

海上で扱う情報とその利用法に関する調査

福戸 淳司*, 有村信夫*, 沼野正義*,
伊藤博子*, 岡崎忠胤*

Report on navigational information at sea and its use.

by

JUNJI FUKUTO, NOBUO ARIMURA, MASAYOSHI NUMANO,
HIROKO ITOH, TADATUGI OKAZAKI

Abstract

To introduce information technology to bridge watch tasks to enhance navigation safety, we investigated marine disasters and the information at sea. From the statistics of marine disasters, we found that collision and grounding accidents account for 44 per cent of all marine disasters and these accidents were caused mainly by human errors. The needs for automatic information acquisition system, practical collision and grounding alarm system, track control system and good human machine interface were highlighted to avoid collision and grounding.

A navigation support systems need a lot of digital information such as information of ships, environment information, sea traffic control information, etc. Nowadays most of information can be acquired automatically except other ship information. But an AIS (Automatic Identification System) appeared and it provides precise information of other ships automatically. Therefore, we evaluated the characteristics of AIS by field test to compare with ARPA. From the results, we found the possibility to improve the performance of the collision and grounding avoidance system by using the accurate and effective AIS information.

*システム技術部

原稿受付 平成14年 月 日
審査済 平成14年 月 日

目次

1 緒言	2
2 海難事故の発生状況と予防対策	2
2.1 衝突事故の発生状況	3
2.2 乗り揚げ事故の発生状況	4
2.3 衝突・乗り揚げ事故の予防対策	5
2.3.1 衝突・乗り揚げ事故の発生原因	5
2.3.2 衝突・乗り揚げ事故の予防対策	5
3 船舶運航情報の調査	5
3.1 運航時に利用する情報	6
3.1.1 運航管理情報	6
3.1.2 海域情報	6
3.1.3 自然環境情報	6
3.1.4 船舶情報	7
3.2 他船情報の実態	7
3.2.1 ARPA 情報	9
3.2.2 AIS 情報	11
4 まとめ	14

1 緒言

海上交通では、航行船舶の輻輳化、高速化及び大型化と、運航要員の少人数化が進んでいるため、航行の安全確保と海上輸送効率の向上が重要な課題になっている。

一方、陸上交通では、大量の情報を高速で伝送する IT (Information Technology: 情報処理技術) を導入して、物流の高速化及び効率化、グローバル化に対応している。また、自動車交通では、ITS (Intelligent Transport System: 高度道路交通システム) を活用した ASV (先進安全自動車: Advanced Safety Vehicle)、AHS (Automated Highway System: 自動運転道路システム) 等の技術開発を行い、交通の効率化を推進している。[1]

海上交通の安全確保と海上輸送効率の向上に係わる課題を解決するには、船舶運航に AIS (Automatic Identification System: 船舶自動識別装置) [2] 等新しい IT 技術を導入し、海の ITS 化による航行支援情報の高度化を図る必要がある。

本調査では、海上交通の安全確保を目的として、AIS を利用した「衝突・座礁回避システムの研究」

の開発目標を検討するため、まず海難事故の発生状況を分析して、衝突・座礁事故の予防対策について検討した。次に、操船作業の自動化の観点から船舶運航で扱う情報を洗い出し、その利用動向と自動化の可能性について調査した。さらに、衝突回避支援システムを開発する上で重要な他船情報の収集自動化の鍵となる ARPA (Automatic RADAR Plotting Aids: 衝突予防援助装置) と AIS について実海域実験を実施して、AIS の有効性を検証した。

2 海難事故の発生状況と予防対策

海難事故実態の分析に使用したデータは、海難審判の現況 (平成 12 年度版) [3]、狭水道における海難の実態 (海難審判庁) [4] から引用した。

海難事故発生件数の平成 7 年度から平成 11 年度における推移は、海難審判の現況 (平成 12 年度版) を基に、図-1 に示した。

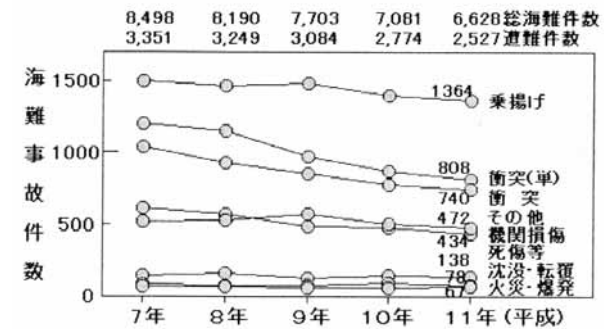


図-1: 海難事故の種類別発生件数

平成 11 年度の海難事故の発生件数 (6,628 件) は、平成 7 年度 (8,498 件) に対して 22% 減少して、年平均では 5.5% 減少する傾向が認められる。

全海難事故に占める船舶の操船に係わる乗揚げ事故 (1,364 件: 20.6%)、衝突事故 (単) (808 件: 12.2%)、衝突事故 (740 件: 11.2%) は 44% あって、高い比率で発生している。

このため、船舶の交通に係わる海難事故を予防するためには、乗揚げ事故、衝突事故 (単)、衝突事故等に対する航行支援対策が特に重要である。

以下、衝突事故、乗揚げ事故の発生状況を示した。

2.1 衝突事故の発生状況

ここでは、衝突事故時の発生状況を把握するために、衝突事故船の大きさ分布や当直者数、事故発生時間等について検討した。

(1) 事故発生原因と避航措置

海難審判の現況（平成12年度版）によると、衝突海難の原因（原因数：911件）は「見張り不十分」：47.4%、「航法不順守」：19.5%、「信号不履行」：11.0%等の操船判断に係わるヒューマンエラーが77.9%ある。

見張り不十分と判定された被衝突事故船による相手船の認識状況は、次の通りである。

- ・衝突直前まで相手船を認識していない船：68.9%。
- ・相手船を視認していて、衝突判断の動静監視が不十分であった船：31%。

相手船を視認していて事故に至った理由を、次に示した。

- ・安全に航過できると思った船：10.8%
- ・相手船が避けると思った船：4.8%
- ・相手船の動向を憶断した船：3.7%
- ・相手船の状態を誤認した船：2.7%
- ・魚群探査に気を取られた船：2.3%
- ・接近まで余裕があったと思った船：2%
- ・避航措置を取ったので大丈夫と思った船：2%

