

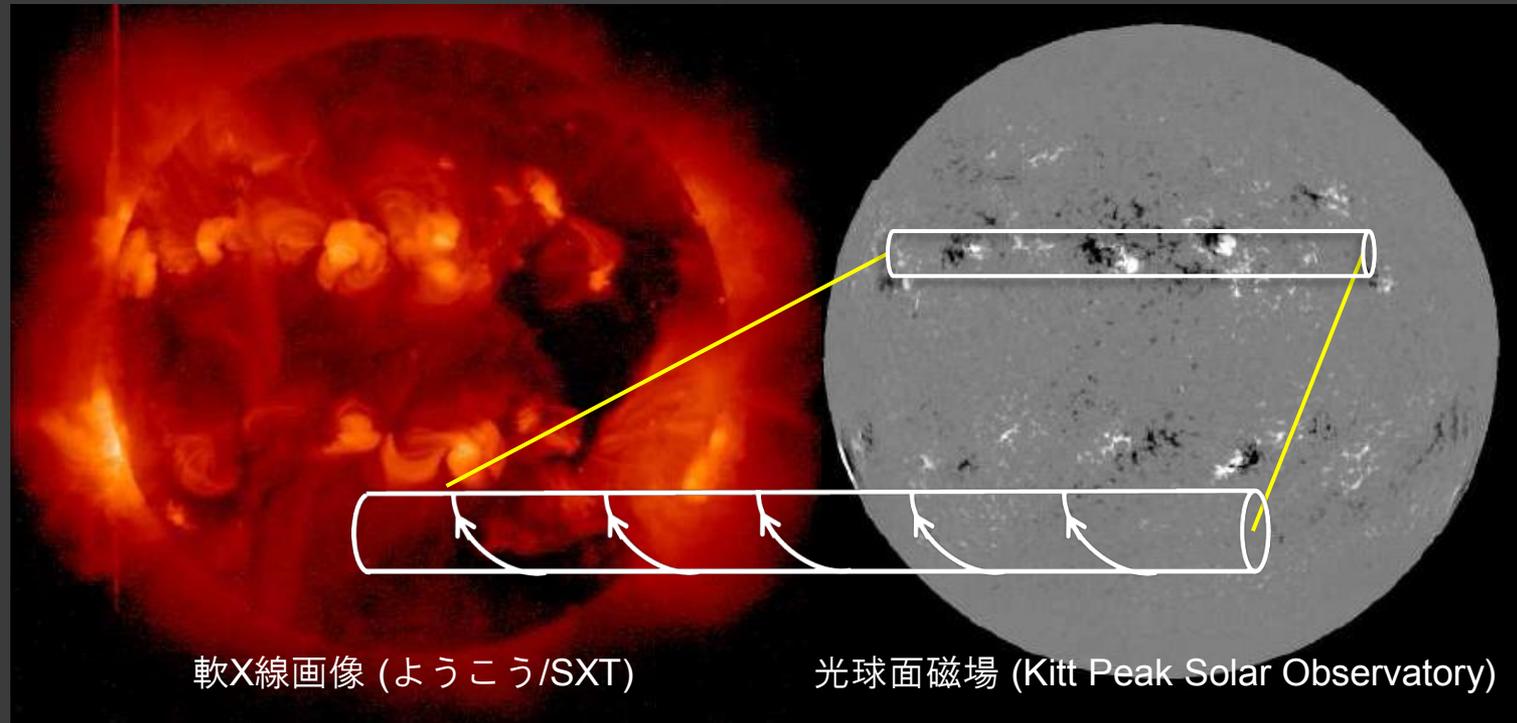
CfCA ユーザーズミーティング (2011 Jan. 11)

太陽浮上磁場・ 活動領域形成に関する 大規模MHDシミュレーション

鳥海 森 横山 央明

東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻 (横山研M2)

太陽活動と磁場



Fan (2004)

- ◎ 太陽活動と磁場は密接に関連している
 - 活動領域はグローバルな磁束管が浮上して形成される (Parker 1955)
 - 活動領域はフレア・CMEを起こすなど宇宙空間に影響を与える

活動領域と浮上磁場

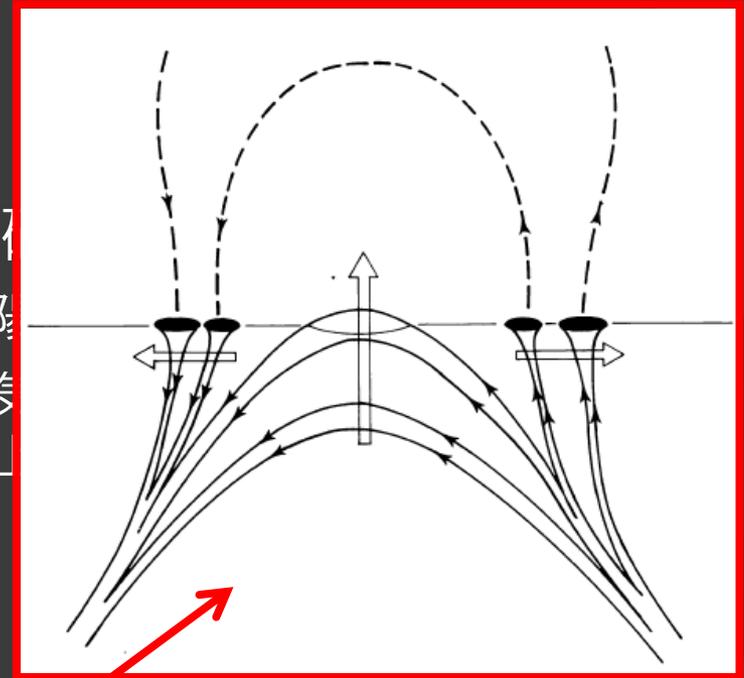
北極

対流層

放射層

中心核

- ◎ 浮上磁場
- 太陽活動
- 磁気浮上

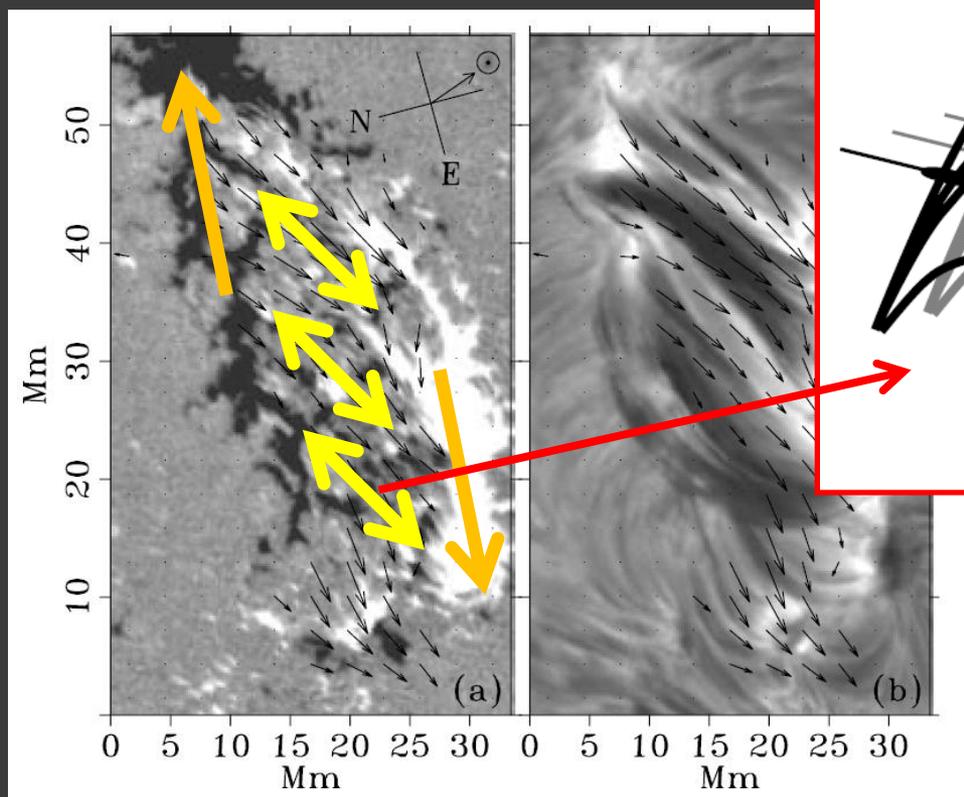


Zwaan (1985)

