

AISシミュレータを用いたAIS通信の評価

— Class B AIS搭載設置条件の影響 —

畑 耕治郎*・福戸 淳司**・長谷川 和彦***・丹羽 量久****

Evaluation of AIS communication using AIS simulator -Influence of Installation Condition for Class B AIS-

Kojirou Hata, Jyunji Fukuto, Kazuhiko Hasegawa and Kazuhisa Niwa

Abstract

AIS(Automatic Identification System) is a system that enables a ship to get information about other ships and navigation status, such as their position, course, speed, name etc. automatically by VHF radio. The system is expected to contribute the improvement of marine traffic control and safety. In some congested waterways overloaded/conflict transmission of AIS is a potential problem from the planning stage. In this study, we have developed a system that simulates AIS communication in real or simulated marine traffic flow considering the movement of each ship. AIS communication was evaluated under various installation conditions and for various aspects using this AIS simulator.

Keywords: AIS, ITS, Simulation, Marine Traffic, Evaluation of AIS communication

キーワード: AIS, ITS, シミュレーション, 海上交通, 通信評価

1. はじめに

海上交通の安全性や港湾管理の効率の向上に大きな役割を担っている船舶自動識別装置：AIS(Automatic Identification System)は、船舶-船舶間、船舶-陸上局間において、各船舶の位置や航行に関する情報を自動的に交信し、お互いの安全航行に役立てることを目的としたシステムである。従来のマリンレーダやARPA(衝突予防援助装置)などでは得られなかった他の船舶の状況が把握できるなど衝突予防や安全航行への貢献が期待されている。AISはSOLAS条約の改正により、平成14年から段階的に搭載が義務化され、平成20年には一定の大きさ以上の船舶への導入が完了する。

一方、わが国でも東京湾をはじめとするいくつかの海上交通センターにおいてAISを利用した情報提供業務が行われており、AISのバイナリメッセージを用いて安全情報や航路情報、気象情報などを船舶

に向け配信している。さらに現在、運用が開始されているSOLAS対応船舶のClass A AISに加え、非SOLAS対応船舶の事故防止策としてClass B AISの利用も検討されるなど、AISを活用した情報提供や港湾管理の試みはさらに本格化してくる。

しかしながら、AISはVHF通信を用いた通信システムであることから輻輳海域の多い日本では導入当初より通信のひっ迫が懸念されている。このような問題に対し、鈴木らは簡易的な海上交通流モデルを用いたAISの通信容量の評価を行っている⁽¹⁾。しかし、AISは船舶同士が有機的かつ動的に通信ネットワークを構成していく通信システムであるため、船舶同士の位置関係や船舶の速度、変針の状況がAISの通信容量に大きく影響する。AISの通信状況を正確に把握・評価するためには、対象海域に存在する全船舶の航行状況をできる限り実状に近づけて評価する必要があり、簡易的な運動モデルによる交通流

* 正会員 大手前大学 (〒662-8552 兵庫県西宮市御茶家所町6-42) k-hata@otemae.ac.jp

** 正会員 海上技術安全研究所 (〒181-0004 東京都三鷹市新川6-38-1) fukuto@nmri.go.jp

*** 正会員 大阪大学大学院 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1) hase@naoe.eng.osaka-u.ac.jp

****正会員 長崎大学 (〒852-8521 長崎県長崎市文教町1-14) niwa@redc.nagasaki-u.ac.jp

に基づいた通信容量評価では正しい評価を行うことは困難である。

著者らは、かねてよりシミュレーションシステムを活用して海上交通の安全や港湾管理の効率化などに取り組んできた⁽²⁾。平成18年度、これらの研究の一環としてAISの通信プロトコルを考慮して幅狭海域のAIS通信状況を模擬できるAISシミュレータを開発し⁽³⁾、さらに、それを利用してAISの通信量の評価方法について検討を進めている⁽⁴⁾。AISシミュレータでは、統計に基づいて現実的な海上交通流を作ることができる幅狭海域シミュレータ⁽⁵⁾で生成された航行記録、または海上交通センターなどの陸上に設置したAIS受信機によるAIS情報の受信記録のいずれか、さらには、その組み合わせを入力として用いることができる。そのため、船舶の位置・針路・速度等を把握した、より現実に近い航行環境で通信容量を推定することができる。

