物理探査の最近の進歩

飯 田 汲 事*

Recent Developments in Geophysical Exploration

by

Kumizi IIDA

(Résumé)

The recent developments in geophysical exploration all through the world are shortly reviewed.

The subjects in this paper are the following: 1. Introduction. 2. Geophysical exploration in coal fields. 3. Geophysical exploration in oil and gas fields. 4. Geophysical exploration in mining. 5. Engineering geophysical exploration such as underground water, dam-sites, etc.

Petroleum exploration geophysics in the United States of America have been sweepingly developed, while coal exploration geophysics as well as mining and engineering geophysics in Japan have comparatively advanced.

1. 緒 言

物理探査は、欧米各国のみならずわが国においても、ここ数年間に目覚ましい進歩をとげたということができよう。物理探査の応用範囲が拡大されたことと、その分解能が著しく高められてきたこととによって、極めて利用性が増大した。応用の対象となっているものは金属・非金属・石炭・石油・天然ガス等の地下資源やダム・トンネル・橋梁等土木関係や建造物の基盤・地下水・温泉・地熱・地沁や地震等の災害対策上の地盤、埋没資材、貝塚や古墳等の各方面におよんでいる。また地質構造解明の点においては、調査目的により、また現場の条件によっていろいろ異なるが、大は主要構造より小は微細構造に至るまで求められており、幾多の資料が蓄積し、業績も挙げられた。わが国の物理探査のうち、特に炭田・油田・鉱山・地下水・基盤等におけるものは、近年著しく発展し多くの成果をおさめた。それがため最近、鉱業・土木事業等各種の業界においては物理探査の施設を新たに備えるものが増加¹⁾し、自ら進んで調査研究を行うような傾向にある。

今回、物理探査の進歩に関して、集められた最近の若干の資料からわが国および諸外国についてその概要を述べてみたいと思う。

2. 炭田における物理探査

わが国においては、1933年頃から始められた炭田の物理探査は、最近にいたり探鉱器の進歩と相まって著しく発展した。探鉱法の主体は地震法であるが、電気探査も若干行われている。1949年以前は主として屈折法のみによって成果を挙げていたが、ここ2,3年来反射法をも併用し、従来困難視されていた地域の複雑な構造探査にも成功し、利用範囲が大いに拡大された。1950年に行われた筑豊炭田忠隈炭鉱における調査²⁾や1951年に行われた筑後川下流地域の調査³⁾は、その代表的なものであろう。前者は断層および基盤・炭層の深度等を推定して石炭の賦存状態を明らかにしたが、これをその後実施した試錐により確認して、多量におよぶ埋蔵炭量をつかみ得たし、後者は反射地震計の応用によって初動のほか、第2動、第3動等の波動の検出に成功して、微細な構造の解折を可能ならしめ、結果の精度の向上をはかり炭田構造を明らかにした。

わが国の炭田は海底に延びているものが多く、したがって、探査技術もまた海上の特種性に即している必要性から、その方面の研究が進められ、ここは浮遊移動法や海底曳航法等の探鉱法⁴⁾を新たに考察するに至った。こ

* 地質調査所物理探査部部長

地学雑誌 Vol.61, No. 4 (686) 1952

1) 飯田 汲事: 物理探鉱第4巻第3号 (1951)

2) 栗原重利技官等の1950年の調査による。

3) 栗原 重利・蟠川親治技官等の1952年の調査による。

4) 飯田 汲事・栗原 重利: 物理探鉱第4巻第1号 (1951)

これらの方法は極めて高能率で、従来の数倍(1日に数kmの調査可能)にも達するし、また精度も著しく向上されている。この方法による宇部海底炭田成果は特に注目している。

電気探査は既に亜炭田や無煙炭田の調査に応用されたが、最近海底の断層調査や陸上において地層の追跡に応用され、ある程度の好結果を得ているようであるが、今後の研究に期待がかけられている。なお炭田地域における坑井内の探査や一般的構造の探査に、磁気法や重力法が応用されて成果の挙る日も遠くはあるまい。

