

ALMAを用いた フレアカーネルの観測

浅井 歩

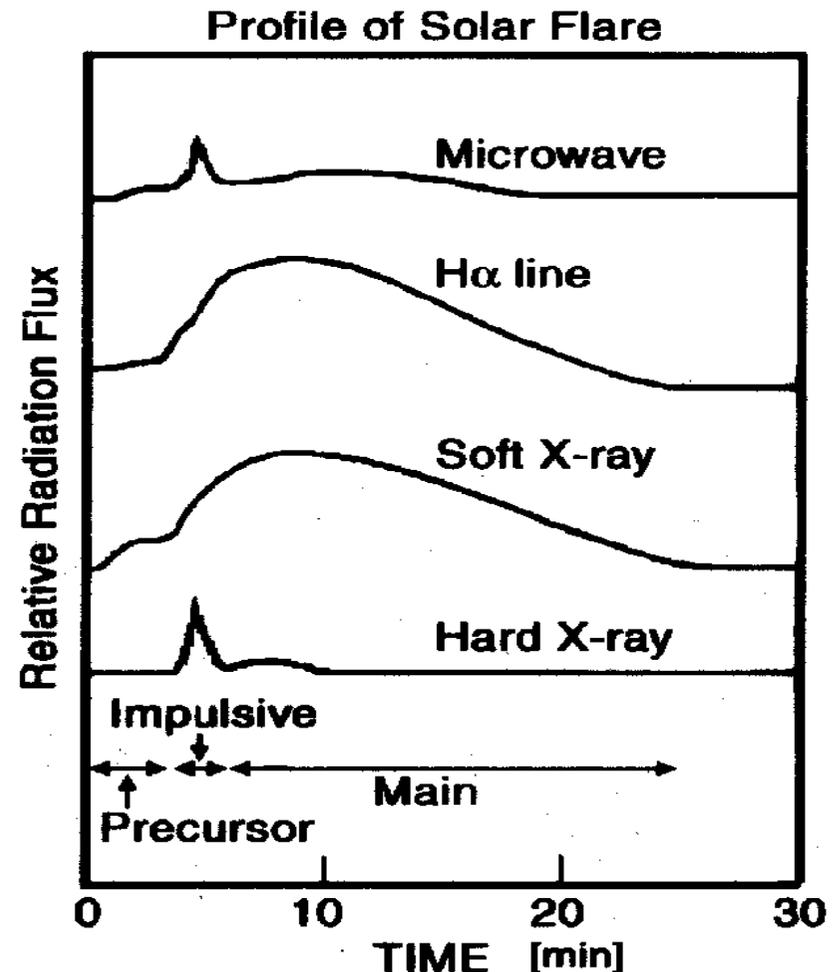
(京都大学宇宙ユニット)

ALMA太陽観測ワークショップ@京都

2012年10月3日@京都大学理学部セミナーハウス

太陽フレア

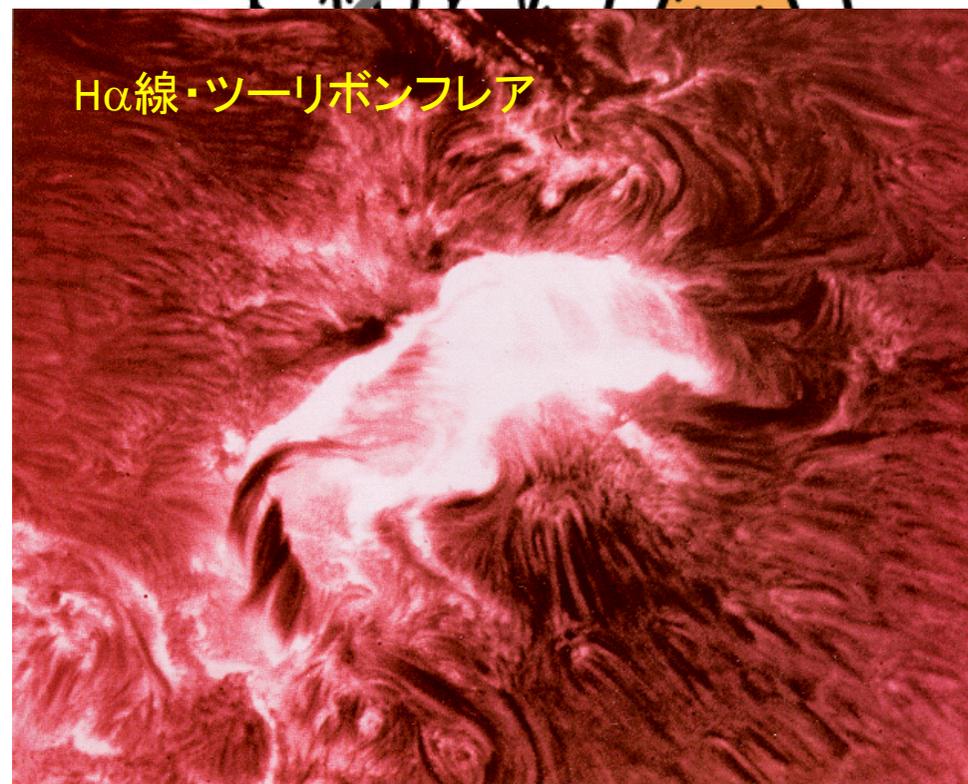
- 広い波長域にわたる突発的な増光現象
- 磁気リコネクションによる磁気エネルギーの解放
- **フレアループの足元の増光**(非熱的粒子・熱伝導の彩層突入)



太陽フレア中のさまざまな波長域におけるライトカーブ (Kane 1974)

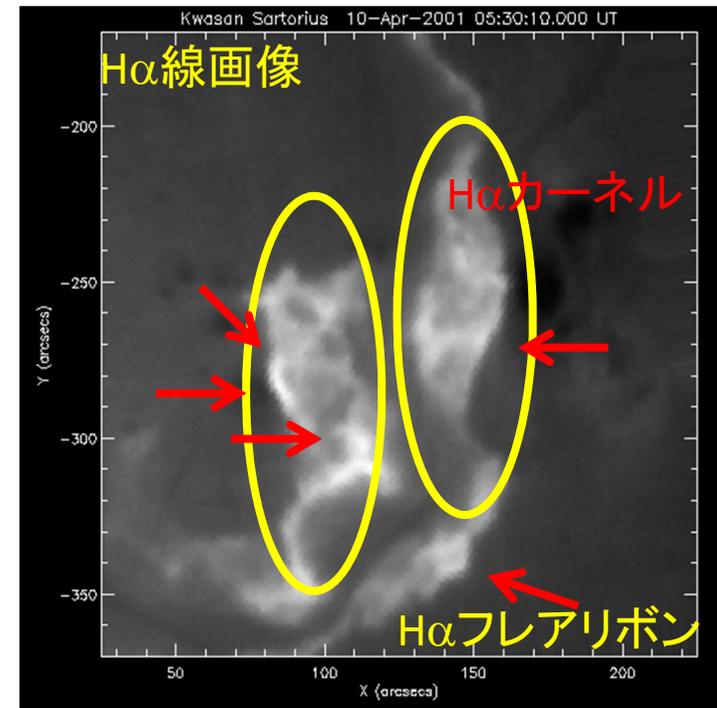
太陽フレア

- 広い波長域にわたる突発的な増光現象
- 磁気リコネクションによる磁気エネルギーの解放
- **フレアループの足元の増光**(非熱的粒子・熱伝導の彩層突入)



フレアカーネル(輝点)

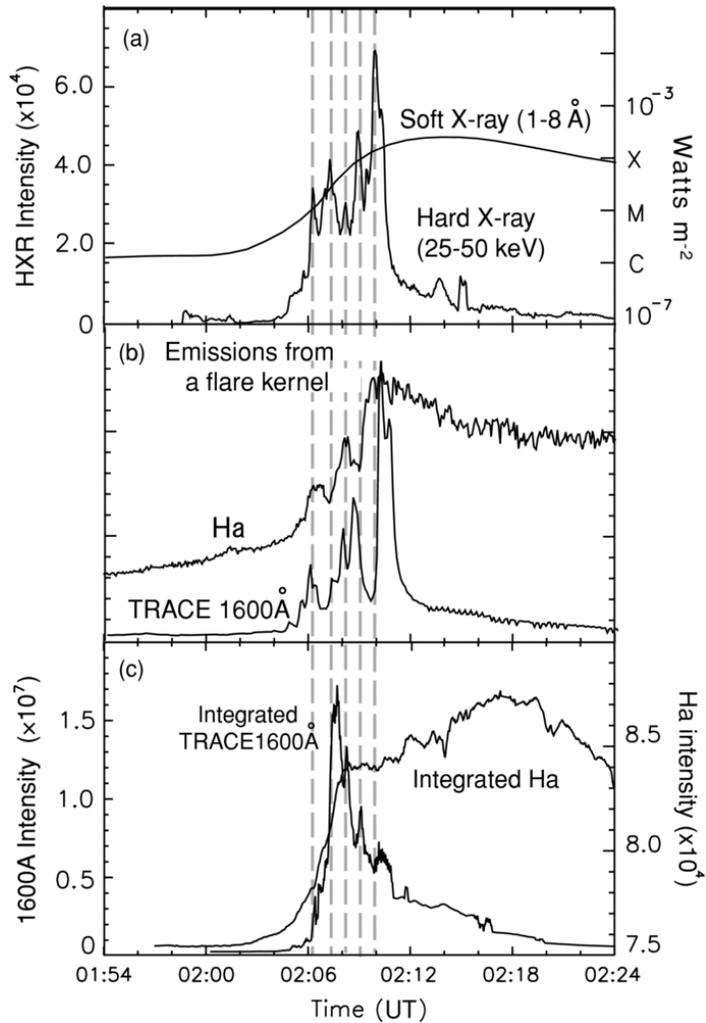
- フレアリボンの内部には構造があり、明るい領域をフレアカーネル(輝点)と呼ぶ
- フレアリボン~フレアカーネルの集合体?
- 特に明るいカーネルとdiffusiveに明るい領域?



