

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^{1*}, 小松 孝康¹, 森永 隆稔¹, 木原 大城¹, 石原 吉明², 平松 良浩³, 金尾 政紀⁴

YAMAMOTO, Masa-yuki^{1*}, KOMATSU, Takayasu¹, MORINAGA, Takatoshi¹, KIHARA, Daiki¹, ISHIHARA, Yoshiaki², HIRAMATSU, Yoshihiro³, KANAOKA, Masaki⁴

¹ 高知工科大学, ² 国立天文台, ³ 金沢大学, ⁴ 国立極地研究所

¹Kochi University of Technology, ²National Astronomical Observatory of Japan, ³Kanazawa University, ⁴National 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^{1*}ENOMOTO, Yuji^{1*}¹ 富山県工業技術センター¹ 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、 $P_c[\text{Pa}]=1.51 \times 10^4 D_c[\text{m}]$ 、 η :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、

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

($\log \frac{D_c}{h^2} = 126(\text{ken}/h^2)$: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 $3.47 \times 10^{-4} \text{ C/m}^3$ 、 η 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 $f=1/t$ ($t=v/l_c$) (t :ダイポール形成時間、 l_c :電荷変位量)と表せる。

f 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 は、 $r = 503 (I/f)^{1/2}$ 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、1 nT 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

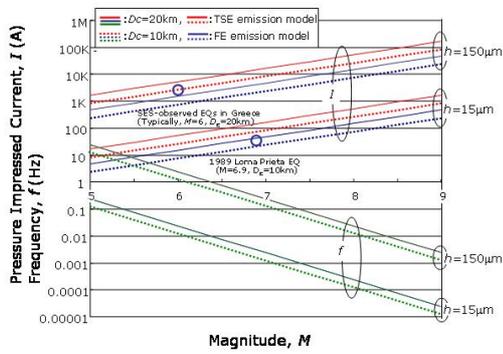


Fig.1 I and f as a function of M

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^{1*}, 長尾 年恭¹

TAKEUCHI, Akihiro^{1*}, NAGAO, Toshiyasu¹

¹ 東海大学地震予知研究センター

¹Earthquake 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^{1*}, Katsumi Hattori¹, Febty Febriani¹, Yuki Ishiguro¹, Chie Yoshino¹
HAN, Peng^{1*}, Katsumi Hattori¹, Febty Febriani¹, Yuki Ishiguro¹, Chie Yoshino¹

¹Graduate School of Science, Chiba University

¹Graduate 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^{1*}, 上嶋 誠¹, 小山 崇夫¹, 山谷 祐介¹, 小河 勉¹, 市来 雅啓²

HASE, Hideaki^{1*}, UYESHIMA, Makoto¹, KOYAMA, Takao¹, YAMAYA, Yusuke¹, OGAWA, Tsutomu¹, ICHIKI, Masahiro²

¹ 東京大学地震研究所, ² 東北大学理学研究科

¹Earthquake Research Institute, Tokyo University, ²Graduate 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^{1*}, I-Te Lee¹, Koichi C.H. Chen², Rdrew Y. Z. Su¹, Katsumi Hattori³, Yuh-Ing Chen⁴, Ho-Fang Tsai⁵
LIU, Jann-Yenq^{1*}, I-Te Lee¹, Koichi C.H. Chen², Rdrew Y. Z. Su¹, Katsumi Hattori³, Yuh-Ing Chen⁴, Ho-Fang Tsai⁵

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

¹Institute of Space Science, National Central University, Chung-Li, Taiwan, ²Department of Geophysics, Kyoto University, Kyoto, Japan, ³Graduate School of Science, Chiba University, Japan, ⁴Institute of Statistics, National Central University, Chung-Li, Taiwan, ⁵GPS 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^{1*}, 野田 洋一², 高橋 耕三³, 小林 真二⁴, 高松 謙一⁵

FUJINAWA, Yukio^{1*}, NODA, Yoichi², Kozo Takahashi³, Masaji Kobayashi⁴, Kennichi Takamatsu⁵

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

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

⁵OKI 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

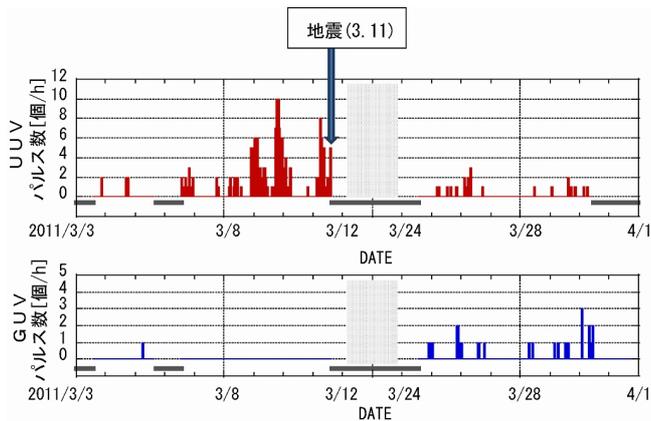


図1 パルスの時間変化

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^{1*}, 竹内 昭洋², 津川 卓也⁴, 村井 太一¹, 長尾 年恭², 笹井 洋一², 竹内伸直³

OKUBO, Kan^{1*}, TAKEUCHI, Akihiro², TSUGAWA, Takuya⁴, Taichi Murai¹, NAGAO, Toshiyasu², SASAI, Yoichi², Nobunao Takeuchi³

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

¹Tokyo Met. Univ., ²Tokai Univ. Earthquake prediction Res. Center, ³Research Center for Predictions of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduated School of Sciences., ⁴National 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。

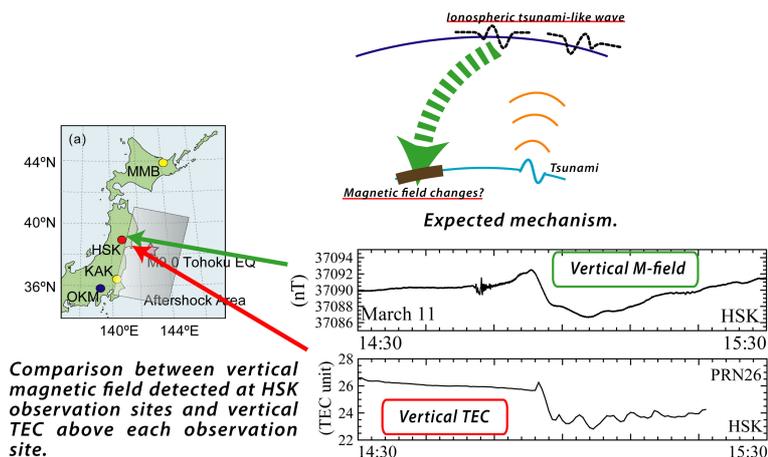
我々の研究グループは現在、細倉（宮城県）と奥多摩（東京都）に観測地点を設け、地球磁場を継続的に観測している。細倉観測地点では、宮城県栗原市にある細倉鉱山において、2004年3月以降、我々は1対のフラックスゲート磁力計を用いた地磁気3成分観測を行っている。1台は地下70mの坑道内に設置され、もう1台は地表下1mに設置されている。地中磁力計は0.5秒サンプリング、地上磁力計は1秒サンプリングで記録し、どちらの観測データもGPSによって時刻同期されている。一方、奥多摩についてもフラックスゲート磁力計を用いた地磁気3成分観測を行っている。

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



Comparison between vertical magnetic field detected at HSK observation sites and vertical TEC above each observation site.