炭田における物理探査の成果を総括的に考察すれば、炭田構造の解明につきるが、第四系の厚さ、第四系と第三系との区別、基盤までの深度、基盤上面の形体、場合により第三系中の細分、地層の傾斜の緩急、背斜・向斜の構造、断層、その他の探査が可能となっている。

諸外国における最近の炭田の物理探査⁹⁾をみるに、まず印度においては電気比抵抗法により、断層や目的とする地層の深度を求めて、炭田構造を明らかにしている。中部のカンブチー炭田地帯やアーケエアン地域において成果があげられている。米国では、インディアナ州において、地震屈折法により地表堆積物の厚さを広範囲にわたって決定し、炭田の開発に寄与し、また無煙炭や亜炭の探査に比抵抗法や重力法を応用して成功している。ベルギーではベルギアン・カンビン地帯の炭田地域で地震探査の成果を報じている。これは白堊紀以前の垂直に近い断層によって囲まれている区域の水平的拡がりや決定するために行われたが、この地帯の上部には約600mにも及ぶ2次的な第三紀の厚い堆積物があるような構造のところである。スペインにおいても、地震探査屈折法により、重要な炭田地帯において探査が行われ、良好な成果が挙げられている。

3. 油田における物理探査

わが国においては、油田の探査に地震・重力・電気・磁気・放射能・地化学等の方法が用いられているが、特に、戦後において米国のすぐれた技術を導入し、最新の反射地震計および重力計を輸入して探査技術の進歩をはかった結果、わが国においても多分に困難視されていた反射法による油田構造の探査に劃期的な進歩が見られるにいった。最近行ったものに茨城県における反射法の研究⁷⁾があり、また北海道石狩平野⁸⁾・秋田県能代平野

における調査⁹⁾は、地下約2,000mないし4,000mの深所からの反射波をも明瞭に検出できて、油田構造を明らかにした。

重力計による調査は従来の重力偏差計による調査を一新し、調査能率を著しく向上した。また新しい結果解析法として2次微分法の応用により、地下浅所の局所的小構造を浮出させることに成功し、著しく進展をみせた。北海道石狩・関東・新潟・秋田等の平野において好結果を得ている。

放射能探査はラドン計による調査からガイガー計数装置によるγ線の測定調査へと発展し、断層の検査・地質の判定等に利用性を拡大している。地化学探査はガス田の調査に大いに成果を挙げた。これは地下水中に溶存しているガスの分析を考究する地下水法¹⁰⁾の確立により著しく発展し、水中メタン量を簡便に定量しうる携帯用小型の器械も考案されて、実用化されたためにもよるであろう。坑井内の探査¹¹⁾としては電気および磁気検層法が進歩した。マイクロロッキングの研究も大いに発展した。探査器としては、12成分反射用地震探査器が完成され、実用に供されるにいった。

諸外国における油田の物理探査をみるに、まず米国においてはその規模の点や進歩の点において他国の追従を許さないところであり、地震・重力・磁気・電気・放射能等の各種の方法がそれぞれ応用されて、すぐれた幾多の業績が挙げられている。1951年においては約600班の地震探査班と約80班の重力探査班が活動しているし、約2億ドルの経費が石油探査の物理探査に使用されている。そしてテキサス・オクラホマ・ルイジアナ・カリフォルニア・ワイオミング等の各州において新しい油田が続々と発見されており、新たに発見された石油の埋蔵量は約22億4千万バレルにも達しているとのことである¹²⁾。1947年～1951年の平均として各種探査の成功率¹³⁾が挙げられているが、それによると

乱掘探査 1/20 地質探査 1/10 物理探査 1/6 地質および物理探査の併用 1/5

となっている。米国の物理探査は成年の域に達し、もはや“game”ではなくて“business”であるといわれている。この蔭には間断なく続けられる研究とおしみなくつぎ込まれる研究費とがあるが、いまなお一層盛んで

8) 金子・村岡技官等の1952年の調査による。

9) 帝国石油会社の1952年の調査による。林課長談による。

10) 藤原健一・下河原達哉：石油技術協会誌第13巻第4号(1948)

11) 淵田隆門：石油技術協会誌第17巻第5号(1952)

12), 13) S. Hammer: Geophysics, Vol.17, No. 3, (1952)

