

汽水域調査のためのローコスト・コンパクトな 音響調査機器 (サイドスキャンソナー) のシステム化

西村清和¹・上嶋正人¹・徳岡隆夫²・上野博芳²・吹田 歩²・竹内俱佳³

A low-cost, compact acoustic survey equipment system (sidescan sonar) for use in the coastal lagoons and estuaries

Kiyokazu Nishimura¹, Masato Joshima¹, Takao Tokuoka²,
Hiroyoshi Ueno², Ayumi Fukita² and Tomoyoshi Takeuchi³

Abstract: When geological surveys or environmental studies are carried out in brackish water lakes like Lake Nakaumi and Lake Shinji, a sub-bottom profiler (SBP), which images the geological structure of the lake sediment, and sidescan sonar (SSS), which reveals the microtopography of the lake bottom, are essential survey equipment. However, conventional survey equipment was designed for marine operations, and as a result it is large and difficult to use in lakes. A low-cost and compact sidescan sonar and sub-bottom profiler system was developed which can be deployed from a small boat, and easily used in the survey of brackish water lakes. The trade name of the digital sidescan sonar is SportScan (Imagenex Technology Corp., Canada) and the trade name of the sub-bottom profiler is StrataBox (SyQwest Inc., USA). In this paper, we focus on the sidescan sonar. The low-cost sidescan sonar is composed of a towfish connected directly to a power supply (10–16 VDC) and notebook PC through the shipboard towing cable. The operating frequency of the sidescan sonar is 330 kHz, the available operating range is 15 m–120 m, and the best towing speed is 2–3 knots. A survey of Lake Nakaumi was carried out by combining sidescan sonar/sub-bottom profiler and a DGPS receiver with navigation based on the map software “KASHMIR 3 D”. This sidescan sonar survey produced a mosaic map of the sediment surface of Lake Nakaumi.

Key words: sidescan sonar, SportScan, GPS, KASHMIR 3 D, coastal lagoon

1. はじめに

中海・宍道湖のような汽水湖や入江，内湾浅海域での地形・地質調査もしくは環境調査を行う上で，水底下の地質構造を断面として捉えるサブボトムプロファイラ (SBP) および水底の微地形を画像として捉えるサイドスキャンソナー (SSS) は不可欠の調

査機器である。しかしながら，従来の調査機器は，海洋で開発され，使用されているものを，そのまま転用していることから，大型で使い勝手が悪く，水深数メートルまでといった浅い水域では使用することが困難であった。また，このような水域では人為的な改変が盛んに行われてきていて，その状況を的確の捉えておくことが水域の管理や環境保全のため

¹ 産業技術総合研究所 National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba 305-8567, Japan

² 徳岡汽水環境研究所 The Tokuoka Laboratory for Studies of Brackish Water Environments, Hizu-cho 34-1, Matsue 690-0863, Japan

³ 電気通信大学名誉教授 Professor Emeritus, Univ. of Electro-Communications

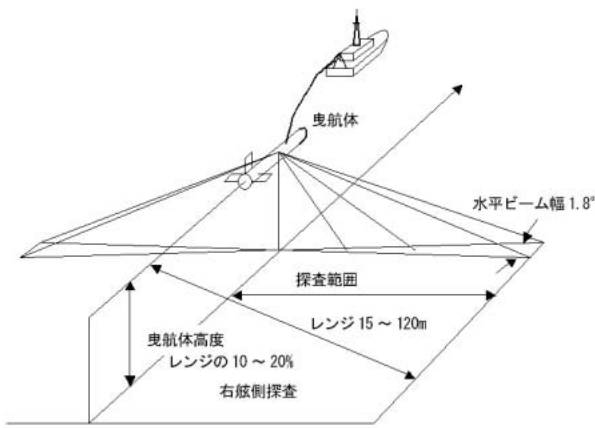


図 1. サイドスキャンソナーの原理図
Fig. 1. Principle of sidescan sonar.

に必要で、これらの機器を用いた調査は近年では必要不可欠となっている。一方、海洋調査機器についてみると、コンピュータ技術の最近における急速の発展を背景として機器の小型化とローコスト化が進んでいて、小型のボートでも使用できるコンパクトなサイズのサイドスキャンソナーやサブボトムプロファイラが市販されるようになってきている。しかしながら、これらの機器についてみても、これらを搭載してボートを走らせれば必要とするデータが得られるという仕様になっているわけではないので、汽水域や沿岸浅海域の調査に合うような工夫が求められる。ここでは、下記に示すサイドスキャンソナーを試験的に導入し、誰でもが容易に使用できるようなシステム化を目標にして、いくつかの水域で試験探査を行った。

使用したデジタルサイドスキャンソナーの商品名は SportScan, Imagenex 社 (カナダ) 製である。一方、サブボトムプロファイラの商品名は StrataBox, SyQwest 社 (米国) 製である。中海、美保湾での探査では、サイドスキャンソナー、サブボトムプロファイラおよびディファレンシャル GPS (DGPS) 受信機を組合せ、また、地図ソフトを使用してナビゲーションを行った。サイドスキャンソナーにおいては、最終成果として水底画像のマッピング、すなわち隣接する水底画像をつなぎあわせたモザイク図が得られるようなシステムとした。本論ではサイドスキャンソナーに内容を絞り、装置の概要、システム化の概要、中海および美保湾での水域試験の結果およびモザイク図作成の概要について報告する。

