

SIMULTANEOUS OBSERVATION INFLOW & OUTFLOW SPEED

2010/8/18

SOLAR FLARE

TAKASAO ET.AL.

ABSTRACT

2010/8/18に起きた太陽フレアmagnetic reconnectionのinflowとoutflowの同時観測の報告

[観測結果]

- Flare立ち上がりの間、hot loop上の、シート構造の中にplasma blobがいくつか見えた
- 放出前、sheet構造中のblob同士が衝突合体をお互いに行っている
- Blobはシート構造の両方向に放出(outflow) (上方→220~460km/s、下方→250~280km/s)
- 同時にinflowを極紫外線画像で確認(inflow) (5分で90km/sから12km/sへ変化)

↓

[仮説]

- Sheet構造 = 電流シート、plasma blob = plasmoid or magnetic island

INTRODUCTION

- Solar Flare : corona中に蓄えられた莫大な磁気energyが短時間で放出される現象
原因 : magnetic reconnection (Shibata(1999))

- EUV(extreme ultra-violet)観測でreconnection inflowが解明されつつある
ex) Yokoyama et al.(2001) X点で交わる糸
ex) Narukaze & Shibata(2006) inflowがplasmoid放出やCMEに関わる

- History

太陽フレア中のReconnection rateの理論に難点

(1) Sweet Perker Model 小さなすぎる(10^{-7})

(2) Petcheck Model 現実的($0.01 \sim 0.1$) (遅い衝撃が発生する場合)

→局所抵抗(localized resistivity) (Tsuneta (1996))

↓

[Microとmacroのgap]

Micro : 電流シートがイオン拡散長やラーマー半径くらいの厚みになるとfast reconnection開始

Macro : flareの典型的長さ(10^9 cm)に比べあまりに小さい

↓

INTRODUCTION

- Fractal Reconnection Model by Shibata & Tanuma(2001)

Plasmoids - fast reconnection の機構

- スケールgapをつなぐ

[plasmoid発生機構]

1. 反平行磁場中の電流シートがティアリング不安定(?)でplasmoidsを生む
 2. 合体(coalesce)して大きいplasmoidになる
 3. 電流シートから放出されると、空いた領域に急激な流入が起きる
 4. 再びplasmoidが作られる
- 断続的なreconnection発生率の上昇、様々なスケールのplasmoid発生

- 太陽フレア電流シート中のplasmoid観測報告とreconnection rateとの関係

ex) Asai et al (2004)

EUV画像からflareの減衰期、衝動期、主期に暗いdownflowの断続的放出

ex) Nishiduka et al (2010)

軟X線画像からflareの硬X線放射の複数のpeak時にplasmoidが強く加速

INTRODUCTION

- Motivation

reconnection inflow speed と outflow speed の同時観測、推定！

$$\text{reconnection rate : } M_A = \frac{V_{inflow}}{V_{outflow}}$$

1. solar flare の magnetic reconnection model 確立に寄与！
2. 電流シート中の plasma blob 放出と flare 中 energy 放出機構の関係解明！

