AIS による予定航路情報と航海情報に基づく 戦略的避航に関する研究

トラン ヴィエト フォン*・萩原 秀樹**・田丸 人意**・庄司 るり**

A Study on Strategic Collision Avoidance Based on Planned Route and Navigational Information Transmitted by AIS

Tran Viet HUNG, Hideki HAGIWARA, Hitoi TAMARU and Ruri SHOJI

Abstract

After AIS (Automatic Identification System) was introduced into marine traffic, there are many researches to make it useful for marine traffic management and safe navigation. However, navigators do not usually use all functions of AIS because of its inconvenient display and complicated data inputting.

In order to improve the safety and efficiency of ship operations, PTMS (Port Traffic Management System) has been developed from 2001. In this study, the optimal route is calculated based on the information of planned routes and speeds of target ships transmitted by AIS using Dynamic Programming. As the results of simulations, it was found that in a congested waters with dangerous crossing encounters, if only altering course of own ship is not sufficient for safe and efficient navigation, reducing speed of own ship is effective to shorten passage time and also navigate safely. Furthermore, in order to confirm the effectiveness of the optimal route, data of vessel traffic obtained from radar observation of Tokyo Bay and AIS actual data received from AIS of training ship "Shioji Maru" were used to carry out some simulations. From the results, it was found that in the congested waters such as the north of Naka-no-Se Traffic Route and the south of Uruga Suido Traffic Route, it is very beneficial to decide a safe and fast route if own ship knows other ships' planned routes and speed information.

Keywords: PTMS, Dynamic Programming, Optimal route, Reducing speed, Radar observation, AIS

キーワード: 港内交通管理システム、ダイナミックプログラミング、最適航路、減速、レーダ観測、AIS

1. 研究の目的

港内や湾内における船舶運航の安全性と効率性を向上させるために、「海の ITS (Intelligent Transport System)」を構築するいくつかのプロジェクトが国土交通省により 2000 年から開始された。同時にこの期間、新 SOLAS 条約第 V 章により 2002 年 7 月 1 日以降、全旅客船と 300 トン以上の外航貨物船および 500 トン以上の内航貨物船に AIS (Automatic Identification System-船舶自動識別システム) の搭載が段階的に義務化され、300 トン以上の外航貨物船は 2004 年 12 月までに全船が AIS を搭載することになった。

東京湾や大阪湾は世界有数の輻輳海域であり、東京湾では、一日約 700 隻が狭い浦賀水道を介して東京湾に出入りしている。AIS はこのような海上交通が輻輳する海域における衝突回避や海上交通管理に大きく貢献することが期待されている。そこで、海の ITS プロジェクト

の 1 つとして、AIS による航海情報と予定航路情報に基づく港内交通管理システム (Port Traffic Management System、以下 PTMS と記す) が開発されている^{(1),(2)}。

本論文では、まず、PTMS の基本コンセプトについて述べる。PTMS の有効性を検証するための操船シミュレータ実験において、「船舶が輻輳する海域では、自船の安全な予定航路を操船者が決定することが困難であるため、自動的に最適な予定航路を決定できる機能が必要である」ことが指摘された。そこで、AIS の航海情報および PTMS により得られる詳細な予定航路情報に基づき最適航路を計算するプログラムを開発した。開発したプログラムを用いて、いくつかの仮想的な遭遇状態について、自船の速力を一定とする場合、および危険な遭遇になった時自船の減速を考慮する場合のシミュレーションを行う。

* 学生会員 東京海洋大学大学院 (〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6)

** 正会員 東京海洋大学海洋工学部 (〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6)

さらに、東京湾における船舶交通観測レーダネットワークシステムのレーダ観測データ解析により得られた実際の遭遇状態をシナリオとして、中ノ瀬航路出口・扇島沖のシミュレーションを行い、開発した最適航路決定法の有効性を検証する。さらに、東京海洋大学の練習船「汐路丸」の実験航海において AIS によって受信された東京湾を出入りする船舶の AIS 実データを用いたシミュレーションも行い、最適航路決定法の有効性を検証する。

