

海底地層の自動識別に関する研究

——境界線抽出のためのデジタル処理と3次元音響モデルの作成——

原田 暁 (本社技術本部海洋開発部) 細野 成一 (本社技術本部海洋開発部)
上村 泰邦 (本社技術本部海洋開発部) 梅谷 陽二 (東京工業大学)

Automatic Facies Recognition of Bottom Sediments —Digital Treatment for Facies Boundary Extraction and Preparation of Sound Propagation Model—

Akira Harada Seiichi Hosono
Yasukuni Kamimura Yoji Umetani

Abstract

The authors have been conducting studies for establishing an automatic facies recognition system for seabottom sediments. This paper describes the efforts for extraction of facies boundaries by a digital process, standardization of sound pressures, and preparation of three-dimensional sound propagation models. Averaging and multiplying of raw data are effective as preliminary processes in extraction of facies boundaries. In standardization of sound pressure it is necessary for this to be done on the basis of maximum sound pressure at the first or second boundary. In addition, the authors have succeeded in approximating sound scattering propagation by a three-dimensional propagation model.

概要

ソノプローブ探査より得られた受信音波波形より、海底沖積層を自動識別・図化するシステムの研究の一環として、デジタル的に境界線を抽出する方法、層相を識別する際の正規化の方法、更に音波散乱現象を示す海域のための3次元音響モデルの作成に関する研究を行なった。境界線の抽出においては、前処理として、平均化、重合化を施した。その結果、10重合で良い結果を得られた。層相識別においては、第1境界面域は第2境界面の極大音圧値で正規化すればよい。また3次元音響モデルを作成し、地層中の音波散乱、減衰状態をよく近似することができた。

1. 序

著者らは、ソノプローブ探査より得られた受信音波波形から、海底沖積層の層相を自動的に識別し、最終的に地層断面図を作成するシステムの研究を進めてきた¹⁾²⁾³⁾。

本システムは境界線抽出の過程と地層識別の過程に分けられる。境界線抽出過程においては、前報にてアナログ方式で境界面に相当するパルス波が得られることを示したが¹⁾、本報告ではデジタル方式を用い、各種の情報処理を施し、鮮明な線画像が得られることを示した。

地層識別の過程においては、前報で2次元音響モデル

による方法を述べた²⁾。しかし、音波散乱現象が存在する海域では、2次元モデルでは近似度が悪く改良を要する。このため、本報告では、3次元モデルを作成し、近似を改良する方法を試みた。

2. デジタル処理による境界線抽出

境界線抽出の方法として、過去種々の試みを実施した。それらは次の様なものである。

(1)受信音波からの抽出(アナログ処理による)
……………微分操作

(2)画像からの抽出……………レリーフ法

しかし、これらの処理法は原情報をそのまま使用(或は簡単な前処理のみで)するため、雑音成分が多い。

このため、デジタル処理による境界線抽出を実験した。

2.1. 抽出方法

ソノプローブ探査における1ショットの受信波形をA-D変換し、Digital値を濃淡度に対応させ、並列的に並べると、ソノプローブ探査結果を濃淡画像としてTVブラウン管に表示できる。したがって1ショットの信号についてデジタル的に微分することは、縦方向に差分をとることにより可能となる。

一般に濃淡画像を微分する場合、3×3メッシュにおいて、各メッシュ毎に差分値を出し、線要素の抽出を行なう。即ち、中心点(i, j)における差分値をb(i, j)とすると、

$$g(i, j) \equiv b(i-1, j-1) + b(i, j-1) + b(i+1, j-1) + b(i+1, j) + b(i, j) + b(i+1, j) + b(i-1, j+1) + b(i, j+1) + b(i+1, j+1) \geq \epsilon$$

なるとき、B(i, j)=1とし、それ以外を雑音としB(i, j)=0とする二値変換を行なう。

今回の場合、横方向の濃淡変化が少ないため、縦方向(1ショット)についてのみ微分操作を行なう。しかし、この操作のみでは、雑音成分が信号に混入した場合、それが境界線要素と誤認されるおそれがあるので、前処理として、平均化及び重合化を実施し、雑音

