

---

# 黒点の構造と形成(と崩壊)

- 光球磁場研究における「ひので」→ SOLAR-C -

---

久保 雅仁

**High Altitude Observatory**  
**National Center for Atmospheric Research**

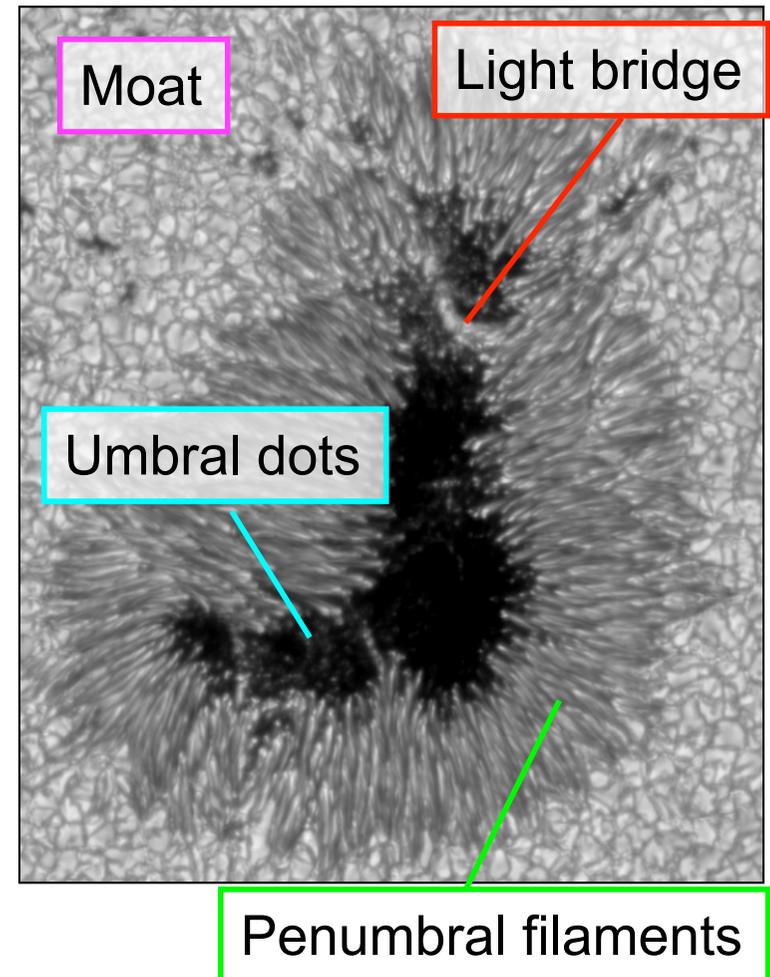
# 黒点磁場研究の現状

Hinode-3会議での一本さんのレビュー  
→ 黒点の光球磁場・速度場の研究は  
「ひので」で時代で大方解明

## ▪ SOTで微細構造＋時間発展の観測

例：SOTで得られた結果

- 暗部 [Umbral dots, Light bridges] (10)
- 半暗部 [Filaments, Evershed flows] (17)
- Moat [Moving magnetic features] (4)
- Pores, Emerging flux (4)
- Oscillation、局所日振学 (2)
- Magnetic flux budget (1)



## ▪ 3D Radiative MHD simulationの発展

(Schussler & Vogler 2006, Heinemann et al. 2007, Rempel et al. 2009ab)

# 黒点(暗部・半暗部)の形成過程

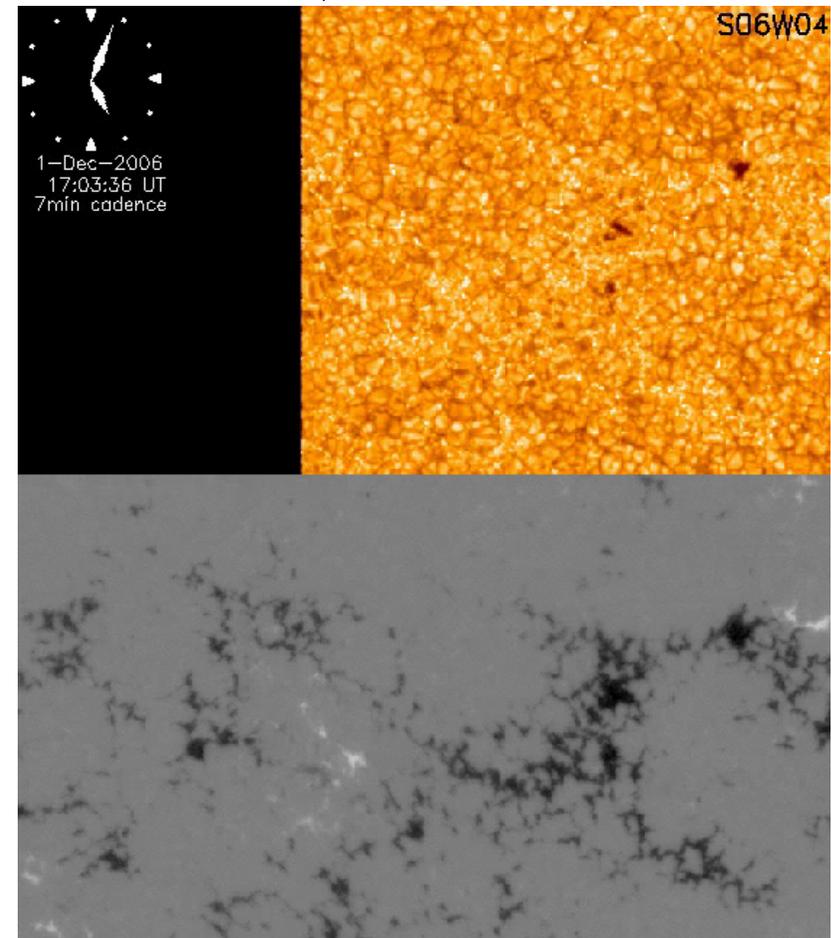
黒点の小ささ+運用の難しさ

⇒ 磁気浮上→黒点形成の  
磁場ベクトルの時間発展は×

SOLAR-C (B案)

