

# TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

海上無線通信を活用した船舶の位置情報共有に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-06-20 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 丹羽, 康之 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/1573">https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/1573</a>

博士学位論文

海上無線通信を活用した船舶の位置情報共有に関する研究

平成 29 年度

(2018 年 3 月)

東京海洋大学大学院

海洋科学技術研究科

応用環境システム学専攻

丹羽 康之

## 目次

第 1 章 緒論	1
1.1 背景	1
1.2 本研究の目的	3
1.3 既往の研究	4
1.4 本論文の構成	8
第 2 章 海難の現況と分析	13
2.1 緒言	13
2.2 海難の現況	14
2.3 衝突海難の詳細分析	24
2.4 結言	39
第 3 章 位置情報共有システム	41
3.1 緒言	41
3.2 スマートフォンの位置情報を利用したシステム	43
3.2.1 システム概要	43
3.2.2 システムの実海域実験の実施と評価	46
3.2.3 まとめ	78
3.3 レーダー捕捉情報を利用したシステム	79
3.3.1 システム概要	79
3.3.2 システムの動作確認と評価	86
3.3.3 まとめ	94
3.4 結言	95
第 4 章 船間無線 LAN 通信の適用	99
4.1 緒言	99
4.2 無線 LAN による船間通信実験	100
4.2.1 実験方法	100
4.2.2 通信実験結果	114
4.2.3 船間通信の活用の提案	126
4.3 結言	129
第 5 章 結論	131

# 第 1 章 緒論

## 1.1 背景

情報通信技術 (ICT: Information Communication Technology) の発展がめざましい。特にインターネットの普及により、陸上では各家庭に 100Mbps, 場合によっては 1Gbps の光ファイバー通信が当たり前となっている。また、無線通信は、携帯電話網として第 3 世代移動通信である 3G 通信から第 4 世代移動通信であるの LTE (Long Term Evolution) 通信へ移行しており (正確には LTE は第 3.9 世代移動通信), 2020 年には第 5 世代移動通信である 5G 通信の導入の検討が進められている[1.1], [1.2], [1.3].

一方、海上での通信である船陸間通信、船間通信では、一定の要件を満たす船舶に船舶自動識別装置 (AIS: Automatic Identification system) [1.4]の搭載が義務づけられるようになったものの船舶全体のわずかに過ぎない。また、AIS の通信速度は 9,600bps であり、上述の陸上の通信に比べ実際に 10,000 分の 1 にも満たない。

衛星通信においては、インマルサットフリートブロードバンド[1.5]により、最大通信速度 432kbps を実現している。また、VSAT (Very Small Aperture Terminal) システム[1.6]では、最大通信速度 1~2Mbps を実現している。更にインマルサット GX (Global Xpress) [1.7]が一部の海域で導入が進んでおり、アップリンクは最大通信速度 5Mbps, ダウンリンクは最大通信速度 50Mbps の仕様となっている。しかしながら、衛星通信は、一部の商船を対象としており、AIS 搭載船数よりも更に少なく、広い普及には至らないと考える。

このため、多くの船舶を対象とした海上への情報通信技術うちの通信技術の導入は、沿岸であれば、陸上で利用している携帯電話網の拡張の可能性が考えられ、現状でも一部の船舶は実際に活用している[1.8]。そこで、本研究では、

現状の技術を前提として、海上に情報通信技術を導入し、船舶への情報支援システムの検討を行うとともに、プロトタイプを作成し、問題点の洗い出しや評価を行う。具体的なプロトタイプとして、船舶の存在とその位置を周辺船舶同士で共有を行うことができる位置情報共有システムとする。

通信には、現在陸上で利用している LTE 通信が海上でも利用できると仮定し、これを活用するとともに、その他に無線 LAN による船間通信の可能性についても海上通信実験を行うことにより、検討も行う。この理由は、無線 LAN の特長として、通信費用が無料であることがあげられ、広い普及のための利点の一つとして考えられるためである。

これらの現状の技術を制約条件として、また、システム導入のための費用も極力かからない範囲として、現状の船舶の搭載機器である AIS やレーダー、一般に広く普及しつつあるスマートフォンを情報端末として活用することを考えて、研究を実施した。

## 1.2 本研究の目的

情報通信技術を活用し、船舶の安全に資するシステムのプロトタイプを構築し、実海域実験を通して実現性の検討を行う。また、現在の技術、規則を制約条件として検討を行う。

はじめに船舶の安全に資する支援を定めるにあたり、海難の現況を確認し、海難を減少させるための有効な手段を検討する。ここでは、周囲の船舶の存在を認知させる船舶の位置情報共有が有効な手段ととらえ、AIS 搭載船舶と AIS 非搭載船の位置情報を収集して、これらを統合した情報を船舶に配信し、周辺船舶の存在を認知させるシステムのプロトタイプを複数試作し、実海域実験を通して、有効な点、問題点、課題等を明らかにすることを目的とする。

また、実海域実験では海上無線通信の手段として、現行の携帯電話網の活用に加えて、無線 LAN の利用の適用可能性の調査を行う。実際に無線 LAN により、船間の通信実験を行い、その実行スループット等の定量計測を行い、船間無線 LAN 通信の可能性についても考察を行うことも目的とする。

### 1.3 既往の研究

船舶の位置情報共有については、高[1.9]らが、大阪湾を対象海域として、3G通信により、AIS 非搭載船である小型船漁船の GPS (Global Positioning System) 位置情報をクラウドサーバーに送り、陸上の AIS 受信機のデータと融合して、インターネットで配信するシステムを構築した。同システムの場合、小型船の GPS 位置情報を送信するための専用の小型端末 (マイクロキューブと呼ばれる小型コンピュータ) を必要としている。この小型端末は、安価であるものの大量生産には至っていない。また、実験に協力した漁船の GPS 位置情報の公開は、一部の船舶のみへの公開としており、漁船の位置情報の公開は抵抗が大きい。このため、小型漁船の位置公開については、AIS やマイクロキューブにより自己からの位置情報発信以外に、外部センサによる位置情報の取得する方法が求められる。また、小型船舶で周辺の AIS 搭載船舶の位置を知るためには、情報表示の端末が必要である。

そこで、公立はこだて未来大学は、タブレット端末のアプリケーションとして marine PLOTTER[1.10]を開発し、クラウドサーバーに収集した AIS 情報を表示するシステムを構築した。これにより、小型船舶側に AIS 船舶の位置情報を提供することが可能となり、マイクロキューブ搭載の周辺の船舶の位置情報も知ることを可能とした。このシステムは、一部の漁協で活用されているが、位置情報の共有は、同じ漁協に所属する漁船等に制限がかけられている場合がある。

海上での無線 LAN 通信については、浦上ら[1.11], [1.12]が実際に実海域で実験を行い、通信の可能性を示した。しかしながら、実海域実験の通信評価は、ping コマンドによる応答の有無による通信可能距離、応答の時間による評価であり、具体的な通信速度の評価では、最大数百 kbps の計測結果であり、本研究で目標の目安とする実効スループット 1Mbps 以上には至らなかった。また、周

辺船舶との通信のために、水平面無指向性アンテナを採用した実験を行っているが、小型船の旋回時には、垂直面のアンテナの指向性の影響で、通信が途絶える問題が発生したことを報告している。

また、藤井ら[1.13]により、5GHz 帯無線アクセスシステムの陸上基地局を東京湾内の灯台にアンテナを設置し、船陸間通信の実験を行い、海面反射によるマルチパス（2 波モデル）の影響が課題となることを示した。なお、灯台にアンテナを設置することができたため、海域は限定されるが、アンテナ高さを稼ぎ、長距離通信を実現した。

更に、和田ら[1.14]も、5GHz 帯無線アクセスシステムによる船陸間通信を構築し、船陸間距離 10km 超で、通信速度 4Mbps 以上を計測した。ここでも、海上での無線通信は、海面反射によるマルチパスの影響の問題があることを確認したが、高さの異なる 2 本のアンテナ利用によるダイバーシティモデルにより、マルチパスの影響の緩和を明らかにした。

なお、5GHz 帯無線アクセスシステムは、平成 29 年の時点において日本国の無線通信に関する法律、法令等では、船間通信のみに適用することが認められていない。また、第三級陸上特殊無線技術士（三陸特）の資格が必要であり、利用のための申請、総務大臣の許可が必要であり、誰もが容易に利用できるものではない。

次に海外の取り組みについて述べる。船舶の安全や環境に関する条約を定めている国際海事機関（IMO: International Maritime Organization）では、情報通信技術を海上、船舶にも導入した船陸間通信による航行支援、AIS、レーダー、電子海図情報表示装置（ECDIS: Electronic Chart Display and Information System）等の電子機器の更なる高度化、従来から存在する古く使用頻度が低い搭載義務機器のフェードアウト等を実現する中長期的な計画を「e-Navigation 戦略」と呼び、検討を行ってきた[1.15]。

この e-Navigation は、以下のように定義されている。



*“e-Navigation is the harmonized collection, integration, exchange, presentation and analysis of marine information on board and ashore by electronic means to enhance berth to berth navigation and related services for safety and security at sea and protection of the marine environment.”*

「e-Navigation とは、海上における安全と保安及び海洋環境保護のため、全ての状況における航行とそれに関連する業務を向上させる電子的手段を用いた、船上及び陸上での海事情報の調和した(1)収集、(2)統合、(3)交換、(4)表示及び(5)分析（サービスまたは機能）である。」

e-Navigation 戦略を受けて、世界各国で調査研究が行われている。特に韓国は、SMART NAVIGATION と名付けたプロジェクトを実施中である。韓国も次章述べるが日本同様に小型船の事故が大部分を占めている。そのため、小型船を中心に情報支援システムの開発を実施している[1.17]。具体的には、船陸間の通信に LTE-Maritime と呼ぶ通信システムを開発中であり、船陸間の通信距離 100km の実現を目指している[1.18]。また、LTE-Maritime の通信を利用して、小型船舶に電子海図や海上安全情報を送信するシステムの開発を行っている[1.19]。

また、デンマークでは、Maritime Cloud と称した、船舶と各種サービスを結びつけるフレームワークを開発中[1.20]で、インターネット上に構築している。Maritime Cloud では、接続する船舶を含むユーザーの識別、現在位置、及び各種サービスの識別が規定されており、この情報を用いて、適切な船舶に、その船が要求するサービスを、海域条件を加味して、提供するフレームワークである。現在、ヨーロッパのプロジェクトを中心に Maritime Cloud の利用が行われており、オープンソースとして公開し、アジアを含めて世界各国地域への普及を進めている[1.21]。

近年では、自動運航船（自律船、自律化船とも呼ばれる）の研究が活発に進められている。代表的なプロジェクトとして、ヨーロッパ連合（EU: European Union）の MUNIN（Maritime Unmanned Navigation through Networks）[1.22]があ

げられる。MUNIN では、大洋航行を行う無人自律航行商船の概念の構築を行い、シミュレーションでこのコンセプトの検証が行われた。船のコンセプトとしては、「航海の全域あるいは部分的に船員が乗船しないで、一部遠隔制御を受けながら航海を自ら管理できる船舶。」としており、これを実現するための重要技術として(1) 先進センサ（赤外線・可視光カメラ、レーダーおよび AIS）による電子見張りシステム、(2) 深海域自律航行システム、(3) 遠隔監視・制御や保守計画、各種問題解決を行う陸上支援システム、(4) 自律エンジン監視・制御システムが試作され[1.23]、その後の欧州プロジェクトの参考とされている。

e-Navigation, 自動運航船のいずれも情報通信技術の高度化が大きな鍵となる。本研究では、既往の研究結果、現在進行形の研究を参考にし、また、組み合わせることも含めて、情報通信技術を活用した支援システムの実現に向けた検討を行う。

## 1.4 本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。

### 第2章 海難の現況

海難の現況について示す。日本近海の海難は、海上保安庁と運輸安全委員会の統計があり、まず海上保安庁の統計に基づき、過去数年間の海難の種別分類を確認する。海難の種別では、衝突が最多であることを示す。更に、衝突要因の分析を行う。上記統計では見張り不十分の原因が最大であるが、更に詳しい分類を行うために運輸安全委員会の前身の一つである海難審判庁の裁決録を利用する。分類の結果、衝突の相手船に気づかなかつた事故が多いことから事故減少対策として、周囲の相手船の存在を認識させる船舶の位置情報提供システムの提案を行う。

### 第3章 位置情報共有システム

前章の結果により、船舶の位置情報提供システムが海難減少対策の一つと考える。既に AIS の船舶情報は、受信機により得ることができ、インターネット配信をしている者もいるため、非 AIS 搭載船の位置情報の収集方法を考える必要がある。なお、新たな機器の追加は極力少なくし、既存の機器を可能な限り活用することを条件とする。ここでは、2つの方法を考える。1つは、AIS を搭載していないプレジャーボートや漁船のユーザーがスマートフォンを所有と仮定し、スマートフォンに内蔵の GPS 受信機の位置情報を利用する方法である。もう1つは、多くの船が搭載しているレーダーには、捕捉機能を有する物があるため、船舶の捕捉情報を位置情報に変換した情報を利用する方法である。なお、2つのシステムにおいては、クラウドサーバー、携帯電話網を利用する。実際に2つのシステムのプロトタイプを構築し、動作確認を行い、また、2つ

のシステムの比較やそれぞれのシステムの利用に際する留意点をまとめる。

#### 第4章 船間無線 LAN 適用の可能性

前章で検討した位置情報共有システムは、携帯電話網を利用した。内海や沿岸であれば、一定の海域では通信が可能である。なお、携帯電話網の利用には通信費が必要となる。また、クラウドサーバーの利用では、誰が管理するかの問題が発生する。そこで、海上の船間の通信に通信量のかからない無線 LAN の適用を考え、1対1のアドホックな船間通信による情報交換の実験を行う。まず、免許不要の2.4GHz帯の無線 LAN 機器により、船間通信実験を行い、通信速度1Mbps超の実現を目指す。なお、船間の通信である情報交換の対象として、行会い船の状況を中心に実験を行う。行会い船の状況であるため、目標の通信速度を実現するために、指向性アンテナの利用の検討を行う。また、複数種類の指向性アンテナを利用し、それぞれの特性を把握し、最適なアンテナ選択の検討を行う。

#### 第5章 結論

本論文のまとめを述べるとともに今後の課題を述べる。

## 第1章の参考文献

[1.1] 総務省，情報通信白書平成29年版，2017.

[1.2] 株式会社NTTドコモ，ドコモ5Gホワイトペーパー 2020年以降の5G無線アクセスにおける要求条件と技術コンセプト，2014.

[1.3] 平本義貴，海上における公衆無線通信について，日本航海学会2016年春季航法システム研究会講演資料，2016，

[http://navsystem.j-navigation.org/workshopreport/report/r2016s/abst2016s/handout\\_hiramoto.pdf](http://navsystem.j-navigation.org/workshopreport/report/r2016s/abst2016s/handout_hiramoto.pdf)

[1.4] IEC, IEC 61993-2 Ed. 2.0:2012, 海洋航行及び無線通信機器及びシステムー自動識別システム (AIS)ー第2部:自動識別システム (AIS) のクラスA海上機器ー運用及び性能要求事項, 試験方法及び要求試験結果, Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems - Automatic identification systems (AIS) - Part 2: Class A shipborne equipment of the automatic identification system (AIS) - Operational and performance requirements, methods of test and required test results, 2012.

[1.5] KDDI, インマルサットFB (フリートブロードバンド),

<http://www.kddi.com/business/satellite/inmarsat/fb/>

[1.6] 矮松一磨，海洋ブロードバンド 衛星通信の取り組み，日本マリンエンジニアリング学会誌，第49巻，第5号，pp.37-41, 2014.

[1.7] 井上眞太郎，赤塚稔，伊藤信幸，野呂崇徳，前田敏行，インマルサット Global Xpress JUE-60GX の開発，日本無線技報，No.67，pp.14-17，2016.

[1.8] 小野昌也，内航海運における船舶管理高度化の実例，日本航海学会誌 NAVIGATION，第196号，pp.21-25，2016.

[1.9] 高博昭，和田雅昭，松本浩文，畑中勝守，大型船舶と小型船舶の位置情報重畳表示による航行支援の取り組み，日本航海学会論文集，第128号，pp.1-8，

2013.

[1.10] FUTURE UNIVERSITY HAKODATE, marine PLOTTER,

<https://itunes.apple.com/jp/app/marine-plotter/id525956871>

<https://www.facebook.com/marinePLOTTER>

[1.11] 浦上美佐子, 松野浩嗣, 岩崎寛希, 海上無線 LAN を利用した小型船舶対象の安心ネットワーク構築, 日本航海学会論文集, 第 111 号, pp.173-180, 2004.

[1.12] 浦上美佐子, 丹羽康之, 本木久也, 松野浩嗣, 船間無線 LAN を用いた小型船舶対象の安心ネットワーク構築, 日本航海学会論文集, 第 119 号, pp.67-74, 2008.

[1.13] 藤井勇彰, 東京湾におけるブロードバンド通信実験, 日本航海学会誌 NAVIGATION, 第 174 号, pp.55-56, 2010.

[1.14] 和田雅昭, 畑中勝守, 水産業における情報技術の活用について-V. ーマリンブロードバンドの活用ー, 日本航海学会論文集, 第 122 号, pp.53-59, 2010.

[1.15] 丹羽康之, e-Navigation への貢献, 海上技術安全研究所報告, 第 12 巻, 第 4 号, pp.283-291, 2013.

[1.16] IMO, MSC 85/26/Add.1 Annex 20, “STRATEGY FOR THE DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF E-NAVIGATION”, 2013.

[1.17] Dongsik Woo RISE, Mikael Lind, Kwanghyun Lim, Mikael Hägg, Robert Rylander, Jinhyoung Park, Comparison between STM for SOLAS ships and SMART-Navigation for Non-SOLAS ships, e-Navigation UNDERWAY 2017 ASIA-PACIFIC PROGRAM BOOK, pp.35-36, 2017.

[1.18] Boksub Song, Kwanghyun Lim, Hanjin Lee, Deukjae Cho, LTE-Maritime Sea Test Result, e-Navigation UNDERWAY 2017 ASIA-PACIFIC PROGRAM BOOK, p.48, 2017.

[1.19] Sewoong Oh, Eivind Mong, Juhyoung Lee, Jaewook Lee, ECS Standards for Non-SOLAS Vessels, e-Navigation UNDERWAY 2017 ASIA-PACIFIC PROGRAM

BOOK, p.37, 2017.

[1.20] Axel Hahn, Jens Jensen, Mikael Lind, Thomas Lutz, Benjamin Weinert, Jin H. Park, THE CONCEPTS OF THE MARITIME CLOUD, e-Navigation Underway 2016, 2016.

<http://www.iala-aism.org/content/uploads/2016/06/11.20-Axel-Hahn-The-Concepts-of-the-Maritime-Cloud1.pdf>

[1.21] Thomas Christensen, Asia Pacific Web – a fast track means for the provision of e-Navigation services, based on the Maritime Cloud concept, e-Navigation UNDERWAY 2017 ASIA-PACIFIC PROGRAM BOOK, p.66, 2017.

[1.22] Munin, <http://munin-monitoring.org/>

[1.23] Hans-Christoph Burmeister, Wilko Bruhn, Ørnulf Jan Rødseth, Thomas Porathe, Autonomous Unmanned Merchant Vessel and its Contribution towards the e-Navigation Implementation: The MUNIN Perspective, International Journal of e-Navigation and Maritime Economy, Volume 1, pp.1-13, 2014.

## 第2章 海難の現況と分析

### 2.1 緒言

本章では、最初に海難の現況について示す。日本近海の海難は、海上保安庁と運輸安全委員会の統計がある。ここでは海上保安庁の統計に基づき、過去数年間の海難種別等を確認する。海難の種別では、衝突が最多であること、また、船舶種別では小型船舶が多いことを示す。更に、衝突要因の分析を行う。上記の海上保安庁の統計では見張り不十分の原因が最大であるが、更に詳しい解析を行うために運輸安全委員会の前身の一つである海難審判庁の海難審判裁決録を利用する。解析の結果、衝突の相手船に気づかなかった事故がある程度の割合で多いことを明らかにし、事故減少対策として、周囲の相手船の存在を認識させる支援策が有効であることを述べる。



## 2.2 海難の現況

海上保安庁では、毎年船舶事故隻数やその原因をまとめた「海難の現況と対策について」[2.1]を公表している。平成28年3月に公表した平成27年の船舶事故隻数等の概要は以下の通りである[2.2]。

### ○船舶事故

- 船舶事故隻数は、前年比123隻減の2,014隻で、平成13年から開始した現在の統計手法では過去最少であった
- プレジャーボート及び貨物船の事故隻数が前年の平成26年と比較して、大きく減少した一方で、漁船及び旅客船は増加した
- 小型船舶（※1）による事故隻数（1,573隻）が船舶事故全体の約8割占めている
- 船舶事故に伴う死者・行方不明者数は、前年比8人増の56人であった

### ○人身事故（※2）

- 人身事故者数は、前年比27人増の2,660人であった
- マリンレジャーに伴う事故者数は900人で、遊泳中及び釣り中の事故者数が増加し、約7割を占めている
- 人身事故に伴う死者・行方不明者数は、前年比16人減の1,092人であった

※1 小型船舶とは、漁船、遊漁船及びプレジャーボートをいう。

※2 人身事故とは、船舶事故以外の乗船中の事故及び海浜事故をいう。

ここでは、船舶事故の外観（船舶事故隻数）、船舶種類別、事故種類別、事故原因別、距岸別、死者・行方不明者等を確認する。

#### 船舶事故の外観（船舶事故隻数）

平成 28 年に海上保安庁が認知した船舶事故は 2,014 隻である。また過去 10 年間の船舶事故隻数の推移を図 2.1 に示す。平成 28 年の船舶事故隻数は、過去 10 年で最少となっており、また減少傾向を示しているものの劇的な減少には至っていない。

このため、事故隻数を減らすための何らかの支援が必要である。

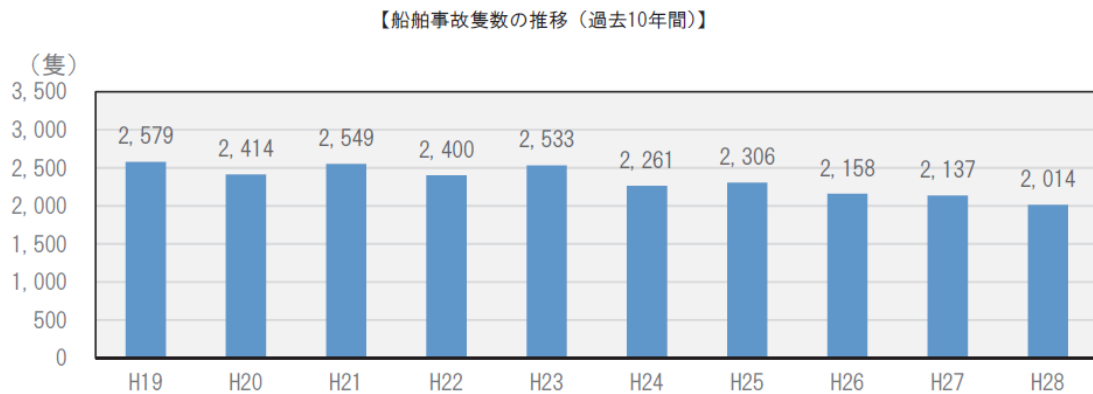


図 2.1 船舶事故の推移（過去 10 年間）

出典：「平成 28 年海難の現況と対策～大切な命を守るために～」

### (1) 船舶種別

図 2.2 に示すとおり，平成 28 年の船舶種別の隻数は，プレジャーボート 878 隻 (44%)，漁船 630 隻 (31%)，貨物船 205 隻 (10%) の順となっている．過去 5 年間の船舶種別の隻数においても，プレジャーボート，漁船，物船の順となっており，いわゆる小型船舶（プレジャーボート，漁船，遊漁船※）が 75% を占めている．

※遊漁船：「遊漁船業の適正化に関する法律」（昭和 63 年法律第 99 号）第 2 条 2 項に規定する「遊漁船」をいう．

このため，小型船舶を対象とした支援策が事故隻数減少に有効であると考えられる．

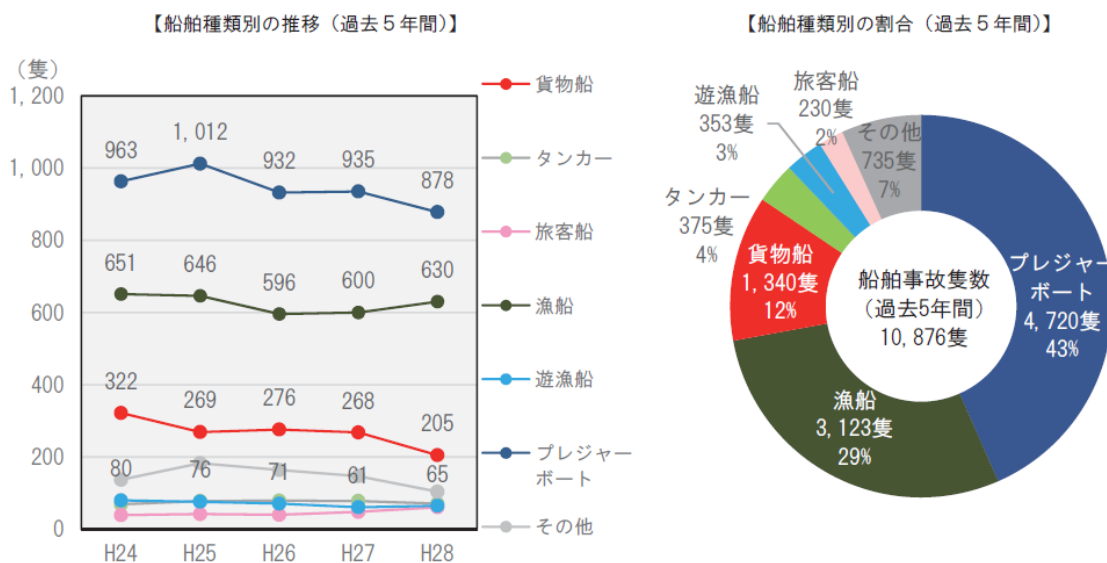


図 2.2 船舶種別推移，割合（過去 5 年間）

出典：「平成 28 年海難の現況と対策～大切な命を守るために～」

## (2) 事故種別別

図 2.3 に示すとおり，平成 28 年の事故種別別の隻数は，衝突 586 隻（29%），機関故障 313 隻（16%），乗揚げ 259 隻（13%）の順となっている。

