

# 船舶乗揚防止のためのGISによる水深航海情報の提示\*

## Presentation on Navigational Information of Water Depth by GIS for Prevention of strand of a ship\*

高欣佳 \*\*・塩谷茂明 \*\*\*・牧野秀成 \*\*\*\*

By Xinjia GAO\*\*・Shigeaki SHIOTANI\*\*\*・Hidenari MAKINO\*\*\*\*

### 1. はじめに

人口増加と世界経済の急速な発展に伴い、国内及び国際海上輸送を担う、各種船舶の船腹量が増加している。その結果、船舶設計の改良及び高度な航海機器の開発にもかかわらず、海難事故が後を絶たない状況にあり、今後の増加が懸念される。

我が国において、海上保安庁の船舶海難発生調査によると、海難発生要因の中で、衝突事故が第一位、乗揚が第二番目に多い<sup>1)</sup>。船舶の衝突事故は様々な原因が考えられるが、船舶の乗揚事故は航行海域内の水深情報が最も深く関連すると考えて良い。航海中、航行周辺海域内の水深に関する航海情報が、適切に提供されると、乗揚事故を防止することが可能である。このように、乗揚回避に関する適切な対策を講じることは極めて重要である。

特に、船舶輻輳度が高い東京湾、伊勢湾、大阪湾及び瀬戸内海等の沿岸域では、海域が狭隘であり、航行船舶数が過密状態にある。しかも、複雑な地形と航路周辺海域には浅瀬も多く、安全航海のために、航海士に高度な操船技術が要請される。初めての航路、経験未熟な船員にとって、絶えず危険な状況に遭遇し、緊張感の高まりが危惧され、安全性確保の面から、通常提供される航海情報の他、何らかの航海支援情報が必要であると考えられる。

現在、航行船舶は水深に関する航海情報を、主に紙媒体の海図や電子海図などから取得している。しかし、これらの情報は、平面図であり、しかも詳細な等水深線などの情報はなく、周辺の水深値の表示から現在位置での

水深を判断する必要がある、急に浅くなる浅瀬などの海底傾斜の把握や暗礁等にどれだけ接近可能か等についての判断に対し、長年の経験が必要となる<sup>2)</sup>。また、二次元媒体から得られる情報は、情報量も限られているので、判断ミスを起こす危険性もあり得る。船舶が輻輳し、周辺海域の他船の状況などの把握に気を取られていると、これら水深要因の理解については、その場で即時の判断を要し、航海士に多大な緊張感を与えるだけでなく、それが原因の海難を引き起こすことも考えられる。

また、船底から照射された音波の海底からの反射により、水深を計測する音響測深器から得られる水深の航海情報も、利用されている。この情報では、これまで航行した船舶の位置を示す航跡線上の水深が、鉛直断面図上でのみ得られる。しかし、船舶の周辺海域の平面的な水深情報や、これから航海する船首前方の水深情報は何も提供されない。

著者らは、これまでの研究で、二次元及び三次元の水深情報を提供する手法について論じた<sup>3)4)</sup>。水深情報の表示にはGISを利用した。海洋情報のGISによる表示は多数研究されているが、航海情報の提示に関するGISの利用は、これまでの研究でほとんど見られない<sup>5)6)</sup>。これらの研究では、GISを用いた二、三次元情報の可視化により、船舶の航行に必要な様々な情報をその場に応じた情報として表示し、操船者にわかりやすく効果的な情報を提供することを目的としている。しかし、これらの研究は、第一報で、初めての研究であり、水深情報の中でも、詳細な等水深線の表示や、気象・海象情報の中で、船舶の運動に影響する海上風および波浪に関する初歩的な情報提示であった。