DATA

- 195 \AA EUV image by EUVI
(Extreme Ultraviolet Imager) on STEREO-A

Pixel size : $1.''6$

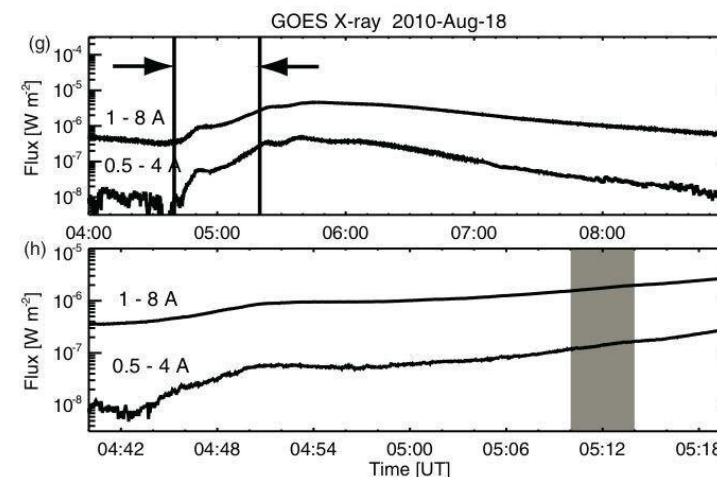
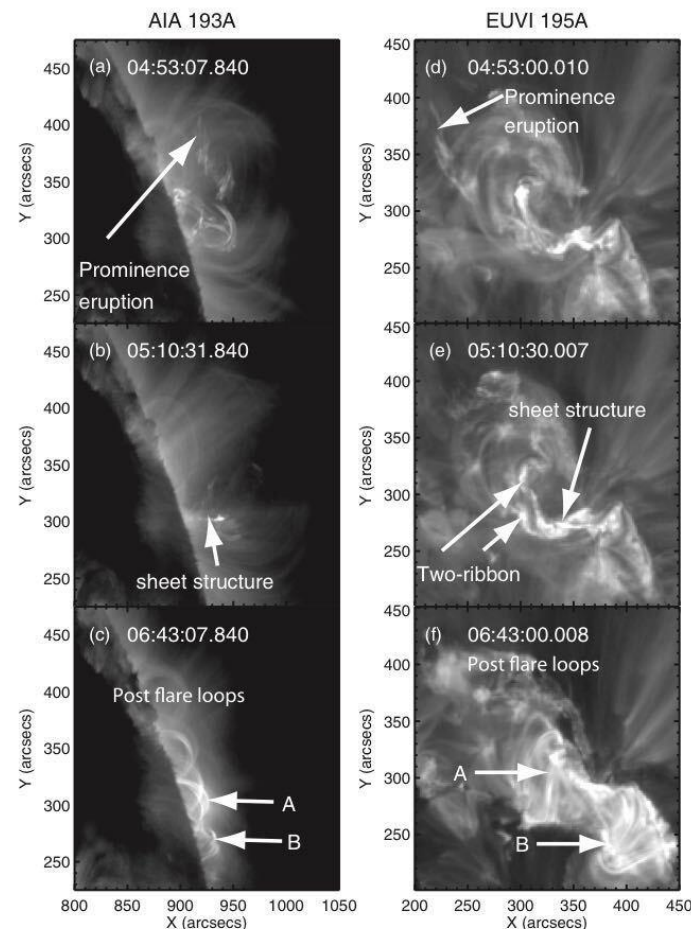
解像度 : 150 s

Top view

Fe XII 輝線

- 193 \AA images by AIA
(Atmospheric Imaging Assembly)

Side view



RESULT

- Flare loop (94, 131A) > 7MK
その上にsheet structure

- Distance-time diagram

Fig3(c) inflow(NS)

Fig3(d) outflow(WE)(双方向)

Thread(黒直線)の見かけの動きから速度を測る？

plasma blob, and the hot post flare loops are observed. White solid lines indicate the solar limb.

