

B会場 | 一般セッション：S11. 地震に伴う諸現象

📅 2019年9月18日(水) 15:15 ~ 16:15 | 📍 B会場 国際科学イノベーション棟シンポジウムホール
[S11]PM-1

座長:古本 宗充(東濃地震科学研究所)、小村 健太郎(防災科学技術研究所)

15:15 ~ 15:30

[S11-01] 強力な衝撃的鉛直地震動は大規模な地滑りの発生に影響はないのだろうか

*前原 博¹ (1. 地球システム総合研究所)

15:30 ~ 15:45

[S11-02] 3Dトモグラフィーによる東北沖地震直前直後の電離圏電子密度異常の空間分布

*日置 幸介¹、Muafiry Ihsan-Naufal² (1. 北海道大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、2. 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻)

15:45 ~ 16:00

[S11-03] やや長周期の表面波の通過に同期した地磁気変動

*古本 宗充¹、村上 理¹、浅井 康広¹ (1. 東濃地震科学研究所)

16:00 ~ 16:15

[S11-04] 地震に伴った”渦巻く雲”の実体

*榎本 祐嗣¹、山辺 典昭¹、杉浦 繁貴²、近藤 斎² (1. 信州大学、2. (株)コンポン研究所)

強力な衝撃的鉛直地震動は大規模な地滑りの発生に影響はないのだろうか What are Possibilities of Influencing of the Strong Vertical Impulsive Seismic Motions on the Occurrence of Grate Landslides ?

*前原 博¹

*Hroshi Mehara¹

1. 地球システム総合研究所

1. Geosystem Research Institute

強力な鉛直地震動が構造物を損壊させる事は、120年程も前に海震の震度階表（ルドルフの表[1898]，シーベルグの表[1923]）が作られていたことから知られていた筈だが，ここ60年程陸の地震関係者はそのことを忘れていたようで，船舶工学者から「地震で船舶が損壊する時の地震波は疎密波であることは常識である。」と，兵庫県南部地震の被害事例を見直している時にこの指摘を受けた。

それまで，構造物の破壊経過と体験証言を基に，構造物を破壊する強力な鉛直地震動が存在することを証明しようと活動していたが，問題の地震波形がまだ正確には観測できていない事から，なかなか理解が浸透しにくかった。ところが海震度階級表と船舶工学者の指摘を紹介すると雰囲気は大きく変わり始めた。しかしながら，構造物を破壊する威力を持つ鉛直地震動による被災事例を調べるにつれ，その現象の複雑さと捉えにくさも明らかになってきた。最近感じている視点から，問題の波の特徴を掻い摘んで表すと次のようになる。

1. 従来の地震計では捉えられない高周波だが破壊力も持つ疎密波の地震動である。
2. 地震の主體的な面と随伴的な面の両面性を持つ現象である。
3. 被害形態が線状で百m程の場合もあるが，多くは局在波の突き上げ力による被害形態を示す。
4. 波形頭部の外形が平坦な場合とか，釣鐘型の場合もある。
5. 衝撃的な鉛直波動と構造物の状態により被害形態は多様性を示す。
6. 強力な鉛直波動が主震動より3分程後に生じる場合等（後発鉛直キラーパルス）がある。
7. 発震原因は岩盤の割れでなく，物質の相変化によると予想される。

以上のような特徴を踏まえて，大規模な地滑りの被害が生じた事例を見直してみる。岩手・宮城内陸地震では荒砥沢ダム上流で大規模な地滑りが生じた(図1(a))。この地震では，1.一の関西の地震計の鉛直震動は3866galの過去最大の記録値が得られた。しかしこの記録の解釈には，ある地層幅を持って地盤が持ち上がるトランポリン効果が想定されている。2.それは鉛直波動による突き上げ作用が地表近くで増幅されたことを連想させる。3.震源断層は鉛直に近い形状で逆断層の動きを示す。4.県境に近い栗駒衣川線沿い河川のブロック護岸に，かなり長い水平亀裂が複数箇所ある。以上の事象から軽石層の存在だけが被害の規模を大きくしたのではなく，巨大な威力の鉛直地震動の影響が加わった事が予想される。

