

令和元年度地球観測技術等調査研究委託費  
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  
委託業務成果報告書

令和2年5月

国立研究開発法人海洋研究開発機構

本報告書は、文部科学省の令和元年度地球観測技術等調査研究委託費による委託業務として、国立研究開発法人海洋研究開発機構が実施した「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」の成果を取りまとめたものです。

# 目次

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| I.研究計画の概要                      | 1  |
| 1. 研究概要・目的                     | 1  |
| 2. 令和元年度における成果の目標及び業務の方法       | 1  |
| 3. 令和元年度研究実施体制                 | 3  |
| II.研究成果                        | 4  |
| 1 総括                           | 4  |
| 2 各研究テーマおよび個別項目の成果             | 5  |
| 2.1 特徴抽出による PFG 推定             | 5  |
| 2.2 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 | 20 |
| 2.3 インドネシアにおける実装準備             | 31 |
| 2.4 日本国内における実装準備               | 40 |

## I.研究計画の概要

### 1. 研究概要・目的

沿岸～沖合～遠洋に生息する多くの漁獲対象魚種の漁場形成には海洋環境変動が強く影響を及ぼしており、漁業者は人工衛星観測等から得られる海況情報に基づき漁場探索を行っている。しかしながら、その人工衛星情報は海表面のみに限定され、かつ時空間解像度が粗く十分な情報が得られないため漁場探索に必要な漁船の燃油消費を抑えることができず不安定な経営を強いられており、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求められている。

本研究では、このような現状を克服して漁業の効率化を実現し、さらには水産関連行政機関での漁業管理に役立てるための情報創出を行うことを目的として、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ことを目的とする。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。

### 2. 令和元年度における成果の目標及び業務の方法

#### ①特徴抽出による PFG 推定

- a. 平成 30 年度に引き続き、日本のカツオ漁船が操業を行う北西太平洋とインドネシア沿岸域を解析対象海域として、ひまわり衛星による海面水温及びクロロフィル a 観測データを収集するとともに、同日に複数存在する観測値を用いて各メッシュの雲域除去を施した日データを作成する。また、しきさい衛星観測データについても、引き続き順次収集する。収集した衛星データは②に提供する。
- b.機械学習を用いた海洋の特徴現象抽出について、ひまわり衛星に加えて新たにしきさい衛星データを導入した場合の効果を、特徴現象の抽出精度、PFG(Potential Fishing Ground)推定精度について定量的に評価する。

#### 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

- a.平成 30 年度に引き続き、解析対象領域の海洋モデルデータを収集する。北西太平洋は気象庁の海洋モデル MOVE(Multivariate Ocean Variational Estimation)、インドネシア沿岸域については欧州連合の海洋モデル NEMO(Nucleus for European Modeling of the Ocean)を収集する。
- b.平成 30 年度に引き続き、日本漁船の操業海域におけるカツオの好適生息域を算出するハビタットモデルを作成し精度の向上を図るとともに、③から提供されるインドネシア沿岸域での漁場位置・漁獲データ、①から提供されるひまわり衛星データ及び②a.の海洋モデルデータを用いて統合解析を行い、インドネシア沿岸域におけるカツオ・マグロ等の好適生息域を算出するハビタットモデルを試作し精度検証を行う。

### ③インドネシアにおける実装準備

- a. 平成 30 年度に引き続き、インドネシア沿岸域におけるカツオ・マグロ等の漁場位置・漁獲データについて IMRO(Institute for Marine Research and Observation)と協議を行いデータの提供を受ける等により収集を行う。収集したデータは①②に提供する。
- b. ①及び②での開発技術の成果を踏まえ、インドネシア沿岸域での開発技術の実装について IMRO と協議を行い、実装のためのプロトタイプ設計書を作成する。

### ④日本国内における実装準備

- a. 平成 30 年度に引き続き、日本のカツオ漁船から得られる GPS データ、船舶自動識別装置 (AIS) データ等の漁船航跡データから操業位置を抽出するとともに、それに付随する漁獲量・釣果に関するデータを収集し①②に提供する。
- b. ①及び②での開発技術の成果を踏まえ、カツオ漁業者に対して日本国内での実装のための調査を行い、実装のためのプロトタイプ設計書を作成する。
- c. 開発技術の普及啓発のため水産関連学会で国内漁業関係者向けのシンポジウムを開催し、専門家・ユーザからの評価を受ける。

○委託業務実施期間 平成 31 年 4 月 1 日から令和 2 年 3 月 31 日

○再委託先 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

○実施計画

| 区分                           | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|---|---|
| ① 特徴抽出による PFG 推定             | ← |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   | → |
| 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 | ← |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   | → |
| ③ インドネシアにおける実装準備             | ← |   |   |   |   |   |    |    |    |   |   | → |
| ④ 日本国内における実装準備               | ← |   |   |   |   |   |    | △  |    |   |   | → |

※△：シンポジウム開催予定

### 3. 令和元年度研究実施体制

#### 1. 業務主任者

(受託者(委託先)) 国立研究開発法人海洋研究開発機構

役職・氏名 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

技術主任 五十嵐 弘道

(再委託先) 一般財団法人リモート・センシング技術センター

役職・氏名 ソリューション事業第1部事業開拓課 主査 関岡 信一

(再委託先) 国立大学法人北海道大学

役職・氏名 北極域研究センター センター長・特任教授 齊藤 誠一

(再委託先) 株式会社グリーン&ライフ・イノベーション

役職・氏名 取締役・技術開発部長 高橋 文宏

#### 2. 業務項目別実施区分

| 業 務 項 目                      | 実 施 場 所                                       | 担 当 責 任 者                                                |
|------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| ① 特徴抽出によるPFG推定               | 東京都港区虎ノ門3丁目17-1<br>一般財団法人リモート・センシング技術センター     | 一般財団法人リモート・センシング技術センターソリューション事業第1部事業開拓課主査<br>関岡 信一       |
| 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 | 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173番25<br>国立研究開発法人海洋研究開発機構横浜研究所 | 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 技術主任<br>五十嵐 弘道 |
| ③ インドネシアにおける実装準備             | 北海道札幌市北区北21条西11丁目<br>国立大学法人北海道大学              | 国立大学法人北海道大学北極域研究センター センター長・特任教授<br>齊藤 誠一                 |
| ④ 日本国内における実装準備               | 北海道函館市弁天町20番5号<br>函館市国際水産・海洋総合研究センター          | 株式会社グリーン&ライフ・イノベーション 取締役・技術開発部長<br>高橋 文宏                 |

## II.研究成果

### 1. 総括

特徴抽出による PFG(Potential Fishing Ground)推定については、まず、解析対象海域である北西太平洋とインドネシア沿岸域についてひまわり・しきさい観測データを収集して、ひまわりデータは日平均により雲除去処理を行った。しきさいプロダクトについて比較解析を行い、雲除去の効果があるひまわり観測データと、高解像度かつ沿岸部に欠測値のないしきさい観測データの長所を融合して利用することで漁場推定や操業時における衛星海面水温データの有用性を高めることができることを示した。また観測データを受信・処理・配信するシステムの実運用への適用について検証し運用可能であることを確認した。海洋の特徴現象抽出については、しきさい衛星データを導入した場合の効果、特徴現象の抽出精度について定量的に評価し、しきさい衛星データを使用することで黒潮周辺領域でのフロントを、ひまわりデータを使用した場合に対して約 1/3 程度の幅で表現できることを示した。

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については、気象庁の海洋モデル MOVE (Multivariate Ocean Variational Estimation)、欧州連合の海洋モデル NEMO(Nucleus for European Modeling of the Ocean) の北西太平洋及びインドネシア沿岸域における日データを収集した。日本漁船を対象としたカツオの PFG を算出するハビタットモデルを作成し精度検証を行った結果、本課題で作成した特徴現象データを使用することで PFG 推定精度が向上することを示した。また、インドネシア沿岸域での漁場位置データ、ひまわり衛星データ及び NEMO 海洋モデルデータを用いて 715 漁業管理区域（モルッカ海・セラム海・ハルマヘラ海）のカツオ巻網漁業を対象とした漁場推定モデルを試作し、ひまわりデータと NEMO データを用いることで実利用可能な漁場推定精度を確保できることを示した。しきさい衛星データを用いた効果について PFG 推定精度の定量的な評価を行い、黒潮周辺領域での漁場探索エリアを 1/2 に縮小できる事例があることを示し有効な情報を作成できることを確認した。

インドネシアにおける実装準備については、インドネシア沿岸域におけるカツオ・マグロ等の漁場位置・漁獲データについて IMRO(Institute for Marine Observation and Research)と協議を行い、715 漁業管理区域のカツオ巻網船における 2015 年以降の漁場位置データを収集した。またインドネシアにおける開発技術の実装について IMRO と意見・情報交換を行い、次年度の実証試験の際には IMRO が開発している漁業情報配信システムである SIDIK と Laut Nusantara を使用する方針とした。実証試験にあたり、このシステムに適用するための新規の PFG 処理モジュールを日本側で設計し共通の PFG 出力フォーマットデータを作成することで、既存の SIDIK や Laut Nusantara に入力することとし、これらを考慮して実装のためのプロトタイプ設計書を作成した。

最後に、日本国内における実装準備については、日本のカツオ漁船から得られる漁船航跡データから操業位置を抽出するとともに、それに付随する漁獲量・釣果に関するデータを収集した。本課題での開発技術の成果を踏まえカツオ漁業者に対して日本国内での実装のための調査を行い、本事業で開発した漁場推定モデルから得られる PFG プロダクトを、株式会社グリーン&ライフ・イノベーションが運用しているトレダスシステムを活用してテスト配信することを想定して、次年度に行う実証試験の内容を設計書としてとりまとめた。さらに開発技術の普及啓発のため、平成 30 年 11 月 8 日に東北大学青葉山キャンパス青葉山コモンズにてシンポジウムを開催した。カツオ漁業の現場に携わる方々と今後のスマート漁業における衛星データの活用についての議論を行い、本課題での開発状況が順調であり将来的な社会実装に対して期待できるという専門家・ユーザからの評価を得た。

## 2. 各研究テーマおよび個別項目の成果

### 2.1 特徴抽出による PFG 推定

担当者：関岡信一<sup>1</sup>、荒井頼子<sup>1</sup>、奥村俊夫<sup>1</sup>、齊藤誠一<sup>2</sup>、五十嵐弘道<sup>3</sup>、石崎廣<sup>3</sup>

実施機関：<sup>1</sup>一般財団法人リモート・センシング技術センター、<sup>2</sup>国立大学法人北海道大学北極域研究センター、<sup>3</sup>国立研究開発法人海洋研究開発機構

#### a.要約

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ために、日本の衛星である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・高頻度データの利用について検討した。

今年度は平成 30 年度に引き続き、解析対象海域である北西太平洋とインドネシア沿岸域について、ひまわり・しきさい観測データを収集した。平成 30 年度の成果を踏まえ、ひまわりデータは日平均により雲除去処理を行った。また、宇宙航空研究開発機構により平成 30 年 12 月 20 日に公開されたしきさいプロダクトについて、収集と解析を行い、ひまわりおよび MODIS と観測頻度や解像度など、実利用の観点から比較を行った。その結果、雲除去の効果があるひまわり観測データと、高解像度かつ沿岸部に欠測値のないしきさい観測データの互いの長所を融合した利用によって、漁場推定や操業時における衛星海面水温データの有用性を高めることが期待できるという結論を得た。また観測データを受信、処理・配信するシステムが実運用に耐えうるか検証した。

機械学習を用いた海洋の特徴現象抽出について、ひまわり衛星に加えて新たにしきさい衛星データを導入した場合の効果、特徴現象の抽出精度、PFG(Potential Fishing Ground)推定精度について定量的に評価した。その結果として、ひまわり観測よりも高解像のしきさい衛星データを使用することで黒潮周辺領域でのフロントを、ひまわりデータを使用した場合に対して約 1/3 程度の幅で表現できることを示した。これによりより効率的な漁場探索に資することが期待できる。(PFG 推定精度についての定量評価は 2.2 参照。)

#### b.令和元年度研究計画

令和元年度は、平成 30 年度に引き続き日本のカツオ漁船が操業を行う北西太平洋とインドネシア沿岸域を解析対象海域として、ひまわり衛星による海面水温及びクロロフィル a 観測データを収集する。また同日に複数存在する観測値を用いて各メッシュの雲域除去を施した日データを作成する。しきさい衛星観測データについても、引き続き海面水温及びクロロフィル a 観測データを収集する。収集した衛星データは、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に提供する。さらに、機械学習を用いた海洋の特徴現象抽出については、ひまわり衛星に加えて新たにしきさい衛星データを導入した場合の効果、特徴現象の抽出精度、PFG(Potential Fishing Ground)推定精度について定量的に評価する。

#### c.令和元年度研究成果

##### c.1 衛星データ収集

平成 30 年度に引き続き、ひまわりおよびしきさい観測データの収集を行った。収集したデータ

は本課題で購入した大規模ディスク装置(NAS)に格納し、課題内でデータを共有した。収集した情報を表 1 にまとめる。

ひまわり観測データについては、雲と陸域の影響を考慮した解析をするために、10 分毎に観測するひまわり標準データから海面水温データ、雲・陸域のマスクを別途作成した。さらに、これらの同日に複数存在する観測値を用いて各格子の雲域除去を施した日データを作成した。

しきさい観測データは、解析対象である海域に絞りデータを収集した。海面水温とクロロフィル a 濃度の画像のサンプルとして、インドネシア/バリ島南方沿岸の観測データ画像を図 1-1 に示す。両画像とも解像度は 250m となっており、海面水温とクロロフィル a 濃度それぞれが湾内で特徴的な濃度分布を示している。従来、IMRO が海面水温の観測データとして用いてきた NASA の MODIS(解像度 4km)では見ることができなかったことであり、しきさいの高精細な観測データは、潮目などの海況構造をより正確に表現することを可能とすることから、漁場推定に活用することができる可能性を示した。

表 1 収集した衛星データ一覧

| 衛星名  | 衛星データ種類               | 観測範囲                                                    | 収集期間                  |
|------|-----------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------|
| ひまわり | ・海面水温<br>・クロロフィル a 濃度 | 観測領域すべて                                                 | 2019 年 3 月～2020 年 2 月 |
| しきさい | ・海面水温<br>・クロロフィル a 濃度 | ・日本周辺海域<br>・インドネシア/715<br>漁業管理区域<br>・インドネシア/バリ<br>島南方沿岸 | 2019 年 3 月～2020 年 2 月 |

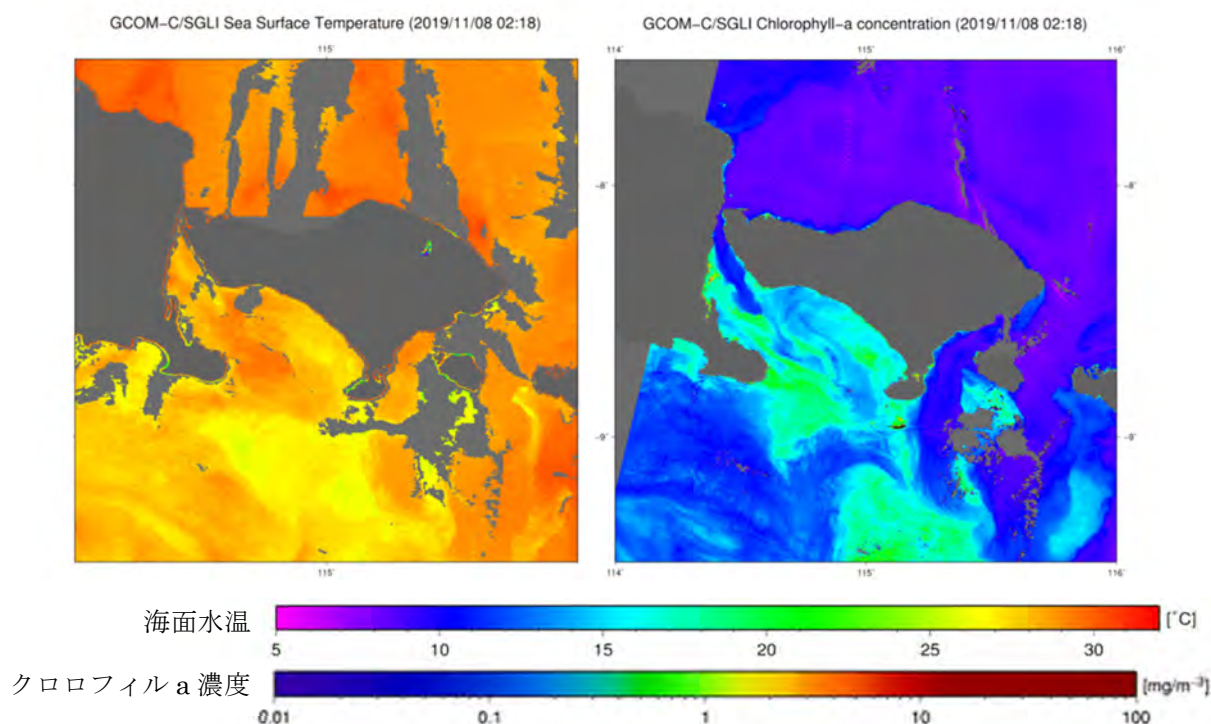


図 1-1 しきさい観測データ

灰色の部分は陸地および雲で覆われ観測できなかった箇所を示す。

## c.2 しきさいとひまわり日データの比較

本課題で用いるひまわり、しきさいそれぞれの観測データについて、比較検証した。本課題で用いる衛星観測データのうち、ひまわりについては昨年度の本改題の研究にて、高頻度観測による欠損領域の軽減および雲除去の効果を確認し、実利用プロダクトとしての有効性を報告した。今年度はしきさい観測データの実利用プロダクトとして有効性を検討した。

検討するにあたり、ひまわり観測データと同一期間のしきさい観測データを収集・図化した。しきさいの観測結果を図 1-2 に、ひまわりの観測結果を図 1-3 に示す。

しきさいは 2017 年 12 月 23 日に打ち上げられ、2018 年から観測データを公開している。しきさいに搭載されている観測センサ SGLI(Second generation GLobal Imager)は観測幅が 1000～1400km あり、2～3 日に 1 度同じ地点を観測している。このため、ターゲットとした海域も 2～3 日に 1 度の観測を想定していたが、実際は 8 日間で 6 日観測となり、ほぼ毎日観測されており、想定よりも高い頻度で観測されていることが確認された。一方、しきさいの観測データは現地時刻 10 時 30 分頃の観測結果となるため、ひまわり観測データと異なり雲の除去を行うことができず、雲による欠測の影響を受ける。今回の評価期間中も雲による欠測を確認できた。一方で雲の掛からない海域ではひまわり(解像度 2km)よりも高精細な観測データを得ることができた。

ひまわり観測データについては、しきさい観測データと比較し、雲除去の効果により、観測の欠測は見られないものの、沿岸部に白色の欠測値が見られることが分かった(図 1-4 参照)。一方でしきさいの観測データでは沿岸部に欠測値は見られなかった。沿岸部分の欠測は、IMRO が求めるバリ島沿岸部の漁場推定にとっては問題である。このため、ひまわりとしきさいの両観測データを組み合わせることで実利用プロダクトとして有効性を示すことが明らかとなった。

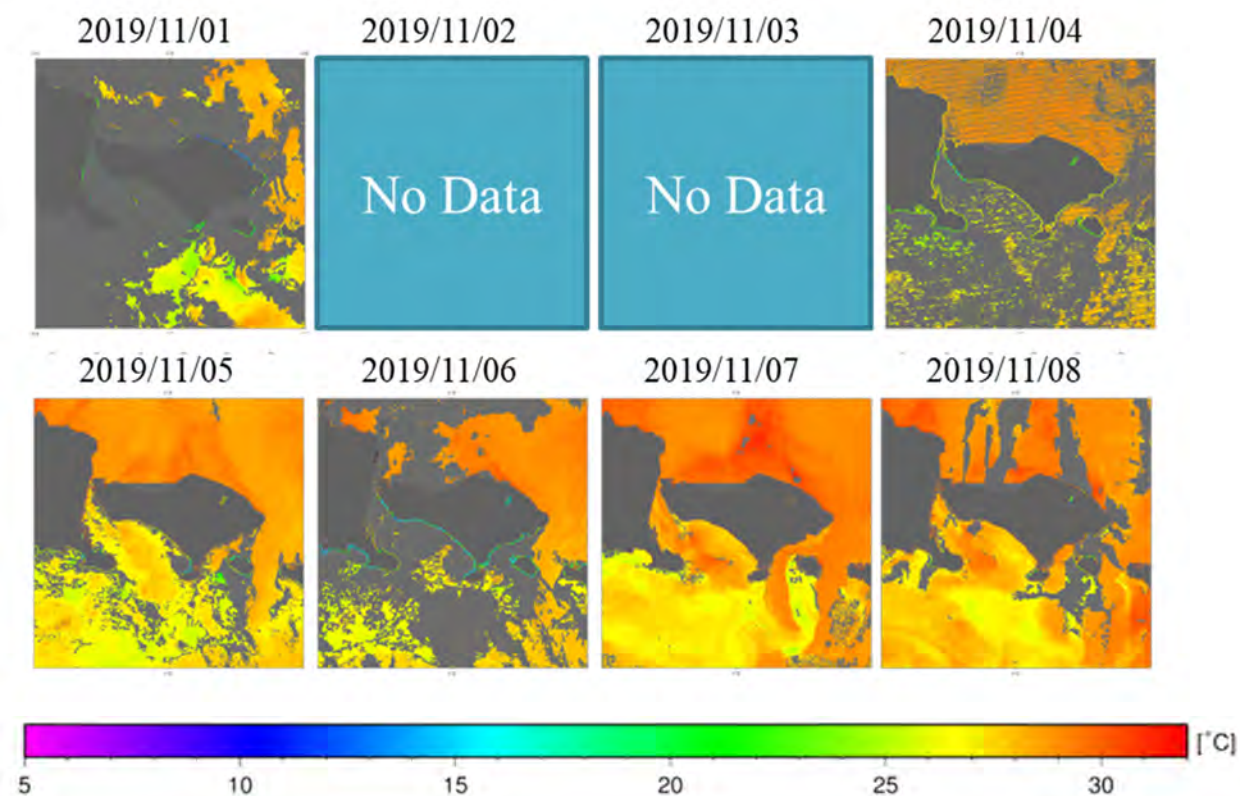


図 1-2 しきさい観測の海面水温

灰色の部分は陸地および雲で覆われ観測できなかった箇所を示す。

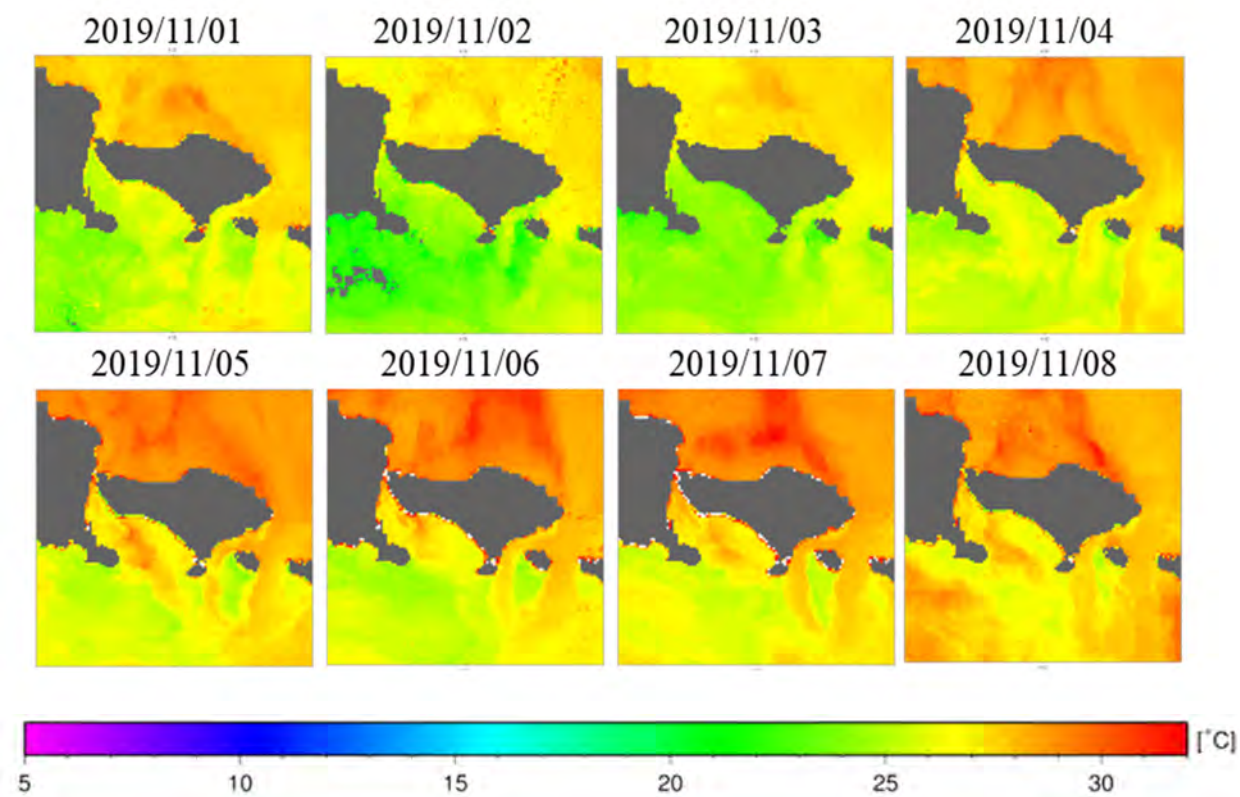


図 1-3 ひまわり観測の海面水温(日データ)

