

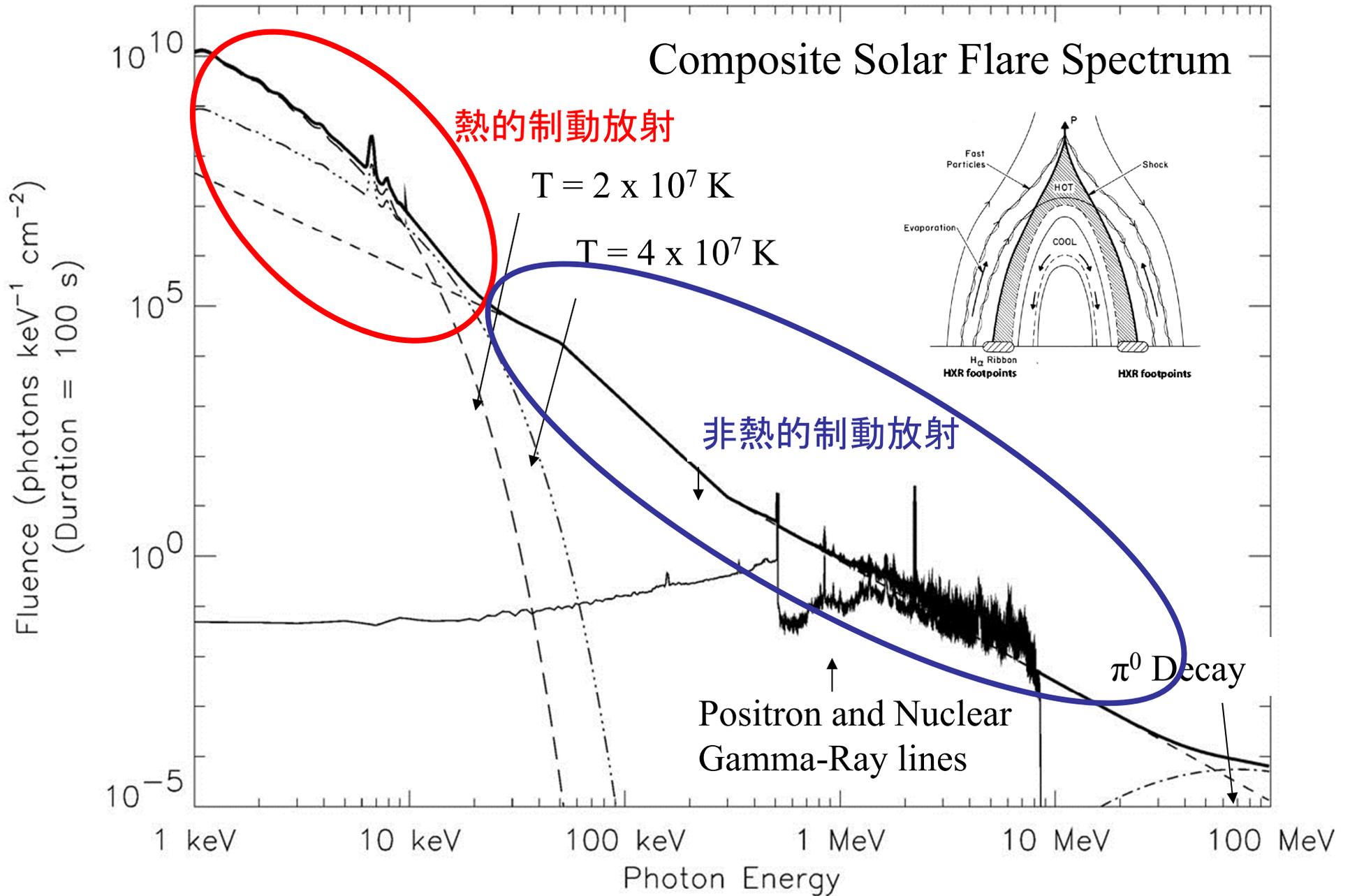
# 太陽フレア粒子加速に関するコメント

増田智 (名大STE研)

