

令和 5 年 12 月 7 日

報道機関 各位

国立大学法人 電気通信大学  
国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所

## スポラディック E 層による航空用航法電波の異常伝播に関する研究成果が 国際民間航空機関（ICAO）の技術文書「周波数ハンドブック」に記載

### 【ポイント】

- \* スポラディック E と呼ばれる電離圏現象が航空用航法電波の伝播に与えるインパクトを調べた。
- \* スポラディック E に伴って夏季に航空用航法電波の異常伝播が高い頻度で発生することを明らかにした。
- \* 研究成果が国際民間航空機関（ICAO）の技術文書である「周波数ハンドブック」に記載された。

### 【概要】

電気通信大学情報理工学研究科の細川敬祐教授と電子航法研究所の齋藤享上席研究員を中心とする研究グループは、航空用航法電波の観測によって、電離圏の高度 100 km 付近に発生する「スポラディック E 層」により航空用航法電波が反射されて長距離異常伝播を起こすことを実証しました。この研究成果が、2022 年度に改訂が行われた国際民間航空機関（ICAO）の技術文書「周波数ハンドブック（Doc 9718）」に新たに記載され、航空用航法電波の周波数割り当ての参考情報として紹介されました。さらに、航空用航法電波の長距離異常伝播強度が、実際に航空機用受信機で十分受信されるレベルであることを実証しました。本研究プロジェクトでは、今後も日本国内における観測を継続することによって、スポラディック E 層の出現を広域にモニタリングし、将来の航空用航法の安定的な運用に資する基礎的なデータ収集を行います。また、海外において同様の観測を実施することで、赤道プラズマバブルなどの他の電離圏現象が航空用航法に与える影響についても明らかにする予定です。

### 【背景】

地球大気の上層には、大気が部分的に電離した領域「電離圏」（※1）が存在します。電離圏の存在が、通信電波の伝播に影響を与えることから、古くから研究が行われてきました。夏季（5-8 月）の中緯度地域の電離圏では、100 km 付近の高度で電子の密度が突発的に上昇する「スポラディック E（Es）層」（※2）と呼ばれる現象が発生します。Es 層が発生すると、電離圏で電波が反射されることによって放送波などの無線が遠方まで伝播し、混信を引き起こすことが古くから知られてきました（図 1 参照）。しかし、周波数が 100 MHz を超える電波を使用している「航空用航法システム」（※3）に対する Es 層の影響は明らかになっていませんでした。特に、超短波全方位式無線標識施設（VHF Omni-directional radio Range: VOR）や

計器着陸装置（Instrument Landing System Localizer: ILS LOC）などの航空用航法電波に Es 層がどのような影響を与えるかについては、実際の観測に基づいた実証的な研究が行われておらず、航空用航法システムに対する影響を評価することが難しい状況でした。

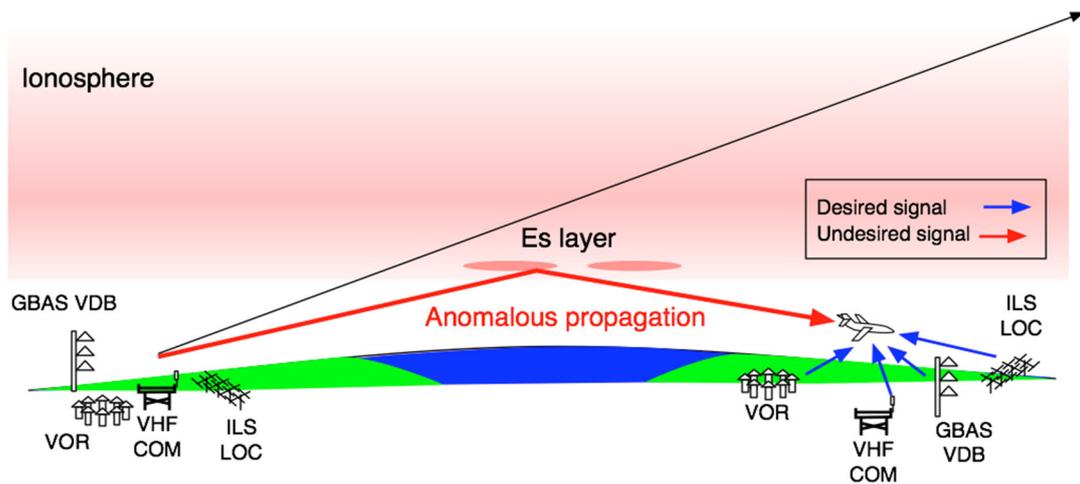


図 1: Es 層の発生に伴って発生する航空用航法電波の異常伝播の模式図。高度 100 km に発生した Es 層によって電波が反射され、見通し外の領域にまで不要波として伝播し、所望波の受信に影響を与えるおそれがある

