

-第3回Solar-B初期観測検討会-

黒点の形成と崩壊過程

東京大学理学系研究科天文学専攻博士3年

久保 雅仁

黒点の形成と崩壊の研究

黒点の形成と崩壊

- 太陽面上への磁場の供給・消失現象の最も顕著な例
- 活動領域内の磁場構造の大きく影響
コロナ活動との関係

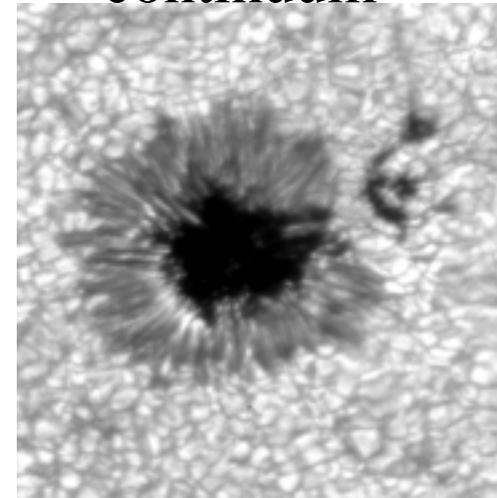
今までの黒点磁場の研究:

- 形成・崩壊の各段階でのスナップショット的な観測
(特に磁場の3成分の観測)

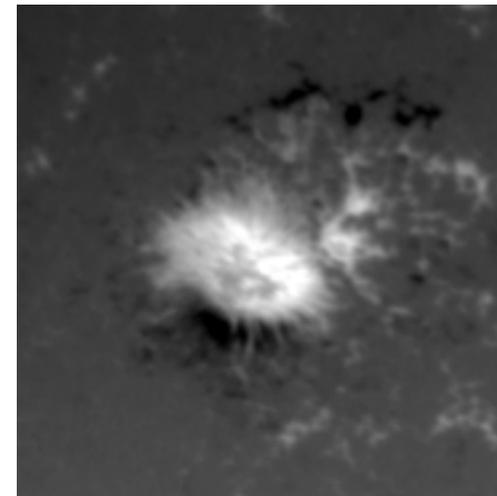
Solar-Bでの観測:

- 高空間分解能でかつムービー的な観測(連続、均質)が可能
黒点(磁束管)の一生を連続的にとらえる

continuum



視線方向磁場



白: +
黒: -

黑点生成過程

黒点形成の概要

正負のペアで磁気浮上

垂直でキロガウスの磁場

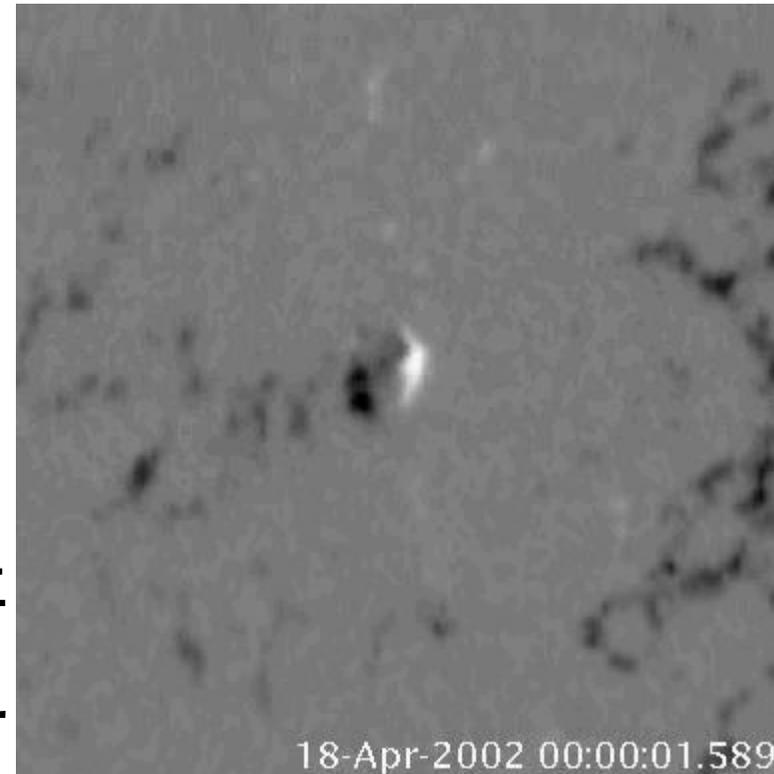
Pore形成

Penumbra (umbra)形成(=黒点)

黒点の間の領域でさらなる磁気浮上

それぞれ同じ極性の黒点に融合して
大きな黒点へと成長

視線方向磁場(SoHO/MDI)



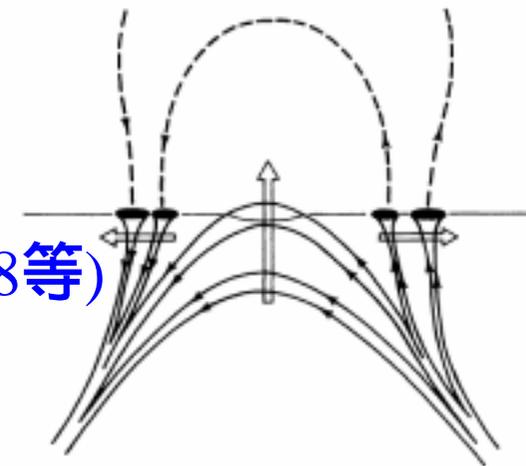
白: +
黒: -

浮上磁場

- 浮上磁場: 光球磁場の源 (コロナ活動のエネルギー源)

- 太陽面に対して水平向き
- 数百ガウスの弱磁場
- 0.5km/s程度の上昇速度

磁場の3成分観測(Advanced Stokes
Polarimeter:ASP)で確認(Lites et al. 1998等)



- 浮上磁場の時間発展は？

- 浮上磁場 キロガウス磁場の生成(poreの形成)
- penumbraの形成

- コロナ活動との関係 -

- 光球 彩層 コロナへの磁力線の伝播

- SOT/EIS/XRTの同時観測

- ねじれの成長は？

浮上磁場 キロガウス磁場の形成

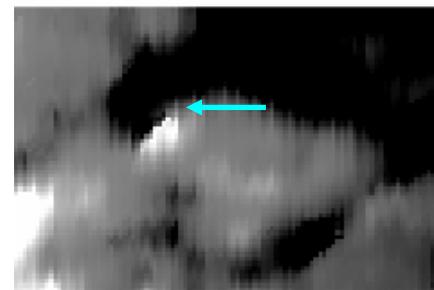
• 浮上磁場の特徴

- 水平磁場($\sim 90^\circ$)
- $|B|$: 500[Gauss]
(周囲の水平磁場:800Gauss)
- filling factor: $>80\%$

