

## GPS TEC 法によるスプラディック E 層の観測

# 前田 隼 [1]; 日置 幸介 [1]  
[1] 北大・院理・自然史

### Observation of sporadic E with the GPS-TEC technique

# Jun Maeda[1]; Kosuke Heki[1]  
[1] Hokkaido Univ.

#### 1. Introduction

Ionospheric observations have long been done with conventional ground-based technique. Although they could perform nearly continuous observations of the ionosphere, their spatial coverage was limited. Here we employ GPS-TEC technique with the nationwide GPS array GEONET operated by the Geospatial Information Authority of Japan (GSI), and try to detect Sporadic E (Es). Owing to the high density of the GPS stations, we can observe Es with a two-dimensional coverage all over Japan.

#### 2. Methods

We study a very strong Es originally detected by ionosonde observations at Kokubunji. This Es recorded its ionization peak around 1715 LT with foEs exceeding 20 MHz. To detect the Es with GPS-TEC technique, we downloaded raw GPS data from the GSI's website (terras.gsi.go.jp). We first studied TEC time series at the GPS station Setagaya (0228), and found clear scintillations during the Es occurrence. The strongest scintillation has a timescale of a few minutes and maximum amplitude of  $\sim 2$  TECU. We considered that such scintillations reflect the passage of the line-of-sight (LOS) with a patchy Es, and tried to detect TEC changes as deviations from a smooth model curve. The geographical distribution of the TEC changes is shown in the figure with color indicating the TEC anomaly. The positions of the circles show the cross sections of the LOSs with a thin layer as high as 100 km.

#### 3. Results and discussion

##### 3.1 Horizontal distribution of TEC anomaly

We found that the Es region is elongated in E-W and spans from west of Tokyo to the Boso Peninsula. Its dimension is  $\sim 150$  km in E-W and  $\sim 50$  km in N-S.

##### 3.2 Consistency with the wind-shear theory

We compared the raw TEC time series of different GPS satellites observed at Setagaya (0228). We found that large TEC anomalies are seen only when the LOS crosses the Es layer in shallow angles. This suggests two things, i.e. this Es layer is very thin, and that the integrated number of electron hardly changes in spite of strong Es. The latter result is consistent with the wind-shear theory, i.e. Es is caused by the condensation of electrons mostly by their vertical movements.

##### 3.3 Electron density in Es

Ionosonde data during the Es showed the foEs of 22 MHz at  $\sim 1715$  LT. The typical foE at this time would be 2-3 MHz, so the observed foEs is higher than usual by  $\sim 20$  MHz. The peak electron density can be inferred from foEs with the formula  $f = 9\sqrt{Ne}(f; \text{frequency in Hz, } Ne; \text{number of free electron in } \text{el}/\text{m}^3)$ . As a result, Ne in the quiet E layer is  $\sim 0.3 \times 10^6 (\text{el}/\text{m}^3)$ , and the peak Ne in the Es would be  $2.0\text{-}2.4 \times 10^6 (\text{el}/\text{m}^3)$ . Thus, the peak electron density of this Es is 7-8 times larger than usual. The TEC anomaly shown in Figure is only 0.3-0.8 TECU, suggesting that the increase of electron density occurred in a very thin layer.

#### 1. はじめに

電離圏 E 領域に突如として現れる電子密度の高い部分はスプラディック E 層 (以下 Es 層) と呼ばれるが, 従来これらの観測はイオノゾンデ等の地上観測が主であった. これらの手法は時間的に連続なデータを取得できるが, 観測点上空の Es 層しか観測できなかった. 本研究では, 国土地理院が日本全国に設置している電子基準点 (GEONET) を利用し, GPS 衛星と電子基準点間の L1, L2 両キャリアの電波伝搬遅延差から視線上の電子数を積分した全電子数 (TEC, Total Electron Content;  $1\text{TECU} = 10^{16} \text{el}/\text{m}^2$ ) を求める GPS - TEC 法を用いて Es 層の観測を試みる. この手法では全国に分布する GPS 点を利用するため, 観測点上空のみの Es 層だけではなく, 日本上空の二次元的な観測が可能になる.

#### 2. 方法

今回観測した Es 層は, 2010 年 5 月 21 日 (1530LT ~ 1830LT) に東京国分寺のイオノゾンデで観測されたもので, 同日 1715LT 頃に臨界周波数が 20MHz を超えた非常に強い Es 層である. 当日の GPS 生データは国土地理院のサイトよりダウンロードし, まず世田谷点 (0228) からみた TEC 変化を解析した. TEC の時系列からは, Es 層が発生している時刻に, 振幅最大 2TECU 程度で数分の時間スケールを持つシンチレーションが見られた. このシンチレーションが Es 層の

消長に由来すると仮定し、なめらかな TEC 変化を仮定したモデル曲線からの残差を求めた。残差の大きさを色で表し、高度 100km の層と視線ベクトルの交点を地図上に投影した点にプロットした。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 TEC 異常域の空間分布

Es 層が観測された東京付近の上空で東西方向に細く伸びる TEC の正異常が観測された。異常域は、東は千葉県房総半島沖から東京湾を中央に据え、西は神奈川県小田原市付近まで伸びる長さ 150km 程度の東西に細長い構造を持っている。南北の幅は東側の房総半島沖で 50km 程度あるが、西側の神奈川県では狭くなる。

#### 3.2 ウインド・シアー理論との整合

世田谷点 (0228) から見たときに、Es 層を浅い角度で貫く視線を持つ衛星では Es 層の TEC 異常が検出され、視線が Es 層と深い角度で交わる衛星では TEC 異常が観測されなかった。これは Es 層が薄い層であることと、Es 層が発生しても鉛直方向の電子密度の総和はほとんど変化しないことを示している。これは電子の上下移動によって Es 層が生成されるというウインド・シアー理論と調和的である。

#### 3.3 Es 層電子密度

イオノゾンデ観測によると、この Es 層はピーク時の臨界周波数が 22MHz 程度であった。E 層の平常時の臨界周波数は 2~3MHz であるから、その差はおよそ 20MHz である。電離圏の電子密度と臨界周波数の関係を、 $f_oE = 9 \sqrt{N_e}$  (f; 周波数 (Hz),  $N_e$ ; 自由電子数 (個/m<sup>3</sup>)) と考えると、臨界周波数が 3MHz の E 層の電子密度は、 $0.3 \times 10^6$  (個/m<sup>3</sup>)、臨界周波数 18~22MHz の Es 層では  $2.0 \sim 2.4 \times 10^6$  (個/m<sup>3</sup>) となり、7~8 倍の違いがある。図にみられる TEC 異常はばらつきが大きい  $0.3 \sim 0.8$ TECU 程度と小さく、電子密度が上昇した層がごく薄いことを反映している。

