

# 小型船舶の夜間入出港時における海難防止用の 航海支援システム構築の基礎研究

塩谷 茂明<sup>1</sup>・柳 馨竹<sup>2</sup>・笹 健児<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 神戸大学教授 自然科学系先端融合研究環 (〒658-0022神戸市東灘区深江南町5-1-1)

E-mail: [shiotani@maritime.kobe-u.ac.jp](mailto:shiotani@maritime.kobe-u.ac.jp)

<sup>2</sup>非会員 神戸大学博士後期課程学生 大学院海事科学研究科 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

E-mail: [118w316w@stu.kobe-u.ac.jp](mailto:118w316w@stu.kobe-u.ac.jp)

<sup>3</sup>正会員 神戸大学准教授 大学院海事科学研究科 (〒658-0022神戸市東灘区深江南町5-1-1)

E-mail: [sasa@maritime.kobe-u.ac.jp](mailto:sasa@maritime.kobe-u.ac.jp)

近年、プレジャーボート等の小型船舶の急増に伴い、小型船舶が対象の海難事故件数が増加している。特に、入出港時の夜間及び薄暮時には、航行船舶周辺の障害物、他船の動向等が見難くなるため、操船者の心的緊張感が増し、初めて入出航の港では、周辺海域の状況把握が不十分となり、衝突や座礁などの危険状況に遭遇することもあり、重大事故が懸念される。

このような状況の打破を目標に、著者らは操船者がパソコン等で、これから入出港する航海を模擬体験し、周辺状況の把握が可能となる航海シミュレーションおよび航行時により有効な航海情報の提供を行う航海支援システム構築の研究を進めている。本研究は、これまでに作成した昼間航海用の航海シミュレーションをより高度化し、新規に最も危険度が高い入出港時の航海支援システムの基礎を構築した。特に、最も危険な夜間および薄暮時の航海の再現および航海支援システムを開発した。

**Key Words** :navigation, simulation ,navigation support system, maneuvering, marine disaster, navigation information, inport and outport

## 1. はじめに

周囲を海に囲まれ、貿易が国民の生活を支える我が国にとって、資源や物資の輸送に関する研究は重要な課題である。あらゆる輸送手段の中で、特に海上輸送は輸送比率が最も大きく輸送能力に優れるため、海上輸送の研究は我が国だけでなく、世界経済の飛躍的な発展と人類を豊かにするために必要不可欠である。

海上輸送を海域により大別すると、大洋航海が対象の国際輸送と沿岸航海が対象の内航輸送がある。航海の安全性確保の面から、航海士は両者とも安全航海の遵守に努め、様々な航海情報を収集、分析および判断をして、常時海難防止に注意を払って、操船を実行する。しかし、両海域の航海環境が異なるため、両者の海上輸送の安全性に対する観点は若干異なる。大洋航海では、主に気象・海象の船舶への影響が航海の安全性に重要であり、荒天避航操船やウエザールーチングの概念が適用される。他方、沿岸海域の航海では、船舶の輻輳度が高く、複雑な地形の影響などが加味され、設定航路からの偏位の

正などのより慎重な操船が要求される。

また、両者の航海に関連し、最近の海上輸送では、船体、積み荷及び船員の安全性だけでなく、近年の、石油が主である船舶の燃料費高騰による輸送の効率化、船舶機関からの排ガス(CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>等)の大气放出、船舶バラスト排水内の有害外国産生物による貝毒や土着水生生物の生態系破壊等の地球環境保全も、重要な課題となっている。特に輸送に伴う環境面では、このまま放置すれば、限られた海洋と大気の地球環境は汚染が蓄積され増加の一方となり、不可逆的な損害を与えることが危惧されるため、一刻も早い対策が要求されている。

他方、世界経済の急速な発展から保有船舶数が増加しているが、自国船籍船の激減と発展途上国の船員の急増に加え、船員教育が十分達成されないまま輸送活動に携わることも懸念され、これによる船舶の衝突や沈没等の海難の発生も危惧される。