ASP観測結果

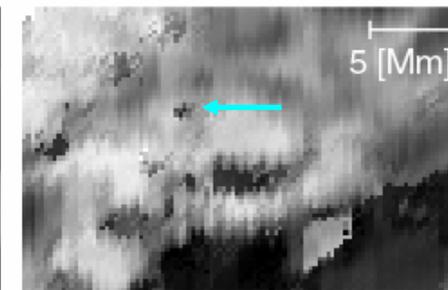
Magnetic flux

14:52-15:22UT



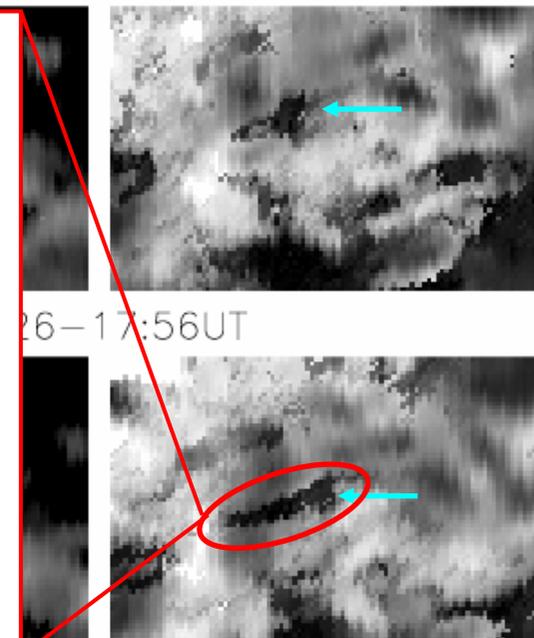
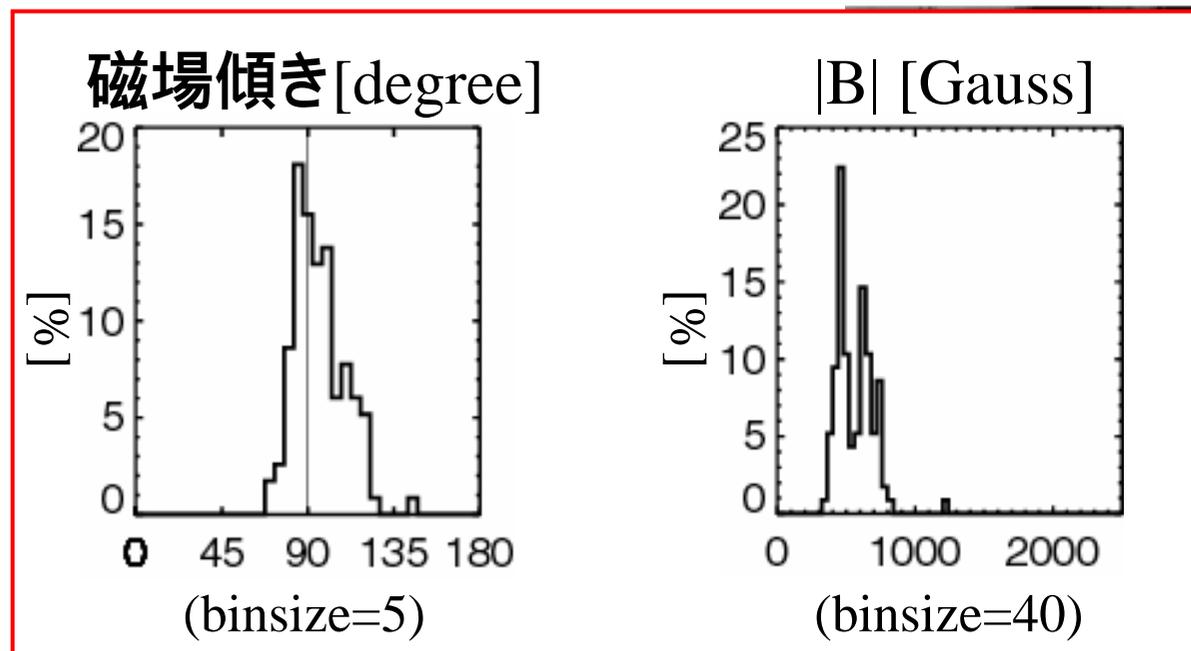
filling factor

100[%]



16:09-16:40UT

0

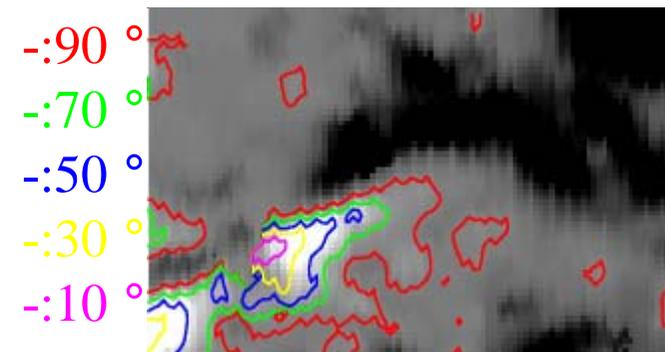


浮上磁場 キロガウス磁場の形成

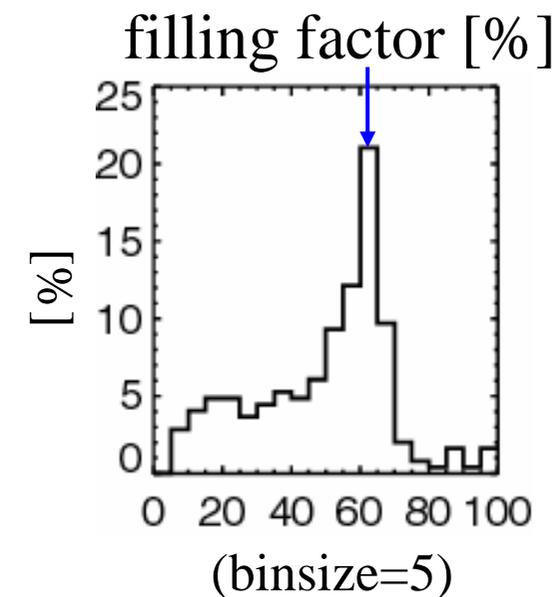
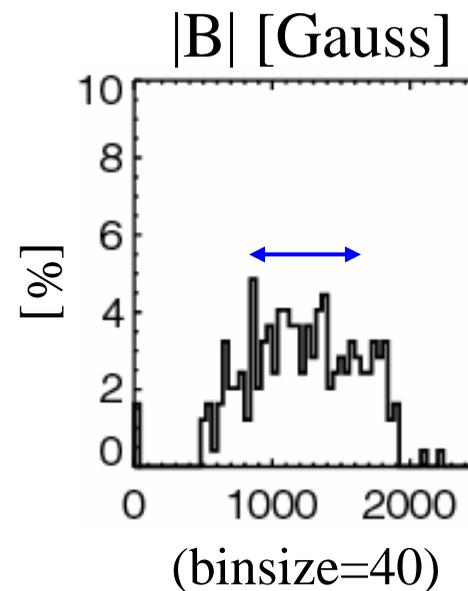
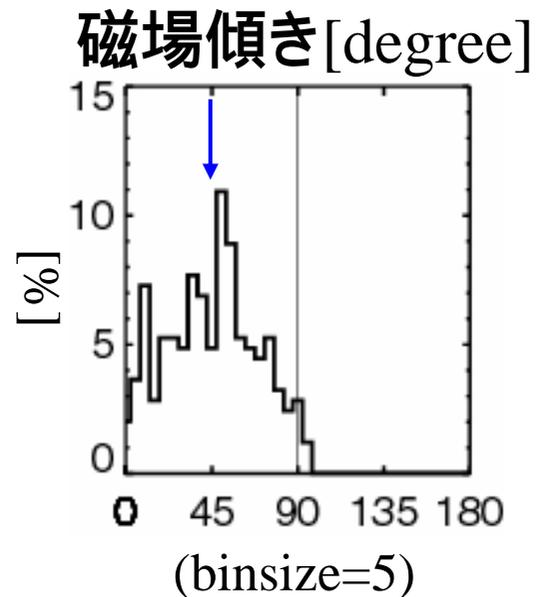
• 浮上開始から3時間程度の磁場の特徴

