

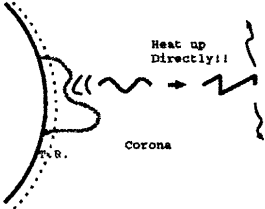
The Heating of the Solar Corona and the Acceleration of the Solar Wind by Waves¹

鈴木 建(すずき たける 国立天文台/東大理; stakeru@th.nao.ac.jp)

本研究では、低速太陽風が吹き出すとされる低緯度コロナ領域における、光球ではなく、コロナで生成された音波による、コロナガスの加熱の可能性を調べた。小スケールのリコネクション現象のモデルの一つである Chromospheric Reconnection (Sturrock 1999) により、周期が100秒程度の音波が励起される。これらの波は、上方への伝搬とともに衝撃波を形成し、のこぎり型の波(N-waves)として伝播していく。N-wavesの波のエネルギーは上方へいくに従い減衰し、結果として周囲のガスを加熱する。そこで我々は、エネルギーフラックス、 $F_{w,0} = (1-20) \times 10^9 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、周期、 $\tau = 60 - 300 \text{ s}$ 、を持つような音波が存在する時の、大域的なコロナの構造を解くことにより、上記のような音波による、コロナ加熱、および、太陽風加速を定量的に解析した。N-wavesの減衰により、下部コロナは非常に良く加熱され、特にエネルギーフラックスが $2 \times 10^9 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以上の波は、コロナを100万度以上に加熱できることが判明した。さらに、本モデルは観測されるコロナの密度分布も再現可能である。しかしながら、音波の減衰長の短さゆえ、最高温度を与える位置は観測されるものよりも太陽表面に近くなり、太陽風速度は低速太陽風の観測値よりも小さくなってしまった。従って、実際の太陽コロナでは、より長い減衰長を持つ他の加熱源との協力により、全体的な太陽コロナの加熱、太陽風加速が達成されていると考えられる。

モデル

コロナにおける音波の生成



- Chromospheric Reconnections²(Sturrock 1999)
- スピキュールも縦波を励起し得る^{3,4}。
- N-wavesの伝搬に焦点を当て、彩層上部(r_{in} at $T = 10^4 \text{ K}$)から地球軌道外側($r_{out} = 300 R_{\odot}$)までの大域的なコロナの構造を解く。
- 球対称よりも早い flow tube の膨張も考慮する(パラメタ: f_{max})。

基礎方程式

- 連続の式

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

但し、 A は flow tube の断面積。

- 運動方程式

$$v \frac{dv}{dr} = -\frac{GM_{\odot}}{r^2} - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dr} - \frac{1}{\rho c_s} (1 + \frac{\gamma-1}{2} \alpha_w) \nabla \cdot F_w.$$

但し $\alpha_w \equiv \delta v_w / c_s$, F_w は波のエネルギーフラックス。

- エネルギー方程式

$$\nabla \cdot [\rho v (\frac{1}{2} v^2 + \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{k_B T}{m_H \mu}) - \frac{GM_{\odot}}{r}] + F_w + F_c + q_{rt} = 0,$$

但し、 F_c は熱伝導フラックス、 q_{rt} は放射冷却関数。

- 振幅、 δv_w の変化の式

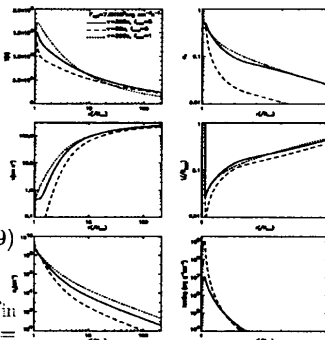
$$\frac{d\alpha_w}{dr} = \frac{\alpha_w}{2} \left(-\frac{1}{p} \frac{dp}{dr} - \frac{2(\gamma+1)\alpha_w}{c_s \tau} - \frac{1}{A} \frac{dA}{dr} - \frac{1}{c_s} \frac{dc_s}{dr} \right),$$

境界条件

- $F_w(r_{ch}) = F_w(r_0) = F_{w,0}$
- $T(r_{ch}) = T_{ch}$
- $|F_c(r_{ch})| (\approx 0) \ll |F_{c,max}|$
- $\nabla \cdot F_c(r_{out}) = 0$.