灰色の部分は陸地箇所を示す。

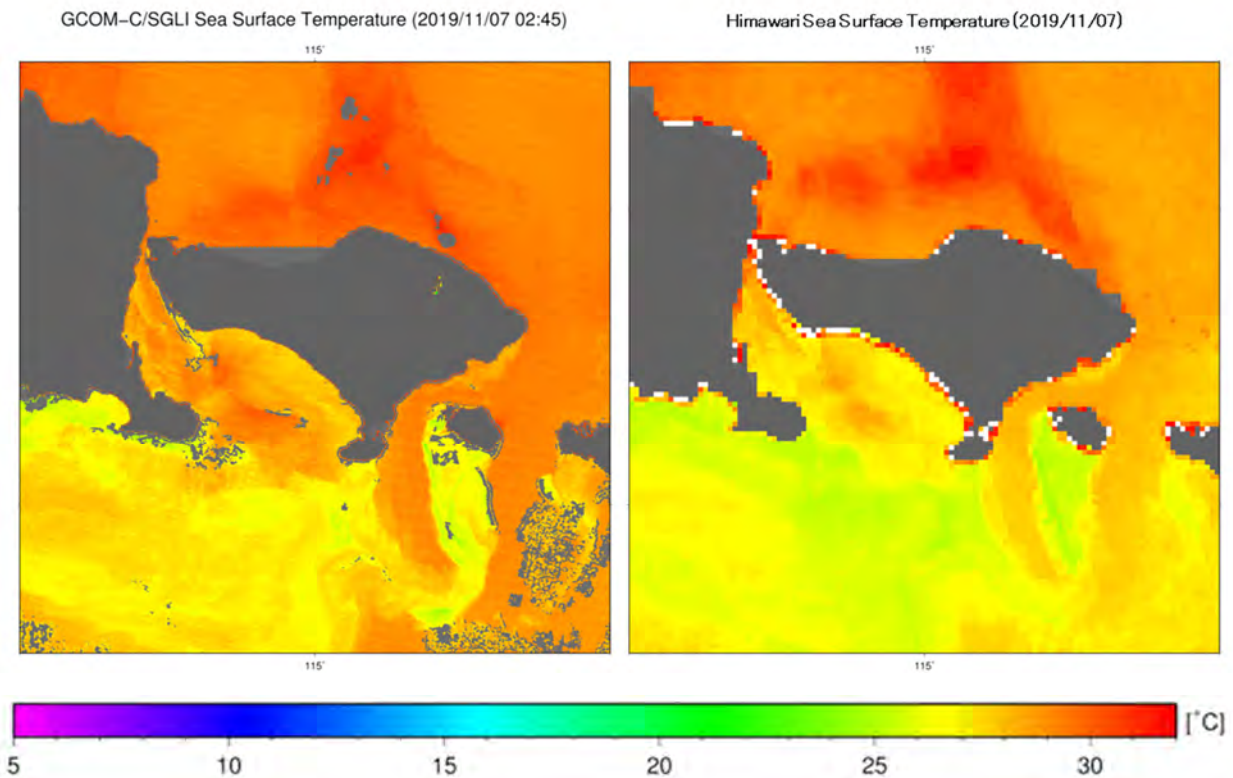


図 1-4 しきさいとひまわり観測の海面水温の解像度の比較

左図がしきさい観測(解像度 250m)、右図がひまわり観測(解像度 2km)。灰色の部分は陸地箇所を示す。右図において、島の沿岸部に見える白色部分は欠測値箇所。

### c.3 しきさい観測データと MODIS 観測データの比較

しきさい観測データと、従来 IMRO が利用している MODIS 観測データについて、比較した。同一観測日(2019 年 11 月 8 日)の海面水温の観測データを図 1-5 に示す。観測時刻はしきさいの方が 3 時間ほど早いため、雲による欠測値の箇所に差が見られる。

比較したところ、解像度の違いに起因する観測データの差を確認することができた。まず MODIS の観測データでは、島の沿岸部において観測値の入った画像ピクセルが階段状になっている。一方で、しきさいの観測データでは沿岸部においては陸地に沿って観測されていることが分かる。次に海面水温の温度階調の差である。今回の観測範囲において、MODIS の観測データでは、観測結果が 28 度から 30 度で、海面水温の特徴的な変化を確認することができなかった。一方、しきさいの観測データでは、バリ島南沿岸部において、約 28 度の温度分布にしているところに約 26 度の海水の流入が確認できる。また、バリ島南沖合では約 25 度の周辺よりも温度の低い海域があることも確認することができた。しきさいと MODIS の観測値の相互検証は行っていないため、しきさいと MODIS が観測した温度の数値自体の精度比較をすることはできない。しかし、MODIS の観測データを用いるよりも、しきさいで観測された海面水温の温度分布を用いる方が、特徴量の抽出および漁場の推定に有効である可能性を示した。

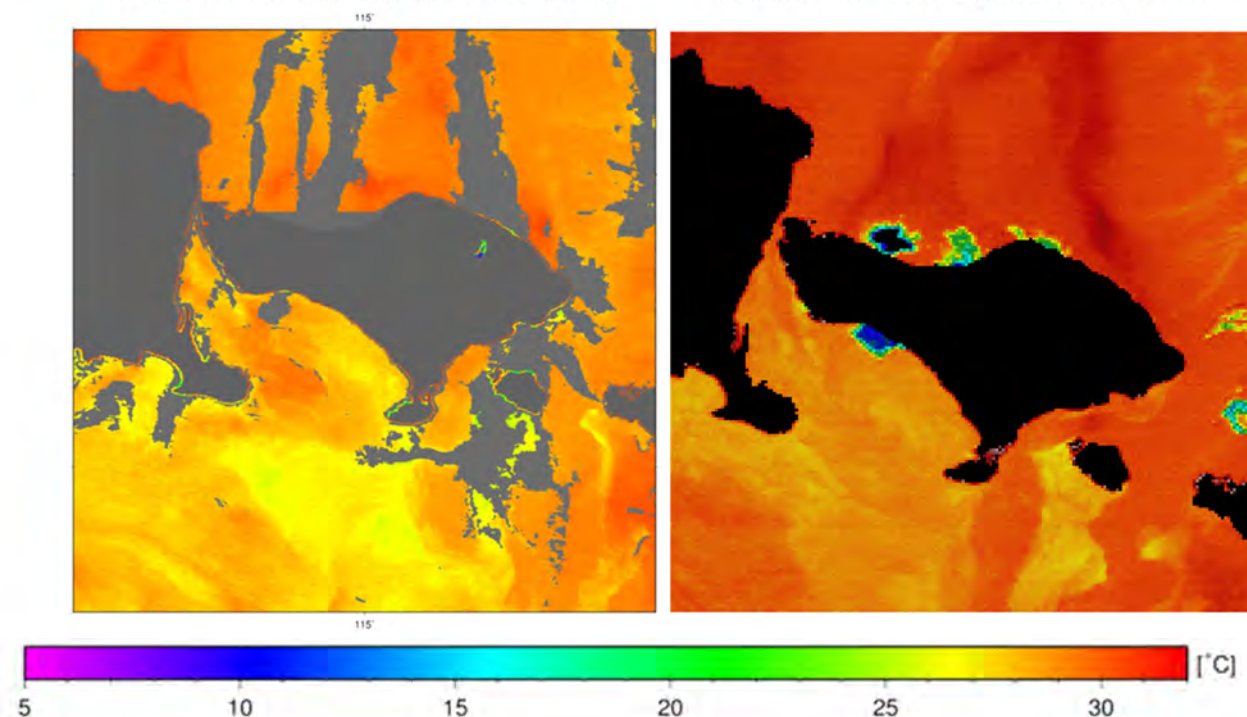


図 1-5 しきさいと MODIS 観測の海面水温の解像度の比較

左図がしきさい観測(解像度 250m)、右図が MODIS 観測(解像度 1km)。灰色もしくは黒色の部分は雲で覆われ観測できなかった箇所を示す。

#### c.4 ひまわり日データ作成・配信システムの開発・検証

現在ひまわり観測データは、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の「JAXA 分野横断型プロダクト提供システム (P-Tree)」より、研究目的に限り無償で利用することができる。一方、商業目的のひまわり観測データは、気象業務支援センター(JMBSC)から配布されている。社会実装のための本研究成果の実装(実運用)を考えた場合、JMBSC からデータを入手することが適切である。JMBSC からのデータを取得し日データの作成処理・提供が実用に適するよう、システムを開発する必要がある。本年度はシステムを開発し実用性の検証を行った。

ひまわり観測データは観測後データ作成先から取得できるようになるまで、約 15 分程度掛かるが、取得可能となる時間にもデータ作成先(JAXA、JMBSC)によって差がある。データの取得方法もデータ作成先によって差がある。JAXA はデータ配信サーバに対し、データ取得側から指定されたディレクトリに取りに行く必要がある。この時、処理されたデータがない場合は、再度取得しに行く必要がある。一方、JMBSC はデータ取得側が指定したディレクトリにデータが配信されるため、データ取得側から取りに行く必要がない。データ取得から日データ提供までの時刻を 2020 年 3 月 30 日 UT3 時 50 分の観測データを例として表 2 に示す。結果として、ひまわり観測データを取得してから日データ提供できるようになるまで、JAXA から取得した場合は観測から 25 分以上、JMBSC から取得した場合は観測から 20 分以内で可能となることが分かった。迅速なデータ提供の観点からも、本課題のためには JMBSC からひまわり観測データを取得する方が適していることを確認することができた。

表 2 データ作成先と取得可能時間の差(2020 年 3 月 30 日 UT3 : 50 観測)

| ファイル名                                           | 取得可能時刻 |       |
|-------------------------------------------------|--------|-------|
|                                                 | JAXA   | JMBSC |
| HS_H08_20200330_0350_B15_FLDK_R20_S0110.DAT.bz2 | 4:01   | 3:57  |
| HS_H08_20200330_0350_B15_FLDK_R20_S0210.DAT.bz2 | 4:01   | 3:58  |
| HS_H08_20200330_0350_B15_FLDK_R20_S0310.DAT.bz2 | 4:02   | 3:58  |
| HS_H08_20200330_0350_B15_FLDK_R20_S0410.DAT.bz2 | 4:01   | 3:57  |
| HS_H08_20200330_0350_B15_FLDK_R20_S0510.DAT.bz2 | 4:02   | 3:58  |
| HS_H08_20200330_0350_B15_FLDK_R20_S0610.DAT.bz2 | 4:05   | 4:00  |
| HS_H08_20200330_0350_B15_FLDK_R20_S0710.DAT.bz2 | 4:05   | 4:00  |
| HS_H08_20200330_0350_B15_FLDK_R20_S0810.DAT.bz2 | 4:05   | 4:01  |
| HS_H08_20200330_0350_B15_FLDK_R20_S0910.DAT.bz2 | 4:07   | 4:02  |
| HS_H08_20200330_0350_B15_FLDK_R20_S1010.DAT.bz2 | 4:07   | 4:02  |
| 取得完了時刻                                          | 4:10   | 4:03  |
| 日データ処理完了時刻                                      | 4:16   | 4:09  |

(JAXA に対しては、5 分毎にデータを取得しに行くため、取得完了は 5 分刻みになる。)

今回開発したひまわり海面水温の日データ作成の算出アルゴリズムは、表 1 に示した 10 バンドのデータが揃った後、処理開始となる。処理においては、計算機に負荷を掛けないために最小限の計算で済むようルックアップテーブル等を活用した。結果として、現状では約 6 分で処理が完了する。計算機の負荷についても、問題ないことを確認した。

JMBSC から送られてくるひまわり観測データを自動で処理し、日データを提供するシステムを検討・開発した。概略図を図 1-6 に示す。今後、社会実装に向けてシステムの冗長化やクラウド活用を検討することにより、運用を止めない、より強固なシステムにすることも検討する。

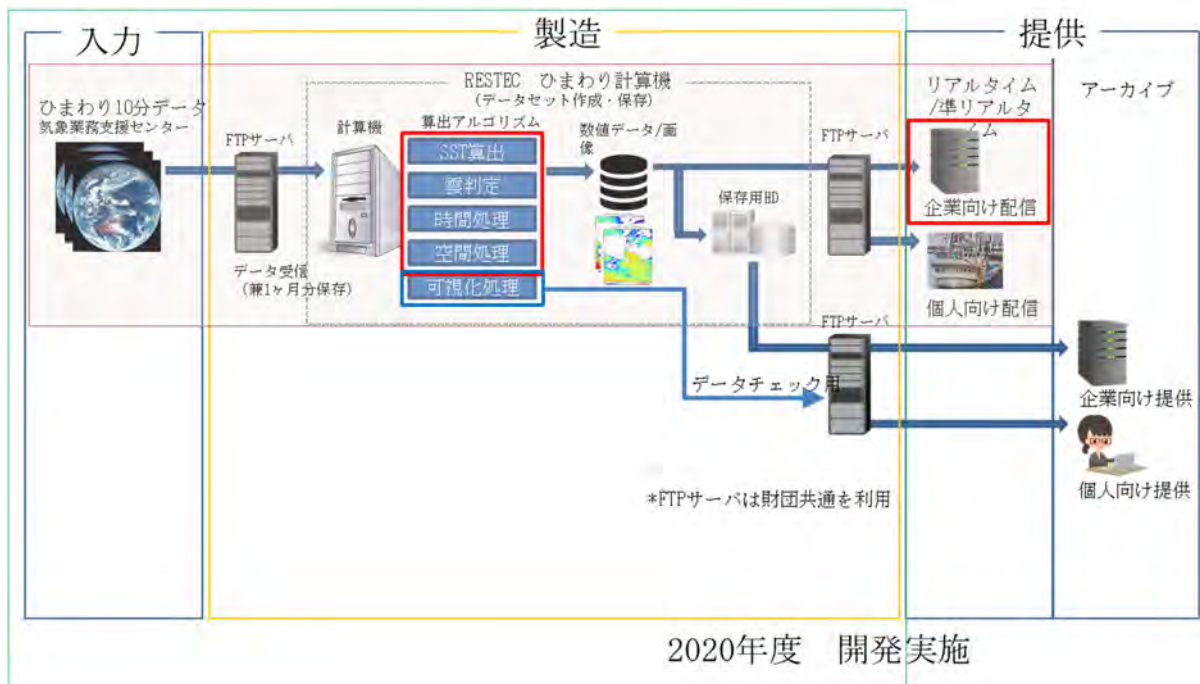


図 1-6 ひまわり海面水温 日データ処理提供システム概略図

#### c.5 機械学習を用いた海洋の特徴現象抽出

次に、機械学習を用いた海洋の特徴現象抽出について記述する。これまでに作成し、課題内で共有したひまわりひまわり衛星観測による日々の海面水温データを用いて、昨年度に開発を開始したフロントや渦などの海洋の特徴現象を抽出する手法について、今年度は Cayula and Cornillon (1992)の手法の拡張として、異なるサイズのウインドウを用いたフロント抽出を行い、それぞれのウインドウサイズについてフロント及びそれに関連する特徴量のデータを作成して、異なるウインドウサイズを用いた場合に抽出されるフロントのスケールや量などの特性を確認するとともに、このデータを「2.2 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」に提供して漁場推定モデルに導入することで、漁場推定に対するフロント情報の効果を評価した。（漁場推定に対するフロント情報の効果については 2.2 で記述する。）さらに、ひまわり衛星に加えて新たにしきさい衛星データを導入した場合の効果を、特徴現象の抽出精度、PFG(Potential Fishing Ground)推定精度について定量的な評価を行った。（このうち、しきさいデータを用いた場合の PFG 推定精度の評価については 2.2 で記述する。）

Cayula and Cornillon(1992)による海洋のフロント抽出アルゴリズムは、衛星観測による海面水温の画像データに対して正方形の window を設定して、その中にある各ピクセルの値からヒストグラムを作

成することにより、その境界を抽出することでフロントを同定する手法である。この手法では、抽出されるフロントの空間スケールが解析に使用したウインドウの大きさに依存しており、ウインドウサイズを変えることにより異なる空間スケールのフロントを抽出することができる。本課題では、空間解像度  $0.02^\circ$  (約 2km) のひまわり観測による海面水温 (SST) データに対して、解析ウインドウのピクセルサイズを、 $10 \cdot 15 \cdot 20 \cdot 30 \cdot 45 \cdot 60 \cdot 90 \cdot 120$  の 8 種類を用いて特徴現象抽出解析を行い、それぞれについてデータセットを作成した。図 1-7 は、日本周辺海域を含む北西太平洋海域において、上記のうち  $90 \times 90$  ピクセル、 $30 \times 30$  ピクセル、 $15 \times 15$  ピクセルの 3 種類のウインドウを用いた場合に抽出されたフロントを示したものである。図 1-7(上)で示した  $90 \times 90$  ピクセルの比較的大きなサイズのウインドウを用いた場合は、日本周辺海域においては、黒潮や親潮、津軽暖流水といった大規模スケールの海流に伴うはっきりとしたフロントのみが抽出されており、紀伊半島沖の黒潮大蛇行や、津軽海峡を通過した津軽暖流水が東北沿岸域で親潮と接触している様子が、幅の広いフロントとして捉えられていることがわかる。また、ウインドウサイズを小さくしていくことにより、小規模スケールの海況変動に対応したフロントが抽出されていく様子が図 1-7(中・下)に示されており、図 1(中)の  $30 \times 30$  ピクセルのウインドウを用いた場合は、黒潮変動に伴って形成された中規模渦が北海道東方沖や茨城県沖に存在している様子が捉えられている。一方で、図 1-7(下)の  $15 \times 15$  ピクセルのウインドウを用いた場合では、非常に細かいフロントまで抽

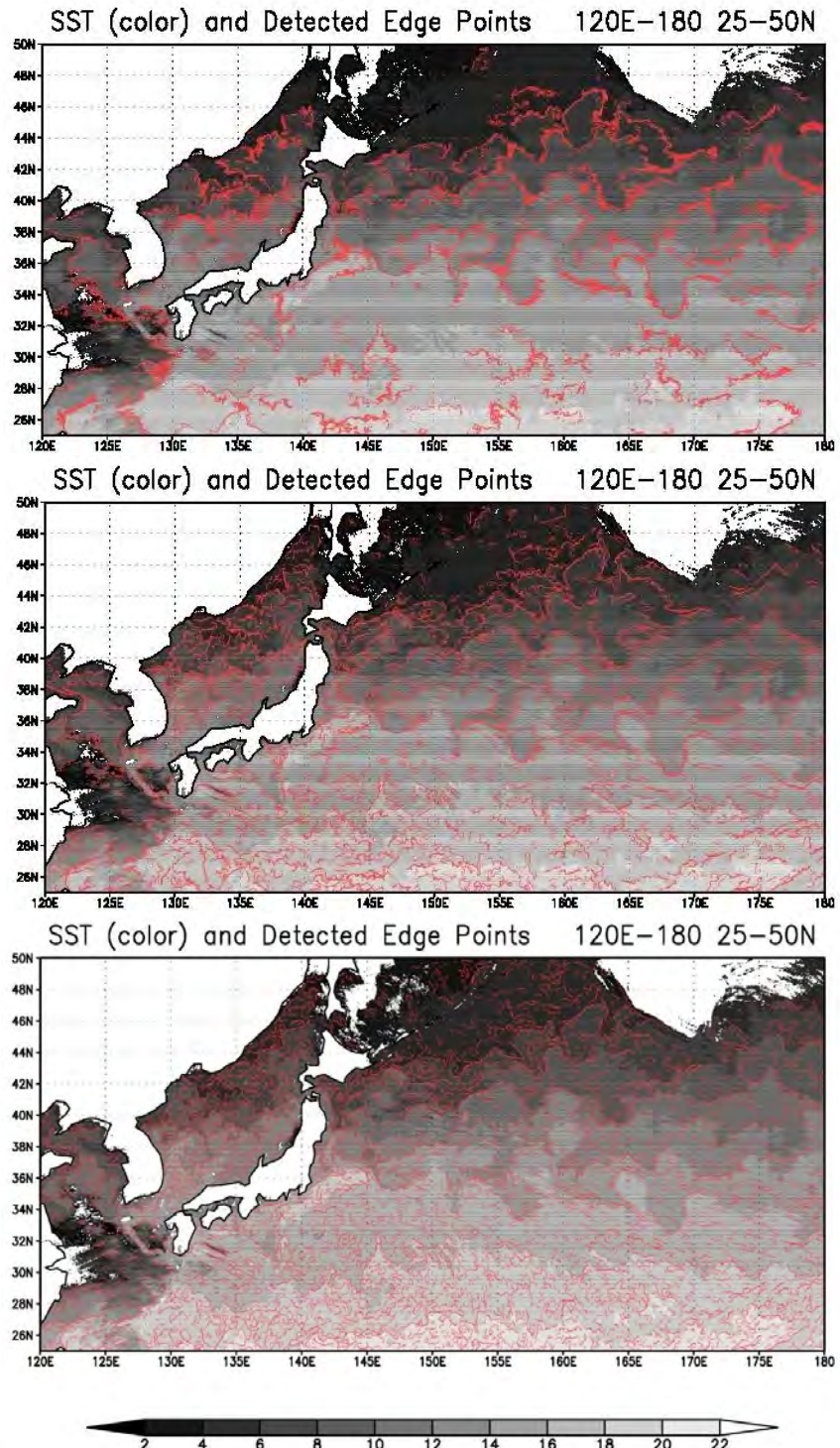


図 1-7. ひまわり SST データから抽出したフロントの事例(2019 年 1 月 10 日). 赤線が抽出されたフロントを、濃淡は海面水温を示す. (上) $90 \times 90$ 、(中) $30 \times 30$ 、(下) $15 \times 15$  のウインドウを用いた.