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^{1*}, 鴨川 仁², 渡部 重十³, 茂木 透¹, 劉 正彦⁴

KAKINAMI, Yoshihiro^{1*}, KAMOGAWA, Masashi², WATANABE, Shigeto³, MOGI, Toru¹, LIU, Jann-Yenq⁴

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

¹Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, ²Department of Physics, Tokyo Gakugei University, ³Department of CosmoScience, Hokkaido University, ⁴Institute 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

南極域の脈動と微気圧変動で捉えた電離層-大気-海洋-雪氷-固体地球相互作用 IONOSPHERE-ATMOSPHERE-OCEAN-CRYOSPHERE-GEOSPHERE INTERACTION FROM MICROSEISMS AND MICROBAROMS IN ANTARCTICA

金尾 政紀^{1*}, 山本 真行², 石原 吉明³, 豊国 源知⁴

KANAO, Masaki^{1*}, YAMAMOTO, Masa-yuki², ISHIHARA, Yoshiaki³, TOYOKUNI, Genti⁴

¹ 国立極地研究所, ² 高知工科大学, ³ 国立天文台, ⁴ 東北大学大学院理学研究科

¹National Institute of Polar Research, ²Kochi University of Technology, ³National Astronomical Observatory of Japan, ⁴Graduate School of Science, Tohoku University

Several characteristic waves detected by seismographs in Antarctica are originated from physical interaction between solid-earth and atmosphere - ocean - cryosphere, involving environmental changes. An infrasound sensor was planted at Syowa Station (SYO; 39E, 69S), Antarctica at the International Polar Year. Continuous data in 2008-2009 include background signals (microbaroms) with peak with few seconds of its intrinsic period. Signals with same period are recorded in broadband seismograph at SYO (microseisms). Continuous signals are identified as Double-Frequency Microseism-baroms (DFM) with peaks between 4 and 10 s in whole season. The peak amplitudes of DFM reflect the influence of winter cyclonic storms in Southern Ocean. The DFM has relatively lower amplitudes during winters, caused by sea-ice extent around the coast with decreasing oceanic loading effects. In contrast, Single-Frequency Microseism-baroms (SFM, between 12 and 30 s) are observable under storm conditions particularly in winter. On infrasound data, stationary signals are identified with harmonic over tones at a few Hz to lower most human audible band, which appear to be local effects, such as sea-ice cracking vibration. Microseism-baroms are useful proxy for characterizing ocean wave climate, and continuous monitoring by seismograph and infrasound contribute to FDSN and CTBT in southern high latitude.

キーワード: 南極, 脈動, 微気圧変動, 海洋気候, 地球システム, 相互作用

Keywords: Antarctica, Microseismic Noise, Infrasound Microbaroms, ocean wave climate, earth system, physical interaction

岩石破壊に伴う 1 MHz から 18 GHz の電波放射観測と発生エネルギーの推定 Radio wave emission from 1 MHz to 18 GHz due to rock fracture and the estimation of the emitted energy

高野 忠^{1*}, 加藤 淳¹, 平島 舞¹, 三枝 健二¹

TAKANO, Tadashi^{1*}, J. Kato¹, M. Hirashima¹, K. Saegusa¹

¹ 日本大学・理工学部

¹Nihon University, College of Science and Technology

1. まえがき

以前岩石破壊に伴って、300 MHz から 2.2 GHz のマイクロ波が放射されることが観測された [1]。我々は実験例を蓄えるためと、より低い周波数帯域との関係を調べるため、1 MHz での受信系を加えて、実験を始めた [2]。本稿では、1 MHz から 18 GHz における電波放射の観測結果について報告する。放射エネルギー推定法は取っつきにくいと思われるので、分かりやすく説明する。その後、推定結果を示す。最後に、本研究が地震や火山活動の探知を通して、災害対策に役立つことを示す。

2. 測定系

本測定系は、300 MHz から 18 GHz まで、従来と殆ど同じである。1 MHz 帯では、ループアンテナと直接受信型の受信機を用いている。

1 MHz アンテナと受信機を含んで、入力電力対オシロ上電圧表示との校正を、95.4 kHz (波長は 314 m) のラジオ電波を用いて行った。この時距離 R は 37.2 km であり、アンテナ寸法 D ($\lambda/2$ に等しい) と波長 λ から次式で決まる特性距離 RNF より、遠い。

$$RNF = D^2 / \lambda$$

従って幾何学計算により、電波塔から発射された電波の受信点での電力密度が求められる。

反面、室内での岩石破壊実験においては、岩石試料とアンテナの距離が 1 m しかなく、より遥かに近い。そのため破壊岩石からの放射は、遠方界でなく、近傍界であらわされることとなる。従ってアンテナの受信電力を表す Friis の式を、単純に使うことはできない。ここでは、近傍界と遠方界

の換算を行い、エネルギー関係を検証する。

3. 受信波形

図 1 に受信波形の 1 例を示す。同図 (a) の荒い時間軸では、波形はいくつかパルスに見える。このパルスの多くは、他の周波数帯におけるパルス状信号とほぼ同時刻に発生している。1 MHz 波形を拡大すると、図 1 (b) のように周波数 1 MHz の正弦波状の変化が見えて、その包絡線が指数関数的に減衰する波形である。これは受信機を強いインパルスで励振した時の応答である。

4. 放射エネルギーの推定

本実験で得られる信号はパルス状の電波なので、そのエネルギー計算は等価的な連続波の電力値を仲介にして、行う必要がある。すなわち、次の手順で行う。

- (1) 受信機へ単一周波数の電力を入力し、デジタルオシロ上の電圧値を校正しておく。
- (2) 岩石破壊実験で受信した信号に対し、デジタルオシロ上での電圧を読む。
- (3) 信号が連続波と考えた時の、等価的な受信電力を求める。
- (4) 自由空間損失とアンテナ利得の値を用いて、岩石から放射された電波の等価電力を求める。
- (5) 信号の持続時間すなわちパルス幅を用いて、放射電波の等価電力をエネルギーに変換する。

講演では、この具体的手順と解析結果を示す。

5. 本実験結果の地震探知への応用性

東日本大震災の後、改めて地震予知の必要性が議論された。従来地震予知は公式に不可能と言われ、一部地震学者が進めている予知研究は殆ど地面の揺れや地形の歪を対象としている。しかしそれらの観測だけでは、有効な予知法を実現できない可能性が高い。ところが地震学の周囲では、種々の技術や知識が育っている。本論文で紹介した岩石破壊に伴う電波発生現象も、その一つである。

地震や火山活動において、岩石が破壊されたり擦れあったりする時、電波が発生する。従って、電波をラジオメータで検出すれば、地震や火山活動を探知できる。岩石破壊が地面の揺れより前に起これば、地震予知となる。しかし岩石破壊と揺れが同時に発生するとしても、電波と地震波の時間差は地震の縦波と横波の差よりはるかに大きいので、時間差で有効な警報を出すことはできる。さらに電波センサは、機械センサより広域な観測が可能である。特にマイクロ波は電離層を突き抜けて行くので、軌道上衛星を使って全地球的な自然災害早期警報システムに応用できる可能性がある。

ただし岩石破壊と地面揺れの関係は、殆ど明らかになっておらず、地震学者や地質学者の将来研究に委ねられる。この分野で、地震学と地震電磁気学が協力すべきであろう。

6. 参考文献

[1] 牧謙一郎, 他, “ 岩石圧縮破壊に伴うマイクロ波放射の観測 ”, 日本地震学会・地震, 第58巻, 2号, pp.375-384, 2006.