- 常時リアルタイム運用(?)  
→ 色々な種類の成長過程を理解
- 高空間分解能+高精度  
→ 磁気浮上領域出現の兆候、  
黒点の規模の予測

上: G-band, 下: 視線方向磁場



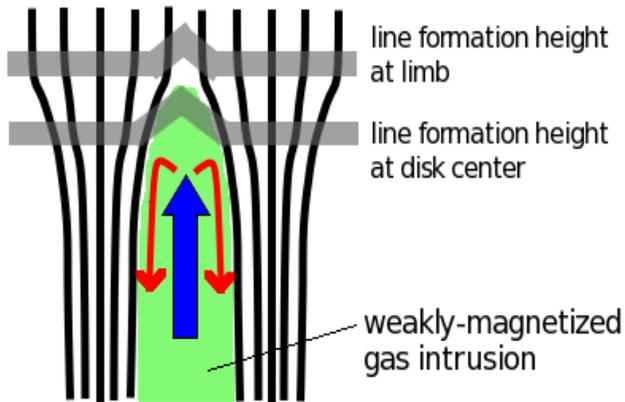
候補: 粒状斑の変形度 (Cheung et al. 2008),  
THMFの方位角のランダム度 (Ishikawa et al. 2009) .....

# 黒点の微細磁場構造の形成過程

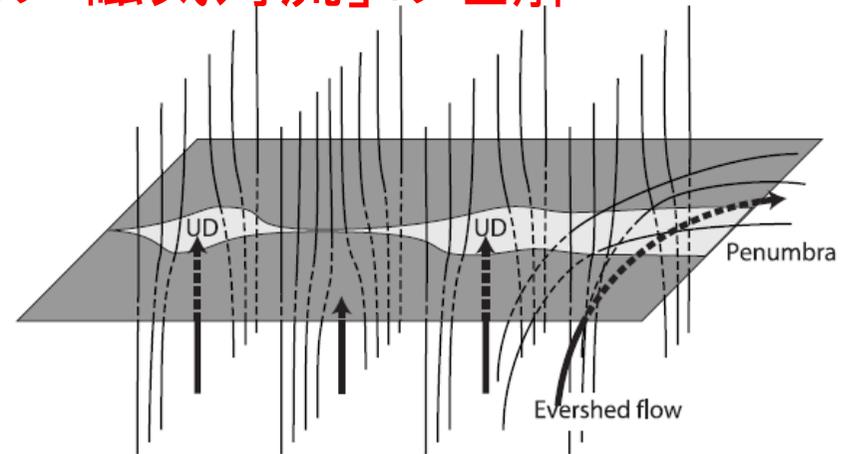
黒点の微細磁場構造 (= 磁場の不均一性):

Umbral dots, Light bridges, 2種類の半暗部フィラメント, MMFs

→ 強磁場領域の(特に対流層)の「磁気対流」の理解



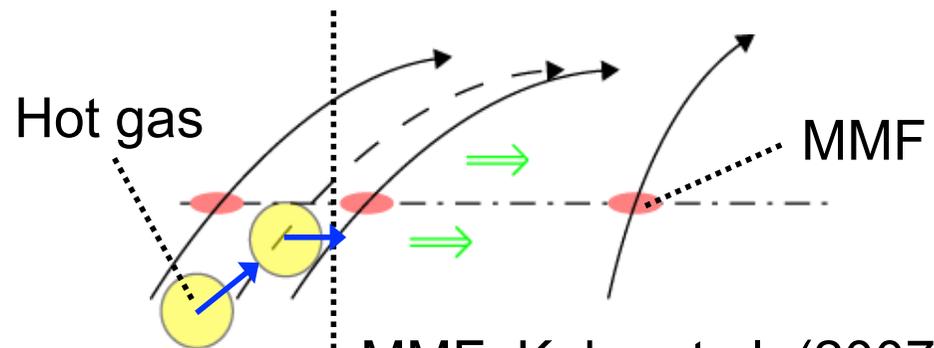
UDs: Watanabe et al. (2009)



LBs: Katsukawa et al. (2007)



半暗部: Ichimoto et al. (2009)



MMF: Kubo et al. (2007)

# 黒点内の対流運動の検出

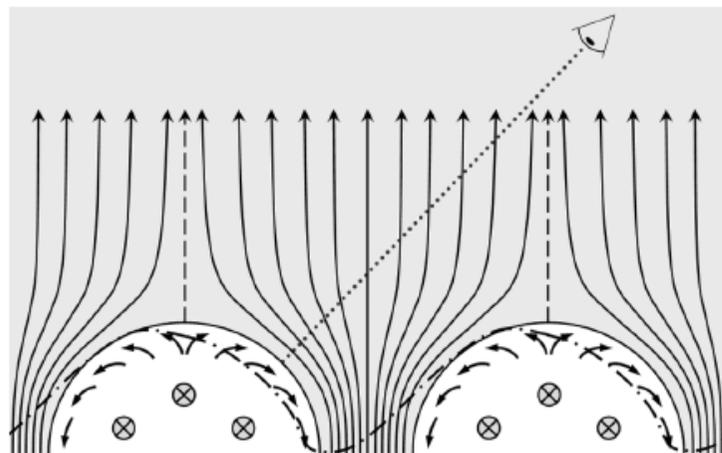
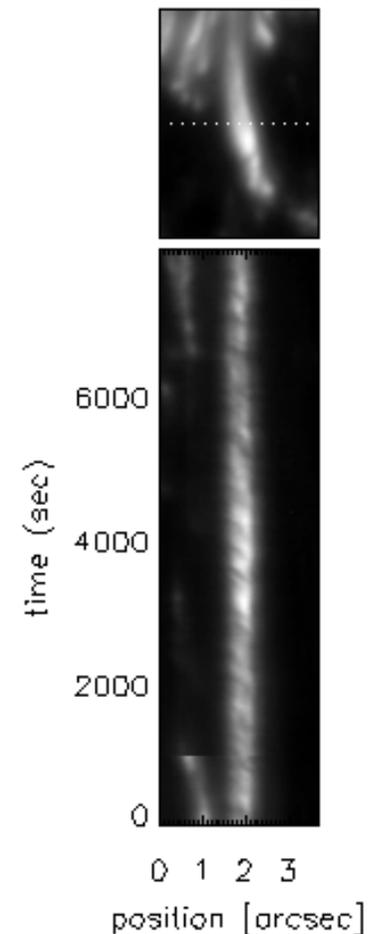
- 既により観測されている「対流」の証拠

