

# 海底地層の自動識別に関する研究（その3）

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)

梅 谷 陽 二

(東京工業大学)

## Automatic Facies Recognition of Bottom Sediments (Part 3)

Akira Harada Seiichi Hosono  
Yoji Umetani

### Abstract

This study aims at organizing a system for classifying alluvial sediments according to sludge, clay, silt, sand, and pebbles, and ultimately, drawing submarine geological profiles processing data as automatically as possible. The system shown in Technical Report No. 16 is partially modified. In addition, the authors describe an experimental study conducted at the northern part of Tokyo Bay. The progress being made in drawing a submarine geological profile, and comparisons between actual boring logs and computer simulations are described. The authors believe this system can provide precise and objective results which previously could not be obtained through interpretations of sonic exploration values.

### 概 要

本研究は、海底沖積層を対象として、それをヘドロ、粘土、シルト、砂、礫の各層に識別し最終的に海底地質断面図を自動的に求める研究の一環をなすものである。著者らは、既に当所報 No. 16 において、境界線抽出法の基本的考え方とシステム構成を提示しているが、本報においては、境界線解析フローを修正し、更に昭和54年夏に実施した東京湾北部海域の音波探査データに基づいて、境界線の抽出と層相判定法の実証を行なった。本報告では、代表的地点における地質断面図の作成経過並びに層相判定結果とボーリング結果との対比を示す。特に層相判定では、これまで音波探査では分からなかった比較的詳細な土質判定まで有効であることが分かった。

### 1. 序

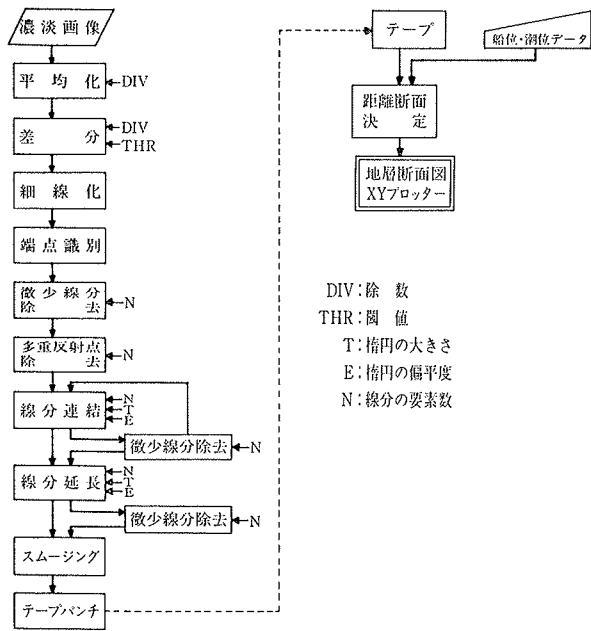
著者らは、磁歪式音波探査法によって得られた受信音波波形より、海底沖積層をヘドロ、粘土、シルト、砂、礫に識別し、最終的に海底地質断面図を作成する自動解析システムの研究を進めてきた。これまでの音波探査の解析は、熟練者の経験によったもので、たびたび解析の信頼性が問題となっていた。本研究は、土質により音響特性が異なることに着目し、より客観的で正確な結果を提供する画期的な方法である。システムの構成については、当所報 No. 16 に述べた通りである。

本報告では、東京湾北部海域の音波探査データに基づ

いて、代表的地点における海底地質断面図の作成経過並びにボーリング柱状との対比による層相判定法の実証を行なった結果について論じた。

### 2. 地層境界面の抽出と地層断面図の作成

本システムにおいて処理する受信音波信号は、海底面下の地層境界部において、隣接する二つの地層の音響インピーダンスの違いにより、強い反射を生じ、鋭い立上りの波形を示す。従って濃淡画像から地層境界面を抽出するには、急激に濃淡の変化する部分を抽出し処理を行なう。しかし、実際の音波はゆらぎの大きい自然界の海中や複雑な地層を伝播してくること、地層探査機の発信



図一1 画像処理過程 (基本フロー)

エネルギーにばらつきがあることなどから、濃淡画像の画質は充分ではないので図一1に示す一連の処理を実施した。以下に処理の概要を述べる。

### 2.1. 平均化

無処理の濃淡画像はランダムノイズの影響を大きく受けている。このため、画像中の1点の濃度は、その周りの隣接点の濃度との平均をとることでノイズを除去し、濃淡の連続性を増加させる。

