

フラックスゲート磁力計を基にした小型電磁場測定システム — 京都大学防災研究所仕様ケースを用いた簡易温度検定 —

Compact Magnetotelluric Survey System Based on Fluxgate Magnetometers - Simple Temperature Test Using DPRI-Type Cases -

畑 真紀・山崎 友也・吉村 令慧

Maki HATA, Tomoya YAMAZAKI and Ryokei YOSHIMURA

Synopsis

Induction coil sensors, capable of measuring a wide range of frequencies, have been used to measure the magnetic field in underground structural exploration using the magnetotelluric (MT) method. However, induction coils present a challenge in terms of portability, particularly when conducting multipoint magnetic field measurements in mountain areas, such as for volcano monitoring, due to their size and weight. In recent years, compact, high-performance, low-power fluxgate magnetic field sensors have become commercially available. These compact fluxgate sensors are more suitable for field use than induction coils in terms of portability. In parallel with this trend, low-power loggers have also been developed. Thus, we aimed to develop an MT survey system capable of stable data acquisition. Here, focusing on the temperature sensitivity of fluxgate sensors, we performed a simple investigation into the temperature change caused by burial depth.

キーワード: 簡易温度検定, フラックスゲート磁力計, 鉛直埋設方式, 防災研究所仕様ケース

Keywords: Simple temperature test, Fluxgate magnetometers, Vertical burial method, DPRI-type Cases

1. はじめに

従来, 地磁気地電流法 (Magnetotelluric法; MT法) を用いた地下の構造探査では磁場3成分を測定するセンサーとして, 幅広い周波数帯での測定が可能なインダクションコイルセンサーが長らく使用されてきた. しかしながら, インダクションコイルは, 例えば火山監視を目指した山麓部での特に多点での磁場測定を行う場合, 大きさや重量の点で持ち運びに難があった. 一方, 近年, 小型で高性能かつ低消費電力を達成したフラックスゲート型の磁場センサーが市販されるようになってきた. このような小型のフラックスゲートセンサーは, 持ち運び安さの点ではインダクションコイルより野外向きの磁場センサーと

言える. また, これに併せて低消費電力の電磁場ロガーの開発も進んできた. 従って, このような小型で低消費電力の測器を組み合わせた電磁場測定システムを構築して多点展開できるようにすることは, 山麓部での電磁場観測にとって有用かつ重要と考えられる. そこで我々は, 安定したデータ取得が可能な電磁場測定システム構築を目指し, ここでは, フラックスゲートセンサーが温度変化に影響されやすいことに着目して (e.g., 白井・濱崎, 2003; 鈴木・白井, 2006), 埋設深度が与える温度変化について簡易的に調べた.

2. 温度検定の概要

我々は、Barington社製のMagシリーズ磁力計を低消費電力ロガーであるELOG-MT（NTシステム社製）に接続して使用することを念頭に本研究を行っている。ELOG-MTとMagシリーズ磁力計との間の安定接続および安定収録については、既に、吉村ら（2019）で検証されている。また、今回の温度変化検定は、磁力計センサーをPhoto 1 に示すような塩ビ管ケース底に固定した鉛直方式で埋設することを想定して行っている。この埋設方式では、3-Dプリンターで成形した台座を市販品の塩ビ管底蓋・塩ビ管継手・塩ビ管を用いて製作した防災研究所仕様ケース（DPRI-typeケース：吉村による考案、山崎による設計・製作）に固定することで、磁力計センサーの水平を簡便に担保できる（Photo 2）。



Photo 1 PVC pipe case used as a magnetometer sensor container.



Photo 2 Magnetometer sensor fixed state.

センサーに影響を与えと考えられるケース内の温度変化は、埋設した塩ビパイプ内の地中深さ25 cm、

45 cm、75 cmにPhoto 3 に示したように熱電対を挿入することによって測定した。また、この時の外気温も同時に測定した。測定時期は、2023年4月から6月の期間であった。



Photo 3 The state of the thermocouples inserted into the PVC pipe.