- 磁場傾き: 浮上領域とから遠ざかるにつれて垂直になる (平均 $\sim 45^\circ$)
- $|B|$: 1000-1600[Gauss]
- filling factor: 60%

Magnetic flux



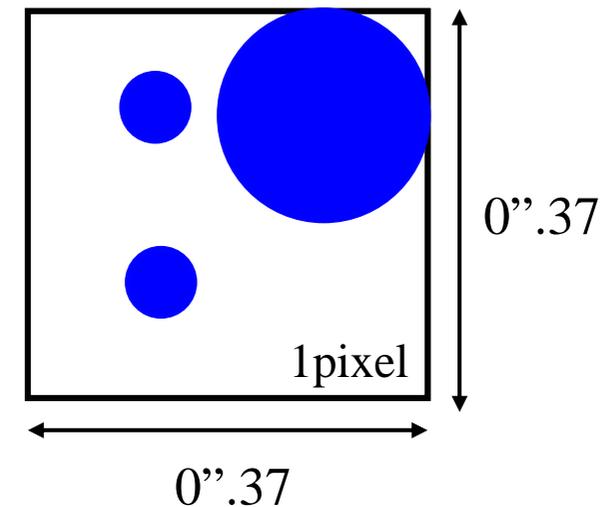
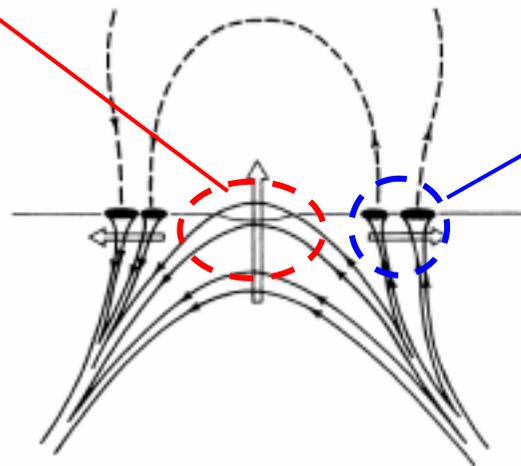
19-Nov-00 17:26-17:56UT



Convective collapse?

磁場強度: 500Gauss
磁場傾き: 水平
Filling factor: >80%

磁場強度: 1-1.6 KGauss
磁場傾き: $\sim 45^\circ$
Filling factor: $\sim 60\%$



・ downward velocity と磁場強度の増加を観測 @ Quiet region

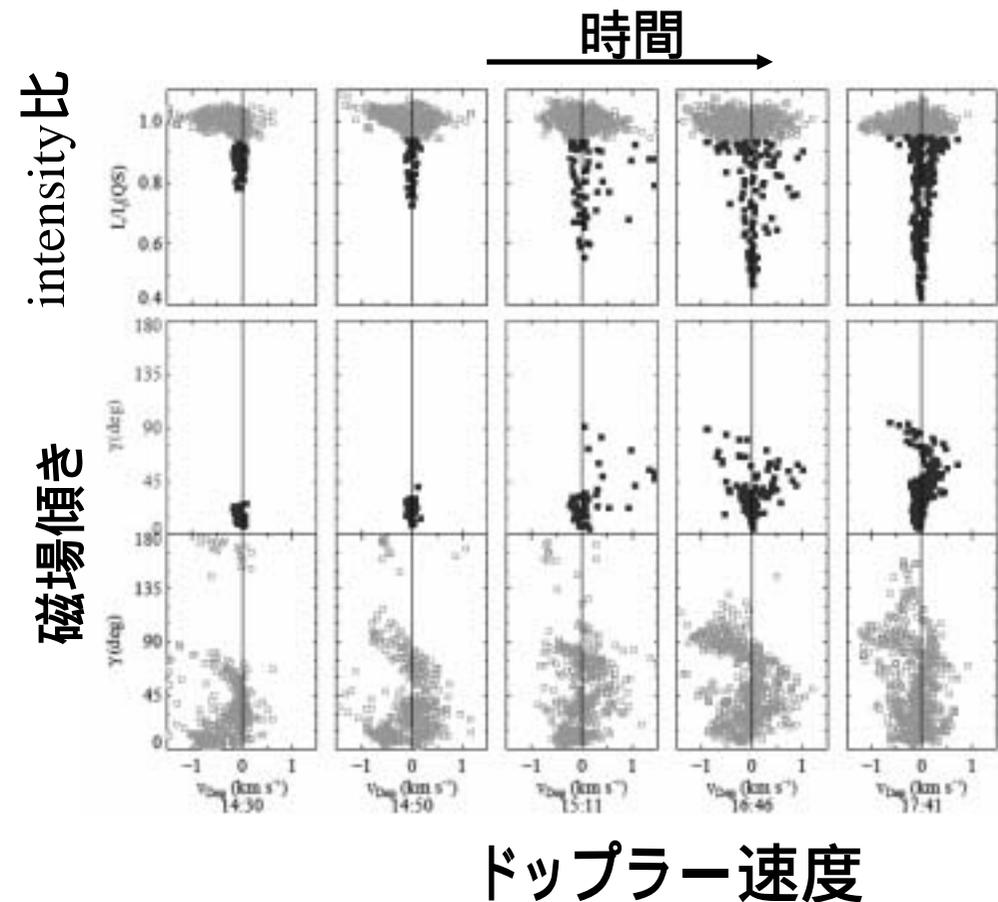
(Bellot Rubio et al. 2001)

- スリット固定で Fe I $1.5 \mu\text{m}$ で観測 (Tenerife Infrared Polarimeter)
- downward velocity $< 6 \text{ km/s}$
- 磁場強度の増加 400 - 600 Gauss

個々の magnetic element の振る舞いを観測しているわけではない
単なる対流の履き寄せ効果と区別できていない

Penumbraの形成

- ・poreの半径 ~ 5 程度から
周囲にpenumbraが出現
- ・penumbraの形成 < 1時間
- ・poreの成長領域のASP観測
(Leka & Skumanich 1998)
 - penumbra磁場 ($I_c \sim 0.78$
かつ $\sim 90^\circ$) の出現と
Evershed flowの出現は同時
(cadence ~ 20 min)
 - penumbra磁場の源は？
pore磁場 penumbra磁場では無さそう 浮上磁場？



