

講演要旨(第151回)*

特集 新しい分析機器技術・探査技術の開発と地球科学への応用

固体用質量分析計

柴田 賢

Isomass 54E 型質量分析計は英国 VG Isotopes 社が、高精度・高感度・自動運転を目標に開発した表面電離型の固体元素用分析計であり、1978年に市販された。地質調査所には1980年3月に更新備品として設置された。

この装置の主な仕様・性質は次のとおりである。

イオン軌道半径：27 cm(実効 54 cm)

絶対感度：1 イオン/500原子

存在量感度：1 ppm

分解能：600

自動操作：HP 9845 による完全自動、手動も可

試料カセット：16試料、自動交換

検出：フェラデー・コレクター及び Daly

同位体比測定精度：0.0035% ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)

確度：0.05%

ピークトップ偏平度： 1×10^{-4}

以上のほかに地質調査所の 54E には Sr 同位体比用のダブルコレクターが特別仕様としてつけられており、イオンビームが不安定な条件下でも精度のよい測定が可能である。

Sr 同位体比の測定においては、試料 ~ 0.2 g を弗酸・過塩素酸で分解、イオン交換で Sr を抽出し $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ として、あらかじめ焼出した Ta フィラメント上にぬる。その際安定剤としてリン酸をごく少量加える。フィラメントはホルダーにセットし、さらに試料カセットにセットされる。最高16個の試料の装着が可能である。このカセットをイオン源内に納めて排気し、真空度が $\sim 10^{-8}$ Torr になれば測定を開始する。

同位体比の測定は HP-9845 のコントロールによる完全自動運転で行われる。その主な操作は、フィラメントの測定位置へのセット、加熱、 ^{86}Sr の検出、イオン源のスリット電圧の選択、ピーク・ジャンピングによるイオン電流測定、同位体比計算である。1 個の試料につき

150-200セットの同位体比を測定し、その平均と誤差が求められる。測定に要する時間は1個につき4-5時間である。

装置の確度・再現性のチェックのため、国際的標準試料 E & A 及び NBS-987 を定期的に測定しており、それらの $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比はそれぞれ 0.708052 ± 0.000019 (1σ , $N=70$) 及び 0.710263 ± 0.000027 (1σ , $N=19$) である。これらの結果から $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の測定精度は $\sim 0.003\%$ とみなされる。ただし各測定ごとの精度はこれより悪く $\sim 0.01\%$ (1σ , 200回測定)である。一方同位体希釈法による Rb, Sr の定量では、標準試料の分析結果から $\pm 1\%$ の精度で求められることが確認されている。

現在 54E を使用して Rb-Sr 年代測定、火成岩類の Sr・Nd 同位体比の測定が行われており、Pb 同位体比の測定も準備中である。

(技術部)

ベンゼン-液体シンチレーションによる ^{14}C 年代測定法

富樫茂子・松本英二

1980年に地質調査所に設置されたベンゼン合成装置と低バックグラウンド液体シンチレーションカウンター(アロカ LSC-LB-1)を用いた ^{14}C 年代測定法の紹介をする。

^{14}C は、気体計数法、液体シンチレーション法、加速器を用いる方法などで測定できる。加速器による測定法は微量の試料で10万年まで測定可能であるが、装置が大きかりで、方法も現在は確立していない。ここで紹介するベンゼン-液体シンチレーション法は、試料の炭素からベンゼンを合成し、このベンゼン中の ^{14}C の放射能によって生ずる蛍光を光電子増倍管で計数する方法である。この方法は気体計数法に比べて、次の長所・短所がある。長所は、低バックグラウンドで計数効率がよく測定可能な炭素量が多いので高感度であること、カウンターの安定性がよく操作も容易なこと、バックグラウンド、標準試料及びサンプルを交互にくり返し測定できるので経時変化による誤差が小さいことなどである。一

