

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04105

研究課題名(和文) 難観測域解消のための遠隔電場観測手法の開発

研究課題名(英文) Development of remote ground electric field observation method for difficult-to-observe areas

研究代表者

市原 寛 (Ichihara, Hiroshi)

名古屋大学・環境学研究科・講師

研究者番号：90553074

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、火山山頂部などにおける難観測域においてMagnetotelluric法観測を実現するため、UAV(ドローン)を用いた電位差計測の観測試験を実施した。当初計画していた大型UAVを用いた電位差観測試験は、セキュリティ問題やCOVID19感染症により観測に著しく支障が出たこと、UAV等の価格が高騰したことにより、実現に至らなかった。一方で、中型UAVを用いた実際の観測を模した飛行、着陸、電極設置の試験に成功した。また、UAVからの簡易的な設置方法によって電位差データが取得できることが確かめられた。よって、大型UAVの確保により、目的の観測は実現できると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Magnetotelluric法は深部までの比抵抗構造を探查することができる唯一の手法であるものの、通常、観測点の設置には直接人が観測地に立ち入って電極等の設置を行う必要がある。これをUAVによって実現できることがほぼ示されたことは、人が立ち入ることが困難な場合が多い火山の山頂域等での研究を大きく進める可能性を示したことになる。さらに、本手法は地球外の惑星において電位差観測を行うための基礎的な情報も提供する。

研究成果の概要(英文)：We conducted observational tests for realizing potential difference measurements using UAVs (drones) to enable Magnetotelluric (MT) method observations in difficult-to-observe areas, such as volcanic summits. The initially planned potential difference measurement tests using large drones could not be realized due to significant obstacles caused by security issues, the COVID-19 pandemic, and the surge in UAV prices. On the other hands, we succeeded the observations using medium-sized UAVs, including flight, landing, and electrode placement. We also confirmed that potential difference data can be obtained using a simple installation method from the UAVs. Therefore, we believe that large UAVs will enable us to achieve our intended observations.

研究分野：地球内部電磁気学

キーワード：UAV 遠隔探査 電場測定 火山調査 magnetotelluric

## 1. 研究開始当初の背景

自然の電場および磁場変動を観測して地下の電気比抵抗構造を推定する Magnetotelluric (MT)法は、マグマの分布やその移動、断層帯における流体の分布、沈み込み帯スケールでの流体移動など、様々なスケールにおいて固体地球科学の理解に貢献している。しかしながら、山間部においては道路（登山道含む）が整備されておらず、従来型の電磁力計による観測が困難である事が多い。また、小規模な海洋火山島などでは、上陸しての観測は通常困難である。このような難観測域には、火口を含む火山の山頂部など、固体地球科学にとって非常に重要な場所が数多く含まれている。例えば、2014年に甚大な被害を与えた御嶽山では、噴火口およびその西部が徒歩での到達が困難かつ危険な地域となっており、噴火研究の鍵となる地下のマグマ・熱水系の解明が進んでいない。一方で、近年、UAV（Unmanned Aerial Vehicle、一般にはドローンと呼称）を用いた観測の進展が目覚ましく、火山体における磁場観測などによる成果が得られるようになってきている（例えば Tada et al., 2021）。

## 2. 研究の目的

本研究は、UAVを用いた電場観測を実現することにより、特に火山体をターゲットとした難観測地域における電気比抵抗構造の解明を可能にすることを最終目的とする（図1）。しかしながら、当初計画していた大型UAVを用いた遠隔電位差観測試験は、COVID19感染症により観測に著しく支障が出たこと、UAV等の価格が高騰したことなどの理由により、実現が困難となった。そこで、下記の試験を個別に実施することにより、今後大型UAVを導入すれば遠隔電位差観測が実現する体制を整えることを本科研費期間内での目標とした。

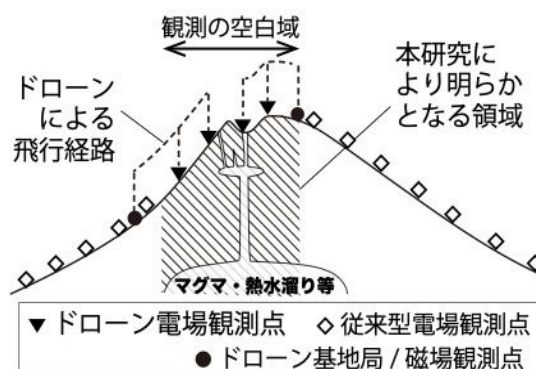


図1 本研究によって明らかになる範囲

## 3. 研究の方法

### 3-1) UAVによる電極/測定機器の設置回収の検証

実際の中型UAVを用い、電極やデータロガーを遠隔地に設置/回収を行う方法について検証を行う。予め検討した内容に基づき治具などを準備し、野外において検証および修正を実施する。なお、UAVの飛行等に関する許認可の取得は滞りなく実施した。

