

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月14日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22510178

研究課題名（和文） 気象レーダネットワークシステムの船舶運航支援システムへの応用に関する研究

研究課題名（英文） Study of Cruise Supporting System Applying Weather Radar Network

研究代表者

丹羽 量久 (NIWA KAZUHISA)

長崎大学・情報メディア基盤センター・教授

研究者番号：90448499

研究成果の概要（和文）：

沿岸域の船舶が危険海域を避けて安全に目的地に到達できるように、航行ルートを対象船舶に通知するシステムに関する研究を行った。主な成果は、①：海難事故多発海域の実交通流を基にした船舶発生データの統計的整理、②：海域の危険度評価指標の提案、③：①の海域における船舶交通流シミュレーションシステムによる計算結果と実交通流との整合性評価、④：実態調査による船舶自動識別装置(AIS)の受信エラー率の推定と課題の提案、⑤：④の受信データを利用した船舶の操縦性能の推定手法の開発、等である。

研究成果の概要（英文）：

This research is to develop a system to let ships know the appropriate route to avoid hazardous zone to secure the safety of coastal navigation. Main achievements of the research are as follows: 1) Statistical investigation of ship generation data for marine traffic simulation based on the frequent incident-happening area; 2) Proposal of index of dangerous zone; 3) Marine traffic simulation for the zone treated in 1) and the comparison between the real traffic; 4) Estimation of receiving error of Automatic Identification System (AIS) and proposal of the improvement; 5) Prediction of ship manoeuvring indices based on AIS data; etc.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 ・社会システム工学・安全システム

キーワード：安全情報、海上交通、AIS

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 国内外との物資流通の主たる経路である海上交通は今後ますます需要が拡大していくと予想され、沿岸域においては漁業、遊漁船業、レジャーが盛んであり、船舶の安全な航行環境を確保することは、港湾管理者(海上保安庁)にとって最も重要な課題であ

る。国土交通省は海上交通の安全性向上への取り組みとして、運輸技術研究開発事業「ITを活用した船舶の運航支援のための技術開発(平成12年度～16年度)」を推し進めてきた。この事業では研究分担者(長谷川和彦)が立案・開発した輻輳海域シミュレーションシステムが活用された。このシミュレーション

システムが扱うすべての船舶は、人工知能にてモデル化された船長が操船制御する自動化船舶であり、周辺海域の障害物や他船舶の動向に対応して、安全に航行しながら目的地に到達することができる。さらにあらゆる海域に対して制限なく適用できるように拡張され(科学研究費補助金 基盤研究(C)(課題番号 19510172)等)、これまでに交通流制御技術の高度化を目的とした数々の海上交通のシミュレーションに使用されてきた。

(2) (独)防災科学技術研究所が中心となり、首都圏における都市型災害の警報システム『次世代豪雨強風監視システム』(X-NET)の構築が進められている。X-NET は、同研究所が保有する Xバンド波長のマルチパラメータレーダ(XバンドMPレーダ)を中核として、複数の研究機関の研究用レーダを結び、観測から得られる降雨と風に関する高精度・高分解能の情報をリアルタイムで配信しようとするものである。在来型気象レーダによる気象庁レーダアメダス解析雨量と比較して、空間分解能 25 倍、時間分解能 30 倍に高度化された降雨情報を得ることが可能である。

(3) 船舶の海難事故の位置を特定し早期に救助を行うことを目的として、周辺の船舶間で船名・位置・針路・船速などを通信により情報共有する船舶自動識別装置 AIS(Automatic Identification System)が開発された。国際海事機関は SOLAS 条約(海上人命安全条約)対象船舶にこの AIS の搭載を義務化させている。研究分担者(畑 耕治郎)が開発した AIS シミュレータは、コンピュータ上で AIS のプロトコルによる船舶-船舶間および船舶-陸上局間の交信をシミュレーションできる。輻輳海域シミュレーションシステムとの統合が行われ、東京湾 AIS 陸上局の設置場所の提案と実施(海上保安庁)、東京湾海上交通センターの AIS 交信データの分析(海上保安庁)、AIS の新たなクラス B 導入のための適用トン数とプロトコルの検討((独)海上技術安全研究所との共同研究)等、AIS を活用した輻輳海域における船舶の安全性向上のための検討に大きく貢献してきた。