空間・時間分解能的に厳しい！空間分布の情報が必要

黒点への成長

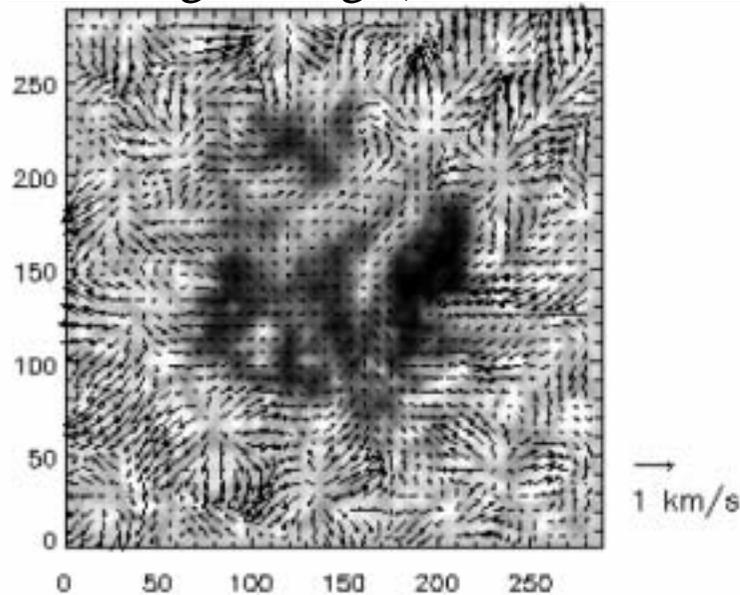
磁束の供給、黒点の維持のためには黒点に向かう
converging flowが必要(Meyer et al. 1974, Parker 1992)

- magnetogram (Strous et al. 1994)
- intensity (Sobotka et al. 1999, Roudier 2002)
- subsurface (Zhao et al. 2001)

Filling factorも80%以上に再び増加

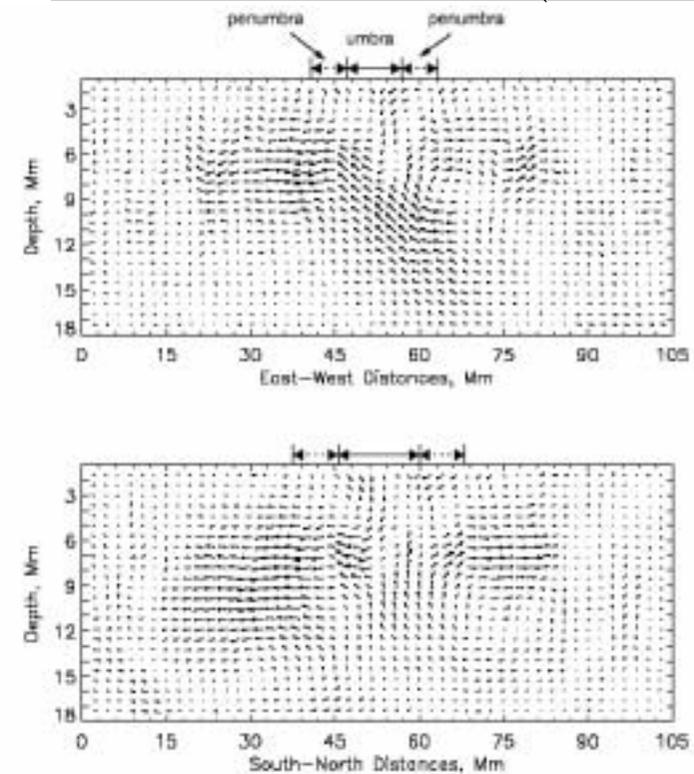
崩壊期黒点周辺に見えるdiverging flowへの
転換期は？

White light image(矢印:水平速度)



Sobotka et al. 1999

光球面下の速度構造(日振学)



Zhao et al. 2001

黑点崩壞過程

黒点の崩壊

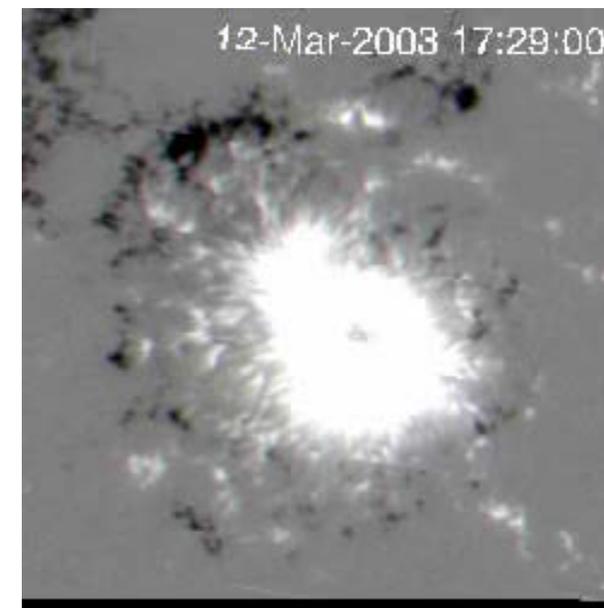
- 黒点崩壊のタイムスケール
数日～1ヶ月程度
- 黒点崩壊のモデル
 - 黒点全面で一定の崩壊
黒点全面に渡る小さな渦流で磁場を拡散(Meyer et al. 1974)
 - 黒点の外側から侵食
黒点の外側の小さな渦流で磁場を拡散
(Simon & Leighton 1964, Meyer et al. 1974)
黒点中心部より外側の方がより拡散が効く
(Petorvay & Moreno Invertis 1997)

崩壊期の黒点の観測

多数のMoving Magnetic Features (MMF)が見える 外側から侵食？

(Harvey & Harvey 1973, Brickhouse & Labonte 1998, Zhang et al. 2003)

- 黒点半暗部外端付近($2 - 7$)に出現
- 大きさ: 2 以下
- moat flow ($\sim 0.5\text{km/s}$)に乗って放射状に外側に移動
- 水平速度: moat flowと同程度
半暗部付近で少し早い？
- 平均寿命: ~ 4 時間($0.25\text{h} \sim 11\text{h}$)



視線方向磁場(SoHO/MDI)

MMFの運びさる磁束量は黒点の磁束消失量との関係は？

MMFの生成過程および磁場の構造は？

黒点の面積減少率

黒点の面積を $A(t)$ とすると

-全面で一定の減少率: **Linear decay low**

$$\frac{dA(t)}{dt} = \text{const}$$

-外側から侵食: **Parabolic decay low**

$$\frac{d(A)}{dt} \propto \sqrt{A(t)}$$

- Bumba (1963)

- Greenwich Photoheliographic Results (GPR)の1945-1954サイクル

Linear decay low

- Martinez Pillet et al. (1993)

- GBRの全データ(1879-1976)

non-linearityはあるが、正確なparabolic decay lowでは無さそう

non-linearityは複数回diskを通過するものほど顕著

- Petrovay and van Driel-Gesztelyi(1997)

- Debrecen Photoheliographic Results (DBR)の1977,1978年

Parabolic decay low

黒点の磁束減少率とMMFの磁束量

ASPのベクトル磁場データで2つの黒点について調べた結果(Martinez Pillet 2002)

- 黒点磁束減少率: $0.6 \sim 1.44 \times 10^{20} \text{Mx/day}$
- MMF総磁束量: $3.5 \sim 5.5 \times 10^{20} \text{Mx/day}$

