

地震で励起された電磁波の地上への放射確認 Radiations of earthquake-excited electromagnetic waves from the ground

筒井 稔^{1*}
TSUTSUI, Minoru^{1*}

¹ 京都産業大学 コンピュータ理工学部
¹ Kyoto Sangyo University

京都産業大学では以前から地中で電磁波が励起されるかどうかを確かめるための観測研究を行ってきたが、周波数が数 kHz については殆ど全てが雷放電によるもので、地中起源の電磁波は全く見つける事が出来なかった。しかし、2011年の12月から検出対象周波数を 25 Hz 以下にしたところ、電磁波観測点での震度が 1 以上であれば地震により励起された電磁波を検出できる事を確認した。そして 2013 年の 3 月以降、地震励起電磁波と地震波の波形同時観測を行ってきた結果、地震波が伝搬している近傍では常に電磁波も励起されている事を示した [1]。通常、地中媒質の電気伝導度が高いために、残念ながら励起された電磁波は遠距離まで伝搬出来ないが、この様な低い周波数 (20Hz 程度) の電磁波は地中でもある程度伝搬出来る事が明らかとなって来た。

一方、本観測研究では、地中観測に加えて、電磁波センサーを地上にも設置して、観測を行ったところ、地震に伴って励起された電磁波が地上に容易に放射している事が明らかとなった。震源が電磁波観測点に近い場合は、地中を上昇してくる地震波とそれに伴って励起された電磁波が先ずボアホール内で検出され、その後僅かな時間遅れをもって地上でも検出される。2013 年 12 月 25 日の 03:57 に電磁波観測点の北方 5.4 km の深さ約 10 km で地震が発生した。この時の震源は電磁波観測点から伏角が約 60 度の方向にあったため、地震波はほぼ上方に向かって伝搬してきた。この時、電磁波観測点では Fig. 1 に示すように、(a) 地震波の東西方向成分 (S_{ew}) と、同時に励起された (b) 電磁波の磁界東西方向成分 (H_{ew}) の波形が検出された。更にこの観測点から東南に約 600 m 離れた標高差 60 m 丘の上に設置した電磁波センサーは電磁波の磁界 3 軸方向成分を検出しており、その内の東西方向成分 (H_{ew}) の波形を同図 (c) に示している。これは地中ボアホール内で検出されてから 0.257 秒後に検出された。この結果から、地中で励起された電磁波が容易に地上にも放射されている事が事実となった。これが MT 法での測定でも co-seismic 信号として検出される理由である。ところが同図 (b) および (c) から判るように、地上での波形の変動周期が地中のそれに比べて長くなっている事など様々な違いがあるため、この様な状況を引き起こす電磁波の地中から地上への放出機構等については今後の調査が必要である。

一方、震源が電磁波観測点から遠方にある場合は、電磁波を放射しながら進む地震波が電磁波観測点に到達する前に、電磁波が地表から放出される場合もある。その場合電磁波は地上空間を光速で伝搬し、先に電磁波観測点の地上センサーで検出される。一方地中では、地震波 (S-波) が伝搬してきて電磁波観測点に達した時点で電磁波がボアホール内で検出される。2013 年 4 月 13 日の 03:33:17.7 JST に兵庫県淡路島の地下 14.8 km で発生した M6.3 の地震の場合はこの事例に当たる。この震源は電磁波観測点から 115 km 離れており、ボアホール内での電磁波検出よりも 13.063 秒も早く、地上の電磁波センサーで検出されていた。

上記の例は地震発生以降の地震波 (P-および S-波) により岩盤内での圧電効果の結果放射された電磁波と考えているが、これまで地震発生と同時に電磁波パルスが検出されていないのが大きな疑問である。次は地震発生と同時に励起される電磁波の有無を確認する事が必要である。そして最終目標である地震発生予測のための観測研究として、地震発生以前に発生する電磁波を見つける事である。地震発生前に電磁波が励起される可能性については、岩石への衝撃印加実験による電磁波励起の現象が良いヒントを与えてくれている。そのためには、電磁波センサーの感度を更に向上させ、更に地中深くに挿入する必要がある。

[1] M. Tsutsui, submitted to IEEE Geoscience, Letters, 2014.

キーワード: 地震波, 電磁波, 地中・地上観測, 電磁波地上放射

Keywords: seismic wave, electromagnetic wave, observations above and under ground, EM wave radiation from the ground

MIS29-01

会場:313

時間:4月29日 14:15-14:30

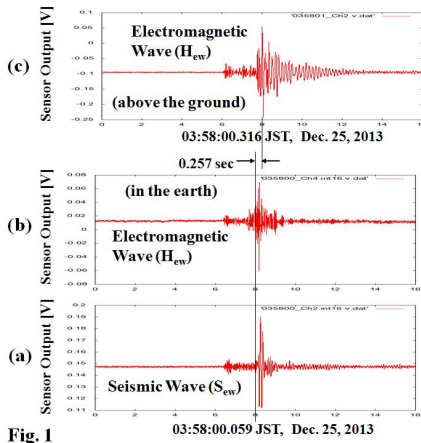


Fig. 1

日高地方における VHF 帯の電波伝播異常と地震活動との関係性についての統計的考察 A statistical study for relationship between anomalous transmission of VHF band radio waves and earthquakes at Hidaka

森田 笙^{1*}; 茂木 透¹
MORITA, Shou^{1*}; MOGI, Toru¹

¹ 北海道大学地震火山研究観測センター
¹Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University

地震発生前に電磁気現象が観測されることが知られており、その例として、地電流の変化、電離圏の状態変化、電波の伝播異常などの現象が観測されている (Hayakawa, 1996).