(4) 最近、各地において気象擾乱が原因の局所的な豪雨、突風、落雷等が数多く起きている。2008 年 7 月 27 日には福井県美浜町黒崎沖を遊走中のプレジャーボートがダウンバーストにあおられて乗員が海中に転落し、救助中に更なる突風に圧流され定置網に乗り揚げられる海難事故が発生した。このように海洋上の船舶は気象条件の影響を受けやすく、特に小型船舶においてはその被害は大きい。X-NET は高精度・高分解能で降雨・強風情報を観測でき、短時間気象予測手法に関する研究も進められている。この X-NET の気象観測情報を活用すれば、移動速度が 30~60km/h といわれる気象擾乱がもたらす豪雨・突風に

遭遇する可能性がある船舶に対して、未然に気象変化を通知するとともに安全な航行ルートを表示して危険回避できると考えた。

## 2. 研究の目的

高精度の気象情報を利用して、沿岸域の船舶が局所的な荒天を避けて安全に目的地に到達できるように、危険海域を回避する航行ルートを探検し、対象船舶に通知するシステムに関する研究を行う。

## 3. 研究の方法

### (1) 高精度気象観測データの利用

通常気象観測は雲が存在する高度を対象としているが、本研究では海上の状態を把握する必要がある。海上風の推定手法については関係機関において研究が進められている。

2010 年の台風 12 号が関東地方近海を通じた 2010 年 10 月 29 日(UTC)および 30 日(UTC)に、X-NET が東京湾南部の強風域を観測することができた。図 1 は、(独)防災科学技術研究所が X-NET の観測データから海上 10m の状態を推定した強風域における風向・風速の分布である。



図 1 東京湾南部の強風域の状態

### (2) 海域の危険度評価指標と輻輳海域シミュレーションシステムの評価

輻輳海域シミュレーションシステムは本研究の種々の検討に用いられている。このシミュレーションシステムを使って、東京湾、大阪湾、マラッカ・シンガポール海峡等の輻輳した海域における航行シミュレーションを実施してきたが、現実に即したシミュレーションであるかの検証がなされていない。

まず、海域の危険度評価指標を提案し、実際に海難事故が多発している東京湾南海域の交通流データを統計的に整理した。

東京湾南海域における船舶発生データを入力データとした海上交通流シミュレーションを実施し、この評価指標を用いて実際に観測された交通流との比較から、輻輳海域シミュレーションシステムの計算結果の妥当性を検証した。

なお、輻輳海域シミュレーションシステムには、次の三つの航行モードによる船舶の航行シミュレーションを実施する機能が備わっている。①：船舶の属性、計画航路、発生条件等からなる船舶発生データに基づいて船舶を計画航路通りに航行させることができる通常航行モード、②：通常航行モードに加え、状況に応じ避航することができる避航操船モード、③：AIS 等により記録された航跡データ通りに動かす外部データモードである。シミュレーションは各 24 時間、通常航行モード、避航操船モード、外部データモードの三種類、外部データモード以外は各 5 回実施した。

(3) AIS データを活用した船舶の操縦性能の推定

対象船舶の操縦性能を正確に把握できれば、加速・減速および操舵のタイミングを高い精度で通知することが可能となり、より安全性を高めることができる。AIS データは、IMO 名・大きさ・目的地等の静的データ、状態（航行/停泊等）・位置・針路・速度等の動的情報から構成される。これらを活用して、通例では未公開となっている各船舶の操縦性能を推定する手法について検討する。

(4) AIS 通信の信頼性の検討

荒天時のような視界不良下では、搭乗員の視認とレーダから得られる情報だけでは周辺海域の状況把握に不十分なことがある。安全に航行するため、船舶間で自動的に航行情報を通信する AIS の情報を併用することが考えられるが、AIS には無線通信固有の問題として、メッセージ衝突の発生などに起因する通信障害の発生により他船情報の更新に遅れが生じ、避航などの安全に係わる動作に遅れが生じるリスクを内包している。そこで、AIS 通信の信頼性に関する分析のひとつとして、送受信船舶間の距離が通信の信頼性に与える影響、およびメッセージ衝突に関して実態調査を行う。

