

可視光高速撮像観測によるフレア粒子加速の研究

Study of particle acceleration in solar flares with a high speed imaging observation in visible light

一本 潔（京都大学・理学研究科附属天文台）

増田 智（名古屋大学・太陽地球環境研究所）

【研究目的】

スペース・地球環境に甚大な影響を及ぼす太陽フレアの研究において、高エネルギー粒子の加速メカニズムは最大の課題である。太陽フレアにおける高エネルギー粒子加速機構の診断には、RHESSI など 硬 X 線での撮像分光観測と、野辺山電波ヘリオグラフなど電波干渉計観測があるが、いずれも空間分解能が十分でないため、フレアカーネルの詳細な構造はみえていない。高い空間分解能を誇るひので衛星の観測では、データ量の制限から時間分解能に制限があり、フレアの爆発的な時間発展をとらえることは難しい。本研究は地上望遠鏡の利点を生かし、可視光においてフレアカーネルの時間発展を高速かつ高空間分解能で撮像することで、フレア加速粒子の空間的・時間的发展を詳細に捉えようとするものである。

【研究方法】

本研究で実施する可視光高速撮像観測は、京都大学理学研究科附属飛騨天文台の太陽磁場活動望遠鏡（SMART）を用いて行う。SMART は 4 連の屈折望遠鏡（口径 20cm x2, 口径 25cm x2）で、そのうちの 1 つは現在 H-alpha 線で太陽全面の速度場観測を定常的に行っている。本研究において、口径 25cm 望遠鏡の光学ベンチに H-alpha/連続光撮像光学系を新たに設置する。この装置により、活動領域（視野: 350x260arcsec²）を、H-alpha と連続光で同時に高速（0.05 秒）かつ高空間分解能（0.6arcsec）で観測する。

N 極と S 極に対応するフレアカーネルの H-alpha 線での発光の同時性から、高エネルギー粒子が注入された磁気ループの繋がりを同定し、そのわずかな時間差から加速粒子が注入されるループ内での位置に関する情報を得る。そして、次々と異なる場所で発光するフレアカーネルの時間的发展から、コロナにおける高エネルギー粒子の注入領域の時間的推移を捉える。

また連続光でも同時に撮像することにより白色光フレアの検出も行う。白色光フレアはエネルギーのとくに高い粒子に起因していると考えられるため、その診断に有用であるが、一方で連続光の発光メカニズムがまだ解明されておらず、本研究では高い空間分解能と時間分解能を生かしてこの長年の謎にも挑戦する。

【高速撮像装置】

SMART に搭載した新光学ベンチの写真を図 1 に示す。H-alpha/連続光高速撮像システムは、光を 2 つの撮像系に分けるビームスプリッター、H-alpha と連続光（647nm）の多層膜バンドパスフィルター、および 2 台の高速 CCD カメラ（1600x1200 画素）から構成される。

