

## 多地点アレイ観測によるインフラサウンド及び可聴音波の方探実験 Direction finding experiments of infrasonic and audible waves by multiple-sites arrayed sensors

山本 真行<sup>1\*</sup>, 小松 孝康<sup>1</sup>, 森永 隆稔<sup>1</sup>, 木原 大城<sup>1</sup>, 石原 吉明<sup>2</sup>, 平松 良浩<sup>3</sup>, 金尾 政紀<sup>4</sup>

YAMAMOTO, Masa-yuki<sup>1\*</sup>, KOMATSU, Takayasu<sup>1</sup>, MORINAGA, Takatoshi<sup>1</sup>, KIHARA, Daiki<sup>1</sup>, ISHIHARA, Yoshiaki<sup>2</sup>, HIRAMATSU, Yoshihiro<sup>3</sup>, KANAOKA, Masaki<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 高知工科大学, <sup>2</sup> 国立天文台, <sup>3</sup> 金沢大学, <sup>4</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>Kochi University of Technology, <sup>2</sup>National Astronomical Observatory of Japan, <sup>3</sup>Kanazawa University, <sup>4</sup>National Institute of Polar Research

Infrasound and audible sound propagation in atmosphere is one of the open fields of the atmospheric science. These waves as well as atmospheric gravity waves that can propagate vertically up to the thermosphere is important in energy transportation way among ground, ocean, troposphere, stratosphere, mesosphere, and thermosphere. These waves can possibly be a seed of observable waves in thermosphere or ionosphere as many kinds of horizontal waves observed by optically or electromagnetically at each fixed altitude, suggesting these waves might be a key of atmospheric studies in vertical interactions. Many kinds of sources in naturally and artificially on ground, ocean, or troposphere like volcanic eruptions, earthquakes, tsunamis, artificial explosions, traffic of vehicles and planes can emit audible sound and infrasonic waves, however, examples of direction finding experiments by multiple-sites arrayed infrasound sensors in mesoscale region have been limited.

In order to observe and confirm source directions and coordinates of infrasonic waves from Sakurajima volcano and two sounding rocket launches from Uchinoura Space Center (USC), JAXA, we deployed 8 infrasound sensors as two 3-sensors arrays with triangles of about 50 m separations at Miyazaki University and Kinkowan High School and 2 independent sensors at Kagoshima National College of Technology and USC/JAXA from Dec. 16, 2011 to Jan. 16, 2012. During the experiment, the Sakurajima volcano was very active and many volcanic eruptions were reported by Japan Meteorological Agency with each maximum pressure value observed at nearest volcano observatory within 5 km from the source (vent position), whereas, JAXA's sounding rocket S-310-40 was launched from USC at 23:48 on Dec. 19, 2011, and S-520-26 rocket was at 5:51 on Jan. 12, 2012, respectively. Apparent infrasonic waves by Sakurajima eruptions were recorded by Chaparral Physics Model-2 and Model-2.5 sensors with Hakusan LS-8000WD and LS-8800 data loggers as well as SAYA A/D boards with PC at each site. We developed software for the direction finding. Based on the analyzing software, these infrasonic waves were successfully confirmed as the waves from Mt. Sakurajima by comparing between the vent position of Mt. Sakurajima and the results of direction findings. In this talk we will present a summary of direction finding experiments and the next step of multiple-sites arrayed observation of infrasound in Japan and Antarctic.

Acknowledgements: The authors are grateful to Drs. Kouji Maeda and Makoto Yamauchi (Miyazaki University), Drs. Hiro-masa Nozawa and Manabu Shinohara (Kagoshima National College of Technology), Dr. Takumi Abe (JAXA), and Mr. Hitoshi Hinokuchi (Kinkowan High School).

