

SCG069-01

会場:304

時間:5月24日 16:30-16:45

## 地震に関連する電離圏異常に関する研究 Ionospheric anomalies possibly associated with large earthquakes

紺 晋平<sup>1</sup>, 市川 卓<sup>1</sup>, 廣岡 伸治<sup>1</sup>, 西橋 政秀<sup>2</sup>, 服部 克巳<sup>1\*</sup>

Shimpei Kon<sup>1</sup>, Takashi Ichikawa<sup>1</sup>, Shinji Hirooka<sup>1</sup>, Masahide Nishihashi<sup>2</sup>, Katsumi Hattori<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学理学研究科地球生命圏科学専攻, <sup>2</sup> 気象庁気象研究所

<sup>1</sup>Department of Earth Science, Chiba Univ, <sup>2</sup>Meteorological Research Institute, Japan

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、非地震学的な手法による地震短期予測の可能性が指摘されている。その中でも、地震に先行する電離圏総電子数 (Total Electron Content; TEC) 異常の調査・研究は短期地震予知の有力な候補として注目を集めている。これまでの先行研究によって、台湾、インドネシア、中国などの地域で、地震とそれに先行する TEC 異常の関係が事例的、統計的に調査され、その有意性が示されてきた。しかしこれら3つの地域は低磁気緯度に位置し、電離圏の赤道異常 (Equatorial ionization anomaly; EIA) の影響を受ける。そこで本研究の目的は、日本をはじめとした中磁気緯度で発生した地震と TEC 異常との関係性を調査、研究することである。

本研究では、日本を対象として、12年間にわたる長期の全球の TEC グリッドデータである GIM (Global Ionosphere Maps) を用いて、地震に関連する TEC 異常の事例的・統計的な解析を行った。統計解析の結果、中緯度地域の M<sub>s</sub> 6.0 の地震の1-5日前に正の TEC 異常が統計的に有意に出現することが初めて明らかとなった。また、これらの TEC 異常の出現は、地震のマグニチュードおよび震央からの距離に依存することが明らかとなった。

キーワード: Total Electron Content, 電離圏, 地震, 地震予知研究, Global Ionosphere Maps, Superposed Epoch Analysis

Keywords: Total Electron Content, Ionosphere, earthquake, earthquake precursor, Global Ionosphere Maps, Superposed Epoch Analysis

SCG069-02

会場:304

時間:5月24日 16:45-17:00

## 鹿児島垂水観測点における ULF 磁場データの方位測定 Direction finding of ULF geomagnetic data at Tarumizu station, Kagoshima Prefecture

石黒 雄基<sup>1\*</sup>, Han Peng<sup>1</sup>, 服部 克巳<sup>1</sup>, 湯元 清文<sup>2</sup>  
Yuki Ishiguro<sup>1\*</sup>, Peng Han<sup>1</sup>, Katsumi Hattori<sup>1</sup>, Kiyohumi Yumoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学大学院, <sup>2</sup> 九州大学宙空環境研究センター

<sup>1</sup> Chiba University, <sup>2</sup> SERC, Kyushu University

1997年に発生した鹿児島県北西部地震に関して ULF 磁場変動が報告されている [Hattori et al., 2002]. また, 報告された磁場変動を含む 14 年間の磁場データを解析したところ, 地震と地震発生の約 20 日前の磁場変動についての関連性が示唆された. そこで磁場変動の到来方位を調査した.

本研究では, 鹿児島県垂水観測点の 1995 年 1 月から 2006 年 12 月までの磁場水平成分  $B_x$ ,  $B_y$  の夜間 (LT00:00~04:00) データ, 特に 0.01Hz の周波数帯について解析を行う. 方位測定の手法としてはゴニオメーター法/リサーチ法を用いた. また, 信号の強度が月ごとの中央値よりも大きく, 直線偏波であることを確認し方位測定を行った. 信号の到来方位は  $\theta = \arctan(B_x/B_y) + 90^\circ$  で表される. ゴニオメーター法には  $180^\circ$  の不確実性があるため,  $\theta$  と  $\theta + 180^\circ$  は区別できない.

