

本邦物理探査：調査研究活動の動向

武居由之¹⁾

1. はじめに

地質調査所地殻物理部では、昭和23年以来、継続して、日本の物理探査活動状況を調査して、毎年編集・出版している。

日本国土の地質調査成果は、地質図については「日本地質図索引図、第1集～第5集」に、地質調査研究については「地質文献目録～1987」で、すべてを収録して刊行されており、物理探査調査研究活動については「物理探査・調査研究一覧 第1集～第32集」でもって収録している。地質調査所の刊行するこれら3部作により日本の地質・物探に関するデータの有無を検索することに役立っている。

物理探査の成果は、相当な公共性をもつものであり、他種類の物理探査法を併用するとき、あるいは地質調査・ボーリング調査を行なうときには大いに役立つものであるから、調査実績を公表して、物理探査の重複を避けることの利得は大きい。また適用した方法と成果が記されることにより、適応性がますます明らかになり、学理、技術の進歩を促す面も大いに期待できる。これらの便益が了解され、広く物理探査界からの協力によって、昭和23年(1948年)以来、収録・刊行するに至ったものである。

昭和23年以前の物理探査黎明期より大戦後までについては、物理探査技術協会(現物理探査学会)が、大正5年(1916年)「利根川流域における重力偏差測定」より昭和22年(1947年)までの調査資料を収録して「物理探査・別冊、第1号、第2号」を刊行している。この期間には朝鮮半島、大陸での調査・研究が多数みられる。戦災で成果が失われてしまったものも多かったようである。

当「一覧」第1集は「物理探査・別冊」を引き継いだ形式となっている。

昭和21年より昭和28年まで日本国内に調査地域が限定されていたが、昭和29年より外国、外海域へ再び拡って

いる。

2. 収録の方法

当「調査研究一覧」はアンケート方式によるものである。公的機関である当所よりアンケートを発送して、回答を得たものみに依っているため、すべての調査研究を網羅できたものではない。調査もれも存在するが、企業機密に属さない情報は大半を収録できたと考えている。

また、物理探査の範疇をかなり広汎なものとして収録している。地下鉱物資源、地下地質構造を物理探査装置を用いて調査したもの、物理探査技術者により調査・研究されたものを、すべて包括したので今日では土木技術、環境技術あるいは地球物理学的研究に区分されるべきものも含まれているが、物理探査技術発展の過程での出来事であったとらえている。

さらに、地球化学的方法の併用も盛んな時期があった。とくに金属鉱物探査を目的にした探査では化学的方法の利得が大きかった。現在も方法別分類に地化学法を設けている。

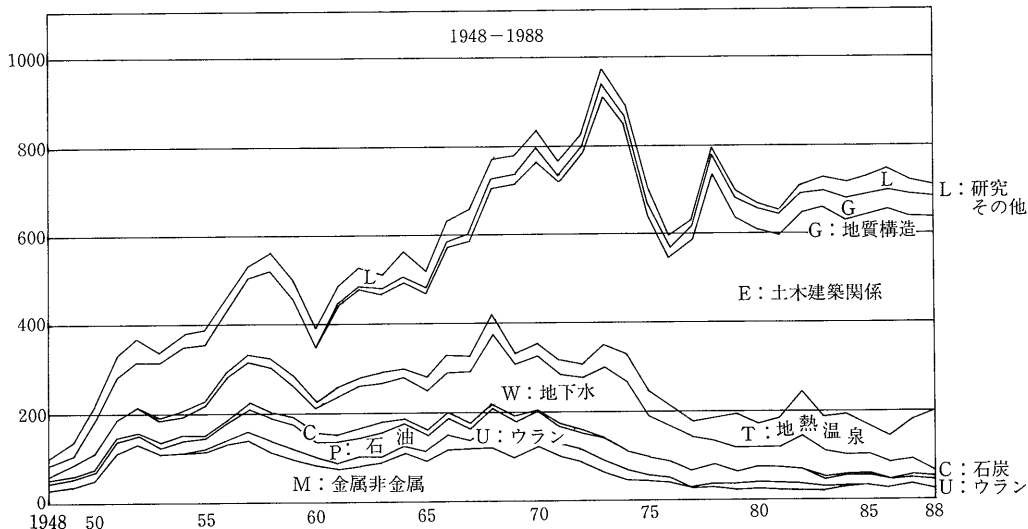
さて、この収録は一件毎の冊子体データベースとなっている。調査対象9分類、調査方法10分類、調査年、題目、調査地域名、調査地域地形図幅名、測点数、探査方法、期間・日数に加えて実施者名、依頼機関、関係機関、資料保有機関、成果概要を具えたものとなっている。研究題目については研究者名と所属機関が記載され、資料・文献の所在が示されている。