キーワード: インフラサウンド, 可聴音波, 方探, 多地点アレイ観測, 桜島噴火, 観測ロケット

Keywords: infrasound, audible sound, direction finding, multiple-sites arrayed observation, Sakurajima volcano eruption, sounding rocket

## 震源核形成 深層ガスの相互作用と地震電磁気現象 Coupled interaction of earthquake nucleation with deep gases and seismo-EMs

榎本 祐嗣<sup>1\*</sup>ENOMOTO, Yuji<sup>1\*</sup><sup>1</sup> 富山県工業技術センター<sup>1</sup> Toyama Industrial Technology Center

### 1. 断層アスペリティー / 深層ガスモデル[1]

震源核形成過程において、岩石破壊と深層ガスとの相互作用が電磁気現象などに関わる可能性が高い。堆積層内の岩石と間隙水の密度の違いによる圧力勾配差で間隙の潰れた層(深さ $D_c$ )が既存断層と交差する領域は、アスペリティーでもあり、深層ガスの封止層でもある。

### 2. 震源核でのガス帯電流の発生

地殻応力や深層ガス圧力が限界を超え、クラックが深層ガス層にまで進展すると、そこにガスが流れ込む。クラック面から放射されたエキソ電子はガス分子に付着し、負帯電ガス流が発生する[2]。その電流量 $I$ は、 $I=enAv$  ( $e$ :電荷量、 $n$ :負帯電ガス分子密度、 $v$ :流速、 $A$ :電子放射の実効断面積)と表せる。震源核の大きさ $l_c$ を用い、 $A=kl_c^2$  ( $k$ :比率)となる。流速は $v=h^2 P_c/12 l_c$  ( $h$ :隙間サイズ、 $P_c$ :封止層上下の圧力差、 $P_c[\text{Pa}]=1.51 \times 10^4 D_c[\text{m}]$ 、 $\eta$ :粘度)とする。さらに $l_c \sim 0.04 \sim 1_f$ 、 $l_f = S^{1/2}$  ( $l_f$ :断層長、 $S$ :断層面積)から、経験式  $\log S [\text{km}] = M - 4.0$  ( $M$ :マグニチュード)を使うと[3],[4]、 $l_c [\text{m}] = 10^3 \times 10^{(M-4.0)/2}$ になる。これらを  $I=enAv$ に代入して、

$$\log I = 0.5M + \log \frac{D_c}{h^2} \quad (1)$$

( $ken = 126$ ) ( $ken$ :震源核と深層ガスの電気的カップリングを表す因子)が導かれる。

$ken$ はラボ実験から推定し、室温近くでの Fracto-electron 放射 (FEE) では  $9.92 \times 10^{-5} \text{ C/m}^3$ 、350-400 °Cでの熱刺激電子放射 (TSEE) では  $3.47 \times 10^{-4} \text{ C/m}^3$ 、 $\eta$ はメタンの高温粘度  $1.5 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 、また $h$ は KTB 深層コアのクラック写真から、 $h = 15, 150 \mu\text{m}$ とした。

### 3. 電流源の形成と地電流

帯電ガスは、深層ガスによってさらに押し上げられ、アスペリティー上部が負帯電、下部が正帯電となるダイポールが瞬間的に形成され、帰還放電によって解消する。アスペリティー内に無数のクラック経路が形成されるので、この過程は鋸歯状波的に継続する。その周波数は  $f = 1/t = v/l_c$  ( $t$ :ダイポール形成時間、 $l_c$ :電荷変位量)と表せる。

$h$ は0.1と推定した。Fig.1に示すように、 $M$ 値が大きくなると、 $I$ は指数的に大きく、逆に $f$ は小さくなる。電磁気擾乱の影響がおよぶ距離  $r = 503 (I/f)^{1/2}$  から推定できる。地殻抵抗率を  $1 \text{ k}\Omega\cdot\text{m}$ とすると、 $h=15 \mu\text{m}$ では、 $M > 6$ 、 $f < 0.01 \text{ Hz}$ で、 $r > 159 \text{ km}$ となる。また、海水抵抗率を  $0.3 \text{ k}\Omega\cdot\text{m}$ とすると、 $r > 2.3 \text{ km}$ になる。 $h=150 \mu\text{m}$ では  $M > 8$ で同じことが言え、陸域では150km以上、また海域では深さ2000m以上伝播しうる。

### 4. モデルの検証

VAN法では  $M = 5-6$ の震源から100km以上離れた地点で250mV/kmのSES信号を検知している。これには震源で4kAくらいの電流発生が必要とされている[5]。また、1989年、 $M=6.9$ Loma Prieta地震で観測された、1nTの磁界変動には震源で50A程度の電流発生が必要と見積もられている[6]。いずれも、本モデルの範囲で説明できる。

