

- Solar-B国内会議 (2005/10/31) -

SOTによる浮上磁場観測:MMFと黒点生成消滅

- 黒点磁場のライフサイクルを捉える -

ISAS/JAXA

久保 雅仁

黒点磁場のライフサイクル

黒点の形成

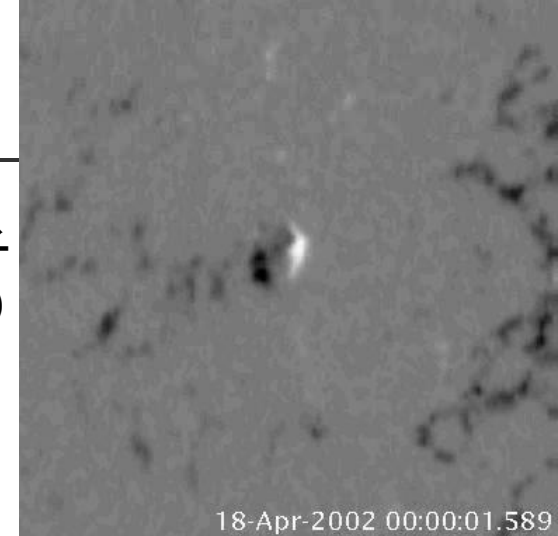
磁気浮上領域

- 光球面下からの磁場の浮上
→ 小さなスケールの双極磁場が出現
- 浮上してきた磁場の集合
- ポア → 半暗部形成 → 黒点へ成長

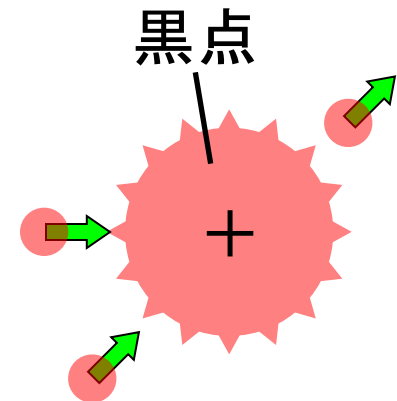
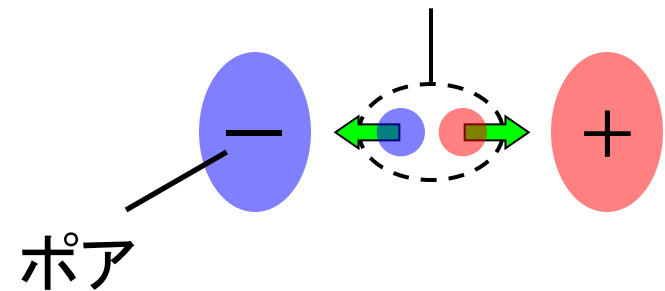
成長期の黒点

- 磁場の集合が主だが、離散も起きている
(場所や成長段階に依存)

黒点形成の様子
(視線方向磁場)



光球面下からの磁場の浮上



黒点磁場のライフサイクル

黒点の崩壊・消失

黒点崩壊の様子
(視線方向磁場)



崩壊期の黒点

- 黒点から磁場を運び去る
→ moving magnetic features (MMFs) が良く観測される
- 黒点の分割

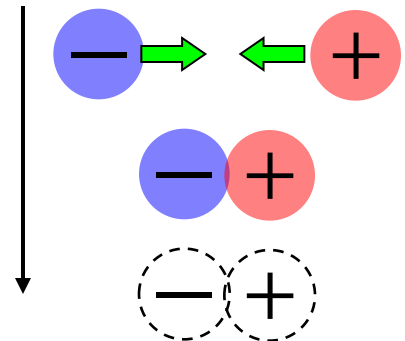
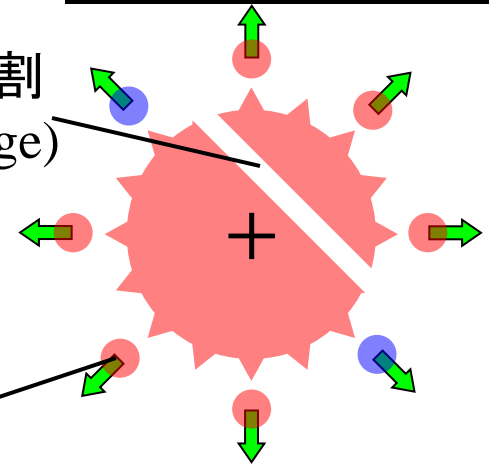
磁場の消失