### 2.2. 差分

一般に、海底沖積層は、ほぼ平坦に堆積しているので、水平方向より深度方向に大きな変化が見られる。ここでは、深度方向の変化のみに着目した一次微分処理を用いた。即ち、 $b(x, y)$ を二次元濃淡画像の画素とすれば、

$$\nabla b(x, y) = \partial b(x, y) / \partial y$$

とすればよい。上式において、地層境界線分要素を抽出するため閾値  $\epsilon_1$  を与え、 $\epsilon_1$  以下の

$$\partial b(x, y) / \partial y \text{ は、} 0 \text{ に変換する。}$$

### 2.3. 細線化

地層境界線分要素は、多数の点が集合した状態となっているので、これを1個の点の連なりとして表わす細線化を行ない、2値の線画像に変換する。

### 2.4. 端点識別

一連の線分の端(線分の右側、或は左側がすべて0となる点)を識別する。

### 2.5. 微少線分除去

細線化された画像は、断線した線分要素の集りである。これらの線分のうち、長さの非常に短いものは、閾

値  $n$  を設けて、除去する。

### 2.6. 多重反射点除去

上位信号の整数倍に位置する情報を消去する。

### 2.7. 線分連結

以上の操作で得られた断続した線分どうしを接続する必要がある。これには、予め設定した楕円領域内に入る最も近い右端点と左端点を結ぶ方法を用いる。

### 2.8. 線分延長

アバット状に堆積した地質の境界線に対しては、線分を延長して連結する。

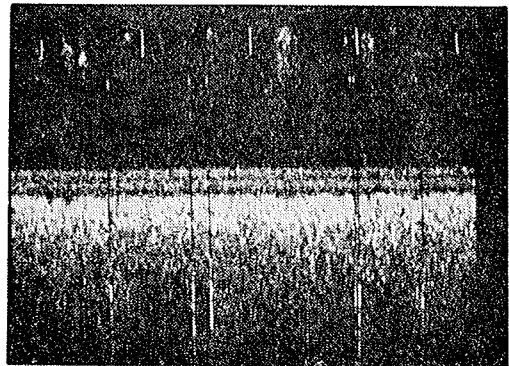
### 2.9. スムージング

二線分の接合点の余分の情報を消す。

### 2.10. 距離断面変換

測量によって得られた船位データ、潮位(吃水を含む)データによって距離軸に変換する。また、必要に応じ、音の広がりによる深さの補正を行なう。その結果をXYプロッターによって地層断面図として描かせる。

以上が濃淡画像から断面図を作成するまでの処理過程である。データ処理方式としては、2.1.~2.3.までの処理については、一画像256×256個の点の集合として扱う。2値の線画像に変換した後の2.4.以降の処理では、線分の座標点のデータのみについて扱う。従って必要とする情報を大幅に圧縮でき、処理をより高速化できる。以下に東京湾北部海域で実施した地層境界面の抽出の処理過程の一例を示す。



写真一1 原画像

## 3. 層相の判定

磁歪式音波探査によるデータは、濃淡画像として与えられ、この濃淡変化に注目して地層の層相を識別できる。画像の濃淡は受信音波の振幅に比例するため、これらの濃淡の変化を踏まえて、海底沖積層をモデル化、反射音波モデルを作成した。このモデルは受信音波と比較することにより、層相を決定するためのものである。

