

地熱資源の評価のための広帯域 MT 法による広域的な地熱系の推定

高倉伸一（産業技術総合研究所）

Estimation of a regional geothermal system by the wide-band MT investigation for geothermal resource assessment

Shinichi Takakura (Geological Survey of Japan, AIST),

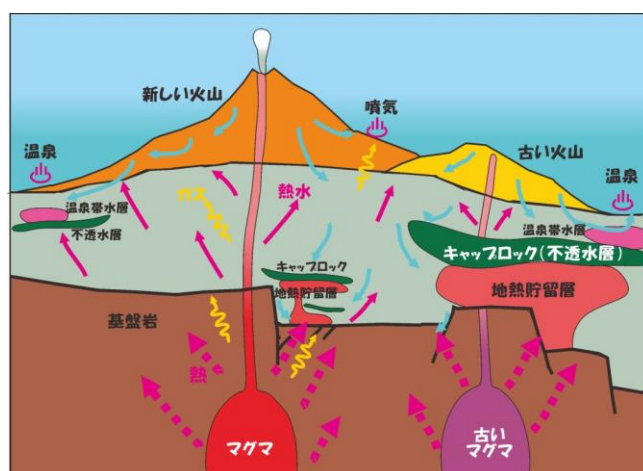
Abstract

In geothermal exploration, it is required to survey the location and situation of hot water, heat sources, and geothermal reservoirs. In order to evaluate the durability of geothermal resources, it is desired to investigate the volcano (magma) which is the present heat source, and the regional groundwater environment. This means that a geophysical method with wide investigation depth is required. Application of the wide-band MT method is suitable for such investigation. This paper describes that the wide-band MT surveys conducted in the Muine-Toyoha-Jozankei geothermal areas, Hokkaido, as such a case study.

1. はじめに

地熱調査では地下の比抵抗分布を求める電磁探査法が中心的な役割を果たしている。これは、比抵抗が温度や流体の状態に敏感な物性であるという理由が大きい。また、地熱調査では一般に深度数 km の深部を対象とすることが多いので、電磁探査法の中でも低周波数の自然電磁波を信号として地下深部までの探査が可能な MT 法が利用されるのが一般的である。

地熱資源は、熱源、貯留構造、熱水の三要素から成り立っている。これらの要素が揃って、地熱発電が可能となる。すなわち、地熱探査では、熱水、熱源、貯留構造の状況を把握することが必要といえる。地熱地域の地下構造モデルの模式図を第 1 図に示す。持続可能な地熱発電に適した地熱貯留層はある程度の規模が必要である。また、そのような地熱貯留層が形成されるまでには、1~100 万年の時間がかかるとされている(石戸, 2002)。この間に火山フロントも移動することから、大規模な地熱貯留層は現在の活動的火山からは数~数 10km 離れていることが多い。地熱貯留層の形成には時間がかかることから、短期間のうちに地熱資源を過剰に利用すると、枯渇する恐れがある。しかし、周辺環境から利用



第 1 図 地熱地域の模式図

Fig. 1. Schematic diagram of a geothermal system.

した分の熱水が供給されれば、持続可能なエネルギーになる。それを評価するためには、現在の熱源である火山（マグマ）や地表付近の地下水環境を対象にした調査が必要と考えられる。すなわち、広い範囲の浅部から深部の調査をすることが望ましい。

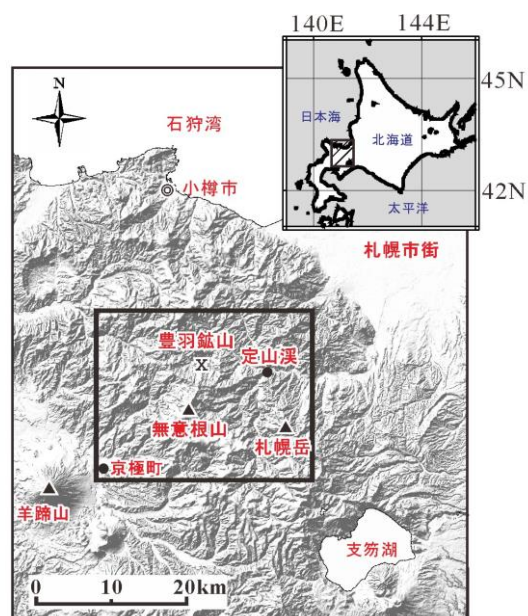
しかしながら、多くの地熱調査は地熱発電に直接利用できる地熱貯留層の探査に集中し、狭い範囲に限られているのが現状である。これは、調査コストや自然環境保護の制約によるところが大きい。狭い範囲の調査では地熱貯留層の構造は把握できても、熱源が不明な場合が多く、どの範囲の天水がどの程度地下に浸透して、地熱貯留層に集められるかの推定も難しい。