物理探査を企図される方々は当「一覧」により、文献資料を探索されるなり、保有機関に問い合わせることとなるであろう。

3. 昭和63年の活動状況

「一覧」は例年、暦年ごとに回答をえて、対象別、方法別に、実施時期順に整列して編集している。巻末には都道府県別に分類した索引をつけている。第32集は平成

1) 地質調査所 地殻物理部



第1図 対象別調査件数の推移

元年度に編集し、本年3月に出版された。

昭和63年には総計712件の物理探査活動が完了した。昭和62年に比較して4件の減少であった。昨年発行した第31集(昭和62年版)では703件と発表した。その後追録があり、昭和62年総件数は716件であった。昭和63年は前年に比して若干の減少であるが、後日の追加報告が果なれば同数あるいは微増となるであろう。第1図のように最近10年間700件台を安定して推移している傾向がうかがわれる。土木建築関係が総数の61.8%を占める状況は、ここ15年来動かない。日本の物理探査事業の最大手対象が土木建築であることは明らかである。

つづいて地熱・温泉130件、地質構造47件、地下水23件、金属・非金属21件、石油・天然ガス17件、石炭8件、ウラン1件である。研究・その他は25件ある(第1表)。

増加がみられたものは、地熱・温泉41件増、石油・天然ガス4件増、石炭1件。減少したものは土木建築17件

減、地下水15件減、金属・非金属10件減、地質構造4件減、ウラン、研究その他は各2件減である。石炭については過去に年間2件以下が10年続いたが近年復調している。一方ウランについては遂に1件となり、早晩国内でのウラン物探が終息するおそれがある。地熱・温泉対象調査が第2位にくらいするのは、昭和62年以来温泉調査の急増によるものである。130件のうち地熱対象は39件、温泉対象は91件である。考古学調査への応用が3件実施されており、これは研究・その他の項目に含まれている。

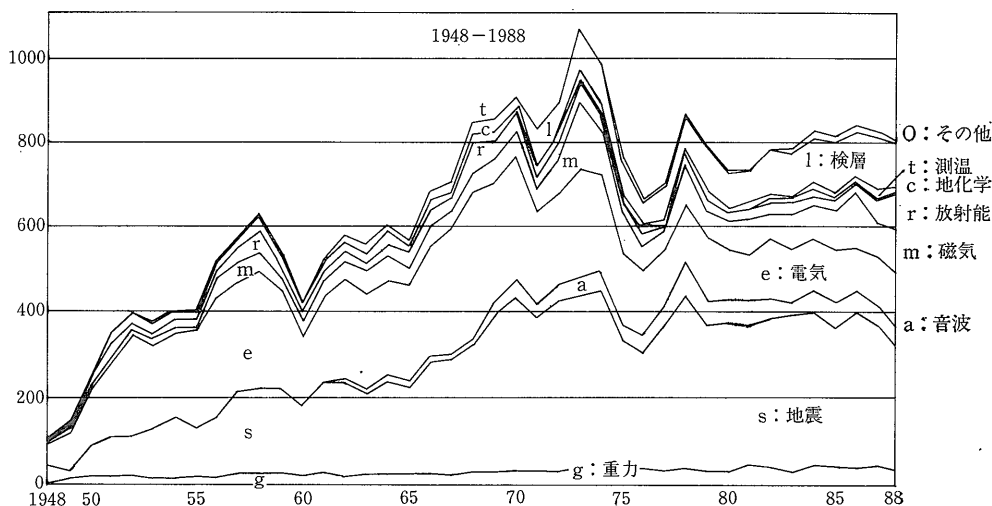
つぎに方法別分類をみると(第2表、第2図)、大きく分類して重力、地震、海上地震(音波)、電気、磁気、放射能、測温、検層、その他の9項目とすると、総件数712件中656件は単一の方法で実施されている。56件は2種から4種まで複合した方法で実施された。地化学的方法はいずれも複合して使用されている。物理探査法発展の歴史的な流れを顧みると、複数の方法、手段を併用

