

アナログ方式表層音波探査装置のデジタル化

西村清和*1・佐柳敬造*2・長尾年恭*2・村上文敏*1・上嶋正人*1・高遠美好*3

Digitization of an analog sub-bottom profiler

Kiyokazu NISHIMURA, Keizo SAYANAGI, Toshiyasu NAGAO, Fumitoshi MURAKAMI,
Masato JOSHIMA and Miyoshi TAKATOU

Abstract

Analog sub-bottom profilers (SBPs) are still used in surveys of shallow geological structures below seafloor. Digitized SBPs have various advantages over the analog ones. We tried digitization of a SBP, "SH-20" (Senbon Denki Co., Ltd., Japan) in this study. An SBP digitizer, "SonarWiz.SBP" (Chesapeake Technology Inc., USA), with a high-frequency (62.5kHz max.) sampling rate and a Windows notebook PC were used for the digital recording of received signal. An analog/digital sub-bottom profiling system was constructed by combining the SBP, the SBP digitizer, the notebook PC and a DGPS receiver. A field experiment of digital and analog recording of SBP was carried out around coastal area of Miho Peninsula (Shizuoka, Japan) using R/V "Hokuto" (20tons) of Tokai University. The experimental result clearly showed that the resolution of the digital record was higher than that of the analog one.

1. はじめに

海底下の深部構造を探査する大規模なマルチチャンネルの反射法地震探査では、1960年代からデジタル化が進められていたが(宮崎, 1998), 海底浅部の地質構造を探査する表層音波探査装置(シングルチャンネル)では, チャーソナー等(Shock and LeBlanc, 1990; 海洋音響学会編, 2004)のデジタル方式音波探査装置を除き, いまだ, アナログ記録方式のものが使用されている。表層音波探査装置をデジタル記録方式とした場合, (1)大型で, 高価なデジタル収録装置が必要となる, (2)周波数の高い音源を使用しているため, A/D変換器のサンプリング周期が速く, また, 発振間隔が短いため, A/D変換の処理が間に合わなくなるおそれがある, (3)データ量が多く, 大容量のストレージが必要になる, などの問題があり, これらが表層音波探査装置のデジタル化を遅らせた原因と考えられる。しかし, 最近のコンピュータおよび周辺機器

の高性能化, 低廉化により, このような問題点は解消されたと考えて良い。

アナログ方式の表層音波探査装置では, 海底および海底下の反射信号を濃淡表示で記録紙上に画いた記録が最終結果となり, 調査終了後に記録の濃度の調整をしたり, フィルタをかけるなど後処理を行うことは困難である。一方デジタル収録方式にすると, 記録をデジタルデータとして保存することができ, その結果, アナログ記録では不可能な後処理が可能となり, 高品質の記録を得ることができ

る。そこで, 種々の利点のある, アナログ方式表層音波探査装置におけるアナログ受波信号のデジタル化を検討した。シングルチャンネル音波探査におけるデジタル収録の例として, デジタル音波探査システム等が開発されている(棚橋ほか, 1991; 西村ほか, 1998)。これらの先例は, 音源としてエアガン等の低周波音源(100Hz前後)を使用し, AD変換のサンプリング周波数は250Hz~4kHzである。高周波音源(1kHz~10kHz)を備える表層

2008年1月17日受理

*1 産業技術総合研究所 (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST))

*2 東海大学海洋研究所 (Institute of Oceanic Research and Development, Tokai University)

*3 千本電機(株) (Senbon Denki Co., Ltd.)

音波探査装置では、これよりも高周波のサンプリング周波数を必要とする。10kHzの信号をAD変換する際、サンプリング定理によれば、サンプリング周波数は20kHz以上である(宇田川, 1987)。デジタル方式表層音波探査装置の概念をFig. 1に示した。

今回、アナログ方式の表層音波探査装置の一つで、国内において広く使用されている「底質探査装置 SH-20型」(千本電機製)をモデルとして、音波探査装置のデジタル化を行った。受信信号のデジタル収録には、高周波のサンプリングが行える、サブボトムプロファイラ(SBP)用デジタイザ「SonarWiz.SBP」(Chesapeake Technology, Inc. 製)およびWindows ノート PC を使用した。

2. アナログ方式表層音波探査装置

アナログ方式表層音波探査装置のSH-20はサブボトムプロファイラ(SBP)の一種である。サブボトムプロファイラは、低周波の音響パルスを使い海底数十mの堆積物の成層構造を詳細に調査する装置であり、仕組みは音響測深機と同じで、使用する音波の周波数は約1kHzから10kHz、表層音波探査装置とも呼ばれる(海洋音響学会, 1999)。

SH-20は港湾、運河、湖沼、ダム等に堆積した浮泥、軟泥厚の測定、埋設物の探査、底質判別等を行うことがで

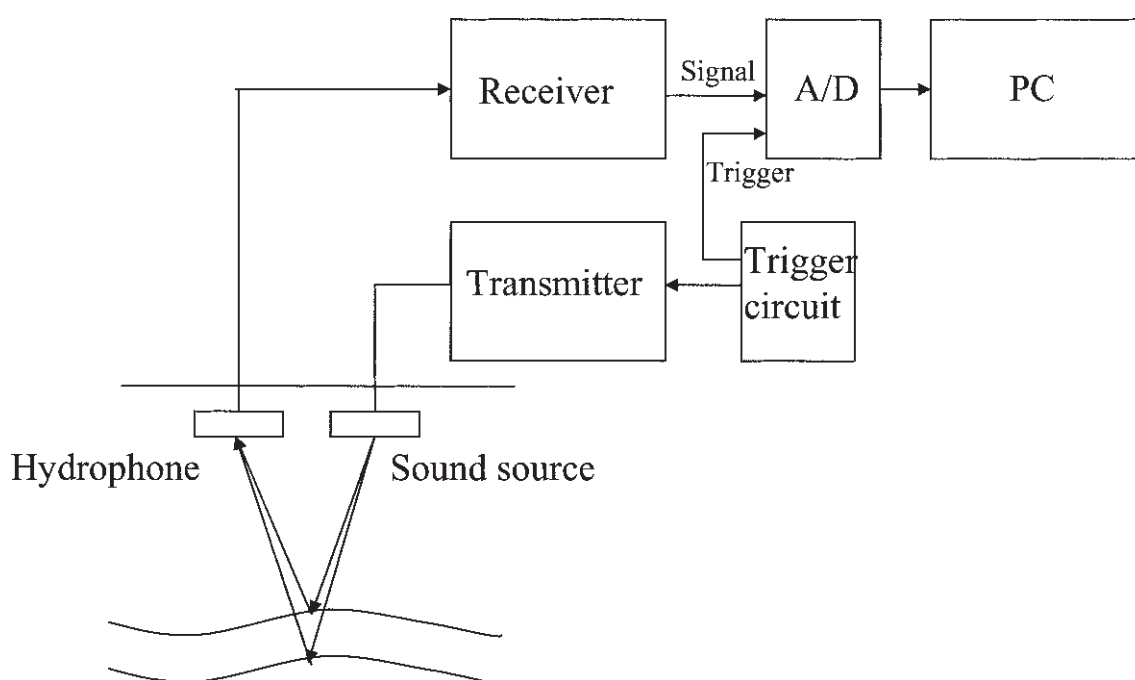


Fig. 1 Concept of a digital SBP.

