

有珠山北西山麓, 洞爺湖温泉周辺における MT 法探査(序報)

Preliminary result of MT survey around Toyako Hot Spring area, northwestern part of Usu volcano, Hokkaido

田村 慎
Makoto Tamura

キーワード: 有珠山, 洞爺湖温泉, 地熱資源, 地熱調査ボーリング井(KH-1), MT 法探査

Key words: Usu volcano, Toyako Spa, geothermal resources, geothermal well (KH-1), MT survey

I はじめに

有珠山北西山麓の洞爺湖温泉地域では, 2000年の有珠山噴火以降, 源泉温度の低下傾向が続いていた。これに対し, 新たな地熱・温泉資源の開発を目指した地熱調査ボーリング井(以下, KH-1と呼ぶ)の掘削を実施し, 高温熱水の採取に成功した(高橋ほか, 2016)。

今回得られた地熱水を持続・安定して利用していくために, 当研究所では KH-1での長期揚湯モニタリング(大森ほか, 2016)を実施した。その結果, KH-1では泉温・主要溶存成分量などに顕著な変化はみられず, 現在の揚湯条件で安定的に利用可能と結論づけた。しかし, 将来的な予測を行うためには, 地熱資源がどこに, どの程度賦存しているかを明らかにし, その結果を踏まえたモデルを作成・検証する必要がある。

そこで, 当該地域の深部地熱資源の賦存状況把握を目指した MT 法探査を実施した。探査は今後も実施する予定であるが, 本稿では2014年および2015年に実施した探査の概要, 得られた MT 応答関数について報告するとともに, 過去の探査結果との比較を行う。

II 探査概要

II.1 MT 法探査

電磁探査法の一つである MT 法(MT: Magnetotelluric の略)は, 地磁気地電流法と呼ばれ, 地表上で電場・磁場の観測を行い, 地下の比抵抗あるいはその逆数である電気伝導度の分布を推定する手法である(小川, 1990; 物理探査学会, 2000など)。

MT 法探査は他の探査法と比較して流体の存在や温度に対する感度が高く, 比較的深部の探査に適した手法であることから, 地熱・温泉資源の探査, 火山・地震に関する調査研究等に広く用いられており, 当研究所においても2014年度より探査機器を導入し, 調査研究に用いている。

II.2 有珠山周辺における過去の MT 法探査

過去の有珠山周辺地域における MT 法を用いた研究として西田ほか(1996)等があるが, その多くは有珠山の山頂火口原など有珠火山直下の深部構造を対象としていた。

2000年の有珠山噴火の後, 西山西麓火口周辺から金比羅火口周辺にかけて, 温泉資源開発の可能性を検討するため, MT/CSAMT 探査が実施された(秋田・柴田, 2003)。この探査によって, 探査領域では表層から深部に向かって高抵抗—低抵抗—高抵抗の3層構造を示すこと, 特に西山西麓火口域の標高0~500m付近に低比抵抗層が分布することなどが明らかとなった。