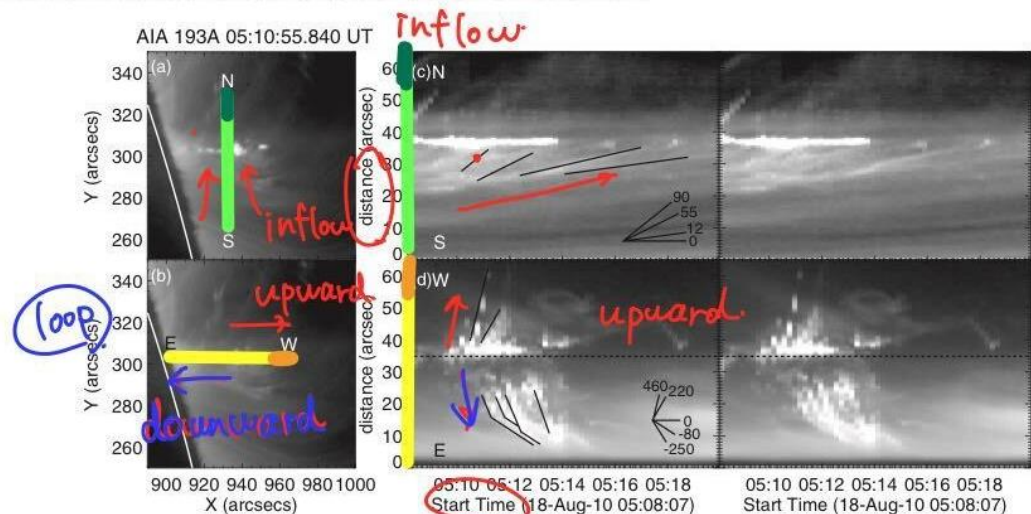
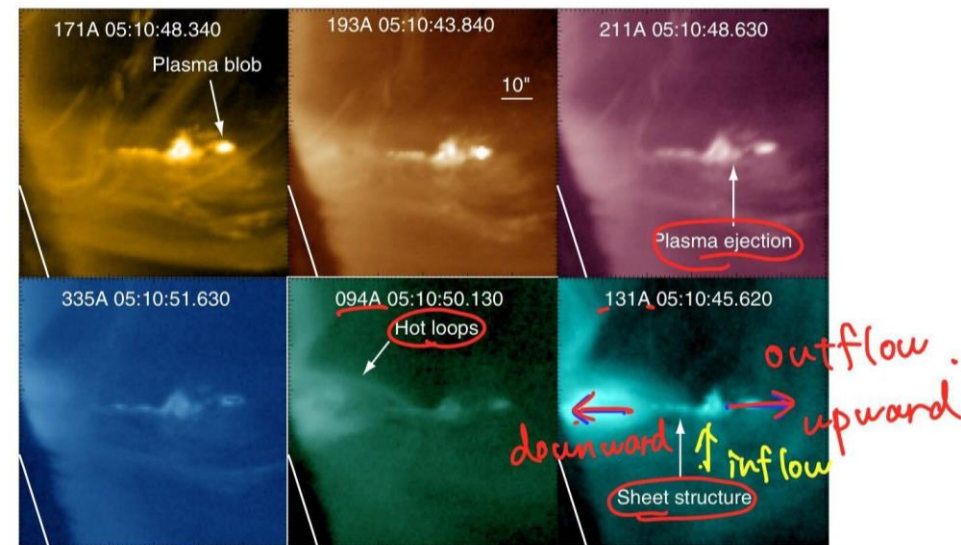


Figure 3. Left: images of the sheet structure with slits (AIA 193 Å). Right: time-sequenced images obtained along the slit NS (N: north, S: south, (a)) and the slit EW



RESULT

- Fig3(c) inflow(NS)

sheet structure が現れた後、数分でinflow速度は
90km/s→12km/sに減少

- Fig3(d) outflow(WE)

Upward :

220-250km/s(plasma ejections)

460km/s(bright blob)

