

ラジオ波を利用する地質図作成法*

A. D. Frolov

小西 善治 訳

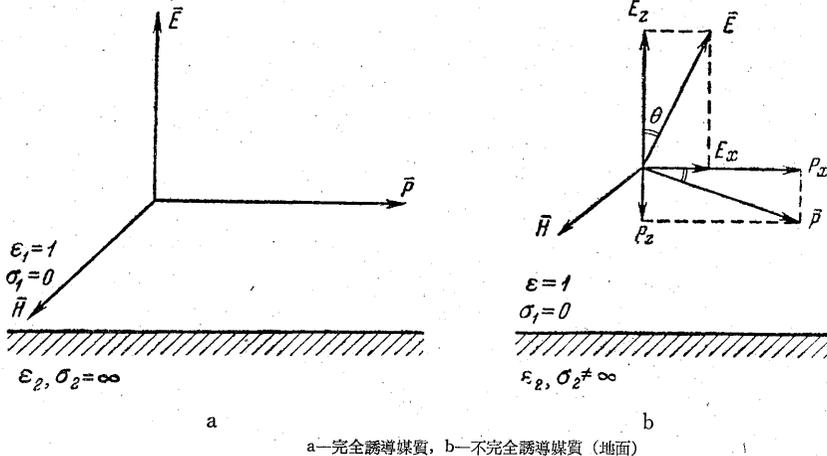
大ラジオ放送局から発するラジオ波は、地球表面の相当な距離を伝達することが知られている。地質調査にあたってラジオ波の場を利用する問題については、各国の地球物理学者の注目が以前から寄せられている。実際上においては、地球表面を伝わるラジオ波は、地殻上部の電気的性質によつて電圧および構造が変わつてくる。これは、地球に侵透する場のエネルギーが透導電流のエネルギーに転化し、その強さは、岩石の伝導率によつて異なるからである。

すでに 1934 年には Cloos は、地質学的不均一物体が放送局の (ラジオ波の) 場の重圧の大きさに影響を及ぼす可能性があることを指摘している^{註1)}。Cloos は、自動車に据付けられた受信器を利用し、放送局から発する電波の聴取度の強さの差によつて地殻の地質構造の不均一性を確認する最初の実験を報告している。Spiker は 1936 年に Nekhoroshev は 1937 年に、この法則により物理探査方法をつくり出す可能性に関する提案を述べた。地質構造がラジオ受信器に及ぼす影響を明らかにする広範な実験は、1942 年に Khouveel が 1942 年に行なわれた。Khouveel はさまざまな日の測定によつて求められた異常図の再現性がよいことを指摘するとともに、人工導体 (パイプ、導線) ならびに著しく開析された起伏は、地質学的物体で誘起される異常を解明する場合に障害となることを示した。Kervin は 1946 年に、地質学的構造で制約されるラジオ波の場の異常記録に関する実験を行なつた。Kervin は、自動車で曳れる特殊の木製貨車内に据付けられた無線方位測定器 (船舶用) を利用した。この実験では、ラジオ波場の水平組成のマグネット成分を堅型棒型回転アンテナによつて測定し、その値は特殊の日記録計によつてとられた。しかし Kervin が指摘しているように、電波の場の測定により地質図の作成を実際化するためには、さらに研究をおしすすめ、測定方法およびその器具を完成させることが必要である。

最近では電子工学および電磁場学説の急激な発達によつて、この方法は著しい発達をとげた。電波が地表面を伝播する理論によると、発信ラジオステーションから離れるとともに地球表面層の電気伝導が少なくなると、多量のラジオ波 (エネルギー) は、地球に深く侵透する。それ以外に、発信ラジオステーションから “遠隔帯” (放出波長の数倍大きい距離) では、電波の場は平面電磁波の形態で伝播する。地表一大気との界面に沿う垂直分極波の伝播は、相対的に単純な法則によつて特徴付けられる。この場合には、Ymov-pointing \bar{P} エネルギーのベクトルおよび \bar{E} 場の電気成分は、ある角度で傾き、最終電導率をもつ地上の電磁エネルギーが部分的に吸収されることを、実験的にもまた理論的にも確認されている (第 1 図 b)。このようにして、地表面に沿つて電波が伝播する場合には、空間的に変化する電場の垂直 (E_z) ならびに水平 (E_p) 成分が常に存在するであろう。磁気成分ベクトル (\bar{H}) は、水平を保つから、均質岩石上には、放送局一観測点とを結ぶ線に垂直方向の水平磁気成分 (H_p) のみがあるであろう。

