

衛星画像を用いた AIS データの誤りと欠損検出技術

連燦紅[†] 岩田泰明[†] 松本俊子[†] 小野山隆[†]

海上交通の保全や海運状況の調査に使われる AIS データの正確さを保証することを目的とし、船舶が発信した AIS データの誤りと欠損に対して衛星画像を用いて検出する手法を提案する。衛星画像撮影の直前と直後の AIS データを用いて撮影時刻における AIS データの位置を推定し、船舶の速度と直線移動距離から最大探索エリアを求めて船舶画像と AIS データの対応関係を求めて誤り・欠損を検出する。提案手法について、衛星画像と AIS データの実データとシミュレーションデータを用いて評価を行った結果、いずれの場合も高精度に誤り・欠損を検出でき、提案手法の有効性を確認できた。

Anomaly and Loss Detection Technology of AIS Data by means of Satellite Imagery

CANHONG LIAN[†] YASUAKI IWATA[†]
TOSHIKO MATSUMOTO[†] TAKASHI ONOYAMA[†]

In order to ensure the accuracy of AIS (Automatic Identification System) data, which are used in keeping marine traffic safety and surveying the shipping market conditions, this paper proposes a detection technology of anomaly and loss of AIS data by means of satellite imagery. Our method has two features: 1) it estimates the position of the ship at exposure time by use of two AIS data, which are received at just before and after the exposure time of satellite imagery, and 2) it finds the correspondence between ship images of satellite imagery and AIS data by calculating maximum search region from speed and rectilinear travel distance. Experimental evaluation with real data and simulation data demonstrates that our method can accurately detect anomaly and loss of AIS data.

1. はじめに

海上交通の保全を目的として、2002年7月1日に海上における人命の安全のための国際条約によって大型船に船舶自動識別装置 (Automatic Identification System, AIS) の搭載が義務化された[1]。AIS 装置は船舶の位置や大きさなどを含むデータ (以下、AIS データと略す) を定期的に送受信している[2]。海図や港湾などの地図上に AIS データを表示してナビゲーションする航海支援システムや、港湾および沿海区域において AIS データを用いた船舶航行監視システムなどが構築されている[3][4]。また、近年、AIS データは、航路の抽出や海域における船舶の監視、船舶が接岸や係留するための場所における占有率の調査などの分野にも用いられ、応用が広がっている[5][6][7][8]。

AIS データの予備調査を実施したところ、AIS 装置導入時に手で登録される船舶識別番号や大きさなどが誤入力される場合があることが分かった。また、密輸船や海賊船などが自身の位置を隠すために AIS データを発信しない、または、GPS データにエラーが含まれている AIS データを発信するなど、AIS データに誤りや欠損が発生する場合がある[9]。このような問題が含まれている AIS データを用いると、海域における混雑状況の分析等、上記の調査において正しい結果を得ることができない。そこで、衛星画像に含まれる船舶画像と AIS データを組み合わせることで、AIS

データの誤りと欠損を検出する技術ができれば上記の調査結果における正しさを評価できると考えられる。

AIS データを衛星画像に含まれる船舶画像とマッピングする手法はいくつか提案されているが[10][11][12]、いずれも、衛星画像撮影時刻に最も近い受信時刻の AIS データを用いて、速度と方向を基に衛星画像撮影時刻の AIS データ位置を推定し、k-近傍法を用いて船舶画像を探索する手法である。しかしこれらの方法では、船舶の速度や方向が変化した場合、衛星画像撮影時刻における AIS データの位置を正しく推定することが困難になり、AIS データと対応する船舶画像が正しく求められないことがある。近海では数分間隔で AIS データが送受信されるが、波や風、潮の流れの影響によって船舶の速度や方向が変化してしまい、正しくマッピングできない場合がある。外洋では AIS データの受信間隔がさらに長く、既存手法では AIS データの誤りと欠損を検出できない場合が増える。

そこで、本研究では、衛星画像撮影の直前と直後に受信された2点の AIS データを用いることで、船舶の速度や方向の変化にも対応できるマッピング手法を提案する。本手法による誤りと欠損データの検出精度について、高解像度の衛星画像と AIS データの実データとシミュレーションデータを用いて評価した。

[†](株)日立ソリューションズ
Hitachi Solutions, Ltd.

