

2-7 仮想海上交通センターによる航海支援システム

正会員 長谷川和彦 (大阪大学大学院)

学生会員 田代剛 (大阪大学大学院)

立川功二 (日立造船 (株))

1. 緒言

四面を海に囲まれている我が国において、海は重要な交通路である。多くの基幹産業が臨海部に設置されているため、海上輸送活動が極めて活発に行われており、また、沿岸海域では海洋レジャー活動や小型漁船による漁業活動も盛んに行われている。特に、東京湾・伊勢湾・瀬戸内海、及び 大阪湾等の海域は背後に大都市及び工業地帯を控えているため、船舶交通が輻輳している。

海上保安庁では、このような輻輳海域において、航路管制をはじめ、船舶の衝突を防止し安全な航行を確保するための各種の施策を講じている。

海上交通センターでは、航行の安全を期するために、海上交通法によって航路を定め、航路内での航行を優先させる代わりに入域の通報を義務付けたり、気象状況・船舶固有データ、並びに船舶から提出される航路通報・位置情報などの情報提供を行っている。

また、IMOにより2002年度より、大型船舶に対して、新しくAIS(Automatic Identification System)の搭載が義務付けられる。

しかし、海上交通センターへの通報義務は、巨大船および総トン数 3000 トン以上の船舶に限られている上、AIS の搭載義務も旅客船や大型船にしかない。

そこで、本研究では、仮想的海上交通センターを用いた操船支援システムをシミュレーターを用いて構築すると共に、大阪湾においてのシミュレーションによって、その有用性を示すことを目的としている。

2. システムの概要

小型船舶においては、大型船舶とは異なり、構造等による設置スペース等の制約や経済面の配慮を踏まえた、小型・軽量かつ安価な通信システムが必要である。

ここでは、仮想海上交通センターとインターネットを用いた総合的な航行支援システムを考えている。その概念図を以下に示す。

まず、AIS 搭載船舶は、船舶間で相互に交信するほか、陸上に設置された AIS の基地局に情報を配信する。非 AIS 搭載船舶は、GPS・PC 端末により、インターネットを通じて仮想的海上交通センターに自船の位置座標を送信する。そして仮想的海上交通センターから、

これらの情報とともに、海上交通センターからの様々な情報と合わせて、海域内の総合的な情報を、インターネットにより全ての船舶に配信する。システム概念図を Fig.1 に示す。

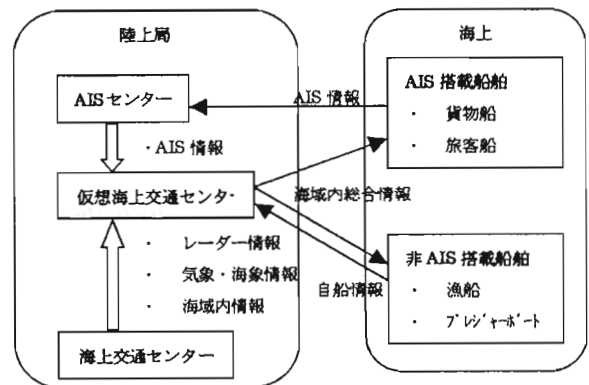


Fig.1 システム概念図

このようなシステムを用いることにより、以下のような利点が考えられる。

- 小型のGPS・PC 端末を用いることにより、比較的小型・軽量かつ安価な装置で済み、小型船にも十分搭載可能である。
- 自船の位置座標をGPSによって測位し、送信するので、レーダーのように、天候や遮蔽物などの影響を受け難い。
- 現状の海上通信システムは、目的・用途毎に、多様な通信システムが個別に構築されているため、様々な情報を入手するには、大変多くの機器を搭載しなくてはならないが、端末の統合化を図ることが可能。
- 現在の海上通信は、短波帯等において通信品質が一定でなく、また低速レートのため音声を中心であるが、デジタル化を進め、インターネットを用いることにより高速化、情報のマルチメディア化を進めることができる。
- 仮想海上交通センターに、VTS の情報やAIS の情報、気象や海洋、水路情報を取り込むことができれば、航行に必要な情報を総合的に取り扱うことができる。