観測される異常が地震活動とどのように関連しているのかについて、統計的な考察が行われてきた (Liu et al., 2011; Orihara et al., 2012).

その中で VHF 帯での電波伝播異常現象も注目されており (Kushida and Kushida, 2002), 地震発生前にその震央付近において FM 放送波の散乱波が観測されることが確認されている (Moriya et al., 2010). 観測された散乱波の継続時間の総和と、発生するマグニチュード、最大震度、震源の深さに対しては定量的な関係が示唆されている (Moriya et al., 2010).

しかし、これまでこのような VHF 帯の電波伝播異常と地震活動との関係性については、定量的な考察は検討されていない。本研究では、北海道大学で観測を行っている VHF 帯電波伝播異常データについて、地震発生との関係について統計的な考察を行った。

2012年6月1日~2013年12月31日の間にえりも観測点で記録されたデータについて、Liu et al.(2011)の電子数異常検出の手法を参考にし、観測期間の変動値の中央値から一定程度大きい変動を異常として扱う、統計的な手法を用いて異常現象の検出を実施した。その結果、電波伝播異常が検出された後、あらかじめ設定した期間内に地震活動が観測された例もあるが、異常現象のみ発生し地震の発生がなかった「空振り」、あるいは異常が発生せずに地震活動が発生した「見逃し」の例も検出された。異常として検出する基準を厳しく設定すると、「空振り」の数は減少した。また、夏季には、頻繁に出現するスプラディック E 層等のノイズによって、地震とは関係のない電波異常が発生することがあり、その影響を除く方法を考える必要がある。

データを解析した期間にえりも観測所から震央距離 50km 以内において発生した M4 以上の地震について、異常に伴って検出された地震活動のうち、海底で発生したものは、内陸での地震活動よりも比較的マグニチュードの小さな地震であった。

今後の課題は、他の期間において同様の手法を用いることにより、その有意性を検討し、さらに今回設定した閾値もいろいろな値をとることによって統計的考察を進め、さらにスプラディック E 層などによる雑音の除去方法を検討する。このような検討を基に、地震発生と電波伝播異常との関連性による予知確率を考察する。

キーワード: 電離圏, 伝播異常, 地震関連電磁波

Keywords: ionosphere, anomalous transmission, relation with earthquakes

2011 東北沖地震の GPS-TEC 前兆異常に同期した地磁気偏角変動 Preseismic geomagnetic deflection synchronized with GPS-TEC enhancement 2011 Tohoku-Oki earthquake

日置 幸介^{1*}
HEKI, Kosuke^{1*}

¹ 富山県工業技術センター
¹ Toyama Industrial Technology Center

2011 東北沖地震の約 40 分前から TEC 増加が確認された (Heki 2011)。この変動と同期した地磁気偏角の+変動が江刺、水沢、柿岡など東北沖の震源域近くの国土地理院ならびに気象庁の観測地で記録された (Heki & Enomoto 2013)。これら TEC や地磁気偏角の同時変化は AGU が提示した Wyss(1991) の前兆判定規準を満足している。

図 1 に [江刺]-[鹿屋] の地磁気水平成分 H と偏角 D の変動を示した。江刺での水平成分 H の平常値は 29037nT で磁北は真北から西に 6.9° 振れている。それが地震発生の約 40 分前から+ (東側) に変動し、地震直前時には+0.32 分 (9.31×10^{-5} rad) となった。地震前兆の変動分を $|\Delta B|$ とすると、 $\Delta D \ll 1$ なので、

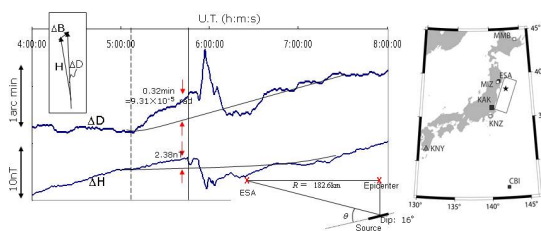
$$|\Delta B| \approx |H| \cdot \Delta D$$

の関係が成り立つ。この関係から $|\Delta B| \approx 29037\text{nT} \times 9.31 \times 10^{-5} \text{ rad} = 2.70\text{nT}$ となり、 $|\Delta H|$ にもその程度の変動 ($\approx 2.38\text{nT}$) が確認できる。

深層ガス圧力で強制されて発生する震源核電流モデル (Enomoto 2012) を 2011 東北地震パラメータ (震源核電流 170kA、クラックギャップ: 0.1035mm、断層傾斜角 16°) を用いて、電流源を直線電流長さを震源核サイズとしてビオサバル則により発生する磁場を計算すると江刺 (震源から 181km) で 1.78nT となり、観測値 2.38nT とほぼ一致した。