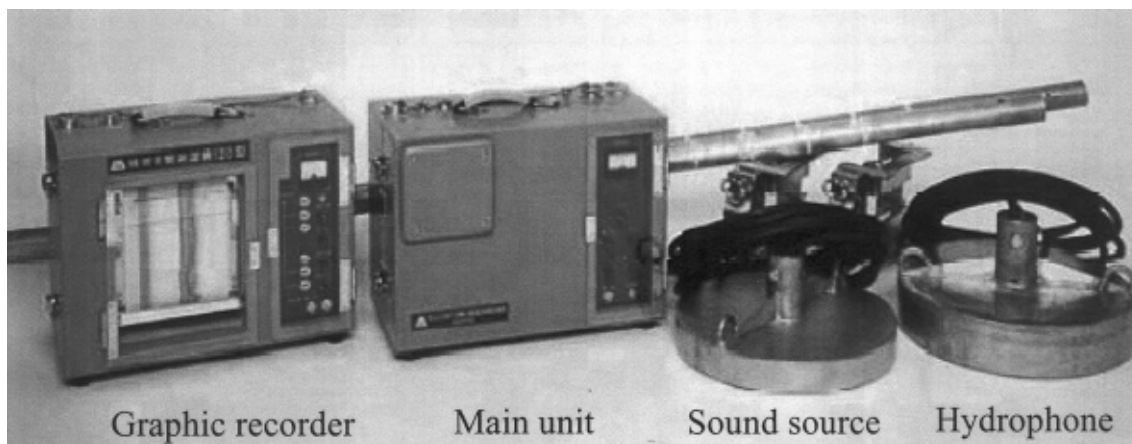


Fig. 2 SBP SH-20.

きる探査装置である。音源は、底質探査を行う低周波音源と測深を行う高周波音源（送受波器）を備える。Fig. 2 に装置の外観を示す。探査装置は、装置本体、図式記録器、低周波音源送波器、低周波音源受波器、高周波音源送受波器（図示せず）等を組み合わせたものである。今回の実験では低周波の底質探査機能を使用し、高周波の測深機能は使用していない。SH-20 の仕様概要を Table 1 に示す。

Fig. 3 は SH-20 のブロック図を示す。測深機の部分は省略した。送信部では高電圧のモノパルス信号を発生させ、モノパルス信号をコイルと金属板から構成される送波器のコイルに加え、電磁誘導により金属板を振動させ、音波を発生させる。送波器は、その外観から圧電型変換器と見紛うが、電磁誘導を利用したブーマの一種である。海底下で反射して戻ってきた反射波は受波器で受波し、装置本体の受信部で増幅する。受信部にはハイパスフィルタ（HPF）とローパスフィルタ（LPF）がある。LPF には

5, 7, 10kHz の遮断周波数の切り替えがあり、適宜使用周波数を選択できる。反射波は検波され、図式記録器の放電破壊式記録紙に記録される。

表層音波探査装置の受信信号のデジタル化を行うにあたり、SH-20 にアナログ信号出力（±5V max）およびトリガ出力（+5V、正論理）を取り出す付加回路を設けた。信号出力電圧は 0～±5V の範囲で、またトリガ出力のパルス幅は 50μs～100μs の範囲で調整可能としてある。アナログ信号出力は SH-20 の受信部のフィルタ後段（検波部の手前）から、またトリガ出力はトリガ回路から取り出した。

3. 表層音波探査装置のデジタル収録

3.1 SBP 用デジタイザ

アナログ方式音波探査装置の受信信号をデジタル化する

Table 1 Brief specifications of the SBP SH-20

Depth range	(Shallow range) 0-20, 10-30, 20-40, 30-50, 40-60m (Deep range) 0-40, 20-60, 40-80, 60-100, 80-120m
Minimum depth reading	0.5m below the transducer
Maximum sounding depth	1.0-80m(low freq.)
Acoustic frequency	(Low freq.) 5, 7, 10kHz, Beam angle: 50 degree (High freq.) 200kHz, Beam angle: 6 degree
Trigger interval	133.3ms (shallow range), 266.6ms (Deep range)
Recording Paper Roll	150mm×20m, dried
Paper feed speed	40, 60, 80, 120mm/min.
Sensitivity adjustment	0 to 40dB
Power supply	100V AC, 5A or more