→ 明るい構造の出現 + 上昇流

- 未だはっきりしない「対流」の特徴

→ 下降流、水平方向の流れ

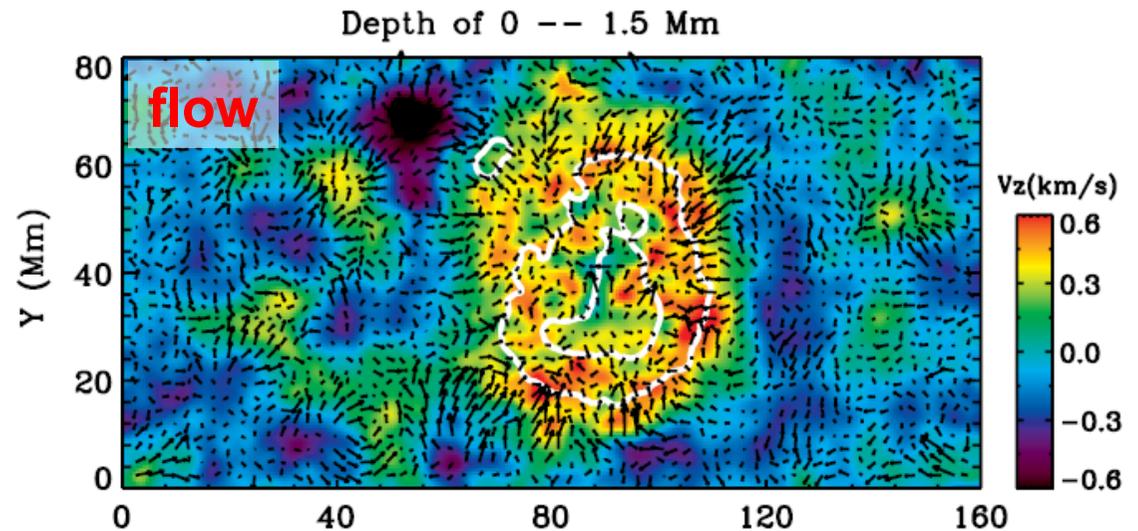
半暗部のねじれ運動  
(Ichimoto et al. 2007)



Zakharov et al., 2008

# 局所日震学を利用した対流層の流れ

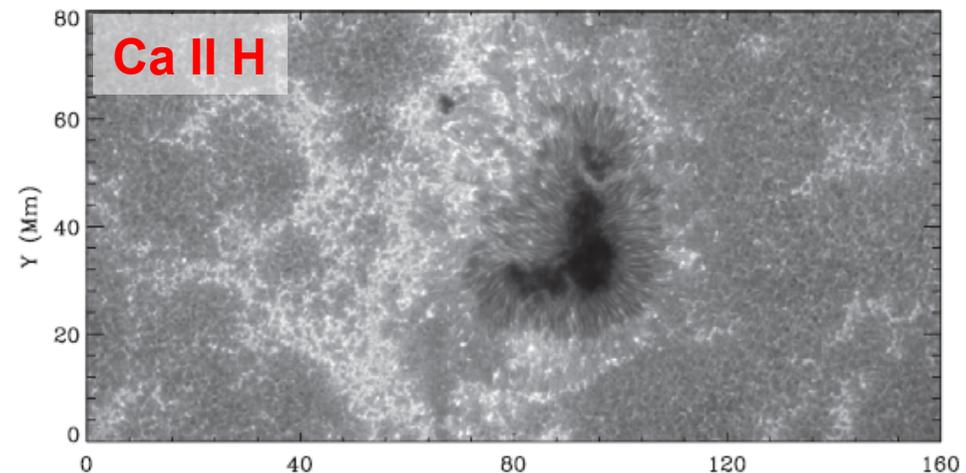
- SDO/HMI
  - 空間分解能 $\sim 1''$
  - 速度マップ $\sim 10''$
  - 異なる特徴を持った黒点同士の比較



色: 垂直、矢印: 水平

- SOLAR-C (B案)
  - 空間分解能 $< 0.1''$
  - 速度マップ $\sim$ 数秒 (願望)

半暗部の周方向変化等  
→ 微細構造との比較



Zhao et al. 2010 (by SOT)