## 太陽フレアにおける電子加速の特徴

- べき型のスペクトル。
- 0.1秒以下のタイムスケールで加速。
- ~数十MeV以上のエネルギーまで加速。
- 大量の電子が加速される。
- グローバルな物理量(電場)に相関。
- ループトップ領域で加速？

# Composite Solar Flare Spectrum



軟X線

硬X線

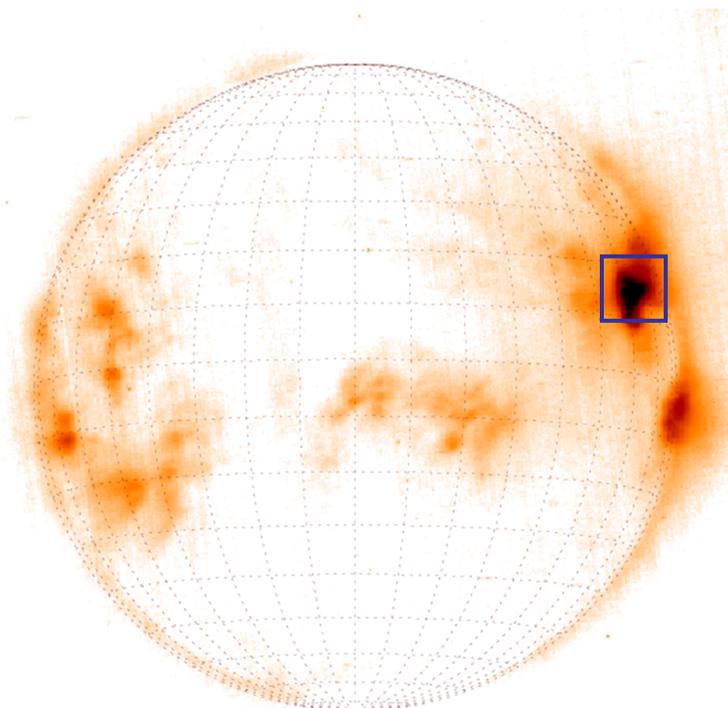
ガンマ線

# X線撮像観測

例:

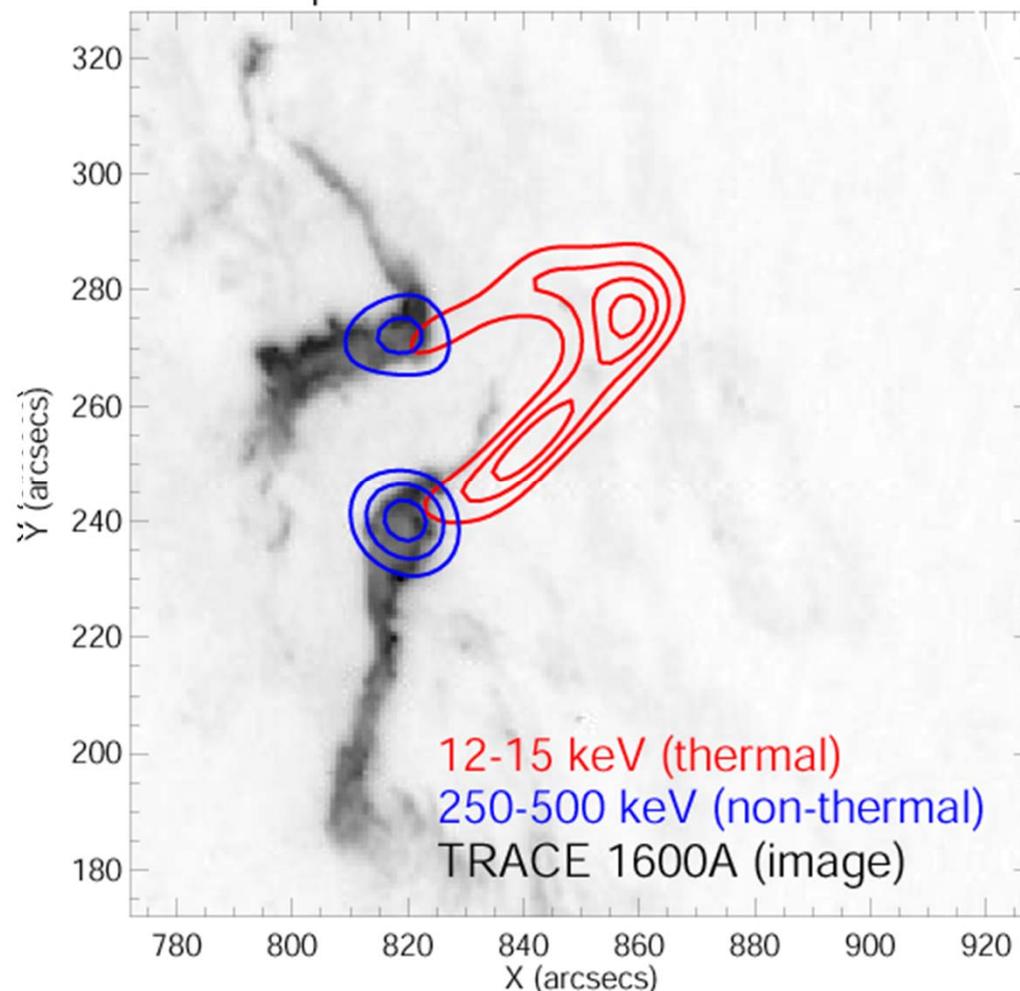
リム近くで起きたひじょうに  
大きなフレア (side view)

