

画像認識 AI による海水速報作成プログラムの構築[†]

難波江 靖^{*1}, 下村広樹^{*2}, 飯塚正城^{*3}

Development of a program for generating sea ice condition charts using image recognition AI[†]

Yasushi NABAE^{*1}, Hiroki SHIMOMURA^{*2}, and Masashiro IIZUKA^{*3}

Abstract

Since 1970, the Japan Coast Guard has been analyzing sea ice conditions in the southwestern Sea of Okhotsk to create a sea ice condition chart in order to prevent marine accidents caused by sea ice. Until now, sea ice condition charts have been created by staff analyzing satellite images, but there was a need to improve operational efficiency and standardize the quality of the reports.

The Japan Coast Guard began research on a program to automatically create sea ice condition charts in April 2023. The goals of this study were to use Image Recognition AI to program and automatically create S-411 (dynamic sea ice information) product specifications for new nautical charts. The training data consisted of sea ice condition charts and satellite imagery. As a result, we were able to create a program that accurately depicts the sea ice conditions. In the previous method, staff analyzed the sea ice conditions, and it took 1–2 hours to create the sea ice condition chart. However, this program has reduced the creation time to approximately 5 minutes, significantly contributing to improved work efficiency. In addition, since staff analysis was no longer necessary, the quality of the sea ice condition chart has become consistent. Product specifications for S-411 have not been published by the WMO, so we were unable to create the information.

1 はじめに

日本における海水観測は、1892 年（明治 25 年）北海道庁が観測を始めてから 130 年余りが経過した（青田，1993）。海上保安庁では、1954 年（昭和 29 年）より沿岸からの観測と巡視船による観測を開始したが、1970 年（昭和 45 年）3 月択捉島単冠湾において 30 名が死亡または行方不明に

なる漁船の集団海難が発生した（第一管区海上保安本部，2025a）。この海難を契機に、1970 年（昭和 45 年）12 月海水による海難を防止するため、第一管区海上保安本部（北海道小樽市）に流氷情報センター（発足当時の名称）を設置し、日本の北方水域における海水の分布状況を周知する業務を開始した（第一管区海上保安本部，2025b）。

[†] Received August 22, 2025; Accepted October 7, 2025

* 1 情報利用推進課 Chart and Marine Information Service Division

* 2 大洋調査課 Offshore Surveys Division

* 3 第一管区海上保安本部 海洋情報部 Hydrographic and Oceanographic Department, 1st Regional Coast Guard Headquarters

