

Coolジェットを駆動する 磁気「遠心力」の効果

京都大学宇宙物理学教室 修士1回生

高棹真介

Coolジェットとは

Hinode Ca II H

9-Feb-2007
13:12:04.910

7300km

コロナ

リム

- コロナに比べ
低温 ($\sim 10,000\text{K}$)
- 高速 ($\sim 100\text{km/s}$)

のジェット構造

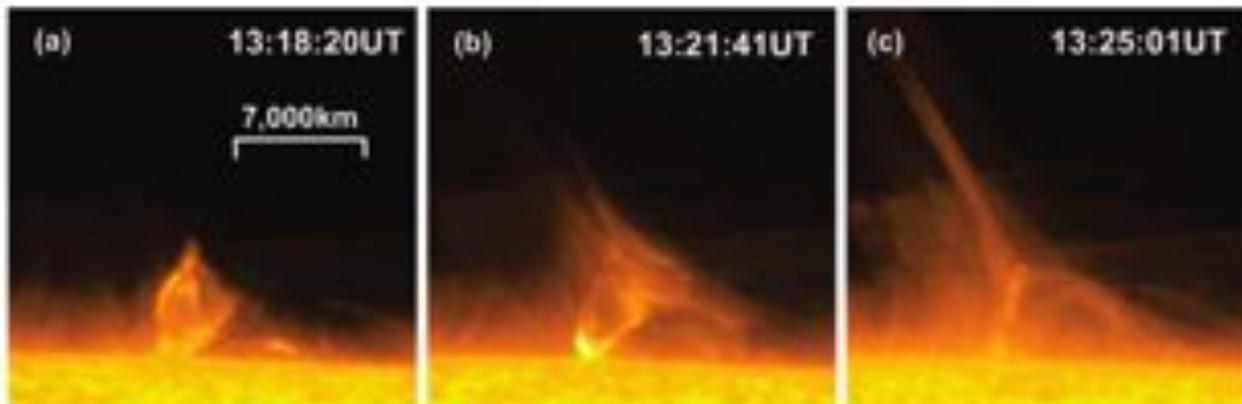
温度 $10,000\text{K}$ の

音速: $\sim 10\text{km/s}$ より
十分速い

加速機構の詳細は
まだ不明

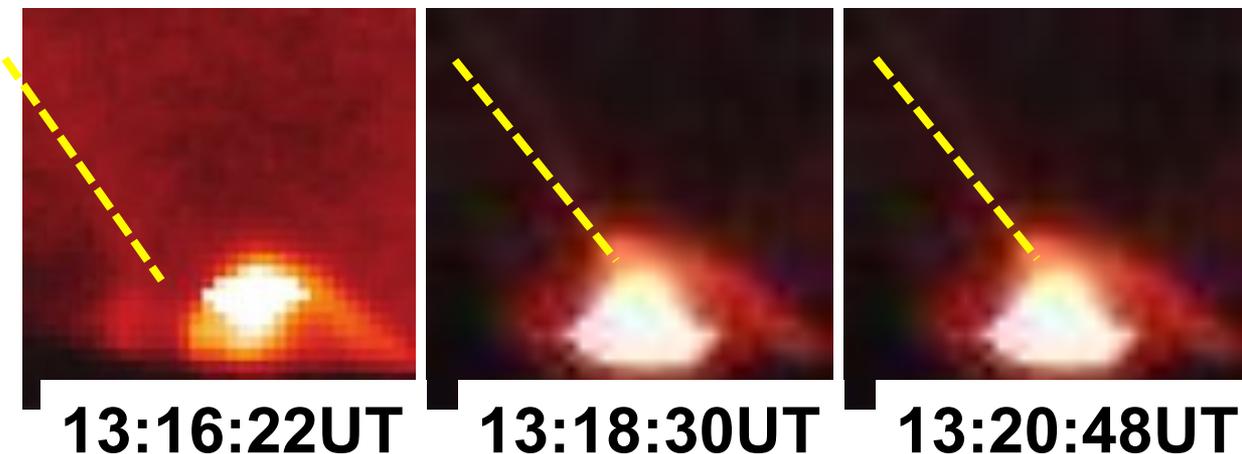
HotとCoolジェットの共存