- 反対極性の磁気要素が互いに衝突
→ 磁気要素が消える

磁気キャンセレーション

黒点の分割
(light bridge)

MMFs



なぜ特定の領域に黒点の形成・崩壊が起きるのか？

- ・光球面に浮上してきた磁場の進化の仕方は様々
 - 浮上してくる磁場自体に違いがある？
 - 環境条件
 - 光球面 or 光球面下のフローパターンの違い
 - 浮上レートの違い
 - 正負の極の混ざり度

⇒ 黒点磁場のライフサイクルをSolar-Bの高空間分可能・連続観測で捉えたい！

地上観測で比較的長期かつ連続的な変化を捉えるのは難しい
(シーイングの安定している時間 → 良い日で数時間程度)

高空間分可能・連続観測はSolar-Bを逃すとしばらくできない

なぜ特定の領域に黒点の形成・崩壊が起きるのか？

・光球面に浮上してきた磁場の進化の仕方は様々

- 浮上してくる磁場自体に違いがある？

- 環境条件

光球面 or 光球面下のフローパターンの違い

浮上レートの違い

正負の極の混ざり度

⇒ 黒点磁場のライフサイクルをSolar-Bの高空間分可能・連続観測で捉えたい！

地上観測で比較的長期かつ連続的な変化を捉えるのは難しい
(シーイングの安定している時間 → 良い日で数時間程度)

高空間分可能・連続観測はSolar-Bを逃すとしばらくできない

黒点周辺でのフローパターン(光球)

詳細な流れ→高空間分解能で均質なデータが必要

・成長中のポア

- 基本的には黒点に向かう流れが支配的
- 部分的に黒点から離れる向きの流れもある

・崩壊期の黒点

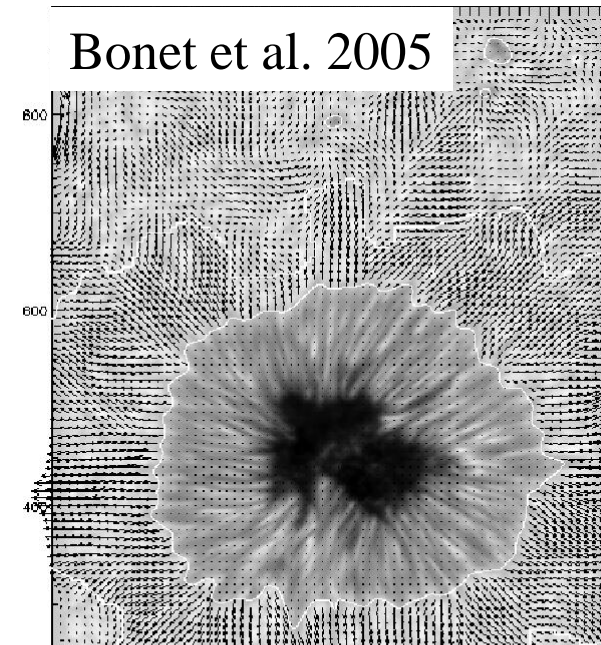
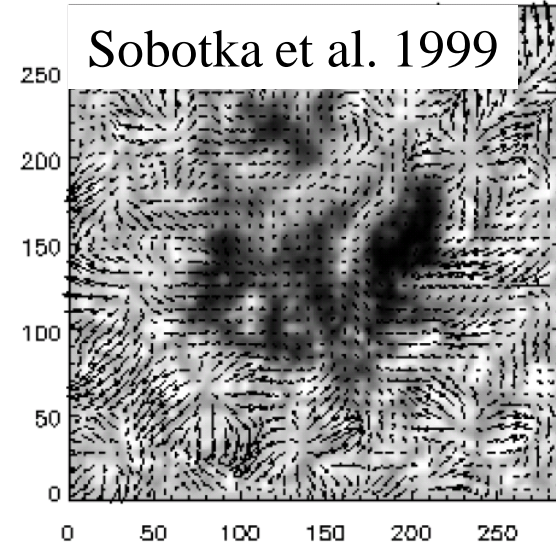
- 黒点から離れる向きの流れが支配的 (moat flow)

