

電子計算機を利用したシングルチャンネル 音波探査データの信号強調技術

岡田 貢*・打田明雄*

A SIGNAL ENHANCEMENT TECHNIQUE FOR SINGLE CHANNEL SEISMIC REFLECTION DATA

Mitsugu Okada* and Akio Uchida*

Received 1979 September 10

Abstract

Single channel seismic reflection profilings have been one of the most popular methods in hydrographic surveys and other geophysical investigations around Japan for the last 20 years. In the shallowwater environment, such as continental shelves and continental margins, large-amplitude multiple reflections obscure smaller-amplitude primary reflections, which prevent investigators from detecting both finescale and more important geological structures in that area.

To detect more detailed geological information, a digital data processing method using the Wiener shaping filter and conventional stacking was developed to remove noises and multiple reflections from the original data. This method was applied to the digital single channel seismic data obtained at sea near Tokyo Bay, and results of the processing are given in the form of subbottom profiles drawn with an automatic plotter and compared with original analogue record seismograms. We can conclude that this method will be of much help in extraction of geological/geophysical information from single channel seismic data.

1. ま え が き

海底下の地層を探査するには、音波を用い、海底面及び海底下の各地層表面で反射されて返ってくる反射波を調査船上で受信し記録する方式がある。しかしその記録には、直接反射されてくる有意な信号の他に、海底と水面間及び各地層間を何度か往復した後に受信される多重反射信号が含まれている。この多重反射信号は、記録上、地層に似たしま模様（疑似地層）として現れ、正常な地層断面と重複して記録を複雑化するため、地層解析のうえで大きな障害となっている。

そこで、この有害な信号を除去するための電子計算機によるデジタル処理と、グラフィックCOM(Computer Output on Microfilm) による結果の図化を試みたので、その原理と処理の概要について報告する。

* 測量課 Surveying Division

Figure 1 は多重反射の模式図であり、Figure 2 は典型的な多重反射信号のある地層断面記録の一例である。また Figure 3 の写真は、従来のアナログ記録と並行して、この処理のためにデジタル記録を作成したデジタル収録器である。この収録器は、長さ 730メートルのオープンリール方式磁気テープを使用し、9トラックで 1600B P I の記録密度を有する磁気録音部、162 db のダイナミックレンジを有するバイナリゲインアンプ、記憶制御部及び時刻表示部等により構成されている。本器は収録機能のほかに磁気テープ再生機能も有し、D/A 変換した信号を音波探査用アナログ記録器に導くことにより地層断面図を描かせることができる。

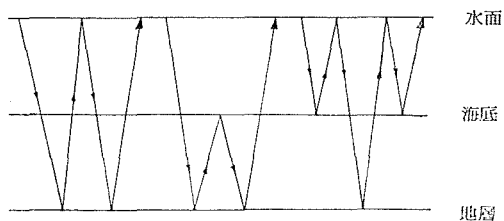


Figure 1 Sound paths of multiple seismic reflections.

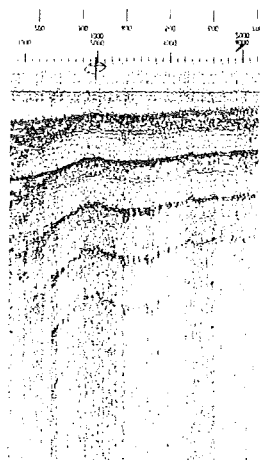


Figure 2 Seismic data showing typical multiple reflections.

