

福島県いわき観測点における高感度 HTS-SQUID 磁力計による地磁気観測システム

香取 勇太 [1]; 大久保 寛 [1]; 波頭 経裕 [2]; 塚本 晃 [2]; 田辺 圭一 [2];

大西 信人 [3]; 古川 克 [3]; 磯上 慎二 [4]; 竹内 伸直 [5]

[1] 首都大学東京システムデザイン学部; [2] 超電導工研; [3] テラテクニカ;

[4] 福島高専; [5] 東北大・院理・予知観測センター

High Temperature Superconductor Based SQUID (HTS-SQUID) Magnetometer System for Super-sensitive Observation of Geomagnetic Field Changes

Yuta Katori[1]; Kan Okubo[1]; Tsunehiro Hato[2]; Akira Tsukamoto[2]; Keichi TANABE[2];

Nobuhito Onishi[3]; Chikara Furukawa[3]; Shinji Isogami[4]; Nobunao Takeuchi[5]

[1] Tokyo Met. University; [2] ISTECH; [3] TIERRA TECNICA;

[4] Fukushima National College of Technology; [5] Res Cent Predict Earthq Volcan, Tohoku Univ.

Abstract

The key point of this presentation is that we successfully develop the high-temperature-superconductor based superconducting quantum-interference-device (HTS-SQUID) magnetometer system. Our research group has observed geomagnetic field. By our past study, it was suggested that the geomagnetic variation signal accompanying fault movement, whose sources are the piezomagnetic effects, is very small, therefore development of a high-sensitive magnetometer system is very important. Our research group tried to develop the HTS-SQUID magnetometer system for high-resolution observation of Earth's magnetic field. The features of this HTS-SQUID magnetometer are as follows: Three components of the magnetic field can be high-sensitively measured. It has a very low temperature dependence. The running cost is small because it is possible to maintain super conductivity by liquid nitrogen. Since March 2012, we have observed 3 components of the geomagnetic field using a HTS-SQUID magnetometer at Iwaki observation point in Fukushima, Japan. The sampling interval of the magnetometer is 0.02 sec. We observe not only geomagnetic field but acceleration of the ground. These observation clock has been synchronized by the GPS time signal.

1. まえがき

我々の研究グループでは、これまで野外における地球磁場（地磁気）観測 [1, 2] を継続的に行ってきた。その中で平成 20 年 6 月 14 日に発生した岩手・宮城内陸地震において、国内・国外を通して初めて、地震断層運動により発生した地球磁場変化信号を動的に直接観測することに成功した。[3, 4] この観測結果によって、地震が発生した時刻から地球磁場信号がゆっくりと明確に変化していることが明らかになった。

しかし、地震断層運動に伴って発生するピエゾ磁気効果による磁場変化は非常に小さい信号であることが考えられる。この信号を明確に記録するには、温度依存が小さい長期連続観測可能な高感度磁力計システムが重要である。そこで、本研究では福島県いわき市を観測点とする高温超電導 SQUID 磁力計による地磁気観測システムを用いて地磁気の観測を行い、地磁気の観測結果を報告する。また、地磁気観測システムに対応した研究室での観測データを自動で作成するシステムを設計及び実装を行い、観測データの共有使用を可能とした。

2. HTS-SQUID 磁力計

我々の研究グループで用いる高温超伝導 SQUID 磁力計を図 1 に示す。2013 年 3 月より、福島県のいわき観測点（図 1）において屋外での地磁気の連続観測を行っている。SQUID 素子の冷却には液体窒素を使用し、定期的な補充を行うことで、SQUID 素子の超伝導状態の維持を行っている。

2.1 いわき地磁気観測点

我々の地磁気観測においては、地震発生時の震源近辺における地磁気の変動に着目をしている、したがって HTS-SQUID 磁力計による地磁気観測以外の環境情報も得る必要がある。地磁気観測を含めた観測要素を表 1 に示す。

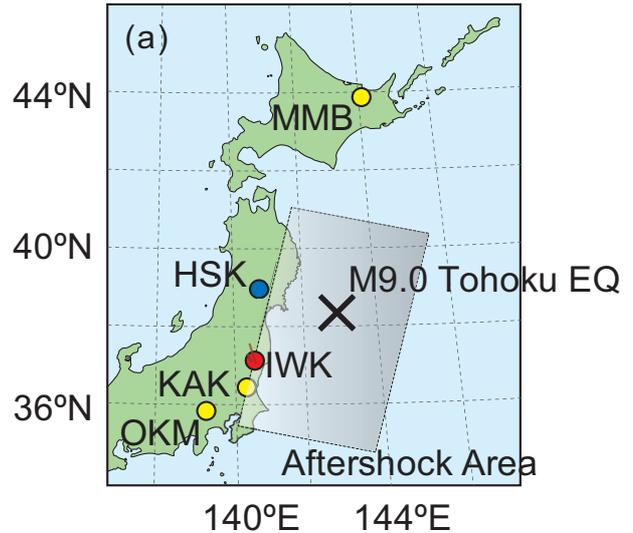


図 1 HTS-SQUID 磁力計と観測点地図

表 1 表:記録する観測要素

観測内容	サンプリング間隔 [s]	備考
3 軸方向の地磁気	0.02	SQUID 磁力計
全磁力の絶対値	1.0	オーバーハウザー磁力計
3 軸方向の加速度	0.02	
z 軸方向の加速度	0.02	高精度
気温	0.02	
気圧	0.02	