2001年4月10日に発生した大フレアのHαフレアリボン

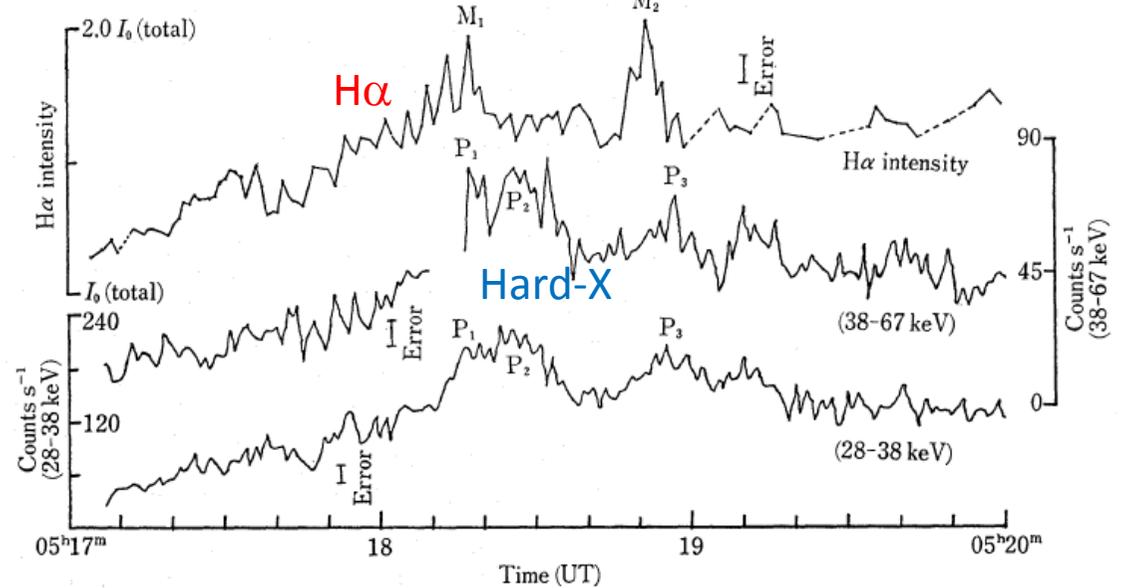
H α カーネル

Nishizuka+2009



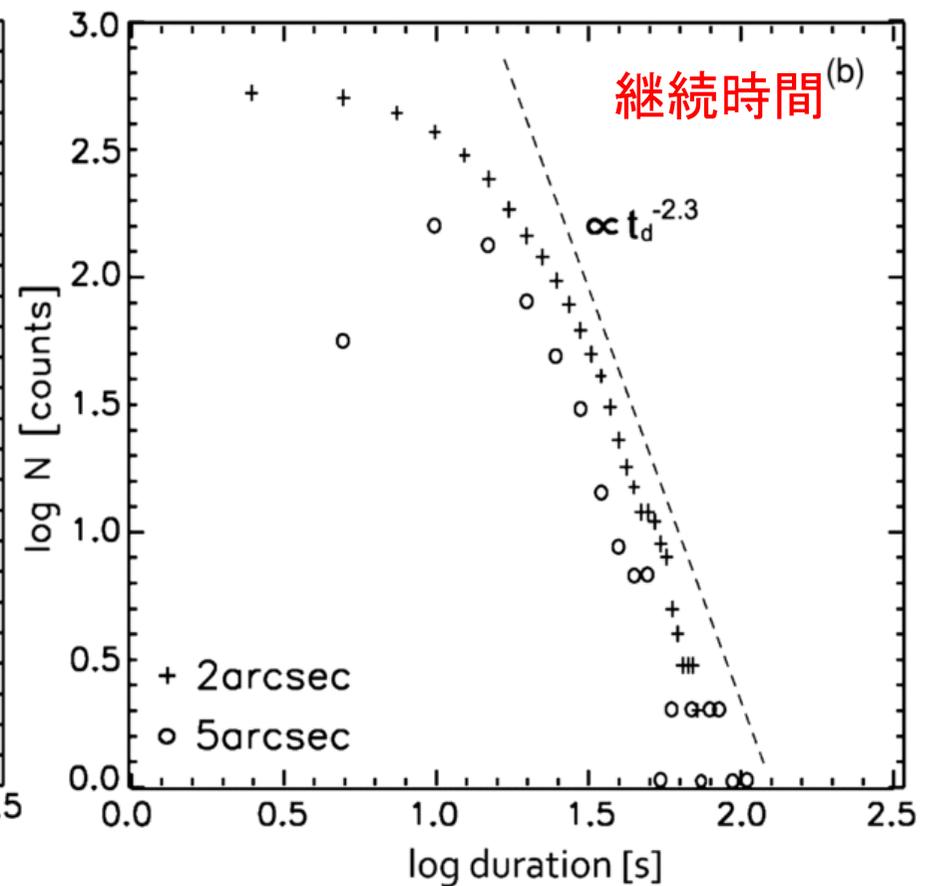
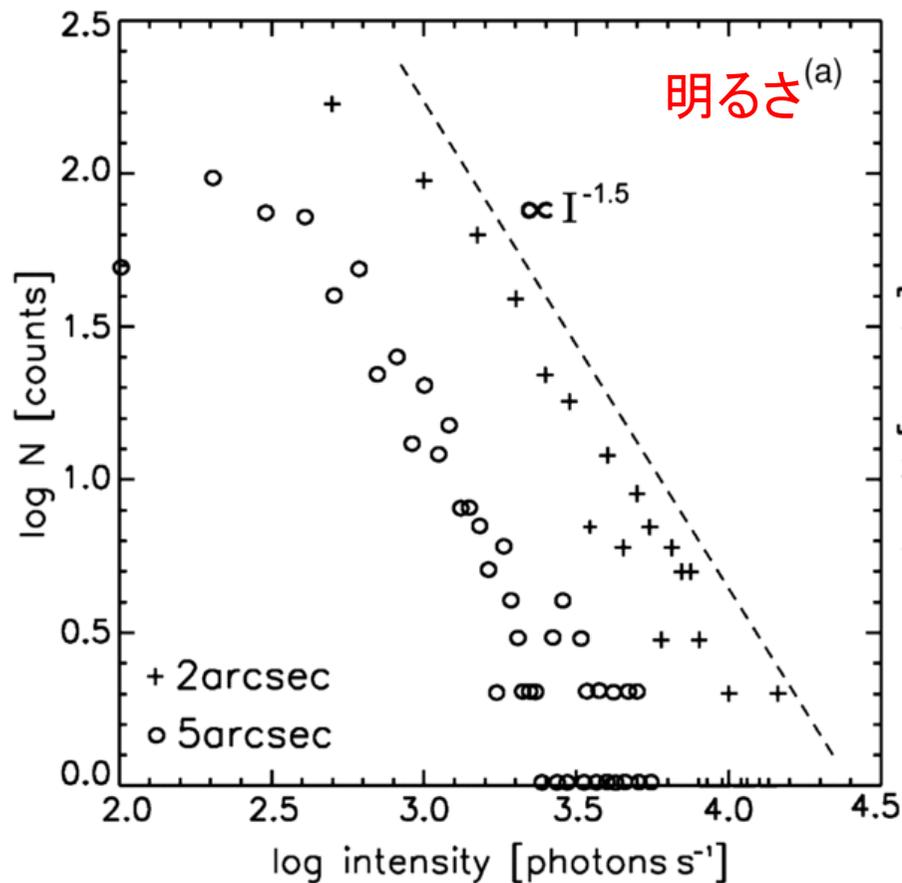
- 個々のカーネルでは、**硬X線と似たライトカーブ**を示す
←非熱的粒子の彩層突入

Kurokawa+1988



カーネルの特性

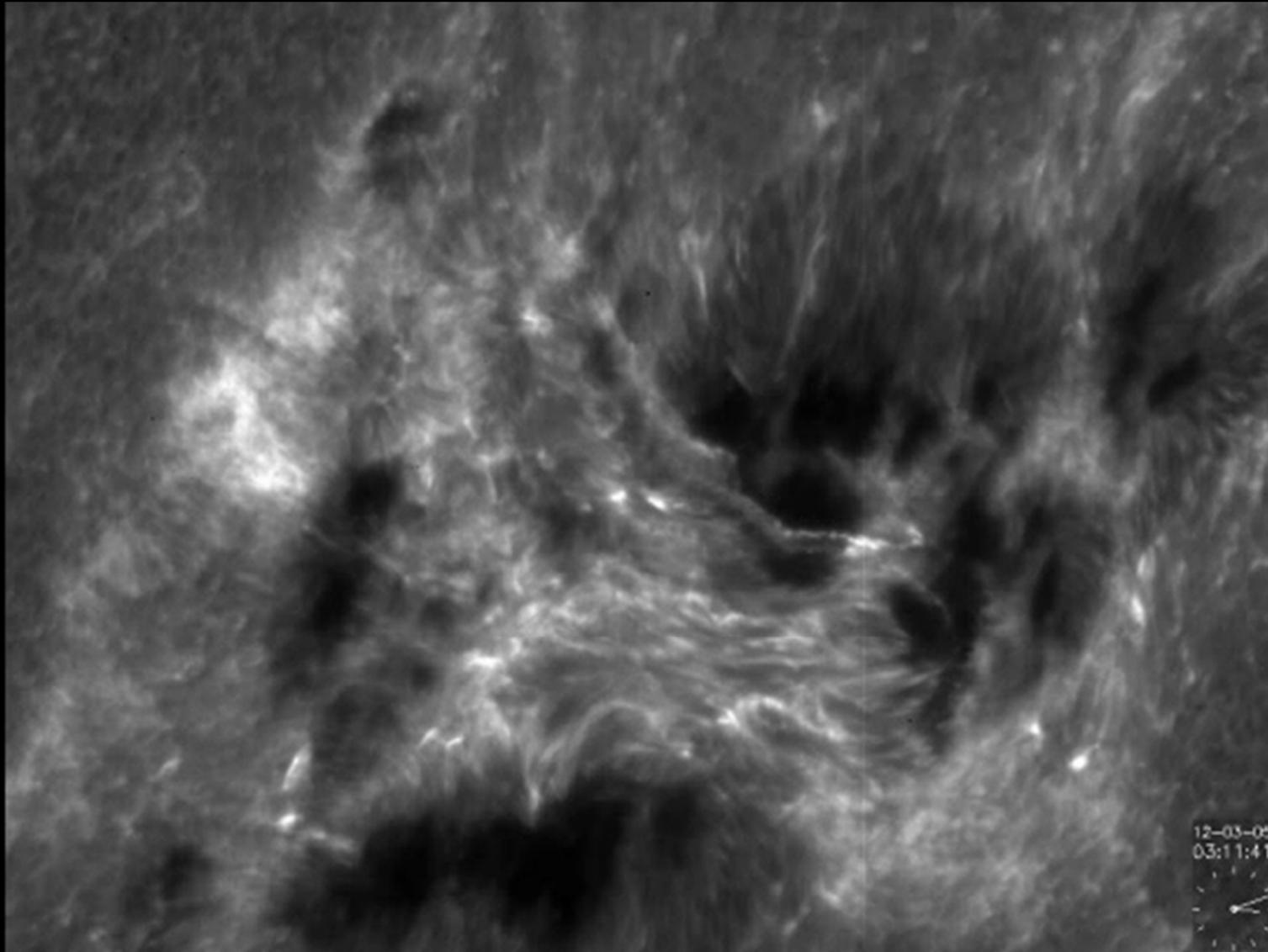
- Power-law distribution (Nishizuka+2009)
- TRACE 1600Åで

