

# 物理探査の発展と今後の動向

物理探査部長 陶山 淳治

1950年代後半以降の物理探査は 後に述べるように 電子工学・機械工学などの近代工学技術と 数学・物理学などの基礎的学問とを総合したものとして 変貌しつつ発展しつつある。このような発展の過程の代表的なものは地震探査であろう。

1954年頃米国で開発された磁気録音方式の地震探査装置は 1956年(昭和31年)に石油資源開発株式会社にはじめて輸入され 引続き地質調査所その他の機関で採用されたが この装置は地震探査を大きく変貌させた画期的なものといえる。

すなわち 磁気録音方式では すべての情報をいったんテープに録音し これを幾度も再生することができる。したがって 地震記録の中に含まれる情報を洩れなく利用することが可能となるとともに 一種のアナログ計算機といえる解析用再生機(Playback Machine)を用いることによって データの新しい処理に対して無限の可能性を開いた。

解析用再生機によって 濃淡表示方式の記録断面がえられ 記録の伸縮はもとより時間補正等の自動処理 いくつかの記録の混合操作が可能となったほか 周波数領域ばかりではなく 時間領域でのフィルター操作の道が開かれた(地質ニュース No.73; 1960)。単一の解析用再生機ではこれらすべてを処理することは不可能であり いくつかの解析用再生機を集めた総合したシステム(データ処理システム)が 通常 使われる。無限の可能性をもつこのような方式の探査装置の出現によって 次々と新しいデータ処理法の開発が進められ システムの限らない膨脹をもたらすに及んで データのデジタル処理が必要となり それがデジタル・システムの開発へと発展した。

データ処理システムの活用は 現在では 地震探査のみならず 重力探査 磁気探査および電気探査の分野においても行なわれつつあり 磁気録音方式地震探査は物理探査の様式を変革する端緒をなしたものといえる。

## (ii) 海域の物理探査の発展

磁気録音方式地震探査装置の登場と同じ時期に 海底重力計が開発された。1956年(昭和31年)地質調査所ではノース・アメリカン社製 UW-2 R型海底重力計を輸入し 同年6月秋田沖で わが国でははじめての海

## 1. 物理探査の発展の歴史

### 1-1 生い立ちより1950年代前半まで

1918年(大正7年)に 新津油田で重力偏差計による調査が京都大学によって行なわれ 1919年(大正8年)に 兵庫県高野鉦山でターレン・テイベルグ式磁力計による磁鉄鉦鉦床の調査が 京都大学によって行なわれたのが わが国の物理探査のはじまりといえよう(地質ニュース No.5; 1953)。

以来 京都大学 東京大学 九州大学などの各大学で物理探査の研究が行なわれる一方 商工省地質調査所 通信省電気試験所 鉄道省大臣官房研究所および内務省土木試験所においても 物理探査の調査研究がはじめられた。地質調査所では 1932年(昭和7年)より電気探査の調査研究を着手し 引続き 地震探査 重力探査 および磁気探査の研究をはじめた。

物理探査の調査研究は 1937年頃(昭和12年)より徐々に発展の道をたどり 第2次大戦末を迎えることになる。この間 エアトベス型重力偏差計 シュミット型磁力偏差計 波江野式地震探鉦器および ギッシュ・ルーニー式地質調査所型電気探鉦器が専ら調査に使用された。前二者は輸入探鉦器であるが 後二者は 当時地質調査所に勤務していた研究者によって作られたものであった。

戦後 1949年(昭和24年)地質調査所および帝国石油株式会社にノース・アメリカン型重力計が輸入され 同年帝国石油株式会社に 引続き地質調査所に S. S. C型12成分地震探鉦器が輸入されたが これらの性能の良い探鉦器の導入は調査能率を著しく向上させ 戦後経済復興のための資源調査の要請と相まって 物理探査の調査研究活動を一層活発にしその後の発展の基礎を作った。

たとえば 探査装置の進歩とともに 調査能率が向上し 調査資料が豊富になるにつれて より一層精密な地下構造を求めるための解析技術が必要になり この種の研究に対する関心が高まっていった。

### 1-2 1950年後半より1960年前半にかけて

#### (i) 磁気録音方式地震探査装置の出現

域の重力調査を行なった。この重力計は遠隔操作による海底での重力測定を可能とし、陸域のみならず海域での物理探査の活動の道を開いた。

1957年(昭和32年)には重力に引続き、海域での磁気探査が可能となった。プロトン磁力計は動揺をうけた状態のもとで全磁力の絶対値の測定が可能であるので、検出器を容器(フィッシュ)に入れ、これを船で曳航しながら磁力分布を測定することができる。このような装置は1957年以後砂鉄調査のための海上磁気探査に活用されたが、1961年(昭和36年)には地質調査所によって自動記録方式プロトン磁力計が開発され、ヘリコプターに搭載して浦賀水道で空中磁気探査の試験が行なわれた。これらの試験研究は空中磁気探査の発展の端緒になった。

重力・磁気両探査法の海域への活用より若干遅れるが、1959年(昭和34年)に秋田沖で米国M. G. S社の手によりContinuous Seismic Profilerと呼ばれるスパーカー法による音波探査の調査が行なわれ、1961年(昭和36年)には地質調査所で国産のスパーカー装置を開発し、東京湾で調査を行なった(地質ニュース No.89 91; 1962)。引続きガス爆発法・強力スパーカー法等の研究が行なわれ、圧縮空気を用いるエア・ガン法も震源として使われるようになり、地震探査との区別がなくなっている。このように海域の物理探査が発展するにつれて、磁気探査・スパーカー法およびガス爆発法を組み合わせた総合探査方式(Integrated System)が登場してきた。

船舶は一種の移動実験室となるので、幾種類かの物理探査の組み合わせで、地下構造を総合解析するシステムを採用することが可能であり、海上物理探査は新しい方式の物理探査を生み出しつつある。

