

高速風とその加速機構のREVIEW

名古屋大学太陽地球環境研究所

平野将也

- I . 初期の太陽風モデル
- II . 電磁流体波によるモデル
- III . Ion-cyclotron共鳴によるモデル

高速風の加速機構はどこまで解明されたのか

残る課題は何か？

I - i . 高温コロナの発見

- 1869年8月7日の日食のときに、Young と Harkness がそれぞれ独立に、緑色の輝線スペクトルなどの禁制線を発見。
- Grotrian [1939] と Edlén [1941] が、禁制線は100万度のコロナが発していることを示す。

I - ii . コロナの静水圧平衡モデル

- 太陽コロナは宇宙空間へ張り出していて静水圧平衡を保つ。コロナ底部で加熱されたときに生じた熱は熱伝導によって外側へ流出する。

$$0 = \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dr} + \frac{GM}{r^2}$$

- 無限遠でも圧力がゼロにならない問題を含む。

$$P_{(r)} = P_o \exp \left\{ \frac{7}{5} \lambda \left[\left(\frac{r_o}{r} \right)^{\frac{5}{7}} - 1 \right] \right\}$$

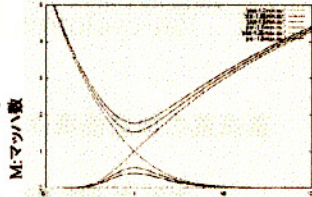
I - iii. 太陽風モデル

- 外向きの流れを定義することにより、Chapman[1957]のコロナモデルの矛盾点を克服し、初めて太陽風をモデル化した。

$$\frac{Dv}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dr} - \frac{GM}{r^2}$$

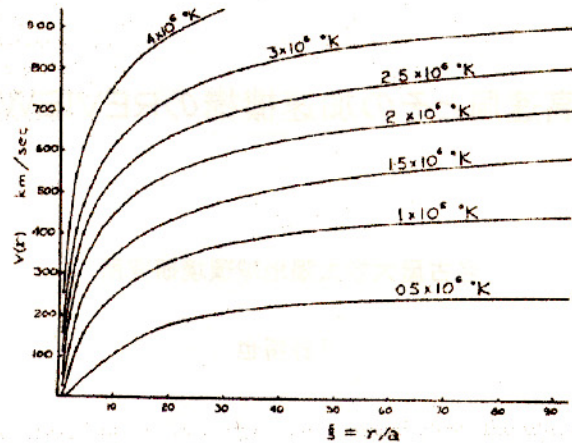
- 太陽風の解は下式の特解として得られる。

$$M^2 - \log M^2 = 4 \log x + \frac{4}{x} - C$$



[Parker, 1958]

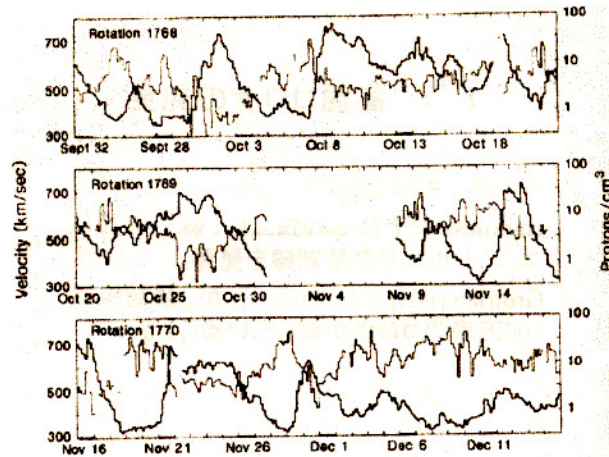
x: 臨界半径で規格化した距離



I - iv. 太陽風の存在の確認と高速風の発見

- 1962年8月7日に打ち上げられた Mariner 2 が太陽風の存在を確認。
- 700km/sもの高速風が観測された。これは、コロナを100万度としたParker [1958] のモデルでは再現することができない速さである。

[Neugebauer & Snyder, 1962]



II - i. 磁気音波による加熱

- Parker [1958]モデルで足りなかったエネルギーを、磁気音波の減衰による加熱で補う。

$$\frac{Dv}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dr} - \frac{GM}{r^2} + Q$$

[Barnes et al. 1971]

II - ii . Alfvén波による加熱

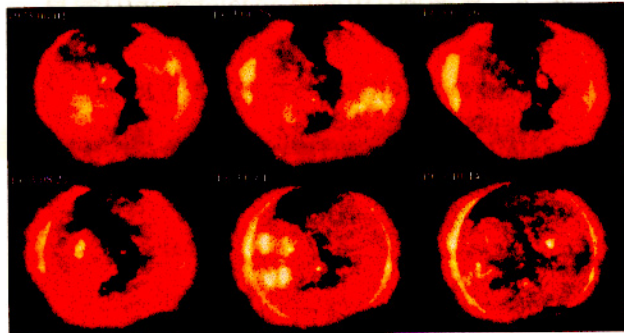
- Parker [1958]モデルで足りなかったエネルギーをAlfvén波によって補う。

$$\frac{Dv}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dr} - \frac{GM}{r^2} + Q$$