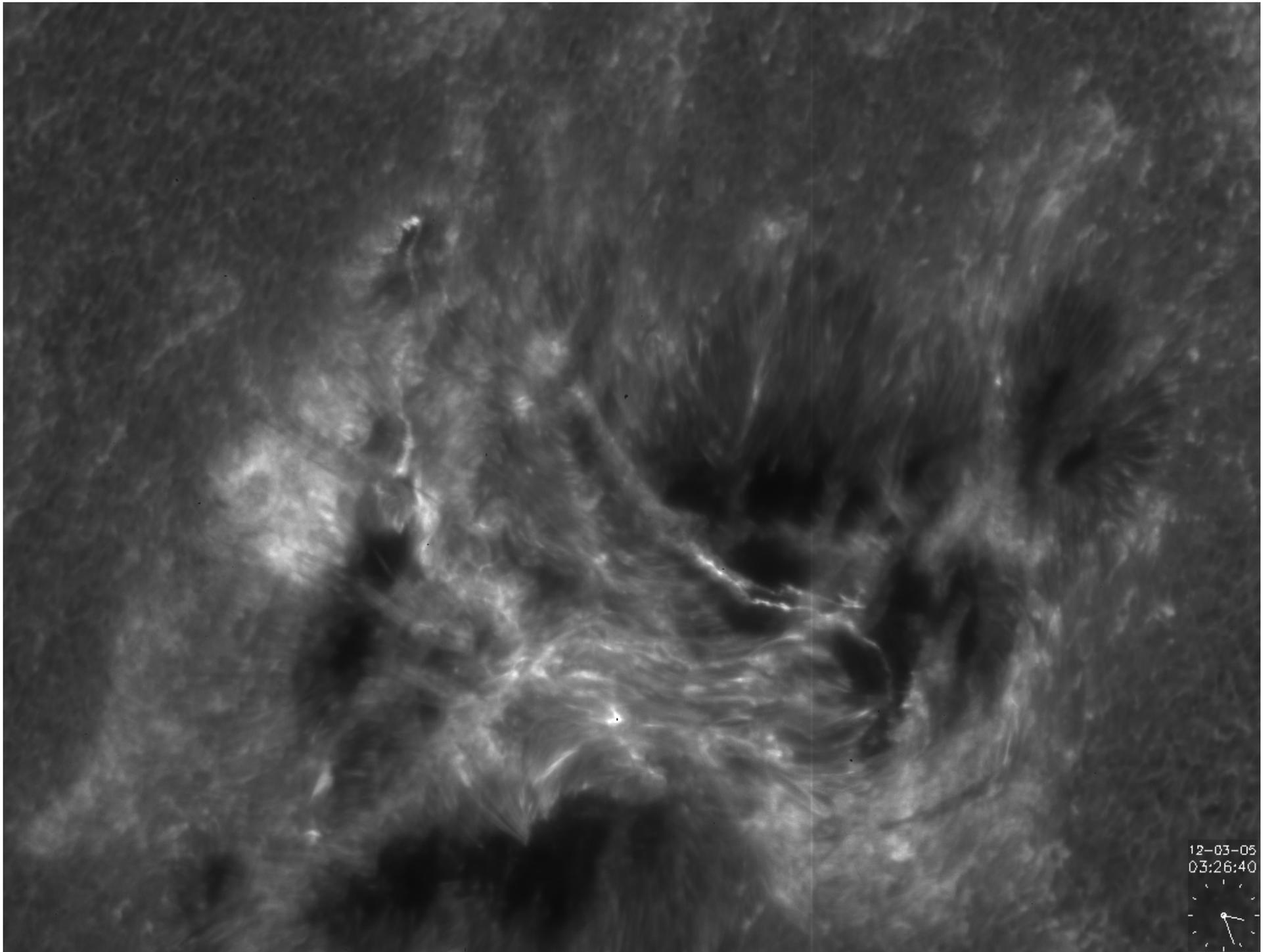


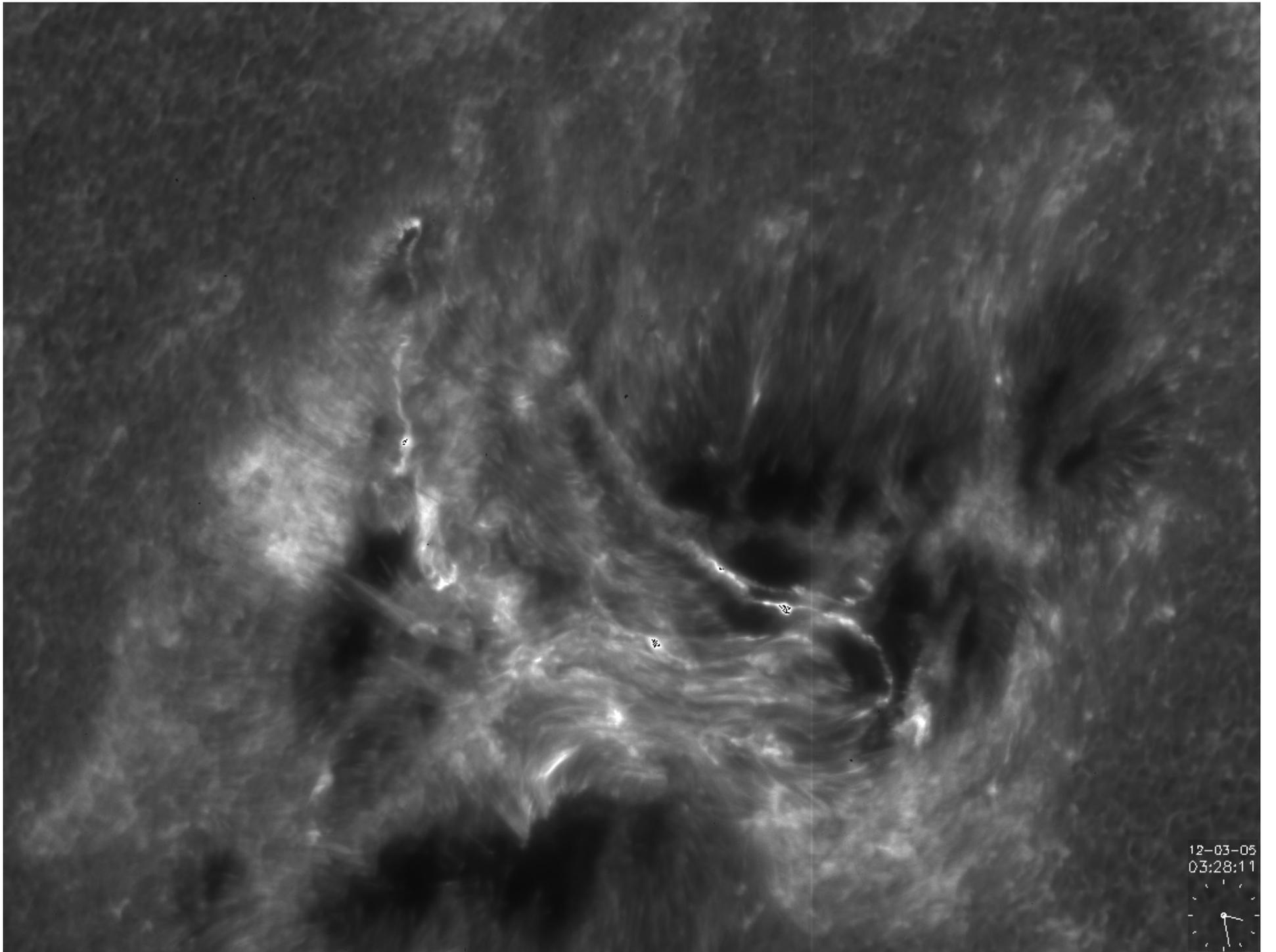
カーネルの大きさ

- どこまで小さいのか?

Flare (X1.1) on 2012.3.5 by Hinode, Call H

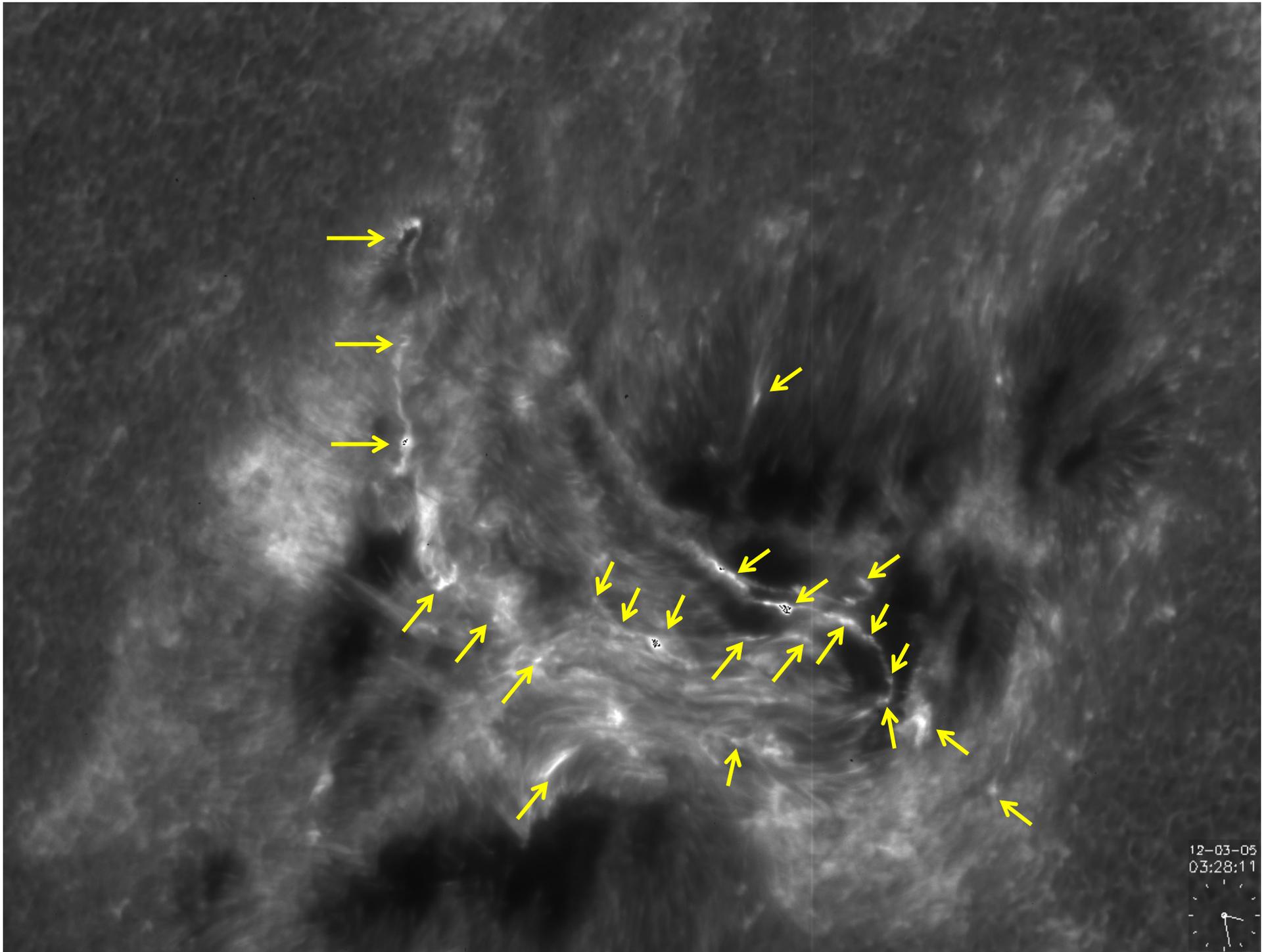






12-03-05
03:28:11

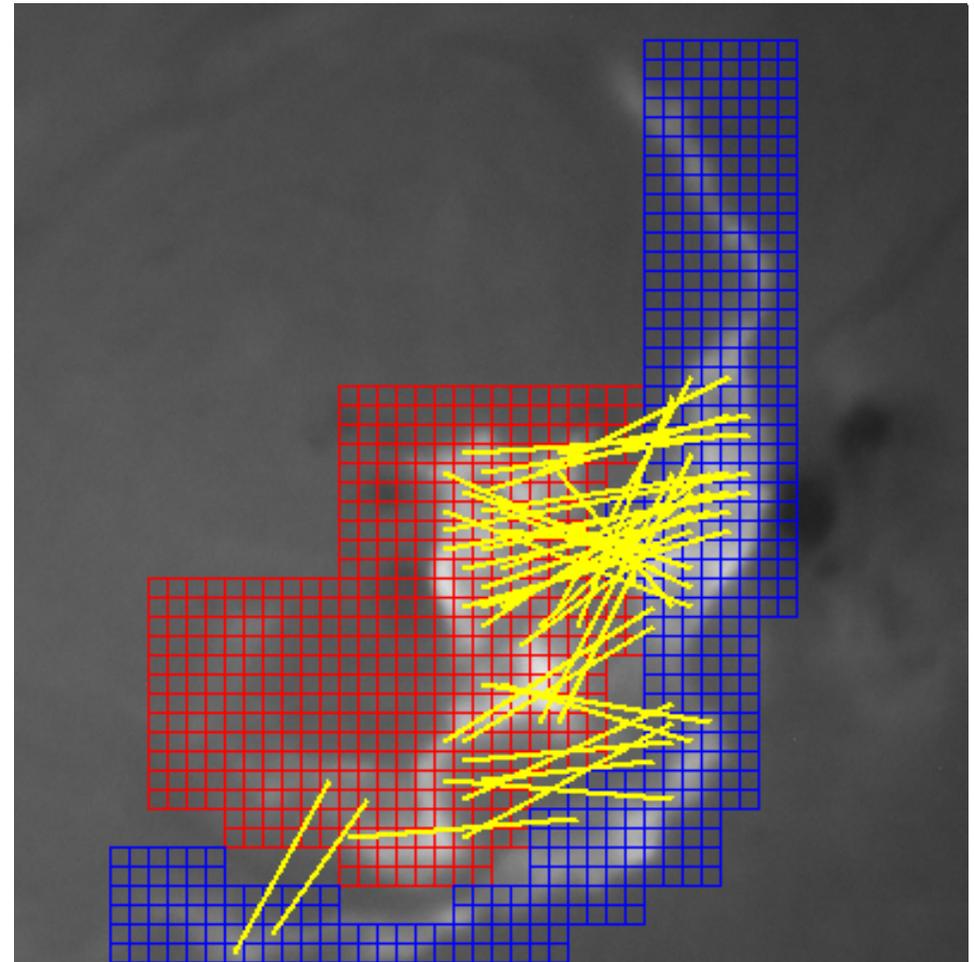
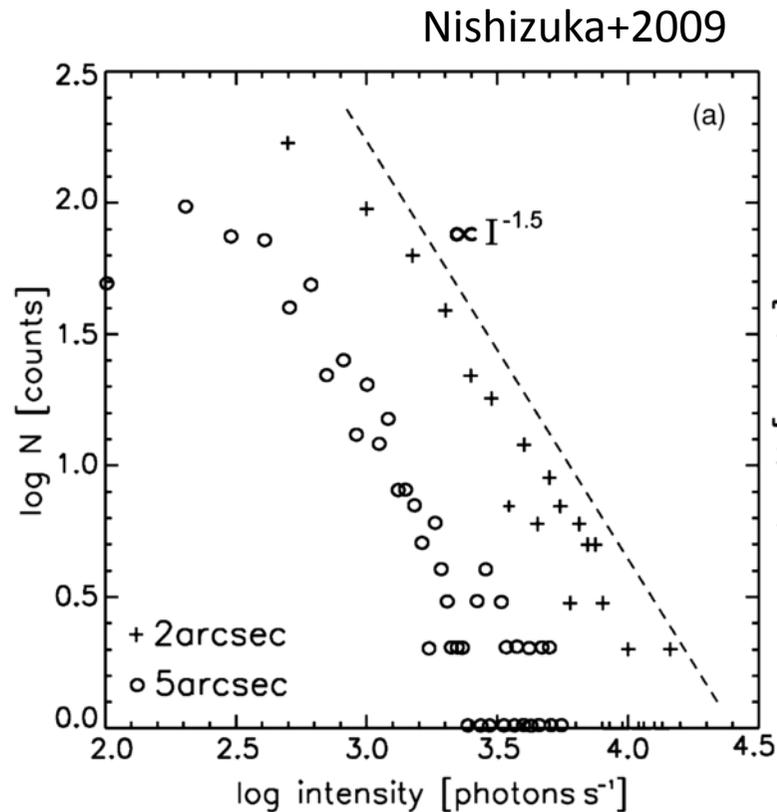




カーネルの大きさ

- どこまで小さいのか?
- $< \sim 1''$ 程度?

