

FMCW 波を用いた測距と HF ドップラー観測によるスプラディック E 層の解析

#佐古 昇太¹⁾, 中田 裕之²⁾, 並木 紀子³⁾, 野崎 憲朗⁴⁾, 細川 敬祐³⁾, 大矢 浩代²⁾

(¹⁾ 千葉大学大学院, (²⁾ 千葉大学, (³⁾ 電気通信大学, (⁴⁾ なし

Analysis of Sporadic E Layers Using FMCW Ranging and HFD Doppler Observations

#Shota Sako¹⁾, Hiroyuki NAKATA²⁾, Noriko NAMIKI³⁾, Kenro NOZAKI⁴⁾, Keisuke HOSOKAWA³⁾, Hiroyo OHYA²⁾

(¹Chiba University Graduate School, (²Chiba University, (³University of Electro-Communications, (⁴None

Sporadic E (Es) is a thin layer of extremely enhanced electron density that occurs primarily around 100km altitude at mid-latitudes during the summer. The enhanced electron density associated with Es can reflect VHF radio waves, which normally penetrate the ionosphere, causing anomalous long-distance propagation for radio waves incident at low elevation angle. HF Doppler measurement has been employed for the observation of Es; however, this observation method cannot determine the distance to the reflection point and therefore cannot identify the altitude of Es, which has been a limitation.

In this study, we simultaneously conducted the ranging observations of Es using an FMCW radar system, which began operation in 2024, enabling range measurements to analyze the structure and motion characteristics of Es. The HF Doppler observation system exploits the property that HF radio waves are reflected in the ionosphere, detecting temporal variations of the reflection altitude as Doppler frequency shifts. In contrast, FMCW observations continuously observe the propagation path length of the radio wave from the frequency difference between the transmitted and received waves.

We analyzed data obtained on June 2, 2024 (12:00-13:00 UT), June 19, 2024 (13:00-15:00 UT), and July 12, 2024 (13:00-14:00 UT). Using these two observation methods, we extracted five events that were observed simultaneously by both observation methods. In the extraction of events, the start and end times were manually determined for each event. Once the start time was set, a program was created to automatically save the Doppler frequency values every 10 seconds from among those with relatively high signal strength. The results showed that in all cases Es moved at a speed of just over 100 m/s. Sporadic E layers have also been observed in GPS-TEC data that enable us to capture their spatial distributions and movements. Currently, we are preparing ROTI maps for the observation dates using TEC data provided by GEONET of the Geospatial Information Authority of Japan.

In this presentation, we will report further detailed analyses, including the validity of the Es velocities obtained from Doppler and FMCW range measurements by comparison with these ROTI maps.

スプラディック E 層 (Sporadic E: Es) とは、主に夏季の中緯度において高度 100km 付近に発生する、電子密度が極端に増大した薄い層のことである。Es の発生に伴い電子密度が増大することで、通常は電離圏を突き抜ける VHF 帯の電波が反射されてしまうことから、電離圏に低仰角で入射した電波の長距離異常伝搬を引き起こす。HF ドップラーでも Es の観測が行われていたが、この観測手法では電波の反射点までの距離を求められないため、Es の高度を同定できないことが課題であった。

そこで本研究では、2024 年から運用開始した、FMCW 波を用いた測距観測により Es を同時に観測し、Es の構造や移動特性の解析を行った。HF ドップラー観測システムでは、HF 帯の電波が電離圏で反射する性質を利用して反射高度の時間変化をドップラー周波数として捉えることができる。また、FMCW 波による観測では一定の周期で送信周波数に変調を与えており、送信波と受信波の周波数差から、電波の伝搬経路長を高精度に常時測定できる。

本研究では、2024 年 6 月 2 日 12:00~13:00 UT、6 月 19 日 13:00~15:00 UT、7 月 12 日 13:00~14:00 UT の日時におけるデータの解析を行った。HF ドップラー観測と FMCW 波による測距観測の両方で同時に観測されている 5 事例のイベントを抽出した。イベントの抽出においては、開始時刻と終了時刻はイベントごとに手動で決定している。開始時刻が決定したあとは、ある程度受信強度が大きいものの中から 10 秒ごとにドップラー周波数の値を自動で保存するようなプログラムを作成した。これらのイベントについて Es の速度を求めた結果、いずれの事例でも 100m/s 強の速度であった。Es は GPS-TEC データでも検出が可能であり、空間分布やその移動の様子をとらえることが可能である。現在、国土地理院が提供する GEONET の TEC データを活用して、解析日の ROTI マップの作成を進めている。

本発表では、この ROTI マップを用いることで、ドップラー観測・測距観測で求めた Es の速度の妥当性など、さらに詳しい解析について報告を行う予定である。