

IRIS

彩層-コロナダイナミックスの観点から

磯部洋明

京都大学宇宙総合学研究ユニット

Outline

- アジテーション
- IRIS overview
- “ひので+IRIS+地上”とSolar-C
- A案 vs B案

太陽物理の今後>20年

- 今は太陽物理の黄金時代だ。この分野の若い人は幸せだ
- 太陽物理がうらやましい from 分野外
- という甘言に乗せられては行けない => 若者
 - (若者でないと自覚してる方は、encouragingなことを言って下さい)

- 確かに面白い問題はいっぱいある。が、恋は盲目なのかもしれない
- 「太陽分野の発展のため」とか「この衛星で論文書ける人が何人いるか」とかが動機ではいけない
- 重要で面白い問題があれば、今までと全然違う分野でも(太陽でなくても)取り組むべき

太陽研究の方向性

- 広い意味での太陽圏、人類生存圏を理解する
 - 太陽・太陽系の特殊性が重要
 - 単なる応用ではない。サイエンスとして面白い
 - 精緻化する意義がある(例:宇宙天気・気候)
- 天文学、物理学的普遍性
 - 宇宙プラズマにおける磁場の生成、輸送、散逸
 - 精緻化する意義はあまりない(重箱の隅をつつかないという意味で)

散逸

(磁気リコネクション、粒子加速、
ショック、プラズマ噴出)



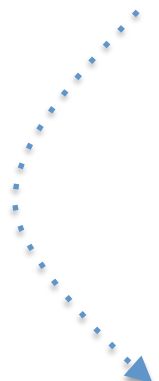
輸送と構造形成

(浮上磁場、波、黒点、プロミネンス)



生成

(ダイナモ)



low beta



重力成層

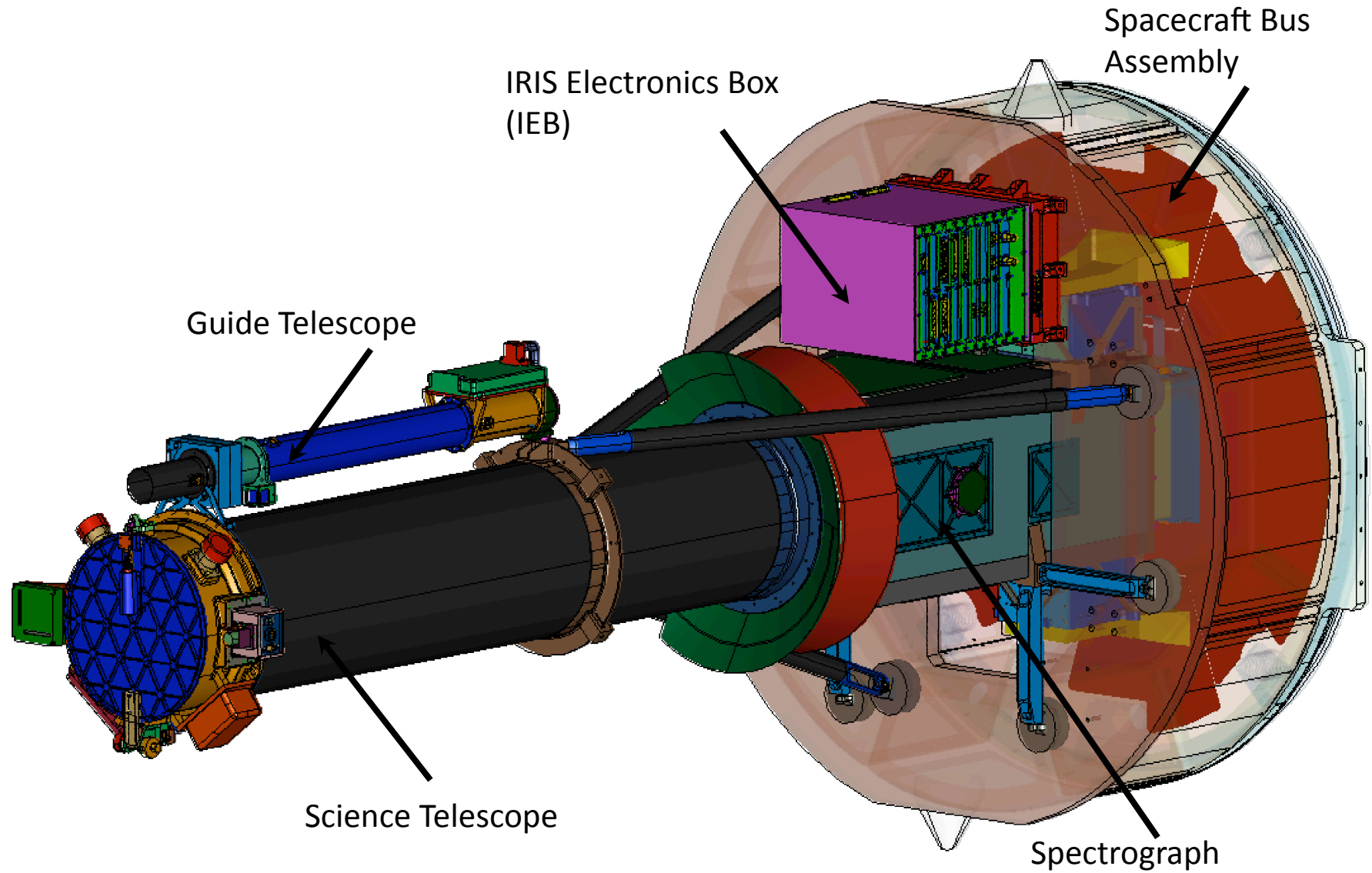
high beta+回転、対流

Interface Region Imaging Spectrograph

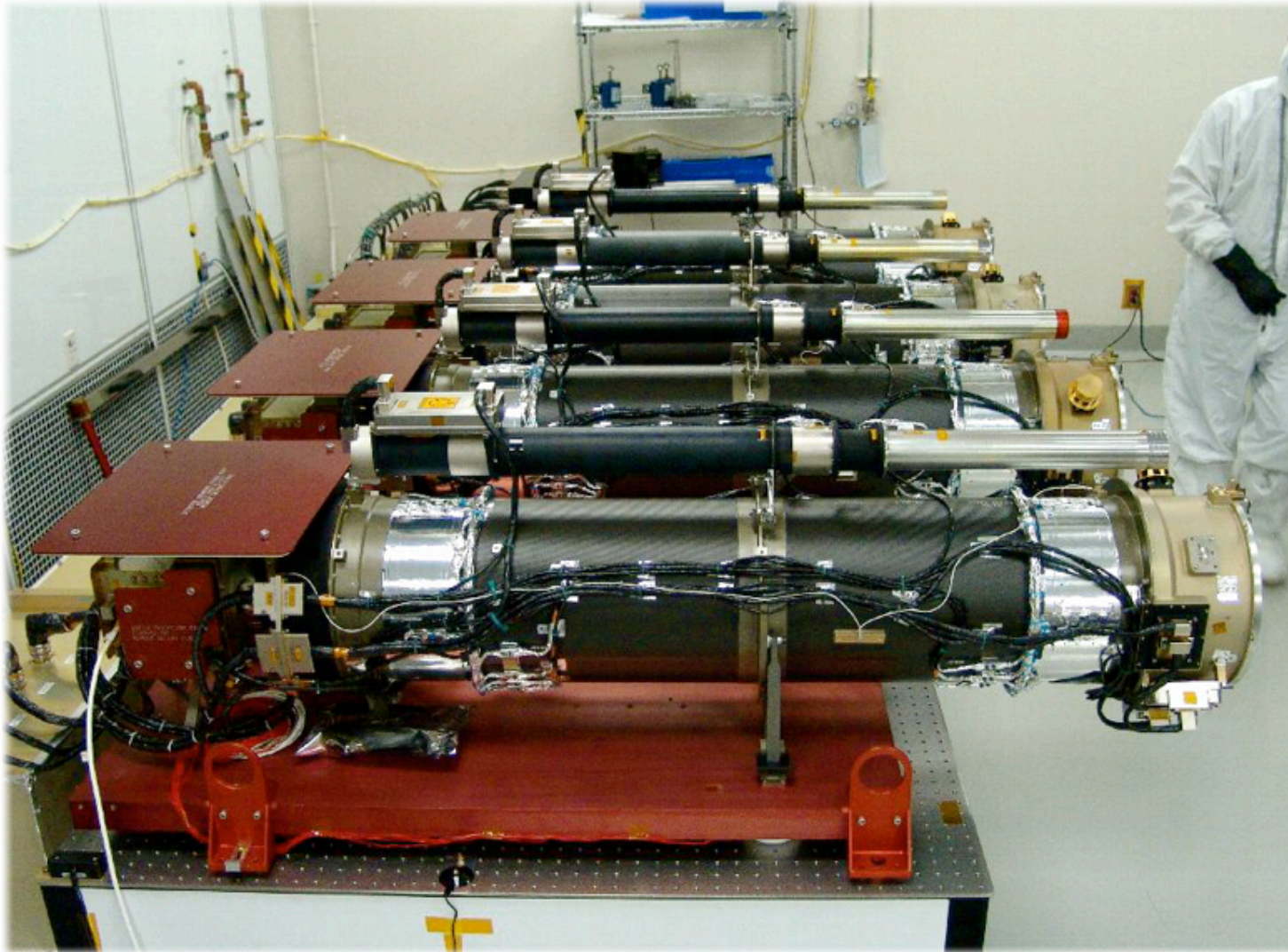
<http://iris.lmsal.com/>

- PI: Alan Title
- 2009年6月、Small Explorer (SMEX)として採択
- 打ち上げ予定2012年12月
- 20cm UV望遠鏡. Far UV (1332-1358Å, 1390-1406Å)とnear UV (2785-2834 Å) で分光観測
- 撮像@MgII K center, wing(バンド幅4Å)、CII, SiIV(バンド幅40Å)
- 偏光観測はなし
- Costs will be capped at \$105 million each, excluding the launch vehicle
- ちなみに同時にSMEXとして採択されたのは”Gravity and Extreme Magnetism”. 中性子星やBH天体のX線偏光観測