このような状況にかんがみ、今後、上述の輸送の三原則である安心・安全、経済性及び環境保全を統合した輸送技術のソフト・ハードを改善する総合的な研究は緊急

を要する。

著者らは、このような背景から特に、沿岸海域の海上輸送を対象に、これまで輸送の安心・安全面の研究として、操船者による安全運航の向上を目的に、航海支援システムの構築を行ってきた。航海計器やFAXなどから提供される通常の航海情報のほか、陸上の道路交通分野で長年研究され、実績のあるインテリジェント交通システム (ITS) の手法を海上交通に取り込み、海難防止に有益な様々な航海情報を提示・提供の研究を進めている。特に沿岸海域の中でも、東京湾、伊勢湾、大阪湾および瀬戸内海などの閉鎖海域では、我が国の主要港湾を有することから船舶の輻輳度が高く、複雑な地形と狭隘な海域が多く、さらに速い潮流が航海に影響を与えるなど航行船舶にとって、非常に危険な海域であり、航行支援用の効果的な航海情報の提供は極めて重要である。

著者らのこれまでの研究を大別すると、三過程に分けることができる。第一過程では、初めて航海する海域の状況を事前に把握するため、模擬体験航海が可能な航海シミュレーションを構築した。模擬体験航海の経験により、海域の状況把握が可能となり、実航海中の緊張感が緩和され、安全航海につながることを期待される。手法はGIS (地理情報システム) を用い、船橋から見る景色を三次元表示し、試供船の実航海に基づいた航海シミュレーションを構築した<sup>1)</sup>。GISの特徴は様々なデータを重ね合わせて表示できることである。有効な航海情報として、海図では表示できない乗揚げ防止用の詳細な水深情報を提供した。現状の航海士は、主に紙媒体の海図を航海情報として利用し操船するが、海図は一般の地図と同様の二次元情報である。著者らの航海情報は立体図形を表示の三次元海図であり、現在の船舶では未だ十分でなく利用されていない。

船舶の操縦や船体運動に対し最も影響を与えるのは風、波浪および潮流などの気象・海象である。一般に気象・海象の情報は、天気図や波浪図で収集するが、1日2回程度の大局的な情報であり、海難防止に密接に関連する航行海域及び船体の極く周辺海域の詳細な情報は得られない。これを打破するために、航行海域全域の気象・海象を数値計算で求め、効果的な表示法で、GIS上に重ねて提示した<sup>2,3)</sup>。

また、紙媒体の海図には表示できない各種航路標識の詳細な解説も付加された<sup>4)</sup>。

第二過程では、リアルタイムに航海情報の表示システムを構築した。実海域航行中の船舶の船橋から見る景色を船上で再現した。作成した三次元海図と船舶搭載のGPSのデータを対応付けて、リアルタイムに航行船舶から見る景色を見ることができる<sup>5)</sup>。このシステムでは、船舶に搭載し、航海中に実際に見える航路標識などの詳細な情報を知りたい時、クリックすると情報が提供され

るので、航海中の操船支援システム装置であると言える。さらに、航行船舶の周辺海域の状況を通信により陸上基地に転送し、パソコンの画面などに再現すると、陸上から航海中の船舶の動向の把握が可能となり、陸上からの船舶管理として応用可能である。

第三過程では、航行船舶で収集した航海情報である、三次元海図、レーダー映像、気象・海象の観測データ、船速、針路、船位、AISおよびECDISなど通常の航海に必要な航海情報などを陸上に転送・再現することにより、陸上であたかも船橋の航海士が得る航海情報が得られるので、陸上から船上の航海士に操船支援が可能となる遠隔操船支援システムである。航海経験が十分でない、あるいは初めて航海する海域の場合、航海士は緊張感が高揚する。特に、船舶の輻輳度が高く、複雑な地形の沿岸海域の航海の場合、緊張感が極度に達することがある。このような場合、陸上から経験豊かな操船者による航海支援システムがあれば、緊張感も和らぎ、安全運航が確保できると思われる。この遠隔操船支援システムは現在、研究を開始した状況にある。

以上の著者らの研究の先行研究は海上のITSの研究が道路交通に比較すると、遅れているので、ほとんどなく、新規的である。第一段階の研究に似た研究例として、日比野らは各種航海情報を集約し、船内LANで船内の各部署に電子海図 (ECDIS) をベースに船位、針路、船速などおよび船上観測の風向、風速などの表示システムを示した<sup>6)</sup>。しかし、航海情報の表示はECDISや紙媒体の二次元海図のイメージであり、三次元表示はされていない。

