、後継者への漁場探索技術の継承を科学技術でサポートすることができる。

以上により、ユーザーズに応えることで本研究を実施する意義は十分にあると言える。

「有効性」

【新しい知の創出】本研究の有効性を示す第1の評価項目は、「衛星観測データを活用した開発技術による漁場探索情報としての漁業現場での有効性」という新しい創出知の社会実装での有効性である。①ひまわり衛星の高頻度観測データから海面水温やクロロフィル a の日別値を作成することにより、従来の極軌道衛星観測に対して約2倍の範囲で観測値が得られることを示した。最も条件の悪いインドネシアの雨季においても、1カ月の試験期間のうち全く更新ができなかった日は3日間だけであるのに対して従来の MODIS 衛星観測では、同地点での観測頻度が数日に1度であることに加えて雲の影響により実際には更新されない日が15日程度あることがわかった。ひまわり衛星データの活用により、日々の海況情報を可能な限り欠測のない状態で更新し続けるという漁場探索情報を配信する上で最も重要な要件が大幅に改善されることが示された。②ひまわり・しきさい衛星観測から得られる高解像度・高頻度データの利点を生かした漁場推定を行うための技術開発として、本研究対象となるカツオ・マグロをはじめとした様々な漁獲対象魚種の漁場形成に関係していることが経験的に知られている潮目やフロント、メソスケール渦といった海洋の特徴現象を効果的に抽出し、漁場推定モデルの入力値として使用するための特徴抽出技術の開発を行った。その結果として、Cayula and Cornillon(1992)の手法を改良して海面水温及びクロロフィル a データに適用し、空間スケール別のフロントが抽出できるようにした。また、これまでフロント抽出を現業的に実施する際の障壁となっていた、衛星観測データに残る雲域等によるノイズと海洋環境の実像としてのフロントとの分離を行うためのパラメータを最適化するスキームを構築することにより、日々の特徴現象抽出解析を実現した。これにより、高解像度・高頻度の観測データから効率的に漁場形成に関わる特徴現象を抽出して現業的に漁業者に最新のフロント情報を日々配信することが可能になるとともに、漁場推定モデルへの入力値としてのデータセットを整備して、科学的な新規知見を得ることができるようにした。③日本近海のカツオ漁業及びインドネシア沿岸海域におけるカツオ・マグロ類の巻き網漁業を対象として、機械学習アルゴリズム MAXENT (Phillips et al., 2006) を用いた漁場推定モデルの開発を行い、漁場推定精度の検証を行うとともに特徴抽出の効果を検証した。その結果として、日本近海のカツオ漁業については、モデル性能を示す $AUC=0.891\sim 0.944$ 、インドネシアの巻き網漁業については $AUC=0.889\sim 0.923$ という値を示し、モデルが有効である基準となる $AUC=0.8$ をはるかに上回る高精度の推

定を、季節を問わず年間を通じて実現することができた。また、日本近海のカツオ漁業を対象とした漁場推定モデルについては、特徴抽出結果として得られたフロントに関連する4変数を入力データとして導入することにより、漁期を通じてカツオの漁場推定精度が向上する（AUCが0.02-0.20高い値を示す）ことを示した。これにより、漁業者が過去の経験知として得ていた漁場形成の知見についての効果を定量的に示すことができた。さらにインドネシアの巻き網漁業については、漁場推定モデル構築に際し、海面水温との関係性がほとんど見られなかった一方で、クロロフィルa濃度と100-200m深の亜表層における水温・塩分分布が漁場形成に影響を及ぼしているという状況が、モンスーン気候の雨季・乾季を問わず通年で見られるという新知見を得ることができ、これらを反映した漁場推定モデルを構築することができた。

これらの結果により、特徴現象抽出技術開発及び漁場推定モデル解析により得られた知見を通じて漁業者の過去の経験知を科学知化して漁業者に還元することができるとともに、全ての新知見を反映した漁場推定モデルによる現業的な漁場推定が可能となった。

