

推薦論文

# ユーザ参加型AISによる リアルタイム風況データと航海状態の可視化

藤本 隆晟<sup>1,a)</sup> 浦上 美佐子<sup>2,b)</sup>

受付日 2021年7月24日, 採録日 2022年1月11日

**概要:** 安全運航を目指した通信網の1つとしてAISがあり, 現状, AISは気象・海象といった外的要因によるデータ(外的データ)の送信を実現できていない. しかし, 外的要因は船舶の運航を左右する重要なデータであり, 船舶操船時の安全性を向上させるためには外的要因による影響をリアルタイムに把握し, 状況に応じた的確な対応を補佐するための視覚化が必要となる. 本研究では, AISに存在するバイナリ自由メッセージ枠を利用したMessage通信で, AISの仕様を変更することなくGPSやジャイロセンサ等のセンシングデータに加え, 外的データを埋め込んで送信するためのAIS拡張機能を実装する. そして, ランダムフォレスト, cos類似度による分類アルゴリズムで航海状態を分類する手法を提案することにより, 外的要因の影響である航海状態を可視化する船舶安全確認支援システムの開発および実運航データを用いた評価実験を行う. 結果, 提案手法は海上におけるユーザ参加型センシングシステムとして, 従来の類似システムと比較するとリアルタイム性, 正確性の向上に成功し, リアルタイム風況データおよび航海状態の可視化を実現した.

**キーワード:** AIS, 船舶安全確認支援システム, ユーザ参加型センシングシステム, 外的データ, Message通信, 航海状態, ランダムフォレスト, cos類似度

## Realtime Visualization of Wind Condition and Ship Navigation Status by User-participatory AIS

RYUSEI FUJIMOTO<sup>1,a)</sup> MISAKO URAKAMI<sup>2,b)</sup>

Received: July 24, 2021, Accepted: January 11, 2022

**Abstract:** Automatic identification systems (AISs) represent communication networks to ensure safe operation. The existing AISs cannot realize the transmission of external data, which pertain to external factors such as the weather and sea conditions. However, external factors significantly influence the operation of a ship, and to enhance the safety of ship operations, the effects of external factors must be visualized in real time to facilitate the implementation of appropriate actions. In this research, we extend the AIS to transmit external data in addition to sensing data such as that based on GPS and gyro-sensors, without changing the AIS specifications. In particular, we adopt a message communication function that can freely utilize the binary message frames in the AIS. Moreover, a method involving a classification algorithm based on random forests and cosine similarity is developed to classify the navigation states to formulate a ship safety confirmation support system that can visualize the influence of external factors on the ship navigation states. Evaluation experiments are performed using real operational data. The results indicate that the proposed method, as a user-participatory sensing system at sea, can realize the visualization of real-time wind condition and ship navigation status with an enhanced performance and accuracy compared with those of similar conventional systems.

**Keywords:** AIS, ship safety confirmation support system, user-participatory sensing system, external data, message communication, ship navigation status, random forest, cosine similarity

<sup>1</sup> 九州大学  
Kyushu University, Fukuoka 819-0395, Japan

<sup>2</sup> 徳山工業高等専門学校  
National Institute of Technology, Tokuyama College,  
Shunan, Yamaguchi 745-8585, Japan

<sup>a)</sup> fujimoto.ryusei.844@s.kyushu-u.ac.jp

<sup>b)</sup> urakami@tokuyama.ac.jp

## 1. はじめに

風や波のような気象・海象といった海上における外的要因は船舶の運航を左右する。例として、2018年9月4日、台風21号による増勢した風の影響で油タンカが関西国際空港連絡橋に衝突するという事故が発生した[1]。本事故においては乗組員に死傷者はいなかったものの、関西国際空港連絡橋は道路桁の橋梁部に曲損や破口等、鉄道桁に架線柱の倒壊やレールの歪み等の大損害に至った。本事故の原因としては、台風による周囲エリアの風況が想定できる程度の風況情報の欠如、台風による自船舶状態を的確に判断できなかったことがあげられる。その他、過去にも外的要因による船舶事故は起きているが、その多くは船舶周辺がデータ空白地域であることによる的確な状況判断データの欠如によるものであった。このような外的要因による船舶事故はいつ発生してもおかしくないと考えられる。

上記の背景より、船舶操船時の安全性を向上させるためには外的要因による影響をリアルタイムに把握し、状況に応じた的確な対応を補佐するための視覚化が重要となる。また、船舶の運航状態と外的要因のデータ（外的データ）をリアルタイムに把握することにより、船舶乗組員の安全を保証するだけでなく、運航管理者側からの運航管理も可能になると考えられる。

このような課題を解決するために、安全運航を目指した通信網の1つとして船舶自動識別装置（AIS, Automatic Identification System）[2], [3], [4]の活用が期待される。AISは国際条約に基づく搭載義務化船が使用するAIS classA, 非義務化船に向けたAIS classB, 受信専用AISがある。これは国際VHFを用いたブロードキャスト通信網であり、衝突防止に向け、各船舶内部に配備されているGPSやジャイロセンサ等から得られるデータをAISデータとすることで、AISを通じて一定間隔かつ自動で相互通信を行い、安全運航の向上へ貢献している。つまり、このAISはユーザ参加型の相互情報交換システムであるといえる。

しかし、従来のAISの仕様上、安全運航に重要な外的データを新たにAISデータに含めたい場合においても、国際規格であるため、容易には仕様拡張を検討することは難しい。しかし、AISにはごくわずかなバイナリメッセージ枠を扱う自由メッセージ枠がある。本研究では、このメッセージ枠を利用し、AISの仕様を変更することなく、AIS拡張機能を実装することによって実現した、下記に示す2つのユーザ参加型船舶安全確認支援システムの開発および評価を行う。

### (1) リアルタイム風況データの可視化

本研究では外的要因の中でも風況に焦点を当てる。AIS classA搭載船舶では自由メッセージ枠でのデータ送信による相互通信が可能である。これを利用し、風況データを自由メッセージ枠に埋め込み、AIS通信網