### (iii) 空中物理探査の発展

海域の物理探査の発展と平行して、1955年(昭和30年)9月核燃料物質調査のため、地質調査所によって空中放射能探査の研究がはじめられ、6年間で65,000km<sup>2</sup>をカバーした。当時の技術的水準では解決のむずかしい問題点を多くかかえていたため、期待されたほどの成果はえられなかったが、わが国の空中物理探査の端緒となった。1962年(昭和37年)には前記の自動記録方式のプロトン磁力計を用い、空中放射能探査と空中磁気探査の併用探査の試験が土浦周辺で行なわれた。

前記浦賀水道周辺および土浦周辺の空中磁気探査の試験での測定精度は±5ガンマであったが、これら測定結果を検討した結果、±1ガンマ以上の精度で測定すれば、地質構造探査に十分利用できるの見通しをえた。このような性能をもつ、当時では最新鋭の米国パリアン

社製V-4914プロトン型空中磁力計を1964年(昭和39年)に輸入し、新潟平野で堆積盆地の構造調査を目的とする空中磁気探査の技術研究に着手した。その後、1965年(昭和40年)より測定感度0.01ガンマという驚異的性能をもつルビシウム磁力計・セシウム磁力計を導入し、高い精度の空中磁気図作成技術の開発を行なうとともに、引続き1967年(昭和42年)には双発航空機にドップラー航法装置を整備し、海域の自立航法による空中磁気探査のシステムの開発を行なった。このようなシステム(ドップラーシステムによる空中磁気探査法)の完成によって、空中磁気探査による大陸棚地質構造の特性を把握することが可能となったので、1969年(昭和44年)より7カ年計画でわが国の主要大陸棚地域の空中磁気探査に着手するとともに、引続きロランC デッカを含めた複合システムの開発と高感度空中磁気探査およびデジタル・システムの開発が行なわれている。

空中探査は船舶と同様に一種の移動実験室による探査といえることができるので、総合探査方式による総合解析システムの採用が可能であるが、データの収集速度が速く、蓄積量も膨大となるので、データ処理の問題が重要な課題となる。自動図化・フィルター操作・自動解析等のデータ処理のためには、地上局のデータおよび位置・高度等のデータを含めてのすべてのデータのデジタル処理が必要であり、ハードの面でデジタル化とソフト・ウェアの開発が着々進められつつある。

### (iv) 深部物理探査の発展

地下資源の探査は、浅部に賦存するものから、深部に賦存するものへと探査の対象が移行するすう勢にあり、それに伴って、物理探査に対する要求も深部構造の検出へと移りつつある。深部構造を検出するためには、地震探査については、遅延爆発法により地震波に指向性をもたせ、地震探査に有効な下向・向かう地震波を卓越させて、深部構造の検出を容易にする研究、群設置法・多孔爆発法により妨害波の消去率を高め、深部よりの反射波の検出を容易ならしめる研究等が、1949年(昭和24年)より1955年(昭和30年)にかけて行なわれ、磁気録音方式地震探査装置の導入に伴い、これまで不可能であった水平重合法による深部よりの弱い反射波の重合強化の研究が石油資源株式会社を中心に進められた。一方、これまでまったく浅部構造の探査に用いられていた電気探査比抵抗法を深部構造の探査へ利用する研究が、地質調査所によって着手され、1959年(昭和34年)大島において直流法による深度1kmの構造の検出に成功した。その後1963年(昭和38年)ソ連より電気探査装置を輸入し、千葉県下において3kmの構造の検出に成功し、含

油堆積盆の基盤構造の探査を可能にした(地質ニュース No.106 108; 1963)。

しかしながら 中爆発地震探査屈折法による深部構造の研究は その必要性は考えられながら U. M. P. 計画の深層試錐の先行調査として1部で行なわれるに止まった。

以上述べたように 1950年代の後半から 1960年代の前半にかけては技術の開発 とくに ハード・ウェアを中心とした技術の開発に重点が置かれ研究開発が進められた。1960年には 深部探査技術 微細構造探査技術 海上探査技術 空中探査技術および 物理検層技術のわが国における技術開発の中心的役割を 地質調査所の物理探査部が果たすべきであるとの考えのもとに 物理探査技術センターの構想が出された (地質ニュース No.76; 1960)。

## 2. 探 査 シ ス テ ム の 導 入

### (i) 石 油 の 探 査

1960年代の発展の特色として見逃すことができないのは 物理探査を取り入れた探査の体系化の芽が育ちはじめたことである。探査の体系化の問題は 石油探査の分野では もっとも早くから手掛けられていた。1961年(昭和36年)に策定された可燃性天然ガス資源開発5カ年計画は 探査の体系化の概念のもとにつくられており これら探査計画と平行して 探査システムの研究が着手された。1968年(昭和43年)には 石油および可燃性天然ガス資源開発審議会海洋開発専門委員会の中間報告として ソフト・テクノロジーを含め システムと

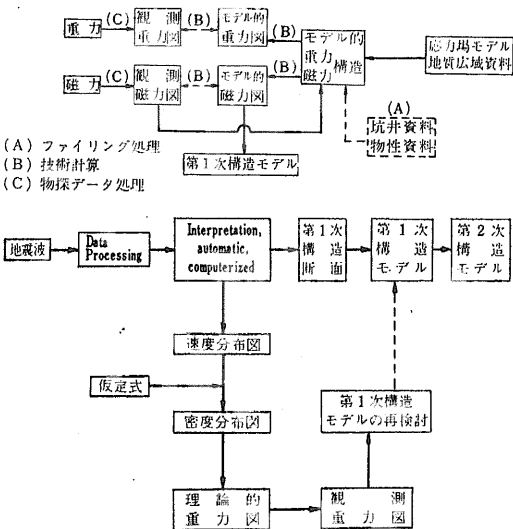
して把握された計画的な技術開発の必要性が述べられている。第1図は この中間報告で提案された構造探査の情報処理のフロー・チャートであり 第2図は貯留岩探査のフロー・チャートである。