【社会実装に至る取組】第2の評価項目は、「日本国内及びインドネシアにおける漁場推定情報配信システムによる漁業者への情報配信の有効性」という社会実装プロトタイプの実用化への有効性である。①本研究で開発した漁場推定モデルを用いて、日本国内のカツオ漁業を対象とした漁場推定情報配信についての実証試験を行った。漁場推定に必要な衛星観測データ・海洋環境予測モデルによる3次元海洋環境データをリアルタイムで毎日収集し、これに漁場推定モデルを適用して漁場推定分布図を作成するサーバを構築した。これを用いて、日々のカツオ漁場推定図を作成し、連携機関である株式会社グリーン&ライフ・イノベーションが運営する漁業情報配信システム「トレダス」を通じて、同社の顧客であるカツオ漁船に対して情報配信試験を実施するとともに、その効果を調べるためカツオ漁業者へのヒアリング調査を行った。その結果として、調査を行った全ての漁業者及び漁業関係者から概ね好意的な評価を受けた。特に、洋上で魚群を見失った場合や探索海域を大きく変える場合（他の漁船のいない海域で探索しようとする場合）に漁場推定モデルの結果が有効であるといった、具体的なユースケースを含む回答を得ることができた。②インドネシアの巻き網漁業を対象とした漁場推定についても、同様に漁場推定分布図を作成するサーバを構築して日々の漁場推定図を作成し、共同研究機関であるインドネシアの水産研究所 IMRO が有する漁業者への情報配信システムを介して情報配信試験を行うとともに、IMRO の協力のもとインドネシア漁業者へのヒアリング調査を行った。その結果として、漁港から近い漁場で操業することで燃油コストを抑えたいという漁業者の志向を満たす漁業情報として有効であり、ひまわり観測を活用することで従来から IMRO で行っている衛星観測による漁海況情報配信よりも欠測が少なく参考になるとの回答を得ることができた。

これらの結果により、本研究で開発した漁場推定モデルを適用した情報配信試験を通じて、日本国内及びインドネシアどちらについても漁業者のニーズを満たす情報配信が可能であることが示されたため、現場での有効性が確認できた。

以上の結果により、本研究で実施した開発技術の実利用での有効性が示された。

「効率性」

本研究の効率性を示す評価項目として、「開発技術の実利用配信による漁業の効率化への貢献可能性」を設定する。本研究では、国内外におけるマグロ・カツオ漁業において高精度の漁場推定を実現しその付加価値情報を実利用配信することで漁場探索に係る燃油コストを削減し漁業の効率化を図ることを目指している。日本国内においては、小型のカツオ漁船の平均的な年間売上げが3-4億円であるのに対して、その12.8%程度が燃油コストとなっていると試算されている。1隻あたりおよそ5000万円のコストとなるが、本事業で開発する漁場情報を活用して、仮にこのうちの1%を削減することができれば1隻あたり年間で50万円の効率化が図れる。100隻(実際にはもっと多い)分の効果を想定すれば、本事業に係る3年間の開発費は2年で償却されると見積もることができる。また、インドネシアでは、IMROの情報配信サービスのユーザは既に1000名を超えており、国際的な漁業効率化も見込める。1隻当たりの燃油消費を年間5万円(実際にはこの10倍以上見込める)削減できたとすれば、1000隻分で5千万円のコスト削減となり、サービスのランニングコストを1千万円としてもトータルとしてサービスのランニングコストははるかに有効な投資であると思われる。今回の事業では、実際の漁業者に対して燃油コストの削減に伴う収益性の向上について調査を行うことはできなかったが、日本国内及びインドネシアどちらについてもヒアリング調査の結果、漁業者から情報の利用について前向きな意見を多くいただくことができたことから、漁業の効率化への貢献可能性としては一定の効果が期待できる。また本サービスの有償化を想定した場合に、実際に各漁業者が情報取得に踏み切るか否かについて調査を行うことはできなかったが、漁業者及び漁業関係者からのフィードバックを踏まえた結果として、本研究により作成された技術による漁場推定情報は、漁業者の得るメリットとして十分に機能する質を備えていると考えられる。

また、本研究開発の波及効果の一つとして、漁業情報サービスを事業として配信する企業への利便性・収益性に対する効果の可能性が挙げられる。従来型の漁業情報配信事業者の形態としては、常に最新の海況情報を更新し続けるというユーザニーズを満たす必要があることから、様々な衛星観測を組み合わせたプロダクトを配信しており、一部の衛星観測データは自社で大規模なアンテナを装備して直接受信しなければならず設備の初期投資にコストがかかるため、ベンチャー企業としての大きな足かせになっていた。しかしながら、高頻度観測により欠測の少ないひまわり衛星観測データは低価格で提供されており、本研究で開発した特徴現象抽出技術や漁場推定技術を適用することができれば、従来のような多額の初期コストを必要とすることなく事業に参入できるメリットがある。このように、情報配信を行う事業者にとっても効率性の高い開発内容であると評価することができる。

(2) 成果

「アウトプット」

本研究の目的に照らして成果として必要となるのは、①最新のひまわり・しきさいによる高解像度・高頻度の観測データから漁場形成に関わる特徴現象を効率的に抽出する技術の開発、②その結果を活用した高精度の漁場推定モデルの開発、および、③これらの技術から得られる情報を日本近海及びインドネシア周辺海域における開発技術の実装のためのプロトタイプシステムの構築である。