を用いた風況データを可視化することを目指す。

### (2) 船舶航海状態の可視化

AIS classB搭載船舶では自由メッセージ枠による相互通信は仕様上不可能であるが、データを受信することは可能である。そのため、受信AISデータに含まれる船舶位置情報（緯度・経度）、対地速度（SOG, Speed Over Ground）を利用することで、分類アルゴリズムによって安全時と異常時の状態の分類を行った。本研究では、分類アルゴリズムとしてランダムフォレストとcos類似度を利用した。これにより分類された状態を船舶航海状態として可視化することを目指す。

本稿では、2章で本研究の位置づけを明らかにする。3章では風況データをAISデータに埋め込み、送信するためのAIS拡張機能を目指した機能の提案と可視化の基盤となるシステムの構成、アプリ上におけるリアルタイム風況データの可視化結果を示す。4章ではAIS拡張機能を利用した船舶状態の分類アルゴリズムを提案し、それを5章で本システムを用いて、実際の定期船データでの実験と評価をする。最後に6章で、本稿で提案するAIS拡張機能の考察と展望について述べる。

## 2. 海上における安全性の課題とAISの可能性

本章では2つの海上における安全性の課題を取り上げる。1つ目は「データ不足による精度の限界」、2つ目は「classB船舶において安全状態が周知できない点」である。これらの詳細を前者は2.1節、後者は2.3節で説明する。

### 2.1 海上におけるデータ精度の課題

本研究では、海上交通の重要な外的要因のデータとして、風況データに着目する。

現在、気象庁が風況データの24時間後までの予測を6時間ごとの公開や、海上保安庁がブイで観測された実データを一定時間遅れて公開している。しかし、前者は6時間ごとの予測を海上格子（緯度・経度ともに0.5度の格子）内の最大風速および風向のみしか示されておらず、リアルタイム性はない[5]。また、後者は海上格子の目が粗い（日本全国132カ所）ため、対象船舶から見るとデータの信頼性が低く、より細かな海上格子のデータが必要になるという問題点がある[6]。一方、AIS義務化船のような大型船には風況センサが常設されており、その船舶内だけで活用するためのクロズドデータとして扱っている。このクロズドな風況データをAISで扱うことができれば、その海域の周囲船とリアルタイムな風況データの共有が可能になる（図1参照）。これは特に、船舶が密集しているような海域において精密な風況データを取得できるようになる。

本論文の内容は2021年3月の第186回DPS研究発表会にて報告され、同研究会主催により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である。

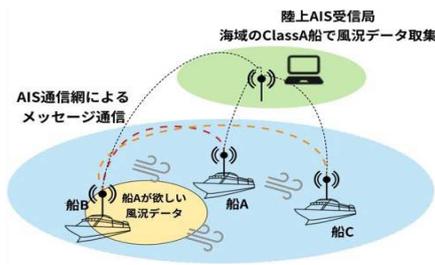


図 1 風況データの収集提案図

Fig. 1 Proposal diagram for collecting wind condition data.

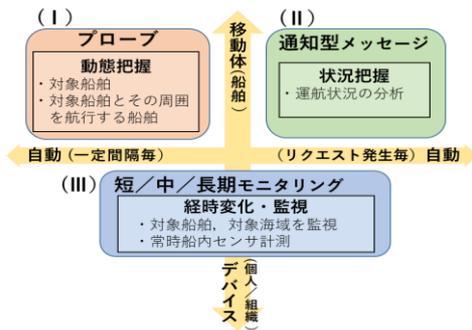


図 2 AIS データの有効利用可能性

Fig. 2 Availability of AIS data.

よって、AIS を搭載した船舶による風況データの共有が可能になることで、海上におけるデータ精度の課題を解決でき、海上の安全性を向上させることにつながる。本研究では、AIS 搭載船舶をユーザとみた、「ユーザ参加型によるデータ収集方式」を提案するとともに、収集した情報を共有するための AIS 拡張機能の開発を行う。詳細は 3 章で述べる。

## 2.2 AIS によるユーザ参加型データ収集の可能性

AIS は、大規模なインフラ整備が不要な、海の ITS (高度海上交通システム) の基本となるシステムであるため、AIS の利活用を促進することは、海上交通の安全安心に貢献することにつながるため、各種団体や国の支援も積極的に進められてきた。

図 2 は、データ収集における実世界のモニタリング事例 [7] に、海上における AIS データ有効利用の可能性についてあてはめ、AIS データの仕様に従った送受信を一定間隔で行うか/リクエスト発生ごとに行うかという軸と、モニタリング対象の AIS 搭載船か/モニタリングを行う周辺船舶や陸上のデバイスかという軸で分類した。定点観測が中心の海上状況情報を共有する取り組み [8] は行われてきているが、海上においても、陸上と同様に [9]、(I) ユーザとなる対象船舶からデータを収集し、(II) 通知型メッセージとして状況把握を行う。その状況把握を一定間隔もしくはリクエスト発生ごとに経時変化をモニタリングすることで、(I) から得られるデータを有効利用の可能性はある。本研究では、図 2 に AIS を適用し、(I) AIS 搭載船から得られる各種センサデータを、(II) AIS メッセー

ジ通信の仕様により、(III) 陸上の受信専用 AIS や周辺船舶によりモニタリング可能となることを対象とする。しかし、既開発品の多くの AIS 機器はブラックボックス化されているため、容易にセンサの種類を増やすことができない。そのため、本研究では、現 AIS の低速・低容量の制約下で有効利用が見当たらない「バイナリ自由メッセージ枠」を活用する海域にいる船舶が観測した外的データをできる限りリアルタイムに近い時系列データとして周囲船が把握できる機能を提案する。

## 2.3 classB 船舶におけるユーザ参加への課題

船舶に搭載する AIS には、搭載義務化船用の AIS classA と非義務化船用の AIS classB がある。classA の仕様では、バイナリ自由メッセージ枠が送受信可能であるが、classB では受信のみの制約問題がある。この classB の制約を補うため、文献 [10] は classA 搭載船のレーダで得られた classB や AIS 非搭載船の船舶位置情報をバイナリメッセージで周囲船と共有すること、文献 [11] は AIS を用いずスマートフォンアプリで共有することを提案した。本研究では、AIS のみでこの制約課題に対応する。classB を対象に、AIS を用いたユーザ参加型データ収集の可能性を考えると、classB でも送受信可能な船舶位置データ、船首方位、SOG といった移動体の基盤となる動的データ (オープンデータ) の利用可能性を考える必要がある。