次に北海道胆振東部地震では広範囲に亘り，一定の方向性が見られない，山の斜面の滑り崩壊が生じた(図1(b))。ここでは火山灰層の存在が斜面崩壊の特徴をなすものと考えられている。しかし震源断層は深さ16km以深と深いものの，鉛直面に近い状況で，逆断層の動きが顕著である。明確な鉛直地震動によるとみられる災害事例は未確認であるが，斜面崩壊の形態と震源断層の特性から，強力な鉛直地震動が散在的に作用した可能性は高いと思われる。

このような大規模な地滑りを起こすことに関与する，鉛直地震動の威力は大きいことが予想され，安全対策上，観測体制を工夫することはもちろん，詳しい調査と解析が望まれる。



(a) 荒戸沢ダム上流の大地滑り¹⁾



(b) 胆振東部山地 広域地滑り²⁾

(a) 岩手・宮城内陸地震 (2008. M7.2)

1) なみふる No.114,p4,井上先生の報文写真1を加工

(b) 北海道胆振東部地震 (2018. M6.7)

2) 国際航業(株)提供写真資料を加工

3Dトモグラフィーによる東北沖地震直前直後の電離圏電子密度異常の空間分布

Tomographic study of 3D distribution of the ionospheric electron density anomalies before and after the 2011 Tohoku-oki eq.