赤道面

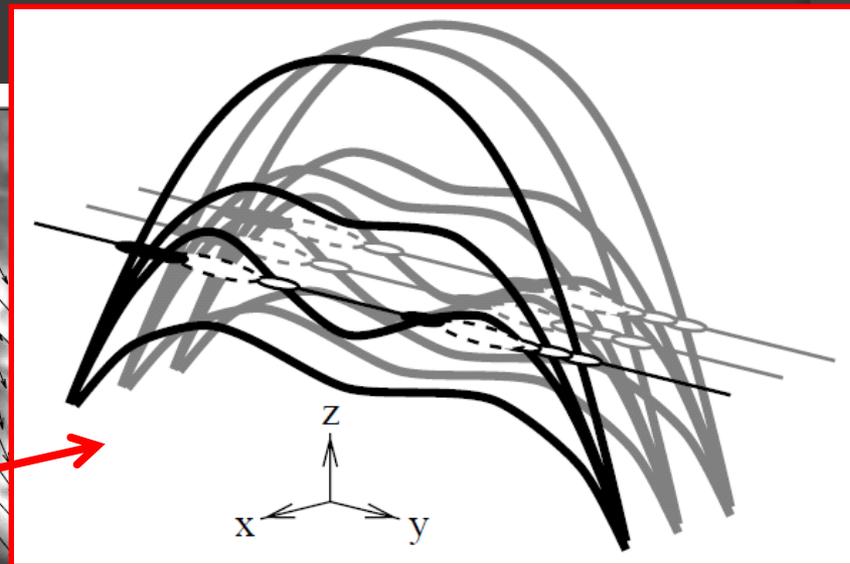
活動領域と浮上磁場

観測例：Strous & Zwaan (1999)



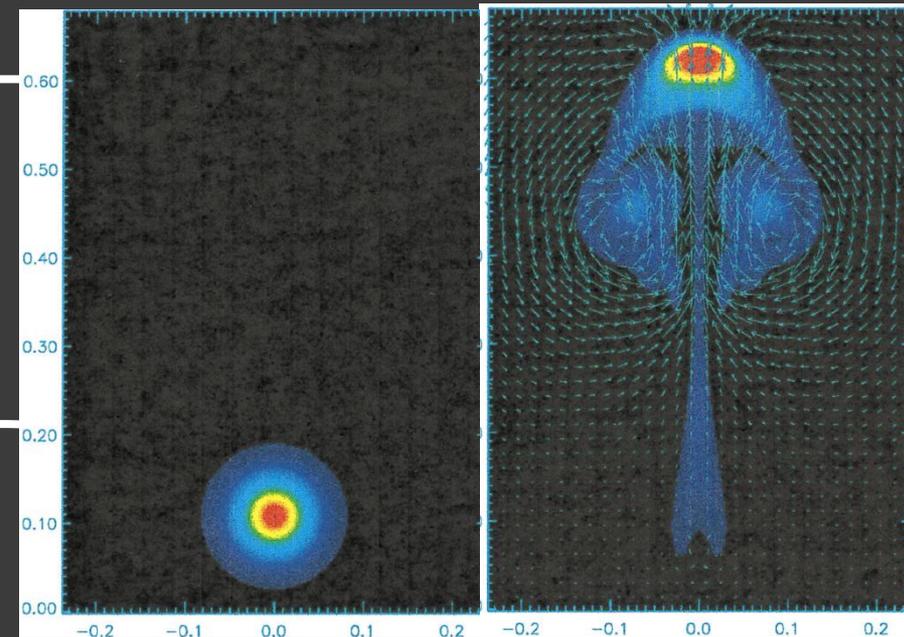
光球磁場

H α 画像 (彩層)

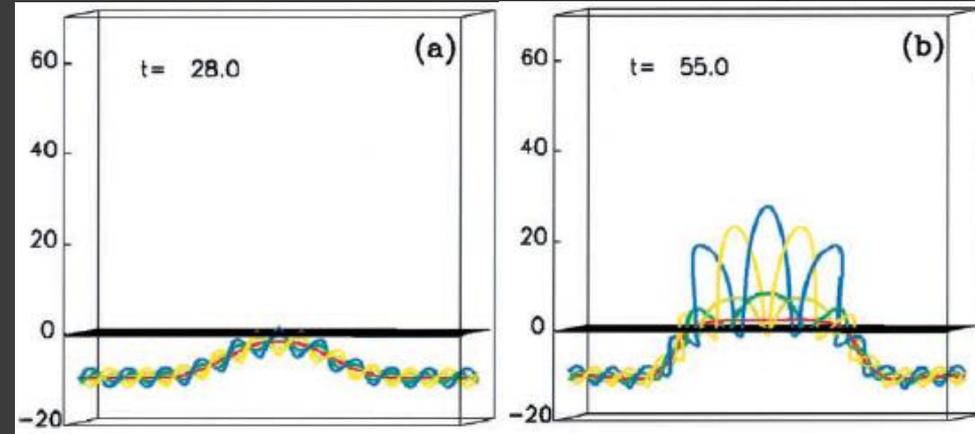


- 垂直シートモデル
各浮上イベントは垂直な平面内で生じる
磁気要素の分裂とシア運動

先行研究の概観



Moreno-Insertis (1996)



Fan (2001)

先行研究

- 浮上磁場の理論研究は、「対流層内部」と「外層大気」に二分されてきた
- 大きなスケール差のため
- 今後は浮上磁場を一貫して扱った研究が必要

200,000 km

本研究の目的

- ◎ 太陽対流層深さ2万kmからの2次元・3次元浮上磁場MHD計算・理論モデルの構築
- ◎ 対流層・太陽表面・上空大気を一貫して扱う
 - 深さ2万km＝対流層の厚さ20万kmに対して、上部10%
 - 太陽内部の数値計算では深さ2万km程度までしか扱えない
 - 従来の光球～上空の計算では深さ2000 km程度
(従来の10倍深い)
 - CfCA SX9 XT4を活用：CANS Modified Lax-Wendroff