本研究では、こうした研究をもとに、さらに定量的なAIS通信状況の把握と今後のAIS適応拡大の方策を検討した。

2. AISシミュレータ

2.1 システムの構造と特徴

AISシミュレータは、個々の船舶の行動を記録した航行記録を用いてAIS通信を模擬するAISシミュレーション部、シミュレーション結果を蓄積する出力データベース部、および、シミュレーション結果を視覚的に確認するためのSlotmap windowやNavigation status windowによる可視化システム部から構成される (Fig. 1)。航行記録をもとに個々の船舶が位置・針路・速度等それぞれの運動状態に合わせてAISのメッセージを送受信することができるので、航行記録を差し替えるだけでどの海域においてもAIS通信を評価することができる。また、陸上局の局数や設置場所、あるいは使用プロトコルの指定や通信手順の変更などAISの設定条件を自由に変更することができる。

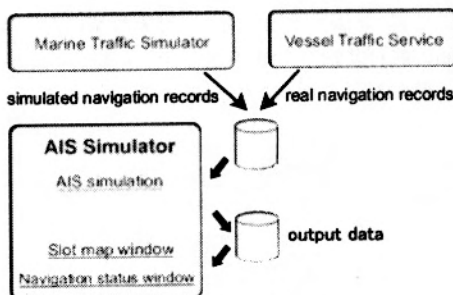


Fig. 1 System structure of AIS simulator

3. AIS通信の評価方法

3.1 評価方法

東京湾を対象として、複数のAISの搭載設置条件下での船舶のAIS通信を模擬し、各条件下での東京湾を航行する船舶によるAIS通信状況を評価する。

検討した搭載設置条件をTable 1に示す。この設置条件は、現在のルールである総トン数500トン以上の内航船に対してClass A AISを搭載 (Case1)を基準として、その適用基準を300トン以上にしたもの (Case2)、さらにCase1において500トン未満の船舶にClass Bを適用したもの (Case3)およびCase2において300トン未満の船にClass Bを適用したもの (Case4)と最後にCase4と同じだが、Class BにSOTDMA方式を採用したもの (Case5)の5ケースである。なお、AISでは、メッセージのスロット予約に若干冗長性があること、および、交通量の影響を受けることから、統計的に有意性を持たせるために各ケースに対して24時間のシミュレーションを3回実施し、評価はそれらの平均値または最大値を用いる。

Table 1 Assumed installation conditions of AIS

Gross tonnage	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
5~300	non	non	Class B (CSTDMA)	Class B (CSTDMA)	Class B (SOTDMA)
300~600					
600~1,000					
1,000~3,000	Class A	Class A	Class A	Class A	Class A
3,000~6,000					
6,000~10,000					
10,000~					

3.2 AISの仕様

AISシミュレータでは、ITU勧告ITU-R M.1371-1⁽⁶⁾に準じて通信手続きの処理を行っている。しかし、一部の処理において、停泊船の情報を含まない航行記録など多様な航行情報に汎用的に対応するため、同勧告と異なる値を用いている。以下に今回、AISシミュレータで設定したAISの仕様について説明する。

メッセージの送受信には、RATDMA、ITDMA、SOTDMA、FATDMAならびに現在、仕様が検討されているCSTDMAを使用する。陸上局はRATDMA、ITDMA、FATDMAを、Class A AIS搭載船舶はRATDMA、ITDMA、SOTDMAを、状況に応じて使い分ける。Class B AIS搭載船舶については、Table 1に示すようにシミュレーション実行前にSOTDMA方式もしくはCSTDMA方式のいずれかを選択するものとし、SOTDMA方式とCSTDMA方式の混在は行わない。

