

(1) 実施機関名：

東京工業大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

水蒸気噴火の準備過程を捉えるための火山熱水系構造モデルの精緻化

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題では、浅部熱水系への流体供給源であるマグマだまりや、Brittle-Plastic境界（地表下2-3 km 付近）以深に貯留されている高温・高圧の熱水の挙動を観測から伺い知るために、これまで判明している領域よりもやや深い場所の地下構造と、その周辺の熱水流動との関係を明らかにすることを目標とする。そのために、草津白根、御嶽および伊豆大島火山の3火山において電磁気学的な構造探査を基軸とした観測研究を実施する。本課題では、得られた地下比抵抗構造の特徴を、地球物理・地球化学的な観測成果と比較することで解釈する。すなわち、山体スケールで地震・地殻変動等の観測とデータ解析を進めるほか、火口周辺に加えて、やや広域を対象として噴気ガスや温泉等の試料採取する、あるいは既存データを収集する。このように得られた諸成果を整理することで、地下数~10 km 程度までのやや深い領域までの構造と流体輸送との関係を研究する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1年目：草津白根、伊豆大島および御嶽火山（以下、対象3火山と呼ぶ）においてMT観測等の電磁気学的構造探査を実施。草津白根火山では地球物理観測（地震・地殻変動、全磁力および温度観測）、

および地球化学的調査（広域での温泉水採取、および火口周辺での繰り返しサンプリング）を実施
2年目：対象3火山において電磁気学的構造探査を実施。草津白根火山では地球物理観測および地球化学的調査を継続
3年目：対象3火山において比抵抗構造解析を進めるほか、必要に応じて補充観測を実施。草津白根火山では温泉および震源分布等の解析を行うほか、地球物理観測および地球化学的調査を継続
4年目：対象3火山において比抵抗構造を求める。伊豆大島ではCSEM連続観測を実施。草津白根火山では温泉および震源分布等の解析を行うほか、地球物理観測および地球化学的調査を継続
5年目：対象3火山において得られた比抵抗構造を、地球物理および地球化学的調査結果に基づき解釈する。伊豆大島ではCSEM連続観測を継続。草津白根火山では地球物理観測および地球化学的調査を継続

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

(草津白根)

草津白根山のマグマ供給系 (Matsunaga et al., 2022) と関係が深いと考えられる志賀火山においてMT観測を実施した。予察的な解析によれば、白根山浅部の cap rock に対応するような顕著な低比抵抗層は認められていない。同地域ではテレメータおよび現地収録型の臨時地震観測を継続しており、特に同火山・鉢山付近の海水準付近に微小地震活動が存在することが分かった。2018年に地鳴りを伴う顕著な群発地震が発生した高山村では、2022年6月、従来は地震活動が認められなかった笠ヶ岳南側付近を震源域とする顕著な群発地震が捉えられ、震源決定できた。電磁アクロス実験については、落雷による送信アンプ故障のため観測時期が限られ、当初予定の追加送信局の設置が実施できなかった。

定常地震観測網から得られたデータに基づき、2014年以降の unrest 期間の震源再決定を進めた結果、2018年頃に震源が北東方向へ migration していたことが明らかとなった。この変化は、湯釜火口湖の湖水濃度時系列解析 (Terada et al., 2022) から示唆される alunite など二次鉱物の溶脱・沈殿と時期を同じくしており、浅部での流路閉塞や開放が火山 unrest の多様性を生み出している要因として重要と考えられる (寺田・他, 2022)。

草津白根山の湯釜火口北側の噴気について、He/Ar 比に基づきマグマ発泡度の変化が検出された (Obase et al., 2022)。発泡度変化のタイミングは浅部熱水だまりの膨張・収縮とよく一致しており、同火山の unrest を駆動するマグマ～浅部活動の物質学的な繋がりが確認できた。

火口周辺の浅部構造および物質輸送を地球化学的に明らかにするために、希ガス、二酸化炭素、および気体水銀を用いた新しい測定手法の開発を進めた。この結果、過去に繰り返し噴火した火口外領域の一部について、現在は熱活動が認められないにも関わらず、現在もマグマ起源ガスが上昇していることが分かった (高橋・他, 2022 ; 若松・他, 2022)。

(御嶽)