第1表 1988年(昭和63年)対象別件数

対 象	金 属・ 非 金 属	ウ ラ ン	石 油 天 然 ガ ス	石 炭	地 下 水	地 熱 温 泉	土 木 建 築 関 係	地 質 構 造	研 究 そ の 他	合 計
略 号	M	U	P	C	W	T	E	G	L	
件 数	21	1	17	8	23	130	440	47	25	712
前 年 比	△10	△2	+4	+1	△15	+41	△17	△4	△2	△4
%	2.9	0.1	2.4	1.1	3.2	18.3	61.8	6.6	3.5	

第2表 1988年（昭和63年）方法別件数

方法 略号 対象	重力 g	地震 s	音波 a	電気 e	磁気 m	放射能 r	地化学 c	温度 t	検層 l	その他 o	合計
M	3	1		14					16		34
U					1						1
P	2	14			1						17
C	1	6			1				2		10
W				17		4	1		2		22
T	7	7		35		83	3	6	6	2	149
E		239	17	48	90				74		468
G	12	8	30	3	14			4	1		72
L	1	10	1	8	2	1			2	3	28
合計	26	285	48	125	109	88	4	10	103	5	803
前年比	△13	△47	+3	+11	+30	+34	△3	△8	△22	△11	△26
%	3.2	35.5	6.0	15.6	13.6	11.0	0.5	1.2	12.8	0.6	



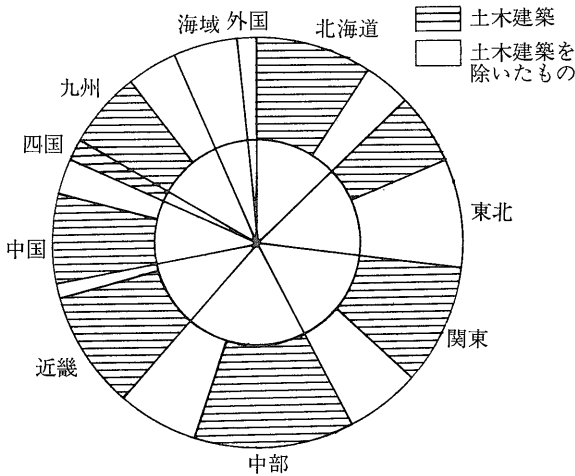
第2図 方法別調査件数の推移

して鉱床発見に効果をあげてきた経過があったことを等閑にはできない。

方法毎の総件数を数えると昭和63年中に803件にのぼった。第1位は地震探査、ついで電気探査、磁気探査、検層、放射能探査、海上地震探査、重力探査の順である。以下、測温調査、地化学探査、幅射スペクトル測定などのその他の方法が少数ながらある。