→磁気要素の運動と相関がありそう

converging flow → diverging flowの転換期はいつ？

最近の研究例: moat 領域 (Bonet et al. 2005)

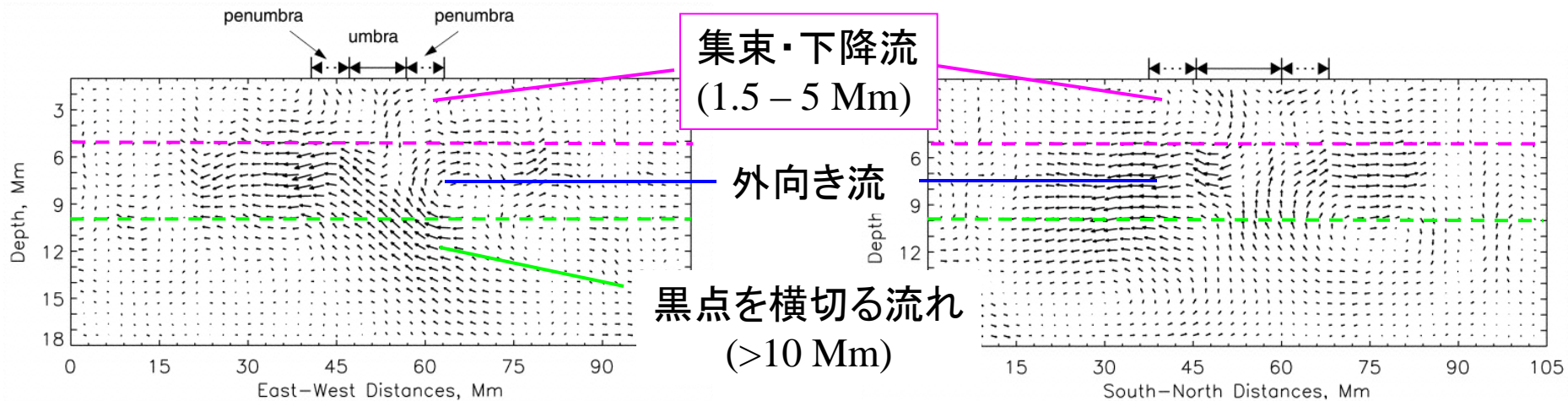
moat領域中のG-band bright pointの移動速度が
moat flowより若干早い



黒点周辺でのフローパターン(対流層)

局所日振学 (time-distance autocorrelation法) による対流層での流れの検出

- 安定期の黒点 : Zhao et al. (2001)



- 崩壊期の黒点 (?) : Gizon et al. (2000) → 0 - 2 Mmで外向きの流れ

黒点の各成長段階での

磁気要素の運動 ⇔ 光球面の流れ ⇔ 対流層の流れの比較を行いたい

観測例1

- ・連続的にデータを取得したい場合： $< \sim 300$ Kbps (Shimizu 2005)

FG系 (cadence = 1分): granule, G-band bright pointの寿命 5-10 分

G-band : $109'' \times 109''$ ($0''.10$ /pix) = 1K x 1K

magnetogram : $164'' \times 164''$ ($0''.16$ /pix) = 1K x 1K

Doppler : $164'' \times 164''$ ($0''.16$ /pix) = 1K x 1K

合計データサイズ: 3 Mpixel / 分 \rightarrow 150 Kbps (JPEG: 3 bit/pixel)