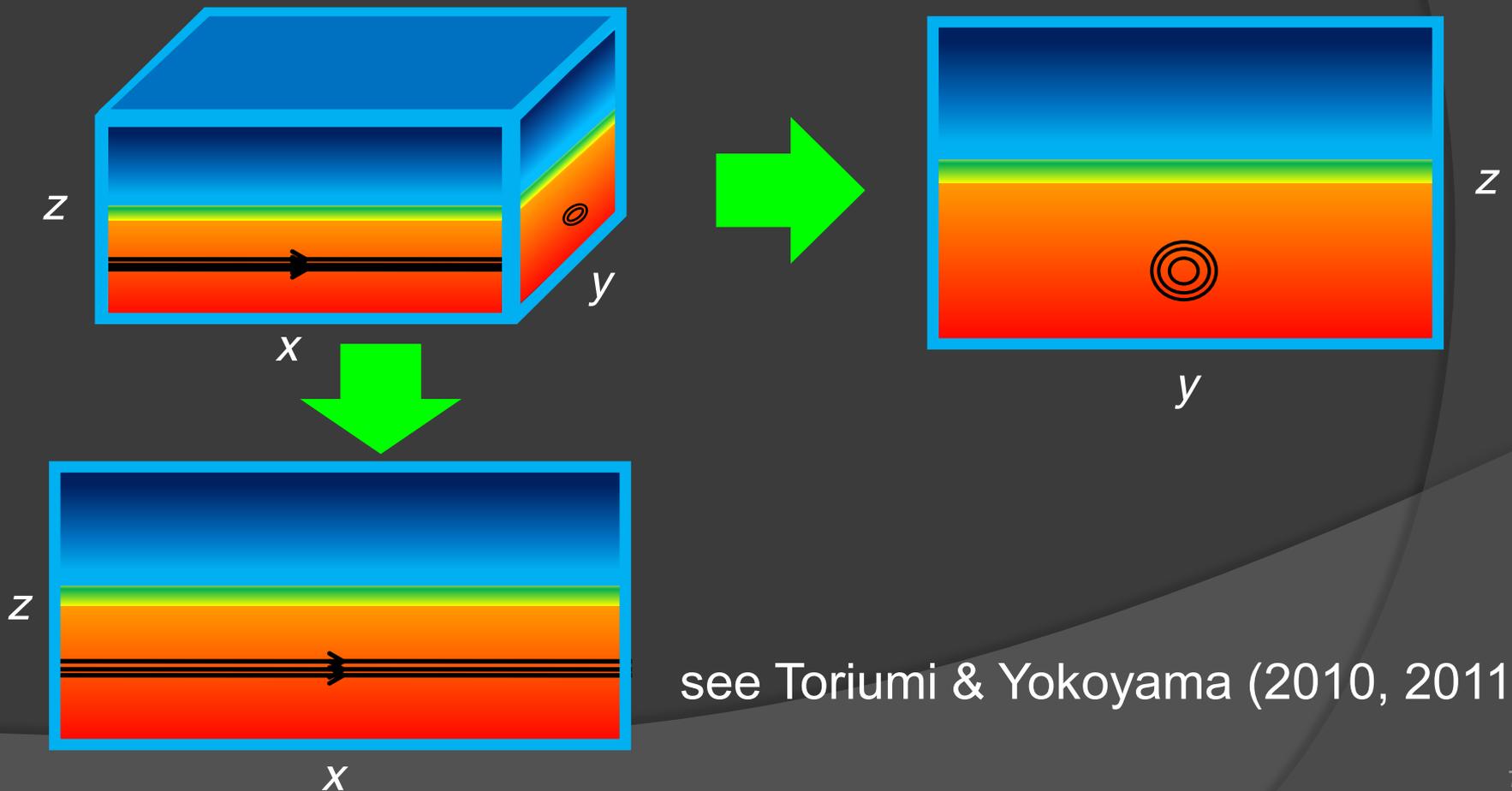
-20,000 km



200,000 km

2次元計算

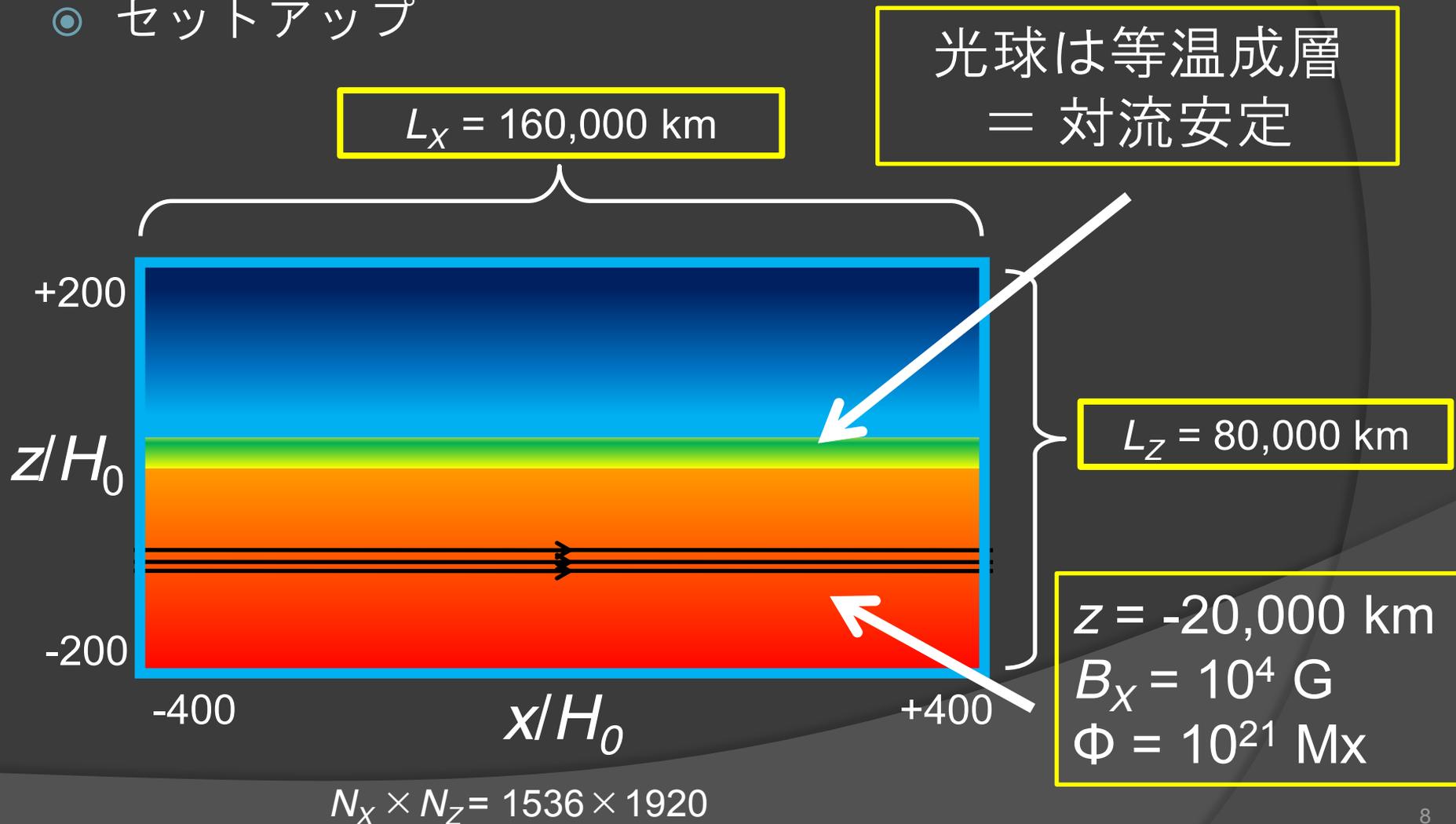
- ◎ 2次元計算には2通りのモードが考えられる



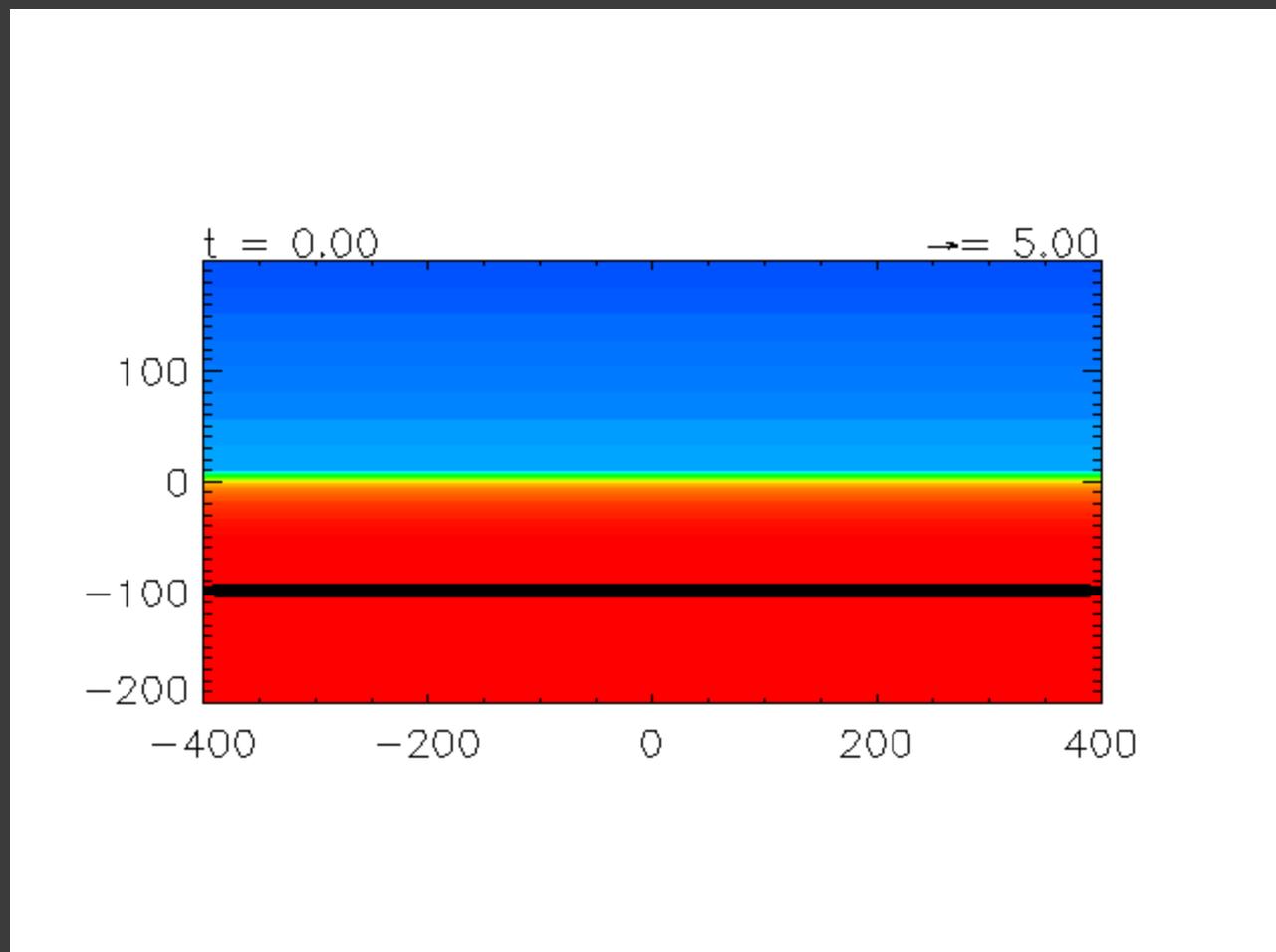
see Toriumi & Yokoyama (2010, 2011)

