

堆積型ウラン鉱床に対する比抵抗法の利用について

—人形峠恩原地区における測定を中心として—

小野 吉彦*

Electrical Survey by Resistivity Method for Uranium Deposits of Sedimentary Type

by

Yoshihiko Ono

Abstract

As one step of studying the applicability of electrical prospecting for Ur-deposits of sedimentary type, electrical soundings were carried out at the Ombara district not far from Ningyō-tōge deposits to research the possibility of determining depth of granite.

The typical VES curves (vertical electrical sounding curves) obtained are shown in Figs. 2~3.

The results of analysis of these data compared with the known data concerning geological structure (Fig. 4) show the following distinctive characters.

1. The depth of high resistant layer is unexpectedly large, and granite is considered to be composed of low resistivity part (less than $200 \Omega\text{-m}$) and high resistivity part (more than $1000 \Omega\text{-m}$).

2. Although in the zone covered by andesite lava, the detection of the plane of unconformity between Tertiary formation and granite was unsuccessful, in the other zones relatively good results were obtained.

3. Inside the lava, electrical ununiformity was recognized.

From these data the applicability of resistivity method is summarized in regard to the detection of unconformity-planes for various geological circumstances.

要 旨

堆積型ウラン鉱床に対する電気探査の適応性の研究の一環として、人形峠恩原地区において比抵抗法による不整合面深度決定の可能性を検討するため、調査が実施された。

その結果、第2、3図に示されたようなVES曲線が得られ、これらを解析して第4図のように試錐柱状図と比較された。

もともと、この調査は第三紀層が低比抵抗を有し、花

崗岩の比抵抗はきわめて高いであろうとの想定の下に、不整合深度の決定が實際的にどの程度可能であるかを見当をつけるために実施されたものであるが、第三紀層は予想されたように $100 \Omega\text{-m}$ 以下の低い値を示したにもかかわらず、花崗岩の比抵抗は常にきわめて高いものではなく、むしろ、筆者の結果では、花崗岩は高比抵抗 ($1,000 \Omega\text{-m}$ 以上) の部分と比較的低い値 ($200 \Omega\text{-m}$ 以下) をもつ部分より構成されると判断される。したがって、第三紀層の比抵抗と花崗岩の比抵抗との関係いかならずしも不整合面深度の検出は容易ではない。

一方、本地域で最も富鉱帯部と考えられている熔岩被

* 物理探査部

覆区域では、熔岩下の第三紀層の相対厚度の僅少(試錐資料による)という探査困難な条件に加えて、測定結果によつて暗示されるような熔岩内部の不均一のために、不整合面深度の決定は全く不可能であつた。

なお、解析結果をさらに検討し、実際の調査にあつて留意すべき事項に触れている。

1. 緒言

ウラン鉱床に対する電気探査法の適応性の問題は他の物理探査法の適応性の問題とともに過去数年間、本所物理探査部において検討されてきた。ウラン鉱を伴う金属鉱床の電気探査についてはすでに地質調査所月報に若干の例が報告されている(例えば、柴藤他, 1954; 小林他, 1954)。この場合、電気探査法は鉱床探査を媒介とした間接的ウラン探査法であることは改めて述べるまでもないことではあるが、同法の有用性は(i)ウランと鉱体との間の関連性、(ii)その鉱床と周囲の媒質との間の電気的性状の差異によつて決定される。

したがつて、電気探査法は他の方法、例えば放射能探査法と共用することによつてはじめてその効果を期待しうるものであつて、それは(i)の条件から考えて当然である。

一方、人形峠のウラン鉱床のような堆積型鉱床の電気探査の適応性の問題も、探鉱の重点が脈状鉱床から堆積岩に移るに伴ない、ウラン探鉱関係者の関心をひくようになった程度であつて、本所においてもようやく昭和34年10月、この問題に関する基礎的資料を得るために原子燃料公社と共同して、人形峠東方の恩原地区で電気探査を行なうことになつた。以下報告するのはこのテストの結果であるが、この調査ではウラン鉱床の電気探査の一般的適応性について検討をすることを目標にしたわけではなく、第三紀層に被覆された花崗岩の電気的性状を知ることが主目的としたものであるから、適応性の問題について結論を出す段階には至つてはいないけれども、ウラン探鉱上なんらかの手掛りになれば幸と思ひ、報告する次第である。