### 5. 地圏-電離圏の電磁気カップリング

海域のような導電域に誘導された地電流変動は電離層に再び影響を及ぼす。沿岸海域の巨大地震による低周波数パルス電流は、100km以上の規模で地電流回路を形成し、電離層電流を誘起するであろう。実際、GPS-TECが観測された東北方太平洋沖地震、チリ地震やスマトラ地震の震央は沿岸海域にある[7]。

### 6. 文献

- 1) Gold, T. (1987), *Power from the Earth*: Ch. 5.
- 2) Scudiero, L. ほか (1998), *Phys. Chem. Minerals*. **25**, 566.
- 3) Shibasaki, B. ほか (1998), *Geophys. J. Int.* **132**, 14..
- 4) Kanamori, H. ほか (1975), *Bull. Seism. Soc. Am.*. **65**, 1073.
- 5) Mogk, D.W. ほか (2000), *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. **1**, 1047.
- 6) Park, S.K. ほか (1996), *A Critical Review of VAN*, pp267.
- 7) Heki, K. (2011), *Geophys. Res. Letters*. **38**, L17312.

キーワード: 地震電磁気現象, 震源核形成, 深層ガス, エキソ電子, SES, GPS-TEC

Keywords: seismo-EMs, earthquake nucleation, deep Earth gases, exo-electron, SES, GPS-TEC

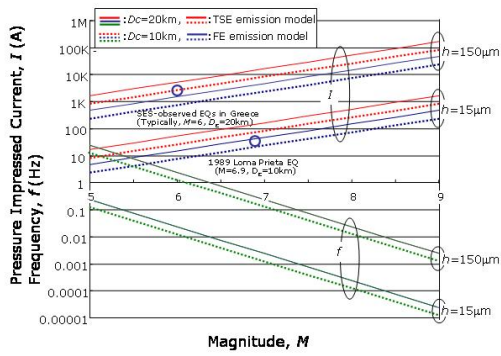


Fig.1  $I$  and  $f$  as a function of  $M$

## 火成岩ブロックの不均一荷重による起電力の発生とゼーベック係数の変化 Generation of Electromotive Force and Changes of Seebeck Coefficient for Igneous Rock Blocks Subjected to Inhomogeneous

竹内 昭洋<sup>1\*</sup>, 長尾 年恭<sup>1</sup>

TAKEUCHI, Akihiro<sup>1\*</sup>, NAGAO, Toshiyasu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東海大学地震予知研究センター

<sup>1</sup>Earthquake Prediction Research Center, Tokai University

地震に関連すると期待される様々な電磁気現象のメカニズムを研究するため、岩石試料を用いた室内実験を行ってきた。これまでに行ってきた実験によれば、自然乾燥させた火成岩のブロック状試料の一端を一軸圧縮すると、圧縮部から非圧縮部へ電流を流そうとする起電力が発生する。圧縮 / 歪みの度合いと起電力には正の相関がある。しかし、石英を含む花崗岩よりも石英を含まないハンレイ岩の方が強い起電力を示す傾向のあることから、圧電効果が主たる原因であるとは考えがたい。この起電力を説明するため、火成岩構成鉱物内に最も普遍的に含まれる格子欠陥の一つである過酸化架橋がアクセプター化することにより正孔が発現するというモデルを提唱してきた。前回の報告では、この「正孔発現」を実証するため、同様の岩石圧縮実験中に熱起電力を測定し、ゼーベック係数の変化を検証した。その結果、圧縮部では正孔の濃度が上昇し（つまり正孔の発現）、非圧縮部では殆ど変化のないことが分かった。本報告では、様々な岩種を用いて同様の測定を行ない、火成岩における「正孔発現」の普遍性を検証する。

キーワード: 地震電磁気, 火成岩, 起電力, 格子欠陥, 正孔

Keywords: Seismo-electromagnetics, Igneous rock, Electromotive force, Lattice defect, Positive hole

