

コロナ加熱 波動 vs. nanoflare

鹿野良平 (国立天文台)

どのコロナに着目するか？

- 領域
 - 活動領域、静穏領域、コロナホール
- 磁場構造
 - 閉じた磁場(コロナループ)、開いた磁場
- 時間スケール
 - 定常構造、突発現象(フレア、マイクロフレア)
- 空間スケール
 - コロナループ、diffuse コロナ、X線輝点

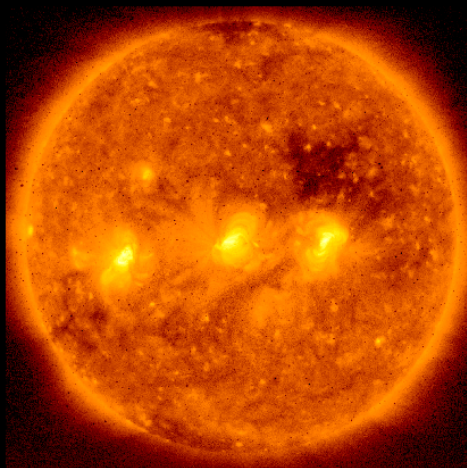
定量的指標によるコロナの分類学

Narukage et al. (Hinode-3)

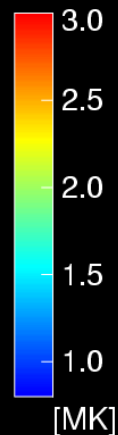
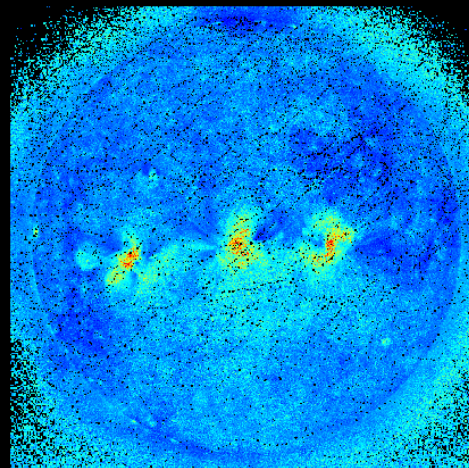
2008/03/29 06:00:00

obs time - diff rot time : 0.0 hours

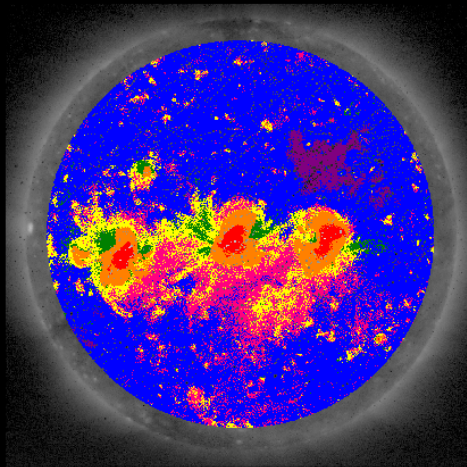
X-ray image (Al-mesh)



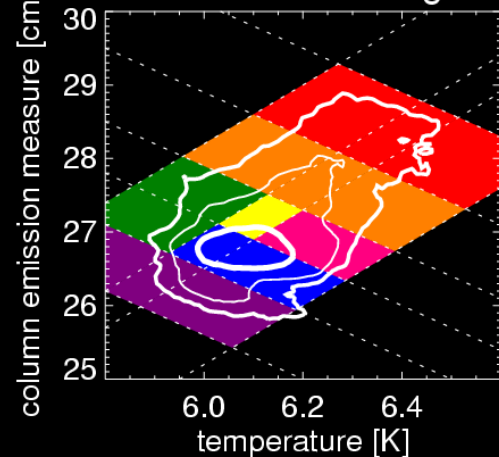
Temperature (Al-mesh & Ti-poly)



classified coronal structure



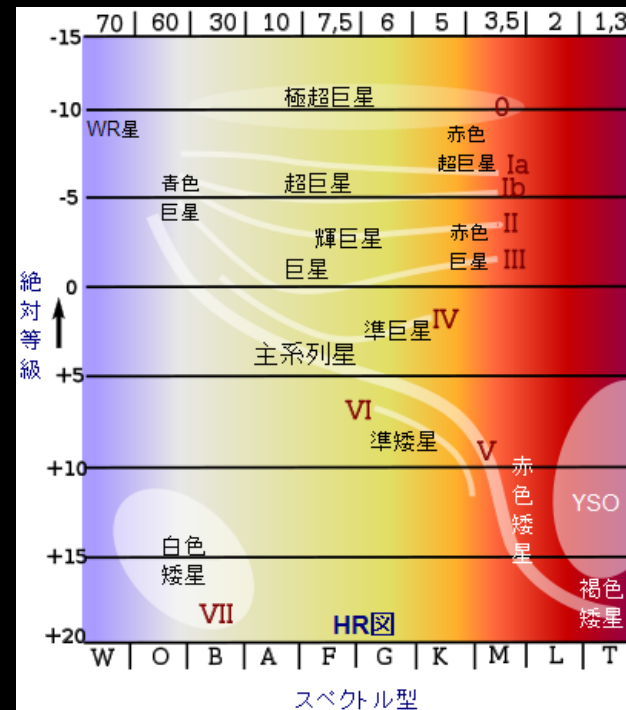
classified T-EM diagram



1σ
2σ
3σ

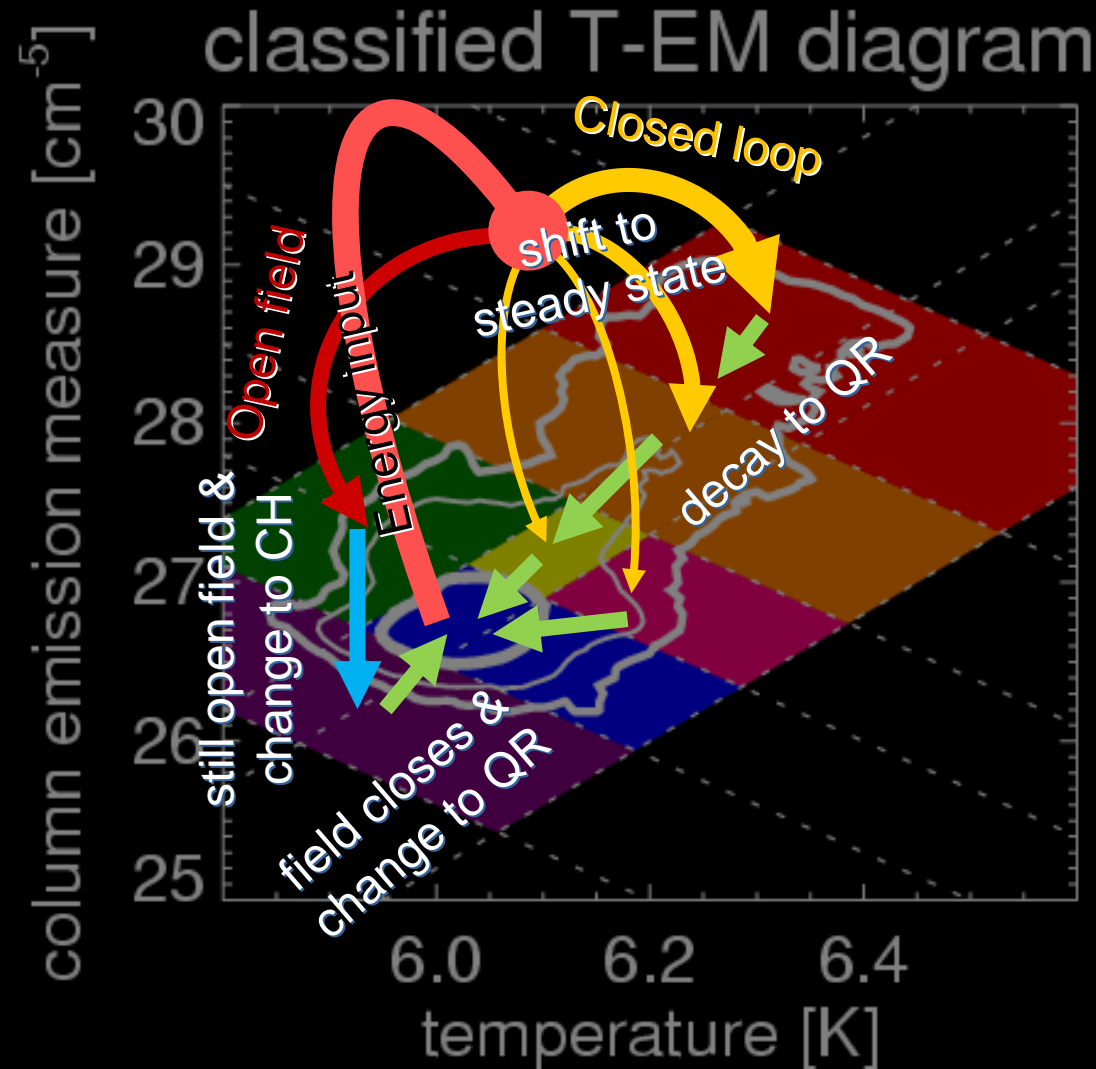
AR core
AR
XBP
hot cloud
QR
cool flow
CH