IRIS Observatory

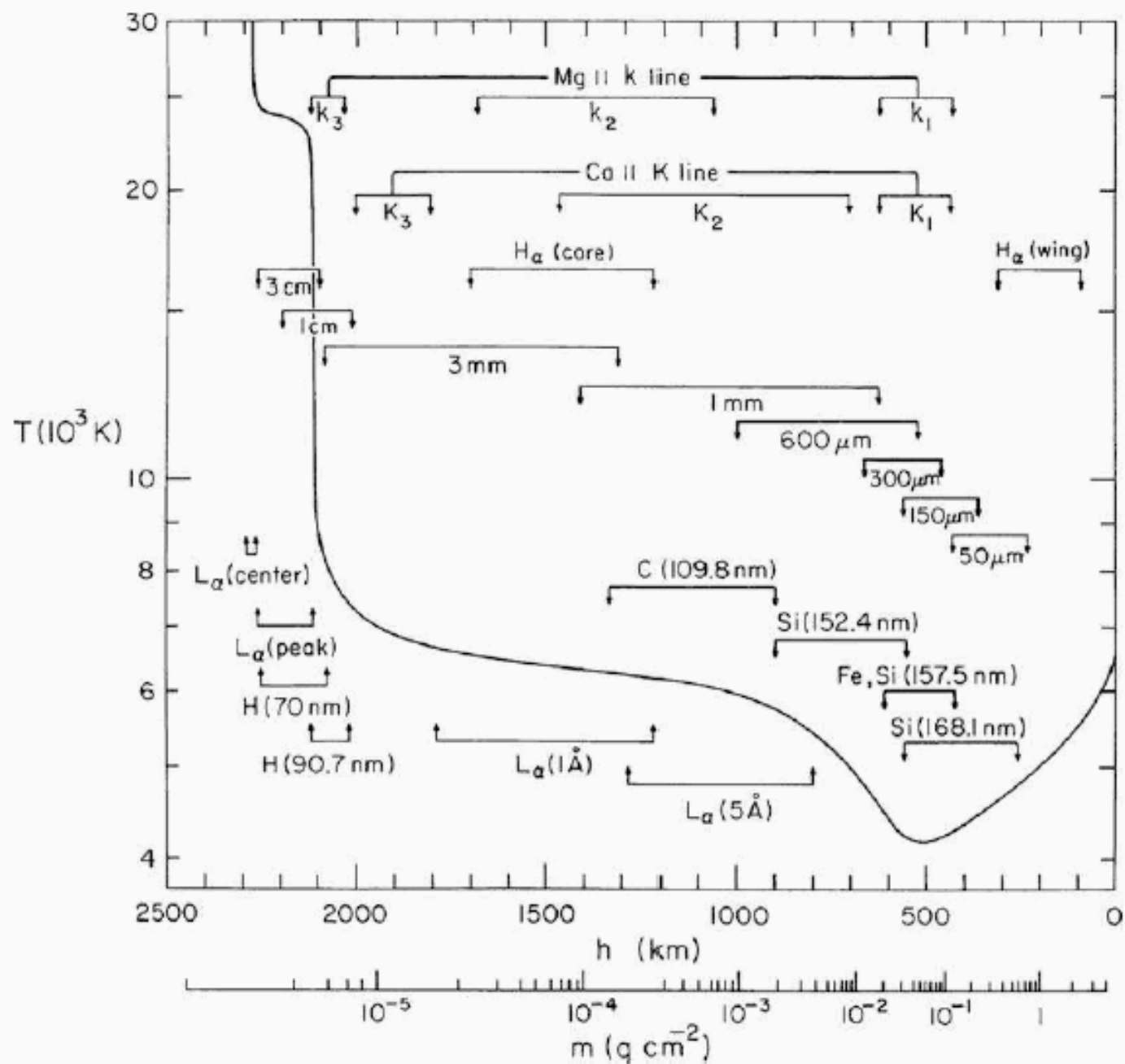


The IRIS telescope is nearly identical to one SDO/AIA telescope

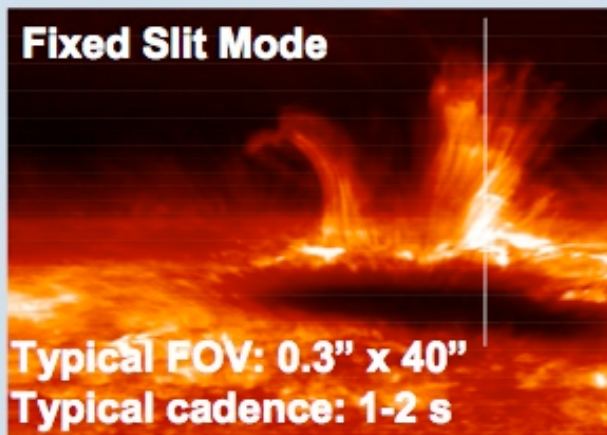


IRIS性能

- 波長域(温度域 $T=4500-10\text{MK}$)
 - FUV 1332-1358Å, 1390-1406Å
 - NUV 2785-2834 Å
- Slit-jaw imaging
 - 狭帯域(4Å band pass): MgII k center 2796Å ($\log T=4$), MgII k wing 2831Å ($\log T=3.7$)
 - 広帯域(40Å band pass): CII 1335Å ($\log T=4.3$), SiIV 1400Å ($\log T=4.8$)
- 口径20cm, 空間分解0.3-0.4" (0.16"/pix)
- FOV $1024^2 \text{ pix}^2 \approx 120\text{Mm}^2$
- 波長分解
 - 40mÅ (w/ $12.5\text{mÅ}/\text{pix}$) = 3km/s @1400Å
 - 80mÅ (w/ $25\text{mÅ}/\text{pix}$) = 3km/s @2800Å
 - Doppler shifts $\approx 0.5\text{km/s}$
- Exposure time 0.1~1s
- Baseline data rate 0.7Mbs
 - 撮像 $384 \times 512 \text{pix}$ @10sec cadence + 分光6 spectral windows @1sec cadenceで24時間観測可能

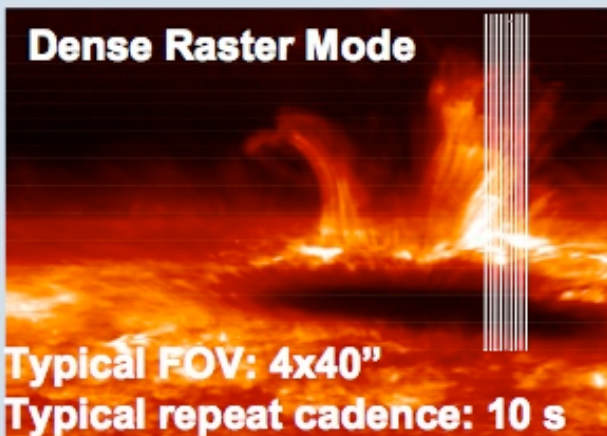


Fixed Slit Mode



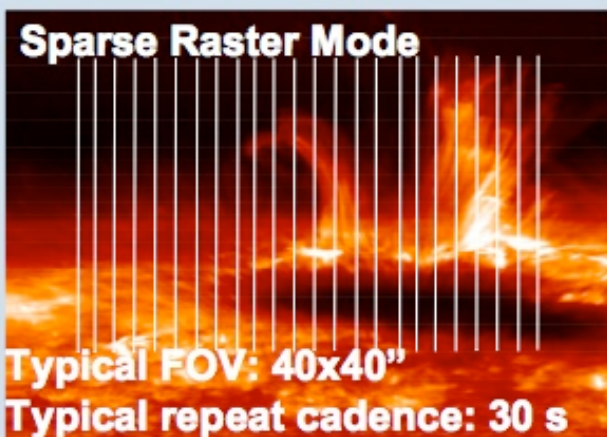
Typical FOV: 0.3" x 40"
Typical cadence: 1-2 s