SP系

Fast mapping : Sampling along slit = $0''.32$ / pix

Slit-scan sampling = $0''.32$ / pix

FOV = $164'' \times 164''$ (30 min)

合計データサイズ: 127 Kpixel / 秒 \rightarrow 190 Kbps (JPEG: 1.5 bit/pixel)

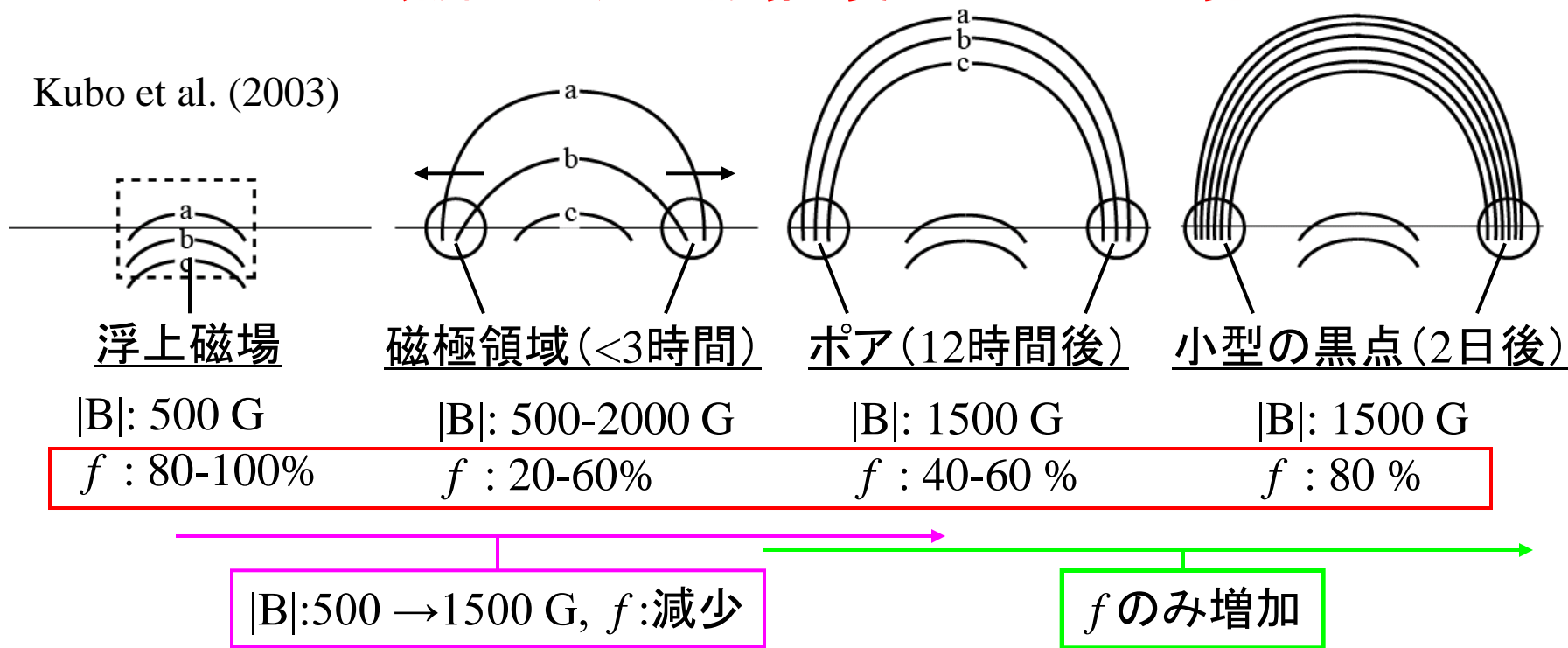
FG+SP: 340 Kbps

H α 、Ca II の観測が必要な時は cadence or 視野を落とす必要がある

浮上磁場→黒点の磁場の連続的な発展を捉える

Solar-B観測 ⇒ ベクトル磁場の変化がムービーで見える

Kubo et al. (2003)