山体構造解明のため、山頂域南部(2014年火口域)における長周期 MT データの取得を目指している。しかし、アクセスの困難さや JR 中央線等からのノイズにより、山体深部の比抵抗構造の解明に必要な周期0.3秒以上の MT レスポンスの解明が困難である。この問題を長期間観測により解決することを意図して、本年度は MT 及び広帯域 MT 観測を山頂域(2014年火口付近)の2箇所において8-10月の2ヶ月程度域実施した。その結果、磁気擾乱の起きたタイミングでMTデータを取得することができ、周期100秒までの良好な MT レスポンスが得られた。予察的な1次元比抵抗構造解析によると、地表からの深度約 100 m 以下の領域に 7 ohm-m 以下の低比抵抗域が分布していることが明らかとなった。この領域は、火山活動に関連した熱水域または変質粘土を反映していると考えられる。

(伊豆大島火山)

2021年度実施の広帯域MT観測で取得されたデータを解析した。初期解析の結果、三原山中央火口下深度数 km 付近は周囲に比べて比抵抗が低い傾向であることが検出された。このことは、火口下に火山性流体による熱水あるいはその変質体が存在することを示唆するもので、当課題で既報の ACTIVE 法による比抵抗構造推定結果と調和的であることがわかった。ここ数100年は中央火口からの噴火が連続していることから、この熱水系は弱点として存在しているため、次期噴火も同じ経路を使って噴火活動をする可能性が高いと考えられる。また、カルデラ内 AMT 観測データの初期解析の結

果、1986年噴火のB火口列下浅部が低比抵抗であることが分かった。この領域は無人ヘリコプターを用いた稠密空中磁気測量からは低磁化領域として検出されており、このことは1986年噴火時に未噴出のマグマが残存している可能性があることを示唆する。地磁気や ACTIVE での連続観測は継続して実施しており、これまでのところ火山活動に伴うとみられるデータ異常はみとめられない。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

各火山で火口周辺における多項目の高密度観測が継続されているほか、地下構造調査が進んだ。特に草津白根山においては、深部マグマから地表へと至るマグマ・熱水供給系がイメージされたばかりでなく (Matsunaga et al., 2022), 化学的観測事実に基づく地下浅部状態把握の可能性が示された (例えば, Obase et al., 2022; Terada et al., 2022)。このように得られた多項目データに基づく現象理解は、モニタリングデータに基づく活動評価 (例えば Volcano Unrest Index, VUI の作成), あるいは、事象系統図を作成するための科学的根拠となる。また、本課題が担当する御嶽山および伊豆大島で得られる観測データを解釈するためにも有益である。地下構造調査は各火山で完了しつつあることから、今後、他火山へ同手法の適用を進めて比較研究を行うことが期待できる。また、地下構造の理解が深まったことを基礎として、あたらしい観測方法、解析手法の開発を進めてゆくテストフィールドとしても、今後の方向性として重要である。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

・論文・報告書等

小山崇夫,2023,電磁気連続観測からみる伊豆大島火山の推移,次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト, 課題関連携研究集会「火山学はどのように噴火様式・推移の予測を行うか:伊豆大島火山を例にして」プロシーディング, 防災科学技術研究所研究資料,487,41-44

Koyama T., Kaneko T., Ohminato T., Watanabe A., Honda Y., Akiyama T., Tanaka S., Gresse M., Uyeshima M., Morita Y.,2022,Magnetization Structure and its Temporal Change of Miyakejima Volcano, Japan, Revealed by Uncrewed Aerial Vehicle Aeromagnetic Survey,Journal of Disaster Research,17,644-653,10.20965/jdr.2022.p0644

Koyama T., Kaneko T., Ohminato T., Yasuda A., Ogawa T., Watanabe A., Sakashita S., Takeo M., Yanagisawa T., Honda Y., Kajiwaru K.,2022,An ultra-high-resolution autonomous uncrewed helicopter aeromagnetic survey in Izu-Oshima Island, Japan,Journal of Volcanology and Geothermal Research,425,107527,10.1016/j.jvolgeores.2022.107527,査読有

Takeo M., Aoki Y., Koyama T.,2022,Recent volcanic activity at the Asama volcano and long-period seismic signals,Proceedings of the Japan Academy. Series B, Physical and biological sciences,98,416-438,10.2183/pjab.98.022,査読有

Suzuki, Y., T. Akatsuka, Y. Yamaya, N. Watanabe, K. Okamoto, K. Osato, T. Kajiwaru, Y. Ogawa, T. Mogi, N. Tsuchiya, H. Asanuma,2022,Estimation of an ultra-high-temperature geothermal reservoir model in the Kakkonda geothermal field, northeastern Japan,Geothermics,105,102525,10.1016/j.geothermics.2022.102525,査読有

