

審査の結果の要旨

氏名 高田 雅康

本論文は6章からなる。第1章はイントロダクションで、地球磁気圏プラズマの起源に焦点をあて、地球磁気圏・電離圏などの地球を取りまくプラズマ環境や、磁気嵐を引き起こすコロナ質量放出(CME)や共回転相互作用領域(CIR)などの太陽風の構造などを中心に研究の背景をまとめている。特に、電離圏から磁気圏へのプラズマ供給過程を理解するために、分子イオンの流出を可能とする高度300km以下の低高度電離圏からのイオン上昇流の発現条件やメカニズムの解明が重要であることを指摘している。

第2章には研究に用いた観測機器や手法に関する内容が述べられている。本論文では地球の内部磁気圏を観測する人工衛星としてあらせ(ERG)衛星を、電離圏を観測する施設として欧州非干渉散乱(EISCAT)レーダーを用いている。また、本章では、第3章と第4章で用いられたデータや解析手法に関する内容がまとめられている。

第3章ではあらせ衛星と Tromsø にある EISCAT レーダーを用いて、磁気嵐中に磁気圏内で分子イオンが観測されている時に低高度電離圏において観測されたイオン上昇流についての詳細解析が示されている。その結果、観測されたイオン上昇流は摩擦加熱によって引き起こされるイオンと電子の圧力勾配力で支えられるようなイオン上昇流であることが明らかとなった。また、この上昇流によって、分子イオンが解離性再結合の消滅に打ち勝ち、十分な量の分子イオンが上方に輸送され得ることも明らかとなった。これらの結果は、低高度電離圏から分子イオンを運び得る速いイオン上昇流が、どのような物理機構によって駆動されているのかを観測的に明らかにした重要な研究成果と位置づけられる。

第4章では Tromsø と Svalbard にある EISCAT レーダーを用いて、磁気嵐中に分子イオンを磁気圏に運び得る、低高度電離圏におけるイオン上昇流の特性を統計解析によって明らかにしている。1996年から2015年までの過去20年間分のデータを観測地域・地方時や磁気嵐の型・大きさごとに場合分けし、特にイオン上昇流を駆動する物理機構に着目して精緻な統計処理に基づくデータ解析を実施した。その結果、摩擦加熱に起因するイオン上昇流(Type1)と電子の降り込みに起因するイオン上昇流(Type2)の2種類のイオン上昇流について発現条件を明らかにした。(1) Type1はCME磁気嵐中では Tromsø, Svalbard の両方で観測され、CIR磁気嵐中では特に朝側の Svalbard で観測される。(2) Type2はCIR磁気嵐中では Tromsø, Svalbard とともに観測され、CME磁気嵐中では小規模な磁気嵐の時に夜側の Tromsø で観測される。これらの結果は、地方時や緯度に依存してどのような物理機構が分子イオンの輸送過程に寄与しているかを示唆する重要な研究成果といえる。

第5章では本論文で得られた磁気嵐中の低高度電離圏におけるイオン上昇流がより高高度の電離圏へとどのように接続しているかの議論を展開することで、分子イオンなどの重イオン輸送の可能性を考察している。その結果、摩擦加熱に起因するイオン上昇流だけでなく、電子の降り込みに起因するイオン上昇流も十分に分子イオンを運びうる可能性のある事が示された。

第6章には本論文の結論として、分子イオンがどのようにして磁気嵐中に低高度電離圏から輸送され得るかがまとめられている。具体的には、磁気嵐時に夜側で分子イオンが主に降り込みによって流出していること、さらに CME 駆動型などの強い磁気嵐になると夕方側から朝側にかけて広い領域から摩擦加熱により分子イオンが追加で流出することが明らかにされたことをまとめている。

本論文の第3章と第4章で得られた、高度 300km 以下の低高度電離圏からの分子イオンの上昇流の発現条件やメカニズムに関する解析結果はこれまでに無い新しい知見であり、地球の電離圏のみでなく、磁化惑星からの電離大気流出や磁気圏へのプラズマ供給を理解する上で重要な結果である。また、より一般的に、太陽系外の磁化惑星において、主星からの星風の条件から、惑星起源プラズマの磁気圏への供給過程を推定するための基礎的な知見となることから、今後多くの理論的研究を促すことも期待できる。

以上を総合して、審査員全員一致で本論文が博士論文として十分なレベルに達していると結論した。

なお、本論文第3章は関華奈子、小川泰信、桂華邦裕、笠原慧、横田勝一郎、堀智昭、浅村和史、三好由純、篠原育との、第4章は関華奈子、小川泰信、桂華邦裕との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析を行ったもので論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。