なお、調査員は筆者の他、本間一郎・室住正義で、ほかに原燃公社科学探鉱部から金井光明他1名が調査に参加した。測量は同社人形峠出張所が担当した。

2. 本調査の目的と問題点

放射能探査法によつて放射能異常を求めることはウラン探査上決定的重要性を有することは贅言を要しないところであるが、不幸にしてこの方法の探査深度に関する原理的制約のために、地表探査法としてはおのずと有効

性に制限を受ける露頭探査のような直接探査の可能な場合はさておき、被覆層の厚い堆積型鉱床の発見あるいはその規模を地表放射能探査法を用いても推定することは、一般に困難な場合である。探査地域内に多数の試錐を行ない、その孔を利用した放射能測定(放射能検層)が頻繁に実施されているのが現状である。

この場合、試錐計画の立案に寄与するような地表探査資料が得られるならば、ウラン探鉱上好都合であるといふのであろう。こうした事情で、地震探査法や電気探査法が着目されるに至つた。

これら両法のウラン探査に対する適応性は鉱床胚胎条件と利用する物理的性質との間の関係とに支配され、それらの効力は要求設問に対して得られる知識の豊富さ、ないし精粗によつて決定されるといふえよう。

さて、人形峠付近のウラン鉱床は花崗岩を基盤とする第三紀の礫層中に発見されており、第三紀層と花崗岩との不整合面の形状がウラン鉱床胚胎に関係があるのではないかと考えられている。こうした観点から、不整合面形状の推定に地震探査法を利用しようとする機運が生れ、1953年秋に、今回の調査地域と同じ地域でテストが行なわれた(蛭川他, 近刊)。この結果は試錐資料と比較され、比較的良好な結果を生んだので、ひきつづいて、赤和瀬地区(1954)・宮ヶ谷地区(1955)で調査が実施されている。

屈折法によるこれらの調査は、いずれも高速度層である花崗岩と低速度層である第三紀層との間の差異を明白に示している。たゞ、問題になるのは地形のはげしい起伏や上部にくるかも知れない高速度の熔岩の影響を受け、なおかつ、要求される不整合面の小さな凹凸をどの程度まで測定に反映しうるかである。

一方、電気探査によつて上記の問題を解決しようとするには、比抵抗垂直探査法によるのが最も普通であると思われるが、花崗岩の高比抵抗と第三紀層の低比抵抗とは同法の適用の可能性を想像させるのに充分である。この場合、最も技術的に困難であると考えられるのは、一般的に、地震探査に比較して解析精度が悪いことであり、はたして要求される精度に比べられるかどうか問題になる。そこで地震探査と同じ測線上で電気探査を実施することにした。

垂直探査の実施にあつて考慮すべき諸点は次のようなものである。

1. 花崗岩と第三紀層の比抵抗の比
2. 第三紀層内の比抵抗分布
3. 花崗岩内の比抵抗分布
4. 表層の影響

5. 地形の影響

花崗岩の比抵抗が一般に高いことは過去の測定資料から考えても充分推測しうるものであり、一方、第三紀層も堆積岩である限り概して低い比抵抗を有することが普通である。したがって、両者の比は少なくとも 20 以上になると考えられる。この比は大きければ大きいほど、探査しようとする不整合面の検出度はよくなり、それだけ解析精度もよくなると考えられる。

第三紀層はこの地域では安山岩熔岩を被る部分とそうでない部分とがあるが、後者の場合の方が探査しやすいことは当然で、前者の場合にはかなり難しい問題が残っている。すなわち、安山岩自体が相当高比抵抗で、しかも厚いため、下部の第三紀堆積物の検出が不充分となつて、不整合面の深度決定に大きな誤差を招くおそれがある。さらに、安山岩の性状いかんでは、大略下降階段型比抵抗分布をなすことさえも考えられる。