Nishizuka et al.2008



Hinode Ca II H
Cool ジェット

$$T \sim 10^4 \text{ K}$$

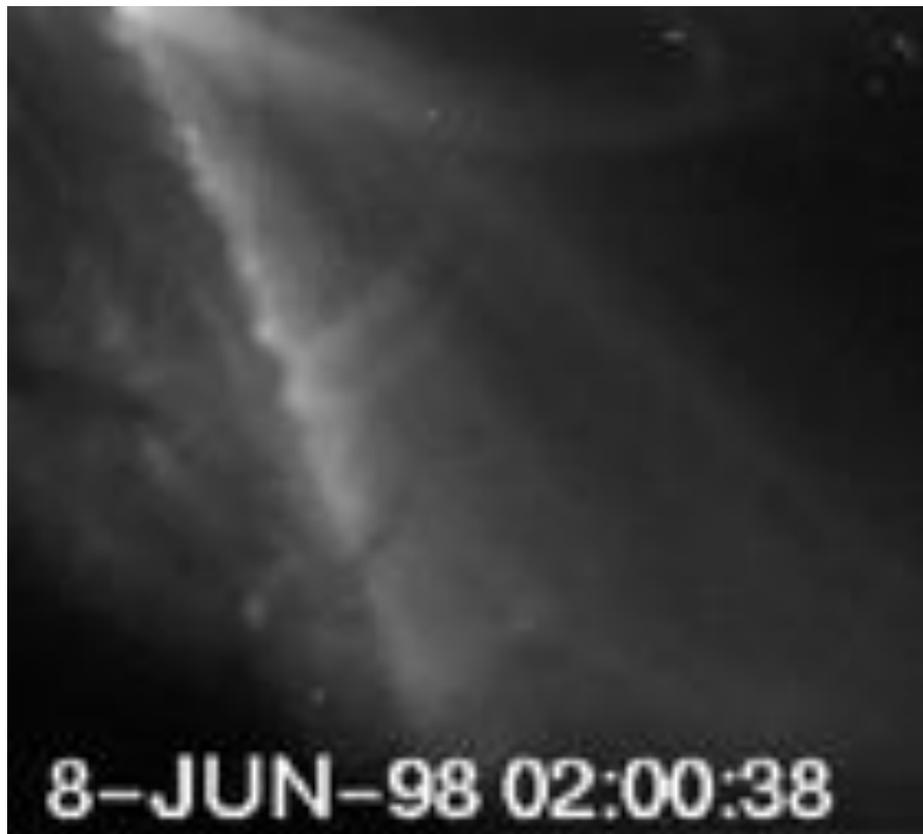


Hinode X線
Hot ジェット

$$T \sim 10^7 \text{ K}$$

HotジェットとCoolジェットが共存

浮上磁場に伴うCoolジェット

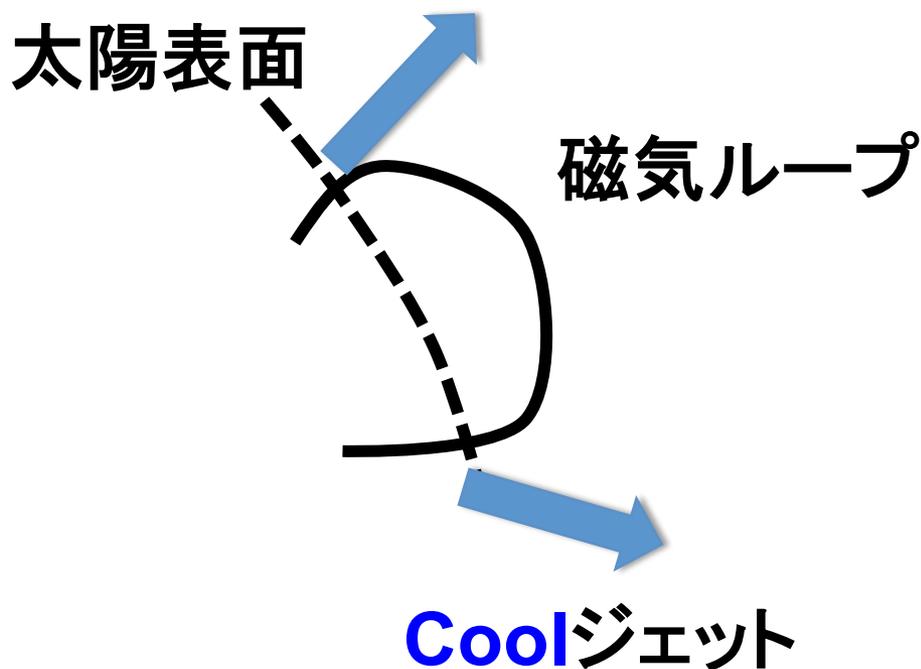


TRACE 極紫外線 171A
 $T \sim 6 \times 10^5 \text{ K}$

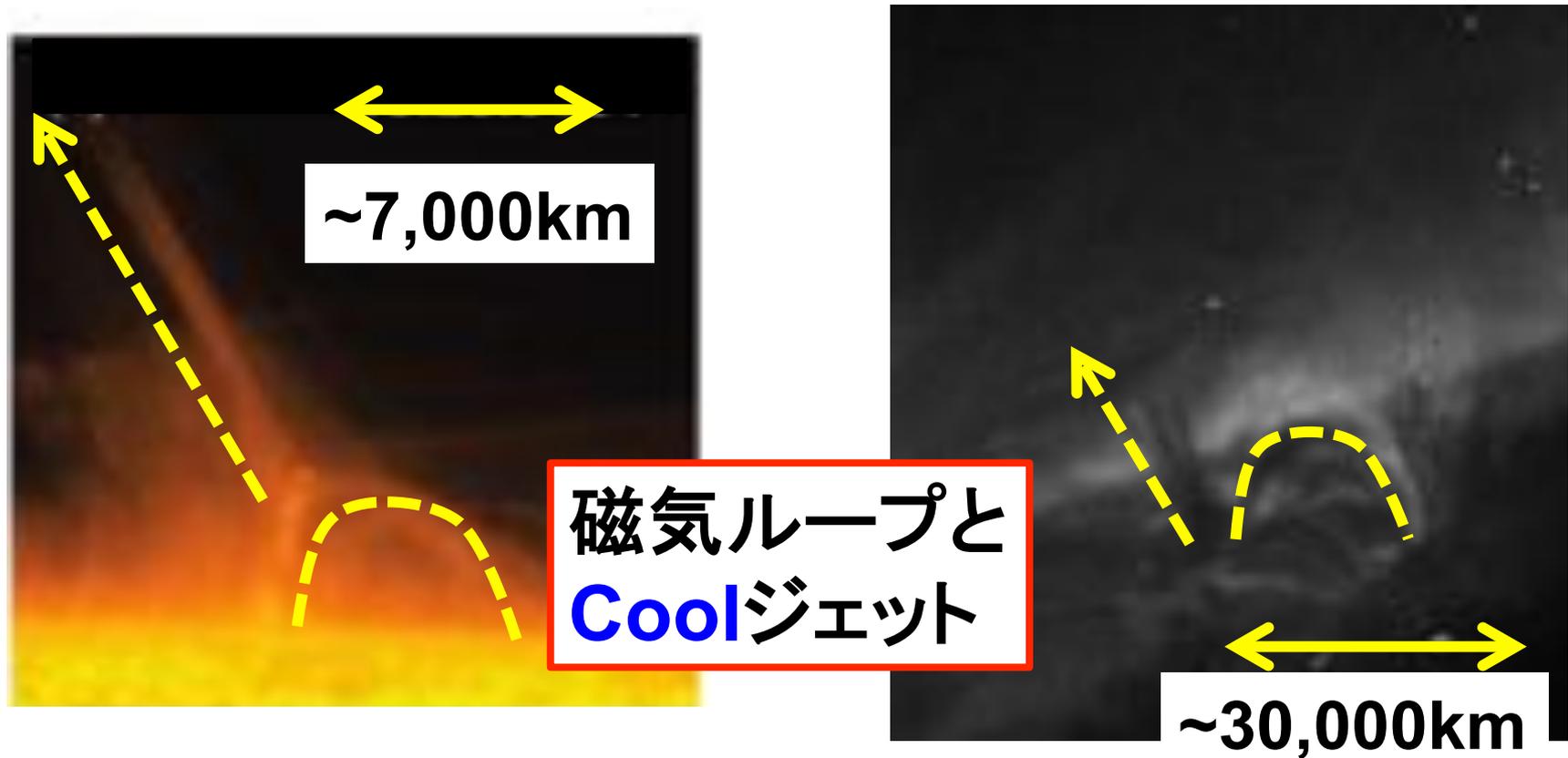
(cf. コロナ $T > 10^6 \text{ K}$)