2012 年に神戸大学海事科学部附属練習船深江丸が実施した研究航海の際に収集した AIS メッセージの受信記録を利用した。この記録は、3 月 13 日～21 日（深江～塩釜～深江）、8 月 30 日～9 月 6 日（深江～瀬戸内海～長崎～四国沖～深江）の合計 17 日間分であり、海域によって差があるものの、受信メッセージ数は 1 日当たり 10 万件～50 万

件、発信元船舶数は陸上局も含めて 1 日当たり 100 隻～900 隻程度であった。この AIS データを使って、受信記録に基づく受信エラー率の分析と AIS シミュレータによる受信エラー率の解析を行った。

#### 4. 研究成果

(1) 海域の危険度評価指標の提案と輻輳海域シミュレーションシステムの評価

①船舶発生データ

海上交通流シミュレーションに必要な船舶発生データは、観測された交通流データを詳細に分析して作成した。この船舶発生データは正規化されており、今後実施されるさまざまな目的のシミュレーションに活用できる。

②海域の危険度評価指標

海域の危険度評価指標として、「衝突危険度」、「ニアミス」、「衝突」の三つを提案した。

「衝突危険度」CR は、輻輳海域シミュレーションシステムの避航判断基準の一つ[1]で、DCPA と TCPA による Fuzzy 推論で求められる。また、避航船が何らかの理由により避航しない場合、保持船も避航するよう設定しており、その開始時期を  $CR \geq 0.9$  としている。保持船が避航を開始する事態を衝突の危険の指標の一つとして採用した。

「ニアミス」は、限界航過距離[2]内に他船が存在し、かつその船と  $CR \geq 0.7$  となる状態と定義する。限界航過距離としては、式(1)と式(2)で示す湾内における井上の限界航過距離の式[2]を用いた。

$$FA = (0.005 \times L_t + 2.076) \times L_0 \quad (1)$$

$$SP = (0.008 \times L_t + 0.667) \times L_0 \quad (2)$$

ここで、 $L_0$  は自船長、 $L_t$  は相手船長である。

「衝突」は、船舶の形状を船長と船幅を二辺とする長方形としたとき、自船の長方形領域に他船のそれが重なった状態と定義する。

③評価結果

②の海域の危険度評価指標ごとに、三つの航行モードによるシミュレーション結果について検討した。図示していないが、各航行モードの航跡は概略一致しており、このシステムでは現実の交通流を十分に再現できていることがわかった。

評価指標「衝突危険度」については、通常航行モードのシミュレーションでは現実と食い違った結果となっており、避航操船モードのシミュレーションでは現実に近いシミュレーションとなっていることが確認できた。

評価指標「ニアミス」については、通常航行モードのシミュレーションでは現実と食い違った結果となっており、避航操船モードのシミュレーションでは、件数の差こそあるが、発生地点の観点から考えると、 $CR \geq 0.9$

