

令和元年6月11日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26289348

研究課題名(和文) 従来技術の壁を超える「緊急地震速報」による最速地震検知網の構築

研究課題名(英文) Construction of fast earthquake detection method: super-early warning of destructive earthquakes

研究代表者

大久保 寛 (OKUBO, KAN)

首都大学東京・システムデザイン研究科・准教授

研究者番号：90336446

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：巨大地震の発生を予測・検知することは人類の最大の目標の1つといえる。特に日本列島は多くの人暮らしが暮らす大都市部や発電所などが多く分布する沿岸部に数多くの活断層が存在するため、安全性確保という観点からも現代社会において直下型の大地震の検知は重要な課題である。本研究では地震波以外の測定パラメータを使用する方法として、地震断層運動に伴って変動する地球磁場信号を利用するシステム(主にHTS-SQUID磁力計を利用)を開発、実現可能性を詳細に検討する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、実現可能性が明らかとなることで、新しい緊急地震警報システムへ発展することが期待される。巨大地震発生を検知・予測に貢献が出来る、地球物理学や地震学だけでなく社会全体へも大きな貢献ができる可能性を秘めている。例えば、医療機関や原子力発電所などの施設にとって、地震発生を1秒でも早く知ることは極めて重要で、それは多くの人命を救うことにつながる。

研究成果の概要(英文)：Detecting the occurrence of a huge earthquake is one of the greatest goals of humanity. Especially in Japan, there are many active faults in the urban area where many people live and in the coastal area where the power plants are distributed. In this research, magnetic fields measurement are employed. We develop a system that uses geomagnetic field signals that fluctuate with earthquake faulting, and examine the feasibility in detail. To develop a high-resolution magnetometer system, we conducted long-term precise geomagnetic observations using a high-temperature superconductor based superconducting quantum-interference device (HTS-SQUID) magnetometer system.

研究分野：波動情報工学

キーワード：地球磁場(地磁気)観測 地震検知 SQUID磁力計

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

巨大地震の発生を予測・検知することは人類の最大の目標の1つといえる。特に日本列島は多くの方が暮らす大都市部や発電所などが多く分布する沿岸部に数多くの活断層が存在するため、安全性確保という観点からも現代社会において直下型の大地震の検知は重要な課題である。

特に、2011.3.11 東北大地震以降、余震域を中心に比較的大きな内陸地震が頻繁に発生し、被害の報告もされている。

これまで地震災害の低減を目指し、気象庁を中心にして、緊急地震速報が提供されている。しかし、現在のこの警報システムは地震波の縦波であるP波を検知してから警報を出す方法を用いているため、P波が観測点に到達するまでの時間遅れは必ず発生する。これは大地中を進む弾性波のスピード(数 km/s)の制限と言える。巨大地震発生時においては、そのわずかな秒数が極めて重要となる。

そこで、本研究では、更なる緊急地震警報システムの開発に向け、地震断層運動に伴って変動する地球磁場信号(地球上で観測される磁場信号;地磁気信号)を利用した方法を検討する。磁場信号は地震波信号とは異なり、震源域での伝搬途中の影響をほぼ受けず、大地中を光の速度で伝わるため、地震発生と同時に時間遅れなくリアルタイムで観測出来る大きな利点がある。

2. 研究の目的

地震大国・日本で暮らす我々にとって、地震の発生をいかに速く検知できるかは、非常に重要な問題である。現在は、気象庁所轄の緊急地震速報が提供されているが、必ずしも満足できる程度の速報性は得られていない。本研究では地震波以外の測定パラメータを使用する方法として、地震断層運動に伴って変動する地球磁場信号を利用する最速の地震発生検知網「緊急地震超速報」システムを開発、実現可能性を詳細に検討する。本研究の最大のポイントは地震断層運動に伴う磁場変化信号を出来るだけ多くの地震について収集することにある。3.11 東北大地震の余震が今後多数発生することと予想される福島県いわき市を集中観測領域とし、周辺の活断層直近に高温超電導 SQUID を用いた超高感度磁力計を設置し観測を行い、観測された信号を用いた各種解析を実施する。

3. 研究の方法

我々の研究グループが保有するいわき地磁気観測点を中心に地磁気信号観測の現状に関して述べる。また、研究グループで保有するいわき地磁気観測点では後述する高解像な(高いサンプリング周波数と高い縦軸分解能)磁力計である HTS(High Temperature Superconductor based) - SQUID (Superconducting Quantum-Interference Device) 磁力計を設置し、地球磁場を連続観測する。

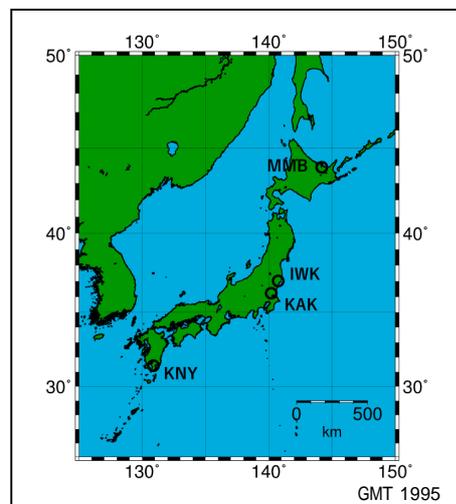
いわき地磁気観測点では HTS-SQUID 磁力計が同時稼働している。ここでは、いわき地磁気観測点での観測開始順に1号機、その後同観測点に新たに設置され、稼働している HTS-SQUID 磁力計を2号機、3号機と呼ぶことにする。