さらに、狭水道における海難の実態（平成12年度版）[4]を用いて、衝突事故船の船種別、避航措置状況を図-2に示した。図-2からは、避航措置を取らないで衝突した船（データ数：288件）が、旅客船（15件）・貨物船（145件）・油送船（17件）では約30%、漁船（66件）、レジャー船（27件）等では約80%～100%と多いことが分かった。すなわち、衝突事故船の多くは、衝突直前まで相手船を視認していないか、衝突危険判断の動静監視を行っていない。

したがって、航行の安全を確保するためには、操船者に、危険な船舶の接近に関する警報情報を確実に伝達することが重要である。

(2) 船種別分布

衝突事故船の船種別分布（データ数：292件）を図-3に示した。

衝突事故の件数が高い船種は、貨物船（147隻：50.5%）、漁船（68隻：23.3%）、レジャー船（27隻：9.3%）である。

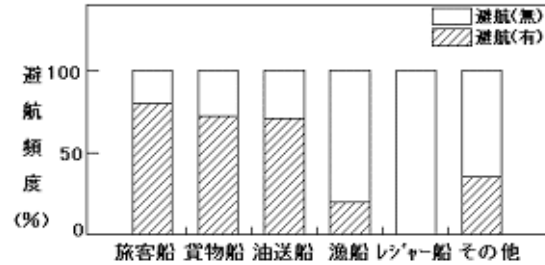


図- 2: 衝突事故発生時の避航措置状況

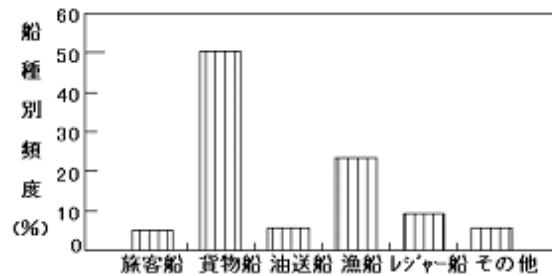


図- 3: 衝突事故船の船種別分布

(3) 船の大きさ分布

衝突事故船の大きさ分布（データ数：483隻）を、縦軸に事故船の頻度、横軸に船のトン数、鎖線では船のトン数分布の累積頻度をとって、図-4に示した。

衝突事故船の75.5%は500トン未満の小型船で占めていることが分かった。衝突事故要因としては、次の理由が考えられる。

- ・操船支援機器の装備が不十分である。
- ・船橋当直者が少人数であるために、運航業務が多忙で、見張りが十分にできていない。

このため、貨物船、漁船、レジャー船等の衝突事故予防対策としては、他船の接近警報を、操船者に確実に伝達する安価な装置の開発が挙げられる。

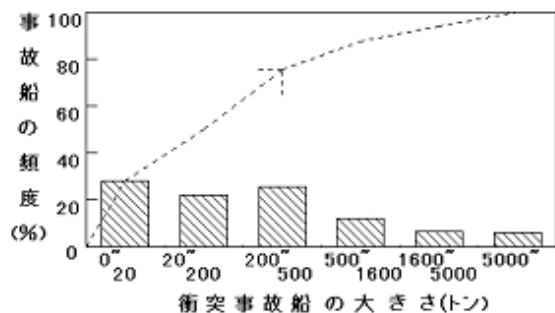


図- 4: 衝突事故船の大きさ分布

(4) 事故発生時の船橋当直者分布

衝突事故発生時の船橋当直者数の分布（データ数：466 件）を図-5 に示した。

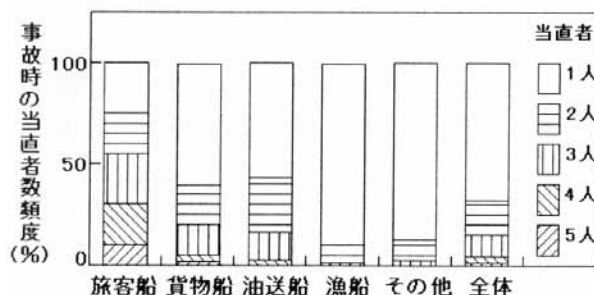


図- 5: 衝突事故発生時の船橋当直者数

図-5 中の衝突事故の 68% は船橋当直者が 1 名の時に発生している。1 名当直の船は 2 名以上の当直船より事故が多く発生しており、適切な対策を講じる必要がある。

衝突事故を防止する安全対策としては、余裕を持って見張りができる環境を整備する事と、見落とし等のヒューマンエラーに対応した情報支援が有効である。このためには、特に 1 名当直の場合、当直者の操船作業を支援するために、操船作業の一部を支援システムによって分担して、接近船舶に関する情報支援を進める事が有用と思われる。

(5) 自動操舵装置の使用状況

一般に輻輳海域では自動操舵装置は使われないと言われているが、衝突事故船（471 隻）の自動操舵装置の装備率は 72 %（339 隻）で、自動操舵装置の

使用中の事故発生率は 28 %（98/339 隻）である。また、貨物船の場合は、94 %（239/253 隻）が装備していて、装備船の使用中の事故発生率は 30 % である。

衝突事故と自動操舵装置の関係は一概には言えないが、後で述べる乗揚げ事故の場合、居眠り事故発生時の自動操舵装置の使用率が高くなっている。したがって、自動操舵装置を使用中の居眠りによる衝突事故を防止する安全対策も検討する必要がある。

(6) 事故の発生時刻

衝突事故の発生時刻分布（データ数：337 件）を図-6 に示した。

夜間（20時から早朝8時）における衝突事故の発生件数（211 件）は、昼間（朝8時から19時）（126 件）より多く、全体の約 62.4 % 発生している。

夜間に事故が多発する原因としては、次のことが考えられる。

- ・深夜から早朝の時間帯には、疲労又は眠気によって判断力が低下する。
- ・夜間は視認を中心とする船影と航行状況の把握が困難である。

したがって、夜間の事故予防対策としては、日中に行われる荷役等の作業負担の軽減、接近船警報の確実な伝達、見張り時における暗視装置の利用等が重要である。

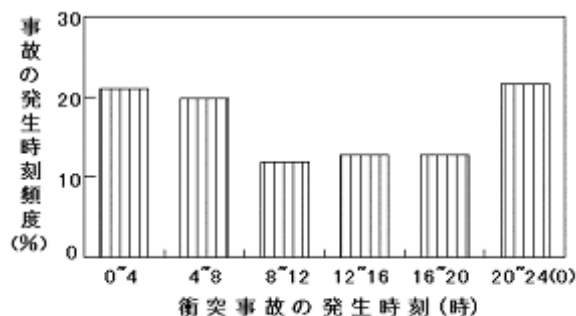


図- 6: 衝突事故の発生時刻分布

2.2 乗り揚げ事故の発生状況

海難審判の現況（平成 12 年度版）によると乗り揚げ事故（データ数：167 件）の原因は、「居眠り」（46 件：27.5 %）、「船位不確認」（36 件：21.6 %）、「水路調査不十分」（19 件：11.4 %）、「指揮監督不適