GOES SXI: 20-Jan-2005 06:44:29.148 UT



Krucker氏提供

flare peak: 20-Jan-2005 06:45:10.994 UT

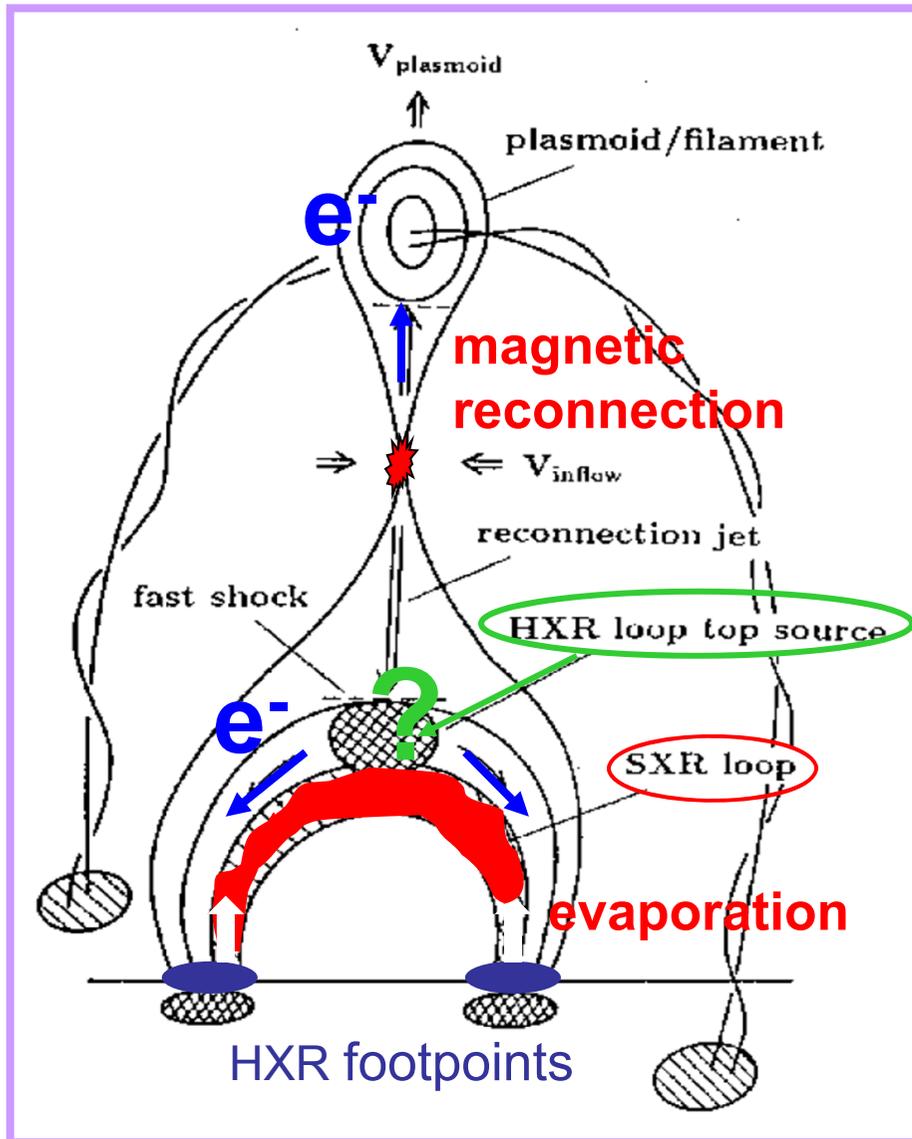


Two-ribbon flare

足元の硬X線源 (青)

超高温ループ 30-40 MK (赤)

# 太陽フレアモデル



- 1) 磁気再結合によるエネルギー解放
- 2) 粒子加速 (機構は不明)
- 3) 加速された粒子がループ足元に降り込み、硬X線を放射。ループ上空の硬X線源の生成機構は不明
- 4) ループ足元での彩層加熱。彩層蒸発により、高温高密度のフレアループの形成

From Shibata + Krucker

# 大量の電子が加速される

フレアのエネルギー

磁場のエネルギー → 熱エネルギー

粒子加速エネルギー → 熱エネルギー  
運動エネルギー

Neupart Effect (Neupart 1968)

