

新しい三次元航海支援ソフトウェアシステムの開発

Development of 3 D navigation aid software system

韓 軍*・浅田 昭*

HAN Jun and Akira ASADA

1. はじめに

電子海図は、紙海図に記載された情報をデジタル化し、水深、灯台やブイ等の航路標識、航路、水中の航路障害物の位置などを海図と同等精度で表示し、GPSなどの測位装置と併用することによって、船の位置を電子海図上で把握できるので、船舶の運航に広く使用されることが期待されている。しかし、電子海図では、海底地形は二次元平面上に等深線で表し、障害物や航路標識などはマークで表示されるため、海上航海中の船舶、海中作業中の潜水艇に対する海底の状況を直感的に把握できない。そこで二次元の電子海図の表示を工夫し、海上・水中の情景を画面上に再現する便利な機能を追加して使いやすくした。さらに、電子海図と海底地形を融合した斬新な三次元航海支援手法を考案した。東京湾をモデルにし、海底地形や海面下にある視認困難な海底岩礁を正しく形状で表現するために30m間隔の詳細なメッシュデータを作成し、海上の灯台やブイなどの標識、橋脚等の構造物の詳細なデータも整備した。そしてそれらの大量のデータを三次元且つリアルタイムで表示できる高速アルゴリズムを確立した。さらに通行する他船の情報を利用するAIS (Automatic Identification System) 表示機能とDGPSの中波ビーコンによる気象情報の表示機能を加えて、船舶間、自船と海底および航路標識との空間位置関係を正しく視覚的に把握でき、また気象海況も把握できる、より安全な航海を可能とするこれまでに無い新しい総合情報航海支援ソフトウェアシステムを開発した。

2. ソフトウェアシステムの構成

本システムは主に電子海図ENC¹⁾データファイルを解釈・表示するエンジン、地形グリッドデータをレンダリングするエンジン、3DMaxで作成した3DS形式モデリングデータを解釈・表示するエンジン、AIS²⁾受信データを解釈・表示するエンジン、および航海支援計算エンジンから構成される。それらのエンジンを使用して二次元航海支援と従来が無い新しい三次元航海支援を実現している。二次

元航海支援は、主に電子海図の表示、航海支援計算、及びAIS受信機と接続する場合のAIS情報の表示機能、気象通報の表示機能を備えている。三次元航海支援では、電子海図と海底地形を融合させ三次元で表示し、GPSと併用することによって、リアルタイムで船舶の位置とその周囲の海底の情景を表示する。

3. 二次元航海支援

3.1 電子海図の新しい表示方法

電子海図の標準表示方法は国際水路機関IHO発行のS 52というPresentation Library³⁾とIEC 611174⁴⁾できめ細かく定められている。本システムはそれらに準じた標準表示以外に、航海士の実際の操船作業に有用な以下の機能を追加・拡張した。

(1) オブジェクトレイヤー別表示・非表示設定

電子海図の標準表示方法では、ディスプレイベース、スタンダードディスプレイと、その他の3種類しかなく、必要な特定のオブジェクトレイヤーのみを選択し、表示・非表示することができない。本システムでは情報をオブジェクトレイヤーに分割し、注目したいオブジェクトだけを選択・表示できる。

(2) シンボルサイズ多様化

灯台などのシンボルのサイズは標準サイズ(大)、その半分(中)とその1/4サイズ(小)の3種類を用意し、スケールなどに応じてシンボルサイズを大中小から選択でき、画面を見易くした。Fig. 1に東京湾浦賀水道に標準サイズのシンボルと小サイズのシンボルの表示比較例を示す。

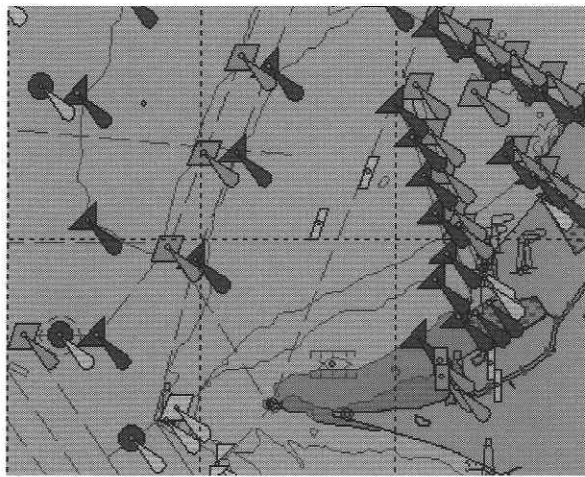
(3) 画面自動配色

電子海図の表示画面の配色は、周囲の明るさに応じて、見やすくするため昼明モード、昼白モード、昼暗モード、夕方モードおよび夜モードに手動で切替えることができる。また、各配色表示モードの表示時間帯を設定することにより、時間帯に応じて画面の配色を自動的に切替える機能を追加した。