過去 5 年間の事故種別別の隻数においても，衝突，機関故障，乗揚げの順となっている。

このため，衝突防止を対象とした支援策が事故隻数減少に有効であると考えられる。

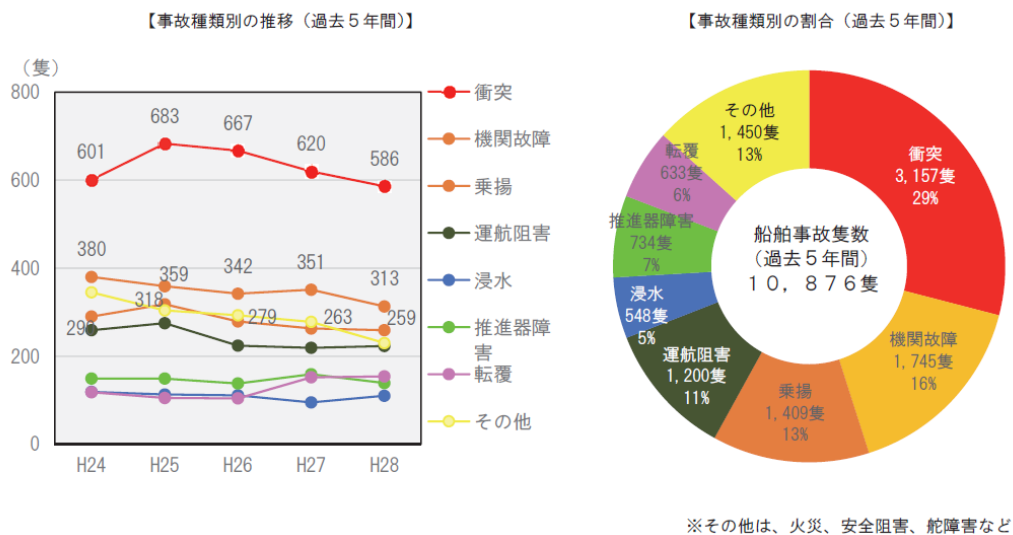


図 2.3 事故種別別の推移，割合（過去 5 年間）

出典：「平成 28 年海難の現況と対策～大切な命を守るために～」

### (3) 事故原因別

図 2.4 に示すとおり，平成 28 年の事故原因別の隻数は，見張り不十分 391 隻 (19%)，操船不適切 274 隻 (14%)，機関取扱 170 隻 (8%) の順となっており，過去 5 年間においては，人為的要因が 8,327 隻 (77%) を占めている

このため，人為的要因を解消する支援策，特に見張り不十分を解消する支援策が事故隻数減少に有効であると考えられる。一方，見張り不十分といっても，居眠りであったり，他の作業に夢中であったりと様々であるため，見張り不十分の詳細原因を更に調査する必要があると考える。

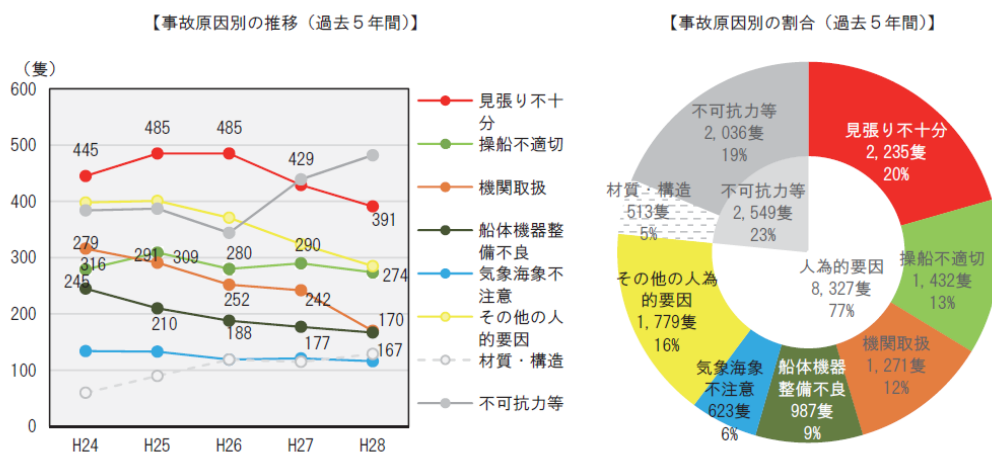


図 2.5 事故原因別の推移，割合 (過去 5 年間)

出典：「平成 28 年海難の現況と対策～大切な命を守るために～」

#### (4) 距岸別

図 2.5 に示すとおり，過去 5 年間の船舶事故の 94%が陸岸から 12 海里未満で発生している．また，3 海里未満が 45%であり，携帯電話が通信可能であると思われる．

このため，今回提案する支援策では，携帯電話が通信可能であることを前提とし，携帯電話（スマートフォンやタブレットを含む）による情報支援ができれば，この支援策が事故隻数減少に有効であると考えられる．

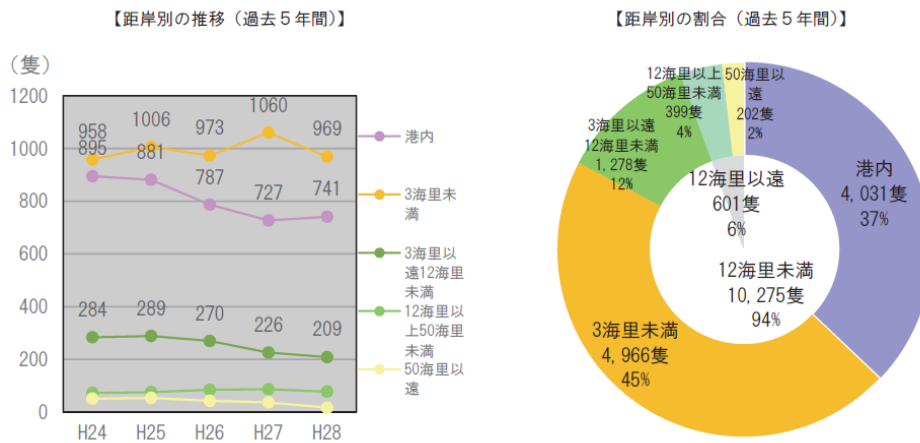


図 2.5 距離別の推移，割合（過去 5 年間）

出典：「平成 28 年海難の現況と対策～大切な命を守るために～」

(5) 死者・行方不明者及び負傷者

図 2.6 に示すとおり，平成 28 年の死者・行方不明者を伴う船舶事故の隻数は 35 隻である。船舶種類別では，漁船 19 隻 (54%)，プレジャーボート 12 隻 (34%) の順となっている。

過去 5 年間でも，漁船 123 隻 (57%)，プレジャーボート 68 隻 (31%) で約 88%を占めている。

平成 28 年の船舶事故に伴う死者・行方不明者数は 56 人である。また，負傷者数は 248 人である。

船舶種類別と同様に，小型船舶が大多数を占めていることから，小型船舶を対象とした支援策が死者・行方不明者及び負傷者数減少に有効であると考えられる。

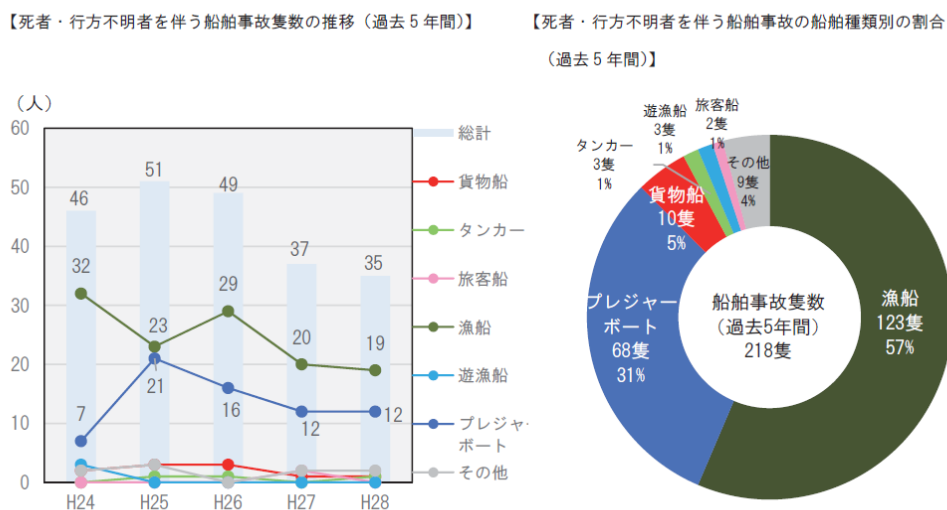


図 2.6 死者・行方不明者を伴う船舶事故隻数の推移，割合（過去 5 年間）

出典：「平成 28 年海難の現況と対策～大切な命を守るために～」

(6) トン数別

図 2.7 に示すとおり，平成 28 年のトン数別の事故隻数は，20 トン未満 1,609 (80%)，500 トン以上 201 隻 (10%) の順となっている。

過去 5 年間のトン数別の事故隻数は，20 トン未満が 77%を占めている。

船舶種類別と同様に，20 トン未満である小型船舶が大多数を占めていることから，小型船舶を対象とした支援策が有効であると考ええる。

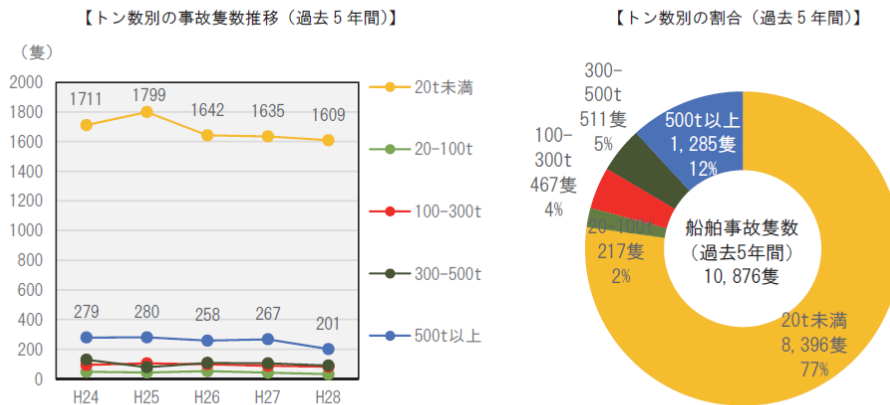


図 2.7 トン数別の事故隻数推移，割合 (過去 5 年間)

出典：「平成 28 年海難の現況と対策～大切な命を守るために～」



(7) 20 トン未満の事故船舶の用途別隻数

図 2.8 に示すとおり,平成 28 年の 20 トン未満の用途別の事故船舶の隻数は,プレジャーボート 878 隻 (55%), 漁船 584 隻 (36%), 遊漁船 65 隻 (4%) の順となっている. 過去 5 年間の 20 トン未満の用途別の事故船舶の隻数も,プレジャーボート, 漁船, 遊漁船の順となっている。

ここでも船舶種類別と同様に, 小型船舶 (プレジャーボート, 漁船, 遊漁船) が大多数を占めていることから, 小型船舶を対象とした支援策が有効であると考える。

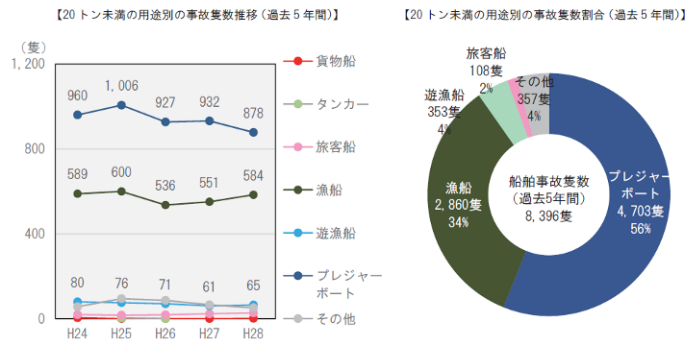


図 2.8 20 トン未満の用途別の事故隻数推移, 割合 (過去 5 年間)

出典: 「平成 28 年海難の現況と対策～大切な命を守るために～」

以上を簡単まとめると以下の通りである。

- 20 トン未満の小型船舶（プレジャーボート，漁船，遊漁船）の割合が多い（事故全体の約 75%）。
- 衝突事故が多い（事故全体の約 30%）。
- 原因としては見張り不十分が多い（事故全体の約 20%）。
- 沿岸から 12 海里未満の沿岸が多く（事故全体の約 95%），3 海里未満が約半数を占める。

このため，これらの問題を解決する支援策が実現できれば，海難を減少することができると考えられる。単純計算であるが上述の 4 点項の割合を全てかけると事故全体の 5%に相当し，1 年あたり 100 隻となる。

なお，沿岸から，12 海里未満の事故が約 95%，3 海里未満の事故が約半数を占めていることから，携帯電話網で通信できる範囲が大部分であると考え，情報通信技術を利用した支援策の実現性は十分に可能性があるといえる。

## 2.3 衝突海難の詳細分析

前節では、海上保安庁の統計データに基づき、海難の現況を確認した。小型船舶の衝突が多く、これらへの支援策が海難減少に有効である。原因は見張り不十分が多いが、見張り不十分を更に分析することが、支援策の検討に資すると考える。本節では、旧海難審判庁の海難審判裁決録を利用して、衝突海難の詳細分析を行う。

ここでは、海難審判裁決録を基に海上技術安全研究所が調査用に整備した海難データベース[2.3]から、衝突事故の裁決録を抽出し、分析を行うこととする。

海難データベースを用いて、平成13年に発生した「衝突」、「衝突（単）」に関与した船舶種別、船型別隻数を整理した。海難審判裁決録では、具体的なトン数も記載されているため、衝突海難の船舶の船舶種別を表2.1に示すとおり、更に詳細に分類した。また衝突した船舶の船種別・船型別の発生件数を表2.2に示す。

船舶種別ごとにみると、特に「特小型」漁船の割合が大きく（全体の30.8%）、次に「小型」プレジャーボート（15.3%）、「大型」商船（13.0%）、「小型」商船（9.4%）となっている。なお、「大型」漁船の衝突海難の発生は零であり、割合の小さいものは、「中小型」商船（0.6%）、「中大型」商船（1.7%）、「大型」プレジャーボート（2.3%）となっている。これらは、前節の海難の現況と同様の傾向を示している。

表 2.1 船舶種別・衝突の発生状況（2001 年発生海難）

船 種		船舶カテゴリー		衝突（隻数）	
		サイズ	船型（総トン数階級）	隻 数	割合
プレジャーボート		小型	15総トン未満（40ft型 未満）	99	15.3%
		大型	15総トン以上（40ft型 以上）	15	2.3%
漁船		特小型	5総トン未満	199	30.8%
		小型	5～10総トン未満	41	6.3%
		中型	10～20総トン未満	51	7.9%
		大型	20～30総トン未満	0	0.0%
		特大型	30総トン以上	36	5.6%
商 船	小型商船 （主に内航船）	小型	20～200総トン未満	61	9.4%
		中小型	200～300総トン未満	4	0.6%
		中型	300～500総トン未満	46	7.1%
	大型商船 （内航、外航）	中大型	500～700総トン未満	11	1.7%
		大型	700総トン～	84	13.0%
合 計				647	100.0%

表 2.2 船舶種別・船型別の衝突発生状況

①船舶種別の衝突発生状況

	曳船	貨物船	漁船	作業船	タンカー	プレジャーボート	旅客船	特殊船	水上オートバイ	計
曳船	1	29	27	39	9	26	4	0	0	135
貨物船		531	800	21	242	36	47	4	0	1,681
漁船			1,442	54	206	469	64	12	0	2,247
作業船				7	5	12	8	1	0	33
タンカー					58	15	7	0	0	80
プレジャーボート						93	18	3	0	114
旅客船							11	0	0	11
特殊船								0	0	0
水上オートバイ									0	0
計	1	560	2,269	121	520	651	159	20	0	4,301

②船型別の衝突発生状況

	5総トン未満	5～20総トン未満	20～100総トン未満	100～500総トン未満	500～1,000総トン未満	1,000～3,000総トン未満	3,000～6,000総トン未満	6,000～10,000総トン未満	10,000総トン以上	計
5総トン未満	634	464	63	470	65	33	27	6	23	1,785
5～20総トン未満		217	82	240	69	51	55	6	52	772
20～100総トン未満			55	88	19	11	9	3	12	197
100～500総トン未満			385		172	80	83	21	76	817
500～1,000総トン未満					32	25	22	7	11	97
1,000～3,000総トン未満						16	23	10	21	70
3,000～6,000総トン未満							5	8	12	25
6,000～10,000総トン未満								5	9	14
10,000総トン以上									15	15
計	634	681	200	1,183	357	216	224	66	231	3,792

総トン数が判明した船舶のみ集計

ここでは船舶種別ごとに、類似した海難事例を整理して、海難発生に至る要因の特徴を見いだす分析作業を実施した。解析においては海難審判裁決録に記載されている内容を分析することで、海難の発生した状況を把握し、海難発生に至る要因を推測も含めて整理した。

分析対象として、海難データベースから、平成13年に発生した衝突324件について、分析を実施した。

分析作業は、まず数ケースの詳細調査を実施して海難の発生した状況を把握するとともに、海難審判庁発刊の「海難レポート」等の資料を参考にして、海難発生の状況をパターン化して要因を絞り込み、船舶種別ごとに海難発生の要因を整理した。

船橋当直時、操船者は「見張り」作業によって、自船周囲の他船と障害物を発見し、発見した他船の動静を把握することで衝突のおそれの有無を判断し、衝突のおそれがあると判断した場合には衝突回避のための操船方法を検討し、最適な回避操船を実行することで、衝突を回避する。

他船を発見できず衝突海難に至ったケースでは、操船者が見張り作業を怠り相手船自体を認識していなかった場合や、操船者が見張り作業を実行していても、航行環境が原因で他船を発見できないケースや、使用していた航海支援機器の性能限界のため他船を発見できない等が考えられる。

このため、ここでは、具体的な当直状況として、以下に示す4つ作業過程における海難パターンを設定し、各海難パターンでの海難事故に至った要因を検討した。

- ① 見張り作業を実施していなかった海難パターン
- ② 他船の発見ができなかった海難パターン
- ③ 他船の継続監視が実施できなかった海難パターン
- ④ 衝突のおそれの判断、避航方法の判断が適切でなかった海難パターン

当該作業過程では4つの作業過程が一つの流れとして考えられるが、実際の当直では各作業過程が繰り返し行われるため、今回の分析において各作業過程は独立して発生するものとし、解析時にも1隻の船舶に対して複数の海難パターンが割り当てられることとして解析を行った。

なお、操船機器の故障が原因となったケースおよび岸壁に係留中に他船から衝突されたケースについては、直接操船者に掛かる原因ではないため、その他の原因による海難として整理し、分析対象からは除外することとした。

衝突海難の分析を実施した結果、衝突海難の要因としてパターンごとに次の事項があげられる。

① 見張り作業を実施していなかった海難パターン

当直時に見張り作業を実施していなかった要因として、次の事項をあげる。

- ・漫然とした見張り
- ・居眠り
- ・他作業に夢中（書類作業、海図作業、漁労、漁具整理、等）
- ・船橋が無人状態

② 他船の発見ができなかった海難パターン

見張り作業が実施されていても、適切に実施されなければ相手船を発見できないケースがあり、その要因として、次の事項をあげる。

- ・ある方向のみに注視
- ・ある船舶等（第三船等）に注視
- ・波間による埋没
- ・背景光への埋没
- ・（自船の）構造物等による死角の影響
- ・地物による死角の影響
- ・（相手船の）灯火の不表示
- ・（相手船の）霧中信号の不表示
- ・レーダー映像の調整不良（他船が映らない）
- ・レーダー映像の判読の誤り（他船を発見できない）
- ・レーダーの探知能力の限界（感度、分解能）



### ③他船の継続監視が実施できなかった海難パターン

衝突海難を起こさないためには、他船発見後も、適切な時間間隔で継続的な監視を行い、衝突のおそれの有無を判断する必要がある。この他船の継続監視が実施できなかった要因として、次の事項をあげる。

- ・（新たな状況が生じ）その方向のみに注視
- ・（新たな状況が生じ）その船舶等（第三船等）に注視
- ・波間により埋没し見失う
- ・背景光へ埋没し見失う
- ・（自船の）構造物等による死角の影響
- ・地物による死角の影響
- ・（相手船の）灯火の不表示
- ・レーダー映像の調整不良（他船エコーが消失）
- ・レーダー映像の判読の誤り（他船エコーを見失う）
- ・レーダーの探知能力の限界（感度，分解能）（他船エコーが消失）

#### ④衝突のおそれの判断，避航方法の判断が適切でなかった海難パターン

操船者は，他船の動向を把握したのち，衝突のおそれがある場合には避航操船方法を立案し，避航動作を実行する．避航動作をとった後も随時衝突のおそれを判断し，必要な場合には操船方法を変更する．適切な判断ができなかった要因として，次の事項があげられる．

- ・相手船の行動の臆断（思いこみ，判断の甘さ，自信過剰）
- ・輻輳状態における相手船以外の存在（輻輳度合い）
- ・航路を把握せず
- ・相手船の船位の観測ミス
- ・航海支援機器の情報の誤りによる相手船の動静観測ミス（故障，性能限界，取扱いミス）
- ・相手船の灯火形象物の不表示
- ・信号の不履行（自船，相手船ともに）
- ・航法の不遵守（自船，相手船ともに）
- ・通信の不履行による相互の意思疎通の不足
- ・操船者の技量不足（判断遅れ，相手船と接近しすぎ，他者の助言なし）
- ・第三船との衝突
- ・相手船の航法不遵守
- ・想定外の気象海象条件

次に，船舶種別ごとに，上記の海難パターン別の発生件数を集計した表 2.3 に示す．なお，集計された海難パターン数の合計は，衝突海難 1 件につき 1 件以上の要因があるため，衝突海難隻数とは必ずしも一致しない．

