

物理探査技術の発展と将来への展望

小野 吉彦 (物理探査部)
Yoshihiko ONO

1. 物理探査技術の夜明け

地質調査所が設立された時代には まだ物理探査は誕生していなかった。少くとも現在の物理探査に連なるような技術はこの世に存在しなかったという方が正しいかもしれない。我が国では地質学と並んで地球物理学の歴史が始まったばかりである。物理探査技術が地球物理学の応用であるとするならば まだ存在しないのも当然であろう。当時の政府が招へいしたお傭い教師の中に ユーイング ミルン グレーといった人達がいる。彼等は日本で地震を経験して この自然現象に大変な興味をもった。そこで地震計の製作に当り 彼等の作った地震計を用いて地震の観測を開始した。又ユーイングの弟子の一人である 田中館愛橘は英国留学中に考案した地磁気測定方法について論文を発表した。その頃 地質調査所が誕生した。

世界の物理探査の歴史をひもとくと そのルーツは今から340年程前にさかのぼることができる。1640年頃、スウェーデン人は磁気コンパスを用いて 鉄鉱床の探査を行ったといわれている。資源の探査に物理的器具が使用されたのはこれが最初である。磁石の存在は紀元前にすでに 東洋でも西洋でも知られていた。磁気コンパスが古い時代から航海に利用されていたことは周知のことである。前述の“磁気探査”に使用された磁気コンパスは その当時最も普通に使用されていた航海用偏角コンパスである。日本でも17世紀初頭 伊達政宗が方位測定に利用したと考えられる磁気コンパスが最近彼の墓から発見され話題になったが 磁石の利用方法は意外に早くから知られていたに違いない。

19世紀の前半になって 鉱山コンパスが開発され 後半になって 磁気探査用の磁針が作られた。これらが物理探査専用機器のはじまりであろう。磁気探査はスウェーデンが発祥の地といわれるゆえんである。

電気探査の始祖は英人フォックスである。彼は1830年にコーンウォール鉱山において硫化鉄床付近で自然に電気が流れていることを発見した。彼はこの現象につ

いて原因までつきとめることはできなかつたけれども この現象を利用すればある種の鉄床の発見に役立つに相違ないと考えた。ここに彼の着眼のすばらしさがある。残念ながら彼の用いた電極は銅板であつたのでこの現象を正しく測定したことはならなかつた。米國地質調査所のバラスが非分極性化学電極を考案してこの現象の解明に一步前進した。彼はネバダ州のコムストック鉱山でフォックスの発見した現象の確認のためのテストに成功した。時は正に1882年 わが地質調査所設立の年であつた。上述の現象は後に自然電位と呼ばれたので フォックスは自然電位の発見者とされている。彼はこの他 地下増温率の測定も行っている。

1851年に マレットは火薬を用いて人工地震を起こし 極めて幼稚な地震計を使って観測を行った。1888年に シュミットは人工地震を利用すれば地震波速度と深度との関係が明らかにされるであろうと主張した。この考え方は後年の地震探査に結びつく。日本でも 前述のミルンやグレーが人工地震(主として重量落下法によつたもの)の観測のため 彼等の製作した機械的地震計を一列に並べて エネルギーの伝わり方を調べようとしたという。1880年頃である。勿論 当時の器械のことゆゑ 合理的な測定結果は得られなかつた。地震探査はまだ生れていなかつたけれども 一直線に地震計を配置させる思想は示唆的である。

ハンガリーのエトベスは 19世紀の後半に重力の研究を行つていたが 19世紀末になって重力偏差計を発明した。その後の研究で測地学的研究のために製作したこの装置が 地下の探査に貢献すると確信するに至つた(20世紀初頭)。事実 現在の バネ式重力計が出現するまで油田調査に重力偏差計が活躍した。

このように 19世紀末から20世紀初めにかけて 物理的手法が地下資源の探査に役立ちそうであると考えた学者が次第に多くなつた。彼等の後継者達は物理探査を実用化しようとして 本格的な研究を行い1910年から20年代にかけ 一気に開花させた。第一次大戦前後である。

3. 日本の先駆者達

さて 日本における物理探査の黎明期はどうであったか。 1918年(大正7年)に新潟県新津付近で重力偏差計による試験調査が実施された。 1919年(大正8年)には兵庫県高野鉱山でターレン・ティベルグ磁力計を用いた磁鉄鉱鉱床調査が行われた。これが日本の物理探査のはじまりである。

