

論文審査の結果の要旨

氏名 福田 陽子

本論文は7章からなる。第1章はイントロダクションで、様々な時空間スケールを持つオーロラ現象の中でも微細構造が高速に変動するオーロラは、磁気圏電離圏結合系で発生する複雑なプラズマ波動によって形成されることが述べられている。特に、フリッカリングオーロラは、オーロラ加速領域内部で発生する酸素イオンの電磁イオンサイクロトロン (EMIC) 波と電子のランダウ共鳴によって形成されると考えられているが、その発生条件や上限周波数については統計解析の不足や観測装置の時間分解能の限界によりこれまで詳細な解析は行われていなかった。これらの研究背景から、本論文では地上高速撮像により、フリッカリングオーロラの発生条件や上限周波数を明らかにすることで、形成メカニズムを明らかにすることを研究課題として位置付けている。

第2章には、開発された観測装置の詳細と、その観測装置を使用して3年間にわたって北米アラスカ・ポーカーフラット試験場で行われた地上光学観測の概要が述べられている。科学計測用 CMOS (sCMOS) カメラを用いた観測システムは、フリッカリングオーロラの形成メカニズムを明らかにするため、酸素イオン EMIC 波だけではなく、マルチイオン (酸素イオン、ヘリウムイオン、プロトン) EMIC 波を検証するために設計された。また、オーロラ自動判定システムの開発により、これまで困難であった高速撮像の連続観測が実現できたことが述べられている。

第3章では、得られた観測データを用いて、フリッカリングオーロラの出現特性を統計的に調べている。統計解析を行うために、フリッカリングオーロラの自動検出を用いた結果、背景が明るいオーロラと広い空間スケールを持つ加速域がフリッカリングオーロラを発生させる有利な条件であることが示された。また、発生領域の情報を持つフリッカリングオーロラの振動数は、背景オーロラの強度やサブストームの相とは相関が弱いこと、さらに、振動数の幅もサブストームの相によらずほぼ一定で狭いことを明らかにした。これらの結果は、フリッカリングオーロラの発生領域がオーロラ加速域のキャビティなどの低高度加速領域内部に制限されていることを示唆している。また、フリッカリングオーロラの振幅が背景のオーロラ強度と共に減少することが初めて観測的に示された。

これは、エネルギーの高い電子ほど波の相互作用を受けづらいという理論的な予測と定性的に一致している。

第4章では、フリッカリングオーロラの形成メカニズムをより明らかにすることを旨として160フレーム/秒の高速撮像を行った結果、プロトン EMIC 波によって形成された可能性のある 50-60 Hz、~80 Hz の高速フリッカリングの存在を発見した。高速フリッカリングは従来から報告されている典型的な~10 Hz のフリッカリングオーロラの低緯度側に出現し、そのパッチスケールは典型的なフリッカリングオーロラよりも小さいことが明らかとなった。これらの観測によって、フリッカリングオーロラがマルチイオン EMIC 波で形成されることが初めて示された。

第5章ではさらに、地上高速撮像の応用例として、脈動オーロラの微細な高速空間変動に着目している。3Hz 変調を伴うパッチの空間変動に関する報告例は数少ないが、本論文で、主にパッチの端で繰り返し拡大するような空間変動を多数取り上げ、その変動速度を求めた結果、全体の 80%が 70km s^{-1} 以下、すなわち、磁気赤道での Alfvén 速度よりも遅いことが観測的に示された。この結果は、パッチの空間変動の形成メカニズムとして、コーラスエレメントの斜め伝搬ではなく、スローモード Alfvén 波が寄与していることを示唆している。

第6章には第3章と第4章で得られた結果に基づいて、フリッカリングオーロラの形成メカニズムに関する総括的な議論と、第5章を踏まえた波動粒子相互作用の可視化の可能性が述べられている。また、第7章には本論文の結論と将来への展望が述べられている。

本論文の第2章で開発された観測装置は世界最高レベルの観測時間分解能を実現できるものであり、超高層物理学の観測的研究の発展に大いに貢献するものである。第3章、4章のフリッカリングオーロラの研究、第5章のパルセーディングオーロラの研究においては、高時間分解能観測を活かした新しい成果を得ており、今後多くの理論的研究を促すことが期待できる。

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4章および第5章は 片岡 龍峰 他との共同研究であるが、論文提出者が主体となってデータの解析及び結果の考察を行ったもので、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。