

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01175

研究課題名（和文）ネットワークMT法データによる沈み込み帯の火山・非火山地域のマグマ分布の解明

研究課題名（英文）Elucidating structural difference between volcanic and non-volcanic regions in an island arc system based on the Network-MT surveys

研究代表者

畑 真紀 (Hata, Maki)

京都大学・防災研究所・助教

研究者番号：30884473

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：沈み込み帯に位置する島弧では、沈み込むプレートが地球内部に持ち込んだ流体がマントルに付加することで火成活動が誘発され沈み込むプレートの等深度線に平行な火山列が形成される。一方、火山列上には100kmにも亘って火山性構造物のない領域（非火山地域）が形成されることがある。しかしながら、地下の火成活動の差異と地下構造との実質的な関連については未解明な部分が残っている。そこで本研究では、その要因の理解を目指してヒクランギ沈み込み帯に位置するニュージーランド北島の火山地域と非火山地域を覆う領域において観測研究を実施した。そして、火成活動の差異に対応する比抵抗構造の不均質性を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大局的には同一の地勢状況にある一つの島弧に形成された火山地域と非火山地域といった地形の多様性が、どのような地下の不均質性によって規定・形成されるのかを明らかにすることに資する3次元比抵抗構造解析のためのデータ取得をヒクランギ沈み込み帯に位置するニュージーランド北島で達成したことは科学的に非常に意義深い。また、火山地域と非火山地域を有する異なる島弧の地下の不均質構造を抽出して比較研究すれば、火山形成メカニズムを考察・評価できる可能性があり、将来に向けた防災研究に貢献できると考えられることから社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：In island arcs situated in subduction zones, volcanic/magmatic activity is caused by fluids brought into the Earth's interior by the subducting plate to the mantle. This process leads to the forming of a volcanic chain on the Earth's surface of the island arc, which aligns along a specific iso-depth contour line of the subducting plate. Conversely, non-volcanic regions of approximately 100km in width can be found within a volcanic chain. However, the relationship between variations in underground volcanic activity and the subterranean structure is not fully understood. To investigate this, we conducted observational research using long-period magnetotelluric surveys in an area covering the volcanic and non-volcanic regions on the North Island of New Zealand, located in the Hikurangi subduction zone. Our study found heterogeneity in resistivity structure corresponding to variations in magmatic activity.

研究分野：地球内部電磁気学

キーワード：長周期MT法観測 沈み込み帯 島弧の火山地域と非火山地域 地下の不均質性 比抵抗構造

## 1. 研究開始当初の背景

沈み込み帯では、沈み込むプレート(スラブ)とともに地球内部に流体が持ち込まれる。持ち込まれた流体の分布や移動は、沈み込み帯での火成・火山活動や地震活動において重要な役割を担う。スラブに含まれる流体は、一定の温度-圧力に達すると脱水反応によりスラブから放出され、マントルに付加すると部分熔融を引き起こし、島弧火山のマグマの素をつくとされる。そのため、概ね、沈み込むプレート等深度線上に火山列(火山フロント)が形成される。一方で、島弧の火山列上には、九州やニュージーランド北島で見られるように 100km 程度に亘って活動的火山(第四紀の火山)の存在しない非火山地域が存在する。