表 2.3 衝突海難の要因分析

船種別乗数 14 (17.6%)	327 (80.3%)				206 (31.8%)				647 (100.0%)			
	199 (60.9%)	41 (12.3%)	51 (15.6%)	36 (11.0%)	327 (100.0%)	61 (29.6%)	4 (1.9%)	46 (22.3%)	11 (5.3%)	84 (40.8%)	296 (100.0%)	647 (100.0%)
カテゴリ別乗数	15 (13.2%)	114 (100.0%)	51 (15.6%)	36 (11.0%)	327 (100.0%)	61 (29.6%)	4 (1.9%)	46 (22.3%)	11 (5.3%)	84 (40.8%)	296 (100.0%)	647 (100.0%)
衝突海難の要因	小型	中型	大型	小計	船小型	船中型	船大型	船小計	船中型	船大型	船小計	船大型
①当直作業が実施されなかった船舶がターン	24 (23.3%)	2 (11.6%)	26 (24.7%)	37 (18.3%)	7 (17.1%)	9 (17.6%)	2 (5.6%)	55 (16.6%)	11 (20.4%)	1 (7.1%)	23 (10.0%)	104 (15.3%)
逆方向した運航	1 (5.9%)	1 (6.8%)	7 (8.1%)	3 (3.5%)	3 (7.3%)	11 (21.6%)	3 (8.1%)	24 (7.3%)	3 (5.6%)	3 (3.5%)	8 (3.5%)	33 (4.9%)
居残り	27 (26.2%)	4 (23.5%)	31 (28.8%)	72 (35.9%)	13 (31.7%)	15 (29.4%)	7 (19.5%)	107 (32.3%)	4 (7.8%)	1 (7.1%)	9 (10.9%)	19 (8.3%)
船舶間に乗中（乗船作業、船固作業、船外作業、船具整理、等）	1 (1.0%)	1 (6.8%)	1 (0.8%)	2 (1.0%)	2 (3.9%)	2 (3.9%)	1 (2.7%)	6 (1.8%)	1 (1.9%)	1 (7.1%)	2 (0.9%)	9 (1.3%)
船橋が無人状態	52 (50.5%)	7 (41.2%)	59 (48.2%)	118 (58.4%)	24 (58.5%)	37 (72.5%)	13 (35.1%)	192 (58.0%)	15 (20.8%)	2 (14.3%)	52 (22.7%)	303 (44.8%)
②他船の発見がなされたケース	7 (6.8%)	1 (5.9%)	8 (6.7%)	13 (6.3%)	2 (4.8%)	2 (3.9%)	2 (5.6%)	17 (5.1%)	3 (5.6%)	5 (5.6%)	8 (3.5%)	33 (4.9%)
ある方向のみに注視	2 (1.9%)	1 (5.9%)	3 (2.5%)	9 (4.5%)	5 (12.2%)	2 (3.9%)	3 (8.1%)	19 (5.7%)	5 (6.9%)	6 (11.1%)	17 (7.4%)	39 (5.7%)
背光への理没	3 (2.9%)	3 (2.9%)	3 (2.5%)	3 (1.5%)	3 (7.3%)	3 (5.8%)	3 (8.1%)	3 (0.9%)	4 (5.6%)	3 (5.6%)	8 (3.5%)	14 (2.1%)
(自船の) 構造物等による死角の影響	6 (5.8%)	1 (5.9%)	7 (5.8%)	4 (2.0%)	6 (14.9%)	4 (7.8%)	1 (2.7%)	14 (4.2%)	1 (1.9%)	1 (1.2%)	3 (1.3%)	24 (3.5%)
地物による死角の影響	5 (4.8%)	1 (5.9%)	6 (5.0%)	2 (1.0%)	1 (2.4%)	1 (2.0%)	3 (8.1%)	3 (0.9%)	1 (1.9%)	1 (1.2%)	1 (0.4%)	10 (1.5%)
(相手船の) 灯示の不表示	1 (1.0%)	1 (5.9%)	2 (1.7%)	14 (6.9%)	1 (2.4%)	1 (2.0%)	1 (2.7%)	17 (5.1%)	1 (1.9%)	1 (1.2%)	1 (0.4%)	19 (2.8%)
(相手船の) 番号表示の不表示	1 (1.0%)	1 (5.9%)	1 (0.8%)	1 (0.5%)	2 (4.8%)	2 (3.9%)	2 (5.6%)	3 (0.9%)	2 (2.8%)	1 (1.2%)	1 (0.4%)	5 (0.7%)
レーザ映像の画像不良（他船が映らない）	1 (1.0%)	1 (5.9%)	1 (0.8%)	3 (1.5%)	1 (2.4%)	1 (2.0%)	1 (2.7%)	5 (1.5%)	2 (2.8%)	2 (14.3%)	3 (3.9%)	14 (2.1%)
レーザ映像の判読の誤り（他船を発見できない）	25 (24.3%)	6 (35.3%)	31 (25.8%)	49 (24.3%)	16 (39.0%)	8 (15.7%)	9 (24.3%)	82 (24.8%)	15 (20.8%)	2 (14.3%)	53 (23.1%)	166 (24.8%)
③他船の継続監視が実施されなかったケース	10 (9.7%)	1 (5.9%)	11 (10.3%)	21 (10.0%)	1 (2.4%)	1 (2.0%)	1 (2.7%)	2 (0.6%)	1 (1.9%)	1 (1.2%)	3 (1.3%)	4 (0.6%)
(新たな状況が生じ) その方向のみに注視	1 (1.0%)	1 (5.9%)	1 (0.8%)	3 (1.5%)	1 (2.4%)	1 (2.0%)	1 (2.7%)	1 (0.3%)	2 (2.8%)	1 (1.2%)	1 (0.4%)	3 (0.4%)
(新たな状況が生じ) その船等（第二船等）に注視	1 (1.0%)	1 (5.9%)	1 (0.8%)	3 (1.5%)	1 (2.4%)	1 (2.0%)	1 (2.7%)	1 (0.3%)	2 (2.8%)	1 (1.2%)	1 (0.4%)	3 (0.4%)
(自船の) 構造物等による死角の影響	3 (2.9%)	3 (2.9%)	3 (2.5%)	9 (4.5%)	3 (7.3%)	3 (5.8%)	3 (8.1%)	3 (0.9%)	4 (5.6%)	1 (1.2%)	7 (3.1%)	8 (1.2%)
地物による死角の影響	3 (2.9%)	3 (2.9%)	3 (2.5%)	9 (4.5%)	3 (7.3%)	3 (5.8%)	3 (8.1%)	3 (0.9%)	4 (5.6%)	1 (1.2%)	7 (3.1%)	8 (1.2%)
発見したが、優先と見取り動作を阻害せず	3 (2.9%)	3 (2.9%)	3 (2.5%)	9 (4.5%)	3 (7.3%)	3 (5.8%)	3 (8.1%)	3 (0.9%)	4 (5.6%)	1 (1.2%)	7 (3.1%)	8 (1.2%)
合計	3 (2.9%)	3 (2.9%)	3 (2.5%)	9 (4.5%)	3 (7.3%)	3 (5.8%)	3 (8.1%)	3 (0.9%)	4 (5.6%)	1 (1.2%)	7 (3.1%)	8 (1.2%)
④衝突のおそれの判断、避航方法の判断が適切でなかったケース	14 (13.6%)	1 (5.9%)	15 (12.5%)	14 (6.9%)	1 (2.4%)	3 (5.9%)	10 (27.0%)	28 (8.5%)	2 (2.8%)	5 (5.6%)	77 (33.6%)	120 (17.6%)
相手船の行動の判断（思いこみ、判断の行き、自信過剰）	10 (9.7%)	1 (5.9%)	11 (10.3%)	21 (10.0%)	1 (2.4%)	3 (5.9%)	9 (24.3%)	25 (7.6%)	7 (13.0%)	4 (28.6%)	37 (16.2%)	72 (10.6%)
船橋を把握せず	1 (1.0%)	1 (5.9%)	1 (0.8%)	3 (1.5%)	1 (2.4%)	1 (2.0%)	1 (2.7%)	1 (0.3%)	1 (1.9%)	1 (1.2%)	3 (1.3%)	3 (0.4%)
相手船の船位の見誤り	2 (1.9%)	2 (11.8%)	2 (1.7%)	6 (2.9%)	2 (4.8%)	2 (3.9%)	2 (5.6%)	6 (1.8%)	2 (2.8%)	2 (14.3%)	6 (2.6%)	10 (1.5%)
相手船の引込姿勢等の不表示	1 (1.0%)	1 (5.9%)	1 (0.8%)	3 (1.5%)	1 (2.4%)	1 (2.0%)	1 (2.7%)	3 (0.9%)	1 (1.9%)	1 (1.2%)	3 (1.3%)	3 (0.4%)
相手船の不進行（自船、相手船ともに）	1 (1.0%)	1 (5.9%)	1 (0.8%)	3 (1.5%)	1 (2.4%)	1 (2.0%)	1 (2.7%)	3 (0.9%)	1 (1.9%)	1 (1.2%)	3 (1.3%)	3 (0.4%)
船位の不遵守（自船、相手船ともに）	1 (1.0%)	1 (5.9%)	1 (0.8%)	3 (1.5%)	1 (2.4%)	1 (2.0%)	1 (2.7%)	3 (0.9%)	1 (1.9%)	1 (1.2%)	3 (1.3%)	3 (0.4%)
通信の不進行による相互の意思疎通の不十分	1 (1.0%)	1 (5.9%)	1 (0.8%)	3 (1.5%)	1 (2.4%)	1 (2.0%)	1 (2.7%)	3 (0.9%)	1 (1.9%)	1 (1.2%)	3 (1.3%)	3 (0.4%)
操縦者の技量不足（判断遅れ、相手船と接近しすぎ、他船の助言なし）	1 (1.0%)	1 (5.9%)	1 (0.8%)	3 (1.5%)	1 (2.4%)	1 (2.0%)	1 (2.7%)	3 (0.9%)	1 (1.9%)	1 (1.2%)	3 (1.3%)	3 (0.4%)
相手船の番号の見誤り	1 (1.0%)	1 (5.9%)	1 (0.8%)	3 (1.5%)	1 (2.4%)	1 (2.0%)	1 (2.7%)	3 (0.9%)	1 (1.9%)	1 (1.2%)	3 (1.3%)	3 (0.4%)
合計	14 (13.6%)	1 (5.9%)	15 (12.5%)	14 (6.9%)	1 (2.4%)	3 (5.9%)	10 (27.0%)	28 (8.5%)	2 (2.8%)	5 (5.6%)	77 (33.6%)	120 (17.6%)
⑤その他	9 (8.7%)	3 (17.6%)	12 (10.0%)	12 (6.0%)	1 (2.4%)	1 (2.0%)	2 (5.6%)	3 (0.9%)	2 (2.8%)	1 (1.2%)	3 (1.3%)	6 (0.9%)
操縦者の取極	9 (8.7%)	3 (17.6%)	12 (10.0%)	12 (6.0%)	1 (2.4%)	1 (2.0%)	2 (5.6%)	3 (0.9%)	2 (2.8%)	1 (1.2%)	3 (1.3%)	6 (0.9%)
係留中に衝突された	9 (8.7%)	3 (17.6%)	12 (10.0%)	12 (6.0%)	1 (2.4%)	1 (2.0%)	2 (5.6%)	3 (0.9%)	2 (2.8%)	1 (1.2%)	3 (1.3%)	6 (0.9%)
合計	9 (8.7%)	3 (17.6%)	12 (10.0%)	12 (6.0%)	1 (2.4%)	1 (2.0%)	2 (5.6%)	3 (0.9%)	2 (2.8%)	1 (1.2%)	3 (1.3%)	6 (0.9%)
総計	103 (100.0%)	17 (100.0%)	120 (100.0%)	202 (100.0%)	41 (100.0%)	51 (100.0%)	37 (100.0%)	331 (100.0%)	54 (100.0%)	14 (100.0%)	85 (100.0%)	680 (100.0%)

分析した衝突海難のうち、プレジャーボートの海難は114隻（全体の17.6%）であった。プレジャーボート中の船舶種別構成割合は、小型99隻（86.8%）、大型15隻（13.2%）であった。

プレジャーボートの衝突海難の要因は114事例あげられ、海難パターンごとの割合の大きな順に次のとおりである。

「①見張り作業を実施していなかった海難パターン」 59事例（49.2%）

「②他船の発見ができなかった海難パターン」 31事例（25.8%）

「④衝突のおそれの判断、避航方法の判断が適切でなかった海難パターン」  
15事例（12.5%）

「③他船の継続監視が実施できなかった海難パターン」 3事例（2.5%）

その他 12事例（10.0%）

上位2つの海難パターンで7割以上を占められており、当直作業が十分に実施されていないケースや見張りによって他船を把握することが難しい状況が多いことがわかる。

最も多かった「①見張り作業を実施していなかった海難パターン」の内訳を見ると、

- ・他作業に夢中 31事例（25.8%）
- ・漫然とした見張り 26事例（21.7%）

であり、これらが海難要因の大きな割合を占めている。

次に多かった「②他船の発見ができなかった海難パターン」の内訳を見ると、

- ・操船者がある方向やある船舶に注視して自船周囲にわたる見張りを行わなかったため、相手船を発見できなかった 11事例（9.2%）
- ・自船の構造上の死角や背景光の影響、地物の死角によって、目視による見張り作業では物理的に相手船を発見できないか発見しづらかった

16事例（13.3%）

が主な要因であり、この他に、

- ・相手船が灯火を表示していなかった 2 事例 (1.7%)
  - ・相手船が霧中信号が吹鳴していなかった 1 事例 (0.8%)
  - ・レーダーを使用していたが十分な調整ができていなく、他船を捉えることができなかった 1 事例 (0.8%)
- となっている。

次に分析した衝突海難のうち、漁船の海難は 327 隻（全体の 50.5%）であった。漁船中の船舶種別構成割合は、特小型 199 隻（60.9%）に対して、小型 41 隻（12.5%）、中型 51 隻（15.6%）、特大型 36 隻（11.0%）であった。

漁船の衝突海難の海難パターンは、割合の大きな順に次のとおりである。

「①見張り作業を実施していなかった海難パターン」 192 事例（58.0%）

「②他船の発見ができなかった海難パターン」 82 事例（24.8%）

「④衝突のおそれの判断、避航方法の判断が適切でなかった海難パターン」  
28 事例（8.5%）

「③他船の継続監視が実施できなかった海難パターン」 24 事例（7.3%）

その他 5 事例（1.5%）

①の海難パターンが 5 割近くを占めており、当直作業が十分に実施されていないケースが多いと言える。また、見張りをしていても他船を発見できなかったり、他船を発見できても衝突のおそれ等について正しい判断をできなかったケースで、4 割強を占めている。

最も多かった「①見張り作業を実施していなかった海難パターン」の内訳を見ると、

- ・他作業に夢中 107 事例（32.3%）
- ・漫然とした見張り 55 事例（16.6%）

であり、これらが海難要因の大きな割合を占めている。

次に多かった「②他船の発見ができなかった海難パターン」は、主に小型船舶の海難であることが分かる。この内訳を見ると、

- ・操船者がある方向やある船舶に注視して自船周囲にわたる見張りを行わなかったため、相手船を発見できなかった 36 事例（10.8%）
- ・自船の構造上の死角や背景光の影響、地物の死角によって、目視による見張り作業では物理的に相手船を発見できないか発見しづらかった

20 事例（6.0%）

が主な要因であり，この他に，

- ・相手船が灯火を表示していなかった 17 事例 (5.1%)
- ・相手船が霧中信号が吹鳴していなかった 3 事例 (0.9%)
- ・レーダーを使用していたが十分な調整ができていなく，他船を捉えることができなかった 6 事例 (1.8%)

となっている．

また，「④衝突のおそれの判断，避航方法の判断が適切でなかった海難パターン」のうち，相手船の行動を臆断し，正しい衝突回避策をとれなかったケースが多く，25 事例 (7.6%) となっている．

更に、分析した衝突海難のうち、商船の海難は 206 隻（全体の 31.8%）であった。商船の船舶カテゴリー別構成割合は、大型 84 隻（40.8%）、小型 61 隻（29.6%）、中型 46 隻（22.3%）と続いている。なお、総トン数 500 トンで分割すると、総トン数 500 トン未満の船舶は 111 隻（53.8%）、500 トン以上の船舶は 95 隻（46.2%）と半々になっている。

商船の衝突海難の海難パターンは、割合の大きな順に次のとおりである。

「④衝突のおそれの判断、避航方法の判断が適切でなかった海難パターン」

77 事例（33.6%）

「②他船の発見ができなかった海難パターン」 53 事例（23.1%）

「①見張り作業を実施していなかった海難パターン」 52 事例（22.7%）

「③他船の継続監視が実施できなかった海難パターン」 30 事例（13.1%）

その他 17 事例（7.4%）

「④衝突のおそれの判断、避航方法の判断が適切でなかった海難パターン」の要因で 3 割以上を占め、上位 3 つの④、②、①のパターンで約 8 割を占めている。当直作業により他船が把握できたものの、相手船の動静把握に誤りがあったり、操船者としての判断が不十分で衝突に至ったケースが多いと言える。

最も多かった「④衝突のおそれの判断、避航方法の判断が適切でなかった海難パターン」の内訳を見ると、

・相手船の行動の臆断 37 事例（16.2%）

・操船者の技量不足 19 事例（8.3%）

であり、次に「②他船の発見ができなかった海難パターン」は、内訳を見ると、

・操船者がある方向やある船舶に注視して自船周囲にわたる見張りを行わなかったため、相手船を発見できなかった 25 事例（10.9%）

・自船の構造上の死角や背景光の影響、地物の死角によって、目視による見張り作業では物理的に相手船を発見できないか発見しづらかった

12 事例（5.2%）



となっている。

以上より、衝突海難の事故原因は、小型船舶の場合、「①見張り作業を実施していなかった海難パターン」、「②他船の発見ができなかった海難パターン」が多く、大型船舶になると「④衝突のおそれの判断、避航方法の判断が適切でなかった海難パターン」が多いことを明らかにした。

事故隻数については小型船舶が圧倒的に多いため、事故原因の約 50%を占める①を減少させる見張り作業を確実に実施させる手段、と事故原因の約 25%を占める②を減少させる他船の発見（認知）させる支援が衝突海難を減少させることに有効である。そこで、本研究では、②に対応した他船の発見（認知）を支援する（かつ①も視野に入れる）システムについて、情報通信システムも活用した上で、検討を加えることとする。

## 2.4 結言

本章では、まず海難の現況について示した。海上保安庁の統計に基づき、過去5年間の海難の種別分類を確認した。海難の種別では、衝突が最多であり、プレジャーボートや漁船といった小型船舶の事故が多いことを確認した。また、原因は見張り不十分が最大の割合であることも確認した。更に、沿岸から3海里未満が約半数を占めていることも確認した。

次に、海難審判裁決録を分析し、平成13年の衝突海難について、船舶種別ごとに事故原因を次の4つに分類した。

- ① 見張り作業を実施していなかった海難パターン
- ② 他船の発見ができなかった海難パターン
- ③ 他船の継続監視が実施できなかった海難パターン
- ④ 衝突のおそれの判断、避航方法の判断が適切でなかった海難パターン

その結果、事故の多い小型船舶の場合、①と②の割合が多く、約75%占めていることを明らかにした。

以上の結果を踏まえて、②を防ぐ（かつ①も防ぐことも視野に入れた）ための支援策が衝突海難減少に有効であると考え、次章において、他船の発見（認知）を支援するシステムについて、情報通信システムも活用した上で、検討を加えることとする。

## 第2章の参考文献

[2.1] 海上保安庁, 平成28年海難の現況と対策～大切な命を守るために～, 2017.

[2.2] 海上保安庁広報資料, 平成28年における海難発生状況(確定値) ～船舶事故は過去最少～

<http://www.kaiho.mlit.go.jp/info/kouhou/post-343.html>

<http://www.kaiho.mlit.go.jp/info/kouhou/h29/k20170315/k170315-1.pdf>

[2.3] 伊藤博子, 海難データベースを用いた事故分析, 海上技術安全研究所報告, 第12巻, 第2号, pp.81-100, .2012.

## 第3章 位置情報共有システム

### 3.1 緒言

前章における海難解析の結果に基づき、他船の発見（認知）を支援するシステムについて、情報通信システムも活用した上で、検討を加えることとする。本章では、AIS 搭載船と AIS 非搭載船である小型船舶の位置情報を情報通信技術を活用してクラウドサーバー収集し、周辺の船舶に配信する船舶の位置情報共有システムについて、検討を行う。

現在、全ての旅客船、総トン数 300 トン以上の外航貨物船、総トン数 500 トン以上の内航貨物船には、AIS の搭載が義務づけられている。AIS は、船名、緯度・経度、対地速度、対地進路等を VHF 帯により、送受信するシステムである。AIS をレーダーや ECDIS に接続することにより、AIS 船舶の存在を画面上に表示することができ、AIS 搭載船舶同士では、相手船の存在や位置を容易に認識することができる[3.1],[3.2]。AIS 情報を陸上局の AIS 受信機や船舶局の AIS で収集し、クラウドサーバーを利用して、配信するシステムも存在する[3.3]が、プレジャーボートや漁船といった AIS 非搭載船の位置情報は含まれていない。なお、小型船用の簡易型 AIS（Class B AIS）[3.4]の普及も進んでいるが、わずかに過ぎない[3.5],[3.6]。そのため、AIS 非搭載船の位置情報を電子的に収集する必要があり、本章では 2 つの方法を検討する。

1 つめの方法は、AIS 非搭載船の位置情報にスマートフォンに内蔵された GPS 位置情報をクラウドサーバーに収集し、別途収集する AIS 情報と合わせて、船舶の位置情報を配信するシステムである。

もう 1 つの方法は、現在、船上で AIS 非搭載船の動静を把握するために利用されているレーダーによる捕捉情報を小型船舶の位置情報として扱い、クラウドサーバーに収集し、別途収集する AIS 情報と合わせて、船舶の位置情報を配

信するシステムである.

本章では, これら2つのシステムのプロトタイプの作成を行い, 実海域実験を行い, 各種検証を行うこととする.

## 3.2 スマートフォンの位置情報を利用したシステム

### 3.2.1 システム概要

AIS 搭載船とスマートフォンの位置情報を AIS 非搭載船の位置情報として扱う位置情報共有システム構成の概要図を図 3.1 に示す。システム構成および稼働は、概略以下の通りである。

#### (1) AIS 受信機による AIS 船舶情報の取得

対象海域近くに AIS 受信機を設置し、インターネット回線と接続して、クラウドサーバーに AIS 船舶情報を集約させる。AIS 受信機の陸上局は、複数局を用意すれば、より広い海域を対象海域にすることが可能になる。

#### (2) スマートフォンの GPS 位置情報の取得

現在、スマートフォンの普及が進んでおり、多くの小型船プレジャーボートのユーザーがスマートフォンを所有していると仮定する。スマートフォンには、GPS 受信チップが内蔵されているものがほとんどであり、地図アプリ等では容易に自己位置を地図上に表示することが可能となっている。次節の実装では、具体的なスマートフォン用アプリの開発を行ったが、そのアプリにおいて、スマートフォンの GPS 位置情報とスマートフォンの個体識別番号である国際移動体装置識別番号である IMEI (International Mobile Equipment Identifier) を定期的にクラウドサーバーに送ることとする。クラウドサーバーの送信については、スマートフォン自身がインターネットとの通信機能があるので、これを利用する。ただし、海上であるためインターネットの通信が可能である範囲に限られることに留意する必要がある。

### (3) クラウドサーバーでの情報の統合

クラウドサーバー上において、(1) での AIS 情報と(2) でのスマートフォンの位置情報について、データフォーマットを揃え統合データとする。具体的には、時刻、緯度・経度である。他にも対地速度、対地進路等の情報も加えることができるが、本研究では船舶の存在を認知させることが主目的であるため、最低限の情報として時刻、緯度・経度とする。船舶データの ID については、AIS は MMSI ごとに整理することが可能であり、スマートフォンにおいては、上述した固有識別情報である IMEI 等を利用すればよい。

### (4) クラウドサーバーからの船舶の位置情報の配信と表示

(2) で開発するスマートフォン用のアプリでは、GPS 情報をクラウドサーバーに送信するとともに、(3) で生成する AIS をクラウドサーバーに要求する機能を加える。合わせて、クラウドサーバーから受信する AIS 船舶の位置情報とスマートフォンの位置情報をスマートフォン端末画面の地図上に表示する。すべての小型船情報を表示することはできないが、周辺の AIS 船舶位置情報と同じアプリを利用している小型船の位置情報を表示することが可能となる。

今回、スマートフォンを利用した特徴は、平成 28 年時点において、スマートフォンの保有率が 56.8% (前年比 3.7 ポイント増) と引き続き上昇しており[1.1]、今後も更なる普及が予想されることから、新たにユーザー負担となる専用の追加機器とはならないと考えた。スマートフォンの特徴として、次のことがあげられる。GPS 受信チップを内蔵しており、位置情報の取得が容易である。取得した位置情報をインターネット回線を利用してクラウドサーバーに送信するが、スマートフォン自身が通信機能を持っている。クラウドサーバーからの情報受信でも同様である。更に、スマートフォンの端末自身が情報表示画面となる。このような、スマートフォンが 1 台 4 役 (位置情報の取得、情報の送信、情報

の受信, 情報の表示) になるアプリを開発して, 広く普及させれば, AIS 船舶と AIS 非搭載船 (厳密には, アプリを利用しているスマートフォン端末の位置情報) を共有することが可能になり, 本アプリ利用者は, 周辺の船舶の存在を認知することが可能となる.

