

平成22年 5月24日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760268
 研究課題名（和文） 磁性体を含む鉱山地域における磁界変動の地上・地中同時計測とその応用に関する研究
 研究課題名（英文） Ground and underground observation of the magnetic field in mine area and its application
 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

研究成果の概要（和文）：本研究では、鉱山地帯における磁界計測システム構築している。本システムの特徴は（1）センサにはフラックスゲート磁力計を用いて、（2）地上・地中で同時観測し、（3）記録装置の時刻はGPSによって同期されている。本研究期間中の2008年6月に本観測地点からわずか26kmの地点での岩手・宮城内陸地震が発生した。本地震の発生時において、地震断層運動に伴うピエゾ磁気効果による磁界変化の観測に成功した。

研究成果の概要（英文）：We have observed three components of the geomagnetic field using a pair of fluxgate magnetometers in the Hosokura underground mine in northeast Japan. One of them has been placed at the main gallery ~70m below the ground surface and another in a hole 1m below. By virtue of such highly sensitive magnetometers, we observed the co-seismic magnetic signals accompanied with the fault movement which causes the piezomagnetic effect.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：信号解析

科研費の分科・細目：計測工学

キーワード：磁界観測，フラックスゲート磁力計，地中観測，鉱山，ピエゾ磁気効果，地震断層運動

1. 研究開始当初の背景

自然環境下において発生する磁界（地磁気）の観測については、1900年代の初めから研究が行われてきている。しかし、過去の研

究において地殻の変化と結びつくような決定的な地磁気変動の観測結果はほとんど得られていないのが現状である。

また従来、磁性体が多く存在する地域での

磁界計測はほとんど行われていない。この理由としては、一般的な磁界計測はグローバルな変動を捕捉することが重要となるため、各観測地点におけるばらつきを与える要因は少ないほうが良いからである。したがって、磁性体は発生している磁界に対して何らかの影響を与える可能性があるために、磁性体が多く存在する鉱山地域での磁界変動観測は避けられてきたと言える。

岩盤は一般に磁性体を含んでおり、また、岩盤を貫いて地磁気が常時存在している。応力変化が磁性体に作用すると、局所的に地磁気の値が変化することが知られており、岩盤の複数箇所計測し、その差分信号を解析することにより、岩盤内部の応力変化を検出できると考えられる。

しかし、従来の一般的な学説では、緯度経度が同じであれば、地中・地上ともに同様の磁界が観測される、と理解されている。しかし、予備的に行った本観測実験室及び実験室直上の地面での同時計測実験では両方の信号に差異が検出された。この差異は、全磁界に比べると、4桁ほど小さい値ではあるが、使用したフラックスゲート磁力計では変動分を高精度に計測できるため、両信号の差分信号を利用することで磁界変動の同定が可能となる。

また、従来の多くの地球磁界計測はペンレコーダなどのアナログ記録装置が全盛の時代に行われたものである。現在では当時から考えられないほど記録装置が発達しており、また、デジタル記録装置および制御用コンピュータを利用することで、一昔前よりも格段に高精度で安定した長期計測が可能となっている。デジタル記録した信号は劣化もなく、近年計算機とともに急速な進歩をとげているデジタル信号処理技術を駆使することで、特異な信号が発生した場合の検出技術も劇的に向上している。

2. 研究の目的

地殻変化と磁場変化の関係を示すためには、長期にわたる高精度な継続的観測が不可欠である。本研究では、地上地中のフラックスゲート磁力計の同時観測でこのような高精度な観測環境を実現する。

一方、地殻変化と結びつく地震現象に伴った電磁界変動の存在を明らかにするためには、地震発生と同時に観測された信号が鍵となることから、地中観測室において電磁界変動信号の長期連続観測を行い、地震現象に伴って発生した電磁界変動信号を観測し、得られた信号を解析することが重要である。

本研究では、地磁気変動に焦点を当てて観測を行い、その結果得られた信号の解析を行っている。特に2008年06月14日に発生した平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震

の際に観測された地磁気変動信号の詳細な検討を行う。

3. 研究の方法

3.1 地震地磁気効果

地震地磁気効果については、米国地質調査所のステイシーやジョンストン、日本の笹井等により1960年代に、断層近くでは地震発生前後で地殻応力変動によるピエゾ磁気効果により地磁気の値が変化することが理論的に指摘された。