地震、重力、電気、磁気、放射能など物質の物理的性質の差異に着目して計測する方法に対して、検層は試錐

孔、坑井の内部で種々の物理量を計測するので、範疇の異なるものであるが、前者が地表、海上あるいは空中で活動するに引きかえ、後者は掘削が行われて、その際、坑井内へ装置を卸して、地中で直接的測定するという業務であることから敢えて一分類項目に移されたものである。検層は石油鉱業の分野においては既に確立した技術体系をなしているが、原理は物理探査と同じ根拠をもっている。当「一覧」では物理探査と同時に実施されたもの、物理探査者により実施されたものを収録している。



第3図 地方別調査件数円グラフ(1988年)

昭和63年は前年に比して、地震、検層、重力、測温、その他の方法で減少し、放射能、磁気、電気、海上地震で増加をみている。

方法別、対象別を総合して第2表に示した。土木建築に対する地震探査、土木建築に対する磁気探査、温泉に対する放射能探査、土木建築に対する検層、土木建築に対する電気探査、地熱に対する電気探査、地質構造に対する音波探査が物理探査の7大対象手法といえる。

このほかに地質構造に対する重力探査、石油・天然ガスに対する地震探査、金属・非金属・地下水に対する電気探査が伝統的に重要な方法である。

物理探査活動空間の分類も注目すべきことであるが、当「一覧」では各記事に記すにとどめている。昭和63年中に、放射能探査が70件、飛行機、ヘリコプタによる空中探査(エアボン)で実施された。空中磁気探査は2件である。海域での活動は48件あり、沿海、深海で行なわれた。土木建築に対する磁気探査の大半は港湾内外で船舶を駆っての水上磁気探査である。

湖沼での淡水面上物理探査は、琵琶湖・霞ヶ浦・野尻湖で1件ある。

4. 物理探査活動の地域分布

昭和63年、高知県を除く全都道府県で実施された。さらに海域47区域と外国6ヶ国で実施されている。昭和62年には全ての都道府県での実績があるから、物理探査対象地域は現今国土全域であるといっても過言ではない。とはいえ対象別にみると土木建築関係調査がほとんどの府県で行われた結果であって、資源対象をみれば偏在していることは明らかである。

金属・非金属では東北地方、南九州地方が、石炭では北海道、西九州地方が、石油・天然ガスでは羽越地方、北海道、地熱では東北地方、九州地方が大部分である。

土木建築関係は全国的、全県的ではあるが大都市部、海岸部に密である。(第3図)

5. 諸国の動向

話題を転じて、諸外国では物理探査の現況はどうだろうか。

世界の物理探査の活動について米国物理探査学会・SEG (Society of Exploration Geophysicists) は毎年の調査実績を Geophysics: Leading Edge 誌に公表している。

同誌によると1988年自由世界において、15億ドルが物理探査活動に投じられた。そのうち94%は石油探査へ、2.5%が鉱物資源探査へ、0.9%が土木・環境調査へ、0.21%が地下水探査へ、0.21%が地熱探査へ投じられた。

63%が陸域で、33%が海域で、1.9%が空中で実施された。

全世界的には物理探査活動は1981年を頂点にして年々低下している。欧州、アフリカ、中近東、アジアなど東半球側にくらべて、南北アメリカ大陸のある西半球側の低下が著しいことが報じられている。

物理探査が事業として勃興した1930年代より現今に至るまでの間、物理探査界には2回の隆盛があった。

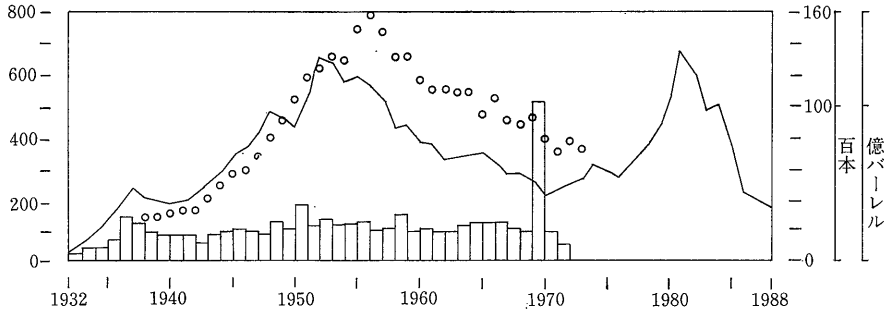
第1回は1954年に頂点を極め、1970年には衰退して底をついたが、1981年には再び栄えて第2回の頂点をするし、現在は下降期にあるという。

