

太陽表面静穏領域磁場  
とその起源について  
~太陽の光球と速度場~

石川遼子

(国立天文台ひので科学プロジェクト)

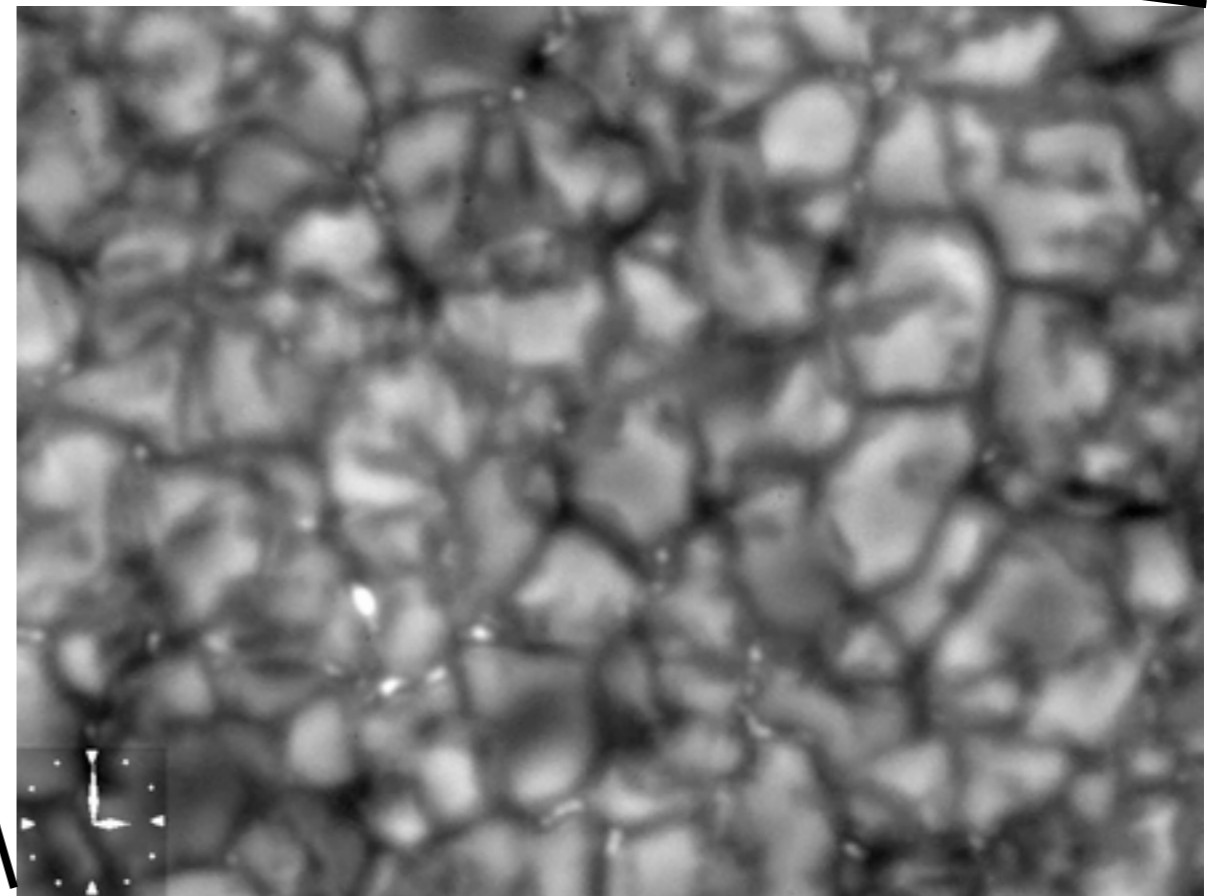
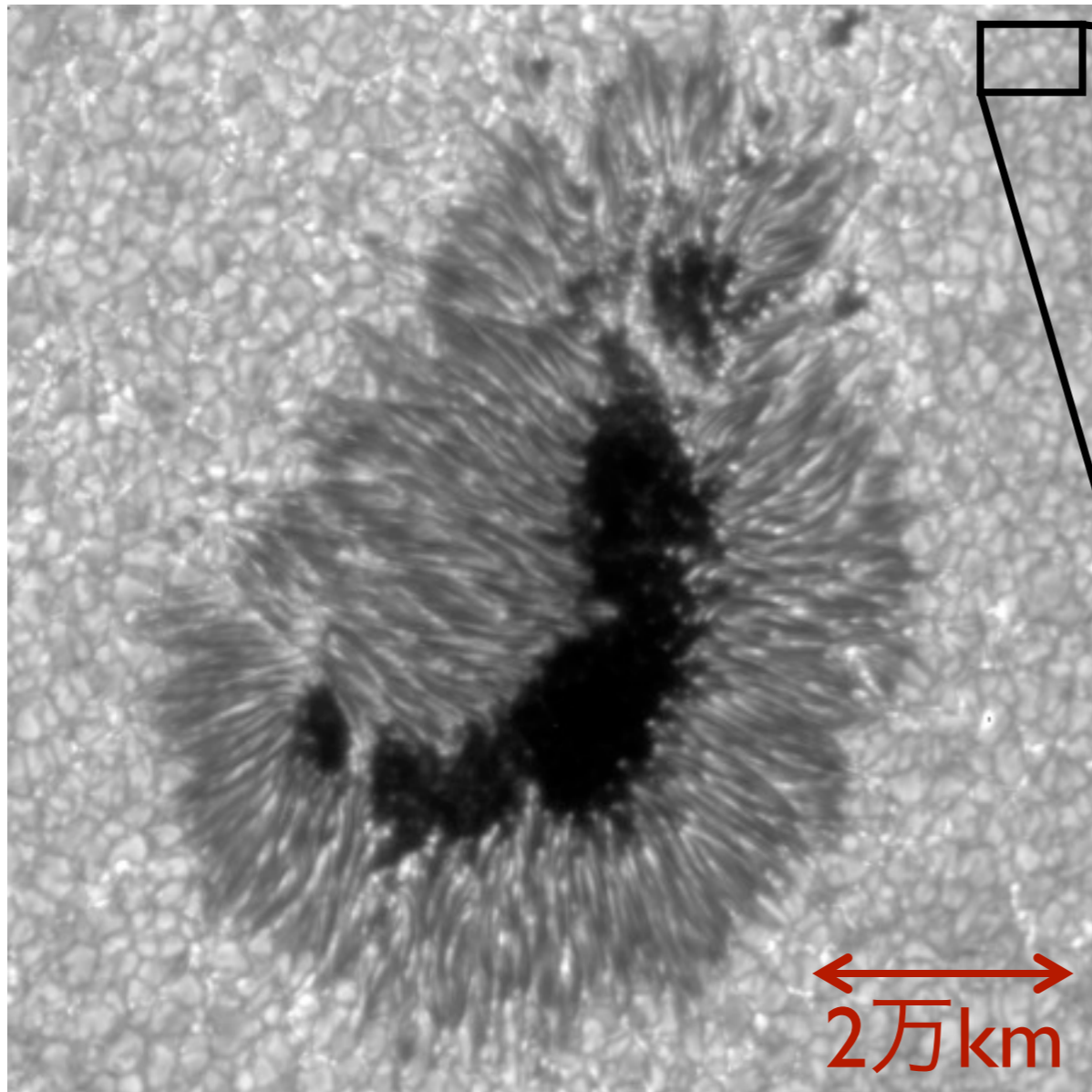
# 太陽の磁場観測

