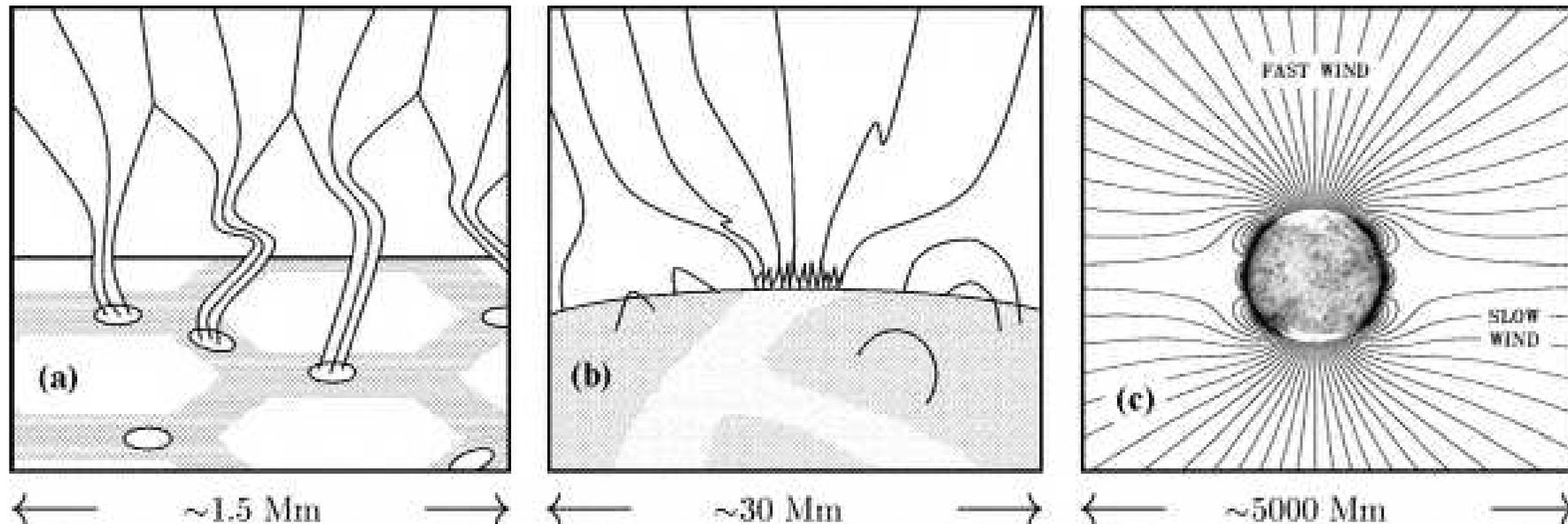


# 太陽風

鈴木 建  
(名大 理 物理)

# 太陽風

Cranmer & van Ballegooijen 2005



- 表面でのエネルギー注入(Poynting flux)
- 上空でのPoynting flux減衰=>ガスの加熱/加速(1-5Rsun)
- 太陽風の流れ出し => 惑星間空間

# Hinodeの観測

---

## 物質の流れ出し (結果)

### ■ 活動領域近傍の開いた領域

- **EIS** (Imada et al.2007; Hara et al.2008; Harra et al.2008)
- **XRT** (Sakao et al.2007)

### ■ 極域の**Jets**

- **EIS** (Kamio et al.2007)
- **XRT** (Cirtain et al.2007)

## 太陽表面/コロナの**Alfven(ic) waves** (原因)

- **SOT (B,vの位相関係)** (Fujimura & Tsuneta 2009)
- **EIS (Nonthermal Broadening)** (Banerjee et al.2009)