航海シミュレーションに類似の装置として、操船訓練用の操船シミュレータがある<sup>7)</sup>。これは著者らの第二のシステムに似ている。対象海域を模擬航海し、舵を取り変針すると船橋で見る景色が変化し、あたかも操船状況を再現する。しかし、本装置は実習生及び実務者への訓練用に特化し、数億円の費用を要し、大掛かりな装置と高度な機器管理技術が要求される。これに対し、著者らのシステムの特徴は、装置としてノート型パソコンレベルで十分であり、安価で高度な技術を要せず、いつでもどこでも操作が可能である。

本研究は、第一及び第二過程の研究の高度化である。これまでの研究では、航海情報の提示は昼間の航海に限定されていた。本研究の新規性は、昼間から薄暮時および日没後の夜間航海に拡張したことである。また、沿岸海域の航海でも広い海域の航行の場合よりも、入出港時の操船は、岩壁や防波堤に囲まれた港内および港口附近の航海となり、特に緊張感が増し、海難発生の確率が高い。今回、本システムの高度化および実験航海を実施した結果、本システムの有効性が確認出来たので、ここに報告する。

## 2. 実験航海

入出港時の船舶にとって航海情報表示システムの有効性の検証を目的に、実船舶を用いた航海実験を行った。今回は最初の実験でもあり、対象船舶を小型船とした。これは、近年、海洋レジャー産業の発展に伴い、プレジャーボートの海難事故の発生が増加傾向にあるので、小型船舶の海難防止を主眼とした。

供試船には、神戸大学大学院海事科学研究科所有の小型船舶「むこ丸」を用いた。図-1に供試船の全景、表-1に主要項目を示す。むこ丸は、学生の舟艇操船実習や海洋調査などに供されている、通常のプレジャーボート型の小型船舶である。

供試船には、三次元海図表示用のノート型パソコン、船位取得用のGPS、船首前方の景色撮影用のビデオカメラ、その他、船尾後方および側方などの船舶周辺の景色を随時撮影用のビデオカメラ3台、参考用として自動車で利用されるカーナビを搭載した。GPSはノート型パソコンと接続し、GISで製作したPC画面上の三次元海図とむこ丸の船位を対応付け、船舶の移動とともに、景色が変化するようにした。その他、むこ丸には、簡易式の電子海図が搭載されているので、船速、船首方位、航跡が画面に表示できる。しかし、外部出力としてデータを取り出すことができないので、ビデオカメラで電子海図の画面を映像として撮影した。

表-1 供試船「むこ丸」の主要項目

Item	Mukomaru
Lpp (m)	9.33
B (m)	2.54
D (m)	0.89
$\Delta$ (ton)	3.4
V (knot)	30
Pw (HP)	270



図-1 供試船むこ丸の全景



図-2 実験の航跡

図-2に供試船むこ丸の実験航海時の航跡を示す。実験海域は、大阪湾であり、神戸大学大学院海事科学研究科のキャンパス内にある附属練習船などの係留地であるポンドを出港し、深江沖を南下、六甲アイランドと魚崎浜間の水路を神戸港に向かって西航、六甲大橋を通過後、同水道を引き返し、深江の東側に位置する芦屋市に向かった。芦屋アイランドと芦屋浜間の水道を東航し、西宮の夙川河口手前でUターンし、深江のポンドに入港した。

プレジャーボートの操縦者は、船員を職業とする一般商船の航海士や漁業従事者のように、操船に常時携わらないで、休暇を利用しレジャーとして時々操船する程度であるため、必ずしも操船の熟練者でない。そのため、咄嗟の判断不足などの人的ミスが多くなる危険性がある。特に、夜間及び薄暮時の航海では視野が狭くなり、航行船舶周辺の障害物、他船の動向等が見難くなるため、衝突や座礁等の重大事故の発生が危惧される。その中でも、特に入出港時には、狭隘な港口および港内で他船との遭遇も多くなり、防波堤による遮蔽などのため圧迫感を感じ、操船者は特に心的緊張感が増す。ましてや、初めて入出航を経験する港では、周辺海域の状況把握が不十分になることも有り、危険状況に遭遇することがある。このような背景から、実験航海は、夕刻から開始し、航行中に薄暮時および日没時の航海を含む時間に設定し、深江のポンドへの入出港の航海を含めた。