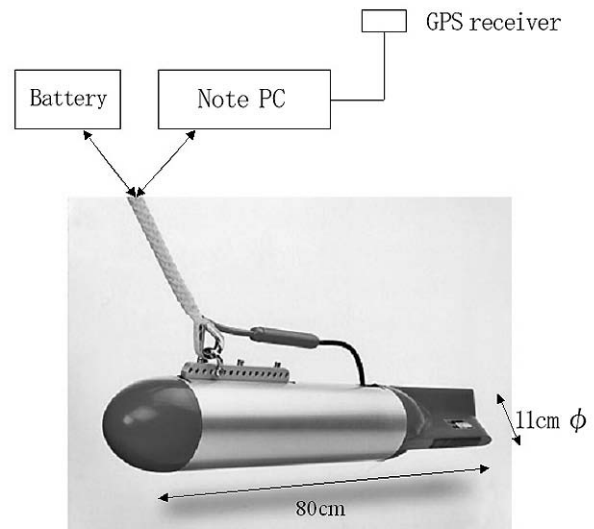


図 2. ローコスト・コンパクトサイドスキャンソナー
Fig. 2. Low-cost, compact sidescan sonar.

2. サイドスキャンソナー

2-1. その原理と応用

サイドスキャンソナーは、水中曳航式の送受波器から水底に向けて扇状に発射され、水底表層部から反射してきた超音波(後方散乱波)を曳航掃引して得られた信号をもとに水底の地形および地質(底質)情報を画像化するシステムである(図1)。そして、海底の断層や海流などにより形成されたリップル(砂漣)など、海底面の微細構造探査のほかに、漁場調査、沈没した船や物体などの探索にも利用できる。

2-2. ローコスト・コンパクトサイドスキャンソナーの概要

ハードウェア

本装置は、従来のサイドスキャンソナーに比べ、ローコスト、軽量コンパクトなデジタルサイドスキャンソナーである。1周波タイプ(330 kHz)と2周波切替タイプ(330 k/800 kHz)があるが、今回は330 kHzの1周波タイプを導入した。装置はトウフィッシュと曳航ケーブル(全長23 m)から構成され、ケーブルの末端部のコネクタを船上に用意した電源(10-16 V)およびノートパソコンへ接続する(図2)。ノートパソコンとトウフィッシュとはRS 232 Cシリアルインターフェースで通信を行う。ノートパソコンには、専用のソフトウェアをインストールし、出力画像の表示、収録を行う。

表 1. サイドスキャンソナーの仕様概要

トウフィッシュ	モールドされたポリウレタン, アルミニウム
バラスト	ダイバーベルト錘
トランスジューサ	2×330 kHz ビーム幅 1.8° (水平) × 60° (垂直)
探査レンジ (片舷)	15 m, 30m, 60m, 90m, 120m
最大深度	30 m
通信インターフェース	RS 232 C シリアル (115200 bps)
ケーブル	75 フィート 4 線 (電源, テレメトリー)
ソフトウェア	表示・記録用 OS: Windows 95, 98, me, XP
外形寸法	直径 11 cm, 長さ 80 cm 空中重量 4.6 kg (錘を除外)
電源	10 - 16 V (12 V, 0.5 A max)
曳航速度	2-3 kt

ソフトウェア

本装置は、付属の専用ソフトウェア (WIN 881 SS) により、パラメータ設定、記録の表示・収録を行なう。ノートパソコンへの画面表示例は後述する図 9, 10, 11 に示した。

ソフトウェア WIN 881 SS の主な機能は、次の通りである。

- (1) データ収録 .81 S SportScan file を生成。ファイルの大きさは 10-15 MB/hour.
- (2) データ再生 収録データ (.81 S file) の再生
- (3) データコピー 収録データの部分的なコピーを行い、小さいファイルを作成する。
- (4) セーブ スクリーン 表示画面の保存。BMP file が作成される。
- (5) 表示記録のカラーテーブル カラー, グレイ, リバースグレイ, ブラウンが選択できる。
- (6) GPS 入力 NMEA 0183 format の GPS データを入力する。
- (7) 速度補正 GPS の速度データを使用し、記録の進行方向の距離を補正する。

3. システム化の概要

本装置は、サイドスキャンソナー本体へノートパソコンを接続するだけで、簡易に水底のサイドスキャン画像を得ることができる。しかしながら、水底画像のマッピングを行うには、予め測線を設定し、その測線上にサイドスキャンソナーを曳航しなければならない。このような機能を得るため、測位装置を含めた一連のシステムを構築した。