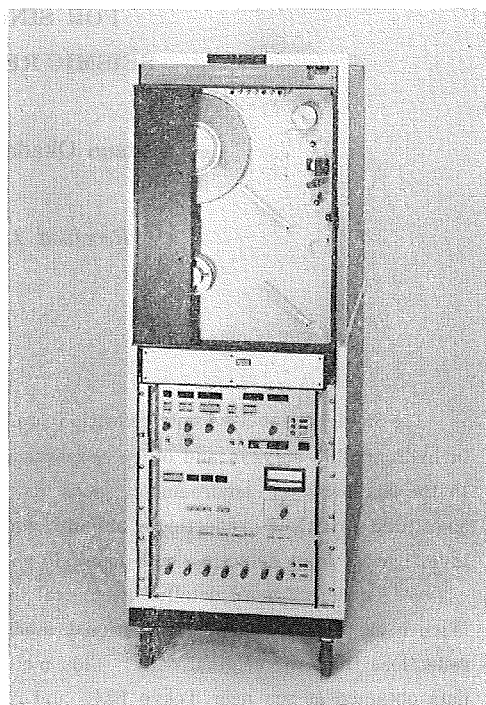


Figure 3 Digital seismic recording system.

2. 多重反射信号除去の原理

多重反射信号除去のプログラムは、Wiener shaping filter を使用し、Figure 4 に示すように多重反射信号除去処理を行うことにより、不要信号を除くものである。その原理は次のとおりである（芦田および鳥羽 1978）。

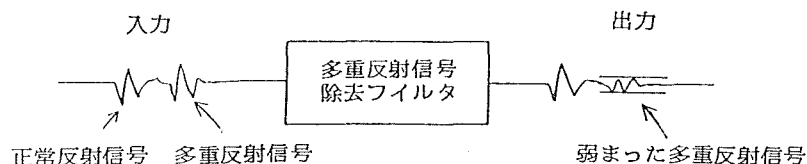


Figure 4 Illustration of function of the filter for multiple reflections.

いま、次のように各変数を定義する。

入力波形の時系列	$b_t \quad (t=0, 1, 2, \dots, n)$
所望出力波形の時系列	$d_t \quad (t=0, 1, 2, \dots, n)$
フィルタの時系列	$f_t \quad (t=0, 1, 2, \dots, n)$
実際の出力波形の時系列	$y_t \quad (t=0, 1, 2, \dots, n)$

ここで、本来、出力として欲しい d_t と実際の出力 y_t とについて

$$E = (d_0 - y_0)^2 + (d_1 - y_1)^2 + \dots + (d_n - y_n)^2$$

$$= \sum_{t=0}^n (d_t - y_t)^2$$

のような自乗平均誤差のエネルギー E を考える。Wiener shaping filter とは、この E を最小にするという条件で f_t を求める方法である。

いま入力波形の時系列 b_t についてウィンドウ幅 m 個として出力波形の時系列 y_t を求めると、

$$y_t = \sum_{s=0}^m (f_s \cdot b_{t-s})$$

したがって

$$E = \sum_{t=0}^n (d_t - \sum_{s=0}^m f_s \cdot b_{t-s})^2$$

となる。誤差のエネルギーは、 $\partial E / \partial f_i = 0$ の時、最小となるから

$$\frac{\partial E}{\partial f_i} = \sum_{t=0}^n 2 (d_t - \sum_{s=0}^m f_s \cdot b_{t-s}) (-b_{t-i}) = 0$$

すなわち、

$$-\sum_{s=0}^n d_t \cdot b_{t-i} + \sum_{t=0}^n (\sum_{s=0}^m f_s \cdot b_{t-s}) b_{t-i} = 0$$

あるいは、

$$\sum_{s=0}^m f_s \cdot \sum_{t=0}^n b_{t-s} \cdot b_{t-i} = \sum_{t=0}^n d_t \cdot b_{t-i} \tag{1}$$

となる。

ここで、

$$\phi_{t-s} = \sum_{t=0}^n b_{t-s} \cdot b_{t-i} \tag{2}$$

$$\varphi_i = \sum_{t=0}^n d_t \cdot b_{t-i} \tag{3}$$

とおく。(2)式は入力波形の自己相関関数であり、(3)式は入力波形と所望出力波形との相互相関関数である。(2)、

(3)式で(1)式を書き換えると、

$$\sum_{s=0}^m f_s \cdot \phi_{t-s} = \varphi_i \quad (i=0, 1, 2, \dots, m) \tag{4}$$