実験後、沿岸域航行中、船舶から見る実景色とシステムで作成した三次元海図の比較などから、航海支援システムの評価を行った。

## 3. 実験航海の結果

図-3に三次元海図に、事前に作画した航路標識（ブイ）を重ね合ねた図を示す。三次元立体図で作画したので、形象物の形状などが鮮明に表示できる。航海中、霧の発生や薄暮時には航路標識などの物標は相当接近しないと見えないが、三次元海図では、浮標式（標体、頭標、

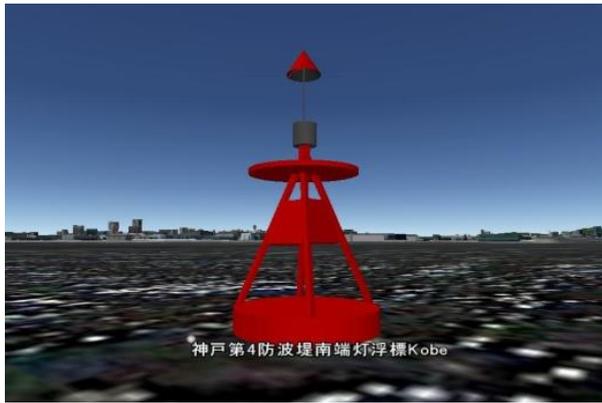


図-3 実験の航跡



図-6 船舶からの距離環の付加



図-4 航路標識の解説

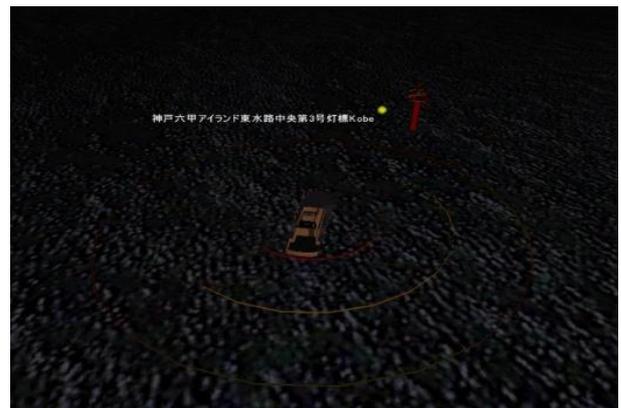


図-7 航路標識の解説

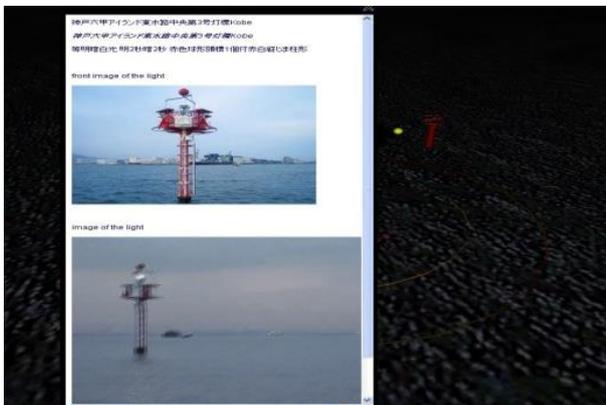


図-5 航路標識のビデオ画像と解説

図解、塗色、灯質など）も事前に確認できる。これは、航海中に、航路標識の探索に、有効である。

図-4に薄暮時の航路標識の詳細な解説を写真付きで説明する。紙媒体の海図およびECDISのような通常海図では、灯質、発光の種類、ひかりの到達距離などの簡単な項目のみが記入されているが、詳細な航路標識の説明はされていない。本システムでは、三次元海図上に作成の灯台の三次元画像をクリックすると、解説用ウィンド