本システムは図 3 に示すように、サイドスキャンソナー本体、ディファレンシャル GPS (DGPS) 受

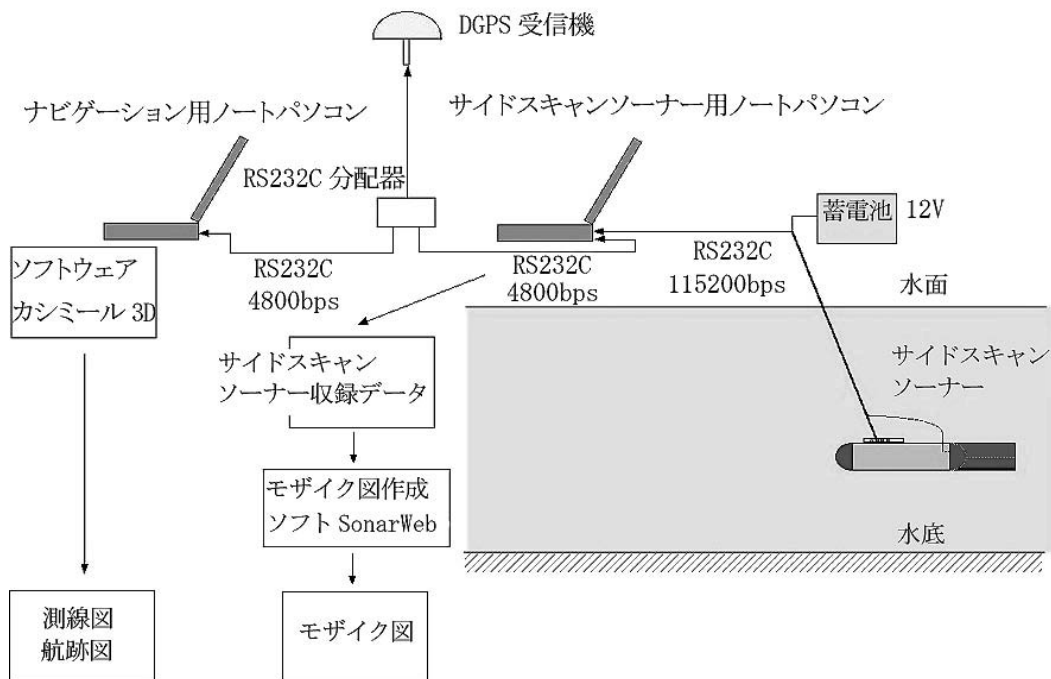


図 3. ローコスト・コンパクトサイドスキャンソナーのシステム化
 Fig. 3. Systematization of the low-cost, compact side scan sonar.

信機, ノートパソコン等から構成される. 地図(ナビゲーション)ソフトを用い, 予定測線を設定し, DGPS による測位データに基づき船を航行させる. また, 収録したデジタルのサイドスキャンソナーデータを基に, モザイク図作成ソフトを用い, 水底画像のモザイク図を作成する.

本システムは以下のコンポーネントから構成される.

(1) サイドスキャンソナー本体 SportScan Imagenex 社

周波数 330 kHz, 探査レンジ 15 m–120 m(片舷)最大深度 30 m

(2) DGPS 受信機 DGPS 212 GPS 受信機(日本無線)

ビーコン受信機内蔵の DGPS 受信機である. 海上保安庁の中波ビーコン局の GPS 補正情報を利用して補正を行い, 測位精度を向上させる. 航法データである NMEA 0183 データ出力し, これをサイドスキャンソナー用ノートパソコンおよびナビゲーション用ノートパソコンへ入力する.

(3) GPS データ分配器

DGPS 受信機からの NMEA 0183 データ (RS 232 C シリアルデータ, 4800 bps) の出力は 1 チャンネルしかないので, 複数台のノートパソコンへデータを提供することはできない. そこで, データを分配するためのアダプタを製作した. 4 チャンネルの出力を備える.

(4) ノートパソコン

1 台は, サイドスキャンソナー専用ソフトを用い, サイドスキャンソナーの制御とデータ表示・収録を行う. もう 1 台は船のナビゲーション用で, ナビゲーションソフトウェアを用い, DGPS 測位データの入力, 船位の表示および収録を行う.

(5) ナビゲーションソフトウェア

ナビゲーション用ソフトウェアとして, フリーソフトの「カシミール 3D」(<http://www.kashmir3d.com/>)を使用する. カシミール 3D は, 各種地形図の読み込みが可能である. 例えば, 国土地理院の数値地図 25000 CD-ROM(国土地理院, 1998)や地形図閲覧システム (<http://mapbrowse.gsi.go.jp/>) から地形図を読み込むことができる. 本システムによる探査では以下を実行する.

- ・ 予定測線の設定.
- ・ DGPS 測位データによるサイドスキャンソナー(自船)の位置表示.
- ・ サイドスキャンソナーを予定測線通りに曳航.

(6) モザイク図作成ソフトウェア

サイドスキャンソナーの画像からモザイク図を作成するためのソフトウェアとして SonarWeb Chesapeake 社(米国)を使用した. 本装置の .81 Sformat をはじめ, 多種のサイドスキャンソナーのフォーマットに対応している. 出力ファイルは JPEG 画像となり, そのまま印刷ができ, ファイルサイズも縮小される.