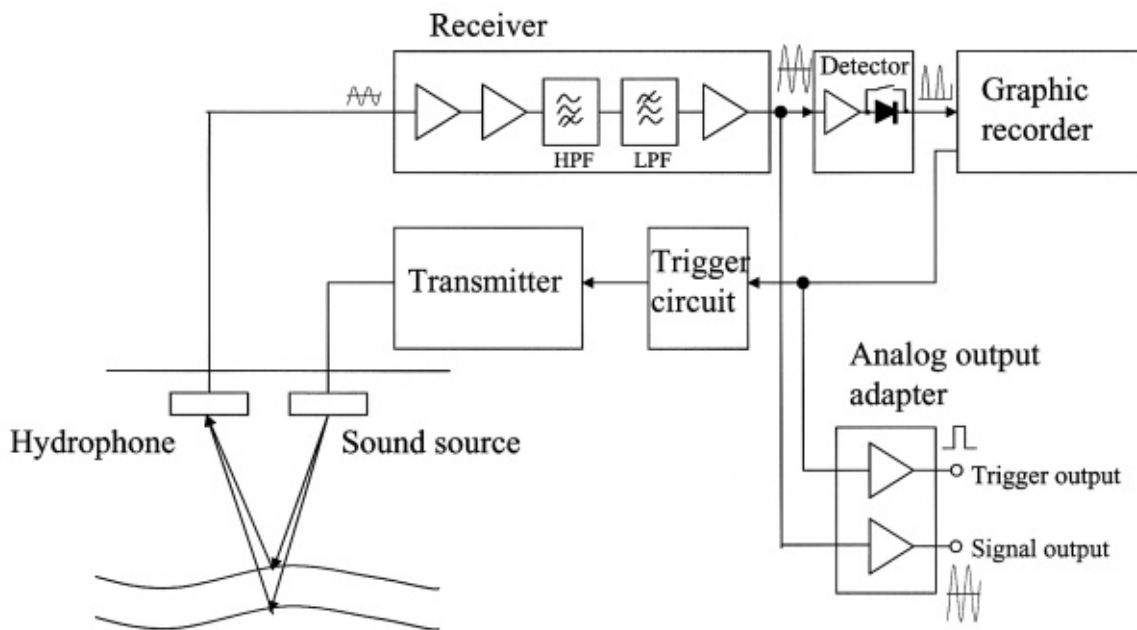


Fig. 3 Block diagram of the SBP SH-20.

るため、SBP用デジタイザ SonarWiz.SBP（以下デジタイザと呼ぶ）をノート PC にセットして使用した。デジタイザは A/D PC カード、ジャンクションボックス、アプリケーションソフトウェアから構成されている（Fig. 4）。

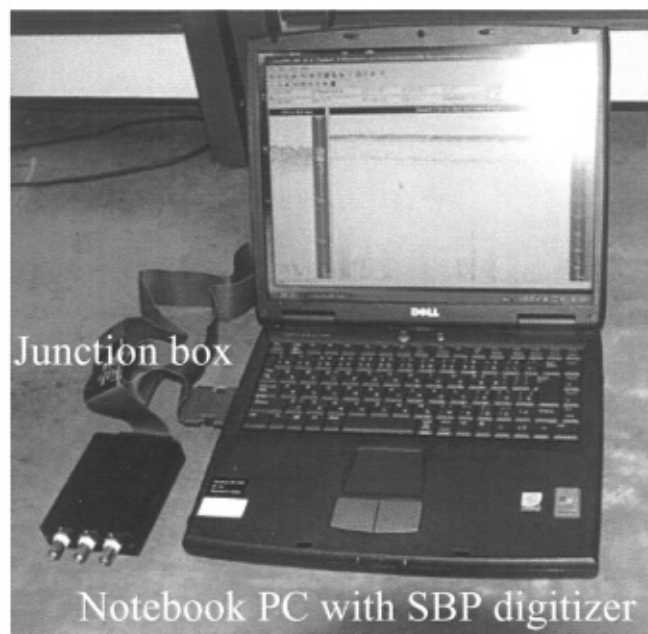


Fig. 4 Digitizer for SBP, the SonarWiz.SBP system.

デジタイザは、以下の機能と特徴を備える。

- (1) AD サンプル周波数および記録長
 - a) Short range 62.50kHz, 0-500ms.
 - b) Medium range 31.25kHz, 0-1000ms.
 - c) Long range 10.00kHz, 0-4000ms.
- (2) AD 分解能 16bits.
- (3) 収録データのリアルタイム表示と再生.
- (4) 受信信号の振幅表示.
- (5) 周波数スペクトルの表示, バンドストップフィルタの設定.
- (6) TVG (Time Variant Gain) および疑似スタッキングの設定.
- (7) 16bit SEG-Y フォーマットでのデジタル収録.
- (8) GPS データ (NMEA-0183 等) の取り込み機能.

Fig. 5, 6 および 7 は, デジタイザの記録画面表示例, TVG/スタッキングおよびバンドストップフィルタ/スペクトラムウィンドウ, データ収録パラメータウィンドウをそれぞれ示す。

3.2 アナログ/デジタル方式表層音波探査システムの構築

SH-20, SBP 用デジタイザ, ノート PC および DGPS 受信機を組み合わせアナログ/デジタル方式表層音波探査システムの構築を行った。その構成を Fig. 8 に示す。SH-20 から出力されるアナログ信号出力およびトリガ出力はデジタイザのジャンクションボックスへ入力される。DGPS 受信機の測位データは音波探査用ノート PC およびナビゲーション用ノート PC に入力される。デジタル化された反射信号はノート PC のハードディスクに収録される。地層探査断面は図化記録器および音波探査用ノート PC のディスプレイに表示される。

4. 海域実験

海域実験は2004年10月上旬に静岡県静岡市清水で、2005年9月上旬に島根県松江市中海で行った。以下にその結果を示す。

アナログ/デジタル方式の表層音波探査システムを構築し、東海大学の小型調査船「北斗」(20トン)を使用し、清水港～三保半島沿岸域において海域実験を行った (Fig. 9)。依田ほか (2000) の探査結果を参考にしながら測線の設定を行った。清水港内から三保半島の東岸沿い、東海大学の沖合い付近迄の間で、音波探査を行い、データ収録を行った (Fig. 10)。AD のサンプリング周波数は31.25 kHz, 記録長は100ms (75m) とした。トリガインターバルは133.3msである。その中の一部の記録を Fig. 11 に示した。記録を見ると、主画面の左 (C) 側の浅海部は、海底下での反射は強く、音響的に不透明で、右 (D) 側の深いほうは透過度は良く透明な成層構造が見られる。この音響パターンから、水深が深くなるにしたがい、底質が泥質に変化していることが推定される。また、海底面の反射は強く、表層に砂が分布することが推定される。画面左側には縦軸 (深度) 方向を拡大した記録が表示され、反射面が詳細に表示されている。一方 Fig. 12 に、同時に記録したアナログ記録 (放電破壊記録紙) を示す。Fig. 11 のデジタル記録とは、記録の縦横比 (Vertical exaggeration) が違いすぎるので分解能の優劣を単純に比較できないが、放電破壊記録紙の階調および記録幅は限定されており、デジタル表示の場合に比べると、高品質の記録を表示することは困難である。Fig. 13 の記録は、SEG-Y format で収録したデジタルデータを、音波探査データ処理ソフトウェア (SPW, Parallel Geoscience 社) を用い、Fig. 11 の記録中、破線の四角の範囲を拡大表示した。