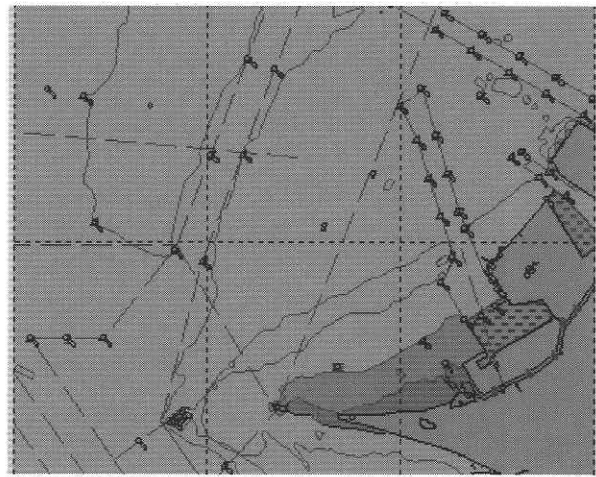
(4) 電子海図に無い錨地など追加・編集・表示機能

現在、電子海図に含まれていない錨地、危険エリア、避

*東京大学生産技術研究所 海中工学研究センター



(a) Normal Size



(b) Small Size

Fig. 1 URAGA fairway with difference size symbols

険線などを事前に独自データベースとして整備・登録したので、表示することができる。追加登録した東京湾の錨地を Fig. 2 に示す。

3.2 航海支援計算

(1) 方位距離計算

航海士は常時自船から他船までの方位・距離や、岩礁または灯台など航路標識まで方位・距離を把握し自船の安全を確保する必要がある。本システムでは、マウスクリックまたはファンクションキーを操作することにより、任意2点間の方位・距離を瞬時に計算・表示することができる。また、船舶など移動物標の場合は、それをロックし追跡して動的に計算を行い方位距離が更新される。

(2) 航海支援計算

航海経路計画を予めマウスまたはキーボードで各変針点の緯経度を入力して、登録・保存することにより、自動的に計画経路からのずれ、所要時間などが表示される。また、過去登録した航海計画ファイルを読み込んで再利用することもできる。自船の位置から変針点までの距離 DTG (Distance To Go), 予測到達時間 ETA (Estimated Time of Arrival), 計画航路からの垂直偏位 XTD (Cross Track Distance) を計算し表示する。自船の計画航路上の点から、これから狙う計画航路上の目標点までの距離 AIM を設定すれば、推奨コース DCO (Desired COurse) を計算し、変針点到達判定半径 AWP (Approaching Way Point) より現変針点を通過したかどうかを判定し、自動的に次の変針点へ移ることができる。

(3) 警報機能

自船位置から XTD を計算し、その値が航海計画時に設定された航路幅 RW (Route Width) を超えた場合に、音声警報を出力する。また、予め登録された危険区域や航海禁止区域などを選択・設定し、それらの区域に侵入または通過した場合にも警報を発生し、危険区域の監視に役立つ。