* A. D. Фролов : Радиоволновый метод геологического картирования, Советская геология, No. 6, p. 78~92, Госгеолтехиздат, 1960

註1) Cloos, E. : Auto Radio-an aid in Geologic mapping, Amer. J. Sci., Vol. 28, No. 166, 1934

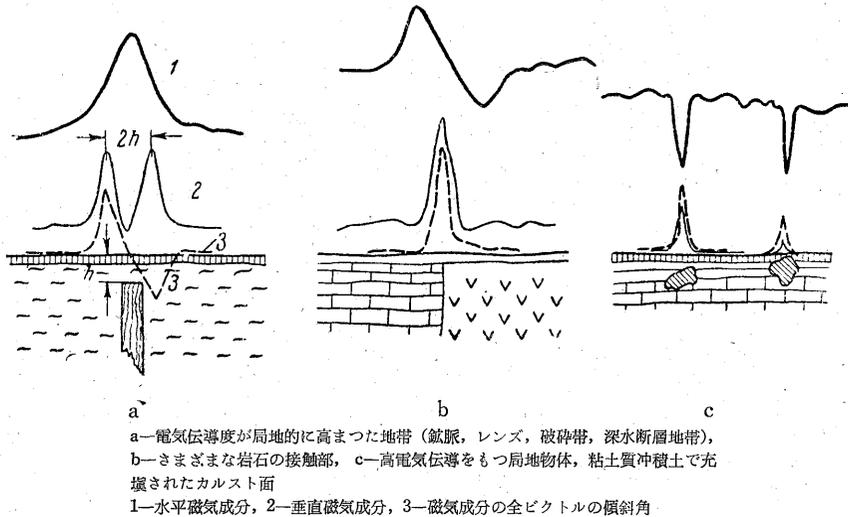


第1図 媒質—空気の界面の平面電流波のベクトル図

ベクトル磁場成分 (H_z) は欠くはずである。

Fok が行なつた研究によれば、地表上を電場が伝達する場合に生じる異常は、電波の “take off” (発信アンテナ付近) 地域と setting (受信アンテナ付近) 地域との電気的性質によつて決定される。本論文では、“take off” 面積 (発信放送局) は不変として、主として規準の場で決定されている。しかし “setting” 面積は、時間的に変わり、受信アンテナ付近の地質学的不均一体の存在によつて起こる異常の場を決定する。このことは、実際的にも裏付けられている。電磁場では、任意の形態の地質学的不均一体は、対応形態および分布のうず流れ (vortex flow) の型で表わすことが可能である。不均一体の規模が空間的にも、また深度についても大きなときには、大抵の場合、この種不均一体上部で流れる流線形態で表わすことができる。その精度は、(實際上使用できうる程度の精度である。) この流れの場は、最初の電場に累なるために、電場の電気的、磁氣的成分の圧ならびに分極化の異常が誘発され、地質調査目的の測定を行なう際に研究の対象となる。さらに明白な異常は、電場の磁気成分を測定する際に捕捉される。すなわちこの場合には、垂直の磁気成分 (H_z) が現われ、いわゆる “pure anomaly” 効果が与えられるが、水平成分は異常帯の限界内ではその大きさおよび方向が変わるからである。このような状態は、地質探査目的の電場測定のために磁気成分 (電気的成分でない) を選ぶ場合に1つの基礎となる。他の重要な要因としては、棒型または磁気アンテナに基づく (野外条件における) 場の要素の測定の便利な設備である。この場合には (ベクトル \vec{H} は棒面上にある)、極小受信状態下の水平状態からの棒面の傾きを利用して、全ベクトル \vec{H} (いわゆる α 角) の傾斜角も測定することが可能である。このような状態の受信には、普通誘導方法 (induction method) が利用される。上述の3つの値は、 $\text{tg} \alpha = \frac{H_z}{H_p}$ の相関関係に関連性をもっている。きわめて実質的な興味をそゝる研究は、電場測定の際に、相関関係を利用する研究 (誘導法による研究を含む) である。この方法によれば、感度および解析能を本質的に増大することが可能となる。しかしこの問題は、依然として充分研究されていない。