本研究の代表者は、これまで、九州の火山地域と非火山地域の地下の不均質構造の相違点を電磁気学的な観点から研究してきた[e.g., Hata et al., 2015; 2018; 2020]。そして、火山地域の地下(地殻およびマントル)には、電気比抵抗値が低く電気が流れやすい状態の領域が存在することから、非火山地域に比べて流体(および、マグマ)に富んだ領域が存在することを明らかにしてきた。このように、沈み込み帯に形成された島弧列島である日本では、地球内部に持ち込まれた流体によって火成・火山活動が活発になる領域が存在するわけであるが、火成・火山活動の不活性な領域(非火山地域)も存在する。しかしながら、大局的には同一の地勢状況(沈み込み帯というテクトニクス場)にある一つの島弧(例えば、九州やニュージーランド北島)に、火山地域と非火山地域が形成される明確な要因は解明されていない。従って、沈み込み帯での火山形成メカニズムの解明を目指すならば、火山地域のみならず非火山地域をも含めた沈み込み帯の大局的な地下構造を捉えることが不可欠と考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、先ず、異なる沈み込み帯において、その島弧に形成されている火山地域と非火山地域の地下の不均質構造の相違点を電磁気学的な観点から明らかにすることである。そのため、ニュージーランド北島の火山地域と非火山地域を覆う領域において、マントルの深度に至る大規模構造を求めるのに有利な電磁探査法の一つである長周期 MT 法観測を計画実施する。大局的には同一の地勢状況(テクトニクス場)にある一つの島弧の火山地域と非火山地域の地下の不均質構造の相違点を異なる島弧で抽出して比較・議論することは、沈み込み帯の火山形成メカニズムを考察する上で重要と考えられるからである。そこで、日本の九州と似た火山性構造物(火山帯・火山性地溝、および、火山帯に分布するカルデラや第四紀の火山)を有するニュージーランド北島の火山地域と非火山地域下の不均質構造を抽出し、九州下の不均質構造と比較した上で沈み込み帯の火山形成メカニズムの議論に寄与する知見を得ることを目指す。

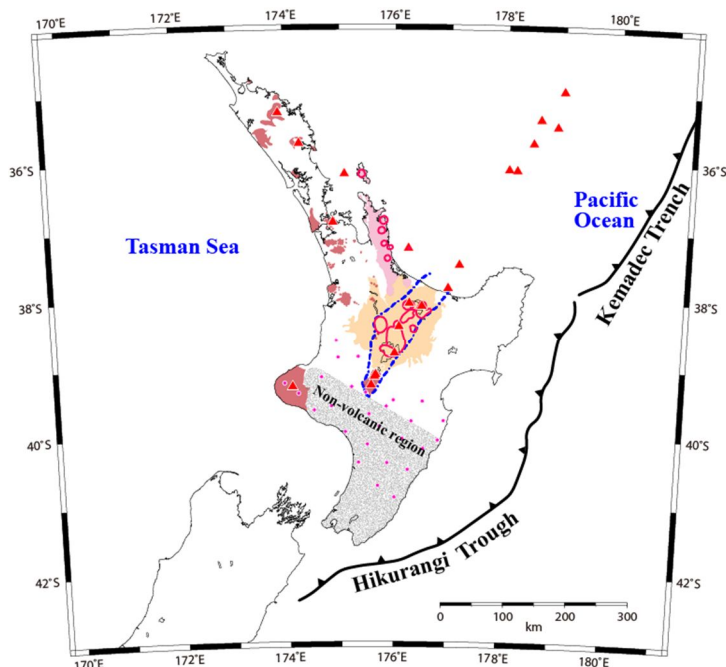


図1. ニュージーランド北島の主な火山地形(△:火山、○:カルデラ、○:溶結凝灰岩および流紋岩の火砕流台地、○:玄武岩および安山岩の火砕流台地)と長周期 MT 法観測点(□) [e.g., Briggs et al., 2005; Williams et al., 2013].

### 3. 研究の方法

本研究は、当初、自然電磁場を利用した magnetotelluric 法 (MT 法) の中でも日本において展開・発展してきた観測手法であり、大規模な構造解析に有利なネットワーク MT 法観測[e.g., Uyeshima, 2007]を用いて進めていくことを念頭に計画立案されたものであった。ネットワーク MT 法観測は、電話通信会社のメタリック通信線を電位差測定用のケーブルとして利用することから、数km~数10kmという長基線での電位差測定を達成できるのでデータのS/N比向上を図れ、加えて、ケーブルは電話通信会社によって常に保守されているので、通常の MT 法と比べて簡単に長期間かつ連続的に安定した電位差測定を実現できるという優位性をもつ。そこで、ヒクランギ沈み込み帯に位置するニュージーランド北島のタウポ火山帯南端部と非火山地域を覆う 300 km × 150 km 四方の領域 (図1) においてネットワーク MT 法観測網を展開して地下の不均質構造を電磁気学的な観点から明らかにするための長周期データ取得を行う計画であった。

