

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540485

研究課題名(和文) 新発想による稠密GPS網の新しい利用法の開拓

研究課題名(英文) Exploration of non-standard applications of dense GPS arrays

研究代表者

日置 幸介 (Heki, Kosuke)

北海道大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30280564

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：衛星測位システム(GNSS)の稠密観測網を用いて、地殻変動以外の様々な分野における利用方法を開拓した。日本列島の稠密GPS網で得られた水蒸気量(可降水量)の1990年代から現在にいたる時系列を解析し、ENSO等に起因する日本列島の暖冬を反映した水蒸気量の異常等を見出した。複数の周波数における搬送波位相の差から電離圏全電子数を観測し、ロケットの排気による電子数減少を利用したミサイルの軌道推定に成功した。さらにEs層の二次元マッピングを行い、地震直前に生じる電子数の増加などの新しい現象も見出した。

研究成果の概要(英文)：New applications, other than crustal deformation, have been explored using dense arrays of GNSS receivers. Long-term changes of precipitable water vapor over Japan has been measured with GNSS, and several climate change episodes have been detected. GNSS can observe ionospheric total electron content by comparing two carrier phases. We not only detected the missile trajectories by ionospheric electron depletion due to rocket exhaust, we drew 2-D maps of Es irregularities, and found new phenomena such as preseismic electron enhancements.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：固体地球物理学

キーワード：GNSS GPS 可降水量 電離圏全電子数 ロケット スポラディックE 地震前兆 マルチパス

1. 研究開始当初の背景

我が国に GPS 稠密観測網が整備され、地殻変動観測に威力を発揮していたが、マイクロ波が通過する大気の状態やアンテナ周囲の環境計測という新たな応用が芽生えつつあった。

2. 研究の目的

稠密 GPS 観測網を用いて、マルチパスを用いたアンテナ周辺環境の計測、中性大気遅延から推察される大気可降水量の計測、キャリア位相差を用いた電離圏全電子数計測、等の新たな応用分野を開拓する。

3. 研究の方法

研究に必要な GPS データは、国内外を問わずオンラインで簡単に入手できる。本研究では新たに購入した計算機を用いてソフトウェアの開発を行った。また発表や議論の場としての国内外の学会・研究会に出席し、論文を多数出版した。

4. 研究成果

アンテナに入射する直接波と反射波の干渉 (マルチパス) を用いて積雪深度や潮位を図る手法を開拓し、それぞれ論文とした。過去の日本列島上空の可降水量の長期的変動から様々な気候変動のシグナルを見出した。電離圏全電子数の計測手法を用いて北朝鮮から発射されたロケットの航跡をとらえることに成功した。またスプラディック E 層の二次元的なマッピングに初めて成功した。地震前に電離圏全電子数が上昇する現象を見出した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

1. Maeda, J. and K. Heki, Two-dimensional observations of mid-latitude sporadic-E irregularities with a dense GPS array in Japan, *Radio Sci.*, 49, 1-8, doi:10.1002/2013RS005295, 2014 (査読あり).
2. 中島悠貴、日置幸介、マルチパスを利用した GPS 潮汐計、*測地学会誌*, 59, 157-162, 2013* (査読あり). *2014 年 3 月刊行
3. Heki, K. and Y. Enomoto, Preseismic ionospheric electron enhancements revisited, *J. Geophys. Res.*, 118, 6618-6626, doi:10.1002/jgra.50578., 2013 (査読あり).
4. Cahyadi, M. N. and K. Heki, Ionospheric disturbances of the 2007 Bengkulu and the

2005 Nias earthquakes, Sumatra, observed with a regional GPS network, *J. Geophys. Res.*, 118, 1-11, doi:10.1002/jgra50208, 2013 (査読あり).