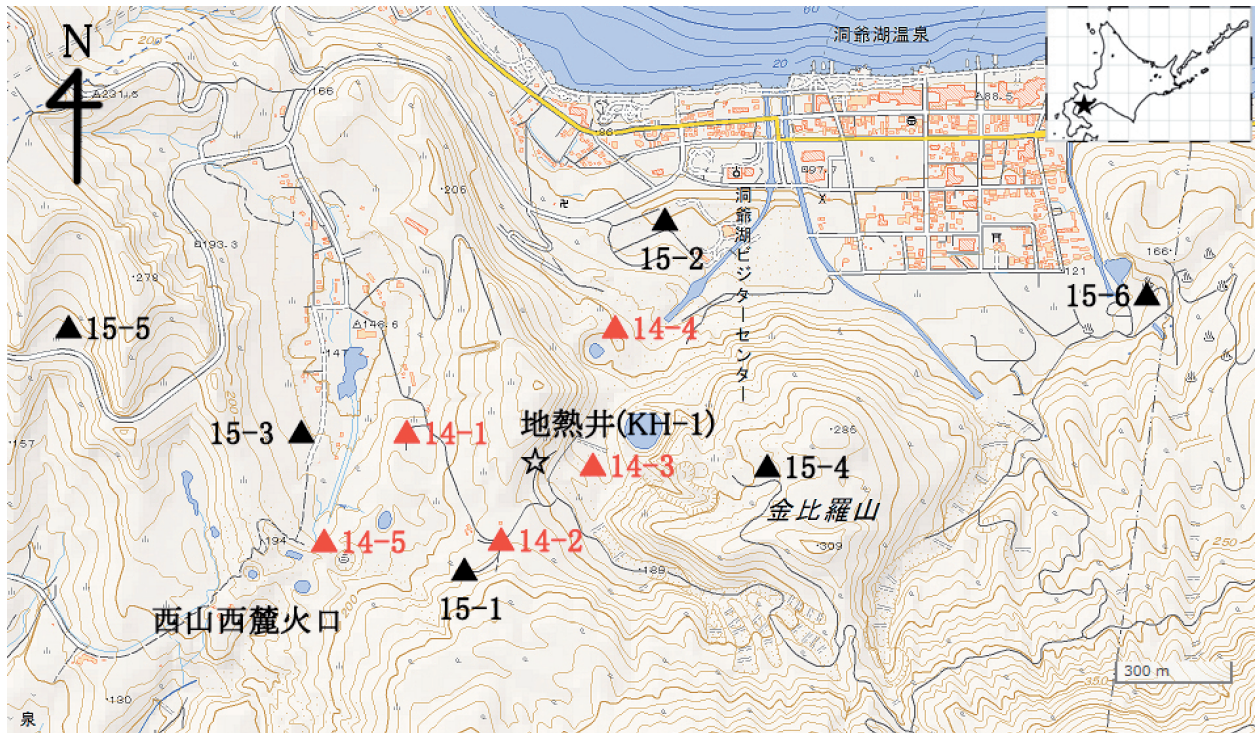
その後, 橋本ほか(2009)によって西山西麓火口周辺での MT/AMT 探査が行われ, 深さ数 km にかけての詳細な比抵抗構造を明らかにするとともに, 新山の隆起中心付近で検出された10Ωm程度の比抵抗域が貫入マグマである可能性について検討された。

しかし, これらの探査はいずれも KH-1の開発前に実施されたものであり, KH-1周辺における地熱資源を対象とした比抵抗構造探査は実施されていなかった。

II.3 本報告における探査の概要

探査領域および探査地点を第1図に示す。いずれの探査においても電場水平2成分, 磁場は鉛直も含めた3成分の時系列を測定し, 収録機器は当研究所所有の独国 Metronix 社製 ADU-07e, 電場の測定は Pb-PbCl2 電極, 磁場の測定にはインダクションコイル MFS-07e を用いた。

2014年の探査は, KH-1の周辺の5地点で実施した(第1図内赤三角印: 14-1~14-5点)。このうち, 14-4地点を除く4地点は2001年に MT 法探査(秋田・柴田, 2003)が行われた地点の近傍に位置している。これは地熱貯留層構造の検出とともに, 2000年有珠山噴火直後のデータと対比することで, 比抵抗構造の変化を把握するためである。



第1図 探査領域および探査地点図. 赤三角は2014年, 黒三角は2015年の探査地点を, 星印はKH-1井をそれぞれ示す. この図には, 国土地理院の電子地形図25000を使用した.

Fig. 1 Sites of MT survey on the northwestern foot of Utsunomiya volcano. Red and black blue triangles indicate survey points in 2014 and 2015, respectively. Topographic map is GSI maps.

探査期間は11月24日～29日および12月8日～12日で, 各地点に機器を約2日間設置してデータを取得した. 使用周波数は32Hz, 1024Hz および32768Hzであり, タイマー設定により32Hz および1024Hzのデータを午前9時(機器設置日は設置時点)から翌日午前4時30分まで, 32768Hzのデータを午前5時から午前5時30分まで取得した.

2015年の探査は, 前年度探査地域の周辺部6地点(第1図内黒三角印: 15-1～15-6地点)で実施した. 探査期間は2015年11月18日～12月17日で, 各地点に5～6日間設置した. 使用周波数および探査時間は2014年と同じである.

得られた電磁場の時系列データに対して以下の処理を実施し, 応答関数を算出した.

1. データのアスキー化

測定データはバイナリー形式で保存されているため, ADU 付属のソフトウェア“tsmp”によりアスキー化処理を実施した.