キーワード: 東北沖地震, 前兆現象, 地磁気, 偏角, GPS-TEC, モデリング

Keywords: Tohoku-Oki earthquake, Precursor phenomena, Geomnetic, Declination, GPS-TEC, Modelling



再び地震直前の電離圏電子数上昇について：移動性の識別と受信機周波数間バイアスの推定 Preseismic ionospheric electron enhancements, revisited : Discrimination from TID and interfrequency receiver bias estim

日置 幸介^{1*}
HEKI, Kosuke^{1*}

¹ 北海道大学理学研究院自然史科学
¹Dept. Natural History Sci., Hokkaido University

日置 (GRL 2011) は、GNSS 観測に基づき、東北沖地震を含む M9 クラスの地震の約 40 分前から電離圏全電子数 (TEC) が上昇することを報告した。それに関して Kamogawa & Kakinami (JGR 2013) は、津波によって生じる地震後の TEC 急減と、地磁気活動による TEC の非地震性のゆらぎの双方の効果で生じた見かけの変化であると主張した。その後、Heki & Enomoto (JGR 2013) は、鉛直 TEC (VTEC) と他センサー (イオノゾンデ、地磁気偏角、GPS 掩蔽) のデータを用いてこれに反論し、かつ非地震性の TEC 変動を判別する可能性について論じた。本講演では地震直前の電子数上昇に関して残された諸問題から、(1) 地磁気活動に起因する移動性擾乱との識別、(2) 鉛直 TEC の計算に必要な受信機固有周波数間バイアスの国外局での推定、(3) 中緯度域と赤道域での TEC 上昇量の違い、(4) 地震前の上昇と地震後の TEC 減少との量的関係、等について論じる。図の説明と参考文献は英語版参照のこと。

1. 移動性擾乱との数値的識別

地震と関係ない TEC の変動は珍しくないが、半球スケールで発生する太陽フレアによる TEC 急増と、空間スケールが数十 km 以下と小さいスポラディック E (Maeda & Heki, Radio Sci. 2014) に関しては、それらの識別は難しくない。磁気嵐に伴ってオーロラ帯で励起された内部重力波は、大規模移動性電離圏擾乱 (LSTID) として日本列島に南下してくる。これらは数百キロから千キロにおよぶ空間スケールを持つため、移動性の有無から地震直前の異常と識別する必要がある。本講演では日本列島に沿って適当な数選んだ GNSS 局の TEC 時系列間で相互相関をとる数値的手法について論じる。それらの発生を日本列島北部で把握することによって、日本列島中央部で発生した TEC 異常が、それらが伝搬したものであることを自動的に判別する方法を探る。

2. 受信機内周波数間バイアスの推定

GPS で観測される斜め TEC には衛星の移動に伴う見かけの変化が含まれ、実際の変化の直観的把握が難しい。Heki & Enomoto (2013) では、電子航法研究所が日々公開している受信機固有および衛星固有の周波数間バイアスと、コードと位相の比較から求めた整数値不確定性を補正の上、F 層への入射角の余弦をかけて求めた VTEC の時系列を議論することで、この問題を回避した。本講演では、受信機固有の周波数間バイアスが公開されていない国外局について、全球電離圏マップ (GIM) 等を用いてそれらを簡便に求める手法について論じる。さらにそのようにして求め周波数間バイアスを用いて計算した、2007 年や 2012 年のスマトラ島周辺の巨大地震や 2010 年マウレ地震直前の VTEC 変化を議論する。

3. 中緯度域と赤道域の比較

これまでに発生直前に TEC 異常が見られた地震における、代表的な TEC 時系列の例を添付の図に示す。Heki (2011) 以降に解析した地震としては、2007 年ブンクル地震 (Mw8.5) と 2012 年北スマトラ沖地震 (Mw8.6) とその最大余震 (Mw8.2) が含まれている (Cahyadi & Heki, JGR 2013)。2004 年スマトラ・アンダマン地震 (Mw9.2) を含めると、これらの赤道域で発生した地震の前の TEC 異常は、日本やチリなどの中緯度域で発生した異常より一回り大きいように思われる。赤道域では本来の TEC が大きく、かつ地磁気伏角が浅いため電離圏内で電子が水平移動しやすい。これら二点が大きな振幅に影響している可能性を議論する。

4. 地震前の TEC 上昇と地震後の TEC 減少との量的関係

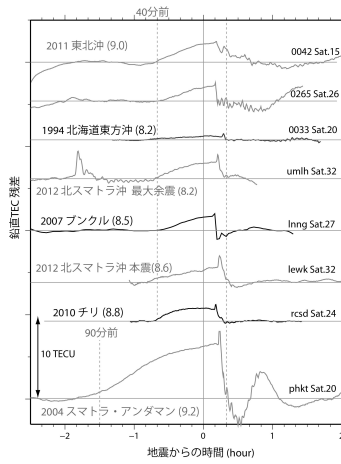
Shinagawa et al. (2013 GRL) は、地震約 10 分後に音波が到来した後に、電子数が短いパルス状の増加を見せた直後に減少する事について、数値計算によってモデル化した。地震前の上昇と地震 10 分後の減少は違う物理現象に基づいており、それらの量が短い時間スケールで厳密に一致する (減少後の TEC が前兆開始前の状態に戻る) 可能性は低い。2004 年スマトラ・アンダマン地震や 2007 年ブンクル地震の例では、地震後の急減が過剰であるためある種の overshoot が見られ、その後減衰振動を繰り返しながら本来の太陽天頂角に見合った量に収束する様が見える。逆に 2012 年スマトラ北東沖地震のように減少不足で 10 分以上かけて徐々に本来の状態に戻るよう見える地震もある。