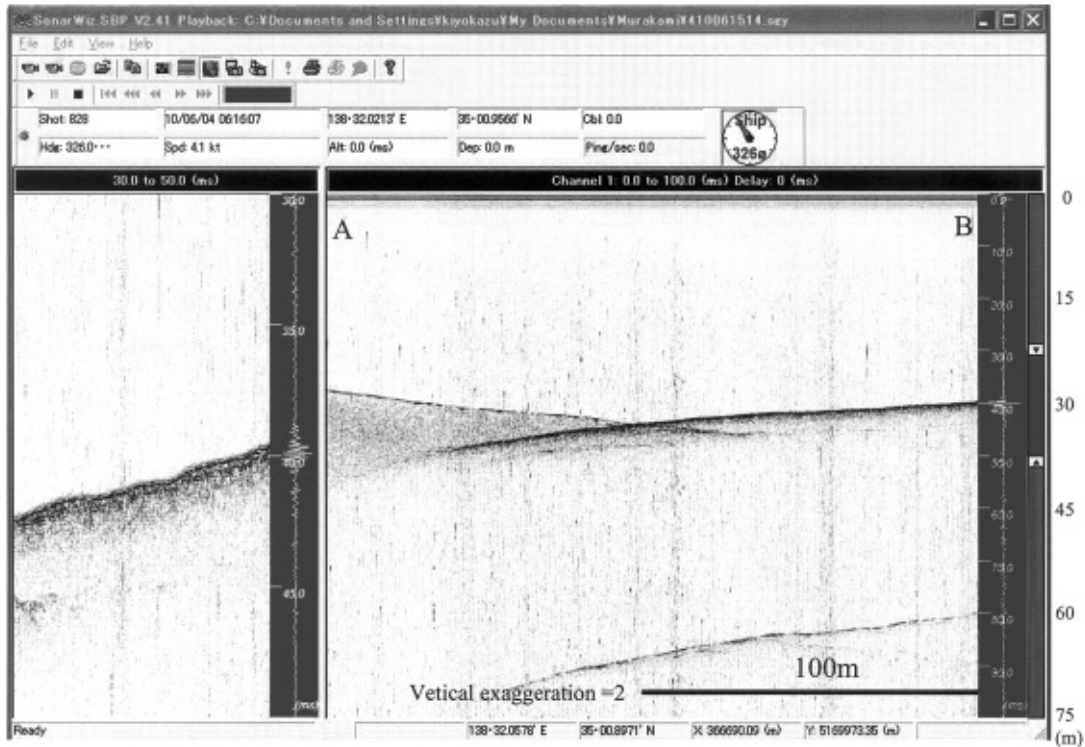
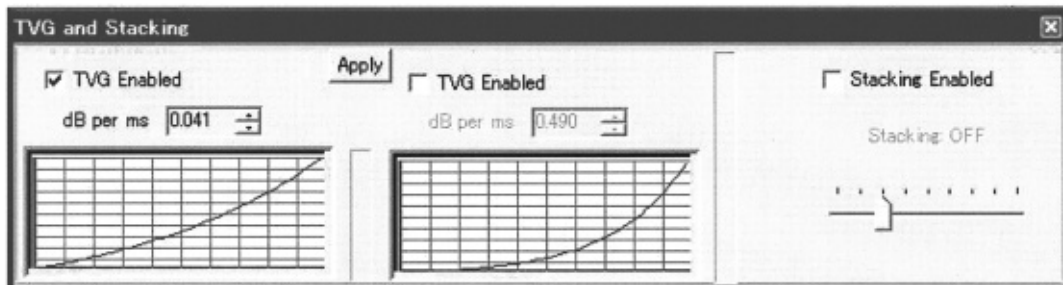


Fig. 5 An example of the profile record of the SBP digitizer. Coast of Miho Airport (location map in Fig. 10), water depth approximately 30m, sampling frequency 31.25kHz, record length 100ms.

TVG/Stacking



Band Cut Filter/Spectrum

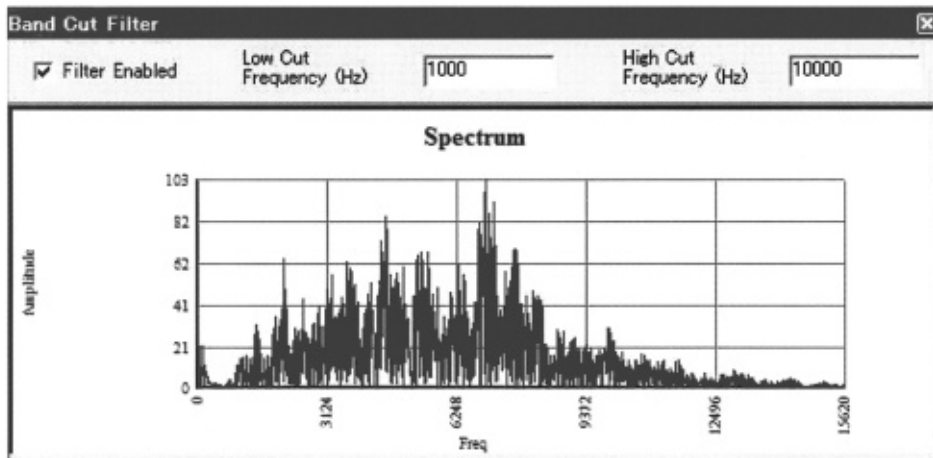
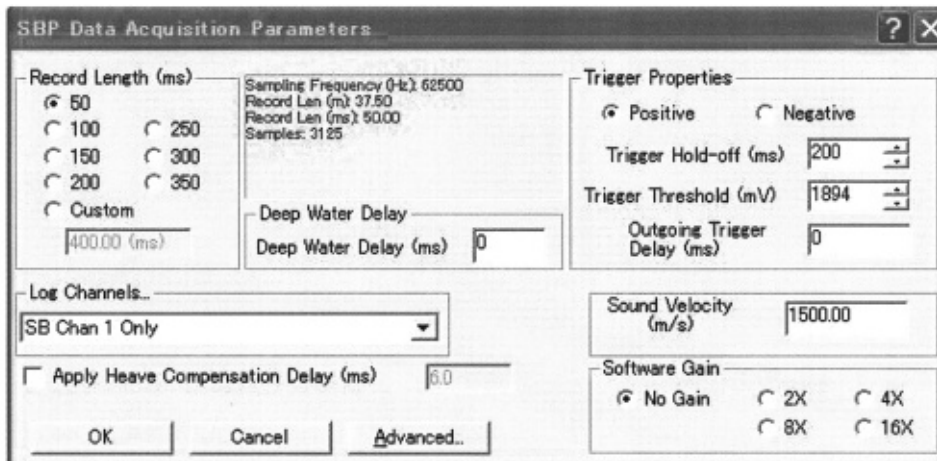


Fig. 6 An example of the TVG/stacking and band stop filter/spectrum windows in the SBP digitizer.