震地磁気効果の観測については、1992年カリフォルニアで発生したランダース地震の発生前後で、プロトン磁力計を使用した2地点間の観測データから地磁気全磁力の差分値が直流成分の波形変化(オフセット信号)として観測されたことが報告されている。しかし、この観測のサンプリング時間は10分と極めて大きく、地震断層運動時に地磁気がどのような変化をするのかは全く不明である。また、変動信号の大きさは、1nT以下と非常に小さく、この観測以外には地震発生による地磁気変動信号の観測例ほとんどない。このように、この両者の関連を疑問の余地無く、明確に示す観測例が存在しない状況が続いたため、この地震地磁気効果の分野での理論面および観測面での研究は、大きな進展が期待できない状況にあった。

3.2 地中電磁界観測室と観測システム

我々は、地中空間での電磁界信号を観測するために、細倉地中電磁界観測室(北緯38度48分、東経140度53分)を宮城県栗原市鶯沢細倉(Hosokura)にある細倉金属鉱業株式会社と共同観測の形で設置している。この観測室の設置地点の位置を図1に示す。細倉の周辺では主に東側50km以内で、これまでたびたび大きな内陸型の地震が発生し、また、近いうちに発生が予測されている宮城県沖地震の震源にも近い。この観測においては、2004年以来、電界、磁界、電磁波、温度・湿度、イオンなどについて20以上の項目について電磁気観測を継続してきた。その結果、雷現象や地震現象などの電磁変動現象について、いくつかの新しい現象を報告してきた。

この細倉観測室は主坑道(通洞坑)の坑口から山腹を貫いて約1.5km奥にあり、地表面からの深さは約70mである。観測室は細倉鉱山の採鉱事務所跡であり、凝灰岩/安山岩の岩盤を掘削したもので、広さ約15m×12m、高さ約2.5mの空間がある。本観測においては地磁気に対する雑音信号の小さいことが絶対的に必要である。これまでの観測により、細倉地中観測室を用いることで地上観測では避けることのできない地磁気に対する自動車や動物などの影響を除くことが出来る。

なお、観測室内の温度は年間を通してほぼ一定であるが、湿度を出来るだけ一定に保つため常時電熱器を使用している。

また、観測室直上の地盤も強固であり、地中・地上における地磁気の同時観測が可能である。すなわち、図2の模式図に示すように、観測室の入り口付近には、地表面から垂直に立坑が貫通しており、GPS信号を観測室に伝送でき、正確な時間同期が可能である。

すなわち、地中と同時に、地上にも3軸フラックスゲート磁力計(Fluxgate 磁力計)システムを独立して設置し、これらの磁力計の相互比較を行うことにより、観測された極微小地磁気変動信号の信頼性を向上させることができる。なお、地中地磁気観測システムのサンプリング時間は0.5sであり、地上は1sである。また、磁力計の最大分解能は0.03nTである。

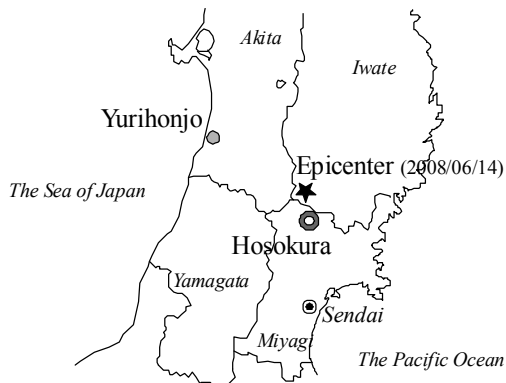


図1 細倉観測点の位置

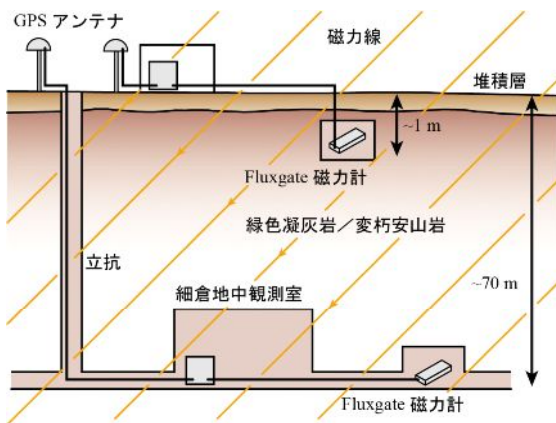


図2 細倉観測点地磁気観測システム

4. 研究成果

4.1 2008年岩手・宮城内陸地震

日本時間で2008年06月14日08時43分頃に、図4に示す岩手県内陸南部(北緯39度01.7分, 東経140度52.8分)の深さ8kmを震源とするマグニチュード7.2の地震が