すべてのデータは 0.02 s のサンプリング時間で記録を行っている，センサ自体の応答速度が 1 秒程度ものもある．3 軸方向の地磁気変化を観測対象として SQUID 磁力計を用いることで，精度の高い磁場変動の観測を行い，オーバーハウザー磁力計によって磁場の絶対量の観測を行う．さらに，加速度計を設置し観測点での地震動の揺れも観測している．すべての観測装置は GPS による時刻同期を行っている．

2.2 地磁気観測システム

本観測システムは地磁気の連続観測をスムーズに，かつリアルタイムに行うためにインターネット回線を通じて，リアルタイムに制御可能であり，我々のグループ内のサーバーに準リアルタイムに定期的な観測データのアップロードが行われる．表 1 に示す観測要素はアップロードが行われているサーバーにアクセスすることで観測点外からもネットワークを通じていつでも閲覧，および解析が可能となっている．

3. 地磁気観測

いわき観測点における HTS-SQUID 磁力計の地磁気観測データを用いて気象庁柿岡地磁気観測所の公開する地磁気観測データとの比較を行った．2 つの観測点の比較を行う上で，HTS-SQUID 磁力計は変動分のみを記録しているため，それぞれのデータから平均値を差し引いた値を示している．

3.1 いわき地磁気観測点の評価

図 2 に観測された地磁気の波形を示す．地磁気観測を評価するために，気象庁の柿岡地磁気観測所での公開地磁気データ [5] を使用し，磁気嵐などの大きな変動のない 2012 年 11 月 10 日 (UT) のデータを用いてグラフ概形の比較を行った．

図 2 に示した地磁気データの比較には柿岡地磁気観測所の地磁気データとして 1 秒値を用いて，いわき地磁気観測点の地磁気データとしては 1 秒間隔でリサンプリングを行ったデータを用いている．観測点による若干の差異はあるものの傾向は非常