浮上磁場：
光球面下から現れる
磁気ループ

暗いジェット
= Coolジェット



スケールの異なるクールジェットの比較



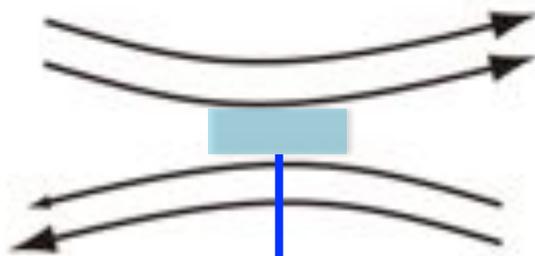
異なるスケールで同じ構造 浮上磁場: $10^3 - 10^4$ km
ジェットを生むものは何か？

磁気リコネクション

ガス圧勾配で加速できるのは彩層の音速 $\sim 10\text{km/s}$ 程度
観測値 $\sim 100\text{km/s}$ の説明困難

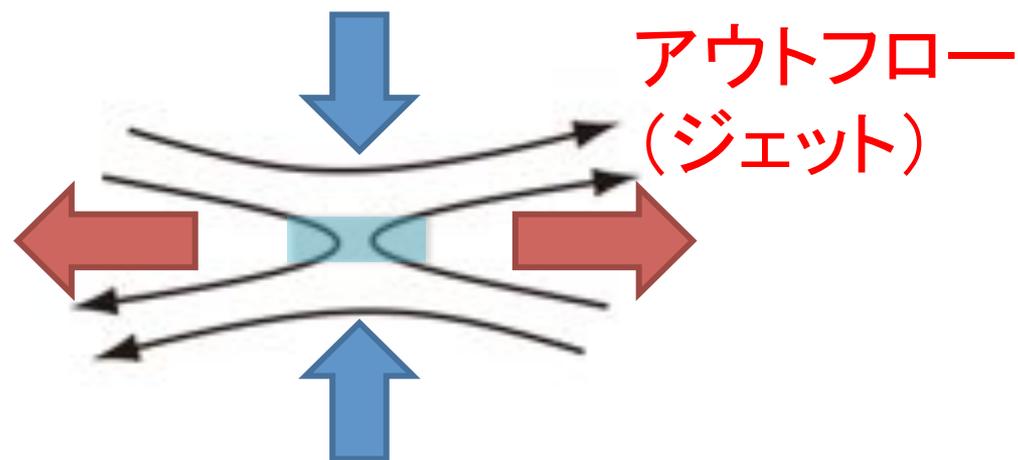
 磁気リコネクション

