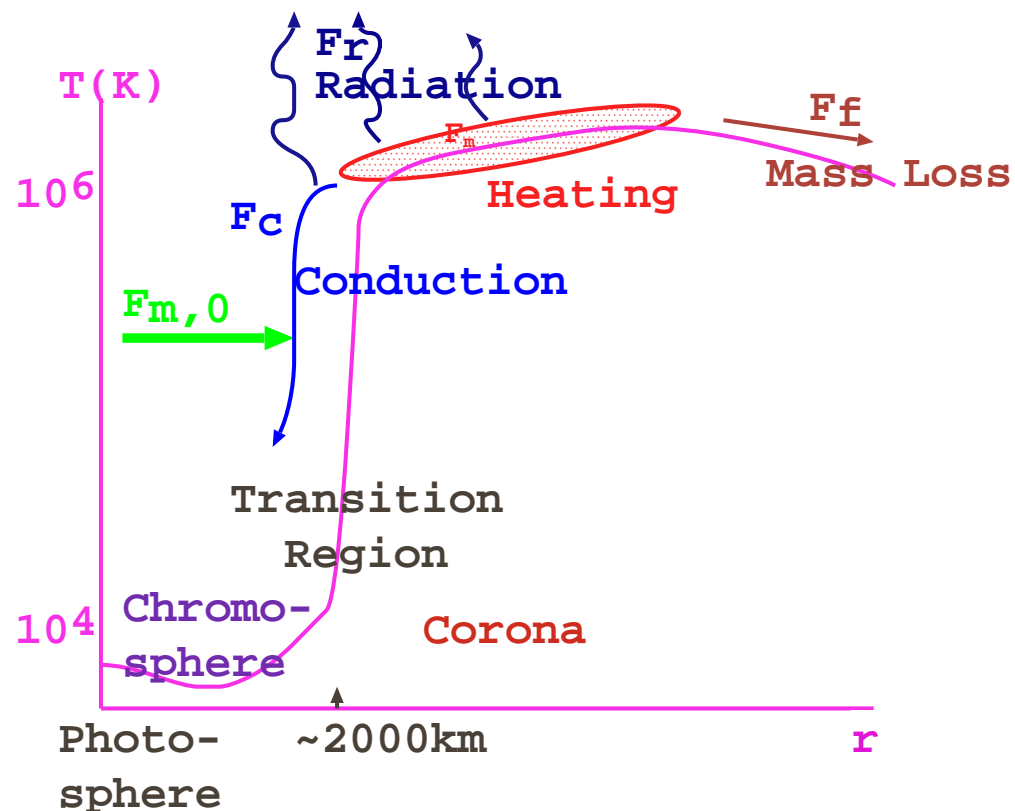


太陽風 -これからのSimulation研究-

鈴木 建
(東大 総合文化)

SOHO/LASCOの観測

コロナでのエネルギー輸送



エネルギー損失
 太陽風
 輻射冷却
 下向き熱伝導

必要なエネルギー :

$$F_{m,0} \simeq 10^{5-7} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\left(\sim \frac{L_{\odot}}{4\pi R_{\odot}^2} \frac{1}{10^{4-6}} \right)$$

$$\left(L_{\odot} \text{ 輻射光度 } \text{ erg s}^{-1} \right)$$

(値は太陽の場合)

Energetics : 大丈夫そう... しかし、

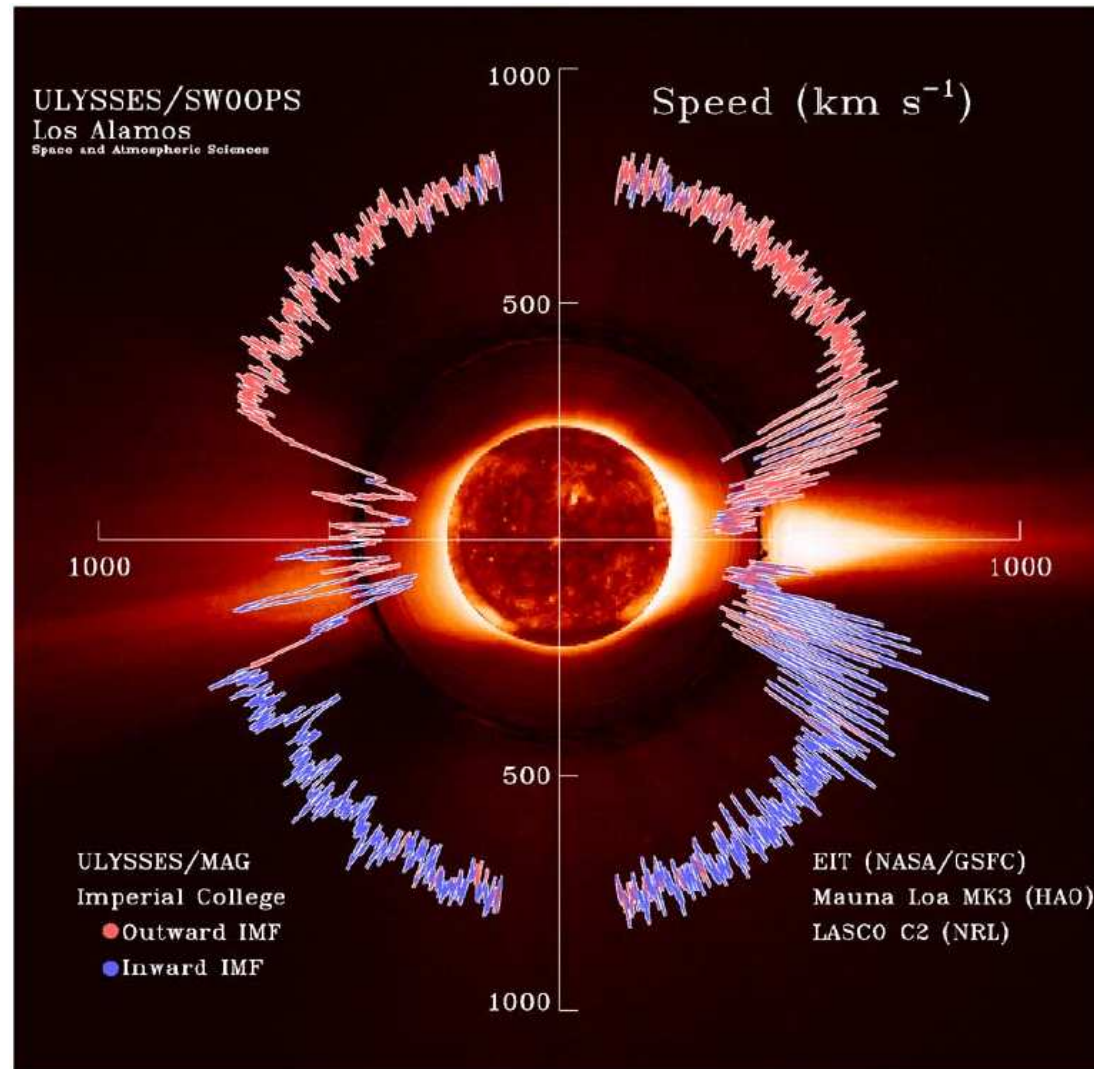
■ どうやって加熱?

■ どうやって加速?