## A statistical study of ULF seismo-magnetic phenomena in Kanto, Japan during 2000-2010

## A statistical study of ULF seismo-magnetic phenomena in Kanto, Japan during 2000-2010

Peng Han<sup>1\*</sup>, Katsumi Hattori<sup>1</sup>, Febty Febriani<sup>1</sup>, Yuki Ishiguro<sup>1</sup>, Chie Yoshino<sup>1</sup>  
HAN, Peng<sup>1\*</sup>, Katsumi Hattori<sup>1</sup>, Febty Febriani<sup>1</sup>, Yuki Ishiguro<sup>1</sup>, Chie Yoshino<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Chiba University

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Chiba University

Recently electromagnetic phenomena have been considered as a promising candidate for short-term earthquake prediction. And especially passive ground-based observation of ULF (ultra low frequency) geomagnetic signatures is considered to be the most promising method for seismo-magnetic phenomena study due to deeper skin depth. In order to clarify the earthquake-related ULF magnetic phenomena, a sensitive geomagnetic network has been installed in Japan and plenty of data associated with moderate-large earthquakes have been accumulated. In this study, we have analyzed geomagnetic data observed during the past decade in Kanto area, Japan.

First, the ULF magnetic signals at the frequency 0.01Hz have been investigated. We have applied wavelet transform analysis to the 1Hz sampling data observed at three magnetic observatories in Boso Peninsula (Kiyosumi, Uchiura, and Fudago) and Izu Peninsula (Seikoshi, Mochikoshi, and Kamo), respectively. The signature at the 0.01Hz frequency band has been revealed and daily average energy has been computed. In order to minimum artificial noise, we only use the midnight time data (LT 1:00~4:00). And to remove influences of global magnetic perturbations, we have developed another method to obtain reliable background based on principal component analysis (PCA). Three standard geomagnetic stations (Memambetsu, Kakioka, and Kanoya) operated by the Japan Meteorological Agency have been selected as reference stations and PCA method has been applied to the yearly energy variation of the 0.01Hz signals at the three stations. The first principal component which contains more than 95% energy is considered to be global background.

After comparing the results at the stations in Boso and Izu Peninsula with global background, it is found that there are several local energy enhancements which only appear in Boso or Izu area. Especially for the case studies of the 2000 Izu Island earthquake swarm and the 2005 Boso M6.1 earthquake, significant anomalous behaviors have been detected in Z components.

Finally, we have applied superposed epoch analysis (SEA) to the above results and make a statistical study. The statistical results have indicated that before an earthquake there are clearly larger probabilities of anomalies than that after the earthquake. For Izu area, three weeks and few days before statistical value of anomalies is significant; for Boso region, around ten and few days before it is significant.

キーワード: ULF seismo-magnetic phenomena, statistical study

Keywords: ULF seismo-magnetic phenomena, statistical study

## 東北太平洋沖地震前後に宮城県丸森町で観測された電磁場変動 Characteristics of electromagnetic data at Marumori in Miyagi prefecture before and after Tohoku M9.0 earthquake

長谷 英彰<sup>1\*</sup>, 上嶋 誠<sup>1</sup>, 小山 崇夫<sup>1</sup>, 山谷 祐介<sup>1</sup>, 小河 勉<sup>1</sup>, 市来 雅啓<sup>2</sup>

HASE, Hideaki<sup>1\*</sup>, UYESHIMA, Makoto<sup>1</sup>, KOYAMA, Takao<sup>1</sup>, YAMAYA, Yusuke<sup>1</sup>, OGAWA, Tsutomu<sup>1</sup>, ICHIKI, Masahiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 東北大学理学研究科

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, Tokyo University, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Tohoku University

電場や磁場の時系列観測データの中から地震に伴うシグナルを検出する試みがこれまでに数多く行われている。MT 観測で測定している電磁気データの周期帯では、そのデータのほとんどが電離層や磁気圏起源の電磁場変動によるインダクション効果を含んでおり、その効果は太陽活動の状態によって大きく変化し、地表で観測される電磁気データの時系列レスポンスも変化に富んでいるのが一般的である。そのため一見するとインダクション効果ではないと思われる変動も実はインダクション効果によるものであることが多くあり、インダクション効果以外のシグナルを議論するときは、インダクション効果によるレスポンスとシグナルの識別を明確に示す必要がある。しかしながら、地震に伴うシグナルとインダクション効果との識別について明確に示されていないことも多い。