## System Architecture

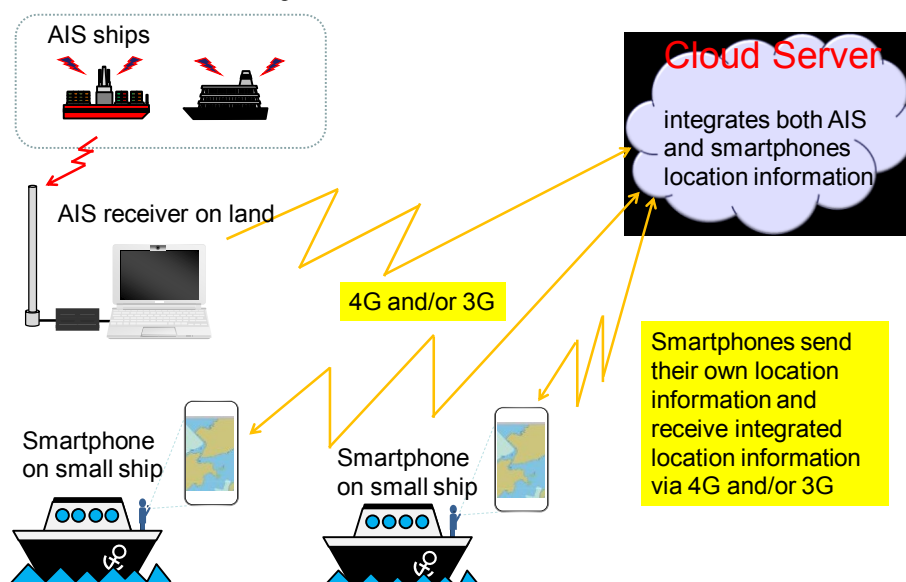


図 3.1 システム構成の概要図



### 3.2.2 システムの実海域実験の実施と評価

前項で検討したシステムについて、実際にシステムを実装、運用し、船舶を航行させ、システムの所期の動作の確認、各種評価を行った。なお、実験海域は音戸の瀬戸（広島県呉市）を対象とした。

#### (1) AIS 受信機の陸上局設置と AIS データのクラウドへの転送

大型船の AIS データ収集のため、音戸の瀬戸近傍の陸上に AIS 受信機の基地局を設置した。AIS 信号の到達距離は、アンテナ高さに依存するが、確実な受信を確保するために 10km 以内の範囲で設置場所を探した。今回、海上保安大学校（広島県呉市若葉町）の協力を得ることができ、同校に AIS アンテナ、AIS 受信機、各種機材を設置した。同校屋上からは、音戸の瀬戸の橋の一部を眺めることができ、直線距離約 5km である。

図 3.2, 3.3 に、海上保安大学校に設置した各種機器を示す。4 階建て校舎の屋上に AIS アンテナを設置し、室内までケーブルを延ばし、AIS 受信機と接続した。AIS 受信機は、古野電気製 FA-30 を利用した。

AIS 受信機からは、シリアルインタフェース（RS-422 信号）で AIS センテンスが出力されており、RS-422 信号を USB に変換するコンバータ（CONTEC 製 COM-1PD(USB)H）を利用し AIS センテンスをコンピュータに取り込んだ。コンピュータでは、受信した AIS センテンスに時刻情報を付加し保存するとともに、デコード処理を行い、時刻、船舶 ID（MMSI）、船舶の緯度経・度情報等をクラウドサーバーに送信した。当初は、60 秒毎にデータを送信していたが、途中から 5 秒毎のデータ送信に変更した。

コンピュータから、クラウドサーバーへのデータ送信は、LTE に対応したモバイルルータを使用した。ルータの sim には、仮想移動体通信事業者（Mobile Virtual Network Operator, MVNO）が販売しているデータ専用のプリペイド sim

を利用した。今回利用した sim は、30 日ごとに一定の通信量（5GB）までは、LTE 高速通信が可能であるが、一定量を超えると速度制限（200kbps）がかかる仕様となっている。そのため、30 日期間の終盤になると速度制限がかかることもあったが、データ通信量は 1 分あたり約 20kB であり、速度制限がかかった状態でも問題なくクラウドサーバーにデータを送ることを確認した。



図 3.2 AIS 受信用アンテナ



図 3.3 使用した機器

## (2) 実験船

実験には，国立高等専門学校機構大島商船高等専門学校（山口県大島郡周防大島町大字小松）の協力を得て，同校の実習船「すばる」を用いた．すばるの外観を図 3.4，3.5 に，主要目等を表 3.1 に示す．

すばるには，3 点式 GNSS コンパス（古野電気製 SC-50），及び，Class A AIS（日本無線製 JHS-180）を搭載している．



図 3.4 すばる外観



図 3.5 すばる搭載機器（GNSS コンパス，AIS 他）

表 3.1 すばるの主要目等

長さ	14.5m
幅	4.15m
喫水	2.3m
総トン数	14 トン
定員	15 名

### (3) 実海域での運航

実際にシステムが所期の動作となるか確認のため、すばるにスマートフォン、タブレットを搭載し、音戸の瀬戸を航行した。

実験は、平成27年12月17日、及び、平成28年1月7日の2回実施した。  
平成28年1月7日の実験データを基に解析を実施した。

1月7日の実験当日の航跡を図3.6に示す。当日は、音戸の瀬戸を10回通過（5往復）した。1日あたり、3時間から4時間程度当該海域を航行しデータを取得した。

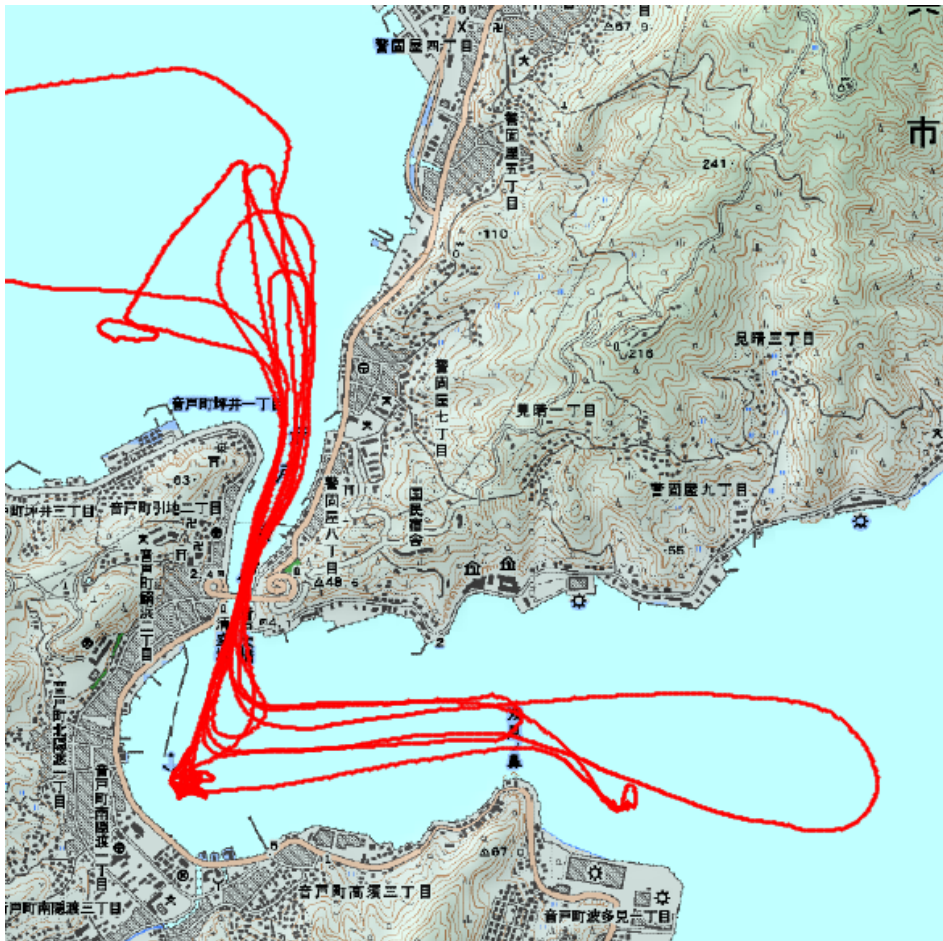


図 3.6 平成 28 年 1 月 7 日の航跡（図の 1 辺が 3,000m である）

この地図は国土地理院の数値地図 25000（地図画像）を使用したものである。

実験中のすばるの船内、及び、上層部の状況を図 3.7, 3.8 に示す（正確には、大島商船高等専門学校周辺海域で実施した事前実験時の写真である）。



図 3.7 実験中の様子（すばる船内）



図 3.8 実験中の様子（すばる上層部）

#### (4) 使用したスマートフォン及びタブレット

前項で説明した iOS スマートフォン, タブレット, Android スマートフォン, タブレットも対応したアプリを開発し, 以下の端末にアプリをインストールし実験を行った.

- Apple 社 iPhone 6 (以下, iPhone)
- Apple 社 iPad mini 4 (以下, iPad)
- Asus 社 ZenFone2 (以下, ZenFone)
- Lenovo 社 タブレット (以下, Lenovo Tablet)

全て sim フリーモデルであり, 仮想移動体通信事業者 (Mobile Virtual Network Operator, MVNO) が販売しているデータ専用のプリペイド sim を利用した. なお, Lenovo Tablet のみ, sim を利用せず, スタンドアローンで自己 GPS 情報をローカルディスクに保存した.



(5) 所期動作確認

図 3.9 にスマートフォンの画面を示す. ここでは以下の通り初期の動作を確認した.

- a) GPS 情報のクラウドサーバーへの送信
- b) クラウドサーバーからの他船位置情報の受信
- c-1) AIS 船舶位置情報の表示
- c-2) 他のスマートフォンの位置情報表示
- c-3) 自身の GPS 位置情報の表示



図 3.9 実験時の端末画面の例

## (6) 詳細解析

前述の通り，システムの所期の動作を確認したが，下記の点について詳細解析を加える．

- (a) スマートフォン，タブレットの GPS の位置精度
- (b) クラウドサーバーに AIS 情報を転送する時間間隔
- (c) 海上での通信能力

### (a) スマートフォン，タブレットの GPS の位置精度

スマートフォン，タブレットの位置決定は，GPS 衛星からの信号受信に加えて，携帯電話基地局からの電波状況，及び，Wi-Fi スポットからの電波状況により位置補正を行う A-GPS (Assisted GPS) という機能がある[3.7]．図 3.10 は，Android 端末での位置情報モードの設定画面である．今回 ZenFone については，「高精度」に設定して実験を行った．Lenovo Tablet については，sim を利用していないため，「GPS のみ」とした．iOS については，内蔵ジャイロ等でも補正を行うが，全て初期設定のままとした．なお，海上での利用のため，全ての端末で Wi-Fi は，無効にした．



図 3.10 Android 端末の位置情報モード画面

スマートフォン、タブレットの GPS の位置精度の評価として、すばるが搭載している GNSS コンパスの緯度、経度情報を真値と仮定して、それとの偏差（便宜上、誤差と表現する）を算出した。

図 3.11 から 3.14 に各端末と GNSS コンパスとの距離差の結果を示す。なお、後述するが、何らかの理由で位置が大きくずれる「飛んだ」データ、具体的には、km 単位でのズレは排除している。

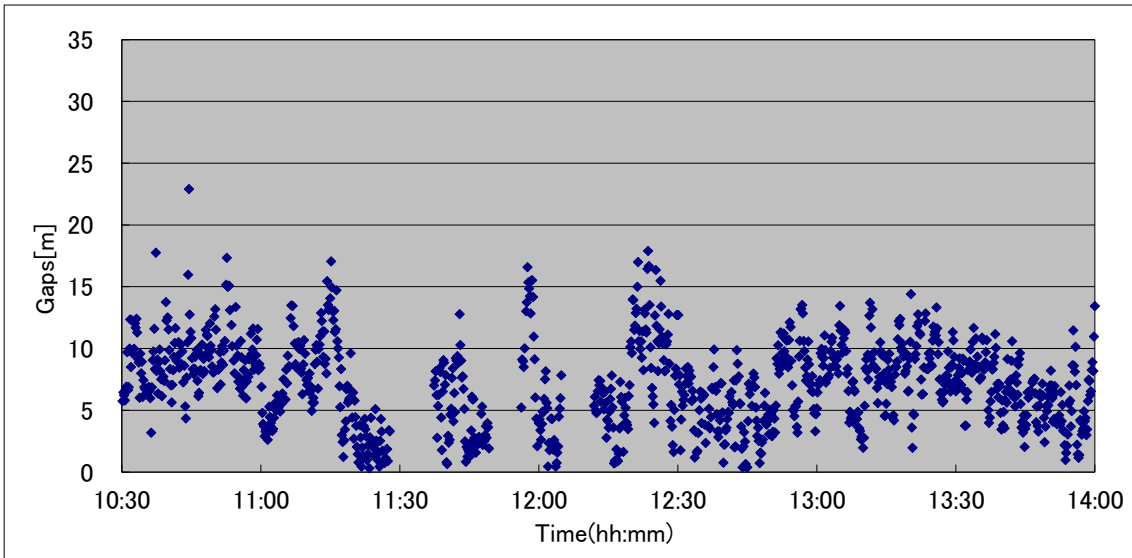


図 3.11 iPhone と GNSS コンパスとの位置の距離差

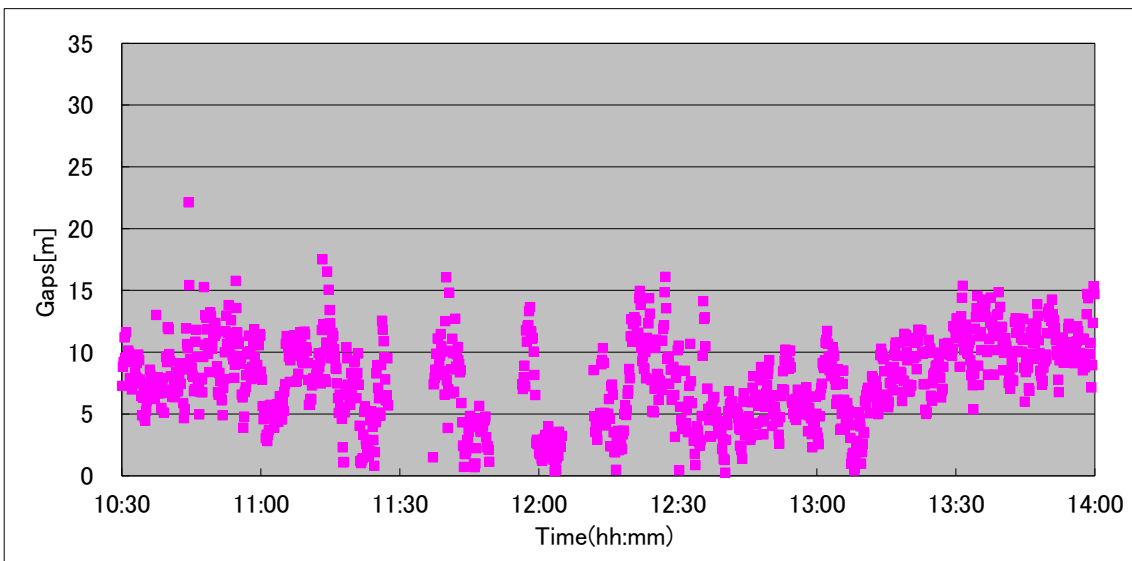


図 3.12 iPad と GNSS コンパスとの位置の距離差

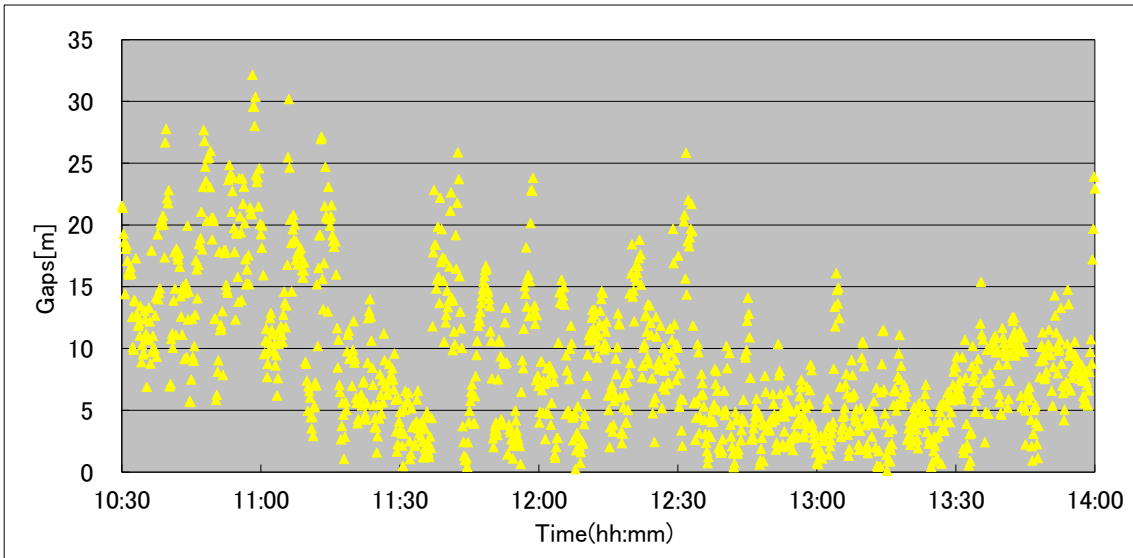


図 3.13 ZenFone と GNSS コンパスとの位置の距離差

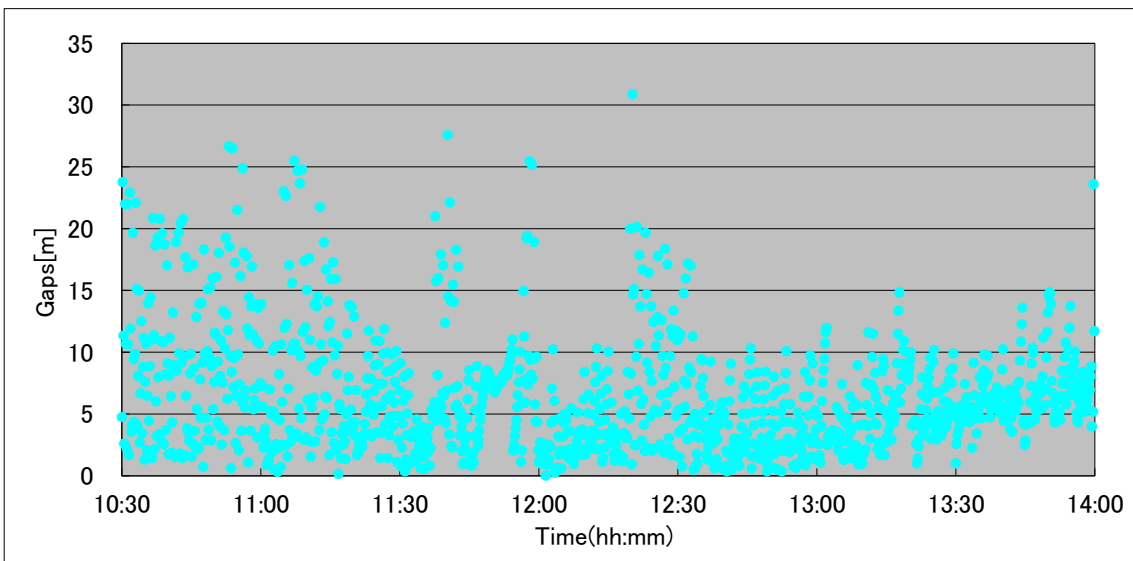


図 3.14 Lenovo Tablet と GNSS コンパスとの位置の距離差

ZenFone がやや差が大きいように見えるが、各端末ともに概ね 15m 以下に収まっていることがわかる。途中データ欠損している箇所は、後述する実効スループットを計測した際に、アプリがバックグラウンドになる等で、位置計測が中断されたためである。

更に詳細評価として、2drms (Twice distance root mean square) を式 (3.1) に従い計算した。

$$2\text{drms} = 2 \times ((\sum (\Delta\text{lat}^2) + \sum (\Delta\text{lon}^2)) / N)^{1/2} \quad (3.1)$$

ここで

$\Delta\text{lat}$ : GNSS コンパスとスマートフォンの緯度方向の距離差 (m)

$\Delta\text{lon}$ : GNSS コンパスとスマートフォンの経度方向の距離差 (m)

N: 計測点数

2drms は誤差の標準偏差に相当し、この場合、何メートルが 95%以内に収まっていることを意味する。図 3.15 から図 3.18 に各端末と GNSS コンパスの差を XY 平面に示す。

なお、GNSS コンパスの 2drms は、DGPS でカタログ値で 5m 以下となっている。

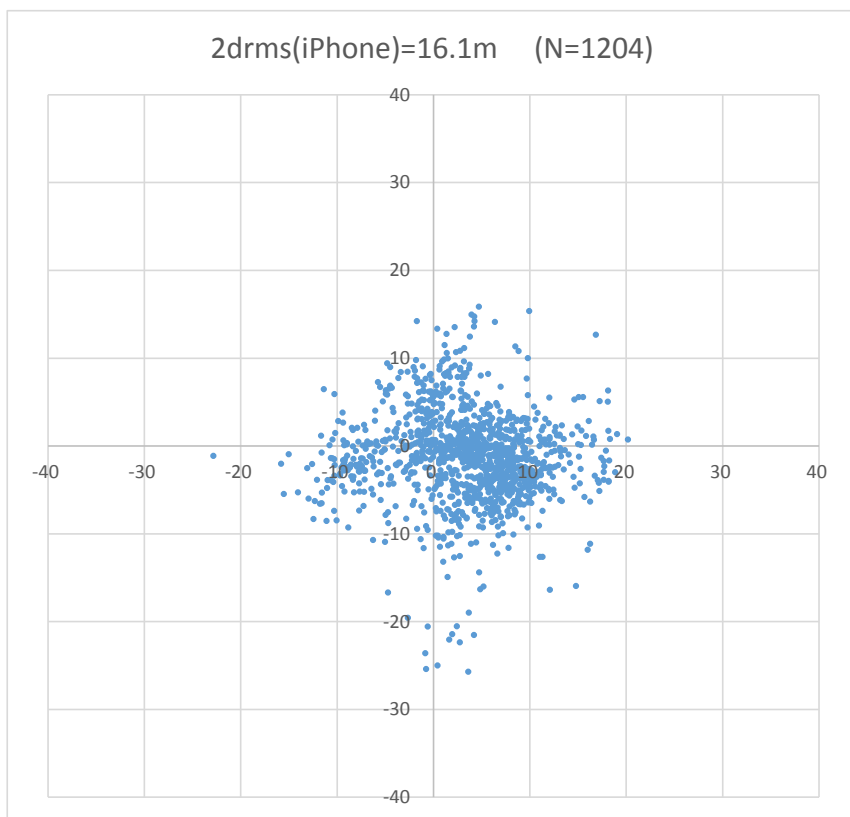


図 3.15 iPhone と GNSS コンパスとの XY 平面差

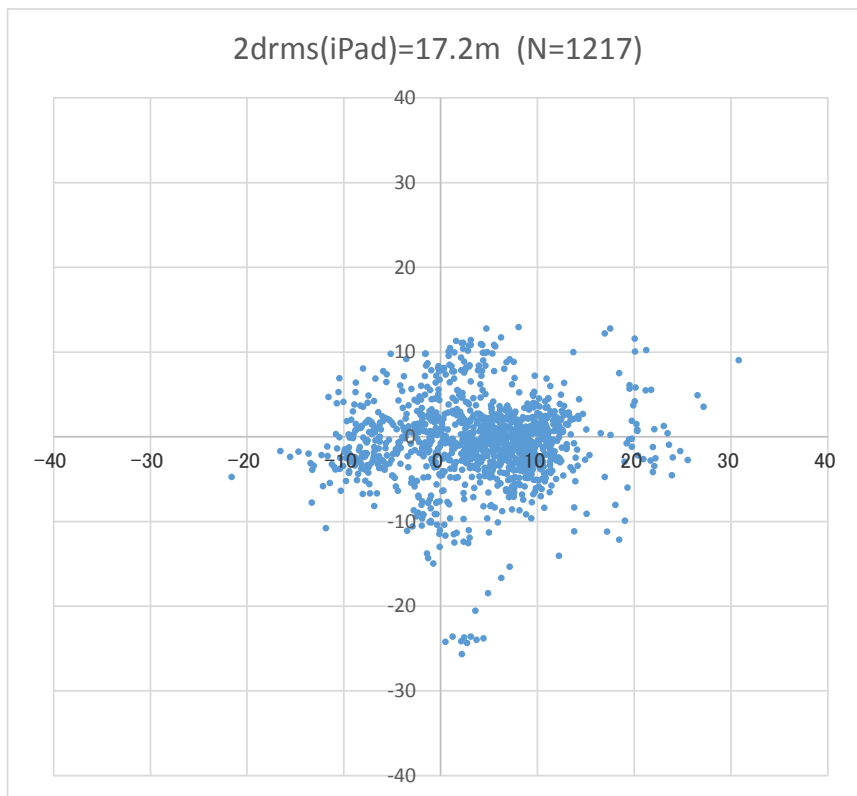


図 3.16 iPad と GNSS コンパスとの XY 平面差



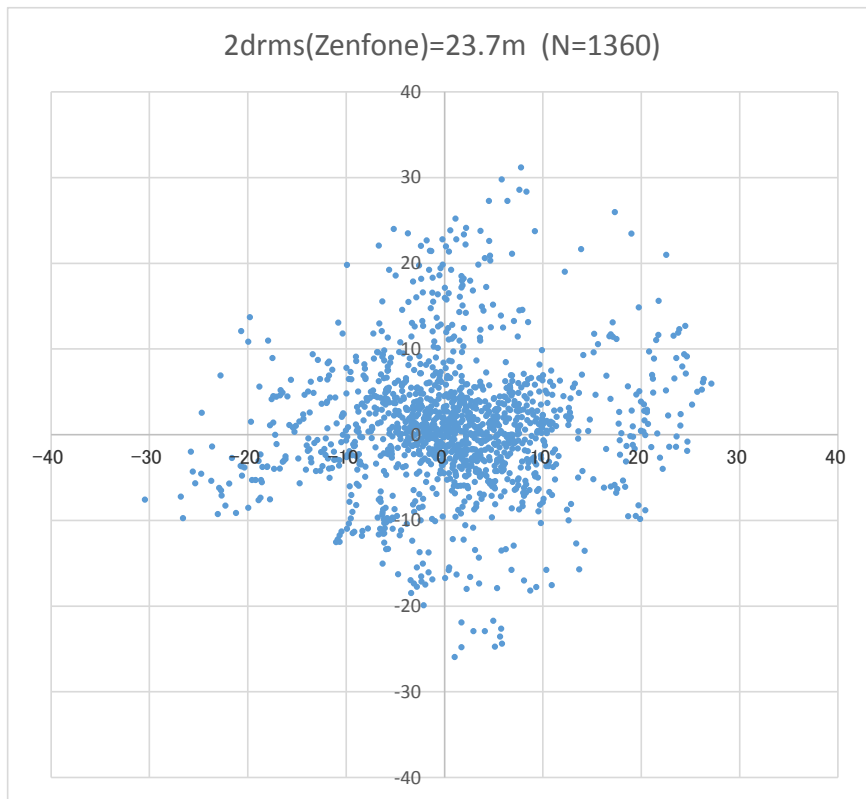


図 3.17 ZenFone と GNSS コンパスとの XY 平面差

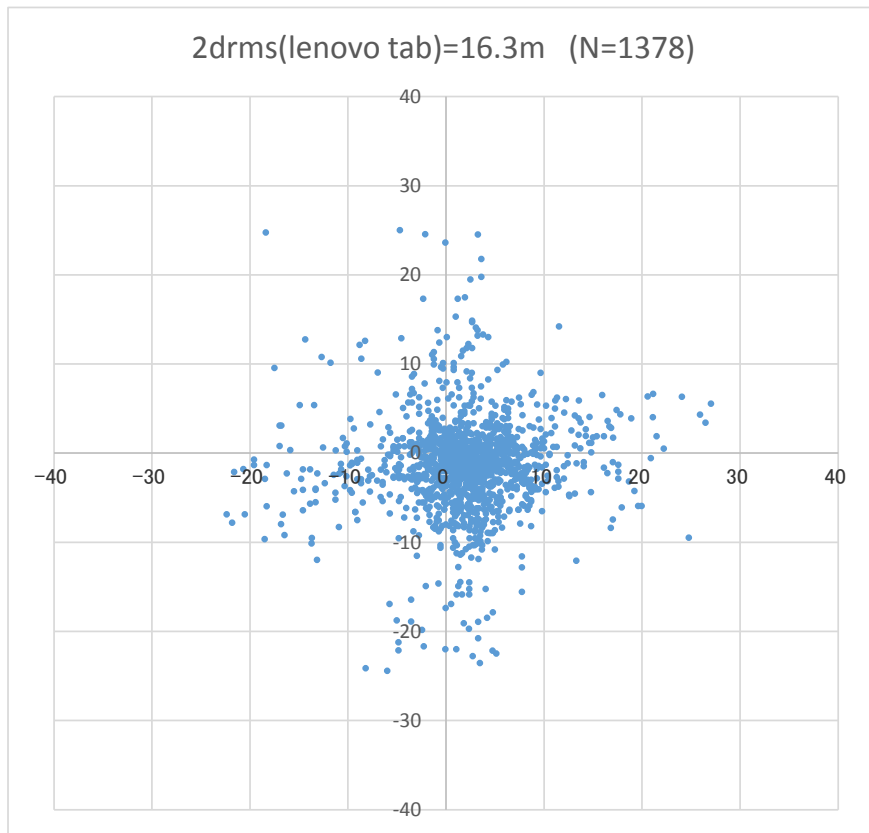


図 3.18 Lenovo Tablet と GNSS コンパスとの XY 平面差

2drms は、それぞれ以下の通りであった。

- iPhone: 16.1m
- iPad: 17.2m
- ZenFone: 23.7m
- Lenovo Tablet: 16.3m

ZenFone 以外の 3 端末は、15m 強で共通である。同じ Android の比較として Lenovo Tablet は GPS 単体で、ZenFone は A-GPS のため、ZenFone のほうがより差が小さくなると予想したが逆の結果となった。

