

# 海底地層の自動識別に関する研究 (その2)

——自動解析システムの構成と境界線の抽出——

松石秀之 梅谷陽二  
(本社技術本部海洋開発部) (東京工業大学)  
原田 暁  
(本社技術本部海洋開発部)

## Automatic Facies Recognition of Bottom Sediments (Part 2)

——Components of Automatic Facies Recognition System  
and Method of Boundary Display——

Hideyuki Matsuishi Yoji Umetani  
Akira Harada

### Abstract

This study aims at organizing a system for discriminating alluvial sediments into sludge, clay, silt, sand and pebble, and finally, drawing submarine geological profiles by processing data as automatically as possible. A total system is proposed on a flow diagram, and working principles on all elements of the system are described. Algorithms for obtaining pictures of geological profiles are shown, emphasizing the methods to eliminate noise and to connect or bridge the boundary lines trimmed by preprocessing. The authors believe this system will be widely applicable to various areas where efficient surveying of geological topography is indispensable.

### 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。本論文では、自動解析システムをフロー線図の形で提示し、システムの各要素毎の動作原理を述べた。また、地層断面図を描くためのアルゴリズムを示し、特にノイズの除去法や境界線の連結法を詳述した。本研究は、広域な海域にわたって能率のよい地質調査が必要な場合、特に有効である。

#### 1. 序

筆者らは、昭和47年以来、磁歪式音波探査法によって得られた受信波形より、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。

本論文は、自動解析システムの構成と、これに用いるソフト——特に、地層境界線の抽出方法——を論じた。

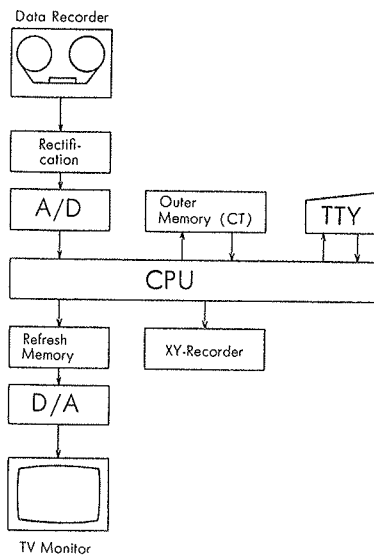
#### 2. システムの構成

磁歪式音波探査機で慣用されている放電破壊方式の濃淡画像記録は、このままでは本研究の目的に適合しないため、データレコーダーを導入して反射音波を時系列の

アナログ量として記録することにした。この記録を入力端とし、出力端には、カラーブラウン管 (CRT) 並びに XYプロッターを持つシステムを作成した。

本システムは、ミニコンピューター、入出力演算装置、外部メモリ、テレ・タイプライター、XYプロッター、CRT から構成されている。

まず、データレコーダーに記録された反射音波信号に、整流と平滑化の前処理をかけ、これを A-D 変換器でデジタル量に変換し、CRT 表示の一画像分を、カセット磁気テープに一旦記憶させる。演算時には、カセット磁気テープよりデータを読み出し、CPU にて演算し、その結果を別トラックのカセット磁気テープに記憶させる。同時に CRT に表示することもできる。



図一 自動解析システムのフロー

本システムのフローを図一に示す。写真1にシステムの全景を示す。

### 3. 地層境界線の抽出

本システムにおいて、処理する反射音波信号は、音波のゆらぎが大きい海中や海底地層中を伝播し、かつ減衰も大きいため、一般に行われている医学用X線写真などの濃淡画像と比較して、その画質は悪い。このため、地層境界線の抽出には、特殊なアルゴリズムを開発する必要がある。これら一連の処理過程を図二に示す。

以下に、各処理過程を説明する。

#### 3.1. 線要素の抽出

地層境界線では、上下に相接している2つの地層の音響インピーダンスが異なるため、画像上では、濃淡変化としてあらわれる。一般に海底沖積層は、ほぼ平坦に堆積しているので、水平方向よりも、深さ方向に大きな濃淡変化が見られる。従って、線要素の抽出においては、深さ方向の変化のみに着目した一次微分処理を用いた。

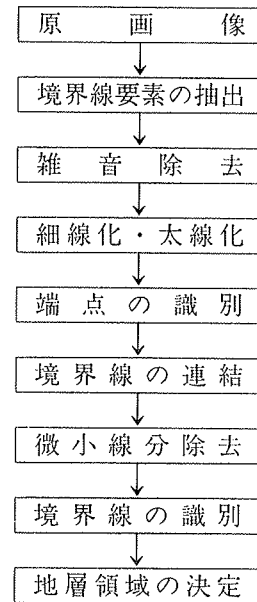
即ち、 $b(x, y)$  を二次元濃淡画像の画素の濃度とすれば、

$$\nabla b(x, y) \equiv \frac{\partial b(x, y)}{\partial y}$$

とすればよい。

上式を用いて、地層境界線要素を抽出するため、閾値  $\epsilon_1$  を適当に与え、 $\epsilon_1$  以上のものを1、 $\epsilon_1$  以下のものを0とする関数  $l(i, j)$  を導入する。 $\epsilon_1$  は、地層の状態、送波強度等によって変化するものであるが、本システムでは、多くの事例から、この値を決めた。二値化線図形の例を写真一3に、未処理の原画像を写真一2に示す。