各 AIS 装置が送信するメッセージの種類を Table 2、各メッセージの送信間隔を Table 3 (ただし、Message8, 14 は今回使用せず)、受信判定時に電波の強弱を測定する際に必要となる送信電力値を Table 4、自船が送信したメッセージが届く領域 (電波到達エリア、reachable) を Table 5 に示す。

また、動的情報の送信間隔は、Class A AIS 用を Table 6 に、Class B AIS 用を Table 7 に示す。Class A AIS 用では、AIS 情報の受信記録などから船舶の状態を推定する場合のことを考え、1ノット以下の船は停泊中であるとして3分間隔とし、1~14ノットの船をITUの基準に従って10秒間隔とする。Class B AIS 用では、現在、SOTDMA方式とCSTDMA方式で送信間隔が異なるため、本評価では、方式の違いを明確にするためにCSTDMA方式の通報間隔に統一する。

Table 2 Message number to transmit a message

AIS equipment	Message number
Base station	Message4, 8, 14
Class A AIS	Message1, 5, 12
Class B AIS (SOTDMA)	Message18, 19
Class B AIS (CSTDMA)	Message18, 24

Table 3 Reporting interval of message

Message number	Reporting interval
Message 4	10 秒
Message 5, 19, 24	6 分
Message 12	15 分
Message 1, 18	shown in Table6, Table7
Message 8, 14	arbitrary intervals

Table 4 Transmitter power of AIS

AIS equipment	Transmitter power
Base station	30 watt
Class A AIS	12 watt
Class B AIS (SOTDMA)	2 watt
Class B AIS (CSTDMA)	2 watt

Table 5 Electric wave range of AIS⁽⁷⁾

AIS equipment	Range (radius)
Base station	44 nm
Class A AIS	42 nm
Class B AIS (SOTDMA)	15 nm
Class B AIS (CSTDMA)	15 nm

Table 6 Reporting interval of Class A AIS

Ship's dynamic conditions	Interval
Ship < 1 knots	3 min
Ship 1-14 knots	10 s
Ship 1-14 knots and changing course	3-1/3 s
Ship 14-23 knots	6 s
Ship 14-23 knots and changing course	2 s
Ship > 23 knots	2 s
Ship > 23 knots and changing course	2 s

Table 7 Reporting interval of Class B AIS⁽⁸⁾

Ship's dynamic conditions	Interval
Ship < 2 knots	3 min
Ship > 2 knots	30 s

3.3 メッセージの受信判定

AIS では、同一のスロットに対して複数の船舶からメッセージが送られてきた場合、電力の強さや送信元からの距離などの状況によりメッセージが受信できないことがある。著者らは、このような状態を衝突 (Conflict) と呼ぶことにする。以下にその処理について説明する。

受信対象船 j に対して、2 船以上の船舶から同時にメッセージが送られてきたとき、各船 i からメッセージの受信電力を (1) 式により算出する。

$$Pr_{ij} = \frac{Ps_i}{D_{ij}^2} \quad (1)$$

Pr_{ij} : Received Power of ship i message on Ship j

Ps_i : Power of Ship i message

D_{ij} : Distance between Ship i and Ship j

受信対象船はそれぞれの受信電力を比較し、最大値と2番目に大きな値に10倍以上の差があった場合は最大値を送信した船舶のメッセージを受信し、この受信状態を衝突して受信 (Receive stronger message) とする。10 倍以上の差がなかった場合は、いずれのメッセージも受信せず混信 (Garble) とする。すなわち、衝突は同時に2 船以上の船舶からメッセージが送られてきたとき、最も受信感度のよいメッセージを受信したことになり、混信はいずれのメッセージも受信できなかったことになる。ここで、電波の減衰は考慮せず、海上は常に見通しがよく、反射波および途中遮へいはないものとする。