解析の結果, 地震発生の 17, 18 日前の震央方向から到来する信号の増加は確認できた. しかし, その有意性まで証明することはできなかった. 原因として, 震央方向に鹿児島市が存在し, 都市雑音の影響や都市ノイズ, 垂水観測点が海岸付近に位置しているためにおこる海岸線効果の影響が考えられる. 今後の課題としては, 都市ノイズを取り除くため解析する時間帯をより限定して解析を行うことやフラクタル解析なども併用することなどが考えられる.

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SCG069-03

会場:304

時間:5月24日 17:00-17:15

## Natural Time による砂山崩しの解析 Natural time analysis for sandpile model

上野 真広<sup>1\*</sup>, 鴨川 仁<sup>1</sup>, 上田 誠也<sup>1</sup>

Masahiro Ueno<sup>1\*</sup>, Masashi Kamogawa<sup>1</sup>, Seiya Uyeda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京学芸大学物理学科, <sup>2</sup> 日本学士院

<sup>1</sup>Dpt. of Phys., Tokyo Gakugei Univ., <sup>2</sup>Japan Academy

Seismicity as a critical phenomenon has been actively discussed by many authors (e.g., Bak and Tang., 1989; Turcotte, 1997; Sornette, 2000; Rundle et al., 2003; Keilis-Borok and Soloviev, 2003). It has been shown that seismic electric signals (SES) and EQs reveal dynamic evolution characteristic to critical stage when their time series is analyzed in the framework of natural time, which was introduced by the Varotsos' group (e. g., Varotsos, 2005; Varotsos et al., 2002). The possible usefulness of natural time analysis in predicting catastrophic events has been demonstrated not only for the subjects of our immediate concern, but also for other critical phenomena, including sudden cardiac death (Varotsos et al., 2004; Varotsos et al., 2005). Here we investigate sandpile experiment by using natural time analysis.

キーワード: ナチュラルタイム, 地震活動, 臨界現象

Keywords: Natural Time, Seismicity, Critical phenomena

SCG069-04

会場:304

時間:5月24日 17:15-17:30

## 地中で検出される電磁波パルスの3次元到来方位 Three dimensional arrival directions of electromagnetic pulses in the earth

筒井 稔<sup>1\*</sup>, 神谷 宗利<sup>1</sup>, 中谷 太環<sup>1</sup>, 長尾 年恭<sup>2</sup>

Minoru Tsutsui<sup>1\*</sup>, Munetoshi Kamitani<sup>1</sup>, Taka Nakatani<sup>1</sup>, Toshiyasu Nagao<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都産業大学, <sup>2</sup> 東海大学

<sup>1</sup>Kyoto Sangyo University, <sup>2</sup>Tokai University

地震に関連していると考えられる地中電磁波パルスの検出のために、地理的に異なった場所で深さ 100 m のボアホールを確保して、そこに電磁波到来方位測定用のセンサーを挿入して観測を続けてきた。この一連の観測により、検出する電磁波パルスの殆どが雷放電で励起された電磁波である事が明らかとなった。そして電気伝導度の高い堆積層から成る海岸付近に構築したボアホール内底部での観測では、地上からの電磁波の減衰が大きい事が確認された。これは地中励起の電磁波の観測に有利と考えられるが、それでも雷が多い特に梅雨の時期には、一日当たりの雷放電に起因した電磁波パルスの検出個数は 10000 個に近い数となっている。これは地中励起の電磁波を検出しようとする研究の障害となっている。

その様な環境の中で、大量の観測データの解析を進めてきたところ、雷放電起因のパルスとは異なる波形をした振幅の小さい電磁波パルスを見つけた。それは一日当たり 10~20 個検出されていた。そして 100 m ボアホールの底部と地上の両方に設置した水平方向磁界サーチコイルを用いて検出されたその種の電磁波パルスの波形を比較したところ、位相と振幅関係から、地中から地上に伝搬している状況を表わしているデータを見つけた。そこで 2010 年の連合大会では「地球起源の電磁波パルスを発見した」と発表した。しかし、それは間違っていた事が判明した。まず、この種の電磁波パルスの検出時刻についての定量解析を行った結果、それらは午前 7 時前後と午後 5 時以降に集中している事が判った。即ち、これらは人間活動に関係しているものと判断でき、その有力な源は商用電源である可能性が強いとの感触をもった。