*日置 幸介¹、Muafiry Ihsan-Naufal²

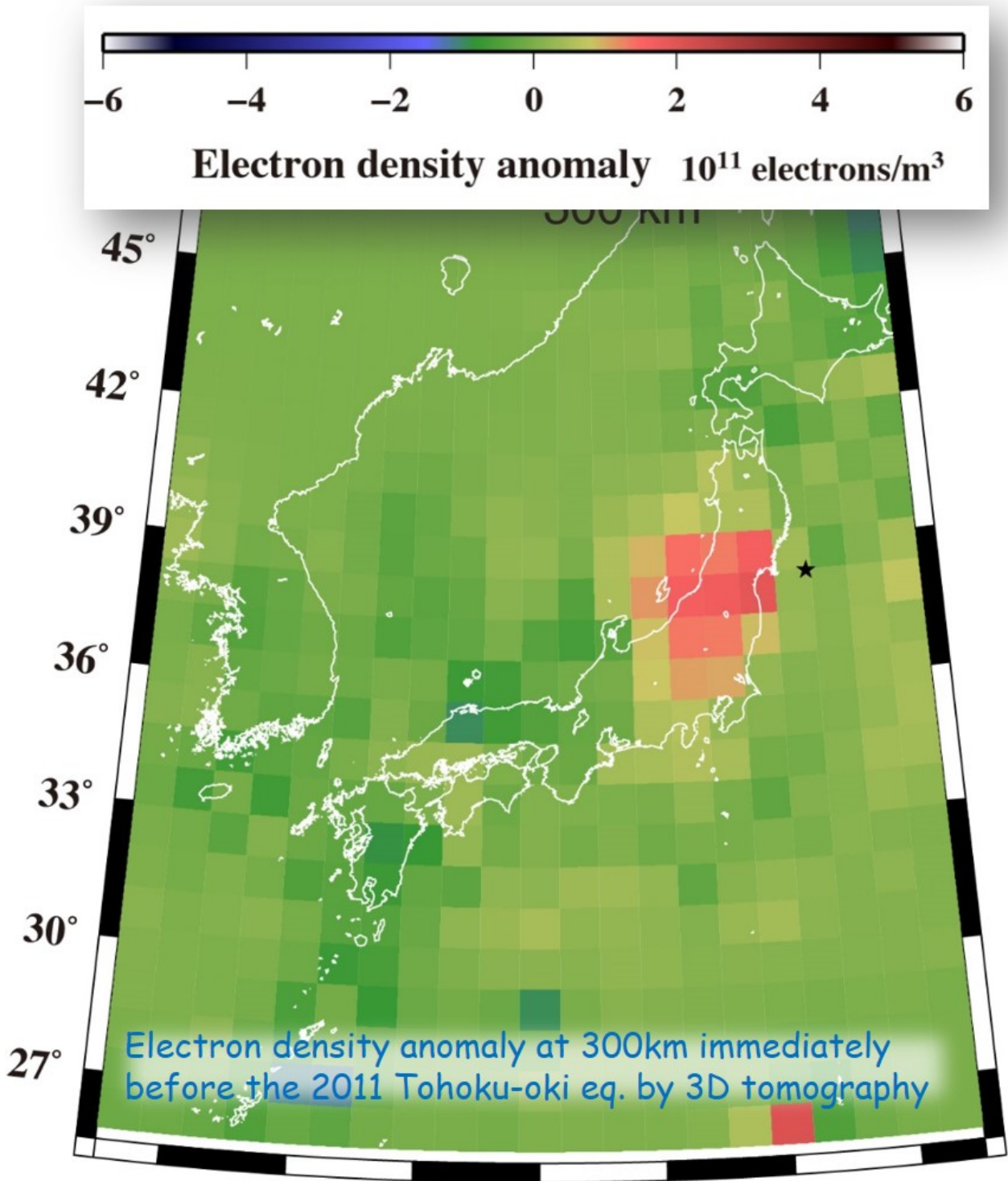
*Kosuke Heki¹, Ihsan Naufal Muafiry²

1. 北海道大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、2. 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻

1. Dept. Earth Planetary Sci., Hokkaido University, 2. Dept. Natural Hist. Sci., Hokkaido University

Based on the ionospheric total electron content (TEC) observations using Global Navigation Satellite System (GNSS) satellites, we reported that TEC showed anomalies immediately before large earthquakes (Heki, 2011GRL; Heki & Enomoto, 2013JGR; 2015JGR). The leading times and the intensities of the anomalies in the 18 earthquakes of Mw7.3-9.2 (He & Heki, 2017JGR) showed clear scaling laws, i.e. they scale with the fault lengths and fault areas, respectively, suggesting that large earthquakes know their final sizes when the fault ruptures start. He & Heki (2018JGR) studied the three-dimensional (3D) distribution of the electron density anomalies before the 2015 Illapel earthquake (Mw8.3), Central Chile, and showed that the positive/negative electron density anomalies emerged in lower/upper ionosphere along the geomagnetic field. This let us hypothesize that the ionospheric electrons were redistributed in response to electric fields made by positive electric charges that appeared on the subaerial surface above the epicenter. These charges would have been mobilized by micro-scale cracks and dislocations as positive holes.

Here we apply the 3D tomography technique using the slant-TEC residual data in Japan and South Korea for the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw9.0). We found that the positive electron density anomaly appeared ~300 km above NE Japan (the anomaly does not extend to the sea, see attached figure). At the same time, a diffuse negative electron density anomaly appeared in the higher ionosphere. The electric current that flowed upward along the geomagnetic field makes an eastward geomagnetic field change of a few nT to the south of the epicenter, which is consistent with the change started ~40 minutes before the earthquake in Kakioka, NE Japan (Heki & Enomoto, 2013JGR). We also try to identify the 3D structure of the tsunamigenic ionospheric hole made by the 2011 Tohoku-oki earthquake.