2. アスキーデータのダウンサンプリング処理

低周波側の構造解析を行うためにダウンサンプリング処理を実施し, 1Hz データを作成した. 処理にあたってはアンチエイリアシングローパスフィルターのカットオフ周期を設定する必要があるが, ここでは4秒で設

定した.

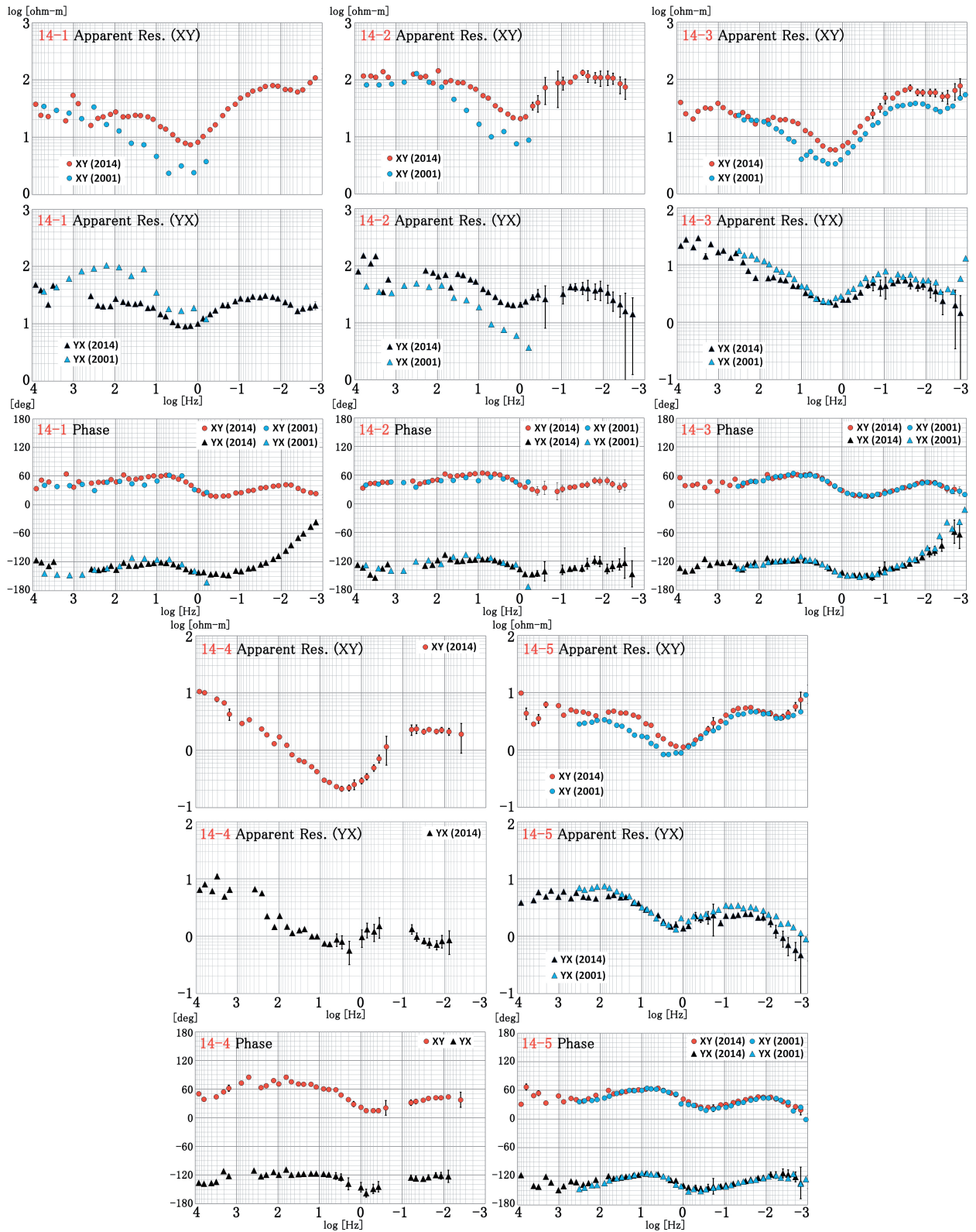
3. 商用電源の高調周波数の除去処理

得られたデータには様々なノイズがあり, フーリエ変換処理による周波数解析によってノイズの大きな周波数帯を検証することができる. 特に大きいノイズ源となったのは商用電源であり, 50Hz およびその高調周波数(50, 100, 150, 200, 250……)で影響がみられた. この影響を除去するため, 50Hz から50Hz および600Hz までの各周波数について, 各々の0.2Hz 幅の範囲(50Hz なら49.8～50.2Hz)のデータを1/1000倍にする処理を行った.

