

今後のスペース観測機器による 太陽フレアに伴う粒子加速現象観測の可能性

渡邊恭子 (ISAS/JAXA)

フレア検討チーム

清水敏文、草野完也、
浅井歩、塩田大幸、
鳥海森、伴場由美

ご協力いただいた方々

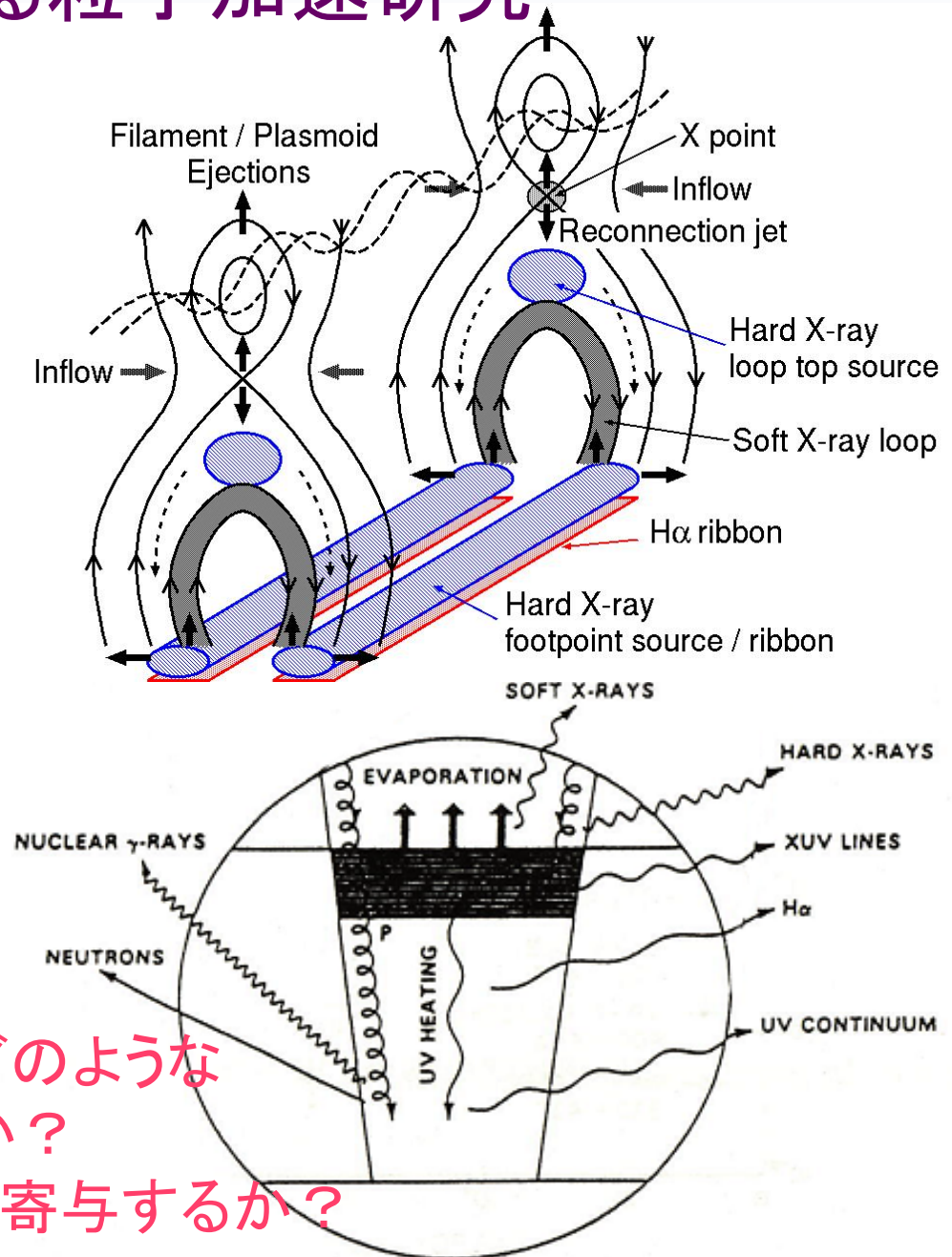
一本潔、磯部洋明(京大花山・飛騨天文台)、
花岡庸一郎(NAOJ)、坂尾太郎(ISAS/JAXA)
岡光夫(SSL/UCB)、今田晋亮(名大STE研)

太陽における粒子加速研究

太陽フレアによる粒子加速に伴って観測されるもの

- 電子加速
 - 電波: NoRH など
 - 硬X線・ γ 線: RHESSI など
 - 白色光: ひので, SDO/HMI, 地上観測など
- イオン加速
 - 核 γ 線: RHESSI ($<10\text{MeV}$) Fermi (π^0)
 - 中性子: 太陽中性子望遠鏡 中性子モニター等