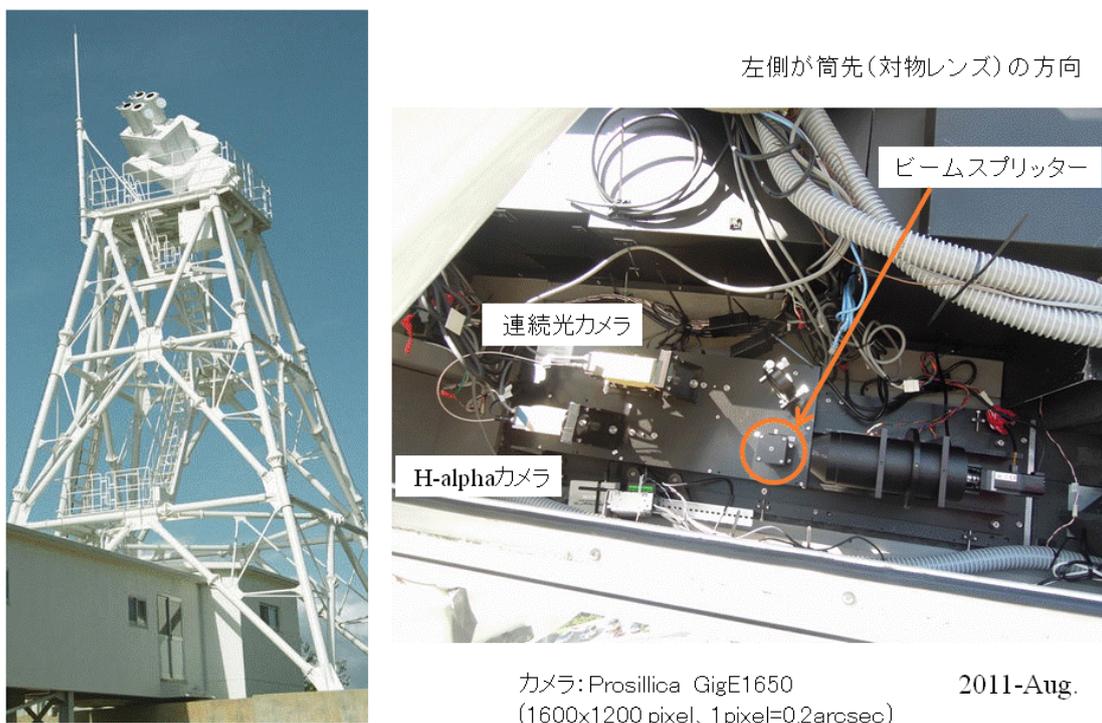


図 1 : (左) SMART 全景 (右) 新設された H-alpha/連続光高速撮像システム

視野は $350 \times 260 \text{ arcsec}^2$ をカバーし、25 フレーム/秒で 2 つの波長の画像を同時に取得する。H-alpha のフィルターは透過幅 3Å のものを採用したため、純粹な彩層画像は得られないが、同時に取得した連続光画像を差引くことにより H-alpha 線の積分強度に対応する画像を得る。露出時間は 0.2 msec 程度で、これは大気の揺らぎ（シーイング）の時定数よりも十分に短い。スペックル像再生処理を施すことにより、回折限界の解像度（ $\sim 0.6 \text{ arcsec}$ ）を達成する。

画像データは望遠鏡タワー下の観測室に設置する観測制御計算機にて連続的に保存する。このとき発生するデータ量は 1 時間当たり 1 TB、一日に 7~8 TB と膨大なものとなるが、フレアが発生している時間帯以外のデータの時間分解能を落としてデータを選別することにより、現実的なデータ量に抑える。フレア時以外は、連続光画像を用いたフレームセレクションを行い、5 秒に 1 セットの H-alpha 線と連続光画像を選別する。

【観測成果】

2011年8月18日にファーストライトを迎え、11月には、H-alpha 全面像と同様の定常観測を開始した。観測翌日にはサンプル画像やクイックルックムービーなどをホームページ (<http://www.hida.kyoto-u.ac.jp/SMART/>) から閲覧できる (図2)。

