

## 2016年熊本地震直前に現れた非移動性 MSTID

# 日置 幸介 [1]  
[1] 北大・院理・地球惑星

## Stagnant MSTID immediately before the 2016 Kumamoto Earthquake

# Kosuke Heki [1]  
[1] Hokkaido Univ.

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

We examined if detectable ionospheric anomalies preceded the foreshock ( $M_w$ 6.2) and the mainshock ( $M_w$ 7.0) of the 2016 April Kumamoto earthquake sequence, shallow inland earthquakes. We analyzed changes in ionospheric total electron content (TEC) using Japanese dense network of Global Navigation Satellite System (GNSS) receivers. We did not find anomalies of the kind we often observe before larger earthquakes (in contrast, we found a typical one before the  $M_w$ 7.8 Ecuador earthquake on the next day of the Kumamoto mainshock). This supports the empirical relationship by Heki and Enomoto (2015) that sizes of the preseismic TEC anomalies depend on  $M_w$  and background vertical TEC, but not on maximum seismic intensities. We found that a stationary linear positive TEC anomaly, with a shape similar to medium-scale traveling ionospheric disturbance (MSTID), emerged above the epicenter  $\sim$ 20 min. before the Kumamoto mainshock. Unlike typical night-time MSTID, it did not propagate southwestward; instead, its positive crest stayed above the epicenter for  $\sim$ 30 min. This unusual behavior may reflect crust-origin electric fields, but further studies are needed to conclude.

Fig.1 (caption) The development and movement of an MSTID-like anomaly that appeared shortly before the Kumamoto mainshock (April 15, 2016), shown by five-minute snap shots with GPS Sat.6. We drew five gray lines with 100 km separation to visualize their propagation. Typical night-time MSTID should show southwestward movements of 80-200 m/s, but the positive crest of MSTID on this night was stagnant above the mainshock epicenter (black star).

2011年東北沖地震の40分前に始まった電離圏全電子数(TEC)の変化は、Heki (2011 GRL) で最初に報告された。2013-2015年にJGR誌上で三篇の批判的論文と、それらへの反論(Heki and Enomoto, 2013; 2014; 2015)が行われた。それらの主な内容は、GNSSで見いだされた地震直前のTEC変化が、(1)地震後の音波擾乱によるTEC減少に起因するArtifactではないこと、及び(2)宇宙天気によるものではないこと、の二点に集約されるが詳細は繰り返さない。

2015以後の我々の論文を概観すると、Heki and Enomoto (2015 JGR)では、 $M_w$ 8.2以上の8地震に関して前兆の大きさを $M_w$ と背景TECに関係づける経験式を提案し、かつ先行時間と $M_w$ の相関( $M_w$ 9で40分、 $M_w$ 8で20分)を示した。He and Heki (2016 GRL)は、チリで今世紀に発生した三つの大地震の直前に生じた正と負の電子密度異常の三次元構造が、Kuo et al. (2014 JGR)が示した地表電荷が励起する鉛直上向き電流による電子再配置と調和的であることを示唆した。またKelley, Swartz and Heki (2017 JGR)では、地震前に地表に生じた正電荷が電離圏中に直接作る電場もたらすExBドリフトによって、観測された正と負のTEC異常が説明できるとした。最新の論文であるHe and Heki (2017 JGR)では、32個の $M_w$ 7.0-8.0の地震直前直後のTECを解析し、VTECの絶対値が非常に高い場合に限り $M_w$ 7台の地震直前にも同様の異常が生じることを示した(先行時間は $M_w$ 7で10分)。前兆を確認した地震は約20個となり、 $M_w$ と背景VTECの条件を満たす地震では、例外なく予測された場所と時刻に見いだされることが特徴である。力学的な地震の開始時に、その最終的なサイズがおおむね決まっていることは地震学的にも興味深い。ただし、 $M_w$ 8台後半以上の地震でない地震発生前の検知は難しいだろう。

2016年4月に発生した熊本地震(前震と本震)に関し、GEONETを用いて地震直前の電離圏全電子数TECを調べた。本震の $M_w$ (7.0)と背景VTEC(数TECU)から、地震直前に観測可能なVTECの折れ曲がり出現しないことが予測され、そのことはHe and Heki (2017)の解析でも確認されている(熊本地震本震翌日にエクアドルで発生した $M_w$ 7.8地震では、予測通りのTEC変動が確認されている)。しかし詳細な解析の結果、地震前後の同時刻帯に連日のように発生していた中規模移動性電離圏擾乱(MSTID)が、本震直前に停滞するという珍しい振る舞いが見いだされたので報告する。ただし最後でも述べるように、この現象はまだ再現性が確かめられていない。

中緯度地域で夜間に見られる、NW-SE走向の波面を持つMSTIDは、電離圏中の磁場と分極電場の相互作用で生じ、Perkins不安定等で成長することが知られている。夜間MSTIDは通常南西に80-200 m/sで伝搬する(Otsuka et al., 2011)が、伝搬メカニズムには不明な点が多い。熊本地震の前後も、毎晩のようにSWに伝搬する典型的な夜間MSTIDが発生していたことが確認されている。本震(Apr. 15 16:25 UT)の20-25分前にも北北西-南南東に伸びる1TECU程度の正の帯が生じたが、震源直上に停滞するこれまでにない挙動を示し、地震約10分後に消えた(図1)。 $M_w$ 7.0の本震直前に生じた地殻起源の電場は、He and Heki (2017)が示すように自力で電離圏電子を再配置するほど強くなかった。しかしその電場が不安定現象を通じて典型的なMSTIDの走向を持つ帯状の電子密度異常の成長を促し、かつ電場の起源が地殻にあるため通常MSTIDのような伝搬が起らなかった可能性が考えられる。

本仮説を検証するためには、(1)夏の夜間に、(2)GNSS局が稠密に展開された日本列島で、(3)ある程度大きな( $M$ 7級以上)地震が発生した例を複数集めて再現性を調べる必要がある。筆者は現在までにこの三条件を満たす他の例を見出すことができず、本現象も論文執筆の段階にはいたっていない。

