

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 7 月 15 日現在

機関番号：23803

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02058

研究課題名(和文) 測位衛星全電子数観測による早期津波予測システム

研究課題名(英文) Tsunami early warning system using GNSS TEC observation

研究代表者

鴨川 仁 (KAMOGAWA, MASASHI)

静岡県立大学・その他部局等・特任准教授

研究者番号：00329111

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、津波電離圏ホールの発生機構の解明および津波電離圏ホール検出による早期津波予測技術の開発である。津波によって発生したインフラソニック波は電離圏下部のE領域を通過時に電離圏擾乱を発生させ、電離圏内に電流を生じさせる。さらにインフラソニック波はF領域に到達し津波電離圏ホールを発生させる。津波電離圏ホールのサイズ等は、津波の初期波源に依存する。そのため、津波電離圏ホールから初期波源を導出することが可能となる。本研究において簡易的な初期波源の導出を試み、到来津波が実測にどの程度合うか評価した。2011年東北地方太平洋沖地震時の解析においては、概ね沿岸部の波高は再現できることは確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

早期津波予測は多種多様な技術によって実用性が高まると考えられる。本研究では、地震学的には直ちにマグニチュードが決定できない超巨大地震(マグニチュード8以上)によって発生する早期津波予測技術に貢献する研究である。とりわけ、本技術は津波が発生してから沿岸到来まで20分以上かかるような津波には有効な予測手段になると期待される。同時に、本研究が対象としている津波電離圏ホールや、関連電離圏擾乱研究が本研究を通して明瞭になった。これらの研究成果は宇宙地震学という新たな分野に貢献すると期待される。

研究成果の概要(英文)：We studied the physical mechanism of tsunami ionospheric hole and apply its detection to the early warning system of tsunami arrival. Once the tsunami occurred in the large earthquake, infrasonic waves were excited. The waves propagated into the ionosphere. When the waves arrived at the ionospheric E regions, the ionospheric disturbances generated by the infrasonic waves caused the ionospheric current. The current generated the geomagnetic variations. The, the waves arrived the ionospheric F regions, the tsunami ionospheric hole occurred. From the size estimation of the tsunami ionospheric hole, we can estimate the initial tsunami distribution. In our preliminary estimation of the 2011 Tohoku Earthquake, we roughly replicated the tsunami height near the coast.

研究分野：地球電磁気学

キーワード：津波 津波電離圏ホール 電離圏 地磁気 インフラソニック波 全電子密度 測位衛星

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2004年スマトラ沖地震では約23万人、2011年東北地方太平洋沖地震では約2万人の死者が発生した。その多くは津波による被害とみられ、津波対策先進国と考えられていた日本での多くの死者は今後への課題を示した。被害が増大した主要原因として考えられるのはM8以上の地震については到来津波高を避難可能時間までに地震波データで算出できなかったことであろう。また海底ケーブルなどを用いた沖合における海底津波計観測網やGPS海洋ブイも現時点では一部の領域に限られており、稠密かつ広域のネットワーク化へは膨大な予算と手間を要する。日本と同じく津波災害に悩まされるアジア諸国にて、同様な観測網を実現するにはさらに時間がかかると考えられる。

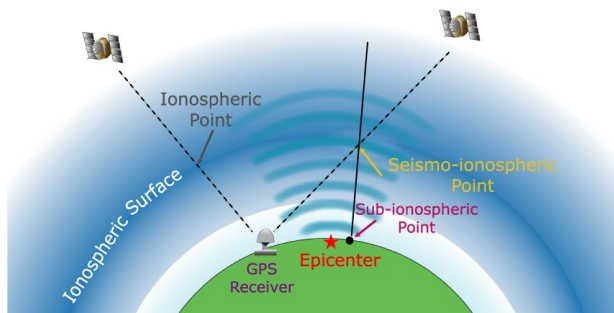


図1 測位衛星全電子数測定方法と地震・津波によって発生した音波・重力波。

GPS等の測位衛星からの2周波を受信点にて電波位相差測定をすると伝搬経路中の電離圏全電子数(TEC)が算出できる。これにより複数の受信点と衛星から、電離圏のプラズマ変動を広くモニターできる。全電子数変動は、電離圏F領域高度250~300kmの電離圏内最大電子密度の変動を概ね示している。一方、大規模な地震、火山の噴火、津波、地滑りは、地球表面の変動で大気中の音波・重力波を励起し、9分前後で電離圏まで伝わる(図1)。大地震時の電離圏変動は、HFドップラーという観測方法にて1960年代から観測されていた。そして、GPSで電離圏の全電子数測定ができるようになってからは、空間的にこれらの現象が解明され、研究代表者のグループでも電離圏データを用いた震央決定や津波伝搬検知に成功している。