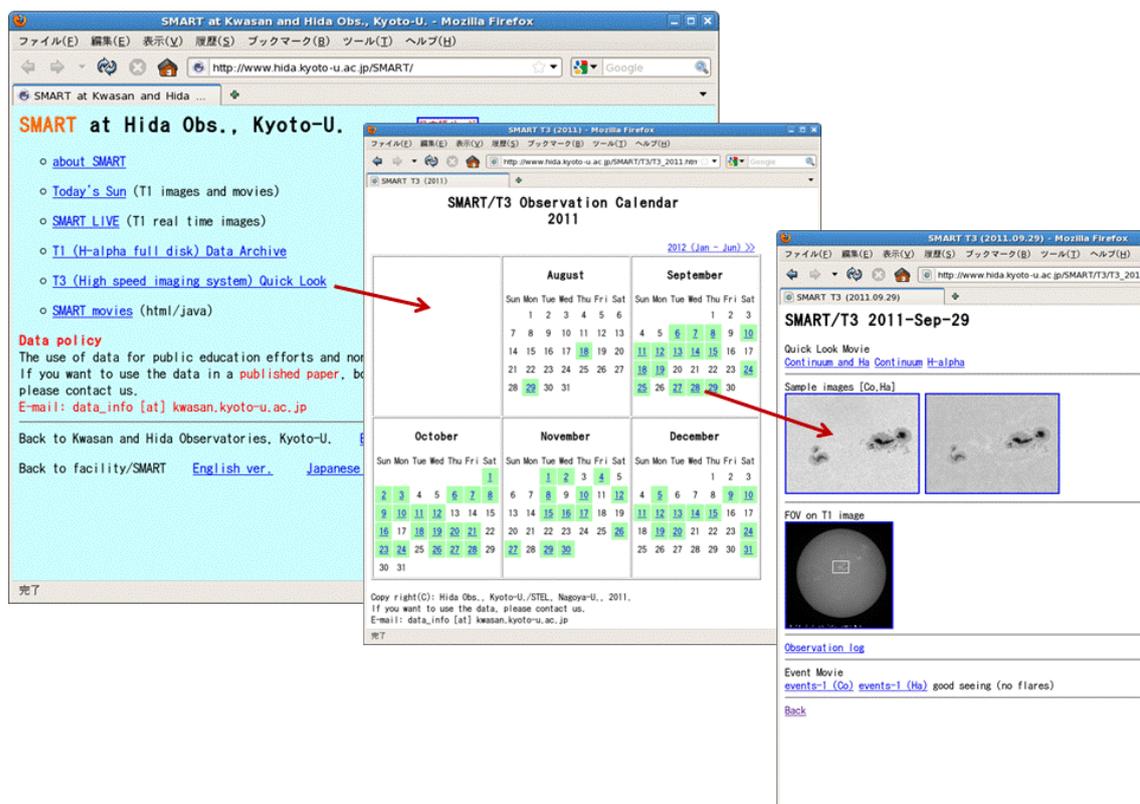


図2：データ公開

ファーストライト以降に発生した9回のXクラスフレア（日本時間の昼のものは5回）のうち、4例が観測されている。2011年9月6日世界時22時と、9月7日世界時22時に発生したXクラスフレアにおいて、連続光におけるフレア時の増光が確認された。2012年3月7日の観測データは確認途中であるが、天候不良もあり、連続光での増光は判断がつかない。2011年9月6日のフレア（図3）について、RHESSIなど硬X線での撮像分光観測やSDO/HMIの磁場データとの比較解析を行い、日本天文学会にて発表を行った。連続光での増光は、点状（2~3 arcsec）の短時間（20~30秒程度）の10%程度の増光であり、この高速撮像装置の性能がなければ観測が難しい現象である。H-alpha線でのカーネルの発光の時間変化と比較した結果、連続光の増光は、H-alpha線での最初に光るカーネルの位置ではなく、メインのリボンを形成する最も明るいカーネルの位置に対応していた。また、磁場構造と比較した結果、H-alpha線で最初に光るカーネル位置がフレアトリガーを示唆する磁場構造と一致していた。

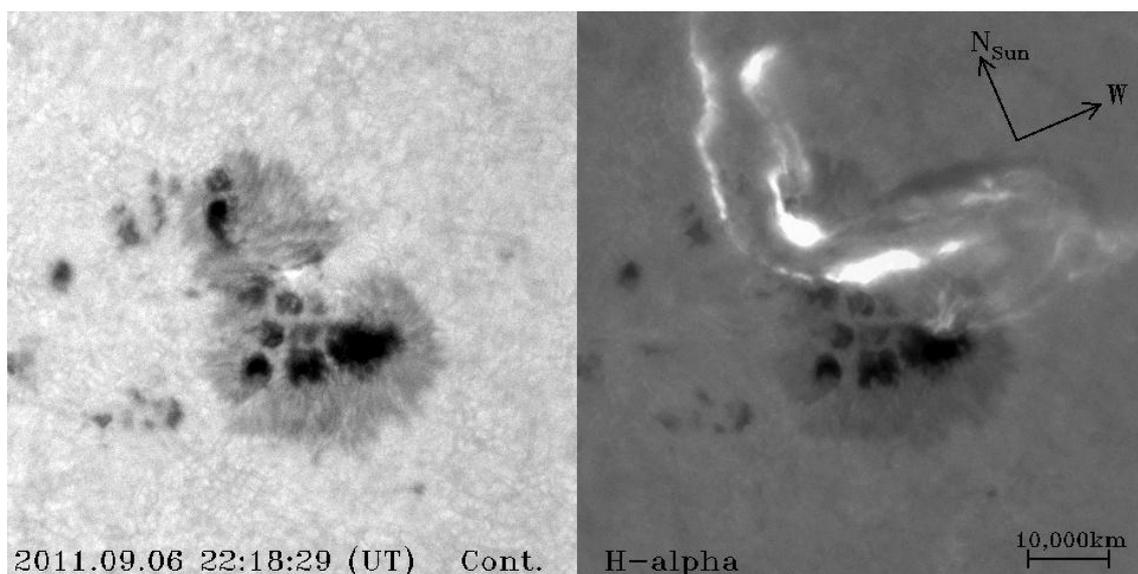


図3 : 2011年9月6日のXクラスフレア (左) 黒点中央に白色光フレア

【成果発表】

- High speed imaging system in continuum and H-alpha at Hida observatory for study of high energy particles in solar flares
 Ichimoto, K. et al. 2011 AGU fall meeting (poster)
- 飛騨天文台 SMART 望遠鏡高速フレア撮像装置による観測と初期成果
 石井 貴子 ほか 2012年 太陽研究会「太陽の多角的観測と宇宙天気研究の新展開2012」
- Study of flare onset with high speed imaging observations at Hida observatory
 Ichimoto, K. et al. 2012 GEMSIS international workshop
- 飛騨天文台 SMART 望遠鏡高速フレア撮像装置による観測と初期成果
 石井 貴子 ほか 2012年 日本天文学会春季年会 M17a
- 連続光高速撮像装置による2011年09月06日の白色光フレアの特徴解析
 川手 朋子 ほか 2012年 日本天文学会春季年会 M07b
- H-alpha/連続光高速撮像装置のハード設計・製作
 仲谷 善一 ほか 2012年 日本天文学会春季年会 V239a