2. PTMS の概要と検証実験

PTMS は港内やそのアプローチ海域において、AIS を装備している各船の詳細な予定航路情報を収集し、それらの予定航路と AIS による航海情報を用いて、将来、「いつ・どこで」自船が他船と危険な遭遇状態となるかを予測できるシステムである。2003 年に開発された PTMS の構成を Fig.1 に示す。

自船の予定航路データは PTMS 携帯端末から無線 LAN で AIS LAN サーバに送られ、Junction Box から AIS トランスポンダに入り、AIS の Binary Message として送信される。AIS トランスポンダは、他船の予定航路データ及び AIS データを受信し、それらを AIS LAN サーバから無線 LAN で PTMS 携帯端末に送る。また、自船の AIS データも AIS LAN サーバから無線 LAN で PTMS 携帯端末に送られる。

開発した PTMS の性能を評価するため、東京海洋大学の小型練習船「やよい」(全長 17.8 m)と「おおたか」(全長 16.5 m)に AIS を搭載し、2003 年 6 月 25 日に海上での実船実験を行った。

この海上実験では、予定航路を送信する船が 2 隻しかなかったため、多くの船が予定航路を送信して航行する場合、PTMS が衝突回避にどの程度有効かは検証できなかった。そこで、2003 年 9 月と 11 月に海上技術安全研究所の操船シミュレータを用いて、多くの船が予定航路を送信して航行するシミュレータ実験を行った。そして、システムが設計通りに作動することと「PTMS に

Fig.1 Configuration of PTMS developed in 2003

より得られた他船の予定航路情報は自船の予定航路を決める上で極めて有用である」ということを確認できた。

3. 最適航路決定法

3.1 Dynamic Programming

最適航路を求めるための手法としては、前進型 Dynamic Programming (DP)を用いた。前進型 DP による最適航路計算のアルゴリズムは、次の通りである。

現在位置 P_0 と目的地 P_A を結ぶ直線を n 等分し、各等分点を通り、 P_0 と P_A を結ぶ直線に直交する直線を設定する。そして、その直線上に等間隔で Fig.2 に示すようにグリッドを配置する。 P_0 から k 番目の直線上の i 番目のグリッドを $G(k, i)$ 、 P_0 からグリッド $G(k, i)$ に到着するまでの最短航海時間を $T_{\min}(k, i)$ とする。 $T_{\min}(k, i)$ は式 (1) により計算される。

$$T_{\min}(k, i) = \min_j \{ T(G(k-1, j), G(k, i)) + T_{\min}(k-1, j) \} \quad (k = 2, \dots, n-1) \quad (1)$$

ここで

$T(G(k-1, j), G(k, i))$: グリッド $G(k-1, j)$ からグリッド $G(k, i)$ までの航海時間

$\min_j$: 右辺を j により最小化すること

$G(k-1, j)$ から $G(k, i)$ まで自船を航走させる際、10 秒毎に他船との衝突の危険を判定し、もし衝突の危険が発生した場合にはこのグリッド間の計算を中止する。(もしくは自船の速力を 0.5 knots ずつ落として再計算を行い、現在の速力の半分まで落としても自船が安全に航行できなければそのグリッド間の探索を中止する。)グリッド $G(k, i)$ までの最短航海時間 $T_{\min}(k, i)$ は、1つ前の直線上のグリッド $G(k-1, j)$ からグリッド $G(k, i)$ への航海時間とグリッド $G(k-1, j)$ までの最短航海時間との和を最小にするように j を決定することにより計算される。

Fig.2 Calculation of the optimal route by Dynamic Programming

このように計算し、現在位置から最後の直線上のすべてのグリッドまでの最短航海時間を求める。そして、これらのグリッドから目的地までの航海時間を計算し、最短航海時間を与えるグリッドへの航路を P_0 に向かってたどることにより最適航路を求めることができる。

ここで言う最適航路とは、現在位置から目的地までの最短時間航路であり、かつ「他船が予定航路上を現在の対地速力で進んできた場合、他船との危険な遭遇状態が発生しない」という拘束条件を満たす安全な航路である。また、衝突の危険判定の1つの方法として SJ (Subjective Judgment) 値を用いているが、既に決定されている他船の予定航路情報を基に最適航路を求める場合、拘束条件に自船の SJ 値のみを考慮した最適航路は、他船にとっては危険な遭遇状態になる場合もある。」ということから、本研究で行うシミュレーションのすべては自船と他船の SJ 値を考慮することになっている⁽²⁾。