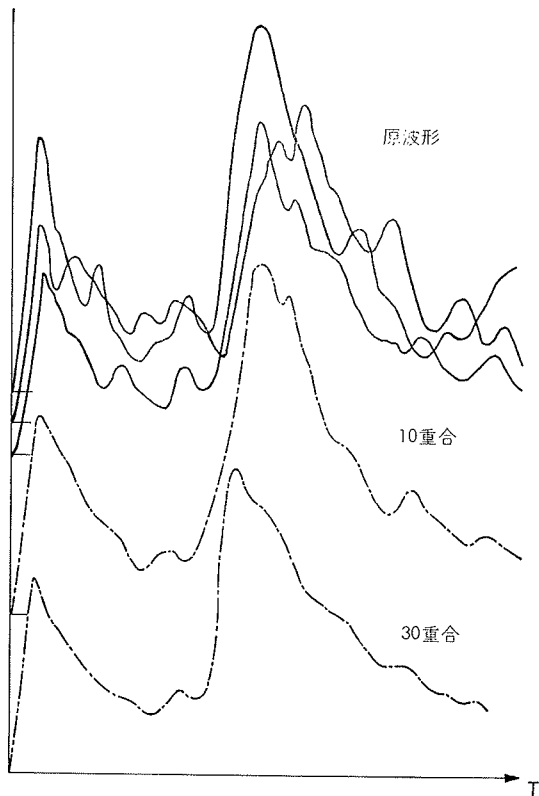


図-1 記録重合の例

成分を除去する。

ここで平均化とは、ある1ショットにおいて、a(i, j)なる値を前後の値で平均した値に変換するものである。即ち、

$$a(i, j) = \frac{\sum_{j'=i-n}^{i+n} a(i, j')}{2n+1} \dots \dots \dots (1)$$

実験においては n=1, 或は n=3 の平均化を行なった。

重合化とは幾つかのショットを重ね合せて平滑化するものである。即ち、

$$a(i, j) = \frac{\sum_{i'=i}^{i+n} a(i', j)}{n} \dots \dots \dots (2)$$

上記(1), (2)の操作により、1ショット毎の音波伝播の不均一性の影響を除去し、理想状態における伝播状況を反映させることも期待できる。

2.2. 抽出結果

前処理を施し、適当な閾値を設定した結果の例を図-1~4に示す。

図-1は重合回数にしたがって、重合結果がどのように変化するかを示したものである。

図-2は原波形を前処理なしに微分し、適当な閾値を設定して得た結果の例である。

図-3は同じ原波形に対し n=1 の平均化を施し、それを微分し、適当な閾値をかけたものである。

図-4は n=10の重合化を施し、それを微分し、適

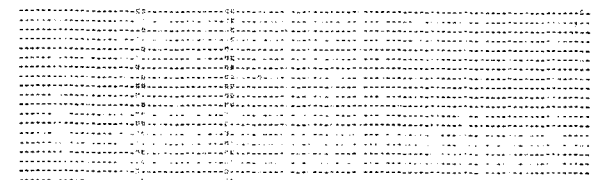


図-2 前処理なしの例

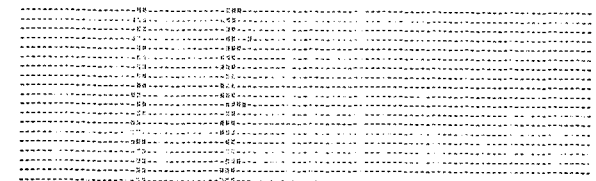


図-3 平均化処理した例 (n=1)

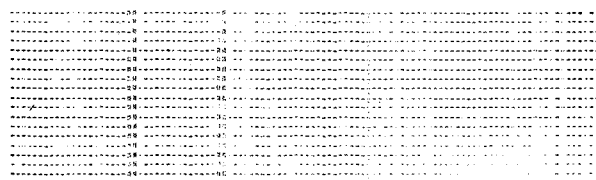


図-4 重合化処理した例 (n=10)