SBP Data Acquisition Parameters



Advanced Settings

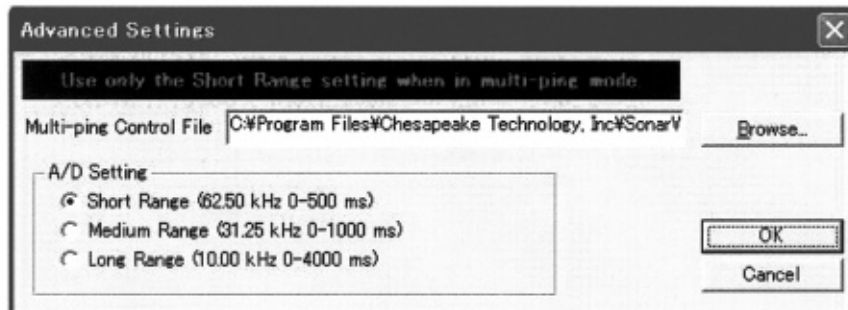


Fig. 7 An example of the SBP data acquisition parameters windows in the SBP digitizer.

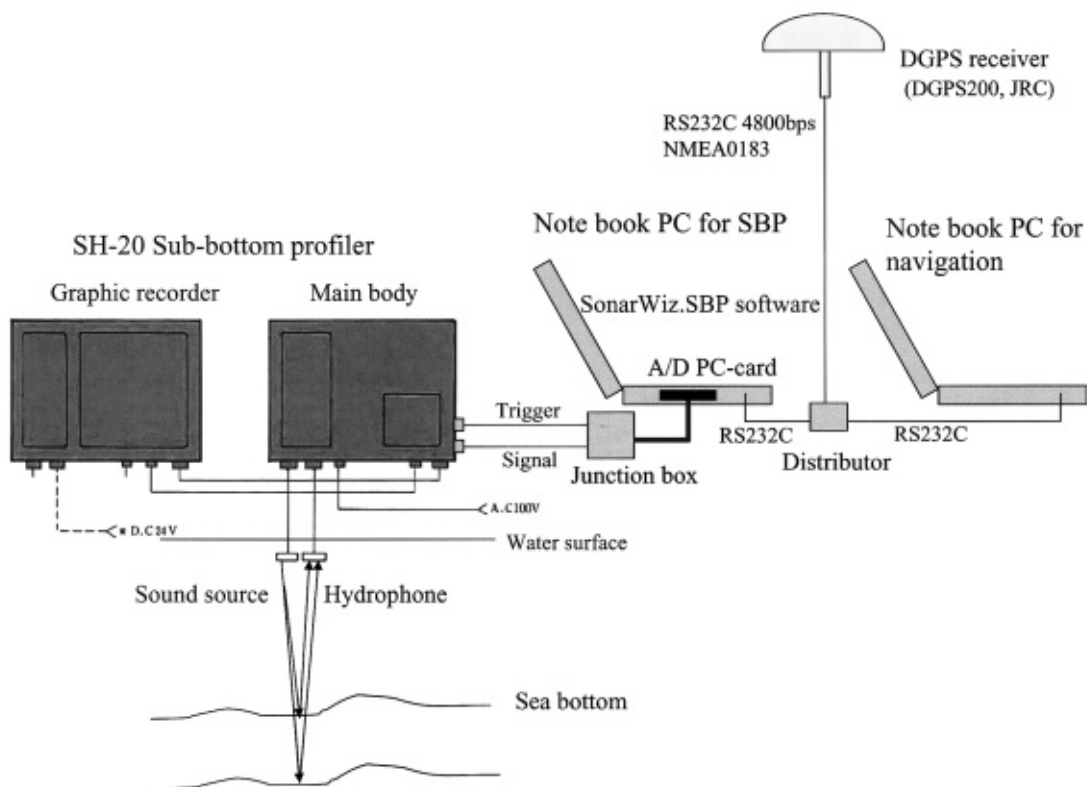


Fig. 8 Structure of the analog/digital SBP system.



Fig. 9 Scenes of the field experiment by the research vessel “Hokuto”. (A) Sound source and hydrophone mounted on the ship’s side. (B) The SBP SH-20. (C) Digital recording by the SBP digitizer.

