

巨大地震の直前に変化する電離圏電子数

日置 幸介 北海道大学理学研究院自然史科学部門

要旨：地震が電磁気的な前兆を伴った事例は古今東西多く知られています。筆者は東日本大震災まで、それらをおおむね怪しく思っていました。東北沖地震直前の電離圏の変化に気付いて認識を改めました。また、他の大きな地震の前にも同じ現象がみられることがわかりました。今では逆に、地震予知が不可能だという人を見ると、なぜ「まだ」そう思うのか不思議に感じます。本稿では巨大地震の一時間程前に起こる電離圏の変化について解説します。

電離圏には太陽の放射によって大気から弾き出された電子が漂っており、GPS衛星から来るマイクロ波を遅らせます。その量は周波数に依存するので、周波数の異なるマイクロ波の遅延の差から、視線にある電子の総数(TEC)がわかります(図1)。

図2は2011年東北沖地震前後のTEC変化を、国土地理院のGPS網で見たものです。衛星の動きに伴うU字型の見かけの変化に加えて、地震の一時間程前に正の異常が始まっています。異常は震源域から離れると小さくなります。地震の8分後には音波が到来してTECは乱れますが、それが治まった頃には異常は消えています。TECが時間とともになめらかに変化するとしたモデルからの差は、この時刻のTECの一割弱に相当します。詳細は論文(Heki, GRL, 2011)を参照してください。

TECは宇宙天気の影響でしばしば変動します。東北沖地震は間が悪く磁気嵐の最中に発生しました。地震前のTECの局地的変化が東北沖地震の前にしか現れないなら、それは地震と関係ない可能

性が高いでしょう。しかし同じTEC異常がどの巨大地震の前にも見られるなら話は別です。

そこで、2004年12月のスマトラ・アンダマン地震(M_w 9.2)、2010年2月のチリ地震(M_w 8.8)、2007年9月のスマトラ・ブンクル地震(M_w 8.5)前後のTEC変化を、入手可能なGPSデータを集めて解析しました(M_w 8.6の2005年ニアス地震前後はプラズマバブルが活発で、安定してTECを観測できませんでした)。なお2010年チリ地震と2007年ブンクル地震の前後は、地磁気活動は静かでした。

チリ地震では、東北地方太平洋沖地震の半分程のTEC異常が地震の40-50分前に始まり、電離圏が音波で揺れ始めるまで続きました(図3)。同様のTEC異常は2007年ブンクル地震や2004年スマトラ・アンダマン地震でも見られました。図4はこれらの巨大地震から代表的なTEC変化データを取りだして比べたものです。

試しに同一の局と衛星の組み合わせでTEC変化を数か月にわたって調べると、ある程度大きなTEC上昇は地震がなくても時々みられます。それらの多くは日本ではオーロラ帯から南下してくる大規模な移動性の擾乱です。それらは珍しくはないですが、四六時中起こるものでもありません。ここで挙げた地震前のTEC変化がすべて偶然である確率はゼロに近いでしょう。

M8クラスの地震に関しては、1994年北海道東方沖地震(M_w 8.3)の前に弱いTEC異常が見つかりました(図4)が、2006年千島地震(M_w 8.2)や2003年十勝沖地震(M_w 8.0)では確認できませんでした。この前兆はM8台でも大き目の地震でないと見えな

いようです。小さな地震の前に見えないことは、大きな地震の前に必ず見えることと同じくらい重要なのではと思います（筆者が従来の前兆研究の多くを信じないのはこのため）。

残念ながら地震直前になぜ上空で電子数が変わるのか本当の理由はわかりません。しかし地表近傍がプラスに帯電することで説明できる可能性はあります。正電荷を供給するメカニズムとしては、圧縮された火成岩から正孔が拡散してくる室内実験が有名ですが、実際の地震前にそのような現象が生じたことを野外で直接観測した例はありませ

ん（このあたりは東海地震の予知可能性の根拠であるプレスリップと似た状況）。いずれ原因の特定には、電磁気的なセンサーを密に展開するしかないでしょう。

これまでの地震前兆報告との大きな違いは、時間空間的相関の明快さに加えて、追試の容易性です。GPSデータの入手は簡単ですし、筆者のホームページでGPS生データからTEC情報を抽出するプログラム（日置他、測地学会誌, 2011）を公開しています。興味がある方は追試してみてください。地震の直前予知に光が見えてきます。