キーワード: GNSS, GPS, 電離圏, 地震, 前兆, 全電子数
Keywords: GNSS, GPS, ionosphere, earthquake, precursor, TEC

MIS29-04

会場:313

時間:4月29日 15:00-15:15



災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の決定過程
A Decision Process of the Observation and Research Program of Earthquakes and Volcanoes

児玉 哲哉^{1*}
KODAMA, Tetsuya^{1*}

¹ 児玉 哲哉
¹Tetsuya KODAMA

平成 21 年から 5 ヶ年計画で実施された「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の次期計画が「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」となった審議過程について報告する。

キーワード: 測地学分科会, 地震火山部会, 次期研究計画検討委員会

Keywords: Subdivision on Geodesy and Geophysics, Earthquake and Volcanoes Subcommittee, Next Research Program Review Committee

2014年度から開始される大学の「予知研究」における全国連携課題 New coordination program of next "earthquake prediction research" based on the electro-magnetic methods

長尾 年恭^{1*}; 児玉 哲哉²
NAGAO, Toshiyasu^{1*}; KODAMA, Tetsuya²

¹ 東海大学地震予知研究センター, ² 宇宙航空研究開発機構
¹Earthquake Prediction Research Center, Tokai University, ²JAXA

2009年度より5ヶ年計画で開始された大学等の「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」は2011年の東北地方太平洋沖地震の発生により、その計画の大幅な見直しが外部評価委員等から求められた。結果として2014年度からは「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」として実施される事となった。しかしながら我々は地震予知研究の本命は短期・直前予知以外にはないとの主張を従来から行なっている。このため、次期計画では短期・直前予知の電磁気学的な研究は東海大学から「全国連携課題」として提出することとなった。大学の予知協議会メンバーからは北海道大学、東大地震研および九州大学が参加し、それ以外にも東京学芸大、電気通信大、千葉大、中部大等に協力を要請している。

具体的にはVLF帯パルス電磁波観測、VHF帯散乱観測およびDC-UHF帯の観測に特化して観測的研究を実施する。またそれ以外にも各種衛星データの活用を始め、GPS-TEC解析なども組織的に実施し、先行現象を用いてどの程度予測精度（確率利得）を向上させられるかを明らかにしていく。

キーワード: 地震予知, 電磁気学, VLF, VHF
Keywords: Earthquake Prediction, Electromagnetics, VLF, VHF

地震電磁気現象の総括と地震予知学 Review of seismo-electromagnetics and earthquake predictology

早川 正士^{1*}
HAYAKAWA, Masashi^{1*}

¹ 電気通信大学
¹University of Electro-Communications

This paper consists of a few parts. The 1st part deals with the review of electromagnetic precursors to the 2011 Japan earthquake (EQ). The 2nd part is based on the general review of seismo-electromagnetics, and the 3rd, the proposal of a new science field of EQ predictology. In the 1st paper we present our own results on electromagnetic precursors to the 2011 EQ, including (1) subionospheric VLF/LF propagation anomaly, (2) ULF (ultra-low-frequency) magnetic field depression, and (3) atmospheric VLF/ELF radiation. The 2nd part deals with the present situation of seismo-electromagnetics (DC geoelectric measurement, ULF emissions, atmospheric effect and ionospheric effects), in which the ionospheric precursor has already been found to be statistically correlated with EQs based on long-term data. Finally, by using such EQ precursors we are ready to perform the short-term EQ prediction and to propose a new science field of EQ predictology.

キーワード: 地震前兆現象, 電磁気現象, 地震予知学, 電離層擾乱
Keywords: Earthquake precursors, Earthquake predictology

地震の予知情報を生かそう。 Let's make use of foretelling an earthquake information.

國廣 秀光^{1*}
KUNIHIRO, Hidemitsu^{1*}

¹JYAN 研究会

¹JYAN meeting for the study

1 JYAN 研究会 (地震予知アマチュアネット=ボランティア団体) の観測情報

(1) 私達の研究会は FM 放送電波の NET 観測を行っていますが、昨年4月に淡路島地震で決定的な前兆を記録しました。他にも多くの観測記録が集積され地震の経験則として高信頼化を進めています。

(2) JYAN 研究会は、低、中、短波帯迄の全周波数、FM 放送100波、アース電磁気の観測等3種類の観測網で高信頼化を進めています。それぞれの観測結果を照合すると相関関係があることが判ってきました。