さらに世界各地のGPSデータが無償で公開されていることも研究を後押しし、研究代表者らのグループのみならず北海道大、京都・名古屋大・情報通信機構、フランスのパリ地球物理研究所(IPGP)、東京大地震研と数多くのグループが本研究を推進している。本現象は既存のインフラであるGPS受信データのみで早期津波予測技術へつながる期待があるため、かねてから注目を集めていた。しかしながら、従来の地震・津波電離圏擾乱の検知方法では、発生地震のマグニチュードや津波のサイズを知ることは難しく、早期津波予測技術としては実用とならなかった。これは、励起された音波・重力波の数分周期の波の振幅だけでは複数の波の重なりと地磁気の影響も作用し、規模が推測できないためである。

研究代表者らは2011年東北地方太平洋沖地震で震央上部の電離圏の電子密度が約1時間に渡り大きく減少していることを発見し、それが津波発生後の海面の沈降によって生じていることを他の海溝型巨大地震との比較から突き止め、本現象を津波電離圏ホールと名付けた(図2)。その後、仏IPGPグループは世界中の津波を伴う大地震について精査し、そのほとんどで津波電離圏ホールが検知されることを報告した。また、情報通信研究開発機構(NICT)の品川裕之博士らによって津波電離圏ホールが二次元電離圏シミュレーションで定性的に再現された(Shinagawa et al., GRL, 2013)。

津波電離圏ホールは、海面の沈降が津波のサイズに関係し、電離圏電子密度減少規模が海面の沈降量に関係すると予想されたため、津波シミュレーション研究で報告されている初期津波高と全電子数減少率の関係を日本における津波を伴う複数の大地震で求めた(図3; Kamogawat et al., SREP, 2016)。その結果、単調増加な相関が得られたため、全電子数観測間隔的な初期津波高二次元分布を推定できると予想される。従って、これらの推定ができれば、10分強のタイムラグの範囲で近地津波の早期予測へ近づくと期待される。