そこで、これらの移動体の基盤となる動的データのみを用いることで、対象船舶の動的データを受信した周囲船や、対象船舶自身といった個々のユーザの安全や異常といった航海状態を可視化し、結果的に安全性に関わるデータをユーザ全体に共有することになる。classB を対象としたユーザ参加型データ収集と航海状態の可視化について 4 章で提案し、5 章で有効性の検証を行う。

## 3. リアルタイム風況データの可視化

### 3.1 AIS の基本機能

AIS は VHF 帯 (9600 [bps]) で通信可能な 50–100 km 圏内の船舶で相互にブロードキャストを行い周囲の船舶と情報を交換しあう通信方式で、一定間隔かつ自動で相互通信を行っている。また AIS で扱われる、静的データ、動的データ、安全関連データ等の各種データは MessageID で規定されている。このうち、ごくわずかな情報をバイナリデータとして自由に送受信可能なメッセージ枠が存在する。このバイナリ自由メッセージ枠は MessageID 8 として定義されている。この仕様を前提とし、3.2 節では、MessageID 8 を用いた AIS 拡張機能の提案を行う。表 1 に本研究で取り扱う AIS データの各メッセージ仕様を示す。

### 3.2 AIS 拡張機能

本研究では、まず、2.1 節で述べた課題を解決するため、

表 1 AIS データのメッセージ仕様  
Table 1 Message specifications for AIS data.

ID	メッセージ名	内容
1, 2, 3	classAの定期的位置通報枠	ClassAの動的データ
5	classAの静的・航海関連情報	ClassAの静的データ
8	バイナリ自由メッセージ枠	952 [bit] 自由文型データ
18	classBの定期的位置通報枠	ClassBの動的データ
24	classBの静的・航海関連情報	ClassBの静的データ

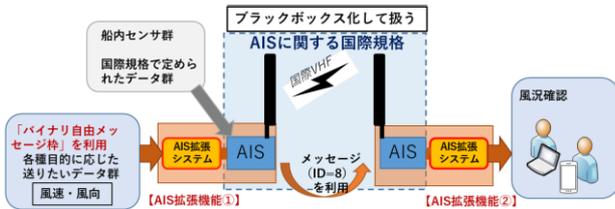


図 3 AIS 拡張機能  
Fig. 3 AIS extensions.

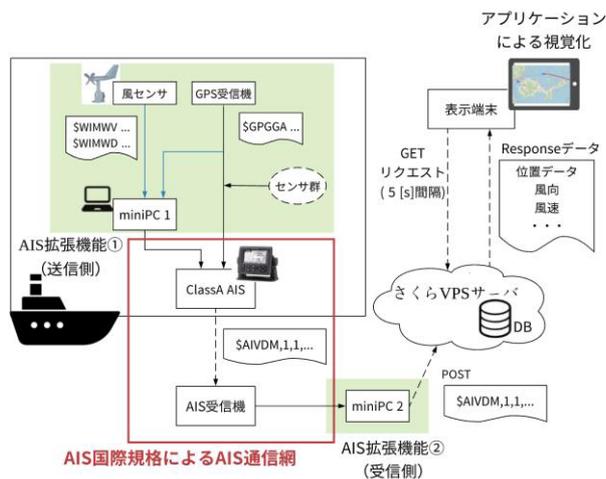


図 4 システム構成図  
Fig. 4 System configuration diagram.

AIS (特に classA) の VHF 帯ブロードキャスト通信網を利用し、風況データを埋め込んだ AIS 拡張機能を検討する。AIS 間での利用範囲は、VHF 電波見通し範囲内で約 50–100 km といわれているため、本研究では、その海域内での局所的な風況データを得るため、AIS 可能性について検討する。

表 1 に示す MessageID 8 を利用した AIS 拡張機能として図 3 に示す下記の 2 つを提案する。また、各機能を含んだシステム構成については図 4 で示しており、3.3 節で述べる。

(1) 外的データの格納機能 (拡張機能①)

図 3 における国際規格で定められた船内センサ群から、緯度、経度、船首方位を、そして、新しく送信したい外的データ (本研究では風況データ) を取得する。そして、それらを AIS に AIS 拡張システムから入力することで MessageID 8 のバイナリ自由メッセージ枠に

外的データを格納する。なお、AIS に入力されたデータは自動的に AIS の機能を用いてエンコードされる。

(2) 外的データの抽出機能 (拡張機能②)

まず拡張機能①で外的データが格納されたメッセージ (MessageID8) を受け取る。そして、それをデコードしてから外的データに関するデータを抽出し、DB に格納させる機能。この機能を用いることでアプリケーション上での可視化が実現できる。

この拡張機能は、前者により AIS 通信網を 2 次的に利用することで Message 通信を用いた自船データのやりとりが可能になる。また Message 通信の内容は後者により、AIS の一定間隔での通信で蓄積されるためリアルタイムに可視化を実現可能である。なお、本研究では、AIS 通信網は国際 VHF 帯利用であり、国際規格で定められているためブラックボックス化して扱う。

3.3 システム構成

図 4 に本システムの全体像を示し、開発した 2 つの拡張機能について説明する。まず拡張機能①は、風況センサと GPS 受信機のセンシングデータを miniPC1 で結合し、AIS に入力することで MessageID 8 として送信する。そして、AIS の一定間隔でデータを送信する機能を利用することで従来の方法に比べリアルタイム性を向上させた。