[Hollweg, 1973]

II - iii . コロナホールの発見

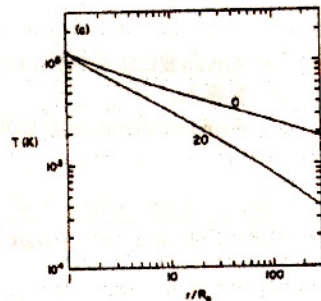
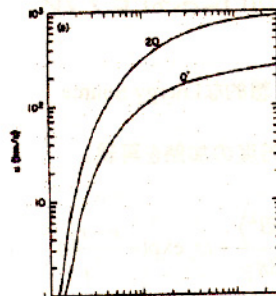
- 1973年6月14日に打ち上げられた Skylab 衛星のX線写真によってコロナの低温低密度領域が発見された。
- IMP衛星による速度データとの比較により、そこは高速風の源であることが判明した。



II - iv . Alfvén波によるモデ

- コロナホールの発見による低温域から高速風という要請をうけて、Alfvén波の圧力による加速を重視したモデルが、広くとられるようになる。

$$\frac{Dv}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dr} - \frac{GM}{r^2} - \frac{1}{\rho} \frac{d}{dr} \left\langle \delta B^2 \right\rangle$$

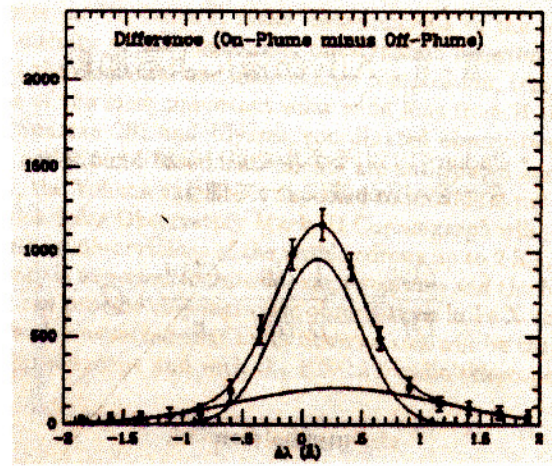


III - i . 極域コロナホール上空における高温域の発見

- Spartan 201 衛星により、コロナホールの数太陽半径上空に、800万度に相当するDoppler broadening 成分が発見された。

$$\Delta\lambda = \frac{2\lambda}{c} \sqrt{\frac{2kT}{m}}$$

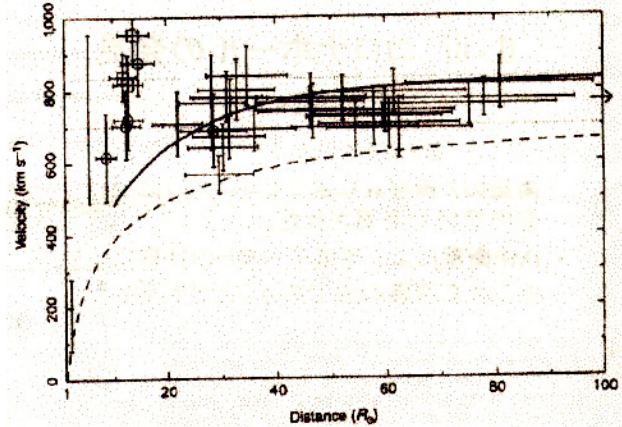
[Kohl et al. 1995]



III - ii . 高速風のRapid accelerationの発見

- UCSD の IPS 観測によって、高速風の Rapid acceleration が発見される。
- Alfvén波による加速は緩やかにしかならず、大きな問題となる。

[Grall et al. 1996]

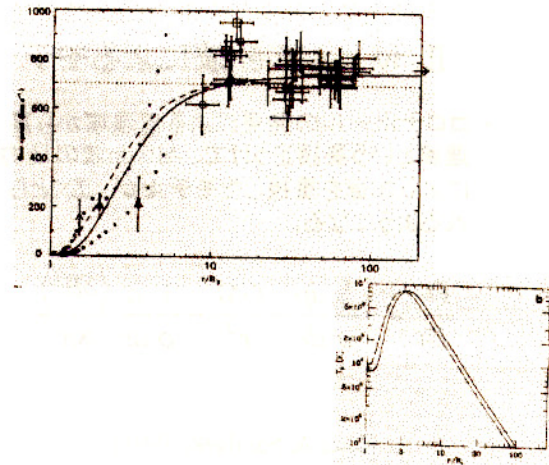


III - iii . Heating function によるモデル

- Alfvén波によるモデルに仮想的なEnergy Sourceを導入。
- Rapid acceleration と 800万度の加熱を再現。

$$\frac{Dv}{Dt} = \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dr} - \frac{GM}{r^2} - \frac{1}{\rho} \frac{d}{dr} \left(\frac{\delta B^2}{8\pi} \right) + D_0 \exp\left(-\frac{r-r_d}{\lambda_d}\right)$$

