

コンベクティブコラップス,
光球磁気リコネクションの
Solar-B での観測

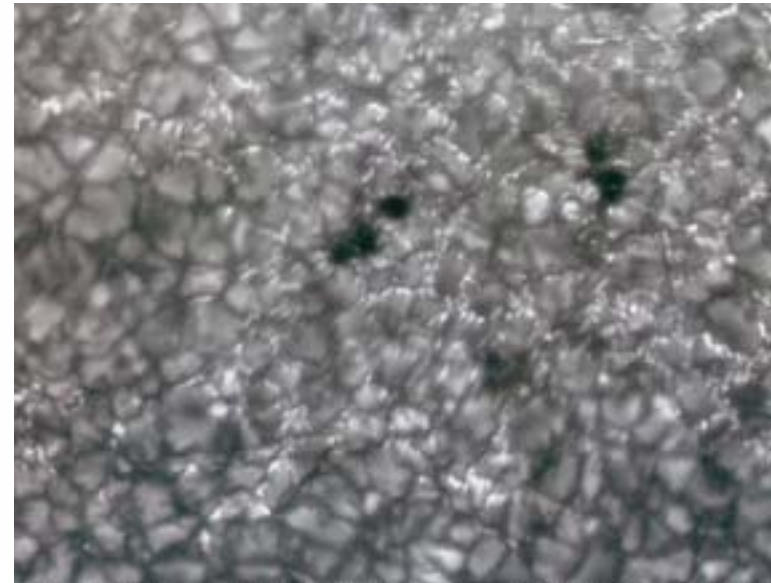
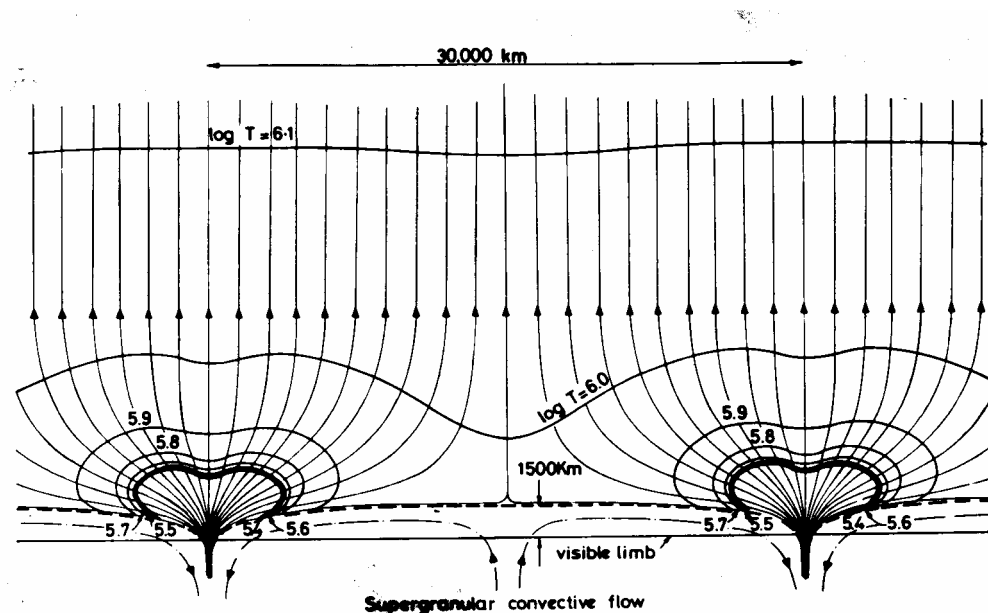
米子高専
竹内彰継

1 . 強い磁束管を作るメカニズム：コンベクティブコラップス

1.1 . 光球磁束管

光球では鉛直な強い磁束管が超粒状斑境界に点在

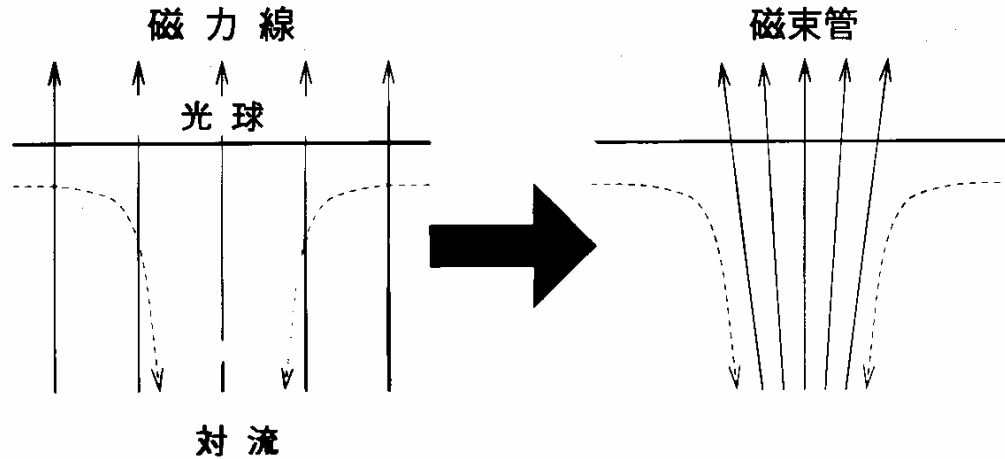
$B \sim 1500 \text{ G}$, $\alpha \sim 0.3$, $a \sim 200 \text{ km}$ (Solanki 1993)



Gabriel (1976)

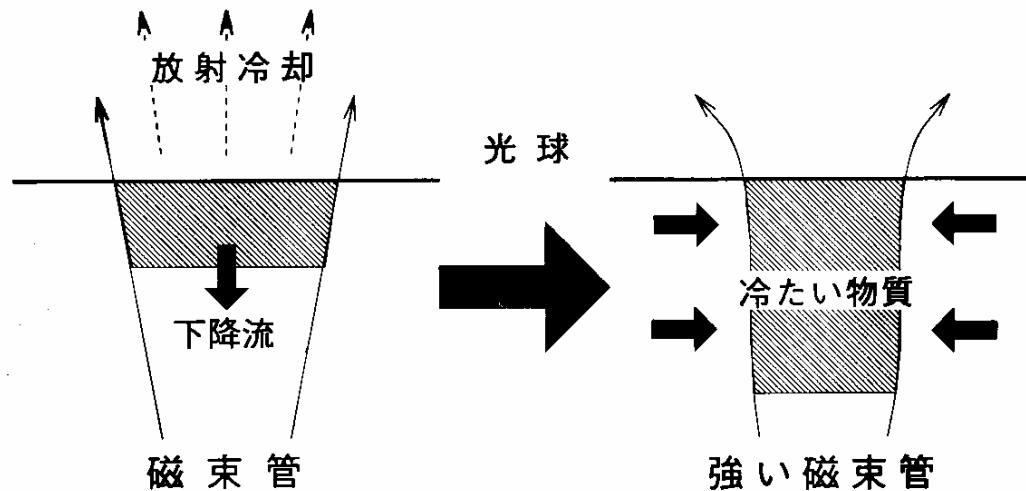
1.2 . 光球磁束管の形成論

a . 対流による掃き寄せ効果(Parker 1963)



これでは磁気圧 ~ 乱流圧
までしか強められない
B ~ 500G

b . コンベクティブコラップス(Spruit 1979)



磁気圧 ~ 周囲のガス圧
まで強められる!!
B ~ 1500G!!