安山岩が電氣的に均質だとしても、堆積物の厚さが熔岩に比較し小さければ、相対厚度は小さくなり、等価性のため不整合面の深度を大きく判定してしまうことは充分考えられる。その場合でも熔岩と堆積物との境界は精度よく求められるはずであるから、もし、堆積物の厚さが充分薄ければ、この境界を不整合面と考えてもさしつかえないかもしれない。しかし、熔岩内部ではなほだしい電氣的不均一があればそのような手段を講ずることも不可能となる。

また花崗岩内でも風化部は下の緻密部に比較して低い比抵抗であり、事実上、地表測定によつては第三紀層から区別することは困難であると予想される。したがって、解析した結果ではいわゆる不整合面が得られないで、風化層をはいた緻密質花崗岩の上面が得られるに止まる。もし、風化層の厚さが大略一定であり、薄いならば、実際には大した問題にはならないであろうが、厚さにはなほだしい変動がある場合にはかなり問題となるであろう。

比抵抗法も他の方法と同様浅部構造の影響を受け易く、したがって、表層の比抵抗の不規則性のため、比抵抗曲線になんらかの擾乱を被ることが想像される。ことに、山地地形にあつてはこのような事実は一般的であり、それが解析を困難にすることも考えられる。

同様に、地形の起伏の影響が測定結果に大きな誤差をもたらすことも考えられるが、こうした場合の一般的補正法は発見されていないように見受けられる。

以上、既存の試錐柱状図や一般地質図を参考にして、本調査の問題点を分析したものであるが、これら諸点が実測結果にどのような形で表明されるかを検討すること

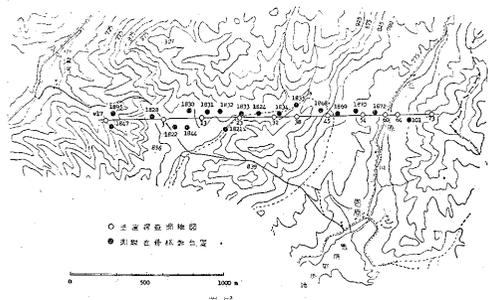
を目標にして、今回の調査を実施することにしたのである。

3. 調査区域の概要

調査区域は既述のように、最近、試錐や検層等により有望なウラン鉱体のあることが確認され、注目をあびている中津河一恩原地区に選ばれた。この地域は試錐資料も豊富で、比較的地質構造がよくわかつていたうえ、中津河側より鉱体に向け掘進中の坑道もあつたので、電気探査の結果を考察するうえにはなほ好適であるとみられたわけである。

本地域は人形峠地区から東方へ数 km、恩原湖北方の丘陵部にあたり (5 万分の 1 地形図、奥津)、人形峠からジープで約 1 時間を要して現場付近に到達する。

測線は延長 3 km で東西方向に延び、その直下は推定富鉱体北辺を切つている。また、測線の一部は牧場内を通過する等、作業上便利な点もあつたが、部分的には急峻な箇所も少なくなかつた (第 1 図)。



第 1 図 電気探査測線配置図

地質の概要であるが、この報告に必要な程度に止めると、地域一帯を第四紀火山灰が薄く覆い、その下部に、第三系安山岩質熔岩および凝灰岩砂岩・礫岩・頁岩等からなる第三紀層が厚く分布して、基盤の花崗岩と不整合に続いている。安山岩熔岩は測線中央部付近を占めているだけで、他ではみられない。ウランは、この下部の堆積物中の礫層に含まれているようである。測線付近の試錐柱状図を第 4 図に示してあるので、それを参照されたい。