また、受信に関しては、メッセージの受信処理は2チャンネルが独立して同時に行う。すなわち、片

方のチャンネルで送信処理を行っているときは、他方のチャンネルでは送受信処理できない。

3.4 混信率、衝突率、不達率

本研究では、衝突率(Average slot conflict rate)と混信率(Average slot garble rate)を次のように定義する。

ある時刻 t (1 分間隔) において船舶 i が送信に用いたスロット数を $S_{is}(t)$ 、受信に用いたスロット数を $S_{ir}(t)$ (衝突が生じていなかったスロット数 $S_{ir1}(t)$ と衝突が生じていたスロット数 $S_{ir2}(t)$ の和)、混信により受信できなかったスロット数を $S_{ig}(t)$ 、未使用のスロット数を $S_{iu}(t)$ 、海域全体の船舶数を $N(t)$ とする。ある一定時間 T (分) のシミュレーション試行 (k) の混信率 G_T^k と衝突率 C_T^k はそれぞれ(2)式と(3)式で計算できる。

$$G_T^k = \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{N(t)} S_{ig}^k(t)}{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{N(t)} (S_{ir}^k(t) + S_{ig}^k(t))} \quad (2)$$

$$C_T^k = \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{N(t)} S_{ir2}^k(t)}{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{N(t)} (S_{ir}^k(t) + S_{ig}^k(t))} \quad (3)$$

また、それとは別に、船舶がメッセージを送信する場合、送信したメッセージがどの程度受信されるのかを把握することは重要である。ある船舶に着目し、その船舶が送信したメッセージが電波到達エリア内にいる船舶に受信されなかった量を不達率(untransmitted rate)として次のように定義する。

ある時刻 t において着目船 i がメッセージを送信したときの電波到達エリア内船舶数を $m(t)$ 、受信されなかったメッセージの総数を $M_g^k(t)$ として、シミュレーション試行 (k)、ある時刻 t (その着目船の運動状態やメッセージの種類により決められた離散的なタイミング)、着目船 i の不達率 $U^k(t)$ は、次式(4)で計算できる。

$$U^k(t) = M_g^k(t) / m(t) \quad (4)$$

3.5 航行記録の生成

平成 12 年度に観測された東京湾の実航行記録をもとに作成された OD 表を用い、幅狭海域シミュレータによって 24 時間分の仮想的な海上交通の航行記録を作成した。なお、この OD 表には、漁船とプレジャーボートのデータは含まれていない。しかし、今

回、小型船舶が Class B AIS を搭載した場合の評価も行うため、漁船とプレジャーボードについてはある日の実航行記録をさらに加えており、24 時間で合計 3,227 隻が出現する。

4. シミュレーションによる評価と考察

4.1 通信容量に関する評価

AIS を搭載した船舶の増加や AIS を活用した新たなサービスの増加に対応できるかを調べるために通信容量の評価を行った。通信容量は、各船舶のスロットの使用状態にて評価することができる。Fig. 2 に各ケースでのスロットの使用状況を示す。

最上部の太直線は、1 分当りに使用できる最大スロット数 (4,500) を示す。また、棒グラフの値は、右側の軸で示されている毎時の海上に同時に存在した船舶の最大隻数、折れ線で表しているのが各ケースにおけるスロットの最大使用数である。

この結果から、最も厳しい Case4 あるいは Case5 においても、スロットの使用数は 1,300 スロット程度であり、使用可能な最大スロット数の約 1/3 であることがわかる。今回、設定した条件で AIS を運用した場合、現状の交通量では、通信容量には余裕があり、船舶の増加や新たなサービスの増加にも対応できると考えられる。

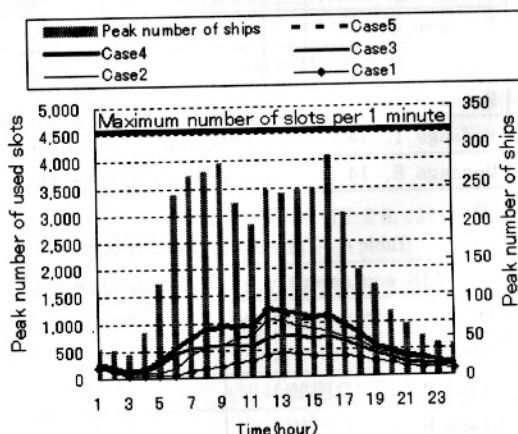


Fig. 2 Number of used slots versus ships

4.2 混信率に関する評価

海上に存在する AIS 搭載船の数がメッセージの送受信にどのような影響をあたえるのかを把握するために、各ケースについて 1 分ごとに海上全体の混信率を算出し、その時間帯の最大隻数と比較評価した。Fig. 3 に Case3、Case4、Case5 の結果を示す。