電子計算機の導入とともに 探査のシステム化の研究はますます発展し 石油開発技術センターの設立に伴い今後の一層の発達が期待されている。

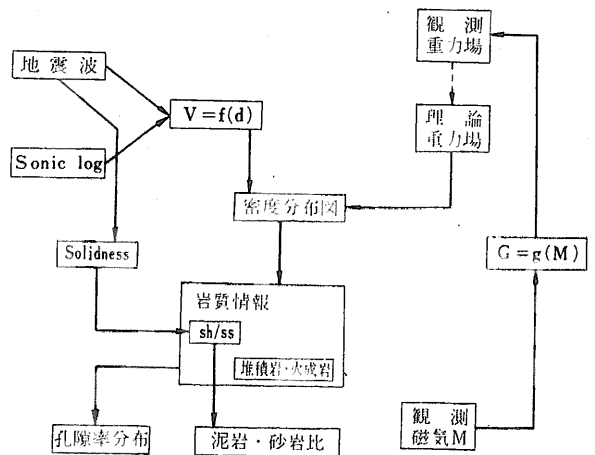
### (ii) ウ ラ ン 調 査

新しいエネルギー資源である核燃料資源の探査においては このような新しい鉱物資源に対する探査の経験がないこともあって まずウラン鉱床の賦存の可能性が強いと考えられる花崗岩地域の中で 有望区域を迅速に描出する広域的調査が わが国でははじめて計画された。すなわち 放射能強度分布から放射能異常区域を発見して有望区域を限定するため 空中放射能探査および自動車放射能探査が全国的に実施された。これらの探査を契機として発見された鉱床としては 人形峠 東濃等の著名な鉱床がある。

この場合用いられた手法は露頭探査の域を出るものではないが これらの探査によって 広域探査の概念が生まれ 同時に探査システムに関する近代化が促進したという点で わが国の物理探査史上で特筆すべきことである。また このような広域探査の物理探査の実施とともに 有望区域の放射能精査のみならず 地震探査(屈折法) 電気探査(直流法)および重力探査が 基盤(花崗岩)面の形状を調べる いわば 鉱床賦存条件を調べるための構造探査として 人形峠 倉吉・東濃の諸地域で実施された。このほか 試錐探査の段階で 放射能探査を主体とする物理検層が実施され 岩石・鉱石のγ線スペクトル分析等の物性測定も平行して研究された。



第1図 構造探査情報処理フローチャート



第2図 貯留岩探査情報処理フローチャート(「海洋開発」石油開発公団編より)

以上のように 探査の各段階で物理探査が重要な役割を果たすようにはなってきたが それらの各段階での役割が体系化するまでには至ってはいなかった。しかしながら 次に述べる金属鉱床の3段階方式に対する物理探査の活用の芽を作ったという点では評価されてよい。

### (iii) 金属鉱床密集地域の調査

金属鉱床の探査が露頭探査より深部潜頭鉱床の探査へと重点が移行するに伴って 国の手によって 鉱床密集地域における広範な地質構造の解明を行ない 地質構造上からみた探査の重点区域を描出するための広域調査が行なわれるようになった。地質調査所は 鉱業政策の一環として 鉱床密集地域の調査研究を1963年(昭和38年)より実施したが その際 これまで鉱山地帯では利用されたことのない重力探査 地震探査および直流法電気探査の鉱床密集地域の構造探査への適用の努力が払われた。

その後 金属探鉱促進事業団に引き継がれたが これらの物理探査は広域調査の構造探査に活用され さらに空中磁気探査も実施されるようになった。

広域調査の結果抽出された重点区域の精査調査には 重力探査の精査とともに 鉱床胚胎の手掛りをえようとして 強制分極法電気探査および電磁探査が積極的に適用されるようになった。また 試錐坑に対する物理検層も実施されるようになり 岩芯の物性測定も行なわれつつある。

以上のように 探査の各段階での物理探査の利用が組織的に行なわれるようになり 技術的に裏付けされた探査体系が行政面に反映されつつある。しかしながらわが国においては 個々の探査技術の研究はかなり進んでいるにもかかわらず 探査の体系化という観点からの技術研究は世界的レベルに比べて十分とはいえない。そのため 物理探査の位置づけ 方法の選択 総合的実施および技術評価などの点で十分でなく 探査の各段階で実施される物理探査の間にはギャップがみられる。たとえば 構造探査と鉱床探査との間のギャップは未だ大きい。このようなギャップが物理探査に対する地質技術者の疑惑と不信のもとになっているように思える。

## 3. 今後の動向

1950年代後半より急速な発展を遂げつつある磁気録音方式(アナログのみならずデジタル記録を含めての)の物理探査が 物理探査のイメージを大きく変えつつある。すなわち 野外作業でえられるすべての情報をそのまま

忠実に磁気テープに記録することに重点が移行し 室内作業では これまで抽出しえなかった情報を取り出すためのソフト・テクノロジーの駆使が重要な課題となってきた。

一方 スーパーカー エア・ガン等の非爆薬震源 プロトン磁力計および船上重力計等の新しいハード・ウェアの開発によって 連続測定が可能となるとともに 海域の物理探査が総合探査方式へ移行し 空中磁力計 空中放射能探査装置 空中電磁探査装置等の開発によって 総合探査方式の空中物理探査が実施できるようになってきた。このような新しい総合物理探査は探査のシステム化を促進させたが このような動向は 電子計算機の導入と相まって 将来の課題として総合解析システムの研究の重要性を浮彫りにした。

1950年後半より1960年前半にかけての物理探査の技術の開発は ソフト的な面も含まれてはいたが どちらかといえば ハード・ウェアを中心に進められてきたが 今後は 探査システムという観点から ソフト・テクノロジーを含めての技術の開発に重点が移行するが その際 ソフト・テクノロジーの果たす役割が急速に増大することとなる。