発生し、岩手県奥州市と宮城県栗原市で震度6強、宮城県大崎市で震度6弱を観測したほか、東北地方を中心に北海道から関東、中部地方にかけて震度5強～1を観測した。この地震による被害は、人的被害では死者13名、行方不明者10名、負傷者450名、住家被害では全壊28件、半壊98件などであった。

この地震の発震機構は、西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、地殻内で発生した地震である。余震は北北東から南南西方向に延びる長さ約45km、幅約15kmの領域で発生した。これらの地震の震央分布図を図5に示す。

細倉観測地点は、震央から南に約25km離れた余震域の南端で、地震断層の下盤に位置している。また、震源距離は約26kmであった。この地震により、細倉観測地点でも震度6弱を記録したが、地上部、地中部どちらの観測システムにおいても大きな損傷を受けることなく、全ての観測要素について連続した観測記録を得ることができた。

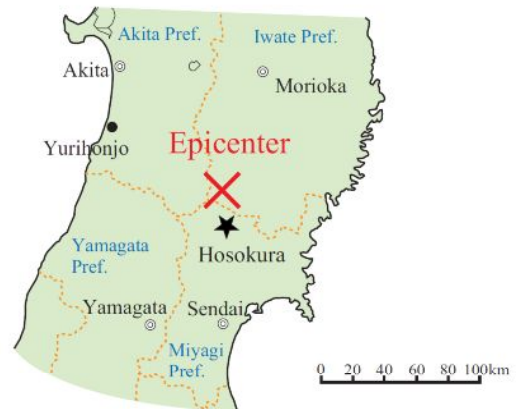


図4 岩手・宮城内陸地震の震源と観測地点の位置関係

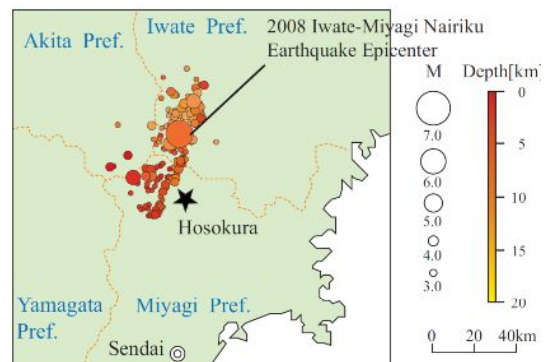


図5 岩手・宮城内陸地震の震央分布図(気象庁Web資料より一部改変)

4.2 観測波形

細倉観測地点で観測された、岩手・宮城内陸地震発生時刻の前後2分間における地磁

気観測波形を、図6及び図7(拡大図)に示す。これらの図では、発震時刻を示す破線を08時43分46秒に引いている。また、地上部、地中部の両地磁気観測波形内では、変化をみやすくするため、地震発生前の地磁気変動レベルを1点破線にて示している。なお、地磁気観測波形の地震波到達時刻以降については、磁力計センサ自体が振動したことによる信号が観測波形に含まれており、振動による信号と地磁気本来の信号とを分離することが非常に困難である。

まず、地上地磁気観測波形及び地中地磁気観測波形の地磁気 X 分力及び Z 分力の観測波形より、地震の発震直後から細倉観測地点に地震波が到達するまでの間に、どちらの観測波形においても僅かではあるが地磁気値に変動がみられる。この変動は、地震発震時刻から地震波到達時刻までの数秒の間に生じていた。また、変動の傾向として、X 分力では値が減少しているのに対して、Z 分力では値が増加しており、これは地上地磁気観測波形、地中地磁気観測波形どちらも同様の傾向だった。観測された信号の変動幅は、最大でも 0.2-0.3nT と非常に小さなものであり、地上部で観測された変動幅に比べて、地中部で観測された変動幅の方が若干小さかった。一方、地磁気 Y 分力では変動は極僅かであり、X 分力、Z 分力で観測されたほど顕著な変動はみられなかった。

以上のように、平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震の際に、細倉地中電磁界観測室で観測された地磁気変動信号を示し、その結果について検討した。即ち、岩手・宮城内陸地震の発生直後から始まる地磁気変動信号が観測されたことを示し、これまでに例のない観測結果であることを示した。このような観測結果は、世界的にみても報告されておらず、地震現象と電磁界変動現象の関係について検討していくきっかけとして非常に大きな意義を持つ。

本研究により、地震発生時において電磁界変動現象が生じることを明確に示すことができた。しかし、観測地点近傍で発生した地震例が少なく、より詳細な検討を行うためには観測データが少ないため、今後も観測を継続して行い、より多くのデータを蓄積する必要がある。