5) 飯田 汲事：炭田探査審議会報告(1952)

6) L. Scharon: Mining Engineering, Feb. (1952)

7) 金子徹一・村岡秀記・南雲昭三郎技官等の1952年の調査による。

ある。民間石油会社や物理探査専門の会社の充実した研究所は実に驚くべきもので、1950年筆者がみて来た当時の事情¹⁴⁾から推察しても想像にあまりがある。その1, 2の例を挙げると、まずガルフ石油会社の研究所には物理探査関係では物理調査部と物理探査研究部の2部があり、研究所全体の約2分の1をしめ、人客約800人をよらして、近代的設備の研究室と工作工場の下で、研究と調査に専念している。水中用地震計・重力計・航空磁力計・ショールンの装置等優秀な計器の考察装束と波動に関する基礎的研究や、重力・磁気法に関する新解析法の発見などが特に注目されるものである。マグノリア石油会社の研究所には、探査用計器全般の研究・製作・試験および岩石の密度や帯磁率の測定などを行う人員約300人の物理探査研究所と、人員約230人を有し主として新技術の研究を担当する野外技術研究所がある。この野外技術研究所においては、地震・電気・坑井内物探・地化学・地質・掘さく泥水・油槽工学・熱力学・油井計測器・現場技術の11部があるが、このうち物理探査関係は約40パーセントをしめ、 M_2 波の発生伝播、電気衝激波の地下透過等に関する基礎的研究や波動生成装置・精密バロメーター・水中カメラ・精密坑井内検層器等の研究が行われていた。なお土壌の放射能に関する研究もかなり進んでいた。以上のほか極めて多くの研究所はあるが、いずれも優秀な技術者を多数かかえて理論ならびに実験的研究を行い、物理探査技術の進歩に貢献している。

最近の進歩になるものを挙げれば、航空機による磁気および放射能探査・地震波速度の新決定法・地下重力の測定法・磁気テープを用いる地震記録法・地震波速度検層法・空中爆発法・珊瑚礁構造および層位集積構造の探査法・航空磁気および重力探査の新解析法・地震探査反射法の解析器械等極めて多い。探査器の進歩には航空磁力計や磁力傾度計・水中用および陸上用重力計・各種の坑井内検層器・放射能および地震探査器など実におびただしい数に上っている。

カナダにおいては、米国と同様に活動班が多く、地震・重力班はもとより航空磁気および放射能班が大いに活動している。アルバータ地方の珊瑚礁鉱床に帰因する大油田の発見は、既によく知られているであろう。これには米国の技術が直接につながっているのが注目される。1951年において多くの電磁探査が行われているが¹⁵⁾これは僅少な経費で迅速に広大地域の踏査に用いられる新しい調査方法として注目された。

ドイツ¹⁵⁾においては20数班におよぶ地震反射探査班、数班の重力計班が活動しており、新油田が発見され

ている。オランダにおいても成果があげられている。フランスにおいても地震探査による成果が目玉されているし、イタリアでは多くの地域での地震反射法のほかに地電流法が研究されている。英国においても地震班の活動がある。アフリカにおいては数カ所に地震反射探査班の活動があり、地震屈折・重力・磁気の各探査班もそれぞれ活動している。なお地電流法と電気探査法とが用いられて、成果の挙げているのが注目される。

南アメリカにおいては航空磁気法が適用されているほか、携帯用の地震探査器による調査が英領西印度で実施され、立地条件の悪い油田地帯の探査を能率的にし、成功している。

印度においてはベンガルおよびアッサム地方の広大な沖積平野において、航空磁気法による調査が行われ、油田の開発に役立てられた。台湾その他東南アジア諸国においても重力および地震班の活動がみられたようである。

4. 鉱山における物理探査

わが国における鉱山調査の物理探査は、主として電気および磁気探査であるが、最近地震法も適用されて地質構造・変質体・鉱床等の探査が行われ、また放射能や地化学探査も実施されるにいたった。そして、いくつかの探査法が併用されて、地質鉱床の示す物理的現象の解明に精度がたかめられている。電気探査では自然電位法(S. P.)・比抵抗法が主体であるが、最近流電電磁探査法¹⁶⁾が研究されて、実用へと発展しつつある。電気探査の理論的研究¹⁷⁾は著しい発展をみて、困難な問題解決に1歩前進したので、その研究の実際面への応用が期待されている。実際的な研究方面もいろいろ進み、実際の現象解明に役立てられた。また方法として2極法や平均3極法が研究され発展した。