-MMFの条件-

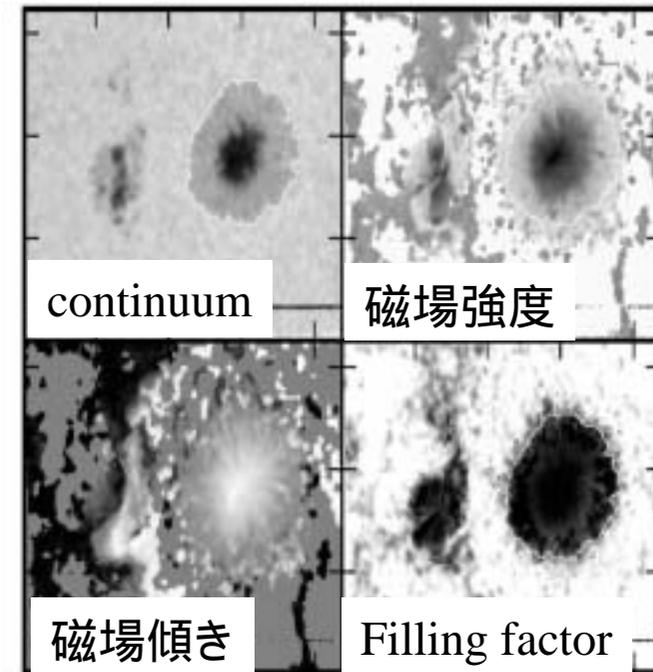
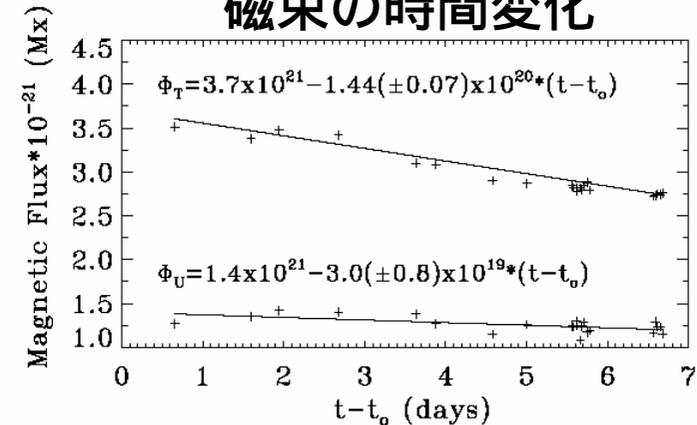
1. 観測期間中に生成
2. 黒点と同極
3. 1つの動径方向で1つ。
2つ以上あるものは同じflux tubeとみなす
4. 少なくとも2つのASPのマップで孤立した構造が見えるもの

黒点磁束減少率の3 ~ 8倍

(Harvey & Harvey 1973では ~ 1倍)

**今のところサンプル数が少ない。
磁束量を求めるにはベクトル磁場データが必要**

磁束の時間変化



MMFの種類

Shine & Title (2001)がMMFを3つのタイプに分類

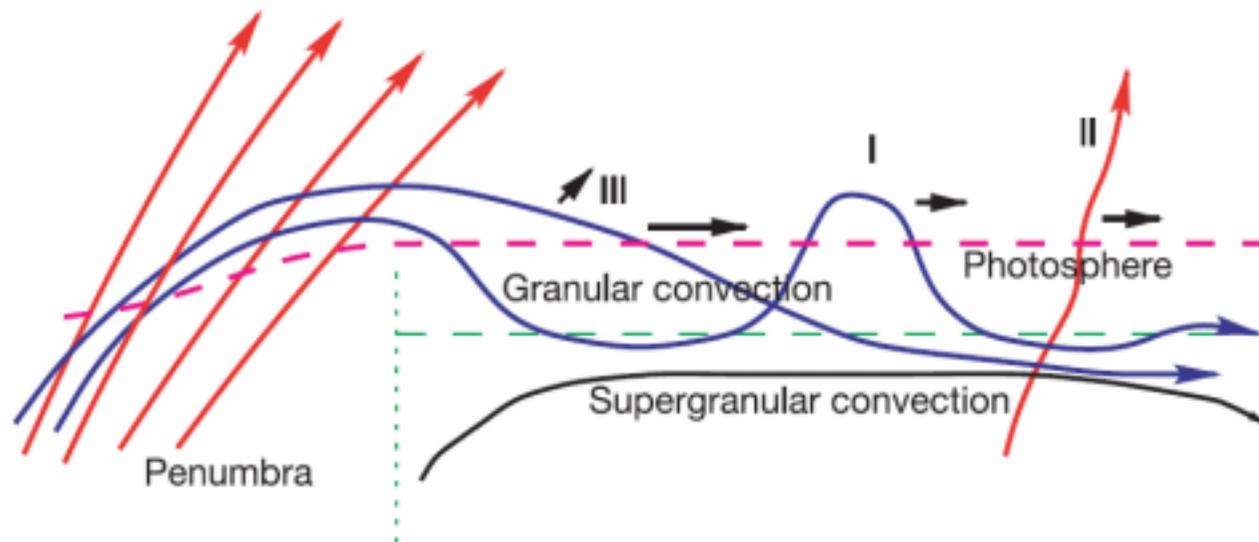
Type I: 双極タイプ(ペア間の距離: 数arcsec程度)

- ・ -type (Ryutova et al. 1997, Thomas et al. 2002)
- ・ U -type (Zhang et al. 2003)