となり、行列式を用いて書くと次のようになる。

$$\begin{pmatrix} \phi_0 & \phi_1 & \phi_2 & \dots & \phi_m \\ \phi_1 & \phi_0 & \phi_1 & \dots & \phi_{m-1} \\ \phi_2 & \phi_1 & \phi_0 & \dots & \phi_{m-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_m & \phi_{m-1} & \phi_{m-2} & \dots & \phi_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varphi_0 \\ \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \vdots \\ \varphi_m \end{pmatrix} \tag{5}$$

(5)式を解くことによりオペレータとも呼ばれるフィルタ (f_t) を求めることができる。このフィルタにより入力信号 (音波探査データ) を処理 (Convolution) すると、所望の出力波形との誤差が最小となるような出力を求めることができる。Figure 5 は以上の信号処理過程を示している。

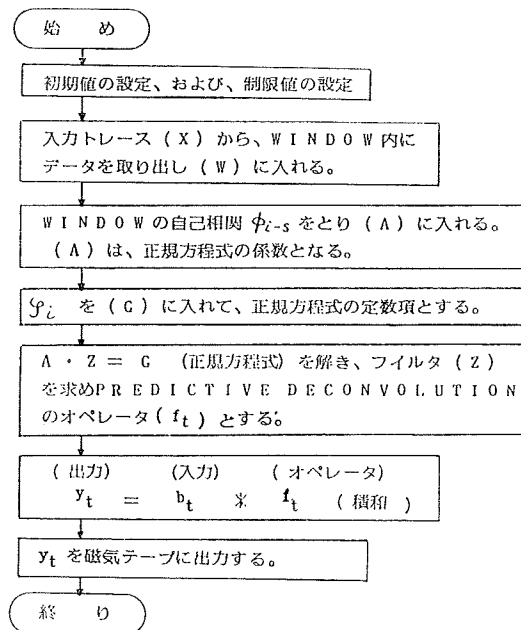


Figure 5 Block diagram of the signal processing.

処理結果を地層断面図として表現する際、ここでは XYプロッタに替えて、グラフィックCOMを採用した。グラフィックCOMは、磁気テープから入力されたデータを、分解能の極めて高いブラウン管上に図形として再現し、これを35mmマイクロフィルム上に撮影するという機能を持ち、XYプロッタに比べ作図速度が100~200倍という利点がある。グラフィックCOMによる図化表示法には、Figure 6に示すような5種類があるが、Figure 12に示す例は、地層の連続性を最も効果的に表す〔面積表示-2〕によって描いたものである。

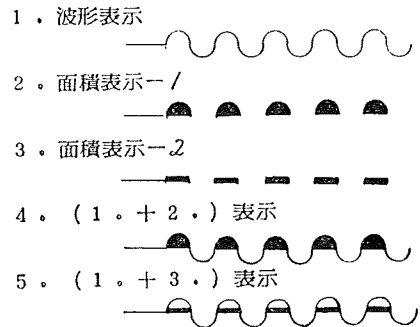


Figure 6 Five types of COM display patterns used for seismic traces.

3. 電子計算機を用いた地層断面図

解析処理には、昭和53年3月8日 測量船「明洋」(450総トン)に積載したデジタル収録器により収録した東京湾口における音波探査データを用いた。Figure 7は収録時の航跡図で、4桁の数字はその地点におけるエアガンの発音番号を示す。使用したエアガンの吐出容量は0.6ℓである。

収録された受信信号強度の周波数スペクトルは、Figure 8に示すとおりであり、10Hz付近に卓越周波

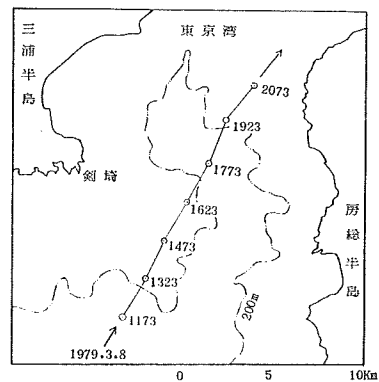


Figure 7 Track chart of seismic data acquisition.