切」(16件:9.6%)、「針路の選定・保持不良」(19件:11.4%)である。

(1) 船種分布

狭水道における海難の実態調査(平成12年度版)のデータによると、乗り揚げ事故(データ数:139件)は、貨物船(91件:65.5%)、油送船(18件:12.9%)、また、衝突事故(単)(データ数:26件)は貨物船(13件:50%)、油送船(2件:7.7%)で、貨物船が突出している。(図-7)

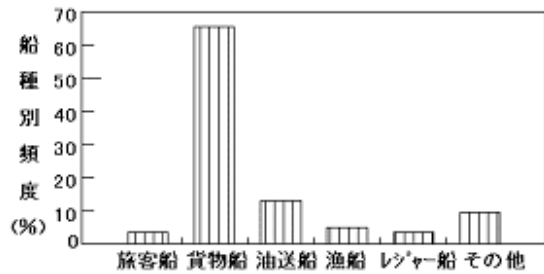


図- 7: 乗り揚げ船の船種別分布

(2) 居眠り事故の発生時刻

乗り揚げ事故の発生時刻分布(データ数:47件)は、0～2時:15.5%、2～4時:15.5%、4～6時:13.3%、6～20時:22.4%、20～22時:13.3%、22～24時:20%で、深夜から早朝に掛けての時間帯に多発している。

また、乗り揚げ事故船の78%は自動操舵装置を装備している船で、海難事故発生時に自動操舵装置を使用していたのは50%となっている。さらに、居眠り事故船の97%が自動操舵装置を装備していて、自動操舵装置を使用中の「居眠り」は約87%と高い発生比率を示している。

自動操舵装置を使用時に居眠りが多い理由としては、自動操舵装置に頼って、安心してしまい居眠りが発生しているものと考えられる。

2.3 衝突・乗り揚げ事故の予防対策

2.3.1 衝突・乗り揚げ事故の発生原因

衝突・乗り揚げ事故の発生原因は、次の事項に集約できる。

- ・ 衝突事故発生時の操船判断のヒューマンエラー

は、77.9%ある。

- ・ 居眠り事故は、自動操舵装置を使用時に多く発生している。
- ・ 衝突及び乗り揚げ事故の原因は、接近船もしくは陸岸や浅瀬等の初認の遅れと他船動向の判断錯誤に起因する。
- ・ 衝突・乗り揚げ事故は、500トン以下の貨物船や漁船、レジャー船等で多く発生している。
- ・ 船橋当直者が少ない深夜から早朝の時間帯に多く発生する傾向がある。

2.3.2 衝突・乗り揚げ事故の予防対策

航行安全対策上重要な支援技術は、次の事項に集約できる。

(1) 衝突予防援助技術の向上

- ・ 自船の近傍を航行する船舶を自動的に捕捉追尾して、船橋当直者に他船情報を負担なく的確に伝達する支援技術。
- ・ 当直者に陸岸・浅瀬等の存在と危険性を的確に伝達する支援技術。
- ・ 危険回避判断の支援技術。
- ・ 判断の遅れが生じた時に必要最小限の安全を確保するため、自動的に危険回避する支援技術。
- ・ 当直者が見張りに専念できるよう、操船作業の一部を分担し、見張り作業以外の運航業務に通信業務等の作業を自動化する支援技術。
- ・ 支援機器と負担なくやり取りできるヒューマン・マシンインターフェース。
- ・ 夜間における見張り作業の負担を低減するための暗視装置による見張り支援技術。

(2) 座礁予防支援技術の向上

- ・ 自船の近傍の電子海図情報や水深情報を当直者に確実に負担なく伝達する支援技術。
- ・ 居眠り防止対策に係わる支援技術。
- ・ 自動航路保持支援技術。
- ・ 支援機器と負担なくやり取りできるヒューマン・マシンインターフェース。

3 船舶運航情報の調査

船舶の安全かつ効率的な運航を実現するためには、運航業務で利用する情報の全容と航行支援に係わる

情報を把握して、操船支援システムの高度化を図る必要がある。

ここでは、運航時に利用する情報について調査を行った。

3.1 運航時に利用する情報

通常の船舶運航では、図-8で示すように、船舶情報や運航管理情報、海上交通管制情報、及び、自然環境情報を取り扱っている。

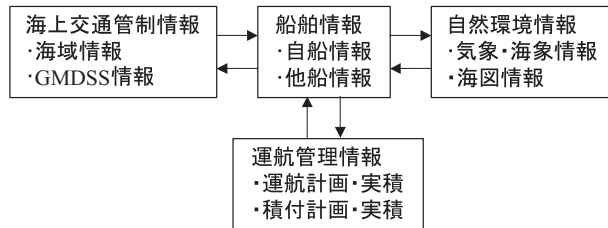


図- 8: 海上交通に関わる運航情報

3.1.1 運航管理情報

運航計画や積付計画等の運航管理情報は、従来、文書のやり取り、電話、ファックス等で交換されていた。

今日では図-9で示すように、衛星通信を利用した直接通信やインターネットの利用技術の実現により、運航情報のオンライン化が進み運航状態のモニタリング [5] や効率的な配船を可能とするシステムの実用化が検討されている。

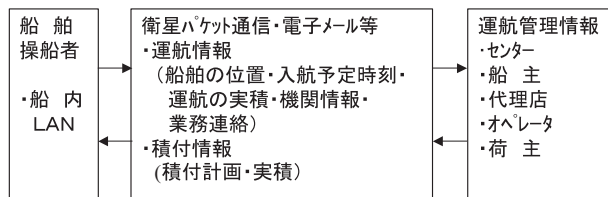


図- 9: 運航管理情報

3.1.2 海域情報

現在、海域情報としては、海上交通センターからの情報 [6] と GMDSS(Global Maritime Distress and

Safety System) 情報 [7] が挙げられる。

(1) 海上交通センター情報

海上交通センターでは、放送、VHF 無線、電話等を利用して、表-1 のような情報サービスを行っている。現在、これらの操作は当直航海士が担当しているが、少人数化した船橋では当直者の作業負担が大きいと、こうした情報の電子化を進め、海上交通センターとの間で自動的に交信を行い、操船者の情報処理負担を軽減する必要がある。