すでに1901年(明治34年)には的場中が磁鉄鉱の探鉱方法という論文を 日本鉱業会誌に発表している。これは文献にもとづいて書かれたものようである。以後実地に磁気探査を試みた人があってもよいように思うがとに角 記録上では 上記の高野鉱山での調査がはじめてである。この調査は京大工学部の山田賀一によってなされた試験的なものである。翌年 日本鉱業会大会で結果が発表された。大正15年に同じ京大の藤田義象は釜山鉱山で磁気探査により鉱床を発見した。

前述の重力偏差計はもともと京大の新城新蔵がドイツ留学中 測地委員会 の命により 購入したものである。この器械は1912年(明治45年)以降 測地学的研究に利用されていたが 長岡半太郎の石油や石炭の探査に役立つであろうという忠言で 松山基範と山本一清とが計画し実施したものである。松山は1918年 重力偏差計による観測結果とこれにもとづいて地下構造を議論した最初の論文を発表した。彼は以後 撫順炭田 刈羽・柏崎・高町をはじめ諸油田に適用し 高町油田では成功を収めた。

1919年(大正10年)には九大工学部の小田二三男が実用化されたばかりのシュランベルジャー式電気探査装置を輸入し 大正12年に久根 小坂 花岡鉱山で試用した。

地震探査装置の開発は昭和初期東大理学部今村明恒の指導の下に 那須信治 波江野清蔵が着手した。最初の試験調査は1929年(昭和4年) 那須による黒川油田における機械式地震計調査および 翌年 波江野による岡野町油田における電気式地震計調査である。

このように 我々の先人達は欧米諸国で開始された新分野の技術の導入と消化に熱意を燃やしてきた。当時の状況下では物理探査の調査研究の着手は他に比べてそれ程遅かったわけではない。しかし 大正末期に襲った鉱山界の不況はこの熱意に水をさし 1931年になるまで 低迷を続けた。

この間でも 土木への応用について検討がなされていた。鉄道省技師渡辺貫が世話役となって 1930年にはスウェーデンの技師を招き 橋梁工事現場で電気探査を実施した。2年後には 波江野に委嘱して多摩川河床で地震探査の実験を行った。

地質調査所が最初に物理探査を開始したのは1932年(昭和7年)である。植村葵巳男と紺野芳雄は電気探査(比抵抗法・自然電位法)の試験調査を実施した。奇しくもこの年は地質調査所創立50周年に当る。換言すれば 本年は地質調査所における物理探査の調査研究開始50周年に当るといふ 関係者にとっては二重の記念すべき年でもある。

4. 戦前における物理探査の活動

日本における物理探査の歴史は大学にはじまり 京大 東大 九大等で研究が継続し 後れて 商工省地質調査所 鉄道省大臣官房研究所が進められた。民間では 日本鉱業が大正末期に電気探鉱器を導入したが 中断状態で ようやく 1937年にシュランベルジャー検層機を輸入 更に 1939年にハイランドの反射式地震探鉱器(6チャンネル)を 又 1940~1941にかけて アスカニア X型重力偏差計 アスカニア磁力計 国産電気探鉱器を購入し 石油や鉱山の探査を活発に行った。その後 1942年には石油部門が分離し 帝国石油が設立されると共に吸収され 石油の物理探査は帝国石油と地質調査所とで実施されることになった。

地質調査所は 1936年に磁力計 1938年に重力偏差計 1941年にグラフ重力計を購入 波江野式地震探鉱器 ギッシュ・ルーニー式電気探鉱器等を製作し 活発な調査研究を行ってきた。この間 1940年10月官制改革により第四部を物理探査部門として拡大強化 多少の変遷を経て 現在の物理探査部に引きつがれている。

前述の記念すべき探鉱器は地質調査所に残骸さえも留めていないのはかえすがえすも残念である。重力偏差計は多分 秋田大学の鉱業博物館に保存されていると思う。戦前の活動で 特に眼をひくのは 1936年に関門海峡で鉄道省と地震研究所とが共同して地震探査を実施したこと 1939年に三池海底炭田の試験探査 1942年に崎戸海底炭田の本格的探査(地質調査所による)を実施したことである。