数が見られる. Figure 9 はこれを 1 トレース分の時間経過における振幅の分布として表現した図で, 10 Hz すなわち 0.1 秒周期の明瞭な波が読みとられる. このエアガンを製作したホルト社の資料では, 0.6 l のエアガンの最低発音周波数は 21 Hz であるから, 記録されている 10Hz の波は有意な反射信号ではないといえる.

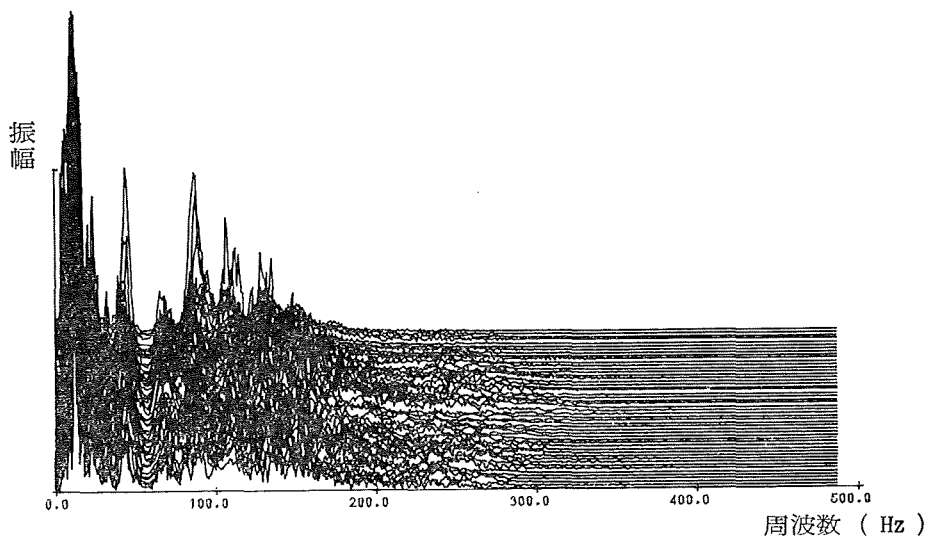


Figure 8 Amplitude spectrum of seismic signals.

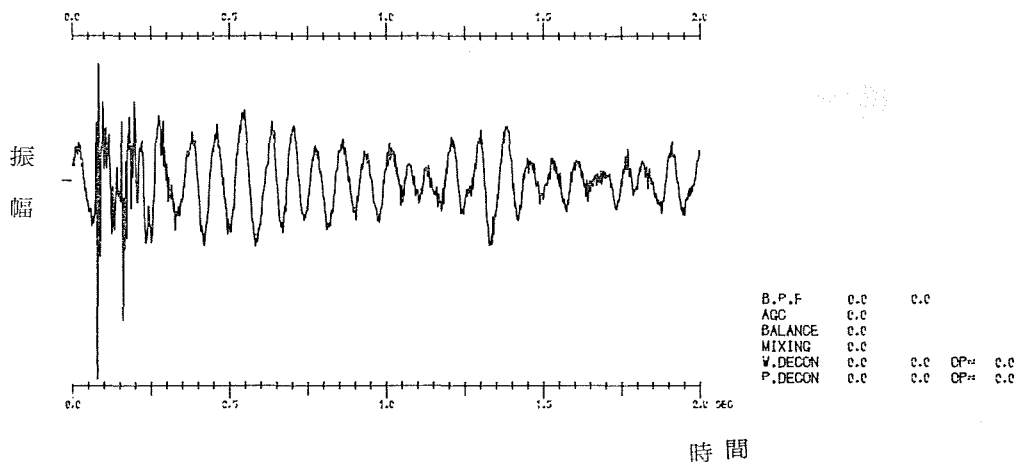


Figure 9 An example of wave form of received seismic signal.