1.3 . Solar-B でのコンベクティブコラップスの観測

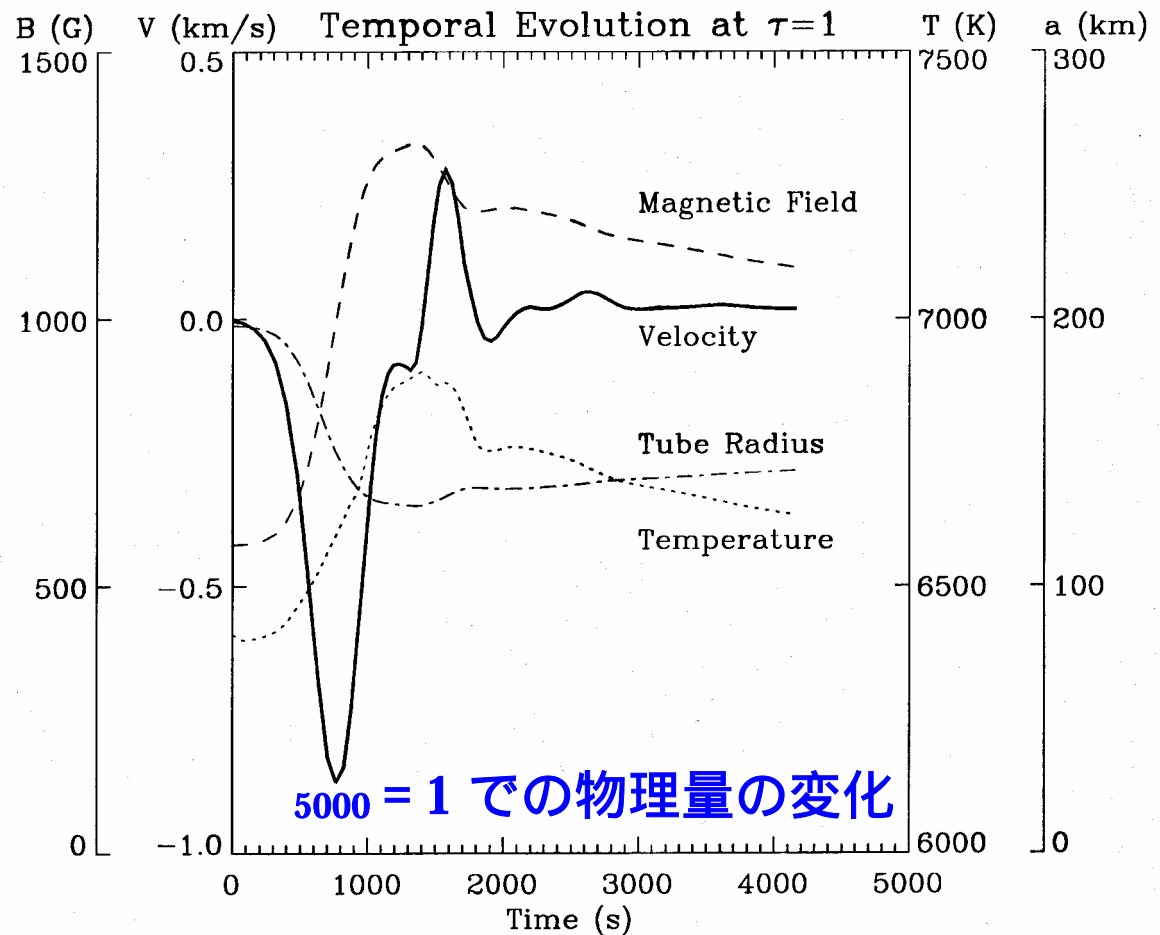
a . コンベクティブコラップスに伴う物理量の変化

特徴的時間 ~ 10 分

磁場の変化 $B \sim 1000\text{G}$

特徴的速度 $V \sim 1\text{km/s}$

コラップスがおこれば
1 ピクセル内の磁場が
10 分で 1kG 強くなり
その間下降流が見られる。



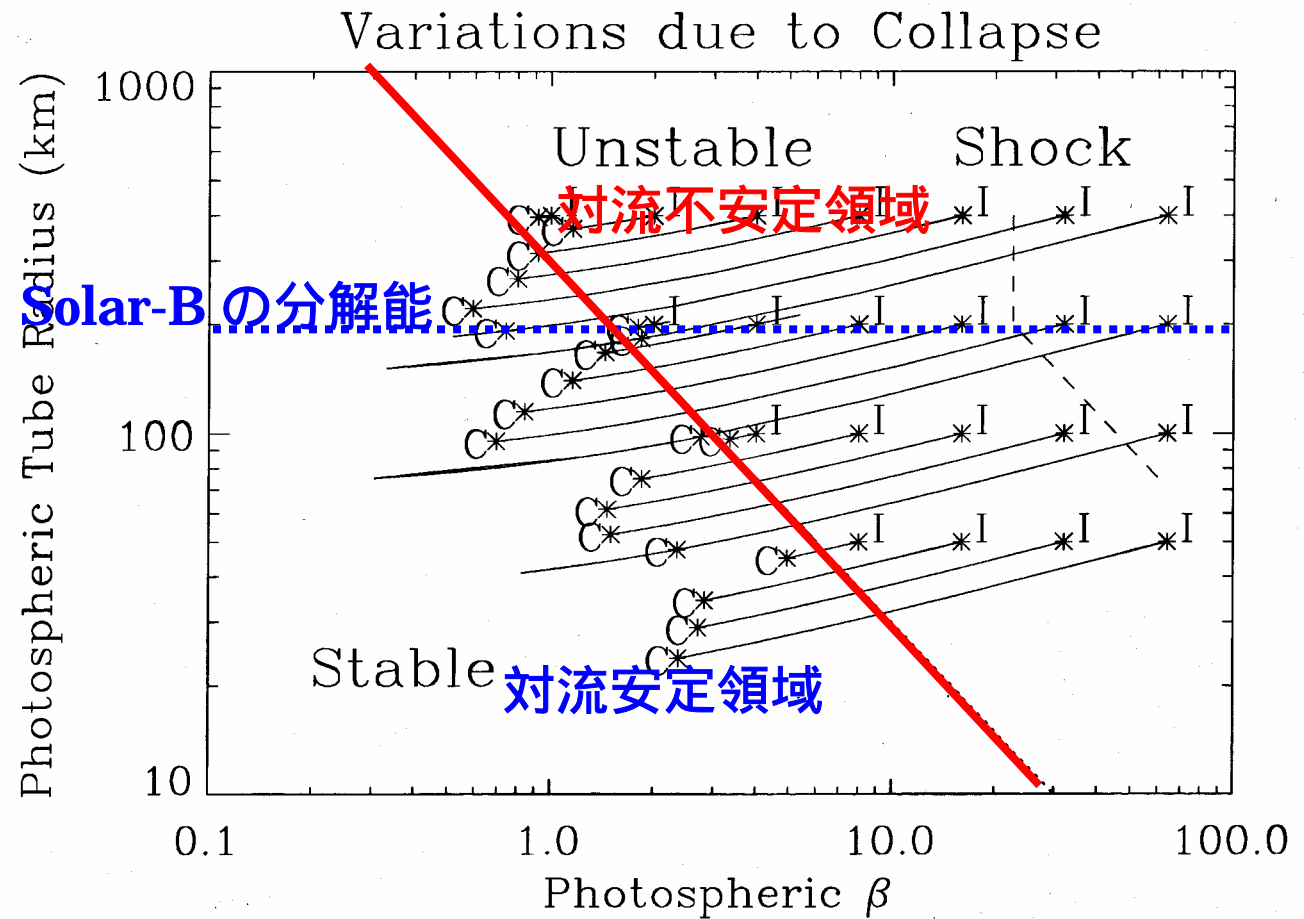
観測可能だが気長に待つ必要あり

Takeuchi(1999)

b. コンベクティブコラップスにより形成された磁束管の性質

形成された磁束管
は対流安定な領域に
分布

現実の磁束管の
直径と磁場の関係
を調べ対流安定か
調べる



Takeuchi(1999)

