

空中写真判読と時間領域電磁探査に基づく活火山中腹の地質構造の推定： 北海道知床硫黄山での例

山本 睦徳*・後藤 忠徳**・小池 克明***

Inferred Geological Structures on the Flanks of Active Volcanoes Based on Aerial Photographs and Time-Domain Electromagnetic Surveys: A Case Study of Shiretokoiozan Volcano, Hokkaido, Japan

Mutsunori Yamamoto*, Tada-nori Goto** and Katsuaki Koike***

*大阪市立自然史博物館 Osaka Museum of Natural History, Email: yamamoto@earthscience.jp

**兵庫県立大学 大学院理学研究科 地球科学講座

Earth-Science Laboratory, Graduate School of Science, University of Hyogo

***京都大学大学院工学研究科 都市社会工学専攻地球資源学講座地殻環境工学分野

Laboratory of Environmental Geosphere Engineering,

Department of Urban Management Graduate School of Engineering, Kyoto University

キーワード： 知床硫黄山, TEM 探査, 溶融硫黄噴火, 火山活動域

Key words: Shiretokoiozan volcano, TEM exploration, Molten sulfur eruption, Active volcanic area

1. はじめに

知床硫黄山は北海道知床半島に位置する第四紀の活火山で、中腹 1 号火口（新噴火口）から大量の溶融硫黄を噴出することで知られている（第 1 図）. Yamamoto et al. (2017) は自然電位探査と電気探査、地質調査等を行い、1 号火口の東側斜面に火山ガスの上昇域があり、そのために噴気活動が活発である可能性を示した。本研究では、さらに地下構造調査を行って、より深部での火山ガスや地下水の上昇過程を推定するために、2022 年と 2023 年に TEM(Transient Electro Magnetic Survey)探査を行った。TEM 探査は人工磁場変動を用いた探査方法であり、地下の比抵抗分布を探査するために使われている。本研究では、空中写真による地表面の熱水変質帯の判読、赤外線空中写

真、自然電位と TEM 探査結果を相互に比較し、地表下に埋没した過去の噴気域の検出も含め、噴気活動域について明らかにした。

2. 調査地の概要

調査地である 1 号火口は知床硫黄山の北西山麓の標高 600m 地点に位置し、周辺は熱水変質の影響により植生が薄く地表が露出している。第 2 図の赤線の北西側は、過去に活動していたと推察されている地域であるが、一部を除いて現在はほとんど活動していない。一方、第 2 図の赤線の東側から南東部にかけては、現在も火山活動が活発である（Yamamoto et al., 2017）。知床硫黄山北西山麓は全体が数枚のシート状溶岩によって覆われており、1 号火口周辺は溶岩が熱水変質により玉ねぎ状風化が生じ、数十 cm から大きなものでは数 m のコアストーンが全体を覆っている。また、カムイワッカ川の源流（温泉）、大広間の陥没、1 号火口、噴気帯は曲線上に並んでいる。

3. TEM 探査法

TEM 探査では各地点で 20m × 20m の正方形のコイルを地面に設置し、Applied ElectroMagnetic Research 社製 TEM-FAST 48 HPC (Model: 13W32-38K-2012/S2)および同社製の解析ソフトウェア TEM-RES を使用した。送信ループアンテナ（コイル）と受信ループアンテナは共通であり、1 次磁場遮断後に同じコイルを使って 2 次磁場を観測した。調査地には直径数 m 以下の転石やハイマツなどの障害物が多かったが、できる限り地面に接するようにケーブルを設置した。

4. 結果

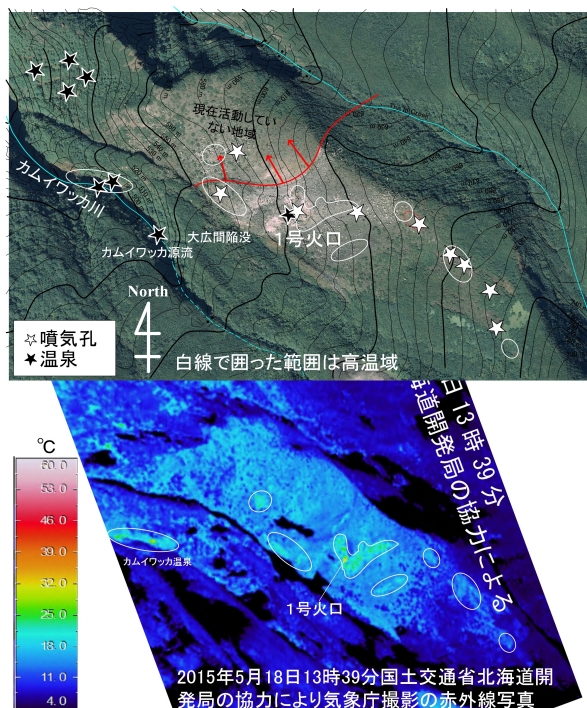
4.1 空中写真と赤外線写真の判読

地表状態と地表面の温度を比較するために、空中写真（2014 年 9 月 21 日林野庁撮影）と赤外線空中写真（2015 年 5 月 18 日気象庁撮影）を比較した（第 2 図）。空中写真