[2] 高野忠・加藤淳・平島舞・三枝健二, “ 岩石破壊に伴うマイクロ波放射の測定系再構築と測定結果速報 ”, 地震学会秋季大会、B11-05, 静岡、10月、2011.

キーワード: 電波放射, 岩石破壊, 放射エネルギー, 推定, パルス波形, 地震探知

Keywords: radio wave emission, rock fracture, emitted energy, estimation, pulse waveform, earthquake detection

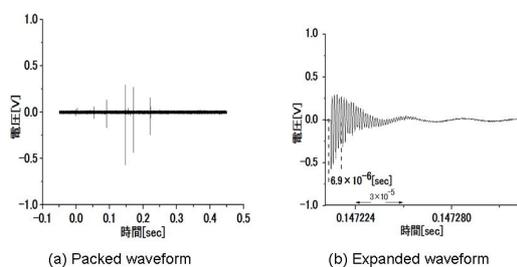


Fig. 1 Waveforms from quartzite at 1 MHz-band.

ULF 電磁場変動の地震に関連する特性

ULF geomagnetic changes possibility associated with large earthquake.

石黒 雄基^{1*}, Han Peng¹, 服部 克巳¹

ISHIGURO, Yuki^{1*}, HAN, Peng¹, HATTORI, Katsumi¹

¹ 千葉大学大学院理学研究科

¹ Chiba University

近年、地殻活動に先行する電磁気現象が多数報告されている。中でも ULF 帯の電磁気現象は表皮効果の観点から最も有望な手法の一つであると考えられている。ULF 帯の電磁場変動には様々な解析手法が提案されているが、ULF 帯電磁場変動を複数の解析手法を用いて多面的な調査を同時に行った報告はほとんどなく、本研究の目的である。複数の解析を行うことにより地殻起源の信号をより確実に抽出することが期待される。

解析対象データは、千葉県内浦および清澄観測点、茨城県柿岡観測点における 2001 年~2008 年の 3 成分磁場データである。柿岡観測点のサンプリング周波数は 1Hz、内浦、清澄観測点においては 50Hz であるが、1Hz にリサンプリングしたデータを使用した。本研究では 0.01Hz 帯に着目し、スペクトル強度比解析、フラクタル解析、磁場信号の方位探査、の三つの解析を行った。スペクトル強度比解析とは特定の周波数の強度変化に着目し磁場スペクトルの鉛直成分と水平成分の比をとることで、地殻起源の信号と超高層起源の信号を弁別し地殻起源の信号を抽出する手法である。しかし、一般に地殻活動に関連する電磁気現象は様々な周波数帯にわたるものであると考えられる。そこで、観測波形の周波数の特徴を表す解析手法である Detrended Fluctuation Analysis(DFA) を用いてスケーリング指数の変動を調べる。が減少することは長周期成分が卓越することを示す。スペクトル強度比解析、フラクタル解析に加え、さらに、信号の到来方位を推定する方位探査を行った。本研究ではゴニオメーター法を用いる。この手法では磁場水平成分のみを用いており、180°の不確実性がある。

解析には深夜 01:30~03:30 のデータを用いた。2005 年、スペクトル強度比解析の結果では、積算日 DOY= 43, 78, 136, 204, 259 に 3 を超えており、また DOY=204 には M=6 の地震が LT16:34 に発生しており、地震に先行して異常な磁場変動が検出されたことが分かる。また、同年のフラクタル解析の結果で -3 を超える日は DOY= 62, 63, 87, 93, 204, 242 に見られた。スペクトル強度比解析、フラクタル解析とともに平均値+3, -3 を超えた日 (DOY=204) の方位探査の結果をみると、0°~10°から到来した信号が増加しており震源の方向と調和的である。内浦、柿岡観測点でも同様の解析を行ったが、清澄観測点から約 5 に位置する内浦観測点では同様な結果となったが、74 離れた柿岡観測点では検出されなかった。

以上のように複数観測点に 3 つの解析手法を組み合わせることにより、ULF 帯異常磁場変動の地震との関連性を高められることが示唆される。

VHF 帯干渉計を用いた FM 見通し外電波伝搬の観測学的研究 interferometric detection of invisible VHF radio propagation possibly associated with earthquake

刀根 優花^{1*}, 大野 望¹, 服部 克巳¹, 島倉 信², 中田 裕之², 山本 勲³

TONE, Yuka^{1*}, OHNO, Nozomi¹, HATTORI, Katsumi¹, SHIMAKURA, shinn², NAKATA, Hiroyuki², YAMAMOTO, Isao³

¹ 千葉大学大学院理学研究科, ² 千葉大学大学院工学研究科, ³ 岡山理科大学工学部情報工学科

¹Graduate School of Science, Chiba University, ²Graduate School of Engineering, Chiba University, ³Department of Information & Computer Engineering Faculty of Engineering

近年地震に関連する電磁気現象が様々な周波数帯で数多く報告されている。VHF 帯においては地震に先行して異常電波伝搬(見通し外電波伝搬)が起こることが知られている。地震と VHF 帯の電波伝搬異常の時間的な相関については報告があるが、空間的な相関についてはよくわかっていない。そこで本研究では地震前駆的な大気圏擾乱の位置を同定するため、VHF 帯電波干渉計システムを製作し千葉大学理学部と群馬県沼田市の 2 か所に設置した。開発したシステムは受信信号に十分な強度がありパスから $\pm 40^\circ$ の範囲に信号源があれば、数度程度の誤差で到来方位を推定する精度があることを確認した。

現在目標送信局を FM 仙台 (77.1MHz) とし、見通し外電波伝搬の観測を行っている。アンテナは FM 仙台方向に固定し、仰角は約 15° とした。また FM 放送波の帯域で放送に使われていない周波数も同時に観測している。これは自然電磁場の変動と局電波の到来を区別するためである。

観測された VHF データに対して、高層気象との関連と地震との関連について調査した。大気温度や湿度の急激な変化により生じる大気の屈折率の逆転層であるラジオダクトが発生するとダクト伝搬により VHF 電波は遠方まで伝搬可能となる。ラジオダクトは夏季に発生し、ラジオダクトが発生すると受信信号の強度が増加することがわかった。また電波の到来方位はラジオダクトの発生しやすい海岸線方向であることがわかった。また地震に関する解析では 2010 年 9/29、9/30 に猪苗代湖付近で発生した浅い地震(最大 M:5.7)について観測された電波が数日前より震源方向から到来する確率が増加することがわかった。