c. コンベクティブコラップスに伴って発生する衝撃波

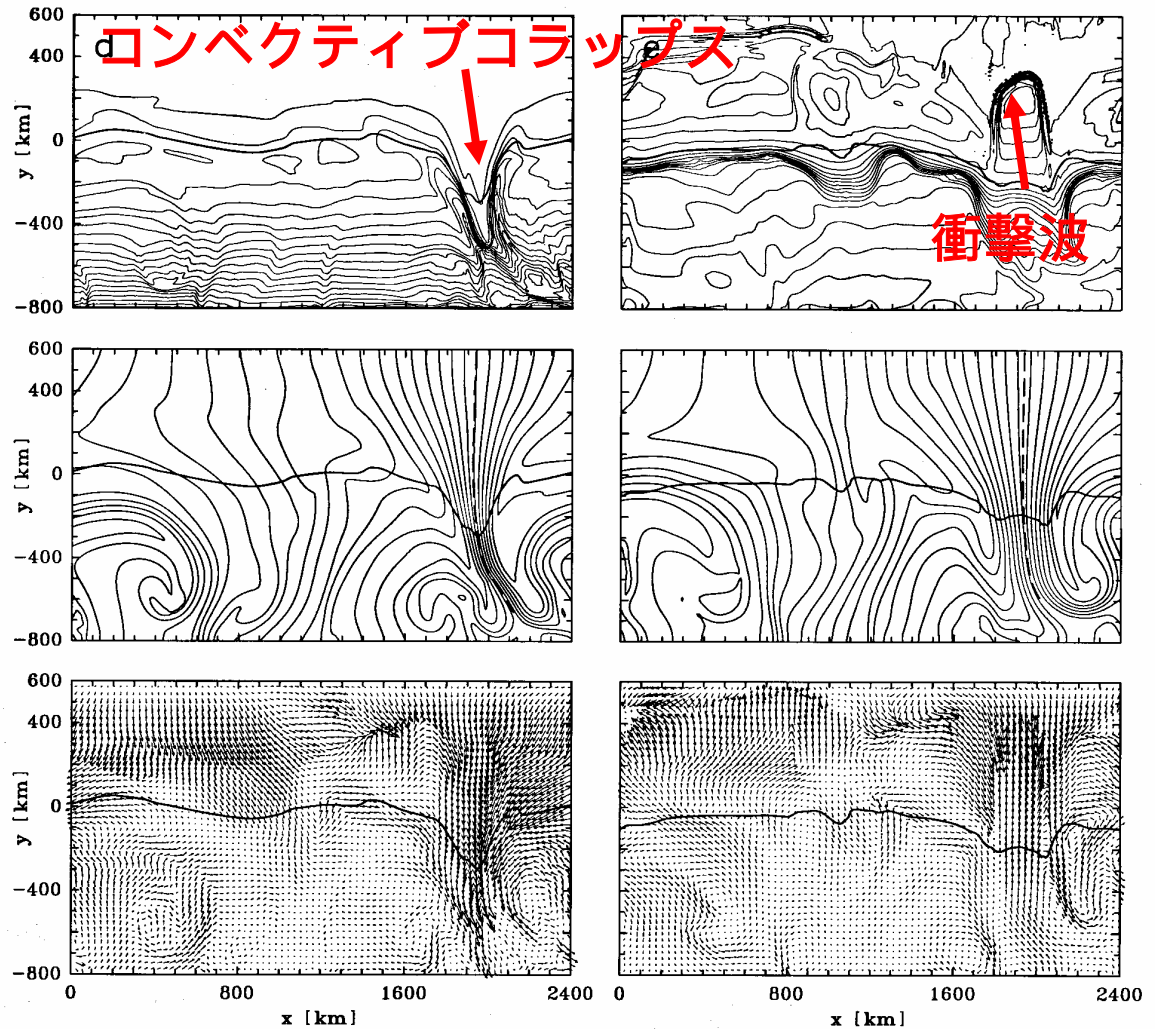
初期磁束が多すぎると
コラップスの後に上向き
に伝わる**衝撃波が発生!!**

特徴的時間 ~ 3 分

磁場の变化 $B \sim 500G$

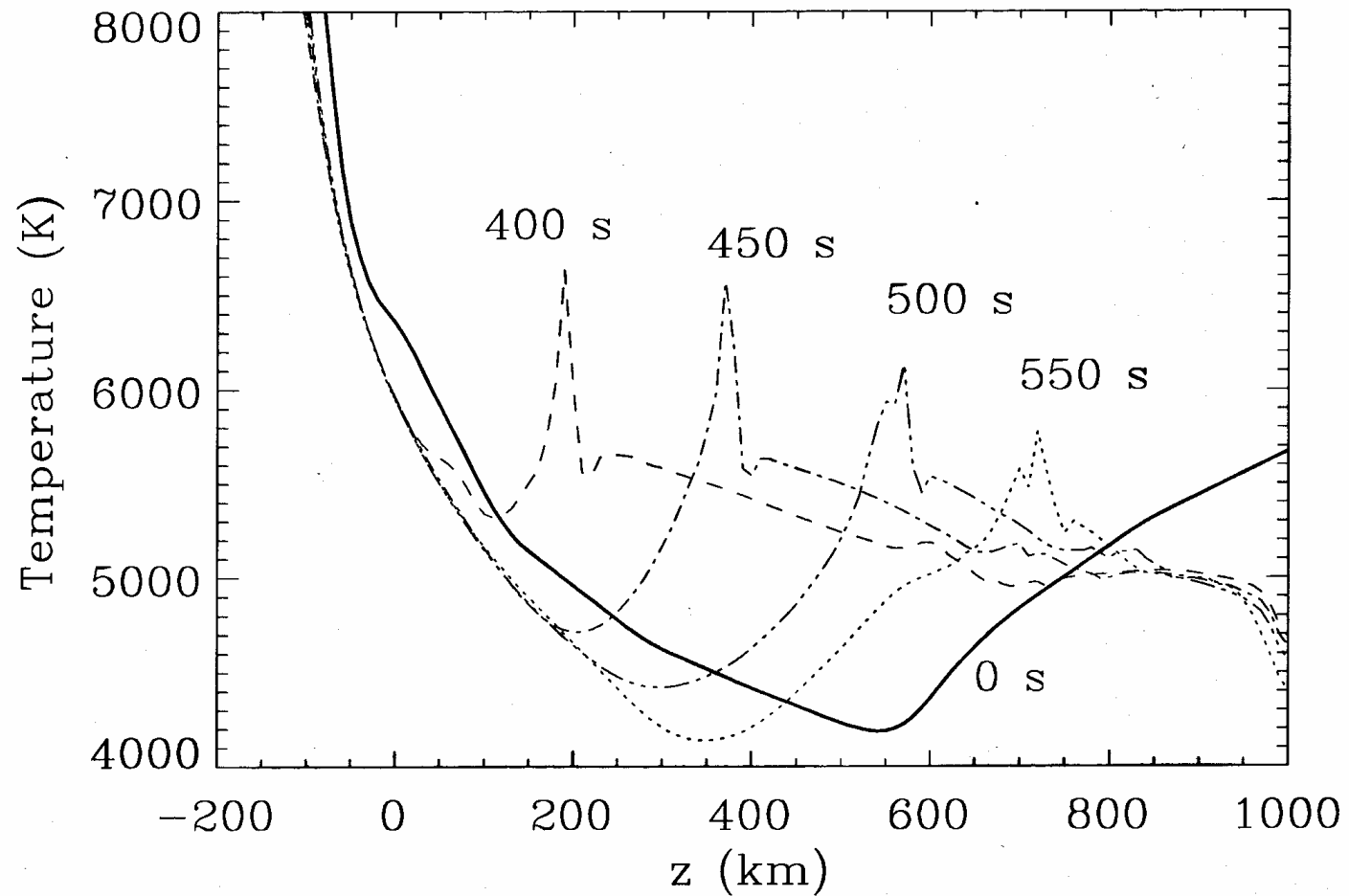
特徴的速度 $V \sim 10km/s$

もし検出できたら非常に
面白い



