

磁気嵐に伴う全球全電子数変動の特徴について

惣宇利 卓弥 [1]; 大塚 雄一 [2]; 新堀 淳樹 [3]; 津川 卓也 [4]; 西岡 未知 [4]
[1] 名大 ISEE; [2] 名大宇地研; [3] 名大・宇地研; [4] 情報通信研究機構

Characteristics of temporal and spatial variations of global GPS total electron content during magnetic storm

Takuya Sori[1]; Yuichi Otsuka[2]; Atsuki Shinbori[3]; Takuya Tsugawa[4]; Michi Nishioka[4]
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] ISEE, Nagoya Univ.; [4] NICT

Total electron content (TEC) tends to increase and decrease during the main and recovery phases of the geomagnetic storms [e.g., Tsurutani et al., 2004]. The storm-time TEC enhancement is interpreted as an effect of the upwelling ionospheric plasma by penetration electric field into the mid- and low-latitude ionosphere [Spiro et al., 1988] and equatorward thermospheric winds [Fuller-Rowell et al., 1994]. Trichtchenko et al. [2007] reported that the ionospheric $f_o F_2$ (ordinary ray critical frequency of F2 layer) has an extremely large value at 12 UT over Japan for a geomagnetic storm event which occurred on 8 November, 2004, and showed that the $f_o F_2$ model cannot reproduce such the storm-time ionospheric variations. Maruyama [2006] also reported that the TEC enhancement appears during the storm main and recovery phases, and pointed out that the midlatitude TEC enhancement observed after the sunset is related with storm enhanced density (SED). However, since most of the previous studies focus on the temporal and spatial variations of TEC in a specific region and the time and spatial resolutions of the TEC data were not enough high, the detail features of global TEC variation associated with the development and decay of the geomagnetic storm have not yet been clarified. The purpose of the present study is to investigate the characteristics of global ionospheric variations during the geomagnetic storm using global GPS-TEC data with high temporal and spatial resolutions provided by National Institute of Information and Communications Technology (NICT), and to understand the mechanism. The GPS-TEC data used in this study have spatial and temporal resolutions of $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ in longitude and latitude and 5 minutes, respectively. Here, we first calculated a difference value (dTEC) between storm-time TEC and average TEC of 10 geomagnetically quiet days. In this calculation, we referred to a list of geomagnetically quiet and disturbed days provided by World Data Center for Kyoto University. Next, we created a two-dimensional map of rTEC (dTEC normalized by the average TEC of 10 geomagnetically quiet days), and analyzed the temporal and spatial variations of rTEC for a geomagnetic storm which occurred on 8 November 2004 with the minimum SYM-H value of -400 [nT] at 6 h (UT). As a result, the normalized rTEC in America, Europe and Japan showed a large enhancement with the maximum values of 12, 2 and 5 during the main phase, respectively. The rTEC enhancement in Japan was maintained even after the onset of the recovery phase, and the maximum value reached ~ 17 . In order to investigate the specific signature of rTEC in Japan in detail, we created the figures showing time and latitude cross-section of rTEC at a longitude of 140°E . As a result, we found that an extremely high rTEC appears near 12 h (UT) (21 LT) propagating from high to low latitudes. Such the extremely high rTEC also appears in the low-latitude North America (20°N) at 4 h (UT) (21 LT). These enhanced rTEC regions were located in 40°N magnetic latitude (Japan) and 30°N magnetic latitude (North America). Furthermore, the enhanced rTEC region in Japan propagates westward with the velocity of 317 [m/s], nearly equal to the Earth's rotating velocity of 339 [m/s] at this latitude. In addition, we compared the DMSP satellite drift meter data provided by ISR (Institute for Scientific Research) with GPS-TEC data in order to verify if such the westward velocity exists in the high rTEC regions. As a result, the westward ion drift velocity (~ 250 [m/s]) over Japan actually exists to 40°N magnetic latitude, and decreases to 106 [m/s] at the higher latitude (45°N magnetic latitude). From the above results, it is found that the westward ion drift velocity near the high rTEC region is almost consistent with the propagation velocity of the high rTEC one. Therefore, we conclude that the storm-time high rTEC structure is almost fixed near 21 h (LT).