出されているが、衛星画像の雲除去の不備等により発生したノイズとみられるものもフロントとして抽出されている可能性が見られる。これらスケール別に抽出したフロントが漁場推定にどのような効果をもたらすかについては、その初期解析の結果を 2.2 節に示すとともに、次年度に解析を進めていくことで効果的なフロント抽出手法を確立していく予定である。

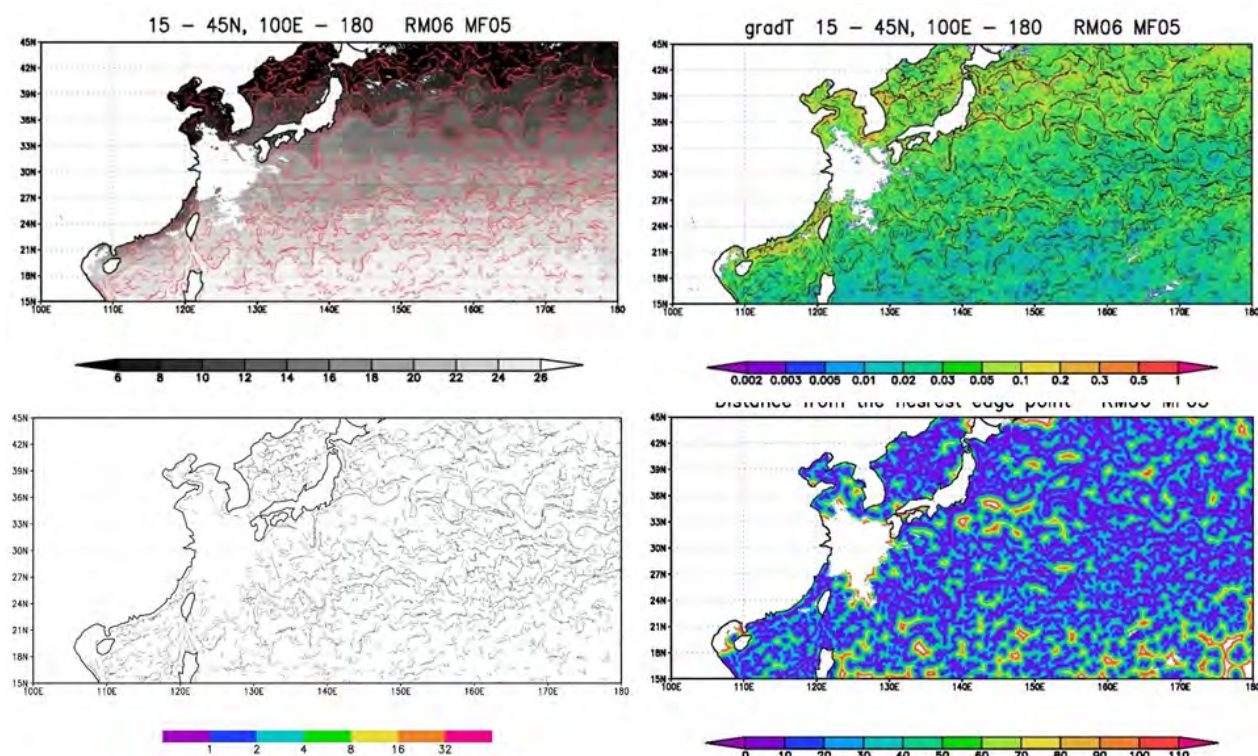


図 1-8. 抽出したフロントに関連する特徴量の分布事例. (左上)フロント位置(赤線), (右上)SST の水平勾配, (左下)フロントの robustness, (右下)最近接フロントからの距離.

更に、本手法で行ったフロント抽出に伴って計算されたフロントに関連する特徴量として、3 種類のデータを新たに作成した。その事例を図 2 に示す。図 1-8(左上)は 30\*30 ピクセルのウインドウを用いて作成したフロント位置を示したもので、図 1-7(上)の別事例を示したものであるが、図 1-8(右上)は同日の SST の水平勾配を示している。一般的にフロントは水温の水平方向の急激な変化によって特徴づけられるため、SST の水平勾配分布はフロントの重要な特徴量の一つである。次に、図 1-8(左下)にはフロントの robustness を示した。本課題で採用したフロント抽出法では、1 回の計算で各グリッドがフロントであるか／ないかの判定を行い図 1-8(右上)の赤線で示したデータが作成されるアルゴリズムとなっている。しかしながら、この手法では、フロントであるか／ないかの判定結果が、判定の対象となるグリッドが判定の際に用いたウインドウのどの部分に位置していたかに依存してしまうという問題点があり、同じ大きさのウインドウを用いた場合でも当該グリッドがウインドウ内のどの位置にあったかによってフロントと判定される場合とされない場合が生じてしまう。本課題では、同じ条件下で可能な限り多くのフロントを抽出するという観点から、30\*30 ピクセルのウインドウを東西・南北方向にそれぞれ 3 ピクセルずつスライドさせながら同様の計算を行い、1 度でもフロントであると判定された場合にはフロントとして同定するという手法を採用している。図 1-8 の事例の場合は 1 つのピクセルに対して 100 回の計算を行っているが、そのうちのフロントであると判定された回数を

「よりフロントとして判定されやすい」基準として **robustness** と定義した。つまり図 1-8(左下)は、ウインドウを少しずつ移動して 100 回の判定計算を行った際にフロントであると判定された回数を示している。黒潮などの明瞭なフロントでは **robustness** の値が高くなっていることがわかる。さらに、図 1-8(右下)は、各グリッドから最も近いフロントまでの距離を示したものである。これは、フロント直下でなくてもフロントの近傍であれば漁場推定に対して有効であるかどうかを検証するために作成した特徴量である。以上の 4 変数をフロント抽出に関連する特徴量として「2.2 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」に提供し、漁場推定に対する効果を検証する。検証結果については 2.2 に記述する。

次に、同様のフロント抽出解析をインドネシア周辺海域についても行った。以下に結果を示す。

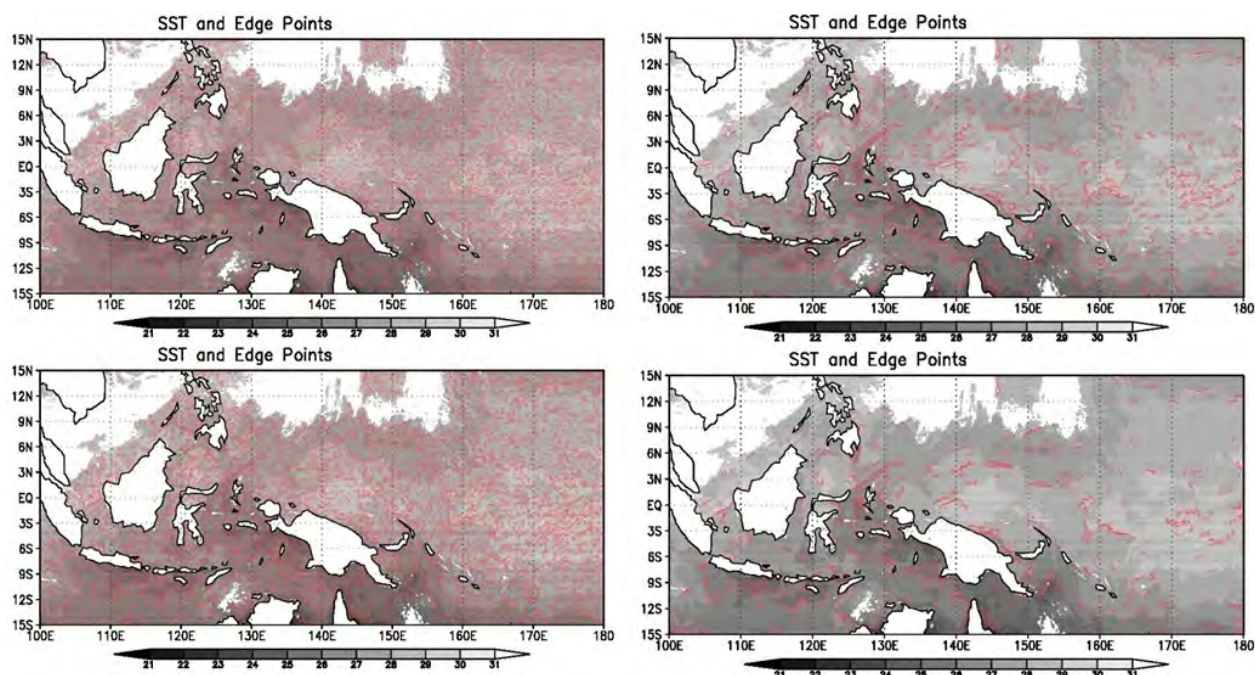


図 1-9. ひまわり SST データから抽出したフロントの事例(2015 年 7 月 7 日). 赤線がフロントを、濃淡は SST を示す. (左上)10\*10、(左下)15\*15、(右上)30\*30、(右下)45\*45 のウインドウ.

図 1-9 に、2015 年 7 月 7 日のひまわり SST データを用いて作成したフロント分布図を示す。それぞれ、左上が 10\*10、左下が 15\*15、右上が 30\*30、右下が 45\*45pixel のウインドウサイズで解析を行った結果である。北西太平洋海域と同様に、ウインドウサイズを小さくするほど細かいスケールのフロントを抽出しているという特徴が見られる。また、この図からわかる特徴として、ウインドウサイズが 15\*15 から 30\*30 に大きくする過程で抽出されるフロントの量が極端に減少することが挙げられる。このような特徴はこの海域特有なものであると考えられるが、15\*15 以下のウインドウサイズで抽出されるフロントが漁場推定に対して有効であれば、ひまわり観測による SST を漁場推定に適用する価値がある。同海域における漁礁推定についての初期解析の結果は 2.2 に記述する。

最後に、ひまわり衛星に加えて新たにしきさい衛星データを導入した場合の効果を、特徴現象の抽出精度について定量的な評価を行った結果を示す。ひまわり衛星データに対するしきさい衛星データの精度検証を行うため、カツオ漁が行われている東北沖で、しきさい衛星により広範囲に観測が行われた事例を抽出し、上記のフロント抽出法を適用した結果を比較した。図 1-10 は 2018 年 8 月 3 日に、

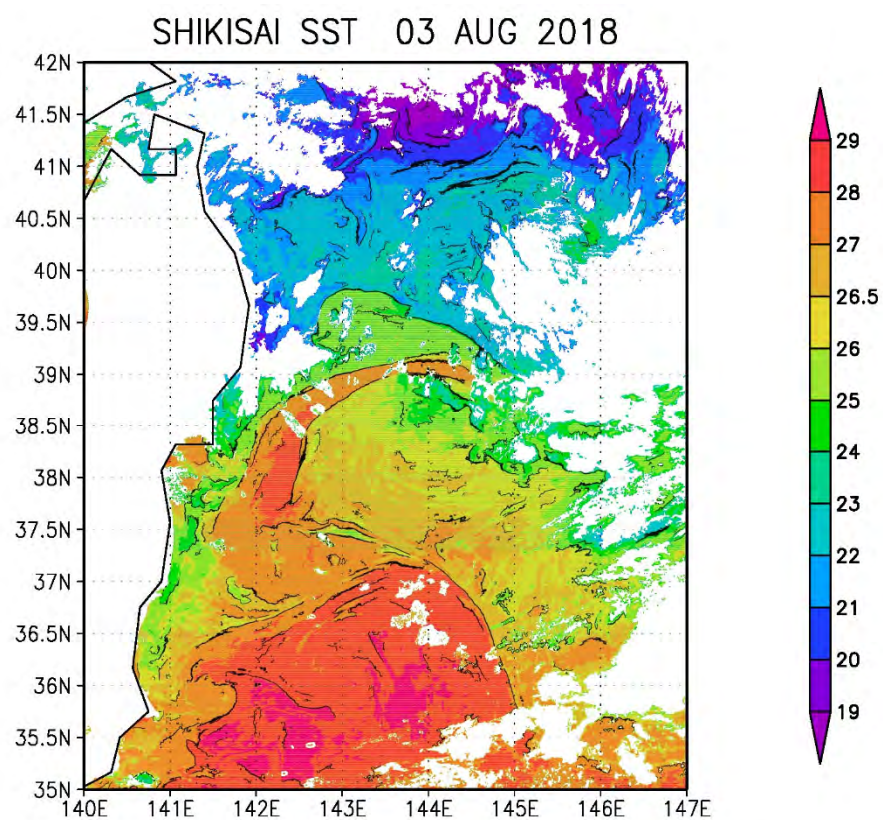
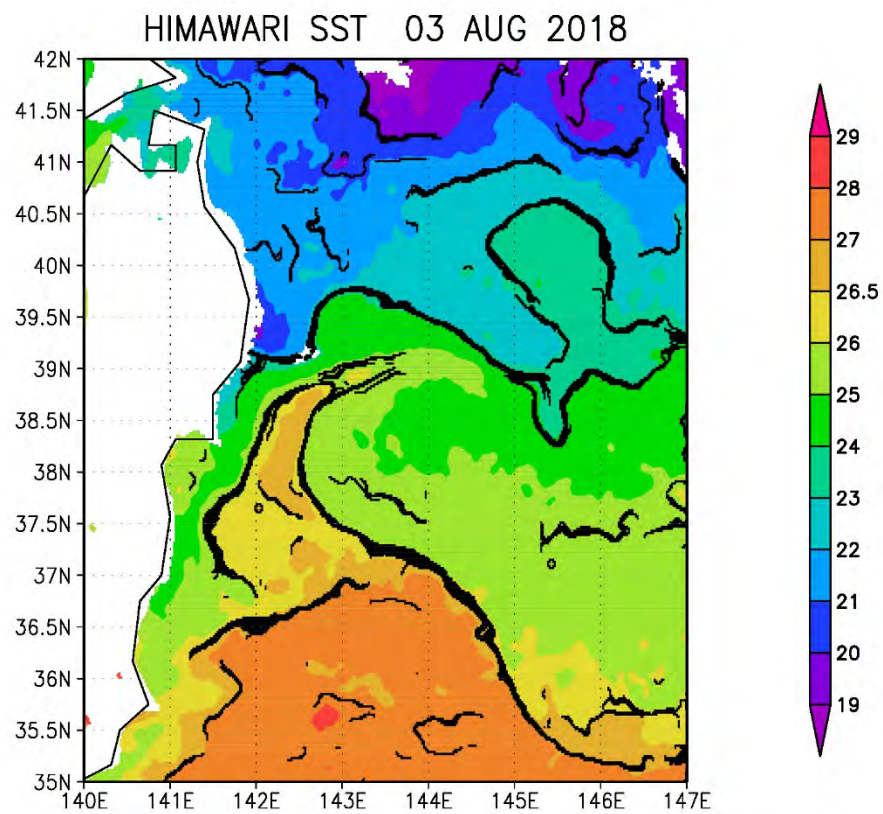


図 1-10. ひまわり衛星(上)及びしきさい衛星(下)で観測された 2018 年 8 月 3 日における東北沖の SST 及び抽出したフロント。黒線がフロントを、カラーは SST を示す。

ひまわり衛星及びしきさい衛星で観測された東北沖の SST とフロント抽出解析により抽出したフロント位置を示したものである。ひまわり衛星の SST データ（解像度  $0.02^{\circ} \times 0.02^{\circ}$ ）に対しては、 $30 \times 30$  pixel のウインドウを用いた結果を示しているのに対して、しきさい衛星の SST データ（解像度  $0.0025^{\circ}$ ）に対しては  $60 \times 60$  pixel のウインドウを用いて解析を行った。単純比較はできないが、ひまわり衛星に対してしきさい衛星の解像度が  $1/8$  で、用いたウインドウのサイズが 2 倍であるので、 $1/4$  相当のウインドウサイズでしきさい衛星の SST のフロント解析を行っていることになる。データの高解像度化に伴いノイズレベルも上昇すると考えられることから、ひまわり衛星及びしきさい衛星のどちらかの基準に合わせて解析を行っても必ずしも同基準での結果が得られるわけではないと考えられ、それぞれの衛星の特性を生かしたウインドウサイズの設定についてはさらに検討が必要であるが、ここでは図 1-10 に示した結果の比較を行う。図 1-10 のひまわり衛星・しきさい衛星どちらの SST 分布についても、黒潮の暖水が  $37^{\circ}\text{N}$ 、 $144^{\circ}\text{E}$  付近まで北上したのちに南下しており、さらに東北沖合に沿って  $39^{\circ}\text{N}$  付近までストリーム上に回り込んでいる様子が捉えられている。このストリーマに囲まれた領域が渦を形成しており、カツオ漁場になっていることが漁獲データから分かっている（SST 分布と漁場との関係については 2.2 に記述）。このような SST 分布に対して、黒潮やストリーマ、メソスケール渦に伴って形成されたフロントがひまわり衛星・しきさい衛星どちらの図についても抽出されている。両者の比較で、最も顕著な差として表れているのが、抽出されたフロントの幅である。ひまわり衛星の SST

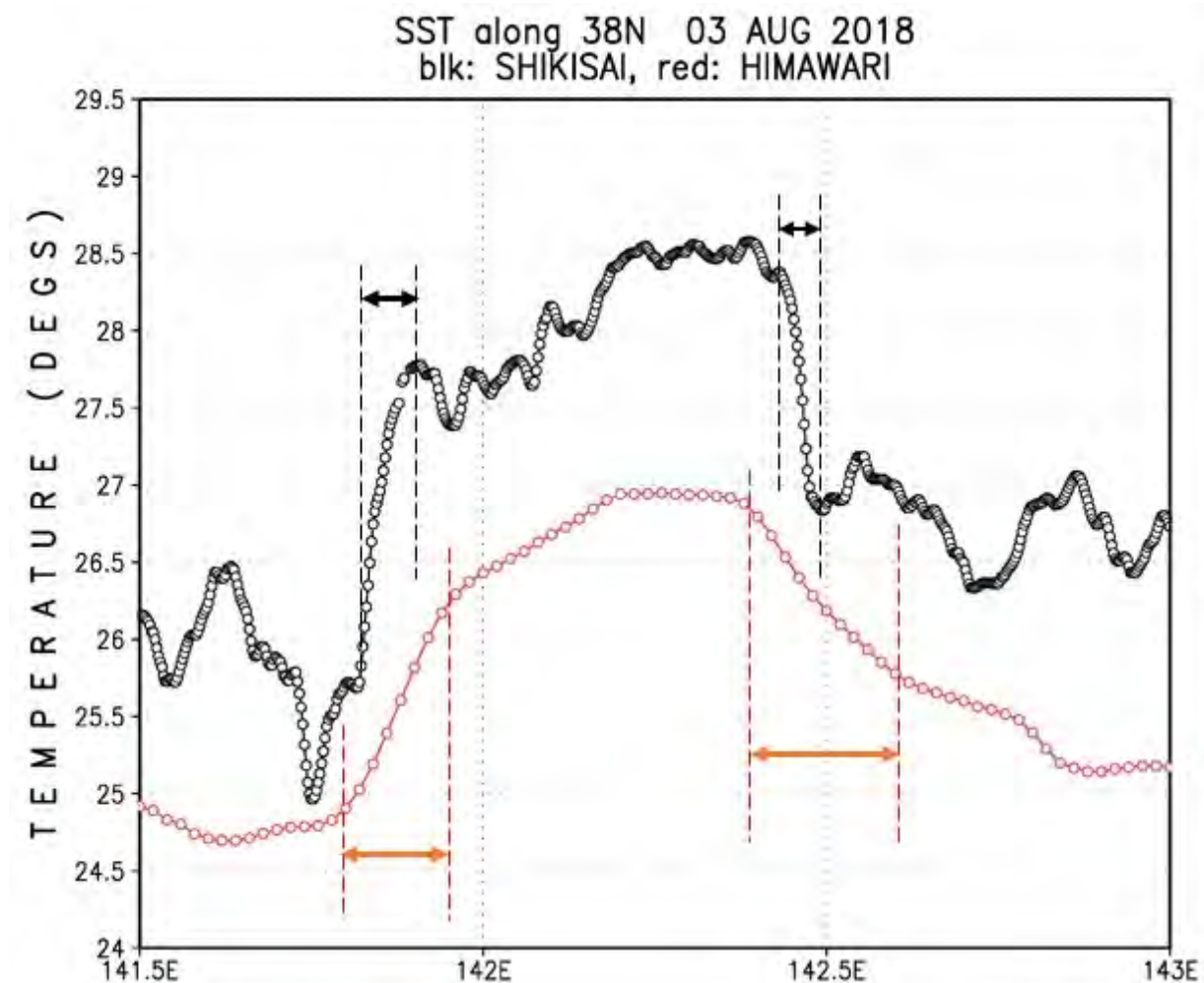


図 1-11. ひまわり衛星(上)及びしきさい衛星(下)で観測された 2018 年 8 月 3 日における  $38^{\circ}\text{N}$  に沿った SST の経度断面図。赤線がひまわり、黒線がしきさいの結果、 $\leftrightarrow$ がフロント位置を示す。

データから抽出されたフロントは黒潮、ストリーマとメソスケール渦の縁辺部の一部を捉えているが、いずれについてもある程度の幅を持った線分で示されているのに対して、ひまわり衛星の SST データから抽出されたフロントは、同じ現象が細い線分で示されており、一部では二重線になる等の詳細な構造も表現されている。前述の通り、一般的に小さなサイズのウインドウを用いて解析すると抽出されるフロントは細い線分で表現されるため、部分的にはその影響が見られていると考えられるが、両者に見られる差の主な原因はウインドウサイズの違いではない。

図 1-11 は、図 1-10 と同じ事例について、ストリーマを形成する 2 つのフロントをまたぐ  $38^{\circ}$  N に沿った SST の経度断面図をひまわり衛星・しきさい衛星のそれぞれについて示したものである。図中の矢印で示した部分がフロントと同定された領域を示しているが、しきさい衛星のフロント部分では非常に狭い領域で大きな水温差が観測できているのに対して、ひまわり衛星のフロント部分では SST がなだらかな勾配を示しており、その差がそのままフロント幅に反映されていることがわかる。ひまわり衛星でフロントと同定された領域では SST の勾配がほぼ一定と見られることから、この幅をもってフロントと同定することは、フロント抽出法としては適切であると言える。2 つの衛星観測に見られる SST 分布の違いがフロント抽出結果にも適切に反映できていることが、図 1-11 により示されている。

同事例において、漁場探索領域と推定される  $35\text{-}40^{\circ}\text{N}$ 、 $140\text{-}145^{\circ}\text{E}$  の領域（詳しくは 2.2 参照）において、ひまわり衛星・しきさい衛星それぞれの結果についてフロントであると同定されたグリッド数から平均的なフロントの幅を概算で見積もった。その結果、領域内でフロントと同定された pixel 数はひまわり衛星で 258688 pixel に対して、しきさいでは 88491 であった。ここで同領域内に存在するフロントの全長が同一であると仮定するとフロント幅の比率は 2.92 となり、しきさい衛星で同定されたフロント幅はひまわり衛星のものに対して約 3 分の 1 程度となると見積もられた。実際には、フロントの全長はしきさい衛星の方が長いと考えられるので、この比率はさらに大きくなると推定される。また、図 1-11 に示した 2 つのフロント幅は、しきさい衛星のフロントが 6-8km 程度であるのに対して、ひまわり衛星のフロントは 15-20km 程度と推定されることともある程度整合する。カツオ漁船の探索時の船速が 12km/h 程度と考えられるので、ここで見られたひまわり衛星としきさい衛星のフロント幅の差は、これをターゲットとして漁場探索を行う場合には 1 時間程度の探索時間の差として現れる可能性がある。

しきさい衛星は極軌道のため、ひまわり衛星のような高頻度観測は期待できず、雲などの影響により必ずしも必要な観測データをいつでも得られるわけではないが、上記に示した事例のように、漁場となるターゲットエリアをある程度広範囲に観測できた場合には、そのデータを導入してフロント抽出解析を行いマッピングすることで、漁海況の把握に対して有効であることが示された。

#### d.引用文献

Cayula, J-F. And P. Cornillon, 1992, Edge detection algorithm for SST images. Journal of Atmospheric and Oceanic technology, 9, 67-80.