Grossmann-Doerth et al. (1998)

コンベクティブコラップスによって発生する衝撃波による温度変化



Takeuchi(1999)

2 . 光球磁気リコネクション

2.1 . 光球でも磁気リコネクションが生じる?

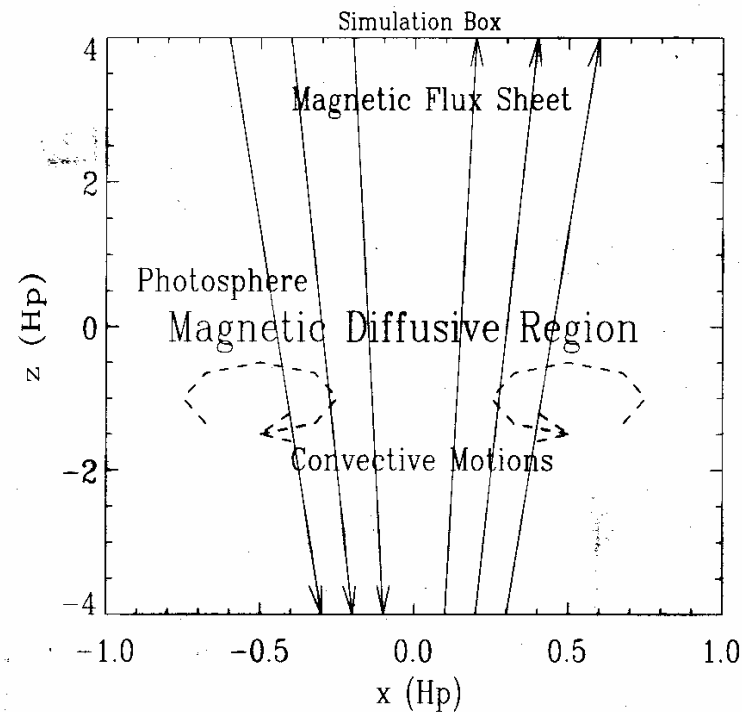
a . 静穏領域の磁束の入れかわりのタイムスケール

静穏領域の磁束は 1.5 ~ 3 日で入れかわる!! Schrijver et al.(1997)

ということは . . .

