

Solar-C X線望遠鏡サブWG報告

坂尾太郎

JAXA宇宙科学研究本部

X線望遠鏡検討WG

- Next Generation X-Ray Telescope sub-WG
- メンバー：
 - 坂尾 (ISAS; Chair)、成影、下条 (NAOJ)、渡邊(恭) (ISAS)、石橋 (名大)
 - DeLuca [co-chair], Reeves, Korreck, Golub (SAO), McKenzie (MSU), Lemen (LMSAL), Forbes (UNH), Cirtain (MSFC)
- オブザーバー：
 - 堂谷、尾崎、高橋、池田、佐藤 (ISAS X線天文グループ)
 - Warren (NRL), Reardon (INAF)

X線望遠鏡検討WG

- Solar-C時代に行なうべきX線撮像観測と、それに必要な観測装置の検討。
 - 特にX線光子計測型 (Photon-counting型) 撮像観測の検討。
- 検討会議
 - #1: Kick-off meeting – 2009/3/12-13 @ SAO
 - #2: 2009/8/10-12 @ SAO
 - [#3: 2009/12/7-9 @ ISAS (Work meeting)]
- GI・NIそれぞれについての検討。
- リソース制約(重量・テレメ)からB案に対する検討が中心。

NI望遠鏡

- 観測対象

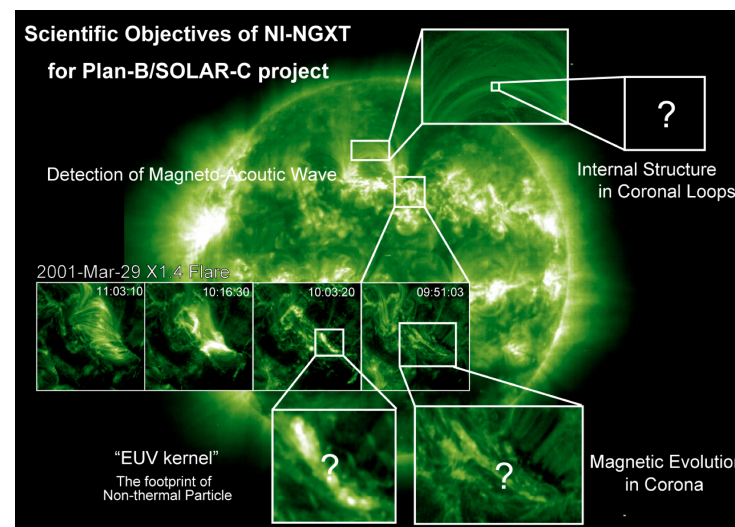
- コロナループの未だ分解されていない「内部構造」
- コロナ中の電流シート構造、低層大気とのconnectivity
- コロナ中の波の伝搬
- フレア時の加速粒子によるEUVカーネルの微細構造

- 必要な観測性能

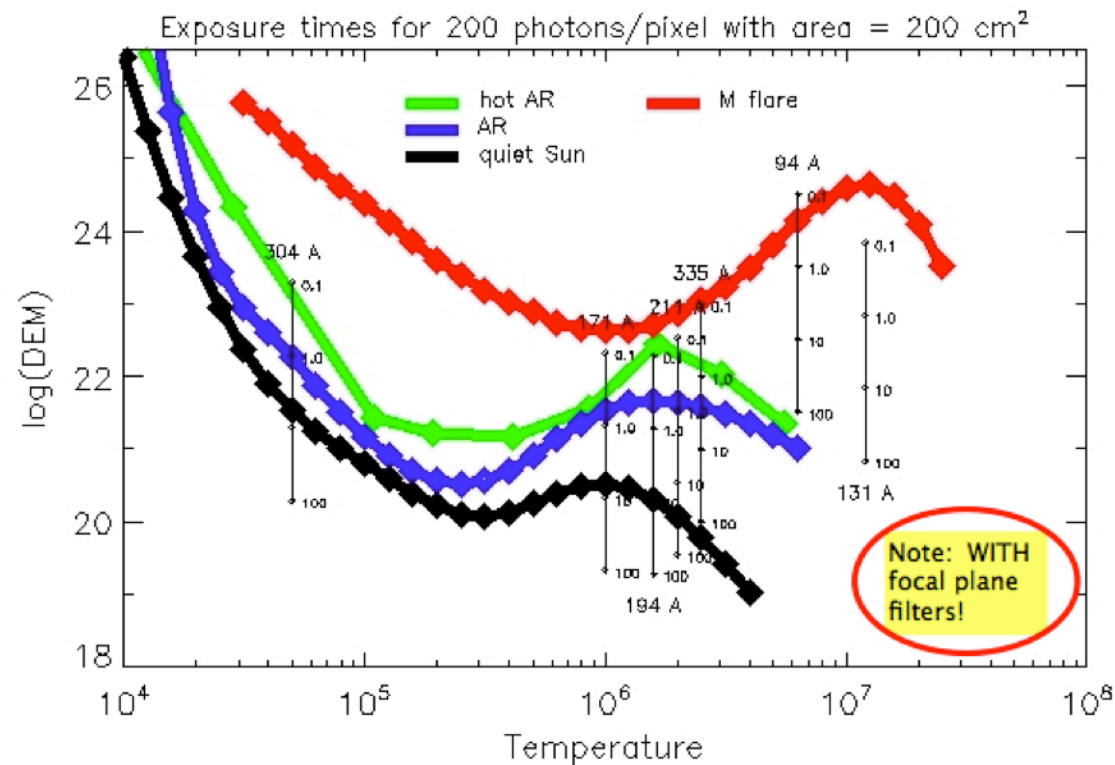
- 空間分解能・・・～0.1秒角
- 撮像頻度・・・AR: ～1秒、フレアカーネル: <1秒
- 温度範囲・・・1-10 MK [連続的な温度カバレッジが望ましい]
- 観測視野・・・ARサイズ(～400"×400")

- 観測機器

- 25 cmφ直入射鏡複数2-3本。各ミラーに1-3波長セグメント。
- ピクセルサイズ: 0.1"/pixel (画像安定化装置が必要) [c.f. AIA: 0.6"/pixel]
- 波長選択
 - AIA波長+ α の中から選択。選択波長は未決定(以下の中から選択)。
 - 171, 194, 304, 465 (Ne VII), UV (1550), 131/133 (Fe VII/Fe XXII), 335, 94 (Fe XVIII), 211 Å。
- 撮像頻度 (カッコ内はAIA波長)
 - ARに対し、<3 MKラインでは～1秒の撮像頻度が可能。
 - それより高温ラインでは、>100秒の露光時間が必要(焦点面フィルターをなくしても定性的には同じ。)

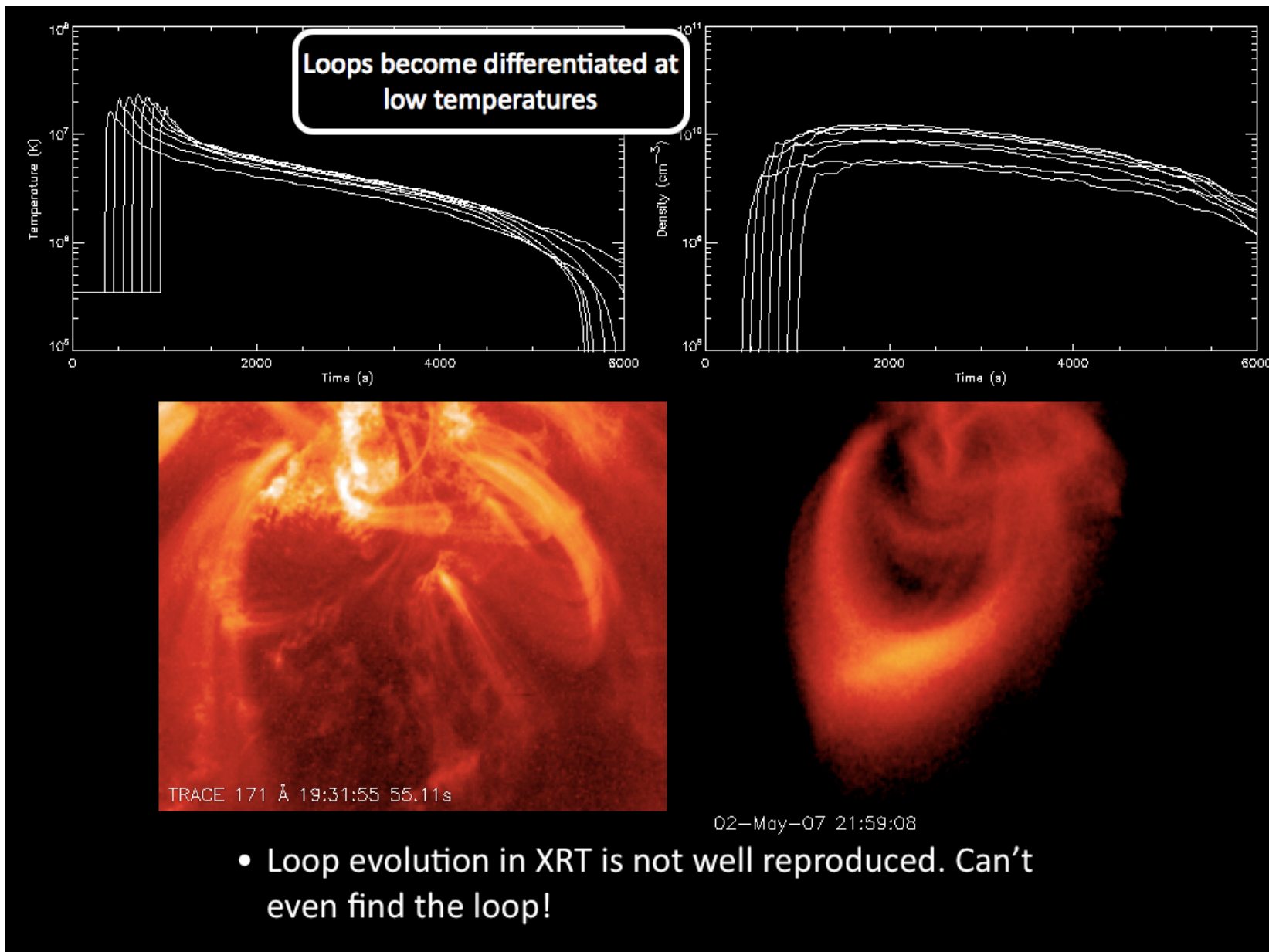


DEM-vs-exposure for 7 EUV channels *with* focal plane filters



- Because of the focal plane filters, exposures will need to be longer.
- Area of 200 cm² may still be satisfactory.