⇒ 今後のスペース観測機器でどのような粒子加速現象が観測できるか？
どのような観測が粒子加速に寄与するか？



太陽における粒子加速研究

太陽フレアによる粒子加速に伴って観測されるもの

今後のスペース観測機器

- 電子加速

- 電波: NoRH など
- 硬X線・ γ 線: RHESSI など
- 白色光: ひので, SDO/HMI, 地上観測など

← FOXSI, Solar Orbiter/STIX など
← Solar-C/SUVIT

- イオン加速

- 核 γ 線: RHESSI (<10MeV)
Fermi (π^0)
- 中性子: 太陽中性子望遠鏡
中性子モニター・ISS

Solar-C/EUVST, XIT では粒子加速現象は観測できないのか？

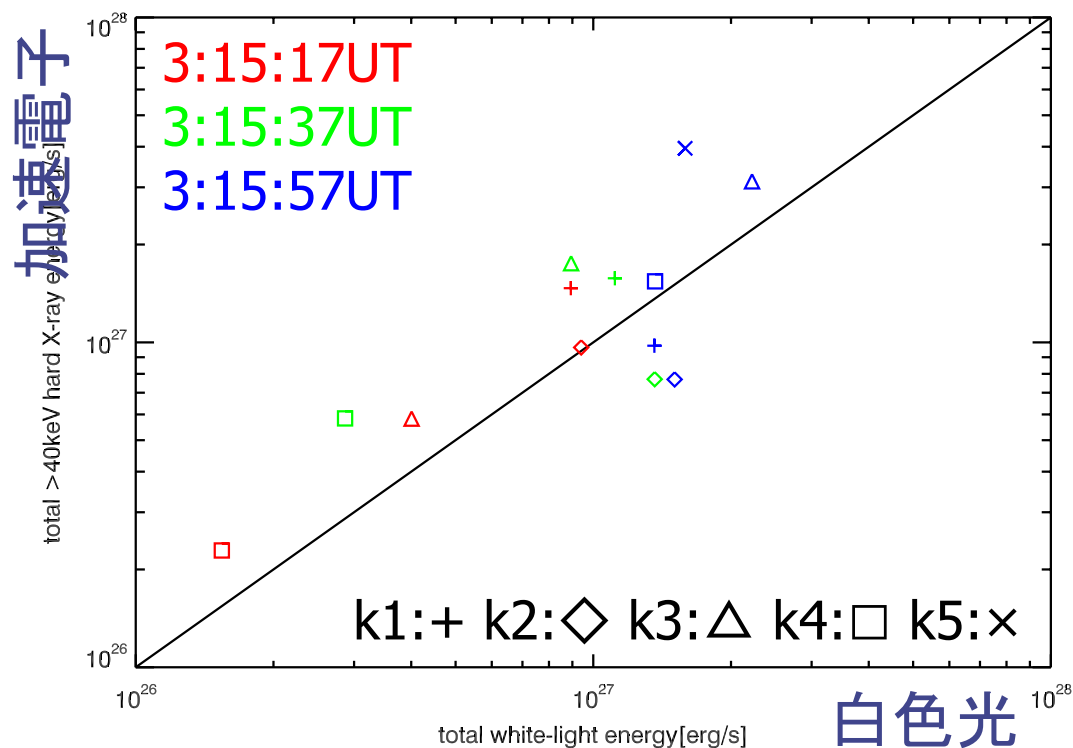
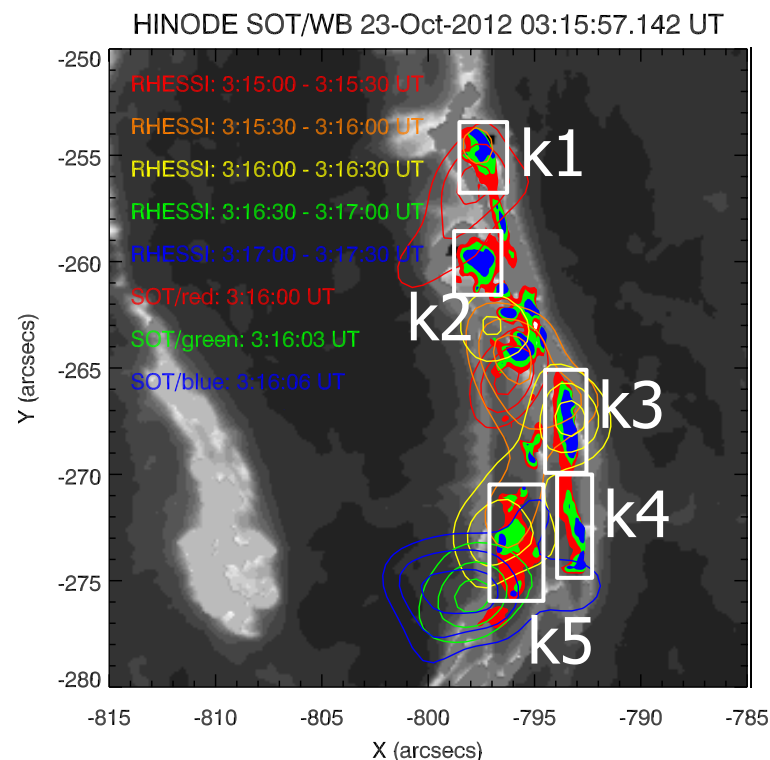
← ChubuSat-2

⇒ 今後のスペース観測機器でどのような粒子加速現象が観測できるか？
どのような観測が粒子加速に寄与するか？

「ひので」による粒子加速研究から

2012/10/23 白色光フレア

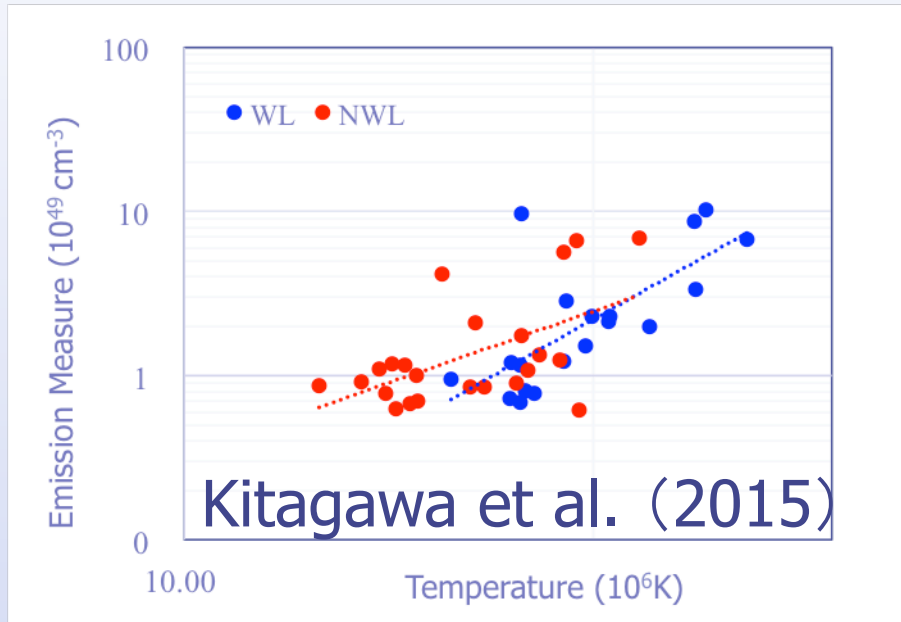
Hinode/SOT red & RHESSI HXR



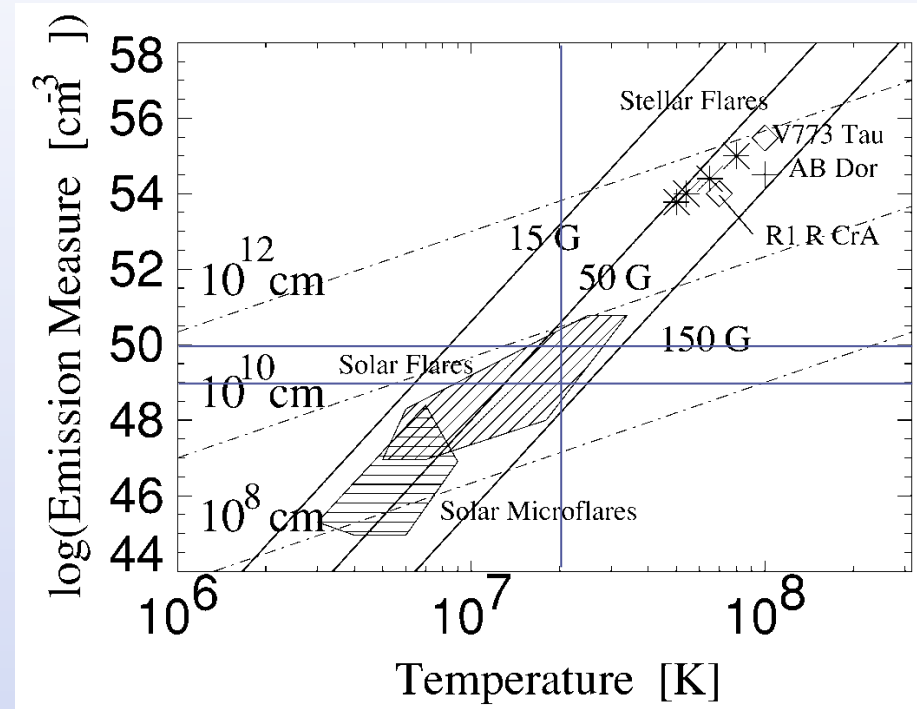
白色光と硬X線は良い相関 (LC & 場所だけでなく、エネルギー的にも)
⇒ 白色光は硬X線の代わりとしても使える (しかも分解能良し)