次に、自船と他船との衝突の危険を判定する方法について述べる。

3.2 衝突の危険判定

他船との衝突の危険を判定する方法として、バンパーモデル、SJ 値及び DCPA (Distance of Closest Point of Approach、自船と他船の最接近距離)・TCPA (Time to Closest Point of Approach、自船と他船の最接近点までの時間)を用いた。

まず、バンパーモデルとは、各船が自船の周囲に他船の進入を許さないバンパーを持って航行していると仮定し、2 船のバンパーが重なった場合、その 2 船は衝突の危険があると判定する。普通、バンパーの大きさは、Fig.3 の左図のように示されるが、計算を簡単にするためにバンパーの形を Fig.3 の右図のように簡略化し、自船の前方 6.4 L、後方 1.6 L、右横 1.6 L、左横 1.6 L (L は自船の長さ)の長方形とした。最適航路を求めるプログラムには、自船と他船のバンパーが重ならないという拘束条件を取り入れた。

次に、SJ 値とは、「操船者が相手船に対して感じる主観的な衝突危険度」で、操船シミュレータ実験の結果から導かれたものであり、相手船との相対方位変化率、自船と相手船との距離、自船と相手船との相対速度を用いて回帰式で計算される。

Fig.3 Bumper Model

本研究では、見合い関係を簡略化し、2 船の針路差が $170^\circ \sim 180^\circ$ である場合を行き会い、 10° 以内である場合を追越し、それ以外の場合を横切りの見合い関係とした。簡略化した横切りの見合い関係における SJ 値は、実験から得られた式(2)、(3)により計算される⁽³⁾。

横切りの場合

避航船

$$SJ = 6.00\Omega + 0.09R' - 2.32 \quad (2)$$

保持船

$$SJ = 7.01\Omega + 0.08R' - 1.53 \quad (3)$$

ここで

$$\Omega = |d\theta/dt| \cdot L_O / V_O$$

: 無次元化した相対方位変化率

$$R' = R / \{(L_O + L_T) / 2\}$$

: 無次元化した自船と相手船の距離

$d\theta/dt$: 相手船の方位変化率 [rad/min]

L_O : 自船の船長 [m]

L_T : 相手船の船長 [m]

V_O : 自船速度 [m/min]

R : 自船と相手船との距離 [m]

SJ 値は、+3 (非常に安全) から -3 (非常に危険) までの値を取る。SJ 値の特徴を理解するために、上記の式を用いて SJ 値を計算し、Fig.4 に示す。Fig.4 に示すように 2 船間の距離が 2511 m のところで、避航船の SJ 値がマイナスになり始め、1063 m のところでは -1.32 という危険な値になった。また、最接近の直前に SJ 値が最小値となるのが特徴である。なお、SJ 値は、行き会いの場合には衝突の危険を過度に大きく判定し、また追越しの場合には衝突の危険を過度に小さく判定する傾向がある。

Fig.4 SJ value in the case of crossing encounter

そこで、行き会いおよび追い越しの場合は SJ 値による危険判定を行わず、DCPA・TCPA により危険判定を行う。以下のシミュレーションに用いる安全な DCPA とは、自船と他船の平均長さの 3.2 倍以上の距離を言い、また安全な TCPA とは他船との最接近点までの時間が 5 分間より長いというものである。DCPA を自船と他船の平均長さの 3.2 倍以上としたのは、この距離はバンパーが重ならない距離だからである。また、TCPA の制限値を 5 分間としたのは、最接近点までの時間が 5 分あれば、通常安全に避航することが可能であると考えられるからである。

4. 仮想的なシミュレーション

4.1 自船の速力を一定とした場合

まず、Fig.2 に示したように現在位置 P_0 と目的地 P_A を結ぶ直線を 10 等分し、各等分点を通る直線上に、その海域をカバーできるグリッドを 100 m の間隔で設定する。