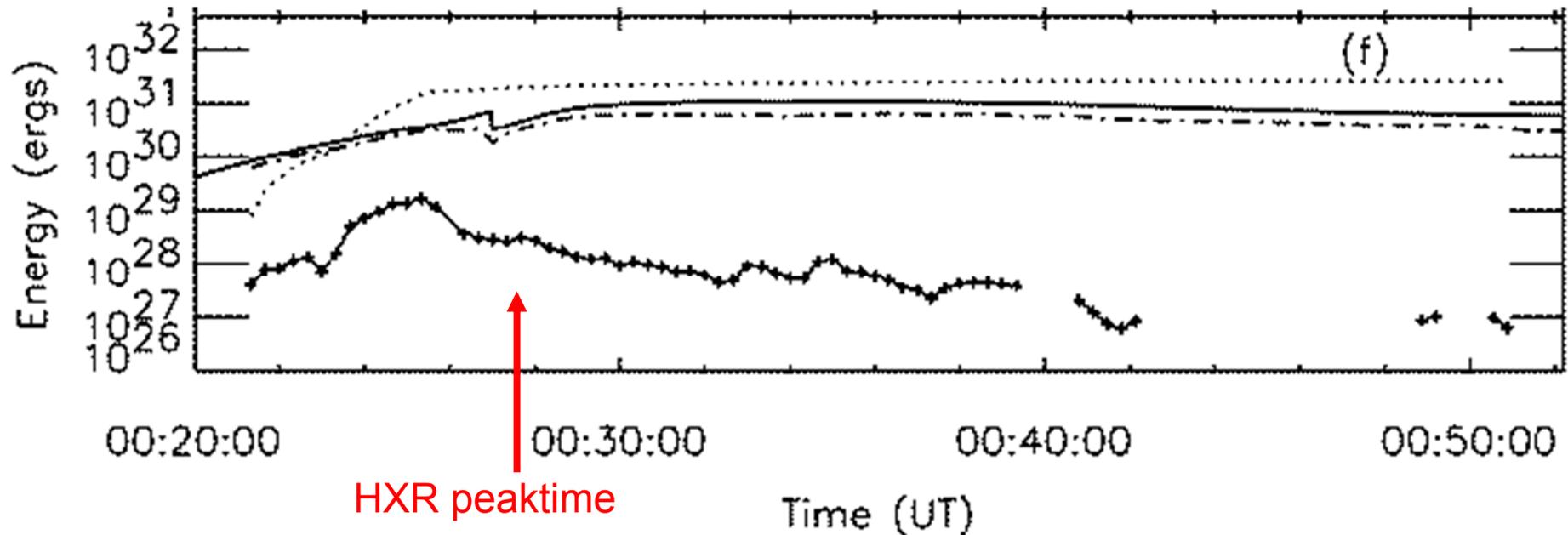
非熱的放射 (硬X線) 強度の時間積分

→ 熱的放射 (軟X線) 強度の時間変化

フレアで解放される磁気エネルギーのうち、無視できない量のエネルギーが粒子加速エネルギーに変換されている。

## nonthermal energy vs thermal energy

(Holman *et al.* 2003)