# 局所日振学を利用した対流層の流れ

- SDO/HMI

- 空間分解能 $\sim 1''$
- 速度マップ $\sim 10''$
- 異なる特徴を持った黒点同士の比較

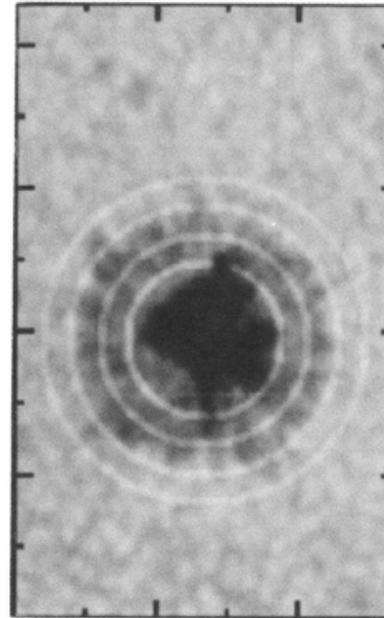
- SOLAR-C (B案)

- 空間分解能 $< 0.1''$
- 速度マップ $\sim$ 数秒 (願望)

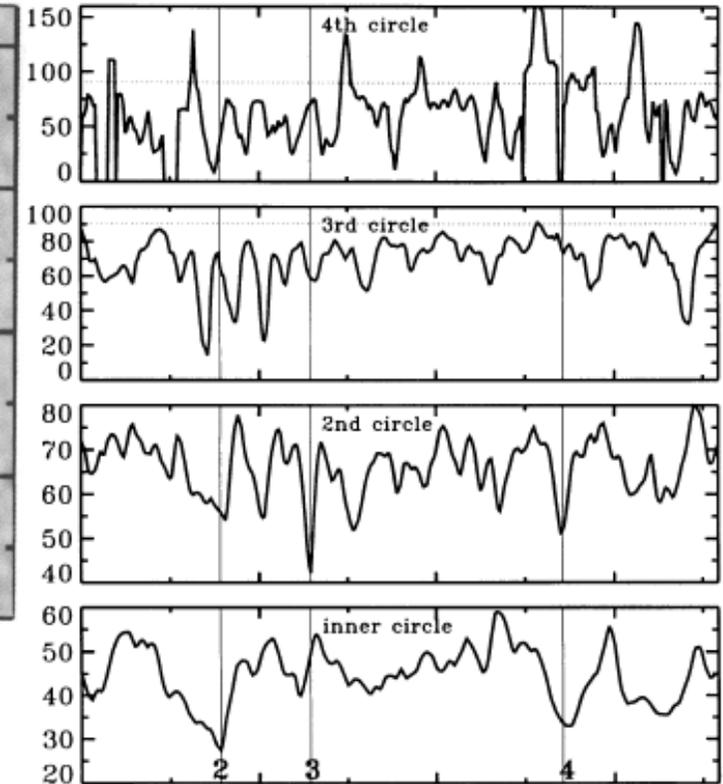
半暗部の周方向変化等

→ 微細構造との比較

continuum



磁場の傾き



Lites et al. 1993

100 200 300  
Position Angle (CCL from West)

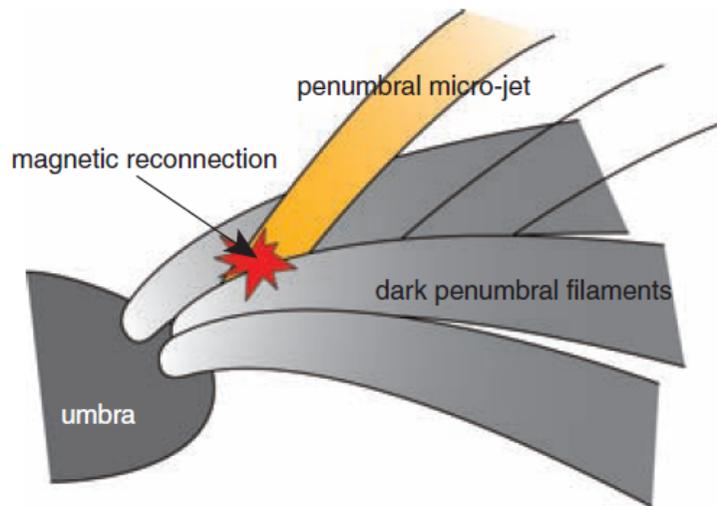


# 黒点内彩層ジェットを引き起こす光球磁場構造

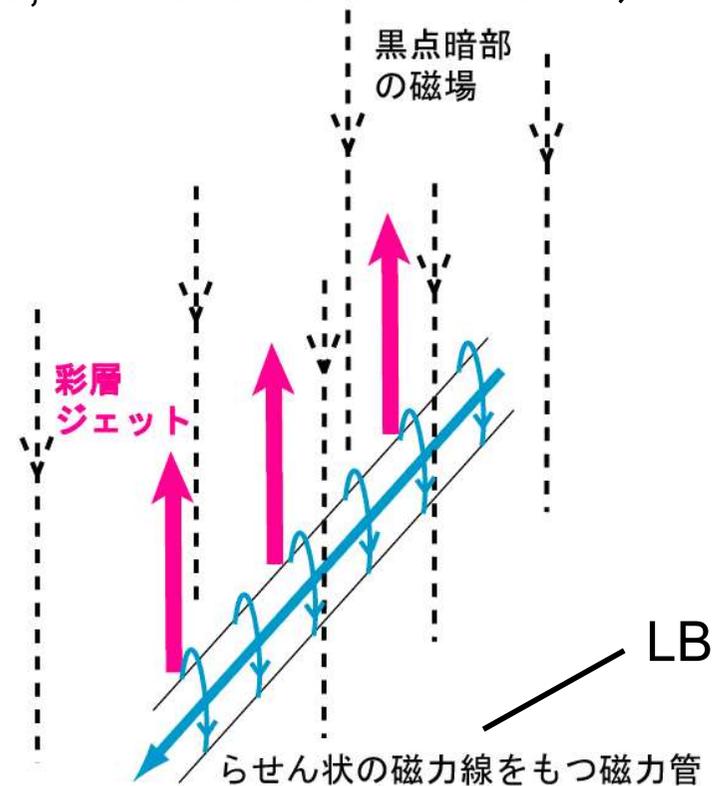
半暗部ジェット (Katsukawa et al. 2007), LBジェット (Shimizu et al. 2009)