実海域実験前に音戸の瀬戸の周辺の陸上で動作確認をした際、iPhone、iPad は、ほぼ同じ位置であったが、ZenFone が数 m ずれること (図 3.19) や極端に「飛ぶ」事象が発生している。図 3.19 は、本来防波堤の角において、iPhone、iPad、ZenFone を設置している状況であり、iPhone、iPad は、正しい位置 (図 3.19 の黄丸) を示しているが、ZenFone については、周辺でのゆらぎ (図 3.19 の赤楕円) があつた。なお、図 3.20 のように極端に「飛ぶ」場合は、解析データからは排除している。なお極端に「飛ぶ」事象は iOS 端末でも頻度は少ないものの発生を確認している。この原因は、GPS がうまく受信できずに携帯電話の基地局情報や IP アドレスから位置情報を決定したものと思われる。

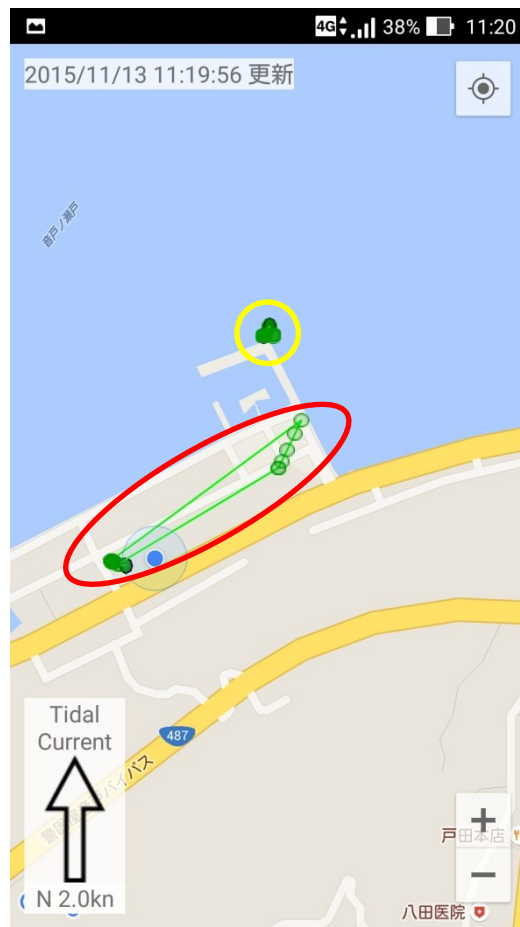


図 3.19 3 端末の位置情報の差異の例

(黄色丸は iPhone, iPad の位置であり、正しい位置を示しているのに対して、赤楕円の Zenfone の位置は、周辺でゆらいでいる状況を示している)

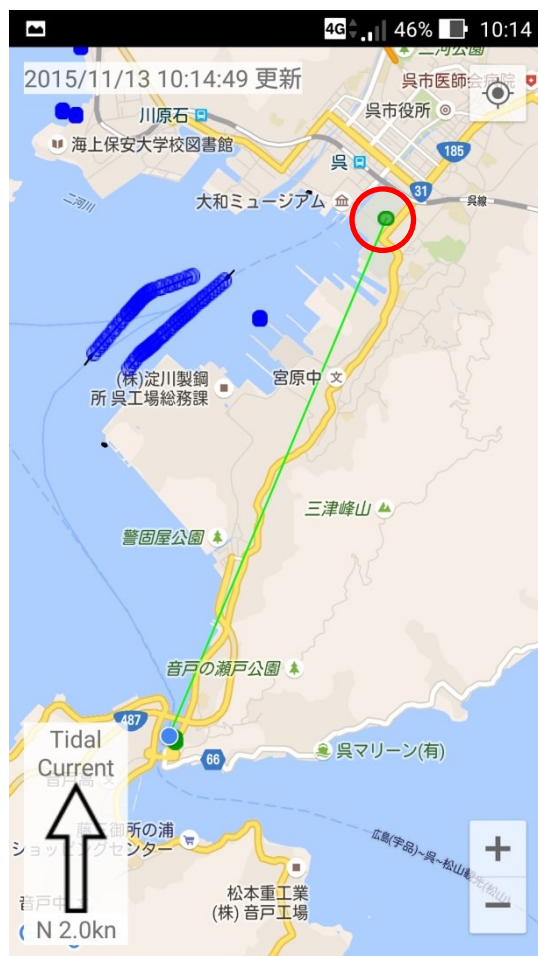


図 3.20 GPS 位置情報が「飛ぶ」事例  
(図の下部の音戸の瀬戸にいるのが正しいが、  
図の上部の赤丸に点に飛んだ状況を示している)

(b) クラウドサーバーに AIS 情報を転送する時間間隔

海上での AIS による他船位置情報（動的情報）の受信は，直接船舶同士によりリアルタイムに行い，レーダー，ECDIS 等に表示されるが，今回はクラウドサーバーを介して他船の情報を得るため，時間遅れがあり，この影響を考慮する必要がある．当初は，陸上の AIS 受信局からのデータ送信が 60 秒毎であった．そのため，タイミングによっては 60 秒以上の位置データの遅れが生じる場合がある．

本実験の前に音戸の瀬戸の周辺の陸上で，端末の動作確認を起こった際の，端末画面と周囲船舶同時に撮影したものを図 3.21 から 3.23 に示す．図 3.21 は，フェリーが西航から北航に変針する状況である．端末画面では，フェリーが右へ変針を開始した状況であるが，実世界ではフェリーは既に変針を終了し針路を北に変えている．図 3.22 は，端末画面では，フェリーが変針を終了し，瀬戸にこれから進入する状況であるが，実世界ではフェリーは既に瀬戸の最狭部（2 橋の間）に達している．更に，図 3.23 は，端末画面では，フェリーは瀬戸の最狭部にいるが，実世界ではフェリーは既に瀬戸を通過しており，その距離差は 100m 以上の場合もあり，陸上の AIS 受信局からのクラウドサーバーへのデータ送信が 60 秒毎では，問題となると認識した．

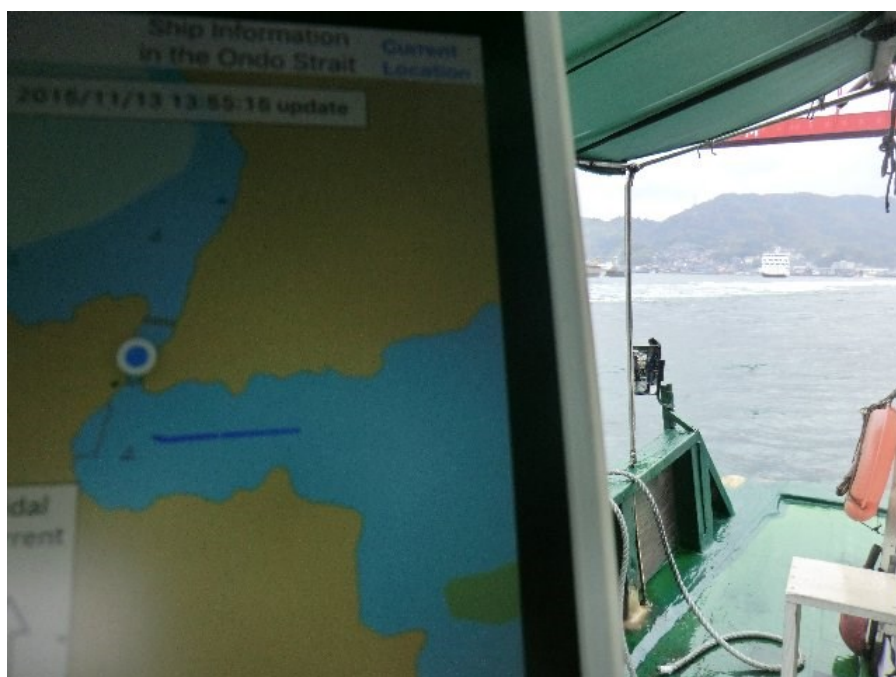


図 3.21 端末画面と実世界のフェリー(1)



図 3.22 端末画面と実世界のフェリー(2)

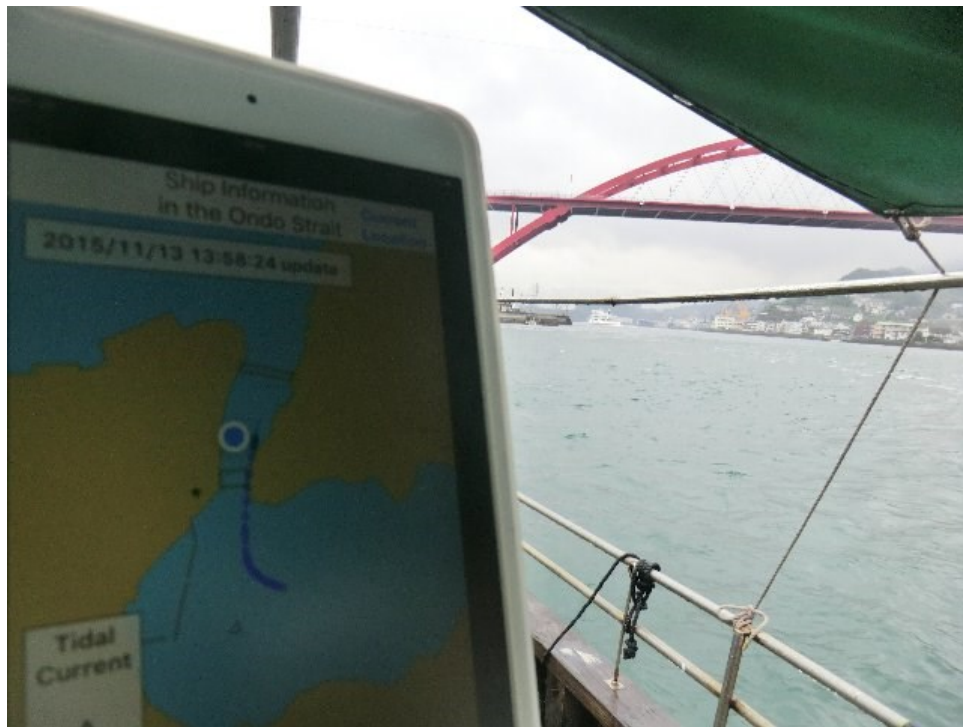


図 3.23 端末画面と実世界のフェリー(3)

この時間遅れの問題を解決するために、陸上の AIS 受信局からのデータ送信を 5 秒毎に変更した。その状況を図 3.24 から 3.27 に示す。

音戸の瀬戸を航行する際は、速力は、できる限り落として航行することと定められている。AIS の情報の送信間隔は、14 ノット以下の場合、10 秒間隔であり（変針時は約 3.3 秒間隔）と定められている。そのため、5 秒おきの情報更新であれば、クラウドサーバーを介して、端末に届く AIS 情報は、最新情報もしくは、最新より 1 回前の情報となる。フェリーは音戸の瀬戸を航行する際には、約 7 ノットと速度を下げているため、端末上のフェリーの位置と実世界のフェリーの位置との差は、最大でも 30m 程度に収まることになる。





図 3.24 端末画面と実船舶(4)



図 3.25 端末画面と実船舶(5)



図 3.26 端末画面と実船舶(6)

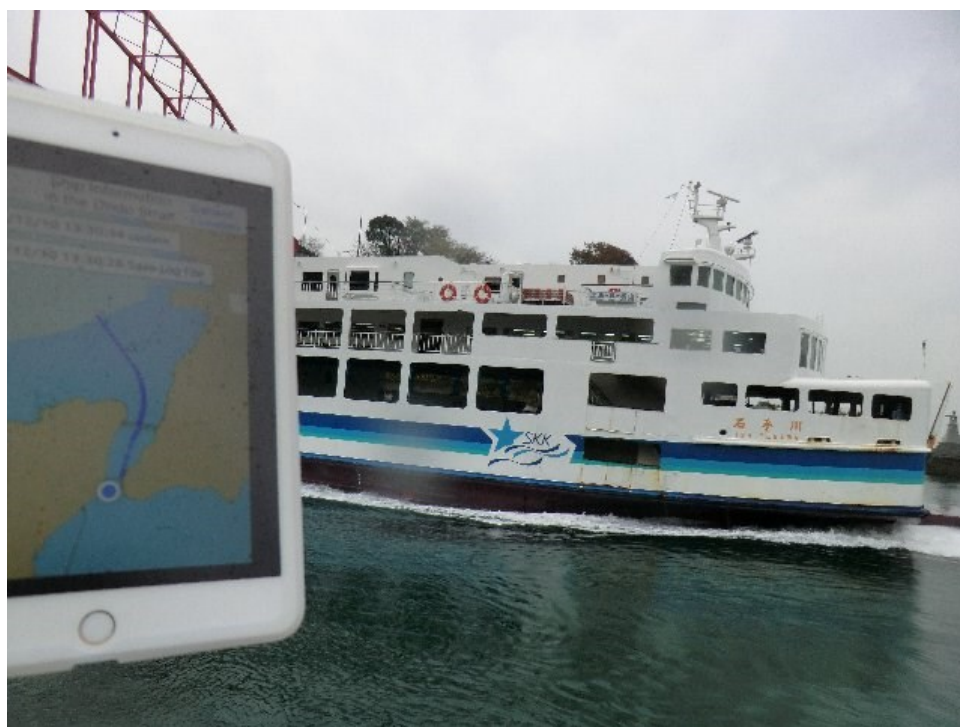


図 3.27 端末画面と実船舶(7)

### (c) 海上での通信能力計測

今回の実験では、sim フリー端末を利用し、LTE（または 3G）回線により、クラウドサーバーとの送受信を行ったが、実験を行った平成 28 年 1 月時点において、日本の携帯電話通信会社では、海上での LTE 通信を保証していない。図 3.28 は、実験時の平成 28 年 1 月時点の A 社の通信のエリアマップであり、音戸の瀬戸周辺は、「受信時最大 150Mbps または 112.5Mbps のサービスエリア」となっている。ただし、周辺の海域については、「海上でおおよそご利用可能なエリア」となっている。なお、LTE の通信速度はベストエフォートの数字であり、その速度を保証するものではない。

通信能力の評価は、ベストエフォートの規格値ではなく、実効スループットで評価する必要がある。そこで今回は実験中に船上で実効スループットを計測した。

実効スループットの測定アプリは、「Ookla Speedtest」[3.8]を利用した(図 3.29)。本アプリの特徴は、サーバーとの応答速度、DOWNLOAD と UPLOAD のスループットが測定でき、計測サーバーの選択が可能であり、今回は東京のサーバーを設定した。図 3.30 に示す海域の A から C で実効スループットを計測した。それぞれ 3 回（場合により 2 回または 4 回）計測し、平均値を求めた。

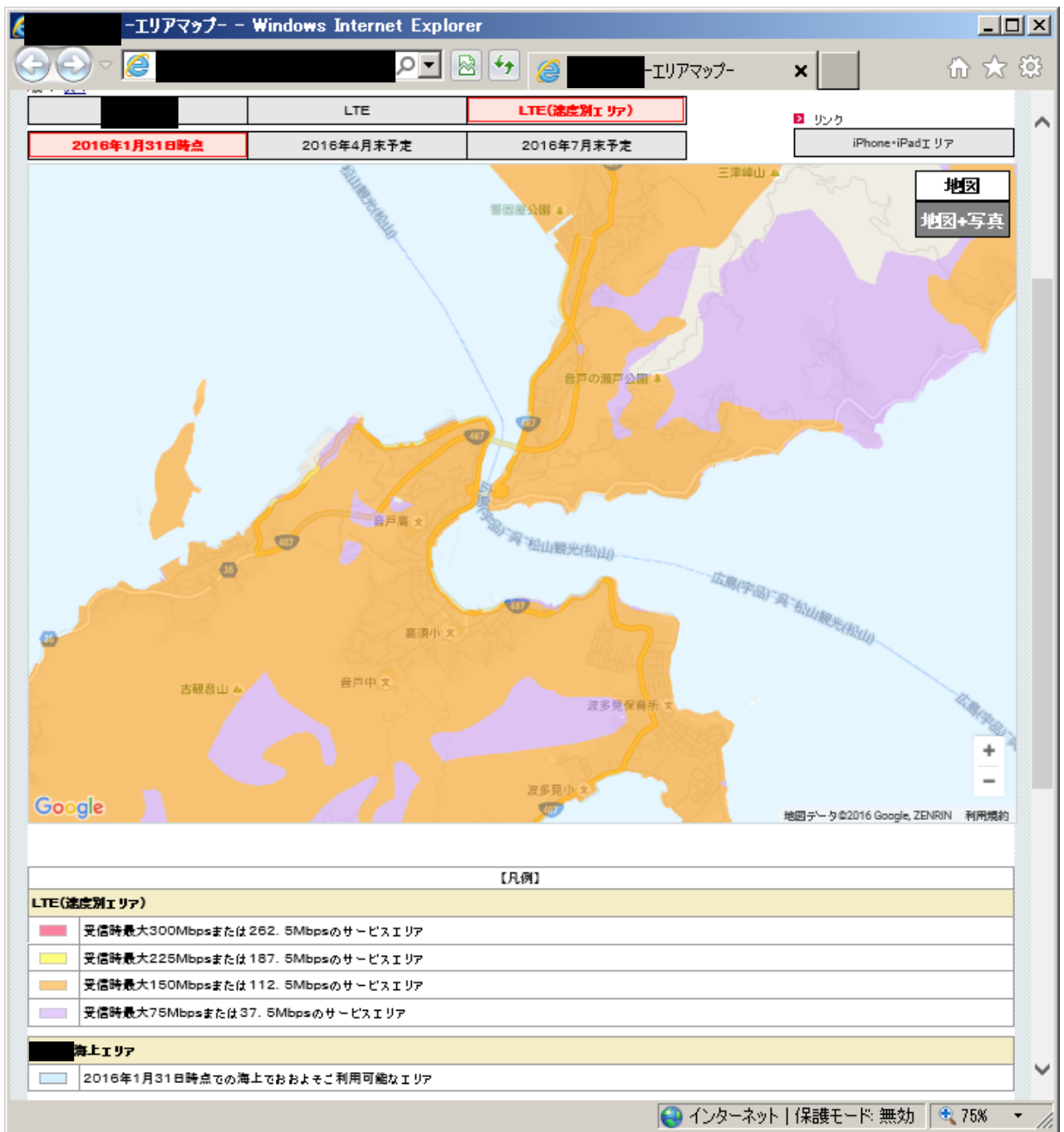


図 3.28 A 社の通信のエリアマップ (平成 28 年 1 月時点)



図 3.29 Ookla Speedtest の画面

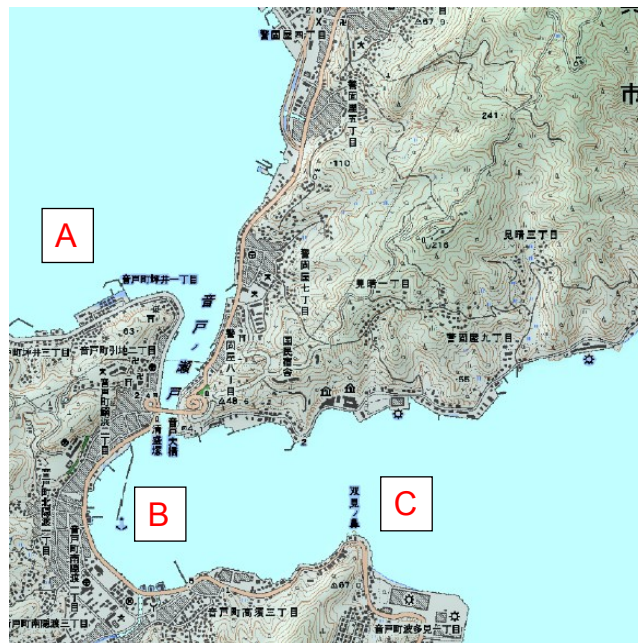


図 3.30 スループット計測場所

この地図は国土地理院の数値地図 25000（地図画像）を使用したものである。

表 3.2 から 3.7 に結果を示す。また、当日の実験参加者にご協力をいただき、個人契約のスマートフォン（3G/LTE 対応端末と LTE 非対応の 3G 専用端末）でも計測を行った。単位は Mbps である。

表 3.2 iPhone 6 (LTE 通信, MVNO sim)

Point	DOWNLOAD	UPLOAD
A	5.20	2.19
B	6.79	2.19
C	3.01	0.36

C 地点のみ 3G 通信

表 3.3 iPad mini 4(LTE 通信, MVNO sim)

Point	DOWNLOAD	UPLOAD
A	6.61	2.11
B	6.39	2.22
C	3.70	0.36

C 地点のみ 3G 通信

表 3.4 ZenFone2(LTE 通信, MVNO sim)

Point	DOWNLOAD	UPLOAD
A	6.98	7.41
B	8.40	19.6
C	9.11	7.69

表 3.5 Fujitsu Arrows F-10D(LTE 通信, A 社 sim)

Point	DOWNLOAD	UPLOAD
A	18.0	10.2
B	62.4	23.3
C	32.5	12.2

表 3.6 iPhone 6 Plus(LTE 通信, B 社 sim)

Point	DOWNLOAD	UPLOAD
A	65.9	10.6
B	51.8	9.39
C	67.1	12.2

表 3.7 iPhone 4S(3G 通信, C 社 sim)

Point	DOWNLOAD	UPLOAD
A	5.97	1.28
B	5.49	3.56
C	1.74	1.58

今回の測定箇所は、狭水域で陸上に近いこともあり、LTE 通信を確認した。今回のシステムにおいて端末側が情報を受信するために必要な通信能力は、1回の情報更新について、約 60kB（陸上の AIS 受信機が受信した AIS 情報：1分あたり約 20kB×3分）を受信する必要がある、これを1秒以内に完了するためには、1Mbps 以上あれば十分である。表 3.2 から 3.7 の結果の通り、ダウンロードは全ての地点、端末で 1Mbps 以上を計測し、十分な通信能力があることを確認できた。



### 3.2.3 まとめ

位置情報共有システムの1つめの方法として、音戸の瀬戸を対象海域として、AIS非搭載船の位置情報にスマートフォンに内蔵されたGPS位置情報をクラウドサーバーに収集し、別途収集するAIS情報と合わせて、船舶の位置情報を配信するシステムを構築し、実海域実験を行い、所期の動作を確認した。この際に問題となる点として、(a) 携帯端末（スマートフォン）のGPSの位置情報の精度、(b) クラウドサーバーにAIS情報を転送する時間間隔、(c) 海上で十分なスループットが得られるか、を中心に検討、解析を行った。主な結果は以下の通りである。

