

Oxygen Ion Outflow Response to the Solar Wind

Condition derived from the Extreme Ultraviolet

Imaging on SELENE

SELENE 搭載極端紫外光撮像による酸素イオン散逸の太陽風との応答

Abstract

In 1960s, H^+ , He^+ , and electrons generated in the ionosphere are theoretically thought to outflow into the magnetosphere from the earth due to the pressure gradient in the polar cap region where the magnetic field connects to interplanetary space, what is called open field lines. In 1980s and 1990s, the existence of these plasma outflows was verified from the plasma in-situ observation operated by polar orbit satellites such as Dynamic Explorers and Akebono. Additionally, O^+ outflow was observed much more than expected amount even though it was thought few O^+ would outflow because of its heavy mass. In previous studies, great amount of O^+ outflow was discovered at the cleft region and the auroral region or in the polar wind at the polar cap region and energization mechanism caused by ambipolar electric field and wave-particle interaction are introduced. However, it is not yet obvious when and how much outflow ions are produced and it is difficult to solve this problem only by the in-situ observation.

To solve this problem, it is important to conduct in-situ observations and imaging observations at the same time so as to observe ions comprehensively. In order to observe circum-terrestrial plasma from moon orbit, Upper Atmosphere and Plasma Imager - Telescope of Extreme ultraviolet (UPI-TEX) on board the lunar orbiter, SELENE (KAGUYA) operated imaging observations of the resonance scattering emission from O^+ and He^+ . Since it can observe both temporal and spatial variations of circum-terrestrial plasma comprehensively, it can be a significant measurement to understand the mechanism of the outflow. UPI-TEX took images of O^+ outflow where the magnetic field is open and several R_E far from the earth every 2 hours so that it is possible to understand the temporal variation of outflow ions amount result from the magnetospheric variation of a few hours scale.

The purpose of this study is to evaluate the temporal variation of the outflow ions amount depending on the solar wind condition and understand what produce the outflow ions and when the outflow ions are produced. In this analysis, I focused on the relationship between solar wind condition and geomagnetic activity and the amount of outflow O^+ . Since the UPI-TEX instrument observes the resonance scattering emission from O^+ to take 2-dimensional images, I can see comprehensive variation of the O^+ outflow from the polar region of the earth. However, there are contaminations of the emission from hydrogen atoms called geocorona near the wavelength of the resonance scattering emission from O^+ . Especially, the emission of Lyman β 102.5 nm is detected comparable to the resonance scattering emission from O^+ outflow. In this study, I assume atomic hydrogen distribution as spherically symmetric Chamberlain model to calculate the intensity from atomic hydrogen by solving radiative transfer equations and subtracted the counts from the obtained image. In the obtained images, I calculate the averaged intensity of the O^+ resonance scattering emission in the area O^+ outflow can exist along the open magnetic field derived from the Tsyganenko 96 model. The variation of the averaged intensity resulted from the variation of the integrated area is normalized theoretically. The variation of the averaged intensity is compared with the solar wind parameters and geomagnetic activity. As a result, the timing of the peak of the normalized averaged intensity was coincident with that of solar wind dynamic pressure pulse. $V_{SW}B_{IMF}$ and the solar wind speed highly correlated with the intensity. The time delay between the changes in the solar wind and that in the intensity was not found in this study. Those results are consistent with previous studies. I conclude that solar wind dynamic pressure, $V_{SW}B_{IMF}$, and the solar wind speed seem to cause ionospheric O^+ to outflow to the magnetosphere.

要旨

1960年代、地球電離圏で生成された水素イオン、ヘリウムイオン、電子は極域では磁力線が開いているため、圧力勾配によって電離圏から磁気圏へ散逸すると理論的に考えられていた。1980年代、1990年代になると、Dynamic Explorers やあけぼのといった極軌道衛星によるプラズマ粒子のその場観測により、これらの散逸プラズマの存在が実証された。一方で、質量が重いため散逸量が限られると考えられていた酸素イオンも多量に散逸されていることが発見された。これまでの先行研究によって、極域でみられるポーラーウインドやクレフト領域およびオーロラ帯領域で多量の散逸酸素イオンが発見され、それらの加速メカニズムとして分極電場や波動加速が考えられている。しかし、どの程度の量の散逸イオンがどのようなタイミングで生成されているかは明らかになっておらず、従来の1点観測では解決することは困難である。

この問題を解決するためには、その場観測を行うと同時に撮像観測により大域的に散逸イオンを追跡することが重要である。月周回衛星SELENE（かぐや）に搭載されている超高層大気プラズマイメージャー(Upper-Atmosphere and Plasma Imager - Telescope of Extreme ultraviolet : UPI-TEX)は、月軌道から地球周辺プラズマの分布をヘリウムイオンおよび酸素イオンの共鳴散乱光を用いて撮像観測を行った。この手法は地球周辺での散逸イオン分布の空間変化および時間変化を大域的に観測することができるため、散逸イオンの散逸経路・散逸過程を知るための大きな手がかりとなる。UPI-TEX酸素イオン撮像は、地球から数 R_E までの磁力線の開いた領域において、2時間おきに観測を行うため、数時間程度の長い時定数の磁気圏応答に関連する散逸イオンの散逸量時間変化を理解することが可能である。

研究の目的は、太陽風の条件による散逸イオンの散逸量時間変化を見積もり、散逸イオンの生成要因やタイミングを理解することである。私は、太陽風条件および地磁気活動度と酸素イオン散逸量の因果関係に着目した。UPI-TEXは散逸酸素イオンの共鳴散乱光を二次元撮像しているため、地球近傍に存在する散逸酸素イオンの大域的な変動を知ることができる。ただし、酸素イオンの共鳴散乱光の近傍波長域には、ジオコロナと呼ばれる水素原子の発光が存在するため、ノイズが混在する。特に102.5nmのライマン β のカウント数は酸素イオン共鳴散乱光と同程度検出される。そこで本研究では、水素原子は地球外圏に球対称に存在すると仮定するChamberlainモデルを用いてライマン β の輝度値を放射伝達方程式を解くことで求め、検出カウントを計算し取得画像から除去した。そしてその画像内においてTsyganenko96磁場モデルを用いて磁力線の閉じた領域

を分別し、散逸酸素イオンが存在しうる領域内での平均輝度値を求めた。その積分領域の変動による平均輝度値の変化は、幾何学的な補正を加え、論理的に正規化を行った。平均輝度値の時間変化と太陽風条件の時間変化を比較した結果、太陽風動圧の増加のタイミングと散逸酸素イオン共鳴散乱光輝度値の増加のタイミングが一致しており、 $V_{SW}B_{IMF}$ および太陽風速度との相関が高い事がわかった。これより、酸素イオンの散逸には太陽風動圧、 $V_{SW}B_{IMF}$ 、太陽風速度が強く関わっていることが判明した。