

# 3次元シミュレーションによるスプラディックE層の 日・季節変動の物理機構の解明研究

研究代表者：安藤 慧 (京都大学大学院 理学研究科)

## 研究目的：

本研究では、過去の観測で報告されているスプラディックE層(Es層)の発生率や水平伝播方向などの季節依存性や地方時依存性を高精度の数値モデルにより再現・検証し、Es層の3次元構造の時間発展の過程、Es層の発生率の地方時依存性/季節依存性の原因を解明することを目的とする。

Es層は金属イオンの高密度層であり、電離圏下部に突発的に生じる。Es層の発生率や水平伝播方向などの地方時依存性、季節依存性は過去の多くの観測的研究により報告されている。特に夏季の日本を含む西太平洋領域でEs層の発生率は高くなることが知られており、その理由として、中性風のシアの強さの季節変化、もしくは、電離圏への隕石による金属原子の供給量の季節変化の二つの可能性が提案されている。また、Es層は夏季の日出後と日入後に多く発生することが知られており、Es層の水平伝播方向は昼間に北方向を示し、夜間に南方向を示すことが報告されている。これらの原因として中性大気波動の影響が挙げられているが、具体的にどのような物理過程によって中性大気波動とEs層の時間発展とが関係しあい、Es層の発生率や伝播方向などの地方時依存性を生じさせているかは明らかにされていない。多くの全球モデルでは計算の安定性のために低精度のスキームを用いているため、日々変動する数時間スケールのEs層の構造を再現できていない。ゆえに、数時間スケールのEs層の構造を統計的に分析することで得られるEs層の地方時依存性や季節依存性を議論できない。そのため、高精度電離圏モデルにより日々変動するEs層を再現し、Es層の構造を統計分析することにより、その発生率や水平伝播方向などの季節依存性や地方時依存性の物理機構を解明する必要がある。

## 研究成果：

開発した電離圏モデルの検証として、東京の夜間上空で観測されたEs層と数値計算結果のEs層との比較を実施した。出現したEs層の総数、継続時間、発生高度などが数値計算によりよく再現されていた。ある特定の日にちのEs層の構造を再現することに成功したモデルは、本モデルが初となる。

Es層の特徴の統計解析を実施する前準備として、基礎となるEs層の3次元構造の時間発展の様子を調査した。それにより、Es層の3次元構造の時間発展を以下の4つのフェーズに分類した。

- (1)  $\nu_{in}-\Omega_i$ 比(ion-neutral collision frequencyをion gyro frequencyで割ったもの)が1-10の高度において(約高度110 km以上)、Es層は鉛直、水平方向共に、東西風シアの節(東西風速度が0の位置)に沿って分布。
- (2)  $\nu_{in}-\Omega_i$ 比が10以上の高度において(約高度110 km以下)、Es層は降下しつつ、東西風シアの節から外れ始め、その3次元構造が東西風シアだけでなく、水平風の大きさや方向の影響を受けるようになる。
- (3) 降下するEs層の下方に存在する金属イオンが、東風によるローレンツ力によって上昇し、降下するEs層の密度増加を引き起こす。
- (4) Es層は高度100 km付近に停滞する、もしくは、それ以下へ降下し続ける。この違いは、鉛直風の大きさに依っている。

特に、Es層が東西風シアの節から外れ始めることにより水平風による直接の輸送の影響を受けることが重要な発見であった。これによって、従来の観測で物理機構が謎とされていたEs層の突発的な出現や多層構造は、Es層の3次元構造の水平伝搬と関連することを新たに提唱した。

今後の課題としては、3次元構造の時間発展の調査をした日本付近での、Es層の伝搬方向の傾向や季節による密度変動を調査する。それと同時に、異なる経度帯におけるEs層の構造の調査を更に進めることで、中緯度帯の包括的なEs層の日・季節変動の物理機構を解明していきたい。

## 成果発表：

[投稿論文]

・ Andoh, S., Saito, A., Shinagawa, H. *et al.* First simulations of day-to-day variability of mid-latitude sporadic E layer structures. *Earth Planets Space* **72**, 165 (2020). <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01299-8>

[学会発表(口頭)]

・ 安藤 他, 3次元電離圏数値モデルを用いた中緯度域スプラディック E 層の日々変動の再現, MTI 研究集会, オンライン, 2020/09

・ 安藤 他, 中緯度スプラディックE層の発生に及ぼす電気力学的影響に関する数値シミュレーション, 第147回 地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, オンライン, 2020/11

・ 安藤 他, GAIA中性風データを用いたスプラディックE層の再現シミュレーション, GAIA 研究集会, オンライン, 2021/03