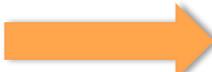
反平行の磁力線



電流シート

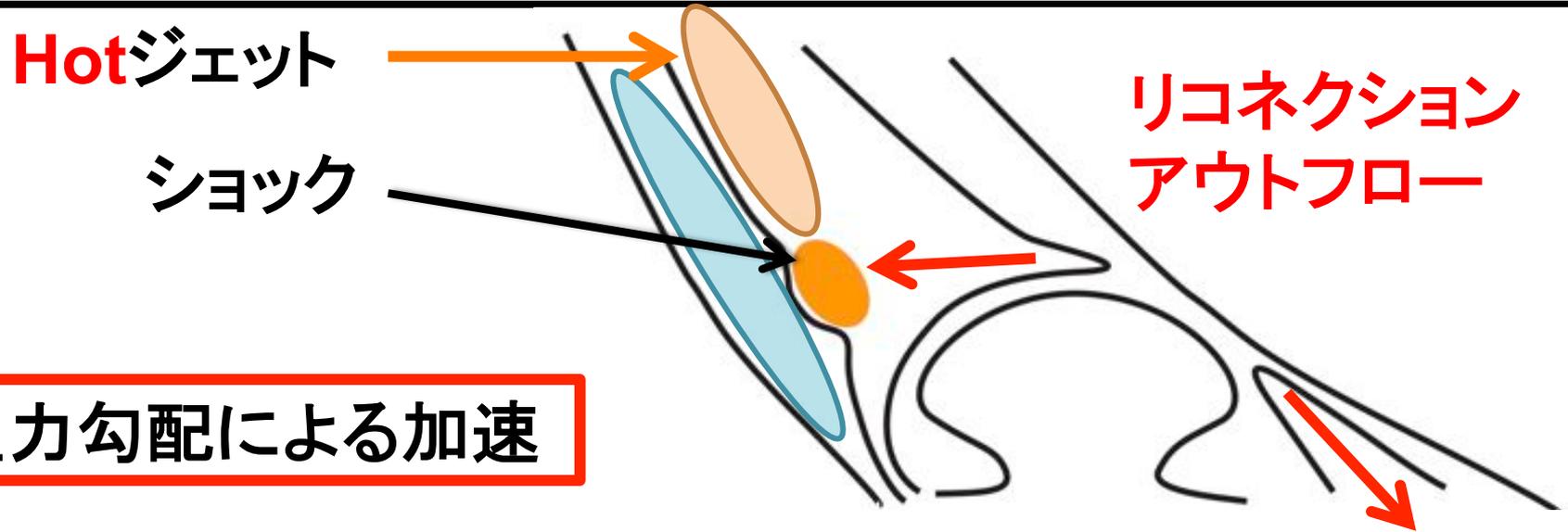
インフロー



磁気エネルギー  熱・運動エネルギー

なぜHotとCoolジェットが隣り合わせに？

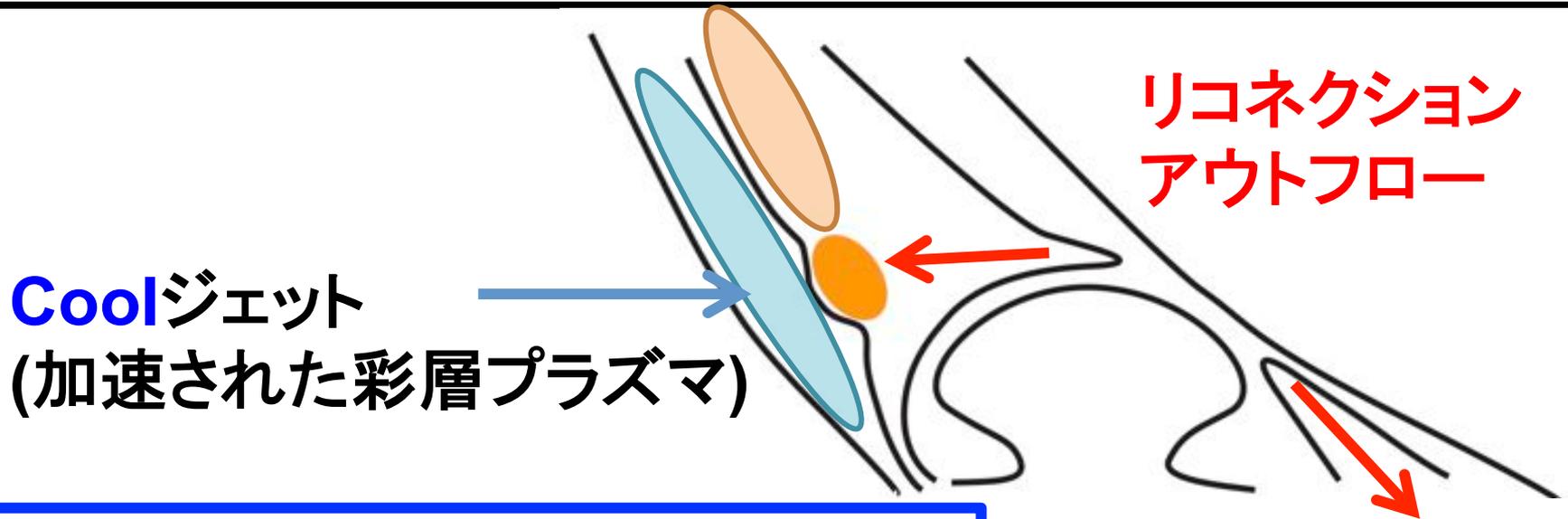
- 現在の理解 -



(Yokoyama & Shibata 1995, 1996)

なぜHotとCoolジェットが隣り合わせに？

- 現在の理解 -



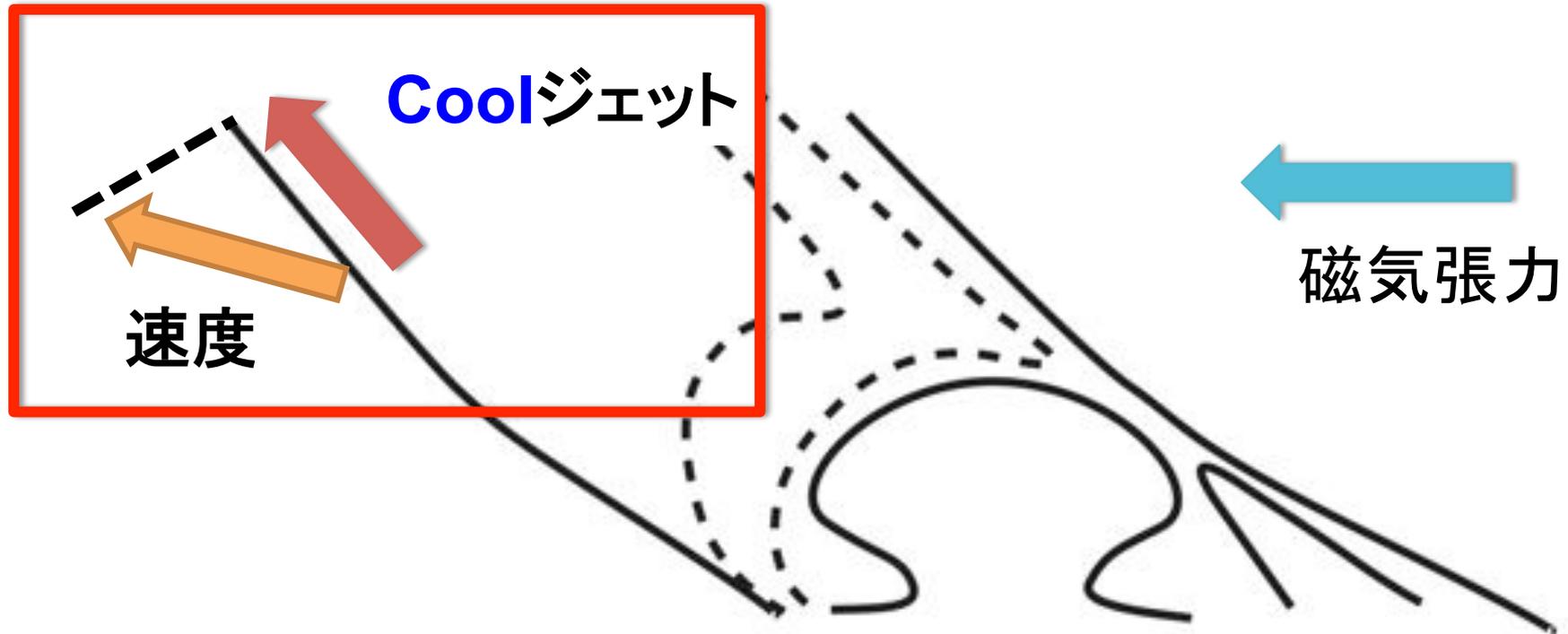
磁気張力による振り回し加速(??)