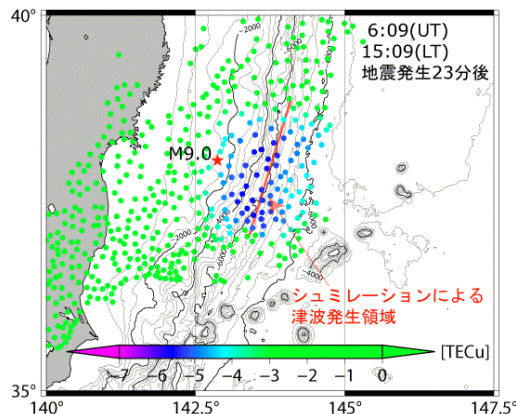


図2 2011年東北地方太平洋沖の津波電離圏ホール。震央は で津波発生領域は””で描かれている。

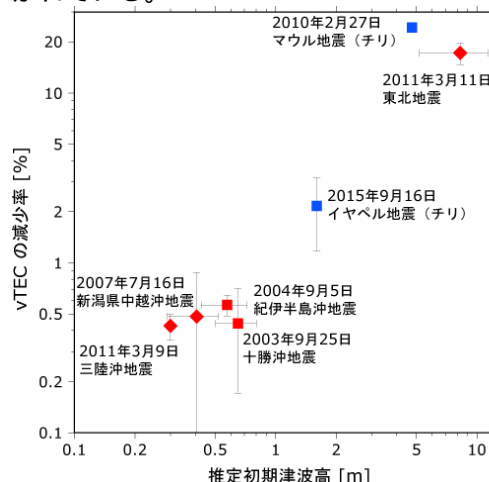


図3 文献で得られた初期津波高に対する電離圏全電子数の減少量率。

2. 研究の目的

本研究は、海溝型巨大地震発生約9分以降に生じる津波電離圏ホール（測位衛星受信点から衛星までの視線方向に対する電離圏全電子数）測定で、早期津波予測技術の基礎開発をめざす。津波電離圏ホールとは広域かつ1時間程度発生する電離圏プラズマ密度の減少で、研究代表者らの先行研究により、減少量は発生した初期津波高に概ね相関があることがわかった。本研究では、全電子数変動以外に電離圏変動が測定できる多種の地球電磁氣的観測データも活用し、津波電離圏ホールのメカニズム解明と精度の高いシミュレーションプログラムを構築する。シミュレーションを用いて空間的な全電子数減少量から初期津波高分布を求める手法の開発及び過去のGPSデータを用いた遡及的な津波予測を行い、本予測手法を評価する。

3. 研究の方法

電離圏F領域のプラズマ変動が観測できる全電子数測定のみならず、多種の地球電磁氣的データを用いて、津波電離圏ホールによるプラズマダイナミクスを明らかにする。その成果を用いて、先行研究で用いられていた磁力線面のみを考慮した二次元の津波電離圏ホールシミュレーションを発展させ、観測とシミュレーションの一致を確認する。全電子数減少率から初期津波高を導出する応答関数を求め、予測アルゴリズムを構築し、過去GPSデータを用いて予測を遡及的に試みる。算出時間や決定精度などの評価から本予測手法の適応可能範囲を明らかにする。

4. 研究成果

本研究の解析事例はすべて2011年東北地方太平洋沖地震で行った。地震時には磁気嵐が発生しており、津波・地震起源の地球電磁氣的変動を調査するには磁気嵐起源の変動を除去することが以下の研究において大きな作業となった。まず津波電離圏ホールのダイナミクスをするためにE領域での変動を地表磁場観測データにて調査した(図5)。申請時の時点で下記の3つの変動(図4)があることが予想はされていたが磁気嵐による変動の除去が大きな目的となる。

- 1) 地震起源の沿磁力線電流の立証（日本の地磁気共役点になるオーストラリアにおいても変動の検出）(図6)
- 2) 地表を伝搬するレイリー波起因の電離圏内弧状振動電流の検知
- 3) 津波発生上部に発生する電離圏E領域環状電流（津波伝搬が海中に作る電流起因の磁場変動（津波ダイナモ）成分とは異なる）

本研究では1)と2)に特化して研究を行い、現象の存在を明確化させた。

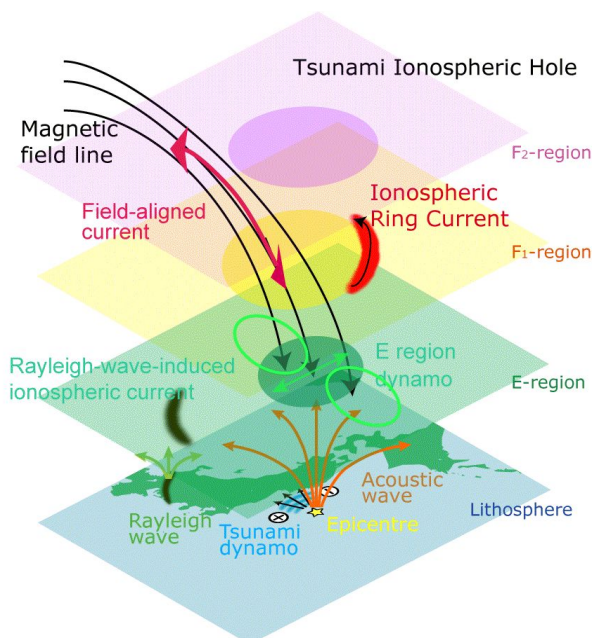


図4 地震・津波起源の地球電磁氣的変動の概略図。津波電離圏ホール、沿磁力線電流、電離圏弧状電流、津波ダイナモによる海中内電流などのさまざまな電磁氣的変動が生じている。