Type II : 単極(黒点と同極)タイプ

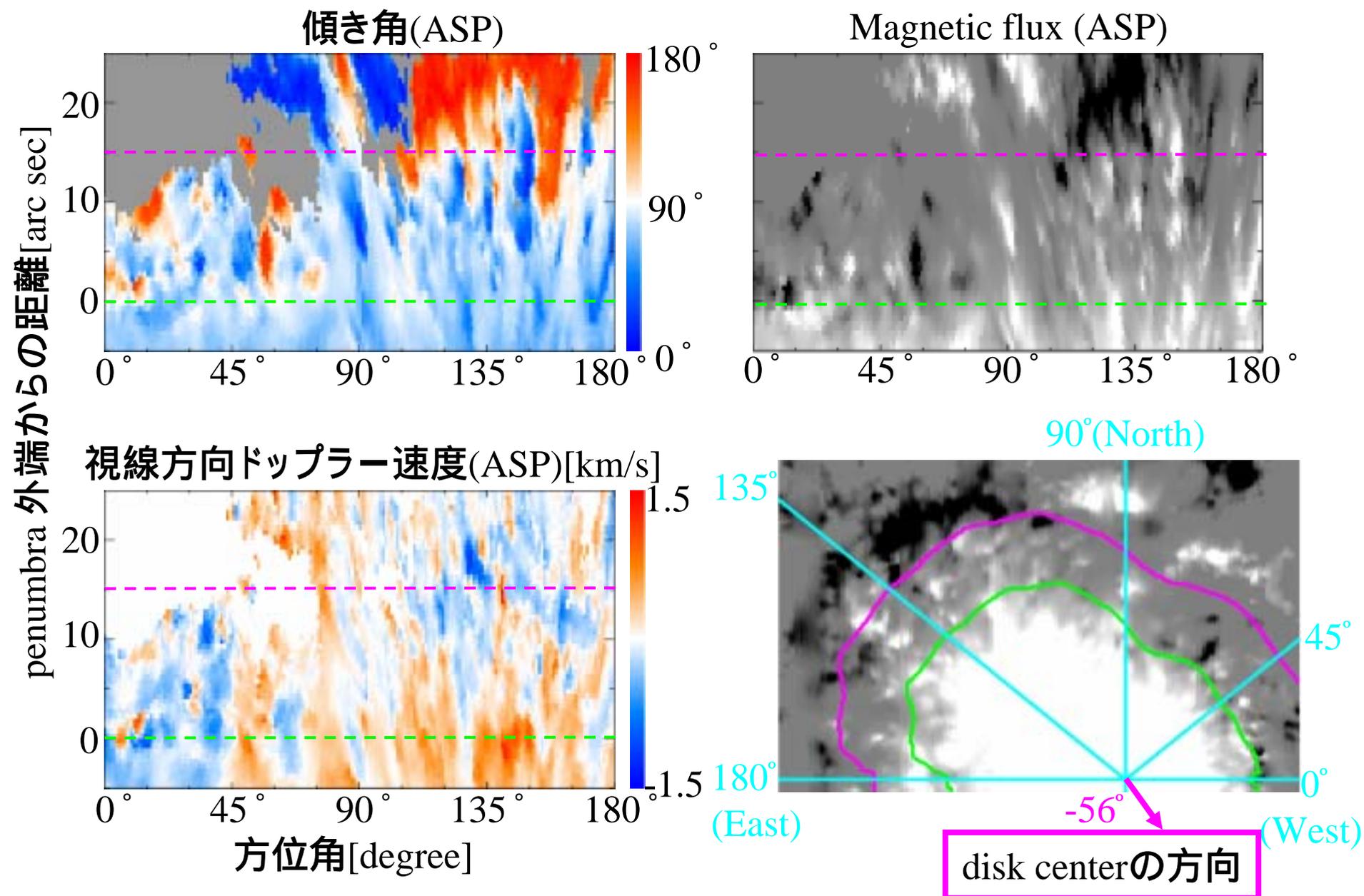
フルート構造の垂直成分 黒点崩壊に寄与?

Type III: 単極(黒点と反対極)で速度が早く(2 ~ 3km/s)、寿命が短い
光球面下への”return back flux tube”
Evershed flowが寄与?

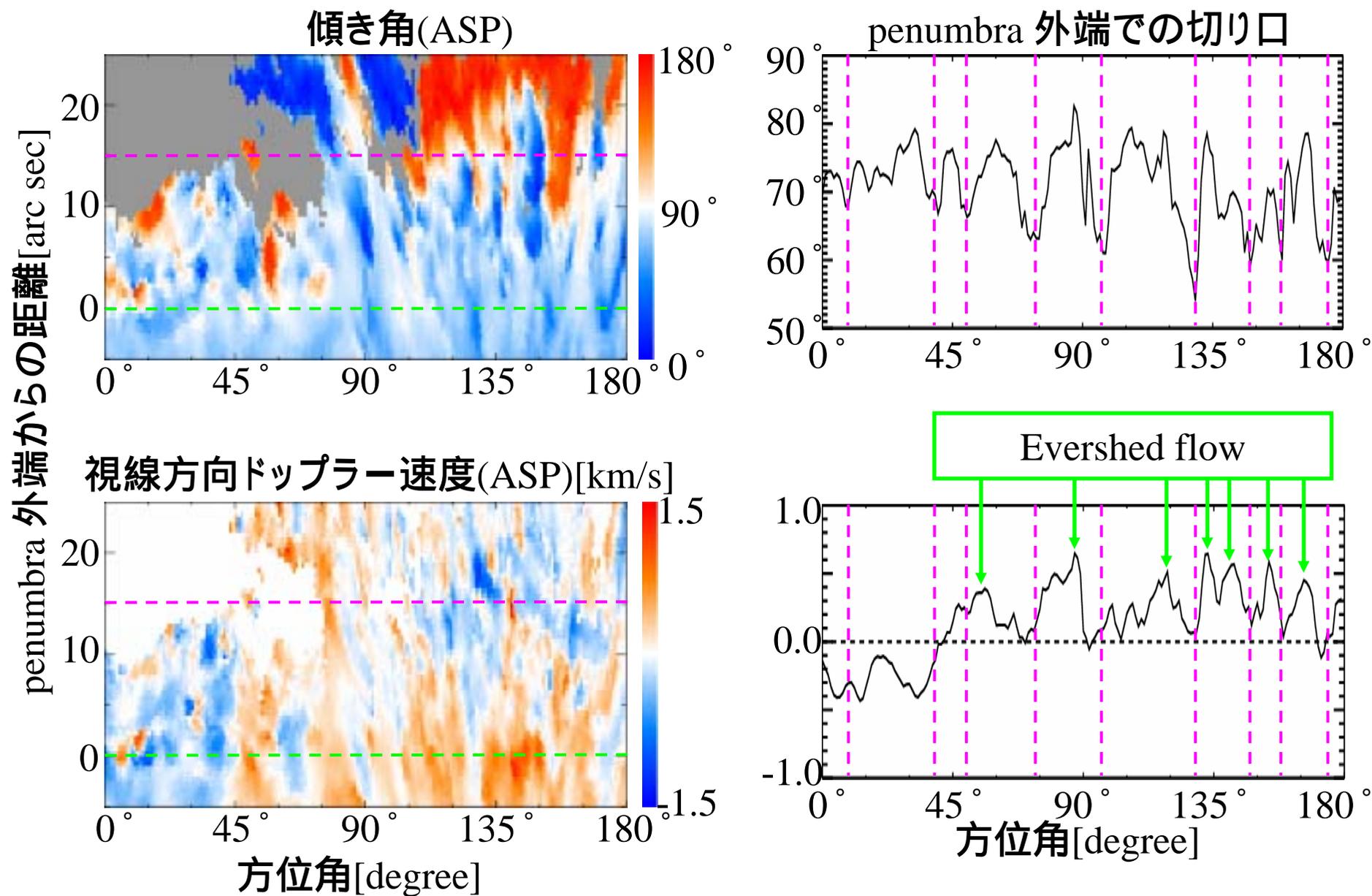


Thomas et al.
(2002)