各種鉱床の物理探査資料の総括からその適応性が論じられるようになり、現場における調査技術や結果の解釈に適切な度を加え、鉱床発見の確率を増大しつつある。近年(1948年~1951年)、成果の挙げられた各種鉱床と探査法を鉱山名とともに、主なるものについて示せば、次のようになる。

黒鉛	富山県千野谷鉱山(電気)・北海道音調津鉱山(電気・磁気)
銅・硫化鉄	北海道余市鉱山(電気)・青森県安部城鉱山(電気)・大揚鉱山(電気)・栃木県越路鉱山(電気)・愛媛県大久喜鉱山(電気)・

16) 牧野直文・神代健夫・能谷昭一：物理探査 第5巻第2号(1952)

17) 清野武教授・前田活郎技官等の研究参照、物理探査 第3巻(1950)、第4巻(1951)、第5巻(1952)等

14) 飯田汲事：物理探査 第3巻第3号(1951)

15) 香川貫一：石油技術協会誌 第16巻第6号(1951)

- 大分県玖珠鉱山(電気、地震)
 秋田県明又鉱山(電気)・同尾去沢鉱山
 (電気)・同相内鉱山(電気)
 和歌山県妙法鉱山(電気)・三重県紀州鉱
 山(電気)・岡山県棚原鉱山(電気)・山口
 県福重鉱山(電気・磁気)
 銅 ・ 鉄 福島県高倉鉱山(電気、磁気)
 福島県八総鉱山(電気)・秋田県花岡鉱山
 (電気、地震)・山形県福舟鉱山(電気)
 鉄 岩手県釜石鉱山(磁気)・岩手県和賀仙人
 鉱山(電気)
 硫 黄 山形県蔵王鉱山(電気)・北海道精進川鉱
 山(電気)・岩手県松尾鉱山(電気)・群馬
 県吾妻鉱山(電気)・同小串鉱山(電気)
 マンガン 岩手県立川鉱山(電気)

以上は新たに鉱床が発見されたものであるが、これら
 のほか多くの示徴が得られ鉱山の開発に寄与されつつあ
 る鉱種としては、金鉱・鉛亜鉛鉱・褐鉄鉱・石膏・石灰
 岩・クローム鉄鉱・沼鉄鉱・水鉛鉱・キースラガー・金
 銀石英脈・重晶石・粘土等の各種があり、その適用範囲
 が拡大されてきている。

探鉱器の進歩もまた著しく、高性能で小型化し、改良
 型が実用に供されている。

米国においては、航空機による磁気探鉱の発達によ
 り、広範囲の調査が迅速に行われるようになった。その
 結果 1951 年にはペンシルバニア州グレイス鉱山におけ
 る 1 億噸以上にもおよぶ大鉱床の発見⁶⁾ となり、それは約
 500m の三疊紀堆積物に覆われているが、既に開発され
 つつある。航空磁気探鉱には、ミネソタ州の北西および
 北東部・ニュージャージー州・カリフォルニア州・ワシ
 ントン州北西部等各地において行われたが、ミネソタ
 州の北東部のは、班岩帯の分布状態よりその中に存する
 ニッケル、銅の鉱化地帯の発見に役立てるためのもので
 あり、ワシントン州におけるものは高磁性の始新統礫岩
 上にある中新統堆積物の構造探査に成功をおさめている。
 なお航空放射能探鉱特にシンチレーション・カウン
 ターによる調査も行われ、成果が挙っている。S. P 法に
 よるアパラチア山脈附近の硫化鉄床の発見、ミズリー州
 南東部の鉛鉄山地帯での磁気・電気比抵抗・電磁気等の
 探鉱法による鉛鉄床の発見、同州ワシントン郡の重力探
 鉱による重晶石の鉱量探査、比抵抗法によるケンタッキ
 ー州の脈状螢石鉱の探鉱などがあり、カンサス州では蛇
 紋岩の追跡が電気比抵抗法によって行われているし、コ
 ロラド州では同様な方法によって凹地堆積物の輪廓の決
 定や破碎帯の追跡が行われている。またアラスカで磁気
 探鉱により、タングステン鉄鉱床の追跡が行われ好結果