2. 衛星画像を用いた誤り・欠損 AIS データ検出の課題

本研究では、衛星画像を用いた AIS データの誤りと欠損検出技術を提案する。提案技術は図 1 に概要を示す通り、誤りの AIS データを除去するフィルタリング処理と、衛星画像に含まれる船舶画像と AIS データのマッピング処理を含んでいる。ここでは、船舶識別番号や大きさなどが誤入力された場合や、一定時間内に更新されなかった場合、座標値にエラーがある場合などの AIS データを異常データと呼び、船舶から発信されなかった AIS データを欠損データと呼ぶ。AIS データに対し、フィルタリング処理は、船舶識別番号の形式が誤っているものや、大きさが国際海事機関の登録内容と異なるまたは閾値を超えるもの、更新間隔が大きすぎるものを異常データとして除去する。そして、異常データを除去した AIS データに対し、マッピング処理は、衛星画像に含まれる船舶画像との対応関係を求める。対応する船舶画像がある AIS データを正常データ、対応する船舶画像が無い AIS データを異常データ、対応する AIS データが無い船舶画像を欠損データとして分類する。

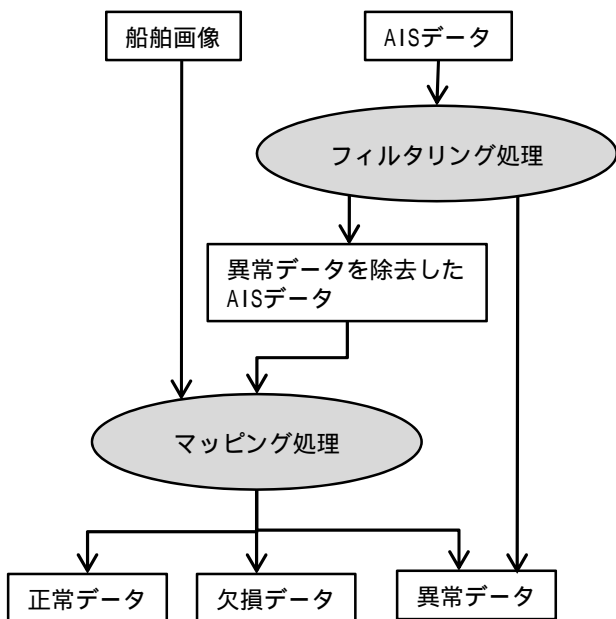


図 1 AIS データにおける異常・欠損検出技術の概要

本研究のマッピング処理においては、衛星画像撮影の直前と直後に受信された 2 点の AIS データを 1 セットとし、衛星画像に含まれる 1 隻の船舶画像とのマッピングを行うことを考える。図 2 における二つの点は衛星画像撮影の直前と直後に受信された AIS データ、破線の矢印は時系列に配置した AIS データを直線で連結させた航路（以下、AIS 航路と略す）を示す。マッピング処理は、船舶画像と AIS 航路の位置や大きさなどを比較して対応関係を求める。これにより、図 2 の船舶画像 ship2 と ship3 のような、対応す

る AIS データが欠損した船舶画像および、図 2 の ais3 と ais4 のような、対応する船舶画像がない AIS データを検出する。

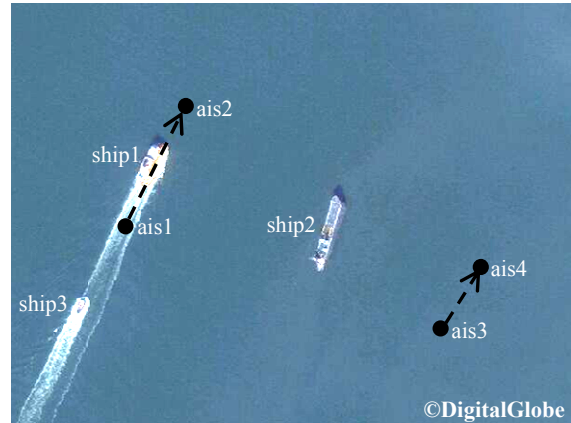


図 2 船舶画像と AIS データをマッピングした例

衛星画像に含まれる船舶画像と AIS データのマッピング処理を行う際、衛星画像撮影時刻と AIS データの受信時刻は同期していないことから次の二つの課題が生じる。