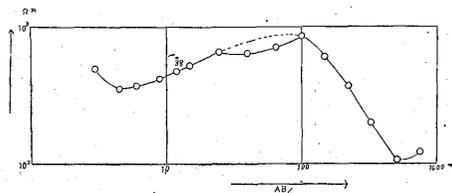
4. 調査方法とその結果

前述の測線に 11 個の測点を設けて直流法による垂直探査を実施した。この方法の概要については深部物理探査の研究その 7 (小野他、近刊) を参照されたい。

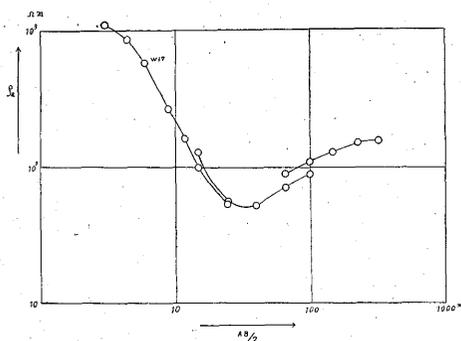
電流電極展開方向は測線方向と一致し、最大の電流電極間隔は 1,500m ($AB/2$ は 750m) であつた。当初の予

想では $AB/2$ は 500m で充分であるとみられていたのであるが、750m でも若干不足していた感もある。

得られた 11 個の VES 曲線 (縦軸: 見掛け抵抗, 横軸: $AB/2$) のうち, 典型的なものを第 2 および 3 図に示す。



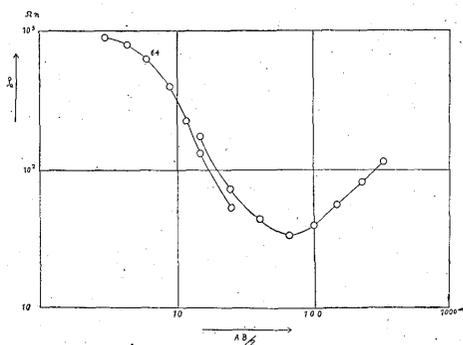
第 2 図 a 安山岩熔岩で被覆されていない場合の典型的VES曲線 (I)



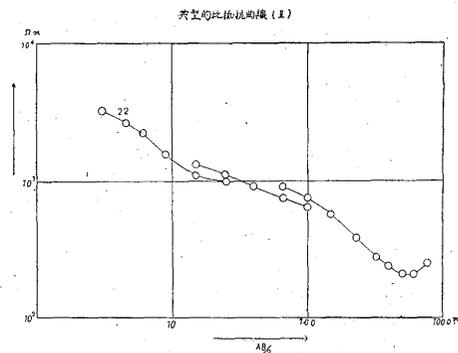
第 2 図 b 安山岩熔岩で被覆されていない場合の典型的VES曲線 (II)

第 2 図は安山岩熔岩を欠く場所で得られた VES 曲線である。(I) は典型的凹型 3 層曲線でその曲線の左枝の高比抵抗は第四系火山灰質堆積物によるもので、上昇を呈する右枝は花崗岩に起因するものと考えられる。凹部が第三紀層に相当する。(II) の左枝および中間部は (I) と類似しているが、右枝の増昇の仕方はそれほど著しいものではなく、むしろ、横軸に平行に進む傾向がみられる。この測定では $AB/2=325m$ までで終わるので、一見、最下層の比抵抗は百数十 $10 \Omega\text{-m}$ の値を有すると思われるが、隣接測点で得られた VES 曲線では、対応する電極間隔でほぼ同じ性状を示しつつ、さらに $AB/2$ を増してゆくとつれて、曲線も上昇を辿り、(I) の上昇の仕方に類似してくるので、この測点においても、電極間隔の増大に伴って、VES 曲線も急激に上昇するであろうことは想像に難くない。いずれにせよ、このような凹型 3 層曲線では花崗岩に相当する高比抵抗層までの深さを求めることは比較的容易であり、誤差も小さいようである (第 4 図参照)。

一方、熔岩で被覆されている場合の VES 曲線の性状は第 2 図とは明らかに異なっている。これを第 3 図に示す。(I) は最も厚く熔岩の被覆している地点の VES



第 3 図 a 安山岩熔岩で被覆されている場合の典型的VES曲線 (I)