本研究では、よりリアルな表示等の工夫を凝らし、既存の情報と現代の技術をうまく組み合わせることで、前述の経験不足な航海士の経験を補い、さらには熟練航海士にもより多くの情報量を支援提示するシステムを作成することである。本システムの利用により、視覚的に自船の運航環境と周囲の環境を容易に把握でき、直感的かつ効果的に最適な情報を提供することである。これにより、航海中に強いられる航海士の緊張感を解消し、さらには安全航行へと繋がり、海難防止にも有効であると思われる。

\*キーワード：交通安全、水上交通、交通情報、GIS

\*\*非学生員、学士、神戸大学大学院海事科学研究科

(神戸市東灘区深江南町5-1-1、TEL:078-431-6241、  
E-mail:gaoxinjia0805@gmail.com)

\*\*\*正員、工博、神戸大学自然科学系先端融合研究環

(神戸市東灘区深江南町5-1-1、TEL:078-431-6241、  
E-mail:shiotani@maritime.kobe-u.ac.jp)

\*\*\*\*正員、工博、神戸大学大学院海事科学研究科

(神戸市東灘区深江南町5-1-1、TEL:078-431-4693、  
E-mail:makino@port.kobe-u.ac.jp)

## 2. 水深の三次元表示

本研究で用いたGISはESRIジャパン社のArcGISである。ここでは、今後実船舶を対象とした水深情報提供の検証実験を実施の予定であるため、水深データの情報提示を実験海域の大阪湾とした。大容量の三次元GISデータをシームレスに高速表示するため、ArcGISの中の3次元専用アプリケーションArcGlobeを用いた。

水深データは海上保安庁水路部発行の500m等間隔水深データをArcGISに入力し、データタイプを変換して、大阪湾の水深三次元図を作成した。大阪湾水深と陸地は国土地理院発行の日本陸地の標高データと重ねて表示した。

図-1に大阪湾全景の水深情報の鳥瞰図を示す。水深により大阪湾を色分け表示した。色の濃い箇所が深く、色の薄い箇所が浅い。このように、色の濃淡で色分けすると、明石海峡のように地形変化が複雑な海域も理解が容易である。大阪湾東部の大阪市よりの海底は浅く、平坦である。このように、海図や電子海図にはない機能の色分けにより、大阪湾の全体的な水深情報を一目瞭然に理解できる。また、陸上の地形も、色分けにより、前報に比較すると、平坦部と丘陵地の区別が鮮明に表現できている。

このように、海底地形を三次元表示すると、二次元表示より、一段と現実的な水深情報が得られる。



図-1 大阪湾全景の鳥瞰図

図-2に拡大した明石海峡の海底地形を示す。GISでは地形の拡大・縮小が任意スケールで可能であり、航行中の自船にとって海底斜面や、急に浅くなる海域の把握等、重要な情報が詳細に得られる。三次元画像によると、狭い沿岸部から急に深くなる海峡中央部への複雑な海底地形の変化の様子や、沿岸で急に浅くなる浅瀬が多く、座礁しやすい海域であることが容易に理解できる。航海士にとって、航行時に、十分注意を払う必要性が理解できると思われる。