なお 1936年に学術振興会の中に 第5特別小委員会が設けられ 2年後には物理探鉱試験所に変身し 大学の物理探査活動の中核となった(約5年間継続)。

1942年には民間の実施機関として財団法人電気探鉱協会(電気試験所外郭団体)と我が国初の請負会社である日本物理探鉱 K.K.が発足した。

こうして少しづつ物理探査も一人前になりかけてきた。

5. 戦後の発展

戦後の混乱期の中で 物理探査の研究者 技術者が大同団結して1948年に物理探査に関する学会を設立した。当時は物理探査技術協会として発足し 1955年に物理探査学会と改称された。その設立に当って中心的役割りを演じたのは 飯田汲事・澁田隆門(何れも地質調査所元部長)等である。現在に至るまで地質調査所が物理探査活動に果たした役割りは大きい。

戦後経済復興の一翼を担って 地質調査所は各資源調査を活発に行ってきたが 特に 石油の物理探査技術が急速に発展しつつあった米国から 反射式地震探査器 重力計等を輸入し 日本の物理探査技術の近代化を促した。

石油の反射法地震探査及び重力探査 石炭の屈折法地震探査 鉱山の比抵抗及び自然電位法電気探査と磁気探査等 各分野で物理探査が活発に実施され 同時に解析技術に対する関心も高まっていった。

6. 物理探査技術の近代化

1950年代後半から 次々に新しい技術が登場し 外国から次々と新装置が導入された。それと共に技術の国産化をスローガンとして 導入技術が消化され発展していった。これらの中で特記すべき事項を列記すると

磁気録音方式地震探査装置の出現

海域物理探査技術及び空中物理探査技術の登場

深部物理探査技術の発展

鉱床探査技術の導入

非爆薬震源の開発

デジタル探査装置の出現

検層技術の多様化と進歩

等があげられる。

戦後の物理探査はビニール線の出現により野外調査を革命的に能率化した。続く時代は自動車・船舶・航空機による観測を可能にして探査面積を急速に拡大し 広域探査の概念を定着させた。

エレクトロニクスの進歩は物理探査に関しても測定技術の飛躍的な進歩をもたらした。

物理探査装置は野外使用に耐えるものでなければならない。したがって 物理探査における要請が逆にエレクトロニクスの発展にかなりの刺激を与えた面もある。

磁気録音方式はいちはやく反射式地震探査法にとり入れられ 更に デジタル探査装置へと進んだ。膨大

な野外データの処理が要求されるようになった。画像データ処理が現れるまではむしろ物理探査が他の分野よりはるかにデータ処理に関する要求が強く 電算機に対しても特殊なハードを要求するに至り コンポルバーやアレー・プロセッサのような特殊装置が開発された。

このような日進月歩の進歩は今日まで続き 物理探査技術は地球物理学の応用技術というよりは地下情報工学という性格を帯びるに至った。

一方 企業活動が活発になり 欧米では 機器の開発は勿論 データ処理 解析などの研究の中心はむしろ民間に移っているといつてよい。

7. 物理探査の組織化

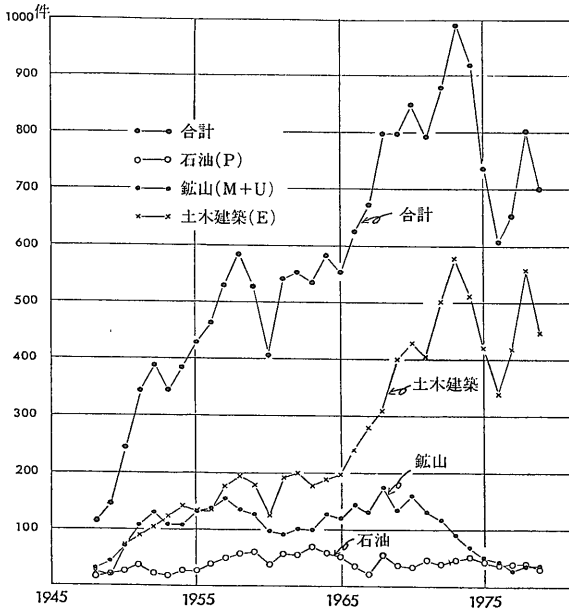
1960年代になると 例えば 金属鉱床探査にみられるように 錘先探査あるいは露頭探査の時代から 潜頭探査の時代に入った。石油探査についても 深部探査を余儀なくされ 反射法の探査深度を一そう増大せねばならなくなった。深部探査技術の開発や改良への期待が一そう寄せられた。又 広い地域から資源開発有望区域を迅速に抽出することも要請された。広域探査技術の出現に期待がかけられたのも当然であろう。