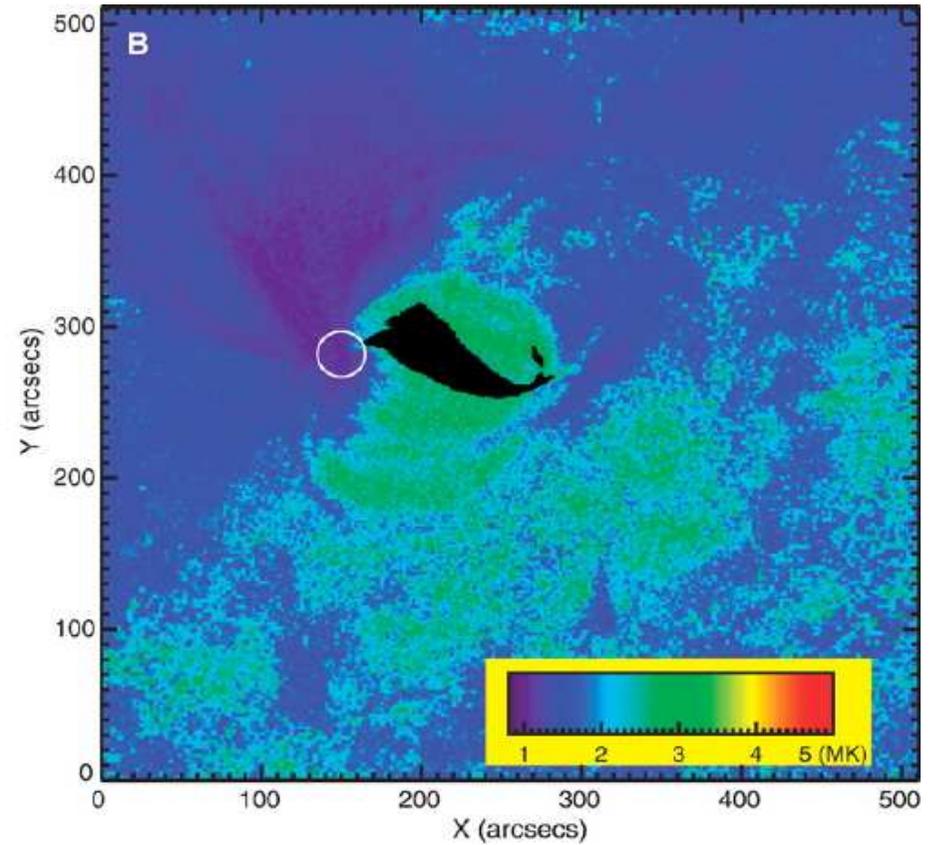
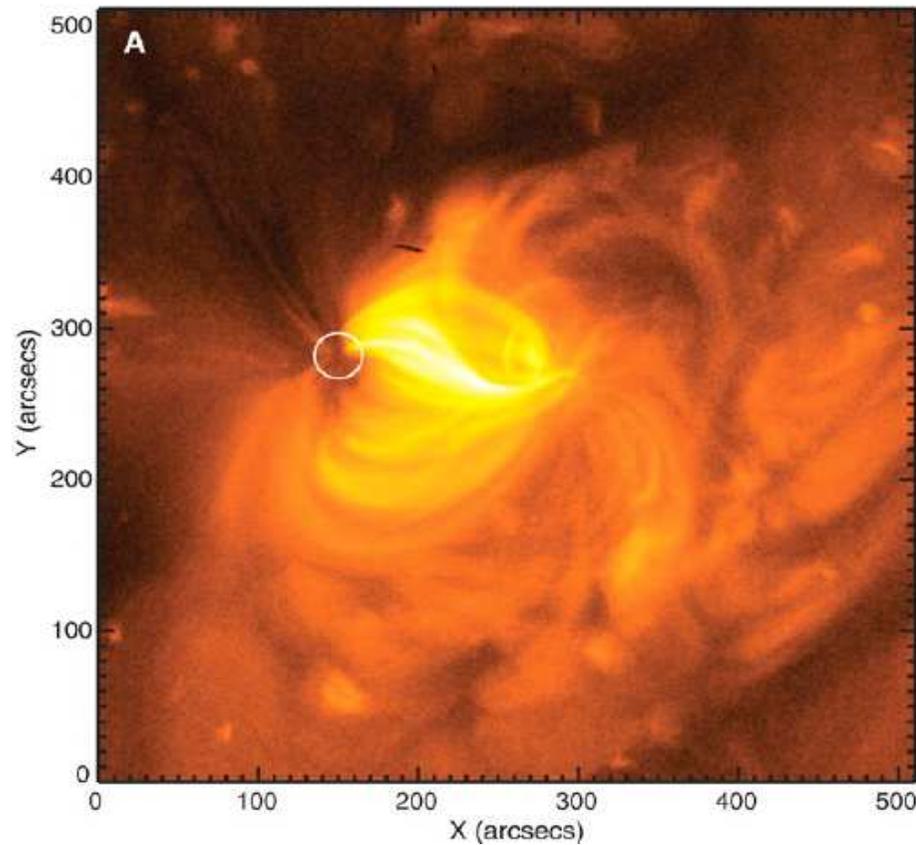
## 磁場形状 (環境)

- 極域 (Tsuneta et al.2008)
- 活動領域近傍 (Harra et al.2008)

但し、結果と原因を同じ場所、時間で見えていないようです。

# 活動領域近傍の開いた領域

Sakao et al.2007

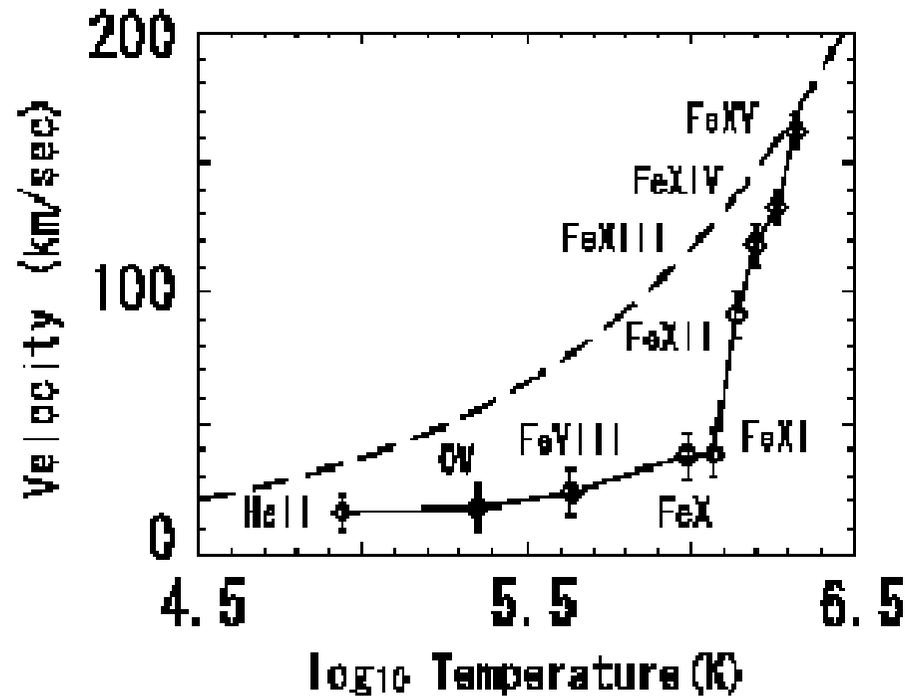


**Harra et al.2008のEISの観測**

- **1.1Rsun**程度で**100km/s**を超えている

# 活動領域近傍のPlage

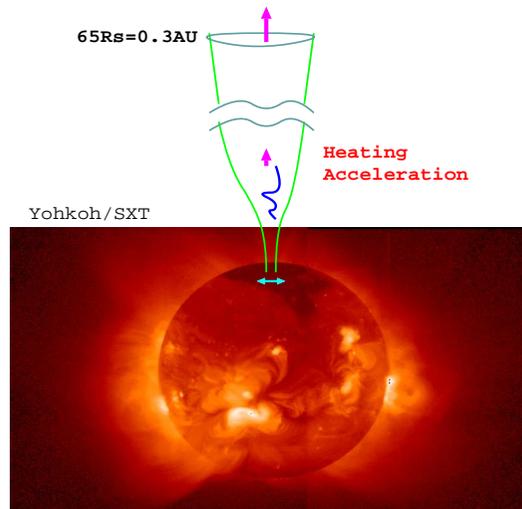
Imada et al.2007 (EIS)