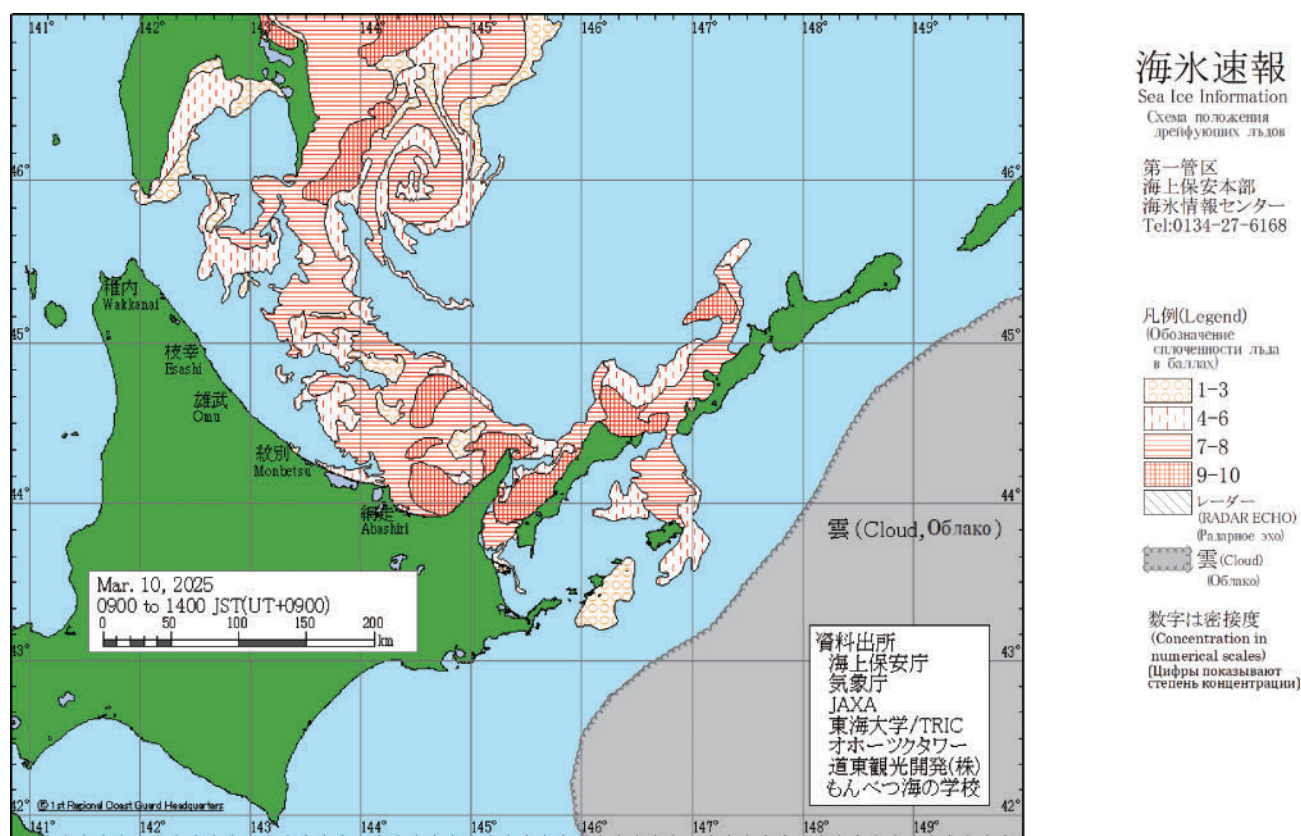


Fig. 1. An example of sea ice condition chart.

図1. 海水速報の一例

当センターの設置の期間は毎年の海水状況によって変動するが、おおむね12月から翌年の4月である。

2025年現在、海水に関する情報は、海水情報センター（2007年名称変更）のWebサイトにおいて、毎日海水速報を掲載している。このほか日本海又は太平洋に海水が流出した場合には、船舶に特に注意を喚起するため航行警報を発出し、無線による海水情報を提供している。海水速報は、発行日当日に収集した人工衛星が撮影した海域画像情報や航空機による観測記録などの情報をもとに、海水の密集の程度を示す密接度を1-3、4-6、7-8、9-10の4段階に分類し、海水の状況を記載している（Fig. 1）。海水速報により海水の状況を周知する海域は、海水速報の範囲（Fig. 1）が示す北緯42度から47度まで、東経141度から150度までである。

2 研究の目標

海水速報に示される密接度は、複数の情報を参考に職員が目視で解析しているため、解析に多くの時間を要することや個人差が発生することが以前より問題視されていた。これらの問題を解決するため、2023年4月から海水速報を自動作成するための研究を開始した。研究の目標は次の2点とした。

- ・海水速報作成の効率化による職員負担の軽減
- ・海水速報の品質の均一化を図る

実施内容は次の2点とした。

- ・画像認識AIを使用して人工衛星が撮影した海域画像情報から海水速報を自動作成する
- ・国際水路機関等により作成されている新たな航海情報製品群S-100シリーズのうち、海水情報の製品仕様であるS-411を自動的に作成し提供する

