

Es 層形成過程の解明のための観測ロケットによる中性大気・電離大気の同時観測: RIDE キャンペーン

#齊藤 昭則¹⁾, 阿部 琢美²⁾, 松岡 彩子¹⁾, 石坂 圭吾³⁾, 齋藤 義文²⁾, 田川 雅人⁴⁾, 熊本 篤志⁵⁾, 横田 久美子⁴⁾, 小嶋 浩嗣⁶⁾, 栗田 怜⁶⁾, 村田 直史⁷⁾, 斎藤 享⁸⁾, 高橋 透⁸⁾, 西岡 未知⁹⁾, 細川 敬祐¹⁰⁾, 中田 裕之¹¹⁾, 横山 竜宏⁶⁾, Liu Huixin¹²⁾, 安藤 慧⁹⁾, 木暮 優¹²⁾, 西山 尚典¹³⁾, 坂崎 貴俊¹⁾, 江尻 省¹³⁾

(¹⁾ 京都大学・理, (²) JAXA 宇宙科学研究所, (³) 富山県大学・工, (⁴) 神戸大学・工, (⁵) 東北大学・理, (⁶) 京都大学・生存圏研究所, (⁷) JAXA, (⁸) 電子航法研究所, (⁹) 情報通信研究機構, (¹⁰) 電気通信大学・情報理工, (¹¹) 千葉大学・工, (¹²) 九州大学・理, (¹³) 国立極地研究所

Measurements of the neutral and ionized atmospheres by a sounding rocket to elucidate the generation process of Es: RIDE campaign

#Akinori Saito¹⁾, Takumi Abe²⁾, Ayako Matsuoka¹⁾, Keigo Ishisaka³⁾, Yoshifumi Saito²⁾, Maasto Tagawa⁴⁾, Atsushi Kumamoto⁵⁾, Kumiko Yokota⁴⁾, Hirotugu Kojima⁶⁾, Satoshi Kurita⁶⁾, Naofumi Murata⁷⁾, Susumu Saito⁸⁾, Toru Takahashi⁸⁾, Michi Nishioka⁹⁾, Keisuke Hosokawa¹⁰⁾, Hiroyuki Nakata¹¹⁾, Tatsuhiro Yokoyama⁶⁾, Huixin Liu¹²⁾, Satoshi Andoh⁹⁾, Masaru Kogure¹²⁾, Takanori Nishiyama¹³⁾, Takatoshi Sakazaki¹⁾, Mitsumu K Ejiri¹³⁾

(¹) Graduate School of Science, Kyoto University, (²) Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, (³) Faculty of Engineering, Toyama Prefectural University, (⁴) Graduate School of Engineering, Kobe University, (⁵) Graduate School of Science, Tohoku University, (⁶) Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, (⁷) Japan Aerospace Exploration Agency, (⁸) Electronic Navigation Research Institute, (⁹) National Institute of Information and Communications Technology, (¹⁰) Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications, (¹¹) Graduate School of Engineering, Chiba University, (¹²) Graduate School of Science, Kyushu University, (¹³) National Institute of Polar Research