Dense Raster Mode



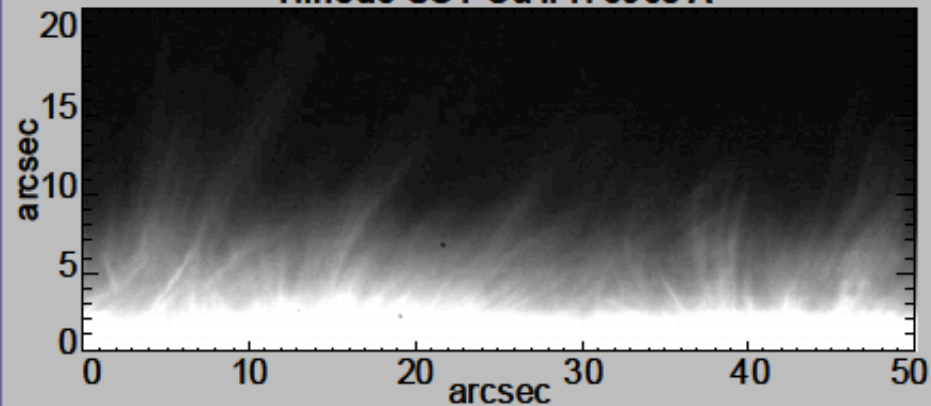
Typical FOV: 4x40"
Typical repeat cadence: 10 s

Sparse Raster Mode

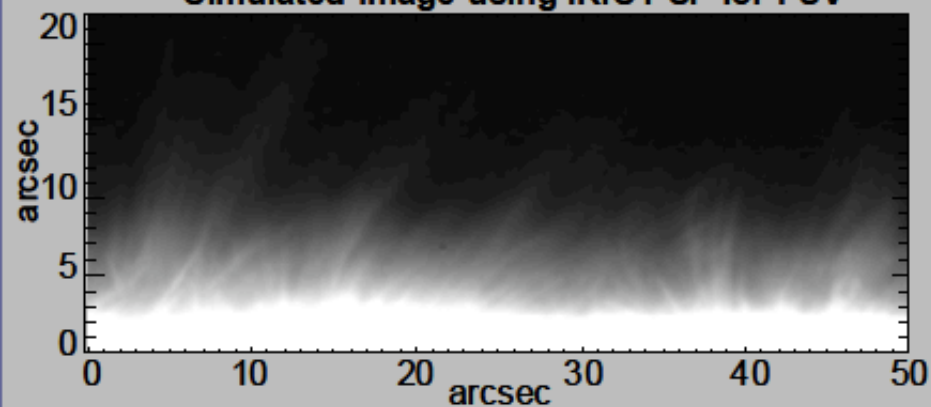


Typical FOV: 40x40"
Typical repeat cadence: 30 s

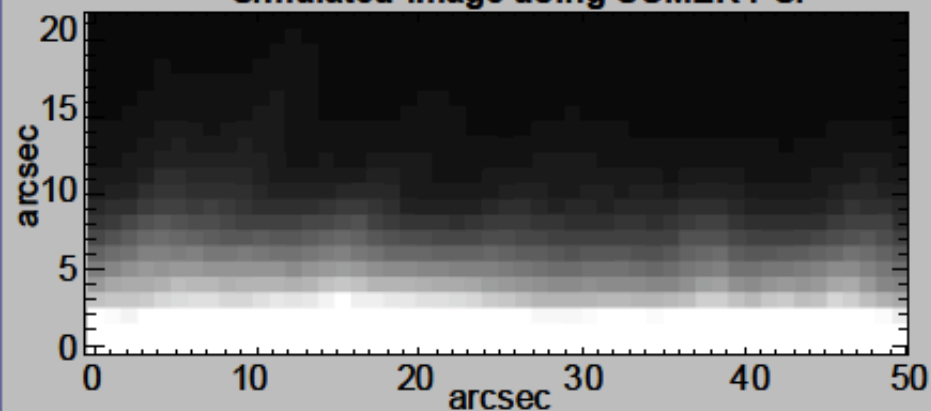
Hinode SOT Ca II H 3968 Å



Simulated image using IRIS PSF for FUV



Simulated image using SUMER PSF



IRIS の観測するライン T=4,500~10MK

Ion Spectrum	λ	$\Delta\lambda$	Log T	Estimated Count Rate (counts/s/line/spatial pixel)			Detector
	Å	mÅ	K	Quiet Sun	Active Region	Flare	
UV Spectra (effective area of 2.8 cm ² for far-UV, 0.3 cm ² for Mg passband, continuum is 1 Å)							
†: Count rates for Mg II wing, h and k are in counts/s/spectral pixel/spatial pixel							
Si I (3P) Cont	1335	12.5	3.7	40	80	---	1
Mg II wing	2820	25	3.7-3.9	2100†	7500†	7500†	3
O I	1356	12.5	3.8	50	100	250	1
Mg II h	2803	25	4.0	870†	3400†	13000†	3
Mg II k	2796	25	4.0	1100†	4500†	10000†	3
C II	1335	12.5	4.3	540	1970	22000	1
C II	1336	12.5	4.3	500	1780	20000	1
Si IV	1403	12.5	4.8	400	1000	1e6	2
Si IV	1394	12.5	4.8	640	2200	3e6	2
O IV	1401	12.5	5.2	65	116	2e5	2
O IV	1400	12.5	5.2	25	60	1e5	2
Fe XII	1349	12.5	6.2	30	50	500	1
Fe XXI	1354	12.5	7.0	10	40	4e4	1
UV Slit-Jaw Images				Estimated Count Rate (counts/s/pixel)			
Effective area 0.005 cm ² with 5 Å FWHM filter for Mg II; 0.7 cm ² with 40 Å FWHM for far-UV.							
Mg II wing	2816		3.7-3.9	1500	3500	3500	4
Mg II k	2796		4.0	750	3500	8500	4
C II	1335		4.3	400	1300	13000	4
Si IV	1400		4.8	300	1200	2e5	4

IRIS science goals

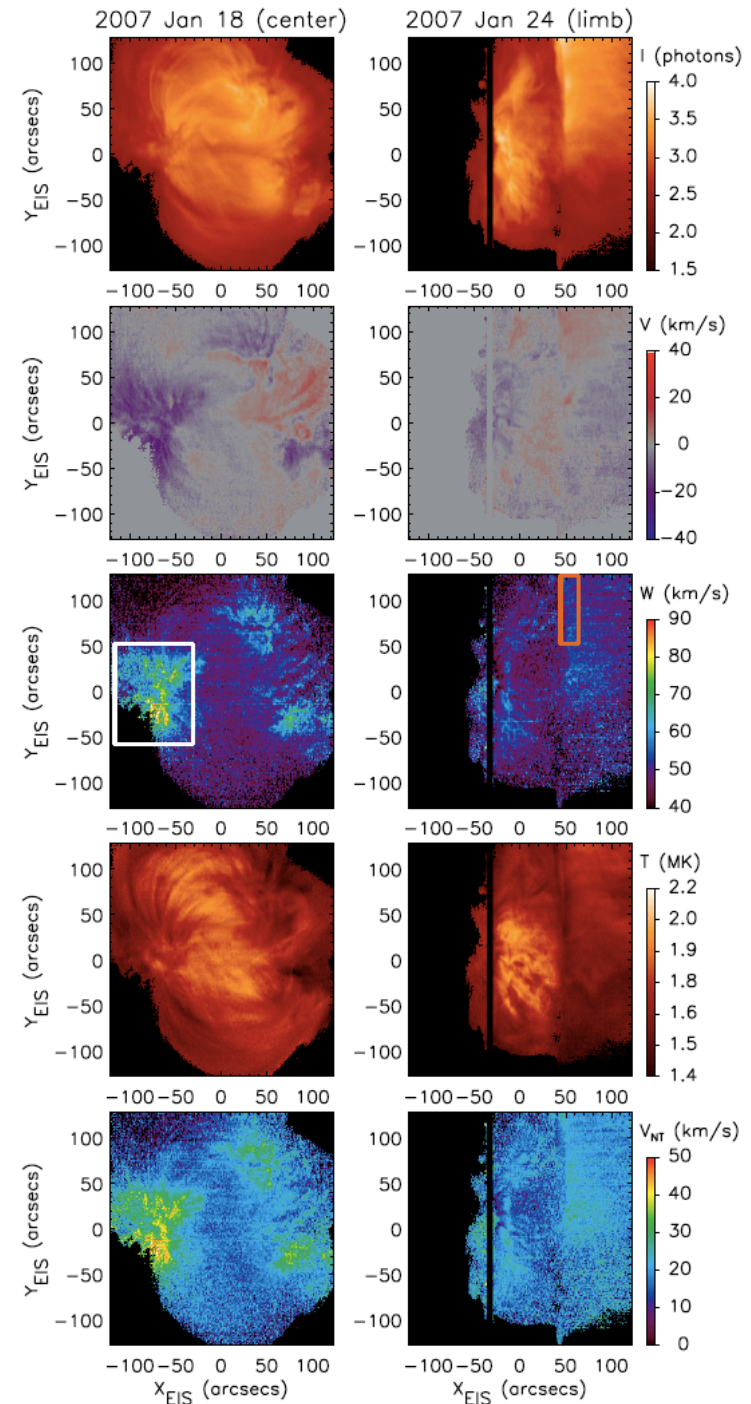
(HPその他の資料に書いてある通り)

1. Which types of non-thermal energy dominate in the chromosphere and beyond?
2. How does the chromosphere regulate mass and energy supply to corona and heliosphere?
3. How do magnetic flux and matter rise through the lower atmosphere, and what role does flux emergence play in flares and mass ejections?

