太陽磁気フラックスチューブの3次元構造・ 安定性・その非線形ダイナミクス (Inoue + Submitted)

井上 諭

inosato@nagoya-u.jp 名古屋大学 宇宙地球環境研究所





STEREO Observation

磁気フラックスチューブの噴出モデル



Shibata + 1996, Forbes 2000, Shiota + 2005....



本研究の目的



Courtesy of Joten Okamoto san



- ✓ Solar Eruptionの発生過程から 非線形ダイナミクスを理解する。
- ✓ 実際の太陽表面の観測磁場データ を用いる。
 - -観測磁場データを用いた活動領域磁場 の数値モデリング
 - -観測磁場データより導出された3次元 磁場を用いてのMHD計算。

✔太陽活動領域11158

-SDOが観測した最初のXフレア -時間・空間分解能が良いデータが豊富

Plasma β in the Solar Corona







NLFFF:3D Magnetic Fields



NLFFF: 2011 Feb.13 Before M6.6 Flare



理想MHD不安定性に 対する安定性解析

理想MHD安定性: I. キンク不安定性

・<u>キンク不安定性</u>

=> 強く捩れた磁力線が、その磁力線群であるflux tubeをよじれ(writhe)させる。 => フレアの発生過程 の主要因の一つであると考えられている。(Ji + 2003).







トーラスモードに対する安定性



どのようにして太陽プラズマ噴出は 起きるのか?

なぜEruptionが起きる??

どのように安定・平衡磁場を壊れるのか?







Tether-Cutting Reconnection



- ✓ We give a disturbance, here anomalous resistivity, between the sheared field liens to cause the tether-cutting reconnection (Liu +2012, 2013)
- ✓ The color corresponds to the decay index value in the range from 1.3 to 1.5 where the torus instability occurs. (Kliem & Török 2006. Zucallero + 2016)

Twisted lines lose the equilibrium (Demoulin & Aulanier 2010, Kliem + 2014).

Decay Index Profile



数値計算モデル

1.5 n 1.3 VZ -0.05VA BZ (G) -2500Z500 Boundary Conditions

Super-conductive wall is assumed.

✓ Bn is fixed while Bt is released, i.e., determined by the induction equation.



- ✓ Finite Differential Method and Runge-Kutta Method.
- ✓ 216 (Mm)³ divided by 300³ grids
- ✓ MPI palleraization



観測との比較:フレアリボン





Synthetic Two-Ribbon Flares



Shiota+2005

Flux Tubeの時間発展



ReconnectionによるFlux Tubeの増強



Eruptionにおけるリコネクションの役割



✔ 電流密度の強い場所で速度3成分を強制的に0にする。つまりインフロー

・アウトフローを強制的に0にする。

✓ ただし全てのリコネクションを止めることはできない。

Flux Tubeに流れる電流の変化



Kink instability comes later





Summary

- ✓ 太陽活動領域11158で起きたM6.6フレアのMHD計算を実施した。フレア前の 3次元磁場構造を太陽表面観測磁場データより再現した。再現された構造はEUV imageをよくキャプチャーしたが、理想MHD不安定性に対しては安定だった。
- ✓ Tether-cutting Reconnectionはよりねじれた磁力線群(Flux Tube)を作り、 非平衡状態へ誘うことがわかった。
- ✓ Flux tube自身のダイナミクスとダイナイクスにともなうリコネクションの 非線形相互作用が、Eruptionを維持するために重要であることがわかった。
- ✓ 初期駆動はDecay Indexの値に左右されるが、その後はコントロールされない ことも見出された。