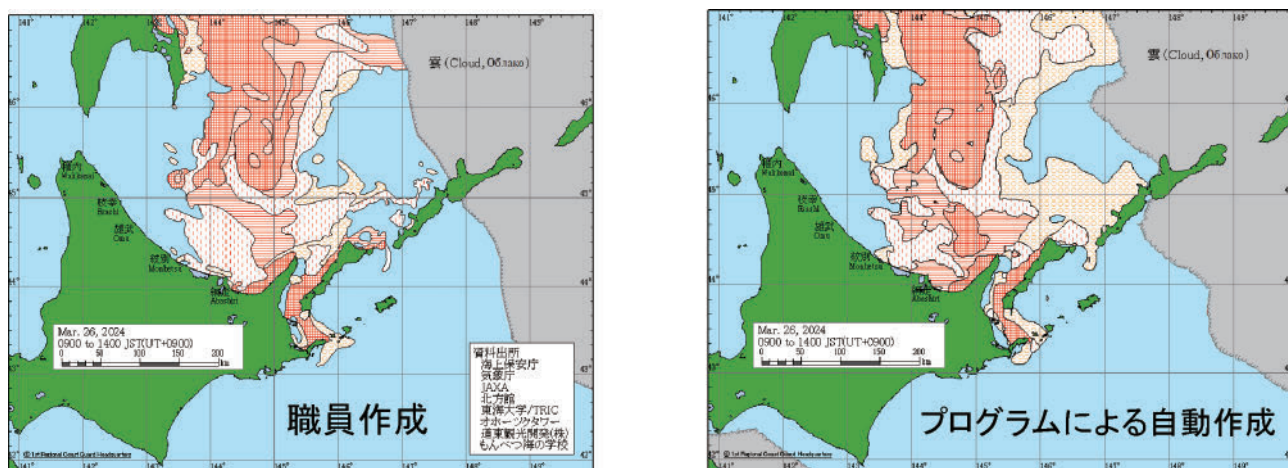


Fig. 2. A sea ice condition chart analyzed by staff and a sea ice condition chart automatically created by a program.
 図2. 職員が解析した海水速報と自動作成した海水速報の比較の一例

3 単一の情報源から海水速報を自動作成する

研究の初年度である2023年度は、技術的な課題を抽出するため、単一の情報源から海水速報を自動的に作成することを試行した。海水情報センターは、2018年から海水速報作成に気候変動観測衛星「GCOM-C」が観測した海域画像情報の使用を開始している。「GCOM-C」は2017年に地球規模での気候変動メカニズムの解明のために打ち上げられた気候変動観測衛星であり、搭載している多波長光学放射計は近紫外から熱赤外までの観測波長帯を250 mの空間分解能と1000 km以上の観測幅で全地球を約2日間で観測する能力を持ち、29種類の観測プロダクトの中に「オホーツク海海水分布」が含まれている(JAXA, 2018)。このように「GCOM-C」は、約2日に1度観測結果が得られ、オホーツク海を広範囲に観測し、海水を観測することができる人工衛星であることから、海水速報自動作成に使用する単一の海域画像情報源として選定した。

この「GCOM-C」の海域画像情報を使用した試行結果から次の事項が明らかになった。

- ① 海水の範囲を極端に過小・過大に図示することはなかった
- ② 雲の範囲は、職員が作成するものより細かく図示されたものがあった
- ③ 海水の密接度は、職員が作成するものより細かく表現しているものがあった

Fig. 2に「GCOM-C」画像，職員が解析した海水速報，自動作成した海水速報の比較の一例を示す。

4 海域画像情報から海水速報を自動作成する

2023年度の「GCOM-C」の海域画像情報による試行成果を活用し、研究2年目の2024年度は実利用できる海水速報作成プログラムの作成を目指した。本プログラムの作成は、人工衛星「GCOM-C」「ひまわり」「Aqua」「Terra」「SUOMI NPP」の5種類の人工衛星が撮影した海域画像情報、および過去の海水速報を教師データとして、画像認識AIによる海水速報作成プログラムの作成を実施した。各人工衛星の諸元は次のとおりである。

5 画像認識AIによるプログラムの作成

海水速報を作成するプログラムは、画像の各ピクセルをクラスに分類するタスクに特化したモデルである画像認識AI (Artificial Intelligence) の深層学習機能を使用し、次のような工程によって作成した。

- 深層学習による海水分布推定モデルの構築
 - ・ 教師データのラベリングとPNG形式への変換
 - ・ ベースラインモデルの開発とチューニング
- 海水速報作成プログラムの構築

Table 1. Specifications of the satellites used to produce the sea ice condition chart.