我々のグループでは、2010年11月中旬から2011年4月下旬まで宮城県丸森町において電磁場連続観測を行っており、東北地方太平洋沖地震が発生した今年3月11日前後のデータも取得している。本研究では、これらの電磁場時系列データの中に地震に伴うシグナルが含まれているか検証を行うにあたり、観測データから求められた周波数応答関数を用いて、観測点の時系列データに含まれるインダクション効果のレスポンスを推定した。そして観測データと推定されたインダクションレスポンスの比較から、地震に伴うシグナルが観測データに含まれているかどうかの検証を行った。本講演ではこれらの解析結果について議論を行う。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 電磁場変動, 宮城県, 周波数応答関数

Keywords: The Tohoku M9.0 earthquake, electromagnetic changes, Miyagi prefecture, frequency response function

## Seismo-ionospheric Anomalies of the GPS TEC Observed before the 11 March 2011 M9.0 Tohoku Earthquake

## Seismo-ionospheric Anomalies of the GPS TEC Observed before the 11 March 2011 M9.0 Tohoku Earthquake

Jann-Yenq Liu<sup>1\*</sup>, I-Te Lee<sup>1</sup>, Koichi C.H. Chen<sup>2</sup>, Rdrew Y. Z. Su<sup>1</sup>, Katsumi Hattori<sup>3</sup>, Yuh-Ing Chen<sup>4</sup>, Ho-Fang Tsai<sup>5</sup>  
LIU, Jann-Yenq<sup>1\*</sup>, I-Te Lee<sup>1</sup>, Koichi C.H. Chen<sup>2</sup>, Rdrew Y. Z. Su<sup>1</sup>, Katsumi Hattori<sup>3</sup>, Yuh-Ing Chen<sup>4</sup>, Ho-Fang Tsai<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Institute of Space Science, National Central University, Chung-Li, Taiwan, <sup>2</sup>Department of Geophysics, Kyoto University, Kyoto, Japan, <sup>3</sup>Graduate School of Science, Chiba University, Japan, <sup>4</sup>Institute of Statistics, National Central University, Chung-Li, Taiwan, <sup>5</sup>GPS Science Application Research Center, National Central University, Chung-Li, Taiwan

<sup>1</sup>Institute of Space Science, National Central University, Chung-Li, Taiwan, <sup>2</sup>Department of Geophysics, Kyoto University, Kyoto, Japan, <sup>3</sup>Graduate School of Science, Chiba University, Japan, <sup>4</sup>Institute of Statistics, National Central University, Chung-Li, Taiwan, <sup>5</sup>GPS Science Application Research Center, National Central University, Chung-Li, Taiwan

In this paper, the total electron content (TEC) derived from ground-based GPS (global positioning system) receiving networks are used to observe the seismo-ionospheric anomalies and traveling ionospheric disturbances associated the 11 March 2011 M9.0 Tohoku earthquake. To identify the pre-earthquake anomalies, the TEC of the global ionosphere map (GIM) is examined. The Thermosphere Ionosphere Electrodynamics General Circulation Model (TIEGCM) is applied to simulate the observed anomalies. The observation shows that the TEC over the epicenter significantly enhances on 6-8 March 2011, 4-2 days before the earthquake. The spatial analysis further demonstrates that the enhancement anomaly specifically and persistently appears in the northern epicenter area. Simulation results well agree with the observations, which suggest that the electric potential around the epicenter has been distorted and significantly affect the TEC during the earthquake preparation period.

キーワード: Seismo-ionospheric Precursor, GPS TEC, 2011 M9.0 Tohoku Earthquake

Keywords: Seismo-ionospheric Precursor, GPS TEC, 2011 M9.0 Tohoku Earthquake

## 東北地方太平洋沖地震の際に発生した微小クラックの検出 Detection of ultra-micro cracks associated with the great Tohoku Earthquake by means of an electromagnetic means

藤縄 幸雄<sup>1\*</sup>, 野田 洋一<sup>2</sup>, 高橋 耕三<sup>3</sup>, 小林 真二<sup>4</sup>, 高松 謙一<sup>5</sup>

FUJINAWA, Yukio<sup>1\*</sup>, NODA, Yoichi<sup>2</sup>, Kozo Takahashi<sup>3</sup>, Masaji Kobayashi<sup>4</sup>, Kennichi Takamatsu<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 藤縄地震研究所, <sup>2</sup> テラテクニカ, <sup>3</sup> 元通信総合研究所, <sup>4</sup> リアルタイム地震情報利用協議会, <sup>5</sup> 沖エンジニアリング

<sup>1</sup>Fujinawa Earthquake Res. Inc., <sup>2</sup>Tierra Tecnica Corp., <sup>3</sup>Communication Res. Lab., <sup>4</sup>Real-time Earthquake Information Cons.,

<sup>5</sup>OKI Engineering Co. Ltd.