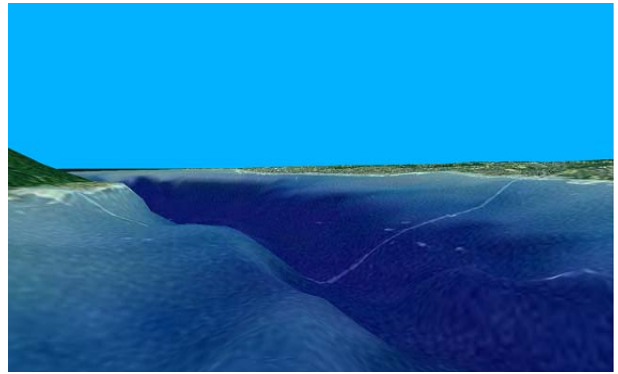


図-2 明石海峡の三次元海底地形

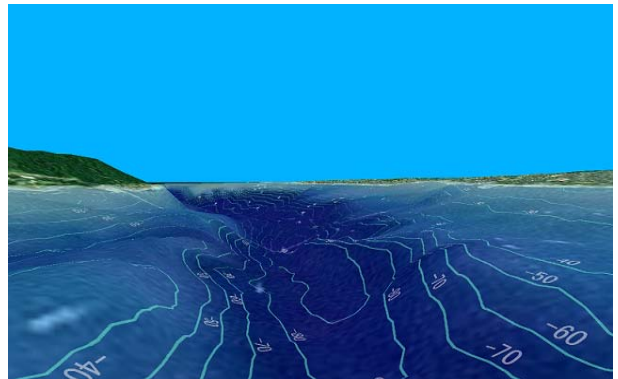


図-3 明石海峡の海底地形と等水深線の重ね合わせ情報

また、航海中に通常使用する紙媒体の海図や電子海図では、詳しく等水深線が記入されていないため、詳細な海底地形の把握には、十分な経験を要する。

図-3に一例として水深線間隔が10mの等水深線を、図-2に重ね合わせて表示した。等水深線の間隔は任意に変更が可能である。さらに、等水深線の表示値も任意間隔で、しかもフォントの寸法も任意であり、調整により



図-4 供試船深江丸の乗揚危険海域の提示

図の煩雑さをクリアにしている。

航行船舶の喫水の把握は重要である。航海士は絶えず、海図上の航行周辺海域の水深情報を確認しながら、本船の喫水から、航行可能か危険海域かを判断している。もし、事前に航行可能海域であるかの判断が容易に可能であれば、航海士の安心感も高揚する。前報では、喫水より浅い海域を色分けし、危険海域を図示した。図-4に示す供試船深江丸が航行する場合、乗揚の恐れがある航行危険海域を朱色で色分けした図を示す。前回の図より、鮮明である。図-5に供試船深江丸の全景を示す。深江丸



図-5 供試船深江丸

は神戸大学海事科学研究科所属の航海用練習船である。主に、大阪湾、瀬戸内海において、学生の操船実習及び研究航海に使用されている。深江丸の全長は49.955m、幅が10.0m、喫水が3.212mであるため、水深5m未満の朱色の領域を危険領域として表示した。深江丸の喫水は浅く、沿岸部を除くほとんどの大阪湾全域で、航行可能であるが、沿岸部の朱色の危険海域内に接近しないように、操船を行う必要がある。

沿岸接近時の一例として、深江丸が母港の神戸市深江に入港の際に、沿岸域を航行したと仮定する。もし、乗揚危険海域に接近したとき、警告を促す音声によるアナウンスの画面表示があると、航海士はいち早く乗揚危険を察し、対応が可能となる。図-6に画面表示された注

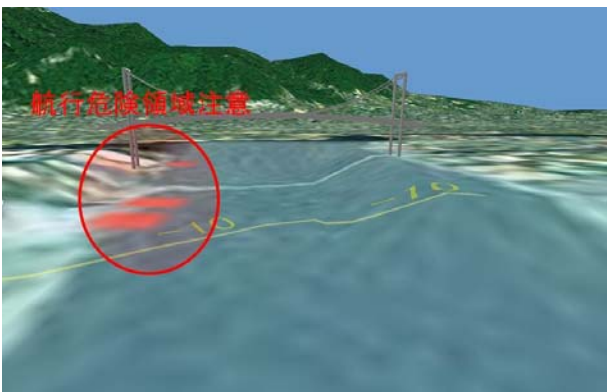


図-6 乗揚危険海域接近の注意喚起信号の表示

意喚起を示す。図中には、赤色で、「航行危険領域注意」の文字が表示され、注意喚起信号を表示している。航行船舶が事前に設定した危険海域に接近する場合、画面に注意喚起の表示は海難事故防止に有効である。このような機能は、電子海図にはない。

