

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560507

研究課題名(和文) 3.11 東北大地震の誘発地震頻発地域での微小地磁気変化の超高感度計測による観測

研究課題名(英文) High Sensitive Geomagnetic Field Observation at the Area where Induced Earthquakes frequently occur by the 3.11 Tohoku Earthquake

研究代表者

竹内 伸直 (TAKEUCHI, Nobunao)

東北大学・理学(系)研究科(研究院)・客員研究者

研究者番号：80005420

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000 円

研究成果の概要(和文)：本研究代表者は、地震断層運動時に微小磁気変化が発生することを2008年岩手宮城内陸地震で、国内外で初めて明らかにした。これは地震現象と電磁気現象が明確に関連していることを示すが、この例だけでなくもっと観測例を増やす必要がある。そこで、微小磁気変化をより高感度で観測するために高温超電導SQUID磁力計を準備し、3.11東北大地震による誘発地震が頻発している福島県浜通りに設置した。

その結果、2013年9月20日の地震は、マグニチュードが5.9と比較的大きく、また震央と観測点の距離が10km以内と非常に近かったため、地震断層運動時に発生する磁気変化信号をより明確に観測することに成功した。

研究成果の概要(英文)：We successfully observed “co-faulting” geomagnetic field changes due to piezomagnetic effects caused by earthquake rupturing in 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake of M7.2 using the flux-gate magnetometers. This observed geomagnetic variation signal accompanying earthquake fault movement is very small, approximately several hundred pico-tesla.

Since March 2012 we have performed long-term high sensitive geomagnetic observations using high-temperature superconducting-quantum-interference-device (HTS-SQUID) magnetometer system Unit1 at Iwaki observation site in Fukushima, Japan. Additionally, since October 2014, we have also introduced the new HTS-SQUID magnetometer system Unit2. A high-resolution accelerometer is also installed at observation point. At a result, we successfully observed the geomagnetic field change signal associated with the earthquake of M5.9 (on September 20, 2013) using our high-sensitive magnetometer Unit1 system.

研究分野：地震電磁気学


キーワード：地震極微小磁気変化 高温超電導SQUID磁力計 地震断層運動 地磁気連続観測 3.11東北大地震




1. 研究開始当初の背景

従来、地震発生時には膨大なエネルギーが放出されるため、その一部が電磁エネルギーに変換され電磁気信号が観測されるのが当然だと考えられてきた。しかし、実際には国内・国外で地震現象と電磁気現象の因果関係を明確に示す観測結果が殆ど無く、これまでの報告の多くが地震に関連するとは認められていない。

地震現象と関連する電磁気現象としては電磁波 電場 磁場がある。地震は地殻内部で発生するが、地殻自体は比較的大きな電気導電率を持つ。このため下表に示すように電磁気現象の中では、磁場現象の観測が最も有利である。

地震電磁気信号と磁場観測のメリット



<p>電磁波 </p> <p>大地の導電率による減衰・スキニングの問題</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 地表付近までほとんど伝搬しない 	<p>電場 </p> <p>大地の導電率で電流が流れてしまう</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 遠方で検知できない
<p>電場、磁場、電磁波とも距離の2乗か3乗で減衰する</p>	
<p>磁場 </p> <p>大地の導電率で磁場はシールドされない</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 準静磁場は距離減衰のみ 	

このような観点から本研究者は地震の発生が高いと予想される観測点において、地磁気観測を長年にわたって継続してきた。その結果、2008年岩手・宮城内陸地震による地震断層運動に伴って発生した微小磁気変化をリアルタイムで明確に観測することに国内・国外で初めて成功した。これは地震現象と電磁気現象が直接関連することを示した観測としては初めてのものである。

しかし、この結果を学術的に明確にするためには、これ以外にさらに多くの観測例を積み重ねる必要があり、このためにはより確実に観測できる観測環境および観測システムが要求される。

2. 研究の目的

2008年岩手・宮城内陸地震では観測点は震源から約30kmしか離れておらず、しかも、M7.2と大きな地震だったにもかかわらず、その磁気変化量は200ピコ・テスラという極めて微小な変化量である。すなわち、よほどの好条件でないと観測は不可能であるが、それでも、粘り強く観測を継続して観測例を増やし、この現象を学術的に明確に証明することが最重要課題となってくる。しかも、地震の発生時刻、発生場所およびマグニチュードは当然分かっているわけではないので、いかに良い観測場所を選び高感度の観測機器を準備するかが肝要である。このため、観測点として2011年東北地方太平洋沖地震による誘起地震が頻発している福島県いわき市に超高感度磁力計を設置することにした。この観測点で欠測なく継続して地磁気観測を行い、観測点の近くで地震が発生することを期待して、地震に関連する磁気変化の観測を粘り強く行う必要がある。このような観測体制を構築することにより、震断層運動による磁気変化信号をできるだけ多く観測することが目的となる。

3. 研究の方法

この課題に対応するため、地磁気観測用超高感度磁力計として、科研費により高温超電導 SQUID 磁力計を開発した(図1)。



図1 高温超電導 SQUID 磁力計

この磁力計を、2011年東北地方太平洋沖地

震による誘起地震が頻発している福島県いわき市遠野町の震源位置に近い地点に設置し、より明確な地震断層運動による磁気変化信号を検出するための観測を継続して行ってきた。