(1) 船舶画像と AIS データが対応するかを属性情報のみで判別できない

交通量が多い海域では、短時間で複数の船舶が同じ航路を航海することがあり、一つの AIS 航路に対して対応する船舶画像の候補が複数出てしまうことがある。図 3 に AIS 航路に対応する複数の船舶画像の候補があり、属性情報だけでは判別できない例を表す。AIS データ ais5 と ais6 における AIS 航路の近傍に ship4, ship5, および ship6 の三つの船舶画像が存在するが、そのうち ship4 と ship6 は長さ・幅とも AIS データと一致している。このような場合、属性情報だけでは AIS 航路の近くにある船舶画像と AIS データが対応するかを判別できなくなってしまう。

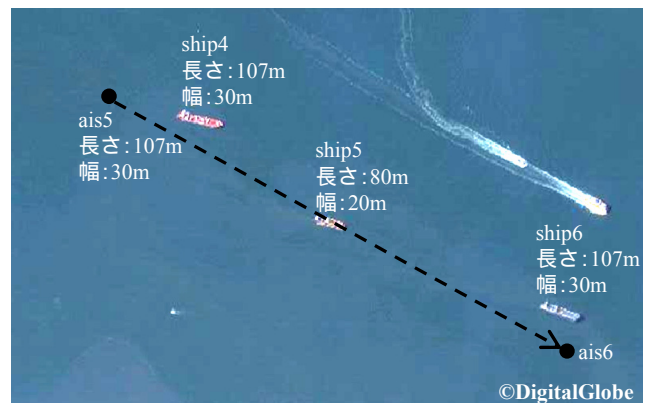


図 3 AIS 航路の近くに複数の船舶画像があり、属性情報だけでは判別できない例

(2) AIS 航路の最近傍にある船舶画像が AIS データと対応しない

海域の環境、航路の混雑状況、または気候の影響などにより、船舶は単純に直線上を航行するとは限らない。このため、図 4 に例示するように、AIS 航路の最近傍にある船舶画像が AIS データと対応しない場合がある。

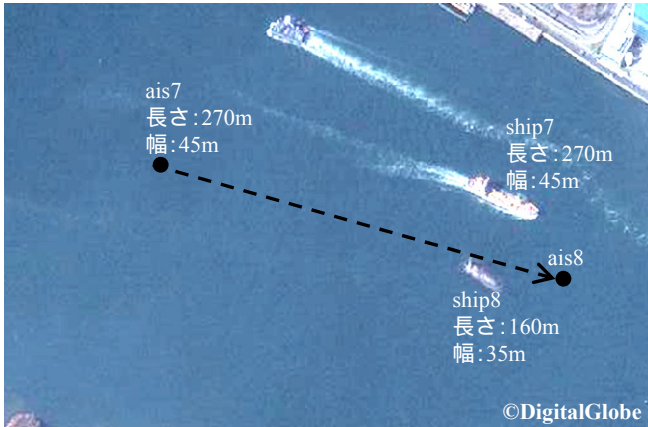


図 4 AIS 航路の最近傍にある船舶画像が AIS データと対応しない例

3. 船舶画像と AIS データのマッピング手法

2 章で述べた二つの課題を解決するため、以下の特徴を持つマッピング手法を提案する。第一に、船舶画像と AIS データが対応するかを属性情報のみで判別できない課題に対して、衛星画像撮影の直前と直後に受信された 2 点の AIS データを用いて双方向の時間軸に沿った補正による AIS データの位置推定をし、より正確な船舶位置の照合を行う。第二に、AIS 航路の最近傍にある船舶画像が AIS データと対応しない課題に対して、属性の値が最も適合する船舶を探すため、探索エリアを設定する。但し、探索エリアが広域にわたる場合、船舶画像と AIS データの対応関係を求める時間がかかり、対応関係の精度が下がってしまう。そこで、最大探索距離による探索エリアの限定を行う。