4. 水域試験とモザイクマッピング

4-1. 水域試験概要

最初のトライアルを 2002 年の 2 月下旬に島根県宍道湖で行い, 作動を確認した. 次いで 2002 年 3 月上旬に霞ヶ浦の土浦入(茨城県)で 3 時間程度の試験を行った. GPS 受信機を接続し, 船速補正を行うことができた. 2002 年 5 月中旬には, 中海北部本庄水域(島根県)において約 4 時間の試験を行った. 2002 年 10 月下旬には石垣島底土(沖縄県)で短時間の試験を行った. いずれも 10 m 以浅の水域での試験で, 曳航ケーブルは水面下 50 cm 程度繰り出したただけなので, トウフィッシュは比較的安定に曳航できた. 2002 年の 10 月末には愛媛県中島沖(瀬戸内海, 水深約 20 m)で試験を行ったが, 水深が深いことと潮流があることからフィッシュの安定曳航が困難であった. 2003 年の 2 月下旬および 5 月上旬には, 中海本庄水域をモデルフィールドとして, モザイクマッピングのための試験探査を行った(図 4, 5). また, 2003 年の 8 月下旬および 9 月中旬には美保湾の和田グリ付近等で試験探査を行った.

本装置が, 水深何 m の水域で使用できるかは, ト



図 4. サイドスキャンソナーの主な試験水域, 中海(島根県)と美保湾(鳥取県)

Fig. 4. Index map of main test area, Lake Nakaumi (Shimane Prefecture) and Miho Bay (Tottori Prefecture).



図5. 中海本庄水域におけるサイドスキャンソナーの実験風景 写真中、(1)サイドスキャンソナー、(2)サイドスキャンソナー用ノートPC、(3)ナビゲーション用ノートパソコン、(4)DGPS受信機、(5)サイドスキャンソナー、(6) DGPS受信機、をそれぞれ示す。

Fig. 5. Experiment scene of the side scan sonar in the Honjo area of Lake Nakaumi.

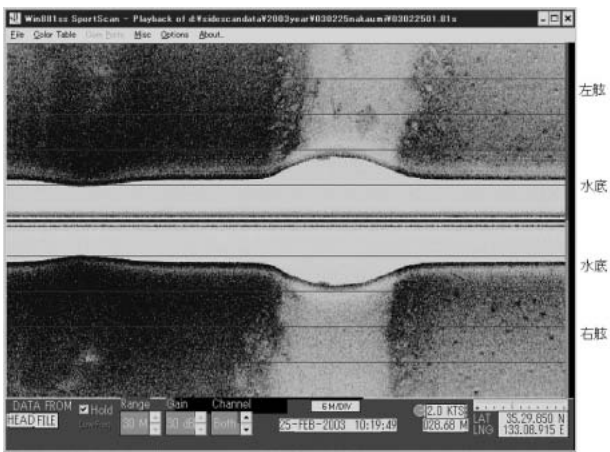


図6. サイドスキャンソナー画像表示例 中海本庄水域(2003年2月25日, レンジ30 m, ゲイン30 dB)

Fig. 6. Screen display example of the sidescan sonar. Honjo area of Lake Nakaumi (Feb. 25, 2003, range 30 m, gain 30 dB).

ウフィッシュの耐圧深度が30 mである点を除き明らかではないが、探査レンジが15 m~120 mであることから、水深2 m~50 m程度の水底において使用可能と思われる。但し、水深の深い水域で使用する場合、トウフィッシュの深度を30 m以内とすることと、曳航ケーブルを標準のものより長くすることが必要である。

4-2. 中海での水域試験結果

図6は中海本庄水域での画像表示例である。後述するモザイクマッピングのための試験測線(S-5)の一部の記録で、南北に続く排水溝(幅約20 m)の西側

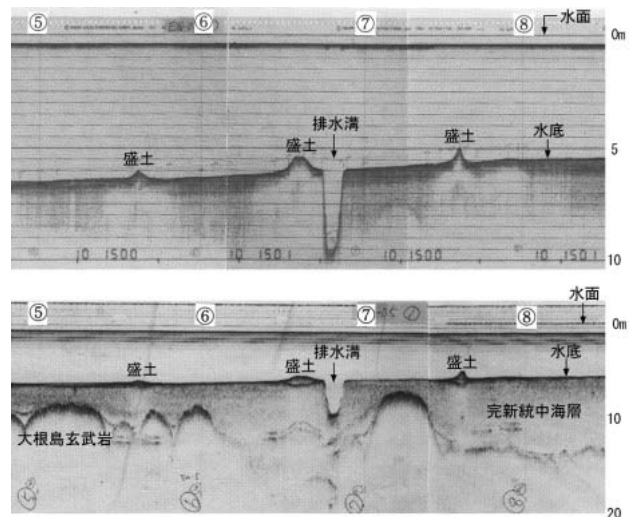


図7. 本庄水域の地形(測深機アトラスデソ20による)と堆積層(底質探査機SH-10による)(図6に近い東西断面で、徳岡・高安, 1992による)

Fig. 7. Bottom topography and sedimentary layers in the Honjo area by echo-sounding survey (approximately same area shown in Fig. 6, Tokuoka and Takayasu, 1992).