恒星の分類: HR図

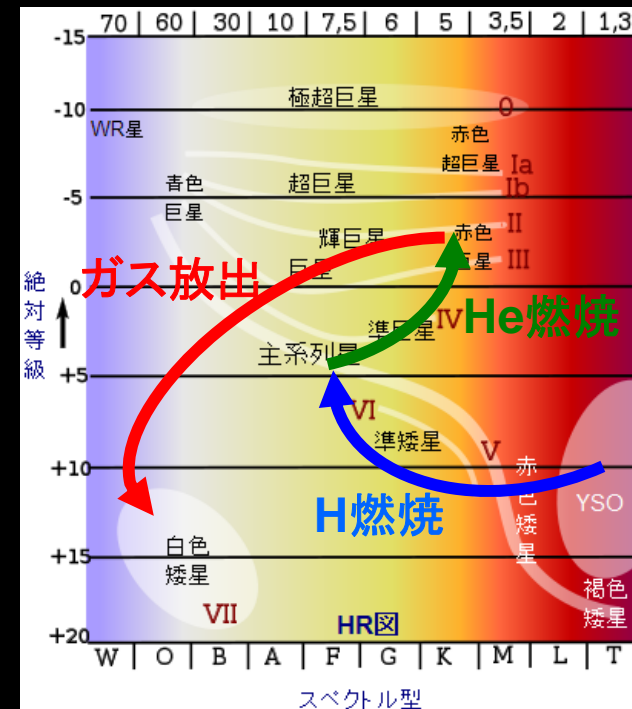


T-EM 図上でのコロナ構造の“進化”

Narukage et al. (Hinode-3)



恒星の進化



内容

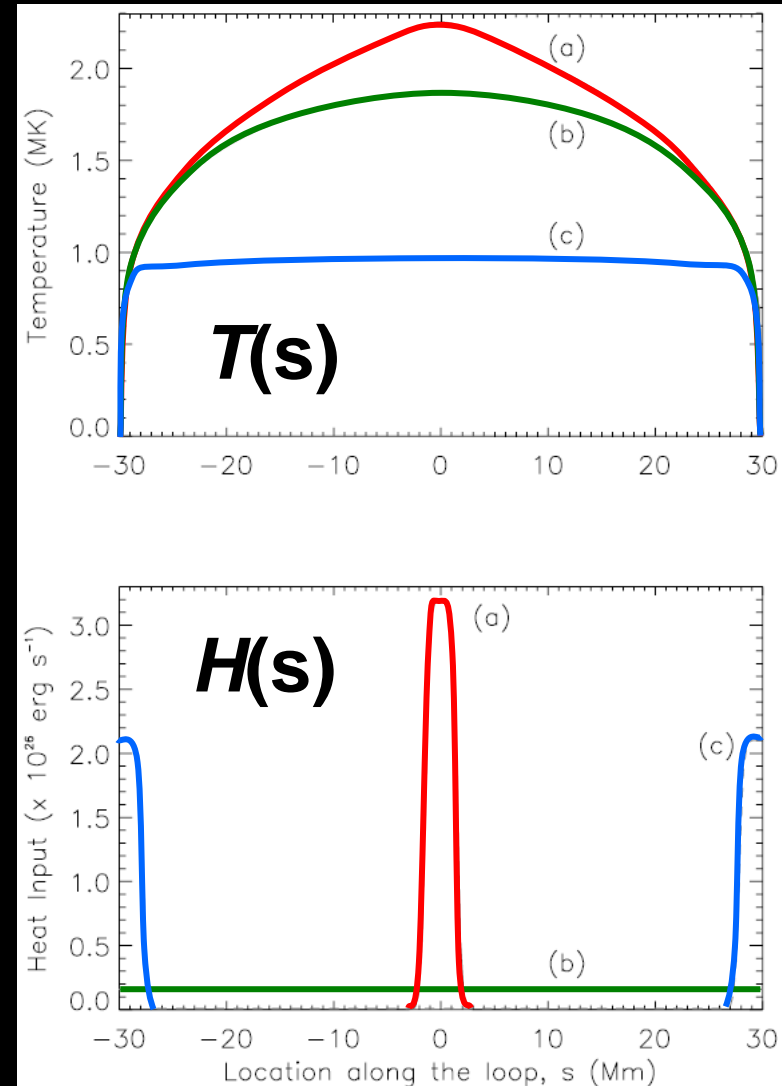
- 「ひので」で行われている研究
 - 温度構造から加熱域を探る
 - ナノフレア加熱をベースとした研究
 - (速度構造から探る)
 - 光球面磁場との関連
- 「ひので」とSolar-Cで行っていくといい研究
- Solar-Cでの望み

コロナループの温度構造

- 静的なコロナループでは、 $T(s)$ から加熱領域を特定。

$$\underbrace{H(s)}_{\text{加熱}} = n^2 \underbrace{\Lambda(T)}_{\text{輻射冷却}} - \underbrace{\frac{\partial}{\partial s} \left(\kappa \parallel \frac{\partial T}{\partial s} \right)}_{\text{熱伝導冷却}}$$

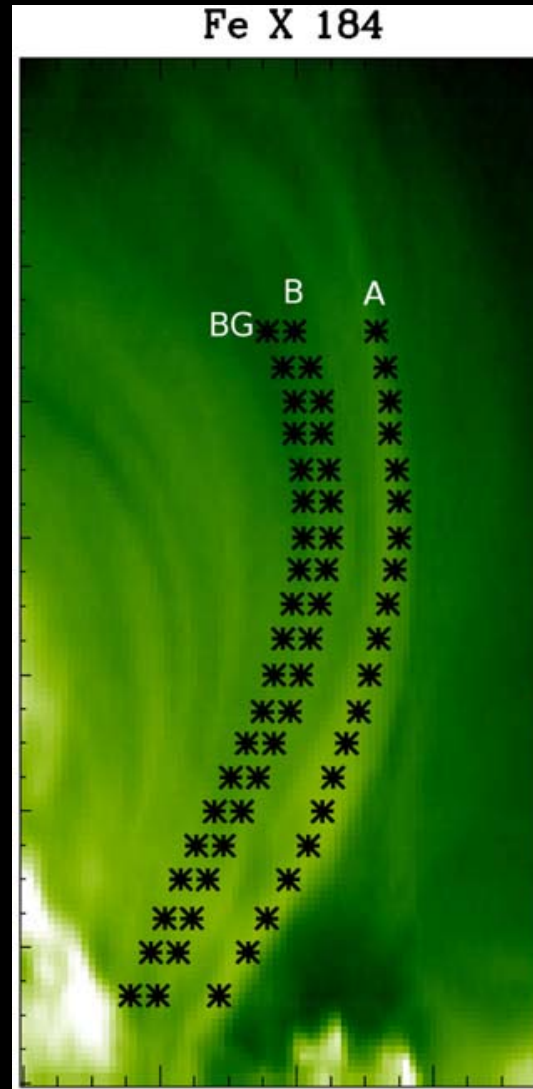
- 但し、
 - 速度場の存在
 - 多温度構造(微細構造?)



コロナループの温度構造

Tripathi et al. (2009, ApJ)

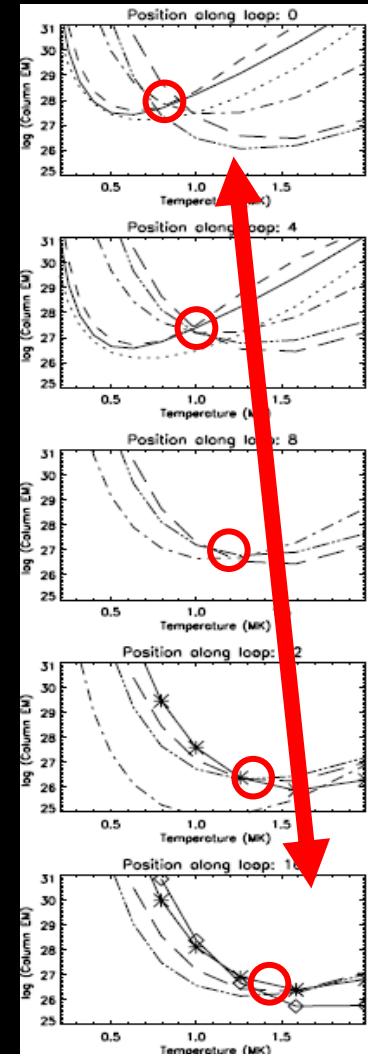
- LOSには1温度。
- ループに沿って温度上昇。
 - 上空加熱を示唆?
- Filling Factor @ 足元
 - 0.02 @ FeXII, SiX
 - ~ 1 @ MgVII