● 100万度のガス圧では終端速度300km/s程度

<=> 高速風は800km/s

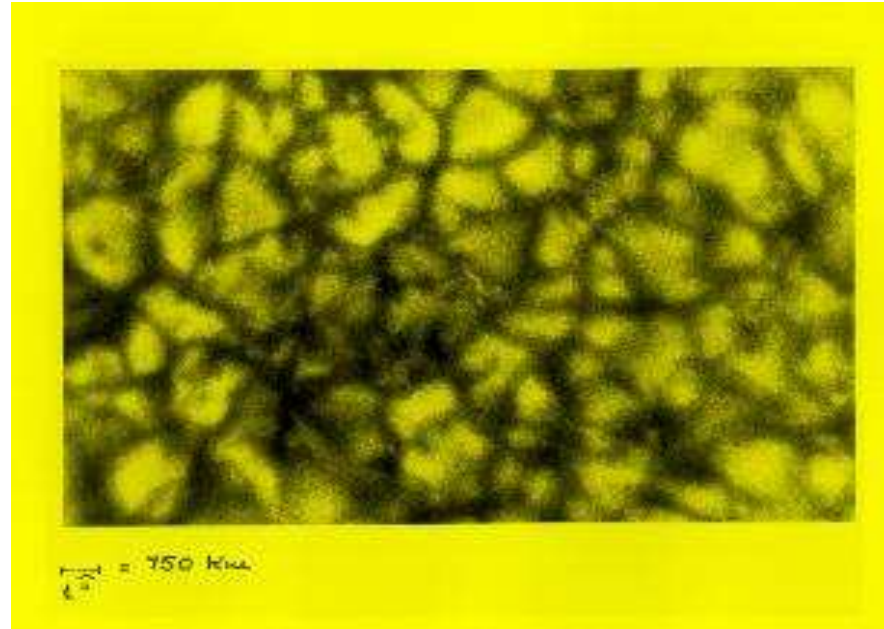
太陽風の速度



場所に依存するが、典型的に300-800km/s

コロナ加熱、太陽風加速源

おおもと：表面对流層の乱流運動



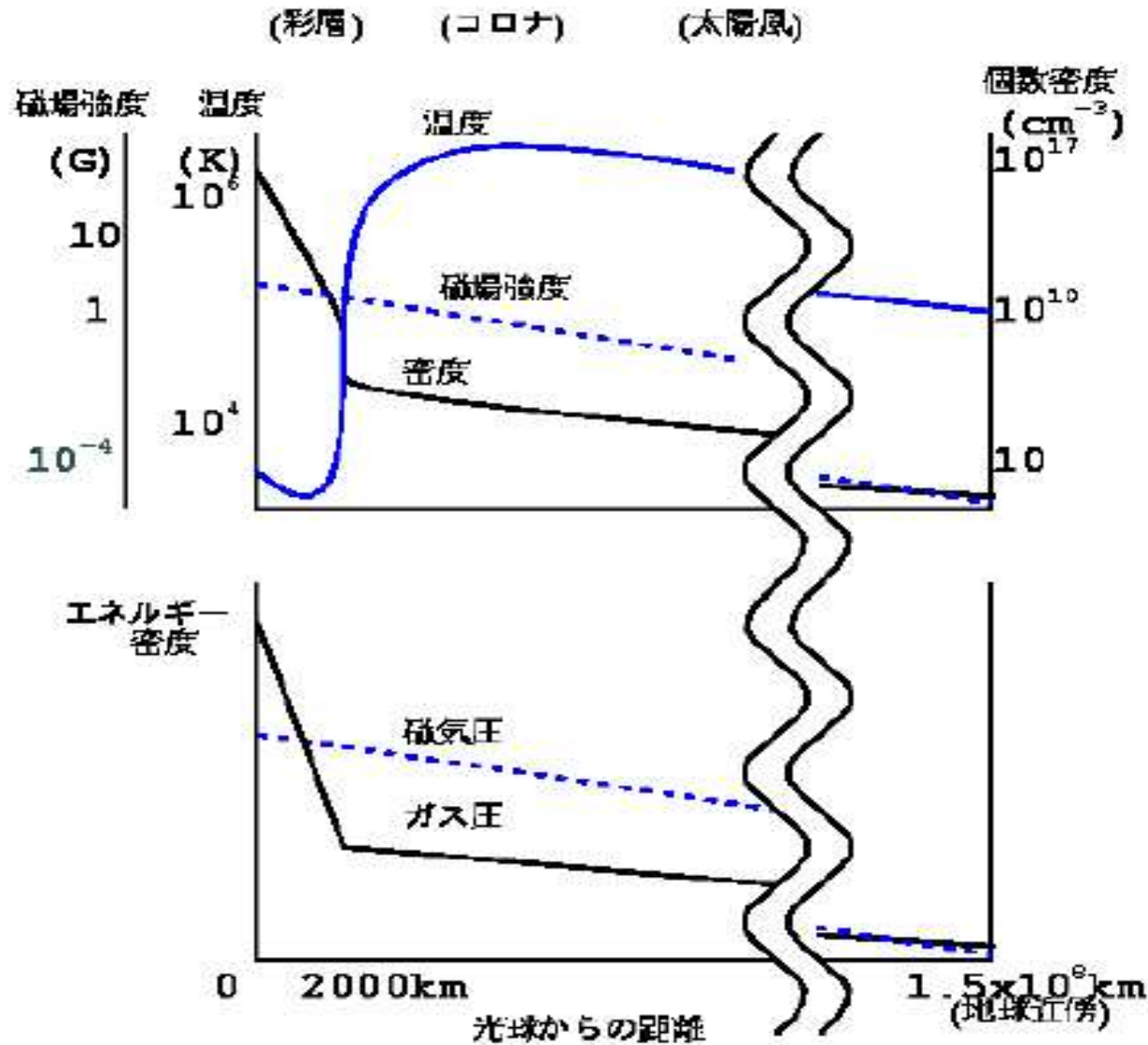
乱流のエネルギーフラックス：

$$\sim 10^8 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \left(\frac{\rho}{10^{-7} \text{ g cm}^{-3}} \right) \left(\frac{\delta v}{1 \text{ km/s}} \right)^3$$

$\frac{L_{\odot}}{4\pi R_{\odot}^2}$ の $\sim 0.1\%$ ：コロナ加熱に必要な量の 10^{1-3} 倍

乱流のエネルギー => 上空のコロナ内での
熱エネルギー(コロナ加熱)、運動エネルギー(太陽風加速)