は濃い反射画像が、東側は薄い反射画像が得られている。比較のために徳岡・高安(1992)による、この測線に近い記録を図7に示す(上図は測深機アトラスデソ20による水底地形、下図は底質探査装置SH-10による水底下堆積層の記録)。これで明らかなように、排水溝の西側には地形的な盛り上がりがあり、これは人為的な盛土である。このような盛土の部分は排水溝の東側には存在しない。従って、今回得られた記録の西側の濃い反射画像は砂の盛土を示

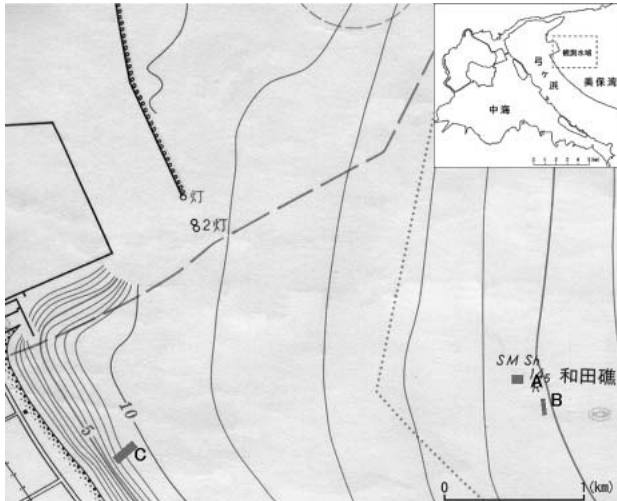


図8. 美保湾におけるサイドスキャンソナー調査位置(A, B, Cはそれぞれ図9, 10, 11の画像位置を示す)

Fig. 8. Locality map of the sidescan sonar survey in Miho Bay (A, B and C show each locality of Figs. 9, 10 and 11, respectively).

し、東側の薄い反射画像は、もともとの水底をなす泥による反射であることが明らかである。また、溝の部分では白く抜ける、さらに弱い反射画像が得られているが、水底からの比高が約 -3.5 mあり、軟泥の堆積により音波が吸収されることによってこのような画像が得られると判断される。

4-3. 美保湾での水域試験結果

2003年8月22日および9月11日に、美保湾の沖合いの和田グリ付近および海岸付近で試験探査を行ない、画像記録を得た。図8には、掲載記録の位置をそれぞれ示した。

図9は9月11日の美保湾和田グリ付近の画像表示記録(図8のA)を示す。記録の右舷側には多数の立方体が表示されている。和田グリの高まりの周辺には漁礁が多く設置されていることが知られているので、これらが漁礁であることは明らかである。左舷側には不規則な濃い反射画像がいくつか見られるが、和田グリ付近の表層には粗粒砂~細礫からなる固結層が分布することがダイバーによる底質の採取から確認されていることから、これに相当する画像が得られたものと判断される。なお、中心線と両舷の海底までの間の線状に続く記録は、船腹からの反射によるものである。

図10は8月22日の美保湾和田グリ付近の記録で(図8のB)、9月11日の記録とは比較的近い位置にある。探査レンジ30 mで得られた左舷側の記録で、

海底全面に砂漣が認められる。砂漣の形態からは底層での流れの強さや方向を知ることが可能である。9月11日の調査では和田グリ上では砂漣は認められなかったが、この日の調査が10日ほど風が続いた後であったために、形成されていた砂漣が底生生物の活動で乱され、消失したものと考えられる。このように画像記録から海底状況の変化を知ることができる。

図11は美保湾沿岸付近の画像表示記録を示す(図8のC)。2003年8月22日の調査では、弓ヶ浜の沿岸海域について水深5 mあたりの外浜から水深8 mより深い沖浜に至る間の調査を行った。この海域では地形の変換点がほぼ8 mのところであり、通常、波浪の及ぶ範囲はこの深さ迄である。そして、この水深までは砂からなり、それより以深では次第に泥に移り変わることが知られている。図は水深8から9 mにかけての記録で、濃い反射画像から薄い反射画像に移り変わっていく部分の記録で、底質が砂から泥へと変化することに良く対応している。

4-4. 曳航方法の改善

サイドスキャンソナーのトウフィッシュを如何に安定曳航できるかが、記録の品質の向上の鍵となる。より安定したトウフィッシュの曳航を行うため、トウフィッシュの舷側固定を試みた。中海本庄水域での試験では、トウフィッシュをパイプによる舷側固定式にしたところ(図12)、トウフィッシュの姿勢が安定し、左右両舷の記録のバランスが良くなり、記録の改善が見られた。

4-5. モザイクマッピング

中海北部の本庄水域をモデルフィールドとしてモザイク図作成のための試験を行った。この水域は、中海本庄工区の干拓事業で、排水路の掘削や道路等盛土が行われていて、水底の状況が良く判っているので(徳岡・高安編, 1992)、サイドスキャンソナーの評価試験には好都合である。

(1) レンジ設定および測線間隔の決定

本庄水域(水深5~6 m)において、レンジ設定を変えて記録を取得した。探査レンジ30 m, 60 mで試験した結果、60 mレンジでは中央から遠方の後方散乱波が受信できず、記録がうすくなっている。一方、30 mレンジでは、近傍から遠方まで均一な記録が得られた。そこでレンジは30 mに設定した。レンジとソナーの高度との関係は、ソナー高度はレンジの10~20%が推奨されているので、水底からの高度

