

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：12501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25610128

研究課題名(和文) 大気電気学パラメータ観測による地圏 大気圏 電離圏結合の検証

研究課題名(英文) Study on Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling by observation of Atmospheric Electricity Parameters

研究代表者

服部 克巳(Hattori, Katsumi)

千葉大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60244513

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：大きな地震に先行して電離圏や大気圏が擾乱するという報告がある。電離圏総電子数(TEC)や温度異常がそれである。TEC異常に関しては統計的(疫学的)には有意な相関があることが立証されているが科学的な因果関係は解明されていない。その1つの仮説として大気電場説がある。本研究では大気電場説の1つであるラドンガス放出説を検証するために房総半島に大気電場パラメータを観測する装置を設置し、地圏 大気圏 電離圏結合を観測学的に検討するデータの蓄積を図るとともに、安価で安定なラドン観測装置を開発した。また、地震に関連するTEC異常変動の統計解析や3次元構造解析、赤外線温度異常等の解析を行った。

研究成果の概要(英文)：There are many reports on ionospheric and atmospheric disturbances before large earthquakes. They are TEC (total electron content) and thermal or infrared anomalies. As for TEC anomaly, some reports indicate there is a significant correlation between earthquake and anomalous TEC change in statistics and epidemiology. However, the physical mechanism is still not well-understood in science. One of the possible hypotheses to drive these anomalies is atmospheric electricity. In order to evaluate and investigate the possibility of the atmospheric electricity scheme with Radon effect, we have installed equipment to observe atmospheric electricity parameters such as atmospheric electric field, atmospheric ion content, radon concentration, meteorological parameters in Boso Peninsula and collected the lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling data. In addition, we have developed a cheap and stable radon observation system to monitor Radon gas emanation before the large earthquake.

研究分野：地球物理学

キーワード：大気電気学パラメータ 地圏-大気圏-電離圏結合 ラドンガス放出説 ラドン観測装置の開発 大気電場説

## 1. 研究開始当初の背景

大地震の前に電離圏に異常が発生することが知られている。日本の本州上空では、M6以上の地震の1-5日前に統計的に有意に電離圏総電子数(TEC)が増加する<sup>(1)</sup>。また2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の前には30時間以上にわたってTECが有意に増加していたことが報告されている<sup>(2)</sup>。電離圏電子密度トモグラフィを実施したところ、電離圏の下端(大気との境界)に電子密度の濃い部分が表れ、それが10時間以上継続するとともに密度の濃いものが磁力線に沿って上空に移動していく様子が再構成された<sup>(3)</sup>。

地震に先行して電離圏が擾乱することは疫学的(統計的)には相関があることが証明されているが、因果関係は明らかではない。しかし、大気重力波説、大気電場説などいくつかの有力な仮説が提案されており、本研究ではその中の、大気電場説を観測学的に検証するものである。大気電場説とは地表付近が通常状態とは異なるように帯電するため、その影響で上空の電離圏電子が再配置され、通常とは異なる状態になるという仮説である。地表付近の帯電する理由は、地震前に放射性のラドンガスが地中から放射され、空気分子を電離させ地表付近を正に帯電させる“ラドン説”<sup>(4)</sup>、岩石に応力がかかると正孔が発生し、P型半導体のように振舞い、結果として地表が正に帯電する“正孔キャリア説”<sup>(5)</sup>、岩石に応力が加わると、地下水などの流体が移動し電流が発生し、それに伴う電界が地表に出現する“界面導電現象説”<sup>(6)</sup>などが考えられている。

また、2011年3月の東北大地震後の福島第一原子力発電所の事故による放射性物質の観測点への到来にともない、大気電場パラメータが変動した。具体的には大気イオン濃度が上昇し、大気の電気伝導度が上がり、大気電場が減少するという変動である。この変動は地殻からのラドン放射が、原発由来の放射性物質に置換されたものであり、放射性物質による大気電気パラメータの変動の存在を表している。本研究では大気電気説と特にその中の説を詳細に検証するために房総半島に大気電気パラメータ観測装置を設置し、基礎データ(日変化、季節変化等)を蓄積し、地圏-大気圏-電離圏結合を観測学的に検証する。また、大気電場パラメータ観測による放射性物質のモニタリングの可能性の検証も実施する。地圏-大気圏-電離圏結合を観測学的に定性的・定量的に解明する世界でもユニークな試みで、放射性物質を媒介とする地圏と大気・電離圏間のエネルギー輸送の知見が得られる。放射性物質濃度や地殻活動の新監視手法が確立される可能性があり、その社会的意義は大きい。