拡張機能②は、AIS データを可視化するまでの技術である。拡張機能①から送信されたデータは陸上 AIS 受信機で受信され、接続された miniPC2 によってサーバにそのまま POST する。サーバは Python の Flask で構成しており、AIS データが POST されたタイミングでデコードを行う。デコードは、オープンソースライブラリである pyAISm を本研究用に改良したものを利用した。デコードされた AIS データは、MySQL DB に蓄えられ、サーバと表示端末の http 通信のやりとりに利用される。また端末からは 5 [s] 間隔で GET Request がサーバに要求され、それに対しサーバは船舶ごとの位置データと風況データを DB から抽出し、JSON 形式にまとめたものを Response として端末に返す仕様となっている。ここでは一般的に AIS による一定通信間隔は 2~10 [s] とされているため、システムの通信間隔を 5 [s] とした。そして、Response データを基に端末側は JavaScript の Leaflet を用いて OpenStreetMap (OSM) 上に風況、船舶、その航跡情報を表示する。

3.4 アプリケーション概要

3.3 節の AIS データを可視化するまでのプロセスを風況データシェアシステムとし、Web アプリケーションとして実装した。本システムと類似アプリケーションとの比較を表 2 に示す。これから、本システムの新規性と優位性は Message 通信内容の可視化部分にあり、これは風況データ以外にも利用できると考えられる。

また、本システムは協力する船舶の数に共有データが比例し、結果として利用ユーザが多いほど精密な風況データを取得することが可能になる。つまり、本システムはユーザ参加型センシングシステムに位置付けられると考えられ、利用ユーザの数がデータの正確性につながる。気象庁や海上保安庁といった従来の風況データの公開手法に比較してリアルタイム性、正確性、双方の特性を向上させた本システムは船舶における安全確認支援システムであるといえる。

### 3.5 リアルタイム風況データの可視化

図5に本システムで視覚化した際の表示結果の一場面を示す。OSM上に現在の船舶の位置と方位（青三角）とその航跡（赤ライン）、風況ベクトル（矢印）をリアルタイムに表示することに成功した。1度表示した航跡と風況ベクトルはそのまま表示させることで一定時間のデータの可視化を保持している。なお、このときの表示端末はPC、タブレット、スマートフォンにおいて確認できた。しかし、船舶データ数が膨大になった際に遅延時間が発生してしまうという課題がある。これはhttp通信のインターバル間隔ないしはhttp通信を行う際のデータ処理を改善する、サーバを分散させる等で遅延時間を縮小できると考える。

### 3.6 システム評価

船舶安全確認支援システムの一機能として外的データの可視化に成功した。拡張機能①について、船舶で取得した外的データをMessageID8に格納させて送信したことを確認している。また拡張機能②については、通信によってMessageID8の中で不正なチェックサムとなってしまったもの、デコードできないものを除外し、DBに格納するこ

表2 類似アプリケーションの比較

Table 2 Comparison of similar applications.

	本システム	OpenCPN	SEAIq Pilot
地図データ	OSM	ENC (電子海図)	ENC
対応OS	全対応	Android以外対応	全対応
デコード機能の有無	○	×	○ (有料)
Message通信内の可視化	○	×	×



図5 アプリ上における風況データの可視化結果

Fig. 5 Visualization result of wind condition data in the app.

とに成功している。

本システムを山口県周防大島町で定期船を運航する船長に確認依頼したところ、誰でも容易にアプリ上で現在の船の位置情報や方位、たどってきた航路、風況を確認できるようにした点が面白い、また風況は現状、運行前に手動風速計で確認するしか方法がないので運行海域の風況データが見られるのは嬉しい、と可視化について大変良い評価をいただいた。また、運航管理者に表示端末としてPC、タブレット、スマートフォンで確認いただき、リアルタイム性についても一定の評価を得た。以上のことから、アプリケーションとして船舶運航の安全性向上に期待できる。

## 4. 航海状態の分類手法とその可視化

本研究では、次に、2.3節で述べた課題を解決するため、AIS classB搭載船の自由メッセージ枠によるMessage通信の、データ受信のみ可能であることに着目する。そこで、AIS classB搭載船の運航安全性も向上させるべく、受信AISデータに含まれる船舶位置情報(GPS)、SOGを利用することで、分類アルゴリズムによって安全時と異常時の状態の分類を行い、分類された状態の可視化を行う。

提案手法の手順としては、船舶の移動位置の予測モデルを構築(4.1節)し、出力として得られた予測位置への変位と実際の変位を比較することで船舶の航海状態を表3のように3つに分ける(4.3節)。この3つの状態を図6のように色分けすることで、船舶の運航者や管理者に分かるように可視化する。なお、可視化については3章で構築したシステムを用いる。

### 4.1 予測モデリング手法の提案

本研究における予測モデルは船舶の位置データを学習させることで、船舶の予測移動位置を得るための回帰問題を解くモデルを考える。回帰問題を解く機械学習アルゴリズムはSVM、ランダムフォレスト、ニューラルネットワーク

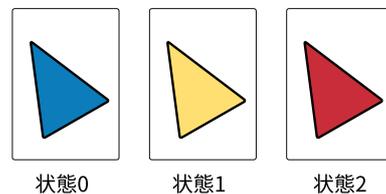


図6 航海状態

Fig. 6 Ship navigation status.

表3 航海状態定義

Table 3 Ship navigation status definition.

状態番号	状態名
0	安全運航状態
1	注意運航状態
2	危険運航状態

表 4 船舶移動予測モデルへの入力特徴量

Table 4 Features for ship movement prediction model.

特徴量	データ元
緯度 [°]	GPS
経度 [°]	GPS
現時刻からの差分値 [s]	GPS

クを利用したもの等様々である。リアルタイム性を追求する本研究では、その中でも他の機械学習アルゴリズムと比較して学習にかかる計算量が少ないアルゴリズムであるランダムフォレストを採用した。

ランダムフォレストは複数の決定木 (decision tree) を利用したアンサンブル学習によって高い予測性能を発揮することが可能である。なお、計算量が少ない、変数の重要度を算出することが可能、構築の容易さ、ノイズ耐性があるといった利点 [12] から本研究の船舶移動予測に適しているといえる。

#### 4.2 船舶移動予測モデルの構築

4.1 節のランダムフォレストを用いて、船舶移動予測モデルを構築した。学習データには航海状態が安定している日の船舶の位置データを用いた。またモデルに入力する特徴量を表 4 に示す。モデルは現在から過去 90 秒分の位置データと現時刻との差分値 [s] を入力することで、出力として 10 秒後の予測位置データが得られる仕様としている。安全航路の学習データを利用したモデルであることから出力として得られる予測データは“安全な状態”であると仮定する。