SUVITでは高いケーデンスで撮像可能 ⇒ 時間発展が詳しく

「ひので」による粒子加速研究から 白色光フレア統計研究 温度 vs Emission Measure



白色光イベントと非白色光イベントの温度とEM (n^2V)の関係



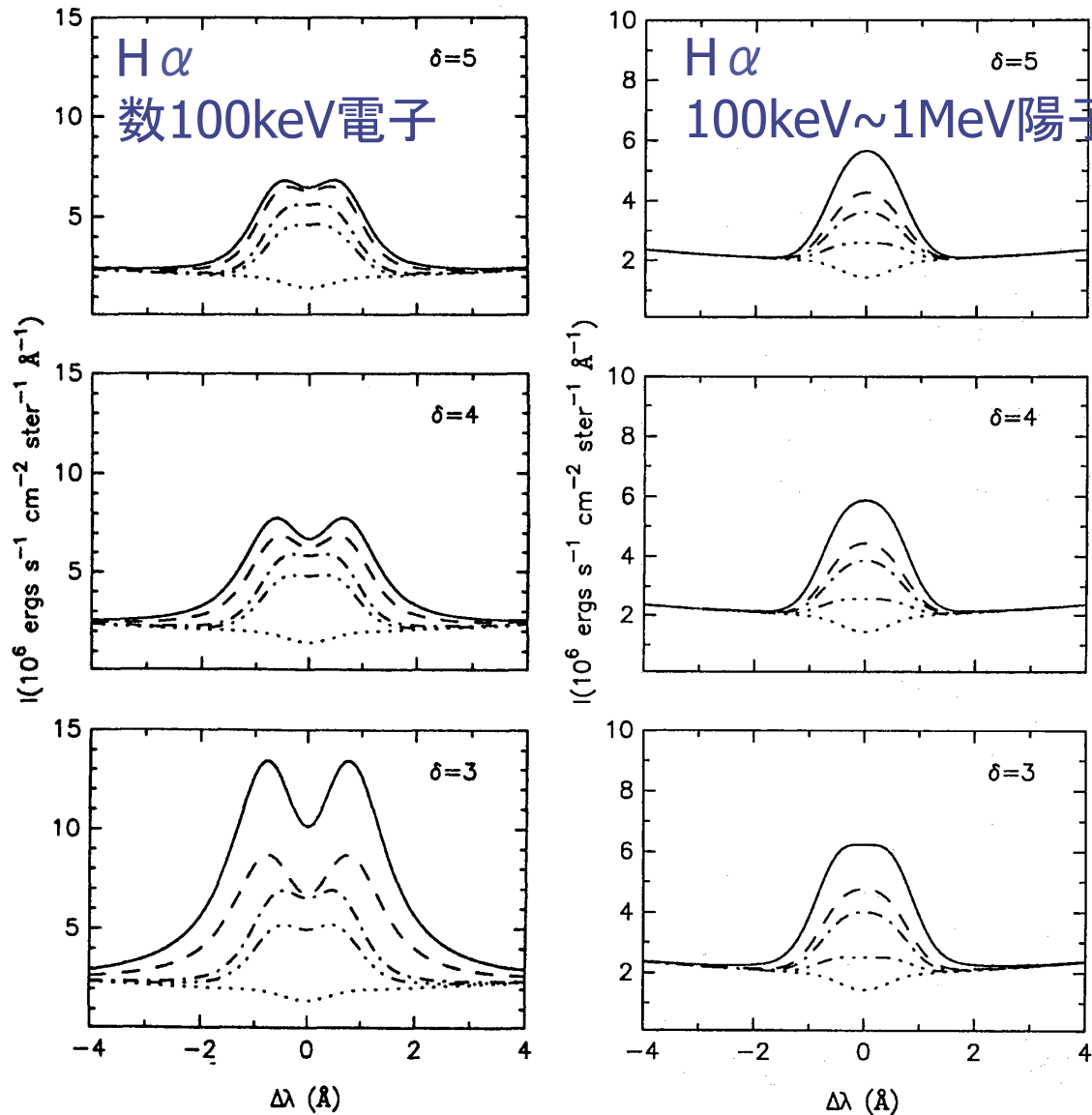
Shibata & Yokoyama 1999

白色光イベントにはコロナ磁場が関連している？

SUVITでは彩層磁場の観測が可能 \Rightarrow 加速域に近い磁場の情報

加速粒子による彩層ラインプロファイル

Fang et al.(1993), Henoux et al.(1993), Fang et al.(2000) など



高エネルギー電子・陽子により、彩層のラインプロファイルが変化する。

$H\alpha$, $CaII K$, $Ly\alpha$, $Ly\beta$..

彩層フレアでラインが広がっているという観測あり
⇒ 観測との比較なし

Solar-C/SUVIT では

$CaII K$ 854.2nm と

HeI 1083nm の分光観測

$H\alpha$ の波長スキャン観測

を行う予定

⇒ ラインプロファイル観測

⇒ 偏光も観測可能

加速粒子による impact polarization

方向性を持った高エネルギー粒子が彩層と衝突すると直線偏光する

- Vogt & Henoux (1996) など \Rightarrow 数%の偏光が期待される
 \Rightarrow 偏光方向から電子 or イオン、どの方向から来たのかが分かる
- Hanaoka (2003) \Rightarrow proton beam
- Henoux & Marlicky (2003) \Rightarrow electron flux in the return current
- Xu et al. (2005) \Rightarrow proton beam & electron flux
- Bianda et al. (2005) $\Rightarrow P < 0.7\%$ で観測されていない
- Hanaoka (2005) \Rightarrow ほとんどのフレアで偏光は観測されていない
- Stepan et al. (2007) \Rightarrow 太陽フレアでは偏光は出ない
- Stepan & Heinzel (2013) \Rightarrow 偏光は加速粒子が原因ではない

H α フレアカーネルで偏光が見えることがあるのは確か
その偏光からフレアのどんな物理情報を得られるか探る
(高精度観測で何が見えるのかに期待)