* 昭和57年1月27日日本所において開催の研究発表会

方、短所は、ベンゼン合成に手数がかかること、クエンチングの補正が必要なことなどである。以上の点から、新設の ^{14}C 年代測定施設の多くが液体シンチレーション法を採用し、最近のRadio Carbon誌の約半数がこの方法によるものである。

ベンゼン-液体シンチレーション法の概略は以下の通りである。炭・木片、ピートなどの試料から、物理的・化学的に、後から混入した炭素をとり除き、酸素気流中で燃焼させて炭酸ガスにし、これをアンモニア水に吸収し塩化カルシウムを加えて炭酸カルシウムを生成する。貝の試料は表面を酸でとり除き、むし焼にして有機物を炭化する。これらの炭酸塩に過塩素酸を加えて炭酸ガスを発生させる。標準試料のNBSしゅう酸は、過マンガン酸カリと硫酸を加えて発生した気体を過マンガン酸カリ、硝酸銀、重クロム酸カリの各溶液を通して完全に酸化し炭酸ガスにする。このようにして得られた炭酸ガスとリチウムを600-700°Cで反応させてリチウムカーバイドをつくり、これに水を加えてアセチレンを発生させる。精製したアセチレンを活性化した五酸化バナジウム触媒で三重させベンゼンを生成する。試料ベンゼンにシンチレーターを加え ^{14}C を含ませベンゼンを加えて液量を一定にしてバイアルに入れ、バイアル中の酸素を窒素で置換する。試料を入れたバイアルは、ブランク及び標準試料のバイアルと交互に50分ずつくりかえし20回程度測定する。前処理から測定まで平均10日位かかる。

本法による測定年代を気体法による測定年代(カッコで示す)と比べた。単位は年 B. P., 誤差は σ である。木片① 940 ± 100 (950 ± 110), 炭① 1250 ± 90 (2040 ± 120), 木片② 2360 ± 90 , 2470 ± 90 (2430 ± 110), 貝① 7300 ± 110 (7330 ± 120), 貝② 5730 ± 110 (5960 ± 120)で1個を除いて 2σ の誤差内にはいる。

本法における通常の条件の測定(2gの炭素を計数効率65%, バックグラウンドが1.2 cpm, 20時間測定)での放射能壊変の統計誤差は、2,000年の試料で90年, 10,000年で140年, 30,000年で $^{+970}_{-870}$ 年である。本法で測れる最古の年代(13gの炭素を計数効率65%, バックグラウンド1.5 cpm, 100時間測定した場合)は56,000年である。

このようにカウンターの性能は良いが、この性能を発揮するには、試料自身とベンゼン合成過程で、 ^{14}C の混入がないことが不可欠である。残念ながら、リチウムカーバイドの合成の際のステンレス反応槽にメモリがあるらしく、2.2gのベンゼンに対し、最大0.2 cpm程度 ^{14}C の付加がある。この場合、若い年代には影響が少ないが、3万年では10%程度若い年代が得られ、これ以上の年代を測ることができない。5万年のような古い年代

を測定するためには、このメモリをなくす方法を考えなければならない。また、ベンゼン合成過程の同位体分別の影響もチェックする必要がある。若い年代の誤差に大きな影響があるのがクエンチングである。クエンチングの補正をしないと最大230年の誤差を生ずるので、正確な補正曲線を作らねばならない。

今後の課題としては、ベンゼン合成の際のメモリを小さくして、古い年代を測れるようにすること、各種試料の前処理法の検討及び測定の能率があげられる。

(技術部・海洋地質部)

自動化された5チャンネルEPMAの概況

佐藤興平・月村勝宏(鉱床部・同)

温度変化法による鉱物・ガラスの屈折率測定装置

遠藤秀典

地層中のテフラは同一時間面を指示する鍵層として、正確な地層対比のために極めて利用価値が高い。しかし我が国の第四紀層中のテフラは安山岩質鉱物組成の類似したものが多く、さらに堆積環境や風化の様式が著しく異なっているために同定が困難な場合がある。近年、新井(1972)などによってテフラ中の鉱物・ガラスの屈折率がテフラの同定・対比に極めて有効であることが明らかとされてきている。筆者は、第四紀層中のテフラの同定・対比をより正確にするためにこの屈折率測定装置を作成した。

