

5.2 学位論文

太陽フレアリボンの成長とエネルギー解放 (博士論文)

太陽フレア (太陽表面爆発) は、磁場のエネルギーが短時間に解放される太陽系内で最大の爆発現象です。このフレアの発生機構を説明する理論モデルとして、磁気リコネクション (磁力線のつながぎ替え: 図1) が盛んに議論されており、少なくとも現象論的には矛盾のないものとして広く支持されています。その一方で、磁気リコネクションモデルの定量的な検証はいまだに不十分であり、観測結果を用いてモデルを検証する必要があります。そこで私達は、磁気リコネクションモデルに基き、また観測データを用いて、フレアでのエネルギー解放の様子を定性的に調べ、また、解放される磁気エネルギーを定量的に見積ることを試みました。

フレアなどの磁気プラズマ現象は、主に希薄な上層大気であるコロナで起こっているため、議論に用いられる速度・磁場強度といった物理量はコロナ中のものを使う必要があります。しかし、これらの物理量を直接測定することは非常に難しく、このため解放されるエネルギー量を詳細に見積もられた例はこれまでにほとんどありませんでした。一方 $H\alpha$ 線では、フレアに伴い、磁場極性の異なる細長い明部 (フレアリボン) が2つ並んで現われる「two-ribbon」と呼ばれる構造や、それが時間的に太く、互いに離れる向きに広がってゆく現象が見られることがあります (図1)。これは、コロナ中での磁気リコネクションにより莫大なエネルギーが解放され、またその結果生じた非熱的な高エネルギー粒子や熱が、彩層と呼ばれる太陽下層大気に伝搬し、そこでのプラズマを励起することにより、 $H\alpha$ 線で放射を引き起こすためです。またフレアリボンが時間とともに広がってゆくのは、コロナでのエネルギー解放が時間とともに次々と起こっていることに伴っていると考えられています。つまりこのフレアリボンの成長には、コロナ中でのエネルギー解放の情報が隠されていることになるのです。

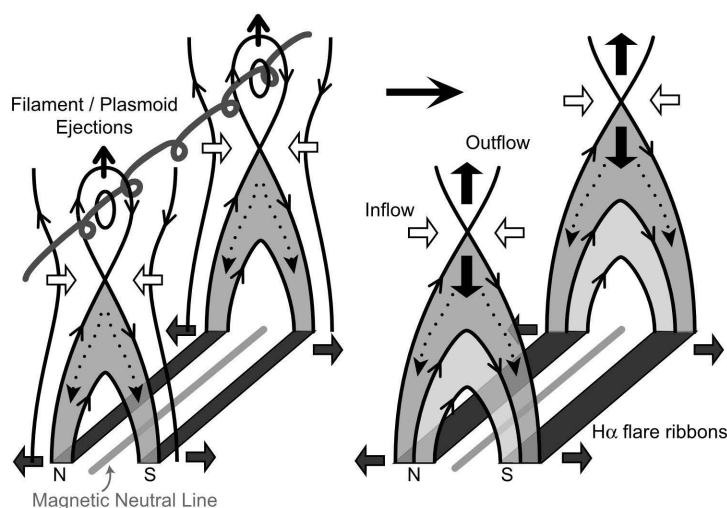


図1. 磁気リコネクションモデルの概念図。実線は磁力線を表す。コロナ中のリコネクションによって新しく閉じた磁力線ができ (淡いグレー領域)、それに沿って非熱的粒子や熱伝導が伝播する (点線矢印)。それらが足もとのプラズマを叩くことで、彩層から発光現象が起き、フレアリボン構造 (濃いグレー領域) が観測される。

私達は、2001年4月10日に発生した大規模な two-ribbon フレアを、京都大学花山天文台ザートリウス望遠鏡を用い、 $H\alpha$ 線で観測しました。 $H\alpha$ 線では太陽表面を高空間分解能の観測することが可能です。またこの観測は、 $H\alpha$ カーネルの場所やその時間変化をターゲットにして行われ、通常より短い露出時間に調整されました。そのためフレア初期の $H\alpha$ カーネルの時間変化といったフレアリボンの内部構造や、フレアリボンの成長速度の場所による違いなどを詳細に調べることができました。