まず、全体的に AIS 搭載船隻数が増加すると混信

率が高くなる傾向が見られる。特に Class B のメッセージ送信に CSTDMA を使っている Case3、Case4 ではその傾向が顕著に見られ、AIS 搭載船隻数が少ない状態でも他の Case に比べ、高い混信率を示している。これは、SOTDMA 方式がスロットを予約してから送信する方式であるのに対して、CSTDMA 方式はスロットの予約をせずに送信する方式であるためメッセージの衝突が発生しやすく、混信が多くなったと考えられる。なお、Case1、Case2 については、いずれも混信率 0.5% 以下であり、送信されたほとんどのメッセージが受信されている。

さらに Class A AIS のみを運用する場合、搭載条件が 300 トン以上とした場合でも 500 トン以上とした場合でも混信率に大きな違いはなく、搭載条件を 300 トン以上としてもいずれも通信上の問題はないことがわかる。これは、日本の内航船のほとんどが 500 トン未満であることを考えると重要な結論であり、今後、500 トン未満の船にどの AIS を適応するか の指針を与えたと言える。

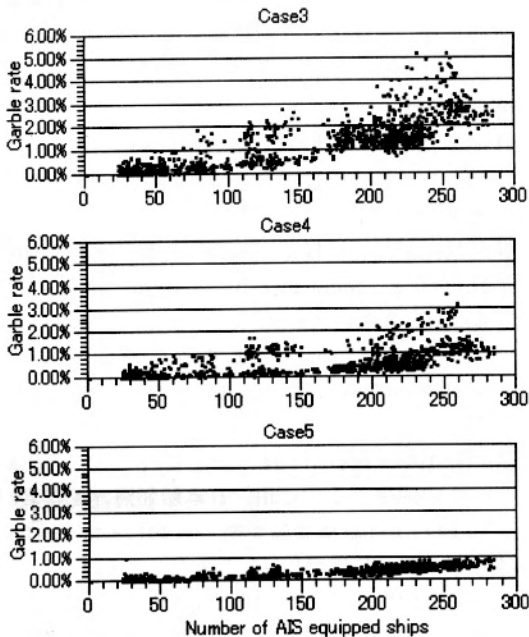


Fig. 3 Garble rate versus number of AIS equipped ships

4.3 不達率に関する評価

シミュレーション中に出現する船舶のうち、10:00~14:00 の間に湾内を北上する船舶のうちから無作為に選択した Class A AIS 搭載船と Class B AIS 搭載船各 1 隻に対して不達率を求め評価した。そし

て、3 回の試行の最大値を受信船舶との距離別のヒストグラムに整理したものを Fig. 4 に示す。

この結果でも Class B AIS から送信されたメッセージについては、4.2 の混信の時と同様スロット予約されていない通信が多くなる Case3 および Case4 で不達率が高くなっている。一方、Class A AIS から送信されたメッセージについては、15nm 以内であればほぼ 100% に近い状態で受信されているが、25nm を超えると衝突等の影響を受け不達率が高まる傾向がある。しかし、いずれのケースにおいても不達率が 2.0% 以下であり、遠方の船舶より近辺の船舶に情報が伝わることを重視する AIS 通信では、これらの値はいずれも許容範囲と考えられる。