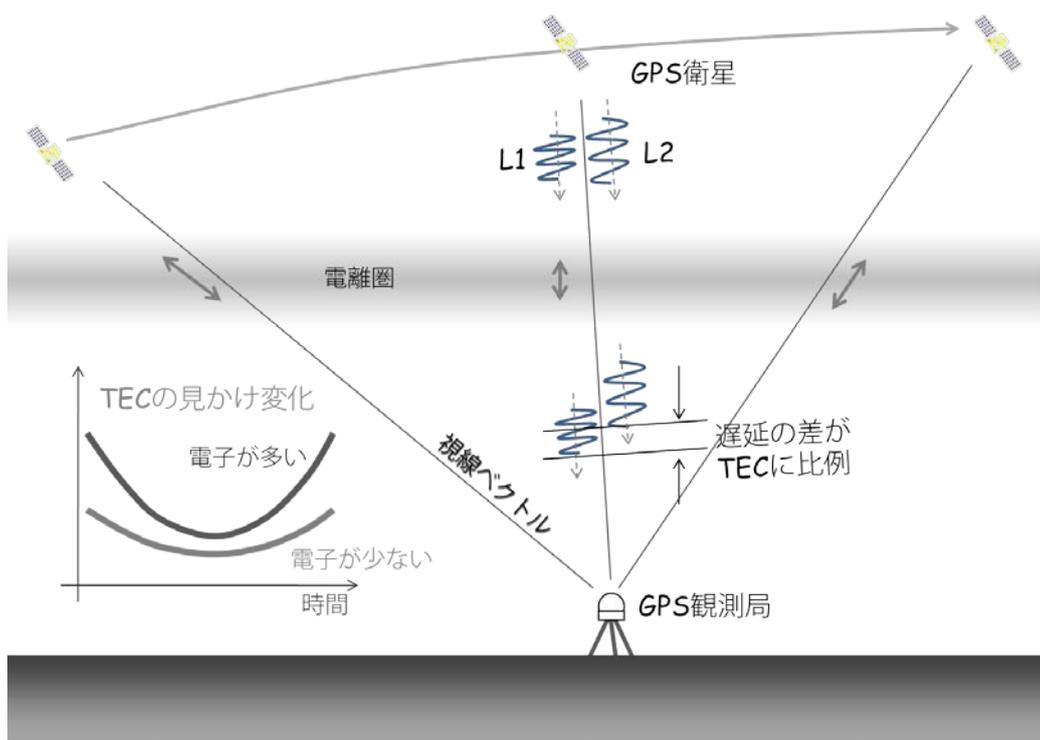


図1 GPSの二つの周波数のマイクロ波の遅延の差から電離圏全電子数TECが計測できる。TECが一定でも、GPS衛星の動きによって下に凸な見かけの時間変化が生じる。

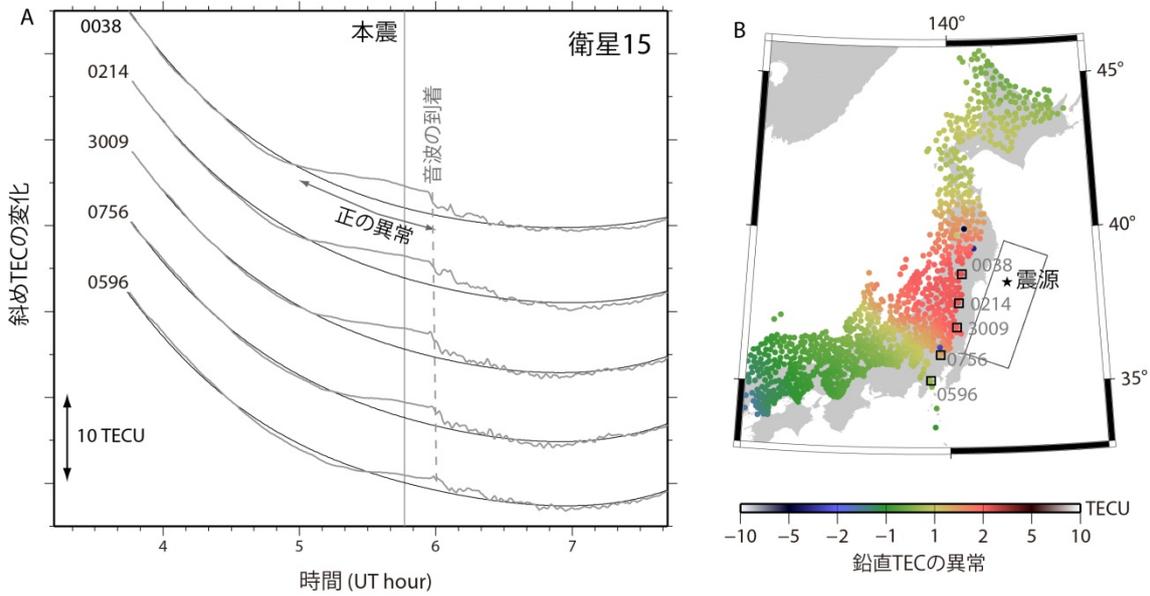


図2 (A) 東北沖地震前後に15番のGPS衛星を観測して得られたTECの時系列。(B) 地震一分前(5:45UT)におけるTECの異常分布を色で示し、視線と電離圏(高さ300 kmと仮定)の交点を地図上に投影した位置(SIP)にプロットしたもの。四角はAで時系列を示した点を示す。

