

# 衛星データと画像認識で迫る 太陽表面对流による磁場輸送

飯田佑輔 (ISAS/JAXA)

E-mail: [iida@solar.isas.jaxa.jp](mailto:iida@solar.isas.jaxa.jp)

URL: <https://sites.google.com/site/yiresearchsite>



## 要旨

太陽活動度の周期性問題 (ダイナモ問題) では、対流による磁場輸送が重要となる。本研究では、ひので観測の観測データと画像認識の手法を用いて、**莫大な数の個々の磁気要素を追跡**することでその輸送過程を調べた。観測データには、これまでの観測で最長の観測期間(5日)を持つものを用いた。これほどの長期間連続観測は地上観測では行えず、衛星観測によって可能となったことを強調したい。**経過時間と磁気要素の変位自乗**について調べた。その結果、 $2 \times 10^4$  秒、 $3 \times 10^7$  km以上のスケールにおいては、**sub-diffusive な依存性 (ベキ指数  $0.6 \pm 0.2$ )**に変化することを見いだした。この性質は、ネットワーク磁場の性質で定性的に説明できる。しかし、これまでの太陽表面磁場輸送のモデル式では、対流による磁場輸送項は古典的な拡散項として取り入れられており、その修正を求める結果である。

## イントロダクション

太陽活動度の周期性理解は50年以上の大問題である。太陽活動はその表面磁場を起源(図1)としており、**磁場輸送の理解が本質**である。太陽表面の磁場輸送モデルでは、対流( $\sim 1 \text{ km s}^{-1}$ )と子午面還流( $\sim 10 \text{ m s}^{-1}$ )による輸送(図2)が重要となる。

現在のモデルにおいて対流による輸送項は、拡散項として取り扱われている。しかし、**拡散項としての扱いが正しいかどうか**は、理論的にも観測的にも検証されていない。本研究では、衛星観測データの利点を最大限に利用して解析することで、この問題に迫る。

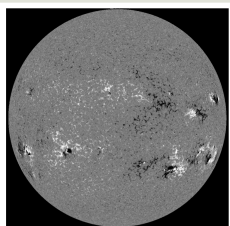


図1. 太陽表面の視線磁場画像

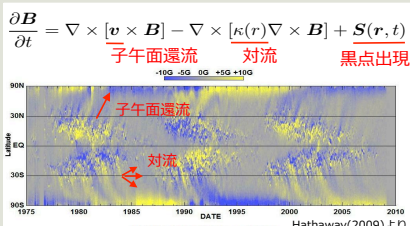


図2. 表面磁束輸送モデルと蝶形図における磁場輸送

## 観測データ

太陽スケールでの輸送に迫るには、**継続観測が重要**となる。これまでの9年間のひので観測の中で、最長の**5日間継続観測データ**(図4)に磁極追跡コードを適用した(図5; 詳細はIida+, 2012参照)。

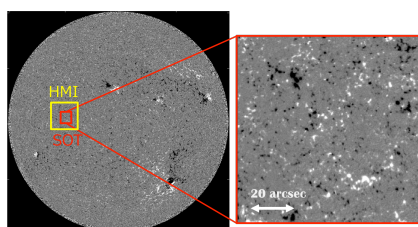


図4. 本研究での解析データと全球磁場画像

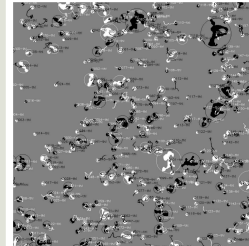


図5. 磁極追跡の結果

## 結果

21,823個の正極と19,544個の負極が判別・追跡された。これらの磁極の誕生から消滅までを追跡し(図6)、経過時間と変位自乗の関係を調べた結果、 **$2 \times 10^4$  秒、 $3 \times 10^7$  km以上のスケールにおいて、sub-diffusive な依存性 (ベキ指数  $0.6 \pm 0.2$ )**が見られた(図7)。

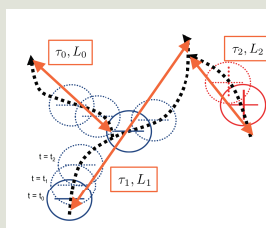


図6. 経過時間と変位の計算

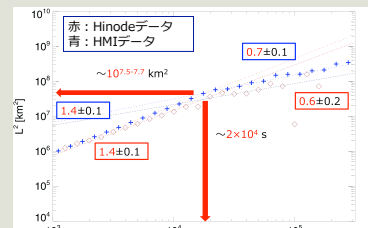


図7. 経過時間と磁極の変位自乗

## 拡散方程式とランダムウォーク模型

拡散項として表すためには、**経過時間(t)と変位自乗( $\langle x^2 \rangle$ )の比例関係が必要条件**となる。

### I. 一次元拡散方程式 (D: 拡散係数)

$$\frac{\partial n(x, t)}{\partial t} = D \nabla^2 n(x, t) \rightarrow n(x, t) = \frac{1}{(4\pi Dt)^{1/2}} e^{-x^2/4Dt}$$

$$\langle x(t)^2 \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 n(x, t) dx = 2Dt$$

### II. ランダムウォーク模型 ( $\delta$ : 長さ単位、 $\tau$ : 時間単位)

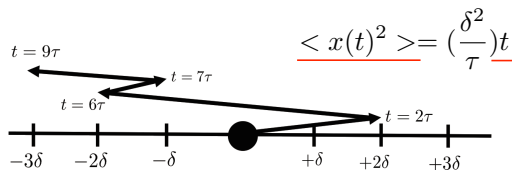


図3. 1次元ランダムウォーク模型

## 議論

- なぜsub-diffusiveな依存性?  
→ ネットワーク磁場構造による捕獲(図8)
- モデルではどう扱うべき?  
→ sub-diffusion項として扱うべき

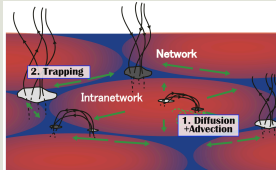


図8. ネットワーク磁場構造による捕獲

## まとめ

衛星による長時間継続観測データに画像認識手法を適用することで、個々の磁極運動を追った。その結果、長い時間スケールではsub-diffusiveな性質を見いだした。この結果は、ネットワーク磁場構造による捕獲で説明できるが、表面磁束輸送ダイナモにおけるモデル式の修正を要求する。