**e.成果の発表**

**e.1 論文・著書等**

なし

**e.2 口頭・ポスター発表**

関岡信一、荒井頼子(2019) ひまわり・しきさいのカツオ漁業での有効性. 2019 年度水産海洋学会  
研究発表大会シンポジウム「ひまわり・しきさい衛星と AI で変わるカツオ漁のこれから」. 宮城.  
2019 年 11 月 8 日

**e.3 知財**

なし

**e.4 その他**

なし

## 2.2 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

担当者：五十嵐弘道<sup>1</sup>、石川洋一<sup>1</sup>、蒲地政文<sup>1</sup>、石崎廣<sup>1</sup>、齊藤誠一<sup>2</sup>

実施機関：<sup>1</sup>国立研究開発法人海洋研究開発機構，<sup>2</sup>国立大学法人北海道大学北極域研究センター

### a.要約

平成 30 年度に引き続き、解析対象領域の海洋モデルデータを収集した。気象庁の海洋モデル MOVE(Multivariate Ocean Variational Estimation)、欧州連合の海洋モデル NEMO(Nucleus for European Modeling of the Ocean) を用いて、北西太平洋及びインドネシア沿岸域の海面高度・水温・塩分・流速（東西・南北）の日データを 2019 年 3 月から 2020 年 2 月の期間について収集し、NAS に格納することにより、実施機関間でデータを共有した。また、平成 30 年度に引き続き、日本漁船の操業海域におけるカツオの好適生息域を算出するハビタットモデルを作成し精度の向上を図った。その成果として、「2.1 特徴抽出による PFG 推定」で作成した特徴現象データを入力値として採用することで PFG 推定精度が向上することが示された。また、「2.3 インドネシアにおける実装準備」から提供されるインドネシア沿岸域での漁場位置・漁獲データ、ひまわり衛星データ及び NEMO 海洋モデルデータを用いて統合解析を行い、インドネシア沿岸域におけるカツオ・マグロ等の好適生息域を算出するハビタットモデルを試作し精度検証を行った。具体的には、インドネシアにおける 715 漁業管理区域（モルッカ海・セラム海・ハルマヘラ海）のカツオ巻網漁業を対象とした漁場推定モデルを試作し、ひまわり衛星観測による海洋表層データと欧州連合の海洋モデル NEMO による亜表層データを組み合わせて用いることで実用化に必要な漁場推定精度を確保できることが示された。さらに「2.1 特徴抽出による PFG 推定」におけるしきさい衛星データを用いた効果について、PFG(Potential Fishing Ground)推定精度の定量的な評価を行った。その結果として、しきさい衛星データを用いてマッピングすることで黒潮周辺領域での漁場探索エリアを 1/2 に縮小できる事例があることが示され漁場推定が高精度化することを確認した。

### b.令和元年度研究計画

平成 30 年度に引き続き、解析対象領域の海洋モデルデータを収集する。北西太平洋は気象庁の海洋モデル MOVE(Multivariate Ocean Variational Estimation)、インドネシア沿岸域については欧州連合の海洋モデル NEMO(Nucleus for European Modeling of the Ocean)を収集する。また、平成 30 年度に引き続き、日本漁船の操業海域におけるカツオの好適生息域を算出するハビタットモデルを作成し精度の向上を図るとともに、インドネシア沿岸域での漁場位置・漁獲データ、ひまわり衛星データ及び海洋モデルデータを用いて統合解析を行い、インドネシア沿岸域におけるカツオ・マグロ等の好適生息域を算出するハビタットモデルを試作し精度検証を行う。

### c.令和元年度研究成果

令和元年度は、まず日本及びインドネシアの研究対象海域におけるカツオ・マグロ等の研究対象魚種に対するハビタットモデル構築に必要なデータとして、北西太平洋は気象庁の海洋モデル MOVE(Multivariate Ocean Variational Estimation)の日データを 2019 年 3 月から 2020 年 2 月までの期間について

て、インドネシア沿岸域については欧州連合の海洋モデル NEMO(Nucleus for European Modeling of the Ocean)の日データを 2015 年 7 月から 2020 年 2 月の期間について収集し NAS に格納することで、課題内でデータを共有した。尚、インドネシア沿岸域については、米国の海洋モデル HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model)のデータを使用することを当初予定としていたが、データの品質について昨年度検討した通り、本研究対象となる北西太平洋及びインドネシア海域での再現性に対して疑問の余地があるのに対して、NEMO については当該領域での再現性が良く、特にインドネシア海洋調査研究所 IMRO(Institute for Marine Research and Observation)から NEMO の使用を強く求められたことから、本課題では、NEMO の日データをモデル構築に使用することに決定した。

次に、日本漁船の操業海域におけるカツオの好適生息域を算出するハビタットモデルについて記述する。H30 年度は、2004 年におけるカツオ漁船の日々の漁場位置データをテストデータとして用いることで漁場推定モデルを試作したが、今年度は、昨年度に入手した 2016-2017 年における AIS 及び VMS によるカツオ漁船位置情報から特定したカツオ漁場データ及び宮崎県水産試験場から提供を受けた QRY 無線による漁場位置報告データを用いて漁場推定モデルを作成し、実際の漁場位置観測データとの比較によりモデル性能を検証した。モデルの作成に利用した機械学習アルゴリズムは、昨年と同様に MAXENT を使用した。MAXENT は、機械学習モデルの一つで不完全な観測情報化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。

モデル構築に使用したデータは、2016-2017 年におけるカツオ漁船の日々の漁場位置データ、ひまわり衛星観測データ及び MOVE 海洋再解析データである。海洋環境データとしては、ひまわり衛星観測データについては海面水温 (SST) に加えて、2.1 の図 1-8 に示したフロント位置、SST の水平勾配、フロントの robustness、最近接フロントからの距離の計 5 種類を入力値として用いた。フロント抽出に用いたウインドウサイズは 30\*30pixel である。さらに MOVE 海洋再解析データについては海面高度に加えて、海面・50m 深・100m 深・150m 深における水温・塩分の合計 9 要素を使用した。ただし SST については、ひまわり衛星観測データに欠測がある場合に欠測値を埋める形で使用したので、モデルへの入力値としては 8 要素となり、計 14 要素を環境データとして使用した。MAXENT を用いて構築したカツオの分布推定モデルに対して、2018 年の海洋環境を適用することによりカツオの漁場分布を推定し、実際の漁場位置分布との整合性を検証した。また今年度は、カツオの季節回遊に伴う海洋環境との対応関係の変化を考慮して次年度の実証試験に適用できる漁場推定モデルを構築する目的で、MAXENT モデルを 4 - 9 月の各月ごとに作成しモデルパフォーマンスを検証した。

衛星観測や海洋モデルから得られる海洋環境と、漁船の GPS 観測から得られる漁場位置データとの統計的な関係を探索するモデルとして、機械学習や AI を含む様々なアルゴリズムが過去の研究で提唱されているが、2019 年 10 月にカナダのビクトリアで開催された国際会議 PICES(North Pacific Marine Science Organization) Annual Meeting 2019 に参加し、海洋における高次捕食者の分布推定に関するセッションで、カツオ・マグロ類研究の国際的な中心研究機関である米国大気海洋庁の太平洋島弧漁業科学センターと南西漁業科学センターの研究者による発表から情報収集を行うとともに太平洋島弧漁業科学センター所長の Michel Seki 氏らと議論を行った。その結果得られた知見として、本研究で採用している最大エントロピー法による機械学習アルゴリズム MAXENT は、本来のアルゴリズムの特性としては解析対象魚種が“在”であるための環境としての好適度を推定するもので、「漁場」を推定することに特化しているわけではないが、モデル構築の際に使用する“在”データとして「漁場である位

置」を使用することで、ある程度の豊度を必要とする「漁場」の推定に対しても有効であることを、発表された研究事例から確証を得た。ただし、カツオの季節回遊に伴う漁場分布の変化によって好適な海洋環境との対応関係が変化するのではないかという指摘を受けたため、これを考慮して月ごとに MAXENT モデルを構築することで対応することとした。

図 1 は、MAXENT カツオモデルを 2018 年の日々の海況データに適用して作成したカツオ漁場推定図を示している。MAXENT カツオモデルは 4 月から 9 月まで月別に 6 つのモデルを作成しており、

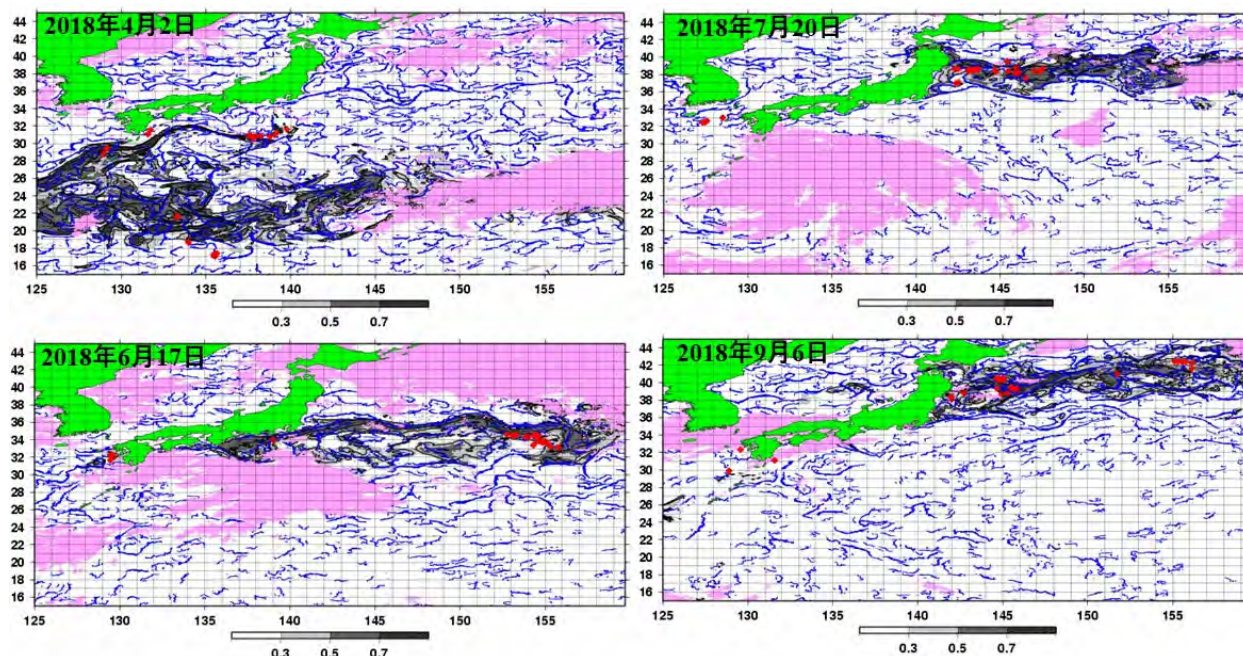


図 1. MAXENT カツオモデルによるカツオ漁場推定図. 白黒の濃淡がカツオの好適度を示す. 青線はモデル構築に使用した SST フロント、赤点は実際の操業位置、ピンクは雲による欠測を示す.

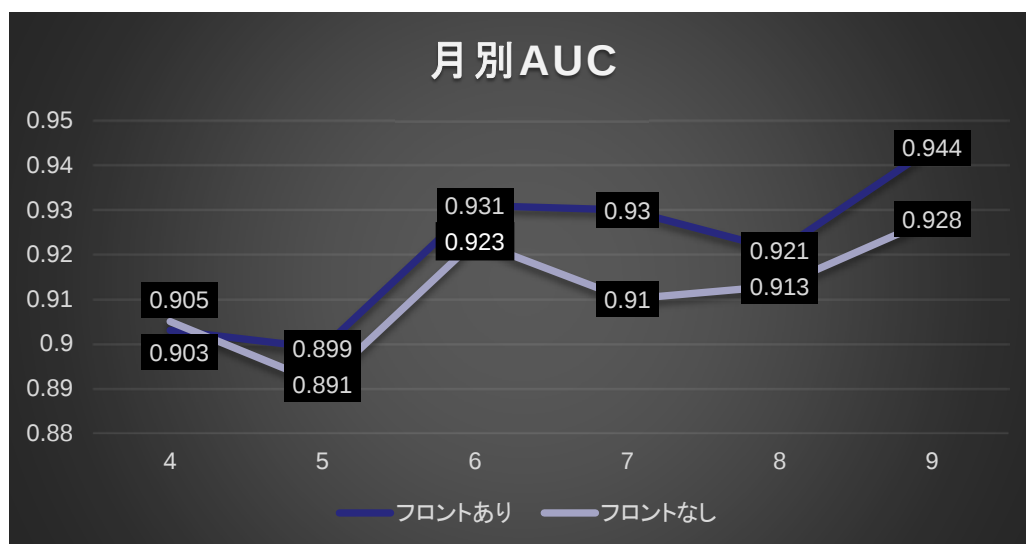


図 2. MAXENT カツオモデルの月別 AUC. モデル構築の際に SST フロントに関連する 4 変数を使用した場合（濃紺）と使用しなかった場合（薄紫）を示す. 横軸は月（4－9 月）.

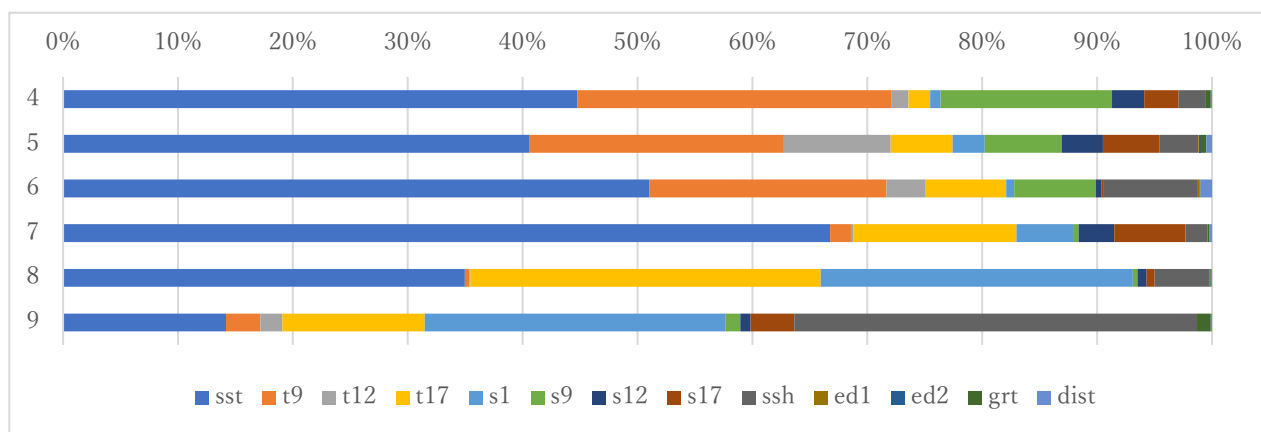


図 3. 各月の MAXENT カツオモデルについての各環境変数の貢献度(%). 変数は凡例の左から海面水温(SST), 50m 水温(t9), 100m 水温(t12), 150m 水温(t17), 表面塩分(s1), 50m 塩分(s9), 100m 塩分(s12), 150m 塩分(s17), 海面高度(ssh), フロント位置(ed1), フロントの robustness(ed2), SST の水平勾配(grt), 最近接フロントからの距離(dist).

モデルとしては月を跨ぐことで情報のやり取りのない状態となっているが、特別な処理を施さなくても月替わりで分布域がジャンプするような断絶は見られずシームレスにつながっていることが確認できている。日本周辺海域におけるカツオ漁は 1 月に南方海域で操業が開始され、カツオの北上回遊に伴って季節を追うごとに操業域も北上していく。図 1 では、4 月初旬に 20°N 周辺及び九州の南方沖、静岡県沖の黒潮流軸付近で操業が行われているが、6 月中旬には一度、東方沖の 155°E 付近の黒潮続流まで操業位置が移動し、夏から秋にかけては東北沖の黒潮に伴い発生するメソスケール渦の周辺で操業が行われている様子がわかるが、白黒の濃淡で示した MAXENT カツオモデルによる漁場推定結果は、モデル構築には使用していない赤点の操業位置をある程度正確に推定できていると考えられる。

次に、構築した MAXENT カツオモデルの性能について結果を示す。図 2 は、月別に作成した MAXENT カツオモデルの AUC を示したものである。AUC(Area Under the Curve)は、統計モデルの性能を 2 次元グラフ化した ROC(Receiver Operating Characteristic)曲線のうち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。図 2 にはモデル構築の際に、SST フロントに関連する 4 変数（フロント位置、フロントの robustness、SST の水平勾配、最近接フロントからの距離）を使用した場合（14 変数）と使用しなかった場合（9 変数）の結果を示している。モデルの AUC は、最低値の 5 月でも 0.891 を示しており、いずれのモデルについても分布推定性能は問題ないと考えられるが、SST フロントに関連する変数を用いた場合には用いない場合に対して 4 月以外の全ての月で AUC の値が増加しており、SST フロントの情報をモデル構築に用いることでカツオの漁場推定精度が向上することが示された。次に図 3 には、モデルの入力値として使用した各環境変数の貢献度を示した。使用した 14 変数のうち、海面水温の貢献度が高い値を示しており、この海域におけるカツオの好適生息域を推定するためには海面水温が非常に重要な情報を持っているという結果は、昨年度に試作したモデルの結果と整合的である。しかしながら、図 3 をさらに詳しく見ると、その貢献度が月により大きく変動しており、例えば SST では 4 月から 7 月にかけて 40%から 65%程度まで貢献度が上昇しているが、8 月には 35%程度に落ち込み 9 月には 15%程度まで下降している。また 4-6 月には 50m 水温の貢献度が 20%程度あり、この 3 か月間については SST と 50m 水温の 2 変数だけでカツオ漁場推定の約 70%程度が推定されているのに対して、7 月以降

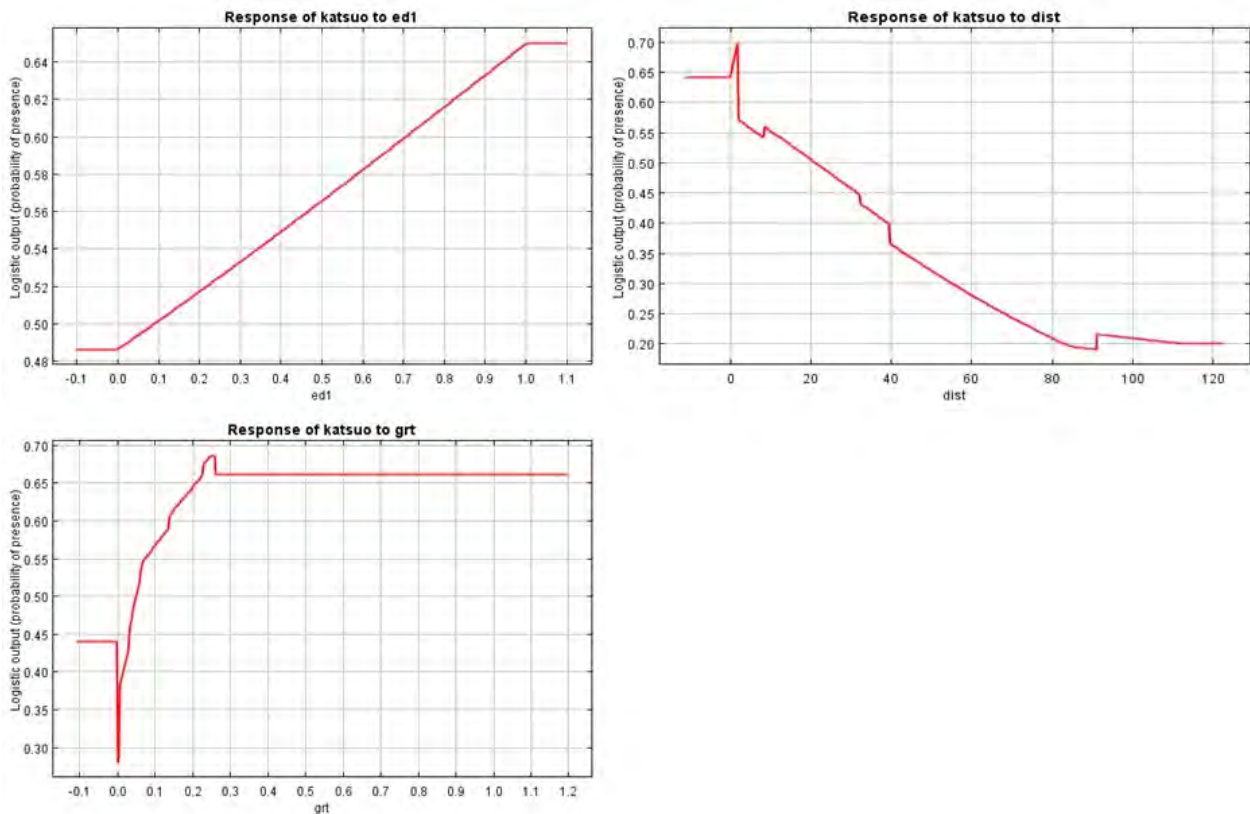


図 4. 8 月の MAXENT カツオモデルについて、フロント位置（左上）、SST の水平勾配（左下）、最近接フロントからの距離（右上）のカツオ漁場位置に対するレスポンス．縦軸が HSI(Habitat Suitability Index)、横軸が各変数の値を示す．

は 150m 水温や海面塩分・海面高度の情報を使って漁場推定が行われており、季節によって各変数の貢献度に大きな変動があることが新知見として示された。

さらに、カツオ漁場推定モデルに導入したフロントに関連する変数についての検証結果を示す。図 4 は、8 月における MAXENT カツオモデルに導入したフロントに関連する変数のうちフロント位置、SST の水平勾配、最近接フロントからの距離の 3 変数についてのカツオ漁場位置に対するレスポンスを示したものである。まず図 4(左上)は、対象グリッドがフロントである場合 ( $ed1=1$ ) とフロントではない場合 ( $ed1=0$ ) の HSI 値を示しており、対象グリッドがフロントである場合には、フロントではない場合と比較して HSI 値が 0.16 程度高くなることがわかる。同様に図 4(左下)を見ると、SST の水平勾配が  $0^{\circ}\text{C}$  から  $0.3^{\circ}\text{C}$  の間で HSI 値に差が生じ、 $0.3^{\circ}\text{C}$  以降は一定値となることがわかる。さらに図 4(右上)では、対象グリッドがフロント上ではなくてもフロントに近接しているほど HSI 値が高くなることを示しており、フロントからの距離が 0-80km の間に 0.5 程度の HSI の差が生じることがわかる。これらの結果は、8 月以外の月についても基本的には同様の傾向が見られることが確認された。このように、ひまわり衛星観測による SST データを解析してフロント抽出を行い、カツオ漁場推定モデルに入力変数として導入することにより、カツオ漁場推定が高精度化することが示された。

続いて、インドネシアにおける 715 漁業管理区域（モルッカ海・セラム海・ハルマヘラ海）を中心

としたカツオ巻網漁業を対象とした漁場推定モデルを試作した結果について記述する。今年度は、研究協力機関であるインドネシア IMRO により提供された 2016-2019 年における 14 隻の巻き網漁船が VMS(Vessel Monitoring System)で観測した 1 時間ごとの位置情報から推定した漁場位置データを用いて漁場推定モデルを作成し、実際の漁場位置観測データとの比較によりモデル性能を検証した。図 5 に、VMS 位置情報から漁場を抽出した事例を示す。モデルの作成に利用した機械学習アルゴリズムは、日本周辺海域のカツオ漁場推定と同様に MAXENT を使用した。

モデル構築に使用したデータは、2016-2019 年における巻き網漁船の日々の漁場位置データ、ひまわり衛星観測データ及び NEMO モデルデータである。海洋環境データとしては、ひまわり衛星観測デ