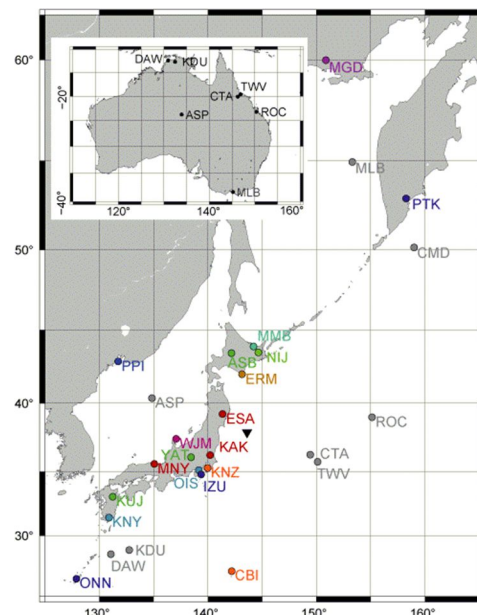


図5 解析に用いた地球磁場観測地点

また、本研究において簡易的な初期波源の導出を試み、到来津波が実測にどの程度合うか評価した。2011年東北地方太平洋沖地震時の解析においては、概ね沿岸部の波高は再現できることは確認できた。

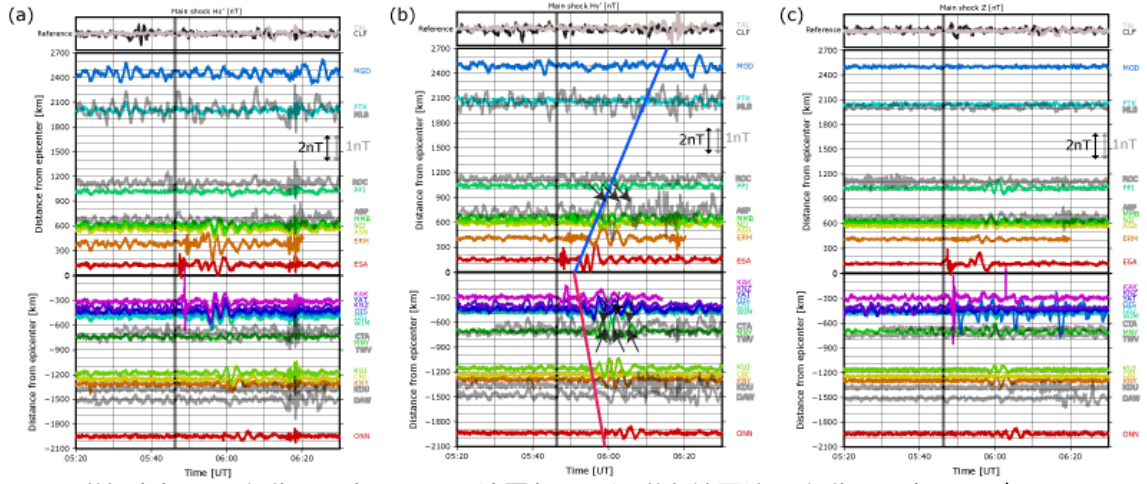


図6 磁気嵐起源の変動を最小限にし、地震起源の沿磁力線電流の変動（日本およびその周辺と地磁気共役点のオーストラリア）。(a) 南北, (b), 東西, (c) 鉛直の磁場方向。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 D. M. Smith, G. S. Bowers, M. Kamogawa, D. Wang, T. Ushio, J. Ortberg, J. R. Dwyer	4. 巻 123
2. 論文標題 Characterizing upward lightning with and without a terrestrial gamma-ray flash	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Geophys. Res.	6. 最初と最後の頁 11321-11332
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2018JD029105	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Masashi Kamogawa, Yuto Tomida, Tomoya Ishkawa, Takuma Tsuruda, Hiroyuki Shinagawa, Takuya Tsugawa, Michi Nishioka, Atsushi Toyoda, Yoshihito Tanaka, and Tetsuo Sakurada
2. 発表標題 A possible tsunami early warning system using GNSS-TEC observation
3. 学会等名 International Tsunami Symposium（国際学会）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----