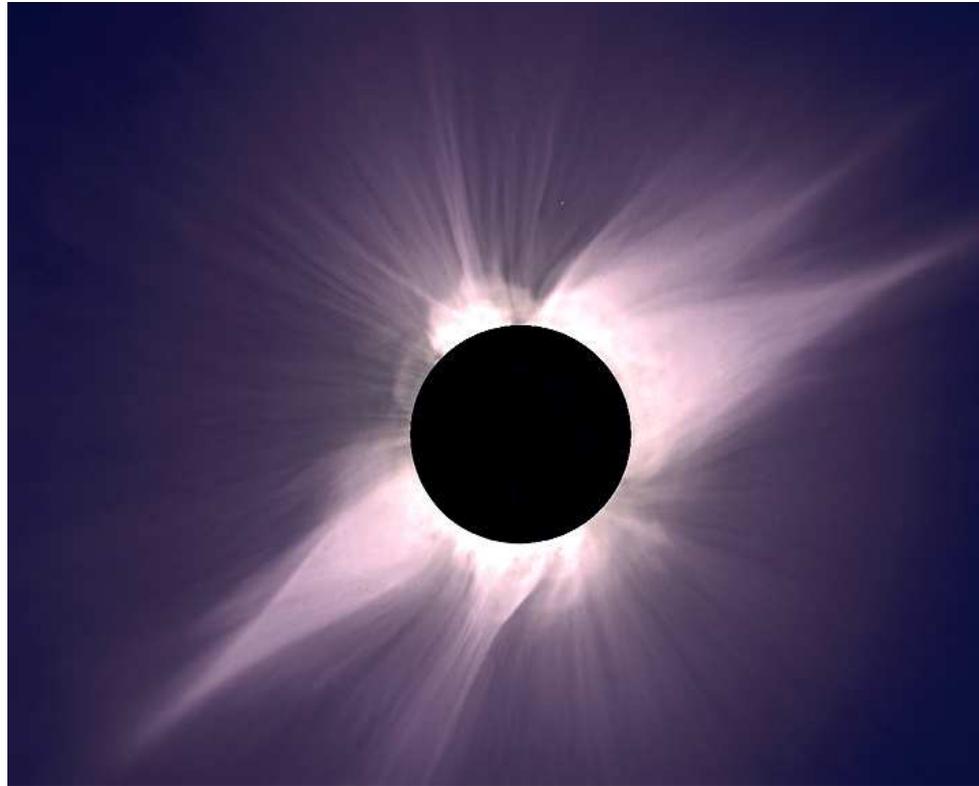


# 高速／低速太陽風の起源



鈴木 建 Takeru K. Suzuki  
京大理(天体核 学振研究員PD)  
Suzuki 2004, MNRAS in press

# 太陽風研究の意義

---

- 太陽風の駆動機構がそもそも分かっていない

本日の話

- 諸天体におけるプラズマ加熱、加速現象への応用

- 恒星コロナ 恒星風

中小質量星に普遍的な現象

質量放出は恒星進化の不定性になっている

- パルサー 風駆動機構

- 銀河団加熱(冷却流の抑制)

Fujita, Suzuki, & Wada 2004 (ポスター をどうぞ)