4. MT 応答関数の算出

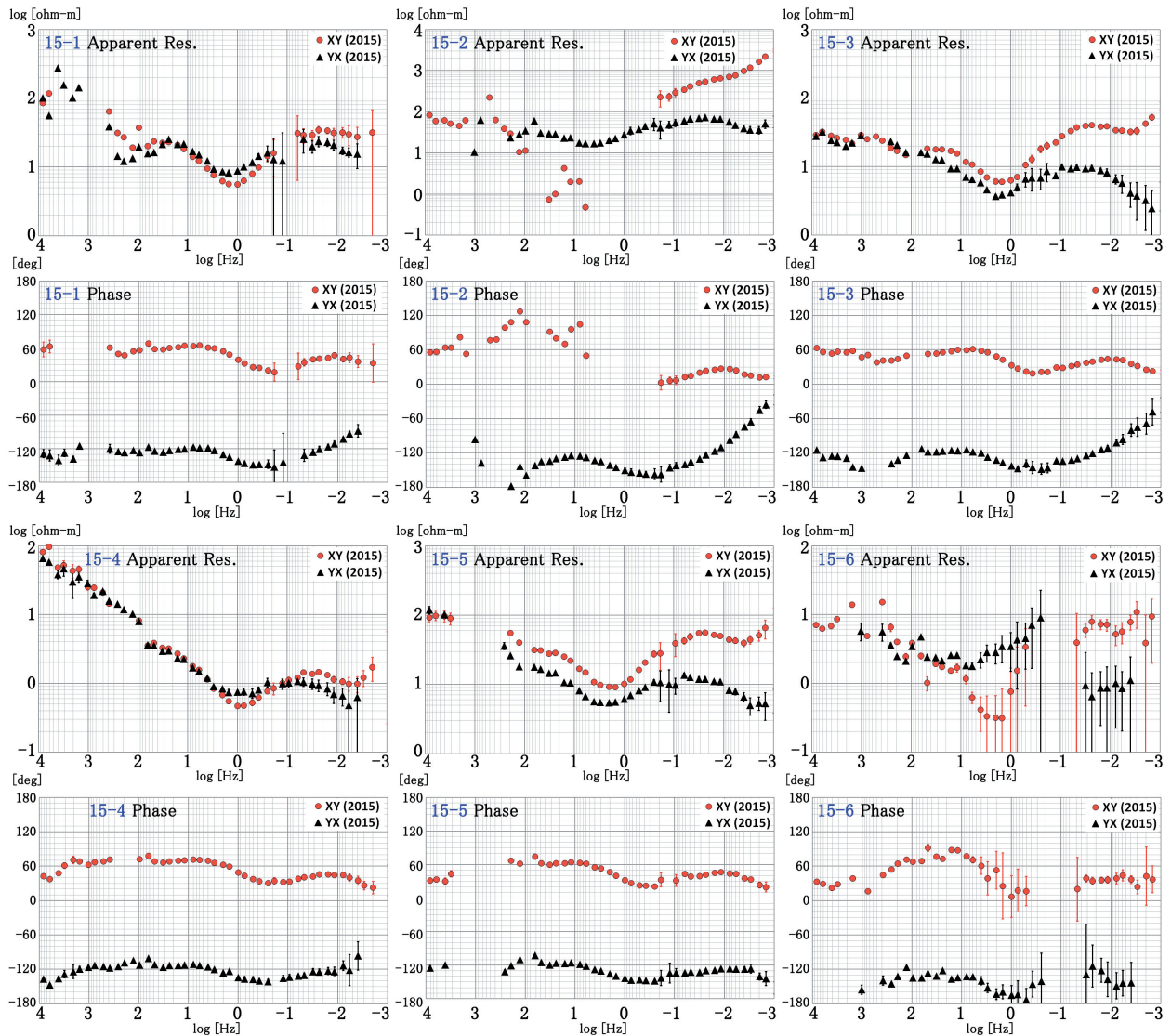
MT 応答関数の計算においては, 32768Hz, 1024Hz, 32Hz および1Hz 値をBIRRP(Chave and Thomson, 2004)で解析し, 12288～0.000488Hz 間の50周波数について見かけ比抵抗, 位相および各々の standard error を算出した. その後, ノイズの多いデータなどを除去するために目視でデータの取捨選択を行った.