(2) GMDSS 情報

GMDSS は、大きく分けて遭難救助用システムと海上安全情報システムで構成されていて、主に操船判断では後者の情報が利用されている。この海上安全情報としては、航行警報、海上気象情報などがあり、ナブテックス放送又はインマルサットを通じて各種情報を得ることができる。こうした情報は専用の受信機によりプリントアウトされて、当直者がそれを読んで利用している。また、現在ナブテックス情報を電子情報として受け取り、内容を解析して操船支援情報として利用するための検討も進められている。

3.1.3 自然環境情報

自然環境情報には、気象・海象情報と、地形や潮流の情報を提供する海図情報がある。

(1) 気象・海象情報

気象・海象情報 [8] の取得は、従来、出航前の長期予報の取得やナブテックス放送、または、ラジオ放送から人間が直接得ていたが、近年、船舶電話や衛星通信の普及に伴い、現状から数日後分の詳細予報を FAX 及び電子化されたデータとして民間の気象予報サービス会社から、直接得られるようになった。こうしたデータは、船上で利用されるのみならず、運航会社等の陸上支援施設で解析処理されて送られるシステムの構築も進められており、こうした情報の収集と解析の自動化が進んでいる。

(2) 海図情報

海図情報は、海上保安庁指導の基に整備されて、紙の海図として広く利用されている。航海中はこうした紙海図に船位をプロットして航海状況や座礁の危険判断を行っている。また、最近では海図情報の

表- 1: 海上交通センター情報

情報項目	内容
定時放送	海難状況、航路航行制限状況、巨大船の航路入航予定、管制信号 通航船舶現況、漁船群の操業状況
臨時放送	海難発生状況、航路航行制限状況
情報信号	電光板表示信号
個別情報（船舶からの問合せ）	船位、他船動静、漁船群の操業状況、気象・海象、管制信号
特別情報（船舶呼び出し提供）	衝突・危険の注意喚起、航法是正のための注意喚起、 危険海域への侵入・接近の注意喚起
航路情報	他船動静、漁船群の操業状況、気象・海象、工事作業等管制信号
航路管制 （航路通報事項）	船舶名称、総トン数、船長、仕向港及びバース名、航路入航時間 対象船：巨大船：全長 200m 以上、1 万トン以上の船舶、3 千総トン以上の船舶
航路帯標識情報	航路帯標識灯火、電波灯台等のビーコン波位置情報

電子化が進み、電子海図として整備されており、衛星航法装置 (GPS) の情報を基に船位を決定し、その情報をグラフィカルに表示する電子海図表示システム (ECDIS) が普及しつつある。

3.1.4 船舶情報

船舶情報の検討は、自船情報と他船情報について行った。

（１） 自船情報

自船の状態量情報項目と代表的な航海機器及び情報表示内容を表-2 に示した。なお、GPS の誤差は DGPS の値である。

自船の速力や針路等の状態量は、従来それぞれの情報項目に対応した航海機器を用いて測定して表示されている。これらの値は、操船者が必要とした時、数値データとして常時得ることができる。

従来、船舶間の相対距離、船舶の位置、速度等の情報には、次のような精度上の問題があった。

- ・ レーダで得られる捕捉物標までの相対距離の分解能は、レーダパルス幅に依存して、約 30～150m の距離誤差がある。
- ・ 船舶の位置測定で用いられるロランの精度は、再現誤差が大きい。
- ・ ログで得られる速度は、対水速度である。

しかし、近年、DGPS(Differential Global Positioning System) の基準局網が整備された他、GPS の

SA(Selective Availability) が解除されたため、DGPS の測位精度が向上して、船位と対地速力の情報精度が向上した。

（２） 他船情報

他船情報は、衝突危険船の検出と避航操船判断を行う上で重要性が高い。また、航行の安全性確保の観点からは他船の位置・針路・速力といった状態量を精度良く観測することが重要である。

しかし、従来、他船の情報は目視と RADAR / ARPA で収集してきたが、他船動向情報の追従特性と他船情報の精度が低く、システムに取り込み難いという 2 つの問題があった。

2002 年 7 月からは、AIS（船舶自動式別装置）が段階的に導入されようとしている。RADAR / ARPA や AIS は、今後予想される操船支援システムの他船に関する情報源として、併用することになる。

3.2 他船情報の実態

他船情報の情報源である RADAR / ARPA や AIS は、今後予想される操船支援システムの重要な位置を占めるため、それぞれの特徴を把握して使用する必要がある。そこで、実海域実験結果により検証を行った。

表- 2: 自船情報

種類	収集表示機器	収集方法	表示方法	備考
船位	GPS 等衛星航法装置	自動	簡易地図表示 数値情報	緯度経度の数値出力 誤差：約 3m(DGPS)
	ロラン等電波航法装置	自動	簡易地図表示、数値情報	再現誤差：約 100m (ロラン C の場合)
針路	コンパス	自動	羅針盤	針路数値出力
移動方向	GPS 等衛星航法装置	自動	簡易ベクトル表示、数値情報	移動方向数値出力
速力	船速計	自動	船速計、数値情報	対水速度数値出力
	GPS 等衛星航法装置	自動	数値情報	対地速度数値出力
舵角	舵角表示器	自動	舵角表示器	舵角数値出力
推力関係指示値	プロペラ回転数及び ピッチ角表示器	自動	プロペラ回転数及び ピッチ角表示器	プロペラ回転数及び ピッチ角数値出力
回頭速度	コンパス	自動	数値	