**Solid: thermal energy derived from GOES**

**Dotted: time-integrated nonthermal energy**

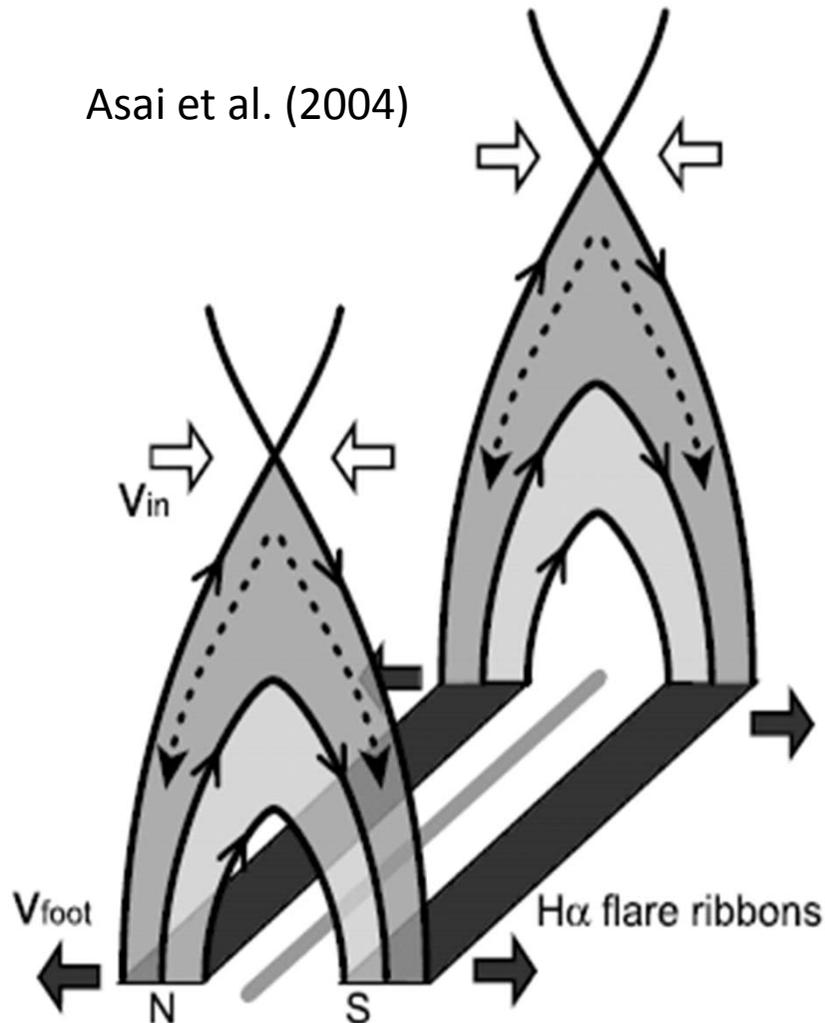
**Dot-dashed: thermal energy derived from RHESSI**

