

彩層磁場観測に基づく非線形 force-free 磁場 (NLFFF) モデリング: フレア・コロナ質量放出研究の方向性





日本天文学会2014年秋季年会 A07a

@山形大学 2014. 9.13

太陽フレア・コロナ質量放出(CME)

太陽フレア



Hinode

太陽フレア・CME コロナ磁場に蓄積された 磁気エネルギーが解放される爆発現象

コロナ質量放出(CME)



SoHO

太陽に限らず多くの天体に共通 地球磁気圏に擾乱

フレア・CME研究の位置づけ

天体物理学上の物理課題

・エネルギー蓄積問題

どれだけの自由エネルギーがどこに蓄積されているか?

トリガ問題
 何をきっかけとしてフレア・CMEが始まるか?

宇宙天気予報

- ・どの規模の現象がいつ起こるか?
- ・地球へどの程度影響があるか?

磁気リコネクション ← コロナ磁場の三次元構造



スケールの異なる2つ磁場構造 シアアーケード (energy reservoir) +浮上磁場 (perturbation) ⇒ フレア





CMEトリガモデル (Chen & Shibata 2000)



フラックスロープ(energy reservoir) +浮上磁場 (perturbation) ⇒ フレア・CME



CME初期過程

Interaction between ejecting flux rope and ambient field



フレア・CME研究にとってコロナ磁場

天体物理学上の解明すべき物理課題

- エネルギー蓄積問題
 - どれだけの自由エネルギーがどこに蓄積されているか?
- トリガ問題
 何をきっかけとしてフレア・CMEが始まるか?

宇宙天気予報

- ・どの規模の現象がいつ起こるか?
- ・地球へどの程度影響があるか?

磁気リコネクション ← コロナ磁場の三次元構造

コロナ磁場の求め方

- 観測による測定は非常に困難
- 密度の大きい光球では、偏光分光観測により ベクトル磁場分布を得ることができる
 Hinode/SOT, SDO/HMI, etc...
- ・観測された磁場分布を境界条件として満たす
 三次元コロナ磁場をモデルにより計算で求める
 - ポテンシャル磁場モデル
 - 線形 force-free 磁場
 - 非線形 force-free 磁場
 - 磁気静水圧平衡場

← 活動領域磁場の 計算に適したモデル

非線形 force-free 磁場 (NLFFF)モデル



三次元空間で $J \times B = 0$ を満たす磁場を求める $J = \nabla \times B = \alpha B$ 非線形:空間的に非一様な α

NLFFFの計算例

 名古屋大学太陽地球環境研究所 GEMSISプロジェクト NLFFFデータベース (塩田+ 2013秋季年会)

MHD relaxation method (Inoue+ 2014)





ポテンシャル磁場

NLFFF

NLFFFモデルの現状の課題



観測(SOT,HMI)ベクトル磁場が得られる光球では、

plasma $\beta \sim 1$ or $\gg 1$

force-free 条件を満たしていない。

- ⇒ 完全なforce-free 磁場を求めることができない。
 - 観測をforce-free 条件を満たすように修正
 - ガス圧も含めた磁気静水圧平衡場を求める

Solar-C/SUVITで観測される磁場の高度分布 2014年2月太陽圏連シンポ (一本さん講演資料より抜粋)

数値計算によるライン形成層



光球・彩層内磁場の3D構造の決定。180°不定性の除去。 コロナ磁場への外層 → 大きな課題!

Solar-C/SUVITの観測への期待

- ・ 彩層ベクトル磁場分布
 - plasma $\beta \ll 1$ or ~1

を満たす領域でベクトル磁場分布が得られれば、 より再現性の高いコロナ磁場を求めることができる

- 光球・彩層ベクトル磁場の同時観測
 - 視線垂直磁場180度不定性の解消

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = \frac{\partial B_x}{\partial x} + \frac{\partial B_y}{\partial y} + \frac{\partial B_z}{\partial z} = 0$$

太陽面の境界条件の問題点が解消されると期待

今後の方向性:全球コロナ磁場モデル



DeRosa+2009

現状の活動領域 NLFFF モデル:

- 活動領域近傍を解く
- サイド・上空の境界条件も考慮すべき要素
 ポテンシャル磁場の値を固定して用いている
 <= 境界で不連続を発生
- 全球磁場もNLFFFとして求めるネストしたモデルの開発が必要
- 太陽風によるグローバル磁場構造の変形も考慮する必要あり

まとめ

- 太陽だけでなく他の天体にとっても重要な現象フレア・ CMEの発生過程(エネルギー蓄積・トリガ問題)の解明 に加えて、宇宙天気予報を実現の観点から、コロナ三次 元磁場構造の理解が重要。
- 光球ベクトル磁場観測データから非線形force-free磁場 モデルを用いてコロナ磁場が求められている。現状では、 モデルと観測が適合していないため、詳細な研究ができ ていない。Solar-C/SUVITによる彩層磁場観測により、 現在のモデルの課題を克服できることが期待される。
- フレア・CME発生過程の理解にとって、活動領域内部の 磁場構造に加えて、グローバルな磁場構造の再現も重要 な要素。活動領域と全球の磁場を同時に計算するコード を今後開発していく。