(a) 船舶に搭載しているGPSを真値と仮定して、スマートフォン、タブレットの位置情報との差を比較した。2drms (95%) で評価したところ、15m~25m程度であった。

(b) 当初AIS受信機で得たAISデータをクラウドサーバーに転送する時間間隔を60秒毎としたところ、端末上のAIS船舶位置情報と実世界の船舶の位置情報で大きな誤差が生じることがあった。この対策として、更新時間間隔を5秒毎にすることにより、最大でも30m以内の誤差に収めることができた。

(c) 陸上近くの狭水域のため、LTE通信で数十Mbpsのスループットを得た。また、3G通信でも数Mbpsのスループット（ダウンロード）を得ており、本システムの動作に必要な1Mbps以上を確認した。

### 3.3 レーダー捕捉情報を利用したシステム

前節では、AIS 非搭載船の位置情報にスマートフォンの GPS 情報を利用するシステムを提案し、プロトタイプの構築、運用により評価を行った。本節では、AIS 非搭載船の位置情報にレーダーの捕捉情報を利用するシステムについて、検討を行う。

#### 3.3.1 システム概要

##### (1) システムの考え方

前節同様であるが、AIS 搭載船の位置情報は、AIS 及び AIS 受信機より得ることができる。船舶の位置情報の共有を実現するにはそれに加えて、何らかの方法で、AIS 非搭載船の位置情報を得る必要がある。また、システム的设计においては可能な限り追加の航海計器はなしとして、既存機器の活用を行うことを念頭におく必要がある。AIS 非搭載船の認識は、船上の航海士が目視とレーダーで行っており、警報に利用できる AIS 非搭載船の電子的な位置情報は、レーダーの他船捕捉機能を手動で操作して取得している。そこで今回は、航海士により捕捉された他船情報を AIS 非搭載船の他船情報をして利用することとした。レーダーの他船捕捉機能は、他船の相対位置を示すレーダー画面上の光点をクリック等で選択することにより、それを以降捕捉解除するまで識別・追尾する機能であり、国際航海に従事する旅客船については全船、国際航海に従事しない旅客船については 150 トン以上の船舶、全ての貨物船については 300 トン以上の船舶に捕捉機能の装備が義務づけられている(一部の船舶に対しては、適用除外あり) [3.9]。他船捕捉機能では、他船情報として、レーダー画面上の対象の光点(ここでは、船舶)との相対距離、相対方位、相対速度、相対進路を計算、出力することが可能となっており、これらの情報を TT (Target Tracking) 情報と呼んでいる。TT 情報のフォーマットは、国際電気標準会議 (IEC:

International Electrotechnical Commission) の規格で定められている[3.10]ため、複数のレーダー製造業者間でも互換性がある。なお、TT 情報は、そのレーダーからの相対情報であり、緯度・経度である絶対位置情報にするためには、捕捉を行ったレーダーを搭載した船舶の緯度・経度情報、対地進路情報、対地速度情報および船首方位情報が必要である。緯度・経度情報、対地進路情報および対地速度情報は、GPS 受信機により得ることができ、他船捕捉機能を有したレーダーの搭載が義務づけられた船舶については、GPS 受信機の搭載も義務づけられている。以上より、AIS 非搭載船の位置情報として、レーダーの TT 情報を利用する場合には、既存航海機器を活用すれば、新たな航海計器は必要ないと考えた。

## (2) システムの実装

今回検討する船舶の位置情報共有システムの船舶の位置情報は、AIS 情報とレーダーによる捕捉情報とした。AIS 情報の収集については、陸上に AIS 受信機を設置し利用する方法と AIS 搭載船舶の AIS 情報を利用する方法がある。ここでは、AIS 情報を確実に収集するため、陸上と船上の両方の AIS 情報を利用することとした。具体的には、システムのプロトタイプ構築にあたり瀬戸内海の山口県の屋代島（周防大島）周辺を実験海域とし、陸上局 1 局と船舶局 2 局の AIS 情報をクラウドサーバーに送信することとした。陸上局の場合、インターネット接続環境を有していれば、受信した AIS 情報をインターネット経由でクラウドサーバーへ送信可能であるが、船上の AIS 情報をクラウドサーバーに送信するためには、船陸間通信の環境を用意する必要がある。大洋航海の船舶の場合は、衛星通信が必要となり費用面の課題があるが、今回は比較的交通量の多い沿岸域を想定して前節同様に、携帯電話網の利用を検討した。現在の国内の携帯電話会社は、沿岸から数海里は 3G 通信が可能としている。携帯電話網は瀬戸内海の大部分で通信が可能であり、沿岸に沿った航行の場合は、LTE 通信は保証されていないものの十分に安定した通信が可能であると思われる、前節でも確認したところでもある。そこで、今回も、船陸間通信に、LTE/3G 通信が可能なモバイルルーターを利用した。

レーダーの捕捉情報を AIS 非搭載船の位置情報として収集するが、今回の検討では陸上局として、大島商船高等専門学校の校舎屋上にレーダーを設置し、位置情報の収集を行った（図 3.31）。また、AIS 受信機も設置するとともに、両方の情報を取り込むコンピュータを用意し、クラウドサーバーに転送するシステムを作成した。なお、校舎屋上のレーダーで船舶を捕捉することは、常時ではなく、実習等で利用した場合のみとしている。船舶局の 1 つは、大島商船高等専門学校の練習船大島丸（図 3.32）とした。大島丸は、AIS、レーダー、GPS、コンパスを搭載している。陸上局同様に AIS 情報とレーダー捕捉情報に加えて

GPS 情報，船首方位情報を取り込むコンピュータを用意し，クラウドサーバーに転送するシステムを作成した．なお，大島丸の船上情報も実習時間に限定されている．もう 1 つの船舶局は，大島商船高等専門学校のある山口県の周防大島の周辺である山口県柳井市と愛媛県松山市の間を航行するフェリー(図 3.33)に協力を依頼し設置した．本フェリーも AIS，レーダー，GPS，コンパスを搭載しており，大島丸と同様のコンピュータとシステムを利用した．本フェリーは，1 日約 15 時間運航している．なお，3 局とも LTE/3G 通信のモバイルルーターを用意し，各局で取得した AIS 情報，レーダー捕捉情報，大島丸とフェリーの船舶局では更に GPS 情報と船首方位情報をクラウドサーバーに送信した．



図 3.31 陸上局レーダー



図 3.32 練習船大島丸



図 3.33 フェリー

各局で AIS 情報等を取得し、転送するシステムについて説明する。AIS 情報、GPS 情報、コンパスによる船首方位情報もレーダーの捕捉情報同様に、IEC 規格で定められており、機種間の違いはない。これらの情報は、RS-422 と呼ばれるシリアル通信で出力される機器が多い。最近のコンピュータは、シリアルポートが省略されることが多く、前節の様に USB (Universal Serial Bus) に変換して取り込むこともある。今回は、シリアル通信をネットワーク (イーサネット) に変換するシリアル・デバイス・サーバーを利用し、RS-422 のシリアル通信をネットワーク通信に変換することとし、シリアル・デバイス・サーバーとコンピュータとをローカルエリアネットワークで接続し、コンピュータに記録するシステムを作成した。またコンピュータでは、記録と同時に、クラウドサーバーに各船舶局・陸上局で得た情報 (AIS, GPS, 船首方位, レーダー捕捉の各情報) を転送する機能を加えた。なお、各局で得た情報は、UDP (User Datagram Protocol) 通信プロトコルに基づき 1 秒ごとに送付した。モバイルルーターによる船陸間通信は、データ転送についての完全な保障がないので、転送データの内容確認と転送できなかった場合の再送機能がある TCP (Transmission Control Protocol) 通信とすべきである。しかしながら、度重なる再送によるデータの延着のおそれや、再送による新しいデータの送信阻害による遅延のおそれがある。そのため、UDP 通信でのリアルタイム送信を基本として、UDP 通信で欠損があった場合を補完するために、1 分おきに船上データを TCP 通信でクラウドサーバーに送信する機能を加えた。これにより、船上で記録したデータを全てクラウドサーバーに送信することを確保できるようにした。なお、クラウドサーバーに送信する AIS や GPS の情報には、コンピュータが取得した時刻を付加した。また、コンピュータには、定期的に NTP (Network Time Protocol) サーバーに接続し、時刻合わせを行っている。

クラウドサーバーには、次の機能を組み込んで作成した。(a) 各局から送信されるデータを受信する機能、(b) 受信した AIS 情報について、MMSI (Maritime

Mobile Service Identity) 番号ごとに、最新情報の緯度・経度を求める機能, (c) 受信した TT 情報について、最新情報を緯度・経度に変換する機能, (d) AIS と TT の最新緯度・経度情報に基づいて船舶のシンボルを電子海図上に描き、画像を作成する機能, (e) 作成した画像をインターネットの http (Hypertext Transfer Protocol) により配信する機能である。

画像を作成して配信することにした理由としては、AIS 情報を再配信することは、情報の保護に抵触するおそれがあること、また、http の画像配信であれば、ブラウザを有しインターネットに接続した端末であれば、表示が可能となるためである。これにより、パソコン、タブレット、スマートフォンのいずれも表示でき、OS やブラウザの種別・バージョンにも依存することがない。図 3.34 がプロトタイプシステムの概略構成であり、図 3.34 の右下の通り、各端末でクラウドサーバーが作成した図を受信し、表示可能としている。



図 3.34 プロトタイプシステムの概略構成



### 3.3.2 システムの動作確認と評価

位置情報共有システムのプロトタイプ動作を確認するために、実際に前項 3 局（陸上局，大島丸，フェリー）とクラウドサーバーを利用して、端末で受信し表示が可能か確認を行った。

図 3.35 は、フェリーが本州の山口県柳井市大島と周防大島町の間の大島瀬戸を西から東に航行した時の実際の状況である。大島瀬戸は潮流が大きく変化するため、良好な漁場であり、多くの漁船が漁をしている。図 3.35 左上は、フェリーの船橋からの写真であり、数隻の漁船が漁をしている。その際、フェリーでは、図 3.35 左下の様にレーダーで漁船を捕捉している。フェリーからは、フェリーの AIS、GPS、船首方位、TT 情報をクラウドサーバーに送信している。クラウドサーバーでは、受信したデータに基づき、最新の AIS と TT 情報による船舶の位置を電子海図上に描き、インターネットの http で配信している。図 3.35 右は、フェリー上のタブレット端末でクラウドサーバーが作成した画像を受信した画面である。画面の緑丸印が TT 情報による位置を示している。

図 3.35 右は、フェリー上で確認した画面であるが、漁船側でもインターネット通信が可能な端末を所有し、本プロトタイプシステムの決められたサイトに接続することが可能であれば同画面を見ることができ、フェリーが近づきつつあること、また、周囲の船舶がレーダーで捕捉されていることが分かる。



図 3.35 フェリー船橋からの写真，レーダー画面，タブレット端末での画面の例

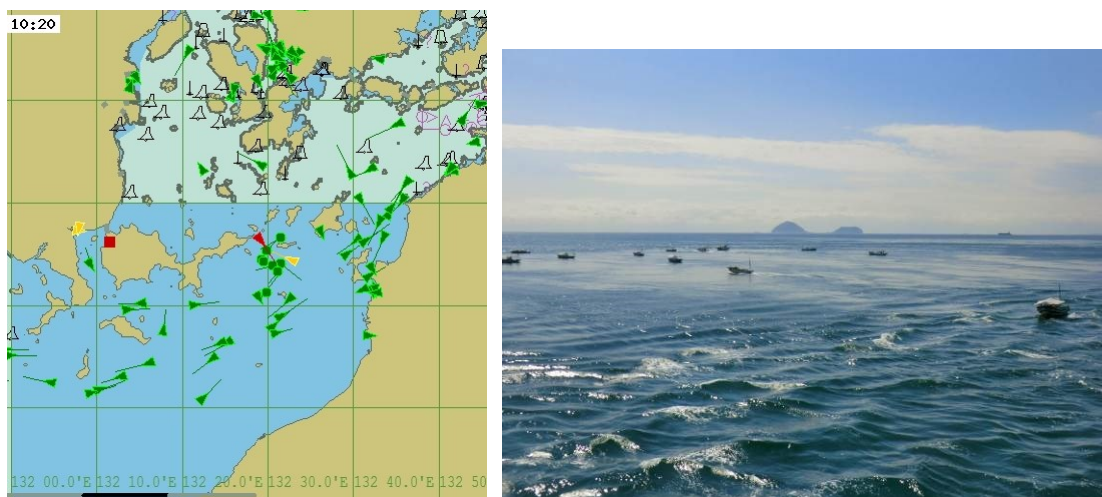


図 3.36 クラウドサーバーが作成した画像とフェリーの船橋からの写真の例

大島瀬戸には、柳井市大島と周防大島町を結ぶ大島大橋（鉄橋）が架かっている。図 3.35 の状況で、大島大橋の東側から西航する船舶を仮定する。仮定した船舶は、レーダーを搭載していても、鉄橋によるレーダー波の反射により、鉄橋より遠方の船舶を捕捉することができない。そのため、図 3.35 右の画面を見ることができれば、鉄橋をくぐった先に多くの小型船がいることが事前に認識できることになる。また、図 3.35 の右の中央の島は笠佐島である。AIS 搭載船の大きさの船舶であれば、笠佐島の西側から北側を航行し、大島瀬戸を通航する。一方、小型船の場合は、笠佐島の南側から東側を航行し、大島瀬戸に進入する場合がある。このため、大島瀬戸を西航する船舶からは、地形の都合直前までその小型船の存在を認識することができない。そのため、今回の陸上局のレーダーで小型船を捕捉し、端末を見て事前に小型船の存在を把握することができれば、非常に助かるとフェリーの乗組員から評価するコメントを得た。

図 3.36 も実際の事例である。図 3.36 はフェリーが周防大島の東部沿岸を航行した時のものである。本海域も良好な漁場であり、図 3.36 右の様に多数の漁船が存在する。図 3.36 左は、クラウドサーバーが配信した画面である。赤三角がフェリーであり、緑丸がフェリーのレーダーにより捕捉された漁船の位置である。黄色三角は、赤三角のフェリーとの同会社のフェリーである。黄色三角のフェリー側にも端末を搭載し、図 3.36 左の画像を見ることができれば、事前に前方海域に小型船が多数存在することが分かる。また、黄色三角のフェリーにも TT 情報等をクラウドサーバーに送信することができれば、複数の船舶局で TT 情報の共有が可能となる。そのため、今回のシステムを活用するためには、多くの船が搭載すればするほど、効果を発揮することとなる。

また、大島瀬戸周辺海域では、時期により霧が発生する。図 3.37 に好天時の大島瀬戸（大島大橋）の状況、図 3.38 に霧が発生した際の大島瀬戸（大島大橋）の状況を示す。また、図 3.39, 3.40 に霧が発生した際でも漁船が漁を行っている状況である。

このような場合においては、漁船を遠くから目視で認識して、レーダーで捕捉することは困難である。そのため、事前に大島瀬戸を航行している船舶のレーダーの捕捉情報を得ることができれば、安全航行に資する支援となる。

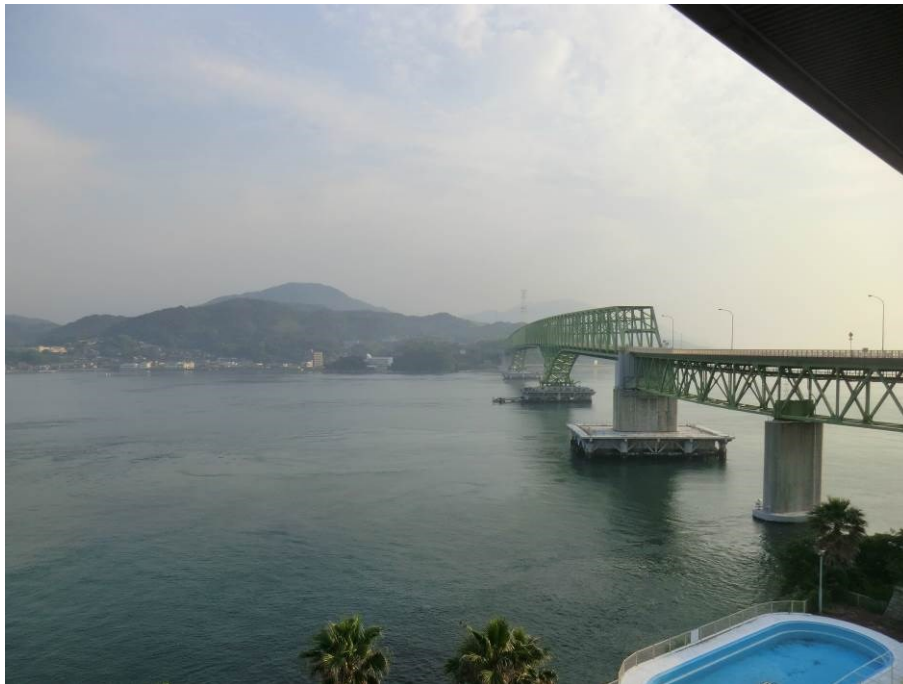


図 3.37 好天時の大島瀬戸（大島大橋）



図 3.38 霧が発生した際の大島瀬戸（大島大橋）



図 3.39 霧中の漁船(1)



図 3.40 霧中の漁船(2)

以上の通り、実際にプロトタイプを運用するとともに、クラウドサーバーの各機能の動作を確認することができた。ここでは、前節のスマートフォンを利用したシステムとの比較のため、以下について解析を加える。

- (a) レーダー捕捉情報の位置精度
- (b) クラウドサーバーに AIS 情報を転送する方法
- (c) 海上での通信能力

(a) レーダー捕捉情報の位置精度

前節のスマートフォンのシステムでは、スマートフォンの位置精度は 15～25m であることを明らかにした。本節のレーダーの捕捉による位置精度は、IEC の試験基準[3.2]で定められており、距離 5,000m 以下の場合、最大距離誤差 50m 以下、最大方位誤差 2° 以内となっている。この誤差は、最悪の場合の値であるものの、本システムの運用にあたっては、システムの仕様として、明らかにしておく内容である。

(b) クラウドサーバーに AIS 情報を転送する方法

クラウドサーバーに AIS 情報を転送する時間間隔については、前節のスマートフォンを利用したシステムでは、60 秒から 5 秒に変更することで、端末での AIS 船舶の位置情報の遅れが小さくなるよう対応した。それを踏まえて、本節のシステムでは、AIS 情報、レーダー捕捉情報等を 1 秒ごとに UDP 通信でクラウドサーバーに送信し、UDP での送受信が完全ではないことを留意して、60 秒ごとに TCP 通信で送信する補完を行った。これにより、各局で得た情報を確実にクラウドサーバーに送信することができた。陸上局からの情報転送で LTE 通信が確実である場合は、通信の補完の必要はないが、船上のデータをクラウドサーバーに転送する場合には、確実なデータ転送方法が必要である。

### (c) 海上での通信能力

本節のシステムでクラウドサーバーが作成した画像については、 $800 \times 600$  ピクセルの jpeg ファイルとし、ファイルサイズが 100kB 前後になるように調整した。平成 27 年 7 月に、実験に利用したフェリーに乗船し、柳井～松山間におけるモバイルルーターを利用した通信スループットを複数箇所で計測したところ、LTE 通信で、最小で 1.53Mbps、最大で 6.87Mbps であった。約 100kB の画像を 1 秒以内に転送するためには、1Mbps 以上が必要であるが、それ可能とする通信能力を確認した。

なお、船上データをクラウドサーバーに転送するデータ量は、1 分あたり約 60kB であり、十分な通信能力であった。

本章で実験を行った 2 つのシステムについて、小型船の位置情報の情報源として、スマートフォンの位置情報、レーダーの捕捉情報を用いたが、どちらも全ての小型船の情報を収集できたものではない。本節のシステムでは、レーダーで捕捉情報のみであり、全ての小型船を捕捉しているわけではない。そのため、多くの船の捕捉情報を共有すればするほど効果を発揮するシステムである。そのため、小型船の位置情報の収集を増やすためには、今回の 2 つの情報源の両方を利用したハイブリッドシステムが構築できれば、より多くの小型船の位置情報を配信することが可能である。1.3 節の自動運航船の研究[1.2]では、AIS とレーダーに加えて、可視カメラと赤外線カメラを使用して画像処理による船舶の検出を目指している。小型船の位置情報の情報源として、今後開発される技術を組み合わせていくことができれば、より多くの船舶の位置情報の共有が可能となる。



### 3.3.3 まとめ

本節では、AIS とレーダーによる捕捉である TT 情報をクラウドサーバーに集約して、船舶の位置情報を画像として配信するシステムのプロトタイプを作成し実験を行った。瀬戸内海の周防大島周辺を対象海域として実際に陸上局 1 局，船上局 2 局を利用して動作確認を行うことができた。本システムを効果的に運用するためには、小型船の位置情報をレーダーの TT 情報としているため、多くのレーダー局からの TT 情報を送信してもらうことが重要な鍵となる。

## 3.4 結言

本章では、AIS 搭載船と AIS 非搭載船である小型船舶の位置情報を情報通信技術を活用して収集し、周辺の船舶に配信する船舶の位置情報共有システムについて、2つの方法を考え検討を行った。

AIS 搭載船舶の位置情報に収集について、陸上の AIS 受信機で取得したデータや AIS 搭載船舶が受信したデータを LTE 回線を利用して、クラウドサーバーに収集させる方法は共通の方法であるが、AIS 非搭載船の位置情報の収集については、現在の技術や搭載機器を考慮して、実現可能と思われる2つの方法を検討した。

1つめの方法は、AIS 非搭載船の位置情報にスマートフォンに内蔵された GPS 位置情報をクラウドサーバーに収集し、別途収集する AIS 情報と合わせて、船舶の位置情報を配信するシステムとした。実際にスマートフォン用の専用アプリを開発し、実海域で評価実験を行った。この際に問題となる点として、(a) 携帯端末（スマートフォン）の GPS の位置情報の精度、(b) クラウドサーバーに AIS 情報を転送する時間間隔、(c) 海上で十分なスループットが得られるか、を中心に検討、解析を行うとともに、解決策と留意事項をまとめた。

もう1つの方法は、現在、船上で AIS 非搭載船の動静を把握するために利用されているレーダーの捕捉情報を小型船舶の位置情報として扱い、同様にクラウドサーバーに収集し、別途収集する AIS 情報と合わせて、船舶の位置情報を配信するシステムとした。こちらの配信方法については、専用のアプリが必要ないように、船舶の位置情報を画像として配信するシステムとし、初期の動作を確認した。

また、両システムともに瀬戸内海を実験海域とし、携帯電話網による LTE 通信を計測したところ、システムに必要なスループット 1Mbps を以上を確認した。

いずれのシステムでも全ての小型船の位置情報を取得することはできていな

いため、2つのシステムの小型船位置情報の両方を利用したハイブリッドシステムなどにより、更に有効なシステムになる。

### 第3章の参考文献

[3.1] IEC, IEC 62288 Ed. 2.0:2014, 海洋航行並びに無線通信機器及びシステムー海上輸送航行ディスプレイ上の航海関連情報の提示ー一般要求事項, 試験方法及び必要な試験結果, Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems - Presentation of navigation-related information on shipborne navigational displays - General requirements, methods of testing and required test results, 2014.

[3.2] IEC, IEC 62388 Ed. 2.0:2013, 海洋航海及び無線通信機器並びにシステムー海上輸送レーダー性能要求事項, 試験方法及び必要試験結果, Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems - Shipborne radar - Performance requirements, methods of testing and required test results, 2013.

[3.3] MarineTraffic: Global Ship Tracking Intelligence | AIS Marine Traffic,  
<https://www.marinetraffic.com/>

[3.4] IEC, IEC 62287-1 Ed. 3.0:2017, 海洋航海及び無線通信機器並びにシステムー自動識別システム (AIS) のクラス B 海上輸送機器ー第1部: キャリア感知時分割多元接続 (CSTDMA) 技法, Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems - Class B shipborne equipment of the automatic identification system (AIS) - Part 1: Carrier-sense time division multiple access (CSTDMA) techniques, 2017.

[3.5] 松本浩文, 古莊雅生, 下岡尚輔, 小野昌也, 漁船搭載の AIS 有効利用に関する考察, 日本航海学会論文集, 第130号, pp.69-75, 2014.

[3.6] 丹羽康之, 福戸淳司, 宮本佳則, 稲岡孝, AIS 情報を用いた小型船用見張り支援システム, 日本航海学会論文集, 第122号, pp.35-43, 2010.

[3.7] ケータイ Watch, ケータイ用語の基礎知識 第456回: A-GPS とは  
<https://k-tai.watch.impress.co.jp/docs/column/keyword/350721.html>

[3.8] Speedtest by Ookla - The Global Broadband Speed Test

<http://www.speedtest.net/>

[3.9] 日本航海学会操船シミュレータ研究会, レーダ ARPA シミュレータ教育訓練インストラクタ用指導教本, 2006.

[3.10] IEC, IEC 61162-1 Ed. 5.0:2016, 海洋航行及び無線通信機器及びシステム—デジタルインタフェース—第 1 部: 単一話し手及び複数の聴取者, Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems - Digital interfaces - Part 1: Single talker and multiple listeners, 2016.