3. 温度検定の結果

検定は、京都大学防災研究所の工作室裏手にDPRI-typeケースを埋設する縦穴を掘って行った。温度変化の測定には、熱電対（AZ Instrument社製88598 AZ EB）を使用した。また、検定は、塩ビ管の種類と内部の状況を変えて複数回ずつ行った。ここでは、三種類の検定結果を紹介する。一つ目の検定は通常の塩ビ管を使用して行い、二つ目の検定は気泡緩衝材を通常の塩ビ管に詰めて行った。三つ目の検定は、結露防止用の塩ビ管を使用して行った。それぞれの温度変化のグラフをFig. 1-3 に示す。

検定結果は、まず、深度25 cmでは外気温の影響を大きく受け10 °C以上も日変化することが分かった。しかしながら、結露防止用の塩ビ管を使用すれば、顕著な日変化を抑えられる可能性が示された。次に、深度45 cmでは、いずれの場合も2 °C程度の変化はあるが顕著な日変化は捉えられなかった。また、深度75 cmにおいては、いずれの場合も日変化が1 °C以下であり外気温の影響をほぼ受けないことが示された。最後に、気泡緩衝材を詰めた場合、どの深度においても僅かばかりではあるが温度変化を抑制できる可能性が示された。我々が使用するMagシリーズ磁力計のオフセット温度係数は0.6 nT/°C以下（参照：Mag-13 Brochure）であるので、本調査による温度検定によって有効な埋設深度に関するデータが得られた。

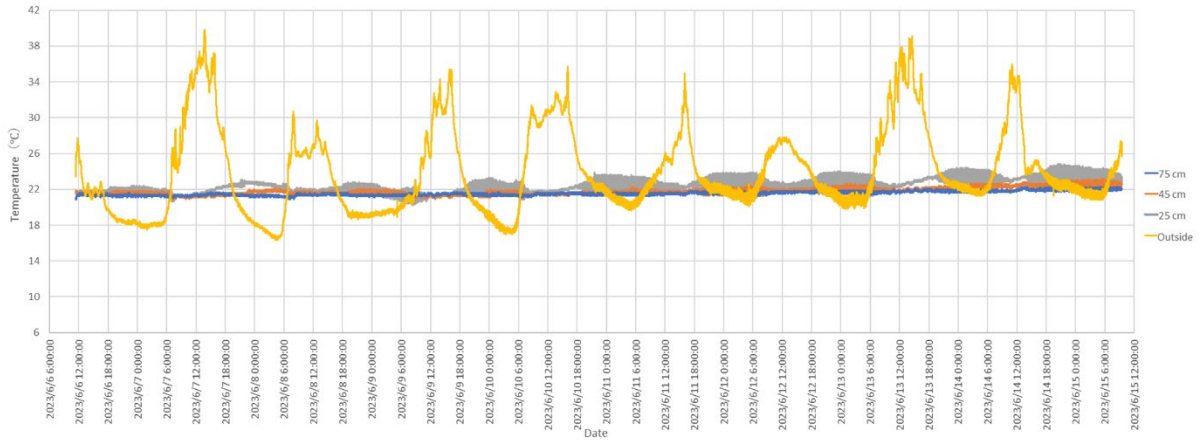


Fig. 1 A graph showing temperature changes at depths of 25cm, 45cm, and 75cm inside a standard PVC pipe buried underground.

