

論文審査の結果の要旨

氏名 山本 哲也

太陽フレアなどに代表される太陽の活動現象のエネルギー源は磁場であり、中でも磁場のねじれを表す磁気ヘリシティ (magnetic helicity) は、(1) コロナ磁場のねじれ構造 (磁場配位) を反映すること、(2) 散逸する磁気エネルギーに比べて準保存量とみなされることから、多くの研究が行われている。本論文では、磁気ヘリシティの生成とコロナへの入射・磁場とフレアの関係に関する広範な研究が行われている。

第1章では、太陽の磁気活動および本論文の中心となる磁気ヘリシティの概念について、概観が与えられている。続いて、第2章では、太陽活動領域における、光球面からコロナへの磁気ヘリシティ入射量の統計的な解析が行われている。1995~2003年の間に国立天文台の太陽フレア望遠鏡等で観測された、対流層から浮上中の領域・活発な活動をみせる領域・崩壊している領域の3種の領域の各時点における1476点の磁気ヘリシティ入射率を得た。その結果、活動領域は、浮上段階・活動段階・崩壊段階と時間発展するにつれ、総磁束量で規格化されたヘリシティ入射量の時間的変動の振幅は減少し、ヘリシティ入射量の平均値も減少する顕著な傾向があることが分かった。また、緯度依存性について調べたところ、活動領域のヘリシティ入射量は、北半球で負、南半球で正の値をとる傾向を見せ、これまでの研究を確認した。なお、崩壊領域ではこのような傾向は見られなかった。活動領域の磁束量についても依存性が調べられており、磁束量が少ない領域では磁束量が多い領域よりヘリシティ入射量が多い事が分かった。

第3章では、磁気ヘリシティをコロナに注入する機構として、対流による磁束管のねじれの生成過程が検討されている。対流層中を上昇する水平な磁束管には、対流との相互作用により、十分なねじれが入るという結果が Longcopeらにより得られているが、本論文では、磁束管が対流層を上昇した後の垂直な磁束管と対流の相互作用を同様の手法で検討した。得られた光球面での磁気ヘリシティ入射量は、観測値より2桁ほど低い値が得られ、対流層中の磁束管の配位と磁気ヘリシティの関係について、さらなる議論が必要であることを示唆している。

第4章では、活動領域の磁場データから得られる磁場パラメータと、その領

域で発生した最大フレアの規模（軟 X 線最大光度）との定量的な比較が行われている。ベクトルマグネトグラムの観測の前後 4 時間以内に発生した 21 例のフレアを解析し、磁場などの光球の物理量とフレアの最大 X 線光度の相関を調べた。その結果、60 度以上のシアを見せる領域のシア磁場強度（磁場のねじれの度合いを表す）と、その領域の特徴的な長さを使えば、ファクター 3 程度の誤差幅で、その領域で起こる最大のフレアの規模を予測できる事が分かった。観測データより求めた、フレアの最大 X 線光度とフレア領域の平均シア磁場強度・フレア領域の特徴的長さの関係は、磁気リコネクション領域のポインティングフラックスと熱伝導損失のつりあいにより理論的に説明されている。

第 5 章では、観測されたフレアの X 線光度の変化から、モデルを介して、フレアのエネルギー解放機構である磁気リコネクションの主要パラメータ（磁気リコネクションレートやコロナ中の磁場強度）を得ることが試みられている。モデルは、高さ方向に成層するリコネクション後の磁場を 200 本の磁気ループで表している。各ループの磁気リコネクションによる加熱と冷却過程を計算し、各ループについての光度変化を足し合わせて、X 線の光度変化を再現した。加熱のためのポインティングフラックスを与えるコロナ中の磁場強度と各ループの加熱の時間間隔を変化させた結果、観測された光度変化を再現するには、 $0.015 < B_{\text{cor}}/B_{\text{ph1}} < 0.20$ 、 $0.0077 < M_A < 0.65$ であることが分かった（ B_{ph1} と B_{cor} は光球面とコロナ中の磁場強度、 M_A はアルベンマッハ数で磁気リコネクションレートを表す）。

以上、本博士論文においては、太陽活動現象のエネルギー源である磁場のデータ（3 次元磁場ベクトルデータ）を使って、ヘリシティ入射量の統計的な傾向を求め、またその生成機構について理論的な検討を行った。さらに、光球面の磁場パラメータを使ったフレアの規模の予測、フレアの X 線光度変化に着目した磁気リコネクションレートなどの導出を行っている。これらは、磁気ヘリシティの入射の観測と理論、光球面の磁氣的物理量とコロナでの磁気エネルギーの散逸のモデル化と観測データへの適用において、新たな知見をもたらす研究である。なお、本論文第 2～5 章は、桜井隆との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析・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。従って、博士（理学）の学位を授与できると認める。