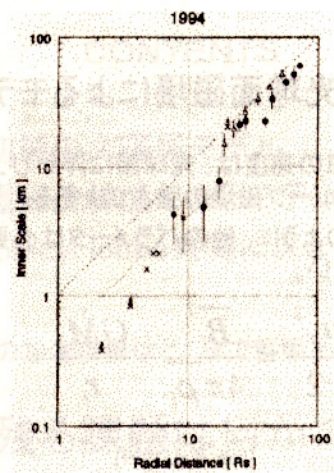
[Esser et al. 1997]



III-iv. Ion-cyclotron共鳴の証拠の発見

- 太陽付近で観測されたIPSの密度ゆらぎの強度が、Ion-cyclotron共鳴波長の付近で減少することを発見した。
- この現象の太陽からの距離依存性から、Ion-cyclotron共鳴によって波のエネルギーが散逸し、太陽風の加速に寄与している可能性を示した。

[Yamauchi et al. 1998]



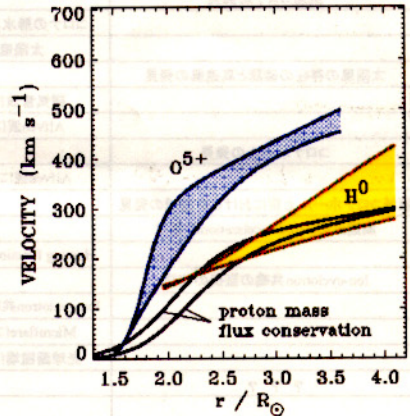
III-v. Ion-cyclotron共鳴によるモデル

- SOHO衛星のUVCSによる観測によって、Ion-cyclotron共鳴が起きていることが確認された。
- Ion-cyclotron共鳴をEnergy Sourceとして考えたモデルがたてられた。

$$D_o \exp\left(-\frac{r-r_d}{\lambda_d}\right) : \text{Ion-Cyclotron Resonance}$$

[Cranmer et al. 1999]

Outflow velocities:



III-vi. Microflareによるモデル

- そもそものエネルギー源であるAlfvén波の源として、Microflareが用いられた。
- Ion-cyclotron共鳴による「微視的」な加速機構のモデルは、今でも広く支持されている。

$$D_o \exp\left(-\frac{r-r_d}{\lambda_d}\right) - \frac{1}{\rho} \frac{d}{dr} \left\langle \delta B^2 \right\rangle : \text{Microflare}$$

[Axford et al. 1999]

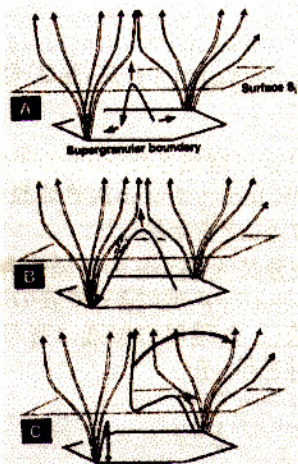
	観測	理論	
I	i 1941	高温コロナの発見	
	ii 1957		コロナの静水圧平衡モデル
	iii 1958		太陽風モデル
	iv 1962	太陽風の存在の確認と高速風の発見	
II	i 1971		磁気音波による加熱
	ii 1973		Alfvén波による加熱
	iii 1974	コロナホールの発見	
	iv 198x		Alfvén波によるモデル
III	i 1995	極域コロナホール上空における高温域の発見	
	ii 1996	高速風のRapid accelerationの発見	
	iii 1997		Heating functionによるモデル
	iv 1998	Ion-cyclotron共鳴の証拠の確認	
v 1999		Ion-cyclotron共鳴によるモデル	
vi 1999		Microflareによるモデル	

*. 光球面磁場によるモデル

- 高速風の速度は、光球面に浮かび上がってくるループ磁場の強さで決まる。
- 次式のように、他のパラメータは必要とされていない。

$$\frac{u_f^2}{2} = \frac{\overline{B_l^2}}{4\pi\rho_l} - \frac{GM_o}{r_i}$$

[Fisk et al. 1999]



	観測	理論
I	i 1941 高速コロナの発見	
	ii 1957	コロナの静水圧平衡モデル
	iii 1958	太陽風モデル
	iv 1962 太陽風の存在の確認と高速風の発見	
II	i 1971	磁気音波による加熱
	ii 1973	Alfvén波による加熱
	iii 1974 コロナホール発見	
	iv 198x	Alfvén波によるモデル
III	i 1995 極域コロナホール上空における高温域の発見	
	ii 1996 高速風のRapid accelerationの発見	
	iii 1997	Heating functionによるモデル
	iv 1998 Ion-cyclotron共鳴の証拠の確認	
	v 1999	Ion-cyclotron共鳴によるモデル
	vi 1999	Microflareによるモデル
	* 1999	光球面磁場によるモデル
	???	