表 1. 海水速報解析に使用した各人工衛星の諸元

衛星名	GCOM-C	ひまわり	Aqua	Terra	SUOMI NPP
	太陽同期 準回帰軌道	静止軌道 140° E	太陽同期 円軌道	太陽同期 円軌道	太陽同期 準回帰軌道
高度	798 km	36,000 km	705 km	705 km	824 km
周期	98 分	10 分毎 観測	99 分	99 分	101 分
センサー	多波長光学 放射計 SGLI	可視赤外 放射計 AHI	中分解能 スペクトル 放射計 MODIS	中分解能 スペクトル 放射計 MODIS	マルチチャンネル イメージャー 放射計 VIIRS
観測幅	1150 km	半球全体	2330 km	2330 km	3000 km
分解能	250 m	500-2000 m	1000 m	1000 m	400-800 m

(一般財団法人リモート・センシング技術センター, 2025)

- ・コマンドラインアプリケーションの開発
(海上保安庁の海水速報を作成する作業手順に合わせたプログラムの開発)

5.1 教師データ

海域画像情報のうち、海水が比較的明瞭に撮影されたものを選定し教師データとした。そして、この海域画像情報に対応した海水速報も教師データとして採用した。

5.2 教師データのラベリングと PNG 形式への変換

海域画像情報は、Fig. 3 のように各要素（海、陸地、海水、雲）として表示されていることが視認できる。各要素のうち、海水と雲についてシェープファイルを作成するラベリングを実施した。雲の領域を判断することが難しい場合があり、ラベリングは全行程のうち最も長く、2人で約2か月を要した。ラベリングによってできた海水と雲のシェープファイルは、画像認識AIが学習できるようにするため、PNG形式のファイルに変換した。

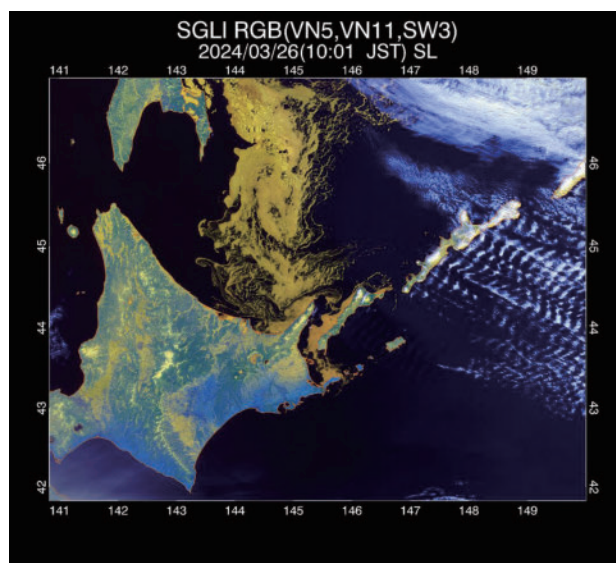


Fig. 3. Sea ice observed by GCOM-C.

図 3. GCOM-C が観測した海水

5.3 ベースラインモデルの開発とチューニング

教師データは、ラベリングと画像データへの変換を行い、画像認識AIが学習できるデータになった。これらの処理を終えたデータを画像認識AIに学習させ基本となるモデルであるベースラインモデルを作成した。

4で述べたとおり、研究開始1年目の2023年

度は、「GCOM-C」単独の海域画像情報を使用し、2年目の2024年度は5種類の人工衛星による海域画像情報を使用した。両年度ともに、作成したベースラインモデルは、海氷の状況を精度よく出力するために、チューニングを実施した。チューニングの方法は、ベースラインモデルが作成した海水速報と職員が作成した海水速報を比較して、その差が最小になるような調整を行った。