NGXT/NI parameters



(H. Warren)

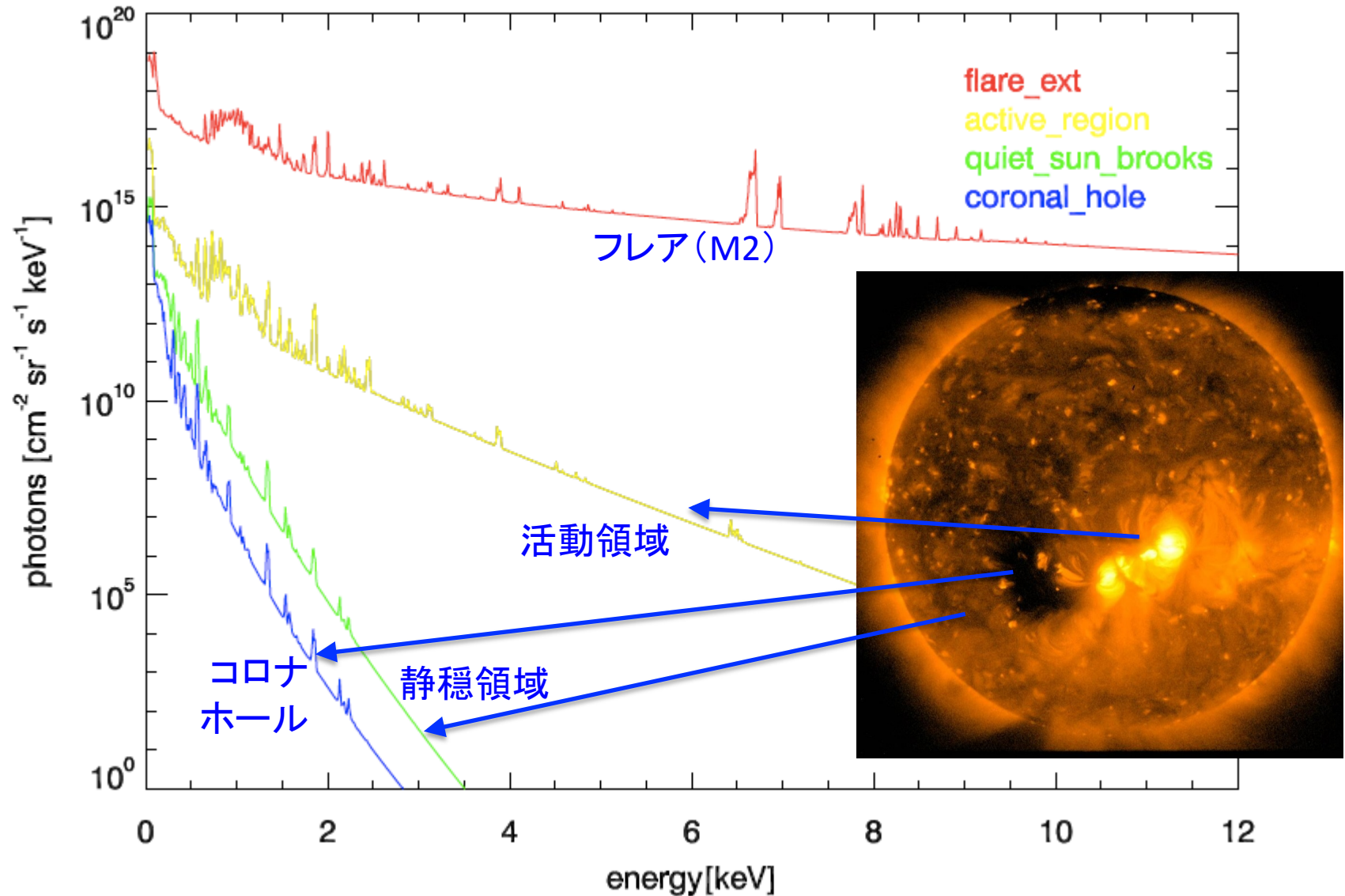
NI望遠鏡 – コメント

- 「これだけあれば良い」という空間分解能がわからない。「高ければ高いほどよい」以上のものがない。
→ 0.1秒角の空間分解能でできるサイエンス、
が規定できていない。
- 低層大気の諸現象に対して上空の景色を提供する補助望遠鏡、としての位置付け。
このイメージャー自身で何が研究できるか不明。

GI望遠鏡

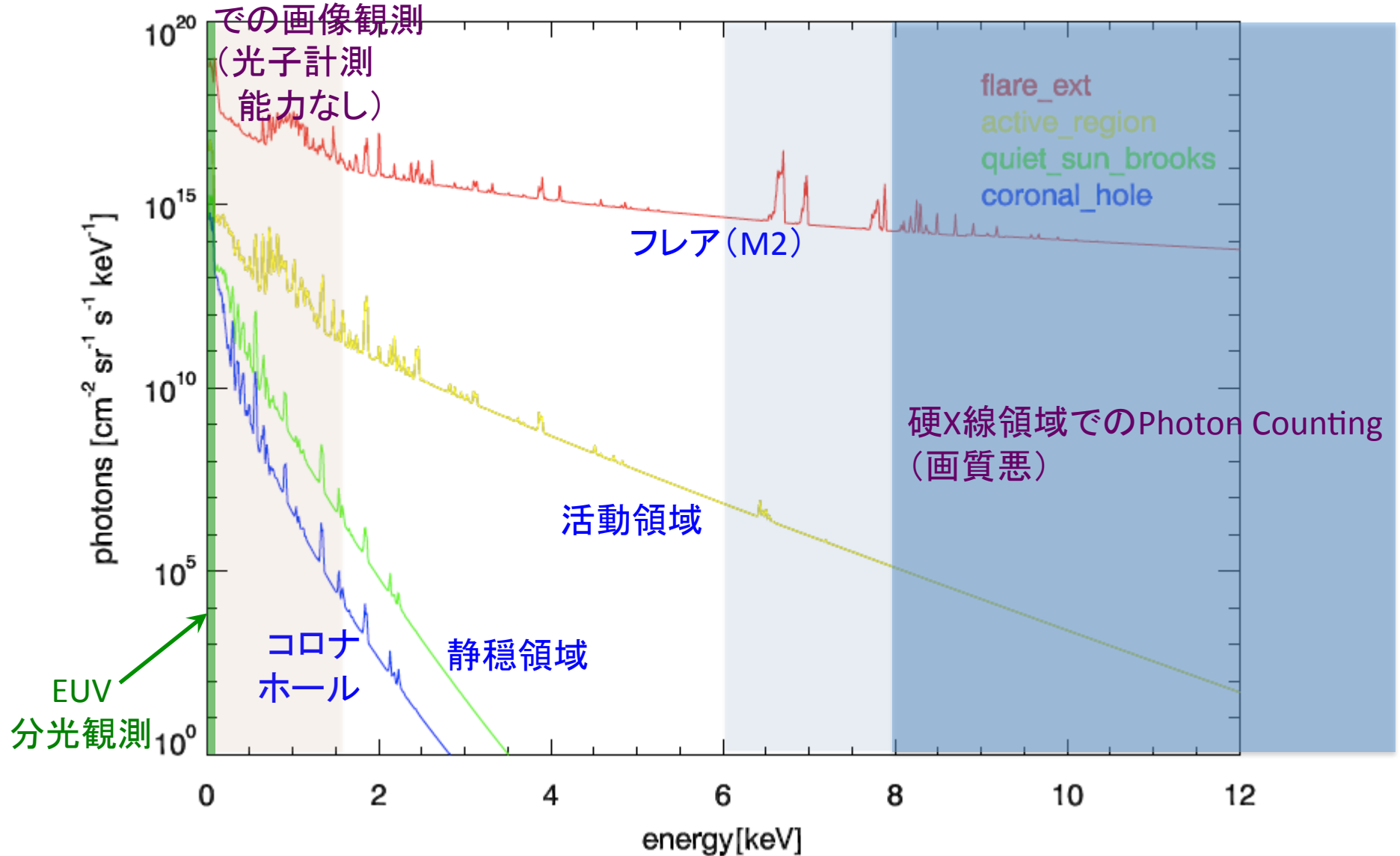
- Photon-counting型を前提に検討している。
 - NIでは観測波長(EUV)に対して検出器のエネルギー分解能が低いため、メリットなし。
 - Photon-integration型のGI(SXT・XRTの延長)の検討は未実施。

太陽からのX線放射スペクトル (モデル出力; CHIANTI V5)



太陽からのX線放射スペクトル

軟X線領域 (モデル出力; CHIANTI V5)



GI望遠鏡

- <1 – 10 keVの軟X線コロナ …… 分光撮像の未踏のエネルギー域

- 観測対象

- 活動領域の高温 (>5 MK) 成分の分光撮像観測

- EUVの分光診断では探索できない温度域
 - 活動領域の最高温度は？ 加熱/熱エネルギー輸送過程

- フレア

- リコネクションにともなう大規模磁場構造中のスペクトル構造。
→ ショックの探査。
 - 特にフレア初期の非熱的X線の空間分布と時間発展。
 - 20-30 MKプラズマからの鉄輝線によるマッピング

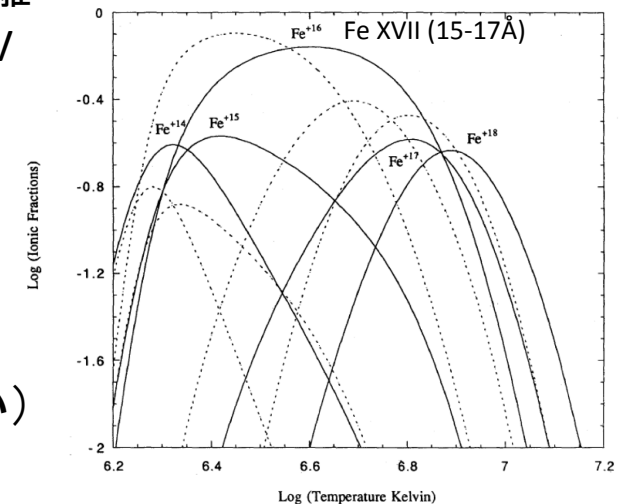
- ※ 加速粒子: ambient熱的プラズマからの非熱的乖離
→ コロナの熱的放射 + 非熱的放射 → <1 – 10 keV

- + (検出器の感度によっては)

- 低温コロナ (<5 MK) の撮像観測

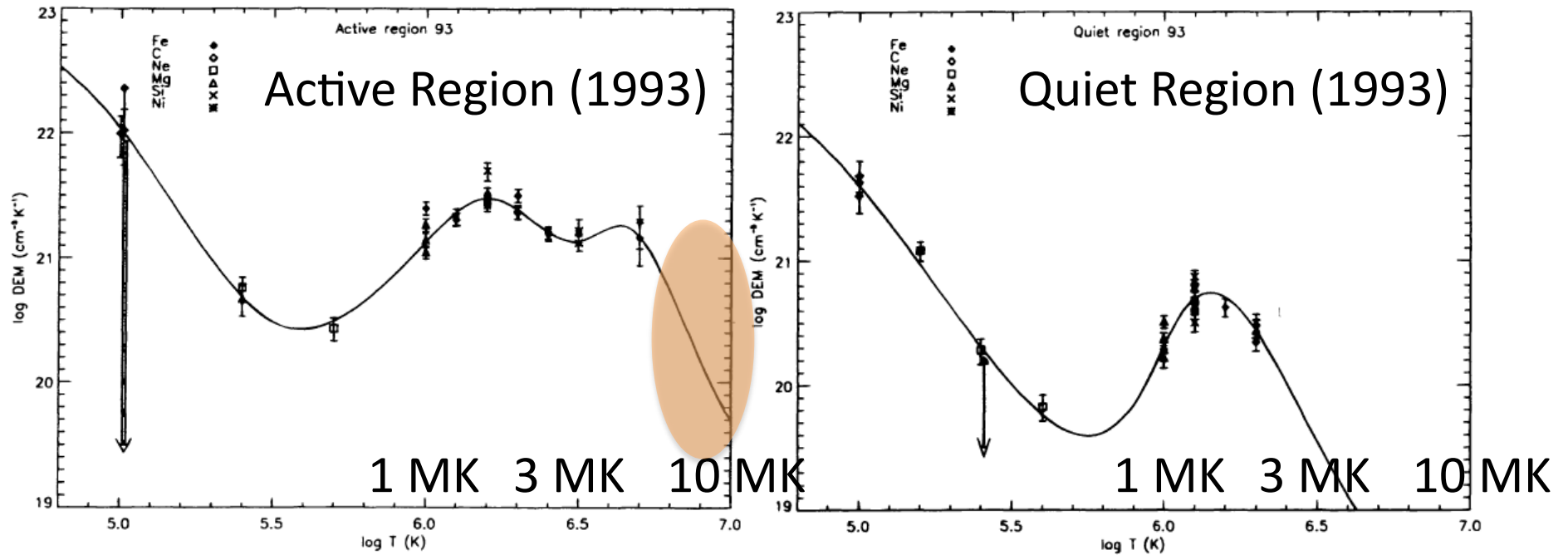
- GIイメージャーとして

- コロナループの全体が見える
 - 活動領域コアのループが見える ("moss"にならない)
 - 低層大気とのconnectivityは？ (N.B. 0.5"/pixel)