Figure 10 は音波探査データの処理過程全体を示したフローチャートである. 図に示すように主目的である多重反射信号除去に先立って, コード変換・信号周波数分析等の前処理を行っており, 上に述べた10Hzの波などもこの段階で取り除かれる. Figure 11 は信号周波数分析の処理効果の一例で, Figure 9 と同様の表現方法で描いたものである. この例は, バンドパスフィルタを50~300Hz に設定して処理したもので, 10Hz の大きな波が除去されたことを示している. Figure 10 の処理過程において設定したその他の定数は, 周期信号振幅制御= 3 周期, 周期信号重合= 3 周期, 多重反射信号除去のオペレータのウィンドウ幅=250である.

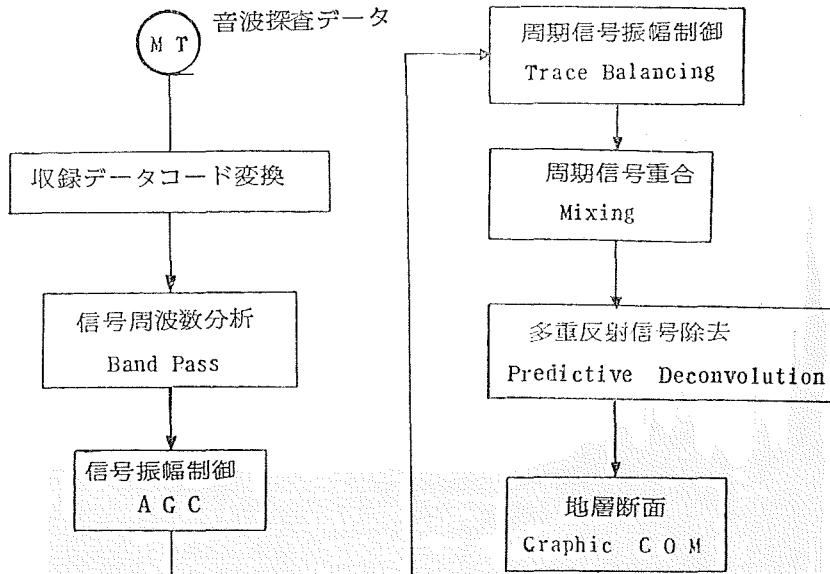


Figure 10 Flow chart illustrating whole digital seismic data processing.

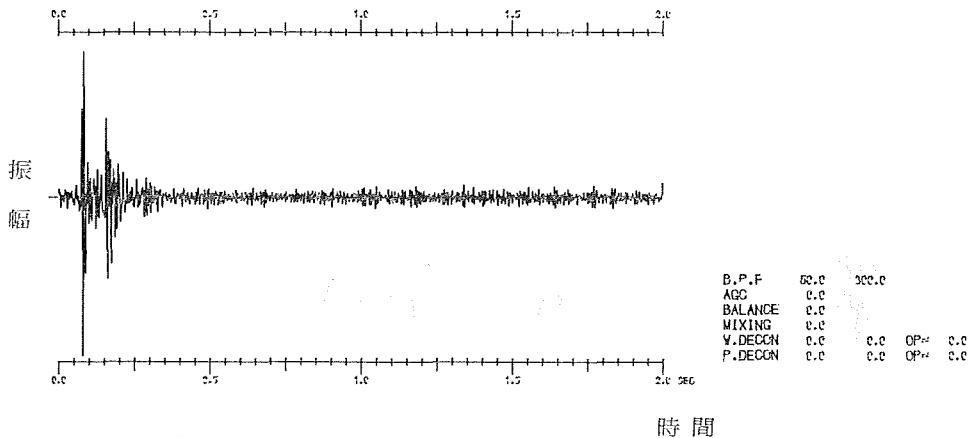


Figure 11 Seismic signals shown in Figure 9 after application of digital band-pass filter.