図-7に喫水が10m未満の船舶の航行危険領域を示す。この図より、大阪湾内の各港に入港する際は注意が必要であることがわかる。特に、図-7に喫水が10mの船舶の航行危険領域の表示を示す。特に、阪神港尼崎西宮芦屋区周辺海域を拡大表示している。実際に、この海域に喫水10mの大型船舶の入港は少ないが、入港可能な航路幅や水深情報等の把握が事前に可能であり、本船の入港時の操船のイメージを描くことができる。このような海域



図-7 阪神港尼崎西宮芦屋区付近の水深10mの危険海域

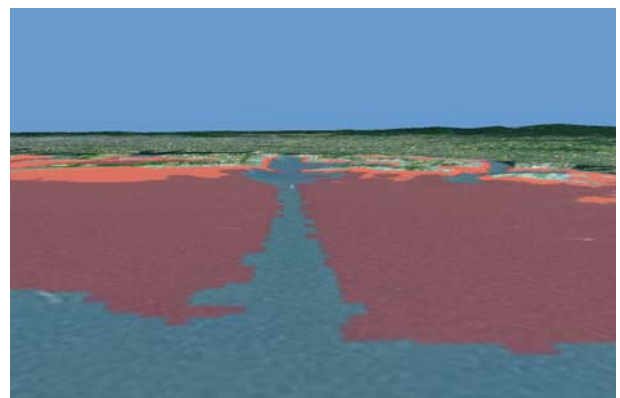


図-8 阪神芦屋及び西宮付近の水深10mの危険海域

に入港の際は、細心の注意が必要である。事前の水深情報の調査ができることから、安全な操船支援用の航海情報として有効である。

PSクラスのコンテナ船や大型タンカーなどの超大型船舶（喫水15m未満）にとって、大阪湾は浅いため、湾内で入港可能な港は制限される。現在、大阪湾内でこのような超大型船が入港できる港は神戸港と堺泉北港だけである。図-8に超大型船が堺泉北港に入港する際の危険領域の拡大表示例を示す。赤く塗られた海域は乗揚の危険性がある海域である。安全に航行できる領域の航路幅は

わずか200m程度である。超大型船の場合、船幅が50m程度ある船舶もあり、この図のように予め航行できない領域が明確に図示され、危険領域の範囲が事前に理解できると、前もって危険を回避する準備もでき、操船者にとっても安心感を与えることができると考える。このような表示は電子海図にはなく、本システムでは、各船舶の喫水によって、任意水深に設定の航行危険海域を表示することで、航海士にとって有効な情報である。

### 3. 航路標識等の三次元表示

現在、使用されている紙海図やデジタル化された電子海図等では、二次元平面上に航行海域の障害物や航路標識等が水路図誌に規定されたマークで表示されている<sup>7)</sup>。航海士は長年の経験により、各種航路標識等の形状、灯質等の特性を理解する。しかし、二次元平面図では、航行状況を直感的に把握できない。特に初めての航行海域や外国船の航海士にとって、周辺海域の環境を即座に判断することは難しい。しかも、船舶の輻輳度が高い海域においては、あらゆる航海に関する環境変化の把握、対応が要求される。そのため、絶えず危険な状況に遭遇したり、緊張感が高まることが危惧され、海難発生の危険性要因がある。航海の安全を守り、安心航行のため、水深情報の他、航路標識や、障害物などの安全運航実現の為に必要とされるその他の航海情報を視覚的に分かりやすく提供することは有効である。ここでは、記号でなく、写真や三次元画像の提供をGISの三次元画像上で行うことを提案する。

本研究では、三次元モデルをArcGISと整合するSketchUpのソフトウェアを用いて、作成した。SketchUpソフトでプラグインすることにより、作成した三次元モデルをタイプ変換し、ジオデータベースに保存して、ArcGISに入力した。入力した三次元モデルは座標空間を持ち、各三次元モデルを空間内で整備し、三次元景観シミュレーションを構築した。これを大阪湾地形モデルと同一の座標軸にArcGIS上に重ね合わせた。

