

R005-24

B会場：9/25 AM2 (10:45-12:30)

11:45~12:00

## 航空航法用電波 ILS Localizer を用いたスプラディック E 層空間構造の解析

#田淵 駿平<sup>1)</sup>, 細川 敬祐<sup>1)</sup>, 斎藤 享<sup>2)</sup>, 山本 淳<sup>3)</sup>, 坂井 純<sup>1)</sup>, 富澤 一郎<sup>1)</sup>, 高橋 透<sup>2)</sup>, 中田 裕之<sup>4)</sup>

(<sup>1)</sup> 電通大, (<sup>2)</sup> 電子航法研, (<sup>3)</sup> 海上保安大学校, (<sup>4)</sup> 千葉大・工

## Analysis of the spatial structures of the sporadic E layer using aeronautical navigation radio - ILS Localizer

#Shumpei Tabuchi<sup>1)</sup>, Keisuke Hosokawa<sup>1)</sup>, Susumu Saito<sup>2)</sup>, Atsushi Yamamoto<sup>3)</sup>, Jun Sakai<sup>1)</sup>, Ichiro Tomizawa<sup>1)</sup>, Toru Takahashi<sup>2)</sup>, Hiroyuki Nakata<sup>4)</sup>

(<sup>1)</sup>The University of Electro-Communications, (<sup>2)</sup>Electronic Navigation Research Institute, (<sup>3)</sup>Maritime Science and Technology, Japan Coast Guard Academy, (<sup>4)</sup>Chiba University

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. Normally, VHF radio waves above 100 MHz are not reflected at that altitude. However, the extremely high electron density in Es sometimes reflects HF to VHF radio waves and causes anomalous propagation of such waves for a long distance. Therefore, Es layer has a potential to cause interference to radio systems such as aeronautical navigation systems. In this study, observations of Es using radio waves used for aeronautical navigation systems, in particular the ones for the Instrument Landing System Localizer (ILS LOC), have been conducted in Kure, Japan.

The ILS LOC 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 of the runway as seen from the aircraft. Then, ILS provides information about the approach course to airplanes based on the difference in the intensity of these two modulations (Difference in Depth of Modulation: DDM). Since radio waves from the ILS LOC system have strong directivity, they may propagate anomalously over a long distance due to reflection by the Es layer despite its low transmission power of 10 W. 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, using a software-defined radio 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 been operating an ILS LOC receiver since in Kure, which was actually used in the aircraft, and the direction of arrival of the radio wave has been measured continuously.

During summer seasons, we often observe a very strong signal at 110.3 MHz at Kure, which is possibly caused by anomalous long-range propagation of VHF waves due to reflection by the Es layer. Analysis of the audio Morse code obtained from our observation revealed that the VHF signal at 110.3 MHz received in Kure was transmitted from a Localizer type Directional Aid (LDA) at Hualien Airport in Taiwan. The difference between the direction of Kure as viewed from Hualien and the beam direction of the Hualien LDA is -0.68 degree. However, the most frequent DDM angle was slightly different from the direction of Hualien. Moreover, during nearly half of the events during two summer seasons, significant fluctuations were seen in the DDM angle. The statistical analysis using two years of measurement indicates that the characteristics of the fluctuation of DDM (which is identical to the angle-of-arrival of the signal) change from case to case. This implies that Es has a potential to change the propagation direction of radio waves used for the ILS Localizer system; thus, the behavior of DDM values may be used for diagnosing the complicated spatial structure of Es.

In this presentation, we will report on the statistical analysis of the data obtained from the software receiver and ILS LOC receiver for the anomalous Es propagation events in the summer seasons of 2021 and 2022. Furthermore, by introducing a few cases of anomalous Es propagation in the summer of 2023, we will discuss how the characteristics of the DDM variation reflect the spatial structure and dynamical characteristics of the Es layer through comparison with the two-dimensional maps of Es from GPS-TEC ROTI and the radio wave observations of the Automatic Identification System (AIS) installed from ships.

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。我々は 2021 年から、航空航法システム、特に計器着陸装置ローカライザー (Instrument Landing System Localizer: ILS LOC) の電波を用いた Es 層の観測を広島県呉市において行って来た。

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 で振幅変調して送信し、変調度の差 (Difference in Depth of Modulation: DDM) を用いて、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 層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、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 の電波のソフトウェア受信機を用いた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 層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。

Es 層による異常伝搬イベントでは、ILS LOC 受信機が示す受信電界強度に変動が見られ、航空機搭載の機器に対する Es 層の影響について確認することができた。また、観測で得られた音声モルス信号を解析したところ、呉で受信した 110.3 MHz の電波は、確かに台湾の花蓮空港より送信されていることが判明した。しかし、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) とは異なる値を示す場合が多く、数十分程度の時間スケールで DDM の値が変動することも分かった。2021, 2022 の 2 年間の Es シーズンの観測を統計的に解析することによって、このような DDM の値が大きく変動するイベントが全体の半数近くを占め、その特性は事例毎に異なることも明らかになった。このような DDM の値の変動は、Es 層の複雑な空間構造が、花蓮空港 LDA の電波の伝搬方向を変化させている可能性がある事を示唆しており、DDM の時間変化から Es 層の形状に関する情報を得ることが期待できる。

本発表では、これまでの 2021, 2022 で得られた Es の異常伝搬イベントについて、ソフトウェア受信機、および ILS LOC 受信機によって得られたデータを統計的に解析した結果を報告する。また、DDM の変動特性が Es 層のどのような空間構造・移動特性を反映しているかについて、2023 年夏季に得られた Es 層の観測事例を例にとり、GPS-TEC ROTI による Es 層の 2 次元分布や船舶自動識別装置 (Automatic Identification System: AIS) の電波観測との比較を行うことで議論する。