異なる磁場の傾きを持った構造の境界、レッドシフトを伴う  
(Katsukawa et al. 2007, Shimizu et al. 2009, Katsukawa et al. 2010)

→ 磁気リコネクション



Katsukawa et al. 2007  
(コンポーネント)



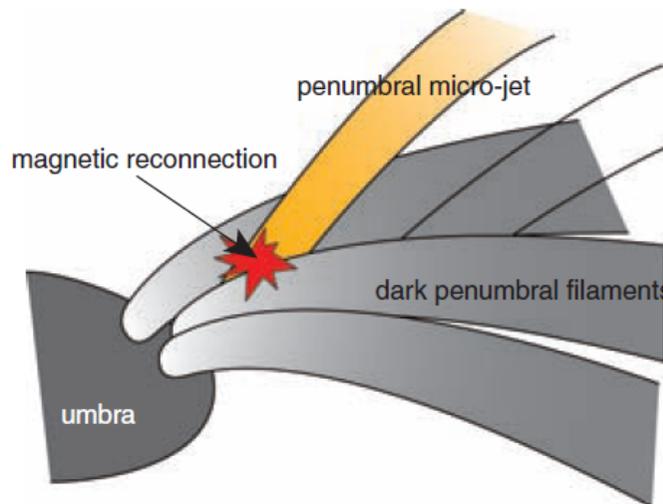
Shimizu et al. 2009  
(反並行)

# 黒点内彩層ジェットを引き起こす光球磁場構造

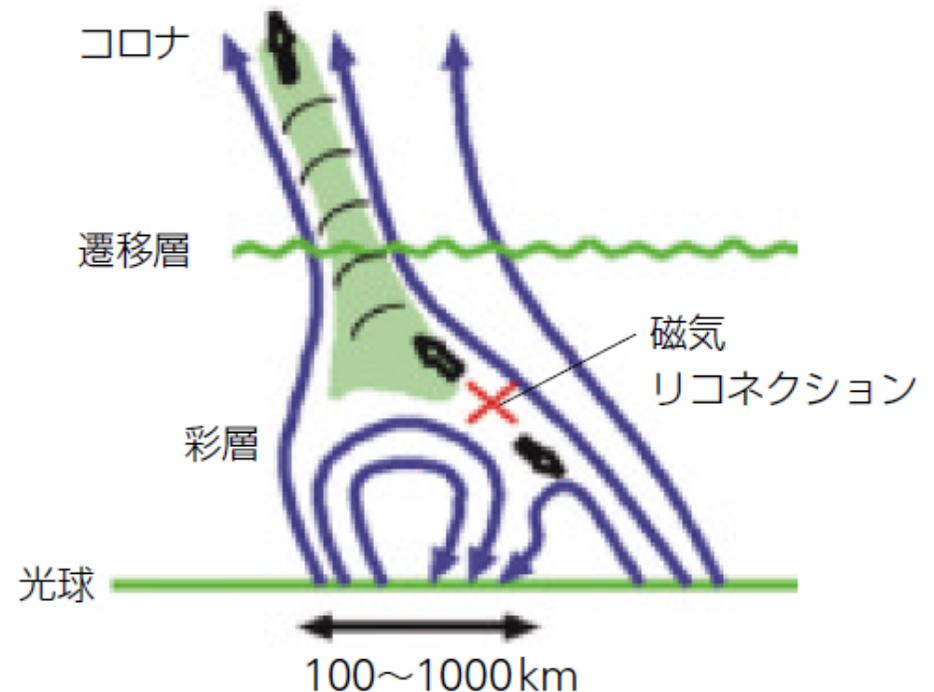
半暗部ジェット (Katsukawa et al. 2007), LBジェット (Shimizu et al. 2009)

異なる磁場の傾きを持った構造の境界、レッドシフトを伴う  
(Katsukawa et al. 2007, Shimizu et al. 2009, Katsukawa et al. 2010)

→ 磁気リコネクション



Katsukawa et al. 2007  
(コンポーネント)



Shibata et al. 2007  
(反並行)

