

星間磁場の磁気リコネクションによる高温ガス生成の 2 次元・3 次元電磁流体シミュレーション

京都大学大学院 理学研究科 附属天文台 研究機関研究員

田沼俊一 (hst24b); tanuma@kwasan.kyoto-u.ac.jp

得られた研究成果

「磁気リコネクション」とは、磁力線がつながり変わることによって磁気エネルギーが短時間で熱に変わる現象である。磁気リコネクションは太陽フレアの原因であることが、X線衛星「ようこう」の観測によって分かっている。

我々はこれまで、磁気リコネクションが星間空間でどのように起こるのか、そして星間ガスがどのように加熱されるのか、などについて調べて来た（田沼他 1999,2001）。具体的には、初期条件として、平行な一様磁場とそれに反平行の一様磁場を置き、一様温度・MHD 圧力平衡のガスで満たされた計算領域を設定し、電流シート付近で超新星爆発を起こして電流シートがどのように磁気リコネクションを起こすのか調べた。この計算は、この種のものとしては、世界で最も高い分解能と広い計算領域を設定している。その結果、数値的電気抵抗（数値誤差が電気抵抗のように働くこと）を排除することができ、リコネクションそのものの素過程の時間発展を詳細に追うことができた。

計算の結果、以下のことが分かった。超新星爆発によって互いに反平行の磁場どうしが押しつけられる（ 6×10^4 年）が、すぐにはリコネクションはおこらない。そして爆発のショック波通過後しばらく経った後（ 6×10^6 年）に、以下の順に磁気リコネクションを起こす：テアリング不安定→電流シート thinning →スィート (1958)-パーカー (1963) 型の穏やかなリコネクション→スィート-パーカー型の薄い電流シート中における再度のテアリング不安定→ペチェック型 (1964) の激しいリコネクション。そして、磁気アイランド（プラズモイド）の内部や電流シート付近で強いX線を放射する。また、温度は $nkT \sim B_{\text{local}}^2/8\pi$ 、磁気エネルギー解放率は $|dE_{\text{mag}}/dt| \propto (B_{\text{local}}^2/8\pi)v_A$ と超新星爆発のエネルギーにはほとんど依存せず、最初に仮定した磁場の強さによって決まる。これらの結果から、 $B_{\text{local}} \sim 30 \mu\text{G}$ に局在した磁場が磁気リコネクションを起こすと高温プラズマ (7keV) を生成できることが分かる。加熱されたガスは、繰り返し発生する磁気アイランドが磁場によって長期間閉じ込められるはずである。

今年度は、同様の計算を 3 次元でも行なった。その結果、リコネクションジェットが、リコネクションによって既に作られている磁気ループや高圧ガスとの衝突で減速されると、レイリーテイラー的な不安定性が発生することが分かった。そこでは、ヘリカル磁場や乱流磁場が作られるので、高エネルギー粒子や高温ガスが長期間に渡って閉じ込められるはずである。我々は、この結果を星間空間での宇宙線、あるいは太陽フレア（特にインパルスフレア）での高エネルギー粒子の振る舞いに応用しようとしている。