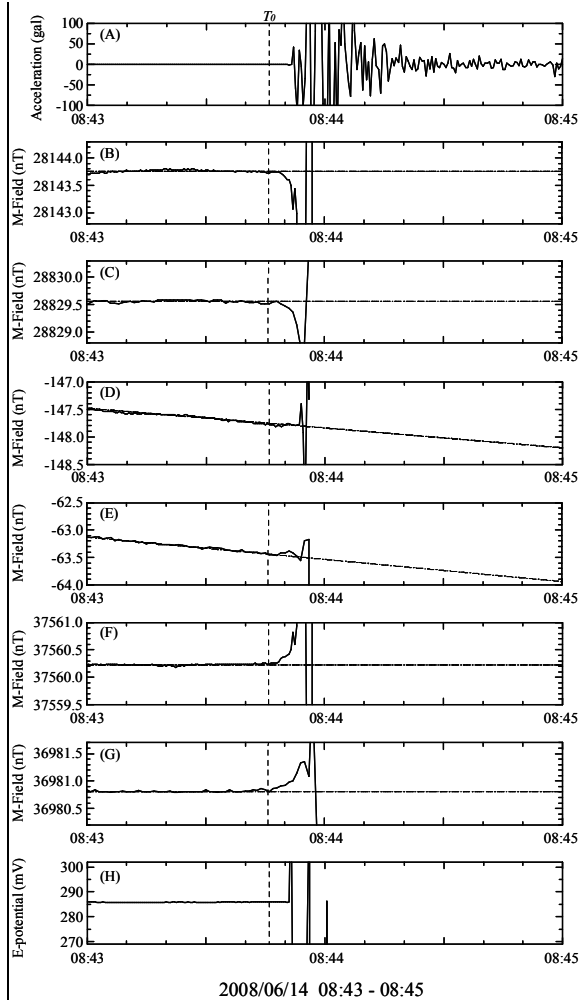


図6 磁場変化 (Hz, Hy, Hz)

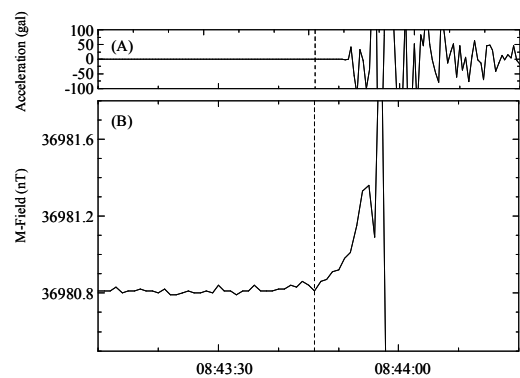


図7 磁場変化 (Hz)

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9件)

- ① Akihiro Takeuchi, Yukako Futada, K. Okubo, Yukinobu Nakamura and Nobunao Takeuchi, Positive electrification on the floor of an underground mine gallery at the arrival of seismic waves and similar electrification on the surface of partially stressed rocks in laboratory, Terra Nova, pp.203-207, 2010, 査読有
- ② Akihiro Takeuchi, K. Okubo, Shun Watanabe, Yukinobu Nakamura and Nobunao Takeuchi, Electric and Ionic Environmental Circumstances Interacting at Hosokura Underground Mine in Northeast Japan, IEEJ Trans. FM Vol. 129, 2009, pp.870-874, 査読有
- ③ M. Konno, K. Okubo, T. Tsuchiya, and N. Tagawa, “Two-Dimensional Simulation of Nonlinear Acoustic Wave Propagation Using Constrained Interpolation Profile Method,” Jpn. J. Appl. Phys. 48 (2009) 07GN01, 査読有
- ④ K. Okubo, S. Oh, T. Tsuchiya, and N. Takeuchi, “Consideration of an Absorbing Boundary Condition (ABC) Using CIP method for FDTD Acoustic Field Analysis,” J. Acoust. Soc. Jpn, Vol. 30 (2009), No. 2 pp.132-135, 査読有
- ⑤ 竹内昭洋, 二田祐佳子, 大久保寛, 中村行信, 阿部道彰, 竹内伸直, “野外観測と室内実験で検出される岩石表面の正帯電,” 電気学会論文誌(A), Vol. 129 (2009), No. 3 pp.153-154, 査読有
- ⑥ 土屋隆生, 大久保寛, 竹内伸直, “散逸性媒質内の音波伝搬解析へのCIP法の適用-1次元シミュレーション-,” 音響学会論文誌, 第64巻8号(2008), pp. 443-450, 査読有
- ⑦ T. Tsuchiya, K. Okubo and N. Takeuchi, “Numerical Simulation of Nonlinear Sound Wave Propagation using CIP Method -One dimensional case-,” Jpn. J. Appl. Phys, 47 (2008) pp. 3952-3958, 査読有
- ⑧ M. Konno, K. Okubo, T. Tsuchiya and N. Tagawa, “Performances of Various Types of Constrained Interpolation Profile Methods for Two-Dimensional Numerical Acoustic Simulation,” Jpn. J. Appl. Phys, 47 (2008), pp. 3962-3963, 査読有