Active Regions and Quiet Sun

- DEM determination



(Brosius et al. 1996)

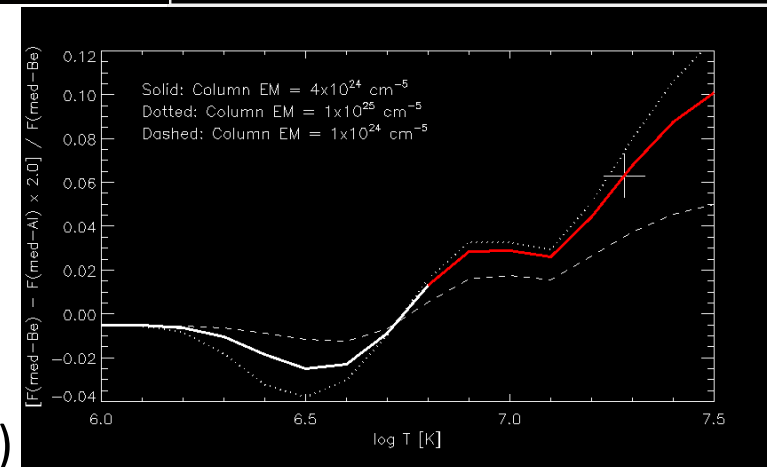
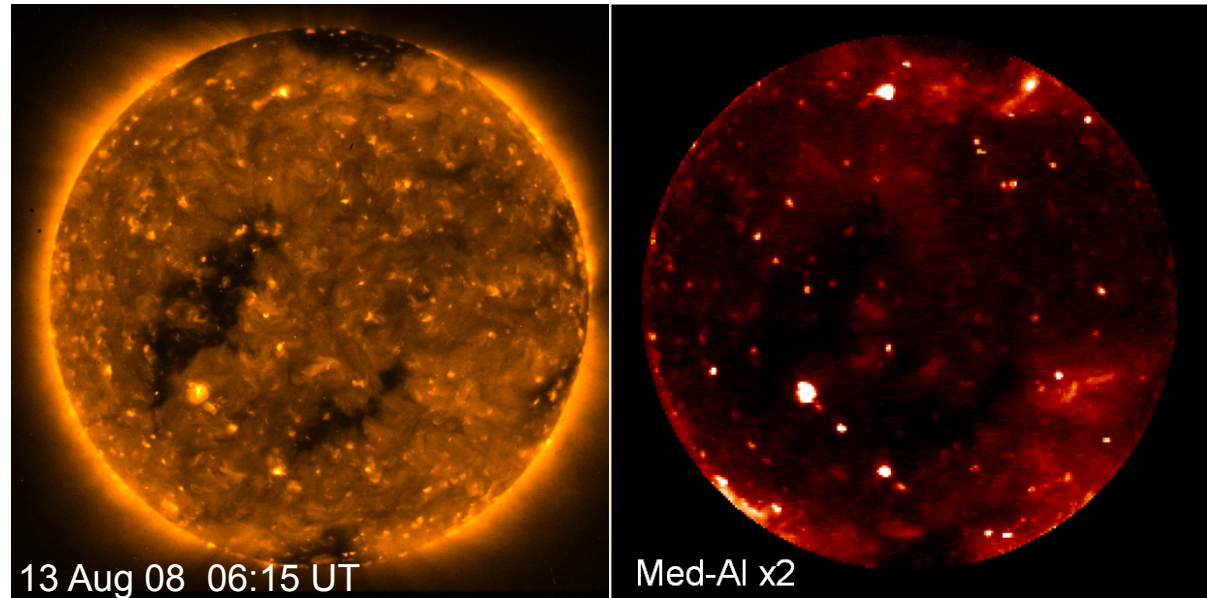
* DEM above 5 MK not known.

High-Temperature Components across Active Regions and Quiet Sun

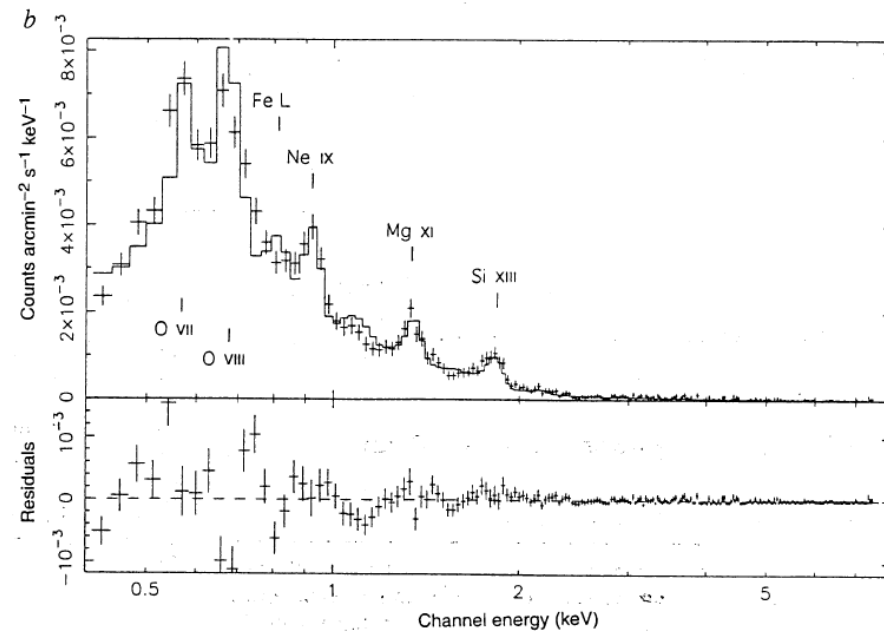
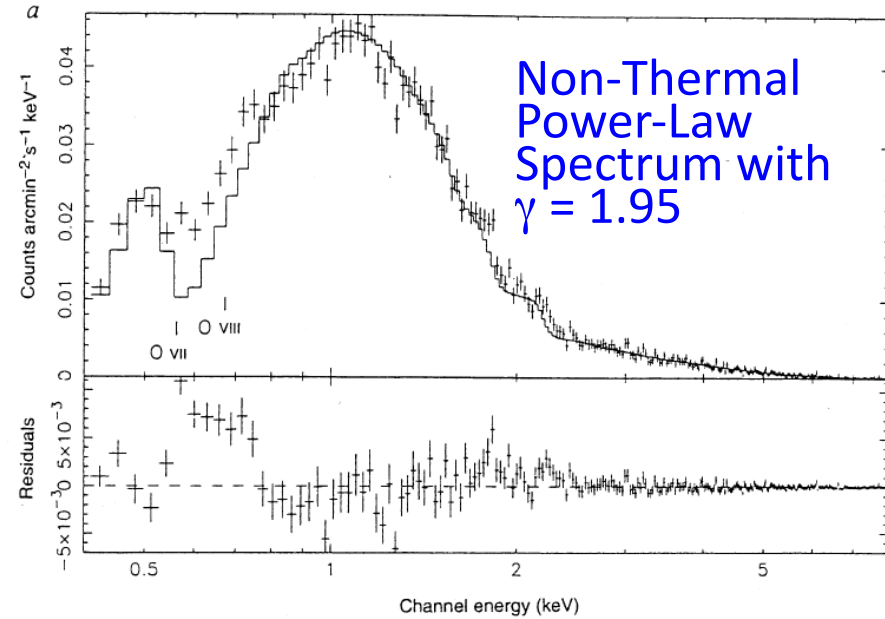
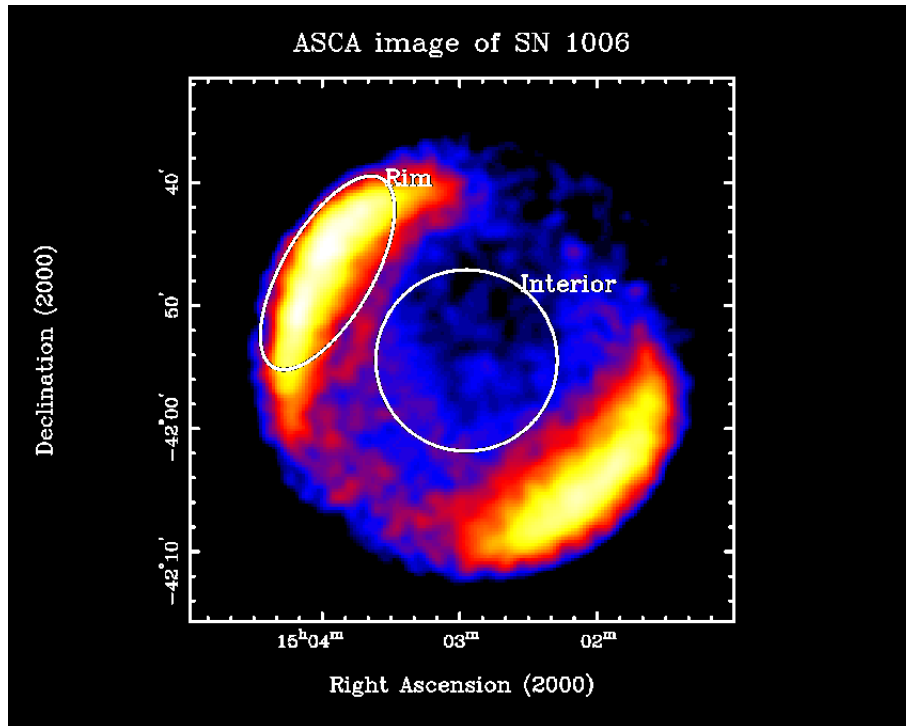
Hot plasmas with temperature 5–32 MK (**most likely >10 MK**) present not only in Active (X-ray bright) Regions **but also in the Quiet Sun and near the poles**, even during solar minimum.

- How are they heated?
- How are they maintained?
- What DEM?