- 地球磁気圏物理との接点

- 宇宙天気予報、オーロラ

- 惑星の起源

- 原始惑星円盤との相互作用

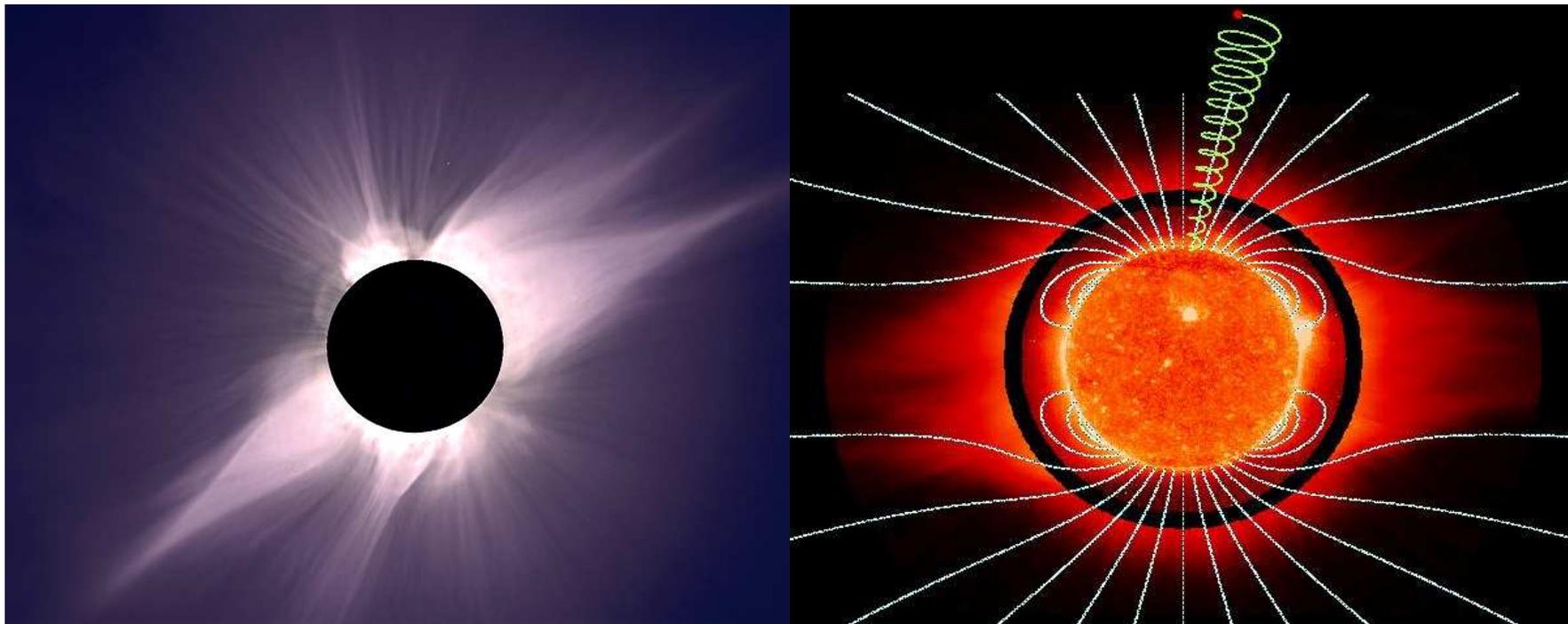
- 生命、人類の起源

- 銀河系宇宙線、古代気候変動との関連

# 太陽コロナ

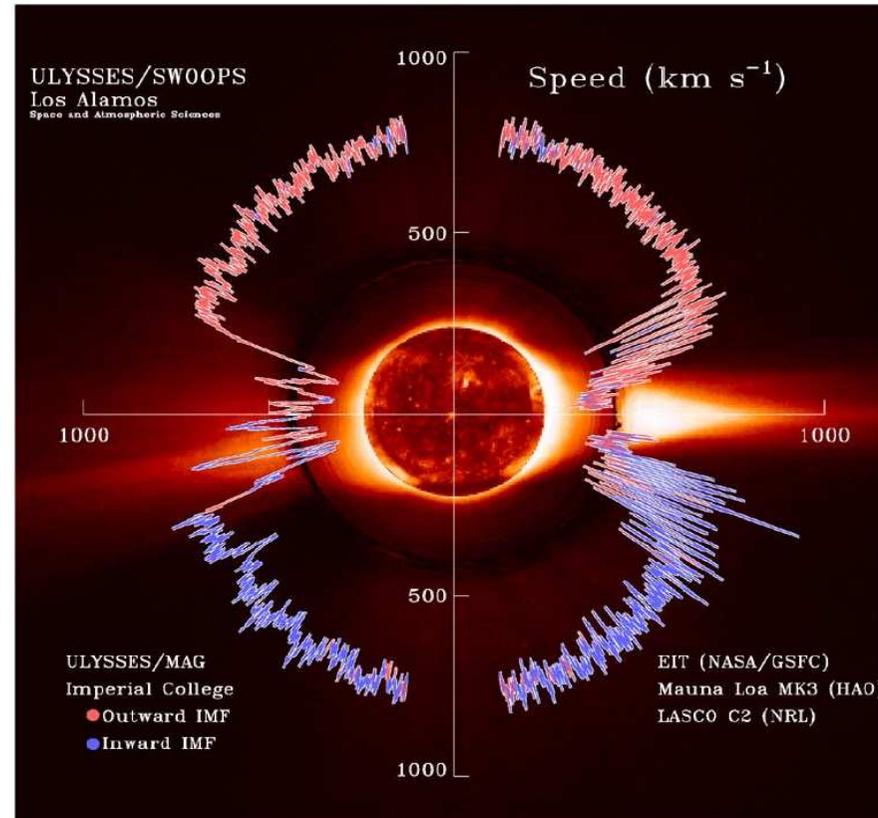
---

1991年7月11日、ハワイでの皆既日食(SOHO; NASA & ESA); SOHO/UVCS HP



# 2種類の太陽風

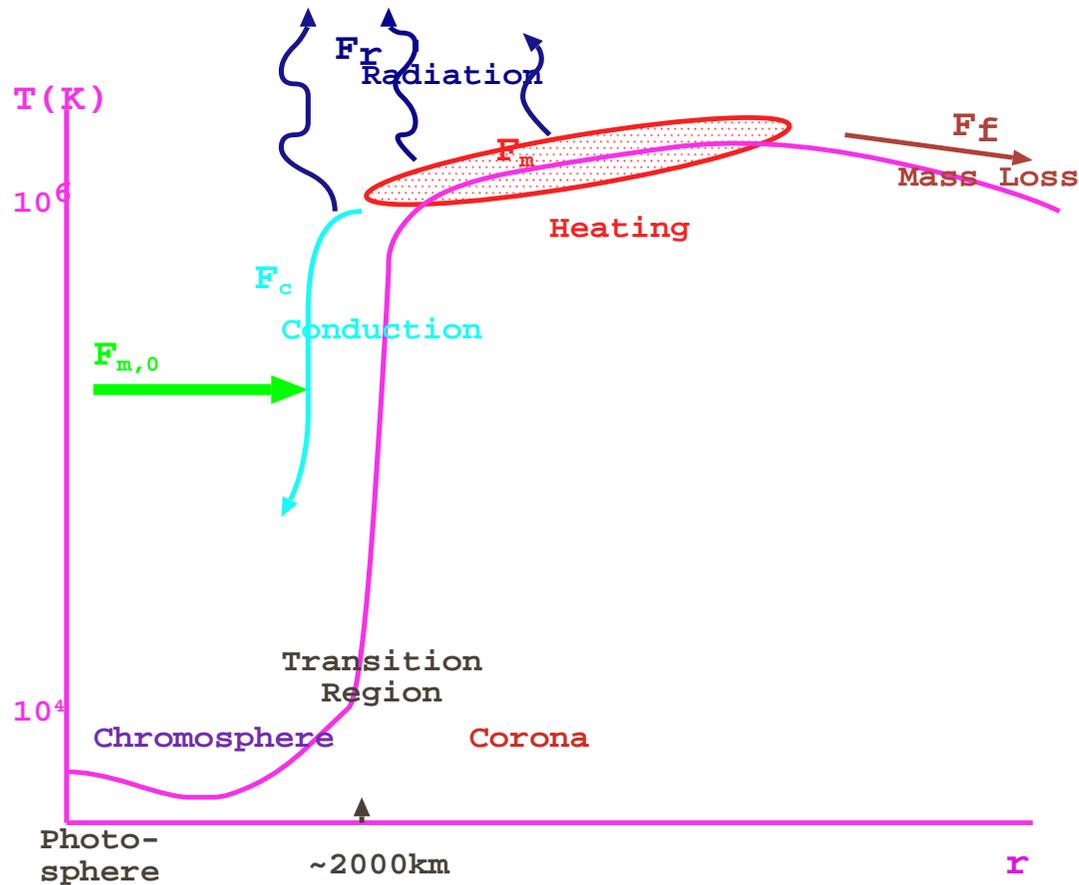
from Ulysses HP



Property (1 AU)	Slow Wind	Fast Wind
Flow Speed	$\sim 400 \text{ km/s}$	$\sim 750 \text{ km/s}$
Density	$\sim 7 \text{ cm}^{-3}$	$\sim 3 \text{ cm}^{-3}$

何が違いを作るのかは分かっていない

# 太陽コロナでのエネルギー輸送



$$F_{m,0} \simeq 10^{5-6} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \left( \sim \frac{L_{\odot}}{10^{5-6}} \right)$$