- 微細( $\sim 0.3''/200\text{km}$ )なベクトル磁場構造
- 磁場と流れ場（対流）との相互作用（ただし太陽表面のみ）
- 磁場と磁場の散逸によって引き起こされる磁気プラズマ活動現象の同時観測

# 太陽表面の磁場構造

**活動領域**：黒点などの磁場が集まった領域

**静穏領域**：磁場がまばらにしか存在しない領域。太陽の大部分を占める。



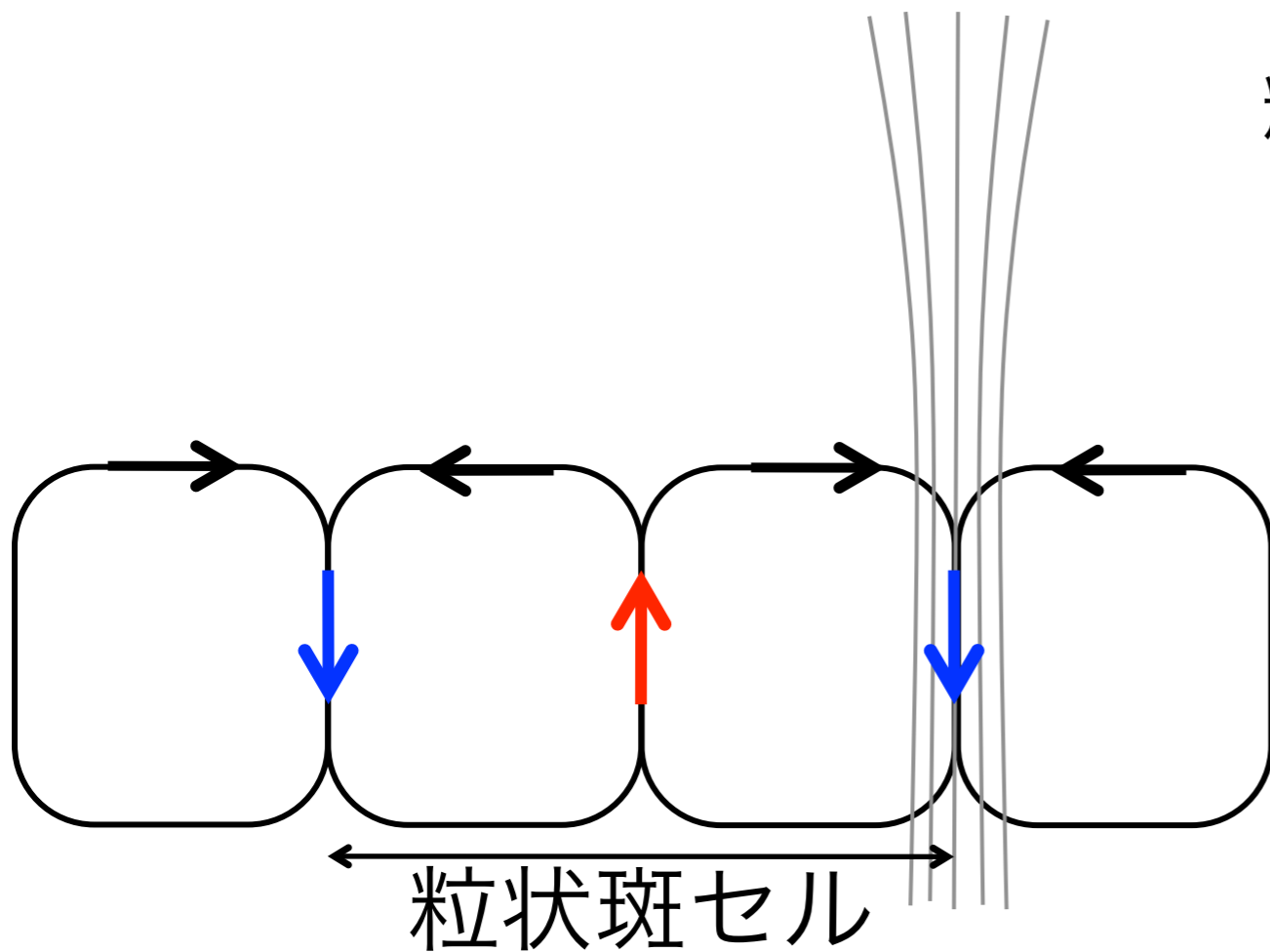
※430.5nmを中心とした波長帯での「ひので」による観測

# 静穏領域磁場に関する未解決問題

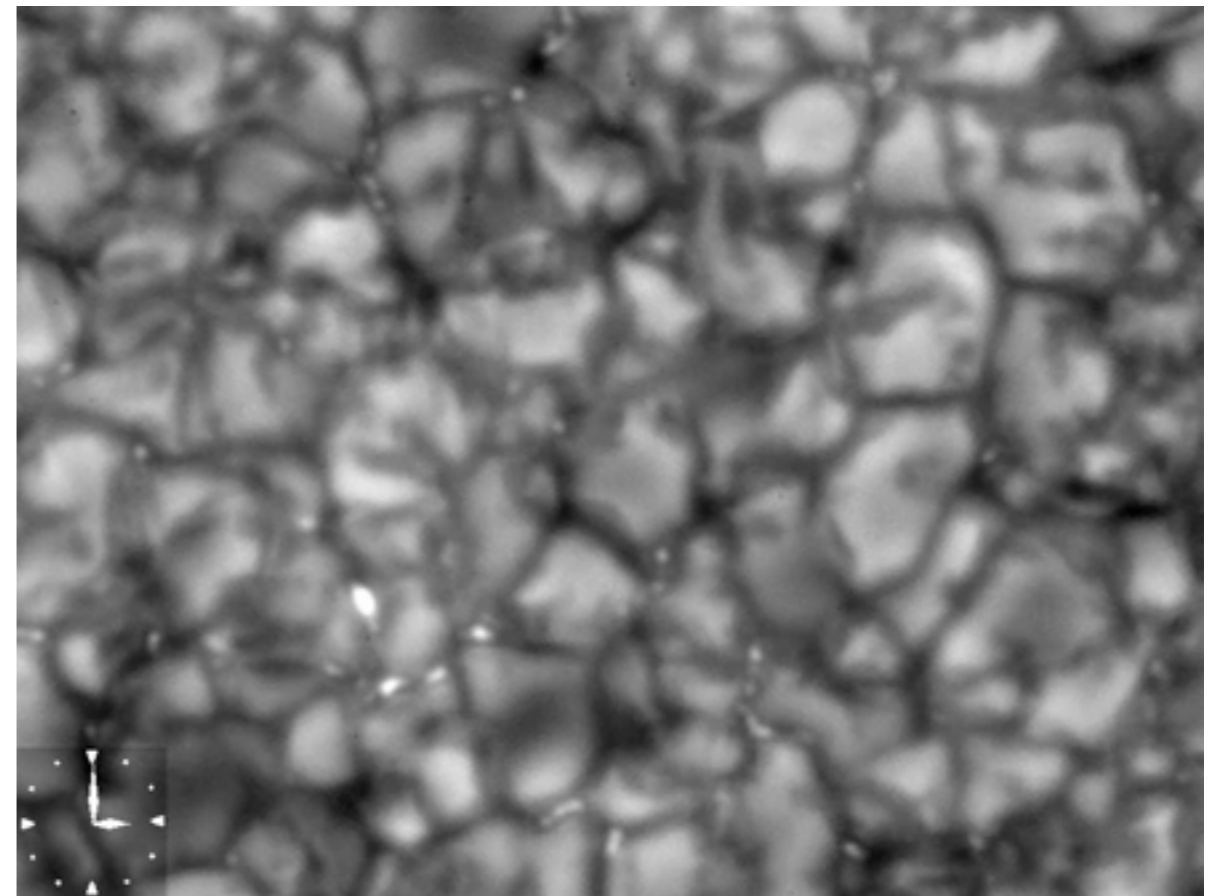
- 静穏領域磁場の起源は？
- 静穏領域に蓄えられている磁気エネルギーはどれだけ？
- 静穏領域磁場は彩層・コロナ加熱へどのよう  
に寄与する？