Bの重要性

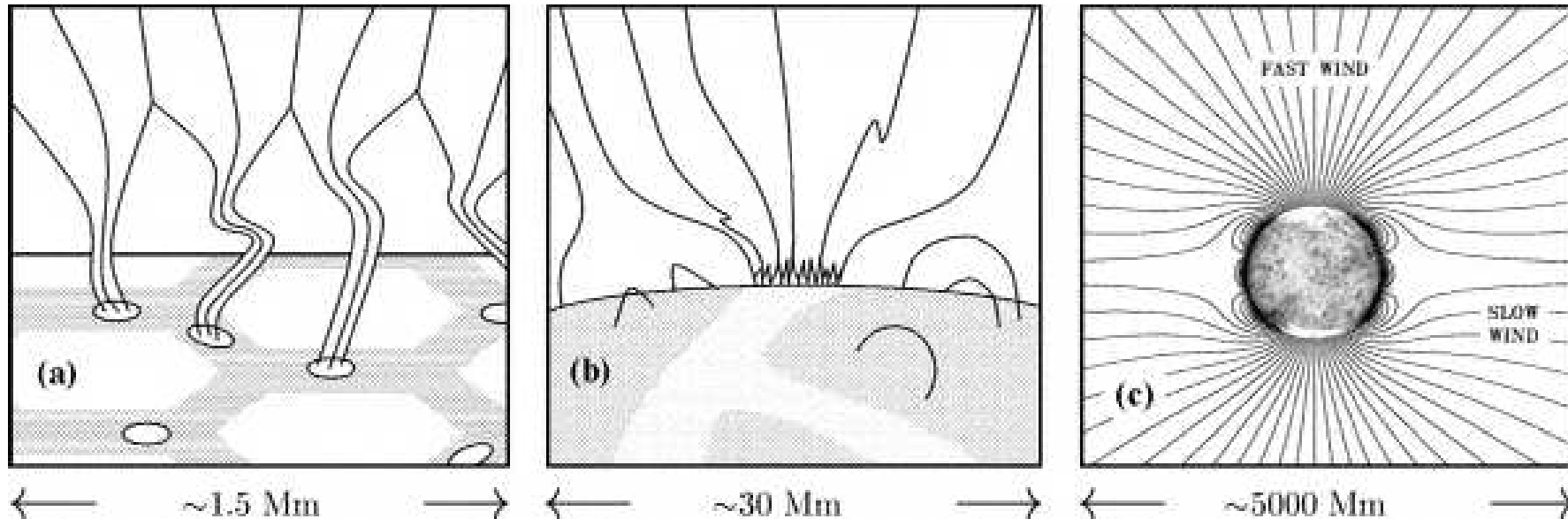


- 密度はexp(指数)で落ちる
- 磁場はpower(巾乗)で落ちる

擾乱駆動のコロナ加熱、恒星風加速問題

表面乱流と磁場が重要

Cranmer & van Ballegoijen 2005



問題は単純

「磁力線が刺さった表面の擾乱に対し、外層がどのように応答するか？」

擾乱 => 磁場の变形, 振動 => 減衰 => プラズマ加熱

だが、複雑 <= 非線形現象

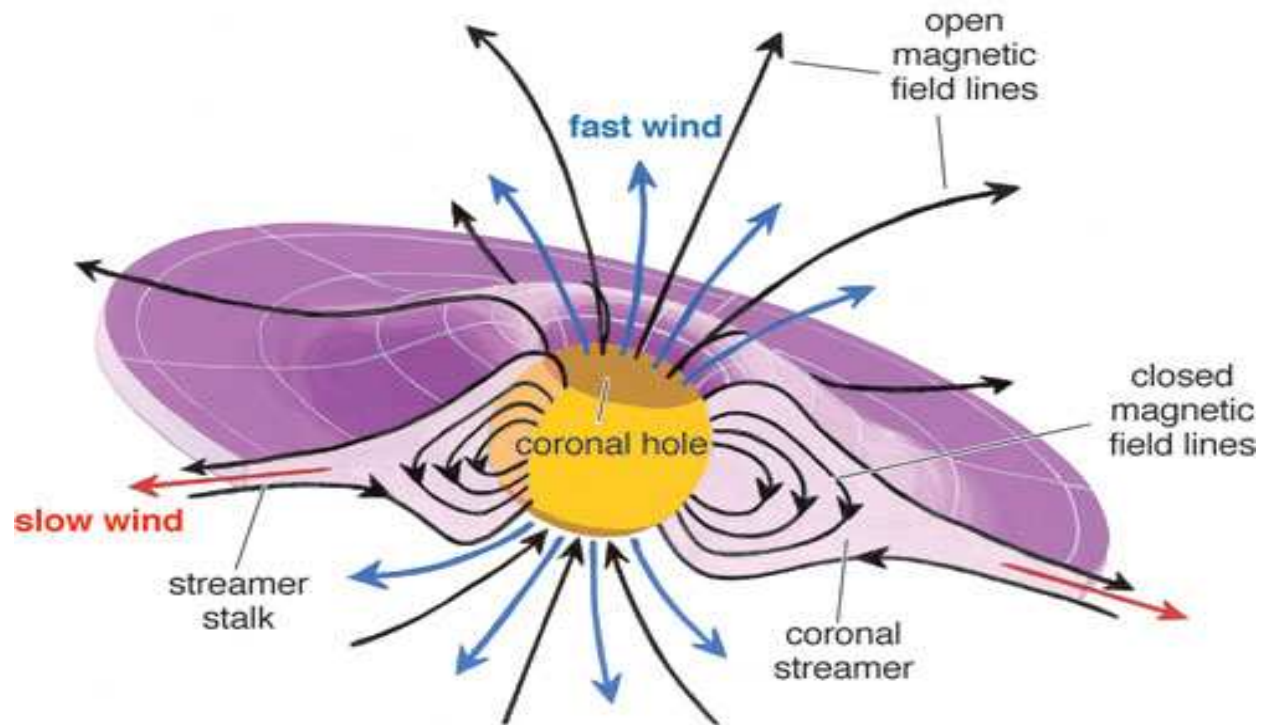
コロナホール/静穏領域/活動領域



- 極域の暗い領域：コロナホール
- 赤道付近の明るい領域：活動領域
- それ以外の領域：静穏領域

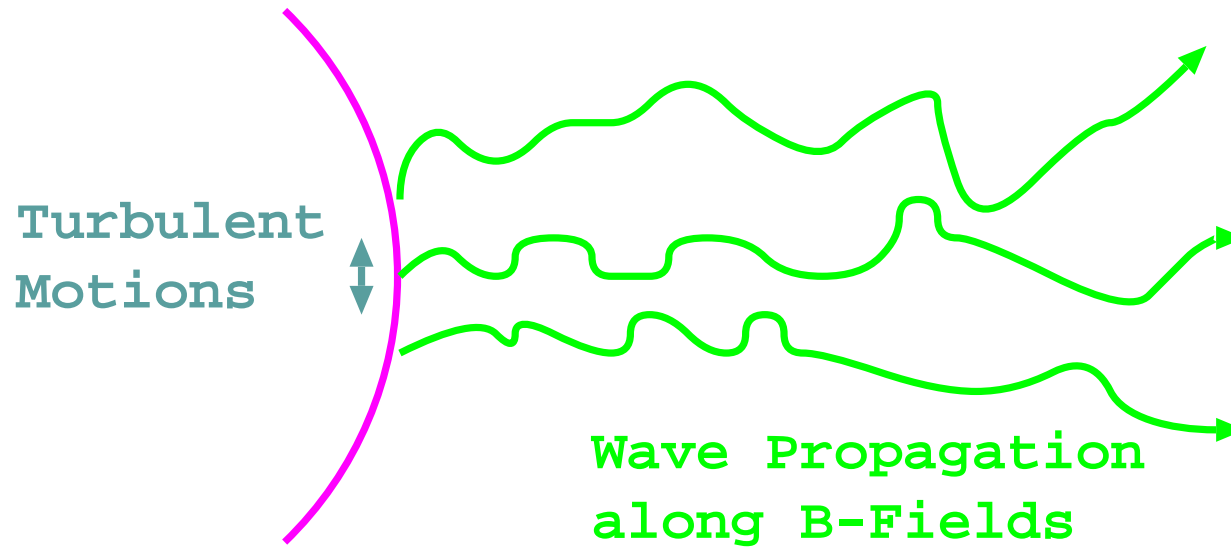
概観

by Tom Dunne



- Dipole Magnetic field
- 極域は"開いて"いて、定常的にプラズマが流れ出る(太陽風)
=> 密度が低い
- 低緯度域からは非定常なコロナ質量放出

波動加熱説

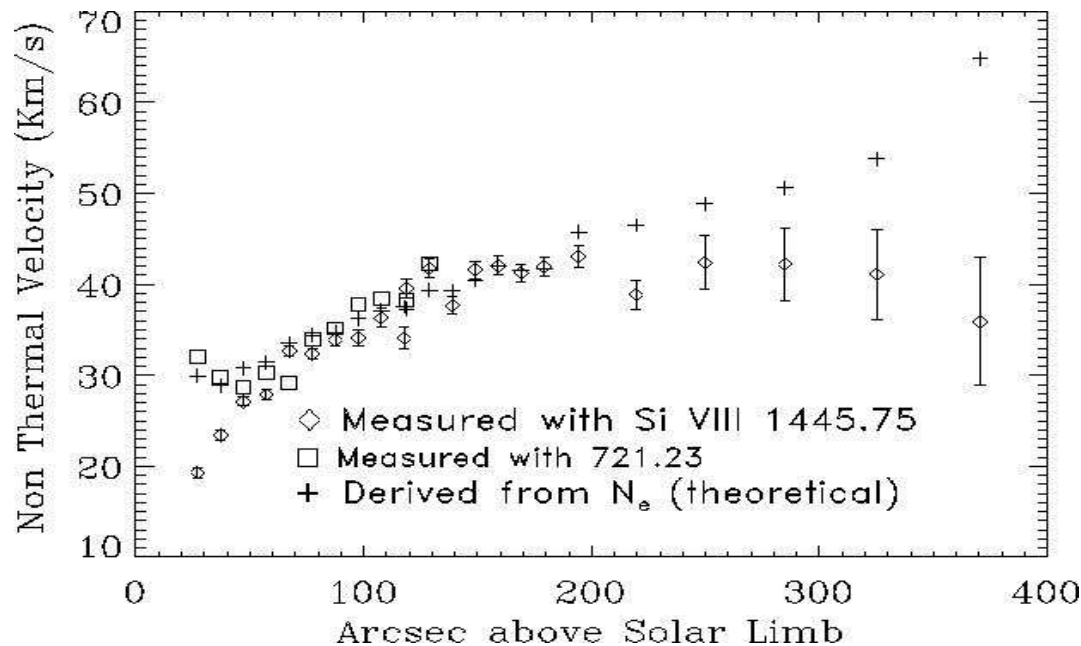


- 乱流運動が、色々なモードの波を励起
- アルフベン波が最も重要
 - 減衰しづらいので遠くまで伝搬して加熱できる。
 - 例えば、音波はコロナまで到達できない。
- (アルフベン)波の減衰により、周囲のプラズマを加熱
- 乱流 => 波のエネルギー => 熱、運動エネルギー

コロナホールでは波動?