太陽近傍( $\ll 2R_{\text{sun}}$ )で100km/sを超える。

# いわゆる太陽風加速の計算

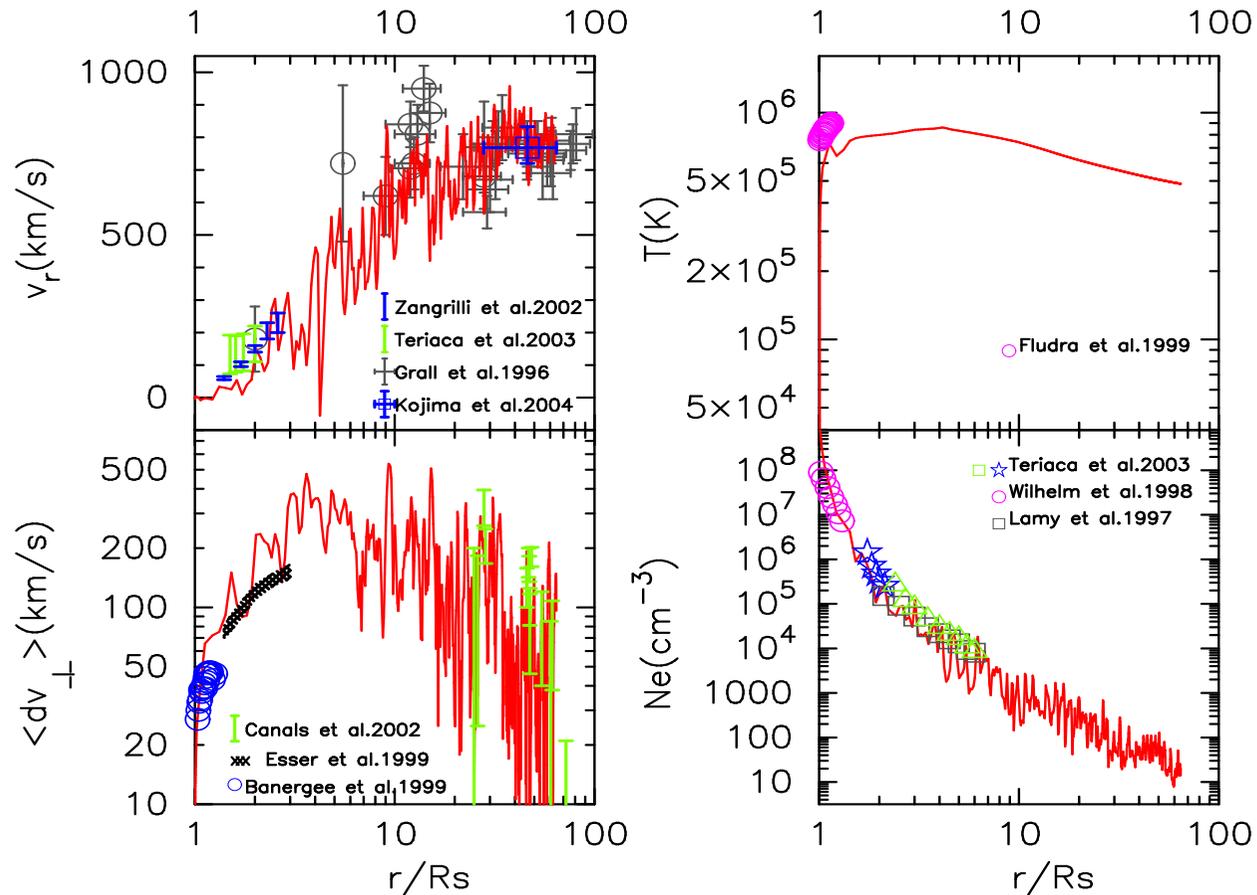
---



- 1次元で遠く(数10AU)まで：  
基本的に(表面からの)Alfven波加熱

# 1次元計算による加速プロファイル

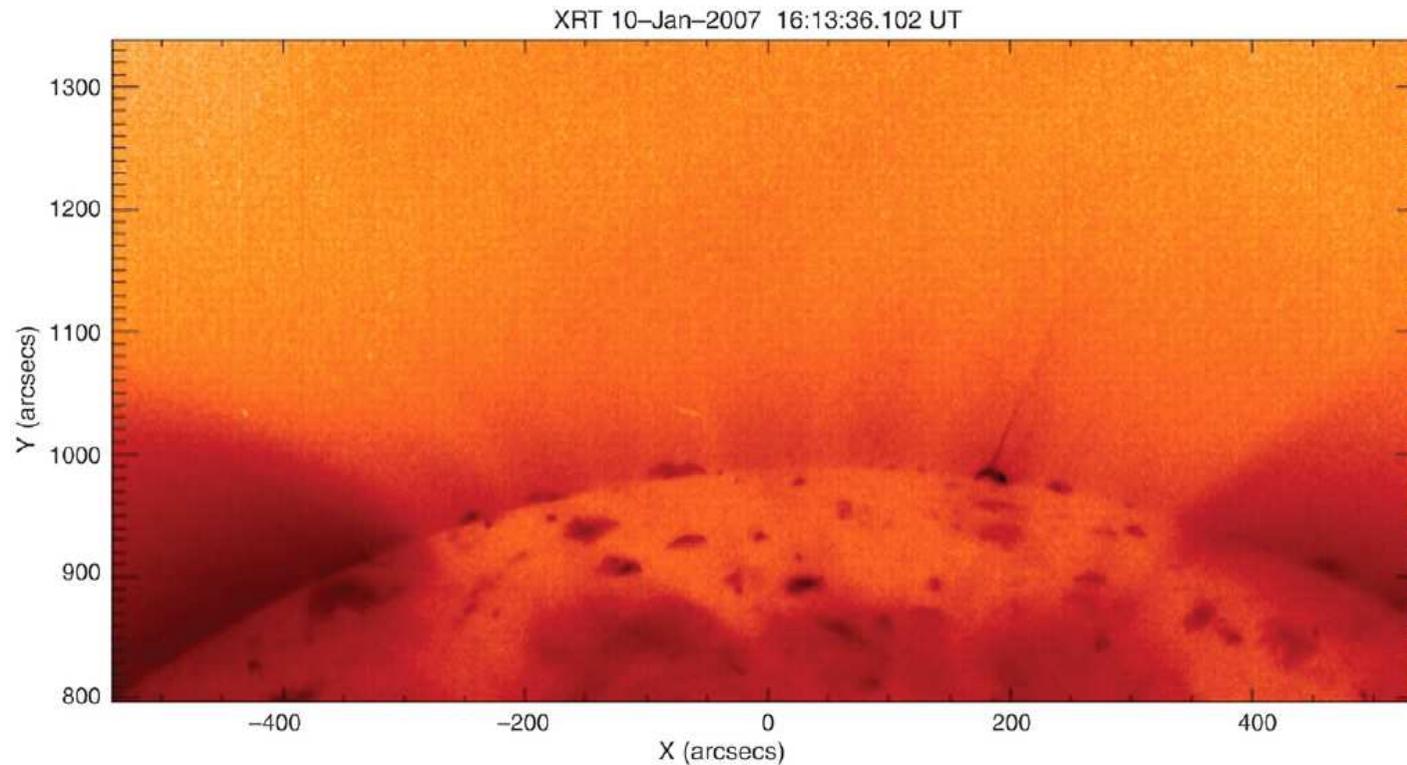
Suzuki & Inutsuka 2005



■  $\ll 2R_{\text{sun}}$  で速度が  $> 100 \text{ km/s}$  は説明困難

# 極域のJets

Cirtain et al.2007



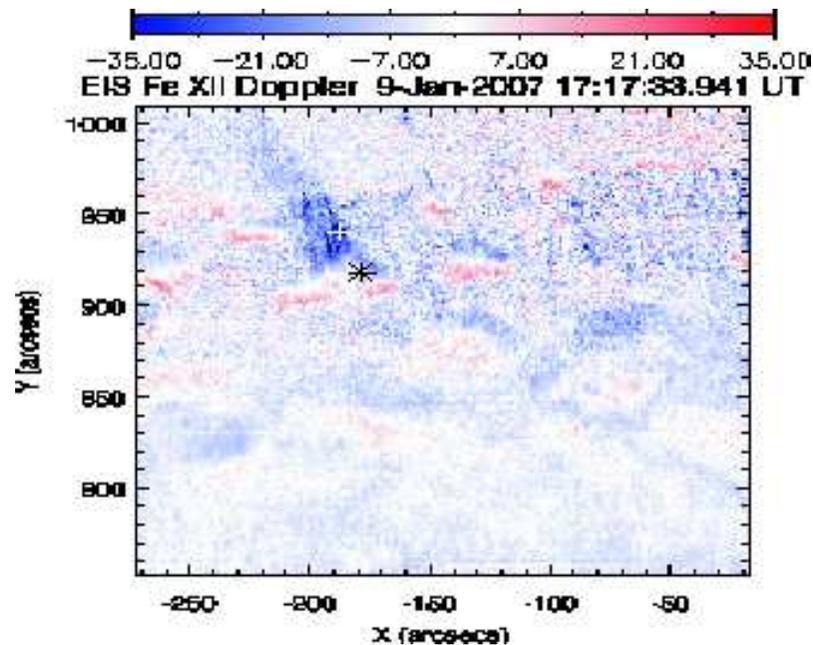
## ■ Outflows

- ~800km/s(~Alfven speed; 初期段階)の成分
- ~200km/s(~Sound Speed; これまでも見えていたもの)の成分

## ■ 波動の流出も

# 極域のJets

Kamio et al.2007



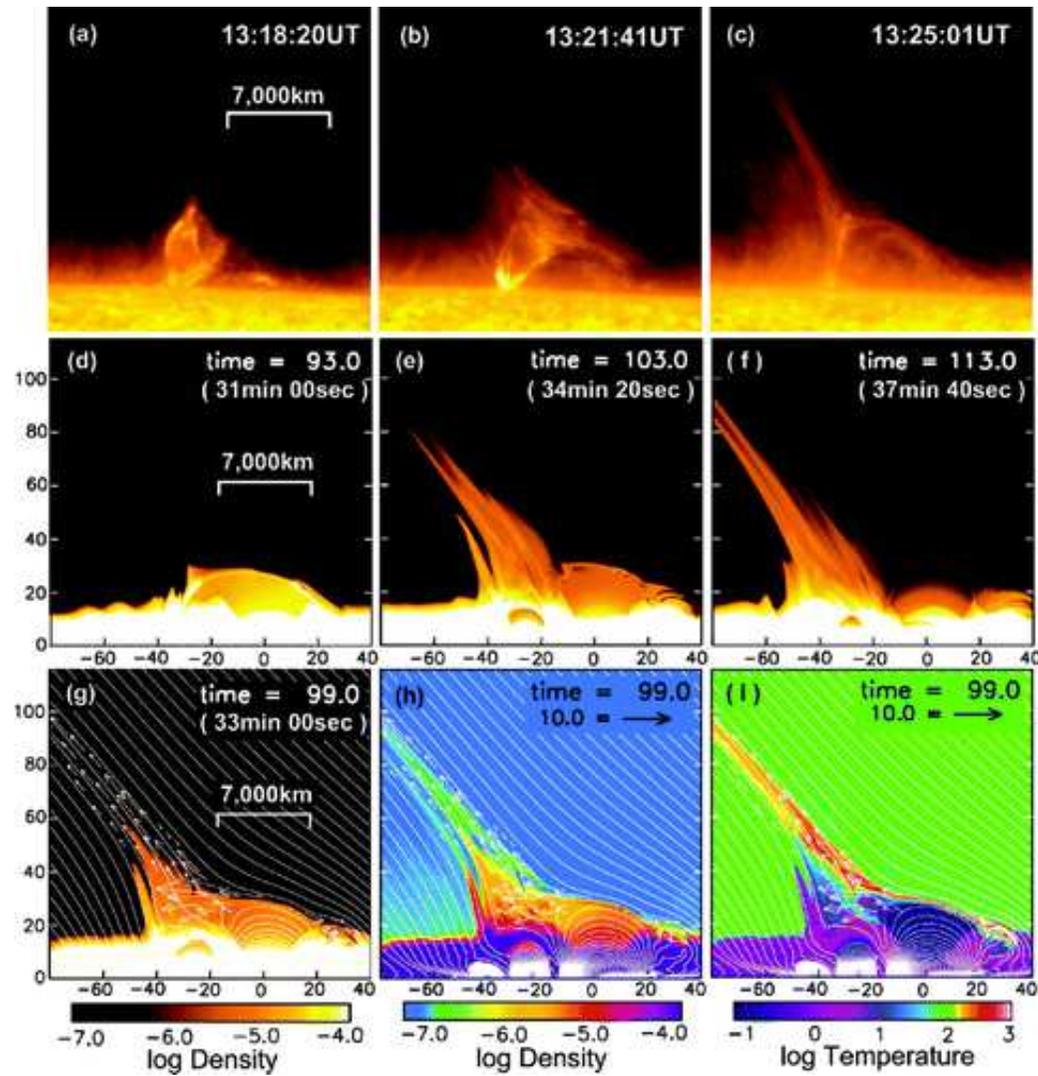