・多数サンプルによる浮上磁場の統計的研究

- 浮上磁場にバラエティがあるのか？

黒点になる/ならない磁場、浮上する/しない磁場、ねじれている磁場

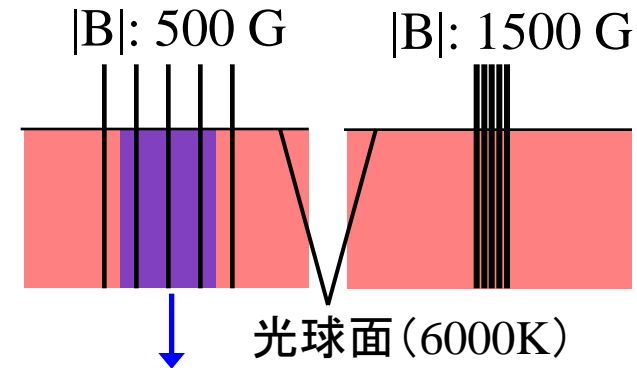
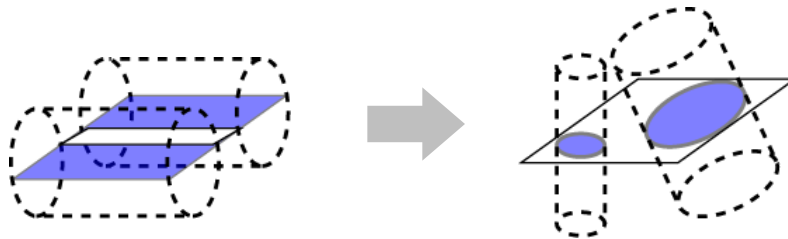
- 浮上磁場のパラメータ化(浮上磁場フィルター)

正確な浮上レート、彩層・コロナ活動との比較、ポアや黒点形成の予知

キロガウス磁場の形成過程

Convective collapse (Parker 1978)を観測的に捉える

- 磁場強度の増加に伴うfilling factorの減少
→ 細く絞られた磁束管の形成に一致



⇒ 個々の磁束管を空間・時間的に分解できていない

- downward velocityと磁場強度の増加を観測@ 静穏領域 (Bellot Rubio et al. 2001)
 - スリット固定でFe I 1.5 μ mで観測
 - downward velocity < 6 km/s、磁場強度の増加400→600ガウス

<観測例2>

観測ターゲット: 太陽面中心の静穏領域

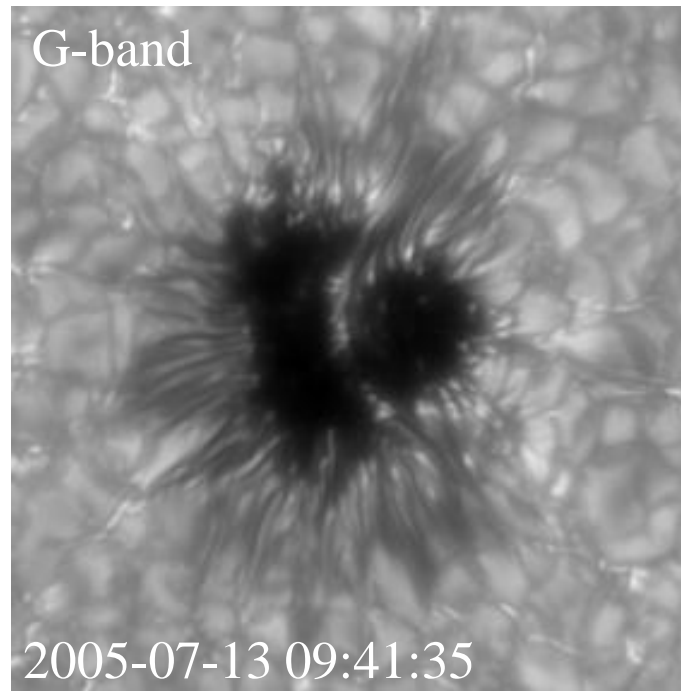
SP: Normal map (0".16 /pix, cadence ~ 5 秒) でスリット固定 or 10スキャン(1".6)