5.4 コマンドラインアプリケーションの開発

ベースラインモデルのチューニングを行うことによって、画像データから精度の高い海水速報を作成することができた。次の作業として、海氷情報センターの職員が実施するPCの入力作業をサポートするコマンドラインアプリケーションの開発を実施した。このアプリケーションは、毎日職員が操作するものであるため、コマンドラインアプリケーションの設定が簡便であること、入力文字数、クリック数、情報選択の判断回数を極力少なくすること、短時間で作成できることを目標に開発を行った。その結果、これまでと比較して、非常に簡便になった。具体的な操作の概要は、次のとおりである。

- ① コマンドラインアプリケーションの設定として、プログラム「config.ini」と「predict.exe」を、DVDからインターネットに接続されたPCのデスクトップにコピーする（①の工程は初回のみで、毎日の作業は②以降である）
- ② Prdict.exe を起動する
- ③ 作成日の入力 作成当日の海水速報であれば Enterのみ
- ④ 「GCOM-C」の画像番号を選択
- ⑤ 「ひまわり」の画像番号を選択
- ⑥ 「Aqua」の画像番号を選択
- ⑦ 「Terra」の画像番号を選択
- ⑧ 「VIIRS」の画像番号を選択
- ⑨ 使用する画像のチェックと作成開始
- ⑩ 海水速報完成

最速であれば、8回の入力で海水速報が完成する専用のアプリケーションを作成することができた。これまで海水速報の作成は、1時間から2時間を要していたが、このアプリケーションによりPCの立ち上げから海水速報完成までおよそ5分に短縮することができ、業務の効率化に大いに貢献できたと考える。

5.5 分類しきい値

本プログラムのconfig.iniの中に分類しきい値を設定する部分を設置した。分類しきい値は、深層学習モデルにおいて、クラスに属するかどうかを判断するための境界値である。二値分類問題では、モデルが出力する確率がしきい値を超えた場合、対象クラスとして判定され、超えない場合は非対象クラスとして判定される。海水速報では、クラスとして海氷、雲、欠損（データが存在していない区域）を表現している。この3つのクラスは、モデルが出力した確率についてしきい値を使用して表示するか否かを判断する。分類しきい値は、0から1までの値を使用、小数点以下2桁まで任意に指定でき（例：0.55）、納入時のデフォルトは海氷が0.50、雲が0.70、欠損が0.50である。

本プログラムを運用する前段階の準備として、ほぼ同一の時間帯に作成された人工衛星画像、航空機から撮影した海氷写真、航空機内で作成した海水分布図（Fig. 4）を参考資料として、分類しきい値を決定しておく必要がある。この値は、海水速報の品質にかかわるものなので、正確な情報を根拠に、複数の分析者の見解を総合して、あらかじめ決定し継続して使用される値である。

5.6 面積しきい値

分類しきい値と同様に、本プログラムのconfig.iniの中に面積しきい値を設定する部分を設置した。面積しきい値は、検出された対象の面積が一定値以上か以下かを判断する基準である。この値の目的は、ノイズの除去やフィルタリングに使用される。対象物の面積が面積しきい値未満