### 1. はじめに

地震・火山噴火の予測に使える現象を探すべく、電磁気的手法によって1989年から2002年まで観測研究を行っていた。観測データによって効率的に前兆的現象を捕捉できる可能性の高いことを明らかにしていた。2010年からは、新たにJSTによる「超リアルタイム地震情報に関する調査」の一環として、高感度観測装置を開発し、茨城県神栖市(旧波崎町)で野外観測を2011年3月3日から行っていた。図らずも一か月も経たない3月11日にM9.0の巨大地震が発生した。データ解析の結果、3月11日の前後に特徴的な現象が発生したことを確認できた。

### 2. 方法

特殊な“地中アンテナ”により鉛直電界を計測している。1989年から観測点を増やし、日本中央部7都県に於いて最高13観測点で観測を行っていた。その間、火山噴火、地震活動に関するデータを取得でき、関連する異常現象に注目して解析し、高い確率で地震などの発生前後数日に限って発生することが分かっていた。神栖市では、810mの地下水観測用の掘削井(ポアホール)による地中電界観測システムによった。計測周波数帯は、DC帯(0-1.5 Hz)、ULF・VLF(1.5 Hz - 9 kHz)の2帯域で、高分解能(16ビット)かつ高サンプリング(18 kHz)で計測した。

### 3. 波形とその発生機構

注目していたULF/VLF帯変動が検出されたが、継続時間の短い変動と、長い変動が有ることが分かった。前者の波形は、単発のパルス状で継続時間10ms以下、形から一角型(Unicorn-type ULF Variation: UUV)という。変動の大きさは、地球・海洋潮汐による変動の10分の1位である。波形が初めて同定された。

後者は、群発地震・火山活動の際に検出された(間歇泉型変動: GUV)と、全く同じであった。パルス幅は、0.5分ぐらいから長いものでは30分位である。地球・海洋潮汐による変動の10倍位の大きさである。両者は、いずれも検知されている微小地震に比べて、少なくとも2ケタは小さい微小なクラックの発生に伴って生成した開口部分に高圧地下水が流入したために発生したと考えられる。

### 4. 時間変化

やや短周期のパルス変動(UUV)の活動の推移を、ノイズに比べて顕著に大きなパルスに限定して1時間ごとの数によって定量化した(図1)。6日から3個となり、8日には5個、9日夜に最大の10個となり、地震発生の前日10日に4個、地震発生の当日、発生の数時間前に小さなピークで8個となり、地震となった。

パルス数は、3月3日から5日まではごく少数、6日から8日に増大傾向9日夜に最大となり、地震発生の前日10日に殆どゼロ、地震発生の当日、発生の数時間前に小さなピークとなり、地震となった。3月12-23日は、停電と機器故障で欠測となった。観測再開に24日からである。24日から30日は最大2個と不発で、地震発生の前に比べて極端に少ない。

一方やや長周期の変動(GUV)の時間当たりの発生数は、地震の前にはたった1個で、全体28個の内27個が地震後となっている。

このような結果から、当該ULF帯のパルス状現象が3.11地震の発生に密接に関係していることが推測される。また、UUVは当初徐々に活発化し、9日に急激に増大、直前にやや少なくなる傾向を示したが、これは、前震活動、岩石実験での破壊前AEの発生の推移とよく似ている。

### 5. 考察

観測点は破壊域の西南の端に位置する。アスペリティが推定されている場所からは、約300km離れている。しかし、GPSデータによる地震時地殻変動は、数10cmとなっている。これまでポアホール観測では、検出範囲がせいぜい数10kmであったことから、地震発生の直前に破壊域の端にも直前のひずみ集中が小さいながら生じ、特徴的