また、新規の地熱開発を行う際には、地元住民の理解・承認が必要とされる。とくに付近に温泉がある場合、地熱開発によって温泉に悪影響が出るのではないかと懸念により、開発が遅延または中止となることもある。わが国の地熱開発では、多くの場所で温泉との共生を図っていくことが必要とされるが、調査地域から数 km 以上離れた温泉や、調査地域の近傍でも温泉街での調査は行われなことが多いので、温泉への影響の客観的な評価は難しいのが現状である。温泉への影響を科学的に評価するためには、温泉周辺での調査も欠かせない。

このような問題を解決するためにも、浅部から深部を対象とする広域的な比抵抗構造を行うことが必要と考えられる。地熱探査が対象とする深度数 km を中心とした浅部から深部の比抵抗構造探査では、広帯域 MT 法の適用が現実的であると考えられる。本報告では、このような一例を、北海道無意根—豊羽—定山溪地熱地域で実施した広帯域 MT 法調査(高倉,2003)に基づいて議論する。

2. 北海道無意根—豊羽—定山溪地熱地域の概要

北海道無意根—豊羽—定山溪地熱地域は札幌市の南西約 30km に位置する(第 2 図)。当該地域には非常に高温の豊羽鉱山があり、その約 10km 東方には湯量の豊富な定山溪温泉などいくつかの温泉が分布している。そのため、これまでも金属鉱床や地熱資源の開発を目的に多くの調査が実施されてきた。無意根—豊羽地域に関する地質・地化学の研究により、豊羽鉱山の鉱化作用が無意根山のマグマ・熱水活動に関連することが明らかにされたため、Takakura and Matsushima (2003)は、1999 年、2000 年、2001 年に広帯域 MT 法を実施し、無意根山周辺の比抵抗構造を明らかにした。一方、東側に隣接する定山溪温泉周辺では地熱や鉱床調査などは実施されてきたが、温泉の熱源や熱水系については十分な解明が進んで



第 2 図 北海道無意根—豊羽—定山溪地熱地域の位置図(高倉, 2013)

Fig. 2. Location map of the Muine-Toyoha-Jozankei geothermal area (Takakura, 2013)..

いない。現在、豊羽地域では JX 日鉱日石金属株式会社が地熱発電所の建設を計画しているが、その開発が定山溪温泉に影響を与えるのではという懸念がある。そこで、その可能性を探るため、定山溪温泉周辺で広帯域 MT 法調査を実施した。そして、JX 日鉱日石探開株式会社と産業技術総合研究所が共同で、当該地域の広帯域 MT 法データを集め、無意根山から豊羽地域および定山溪温泉とその周辺を含む広域の深部比抵抗構造を求めた(高倉,2013)。次章ではその結果を示す。

3. 広帯域 MT 法解析結果

Takakura and Matsushima (2003)が取得した無意根山ー豊羽地域周辺の MT 法データは全部で 20 点あり、そのうち 18 点は無意根山の北稜線を西南西ー東北東に横切る測線に沿って配置された。測点位置を第 3 図に示す。図中の 1~20 がその MT データである。また、定山溪温泉周辺の MT 法データは全部で 26 点あり、西南西ー東北東または南西ー北東方向の 3 本の測線に沿って配置された。それらの測点位置を第 3 図に J1~J26 として示す。

当該地域の地質構造の大局的な走向は南南東ー北北西である。そこで、測線方向を $N70^{\circ} E$ として、第 3 図に示す測線の近傍にある 25 点(測点 1~18、J1~J7)を測線に投影した。そして、各測点で得られたインピーダンスを測線方向に回転させ、電場が測線と直交する方向になるデータを TE モードと、測線方向になるデータを TM モードとそれぞれ定義し、2 次元解析を実施した。解析された比抵抗構造に地質的解釈を加えたものを第 4 図に示す。なお、図の縦横比は 0.5 である。比抵抗構造の詳しい解釈は高倉(2013)にあるので、以下では大きな特徴だけを述べる。

測線西部の比抵抗構造は無意根山直下に解析された著しく低い低比抵抗体とそこから地表へと伸びて存在する低比抵抗層の存在で特徴づけられる。低比抵抗体は地熱貯留層あるいは熱水変質域と考えられることから、豊羽地域周辺の地熱系は無意根山直下の熱源に関連したものと考えられることができる。一方、測線東部の定山溪温泉周辺では温泉の直下あるいは東方に温泉帯水層と推定される低比抵抗層があり、それらは深部あるいは南部に推定される熱源と関係しているように見える。無意根山直下の低比抵抗体と定山溪温泉直下の低比抵抗層とは緻密な先第三系基盤岩である薄別層に対応する高比抵抗体でさえぎられていることから、無意根ー豊羽地域との定山溪地域の地熱系は独立しており、互いに干渉する可能性は小さいと判断できる。

