

論文審査の結果の要旨

氏名 簗島 敬

プラズマ中で荷電粒子の位相密度分布関数が熱的分布からはずれる非熱的粒子加速は、高エネルギー天体・太陽コロナ・地球磁気圏などで広く見られる普遍的な物理過程である。しかし、どのような物理機構を経て加速が起きているかということについては、未解決の問題が多く残る。太陽フレアはその爆発的エネルギー解放に伴って非熱粒子加速が起こる代表的な現象であり、特に太陽は、近傍天体であることから時間・空間・スペクトルについて分解された観測情報が豊富で、粒子加速について知見を得ることができる貴重な天体である。

本論文では、現在最良の非熱現象観測装置である RHESSI 衛星の硬 X 線データと野辺山電波ヘリオグラフのマイクロ波データとをあわせて、太陽フレアでの非熱電子輸送過程の解析を行った。観測から得られる電子分布関数のピッチ角依存性や粒子エネルギー依存性などの情報は、加速機構解明のための鍵となる物理量であるが、それらの詳細プラズマデータの解析と Fokker-Planck 方程式による理論モデリングを併せることにより、粒子加速機構に対する新しい知見を得た。このように、理論モデリングによる考察と詳細観測データ解析を併せて粒子分布の詳細に立ち入った研究は前例がなく、加速機構の解明を大きく前進させた研究論文として評価できる。

以下で、本論文の内容を簡単にまとめる。全体は、導入部（第一章・第二章）を含む六章構成であり、加えて四つの付録章からなる。中核となるのは第三章から第六章までである。

第三章では、2003 年 5 月 29 日に起こったフレアの突発期における多波長観測（硬 X 線とマイクロ波）の解析について述べている。硬 X 線とマイクロ波は異なるエネルギーを持つ電子が放射するため、幅広い電子のエネルギー依存性を網羅することができるが、この研究以前の観測データでは 100keV 以上の中間エネルギー帯について観測がなかった。このデータに基づく詳細解析により、中間粒子エネルギー帯の電子は、低エネルギー帯のものと同じ空間分布を示すのに対し、高エネルギー帯電子とスペクトル変動に相関があることが見出された。この解析結果をもとに、「加速電子注入後の磁気トラップ + 粒子落下」モデルを仮定した Fokker-Planck シミュレーションを行った。そしてその計算で得られた光子放射を観測と比較した結果、中間エネルギー電子が、磁力線垂直に集中したピッチ角分布をしていることを突き止めた。

第四章では、第三章と同じフレアの立ち上がり期における解析を行った。硬 X 線撮像観測の結果から、フレア磁気ループ両足（太陽表面での N 極と S 極とに対応）で、低粒子エネルギー電子の落下比と、中間粒子エネルギー電子のそれとが互い違いになっていることが判明した。従来このような両足元での非対称な落下は磁場強度の違いで解釈されていたが、この観測は従来の考え方だけでは理解できない新たなメカニズムが必要なことを物語っていた。そこでこれを電子分布関数のピッチ角依存性によるものと仮定し、Fokker-Planck

シミュレーションによる考察と併せて観測結果を考察した結果、磁力線に沿った非対称な電子分布が必要であり、沿磁力線電場による粒子加速が重要な役割を果たしていること見出した。

第五章では、1999年8月28日に起きたフレアについて再考察した。野辺山電波ヘリオグラフの観測から、電波増光の先端が光速の3分の1という速いスピードで伝搬することが報告されている興味深いフレアであるが、従来は電子分布が特定のピッチ角に集中していると解釈されていた。本章では、電子輸送や光子放射機構を取り入れた考察をすることにより、特定のピッチ角に集中しているという従来の解釈ではなく、広いピッチ角分布が形成されていることを明らかにした。

第六章は、この論文全体のまとめと考察について記述されている。特に、前章までの解析・解釈を踏まえて、フレア各期（立ち上がり期と突発期）や、フレアごとに異なったピッチ角分布が得られたことを統一的に解釈しようと試みている。ここではその原因の可能性として大域的な磁場分布による影響を示唆している。

本論文で論述されているのは、太陽フレアにおける非熱的電子の輸送過程についての観測的研究である。本研究は、非熱的電子の輸送過程について、重要で新たな解釈を与えこれまでの太陽物理学の理解を大きく前進させた。本論文には、共同研究の内容が含まれるが、そのすべてにおいて、本論分提出者が主体的に研究を遂行したものと認められる。

以上により、本審査委員会は、本論文が博士学位論文として十分な内容を含んでいるものと判定し、論文提出者に博士（理学）の学位を授与できると認める。