これらの探査技術個々について開発・改善の問題もさることながら 探査事業全体を合理的なものにしようとする兆しも次第に表面化した。特に 海外での探査については 期間的要素も極めて重要であるので 効率的探査が必要である。

すでに 国内において1950年代後半 新しいエネルギー資源である核燃料資源の探査のため ウラン鉱床の賦存の可能性の高いと考えられる花崗岩地域の中で 有望区域を迅速に抽出する広域探査が計画された。我が国としては はじめての広域的調査である。このためにはじめて 走行しながら測定を行う方法が採用された。航空機および自動車を用いて 空中放射能探査及び自動車放射能探査が全国的に実施された。これらの調査を契機として 人形峠や東濃等の鉱床が発見された。

こうした 広域調査と共に 有望地域の放射能探査のみならず 鉱床胎胚条件をしらべるための物理探査—地震探査(屈折法) 電気探査(直流法) 重力探査等が実施され 更に 試錐調査には 放射能検層を主体とする物理検層が実施された。

この当時はまだ探査システムの近代化について 明確な概念形成には至らなかったが 探査システムをより積極的に導入しようとする動きが 石油や金属鉱床探査について現れてきた。



第3図 我が国の物理探査活動 (年別件数) 1948~1979

8. 物理探査の活動状況

物理探査が資源開発の一翼を担っている以上 物理探査事業も一つの産業を形成するのは当然である。 産業活動の消長のバロメータになるのは 一つにはその産業に属する企業集団の売上げの推移を調べることである。 更に 物理探査の場合には測線延長 調査面積 あるいは調査班一月などがバロメータになる。 我が国ではこのような横断的産業界に関する統計はなく 僅かに 地質調査所で実施している「物理探査調査研究一覽」に示される件数にもとづいて 活動状況が把握されるのみである (第3図)。

米国の国際的物理探査学会である SEG は毎年 各国の物理探査請負会社 開発会社 政府機関や大学などよりのアンケート結果を集計し 自由世界の物理探査の活動状況を発表している。 SEGの統計はアンケート用紙の配布先 回収方法等なお問題はあり 正確な数字とは言い難いとしても 世界の物理探査の活動状況を議論するのに好都合である。

特に石油については大陸棚基礎調査 鉱山については三段階方式探査にこのような考え方を認めることができる。

原子燃料公社 石油開発公団 金属探鉱促進事業団等が設立され それぞれ 資源開発の一翼を担って今日に至っている (名称は全部変更された) が このような探査の体系化 組織化について 地質調査所の研究者・技術者達は大いに力説してきたところである。

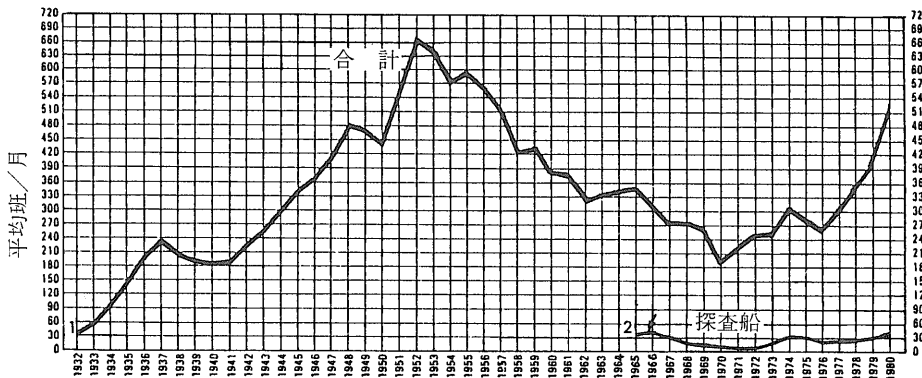
広域探査として空中磁気探査 重力探査 深部探査として反射法地震探査 直流法電気探査等が実施された。 重点区域の物理探査には重力精査 IP 法探査 電磁法探査も積極的に実施された。