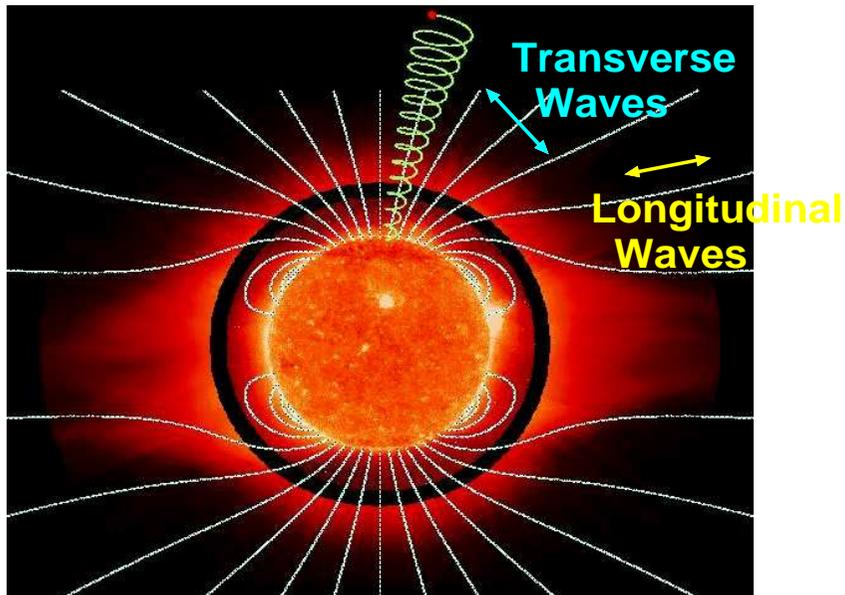
で高温のコロナを保持

# 開いた領域での波

---

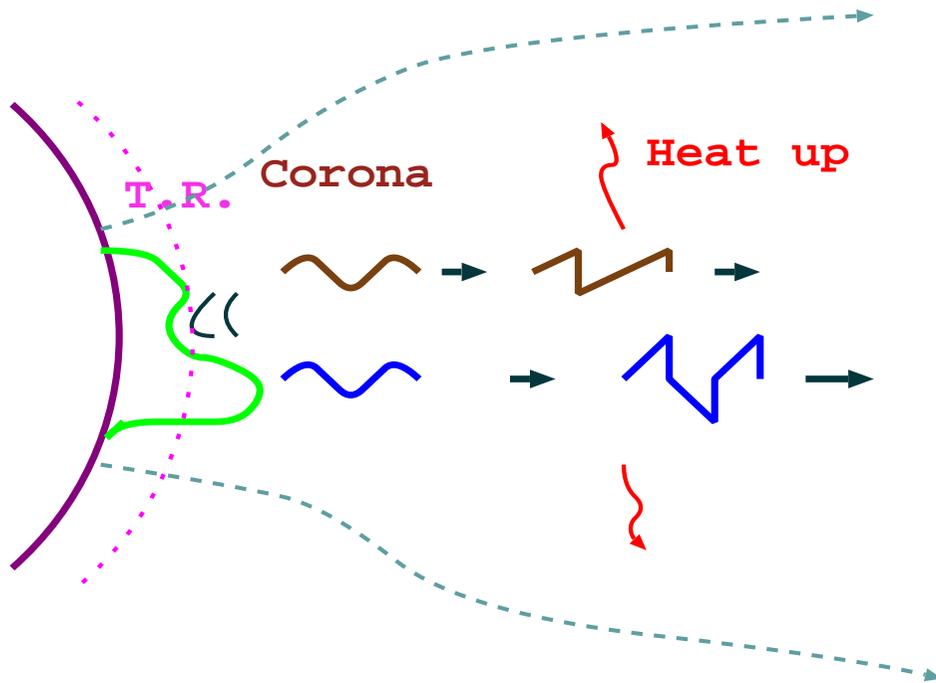
## 磁力線方向に伝わるMHD波 (low-B)

from SOHO HP



- 縦波 (Slow MHD波 ~ 音波)
  - 衝撃波散逸; 減衰早い
- 横波 (Alfven波、及び Fast MHD波)
  - 散逸遅い=>エネルギーを外部コロナへ運び得る  
色々な減衰過程調査される
  - 直線偏光Alfven波の減衰を考える

# Model



Suzuki, T. K. 2002, ApJ, 578, 598  
Suzuki, T. K. 2004 in press

$f_{\max}=1$  : Radial Expansion

$f_{\max}=10$  : 10% is open

## ■ 仮定

- 定常 & 磁力線方向の1次元
- 2流体プラズマ(protons + electrons)

## ■ Input Parameters:

$$F_{w,\perp,0}, F_{w,\parallel,0}, \tau_{\perp}, \tau_{\parallel}, B_0, \text{ and } f_{\max}$$

波の周期に対する依存性弱いので、 $\tau = 120\text{s}$  の波を考える

衝撃波振幅の変化の式を、質量/運動量/エネルギー保存の式と共に解く

# 衝撃波振幅の変化

衝撃波振幅の変化が コロナの物理量の関数として導出される

- 弱い衝撃波近似
- WKB近似

## ■ N-waves (縦波)

Stein & Schwartz 1972; Suzuki 2002

$$\frac{d\alpha_{\text{sh},\parallel}}{dr} = \frac{\alpha_{\text{sh},\parallel}}{2} \left( -\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dr} - \frac{2(\gamma+1)\alpha_{\text{sh},\parallel}}{c_s \tau_{\parallel}} - \frac{1}{A} \frac{dA}{dr} - \frac{3}{c_s} \frac{dc_s}{dr} \right)$$

$(\alpha_{\text{sh},\parallel} \equiv \delta v_{\text{sh},\parallel} / c_s)$

## ■ Switch-on shock trains (横波)

Suzuki 2004

$$\frac{d\alpha_{\text{sh},\perp}}{dr} = \frac{\alpha_{\text{sh},\perp}}{2} \left[ -\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dr} - \frac{\eta_{\perp} B_{\parallel} \alpha_{\text{sh},\perp}^2}{8\tau_{\perp} \sqrt{\pi\rho} (v_A + v)^2 (1 - c_s^2/v_A^2)^2} \right. \\ \left. - \frac{1}{A} \frac{dA}{dr} - \frac{3v_A + v}{v_A(v_A + v)} \frac{dv_A}{dr} - \frac{2}{v_A + v} \frac{dv}{dr} \right]$$