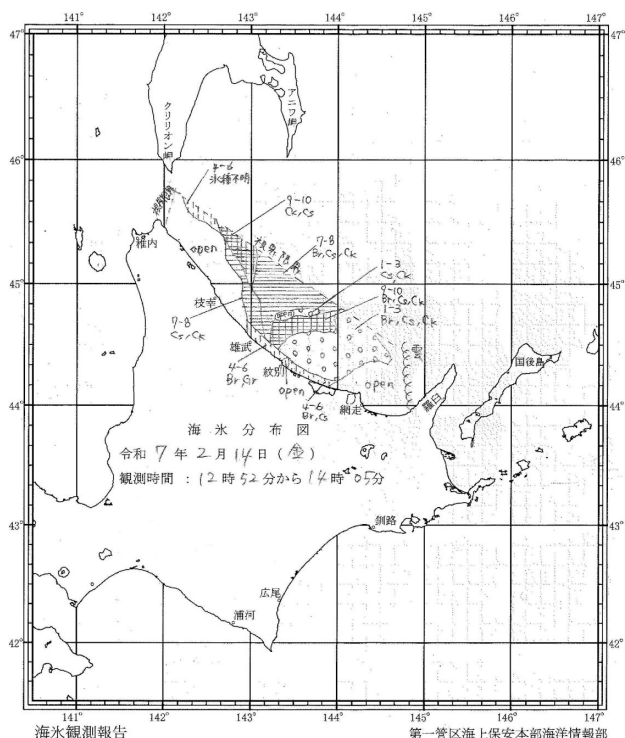


Fig.4. Sea ice distribution chart created in the aircraft.
 図4. 航空機内で作成した海水分布図

であれば無視され、面積しきい値以上であれば有効な検出として扱われる。本プログラムでは、単位をピクセルとして、0から262144 (512×512)までの値を使用、整数のみで小数点以下は設定できない。納入時のデフォルトは海水が20、雲が500、欠損が500である。この面積しきい値は、海水速報の精緻さの程度を決定づけるものなので、複数の分析者の見解を総合して、あらかじめ決定し、継続して使用されるべき値である。

分類しきい値と面積しきい値を暫定的に決定し、試行的に作成したものを示したのが Fig. 5 である。評価すべき点としては、海水域がほぼ同一の海域であること、国後海峡から太平洋に流出している海水が同程度表現されていることなどである。今後さらに各しきい値の調整を実施すれば、精度の向上が期待できる。