横切りの場合は DCPA・TCPA を計算せずにバンパーと SJ 値のみを計算し、行き会いと追い越しの場合は SJ 値を計算せずにバンパーと DCPA・TCPA を計算し、それぞれの見合い関係別について衝突の危険判定を行う。この計算方法を用いて、シミュレーションを行う。

シミュレーション結果の一例を Fig.5 に示す。Fig.5 において自船の最適航路を太線で示す。細線は現在位置から各グリッドまでの最短時間航路である。Fig.5 において、すべての船舶は長さ 100 m、速力 12 knots とする。もし自船が A 船の前方を航過すると B 船と危険な遭遇となり、また A 船・B 船の後方を航過すると E 船・F 船と危険な見合い関係となるように他船の予定航路を設定した。

SJ 値の制限値を -0.5 とした場合の最適航路では、自船は C 船・E 船・F 船に対してはとても安全な航路となった。また、自船は制限値に極めて近い SJ 値で A 船の

Straight line from Dep. to Arr. : 11,352 m

Fig.5 Optimal route in the case of constant own ship's speed (SJ value > -0.5)

前方、そして B 船後方を航過したことが分かった。最適航路の所要時間は 2224 秒であった。

4.2 自船の減速を考慮した場合

船舶が輻輳する海域において、自船が航行する間に他船と危険な遭遇になった場合、自船の速力を落としグリッド間を再度航走させるシミュレーションも行った。Fig.6 にはそのアルゴリズムを示す。

Fig.7 は、4.1 で用いたシナリオを使ってシミュレーションを行った結果である。Fig.7 に示した最適航路を見ると分かるように、減速を考慮する方法では航海所要時間が 2045 秒であり、Fig.5 に示した自船の速力が一定である場合に比べ 179 秒短く、かつ大幅な変針もなかった。したがって、減速を考慮する方がより有効であることがわかる。この最適航路では、自船は A 船の前方を安全な SJ 値で横切った。A 船をかわした後、F 船がすでに通過していたが、B 船と危険な遭遇となるので、自船の速力を 8.5 knots まで落とし B 船の後方を航過することになった。C 船・E 船とは横切りの関係であったが、安全に航過した。また、航行時の自船および他船の SJ 値の変化を Fig.8 に示す。

Fig.6 Algorithm of DP considering the reduction of own ship's speed

Straight line from Dep. to Arr. : 11,352 m

Fig.7 Optimal route in the case of reducing own ship's speed (SJ value > -0.5)

Fig.8 Time histories of data of own ship and target ships

Fig.8 の上図を見ると、自船が A 船および B 船を SJ 値の制限値で航過したことがわかった。自船が A 船を航過するとき、A 船に対する自船の SJ 値は -0.499 であり、B 船を航過するとき、B 船に対する自船の SJ 値は -0.499 であった。また、自船は 810 秒ごろ E 船に近づいたが、そこからは E 船と行き会いの関係となったので SJ 値は考慮せず、安全な DCPA で航過した。

5. レーダ観測データを用いたシミュレーション

レーダ観測データの解析により、横浜沖の海域では中ノ瀬航路や浦賀水道航路北航レーンを抜けて横浜方面に向かう船舶と東京方面から南下して来た船舶とが危険な横切り関係となるために、この海域について本研究で開発したプログラムの有効性を検証する⁽⁴⁾。

Table 1 は、レーダ観測データの解析により得られた長さ 70 m 以上の船の情報を示し、A 船を自船とする。これらの船

の航跡を予定航路とし、船をバンパーで Fig.9 に示す。

Fig.9 に示すように、実際の航行においては、自船は中ノ瀬航路を出てしばらくそのままの針路で航行し、木更津港沖のブイを通過した後、左転し扇島沖へ向かうところで H 船と危険な遭遇となり、自船が法律上保持船であるため H 船の前方を通過した。その後、南航する D 船と E 船の間を通過してから目的地へ向かった。自船の航行時間は 1620 秒であった。