$(\alpha_{\text{sh},\perp} \equiv \delta v_{\text{sh},\perp} / v_A)$

Switch-on 衝撃波の減衰：より遅い

# 基礎方程式

---

$$\rho v A = \text{const}$$

$$v \frac{dv}{dr} = -\frac{GM_{\odot}}{r^2} - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dr} - \frac{1}{\rho} \frac{dp_{w,\perp}}{dr} - \frac{1}{\rho} \frac{dp_{w,\parallel}}{dr}$$

$$\frac{n^{\gamma}}{\gamma-1} v \frac{d}{dr} \left( \frac{kT_p}{n^{\gamma-1}} \right) = -\nabla \cdot F_{c,p} + C_{pe} + Q_{\parallel,p} + Q_{\perp,p}$$

$$\frac{n^{\gamma}}{\gamma-1} v \frac{d}{dr} \left( \frac{kT_e}{n^{\gamma-1}} \right) = -\nabla \cdot F_{c,e} + C_{ep} + Q_{\parallel,e} + Q_{\perp,e} - n^2 \Phi(T_e)$$

Where  $n_e = n_p \equiv n$ ,  $F_c \equiv \kappa_0 T^{5/2} \frac{dT}{dr}$ ,

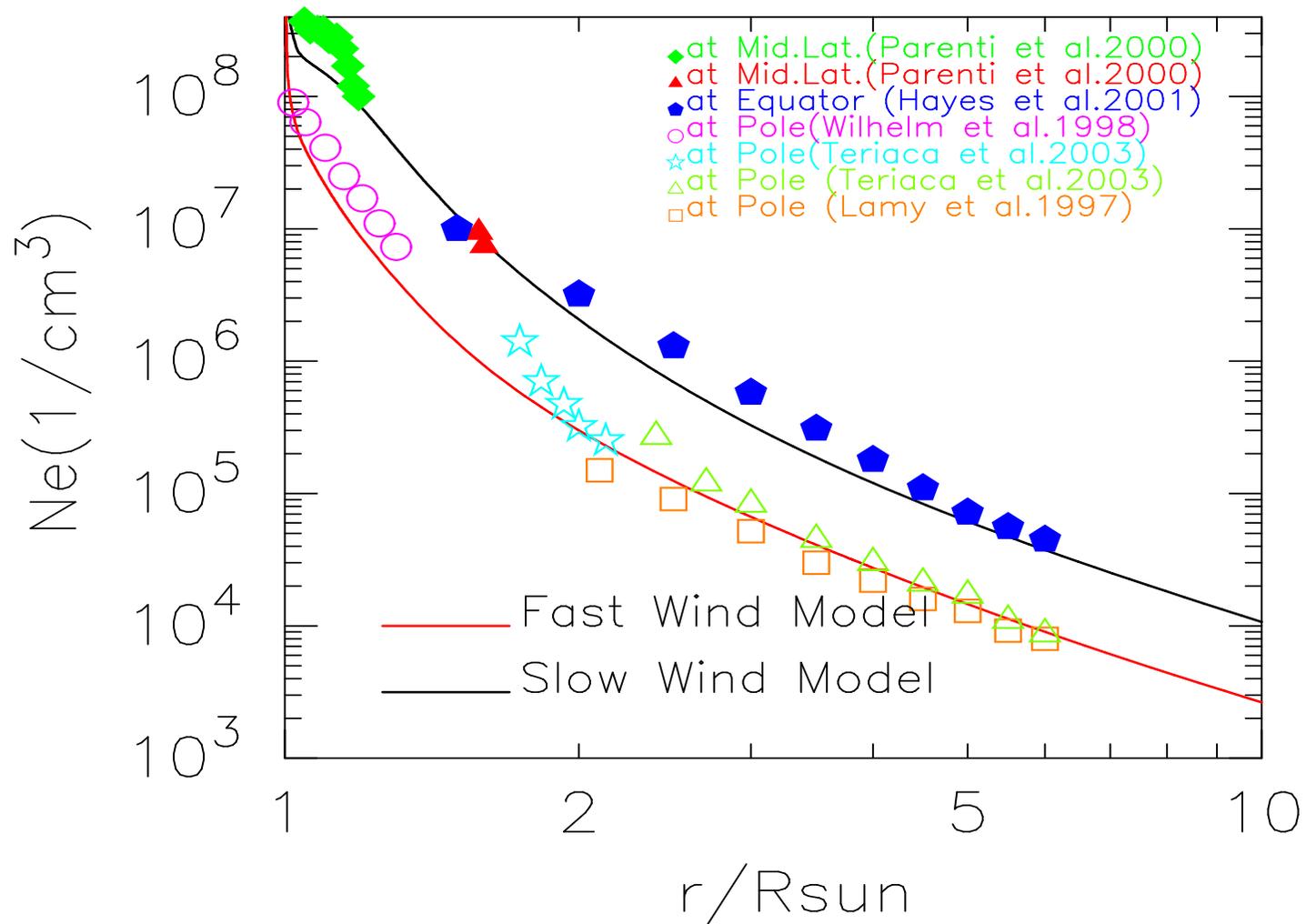
$$Q_{\perp} = \frac{B_{\parallel}^2}{16\pi\tau_{\perp}} \frac{v_A}{v_A+v} \frac{\alpha_{sh,\perp}^4}{1-c_s^2/v_A^2}, \quad Q_{\parallel} = \frac{2\gamma(\gamma+1)p\alpha_{sh,\parallel}^3}{\eta_{\parallel}\tau_{\parallel}}$$