しかしながら、研究初年度の 2021 年度は、コロナ感染症拡大防止の様々な規制が解除されない状況であったため、ニュージーランド国の規定に沿って現地協力機関 (GNS Science、電話通信会社) が行動制限を続けていたこともあり、ニュージーランドでの調査・観測を進めることが困難になってしまった。また、続く 2022 年度は、ネットワーク MT 法観測網の構築に向けての最終協議中であったにもかかわらず、突如、メタリック通信回線網設備を有する電話通信会社の経営判断により、新規のネットワーク MT 法観測網の構築を断念せざるを得ない状況に陥ってしまった。これは、コロナ感染症拡大防止の行動規制のためという不可抗力ではあったが、2021 年度内に協議していたようにニュージーランド北島内にネットワーク MT 法観測網を構築できなかったため、本研究に係る作業が、電話通信会社の以降の本務に影響を及ぼす可能性がゼロでは無いと判断されてしまったことに起因した。

一方で、研究目的達成のための多点における長周期電磁場データの取得は、対象領域に数十 km 間隔に 20~30 の観測点を設ける機動観測を実施すれば可能と判断できたことから、新たな長周期電磁場測定に係る機動観測を対象領域内で観測点の適正配置を図った上で計画・展開した。ここで、低消費電力とコンパクトさを達成するための新観測システムの試験観測は国内で進めた。そして、2023 年 7 月から 2024 年 1 月の期間に設定した 4 サイクルの機動観測キャンペーンを完了させ、これまで当該地域では成されていなかった高品質な長周期電磁場データの取得に成功した。取得した電磁場データは、時系列データ解析を行い地下の電気比抵抗情報を有する MT 応答関数へと変換した後に、地下の空間分布を把握するための位相テンソル解析[Caldwell et al., 2004]および 1 次元比抵抗構造解析[e.g., Constable et al., 1987]を適用して対象領域の地下の不均質性について検討して取りまとめた。

### 4. 研究成果

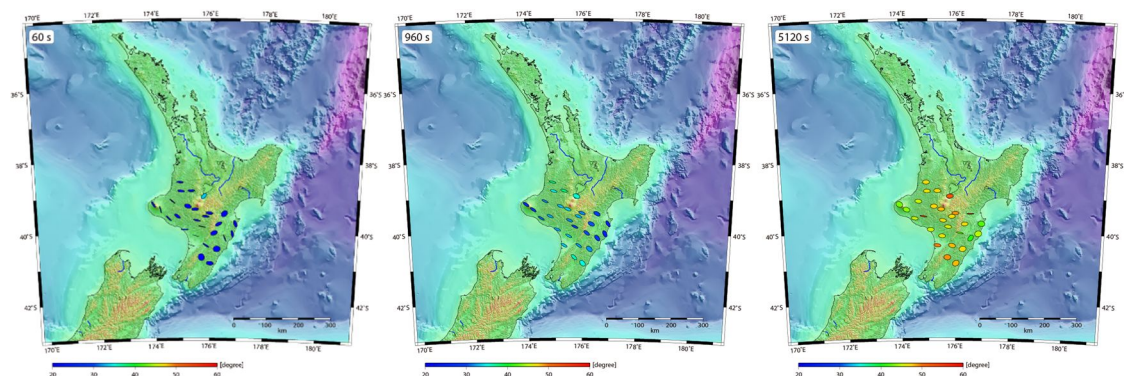


図2. MT 応答関数の 3 周期 (60、960、5,120 秒) から得られたフェーズテンソル [Caldwell 他、2004]。フェーズテンソルの色は、長軸と短軸 ( max と min) の幾何平均であり深度方向の比抵抗の勾配を表す。暖色は高い位相値に対応し、深度が増すにつれて比抵抗が減少することを示す。フェーズテンソルの長軸方向の差異は、地下の構造境界の指標となる。