5. Ozeki, M. and K. Heki, GPS snow depth meter with geometry-free linear combinations of carrier phases, *J. Geodesy*, 86, 209-219, doi:10.1007/s00190-011-0511-x, 2012 (査読あり).
6. Mitsui, Y. and K. Heki, Observation of Earth's free oscillation by dense GPS array: After the 2011 Tohoku megathrust earthquake, *Sci. Rep.*, 2, 931, doi:10.1038/srep00931, 2012 (査読あり).
7. 吉田清人、日置幸介、GPS 気候学：日本列島の可降水量の長期的変動、*測地学会誌*, 58 巻, 4 号, 141-152, 2012 (査読あり).
8. Heki, K., A Tale of two earthquakes, *Science*, 332, 1390-1391, 2011 (査読なし).
9. Heki, K., Ionospheric electron enhancement preceding the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L17312, doi:10.1029/2011GL047908, 2011 (査読あり).
10. Astafyeva, E. and K. Heki, Vertical TEC over seismically active region during low solar activity, *J. Atm. Terr. Phys.*, 73, 1643-1652, 2011 (査読あり).

[学会発表] (計 52 件)

1. Heki, K., Non-standard applications of a dense GNSS network, Seminar at Chalmers Univ. Tech., Gothenburg, Sweden, Jan. 29, 2014.
2. Heki, K., On the precursor of the 2011 Tohoku-oki earthquake: Fake or true?, Seminar at Onsala Space Obs., Sweden, Jan. 30, 2014.
3. Heki, K., Did Upper Atmosphere Know the Occurrence of the 2011 Tohoku-Oki Earthquake in Advance?, JSPS-USA Alumni Symposium, Washington DC, USA, Feb. 21, 2014.
4. Heki, K., Dense GNSS network as a sensor of lithosphere, troposphere, and ionosphere, The 2nd Japan-Bulgarian Scientific Conference, Sofia, Bulgaria, Mar. 26-27, 2014.
5. 中島悠貴、日置幸介、GPS 潮汐計の開発と QZSS/GLONASS のデータ活用への展望、GPS 大学連合・地殻変動連続観測 研究集会、静岡大学理学部、静岡、Mar. 30, 2013.
6. 前田隼、日置幸介、GPS-TEC 法によるスプラディック E 層の探索、GPS 大学連合・地殻変動連続観測 研究集会、静岡大学理学部、静岡、Mar. 30, 2013.
7. Cahyadi, M.N. and K. Heki, Focal