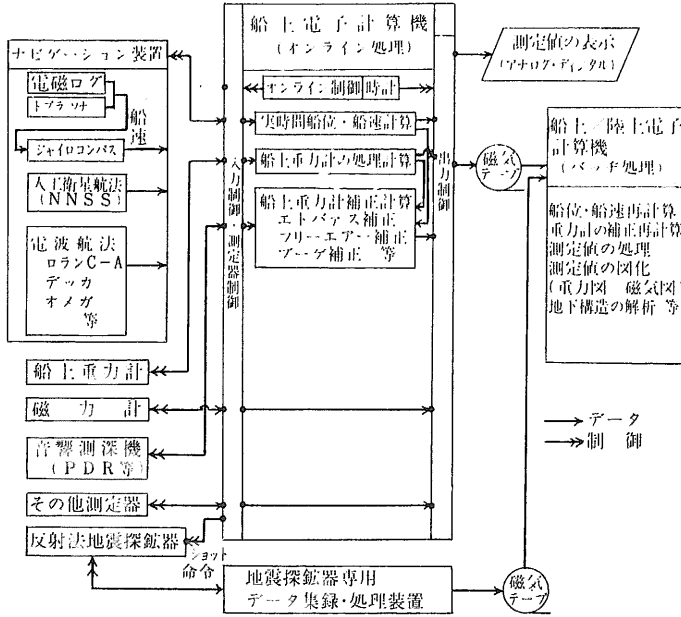
### 3-1 海上物理探査

海上物理探査には 通常 非爆薬震源の地震探査装置 磁力計および船上重力計が搭載されるが このほか 水深を測定する P. D. R. (Precision Depth Recorder) および位置決定に必要な人工衛星航法装置 ドップラー・ソナーまたは E M Log (電磁流速計) およびロランC オメガ等の電波航法装置が整備されている。第3図は地質調査船における物理探査装置のシステムを示したものであるが 将来はさらに新しい物理探査装置が開発され 一段と総合化が進められると思われる。

上記装置のうちで船上重力計は目新しいものである。

船上重力計には 陸上用の重力計(スプリング式重力計)を鉛直ジャイロ等で安定化された水平安定台上に取り付けられたもの および舷の振動を利用した重力計を鉛直ジャイロ上に取り付け 重力計の軸の方向(舷の方向)が鉛直に保持されるようにしたもの等がある。これらの船上重力計の指示値には 船の鉛直方向の動揺による鉛直方向の加速度が含まれることは避けられないので これを除かなければならない。幸い 波浪による上下動揺加速度は周期が5~10秒であり 5~10ノットで進行する場合の重力変化の周期はきわめて長いので 電子計算機を用い数学的な低域フィルターをかけることによって除くことができる。

船上重力計による重力測定は 通常5~10ノットの速



第3図 海洋物理探査の観測システム

度で進行する船上で行なわれるために 陸上の固定点での測定では必要がなかった補正—エトバックス補正—が必要となる。これは自転している地球上を進行することによって生じるコリオリの力の鉛直成分に対する補正であり 赤道道を東西方向に進行する船舶の速度誤差が  $\pm 0.1$  ノットの場合に  $\pm 0.75$  ミリ・ガールとなる。

この誤差は緯度  $\phi$  の増加とともに  $\cos \phi$  で減少するが 船の速度を正確に求めることが必要になる。

船上重力計とともに 新しく用いられる装置として 人工衛星航法装置がある。人工衛星航法は 1967年9月に米海軍によって 一般に公開された航海用人工衛星 (TRANSIT Navy Navigation Satellite System) を利用して位置決定を行なう全天候型の航法である。現在 TRANSIT衛星は南北両極を含む地球からの高さ約 1,080kmの円軌道を画いて5個飛行している。これらの衛星は 400MHz と 150MHz の電波を放射しながら飛行し 記憶している軌道要素と時刻を2分毎に送ってくる。さて これらの電波を受信すると 船と人工衛星の相対運動のためにドップラー効果によって受信周波数が増加する。このドップラー・シフトの積分値はその間の人工衛星と受信点との距離差に比例する。したがって 人工衛星から送られてくる人工衛星の軌道要素のデータとドップラー・シフトの観測値および受信点の概略の位置・高度・受信時刻を与えれば 最低3組の観測値があれば 受信点の位置 (緯度・経度) およびその時刻を求めることができる。観測に当って 400MHz の電波はデータ用には 150MHz 電離層通過の際の屈折量

の補正用に使われる。

船が移動しているときには 船の移動方向と速度のデータが必要であり これは ジャイロ・コンパスおよびドップラー・ソナーまたは EMLog等の組み合わせによってえられる。

これらのデータの誤差は位置決定の精度に大きな影響を与える。

また 屈折による誤差と感度の低下を避けるために  $0 \sim 10^\circ$  および  $70^\circ \sim 90^\circ$  の仰角のときのデータが除かれるので 人工衛星に出会う周期が長くなり 緯度  $40^\circ$  の場合約60分となる。この間は 他の航法 (ドップラー・ソナーまたは EMLog とジャイロ・コンパスの組み合わせ等の航法) による推測航法に頼らざるを得ない。この推測航法による位置の誤差も 人工衛星航法による位置決定の精度を悪くする。今後人工衛星の数が増えることによって精度の向上が期待されるが その際には人工衛星の判別という面倒な問題が起こるのであるが このような航法システムはソフトとハードの面の進歩とともに一層の発展を遂げることは間違いない。

### 3-2 空中物理探査

空中物理探査は空中磁気探査を主体とし これにガンマ線スペクトロメーター放射能探査 空中電磁探査 走査型赤外線探査 サイド・ルッキング・レーダー (SLR) 等および水銀スペクトロメーター 沃素スペクトロメーターのような空中地化学探査が加わり 総合探査方式へとますます発展しつつあるのが 現在の世界の趨勢である。また 最近は空中重力探査が試験段階から実用段階へ達したと聞いている。

第4図は 地質調査所で採用している空中磁気探査の観測システムを示したものであり 第5図はこのような観測システムによってえられた空中磁気図の1例である。現在 調査能率の向上を目ざして テール・ブーム方式 (第6図) の検討と高感度空中磁気探査 (感度  $\pm 0.1$  ガンマ 第7図) の研究等が行なわれつつある。その他の探査法については わが国の地質構造に対して いかほど有効であるかという点に 若干の議論もあるため まだ十分研究が進んでいないが 今後の発展が期待されるものである。