超電導 SQUID 磁力計は地磁気の 3 成分を計測するベクトル量磁力計であるが、各成分の絶対量を計測できず、相対量のみを計測できるオーバーハウザー磁力計を新たに導入した。これにより SQUID 磁力計での相対量を絶対量に変換できるような試みを行っている。

4. 研究成果

この SQUID 磁力計で、2013 年 9 月 20 日に発生した福島県浜通りの地震において、地震断層運動に伴う磁気変化信号を非常に明確な形で観測することに成功した。図 2 に、この地震の震央（赤丸）と観測点（IWK）の位置関係を示す。この図に示されるように震央から観測点までの距離が 10 km 以下と非常に近かった。

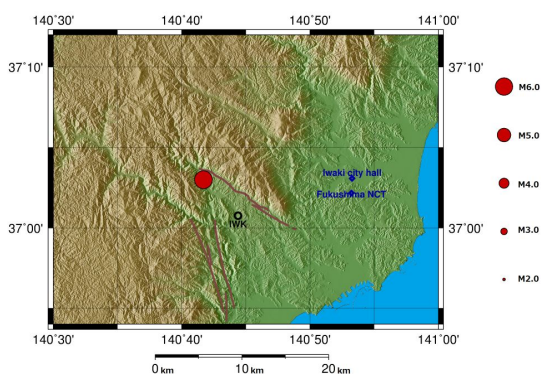


図 2 2013 年福島県浜通り地震震央と観測地点

得られた観測波形を図 3 と図 4 に示す。地震が発生した時刻（縦の点線）から地震波が観測点に到達する直前までの約 3 秒の間に、地磁気信号がゆっくりと最大 70pT 程度増加していることが明確に分かる。観測点から約 100km 離れた柿岡地磁気観測所の信号(図 3

青線) ではこのような変化は見られず、グローバルな磁気変化ではないことが分かる。この結果は、2008 年の岩手・宮城内陸地震の成果を強く裏付けている。すなわち、地震断層運動による磁気変化が確実に存在することを明確に示す画期的な成果であり、また、磁気変化量としてはピコ・テスラ領域の極めて小さい値であることも再び明らかにしている。

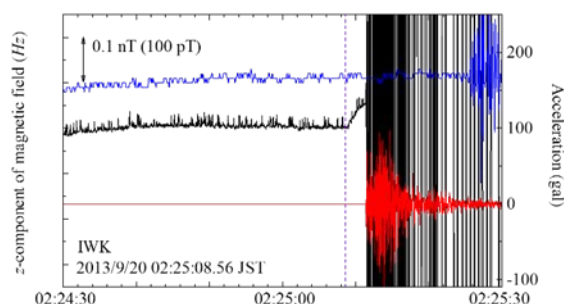


図 3 地震断層運動に伴う磁気変化信号
青線：地磁気 Z 成分（柿岡） 黒線：地磁気 Z 成分（いわき） 赤線：加速度（いわき） 縦の点線：発震時刻 時間幅：60 秒間

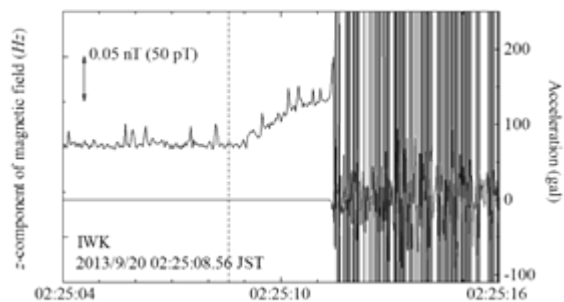


図 4 地震断層運動に伴う磁気変化信号
図 3 の拡大。上の線：地磁気 Z 成分（いわき） 下の線：加速度（いわき） 縦の点線：発震時刻 時間幅：12 秒間

ただし、この結果は、この地震が M5.8 と規模が比較的大きく、震源の深さが 8 km 程度であり、本研究者が設置した、いわき観測点が震央から 10 km 以内と非常に近い地点であったという極めて幸運に恵まれたため

であり、このようなデータを得る機会は極めて少ない。このため、長期間にわたって観測システムが完全な動作状態を常に保つようシステム全体の維持管理に努める必要がある。

この研究のこれから目指すところは以下の2つである。

(1) 地震断層運動に伴う微小磁気変化の観測例を増やす。

地震断層運動に伴う地磁気変化信号を数多く得ることが求められている。現在、いわき市では、発生する地震の震央の位置がいわき観測点に近いものもあるので、これまで通り、地震断層運動による磁気変化を観測できるよう粘り強く観測を継続することが重要である。