ここでは、一つの測線に沿った比抵抗断面を示しただけであるが、無意根ー豊羽ー定山溪地熱地域では多くの測線による 2 次元的な MT 法調査が行われ、数多くの比抵抗断面やそれを組み合わせた 3 次元比抵抗分布図が出されている(境, 2013)。しかし、無意根ー豊羽地域と定山溪地域とは地熱系は異なると予想され、地質構造の走向や広帯域データから推定される比抵抗構造の走向も違うので、機械的な 2 次元解析の適用は妥当でない可能性も高く、それを組み合わせただけの 3 次元図の信頼性は低い。当該地域では 3 次元解析が可能なほど MT 法調査が実施され、データが蓄積されているので、今後は 3 次元解析を適用してより信頼性の高い比抵抗構造モデルの構築と解釈を行っていきたい。

4. まとめ

地熱資源を評価して適切な地熱開発を進めるためには、対象となる地熱貯留層周辺に加え、熱源となる火山、天水の涵養域を含む広い範囲を、浅部から深部まで調査をすることが必要である。また、温泉への影響が懸念される場合には、温泉周辺を含む地域の調査も必要である。浅部から深部に至る調査には広帯域 MT 法が適していると考えられる。本論文では、有望な地熱資源が期待されている豊羽地域、その熱源と考えられている無意根山周辺および隣接する定山溪温泉の周辺で実施された広帯域 MT 法の結果を示し、広域的な比抵抗構造の特徴を紹介した。

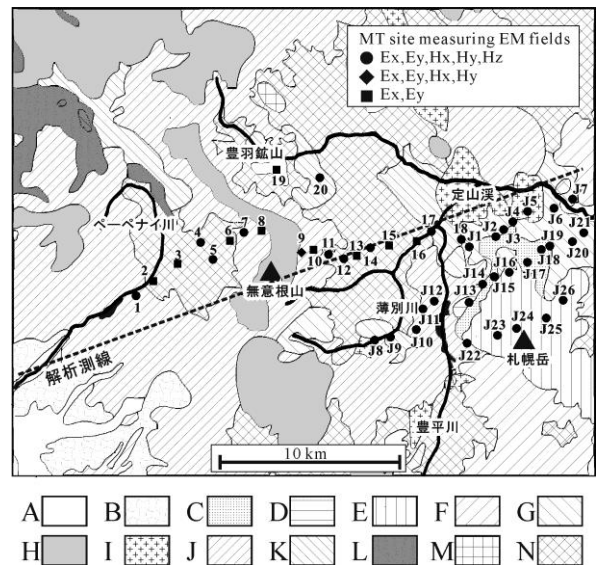
地熱調査は地熱貯留層周辺の狭い範囲に限られることが多いが、隣接する地熱地域で MT 法調査が実施されている例や、周辺の火山で学術調査によって MT 法調査が実施されていることも少なくない。これらのデータを利用すれば、広域的な比抵抗構造が求まると期待される。今後、既存の MT データを整理してデータベースの構築を行うことや、産学官の多様な機関が連携して地熱調査を進めることを図りたい。

謝辞

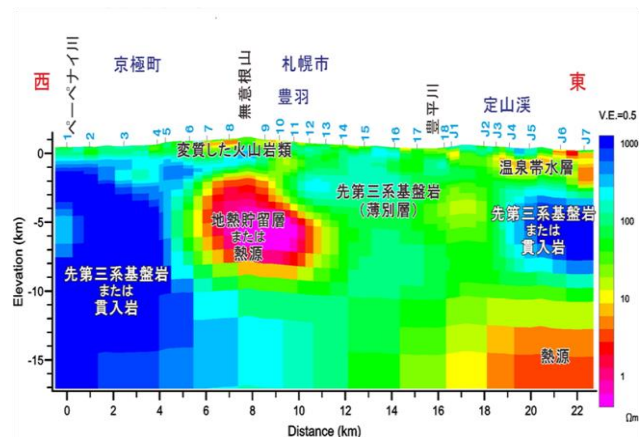
当該研究は、JX 日鉱日石探開株式会社と産業技術総合研究所の共同研究の一環で実施された。

参考文献

- 石戸経士(2002): 地熱貯留層工学, 日本地熱調査会, 176p.
- 境収(2013): 豊羽地域地熱開発の現況,, 資源・素材2013(札幌)講演資料, 205-208.
- 高倉伸一(2013): 電磁探査から推定される豊羽地域の深部地熱系の構造, 資源・素材2013(札幌)講演資料, 209-212.
- Takakura S., and Matsushima, N. (2003): Magnetotelluric investigation of the hydrothermal system and heat source in the Muine-Toyoha geothermal area, Hokkaido, Japan, Resource Geology, 53, 213-220.



第3図 MT法の測点と測線位置図(高倉, 2013)
Fig. 3. Geological map of the Muine-Toyoha-Jozankei geothermal areas showing the MT survey sites and 2D profile (Takakura, 2013).



第4図 2次元解析結果とその解釈(高倉, 2013)
Fig. 4. 2-D resistivity sections analyzed for the profile and its interpretation (Takakura, 2013).