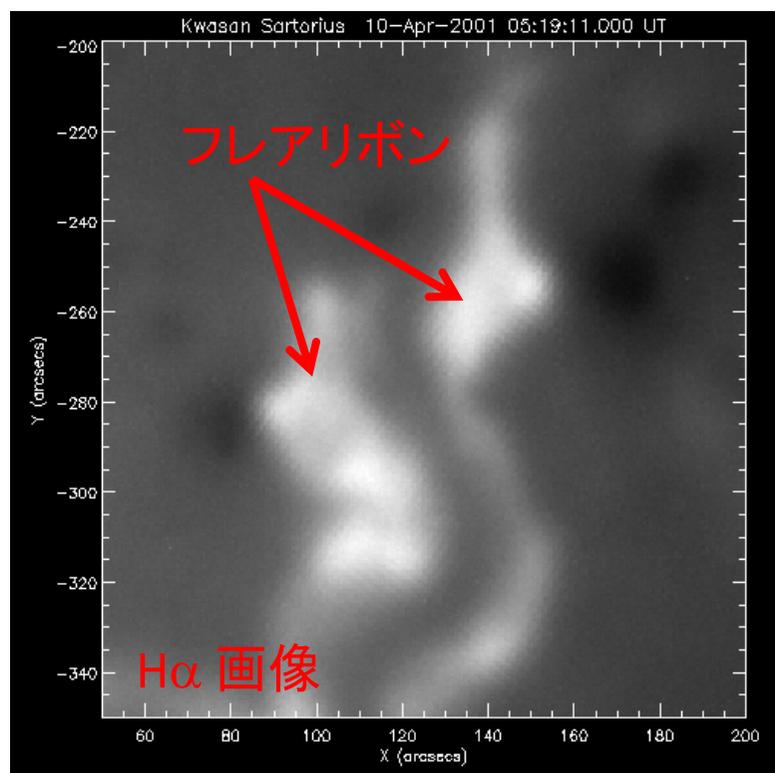
Asai+2003



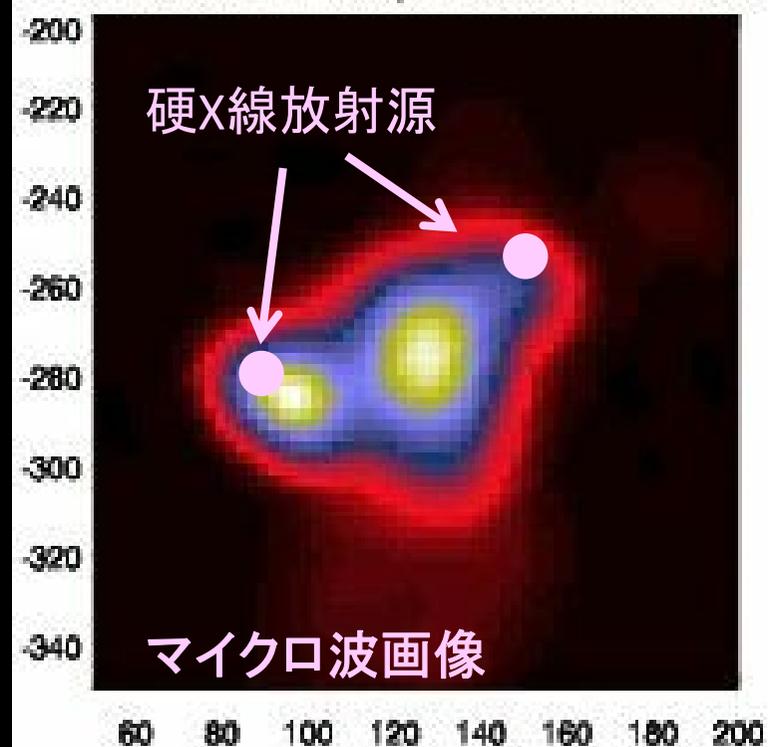
赤は正極性、青は負極性

H α カーネルと硬X線の相違点

Asai+2004

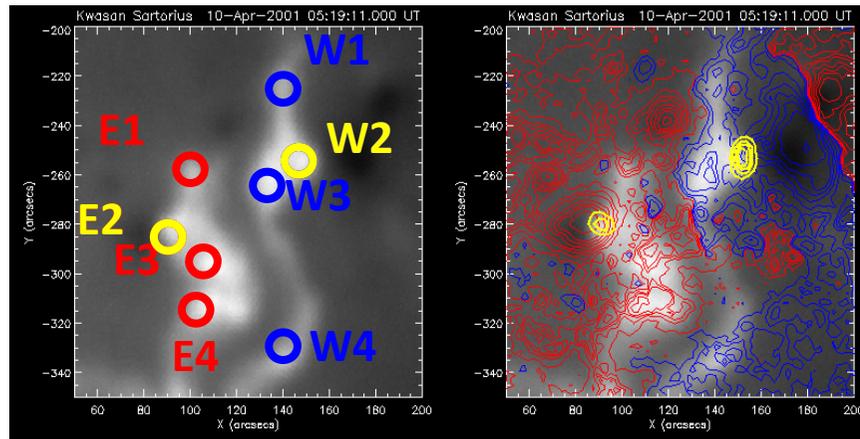


NoRH 17GHz r+i 10-Apr-2001 05:19:12.960



- H α カーネルと硬X線放射源では空間分布が異なる
H α :フレアリボン、硬X線:局所的に放射源
←硬X線観測装置のダイナミックレンジが小さいことに起因

定量的な見積もり Asai+2004

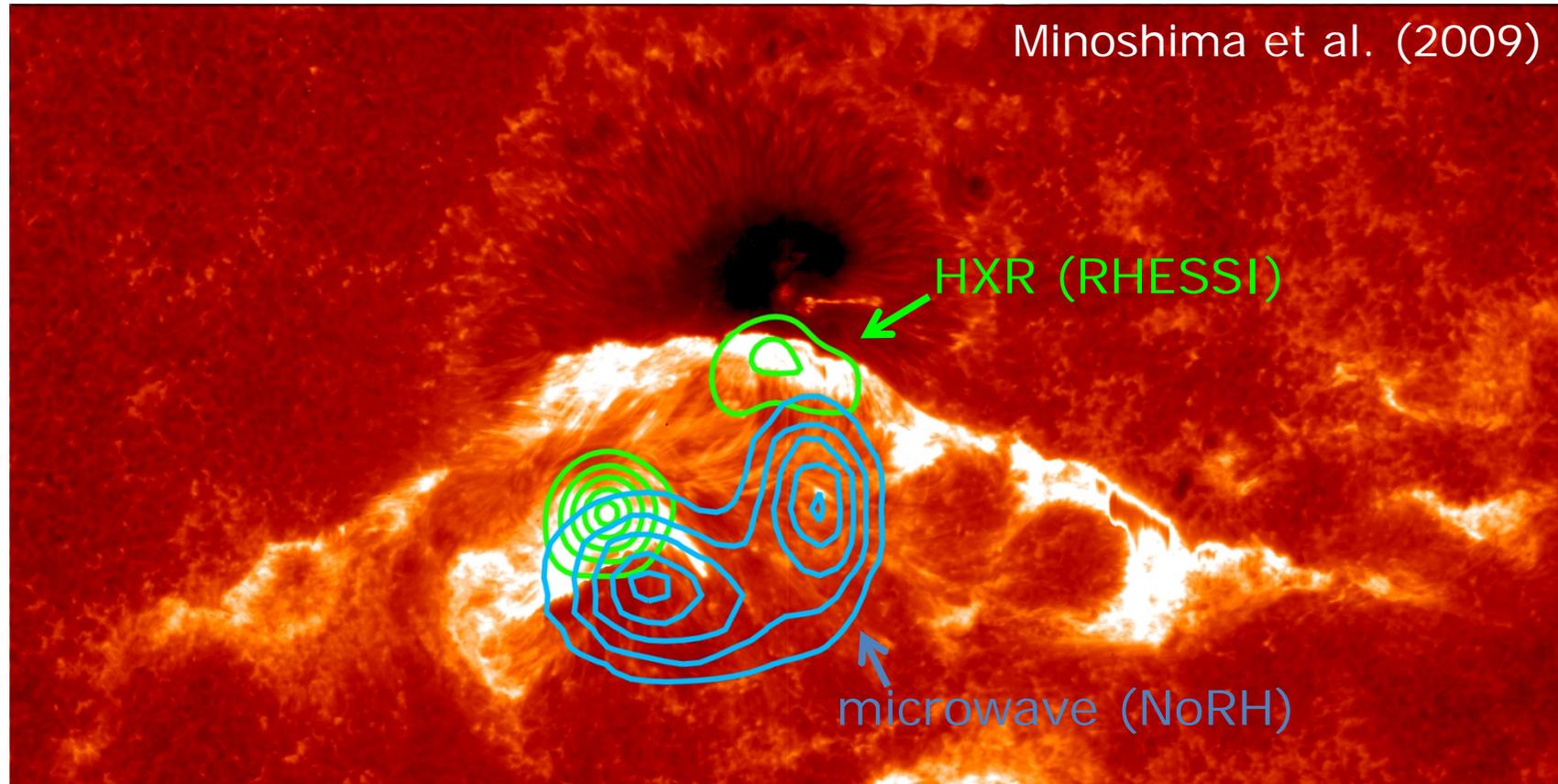


見積もられたリコネクションレートとポインティングフラックスを、硬X線放射源とその他の放射源(H α カーネル)について比較

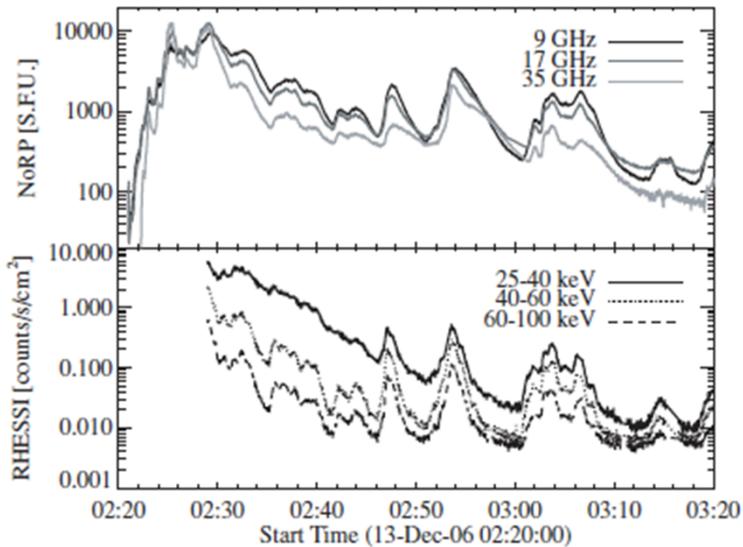
Table 2: Reconnection rates and Poynting fluxes at H α kernels

H α kernel	reconnection rate E (ratio) [V m $^{-1}$]	Poynting flux S (ratio) [erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$]
E1	2.6×10^2 (0.52)	2.7×10^8 (0.27)
E2	7.7×10^3 (16)	1.5×10^{11} (150)
E3	4.9×10^2 (1.0)	1.0×10^9 (1.0)

2006年12月13日フレア

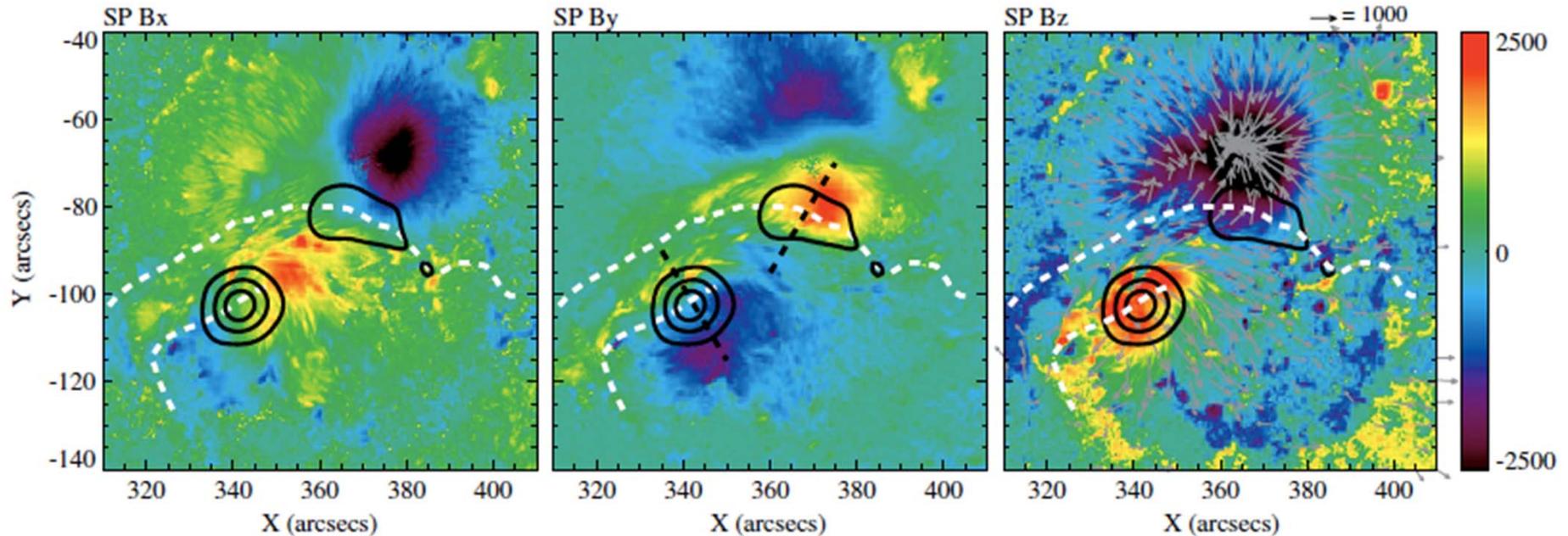


Non-thermal energy (energetic particles)