対流の沈み込み領域で逆極性の磁束管が衝突することもありえる!!

光球磁気リコネクション!!



b . 光球での磁気レイノルズ数 ($R_m = H_p C_s / \nu$)

光球(z=0km) $R_m \sim 10^5$

温度極小(z=500km) $R_m \sim 10^4$

彩層低部(z=1000km) $R_m \sim 3 \times 10^5$ Kovitya & Cram(1983)

光球リコネクションでは異常抵抗は不要!!

c . 今までの研究

Litvinenko(1999)

キャンセレーションは光球リコネクションによるもの

Takeuchi & Shibata(2001a,b)

光球リコネクションで MHD 波が発生しスピキュールの原因に

Takeuchi & Shibata(2002)

重力成層によりリコネクションジェットは上下非対称に

2.2 . 光球リコネクションの性質

a . 研究の動機

今までの常識 . . .

温度極小領域 電気抵抗最大 リコネクションは温度極小で生じる!!

しかし . . .

リコネクション ジュール加熱 温度上昇 電離度上昇 電気抵抗減少

リコネクション率減少

一方 . . .

光球近傍 輻射緩和時間短い 温度上昇せず リコネクション率減少せず

リコネクションは温度極小ではなく光球で生じている . . . ?

2次元 MHD シミュレーション

b. 計算

初期条件

理想気体 : $\gamma = 5/3$

重力成層無視 : $g=0$

温度極小

逆極性磁束管 : $\beta = 0.3$

初期温度 : $T = (T_{ph} - T_{min}) \tanh\{(z/W_T)^2\} + T_{min}$ 光球

$T_{min} = 4000K$, $T_{ph} = 8000K$, $W_T = 75km$

電気抵抗 : $\eta = \eta_0 T^{-3/2}$ (Ugai 1992)

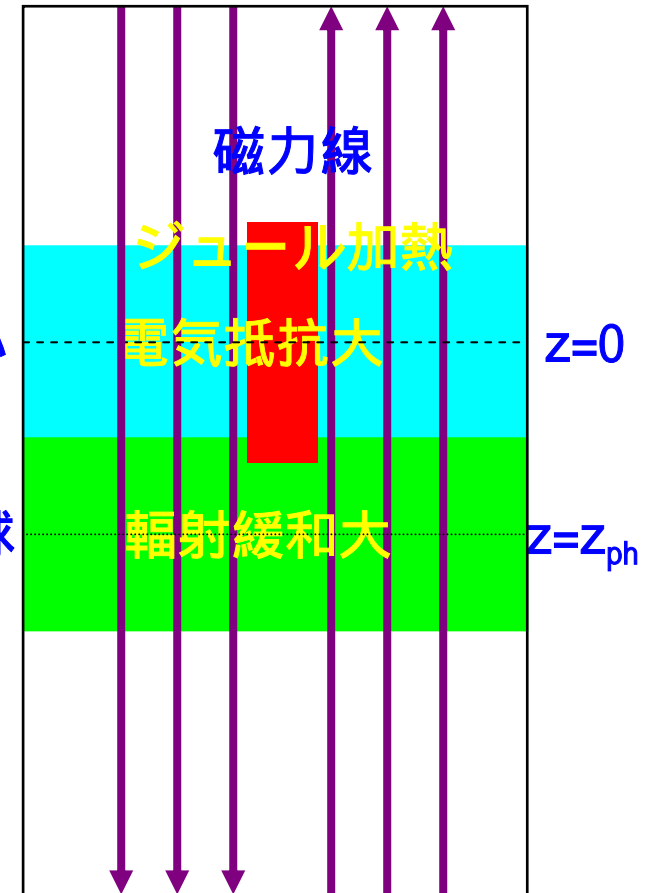
磁気レイノルズ数 : $R_m = H_p C_s / \eta_0 = 1000$

輻射緩和 : ニュートン近似

$$dQ/dt = - C_V T / R$$

輻射緩和時間 : $\tau_R = \tau_{R0} \exp[-\{(z-z_{ph})/W_R\}^2]$

$\tau_{R0} = 1$ 秒 , $W_R = 50km$, $z_{ph} = -100km$

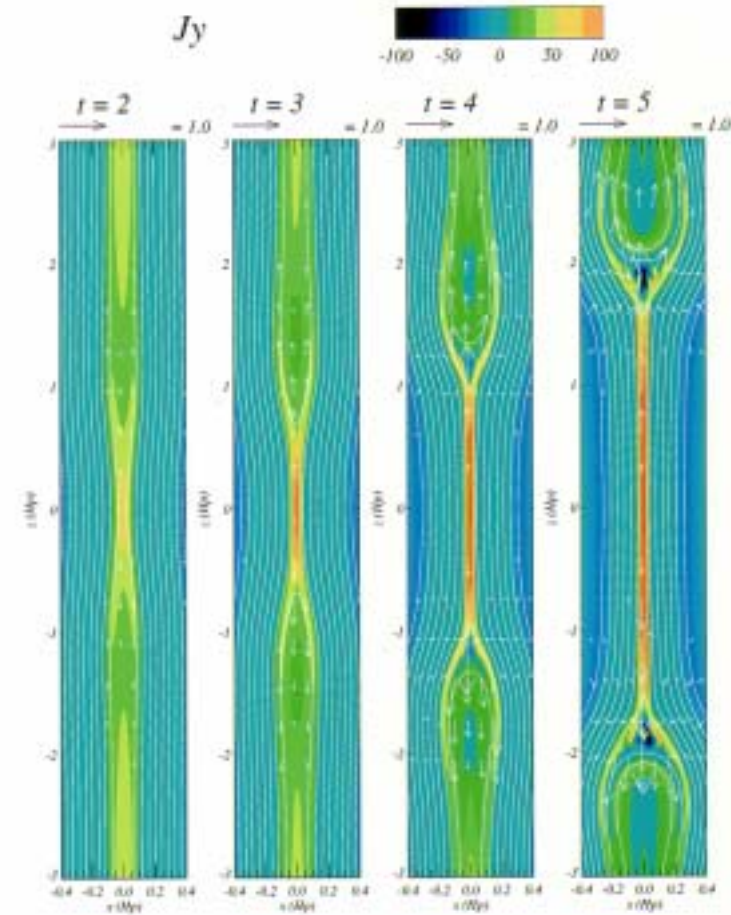
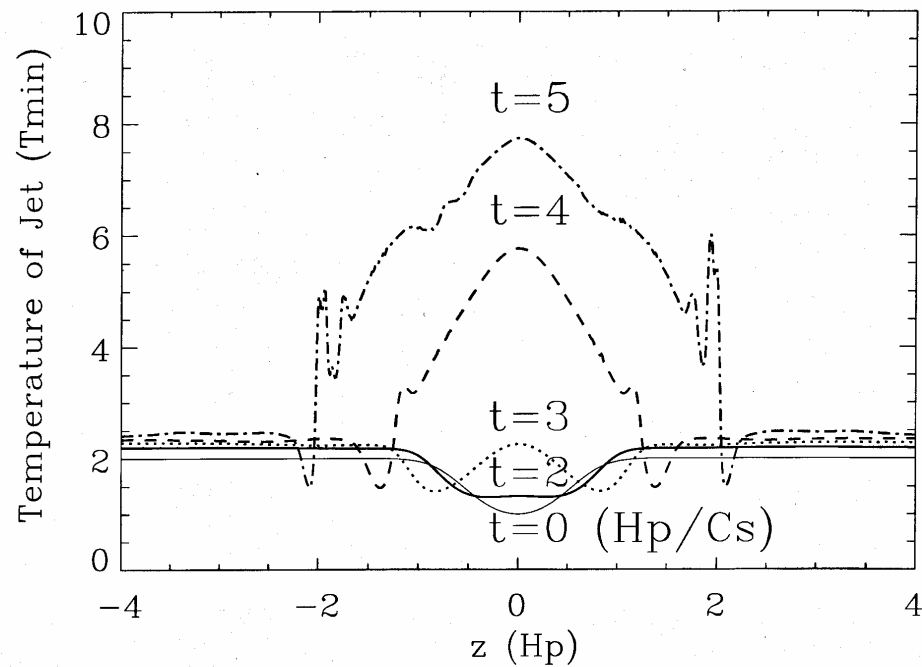