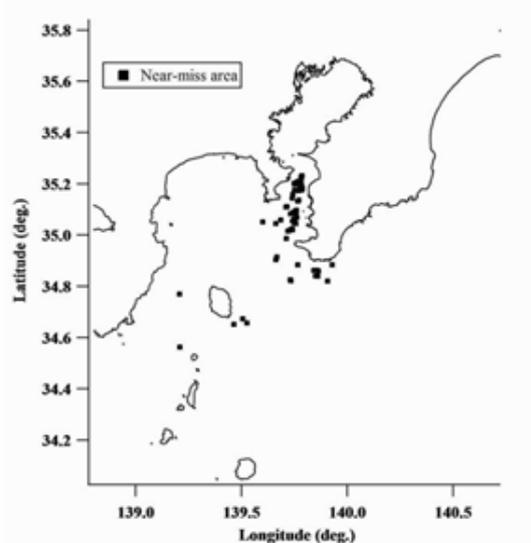


図2 ニアミス発生地点（避航操船モード）

の条件よりも現実に即した評価になっていることが確認できた。図2は避航操船モードによるシミュレーションにおいて「ニアミス」が発生した地点である。

評価指標「衝突」については、本指標値の評価において、通常航行モードのシミュレーションでは現実と食い違った結果となっており、避航操船モードのシミュレーションでは、件数から考えると、現実に近い評価になっていることが確認できた。しかしながら、発生地点から見ると広い海域での発生が起こっている。現実の避航操船では、海域が広ければ、危険な見合い関係になる前に避航などが行われる可能性があるが、本避航操船アルゴリズムでは、海域の広さによらず同じCRで避航を開始するため、たまたまそのときの複数の他船の状況において  $CR \geq 0.7$  の事象が発生したものと思われる。

以上、通常航行モードのシミュレーションでは現実と食い違った結果となっている可能性があるが、避航操船モードでは現実に近いシミュレーションを再現できると考えられる。また、これらの指標値を比較すると、ニアミスが最も有効な指標であると言える。

本研究成果を発展させ、海域の地理的特性を加味した汎用的な危険度評価指標、「換算交通密度」と「換算指標値」を提案することができた。また、それら両者の関係は両対数のグラフでほぼ直線となることがわかった。  
(2) AIS データを活用した船舶の操縦性能の推定

次式(3)で表される船体運動の数学モデル K-T モデルに、AIS データから得られる動的情報を代入し、MATLAB を用いた非線形計画法による最適化により、船舶の操縦性能を表す針路安定指数  $T$ [sec]と旋回性指数  $K$ [1/sec]を推定する手法を提案した。

$$T\dot{r} + r = K\delta \quad (3)$$

ここで、 $r$ は回頭角速度[deg/sec]、 $\delta$ は操舵角[deg]である。なお、船舶の運動指数を推定するためには変針角と操舵角の関係が不可欠となるが、操舵角はAISデータに含まれていないので、同データから得られる回頭角から求めることとした。

神戸大学海事科学部附属練習船「深江丸」によるジグザグ航行実験時の航行記録を利用して、提案した推定手法を評価した。図3～5は、それぞれ深江丸の舵角、回頭角、変針速度について、観測値と本手法の計算値の