学習モデルは、往路と復路それぞれで出力を緯度とするモデル、出力を経度とするモデルを 1 変数回帰として構築した。これらの計 4 つのモデルで 1 隻の移動予測を行う。また、位置データと SOG を用いて港から半径  $r = 50$  [m] 以内に船が侵入した場合 [13]、予測を一時的に止め、航海状態を状態 0 の初期状態に戻し、適用されるモデルを往路なら復路へ、復路なら往路へ切り替える処理を行う。

これらの各モデルを運行中の船舶に適用することで、船舶の予測位置を求め、この予測位置を基に 4.3 節以降の航海状態の分類に発展させていく。予測位置を用いた分類手法の提案は 4.4 節で詳細を述べる。

#### 4.3 位置情報を用いた変位ベクトルの生成

4.2 節では、安全航路に基づく船舶移動予測について説明した。次に、その予測データと実際の船の変位を比較するために、予測変位ベクトルと実際の変位ベクトルを用いる必要がある。しかし、AIS データの位置情報には緯度・経度のデータしか含まれていないため、位置情報を平面直行座

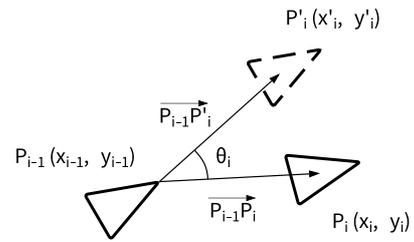


図 7 予測変位ベクトルと変位ベクトルの比較

Fig. 7 Comparison of predicted displacement vector and displacement vector.

標系に変換する必要がある。本研究では、地球を WGS84 に基づく楕円形緯度経度座標系ととらえることで、これを python ライブラリである Pyproj を用いて直交座標系に変換する。Pyproj は変換前と変換後の EPSG コードを使って、座標系を変換することができるライブラリである。変換前である WGS84 の EPSG コードは 4326 であり、これを緯度経度の区間ごとで定められている平面直交座標系の EPSG コードに変換することで平面直交座標系の座標を取得することが可能である。5 章の実験では山口県周防大島町の定期船 4 船を利用したため、山口県の EPSG コードである 6671 を使用した。これにより得られた 2 点の座標から、ベクトルを生成することができる。

#### 4.4 cos 類似度による危険度分類

4.2 節では船舶が安全に変位した場合の予測データが得られる。これを実際の変位と比較することで航海状態を分類する。図 7 は現在位置を  $P_i$ 、予測位置を  $P'_i$ 、10 秒前の位置を  $P_{i-1}$  とした際の想定図である。この位置データを 4.3 節に示す方法でベクトルを生成する。生成されたこの予測変位ベクトルと変位ベクトルの角度を  $\theta_i$  とすると、 $\theta_i$  の値は航海状態が安全な状態ほど小さくなり、危険な状態であるほど大きくなる。この特性は、cos 類似度に基づき以下の式 (1) で  $\cos\theta_i$  の値 (危険度) を評価できる [14]。

$$\cos\theta_i = \frac{\overrightarrow{P_{i-1}P_i} \cdot \overrightarrow{P_{i-1}P'_i}}{\left| \overrightarrow{P_{i-1}P_i} \right| \left| \overrightarrow{P_{i-1}P'_i} \right|} \quad (1)$$

つまり、この値が 1 に近づくほど 2 つのベクトルが類似するため安全であり、-1 に近づくほど危険であることを示す。この  $\cos\theta_i$  の値を以下の危険度評価式 (2) に基づき評価することで現在位置データの状態を状態 0 から 2 に分類する。

$$risk(\cos\theta_i) = \begin{cases} 0 & (0.3 \leq \cos\theta_i \leq 1.0) \\ 1 & (-0.3 < \cos\theta_i < 0.3) \\ 2 & (-1.0 \leq \cos\theta_i < -0.3) \end{cases} \quad (2)$$

この状態番号を現在から過去の状態を貯める Queue である state\_list に 90 秒分格納し、その平均を四捨五入した整数値を現在状態 (state\_mean) として図 6 の色に対応した

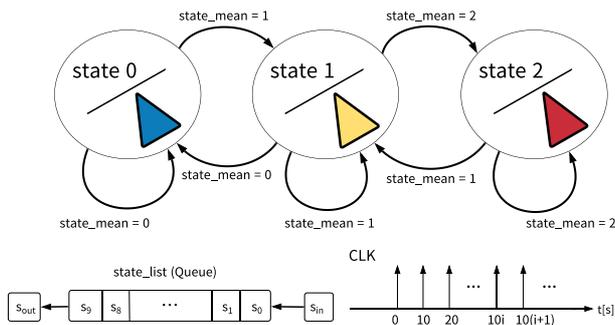


図 8 船舶状態遷移図

Fig. 8 Ship state transition diagram.

ものをシステム上に表示する. このアルゴリズムの状態遷移図を図 8 に示す. 0.1 [Hz] のクロック周波数で, 新しい状態を state\_list に Enqueue し, 古い状態を Dequeue, そして再度 state\_mean を計算することで状態を遷移させる.

### 5. 定期船を用いた実験と評価

山口県周防大島町の定期船 4 隻 (かささ, せと丸, ひらい丸, くか) の定期便航路データ [15] を用いて評価実験を行った. 以降, 実験環境, 実験結果, アルゴリズムの評価と考察の順に述べる. なお, 「かささ」を船 A, 「せと丸」を船 B, 「ひらい丸」を船 C, そして「くか」を船 D とする.

#### 5.1 実験環境

船舶移動予測モデルの学習データには, 安全運航かつ比較的天気も良い 2020 年 6 月 22 日~24 日の各定期便航路データ (全便) を用いた. また, テストデータには同年 6 月 25 日の各定期便航路データ (1 便) とし, モデルの評価を行った. そして, 実験データには同年 6 月からランダムに選んだ 6 月 27 日の各定期便航路データ (1 便) を利用し, 3 章で構築したシステム上で実験を行った.