3. システムの構築

このようなインターネットを用いたシステムの一部を、ワークステーション、PC端末を用いて仮想的に構築した。

大阪湾内の船舶を自動航行シミュレーションシステムを用いて再現し、その中に自船に見立てたPC端末よりアクセスし、海域内に自船を発生及び航行させる。自船は、モデルシップを Esso Osaka、運動モデルに MMG モデルを用い、プロペラ回転数と指令舵角を入力することにより、仮想海域内を航行することができる。それに伴い、自動航行シミュレーションシステム内の避航アルゴリズムにより、海域内の他の船舶もそれぞれ航行する。そして自船一定範囲の他船情報をPC端末に送ることにより、レーダー画面及び他船情報を表示する。

3.1 仮想海域 (ワークステーション)

ワークステーション上に作成した仮想海域の構成を以下に示す。

この仮想海域は、大きく4つの部分から構築される。

(1) 船舶の発生

船舶を発生させる時点で、各船舶に、発生地・目的地、発生時間間隔、経路、船舶に関するパラメータを与える。なお、ここで大阪湾の海上交通データについては、〔株〕神戸海難防止研究会による「長期展望にたった大阪湾海上交通システム (OTS21)」の調査研究報告書を利用した。

(2) 操船判断

各船舶は、エキスパートシステムとファジー推論を用いた避航アルゴリズムにより、「通常」「避航」「追越し」の操船判断を行う。優先度の高い順に「避航」「追越し」「通常」となる。以下、優先度の高い順に説明を行う。

・ 避航判定

「避航」の判定には、2船間のDCPA (Distance of Closest Point Approach: 最接近距離)とTCPA (Time of Closest Point of Approach: 最接近時間)が必要となる。DCPA、TCPAは以下のように求める。

$$DCPA = \frac{D|V_0 \sin \alpha + V_1 \sin \beta|}{\sqrt{V_0^2 + V_1^2 + 2V_0 V_1 \cos(\alpha - \beta)}} \quad [m] \quad (1)$$

$$TCPA = \frac{D(V_0 \cos \alpha + V_1 \cos \beta)}{V_0^2 + V_1^2 + 2V_0 V_1 \cos(\alpha - \beta)} \quad [sec] \quad (2)$$

ここで、

V_0 : 自船の速力[m/sec]

V_1 : 相手船の速力[m/sec]

D : 2船間の距離[m]

α : 自船から見た相手船の相対方位角

β : 相手船から見た自船の相対方位角

DCPA' と TCPA をもとに、避航判定基準となる「CR(Collision Risk: 衝突危険度)」を定義する。これは、衝突危険の大きさを数値化したもので、DCPA と TCPA からファジー推論により求められるのである。ある設定値以上の「CR」に対して避航操船を行う。この設定値は現在、0.7として扱っている。

・ 追越し判定

「CR」による避航判定では、追越しの判定が難しいため、追越しの判定を別に定める。前方を航行中の遅い船舶に対して、自船の周囲に立入禁止領域を定め、領域内にその船舶が入らないように追越しを行う。追越しの判定については、「見合関係 (追越し)」と「船速の比較」から行う。また、自船の周囲の「立入禁止領域」については、十分航過距離をもとに長方形領域を設定した。領域設定の重要なパラメータである十分航過前後距離FA[m]と十分航過左右距離SP[m]の式を以下に示す。

$$FA = (0.025 \cdot L_1 + 3.125) \cdot L_0 \quad (3)$$

$$SP = (0.012 \cdot L_1 + 1.096) \cdot L_0 \quad (4)$$

ここで、

L_1 : 相手船の船長[m]

L_0 : 自船の船長[m]