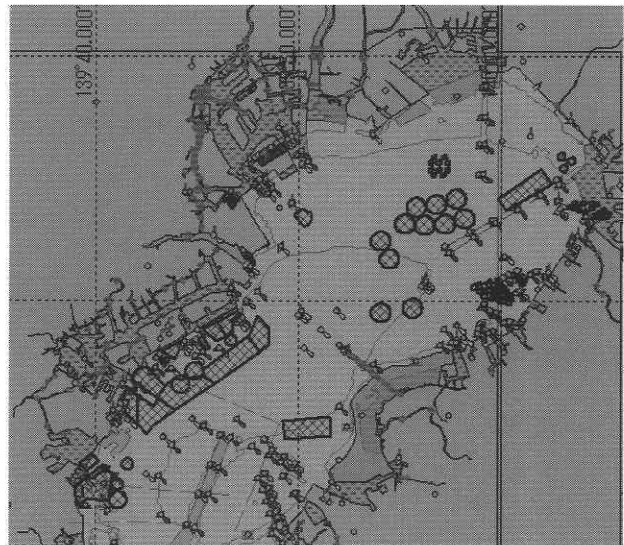


Fig. 2 Anchor areas in Tokyo Bay registered by us

3.3 AIS 情報の表示

船舶自動識別装置 AIS (Automatic Identification System) は、VHF 無線により船舶の識別符号、種類、位置、針路、速度、航海状態や安全に関する情報を船舶間並びに船舶と陸上設備間でデータを交換するための送受信を自動的に行うものである。それらの情報の伝達により、船舶の識別、目標の追尾、衝突の防止などが簡易になり、人命安全の確保や運行効率の向上などが期待できる。国際海事機関 IMO (International Maritime Organization) は、船舶の航行安全を規定する SOLAS 条約 (International Convention for Safety of Life at Sea) 第 V 章で、2000 年 12 月の MSC 73 (Maritime Safety Committee 73) により、2002 年 7 月から一定の船舶に段階的に導入することを義務付けられた。AIS の情報を電子海図上に表示すれば、より有効的に利用できる。本システムは下記の AIS 機能表示機能を備えている。

研 究 速 報

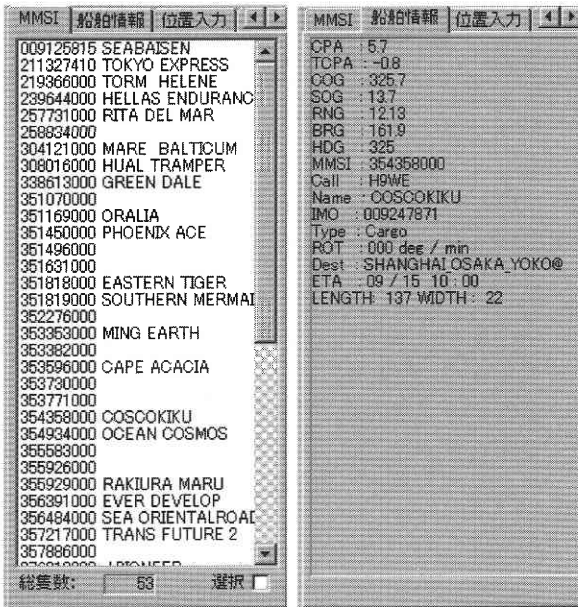


Fig. 3 (a) MMSI list received at Tokyo Bay on Jan 9, 2004
(b) Static and dynamic information of the selected ship

(1) MMSI 一覧表示

設定された時間間隔内に受信された MMSI (Maritime Mobile Service Identity) 番号の一覧, その総隻数を表示し, 静的情報が既に受信されている船舶はその船名も合わせて表示できる. Fig. 3 (a) は 2004 年 1 月 9 日東京湾で受信した AIS 船の MMSI 一覧を示す.

(2) 静的・動的情報表示

MMSI 一覧表からマウスまたはキー操作で選択された AIS 船の静的と動的情報を Fig. 3 (b) に示す. その内容は MMSI 番号, コールサイン, IMO 番号, 船種, 対地針路 (COG), 対地速度 (SOG), ヘディング角, 回頭角速度 (ROT), 目的地とその予測到達時間, 船のサイズ, 自船からの距離・方位, 最接近距離 (CPA) 及びその時間 (TCPA) である.

(3) ポリゴンとアイコンによる船種情報表示

AIS の船種はメッセージ 5 で定められ, データ長は 8 ビットあるが, 100 ~ 255 が保留のため, 実質は 1 ~ 99 の十進二桁しか定義されていない. 標準の ECDIS 表示では, 画面上の船のシンボルはすべて三角形で表示しているので, シンボルからは船種までは識別できない. 本システムは 9 種類のポリゴンを作成し, 船の船首方向に合うように回転し, 船種の第一桁目を大別する. また, 識別フラグアイコンを作成して, ポリゴンと組み合わせることで船種の第二桁を表現した. さらに, 上記ポリゴンの表示とは異なり, 船の方向までは表現できないが, 船の形を模った専用アイコンを作成して分かりやすく表現した. その表示例は Fig. 4 に示す. ポリゴン表示時, 塗りつぶしの色は, 自船は白, 自船から右舷灯が見える船は緑, 左舷灯が見える船は赤で,

WIG	Fishing vessel	HSC	Pilot vessel
Tug	Passenger	Cargo	Tanker

Fig. 4 Example of ship's identification icons

自船に対する相対位置関係を示す. また, メッセージ 1 ~ 3 の船の航海状態を示すアイコンも作成した.

