

学 位 論 文 題 名

# Modeling of the Earth's Upper Atmosphere

(地球超高層大気のモデリング)

## 学位論文内容の要旨

A new 3-dimensional coupled model of the global thermosphere, ionosphere and plasmasphere has been developed, with the main focus of understanding the importance of the ion-drag processes between the neutral and ionized species, and the upper atmospheric response to geomagnetic storms.

What we have done in this study is to couple the low- and mid-latitude ionosphere/plasmasphere model [Watanabe et al., 1995] to the global thermosphere model [Fuller-Rowell and Rees, 1980] and the high-and mid-latitude ionosphere model [Quegan et al., 1982].

By incorporating the low- and mid-latitude ionosphere and plasmasphere, the model has become able to self-consistently solve the global ionosphere and thermosphere.

In geomagnetically quiet conditions, the model demonstrated the general observed structures of the global ionosphere-thermosphere. The comparison between the model results and satellite observations showed that the ion-drag processes play a significant role in the zonal momentum balance and superrotation of the Earth's upper atmosphere at equatorial latitude. Furthermore, our results suggest that ion-drag in the direction parallel to the field-lines, in the vicinity of a pronounced Equatorial Ionization Anomaly, has an impact on interpreting the observed latitudinal structure of the equatorial neutral temperature. The results suggest that it is important to consider the 3-dimensional behavior of the ion drag process.

The model has also been applied to addressing the challenge of understanding the response of the coupled ionosphere-thermosphere system to geomagnetic storms. The storm-time simulations demonstrate that the neutral atmospheric disturbances propagate to lower latitudes with strong LT dependences. The propagation properties are controlled by ion-drag, representing one of the key interaction processes between the neutral and ionized species, and are determined by both the plasma density and drift. At the same time, the plasma density and drift respond to the altered electrodynamics, as well as the neutral atmospheric disturbances. Changes in ion-drag affect the global propagation of the neutral atmospheric disturbances and the establishment, and temporal evolution, of the global circulation.

It is demonstrated that coupled thermosphere-ionosphere-plasmasphere models are valuable in order to understand the dynamic and energetic coupling between the Earth's neutral and plasma environment, during both quiet and disturbed geomagnetic conditions.

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 渡 部 重 十  
副 査 教 授 林 祥 介  
副 査 助 教 授 倉 本 圭  
副 査 教 授 小 笹 隆 司

## 学 位 論 文 題 名

### Modeling of the Earth's Upper Atmosphere

・(地球超高層大気モデリング)

本学位論文は、熱圏電離圏結合過程、スーパーローテーション、極域でのジュール加熱による熱圏大気の運動と中低緯度への極域擾乱伝播、電離大気の3次元運動と構造を解明し、宇宙天気プロジェクトの核となる熱圏・電離圏モデリングを構築した。3次元熱圏・電離圏結合モデルを用いた計算機実験と人工衛星観測や地上観測との比較から以下のことを明らかにしている。(1)熱圏電離圏相互作用は力学的な衝突効果によるものと電磁気的な効果によるものがある。両者は一般に近距離作用として振る舞うが、電離圏F層特に赤道域電離圏F層では電磁場を介した電磁気的な遠距離作用が重要となる。(2)高度100km～120kmに生成された電場は、磁力線方向の電気伝導度は非常に大きいため磁力線に沿って異なる領域に投影される。したがって、熱圏・電離圏結合は必然的に全球3次元過程として捉える必要がある。(3)高度120km以上では、電離大気の運動は磁場に束縛された運動をする。磁力線に平行な方向では電離大気と中性大気の衝突により両者の速度差は減少する。特に、磁力線の傾きが水平に近くなる磁気赤道域付近でその効果は顕著となる。(4)磁力線に垂直な方向では電離大気は磁力線に補足されているために、中性大気とプラズマの間に相対速度が一般に生じる。相対速度が大きくなる領域で、中性大気は電離大気からのイオン抗力を受ける。(5)イオン抗力や中性大気抗力は熱圏大気・電離大気の運動にとって非常に重要である。(6)イオン抗力はプラズマ密度・温度に強く依存する。したがって、熱圏・電離圏結合は磁気活動、太陽活動、季節依存性がある。(7)人工衛星で観測された磁気赤道上での大気温度減少は磁力線に平行なイオン抗力が起因している。(8)磁気赤道域に存在する熱圏大気のスーパーローテーションはイオン抗力が主原因である。(9)オーロラ領域で発生した重力波・伝搬性電離圏擾乱の中・低緯度への伝播・減衰にイオン抗力は大きな影響を与える。(10)モデリングと観測データを直接比較・検討できる本モデルは宇宙天気予報の核となる。

この成果は、熱圏電離圏の力学・熱力学を解明しただけでなく、宇宙天気予報で利用できるモデリングを完成させたもので、地球惑星科学分野に大きな貢献をしたものと高く評価できる。よって、著者は、北海道大学博士(理学)の学位を授与される資格あるものと認める。