**+: injection rate of nonthermal energy**

**most of nonthermal energy input in the rise phase  
integrated nonthermal energy ~ thermal energy**

## リコネクション電場と電子加速の相関

$E_{\text{rec}} = -\mathbf{v} \times \mathbf{B}$  を観測から推測する。



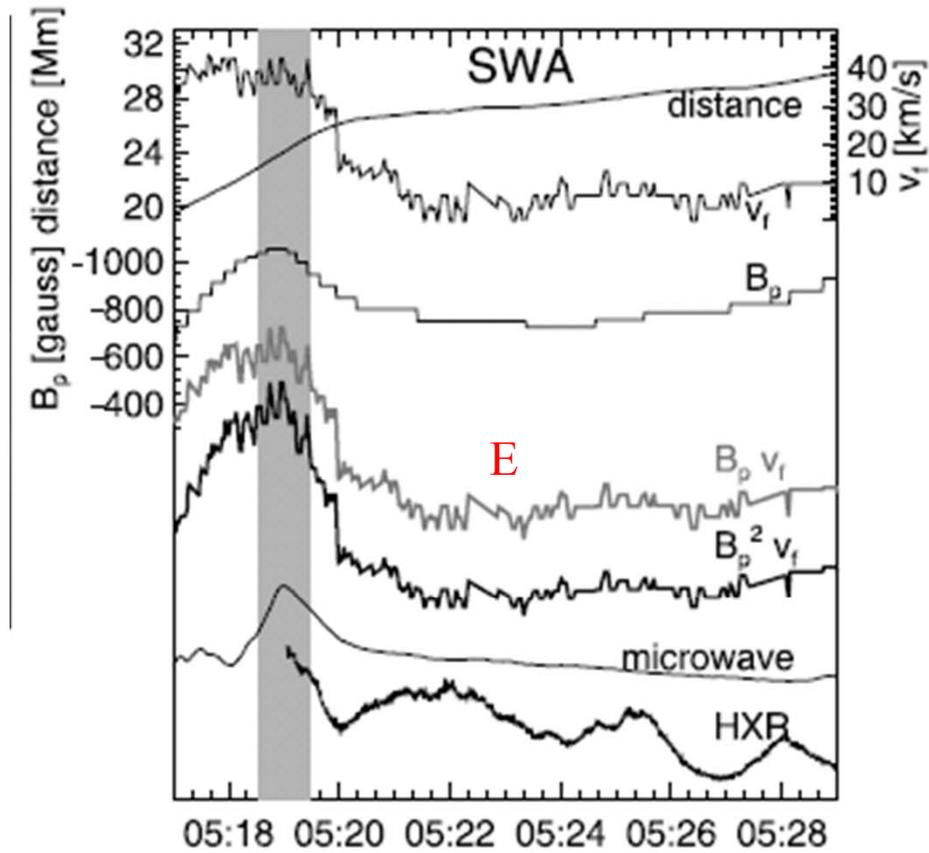
$\mathbf{v}$ : リボン構造(彩層)の広がる速度

$\mathbf{B}$ : 光球面磁場

フレアリボン (硬X線源)  
= コロナでの連続した磁気リコネクションの最前線

# リコネクション電場と電子加速の相関

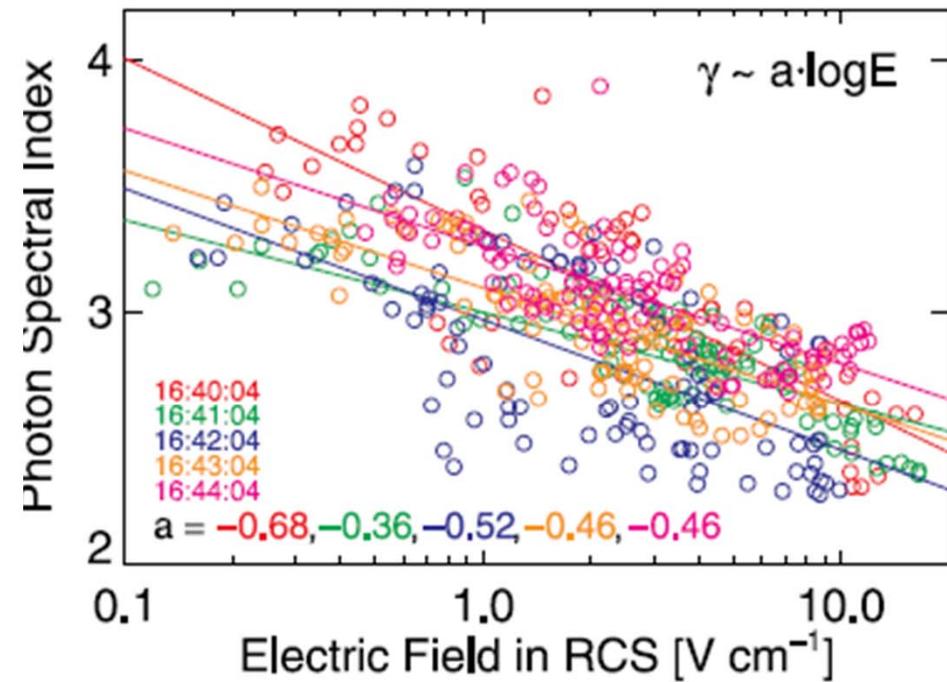
電場vs 硬X線強度



(Asai et al. 2004)