以上のことから次のことがいえるであろう。すなわち地質図を作成する目的で放送局を利用する場合には、測定目的に選ばれる発信局の作動条件をまず明らかにし、与えられた地域における作動様式の不変性および感度の安定性を期することが必要である。次いで地質構造を明らかにするために選ばれた地域の異常の場を測定する。第2図では、さまざまな地質学的不均一物体で誘発される異常の特性がかゝげられてある (第2図)。地質学的解釈にあつては、電場のこう乱で誘発されるこの種異常は、主要な調査基準となる。上述の方法は、本質的には、誘導法の特異な変種であるが、他の電気探査法と異なり、きわめて能率が高く、野外測定の解釈が簡単であるので勝れている。この場合には、場の特殊発生装置が不必要で、そのうえきわ



第2図 地質学的不均一体の主要型上の電場の特徴的異常

めて小型の高感度野外測定装置を製作して利用できる可能性がある。

Tarkhov の指導の下で 1946~48 年にソビエトで行なわれた実験的研究によつて野外測定法の基礎が明らかとなり, “pud” 型野外測定器が制作された。Tarkhov は, 鉱床探査用の “radiokip” 法を提唱した。

1954 年には, 著者は Khmelevskii とともに, 電波法を (他の物理探査法と組合わして), 鉱床探査でなく, さまざまな岩石類の接触部およびカルスト地帯を作図するために使用した。北部ウラルでの研究結果によると, さまざまな岩石類の接触面 (石灰岩・頁岩・砂岩・斑岩類等), 造構擾乱帯 (とくに含水帯), カルスト化石灰岩地帯の地質図作成に確かに適用できる広範なデータが求められた。さらに極東 (1957 年) およびその他の地域 (1959 年) で行なわれた実験は, この結論を完全に裏付けている。同一地域の繰り返し実験結果も, 異常図がほとんど変わらないことを明らかに示している。すなわち異なる日にまた異なる年に行なわれた測定値で求められた H_z および H_p 曲線の形態は, おどろくべきほど一致している。したがつて電波測定の再現性が悪いとか, 異なる日に行なわれた観測値は対比できないとかいう考え方はくつがえされた。異なる時間の測定で求められる電場の強さの差異は, その電場の測定値がさまざまな大気的气象条件下での電波の異なる伝達条件に左右されるので規則的に現われる。そのために測定器の調節装置 (増幅装置) の利用によつて起こる測定誤差を考慮に入れることが必要である (IP-12 M 型の調節誤差は $\pm 25\%$ である)。

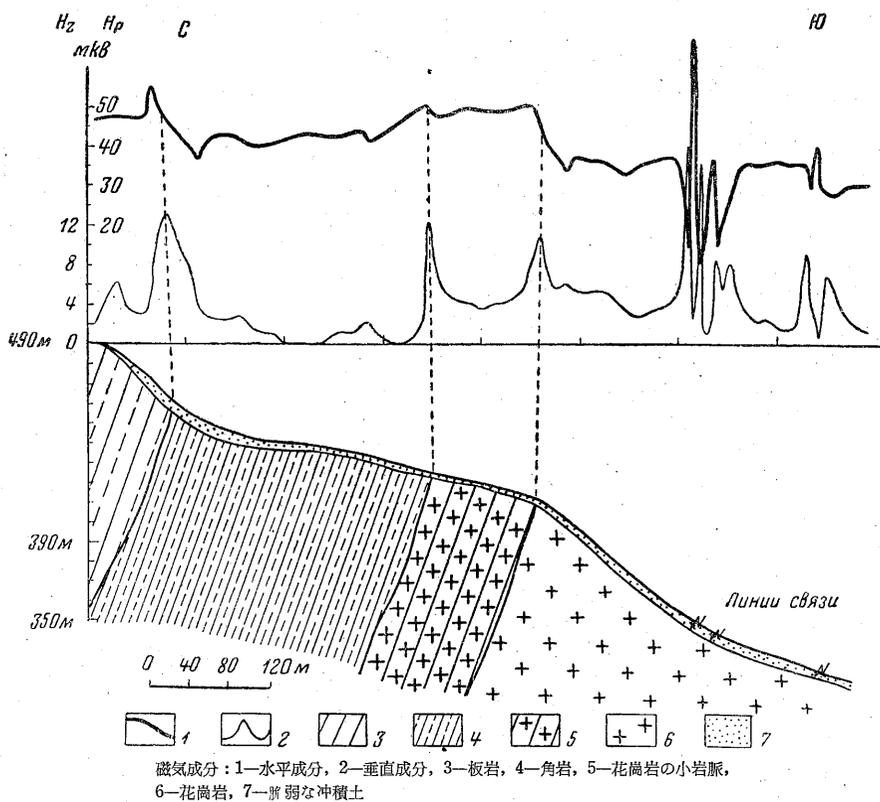
異常図は変わらないから, 各地質図, 等高線図 ($i = \arctg \frac{H_z}{H_p}$ の値) に基づき野外測定値の地質学的解釈ができる可能性がでてきた。そのためには, 測点間の電波の水平ならびに垂重成分の相対的变化を同一誤差で測定できるような安定状態で, 作動する精度の高い器機が必要となる。