以上の結果は、浅い地震によって大気散乱域が生成され、VHF 波が散乱(前方散乱)した可能性があることを示唆している。

Bostick 1-D Inversion of Magnetotelluric Sounding at Cimandiri Fault, Pelabuhan Ratu, West Java, Indonesia Bostick 1-D Inversion of Magnetotelluric Sounding at Cimandiri Fault, Pelabuhan Ratu, West Java, Indonesia

Febty Febriani^{1*}, Katsumi Hattori¹, Peng Han¹
FEBRIANI, Febty^{1*}, HATTORI, Katsumi¹, HAN, Peng¹

¹Chiba University

¹Chiba University

To verify the mechanism of earth currents as sources of Ultra Low Frequency (ULF) electromagnetic emissions associated with large earthquakes occurred close to Cimandiri fault, Pelabuhan Ratu, West Java, Indonesia, the subsurface structure near Cimandiri fault has been investigated by forty eight magnetotelluric (MT) sites. The MT exploration was carried out during two weeks, from July 27, 2009 to August 8, 2009. The data were distributed along 13.2 km x 9.4 km profile. One-dimensional modelling using 1-D Bostick inversion has been applied in this research. The data analysis is going on now and details will be given in our presentation.

キーワード: ULF electromagnetic anomalous change, 1-D Bostick inversion, magnetotelluric

Keywords: ULF electromagnetic anomalous change, 1-D Bostick inversion, magnetotelluric

Coseismic ionospheric disturbances and preseismic TEC anomalies of 2005 Nias and 2007 Bengkulu earthquakes from GPS-TEC

Coseismic ionospheric disturbances and preseismic TEC anomalies of 2005 Nias and 2007 Bengkulu earthquakes from GPS-TEC

Mokhammad Nur Cahyadi^{1*}, Kosuke Heki¹
Mokhammad Nur Cahyadi^{1*}, HEKI, Kosuke¹

¹Department of Natural History Science, Hokkaido University

¹Department of Natural History Science, Hokkaido University

Ionospheric Total Electron Content (TEC) is easily derived from the phase differences of the two L band carrier waves of the Global Positioning System (GPS) satellites. Past GPS-TEC studies revealed various kinds of ionospheric disturbances originating from phenomena in the solid earth, e.g. volcanic eruption [Heki,2006], launches of ballistic missiles [Ozeki and Heki, 2010], mineblasts [Calais et al., 1998]. The 2005 Niasearthquake (Mw 8.7)[Briggs et al., 2006]and the 2007 Bengkulu earthquake (Mw 8.6)[Gusman et al., 2010] occurred as mega-thrust earthquakes in the Sunda arc, Sumatra, as aftershocks of the 2004 great Sumatra-Andaman earthquake(Mw 9.2) [Banerjee et al., 2005].

In this study, we investigate the coseismic ionospheric disturbances (CID) and pre-seismic TEC anomalies of these two earthquakes, the largest earthquakes whose ionospheric disturbances have never been studied in spite of available GPS data. Continuous GPS data in Sumatra and nearby islands are taken by the SUGAR (Sumatra GPS Array) network, which is designed by members of the Tectonics Observatory at Caltech and the Indonesian Institute of Sciences (LIPI). The sampling rate of the network is 2 minutes, sparser than 30 second sampling usually employed in other GPS networks.

CIDs have relatively short time scales, and we model temporal changes in TEC with polynomials of time and subtract them to isolate short-term changes in TEC. To investigate spatial characteristics of CID, e.g. propagation speed of such disturbances, we calculated sub-ionospheric points (SPP), ground projections of the ionospheric piercing point of line-of-sights assuming a thin layer of ionosphere at altitudes ~ 300 km. CIDs are detected clearly in signals of three satellites 25, 27 and 28 in the Bengkulu earthquake. Satellite 25 and 27 was located in the western sky during this time interval and moving from north to south. Because of relatively high elevation, their SIPs are close to the GPS sites. Disturbance signals moved north-westward from the epicentre gradually changing their shapes. The signals showed that the disturbance started with a positive pulse (i.e. TEC increase), being consistent with the earthquake mechanism [Astafyeva and Heki, 2009]. Apparent velocity of CID was calculated from their arrival times at different point. They were estimated as 0.74, 0.77, and 0.82 km/s with satellites 25, 27 and 28, respectively, and the propagation started from the centre of uplift about 15 minutes after earthquake. These velocities are consistent with one another within their uncertainties, and suggest that they were acoustic waves excited near the epicentre and propagating in the ionospheric F layer (i.e. not by the Rayleigh surface wave).

CID of the largest aftershock (Mw7.9) of the 2007 Bengkulu earthquake was also studied. By analysing the phase data of the satellite 21, we found that an acoustic-wave-origin CID with amplitude of 0.04-0.35 TECU propagated as fast as about 0.60 km/s.

Next we investigated if there are preseismic TEC anomalies similar to the 2011 Tohoku-oki earthquake [Heki, 2011] before the 2007 Bengkulu earthquake. The disturbances are sought by three satellites (25, 27 and 28) following the procedure of Ozeki and Heki [2010] (modelling vertical TEC by cubic polynomials of time). We found that clear pre-seismic TEC enhancement occurred about 60 minutes before the earthquake just like other M9 class earthquakes reported by Heki [2011].

The Nias earthquake occurred to the west of the Sumatra Island at 16:09:36 UTC, 28 March, 2005. We found that the TEC time series over a few hours period before and after the earthquake have been disrupted by severe plasma density fluctuation known as plasma bubbles. This event is commonly seen in low latitude regions after sunsets [Li et al, 2009; Chu, 2005].

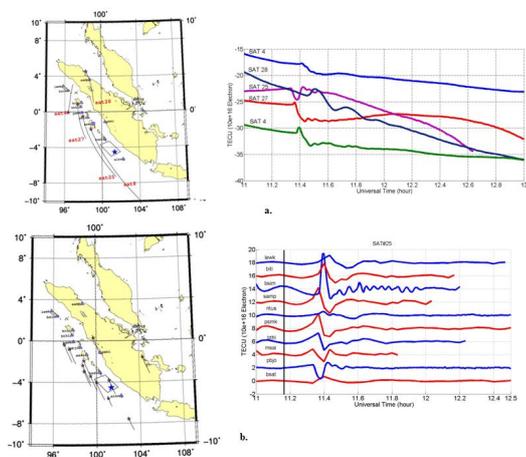
Figure a. (Left) SIP trajectories of the satellites and its error time series after the Bengkulu earthquake (right). B. (left) TEC disturbances by satellite 25 and its SIP trajectories (right)

キーワード: GPS, TEC, Ionosphere, Coseismic, Preseismic
Keywords: GPS, TEC, Ionosphere, Coseismic, Preseismic