①特徴現象抽出技術の開発については、従来の手法と比較して、高解像度・高頻度の衛星観

測データから漁場推定に対して有効な特徴現象を抽出することができているかが重要な点検項目となる。これまでの研究で開発された特徴現象抽出ツールは、解析対象画像データとしてほとんど雲域ノイズを含まないものを選択した上で構築されたものがほとんどで、解析データにノイズが含まれないことが前提となっていたが、実際の日々の衛星観測データには多くの雲域ノイズが含まれており日々の画像を現業的に解析することができないことが実装化の障壁となっていた。本研究では、衛星観測データに残る雲域ノイズと海洋環境の実像としてのフロントとの分離を行うためのパラメータを最適化するスキームを構築することにより、毎日の観測で得られるノイズ量の異なる衛星観測データから特徴現象が抽出できるようになり、現業化への道を開いた。また、本研究で開発した特徴現象抽出ツールは、異なるサイズのウィンドウを階層的に用いることにより空間スケール別に特徴現象を選択的に抽出できることから、カツオの漁場形成に関係する空間スケールのフロントのみを漁場推定モデルに投入することで、効率的な漁場推定に寄与することができる。本研究で得られた成果としては、現在入手できる最も解像度の高いフロントが漁場推定精度に対しても効果が高いという結果を得たため、特定の空間スケールのフロント抽出は必要としていないが、さらに得られた成果として、低解像度の衛星観測データしか得られない場合でも、抽出したフロント位置のデータに加えて各グリッドに最近接するフロントまでの距離をデータとして付加することで、漁場推定精度の低下を抑制することができることを示したことで、効果的な漁場推定を行えるという意味で課題の目標が達成できたと言える。また、漁場推定モデル開発の際に抽出した特徴現象の効果をスコア化した結果として、操業期間を通じてフロントデータが有意に漁場推定に影響を及ぼしている ($AUC=0.02\sim0.20$) ことを示したことで、従来技術に対する優位性を示したと考えている。

②次に漁場推定モデルの開発については、本課題で開発したモデルによる漁場推定精度を客観的な評価値として示すことに加えて、従来の手法と比較して高精度であることを示すことで目標の達成度を計測した。具体的には、参画機関である(株)グリーン&ライフ・イノベーションが現在、国内の漁業者向けに配信している漁場推定結果と、本課題で開発したモデルによる結果との比較することにより性能評価を行った。まず、本研究で構築した漁場推定モデルについては、日本近海のカツオ漁業については $AUC=0.891\sim0.944$ 、インドネシアの巻き網漁業については $AUC=0.889\sim0.923$ という値を示し、モデルが有効である基準となる $AUC=0.8$ をはるかに上回る高精度の推定を、季節を問わず年間を通じて実現することができた。日本国内及びインドネシアで従来使われている漁場推定モデルについては AUC を計算するデータを入手できなかったため、同日の漁場推定分布図と正解となる実際の漁場位置との比較から本研究で構築した漁場推定モデルと従来の漁場推定モデルとの比較を行った。その結果として、まず日本近海のカツオ漁業を対象とした漁場推定モデルについては実証試験期間に推定を行ったケースのほとんどで、本研究で構築した漁場推定モデルで漁場である可能性が高いと示された地点で実際の操業が行われており、(株)グリーン&ライフ・イノベーションが独自に行っている漁場推定結果に比べて詳細で推定の確度も高いことが示された。またインドネシアの巻き網漁業を対象とした漁場推定モデルについても、IMRO が作成した漁場推定モデル PELIKAN CAKALANG による漁場推定結果では沿岸部で高い値を示すクロロフィル a 分布の影響を強く受けることで沿岸部を漁場域と推定してしまっており、実際の漁場は沖合に形成されているという欠陥が

推定分布に残っているのに対し、比較対象期間中の多くのケースで本研究で構築した漁場推定モデルでは、漁場である可能性が高いと示された地点は沖合のみに分布しており、実際の操業も漁場と推定された領域で行われていることが確認できることから、日本国内・インドネシアどちらにおいても従来モデルに対する優位性を示すことができている。本課題で開発したモデルを国内で実装する価値が担保できるという意味で目標を達成できている。