先に述べた粒子や熱はその速度が非常に速く、同じ磁気ループでつながれた2つの足元でほぼ同時に彩層に突入し、互いに非常に良く似たライトカーブを示します。私達はフレアリボンを細かいメッシュに分けそのメッシュ毎のライトカーブを描き、2つのリボンのそれぞれから相関の高いポイントの組を選び出しました(図2左)。そして、相関の高い各組について、個々の $H\alpha$ カーネルの増光、つまりライトカーブの立上りの時刻を調べました。これらは、まさに粒子や熱の彩層突入の時刻であると考えられます。この時刻とその組の位置を順に調べることで、いつどこでエネルギー解放が起こったかを絞り込むことができました。次に私達は、このデータを用いフレアで解放された磁気エネルギー量を見積りました。これには、磁気リコネクションモデルの示唆に基き、フレアリボンが広がる速度や SOHO 衛星によって得られる光球磁場画像を用いてフレアリボン外縁での磁場強度を計測することで行いました。さらに見積もられたエネルギー解放量を、エネルギー解放率と良い相関があるとされる、硬 X 線やマイクロ波の光度曲線と比較しました(図2右)。硬 X 線データはようこう衛星から、電波のデータは野辺山電波ヘリオグラフから得られました。これらの光度曲線が非常に良い一致を示したことから、私達の見積もりは間接的ではありますが、エネルギー解放の空間的・時間的な構造を知ることが出来き、非常に精度良く行えたと言えます。

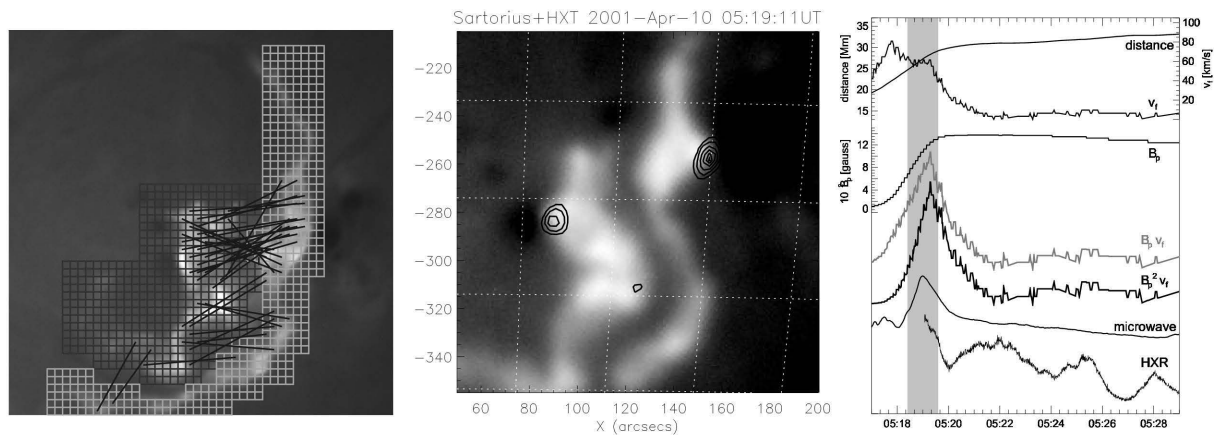


図2. 左: $H\alpha$ フレアリボン。メッシュの濃いグレーと薄いグレーは磁場極性がそれぞれ正/負であることを示す。黒の実線は相関の高い組を結んだもの、中: $H\alpha$ フレアリボンと硬 X 線放射源 (等高線)、右: 見積もられた物理量の強度。上から順に、フレアリボンまでの距離、リボンの広がる速度、リボン先端での磁場強度、リコネクションレート、ポインティングフラックス、電波および硬 X 線の放射。05:19UT ごろのピーク (グレー) が良く再現できている。

Reference: Asai et al. (ApJ, 578, L91; ApJ, 586, 624; ApJ, 611, 557)

(浅井 歩 記)