(3) 全国的には、多種多様な地震観測が行われています。そこで、私達は、情報の集約とフィードバックを求め、観測情報の公開に向けて準備を進めています。

2 地震のメカニズム解明に資する電磁気観測を発表します。

(1) 地震の前に現れた電磁気変化 (2) 地震の数ヶ月前から現れる電波伝搬変化 (3) その他

3 「地震予知情報」が生きない原因は？

(1) 日本地震学会は「地震予知はたいへん困難です」と公表しましたが、地震の予知情報を発表できるまでに進展していません。そのため、未だ、直近の「地震予知情報」を出すことが出来ないのです。

(2) 地震情報には、パニックと情報責任が伴います。大地震の情報が発表されれば、地震に先駆けてパニックが心配され、また、地震情報が間違っていれば責任も問われます。従って、行政やメディアも手を出せません。

4 問題点と良い解決策は？

(1) 地震予報の正確化には、地震予知に必要な地震研究と観測技術の高度化が必要です。そこで、地震予知の可能性のある分野には、十分な研究と観測を行わせ予知技術の高度化を図る必要があります。また、地震研究は広範な学術分野の知識と協力が必要なため、学術研究や観測情報等をすべて統合可視化させ、新技術の開発を図ります。

(2) パニックと情報責任ですが、現在、都市の通勤ラッシュは毎日が異常事態ですから、少しの情報で大パニックを起こします。そこで、地震の警報情報はメディアと協力し台風情報と同じように地震の観測情報をそのまま公表し、いつでも自己判断で地震情報を利用できるように変えれば、パニックは抑えられ、尚且つ責任問題も起こりません。

5 理想的な地震予報を伝えるために (1) 正確な地震情報を公表するためには、正確な情報に必要なアースから宇宙までの研究と観測技術を高度化させ、正確な情報源を確保する事が必要です。このため最も効率的な方法として、地震予知コンテスト等を開催し国民的な研究機運を高め、可能性の高いアイデアや研究には報奨金や研究開発費を補助し研究を加速すれば、より正しい情報へと発展できるでしょう。

(2) 地震情報を正確にするためには、すべての観測情報を統合させ総合判断を下せる環境を作ることが必要なので、地震観測センター (仮称) を設立し、研究や観測情報を一元化させます。また、各観測現場に必要な情報をフィードバックすれば、より正しい地震観測情報となり、国民が頼れる地震予報を出すことができるでしょう。行政とメディアの協力があれば、より安全、安心な国に変わることができるでしょう。

JYAN研究会電磁波観測網(2014-1月)



地震先行電離圏異常の3次元可視化に関する研究 3-D visualization of the preseismic ionospheric anomalies

廣岡 伸治^{1*}; 服部 克巳¹; 市川 卓¹
HIROOKA, Shinji^{1*}; HATTORI, Katsumi¹; ICHIKAWA, Takashi¹

¹ 千葉大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Sci., Chiba Univ.

地震に先行して電離圏総電子数 (Total Electron Content; TEC) の異常が生じることが多くの研究者により報告されている。しかしながら、その物理機構は未だ明らかにされていない。TECはGPS衛星-地上受信機間の電離圏電子の積分量であるが、実際の電離圏は3次元的に大きく変動する。地震に先行する電離圏異常の物理機構を明らかにするためには電離圏の3次元構造とその時間変化を把握することが重要であると考えられる。

本研究では2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) をはじめとする複数の地震に対して、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、地震先行電離圏異常の3次元構造を明らかにした。その結果、特に長時間 (1日あたり10時間以上) のTEC異常が検出された地震で共通した構造が現れる傾向が確認された。また、そのような構造が生成される条件として震央周辺で長時間継続して発生する電場による説明を試みた。講演では検出された地震先行電離圏異常の3次元構造およびその生成条件について詳しく解説する。

キーワード: 電離圏トモグラフィー, GPS-TEC, 地震先行電離圏異常

Keywords: Ionospheric tomography, GPS-TEC, Preseismic ionospheric anomaly

Study on lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling inferred from the data of GPS surface displacement and ionospheric pe
Study on lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling inferred from the data of GPS surface displacement and ionospheric pe

芳原 容英^{1*}; 三宅 梨沙¹; Chen Chieh-Hung²
HOBARA, Yasuhide^{1*}; MIYAKE, Risa¹; CHEN, Chieh-hung²

¹ 電気通信大学 大学院情報理工学研究科, ²Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

¹Graduate School of Information and Engineering Department of Communication Engineering and Informati, ²Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

Various scenarios of coupling mechanisms between the major seismic activities on the ground and overlaying ionosphere have been proposed, experimental evidence has not been observed clearly. In this paper we analyze long-term data from ground movement and ionospheric anomalies in relation with major earthquakes occurred around Japan. In association with major earthquakes, anomalous surface displacements are observed by dens GPS network whilst lower ionospheric perturbations are identified by continuous measurement of VLF/LF transmitter signals. As a result, we found that the ionospheric anomalies are observed preferably associated with the thrust type earthquakes. GPS surface displacements tend to occur in association with any types of earthquakes.