# 太陽静穏領域磁場の概念（ひので前）

- 磁場は基本的に太陽表面に対して垂直



輝点：太陽表面に対して垂直なkG磁場



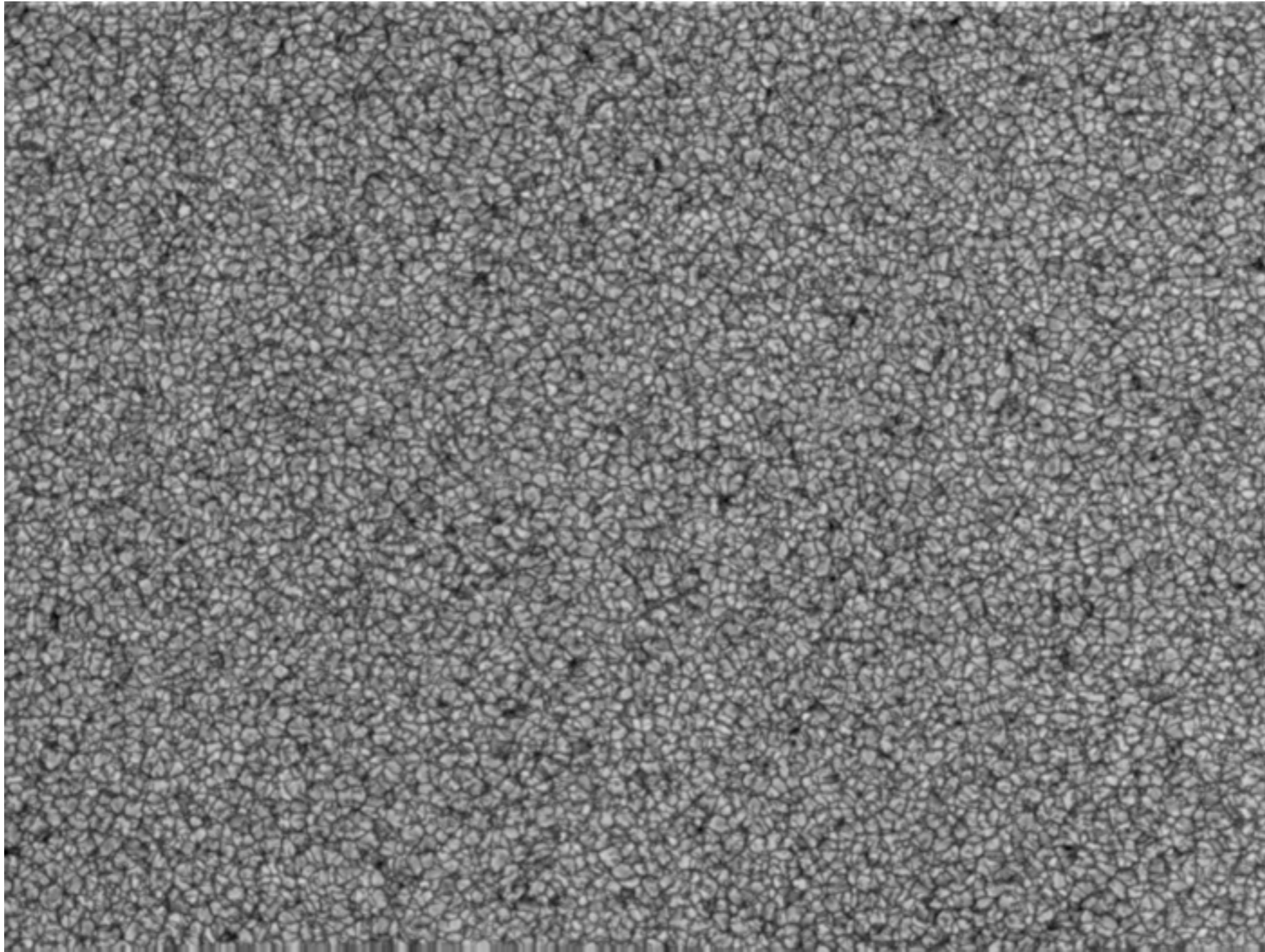
静穏領域磁場の生成から消滅までを明らかにしたい

▷ 「ひので」によるベクトル磁場の精密測定



# 「ひので」による静穏領域磁場観測

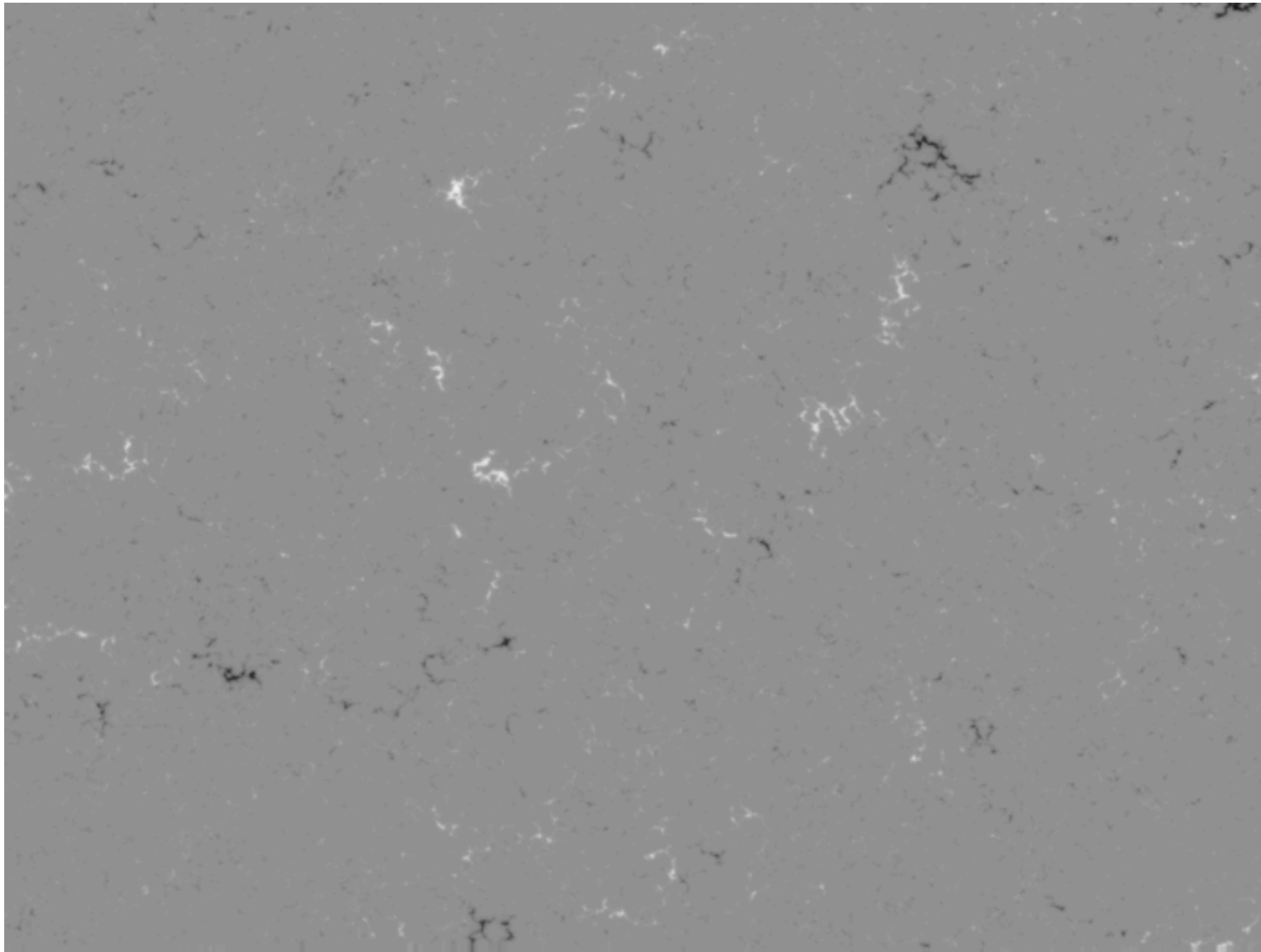
※宇宙からの高精度・高空間分解能磁場測定



連続光強度