EUVST, XIT で観測可能な粒子加速関連現象

粒子加速と関連がある磁気リコネクション起源のMHD現象

今まで & SUVIT では、
粒子が加速された結果
しか観測できない。

極紫外～X線

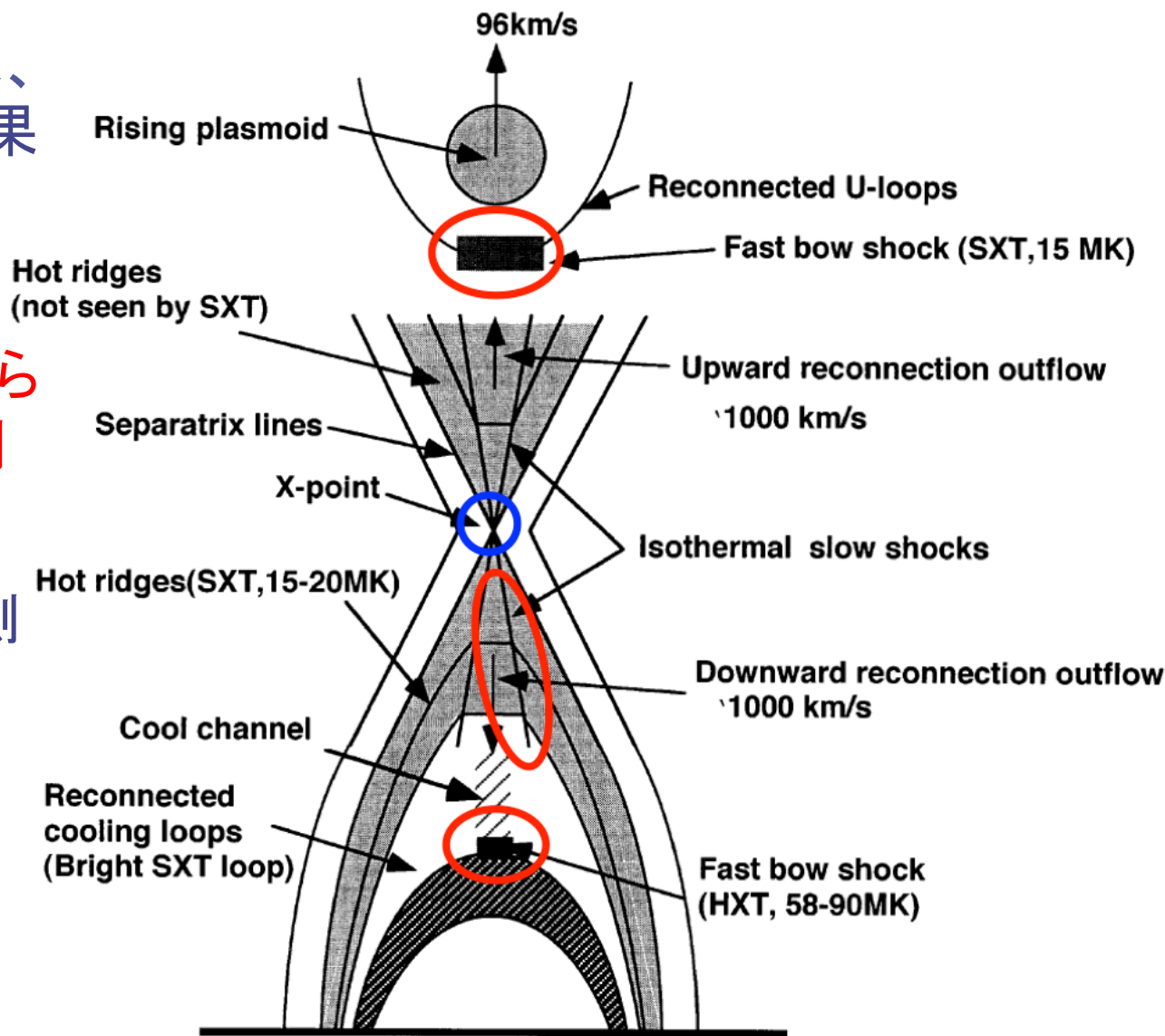
加速域で熱的分布から
外れてゆくものを観測

EUVST

非Maxwell分布を観測
(line ratio で)

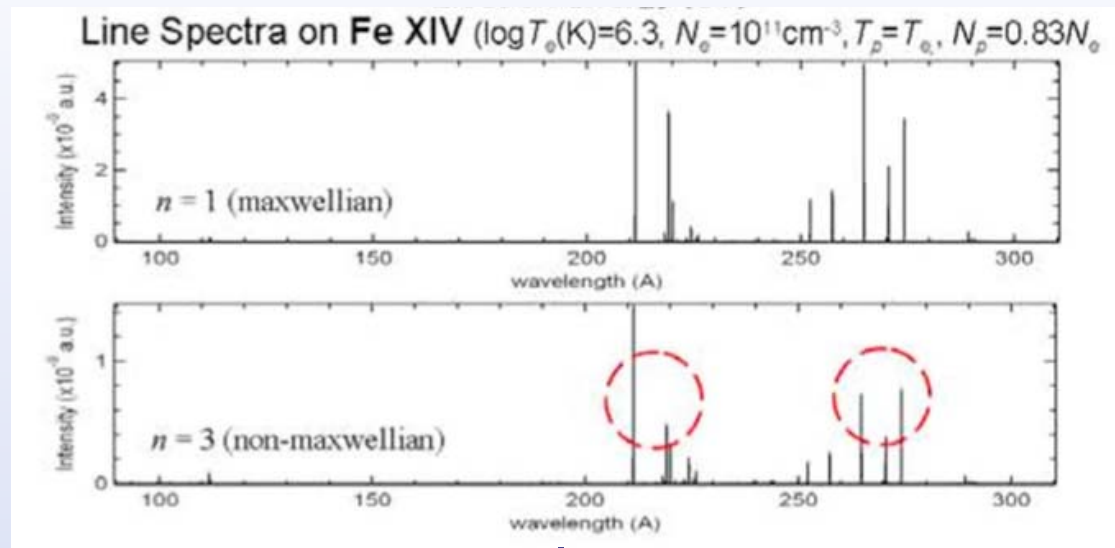
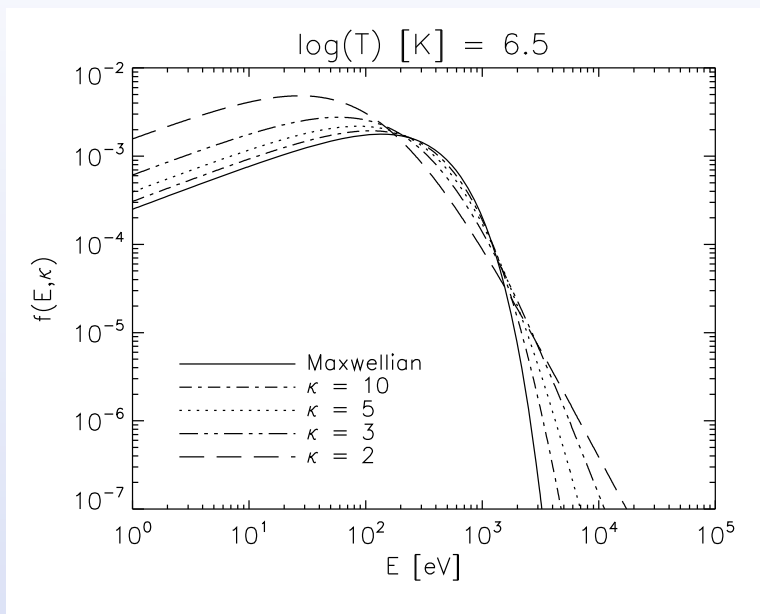
XIT-PC