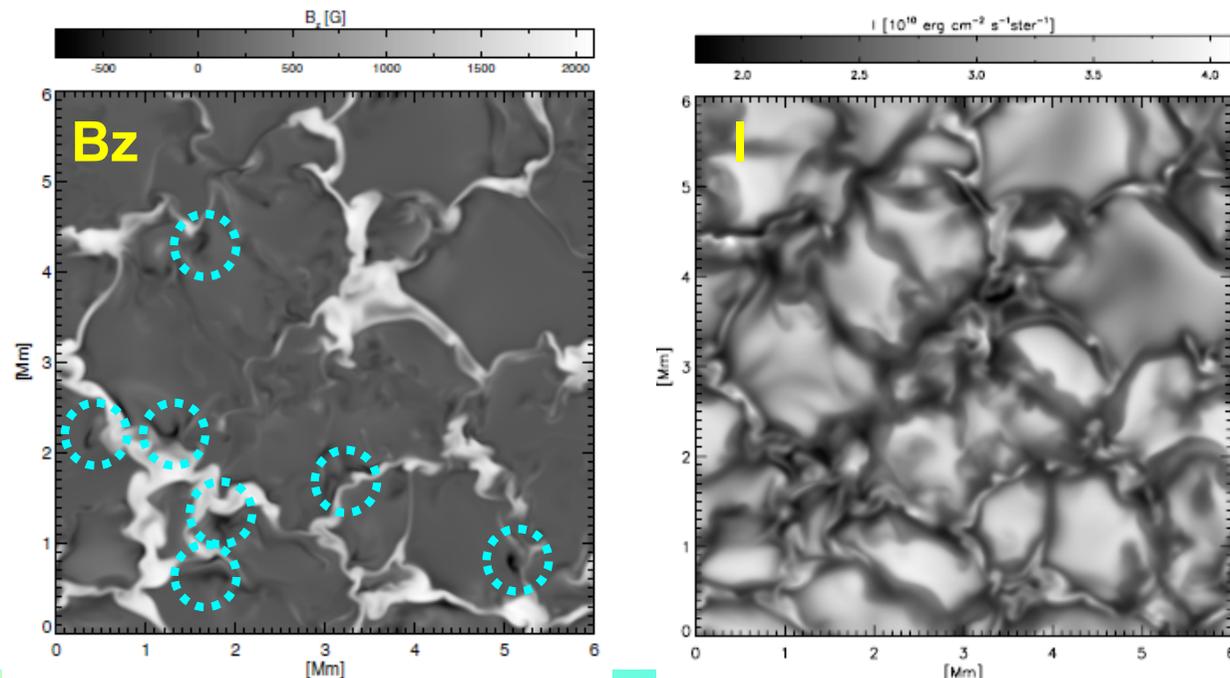
# SOLAR-C (B案) で期待される進展

- 空間分解できていない mixed polarities がいたる所にあるのか？  
SOT → 暗部: 無し、半暗部: 稀 (Sainz Dalda & Bellot Rubio 2008)
- 磁気リコネクションに伴う光球磁場の変化 (特にコンポーネント)  
高空間分解能 + 2次元分光観測

→ plage, network fields と共通の問題

SOTより一桁上  
の空間分解能

Vögler et al. (2005)



# SOLAR-C (B案) vs. 次世代地上望遠鏡

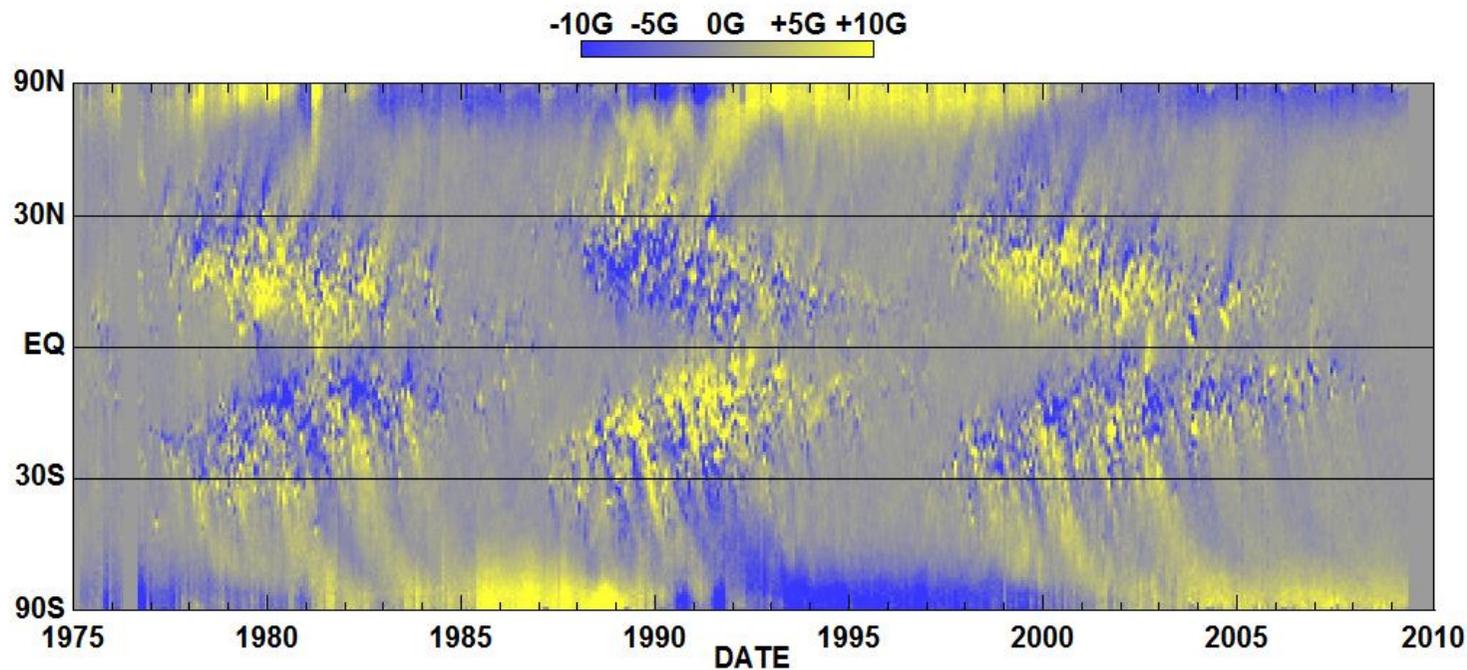
- Hinode/SOT観測開始時：
  - 30年以上に渡る地上望遠鏡観測による問題点の洗い出し
  - 空間分解能、精度、連続性、安定度でアドバンテージ
- SOLAR-C (B案)観測開始時：
  - SOT+地上観測で問題点は更に絞り込まれている
  - 口径 < ATST/EST, 連続性/安定度 = SOT

→ 0.1"の磁場構造かつ時間オーダーの変化が必要な対象

- (1) 黒点の形成 + 予測: SOLAR-C >> 地上観測
- (2) 微細構造とmagnetoconvection: SOLAR-C < 地上観測
- (3) 彩層ジェットの足元光球磁場; SOLAR-C  $\geq$  地上観測