#### 3.2. 雑音除去



図二 地層境界線抽出のブロックダイアグラム

受信される音波は、海底地層の不均一性、波による船の上下運動、音波の指向性等により、理想的な反射、減衰状態を示さず、かなり雑音を含んだ波形を有している。

本システムにおいては、前処理として、平滑化を行ったが、それでも二値化線図形  $l(i, j)$  には、地層境界線以外の所に雑音とみなされる微小線要素が現われる場合が多い。このため、下記の雑音除去アルゴリズムを用いて実験した。それは「中心が1値である  $n \times n$  ( $n$  は正の整数) メッシュを設定し、このメッシュ内の1値である点の総数が特定個数以下の場合、その点を雑音とみなして0値に変換するものである。実験の結果、この雑音除去法は極めて有効に働くことがわかった。

#### 3.3. 微小距離はなれた線要素の接続

雑音除去された線図形は、一般には、数箇所切断した線要素の集まりとなる。これらの切断箇所を接続するため、いわゆる太線化と細線化の処理を繰り返した。太線化とは、中心が1値である点の周囲の隣接する8点をすべて1値に変換するものである。2メッシュ離れた線要素は、辺あるいは角で接続され、太さも最低3つの1値の点で構成される。太線化処理した例を写真一4に示す。細線化とは中心が1値である隣接点4点のうち、1つでも0値が存在する場合、中心の1値を0値に変換するものである。細線化処理の例を写真一5に示す。

このような処理により、ほとんどの線要素は一点の連なりとなる。ただし、太線化、細線化の繰返しが多すぎると、実際の境界線より滑らかになってしまう。このため、この作業は、適当回数実施した後、次の処理に移る。

### 3.4. 端点識別および線要素の接続と延長

前述までの処理により、線要素はほとんど連結した線図形となるが、未だ連結されない線要素が残る場合がある。そこで、これら線要素の両端点を識別することにより、端点を接続する方法を用いた。

**3.4.1. 端点の識別** 線要素の両端における端点の条件は、中心が1値である $3 \times 3$ メッシュを考え、中心点を除く8点における1値の状態によって右端点、左端点、上端点、下端点の4種類となる。但し、実際には、前述の線要素抽出法を採用した場合、右端点と左端点のみとなる。

**3.4.2. 端点の接続と延長** 左右の端点を識別した線図形において、全ての端点より線要素の平均勾配をもった領域をまず設定する。この領域中に接続可能な端点（左端点ならば右端点）が存在したならば、この端点と接続する。もし端点が存在しない場合、線要素の傾きの方向にある他の線要素の屈折点（地質学的にはふつうアバットする点となる）を探索し、その点と接続する。屈折点も存在しない場合、線要素の平均勾配をもって他の線要素か図形の偶まで延長する。

接続すべき端点間を結ぶ延長線を描く場合、線要素の端点付近の傾きと曲率を考慮し、なめらかに接続、或は

延長する必要がある。

**3.4.3. 不要線要素の除去** 端点間の接続と延長の操作が適用できずに残された線分を不要な線要素とする。即ち、この段階で、画像中に端点をもつ線要素をすべて0値に変換する。

以上の一連の処理により、全ての領域を決定できる。一連の処理後の例を写真-6に示す。

## 4. 結 語

筆者らは、反射音波を放電記録紙上に濃淡画像として表示する従来の解析方法を改め、反射音波をデータレコーダーに記録して、これをコンピューターにより画像解析する方法を採用した。この方式を実現するため、まず、海底沖積層を構成するヘドロ、粘土、シルト、砂、礫の音響特性を検討し、これに地質学的知識を加え、反射音波信号の特徴抽出の基礎とした。次にデータレコーダーの記録信号を入力とし、端末にXYプロッターをもつ自動解析システムの基本フローを開発した。このシステムは、地層境界線の抽出と地層の識別という2つの働きをもつもので、本論文では、前者の地層境界線抽出を詳述した。地層の識別については、別の機会に述べる予定である。