この遭遇状態を用い、SJ 値の制限値を -1.0 とした場合のシミュレーション結果を Fig.10 に示す。最適航路計算では、南航する他船の予定航路・速力情報が分かるため、自船は B 船が自船の前方を横切ってから、B 船と C 船の間を航行し、目的地へ向かった。航行の所要時間は 1240 秒であり、実際の航海時間より 380 秒短かった。また、自船の減速を考慮したシミュレーションも行ったが、SJ 値の制限値が -1.0 の最適航路は減速しない場合と全く同じとなった。この遭遇状況には横切りの関係しかなかったため、DCPA・TCPA による衝突危険判定は行われなかった。

Table 1 Information of own ship and target ships

Ship name	Speed [knot]	Length [m]	Number of waypoints
A	10.5	173	6
B	10.1	72	4
C	13.2	111	4
D	12.4	72	3
E	13.6	95	2
F	13.9	81	3
G	12.3	72	3
H	5.1	144	4

Fig.9 Planned routes of ships made from radar observation (13:31-13:58, May 27, 2004)

Fig.10 Optimal route in the case of constant own ship's speed (SJ value > -1.0)

Table 2 Dangerous time in the actual route

Danger	Bumper overlapping	SJ value < -1
Time [sec.]	540	360

Table 2 に示すように、自船が実際の航路を航行する場合は、自船のバンパーが他船のバンパーと重なった時間は 540 秒間、他船もしくは自船の SJ 値が -1.0 以下になった時間は 360 秒間である。これに対して、最適航路では、自船と他船のバンパーが重なることなく、SJ 値が制限値以下にならず、安全に航行することができた。つまり、PTMS の導入によって、自船が各船舶と遭遇する以前に、海域全体において各船舶を安全かつ効率的に避航する戦略的避航を計画できた。

6. AIS 実データを用いたシミュレーション

開発した最適航路決定法の有効性を AIS 実データで検証するため、東京海洋大学の練習船「汐路丸」により館山湾で、AIS を搭載して東京湾を出入りする船舶の情報を取得した。取得したデータを解析することにより、船舶の実際の航行と同じようにシナリオを作成し、シミュレーションを行った。

6.1 浦賀水道航路へ向かう船舶

まず、AIS は船舶の運航状態によって動的情報および静的情報を異なる時間間隔で送信するので、同時刻における各船の位置を求めるため、位置補間を行った。

次に、動的情報には船名、船長などが含まれないので、動的情報および静的情報の中に含まれる MMSI 番号を照らし合わせ、各船の船長を取得した。各船の同時刻のデータを用いて船舶の実際の航行を動画で再現し、危険な遭遇状態を選び出した。そして、各船の航跡をそれぞれの船舶の予定航路とし、動的情報の中に含まれる速力の平均値をその船舶の速力とした。

各船の予定航路を Fig.11 に示し、船をバンパーで表示する。それぞれの船舶の情報を Table 3 に示す。これらの船舶の中で A 船という浦賀水道航路へ入航しようとするものを自船とする。

自船は実際の航行において、B 船と C 船の前方を航過する時、C 船のバンパーと重なり、危険な遭遇状態になった。自船の航行時間は 3480 秒であった。このような遭遇状態を用いて、SJ 値の制限値を -0.5 とした場合のシミュレーションを行い、自船の最適航路を求めた。SJ 値の制限値を -0.5 とした理由は、SJ 値の制限値を -1.0 として計算した狭い東京湾内に比べ、この海域が広くて船舶が互いに避航しやすいからである。

シミュレーション結果を Fig.12 に示す。求めた最適航路においては、自船は予め B 船、C 船および E 船が東側へ、また F 船が西側へ向かうことがわかっているため、目的地までまっすぐにかつ安全に航行することができた。特に、自船は B 船、C 船および F 船の予定航路情報を戦略的に考慮することにより、多くの変針で避航する必要がなくなった。自船の航行所要時間は 3314 秒であり、実際の航行時間に比べ 166 秒短かった。また、航行時の自船および他船の SJ 値の変化を Fig.13 に示す。

Fig.11 Planned routes made from the AIS actual data (06:00 - 07:00, Dec. 01, 2004)

Table 3 Information of own ship and target ships

Ship name	Speed [knot]	Length [m]	Number of waypoints
A	19.7	162	5
B	21.3	294	4
C	15.2	333	3
D	8.0	200	2
E	16.2	262	3
F	16.9	131	3
G	14.9	183	3
H	13.0	235	3