ウが現れ、その中に掲示したい解説及び写真などを、事前に自由に記入することが可能である。これにより、より詳細な航路標識の情報提示が可能である。

図-5にビデオカメラで撮影した船首前方の映像をPCに取り込んだ航路標識および標識の解説を示す。ビデオカメラの映像は船首前方に取り付けたビデオカメラで撮影する。目標とする航路標識の解説を示しながら、これから船首前方に見える物標をビデオカメラで探査しながら、同時に確認のための物標の照合が出来る。これにより、航路標識の誤確認を避けることが出来る。

図-6に夜間航行船舶の船体中央からの一定距離環の付加を示す。距離環の間隔は、任意に設定可能である。しかも距離により、線の色の変更も可能であり見易い。経験未熟な航海士にとって、接岸時に対岸までの距離及び他船との距離の目視計測は個人差があり、正確な距離の確認には相当の経験を要するため、距離環による距離の確認が容易になり、衝突予防に繋がると思われる。

特に、夜間航海時の距離感覚は、周辺海域の鮮明な景色が見えないこともあり、正確に把握できるのは非常に困難である。

図-7に夜間航海時の距離環を示す。昼間と比較して図中の物標間の距離が判別し難いので、距離環があると、

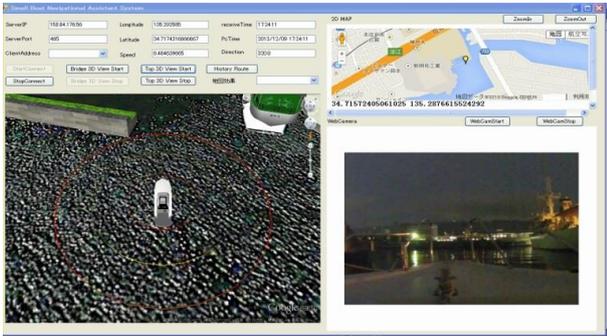
容易に把握できる。

#### 4. 夜間入出港支援

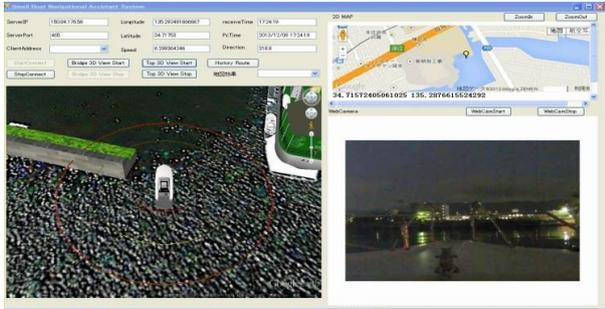
薄暮時は道路交通でも昼間と比較すると運転中の視野が狭くなり、対向車及び道路周辺の物標などが見難く、また距離感が鈍くなり、事故発生率が高い。同様に海上

においても、視野が狭くなり、操船は緊張感が増し、海難事故に繋がることもある。また夜間では、道路交通の場合、昼間より危険度が増すが、走行車のヘッドライトや路側帯の建物や街灯により、比較的明るい環境で、運転が可能である。しかし、海上の場合、航行船舶数は道路交通と比較して非常に少ないことや、街灯の概念がなく、海況によっては、航行周辺海域は真っ暗闇になることがある。特に港内への出入口の周辺海域では、防波堤、テトラポットなどの障害物、岸壁およびポンツーンなどの浮体物などがあり、これらに乗り揚げおよび衝突の危険度が高い。

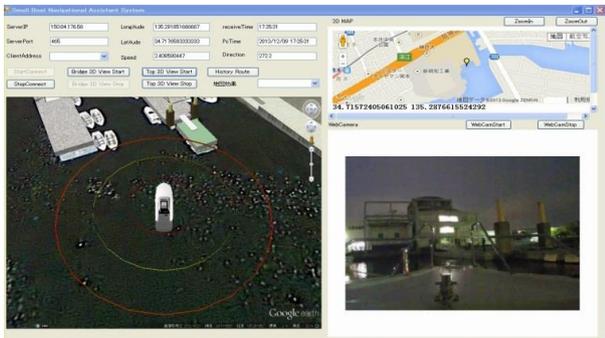
図-8に深江にある神戸大学海事科学研究科のポンドに日没後に入港するむこ丸の状況を示す。むこ丸搭載のPC画面が表示されている。各図中の、左上の表には、船首方位、針路、船速、船位などの基本的な航海情報が数値として表示されている。左下画面は三次元海図であり、むこ丸の船位に三次元の船体が表示されている。さらに、船体中心部を中心に距離環が付加されている。画面右上