■ 30km/s程度のBlue shift

=> LOS効果を考慮すると~300km/s

■ 1D的の太陽風加速計算では説明困難

# 2Dシミュレーション

Nishizuka et al.2008



# 質量放出率

---

- 活動領域近傍の開いた領域：全体の**1/4**を担い得る

Sakao et al.2007

- 極域の**Jets**：全体の**1/10**を担い得る

Cirtain et al.2007

- 他の部分は？ **Coronal Holes**の暗い部分など

# Hinodeの観測

---

## 物質の流れ出し (結果)

### ■ 活動領域近傍の開いた領域

- **EIS** (Imada et al.2007; Hara et al.2008; Harra et al.2008)
- **XRT** (Sakao et al.2007)

### ■ 極域の**Jets**

- **EIS** (Kamio et al.2007)
- **XRT** (Cirtain et al.2007)

## 太陽表面/コロナの**Alfven(ic) waves** (原因)

- **SOT (B,vの位相関係)** (Fujimura & Tsuneta 2009)
- **EIS (Nonthermal Broadening)** (Banerjee et al.2009)

## 磁場形状 (環境)

- 極域 (Tsuneta et al.2008)
- 活動領域近傍 (Harra et al.2008)

但し、結果と原因を同じ場所、時間で見えていないようです。

# 表面でのAlfven wave flux

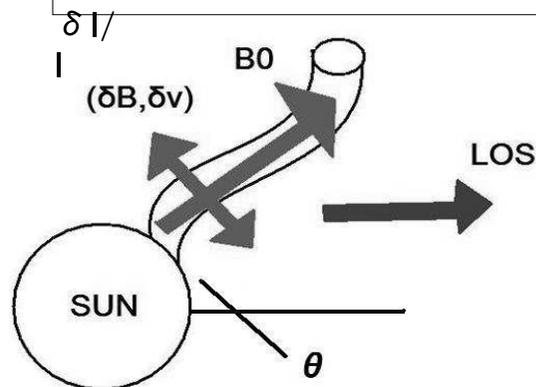
Fujimura & Tsuneta 2009 (藤村さんのファイルより)

## リム観測

Alfven波における関係式に光球の観測量を代入して、  
 $\delta v=0.1$  (km/s)  $V_A=20$  (km/s)  $B_0=2000$ (G) $\rightarrow \delta B=10$ (G)

感度:視線方向に平行な磁場:1-5G  
視線方向に垂直な磁場:  
30-50G

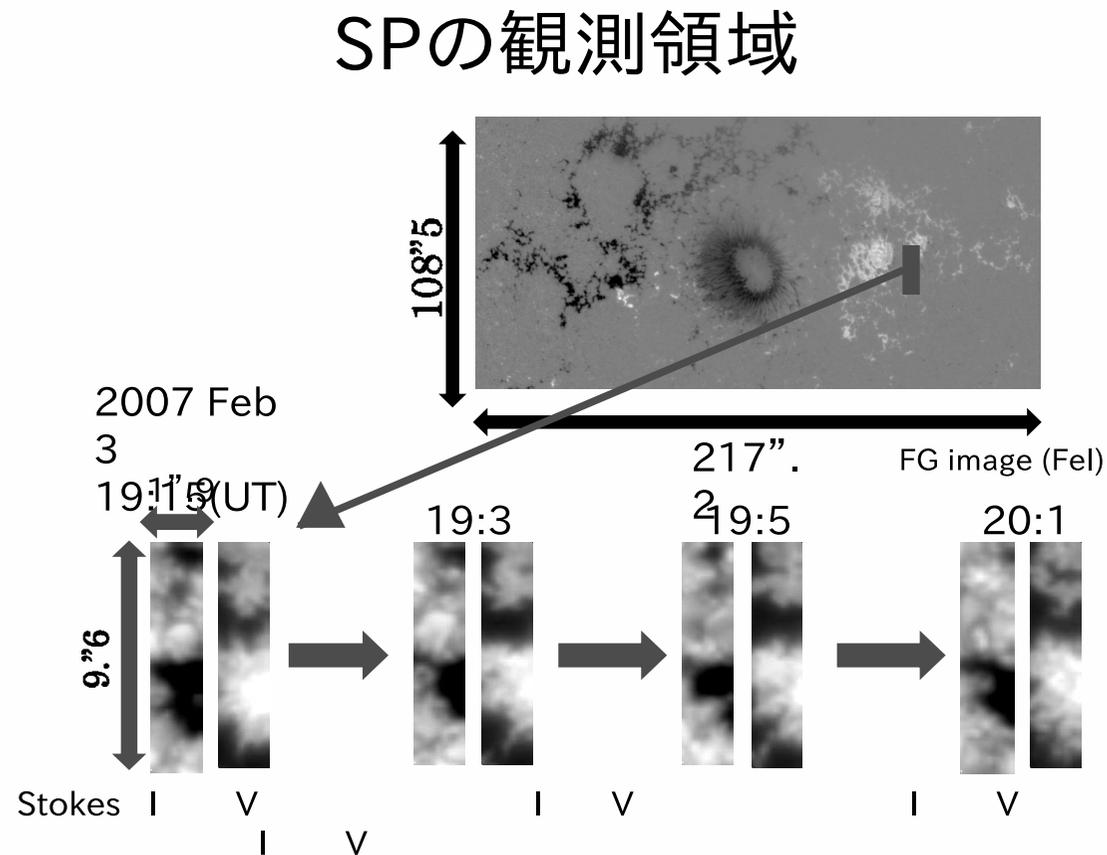
$$\frac{\delta v}{V_A} = \frac{\delta B}{B_0}$$