図-9に、生成した大阪湾水深モデルと明石海峡にある



図-9 三次元地形と明石海峡大橋の表示

明石海峡大橋を示す。地形以外の人工的に作成された継承物を構築することにより、景観がより現実的に表現できる。

また、海図や電子海図には推薦航路や法的に定めた航路などが表示されている。本システムにおいても、地形の単なる三次元表示だけでなく、航路などの記入により、航海士にとって、立体感のある航海支援に役立つ。

図-10に、明石海峡における推薦航路を記入した図を示す。航海士はこれらの航路により、事前の計画航路の設定が可能になり、航海の安全支援に役立てることが可能である。



図-10 明石海峡の推薦航路図の表示

通常、航海士は沿岸域航行の場合、自船の位置を船橋から見える顕著な山頂、航路標識、鉄塔などの顕著な3物標の方位を読み取り、鉛筆で反方位線を海図上に引き、互いに交差してできた小さな三角形の中心を船位として決定する、交差方位法(クロスベアリング)で求める<sup>8)</sup>。

本システムにおいても、顕著な物標及び山などを描画し、山の名称などを追加記入することにより、海図と対応した三次元地形図を作成した。図-11に、明石海峡通過時に見える顕著な山及び標識、名称などを記入した図を示す。これにより、図-9と比較して、実際に航海中の物標の見え方、配置が詳細に理解でき、より現実的な景観となり、航海の支援に有効である。

航海士は当直時、各種物標に関して、詳細な情報を

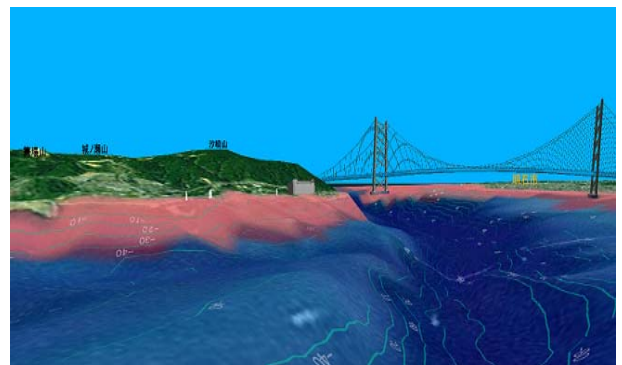


図-11 三次元明石海峡と顕著な物標の表示

必要とする場合、水路誌や灯台表を参照する<sup>9)10)</sup>。いずれも紙媒体の書誌であり、船橋に常設している。本研究では、画面上に表示の顕著な物標とそれに関する情報を結びつけ、物標をクリックすると、情報が表示できるようにした。作成した3次元モデルと関連する情報を結びつける方法は、ArcGISのハイパーリンク機能を用いた。

図-12に、大阪湾内の明石海峡の東方にある平磯灯標を画面上でクリックした時の、物標の情報を示す。灯台や灯標の情報は灯台表から引用の緯度、経度、灯台の高さ、灯質などである。さらに、灯標の写真を表示することにより、船上からの確認を支援することができる。このように、写真や詳細な説明文による情報が、画面上で瞬時に確認出来ることにより、書誌を開き、探す、読む時間の見張り業務などが怠ることはなく、容易にすみやかに情報の提供が可能になる。



図-12 航路標識の写真と説明の表示

GISの特色と利点は、地理情報データをベースに複数の情報をパソコンなどに保存し、画面上でそれぞれを容易に表示できることである。表示した情報の変更は、即時に可能である。また、複数の情報を二重に、さらに、多重に重ねた表示も可能である。状況判断に従って、その都度用途に見合った情報を選択し、画面に表示できる。これらの操作をシステム化することにより、海図や電子海図及びその他の航海計器による航海情報では、表現できない航海情報の作成、表示が可能である。これにより、通常の航海情報を支援する新しい航海情報の提供がGISによって可能になった。