- mechanism dependence of coseismic ionospheric disturbance waveforms revisited: Strike-slip, normal, and reverse fault, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会、幕張メッセ、千葉、May 19-24, 2013.
8. 前田隼、日置幸介、GPS TEC 観測によるスプラディック E 層の観測と水平・垂直面構造の推定、日本地球惑星科学連合 2013 年大会、幕張メッセ、千葉、May 19-24, 2013.
 9. 中島悠貴、日置幸介、マルチパスによる GPS 潮汐計、日本地球惑星科学連合 2013 年大会、幕張メッセ、千葉、May 19-24, 2013.
 10. 吉田清人、日置幸介、GEONET F3 解に含まれる大気遅延量及び大気遅延勾配のオフセット、日本地球惑星科学連合 2013 年大会、幕張メッセ、千葉、May 19-24, 2013.
 11. Heki, K., M. N. Cahyadi, Y. Nakashima, and J. Maeda, Dense GNSS array for early warning of earthquakes and missile launches, Scientific Assembly of International Association of Geodesy, Potsdam, Germany, Sep. 2-6, 2013.
 12. 日置幸介、榎本祐嗣、再び地震直前の電離圏電子数上昇について、地震学会秋季大会、神奈川県民ホール、神奈川、Oct.7-9, 2013.
 13. Heki, K., Preseismic ionospheric electron enhancement, revisited, International Symposium of Asia-Pacific Space Geodynamics, Ohio State Univ., Columbus, USA, Oct. 14-17, 2013. (invited)
 14. 日置幸介、榎本祐嗣、再び地震直前の電離圏電子数上昇について、測地学会秋季大会、国立極地研究所、東京、Oct.29-31, 2013.
 15. 中島悠貴、日置幸介、マルチパスによる GPS 潮汐計、日本測地学会秋季大会、国立極地研究所、東京、Oct. 29-31, 2013.
 16. Cahyadi, M. N. and K. Heki, The amplitudes of the near-field coseismic ionospheric disturbances and their relationship with seismic moments, 日本測地学会秋季大会、国立極地研究所、東京、Oct. 29-31, 2013.
 17. 日置幸介、中島悠貴、前田隼、2012 年 12 月に北朝鮮から発射されたロケットがもたらした電離圏の穴：ロシアの測位衛星による観測、日本測地学会秋季大会、国立極地研究所、東京、Oct. 29-31, 2013.
 18. 日置幸介、榎本祐嗣、再び地震直前の電離圏電子数上昇について、SGEPSS 秋季大会、高知大学、高知、Nov.2-5, 2013.
 19. 日置幸介、中島悠貴、前田隼、2012 年 12 月に北朝鮮から発射されたロケットがもたらした電離圏の穴：ロシアの測位衛星による観測、SGEPSS 秋季大会、高知大学、高知、Nov. 2-5, 2013.
 20. 前田隼、日置幸介、夕刻時における中緯度スプラディック E 層の水平面構造の時
 - 間変化、SGEPSS 秋季大会、高知大学、高知、Nov. 2-5, 2013.
 21. Cahyadi, M. H. and K. Heki, The scaling law of the near-field coseismic ionospheric disturbances, American Geophys. Union Fall Meeting, San Francisco, USA, Dec. 9-13, 2013.
 22. Nakashima, Y. and K. Heki, Ionospheric hole made by a North Korean rocket launched in 2012 December: Observation with the Russian GNSS, American Geophys. Union Fall Meeting, San Francisco, USA, Dec. 9-13, 2013 (oral).
 23. 日置幸介、地震直前の電離圏全電子数の正異常：昨年秋以降の進展、東京大学地震研究所特定共同研究(B)「青い地球の地震学」、東京大学地震研究所、東京、Feb.21, 2012.
 24. 日置幸介、大地震に先行する電離圏の異常：GPS-TEC 法による観測、電子情報通信学会 2012 年総合大会、岡山大学、岡山、
 25. 日置幸介、巨大地震の約一時間前に発生する電離圏全電子数の異常、日本学術振興会プラズマ材料科学第 153 委員会第 105 回研究会、弘済会館、東京、Apr.17, 2012 (invited).
 26. Kuo, C. L., L. C. Lee, J. D. Huba, and K. Heki, Preseismic TEC changes for Tohoku-Oki earthquake in comparisons between simulations and observations, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会、幕張メッセ、千葉、May 20-25, 2012.
 27. Cahyadi, M. N. and K. Heki, Ionospheric disturbances of the 2005 Nias and the 2007 Bengkulu Earthquakes by GPS-TEC, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会、幕張メッセ、千葉、May 20-25, 2012.
 28. Cahyadi, M. N. and K. Heki, Preseismic TEC anomalies of the 2004 Sumatra-Andaman and the 2007 Bengkulu earthquakes from GNSS data, AOGS-AGU(WPGM) joint assembly, Resorts World Convention Centre, Singapore, Aug.13-17, 2012.
 29. Heki, K., TEC enhancement immediately before M9 mega-thrust earthquakes, 39th Scientific Assembly of the Committee on Space Research (COSPAR), Jul. 14-22, Mysore, India, 2012 (invited).
 30. 日置幸介、巨大地震直前に生じる電離圏の変動、第二回地震予知研究シンポジウム、大阪国際会議場、大阪、Sep.29, 2012.
 31. 前田隼、日置幸介、GPS-TEC 法によるスプラディック E 層の観測、地球電磁気・地球惑星圏学会第 132 回講演会、札幌コンベンションセンター、北海道、Oct.20-23, 2012.
 32. Cahyadi, M. N., 日置幸介, Ionospheric disturbances of large earthquakes in Sumatra by GPS-TEC: The 2004 (Sumatra-Andaman),