石油の試掘井数は物理探査活動数に2年～6年の時間差をもって盛衰している。さらに石油の発見埋蔵量がこれに追随しているというのであるから、物理探査活動の趨勢を知ることによって、石油需給の将来をある程度予見できるものである(第4図)。

一方、同誌において Palacky は各国の物理探査従事者数をも勘案して、アメリカ、カナダ、メキシコ、ベネズエラ、アルゼンチン、ブラジル、フランス、ノルウェー、インド、中国等では物探活動の過半が石油探査に向けられており、濠州、南ア、インドネシア、タイでは金属鉱業探査に主力が投じられているに比べ、日本は土木物探が主流を占める特殊な状態と分析している。

土木物探が比較的に大きな比重を占める国にはイタリア、スウェーデン、西独等の工業国がある。

日本の物理探査活動は諸外国の実情とは趣きを異にするといはざるをえないであろう。



第4図 米国地震探査月間班月数（折れ線）、試掘井数（○印）、発見埋蔵量（棒グラフ）

6. 物理探査活動の規模

前記のように当「一覧」では、各実施者からの回答によって調査規模を測点数および調査所要日数で示しているの、調査実費用、投資額については知りえないが、調査者の大部分を占める専門調査業界の加盟団体である全国地質調査業連合会の調べによると、昭和61年度に物理探査業務の工事高は96億円となっている。これに規模の大きな物探活動を行う石油対象物理探査、海外での物理探査、外洋での物理探査、地熱・温泉探査などを加味すれば、年間100億円台ないしは200億円台の物理探査活動が行われていると推算できる。

7. 班月数からみた活動数

当「一覧」では一つの調査研究事業を1件に数えて集計しているが、物理探査には対象・目的により数ヶ月にわたるものから、僅か1日で完了するものまで多種多様である。物理探査活動の動向を数量的にとらえるには、投じられた作業量で表現するほうがより妥当と考えられる。1件毎に調査所要日数、調査員数を乗じて計数する方法や、調査測点数あるいは調査延測線長を加味する方法もあるが、当「一覧」編集では、班・月数(Crew-Month)を野外作業についてのみ計数している。

これにより比較的短い測線長、短期間に行われている土木建築関係、地下水などの対象調査の割合は小さくなり、石油・天然ガス、地質構造対象調査の割合が大きくなっている(第5図)。

班・月数の総数は昭和53年510班・月から昭和62年の305班・月と漸次減少の傾向があらわれている。これには装置の更新、作業行程の改善による能率の向上、取得データの内業処理化が貢献しているが、受注事業が細小化および減少したことも影響しているとみられる(第3表)。