## 第4章 船間無線 LAN 通信の適用

### 4.1 緒言

前章における位置情報共有システムでは、携帯電話網を活用し、実験海域であった瀬戸内海であれば、LTE 通信が利用可能で 1Mbps 以上を確認した。ただし、携帯電話網の利用では、通信料がかかること、沿岸から離れた海域では、携帯電話網の利用ができなくなるおそれがある。また、前章の 2 つのシステムでは、クラウドサーバーの管理が必要という問題が発生する。そこで、本章では、これらの問題点の解決策の一つとして、船間で情報交換による支援のためのインフラストラクチャとして、船間通信に無線 LAN を適用した実海域実験を行い、実効スループット 1Mbps を実現する。

## 4.2 無線 LAN による船間通信実験

### 4.2.1 実験方法

#### (1) 実験船

大島商船高等専門学校が所有する練習船「大島丸」、実習船「すばる」を運航し、実験を行った。大島丸とすばるの諸元を表 4.1 に外観を図 4.1, 4.2 に示す。

表 4.1 大島丸とすばるの諸元

	大島丸	すばる
長さ	41m	14.5m
幅	7.6m	4.15m
深さ	3.5m	2.3m
総トン数	228 トン	14 トン



図 4.1 大島丸と設置したアンテナ



図 4.2 すばると設置したアンテナ



## (2) 実験海域

大島商船高等専門学校（山口県大島郡周防大島町）のある瀬戸内海の屋代島（周防大島）の西方海域の笠佐島と上荷内島・下荷内島との間の海域（図 4.3）で、通信実験を行った。

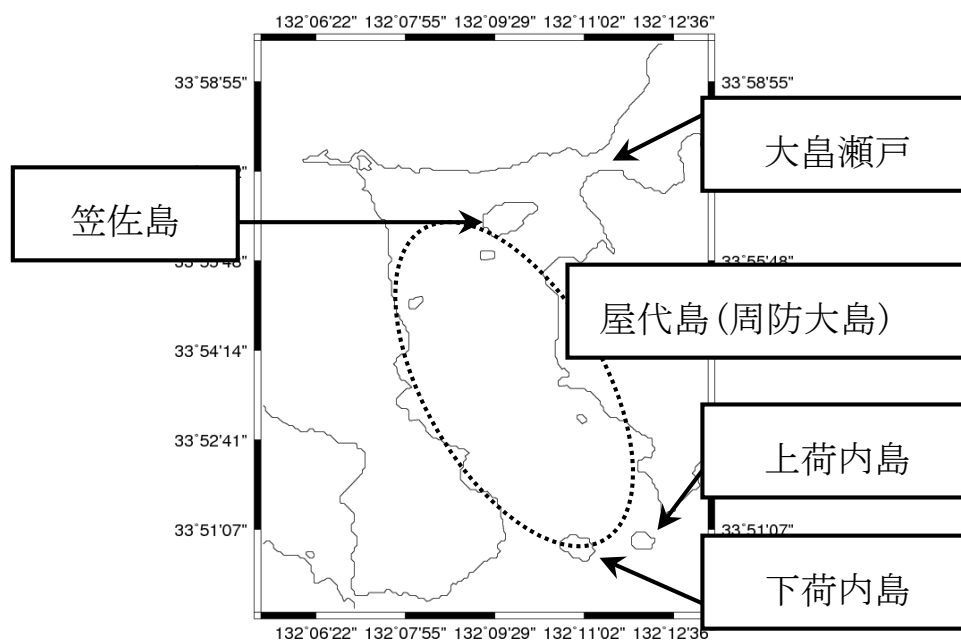


図 4.3 実験海域

### (3) 無線規格

長距離高速通信が可能な 5GHz 帯無線アクセスシステム (IEEE 802.11j, 出力 125mW または 250mW) による船陸間通信では, 船陸間距離 10km で通信スループット 4Mbps の報告[1.14]もあるが, 規則上海上のみ船間通信への利用は禁止の他, 資格, 無線局の申請が必要という課題がある. そのため本実験では, 資格, 申請等が不要な 2.4GHz 帯の機器 (IEEE 802.11g, 理論最大速度 54Mbps, 出力 10mW) を用いた.

なお, 平成 24 年に総務省が上述した規則の制限を緩和する省令等改正を行い, IEEE 802.11j を条件付きで船間通信に利用することが可能となっている[4.1].

#### (4) 指向性アンテナの適用と選定

今回の研究の通信能力の目標について、第2章で確認した海難の距岸別の事故の50%が3海里以下であることから船間距離については3km~5km、第3章のシステムが必要とする通信速度が1Mbpsであることから実効スループットについては1Mbps以上とした。過去に実施した無指向性アンテナを用いた通信実験[1.12]では、1Mbpsに達しなかったため、それを克服するために指向性アンテナを採用した。なお、指向性アンテナにより、全方向の船舶との通信はできないが、行会い船との情報交換により、相手船からの情報が今後の航海の支援となる情報が得られると考え、行会い状況の見合い関係をつくり、通信実験を行った。

指向性アンテナの採用にあたり、その特徴である利得と半値角の選定が重要となる[4.2]。利得が大きく、半値角が広いアンテナが望ましいが、相反する関係であるため、それぞれ適切な値のアンテナを選定することが重要となる。図4.4, 4.5にアンテナ指向図の例を示す。図4.4は、利得が大きいアンテナの場合で高速通信が可能であるが、指向角（半値角）が狭いため、アンテナ同士が完全に向き合っている必要がある。一方、図4.5は、利得は小さいものの指向角（半値角）が広いため、行会いの状態から多少外れても通信の期待が持てる。

そこで、表4.2のアンテナに対して、適切な仕様のアンテナの選定の検討を行った。八木アンテナは利得が強い一方で半値角が小さいため、船舶のような移動体同士の通信は困難である。

またカージオイドアンテナでは、利得が小さいため目標とする通信能力が確保できないことを確認した。詳細は4.2.2項に記す。

その結果、パッチ平面アンテナ（大）とパッチ平面アンテナ（小）の2種類に絞り実験を行った。また、アンテナ高さが、通信能力に影響する（高ければ高いほどよい）ことから、大島丸のアンテナ高さを10m、すばるのアンテナ高さを6.5mとした。図4.1, 4.2の丸印が設置したアンテナである。

表 4.2 検討したアンテナの仕様

種類	利得 [dBi]	半値角[deg.]	
		E 面	H 面
八木	19	22	24
パッチ平面 (大)	13	40	40
パッチ平面 (小)	9	63	77
カージオイド	5	75	135

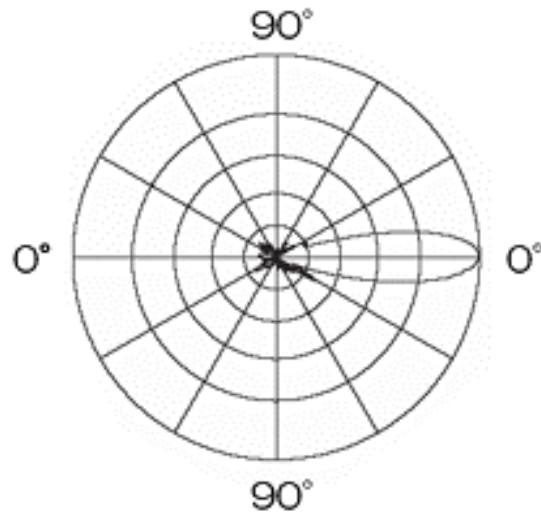


図 4.4 アンテナ指向図の例（半値角が狭い場合）

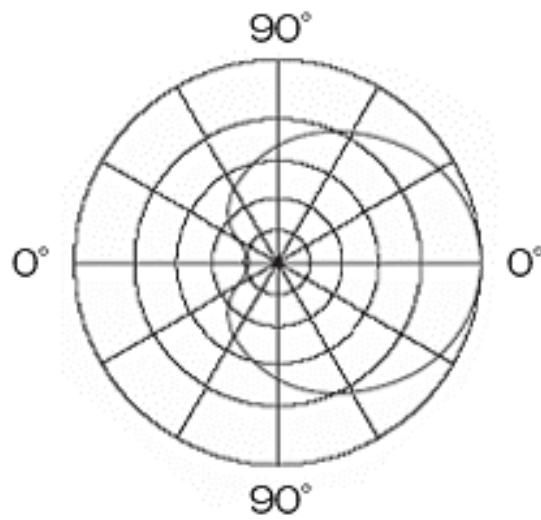


図 4.5 アンテナ指向図の例（半値角が広い場合）

## (5) 見合い関係

行会い船との情報交換を目的としているため、次の3種類の見合い関係を設定した。①では、船間無線 LAN 通信の基本特性と通信能力を確認するために、②では、実際に2船を運航した状況として、③では、現実的にあり得る状況として設定した。

①大島丸は停泊し、すばるを大島丸船首方位に航行させ 5,000m 以上離れたところで戻る。なお、すばるが大島丸から離れる際には、すばるに設置した指向性アンテナの向きは、すばるの船尾側に向けた。

②船間距離を 5,000m 以上離し、お互いに正船首で運航する。船間距離が 500m 以内になったところで取り決めに従い避航し 100m 以内の航過距離とした。

③船間距離を 5,000m 以上離し、進路を 180° 違いとし、航過距離が 900m (0.5 海里) となるように平行間隔を保った。

それぞれの見合い関係を図 4.6 から 4.8 に示す。

見合い関係③で、航過距離を 900m (0.5 海里) に設定した理由としては、大洋航海であれば、1,000m から 1,800m (1 海里) 程度の間隔を必要とするが、瀬戸内海のような内海や分離通行帯のような内海では、500m 以下になることも十分に考えられる。図 4.9 から 4.14 は、前章の実験に協力していただいたフェリーが大島瀬戸周辺で行会いで航行している状況で、航過距離は 500m を遙かに下回っており、現実的にあり得る見合い関係である。また、図 4.15 は、大島大橋真下におけるフェリーと貨物船が行会う状況で、航過距離は 100~200m 程度と推測される。

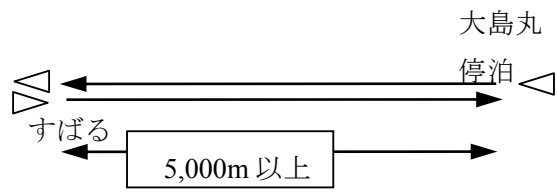


図 4.6 見合い関係①

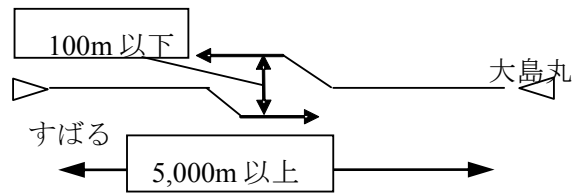


図 4.7 見合い関係②

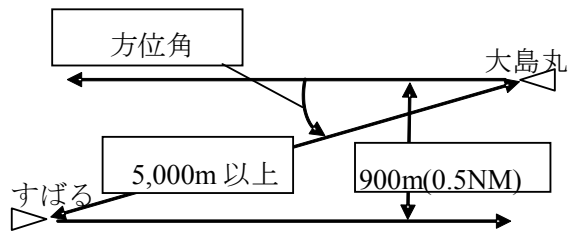


図 4.8 見合い関係③



図 4.9 フェリーの行会い場面(1)



図 4.10 フェリーの行会い場面(2)





図 4.11 フェリーの行会い場面(3)



図 4.12 フェリーの行会い場面(4)



図 4.13 フェリーの行会い場面(5)



図 4.14 フェリーの行会い場面(6)



図 4.15 大島大橋真下でのフェリーと貨物船の行会い場面

## (6) 計測項目

通信実験の計測項目は、2 船に搭載した無線 LAN 機器間の受信信号強度 (RSSI; Received Signal Strength Indication) とそれぞれの無線 LAN 機器に有線接続したコンピュータ間の実効スループットである。RSSI については、今回用いた無線 LAN 機器の設定を行う web 画面に数値が表示され、1 秒間隔で記録した。実効スループットについては、ネットワークの帯域計測ソフトウェア iPerf (帯域を指定してネットワークにトラフィックを発生させ、転送したデータ量からスループットを算出するベンチマークソフト) [4.3]を用い、10 秒間を計測項目の 1 単位とした。

また、GPS により時刻と両船の船位 (緯度・経度) の計測を行い、船間距離を求めた。なお無線 LAN のアンテナ位置と GPS アンテナの位置は、大島丸で約 5m、すばるで約 3m 離れていたが、無線 LAN のアンテナ位置への補正は行わず、GPS アンテナの位置を基にして船間距離を算出している。

方位角については、大島丸では船首方位をジャイロコンパスにより計測し、すばるには GNSS (Global Navigation Satellite System) コンパスを搭載することにより算出した。

## 4.2.2 通信実験結果

### (1) 見合い関係①の結果

最初に以下のアンテナの組み合わせで実験を行った。

- (a) 8 段コリニアアンテナとパッチ平面アンテナ (大)
- (b) 8 段コリニアアンテナとパッチ平面アンテナ (小)
- (c) 8 段コリニアアンテナとカージオイドアンテナ

アンテナ高さは、大島丸側を 6.5m、すばる側を 3.5m とした。

図 4.16 から 4.18 は、上記のアンテナにあける見合い関係①における船間距離を横軸にした RSSI の計測結果である。

今回利用した機材では、RSSI がおよそ -90dbm を下回ると通信が困難な状況であり、-90dbm を下回るか否かが指標の一つとなる。すばる側がパッチ平面アンテナ (大、及び、小) の場合では船間距離 3,000~4,000m で RSSI が -90dbm を下回り、通信が困難な状況となった。また、カージオイドアンテナにおいては、2,000m で RSSI が -90dbm 下回った。

この結果から、表 4.2 に示したアンテナの性能も合わせて考えると、行会い船では、半直角の広さより利得を重視すべきと判断し、以降の実験では、カージオイドアンテナより指向性の強いアンテナである表 4.2 のパッチ平面アンテナ (大) 同士とパッチ平面アンテナ (小) 同士の 2 種類に絞って、で実験を行うこととした。また、アンテナ高さを上げて実験を行うこととした。具体的には、前項(4)で述べたとおり、大島丸側を 10m、すばる側を 6.5m とした。

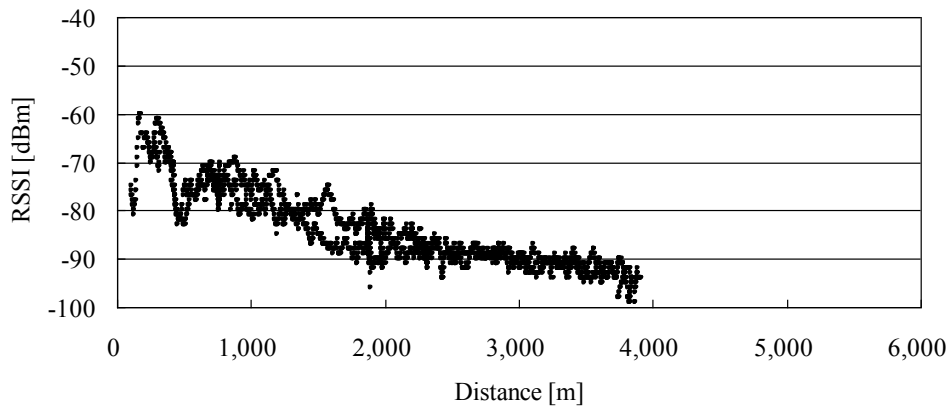


図 4.16 計測結果：船間距離と RSSI の関係，8 段コリニアアンテナとパッチ平面アンテナ（大）

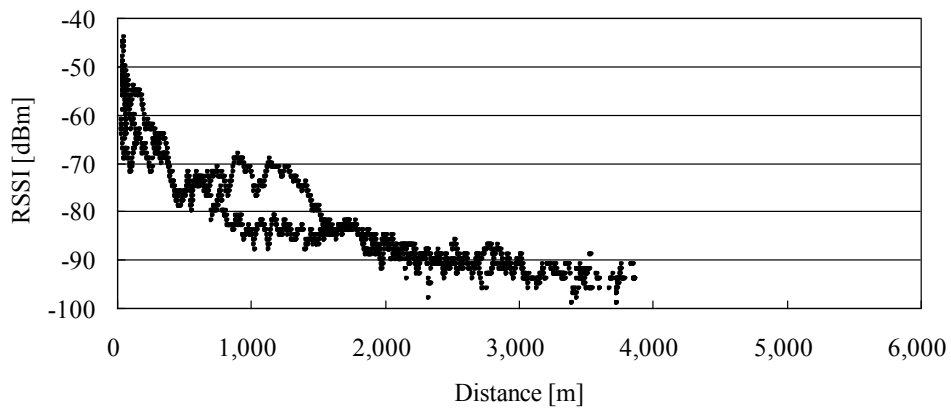


図 4.17 計測結果：船間距離と RSSI の関係，8 段コリニアアンテナとパッチ平面アンテナ（小）

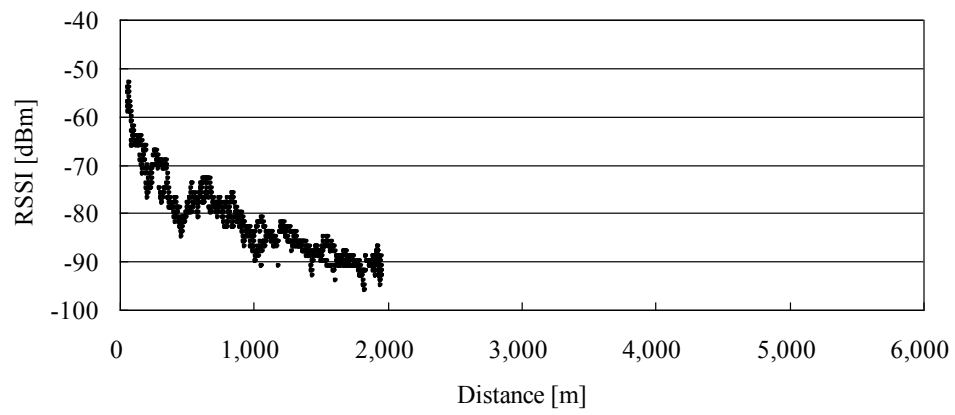


図 4.18 計測結果：船間距離と RSSI の関係，8 段コリニアアンテナとカージオイドアンテナ

図 4.19, 4.20 は、見合い関係①のパッチ平面アンテナ（大）同士の実験結果であり、図 4.21, 4.21 は、見合い関係①のパッチ平面アンテナ（小）同士の実験結果である。パッチ平面アンテナ（大）同士を用いた際の船間距離を横軸にした RSSI（図 4.19）と実効スループット（図 4.20）の計測結果、及び、パッチ平面アンテナ（小）同士を用いた際の船間距離を横軸にした RSSI（図 4.21）と実効スループット（図 4.22）の計測結果である。

いずれも目標の 1Mbps を上回り、船間距離によっては、5Mbps 以上を計測することもあった。なお、図 4.21 の船間距離 3,800m 付近で RSSI が減少している箇所があるが、他船との衝突を避けるため、その場で回頭をしたためである。RSSI の変化について、途中（線間距離 1,100m 付近）で大きく値が低下している箇所があるが、マルチパスの 2 波モデルとして知られる海面反射波との干渉の影響によるヌル点と呼ばれるものである。陸上の無線通信においてもビルの反射等によるマルチパスが発生することと同じ現象であるが、海上の場合海面以外の反射面がないため、2 波モデルとして顕著に現れることを確認した。今回の実験条件である、出力 10mW、周波数 2.4GHz、アンテナ高さ 10m、及び、6.5m の場合、ヌル点は船間距離 1,100m 付近が該当する[4.4],[4.5]。図 4.21 でもヌル点が船間距離 1,100m 付近で発生していることを確認した。



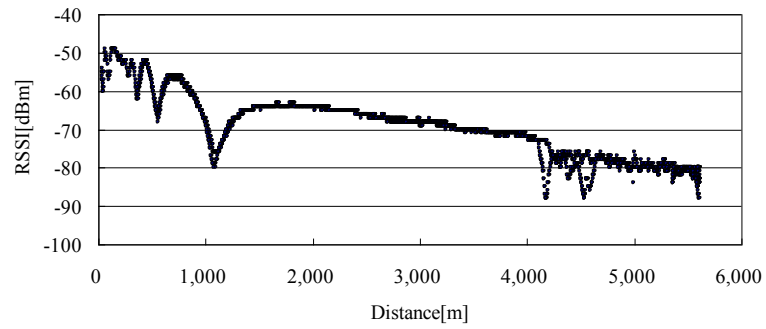


図 4.19 計測結果：船間距離と RSSI の関係，パッチ平面アンテナ（大）

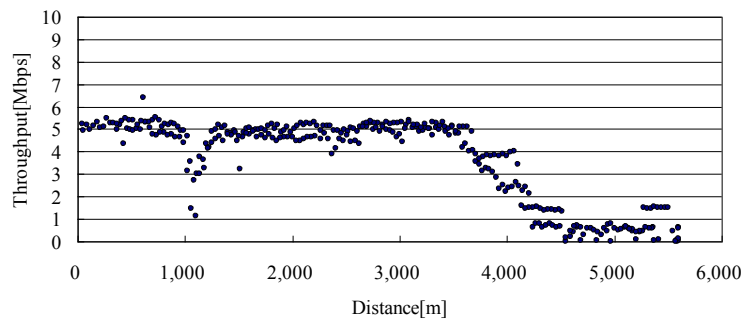


図 4.20 計測結果：船間距離と実効スループットの関係，パッチ平面アンテナ（大）

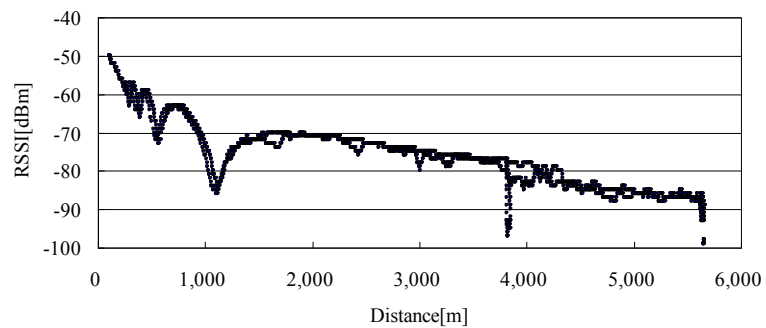


図 4.21 計測結果：船間距離と RSSI の関係，パッチ平面アンテナ（小）

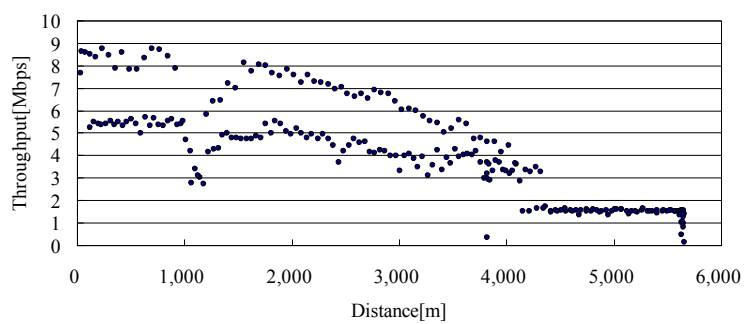


図 4.22 計測結果：船間距離と実効スループットの関係，パッチ平面アンテナ（小）

## (2) 見合い関係②の結果

見合い関係②の実験では、大島丸、すばる両船を運航している。大島丸の設定船速はスタンバイ・フルである対水船速 16km/h(8.5kn)とし、すばるの設定船速は対地船速で低速 (11km/h(6kn))、中速 (19km/h(10kn))、高速 (37km/h(20kn)) の 3 種類とした。

図 4.23 にすばるの船速が低速、パッチ平面アンテナ (大) を使用した際の船間距離を横軸にした RSSI と実効スループットの計測結果を示す。

図 4.24 に示す通り、2 船を運航した見合い関係②でも目標とする実効スループット 1Mbps 以上を実現した。また、図 4.24 にも示す通り、パッチ平面アンテナ (小) でも、利得の分だけ通信能力が低下したが、目標の実効スループット 1Mbps 以上を達成している。

