

## SQUID 磁力計の高感度地磁気計測への応用の提案と実用化の検討

### A proposal and a feasibility study of highly sensitive geo-electromagnetic field measurements using SQUID magnetometers

河合 淳<sup>1\*</sup>, 宮本 政和<sup>1</sup>, 小山 大介<sup>1</sup>, 河端 美樹<sup>1</sup>, 足立 善昭<sup>1</sup>, 樋口 正法<sup>1</sup>, 上原 弦<sup>1</sup>, 尾形 久直<sup>1</sup>

KAWAI, Jun<sup>1\*</sup>, MIYAMOTO Masakazu<sup>1</sup>, OYAMA Daisuke<sup>1</sup>, KAWABATA Miki<sup>1</sup>, ADACHI Yoshiaki<sup>1</sup>, HIGUCHI Masanori<sup>1</sup>, UEHARA Gen<sup>1</sup>, OGATA Hisanao<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 金沢工業大学先端電子技術応用研究所

<sup>1</sup> Applied Electronics Laboratory, Kanazawa Institute of Technology

超伝導量子干渉素子 (SQUID) は高感度な磁気センサとして知られ、一般的な検出周波数帯域は DC から数 10kHz であり、ノイズ密度は  $10^{-15}$  T/ Hz (fT/ Hz) のオーダーである。これは従来のフラックスゲート磁力計やプロトン磁力計に比べ 1000 倍程度高感度である。この SQUID を用いた高感度な地磁気計測システムを、地殻活動に伴う電磁気現象の研究に役立てることはできないだろうか？

実は国内における SQUID による地磁気計測は過去にも試みられており、古くは Kitamura による報告がある。(1978) 残念ながら当時の技術では野外における SQUID の安定動作の維持が難しく、実験的なものに終わっていたが、SQUID の野外計測応用に向けた課題等が示された。その後、地震や噴火といった地殻変動に起因する電磁気現象が示唆されるようになり、液体窒素で動作する高温超伝導 SQUID を用いて地震や火山活動に関する電磁波を検出しようという試みがなされた。(Kamata 2000, Kasai 2001, Nomura 2002, Machitani 2003) しかしながら、環境ノイズによる影響への対策や SQUID 動作の長期安定性の検証など、短期間の実験で SQUID の有効性が示されたとは言いがたい。他方、近年海外では、廃坑を利用した研究施設 (フランス: LSBB) において SQUID による長期の低周波磁気計測が行われており、地震波に励起された 100pT から 1nT 程度の電磁信号を検出したとの報告もある。(Waystand 2009)

当研究所では液体ヘリウムで動作する低温 SQUID を利用して、ヒトの脳から発生する微弱な磁気を計測する脳磁計 (MEG: Magnetoencephalogram) システムを開発し、実用化を進めてきた。そこで構築した技術をもとに、改めて地磁気や地殻活動に伴う電磁気現象の定点観測に向けた高感度計測ツールとしての SQUID システムを提案し、長期連続運用を通じてその有効性を検証したいと考えている。今回そのための第一次 SQUID 計測システムを試作したので、その特性を報告するとともに、今後の予定を紹介する。

今回試作した計測システムは、XYZ の 3 成分を検出する SQUID、SQUID を冷却する液体ヘリウム容器 (クライオスタット)、SQUID をドライブする電子回路 (FLL: Flux Locked Loop)、増幅回路、フィルタで構成されている。システムノイズは 100Hz で約 15fT/ Hz、0.01Hz で約 2pT/ Hz であり、低周波でのノイズは電子回路の温度ドリフトが支配的である。高周波ノイズの影響を低減するために SQUID チップのまわりには電磁シールドを施し、フィルタと組み合わせた総合的な周波数帯域を 500Hz 程度に制限した。また、地磁気の日変動を考慮して、検出可能な最大磁場を  $\pm 150$ nT に設定した。クライオスタットの容量は約 30L で、1ヶ月間の連続運用が可能である。データ収録には市販の 16bit のデータロガーを用い、サンプリングは最大 1kHz である。また、GPS による時刻校正を行う。まずは、この試作システムを当研究所敷地内の地中約 1m に設置し、長期間の連続計測を行いながら野外計測における課題や問題点を確認し、実用性の検証を行う予定である。

発表者は地球物理の専門家ではない。従って本発表を通じて、SQUID を用いた高感度地磁気計測の科学的意義の有無も含め、実用化への課題や問題点など専門家諸氏の厳しい意見を賜ることができれば幸いである。

本研究の一部は、公益財団法人住友電工グループ社会貢献基金により行われた。

キーワード: スクイッド, 地球電磁気, 高感度計測, 超伝導

Keywords: SQUID, geo-electromagnetic fields, highly sensitive measurements, superconductivity