- ⑨ M. Tanabe, K. Okubo, N. Tagawa and T. Moriya, “Inline Transmitter/Receiver System Using Pb(Zn1/3Nb2/3)O3-PbTiO3 Single Crystal and Poly(vinylidene fluoride) for Harmonic Pulse Compression Imaging,” Jpn. J. Appl. Phys 47 (2008), pp. 4149-4154, 査読有

[学会発表] (計12件)

- ① K. Okubo, T. Tsuchiya, R. Seta, N. Tagawa, “A Novel Method for Numerical Simulation of Sound Wave Propagation Using Heptic Interpolation Profile Method,” IEEE Ultrasonics Symposium, Rome, 20.9.2009
- ② T. Alexandrova, Y. Suzuki, K. Okubo, and N. Tagawa, “A Method for Realizing Threshold Image Secret Sharing”, 2010 IWAIT, 11.1.2010
- ③ R. Seta, T. Alexandrova, N. Tagawa, and K. Okubo, “Image Reconstruction Method Using Hermite Interpolation with High Accuracy Derivatives”, 2010 IWAIT, 11.1.2010
- ④ K. Okubo, A. Takeuchi, Y. Suyama, S. Watanabe, M. Utsugi, Y. Sasai, Y. Nakamura and N. Takeuchi, “Observation of Magnetic Signals from Earthquake Faulting: Co-faulting Signals in Iwate-Miyagi Earthquake of M 7.2, NE Japan,” Proceedings of 2009 AGU Fall Meeting, 14.12.2009
- ⑤ K. Okubo, N. Takeuchi, M. Utsugi, K. Yumoto, Y. SASAI, “Direct Magnetic Signals from Earthquake Faulting: Iwate- Miyagi Earthquake OF M7.2, Japan”, IAGA, 20.8.2009
- ⑥ M. Fujiwara, K. Okubo, N. Tagawa, “A Novel Technique for High Resolution Ultrasound Imaging Using Super Resolution FM-Chirp Correlation Method (SCM),” IEEE Ultrasonics Symposium, Rome, 20.9.2009
- ⑦ M. Ohmiya, K. Okubo, T. Tsuchiya, N. Tagawa, “Numerical Simulation of Sound Wave Propagation Using Hybrid Technique Combining FDTD Method and CIP Method,” IEEE Ultrasonics, Symposium, Rome, 20.9.2009
- ⑧ M. Tanabe, K. Okubo, T. Tsuchiya, “Development of Transducer System for Tissue Harmonic Imaging of Long Coded Signal,” IEEE Ultrasonics Symposium, Rome, 2009, 20.9.2009
- ⑨ M. Fujiwara, K. Okubo and N. Tagawa, “High Resolution Pulse Compression

Imaging Using Super Resolution FM-Chirp Correlation Method (SCM),” Proceedings of 30th International Symposium on Acoustical Imaging, 12. 4. 2009

- ⑩ M. Konno, K. Okubo, T. Tsuchiya and N. Tagawa, “ A consideration of multi-Dimensional Simulation of Nonlinear Acoustic Wave Propagation Using the CIP Method,” Proceedings of 30th International Symposium on Acoustical Imaging, 12. 4. 2009
- ⑪ N. Akazawa, S. Ozawa, K. Okubo, N. Tagawa, “ Two-Step Detection of Displacement for Elastography Using Graph Cut. ” , Eighth International Conference on the Ultrasonic Measurement and Imaging of Tissue Elasticity, Netherlands, 14. 9. 2009
- ⑫ M. Tanabe, K. Okubo, N. Tagawa, T. Moriya, ” Evaluation of Inline Transmitter/Receiver System for Intravascular Ultrasound Imaging Using Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃ Single Crystal and Polyvinylidene Fluoride” , Ultrasonics Symposium, IEEE 2. 11. 2009.

〔産業財産権〕

○出願状況（計1件）

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 寛ほか

権利者：大久保 寛ほか

種類：OL

番号：特願2008-255919

出願年月日：平成20年10月1日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 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