2次元計算

● セットアップ

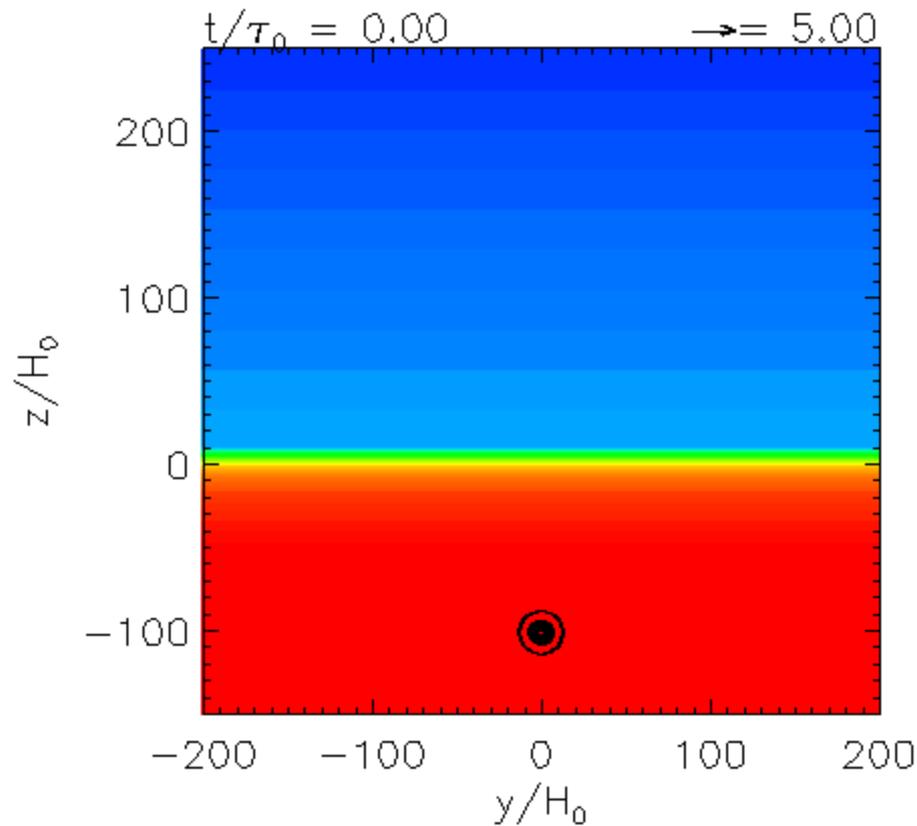


2次元:軸方向計算



密度、磁力線、速度場

2次元:断面方向計算



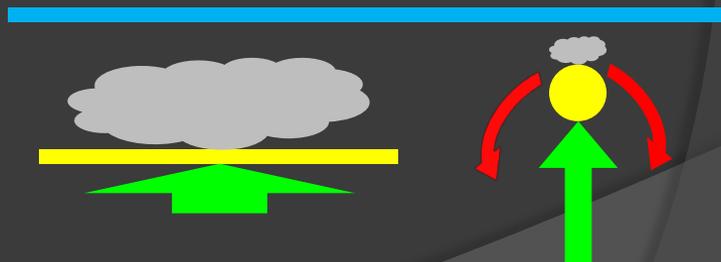
密度、磁力線、速度場

2次元計算のまとめ

- ◎ 深さ2万kmからの磁束浮上計算
 - 表面付近で減速し水平に広がった構造を形成する
 - $B = 10^4 \text{ G}$, $\Phi = 10^{21}\text{-}10^{22} \text{ Mx}$, ねじれ $> 5.0 \times 10^{-4} \text{ km}^{-1}$



- ◎ 減速の物理
 - 磁束上のプラズマは光球表面を突破できない



- ◎ 3次元計算の困難さ
 - グリッド数が膨大になる ($N = 10^6 \rightarrow 10^9$)

3次元計算

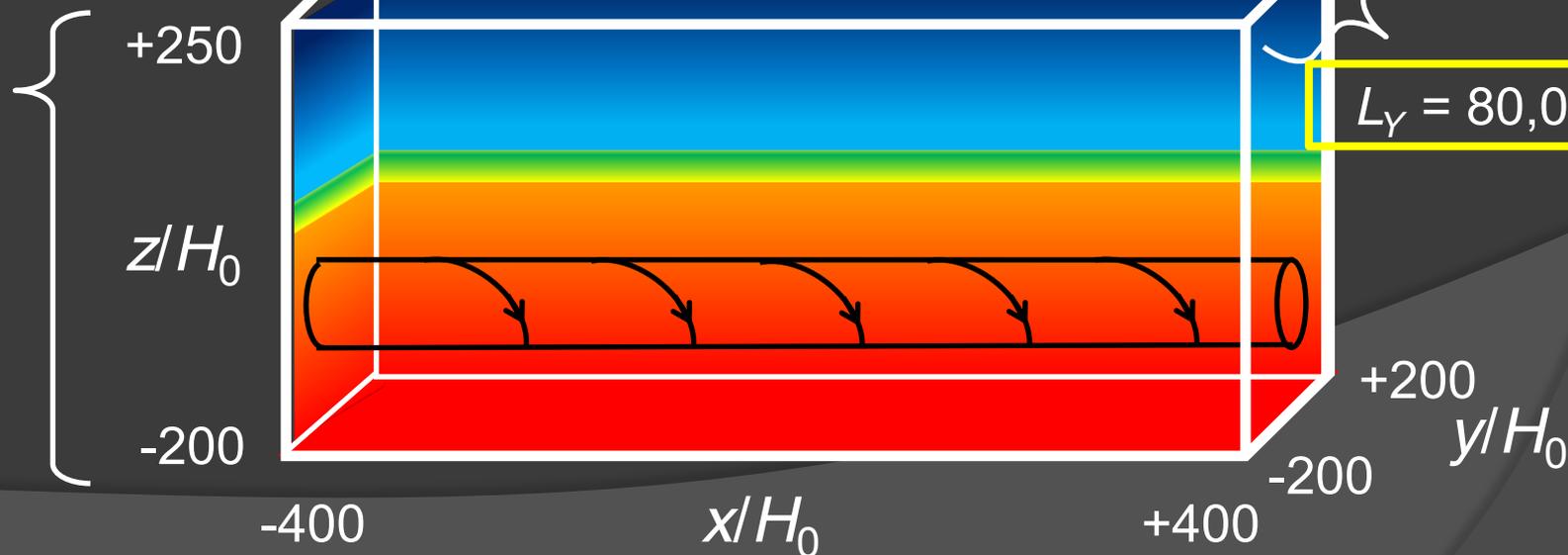
- ◎ セットアップ
 - 2次元計算と同じ初期条件

$$\begin{aligned} N_x \times N_y \times N_z \\ &= 512 \times 256 \times 1024 \\ &= 10^8 \text{ (非一様グリッド)} \end{aligned}$$