層相判定の方法は、反射音波モデルを作成し、受信音

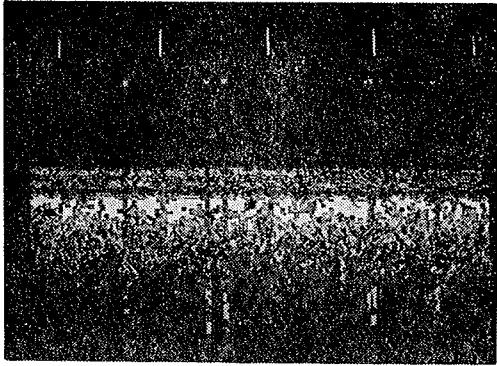


写真-2 平均化

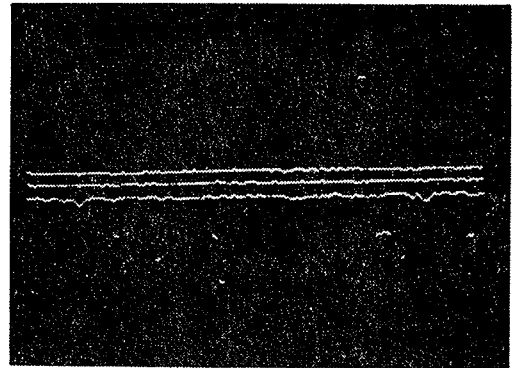


写真-6 線分連結

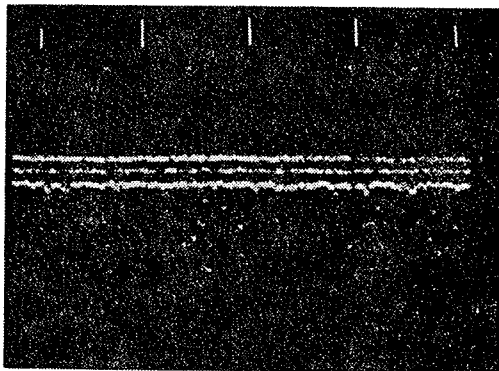


写真-3 差分

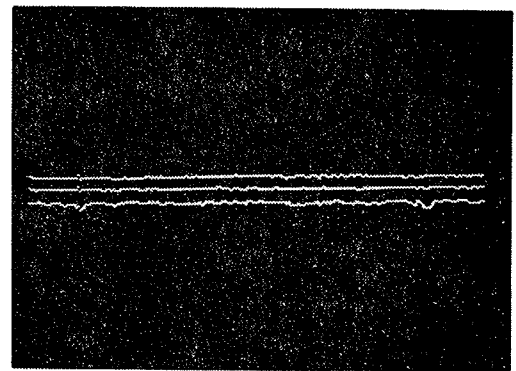


写真-7 微少線分除去

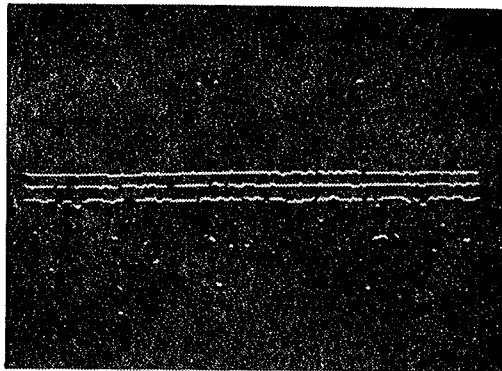


写真-4 細線化, 端点識別

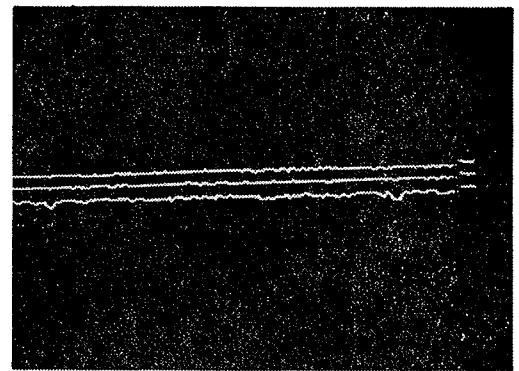


写真-8 線分延長

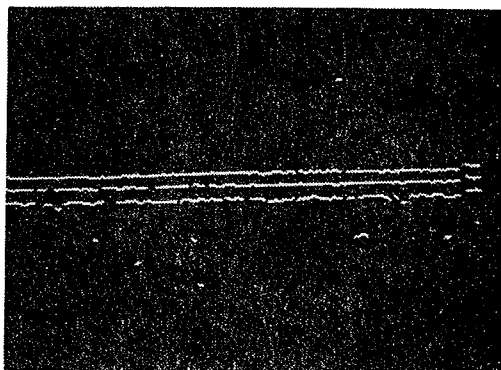


写真-5 微少線分除去

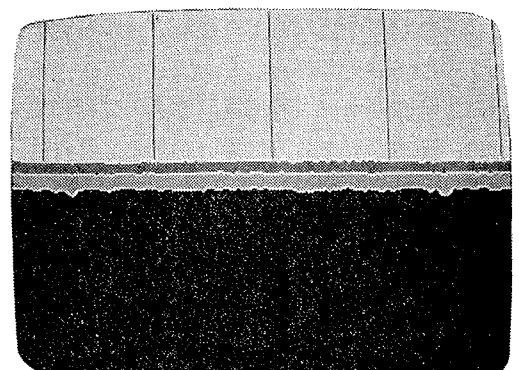


写真-9 領域決定

(写真1~9は, ブラウン管画像である)。

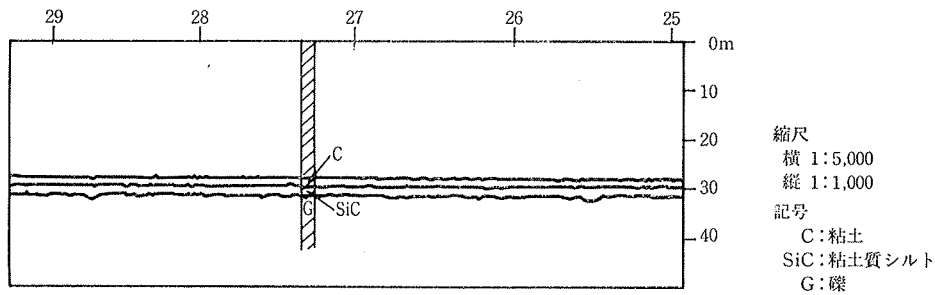


図-2 地層断面図

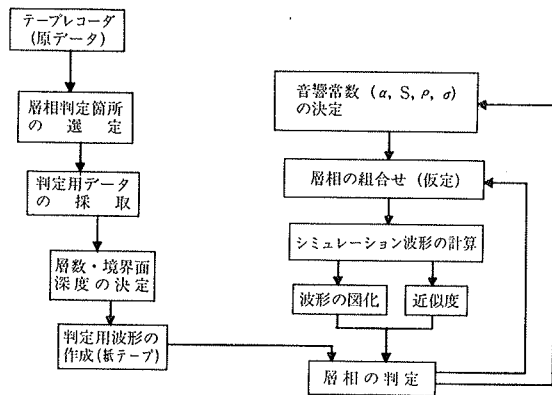


図-3 層相の判定フロー

波波形とマッチングさせることによって、一番よく一致したモデルを実際の地層だとするものである。マッチングの方法は、音波発信時から  $t_1$  時間後の反射音波モデル図形とデータ図形との相違によって決定するものである。即ち、受信音波データとある地層の組合せにより作成した反射音波モデル(j)の時刻  $t_1$  での音圧を  $y_j(t_1)$ 、受信音波信号を  $x(t_1)$  とすれば、近似度  $d(x, y_j)$  を次のように定義する。