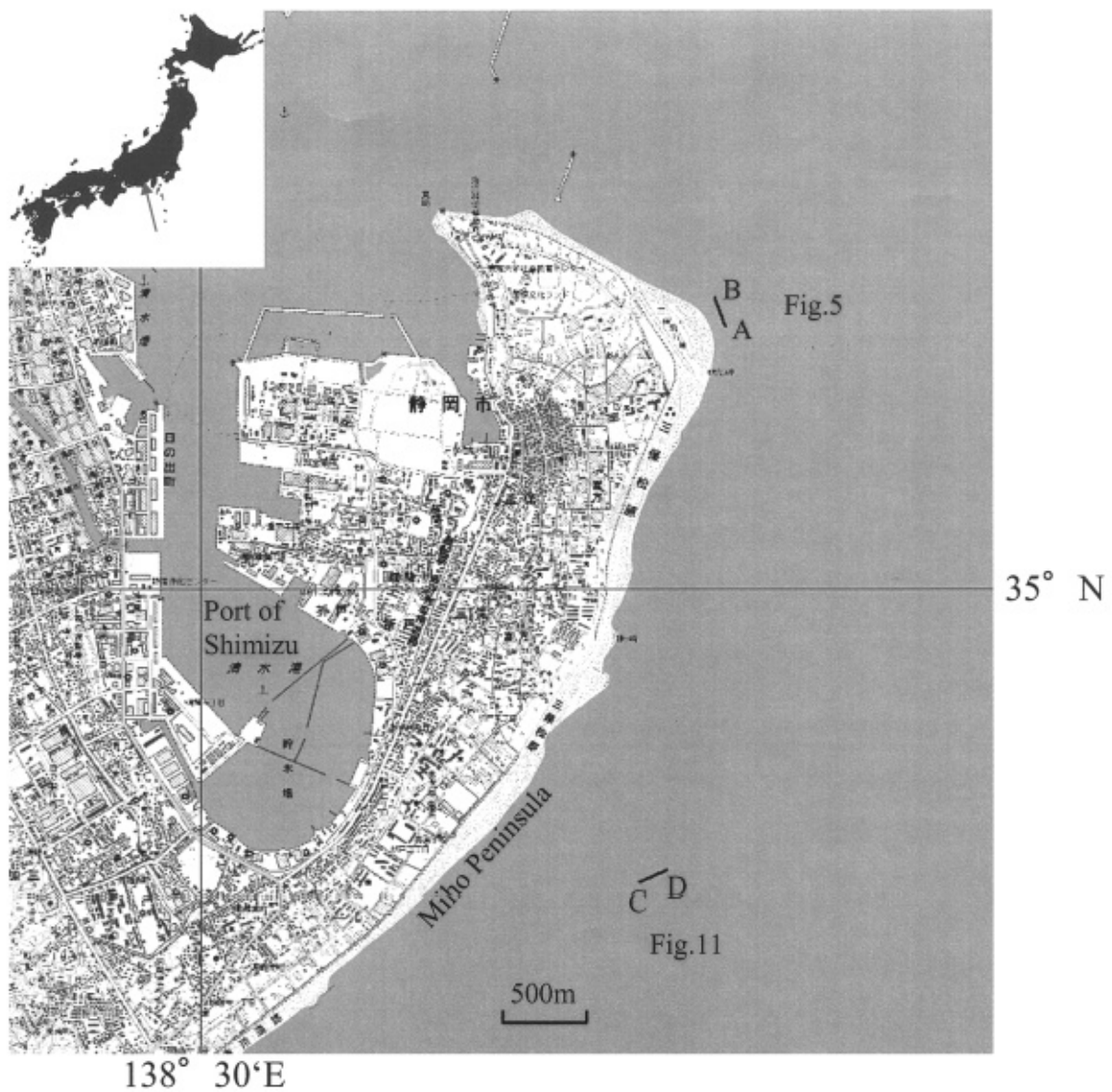


Fig. 10 Location map of the field experiment in Port of Shimizu and off Miho Peninsula (Geographical Survey Institute, 2006). Lines A-B and C-D indicate the survey lines for the profiles in Fig. 5 and Fig. 11, respectively.

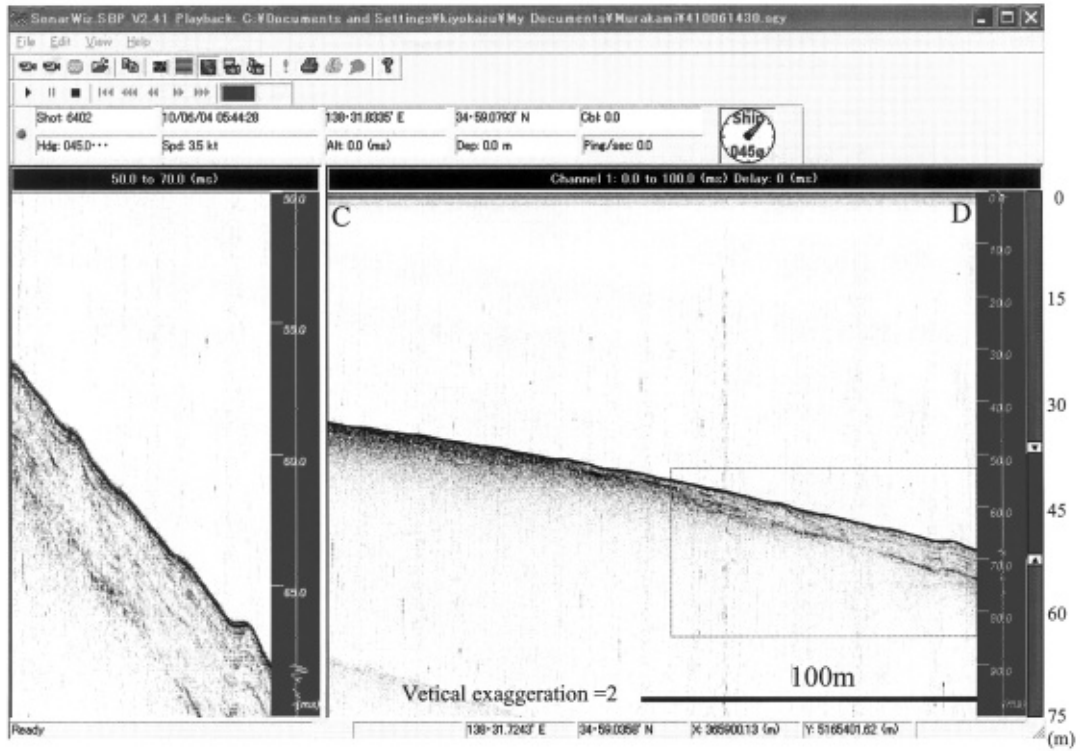


Fig. 11 Digitally recorded SBP profile. Off Miho Peninsula, water depth 33–51m, sampling frequency 31.25kHz, record length 100ms. The dotted rectangle in the SBP profile indicates the range of the profile in Fig. 13.

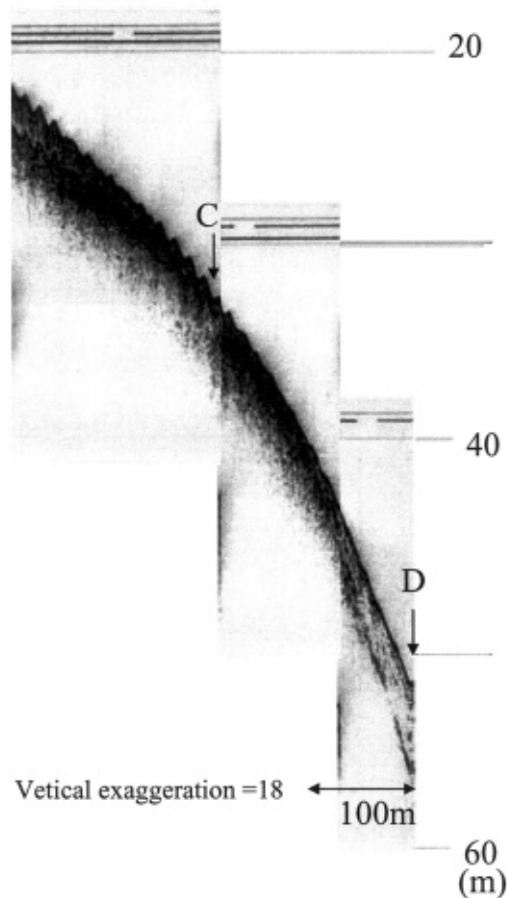


Fig. 12 Analog profile recorded simultaneously as that in Fig. 11. Off Miho Peninsula.