足元

上空

EM Loci plots

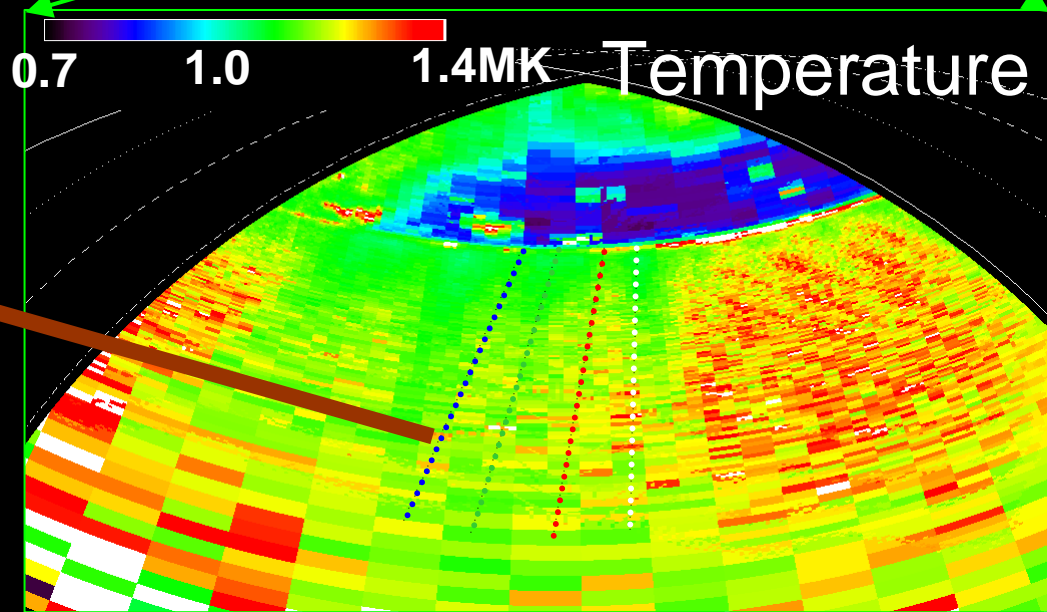
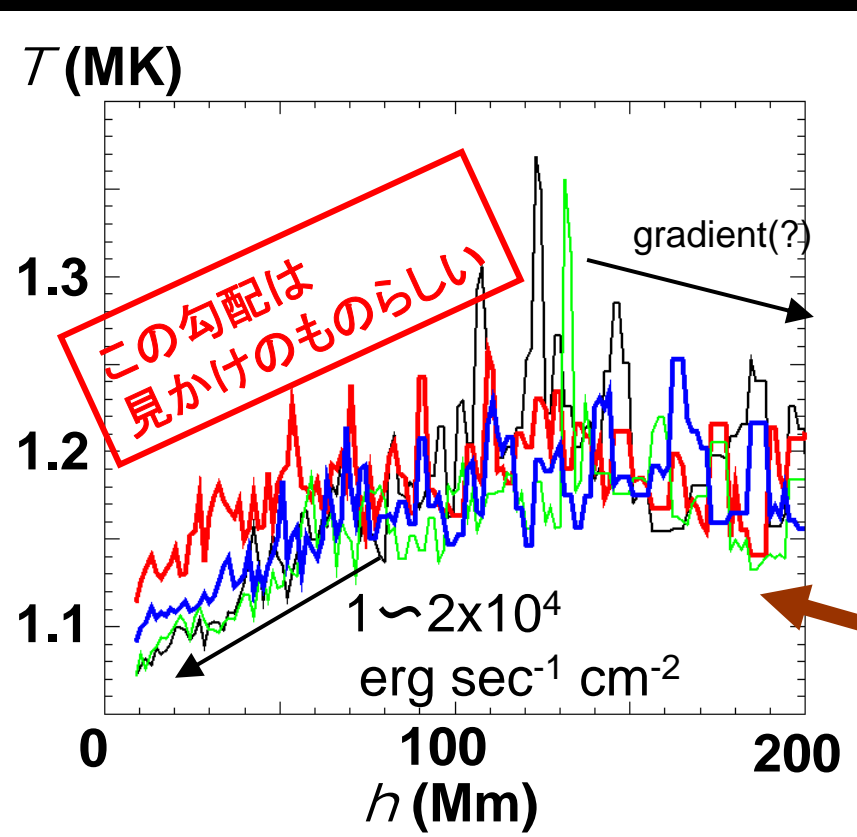
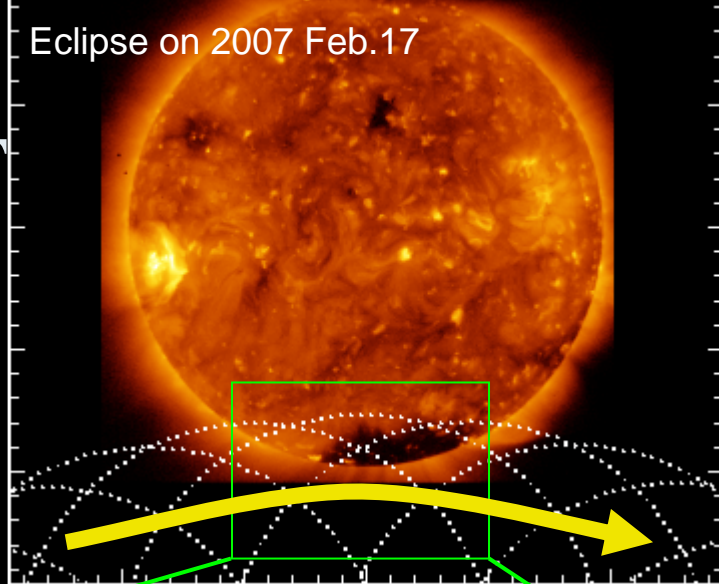


Vertical Temperature Structures of the Solar Corona Derived with Hinode/XRT

Kano et al. PASJ 2008

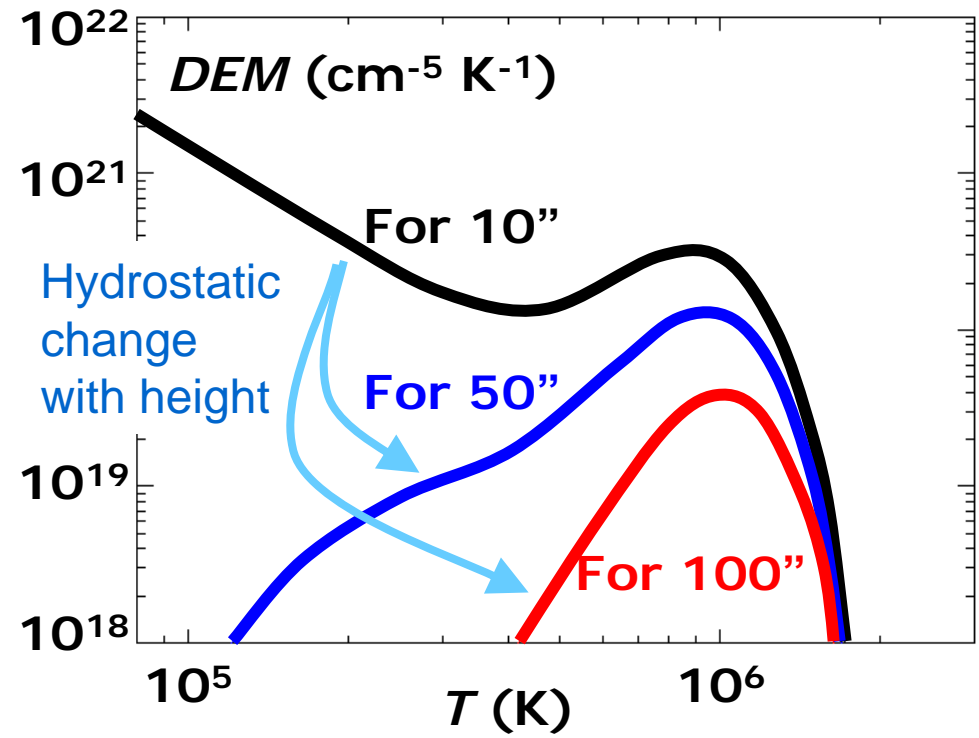
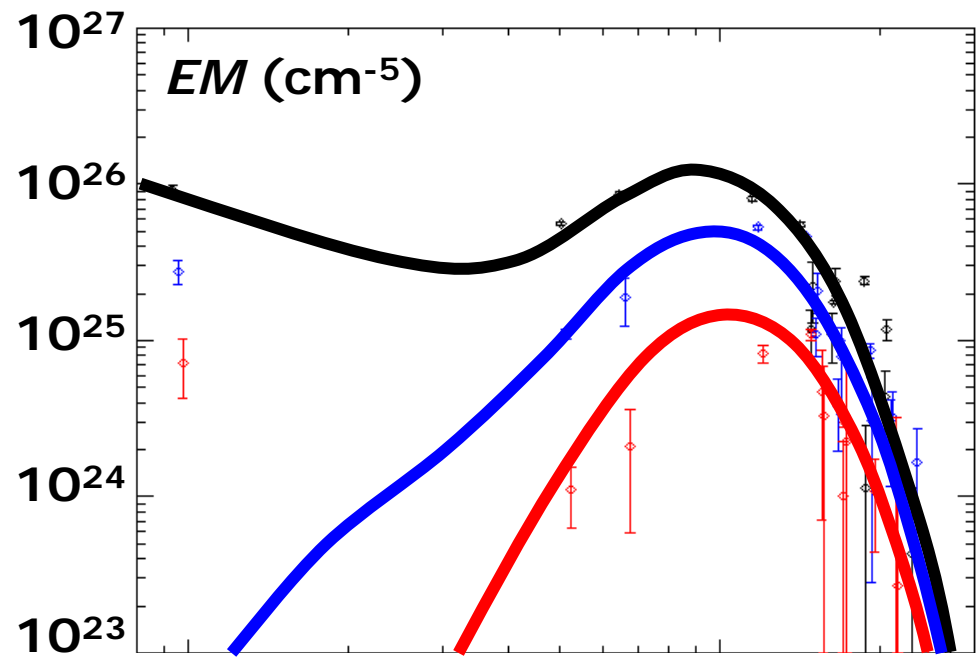
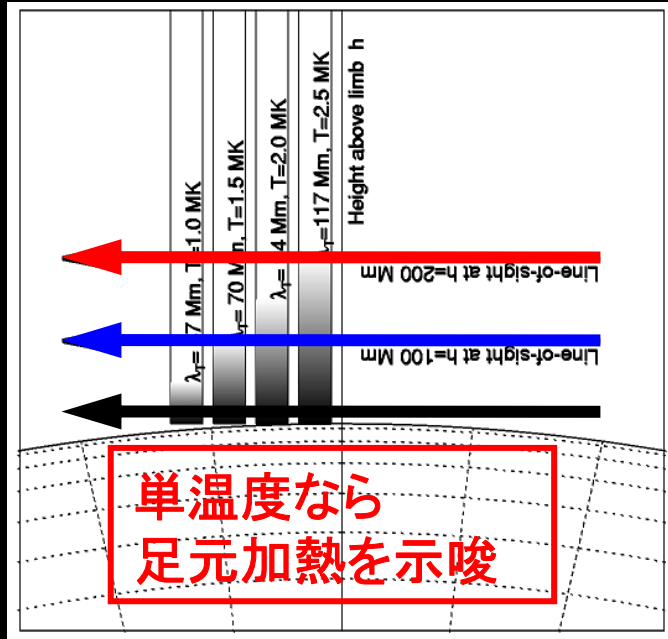
(revised due to a new calibration data)