# 「ひので」による静穏領域磁場観測

※宇宙からの高精度・高空間分解能磁場測定

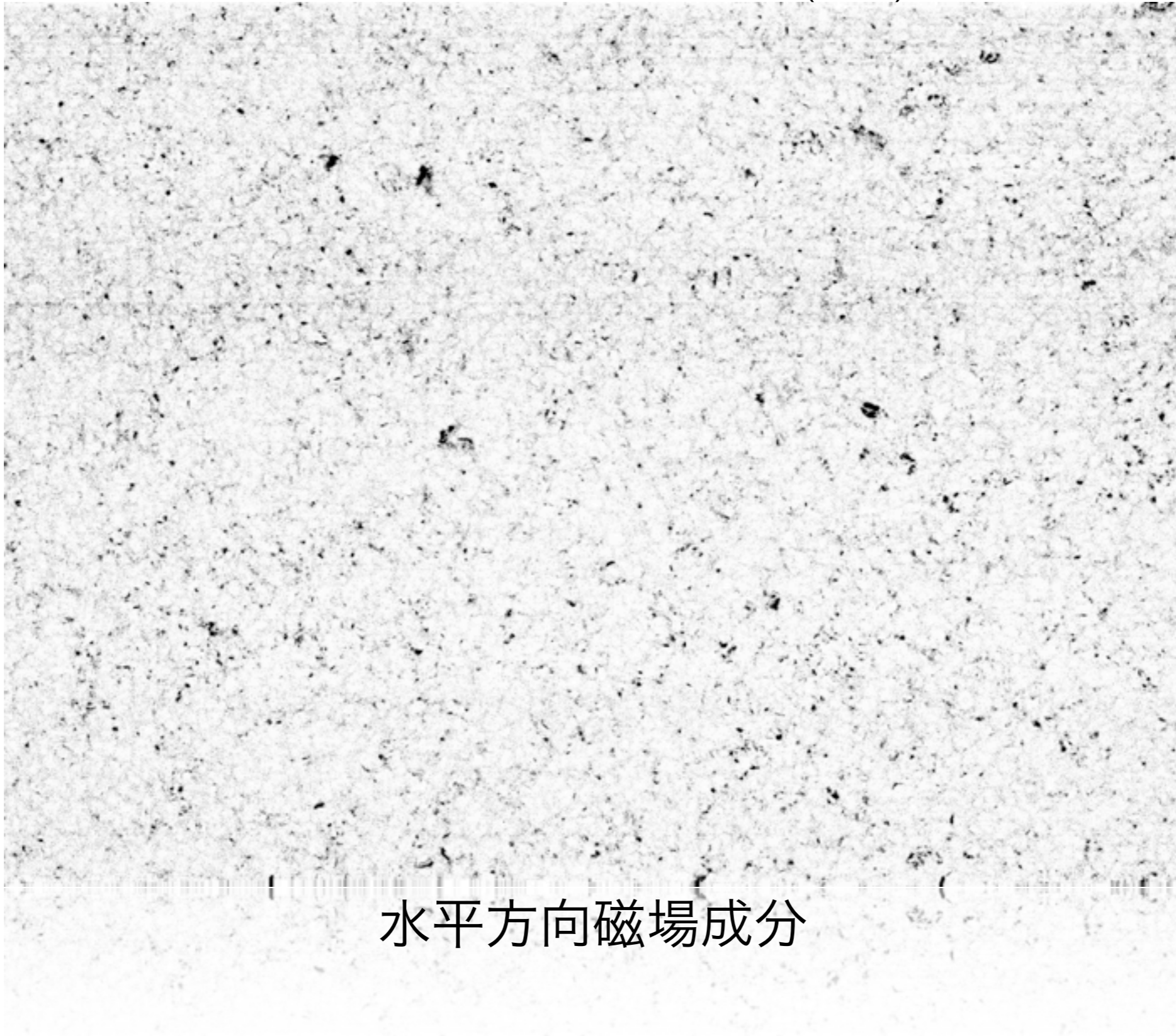


垂直方向磁場成分



# 「ひので」によって発見された ユビキタス水平磁場

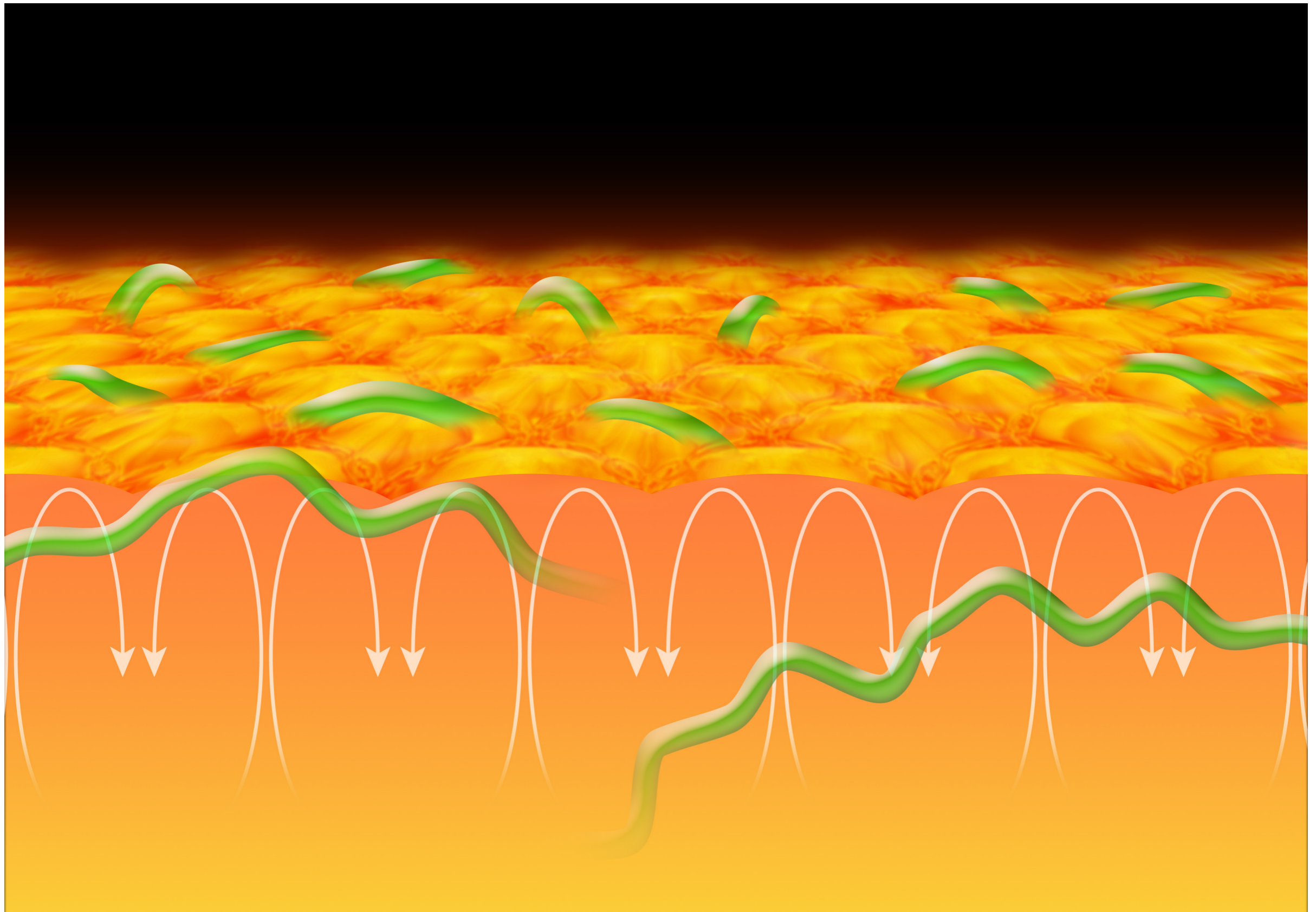
Lites et al. (2008), Orozco Suarez et al. (2007)



水平方向磁場成分



# 太陽表面と水平磁場の概念図

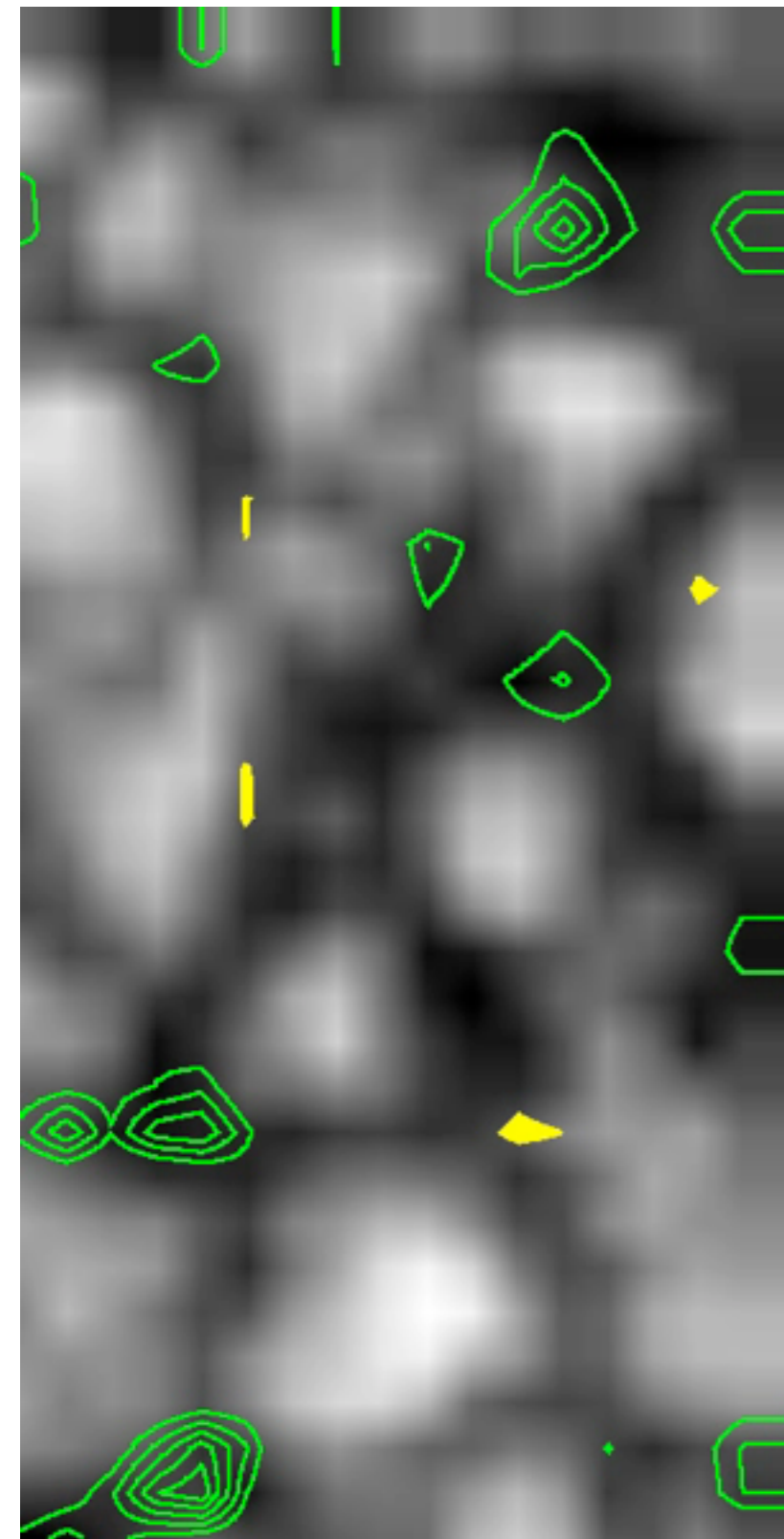


# “短寿命”水平磁場

Lites et al. (1996), De Pontieu (2002), Harvey et al. (2007), Martinez Gonzalez et al. (2007), Centeno et al. (2007), Ishikawa et al. (2008), Ishikawa & Tsuneta (2009), Jin et al. (2009), Danilovic et al. (2010) etc.