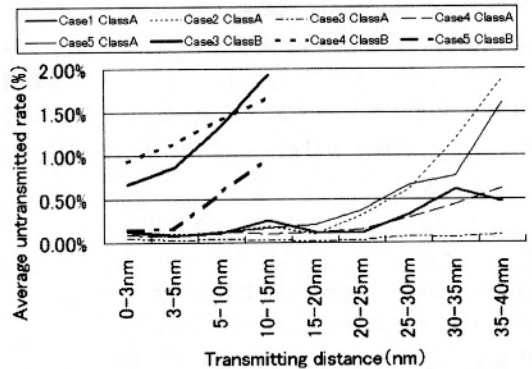


Fig. 4 Histogram of Average untransmitted rate versus transmitting distance

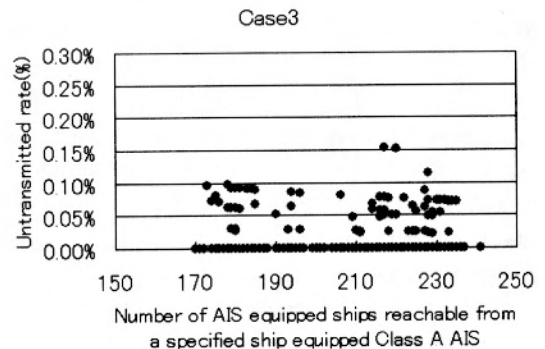


Fig. 5 Relation between untransmitted rate and number of AIS equipped ships reachable from a specified ship equipped Class A AIS (Case3)

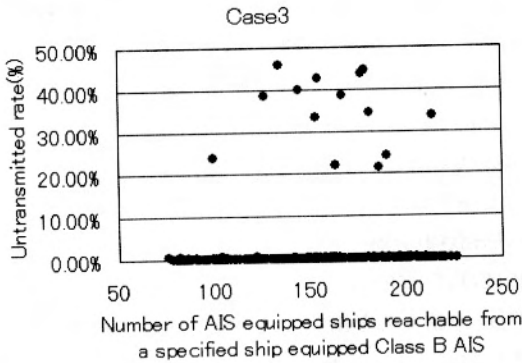


Fig. 6 Relation between untransmitted rate and number of AIS equipped ships reachable from a specified ship equipped Class B AIS(Case3)

次にある試行時の不達率をそのメッセージが届く範囲内に位置した AIS 搭載船の数別に整理したものを Fig. 5、Fig. 6 に示す。両者とも Case3 のシミュレーション結果であり、Fig. 5 は Class A AIS 搭載着目船が送信したすべてのメッセージを、Fig. 6 は Class B AIS 搭載着目船が送信したすべてのメッセージを対象とした。

まず、Fig. 5 から Class A AIS 搭載着目船のメッセージが届く範囲内には約 170~240 隻の船舶が存在しているが、範囲内の隻数にかかわらず、不達率は 0.1% 以下に抑えられていることから、Class A AIS 搭載船の送信メッセージはほとんどの船舶で受信されることがわかる。

一方、Fig. 6 では 20% 以上の不達率を示すメッセージがいくつか見られる。例えば、最も高い不達率を示したメッセージでは 134 隻が受信できる場所に位置していたが、そのうちの約 46% に当たる 62 隻の船舶がこのメッセージを受信できていない。これは、AIS の運用上支障をきたす数値である。しかしながら、不達率が 20% を超えるメッセージの送信回数 (14 回) は送信した全メッセージの送信回数 (446 回) の 3% 程度でしかないこと、高い不達率を示す送信が連続して発生していないこと、そして Fig. 4 の結果から近辺の船舶には、高い確率で受信されていることから、Class B AIS 搭載船についても、その送信メッセージの受信については実際には影響はないと考えられる。

5. 結論

本研究では、著者らが開発した AIS シミュレータを用いて AIS の通信容量の評価を行った。輻輳海域での AIS 通信の実態をシミュレーションによりリア

ルに把握することが確認できた。そして、その手法を東京湾に適用した。得られた結論は以下のとおりである。

- (1) 海上全体の通信容量は、いずれのケースにおいても最大でも 1,300 スロット程度である。
- (2) AIS 搭載船隻数が増加すると混信率が高くなり、送受信船舶間の距離が離れると不達率が高くなる傾向にある。しかし、いずれも許容範囲内である。
- (3) 内航船に対する Class A AIS の適応を、現行の 500 トン以上から 300 トン以上に引き下げることは AIS 通信容量の観点から判断して問題ない。
- (4) Class B AIS の通信方式として SOTDMA 方式と CSTDMA 方式の優劣を定量的に評価することができた。今後、Class B AIS 方式を検討する上で重要な知見を与えた。