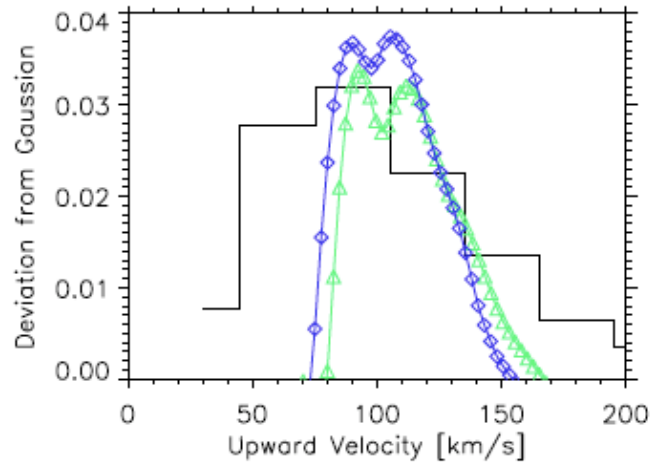
ひので=>IRISの流れ

ループ足下でupflowと非熱幅増大。
リムでは見えない(Hara+08)

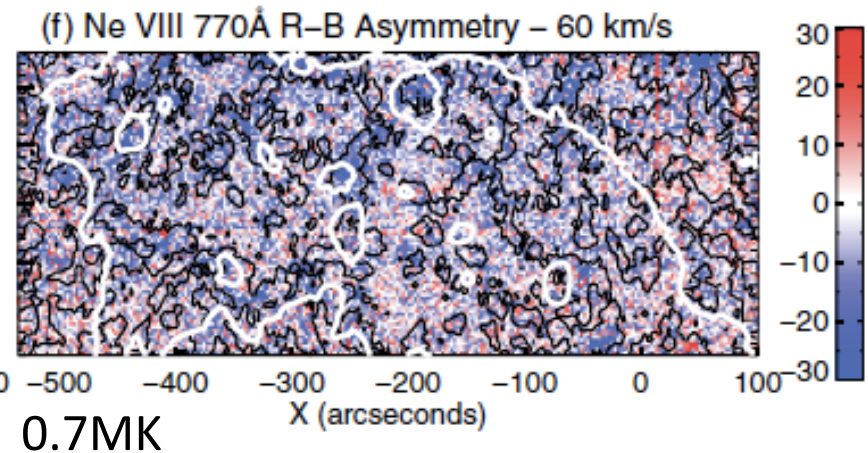
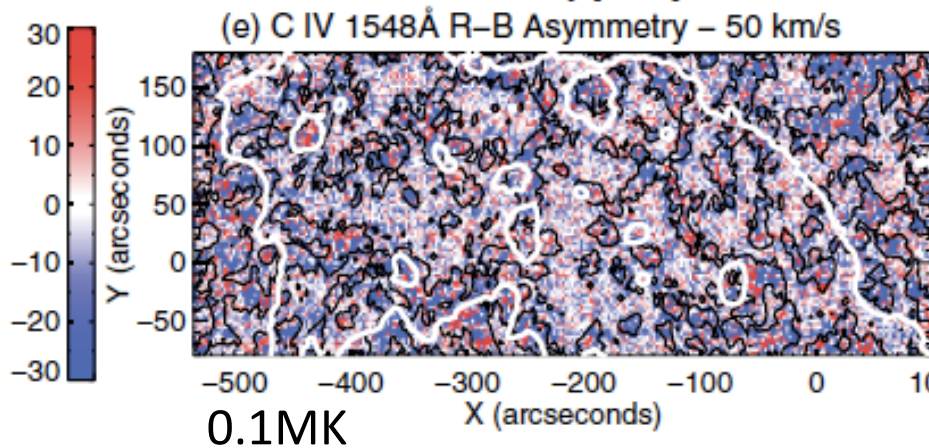
足下で加熱？



ひので => IRISの流れ



速い(>50km/s)スピキュール@ 10^4K



0.1MK, 0.7MKの遷移層でも同程度のupflow. 速いスピキュールと co-spatial (De Pontieu+ 09)

彩層・遷移層・コロナ結合 = > IRIS

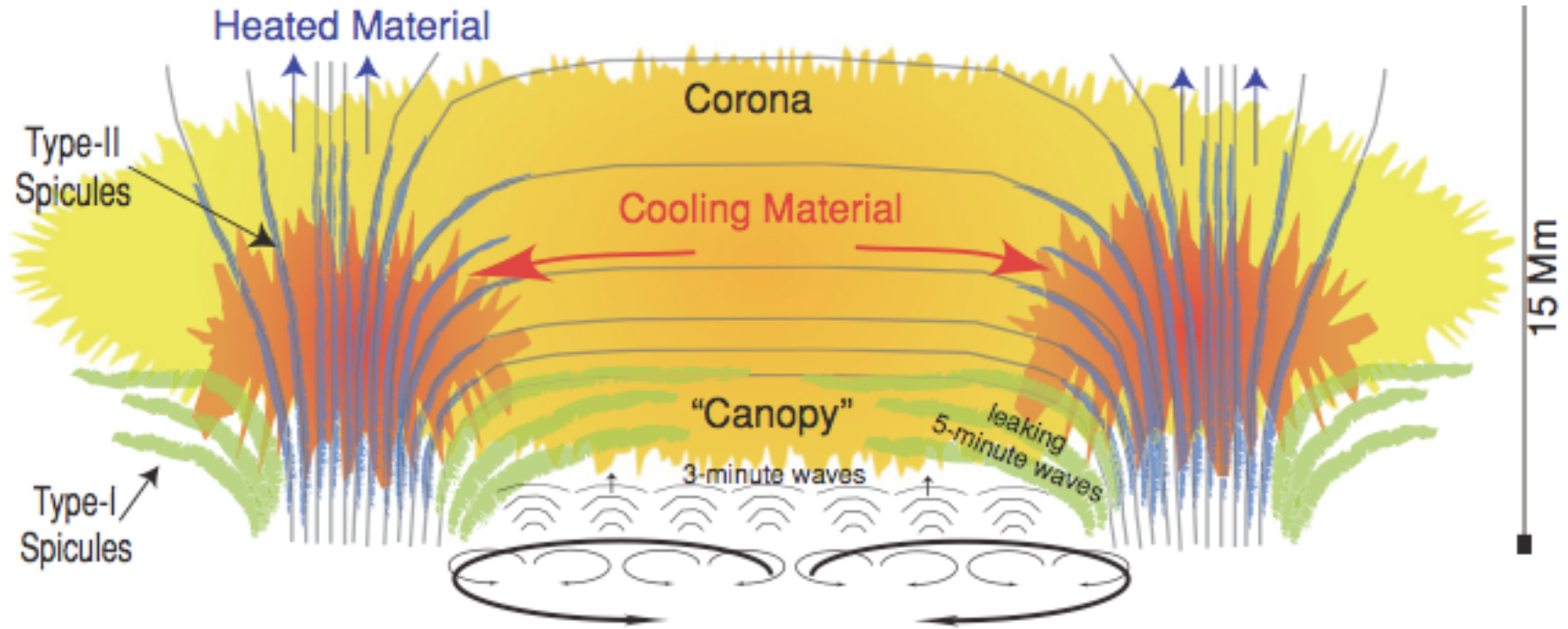


Figure 15. Conceptual view of TR emission in network and inter-network.

McIntosh & De Pontieu 09

IRIS: Timely and Unique

- Now for the first time there are 3D numerical simulations of how the entire outer atmosphere responds to the surface evolution of the magnetic field.
- The spectral signatures provided by these models allow determination of the energy transport processes.
- IRIS has the necessary spatial and temporal resolution to characterize the phenomena we now know exist. It has 20x times the temporal resolution and 25x the spatial resolution of any current UV/EUV spectrometer.
- IRIS bridges the gap between the measurements of HINODE and SDO.

