

別紙 4

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Study of the mechanism of coronal heating based on the statistical analysis of occurrence frequency distributions of solar flares.

(太陽フレア発生頻度分布の統計解析によるコロナ加熱機構に関する研究)

氏 名 河合敏輝

論 文 内 容 の 要 旨

約 6,000 度の太陽表面に対して、その上空の希薄な大気であるコロナは 100 万度を超える高温となっているが、どのようなメカニズムでコロナが加熱されているのか詳細は理解されていない。太陽コロナの加熱メカニズムを理解するためには、ナノフレアと呼ばれる微小なエネルギー解放現象の寄与を導出することが必要である。そのためには、太陽フレアのエネルギーごとの発生頻度分布の傾き（べき乗則指数）が重要な指標となる。過去数十年に渡って、様々な手法や観測機器を用いてこのべき乗則指数を求める研究が行われてきた。しかし、これらの先行研究にはいくつかの問題点がある。1つ目は、現状の観測装置では識別できないナノフレアについて考慮されていないこと。2つ目は、フレアの解放エネルギーの導出が熱的なエネルギーのみから算出されていること。3つ目は、先行研究のべき乗則指数の推定結果のばらつきの原因が明らかにされていないことである。本論文ではこれらの問題点を克服することを目的として、ひので衛星及び Solar Dynamics Observatory (SDO) 衛星のデータ解析と数値シミュレーションを利用した以下の3つのアプローチで研究を行った。

第一の問題を解決するために、様々な加熱イベントに関する1次元流体シミュレーションを行い、遺伝的アルゴリズムを使って観測結果を再現する最適な加熱イベント（ナノフレア）の組み合わせを求めた。この手法は、(1) ナノフレアによって加熱されるコロナループの物理過程と共に、(2) 他波長観測結果を総合的に考慮することにより、(3)

観測画像の空間分解能よりも小さな構造まで再現できる新しい研究手法である。その結果、ナノフレアの発生頻度分布がフレアの解放エネルギーに依存した複数のべき乗則に従うことを見出した。これは部分的にナノフレア加熱モデルを支持する結果である。

第二の問題を解決するため、活動領域における個々の増光現象における熱的エネルギー、非熱的エネルギー、運動エネルギーへの分配率を、分光撮像観測データより導出した。結果として、増光現象において解放される非熱的エネルギーと運動エネルギーは、それぞれ熱エネルギーの変化量のそれぞれ 10–100% と 0.1–1% 程度となることを確認した。

第三の問題に関して、SDO 衛星の観測データを利用し、べき乗則指数の太陽活動度、コロナの領域（活動領域、静穏領域など）、フレアの解放エネルギー、磁束量などの活動領域パラメータ（SHARP パラメータ）への依存性を調査した。その結果、(1) 太陽の総放射量の時間変化から導出されるフレアのべき乗則指数の経年変化は、太陽活動度に対して負の相関を示す、(2) 活動領域におけるべき乗則指数は静穏領域やコロナホールのものよりも小さい、(3) べき乗則指数は $10^{24} \lesssim E \lesssim 10^{30}$ erg の解放エネルギー範囲においてほとんど変化しない、(4) 磁場の自由エネルギーや平均 shear 角度が大きい活動領域ほど、べき乗則指数は小さくなることをそれぞれ見出した。これらの結果から、静穏領域は主にアルフベン波で加熱されている一方で、活動領域では磁気再結合による加熱の割合が高いという仮説を支持することを明らかにした。

以上の解析から最終的に、ナノフレアの活動領域加熱への寄与を定量的に評価した。その結果、検出されたイベントによる寄与は必要な加熱の 0.01–1% 程度となった。それゆえ、非熱的・運動エネルギーを考慮しても、最大で必要量の 2% 程度である。このことは、残りの 98% のエネルギーが主にアルフベン波で供給される必要があること示唆するという結論を得た。また、十分なエネルギーを供給するためには、べき乗則指数が 2 より大きい状態が少なくとも 10^{19} から 10^{22} erg のエネルギーまで続く必要があることを示すことで、コロナ加熱メカニズムに対して重要な拘束を与えた。