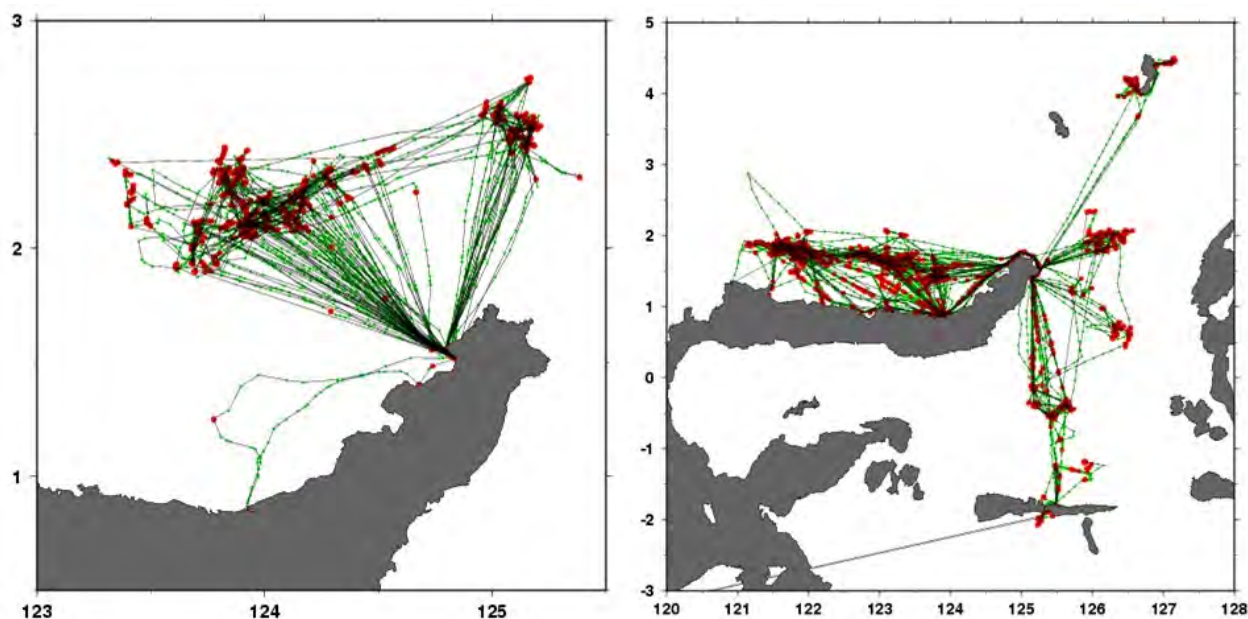


図 5. カツオ巻き網漁船の VMS 位置データから漁場位置を推定した事例。図中の黒線と緑点が各漁船の航跡を示している。このうち推定された漁場位置を赤点で示す。

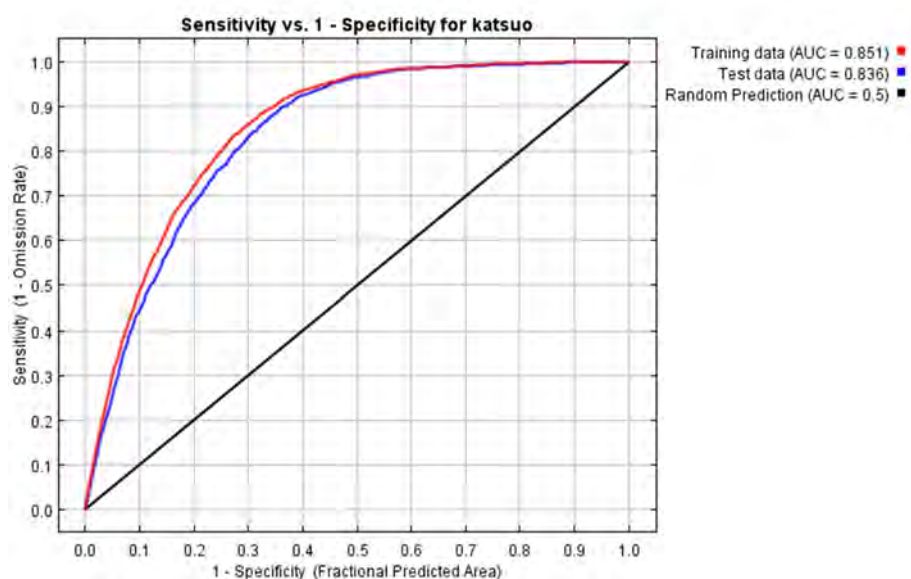


図 6. インドネシア巻き網漁業 MAXENT モデルの ROC 曲線

ータについては海面水温（SST）及びフロントに関連する変数（ウインドウサイズは 30\*30pixel）のうちの 3 変数（フロント位置、SST の水平勾配、最近接フロントからの距離）の 4 種類に加えて、クロロフィル a 濃度を入力値として用いた。クロロフィル a 濃度については、ひまわり衛星のセンサ性能に起因すると考えられる人工的な東西の縞模様が見られるため、本課題では、オリジナルデータにフィルタリング操作を施すことにより、この人工的な縞模様を除去したプロダクトを作成するとともに、フィルタリング操作の過程で抽出されたプロダクトとして、クロロフィル a 濃度のうち小規模スケール（東西・南北に 12°以下のスケール）で変動する成分を取り出したものを作成し、この 2 変数を加えて計 6 変数を使用した。さらに NEMO モデルデータについては海面高度に加えて、海面・25m 深・50m 深・100m 深・150m 深・200m 深における水温・塩分の合計 13 要素を使用した。ただし SST については日本周辺海域の場合と同様に、ひまわり衛星観測データに欠測がある場合に欠測値を埋め

表 1. インドネシア MAXENT モデルにおける入力変数の貢献度と Permutation Importance. 単位は%.

入力変数は海面高度(ssh),海面水温(sst),海面塩分(s1), 25m 深水温(t2),25m 深塩分(s2)50m 深水温(t3),50m 深塩分(s3),100m 深水温(t4),100m 深塩分(s4),150m 深水温(t5),150m 深塩分(s5),200m 深水温(t6),200m 深塩分(s6),フロント位置(ed),SST の水平勾配(grt)、最近接フロントからの距離(dist),クロロフィル a 濃度(chla),クロロフィル a 濃度の小規模スケール変動成分(chll).

| Variable | Percent contribution | Permutation importance |
|----------|----------------------|------------------------|
| t3       | 15.5                 | 10.9                   |
| s6       | 14.1                 | 8.4                    |
| ssh      | 11                   | 13.1                   |
| chla     | 9.2                  | 14.4                   |
| t4       | 8.4                  | 2.5                    |
| t5       | 7.8                  | 2.3                    |
| t6       | 5.9                  | 10                     |
| sst      | 5.4                  | 4                      |
| s3       | 4.5                  | 6.6                    |
| s2       | 4.1                  | 6.4                    |
| s1       | 3.5                  | 4.6                    |
| s4       | 3.4                  | 4                      |
| chll     | 3.2                  | 6.4                    |
| s5       | 1.7                  | 2                      |
| dist     | 1.2                  | 2.4                    |
| t2       | 0.5                  | 0.7                    |
| ed       | 0.2                  | 1.2                    |
| grt      | 0                    | 0                      |

る形で使用し、モデルへの入力値としては 12 要素となり、計 18 要素を環境データとして使用した。MAXENT を用いて構築したカツオの分布推定モデルに対して海洋環境を適用することによりカツオの漁場分布を推定し、実際の漁場位置分布との整合性を検証した。まず、構築した MAXENT カツオモデルの性能検証について結果を示す。図 6 は、作成したインドネシア巻き網漁業 MAXENT モデルの ROC 曲線を示したものである。学習データ・テストデータのどちらについても黒線からは大きく離れて左上に位置しており、AUC も 0.84 という数値であることから、まだ改良の余地はあるもののモデルの分布再現性能に問題はない。次に表 1 は、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 を示したものである。使用した 18 変数のうち、SST の貢献度は 8 番目の 5% 程度で高い値を示しておらず、50m 深水温や 200m 深塩分など亜表層の環境変数の貢献度が高い。特筆すべきは、クロロフィル a 濃度の貢献度が 4 番目の 9.2% と高い値を示しており、インドネ

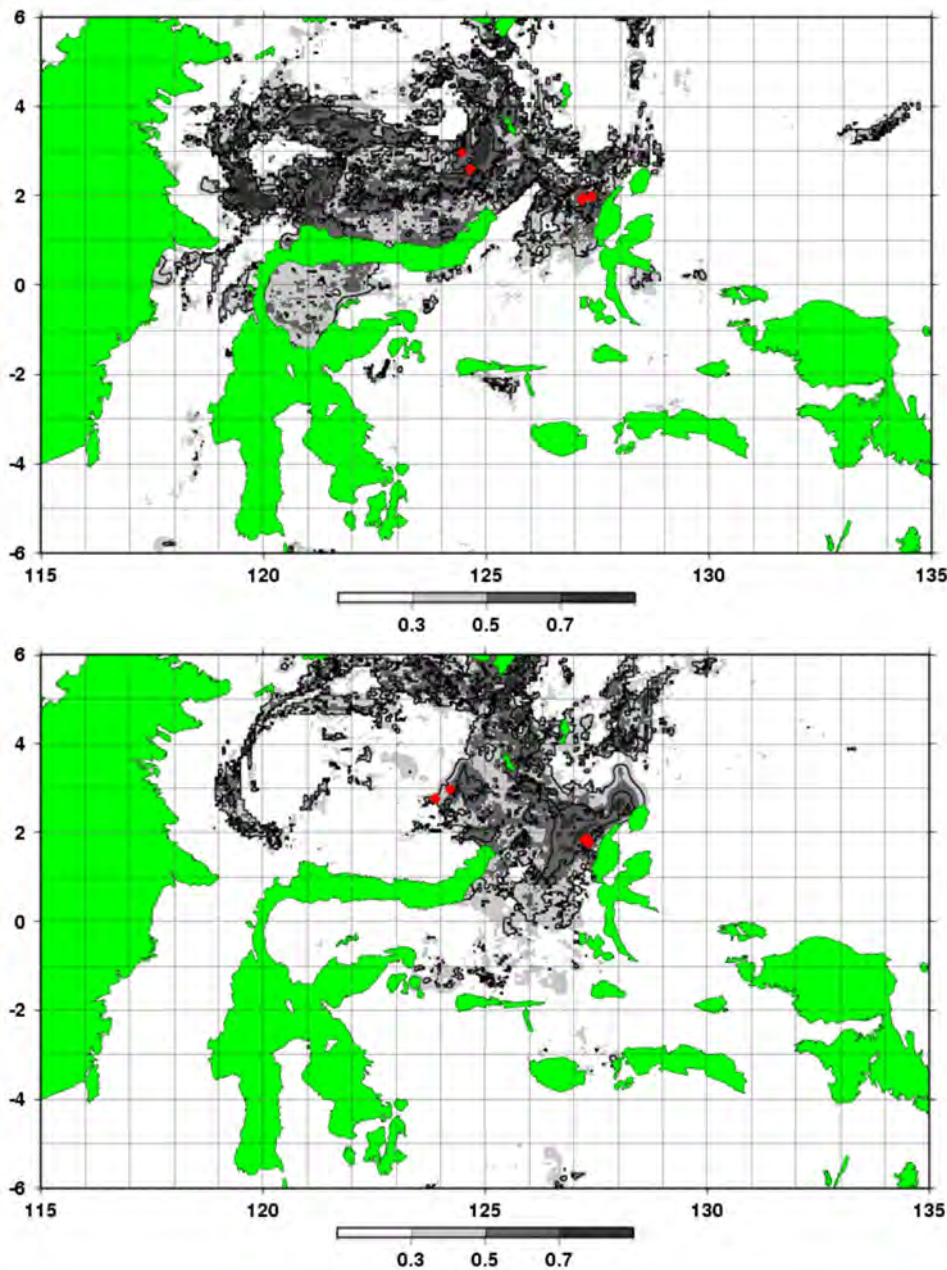


図 7. インドネシア巻き網漁業 MAXENT モデルによる漁場推定図. 赤点は実際の漁場位置.  
(上)2016 年 8 月 23 日, (下)2016 年 11 月 29 日.

シア周辺海域における巻き網漁業の漁場推定にはクロロフィル a 濃度分布を使用することが有効であることが示されている。この結果は、インドネシア周辺海域でモンスーンによりもたらされる 5-10 月の乾期と 11-4 月の雨期では海洋環境が全く異なってしまっており、乾期には広範囲にわたって SST に変化が見られないことが多いことから、漁場推定に対してはクロロフィル a 濃度の情報が重要であるという指摘(Jatisworo and Murdimanto,2013; Rintaka and Susilo, 2018)と整合的であり、今後季節性を考慮した漁場推定モデル構築を行うことで、適切な変数選択についての知見をさらに得ることができると考えられる。

次に、MAXENT モデルにより再現した漁場推定結果を示す。図 7 は、インドネシア巻き網漁業 MAXENT モデルを日々の海況データに適用して作成したカツオ漁場推定図を示した。漁場推定結果を白黒の濃淡で示し、赤点が実際の漁場位置を示している。この海域では、スラウェシ島の北に位置するセレベス海で見られる渦上の海況変動に伴いドーナツ状に好適度が高い領域が出現し、その内側の淵付近で操業が行われている様子が捉えられている。またハルマヘラ島の西側付近に出現する漁場についても正確に推定できていることがわかる。これらの結果から、ひまわり衛星観測による海洋表層データと欧州連合の海洋モデル NEMO による垂表層データを組み合わせて用いることで実用化に必要な漁場推定精度を確保できることが示された。

続いて「2.1 特徴抽出による PFG 推定」におけるしきさい衛星データを用いた効果について、特徴現象の抽出精度についての検証結果は 2.1 で述べているが、ここでは PFG(Potential Fishing Ground)推定精度の定量的な評価を行った結果を記述する。検証には 2.1 で示したものと同様に、カツオ漁が行われている東北沖で、しきさい衛星により広範囲に観測が行われた 2018 年 8 月 3 日の事例を用いた。従って、対象事例の SST や抽出したフロントの構造については 2.1 の図 4 で示したとおりであり、黒潮の暖水が 37° N、144° E 付近まで北上したのちに南下しており、さらに東北沖合に沿って 39° N 付

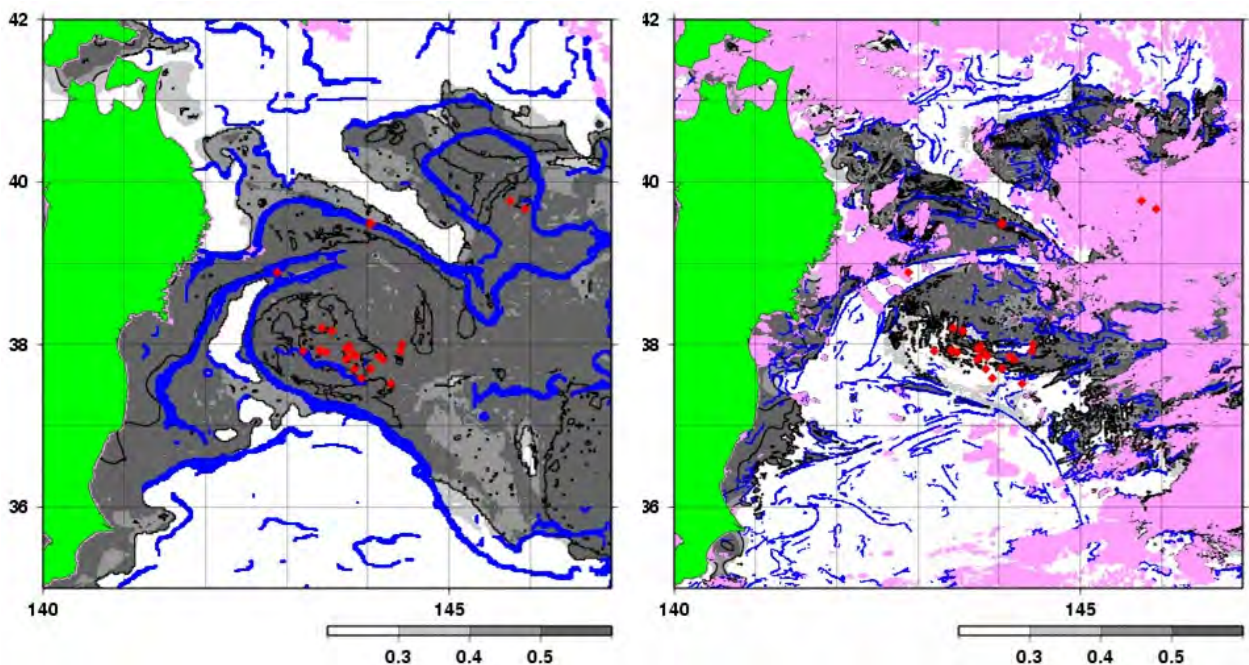


図 8. 2018 年 8 月 3 日における東北沖の海洋環境データに MAXENT カツオモデルを適用して作成したカツオ漁場推定図。ただし、ひまわり衛星(左)及びしきさい衛星(右)で観測された SST を用いた。青線は抽出したフロント。ピンクは雲による欠測を示す。

近までストリーム上に回り込んでいる。このストリーマに囲まれた領域が渦を形成しており、カツオ漁場になっているのが漁獲データから分かっている。図 8 は、2018 年 8 月 3 日の事例に対して海洋環境データに MAXENT カツオモデルを適用して作成したカツオ漁場推定図である。ただし、環境データのうち SST とフロント関連変数については、ひまわり衛星・しきさい衛星それぞれの観測値から抽出したものを使用した。図 8 に見られる顕著な特徴として、ひまわり衛星・しきさい衛星のどちらの SST を用いた場合でも、それぞれの SST 分布から抽出されたフロントがカツオ漁場推定図における指標値（HSI 値）の高い領域と低い領域の境界となっていることが挙げられ、カツオの漁場推定に対してフロント位置が非常に重要であることがわかる。この事例で 2 つの衛星による SST 観測に見られる差異としては、まず、既に 2.1 で指摘した通りフロントがひまわり衛星に対してしきさい衛星の観測の方がより鮮明に捉えられている点が挙げられるが、もう一つの大きな違いとして、ストリーマの水溫の絶対値が、ひまわり衛星では若干低温になってしまっているのに対して、しきさい衛星では、27℃以上を維持できており、黒潮本流との水溫差がひまわり衛星ほど顕著には見られないという点が挙げられる。これは単に空間解像度の問題ではなく、しきさい衛星がスナップショット観測で生に近い値を出せているのに対して、ひまわり衛星では 10 分おきの観測を日別値に変換する過程で平均値としての「鈍り」が生じたと思われる。この違いにより、暖水ストリーマ内では漁場が形成されていない様子が、図 8(右)のしきさい衛星による SST を用いた漁場推定図では、赤点で示した実際の漁場位置と HSI 値が高い領域が一致する形で表現されているのに対して、図 8(左)のひまわり衛星に

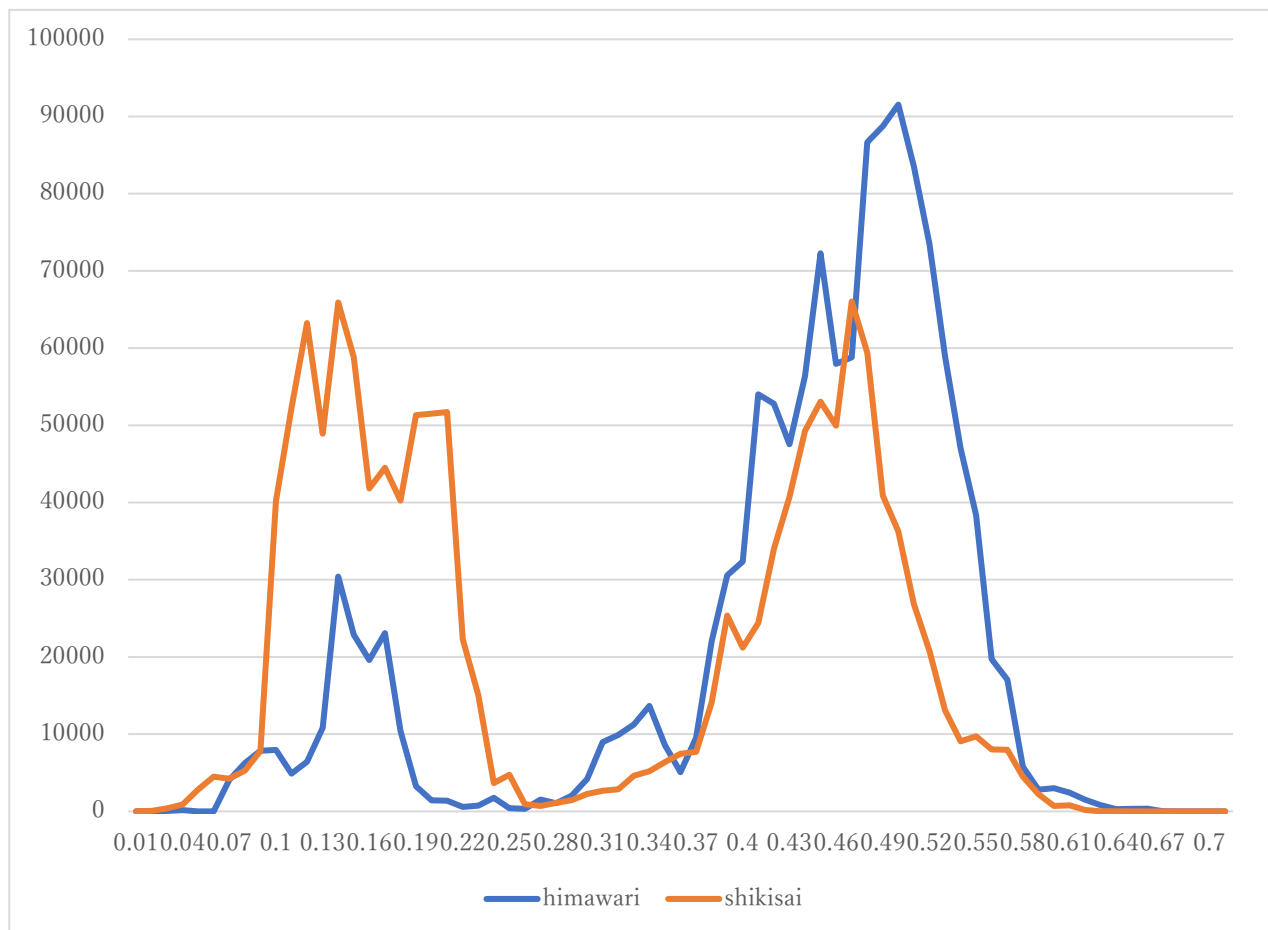


図 9. 2018 年 8 月 3 日にメソスケール渦が確認された 35-40° N、141-145° E 領域における漁場推定の結果得られた HSI 値のヒストグラム。(青)ひまわり衛星観測, (オレンジ)しきさい衛星観測。

よる SST を用いた漁場推定図では暖水ストリーマ内に HSI 値が高い領域が広範囲に広がっており、結果として漁場探索すべき領域が絞り切れない分布となってしまうことがわかる。図 9 は同事例において、メソスケール渦が内包されており漁場探索領域と推定される 35-40° N、141-145° E の領域内における各グリッドの HSI 値のヒストグラムを示している。ただし、ヒストグラム作成時にはひまわり衛星データを用いた漁場推定マップをしきさい衛星の空間解像度に内挿し、さらにしきさい衛星で欠測となっていたグリッドについてはひまわり衛星データの方も欠測扱いとすることで、両者のグリッド総数を揃えている。漁場探索領域における HSI 値は、どちらの衛星観測に対しても 0.2 付近と 0.5 付近に頻度のピークを持つ二山型のヒストグラムを示しているが、しきさい衛星観測では 2 つの山の大きさがほぼ同等であるのに対して、ひまわり衛星観測では 0.5 にピークを持つ山の方が圧倒的に大きくなってしまっている。実際に  $HSI=0.37$  を境界として両者の割合を比較すると、探索候補域である  $HSI \geq 0.37$  の領域は、ひまわり衛星観測が対象領域の 86.5%であるのに対して、しきさい衛星観測の場合は 48.4%に抑えられている。すなわちこの事例の場合には、しきさい衛星観測データを漁場推定に適用することで黒潮周辺領域での漁場探索エリアを約 1/2 に縮小できることが示された。この割合としての値は、対象領域をどう設定するに大きく依存しているので、どの事例でも必ずしも同じような結果になるとは考えにくい。しきさい衛星データを用いてマッピングすることでカツオ漁場の探索エリアを大幅に縮小できる可能性が示されたことで、実利用に対して効果的な漁場推定の高精度化が期待できることが分かった。以上のように、PFG 推定精度の検証結果からも、しきさい衛星による観測データを導入することで高精度の漁場推定が可能になることを確認した。

#### d. 引用文献

- Jatisworo, D. and A. Murdimanto, 2013, identifikasi thermal front di selat Makassar dan laut Banda. Prosiding Simposium Nasional Sains Geoinformasi ~III, ISBN978-979-98521-4-4.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P. and Schapire, R.E., 2006, Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modeling, 190, 231-259.
- Rintaka, W.E. and E. Susilo, 2018, Validation of potential fishing zone forecast using experimental fishing method in Tolo Bay, Central Sulawesi Province. IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science, 137, 012041.