- 粒状斑より小さい
- 太陽表面への出現時間:1-10分
- 非常に高い発生頻度
  - 10%以上の粒状斑が水平磁場を所持
- 粒状斑内で出現
- エクイパーティション磁場強度以下

$$\text{エクイパーティション磁場強度 } B_e \quad \frac{1}{2} \rho v^2 \sim \frac{B_e^2}{8\pi}$$



Green:vertical >13 Mx/cm<sup>2</sup>

Yellow:horizontal >140 Mx/cm<sup>2</sup>

# 膨大な短寿命水平磁場の磁気フラックス

- 水平磁場1個の磁気フラックス： $\Phi \sim 3 \times 10^{17} \text{ Mx}$  (Ishikawa, Tsuneta, Jurcak 2010)
- 太陽全面にわたって存在 (Harvey et al. 2007, Tsuneta et al. 2009, Ito et al. 2010)
- 発生頻度： $1.1 \times 10^{-10} \text{ km}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Ishikawa and Tsuneta 2009)

すべての短寿命水平磁場が太陽表面下に戻らないと仮定すると

水平磁場が供給する総磁気フラックス： $8 \times 10^{23} \text{ Mx hr}^{-1}$

Jin et al. (2009), Ishikawa, Tsuneta, and Jurcak (2010)

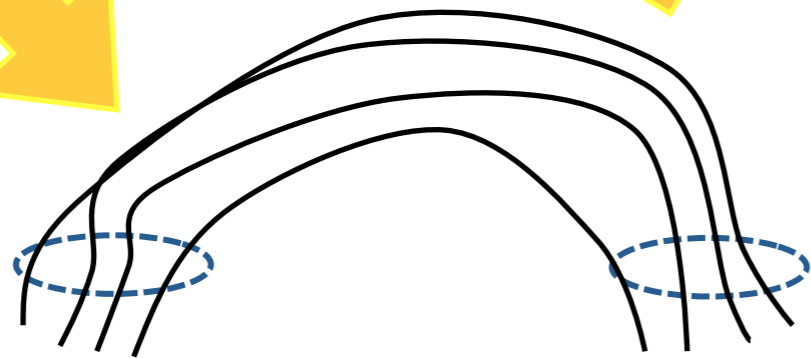
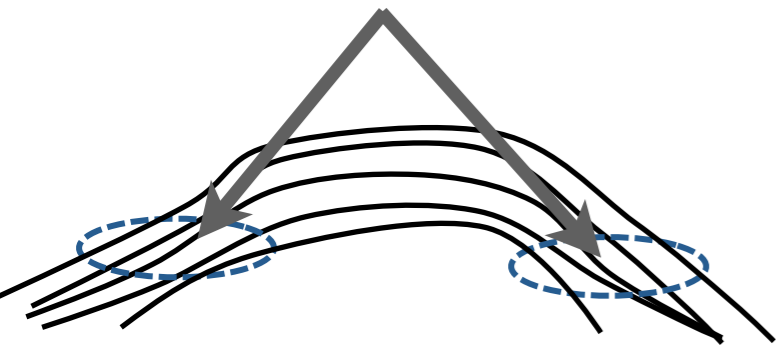
➤ 活動領域： $10^{22} \text{ Mx hr}^{-1}$  (Harvey 1993)



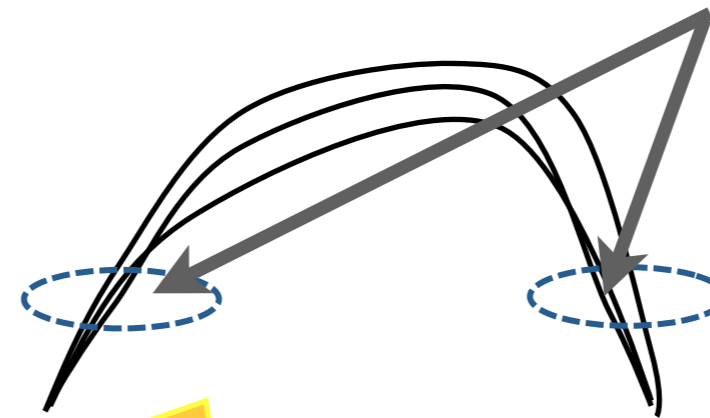
# 短寿命水平磁場とkG垂直磁場の関係

- 水平磁場はkG垂直磁場の源  $B > \text{kG}$  (スーパーエクイパーティション)

$B < \text{kG}$  (サブエクイパーティション)



浮上によりフットポイントが垂直に. 粒状斑間に到達する.

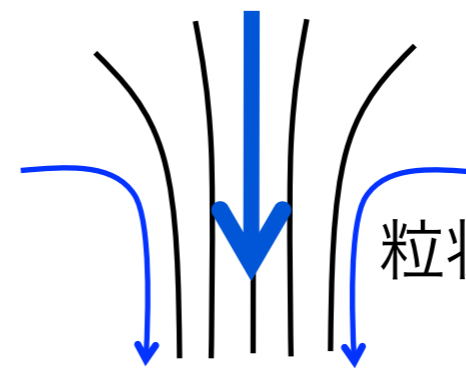


**対流崩壊**

Parker (1973)  
Nagata et al.(2007)

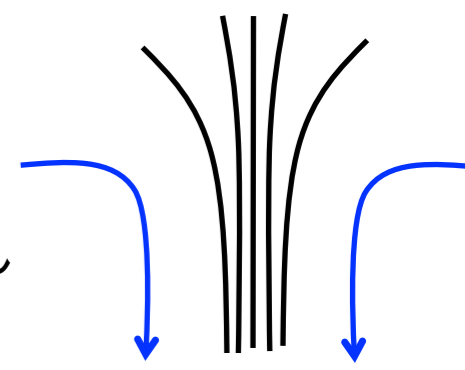
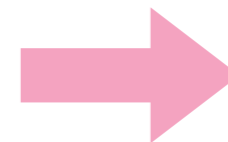
※水平磁場の足元でも強い下降流 (Ishikawa+08)

強いダウンフロー (~Cs)



$B \sim 400\text{G}$

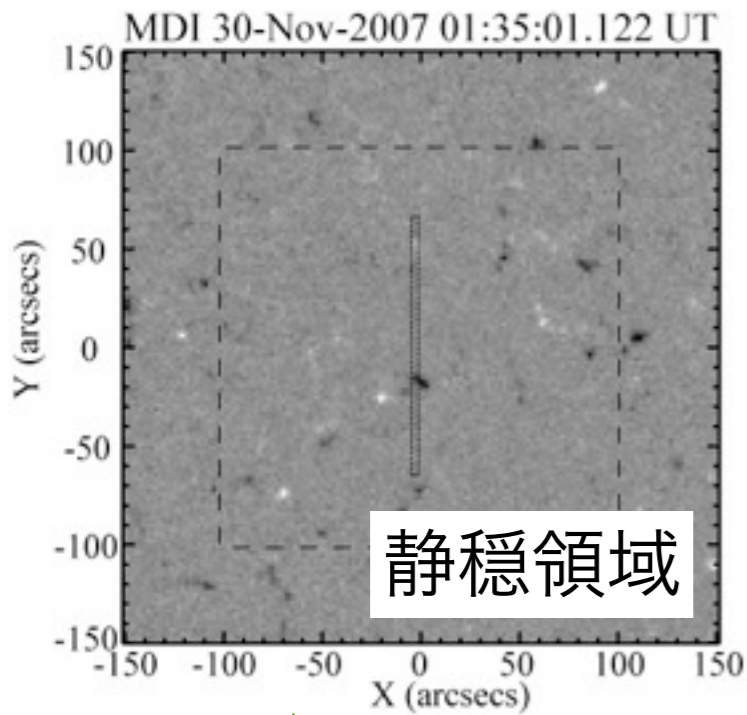
$$\frac{B^2}{8\pi} \sim \frac{1}{2} \rho v^2$$