ともあれ 探査の体系化という考え方は遂次行政面に浸透しつつあるように思われるが これについての研究はまだ不十分であると云わざるを得ない。

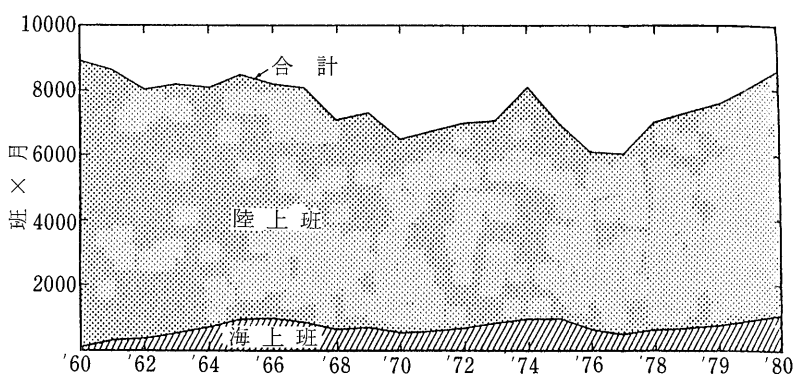
さて SEGの統計では1980年の物理探査経費の総計は前年比46%増で30億米ドルを超えた。 その中 石油の物理探査は29億米ドルである。

石油・天然ガスを対象とした米国内の地震探査班の月当りの稼働状況の推移を第4図に示す。 1952年をピークとして下降を示し 1970年から再び上昇に転じ1981年には1952年のピークを超える勢いである。 この統計は過去50年間 石油の物理探査の消長を示すものである。 中東など巨大油田が発見されるにつれ 米国内での稼働は低下した。 オイルショック以降 国内原油確保の努力の現れがうかがえる。

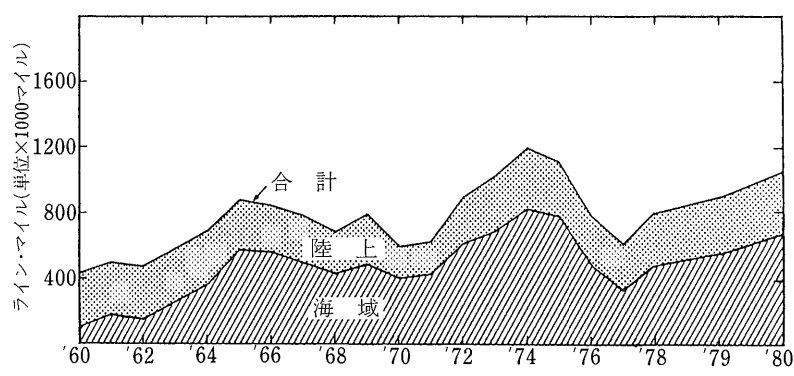
第5図は世界全体の地震探査の活動状況を 班・月で第6図は同じく 測線延長で示したものである。 石油をめぐる政治情勢や需給バランスなどと密接な関係をも



第4図 米国内の石油を対象とした地震探査の活動状況 (Geophysicsによる)



第5図 自由世界の地震探査の活動の変せん (Geophysics)



第6図 自由世界における地震探査測線長の変せん

つものとみられるが20年前と比較して2.5倍の生産性が上っている(1班月当り)。勿論 その質まで考えたらその比は更に拡大する。何れにせよ 毎年100万マイル以上の地震探査が石油を中心として実施されている。空中物理探査は磁気 電磁 放射能及び「R-S サイドスキャン レーダ」が殆んどであり 総延長は190万マイルをこえている。空中探査は石油および金属鉱山分野で用いられている。

再び 石油の物理探査は西半球で経費として10年間に6倍ののびを示し 東半球でも3倍に達する。したがって 物理探査産業は米国でも最も成長度の高い産業の一つであるといえる。こうした成長産業であるので競争もはげしく それだけに各企業とも研究開発投資も巨額であり 利潤比からみても高い。したがって次から次へと新しい技術が開発されてゆく。特に 地震探査技術の発展はすばらしい。

地熱は僅か0.2%の経費が投じられているにすぎないが MT 法が地震(反射法)と並んで稼ぎ頭である。眼につくのは MT 法他 EM 磁気複合法 IP 法なども石油の分野で用いられていることである。又 P

波反射法地震探査の他 S 波反射地震探査も実施され始めた。

9. 探査のシステム化の促進

物理探査技術は社会的・経済的ニーズの上に成立つ地下情報検出技術である。したがって 売り物は情報である。売り物であるからには情報に価格がある。その価格を左右するのは情報の質と量である。質とは得たい情報の信頼度 達成度 分解能等に関係する。量とは探査面積 測線長 深度などに関係する。一方 地下資源の開発事業は経済的観点から非常にリスクの高い産業とされている。それは他の産業に比べて 原料(資源)を発見し 獲得する段階 すなわち 探査と質・量を決定する段階に高いリスクが存在するからである。