(Yokoyama & Shibata 1995, 1996)

未解決問題:

Coolプラズマはどうやって上空へ加速されるのか？

「磁気」遠心力 -磁力線による振り回しの効果-



先行研究 (Yokoyama & Shibata 1995, 1996) は
磁気張力による**振り回しの効果** (whip-like motion)
を推測  加速機構をシミュレーションにより調査

初期条件

$$\tau = 20 \text{ sec}$$

$$H = 200 \text{ km}$$

Z/H

T t = 0.000\tau

Yokoyama & Shibata(1996)
と同じ
温度・磁場分布
一様重力

傾き45度の
一様なコロナ磁場
(~30G)

400,000K

250,000K

10,000K

コロナ →

光球 / 彩層 →

対流不安定層 →

0 20 40 60 80 100 X/H

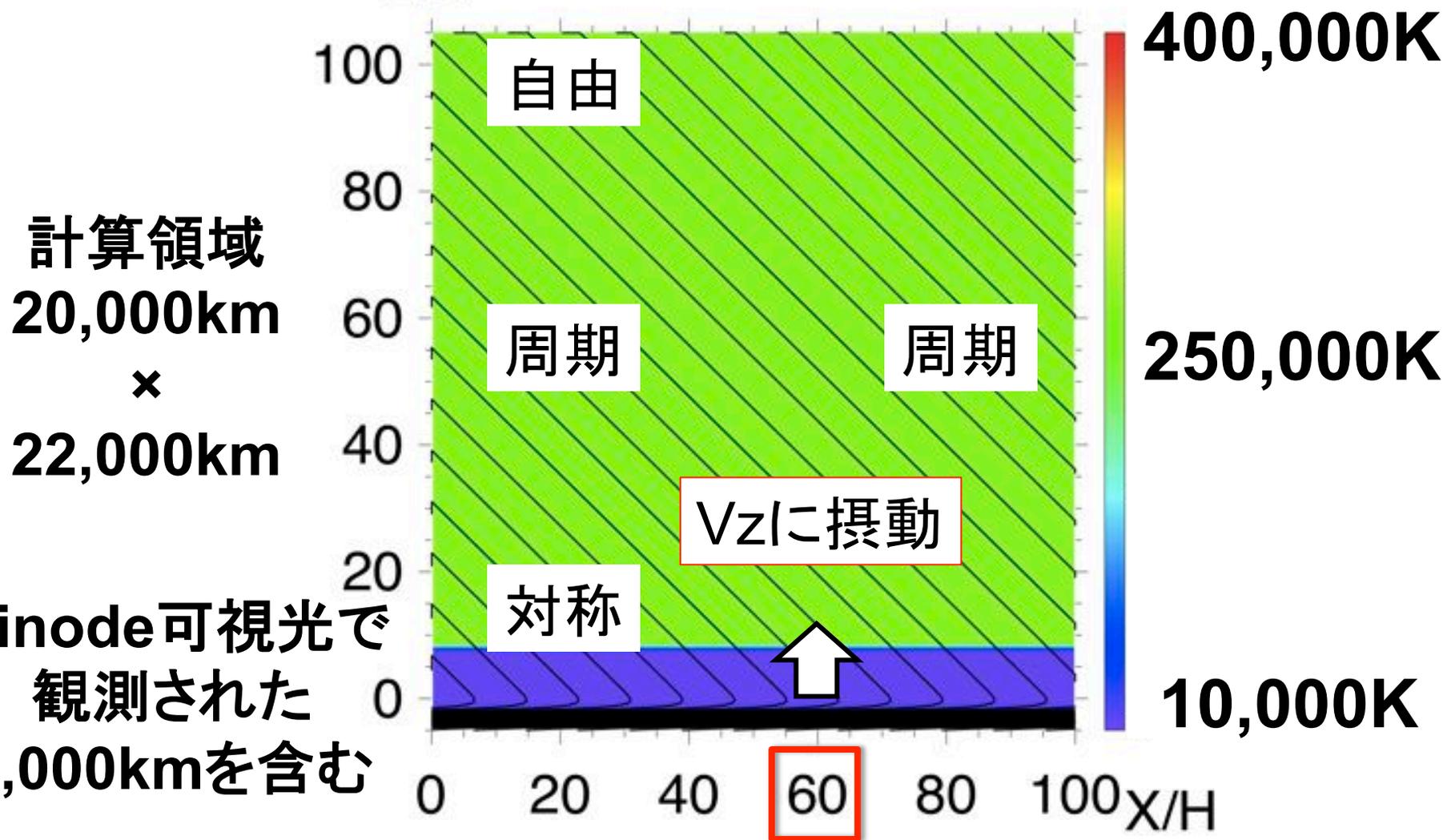
浮上磁場を生む磁気シート: $\beta = P_g / P_m = 4$

境界条件と初期摂動

$$\tau = 20 \text{ sec}$$

$$H = 200 \text{ km}$$

Z/H $T \ t = 0.000\tau$



計算領域
20,000km
×
22,000km

Hinode可視光で
観測された
7,000kmを含む

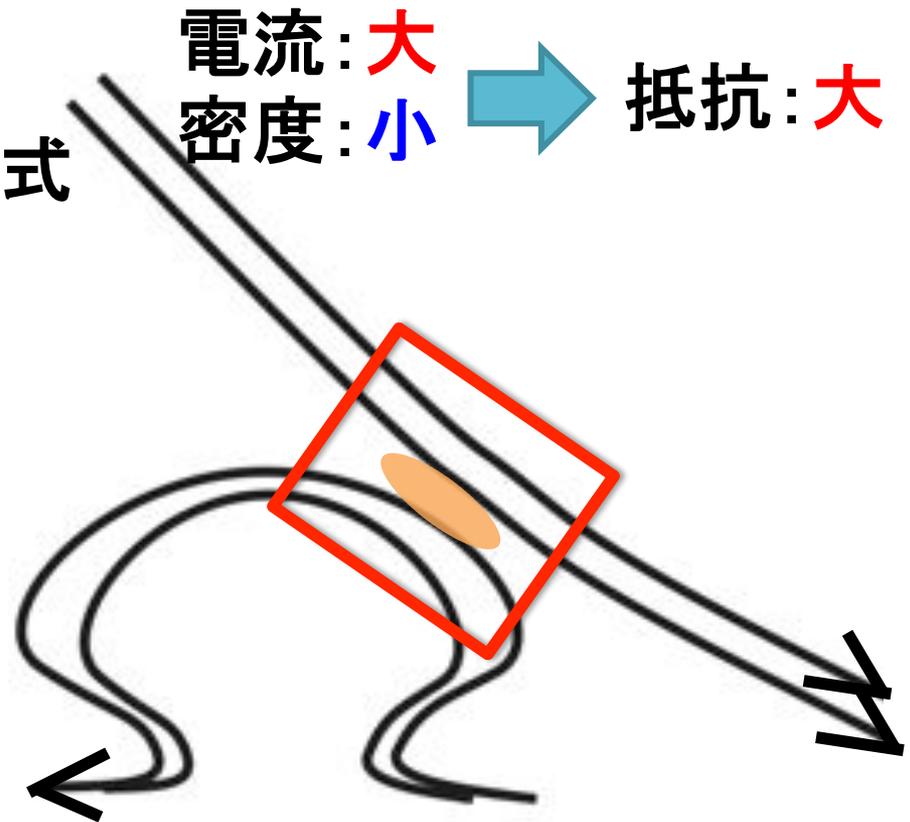
シミュレーションの設定

基本方程式:
2次元抵抗性保存系MHD方程式

抵抗モデル:
異常抵抗モデル

$$\eta = \begin{cases} 0 & (v_d < v_c) \\ \alpha(v_d/v_c - 1)^2 & (v_d \geq v_c) \end{cases}$$