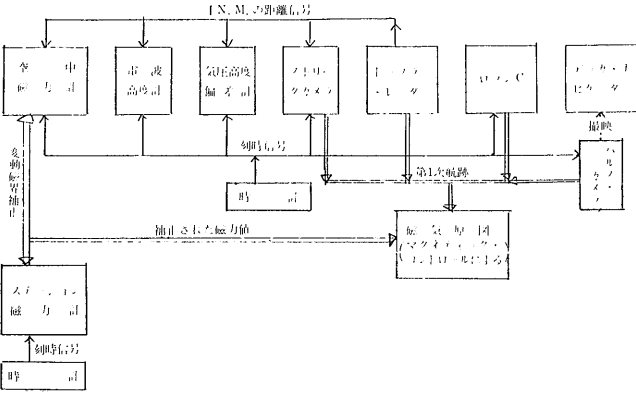
ガンマ線スペクトロメーター放射能探査は 沃化ナトリウム (タリウム) 結晶—光電子増倍管 (Na(Tl)-PM) と多重波高分析器を組み合わせた ガンマ線エネルギー

分析装置である。

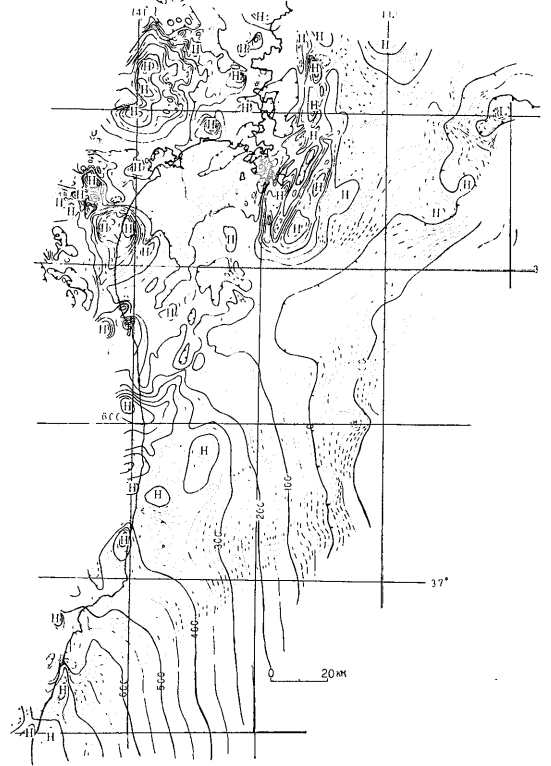
通常 特定の高エネルギー・ガンマ線のみを記録させることによって ウラニウム ( $\text{Bi}^{214}(\text{RaC})1.76\text{MeV}$ ) トリウム ( $\text{Tl}^{208}(\text{ThC}''')2.61\text{MeV}$ ) およびカリウム ( $\text{K}^{40}1.46\text{MeV}$ ) の分布強度を求めようとする4チャンネルの装置が空中探査に使われている(第8図)。本法はウラン資源探査のほか 第1表に示したような玄武岩質岩石花崗岩質岩石 砂岩 頁岩および炭酸塩岩石のウラントリウムおよびカリウムに含有量およびその含有比の違いに着目し これらの組み合わせによって岩相の識別を行なう手段として利用されている。

最近 分解能を高めるために 米国地質調査所によって 29cm×10cm という大きなクリスタルを用い デジタル磁気録音方式の400チャンネルの装置の研究が進められており カナダ地質調査所においても デジタル方式の128チャンネルの装置による空中放射能探査の研究が進められている。このような高性能エネルギー分析装置とその結果のデジタル処理によって 岩相の識別能力の向上が期待されている。

空中電磁探査は 1950年に International Nickel Company of Canada によって INCO システムが開発され New Brunswick の Heath Steele 塊状硫化鉄床が発見されてから注目された探査法であり その研究活動が活発となった1960年より今日まで十数種類の相異なるシステムが発表されている。その多くのものはコイルによって交番磁界を発生し その交番磁界が導体中に生ずる渦電流によってつくられる2次交番磁界を測定し 導体



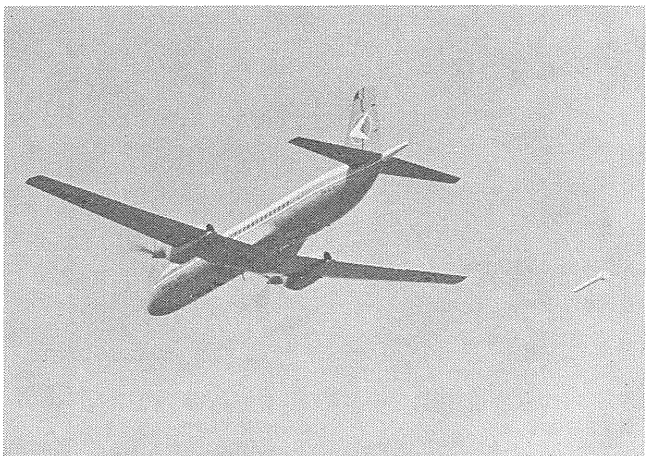
第4図 空中磁気探査の観測システム



第5図 阿武隈沖空中磁気図



第6図 テール・ブームの外観



第7図 高感度磁力計のバードを曳行中のYS-11型機

第3表 火成岩・堆積岩中のカリウム・トリウム・ウランウムの含有量 (ppm)

	玄武岩	花崗岩	頁岩	砂岩	炭酸塩岩
カリウム 40* 平均	0.8 (0.2—2.0)	3.0 (2.0—6.0)	2.7 (1.6—4.2)	1.1 (0.7—3.8)	0.3 (0.0—2.0)
トリウム 平均	4.0 (0.5—10.0)	12.0 (1.0—25.0)	12.0 (8.0—18.0)	1.7 (0.7—2.0)	1.7 (0.1—7.0)
ウランウム 平均	1.0 (0.2—4.0)	3.0 (1.0—7.0)	3.7 (1.5—5.5)	0.5 (0.2—0.6)	2.2 (0.1—9.0)

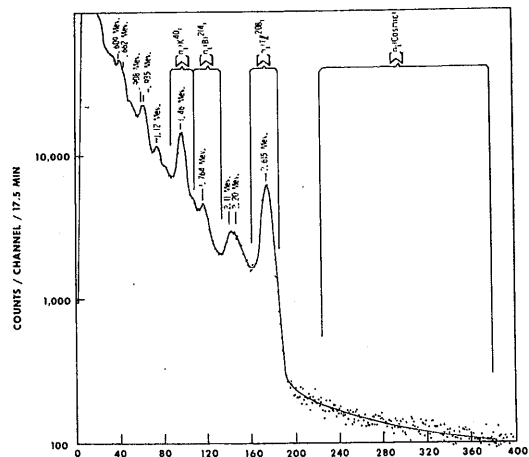
(カリウムは 0.0119% の  $K^{40}$  を含む) (R. B. GUILLOU による)