3.4 中波ビーコンによる気象通報の表示

海上保安庁は GPS 測位の精度を上げるために全国 27 局の DGPS 中波ビーコン局から, DGPS 擬似距離補正データを RTCM SC 104 (Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee No. 104) で定められた形式で放送している. 今年の 7 月 1 日から, GPS 擬似距離補正データに加え, RTCM SC 104 のスペシャルメッセージ (メッセージ TYPE 16) を利用して, 気象情報を公報にて試験放送している. 本システムは TYPE 16 に対応する DGPS 受信機を接続することを考慮し, 風向・風速・気圧等情報を電子海図上にベクトルなどで表示できる. また, それらの履歴を表形式で表すこともできる.

3.5 操作性の向上

本システムをウィンドウズのスタートアップに登録することにより, パソコンの電源を投入すると, 自動的にソフトウェアを起動し使用できる. また, 終了時には, 選択ダイアログが表示され, 必要に応じて, プログラム終了, OS シャットダウン, OS スタンバイ, OS 休止状態を選択することができ, すばやく終了することが可能となる.

メニューなどの文字を大きくして画面を見やすくした. 数字入力以外の全ての操作がマウスだけでなくキーボードからもできる.

4. 三次元航海支援

4.1 三次元地形データの作成

水路協会海洋情報研究センターは昨年 3 月から JTOPO 30⁵⁾ と称する日本近海 30 秒グリッド水深データを提供しているが, 今回はより詳細な, 実際の海底地形に近い地形を表現するために, アーク 1 秒 (約 30 m) 間隔のメッシュデータセットを新規作成した. その範囲は, 東京湾をカバーした北東 (35°50'N, 139°30'E) から南西 (34°45'N, 140°15'E) までのエリアである. メッシュデータを作成する際, 元データとして水路協会発行の海の基本図データ, 日本海洋データセンターが運用・管理している

統合水深データセット JBIRD (JODC⁶⁾ Bathymetry Integrated Random Dataset) と MGD 77⁷⁾ (Marine Geophysical Data exchange format in 1977) の水深データを使用した。その他測量水深データをデジタル化して加えた。陸上部分は、国土地理院発行の 50 m メッシュデータを使用した。以上 5 種類データの座標系をすべて JGD 2000⁸⁾ (Japanese Geodetic Datum 2000) に変換し統一させてから、元データのある場所には、品質の最もよい値を採用し、元データが存在しない場所には地形の連続性を生かしてその近辺の水深データから二次曲面補間で推定した⁹⁾。地形以外の船舶、ブイ等の航路標識、重要な横断橋は、市販の 3DS MAX モデリングソフトを利用してモデリングした。

4.2 三次元地形表示

メッシュデータをレンダリングするには、一般的に一つのマス目を二つの三角形に分けて表現する。m x n 点のメッシュデータをレンダリングするには、2 (m-1) (n-1) 個の三角形が必要となる。例えば、5000 x 5000 点の場合、約 5000 万個の三角形となり、現時点では最高性能のグラフィックボードを搭載した PC でも、スムーズなシーン更新が得られない。如何にシーンのリアリティを保ちながら三角形の数を減らすかは重要なポイントとなる。この研究では、トップダウン方式でメッシュデータからバイナリ三角形ツリーを構成し、視程距離に対応してレンダリング三角形の数をコントロールする。Fig. 5 に示すようにバイナリ三角形ツリーは直角三角形で形成される。その直角三角形は左右二つの子直角三角形に分割することができる。また、分割された子直角三角形もさらにそれぞれ二つの子直角三角形に分割することができる。その操作はメッシュデータの最高分解能まで行うことができる。バイナリ三角形ツリーの各ノードには二つの子三角形以外に、左辺、右辺及び底辺を共有している三つの隣接三角形のポイントを持