学習データにおいては港から半径 50 [m] 以内のデータを前処理として削除してモデルの学習を行った.

テストデータによるモデルの評価方法は, 予測データと正解データの正答率によって行った. その結果を表 5 と図 10, 図 11 に示す. 表 5 から, 「船 D」の経度モデルを除き, 精度は 9 割を超えており, 安全な予測位置データを出力として得られることを確認できた. また, 図 10, 図 11 では, 実際の緯度経度の変化に対し, 予測緯度経度のグラフがおおよそ一致していることも確認できた. ここで「船 D」の経度モデル (図 11 右側) についてだが, 実際の値の変化が他のグラフと比較しても激しいことが分かり, 予測値がその変化に対応しきれず, 結果として精度が落ちてしまっている. この定性的な評価は 5.3 節で行う.

実験データは, 各定期船の 1 往復分のデータを利用した. その際, 利用した運航時間帯 (運行開始時間および運航終了時間) とデータのレコード数を表 6 に示す.



図 9 山口県における天候 (上図)・風況 (下図) (2020/06/27 16:00)

Fig. 9 Weather and wind conditions in Yamaguchi Prefecture (2020/06/27 16:00).

#### 5.2 実験結果

表 5, 図 10, 図 11 でテストデータを評価した. 次に実験データで, このモデルを本システムで用いた場合の評価を行った. 図 9 から, 2020 年 6 月 27 日 16 時の山口県の天候は雨であり, 山口県周防大島町 (図 9 の赤丸部分) では風速 5 [m/s] であったことが確認できた [16]. そのためこの時間帯付近での運航では, 波や風といった外的要因による航路幅の広がりや狭まりから注意運航状態 (状態 1) が実験結果として時折見られると仮説を立て, 実験を行った. 実験結果を図 12 と図 13 に示す. 図 12 は本システム上に航海状態の可視化を実装したものだが, これでは正確に状態を分類できたかが不明である. そのため, 実際の定期船 1 往復分の航海状態が分かるよう, 航跡 (線) を図 6 の運航状態の色に対応させたものを図 13 に示す. 図 13 より, 「船 A」, 「船 B」, 「船 D」の航跡において, 一部, 注意運航状態 (状態 1) に分類された (図 13 の点線部分). この結果より, 仮説は正しかったといえる. しかし, 港付近で状態が変化している, 「船 A」, 「船 D」においては, 外的要因ではなく入出港時の離着岸の方法が違ったからだと考えられる. つまり, 船舶の入出港の方法がそのつど異なってしまうために, 異常な運航だと分類されるという結果を得ることができた.

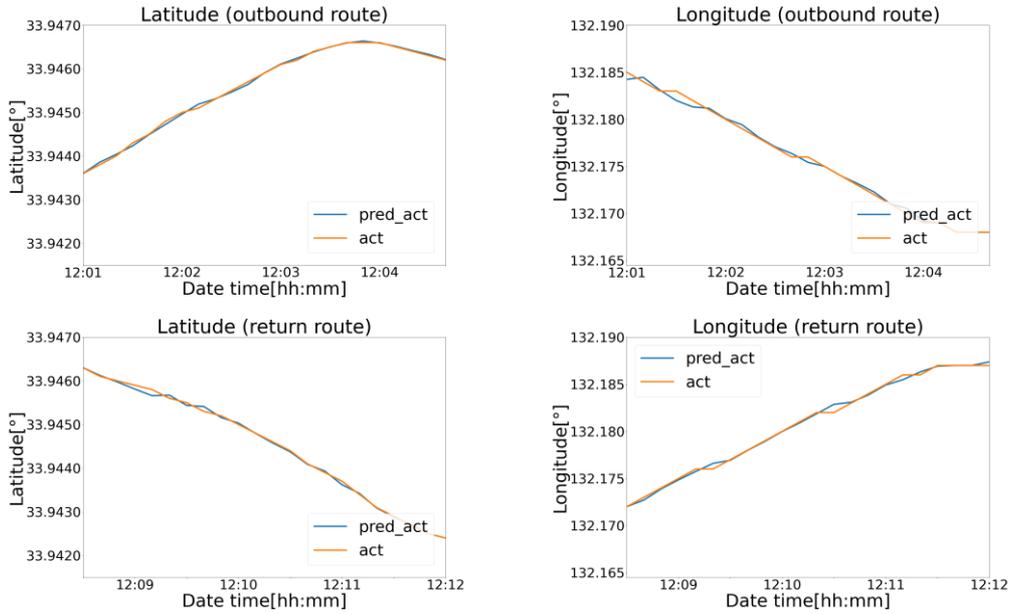


図 10 テストデータによるモデル評価 (船 A)

Fig. 10 Model evaluation based on test data (ship A).

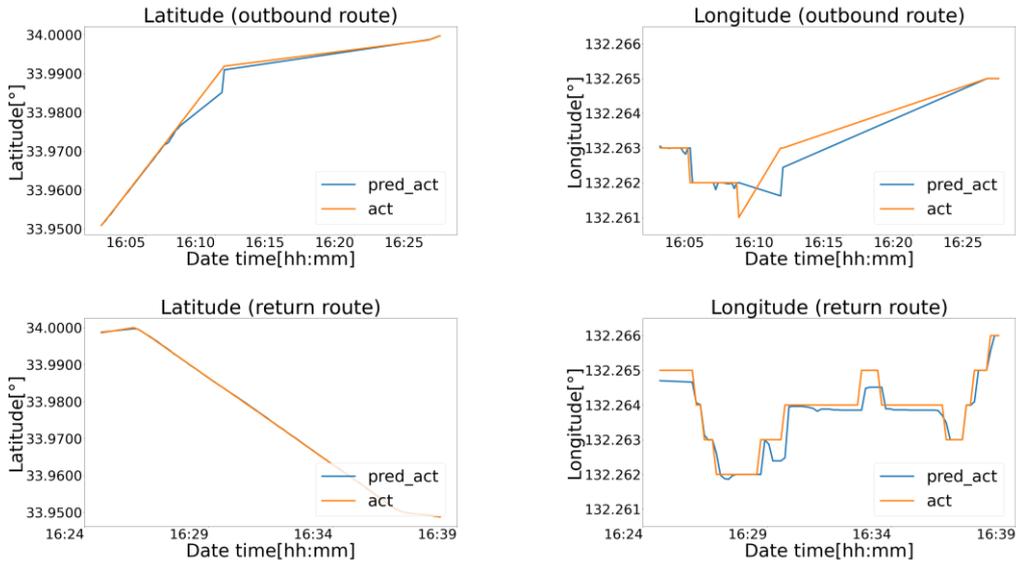


図 11 テストデータによるモデル評価 (船 D)

Fig. 11 Model evaluation based on test data (ship D).