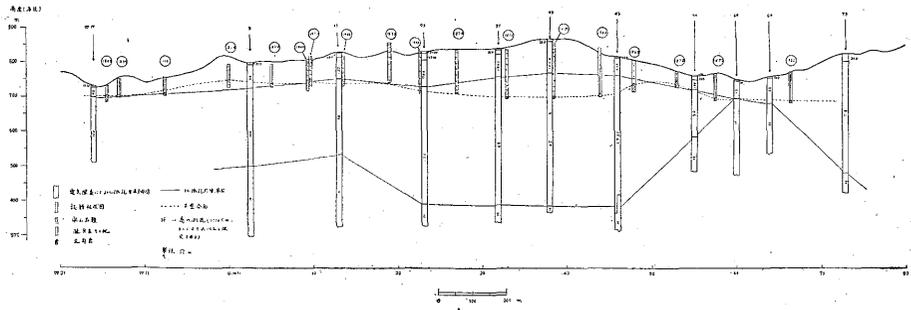
第 3 図 b 安山岩熔岩で被覆されている場合の典型的VES曲線 (II)

曲線である。この曲線は明白な浅部異常物の影響を受けているとみて、点線のように曲線に修正を施した。曲線上、凸部を形成している部分は熔岩に起因するものとみなしてさしつかえないであろうが、凹部 (比較的低い比抵抗部) の形成の原因はなんであるかは問題である。

(II) に移ろう。この曲線のはじめの部分は下降階段型をしているが、この部分が熔岩に相当することは試錐柱状図から判断してもうなずけるところである。ところで凹部の形成をなにに帰すべきか? (I), (II) とともに曲線の上昇が花崗岩によつてもたらされたと考えるのは妥当であるとしても、この低い比抵抗部が第三紀層のみによつて形成されたとするのは若干無理を伴う。なぜならば、この地区では堆積物の厚さは小さく、解析結果では高比抵抗部の深さは確認された不整合面に較べてはるかに深いからである。

第 4 図に解析結果を示す。同時に測線付近で得られた試錐柱状図ならびに、これらの資料に基づいて作られた不整合面地下等高線図から読みとつた不整合面断面を併示しておく。

この図によれば、中央部に比較的厚い安山岩質熔岩が位し、その下部に薄い第三紀堆積物がきている。一方、その両側部では直接第三紀層が花崗岩の上につて、熔



第4図 人形峠恩原地区電気探査解析結果と試錐柱状図との比較

岩に欠いている。熔岩に相当する部分では少なくとも $100 \Omega\text{-m}$ 以上、高い所で $1,000 \Omega\text{-m}$ 以上の比抵抗値を示しているが、後者の堆積物に相当する部分では $50 \Omega\text{-m}$ 程度あるいはそれ以下となっている。

これら両者に相当する比抵抗層の下部に、 $200 \Omega\text{-m}$ 以下（ときとして $100 \Omega\text{-m}$ 以下）の比抵抗層がみられ、さらにその下部にVES曲線にみられる上昇部に相当する高比抵抗層がくる。

こうして、電気探査によって得られたデータは次のような特徴をもつといえる。

1. 下部高比抵抗層の深さが一般に予想されたものより深い。
2. とくに、安山岩被覆部ではこの高比抵抗層の深さが他の部分に較べて大きい傾向がある。
3. また同区域では高比抵抗層の上部層の比抵抗が $100 \Omega\text{-m}$ 以下で他の地域に較べて低いようである。
4. 恩原川付近 (No. 60, No. 64) ではこの中間層の存在は不明瞭である。
5. 中間層の上限がおおよそ不整合面と一致するが、富鉱体部と目される安山岩熔岩被覆部では熔岩類の存在のためか、著しい差異を示している。

5. 結果の考察

今回の調査だけでは堆積型ウラン鉱床に対する比抵抗法の適応性を云々することが早計であることは本論文の初めに述べたけれども、少なくとも、不整合面の形状推定の問題に対してさえも、種々の難点があるように考えられる。また、一方では、われわれの予期しなかつた結果も得られており、これらをどのように解釈すべきかという問題も残されている。そこで、今回の結果についてもう少し検討してみようと思う。