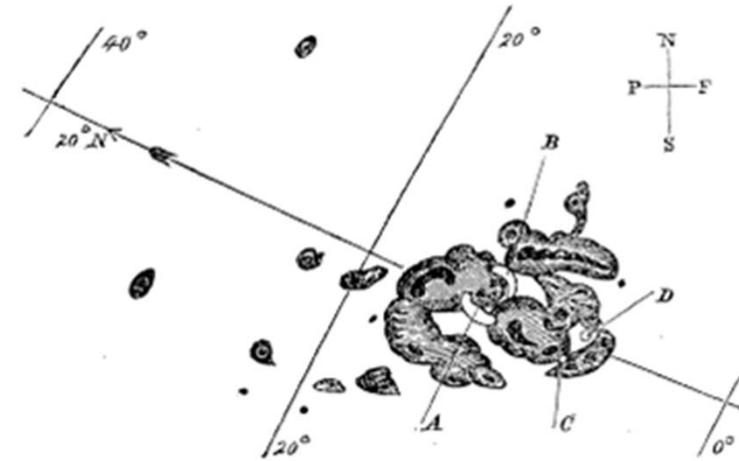
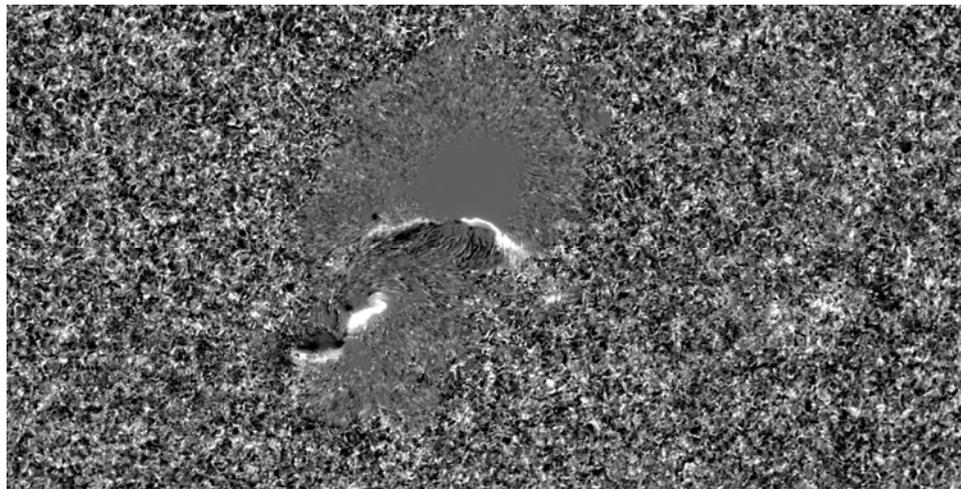
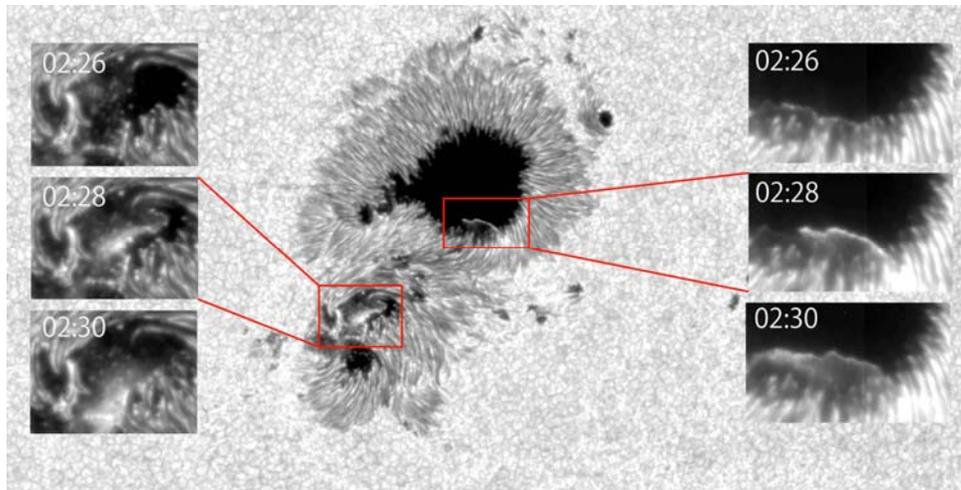
Minoshima et al discussed a multiwavelength observation of a solar flare occurring on 2006 December 13 with *Hinode*, *RHESSI*, and the Nobeyama Radio Observatory to study the electron acceleration site and mechanism. They conclude that the electron acceleration take place near the magnetic separatrix and injection parallel to the field line.

Minoshima et al., APJ 2009



白色光フレア

Isobe+2007



キャリントン・フレア (Carrington 1859)

- 特に大きなフレアでは、白色光でも増光
 - 白色光フレアの増光場所は硬X線放射源と良い一致
- ←非熱的粒子起源

硬X線と白色光の放射高度の違いについて



白色光フレアに関する先行研究

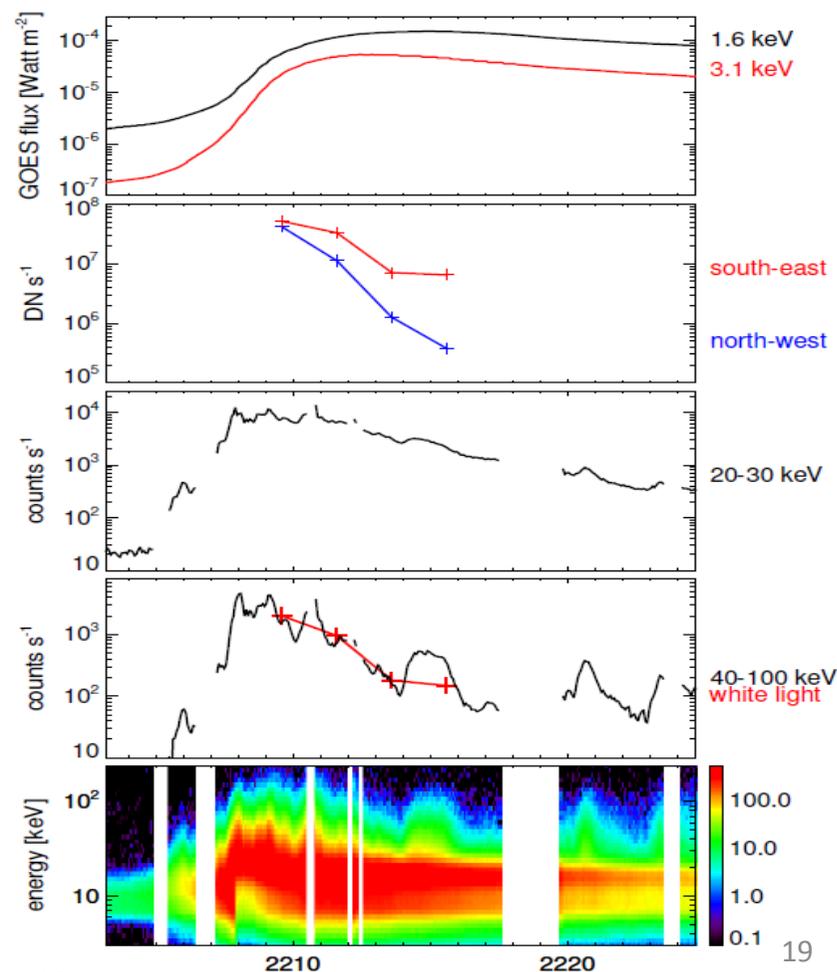
G-band and Hard X-ray Emissions of the 2006 December 14 Flare Observed by Hinode/SOT and Rhesi

[Watanabe, K. et al, 2010, ApJ, 715, 651](#)

Close relation between white light (=SOT G-band) and RHESSI HXR emissions

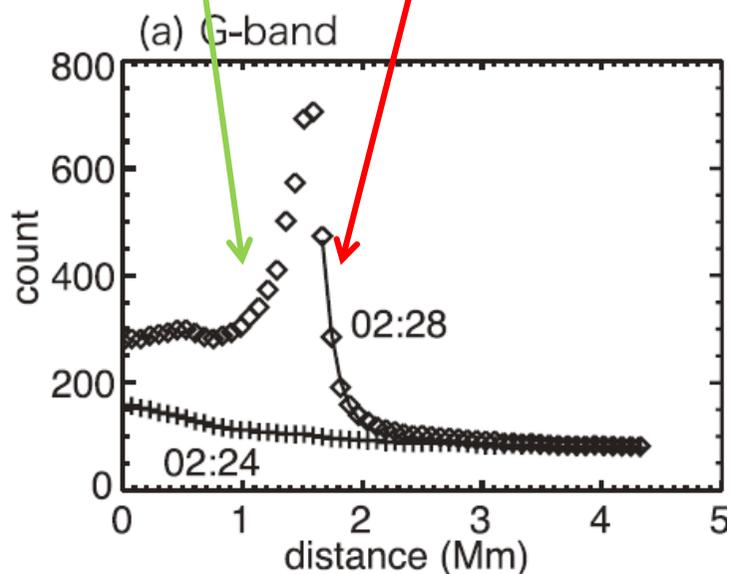
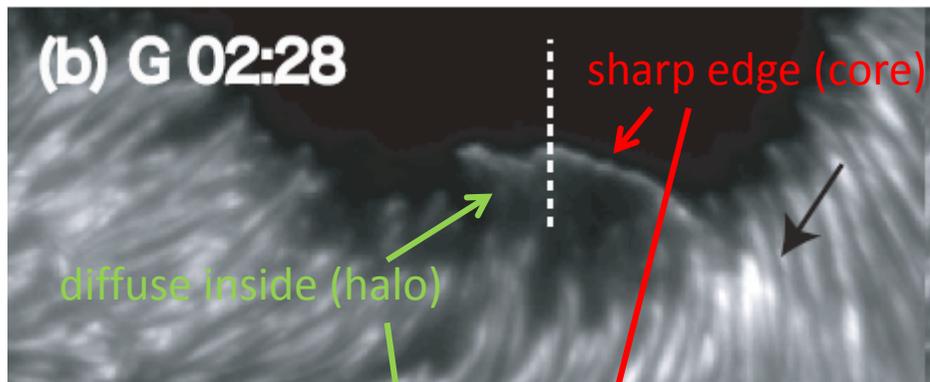
→ >40keV electron contains comparable energy of WLF