MT 探査データの解析においては, リモートリファレンスという処理によって調査域の人工ノイズを除去するのが一般的である. これは, 調査域から十分離れた, 同源の人工ノイズの影響を受けない静穏な場所で測定を行い, 両地域に共通する信号(≒自然電磁場の



第2図 2014年の各探査点に対して得られた見かけ比抵抗および位相。赤印および黒印は2014年探査の結果，青印は2001年に実施された探査結果(秋田・柴田，2003)をそれぞれ示す。

Fig. 2 Apparent resistivity and impedance phase at each site in 2014. Red and Black point indicate the result of this survey. Blue point indicates the result in 2001 (Akita and Shibata, 2003).



第3図 2015年の各探査点に対して得られた見かけ比抵抗および位相。

Fig. 3 Apparent resistivity and impedance phase at each site in 2015.

変動)を優先的に利用することで、調査地固有のノイズを除去するものである。

本探査では、2014年度はKH-1から約10km北西に離れた洞爺湖町成香牧場に参照点を設置してデータを取得し、2015年度は、地熱技術開発株式会社が山形県大蔵村に参照点を設置したことから、その公開データを用いた。ただし、当該参照点では32768Hzのデータを取録していないため、これについては同期間に設置した2地点のデータを相互に参照点データとして採用する相互リファレンス処理を実施した。

Ⅲ 探査結果

2014年の探査データに対して得られた見かけ比抵抗および位相を第2図に示す。14-4地点を除く4地点については、2001年に実施したMT法探査(秋田・柴

田, 2003)の結果と併せて示す。

図では各探査地点に対し、上段に見かけ比抵抗のXY成分を、中段にYX成分を、下段に位相の両成分をプロットした探査曲線を示し、各図の横軸は周波数(Hz)、縦軸は見かけ比抵抗($\Omega \cdot m$)および位相($^{\circ}$)の値をそれぞれ示す。ここで、XY成分は電場が南北で磁場が東西の成分、YX成分は電場が東西で磁場が南北の成分を示す。また、各図においておおよそ左側が浅部、右側が深部の構造を反映していると考えられる。これは、電磁波が地中に浸透する際に、周波数が低いほど減衰が遅く、より深部までの情報を持っているためである。

一般的にMT探査において、人工ノイズ等の影響が少なく、良好な測定が行われた場合、得られた結果を繋げた曲線(探査曲線)は連続的で滑らかなものとなり、また各周波数における応答関数推定値の誤差が小さい。

一方、1~0.1Hz 付近はデッドバンドと呼ばれる自然シグナルの弱い周波数領域にあたり、良好な測定が行われた場合でも誤差が大きくなる傾向がある。

得られた結果は概ね良好であり、連続的な探査曲線となった地点が多い。また、2001年の探査結果との比較では、位相値を中心にほぼ同一の傾向が得られた。14-1および14-2地点においては、見かけ比抵抗値に若干のズレがみられるが、位相値に大きなズレが見られないことから、地表付近の構造(人工物など)が影響したものと考えられる。以上の点から、このエリアでは2000年噴火直後と比較して、比抵抗構造に顕著な変化は発生しなかったと考えられる。

2015年の探査データに対して得られた見かけ比抵抗および位相を第3図に示す。ここでは、各探査地点に対し上段に見かけ比抵抗を、下段に位相をプロットした探査曲線を示すほかは、第2図と同じ構成である。15-2および15-6地点については、探査曲線の連続性が非常に悪い結果となった。観測点の中で最も市街地に近く、また砂防えん堤の鉄板構造物が付近に埋設されており、これらが影響したと考えられる。