c. 結果

電気抵抗を初期温度で計算、固定した場合

リコネクションはペチェック型

リコネクション点は温度極小($z=0$)



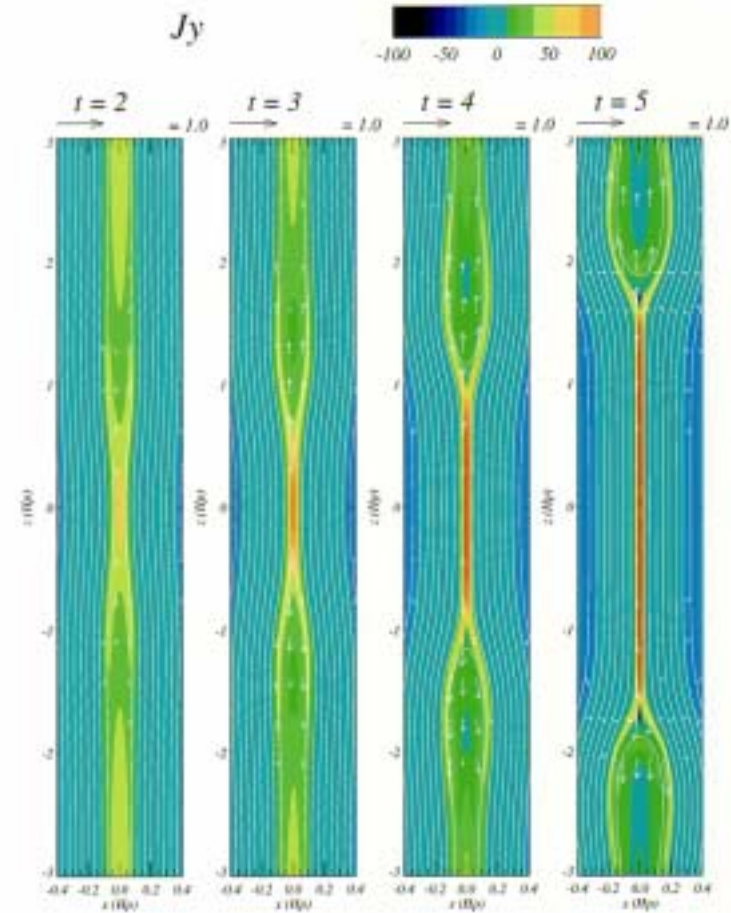
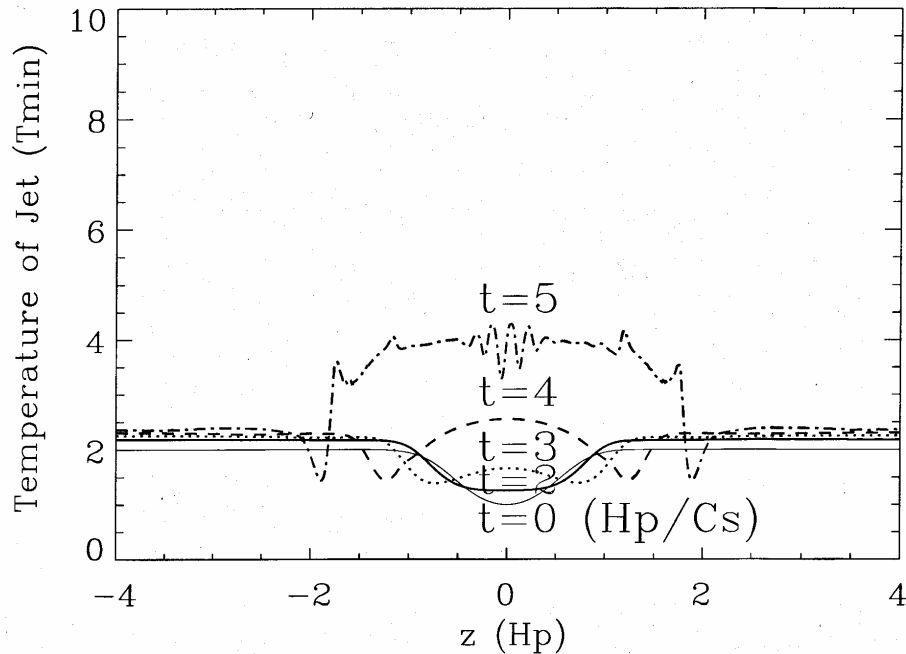
ジュール加熱により、リコネクション点の温度は初期温度の8倍になる

電気抵抗の温度依存の考慮が必要!!