H α ・白色光フレアカーネルと高エネルギー粒子との密接な関係



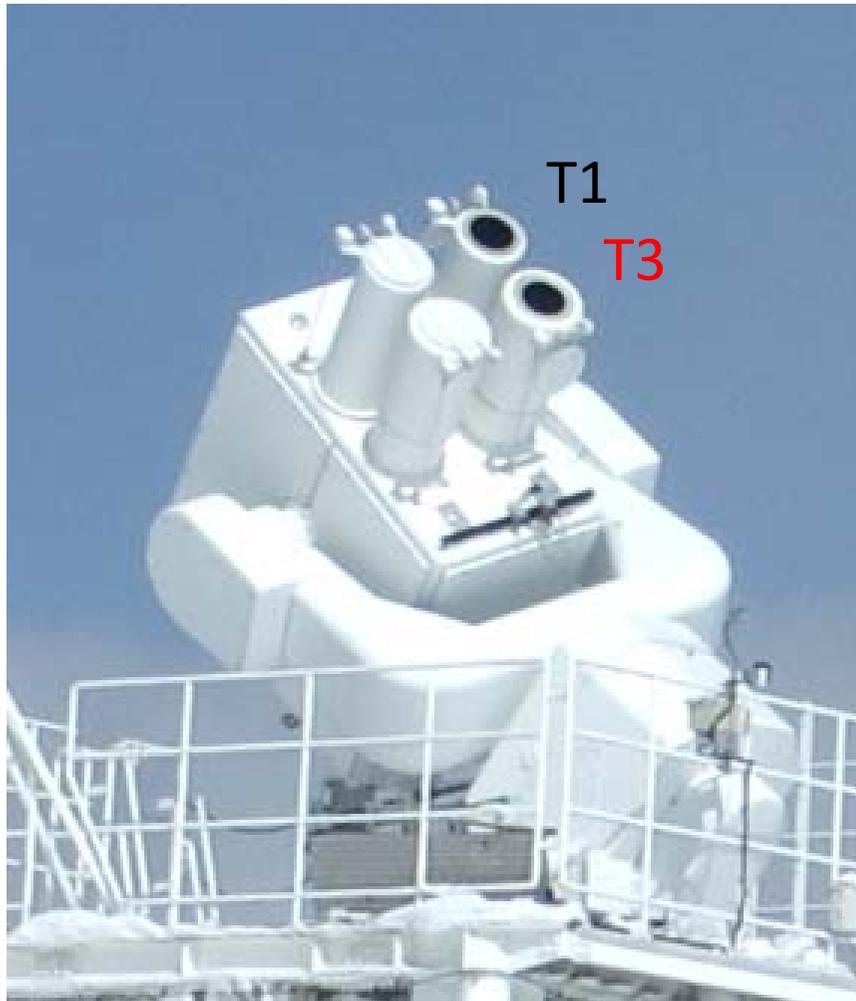
白色光フレアカーネルの構造

Isobe+2007



- core-halo構造
- core: 非熱的粒子による直接加熱?
- halo: back-warmingによる?
- どの高度で

白色光フレア



taken on 2012-Feb-19

Solar Magnetic Activity Research Telescope

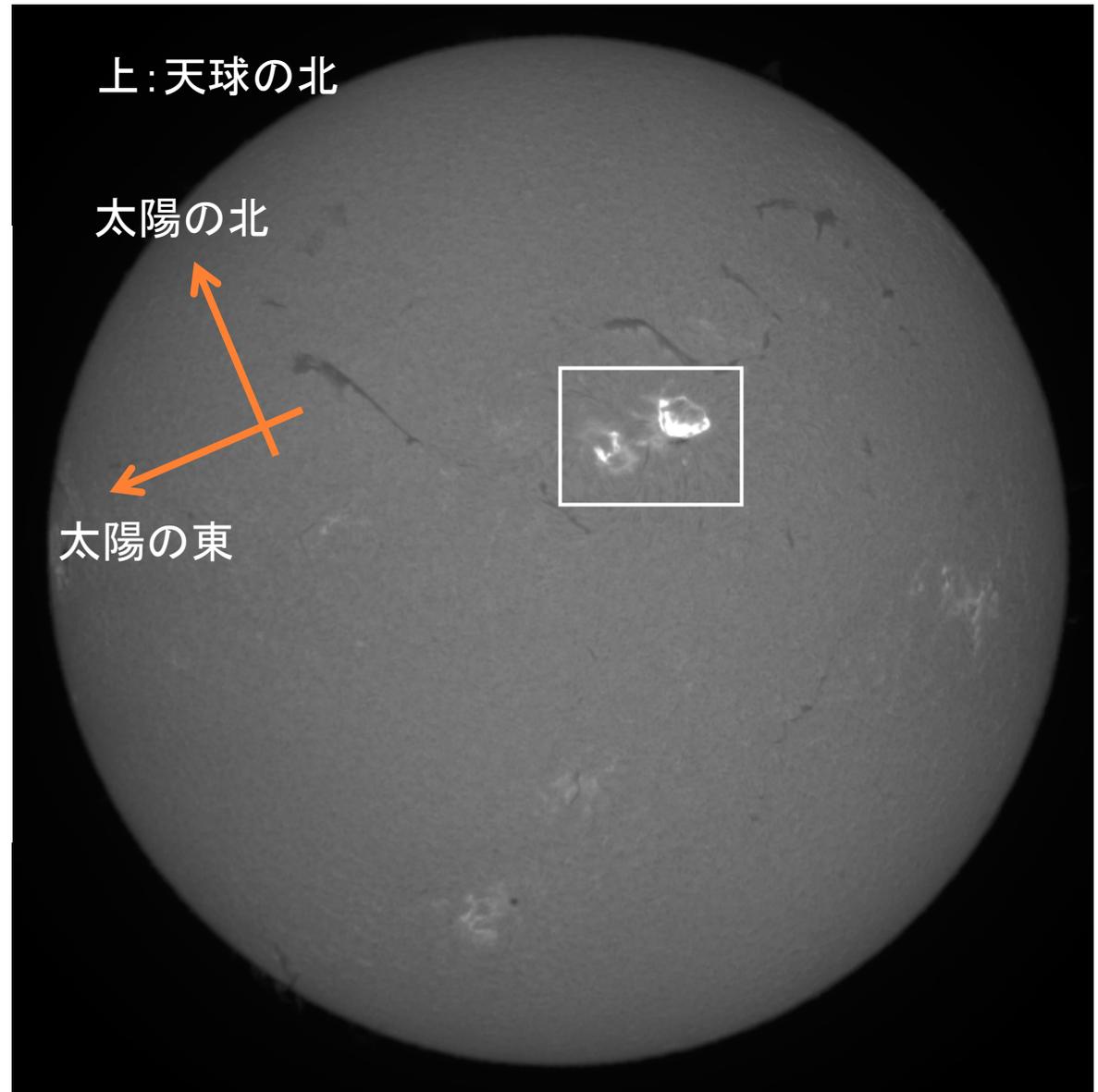
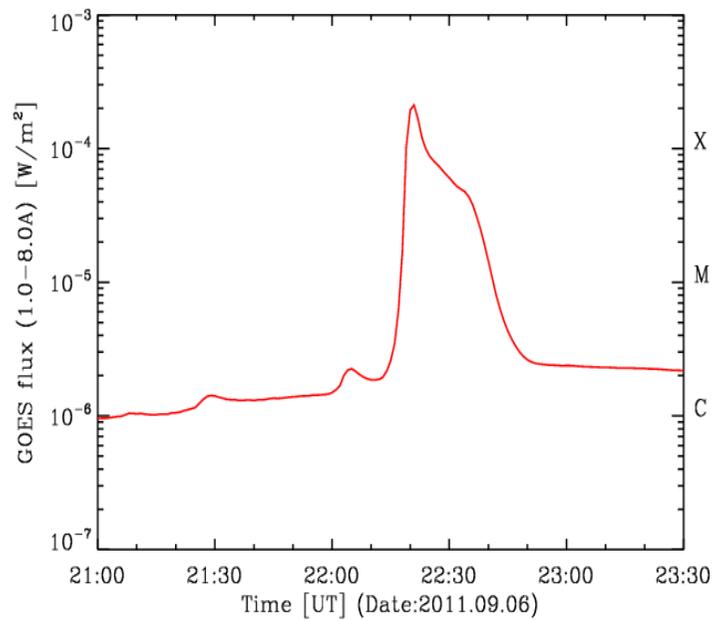
- T3 口径25cm

→H α & 連続光高速撮像
(2011-)

- 視野:活動領域サイズ
- 2波長同時観測
- 2011年8月18日 first light
- 2011年11月下旬から当番
による観測を開始

2011年9月7日(日本時間) X2.1 フレア

GOESライトカーブ

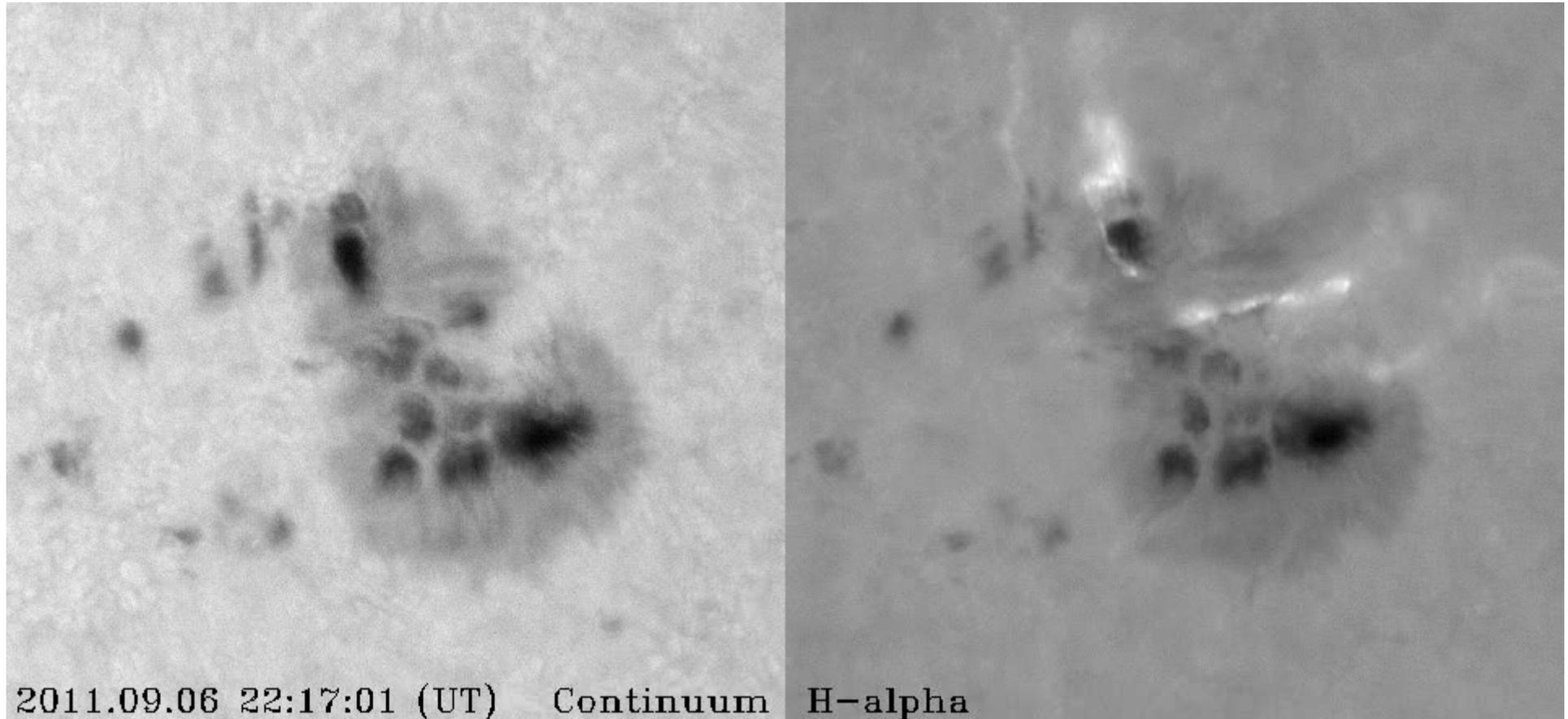


2011年9月7日(日本時間) X2.1 フレア

(T3 movie

連続光

H-alpha)



白色光フレア

start 22:18:17

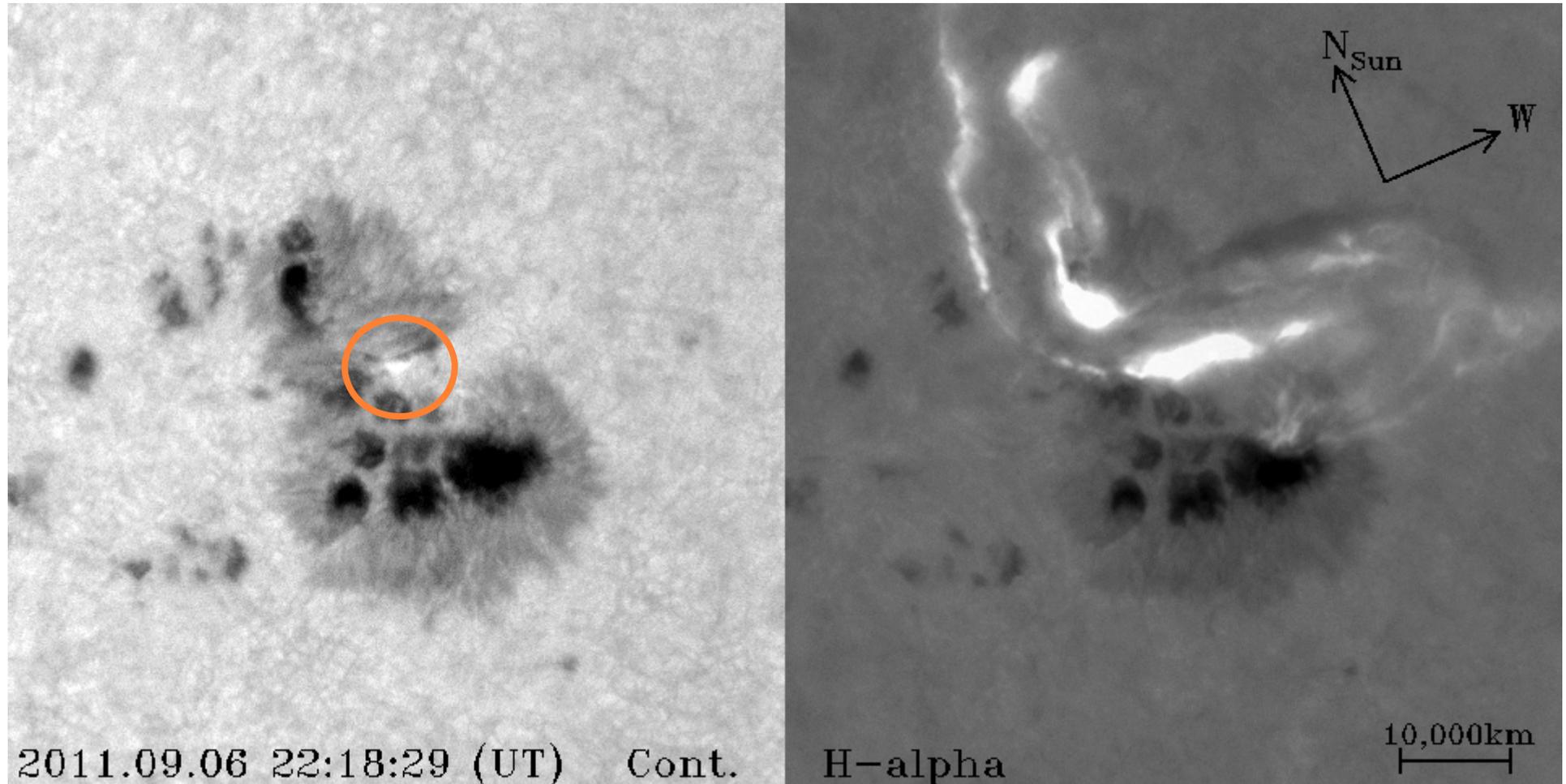
peak 22:18:29

2011年9月7日(日本時間) X2.1 フレア

(T3

連続光

H-alpha)