(Ishibashi 2008)

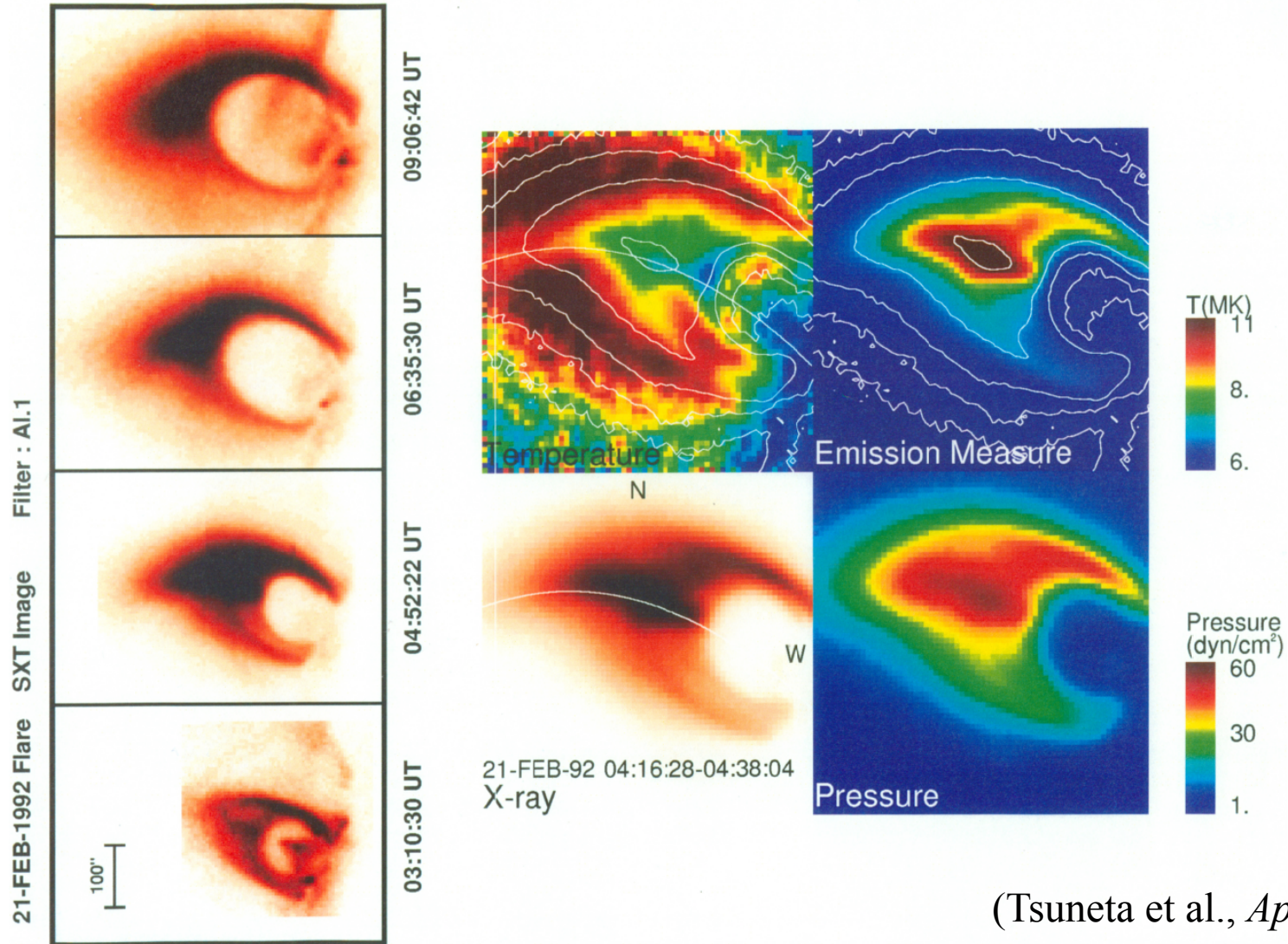


Shock Acceleration of Electrons in Cosmic Plasmas

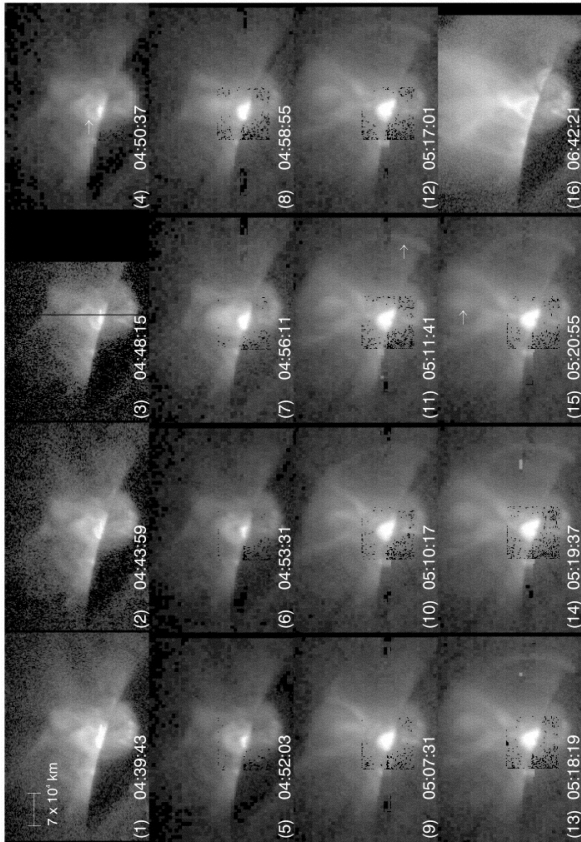


(Koyama et al. 1995)

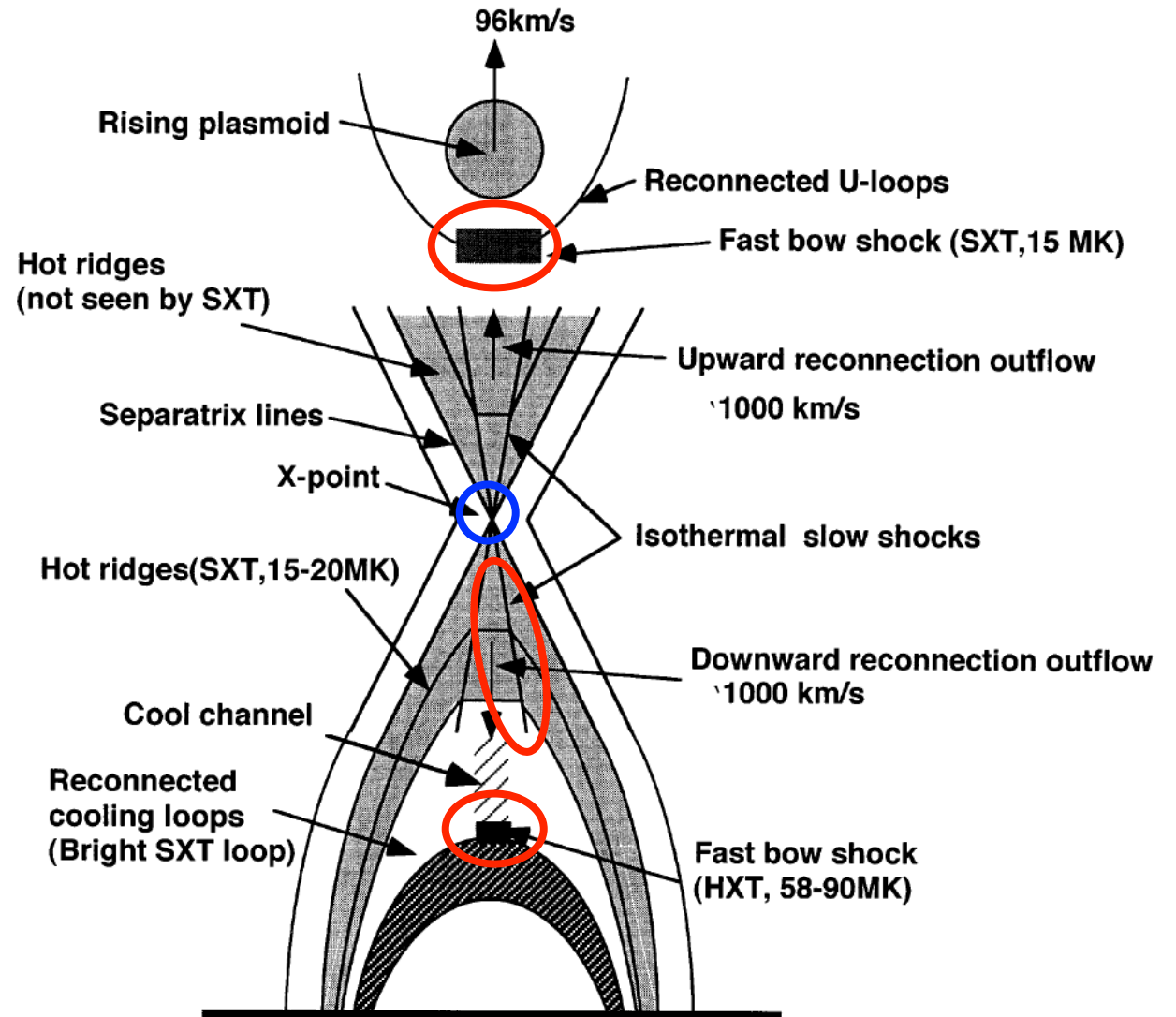
Possibilities: Particle Acceleration Site



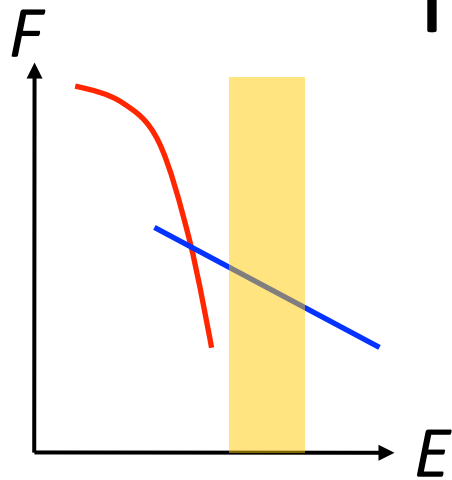
(Tsuneta et al., *Ap.J.* 1996)



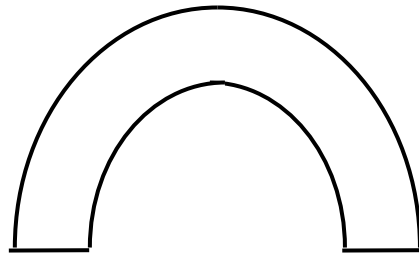
(Tsuneta, *Ap. J.* 1997)