SCG69-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 17:15-18:30



地殻活動に伴って励起される電磁波パルスの確かな検出に向けての観測法の精査 Key parameters for definite detections of earth-origin electromagnetic pulses

筒井 稔^{1*}

TSUTSUI, Minoru^{1*}

¹ 京都産業大学 コンピュータ理工学部

¹Kyoto Sangyo University

地震に関連していると考えられる地中励起の電磁波パルスの検出に向けて、これまで以下に示すような様々な開発と方法を試みてきた。

1. 地中における電磁波環境を把握するための基本的測定である周波数ダイナミックスペクトルの連続観測 [1] を継続中である。

2. 地殻活動における力学的エネルギーの散逸過程では熱、音、電磁波、光等が発生するのは常識であり、その基本は「振動」であるが、その開始はパルス的であるので、本研究ではパルス電磁波信号の解析処理法の開発を行った [2]。

3. 地中で検出される電磁波パルスの分類を行い、原因（源）を特定するための種々の技術的手法を行ってきた。不要な人工電磁波の極めて少ない静穏な電磁波観測環境を求めて、和歌山県白浜町にある京都大学フィールド科学研究教育センターの瀬戸臨海実験場がある半島状の敷地内に観測点を設置した。この地層は殆どが砂岩でできているため、海水が浸透していると考えられ、電気伝導度がかかなり高いと思われた。地上および地下で同時に検出した電磁波パルスの振幅及び位相の比較や、3軸電磁界成分の3次元偏波状況から伝搬形態の違いを明らかにした。また、電磁波パルスが検出される時刻依存性も波源の分類ができる重要な情報である。深夜に多く検出される日変化から、それらは汎地球的な雷放電によるものである事が判り、人間活動が活発になる時間帯で多く検出される電磁波パルスは電力線から放射である事も明らかにした [3]。

4. 波源を特定するために必要な基本的な方策である電磁波パルスの3次元波源位置の決定法として、観測環境としては、静穏な電磁波環境である事に加えて、地中を伝搬する電磁波の減衰の少しでも小さい堅い岩盤中にボアホールを確保する事が必要である事を再認識した。また、ボアホール内で検出された電磁波パルスの正確な到来方位を得るためには、垂直電界と水平直交磁界検出による水平到来方位測定方式を地中に適用するには問題が在る事が明らかとなり、電磁波パルスのエネルギーの流れを求める Poynting ベクトルを厳密に算出させる方法を開発する事になり、それに必要なボアホール挿入用3軸磁界および電界成分検出用センサーシステムを完成させた（平成23年3月16日に特許として出願）。これに伴い、検出した電磁波パルス信号の実時間解析処理とその3次元到来方位を描画するコンピュータプログラムをも完成させた [4]。この観測システムを地理的に異なった2地点に設置し、両地点で同時に求めた電磁波パルスの到来方位データから、その地中における3次元波源位置を特定する事を目指して、和歌山県串本町檜野（紀伊大島内）の雷公（なるかみ）神社境内に紀伊大島観測点を建設した。このように地中励起の電磁波パルスの波源位置を特定する目標に向けて準備が着々と進んできた。

現在のところ、その電磁波パルスを確認するに至っていないので、上記の様々な試みによって得られた知見を基に現在の観測パラメータが妥当であるかどうかについて再検討を行った結果、最後に残された可能性として、地中励起電磁波パルスが含んでいる広い周波数成分の内、検出できるのは超低周波数部分のみであるとの結論に至り、現在その為のハードウェアの改造と信号解析と描画用のコンピュータプログラムの変更を進めている。

参考文献

[1] M. Tsutsui, Detection of earth-origin electric pulses, *Geophys Res Lett*, 29, 1194, doi:10.1029/2001GL013713, 2002.

[2] M. Tsutsui, S. Konagaya, T. Kagawa, A method of direction finding for dispersive electromagnetic pulses, *Electronics and Communication in Japan, Part 1*, 90, 23-32, 2007.

[3] M. Tsutsui, T. Nakatani, M. Kamitani and T. Nagao, Polarization and propagation property of electromagnetic pulses in the earth, *Proc. IGARSS, IEEE eXplore*, pp. 838-841, 2011.

[4] M. Tsutsui, M. Kamitani and T. Nakatani, Development of Poynting vector direction method for electromagnetic pulses in the earth, *Proc. URSI, IEEE eXplore*, pp. 1-4, 2011.

キーワード: 地中励起電磁波, ボアホール内検出法, 精密到来方位測定, 地中での波源位置特定, 地震との関連

Keywords: earth-origin electromagnetic pulses, detection in boreholes, accurate measurements of 3-D arrival direction, identification of source locations in the earth, relation with earthquakes

複数の地点で観測された2011年浦河沖地震(Mw6.2)に伴うVHF帯電波伝播異常 VHF radio wave transmission anomaly associated with 2011 off Urakawa EQ (Mw6.2) observed at multiple sites

茂木 透^{1*}, 森谷 武男¹, 柿並 義宏¹, 塚田真理子¹

MOGI, Toru^{1*}, MORIYA, Takeo¹, KAKINAMI, Yoshihiro¹, TSUKADA, Mariko¹

¹ 北海道大学地震火山研究観測センター

¹ ISV Hokkaido Univ.

We have observed VHF band radio-wave propagation anomaly beyond the line of sight prior to earthquakes (EQ echo) since September 2003 at Erimo area in Hokkaido, northern Japan. EQ echoes have documented more than 40 times at the Erimo Observatory (ERM) prior to earthquakes that occurred in the Hidaka mountains since then. To confirm a region where the EQ-echo simultaneously observed for each earthquake, we have installed four observation sites with approximately 8 km spacing in the Erimo area since September 2011. Four way antennas were installed at every 90 degrees to detect an arrival direction of EQ echoes at RSK (8km away from ERM in NW) and TYO (8km away from ERM in SE) site and six way antennas (every 60 degrees) were installed at FYS (16km away from ERM in NW). We also installed the electric field mill to monitor a static electric field of atmosphere at FYS and TYO.

The EQ-echoes have been observed simultaneously in these sites associated with off Urakawa EQ (Mw 6.2) that occurred at 19:25, 24 Nov. 2011. Larger EQ echoes were documented on 21 and 22 November, which were 2 or 3 days before the earthquake, at FYS, ERM and TYO in every direction. Although some of EQ echoes were observed in same time at these sites, but some of them were appeared with time rag of duration in each EQ echo among these sites. We discussed what these time rags mean by considering possibilities of generation and moving of scattering objects.

キーワード: 電波伝播, 地震発生予測, 地震電磁気

Keywords: Radio wave transmission, earthquake forecasting, seismo-electromagnetics

Preseismic TEC changes for Tohoku-Oki earthquake in comparisons between simulations and observations Preseismic TEC changes for Tohoku-Oki earthquake in comparisons between simulations and observations

Cheng-Ling Kuo^{1*}, J. D. Huba², L. C. Lee³, Kosuke Heki⁴
KUO, Cheng-Ling^{1*}, J. D. Huba², L. C. Lee³, HEKI, Kosuke⁴

¹Department of Physics, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan., ²Plasma Physics Division, Naval Research Laboratory, Washington, D. C., USA., ³Institute of Space Science, National Central University, Jungli, Taiwan, ⁴Dept. Natural History Sci., Hokkaido University, Japan.