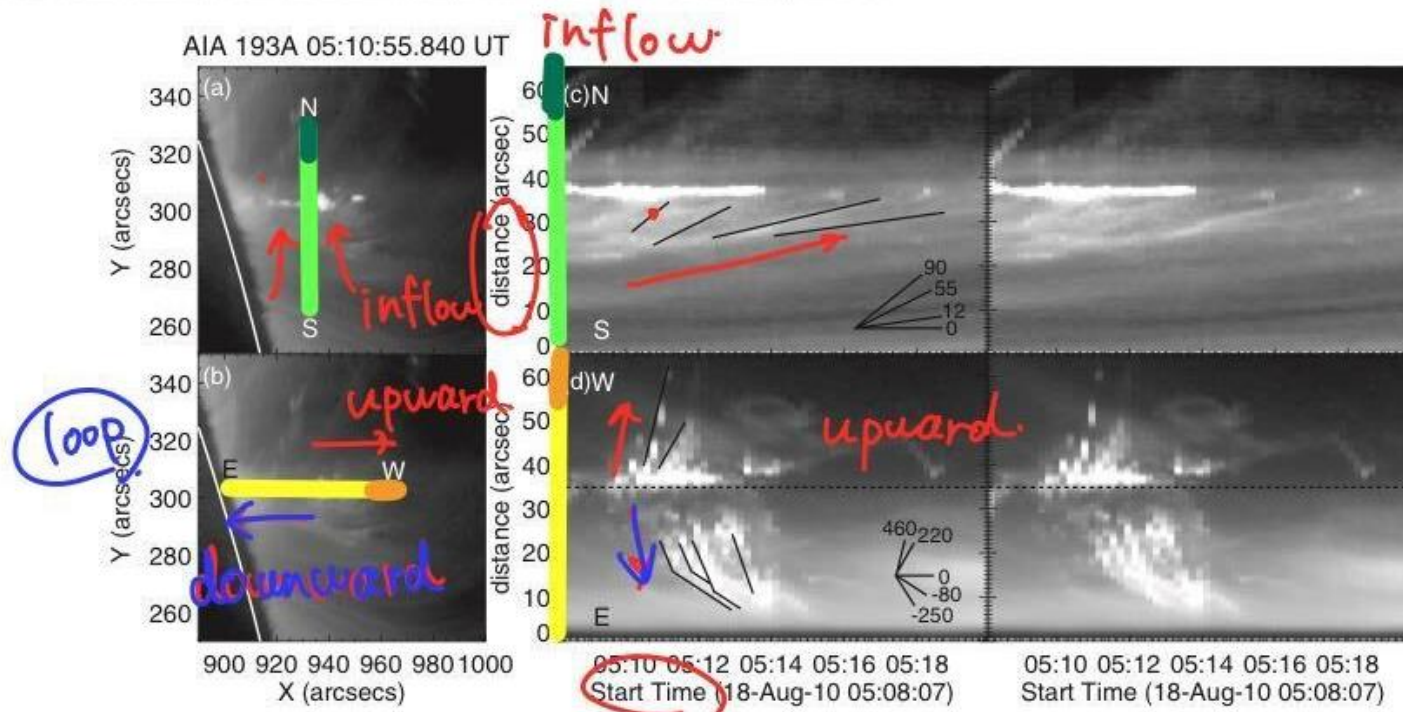
Downward :

250-280km/s

下のloopに衝突すると70-80km/sに
slow downして散逸

- ejection →

広範囲の温度(波長335,94,31A)のplasma
(by Fig2)



RESULT

- OutflowのBlobの動き

sheet構造(< 20 arcsec)中、複数のplasma blob(< 3 arcsec)