Keywords: ionospheric perturbations, GPS surface displacement, lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling, earthquake

Precursor Ionization Anomaly (PIA) caused by earthquake electric field- with and without natural eastward electric field
Precursor Ionization Anomaly (PIA) caused by earthquake electric field- with and without natural eastward electric field

OYAMA, Koichiro^{1*} ; KAKINAMI, Yoshihiro²
OYAMA, Koichiro^{1*} ; KAKINAMI, Yoshihiro²

¹Plasma and Space Science Center, National Cheng Kung University, Taiwan, ²School of Systems Engineering, Kochi University of Technology

¹Plasma and Space Science Center, National Cheng Kung University, Taiwan, ²School of Systems Engineering, Kochi University of Technology

In the low/midlatitude ionosphere, feature which is similar to Equator Ionization anomaly (EIA) is produced about 5 days before large earthquake (Oyama et al., 2010). The phenomenon was found by using the data obtained by US satellite DE-2, which was in orbit during 1981-1982. We named this phenomenon Precursor Ionization Anomaly (PIA). To find the PIA, satellite altitude should be below 400 Km. PIA seems to show different feature depending on the magnitude of electric field associated with earthquake, distance from the magnetic equator, and the height of the ionosphere to be studied. Depending on the magnitude of the earthquake electric field, and the height to be measured, the electron density shows the minimum or the peak. PIA is also influenced by natural electric field. When EIA exists, two minima of the electron density appear; one is caused by natural eastward E field, another by earthquake electric field. sometimes three minima appear. Here we present two cases: 1. PIA under the existence of natural eastward electric field. 2. PIA without/or weak natural eastward electric field. We stress here that constellation of small satellites will provide a breakthrough for precursor study of large earthquake.

キーワード: Earthquake, electric field, plasma density, fountain effect
Keywords: Earthquake, electric field, plasma density, fountain effect

地震先行的な電離圏異常現象検証のためのミッション解析 Mission Analysis of Micro-Satellite for Earthquake Precursor Study

須藤 雄志^{1*}; 中村 真帆¹; 鴨川 仁¹
SUTO, Yushi^{1*}; NAKAMURA, Maho¹; KAMOGAWA, Masashi¹

¹ 東京学芸大学物理学科

¹Dpt. of Phys., Tokyo Gakugei Univ.

2011年マグニチュード9.0東北地方太平洋沖地震をはじめとする巨大地震を起因とした災害は現代社会においても人間の脅威であり、その減災は現代人類の大きな課題である。近年、多種多様な観測から多くの地震先行的な可能性を持つ異常現象が報告されている。しかし、これらは大地震の発生頻度等の問題から地上定点観測において統計的に検証することは非常に難しい。したがって本研究では超小型衛星を利用した観測による異常現象の統計的検証を目的とする。

本研究では数多くの報告の中から精査を行い、地震予測に有望かつ衛星を利用した統計的検証に適した「VLF帯電磁波強度減少現象」の検証を行う。本現象は地震発生前の4時間以内、半径500km以内の範囲において上空の電離圏で観測されるVLF帯電磁波の強度が減少するというものである。これらの異常の範囲と強度減少量は地震のマグニチュードに依存するのではないかと考えられている。

本発表では以上の現象を統計的に検証するための衛星のミッション設計を述べる。

キーワード: 地震, 電離圏先行現象, 超小型衛星

Keywords: Earthquake, Ionospheric Precursors, Micro-Satellite

地震先行電離圏異常現象を検証可能な衛星の軌道設計 Satelite orbit of detecting Ionospheric Earthquake Precursor

東郷 翔帆^{1*}; 須藤 雄志¹; 鴨川 仁¹
TOGO, Shoho^{1*}; SUTO, Yushi¹; KAMOGAWA, Masashi¹

¹ 東京学芸大学教育学部物理学科

¹Dpt. of Phys., Tokyo Gakugei Univ.

In general, it is difficult to show a statistical correlation between the precursor and the large earthquake, because of infrequent occurrences of the large earthquake. In particular, to prove the causation required by the identification criteria 5 needs a number of much larger earthquakes, which are further less number according to Gutenberg- Richter relation. In addition, the events of earthquakes in the ocean and far from the ground observation site might be undetectable. Supposing that a number of precursors are detectable on the ground-based station, it might take the long term of thousand years. Theses plausible atmospheric-ionospheric precursors last for a few hours to a few days before the mainshock. Therefore, some of precursors are detectable by satellites because the orbit sampling of satellite is less than the duration of the precursors. Moreover, the satellite observation can cover the whole of a region of active seismicity, when the inclination of satellite is more than 60 degrees. In this presentation, we propose ideal orbits of dedicated satellite for this study.

キーワード: 地震, 電離圏, 人工衛星

Keywords: Earthquake, Ionosphere, Satellite

含水率制御を行った岩石の部分一軸圧縮実験による電流の発生実験 Investigation of "positive hole excitation" for stressed igneous rocks with a control of water content

長田 章良^{1*}; 山中 千博¹
OSADA, Akira^{1*}; YAMANAKA, Chihiro¹

¹ 大阪大学大学院理学研究科
¹ Graduate School of Science, Osaka University

地震に先行する電磁気的現象については、ギリシャの VAN 法に見られる地電位差異常や、電離層における電子密度異常など、数多くの科学的観測の報告がある。これら電磁気的異常のメカニズムとして、1. 圧電補償電荷説、2. 石英などに含まれる過酸化架橋の正孔励起に伴った正孔の移動説、3. 間隙水の移動による流動電位説などが提唱されている。正孔励起説は、Freund et al. (2006) によって示され、火成岩の圧縮によって励起された正孔が圧縮部から非圧縮部を移動する説であり、継続時間の長い電磁気異常や長距離間で観測される地電位差異常を説明できる点で注目されている。