¹Department of Physics, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan., ²Plasma Physics Division, Naval Research Laboratory, Washington, D. C., USA., ³Institute of Space Science, National Central University, Jungli, Taiwan, ⁴Dept. Natural History Sci., Hokkaido University, Japan.

Earthquake precursors can be used for earthquake prediction to reduce the loss of resources and human lives. Pre-earthquake ionospheric signatures have been reported by many scientists. Among those, Zhao et al., [2008] and Liu et al., [2009] reported that the total electron content (TEC) may anomalously decrease or increase up to 5 - 20% several days before 2008 Wenchuan earthquake (Mw7.9). Recently, Heki [2011] found that, ~40 minutes before the Tohoku-Oki earthquake (Mw9.0), the Japanese GPS dense network detected clear precursory positive anomaly of TEC. Similar preseismic TEC anomalies were also observed in the 2010 Chile earthquake (Mw 8.8), 2004 Sumatra-Andaman (Mw 9.2) and the 1994 hokkaido-Toho-Oki (Mw 8.3) [Heki, 2011]. The finding of TEC variations near epicenter lacks the physical mechanism to explain those pre-earthquake ionospheric signatures.

In this presentation, we propose a mechanism to couple the pre-earthquake activity with the TEC anomalies. Before the break of rocks in the main shock of earthquake, rocks are continuously subjected to stress. The stressed rocks can activate positive holes as charge carriers and generate electric currents along the stress-gradient direction with current density [Freund, 2010]. The outflow of positive charge carriers from the stressed rock sets up a potential difference, which causes the unstressed rock to become positively charged relative to the stressed rock. The mobile positive charge carriers inside the unstressed rock repel each other electrostatically and will be pushed toward the surface. The positive charges carriers are accumulated over Earth surface, and associated electric field can drive current upwardly through atmosphere into ionosphere. We formulate an electrical coupling model for the stressed rock-Earth surface charges-atmosphere-ionosphere system [Kuo et al., 2011]. A three-dimensional atmospheric current system and a NRL ionosphere simulation code [Huba, 2008] are used to study the ionospheric dynamics based on the atmospheric electric fields and currents.

For the simulations of Tohoku-Oki earthquake, we assume that the stressed associated current started ~ 40 minutes before the earthquake, linearly increased, and reached its maximum magnitude at the time of rocks breaks in the main shock of earthquake. Provided by geolocations of GPS stations in Japanese dense network and corresponding flight tracks of GPS satellites, TEC variations calculation uses the ray tracing method for our ionospheric simulations. The simulation results are compared to the observed TEC anomalies for available nearby GPS satellites. We will demonstrate simulations with different sizes of fault region and stressed current density over Earth surface. One of simulations is shown in figure. The panel (a) show the dTEC observation [Heki, 2011], while panel (b) for our simulations. The similarity and differences between TEC observations and simulations will be discussed in this presentation.

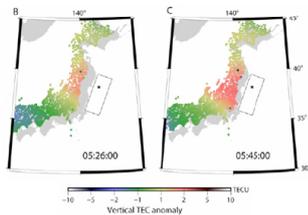
キーワード: Tohoku-Oki earthquake, Pre-earthquake ionospheric signatures, anomaly of TEC
Keywords: Tohoku-Oki earthquake, Pre-earthquake ionospheric signatures, anomaly of TEC

SCG69-P09

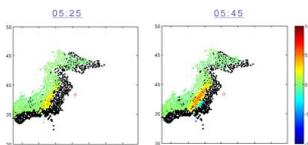
会場:コンベンションホール

時間:5月24日 17:15-18:30

(a) ATEC observation



(b) ATEC simulation



伊豆諸島、新島および神津島における地電位差連続観測 Goelectric potential difference measurements at the Nii-jima and Kozu-shima Islands

長尾 年恭^{1*}, 竹内 昭洋¹, 織原 義明¹, 鴨川 仁², 上田 誠也³

NAGAO, Toshiyasu^{1*}, TAKEUCHI, Akihiro¹, ORIHARA, Yoshiaki¹, KAMOGAWA, Masashi², UYEDA, Seiya³

¹ 東海大学地震予知研究センター, ² 東京学芸大学, ³ 日本学士院

¹Earthquake Prediction Research Center, Tokai University, ²Tokyo Gakugei University, ³Japan Academy

We re-started goelectric potential difference measurements at the Kozu-shima and the Nii-jima Islands since February 2010 under the research program of "Observation and Research Program for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions". During our previous observations of the goelectric potential difference at the Kozu-shima Island in Japan under the RIKEN research program (International Earthquake Frontier Research program). 19 anomalous changes (ACs) were detected. Their possible relations with nearby earthquakes were statistically significant.

In the presentation, we would like to introduce our current observation systems and characteristic records before and after the M9 Tohoku EQ. At this moment, any earthquake with $M > 3.0$ did not occur near the islands except induced seismic activities which occurred just after the M9 Tohoku EQ. We have never detected any clear AC as of January 2012.

キーワード: 地電位差観測, 神津島

Keywords: Goelectric Potential, Kozu Island

中波帯2周波同時観測により捉えた3.11東北地方太平洋沖地震の前兆 Precursor observed by MF Band 2 Freq Simultaneous Measurement prior to The 2011 off the Pacific coast of Tohoku EQ

斉藤 好晴^{1*}, 矢田 直之², 鈴木 修³
SAITO, Yoshiharu^{1*}, YADA, Naoyuki², Osamu Suzuki³

¹ 環境防災研究会, 神奈川工科大学, ² 神奈川工科大学, ³ ピコシステム研究所

¹Japan Society of Ecology and Disaster Prevention, Kanagawa Institute of Technology, ²Kanagawa Institute of Technology, ³Pico System Laboratory

1. はじめに

本稿は震源からおよそ約700km離れた京都植物生体電位・電磁気現象観測点において3.11東北地方太平洋沖地震より2ヶ月以上前から中波帯2周波電磁気同時観測方式にて異常な状態が継続し、当該地震の約1ヵ月後静穏状態に戻ると言う現象を捉えたので詳細を報告するものである。

本観測方式は広島市立大学 吉田彰顕 電気学会論文誌C平成17年6月号『二周波法によるVHF帯地震電磁現象の観測』にヒントを得て開発したものである。

2. 観測システム

本システムはアンテナ付きMF BOOSTER、MF BAND EM WAVE SENSOR、EQ EM WAVE DATA PROCESSOR 各1台で構成され、同時に505kHz、525kHzの中波帯2周波において地震前兆電磁気を観測し、観測センターサーバに自動的にデータ転送するものである。505kHz、525kHzは中波帯放送の帯域外であり、周波数割当が空白となっている周波数を選択した。