$$d(x, y_j) = \sqrt{\sum_i \{x(t_i) - W_j \cdot y_j(t_i)\}^2}$$

この  $d(x, y_j)$  が最小になるようなモデル j が実際の地層を表わすものと考えられる。

なお、反射音波モデル波形と、実際の受信音波データ波形では、波形の立上り方に違いがある。これは実際の地層境界面付近は、傾斜していたり、凹凸があったり、互いの地層の粒子が混合しているために、波形の立上りが緩やかになっていると考えられる。また、音波データはランダムノイズの影響を減らすため、10ショット弱のデータを平均化している。このため、特に立上り部分が緩やかになっている。そこでマッチング行う際は、立上り部分を用いないように工夫した。

3.1. 層相判定結果とボーリングとの対比

ボーリングと対比しやすい地点における層相の判定例

を以下に述べる。

3.1.1. 原画およびボーリング柱状図

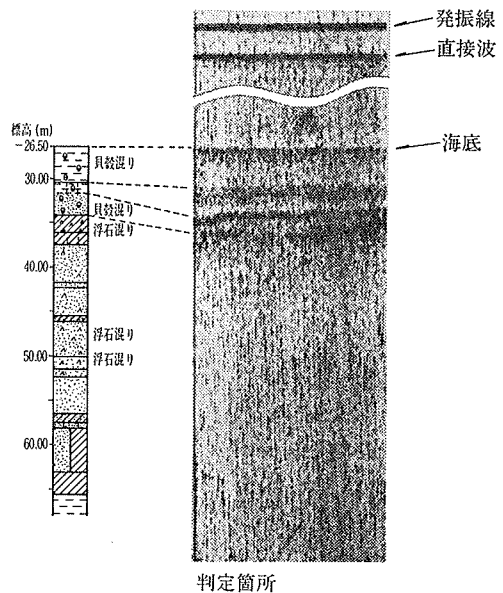


図-4 原画およびボーリング柱状図

ボーリング柱状より、各地層を大別すれば、  
 第1層：含水比の高いシルト質粘土 ( $N \approx 0$ )  
 第2層：シルト混り粘土質砂  
 第3層：細砂 ( $N \approx 10 \sim 30$ )  
 第4層：浮石混りシルト  
 となる。

3.1.2. 受信音波信号(7ショットの平均)