$$\frac{dp_{w,\perp}}{dr} = \frac{d}{dr} \left( \frac{\alpha_{sh,\perp}^2 B_{\parallel}^2}{8\pi\eta_{\perp}} \right), \quad \frac{dp_{w,\parallel}}{dr} \simeq 0$$

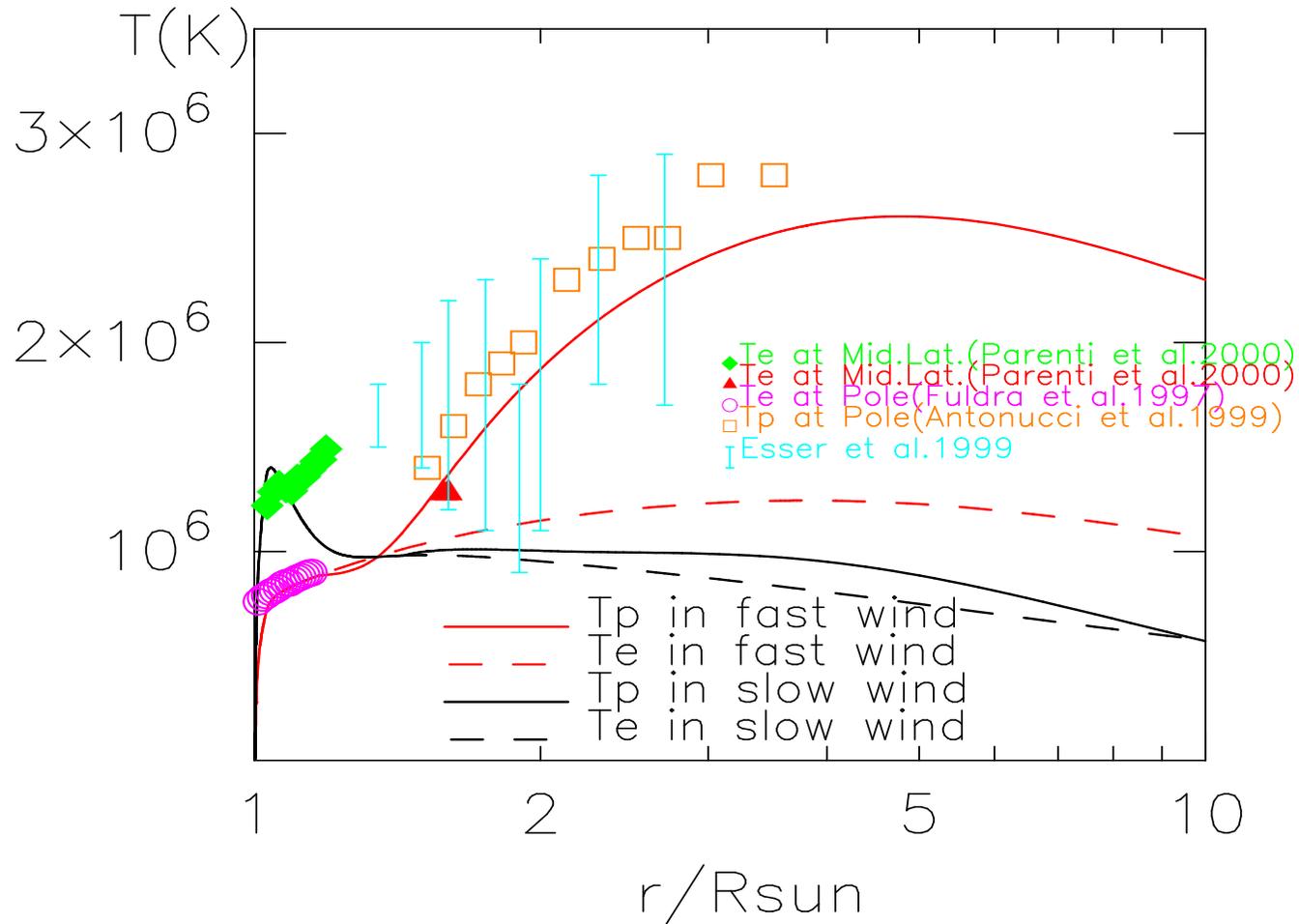
6本の式から  $\rho(r)$ ,  $v(r)$ ,  $T_p(r)$ ,  $T_e(r)$ ,  $\alpha_{sh,\perp}(r)$ ,  $\alpha_{sh,\parallel}(r)$  を導出

