

ひので衛星と画像自動認識手法で探る 太陽光球面磁気対流現象の描像

飯田佑輔 (ISAS/JAXA), Mandy Hagenaar (LMSAL), 横山央明 (東京大学)

E-mail: iida@solar.isas.jaxa.jp URL: <https://sites.google.com/site/yiresearchsite>



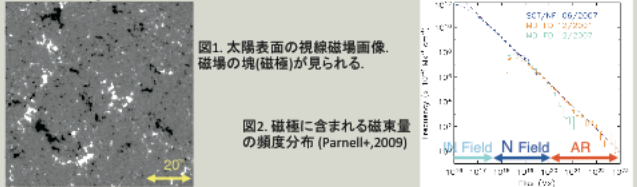
要旨

「ひので衛星の観測データ」と「画像自動認識手法」を利用して挑む、**太陽表面における磁気対流**の研究を紹介する。太陽表面の磁気対流構造は、多くの太陽表面活動のエネルギー源になっている他、太陽ダイナモ問題などの重要問題に直結している。近年の高分解能観測によって、至るところで太陽半径の1/1000ほどの小スケールの磁気対流ダイナミクスが見られるようになった。これらから、グローバルな磁気対流構造においても、このような小さなスケールのダイナミクスが重要ではないかと考えられている。しかしながら、その解析には「**安定した十分な時間・空間分解能を持つ観測データ**」と「**非常に莫大な数の統計解析**」が必要であり、困難であった。本研究では、「ひので衛星による高分解能観測データ」と「画像自動認識手法」によってこれらの困難を解決することで、太陽表面磁気対流の描像を探る。発表では、1.磁極間相互作用の描像と、2. 太陽表面对流による磁場輸送について紹介する。

I. 磁極間相互作用の描像

i. イントロダクション

太陽表面磁場は多くの太陽表面活動のエネルギー源になっており、その構造形成の理解は重要である。Parnell et al. (2009)により、磁極に含まれる磁束量頻度がべき分布をしていることが報告された。しかしながら、このべき分布が1) **太陽内部からの供給を直接反映しているのか**、2) **表面で再編成されているのか**、明らかでない。本研究では、磁極の自動追跡手法を開発し、太陽表面での**磁極相互作用を定量化**することで、その形成メカニズムに迫る。

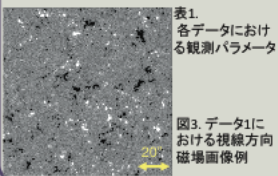


ii. 観測データ・自動追跡手法

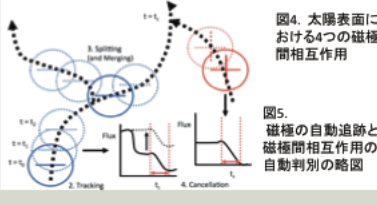
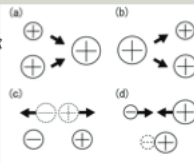
ひので衛星に搭載されている、可視光望遠鏡/フィルタグラムによる2種類の視線磁場観測データを用いた。

	データ1	データ2
観測時間	3 ^h 39 ^m	115 ^m 13 ^s
時間間隔	1分	5分
視野	113°x113°	91.4°x94.9°

表1. 各データにおける観測パラメータ



本研究では、莫大な数の磁極相互作用の解析が必要である。太陽表面における**磁極の自動追跡**、及び**磁極間相互作用の自動判別コード**を開発した。

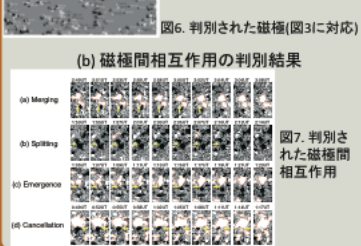


iii. 結果

(a) 磁極追跡結果
データ1ではおよそ3,000個、データ2ではおよそ40,000個の磁極が追跡された。

	データ1	データ2
正極	26745	97018
負極	26459	92102
判別磁極	53204	189120
追跡磁極	1636	21823
	1637	19544
	3273	41367

表2. 判別・追跡された磁極数



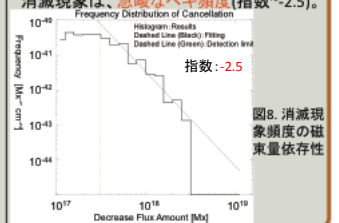
合体・分裂の頻度が出現よりも非常に大きかった。⇨「**表面で磁束量頻度が作られる。**」