Figure 12 はこれらの処理を経て得られた地層断面の一例である。また、Figure 13 は、比較のために同一の場所で同時に収録した従来方式のアナログ記録である。両図とも、横軸は発音番号、縦軸は反射信号を受信するまでの時間（単位：秒）である。二つの図は縦横の比が同一ではないので、比較のために Figure 14 を掲げた。実線は、Figure 13 のアナログ記録では不明瞭だったものが、処理後の Figure 12 では鮮明に表されている線であり、破線は、アナログ記録では多重反射で数本のしまに現れていたものが、処理によって除かれるか弱められるかした部分である。

Figure 15 (a), (b) も、多重反射信号除去の処理前と処理後の地層断面図の一例である。同図 (a) では発音番号1600~1650、ほぼ 0.2 秒の付近に並行する数本の線が見られる。これは、水面と海底間を往復した音波による海底の疑似記録であるが、同図 (b) ではこれが非常に弱められていることが読みとれる。

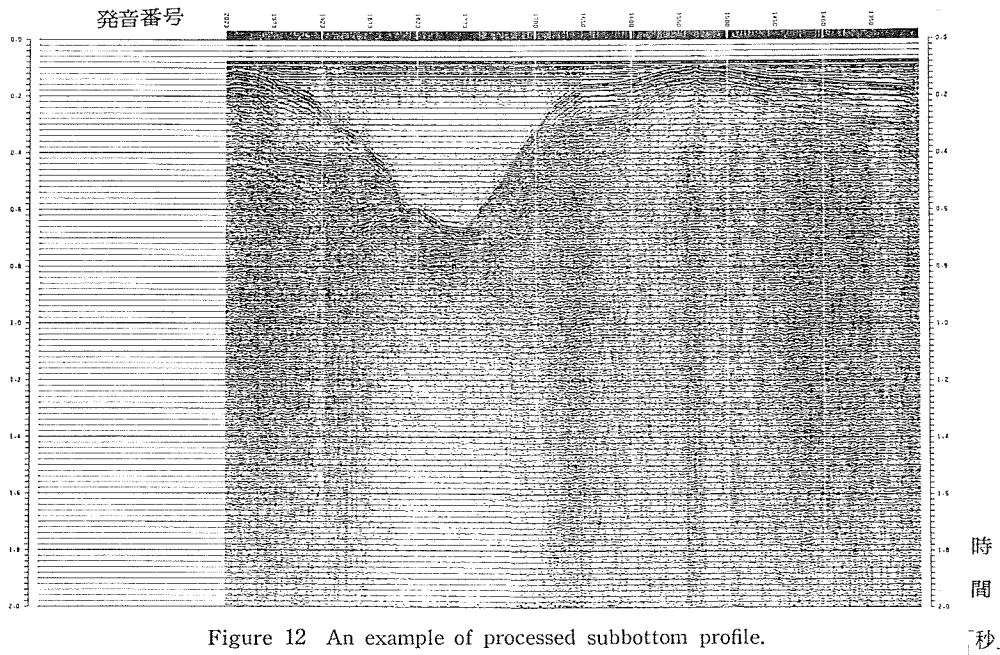


Figure 12 An example of processed subbottom profile.