遷音速解の仮定、適切な境界条件により 一意な解

# 結果 (Ne)

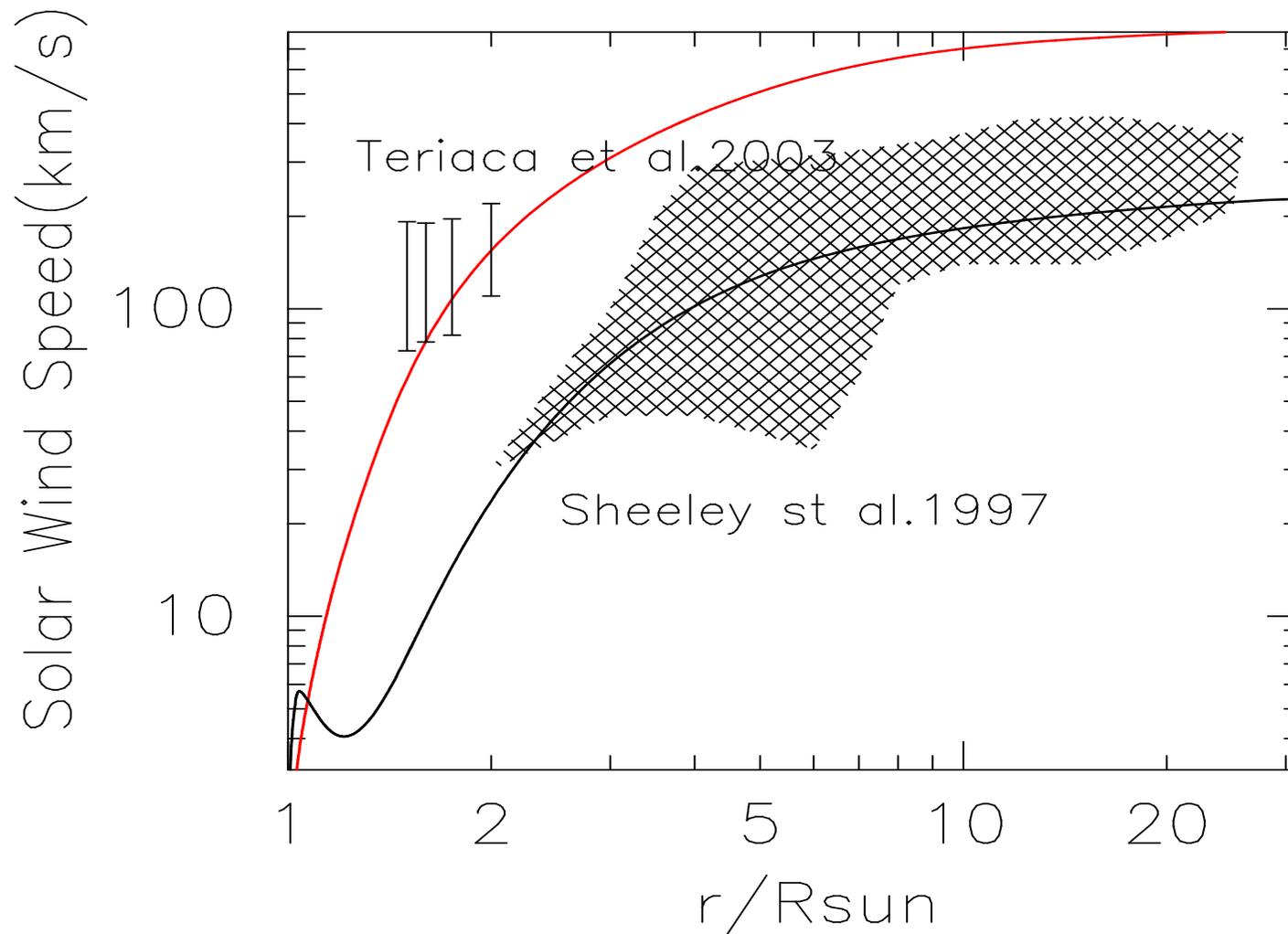


# 結果 (Tp & Te)



T in the slow wind shows the discrepancy.