Eclipse on 2007 Feb.17



EISによる多温度解析では

- 複数温度の磁束(それぞれは単温度)内の静水圧平衡で説明できる。

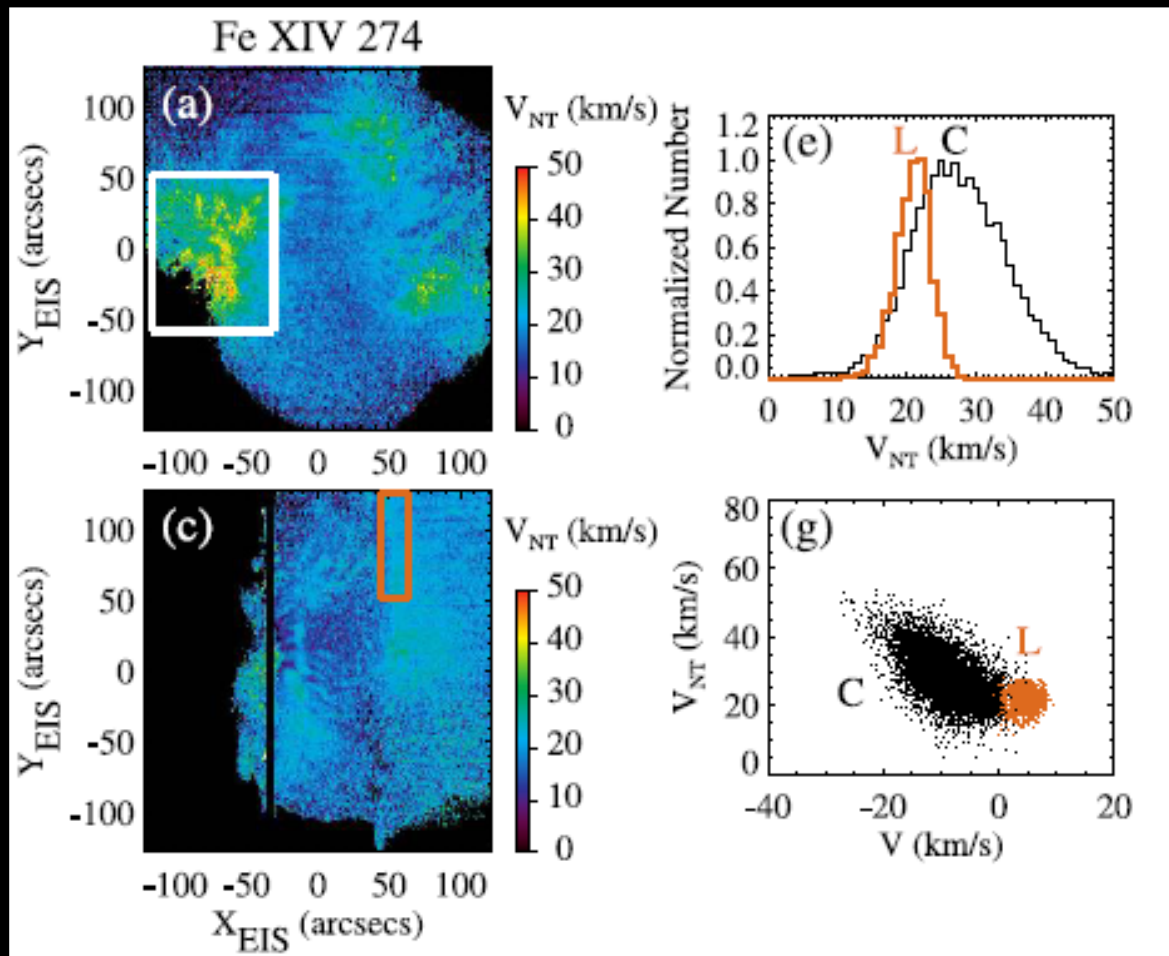


活動領域ループ足元の上昇流&非熱幅

Hara et al. (2008, ApJ)

