「磁気リコネクションの相似的発展解」

新田 伸也（総研大 / 国立天文台）、田沼俊一（名大 STE）、柴田一成（京大花山天文台）、
前沢洌（宇宙研）

磁気リコネクションは、太陽フレアや核融合炉など、プラズマが存在する系での基本的かつ普遍的なエネルギー変換機構の一つである。しかし、その基礎過程は、流体描像で議論できるマクロ的機構すら十分には解明されていない。天体現象としての磁気リコネクションの特徴は、系の発展の空間スケールのダイナミックレンジが極めて大きいことである。このような発展の初期段階においては、系の境界は遙か彼方であるので、外部境界条件に影響されない自由な発展になっているはずである。

しかし、従来の研究（理論、計算機シミュレーションとも）では、様々な制約から、有限の領域（ほとんど矩形）で外部境界条件の影響を強く受けた状況での研究がなされてきた。これでは、天体現象の研究としては、現実を反映しているとは言い難い。我々は、外部境界条件が影響しない自由な空間での磁気リコネクションの時間発展について、数値シミュレーションと解析計算の双方によって、新しい磁気流体的モデルを得ることができた。このモデルでは、系は自己相似的発展をし、その結果、自由空間での発展に特徴的な構造を形成する。

初期状態として、反平行の磁場配位で薄い電流層を挟んだ平衡状態（Harris 解）を考える。この電流層中に局所的な有限の電気抵抗が存在すると、リコネクションが起こる。電気抵抗の生じた領域（拡散領域）からは、プラズマが電流層に沿って両方向に排出されるため、希薄になり、Fast-mode Rarefaction Wave (FRW) が発生する。FRW は、拡散領域からほぼ等方的に Alfvén speed（電流層から遠く離れた領域での値）で伝播する。系の特性長を与えるのは、円柱状になった FRW の波面（FRWF）の半径と電流層の初期厚みである。時間が経って、電流層の厚みと比べて FRWF 半径が十分に大きくなると、この系の唯一の特性長は FRWF 半径となる。したがって、FRWF 半径でスケールされた自己相似的発展が可能になる。

この自己相似解の特徴は以下のようである。拡散領域近傍の構造は、速いエネルギー変換を可能にするリコネクション・モデル（Fast Reconnection）である Petschek 解と酷似している。したがって、この自己相似解も Fast Reconnection である。さらに大きなスケールでは、時間発展解に特有の構造が見られる（下記論文の図を参照）。エネルギー変換のパワーは、リコネクション開始からの時間に比例して増大する。電気抵抗の与え方（抵抗値、抵抗領域の大きさ）に対しては、非常に弱い依存しかしないため、このモデルは普遍性を持っている。また、現象面では、太陽フレアで観測される Dimming と呼ばれる現象を説明できる特徴を持つ。

このモデルは、従来議論されて来たいくつかの定常モデルを含めて、磁気リコネクションを包括的に議論するために有効であると考えている。

参考文献

Nitta,S.,Tanuma,S.,Shibata,K. & Maezawa,K., to appear in ApJ, 550 (Mar. 2001)