加速域付近の電子
温度・スペクトル変化

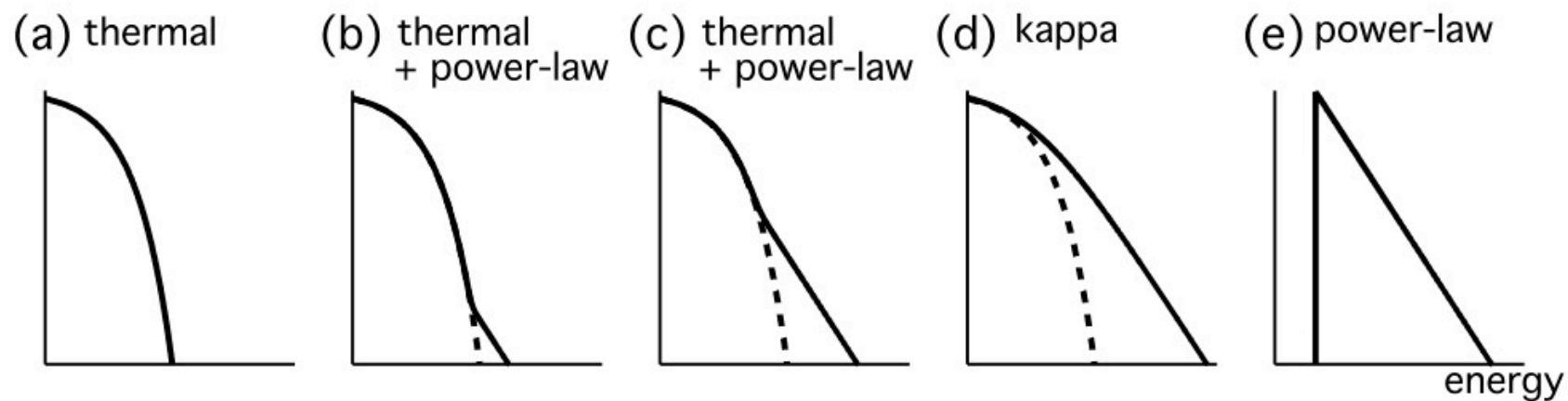


EUV line ratio による非 Maxwellian 分布診断

Mackovjak et al. (2013) など



Solar-C Interim report

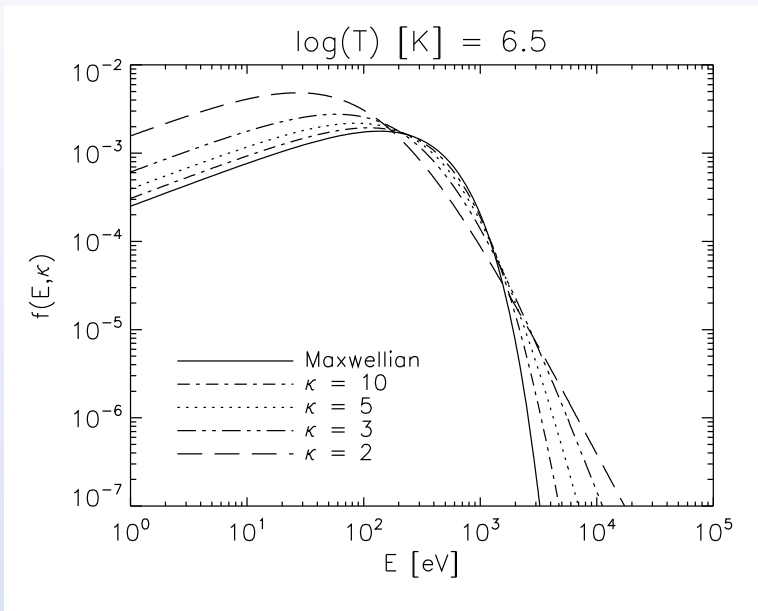


small ← Non-thermal fraction → large

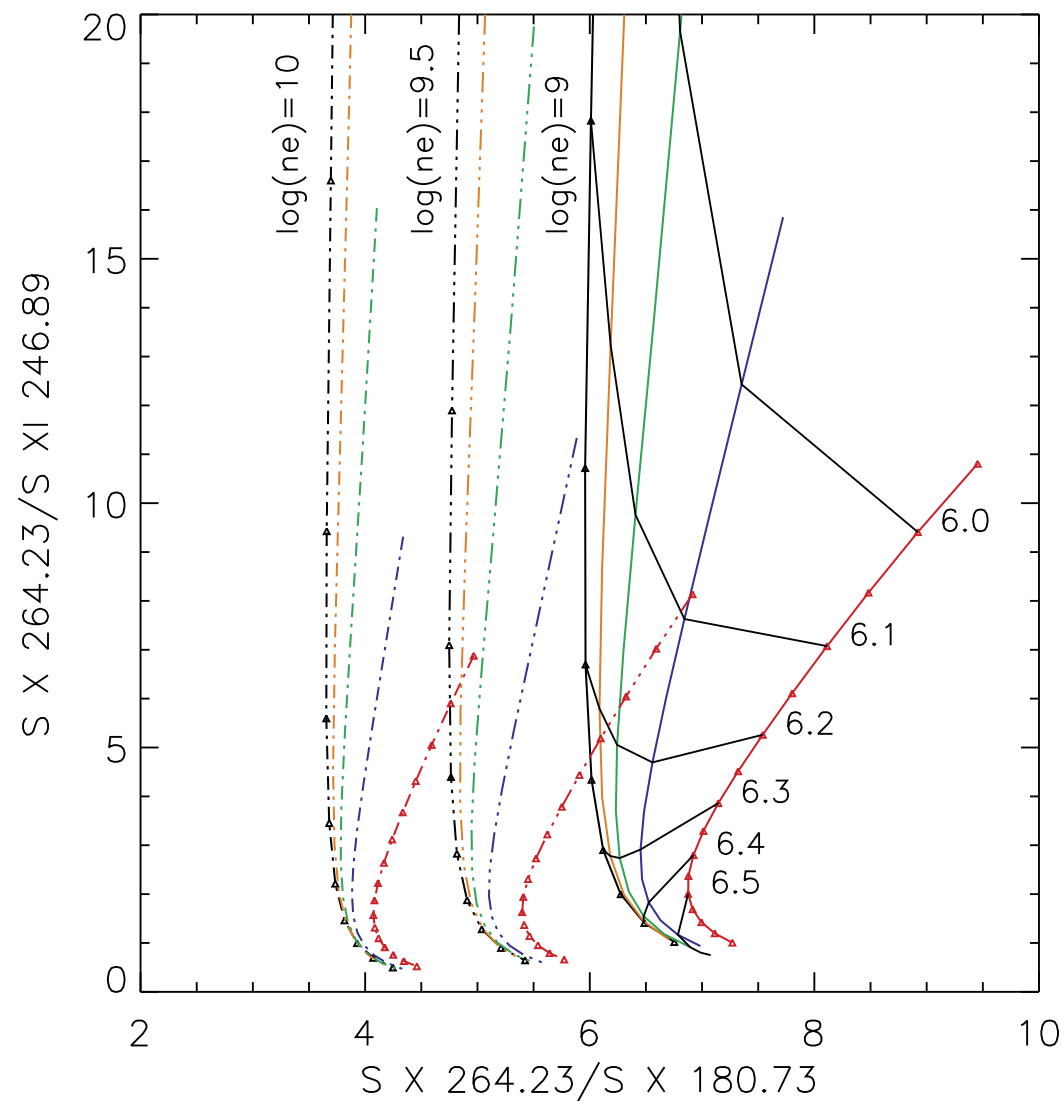