を検出しようとする方法である(第9図)。この方法は絶縁性母岩の中に胚胎する導電性の鉱体の探査法としてすぐれたものであり 断層・破砕帯の探査にも利用できる。

最近 原理はこれと同じであるが 一次磁界として電波航法の1つであるオメガのために発信されている15~25kHzのVLF帯域の強力な電波(150~1,000kW)の磁界を利用する電磁探査法 VLF探査法が開発され脚光をあびつつある。

これらの方法はいずれも 2次磁界をいかに巧妙に検出するかという点に工夫が凝らされているが そのために考え出された数多くの測定システムのうちで パルス状の電流を流し 1次磁界が消滅したのちの磁界を検出して 2次磁界を有効に把える INPUT (Induced Pulse Transient) と呼ばれる方法が注目を集めている(第10図)。

一方 電波航法による位置決定に当って 電波の伝播速度が大地の比抵抗によって影響をうけるので これらの電波を用いて地球表面の比抵抗分布図の作成が行なわれている。このような手法に着目し 精度を向上させ



第8図 空中で測定された $\gamma$ 線エネルギー・スペクトラム  
1.46MeV:  $K^{40}$  1.76MeV:  $Bi^{214}$  2.615MeV:  $Tl^{208}$  の3チャンネルとトータル・カウントからなる4チャンネルが用いられる (R. S. FOOTE による)

ることによって地質調査に利用したものに E Phase と呼ばれる方法がある。この方法は 従来の電磁探査が地下の導体内に生ずる渦電流によって誘導される2次磁界の検出に力を入れているのに反して 電界の水平成分に着目し 比抵抗の水平的変化を観測し 比抵抗分布図の作成を試みている点でユニークである。

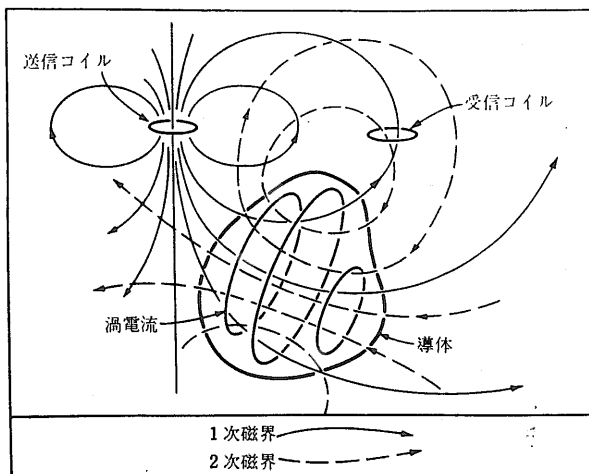
以上のように 今後とも新しい手法の開発が進められ 導電率の分布のみならず磁化率 誘電率および分極率(強制分極法による)の分布を求めるための研究が発展すると思われる。その際には従来進められてきたような ハード・ウェアに重点を置いた解決の進め方から ソフト・ウェアとの組み合わせによる方法へと移行すべきであろう。

走査型赤外線探査およびサイド・ルッキング・レーダーはマルチ・スペクトル映像法と同様な映像法であり 電子計算機による映像処理技術の発展とともに 各種の情報の抽出が可能となろう。

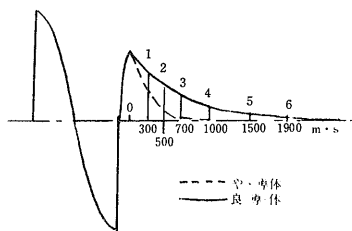
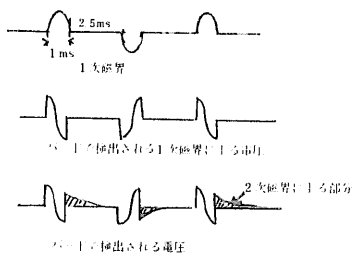
### 3-3 探査システムの各段階における物理探査の役割

今後 探査の各段階で実施される各種の探査法相互の間に技術的関連をもたせながら 各種の方法を巧妙に活用してゆくための探査システムの設計のための研究は著しく発展すると考えられるが このようなシステムの中での物理探査の役割もますます重要になるであろう。

第2表は 金属鉱床の探査の場合に 探査の各段階で利用される物理探査の種類と その役割を示したものである。



第9図 送受信コイルと地下の導体間の電磁誘導 (F. S. GRANT & G. F. WEST より)



