

非対称磁気リコネクションの磁気流体的研究

MHD study of asymmetric magnetic reconnection

研究代表者：近藤 光志

(愛媛大学宇宙進化研究センター)

研究目的 (Research Objective):

磁気リコネクションは、宇宙プラズマ環境における様々な爆発現象において重要な役割を果たしていることが明らかになってきた。特に太陽大気中で引き起こされる太陽フレアは、大規模爆発の代表的な現象である。太陽フレアは様々な磁力線同士の磁気リコネクションに関係するため、磁力線群同士の磁場強度の異なる非対称磁気リコネクションが頻繁に起こる。この非対称磁気リコネクションが、非常に複雑な構造をしていることをこれまでの我々の研究により示してきた。これらの研究の中で、電流層を挟んだ両側の磁場強度比 k や磁場シア角 θ と非対称磁気リコネクションのリコネクション率の関係を明らかにした。本研究では、実際の太陽フレア発生前後の太陽大気中の k, θ を求めることでリコネクション率の高くなる領域を特定し、太陽フレアとの関係を調べることを目的とする。

計算手法 (Computational Aspects):

磁場強度比や磁場シア角を求めるには、まず太陽大気中の磁場を測定する必要があるが、現在のところ太陽光球面上の磁場しか直接測定することが困難である。そのため、この測定された光球面磁場から太陽大気中の磁場を外挿計算する。外挿計算においては、太陽コロナが低ベータ領域であることからフォースフリー仮定を採用し、三次元非線形フォースフリー磁場を MHD 緩和法を用いて計算する。求めた三次元磁場から、電流層を求めるべきだが、フォースフリー仮定を用いているため電流層が存在しない。そこで、セパトリックスを求めるために図 1 に示すような、ループの足元の距離から QSL(Quasi Separatrix Layer)を求め、QSL 値の大きな場所を挟んだ両側の磁場強度比と磁場シア角を求めることとした。先に述べた磁気リコネクション率と k, θ の関係を数値計算で求めた結果から、新たにこれらに依存する関数 $R(k, \theta)$ を導入し、 R 値の高い領域の時間変動を調べた。

研究成果 (Accomplishments) :

図 2 は、2011 年 2 月 15 日 1 時 45 分に活動領域 AR11158 で発生した X1.2 フレアの前後の視線方向磁場成分の等高線(赤と青の実線)と R 値の視線方向の最大値のカラーマップである。時間とともに光球面磁場の変動はあまりない一方で、 R 値の分布は、暖色系から寒色系に変化する場所がいくつか存在し、逆に寒色系から徐々に暖色系に変化する場所も存在することがわかる。特に X1.2 フレア前後で暖色系から寒色系に変化している領域があり、実際その領域付近でフレアが発生していることが報告されている。

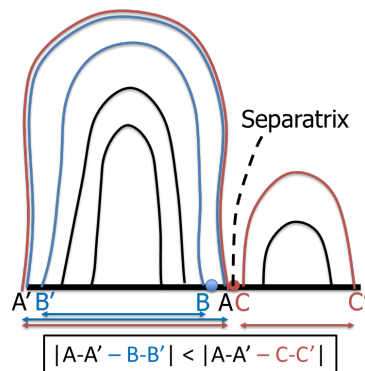


Fig.1 QSL の概念図

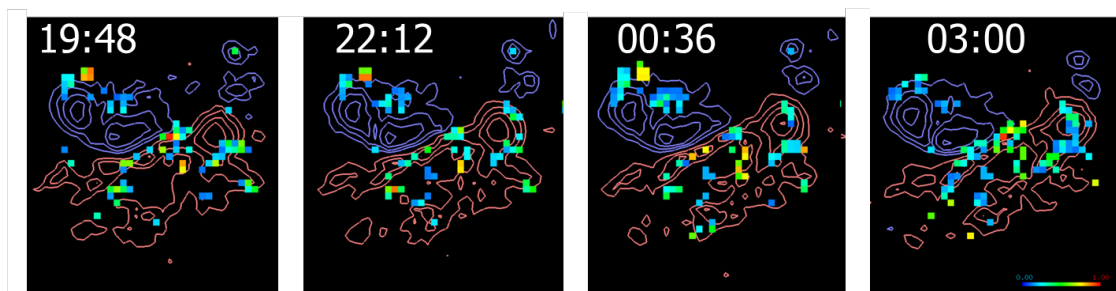


Fig.2 R 値の時間変化

公表状況 (Publications) :

(口頭)

1. 近藤光志, 太陽フレア前後の磁気リコネクション領域の時間変動, RISH 電波科学 計算機実験(KDK)シンポジウム, オンライン, 2025 年 3 月
2. 新田伸也・近藤光志, 新しい磁気リコネクションモデルの太陽 - 地球系での観測的 検証, 日本天文学会 2024 年秋季年会, 関西学院大学, 2024 年 9 月
3. 近藤光志, Temporal change of high reconnection rate environment in the solar coronal magnetic field, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2024 年秋学会, 国立極地研究所, 2024 年 11 月