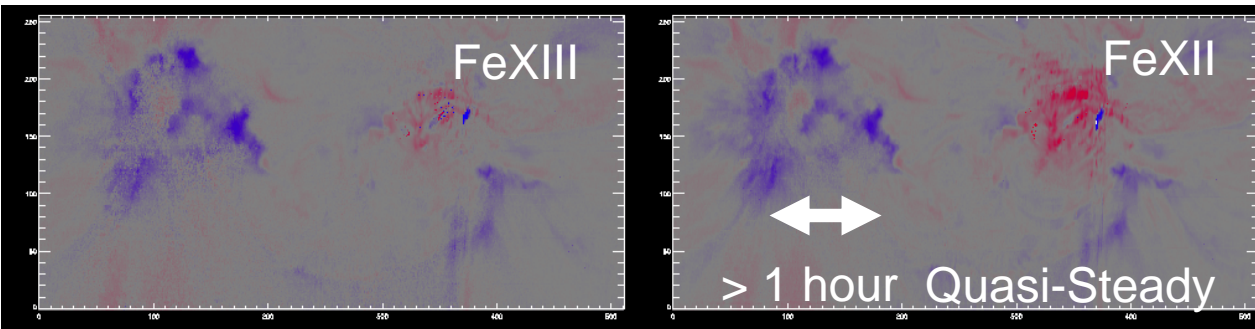
- ループ足元で
上昇流&非熱幅
が最大。

→足元での
加熱を示唆。

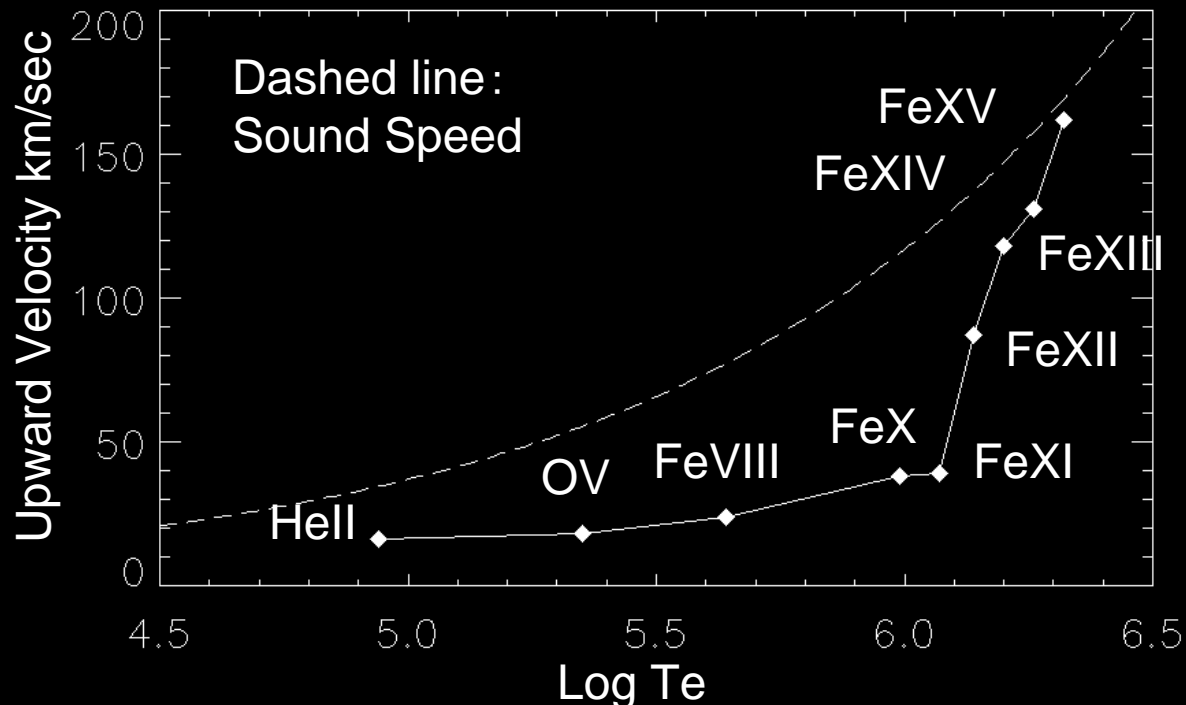


PlageでのUpflowと加熱域の特定

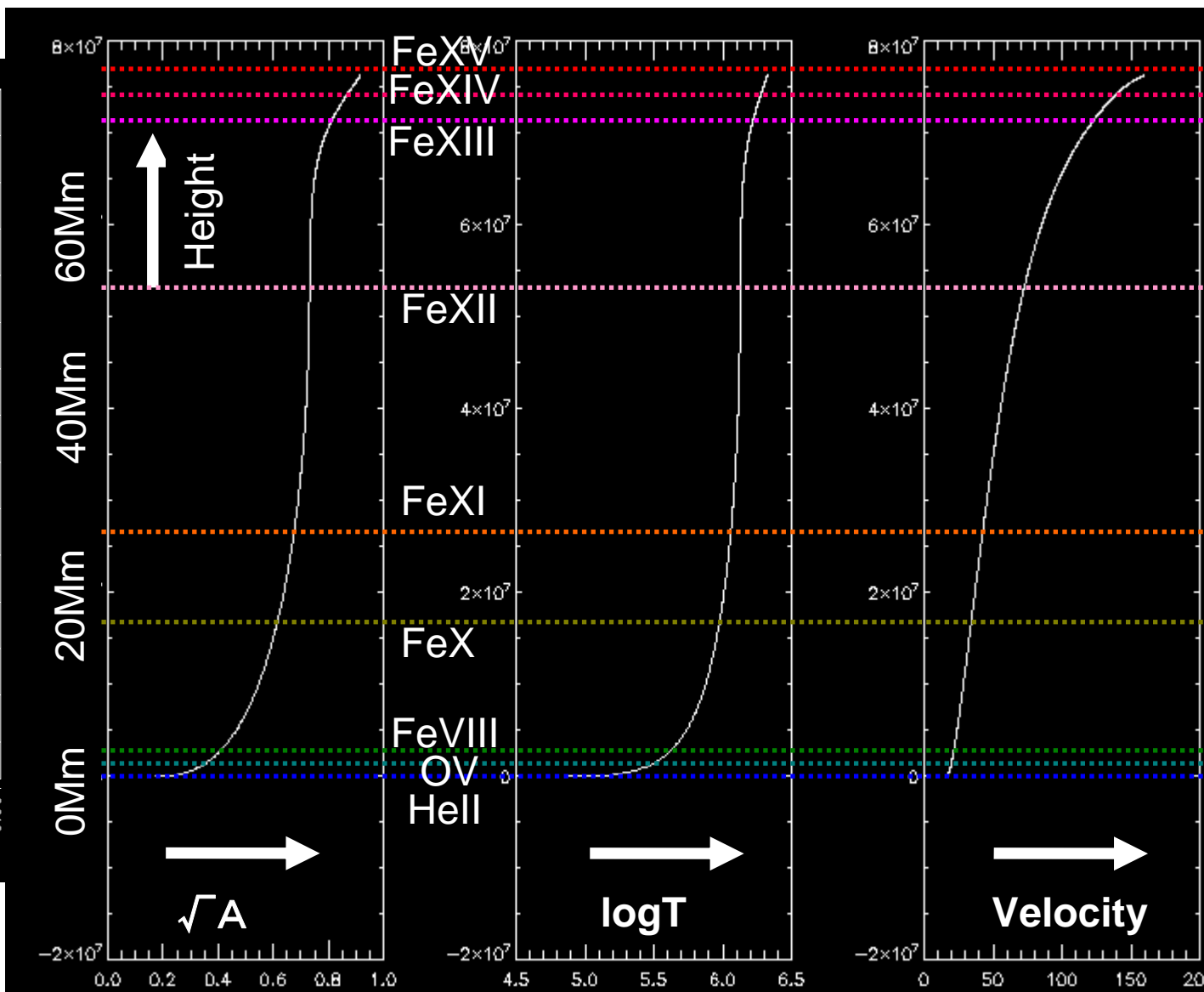
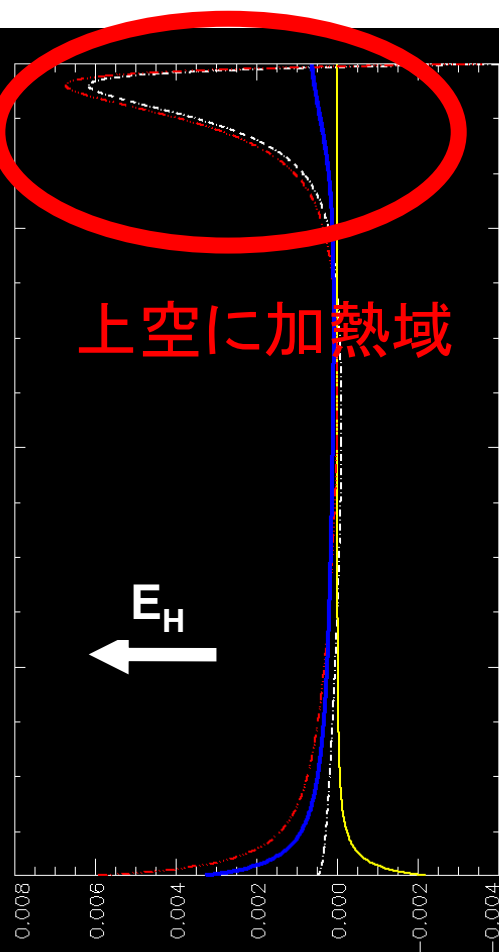
Imada et al. (2007, PASJ), 今田 et al. (2007秋季年会)



150km/s -150km/s



$$\frac{mnv}{A} \frac{\partial}{\partial s} (eA) + \frac{p}{A} \frac{\partial}{\partial s} (vA) = \boxed{E_H} - \boxed{E_R} - \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial s} (F_C A)$$

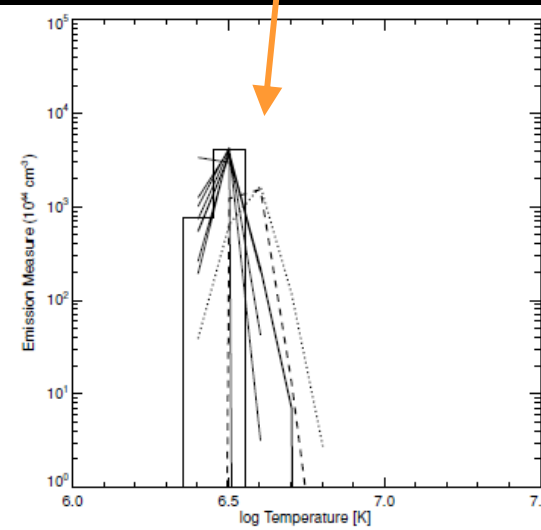
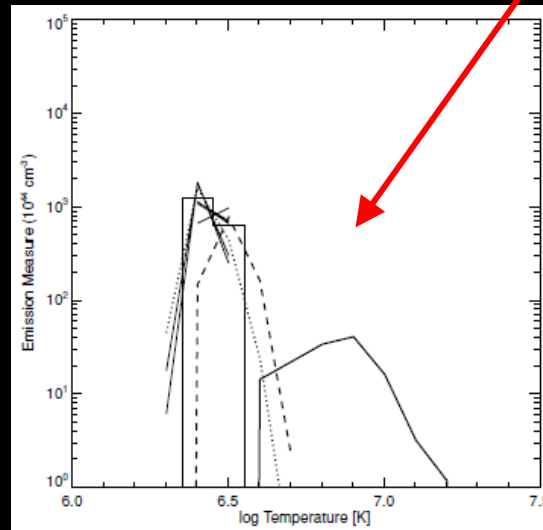
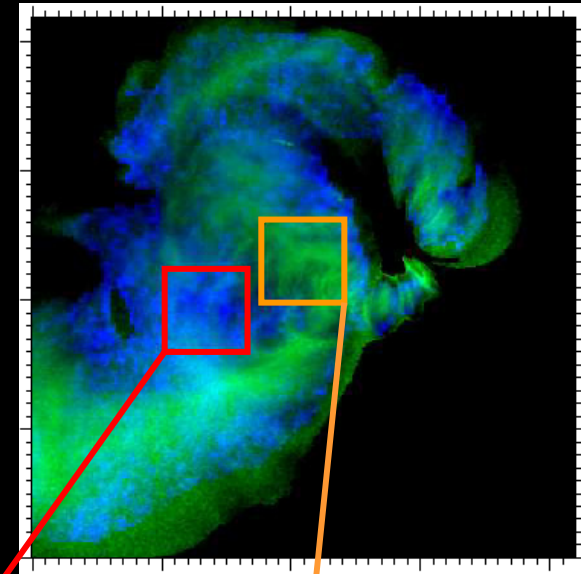