第10図 INPUT法の一次磁界・検出信号

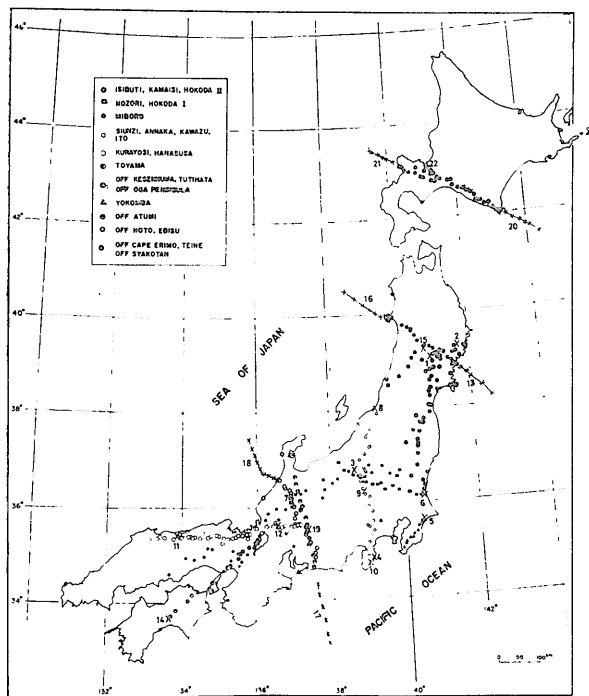
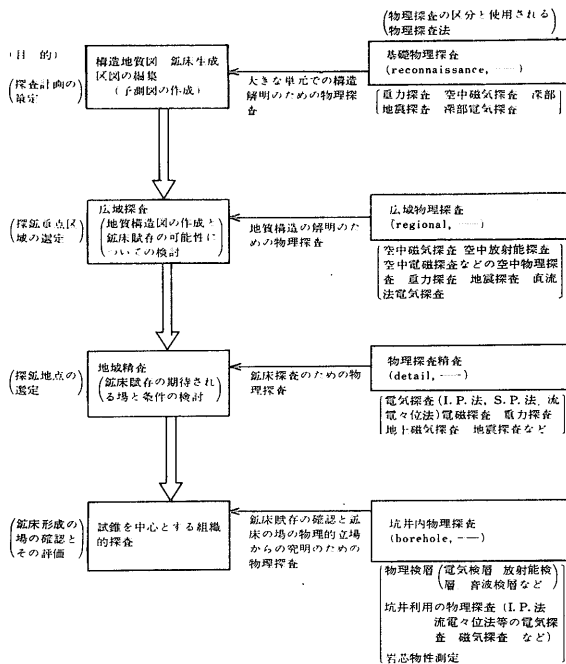
調査計画の策定の段階では 鉱床群の賦存の可能性についての予測がなされ 広域調査地域の選出が行なわれるが その際 空中磁気図 重力図 とともに深部地震探査 (Deep Seismic Sounding 大爆発・中爆発地震探査ともいわれる) および深部電気探査によってえられる大きな単元の物理探査の結果は 深部地殻構造と浅部構造との関係および岩石区的な考えでの地域の特徴について有益な情報を与え これらの結果を含めた構造地質学的・鉱床生成区的考察が必要である。

たとえば 重力異常および磁気異常の分布のパターンが異なる区域 (重力区 磁気区) の境界線および重力異常の勾配の急変する部分は深部断層を反映し これらは深部地震探査の結果と相まって 深部断層の存在を明らかにするとともに地殻浅部構造と深部構造との関係を与える。また 重力区・磁気区は岩石区のパターンを描出し 重力異常帯・磁気異常帯は塩基性岩帯 花崗岩帯の存在を反映する。

このような大きな単元での地質学的情報を与える物理探査は 本来 国家的見地にとって進められるべきもので 欧米では最近このような見地からする研究が進められている。

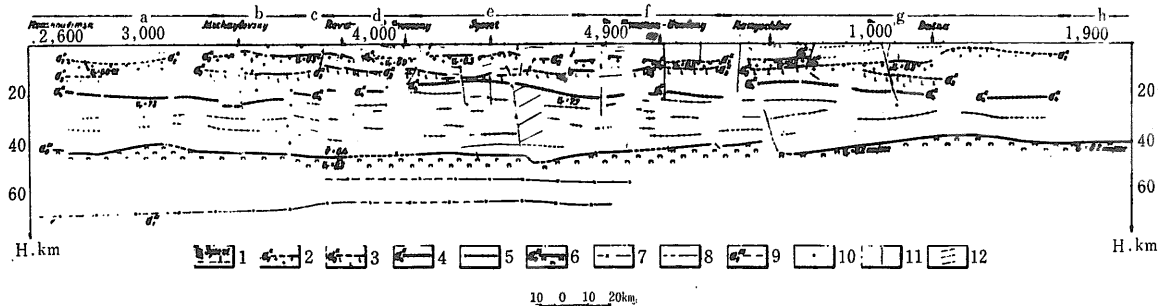
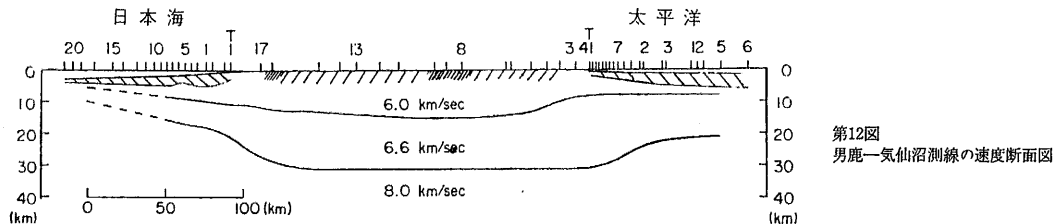
第11図はわが国で行なわれた深部地震探査のうちの 大爆発地震探査の測線配置を示したものであり 第12図はその結果えられた速度断面図の1例である。第13図はソ連で行なわれた深部地震探査の結果の1例で 大爆発地震探査とともに 中爆発地震探査のようなキメの細かさがみられる。わが国のように複雑な地質構造の地域では キメの細かい中爆発地震探査を

第2表 探 査 シ ス テ ム



第11図 日本列島の地殻構造の爆破地震学的研究





第13図 深部地震探査によってえられる構造断面 1. 観測点の投影点 2. 先カンブリアン基盤 3. 玄武岩層 4. 内部玄武岩層の境界面 5. 反射面 6. モホ面 7. 上部マントル内に震源をもつ地震波より求めた境界面 8. 地殻上部の地震波速度境界面 9. マントル内の反射面 10. 回折波の発生する点 11. 地震探査より求められた深部断面 12. 水平構造の発達のみられぬゾーン

取り入れた構造探査が望ましい。

重力図および磁気図についても  $\frac{1}{20万}$  分の1程度の縮尺の全国調査が必要である。

探鉱の重点地域の選出の段階では 地域の基本的地質構造を把握するとともに 鉱床賦存の可能条件を十分検討することがなされるが この段階では キメの細かい空中探査と重力探査 ( $\frac{1}{5万}$  分の1) を行ない 地質構造の概要を把握するとともに 地震探査・直流法電気探査によって 主要部分の構造断面を求める必要がある。

後者は構造試錐の先行調査としても重要な役割がある。

以上の段階の調査によって 探鉱の重点地域がしぼられると その地域に対しては 鉱床賦存の有望条件の検討と探鉱地点の選定のための地域精査が行なわれる。

この段階では 電気探査 (I. P法 S. P法および流電々位法など) 電磁探査および重力探査精査 地上磁気探査等の通常の鉱床探査のための物理探査が実施され 必要に応じて構造精査のための地震探査も行なわれる。