良好な探査曲線が得られた地点については、いずれも秋田・柴田(2003)および橋本ほか(2009)と同様の形状を示し、高周波側から低周波側にかけて高比抵抗—低比抵抗—高比抵抗の3層の比抵抗分布を示唆する結果となった。また、見かけ比抵抗の極小値は1Hz 付近に現れているが、同様の探査曲線が得られた過去の研究では、1~10Ωm 程度の低比抵抗層が深度数百 m ~1km 付近に解析されており、探査領域全体における同様の低比抵抗層の存在が期待される。

また、多くの地点で長周期(0.1Hz 以降)における XY と YX の見かけ比抵抗が異なっている。これは、この地域の浅部の比抵抗構造には1次元性がみられるが、深部では2次元ないし3次元構造が存在する事を示唆する。

IV おわりに

本報告では、有珠山北西山麓、洞爺湖温泉地域周辺において、新たに得られた地熱資源の賦存状況把握を目指して実施した MT 探査について、探査の概要、得られた応答関数についてまとめ、さらに2001年に実施した MT 法探査の結果との比較を行った。

探査領域全体の傾向として、高比抵抗—低比抵抗—高比抵抗の3層の比抵抗分布を示唆し、低比抵抗域は深度数百 m ~1km 付近に解析されることが期待される結果となった。また、深部では2次元ないし3次元構造の存在を示唆する結果が確認された。

探査は今後も実施する予定であり、新たなデータを含めた比抵抗構造解析を実施することで、当該地域における地熱・温泉資源の賦存状況について検討する予定である。

謝 辞

現地調査、および探査地点の選定において洞爺湖温泉利用協同組合の四宮 博専務理事および石畑隆史職員に多大なご協力をいただいた。

現地調査では当研究所の大津 直研究主幹、岡崎紀俊研究主幹、鈴木隆広主査、荻野 激主査、高橋 良研究主任、林 圭一研究職員、加瀬善洋研究職員、岡大輔研究職員、大森一人研究職員にご協力いただいた。

探査機器設置に際しては洞爺湖町役場、北海道胆振総合振興局室蘭建設管理部洞爺出張所、環境省洞爺湖自然保護官事務所の方々にご協力いただき、許可申請を行った。

さらに、資源環境部長の高橋徹哉氏には原稿の校閲をしていただいた。

これらの方々には心よりの感謝の意を表します。

なお、本報告は当研究所の経常研究「有珠山周辺における温泉資源に関する研究」によって実施したものである。また、本論文の図の一部の作成には GMT (Generic Mapping Tools) ソフトウェア(Wessel and Smith, 1995)を利用した。

文 献

- 秋田藤夫・柴田智郎(2003)：MT/CSAMT 法による地下構造探査。有珠山火山活動災害復興支援土地条件等調査報告，北海道立地質研究所，173-196。
- 物理探査学会(2000)：物理探査ハンドブック。1408pp。
- Chave A. D. and Thomson D. J. (2004)：Bounded influence magnetotelluric response function estimation. *Geophys J. Inter.*, 157(3), 988-1006.
- 橋本武志・小川康雄・高倉伸一・山谷祐介・市原 寛・宇津木 充・井上寛之・小池哲司・長谷川浩・茂木 透(2009)：有珠2000年新山域の比抵抗構造。北海道大学地球物理学研究報告，72. 79-105。
- 西田泰典・宇津木充・大島弘光・鍵山恒臣・井上智広・森田裕一・茂原諭・前川徳光(1996)：マグネトテルリック観測から推定される有珠火山の比抵抗構造。北海道大学地球物理学研究報告，59. 151-162。
- 小川康雄(1990)：MT 法による地下構造探査。地質ニュース，428. 48-54。
- 大森一人・鈴木隆広・石畑隆史(2016)：地熱水化学成分のモニタリング結果—洞爺湖温泉地区地熱調査ボーリング(KH-1井)—(投稿中)。北海道立地質研究所報告，88. 7-11。
- 高橋徹哉・柴田智郎・高橋 良・林 圭一・四宮 博・大塚行紀(2016)：洞爺湖温泉金比羅山火口近傍における地熱調査ボーリング(KH-1)(投稿中)。北海道立地質研究所報告，88. 1-16。
- Wessel, P. and W. H. F. Smith (1995)：New version of the generic mapping tools released. *EOS, Trans. Am. Geophys. Un.*, 76, 329.