SCG69-07

会場:102B

時間:5月24日 11:15-11:30

なUUVが発生したと考えられる。

### 5. 結論

今回の結果および、アスペリティ領域では微小クラック発生がもっと活発と推定されることから、破壊域全域でUUVが発生したと考えるのが自然である。UUV時間から発生時刻が、分布の広がりとその強度分布によって、事前にマグニチュードの予測が出来る可能性がある。

キーワード: 地震先行現象, 電磁気現象, マイクロクラック, 地下水流動

Keywords: earthquake precursor, imminent prediction, electric phenomena, ULF band pulse

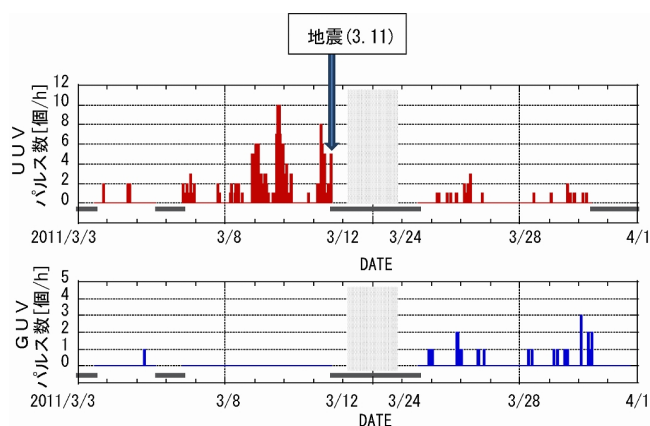


図1 パルスの時間変化

## 2011年東北地方太平洋沖地震時の津波発生に伴う地球磁場変動の解析 - TEC変動との関係性 - Analysis of geomagnetic field changes with tsunami generation in the 2011 Tohoku Earthquake

大久保 寛<sup>1\*</sup>, 竹内 昭洋<sup>2</sup>, 津川 卓也<sup>4</sup>, 村井 太一<sup>1</sup>, 長尾 年恭<sup>2</sup>, 笹井 洋一<sup>2</sup>, 竹内伸直<sup>3</sup>

OKUBO, Kan<sup>1\*</sup>, TAKEUCHI, Akihiro<sup>2</sup>, TSUGAWA, Takuya<sup>4</sup>, Taichi Murai<sup>1</sup>, NAGAO, Toshiyasu<sup>2</sup>, SASAI, Yoichi<sup>2</sup>, Nobunao Takeuchi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 首都大学東京大学院システムデザイン研究科, <sup>2</sup> 東海大・地震予知研究センター, <sup>3</sup> 東北大学・地震・噴火予知研究観測センター, <sup>4</sup> 情報通信研究機構

<sup>1</sup>Tokyo Met. Univ., <sup>2</sup>Tokai Univ. Earthquake prediction Res. Center, <sup>3</sup>Research Center for Predictions of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduated School of Sciences., <sup>4</sup>National Institute of Information and Communications Technology

本研究では2011年東北地方太平洋沖地震・津波発生に伴う地球磁場変動に関する解析結果を報告する。

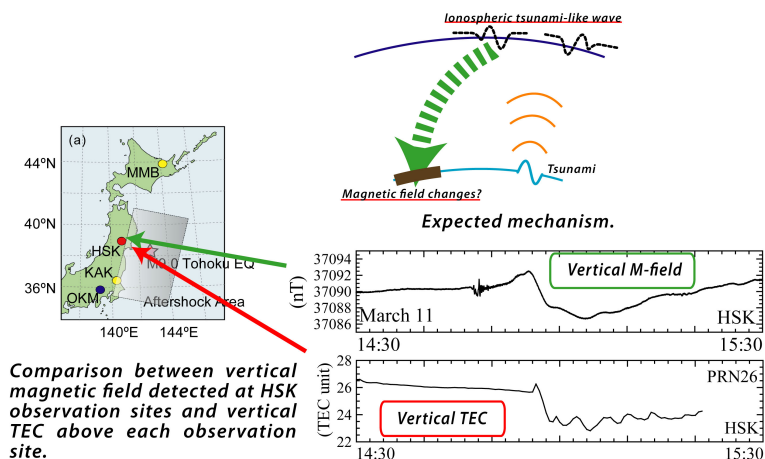
我々の研究グループは現在、細倉（宮城県）と奥多摩（東京都）に観測地点を設け、地球磁場を継続的に観測している。細倉観測地点では、宮城県栗原市にある細倉鉾山において、2004年3月以降、我々は1対のフラックスゲート磁力計を用いた地磁気3成分観測を行っている。1台は地下70mの坑道内に設置され、もう1台は地表下1mに設置されている。地中磁力計は0.5秒サンプリング、地上磁力計は1秒サンプリングで記録し、どちらの観測データもGPSによって時刻同期されている。一方、奥多摩についてもフラックスゲート磁力計を用いた地磁気3成分観測を行っている。