非フレアでの超高温成分(10MK)-1

Reale et al. (2009, ApJ)の試み

- XRTの多フィルター観測から、非フレア時の活動領域で超高温成分10MKを発見？
- nanoflare加熱を示唆。

→ 散乱光の検討をしていない点など、解析にはいくつか疑問があるが、着眼点は正しい。



非フレアでの超高温成分(10MK)-2

Ishibashi et al. (Hinode2 & Hinode3)

- XRTのfilter-ratio法で
静穏領域に15MK成分を発見。
- さらに、XRTで**photon-counting**
観測を行い、静穏領域に
~10MKプラズマからの
X線スペクトルを検出。

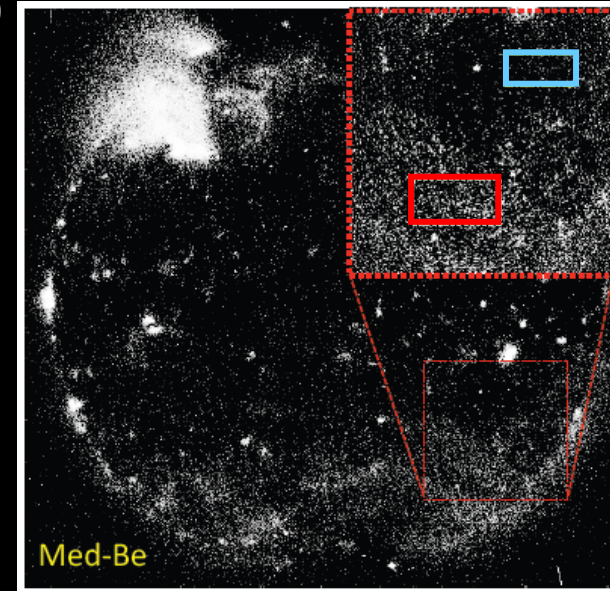
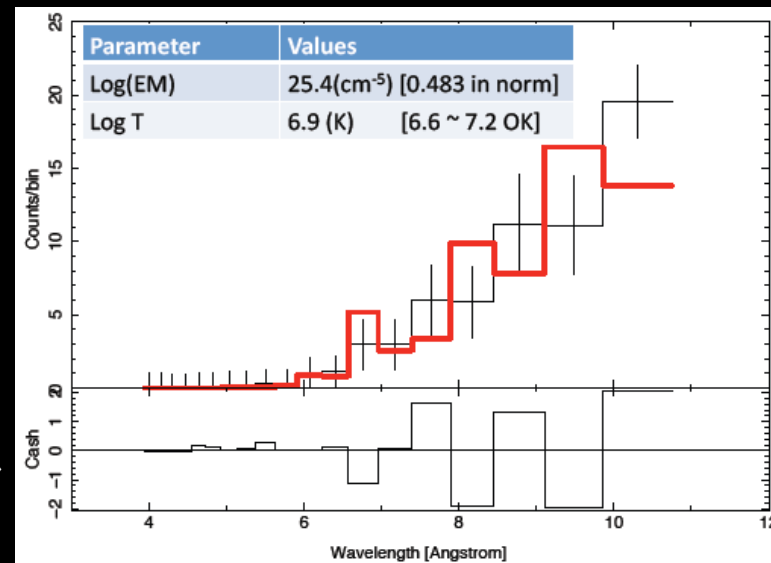


Figure 2b: med-Be image

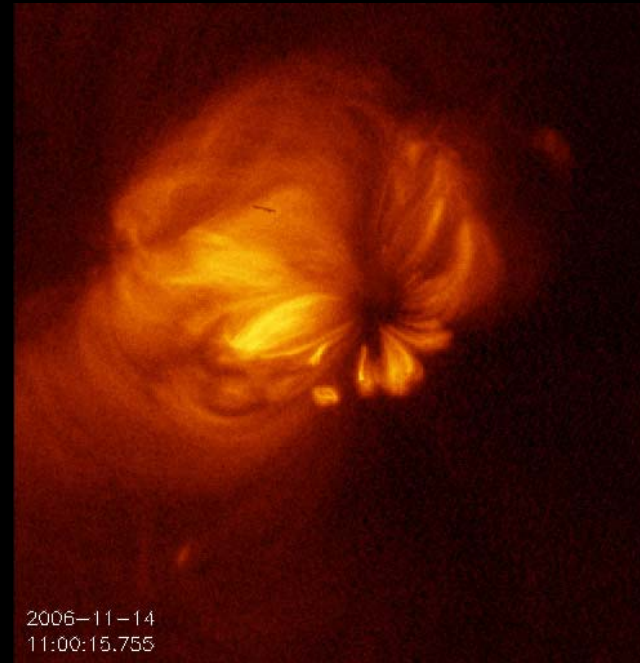
□ - □ のX線スペクトル



輝度揺らぎによるnanoflare研究

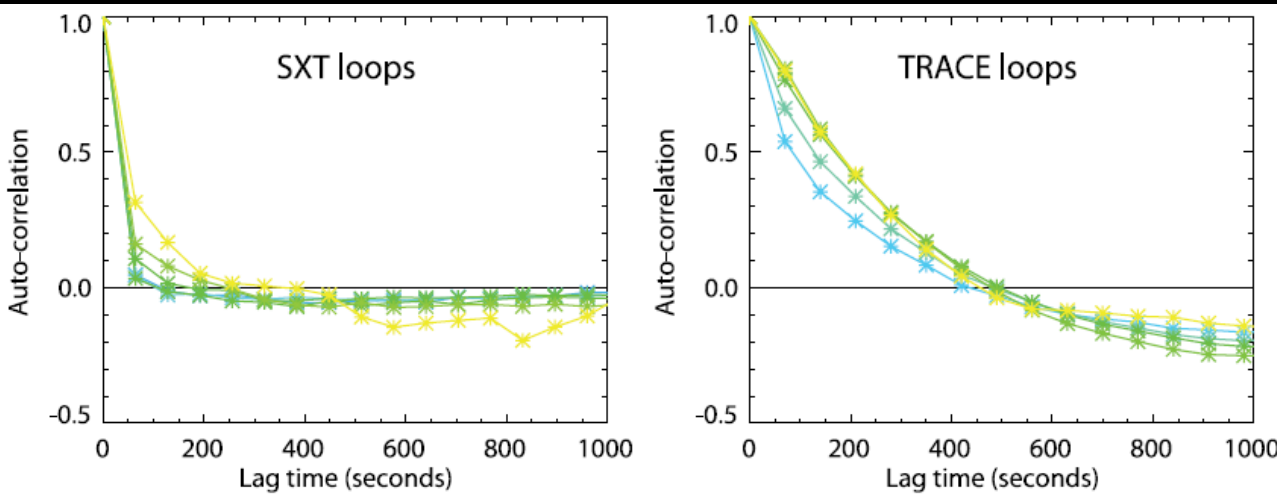
Terzo (TBD)

- 解析中。
- XRTでの高速撮像(~3秒間隔)データでは、輝度揺らぎからnanoflareの時間スケールが捉えられるのではないかと?



2006-11-14
11:00:15.755

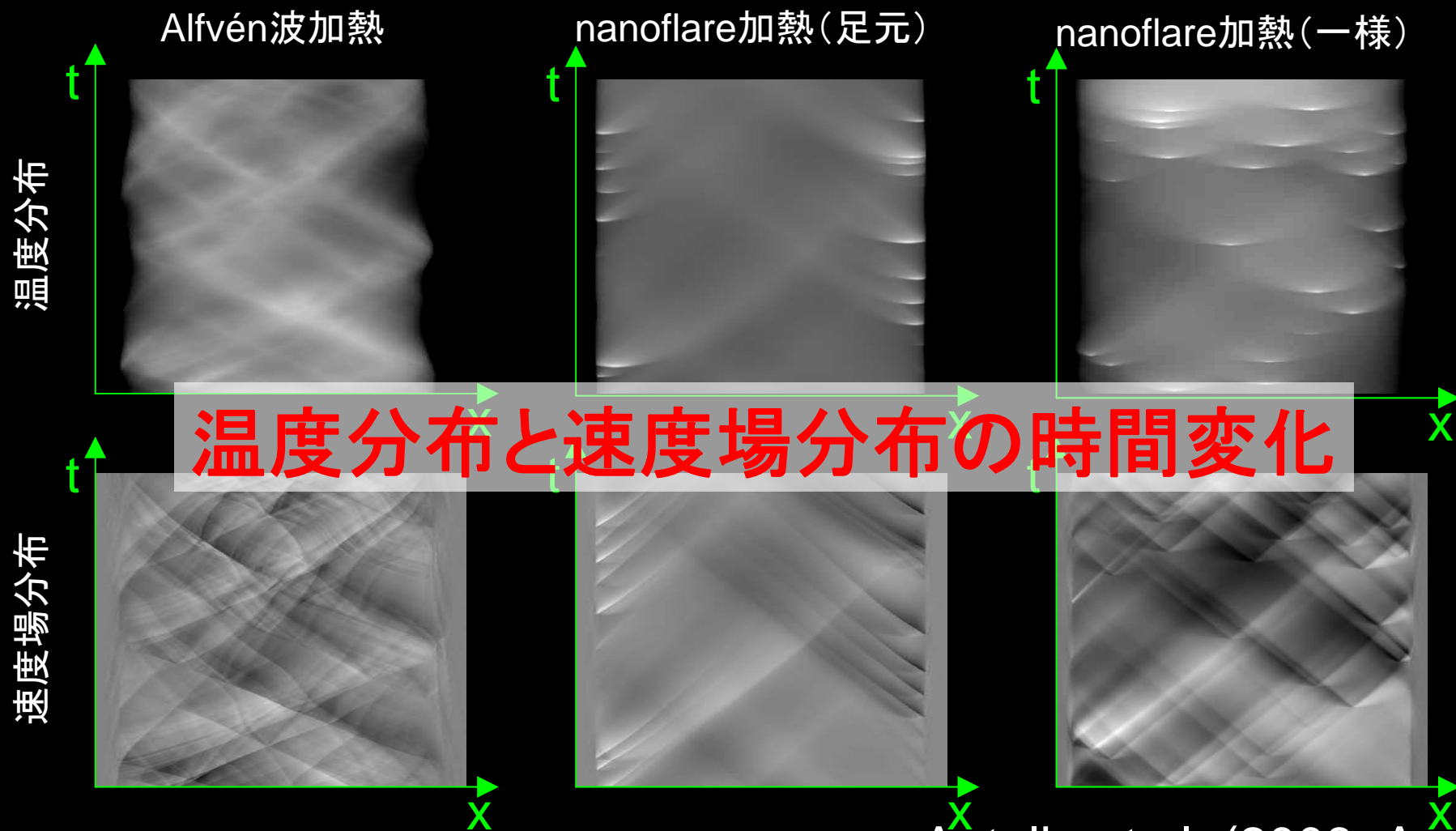
Sakamoto et al. (2008, ApJ)