BOOSTERで入力電磁波を約30dB増幅し、MF BAND EM WAVE SENSORにて上記2周波で同時受信した電磁波の電界強度復調電圧を対数変換しdBmで表示できるようにする。DATA PROCESSORでは20mSecに1回(1秒間に50回)サンプリングし、20秒間での最大値、最小値、平均値をCSV Data Formatにて出力する。最大10Chまでデータ処理が可能である。感度は-110dBm (BW: ±1kHz/3dB)以上の電界強度を観測可能である。

最大値と平均値を採る理由はImpulsive Noiseを捕らえるには瞬間的な最大値も必要と考えたからである。20mSec Samplingでは雷は短すぎて捕らえていない模様である。

2周波の内1周波のみで信号を検知した場合は何か意味がある信号であり、地震性ではないと判断している。地震性信号はある程度広い帯域を持ったNoise状であると考えられ、2周波同時に入力電界が上昇した場合のみ地震性と判断している。

3. 観測状況

中波帯2周波同時観測は京都市伏見区内の電磁波干渉の少ない閑静な住宅地で2010年1月より実施されている。付図は2010/9/1~2011/5/31までの中波帯2周波における入力電界強度の変化を示しており、20mSec Samplingでの20秒間の最大値と平均値のDailyの平均値をPlotしたものである。

観測開始以来2010年12月中旬まで静穏状態が続いた。その後受信電界が2周波同時に徐々に上がり、2011年2月中旬にはピークを迎えた。その後も4月初旬まで異常は継続し、4月中旬には再び静穏化し、現在まで続いている。Data Graphを付図に示す。

2011/03/11 14:46:18 三陸沖 M9.0 D=24kmが発生した。震源から約700kmの距離がある京都観測点での電界強度は静穏時と比較し10dB以上上昇しており、異常観測時期も直前であり明確に三陸沖 M9.0の前兆と考えられる。

4. まとめ

日々の観測では生DataをDaily、Weekly、MonthlyのGraph化するのみであるが、今回長期SpanでGraph化すると違ったものが見えてくる事が分かった。

今後Real TimeなData解析法を考案すれば更に違ったものが見えてくる可能性がある。

この方式にて多点観測をすれば震源の場所の特定が可能となり、各観測点からの距離及び電界強度からMagnitudeを求められる可能性がある。おおむねM=7以上の地震発生時期は今回の経験則から1~2ヵ月後と判断できよう。他の小規模な地震の場合、概ね1週間以内に発生している。

本方式を用いて目指す所はAcademicな地震予知ではなく、实用防災情報としての地震発生予測である。实用防災情報として重要なのは被害級の大地震が被害はなくともほとんどの人々がびっくりするような中規模か、人によってはびっくりするような小規模か、MagnitudeではM=6、M=5級、M=4級が判定できれば十分と考える。

SCG69-P11

会場:コンベンションホール

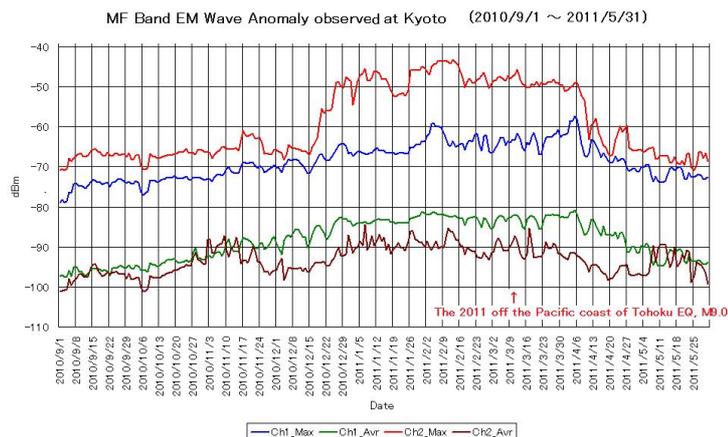
時間:5月24日 17:15-18:30

参考文献

電気学会論文誌 C 平成 17 年 6 月号 広島市立大学 吉田彰顕 『二周波法による VHF 帯地震電磁現象の観測』

キーワード: 地震, 前兆, 電磁波, 電磁気, 中波

Keywords: earthquake, precursor, MF Band, EM, electro magnetic wave, EM wave



東北地方太平洋沖地震に関連する電離圏異常の3次元構造解析 3-D structure analysis of ionospheric anomalies associated with the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

廣岡 伸治^{1*}, 服部 克巳¹, 市川 卓¹, 斎藤 享², 竹田 辰興³

HIROOKA, Shinji^{1*}, Katsumi Hattori¹, Takashi Ichikawa¹, Susumu Saito², Tatsuoki Takeda³

¹ 千葉大院・理, ² 電子航法研究所, ³ 電通大

¹Graduate School of Sci. Chiba Univ., ²Electronic Navigation Research Institute, ³Univ. of Electro-Communications

近年、地震に先行すると考えられる電離圏異常が多くの研究者により報告されている。特に電離圏総電子数 (Total Electron Content; TEC) の異常については事例解析のみならず統計解析の結果からもその存在が証明されつつある。ただし、その物理機構については未だに明らかにされていない。また、これまでに行われた研究の多くは特定の高度またはTECのような積分量を用いたものであり、電離圏電子密度分布の3次元構造を明らかにした例はほとんど存在しない。電離圏異常の物理機構解明において、電離圏の3次元構造とその時間変化を把握することは極めて重要であると考えられる。

本研究では2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) に先行すると考えられる電離圏異常について、ニューラルネットワークを用いた電離圏トモグラフィーを適用し、電子密度分布の3次元構造を調査した。また本手法ではGEONETで得られたSlant TECデータを基に再構成を行い、拘束条件としてイオノグラム読み取り値を使用した。

結果として、地震の3日前の正午頃より下部電離圏に電子密度の高い領域が現れ、時間とともに磁力線に沿って高高度へ発達する様子が確認された。講演では地震前の電離圏異常に加え地磁気擾乱時の3次元構造を示し、性質の違い等について詳しく報告する。

Hypocenter Depth Evaluations of Earthquakes Using Geomagnetic Data in Taiwan Hypocenter Depth Evaluations of Earthquakes Using Geomagnetic Data in Taiwan

Chieh-Hung Chen^{1*}, Han-Lun Hsu², Strong Wen³, Katsumi Hattori⁴
CHEN, Chieh-Hung^{1*}, Han-Lun Hsu², Strong Wen³, Katsumi Hattori⁴

¹Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei 115, Taiwan, ²Institute of Geophysics, National Central University, Zhongli 320, Taiwan, ³Institute of Seismology, National Chung Cheng University, Chiayi 621, Taiwan, ⁴Graduate School of Science, Chiba University, Inage, Chiba 263-8522, Japan

¹Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei 115, Taiwan, ²Institute of Geophysics, National Central University, Zhongli 320, Taiwan, ³Institute of Seismology, National Chung Cheng University, Chiayi 621, Taiwan, ⁴Graduate School of Science, Chiba University, Inage, Chiba 263-8522, Japan

When earthquakes with similar magnitudes occur at different depths, severe seismic hazards are generally in response to shallow ones. Although many studies report that timing, location and magnitude of forthcoming earthquakes could be forecasted, estimation of hypocenter depth should also be taken into account to achieve complete perception against seismic hazards. In this study, the Parkinson vectors, which tend to orient along materials with relatively-high conductivity, are computed by using 3-component geomagnetic data recorded in central Taiwan via the magnetic transfer function. The "skin effect" is further incorporated into the analytical process to understand associated depths of the Parkinson vectors when they are computed by data filtering at distinct frequency bands. Orientations and magnitudes of the Parkinson vectors are compared with epicenter azimuths and hypocenter depths of 16 earthquakes ($M \geq 5.5$) between 2002 and 2005, respectively. When effects of sea water and tectonic structure are removed, the results show that the azimuth distribution of the Parkinson vectors is mainly concentrated at directions of epicenter azimuths 15 days before earthquakes. Projection depths, which are determined by using the depth with the largest difference between the magnitude distribution of the Parkinson vectors 10 days before earthquakes and within an entire study period, generally yield a difference < 30 km with hypocenter depths. This would be used to roughly evaluate hypocenter depths of forthcoming earthquakes.