#### e. 成果の発表

##### e.1 論文・著書等

##### e.2 口頭・ポスター発表

五十嵐弘道(2019) ひまわりデータによるフロント抽出と漁場推定. 2019 年度水産海洋学会研究発表大会シンポジウム「ひまわり・しきさい衛星と AI で変わるカツオ漁のこれから」. 宮城. 2019 年 11 月 8 日

##### e.3 知財

##### e.4 その他

## 2.3 インドネシアにおける実装準備

担当者：齊藤誠一<sup>1</sup>、平田貴文<sup>1</sup>、五十嵐弘道<sup>2</sup>、蒲地政文<sup>2</sup>、高橋文宏<sup>3</sup>、関岡信一<sup>4</sup>

実施機関：<sup>1</sup>国立大学法人 北海道大学 北極域研究センター

<sup>2</sup>国立研究開発法人海洋研究開発機構

<sup>3</sup>株式会社グリーン&ライフ・イノベーション

<sup>4</sup>一般財団法人リモートセンシング技術センター

### a.要約

インドネシア沿岸域におけるカツオ・マグロ等の漁場位置・漁獲データについて IMRO(Institute for Marine Observation and Research)と協議を行いデータの提供を受ける等により収集を行った。具体的には、インドネシアにおける 715 漁業管理区域（モルッカ海・セラム海・ハルマヘラ海）のカツオ巻網船における 2015 年以降の漁船位置データおよび漁船位置データから抽出した漁場位置データの提供を受けた。収集したデータを NAS に格納することで衛星データ収集・加工処理及び特徴現象抽出技術開発チーム、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チームに提供した。

インドネシアにおける開発技術の実装について IMRO と意見・情報交換を行った。その結果として、IMRO が開発している漁業情報サービスについて、インターネットを利用した WebGIS タイプのサービス SIDIK とモバイル通信を利用したスマートフォンタイプのサービス Laut Nusantara などの IMRO の情報配信システムを使用する方針とした。そこで、既存の PFG 処理モジュールとは別に新規の PFG 処理モジュールを日本側で設計し共通の PFG 出力フォーマットデータを作成して、既存の SIDIK や Laut Nusantara に入力することとした。これらを考慮して実装のためのプロトタイプ設計書を作成した。

### b.令和元年度研究計画

平成 30 年度に引き続き、インドネシア沿岸域におけるカツオ・マグロ等の漁場位置・漁獲データについて IMRO(Institute for Marine Research and Observation)と協議を行いデータの提供を受ける等により収集を行い、衛星データ収集・加工処理及び特徴現象抽出技術開発チーム、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チームに提供する。また、インドネシア沿岸域での開発技術の実装について IMRO と協議を行い、実装のためのプロトタイプ設計書を作成する。

### c.令和元年度研究成果

令和元年度は、本課題で開発する漁場推定に関する技術をインドネシア沿岸域において実装して、漁業情報サービスを通じたひまわり・しきさいデータの利用促進を図るために、本課題の最終年度に行う予定の実装試験について利用可能なデータ処理システムについての調査を行うとともに、PFG モデル開発に関わる魚種について漁場位置データの提供を受けた。

2019 年 11 月 8 日(金)に東北大学青葉山キャンパス青葉山コモンズで水産海洋学会シンポジウム「ひまわり・しきさい衛星と AI で変わるカツオ漁のこれから」を開催した（詳細は 2.4 に記載）。このシンポジウムの特別講演とし招聘した Bayu Priyono (IMRO) 氏に“The use of oceanography observation and modeling for predicting tuna distribution in Indonesia Seas ”のタイトルで IMRO のマグロ類の漁場予

測サービスプログラムの紹介をしてもらい、今後の IMRO におけるひまわり画像などの利用方法などについて議論した。その結果として、ひまわり画像のオリジナル全球データをリアルタイムで IMRO へ配信する場合には、通信環境とデータ量との関係から現実的なオペレーションが困難であるという問題点が出てきたため、気象業務支援センターから全球データを RESTEC が入手後、海面温度、クロロフィル a 画像などのプロダクトを作成し、その後それらのデータを G&LI へ配信して、最終的に IMRO が PFG 作成に必要な海域を切り出して提供する流れを提案した(図 1)。

## Pre-processing of Himawari images in Japan

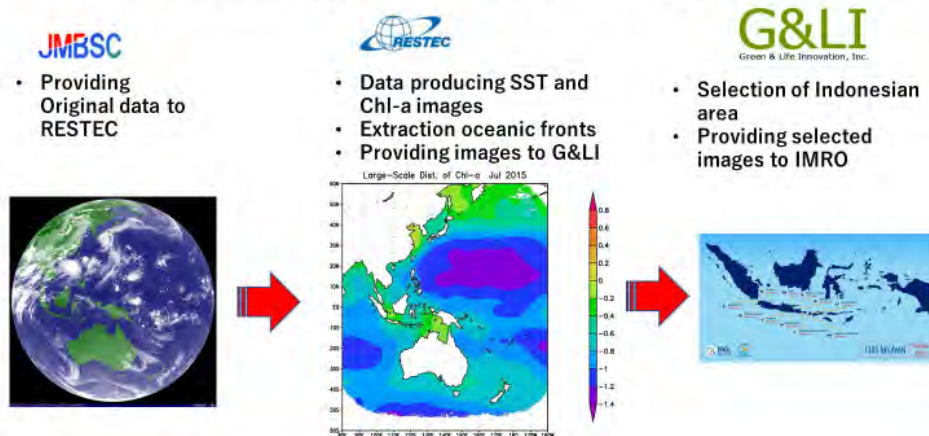


図 1 IMRO への提供するひまわり画像の処理手順案

次に、令和元年 11 月 12 日~13 日に IMRO に訪問して本課題についてのミーティングを開催し、カツオ・マグロ等の漁場位置・漁獲データについて IMRO からのデータの提供、インドネシア沿岸域での開発技術の実装の具体的な内容について、Radiata 所長以下 5 名程度の研究員と議論した。昨年度の訪問で、IMRO では、これまでにいくつかの魚種について MODIS 衛星観測データを用いた漁場推定モデルを構築して現業的な漁場推定を行うとともに、インドネシア国内向けの漁業情報サービス提供システムを紹介されたが、今回これらの進展状況について説明を受けた。



図 2 IMRO 職員との会議風景 (2019 年 11 月 12 日撮影)

この際に、漁業情報サービス提供システム SIDIK(Sistem PreDIksi Kelautan: 英訳 Marine Prediction System)、WEB ポータルへの各種掲載コンテンツの制作現場を視察した。運用者 2 名が着席し、ArcGIS を使用してアノテーション(地図上の注釈)の追加作業の最中であつた。毎日 10 時までに掲載するこ

とが決められており、運用者2名はその締め切り時間に間に合わせるべく、作業を進めていた。運用者は1) National、2) Port ベース (15 エリア)、3) PELIKAN (3 エリア) という3つのタイプの情報を作成している。プロダクト作成のための衛星観測データとして、1) では米国 NASA の Level3 データを、2) では Level2 の衛星画像を使用している。データの収集、画像のコンポジット、特徴抽出までのデータ処理は完全自動もしくはバッチ処理による半自動で行われている。

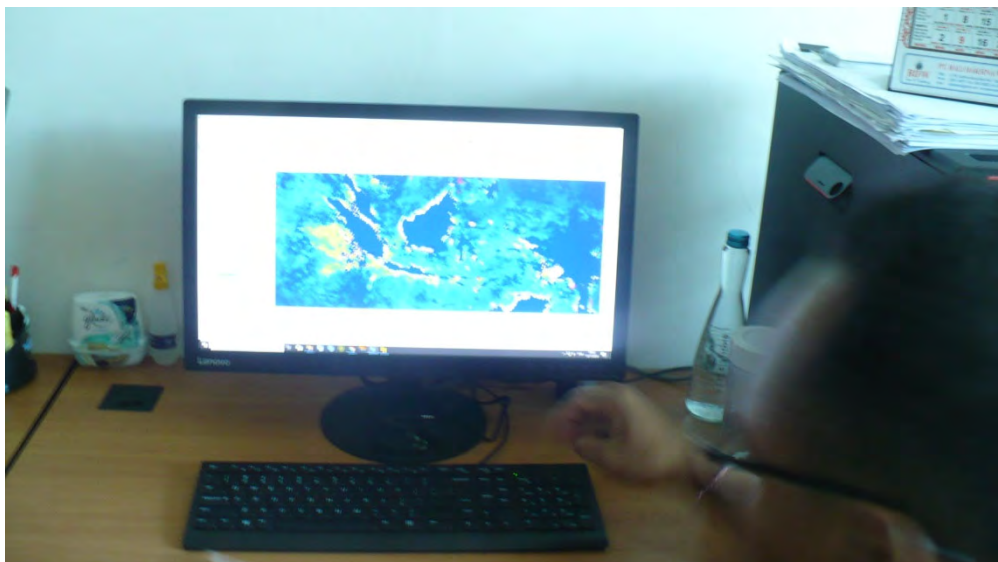


図3 National プロダクト表示例

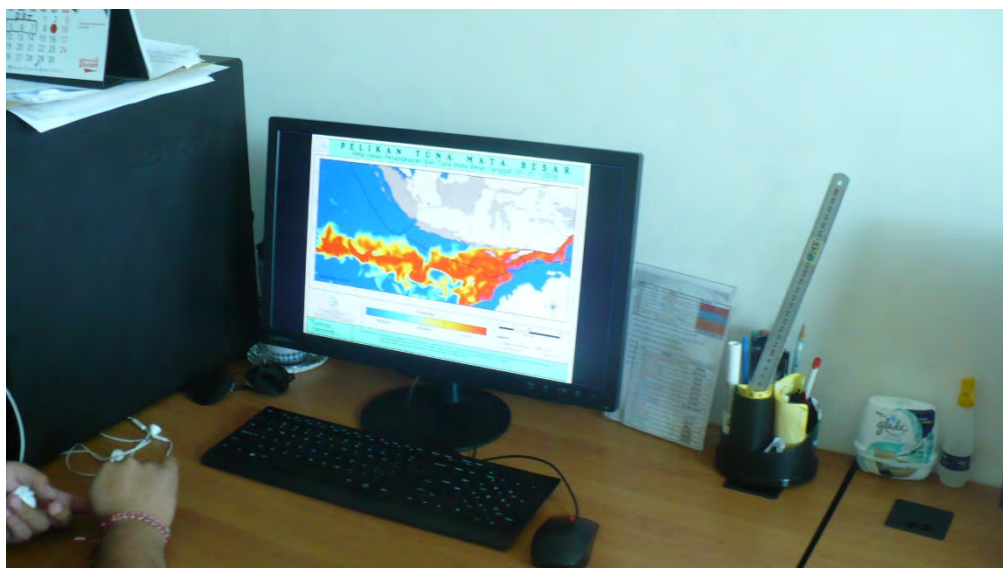


図4 PELIKAN プロダクトの表示例

図5に具体的なフローを示す。運用者は下処理が終わった特徴抽出画像（この図5の例ではフロント）を ArcGIS にインポートし、グリッドにあてはめそれに魚マークのアイコンを付して漁業者、利用者の理解が深まるような工夫をしている。この作業に多くの時間を要しているが、この作業と同時に自動で作成した画像のチェックも行うことから、コンテンツ品質維持の点を考えると時間的には無

駄ではないと考えられる。ただし、運用改良によって作業が軽減できる可能性がある。

10 時までにコンテンツをサイトにアップデートした後は、ツイッターを更新し、新しいコンテンツが追加されたことをツイートすることでユーザにデータ更新を伝えるシステムになっている。

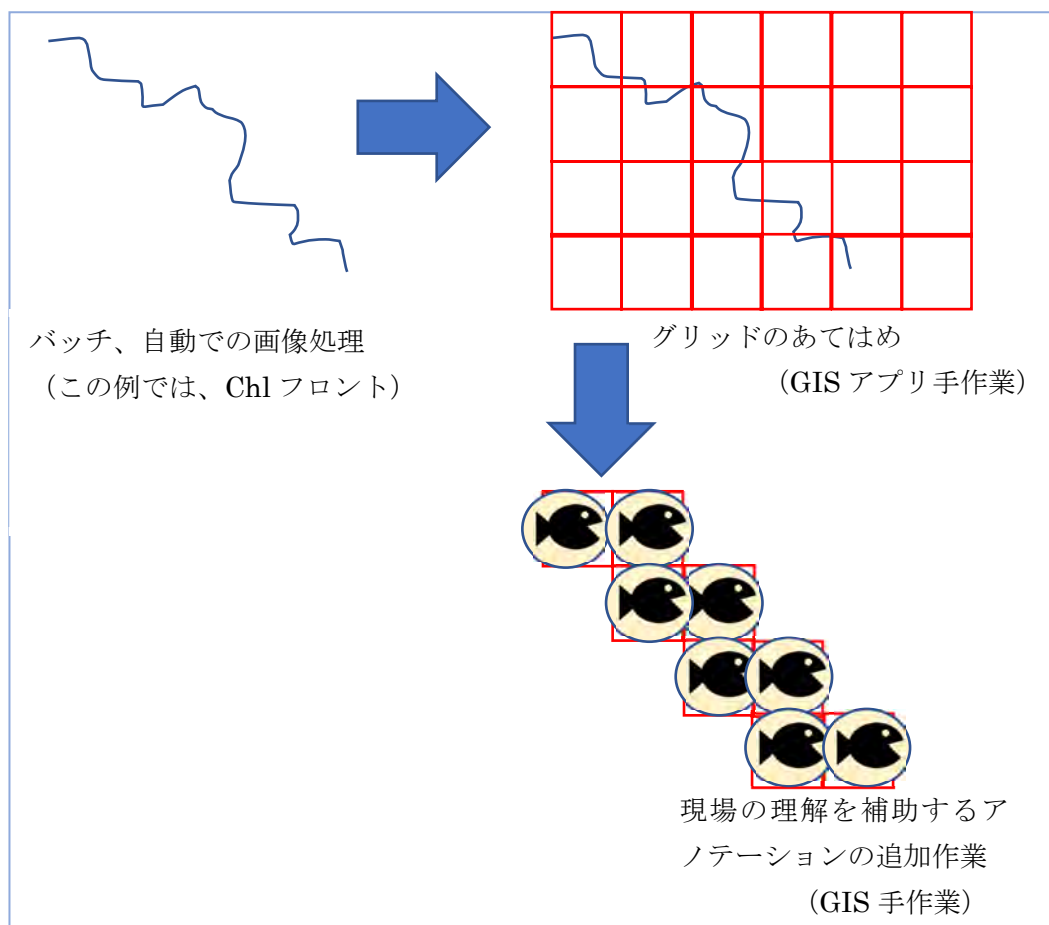


図 5 運用者のアノテーション作業詳細

インドネシアでは、図 6 に示すように 11 の領域に管理区域を分割して漁業管理を行っている。このうちメバチマグロは 573 領域、カツオは 715 領域の一部、カタボシイワシは 573 領域のうちバリ島南部の沿岸域のみで漁場推定が行われているが、モデル開発に使用した漁場位置・漁獲データは 2011-2013 年において IMRO が調査船を用いて独自に観測した結果を用いている。この漁場位置・漁獲データは、現状のモデル性能を把握するためには必要なものであるが、ひまわり衛星観測が開始される 2015 年以前のものになってしまうため、ひまわり観測データを用いたモデル開発に使用することはできないため、2015 年以降の観測値で使用可能なものを提供してもらうことを依頼した。その結果として、漁場位置・漁獲データそのものは存在しないが、IMRO で収集している漁船の VMS(Vessel Monitoring System)による GPS 位置情報ロガーデータから漁業活動形態より漁場位置を抽出することで新たに漁場位置データを作成することとした。

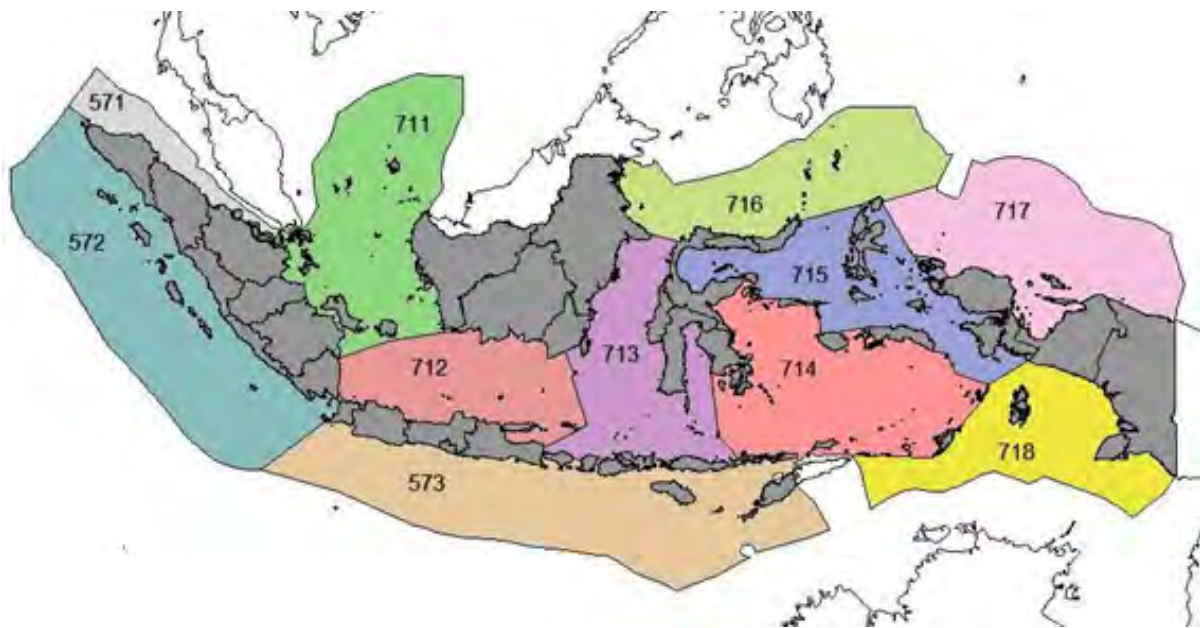


図6 インドネシアにおける漁業管理区分図

インドネシア周辺海域における漁船位置情報や漁場位置情報についてIMROが提供可能なデータとして、715海域(図6)におけるカツオ巻網船の漁船位置情報や漁船位置データから抽出した漁場位置情報の提供を受けることとし、これを用いてJAMSTECでPFGモデルを開発することにした。

最後に、IMRO及びウダヤナ大学関係者と2020年度に開催する国際シンポジウムについて打ち合わせを行った。議論のポイントは以下のとおりである。

1. 会場は現在建設中の会議施設が使用可能である。
2. 会議室は200名程度入れる大きな会議室と50名程度入れる会議室がある。
3. 2021年2月または3月に開催したい。
4. 午前中をステークホルダー会議にして、あと午後をシンポジウムにしたい。
5. ステークホルダー会議はSIDIKの民間漁業会社関連の人を呼んではどうか。
6. シンポジウムでの発表内容、発表者などの選択は今後詰めていく。

令和2年2月25日にIMROを訪問して、本課題についてのミーティングを開催し、前回依頼したカツオ・マグロ等の漁場位置データについてIMROからのデータの一部の提供を受け、残りの情報提供は至急行うこととした。次に、インドネシア沿岸域での開発技術の実装の具体的な内容について議論を行った。その結果、データの流れは図7に示すように、既存のPFG処理モジュールとは別に新規のPFG処理モジュールを日本側で設計して、IMROの既存システムと共通のPFG出力フォーマットデータを作成して、既存のSIDIKやLaut Nusantara上からPFG情報の配信を行うこととした。新規のPFG処理モジュールには、日本から配信予定のひまわり画像のハンドリングのサブシステムとPFGモデルを用いてPFG分布情報を作成するサブシステムで構成される。後者のサブシステムではひまわり画像だけでなく、数値予報モデルの出力データも取り込めるようなオプションも考慮した。

## Outline of data flow and sub-system

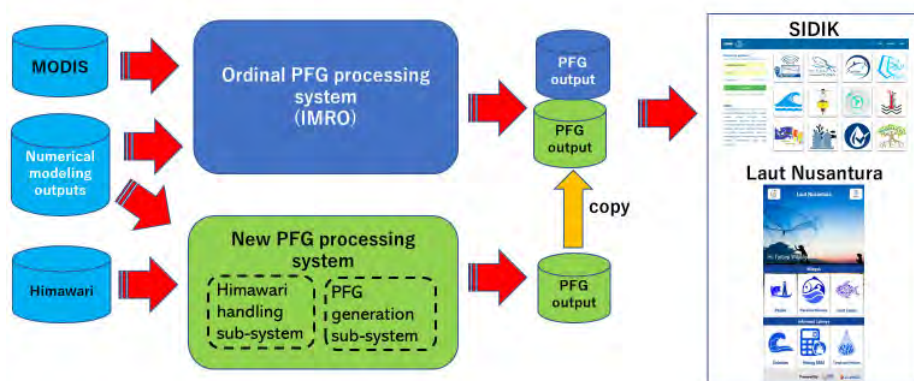


図7 プロトタイプデータの流れ図

これら 2 つのサブシステムのプロトタイプ概念図を図 8, 9 に示した。ひまわりデータハンドリングサブシステムでは、配信先のクラウドサーバから各ひまわりプロダクトを自動的に入手して、IMRO で利用できるフォーマットに変更・加工処理を行う。ここで生成されたひまわりデータが PFG 分布情報作成サブシステムにおいて共有される（図 8）。PFG 分布情報作成サブシステムでは、ひまわりデータハンドリングサブシステムから入力されたひまわりデータを用いて、日本側で開発したいくつかの漁場予測モデルが稼働して、PFG が生成され、IMRO で使用している csv フォーマットデータが生成される（図 9）。この、2 つのサブシステムは日本側のサーバで開発して、テストラン後に IMRO 側のサーバに実装する予定である。現在、IMRO ではこのサーバを別システムの一部を利用して準備することを計画しており、その計画の進捗状況に合わせて実装計画が修正される可能性がある。

## Himawari image handling sub-system

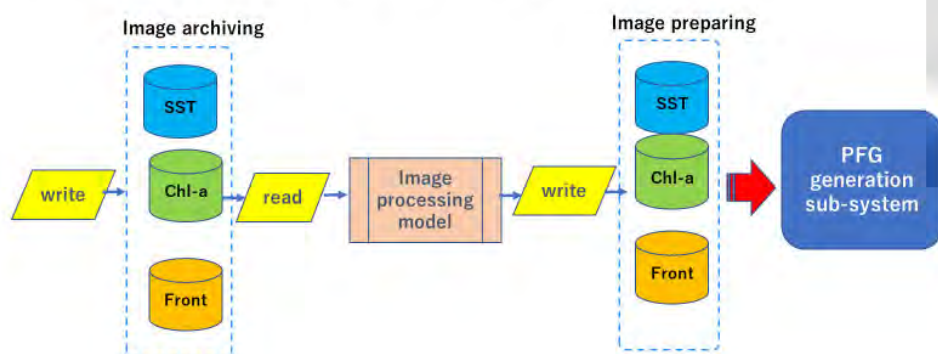


図8 ひまわりデータハンドリングサブシステム

## PFG generation sub-system

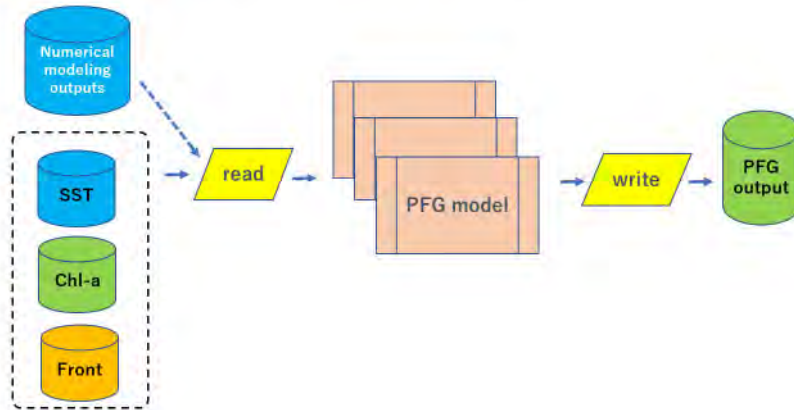


図 9 PFG 分布情報作成サブシステム

図 10 に Laut Nusantara の PFG 出力フォーマットを示した。基本的に緯度経度と PFG 出力値が含まれ、エクセルの CSV タイプのデータとして出力される。

図 11 に具体的な実際の作成するエクセルの csv フォーマット例を示した。

SIDIK でも同様の PFG 出力フォーマットを用いて、それをもとに図 12 のような最終的な PFG マップとして提供されている。

**Laut Nusantara Database Fields**

| POINTID | POINT_X | POINT_Y | PROB  | X_D    | X_M   | X_S   | Y_D   | Y_M   | Y_S    |
|---------|---------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1       | 114,96  | -8,10   | 3,37  | 114,00 | 57,00 | 29,58 | -8,00 | -5,00 | -51,07 |
| 2       | 114,95  | -8,11   | 2,19  | 114,00 | 56,00 | 52,41 | -8,00 | -6,00 | -28,24 |
| 3       | 114,92  | -8,12   | 11,10 | 114,00 | 55,00 | 0,90  | -8,00 | -7,00 | -5,41  |

ID  
sequence  
number

Longitude  
(DD,DD  
with 2  
decimal  
places)

Latitude  
(DD,DD  
with 2  
decimal  
places)

Predicted  
value (in this  
case  
probability  
value).  
  