1分くらいで

- Blob形成→成長分裂→お互い衝突合体→loop中へ
(downward)放出



Sheet structure = 電流シート

plasma blobs = plasmoid or magnetic island では！？

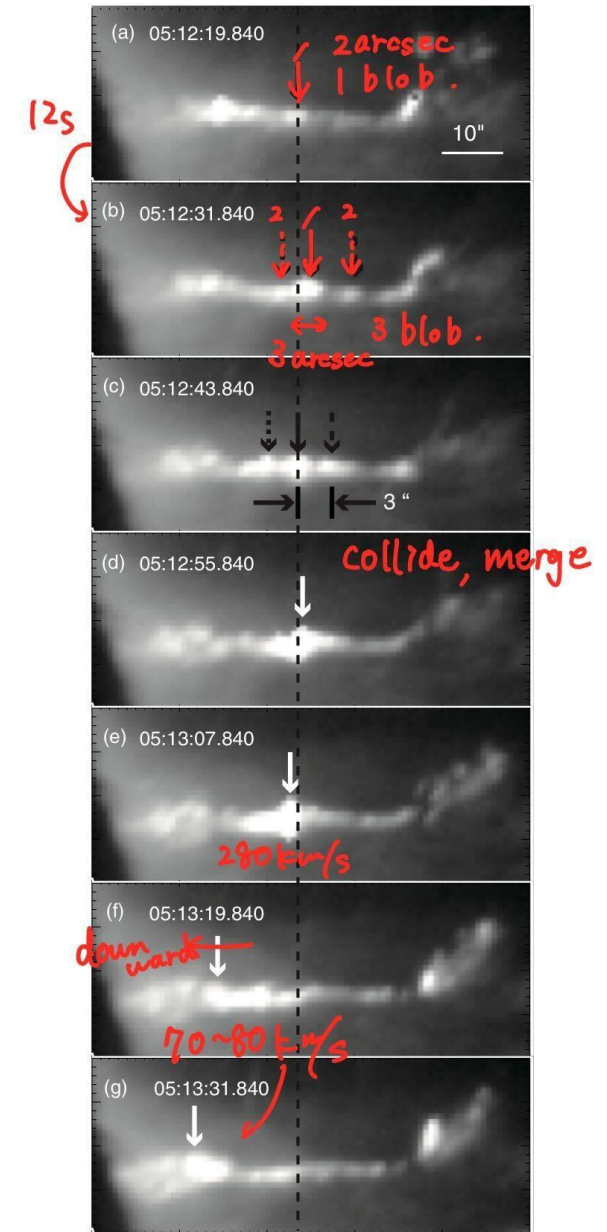


Figure 4. Time-sequenced images of the plasma blobs in the current sheet (AIA 193 Å). The arrows (dotted arrow, solid arrow, and broken arrow) indicate the positions of the plasma blobs. The plasma blobs are marked with their own individual arrow, which follow their evolution. The white arrows indicate the position of the coalesced plasma blobs. The dashed line indicates the position of the plasma blob pointed by the solid arrow at 05:12:19.840 UT.

DISCUSSION

1. 全体構造は古典CSHKPモデルに従うのを確認

2. High spatial & temporal resolution of AIAで

Blob形成→成長分裂→お互い衝突合体→loop中へ(downward)放出
の流れを確認

↓

Sheet structure = 電流シート

plasma blobs = tearing 不安定によってできたplasmoid or magnetic island では！？

Shen et al.(2011)のシミュレーション結果とも合致

3. いくつかのplasmoidは様々な温度のplasmaでできてる？(6波長で見えた！)

→ > 7 MKのplasmoid もあり

(94、131Aのチャンネルはhotだけでなくcooler plasmaにもsensitiveだから？温度の解析は難)

(Foster & Testa 2011)

DISCUSSION

4. Reconnection rate の算出

[仮定]

- outflow速度 = upward velocity : 220~460km/s
- Inflow速度 = 見かけ上の速度に近い : 90~12km/s
(EUV画像の見かけ上の動きは、inflowによるもので、実際の動きとは異なるかも。
→分光観測しないと定量的にはむず)
- 投影効果も無視

[結果]

$$\text{reconnection rate : } M_A = \frac{V_{inflow}}{V_{outflow}}$$

0.2 ~ 0.055 (電流シートが光りはじめてからの5分間で変化)

(Petschek modelや観測と整合性あり)

DISCUSSION

5. *reconnection rate* : $M_A = \frac{V_{inflow}}{V_{outflow}}$ が0.2 から 0.055へ下がった理由

[理論]

Plasmoid ejection → inflow 強く → 電流シートが薄く → reconnection rate 増
(Shibata & Tanuma 2001)

[今回]

Plasmoid 消失とReconnection rateの0.2 → 0.055への減少が同時発生
→ plasmoid活動の抑圧による？

[Future work]

電流シート付近のinflow 速度についての時間空間variation、情報不足

CONCLUSION

2010/08/18に起きた太陽フレアの
磁気リコネクション率は
plasmoid dynamicsで高められた！