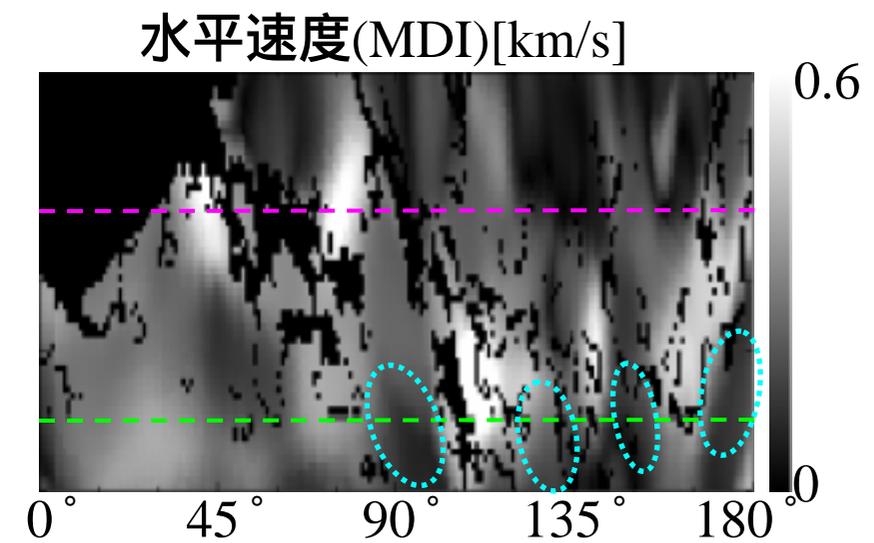
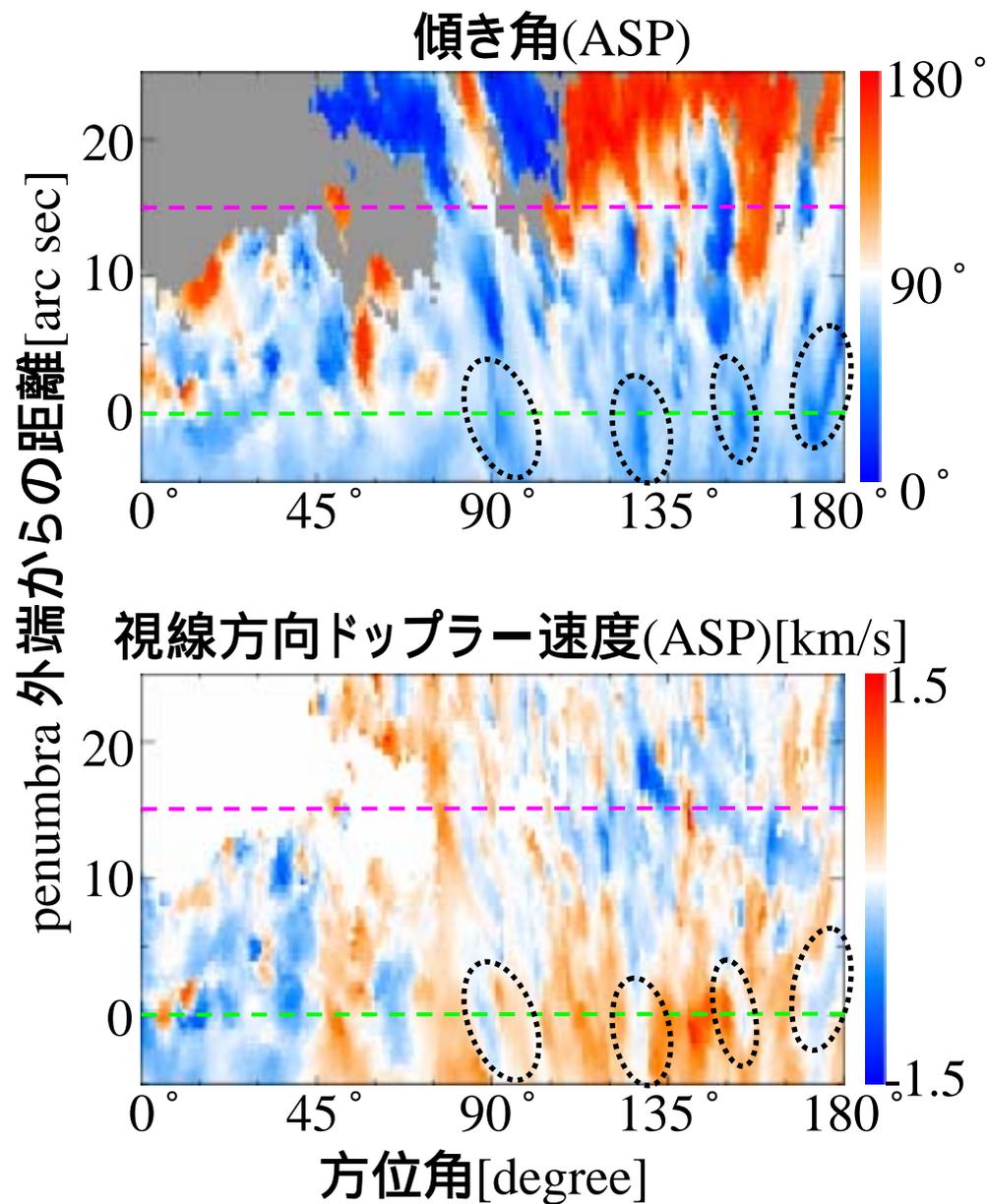
penumbra外端のフルート構造



penumbra外端のフルート構造

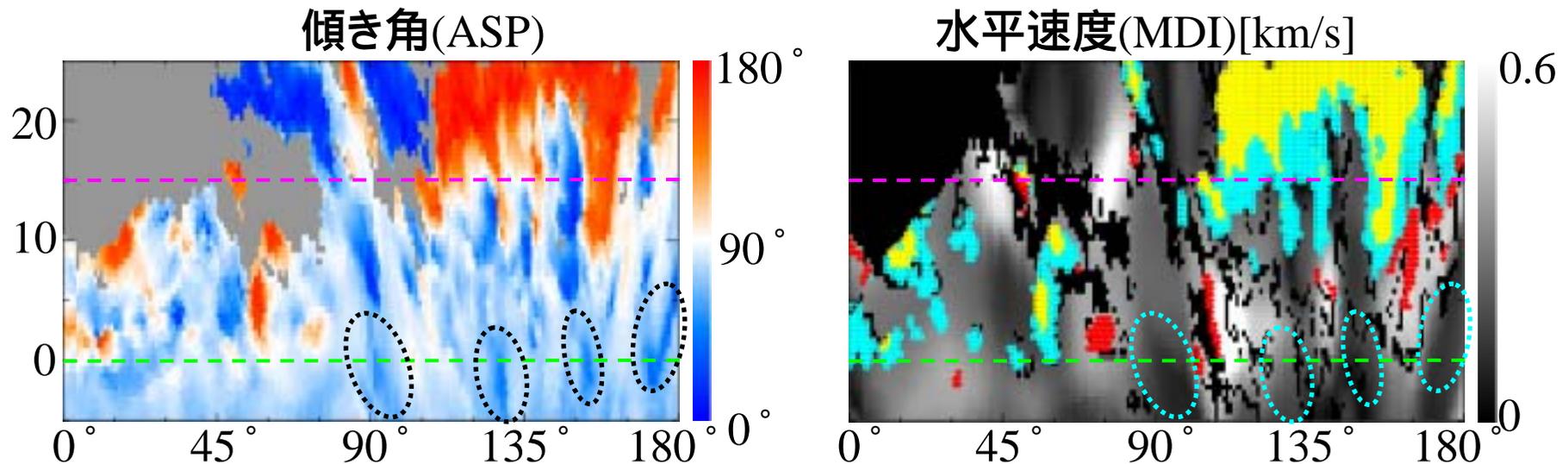


フルート構造と水平速度の大きな領域の関係



- **水平速度の大きな領域**
 - フルート構造の水平磁場領域
 - Evershed channelsの外側
- **水平速度の小さな領域**
 - フルート構造の垂直磁場領域の延長線上

