

## 航空航法用 VHF 帯電波の異常伝搬現象を用いたスποラディック E 層空間構造の解析

# 木村 康択 [1]; 細川 敬祐 [1]; 坂井 純 [1]; 斎藤 享 [2]; 富澤 一郎 [3]; 津川 卓也 [4]; 西岡 未知 [4]; 石井 守 [4]  
[1] 電通大; [2] 電子航法研; [3] 電通大・宇宙電磁環境; [4] 情報通信研究機構

### Analysis of Spatial Construction of Sporadic-E by Using the Abnormally Propagation of VHF for the Aircraft Navigation System

# Kotaku Kimura[1]; Keisuke Hosokawa[1]; Jun Sakai[1]; Susumu Saito[2]; Ichiro Tomizawa[3]; Takuya Tsugawa[4]; Michi Nishioka[4]; Mamoru Ishii[4]  
[1] UEC; [2] ENRI, MPAT; [3] SSRE, Univ. Electro-Comm.; [4] NICT

Sporadic-E (Es) is one of the outstanding phenomena in the mid-latitude ionosphere, during which the electron density in the bottom of E region extremely increases often greater than that in the F region. Generally, VHF radio waves, whose frequency is greater than 100 MHz, penetrate all the way through the ionosphere, but they are sometimes reflected by Es when they enter the ionosphere obliquely. The aircraft navigation system uses such VHF radios (> 100 MHz) for communications within the range of direct propagation. However, when Es appears, the radio waves propagate abnormally for a long distance through the reflection by Es, and then an interference between the desired and abnormal waves may take place.

We have been observing VHF radio waves in the air-band frequency range in Chofu, Tokyo and Kure, Hiroshima since 2014. In this study, we used the data from Chofu in 3 years from 2014 to 2016 and from Kure in 2 years from 2014 to 2015. In addition, we attempted to detect electron density irregularities in Es by using ROTI (Rate of TEC index) routinely derived from GPS-TEC database at NICT. We mapped these two data onto the geographic coordinate system and compared the spatial distribution of Es in ROTI with the occurrence of abnormal propagation of air-band VHF waves.

As a result of the mapping, we extracted a number of examples where the spatial distribution of Es in ROTI coincides well with the distribution of the reflection points of the abnormal propagation. This indicates that 2D mapping of E region irregularities by using ROTI can be used for visualizing the spatial distribution Es. At the same time, it was confirmed that the abnormal propagation of air-band VHF waves is directly associated with Es. In addition, we found that the mapping of the reflection points of the waves enables us to monitor the spatial distribution of Es even outside the coverage of GPS-TEC observations of GEONET. In the presentation, we will introduce a few examples of simultaneous mapping of Es by using ROTI and air-band waves, and then discuss the possibility of monitoring the spatial construction of Es in a wide area by combining the air-band VHF waves with ROTI.

電離圏 E 領域の下部において、電子密度が F 領域を超えるほど増大する現象がある。これをスποラディック E 層 (Es) という。Es は、夏季に集中して発生するという季節的特徴と、局所的に発生するという地理的特徴を持つ。Es の発生メカニズムには中性風のシアや大気重力波が関係していると考えられている。通常 100 MHz を超える周波数の VHF 帯電波は電離圏で直進するが、Es が発生すると E 領域の電子密度が F 領域よりも高くなるために、斜めに薄く入射した電波が反射され長距離異常伝搬する可能性がある。航空航法では、VHF 帯電波が電離圏を直進するという性質を利用した見通し範囲内の通信を行っている。しかし Es が発生した場合、見通し範囲内のみ届く所望波に対して、Es により長距離伝搬した電波が干渉し、航空無線通信に混信が発生する可能性がある。

我々は、電気通信大学調布キャンパスと呉海上保安大学校の 2 箇所、異常伝搬した航空航法用 VHF 帯電波 (VOR, ILS) の観測を行ってきた。受信信号に対しエアバンドフィルタを適用することで、帯域外の信号をカットして、VHF 増幅器を用いて信号を増幅する。出力に対しスペクトラムアナライザを用いて、受信局、日付、時刻 (時間分解能 10 秒)、受信周波数、受信信号強度を抽出し、観測データベースに記録している。本研究では、これまでの観測から得られた 2014 年から 2016 年の調布の観測データ、2014 年から 2015 年の呉の観測データを、航空航法用 VHF 帯電波の異常伝搬事例の解析に用いた。また、情報通信機構 (NICT) において算出されている、電離圏全電子数 TEC (Total Electron Content) の 5 分間での標準偏差を取った電子密度擾乱指数 ROTI (Rate of TEC index) を用いることで、Es の内部に存在する電子密度の細かい不規則構造を検出する。これら二つのデータを個々の事例ごとに地理座標上に重ねてマッピングすることで、Es の空間構造と Es による航空航法用 VHF 帯電波の異常伝搬の関連性について解析を行った。

マッピングの結果、ROTI に見られる Es の空間構造と、異常伝搬の中間反射点の分布が一致する事例が多数見られた。このことから、ROTI を用いて Es の不規則構造を検出することで、Es の空間分布を示すことが可能だということが示された。また、長期観測によって得られた航空航法用 VHF 帯電波の異常伝搬が、Es によって引き起こされたものであることを確認することもできた。加えて、マッピングされた中間反射点の分布から、ROTI の観測範囲外に発生した Es の空間分布を予測することができた。発表では、マッピングを行ったいくつかの事例について紹介し、VHF 帯航空航法電波と ROTI を組み合わせた Es の広域空間構造モニタリングの可能性について議論する。