3.1 双方向の時間軸に沿った補正による AIS データの位置推定

AIS データは、属性として速度、方向、受信時刻、緯度および経度などを含む。船舶が一定の速度および一定の方向で直進したと仮定する。AIS データの速度と AIS 航路の方向を用いて、AIS データの受信時刻より後の AIS データの位置を求めることをフォワードタイムシフト、受信時刻より前の AIS データの位置を求めることをバックワードタイムシフトと定義する。図 5 では、衛星画像撮影の直前と直後に受信された AIS データ ais5 と ais6 において、直前の AIS データ ais5 に対しフォワードタイムシフト、直後の

AIS データ ais6 に対しバックワードタイムシフトを行った結果を ais5' と ais6' で示している。ais5' と ais6' を結ぶ線分を、衛星画像撮影時刻における AIS データの位置の推定結果とする。2 種類のタイムシフトを使うことで、対応する船舶画像をより正確に絞り込むことができる。

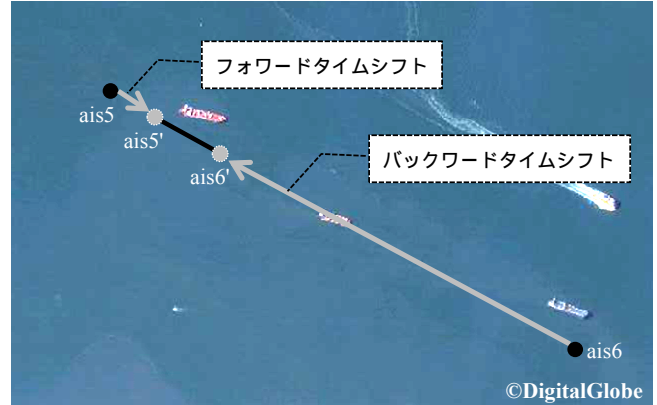


図 5 双方向の時間軸に沿った補正による AIS データの位置推定例

3.2 最大探索距離による探索エリアの限定

衛星画像撮影時刻を t 、その直前の AIS データ受信時刻を $t - t_1$ 、直後の AIS データ受信時刻を $t + t_2$ とする。 $t - t_1$ から $t + t_2$ の間における AIS 航路の距離を d とする。また、 $t - t_1$ における速度を v_1 、 $t + t_2$ における速度を v_2 とする。衛星画像撮影の直前と直後においてそれぞれ船舶が一定の速度で進んでいたと仮定すると、2 点の AIS データの間の船舶の移動距離は $t_1 \cdot v_1 + t_2 \cdot v_2$ となる。この移動距離の下では、船舶は図 6 に示す通り、AIS 航路から最大で式(1)で計算する距離を移動する可能性がある。

$$D = \sqrt{\left(\frac{t_1 \cdot v_1 + t_2 \cdot v_2}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} \quad (1)$$

この距離 D を最大探索距離と定義する。図 7 に示すように、前節で求めた衛星画像撮影時刻における AIS データの位置の推定結果、すなわち、ais7' と ais8' を結ぶ線分から最大探索距離による限定した探索エリアを船舶画像の最大探索エリアとする。これにより、位置、速度および属性の値の全てが適合する船舶との対応付けを行うことができる。