Matsunaga, Y., W. Kanda,2022,Numerical modeling of a volcanic hydrothermal system based on resistivity structure,Journal of Disaster Research,17,654-662,10.20965/jdr.2022.p0654,査読有

Matsu'ura, K., A. Terada, T. Mori, T. Ono,2022,A simple method for the analysis of fumarolic gases using response-adjusted sensors with a UAV,Journal of Disaster Research,17,620-629,10.20965/jdr.2022.p0620,査読有

Ogawa, Y., T. Ohba, T.P. Fischer, M. Yamamoto, A. Jolly,2022,Special issue "Understanding phreatic eruptions - recent observations of Kusatsu-Shirane volcano and equivalents -",Earth Planets Space,74,100,10.1186/s40623-022-01643-0,査読有

Matsunaga, Y., W. Kanda, T. Koyama, S. Takakura, T. Nishizawa,2022,Large-scale magmatic-hydrothermal system of Kusatsu-Shirane Volcano, Japan, revealed by broadband magnetotellurics,Journal of Volcanology and Geothermal Research,429,107600,10.1016/j.jvolgeores.2022.107600,査読有

Yamaya, Y., Y. Suzuki, Y. Murata, K. Okamoto, N. Watanabe, H. Asanuma, H. Hase, Y. Ogawa, T. Mogi, K. Ishizu, T. Uchida,2022,3-D resistivity imaging of the supercritical geothermal system in

the Sengan geothermal region, NE Japan, Geothermics, 103, 102412, 10.1002/essoar.10509292.1, 査読有

Ishizu, K., Y. Ogawa, K. Nunohara, N. Tsuchiya, M. Ichiki, H. Hase, W. Kanda, S. Sakanaka, Y. Honkura, Y. Hino, K. Seki, K.H. Tseng, Y. Yamaya, T. Mogi, 2022, Estimation of spatial distribution and fluid fraction of a potential supercritical geothermal reservoir by magnetotelluric data: a case study from Yuzawa geothermal field, NE Japan, J. Geophys. Res. Solid Earth, 127, e2021JB022911, 10.1029/2021JB022911, 査読有

Terada, A., M. Yaguchi, T. Ohba, 2022, Quantitative assessment of temporal changes in subaqueous hydrothermal activity in active crater lakes during unrest based on a time-series of lake water chemistry, Front. Earth Sci., 9, 740671, 10.3389/feart.2021.740671, 査読有

Obase, T., H. Sumino, K. Toyama, K. Kawana, K. Yamane, M. Yaguchi, A. Terada, T. Ohba, 2022, Monitoring of magmatic-hydrothermal system by noble gas and carbon isotopic compositions of fumarolic gases, Sci. Rep., 12, 17967, 10.1038/s41598-022-22280-3, 査読有

・学会・シンポジウム等での発表

若松 海・寺田暁彦・角野浩史・小長谷智哉・谷口無我・大場 武, 2022, 草津白根火山・湯釜火口周辺における土壌ガス中のヘリウム・炭素同位体比—土壌ガスの起源, 日本火山学会2022年秋季大会, B1-02

寺田暁彦・鈴木レオナ・谷口無我・大場 武, 2022, 湖水濃度変動から示唆される草津白根山浅部熱水循環の時間変化, 日本火山学会2022年秋季大会, B2-12

Serita, S., Ogawa, Y., Ishizu, K., Tseng, K.H., Kunitomo, T., Minami, T., Ichihara, H., Caldwell, T.G., Heise, W., Bertrand E.A., 2022, EM-ACROSS System: Installation at the Kusatsu-Shirane Volcano, Japan, EMIW 2022

高橋祐希・寺田暁彦, 2022, 火山における土壌拡散水銀放出率の精密測定, JpGU2022, SVC33-10

小山崇夫・金子隆之・大湊隆雄・安田 敦・小河 勉・渡邊篤志・坂下至功・武尾 実・柳澤孝寿・本多嘉明・梶原康司, 2022, 無人ヘリコプターを用いた伊豆大島高解像空中磁気測定の再解析, JpGU2022, STT37-P03

小山崇夫・金子隆之・大湊隆雄・渡邊篤志・本多嘉明・秋山峻寛・田中伸一, 2022, ドローンを用いた空中磁気測量による三宅島磁化構造解析, JpGU2022, STT37-01