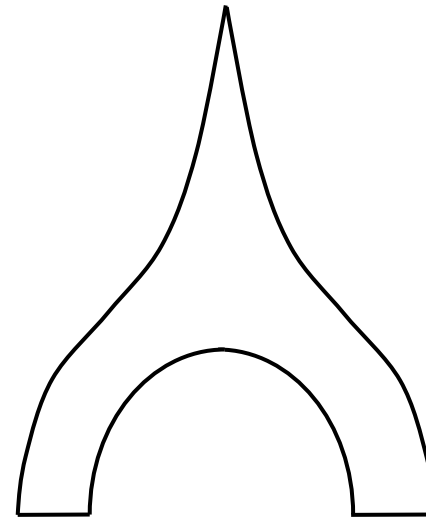
Non-Thermal Imaging



フーリエ合成型に対し、結像光学系による
画像ダイナミックレンジの向上
→ コロナ中の非熱的X線源の観測



Acceleration
at the
loop top

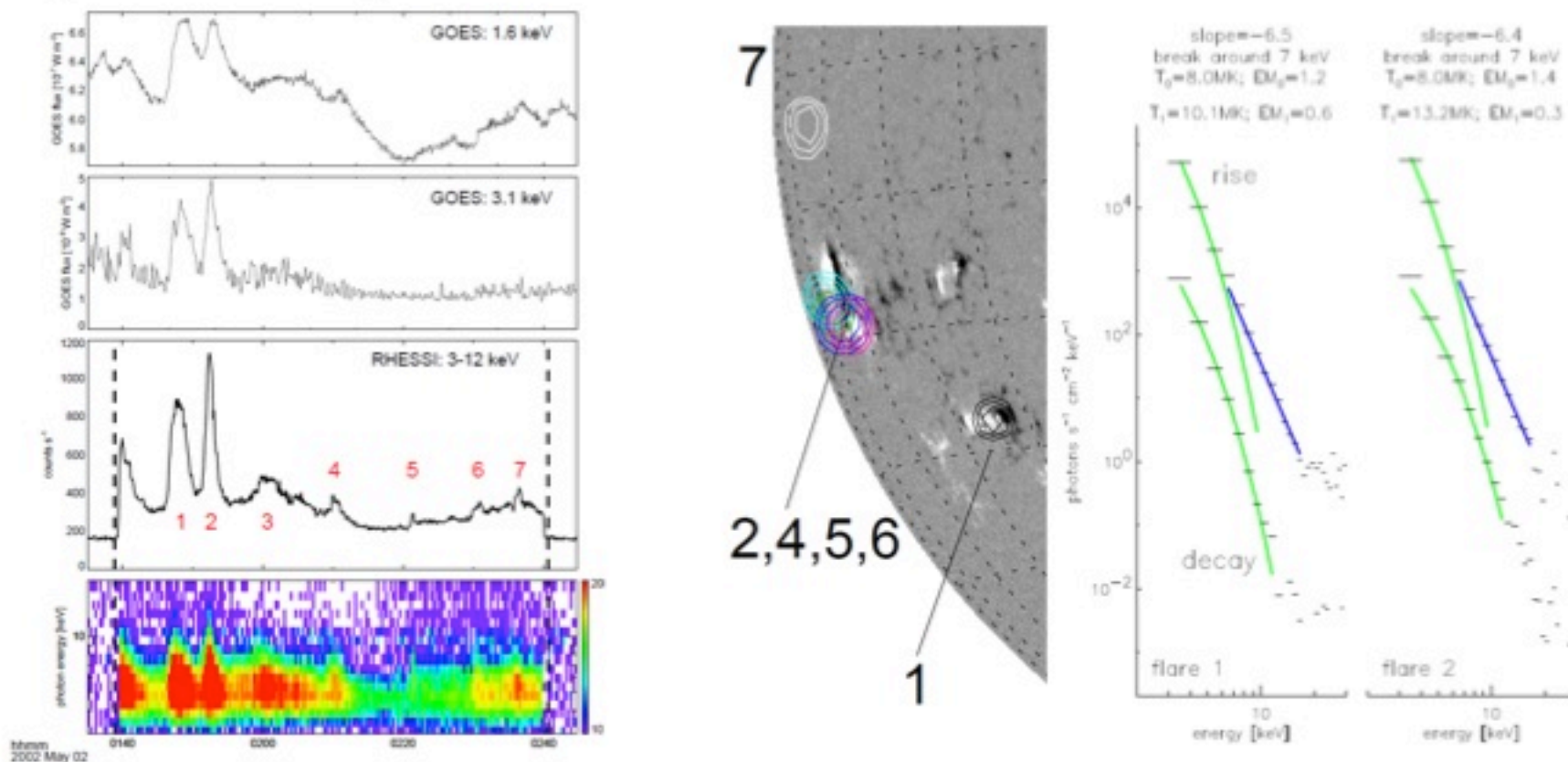


Acceleration
at the
reconnection point

“Hard X-ray Microflares Down to 3 keV”

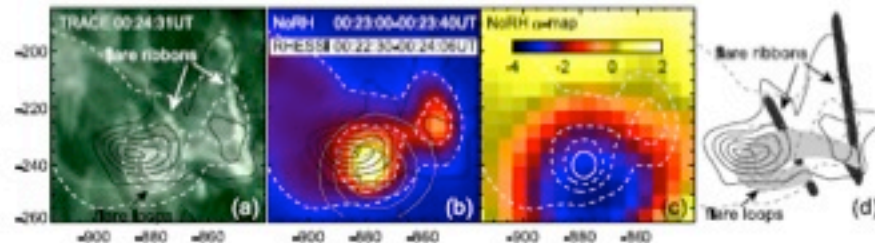
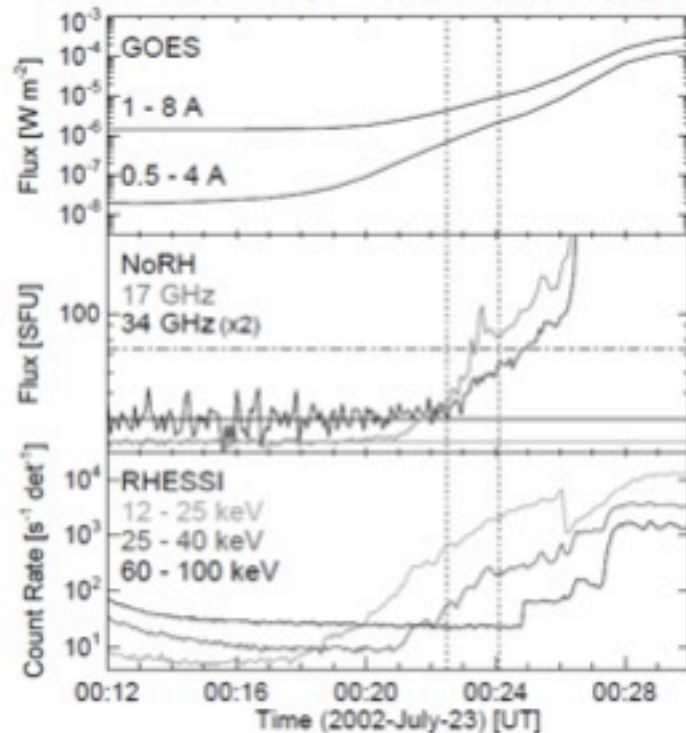
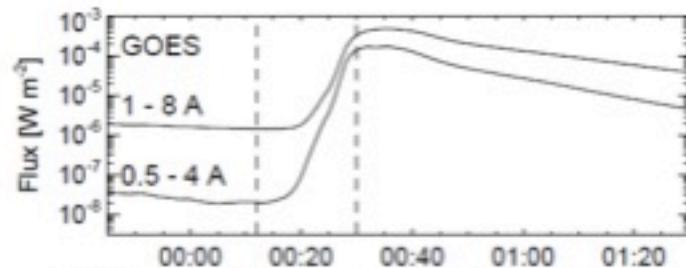
Krucker et al. 2002, Sol. Phys., 210, 445

- They analyzed the B6 flares observed by the RHESSI and found that the non-thermal spectrum (power-law) continue to around 6 keV.



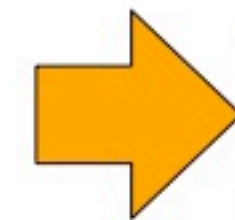
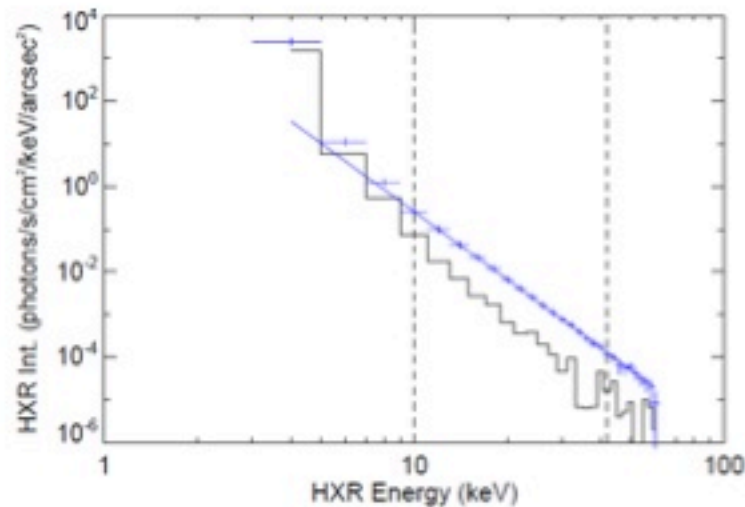
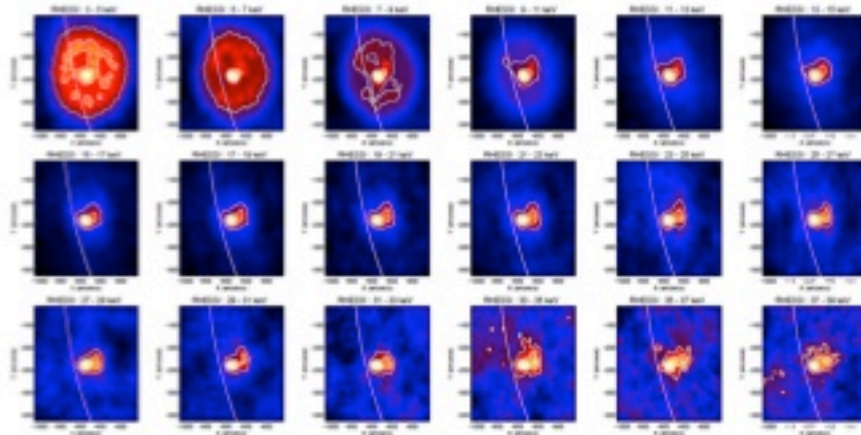
(Asai et al. 2009: Ap. J. 695, 1623-1630)

Asai et al. (in press): 2002-July-23 X4.8 flare



- The non-thermal signal from the pre-flare stage of the X4.8 flare.
- The source is in corona.
- The loop top source is non-thermal based on the HXR and Radio Observations.

Re-analysis (2002-July-23 X4.8 / preflare)



Effective Area

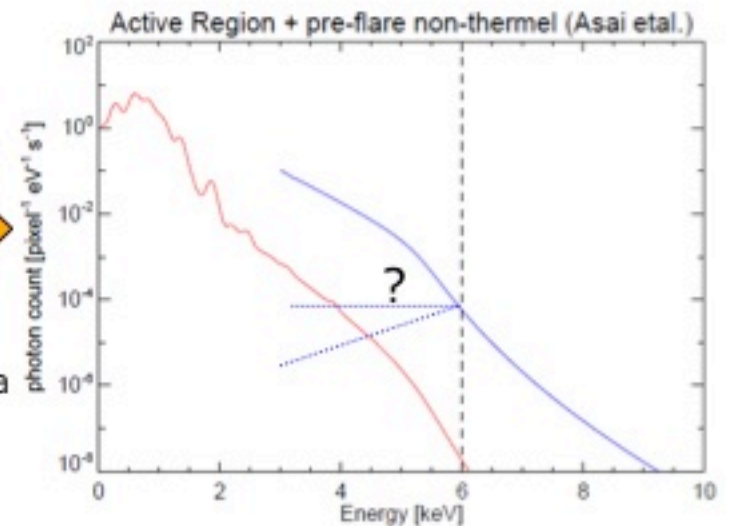
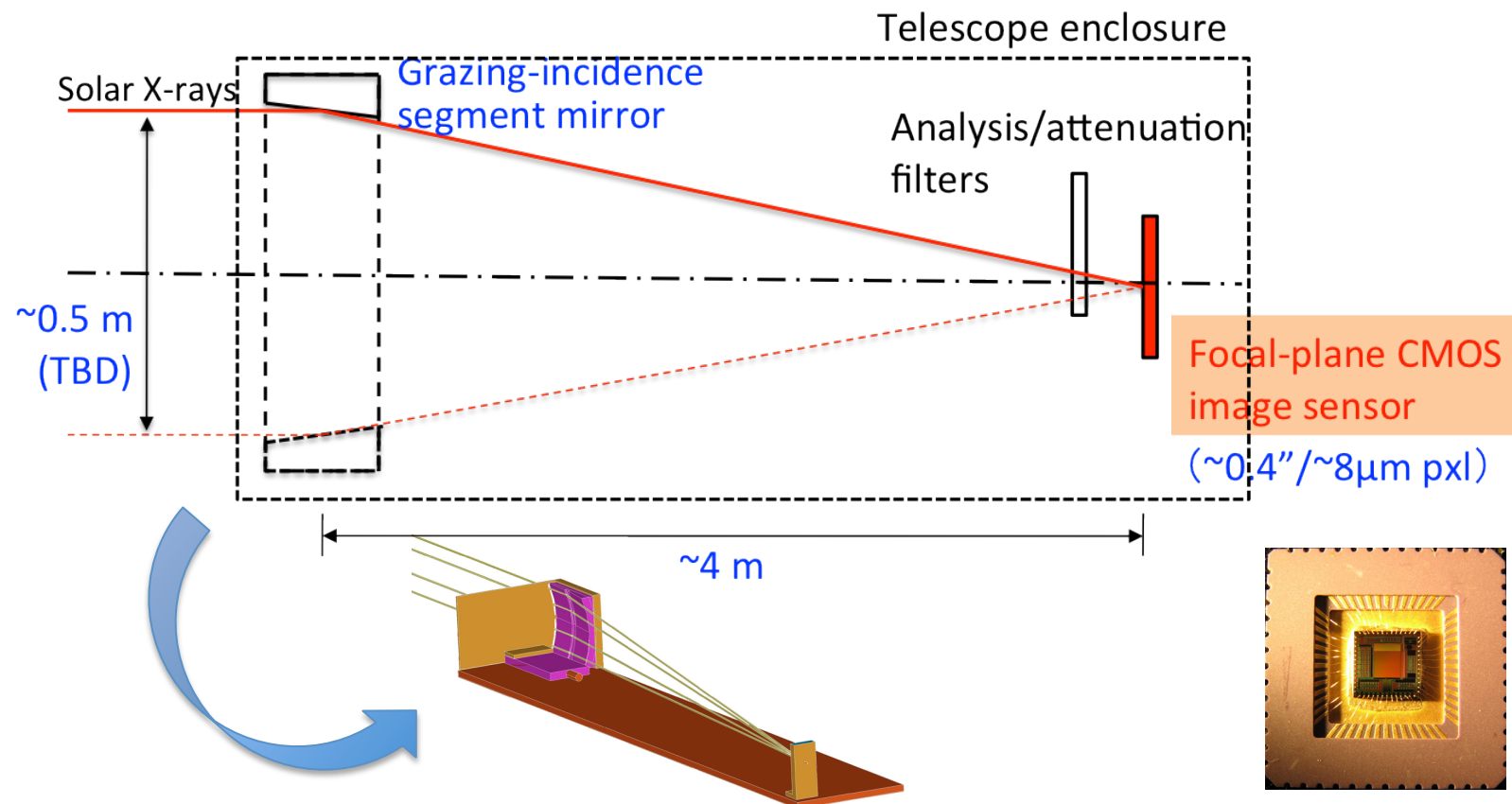