本研究ではそのメカニズムの解明のために、基準サイズ 3cm × 3cm × 10cm 火成岩 (花崗岩, ハンレイ岩) の一部に圧力 1.08MPa~5.45MPa を加え圧力差を生じさせ、圧縮部と非圧縮部間の電流を測定する室内実験を行った。真空中で水に浸し間隙に水が充填されている岩石では、まず水分蒸発に伴った電流変化が見られた。その変化の見られなくなった後、圧力勾配を生じさせると、圧力変化に伴い花崗岩では -20pA~-40pA, ハンレイ岩では約 -1.5nA の緩和時間が約 3~5 分と十分長い電流変化が見られた。また、面積 2 倍試料 (3cm × 6cm × 10cm) の測定では、同種、同含水率、同圧力で約 2 倍の電流変化が観測できた。また、長さ 2 倍試料 (3cm × 3cm × 20cm) でも同程度の結果が得られた。一方で 100 °C 加熱処理によって乾燥させた試料では、種類によらずこの電流変化が全く見られなかった。これらの結果は、間隙水の存在が電流変化に大きく関わっていることを示している。さらに、得られた電流変化の絶対値は、Orihara et al. (2012) によって示された、神津島近海における地震に先行して有意に観測された数 μ V/m の電場異常と、地殻を構成する火成岩の抵抗率 10~1000 $\Omega \cdot$ m を考えると調和的と言える。

文献

- 1) F.T.Freund, A.Takeuchi, B.W.S.Lau, "Electric currents streaming out of stressed igneous rock - A step towards understanding pre-earthquake low frequency EM emissions", *Physics and Chemistry of the Earth* 31. pp.389-396. (2006)
- 2) Y.Orihara, M.Kamogawa, T.Nagao, S.Uyeda, "Preseismic anomalous telluric current signals observed in Kozu-shima Island, Japan", *Proceedings of the National Academy of Sciences* Vol.109 No.47 pp.19125-19128. (2012)

キーワード: 地震電磁気現象, 流動電位, 正孔励起, 火成岩

Keywords: Seismic electric signals, Streaming potential, Positive hole excitation, Igneous rocks

東北地方太平洋沖地震 (M 9.0) に関連する地磁気日変化の異常の検討 Analysis of geomagnetic diurnal variations at Esashi station from 1997~2012

芦田 遼^{1*}; 服部 克巳¹; Han Peng¹; Febriani Febty¹; Yoshino Chie¹
ASHIDA, Ryo^{1*}; HATTORI, Katsumi¹; HAN, Peng¹; FEBRIANI, Febty¹; YOSHINO, Chie¹

¹Graduate School of Science, Chiba University

¹Graduate School of Science, Chiba University

There have been many reports on ultra-low-frequency (ULF) electromagnetic phenomena associated with earthquakes in a very wide frequency range. In this study, unusual behaviors of geomagnetic diurnal variations prior to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake (Mw9.0) have been reported. Ratios of diurnal variation range between the target station Esashi (ESA) which is about 135 km from the epicenter and the remote reference station Kakioka (KAK) have been computed. The results showed that there had been clear anomalies exceeding the statistical threshold in the vertical component about 2 months before the mega event. These anomalies are unique over a 16 years background. The original records of geomagnetic fields of the ESA station also exhibited continuous anomalous behaviors for about 10 days in the vertical component from Jan.3, 2011-Jan.13, 2011, about two months prior to the Mw 9.0 earthquake. During the same period, other independent geophysical parameters such as seismicity and crustal deformation also show clear unusual changes, which suggests these anomalies might be related with the mega event.

キーワード: ULF seismo-magnetic phenomena, earthquake, geomagnetic diurnal variations
Keywords: ULF seismo-magnetic phenomena, earthquake, geomagnetic diurnal variations

VLF 送信電波の振幅及び位相情報を用いた地震に伴う下部電離層擾乱の位置・空間スケール同定に関する研究
Identification of seismo - ionospheric signatures by using amplitude and phase information of VLF/LF transmitter waves

龍田 健心^{1*}; 芳原 容英¹
TATSUTA, Kenshin^{1*}; HOBARA, Yasuhide¹

¹ 電気通信大学 大学院情報理工学研究科

¹Graduate School of Informatics and Communication Eng. , The University of Electro-Communications

地震に先行した電離層擾乱は VLF/LF 帯電波伝播異常を引き起こすが、詳しい発生機構は未だ明らかになっていない。震源と擾乱位置、地震の規模と空間スケール等の対応関係を明らかにすることは擾乱発生機構の解明や将来の地震予測につながるため、観測された電波の情報を数値計算結果と比較し、擾乱の位置・空間スケールの同定を行うことが必要不可欠である。本研究では地震に伴う下部電離層擾乱を振幅変化に加え位相変化も用いて導出した。その結果、地震に先行する電離層擾乱において振幅に異常が見られた際には位相にも顕著な変化が見られた。また、FDTD 法を利用した VLF/LF 帯伝搬の数値解析結果と実測値を比較したところ、振幅及び位相変化ともに良い一致が見られた。以上から地震に先行した電離層擾乱の位置・空間スケールを同定する上で、振幅・位相の 2 つの情報量を同時に使用することは有効性である。