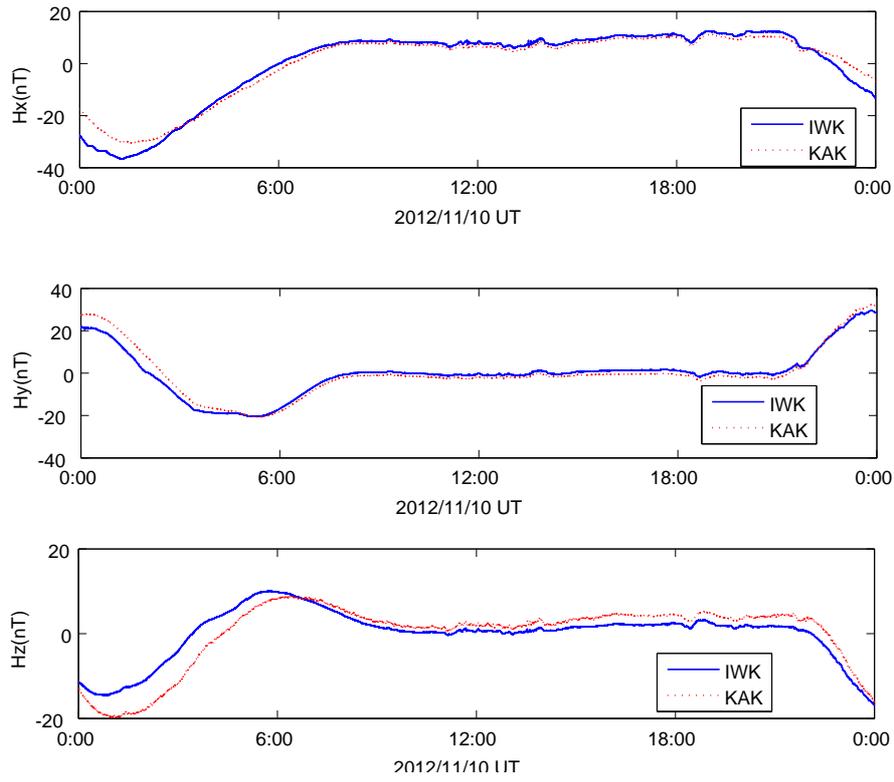


図 2 いわき地磁気観測点と柿岡地磁気観測点の比較

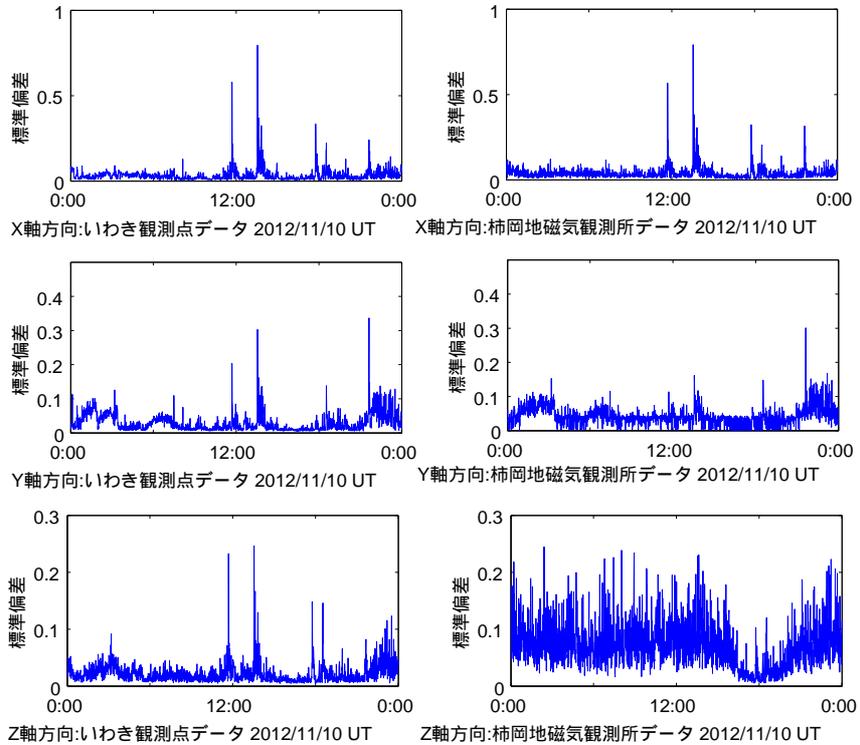


図 3 いわき地磁気観測点と柿岡地磁気観測点の標準偏差比較

によく一致している．次に，人工的なノイズ等のノイズレベルの評価を行うために図 2 の地磁気データを用いて 50 サンプルごとに標準偏差の計算を行った．結果を図 3 に示す．同図における左側がいわき地磁気観測点における磁力計の標準偏差，右側は柿岡地磁気観測所の公開する地磁気データから求めた標準偏差をそれぞれ示した．また，上から x 軸， y 軸， z 軸方向の地磁気データを示している．

これらのデータから以下のことがわかる．柿岡地磁気観測所公開データの z 軸方向のノイズレベルがいわき地磁気観測点の地磁気データに対して大きい．他の方向の地磁気データにおいては大きな差はないが，若干いわき観測点のほうが標準偏差は小さい．これより，いわき観測点における地磁気観測について，SQUID 磁力計自体のノイズも少なく，また，地磁気観測環境としても非常に適していると考えられる．

4. まとめ

我々の研究グループは 2012 年 3 月より，いわき観測点における HTS-SQUID 磁力計を用いた連続地磁気観測を開始した．いわき観測点においては，SQUID 磁力計を採用したことによって高感度な地磁気観測が可能であることが示された．観測地点としては，直流形電車等の外的要因によるものと思われるノイズも比較的少なく良好な地点であるといえる．今後はピエゾ磁気効果による地場の変動の観測を客観的に判別を行うシステムを構築するためにデータを継続して蓄積していき，さらに評価を行う必要がある．また，地磁気変化を自動的に判別するような処理システムを構築することが今後の課題である．

参考文献

- [1] M. Johnston and R. Mueller, "Seismomagnetic observation with the July 8, 1986, ML 5.9 North Palm Springs earthquake," *Journal of Geophysical Research* vol. 92, pp. 1201-1203, 1987.
- [2] M. Johnston, R. Mueller, and Y. Sasai, "Magnetic field observations in the near-field of the 28 June 1992 Mw 7.3 Landers, California, earthquake," *Bulletin of the Seismological Society of America* vol. 84, no. 3, pp. 792-798, 1994.
- [3] K. Okubo, N. Takeuchi, M. Utsugi, K. Yumoto, Y. Sasai, "Direct Magnetic Signals From Earthquake Faulting: IWATE-MIYAGI Earthquake Of M7.2, JAPAN, IAGA2009"
- [4] K. Okubo, N. Takeuchi, M. Utsugi, K. Yumoto, and Y. Sasai, "Direct magnetic signals from earthquake rupturing: Iwate-Miyagi earthquake of M 7.2, Japan," *Earth and Planetary Science Letters* vol. 305, no. 1, pp. 65-72, May 2011.
- [5] 気象庁 地磁気観測所 WEB ページ, '<http://www.kakioka-jma.go.jp/metadata/>'
Digital Data Service