当な閾値をかけたものである。

3. 層相の識別

3.1. 受信音波波形と二次元音響モデル波形の比較

沖積層中の音波伝播特性をモデル化し、二次元音響モデルにより、受信音波波形をシュミレートさせる方法においては、前回報告した通り、定性的な類似が可能である²⁾。

本研究では、このモデル波形を定量的に比較検討し、沖積層の各地層を判別する基礎的な識別方法を検討した。

受信音波波形とモデル波形がどのくらい似ているかの度合いを調べる一つの方法は、パターン空間における距離の概念を導入することである。今、二つのn次元パターンを次式のように表示する。

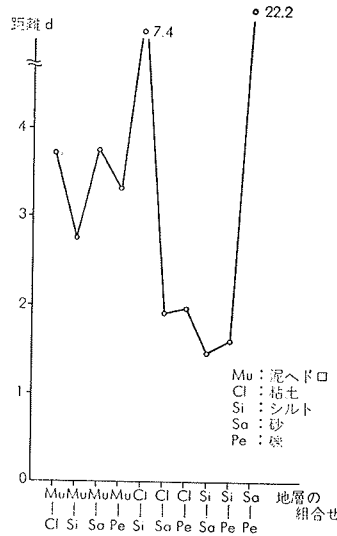
$$x=f(t_i) \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

$$y=g(t) \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

この二つのパターンの距離 $d(x, y)$ は

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i \{f(t_i) - g(t_i)\}^2} \dots\dots\dots(3)$$

ここに w_i は重みである。



図—5 正規化の例

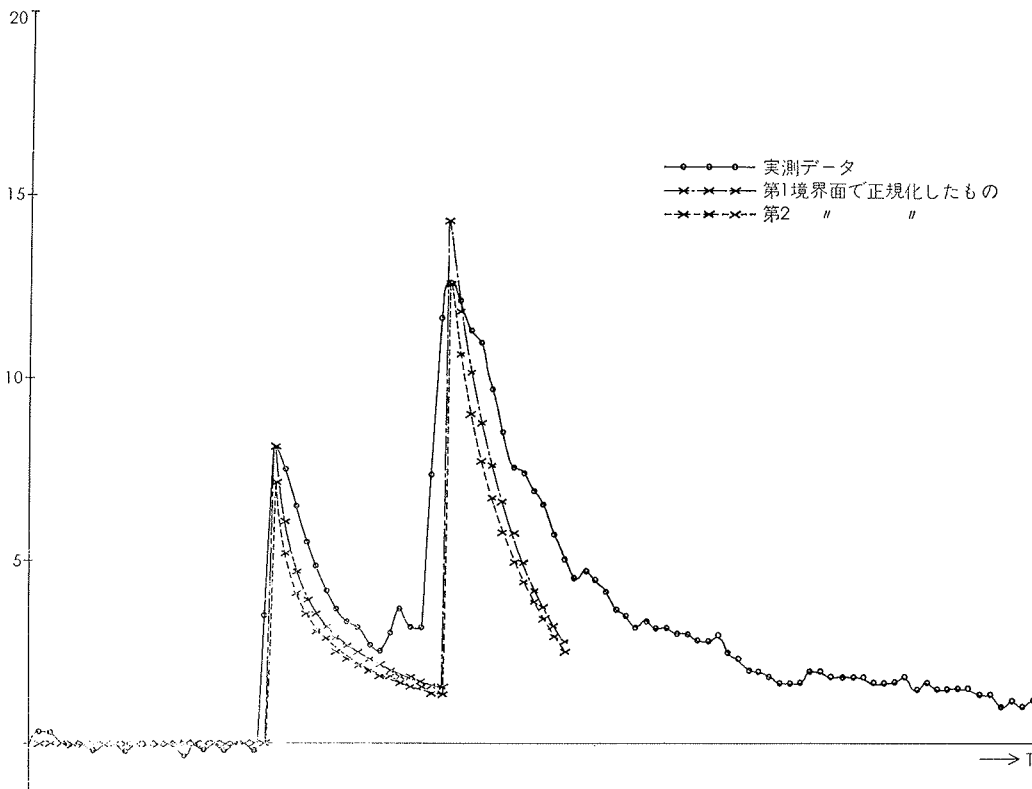
| 第1層 | 第2層 | 距離 d |
|-----|-----|-------|
| へドロ | 粘土 | 4.46 |
| へドロ | 泥 | 2.72 |
| へドロ | 砂 | 6.71 |
| へドロ | 礫 | 7.83 |
| 粘土 | 泥 | 5.58 |
| 粘土 | 砂 | 2.22 |
| 粘土 | 礫 | 3.18 |
| 泥 | 砂 | 1.48 |
| 泥 | 礫 | 1.85 |
| 砂 | 礫 | 11.25 |