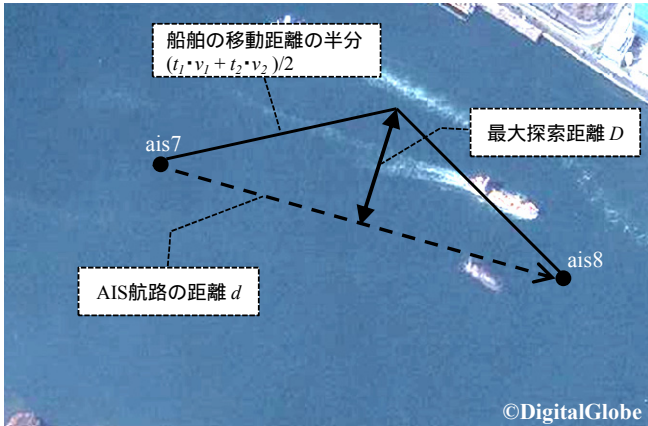


図6 最大探索距離の例

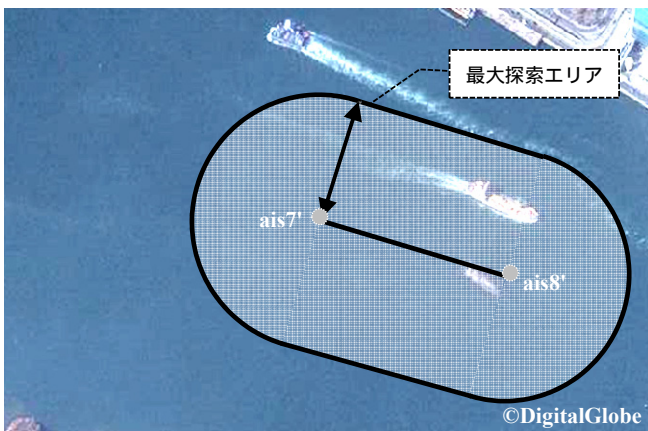


図7 最大探索エリアの例

4. 実験と評価

提案手法を評価するため、実データとシミュレーションデータを用いて評価実験を行った。

4.1 実験データ

実データによる実験では、DigitalGlobe社の衛星画像[a]とフリーのAISデータ[b]を用いた。衛星画像はLiverpoolとMargateから各1枚を用いた。本実験においては目視で衛星画像に含まれる船舶画像の位置情報と大きさを取得した。表1に、AISデータおよび衛星画像から取得した船舶画像について、目視で確認した正常データ、異常データ、および欠損データの数を示す。なお、全てのAISデータにおいて船舶は停泊していた。

また、シミュレーションデータは、Margateにある9隻の船舶における異常と欠損データを補完したものをを用いて作成した。各船舶においてMargateで運航したAIS航路を基に座標値の移動と回転を行い、衛星画像撮影の前後にお

る船舶の擬似AIS航路を作成する。擬似AIS航路の作成方法を図8に示す。Margateの実在のAIS航路Xにおいてship9はais10を經由してais9からais11まで航行し、ais9からais10までの直線距離はd1、ais10からais11までの直線距離はd2である。d1とd2、AISデータの数および受信間隔を維持しながら、まずais10'とship9が重なるようにXを移動する。次に陸地と接触しないようais10'を中心としてais9'とais11'をそれぞれ1と2だけ回転する。このようにして作成した擬似AIS航路X''において、ais9'からais10'までの直線距離はd1、ais10'からais11'までの直線距離はd2であり、実在の航路Xにおける直線距離と同じである。