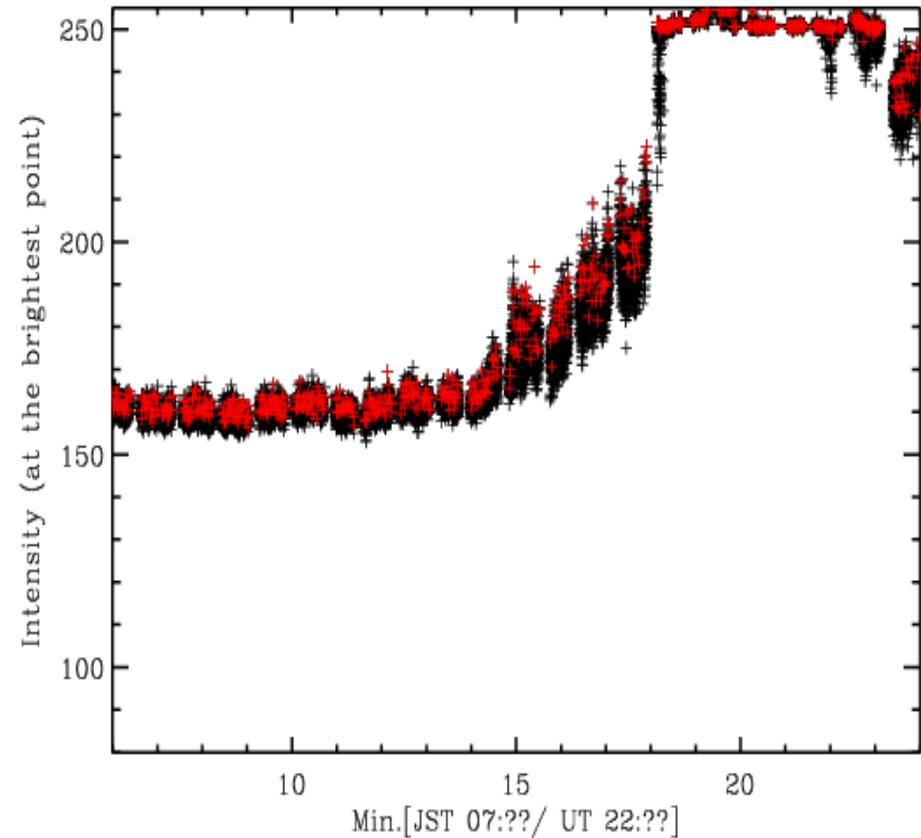
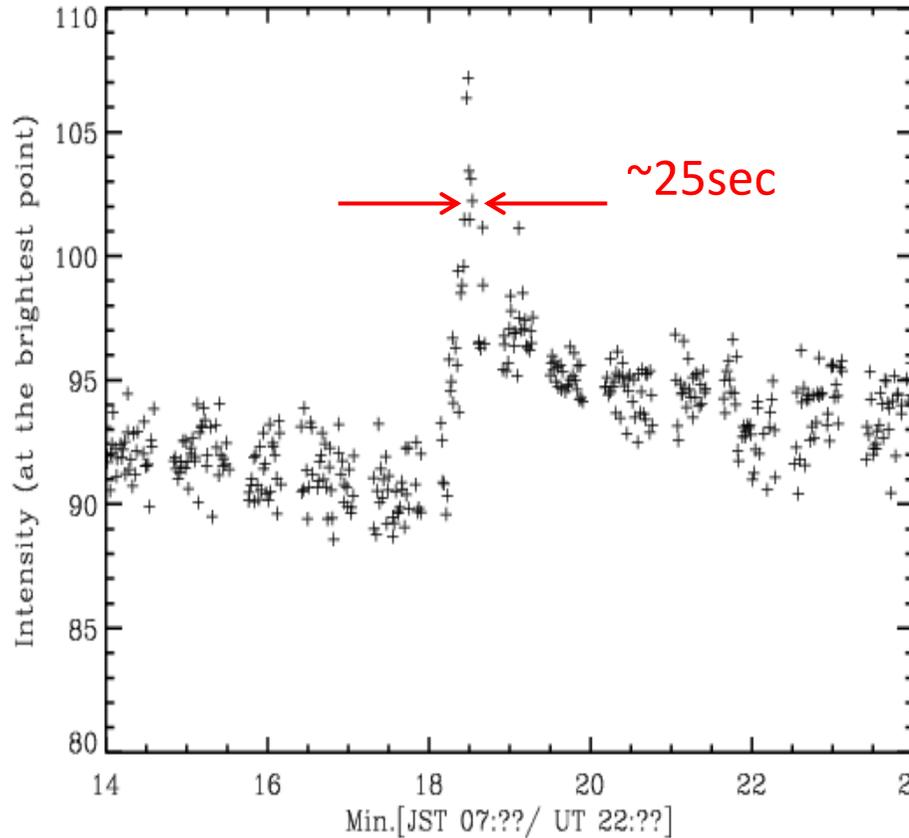


大きさ: 2-3秒角 継続時間: 1分より短い(20-30秒?)

2011年9月7日(日本時間) X2.1 flare

(T3 連続光の明るさ)

(T3 H-alphaの明るさ)

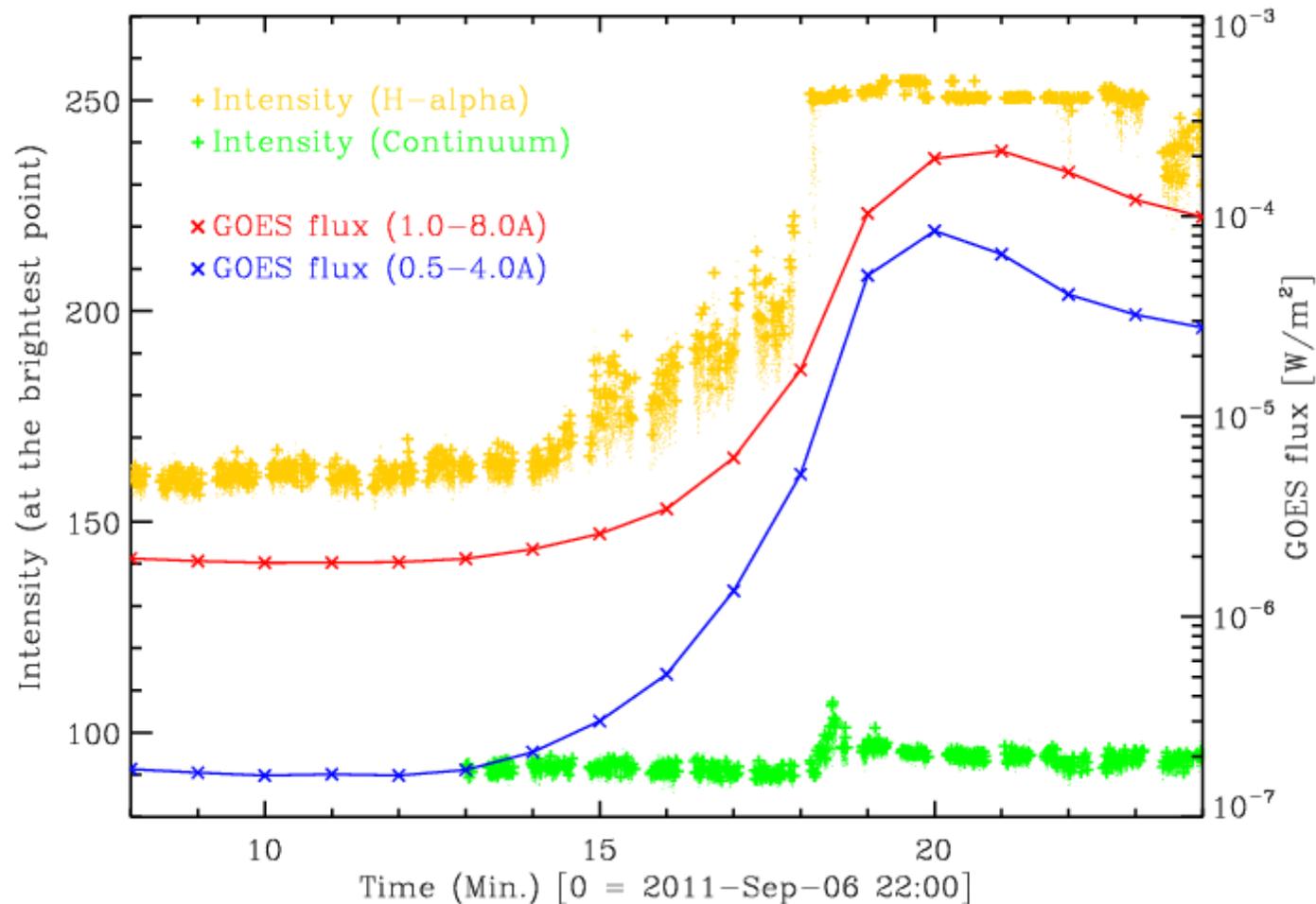


カーネルの時間変動
高い時間分解能が必要(~10秒以下)

X2.1 flare on Sep. 06, 2011 (light curve)

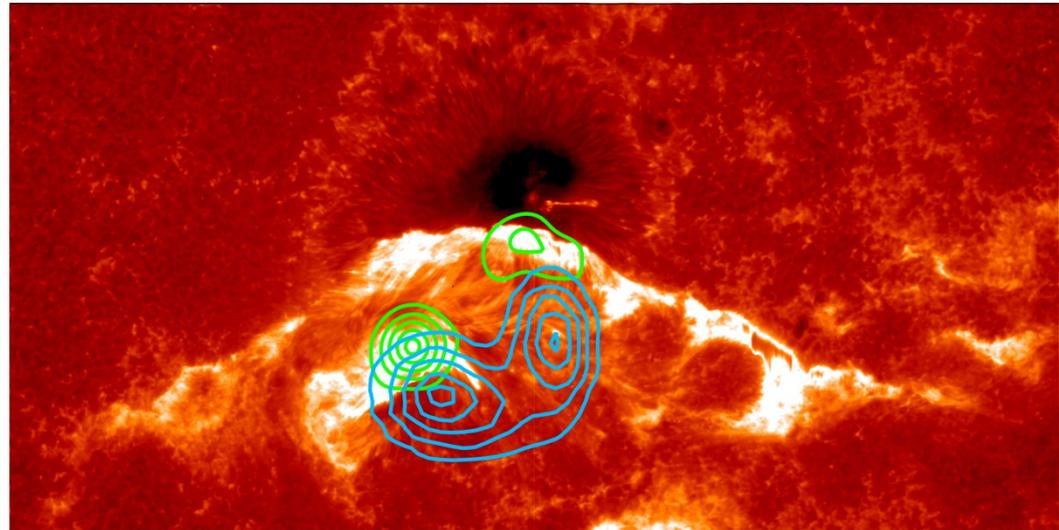
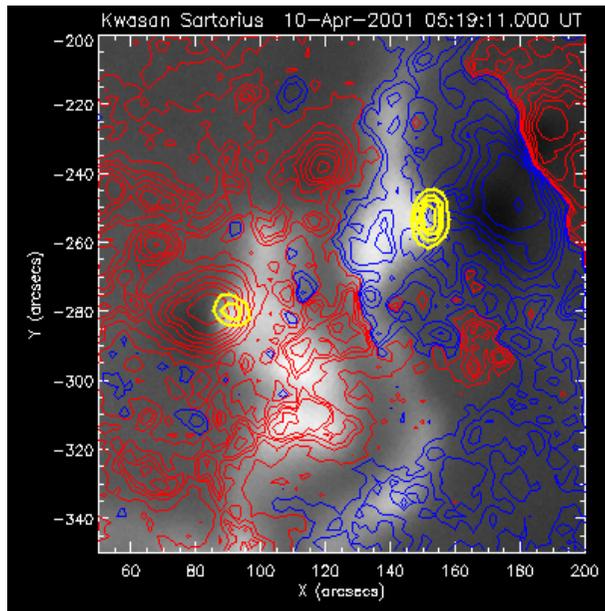
SMART / T3 H-alpha , Continuum

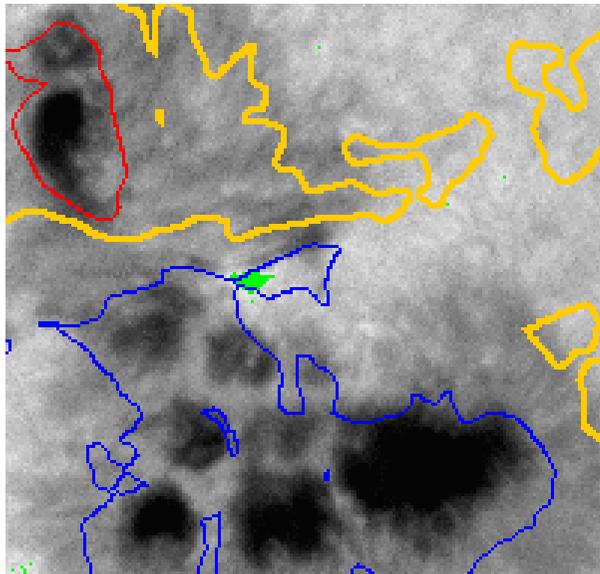
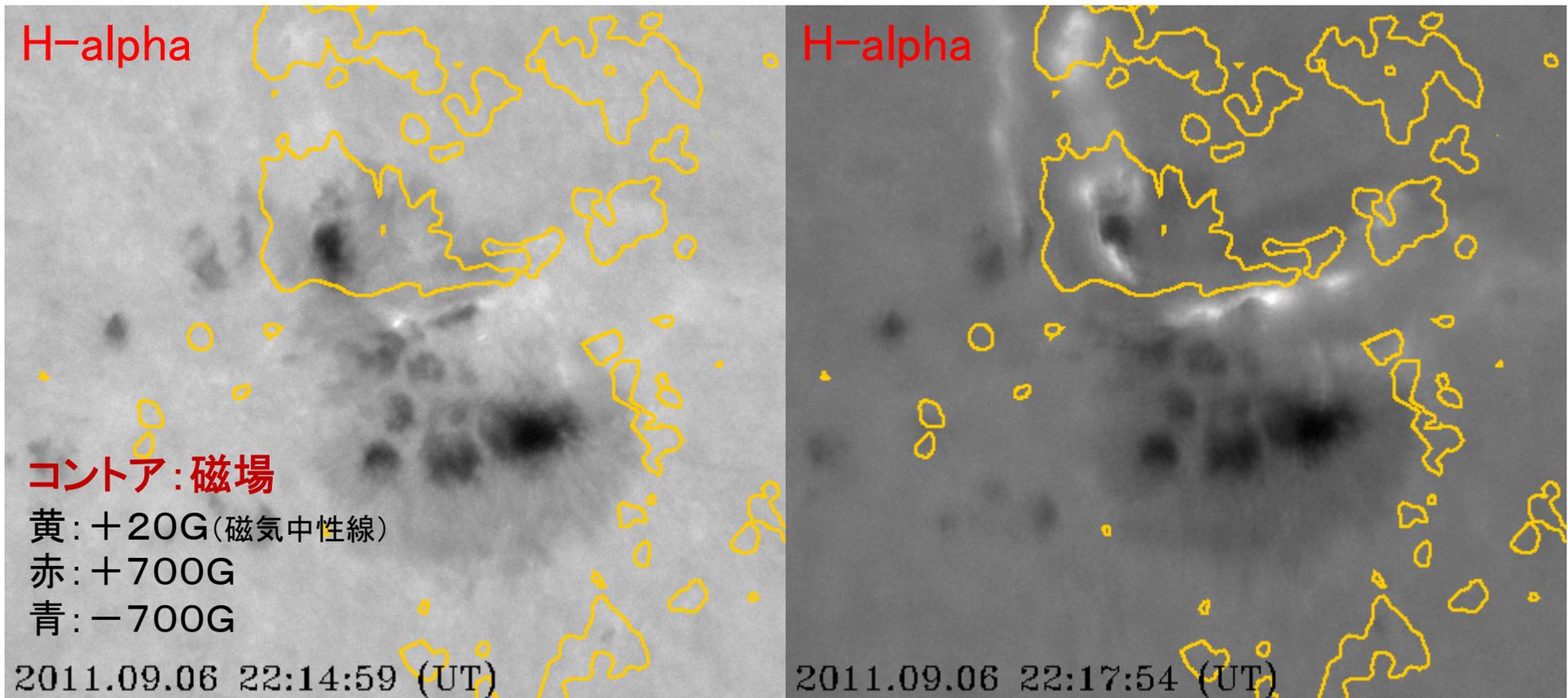
GOES high (0.5-4.0A) , low (1.0-8.0A)



増光場所の推定

- ALMAの観測視野が狭い \leftrightarrow 増光が受かるか?