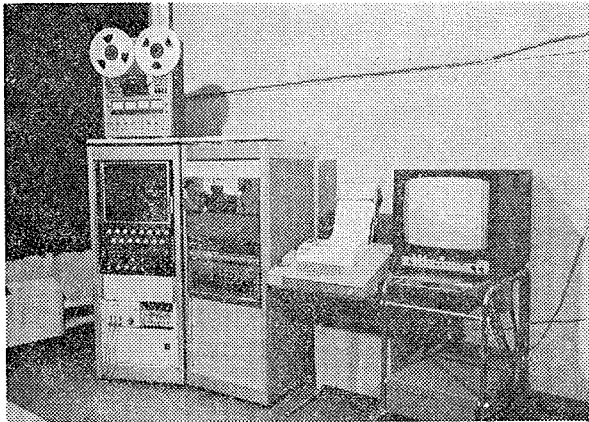


写真-1 システムの全景

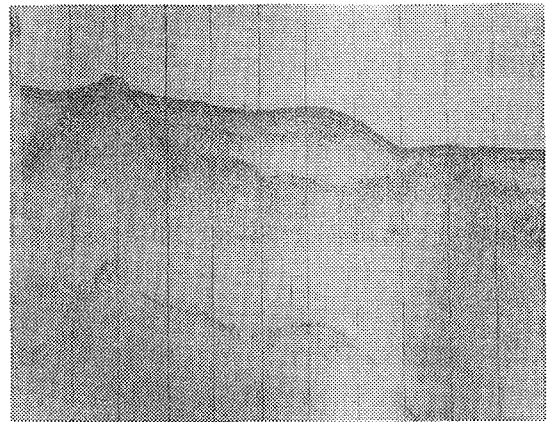


写真-2 未処理の原画像の例

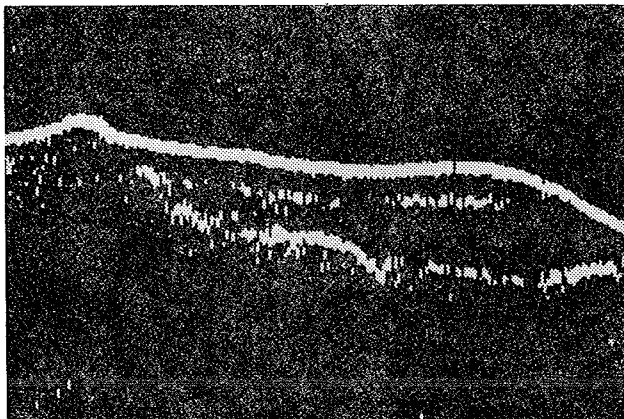


写真-3 二値化線図形の例

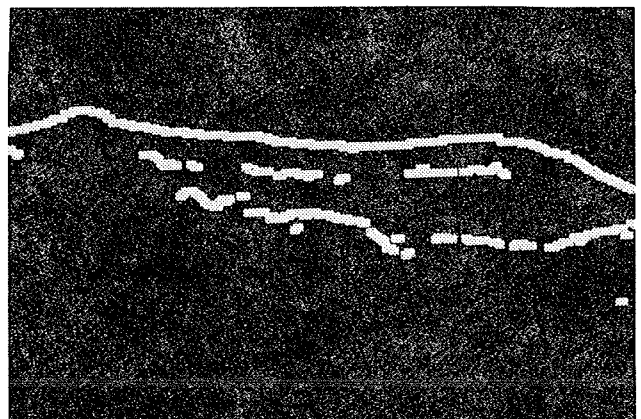
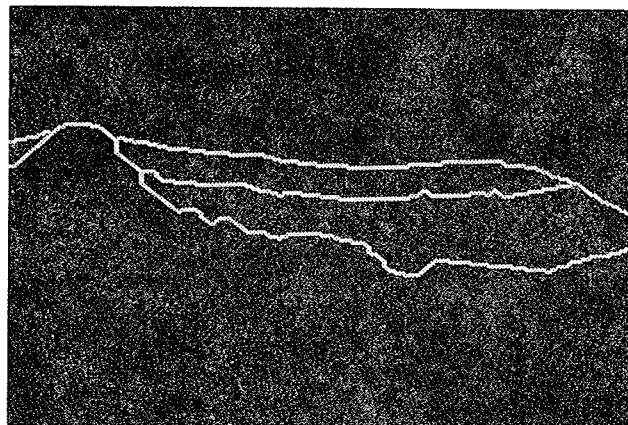


写真-4 太線化処理の例



写真—5 細線化処理の例

おわりに、本研究を進めるにあたって、東京工業大学の森山芳樹氏に絶大なる御協力を頂いた。深く感謝の意を表します。



写真—6 一連の境界線抽出処理後の線図形

なお、一連の「海底地層の自動識別に関する研究」の中で、開発したシステム、技術については、既に特許出願中であることを付記しておく。