2011年3月11日に2011年東北地方太平洋沖地震（Mw9.0）が発生した。細倉観測地点と震源域までの距離は百数十kmである。各観測地点での観測結果には、巨大津波によって発生した注目すべき磁場変化が見られた。磁場の1秒値観測データを用いることで非常に明確な変化が明らかとなった。本発表ではこれらの磁場変化について検討した結果を報告する。特に、電離層密度（TEC）変化との比較を行い、その関連性を示す。この結果は東北地方太平洋沖地震発生時に観測された地球磁場変化が電離層内の変化によって引き起こされた強い可能性を示唆している。

これらの陸域で観測された磁場変化は、沿岸部への津波の最大波が到達する30分以上前に観測されており、今後のさらなる研究により、磁場観測を用いた巨大津波警報システムを実現することも可能となるだろう。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 地球磁場変動, TEC, 津波, 音波

Keywords: 2011 Tohoku Earthquake, geomagnetic field changes, TEC, tsunami, acoustic wave



## 福島第一原発事故後のGPS全電子数変動

### Variation of GPS total electron content after accident of Fukushima I nuclear power plant damaged by tsunamis

柿並 義宏<sup>1\*</sup>, 鴨川 仁<sup>2</sup>, 渡部 重十<sup>3</sup>, 茂木 透<sup>1</sup>, 劉 正彦<sup>4</sup>

KAKINAMI, Yoshihiro<sup>1\*</sup>, KAMOGAWA, Masashi<sup>2</sup>, WATANABE, Shigeto<sup>3</sup>, MOGI, Toru<sup>1</sup>, LIU, Jann-Yenq<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学地震火山研究観測センター, <sup>2</sup> 東京学芸大学教育学部物理学科, <sup>3</sup> 北海道大学大学院理学院宇宙理学専攻, <sup>4</sup> 台湾国立中央大学太空研究所

<sup>1</sup>Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, <sup>2</sup>Department of Physics, Tokyo Gakugei University, <sup>3</sup>Department of CosmoScience, Hokkaido University, <sup>4</sup>Institute of Space Science, National Central University

Recently, pre-seismic ionospheric disturbances have been often reported. One of proposed speculations which produce the disturbance is that atmospheric conductivity is enhanced by pre-seismic radon emission. The speculation is based on the report that plasma density at the F2-peak was enhanced after the nuclear accident at Three Mile Inland, which radioactive materials was vented. Unfortunately, radioactive materials have been also emitted from Fukushima I nuclear power plant damaged by tsunamis generated by the M9.0 off the Pacific coast of Tohoku earthquake. The radioactive ray is stronger in the Fukushima accident than in the Three Mile Inland accident. Therefore, the Fukushima accident is good opportunity to verify the speculation. In this paper, we investigate total electron content (TEC) before and after the Fukushima accident using a ground-based receiving network of GPS Earth Observation Network (GEONET) in Japan. Both small enhancement and disturbance of TEC were observed over the nuclear power plant after the radiation was suddenly enhanced on March 14 of 2011. However, similar signatures were not detected in the other sudden radiation enhancements. Moreover, enhancement and disturbance did not last for more than an hour over the nuclear power plant. Therefore, the results indicate difficulty that radioactive materials disturb the ionosphere even when such circumstance exists.

キーワード: 地震電磁気, 電離圏擾乱, 福島第一原発事故, 東北太平洋沖地震, 全電子数

Keywords: seismo-electromagnetics, ionospheric disturbance, accident of Fukushima I nuclear power plant, Tohoku earthquake, total electron content