電磁波パルスの上下伝搬方向の確認のために、データを定量的に調べた結果、地上から地中に向かって伝搬しているような波形も見つかった。この状況を更に明確にするために、3次元方向の磁界成分を検出できるように3軸磁界サーチコイルを地上と地中の両方に設置し、磁界ベクトルの偏波の比較解析を行った。その結果、微小振幅パルスの偏波は地上では直線偏波をしているが、地中では垂直面内において楕円偏波をしている事が判明した。この事は、この種の電磁波パルスは地表面に沿って水平に伝搬してきた表面波である事が考えられ、上記の検出時刻の状況と合わせて考えると、それは地中で励起された電磁波パルスでは無く、電力に関係して発生した人工電磁波雑音であるとの結論に至った。

このように、地中での電磁波観測で、上下方向に距離を隔てた複数の検出点での波形での位相比較のみでは伝搬方向を決めることは出来ない事が明らかとなった。これを受けて検討した結果、電磁波の到来方位を決定する方法としては、電磁波のポインティングベクトルを求める以外に方法が無い事が判明した。そこで本研究では、それを実現すべく、新たな電磁波到来方位測定装置の開発を開始した。

ポインティングベクトル  $\mathbf{P}$  とは電磁波の電界  $\mathbf{E}$ 、磁界  $\mathbf{H}$  がベクトルで表わされ、それが時間的に振動している時、その電磁波エネルギーの流れは  $\mathbf{P}=\mathbf{E}\times\mathbf{H}$  の形のベクトルで表わされる。このため、媒質内での電磁波伝搬方向を決めるにはこの  $\mathbf{P}$  の方向を求めればよい。即ち、ポインティングベクトルの方向はその成分比  $P_y/P_x$  および  $P_z/P_x$  が求められれば決定されるので、電磁界センサーの3次元方向での検出成分の比のみで電磁波の到来方向を決める事ができる。

この方法による検出電磁波パルスの到来方位の決定を実現するためには、地中ボアホール内で電界および磁界の3軸方向成分の検出を実現させなければならない。磁界については既に実現しているが、電界についてはボアホールの内径が最大でも 20cm 程度であり、水平ダイポールアンテナ素子を十分に長く展開できないため、水平電界成分の感度を十分に得られないという問題があった。そこで京都産業大学の研究室ではこの問題を解決するため、新たな水平電界成分を感度良く検出する方法を開発した。開発した水平電界検出方式については現在、特許出願の準備を進めているので、その詳細についてここでは紹介できないが、学会当日はその方式と観測結果について報告できるものと思われる。

キーワード: 電磁波パルス, 地中伝搬, 到来方位検出, 検出システム開発

Keywords: electromagnetic pulses, propagation in the earth, detection of arrival direction, development of detection system

SCG069-05

会場:304

時間:5月24日 17:30-17:45

## ULF 電磁場変動の信号弁別に関する研究 Signal Discrimination of ULF Electromagnetic Data with Using Singular Spectrum Analysis and Principal Component Analysis

齋藤 翔太<sup>1\*</sup>, 服部 克巳<sup>1</sup>  
Shota Saito<sup>1\*</sup>, Katsumi Hattori<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学大学院理学研究科  
<sup>1</sup>Geophysics, Chiba University

地震や火山活動などの地殻活動に関連する様々な電磁気現象が、直流領域から HF 帯にかけて報告されている。なかでも、地表における ULF 帯 ( $f < 10\text{Hz}$ ) での自然電磁場観測は、電磁波の表皮深度が地殻活動の発生する深さに匹敵し、地球内部で発生する電磁放射や電気伝導度の変動を地上で直接に検出できる可能性を有することから、地殻活動を監視するための手段として最も有望視されている。しかし、ULF 帯の電磁場データには太陽風 - 地球磁気圏の相互作用により生じる地磁気擾乱や、直流電車からの漏洩電流 (電車ノイズ)、降雨の影響による変動など、突発的な変動が重畳している。一般に、地殻活動に関連する電磁場変動の強度は、これらに比べると極めて小さい。したがって、強度が大きい突発的な変動をいかに弁別するかが重要な課題となる。