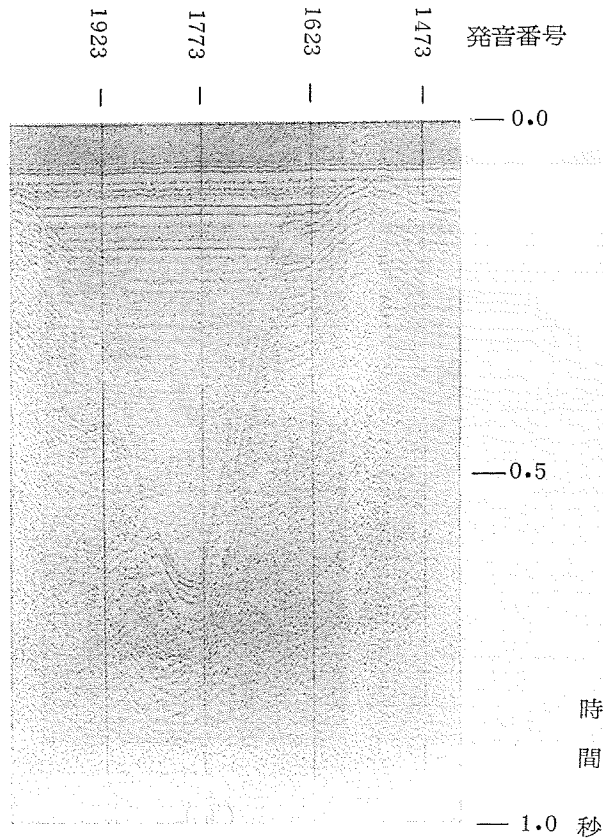


Figure 13 Original subbottom profile obtained by analogue recorder onboard the survey vessel.

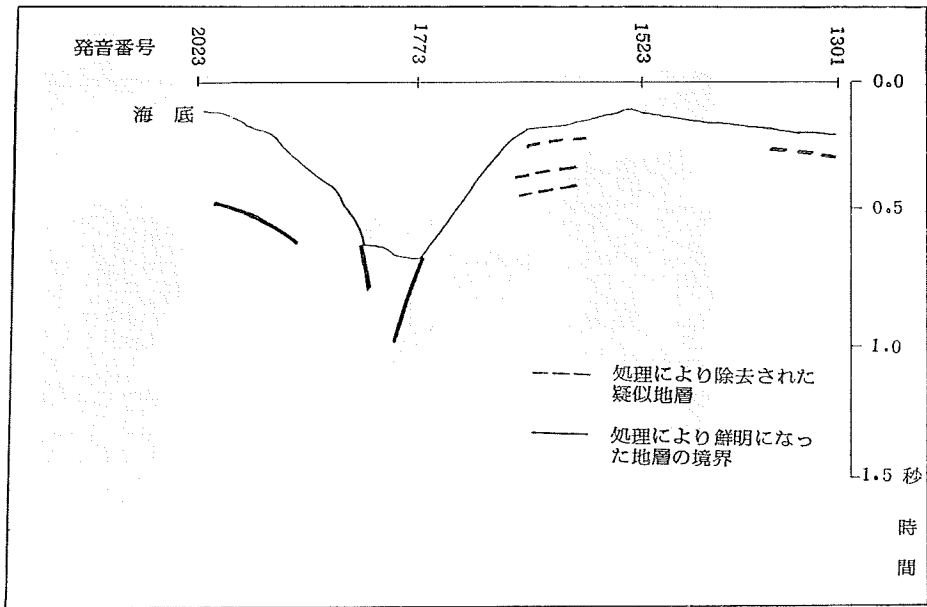


Figure 14 Section showing removed (dotted line) and enhanced (solid line) profiles.