Oka et al., 2014

EUV line ratio による非 Maxwellian 分布診断

Mackovjak et al. (2013) など



ライン強度比が高温側の成分に感度がでる組み合わせを用いることによって、非熱的粒子の存在を示唆



可能な粒子加速関連現象

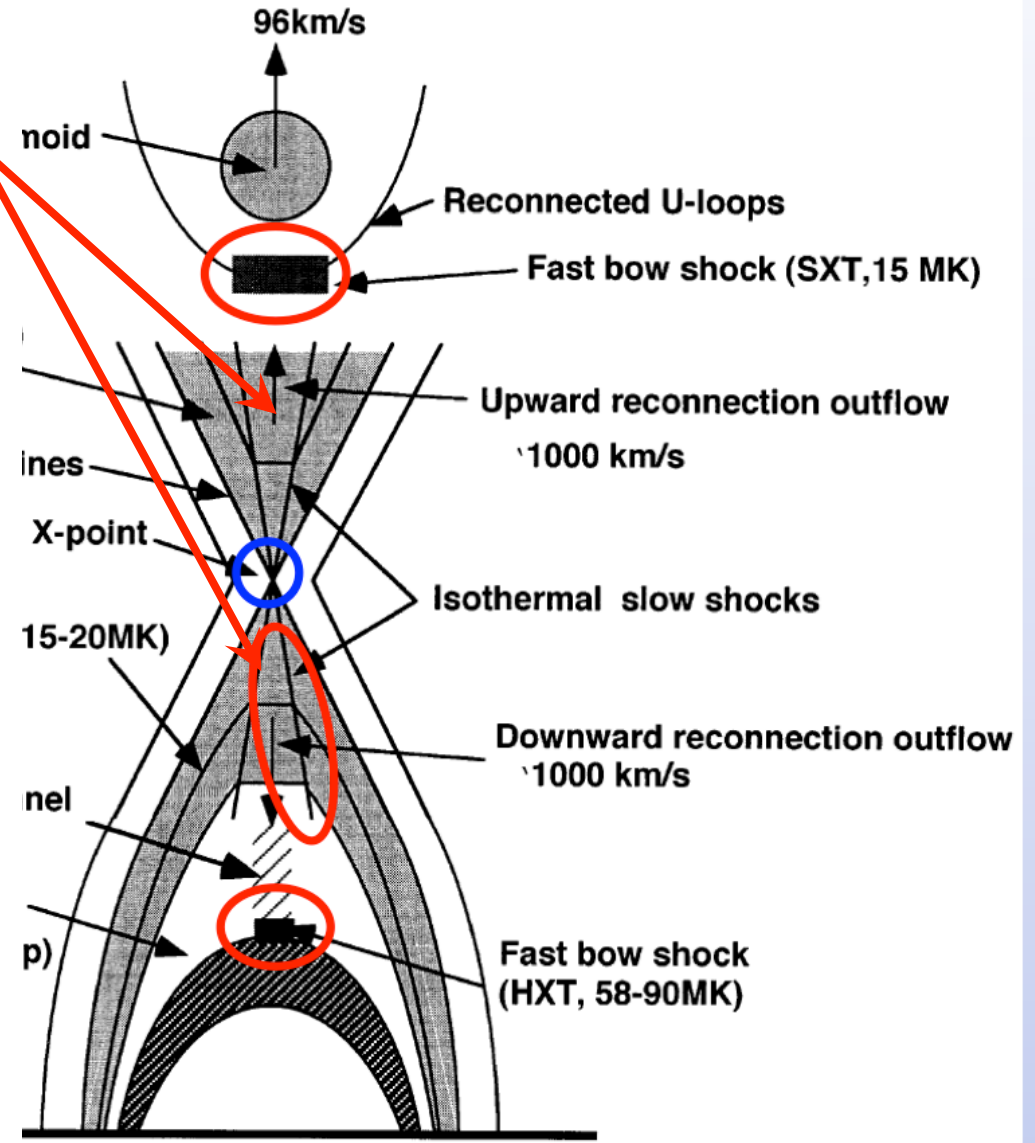
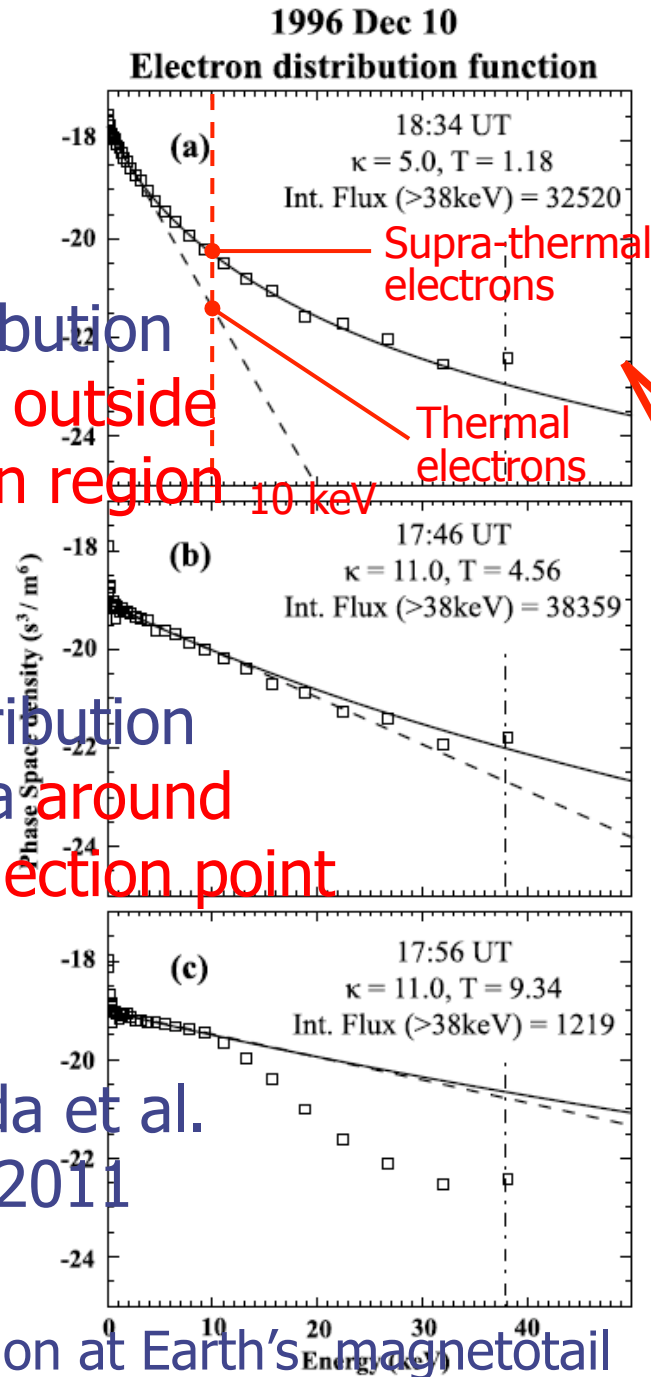
リコネクション起源のMHD現象