速度場と加熱の関係

- 具体的な比較は、あまりやられていない。

Simulationから類推する次の一手

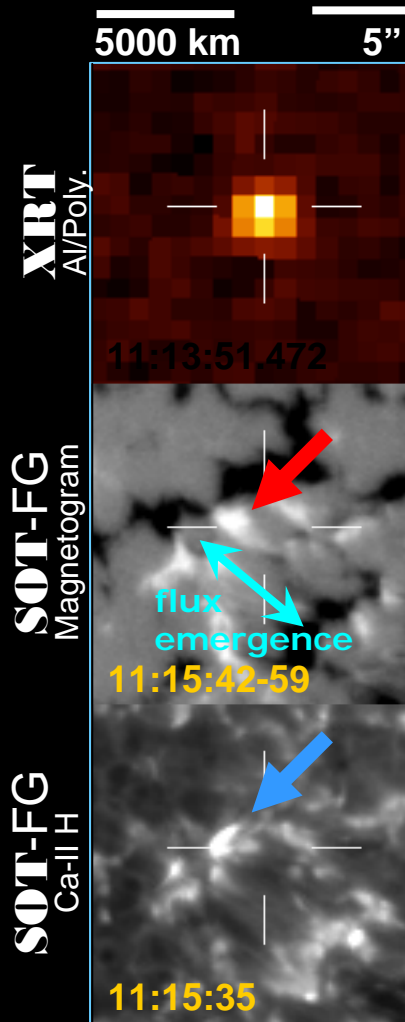
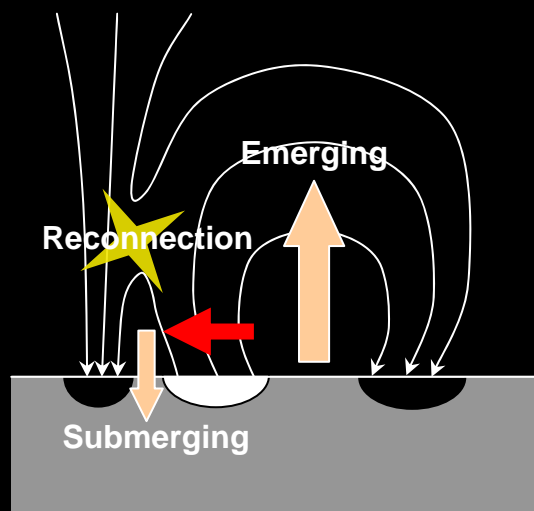


コロナ活動と光球磁場との関連性

—例: Kano et al. (2010, submitted)

- 黒点周辺のmicroflareの発生と、光球のEMF & MMFで生じる磁気cancellationとの関連を指摘。
- コロナ磁場は磁気浮力のため、光球面下に沈み難いはずなのに、cancellationしているのが疑問。

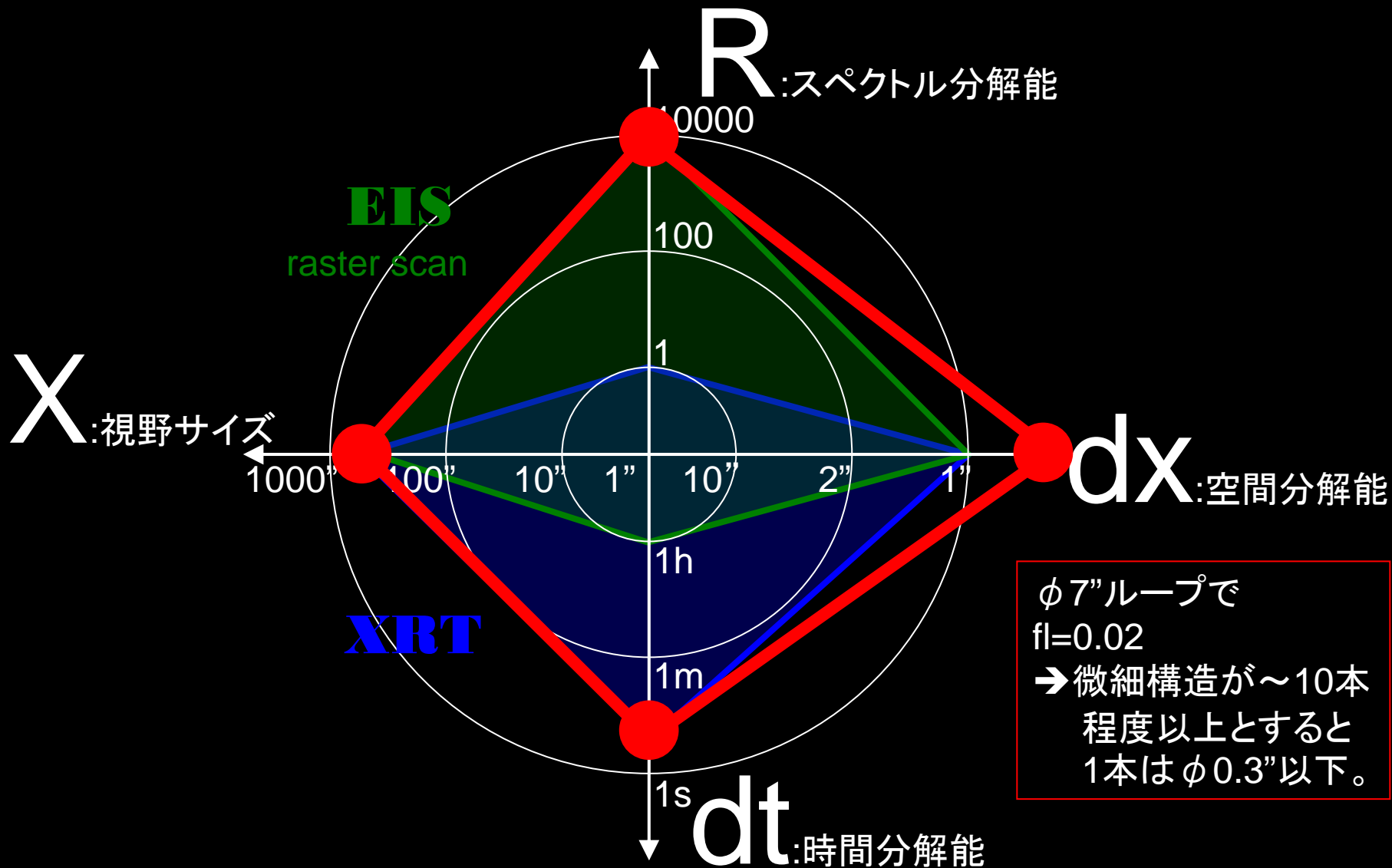
- 彩層や遷移層でも、reconnectionが起きてる？
- 足元の磁場構造はどうなっている？



コロナ加熱解析の方向

- 加熱域の位置の観測的確定
 - 速度場も考慮して温度分布から求める。
- ナノフレア加熱
 - 超高温成分の検出。
 - ナノフレアの片鱗の検出。
 - 温度分布に見える微小上昇。
 - 輝度揺らぎのcoherentな時間・空間
- 波動による加熱
 - 非熱的輝線幅の減少と、温度上昇の関連。
 - 速度(もしくは輝度、温度)の分布による波動の検出。
- 下層大気(光球、彩層、遷移層)との関連性
 - どこでエネルギー現象(波動励起、reconnection)が発生？
特に足元について。