### 3-2) 電極の簡易設置による性能の比較

通常、MT法における電位差計測では、地面との接地抵抗を下げるなどの理由から非分極電極（Pb-PbCl<sub>2</sub>電極等）を埋設するが、UAVを用いた観測では埋設は困難である。そこで、導電性の高い粘土状の素材を電極にとりつけ、地面に置くことにより電位差計測を行う手法を提案し、この計測と通常の電極埋設型の観測と比較することによってその有効性の検証を行った。

## 4. 研究成果

### 4-1) UAVによる電極/測定機器の設置回収の検証

2020年度はCOVID19感染症によりUAVを用いた検証試験は行えず、室内でUAVの運用/機器の設置方法について検証を行った。2021年度は分担者が所属する研究機関のある横須賀市内の比較的人工物の少ない地域においてUAVの運用試験を実施し、機材を模した錘を吊した状態での飛行、着陸の際の制御方法などの検証を行った。その結果、運搬については問題なく進められることを確かめた。2022および2023年度は、長野県木曽町においてUAVの飛行試験を実施し、具体的な電極の設置方法および実際の電場の測定方法を検討した。その結果、(a)電極・ロガーをUAVから切り離してUAVは拠点に一旦戻し、観測後に3又または4又の治具を用いて機材を回収する方式、(b)観測機器を設置後もUAVから切り離さず、UAVを観測地に残し、観測後にそのまま観測機器を回収する方式（図2）の両方で設置/回収ができることを確かめた。(a)の観測の様子を図3に示す。また、2台のUAVの同時飛行により、UAVで設置した電極の配置状況の確認を別のUAVで実施する試験を行った。

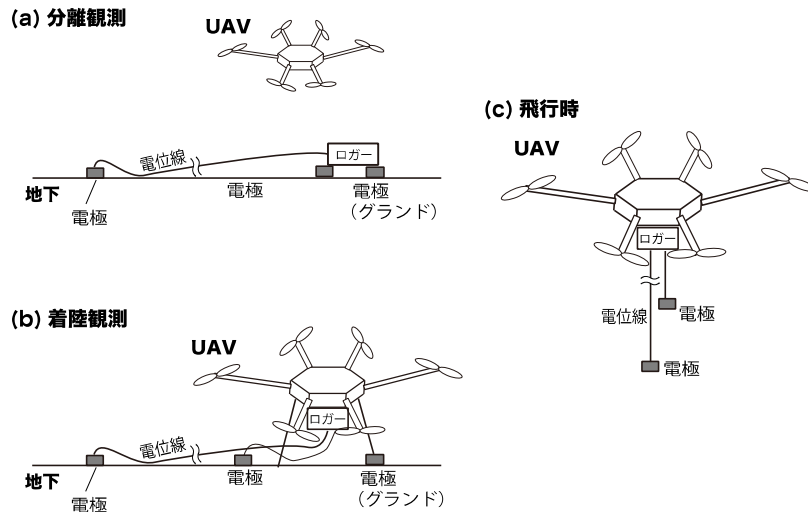


図2 本研究で検証した測定装置の設置方式



図3 観測試験風景 (図2(a)の分離観測後に、機材を回収する方法を検討中)

#### 4-2) 電極の簡易設置による性能の比較

2020-2021年度は、軽量かつ簡易接地での観測に適した電極の選定、地面への吸着方法の検討などを行った。これを元に2022年に長野県木曾町において電位差測定試験を行い、実際の観測を模した電極の設置方法(Pb-PbCl<sub>2</sub>電極を埋設せずに測定、ステンレス棒を地中に挿しての測定、通常のPb-PbCl<sub>2</sub>電極を埋設しての測定)を実施した。電位差測定は火山域観測を想定してサンプルリングレート1024 Hzで実施した。非埋設型の電極については、導電性粘土を電極に貼り付けることにより、接地抵抗を下げることを試みた(図4)。測定の結果、非埋設型測定については、帯域によっては問題なくデータが取得できることを確かめた。