Koyama T., Uyeshima M., 2022, CSEM monitoring in Izu-Oshima volcano, Japan, The 25th EM Induction Workshop, P3.2.05

市原 寛, 2022, 御嶽山の電磁気探査, 御嶽山・箱根山・草津白根山—水蒸気噴火および防災と観光—

(10) 令和4年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

項目: 火山: 地温測定 (現地・DTS)

概要: DTS試験観測 (側線長1.2km)

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開留保中 (公開時期・ポリシー未定)

項目: 火山: 地震: 短周期地震観測

概要: 定常・臨時観測 (14点)

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開留保中 (公開時期・ポリシー未定)

項目: 火山: 地震: 広帯域地震観測

概要: 定常観測 (3点)

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：空振観測

概要：定常観測（1点）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地殻変動：傾斜計観測

概要：定常観測（ボアホール3点，地表付近3点）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地殻変動：GNSS観測

概要：連続・繰り返し観測（14点）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：

項目：火山：その他

概要：定常観測（湖面水位1点・水温2点）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地殻変動；地下水位観測

概要：定常観測（1点）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：構造：MT・AMT観測

概要：電磁ACROSS

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：磁力観測（全磁力・3成分）

概要：定常観測（4点）

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275

調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地球化学：噴気ガス・土壌ガス

概要：：噴気（定期採取5か所），土壤ガス（臨時採取，多点）
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275
調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：地球化学：採水
概要：湯釜火口湖（定期採取，1か所）
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275
調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：遠望観測（カメラ）
概要：湯釜火口内（1か所）
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275
調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：熱映像・噴気温度
概要：夜間空中観測（年1回），30m深地下水温度（定常1点），80m坑井内水晶温度計観測（定常1点）
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：群馬県草津町草津白根山 36.643889 137.5275
調査・観測期間：昨年度より継続-次年度も継続予定
公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

項目：火山：構造：MT・AMT観測
概要：試験観測（2か所）
既存データベースとの関係：
調査・観測地域：長野県王滝村御嶽山 35.893094 137.480644
調査・観測期間：2022/8/1-2022/10/31
公開状況：

(11) 令和5年度実施計画の概要：

草津白根山では，現計画を通じて構築してきた地震臨時観測点と，従来から運用してきた地殻変動観測点による連続観測を継続する．これにより，白根山周辺のみならず，志賀火山や長野県高山村周辺の地震活動についても定常作業で把握できる体制を維持する．また噴気ガス，地中ガス，および湯釜火口湖水の定期採取を継続し，地球化学的な知見と物理観測から得られる示唆を併せて，草津白根火山の統合的な理解を進める．比抵抗構造調査は順調に進んでおり，本年度は志賀および本白根山において必要に応じて補完的な観測を行う．引き続き，電磁アクロス計測を繰り返すほか，送信源を湯釜火口から1 km 程度の地点にも設置し，湯釜直下の高比抵抗を示すと期待される蒸気層の探査を行う．

御嶽山では，令和4年度観測を実施した広帯域MT観測点の1点で再測を行うとともに，山頂域中央部のさらに2地点においてMT観測を実施する．同時に，既存データの再解析および比抵抗構造モデリングを進める．

伊豆大島では，広帯域MT観測データの詳細な解析を進め，地震・地殻変動等多項目データとの統合解釈や空中磁気測量により推定された磁化構造との比較などを通じて，伊豆大島火山のマグマ供給系の解明をおこなう．また，全磁力やACTIVEの電磁気連続観測を継続し，次期火山活動監視を引き続きおこなっていく．

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

寺田暁彦（東京工業大学）,神田 径（東京工業大学）,小川康雄（東京工業大学）,野上健治（東京工業大学）

他機関との共同研究の有無：有

青山 裕（北海道大学）,山本 希（東北大学）,小山崇夫（東京大学地震研）,市原 寛（名古屋大学）,前田裕太（名古屋大学）,渡辺俊樹（名古屋大学）,大倉敬宏（京都大学）,角野浩史※研究協力者（東京大学大学院総合文化研究科）,鬼澤真也※研究協力者（気象庁気象研究所）,山田大志※研究協力者（防災科学技術研究所）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：理学院火山流体研究センター

電話：

e-mail：

URL：<http://www.ksvo.titech.ac.jp/jpn/>

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：寺田暁彦

所属：理学院火山流体研究センター