

R005-25

B会場：11/5 AM2 (10:45-12:30)

11:45~12:00

航空航法用 ILS 長距離伝搬波を用いた Es 下部構造の観測

#田淵 駿平¹⁾, 細川 敬祐²⁾, 斎藤 享³⁾, 坂井 純²⁾, 富澤 一郎⁴⁾, 高橋 透⁵⁾, 中田 裕之⁶⁾

(¹⁾電通大, (²⁾電通大, (³⁾電子航法研, (⁴⁾電通大・宇宙電磁環境, (⁵⁾ENRI, (⁶⁾千葉大・工

Substructure of sporadic E layer as viewed by long-range propagation of aeronautical navigation signal

#Shumpei Tabuchi¹⁾, Keisuke Hosokawa²⁾, Susumu Saito³⁾, Jun Sakai²⁾, Ichiro Tomizawa⁴⁾, Toru Takahashi⁵⁾, Hiroyuki Nakata⁶⁾

(¹⁾UEC, (²⁾UEC, (³⁾ENRI, MPAT, (⁴⁾SSRE, Univ. Electro-Comm., (⁵⁾ENRI, MPAT, (⁶⁾Grad. School of Eng., Chiba Univ.

The sporadic E (Es) layer is a phenomenon in which the electron density increases locally at an altitude of about 100 km in the ionosphere. The radio waves reflected by the Es layer can propagate anomalously for a long distance; thus, Es layer has a potential to cause interference to radio systems such as aeronautical navigation systems.

The aeronautical navigation uses the frequency band of 108-118 MHz to provide navigation information to aircrafts. The Instrument Landing System Localizer (ILS LOC), which is the focus of this study, transmits radio waves in 108-112 MHz frequency range with amplitude modulation at 90 Hz on the left side and 150 Hz on the right side as seen from the aircraft. Then, ILS provides information about the approach course based on the difference in the intensity of these two modulations (Difference in Depth of Modulation: DDM). Since the output radio wave has strong directivity, it may cause anomalous propagation over a long distance due to reflection by the Es layer. Recently, it has been reported that a 110.3 MHz radio wave, which seems to have been transmitted from the Localizer Type Directional Aid (LDA) at the Hualien Airport in Taiwan, was received in Kure, Hiroshima, Japan, using a software receiver. However, the source of the signal has not yet been confirmed and it is still unclear how the DDM data can be used for inferring the spatial structure of the Es layer. To overcome these problems, in this study, we have newly installed an ILS LOC receiver in Kure, which was actually used in the aircraft, and the direction of arrival of the radio wave was measured continuously.

During an anomalous propagation event on May 17, 2021, the ILS LOC receiver also received the 110.3 MHz radio signal. From the analysis of the received Morse code, it was confirmed that the radio signal actually arrived from Hualien. The difference between the direction of Kure as viewed from Hualien and the beam direction of the Hualien LDA is -0.68 deg. However, the most frequent DDM angle obtained during four months from May to August 2021 was slightly different (the mode of DDM values was -0.48 deg) from the direction of Hualien (-0.68 deg). This may be because the beam direction of the ILS LOC at the Hualien Airport changes due to the propagation direction and the spatial structure of the Es layer.

We have also investigated the deviation index (ROTI) of total electron content from GPS receivers during the intervals of anomalous propagation. The midpoint between Kure and Hualien, which is considered to be the reflection point of the Es layer, is located in sea areas. Therefore, in the case of a weak Es layer, it may not be possible to confirm the occurrence and propagation direction of Es layer only by using ROTI. However, in the three cases on May 27, June 8, and June 30, 2021, when anomalous propagation by Es was detected, Es signature in ROTI map was observed to move in the southwesterly direction from Honshu to southern Kyushu. The variation of the angle-of-arrival calculated from the DDM values shows that the angles are not always constant during the anomalous propagation, and there is sometimes a systematic decreasing trend. In particular, on June 30, 2021, there was a characteristic change in the angle, which continuously decreased by about 1.5 degrees in about 30 minutes. Based on the direction of motion of Es layer inferred from the ROTI mapping and the change in the angle-of-arrival on June 30, 2021, it can be suggested that Es layer has a wedge-like shape in its bottom part, which may explain the peak of the difference in the angle-of-arrival. This means that the motion and spatial of Es layer can be inferred from the change in the angle calculated from DDM of the ILS LOC receiver.