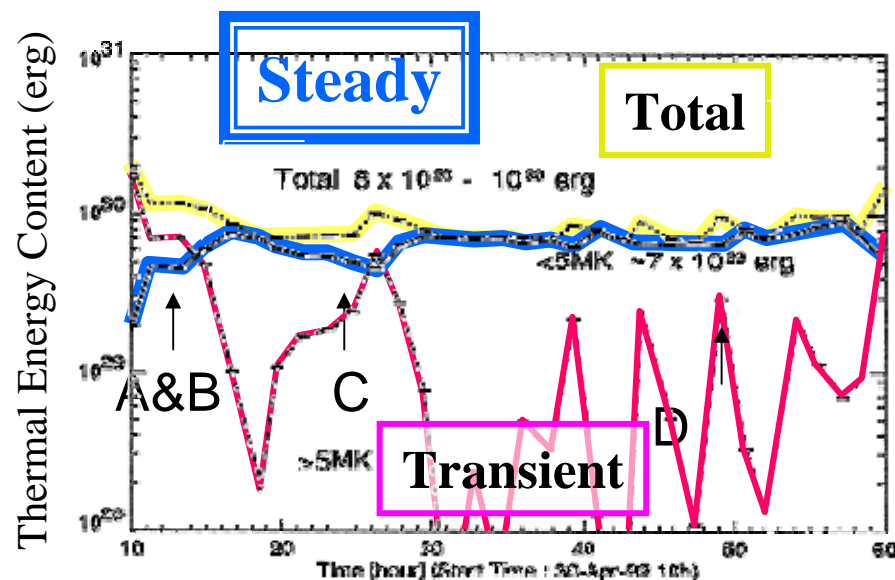
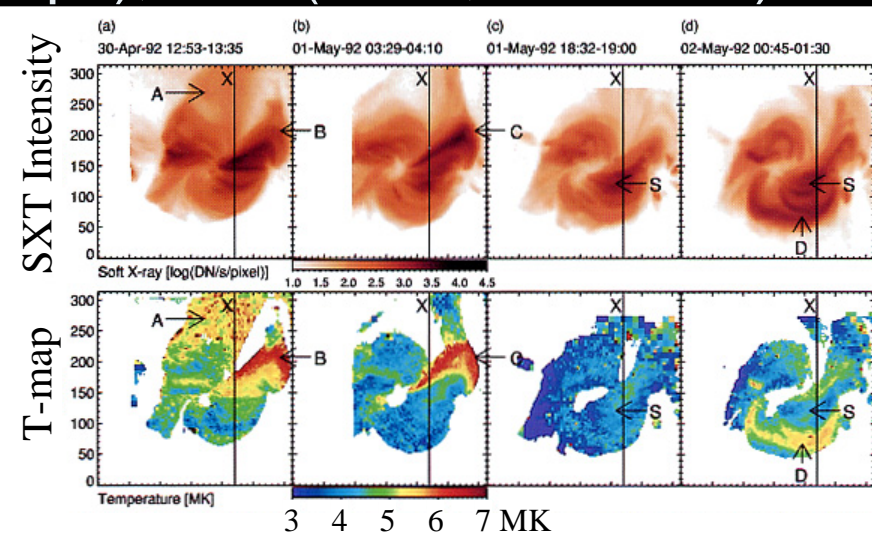
Solar-Cに望むもの



(準)定常加熱について

Yoshida & Tsuneta (1996, ApJ), 吉田(1996, 東大修論)

- 「ようこう」時代から、定常(に見える)構造がエネルギーの大部分を占めていることが知られている。



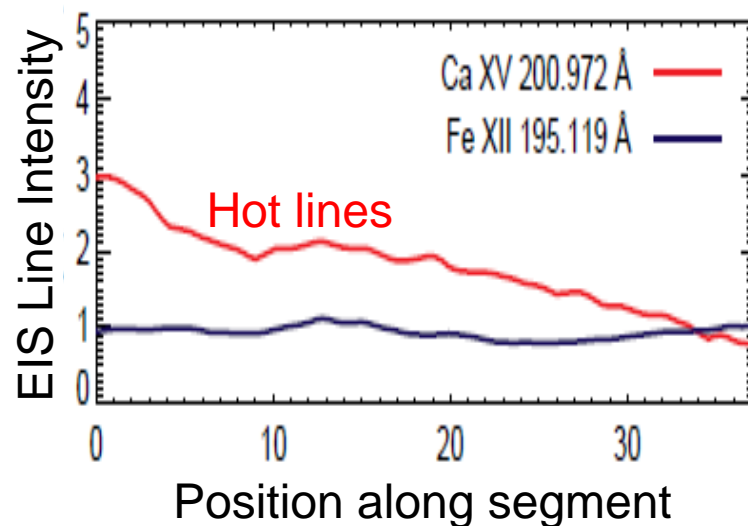
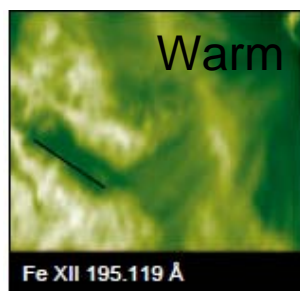
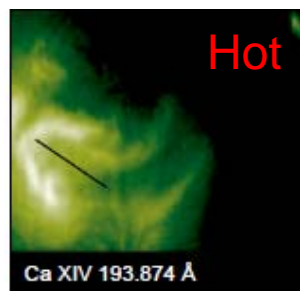
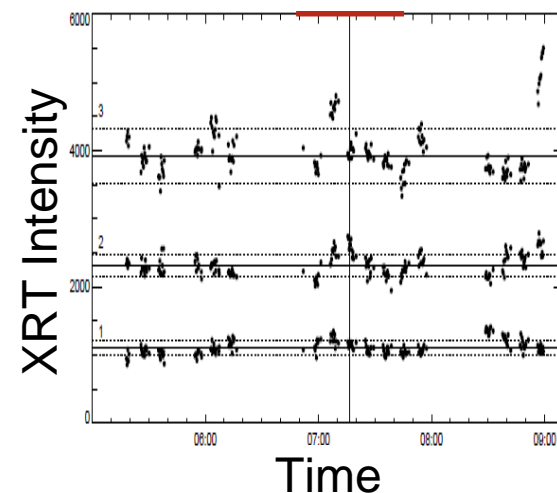
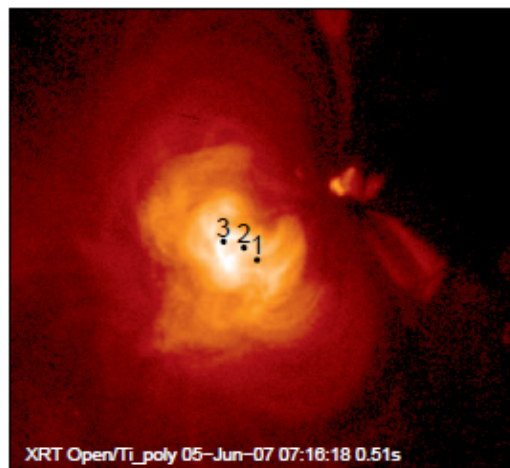
(準)定常加熱について

Warren et al. (2010, arXiv)

- XRTで静かな領域をEISで観測したら、

hot輝線の構造がwarm輝線に変化している様子がない。

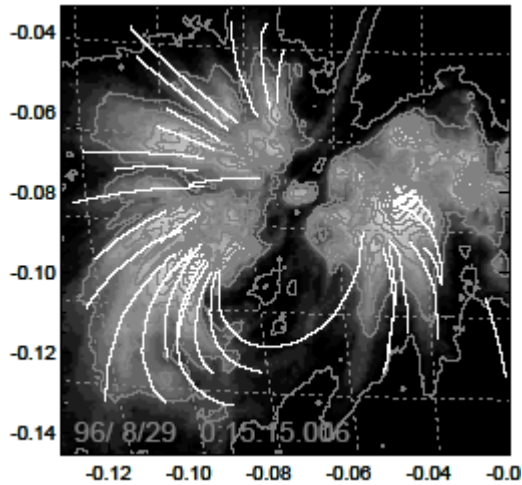
→これは離散的に加熱されてない。つまり、定常加熱がある。



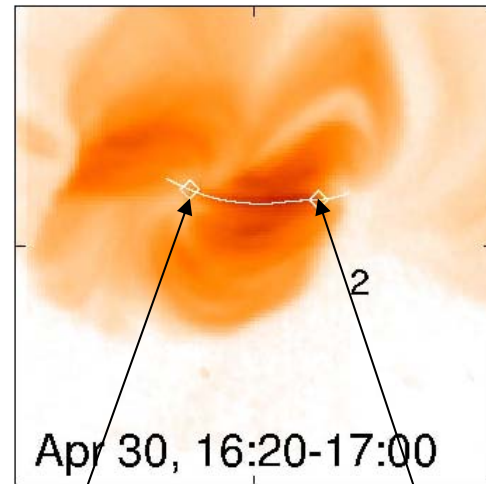
活動領域コロナループの温度構造

Aschwanden et al. (1999 & 2000, ApJ) Kano & Tsuneta (1996, PASJ)

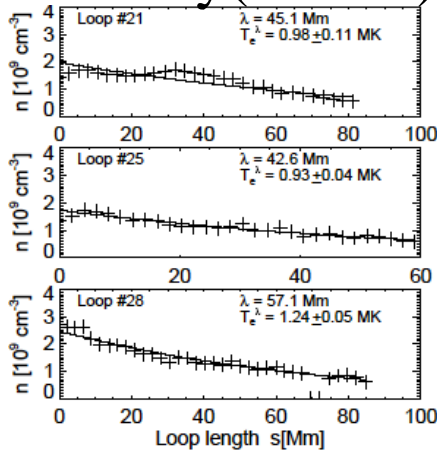
EIT loops in active regions



SXT loops in active regions



Density (\leq EM)



Temperature