$$v_d = |J_y|/\rho$$



計算コード: CANS (Coordinated Astronomical Numerical Software)
Modified Lax-Wendroff法

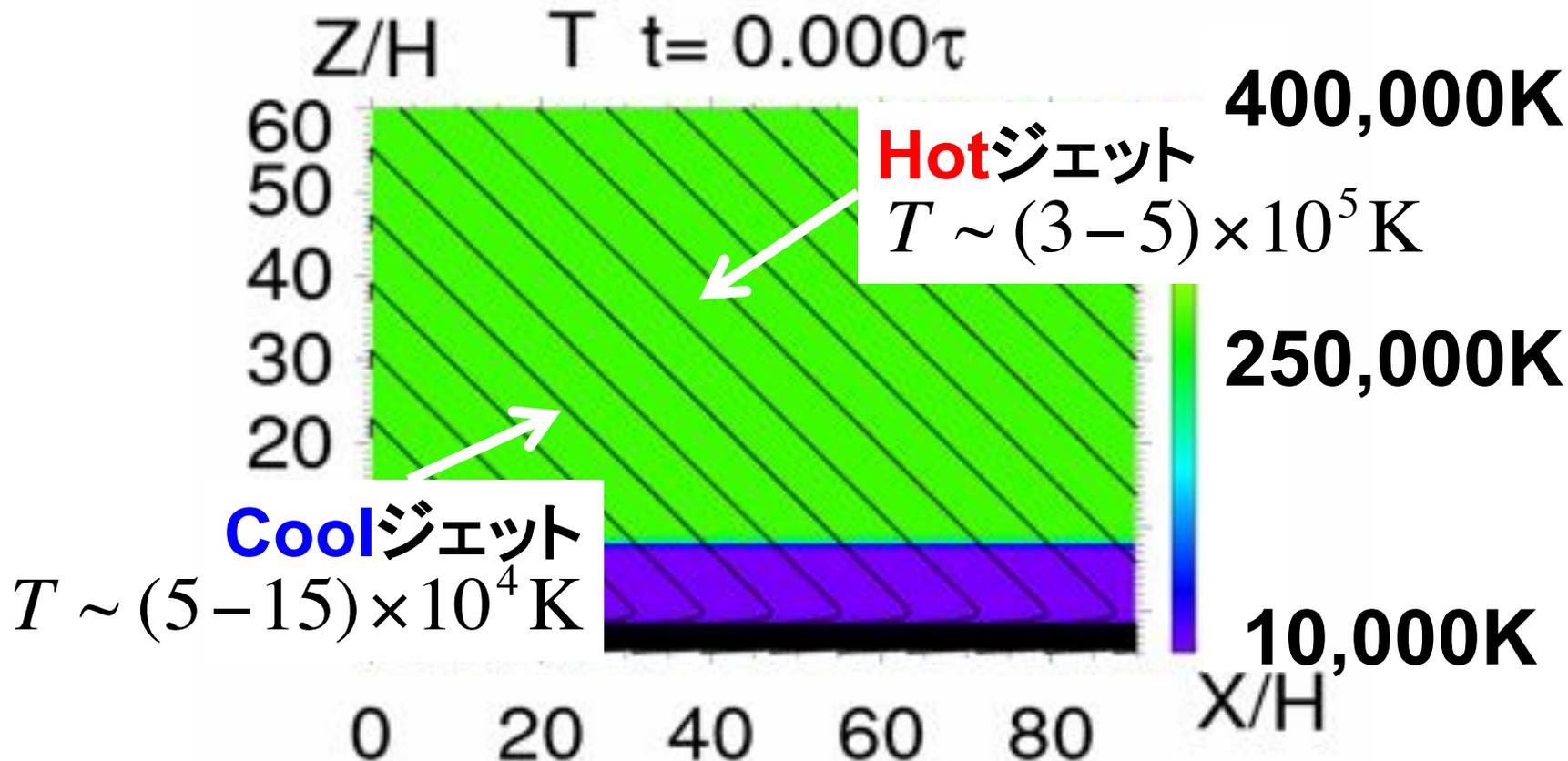
グリッド数: $(N_x, N_y) = (500, 550)$

Hot / Cool ジェットの出現

$\tau = 20 \text{ sec}$

$H = 200 \text{ km}$

温度分布



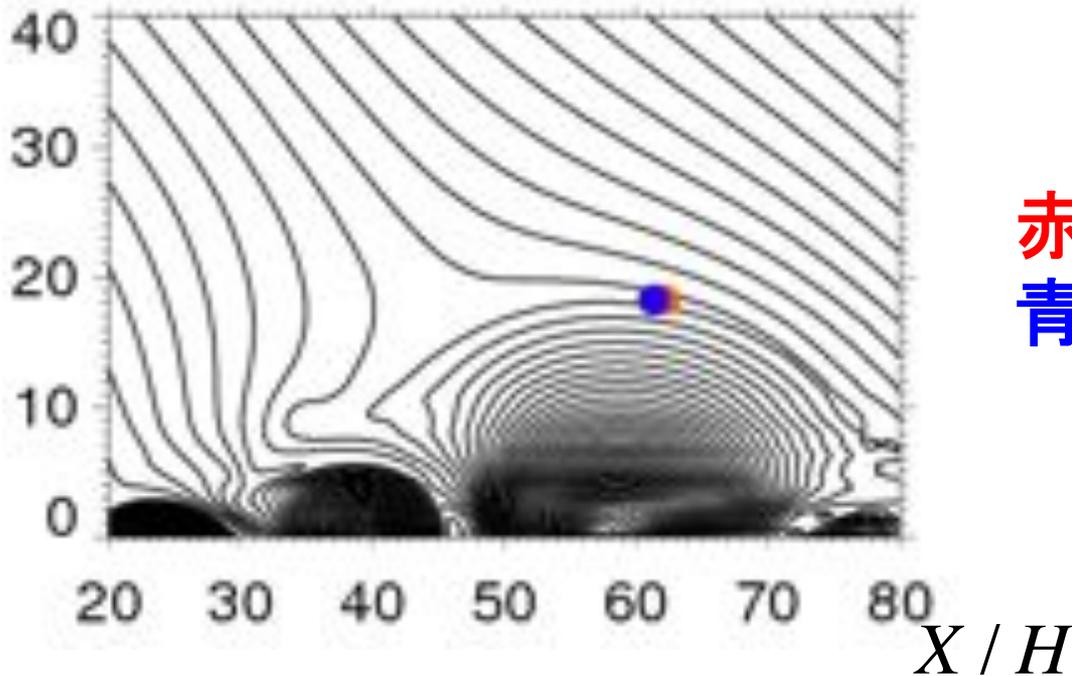
クールジェットを駆動する力を調べるため
テスト粒子をいれる

テスト粒子の軌跡

テスト粒子: 質量0の