キーワード: 電離層擾乱, FDTD 法, VLF/LF 送信局, 地震

Keywords: seismo - ionospheric perturbation, FDTD method, VLF/LF transmitter, earthquake

1998 年から 2012 年にわたる地震に関連する電離圏総電子数の統計解析に関する研究 Ionospheric Anomaly as an Earthquake Precursor : Statistical Study during 1998-2012 around Japan

國光 真由香^{2*}; 服部 克巳³; Han Peng³; 劉 正彦¹
KUNIMITSU, Mayuka^{2*}; HATTORI, Katsumi³; HAN, Peng³; LIU, Jann-yenq¹

¹ 千葉大学理学部, ² 千葉大学大学院理学研究科, ³ 国立中央大学太空科学研究所

¹Faculty of science, Chiba University, ²Graduate School of Science, Chiba University, ³Institute of Space Science, National Central University, Taiwan

中磁気緯度地域では地震に先行して正の TEC 異常が統計的に有意に出現することが [Kon et al.,2011] による先行研究によって報告されている。しかし、先行研究の解析で用いられた地磁気擾乱期間は日本地域においてやや根拠に欠けるものとなっていた。そこで、本研究では、地磁気擾乱期間を統計的に決定し、地震に先行する TEC 異常が統計的に有意であるかを調査した。

地磁気擾乱の解析手法は、標本を復元抽出によって増幅させ、分布の偏りと歪みを取り除き推定値を得る Bias-corrected Acceleration Bootstrap Method : BCa 法という統計解析手法を用いた。TEC の解析手法は、[Kon et al.,2011] にならい、Superposed Epoch Analysis という統計解析手法を用いた。BCa 法を用いて 1995 年から 2012 年の期間の地磁気擾乱期間を調査した結果、磁気嵐の大きさが大きいほど地磁気擾乱期間が長くなる傾向があることがわかった。また、Dst 指数に基づいた地磁気擾乱期間を設定することが可能となった。

次に、求めた地磁気擾乱期間を解析除外期間として 1998-2010 年および 1998-2012 年について地磁気擾乱期間を時系列 TEC データから除去し、日本地域の $M \geq 6.0$ 、 $D \leq 40\text{km}$ の地震について SEA 解析を行い、先行研究の結果との比較を行ったところ、地震の 1 ~ 5 日前に有意に TEC が増加することが分かった。

さらに、統計地震学で広く用いられている Molchan Error Diagram 解析を実施し、SEA 解析によって示唆された、TEC 異常の地震予知システムとしての有効性を検証した。その結果、地磁気擾乱期間の設定のしかたに関係なく地震予知システムとして有効であることがわかった。また、地磁気擾乱期間を Dst 指数に基づいて設定したほうが予測精度が向上した。

MODIS データを利用した地震に関連する温度異常の検知 Detection of thermal anomaly associated with Earthquake from MODIS data

堤 梨花^{1*}
TSUTSUMI, Rika^{1*}

¹ 千葉大学大学院理学研究科
¹Chiba University

地震活動に伴う災害の軽減が重要な課題であり、その監視・予測手法の開発が望まれている。そこで、本研究では、衛星リモートセンシングデータを利用した地震活動に伴う LST (Land Surface Temperature) の温度異常を検知することを試みた。

地震活動に伴う温度異常の監視については、人工衛星 Aqua/Terra に搭載されているセンサ MODIS の L3 LST (Land Surface Temperature) データを用いて、地震プロセスと大気・地表の温度異常の関係性を統計的に調査した。これまでの先行研究によって、いくつかの大規模な地震の数週間～数時間前に温度異常が生じていることが報告されている。本研究では、Lushan 地震 (China, 2013 年 4 月 20 日)、L' Aquila 地震 (Italy, 2009 年 4 月 6 日)、Wenchuan 地震 (China, 2008 年 5 月 12 日) 地震に関して LST データを時空間的に統計解析した。L' Aquila 地震に関しては、地震の 8 日前に顕著な温度異常が震央付近 (半径 100km 以内) に表れていることが確認できた (Terra-MODIS)。その 4 時間後に観測された Aqua-Terra のデータによる解析でも温度異常が検知できた。この結果は先行研究 (M.Lisi et al. 2010) による AVHRR TIR の解析結果 (本研究の解析結果の約 3 時間後に異常が出ている) と類似した結果であった。このことから、地震発生の 8 日前から、少なくとも 4 時間以上継続した温度異常が、震央付近に発生している可能性があると考えられ、他の地震のさらなる調査が重要である。

以上のように、MODIS データによる適切な温度異常検知アルゴリズム開発は、地震活動などの地殻活動の監視・予測技術開発につながるポテンシャルがあることがわかった。

キーワード: MODIS, 地震, 温度異常, ラクイラ地震
Keywords: MODIS, Earthquake, L' Aquila, thermal anomaly