FAは前後3:2に、SPは左右1:1に配分されるものとする。

以上の「避航判定」、「追越し判定」で判定されないものが「通常」と判定される。

(3) 操船方法

操船は、指令針路と指令速力を与えることにより実現している。避航の必要がある場合、通常操船の指令針路に対して30°の針路変更命令を与える。

(4) 船舶の運動

ワークステーション上では、多数の船舶の運動計算を行う必要があるため、運動方程式は、旋回角速度、船速、操舵を一次遅れとして表現した。運動方程式を以下に示す。

$$T \dot{r} + r = K \delta \quad (5)$$

$$T_v \dot{V} + V = V_{order} \quad (6)$$

$$T_E \dot{\delta} + \delta = \delta_{order} \quad (7)$$

ここで、

V : 船速 V_{order} : 指令船速

r : 旋回角速度
 δ : 舵角 δ_{order} : 指令舵角
 K, T : 操縦性指数
 T_E : 操舵機の時定数
 T_V : 船速の時定数

ワークステーションでの仮想海域の画面を以下に示す。

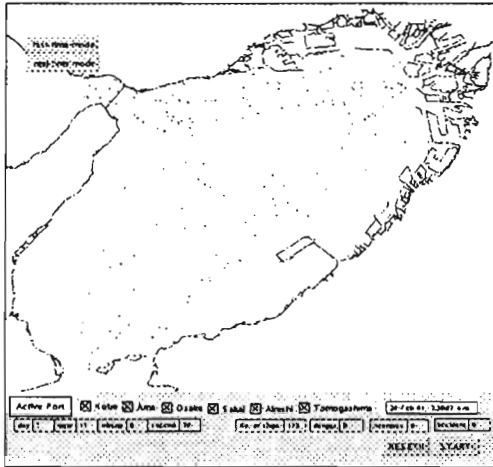


Fig.2 仮想海域

ワークステーションでは、他船舶の発生、避航、および運動計算などを行うことで、海域内、全ての船舶を航行させ、仮想海域を構築している。この仮想海域の中に、PC からアクセスすることにより、自船を発生させる。この画面では自船は、明石海峡大橋の西方に位置している。そして、自船から 3 km の範囲の船舶のデータを PC 端末に送る。データの出力間隔は 1 秒、送受信間隔は 3 秒から 5 秒となっている。送信する他船舶のデータは以下のようにになっている。

- ・ 船舶 ID (船名)
- ・ 位置座標
- ・ 速度
- ・ 船首方向
- ・ 船長
- ・ 計画航路 (次期変針点・次々期変針点)

3.2 レーダー画面 (PC 端末)

端末側のレーダー画面を以下に示す。

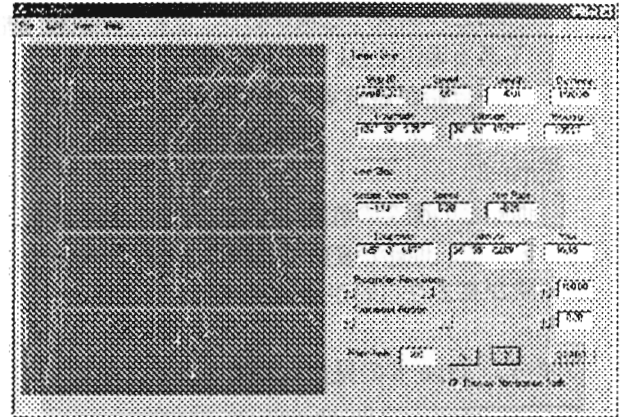


Fig.3 レーダー画面

中心にあるのが自船になる。ここでは、自船から 3 km の範囲の船舶を表示している。他船をクリックすることにより、その船舶の船名・速度・船長・位置座標・その船舶との距離、船首方向を表示する。自船情報としては、舵角・速度・位置座標等を表示する。本来であれば、GPS より自船の位置情報を得るのだが、ここでは、MMG モデルを用い、プロペラ回転数・指令舵角を入力することによって、運動計算を行い、自船の位置座標を求めている。

PC 端末内では、以下のことを行っている。

- ・ 他船情報の表示 (自船 3 km の範囲内)
- ・ 他船計画航路の表示
- ・ 自船情報の表示
 - ・ 舵角 ・ 速度 ・ 旋回角速度 ・ 位置座標
 - ・ 船首方向 ・ 指令舵角 ・ 指令プロペラ回転数
- ・ 緯線、経線の表示
- ・ 地形データの表示
- ・ 自船情報の送信
 - ・ 位置座標 ・ 速度 ・ 船長 ・ 船首方向
- ・ 自船の運動計算
 - ・ モデルシップ : Esso Osaka
 - ・ 運動モデル : MMG モデル