遷音速点から両側に、上記4本の式を数値積分する。そして、外側、内側両方の境界条件を同時に満たすまで、積分を逐次的に繰り返す。

結果 理論的解釈

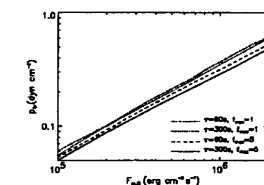
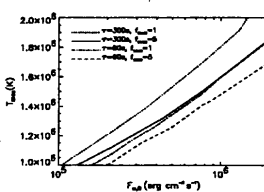


各モデルのコロナ、太陽風の諸物理量

Input		Output				
$(F_{w,0}, \tau, f_{max})$	p_{tr}	T_{max}	r_{Tmax}	$(n_p v)_{1AU}$	$(v)_{1AU}$	
(7.8, 60, 5)	0.28	1.43	1.04	3.8×10^8	222	
(7.8, 300, 5)	0.24	1.50	1.08	7.5×10^7	251	
(7.8, 300, 1)	0.29	1.71	1.12	3.8×10^8	222	
(3.2, 120, 5)	0.13	1.16	1.05	2.5×10^8	230	
(5.9, 120, 5)	0.21	1.35	1.05	1.3×10^8	240	
(10, 120, 5)	0.32	1.52	1.05	1.3×10^8	230	

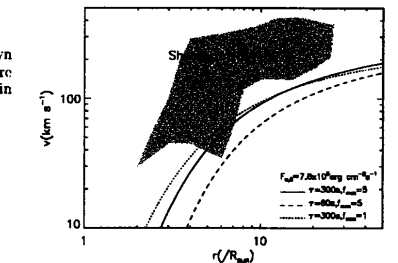
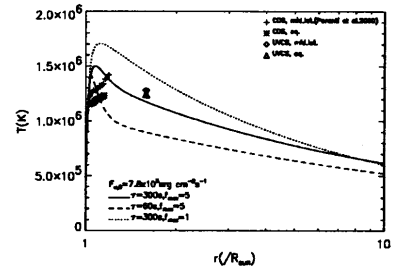
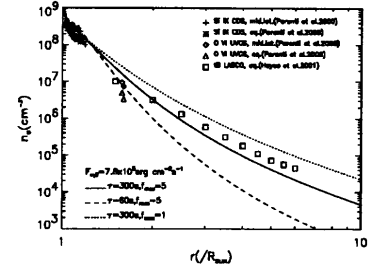
$F_{w,0}$ is in $10^9 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and τ in second. p_{tr} is pressure in dyn cm^{-2} at the TR where $T = 10^3 \text{ K}$. T_{max} is peak coronal temperature in 10^3 K . r_{Tmax} is location of T_{max} in R_{\odot} . $(n_p v)_{1AU}$ is proton flux in $\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ at 1AU, and $(v)_{1AU}$ is the flow velocity in km/s at 1AU.

$T_{max}, p_{tr} - F_{w,0}$



- $T_{max} \propto F_{w,0}^k$ ($k = 0.23 - 0.26$).
- $p_{tr} \propto F_{w,0}^l$ ($l = 0.75 - 0.59$).
- $T_{max} = 3000(p_{tr} r_{Tmax})$: RTV 関係に似る。

観測との比較



- 密度分布は再現可能
- T_{max} の位置は表面に近過ぎる。
- 太陽風速度遅すぎる。減衰長の長い他の過程との協力が不可欠。

References

- [1] Suzuki, T. K., 2002. ApJ vol.578, in press
- [2] Sturrock, P. A. 1999. ApJ, 521, 451
- [3] Kudoh, T. & Shibata, K. 1999. ApJ, 514, 493
- [4] Hollweg, J. V. 1992. ApJ, 389, 731
- [5] Parenti, S., Bromage, B. J. I., Palermo, G., Noei, G., Raymond, J. C., & Bromage, G. E. 2000. A & A, 363, 800
- [6] Hayes, A. P., Vouridas, A., & Howard, R. A. 2001. ApJ, 548, 1081
- [7] Sheeley, N. R., Jr. et al. 1997. ApJ, 484, 472

Created by glatka with adobe illustrator 10