In the presentation, we show the statistics of the occurrence of anomalous propagation from Hualien in the two summer seasons in 2021 and 2022. We also discuss the characteristic change of the DDM values during the anomalous propagation as an indicator of the spatial structure and the motion of the Es layer.

スプラディック E (Es) 層は、電離圏の高度約 100 km において局所的に電子密度が増大する現象である。電子密度の増大に伴い、通常電離圏 E 層において反射されることがない 100 MHz を超える VHF 帯の電波も Es 層により反射されることがある。Es 層によって反射された電波は、長距離にわたって異常伝搬し、航空航法システムなどの無線システムに電波干渉を引き起こす可能性がある。

航空航法用電波は、108-118 MHz の周波数帯を使用して航空機への情報提供を行うために用いられている。本研究で着目する計器着陸装置 ローカライザー (Instrument Landing System Localizer: ILS LOC) は、108-112 MHz の電波を航空機から見て左側に 90 Hz、右側に 150 Hz で振幅変調した電波を送信し、変調度の差 (Difference in Depth of Modulation: DDM) により、進入コースに関する情報を提供している。出力される電波は、強い指向性を持つため、Es による反射で長距離にわたる異常伝搬が生じる可能性がある。著者らのグループの最近の研究によって、ソフトウェア受信機を使用して、日本の広島県呉市において台湾の花蓮空港の ILS LOC 型の方向指示器 (Localizer Type Directional Aid: LDA) から送信

されたと考えられる 110.3 MHz の電波の受信事例が報告されている。本研究では、ソフトウェア受信機に加えて航空機搭載用 ILS LOC 受信機を広島県呉市に設置し、電波の到来方向を連続的に計測した。これにより、異常伝搬の送信元を明らかにするとともに、ILS の DDM の値から Es の空間構造に関する情報を抽出することが可能かを検証した。

2021 年 5 月 17 日に発生した Es 層による異常伝搬イベントでは、ILS LOC 受信機においても 110.3 MHz の電波が受信された。DDM から算出される観測点の ILS ビーム方向との偏位の角度や音声のモールス信号から、電波が花蓮より到来したことが確認された。しかし、2021 年 5 月から 8 月の期間に ILS LOC 受信機によって得られた受信電波のビーム中心からの偏位の角度を統計的に解析した結果、呉から見た実際の花蓮の方位角と電波のビーム中心の方位角の差 (-0.68 度) とは異なる値を多く示していたことが分かった。この原因として、Es 層の伝搬方向や空間構造によって、花蓮空港 LDA の電波の伝搬に変化が起きている事が考えられる。

上記の解析に加えて、異常伝搬発生時の Es の空間構造を把握するために、GPS 受信機によって得られた電離圏全電子数の変動成分 (ROTI) との比較も行った。異常伝搬波の反射点であると考えられている呉市と花蓮の中間点は海上にある。そのため、小規模な Es の場合は、ROTI によってその Es の発生や伝搬方向が確認できない事がある。しかし、Es による異常伝搬が確認された 2021 年 5 月 27 日、6 月 8 日、6 月 30 日の 3 例においては、Es が本州から九州の南部に向かって南西方向に移動している様子が確認された。これは、これらの異常伝搬事例が Es による反射によって起きていることを示す結果である。

また、DDM の値から算出した偏位角の変動について着目すると、異常伝搬が発生したときに、偏位角は常に一定の値を示しているわけではなく、系統的な値の変動が見られる。特に 2021 年 6 月 30 日の異常伝搬事例においては、約 30 分にわたって偏位角が約 1.5 度にわたって連続的に減少するという特徴的な変化が観測された。ROTI のマッピングから考えられる Es の移動方向と偏位角の変化から、くさび形の Es が反射点を横切って移動したときに、このような偏位角の連続的な変化を説明できる。このような Es の空間構造が、偏位角の分布に広がりを持たせた可能性がある。これらの結果は、ILS LOC 受信機の DDM の値から算出した偏位角の変化によって、Es の動きや空間構造を推測することができることを示唆する。今後は、2022 年夏季に得られた事例も含めて、偏位角の変化の仕方によって分類を行うことで、それぞれの変化に対応する Es の空間構造やその伝搬方向を検討する予定である。また、2021 年、2022 年のデータを用いた Es 異常伝搬の発生頻度に関する統計解析結果も示す予定である。