Table 5.3-1: Draft scientific specification needed for the photon-counting telescope.

Item	Description	Remarks
Optics	Grazing incidence	
Angular resolution	空間分解能(ピクセルサイズ)	Angular size of a pixel
For photon counting	5 arcsec	Photon counting: 5秒角
For photon integration	0.5 arcsec	Photon integration: 0.5秒角
Temporal resolution	時間分解能	
For photon counting	30 s (ARs), 10 s (Flares)	Photon counting: AR – 30秒、フレア – 10秒
For photon integration	TBD	Photon integration: TBD
Energy range エネルギー域	1-10 keV, with sensitivity below 1 keV desired. 1-10 keV <1 keVに感度あることが望ましい	Low-energy sensitivity depends on available detector. Iridium coating for the mirror indispensable to attain high sensitivity for keV X-rays.
Energy resolution		
For photon counting	Readout noise: 5 e ⁻ (TBD) Fano-limited resolution ($F=0.12$) (TBD)	
For photon integration	N/A	

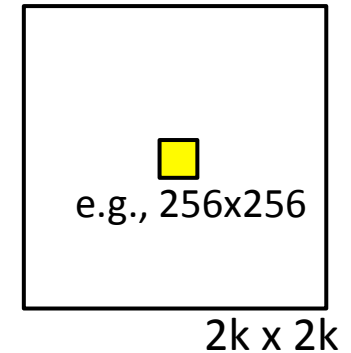
GI望遠鏡

- 焦点面アレイにCMOSイメージセンサを使用。
 - 米Sarnoff社のCMOSセンサをベースラインとする。
- 「セグメントミラー」の使用。

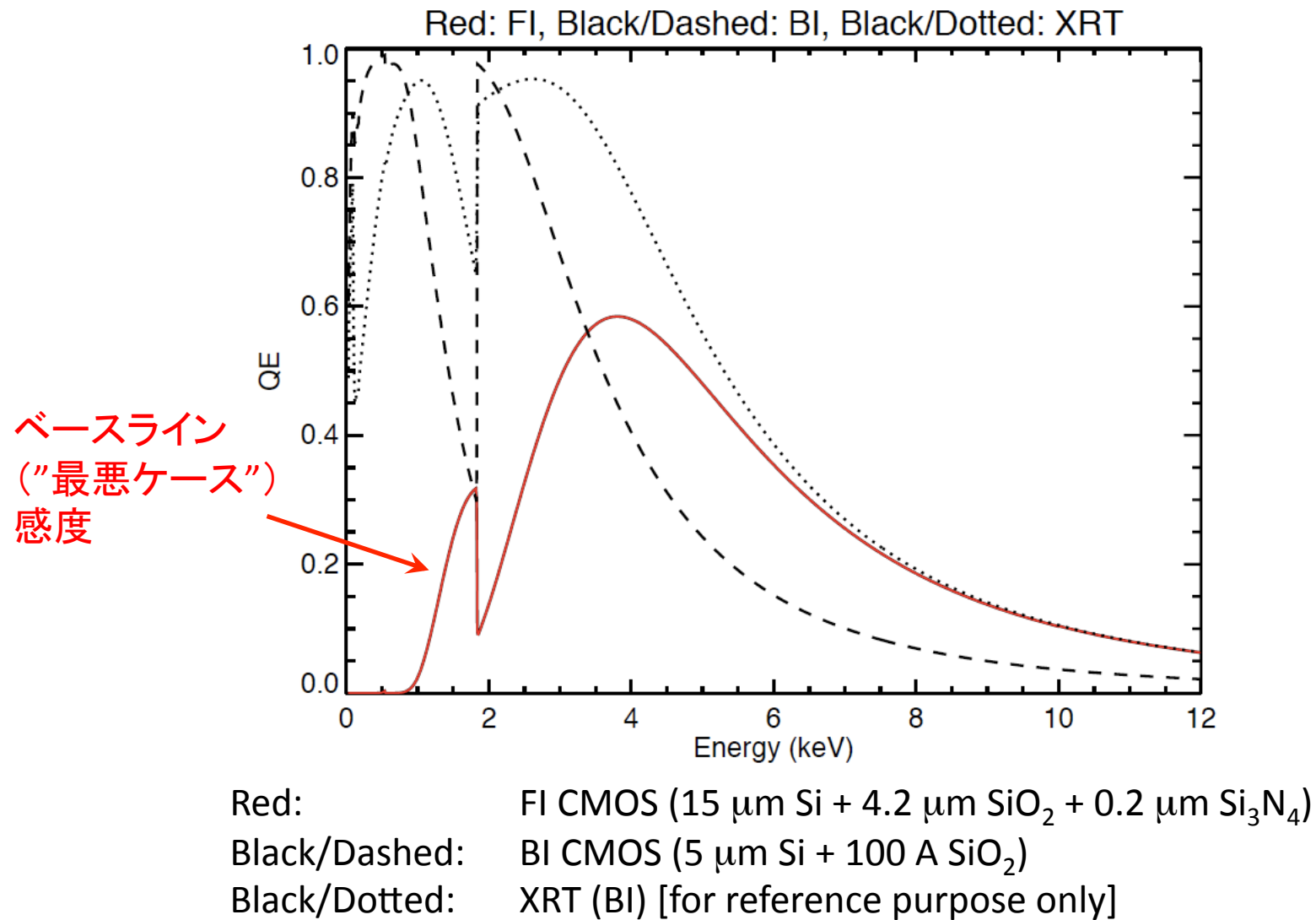


観測装置諸元(暫定)

- 焦点距離: ~ 4 m
- プレートスケール: $\sim 0.4''/8\mu\text{m}$ ピクセル
- X線ミラー:
 - Walter-I様の斜入射セグメントミラー(円周の1/8セグメントを使用)
 - Irコーティング必須
- 斜入射角: 0.9° (TBD; 0.45° - 1.8° の範囲で検討中)
- 撮像モード:
 - 光子計測撮像モードと光子積算撮像モードを切り替えて観測。
 - 光子計測は、受光面中の256×256ピクセル程度の領域で実施。
- 焦点面フィルター:
 - 光子計測撮像時の減光用
 - 光子積算撮像時の解析用
- 焦点面検出器:
 - 米国Sarnoff社製表面照射型CMOSイメージセンサをベースラインとする。
 - $2\text{k}\times 2\text{k}$ (TBD)。8 μm ピクセル。
- フレーム読み出しレート:
 - 光子計測撮像時1000 fps
 - ≥ 10 ビットA/D変換



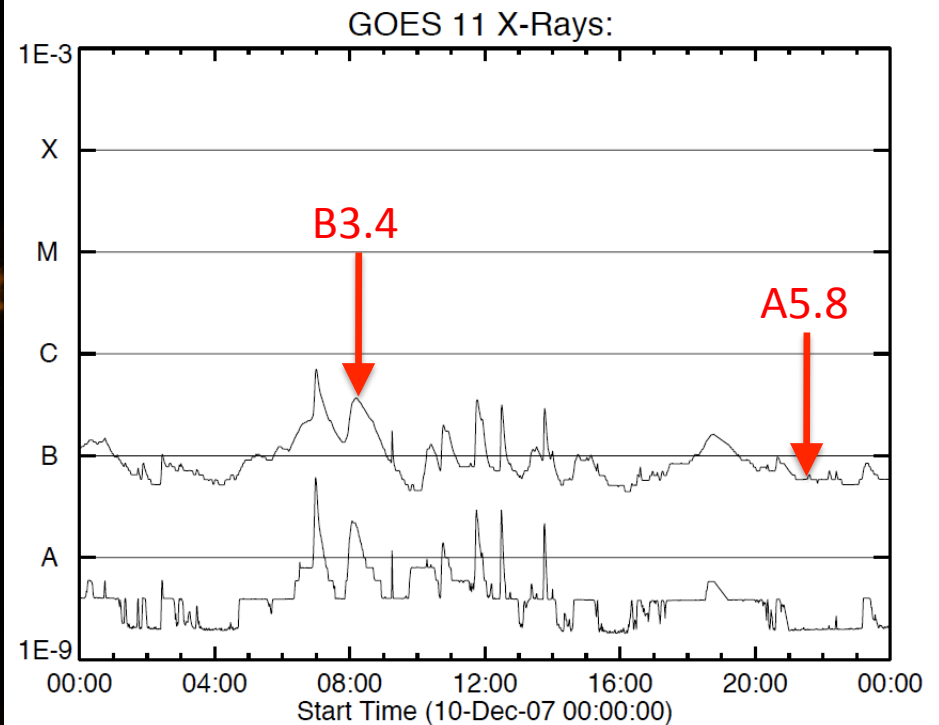
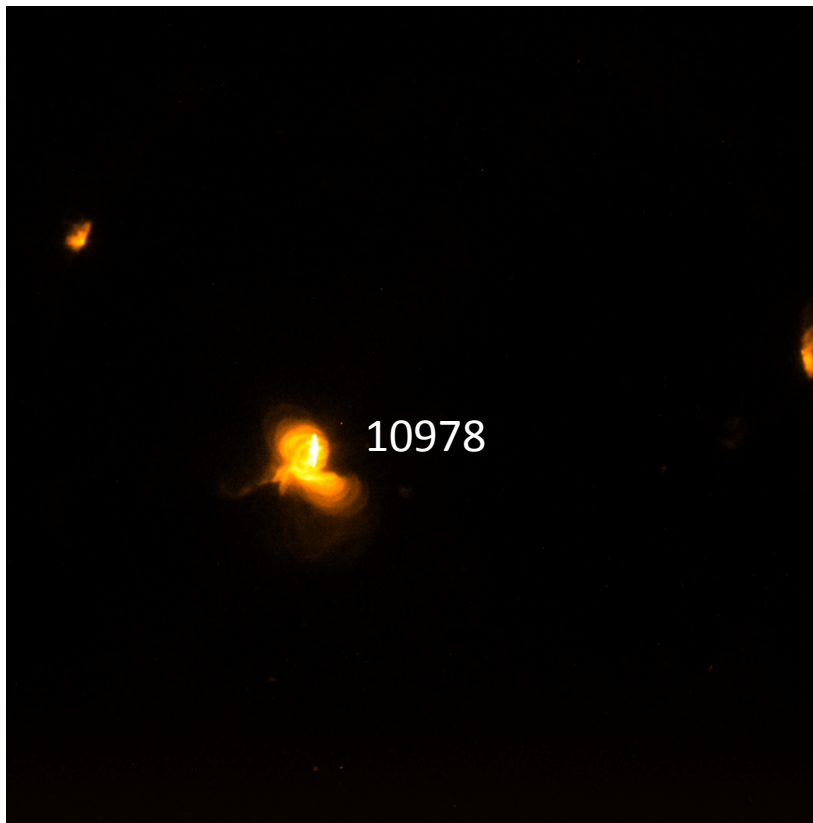
Assumed FI/BI QE Profiles



(N.B. Deep edge at $\sim < 2$ keV for BI CMOS is due to small (5 μm) Si thickness.)