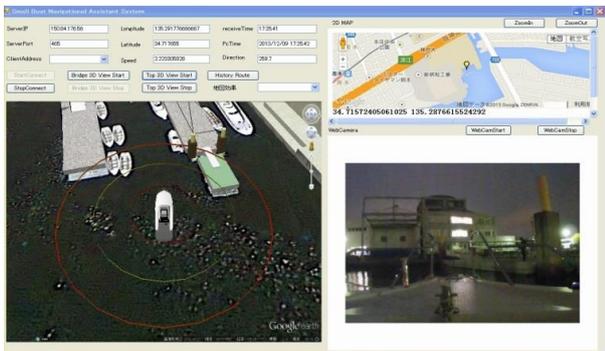
(a)



(b)



(c)



(d)

図-8 夜間入港時



(a)



(b)

図-9 昼間の三次元海図の表示

は二次元海図である。船位は図中に記号で表示されている。画面右下の図に、ビデオカメラ撮影の船首前方の映像を示す。図(a)は入港直前であり、むこ丸の船首前方に、ポンド入り口が見える。図(b)はポンド入り口を通過時であり、ポンド入り口の防波堤がむこ丸左舷正横に見える。図(c)はポンドに入港し、左舷に変針後、係留する浮棧橋に向かう時である。図(d)は右舷側前方に見える浮棧橋に接岸直前を示す。各図において船速を確認しながら、減速し、速力を調整して接岸の操船をする。船位は、二次元海図よりも、三次元海図の方が、視覚的に状況判断が容易である。さらに、距離環を付加することにより、周辺海域の防波堤、岸壁および他船との距離感などの把握が容易である。操縦しながら船首前方の景色の確認は、夜間の場合、非常に見難い。このような場合、ビデオカメラの映像は感度が良く、人間の視野よりも景色をより鮮明に捉えることが出来るので、感度のよい見張りの役目を果たしていると思われる。このように、三次元海図及びビデオカメラの映像などは、視覚情報として夜間入港時には、効果的であると考えられる。

図-9に図-8の(a)および(c)の時の三次元海図の昼間表示を示す。画面上のスイッチを切り替えることにより、夜間入出港時でも昼間の三次元景色を見ることが可能である。これにより、周辺海域の詳細な状況判断が可能になり、用途により昼間と夜間表示を随時切り替えることにより、航海の安全性が高揚すると思われる。

## 5. システムの課題

本システムの利用は、航海の安全性向上には有益であると思われるが、現状では問題点および今後の課題もあることが実験結果で確認出来た。主な短所を以下に列挙する。

1) リアルタイム航行時に利用の航海支援システムでは、他船の表示が現状では可能でない。解決策として、AIS情報を収集し、当面はECDISのように二次元海図に表示する。他船は進行方向が分かる三角形などの記号で表示する。三次元海図には、航行船舶の船体の表示が要求される。事前に数種類のモデル船を作成し、データとしてハードディスクなどに格納しておく。AISデータから得られる他船の船種、船長などのデータに基づき適切な船種のモデル船舶を選択し、船長データからモデル船を縮尺して描画することにより、他船の動向を三次元海図に表示するような工夫を施す。

2) 現状の三次元海図には、岸壁や接岸付近の建物、棧橋などの構造物および航路標識のような施設構造物などを事前に表示することは可能である。しかし、プレジャーボートおよび小型漁船などの小型船舶のように、現行では法的にAISの搭載義務がない船舶ではデータがない

ので、実際に航行、係留および描泊している状況を再現することができない。近年、AISが海上交通の安全性向上に十分有効であることから、小型船舶にも性能が若干低く安価なBクラスのAIS装置の設置が検討されている。もしAISの設置義務が法的に定まると、これらの船舶の表示も可能になる。

3) 上記の他にも、常設でなく、一時的に設置された物体などを三次元海図に取り込むことは可能でない。また、紙媒体の海図と同様に、三次元海図の海図補正のような修正は容易であるが、補正のタイミングなどの管理運営は難しい。