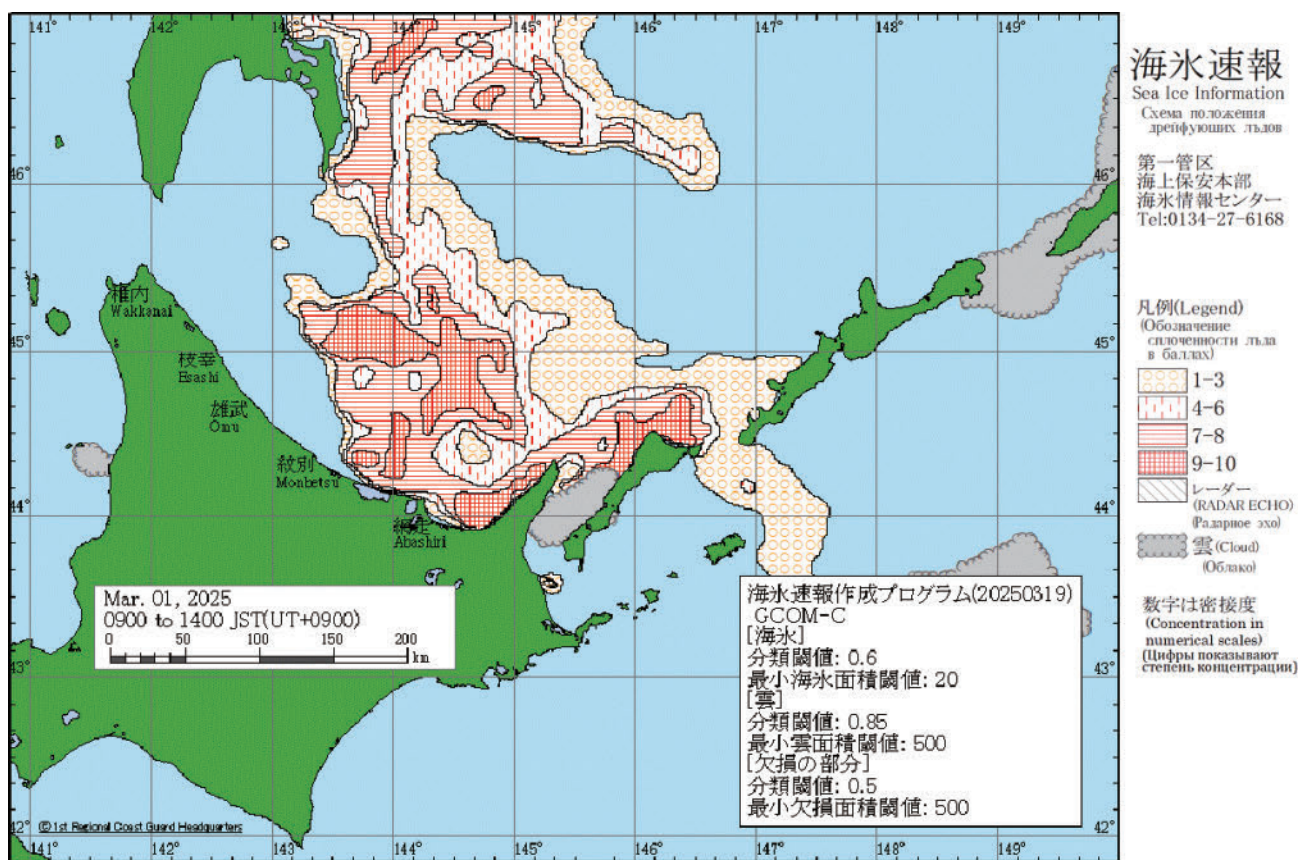


Fig.5. Sea ice condition chart with adjusted threshold values.
 図5. しきい値を調整した海水速報

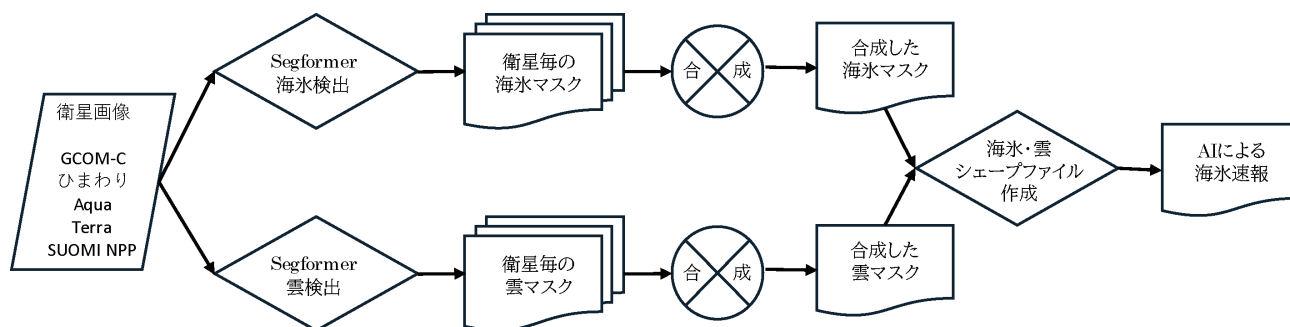


Fig.6. System flow chart of the program for creating a sea ice condition chart using AI.

図 6. AI による海水速報作成プログラムのシステム概要

5.7 全システムの概要

5.1～5.6では、AIによるプログラムの作製の各過程の概要を記述した。これらによって構築されるシステムは、各衛星の画像から画像認識AIが海水マスクと雲マスクを作成し合成化を行ったうえで海水マスクと雲マスクを作成し、海水と雲のシェープファイルが出力される。(Fig.6 参照)

6 S-411 (海水情報) の出力と今後の課題

結論から言えば、S-411の製品仕様はまだ公表されていないので、プログラムを作成することができなかった。

S-411はWMO(World Meteorological Organization)が責任機関として、WMO No.558/471/574, IMO決議, およびSOLAS条約に従い、海事関係者に対して視覚的な描写と文字による情報によって、ローカルな海水情報分析と予測を提供することが求められている(IHO, 2025)。2024年5月に東京で開催した第16回HSSC(Hydrographic Services and Standards Committee)の会合要旨(WMO Expert Team on Maritime Safety Advancement in S-411X Development)には、

- ・S-411(Dynamic Ice Information)とは、S-101に含まれる静的情報を補足する動的な情報を指す
- ・気象警報と非気象警報に関連する海水情報をS-411に掲載することについて検討する
- ・ローカルな海水の分析と予測について周知するための視覚的な描画とメッセージ