キーワード: Hypocenter depth, Magnetic transform function, Skin effect, Parkinson vectors
Keywords: Hypocenter depth, Magnetic transform function, Skin effect, Parkinson vectors

地震直前の電磁気変化とその原因

The electromagnetism change just before the earthquake and the cause

國廣 秀光^{1*}

KUNIHIRO, Hidemitsu^{1*}

¹ J Y A N 研究会

¹JYAN meeting fore the study

地震直前の電磁気変化とその原因(地震予報実験の薦め)

1、地震に係る電磁気環境の変化

(1) ラジオの音声を遮る雑音の発生

直下型地震であった阪神大震災では、ラジオやテレビの障害が多く報告され、無線通信や携帯電話の障害と瞬光等の報告が多かった。(証言集1519)また、東日本大震災の余震でもラジオの雑音障害が報告されている。そのため、常時、広帯域の電磁波を記録しながら異常電磁気の把握に勤めています。

(2) 震源電磁引力と前兆現象

これまで、FM放送を利用した電離層反射の観測や、60MHz付近でFM電波の観測研究が北海道で行われています。そこで、私達の研究会は、九州大分を中心に西日本地域で、16の観測局によってFM放送を64波受信し、インターネットでザビックスグラフを利用して、同時観測ネットを組んで観測しています。これまでの観測では震度3クラスの地震で前兆(電磁波強度が上昇し揺れが始まる)が現れ、終息後6~3日で本震が発生しております。注目点は前兆で「電磁波が強くなる」という通常とは逆の現象から、震源の地上では見通し外で通過するはずの電磁波も、何らかの引力で引き寄せているかのようです。この電磁氣的引力を地震前兆現象の一つとして「震源電磁引力」と呼ぶことにしました。また、この観測網によって異常な方位と強度が判ることから、震源の位置や大きさも推定可能となり、観測網が充実することで地震予知の三要素がより明確にできると考えています。

(3) U L F の地中伝搬

これまでは、電磁波の地中伝搬は岩石等の絶縁体によって無理であり、震源地で電磁気シグナルが発生しても地上への伝播はできない、と言う説が一般的でした。しかし、電磁波の中のU L F帯は独特な伝搬であるため、ある研究グループがアースを利用した通信に挑戦し、約3の交信に成功したという報告があります。また、私も、約150西方にある佐賀県の60KHzで50Kwの電波信号を受信したところ、上空波より地中からの信号が大幅に強いという結果が出ました。この現象から地震の震源地で起きる電磁シグナルを、地震の前兆信号として捕捉できないかと研究を進めています。

2、地震情報一般化の必要性

地震情報は、時として通常の業務に支障を来しパニックの原因となり得ます。従って、地震情報の取扱は慎重にと言うのが通説で、阪神大震災以後も予知情報は各所に留められ地震予報なるものの発表はありません。しかし、それでいいのでしょうか?天気情報は同じ観測情報にも係わらず、何故問題とされないのでしょうか?。答えは一つです。情報が当たっても当たらなくても、気象観測の情報を伝えただけなのです。阪神大震災や福島原発でも情報の扱いが問題になりました。せつかくの情報を留保せずに全部流していたら、多くの人が助かって震災後は復興活動だけになっていたかも知れません。「あさって頃に~~地方で震度4クラスの地震が予想されています。」実際は、刻々と変わる台風情報と同じように、常に情報を送っておけば、パニックは起こりませんし、皆が注意をします。地震情報も解禁方針がベストです。但し「情報の利用は視聴者の責任で」をお忘れ無く。

キーワード: ラジオの音声を遮る雑音の発生, 震源電磁引力と前兆現象, U L F の地中伝搬, 地震情報一般化の必要性

Keywords: The outbreak of the noise to disturb the sound of the radio, Seismic center electromagnetic gravitation and harbinger phe, Underground propagation of U L F, The need of the earthquake information generalization

東日本大震災に関連する電離圏変動

Ionospheric Variations Associated with the Great East Japan Earthquake Disaster

市川 卓^{1*}, 服部 克巳¹, 廣岡 伸治¹, 劉 正彦², 大塚 雄一³, 大山 佳織¹

ICHIKAWA, Takashi^{1*}, HATTORI, Katsumi¹, HIROOKA, Shinji¹, LIU, Jann-Yenq², OTSUKA, Yuichi³, OYAMA, Kaori¹

¹ 千葉大学大学院理学研究科, ² 国立中央大学太空科学研究所, ³ 名古屋大学太陽地球環境研究所

¹Graduate School of Science, Chiba University, ²Institute of Space Science, National Central University, Taiwan, ³Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

近年、様々な地震活動に先行する電磁気現象が報告されており、地震の短期予測の可能性が指摘されている。地震活動に先行する電磁気現象の中でも、地震に先行する電離圏総電子数 (Total Electron Content: TEC) 異常は、短期地震予測の有力な候補として、注目を集めている。

本研究では、2011年東北地方太平洋沖地震に関連する TEC 異常を調査を行い、その時空間分布を推定した。また、福島第一原子力発電所の事故前後の TEC 変動についても報告する。

TEC の算出には GEONET (国土地理院 GPS 連続観測システム)、CODE の GIM(Global Ionosphere Maps) を用いて行った。TEC には大きな日変動があるので日変動を除去するために、過去 15 日間の同時刻の移動平均 $TEC_{mean}(t)$ を引き、その標準偏差 $\sigma(t)$ で規格化した TEC^* を定義した; $TEC^*(t) = (TEC(t) - TEC_{mean}(t)) / \sigma(t)$ 。

GPS-TEC* の時系列データから、地震発生の 4 日前、5 日前に $+2$ を 1 日の中でそれぞれ 13 時間、14 時間断続的に超える異常が検出された。

GIM-TEC* の時系列データから、地震発生の 4 日前に $+2$ を 20 時間以上継続的に超える異常が検出された。また、GIM-TEC* の空間分布を解析したところ、地震発生 4 日前の TEC 異常は北日本付近に 1 日以上継続して留まっていた。地震発生 1-5 日前に $+2$ を 10 時間以上超えるという結果は日本における統計解析の結果と調和的である。