e⁻ distribution spectra outside diffusion region

e⁻ distribution spectra around reconnection point

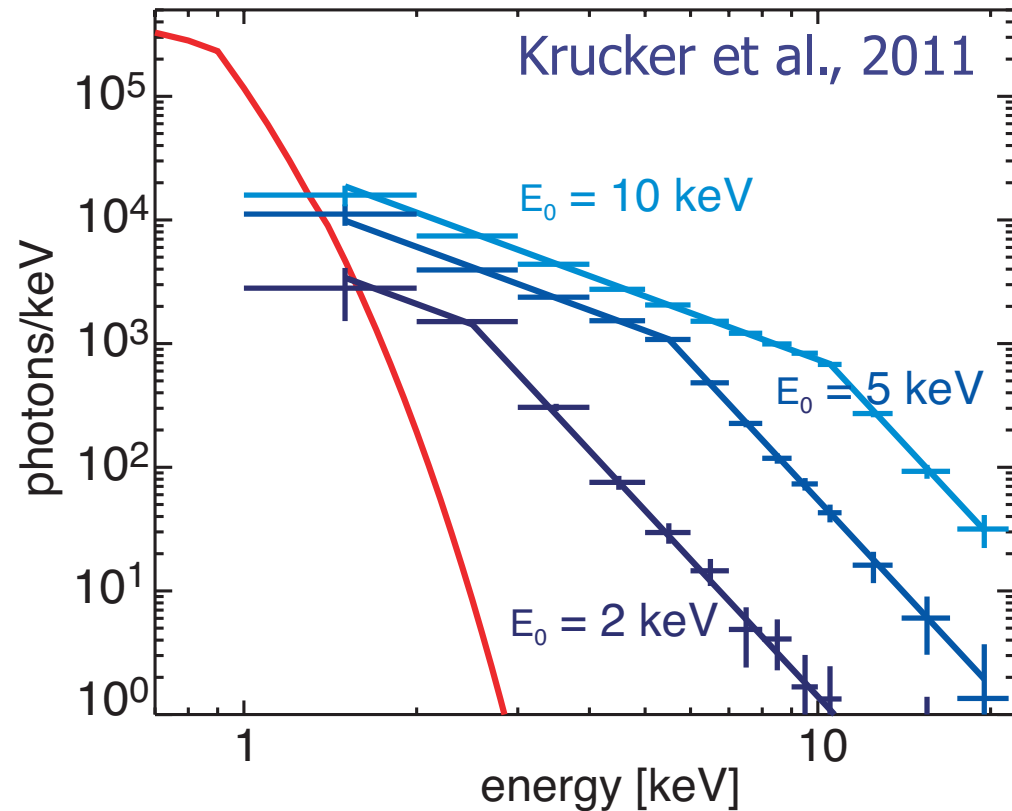
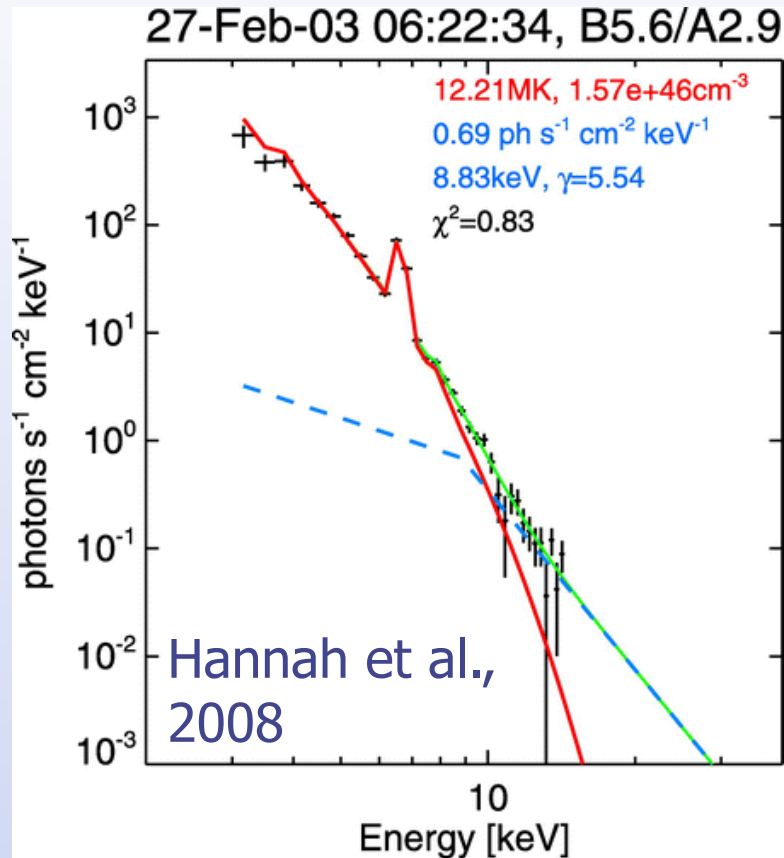
Imada et al.
JGR 2011

Electron acceleration at Earth's magnetotail



XIT-PC での粒子加速研究

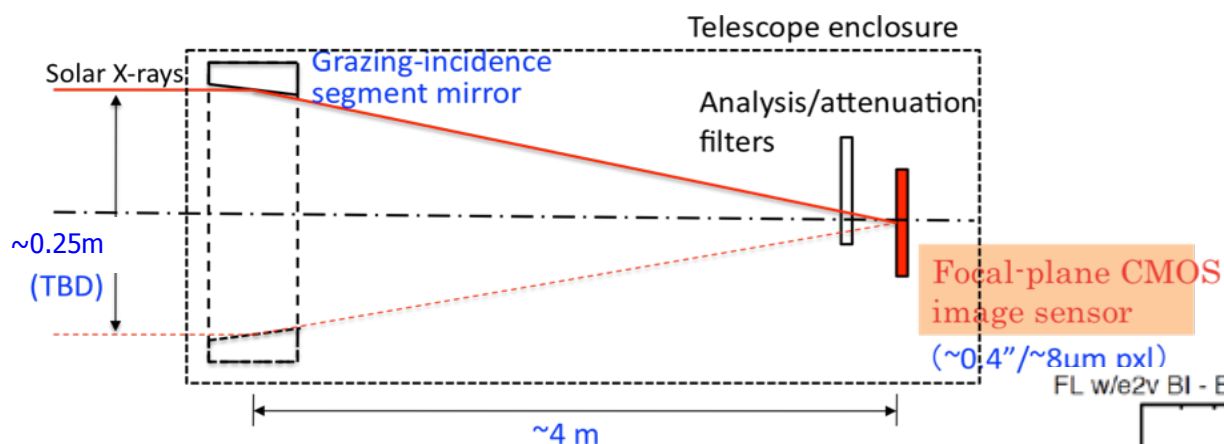
non-thermal と言えど $>20\text{keV} \Rightarrow <10\text{keV}$ で non-thermal



- RHESSI 小規模フレア統計解析: non-thermal energy $>7\text{keV}$
- 静穏領域では、thermal 成分は $<2\text{keV}$ 程度
⇒ フレア初期のスペクトル変化を観測し、加速の進行過程を捉える
- limb フレアでコロナ中の暗いソース(loop-top)を捉える