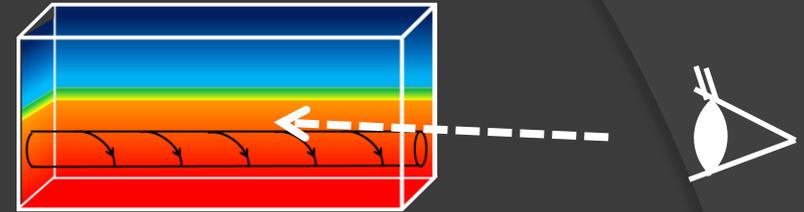
$$L_x = 160,000 \text{ km}$$

$$L_z = 90,000 \text{ km}$$

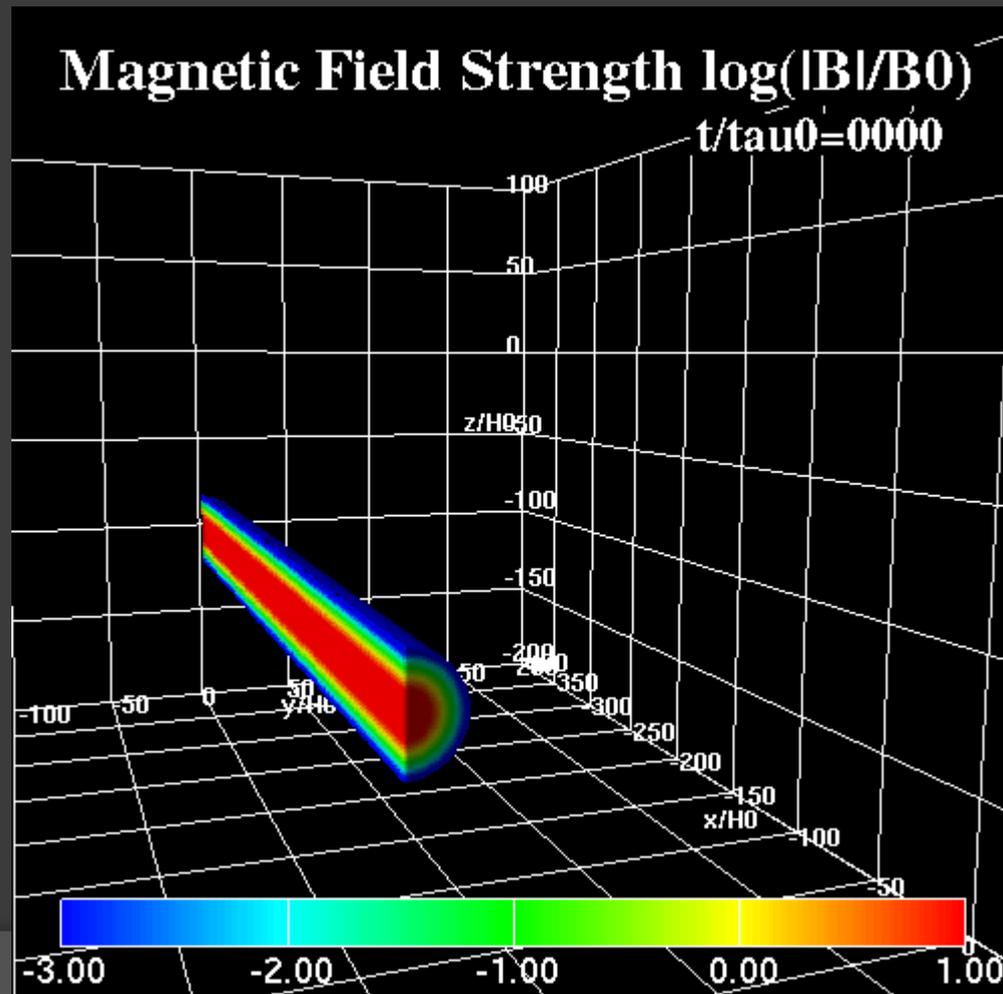
$$L_y = 80,000 \text{ km}$$



3次元計算

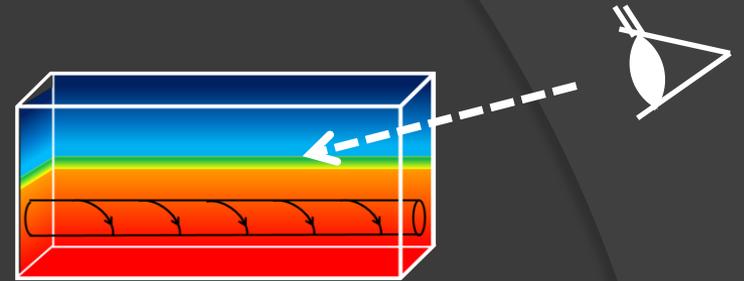


◎ 磁場強度プロット

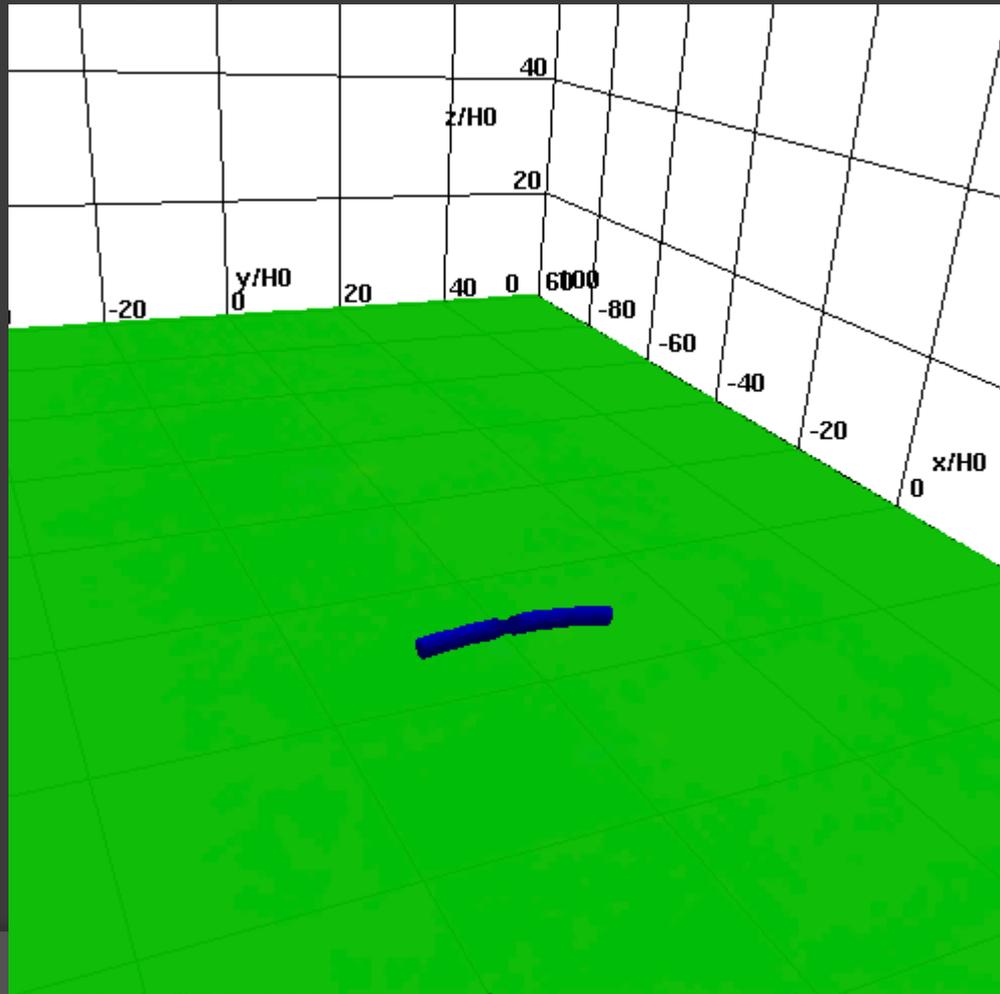


- $x < 0, y > 0$ のみ表示
- 表面付近で水平に広がった構造をとる
- 上空に複数の磁気ドームを形成する