# 結果 (太陽風速度)



# Input & Output

## Input Parameters

Model	$F_{w,\perp}$ (erg cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	$F_{w,\parallel}$ (erg cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	$B_0$ (G)	$f_{\max}$
High-Speed	$2.4 \times 10^5$	$0.36 \times 10^5$	2	1
Low-Speed	$4.4 \times 10^5$	$7.2 \times 10^5$	10	8

## 重要な結果

■ 横波(Alfven波) : 高速(低密度)太陽風で重要

- 横波 : 減衰遅い => エネルギー、運動量注入は Subsonic領域ではなく SuperSonic領域

=> 加速

Subsonic領域での注入 : 流速(NV)を上げる

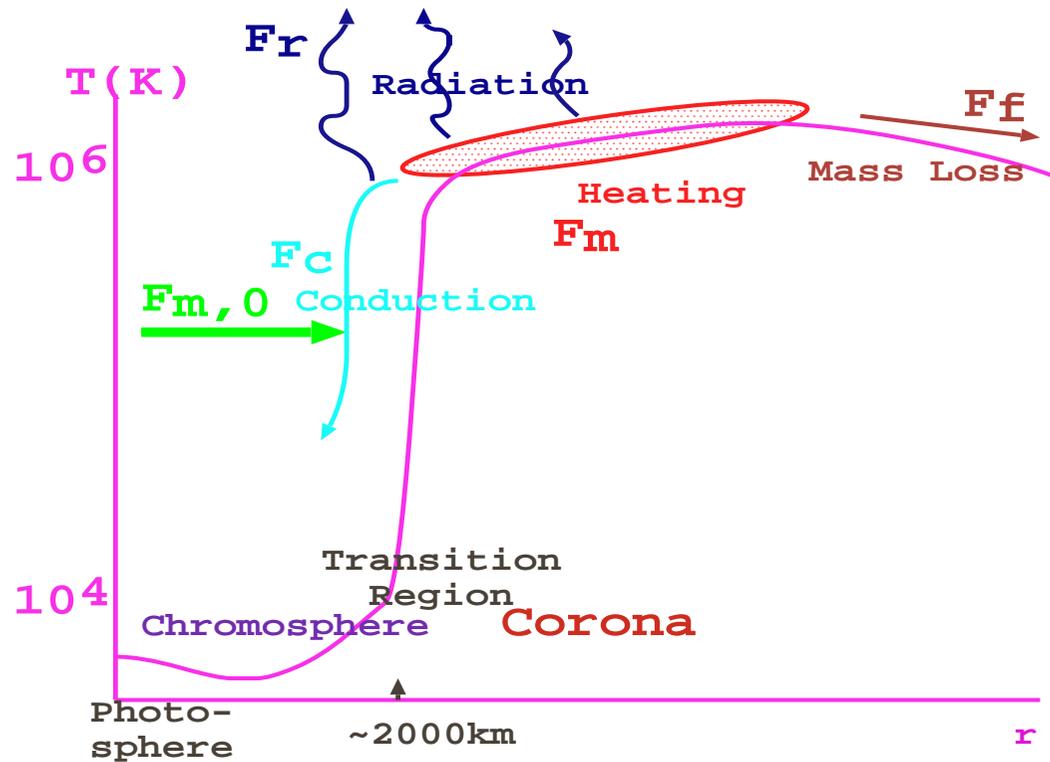
Supersonic領域での注入 : 速度を上げる

$$\text{Momentum eq. (ラバール管の式)} : \frac{1}{v} \frac{dv}{dr} = \frac{2a^2/r - GM_{\odot}/r^2 + F}{v^2 - a^2}$$

■ 縦波(音波) : 低速(高密度)太陽風で重要

- 説明は次ページ

# 音波 $\Leftrightarrow$ コロナ底部の密度



- 音波(減衰早い)の注入  $\Rightarrow$  下部コロナの加熱
- $\Leftrightarrow$  下方(光球方向)への熱伝導
- $\Leftrightarrow$  輻射として逃げる
- $\Leftrightarrow$  遷移層、下部コロナの密度

# まとめ

---

縦波、横波の衝撃波散逸による コロナ加熱、高速／低速太陽風加速過程を調べた。

- 高速太陽風  $\Leftarrow$  横波(直線偏光Alfven波)
- 低速太陽風  $\Leftarrow$  縦波(音波)

本日の話、まずいところが多々あります

定常、単色波、WKB近似

現在、非定常シミュレーションをやっています

恒星風も視野に入れて

乞う御期待