アルフベン波が最も有力

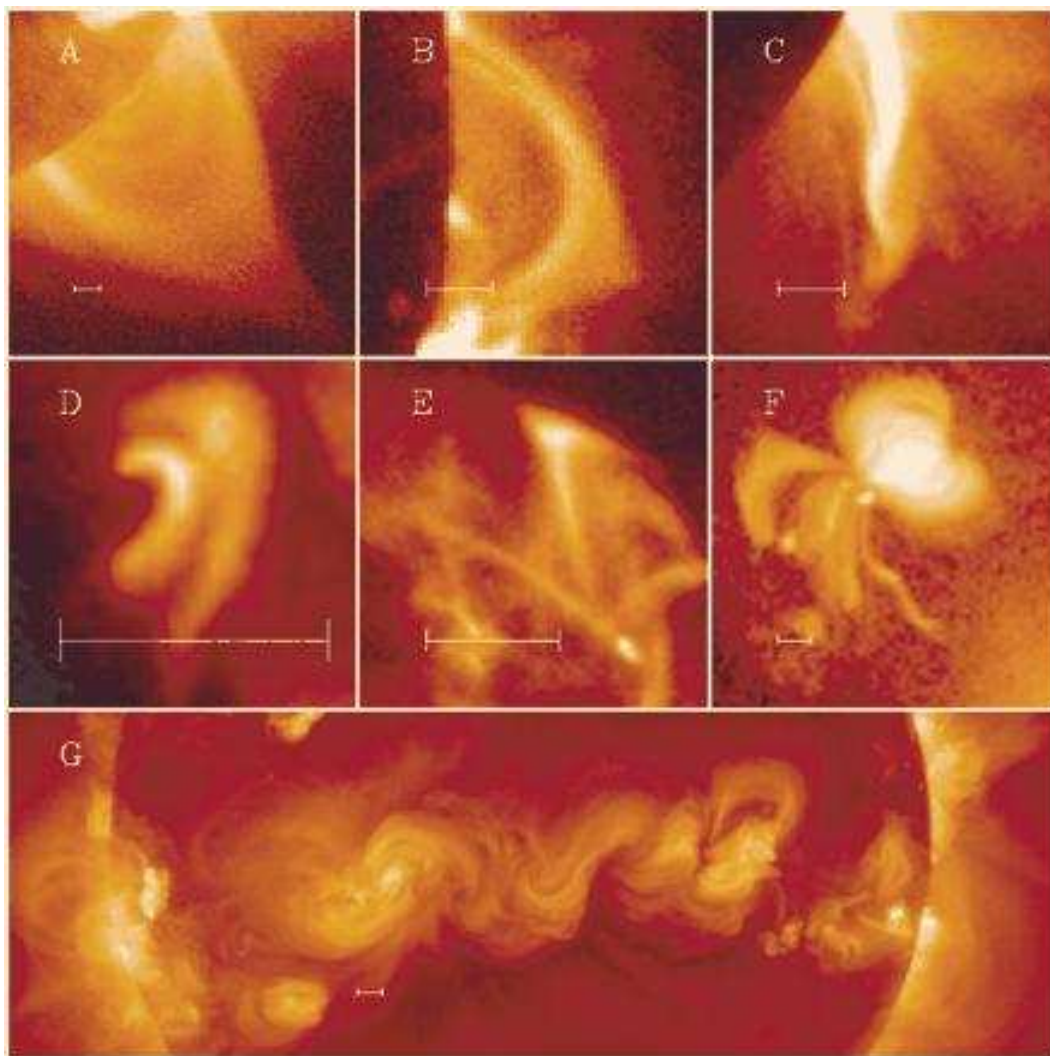
- コロナ、太陽風(<1AU)は磁気圧卓越
- 横波(非圧縮)なので、しっかり外側まで伝搬
 - 圧縮性波動だと、衝撃波等で減衰して、せいぜい下部コロナ止まり
- 磁力線構造が単純(開いている)
- "痕跡"が観測されている



(注!)閉じた磁場領域では、Reconnectionも重要なはず

リコネクション加熱説

Yohkoh satellite



B-Fields

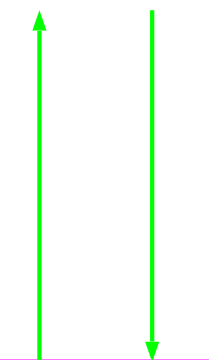
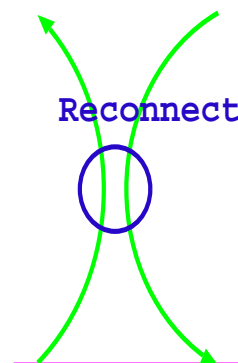
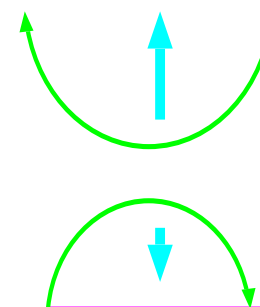