Fig.12 Optimal route of own ship (SJ value > -0.5)

Fig.13 Time histories of data of own ship and target ships

Table 4 Dangerous time in the actual route

Danger	Bumper overlapping	SJ value < -0.5
Time [sec.]	220	430

Fig.13 により、自船は C 船・D 船・E 船・G 船・H 船を非常に安全な SJ 値で航過した。B 船に対しては、Fig.13 の下図をみると、自船が制限値に近い SJ 値で航過したことがわかった。F 船に対しては、1700 秒ごろから行き会いの関係となったので、SJ 値による衝突危険判定は行われずに、1154 m の DCPA で航過した。

なお、Table 4 に示すように、自船が実際の航路を航行する場合は、自船のバンパーが他船のバンパーと重なった時間は 220 秒間、他船もしくは自船の SJ 値が -0.5 以下になった時間は 430 秒間である。これに対して、最適航路では、自船と他船のバンパーが重なることなく、SJ 値が制限値以下にならず、安全にかつ最短時間で航行することができた。

6.2 浦賀水道航路を出航する船舶

6.1 に述べたように、AIS 実データを基に船舶の実際の遭遇状態を再現し、危険な見合い関係をシナリオとする。本シミュレーションに用いるシナリオを Fig.14 に、それぞれの船舶の情報を Table 5 に示し、A 船を自船とする。実際の航行においては、自船は浦賀水道航路を出て南航している際に、航路に入航しようとする F 船が自船の前方の近くを横切り、その直後 E 船も自船の前方を横切ろうとしたが、危険な遭遇になるので自船の後方を航過した。F 船と E 船が通過してから自船は目的地へ向かい、航行時間が 4338 秒であった。

同じく SJ 値の制限値を -0.5 とした場合のシミュレーションを行い、結果を Fig.15 に示す。Fig.15 に示すように、実際に自船が航行した海域は最短時間航路群が存在せず、危険な海域であることがわかった。最短時間航路群が存在しない場所とは、もし自船がその海域を航行すると予め定めた安全条件を満たせないところである。最適航路の航行所要時間は 4331 秒で、実際の航行所要時間とほとんど差はなかった。しかし、最適航路では、自船は E 船と F 船の予定航路情報がわかったため、早めに左転することによりこれらの船舶を安全にかわすことができた。

Fig.14 Planned routes made from the AIS actual data (22:00 - 22:56, Feb. 26, 2005)

Table 5 Information of own ship and target ships

Ship name	Speed [knot]	Length [m]	Number of waypoints
A	12.3	308	5
B	12.1	151	3
C	14.2	112	3
D	12.5	59	2
E	12.6	103	5
F	10.8	91	3
G	13.3	170	3
H	12.6	103	3

Fig.15 Optimal route of own ship (SJ value > -0.5)

Fig.16 Time histories of data of own ship and target ships

なお、航行時の自船および他船の SJ 値の変化を Fig.16 に示した。Fig.16 により、自船は D 船・E 船・G 船・H 船を非常に安全な SJ 値で航過した。F 船に対しては Fig.16 の上図をみると、自船が近づいたとき F 船に対する自船の SJ 値が制限値に極めて近い値となったことがわかった。しかし、B 船・C 船に対してはそれぞれ 1420 秒と 980 秒ごろから行き会いの関係となったので、SJ 値による衝突危険判定は行われずに、自船は B 船と 2271 m の DCPA で、そして C 船と 1920 m の DCPA で航過することになった。

また、Table 6 に示すように、自船が実際の航路を航行する場合、自船のバンパーが他船のバンパーと重なった時間は 460 秒間、他船もしくは自船の SJ 値が -0.5 以下になった時間は 710 秒間である。これに対して、最適航路では、自船と他船のバンパーが重なることなく、SJ 値が制限値以下にならず、安全にかつ早く航行する