が得られている。

以上のほか新しい坑井内電気探鉱技術の進歩や、裂縫
 充填の岩脈または鉄脈の附近における母岩の残留歪みの
 測定技術、電気探鉱装置の改良、特に大地抵抗測定器の
 ギツシュルニー式整流子の代りに同調振動子を使用す
 る装置の考案など、種々の改良が行われている。

カナダにおいては、1951年における鉄山調査の物理探
 鉱は22班に達し、そのうち主な発見はモガドル鉄山会社
 の亜鉛・鉛銀・鉄床である。また航空機によるシンチレ
 ション放射能探鉱により、チャルボア湖附近の放射能鉄
 物を発見し、S. P 法によりブリチッシュコロンビア州バ
 ルトン地方の鉛・亜鉛・銀の鉄床や、ケベック州の西部
 およびオンタリオ州の東部における硫化鉄床の調査が行
 われている。生物地化学探査がブリチッシュコロンビア州
 の鉄山会社で行われ、鉄床調査に利用面を開いている。

欧州⁶⁾では、まずスウェーデン北部において航空磁気探
 鉱により幾つかの磁鉄鉱床が探査され、西ドイツでは
 地震探鉱が鉄床発見に利用されている。フランスではブ
 ルターニュ半島の鉄鉄床に対する電気および磁気探鉱が
 あり、イタリアでは S. P 法により黄鉄鉱床の調査が
 バザノ附近で行われている。なお、ソ連においても航空
 磁気探鉱などが行われているようであるが、詳細は不明
 である。

アフリカにおいては、電気探鉱によりダイヤモンドの
 探査や S. P 法による銅鉄床の探査が有効となっている。

印度においては、磁気探鉱によりシャルボン附近の
 クロマイト鉄鉄の調査が行われ、その適用性が明らかに
 された。またバンテックス附近のマンガン鉄帯の沖積地
 にも行われ、パタグハット地方の磁気探鉱の結果により、
 浅所に極めて多くの小マンガン鉄体のあるのが発見され
 た。なお磁気・電気両探鉱にて銅鉄床の地帯の調査に成
 果が得られている。

5. 地下水・基盤その他に应用された物理探査

わが国においては、土木方面の物理探査は 1931 年頃
 から行われているが、主として地震と電気の方法が活用
 され、幾多の成果が発表されている。現在堰堤基盤・隧
 道地盤・橋梁地盤・地中地帯・破碎帯・空洞・断層等の
 各種の探査に応用されているが、地下の極めて浅い所の
 探査であるだけに試錐による確認が容易であり、その成
 果が直ちに判明する場合が多い関係上、その結果の精度
 の高いもの要求されており、必然的に、調査方法その他
 に関して、この分野独特の発展がある。天龍川・利根川
 等の水系における電源開発用ダムの基盤調査を初め、全

18) 佐藤光之助：物理探鉱第 2 巻第 2 号 (1949)

国各地において物理探査が活用されている。なお地盤の調査には、器械的に地面に振動を与える動力学的方法も発展している¹⁹⁾。

地下水関係の物理探査は 1934 年頃から行われているが、最近特に農業用開拓用水や工業用水方面の調査が多く行われるようになり、著しく利用範囲が拡大された。電気探査が主体であるが、地震探査もまた行われている。全国各地において著しい成果が挙げられており、伏流水の位置・帯水層の深度や範囲などが明らかにされている。なお坑井内探査も行われている。

温泉の探査には電気探査のほか、放射能・地温・地化学等の探査法も用いられ、四国の道後温泉・九州の別府温泉付近等の調査をはじめ、幾多の好結果が報告されていて、この方面への発展がみられた。最近地熱発電の対象として地熱の調査が浮び上がってきたが、電気・重力・放射能・地温・地化学等の探査法によって解明されつつある。九州九重山周辺²⁰⁾ その他温泉地帯においては地熱による変質帯の探査は有効であったから、今後この方面の研究も期待されるであろう。