表- 3: 他船情報

種類	収集表示機器	収集方法	表示方法	備考
船位	RADAR/ARPA	自動 手動（対象船の捕捉）	簡易地図表示 数値情報	数値情報については、 捕捉追尾された船のみ
	AIS	自動	簡易地図表示 数値情報	緯度経度の数値出力 (AIS 装備船のみ)
針路	AIS	自動	簡易地図表示 数値情報	針路の数値出力 (AIS 装備船のみ)
移動方向	RADAR/ARPA	画像より推定又は、 手動（対象船の捕捉）	数値情報 ベクトル表示	数値情報については、 捕捉された船のみ
	AIS	自動	数値情報 ベクトル表示	移動方向の数値出力 (AIS 装備船のみ)
速力	RADAR/ARPA	画像より推定又は、 手動（対象船の捕捉）	数値情報 ベクトル表示	速力については、 捕捉追尾船のみ
	AIS	自動	数値情報 ベクトル表示	対地速力の数値出力 (AIS 装備船のみ)
回頭角速度	RADAR/ARPA	ベクトルの動き により推定		
	AIS	自動	数値情報 シンボル表示	回頭速度の数値出力 (AIS 装備船のみ)

3.2.1 ARPA 情報

ARPA (Automatic Radar Plotting Aids: 衝突予防援助装置) は、航行船舶の安全を確保するために重要な他船情報を提供する支援システムである。しかし、ARPA で得られる他船情報の捕捉追尾性能と他船運動に対する追従特性が悪いため、輻輳海域においては捕捉追尾時に乗り移り現象や追従誤差が発生するので、ARPA が有効に活用されていない問題がある。

ここでは、実態調査の ARPA データを用いて ARPA 情報の問題点を調べた。

(1) RADAR / ARPA の性能特性 [9]

方位誤差は、レーダアンテナの長さ: D (m)、波長: λ (m) とすると、ビーム幅: ϕ (deg) は、 $\phi = 70 \lambda / D$ であり、一般的な船舶レーダの場合、 $1 \sim 2$ 度である。距離誤差は、船舶レーダの送信パルス幅が $0.2 \sim 1 \mu \text{ sec}$ であるので、 $30 \text{ m} \sim 150 \text{ m}$ となる。

(2) ARPA データの実海域調査

ARPA データの捕捉追尾時の過渡特性と、乗り移り現象の解析では、銀河丸 (航海訓練所・練習船) に搭載している ARPA で収集した実船調査データ [10][11] を使用して、検討した。

(3) ARPA データの捕捉追尾時の追従特性

ARPA で捕捉追尾した目標の相対航跡と ARPA 出力データの時刻歴を図-10 に示した。図-10 は上から順に、他船の方位、相対距離、速度、針路、最接近距離 (CPA)、最接近時間 (TCPA) を示している。

相手船の相対距離と方位の変動誤差は小さいが、捕捉追尾後の速力、針路、CPA の変動誤差は大きいことが分かった。

さらに、自船と他船が直針して航行していた時の捕捉追尾後の ARPA データ (速力、針路、CPA、TCPA) の追従特性を図-11 に示した。図-11 からは、次のことが分かった。

- ARPA のベクトルは、捕捉追尾後約 30 秒してから表示されるが、捕捉追尾初期には誤差が大きく、安定な表示値に落ち着くまでには約 1 から 3 分間の経過時間が必要である。
- 捕捉追尾が安定した状態においても、自船や相手船が変針及び変速した場合には他船情報が不安定になって、安定した情報が得られるまでには分単位の追従時間が必要である。

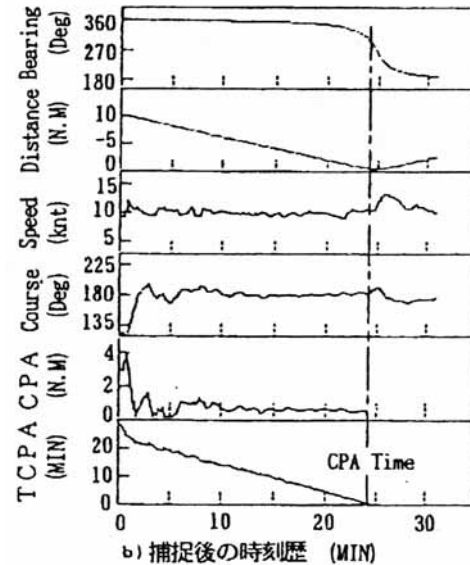


図- 10: ARPA データの時刻歴

- 他船運動に対する追従誤差は、自船や他船の変針及び変速動作時に大きくなるので、避航操船判断時に精度の高い情報が得られない問題がある。

したがって、操船支援システムの高度化を図るためには、ARPA の捕捉追尾時の追従性能を改善して、相手船の状態量を正確にリアルタイムで入手することが重要である。

(4) 捕捉追尾船の乗り移り現象

ARPA 上の他船の捕捉追尾目標がレーダ電波の海面反射点に乗り移って、自船の周りを回った時の相対航跡図と、ARPA データ (相対方位、距離、速度、針路、自船の針路) の時刻歴を図-12 に例示した。図-12 の場合、自船は直進していたが、ARPA 画面上では他船 (A 点) が途中 (相対方位: 約 330 度) で海面反射波に乗り移った後に、海面反射を物

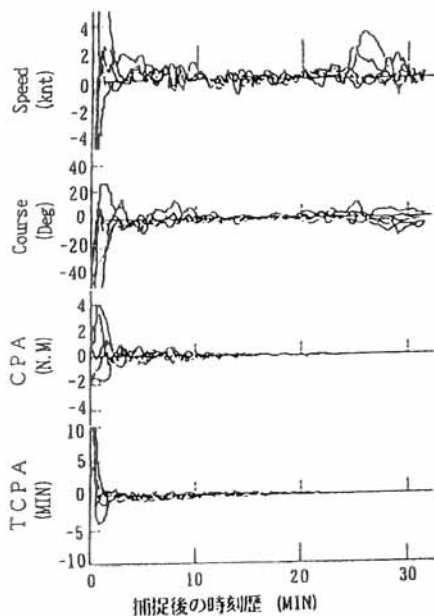


図- 11: 捕捉追尾時の過渡特性

標と誤って捕捉追尾して、捕捉追尾地点が自船の周りを回って、B 点で捕捉追尾が中断している。

図-12 では、自船の近傍を航行する時に、海面反射波を船舶目標と間違えて捕捉追尾する現象が発生している。すなわち、実際に航行している他船目標に対する捕捉追尾を途中で中断して、海面反射波を他船と間違えて捕捉追尾しているために、警報が発生して、操船者を困惑させる事態が発生していた。