 For national  
scale of  
PPDPI and  
fishing Port  
PPDPI just  
leave it  
blank,  
current  
database  
showed  
ID\_WILAYAH

Longitude  
(DDMMSS  
with 2  
decimal  
places)

Latitude  
(DDMMSS  
with 2  
decimal  
places)

図 10 スマートフォントタイプのサービス Laut Nusantara の PFG 出力ファイル設計図

## Example of PFG output (csv file)

| POINTID | WILAYAHPOINT | XPOINT | Y_X    | D.X   | M.X   | S.Y  | D.Y   | M.Y   | S  |
|---------|--------------|--------|--------|-------|-------|------|-------|-------|----|
| 1       | 11.118       | 29.9   | 29.118 | 00.17 | 00.10 | 59.8 | 00.17 | 00.26 | 27 |
| 2       | 21.118       | 29.8   | 65.118 | 00.17 | 00.10 | 59.8 | 00.17 | 00.26 | 14 |
| 3       | 31.118       | 29.9   | 71.118 | 00.17 | 00.10 | 59.8 | 00.17 | 00.27 | 5  |
| 4       | 41.118       | 20.8   | 06.118 | 00.17 | 00.10 | 49.8 | 00.17 | 00.27 | 53 |
| 5       | 51.118       | 37.9   | 71.118 | 00.22 | 00.11 | 32.8 | 00.22 | 00.27 | 5  |
| 6       | 61.118       | 20.9   | 29.118 | 00.12 | 00.10 | 89.8 | 00.17 | 00.26 | 27 |
| 7       | 71.118       | 29.8   | 06.118 | 00.17 | 00.10 | 59.8 | 00.17 | 00.27 | 51 |
| 8       | 81.118       | 37.9   | 04.118 | 00.22 | 00.11 | 12.8 | 00.22 | 00.27 | 30 |
| 9       | 91.118       | 29.9   | 04.118 | 00.17 | 00.10 | 59.8 | 00.22 | 00.27 | 38 |
| 10      | 101.118      | 29.9   | 12.118 | 00.17 | 00.10 | 59.8 | 00.22 | 00.27 | 50 |
| 11      | 111.118      | 37.9   | 12.118 | 00.22 | 00.11 | 12.8 | 00.22 | 00.27 | 50 |
| 12      | 121.118      | 29.8   | 71.118 | 00.12 | 00.10 | 59.8 | 00.22 | 00.26 | 50 |
| 13      | 131.118      | 50.8   | 04.118 | 00.30 | 00.3  | 20.8 | 00.36 | 00.20 | 2  |
| 14      | 141.118      | 50.8   | 05.118 | 00.30 | 00.3  | 20.8 | 00.36 | 00.20 | 42 |
| 15      | 151.118      | 55.8   | 08.118 | 00.32 | 00.44 | 89.8 | 00.39 | 00.0  | 80 |
| 16      | 161.118      | 55.8   | 04.118 | 00.32 | 00.44 | 89.8 | 00.36 | 00.20 | 2  |
| 17      | 171.118      | 55.8   | 04.118 | 00.32 | 00.44 | 89.8 | 00.36 | 00.20 | 2  |

図 11 具体的な PFG 出力 csv ファイル (例)

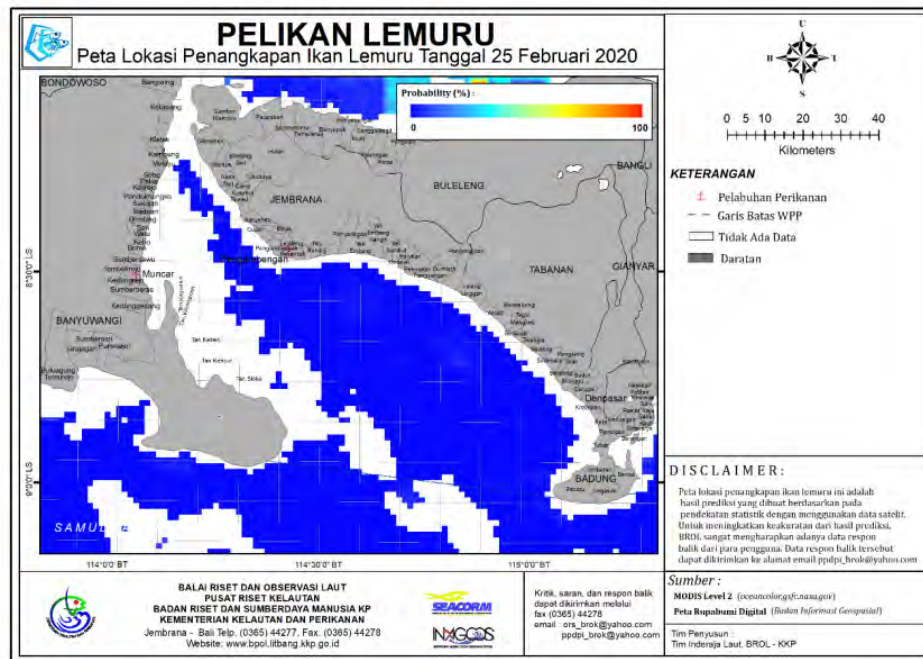


図 12 WebGIS タイプのサービス (SIDIK) の PFG 表示画像 (例)

### d.引用文献

Ardianto, R., Setiawan, A., Hidayat, J.J. and Zaky, A.R. (2017) Development of an automated processing system for potential fishing zone forecast. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 54, doi:10.1088/1755-

1315/54/1/012081

Cayula J.-F. And Cornillon, P. (1992) Edge detection Algorithm for SST images. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 9, 67-80.

Jatisworo, D. And Murdimanto, A. (2013) Identifikasi thermal front di selat Makassar dan laut banda. Prosiding Simposium Nasional Sains Geoinformasi ~III 2013 ISBN 978-979-98521-4-4 (in Indonesian).

Rintaka, W.E. and Susilo, S. (2017) Validation of potential fishing zone forecast using experimental fishing method in Tolo Bay, Central Sulawesi province. Asean-FEN International Fisheries Symposium-2017, IOP Conf. Series and Environmental Science, 137, doi :10.1088/1755-1315/137/1/012041.

**e.成果の発表**

**e.1 論文・著書等**

なし

**e.2 口頭・ポスター発表**

なし

**e.3 知財**

なし

**e.4 その他**

なし

## 2.4 日本国内における実装準備

担当者：高橋文宏<sup>1</sup>、五十嵐弘道<sup>2</sup>、蒲地政文<sup>2</sup>、荒井頼子<sup>3</sup>

実施機関：<sup>1</sup> 株式会社グリーン&ライフ・イノベーション、<sup>2</sup> 国立研究開発法人海洋研究開発機構、<sup>3</sup> 一般財団法人リモート・センシング技術センター

### a. 要約

平成 30 年度に引き続き、日本のカツオ漁船から得られる GPS データ、船舶自動識別装置 (AIS) データ等の漁船航跡データから操業位置を抽出するとともに、それに付随する漁獲量・釣果に関するデータを収集し、それらを「2.1 特徴抽出による PFG 推定」ならびに「2.2 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」に提供した。具体的には、GPS データロガーを搭載した近海カツオ釣り漁船から得られる位置情報から操業位置を抽出したデータを作成するとともに、総トン数 300 トン以上の遠洋カツオ釣り漁船の漁船航跡について 2019 年の位置情報を新たに取得して操業位置を抽出し漁場データを作成して NAS に格納してデータ共有した。

特徴抽出による PFG 推定ならびにハビタットモデル構築作業での開発技術の成果を踏まえ、カツオ漁業者に対して日本国内での実装のための調査を行い、実装のためのプロトタイプ設計書を作成した。具体的には、本事業で開発した北西太平洋海域における日本のカツオ漁船を対象とした漁場推定モデルから得られる PFG プロダクトを、株式会社グリーン&ライフ・イノベーションが運用しているトレダスシステムを活用して日本のカツオ漁船に対してテスト配信することを前提として、次年度に行う実証試験の内容を設計書としてとりまとめた。

開発技術の普及啓発のため水産関連学会で国内漁業関係者向けのシンポジウムを開催し、専門家・ユーザからの評価を受けた。具体的には、一般社団法人水産海洋学会の 2019 年度研究発表大会のシンポジウムとして、平成 30 年 11 月 8 日に東北大学青葉山キャンパス青葉山コモンズにて「ひまわり・しきさい衛星と AI で変わるカツオ漁のこれから」と題したシンポジウムを開催した。本シンポジウムは、水産海洋学会会員のカツオ漁業研究者・自治体のカツオ漁業行政担当者に加えて、カツオ漁船の船会社やカツオ漁業者等の漁業の現場に携わる方々が参加し、カツオ漁業の現状についての情報共有、最新の研究成果報告を踏まえた上で、今後のスマート漁業における衛星データの活用についての議論を行って、本課題での開発状況が順調であり将来的な社会実装に対して期待できるという専門家・ユーザからの評価を得た。

### b. 令和元年度研究計画

平成 30 年度に引き続き、日本のカツオ漁船から得られる GPS データ、船舶自動識別装置 (AIS) データ等の漁船航跡データから操業位置を抽出するとともに、それに付随する漁獲量・釣果に関するデータを収集し、特徴抽出による PFG 推定ならびにハビタットモデル構築作業に提供する。特徴抽出による PFG 推定ならびにハビタットモデル構築の研究開発を踏まえ、カツオ漁業者に対して日本国内での実装のための調査を行い、実装のためのプロトタイプ設計書を作成する。開発技術の普及啓発のため水産関連学会で国内漁業関係者向けのシンポジウムを開催し、専門家・ユーザからの評価を受ける。

### c. 令和元年度研究成果

平成 30 年度に引き続き、日本のカツオ漁船から得られる GPS データ、船舶自動識別装置 (AIS) データ等の漁船航跡データから操業位置を抽出し NAS に格納した。表 1 に船舶自動識別装置(AIS)の記録データ項目を示す。列 16、列 17 の緯度経度と、列 27 の UTC 時刻、列 18 の対地速度(SOG=Speed Over Ground)を使用し、操業位置の絞り込みを行った。本州太平洋岸から約 50 海里離れ、かつ船速が 0.5knot 以下であり、かつ日の出から日没までの時間帯に該当する漁船位置を抽出しそれを推定操業位置とした。この基準は過去の研究を参考に仮決定したものであり[1]、別途取り組んでいる漁場推定の結果や、今後も継続して収集する漁獲情報との突合結果などを踏まえ再度調整することも可能である。図 1 エラー! 参照元が見つかりません。に船舶自動識別装置(AIS)データを使用した推定操業位置の抽出フローを示す。なお、ここで用いた AIS アーカイブデータは、データプロバイダーの exactEarth 社 (カナダ) の日本代理店を通して入手したものである。

表 1 自動識別装置 (AIS) データ記録内容

| 列番号 | 内容                | 列番号 | 内容           | 列番号 | 内容               |
|-----|-------------------|-----|--------------|-----|------------------|
| 1   | mmsi              | 11  | flag_country | 21  | heading          |
| 2   | imo               | 12  | flag_code    | 22  | nav_status       |
| 3   | vessel_name       | 13  | destination  | 23  | nav_status_code  |
| 4   | callsign          | 14  | eta          | 24  | source           |
| 5   | vessel_type       | 15  | draught      | 25  | ts_pos_utc       |
| 6   | vessel_type_code  | 16  | longitude    | 26  | ts_static_utc    |
| 7   | vessel_type_cargo | 17  | latitude     | 27  | dt_pos_utc       |
| 8   | vessel_class      | 18  | sog          | 28  | dt_static_utc    |
| 9   | length            | 19  | cog          | 29  | vessel_type_main |
| 10  | width             | 20  | rot          | 30  | vessel_type_sub  |

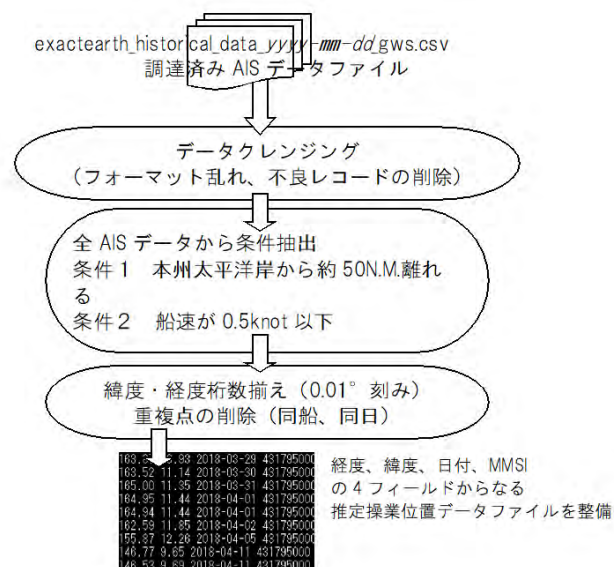


図 1 船舶自動識別装置(AIS)データを使用した、推定操業位置の抽出フロー

2018 年における航跡を図 2 に示す。図中の赤い線は航跡線を示し、青い点は AIS の測位位置、赤矩形枠は船速 0.5knot の位置を示す。星マークは、赤矩形枠のうち記録時刻が日の出から日の入りまでの、昼間の時間帯であるものを示している。データファイルをグリッド化し、分布状況を地図上に描

画したのが図 3 である。同様に 2019 年の結果を図 4 ならびに図 5 に示す。

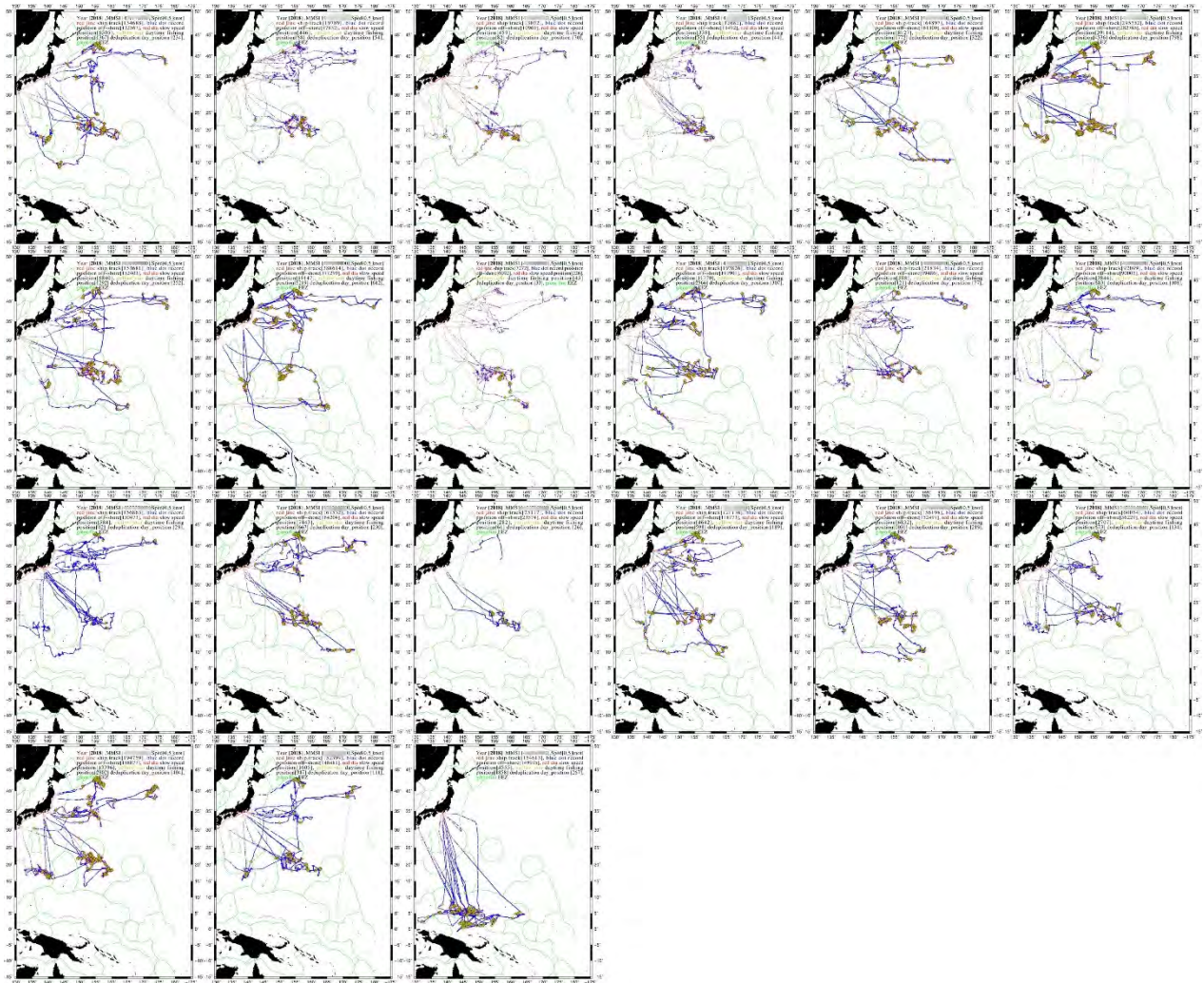


図 2 AIS 搭載船 2018 年各船舶の航跡（星印:推定操業位置）

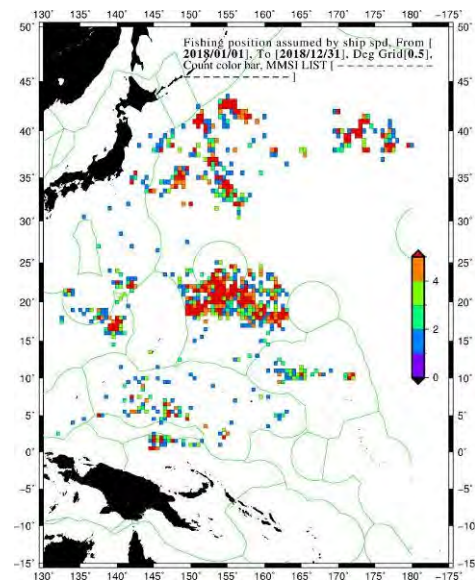


図 3 AIS 搭載船 2018 年推定操業位置分布（頻度）0.5 度格子

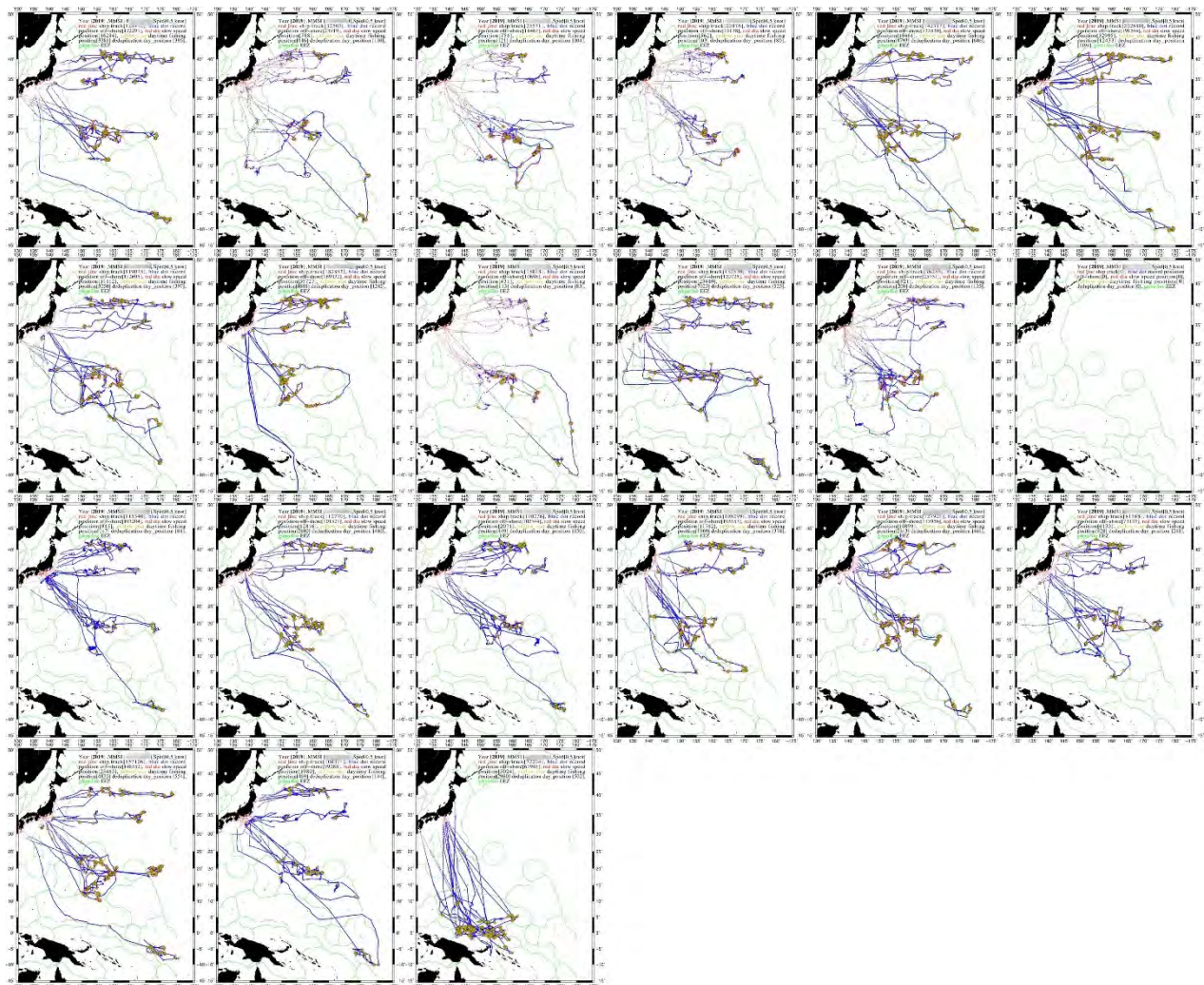


図 4 AIS 搭載船 2019 年各船舶の航跡（星印:推定操業位置）

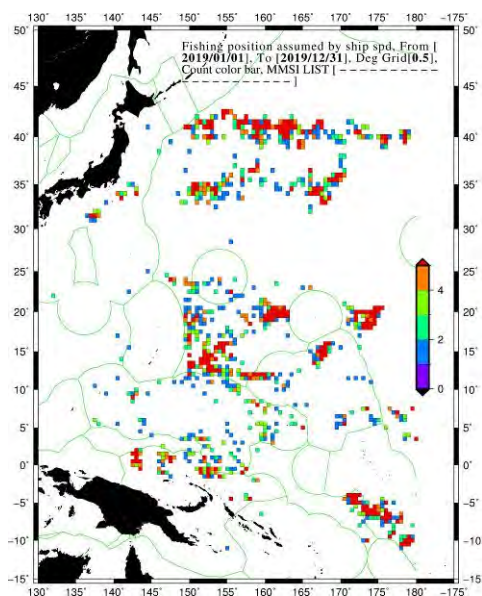


図 5 AIS 搭載船 2019 年推定操業位置分布（頻度）0.5 度格子

特徴抽出による PFG 推定ならびに、ハビタットモデル構築作業での開発技術の成果を踏まえ、日本国内での実装のための調査を行った。調査の方法は、AIS・VMS データを解析して漁船の位置や速度から、漁業活動の行動傾向を把握する方法と、実際にカツオ漁業者と面談してニーズ等をヒアリングする方法の 2 つの方法をとった。