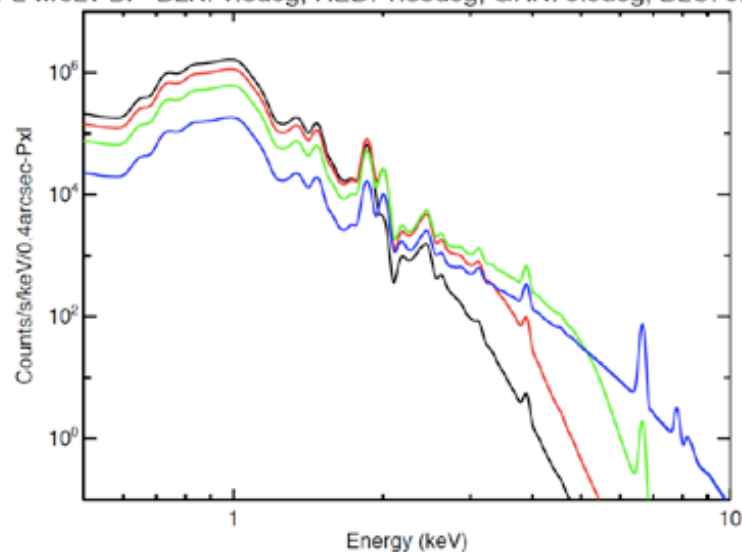
XIT-PC での粒子加速研究

XIT-GI Photon Counting Telescope



- 斜入射型X線望遠鏡
- 光子計測型
- 裏面照射型CMOS
- 観測エネルギー：
0.5 ~ 10keV

FL w/e2v BI - BLK: 1.8deg, RED: 1.35deg, GRN: 0.9deg, BLU: 0.45deg

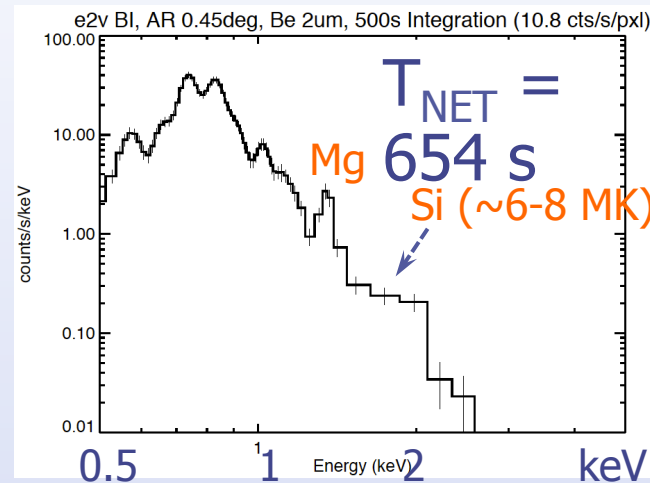
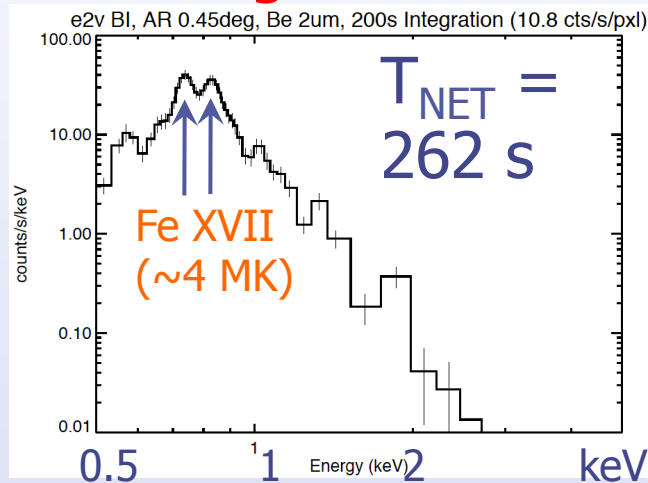


Telescope	Wolter-I telescope	
Diameter of aperture	~25 cm	
Focal plane detector	Back-illuminated CMOS-APS	
Energy range	0.5 – ~10 keV	
Energy resolution	~150 eV at 5.9 keV	
Plate scale	0.5 arcsec sampling	
Spatial resolution	1.0 arcsec within 200" off-axis distance	
Exposure cadence	Photon integration mode:	< 1 sec
	Photon counting mode:	10 (20) sec for 2" (1") area
Field of view	Photon integration mode:	400 arcsec \times 400 arcsec
	Photon counting mode:	~80 arcsec \times 400 arcsec (baseline) ~200 arcsec \times 400 arcsec (goal; cover NS \times EW extent of ARs)

XIT-PC での粒子加速研究

Energy Spectra (Grazing incidence angle = 0.45°)

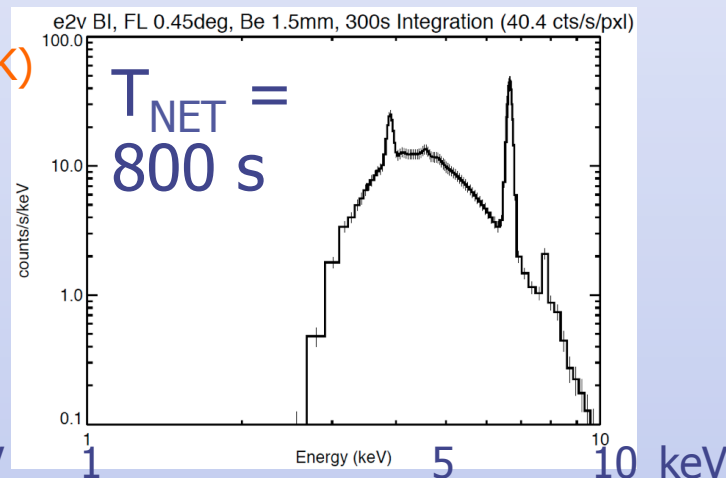
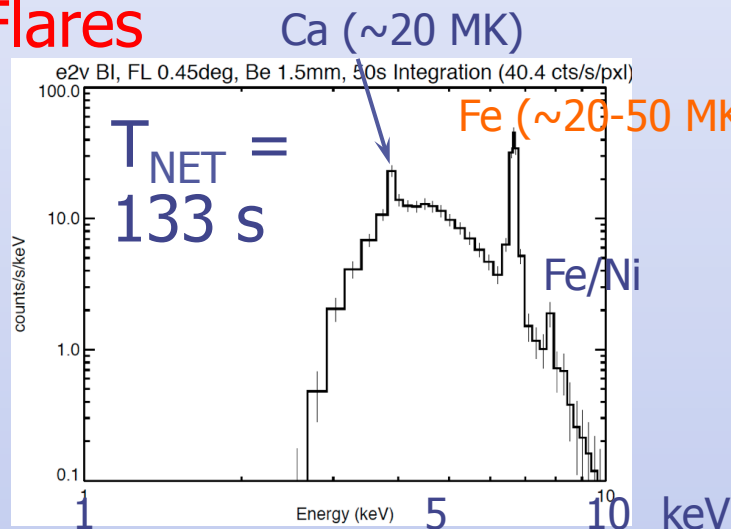
Active Regions



1×1 pixel で
観測した場合

2×2 summing
なら 1/4 の
時間で良い

Flares



まとめ

Solar-C 搭載各機器から得られる(と思われる) 粒子加速に関する情報

- SUVIT
 - 白色光観測 ⇒ 硬X線放射のプロキシ
 - 彩層磁場観測 ⇒ 加速域近辺の磁場
 - ラインプロファイル観測 (Ca II K, H α)
⇒ >100keVの加速電子・陽子の情報
 - impact polarization 観測 ⇒ 高精度で観測できる
- EUVST
 - 加速域付近の電子密度・温度の分布変化
⇒ 非Maxwell分布を観測
- XIT-PC
 - 加速域付近の加速電子のスペクトル変化 (~10keV)