表—1 距離 d の例

したがって、組合せ可能な夫々の地層モデルについて距離 $d(x, y)$ を求め、そのうち最小を示す地層モデルが一番受信音波波形に近似していると言える。

上記の距離を求めるに先立ち、モデル波形と受信波形の両レベルを比較するには、これらのレベルを正規化しておく。正規化の方法は

- (1)夫々の層について、夫々の層の境界面のレベルを1として正規化する。



図—6 泥—礫の受信音波波形とモデル波形の例

(2)第1境界面のレベルを1として、他の層を正規化する。(多層の場合は、第2、第3……の境界面のレベルを1として正規化する)

上記2方法がある。(1)の方法は各境界面のレベルの高低には無関係であり、層内の減衰状態のみで比較する。(2)の方法は境界面のレベルの高低及び層内の減衰状態の両方について比較するものである。

本研究においては、上記のどの方法がより距離dの大きさを顕著に示すか検討した。

図-5は第1境界面のレベルにより正規化したもので、距離dを求めた1例である。地層は泥一礫の2層構造である。

表-1は実測データを平均化、重合化処理を施したもののについて、距離dを求めたもので、第1境界面及び第2境界面で正規化したものを平均した結果である。

図-6は同じデータに対し、実測データとモデル波形とを比較・図示したものである。

3.2. 3次元モデルの作成

2次元モデル波形においては、境界面レベルはほぼ一致するが、音波の広がり方を考慮していないため、層内の減衰の近似度が悪い。即ち、2次元モデルにおいては境界面付近での立上り、層内の減衰が急激であることが判明した。そのため、モデルを3次的に考え、

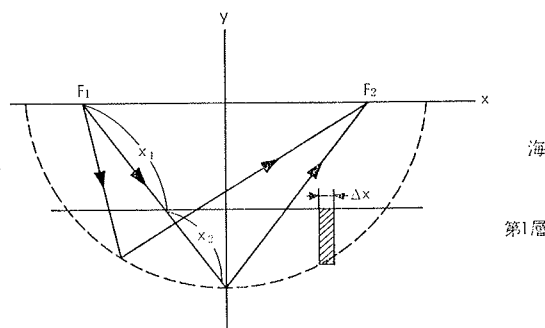


図-7 層内の散乱モデル

面積の広がりによる散乱を考慮したものを作成した。

3次元モデル作成においては次の仮定を設けた。

——境界面での反射——

境界面の反射が一番強い所は、発信点と受信点を結ぶ垂直二等分線上である。しかし受信器がある大きさを持っていること、境界面の凹凸による乱反射及び散乱があるためこの点より少し離れた所からの音波も受信される。また散乱は伝播距離の4乗に逆比例するため、鏡面反射点から遠くはなれた所からの散乱波はほとんど無視できると考え、鏡面反射点近くの散乱及び乱反射を正規分布に従った確立によって受信されるものと仮定した。

