

電離圏をゆるがす巨大地震

大地震で生じた地震波は遠くまで伝わります。表面波は地球を何周も回り、実体波は中心核を貫いて地球の裏側の地震計を揺らせます。上空はどうでしょう。スペースシャトルが飛ぶ地球大気のとっぺんには地表の百万分の一以下の空気しかありません。そんな宇宙空間にまで地震波が達していることが最近の GPS 観測でわかってきました。

地表の数百キロ上空では、気体分子の一部が太陽の紫外線等によって電離してプラズマ状になっています。全地球測位システム(GPS)衛星はこの電離圏のさらに上空を飛んでいます。衛星からの電波がプラズマを通過する際の時間遅れ(遅延)は位置決め誤差をもたらします。GPS が二つの異なる周波数の電波を用いるのは、この種の遅延が周波数に依存する性質を利用してその影響を除くためです。二つの電波の遅延の差からは、電波の通り道に沿って積分した電子の総数(TEC)がわかります。日本列島には GPS 連続観測網(GEONET)が整備されており、電離圏まで上ってきた地震波を TEC の変化として観測することができます。

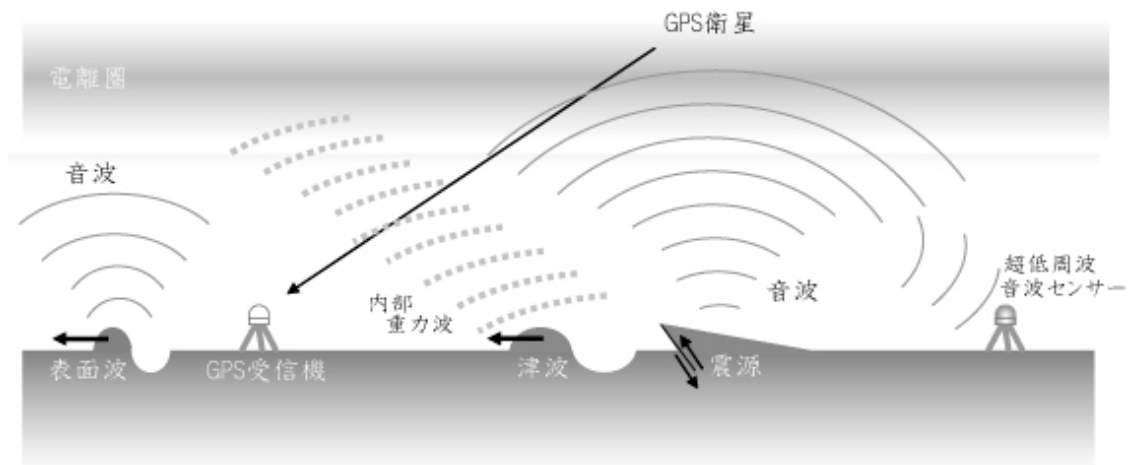


図1 地震にともなう様々な大気中の波動。それらが電離圏に達してつくった電子数の濃淡が、TEC 変化として GPS で観測される。屈折して地表に帰ってきた波は超低周波音波として観測される。

TEC が変化するのは、断層が動いた結果地表や海面が隆起(沈降)し、そこで生じた圧縮(膨張)した空気塊が音波として屈折しつつ上方に伝播し高度数百 km の電離圏で電子の濃淡をつくるからです(図1)。音波が電離圏に達するにはある程度の時間が必要で、TEC 変化は地震後十数分たってから現れます。それらは4-5分の周期を持ち、逆断層の場合正の初動(TEC 増加)で特徴づけられます(図2)。地磁気との関係で指向性が生じ、北半球中緯度では主に南向きに秒速約1 km(電子が最も濃い高度300 km付近での音速に相当)で伝播します。

2004年スマトラ・アンダマン地震では、千キロを越える断層が何分もかけて南から北へ

破壊してゆきました。この場合は断層に沿った線状のソースから次々に生じた擾乱が重なって複雑な TEC 変化を示します。それらの波形を読み解くことによって断層の破壊伝播速度や断層にそったすべり分布などを拘束できます。験潮儀で記録された津波や地震計の遠地実体波の記録を用いて、地震の発生機構を推定する手法がありますが、こういった「波形インバージョン」の超高層大気版です。

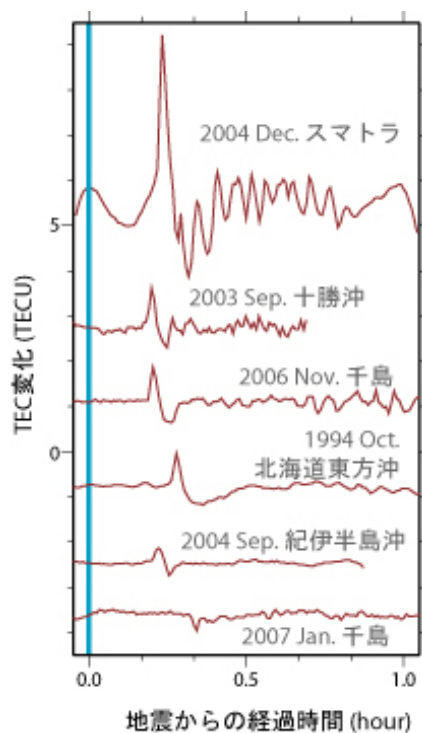


図 2 GPS で観測された、様々な地震に伴う TEC 変化の比較。上からそれぞれ 2004 スマトラ地震 (タイ、プーケット局、衛星 20)、2003 十勝沖地震 (滋賀県水口局、衛星 13)、2006 千島地震 (根室局、衛星 20)、1994 年北海道東方沖地震 (宮城県女川局、衛星 20)、2004 年紀伊半島沖地震・前震 (鹿児島県内之浦局、衛星 15)、2007 千島・アウターライズ地震 (根室局、衛星 11、この例だけ信号が小さいので縦軸を倍にしてプロット)。青い縦線は地震発生時刻を示す。正断層地震である 2007 年千島地震では初動が負になっている。

1994 年 10 月の北海道東方沖地震から 2007 年 1 月に千島弧で発生した地震にいたるまで、これまでに M7 を超える地震の多くで TEC 変化が観測されています (図 2)。震源から直接空气中を伝播してきた音波だけでなく、表面波 (レーリー波) の通過に伴って二次的に発生した音波がつくる TEC 変化も知られています (図 1)。こちらは幾何減衰が小さいので震源から遠く離れたところでも観測されます。スマトラ地震の 45 分後には日本でも表面波起源の TEC 変化が観測されましたし、2002 年デナリ地震 (アラスカ) の表面波がつくった TEC 変化は南カリフォルニアでも観測されました。こちらは秒速 4km ほどで伝播するので、先にのべた震源から直接くる音波による擾乱と区別できます。

地震ではありませんが、2004 年 9 月の浅間火山の爆発に伴う擾乱や、太陽フレアに伴う電子の増加、上昇する H-IIA ロケットの排気による電子の消失、オーロラ帯からやってくる超高層大気の津波 (大規模移動性電離圏擾乱) 等、様々な TEC の変化が GEONET で観測されています。本来測位の道具であった GPS の新しい使い方として注目されています。

(北海道大学 日置幸介)