そこで本論文では、ULF 電磁場データに存在する強度の大きい既知の信号 (地磁気嵐や電車ノイズ、降雨) を自動で検知及び除去するための手法を開発した。具体的には、主成分解析 (PCA) と特異スペクトル解析 (SSA) を適用した。その結果、地磁気嵐については概ね検知でき、さらにその影響を軽減できることが示された。電車ノイズと降雨による変動については、除去は実用レベルには至らなかったが、自動検知が可能であることが分かった。特に電車ノイズの検知により昼間のデータの時系列解析が可能になった。

キーワード: ULF, 電磁場, 特異スペクトル解析, 主成分解析, 電車ノイズ, 検知

Keywords: ULF, electromagnetic field, Singular Spectrum Analysis, Principal Component Analysis, train noise, detection

SCG069-06

会場:304

時間:5月24日 17:45-18:00

## 火成岩の不均一な圧縮に伴う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 on Igneous Rocks under Non-uniform Stress

竹内 昭洋<sup>1\*</sup>, 藍壇 オメル<sup>2</sup>, 佐柳 敬造<sup>1</sup>, 長尾 年恭<sup>1</sup>  
Akihiro Takeuchi<sup>1\*</sup>, Omer Aydan<sup>2</sup>, Keizo Sayanagi<sup>1</sup>, Toshiyasu Nagao<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東海大・海洋研・地震予知研究センター, <sup>2</sup> 東海大・海洋学・海洋建工  
<sup>1</sup>Tokai Univ, Earthquake Predict Res Cent, <sup>2</sup>Tokai Univ, Dept Marine Civil Engin

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。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（石英の場合： $O_3Si-OO-SiO_3$ ）に注目してきた。この欠陥構造が外力により歪むと、酸素対の反結合性エネルギー準位が価電子帯まで降下し、隣接する酸素部位から電子がこの準位に遷移することができるようになる。その結果、この酸素部位に正孔が発現し、歪んだ過酸化架橋に電子が捕捉されることになる。発現した正孔は、価電子帯を通過して拡散することができる。圧縮部から非圧縮部へと拡散する正孔電荷キャリアが、不均一圧縮に伴う起電力の正体であろうと考えてきたが、実証するには至っていない。そこで本研究では、同様の岩石圧縮実験中に熱起電力も計測し、ゼーベック係数の変化から正孔の発現・拡散を検証した。その結果、常圧下でのハンレイ岩試料のゼーベック係数は約0.8-1.2mV/Kであり、正孔が多数派キャリアであることが分かった。一方で、60MPaの不均一圧縮下でのゼーベック係数は、圧縮部では約0.5-0.7mV/Kに下がり、非圧縮部では約0.8-1.2mV/Kと殆ど変わらなかった。このことから、圧縮部では正孔の濃度が上昇し、非圧縮部では殆ど変化のないことが分かった。以上のことから、圧縮部において正孔が発現しているが、それら正孔の拡散は圧縮部の近傍周辺程度までであることが判明した。恐らく、非圧縮端まで到達している正孔は極わずかなのであろう。これら正孔の分布と過酸化架橋に捕捉された電子の分布の偏り（分極）が、不均一圧縮に伴う起電力の原因となっていると考えられる。圧縮の度合いが増すに従い、発現する正孔の数が増え、分極が大きくなることにより、起電力の増加に繋がっているであろう。実際の地殻内においても、断層運動前および運動中の周辺地殻応力/歪みの変化に伴い、正孔の発現と拡散が起こり、分極が変化することにより、周辺に異常電場を形成すると期待される。

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

SCG069-07

会場:304

時間:5月24日 18:00-18:15

## VHF 地震エコーが発生する地震の震央，発信点，および受信点との時空間的關係 Time and space correlations of EQ-echo with epicenter of earthquake, emitting and observing stations

森谷 武男<sup>1\*</sup>, 茂木 透<sup>1</sup>, 山下 晴之<sup>1</sup>

Takeo Moriya<sup>1\*</sup>, Toru Mogi<sup>1</sup>, Haruyuki Yamashita<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北大理院地震火山

<sup>1</sup> ISV, Hokkaido Univ.

