

# 輻射磁気流体シミュレーションで解き明かす磁場・対流相互作用による太陽フレア黒点形成

## Generation of Flare-productive Sunspots through Interaction between Magnetic Field and Convection as Revealed by Radiative Magnetohydrodynamic Simulations

鳥海森<sup>1</sup>, 堀田英之<sup>2</sup>

Shin Toriumi<sup>1</sup>, Hideyuki Hotta<sup>2</sup>,

宇宙航空研究開発機構<sup>1</sup>, 千葉大学<sup>2</sup>

Japan Aerospace Exploration Agency<sup>1</sup>, Chiba University<sup>2</sup>

### 1 はじめに

磁気嵐やオーロラの原因にもなりうる強力な磁気エネルギー解放現象「太陽フレア」は、これまでの観測から、複雑な形状を持つ太陽黒点に発生しやすいことが知られている [1]。しかし、太陽内部を光学的に観測することは不可能なため、(輻射)磁気流体シミュレーションによって、太陽内部から磁束が浮上し黒点を形成する再現計算が行われてきた。しかし、従来の計算では、太陽内部の熱対流を無視する、磁束を計算ボックスに強制的に挿入する、などの仮定が置かれていた。

### 2 数値計算と結果

本研究で用いた輻射磁気流体コード「R2D2」[2]の特徴は、太陽表面における大きさ約 1,000 km・寿命約 10 分の粒状斑対流と深部の約 10 万 km・1 ヶ月程度の大規模対流という、スケールの極度に異なる熱対流を同一の計算ボックス内で同時に解く点にある。本研究では、リアリスティックな熱対流を再現した計算ボックスの内部に水平な初期磁束管を設置し、周囲の流速場によって磁束が浮上する様子を調べた [3]。

その結果、大規模な上昇流が磁束を 2 箇所で押し上げることで、太陽表面では正極・負極の黒点が互いに強く押し合い「デルタ型」と呼ばれる複雑な黒点が形成された (Fig. 1)。歴史上の巨大フレアは、多くが「デルタ型」黒点に生じたことが記録されている。また、デルタ黒点の上空にはねじれた磁力線構造 (フラックスロープ) が形成された。これはフレア爆発の際、プラズマ雲の磁氣的骨格として宇宙空間へ放出される。

近年、太陽観測衛星「ひので」により、通常 2,000 G から 4,000 G とされる黒点磁場を遙かに上回る、6,000 G という磁場強度がデルタ黒点の内部、特に正極・負極に挟まれた領域で観測された [4]。これは、光球の

等分配磁場強度より 1 桁大きい。本研究では、空間解像度や輻射輸送計算の経路数を向上させたデルタ黒点形成シミュレーションを行い、6,000 G を上回る磁場が実際にデルタ黒点内部に形成されることを発見した [5]。初期磁束管はねじれを解放しながら太陽内部を浮上し、そのため、太陽表面では正・負極黒点が互いに同方向に回転する。このとき、正極・負極に挟まれた領域では磁力線が引き伸ばされることで、6,000 G まで強化された磁場が形成されることが明らかになった。

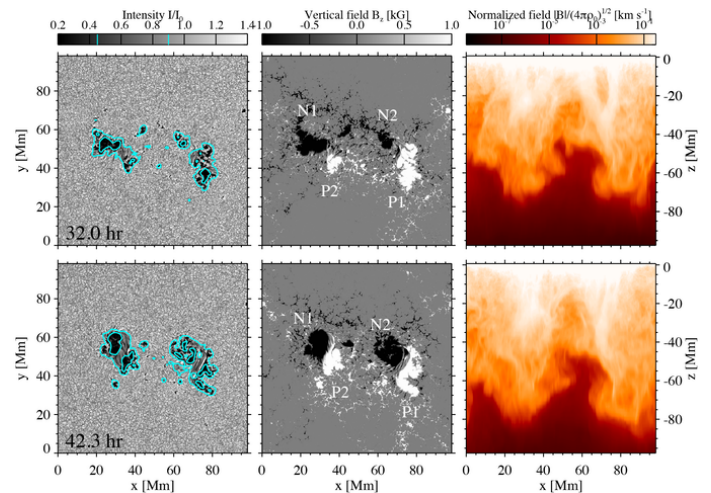


Fig. 1: 計算開始 32 時間後、42 時間後における (左) 可視光強度、(中) 磁場強度 (白: 正極、黒: 負極)、(右) 計算ボックスの垂直断面における磁場強度。正極と負極の黒点が互いに衝突することで、正・負極暗部が一つの半暗部に囲まれた「デルタ型」の黒点が形成される。正負極に挟まれた領域では 6,000 G を超える強力な磁場が生じ、上空にはねじれた磁力線 (フラックスロープ) が形成される。

### References

- [1] Toriumi, S. & Wang, H. 2019, LRSP, 16, 3
- [2] Hotta, H., Iijima, H., & Kusano, K. 2019, SciAd, 5, 2307
- [3] Toriumi, S. & Hotta, H. 2020, ApJL, 886, L21
- [4] Okamoto, T.J. & Sakurai, T. 2018, ApJL, 852, L16
- [5] Hotta, H. & Toriumi, S. 2020, MNRAS, 498, 2925