・Alfven波を検出するために、観測領域を意図的にリム寄りに取り、視線方向の磁気フラックス・速度場と輻射強度を観測して、 $\delta B$ ,  $\delta v$ ,  $\delta I/I$ を求めた。

# 表面でのAlfven wave flux

Fujimura & Tsuneta 2009 (藤村さんのファイルより)



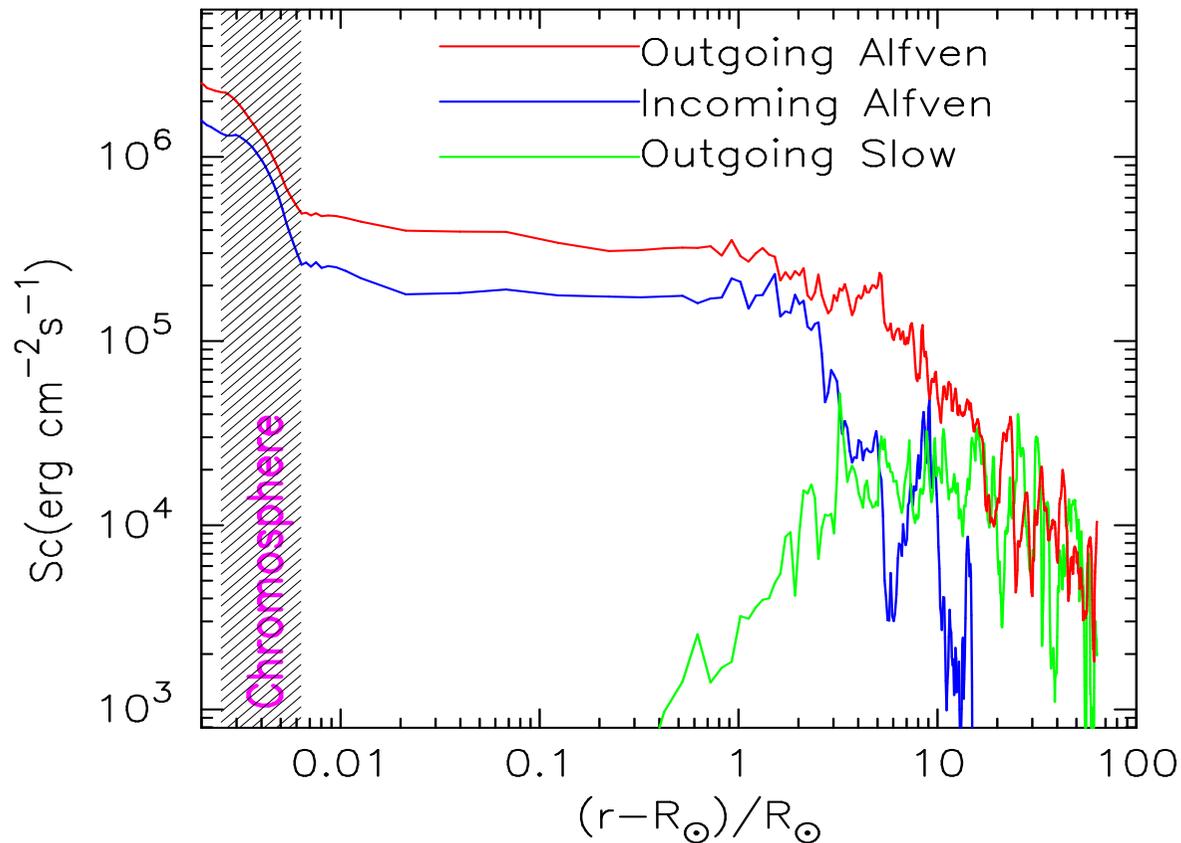
■ dBとdvの位相差が(+/-)90度

=>上空へ向かう成分と反射成分のAlfven波が同程度存在

# Alfven波の減衰

(Wave Action Normalized at 1.02R<sub>s</sub> for Superradial Expansion of Flux Tube)