表 5 テストデータによるモデル評価スコア

Table 5 Model evaluation score based on test data.

モデル	船A	船B	船C	船D
往路(緯度)	0.9977	0.9954	0.9998	0.9988
往路(経度)	0.9946	0.9984	0.9990	0.8483
復路(緯度)	0.9972	0.9770	0.9989	0.9999
復路(経度)	0.9968	0.9976	0.9966	0.8836

表 6 実験データ詳細

Table 6 Detailed experimental data.

定期船	時間	レコード数
船A	16:52:02-17:13:10	127
船B	17:37:00-18:32:00	330
船C	16:39:08-17:55:00	456
船D	15:58:35-16:40:50	201

### 5.3 アルゴリズム評価・考察

実験結果から、仮説どおり、おおよそ正確な危険度を分類することに成功した。そのことから、cos 類似度による航海状態の分類アルゴリズムは本研究において的確なもの

だといえる。しかし、船舶移動予測モデルの課題として以下の 2 点が判明した。

(1) 「船 D」の経度モデルの精度

このモデルのみにおいて正答率が 7 割程度という結果



図 12 システム上での航海状態の可視化結果

Fig. 12 Visualization result of ship navigation status on the system.

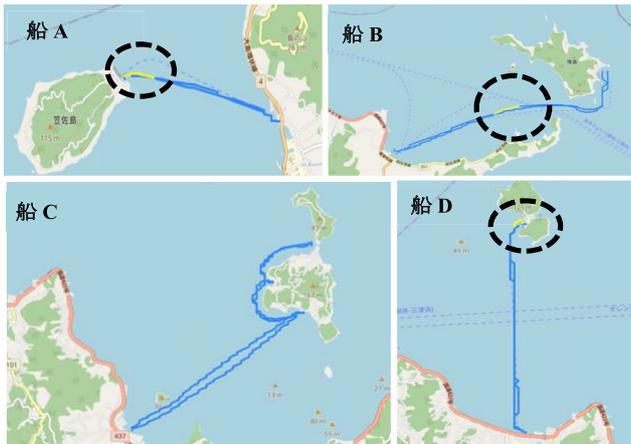


図 13 航跡による航海状態の可視化結果

Fig. 13 Visualization result of ship navigation status by wake.



図 14 航路幅の比較

Fig. 14 Comparison of route widths.

が得られた。これは「船 D」の運航航路幅が関係するものと思われる。蓄積した運航データをもとに調査した結果、「船 D」は定期船 4 隻の中で航路幅（横幅）が最も広いことが分かった。これは運航海域が他の定期船と比較して広いことが原因である。「船 A」との航路幅の比較を図 14 に示す。「船 D」の航路幅は横幅が膨れていることが分かる。このことをふまえ、経度モデルの正答率を向上させるには、ある程度の航路許容幅の設定が必要と考えられる。船舶は、広い海域において航路幅を広くとっても衝突等の事故が起こりにくいため、航路許容幅は広く設定できる。また、今回の実験対象である定期船が運航する瀬戸内地域の海域では浅瀬が多いため、船舶が通れるところが少ない。そのような場所では航路許容幅は狭く設定する必要がある。

ある。このように、AIS classB 搭載船のような小型船舶でも海域によって航路許容幅が異なるため、分類する際のパラメータとして海域による許容幅のマーヅンを取り入れる必要があると思われる。

(2) 港付近における状態の変化

港付近での状態の変化は外的要因ではなく港への入出港の航路が違ったからだと考えられる。船舶は入出港の際の航路がそのつど変わってしまう。これは気象・海象が原因であることもあるが、低速時における船舶の運動特性によるものがほとんどである [17]。現在、モデル設計の際に港から半径  $r = 50$  [m] 以内のデータを評価しないものとしている。本研究では検証までは至らなかったが、この評価対象外範囲を運航が安定する半径まで広げる、つまり、パラメータ  $r$  を適切なものに変更することでこの問題は改善できるだろう。

以上の改善点をふまえ、船舶移動予測モデルを改良することで cos 類似度による分類精度を向上させることが期待できる。

## 6. AIS 拡張機能の考察と展望

5 章までで AIS 拡張機能による外的要因が船舶に与える影響の可視化と評価を行った。本研究による AIS 拡張機能では、Message 通信機能を用いて AIS classA において、周囲船舶と陸上 AIS 受信局に従来の自船データに加え、自船状態（外的データ）を送信することに成功した。また AIS classB においては、Message 受信のみが可能であるため、AIS 拡張機能によってその受信データをデータ解析し、自船の航海状態を分類することに成功した。AIS 拡張機能を実装するにあたっての提案手法において、必要な情報としては、従来から送信可能な船舶位置データ、船首方位（または対地方位）、SOG に加え、センサから得られる外的データのみである。これらは船の運航者または管理者が管理していることが期待できる情報であるため、拡張機能を実装するのは容易であるといえる。

また、海上における船舶という世界だけではなく、移動体全体としても位置や速度、方位といったデータは現在のデータ駆動型社会においては容易に取得できるデータである。そのため、本研究での少ないデータでも安全性を確保する即効性が高いシステム提案は、船舶のような発展可能性のある移動体の鍵となることが期待される。

そして、本システムは、ユーザ参加型センシングシステムであり、ユーザのセンシングデータを収集し、それを解析することで提案手法のような機能をサービスとして提供することが可能になる。今後の展望としては、ユーザから収集したデータを基にバスや電車といった一般的な移動体との連携に結び付け、未来のモビリティサービス (MaaS, Mobility as a Service) への船舶参画を視野に入れていきたい。新しいモビリティ社会のサービスとして活躍できる