FG: G-band, Ca II, Mag, Dopplerをcadence = ~10秒

半暗部の形成

- ・ポアの半径 $\sim 5''$ 程度から周囲に半暗部が出現
 - ・ポアの全周に渡って対称的に半暗部が形成されるわけではない
- 磁場orフローに特徴的な違いがあるのか？

半暗部の磁場は黒点の動径方向及び高さ方向に複雑な構造を持つのでSPの観測が一番面白い所

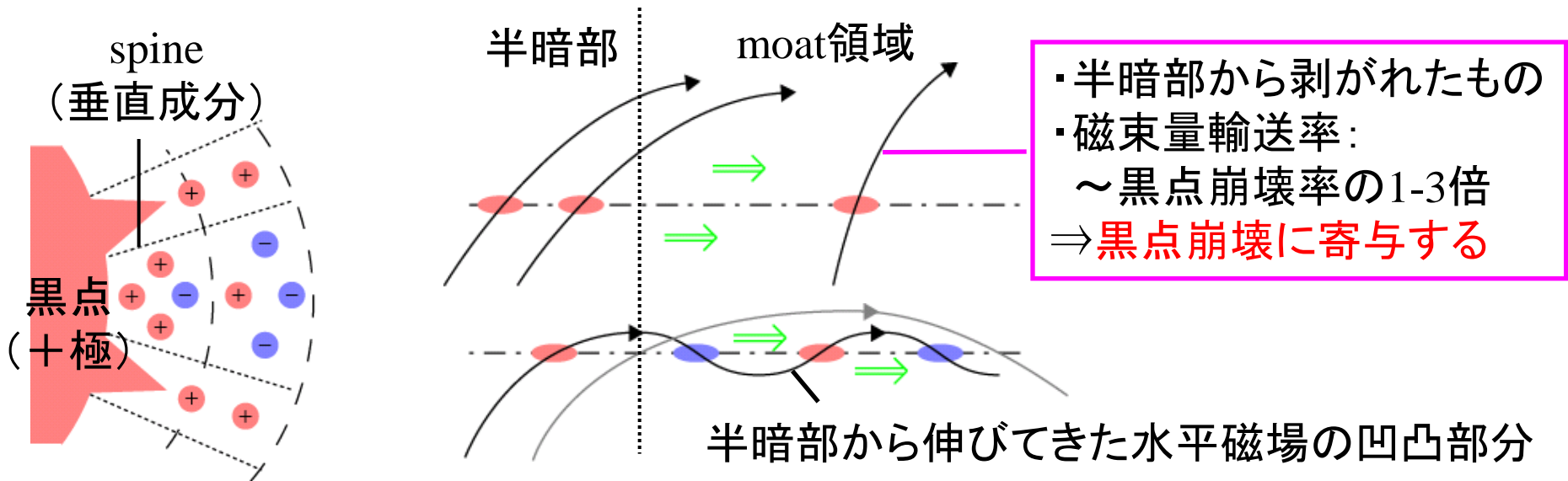


- ・ポアの成長領域のASP観測 (Leka & Skumanich 1998)
 - 半暗部磁場が突然出現 < 20 min
 - ポア磁場 \rightarrow 半暗部磁場では無さそう \Rightarrow 浮上磁場？

\Rightarrow 空間・時間分解能的に厳しい！ サンプル数も少ない

半暗部の形成とMMFs

- 半暗部磁場 (uncombed structure) とMMF磁場の間に対応関係 (Kubo 2005)



→ 黒点の成長に伴い半暗部—MMFs磁場の対応関係は変化するのか？

→ MMFs形成の物理過程

SP:FOV = 164'' x 10'' (0''.16 / pix)、cadence = 5 分 (⇔MMFs寿命 > 数分)