### 3. おわりに

通常に提供、利用される紙媒体の海図、IT化された電子海図の他、レーダを初め様々な航海計器から取得できる航海情報を、さらに一層航海の安心・安全を確保し、海難防止に有益かつ支援となる航海情報の提供システムの構築を目指している。本研究では、特に乗揚回避の支援航海情報の提供として、各種水深情報及び航路標識や顕著な山、物標となる橋などの構造物を表示した。さら

に、三次元表示により、より一層リアリティのある画像表示を提供した。その結果、以下のような主要な結論を得た。

- 1) 航行海域の水深情報として、水深に応じた色分け、濃淡の変化を行うことにより、海図や電子海図では表現できない水深の変化が把握できるようになった。
- 2) 航行海域周辺の三次元表示により、これから航海する船首前方の海底起伏等の海底状況の把握が可能である。さらに、色分け、色の濃淡、任意の等水深線の加筆により、一層効果的であることがわかった。
- 3) 本船の喫水に見合った航行危険海域の色分け表示により、乗揚危険海域の確認、入港時の航路幅の再認識が可能となり、事前に、計画航路の設定や、非常事態の判断資料が得られ、出入港時の安全操作に役立つことがわかった。
- 4) 危険海域に接近時、画面上に警報発令の文字盤の表示、同時にアラームなどの併設を行うことにより、危険海域回避の有効な情報提供が可能となった。
- 5) 明石海峡などの、狭水道に海図や電子海図と同様の、推薦航路などを記入した三次元表示は、航路計画などに有効的である。
- 6) 橋脚や顕著な構造物、航路標識等の追加表示により、現実感のある景色となり、本船の船位確認等に有効的である。
- 7) 水路図誌や灯台表などに記載の航路標識等の説明や写真が、図中の物標等をクリックするだけで、画面表示が可能となり、航海支援情報として有効である。

現時点のGISを用いた航海情報表示システムの構築は、実航海の事前実施の模擬航海シミュレーションなどによる体験航海の他、訓練用に利用可能であるが、リアルタイムで実航海中の利用には十分至っていない。今後、これらの研究を進める所存である。

また、その他の気象・海象の情報もGIS上に重ねて提示した航海シミュレーションの検証を航海士に実施し、その有効性を評価する所存である。

本研究の遂行に際し、一連の航海情報提供のために、資料収集にご協力いただいた著者の研究室の博士課程学生及び卒業研究生に対し、感謝の意を表します。

本研究は平成20年度に採択された文部科学省の特別教育研究推進（研究推進）「輸送の三原則を統合した国際海上輸送システム創出の研究」の一部として、実施されたことを付記する。

#### 参考文献

- 1) 海上保安庁：海難及び人身事故の発生と救助の状況、pp. 16-19、2007。
- 2) 日本水路協会：電子海図とその船舶搭載要件の実際、日本語訳、P. 46、2010。

- 3) 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—、第42回土木計画学研究発表会講演論文集、p. 6、CD-ROM、2010.
- 4) 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、海洋開発講演論文集、P. 6、CD-ROM、2011.
- 5) 花本幹雄、鈴木孝志、芝山信之、山谷堅一：WebGISを利用した沿岸域情報提供システムの開発について、海洋情報部技報、Vol. 21、pp. 1-7、2003.
- 6) 金敬洋：海洋データの3次元表示について～津波、水温構造を例として～、海洋情報部技報、Vol. 24、pp. 1-5、2006.
- 7) 海上保安庁：水路図誌改補要領、海上保安庁水路部、P. 35、1975.
- 8) 長谷川健二：新訂航海科算法、海文堂、P. 353、1982.
- 9) 海上保安庁：瀬戸内海水路誌〈瀬戸内海・豊後水道〉、海上保安庁水路部、P. 235、1984.
- 10) 海上保安庁：潮汐表〈平成22年 第1巻 日本及び付近〉、P. 198、2010.