プラズマの流れにのって移動する粒子

Z/H $t = 75.0 \tau$



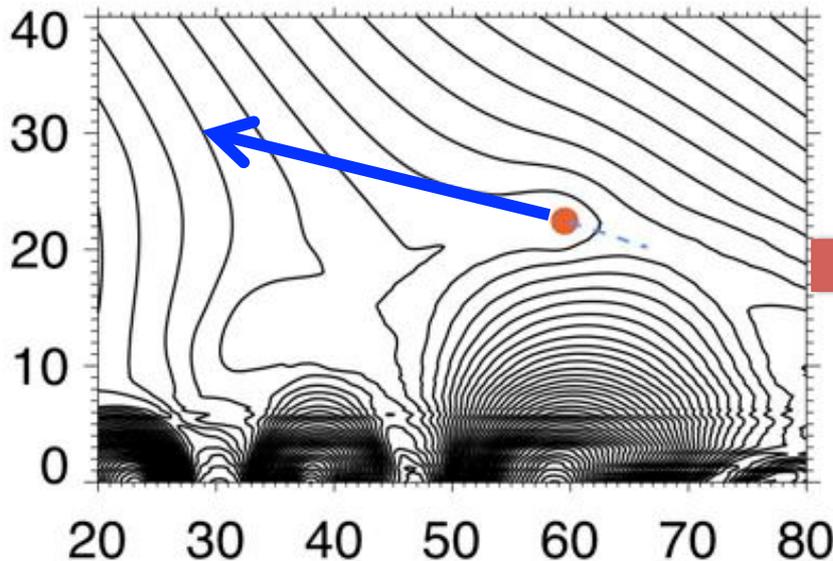
赤: 磁気張力で強く加速

青: 彩層へ落下

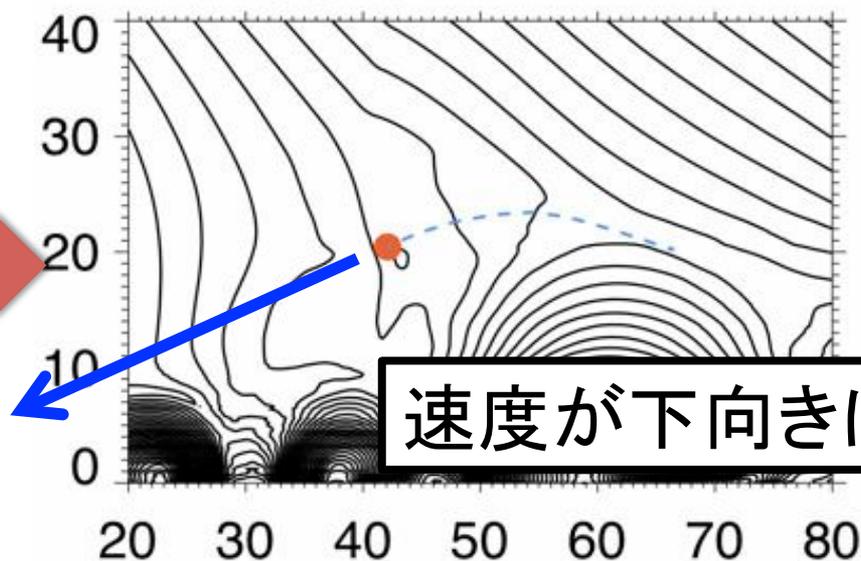
どちらも一度
大きく減速したあと上空に加速

速度の向きの変化

$t = 90.0 \tau$



$t = 93.0 \tau$



← 速度の向き

速度が下向きに

今回の設定では
磁気遠心力で上空に加速できていない

単にローレンツ力が弱いからか、別の物理によるのか？

今後、上空の磁場を強くして調査

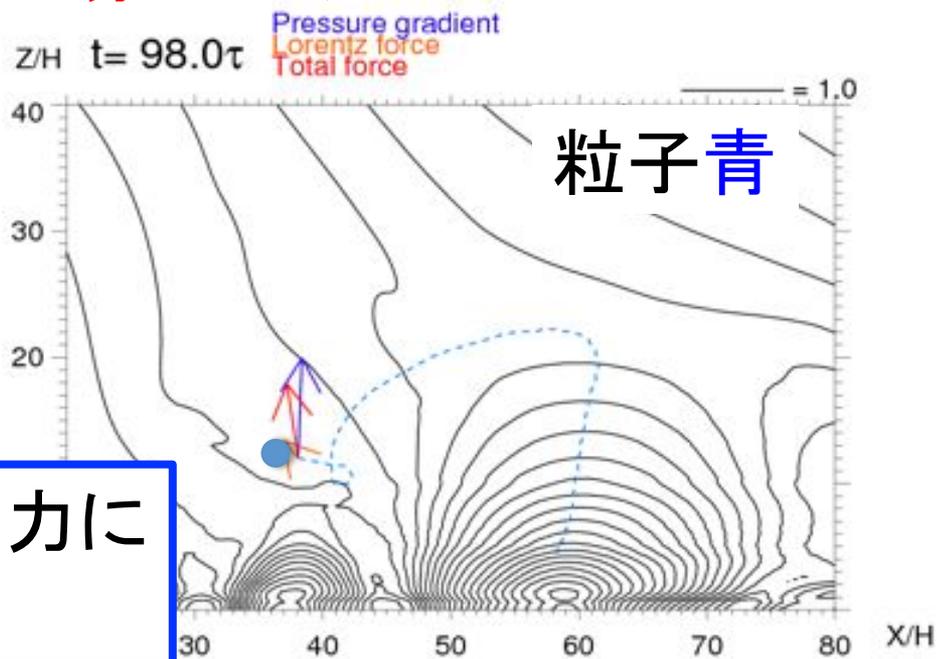