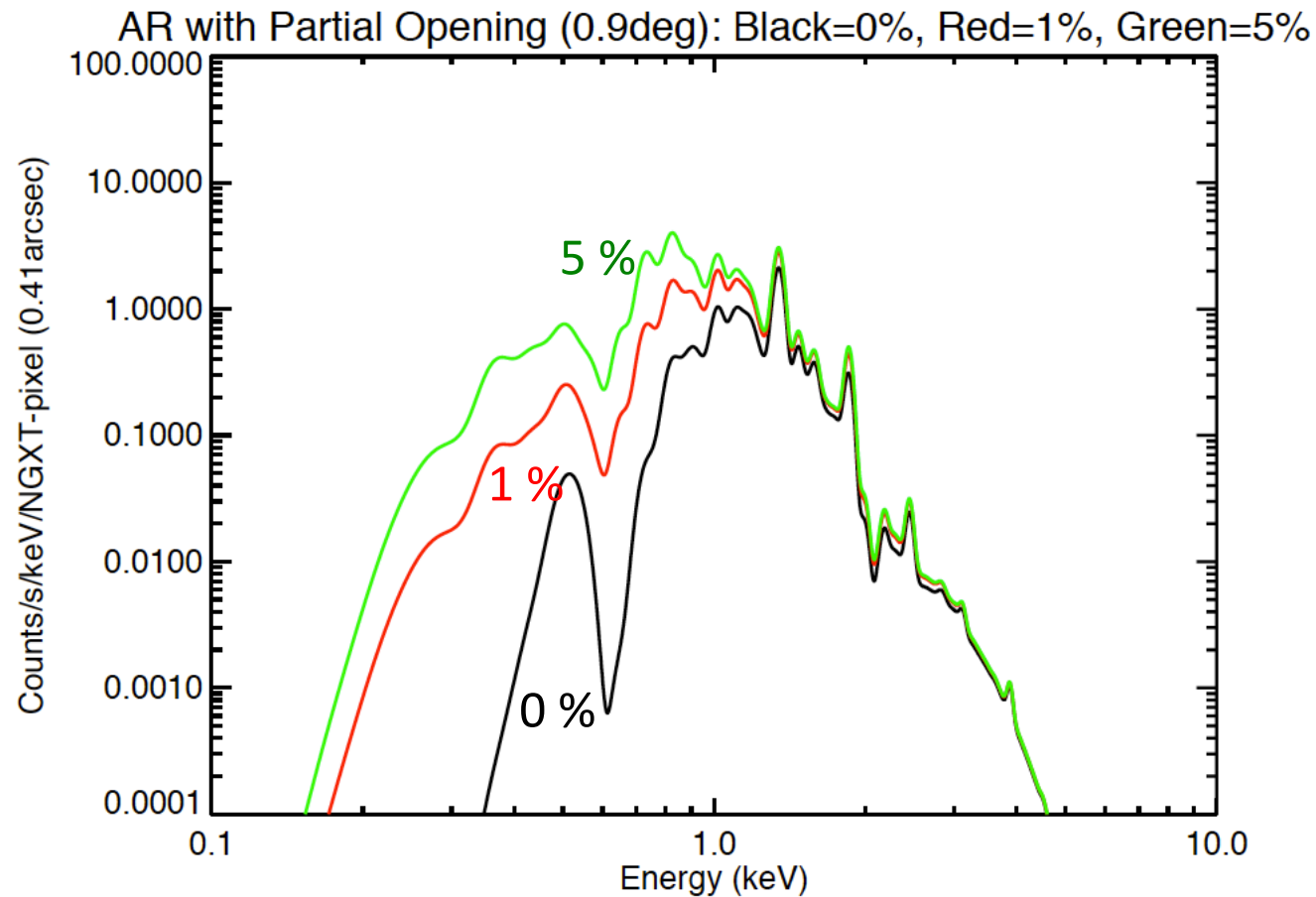
Sample Active Region (NOAA AR 10978 on 10 Dec. 2007)

XRT Med-Be 16.0s; 16:35:47 UT

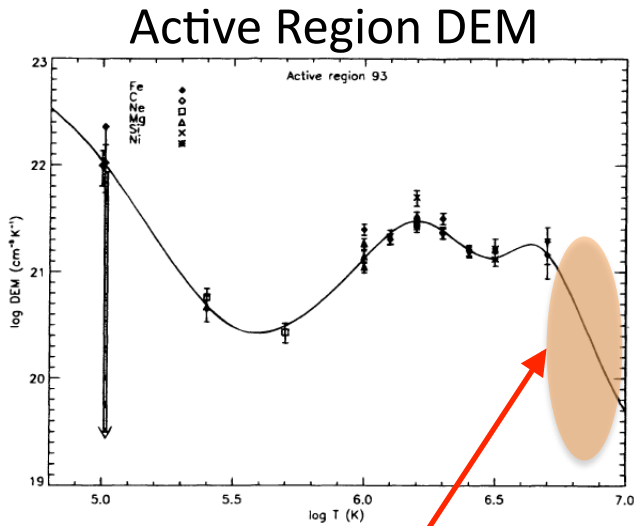


Expected full-Sun image with
FI CMOS (ignoring FOV size.)

ピクセル内に部分的開口のある場合



Exploring Active Regions with NGXT: Science Cases

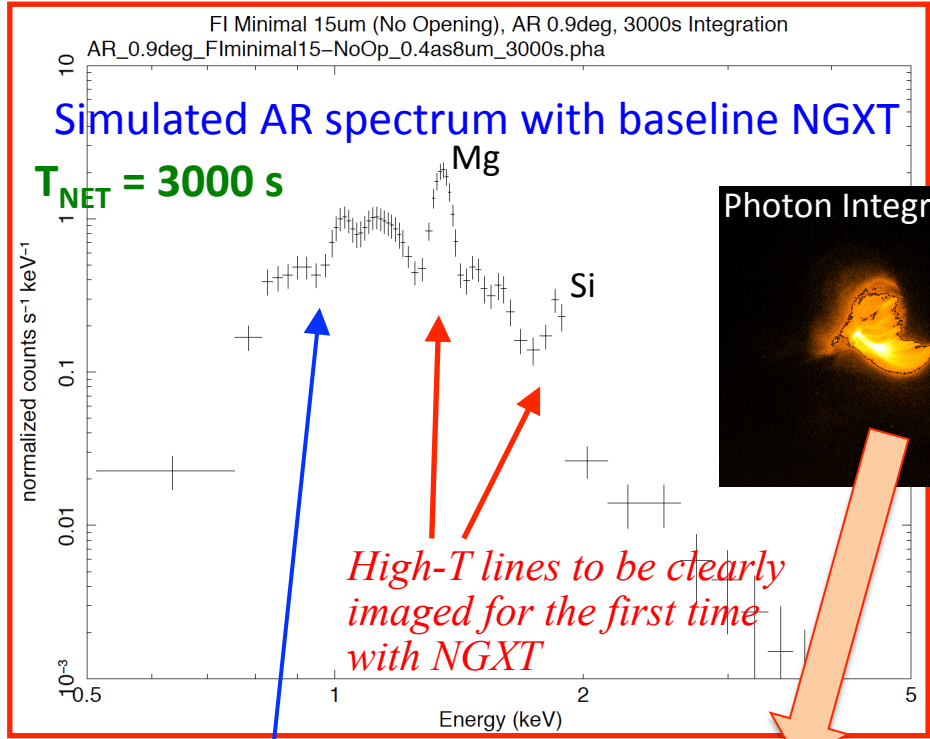


Presence or absence of higher-temperature plasmas ($> \sim 5$ MK) in ARs **not known until now.**

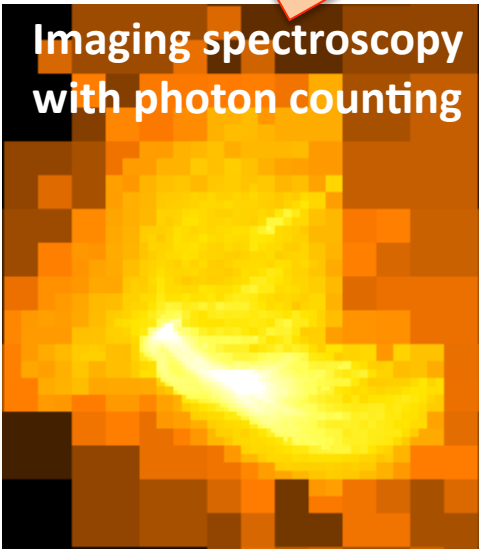
Cannot be investigated with EUV line spectroscopy.

Active Region energetics:

- How is thermal energy distributed in ARs?
- What is the maximum temperature that a non-flaring AR can attain?

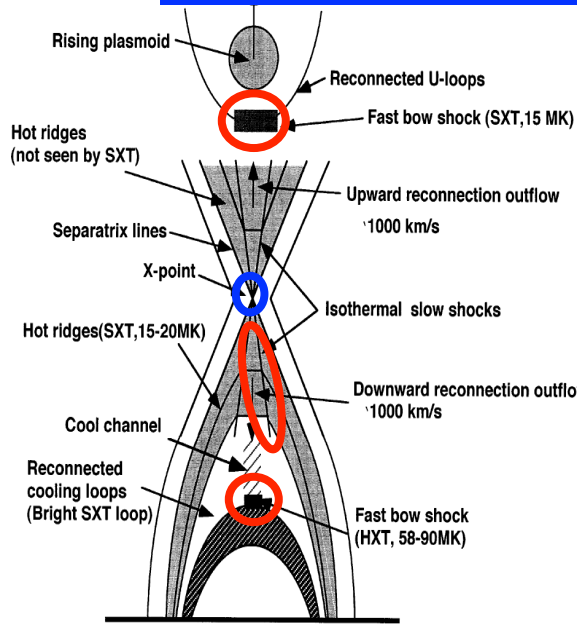


Even better low-T diagnostics expected with BI or front-thinned FI detector.



Sample pixel binning for NGXT imaging spectroscopy.