Photo-sphere



Turbulent Motions



■ コロナ質量放出はリコネクション？

主課題

■ 光球-コロナ-太陽風の領域間結合

- 全ての領域はつながっている
 - つながり方は場所毎(活動領域、静穏領域、コロナホール)にも違う
- これはSolar-Bの柱の観測でもある

■ コロナーホール(開いた領域)と活動(閉じた)領域の結合

- 極域からの定常太陽風
- 低緯度域からの非定常コロナ質量放出
- 両者はどのように影響を及ぼし合うか

■ 大局構造-局所構造の結合

局所過程が大局構造をしばしばコントロール

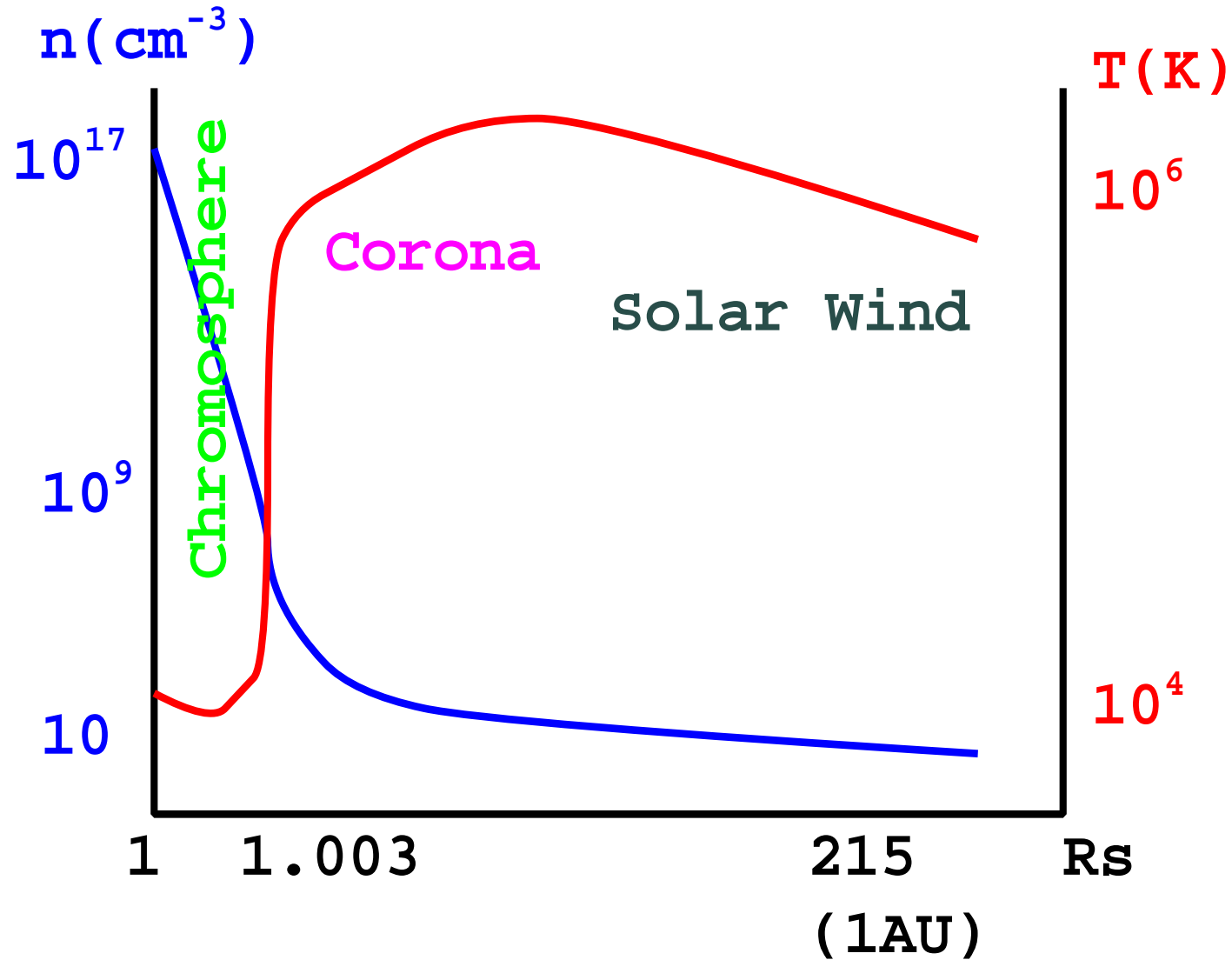
- 大局的エネルギー輸送
- 波動伝搬
- (遠い将来)電流層や無衝突過程

上記と関連して、最近の研究潮流

■ 太陽風の根元はどうなっている -太陽風とコロナの結合-

- これまでは、コロナと太陽風の研究は乖離していた感あり

領域間結合の困難



■ 密度差15桁以上

階層間結合の困難

■ 大局構造

スケール高 ~100km(彩層); ~10000km(コロナ); 10^6 km(太陽風)

■ 波動(Alfven波 0.01Hz)

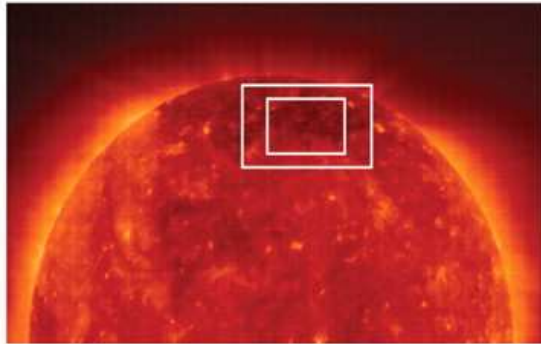
波長 ~100km(彩層); ~ 10^5 km(コロナ); 10000km(太陽風)