やや長周期の表面波の通過に同期した地磁気変動

Geomagnetic variations coincident with the passage of longer period surface waves

*古本 宗充¹、村上 理¹、浅井 康広¹

*Muneyoshi Furumoto¹, Osamu Murakami¹, Yasuhiro Asai¹

1. 東濃地震科学研究所

1. Tono Research Institute of Earthquake Science

地震波通過に伴い電磁気変動が発生することについて、これまでも多くの報告がなされている。それらの発生機構として、地殻内を起源とするものについては、岩体の圧電現象や圧磁現象、導電性を持つ物質としての岩体の運動による電磁誘導、そして空隙弾性体内の界面動電現象など、様々な性質や現象が提案されてきている。

これまでに報告されている地殻内を起源とする電磁場の変動現象は、主に周波数1Hz程度やそれ以上の短周期帯域のものである。一方周期数十秒程度の帯域の変動としては、大気音波を経由した電離層の擾乱に伴うものなどについては報告されているが、地殻内を起源とするものはほとんどない。地殻内を起源とする電磁気変動の機構や関連する地下構造を知る上で、より広い帯域での検出は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およびその余震などを利用して、大振幅のやや長周期表面波に同期した磁気変動が見られることを報告する。

地震動と地磁気の観測計器は、東濃地震科学研究所により岐阜県瑞浪市に設置された、水圧計（瑞浪超深地層研究所立穴、深度200m）と3成分磁力計（ボアホール、深度500m）である。両計器の水平方向の距離は約200mであり、ほぼ同一の観測点と見なすことができる。データのサンプリング間隔は両者とも1/20秒である。なお、地震動の計測に地震計を利用していないのは、コイル等を内蔵する地震計自体が磁気変動を混入させる可能性を持つためである。

解析に利用した地震波は、東北地方太平洋沖地震の本震（ $M_w=9.0$ ）と直後に発生した最大余震（ $M_w=7.8$ ）、および $M=7$ クラスの前震1個と余震5個である。各地震からの直達Rayleigh波（以下R波）の振幅は大きい、対象とした周波数帯域では通常の地磁気変動そのものが大きい。そのため本震においても波形同士の直接比較では、地震動と地磁気変動には明確な対応は見られない。特に本震時には磁気嵐が発生しており地磁気変動が大きい。そこで、各地震の地震動と磁気変動の相互相関関数により、同期した信号が含まれているかを検討した。使用したデータは、直達R波以降のコーダ部分20分間を利用した。コーダ部分を用いることで、安定した相互相関関数を求めるのに適した、ある程度定常的な波動場になっていると期待される。また直達R波部分を除いたのは、振幅が突出して大きいため、定常性が保てなくなると考えたからである。使用したコーダ部分には、周期20秒程度のR波を主として、より長周期成分が含まれていると考えられる。なお、地震波データとして水圧を利用しているので、地震波データ中にSH波やLove波成分は含まれていないことになる。

地震波と磁気変動データについて周波数15 mHz程度より高周波側でいくつかのバンドパスフィルターをかけ、各帯域の出力時系列間で相互相関関数を計算した。図1に示したのは本震後のコーダ部分の水圧と地磁気の鉛直成分の25 - 30 mHz帯域の相互相関関数である。横軸のlagが正の値は、地震波に対して磁気変動が遅れることを表している。図から明らかなように、相互相関関数はlag=0においてピークを持っている。このことは地震波と磁気変動には同期した成分があることを示している。同様のピークは15 ~ 40 mHzの帯域で見られる。しかし、40 mHzより高周波帯域ではlag=0で明瞭なピークは現れない。一方15 mHzより低周波側でもピークはlag=0にはない。

最大余震 (Mw=7.8) についても、相互相関関数は同様の帯域でlag=0 にピークを持っており、大きな振幅の場合での再現性はあるように見える。一方、それより小さい振幅になる前震(Mw=7.2) やMw<7.5クラスの余震では、lag=0 における明瞭なピークは見られない。

本震と最大余震においては、鉛直以外の地磁気水平2成分においても水圧と同期した変動が見られる。地磁気の3方向成分との相互相関関数から地震動と同期した磁気変動の偏光の様子を知ることができる。偏光は直線的で、南東下向き-北西上向きとなる。そして地下水圧が最大 (= 岩盤の最大圧縮時) の時、地磁気は南東下向きで最大になる。

