

特集：SQUID 応用

「SQUID 磁束計による地磁気計測の実用化を目指して」

金沢工業大学
先端電子技術応用研究所
教授 河合 淳

1. はじめに

地磁気計測を始めとする地球電磁気現象の観測は、地球のダイナミズムや、オーロラや磁気嵐など磁気圏における物理現象を解明するために古くから行われているが、近年地震や噴火といった地殻変動に起因する電磁気現象も示唆され研究が進められている (Hayakawa 2010)。最近のニュースでも、昨年の M9.0 の東北地方太平洋地震の発生時前後に震源付近における OLR (外向き長波放射量) が異常に増加したという報告があり (Ouzounov 2012)、地殻変動が電離層に与える影響は地表での微弱な地磁気の変化としても検出される可能性があるのではなかろうか。海外では、廃坑を利用した研究施設 (フランス：LSBB) において地殻変動により電離層が励起されたと思われる 100 pT~1 nT 程度の磁気信号を SQUID で検出したとの報告もある。(Waystand 2009)

地磁気変動の計測には従来からフラックスゲート磁力計、オーバーハウザー磁力計などが利用されている。一方で、より高感度な SQUID を応用するアイディアも早くから考えられ、国内でも地磁気計測の実験が行われた。(Kitamura 1978、Kamata 2000) また可搬性を利用した HTS-SQUID による火山近傍での野外計測なども試みられている。(Kasai 2001、Nomura 2002、Machitani 2003) しかしながらこれまでのところ、地磁気の長期連続計測に適用できる安定な SQUID システムが確立されているとは言い難い。そこで改めて『液体ヘリウムなど寒剤を扱う不便さや、絶対値が計測できないことを差し引いても、SQUID が高感度な地磁気計測の研究ツールとして有用である』ことを示し、その実用化を目指すことを目的として、野外計測に向けた SQUID システムを試作し、長期的な野外実験を行いながら実用性の検証を行うことにした。

2. 試作システムと野外計測

今回試作した計測システムは、地磁気の XYZ 成分を検出する SQUID マグネットメータ、クライオスタット、直接読み出し方式の FLL、増幅回路、およびハイパスフィルタ、ローパスフィルタなどのアナログフィルタで構成されている。図 1 左に 3 軸 SQUID マグネットメータの外観を示す。SQUID マグネットメータは Nb 系の磁束伝達方式で、チップサイズは 2.5 mm×2.5 mm である。図 1 中央は FRP 製のクライオスタットで直径 0.42 m、高さ 1 m、液体ヘリウムの容量は 35 L で 1 ヶ月間の連続冷却が可能である。SQUID を超伝導シールド中に置いて評価したシステムノイズは 100 Hz で 15 fT/√Hz、0.01 Hz で 2 pT/√Hz であり、低周波でのノイズは電子回路、特にプリアンプの温度ドリフトが支配的である。気温の変化に伴う温度ドリフトは磁場換算で最大 6.5 pT/°C であり、今後の改良課題である。また、SQUID の FLL 動作時に発生する直流オフセットをキャンセルするための機能も付加した。SQUID マグネットメータの周りには高周波ノイズの影響を低減するために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 DC~500 Hz 程度に制限した。検出可能な最大磁場は、地磁気の日変動を考慮して ±150 nT に設定している。データ収録には市販の 16bit データロガーを用いているが、その保証分解能から現在のところ最小計測磁場は 15 pT に制限されている。高分解能のデータロガーを用いれば SQUID 本来のノイズレベルまで収録が可能になるであろう。また、GPS からのパルス信号を取り込み、データの時刻校正を行えるようにした。