4. シミュレーション

このようなシステムを用いることにより他船計画航路を知ることができ、場合によっては、より効率的で安全な航行ができるようになる。そのような状態を、Type-A・Type-B の 2 つのパターンに分けて考え、それぞれ、大阪湾において 8 時から 20 時までの間に、ど

の程度の頻度で発生するのかを、シミュレーションによって確かめる。

- Type-A
他船との衝突の危険があり、自船が避航義務船である場合において、他船が変針する事によって、自船が避航する必要がなくなる場合。
- Type-B
他船との衝突の危険が少ないと思われる場合において、他船が変針する事によって、衝突の危険が高まり自船が避航義務船となる場合。

Type-A・Type-Bの見合い関係を以下に示す。

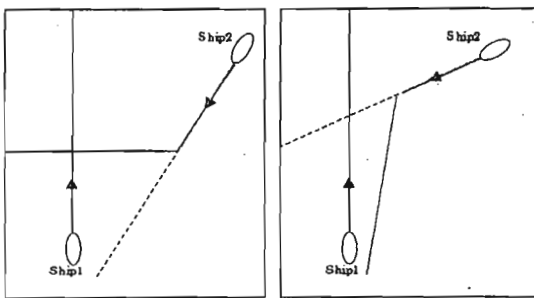


Fig.4 見合い関係 (左: Type-A 右: Type-B)

シミュレーションを行う上で、新しく以下の3つの変数を考える。

- $TCPA_{CTP}$: 相手船が変針した場合の最接近時間
- $DCPA_{CTP}$: 相手船が変針した場合の最接近距離
- CR_{CTP} : $DCPA_{CTP}$ $TCPA_{CTP}$ より計算される衝突危険度

$DCPA_{CTP}$ および $TCPA_{CTP}$ は、以下の式で表される。

$$DCPA_{CTP} = \frac{D_{ip} |V_0 \sin \alpha_{ip} + V_i \sin \beta_{ip}|}{\sqrt{V_0^2 + V_i^2 + 2V_0 V_i \cos(\alpha_{ip} - \beta_{ip})}} \quad [m] \quad (8)$$

$$TCPA_{CTP} = \frac{D_{ip} (V_0 \cos \alpha_{ip} + V_i \cos \beta_{ip})}{V_0^2 + V_i^2 + 2V_0 V_i \cos(\alpha_{ip} - \beta_{ip})} + T CPA_{ip} \quad [sec] \quad (9)$$

ここで、

- V_0 : 自船の速力[m/sec]
- V_i : 相手船の速力[m/sec]
- D_{ip} : 自船と相手船の次期変針点との距離[m]
- α_{ip} : 自船から見た相手船次期変針点の相対方位角
- β_{ip} : 相手船次期変針点から見た自船の相対方位角
- $TCPA_{ip}$: 相手船の次期変針点までの到達時間

以上、3つの変数を考えた上で、上の2つの見合い関

係は次のように判定できる。

- Type-A

$$TCPA_{ip} < T CPA \text{ のとき } CR \geq 0.7 \text{ かつ } CR_{CTP} \leq 0.7$$

- Type-B

$$TCPA_{ip} < T CPA \text{ のとき } CR \leq 0.7 \text{ かつ } CR_{CTP} \geq 0.7$$

このような設定で、Type-A・Type-Bの見合い関係がどの程度の頻度で起こるのかをシミュレーションを行った。それぞれの発生場所を以下に示す。

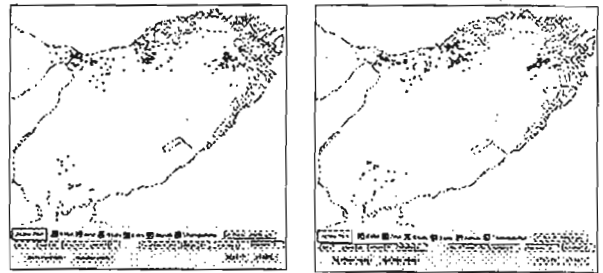


Fig.5 発生場所 (左: Type-A 右: Type-B)