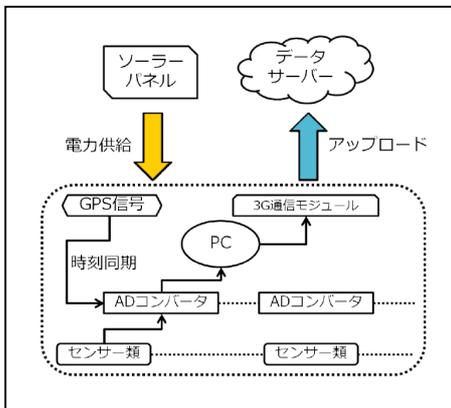
我々の研究グループにおいて観測対象としている地震発生時の地磁気信号変化を観測対象としたとき、これまでの磁場観測センサでは不十分であり、我々は世界で初めて、HTS-SQUID 磁力計を地磁気観測用の磁力計として採用した。HTS-SQUID 磁力計は真空断熱構造の容器で、素子を冷却する必要がある。なお、SQUID のタイプとして一般に超電導状態を維持するために必要な冷却温度が低いものを LTS(Low Temperature Superconductor)、冷却温度が高いものを HTS と呼んでいる。前者では冷却媒質として液体ヘリウムが利用され、後者では液体窒素が利用される。HTS-SQUID 磁力計においては一般的には LTS-SQUID 磁力計よりも感度は低いとされているがランニングコストが低いというメリットがあり、連続地磁気観測という長時間の地磁気観測を目的とした時に適切な磁力計と言える。

4. 研究成果

観測システムの概要を示す。

我々のグループで保有する地磁気連続観測システムでは、地震発生時に地震波や気象庁が発表する地震発生時刻との前後関係を、正確に観測することを目的として、GPS を用いた時刻同期を行い動作している。本地磁気観測システムにおける簡易システム構成は図に示す。本シス





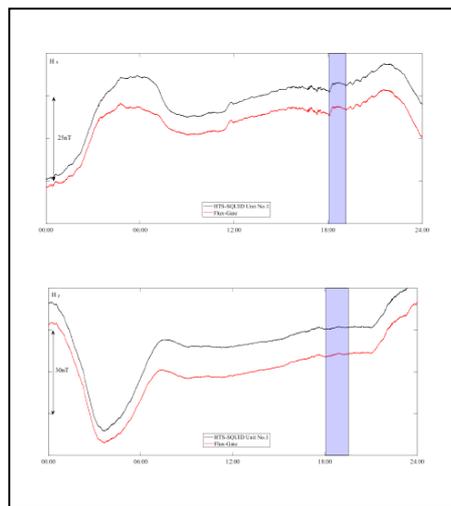
テムの電力はソーラーパネルによって発電された電気を、蓄電池に経由させることによって動作させているため、夜間だけでなく、短期間の悪天候にも対応して連続で稼働させることができる。また、本システムは基本的に無人で稼働するシステムであり、システムで動作する磁力計を含む各種センサはデータロガー機能を備えた、複数のADコンバータに接続され、PCを経由し、研究グループで管理するサーバ上に自動的にアップロードされる。

磁力計を含むシステム全体の評価を行う。本システムは、地震発生時の地磁気信号変化を観測ターゲットとしており、数秒間における微小な磁場(ベクトル量)の変化に対する観測性能を明らかにすることが重要である。

図にいわき観測点での 2015/10/28 00:00-24:00 (UTC)の観測波形を示す。図中には地磁気観測結果を上から x , z 軸方向の観測結果を示し、観測点で同時に動作する HTS-SQUID 磁力計, フラックスゲート磁力計(Flux-Gate) による観測結果を示している。図中表示されている網掛けの領域が後述する平均絶対偏差(MAD) の計算領域である。評価に用いる地磁気観測結果を選定する上で、柿岡地磁気観測所が公表している K 指数(K-index) を参考に決定した。

表に、いわき観測点の磁力計の分解能を示す。ただし、分解能を示す指標としては、外部からの信号が少ない深夜の 10 秒間の MAD を用いている。この結果より、2 号機において、従来の 1/10 以下の分解能を得ており、観測のターゲットである地震に伴う磁場変化(数 10 pT)の観測にも十分な精度を実現できている。

あわせて、観測信号の磁場トラップによる雑音信号処理および複数観測地点間の磁場信号推定方法についても基礎的な検討を実施した。



Magnetometer	Date	MAD Time	MAD (pT) H_z
フラックスゲート磁力計	2016/06/03	1sec(10 points)	12.03
HTS-SQUID1 号機	2016/06/03	1sec(50 points)	4.48
HTS-SQUID2 号機	2016/06/03	1sec(50 points)	0.70