## 2. 研究の目的

大きな地震に先行して電離圏や大気圏が

擾乱するという報告がある。電離圏総電子数(TEC)異常や温度異常がそれである。TEC異常に関しては統計的(疫学的)には有意な相関があることが立証されているが、科学的な因果関係を証明するには至っていない。その1つの仮説として大地震前に地中から放射性ラドンガスの放出の異常があげられている。本研究の目的は、大気電気説と特にその中のラドンガス放射説を検証するために房総半島に大気電気パラメータ観測装置を設置し、基礎データ(日変化、季節変化等)を蓄積し、地圏-大気圏-電離圏結合を観測学的に検討することである。また、地震に先行する電離圏異常、大気圏異常の解析も実施する。さらに、安価で安定なラドン観測装置の開発も本研究の目的である。

## 3. 研究の方法

本研究では観測学的視点から大気中の放射性物質濃度の対大気電気パラメータへの影響を推定する。地圏-大気圏-電離圏結合の観点からは地震前兆電磁気現象(電離圏電子数異常、衛星観測赤外線温度異常)のメカニズムの仮説検証、また大気中の放射性物質濃度モニタリングの可能性に関する調査研究を行う。具体的には in-situ 環境であるフィールド観測において、地圏-大気圏-電離圏結合に関する基礎データを蓄積、雑音除去(降雨)などデータ解析手法の開発、解析結果の解釈と大気電気パラメータのモデル構築、地震前兆電磁気現象の地中ラドン放射原因説のポテンシャルと問題点の把握、大気電場パラメータ観測による大気中の放射性物質濃度監視ポテンシャルと問題点の把握に関する調査研究を行う。

本研究は大きく次の3つのサブテーマに分けることができる。

(1) 大気電気パラメータ観測点の新規設置とデータ蓄積。

(2) 地圏-電離圏-大気圏結合の研究。

(3) 安定で安価なラドン観測装置の開発。

次節の研究成果は上記3つについてまとめる。

## 4. 研究成果

(1) 大気電気パラメータ観測点の新規設置とデータ蓄積

### 大気電気パラメータ観測点

本研究期間中に房総半島旭観測点に大気ラドン観測器、地中ラドン観測器、大気電場観測器、大気イオン観測器、気象観測器を設置した。また、連携研究者が所有の房総半島銚子観測点のラドン観測データについても、本研究課題で活用することとなった。既存の房総半島清澄観測点の大気ラドン観測器、大気電場観測器、大気イオン観測器、気象観測器等と合わせて3点で大気電気パラメータのマルチ観測が実現した。

ラドン観測については観測開始からまだ最長でも2年程度と年周変化や季節変化等を

考察するまでに至っていないが、順調にデータを蓄積している。4 - 3で記述するが、新しいラドンセンサも平成26年6月から平成27年3月まで連続で安定したデータを記録している。

### 降雨と大気電場変動と大気イオン変動について

房総半島清澄観測点の大気電場観測器、大気イオン観測器、気象観測器の変動を比較した。大気電場および大気イオンの変動には日変化があることがわかった。降雨時や雷雲通過時には、大気電場や大気イオンの変動が典型的な日変化パターンから逸脱することがわかった。降雨イベントを基準に Super Epoch Analysis(SEA 解析)を実施したところ、降雨開始に3時間程度前、降雨終了後の3時間程度後まで、大気電場および大気イオンともに大きく変動する傾向があることがわかった。

## (2) 地震 電離圏 大気圏結合の研究

### 地震に先行する電離圏擾乱の統計的解析

地震活動に先行する様々な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、電離圏総電子数(Total Electron Content: TEC)の異常は、短期地震予測の有力な候補として注目を集めている。先行研究によって、中磁気緯度地域の日本における電離圏異常が統計的に調査されている<sup>(1)</sup>。その結果、日本地域では正のTEC異常が有意に出現することが明らかとなっている。先行研究では太陽活動起源の地磁気嵐に起因するTEC変動を除去するために、地磁気嵐のオンセットから、その大きさ別に3~5日間をデータから除去していた<sup>(2)</sup>。しかしより正確な期間を取り除くためには、地磁気嵐期間ではなくそれに基づく電離圏擾乱期間を除去する必要がある。そこで本研究では、地磁気嵐に起因する電離圏擾乱期間を定め解析除外期間とし、地震とTEC異常の関連性を統計的に調査して先行研究と比較した。さらにTEC異常による地震予測がどの程度有効であるか調査するため、Molchan's Error Diagram 解析(MED)を実施した。