3次元計算



◎ 表面磁場 B_z/B_0 と磁力線

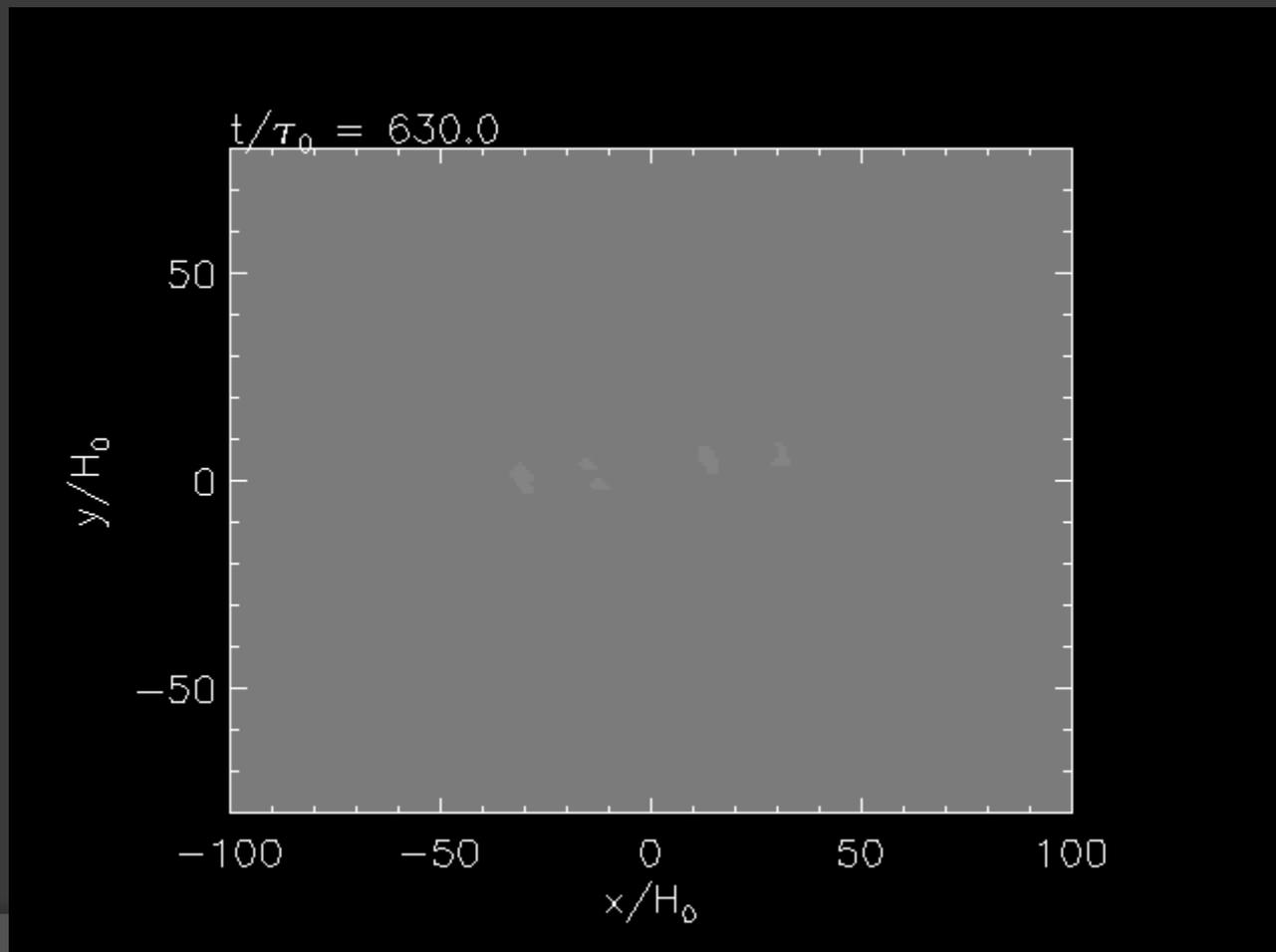
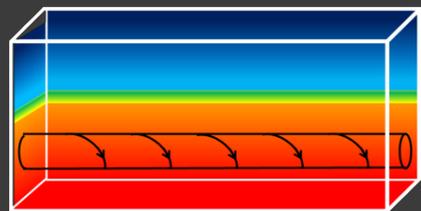
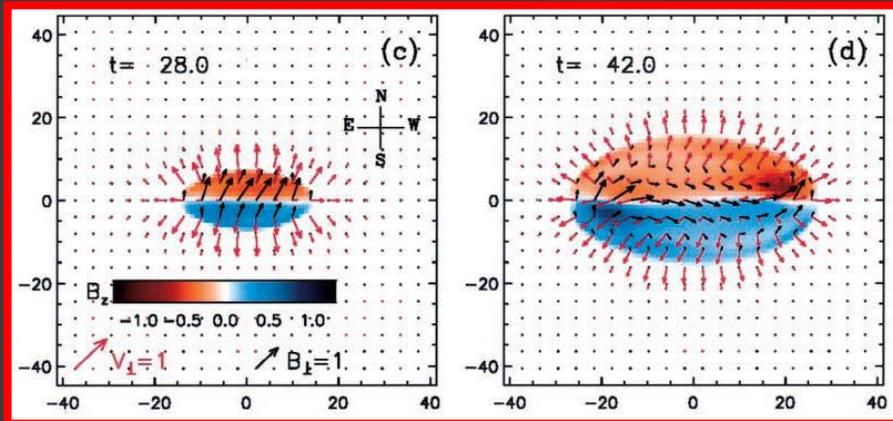


- 磁気要素の分裂、
シア運動が見られる
- 磁力線は磁気要素
を結合している

3次元計算

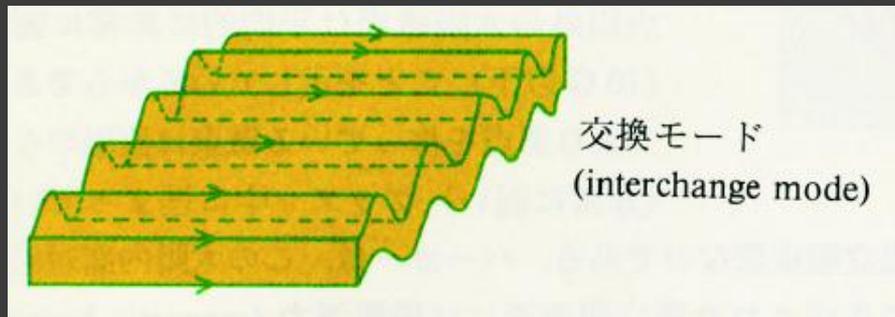
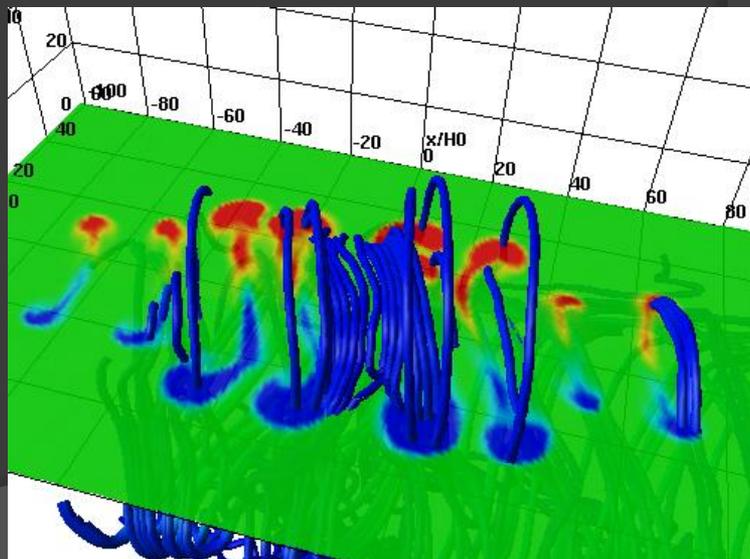
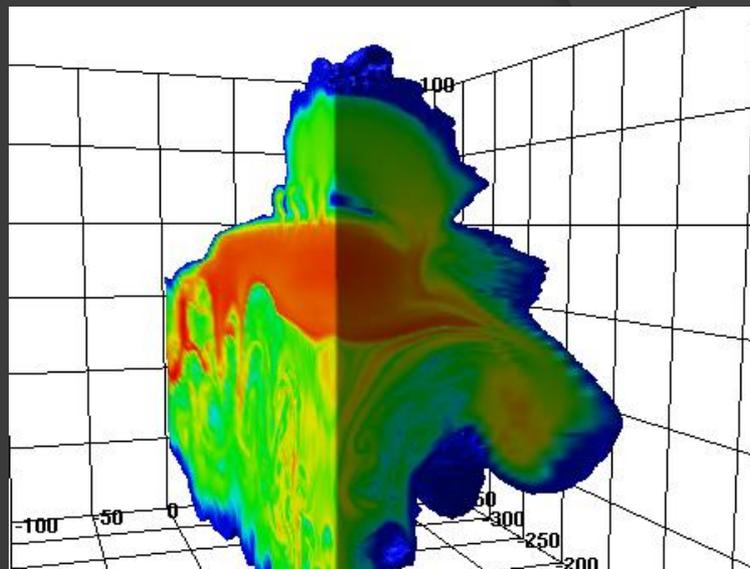
Fan (2001)