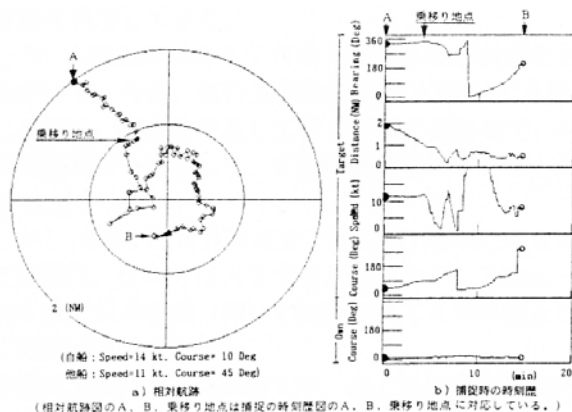


図- 12: 捕捉追尾時の乗り移り現象

次に、捕捉追尾船の乗り移り現象の発生距離分布

を図-13 に示した。図-13 は、横軸に乗り移り現象発生時の相対距離、縦軸に乗り移り船隻数を示している。また、累積頻度分布（実線）は相対距離の近地点を 100 として正規化している。

本調査の捕捉追尾船の乗り移り現象は、自船から 2nm 以内の距離で発生する傾向がある。また、海象状態にも左右されるが、相対距離が約 1.3nm より近傍で増加して、0.8nm 以内ではさらに高い頻度で発生していることが分かった。

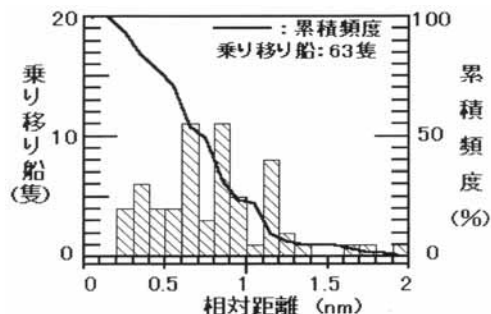


図- 13: 乗り移り現象の発生距離分布

(5) ARPA 情報の問題点

ARPA の他船情報は、自船及び他船の相対位置情報 (一次情報) を ARPA 内部で処理して、相対位置、針路、速力、TCPA (最接近までの時間)、DCPA (最接近点での船間距離) といった 2 次情報に加工して用いられているが、航行支援の必要性が高い狭水道や幅狭海域において、次の原因で有効に活用されていない問題がある。

- ARPA の速度や針路情報は、レーダでセンシングした他船目標を捕捉追尾して、過去数分間の平均移動量から外挿して求めているために、情報の時間遅れと、捕捉追尾初期と変針変速時に誤差が大きくなる。
- 捕捉追尾時の乗り移り現象の発生頻度は、自船の近傍海域を航行する船舶や変針動作時に高くなる。
- ARPA の自動捕捉追尾機能は、あらかじめ設定した捕捉領域を航行する船舶を最大 40 隻まで処理する能力がある。しかし、幅狭海域では、最大捕捉隻数を越えてしまうために、通常の航海では、目標船舶の捕捉追尾・解除・ロスト船への対応等の煩雑な作業を手動操作で行っている。

3.2.2 AIS 情報

AIS（船舶自動識別装置）は、表-4 に示すような識別符号（船名）、位置、針路及び船速などの現況を自動的に VHF で送受信する。また、この他に、通信文等の情報もリアルタイムで自動的に周りの船舶と交信できる。

このため、AIS を用いた船舶間の情報交換は衝突回避に役立つと考えられる。さらに、VTS（Vessel Traffic Service：船舶通行業務）においては、危険回避などの航行支援情報を正確に提供できるものとして期待されている。

AIS 本体は、TDMA（Time Division Multiple Access：時分割多元接続方式）送受信機で構成されていて、毎分約 2000 隻強の報告を処理する能力がある。また、SOLAS 条約では国際航路に従事する 300 トン以上の船及び国内においては 500 トン以上の船に搭載が義務付けられている。

AIS の情報更新間隔は、表-5 に示している様に、航行状態によって変化するので、針路変更時にも正確な情報を取得することができる。

すなわち、AIS の他船情報は、精度の高い電子情報として、操船支援システムに自動的に入力できるので、現在、開発が進められている衝突回避支援システムには必要不可欠である。

（1）AIS 情報の実海域調査 [12]

従来、操船支援装置では、他船情報の収集に RADAR / ARPA を利用してきたが、今後、操船支援装置では ARPA と AIS を併用しながら、AIS の利用を広めていく必要があり、それぞれの情報特性を把握して、利用することが重要である。

2001 年 6 月時点までは IMO 基準に完全に適合した AIS は、日本では入手できなかったが、スウェーデン SAAB 社と日本無線（株）で開発されて入手可能となったので AIS の実海域実験を行った。

実海域実験は、東京商船大学、海上技術安全研究所及び日本無線（株）が共同で、この 2 社の AIS を用いて、計 3 局の実験局（東京商船大学内に陸上局として 1 局、船舶局として東京商船大学の練習船「汐路丸」及び「おおたか」にそれぞれ 1 局）を開設し、AIS の基本機能確認のため実施した。

本報告では、AIS の他船情報の追従特性と情報精度について報告する。

他船の動作状態に対する情報の追従特性の比較実験は、「汐路丸」の RADAR / ARPA と AIS を使用

して、AIS を搭載する「おおたか」を捕捉追尾して実施した。

（2）他船の位置情報特性

AIS で得られた相手船の位置情報に対する ARPA から得られた位置情報の差を図-14 に示した。ARPA の位置情報の最大誤差は、約 140m であることが分かった。

次に、自船の位置を原点として他船の航跡図を図-15 に示した。

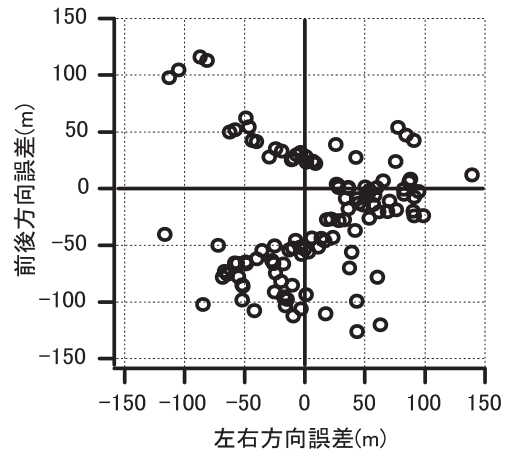


図- 14: 他船の位置情報特性

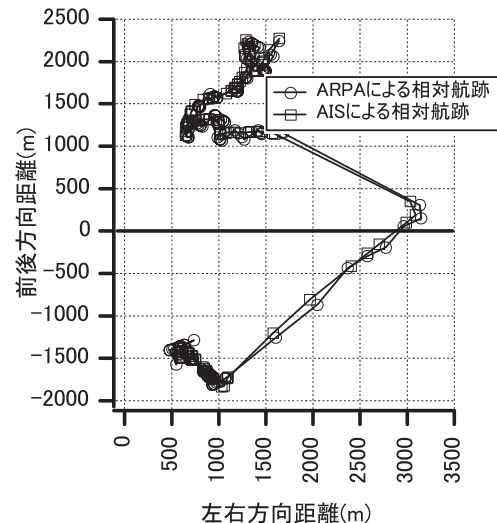


図- 15: 他船の相対航跡

ARPA と AIS の位置情報は一致しているが、ARPA データの他船位置情報の表示値が階段状になっている。この理由としては、ARPA では通常、物標映像の平均位置を求めて他船の位置情報を低い桁まで算