また方法別においても地震探査、磁気探査、放射能探査の割合は小さくなり、電気探査、重力探査の割合が大きくなる(第5図)。

物理探査活動量は調査件数の累積で示すよりも班・月数であらわすほうが、より実勢に近いと思われるのである。

8. さまざまな物理探査法の名称

当「一覧」編集の念願とするところは、種々の対象に適用された方法と、成果を利用に供したいことにあるが、適用された方法の名称が、あまりにも多様である。

たとえば地震探査と呼ばれる方法が土木建築方面では、弾性波探査と呼称されているが同義のものである。

電気探査には種々の方法があるが、比抵抗法を電気探査と慣習的に呼ぶところがある。

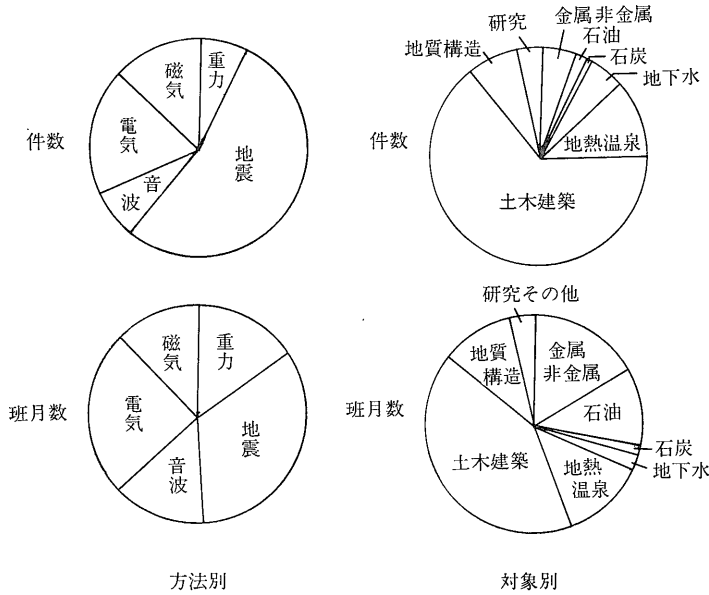
野外手法が同様でも解析手法が異なるとして解析法名でもって呼称するものもある。また独自で開発した手法をその名称で呼んだり、装置名を冠したもの、商標名として名付けているものもあり、混乱を惹き起こすおそれなきにしもあらずで、ここで現行使用されている方法、名称を列挙して若干の解説を付したい。

重力：重力探査、重力探鉱、重力観測、重力測量とよばれているが同義である。精密重力探査、広域重力探査と呼ぶものも測定法には変りなく、測点の疎密によるものである。

地震：地震探査、地震探鉱、弾性波探査、地表弾性波探査、爆破地震による地震探査等はいずれも同意である。

発震源の種類によりダイナマイト、火薬爆破、エアガン、パイプロサイス(商標名)、油圧インパクト、重錘落下、ハンマーなど種々あるが、発生したP波、S波を受けて観測することにちがいはない。

屈折波を求める屈折法と反射波を求める反射法に2大



第5図
円グラフ (1987年) (主要5方法)

第3表 班月数の推移

昭和年	班月数	1件あたり 班月数	同左日数
53	510	0.70	21
54	428	0.70	21
55	387	0.67	20
56	356	0.66	20
57	360	0.66	20
58	315	0.55	17
59	376	0.61	18
60	425	0.69	21
61	364	0.57	17
62	305	0.57	17

別されている。土木建築関係、地下水、広域地質構造には屈折法が主流である。石油・天然ガス、深部地質構造には反射法が主流である。浅層反射法は、原理は反射法と同一で、深さ百m程度までを対象としているため、1桁高い周波数帯で検出する。スタッキング法は通常地震探査(屈折法)をスタッキングという手法を加えたものである。

通常地震探査ではP波を検出するが、表面波・レイレイ波を検出する方法が試験的に実施されており、レイレイ法と称している。

VSP (Vertical Seismic Profiling) 法は受震側に試錐孔を使用して、検層法のように連続的に記録をとる最近著しく発展した方法である。

以上は人工の比較的強い振動源を使用する方法であるが、自然の振動を測定した特定振動測定、騒音測定、常時微動測定は多種類の方法があり、なかには JIS 仕様

に準拠して実施されているものもある。これらもまた地震探査に包括している。

海上地震：この分類は海上で行なわれる地震探査法・音波探査法のすべてを含んだものをいう。スーパーカー、サイドスキャンソナー、ソノプローブ、エアガンなどを用いたものと、ダイナマイト爆薬を用いたものである。測深儀もまた音波を用いた測量装置であるが、船舶航行に通常使用されているので特に記すことはない。

