

太陽フレアカーネルにおけるエネルギー注入と彩層蒸発への影響

川手朋子 (ISAS/JAXA), 今田晋亮 (名古屋大), 増田智 (名古屋大), 石井貴子 (京都大), 一本潔 (京都大)

kawate.tomoko@jaxa.jp

概要

本研究の目的は、太陽フレアカーネルにおける彩層の応答に対し、どのようなエネルギーが寄与しているかを定量的に見積もることである。観測的・理論的な先行研究において、フレアカーネルにおけるコロナ輝線のドップラー速度は約200万度以上では青方偏移、それ以下では赤方偏移を示すことが知られている。我々は2012年6月8日に発生したC7.7クラスフレアをH α 撮像、EUV分光、EUV撮像、硬X線分光撮像データを用いて解析を行った。その結果: 1)非熱的電子注入領域はカーネルと一致し、そのエネルギーフラックスは 4.6×10^9 erg/cm²/s程度とC7.7フレアでは典型値。 2) カーネルにおけるFe XXVI輝線(形成温度約12MK)のドップラー速度は輝線全体では-0.63km/sとほぼ定常、副成分として100km/s以上の赤方偏移。 3) フレア領域上部からカーネルに向かった130km/s下降流。を確認した。1千万度プラズマの100km/s以上の赤方偏移は彩層蒸発のみからでは説明できず、磁気リコネクションに伴うプラズマ流が足下まで伝播したものが赤方偏移として観測されたと考えられる。またコロナからのエンタルピーフラックスにより彩層蒸発が抑制されたことが要因となり、先行研究で知られていた青方偏移が顕著には現れなかったことが示唆される。

太陽フレア領域のダイナミクス

太陽フレア現象: 磁気リコネクションにより磁場のエネルギーがプラズマ運動・プラズマ加熱・粒子加速に変換される

主に加速電子がフレアループ足下の高密度な彩層に到達する際、運動エネルギーは熱エネルギーに変換され、周囲のプラズマを蒸発させる。EUV分光観測および数値計算から以下が知られている
 -2MK以下 - 密度の低いコロナへの**上昇流 (-100km/s)**
 -2MK以下 - 上昇流の反作用としての**下降流 (-10km/s)**

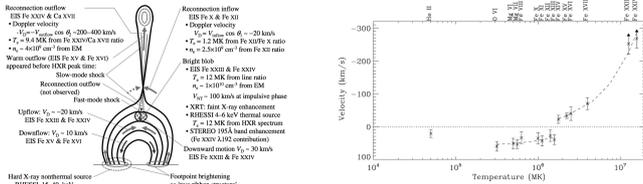


図1 フレア領域における観測量 (Hara et al. 2011 ApJ)

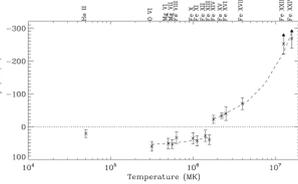


図2 フレア足下におけるEUV輝線のドップラー速度 (Milligan & Dennis 2009 ApJ)

観測

フレアの概要

- GOESクラス C7.7
- 発生時刻 2012年6月8日
- 軟X線ピーク 03:07 UT
- 硬X線ピーク 03:04 UT
- 発生場所 S19W21

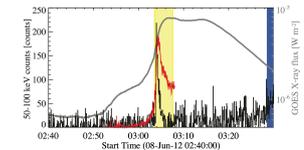


図3 軟X線(黒線)、硬X線(赤線)の光度曲線とひでのEISのラスタ時間(黄色)

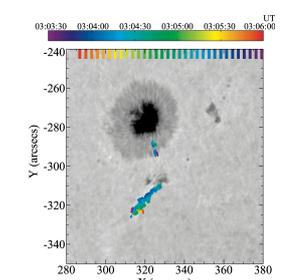


図4 H α フレアカーネル増光のピーク時刻・位置とEISスリットの位置・露出時刻の対応

使用データ

- Hinode EIS (EUV撮像分光)
- SDO AIA (EUV撮像)
- SDO HMI (可視光球撮像;磁場)
- RHESSI (X線撮像分光)
- SMART FISCH (彩層H α 撮像)

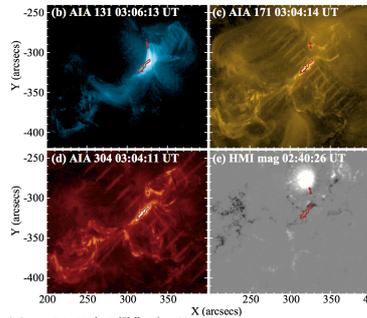
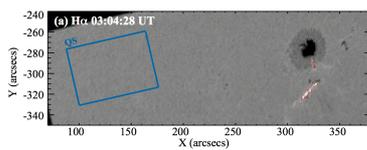