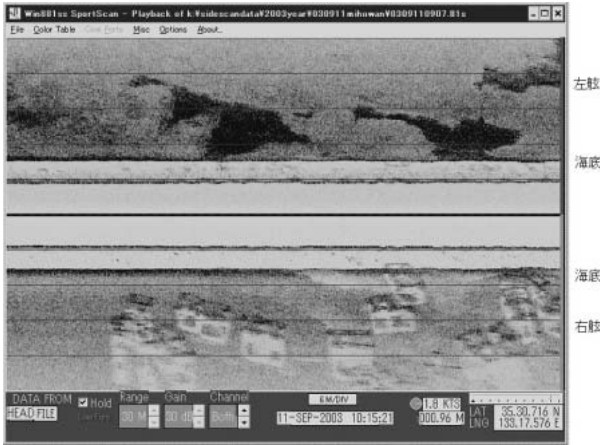


図9. サイドスキャンソナー画像表示例 美保湾和田グリ付近(2003年9月11日, レンジ30 m, ゲイン30 dB)

Fig. 9. Screen display example of the sidescan sonar. Around the Wadaguri in Miho Bay (Sep. 11, 2003, range 30 m, gain 30 dB).

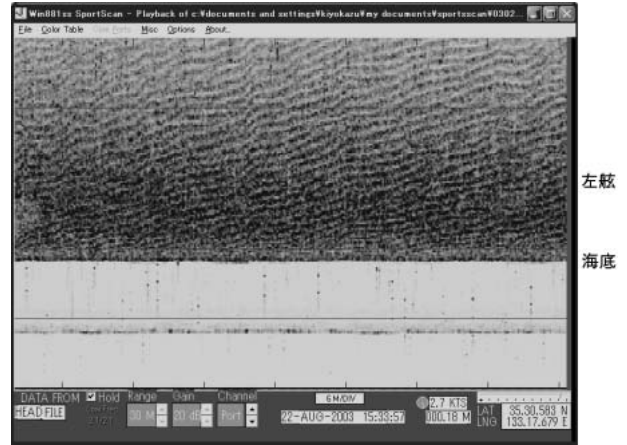


図10. サイドスキャンソナー画像表示例 美保湾和田グリ付近(2003年8月22日, 左舷のみ, レンジ30 m, ゲイン30 dB)

Fig. 10. Screen display example of the sidescan sonar. Around the Wadaguri in Miho Bay (Aug. 22, 2003, range 30 m, port side, gain 30 dB).

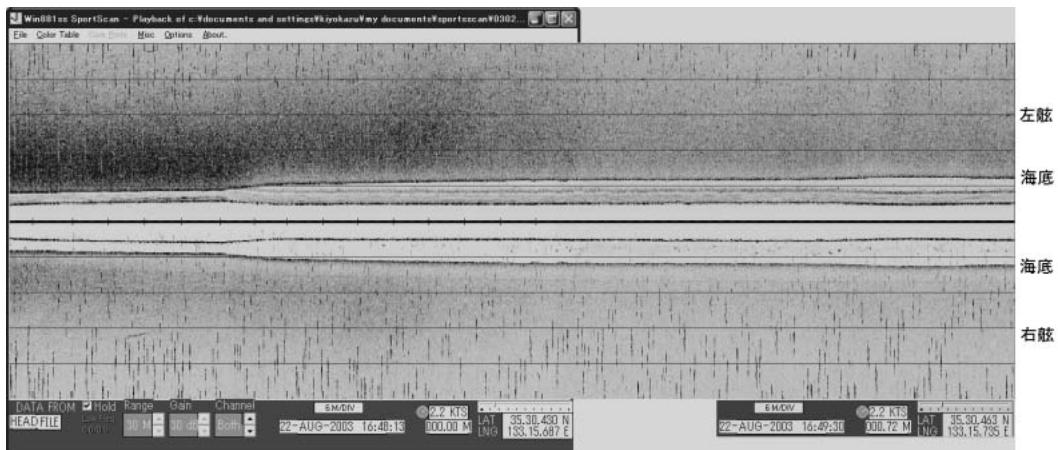


図11. サイドスキャンソナー画像表示例 美保湾沿岸外浜～沖浜域(2003年8月22日, レンジ30 m, ゲイン30 dB)

Fig. 11. Screen display example of the sidescan sonar. Outer shore ~ Off shore area in Miho Bay (Aug. 22, 2003, range 30 m, gain 30 dB).