- (古典的な)MMFs以外にも水平速度を持つ磁気信号がmoat領域中に多数存在

黒点周辺に多数存在するG-band bright point(GBP)との対応関係

磁気キャンセレーション

- ・ **光球面上の磁場消失に重要な役割を果たす現象**
活動領域(黒点)の磁場だけでなく静穏領域の磁場の消失にも重要
- ・ リコネクションを伴うモデル: リコネクションサイトは、光球面より上 vs. 下?
- ・ 光球(Fe I 8538A)、彩層磁場(Ca II 8542A)の消失タイミングを比較
(Harvey et al. 1999): cadence = 14 分(磁力線の移動速度 < 1km/s)
彩層→光球: 44%、光球→彩層: 18%、同時: 38%
⇒時間分解能を上げて観測したい

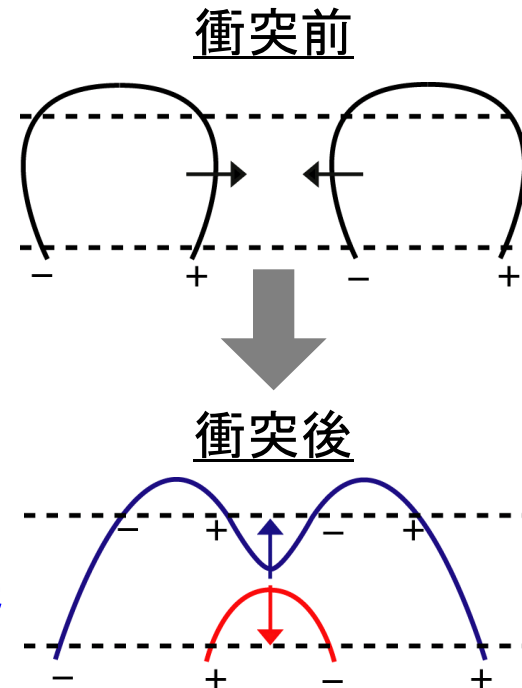
- ・ 衝突する磁気要素間をつなぐ水平磁場の観測

11/12例で水平磁場を検出 (Kubo 2005)

- 磁力線の上下運動より沿った流れの方が顕著
→ 空間分解能不足の影響か?

- 日のオーダーで磁力線の方位が90度近く変化
⇔ dark filamentの形成と関係がある

⇒磁気中性線近傍の詳細な磁場構造 + 連続的な発展



磁気キャンセレーション

・コロナ加熱との関係

- X-ray bright pointの足元の光球磁場: 77%がキャンセレーション (Harvey 1996)
- 比較的大規模な衝突に伴い、フレア、ジェット、CME等が起きる

衝突に伴って光球ーコロナに渡る磁場構造の変化が起きている

⇒EIS, XRTとの同時観測

一言でキャンセレーションと言ってもスケールの違いが大きいので悩ましい。。。

<10''以上の磁場構造(ポア、プラージュ、黒点)がターゲットの場合>
観測例1 + H α 、Ca II or Mg I (~ temperature minimum)

<10''以下の磁場構造(GBP, MMFs, マイクロポア)>
ターゲット: 静穏領域(ephemeral region)、moat領域の外端
SP: FOV = 164'' x 10'' (0''.16 /pix)、cadence = 5 分
FG: G-band, magnetogram, Doppler, Ca II or Mg I ~30秒

まとめ：やりたい観測

1. 黒点(活動領域)の1週間程度の連続観測→黒点磁場のライフサイクルを解明なるべく若い黒点を狙う
 - ・300 Kbpsのテレメトリ制限はクリアできる
 - 他の波長(H α 、CaII, ...)で観測すると制限をオーバー
 - 複数回観測を行う必要がある
 - 比較的長時間の変化を追うならmagnetogram, G-bandに関しては1分ケーデンスは必要ないのかもしれない。
 - 水平速度を導出するのに適したデータの取り方は要検討
 - 局所日振学の観点からDopplergramのとり方は適切か？
今回はSekii 2005に準拠
2. 1でわからない所さらに興味のある所はスキャン領域を狭くして観測
今のところターゲットは小スケール&短寿命のものなのでデータの連続性は考えずにデータレコーダの許す限りとり続ければ良さそう