(2) より高感度磁力計による観測を行う。

開発した高温超電導 SQUID 磁力計 (SQUID1 と呼ぶ) は非常に高感度であり断層運動に伴う磁気変化の明確な観測に現在まで1例成功しているが、信号に量子化ノイズ (図3と図4の磁気信号に見られるパルス列) が重畳しており、また、ノイズレベルも10ピコテスラ程度はある。断層運動による磁気変化信号をより数多く観測するためには、さらに高感度の磁力計を開発する必要がある。このため、新たな高温超電導 SQUID 磁力計 (SQUID2 と呼ぶ) を開発した。ただし、地磁気3成分 (X,Y,Z) のセンサー素子間の干渉を避けるためZ成分のセンサー素子のみとしている。

この他に、地磁気観測に標準的に使用されるフラックスゲート磁力計 (首都大学東京が設置) を設置してある。SQUID 磁力計は磁場の変化量のみしか計測できないが、フラックスゲート磁力計は絶対値が計測できるため今後の解析に必要である。これら3種類の磁力計を使用して観測した1時間の地磁気波形を図5に示す。それぞれの磁力計による地磁気波形の変化はよく一致しており地磁

気を正しく計測していることが分かる。

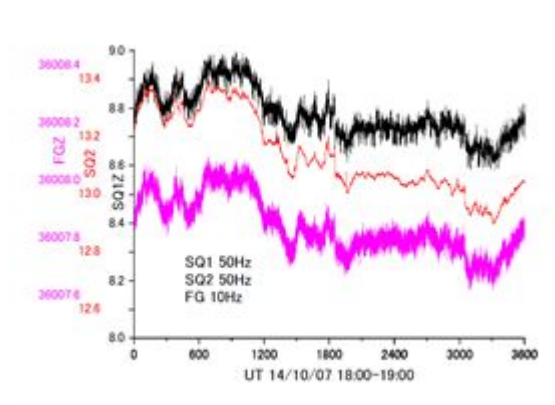


図5 3種類の磁力計による地磁気波形
黒線：SQUID1 磁力計、赤線：SQUID2 磁力計、ピンク線：フラックスゲート磁力計
時間幅：1時間

また、図5で明らかなように SQUID 2 磁力計は数ピコテスラのノイズレベルという優れた磁力計ということが分かる。残念ながら、現在までのところ、より高感度な SQUID 2 磁力計で地震断層運動に伴う磁気変化の観測は出来ていないが、観測を継続することにより、今後、新たな観測例が得られるものと期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3件)

— 大久保寛, 竹内 昭洋, 中村 行信, 竹内 伸直, 極超低周波音波計測を用いた津波発生検知と津波警報への応用, 電子情報通信学会論文誌 査読有, Vol.J96-A, No.8, 2013, pp.593-596,
http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j96-a_8_593&category=A&year=2013&lang=J&abst=

— K. Okubo, A. Takeuchi and N. Takeuchi, Underground Electric Signal at the Occurrence of the Niigatoken Chuetsu-oki Earthquake in 2007, Japan, IEICE Transactions on Electronics, 査読有, Vol.E95-C, No.1, 2012, pp. 110-114, DOI: 10.1587/transele.E95.C.110

— A. Takeuchi, K. Okubo, and N. Takeuchi, Electric Signals on and under the Ground Surface Induced by Seismic Waves, International Journal of Geophysics, 査読有, Volume 2012, 2012, Article ID 270809, DOI : 10.1155/2012/270809

〔学会発表〕(計 8件)

Yuta Katori, Kan Okubo, Tsunehiro Hato, Akira Tsukamoto, Keiichi Tanabe, Nobuhito Onishi, Chikara Furukawa, Shinji Isogami, and Nobunao Takeuchi
Evaluation of High-resolution Geomagnetic Field Observation System Using HTS-SQUID Magnetometer and its Application
AGU Fall Meeting 2014(NH31B-3864)
2014/12/17
Moscone Center(San Francisco,USA)

香取勇太, 大久保寛, 波頭経裕, 田辺圭一, 塚本晃, 大西信人, 古川克, 磯上慎二, 竹内伸直
HTS-SQUID 磁力計を用いた高感度地磁気観測システムの評価
地球電磁気・地球惑星圏学会 第136回講演会、2014/11/2 キッセイ文化ホール(長野県松本市)

大久保寛, 川島健, 大嶋拓也, 竹内伸直, 地形効果を考慮した津波発生時における極超低周波音波伝搬の数値解析に関する基礎検討, 日本地球惑星科学連合 2014年大会, 2014/5/1, パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

Y. Katori, Kan Okubo, T. Hato, A. Tsukamoto, K. Tanabe, N. Onishi, C. Furukawa, S. Isogami, and N. Takeuchi, Development of High Temperature Superconductor Based SQUID (HTS-SQUID) Magnetometer System for Super-sensitive Observation of Geomagnetic Field Changes, EGU General Assembly 2013, 2013/04/06, EGU2013-8632, Wien, Austria

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：

番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹内 伸直 (TAKEUCHI, Nobunao)
東北大学・大学院理学研究科・客員研究者
研究者番号：80005420

(2) 研究分担者

大久保 寛 (OKUBO, Kan)
首都大学東京・大学院システムデザイン研究科・准教授
研究者番号：90336446

磯上 慎二 (ISOGMI, Shinji)
福島工業高等専門学校・一般教科・准教授
研究者番号：10586853