電離圏の電子密度分布は太陽紫外線による超高層大気の大気電離による生成と中性大気との再結合過程のバランスによって決まるため、太陽光のあたる昼側で電子密度が増加し、夜側では減少する。また、その電子密度分布は、緯度と経度によって変化し、磁気嵐などの地磁気擾乱によっても大きく変動する。その全球的な変動特性を知るために全電子数 (Total Electron Content: TEC) がよく用いられる。これまでの研究結果から、磁気嵐の主相、回復相において TEC が増加、減少することが知られている [e.g., Tsurutani et al., 2004]。TEC を増加させる物理機構として中・低緯度電離圏に侵入した電場による電離圏プラズマの上昇 [Spiro et al., 1988] と赤道方向に吹く熱圏風による効果 [Fuller-Rowell et al., 1994] が考えられている。Trichtchenko et al. [2007] によれば、2004 年 11 月 8 日に発生した磁気嵐イベントにおいて電離圏 $f_o F_2$ (ordinary ray critical frequency of F2 layer) が日本上空の 12 UT において非常に大きな値を示したのに対して $f_o F_2$ の 24 時間先の予測モデルデータにはその変動が見られず、この磁気嵐時の電離圏変動をモデルから再現できなかったことが報告されている。Maruyama [2006] もまた日本の稠密 GPS 観測網のデータを用いてその磁気嵐の主相・回復相において TEC が増大することを示し、夕方過ぎに高緯度で観測された TEC 増加は storm enhanced density (SED) 現象に関連していると指摘している。しかしながら、これまでの研究の多くは、領域ごとの TEC の時間・空間変動に着目し、TEC の時間・空間分解能が低かったことから磁気嵐の発達・衰退過程における TEC の世界的でかつ詳細な時間・空間変動特性がよくわかっていない。そこで本研究では、情報通信研究機構 (NICT) から提供されている高時間・空間分解能を持つ全球 GPS-TEC データを用いて、磁気嵐に伴う全球的な電離圏の変動特徴を調べ、そのメカニズムを解明することを目的とし

ている。本研究で用いる GPS-TEC データの空間分解能は、0.5 度 X0.5 度であり、時間分解能は 5 分である。ここでは 10 日静穏時の平均 TEC に対する擾乱時と静穏時の差分 TEC を求め、その水平二次元分布の時間・空間変動を解析した。2004 年 11 月 8 日に発生した磁気嵐は、SYM-H 指数において最小値-400 [nT] を 6 UT でとり、その後、1 日程度かけて回復している。その結果、主相の間、アメリカ、ヨーロッパ、日本における差分 TEC 値は静穏時よりも増加し、その値は、それぞれの地域において 12、2、5 であった。その後回復相になると、日本においてのみ、TEC 比の大きな増加が見られ、その値は、およそ 17 であった。そこで、日本の経度 (東経 140 度) における 11 月 8 日の差分 TEC 比のケオグラムを調べたところ、12 UT 付近で特に高い差分 TEC 比が現れることが分かり、この構造は高緯度側から低緯度側に伝播することが分かった。このような非常に高い差分 TEC 比は、日本の高緯度側 (北緯 43 度) の 12 UT (21 LT) 付近と、北アメリカ大陸の低緯度側 (北緯 20 度) の 4 UT (21 LT) 付近にも現れていた。この値を調べると、日本では 17 以上であり、北アメリカ大陸では 12 以上であった。これらの構造の位置をそれぞれ磁気緯度で表すと、日本では磁気緯度 40 度であり、北アメリカ大陸では磁気緯度 30 度であった。また、これらの高い差分 TEC 比の構造は西向きに伝播しており、日本上空でその速度は 317 [m/s] であった。この緯度帯における地球の自転速度は、339 [m/s] であり、ほぼ一致していた。しかし、北アメリカでの構造の伝播速度は、経度方向に広がった TEC データが不足していたため、その速度を導出することができなかった。さらに、高 TEC 領域の西向き伝播速度を求めるため、ISR (Institute for Scientific Research) で公開されている DMSP 衛星ドリフトメーターのデータと GPS-TEC データとの比較を行った。その結果から、日本付近では磁気緯度 40 度ほどまで西向きイオンドリフト速度が大きくなっており、その速度は、約 250 [m/s] であった。その少し高緯度 (45 度) で西向き速度は約 106 [m/s] に減少していた。北アメリカに関しては、磁気緯度 30-50 度で増加した西向き速度が観測され、その最大値は、磁気緯度 45 度で 1000 [m/s] を超えていた。以上の結果から、高い TEC 比の構造が存在する磁気緯度における西向きイオンドリフト速度は、高い差分 TEC 比を持つ構造の伝播速度にほとんど一致していることが分かった。したがって、この磁気嵐イベントにおける高い差分 TEC 比の構造は 21 LT 付近に固定したものであると言える。