- 音波も考えるとコロナと太陽風では波長が短い
- 太陽風の根元(コロナ)では波動を追うのは簡単だが、太陽風では困難

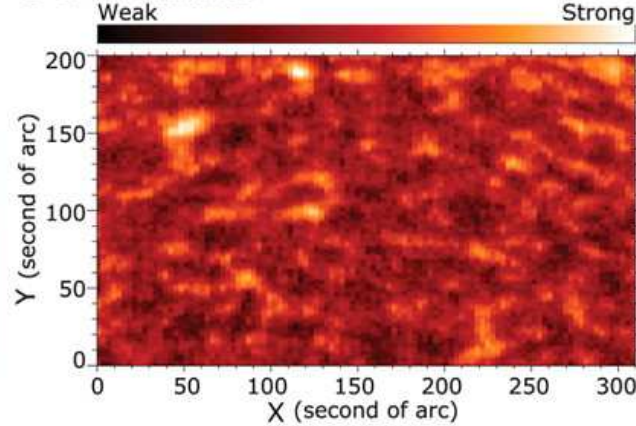
太陽風の根元の観測 -Coronal Funnel- 1/3

Tu et al.2005

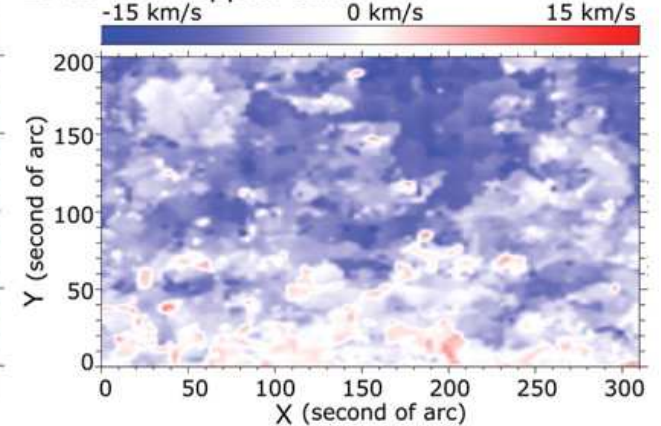
A EIT 19.5 nm



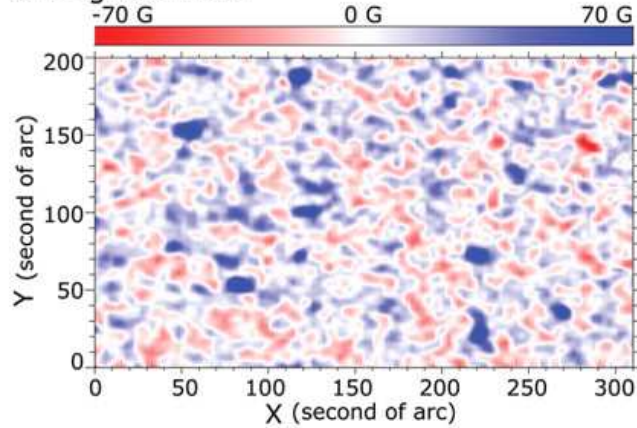
C Si II Radiance



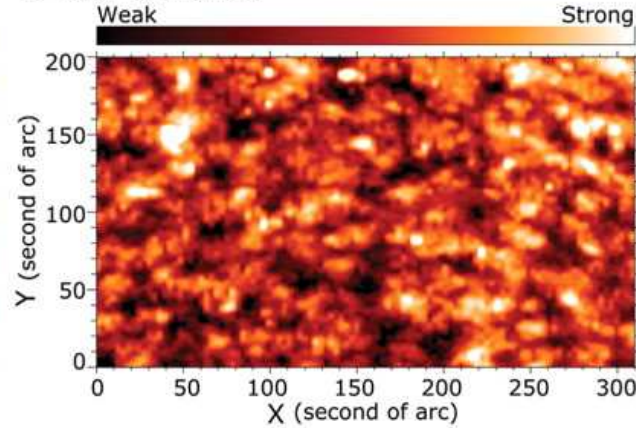
E Ne VIII Doppler shift



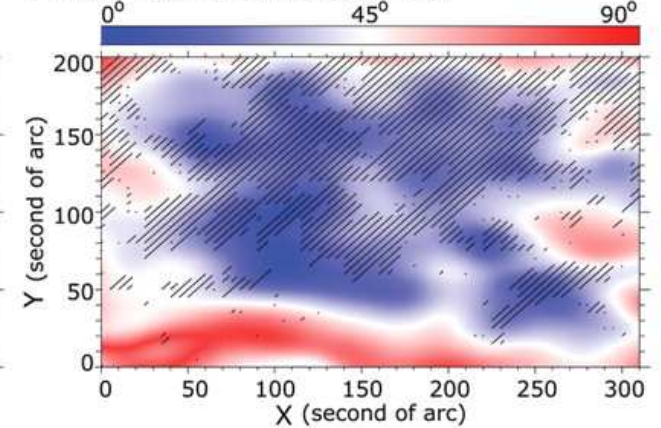
B Magnetic field



D C IV Radiance

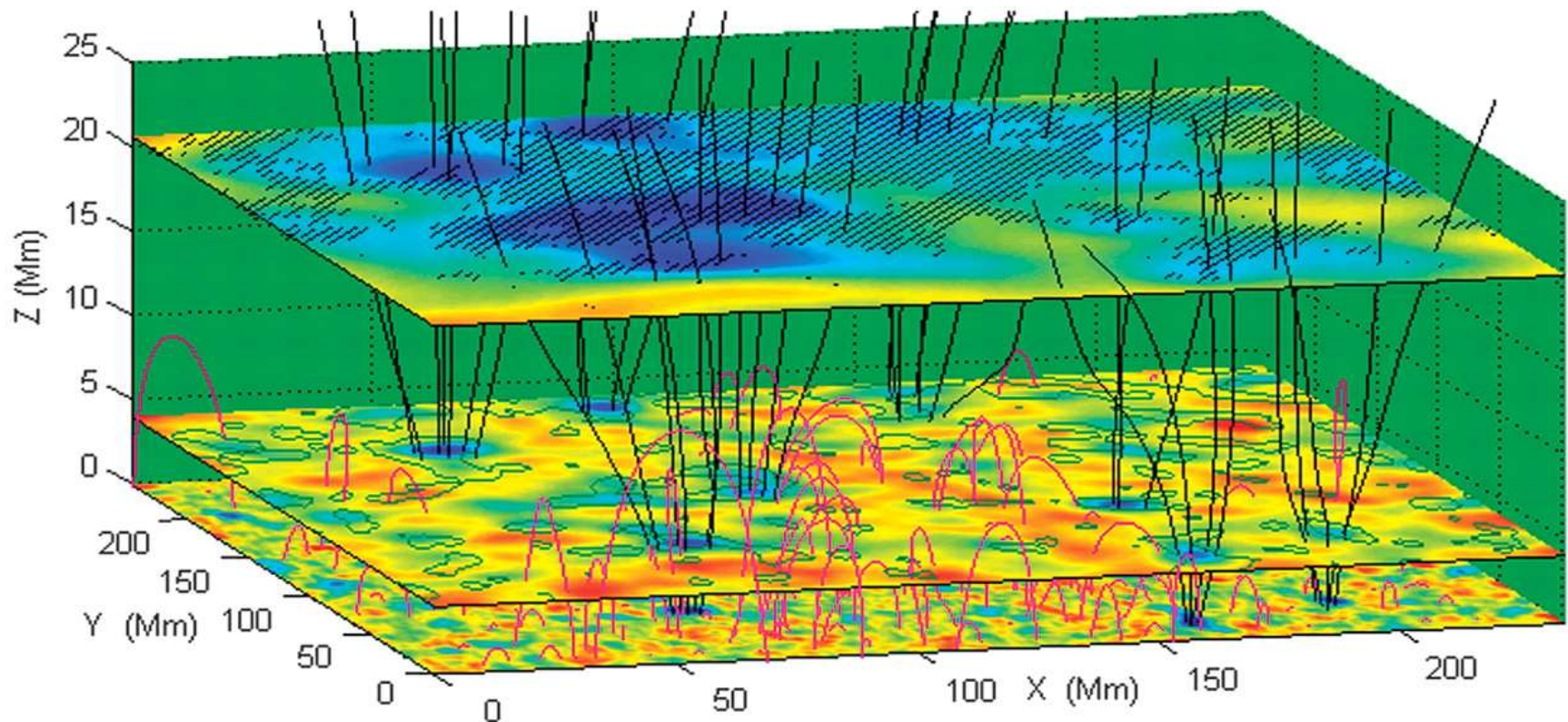


F Field inclination at 20.6 Mm



太陽風の根元の観測 -Coronal Funnel- 2/3

Tu et al.2005



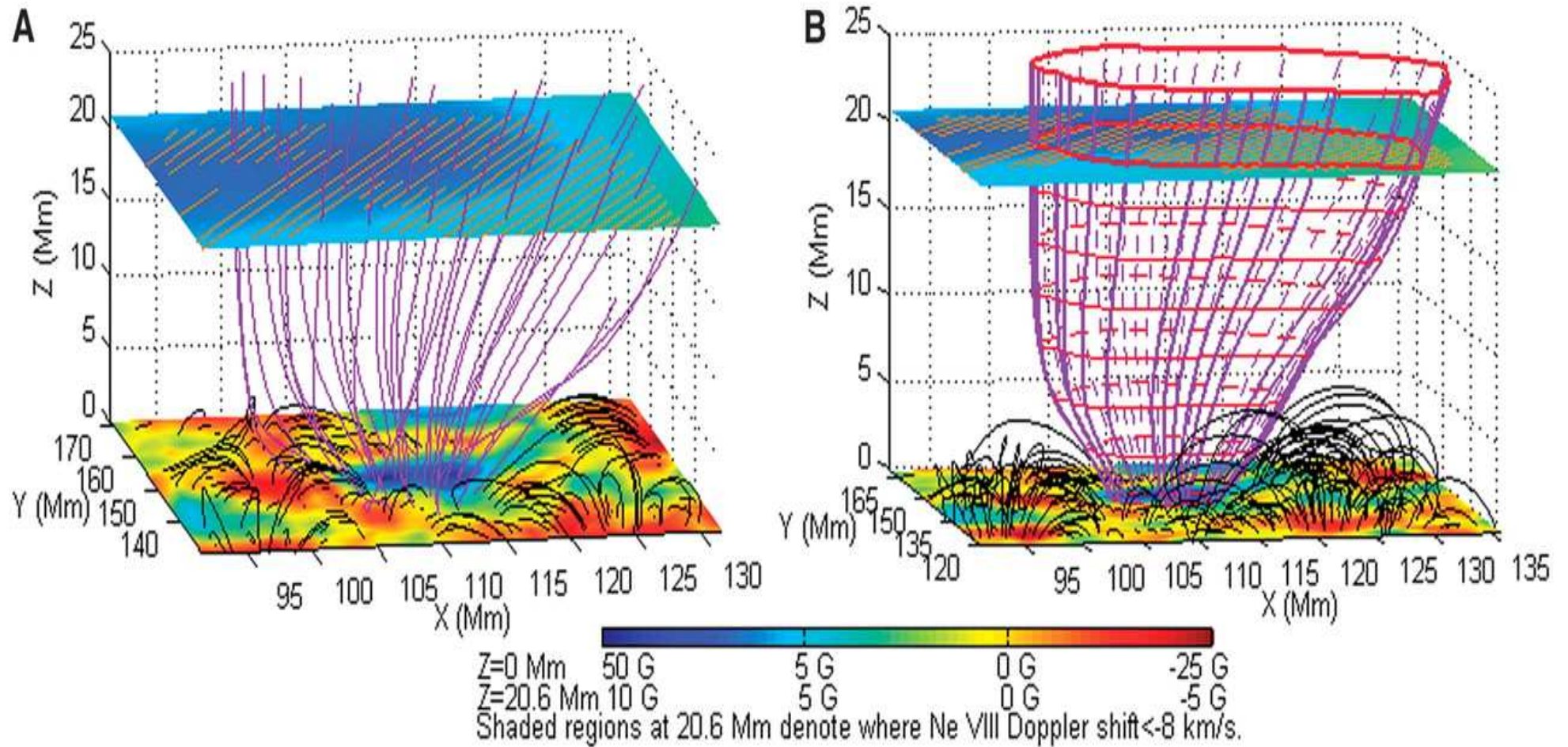
Z=0 Mm	100 G	50 G	0 G	-50 G
Z=4.0 Mm	40 G	20 G	0 G	-20 G
Z=20.6 Mm	8 G	4 G	0 G	-4 G

Contours at 4 Mm indicate the 80% level of Si II radiance;

Shaded regions at 20.6 Mm denote where Ne VIII Doppler shift < -7 km/s.