数値シミュレーションを観測と並んだプロジェクトの両輪の一つと位置づけている
中心メンバーはオスロ+ロッキード

ITA/UiO simulation of the response of the chromosphere & corona to photospheric magnetic fields

Numerical Simulation courtesy of Mats Carlsson & Viggo Hansteen

Advancing Chromospheric Modeling Workshop

- IRISに向けたモデリングのワークショップ
- 第1回 2009年10月@Monterey
- MHD
 - Oslo (Carlsson, Hansteen, Martinez-Sykora), Cheung/Rempel(MuRAM), Steiner, Abbett, Isobe
- Diagnostics
 - Oslo, Uitenbroek
- Kinetic
 - Nordlund
- LMSAL team
 - Title, Schrijver, De Pontieu, Cheung, Tarbell, Shine, Lemen, Hurlburt
- Others
 - van Ballegooijen, Lites, McIntosh, Yamada, Doschek, Davila...
- 今後3/4年に1回程度開催予定

ワークショップでの議論

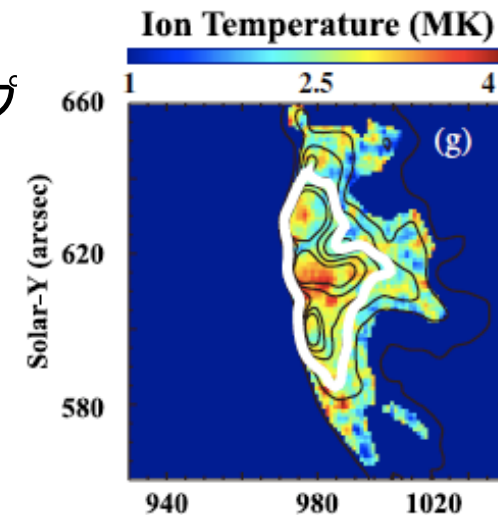
- 3次元non-LTE輻射輸送MHD=>彩層観測との直接比較 (Oslo)
- MHD部、輻射部共にまだ問題は多い
 - 観測したスペクトルと全然合わない(H-alphaなど)
 - 512^3 と 256^3 で全然結果が違う(ジェットが出たり出なかったり)
- “Idealized model”との相補関係が重要
 - e.g., 弱電離効果、大局的モデル
- ベンチマーク(磁気対流、リコネクションなど)問題でコードの比較が必要という見解は一致
 - 一つのコードの中での比較(e.g.,輻射輸送の有無)もまだできていない
- ボトルネックは人材不足だなあ、、、という見解も各国で一致

コロナ加熱 by ひので+IRIS+地上

- エネルギー輸送(波動or DC的)と散逸の高さは分かりそう(工夫すれば)
- 加熱の空間分布(XRT, EIS)
 - (低周波)アルフベン波=>uniform (Antolin+08)
 - ループ全体でリコネクション=>uniform
 - 彩層~下部コロナでリコネクション=>footpoint
- 加熱イベントの頻度分布(XRT)
 - power-law indexと加熱メカニズム(Antolin+08)
- 波動、flowの伝搬(EIS,IRIS,SOT)
- 光球磁場、対流運動との相関(SOT、地上)
 - Katsukawa & Tsuneta (2005)
 - 光球で発生する擾乱のパワーとスペクトル(Matsumoto)
- 彩層、コロナ磁場を精度よく測ることができればそれに越したことはない。
が、essentialではない気がする
 - 磁場の方向は筋模様で、磁場強度は磁束管の広がりで大体分かる

散逸メカニズム

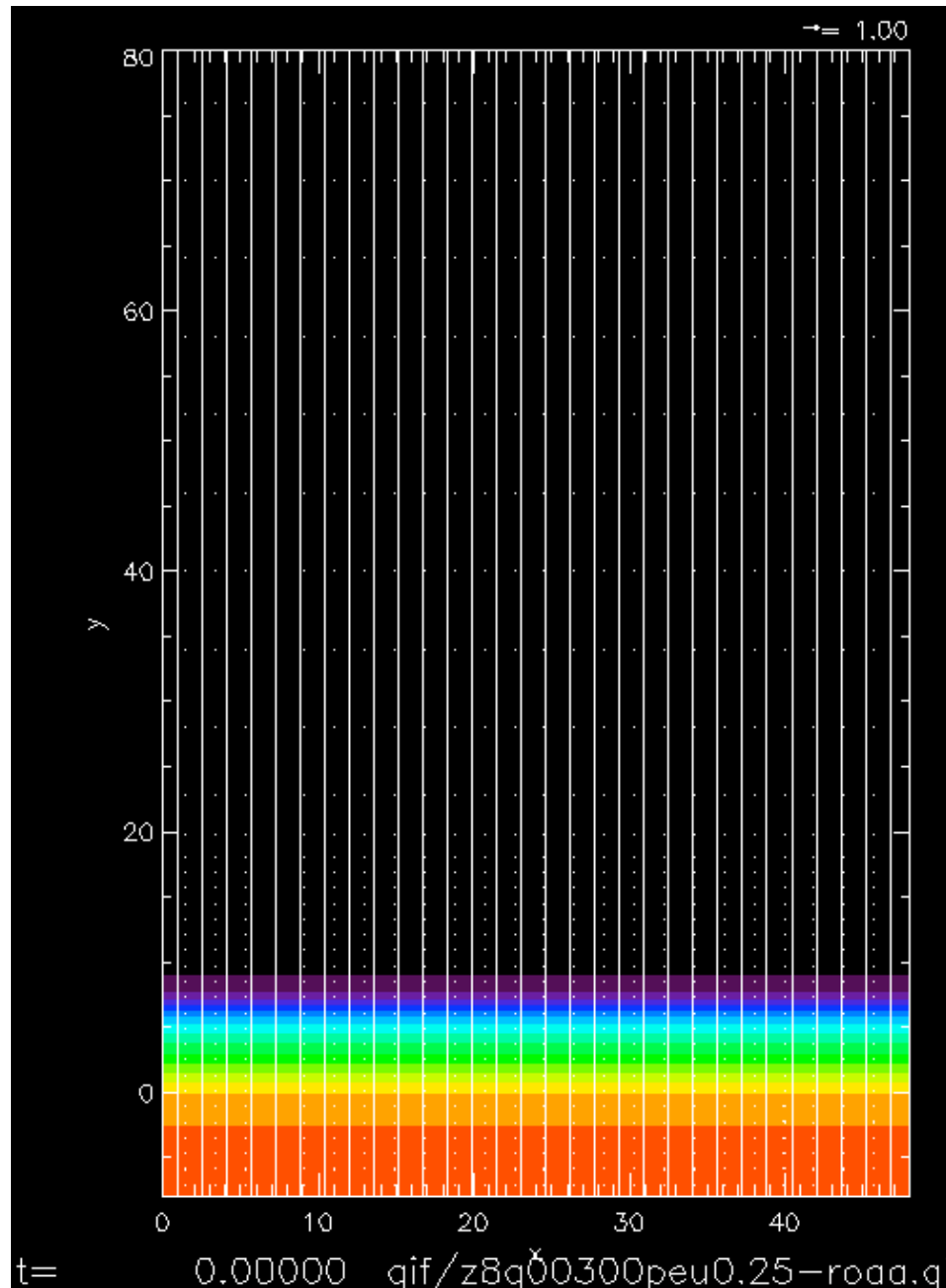
- コロナでの散逸スケール ($\sim 1\text{m}$)を直接見るのはムリ
- イオン温度と電子温度を測ることで加熱(粒子の熱化プロセス)に制限がつけられる
 - ジュール加熱: まず電子が加熱
 - ショック加熱: まずイオンが加熱? (cf. 磁気圏)
 - イオンサイクロトロン共鳴: 重イオンの選択的加熱
- EISでもできる。ただし緩和時間が短い(10-100s)ので、高感度のSolar-C/UV EUV望遠鏡が有利。



Imada+09

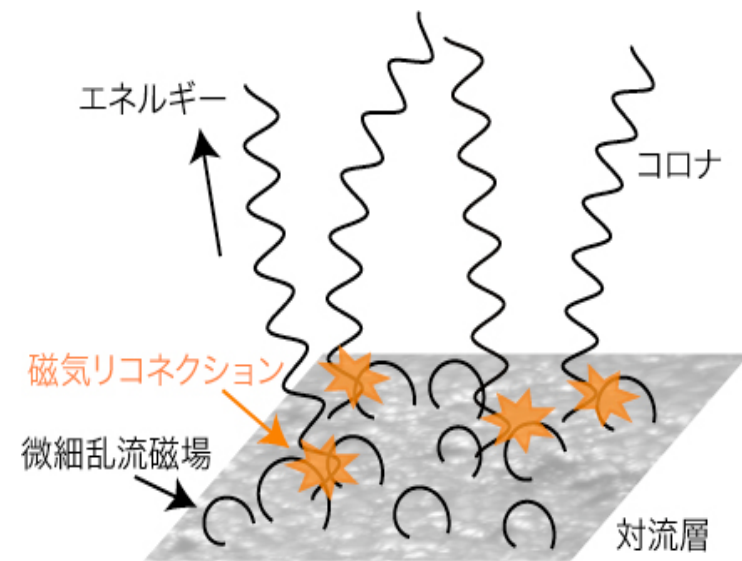
- 一般的なコメント: 「分解されてない構造があるからもっと空間分解が必要」というのは危険。マクロスケールから散逸スケール(ミクロスケール)までが乱流でつながっているとすれば、慣性領域をいくら細かく見ても本質は変わらない。
- そうは言っても今までみたことない領域を見ればいつも発見はあった
- 多波長(SOT-EIS-XRT)で同程度の分解能で観測する意義はある

水平／乱流磁場が効いているとしたら、彩層磁場を測る必要あり
(地上でも可?)