- 2007 (Bengkulu) and 2012 April 11 earthquakes, 日本測地学会秋季大会、仙台市福祉プラザ、宮城、Oct.31-Nov.2, 2012.
33. Heki, K., Ionospheric electron anomalies preceding the 2011 Tohoku-Oki and other large earthquakes, 地震と津波に関する日仏セミナー、フランス大使館、東京、Nov. 13-14, 2012.
 34. Heki, K. and M. N. Cahyadi, Precursory changes in ionosphere immediately before megathrust earthquakes, AGU Fall Meeting, San Francisco, Dec. 3-7, 2012.
 35. 日置幸介、中島悠貴、マルチパスを用いた GPS 潮汐計、H24 年度東京大学地震研究所特定共同研究 (B)「精密重力観測のための陸水補正法の開発と適用」重力と水ワークショップ場所、東濃地震科学研究所、岐阜、Dec.18-19, 2012.
 36. 日置幸介、2011 年東北地方太平洋沖地震の直前に起こった電離圏全電子数の正の異常、日本地球惑星科学連合 2011 年大会、幕張メッセ、千葉、May 22-27, 2011.
 37. 吉田清人、日置幸介、GPS 気象学的アプローチでジオイドの傾きを測る、日本地球惑星科学連合 2011 年大会、幕張メッセ、千葉、May 22-27, 2011.
 38. 日置幸介、地震 40 分前に始まった TEC の正異常：2010 年チリ地震および 2004 年スマトラ地震との比較、第 62 回地震電磁気セミナー、日本科学未来館、東京、May 28, 2011.
 39. Yoshida, K. and K. Heki, GPS climatology with GEONET: Long term behaviors of atmospheric delays and bias in their gradients reflecting the tilt of geoid, IUGG General Assembly, session JG01 (poster), Melbourne, Australia, Jun. 28-Jul7., 2011.
 40. Heki, K., Preseismic TEC increase above the focal region of the 2011 Tohoku earthquake: the best-recorded earthquake precursor in the history?, 8th Annual Meeting of AOGS, Taipei, Republic of China, Aug.8-12, 2011.
 41. 日置幸介、地震約 40 分前に始まった正の TEC 異常について、平成 23 年東北地方太平洋沖地震に関する成果報告シンポジウム、トラストシティカンファレンス・仙台、宮城、Aug.20, 2011.
 42. 日置幸介、大関優、GPS 積雪計：総集編、H23 東京大学地震研究所特定共同研究 (B)「精密重力観測のための陸水補正法の開発と適用」重力と水ワークショップ、国立天文台水沢 VLBI 観測所、岩手、Sep. 15, 2011.
 43. Heki, K., Precursory TEC enhancement immediately before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, 2nd International DEMETER Workshop, CNES Headquater, Paris, Oct. 10-12, 2011. (invited)
 44. Heki, K., Dense GPS array as a sensor of lithosphere, atmosphere, and ionosphere, IGP seminar, Univ. Paris Diderot, Paris, 14 Oct., 2011.
 45. Heki, K., Dense GPS array as a sensor of lithosphere, atmosphere, and ionosphere, Seminar at Graduate Univ. Chinese Acad. Sci., Beijing, 16 Oct., 2011.
 46. Heki, K., Ionospheric electron enhancement before the 2011 Tohoku-Oki eq. detected with a dense GPS array, 中国地球物理学会第 27 回年会, 17-21 Oct., 長沙、中国, 2011. (invited)
 47. 日置幸介、地震直前の TEC 異常に関する FAQ と回答、日本測地学会第 116 回講演会、高山市民文化会館、岐阜、26-28 Oct., 2011.
 48. 吉田清人、日置幸介、大気遅延勾配の時空間的な構造について、日本測地学会第 116 回講演会、高山市民文化会館、岐阜、26-28 Oct., 2011.
 49. Cahyadi, M. N., 日置幸介、GPS-TEC でみた 2005 年 Nias 地震および 2007 年 Bengkulu 地震に伴う電離圏擾乱、日本測地学会第 116 回講演会、高山市民文化会館、岐阜、26-28 Oct., 2011.
 50. 日置幸介、2011 年東北沖地震の直前に起こった TEC の正異常について、SGEPSS 秋季大会、神戸大学、兵庫、3-6 Nov., 2011 (invited).
 51. Heki, K., GPS array as a sensor of lithosphere, troposphere, and ionosphere, Bowie Lecture, AGU Fall Meeting, San Francisco, 5-9 Dec., 2011 (invited).
 52. Heki, K., Precursory TEC enhancement immediately before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, AGU Fall Meeting, San Francisco, 5-9 Dec., 2011.
- [図書] (計 0 件)
- [産業財産権]
- 出願状況 (計 0 件)
- 名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年月日：
 国内外の別：
- 取得状況 (計 0 件)
- 名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 取得年月日：
 国内外の別：

[その他]

ホームページ等

<http://www.ep.sci.hokudai.ac.jp/~heki>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

日置 幸介 (HEKI, Kosuke)

北海道大学・理学研究院・教授

研究者番号：30280564

(2) 研究分担者 なし

()

研究者番号：

(3) 連携研究者 なし

()

研究者番号：