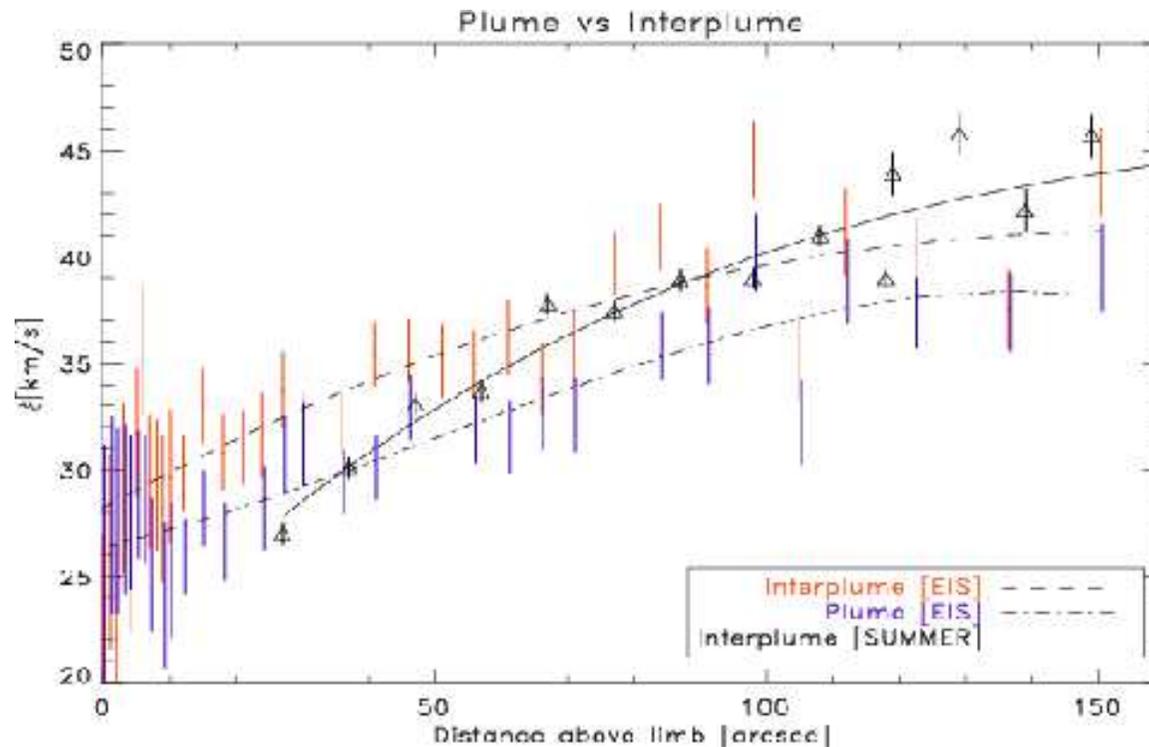
Suzuki & Inutsuka 2005, ApJ, 632, L49



- 85% はコロナに到達する前に反射され表面に戻る
- Fujimura & Tsuneta (2009)と(定性的に)無矛盾

# コロナでのAlfven波? (Nonthermal broadening)

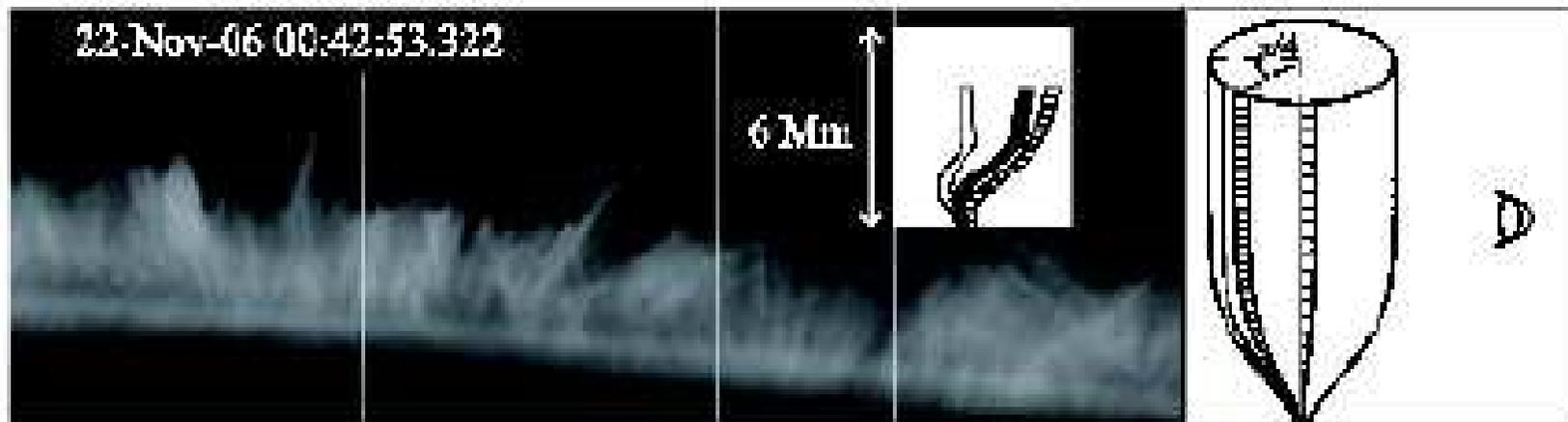
Banerjee et al.2009



- 下部コロナでは無減衰Alfven波と矛盾しない  
    <= シミュレーションとも無矛盾

# Alfvenic Wave-driven Spicules

Matsumoto & Shibata 2010

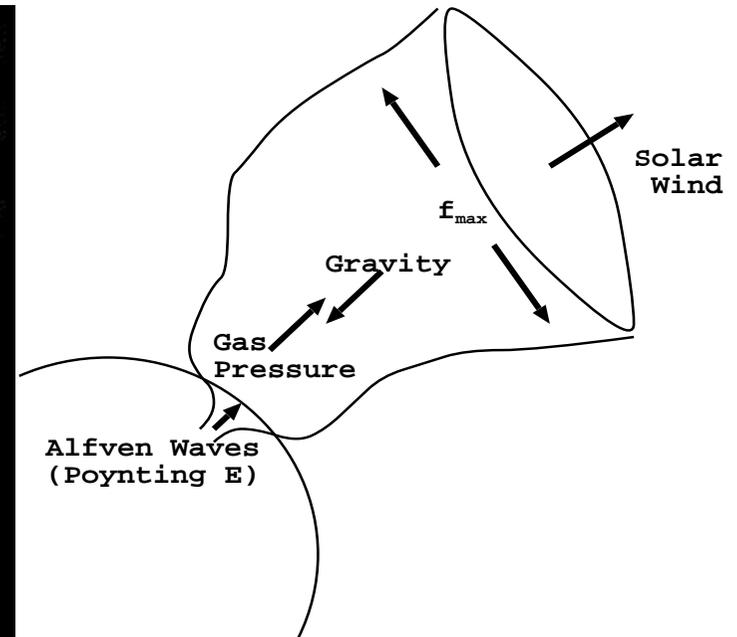
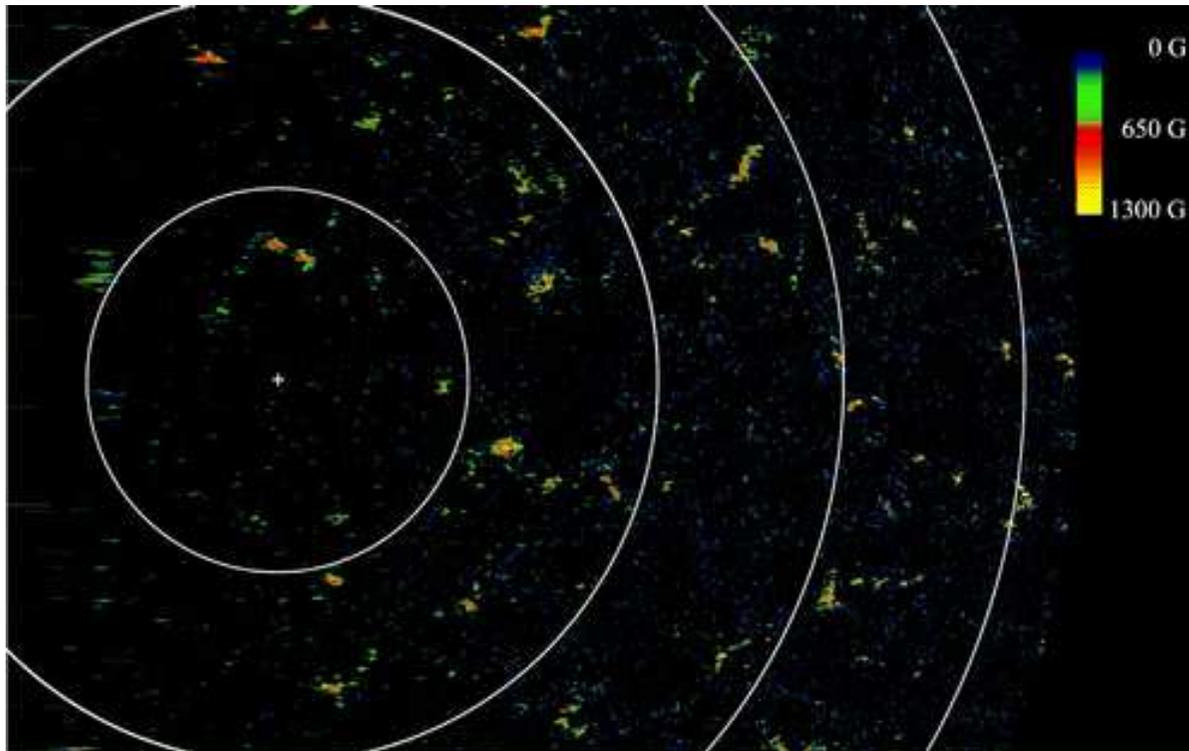


- SOTにより決めた光球擾乱 => 上空のSpiculesをよく説明

# Flux Tube

Tsuneta et al.2008, ApJ, 688, 1374

Suzuki 2006, ApJL, 640, L75



## ■ kG patches

- 開いた磁束管は100-1000倍super-radialに開く
- 太陽風シミュレーションで使用している磁束管形状と似る

# 観測 $\Leftrightarrow$ 太陽風のモデル計算/シミュレーション

---

## 物質の流れ出し(結果)

- 活動領域近傍の開いた領域
  - 表面近くでの加速(>~100km/s at  $\ll 2R_{\text{sun}}$ )
  - 1次元計算では説明困難
- 極域の**Jets**
  - そもそも1次元計算では比較困難

2D/3D計算 Miyagoshi & Yokoyama 2004; Nishizuka et al.2009 ...

## 光球/コロナでの**Alfven**波 (原因)

- 観測  $\Leftrightarrow$  モデル/シミュレーション が矛盾していない

