

磁気流体シミュレーションによる乱流磁気リコネクションの研究

Study of the turbulent reconnection by MHD simulations

横山 央明[1]

Takaaki Yokoyama[1]

[1] 国立天文台・電波

[1] Dept. Radio Astron, NAO

<http://solar.nro.nao.ac.jp/user/yokoyama/>

磁気リコネクションは、太陽フレアのエネルギー解放物理機構として観測的な証拠が多数みつがってきている。しかしいっぽう、その理論的な詳細については完成されたとはいえない。太陽コロナのような磁気 Reynolds 数が大きな ($1e13$ 程度) 環境において、速い磁気リコネクションが実現できるのかどうか、という基本的な問題がまだ解決していないからである。

速いリコネクションのモデル解は Petschek (1964) により提案された。そのモデルは厳密解ではなく、また解析的に厳密解を求めるのも困難であったため、数値シミュレーションによりその実現条件が探られてきた。その結果わかってきたことは、磁力線がつながりかわるための磁気拡散領域が空間的に局在していれば Petschek 解が実現できるというものであった。しかし実際のところは、これだけでは太陽フレアへと適用するには十分とはいえない。Petschek 解では、拡散領域とフレア全体のサイズとの比は磁気 Reynolds 数ぐらいいなければならない、後者が典型的には 10000 km ぐらいであるので値を正直に代入すると、拡散領域が $1\mu\text{m}$ などという極端な大きさになってしまう。実際は、コロナのイオンジャイロ半径が数メートル程度で拡散領域もこれ以下になるとは考えにくい。それでも、数メートルしかない拡散領域が 10000 km もあるフレアを制御しているとはとても信じられない。

そこで提案されたのが「乱流磁気リコネクション」のアイデア (Tajima & Shibata 1997) である。この提案では、フレア全体 (10000 km) とミクロスケール (数メートル) との中間で磁気乱流のスケールを考える。フレアの磁気中性点付近には数 km 程度の大局的な電流シートがあるとする。この電流シートは中に、無数の磁気アイランドを含んでおりその間に多数の小さな電流シートをもっている。この小さな電流シートのスケールは、ベキ乗分布にしたがっており、したがってフラクタル的なふるまいを示す。もっとも小さなスケールでは数メートルのミクロスケールまで小さくなっている。個々の電流シートはサイズが小さいので磁気リコネクションが「速く」おこり、その結果全体として大局的な電流シートでもみかけ上「速く」リコネクションが起こると考えられる。

このアイデアの実現性について調べるのが本研究の目的である。磁気リコネクションが、乱流的な擾乱によってどのような影響を受けるのかを、磁気流体シミュレーションによって調べている。反平行磁場にはさまれた孤立した電流シートを初期に設定し、その中に磁気拡散を与えることでリコネクションを誘発する。これにさらに加えて、乱数的な速度擾乱 (乱流擾乱) を全領域にさらに与える。興味の焦点は、リコネクション率の値が大きくなるかどうか、である。現在までの予備的な結果によると、乱流擾乱をあたえたケースでは、振動的なふるまいを示すようにはなるが、エネルギー解放率は非擾乱ケースに比べて大きくは違わなかった。