③国内及びインドネシアにおける開発技術の実装については、それぞれの対象海域・魚種に対して、上記の開発技術を実装した実運用プロトタイプシステムを開発し、実際に漁業者に対して情報配信テストを行いユーザからフィードバックを受けることで評価を行った。本研究で開発した漁場推定モデルを用いて、日本国内のカツオ漁業及びインドネシアの巻き網漁業を対象とした日々の漁場推定分布図を作成するサーバを構築し、日本国内では株式会社グリーン&ライフ・イノベーションが運営する漁業情報配信システム「トレダス」を通じて、インドネシアでは共同研究機関である水産研究所 IMRO が有する情報配信システム Laut Nusantara を通じて漁業者へ向けた情報配信試験を行うことで実用化の実証試験を行った。さらにその結果を評価するため、それぞれの機関を中心としたヒアリング調査を行った。その結果として、調査を行った全ての漁業者及び漁業関係者から概ね好意的な評価を受けた。特に、日本国内については、洋上で魚群を見失った場合や探索海域を大きく変える場合（他の漁船のいない海域で探索しようとする場合）に漁場推定モデルの結果が有効であるといった、具体的なユースケースを含む回答を得ることができた。またインドネシアについても、小型船が主体で探索エリアを広げることができないという制限の元、いわゆる「空振り」（漁場探索したが魚群が見つからない）を避けて漁港から近い漁場で操業することで燃油コストを抑えたいという漁業者の志向を満たす漁業情報として有効であり、ひまわり観測を活用することで従来から IMRO で行っている情報配信よりも欠測が少なく参考になるとの回答を得ることができた。加えて、国内外のユーザから事業終了後も継続利用したいというリクエストの声もいただいております。実用化への実証試験としては初期の目標は達成できた。

以上の成果を持って、本研究の所期の目標は十分に達成できたと考えられる。本研究で開発した3つの「アウトプット」により、所期の目標である「最新の衛星データを活用して、国内外の漁獲漁業の現場において実用に耐えうる推定精度をもった漁場推定モデルを構築して、その技術を社会実装につなげることで、高解像度衛星データの水産分野での利用促進につなげる」ことを実現するための技術を確認することができたと考えている。現状では、本研究で漁場推定に用いたハビタットモデルは、国内外ともに研究段階のものが殆どで、実際の漁業情報サービスとして定常運用されているケース自体があまり見られず、本件で従来モデルとして紹介した事例についても実験的な要素が非常に強いものであったが、本研究を通じて、最新の衛星データを活用した技術を構築することで、実用化への道が開けたという意味で、意義があると考えられる。

「アウトカム」 （令和3年10月末時点）

本研究で目指している、高精度の漁場推定プロダクトの創出とその実用化配信を実施するこ

とで、日本国内及びインドネシアにおける漁業分野での衛星データ利用の普及を推進するとともに漁場探索にかかる燃油コストを削減して漁業の効率化を図ることが、期待される効果・効用であるが、残念ながらこれを数値的に示すデータは得られていない。本事業では、ターゲットとなる魚種をカツオ・マグロ類に、ユーザとなる対象国を日本及びインドネシアに絞って開発を行っており、まずは、ユーザの需要を満たすに足る有用なプロダクトを提供する技術開発ができていることを、事業終了後における情報配信を通じてユーザである漁業者に継続的に利用が見込めるかどうかで、事後の自己点検とする。まず、日本国内のカツオ漁業を対象とした漁場推定モデルによる情報配信については、株式会社グリーン&ライフ・イノベーションの顧客であるカツオ漁業者に対して R2 年度末まで実証試験として行っていた情報配信は現在でも同様の形で継続中であり、ユーザである漁業者からのニーズ・関心の高さを表していると考えられる。本格的な「トレダス」での運用には、ソフトウェアの改変が必要なため短期間での実装は難しいが、今後の本格運用を視野に入れた事業化を進めていく方針である。またインドネシアの巻き網漁業を対象として R2 年度末まで実証試験として行っていた情報配信についても同様に、IMRO の情報配信サービス Laut Nusantara を通じた情報配信を現在でも続けている。インドネシアについては、当初から IMRO の情報配信システムに、本事業で開発した情報配信プロトタイプを組み込む形で実装する計画であるが、インドネシア国内におけるコロナ禍の影響が収まっておらず渡航が不可能なこともあり、現地での実装準備を進めることができていない。ただし、こちらについてもインドネシアの漁業者からの関心も高く IMRO としても導入の意向を示していることから、引き続き本格運用に向けた準備を進めていく予定である。さらにひまわり衛星観測による海面水温データからの二次プロダクトとして特徴現象抽出ツールを適用して得られたフロントデータの配信については、JAMSTEC と RESTEC とで協議を進めており、文部科学省「データ統合・解析システム」(DIAS) 中のプロダクトとしての情報配信を検討中である。さらには波及効果として、本事業に参画していない漁業関係者として、JAMSTEC 及び京都大学のベンチャー企業として漁業情報サービスを行っている株式会社オーシャン・アイズと特徴現象抽出ツールの利用についての協議を進めている。さらに、本研究で開発した漁場推定技術をカツオ・マグロ以外の他魚種へ拡張することを最大のアウトカムと位置付けていたが、本研究と同様の手法を用いて宮崎県沖のマサバ巻き網漁業に適用する事業を JAMSTEC と宮崎県水産試験場との間で進めており、数年後には宮崎県から県内の漁業者に対して情報配信をするという形での事業化を目指している。これらの社会実装化により、国内外の様々な漁業者の操業効率化に貢献できると考えている。