日本地域の1998年5月~2013年12月に発生したM 6.0, D 40 kmの地震についてSEA解析を行った結果、地震の1~5日前に有意に正のTECが増加することが分かった。さらに地震の後に発生する正のTECの増加は、大きな地震の後に起こる余震の影響であることが示唆された。また、MED解析の結果、従来手法で求めた地磁気擾乱期間ではなく電離圏擾乱期間を解析対象データから除去した方がより前兆性が高くなり、予測できる確率もあがることがわかった。

### GPS電波を利用した電離圏電子総数(GPSTEC)による電離圏擾乱の同定

ニューラルネットワークベースの電離圏トモグラフィの実データ応用を行った。2000

~2010年に日本付近で40 km以浅で発生したM 6の地震と2011年東北地方太平洋沖地震の53個のうち28個で地震に先行する電離圏擾乱が確認され、そのうちの約半数で震央上空250 km付近にて電子密度の局所的な低下とそれ以上の高度での増加があることを発見した。その発生機構についてグローバルな熱圏・電離圏シミュレーションとの比較を行い、震央付近での水平東向き電場の付加的発生によるE×Bドリフトが電離圏電子密度分布の再配置の有力な機構であることを提案した。

### 地震と大気圏擾乱の解析

衛星搭載マイクロ波放射計等のデータ解析を実施した。夜間MODISデータを利用した地震活動に伴うLST(Land Surface Temperature)の異常検知アルゴリズムの開発を行った。2009年イタリアL'Aquila地震について適用し、地震と大気圏の温度異常の時空間関係を統計的に調査した。その結果、地震の8日前に顕著な温度異常が震央付近で確認できた。これはLisiら(2010)によるAVHRRの解析結果と類似した結果であった。このことは、地震発生の8日前に少なくとも3時間以上継続した温度異常が震央付近に発生した可能性を示した。

### (3)安価で安定なラドン観測装置の開発

従来のラドン濃度測定は地下水あるいは大気中の濃度を測定していた。大気ラドン濃度の標準的測定器はドイツ製のalphaguardという機器である。安定で簡便な測定器であるが、価格が高価というネックがあった。また大気濃度のため一般的に測定値が低い傾向があった。そこで、本研究では大気中にラドンガスが拡散する前にラドン濃度を安定に測定できる装置を開発することにした。開発した測定器では、ラドンおよびその娘核種の壊変後、容器部底面の遮光膜を通過したα線をZnS(Ag)シンチレータを用いて検出する仕組みとなっている。可初したプロトタイプでは比較のため大気ラドン濃度も測定できるようになっている。この装置を房総半島旭観測点に平成26年6月に設置した。この観測点にはalphaguardが設置してあり、大気中のラドン濃度について相対値の比較が容易にできる。平成27年3月まで長期ランニング試験を行った。その結果、大気ラドン濃度については併設したalphaguardとほぼ同じ変動を、地中濃度(散逸濃度)は大気中と比較して1000倍から10000倍程度の濃いことがわかった。9か月のテスト中には特にトラブルもなく順調にデータの収集ができた。今後、放射線医学研究所のラドンチャンバー等で較正試験を行い、性能を評価する予定である。本研究で開発したラドン観測装置は製品化する予定である。

### <参考文献>

(1)Kon, S., et al., Journal of Asian Earth Science, 41, 410-420, 2011,

- <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2010.10.005>
- (2) Liu, J.Y., et al., EMSEV meeting, Oct. 1-3, 2012, Gotemba Japan
  - (3) Hattori, K., et al., EMSEV meeting, Oct. 1-3, 2012, Gotemba Japan,
  - (4) Pulnits, S., et al., Physics and Chemistry of the Earth 01/2006; 31:143-153. 2006.
  - (5) Freund, F., et al., Physics and Chemistry of the Earth, 31, 389-396, 2006
  - (6) Ishido, T., et al., Tectonophysics, 91, 89-104. 1983.