ウクライナ製の長周期電磁場観測装置 (LEMI-417M システム) を使用して、対象領域内に適正配置した 28 サイトで良質な 1 秒サンプリングの磁場 3 成分および電場 2 成分データを取得した。地下の比抵抗情報・分布を求めるために使用する MT 応答関数 (インピーダンス 4 成分とテイパー-2 成分) は、BIRRP[Chave & Thomson, 2003; 2004]コードを利用してリモートリファレンス処理[Gamble et al., 1979]を施し 32 周期 (5~245,760 秒) について計算した。図2には、地下の空間分布を把握するために MT 応答関数から導出した各サイトのフェーズテンソルを 3 つの代表的な周期について示す。どの周期のフェーズテンソルも扁平度が高く 2 次元または 3 次元的な影響を受けていることが分かる。また、浅部の比抵抗構造の指標となる短周期側のフェー

ズテンソルは、長軸方向が変化しているタupo火山帯南端部と前弧側の沿岸地域に構造境界があることを示唆している。沿岸地域の構造境界は、この地域で発生するスロースリップ地震 (SSE) の分布に関連している可能性がある [e.g., Wallace, 2020]。続いて、ガルパニック・ディストーションの影響を軽減するため MT 応答関数の回転不変量 (SSQ インピーダンス [e.g., Rung-Arunwan et al., 2016]) を用いて求めた各サイトの 1 次元比抵抗構造を 3 次元プロットした結果を図 3 に示す。非火山地域下のマントルウェッジに、顕著な高抵抗異常が分布することが確認できる。この地域は、プレート間の固着が強い領域が深部まで存在することが報告されており [e.g., Bassett et al., 2022]、流体分布が希薄であることが示唆される。本研究の結果、ヒクランギ沈み込み帯に位置するニュージーランド北島の火山地域と非火山地域の地下には、顕著な不均質性があることが明らかになった。

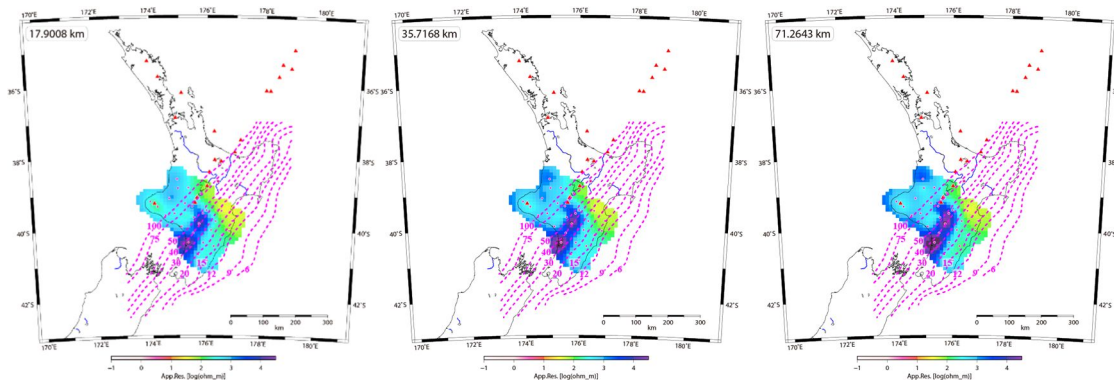


図 3. MT 応答関数の回転不変量 (SSQ インピーダンス [e.g., Rung-Arunwan et al., 2016]) を用いて求めた各サイトの 1 次元比抵抗構造モデルの 3 つの深度での 3 次元プロット。

#### < 引用文献 >

Bassett, D., Arnulf, A., Henrys, S., Barker, D., van Avendonk, H., Bangs, N., et al., 2022, Crustal structure of the Hikurangi margin from SHIRE seismic data and the relationship between forearc structure and shallow megathrust slip behavior, *Geophysical Research Letters*, 49, e2021GL096960.

Briggs, R., Houghton, B., McWilliams, M., Wilson, C., 2005,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages of silicic volcanic rocks in the Tauranga-Kaimai area, New Zealand: dating the transition between volcanism in the Coromandel Arc and the Taupo Volcanic Zone, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 48, 459-469.

Caldwell, T.G., Bibby, H.M., Brown, C., 2004, The magnetotelluric phase tensor, *Geophys. J. Int.*, 158, 457-469.