この装置の特徴は、浸液と測定粒子(この場合は鉱物・ガラスの細片)との屈折率の比較に位相差偏光顕微鏡を用いている点及び浸液法・分散法・温度変化法のうち温度変化法を行うための装置をこの顕微鏡と組み合わせている点である。

通常の偏光顕微鏡を用いたベッケ線法によって屈折率の異同を判定すると、屈折率 ± 0.002 - 0.003 程度の測定誤差が見込まれるのに対し、位相差偏光顕微鏡を用いることによって、 ± 0.001 以内の精度で判定が行え、 ± 0.0005 以内の精度で判定することも可能である。また位相差観察によると鏡筒の上下移動なしで、屈折率の高低関係を観察することができ、測定時間を短縮できるという利点もある。

温度変化法は、鉱物・ガラスなどの固体の屈折率が温度の変化に対してほとんど変化しないのに比べて、液体

の屈折率が大きく変化することを利用した測定方法である。位相差偏光顕微鏡のステージ上に液体循環装置をとりつけ、これと冷水槽、温水槽及びポンプをチューブで結んでいる。ポンプの回転方向を反転させることによって液体循環装置上の温度センサーを埋め込んだスライドガラスの上の浸液の温度を周期的に変化させている。一方、この温度センサーと温度計によって温度を測定し、記録計によって記録する。フットスイッチを記録計にとりつけることによって測定時刻を記録紙にマークできるようにしてある。測定は水洗・乾燥したサンプルから測定するガラスあるいは鉱物をひろいだし、粉碎後、この細片を浸液と混合し、位相差偏光顕微鏡のステージ上の温度センサーを埋めこんだスライドガラス上におとし、カバーガラスでおおうことによって行う。周期的に変化している温度を記録紙に記録しながら、位相差観察を行い測定粒子の特定の光学的方位の屈折率と浸液の屈折率が同じとなった瞬間をフットスイッチによって記録する。この温度から屈折率を得る。浸液の温度に対する屈折率はアッペ屈折計を用いて測定しておく。なおポンプと温度計とにポンプ回転方向制御器を取りつけることによって一定の温度で自動的にポンプの回転方向を制御している。温度変化法を用いることによって、多くの場合2浸液で屈折率の上限から下限までの測定が可能となり、測定時間が短縮される。試料の量はある程度少なくとも測定できる。浸液に混合液を用いない測定範囲が広がる等の利点があり、また屈折率の連続的な値について測定が可能で、頻度分布の特徴をとらえ易い等の利点がある。

この装置による測定の誤差を標準ガラスを用いて検定した結果、 ± 0.001 以内の精度で測定が行われていることが明らかとなった。テフラの同定・対比に必要な精度で測定が行われている。

この装置による測定例として房総半島の上総層群笠森層中のガラス質火山灰の火山ガラスの測定結果を示した。一部を紹介すると、Ks 5は屈折率1.504-1.5045に最頻値があり、屈折率の分布範囲は狭い。Ks 10は最頻値1.500-1.501のものと1.504付近のものが混在している。Ks 11は最頻値1.506で1.502から1.508のやや広い分布範囲を示すことに特徴がある。この特徴によってこれらのテフラを同定・対比できる。

野外調査の結果及び重鉱物組成、ガラスの形態・色等と共にテフラ中の鉱物・ガラスの屈折率の特徴を指標とすることによって、テフラの同定・対比がより正確なものとなる。屈折率測定は、EPMAによる主成分分析等と比較すると簡単な比較的安価な装置によって、かつ迅速

に測定が行え、同定・対比の指標として極めて有効であることから、今後多方面に活用されていくと思われる。
(環境地質部)