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 4件)

1. 廣岡伸治, **服部克巳**, 残差最小化学習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の性能評価、電気気学会論文誌基礎・材料・共通部門誌、135, 117-123, 2015 (DOI:10.1541/ieejfms.135.117)(査読有り)
2. 國光真由香, **服部克巳**, Peng Ha, J-Y. Liu, 1998年~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、日本大気電気学会誌、84(8-1), 55-56, 2014 (査読なし)
3. 廣岡伸治, **服部克巳**, 市川卓, 地震先行電離圏異常の3次元可視化、日本大気電気学会誌、84(8-1), 59-60, 2014(査読なし)
4. 堤梨花, **服部克巳**, 衛生リモートセンシングデータを利用した地殻活動の監視・予測に関する研究、日本大気電気学会誌、84(8-1), 110-111, 2014(査読なし)

[学会発表](計 25件)

1. 本間彩乃, 韓鵬, **服部克巳**, 劉正彦, 電離圏擾乱の性質と地震に関連する電離圏擾乱の統計研究, 第92回日本大気電気学会研究発表会, 2015年1月9-10日, 千葉
2. **服部克巳**, 千葉大学大学院理学研究科服部研究室 短期地震予測への挑戦, 日本地震予知学会第1回学術講演会, 2014年12月24-25日, 調布(招待講演)
3. Dimitar Ouzounov, Sergey A Pulnits, **Katsumi Hattori**, Toru Mogi, Menas Kafatos, Multi-parameter Observations and Validation of Pre-earthquake Atmospheric Signals, American Geophysical Union 2014 Fall Meeting, December 15-19, 2014, San Francisco, USA, 12/17 NH31B-3860 (Invited)
4. **Hattori, K.**, Hirooka, S., Ichikawa, T., Han, P., Liu, J-Y., Ionospheric disturbance possibly related to the large earthquakes: GPS-TEC and tomographic approaches, 1st CSES Satellite Workshop, November 13-16, 2014, Beijing, China (invited)
5. **服部克巳**, 韓鵬, 海陸宇宙複合観測網による地殻変動準備過程および地下流動の検知・監視技術の開発, 第58回宇宙科学技術連合講演会, 2014年11月12-14日, 長崎
6. **服部克巳**, 日本における人工衛星を用いた

- 地震前兆現象の研究, 関西サイエンス・フォーラム・地震予知研究第8回公開講演会, 2014年10月29日, 大阪(招待講演)
7. **Katsumi Hattori**, Monitoring of subsurface fluid flow and preparation process of large subduction zone activities, Annual Meeting of Chinese Geoscience Union 2014, October 19-23, 2014, Beijing, China
  8. 廣岡伸治, **服部克巳**, トモグラフィーによる電離圏電子密度の3次元可視化, 平成26年電気学会基礎・材料・共通部門大会, 2014年電気学会A部門大会, 2014年8月21日(木)~22日(金), 信州大学
  9. **Hattori, K.**, Kunimisu, M., Han, P., Ichikawa, T., Hirooka, S., Liu, J-Y., Ionospheric anomaly as an earthquake precursor: case and statistical studies during 1998-2012, Int'l The 31th General Assembly of the Int'l Union of Radio Science, 16-23 August 2014, Beijing, China
  10. D. Ouzounov, S. Pulnits, **K. Hattori**, T. Mogi, From cross-disciplinary study of pre-earthquake signals towards multi-parameter observations and prospective validation for short-term alerts. The LAIC approach, Int'l Workshop on Earthquake Preparation Process 2014, August 2, 2014, Sapporo, Japan
  11. **Katsumi HATTORI**, Mayuka KUNIMITSU, Peng HAN, Shinji HIROOKA, Jann-Yenq LIU, Ionospheric anomaly as an earthquake precursor: statistical study during 1998-2012 around Japan, Int'l Workshop on Earthquake Preparation Process 2014, August 2, 2014, Sapporo, Japan
  12. Rika TSUTSUMI, Chie YOSHINO, **Katsumi HATTORI**, Dimitar OUZOUNOV, Monitoring on crustal activities using MODIS data: application to lava and large earthquake activities, Int'l Workshop on Earthquake Preparation Process 2014, August 2, 2014, Sapporo, Japan
  13. Chie Yoshino, **Katsumi Hattori**, Peng Han, Toru Mogi, Tadanori Goto, Ichi Takumi, Multi-sensor monitoring network for earthquake precursors and earthquake preparation process near subduction zone at Boso, Japan, Int'l Workshop on Earthquake Preparation Process 2014, August 2, 2014, Sapporo, Japan
  14. Jann-Yenq LIU, I-Te LEE, Yung-Chi SU, **Katsumi HATTORI**, Yuh-Ing CHEN, Ionospheric Precursors of the 11 March 2011 M9.0 Tohoku Earthquake, Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting, July 28- August 1, 2014, Sapporo, Japan
  15. Dimitar OUZOUNOV, Sergey PULINETS, **Katsumi HATTORI**, Toru MOGI, Menas KAFATOS, Evaluation of Pre-earthquake