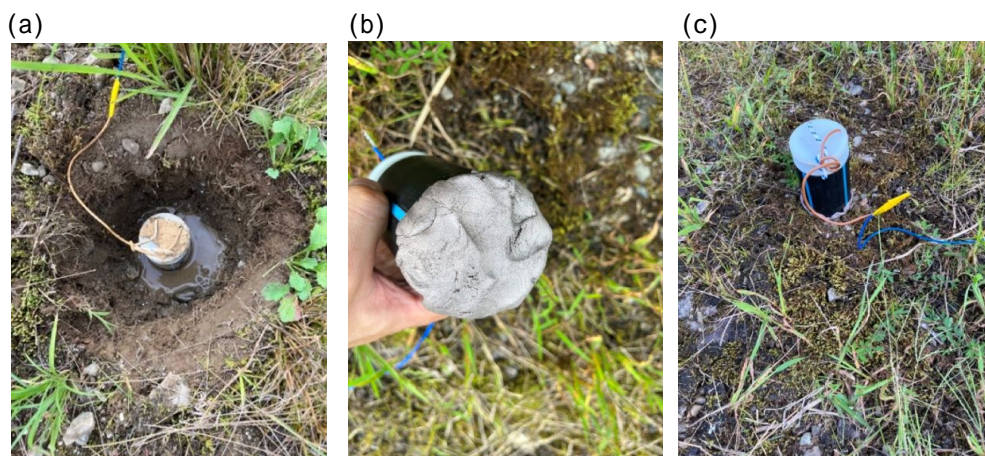


図4 電極の設置方法の検証(a)通常のMT観測における設置方法、(b)(c)電極を埋設せずに設置する方法

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kasaya, T., Y. Nogi, and K. Kitada	4. 巻 54
2. 論文標題 Advanced magnetic survey system and method for detailed magnetic field mapping near the sea bottom using an autonomous underwater vehicle	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Exploration Geophysics	6. 最初と最後の頁 205-216
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/08123985.2022.2089013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tada Noriko, Ichihara Hiroshi, Nakano Masaru, Utsugi Mitsuru, Koyama Takao, Kuwatani Tatsu, Baba Kiyoshi, Maeno Fukashi, Takagi Akimichi, Takeo Minoru	4. 巻 419
2. 論文標題 Magnetization structure of Nishinoshima volcano, Ogasawara island arc, obtained from magnetic surveys using an unmanned aerial vehicle	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Volcanology and Geothermal Research	6. 最初と最後の頁 107349 ~ 107349
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jvolgeores.2021.107349	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Ichihara Hiroshi, Kasaya Takafumi, Baba Kiyoshi, Goto Tada-nori, Yamano Makoto	4. 巻 75
2. 論文標題 2D resistivity model around the rupture area of the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw 9.0)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40623-023-01828-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Tada Noriko, Nishikawa Haruka, Ichihara Hiroshi, Watanabe Hiromi Kayama, Kuwatani Tatsu	4. 巻 73
2. 論文標題 Drift of an ocean bottom electromagnetometer from the Bonin to Ryukyu Islands: estimation of the path and travel time by numerical tracking experiments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40623-021-01552-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -



〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Hiroshi Ichihara, Takeshi Hashimoto, Tomohiro Inoue, Masamitsu Takada, Kazumi Okada, Atsuo Suzuki, Shinichiro Horikawa, Haruno Koike, Ryo Honda, Koki Aizawa
2. 発表標題 Broadband magnetotelluric survey in the Akan-Kutcharo caldera area, northern Japan -understanding of interactions between volcanic and tectonic activities
3. 学会等名 IAVCEI2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tada, N., Ichihara, H., Nakano, M., Utsugi, M., Koyama, T., Kuwatani, T., Baba, K., Maeno, F., Takagi, A., Takeo, M
2. 発表標題 Aeromagnetic survey of Nishinoshima volcano by using drone in 2019
3. 学会等名 IAVCEI2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 多田訓子, 西川悠, 渡辺裕美, 市原寛, 桑谷立
2. 発表標題 西之島から西表島まで漂流した海底電位磁力計から明らかになったこと
3. 学会等名 JpGU2022
4. 発表年 2022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	北田 数也  (Kitada Kazuya)  (00539786)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・超先鋭研究開発部門(超先鋭技術開発プログラム)・主任研究員    (82706)	

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	多田 訓子  (Tada Noriko)  (00509713)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・海域地震火山部門(火山・地球内部研究センター)・副主任研究員     (82706)	

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