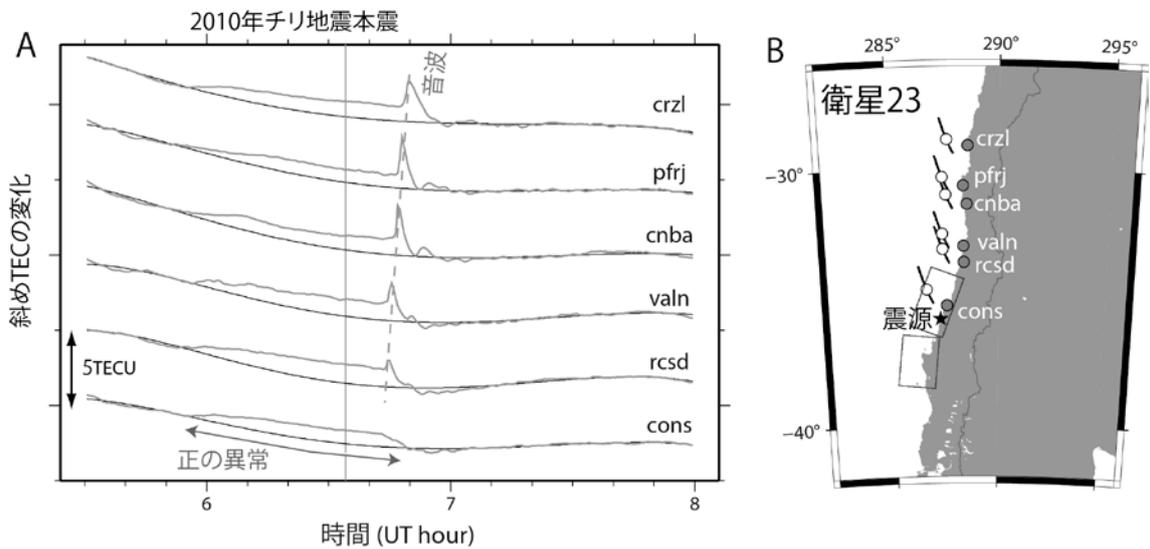


図3 (A) 2010年2月のチリ地震前後に23番のGPS衛星を観測して得られたTECの時系列。(B) 灰色の丸はGPS局を示す。黒い曲線はSIPの6時-7時UTの間の軌跡。白丸は地震発生時のSIP。

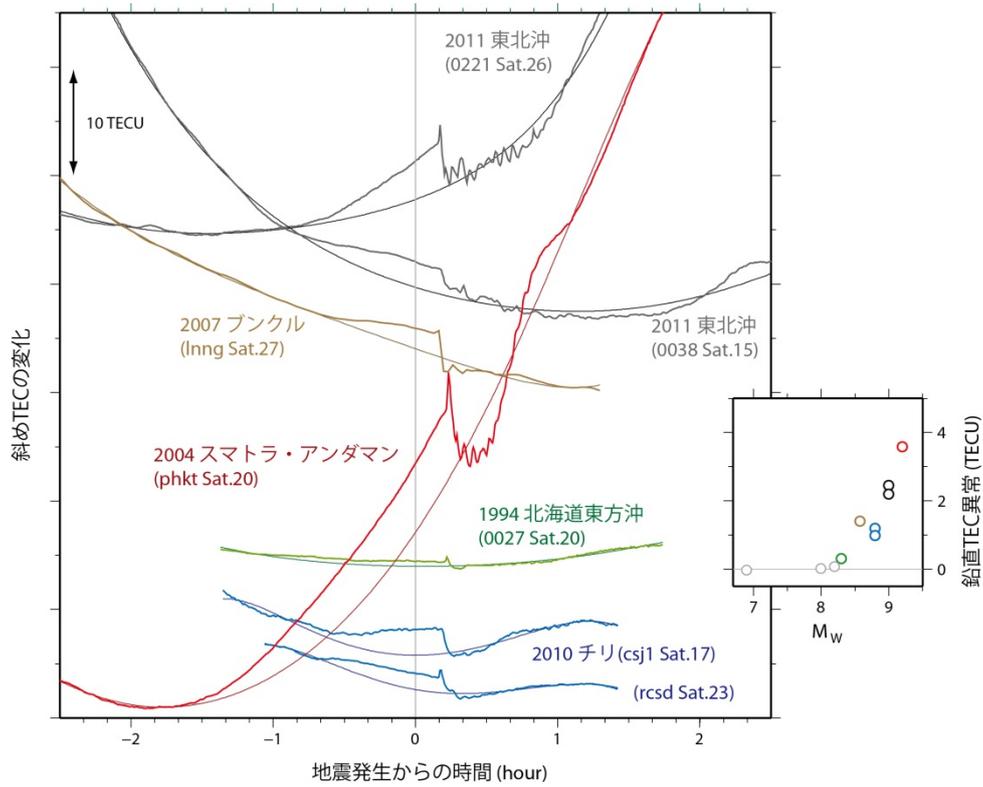


図4 様々な地震の前後のTEC時系列を、同一のスケールかつ地震発生時刻を共通にとって比較したもの。地震直前のTEC異常を鉛直方向に換算したものを、マグニチュード M_w と比較した図を右に示す（異常が観測されなかった2003年十勝沖地震等も含まれる）。右図の丸の色は左図の曲線の色に一致。