調査は, 磁気探査法と類似の方法で行なう。すなわち調査日の始めと終わりには, 零点で測定を行ない, 場の変化を 20~40 分間隔をおいて測定し, 10~15 点ごとに反対方向に測定することが望ましい。

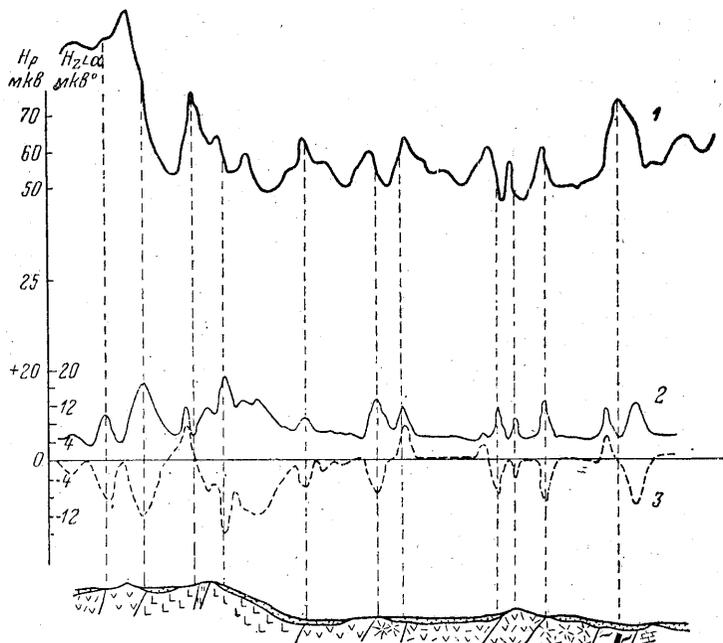
等高線図の作成を目的としないで, 各プロファイル (profile) について測定を行なう場合には上述のような特殊な測定法はとらない。電場の変化が顕著でない場合には, 放送局の電場測定のみを行ない, 対応 H_p , H_z 値の図を作成する。理論的・実験的に決められた異常帯の相関関係によれば, 質的に異なる不均一物体 (さまざまな岩石の接触部・含水帯・カルスト地帯) の地質学的解釈が求められる。

第3~5図は, 最近行なわれた実験成績である。電波の場の垂直 (H_z) および水平 (H_p)

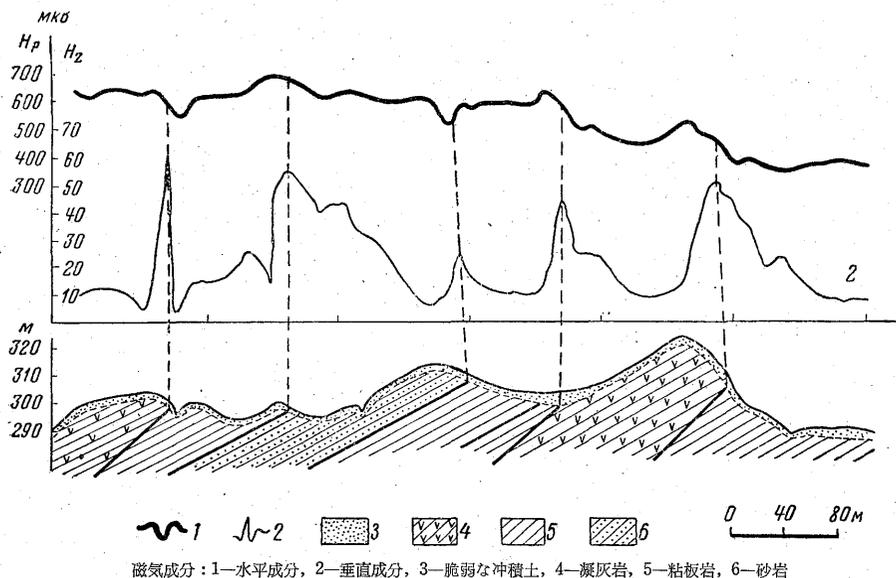
ラジオ波を利用する地質図作成法 (小西善治訳)