5.1 花崗岩内部の均質性

一般に新鮮な緻密質花崗岩にあつては比抵抗はきわめて高いはずで、もし、比較的薄い（10m内外の）風化層

で覆われていたとしても、その上部層の比抵抗が今回の場合のように低ければ、VES曲線上には風化層の示徴は明白でなく、高比抵抗である緻密質花崗岩の示徴のみが強調されることになる（例えば第2図（I）参照）。ところが、今回の結果のように、予想よりはるかに大きい電極間隔でこの徴候をみたことは花崗岩内部が、電気的には2つの部分に分けられることを暗示する（第4図左方）。すなわち、高比抵抗部とその上にある中間比抵抗部である。前者は調査当初予想していた新鮮な緻密質花崗岩であることはおそらく誤りのない事実であろう。後者はその比抵抗から判断すると、いわゆる風化層に相当するかどうかは別として、粘土分または破碎性に富む部分であると考えられる。そして、その比抵抗が小さいほどその程度が著しいとしてさしつかえないであろう。ただ、なぜそのように厚い部分ができたかについては、いまの段階では説明することは難しい。とくに、恩原川周辺のようにこの層の存在が無視されるような場合もあるので電気探査の実施に際して留意すべき事項の一つである。

結局、中間層の存否にかかわらず、この地域にみられるような厚い熔岩を覆っていない場合には花崗岩上限の形状を電気探査によって求めることは第三紀と低比抵抗花崗岩との比抵抗比いかんによってはある程度可能であり、地震探査の併用とあいまって有効なデータとなりうるであろう。

5.2 熔岩の存在

熔岩の比抵抗は地下水の分布と破碎性とに支配されて、その内部でも著しい比抵抗差を招く場合が多い。試錐記録によれば風化部、堅牢部ないし脆弱部とはげしく変動していることがわかるが、これらの性状が地下水のあり方とともに比抵抗に大きな影響を与えることは充分考えられることで、第3図（II）もその例にもれないと解釈されよう。もし熔岩内の比抵抗分布が下降階段型をなしており、しかも上部の高比抵抗部の相対厚度が大きけれ

ば、いわゆる削減性によつて下部は第三紀層と結びついて一層とみなされるので、解析された熔岩と第三紀層の境界面は実際よりも浅く判定される。第3図(I)はこの例であると解釈することができる。

すなわち、熔岩が存在している場合には、その比抵抗の均一度が高いほど、また下層の比抵抗との比が大きいほど、その下限の深さの決定精度はよくなる。

5.3 熔岩下の第三紀層

他の部分では第三紀層が相当厚いにもかかわらず、熔岩下では第三紀の厚さはずつと小さいことは試錐柱状図から明らかである。このような場合、相対厚度の小さいことに起因する等価性を考慮に入れば解析精度は上るかという問題について考察する。熔岩の均一性と花崗岩の均一性とが保証され、しかも第三紀層の比抵抗が既知であれば、確かに精度は上るはずである。しかし、この部分のように熔岩内に不均質が認められ、花崗岩内部でも著しい比抵抗差の存在が暗示される場合にはこのような処置は全く不可能となり、判断はいきおい定性的になる。熔岩下の中間層は結局、下部の低比抵抗の熔岩と第三紀層ならびに花崗岩上部の粘土化した部分とからなると判断される。

なお、高比抵抗部(花崗岩の)の上限がこの付近で他

より深い傾向にあることは上記中間層内の比抵抗分布にも影響されるので断定するわけにはいかないけれども、それが事実とすればはなはだ興味深い現象である。

以上の考察から明らかのように、不整合面の形状の決定のための電気探査の実施は、有効な場合とそうでない場合とあるので、調査の前に種々の条件を考えて行なわなければならない。

また、花崗岩内部の比抵抗差の問題、とくに熔岩下での低比抵抗層の発達の問題は今後検討すべきことである。

(昭和34年10月～11月調査)

文 献

- 1) 小林創他：岩手県野田玉川鉱山における放射能ならびに電気探鉱報告，地質調査所月報，Vol. 10, No. 3, 1959
- 2) 古谷重政，蛭川親治：人形峠恩原地区の地震探査報告，地質調査所月報，Vol. 11, No. 12, 1960
- 3) 柴藤喜平他：岡山県大笹鉱山・阿部鉱山物理探鉱調査報告，地質調査所月報，Vol. 10, No. 3, 1959