## (極域の)磁場強度と形状(環境)

- モデル/シミュレーションで考えていた状況と同じ

**Alfven**波(原因)と流れ出し(結果)を同じ場所で見たい

# 今後の方針

---

## 活動領域近傍の開いた領域

- 駆動機構? => 理論
- 表面での $\mathbf{B}, \mathbf{v}, I$ の時間進化/位相関係(波かりコネクションか)  
=> 観測 (**Hinode**)

## 極域の**Jets**

- 根元のシミュレーションは行われているが、上空の太陽風は? => 理論

## 光球/コロナでの**Alfven**波

- あまり派手で無い領域が太陽風の質量流束の大半の担う?
- 特に暗い領域(極域等)の上空での流れの速度や密度はどうなっているのか?  
=> 観測 : (色々な場所を観るなら)**A** ~ (詳細に観るなら)**B**
- 彩層から遷移層での**Alfven**波の伝搬、減衰、反射?  
=> 観測 : **B** (彩層での $\mathbf{B}, \mathbf{v}$ の位相関係)

# 太陽物理の観点から

---

## A

- いろいろな領域からの物質の流れ出し、速度プロファイル
- 太陽風の大局構造

## B

- 彩層から遷移層での**Alfven**波の伝搬、反射、減衰 (**B,v,I**の位相関係)
- 下部コロナでの詳細な密度、速度プロファイル

狭義の太陽風の加速過程 => **B**案

- 但し、太陽風加速の理論も袋小路に入っている印象

# 宇宙物理の観点から

---

太陽 => 他の天体への応用

- 質量放出率や速度
  - 大局的な緯度依存
- 全体的なX線の輝度
  - 大局構造

前ページの詳細な波の減衰機構や密度/速度構造が少し変更しても、結果は変わらない。

**=> A案**

太陽風研究という観点からは

- **A案:** (努力すれば)太陽物理学と天文学/宇宙物理学の融合
- **B案:** 太陽物理学と天文学/宇宙物理学の(更なる)乖離
  - 天文/宇宙物理コミュニティには太陽風以外で訴える必要