ことができた。

Table 6 Dangerous time in the actual route

Danger	Bumper overlapping	SJ value < -0.5
Time [sec.]	460	710

7. 結論

本研究では、AIS による予定航路情報と航海情報に基づき、バンパーモデル、SJ 値、DCPA・TCPA を衝突の危険を判定する指標として、自船の最適航路を求める方法を開発した。そして、仮想的な遭遇状態、レーダ観測データおよび AIS 実データから得られた実際の遭遇状態をシナリオとしてシミュレーションを行い、開発した最適航路決定法の有効性を検討した。その結果、最適航路は様々な遭遇状態において安全かつ効率的な航路であり、この最適航路を航行することにより戦略的に最適な避航が行えることが明らかとなった。シミュレーション結果より、特に次のことが分かった。

- (1) 横切りが多い海域では、自船が大幅に変針しなければ航行できないとき、減速する方が航行時間も短縮でき、安全な航路となる。特に、4.2 に示した遭遇状況のような場合は減速の有効性が顕著に現れた。
- (2) 中ノ瀬航路出口から横浜沖・扇島沖へ向かう船舶は、東京湾を南航する船舶の予定航路・速力情報が分かれば、南航船の流れをどこで安全に横切るべきか判断できる。
- (3) 浦賀水道の南端から剣埼の沖にかけての東京湾出入口付近の海域において、浦賀水道航路に入ろうとする船舶は、航路を出航する他船が東へ向かうか西へ向かうかを知っておけば、避航のため多くの変針を必要としなくなり、より安全に、かつ最短時間で航路に入航することができる。また、浦賀水道航路を出航する船舶は、他船がどのようなルートで入航するかを知っておけば、安全に出航することができる。

今後は、最適航路決定法の有効性を検証するため、大型船に PTMS を搭載したものと、操船シミュレータ実験を行う予定である。シミュレータ実験を通じ操船者の意見を収集・検討した上で、実海域の実験で有効性を確認したい。

謝辞

最後に、シミュレータ実験に協力して頂いた IHI の田崎氏、安藤氏、航海訓練所の福井船長、(株)日本海洋科学の津金船長(現東海大学教授)、横須賀水先区水先人会の小関パイロットおよび海上技術安全研究所のシミュレータスタッフに感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 萩原秀樹・大津皓平・庄司るり・田丸人意・高橋宏直・中場晃: AIS と予定航路情報に基づく新交通管理システム, 日本航海学会誌, No.160, pp.21-25, 2004.6
- (2) 田丸人意・萩原秀樹・庄司るり・大津皓平: AIS と予定航路情報に基づく最適航路決定に関する研究, 日本航海学会論文集, No.111, pp.209-217, 2004.9
- (3) 庄司るり・萩原秀樹・大津皓平・林尚吾・浪江宏宗: 東京湾船舶交通観測レーダネットワークシステムについて, 日本航海学会誌, No.158, pp.29-35, 2003.12
- (4) 劉順・岡野匡・萩原秀樹・庄司るり・田丸人意・大津皓平: 東京湾における船舶交通観測レーダネットワークシステムの研究, 日本航海学会論文集, No.111, pp.225-233, 2004.9

質疑応答

構溝達雄 ((有)ピーシースタジオアルファ):

他船も同様に避航しようとした場合に衝突の危険はないでしょうか。

トラン ヴィエト フォン:

最適航路決定法は、先に予定航路情報を提供する船舶が優先されるという条件の下で開発しています。そこで、海上衝突予防法を考慮せず、後にシステムに参加する船はすでに参加していた他船に危険な遭遇状態を与えないように最適航路を計算し、戦略的に避航しながら航行することになります。

須藤正則 (日本無線):

最適航路上を船速を変化させて目的地に到着する場合と、一定の船速で避航操船として船首方位を変えた場合の到着時間差のデータがありましたら教えてください。(以前、日大の先生がニューラルネットワークを用いた速度一定で避航操船しながら最適な航路を決定するアルゴリズムの説明を聞いたことがあります。)

トラン ヴィエト フォン:

自船が減速することにより、大きく迂回したり大幅な変針をしたりする必要がなくなり、最短時間で目的地に到達することができます。具体的には4.1と4.2に説明したように、同じ遭遇状態でも自船の減速を考慮しない場合に比べ、他船と危険な見合い関係に陥った時に減速する方法では航海時間が短く、かつ大きな変針もありません。