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

Y. Katori, S. Isogami, T. Hato, A. Tsukamoto, K. Tanabe, N. Ohnishi, C. Furukawa, and K. Okubo, High-resolution geomagnetic observation system using HTS-SQUID, IEICE Communications Express 7(3) 71-76 2017 年 12 月, DOI: 10.1587/comex.2017XBL0168

N. Kawada, K. Okubo, N. Tagawa, T. Tsuchiya, and T. Ishizuka, GPU-computing-based high-speed visualization techniques for sound wave propagation using permeable multi-cross-section contours, Acoust. Sci. Technol. 36(3) 268-270 2015 年 3 月, DOI: 10.1250/ast.36.265

大久保寛, 波頭経裕, 塚本晃, 田辺圭一, 大西信人, 古川克, 磯上慎二, 竹内伸直, 緊急地震超速報システムの実現に向けて, 検査技術, 日本工業出版株式会社 2014 年 1 月

〔学会発表〕(計 12 件)

K. Nishikawa, K. Okubo, Y. Katori, and N. Takeuchi, Application of mean-shift clustering for removing flux trapping noise from geomagnetic field signals measured using HTS-SQUID magnetometers, Asia-Pacific Signal Inf. Process. Assoc. Annu. Summit Conf. (APSIPA ASC) 1400-1405 2017 年 12 月, DOI: 10.1109/APSIPA.2017.8282251

香取勇太, 大久保寛, 竹内伸直, ディープラーニング技術を用いた複数観測点データを入力とした高精度地磁気推定, SGEPS, 2017 年 10 月 16 日

谷口万理奈, 香取勇太, 大久保寛, 竹内伸直, 西川清史, HTS-SQUID 地磁気測定における磁束

トラップの雑音除去のための Mean-shift クラスタリングの改良, 信学技報, 2017 年 3 月 1 日

香取勇太, 大久保寛, 竹内伸直, ディープラーニングを利用した複数地点間の高精度地磁気推定方法の比較, SGEPPS 2016 年 11 月 21 日

香取勇太, 大久保寛, 竹内伸直, 深層学習技術を用いた地磁気変動推定の検討, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会 2016 年 5 月 25 日

辻拓麻, 香取勇太, 大久保寛, 竹内伸直, 西川清史, Mean-shift を用いた HTS-SQUID 地磁気測定における磁束トラップの雑音除去手法, 信学技報 2016 年 3 月 28 日

香取勇太, 大久保寛, 竹内伸直, 地磁気変動検出に向けたディープラーニング技術の利用方法の検討, Conduct. Anom. 研究会 2016 年 1 月

Y. Katori, K. Okubo, T. Hato, A. Tsukamoto, K. Tanabe, N. Onishi, C. Furukawa, S. Isogami, and N. Takeuchi, Observation of Magnetic Signals from Earthquake Faulting Using High-resolution HTS-SQUID Magnetometer: Feasibility of Super-early Warning of Earthquakes, AGU Fall Meet., 2015. 2015 年 12 月

Y. Katori, K. Okubo, T. Hato, A. Tsukamoto, K. Tanabe, N. Onishi, C. Furukawa, S. Isogami, and N. Takeuchi, A Comparison Study of High Resolution Geomagnetic Observation Systems Using HTS-SQUID Magnetometer for Earthquake Detection, AOGS 2015 SE07-15-A009 2015 年 8 月

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, いわき観測点における地磁気観測用 HTS-SQUID 磁力計の比較評価, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会 2015 年 5 月 26 日

Y. Katori, K. Okubo, T. Hato, A. Tsukamoto, K. Tanabe, N. Onishi, C. Furukawa, S. Isogami, and N. Takeuchi, Evaluation of High-resolution Geomagnetic Field Observation System Using HTS-SQUID Magnetometer and its Application, AGU Fall Meet., 2014. 2014 年 12 月

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 年 11 月 2 日

〔産業財産権〕

取得状況(計 3 件)

名称: 津波警報システム, 津波警報方法, 及び津波警報システム用のプログラム

発明者: 大久保寛

権利者: 首都大学東京

種類: 特許権

番号: 特許第 6103516 号

取得年: 2016

国内外の別: 国内

名称: 津波の検知方法, 検知装置および検知プログラム

発明者: 大久保寛

権利者: 首都大学東京

種類: 特許権

番号: 特許第 5816979 号

取得年: 2015

国内外の別: 国内

名称: 緊急地震警報を発するための方法および装置

発明者: 大久保寛, 竹内伸直, 笹井洋一

権利者: 首都大学東京

種類: 特許権

番号: 特許第 5470632 号

取得年: 2014

国内外の別： 国内

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：磯上 慎二

ローマ字氏名：Isogmi Shinji

所属研究機関名：国立研究開発法人物質・材料研究機構

部局名：磁性・スピントロニクス材料研究拠点

職名：主任研究員

研究者番号（8桁）：10586853

(2)研究協力者

研究協力者氏名：西川 清史

ローマ字氏名：Kiyoshi Nishikawa