第 1 図 知床硫黄山の位置

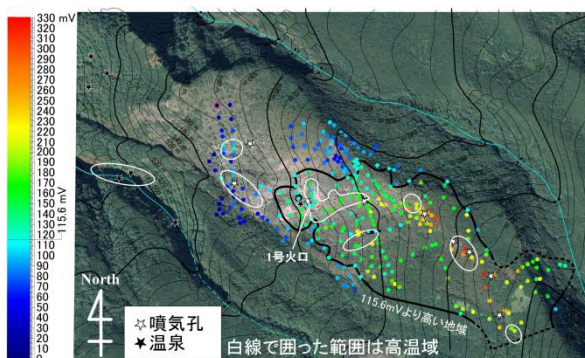
の赤線より北西側は、一部を除いて火山活動がほとんど見られないことが地表踏査より判明しているが、過去に熱水変質した砂礫とコラストーンで覆われている。一方、赤線の南東側は赤外線写真で比較的温度が高い領域が現れている。1号火口内の噴気は第2図では約35℃であるが、現地で計測した噴気の温度は98.3℃（2024年8月21日）であった。このことから、高温領域は赤線の南東側に集中しており、噴気活動が活発であることが確かめられる。



第2図 空中写真（2014年9月21日林野庁撮影）と赤外線空中写真（2015年5月18日気象庁撮影）。1号火口周辺は、植生が薄く熱水変質岩が露出している。現在活動しているのは、赤い線より南東側（右下）である。

4.2 自然電位探査と空中写真との比較

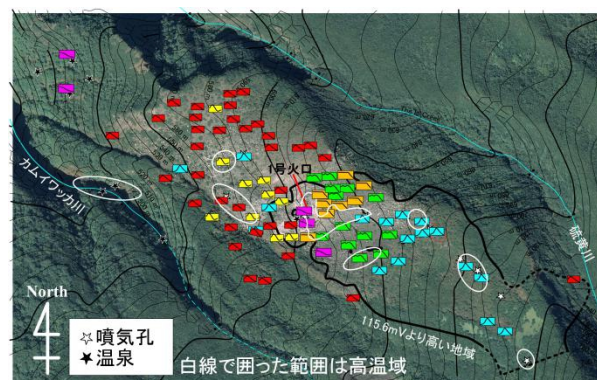
Yamamoto et al. (2017)による自然電位探査の結果と空中写真とを重ね合わせると（第3図）、1号火口の東方に自然電位が高い領域が広がっている。また、地表面の高温域と噴気帯の位置、および自然電位が相対的に高い地点は概ね一致しており、特に115.6mVの等電位線の内側で噴気活動が活発である（Yamamoto et al., 2017）。



第3図 自然電位探査結果（Yamamoto et al., 2017）と空中写真の重ね合わせ。噴気が見られる地点で最も低い自然電位は115.6mVで、太い黒線は115.6mVの等電位線を表す。

4.3 TEM 探査結果

探査結果の表示法として、各地点での比抵抗－時間グラフの形状の類似性を基にグループ分けし、空中写真上に各測定地点を色分けした結果を第4図に示す。



第4図 TEM 探査結果の比抵抗－時間グラフを簡略化したもの。特徴に基づいて形状で分類・色分けし、各計測地点に示した。

噴気地域とそうでない地域とでは TEM の波形の特徴が異なる。特に、活動が活発な1号火口の東側では、100 μ s 付近で極性が反転する特徴（極性反転、水色）が現れた。この極性反転の出現する地域は、噴気域の北西部でも認められた。また1次元地下比抵抗構造解析から、本地域での探査深度は概ね数十 m であることが分かった。

5. 議論

1号火口東側は噴気の多くが集中し、自然電位が噴気が活発な地域であることが確認されており（Yamamoto et al., 2017）、赤外線空中写真でも高温域が確認された。この地域での TEM 探査結果は極性反転を示したが、これは地下に低比抵抗・高充電率の岩体が分布する場合にしばしば認められる。従って、噴気の活発な地域の地下10m 以深に、硫化鉱のような高い充電率の岩石が分布すると推測される。

また、1号火口の西側にも、TEM 探査結果に同様の波形が現れている場所が2カ所あり、そこは周囲より自然電位が若干高く、赤外線空中写真でも周囲より温度が高い。またガス放出量が少ないながらも噴気孔が存在する。これらから、地下からのスポット的な火山ガス・熱水流体の供給がこの地域に分布している可能性が高い。

6. まとめ

知床硫黄山北西中腹1号火口周辺では、温度と自然電位が高く噴気が盛んな活動域で TEM 探査の比抵抗－時間グラフで100 μ s 付近に極性反転が現れるという現象を見出すことができた。これは火山体の地表下10m 以下の火山ガス・熱水上昇域の広域マッピングと、これらの流体上昇プロセスの理解に貢献できる。今後は他の火山でも同様の統合調査を行う。

文 献

Yamamoto, M., Goto, T., Kiji, M. (2017) Possible mechanism of molten sulfur eruption: Implications from near-surface structures around of a crater on a flank of Mt. Shiretokoiozan, Hokkaido, Japan. *J. Volcanol. Geoth. Res.* 346, 212–222.