### 【手法・成果】

本研究では、日本国内の複数箇所において、航空用航法電波のモニタリング観測を継続的に行い、108–118 MHz の周波数帯で運用されている VOR および ILS LOC の航空用航法電波の長距離異常伝搬現象について、大量データに基づいた統計的な解析を行いました。その結果、VOR および ILS LOC の電波が Es 層によって反射されることによって見通し範囲外まで長距離伝搬する事例が、夏季に高い頻度で発生していることが明らかになりました (Sakai et al., 2019, 参考文献 [1])。この研究結果を踏まえ、今年度改訂された国際民間航空機関 (ICAO) の技術文書「周波数ハンドブック」(Doc 9718, Handbook on Radio Frequency Spectrum Requirements for Civil Aviation, Volume II Frequency assignment planning criteria for aeronautical radio communication and navigation systems) では、Es 層による反射が航空用航法電波の安定的な運用に影響を与える可能性があるという記述が新たに盛り込まれ、本研究の結果が国際的な技術文書の作成に貢献することができました。さらにその後の研究により、特に、ILS LOC の電波について、広島県呉市で受信された強い異常伝播信号を解析した結果、台湾の花蓮空港から送信された電波が 2000 km に達する長い距離を伝播し、通常では届かない呉市で受信されていることが明らかになりました (Sakai et al., 2020, 参考文献 [2])。ILS Localizer の電波は VOR に比べて低出力で送信されているため長距離伝搬が受信されるとは想定されてきませんでした。しかし、本研究は、ILS LOC の送信電波が高い指向性を持つことから、送信方向に受信局が存在する場合には、強い信号強度で異常伝播が発生しうることを明らかにしました。さらに、小型航空機に搭載されているものと同型の ILS LOC 受信機を広島県呉市に設置して観測を行った結果、Es 層に伴う異常伝播が実用機材で十分受信されるレベルであることを明らかにしました (参考文献 [3])。

### 【今後の展望】

本研究グループは、現在国内 8 地点において航空用航法電波のモニタリングを行い、GPS 全電子数観測と組み合わせることで Es 層の広がりを広域に可視化することを目指しています (Hosokawa et al., 2020, 参考文献 [4], Hosokawa et al., 2021, 参考文献 [5])。実用機材を用いた Es 層に伴う異常伝播の影響の定量的検証についても引き続き研究を進めています。

さらに、Es 層以外の電離圏現象、例えば、赤道域電離圏で発生する「プラズマバブル」(※4) という現象が VOR/ILS LOC の伝搬に与える影響についても、広域モニタリング観測に基づいた検証を進めています。

## 【共同研究グループ】

細川 敬祐	電気通信大学大学院情報理工学研究科 教授
坂井 純	電気通信大学大学院情報理工学研究科 協力研究員
富澤 一郎	電気通信大学宇宙・電磁環境研究センター 協力研究員
齋藤 享	海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所 上席研究員

## 【外部資金情報】

本研究は、電子航法研究所公募研究 (2017 年度, 2020-2021 年度), 日本学術振興会科学研究費補助金 (18H04437), 村田学術振興財団研究助成 (2020-2021 年) のサポートにより実施されました。

## 【用語説明】

### (※1) 電離圏

高度 60-500 km に分布する地球の超高層大気領域。電離圏大気は、太陽からの極端紫外線放射によって部分的に電離されているため、通信電波 (電磁波) の伝播に影響を与えることが知られている。

### (※2) スポラディック E 層

電離圏下部の高度 100 km 付近において発生する、電子密度が極端に高い層。増大した電子密度のために、電波の伝播に影響を与えることから、古くから観測的な研究が行われてきた。日本付近では夏季によく発生することが知られている。

### (※3) 航空用航法システム

電波を用いて航空機の位置の決定や航路に沿った誘導を行うシステム。超短波帯 (VHF 帯) 電波を用いるものとして、航空機に対して方位情報を示す「超短波全方位式無線標識施設」(VOR: VHF Omnidirectional radio Range) や、滑走路への水平方向の進入コースを示す「計器着陸装置 ローカライザ」(Instrument Landing System Localizer: ILS LOC) などがある。

### (※4) プラズマバブル

磁気赤道域・低緯度域電離圏において発生する周囲よりも電子密度が極端に減少した領域。磁気赤道域から低緯度域にかけて、低電子密度の領域が泡のように高高度まで発達することによって発生する。プラズマバブルの発生によって、地上間の通信電波だけでなく、GPS などの衛星測位の精度劣化や信号の途絶が起こることが知られている。

## 【参考文献】

- [1] Sakai, J., Hosokawa, K., Tomizawa, I., Saito, S. (2019). A statistical study of anomalous VHF propagation due to the sporadic-E layer in the air-navigation band, Radio Science, Radio Science, 54, 426–439. <https://doi.org/10.1029/2018RS006781>.
- [2] Sakai, J., Saito, S., Hosokawa, K., and Tomizawa, I. (2020). Anomalous propagation of radio waves from distant ILS localizers due to ionospheric sporadic-E, Space Weather, 18, e2020SW002517, 2020. <https://doi.org/10.1029/2020SW002517>.
- [3] Saito, S., Hosokawa, K., Sakai, J., and Tomizawa, I. (2023). Anomalous Long-Distance Propagation of ILS LOC Signals by the Es Layer and Its Impact on Aviation Receivers, Space Weather, 21, e2023SW003577. <https://doi.org/10.1029/2023SW003577>.
- [4] Hosokawa, K., Sakai, J., Tomizawa, I., Saito, S., Tsugawa, T., Nishioka, M. and Ishii, M. (2020). A monitoring network for anomalous propagation of aeronautical VHF radio waves due to sporadic E in Japan, Earth, Planets and Space, 72. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01216-z>.
- [5] Hosokawa, K., K., Kimura, J. Sakai, S. Saito, I. Tomizawa, M. Nishioka, T. Tsugawa and M. Ishii, Visualizing sporadic E using aeronautical navigation signals at VHF frequencies, Journal of Space Weather and Space Climate, 11, 6. <https://doi.org/10.1051/swsc/2020075>.

## 【連絡先】

<研究内容に関すること>

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所 航法システム領域

【職名】 上席研究員

【氏名】 齋藤 享

Tel : 0422-41-3191 E-Mail : [susaito@mpat.go.jp](mailto:susaito@mpat.go.jp)

<報道に関すること>

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所

研究計画課 情報発信係

Tel : 0422-41-3168 URL:<https://www.enri.go.jp>