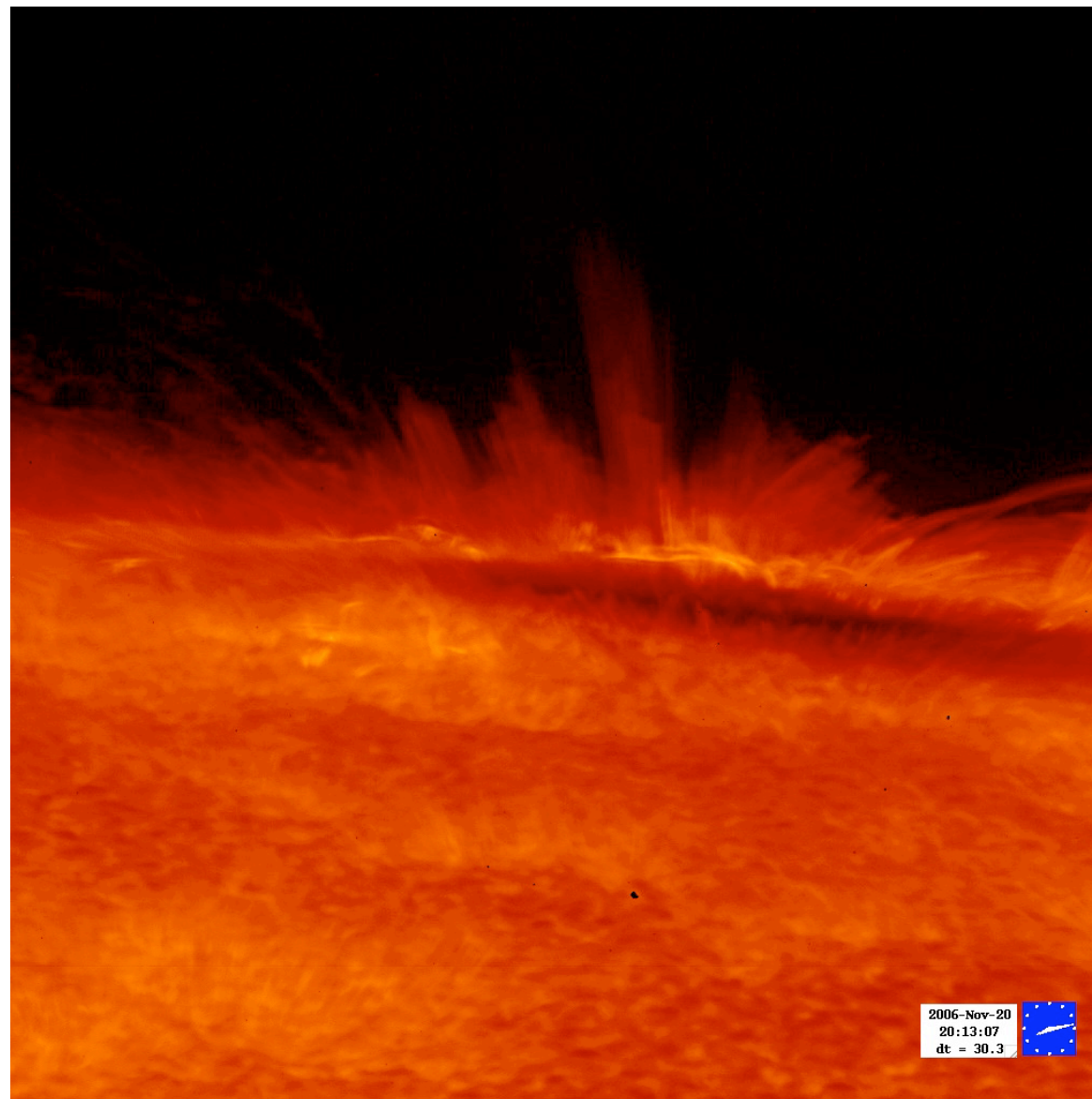
Energy loss (erg cm ⁻² s ⁻¹)	Quiet Sun	Active region
Corona	3×10^5	10^7
Chromosphere	4×10^6	2×10^7
Magnetic energy supplied by THMFs	Quiet Sun $\sim 2 \times 10^6$	Plage region $\sim 5 \times 10^6$

Ishikawa & Tsuneta 09

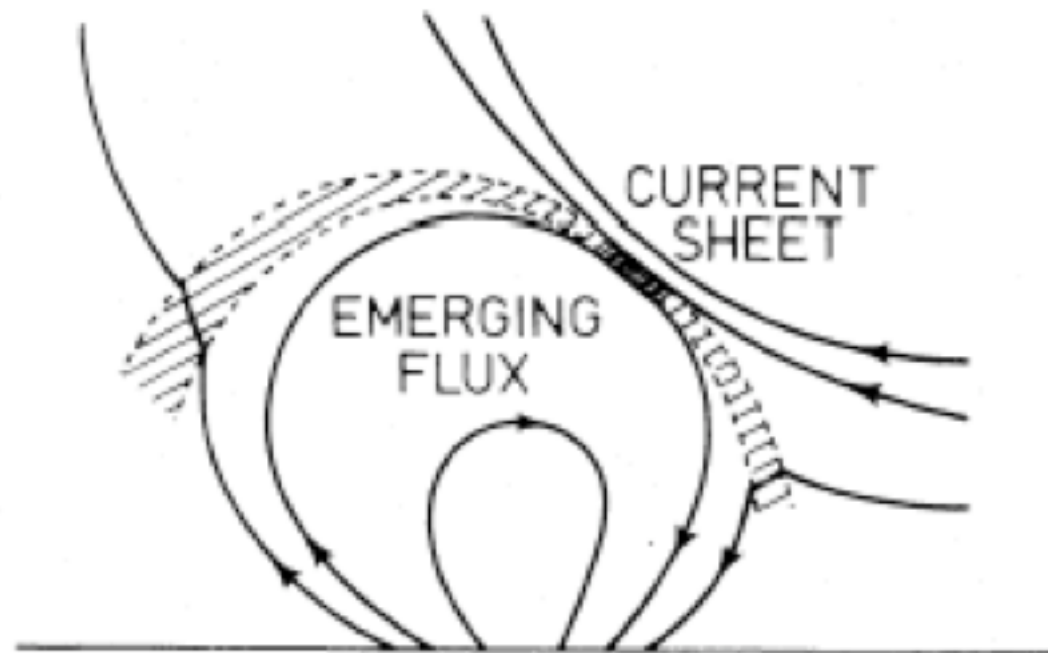


Isobe+08

ひのでで発見された彩層の驚くべき活動性というやつ



これ以上の何が知りたいのか？



Heyvaerts, Priest, & Rust 1977

Can chromo-reconnection produces tall jet?

Available magnetic energy $B^2/8\pi \approx \rho gh$ (potential energy)

$$\Rightarrow h \approx (B^2/8\pi) / \rho g$$

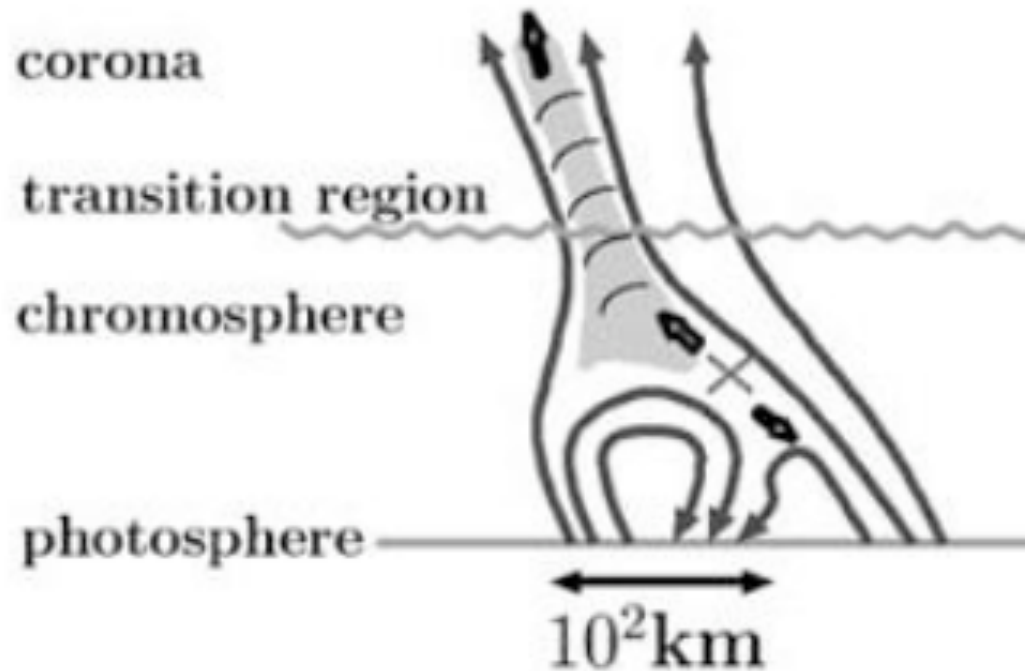
$$\approx (B^2/8\pi) / \rho RT * (RT/g)$$

$$= H/\beta \quad (H: \text{scale height}, \beta: \text{plasma beta})$$

- If $\beta \approx 1$, reconnection jet (or any magnetic driver) can ascend only $H \approx 300$ km.
- Need a clever way to accelerate only part of plasma.