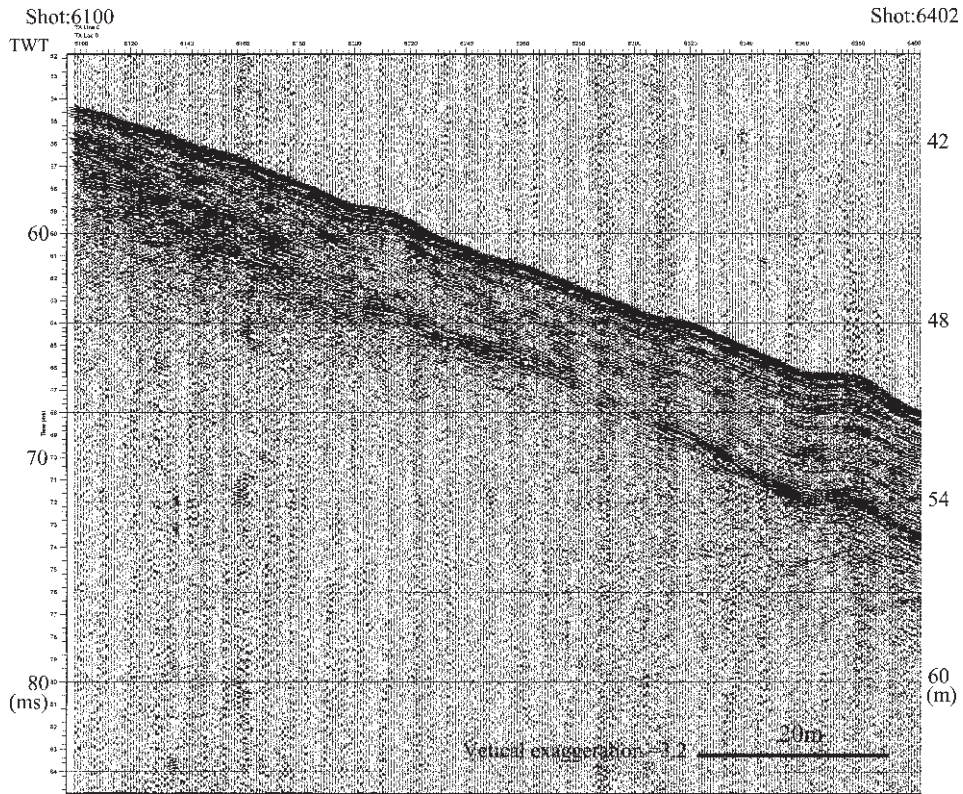


Fig. 13 Digital SBP profile processed by the seismic data processing software, SPW. The profile shows an expanded view of the inside of the dotted rectangle in Fig. 11.

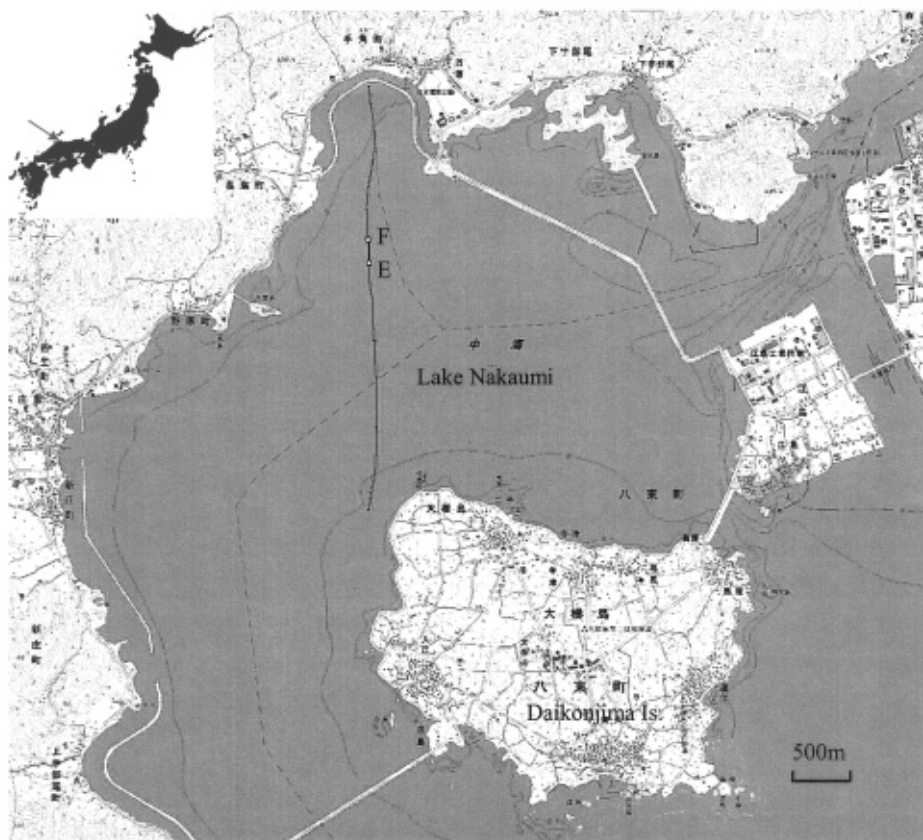


Fig. 14 Location map of the field experiment in Lake Nakaumi, Shimane Prefecture (Geographical Survey Institute, 2003). Line E-F indicates the survey line of the record in Fig. 15.