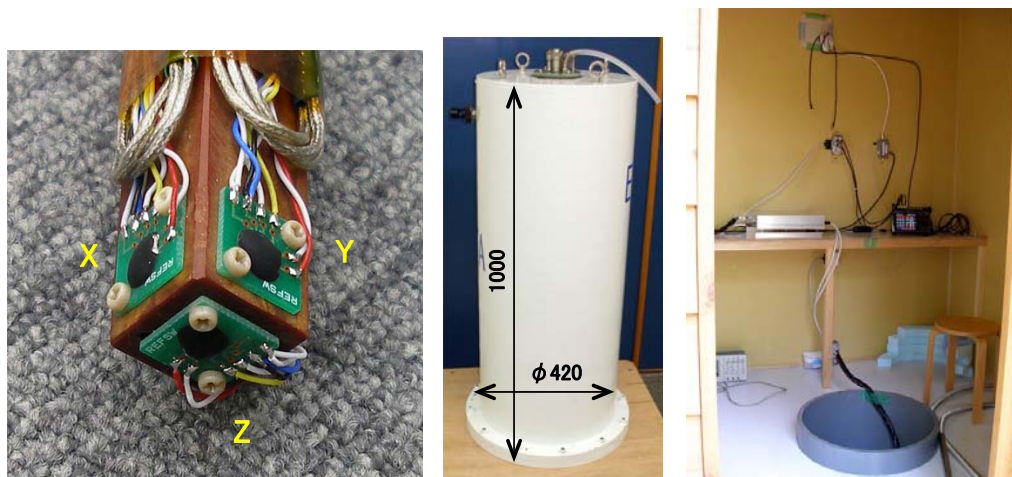


図1 3軸 SQUID マグネトメータ (左) とクライオスタット (中央) および実験棟内部 (右)

野外計測実験を行うために当研究所の敷地内に木造の実験棟を建設し、本年 4 月よりこの試作システムを設置して連続計測を行いながら実用性の検証を始めた。図 1 右に実験棟の内部の様子を示す。設置場所の地理的位置は北緯 $36^{\circ} 30'00.8''$ 、東経 $13^{\circ} 41'51.5''$ 、標高 199 m である。クライオスタットは地面に設けられた穴に設置され、SQUID センサは地表面より深さ 1 m に位置している。また、震動を計測するために、床下の地面に埋めた花崗岩の円柱の上に 3 軸の加速度センサを設置した。ところで一般的な地磁気変動は周期が数秒から数 1000 秒と非常に低い。従って、まずは DC からの変動が、フラックスジャンプなどの誤動作無しにきちんと検出できることを確認することが重要である。現在のところ数日おきにデータを回収しながら解析を進めているところである。

図 2 左に本システムで計測した 2012 年 5 月 12 日～14 日の約 2 日間の地磁気変動の信号例を示す。周波数帯域は DC～20Hz で、50Hz でサンプリングを行った。尚、X、Y、Z はそれぞれ南北、東西、鉛直である。まだ短い期間ではあるが、地磁気の変動が安定に計測できていることがわかる。また、このデータにカットオフ 150 秒のデジタルハイパスフィルタ処理を施した際の南北成分 (Bx) における 5 月 12 日 22:00 (JST) から 1 時間分の波形を図 2 右に示す。周期 100 秒程度の Pi2 と呼ばれる地磁気脈動が検出できていることが確認できた。

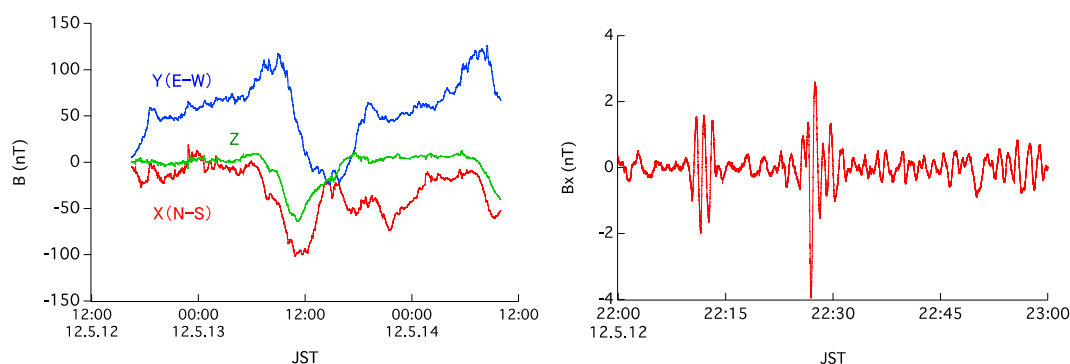


図2 SQUID で計測した地磁気変動例 (左) と検出された Pi2 地磁気脈動 (右)

3. まとめと今後の課題

SQUID による地磁気変動の高感度計測の実用化を目指して計測システムを開発し、野外における長期の実地試験を始めた。今後 1 年以上をかけて気象条件や環境ノイズの影響などを詳しく調べ、『SQUID システムを野外での地磁気計測に最適化するためには何が必要なのか?』といった課題を検証しながら必要な改良を進め、実用化を行う予定である。

[超電導 Web21 トップページ](#)