高いリスクは ①資源が地下に埋没して 賦存が不均一かつ 位置・量・質の予測が不確実であり 採取に当って発生するかも知れない事故の予測が困難であること ②減耗枯渇し再生産ができない ③賦存分布が偏在している ④立地に選択性がない等による。

探査技術は主として①に関係する。単位面積当りコストの高い探査技術を広範囲にわたって適用するのでは採算性からみても不利であるので 探査の初期段階ではコストの安い方法が選ばれる。この方法を適用して放棄すべき地域を選び 次の段階へ入る。最後に 有望区域をしぼって コストは高いが質の高い手法を密に投入する。したがって 初期段階の探査は 放棄する区域の決定と 探査投資を継続すべきか否かの判断に役立つ。

こうして 探査の初期段階から最終段階までをより合理的に組立てることにより リスクを経験的に秤量し 探査投資をそれに応じて合理的にすることが可能である。こうして 探査システムの概念が 次第に現実的になる。

第7図に探査システムの経済的概念を示す。新しい技術は常に各段階のコストを下げようとするものでなければならない。最大の問題は 各段階における手法の選択と 各段階で得られたデータの有機的な検討 およびこれら選択方法や検討方法の決定等である。

すでに 60年代には 探査の体系化が叫ばれて 行政面に反映されてきた。しかしながら 我が国では 個々の探査技術について研究者も興味を抱き それ相應に進んでいるが 探査のシステムの観点になると研究は 殆んど進んでおらず 行政面でも観念的理解に留まっている感がある。

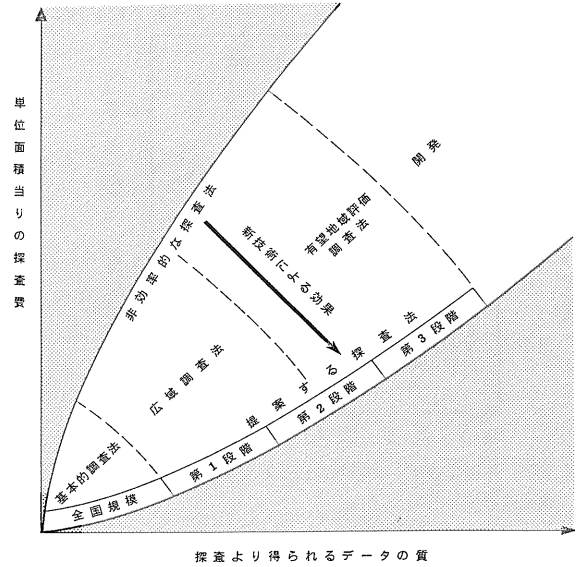
探査システムの設計に当っては資源の種類と量 探査・開発における制約条件(人為的 自然的)等を考慮しなければならない。

従来のハード重点主義は 野外作業が探査作業のすべてとみなされ勝ちで その後の作業は解析を含めて付帯工事にすぎないと見誤られ易かった。すでに 石油の分野では データ取得(現場調査)とデータ処理とははっきり分離認識されてきた。他の分野では発注者側にも請負者側も技術的認識に欠けている現状である。現場測定に品質管理の観念がゆきわたらなければならない。

探査の各段階における手法のシステム化を進めること 各手法相互の技術的関連を明らかにすると共に 各手法自体の役割り分担を明確にすることが必要である。又探査システムを弾力的なものとするために データ解析のフィード・バックがシステム中で可能でなければならない。

さて 探査のシステム化が進むにつれて データ取得の複合化が進む。いわゆるインテグレートド・システムがそれである。物理探鉱船にその例をみるが 地震 磁気 重力 位置等々のデータを同時に記録し これらのデータを有機的に結合処理することが可能となった。空中探査もその方向を辿っている。今後ますますマルチ・センサー システムは発展するであろう。そのために ユニットの小型化と マイコン制御が促進される。

マルチ・センサーと平行して マルチ・チャネル化の一そうの促進がはかられる。既に 反射法では1024チャンネル512重合が現れてきている。無線テレメトリ地震探鉱器を更に発展し 正に 3D地震探査時代に突入するであろう。他の物理探査についても三次元解析の時代に入りつつあるといつてよい。