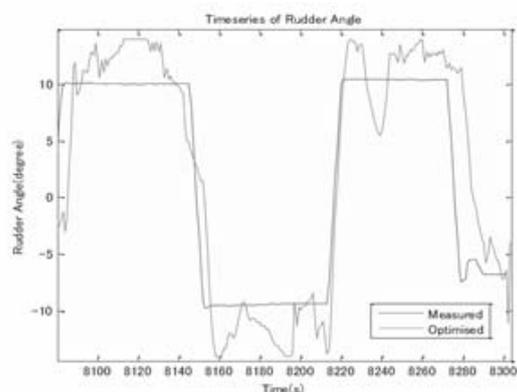


図3 深江丸の舵角の変化

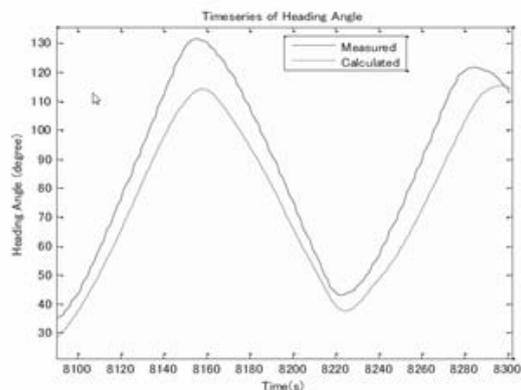


図4 深江丸の回頭角の変化

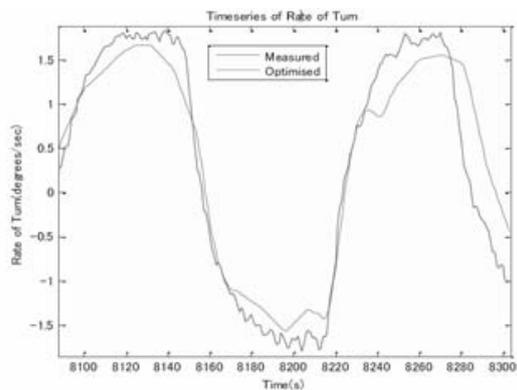


図5 深江丸の変針速度の変化

推移を比較したもので、両者に良好な一致がみられる。一方、非線形計画法により推定した針路安定指数  $T$  と旋回性指数  $K$  の指標は実際の値よりも少し小さめに算出された。この原因は、航行ルートを維持するための操船が風、うねり、潮流の影響による船首の揺れに影響したと考えている。

### (3) AIS データの受信エラー率

今回の解析にあたっては、前述した受信記録の中から 3 月 20 日の記録に着目し、前述の受信記録解析、および AIS シミュレータへの入力を行った。この日の受信メッセージ数は 375,913 件、発信元船舶数(陸上局を含む)は 614 隻であった。

#### ①受信記録に基づく受信エラー率の分析

AIS の動的情報が通信プロトコルにしたがって定期的に反復送信されることに着目した。まず、受信した動的メッセージに含まれる対地速度と船首方位から、発信元船舶の動的情報送信間隔を推定する。送信間隔を推定できれば、一定時間内に送信されたメッセージの数を推定することができ、受信が行われたメッセージの数と比較することで、受信エラーの発生回数、ならびに発生割合(受信エラー率)を求めることができる。

受信記録を分析するため、解析対象船舶として、本船と 5NM 以内への接近が確認された船舶のみを候補船とし、その中から 19 隻を選んだ。すべてのデータを本船との距離別に整理し、通信距離 5NM ごとに集計して分析した結果を図 6 に示す。各船のデータをその区分距離ごとにその中央を代表点としてプロットした。これらの結果は、発信元である船舶ごとに異なるアンテナ設置環境などの通信環境の影響を受け、大きなばらつきが生じている。そこで、送信元の船舶に関わらず、得られた送信メッセージ数を通信距離帯ごとにすべて足し合わせた上で受信エラー率を算出することで統計的に処理することとした。その結果が、図中の区分距離ごとに引いた水平線である。通信距離 10NM 以上においては、受信エラー率が距離の 2 乗に比例して増加していることがわかる。図中の斜め線は、距離の 2 乗に比例する直線である。すな

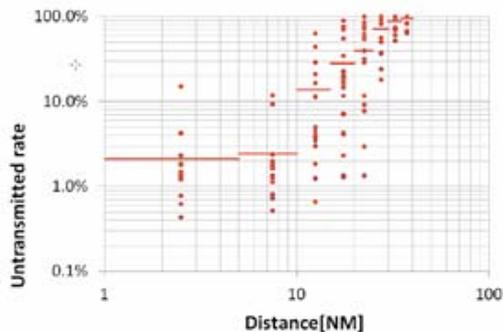


図 6 船舶間距離と受信エラー率の関係

わち、10NM 以上における AIS メッセージの受信エラー率の増加は、通信距離の増加に伴う受信強度の低下によって概ね説明できることがわかった。

#### ②AIS シミュレータによる受信エラー率解析

AIS シミュレータでは、個々の船舶が独立し、それぞれの運動状態に合わせて AIS 通信を模擬するシミュレーションシステムである。AIS 情報の受信記録や輻輳海域シミュレーションシステムで生成される航行記録などをもとに、シミュレーション中、各船舶はそれぞれの運動状態の変化に応じて AIS 通信を行う。そして、受信を行った各船舶はメッセージ衝突の有無などから、衝突して受信 (Receive stronger message) あるいはどちらのメッセージも受信できない混信 (Garble) 等の受信判定を実施する。

この AIS シミュレータを用いて同一航行データに対する三回のシミュレーションを行い、本船を着目船として周辺船舶が送信したメッセージ数、および「衝突して受信」、「混信」の発生回数を集計・整理した。この海域でのメッセージ衝突に起因する受信エラー率は 2.5%前後との結果が得られた。この結果を受信記録の解析結果に重ねると、10NM 以内の受信エラー率と概ね一致している。このことから、受信強度低下の影響が非常に小さい範囲においてはメッセージ衝突に起因する受信エラーの影響が支配的であるといえる。