なお、本研究は、2006 年度 (財) 日本船舶技術研究協会「航海支援に係る基準に関する調査研究 (MP5)」(日本財団助成事業) において実施した。

また、本研究の一部は「新任教員の教育研究推進支援経費」(長崎大学学長裁量経費) の支援を受けた。

参考文献

- (1) 鈴木浩之・河野隆二: AIS ネットワークシミュレーションによる通信容量の評価, AIS セミナー, pp.4.1-4.8, 2004
- (2) K.Hasegawa・K.Hata・M.Shioji・K.Niwa・S.Mori・H.Fukuda: Simulation-based Master plan Design and ITS Safety Assessment For Congested Waterways Management, The 2nd International Conference on Design for Safety, Japan, pp.265-270, 2004
- (3) 畑耕治郎・長谷川和彦・丹羽量久: AIS シミュレータの開発とその応用, 日本船舶海洋工学会 平成 19 年春季講演会論文集, pp.401-404, 2007
- (4) 畑耕治郎・長谷川和彦・丹羽量久: シミュレーションを活用した AIS の性能評価, 第 76 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp.73-74, 2007
- (5) 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「計測と制御に見る 21 世紀の幕開け」講演論文集, pp.184-189, 2001
- (6) Technical characteristics for a universal shipborne automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile band,

ITU-R M.1371-1, ITU, 2001

- (7)Liaison statement to IMO on performance assessment and interoperability of proposed Class B AIS with existing Class A AIS using simulation software, NAV52/INF.2, IMO, 2006
- (8)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, IEC 62287-1 Ed.1, IEC, 2006

いことと、送信電力の違いなどにより情報の受信がし難いと言う特徴を持っています。そしてこれらの特徴を本 AIS シミュレーションでは、そのまま模擬していますので、こうした Class A AIS と Class B AIS の違いは再現できています。また、Class A AIS は、SOTDMA 方式のみですが、Class B AIS は、SOTDMA 方式と CSTDMA 方式が提案されています。SOTDMA 方式はメッセージを送信する際にスロットの予約を行い、他の船舶の AIS に邪魔されない決定されたスロットで次回送信ができるのに対し、CSTDMA 方式ではスロットの予約を行わず、他船舶の送信状況をうかがいながら、送信可能なスロットで送信するところが大きく異なるところです。詳しくは、参考文献(7)をご参照ください。

質疑応答

石田廣史（神戸大学大学院）：

本研究で用いた輻輳海域シミュレータでシミュレーションされた海上交通状況は、実海域での海上交通状況とどれくらい同一性があったのか説明してください。

畑耕治郎（大手前大学）：

輻輳海域シミュレータが発生する船舶は一隻ごとに統計的、運動学的、関連法規および船長経験などに基づいて航行しており、与えられた統計的性質を持つ実海域での海上交通状況とマクロ的およびミクロ的に同一性があるものと考えています。詳しくは参考文献(2)、(5)などをご参照ください。

なお、今回のシミュレーションは、平成 12 年度の交通実態調査で得られた OD 表に基づいて発生させています。また、AIS のシミュレーションにおいては、海域での船舶の分布が十分安定した状況において実施しており、統計的には、平成 12 年度の交通状況と同じと考えます。ただし、日本船の船腹数は、平成 12 年度の 5,880 隻から、平成 17 年度の 4,848 隻に減少しており、現状の約 2 割増しの交通量の評価を実施したことになります。

丹羽康之（海上技術安全研究所）：

クラス A AIS とクラス B AIS の主な違い及び、通信プロトコルである SOTDMA 方式と CSTDMA 方式の違いを説明してください。

畑耕治郎（大手前大学）：

Class A AIS と Class B AIS の主な違いは、通報間隔、送信情報、送信出力、通信プロトコルが挙げられます。このため、Class B AIS は、Class A AIS に比べ、通報間隔が長く、送信情報が少な