次に現状においての避航 (CR によって避航) と他船計画航路を考慮した避航 (CR_{CTP} によって避航) において、ニアミス、危険状態、事故の判定回数においてシミュレーションによって比較した。各判定基準を以下に示す。

- ニアミス

限界航過距離をもとに自船の周囲に長方形領域を設定し、この領域に相手船が入った時をニアミスとする。領域設定のパラメータである限界航過前後距離 FA [m] と限界航過左右距離 SP [m] の式を以下に示す。

$$FA = (0.015 \cdot L_i + 2.076) L_0 \quad (10)$$

$$SP = (0.008 \cdot L_i + 0.667) L_0 \quad (11)$$

L_i : 相手船の船長 [m]

L_0 : 自船の船長 [m]

FA は前後 3:2 に、 SP は左右 1:1 に配分される。

- 危険状態

自動航行シミュレーションシステムでの指標である衝突危険度 CR が 0.9 を越えた場合に判定される。

- 事故判定

船舶の形状を船長および船幅を2辺とする長方形と考え、自船の長方形領域に、相手船の長方形領域が重なったときを事故とする。

現状と変針点を考慮した場合のニアミスを図.6、現状と変針点を考慮した場合の危険状態を図.7に示す。



Fig.6 ニアミス発生場所 (左：現状：変針点考慮)

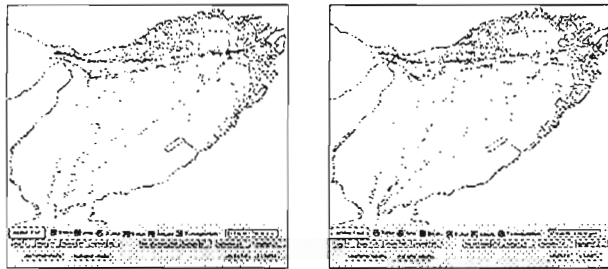


Fig.7 危険状態発生場所 (左：現状：変針点考慮)

シミュレーション結果を以下のテーブルにまとめる。見合いの回数においては、Type-A・Type-B共に200回強になった。ニアミス、危険状態と判定された回数は、変針点を考慮しない場合と比べてどちらも、1割程度の減少が見られた。事故は双方ともに、一度も起こっていない。

船舶の見合い回数

Type-A	217回
Type-B	235回

ニアミス・危険状態・事故判定回数

	現状	変針点を考慮	減少率
ニアミス	116回	107回	7.76%
危険状態	718回	646回	10.03%
事故	0回	0回	—

5. 結言

仮想海上交通センターを用いた航行支援システムの一部をワークステーションとPC端末を用いて作成した。しかし多数のアクセスに対応するためには、本格的なデータベースの作成が必要であると考えられる。また、大阪湾においてのシミュレーションによって、他船の時期変針点分かる事により、より有効な避航ができる可能性がある事を示した。しかし、このシミ

ュレーションが現実の状態を完全に現しているとはいえない。より実際の状態に近づけるためには、漁船・旅客船情報の追加、あるいは、避航ルールの改善が必要であると考えられる。

6. 参考文献

- 1) 井上 欣三、宇佐美 茂、柴田 登紀子：制限水域における航過距離と離隔距離に関する操船者意識のモデル化,日本航海学会論文集,90号,平成6年3月,PP297-305.
- 2) (社)神戸海難防止協会：大阪湾海上交通システム調査研究(OTS21)海上交通予測 総集編,昭和63年3月.
- 3) (社)神戸海難防止協会：長期展望にたった大阪湾における海上交通システム(OTS21)調査研究報告書(その4),昭和63年3月.
- 4) (社)神戸海難防止協会：長期展望にたった大阪湾における海上交通システム(OTS21)調査研究最終報告書,平成元年3月.
- 5) 早川 勇：航行環境評価のための自動航行シミュレーションシステムの開発,平成9年3月.
- 6) 滝本 忠教：仮想的海上交通情報センターを利用した輻輳海域の船舶航行支援システムに関する研究,平成9年3月.
- 7) 重森 康宏：自動航行シミュレーションシステムによるAIS報告容量の検討,大阪大学修士論文,平成12年3月.