表- 4: AIS で交信する他船情報

情報項目	情報種類	内 容
静的情報	コールサイン	VHF 通信コールサイン 6bit ASCII 6 文字
	船舶識別番号	MMIS（海上移動業務識別）番号、IMO 番号
	船名	英文 6bit ASCII 20 文字
	船長	船舶長
	船種、積載物	所定コードにより指定
	GPS アンテナ位置	船首、船尾、右舷及び左舷からの距離
動的情報	航行状態	投錨、航行中、制限運航状態等
	船舶位置	緯度・経度
	対地速度	ノット
	対地針路	度
	船首方位	度
	位置精度	誤差 10m 以上/以下
	回頭角速度	度/分
航海関係情報	喫水	m
	貨物種類	
	目的港と到着予定時刻	6bit ASCII 20 文字
	航海計画（通過地点）	英文 6bit ASCII 150 文字
安全関係通信文		英文 6bit ASCII 150 文字

表- 5: AIS 情報交信間隔

情報種類	船の状態	更新間隔
静的情報		6 分または要請の都度
動的情報	停泊もしくは錨泊中で、3 ノット以上で動かない。	3 分
	停泊もしくは錨泊中で、3 ノット以上で動く。	10 秒
	0 から 14 ノットまでで航行する船舶。	10 秒
	0 から 14 ノットまでで航行する変針中の船舶。	3・1/3 秒
	14 から 23 ノットまでで航行する船舶。	6 秒
	14 から 23 ノットまでで航行する変針中の船舶。	2 秒
	23 ノット以上で航行する船舶。	2 秒
航海関係情報		6 分または要請の都度

出しているが、実験時の ARPA 位置情報の分解能は 0.1nm (約 185 m) としたためである。

(3) 他船の捕捉追尾特性

ARPA 情報と AIS 情報の捕捉追尾時の相対航跡図を図-16 に示した。図-16 は、「汐路丸」から左舷 0.2nm 離れた所を、「おおたか」に、追い越してもらった時の相対航跡図である。

ARPA では相手船が自船の近傍に接近し、自船前方約 100m の位置でロスト (捕捉追尾中断) して捕捉追尾が途切れた。次に、再度捕捉する事により自船より約 250m の位置で追尾が回復したが、AIS ではその間も常に正しい情報を受信することができ、AIS では捕捉情報が中断してしまうことが無いことを確認した。

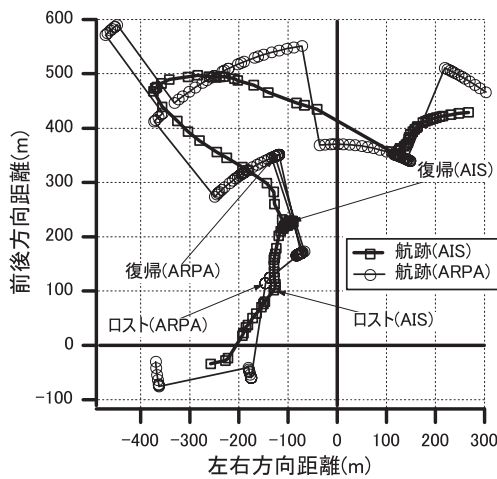


図- 16: 他船の捕捉追尾特性

(4) 他船の速度情報追従特性

「おおたか」が針路をほぼ一定に保って、変速した場合の AIS と ARPA 上の他船「おおたか」の情報の追従特性の比較実験例を図-17 に示した。図-17 の a) 図は船速の時系列、b) 図は方位の時系列である。なお、図-17 の○印が ARPA からの信号、□印が「汐路丸」で受信した AIS 情報、△印が陸上局で受信した AIS 情報を示している。また、図-17 の a) 図の ARPA 情報は対水速度、AIS 情報は対地速度をプロットしている。さらに、b) 図では、ARPA 及び AIS から得られた針路及び船首方位をプロットしている。ここで船首方位は、電子ジャイロで計測した船首方位を AIS 情報として送られてきた値である。

図-17 の a) 図からは、AIS 情報では速度の変化を 20 秒後に正確に伝えているが、ARPA 情報では約 100 秒遅れて出力している事が分かった。

したがって、AIS 情報は、ARPA 情報より他船の速度変化に対して追従特性が良いことが確認できた。

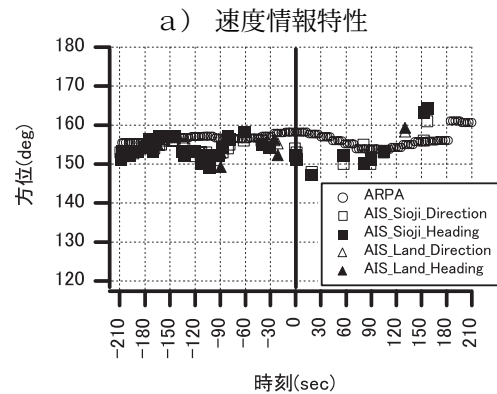
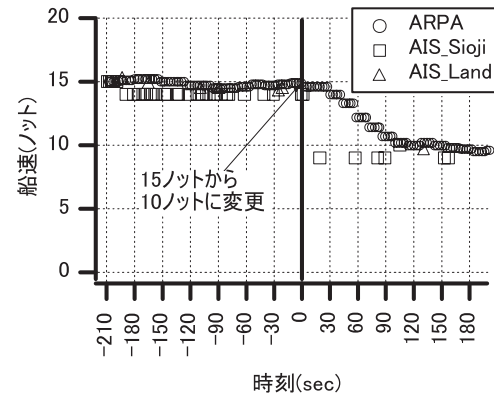