- ・情報には、氷の密接度の範囲、海と湖の範囲、氷山の位置/密接度が含まれるは
- ・S-100 5.2.0を考慮した重要な更新が進められている

のように記述されているが、2025年以降の予定については定められていない。

今後の課題としては、種々の条件が整えば、2026年度は研究を継続し、本研究の目標の一つであるS-411の自動作成を目指すとともに、併せて2025年12月頃から2026年3月頃までの海水シーズンにおいて本プログラムを使用し、その結果に基づく改善を行っていきたいと考えている。

7 まとめ

海上保安庁では、2023年度から海水速報を自動作成するプログラムの研究を開始した。この研究は、画像認識AIを使用してプログラムを構築すること、新しい海図の製品仕様であるS-411(海水情報)情報を自動作成すること、を目指した。その結果、海水の状況を的確に表現するプログラムを作成することができた。従前の方法では、海水速報作成に1時間から2時間を要していたが約5分間で作成できるようになり、業務の効率化に大いに貢献できた。また、職員による解析がほぼ不要になったので、海水速報の品質が一定になった。S-411については製品仕様がWMOから公表されていないので、情報を作成することができなかった。

謝 辞

海水速報作成プログラムの構築を受注いただいた株式会社 SELC の皆様には、プログラムの作成、および本稿の執筆にあたり様々な技術的な助言をいただき、厚くお礼申し上げます。第一管区海上保安本部海洋情報部の職員においては、実運用を想定したプログラムの修正意見をいただき感謝の意を表します。また、本原稿を完成させるうえで、有益で適切なお助言をいただいた査読者及び編集者の方に感謝の意を表します。

文 献

- 青田昌秋, 石川正雄, 村井克詞, 平田稔雄 (1993) オホーツク海・北海道沿海の海水密接度の長期変動, 海の研究, 2, [4], 251-260.
- 第一管区海上保安本部 (2025a) 海水情報センター 50 年のあゆみ, https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN1/drift_ice/50_koen/50y_ayumi.pdf, 参照 2025 年 4 月 30 日.
- 第一管区海上保安本部 (2025b) 海水情報センター, <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN1/center.html>, 参照 2025 年 4 月 24 日.
- International Hydrographic Organization (IHO) (2025) WMO S-411 から S-420, <https://iho.int/en/wmo-s-411-to-s-420>, 参照 2025 年 6 月 5 日.
- 一般財団法人リモート・センシング技術センター (2025) 衛星検索, <https://restec.or.jp/satellite>, 参照 2025 年 7 月 15 日.
- 気象衛星センター (2025) Natural color RGB, https://www.sata.jma.go.jp/mscweb/ja/prod/rgb_ntc.html, 参照 2025 年 7 月 14 日.
- 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA) (2018) 気候変動観測衛星「しきさい」観測データの提供開始について, https://www.jaxa.jp/press/2018/12/20181220_shikisai_j.html, 参照 2025 年 5 月 8 日.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2025) TERRA, <https://www.terra.nasa.gov/about/terra-instruments/modis>, 参

照 2025 年 7 月 15 日.

要 旨

海上保安庁は、1970 年から海水による海難を防止するため、オホーツク海南西部の海水状況を解析し、海水速報を作成している。これまで海水速報は、職員が人工衛星画像情報をもとに解析していたが、業務の効率化と品質の均一化が求められていた。

海上保安庁では、2023 年度から海水速報を自動作成するプログラムの研究を開始した。この研究は、画像認識 AI を使用してプログラムを構築すること、新しい海図の製品仕様である S-411 (海水情報) 情報を自動作成すること、を目指した。教師データとしては、人工衛星画像情報と海水速報を使用した。その結果、海水の状況を的確に表現するプログラムを作成することができた。従前の方法では、人による解析を実施しており海水速報作成に 1 時間から 2 時間を要していた。しかし、このプログラムによって、約 5 分間で作成できるようになり、業務の効率化に大いに貢献できた。また、職員による解析が不要になったことにより、海水速報の品質が一定になった。S-411 については製品仕様が WMO から公表されていないので、情報を作成することができなかった。