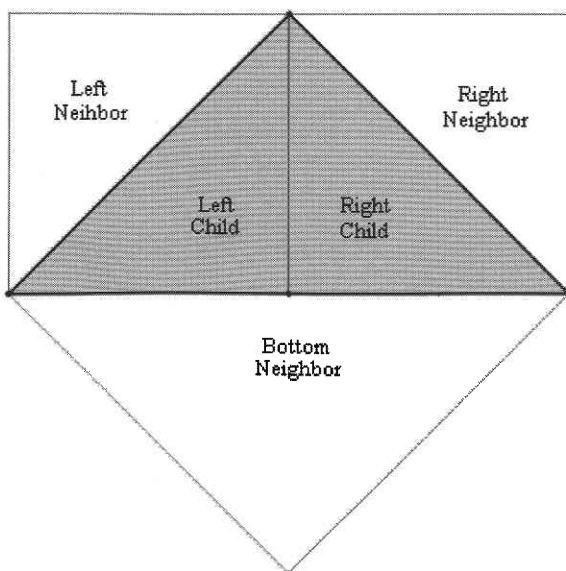


Fig. 5 Binary triangle tree structure

つ。それは Fig. 6 に示すような場合に、三角形 A を分割する際には、裂け目が出ないようにするために、隣接している三角形 B も分割しなければならない。メッシュデータのレンダリングは、バイナリ三角形ツリーのトップレベルのノードからスタートし、ツリーを辿っていく。そして、その三角形が視野に入っているかどうかを幾何計算で判断し、視野外であればそのノードを排除する。視野内のノードの分割は、予め計算されたノード内のメッシュの最大高度差対視点からの距離比を用い閾値と比較して判定する。つまり、近くて高さ変化が大きいものは高い詳細度、遠くて高さ変化が少ないものは低い詳細度でレンダリングした。そして予め陰影を計算し、水深の値により着色したカラーテクスチャマップを対応の三角形の上に貼り付けた。閾値はシーンのリアリティと PC のグラフィックパフォーマンスから選定した。高速化の評価を行い、1 GHz Pentium III, メモリ 512 M, GPU GeForce2 の PC でもリアルタイムで十分な画面更新レートが得られた。

4.3 電子海図の表示

三次元の地形と融合表示するため、海表面を半透明のスクリーンとして電子海図を貼り付けた。こうすることにより陸上地形だけでなく、電子海図に加え、海底地形もクリアな水面の奥に透けて見える。さらに必要に応じて湯船の蓋板のように電子海図をロールして部分的に外し、よりクリアな海底地形を表示することもできる。また、ブイ等の航路標識、船舶がその下を通過する横断橋などはモデリングソフトで作成したデータを用いて三次元で表現した。Fig. 7 は東京湾の浦賀水道航路を示す。この図から暗礁を含む海底の地形、浮灯標および航路などを一目瞭然に分かる。

4.4 バーチャル操船

マウスやキーボードの操作により、カメラの三次元位置、ロール角、ピッチ角及びヨーイング角を自由にコントロー

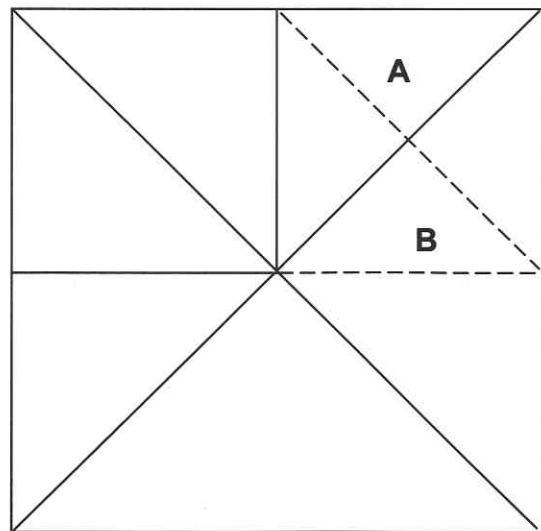


Fig. 6 Force Split the neighbor triangle to avoid cracks

研究速報

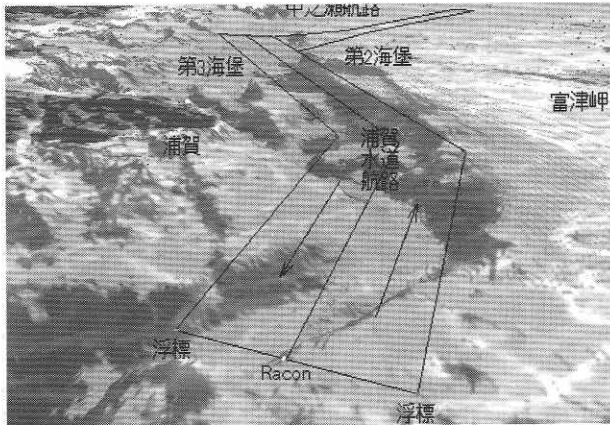


Fig. 7 A scene showing URAGA fairway at Tokyo bay.