ことを期待する。

## 7. おわりに

船舶運航の安全性を向上させるべく、本研究では船舶の運航を左右する外的要因、特に風況に着目して AIS の有効性を評価した。AIS は国際規格上、変更が難しいが、AIS 拡張機能としてシステム全体を再構成することで、外的要因による影響をリアルタイムに把握することに成功した。本研究は、船舶安全確認支援システムとして、AIS classA では、MessageID 8 によるバイナリ自由メッセージ枠を用いた Message 通信によってリアルタイムに風況データの可視化を実現した。また AIS classB ではランダムフォレストによる船舶移動予測モデルを構築し、安全な位置を予測したうえで、cos 類似度による現在位置データの状態分類を行い、システム上に可視化することを実現した。本システムは、実運航データによる評価から AIS 拡張機能によってリアルタイム性、正確性を向上させたといえるだろう。今後、データ量が膨大になった場合や、改善点の考慮による処理の計算量が多くなった場合の性能についても検証していきたい。

**謝辞** 周防大島町担当者様にはシステム評価、大島商船高等専門学校練習船大島丸一等航海士・浦田数馬先生には、実際の運航に関わる貴重な意見をいただいた。また徳山工業高等専門学校浦上研究室の伊藤大志さんに情報整理のご協力をいただいた。ここに付記して謝意を表する。

## 参考文献

- [1] 運輸安全委員会：油タンカー宝運丸衝突（橋梁）事故，国土交通省，入手先 (<https://www.mlit.go.jp/jtsb/ship/p-pdf/MA2019-4-2-p.pdf>) (参照 2021-02-02)。
- [2] 小林英一：AIS 装置の概要，*Japan Institute of Navigation*, Vol.160, pp.73–83 (2003)。
- [3] Recommendation ITU-R (Radiocommunication Sector of ITU) M.1371-4 (2010)。
- [4] 若林伸和，林 敏文，矢野吉治：2018 年台風 21 号襲来時の大阪湾における錨泊状況に関する考察，*日本航海学会論文誌*, Vol.141, pp.24–32 (2020)。
- [5] 気象庁：海上分布予報の解説，入手先 (<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/kuon/kurashi/umi.bunpu.html>) (参照 2021-02-08)。
- [6] 海上保安庁：沿岸域情報提供，入手先 (<https://www6.kaiho.mlit.go.jp/info/keihatsu/mics-leaflet.pdf>) (参照 2021-02-08)。
- [7] 相原健郎：サイバーフィジカルシステムでの実世界データ収集，*電子情報通信学会論文誌 B*, Vol.J102-B, No.6, pp.387–398 (2019)。
- [8] 海上保安庁：海しる（海洋状況表示システム），入手先 (<https://www.msil.go.jp/msil/htm/topwindow.html>) (参照 2021-02-02)。
- [9] Matsuda, Y., Kawanaka, S., Suwa, H., Arakawa, Y. and Yasumoto, K.: ParmoSense: A Scenario-based Participatory Mobile Urban Sensing Platform with User Motivation Engine, arXiv:2102.05586, pp.1–24 (2021)。
- [10] 松本洋平：AIS バイナリメッセージを用いた見張り情報の共有，*日本航海学会論文誌*, Vol.131, pp.9–17 (2014)。

- [11] 柴田大輔，高 博昭，和田雅昭：スマートフォンを用いたプレジャーボード向け衝突事故防止アプリケーションの開発，5V-5 情報処理学会第 75 回全国大会，pp.3-167–3-1687 (2013)。
- [12] 米澤拓也，新井イスマイル，秋山豊和，藤川和利：ランダムフォレストによる路線バス運行状態分類，*情報処理学会論文誌*, Vol.60, No.2, pp.561–571 (2019)。
- [13] 金岡拓哉，浦上美佐子，本木久也，西下葉津紀，大内清香，松井 孝，和田雅昭：プローブシップデータに基づく定期船運航管理時の異常検知，*マルチメディア通信と分散処理ワークショップ 2015 論文誌*, No.5, pp.191–197 (2015)。
- [14] Mao, S., Tu, E., Zhang, G., Rachmawati, L., Rajabally, E. and Huang, G.B.: An Automatic Identification System (AIS) database for maritime trajectory prediction and data mining, *Proc. ELM-2016*, pp.241–257 (2018)。
- [15] 周防大島町：周防大島町交通機関時刻表（町営渡船時刻表，渡船概要），入手先 (<https://www.town.suo-oshima.lg.jp/seisakukikaku/timetable.html>) (参照 2021-02-10)。
- [16] 日本気象協会：山口県のアメダス実況（風向・風速），入手先 (<https://tenki.jp/past/2020/06/27/amedas/7/38/wind.html>) (参照 2021-02-15)。
- [17] 長光司，片山湧造，阿部真二郎：低速時における船体運動特性に関する研究，*海技教育機構論文誌* 2017, No.1, pp.1–5 (2017)。

## 推薦文

海上での事故は現在も絶えず、システム化の要求が大きい分野であり、安全な航海を支援する通信網の 1 つである AIS は将来性の高い取組みである。実環境で取得したデータを対象とした評価では、予測精度が高いことも示されており、有用な取組みでもある。今後、船舶移動予測モデルの課題の改善や検証を通して、その実用性を高めることも期待され、本論文を推薦いたします。

(マルチメディア通信と分散処理研究会主査 田上 敦士)



藤本 隆晟 (ジュニア会員)

2020 年度国立高等専門学校機構徳山工業高等専門学校情報電子工学科卒業。現在、九州大学工学部電気情報工学科在学中。



浦上 美佐子 (正会員)

国立高等専門学校機構徳山工業高等専門学校教授。2007 年山口大学大学院理工学研究科自然共生科学専攻博士後期課程修了。博士（理学）。情報共有、分散処理、社会問題解決に関する研究開発に従事。国立高等専門学校機構大島商船高等専門学校教授を経て、2019 年 4 月より現職。