

修士論文要旨

全天スペクトログラフと EISCAT スバルバルレーダーの

同時観測によるイオン上昇流についての研究

坪根 克也

(指導教員:岡野 章一 教授)

平成 16 年

要旨

極域電離圏上部において、プラズマの加熱に伴いイオン上昇流が観測される。酸素イオンが主である高度約 400km 付近から頻繁に観測されるこの現象は、典型的な速度が 1km/sec 以下と地球からの脱出速度を超えないため、さらなる加速・加熱なしには磁気圏へ流出することは出来ない。しかしながら、実際に流出するイオンのソースとして非常に重要な役割を果たすと考えられている。

イオン上昇流の発生機構については、近年では低エネルギーの降下電子が主要な役割を果たしていると考えられている。*Liu et al. [1995]*や*Su et al. [1999]*らは低エネルギーの降下電子により、電離圏の電子温度が上昇し両極性電場が強められる結果イオン上昇流が発生することを示唆した。しかし、*Caton et al. [1996]*のモデル計算結果によれば、低エネルギーの降下電子のみでは、実際観測される電子温度の高度プロファイルを再現できず、磁気圏からの熱伝導も電離圏の電子加熱・イオン上昇流に対して重要な役割を果たす可能性が指摘されている。電子温度は、両極性電場の大きさに影響をあたえるために、イオン上昇時の電子温度の加熱メカニズムを明らかにすることは、イオン上昇流の発生機構を知る上で非常に重要である。一方、低エネルギーの降下電子は OI630nm や OII732/733nm の波長等のオーロラを効率よく発光させる。これらの発光とイオン上昇流は良い対応関係があることが期待されるものの、これまでほとんど研究はされてない。オーロラを介した情報からイオン上昇流との対応関係を調べることにより、イオン上昇流の発生領域に関しての情報を得られる可能性がある。このような背景のもと、本研究では電子加熱に伴うタイプのイオン上昇流について、1.オーロラとの対応関係を明らかにする、2.電離圏電子加熱要因に関して知見を得る、の 2 点を目的としてロングイヤービエン (北緯 78.2 度、東経 16.0 度、不変磁気緯度 75.2 度)に設置されたオーロラスペクトログラフ(以下 ASG)および、EISCAT Svalbard Radar (以下 ESR)の同時観測データの解析を行った。本論文では、2001 年 12 月 8 日のイオン上昇流イベントの解析結果に関して詳細に報告する。

2001 年 12 月 8 日の 0727UT 以降において、顕著な OI630nm や OII732/733nm 発光が磁気天頂から極側にかけて ASG により観測された。ESR42m アンテナは磁力線方向を観測し

ているため、これら OI630nm や OII732/733nm 発光の赤道側境界を観測しており、この時間帯において電子温度上昇に伴うイオン上昇流を観測した。

ASG により観測される磁気天頂方向の OI630nm, OI557.7nm 発光の発光強度・発光強度比をもとに、モデル計算により降下電子のエネルギーパラメータを推定したところ 0727UT 以降においては、9 - 20 分間隔で降下電子の平均エネルギーの変化が確認された。ESR により観測されたイオンの磁力線方向の速度は、推定した降下電子の平均エネルギーが低くなるタイミングと同期して上向きの速度を増加させることが明らかになった。電子温度も降下電子の平均エネルギーが低くなるタイミングで上昇しているのに対し、イオン温度と電子密度の変動は降下電子の平均エネルギーの変動とあまり対応していなかった。ただし、0830UT 付近では降下電子のエネルギーパラメータに対して変化が確認されないにもかかわらず、電子温度上昇・イオンの上向き速度の増加が観測された。

推定した降下電子の平均エネルギーとイオンの上向き速度と電子温度は明瞭な逆相関の関係があることが明らかになった。すなわち降下電子が低エネルギーであるほど、イオンの上向き速度が大きく・電子温度が増大する傾向を示した。イオン温度及び電子密度は降下電子の平均エネルギーに対し明瞭な関係を示さなかった。また、ESR から観測されるプラズマパラメータを用いてイオンに働く力を計算した結果、電子の圧力勾配力がイオン上昇発生時に大きく増加し、イオンの上向き速度との変動と良い相関を持つ結果となった。以上の結果は、このイベントにおいては両極性電場がイオンを上向きに駆動する力として大きな役割を果たすことを示唆する。

Link [1992]を参考に *Feautrier* 法を用い、入射電子と電離圏の電子との相互作用を加味した電子の輸送方程式を二流体近似により解くコードを開発した。そのコードを用いて、降下電子の平均エネルギーの変化による電離圏電子加熱率の変化を調べたところ、降下電子のエネルギーが低エネルギーであるほど、250 - 300km 以上の高度において加熱率が大きいと言う結果が得られた。この計算結果は、低エネルギーほど電子温度が上昇するという結果を支持する。また、イオンの駆動力に関する考察とあわせて考えると、降下電子が低エネルギーであるほど、電離圏電子を電離圏上部において効率よく加熱することで、両極性電場を増大させ大きなイオンの上向き速度が生じることが示唆される。ただし *Caton et al.* [1996]のモデル計算結果によれば、電離圏電子温度には磁気圏からの熱伝導も重要な役割を担っていることが示唆されていることから、さらにシミュレーションにより両者の相対的寄与を比較する必要がある。

0830UT 付近では降下電子のエネルギーパラメータは変化が確認されないにもかかわらず、電子温度の上昇及びイオンの上向き速度の増加が観測された。この時間帯は、他のイオン上昇流イベントと比較して電子密度が低密度であった。高度 200 - 250km 以上においては電子とイオンのクーロン衝突が電子冷却に最も効いていることを考えると、電子密度が低いときにはイオンとのクーロン衝突による冷却プロセスが効きにくくなると考えられる。以上のことから、~0830UT 付近のイオン上昇流は低エネルギーの降下電子以外の電子加熱要因が、低電子密度領域であることにより効果的に電子温度を増大させ、両極性電場を介してイオン上昇流を駆動している可能性が示唆される。

本研究において、オーロラの発光強度比からモデル計算により推定した降下電子の平均エネルギーと電子温度上昇に伴うイオン上昇流との対応関係を示すことにより、オーロラとイオン上昇流の対応関係を明らかにした。