図- 17: 他船の速度情報追従特性

(5) 他船の針路情報追従特性

「おおたか」が速度を一定に保って、針路を 230 度から 245 度に変針した時の AIS と ARPA の他船針路情報の実験例を図-18 に示した。

AIS の針路情報は、最大±5 度程度のばらつきはあるが、変針後約 10 秒遅れで 245 度へ変針したことを伝えている。一方、ARPA の情報は、245 度へ変針してから、120 秒遅れて出力している。したがって、AIS 情報は、他船の針路変化に対して、追従特性が良いことが確認できた。

(6) AIS 情報の有効性

AIS 情報は、ARPA 情報に比較して、次の点で有効であることが分かった。

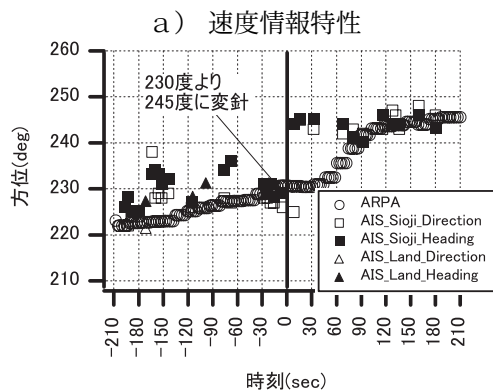
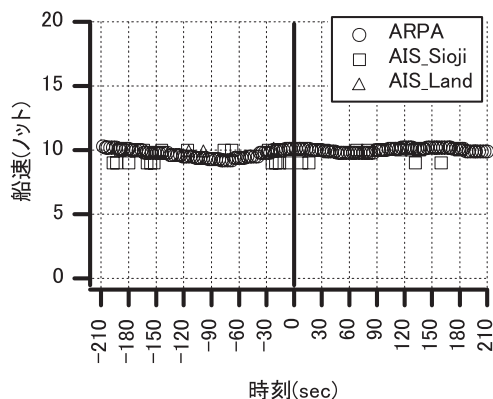


図- 18: 他船の針路情報追従特性

- ・ AIS 情報は、ARPA 情報に比べて、他船運動の変化に対する追従特性が速い。
- ・ AIS 情報は、自動的に安定した情報が得られるが、ARPA で情報を得るためには他船の捕捉追尾作業が必要な他、船舶のレーダ反射波信号は海面反射波や船舶反射波信号の劣化によって、情報が欠落して、捕捉追尾が中断する。

さらに、実験データを解析した結果、表-3 で示すように、従来の RADAR / ARPA データの問題点は、AIS データで置き換えることによって、克服できる事がわかった。また、AIS では ARPA で得ることができなかった他船の船舶長や目的航路及び避航意思等の情報も得ることができるので、他船動向を高精度で推定できる可能性が示された。

このため、「衝突・座礁回避システム」等の他船情報として、AIS 情報を有効に活用できることが分かった。

一方、AIS は、少数の船が持っていますが、その利点は少なく、その有効性を最大限に引き出すためには、できるだけ多くの船が AIS を搭載して、全ての

船と情報交換ができるようにしなければならない。しかし、IMO が規定した AIS が全船舶に搭載されるまでには時間を必要とする。このために、AIS の低価格化と共に、使い易く便利な利用方法を検討して、AIS の普及を図ることが重要である。

さらに、安全性の確保の観点からすると、AIS を持たない船の情報は得られないため、こうした船に対して、正確な他船情報を入手する対策が重要である。

4 まとめ

本報告では、海難事故の実態を分析して、事故予防対策を示した。次に、操船支援機器等への利用を想定して、運航利用情報を調査した。また、操船支援システムの機能向上に必要な入力情報となる AIS 情報と ARPA 情報の実海域実験を行って、AIS 情報の有効性を確認した。調査の結果は、次の通りである。

- ・ 衝突・座礁事故は、海難事故の大きな割合を占めており、それを回避するために必要な開発要素としては、他船情報の自動収集、衝突・座礁の危険判断及び危険の自動回避機能が挙げられた。
- ・ AIS 情報は、他船情報に係わる捕捉追尾性能と精度及び他船の航行状態の変化に対する追従時間特性が優れている。

したがって、AIS 情報は、「衝突・座礁事故」を回避するために必要な操船支援情報の自動収集化と精度向上に寄与するので、操船支援装置の入力情報として有効に活用できることを確認した。

今後は、以上の調査結果を基に、AIS、ARPA 等の航海機器情報を有機的に組み合わせて、航行安全の向上に役立つ「衝突・座礁」回避システムを開発する。

謝 辞

AIS の実海域実験は、東京商船大学の「汐路丸」と「おおたか」の運航関係者をはじめ多くの方々の協力によって行われた。また、事故解析の検討にあたっては室原陽二氏から貴重な意見を頂いた。これらご協力いただいた方々に感謝いたします。

参考文献

- [1] モード横断的な情報化施策への取り組み.
Transport, No. 9, December 2000.
- [2] 三宅幸彦. 自動船舶識別システム (AIS) について. *NAVIGATION*, No. 137, September 1998.
- [3] 海難審判庁. 審判裁決の現状、平成 12 年度版.
- [4] 海難審判庁. 狭水道における海難事故の実態及び船舶間衝突の実態、平成 12 年.
- [5] 三菱化学物流. 運航管理システムの活用. 海上衛星パケット通信利用コンソーシアム, November 2000.
- [6] 海上交通センター業務概要、平成元年.
- [7] 川村雅志. GMDSS 装備船における無線通信の実状調査. *NAVIGATION*, No. 117, May 1993.
- [8] ブルーハイウエー. 気象海象情報の活用. 海上衛星パケット通信利用コンソーシアム, November 2000.
- [9] 今津隼馬. 避航と衝突予防装置. 成山堂書店, 1984.
- [10] 有村信夫他. 航行環境情報の表示方式に関する一考察－2、一実船調査による ARPA 情報の解析－. 日本航海学会論文集, No. 86, May 1992.
- [11] 有村信夫他. 航行環境情報の表示方式に関する一考察－3、一音声支援システムについて－. 日本航海学会論文集, No. 86, May 1992.
- [12] 福戸淳司他. AIS の実海域実験報告. *NAVIGATION*, No. 150, May 2002.