# SOLAR-C (A案) と黒点研究

- 黒点の研究においては、SOLAR-C (A案) 単独では、Hinode/SOT, SDO/HMI, SOLIS に対する優位性は無い
- A案までに AR belts 近辺の磁束の流れを押えておく事が大切



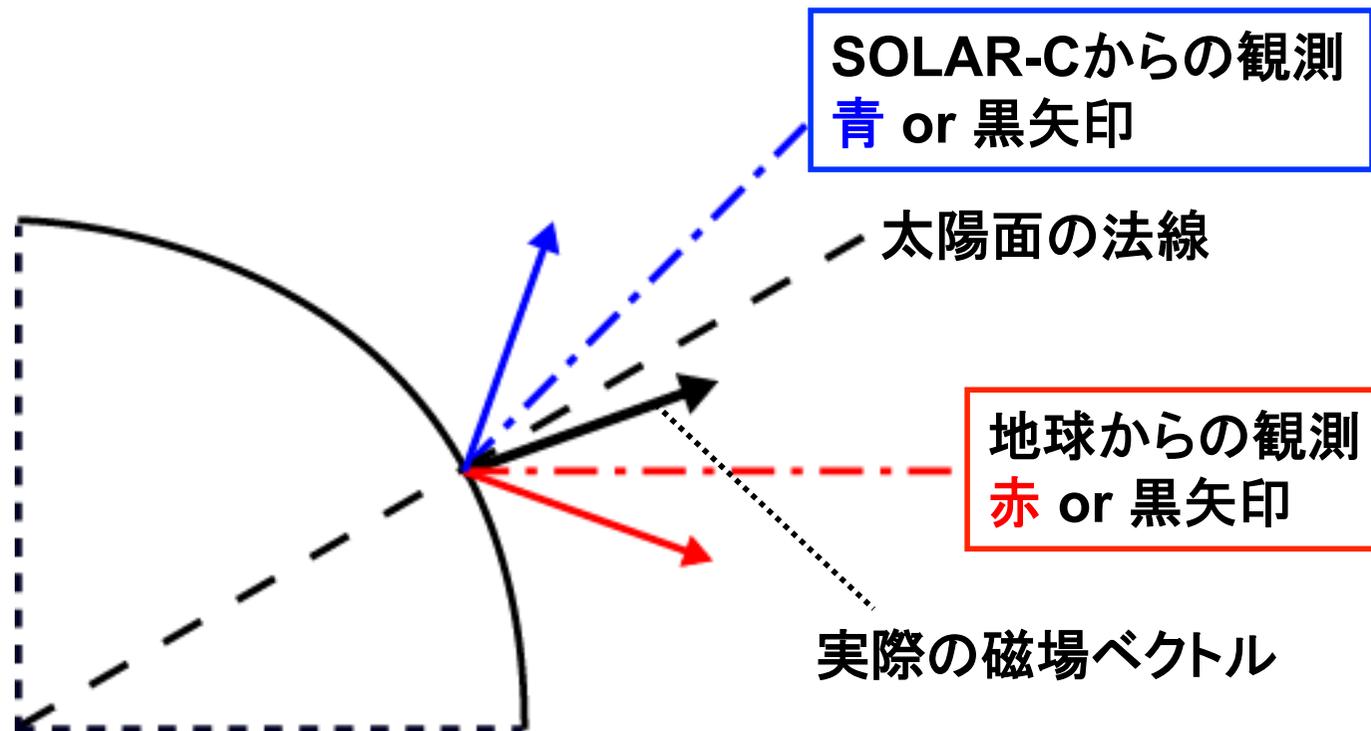
Hathaway/NASA/MSFC 2009/07

磁場のbutterfly diagram

# 磁場方位角の180不定性の解決

2点観測により磁場方位角の180度不定性が解ける

→ “太陽面に対する”磁場ベクトルを一意に決定

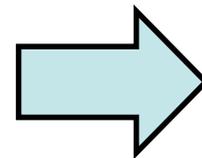
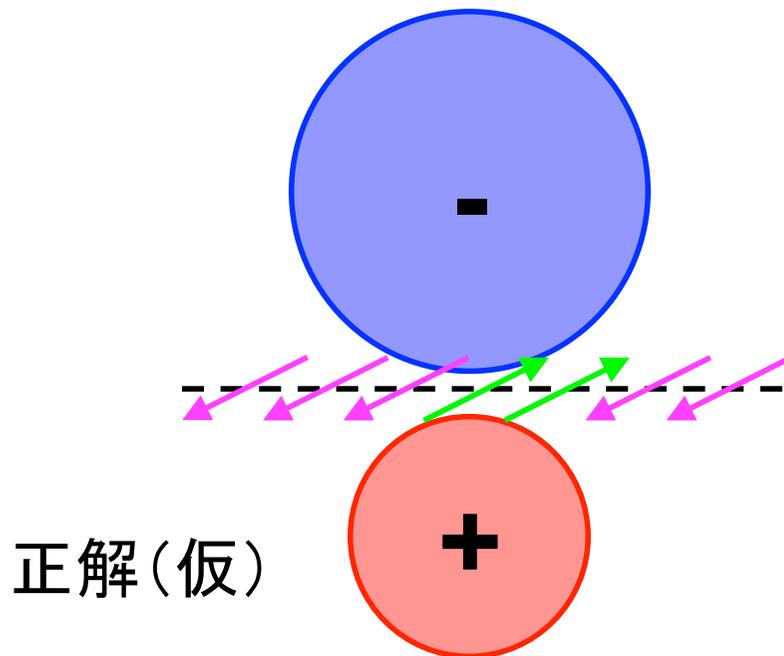
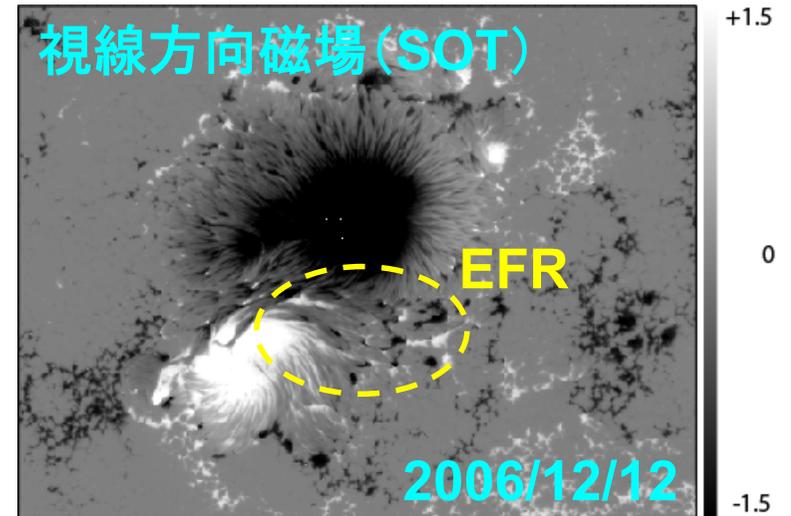