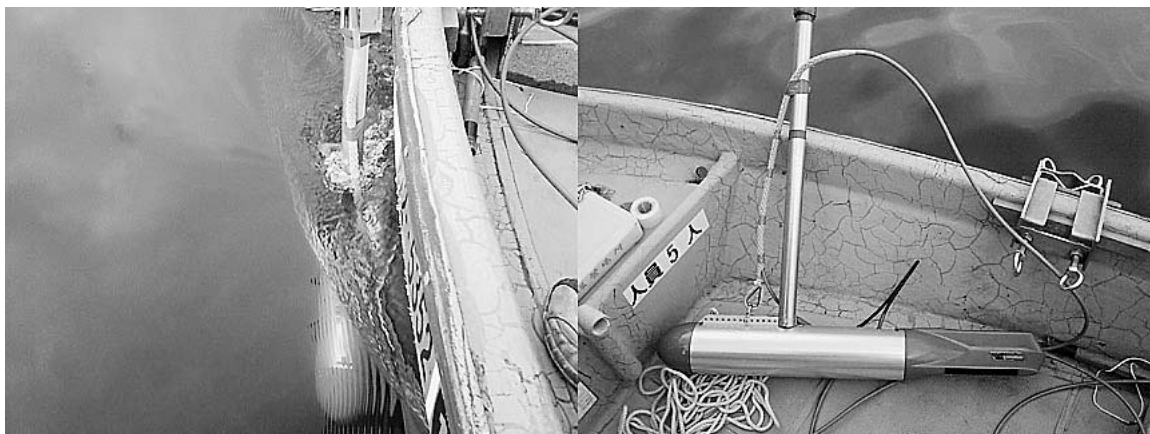


図12. 舷側固定式としたトウフィッシュ
Fig. 12. Boat's side fixed tow fish.

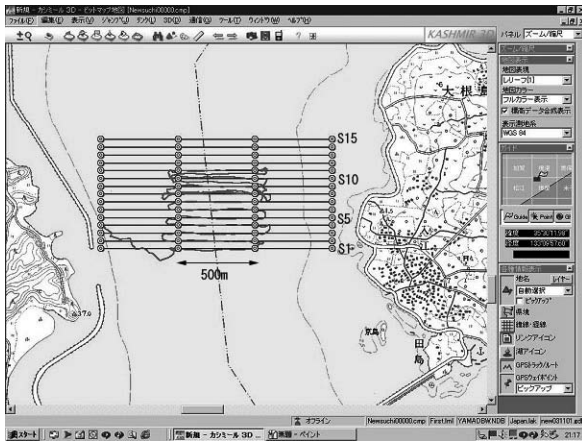


図 13. 「カシミール 3 D」によるナビゲーションと航跡表示 (中海本庄水域)

Fig. 13. Navigation and track display by “KASHMIR 3 D”.

は、3 m～6 m に保持すればよい。測線間隔はソナーの高度を考慮して、レンジ 30 m (両舷レンジ 60 m) に対して 50 m 間隔とした。

(2) ナビゲーション

地図ソフト「カシミール 3 D」上に予定測線を入力した。図 13 において、大根島と対岸の本庄との間の水域に東西方向に 1.5 km、南北方向に 50 m 間隔の測線を 15 本設定し、測線番号を南から S 1～S 15 とした。東西 1.5 km の測線には 500 m 毎に通過点または変針点を丸印でマークした。2003 年 2 月の試験探査では、東西測線の中央の東西 500 m の範囲を南端から北上し、11 本の測線 (S 1～S 11) でサイドスキャンデータを取得した。

(3) モザイクマッピング

位置、速度、方位データを含むサイドスキャンデータは、81 S file に収録される。モザイクマッピングソフト SonarWeb でモザイク図の作成を行った。図 14 は、中海本庄水域で取得したサイドスキャンソナー画像のモザイクマッピング処理結果を示す。探査は 2003 年 2 月に行われ、東西方向 500 m の測線を南北方向に 50 m 間隔で 11 本設定し、マッピングを行った。サイドスキャンソナーのレンジは 30 m、受信ゲインは 30 dB とした。画像全体の灰色の部分は、主に泥、反射の強い黒い部分は盛土をした砂の分布域を示す。南北の白い帯状の部分は排水溝である。排水溝は実際にはスムーズに連続したものであるが、排水溝のつながり具合を見ると、数 m 程度ずれた不連続な部分が認められる。これは位置精度の誤差によるもので、DGPS では、これ以上の精度を要求することは難しい。排水溝が、スムー

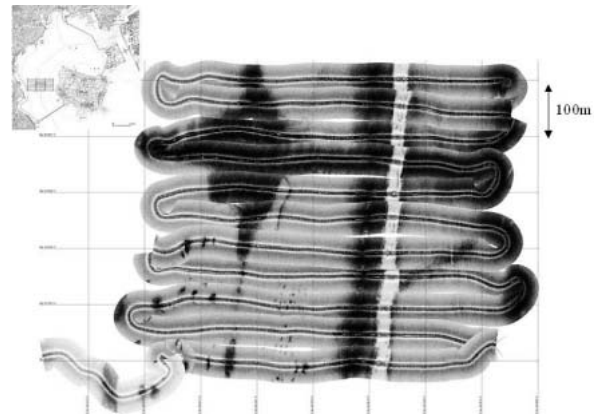


図 14. モザイク図 中海本庄水域 (2003 年 2 月 25 日、レンジ 30 m、ゲイン 30 dB)

Fig. 14. Mosaic map. Honjo area of Lake Nakaumi (Feb. 25, 2003, range 30 m, gain 30 dB).