以上の結果から、AIS メッセージの受信エラー率は基本的に、通信距離の増加に伴う受信強度の低下に起因する受信エラー率と距離に関わらず生じるスロット予約のプロトコルに起因するメッセージ衝突による受信エラーであることがわかった。以上の結果を模式的にグラフ化すると、次の図 7 の折線となる。

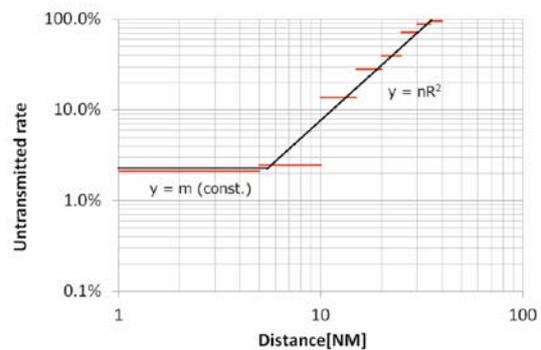


図 7 受信エラー率推定モデル

なお、この研究成果について、たとえば、海域における通信量によってエラー率は増減するのかなどの点をさらに検討する必要がある。

参考文献

- [1] 長谷川和彦・立川功二：輻輳海域シミュレータと海の ITS、計測自動制御学会関西支部シンポジウム、pp.184-189、2001
- [2] 井上欢三・宇佐美茂・柴田登紀子：制限水域における航過距離と隔離距離に関する操船者意識のモデル化、日本航海学会論文集、第 90 号、pp.297-305、1994.3

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① 長谷川和彦、角田泰彬、AIS の運用の実態調査と受信エラーの分析、日本航海学会講演予稿集、査読無、第 1 巻、第 1 号、2013、47-50
- ② 小林英一、長谷川和彦、AIS 活用の展望、日本船舶海洋工学会誌 KANRIN(咸臨)、査読無、第 47 号 2013
- ③ Kazuhiko HASEGAWA, Some Recent Researches on Next Generation Marine Traffic Models and Its Applications、Proceedings of IWNTM' 2012、The International Workshop on Next Generation of Nautical Traffic Model、Shanghai、査読無、2012、44-40
- ④ 長谷川和彦、山崎全紘、重松将也、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講演会論文集、査読有、第 14 号、2012、39-42
- ⑤ Takeshige NAKANO、Kazuhiko HASEGAWA、An Attempt to Predict Manoeuvring Indices Using AIS Data for Automatic OD Data Acquisition、日本船舶海洋工学会講演会論文集、査読有、第 14 号、2012、49-52
- ⑥ 長谷川和彦、福戸淳司、瀧本忠教、山崎全紘、輻輳海域シミュレーションシステムによる海域評価、日本航海学会論文集、査読有、第 125 号、2011、33-41

[学会発表] (計 2 件)

- ① Erkang FU、Kazuhiko HASEGAWA、Marine Traffic Behaviour in Narrow Waterways、日本航海学会第 127 回講演会、2012 年 11 月 23 日、長崎県勤労福祉会館
- ② 中野武重、長谷川和彦、丹羽量久、畑耕治郎、海上交通アセスメントにおける避航アルゴリズムの影響、日本航海学会第 122 回講演会、2010 年 5 月 28 日、東京海洋大学(越中島キャンパス)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

丹羽 量久 (NIWA KAZUHISA)  
長崎大学・情報メディア基盤センター・教授  
研究者番号：90448499

(2) 研究分担者

長谷川 和彦 (HASEGAWA KAZUHIKO)  
大阪大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：60106804  
畑 耕治郎 (HATA KOUJIRO)  
大手前大学・現代社会学部・准教授  
研究者番号：50460986  
古賀 掲維 (KOGA AOI)  
長崎大学・情報メディア基盤センター・准教授  
研究者番号：60284709