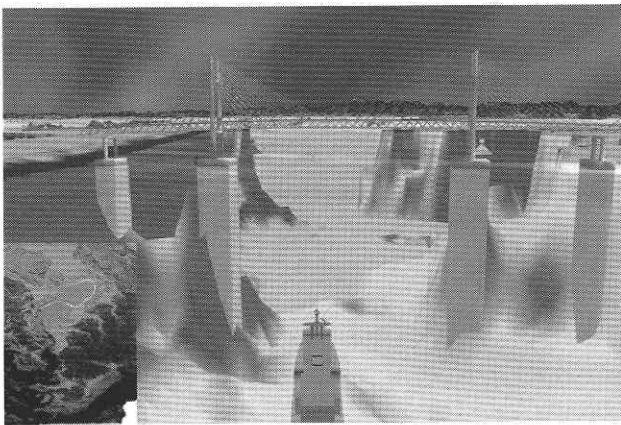


Fig. 8 A sample scene shows boat passing through the Bay Bridge at Yokohama Harbor using GPS position and Gyro compass.

ルでき、想定場所をウォークスルーすることができる。また、ウェイポイントを予め設定することにより、計画ルート走行のリアルタイム表示のみならず、ウォークスルー・アニメーションを作成し、AIS機能と併用した航海シミュレーションを行うことも可能である。

4.5 スナップショットとAVIファイル作成

静止または航海中のシーン画面をスナップしてビットマップやJPEG形式でファイルに保存することができる。また、上記ルート走行のウォークスルー・アニメーションの画像を順次収録し、AVIファイルを作成することができる。

4.6 実船位置・姿勢表示

GPSなどの測位装置と接続し、三次元地形の海面に自

船の位置を表示できる。さらに、ジャイロ、姿勢センサと接続すれば、船舶の方位や三次元姿勢まで表現することが可能となり、より安全な航海が可能となる。シーンの一例をFig. 8に示す。この図から船舶とその周囲の空間位置関係が視覚的に正しく把握できることが分かる。

5. おわりに

三次元地形と海面に電子海図を挿入して表示し、船舶と海底地形との相対位置関係を画面上に再現し視覚的に認識できる新しい航海支援システムを開発した。現時点では、本システムに効果的に使用できる詳細な地形は東京湾のみ整備してあるが、今後は全国の主要港湾の三次元地形を作成していく予定である。また、本システムは商船やレジャー船の航海支援に限らず、今後、漁業での漁場管理や、AIS受信装置と併用すれば船舶入港誘導、港湾の有効管理などへ幅広い利用が期待できる。

謝 辞

本ソフトウェアシステムはセナー株式会社と共同研究で開発したものである。特にデータの収集、編集、作成に協力いただいた池田保氏、藤平卓氏、小園功氏、田中寛之氏、永井勇氏にお礼申し上げます。また、海上保安庁の諸機関の方々に有益な助言を頂いたことを感謝いたします。

(2004年9月16日受理)

参 考 文 献

- 1) IHO: S57 Edition 3.1, Transfer standard for Digital Hydrographic Data, 2000. 11
- 2) ITU:ITU-R M.1371, Technical characteristics for a universal shipborne automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile band, 19 April 2001.
- 3) IHO: IHO ECDIS Presentation Library, Edition/revision 3.2, 2000.5
- 4) IEC61174: Electronic chart display and information system (ECDIS)-Operational and performance requirements, methods of testing and required test results, 1996
- 5) JTOPO30: <http://www.mirc.jha.jp/products/JTOPO30/>
- 6) JODC: <http://www-cger.nies.go.jp/cger-j/db/info/db/jodc.html>
- 7) MGD77: http://www.jodc.go.jp/data/bathymetry/mgd77_j.html
- 8) JGD2000: <http://www.gsi.go.jp/LAW/G2000/g2000.htm>
- 9) 浅田 昭：日本周辺の500mメッシュ海底地形データとビジュアル編集プログラム，海洋調査技術，第12巻，第1号，pp.21-32, 2000.3