ズに連続したものとしてマッピングするには RTK-GPS など高価な測位方式を使用する必要がある。比較のために、図 15 に本庄工区干拓計画図 (農水省干拓事務所資料、徳岡・高安編、1992) の一部を示した。モザイク図中の反射の強い盛土部分や白く抜ける排水溝が計画図どおりに連続していることが明らかになった。

5. おわりに

ローコストでコンパクトなサイドスキャンソナーを、DGPS 受信機、地図ソフト等と組合せ、システム化を行い、中海等の汽水域へ適用し、試験探査を行った。そして、最終成果として水底画像のモザイク図が得られるようなシステムとすることができた。軽量コンパクトなシステムとして、手軽に使用できる利点を生かし、汽水域や沿岸域での使用が期待される。

謝 辞

本研究において、産業技術総合研究所海洋資源環境研究部門村上文敏主任研究員、同辻野匠研究員には、現場実験でご協力いただいた。また松江市本庄の三代祐司氏には舟の借用等でお世話になった。以上の方々には厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

Chesapeake Technology, Inc. (2002) SonarWeb User's

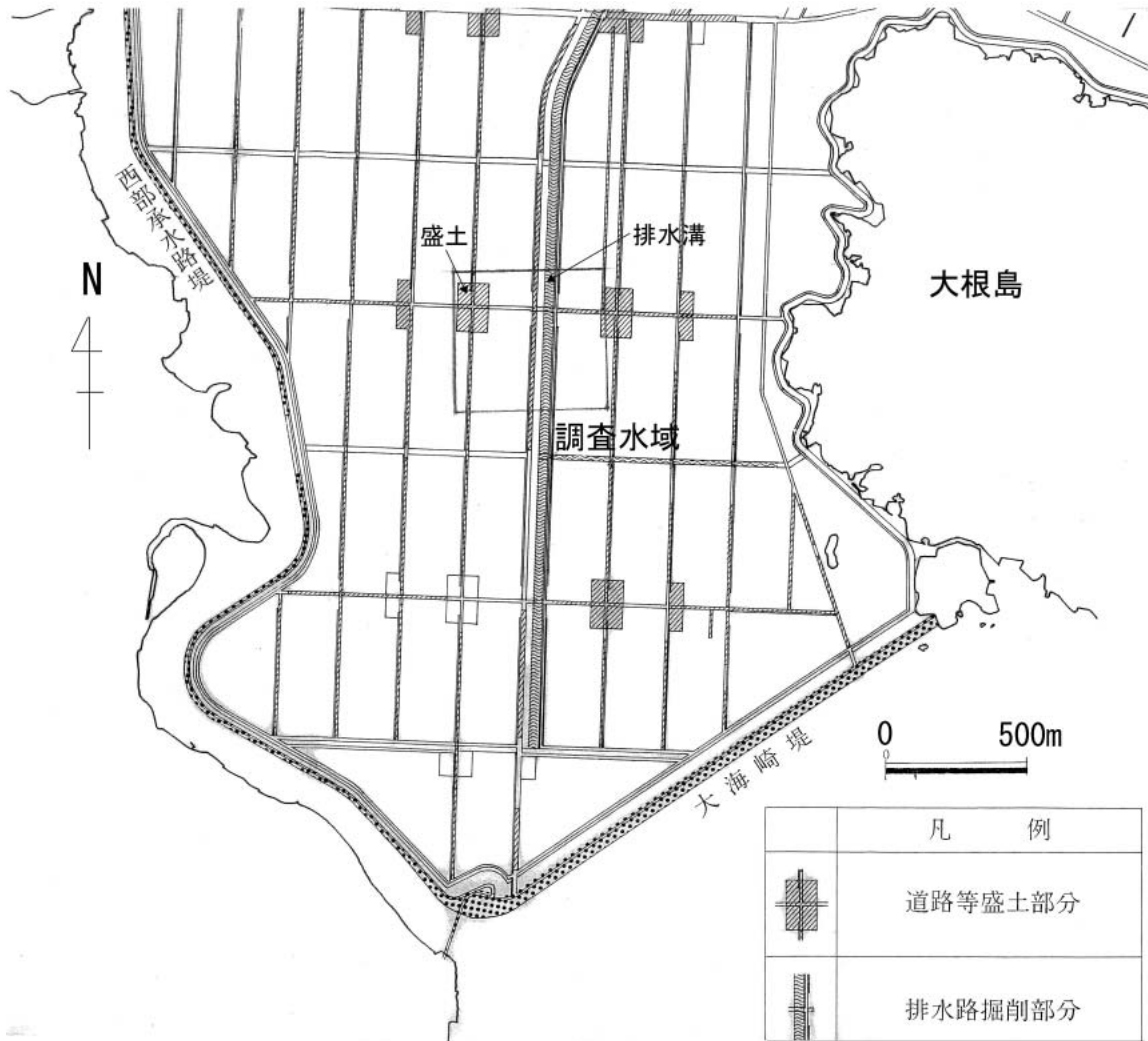


図 15. 中海本庄工区干拓計画図（部分）

Fig. 15. Reclamation planning drawing of Honjo area of Lake Nakaumi (part).

Guide, Chesapeake Technology, Inc., HTML file.
 IMAGENEX TECHNOLOGY CORP. (2003) MODEL
 881 SPORTSCAN Software User's Manual,
 IMAGENEX TECHNOLOGY CORP, 15 p.
 国土地理院 (1998) 数値地図 25000 (地図画像) 松江,
 国土地理院, CD-ROM

杉本智彦 (2002) カシミール 3D 入門, 実業之日本社,
 東京, 147 p.
 徳岡隆夫・高安克己編 (1992) 中海北部 (本庄工区)
 アトラス 1992, 島根大学山陰地域研究総合セン
 ター, 91 p.