- Atmospheric Signals and Their Connection with Major Seismicity, Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting, July 28- August 1, 2014, Sapporo, Japan
16. Shinji HIROOKA, **Katsumi HATTORI**, Takashi ICHIKAWA, Three-dimensional Structure of Pre-seismic Ionospheric Anomalies, Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting, July 28- August 1, 2014, Sapporo, Japan
17. Mayuka KUNIMITSU, **Katsumi HATTORI**, Peng HAN, Shinji HIROOKA, Jann-Yenq LIU, Ionospheric Anomaly as an Earthquake Precursor : Statistical Study During 1998-2012 Around Japan, Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting, July 28- August 1, 2014, Sapporo, Japan
18. Rika TSUTSUMI, Chie YOSHINO, **Katsumi HATTORI**, Dimitar OUZOUNOV, Monitoring on Crustal Activities Using MODIS Data : Application to Lava and Large Earthquake Activities, Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting, July 28- August 1, 2014, Sapporo, Japan
19. **Katsumi HATTORI**, Shinji HIROOKA, Takashi ICHIKAWA, Chie YOSHINO, Ionospheric Anomalies Possibly Preceding Large Earthquakes in Japan: Tomographic Approach, Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting, July 28- August 1, 2014, Sapporo, Japan
20. 廣岡伸治, **服部克巳**, 市川卓, 地震先行電離圏異常の3次元可視化に関する研究, 日本地球惑星科学連合2014年大会, 2014年4月28日—5月2日, 横浜
21. 國光真由香, **服部克巳**, Han Peng, 劉正彦, 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, 日本地球惑星科学連合2014年大会, 2014年4月28日—5月2日, 横浜
22. **Katsumi Hattori**, Shinji Hirooka, Takashi Ichikawa, 3D analysis of Ionospheric anomalies preceding large earthquakes in Japan: tomographic approach, European Geosciences Union, General Assembly 2014, April 27-May 2, 2014, Vienna, Austria
23. Dimitar Ouzounov, Sergey Pulinet, Valerio Tramutoli, Lou Lee, Tiger Liu, **Katsumi Hattori**, Menas Kafatos Testing new methodologies for short-term earthquake forecasting: Multi-parameters precursors, European Geosciences Union, General Assembly 2014, April 27-May 2, 2014, Vienna, Austria
24. 堤梨花, **服部克巳**, MODIS データを用いた地殻活動の監視・予測に関する研究, 第16回環境リモートセンシングシンポジウム, 2014年2月21日, 千葉大, 千葉
25. **服部克巳**, 廣岡伸治, 市川卓, 大塚雄一, 電離圏電子密度トモグラフィー開発と地

震先行電離圏擾乱の発生機構の検討, 第16回環境リモートセンシングシンポジウム, 2014年2月21日, 千葉大, 千葉  
〔図書〕(計 1件)

1. 電気学会自然災害軽減のための早期警戒システムと電磁界技術調査専門委員会編、自然災害軽減のための早期警戒システムと電磁界技術、電気学会技術報告第1315号、(**服部克巳**: 第1章、第4章(4.1, 4.2, 4.3, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 (p.3, p.29-42, p. 63-78)分担執筆 )、 pp.94, 2014年8月

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0件)  
取得状況(計 0件)

〔その他〕  
特になし。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

**服部 克巳** (HATTORI Katsumi)  
千葉大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号: 60244513

### (3) 連携研究者

山本 勲 (YAMAMOTO Isao)  
岡山理科大学・工学部・名誉教授  
研究者番号: 50090220

蜷川 清隆 (NINAGAWA Kiyotaka)  
岡山理科大学・理学部・教授  
研究者番号: 80098590

下 道國 (SHIMO Michikuni)  
藤田保健衛生大学・医学系研究院・名誉教授  
研究者番号: 90023209