# フレア領域の磁場構造の決定

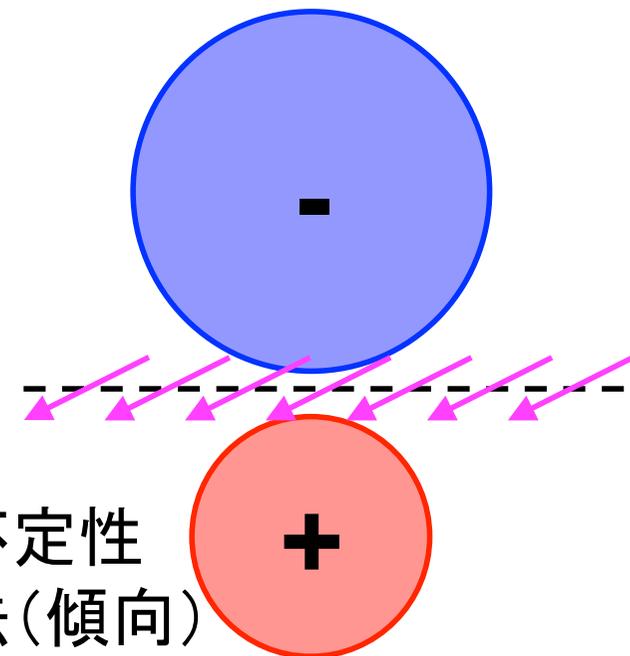
磁場のねじれ度、磁気ヘリシティ  
(特に符号)が正確に見積もれる

→ フレア発生のトリガー説明への  
もう一つの切り口

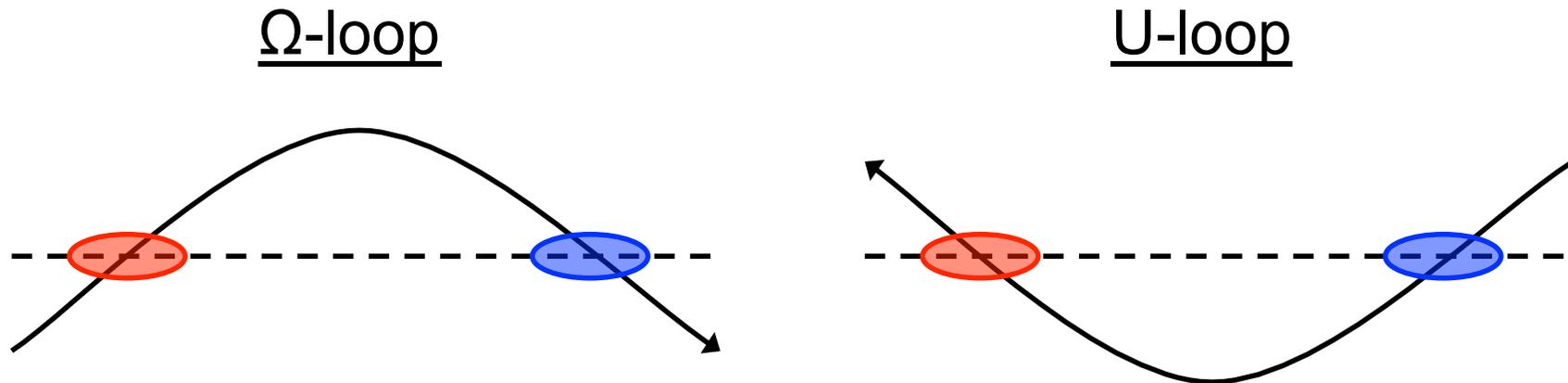
例: ヘリシティ反転(Kusano et al. 2002)



現行の不定性  
解法手法(傾向)



# $\Omega$ -loop vs. U-loop問題の「最終」解決



ダークフィラメント、Flux cancellation、海へび構造 (MMF, EFR, QS)

- 擬似2点観測 → Center to limb variation の利用
  - 同じ構造の長期追跡 (Okamoto et al. 2008, Yokoyama et al. 2010)
  - 異なる視野角を持つ大量のイベント (Iida et al. 2010)
- 磁場の3次元構造の解析 (Ishikawa et al. 2010)
- ドップラー速度、磁場ペアの運動・方向の傾向

## まとめ

- SOLAR-C A/B両案において黒点の光球磁場研究は主役では無く、「境界条件」として役割を果たす

A案: 黒点 → 極域の磁束流

B案: 光球 → 彩層・コロナの磁場構造・変化

- A案 vs. B案

→ 黒点研究に関してはB案の方が成果が上がる可能性が高い  
(2点観測は興味深い、黄道面を脱出する必要は無い)