The Rocket Investigation of Daytime E-region (RIDE) campaign is a direct observation of the neutral and ionized atmospheres, electric field and magnetic field that form the sporadic E(Es) layer at an altitude of 90-130 km. This will be achieved by the S-310-46 rocket from Uchinoura in the summer of 2025. The project has three principal objectives: (1) To elucidate and predict phenomena in which the interaction between the neutral and ionized atmospheres is important by combining in-situ observations from rocket experiments with numerical models and ground-based observations, (2) to complete the in-situ measurement package of the neutral and ionized atmospheres and electromagnetic fields, and (3) to develop human resources for future missions. The target phenomenon is the Es layer, a region of high plasma density that appears at approximately 100 km altitude at mid-latitudes. In order to elucidate the formation and dissipation processes of the Es layer, comprehensive observations of the neutral and ionized atmospheres and electromagnetic field are essential. In this experiment, comprehensive in-situ measurements will be made at an altitude of 90 to 130 km during the ascent and descent of the S-310 rocket at 11:00 to 14:00 local time in summer over Japan. The S-310 rocket is equipped with seven instruments, each designed to measure a specific physical quantity as follows: Neutral mass spectrometer (neutral atmosphere composition), neutral atmosphere density and wind instrument (neutral atmosphere density and velocity), ion drift velocity instrument (ion composition, temperature, and velocity), impedance probe (plasma density), Langmuir probe (electron temperature and plasma density), electric field instrument (electric field), and magnetic field instrument (magnetic field). The data obtained from each instrument are linked by the equation of motion of ions and ionospheric currents, and then compared with the predictions derived from a numerical simulation of the ionosphere. The numerical simulations provide insight into the relationship between the formation of the Es layer and wind/electric field, as well as the relationship between wind and altitude for horizontal migration of the Es layer. In addition to the direct measurements obtained by rockets, ground-based observations will be conducted using an ionosonde receiver network and a GNSS receivers network. Wide-area multi-point observations of aviation VHF radio waves and ship VHF radio waves anomalously reflected by the Es layer will be conducted to elucidate the impact of the Es layer on social systems that utilise radio waves.

Rocket Investigation of Daytime E-region (RIDE) キャンペーンは、2025 年夏期に、内之浦から S-310-46 号機ロケットにより、高度 90-130km においてスプラディック E(Es) 層を形成する中性大気・プラズマ大気・電場・磁場の直接観測を行うものである。その目的は以下の 3 つである (1) 中性粒子とプラズマの相互作用が重要な現象を、ロケット実験による直接観測と、数値モデル・地上観測との組み合わせで解明し、予測につなげる (2) 中性粒子、プラズマ、電磁場の直接計測パッケージを完成する (3) 将来の展開のための人材育成を行う。対象とする現象は中緯度域高度 100km 付近に出現する高プラズマ密度領域である Es 層である。Es 層の形成・消滅過程の解明にはプラズマと中性大気と電磁場の総合的な観測が不可欠であり、地上観測では両者の同時観測が困難なため、その解明は十分には進んでいない。本実験では、世界的にも Es 層の出現頻度の高い東アジア域に位置する日本南部において、Es 層の出現頻度の高い夏期の地方時 11~14 時に、S-310 ロケットの上昇時・下降時の高度 90~130km において、中性大気・プラズマ大気・電場・磁場の総合的な直接計測を行う。ロケット搭載測定器は 7 台であり、それぞれから計測される物理量は以下である：中性大気質量分析器 (中

性大気組成)、中性大気密度・風計測装置(中性大気密度・速度)、イオンドリフト速度測定器(イオン組成・温度・速度)、インピーダンスプローブ(プラズマ密度)、ラングミュアプローブ(電子温度・プラズマ密度)、電場観測装置(電場)、磁場観測器(磁場)。これらの物理量の観測によって、電離圏におけるイオン速度を決める要素のほぼ全てが測定でき、Es層形成に関わるプラズマの集積・発散を支配する物理過程を同定することができる。また、電離圏における電流を決める要素も測定される物理量から導出可能であり、風による電場と電離圏電流の形成の評価を行うこともできる。また、測定される物理量の相互の関係から計測の精度・信頼性の評価も可能である。各観測装置からのデータは、イオンの運動方程式と電離圏電流の関係式により、相互に結びつけられるが、さらに3次元電離圏数値シミュレーションによる予測と比較される。数値シミュレーションではEs層形成領域と風・電場の関係やEs層水平移動の風と高度の関係などが予想されており、それらの数値モデルの予想と実際に観測されるEs層の物理量の整合性が議論される。この数値モデルの再現性の直接観測による検証は、数値モデルによるEs層の発生予測へ発展する上で重要である。これらのロケットによる直接計測に加えて、多地点におけるイオノゾンデ受信機網とGNSS受信機網による地上観測を実施し、ロケットで観測されたEs層の時間発展と空間的広がりを明らかにする。また、Es層によって異常反射される航空機航法用VHF電波と船舶用VHF電波の広域多点観測を行うことで、電波を用いる社会システムに対してEs層が与える影響の解明も行う。