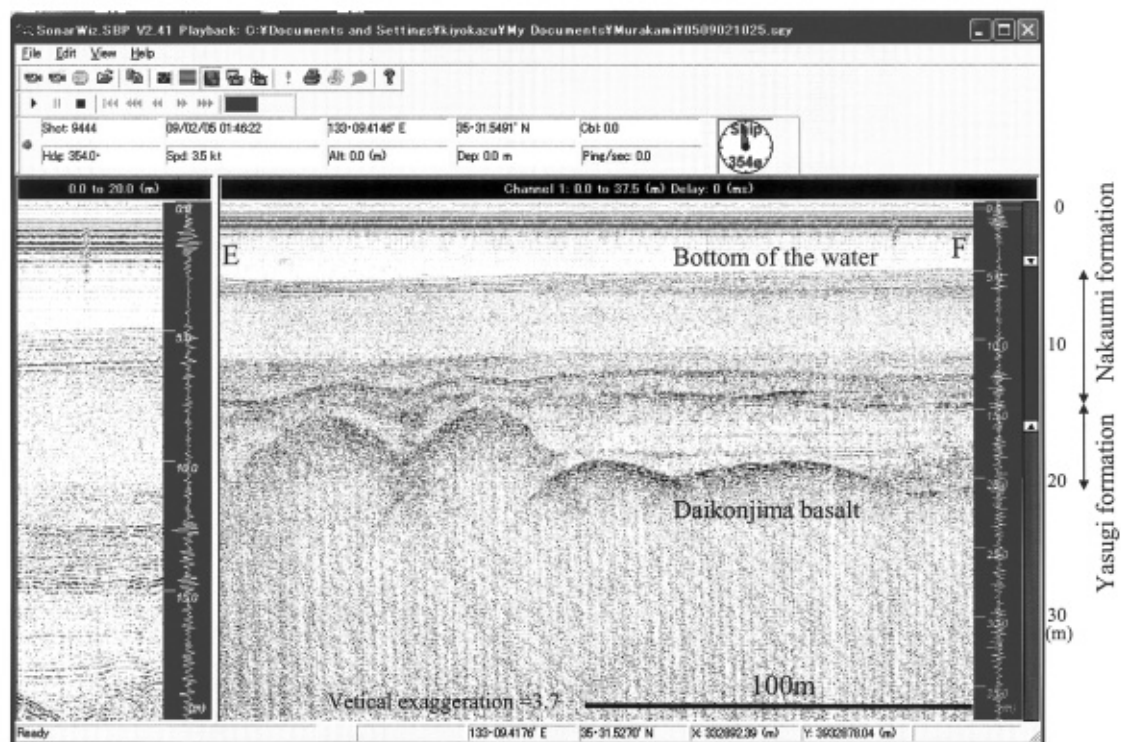


Fig. 15 Digital SBP profile. Honjou Area of Lake Nakaumi, water depth 5m, sampling frequency 62.5kHz, record length 50ms.

中海本庄水域において、島根大学汽水域研究センターの小型ボートを使用し、探査実験を行った。測線は大根島沿岸から中海本庄水域の北端までの約3.4kmで (Fig. 14), その中の一部の探査記録を示す (Fig. 15)。ADのサンプリング周波数は62.5kHz, 記録長は50ms (37.5m)とした。トリガインターバルは133.3msである。記録には中海湖底の音響的層序区分が明瞭に示されている。水底下15m~20mに存在する大根島玄武岩 (更新世) の上に、厚い堆積層が分布する。堆積層は二層に区分され、水底より下部の中海層 (完新世), 水底下約10mから下部の安来層 (更新世) が認められる。

5. おわりに

既存のアナログ方式表層音波探査装置に市販のSBP デジタイザを組み合わせ、受信信号のデジタル収録を行った。海域実験の結果から、デジタル化の有効性が確認された。

具体的には、以下の通りである。

- (1) デジタル化により、表示される記録の分解能が向上し、詳細な解析が行えるようになった。
- (2) デジタル化により、データの保存・再生 (SEG-Y format) が容易になった。
- (3) デジタル化により、データの後処理が容易になっ

た。

- (4) 探査記録の表示をPCのディスプレイで行うことにより、図式記録器が不要となった。

今回、表層音波探査装置のデジタル化に焦点を絞ったが、今後、各種音源を使用したアナログ音波探査機のデジタル化の実験を進め、また、簡易なデジタイザの開発を進めたい。

謝 辞

本研究を行うにあたり、千本電機株式会社 須崎聡氏、日本ミクニヤ株式会社 吉津憲氏、同 三納正美氏、東海大学船舶運航課揚野静昭氏、同 桜井富春氏、東海大学海洋学部教授根元謙次博士、同大学院生 吉河秀郎氏、横山心一郎氏、ビジオテックス株式会社 猪瀬昭治氏、電気通信大学名誉教授 竹内俱佳博士、島根大学名誉教授 徳岡隆夫博士、徳岡汽水環境研究所 吹田歩氏、島根大学汽水域研究センター 松本貞夫氏、産業技術総合研究所 石原丈実博士には種々ご協力いただいた。また査読者の方には貴重なコメントを頂いた。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 海洋音響学会 (1999) : 海洋音響用語辞典, 海洋音響学会, 東京, 231pp.
- 海洋音響学会編 (2004) : 海洋音響の基礎と応用, 成山堂, 東京, 306pp.
- 国土地理院, Geographical Survey Institute (2003) : 数値地図25000 (地図画像) 松江, 国土地理院, CD-ROM.
- 国土地理院, Geographical Survey Institute (2006) : 数値地図25000 (地図画像) 静岡, 国土地理院, CD-ROM.
- 宮崎光旗 (1998) : 第1章反射法地震探査 1. 歴史, 物理探査ハンドブック 手法編第1章~第4章, 物理探査学会, 5-8.
- 西村清和・倉本真一・佐柳敬造・松田滋夫 (1998) : 深海曳航音波探査ユニットの開発と深海構造調査, 海洋調査技術, **10**(2), 29-40.
- Shock, S.G. and L.R. LeBlanc (1990) : CHIRP Sonar: New Technology For Sub-Bottom Profiling. *Sea Technology*, **31**(9), 35-43.
- 棚橋 学・佐藤幹夫・依光和夫 (1991) : デジタル音波探査システムの開発, 海洋調査技術, **3**(1), 1-13.
- 宇田川博文 (1987) : パソコンデジタル信号処理, 工学社, 東京, 207pp.
- 依田美行・黒石 修・根元謙次 (2000) : 堆積シーケンスからみた三保半島及び半島沖大陸棚の形成, 海洋調査技術, **12**(2), 31-47.

要 旨

海底下浅部の地質構造を探査する表層音波探査装置では, いまだに, アナログ記録方式の探査装置が使用されている。デジタル方式表層音波探査装置はアナログ方式のものに比べ, 種々の利点がある。本研究ではアナログ方式の底質探査装置 SH-20 (千本電機製) のデジタル化を試みた。受信信号のデジタル収録には, 高周波のサンプリングレート (62.5kHz max.) を備えるサブボトムプロファイラ (SBP) 用デジタイザ「SonarWiz.SBP」(Chesapeake Technology, Inc. 製) および Windows ノート PC を使用した。底質探査装置, SBP 用デジタイザ, ノート PC および DGPS 受信機を組み合わせてアナログ/デジタル方式表層音波探査システムの構築を行った。海域実験は東海大学の小型調査船「北斗」(20トン) を使用し, 清水港~三保半島沿岸域において, デジタルおよびアナログでデータ収録を行った。その結果, デジタル記録はアナログ記録に比べ記録の分解能が良好であることが明らかになった。