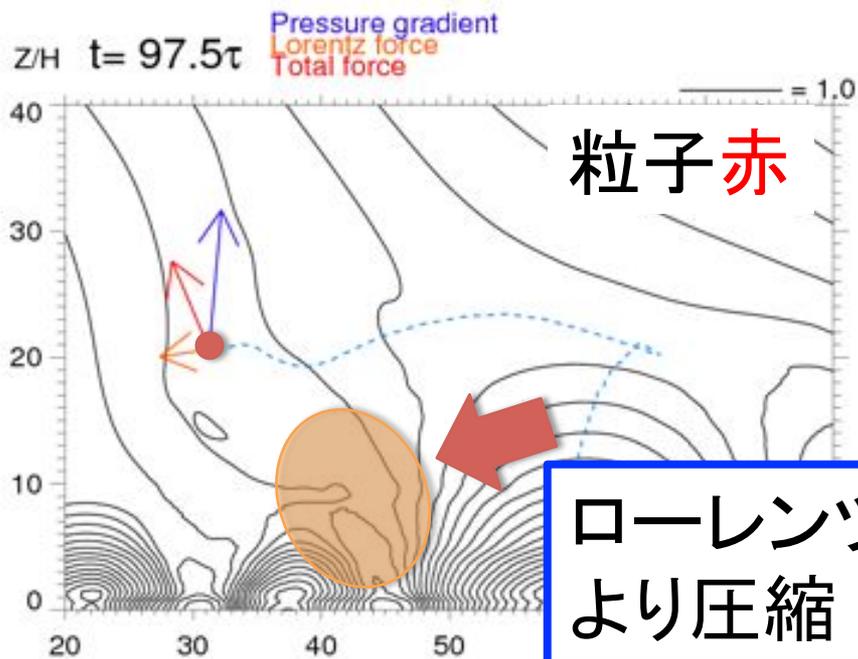
(今回の磁場: ~ 30 G, 活動領域上空: $> \sim 50$ G)

上空に加速する力

青: ガス圧勾配

オレンジ: ローレンツ力

赤: トータル力



どちらもガス圧勾配で上空に加速

しかし速度が遅く($\sim 20\text{km/s}$)、観測値($\sim 100\text{km/s}$)を説明できていない

まとめ

Coolジェットを上空に駆動する力を調べた

Coolプラズマ

上空磁場が弱い場合
(今回)

上空磁場が強い場合
(今後の予定)

遅いCoolジェット

速いCoolジェットは
出現するか？

圧縮による圧力勾配で加速

磁気遠心力は効くのか？