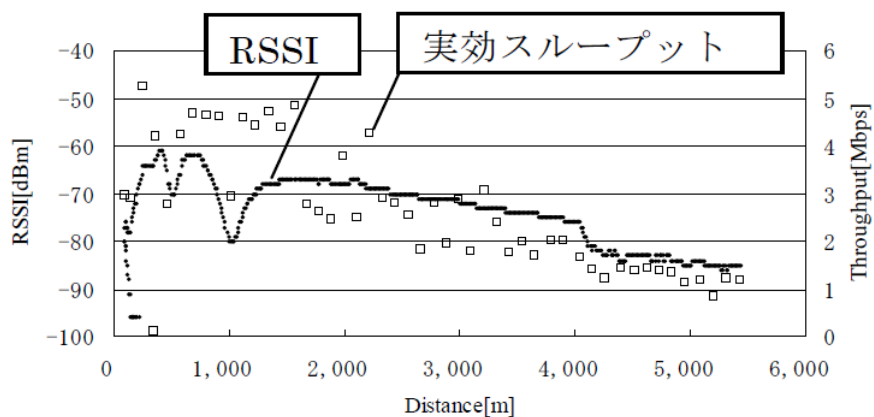


図 4.23 計測結果：船間距離と RSSI と実効スループットの関係，すばるの船速：低速，パッチ平面アンテナ（大）

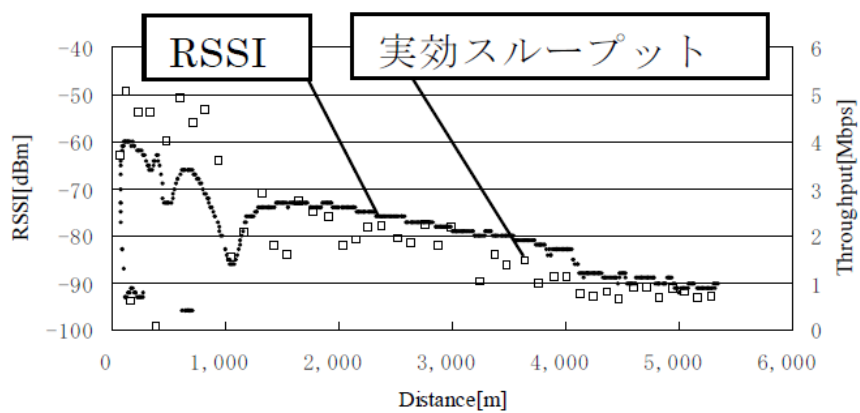


図 4.24 計測結果：船間距離と RSSI と実効スループットの関係，すばるの船速：低速，パッチ平面アンテナ（小）

### (3) 見合い関係③の結果

見合い関係①②では、2 船は正船首の行会い状態であり、実際の運航では非現実的であるため、航路航行時を想定して見合い関係③を設定した。見合い関係③でも大島丸とすばるの設定船速は、見合い関係②と同様にした。

図 4.25 に、すばるの船速が低速、パッチ平面アンテナ（大）を使用した際の船間距離を横軸にした RSSI と実効スループットの計測結果を示す。また、図 4.26 は、パッチ平面アンテナ（小）で、他の条件は同じである。

見合い関係②の場合と比較して、RSSI、実効スループットともに低下していることがわかる。この理由は、見合い関係③では、実験開始時点から相手船が正面におらず、船間距離が短くなるに従い、相手船の方位角の絶対値が大きくなり、アンテナの指向角から外れていくためである。ただし、この条件下においても目標とする実効スループット 1Mbps は、ほぼ達成することができた。

図 4.25 と図 4.26 を比較する。図 4.8 の通り、船間距離が短くなるに従い、相手船の方位角の絶対値が大きくなる。このため、船間距離が 3,000m 以上では、利得の大きい図 4.25 パッチ平面アンテナ（大）の通信能力が高いが、船間距離が 2,000m を下回ると、相手船の方位角がアンテナの指向域から外れ、通信能力が低下したものとする。一方、図 4.26 のパッチ平面アンテナ（小）では、船間距離が 1,200m までは、1Mbps 以上を確保した。これは、表 4.2 のアンテナの仕様の通り、パッチ平面アンテナ（小）のほうが半値角が広いこと、相手船の方位角の絶対値が大きくなっても通信が維持できたためと考える。

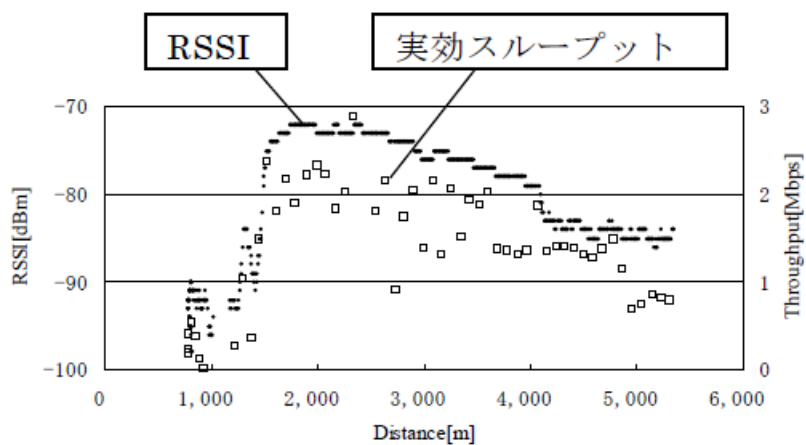


図 4.25 計測結果：船間距離と RSSI と実効スループットの関係，すばるの船速：低速，パッチ平面アンテナ（大）

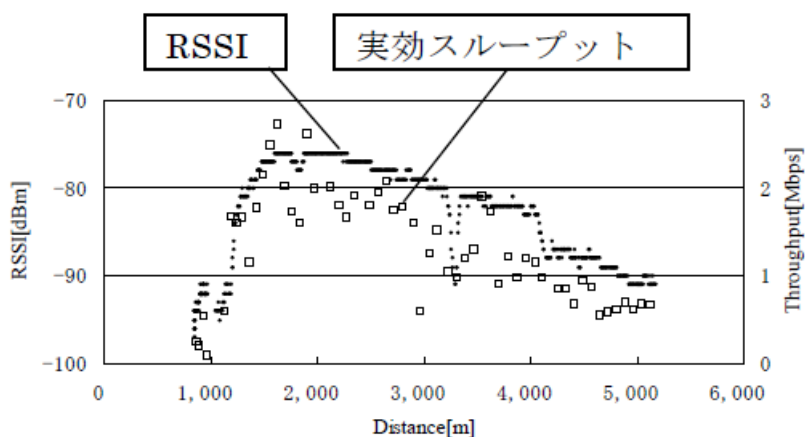


図 4.26 計測結果：船間距離と RSSI と実効スループットの関係，すばるの船速：低速，パッチ平面アンテナ（小）

今回の通信能力の評価指標は、上述の RSSI と実効スループットにしているが、最終的な評価はデータ通信量も考えるべきである。通信量の推定は、実効スループットを 10 秒平均で計測していることから、積分することにより推定した。推定した通信量を表 4.3 に示す。すばるの船速が高速なほど通信量が少ないことがわかるが、これは高速であるほど行会い状態の時間が短いためであり、速度に反比例の相関が成り立つためである。船速に依存するが今回の実験条件においては、大部分で 100MB 以上のデータを通信できることを明らかにした。

表 4.3 積分により推定した通信量 (2 回ずつ計測)

すばる 船速	パッチ平面アンテナ (大)	パッチ平面アンテナ (小)
低速 11km/h	215MB 230MB	209MB 144MB
中速 19km/h	173MB 176MB	123MB 147MB
高速 37km/h	126MB 114MB	60MB 72MB

更に見合い関係③実験では、実効スループットの計測の他に、実際に船間での情報交換として、レーダー画像の送受信実験を行った。大島丸のレーダー画面を事前にキャプチャしたファイルを用意し、大島丸、すばるの双方向でFTP(File Transfer Protocol)により、ファイルの送受信を行った。レーダー画像のファイルサイズは、0.3MB、1MB、4MB の 3 種類を用意し、大島丸の船速を16km/h(8.5kn)、すばるの船速を 22km/h(12kn)に設定して実施した。通信量の結果を表 4.4 に示す。次項で述べる活用策の一つとし提案するレーダー画面の送信が可能となる。

表 4.4 FTP の実験結果 (2 回ずつ計測)

ファイル サイズ	パッチ平面アンテナ(大)		パッチ平面アンテナ(小)	
	枚数	通信量	枚数	通信量
0.3MB	430 枚	129MB	230 枚	69MB
	351 枚	105MB	101 枚	30MB
1MB	153 枚	153MB	100 枚	100MB
	146 枚	146MB	74 枚	74MB
4MB	28 枚	112MB	23 枚	92MB
	47 枚	188MB	25 枚	100MB



### 4.2.3 船間通信の活用の提案

以上の実験結果により，船間無線 LAN で目標の 1Mbps 以上の通信を実現した．そこで，情報交換データとしてハザード画像に GPS 情報（緯度，経度，時刻）と方位情報を加えたファイルを双方向通信で提供，取得し，GPS 情報を基に地図上に表示するハザードマップを作成した．最近のデジタルカメラには，GPS 機能付きがあり，また，地図ソフトウェアや web ブラウザの地図表示機能では，GPS 情報のある画像ファイルをドラッグ・アンド・ドロップするだけで，地図上に表示することが可能である．なお，本章は，船陸間通信ができない場合も想定しているため，インターネット接続を想定せず，コンピュータのローカルディスクに地図データを持つ状況を考え，国土地理院の数値地図を取り込めるソフトウェア[4.6],[4.7]を活用し検討を行った．

図 4.27 に船間無線 LAN 通信の活用策案の一例を示す．大島丸が関門航路を航行した際のデジタルカメラで撮影した GPS データ付きの写真ファイルを地図上に表示したものである．また，地図上の画像をクリックすることにより，ポップアップで拡大表示される．この時は，多数の漁船が航路内で漁をしており，写真からもその多さがわかる．図 4.27 に示す画像ファイルを今から関門航路を通航する行会い船に無線 LAN を通して送信することにより，ハザードマップが表示され，航路通航時の安全航海に役立てばと考えている．

また，図 4.28 に大島丸レーダー画面を地図上に表示したものである．大島丸が周防大島と関門海峡の往復の航海時のレーダー画面を 60 分おきに表示したものである．

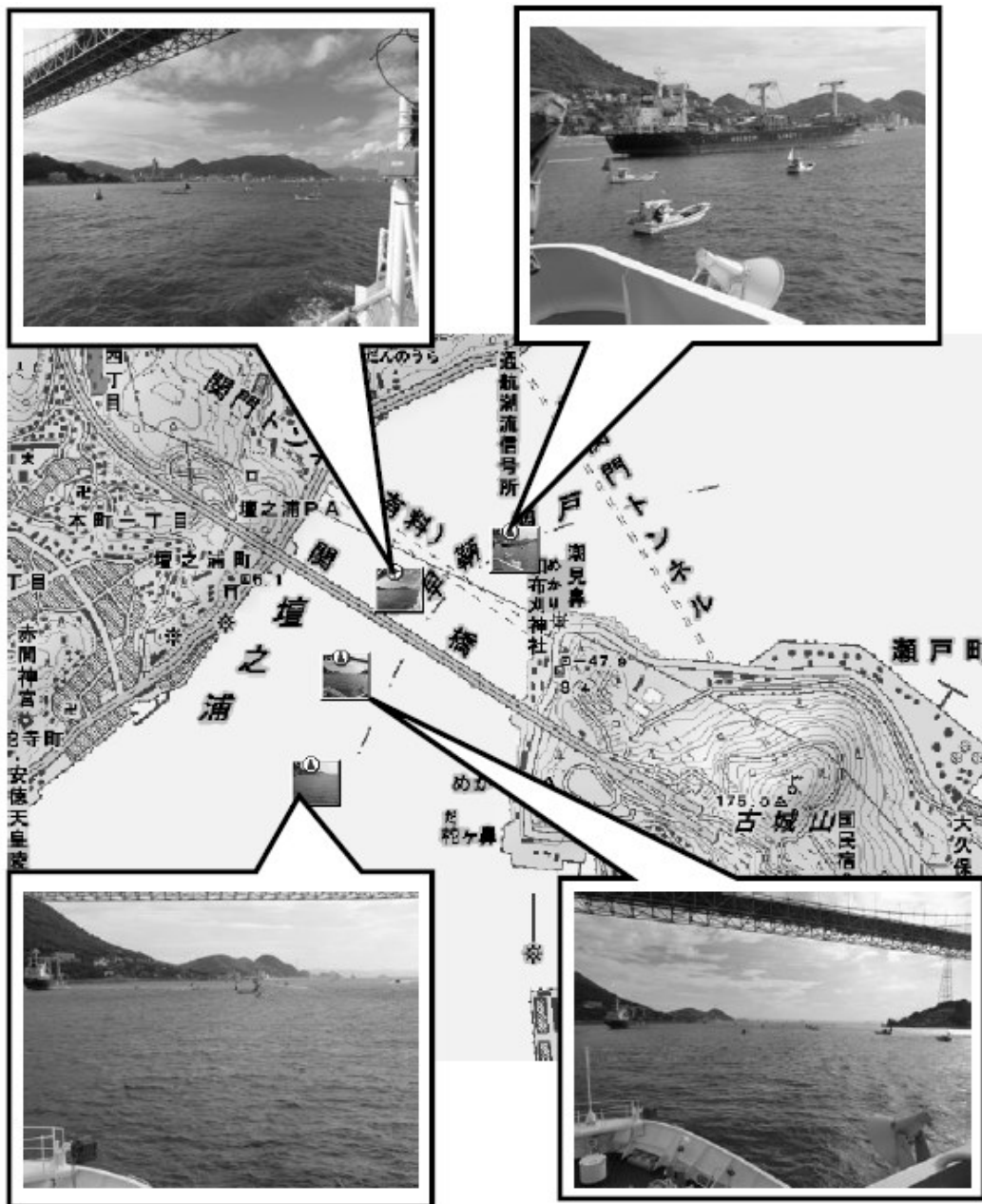


図 4.27 船間無線 LAN 通信の活用策案の一例（関門航路の漁船出現）

この地図は国土地理院の数値地図 25000（地図画像）を使用したものである。

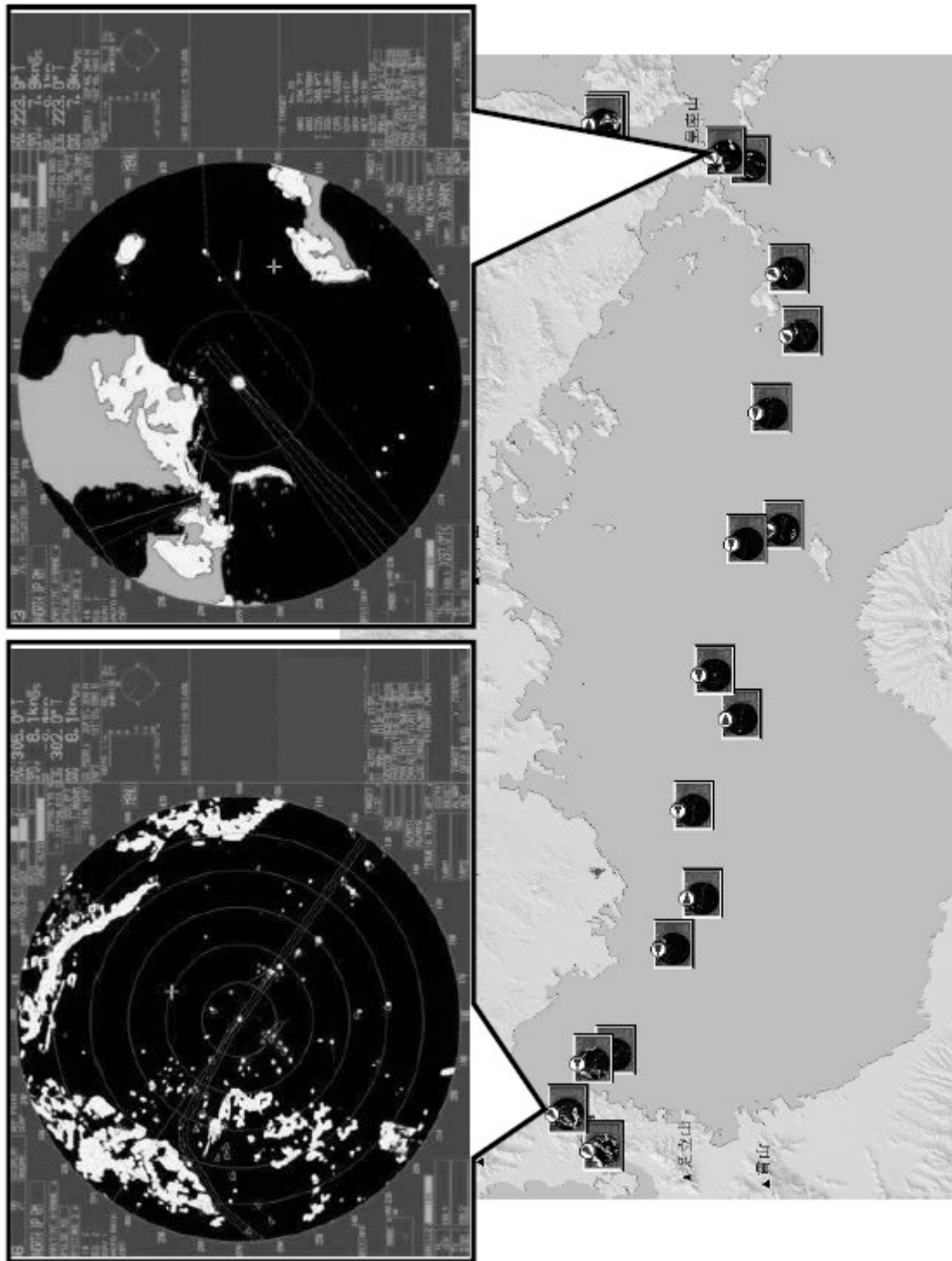


図 4.28 大島丸の周防大島～関門海峡往復時のレーダー画面の表示  
 この地図は国土地理院の数値地図 50 メッシュ（標高）を使用したものである。

## 4.3 結言

本章では、海上の船間の通信に通信料のかからない無線 LAN (Local Area Network) の適用を考え、携帯電話網が通じない海域の航行時やクラウドサーバーがない場合の支援として、1 対 1 のアドホックな船間通信による情報交換の実現性を明らかにするための実海域実験を行った。ここでは、免許不要の 2.4GHz 帯の無線 LAN 機器により、船間通信実験を行い、通信速度 1Mbps 超の実現を目指した。なお、船間の通信である情報交換の対象として、行会い船の状況を中心に実験を行った。行会い船の状況であるため、目標の通信速度を実現するために、無線 LAN のアンテナに指向性アンテナの利用の検討を行った。また、複数種類の指向性アンテナを利用し、それぞれの特性を把握し、最適なアンテナ選択の検討を行った。実際に 2 船を運航した実海域での通信実験を行い、目標とする実効スループット 1Mbps を実現することができた。

#### 第4章の参考文献

- [4.1] 総務省 電波利用ホームページ | 5GHz帯無線アクセスシステム  
<http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/system/trunk/wimax/5ghz/>
- [4.2] Akihiko HORI, Yasuo ARAI, Shigeyuki OKUDA, Effective Onboard Application on UAIS Information, Proceedings of the Asia Navigation Conference (ANC) 2007, pp.185-190, 2007.
- [4.3] iPerf - The TCP, UDP and SCTP network bandwidth measurement tool,  
<https://iperf.fr/>
- [4.4] 三輪進, 電波の基礎と応用, 東京電機大学出版局, 2000.
- [4.5] 電波伝搬特性計算 (自由空間 & 2波モデル) -サーキットデザイン  
<http://www.circuitdesign.jp/jp/technical/TechnicalTool/tTool5.asp>
- [4.6] DAN 杉本, カシミール 3D/風景 CG と地図と GPS のページ  
<http://www.kashmir3d.com/>
- [4.7] 杉本智彦, 山と風景を楽しむ地図ナビゲータ 改訂新版カシミール 3D GPS 応用編, 実業之日本社, 2011.

## 第5章 結論

本研究では、情報通信技術（ICT: Information Communication Technology）を活用し、船舶の安全に資するシステムのプロトタイプを構築し、実海域実験を通して実現性の検討を行った。また、現在の技術や規則を制約条件として、検討を行った。本研究で得られた結果を要約して述べると以下の通りである。

最初に研究対象を明確にするため、海難の現況を確認した。日本近海の海難は、海上保安庁と運輸安全委員会の統計があり、まず海上保安庁の統計に基づき、過去5年間の海難の種別分類を確認した。その結果、海難の種別では、衝突が最多であり、プレジャーボートや小型船の割合が多く、見張り不十分が最大の原因であることを確認した。そして更に、衝突要因の詳細分析を行った。ここでは運輸安全委員会の前身の一つである海難審判庁の裁決録を利用し、①見張り作業を実施していなかった海難パターン、②他船の発見ができなかった海難パターン、③他船の継続監視が実施できなかった海難パターン、④衝突のおそれの判断、避航方法の判断が適切でなかった海難パターン、の4種類に分類したところ、①及び②のパターンが多いことを明らかにした。この結果を踏まえて、衝突の相手船に気づけなかった事故対策として、②他船の発見ができなかった海難パターン、の支援となる船舶の位置情報共有システムのプロトタイプを構築し、各種評価を行った。

船舶の位置情報共有システムとして、船舶自動識別情報（AIS: Automatic Identification System）による船舶の位置情報に加え、AISを搭載していない小型船の位置情報の収集する方法について2種類の方法を検討した。1つは、AISを搭載していないプレジャーボートや漁船のユーザーがスマートフォンを所有と仮定し、スマートフォンに内蔵の全地球測位システム（GPS: Global Positioning System）受信機の位置情報を利用する方法である。もう1つは、多くの船舶が搭載しているレーダーには、捕捉機能を有するものがあるため、レーダーによ

る船舶の捕捉情報（相対情報）を位置情報（緯度，経度）に変換した情報を利用する方法である．なお，2 つのシステムにおいては，クラウドサーバーの活用，データ転送には携帯電話網を利用した．実際に2 つのシステムのプロトタイプを構築し，実海域実験により動作確認を行い，2 つのシステムの比較やシステムを利用する際の留意点，実現性を検討した．特にスマートフォンを利用したシステムでは，スマートフォンによる位置誤差が 15m 程度あり得ること，狭水道の海域の船舶の位置情報を提供する場合は，情報の更新間隔は 5 秒程度が望ましいことを明らかにした．また，実海域実験においては，海上で LTE (Long Term Evolution) 回線が利用できるか実効スループットも計測し，瀬戸内海の実験海域においては，システム運用のための十分な実効スループットがあることを確認した．

上述の船舶の位置情報共有システムは，携帯電話網を利用した．内海や沿岸の一定の海域では通信が可能である．なお，問題点として，携帯電話網の利用には通信費が発生すること，また，クラウドサーバーの活用では，誰がクラウドサーバーを管理するかの問題が発生する．そこで，海上の船間の通信に通信料のかからない無線 LAN (Local Area Network) の適用を考え，クラウドサーバーがない場合の支援として，1 対 1 のアドホックな船間通信による情報交換の実現性を明らかにするための実海域実験を行った．ここでは，免許不要の 2.4GHz 帯の無線 LAN 機器により，船間通信実験を行い，通信速度 1Mbps 超の実現を目指した．なお，船間の通信である情報交換の対象として，行会い船の状況を中心に実験を行った．行会い船の状況であるため，目標の通信速度を実現するために，無線 LAN のアンテナに指向性アンテナの利用の検討を行った．また，複数種類の指向性アンテナを利用し，それぞれの特性を把握し，最適なアンテナ選択の検討を行った．実際に 2 船を運航した実海域での通信実験を行い，目標とする実効スループット 1Mbps を実現することができた．

上述の結果をまとめることにより，海上無線通信を活用した船舶の位置情報

共有の技術的な実現性を明らかにした。

ただし、技術的な可能性は示したものの、実際にユーザーにサービスを提供し、利用してもらい、広く普及させる必要がある。また、技術革新によるハードウェアの押しつけではなく、ユーザー側の意識、ユーザーニーズを把握するとともに、使い勝手の問題等についても検討する必要がある。

本研究では、海上での通信速度の指標を現在の技術も勘案して、1Mbps を基準として、システムを構築し、実際に通信速度を計測し確認もした。1Mbps の場合、テキストデータに加えて、画像の転送による船舶への情報提供、支援ができることを明らかにした。次のステップとしては、動画による情報提供、支援が考えられる。動画を送信するためには、1080p (1,920×1,080 の映像) の場合は、10Mbps 以上が必要となる[5.1]。本研究で計測した海域では、LTE 通信で 60Mbps 以上を記録した機種もあり、海上の船舶への動画配信サービスも 2020 年には、技術的には実現可能になると考えるため、動画配信による支援策の検討が急務である。

一方で、2020 年までに陸上側が目指している 5G 通信の通信速度は、10Gbps である[1.3]。個人の希望的観測であるが、海上でも通信は 2030 年には 100Mbps に達すると考える。今後は、将来の通信速度を予測した上で、新たなサービス創出が重要であり、引き続き研究を進める。



## 第 5 章の参考文献

[5.1] アップロードする動画の推奨エンコード設定 - YouTube ヘルプ

<https://support.google.com/youtube/answer/1722171?hl=ja>

## 謝辞

本研究をまとめるにあたり，終始懇切丁寧にご指導していただきました東京海洋大学庄司るり教授に感謝の意を表します。

また，適宜ご助言をしていただきました東京海洋大学稲石正明教授，南清和教授，田丸人意准教授をはじめとし，諸先生方に感謝の意を表します。

運輸省船舶技術研究所に入所以来，研究の進め方について，ご指導いただいた海上・港湾・技術研究所福戸淳司博士をはじめとし，一緒に研究，実験を行った先輩方，後輩に感謝の意を表します。

本研究で実施した全ての実海域実験において，大島商船高等専門学校練習船大島丸本木久也一等航海士には，多大なご協力を頂きました。感謝の意を表します。

更に，本研究の一部は，海上技術安全研究所の運営費交付金をはじめとして，JSPS 科研費 JP22560801，JP26289342，及び，日本船舶技術研究協会プロジェクトとして日本財団の助成事業として実施したものであり，感謝の意を表します。

最後に終始支えてくれた家族に感謝致します。