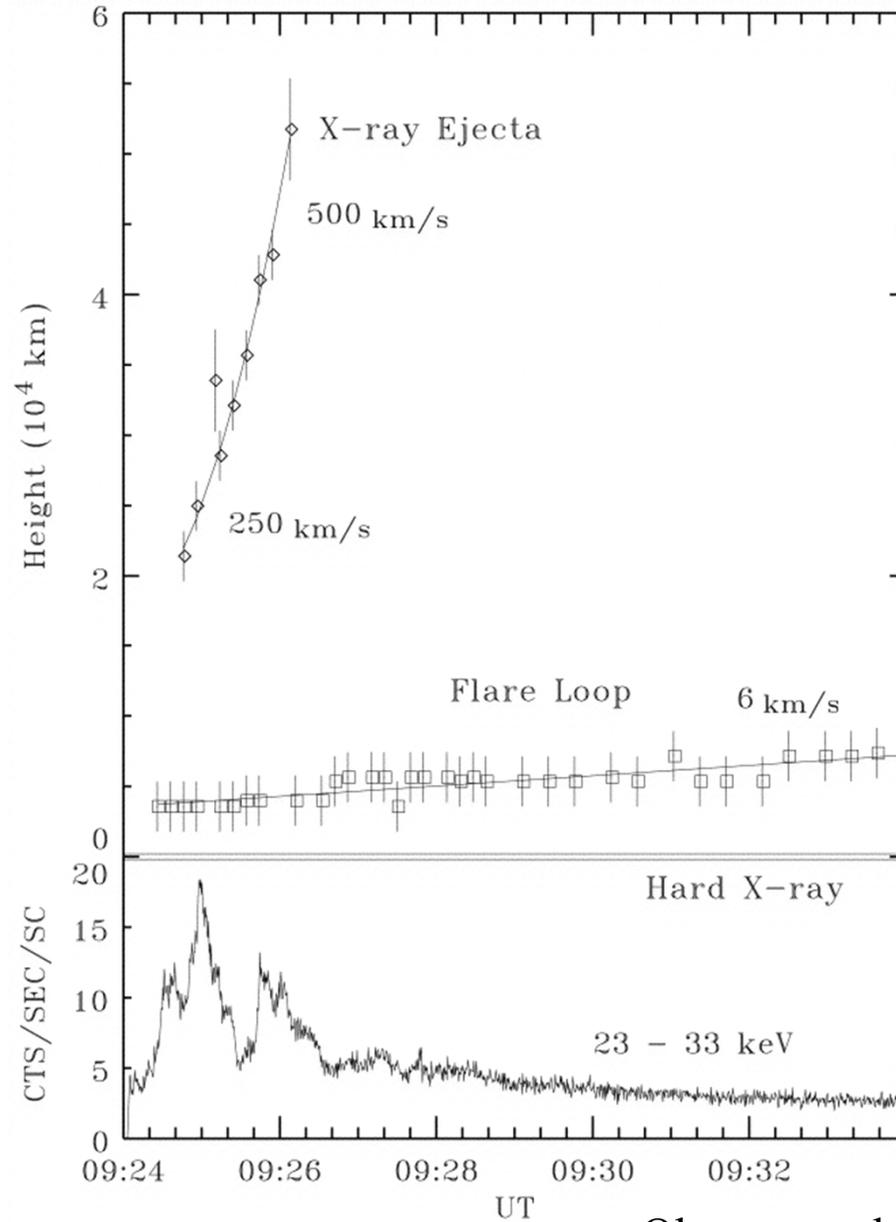
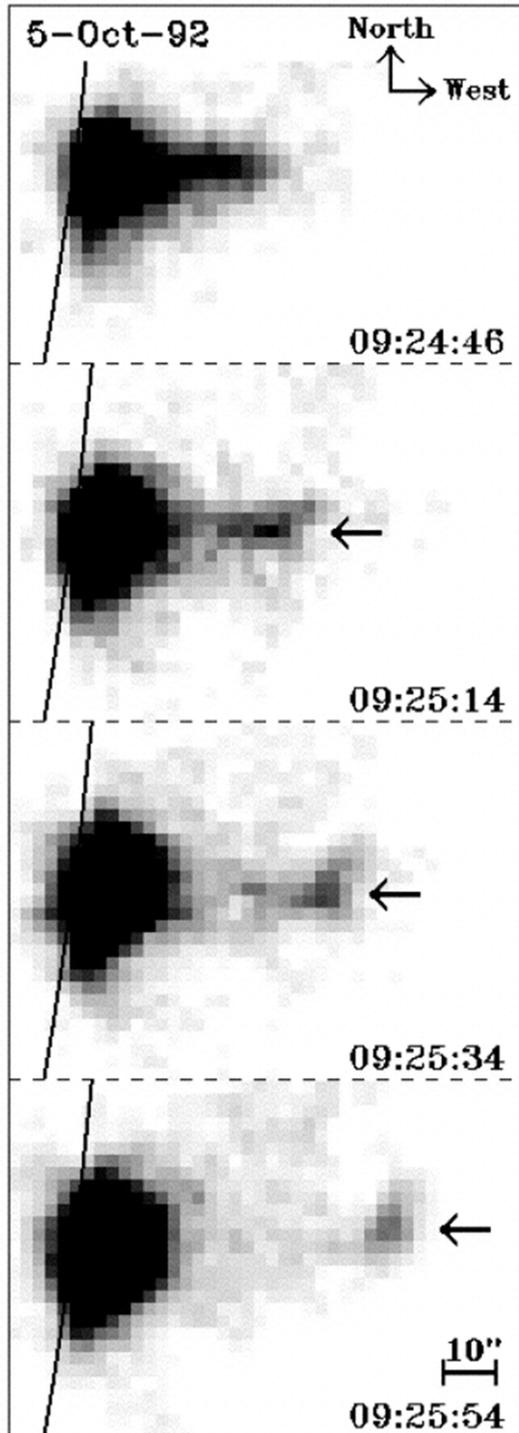
↑  
HXR/microwave peak

電場vs 硬X線スペクトルのべき指数



(Liu et al. 2008)

# プラズマ放出現象と粒子加速(硬X線)



Ohyama and Shibata (1998)

高温プラズマの放出速度は、硬X線強度の強い時間帯 = 粒子加速が激しく起きている時間帯 = エネルギー解放(磁気リコネクション)率が大きい時間帯に加速されている。



硬X線強度変化が示す粒子加速は、プラズモイド放出が加速されている時間帯 = エネルギー解放(磁気リコネクション)率が大きい時間帯に効率よく起きている。

太陽フレアにおいて、粒子加速と磁気リコネクションは深くカップルしている。

# 磁気リコネクションシナリオにおける粒子加速

(IV) 硬X線、電波観測