Chave, A.D., & Thomson, D.J., 2003, A bounded influence regression estimator based on the statistics of the hat matrix, *Journal of the Royal Statistical Society, Series C (Applied Statistics)*, 52, 307-322.

Chave, A.D., & Thomson, D.J., 2004, Bounded influence estimation of magnetotelluric response functions, *Geophysical Journal International*, 157, 988-1006.

Constable, S.C., Parker, R.L., Constable, C.G., 1987, Occam's inversion-a practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data, *Geophysics*, 52, 289-300.

Gamble T.D., Goubau, W.M., Clarke, J., 1979, Magnetotellurics with a remote magnetic Reference, *Geophysics*, 44, 53-68.

Hata, M., Oshiman, N., Yoshimura, R., Tanaka, Y., Uyeshima, M., 2015, Three-dimensional electromagnetic imaging of upwelling fluids in the Kyushu subduction zone, Japan, *Journal of Geophysical Research - Solid Earth*, 120.

Hata, M., Uyeshima, M., Tanaka, Y., Hashimoto, T., Oshiman, N., Yoshimura, R., 2018, Three Dimensional Electrical Resistivity Distribution Beneath the Beppu-Shimabara Graben with a Focus on Aso Caldera, Southwest Japan Subduction Zone, *Journal of Geophysical Research - Solid Earth*, 123.

Hata, M., Munekane, H., Utada, H., Kagiya, T., 2020, Three dimensional electrical resistivity structure beneath a volcanically and seismically active island, Kyushu, Southwest Japan Arc, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125, e2019JB017485.

Rung-Arunwan, T., Siripunvaraporn, W., Utada, H., 2016, On the Berdichevsky average,

*Phys. Earth and Planet. Int.*, 253, 1-4.

Uyeshima, M., EM monitoring of crustal processes including the use of the Network-MT Observations, 2007, *Surv. Geophys.*, 28, 199-237.

Wallace, L.M., 2020, Slow slip events in New Zealand, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 48(1), 175-203.

Williams, C., Eberhart-Phillips, D., Bannister, S., Barker, D., Henrys, S., Reyners, M., et al., 2013, Revised interface geometry for the Hikurangi subduction zone, New Zealand, *Seismological Research Letters*, 84(6), 1066-1073.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 畑 真紀
2. 発表標題 沈み込み帯の火山形成メカニズムの解明 -異なる島弧の比抵抗構造の不均質性比較-
3. 学会等名 令和5年度 京都大学防災研究所 研究発表講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Maki Hata, Grant caldwell, Makoto Uyeshima, Alex Caldwell, Yasuo Ogawa, Ted Bertrand, Stewart Bennie, Wiebke Heise, Ryokei Yoshimura
2. 発表標題 Magma System of the Hikurangi Subduction Zone: Subsurface Heterogeneity inferred from 3D Resistivity Distribution
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2024年大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 畑 真紀, 上嶋 誠, T. Grant Caldwell, 臼井 嘉哉, 小川 康雄, Wiebke Heise, Alex Caldwell, Stewart L. Bennie, 吉村 令慧
2. 発表標題 ニュージーランド北島の火山・非火山地域における長周期MT法観測
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会 2023 年秋季年会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	臼井 嘉哉  (Usui Yoshiya)  (10881758)	東京大学・地震研究所・助教    (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	上嶋 誠  (Uyeshima Makoto)  (70242154)	東京大学・地震研究所・教授    (12601)	
研究分担者	吉村 令慧  (Yoshimura Ryokei)  (50346061)	京都大学・防災研究所・教授    (14301)	
研究分担者	小川 康雄  (Ogawa Yasuo)  (10334525)	東京工業大学・科学技術創成研究院・教授    (12608)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	Caldwell Grant  (Caldwell Grant)	GNS Science・Geophysicist	
研究協力者	Bertrand Ted  (Bertrand Ted)	GNS Science・Magnetotelluric Team Leader	
研究協力者	Heise Wiebke  (Heise Wiebke)	GNS Science・Geophysicist	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関

ニュージーランド	GNS Science			
----------	-------------	--	--	--