表1 正常データ・異常データ・欠損データの数

エリア	正常データ	異常データ	欠損データ
Liverpool	11	0	10
Margate	7	2	2
合計	18	2	12

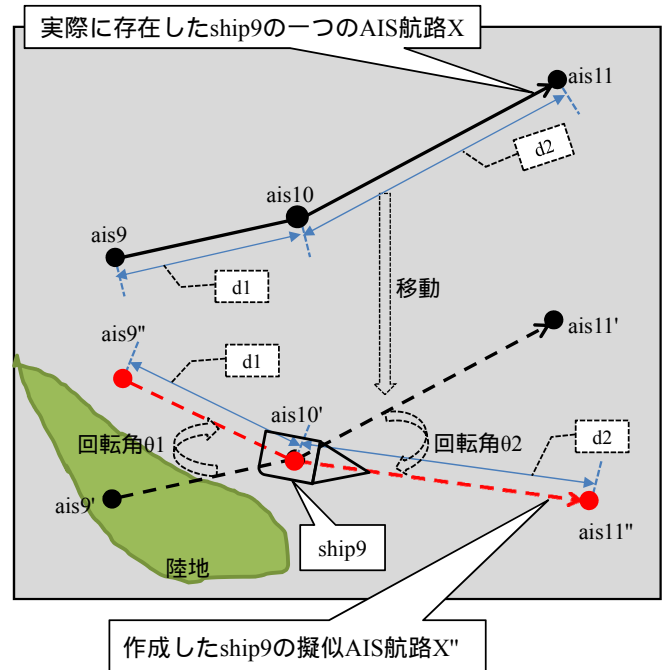


図8 シミュレーションデータの作成方法

4.2 実験結果と考察

実データに対する提案手法による正常データと異常データと欠損データの分類精度について再現率と適合率を表2~3に示す。

a) <http://www.digitalglobe.com/>

b) <http://www.shipais.com/>

表2 Liverpoolにおける提案手法の再現率・適合率

		正常データ	異常データ	欠損データ
目視の正解データ		11	0	10
提案手法	正解	11	0	10
	誤り	0	0	0
	合計	11	0	10
再現率		100%	-	100%
適合率		100%	-	100%

表3 Margateにおける提案手法の再現率・適合率

		正常データ	異常データ	欠損データ
目視の正解データ		7	2	2
提案手法	正解	7	2	2
	誤り	0	0	0
	合計	7	2	2
再現率		100%	100%	100%
適合率		100%	100%	100%

二つのエリアの全てにおいて、提案手法により異常・欠損の AIS データを 100%の再現率・適合率で検出できることを確認した。また、Margate における異常データは、AIS 装置に船舶の大きさが誤登録されてしまったケースであった。図 9 に示すように本来は ais12 と ship10 が対応するが、ais12 の大きさが誤登録されていたため ais12 が異常データ、ship10 が欠損データとして判別された。

このような場合においても、船舶の方向や速度などの属性情報を対応基準として、欠損データとして判別された船舶画像に対して再度のマッピング処理を行えば、AIS データの属性情報を補完することができると考えられる。

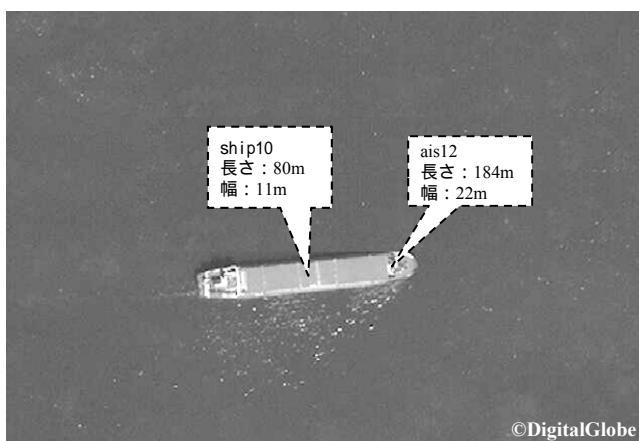


図 9. AIS の大きさが誤登録されていた例

また、シミュレーションデータにおける実験結果を用いて、双方向の時間軸に沿った補正による AIS データの位置推定と最大探索距離による探索エリアの限定による効果について評価を行った。

シミュレーションデータでは、衛星画像撮影時刻と AIS データの受信時刻が同期していないため、「双方向の時間軸に沿った位置補正」および「最大探索距離による探索エリアの限定」を行わない場合、9 セット全ての AIS データにおいて対応する船舶画像を正しく判別できなかった。これに対し、フォワードタイムシフトおよびバックワードタイムシフトによる衛星画像撮影時刻の AIS データの位置推定と、最大探索距離による探索エリアの限定を行うことで、9 セットのうち 6 セットの AIS データでは対応する船舶画像を正しく求めることができた。ほかの 3 セットの AIS データでは、船舶の大きさがほぼ一致しており、正しく対応する船舶画像を求めることができなかった。

