

ガイド磁場印加非対称磁気リコネクションの総合的理解に向けて

新田伸也 (筑波技術大学)

利用カテゴリ 利用カテゴリ XC-B

本研究の目的は、ガイド磁場成分を持つ電流シート系での磁気リコネクションの基礎的性質を理解する事である。これによって、地球/惑星磁気圏からガンマ線バースト (GRB) に渡る幅広い空間スケール/エネルギーレンジで統一的に天体現象に適用できる自発的磁気リコネクションの磁気流体力学 (MHD) 的理論モデルを構築することを目指した。

申請者が提唱している自発的リコネクションの新モデル「自己相似時間発展モデル」は、天体現象への応用を目的として構築された。非常に広大な空間で生じるリコネクションの自発的な時間発展を記述するユニークなモデルであるが、これまではガイド磁場無しの系に限定したモデルであった。これを発展させ、ガイド磁場印加電流シート系での現象を記述出来るように拡張を行った。

本研究では、銭谷誠司氏 (神戸大) 提供の OpenMHD コード (HLLD 法) を用いた 2D MHD シミュレーションによって、ガイド磁場がリコネクションに与える影響を定量的に調べた。電流シート両側の磁場強度と熱力学量は等しく設定し、電流シート (シミュレーション座標の $z-x$ 面) を境に y -軸周りに磁場の方向を回転させて磁気シアを与える。この磁場配位での等温全圧平衡を初期条件とし、原点近傍に人工的に与えた電気抵抗を一定値に保持し続けながらリコネクション系の時間発展を追う。

特に注目したのは、電流シートを挟んだ両側での磁場同士の相対方位角 (シア角) θ と電流シート片側 ($y > 0$ の側) の磁場と x -軸との絶対方位角 ϕ の影響である。 z -軸は 2D シミュレーションの並進対称の方向であるので、必然的にリコネクションライン (X ライン) は z -軸と平行となる。 θ はシアの程度を、 ϕ は X ラインの絶対方位角を表している。ガイド磁場の存在する現実の系で、X ラインがどのような方向に形成されるかは自明ではない。これを自由度として表現するパラメータが ϕ である。X ラインの方位を示す新たなパラメータ $\phi' = \phi - \theta/2$ (非対称度) を導入する。 ϕ' は、系の電流シートを挟んだ磁場 x -成分 (または x 方向への Alfvén 速度の射影) の非対称性を表すパラメータとなっており、 $\phi' = 0^\circ$ は電流シート両側の磁場 x -成分の大きさが等しい状態 (対称) を示している。

本研究では、十分成長したリコネクション系を支配することから、時間発展の漸近的終状態として得られる自己相似位相の特徴に注目した。本報告では、エネルギー変換過程としてのリコネクションの特性を強調するために、リコネクションレイトのパラメータ依存性に限定して紹介する (図 1、図 2)。

シア角 θ は、二つのプラズマ塊が接近して形成された電流シート系の初期状態を表している。したがって、リコネクション開始以前の環境因子で決定されていると考えるべきである。図 1 から、リコネクションしうる磁場成分である x -成分の電流シート両側での差が大きい反平行配位 ($\theta = 0^\circ$) の時にリコネクションは最速であり、リコネクションを生じなくなる平行配位 ($\theta = 180^\circ$) の時にリコネクションは停止することがわかる。これは当然と言える。一方、非対称度 ϕ' はリコネクション開始後に系がどのように時間発展して X ラインを形成するかを示す自由度である。リコネクションレイト R^* が速いほど磁場エネルギーの解放と構造の変化は速く進む。図 2 から、どのシア角 θ に対しても、常に対称

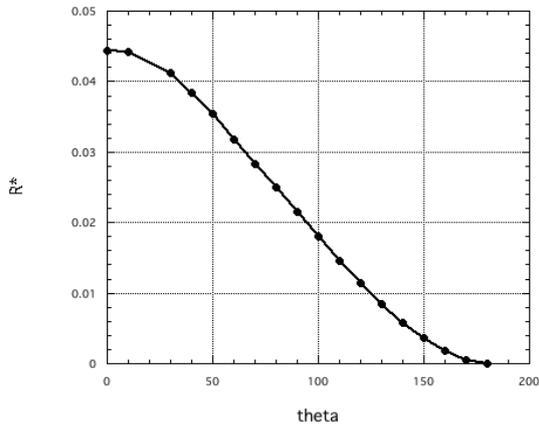


図 1: リコネクションレート R^* のシア角 θ 依存性 ($\phi' = 0^\circ$ の場合)。反平行 $\theta = 0^\circ$ の時にリコネクションは最も速く、平行 $\theta = 180^\circ$ では停止する。これは容易に予想できることであるが、途中の角度でのガイド磁場の影響は本研究で初めて明らかにされた。

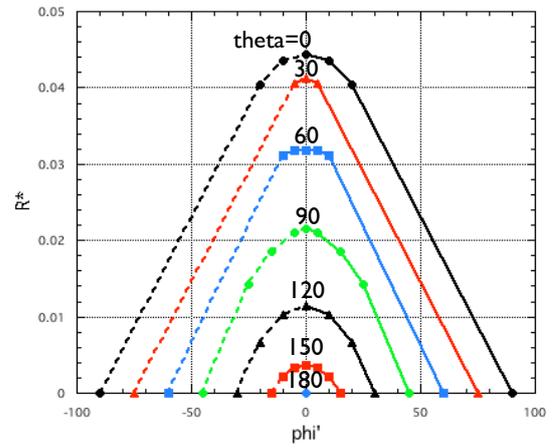


図 2: R^* の X ライン方位角 ϕ' 依存性。 $\theta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$ の各場合について、 ϕ' を変化させた。いずれの θ に対しても、対称 ($\phi' = 0^\circ$) の時にリコネクションは最も速く、非対称 ϕ' が増大するにつれて遅くなり、電流シートのどちらか片側の初期磁力線が X ラインと平行になるとリコネクションは停止する。

($\phi' = 0^\circ$) のモードが最速成長することが予想される。これは、現実の系でのリコネクションの 3D 的時間発展を理解する上での重要な知見となる。

本研究で得られた他の知見とともに論文として纏め上げ、2019.9 に論文を査読誌に投稿した。レフェリコメントを受け、現在論文改訂中である。