4) 図-9に示すポンドに隣接の建物の作図は安価な描画ソフトで実施したので、カーナビに表示された道路沿いの建物が直方体程度の精密さしかないのと同様に、多少リアル感に欠け、現実的な景色でない。最近の映画や映像技術ではバーチャル空間の作成で、現実感のある空想映像を製作している。また、数値流体力学において計算結果の動画による可視化技術が進み、洪水の氾濫や津波の遡上などをリアルに表現している。これらの技術を応用し、高度なソフトで、航行海域周辺の景色の再現を計る所存である。

リアルタイムの航行支援システムの場合には、その他にもさらなる改良点が今後現れると思われる。これらの課題などは、今後の研究としたい。

本システムの評価に関しては、これまでに模擬体験航海が可能な航海シミュレーションの作成時に、現職の航海士にアンケート調査を行い、航海シミュレーションの有効性の評価を得ているので、本システムはそのシミュレーションの発展版であるため、概ね有効であると考えている。しかし、システムの高度化の途中で、今後再度現場の航海士にアンケートを行い、意見聴取や評価を実施し、システムの修正および高度化を実施する予定である。

## 6. 結論

小型船舶の夜間入出港時における安全性確保を目的とする航海支援システムの構築を行った。通常の航海で利用される各種航海情報の他、操船支援となる航海情報の有効な提示を提案した。これらの支援システム製作の結果、以下の主要な結論を得た。

1) 航路標識の詳細な解説は、航海時に標識の情報の再確認に有効である。

2) 航海中に、航路標識の探索、再確認用の画像提示は、標識の誤認識の防止に有効である。

3) 夜間入出港時の操船支援が目標の本システムは、夜間のため視野が狭くなり、物標確認および物標間の距離の把握などの判断低下の支援となる。

4) 夜間入出港時は視野が狭くなるので、昼間の三次元景色を提示可能な本システムは、見張りの効果に有効である。

今後、より一層リアルな景色および形象物などの再現を可能とする高度化を進める。また、リアルタイム時の利用の際も、他船などの表示なども効果的に可能な手法を取り込む所存である。

謝辞：本論文の作成にあたり、神戸大学大学院海事科学研究科の塩谷茂明教授の研究室のメンバーには、航海実験にご協力をいただいたので、ここに感謝いたします。最後に、本研究は、科学研究費の基盤研究（B）の「瀬戸内海の家難ゼロを目指す海の家ITSを利用した航海システムの構築」（課題番号25282104）の一環として実施したことを付記する。

#### 参考文献

- 1) 塩谷茂明, 牧野秀成, 嶋田陽一：沿岸海上交通における海難防止のための航海情報支援に関する研究 — 水深情報一, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.67, No.5 (土木計画学研究・論文集第 28 巻), L\_1039-L\_1047, 2011.
- 2) 塩谷茂明, 牧野秀成, 永吉優也, 柳馨竹, 嶋田陽一：沿岸航海の安全のための航海シミュレーションに関する研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vo.67, No.2, pp.1838-1843, 2011.
- 3) 柳馨竹, 塩谷茂明, 牧野秀成：沿岸航海の安全のための航海シミュレーションにおける気象・海象に関する航海情報の提示の研究, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vo.68, No.2, L\_1187-L\_1192, 2012.
- 4) 柳馨竹, 中尾謙太, 堀川大介, 塩谷茂明, 笹健児：GISを用いた船舶出入港時の航海シミュレーションの研究, 海洋開発論文集, Vo.69, No., pp.L\_610-L\_615, 2013.
- 5) Shinchiku RYU, Shigeaki SHIOTANI: Small Craft Assistant Information System Based On GPS and Google Earth in Real Time, 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, OMAE 2013, CD-ROM, pp.1-7, June 9-14, 2013, Nantes, France.
- 6) 日比野雅彦, 生田陽一, 大竹裕一郎：一般商船における航海情報のリアルタイム収集・転送実験, NAVIGATION, 154号, pp.63-66, 2002.
- 7) 小瀬邦治, 長谷川和彦：操船シミュレータとその安全性評価への利用, 日本造船学会運動性能研究委員会・第2回シンポジウム, pp.89-114, 1985.

(? 受付)