表3. 磁極相互作用数

	データ1	データ2
正極	536	8061
負極	493	5825
合体	3	32
分裂	86	7626
出現	3	610

表3. 磁極相互作用数

(c) 消滅現象頻度の磁束量依存性



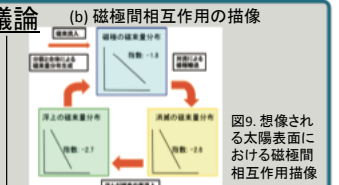
iv. 議論

(a) 消滅頻度の急峻なべき頻度の説明
磁極の**移流方向が等方的**であると解釈できる。

$$n(\phi) = n_0 \left(\frac{\phi}{\phi_0} \right)^{-\gamma} \quad (\text{観測: } -1.8 \pm 0.1)$$

$$\text{(仮定)} \quad \text{等方向な移流} \quad (\text{観測: } -2.5 \pm 0.3)$$

$$\text{消滅現象頻度} \frac{dn(\phi)}{dt} \bigg|_{\text{cnc}} = -\frac{n_0 n_0^{\gamma}}{2(\gamma-1)\sqrt{\rho}} \left(\frac{\phi}{\phi_0} \right)^{-2\gamma+1}$$



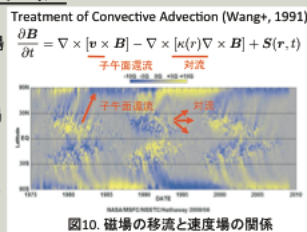
v. 結論

磁極間相互作用の自動判別コードを開発し、太陽表面では**供給よりも磁極の分裂と合体が支配的**であることを示した。さらに、消滅現象について**急峻なべき分布**を得た。これらの観測事実から、太陽表面における**新たな磁束量維持の描像**を提唱した。

II. 太陽表面对流による磁場輸送

i. イントロダクション

太陽ダイナモ問題において、表面对流による磁場輸送は重要過程の一つである。対流による磁場輸送は、グローバルスケールでは拡散項として扱われてい。しかしながら、現実の太陽面上では磁場は磁極の形で輸送されており、**対流による輸送が拡散項として表せるかは自明ではない**。本研究では、観測データから個々の磁極の動きを追うことによって、その妥当性を調べる。



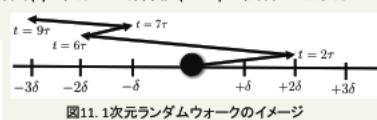
ii. 経過時間と変位

グローバルスケールでは、経過時間(t)と変位の期待値($\langle x^2 \rangle$)の関係が重要。

(i) ランダムウォーク

$$x(t+\tau) = x(t) \pm \delta, x(0) = 0$$

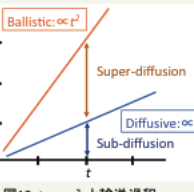
$$\langle x(t)^2 \rangle = \left(\frac{\delta^2}{\tau} \right) t$$



(ii) 拡散方程式

$$\frac{\partial n(x,t)}{\partial t} = D \nabla^2 n(x,t) \Rightarrow n(x,t) = \frac{1}{(\sqrt{4\pi Dt})^{1/2}} e^{-x^2/4Dt} \quad \langle x^2 \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 n(x,t) dx = 2Dt$$

(通常の)拡散として扱うには、 **$\langle x^2 \rangle \propto t$ が必要条件**。



iii. 結果

観測期間の長いデータ2を用いた。
 $10^{3.8}$ km、 2×10^4 sのスケールを境に super-diffusion と sub-diffusion の異なるスケーリングが見られた。これは、**太陽表面対流による磁場輸送過程は、単純拡散では表せない**ことを示す。

$$\langle x(t)^2 \rangle \propto t^\alpha,$$

where

$$\alpha = \begin{cases} 1.4 \pm 0.1 & (L < 10^{7.5} \text{ km}) \\ 0.6 \pm 0.2 & (L \geq 10^{7.5} \text{ km}). \end{cases}$$

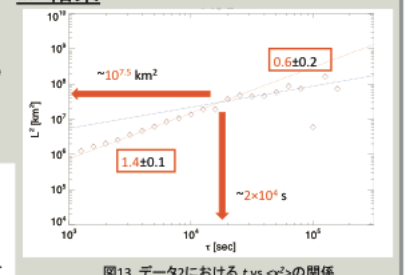
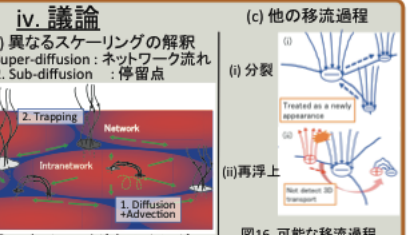
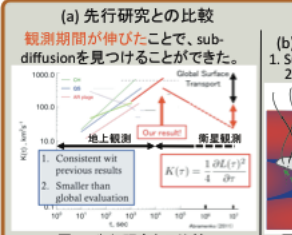


図13. データ2における t vs $\langle x^2 \rangle$ の関係

iv. 議論



v. 結論

衛星による長時間観測データに画像自動認識手法による統計解析技術を合わせることで、**super-diffusion と sub-diffusion の異なる輸送スケーリングを見つけることができた**。この結果は、**太陽表面对流による磁場輸送が単純拡散では表せない**ことを示している。