新しい電磁探査法とその応用

佐藤 功

電磁探査法は、物理探査法の1つで、地下の比抵抗異常やその構造を探査する方法で、比較的早く、1910年代に誕生した。浅部の石油探査に用いられたSundberg EM(電磁)法が生まれた後、一時的に電磁法の不毛時代があり、1950年代に再び開花し、数々の装置開発がされてきた。我が国では、Turam法が導入され、花輪鉱山等で試験が行われたりしたが、鉱床探査には用いられていないのが実情である。

現在は、ポータブルな電磁探査装置を用い、活構造地域の破碎帯調査を実施しているが、さらに、新たな垂直探査用の多周波数電磁探査システムの開発研究をしている。この電磁探査システムについて紹介した。

電磁法の原理

ある信号源から発生された電磁波の磁場成分により、地下導体内に電流が誘導され、この誘導電流が二次場を形成するので、これを検出することにより、電気伝導度異常や電気伝導度構造を探査しようとするものである。

探査上で重要な事柄は、電磁波の減衰が、媒質の電気伝導度と電磁波の周波数で異なり、それらが高い程、減衰が大きく、浸透深度が浅くなることである。それで、電磁場の強さが地表での値の約37%(1/e)になる深度(表皮深度という)を探査可能な深度の目安として使う。従って、多周波数の電磁波を信号源に用いて、その周波数により探査深度をコントロールして探査をすることができる。このような探査方式をパラメトリックサウンディングと呼ぶ。

電磁垂直探査システム

現在、研究している電磁垂直探査システムは、パラメトリックサウンディングを基本とする電気伝導度構造の探査を目的としたものである。その特徴を列挙する。

- (1) 多周波数電磁場を信号源とし、垂直探査ができる。
- (2) 流電電極を用いず、非接地型の探査システムである。
- (3) 信号源は水平ループによる垂直磁場双極子とする。
- (4) 受信用センサーはフラックスゲート型磁力計で、磁場測定だけである。

(5) 解析に用いるのは、二次磁場と真空中での一次磁場との比である相互インピーダンス比である。

以上のことから、このシステムは、2-3名の少人数で電気伝導度構造探査ができ、非接地型であることから高比抵抗地域でも探査でき、安全で簡便な探査システムであると言える。講演では、本探査システム構成図の説明と使用機器及び受信信号出力例を示した。

探査曲線と解析

ある測点での探査曲線は、横軸に周波数の対数値を、縦軸に相互インピーダンス比をとり、探査結果をプロットして得られる。解析は、この探査曲線と層状構造モデルの理論応答曲線との曲線照合によって実施する。解析で重要な事は、まず第一に理論応答曲線の特徴を把握しておくことである。まず、均質大地の場合には、探査曲線の形状は、媒質の電気伝導度や送受信間距離が異なっても変化せず、それが単に、周波数軸上を左右に移動するだけということである。そして、層状構造の場合には、均質大地の場合に対する、そのズレの方向と、曲線の頂点付近の曲率の差異が解析上の判断規準となる。また、各層の比抵抗が高い場合は、曲線の飽和効果のため分解能が良くないことも重要である。

探査例として、埼玉県下の挽櫛断層の南北両側に受信点を配して実施した探査結果を示した。同時に実施したシュランベルジャ法探査の結果と比較して、比抵抗値がやや低く解析されたが、一応満足できる結果を得ている。さらに、探査実験を積み重ねていかねばならない。

応用分野と研究課題

この新たな電磁垂直探査法の応用については、先に列挙した特徴を生かすという観点で考えると次のようになる。

第一に、電磁探査法は、高比抵抗媒質の検出は不得手で、低比抵抗媒質の検出を探査主眼とする場合に能力を発揮する。さらに、磁場だけを利用した非接地型のシステムであることより、流電電極が使えない様な砂漠地域における地下水探査や凍土地域での鉱床探査を目的とする垂直探査法としての利用が考えられる。

また、パラメトリックサウンディングを基本とするので、地形・地物の障害を受けやすいシュランベルジャ法探査の代用として、道路や河川や家屋のある地区での垂直探査法として利用されよう。