図5 フレア中の撮像データ (a) H α (b) 131A (c) 171 A (d) AIA 304 A (e) 光球視線方向磁場 赤い等高線はH α フレアリボンの位置

解析と結果

1) 非熱的電子の振る舞い

硬X線放射 - 主にフレアループを伝播した非熱的電子が彩層に突入する際の制動放射

硬X線放射源とH α フレアリボンが確かに一致 → **H α リボンの場所に非熱的電子が注入**

非熱的電子のエネルギーフラックス
 → **4.6×10^9 erg/cm²/s**

図7 硬X線スペクトルフィッティングによる非熱的電子の物理量の時間変化

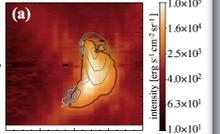
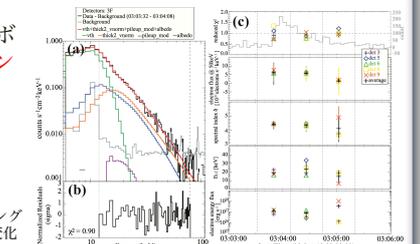


図6 Fe XXIV輝度分布(背景, 黒線), 30-80keV輝度(青等高線), 17GHz輝度(緑等高線), H α フレアリボン(灰線)



2) EUV輝線の時間変化

フレアカーネルにおけるFe XXIV(12MK)のドップラー速度
 主成分のみ:
-0.63 km/s

副成分を含む:
-280 - +230 km/s

図8 (a) Fe XXIV輝度分布(背景)とカーネル上の一点 (b) その場所におけるH α 光度曲線 (c)-(e) その場所におけるEUVスペクトル

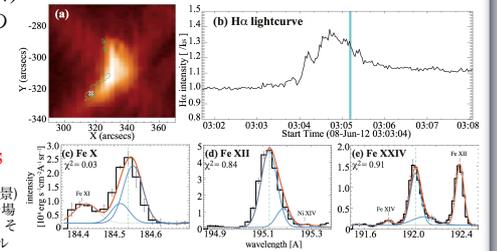
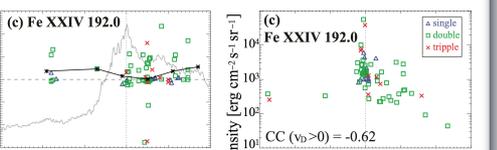


図9 (左) Fe XXIV輝線の各成分のドップラー速度とEIS露出と各場所のH α ピークの相対時刻 (右)各成分の相対時刻・ドップラー速度と輝度の散布図

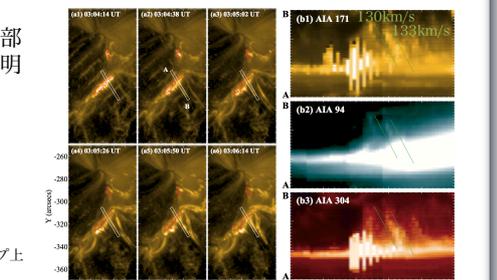


3) コロナにおけるプラズマの運動

フレアループ構造上部から足下へ伝播する明るい構造が **0.05 - 6.3 MK**で確認

視線に垂直な速度
- 130km/s

図10 EUV撮像観測によるループ上部から足下に向かうプラズマ流



議論

1千万度以上のプラズマが100km/s以上の下降流 → 彩層蒸発からでは説明できない
 EUV撮像観測で見られるフレアカーネルに向かったプラズマ流 → Yokohoh衛星以来観測されているスーパーアークードダウンフロー

スペクトルから得られるドップラー速度 **-100 km/s** → スーパーアークードダウンフローの速度 **-130 km/s**
 赤方偏移が最大となるタイミングがH α ピークの **-80秒後** → 2.2×10^9 cmのループを230km/sの物が等速運動する場合の足下到達時間**90秒**
 →フレアカーネルで見られる下降流はスーパーアークードダウンフローがフレアループを伝播し、足下まで到達したものの赤方偏移している成分のエンタルピーフラックスは輝線強度から **4×10^8 erg/cm²/s** (非熱的電子のエネルギーフラックスの**9%**程度)
 →エンタルピーフラックス注入により彩層蒸発が抑制され、Fe XXIV輝線の青方偏移が強く確認されなかった