探鉱地点が選定されると そこに対しては試錐探鉱を中心とした組織的探査が実施され 鉱床形成の場の確認と探鉱価値の評価が行なわれるが 物理検層のほか坑井内物理探査と岩芯物性試験が実施される。坑井内物理探査は坑井周辺および坑井相互間の地質構造および鉱床賦存状態を調べるために行なわれるものである。この種の物理探査の結果の解析には電子計算機による精密な解析が必要である。

坑井内物理探査は 電子工業の発展に伴う機器の小型

化と電子計算機による結果の処理技術の発展とによって将来の期待される分野である。また 岩石・鉱石の物性研究の成果として生まれて来た地震電気効果による探査法 および電解法にもとづく鉱体の直接探査法等の 新しい原理にもとづく探査法の期待できる分野でもある。

岩芯の物性測定は 従来とかく軽視されがちであった 鉱床および母岩の物理的性質の解明と 鉱床の場の物理的な立場からの究明にとって欠くことのできない基礎的分野である。この種の研究は 探査の各段階での技術的ギャップを埋め 探査のシステム化を進めるために重要な分野をなしているばかりではなく ソフト・テクノロジーを生かした総合解析の入力データの収集・蓄積という観点からも欠くことはできない。また 先にも触れたように 新しい原理による探査法の研究の基礎でもある。この分野で特に注目すべきことは 中性子放射化法およびガンマ線照射 蛍光X線法などの放射性同位元素を用いた非破壊物理分析法の発達であり これらは室内における物性試験のみならず 野外における測定を可能とする将来の期待される領域である。

### 3-4 電子計算機の役割

これまでも述べたように 物理探査技術のなかで電子計算機の占める役割が急速に増大しつつある。それらは

- ① デジタル磁気記録でえられた大量データの迅速処理
- ② 物理探査の生のデータのなかに隠されている有効な情報を取り出す処理
- ③ 直接測定することの出来ない量をいくつかの測定量から合成して求めることによって有効な情報を求めるような処理
- ④ いく種類かの異なる物理探査結果より地質構造を求める総合解析法

など多岐にたわっている。

①は磁気テープにとられたデータを編集し、簡単な補正を施して、次に行なわれるデータ処理の準備をすることにほかならず、電子計算機による処理の準備という点では省力化の役割が大きい。これらのデータのなかには、平面図として表示することが望ましいものもあるが、図化という点では、省力化とともに完成化された内挿法による図化は図面の個人差をなくす点で意義がある。図化の問題は結果の表現の問題でもあり、新しい表現法が電子計算機によって次々に開発されることによって、われわれの思考の方法の変革をもたらすとともに、われわれの判断に対し多角的な材料を提供するようになる。

②は通常データ処理といわれる分野であり、通信工学で発展した情報処理技術を用いて、妨害情報を取り除くことと、単元の大きさの異なる構造による情報を分離すること等を目的とする。いわゆる、フィルター操作と呼ばれているもので、最適フィルターの設計およびランダムでない地質的雑音の処理法の開発が当面の課題となろう。

③は、われわれが直接観測しようとする量は限られることは避けられないので、このような限界をハード・ウェアに頼らず、ソフト・ウェアによって克服し、有効な地質情報をえようとするものである。地震探査反射法における C. D. P. 法（共通反射点水平重合法）および空中電磁探査の DIGHEM 方式などのように、ソフトテクノロジーとの組み合わせによる物理探査技術の発展に欠かすことのできない分野である。C. D. P. 法は爆発点の異なるいくつかの記録から、反射点の共通な記録を選び出し、これを重合することによって、弱い深部よりの反射波の信号を強化し、深部構造を検出しようとする方法である。この際、受震点に対する反射時間の不規則性を補正（静補正）とともに、それぞれ受震点・爆発点の幾何学的配置に応じた経路補正（動補正）が必要であり、アナログまたはデジタル計算機を用いなければ不可能である。空中電磁探査の DIGHEM 法を磁

界の3成分を測定し、これをベクトル合成することによって、探査性能を向上させた方法であり、このような方法は電子計算機による処理によってはじめて可能となる。また、最近、人工衛星航法の場合、電子計算機との組み合わせによって、人工衛星の確実な追尾と、2つの人工衛星からの電波が同時に観測される場合の人工衛星の識別と、追尾が行なわれつつある。

以上の例で見られるように、電子計算機を含めた観測システムが使われるようになってきているが、物理探査に対するソフト・テクノロジーの比重が大きくなることはまちがいない。

④は、探査のシステム化が進むにつれて、当然の結果として必要となる。総合解析とは、各種の探査法によってえられた探査結果を合理的に説明する地下構造を求めることである。各種の物理探査結果の総合解析は地下構造の合理的なモデルの発見にあり、この場合のモデルは静的モデルとなるが、それらは地質学的現象の時間的変化の産物にほかならない。したがって、われわれが求めようとしているものは地質現象の解明と、それを支配する理論の追求でなければならず、真の総合解析はこのようなものでなければならぬ。電子計算技術は、このような要望を充たすために欠くことができないが、同時に、われわれは地表・坑井地質データをも含めた幅広い入力データを駆使した地学現象のシュミレーションに取りくむ準備が必要である。

一般に、地学現象のような複雑な現象のシュミレーションは、電子計算機を用いても、莫大な計算時間を必要とし、しかもなお、解の信頼性が問題となる。このような難点は、最近注目を浴びつつある電子計算機利用技術の1つであるが、グラフィック・ディスプレイを利用したマン・マシン会話を利用することによって解決される。

グラフィック・ディスプレイを用いたマン・マシン会話を利用することによって、従来用いられてきた比較的単純なモデルから脱皮し、一段と複雑な構造モデルの取扱いが可能となり、解析精度の向上に貢献するところ大である。なお、このようなマン・マシン会話はシュミレーション以外の物理探査の分野でも広く使われるようになる（地質ニュース No.217; 1972）。