第3図 極東地域の放送局の電波を利用した測定結果を示す



第4図 中央アジアの放送局の電波を利用した測定結果を示す



磁気成分：1—水平成分，2—垂直成分，3—脆弱な沖積土，4—凝灰岩，5—粘板岩，6—砂岩

第5図 ウクライナ放送局の電波を利用した測定結果

成分図および予想断面図からみられるように、さまざまな岩石類の接触部および他の不均一現象は、電場の異常特性（極大点 H_2 、屈曲点 H_p 、極大角または極小角 α ）によつて明確に求められる（第2図）。さらに第6図には、二次破碎帯に局在する鉱床の電波測定図がかゝげられている。この探査では、機械の感度が充分でなかつたにもかゝわらず、二次破碎帯は、電場の異常を利用して充分明確に追跡されている（極小値 H_2 および屈曲角 α ）。

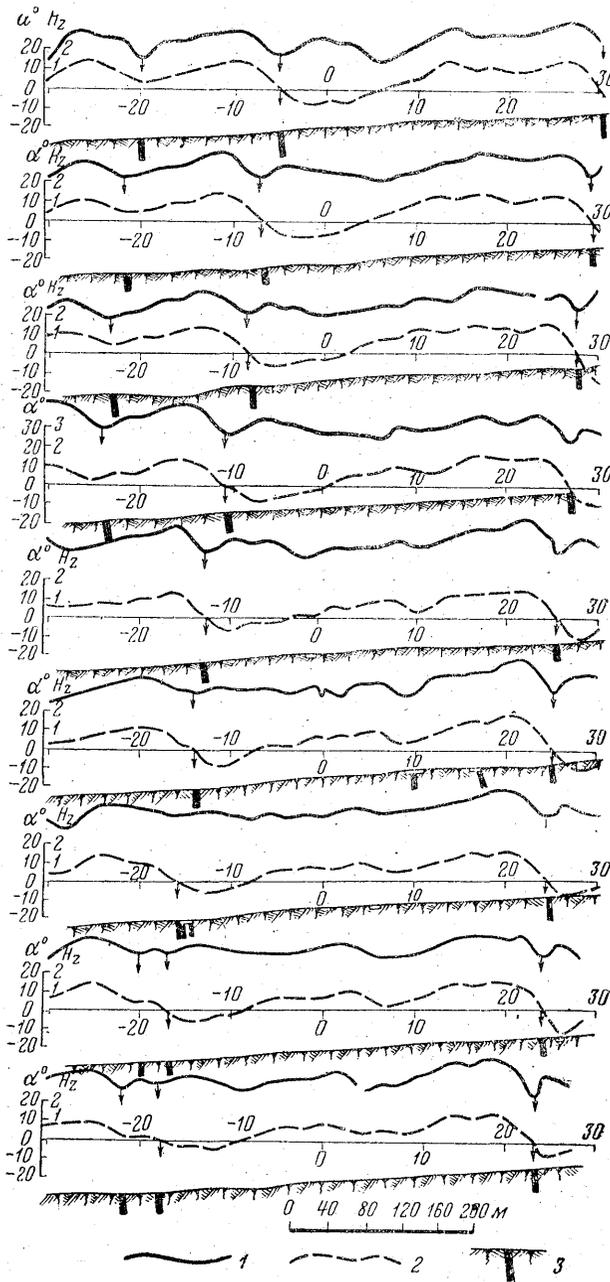
以上の諸事例は、さまざまな堆積岩類の不整合面、および地質的擾乱の測定に電波法が広く利用できる可能性があることを裏付けている。そのほかに、この法によれば、電気伝導度ばかりでなく、磁化率および誘電率によつて識別されるような岩石の接触部が求められるので、電波法による地質図作成は普辺性をもっている。さらに異常 background を構成する著しく開析された地形であつても、地質学的不均一物体上の異常現象を完全に区別することが可能である（第3図、第5図）。電話線、電線および障害となる類似の物体で誘発される異常現象（第3図参照）は、この種物体の断面の visual fixing に制約されるものとは考えられない。