原データである受信音波信号は図-5の通りである。

3.1.3. シミュレーションモデル波形

(1) 標準音響常数を用いた場合

(a)のモデルは、受信音波信号と全く異なり、礫層の下位の情報は消えてしまう。

(b)のモデルは、おおよその形状は似ているが、第1境界面のピークが低く、第4境界面のピークがほとんど出していない。このことから、第1層のヘドロを粘土質に、

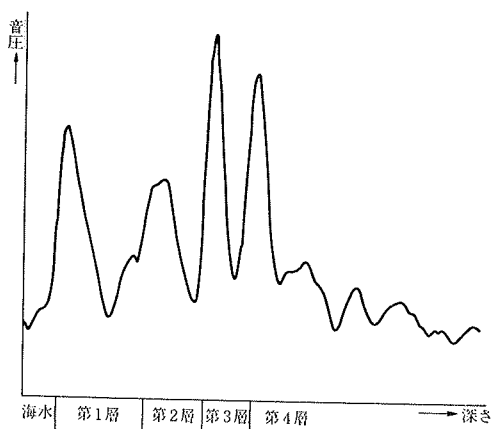


図-5 受信音波信号

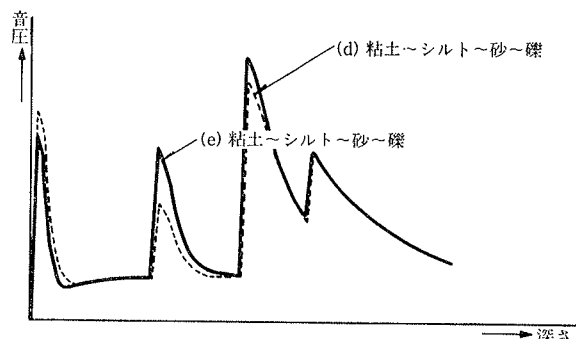


図-7 修正音響常数によるシミュレーションモデル

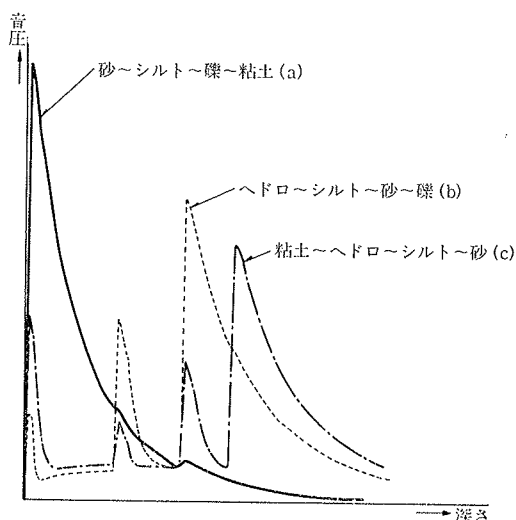


図-6 標準音響常数によるシミュレーションモデル

第4層の礫の粒径を大きくすれば、更によく近似することが予想される。

(c)のモデルは第2, 第4の各層のピークが低い。

(2) 修正音響常数を用いた場合

図-7に示す(d)のモデルは、標準の場合より、第3層の砂をシルトよりの音響常数に変えたもので、第4境界面のピークが若干低いほかはよく似ている。第3層はボーリング結果からも細砂であり、よく特徴を表わしている。

(e)のモデルは、標準の場合より、第1層の粘土をヘドロよりに、第4層の礫の粒径を若干大きくした(約1cm)音響常数を用いたもので、第1境界面と第2境界面のピ

ーク値が同じとなった。また、第4境界面のピーク値は、(d)と比べてほとんど変化していない。

(3) 結果 以上のことから本地点の層相は、上位より、粘土、シルト、砂、礫と判断できる。但し第4層は、礫の粒径がもっと大きいのが、半固結地盤となり沖積層の性質からはずれていることが予想される。

#### 4. 結語

境界線の抽出では、連続性が悪い場合も推定により(例えば線分延長、線分連結など)連結した線分とすることができた。また、層相の判定では、土質分類で例えばシルト質砂のように、別の粒径の堆積物を混じえている場合、標準的な音響常数を若干ずらせば、近似度の高い音波波形を得ることが可能である。このことは、本法によって詳細な土質の判定が可能であることを示す。現在、外部メモリーは磁気カセットテープであるが記憶容量が小さく、処理時間に多くを要しているため、磁気ディスク方式への変換を行なっている。

尚、本研究の実施にあたり、東京工業大学の森山芳樹氏に絶大なる御協力を頂き深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 松石秀之, 他: 海底地層の自動識別に関する研究(その2), 大林組技術研究所報, No. 16, (1978), pp. 80~83
- 2) 原田 暁, 他: 海底地層探査記録の自動解析手法に関する研究, 大林組技術研究所報告書, (1980)