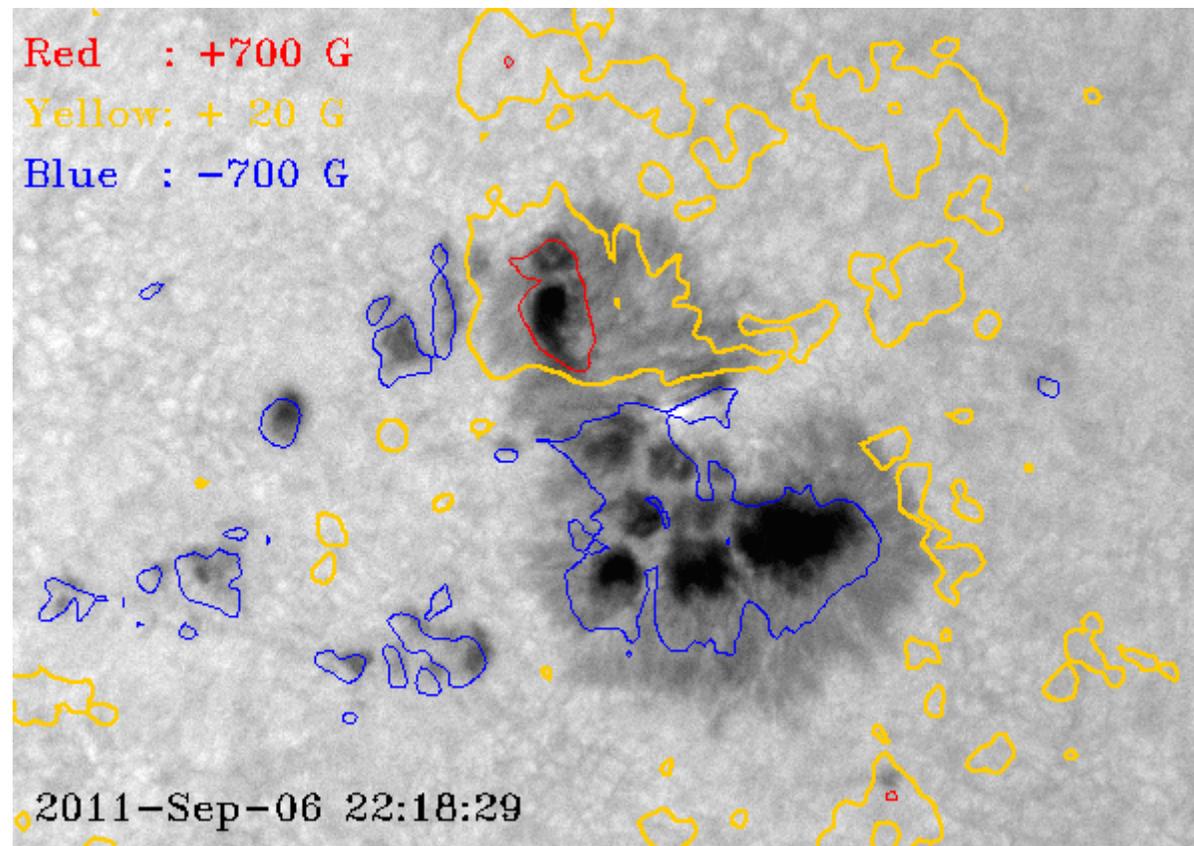




白色光フレアの場所は
負極性のH-alphaのメインのリボン
 (のkernel)に対応

H-alphaのinitial brighteningの場所と
 少しずれる

2011年9月7日(日本時間) X2.1 flare (T3 連続光 + HMI磁場コントラ)



X2.1 flare on Sep. 06, 2011

(SMART / T3 Continuum, HMI magnetic field)

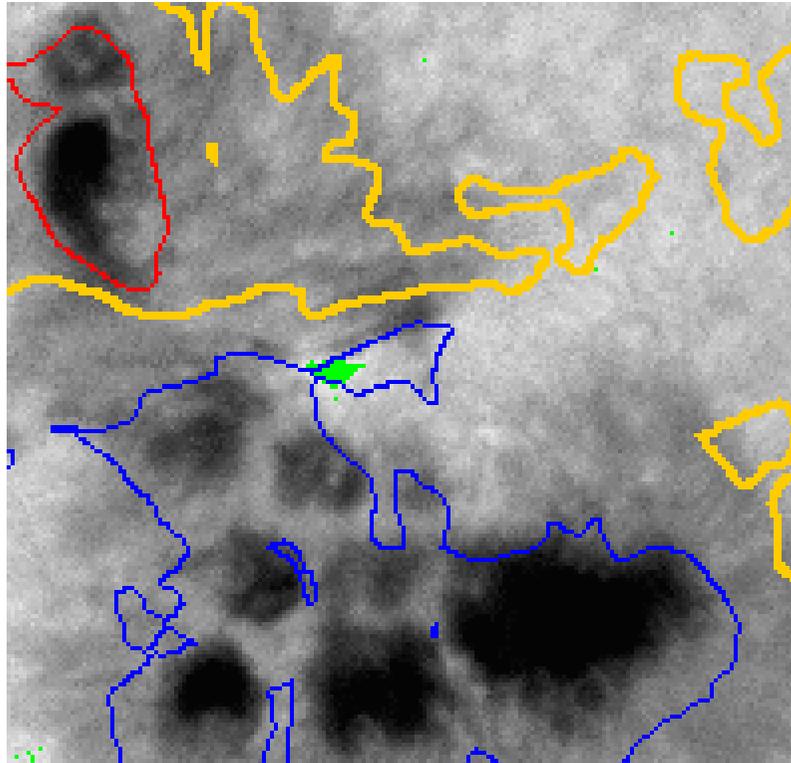
Red : +700G

Yellow: +20 G

Blue : -700 G

Green:

white light flare



トリガーとなった浮上磁場について

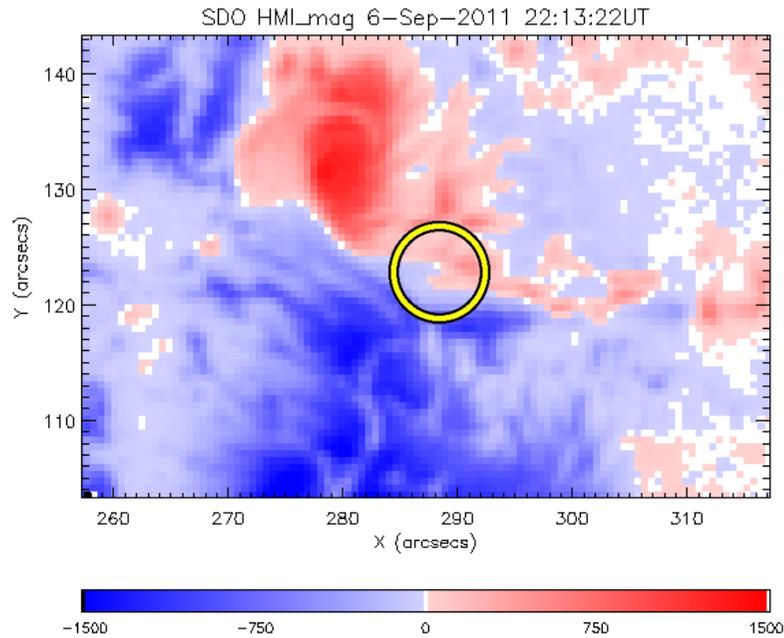


図5 HMI マグネトグラム
(± 15 G 以内は誤差として
0 G となっている)

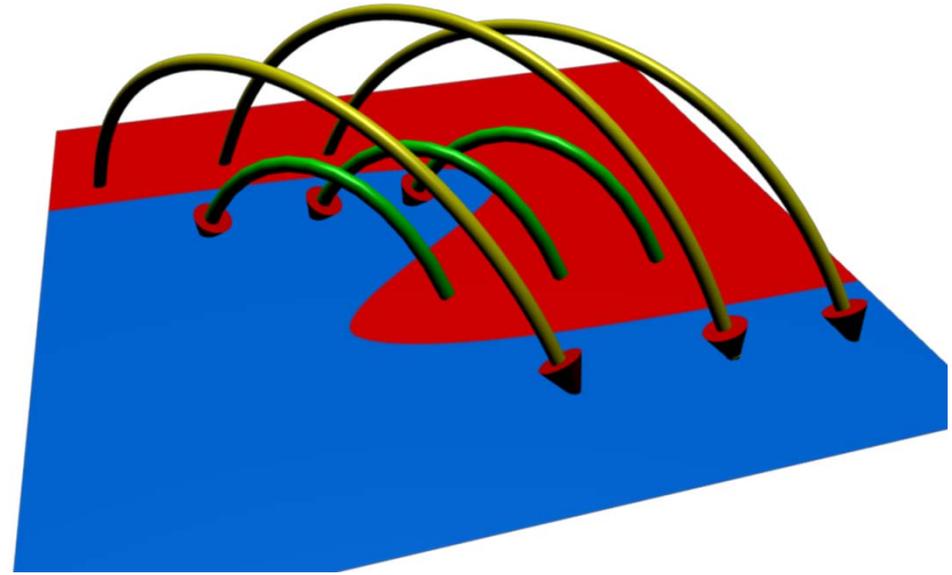
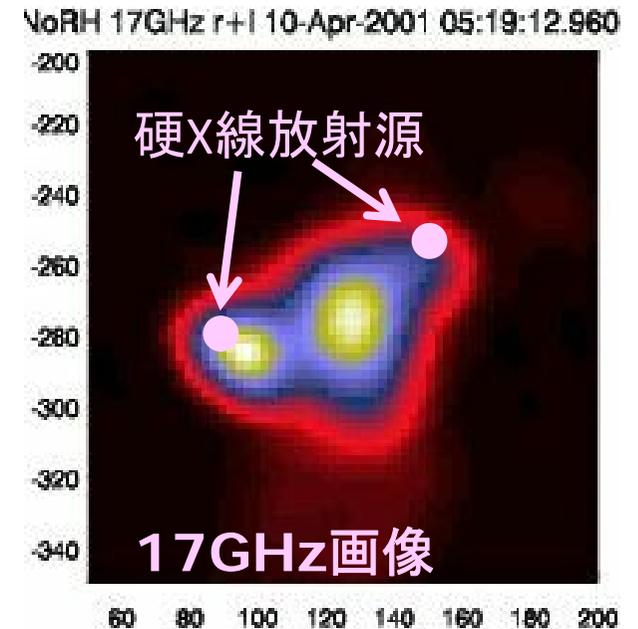


図6 尖った構造付近の
磁力線の予想図

- HMI のマグネトグラムで磁気中性線上に尖った構造が見える → これがトリガーとなった浮上磁場ではないか？
- まだ浮上磁場は観測されていない

まとめ(ALMAでフレアカーネル)

- この周波数帯でそもそも何が見えるのか、検討要
 - どこが光る??
 - 非熱的電子からのジャイロシンクロトロン放射?
 - (フレアのごく初期なら)足元付近が光る?
 - 下層大気加熱による増光?
 - $H\alpha$ カーネルに近い?白色光カーネルに近い?



まとめ(ALMAでフレアカーネル)

- 高い空間分解能
 - カーネルの(最小の)大きさの確認
 - 内部(コア・ハロー)構造の解明
- 時間分解能が必要
- 視野の制限→増光場所の推定が必要(一番アヤシイところ)
- 白色光フレアカーネルの機構解明?
- 低周波側での観測が向いている