今回実験のシミュレーションデータは近海に停泊した船舶を用いて作成したため、船舶が密に存在する傾向にある。9 隻の船舶において、船舶間の平均距離が 2.26km 程度であるのに対し、AIS データの速度および受信間隔から求めた平均航海距離は 7.91km 程度であった。実航行時には今回用いたデータよりも船舶が疎である可能性が高く、そのような場合にはより高い精度でマッピングできると考えられる。

5. おわりに

本研究では、衛星画像に含まれる船舶画像と AIS データとを組み合わせることで、AIS データの誤りと欠損を検出する技術を提案した。本技術では、以下の二つの処理を行い、衛星画像に含まれる船舶画像と AIS データの対応関係を求めて、AIS データの誤りと欠損を検出する。

- (1) 双方向の時間軸に沿った補正による AIS データの位置推定
- (2) 最大探索距離による探索エリアの限定

衛星画像と AIS データの実データを用いて評価したところ、誤り・欠損の AIS データを 100%の精度で検出できることを確認した。また、シミュレーションデータにより、船舶が速度を変化させながら運航していたり方向が変化したりする場合でも、提案技術によりマッピング精度を大幅に改善できることを確かめた。本提案技術により衛星画像上の船舶画像を用いて AIS データの照合を行うことができ、海域における混雑状況の分析や、船舶が接岸や係留するための場所における占有率の調査に AIS データの精度の裏づけを持たせることができる。

参考文献

- 1) IALA/AISM: IALA Guidelines on the Universal Automatic Identification System (AIS), Vol. 1 Part 1, Operational Issues Edition 1.1 (2002).
- 2) B.J. Tetreault: Use of the Automatic Identification System (AIS) for Maritime Domain Awareness (MDA), OCEANS, Vol.2, pp. 1590-1594, (2005).
- 3) (独)海上技術安全研究所：ふくそう海域での事故半減を目指す ICT を活用した新たな安全システム構築, (2012).
URL=<http://www.nmri.go.jp/logistics/LogGTop/AIS/Download/ReportV3.5.pdf>
- 4) 長谷川和彦, 山崎全紘, 松重将也: AIS を活用した航行援助システムに向けたフィジビリティスタディ, 日本船舶海洋工学会, 第 14 号, pp. 39-42 (2012).
- 5) 鈴木惇司, 古谷雅理, 斎藤隆文, 庄司るり: 船舶における海上観測画像と航行情報の統合可視化, 日本航海学会論文集, Vol.125, pp. 9-15 (2011).
- 6) 嶋村篤之, 古谷雅理, 斎藤隆文, 庄司るり: AIS データを用いた船舶航行情報の可視化, 日本航海学会第 124 回講演会・研究会予稿集, 第一部, 1-4 (2011).
- 7) 高橋宏直, 竹村慎治: NILIM-AIS によるバルク船(トウモロコシ, 石炭, 鉄鉱石)入港時の喫水実態に関する分析: 国土技術政策総合研究所資料, No.588 (2010).
- 8) 安藤和也, 赤倉康寛: AIS データによる世界の主要コンテナターミナルのバース占有率の比較分析: 国土技術政策総合研究所資料, No.676 (2012).
- 9) C. Carthel, S. Coraluppi, and P. Grignan: Multisensor Tracking and Fusion for Maritime Surveillance, Proceedings of 10th International Conference on Information Fusion, pp. 1-6 (2007).
- 10) S.K. Chaturvedi, C.S. Yang, K. Ouchi and P. Shanmugam: Ship Recognition by Integration of SAR and AIS, Journal of Navigation, Vol. 65, Issue 02, pp. 323-337 (2012).
- 11) R. Grasso, S. Mirra, A. Baldacci, J. Horstmann, M. Coffin and M. Jarvis: Performance Assessment of a Mathematical Morphology Ship Detection Algorithm for SAR Images through Comparison with AIS Data, ISDA, pp. 602-607 (2009).
- 12) 大内和夫, C.S. Yang, 王海鵬: 高分解能多偏波 SAR による沿岸環境情報抽出に関する研究, 第 13 回 SAR 技術応用研究会 (2010).