Reconnection => wave => acceleration?

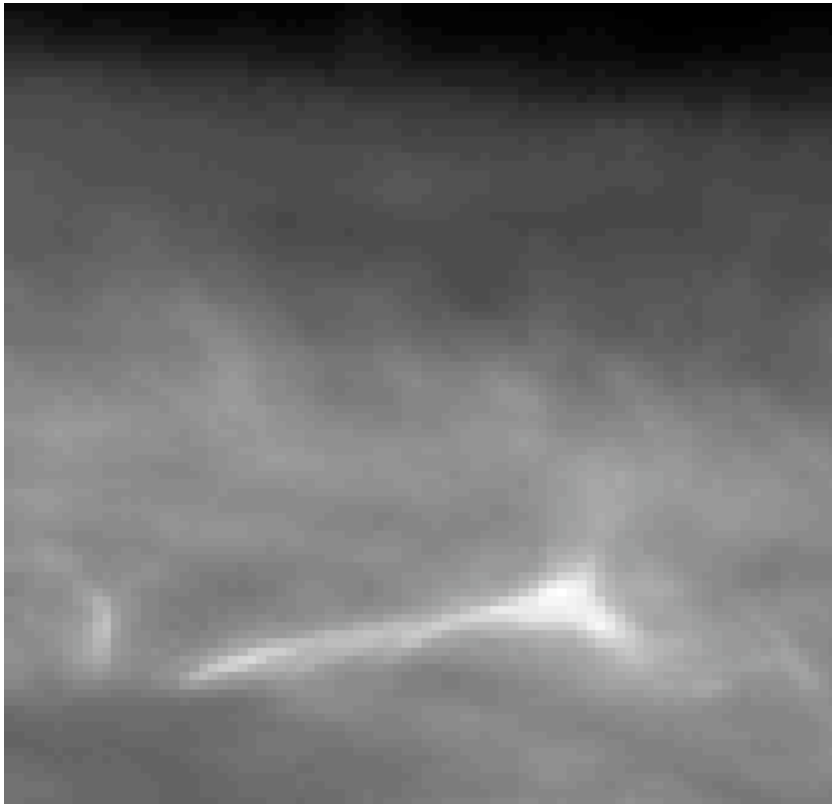
Shibata+ 07



ショック伝搬、ジェットの加速、遷移層・コロナへの影響はひので+IRIS+地上でかなり分かるのではないか。

IRISではできないchallengingな課題： 散逸メカニズム=リコネクション

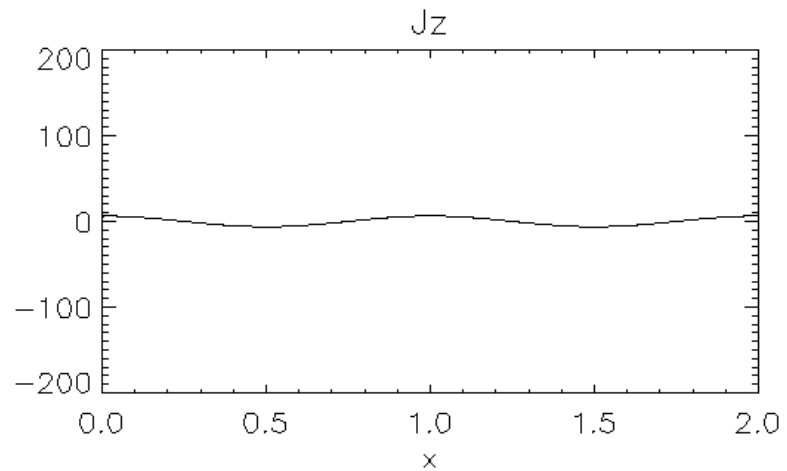
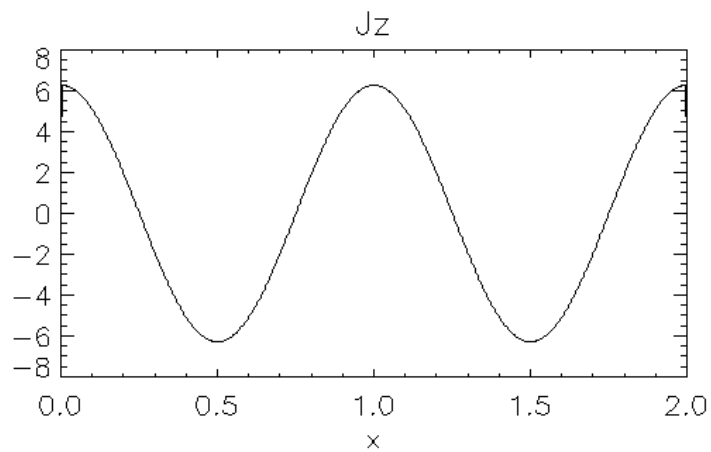
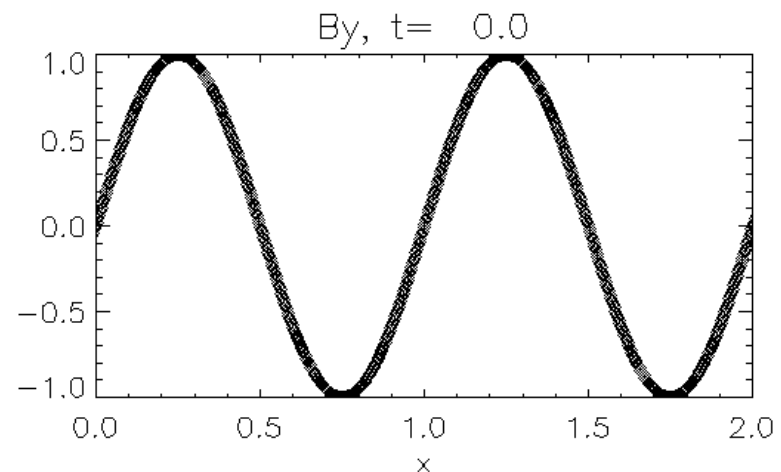
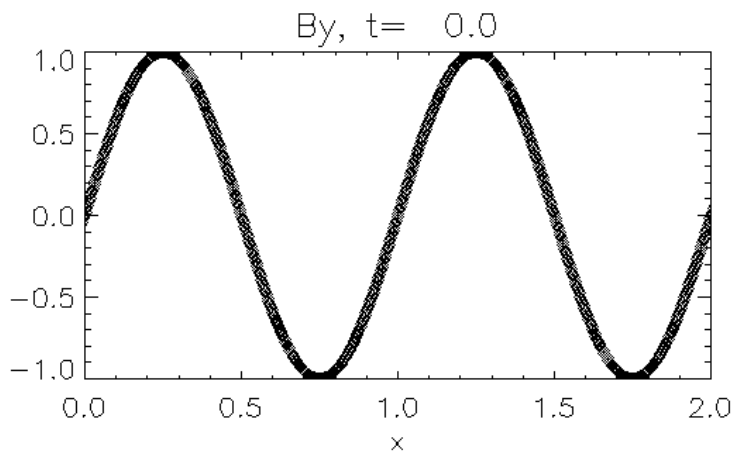
- 彩層は完全衝突、弱電離。コロナのように速いリコネクションが起こるか？
- 弱電離プラズマの磁場散逸は星・惑星形成領域の磁場散逸、MRIの飽和過程などでも重要。天文学的意義。



リコネクションは速くbursty (Singh+ in prep)

Ambipolar 拡散は電流シートを薄くする(Brandenburg & Zweibel 1994)