(3) 今後の展望

本事業で開発した様々な成果物については、最終年度の実装試験を経て、事業期間終了後に定常運用を行うことを目指している。成果の社会的な還元の仕事みとして、本事業で現業的な作成が可能となった海面水温・クロロフィル a の海洋環境場を用いて抽出した海洋の特徴現象（潮目・フロント・渦等）の付加価値情報の実利用配信については、JAMSTEC と RESTEC とで協議を進めており、文部科学省「データ統合・解析システム」(DIAS) 中のプロダクトとしての情報配信を検討中である。ソフトウェアのライセンス料という形で課金を行う方向で議論を進めており、海洋環境場と

のセットで漁業情報サービス企業を通じて漁業者へリアルタイム配信することを目指している。また、JAMSTECが開発した漁場推定モデルについては、日本国内では株式会社グリーン&ライフ・イノベーション、インドネシアではIMROに対して継続して提供を行い、どちらについても今後本格的な実装化に向けた準備を進めていく。さらに、本事業に参画していない他のユーザについても積極的に成果をアピールしていくことで新規参入を促していくことで、漁業情報サービスへの活用を広めていく。JAMSTEC及び京都大学のベンチャー企業として漁業情報サービスを行っている株式会社オーシャン・アイズについては、特徴現象抽出ツールの利用についてライセンス使用許諾の方向で協議を進めている。その他、宮崎県との共同研究事業を含めて、必ずしも商用ベースに乗らない成果については、JAMSTECが現中期計画の一環として交付金事業として構築を進めている付加価値情報配信システムの中のフィージビリティ事業として、今後も漁業者への付加価値情報の実利用配信についての研究開発・環境整備を行うことで、本研究の成果を社会実装することを継続して行っていく予定である。

8. 評価点

A

評価を以下の5段階評価とする。

- S) 優れた成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に著しく貢献した。
- A) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献した。
- B) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献しているが、一部の成果は得られておらず、その合理的な理由が説明されていない。
- C) 一部の成果を挙げているが、宇宙航空利用の明確な促進につながっていない。
- D) 成果はほとんど得られていない。

9. 評価理由

本課題は、「ひまわり」と「しきさい」の高頻度・高解像度の画像データを活用することにより、漁場推定を高精度で行う新たなアルゴリズムとシステムを着実に構築した点、漁場を従来技術より高精度に推定出来ること実証し、また欠損も少ないということからユーザニーズに対応している成果が出ている点は高く評価される。海洋資源の安定確保は今後の大きな課題であり、宇宙からの潮目の観測の高精度化が必要であるという観点からも、この事業の成果の社会的還元の仕事も進めており適切な成果を得ている。

一方で、相応の成果は挙げているものの、本課題の重要な目標である実務への適用検証は、コロナ禍の影響もあったため十分とは言えない。漁業者試用/ヒアリングによる検証などは、遠隔地であったとしても工夫して情報を取得し成果の活用と実稼働との関係分析を行うなど、実用化へのステップをもう少し進められた可能性があり、現時点では本当に漁業者が信頼して使ってくれる技術レベルの到達度として十分とは言えないが、今後の研究の発展や工夫により宇宙航空利用の促進への一層の貢献が見込まれる。

以上より、本課題は、相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献していると認められる。

今後は、以下の点が期待される。

- 継続的な運用への収益構造や実施体制の担保について明確にすることが望まれる。
- 現時点で事業化や具体的な定量的効果の把握までには至っていないことから、継続的にユーザからのフィードバックを行い、技術の進展につながるエコシステムを作り上げるなど、今後の実用化に向けた進展を期待する。
- 今後、多くの魚種・地域にてデータを蓄積し、大手の漁業組織と世界的な協力体制を構築するなど世界の漁獲量の把握を達成できる仕組みを作り、国際的に展開されることを期待する。
- カツオ・マグロ以外の漁場推定への適用性も検討しており、更に広い範囲への適用性が増加することを期待する。