今後の研究課題は、S/N比を上げて信号検出をする必要と正確な位相差測定のための信号同期技術と、探査可能地域の拡大を計るための探査周波数の広帯域化の2点に置いている。

(物理探査部)

浅層反射法の現況

渡辺史郎・加野直巳

1. はじめに

地質調査所では、昭和50年から浅層反射法の研究を進めてきた。これは潜在活断層の探査を目的としている。活断層の地下構造を明らかにし、さらには活動度の評価を行おうとするものである。ここでは浅層反射法について説明するとともに、活断層ではないが、常総台地での探査例を紹介する。

2. 浅層反射法

在来の反射法は、深度1-8kmの構造を分解能数十mで求めようとしている。これに対し、浅層反射の研究では、深度10-1,000mの構造を分解能数m以下で求めることを目標としている。つまり、深度は浅くても、高い分解能を達成することが浅層反射法に課せられた課題である。したがって、技術開発の焦点は、高周波数の弾性波を使用する技術と、高周波数でさらに問題となる雑音を抑圧する技術となる。

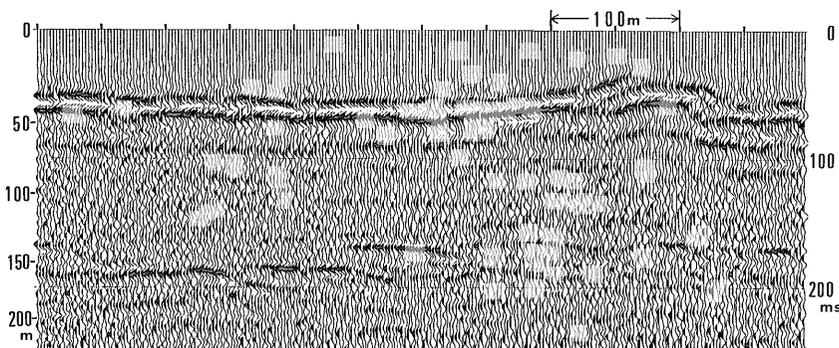
3. ミニソーシー

上のような問題に対する1つの方向が、我々の用いている“ミニソーシー”システムである。ミニソーシーは振源によらない雑音に埋もれた反射信号を強調する処理である。雑音を不規則に重ね合わせると、平均化され振幅が小さくなる。記録時間内に不規則な発振を行い、受振記録を発振時刻ごとに頭揃えし、スタック(加算)する。位相が揃う反射波は振幅が大きくなり、S/N比のよい記録が得られる。この演算は実時間で行われ、高い作業率が得られる。たとえば、1,000回のスタックを1秒おきに行えば17分かかるものが、この方法では3分未満で可能となる。

振源には、土木工事に用いられているランマを用いる。これにセンサを取り付け、トリガーとする。反射信号を受ける受振器は、固有周波数40ないし100Hzのもので、6-24個まとめて設置し、1受振点とする。探鉱器は入力24チャンネルで、最高0.25msのサンプリング・レートまで可能である。記録はスタック後800BPIの磁気テープに書き込まれる。

4. データ処理システム

データ処理システムはHP社の計算機にFPS社の高速演算装置アレイプロセッサをはじめ、各種の入出力装置を接続したものである。アレイプロセッサは浮動小数点の加算・乗算を167nsで行い、ベクトル演算能力にす



常総台地での記録断面図の一部

ぐれており、反射法のデータ処理にはかかせないものである。出力は別のシステムに接続されている静電プロッタを利用している。

処理プログラムはデューボリューション、NMQ 補正、CDP 重合など自主開発した。

5. 探査処理例

茨城県常総台地では、発振点間隔10m、受振点間隔5m、サンプリング・レート0.5ms、スタック回数1,000回、1受振点12受振器、測線長2km、日数6日で探査を行った。

処理結果からは、深度約40mと約150mの2カ所に強い反射面が認められる。近傍の水井戸資料との対比から、前者は下総層群と上総層群の境界、後者は上総層群の基底、中新統の上面と考えられる。後者はいくつかの断層により切られており、落差の小さいものでは、5m程度のもも検出されている。