電気：電気探査法は実に変化に富んでおり、比抵抗法、自然電位法、電磁法、電波法、流電々位法、地磁気地電流法など無数にある。古くから呼び慣わされた電探法とは4極ウェンナー配置比抵抗垂直探査を指していることが屢々である。

地下を鉛直方向に調べる垂直探査と、同一探査深度で平面的に調べる水平探査が多く実施される。その際地表での電極配置には多種多様あり、2極法配置、3極法配置、平均3極法、ダイポール配置、エルトラン配置、ウェンナー氏配置、シュランベルジャ氏配置など枚挙にいとまがないほどである。曾ては重宝された自然電位法は今でも僅かながら試みられている。電磁探査法にも各種の方法が考察されている。近年空中電磁法が実施されて菱刈金鉱床発見の緒をつくったことが記憶に新しい。

IP法とは誘導分極法の意であって、これが進歩改良したスペクトルIP法、磁気IP法も登場している。

通信用電波を借りた VLF 法は簡便なため一部で使われている。

自然の地電流変化を用いる方法が、地磁気変化の測定を組合せて地磁気地電流法 (MT法) として近年多用途

れ、地下構造解析に役立っている。これを人工電源に替えて精度を高めた CSAMT 法は効果のよい探査法である(地質ニュース第 428 号, 内田・高倉参照)。

電波を利用する方法は、発想は古くからあったが、探査深度の小さいことが難点とされていた。近年この精度と迅速性に着目して、地下方向への専用放射アンテナが設計されて地下レーダーと称する装置が開発され、空洞調査、構造物調査、地盤調査、考古学調査に威力を発揮している。

磁気：磁気探査は殆どがプロトン磁力計による磁性物質の探査である。磁気傾度計による探査も一部にみられる。金属探知器を併用したものもある。

作業方式により鉛直探査、水平探査が行なわれる。航空機に搭載して行なう空中磁気探査は継続中である。

放射能：ヘリコプター搭載の空中選択ガンマ線法、AERMS ガンマ線システム(いずれも商標名)が多数実施されている。地表調査には、カーボン三核比法がある。

地温：1 m 深地温測定は早くから提唱されていた方法である。基本的な地温探査法として実施されている。

検層：石油鉱業では必須業務となっている坑井検層はどれも物理探査に応用できるものであるが、電気、速度、放射能(密度・水分)、温度、磁気が現在実施されている。P 波 S 波検層は有益な方法である。

その他：上記 8 法に入れなかったものを、その他の方法として一括した。ボアホールテレビュア、幅射赤外線計測、反射スペクトル計測などである。将来物理探査法

の一角に発展する可能性を秘めているものであろう。

9. ま と め

- ・「物理探査・調査研究一覧」は本邦の地質調査事業のうち、物理探査の年間実績を示す統計資料である。
- ・年間 700 件台の調査研究が行なわれている。
- ・土木建築関係が 62% を占め、地熱・温泉、地質構造、地下水がそれに続く。
- ・方法別では地震探査、電気、磁気、検層、放射能、重力の順である。
- ・土木建築関係は本邦全域で、地下資源関係は地域的に偏在して行なわれている。
- ・諸外国では石油・天然ガス探鉱が主要な対象である。
- ・土木建築、地下水対象は調査規模が小さいため、班・月数で示せば、地下資源探鉱での用途がなお相当な役割をもっている。
- ・方法の名称が多様多様に呼ばれている。

なお、「物理探査・調査研究一覧」は地質調査所刊行物販売目録には掲載していないが、関係官公庁、地学関係研究機関、学・協会、大学資源・地学教室、国会図書館、都中央図書館、調査実施企業、各地方地質調査業協会に配布されているから閲覧されたい。

TAKEI Yoshiyuki (1990): Current Geophysical Activity in Japan

<受付：1990年1月16日>