- ◎ 表面磁場 B_z/B_0



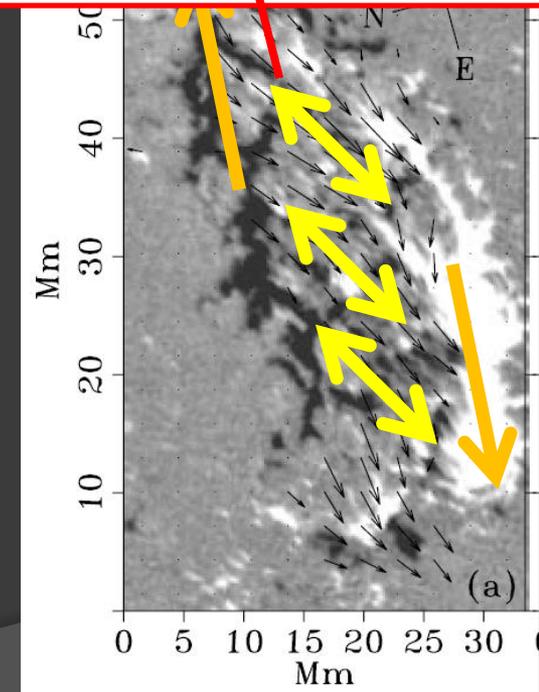
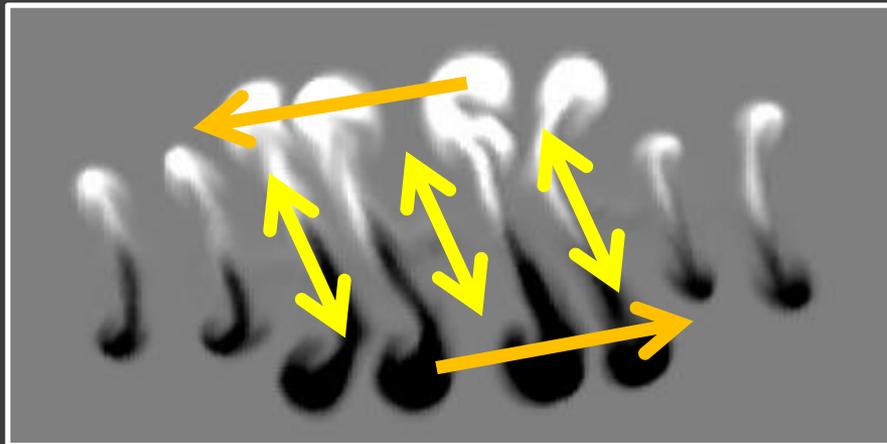
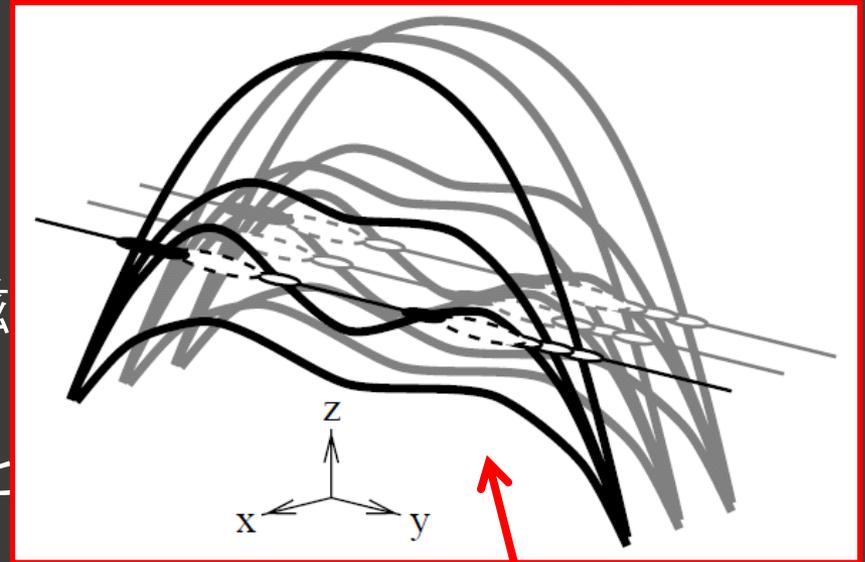
3次元計算

- ◎ 磁束管は減速し、表面下で水平に広がる
→ 従来の2次元計算と一致
- ◎ 上空に複数の磁気ドームが形成される
→ 交換モード不安定による浮上



3次元計算

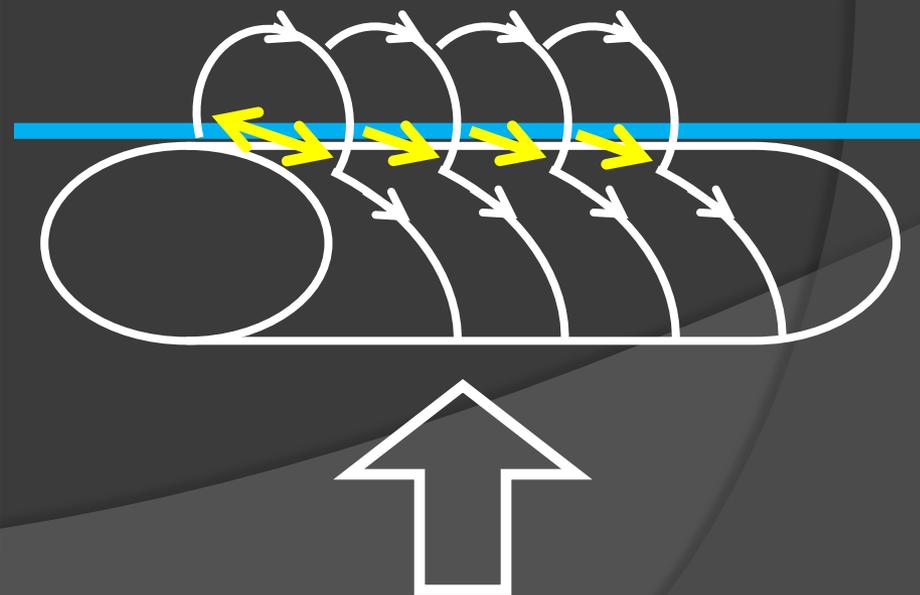
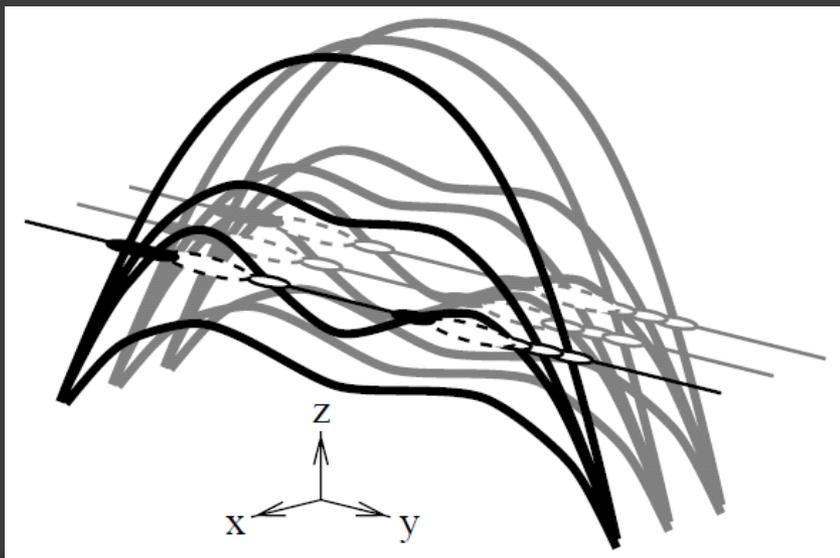
- 交換モード不安定による磁浮上が見られた
- 表面磁場の分裂 (=浮上) と運動