初めに AIS データを解析し日本の港を出港した漁船が、どこまで移動してどこで操業しているか年ごとの傾向を把握した。図 6 は日本の 4 島陸岸からの距離が、200 km、1,000 km、1,800 km、2,600 km、3,400 km、4,200 km の範囲を色分けしたものである。水産庁遠洋かつお・まぐろ漁業許可簿登録船のうち、AIS 搭載義務船について任意の 20 隻を選択して解析を行った。操業推定位置をプロットしたうえで、その頻度が高い場所を赤黒とし、低い場所を紫色とした段階的な色分けを行い、年ごとのカーネル密度図を作成した(図 7)。いずれの年も 4,200 km 付近まで移動して操業していることがわかる。日本を出港して移動するまで数日かかることが明らかであり、仮に好漁場の推定位置を出港時に入手したとしても、漁場到着時には数日前の情報になってしまうことから、本事業の成果実装には衛星通信による情報配信が必須である。2015 年から 2017 年に共通した傾向として、北緯 25 度から 30 度付近では操業場所が存在しないか、もしくは稀であった。同海域は重要性が相対的に低いと考えられることから、当該海域付近を図郭の境界とするなど、グリッドデータ処理の実装仕様に参考となる情報が得られた。そのほか、2017 年は東方沖漁場が遠く(～4,200 km)まで形成されており、2016 年では南方海域で比較的遠い(～4,200 km)漁場が形成されているなど、年ごとの変化もみられることから、技術実装の後も継続して漁船操業場所の傾向について把握していく必要がある。

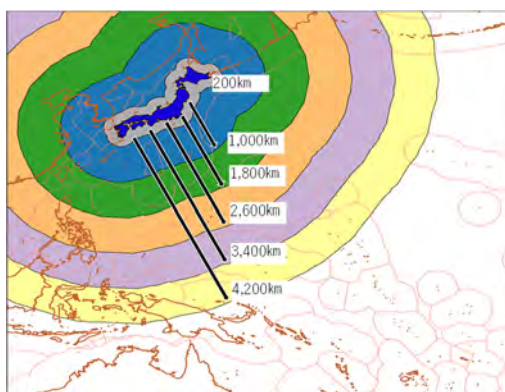


図 6 日本 4 島からの距離

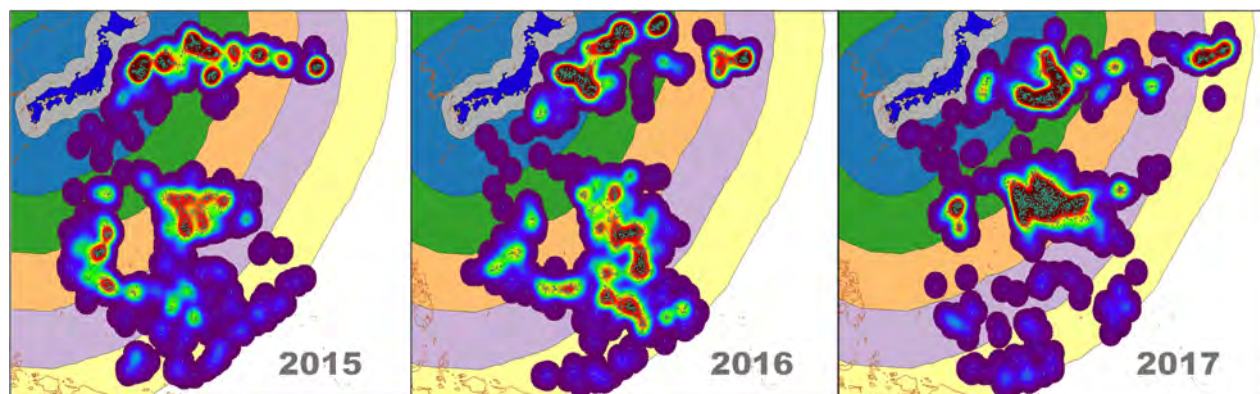
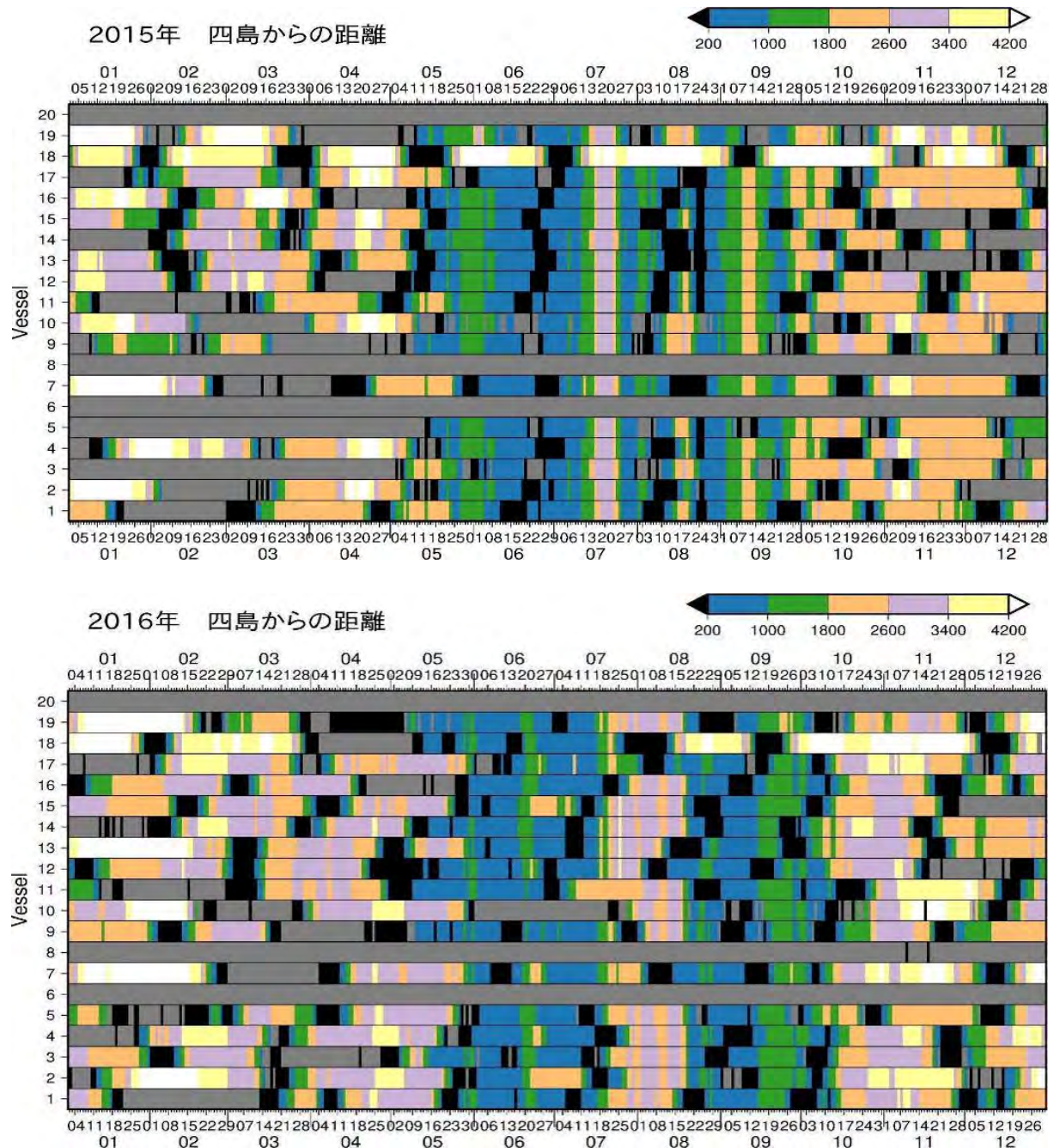


図 7 操業位置カーネル密度分布図

次に、対象漁船 20 隻の時系列での 4 島からの距離変化について、距離ヒートマップにまとめた（図 8）。図 6 の距離区分に合わせて距離ヒートマップ色付けをし、漁船相互の移動距離の傾向をつかんだ。図中の灰色は機器からの AIS データが収集されていないなどのデータ欠損を示している。5 月から 9 月までは、日本に比較的近い場所で操業し、それ以外では、それより遠くで操業している傾向がつかめた。また、5 月から 9 月までに着目すると、2017 年は 2015 年や 2016 年よりより遠くで操業する傾向があり、漁場の沖合化がみられた。



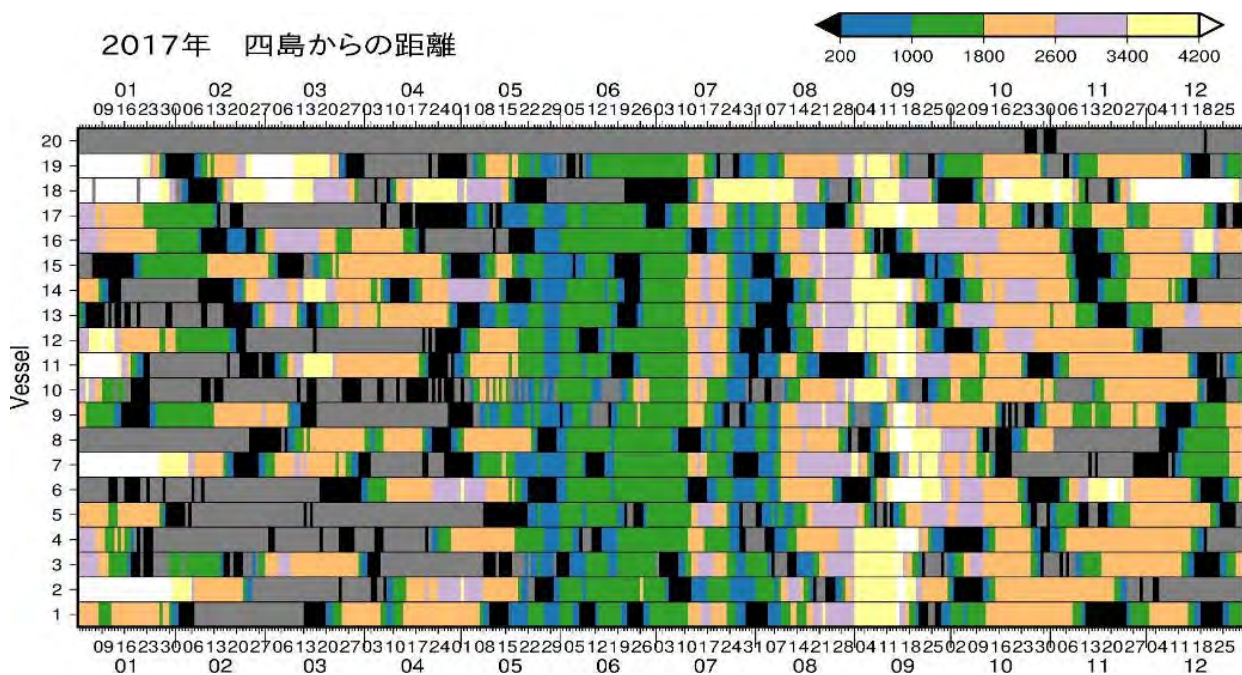


図 8 距離ヒートマップ (2015 年~2017 年)

最後に、実際にカツオ漁業者と面談してニーズ等をヒアリングした結果を述べる。AIS、VMS データからも明らかなように、盛漁期においては入港水揚げ後すぐに港を離れ、餌の積み込みや漁場へ移動するため、担当者が現場に赴きヒアリングをすることが難しい。そこで近海操業が終了する 12 月以降に現地でヒアリングを実施した。12 月下旬に三重県南伊勢町・紀北町に移動し、2 漁船の通信局長と面談した (図 9)。いずれの漁船もデータ通信用の衛星通信設備を有しており、衛星通信会社の複数社と契約しており、データ容量や海域によってそれらの使い分けを行っていた。陸上のインターネット環境とは異なり、通信データ容量に応じて課金される従量制であることから、添付ファイルや、画像ファイルの送受信には、それぞれ独自の利用方針 (ルール) を定めているとのことであった。特に近年ではインターネットからの情報を入手する機会が多く、本事業で今後配布する (又は入手する) データの容量は、無駄なく目的に合致するよう絞り込んだ単位で用意されることが、運営経費の面から必要であるとの指摘があった。インターネット送信前のファイル圧縮機能に加えて、各漁船の関心領域に合わせ海域の図郭を決めるなど、情報作成に係るシステム側の工夫が必要であることが現場のヒアリングから確認できた。



図 9 ヒアリング対象漁船 (船名非表示)

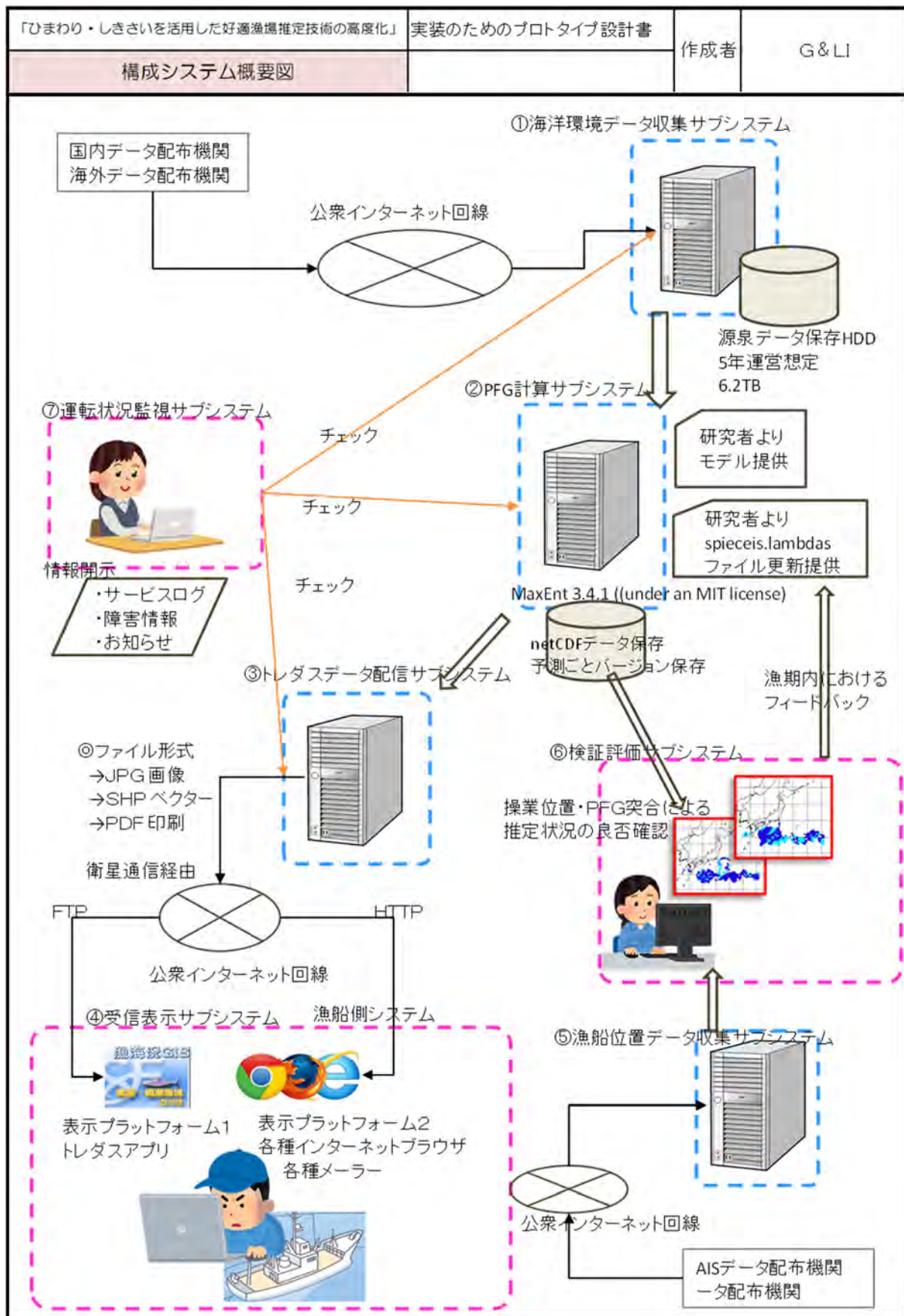


図 10 実装のためのプロトタイプ設計書（抜粋）

以上の調査結果を踏まえ、実装の為のプロトタイプ設計書を作成した。実装のためのプロトタイプ設計書抜粋内容を図 10 に示す。全体のシステムは 7 つのサブシステムから構成される。①「海洋環境データサブシステム」は、ひまわり及びしきさい衛星、国内外のデータ配布機関からの海洋数値モデルデータを毎日定期的に巡回取得する。②「PFG 計算サブシステム」では、研究者より提供されるモデルならびに、パラメータ `spieces.lambda` ファイルをセットし、MIT ライセンスで配布されている MaxEnt ソフトウェアツールを使って PFG を計算する。③「トレダスデータ配信サブシステム」では、計算された PFG を各種表示ソフトウェアに合わせて、画像ラスタ形式、シェープファイルベクター形式、PDF レポート形式に変換し、FTP 又は HTTP 配信サーバにセットする。④「受信表示サブシステム」は、FTP 又は HTTP プロトコルを用いて、インターネット経由で取得したファイルを閲覧するエンドユーザー側のシステムである。⑤「漁船位置データ収集サブシステム」は、本事業の潜在的エンドユーザーの GPS 情報を AIS データ配布機関から毎日定期的に入手する。定期取得には、配布機関から提供される API を使用する。⑥検証評価サブシステムでは、PFG の可視化図上に、入手した GPS 情報をプロットし、位置情報と PFG 情報との突合により推定結果の良否に関して評価を与える。また、この評価結果は研究者の解析・検討のうえ PFG 計算サブシステムのパラメータ、推定モデルにフィードバックされる。最後に⑦「運転状況監視サブシステム」は、これらすべてのサブシステムが自動もしくは、半自動で滞りなく運転されていることを日々確認しそれを記録し、場合によっては障害情報などの情報開示をするものである。現時点では、システムを以上のとおり設計しているが、現業作業の効率も考慮に入れ次年度の実装を行うこととしている。

次に、本年度に開催したシンポジウムについて記述する。本年度は、本課題で開発した特徴抽出や漁場推定についての開発技術の普及啓発及びユーザからの評価を受ける目的で、国内漁業関係者向けのシンポジウムを開催し、専門家・ユーザからの評価を受けた。具体的には、一般社団法人水産海洋学会の 2019 年度研究発表大会のシンポジウムとして、平成 30 年 11 月 8 日に東北大学青葉山キャンパス青葉山コモンズにて「ひまわり・しきさい衛星と AI で変わるカツオ漁のこれから」と題したシンポジウムを開催した。本シンポジウムは、水産海洋学会会員を中心とした水産研究機関所属の研究者に加えて、カツオ資源管理行政に携わる水産研究者・地方自治体のカツオ漁業行政担当者や海洋水産系のコンサルタント企業、漁業情報サービス企業、そしてカツオ漁船の船会社やカツオ漁業者等の漁業の現場に携わる方々など 72 名が参加した。特に水産海洋学会事務局のご厚意により、日本かつお学会にもお声掛けいただき加盟する多くの漁業者及び漁業関係者にもご参加いただいた。

本シンポジウムは、日本のカツオ漁業における漁業情報に焦点を当てて、高頻度化・高解像度化されたひまわり衛星や最新のしきさい(GCOM-C)衛星データや数値モデルにより得られた海況予測情報に対する近年の機械学習・AI（人工知能）・IoT (Internet of Things)技術の水産分野での活用について、カツオ漁業の現状と最新の研究成果報告を踏まえた上で、今後のスマート漁業における衛星データの活用についての議論を行った。

上記のテーマを踏まえ、本シンポジウムは 3 部構成とした。第一部は「カツオ漁業の現状とこれからの技術への期待」と題して、水産資源管理行政に携わる水産研究者と、現場の漁業者にごく近いカツオ漁船の船会社の方々が日本のカツオ漁業の現状についての報告と衛星データを使った AI 技術への期待について述べた。まず、水産研究・教育機構国際水産資源研究所の清藤秀理氏からは「カツオ漁業を取り巻く環境」と題して、カツオ資源のこれまでの変遷と漁法の変化、国際的な資源管理の枠

組み等について資源管理行政の立場からご紹介いただいたのち、日本近海への来遊メカニズムがまだ不明であることについての言及があった。次に、静岡県水産技術研究所の上原陽平氏からは「静岡県近海域におけるカツオの漁場予測」と題して、静岡県の水産行政に携わる立場から、これまでに漁業者と協力して構築してきたカツオの漁場予測モデルについてのご紹介があり、海況における湧昇流などの詳細の情報がカツオの漁場形成の鍵となっている可能性についてご指摘いただいた。続いて、鹿児島県枕崎市で大型カツオ一本釣り漁船を2隻有する旭漁業株式会社の末野修市氏からは「カツオ漁業の現場からこれからの技術への要望と期待」と題して、1917年に創業した歴史あるカツオ一本釣り漁船会社が現在直面する状況や問題点についてご紹介いただき、特に漁業者の高齢化問題と新人船員獲得・育成のための努力についての問題提起があった。さらに、高知県四万十市で中型カツオ一本釣り漁船を有する有限会社明神丸の明神好和氏からは「近海カツオ一本釣り漁法と衛星の活用状況」と題して、ご自身がカツオ漁船の船頭であった経験をもとに、近海カツオ一本釣り漁場探索を行う際に、どのタイミングでどのような情報に基づき漁場を選定するかについてのご紹介をいただいた。

これを踏まえて、第二部では「最新の衛星観測とAI技術のカツオ漁業での利用」と題して、本課題の代表・参画機関より、株式会社グリーン&ライフ・イノベーションの高橋文宏・リモート・センシング技術センターの荒井頼子・海洋研究開発機構の五十嵐弘道の3名が、本課題で行っている研究開発の目的、これまでの成果及び目指している目標について、カツオ漁船位置データ・ひまわり／しきさい衛星観測データ・日本周辺海域におけるカツオ漁場推定結果の具体例を示しながら紹介した。さらに、AIによる画像解析の専門家である京都大学学術情報メディアセンターの飯山将晃准教授から、AIを用いてひまわり観測の際の雲による欠測領域の海面水温を推定する手法についてご紹介いただき、さらに本課題の協力機関であるインドネシアIMRO(Institute for Marine Research and Observation)のBayu Priyono氏から、インドネシアにおけるカツオ分布推定の試みについてご紹介いただいた。

さらに第三部では「衛星データにAIを適用したスマート漁業のこれからについて」と題した総合討論を行い、第一部・第二部で講演した演者をパネラーとして、最新の衛星観測とAIを組み合わせたスマート漁業が、今後のカツオ漁業に対してどのようなインパクトを与え得るか、将来どのような変化が期待できるか、また現状で必要とされているが取り組みが足りない技術分野は何か等について議論を行った。その結果として、漁業情報のユーザである漁業者の立場からご参加いただいた末野修市・明神好和の両氏より、衛星データ観測が高頻度化・高解像度化された情報が船上で得られるようになることで、時々刻々と変化する水温場をより正確にとらえながら漁場探索ができるようになることが漁業者にとって重要であり、漁船や漁業者の減少に打ち勝つための技術として非常に期待できるという意見をいただいた。特に新規技術の導入は、漁業そのものの効率化に加えて新人船員のリクルートや育成に対しても非常に重要であり、長期航海における船員のモチベーションを維持するためのツールとしても効果があるという指摘があった。これを実現するためには、漁場予測の的中率がある程度高い必要がある、また高速通信技術の更なる発達が必要、ソナーなどの新しい測器との連携をユーザフレンドリーな形で提供して欲しい、といった更なる要望もあったが、気候変動等の影響により漁業者の過去の経験では太刀打ちできない事例が多くなっているという実感が漁業者にはあるので、様々な分野の研究者と協力しながら漁場推定精度の向上を目指していきたいという意見をいただいた。

本シンポジウムを通じて、本課題での技術開発状況については順調であり将来的な社会実装に対して期待できるという水産海洋学の専門家やユーザである漁業関係者、漁業行政担当者からの評価を得た。



写真. シンポジウム、パネルディスカッションの様子

#### d.引用文献

[1] Vessel Monitoring System データを用いたカツオ漁船行動の解析, 朝賀紳介, 齊藤誠一, 高橋文宏  
水産海洋学会研究発表大会講演要旨集, 46, 2009 年

#### e.成果の発表

##### e.1 論文・著書等

無し

##### e.2 口頭・ポスター発表

高橋文宏(2019) AIS・VMS データから見えるカツオ漁船のふるまい. 2019 年度水産海洋学会研究  
発表大会シンポジウム「ひまわり・しきさい衛星と AI で変わるカツオ漁のこれから」. 宮城. 2019  
年 11 月 8 日

##### e.3 知財

無し

##### e.4 その他

無し