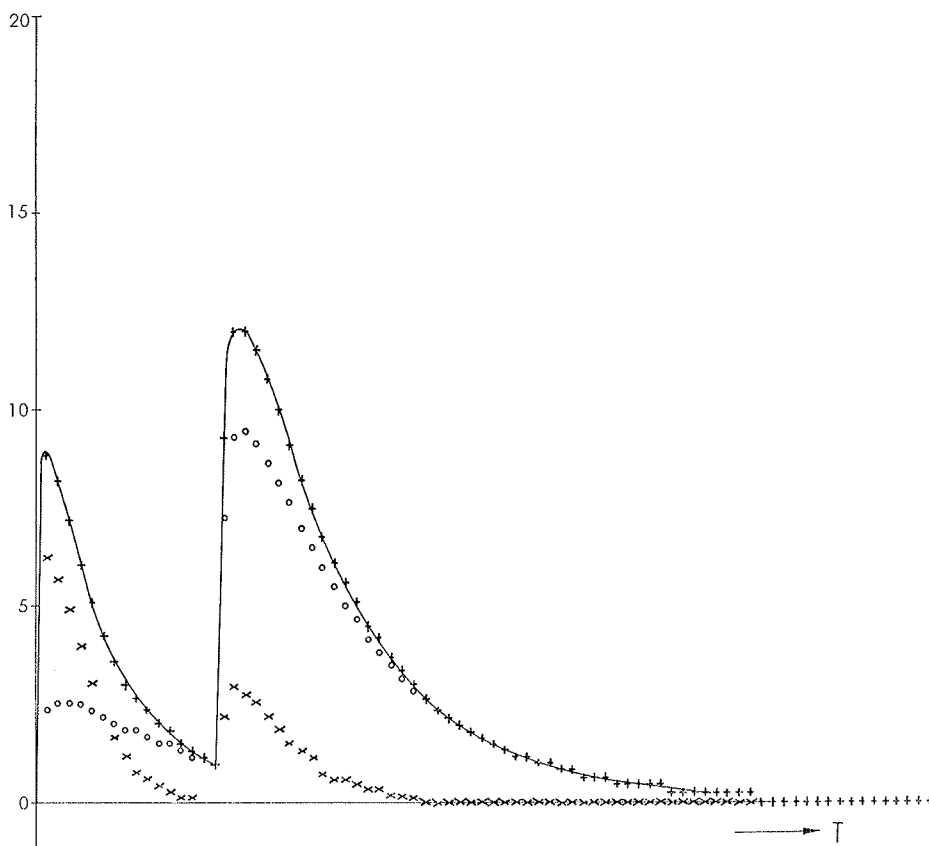


図-8 3次元モデルによる波形例

—層内の散乱—

層内の散乱についても同様に、ある時刻 t に構成される楕円体の全表面積から散乱した音波が受信されるものとした。

以上の仮定のもとで、ある時刻 t において、楕円体表面から散乱してくる音波強度 I_s は、

$$I_s = \frac{I_0 \cdot T^2 \cdot S \cdot A}{(x_1 + x_2)^4} \exp(-2\alpha_1 x_1 - 2\alpha_2 x_2)$$

ここに A : 楕円の表面積, S : 散乱強度
 T : 透過率

楕円体の表面に入射する音波強度は、夫々の点によって異なるが、垂直二等分線上の音波強度を代表して用いる。また、面積については、 Y 軸に沿って楕円体を切断すると円となるから、微少円周面積で近似して積分した。

以上の仮定に基づいて求めたモデル波形の 1 例を図 8 に示す。層厚は 2 次モデルの場合と同じで、泥一礫を想定して計算した。なお、○印は層中の散乱、* は境界面の反射、+印は両者の和——モデルによる音圧である。その結果は、散乱現象を示す海域においては、3 次元モデルが有効であることを示している。

4. むすび

本報告では、海底地層を自動識別する研究の一環として、境界線抽出をデジタル的に処理すること、層相識別をする際の正規化の方法、音波散乱現象を示す海域におけるモデルについて論じた。

現在の境界線抽出法は、線要素を得るものであってこれが、そのまま境界線とはならない。今後、微少線分（雑音）の除去方法、境界線の細線化、線要素の延長、接続法について研究を進めたい。

最後に、本研究を進めるに当たって東京工業大学、機械物理学教室森山芳樹氏の尽力に負う所が多い。ここに記して謝意を表します。また、大洋開発(株)常川昌明氏にも本報告をまとめるに当り尽力して頂いた。深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 松石秀之ほか：海底地層のパターン認識に関する研究，大林組技術研究所報，No. 11, (1975), p. 106
- 2) 同上：海底地層の自動認識に関する研究（その 1），大林組技術研究所報，No. 12, (1976), pp. 118~121
- 3) 同上：同上（その 2），大林組技術研究所報，No. 12, (1976), pp. 122~127