Strous & Zwaan (1999)

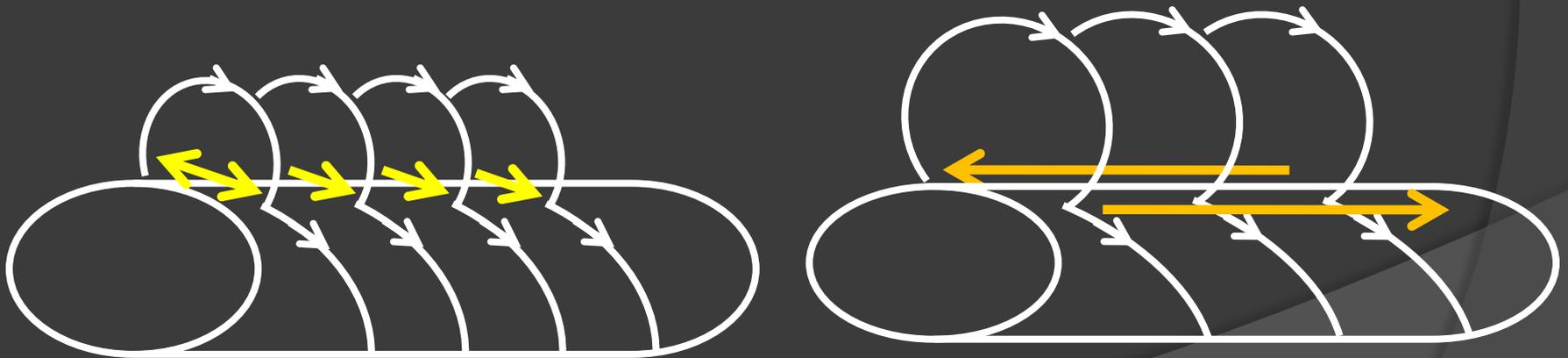
3次元計算

- ◎ 「垂直シートモデル」は、
光球付近で水平に広がった磁場が
交換モード不安定を起こして浮上した結果と考えられる



3次元計算

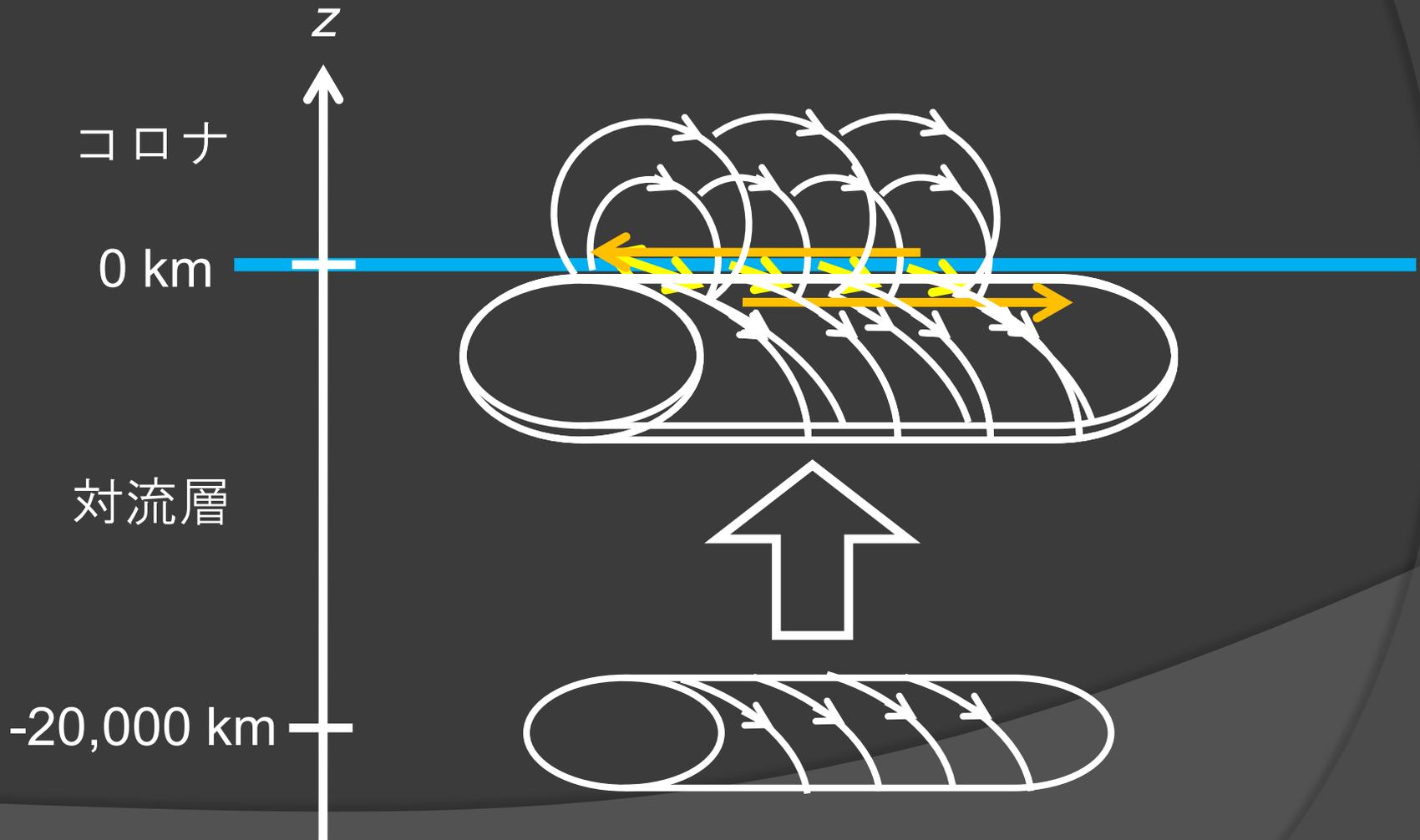
- シア運動：内側の磁力線の浮上による
- 磁束管の内側ほどピッチ角が小さいため、より内側の磁力線が浮上するとフットポイントが移動する



Outer fields

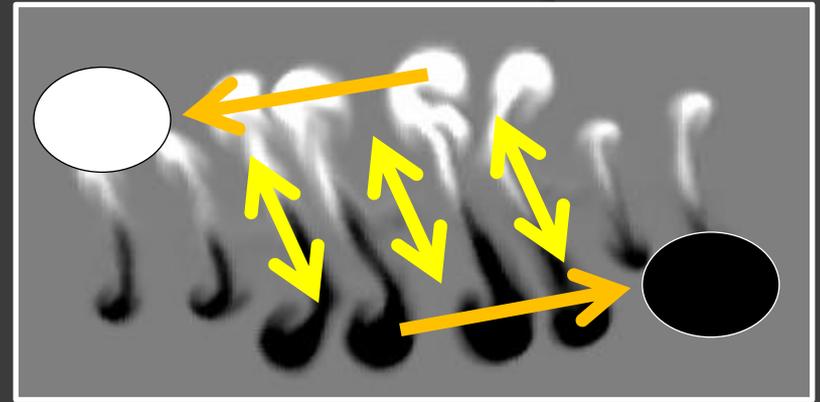
Inner fields

3次元計算のまとめ



今後の課題

- ◎ 黒点の形成
 - 軸磁場は浮上しなかった
 - 磁気要素が集合して黒点は形成されるか？
- ◎ パラメータ研究
 - 磁場強度、ねじれ強度、擾乱波長などを変えてモデルの普遍性を確認したい
- ◎ 輻射過程
 - 光球付近では輻射が強く作用する
 - 対流はどの程度影響を及ぼすのか



宣伝

- ◎ ポスター講演：P29 堀田英之
『音速抑制法による恒星内部の
対流数値計算緩和』
 - 高温であるためマッハ数が大きく、
CFL条件が厳しい