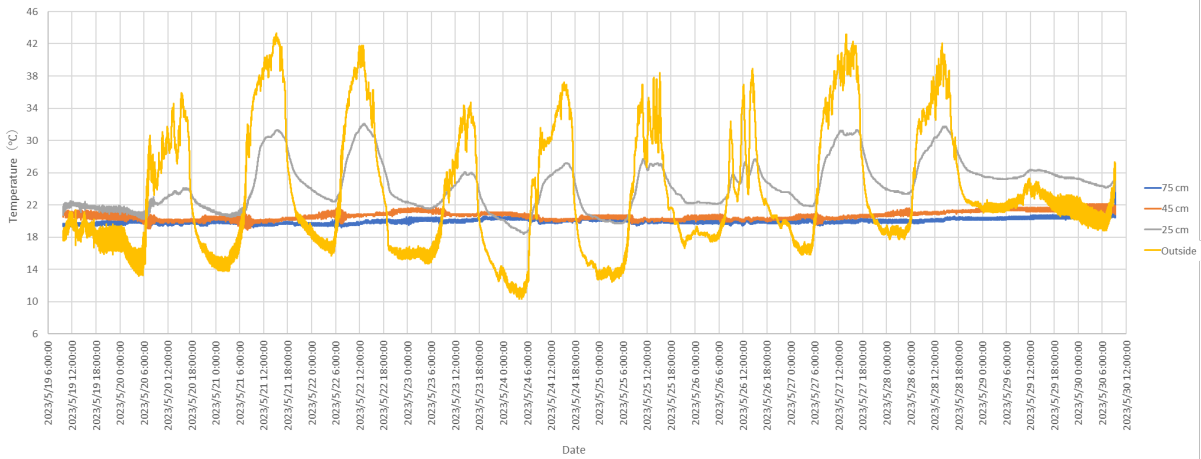


Fig. 2 A graph showing temperature changes at depths of 25cm, 45cm, and 75cm inside a standard PVC pipe filled with bubble wrap and buried underground.

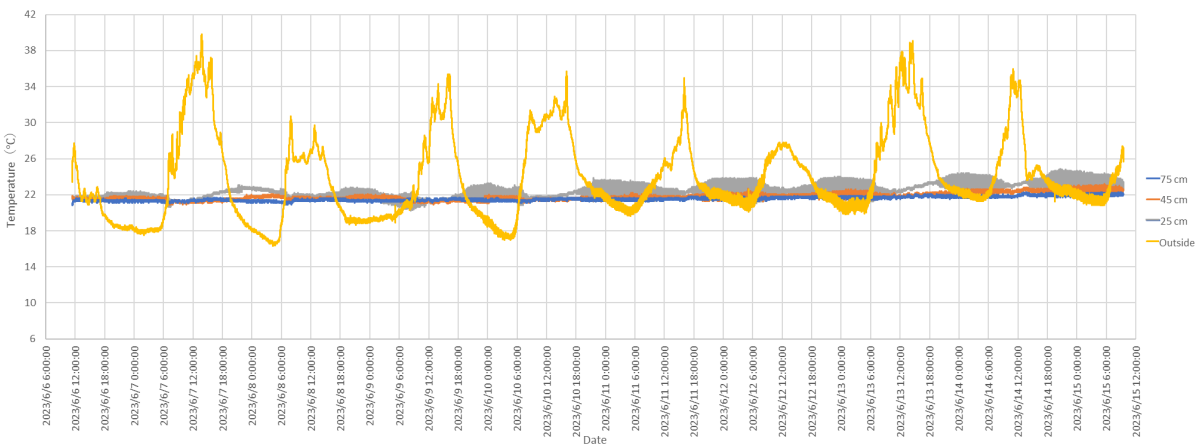


Fig. 3 A graph showing temperature changes at depths of 25cm, 45cm, and 75cm inside an anti-condensation PVC pipe buried underground

4. おわりに

小型で低消費電力の測器を組み合わせた電磁場測定システムを構築して多点展開できるようにすることは、山麓部での電磁場観測の労力を減らせるので、火山の活動監視といった防災の面から重要である。そこで、外気温に影響されない安定したデータ測定システム構築を目指して、Magシリーズ磁力計の地中設置用DPRI-typeケース内の温度変化と埋設深度の関係を簡易的に調べた。その結果、温度の日変化が1℃以下に抑えられる75 cm以深にセンサー位置がくるようにケースを埋設するのが望ましいことが分かった。

謝 辞

本研究は、日本学術振興会（JSPS）科研費基盤研究（B）JP21H01175の助成を受けている。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 白井宏樹・濱崎英夫（2003）：フラックスゲート三軸磁力計の温度特性について（第1年次），国土地理院測地部物理測地課報告書。
- 鈴木啓・白井宏樹（2006）：フラックスゲート三軸磁力計の温度特性について（第3年次），国土地理院測地部物理測地課報告書。
- 吉村令慧・高村直也・山崎友也・小松信太郎・大志万直人（2019）：観測コスト低減のためのMT測器の開発・改良，京都大学防災研究所一般研究集会30K-05報告書。
- Mag-13 Brochure (Confirmation Date: Aug, 2025): Mag-13®Three-Axis Magnetic Field Sensors, Bartington, p. 5.

（論文受理日：2025年8月29日）