2002年から観測してきた地震前に起こる VHF 異常伝播（地震エコー）現象は発生領域と地震の震央との間に時空間的な関係がある。地震エコーは時間的には地震前の数週間から数カ月に観測されるが、一定の M 以下の地震には発生しない。地震エコーの総継続時間は地震の最大震度や M に関係して定量的な関係が成立する。予想される大地震の前兆を検出しようとするとき、その震源域を考慮して観測点と発信点の位置関係をどのように決めるかが問題になる。実際には限られた放送局と受信点を使っただけの試行錯誤が必要である。北海道の太平洋側では 2003 年に十勝沖地震が発生して活動的な時期へ転換したと考えられるので、青森県東方沖から根室沖にかけての海域と沿岸部の領域で起こる M4-6 級の地震について地震エコーがどのように観測検出されるのかを監視してきた。その結果、地震エコーを頻りに観測した組み合わせは以下になることがわかった。

1 青森県東方沖，浦河沖，えりも沖および十勝沖西部の領域：八戸および浦河 FM 局，日高にある 64MHz 帯の中継波を札幌で監視する。

2 日高山脈の内陸部：広尾，静内および振内 FM 局，三石の 64MHz をえりもと様似にある 4 カ所の観測点で監視する。振内 FM 局を広尾で監視する。

3 十勝・釧路沿岸域と沖の領域：釧路 FM を札幌で監視，中標津，根室および厚岸 FM 局を広尾で監視，広尾 FM 局を弟子屈で監視する。2010 年はこの領域の地震活動がやや高く事例が増えた。

4 釧路・厚岸・根室の沿岸と沖の領域：弟子屈，網走および根室 FM 局を厚岸観測点で監視，根室，中標津（サテライト），網走および弟子屈 FM 局と 2 カ所の 64MHz 局を根室市落石観測点で監視する。根室沖は将来大地震が予想されているが海溝付近の起こる M5 級の地震がないためにどの程度の大きさの M まで検出できるのか不明である。

5 北海道内陸部，北部：地震活動が低いため確証が得られていない。天塩付近の地震活動は中川観測点で稚内などを監視しているが 6 年間でわずか数例である。また 2009 年に観測を始めた下川観測点では試みにサハリン州のテレビ電波 (83.25MHz) も監視しているが、2010 年に起きたサハリン南部の地震 (M3.7) の前に地震エコーを観測したのみである。また札幌付近の地震活動は札幌 FM 局を中川，下川およびえりも観測点で監視しているが 2010 年 12 月 02 日に起きた札幌の地震 (M4.6) に関係した地震エコーは観測されなかった。

キーワード: VHF 散乱波, 地震前兆, 大地震予報, 北海道

Keywords: VHF scattering wave, earthquake precursor, earthquake forecasting, hokkaido

SCG069-08

会場:304

時間:5月24日 18:15-18:30

## 岡山における地震関連大気圏擾乱方位測定 Measurement of pre-seismic atmospheric anomalies in Okayama, Japan

山本 勲<sup>1</sup>, 木村 正博<sup>1\*</sup>, 鴨川 仁<sup>2</sup>

Isao Yamamoto<sup>1</sup>, Masahiro Kimura<sup>1\*</sup>, Masashi Kamogawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 岡山理科大学工学部, <sup>2</sup> 東京学芸大学物理学科

<sup>1</sup>Dpt. of Info. Comp. Eng., Okayama Univ., <sup>2</sup>Dpt. of Phys., Tokyo Gakugei Univ.

地震発生数日前に、見通し外の送信点から発信されたVHF帯電波が異常伝搬によって受信される現象がある (Fujiwara et al., Geophys. Res. Lett., 2004)。これらは震央の上空において電波の散乱ないしは反射で生じていると考えられている。もしこの現象を、VHF帯電波干渉計で測定すれば、散乱地点の詳細な決定ができると思われる。故に、山本らは、VHF帯電波干渉計を開発し、精度良く電波の到来方位を決定できるようにした (Yamamoto et al., Proc. Jpn. Acad., 2009)。この干渉計を使い、散乱地点の性質を詳しく調べるために、特定のFM放送波について垂直偏波と水平偏波の方位を同時に調べた。この結果をもとに北海道での測定を考える予定である。

キーワード: 地震, 電離圏擾乱, 大気圏擾乱, 電波伝搬, 電波干渉計

Keywords: Earthquake, Ionospheric Anomaly, Atmospheric Anomaly, EM Wave Propagation, Interferometric Measurement