電気抵抗の温度依存を考慮した場合

リコネクションはスイート・パーカー型。

リコネクション点は温度極小。



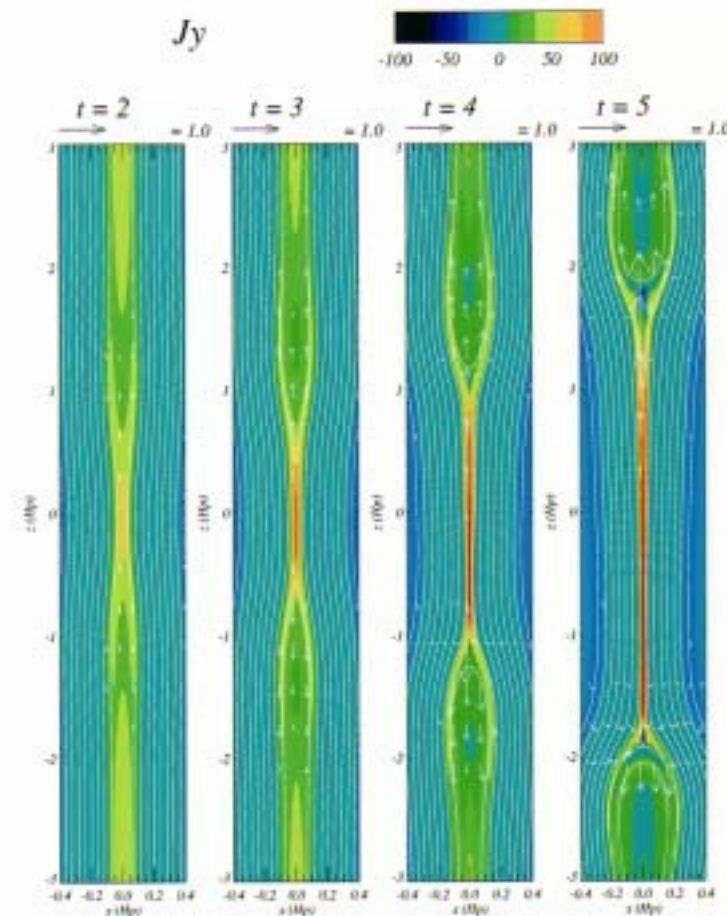
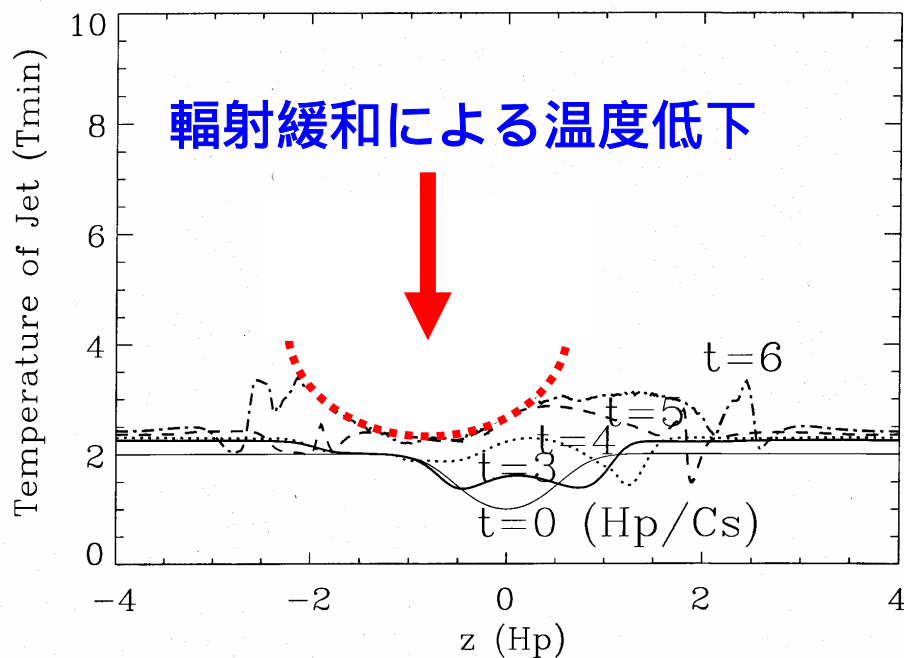
ジュール加熱により光球の温度は初期温度の2倍に

光球では輻射緩和時間(数秒) < ジュール加熱時間(10秒)のため

輻射緩和の考慮必要!!