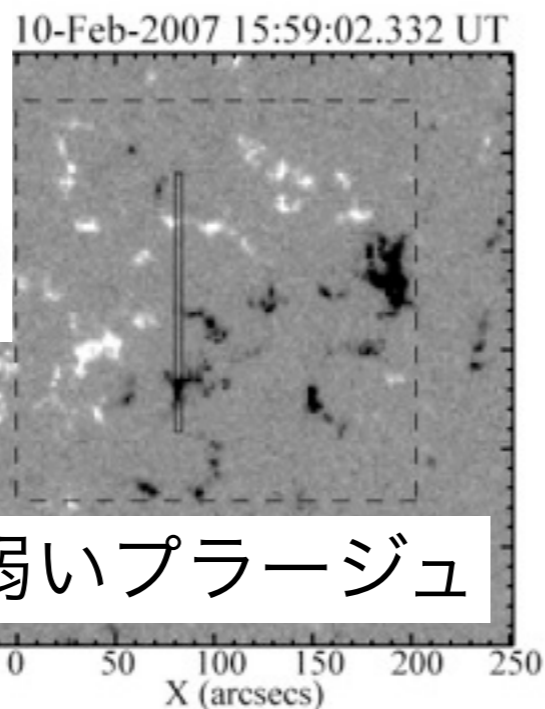
$B \sim 1-2\text{kG}$

$$P_i + \frac{B^2}{8\pi} \sim P_e$$

# 静穏領域とプラージュ領域 (崩壊中の活動領域) の比較

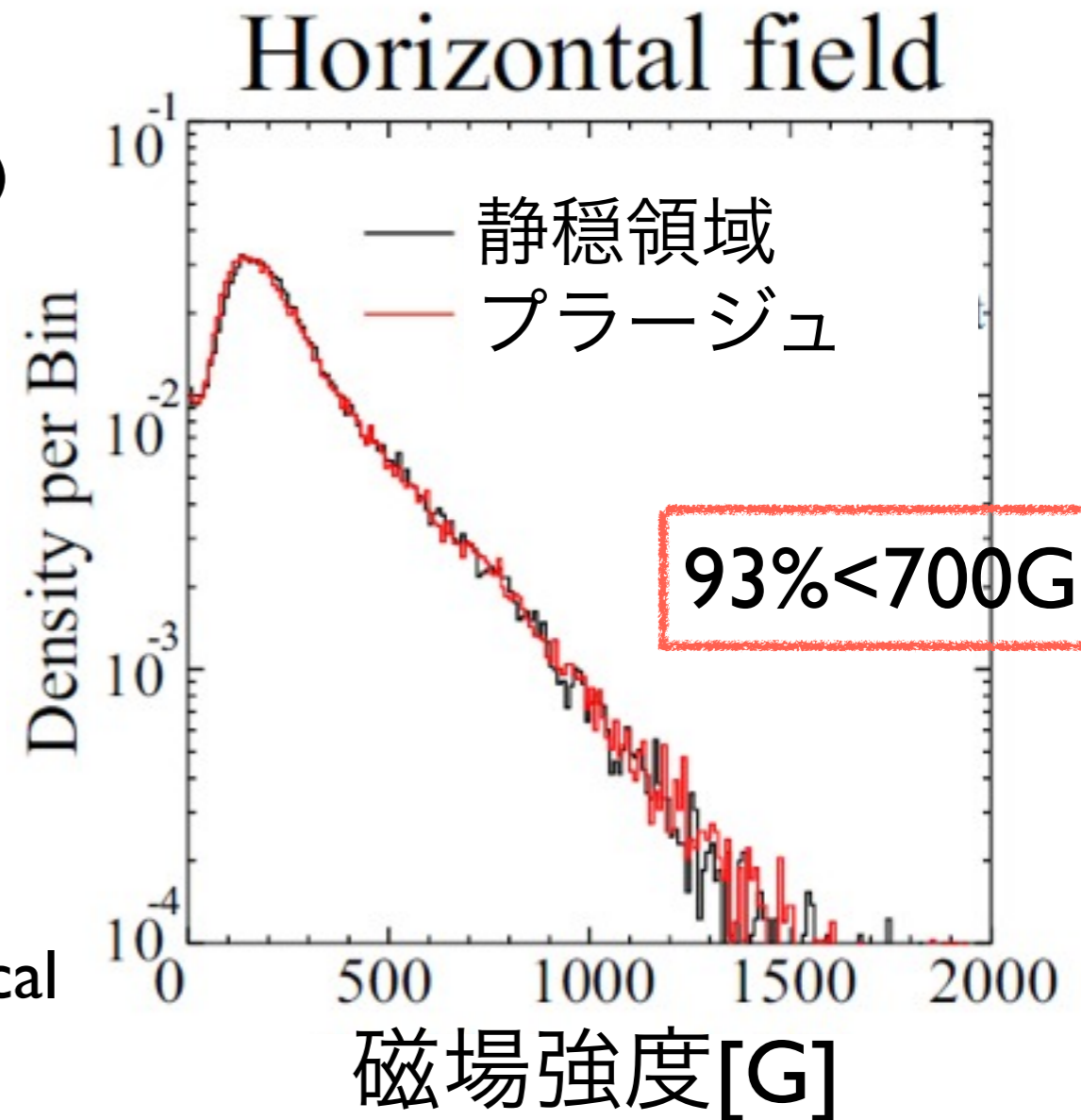


Ishikawa and Tsuneta (2009)



Regions with strong vertical fields are removed.

