

観測ロケットによる磁場データを用いたスプラディック E 層電流構造の解析

#奥田 隆一¹⁾, 松岡 彩子²⁾, 熊本 篤志³⁾, 阿部 琢美⁴⁾

(¹⁾ 京都大学, (²⁾ 京都大学, (³⁾ 東北大学・理・地球物理, (⁴⁾ JAXA 宇宙科学研究所)

Analysis of current structure in the sporadic E layer using magnetic data obtained by sounding rocket experiment

#Ryuichi Okuda¹⁾, Ayako Matsuoka²⁾, Atsushi Kumamoto³⁾, Takumi Abe⁴⁾

(¹⁾ Kyoto University, (²⁾ Graduate School of Science, Kyoto University, (³⁾ Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University, (⁴⁾ Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency)

The sporadic E layer is a region of high electron density that occurs suddenly and locally in the ionospheric E region, and is known to reflect radio waves in the VHF band (30 to 300 MHz). When the direction of the horizontal wind in the neutral atmosphere varies with altitude and has a shear structure along the vertical direction, ions above and below converge at an altitude between them and form a sporadic E layer, since their motion is affected by the earth's magnetic field (Wind Shear theory). The sporadic E layer appears at an altitude of about 100 km, where the means of direct observation is limited to sounding rockets. Due to the limited opportunities for direct observation, many things about the electromagnetic nature of the sporadic E layer remain unknown. It is meaningful to derive the altitude distribution of the electric current density from the magnetic field measured by sounding rockets for the advanced understanding of the sporadic E layer.

The sounding rocket S-310-38 was launched from Uchinoura Space Center (USC) in Kagoshima Prefecture on February 6, 2008 and reached an altitude of 160 km. The sporadic E layer was confirmed by imaging observation with a Magnesium Ion Imager (MII) and the electron density observation with an Impedance probe onboard the rocket. The rocket was equipped with a Digital Fluxgate magnetometer (DFG), that measures three orthogonal components of the magnetic field (one is along the rocket's axis and the others are in the spin plane around the axis) at a sampling frequency of 200 Hz. In order to subtract the modeled magnetic field and obtain the fluctuation component, it is necessary to determine the attitude of the rocket. Attempts to determine the attitude of the rocket were made by the observation with a star imaging attitude meter, but because the observation was in an area with too much sunlight, the information on the star positions could not be obtained and the attitude of the rocket could not be determined. The attitude of the rocket was estimated by assuming that the point the rocket axis was directed moved on a true circle by the precession motion of the rocket.

The sounding rocket S-520-29 was launched from USC on August 17, 2014 and reached an altitude of 243 km. The sporadic E layer was also confirmed by two MIIs and a Langmuir probe. Similar to S-310-38, the magnetic field observation was performed by a DFG at a sampling frequency of 200 Hz. S-520-29 was equipped with an attitude control system, and it was planned to direct the rocket's axis toward the zenith, but it did not work as expected. Although a very large precession with a radius of about 33 degrees occurred as a result, the attitude of the rocket was determined by the attitude sensor.

In this study, we analyzed the fluctuation component of the magnetic field measured during the flight, and derived the density of the electric current flowing inside and outside the sporadic E layer. Among the parameters included in the general Ohm's law equation expressing the electromagnetic relationship, the electrical conductivity is given by observations of the electron density and models. Although the electric field and the neutral wind velocity were not directly observed, their structure consistent with the current density distribution was inferred. Furthermore we discussed how the ionosphere is heated by converting the kinetic energy of ions and electrons into Joule thermal energy.

スプラディック E 層は電離圏 E 層に突発的かつ局所的に発生する電子密度が高い領域であり、VHF 帯 (30~300MHz) の電波を反射することで知られている。中性大気の水素風の方向が高度によって変わりシア構造を持つと、上下にあるイオンが地球磁場の影響を受けてその中間の高度に収束してスプラディック E 層が形成される (Wind Shear 理論)。スプラディック E 層は高度約 100km に出現し、直接観測の手段は観測ロケットに限られる。スプラディック E 層の中および周辺の電磁的な描像には未解明な部分が多く、観測ロケットによる磁場データから電流密度の高度分布を導出することは有意義である。

観測ロケット S-310-38 号機は 2008 年 2 月 6 日、鹿児島県内之浦宇宙空間観測所から打ち上げられ、高度 160km まで到達した。マグネシウムイオンイメージャ (MII) の撮像観測およびインピーダンスプローブの電子密度観測によって、スプラディック E 層の出現が確認された。同ロケットにはデジタル方式フラックスゲート磁力計 (DFG) が搭載され、サンプリング周波数 200Hz で磁場の直交 3 成分 (1 つは機軸に沿った方向の成分、残り 2 つは機軸周りのスピン面内の成分) の測定を行った。測定した磁場からモデル磁場を引き変動成分を求めるためにはロケットの姿勢決定が必要である。星撮像姿勢計の観測により姿勢決定を試みたが、予想を上回る日照領域の影響を受けて、解析に使用するデータが得られずロケットの姿勢を決定できなかった。ロケットの歳差運動で機軸方向が真円を描くことを仮定して姿勢を決定した。

観測ロケット S-520-29 号機は 2014 年 8 月 17 日、鹿児島県内之浦宇宙空間観測所から打ち上げられ、高度 243km まで到達した。2 台の MII およびラングミュアプローブの電子密度観測により、同じくスプラディック E 層の出現が確認された。S-310-38 号機と同様に、DFG によってサンプリング周波数 200Hz で磁場観測を行った。S-520-29 号機には姿

姿勢制御装置が搭載され、ロケットの機軸が天頂を向く制御を行うことが計画されたが、姿勢制御装置が期待通りに動作しなかった。このため半径約 33 度の非常に大きな歳差運動を起こしたものの、姿勢センサにより観測ロケットの姿勢は決定された。

本研究では飛翔中の磁場データの変動成分の解析を行い、スプラディック E 層内外を流れる電流密度を導出した。一般的なオームの法則の式に含まれるパラメータの内、電気伝導度は電子密度の観測値とモデルで与えられる。電場と中性風速度は直接的には観測されていないが、電流密度分布と整合する電場と中性風速度の構造を推測した。また、イオンや電子の運動エネルギーがジュール熱に変換されることにより、電離圏がどのような加熱を受けるのか考察した。