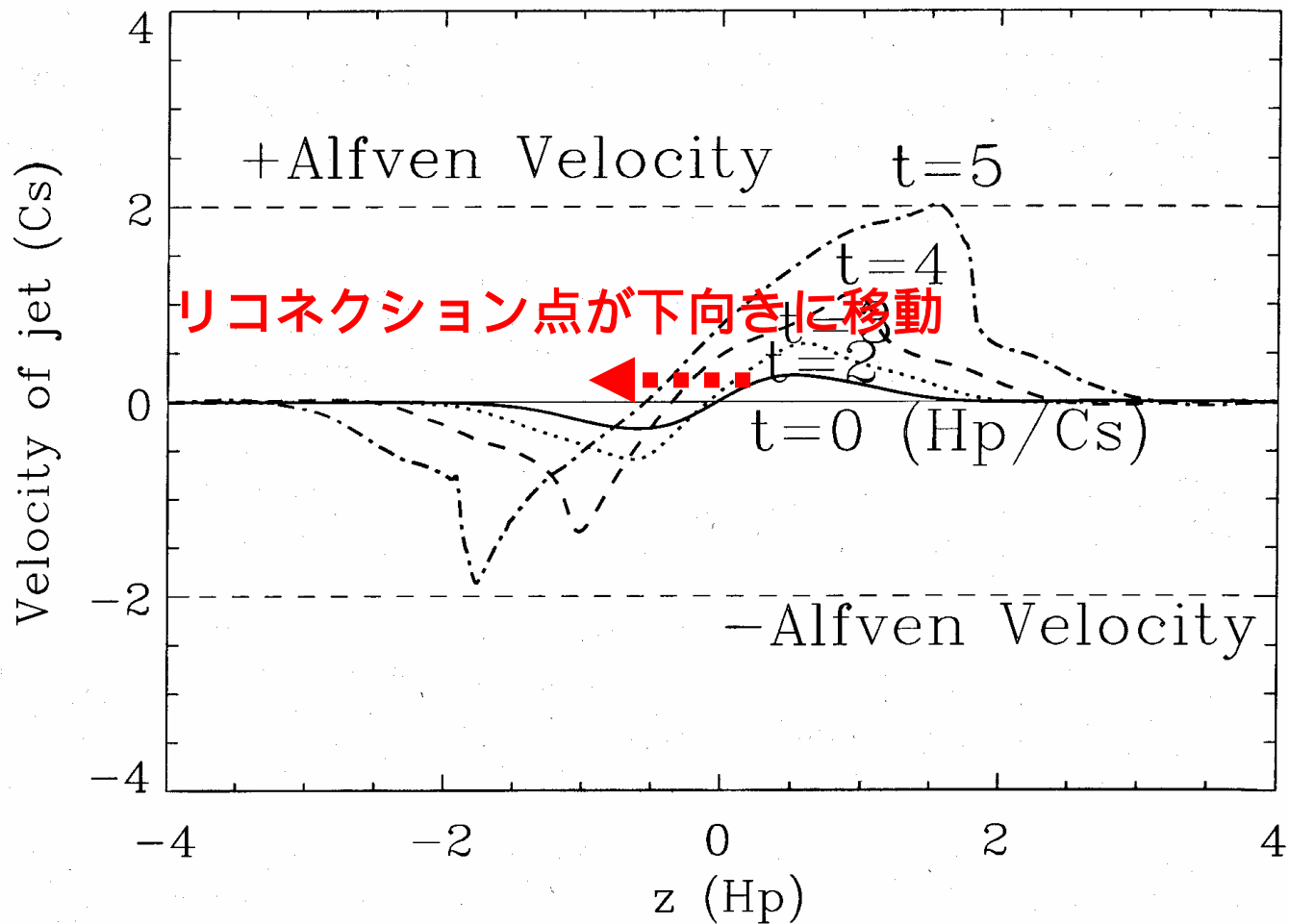
抵抗の変化に加え輻射緩和も考慮した場合

リコネクションはペチェック型。



輻射緩和により光球 ($z=-1$) 付近の温度が初期値に近い値になっている

電気抵抗が局在化するためペチェック型リコネクションに!!



リコネクション点は時間がたつにしたがって、温度極小($z=0$)から光球($z=-1$)に下がってゆく

実際の太陽ではリコネクション点は光球にある!?

d . 理論計算のまとめ

ジュール加熱による電気抵抗の減少と輻射緩和を考慮して光球リコネクションの時間発展を調べた。

- ・ 温度極小ではジュール加熱による温度上昇が大きく、電気抵抗の温度変化の考慮が必要。
- ・ 光球での輻射緩和時間はジュール加熱の時間より短く、輻射緩和の考慮が必要。
- ・ 電気抵抗の温度変化と輻射緩和を考慮すると、リコネクションが始まるのは温度極小だが、リコネクション点はしだいに温度極小から光球に下がっていく。

2.3 . Solar-B での光球リコネクションの観測

a . 光球リコネクションのパラメータ

光球でリコネクションが生じると . . .

磁気レイノルズ数 : $R_m \sim 10^5$

アルヴェーン速度 : $V_A \sim 16\text{km/s}$ (~ 0.3 を採用)

磁束管の直径 : $a \sim 200\text{km}$

インフロー速度 : $V_{in} \sim V_A / R_m^{1/2} \sim 50\text{m/s}$

リコネクションの継続時間 : $\sim a/V_{in} \sim 4000 \text{ 秒} \sim 1 \text{ 時間}$

キャンセレーションの継続時間と同程度(Litvinenko 1999)

b. リコネクションジェットは見えるか?

磁束管の直径のスケールハイト： $H=4H_p \sim 600\text{km}$

温度極小では磁束管の直径が光球の約3倍太くなる

光球より温度極小を観測したほうが検出しやすい

ジェットの速度： $V_{\text{Jet}} \sim V_A \sim 16\text{km/s}$

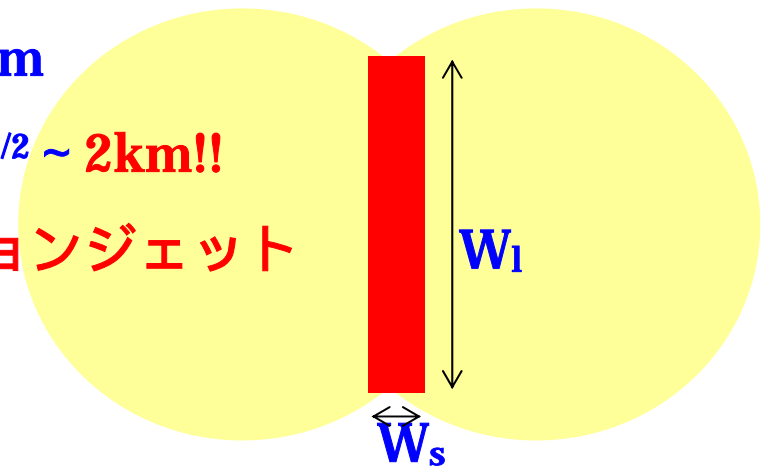
ジェットの温度： $T_{\text{Jet}} \sim 3 \times T_{\text{min}} \sim 12000\text{K}$

光球リコネクションを真上から見下ろすと・・・

ジェットの幅(広い方)： $W_1 \sim 3 \times a \sim 600\text{km}$

ジェットの幅(狭い方)： $W_s \sim 500\text{km} / R_m^{1/2} \sim 2\text{km}!!$

リコネクションジェット



望遠鏡の分解能： $x \sim 200\text{km} > W_s$

平均化したものを観測することになる

明るさの変化： $I/I \sim (T_{\text{Jet}} / T_{\text{min}})^4 W_s / x \sim 0.8(?)$

観測される速度： $V_{\text{Obs}} \sim (V_{\text{Jet}} \times I/I) / (1 + I/I) \sim 7\text{km/s} (?)$

逆極性の磁束管の間に数ピクセルだけ周囲より約2倍明るい領域ができ、
そこで数 km/s の上昇速度が観測される(?)

光球リコネクションは検出可能(??)

3 . まとめ

a.コンベクティブコラップス

コラップスがおこれば 1 ピクセル内の磁場が約 10 分で 1kG 強くなり、その間弱い下降流が見られる。しかし、コラップスがいつ起こるかわからないので、磁束管の直径と磁場の関係を調べ、(対流安定な磁束管か)理論と比較する。

b.光球磁気リコネクション

温度極小を観測し、接触している逆極性の磁束管を探しだす。もしリコネクションが生じているなら、磁束管の接触部の数ピクセルが約 1 時間にわたり周囲より約 2 倍明るくなり、そこで数 km/s の上昇速度が観測される？