第7図 探査システムの経済的概念を示す図

10. 総合解析の推進

測定のインテグレートド化と共に解析の総合化が促進される。地質調査所では地熱データ・ベース・システムの開発を進めている。これは地熱のみならず他の分野への活用も十分可能である。データの検索表示よりも 地下構造の総合解析を可能とする点に重要な意義がある。又 資源評価 有望地域の抽出 貯留層評価 合理的開発計画の設定等の可能性に導かれる。

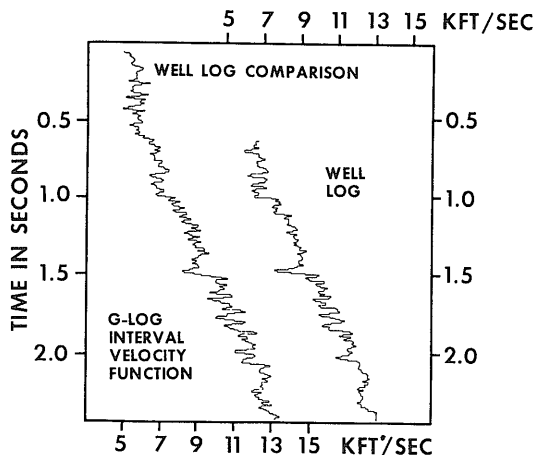
総合解析により地下構造の合理的モデルが求められるが 更に進んで 状態(物性)を加えたモデルが追求される。究局的には場の問題 すなわち 地質現象の時間的変化の問題までも取扱うことが可能となろう。

総合解析の成功例として 渤海湾の石油探査があげられる。これは日本でなされた総合解析の中では最も徹底したものであった。他の例はエジプトにおける石油探査である。重力データと地震データとの総合解析結果が成功のキッカケを作ったものである。

11. 物性物理探査への道

従来でも物理探査は物性値の差にもとづいて地下構造の幾何学的形状を求めるとか 地下の何らかの異常を抽出して探鉱の手がかりとしてきた。

しかし 反射法のブライト・スポット法に象徴されるように 最近の傾向としてもっと正確に地層の性質の議論に結びつかせる方向へ進んできている。反射法のデ

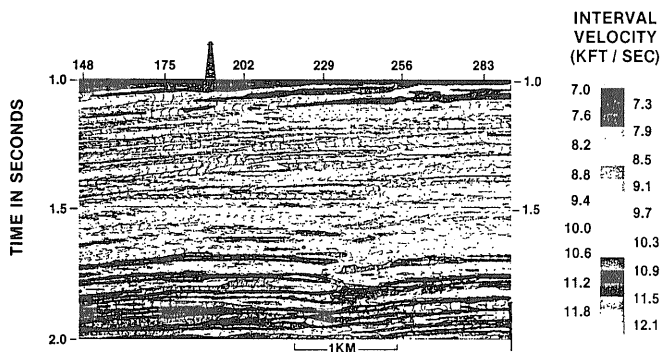


第8図 地震探査データから合成された速度検層図と坑井での速度検層図

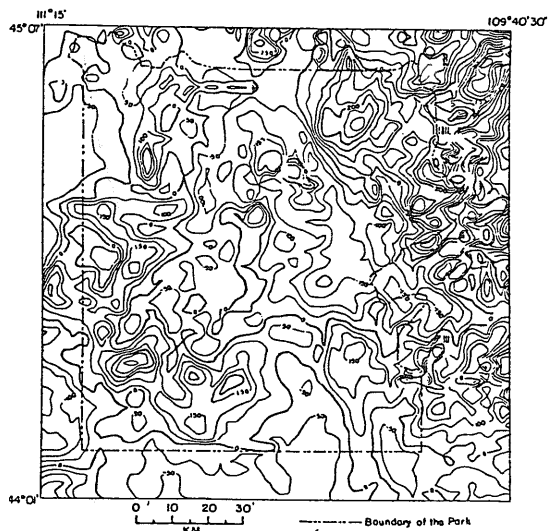
一タから 速度検層図を合成することも可能になり かなりよい結果も得られるようになった(第8図)。 地下の速度分布の様相も以前よりはるかに適確にとらえられるようになった。 P波と合せ S波反射法の研究も進んでいる。

磁気データからは磁性情報のみならず 温度情報の獲得の可能性も増大した。 キュリー一点等温面解析がそれである。 第10図に通常の磁気図を 第11図はそれから求めたキュリー一点等温面分布図である。 1981年より NEDO によりキュリー一点法調査が全国規模で実施されているが このような大規模調査は世界的にみても特筆される。