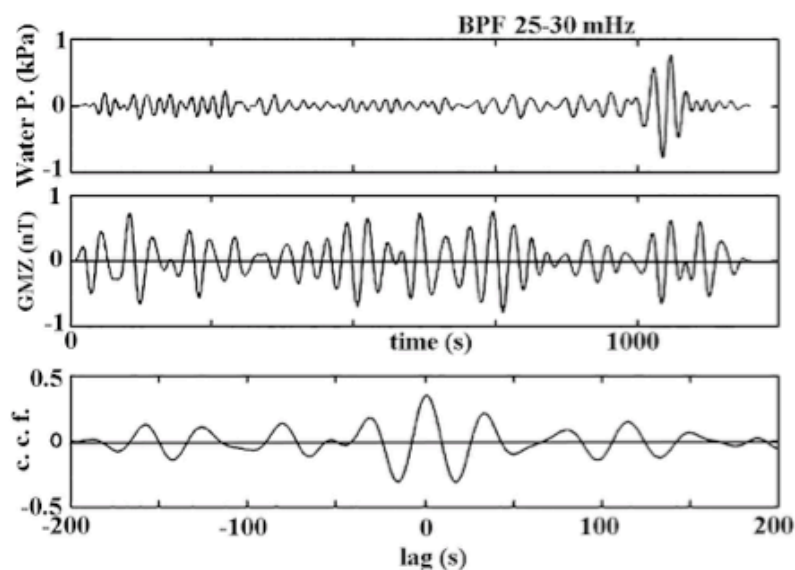


図1 本震コーダ波の相互相関関数

水圧(上段), 地磁気(中段)にバンドパスフィルターをかけたもの。サンプリングは14h55m-15h15mの20分間。下段はそれらの相互相関関数。

地震に伴った”渦巻く雲”の実体

Reality of "swirling clouds" associated with earthquakes

*榎本 祐嗣¹、山辺 典昭¹、杉浦 繁貴²、近藤 斎²

*Yuji Enomoto¹, Tsuneaki Yamabe¹, Shigeki Sugiura², Hitoshi Kondo²

1. 信州大学、2. (株)コンボン研究所

1. Shinshu University, 2. Genesis Research Institute, INC.

歴史地震史料で辿ると”渦巻く雲”, ”白気立つ”など竜巻状の雲に関連すると推測される記述が多い。例えば887年五畿七道の地震では「有気, 如煙非煙, 如虹非虹, 飛上蜀天」『三大実録』や1847年善光寺地震では、「真の闇空, 飯綱山の方に火の如き雲出候間, 不思議に存見つめて居り候処, 其雲くるくると廻り消える否山鳴致し..」『時雨の袖』などである。史料に見られるこれらの記述に加え, 最近では写真や衛星画像でも捉えられ, さまざまな観測とも関連づけられる可能性がでてきて, その実体を明らかにできる情報が揃ってきた。これらの史料の記述と最近の情報を集約して見えてきた”渦巻く雲”の実体は「次のようである。1)渦巻きながら突然空に屹立する, 2)地震前後に観察されることが多い, 3)雲のできる高度(約1km)から渦巻く, 4)夜であれば光って見える, 5)陸上に限らず海上でも発生する。以上の事実と既知の物理現象とを比較参照し, ”渦巻く雲”の生成原因は, 地殻の亀裂や断層に沿って浸入してきた深層流体に含まれるRn222誘起のプラズマが大気電場で加速されて上昇, ”ウイルソンの霧箱”効果で雲を形成し, Kink Instability効果で渦を巻いたものと考察した。2011年東北沖地震の約10分後に生じた震源上空の電離層電子の急な濃集は, この帯電した”渦巻く雲”による静電気誘導効果の可能性がある。