Exploring Flares with NGXT: Science Cases



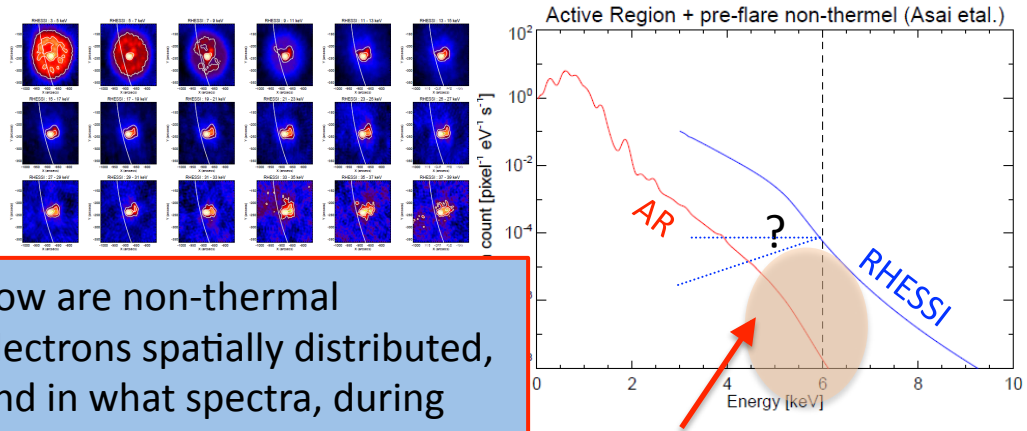
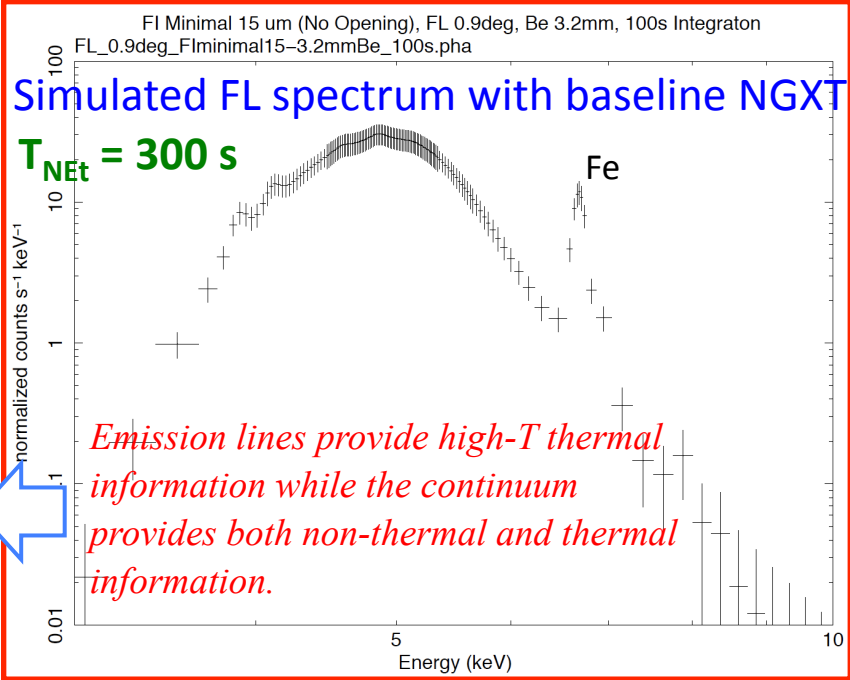
NGXT acts as both thermal and non-thermal imager.

Where are the reconnection/shock signatures in the global magnetic field configuration?

Flare dynamics:

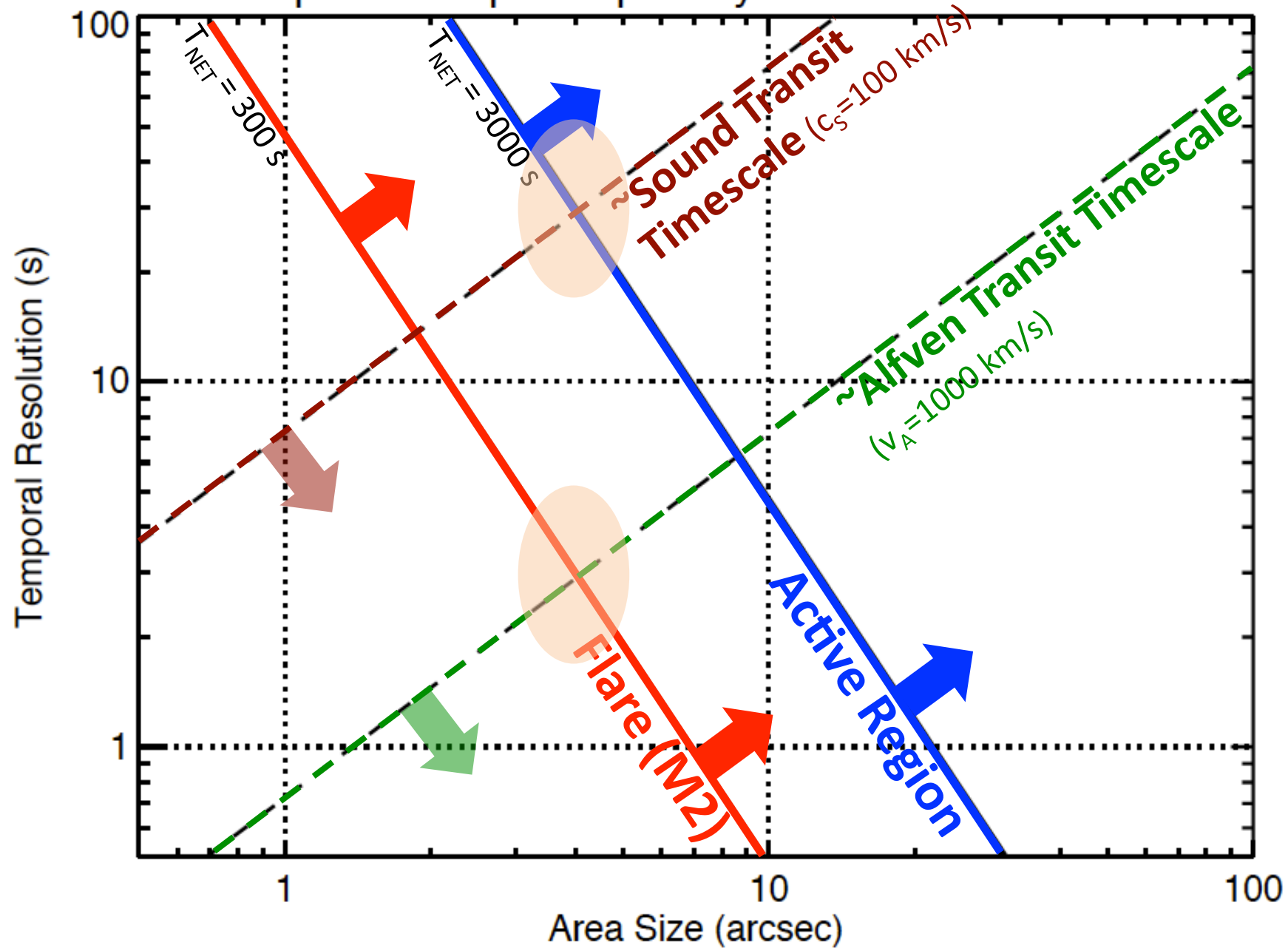
- Investigation on energy release, particle acceleration, and shock formation.
- Creation of super-hot plasmas and their spatial relationship with N-T sources.

- How are non-thermal electrons spatially distributed, and in what spectra, during the triggering phase of a flare?
- Down to what energy is flare N-T emission present?

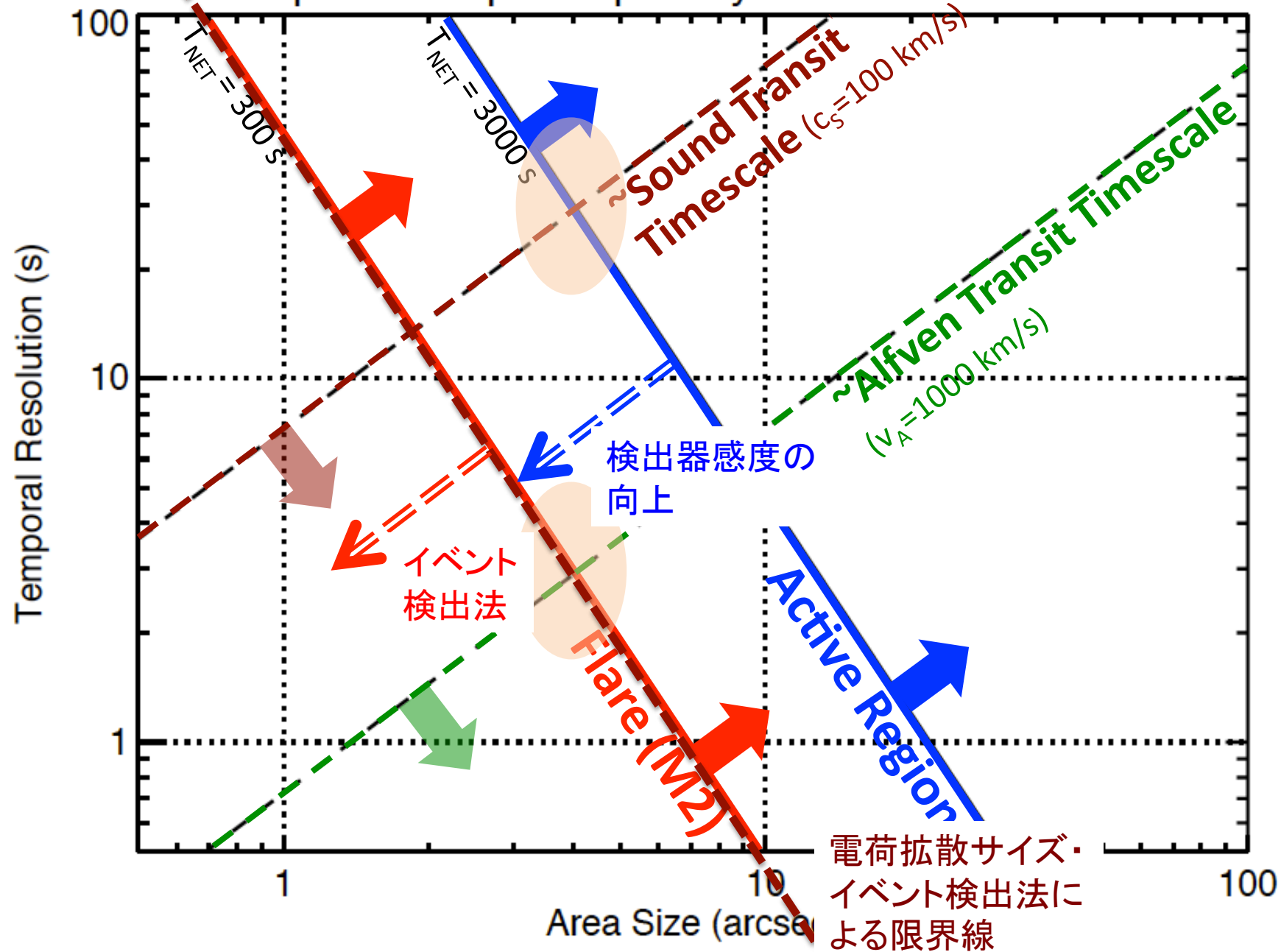


Rich non-thermal emission should be imaged in the NGXT energy range.

Spectroscopic Capability of Baseline NGXT



Spectroscopic Capability of Baseline NGXT



まとめ

- 光子計測型X線望遠鏡(GI):
空間分解能はmoderateだが
 - フレアの物理
 - 活動領域の温度分布の理解
 - ← 軟X線領域(高温コロナ)のspectroscopy観測
- 超高空間分解能NI望遠鏡:
0.1秒角分解能でのEUVイメージャー
 - コロナ中の微細構造
 - 低層大気とのconnectivity