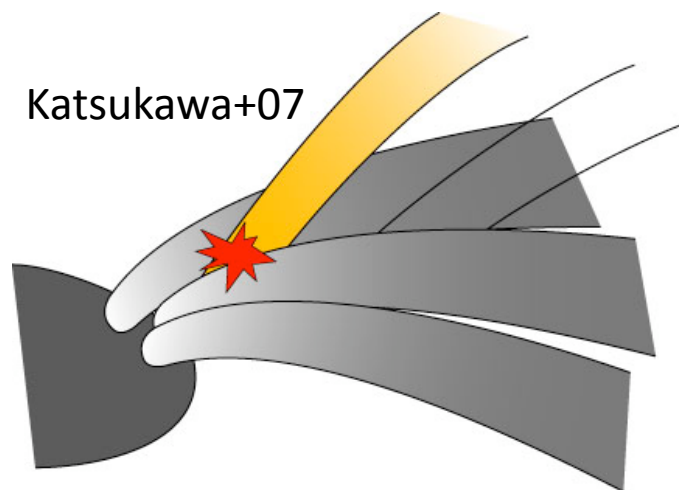
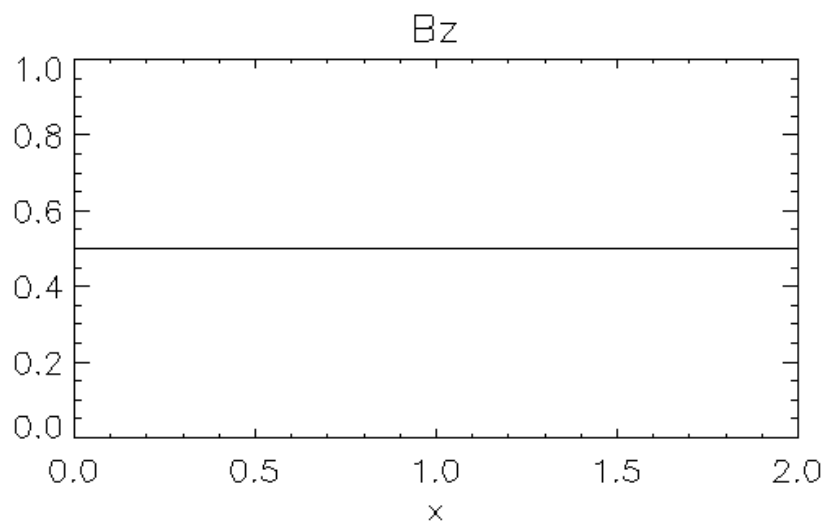
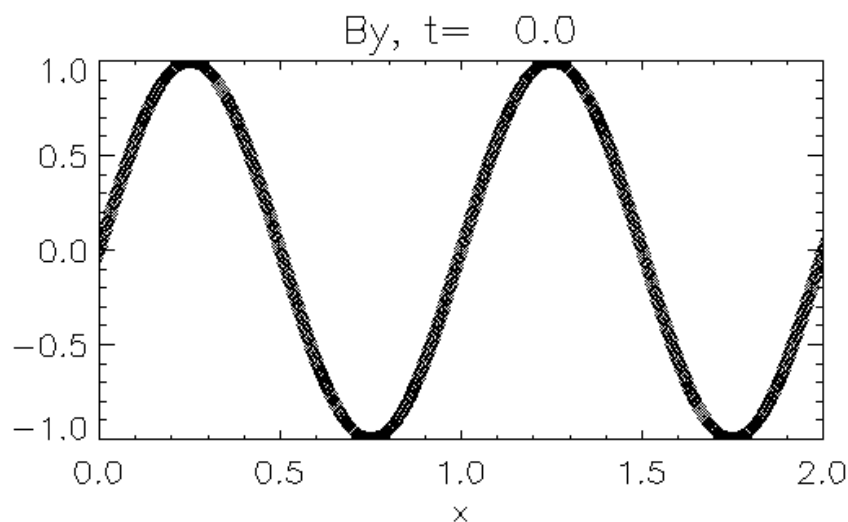
$$\frac{\partial B}{\partial t} = \nabla \times \left[V \times B - \frac{J \times B}{en_e} + \frac{J \times B \times B}{cV_{ni}\rho_n} - \frac{4\pi\eta}{c} J \right]$$



通常の拡散のみ

ambipolar 拡散のみ

縦磁場のある場合... thinningがあまり効かない



縦磁場が強くてもしリコネクションが効率的であれば、半暗部のinterlocking-comb構造はすぐ消える？

反平行に近い場合(アネモネ)
=>ambipolarで薄くなり、すぐテアリング不安定

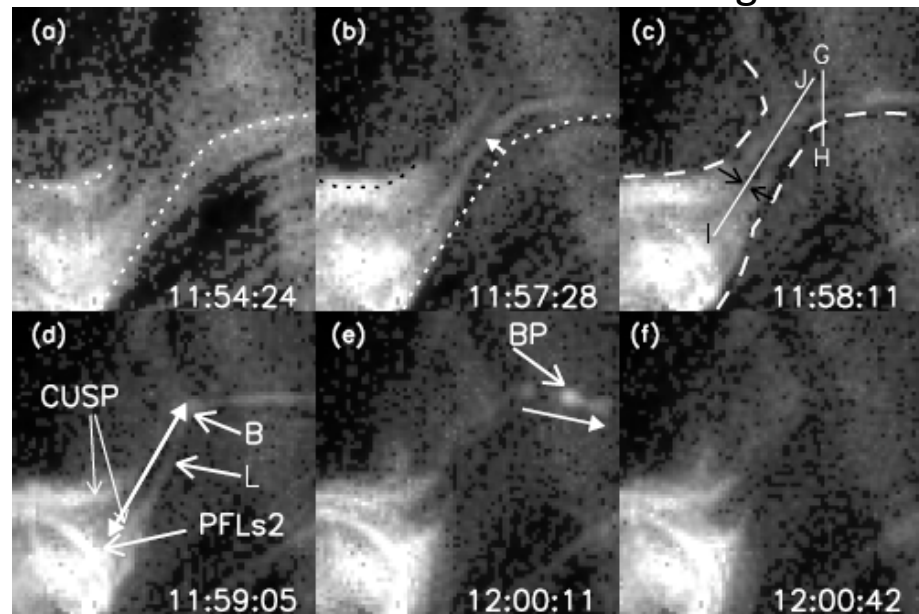
ほぼ平行の場合(半暗部)
=>あまり薄くならずテアリングの成長が遅い

コロナのリコネクション

- ひのでに期待
 - インフロー(リコネクション率)、アウトフロー
 - スローショック、ファーストショック

- Solar-Cに期待
 - 拡散領域の構造(Petschek型か、乱流+SweetParker型か)
 - スケール間結合の探査(乱流、プラズモイド、時間変動)

Li & Zhang 2009



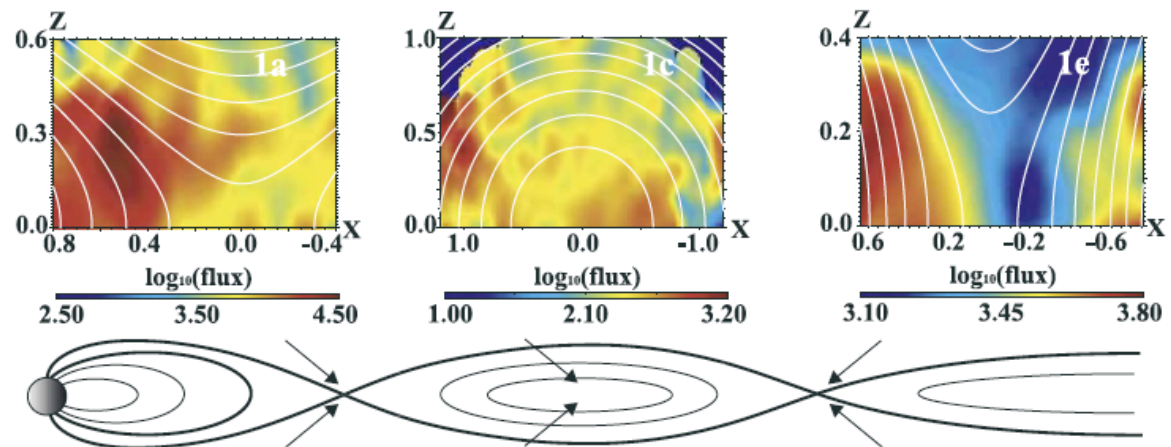
この空間／時間分解能で分光を

粒子加速 by Solar-C

- 高エネルギー粒子を見るばかりが粒子加速の研究ではない
- 加速される現場の環境
 - ショック、リコネクション
- 加速がある場合とない場合の比較
 - 彩層は衝突が多いのでムリ
 - 遷移層は？ 静穏領域は？
- そうはいつでも加速粒子が全く見えないでは困る
 - photon counting X線望遠鏡
 - EUV分光(He様イオン)による診断
 - 彩層、地上、電波etc

磁気圏尾部の高エネルギー電子分布(Imada+05)

これをぜひ太陽で。

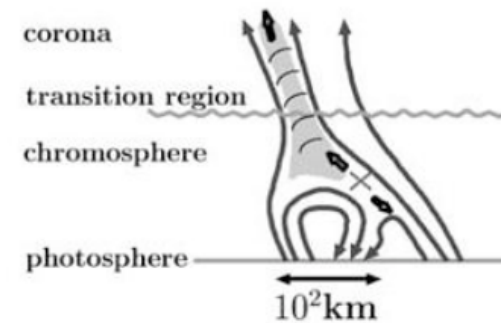


Plan A vs Plan B

- 今どちらか一方のみを選べと言われたら、A。
- 理由：新しく面白くてchallengingだから。
- A案的ミッションをやらないという選択肢はないと思う。

Plan B: これができたら数百億円の価値があると思う
(IRIS+地上では不可or非常に困難)

- 磁気リコネクション率をプラズマ物理量の関数として測る
 - 宇宙プラズマの基礎
 - key: 彩層磁場計測
- 拡散領域の探査
 - 乱流、ショック構造、スケール間結合
 - key: EUV分光の感度
- 粒子加速
 - リコネクション領域のどこで加速されているか
 - 加速が起きる(起きない)条件
 - key: 非熱粒子診断



この絵を磁場観測で描く

ぜひやりたい！