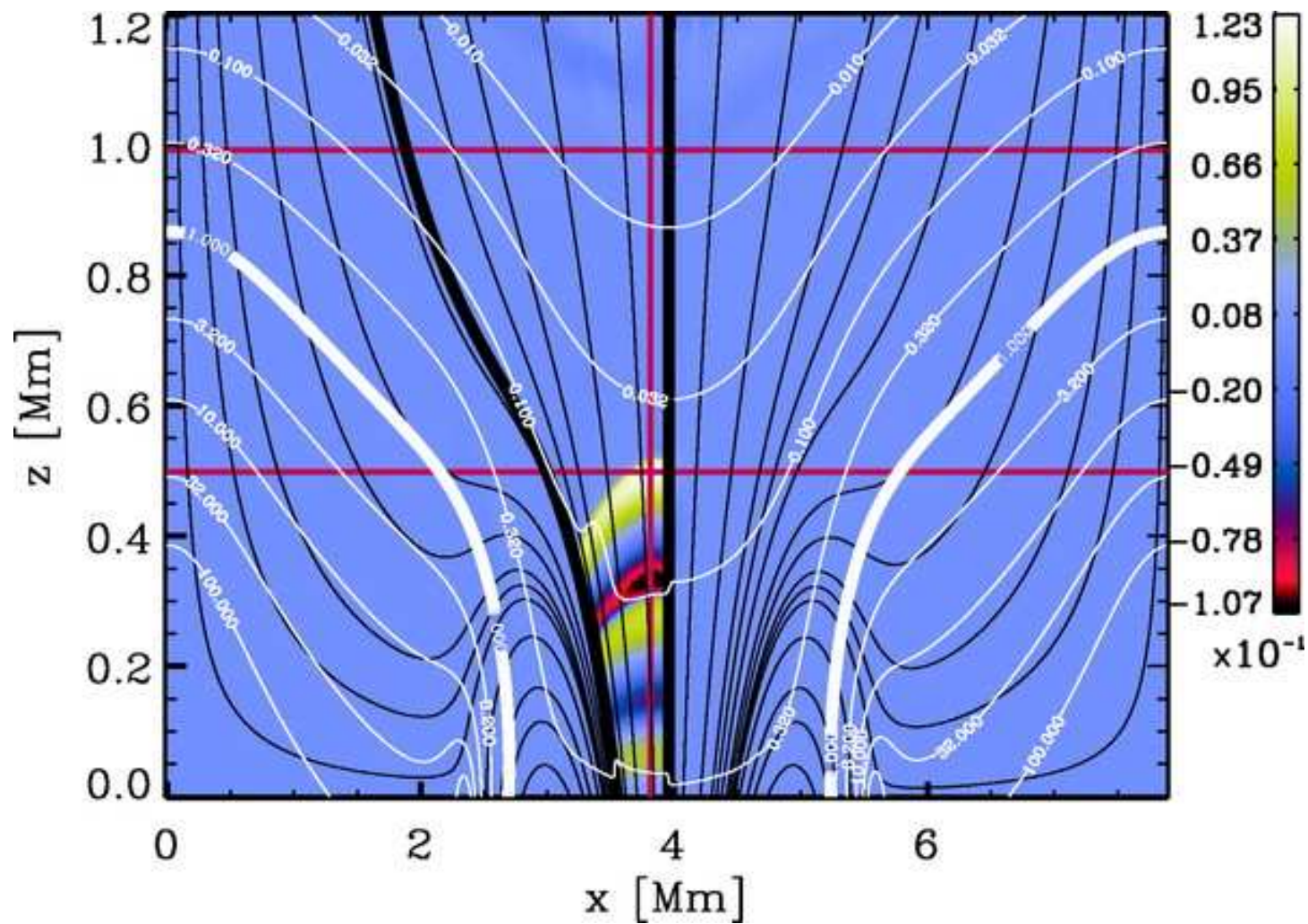
太陽風の根元の観測 -Coronal Funnel- 3/3

Tu et al.2005



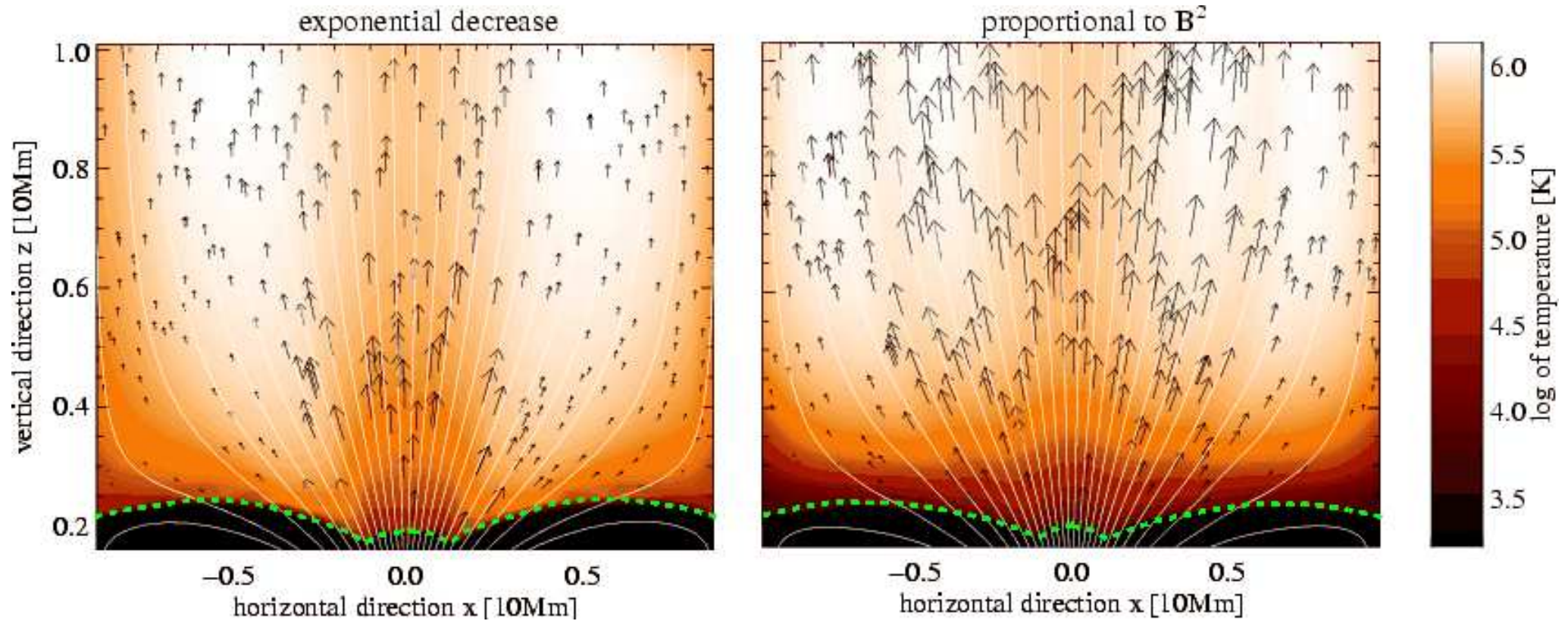
Simulation 1 -2D 波あり 太陽風なし-

Bogdan et al.2003



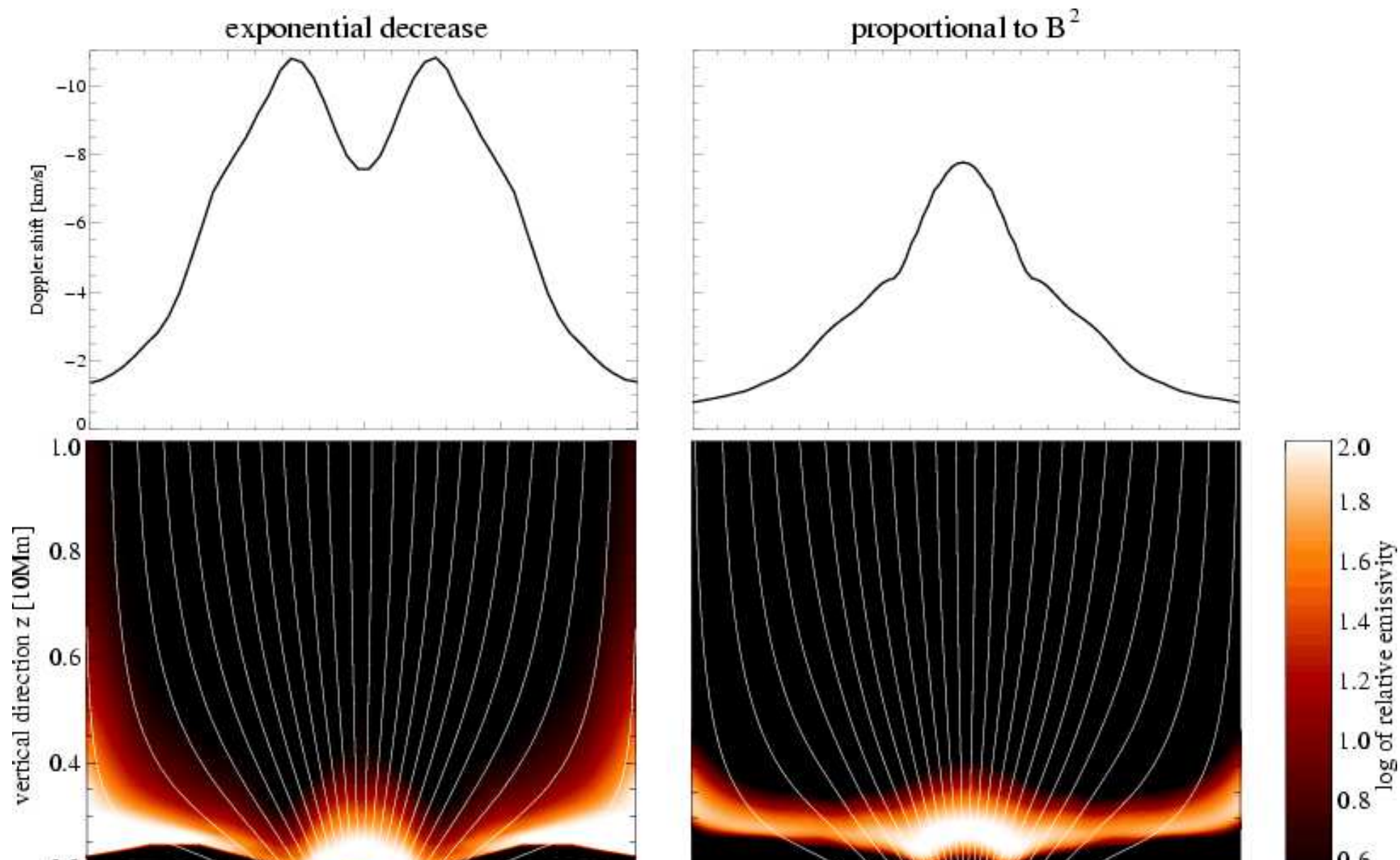
Simulation 2 -2D 波なし 太陽風根元あり- 1/2

Aiouaz et al.2005



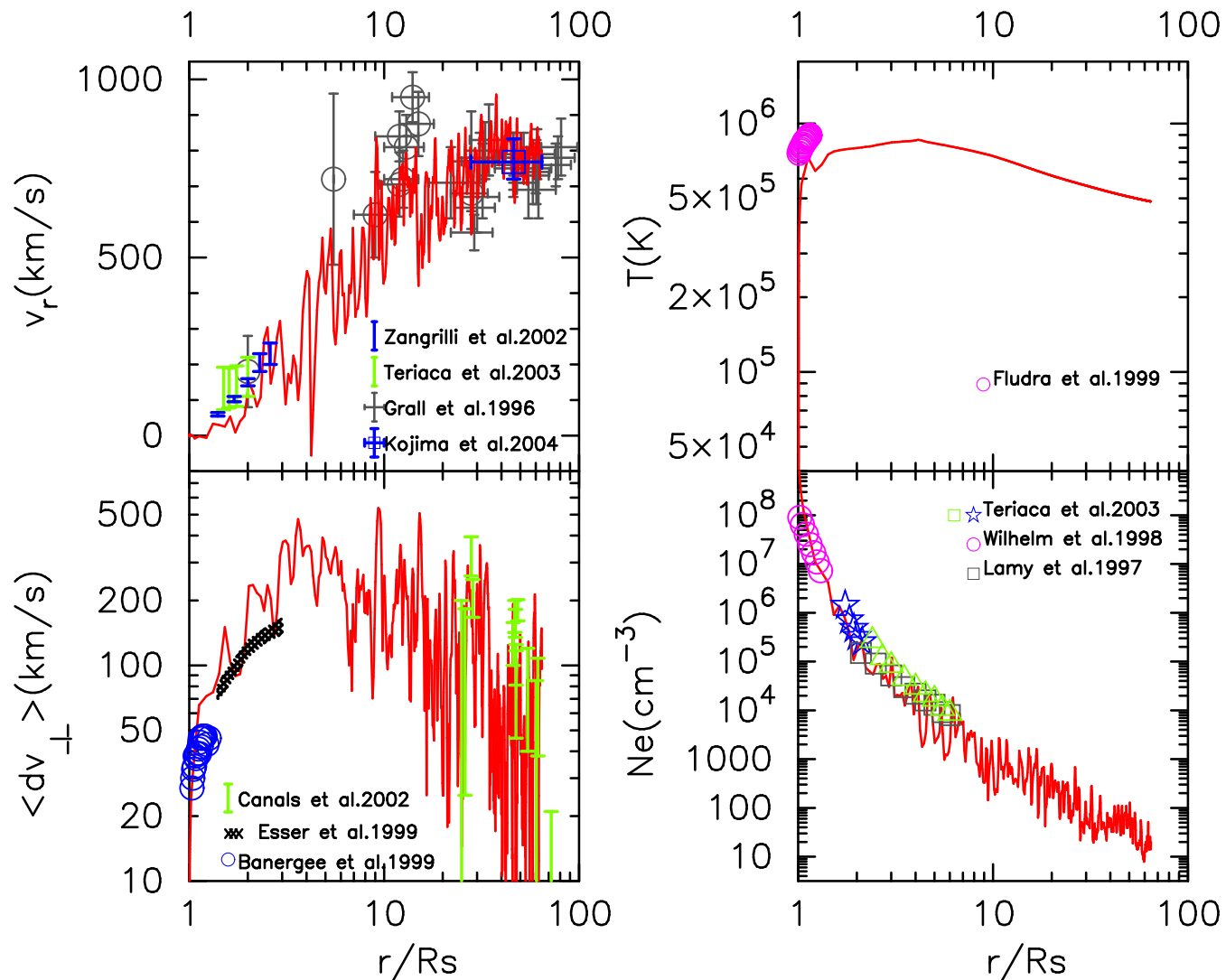
Simulation 2 -2D 波なし 太陽風根元あり- 2/2

Aiouaz et al.2005



Simulation 3 -1D 波あり 太陽風あり-

Suzuki & Inutuska 2005



これまでのSimulationsのまとめ

理想：波あり + 太陽風あり(~10Rsまで) + 閉じた領域あり(2,3D)

- 波あり+閉じた領域あり：Simulation 1
- 太陽風あり(根元のみ)+閉じた領域あり：Simulation 2
- 波あり+太陽風あり：Simulation 3

近い将来やること 1/2

波あり + 太陽風あり(~10Rsまで)+ 閉じた領域あり(2,3D)

具体的には以下のようなSimulation

- 領域は光球から~10Rs
- とりあえずコロナホール
- まず2D; 5000 x 100
- メッシュは0.01Hzの波を追えるように(できればAMR)

観測(Solar-B)との比較

- コロナホールでの光球ーコロナ関係(定常太陽風の根元)
- どの波動減衰過程が卓越か
- 表面でどのような擾乱があるか

近い将来やること 2/2

大局から攻める場合は...

- 領域は光球から~10Rs
- 太陽全面; コロナホールと活動領域
 - 定常太陽風と非定常コロナ質量放出両方
- 3D; 1000 x 100 x 100
- 波は(加熱を)モデル化
 - Local Simulationsからカンニング

宇宙天気予報の観点から重要