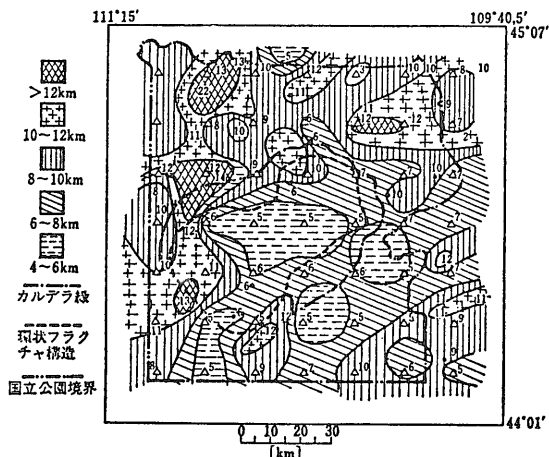
IP法から発展したスペクトルIP法は IP異常の弁



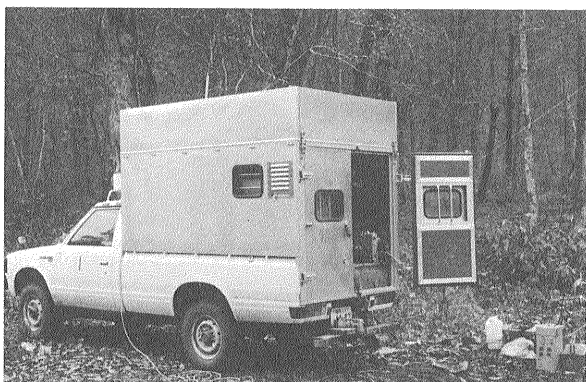
第9図 合成速度検層図(原図カラー)



第10図 IGRF 残差磁気図



第11図 解析により求められたキュリー等温面分布図



第12図 MT法観測車

別を容易にただけでなく 鉱種の区別の可能性をもたらした。

既に実施された北薩における金属鉱業事業団の空中電磁法試験調査は最近話題となった菱刈金鉱床の発見の端緒となったが 特徴的な導電性異常を示している。

MT法が実用化され(第12 13図) 比抵抗法の他に深部比抵抗情報をもたらす手法が増したが 周波数範囲の拡大により 電磁法による深部探査能力は拡大し 今やCSAMT法にみられるように比抵抗法にとって代る勢いである。こうした手法の増大は更に物性情報の精確化に貢献する。

P波及びS波反射法の発展により地盤特性の議論は更に進む。

一方 坑井内測定技術の発展により 坑井内物性測定技術のメニューは逐次増加しつつある。

無論このような進歩は データのとり方 エレクトロニクスの進歩 とくに電算機の進歩に負うところが大きい。

なお 最近米国で 火山岩質含油層や複雑構造地域に

対して電気探査法の適用が試みられているが これらは新しい物性探査法と考えてよい。

12. 地下情報工学化へ

他の特徴はデータの高密度化による疑似画像化を進めることである。すでに 反射法の記録断面は濃淡表示からカラー表示へと進んでいる。空中磁気データは等磁力線の密度を利用してパターンとして抽出することができる。空中重力測定も多分慣性航法が進歩すれば探査目的に使用しうるのであろう。陸上の高密度の重力図には重力リニアメントを抽出することができる。

こうした疑似画像化された物理探査図は LANDSAT映像やSIR映像と共に地質の研究の重要な手段になるであろう。検層図の活用は地下地質の研究の重要な手法となり 又 反射記録断面はサイスミック層位学なる名の下に層位学の研究に役立つ。

断層の検出・把握は以前から資源や土木など重要な地質的問題であったが 最近 地震予知 地盤の安全性の問題から活断層問題は脚光を浴びている。断層は最も典型的な線状構造であり 他の手法とは別に これまでも写真地質学的手法が貢献してきたのであるが リニアメント抽出という観点から 物理的アプローチの許される分野であり既に浅層反射法をはじめとする各種の手法が開発されている。

以上眺めてきたように時代の進展に伴い物理探査に対する要求は 複雑且つ高度なものとなってきている。次の世紀には現在 想もできない発展を遂げることは間違いないところである。



第13図 MT法でも光ファイバーが従来の電線にかわって使用されている。