6. 今後の課題

浅層反射法の適用分野としては、我々が研究を進めている潜在活断層の探査の他に、石炭鉱床、ウラン鉱床、石油・ガス鉱床、土木基盤の探査など、比較的浅所でも詳細な情報を必要としているものが考えられる。

浅層反射法は、一応実用化の段階に達したが、まだできたばかりの技術であり、今後さらに分解能の向上、能率の向上をはかることが重要な課題である。特に計算機処理によるS/N比の向上、分解能の向上という点では、まだまだ在来の反射法に学ばねばならぬ点が多い。

また、分解能の向上、S波速度情報を得て地盤評価を行うことを目的としての、SH波による探査法の開発も望まれる。

(物理探査部・同)

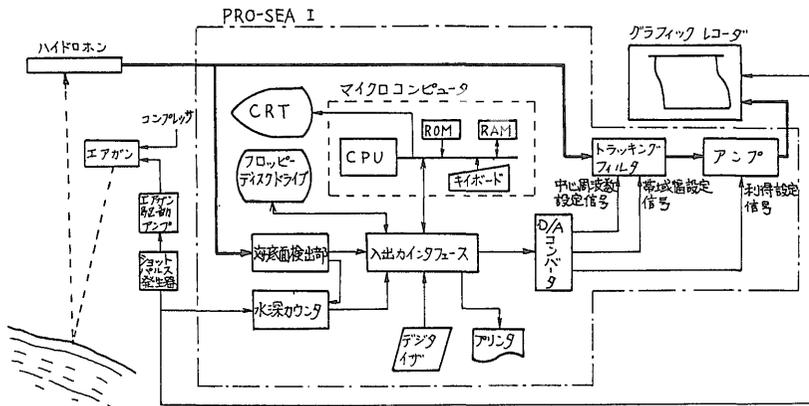
Programable Seismic Amplifier PRO-SEA I の開発—海洋音波探査装置をマイコンで制御する—

西村清和・玉木賢策

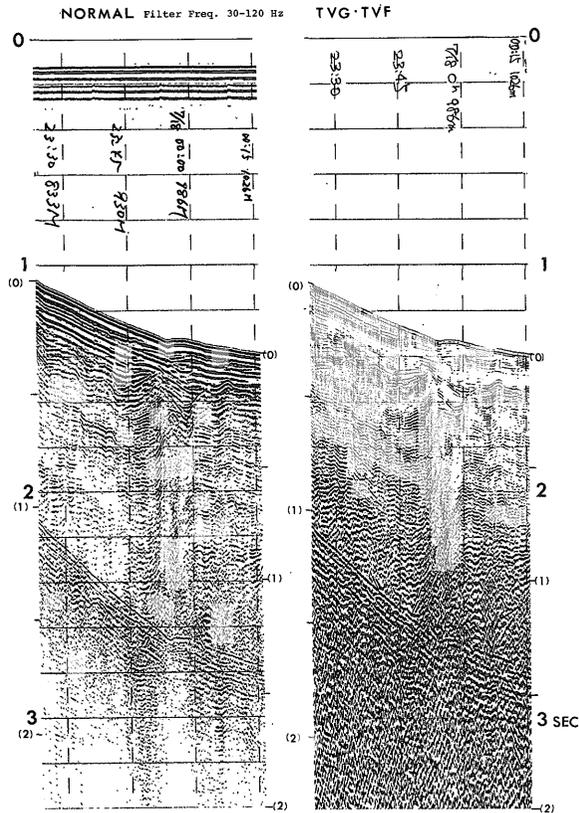
音波探査装置の利得特性とフィルタ特性を時間の関数として変化させる、いわゆるTVG(Time variable gain)及びTVF(Time variable filtering)をマイクロコンピュータを用い自在に行うことのできる装置、PRO-SEA I (Programable Seismic Amplifier)を開発した。