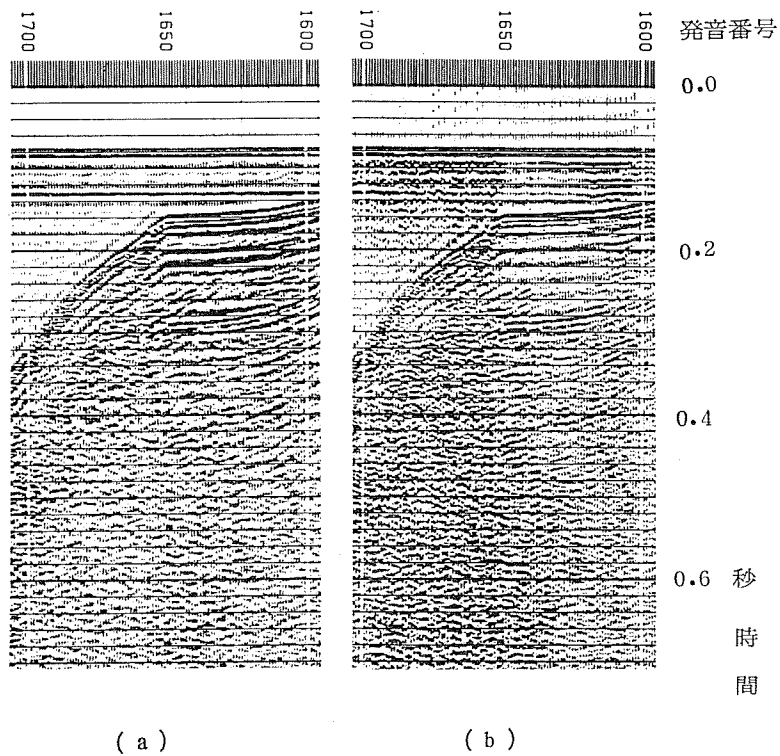


Figure 15 Two trace gathers showing the effect of removing multiple reflections.
(a) Before processing. (b) After processed.

Figure 16 は、Figure 12 から濃淡のしま模様や地層の流れを考慮して地層解析を行った結果である。従来方式のアナログ記録からでは、このような解析を行うのは非常に困難と思われる。

以上をまとめると、

- (1) 電子計算機によって処理した地層断面図では海底の多重反射記録が弱められるので、疑似地層の中に埋もれていた実際の地層が鮮明となり、判別が容易になった。
- (2) XYプロッタを使用して行った地層断面の図化の場合に比較して、グラフィックCOMによる図化速度は2桁も速く、かつ、フィルムに撮影されるので利用のうえで便利である。

の2点が処理の効果として挙げられる。

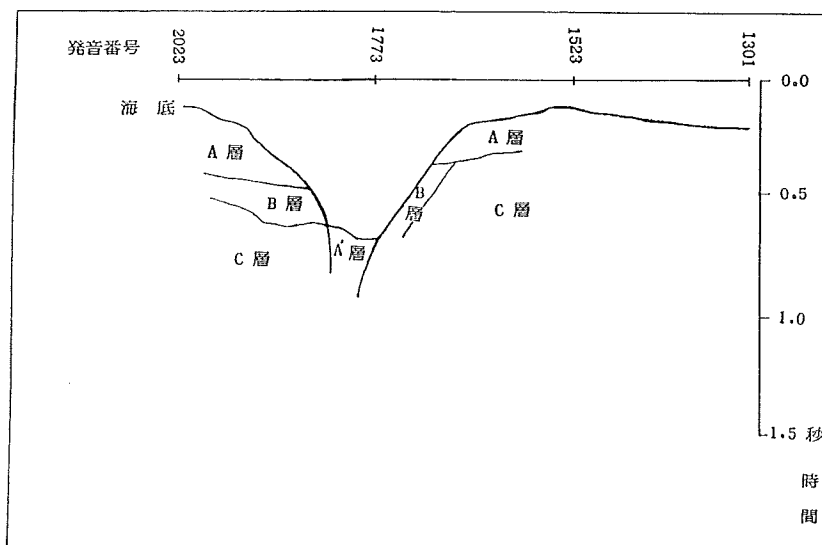


Figure 16 Structural configurations shown in Figure 12 after interpretation.

4. あとがき

電子計算機による探査データの処理は前述のような利点がある反面、ぼう大なデータを扱うために、電子計算機による処理時間が実収録時間の数百倍もかかる現状では、従来方式である船上収録の音波探査アナログ記録により地層解析を行い、疑似地層等で判読の困難な部分について本方式による処理を行うことになるが、将来は、船上にミニコンピュータを導入し、音波探査信号の受信中にオンラインで一部を処理して磁気テープに収録する方法、及びオフラインではミニコンピュータを含めた複数のコンピュータにより、並列的にデータを処理する方法等を採用して処理時間を短縮し、本方式の実用化を推進したい。

最後に、本研究に対して音波探査データの収録を実施していただいた測量船「明洋」及び測量課清水敬治氏、橋本鉄男氏に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 芦田 譲, 鳥明武文 (1978): ウェブレット処理における基本波形の抽出とその応用, 物理探鉱, 31, No. 2, pp. 8—22
- Lawrence C. Wood, Sven Treitel (1975): Seismic Signal Processing, Proceeding of The IEEE, Vol. 63, No. 4, pp. 659—660