MMFの空間分布の特徴

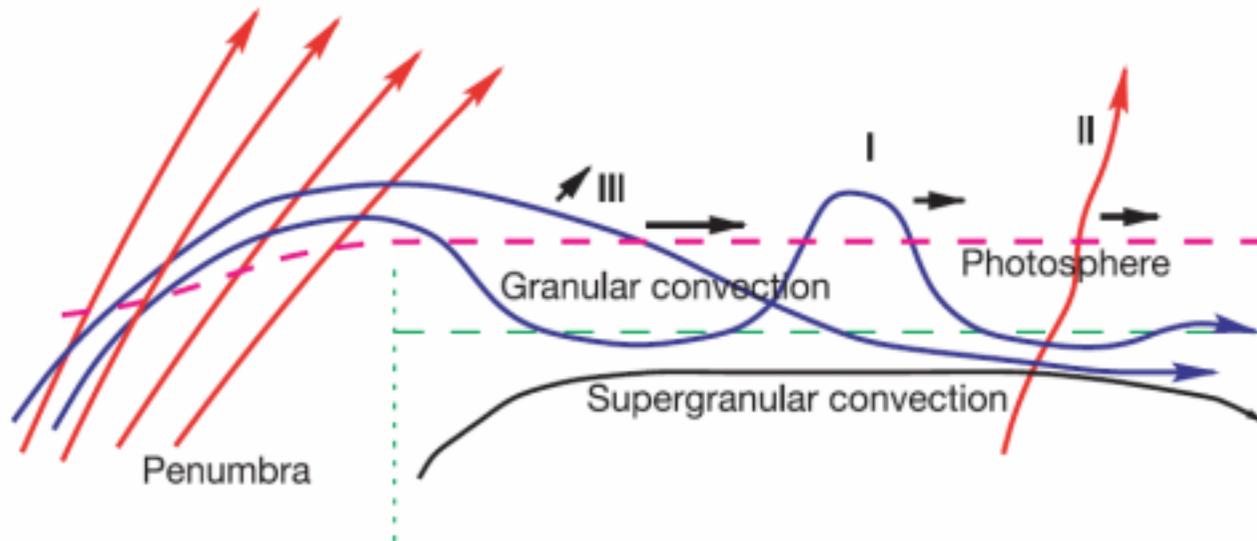


赤: $v_{\text{horizontal}} > 0.35 \text{ km/s}$
水: $v_{\text{horizontal}} < 0.35 \text{ km/s}, 90^\circ < < 135^\circ$
黄: $v_{\text{horizontal}} < 0.35 \text{ km/s}, > 135^\circ$

- フルート構造の水平磁場領域
 - 速度の大きな負極(赤)は速度の大きな領域の中央に存在 Type III
 - 速度の大きな領域の外側に垂直な磁場を持つものが出現 Type I ?
- フルート構造の垂直磁場領域
 - moat領域内では反対極性の磁場が存在しない Type II
 - moat領域を移動するにつれて垂直になっていく

MMFのベクトル磁場観測のまとめ

- Type II, Type IIIはThomas et al. (2002)の描像に合いそう
 - Type IIIとEvershed flowの生成のタイミング関係
 - Type IIの生成メカニズムは？
黒点の磁束減少率との関係
- moat領域の中間～外側に出現する垂直磁場を持ったMMFの発生メカニズム
高空間分解能で数時間に渡る連続的な磁場データが必要

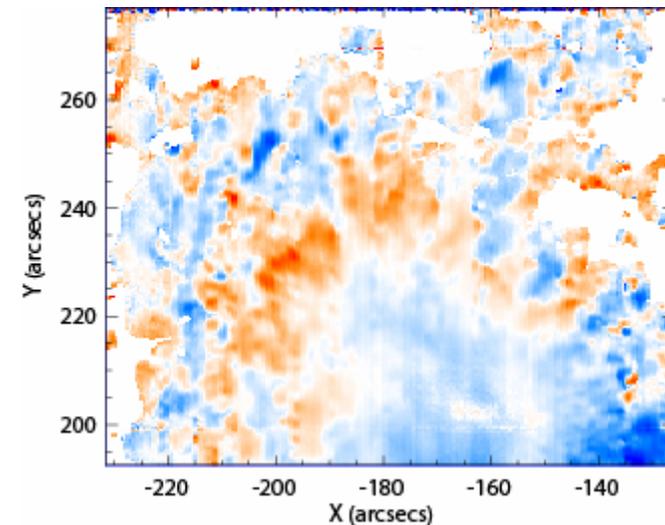


Thomas et al.
(2002)

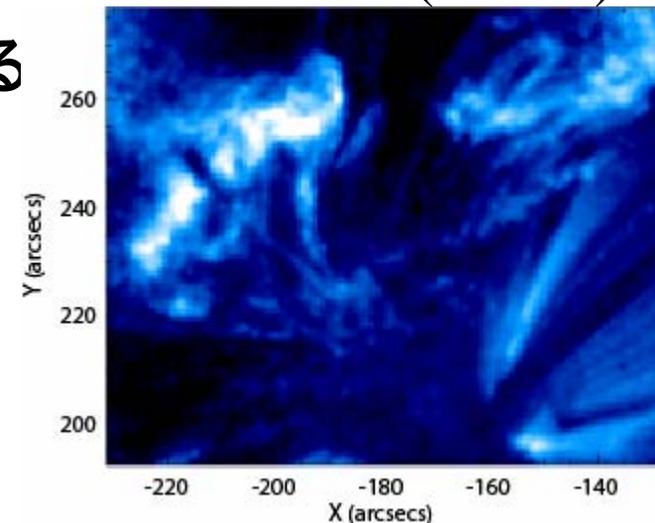
Satellite spotの形成

- moat領域の外端付近に比較的大きな磁極が形成される
- コロナの活動性が比較的高い
マイクロフレア (Shimizu 1993)
サージ (Wang et al. 1991)
X線ジェット (Shimojo et al. 1996)
- 反対極性の磁極の衝突が多数起きている
- 生成過程は？
MMFが融合 or 新たな浮上

ドップラー速度



TRACE (171)



Solar-Bでの観測

基本的には黒点(活動領域)の中・長期的な発展をFG,SP系で同時観測

SP観測: 1scan(0.16arcsec/pix) / 4.8sec

- 1.2: スキャン数を減らしてケーデンスを上げる必要があるか

1. 浮上磁場 キロガウス磁場の観測的検証

2. penumbraの形成過程

- penumbra磁場の源は？

- Evershed flowとの関係、フルート構造形成のタイミング

penumbra形成初期からMMFが見えるという観測結果(Wang et al.1992)もあり

- MMF形成との関係

3. 黒点へのinward flow outward flowの転換期

4. moat領域内の移動に伴うMMFの時間発展

- satellite spotの形成との関係

- MMFの運動と対流運動との関係

5. MMFの運ぶ磁束量と黒点の磁束減少率との関係