ラジオ波による地質調査法は、急傾斜層および傾斜層におけるさまざまな岩石類の接触部、15~30mまたはそれ以上の深所に脆弱な沖積土で埋伏されている塊状鉱床、レンズ状地下水体およびその他の不均一物体に適用できる。

Scheimann が行なつた方法の深度評価は、低く評価されている。これは、Scheimann の使用した古典的な計算法が、地球上における電波の吸収と分布とのあらゆる特性を考慮に入れていないためである。第8図（印刷省略（に示されてあるのは、ソ連で現在使用されている電波調査測定器である。図面（a）は野外用としては、本質的にはきわめて不完全な装置である（電圧測定として使用する場合）。等があげられる。この種のその欠点としては、非対象的入射、非線型 Detector 測定器の使用には、高度の熟練度と技術とを必要とする。そのうえ器械の操作には1人または2人の“てこ”を必要とする。器械の重量は、蓄電池を含めて約16kgであつて、蓄電池の作動時間は20~25時間である。

Ruda（図面のb）は1951年に制作されたものであつて、a測定器に比較して軽く（蓄電池を含めて7.5kg）、搬送が容易である。しかしこの種の測定器にも本質的な欠陥がある。Rudaの感度は約70mkVであつて、測定精度は低い。経済性が低く、蓄電池の命数は25~30時間である。

モスコウ大学の地質学科では、1958年に、筆者と協同して、特殊の電波測定装置を研究し、



1—垂直磁気成分, 2—磁気成分の全ベクトルの傾斜角, 3—破砕帯
第6図 極東地域における電波法地質図作成結果

本器の特徴としては、電気探鉱で良い結果が得られない鉱染鉱床、斑状鉱石の探査に適している。さらに本器機は、空中探査にも適している。例えば、屋間の“遠隔帯における長波(電波)の電場の構造が地質学的不均一体で disturb されると、その状態は高度 $0.7 \div 1 \lambda$ まで少なくとも充分認められ、 $0.2-0.3 \lambda$ 高度における場の垂直の傾きは大きくないであろう。したがって数 100 m の高度での測定(作動長波 $\lambda \geq 700 \text{m}$)が可能である。高度の変化(20~30%)では、著しい障害とならないから、他の空中探査に比較して勝つているといえよう。

したがって電波法による地質図作成は、広く利用できる可能性がある。

組立てた。測定器の研究は、現場の要語を考慮に入れ、多年にわたる測定作業経験を基礎において行なわれた。この測定器は、スーパーヘテロダイン様式であつて、高選択、マイクロ電圧計である。この測定器によれば、精度 $\pm 10\%$ で、3 から 100,000 mV の電圧を測定することが可能である。この測定器には、特殊の回転式磁気アンテナが取付けられ、これによつて、電圧測定用の indicator として垂直、水平磁気成分、 α 角、分極要素が測定され、音声制御にラウドスピーカーが使用される。この測定器では、3 極管の作動点の特殊熱安定様式が考慮に入れられてあるので、 -20 度から $+30$ 度の範囲まで、充分安定した作業が行なわれる。蓄電池の命数は、400~500 時間であつて、遙かに経済的である。

本測定器は、蓄電池を含めて、 $260 \times 210 \times 120 \text{ mm}$ 、重量約 5 kg であつて、肩掛ベルトにより搬送することが可能である。本器機を使用する場合には、蓄電池の規準電圧を確かめ、電波調節を行なつてから、アンテナを回転させて、 H_z 、 H_p 、 $\angle \alpha$ に対する電圧計の指示計の記録をとる。現在数台の試作が行なわれ、1959 年夏に、ソ連の各地で実験が行なわれ成功した。