地盤の良否に関連して天然地震による災害の問題が論じられているが、この目的のために都会地を中心として地盤の探査²¹⁾ が行われ、その効果が明らかにされている。なお古墳の探査に電気や磁気の方法が応用されて、神奈川県・東京都等において多数の古代住居が発見され、その探査の有効性が明らかにされている²²⁾。

欧米諸国の近況²³⁾ をみるに、まず米国においては、地下水や基盤の調査に物理探査主として地震および電気探査法が用いられ、多くの成果が発表されている。ニューヨーク州のダム建設予定地の基盤の電気探査、セントルイスにおける基盤の電気および地震法による探査等は試錐により確認されてその成果が判明し、オハイオ・カリフォルニア・ニューヨークおよびアイダホ等の州では地下水の調査に地震および比抵抗法の探査が行われて成功しているほか、メノミニエ地方の主要地下構造の探査には重力法が用いられている。各地において主要土木事業を行う地帯には物理探査が行われて、基盤までの断面が決定されているので、この方面における発展の程度もうかがえるであろう。

カナダにおいては、オンタリオ附近における幾多のダムの基盤調査に比抵抗法の成果が報告されている。

欧州においては、まずフランスでは東部の沖積平原地帯における地下水の調査に電気探査を活用しており、イ

タリアでは、地下水の電気探査のほか、カンピ・フレグリの火山地方において比抵抗法が地熱エネルギーとして利用される高温蒸気の探査に用いられている。ラルデレロでは自然の蒸気に対する電気探査が高度の成功をおさめ、地下数 100m に対しても有効とのことである。またスペインでは電気および重力探査により、伏流水の径路が発見されている。

アイスランドでは温泉源選定に物理探査を適用して成功している。

アフリカでは、仏領モロッコ・西部アフリカ・南ローデシアその他において地下水の探査が比抵抗法によって行われており、ニュージーランドでは、水力発電の可能性が制限を受けているので、地熱蒸気からの発電の問題を物理探査を利用して解決しようとしており、地化学探査をも用いている。なお多くの火山地方においては航空機による磁気探査や重力・地震・電気・放射能等の探査資料が得られていると報告されている。

印度では、ビハール州での基盤の探査が地震屈折法・電気比抵抗法で成功をおさめている。

6. 結 語

物理探査は各種の方法と各種の応用対象があり、各分野においてそれぞれ未解決の問題が山積しているが、最近漸く学問としての体系ができつつあり、Coal and Petroleum Exploration Geophysics, Mining Exploration Geophysics, Engineering Exploration Geophysics として発展の途上にある。他の学問技術の進歩と相まって、以上述べたように進展してきたが、今後の発展がさらに一段と期待されるわけである。本文は主として 1951 年を中心として論じたものであり、その進歩が日進月歩である今日多少の脱落はあろうかと思われるが、紙面の許す限り大体それを書きしめた積りである。

何はともあれ、米国における物理探査は、ハンマー博士の言を借りるまでもなく、成年の域に達して基礎が確立した今日、その上での今後の発展がさらに目覚ましいものがあるであろう。米国の物理探査学会は 1930 年の設立になり、既に 20 余年を経過し現在 3,000 人以上の会員を有して活動しているが、わが国においては約 5 年前の 1948 年に至って漸く学会の創設をみ、現在の 600 名の会員を有して活動しているにすぎない。しかしながら、このような学会の設立以来、各方面の人たちの意志の交換や研究の発表が行われるようになり、物理探査の発展向上にその足跡がみられるようになったことは喜ばしい次第である。このような情勢下において、各方面各位の御援助御協力をえて、ますますわが国の物理探査を発展せしめたいと念願してやまない次第である。

19) 鈴木武夫技師等の調査による。

20) 下河原達哉・陶山淳治等の 1951 年の調査による

21) 表 俊一郎・神田祐太郎：物理探査 第 2 巻第 2 号 (1938)

22) 藤井鹿三郎教授等の 1951 年の調査による。