音波探査はエアガンなどの音源から発せられた音波が海底下の地層で反射し、その信号を受信、増幅、ろ波するものであるが、音波は海底下へ伝播するにしたがい拡散、減衰と吸収を受け、その反射波は海底下浅部に比べ海底下深部のものは微弱となる。また反射波の周波数特性は海底下浅部では広帯域の周波数成分を有するが、伝播距離の増加とともに高周波成分は減衰し、海底下深部では低周波成分が卓越するようになる。その結果、アンプの利得、フィルタ特性を固定にした従来の音波探査装置による探査記録では、海底下浅部においては反射信号が強すぎ、かつ低周波成分が分解能の良い高周波成分をマスクするため見づらいものとなり、また海底下深部では信号強度が小さくなるので反射波が現れなくなり、また低周波の反射信号以外の雑音も多く混入する。これらの欠点を解消するには、海底下浅部においてアンプの利得を小さく、フィルタの中心周波数を高く、帯域幅を比較的広くし、深くなるに従いアンプの利得を上げ、フィルタの中心周波数を低く、帯域幅を狭くするようにアンプの利得とフィルタの特性を制御すれば良い。そうすれば記録の探査深度、分解能及びSN比を向上させることができる。

今回開発したPRO-SEA Iは利得制御端子付アンプ、



第1図 PRO-SEA I のシステムブロック図



第2図 音波探査記録断面

左は従来のシステム、右は PRO-SEA I による記録。テスト海域は福島県富岡東方約100 km、水深約1,000 m の大陸斜面

中心周波数・帯域幅を外部より制御できるトラッキングフィルタ、マイクロコンピュータ等を使用することにより上述の利得・周波数特性の制御を可能にした。

PRO-SEA I の構成及びその動作

本システムは主に次の機器より構成されている(第1図)。(1)アンプ 制御端子に直流電圧0-8 Vを加えると70~-10 dB 利得が変化する。(2)トラッキングフィルタ 中心周波数5~10,000 Hz(同一周波数の交流信号で制御)

帯域幅 2 ~ 200 Hz (20 mV ~ 2 V 直流電圧で制御). (3) マイクロコンピュータ CPU-Z80A, 使用言語—BASIC 及び機械語, TVG・TVF の制御及びデータの作成を行う. (4) D/A コンバータ 8 ビット 3 チャンネル. (5) 海底面検出部 アナログコンパレータ. (6) デジタイザ TVG・TVF 特性曲線の入力. (7) フロッピーディスクドライブ ディスケットに TVG・TVF データファイルを格納. (8) 入出力インタフェース パラレルインタフェース及び RS232C.

利得, 中心周波数, 帯域幅に関する制御データは 8 ビットのデジタルデータとして各々 250 ステップずつマイクロコンピュータのメモリに格納しておく. これらのデータはデジタイザあるいはキーボードで入力し, BASIC プログラムで作成する. エアガンが発振し海底面の反射波が検知されるごとに機械語で書かれた制御プログラムが実行されメモリ内の利得・中心周波数・帯域幅の各データが順次 D/A コンバータに出力される. これによりアンプ・トラッキングフィルタが所定の特性に変化する. 各データの切替は, 例えば 16 msec ごとに行い 4 秒間特性を変化させることができる. TVG・TVF の特性

曲線は海底下の地質状況に応じて決定する. データの変更はプログラマブルで, 探査中でも適宜行うことができる. フロッピーディスクに各種のパターンをファイルしておきそれを使用することもできるし, キーボードよりデータの部分的変更も可能である.

フィールドでのテスト

1981年7月, 地質調査船白嶺丸による日立・仙台沖海底地質調査航海(GH81-3)で本システムのテストを行った. 音源はエアガンを使用した. テスト結果は良好で, 従来のエアガン音波探査に比べ探査深度, 分解能, SN比の良い記録が得られた. 第2図は同一測線における従来のシステムと本システムによる探査記録を示したものである.

(海洋地質部・同)

ネパールの地質と海外技術協力の現状 —海外スライド—

中嶋輝允 (鉱床部)