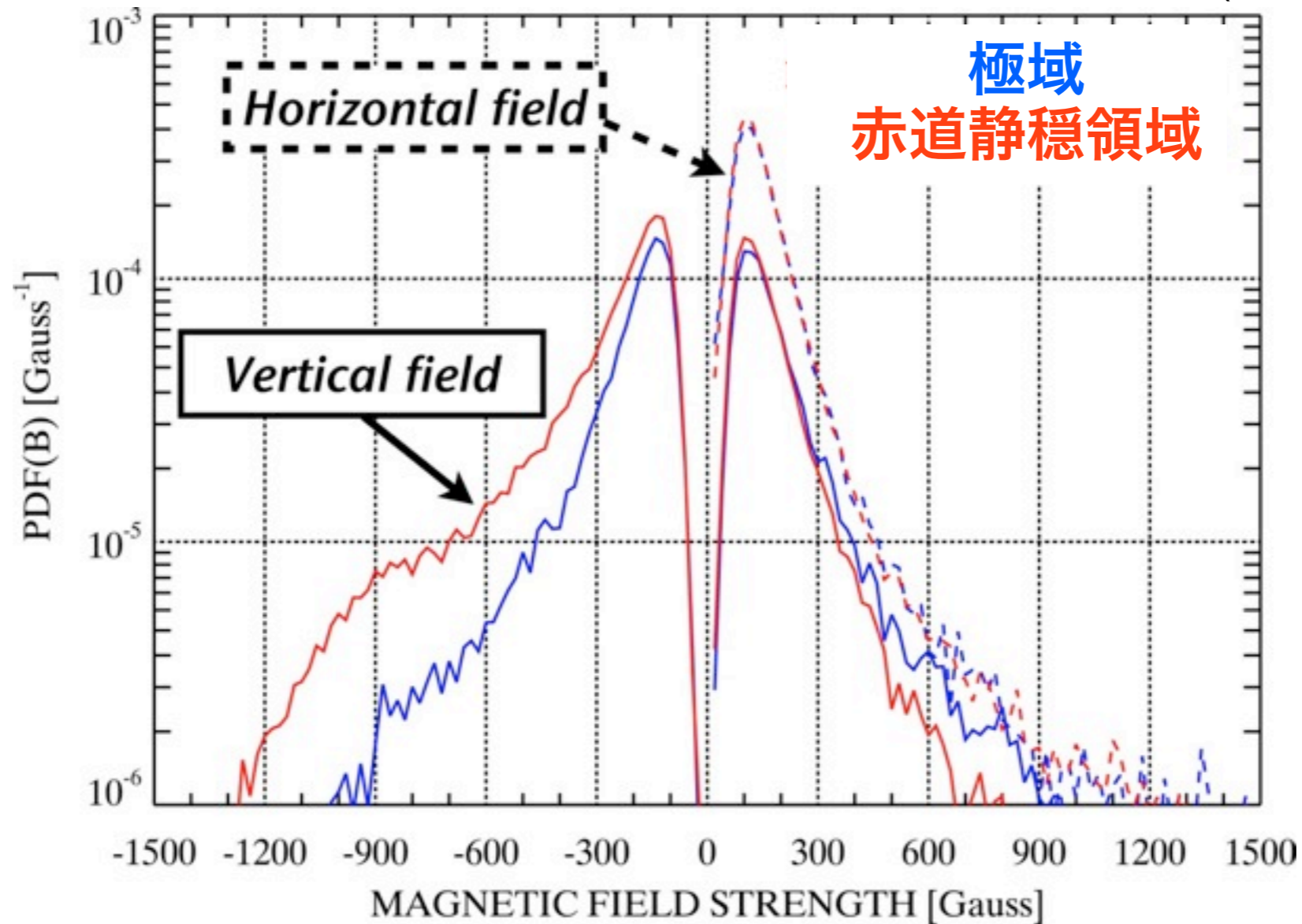
x8 difference in vertical flux



- 同じ発生頻度
- 水平磁場の磁場強度分布に差がない
- 93% が700G(粒状斑のエクイパーティション磁場強度)以下

# 静穏領域（赤道域）と極域の比較

Ito et al. (2010)



- 水平磁場の磁場強度分布に差がない
- 水平磁場の98%が700G以下



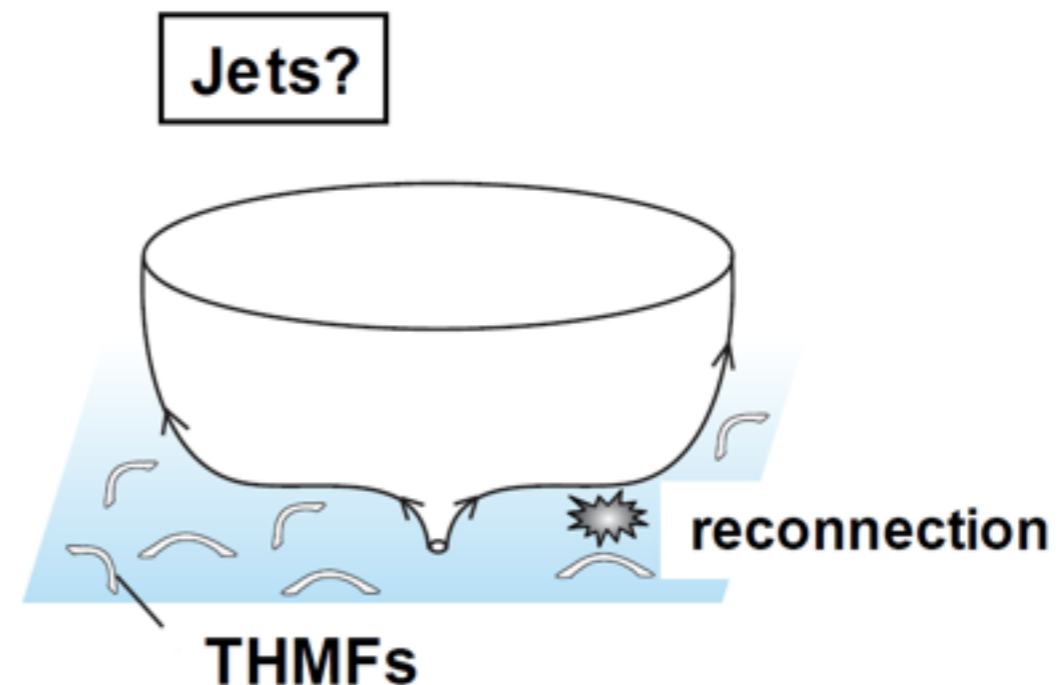
# 静穏領域磁場の起源

- 活動領域磁場の残りカスのリサイクル (Ploner et al. 2001)
  - **Not consistent**
- プラージュ領域などの強い垂直磁場が対流ではらばらに (Isobe et al. 2007, Steiner et al. 2007)
  - **NOT consistent**
- 対流層底部から浮上してきた比較的大きな磁束管が対流ではらばらに (Steiner et al. 2007, Tortosa-Andreu and Moreno-Insertis 2009)
  - **NOT consistent**
- ローカルダイナモ (Cattaneo 1999)
  - **Consistent**

# 短寿命水平磁場の磁気エネルギー

必要なエネルギー (Withbroe & Noves 1977)	静穏領域 [erg cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ]
コロナ	$3 \times 10^5$
彩層	$4 \times 10^6$
水平磁場の磁気 エネルギー	$2 \times 10^6$ (Ishikawa & Tsuneta 2009) $1 \times 10^6 \sim 2 \times 10^7$ (Martinez Gonzalez et al. 2010)

短寿命水平磁場が彩層や  
コロナ加熱に寄与？



# 短寿命水平磁場のまとめ

- 太陽表面に粒状斑スケールの水平磁場があまねく存在.
- 粒状斑の対流運動によるダイナモ機構（ローカルダイナモ）によって供給.
- 彩層・コロナ加熱に十分なエネルギーを持つ.



# まとめ

- 太陽観測衛星「ひので」によって発見されたユビキタス水平磁場は、対流があれば乱れた磁場がどこにでも発生しうることを強く示唆する。
- 恒星磁場, 恒星磁場活動への示唆は？
- fully convective star のダイナモ
- 金属欠乏星(比較的遅い自転速度を持つ)の彩層  
(コロナ) 活動 (Takeda et al. 2011)