

R005-20

A 会場 : 11/27 AM2 (11:05-12:35)

11:50~12:05:00

超稠密 GNSS 受信機網を用いたスプラディック E 層の高時空間分解能解析 -空間スケールと移動特性の把握-

#田納 俊太¹⁾, 細川 敬祐²⁾, 大塚 雄一³⁾, 斎藤 享⁴⁾

(¹ 電気通信大学, (² 電気通信大学, (³ 名古屋大学, (⁴ 電子航法研究所

High spatio-temporal resolution analysis of Sporadic E layer using ultra dense GNSS receiver network

#Shunta TANO¹⁾, Keisuke HOSOKAWA²⁾, Yuichi OTSUKA³⁾, Susumu SAITO⁴⁾

(¹Univ. of Electro-Communications, (²Univ. of Electro-Communications, (³Nagoya Univ., Institute for Space-Earth Environmental Research, (⁴Electronic Navigation Research Institute

Sporadic E layer (EsL) is a phenomenon in which the electron density in the E region of the ionosphere at around an altitude of 100 km, increases suddenly and locally. When EsL occurs, VHF radio waves, which normally pass through the ionosphere, are reflected instead, leading to anomalous long-distance propagation. This can cause unintended interference between distant signals and desired signals from nearby sources. EsL has been observed using ionosondes and by monitoring anomalous long-distance propagation of VHF signals used for maritime and aeronautical navigation. In this study, we aim to visualize the morphology and dynamics of EsL by utilizing a GNSS receiver network to achieve a two-dimensional visualization. Although previous studies have also employed GNSS-based observations, the limited number of data points resulted in relatively low spatial resolution, making it difficult to accurately capture the structure and motion of EsL.

Considering this situation, this study visualized EsL using data from the ichimill GNSS receiver network, which is operated by SoftBank Corp. at more than 3,300 locations across Japan and GEONET, which is operated by Geospatial Information Authority of Japan. The receiver network combining these two is considered as the most dense GNSS receiver network in the world. Specifically, we analyzed an EsL event that occurred on July 4, 2022, by mapping the electron density disturbance index, known as the Rate of TEC Index (ROTI), derived from the total electron content (TEC) observed by the GNSS receiver network. The altitude of electron density disturbances was assumed to be 100 km in this analysis, enabling us to visualize the spatial structure of EsL. As a result, we not only revealed the spatial scale and velocity of EsL but also demonstrated that its movement can be tracked. In particular, the velocity of EsL, determined through both longitude cross-sectional analysis and direct 2D tracking, was found to be approximately 105 m/s in both cases, confirming consistency between the two approaches. Additionally, the area of the observed EsL patches peaked at 250 km² and had a spatial scale of about 15 km. As for the temporal change of the patches, it was found that the area of the patches was small immediately after their occurrence, but gradually increased, reached a peak and then decreased, which made it possible to trace the growth and disappearance of the EsL patches and measure their lifetime. The movement direction of EsL was found to change over time: initially, EsL drifted northward or northwestward, but just before its dissipation, its direction shifted toward the northeast. Furthermore, the movement characteristics of EsL, as visualized in this study, were found to be generally consistent with numerical simulations of metal ion accumulation based on neutral wind data from the GAIA model. These results demonstrate that an ultra-dense GNSS receiver network enables detailed visualization of both the morphology and movement characteristics of EsL.

In the presentation, we plan to present the temporal variations in spatial scale and velocity. Additionally, we will compare these findings with the results of simulations using the GAIA model.

The SoftBank's GNSS observation data used in this study was provided by SoftBank Corp. and ALES Corp. through the framework of the "Consortium to utilize the SoftBank original reference sites for Earth and Space Science".

スプラディック E (Sporadic E: Es) 層は、電離圏 E 領域の高度 100 km 付近で突発的に電子密度が増大する現象である。EsL が発生すると、通常は電離圏を突き抜けていく VHF 帯の電波が電離圏で反射してしまうことにより異常長距離伝搬が発生し、意図しない遠方からの電波が近隣からの所望波と混信する可能性が指摘されている。EsL は、イオノゾンデや船舶や航空航法用 VHF 帯電波の長距離異常伝搬を用いて観測されてきたが、本研究では EsL の形状と運動を明らかにすることを目的として、GNSS 受信機網を用いた EsL の 2 次元的可視化を行う。これまでの研究でも GNSS を用いた観測は行われてきたが、データポイントの数が少なく空間解像度が相対的に低かったため、EsL の形状や運動を正確に把握することが困難であった。

このような状況を踏まえ、本研究では国土地理院が国内 1,300 以上の地点において運用している GEONET のデータに加えて、ソフトバンク株式会社が国内 3,300 以上の地点において運用している ichimill GNSS 受信機網のデータを用いて緯度経度 0.05° の分解能で EsL の水平二次元構造を可視化した。これらを組み合わせた GNSS 受信機網は世界でも最も稠密な受信機網と考えられる。解析では、2022 年 7 月 4 日に約 2 時間にわたり東北地方全域で発生した EsL 事例について、GNSS 受信機網による全電子数 (Total Electron Content: TEC) から導き出された電子密度擾乱指数 (Rate Of TEC Index: ROTI) を電子密度擾乱の発生高度を 100 km と仮定することによって地図上に投影し、EsL の空間構造の可視化を

試みた。その結果、EsL の空間スケールや速度を明らかにするだけでなく、EsL の動きのトラッキングが可能であることが明らかになった。具体的には、EsL の速度は経度断面解析の画像から求めた結果と、EsL の動きのトラッキングから求めた速度がどちらも約 105 m/s となり両者に整合性が見られた。また、観測されたパッチ状の EsL の塊の面積は 250 km^2 にピークがあり空間スケールとしては 15 km 程度であった。塊の時間変化については、発生した直後は面積が小さいが段々と大きくなりピークを迎えてその後小さくなっていることがわかり、これにより EsL の塊の成長・消滅を追跡できライフタイムも計測することができた。さらに、EsL パッチの移動方向は、EsL が発生した直後は真北や北西の方角であるのに対して、消滅する直前では移動方向が北東の方角に変化していることが明らかになった。本研究によって可視化された EsL の移動特性は、GAIA モデルの中性風を用いた金属イオンの集積に関する数値シミュレーション (Andoh et al, 2022) によって導き出された予測とおおよそ一致することもわかった。これらの結果から、超稠密 GNSS 受信機網を用いることで、EsL の空間スケールと移動特性の高時空間分解能解析を行えることが実証された。

発表では、空間スケールや速度の時間変化の結果を示し GAIA モデルを用いたシミュレーションの結果と比較する予定である。

本研究で使用したソフトバンクの独自基準点の後処理解析用データは、「ソフトバンク独自基準点のデータの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアム」の枠組みを通じて、ソフトバンク株式会社および ALES 株式会社より提供を受けたものを使用しました。