

反平行磁場の流入を伴った相対論的無衝突衝撃波による粒子加速

Particle acceleration by a relativistic collisionless shock with alternating magnetic field inflow

永田 健太郎 [1]; 星野 真弘 [2]

Kentaro Nagata[1]; Masahiro Hoshino[2]

[1] 阪大・理・物理; [2] 東大・理・地球物理

[1] Physics Sci, Osaka Univ; [2] Earth and Planetary Sci., Univ of Tokyo

パルサー星雲は中心にあるパルサーからエネルギーを供給されて輝いている星雲であるが、その詳細はまだ未解明な部分が多い。

パルサー（中性子星）は半径約 10km でほとんどが中性子でできた星であり、その表面は 10¹²G の超強磁場である。また数十 ms の周期で回転しているため、中性子星から伸びる磁力線の一部は相対論的な影響を受けて星と共回転できずに、スパイラル状に外部へ広がる。一方磁気圏では曲率放射によるガンマ線のため電子陽電子対生成が盛んに起こり、この電子陽電子プラズマが磁力線に沿って外部へ流出する。この磁化した電子陽電子プラズマはパルサー風と呼ばれ、星雲がシンクロトロン放射によって輝くためのエネルギー源になっている。

かに星雲は数あるパルサー星雲の中でも比較的距離が近い（約 2kpc）ことから、近年多波長にわたり非常に観測が進んでおり、細かな構造やスペクトルについてもわかってきている。Chandra の X 線画像からは二重のリング構造が見えており、このうち中心から約 0.1pc にある内側のリングは、パルサー風と超新星残骸との相互作用によって発生した無衝突衝撃波と考えられている。

C.F.Kennel and F.V.Coroniti(1984) は球対称 1 次元の MHD モデル（KC モデル）を作り、かに星雲の衝撃波面上流の磁場のエネルギーフラックスとパルクの運動エネルギーフラックスの比（パラメータ）は 3×10^{-3} 程度であり、パルサー近傍では磁場のエネルギー優勢にもかかわらず、衝撃波付近では運動エネルギー優勢となっていることを示唆した。さらに衝撃波上流（パルサー風）のパルクの運動エネルギーはローレンツ因子に換算して 3×10^6 程度と見積もられ、超相対論的であるとされた。

かに星雲のシンクロトロン放射によるスペクトルは非熱的な冪形であることが観測されており、このような粒子のエネルギー分布をもたらす何らかの粒子加速が起こっている必要がある。ところが先のようにトロイダル方向を向いた磁場がさらに相対論的に加速されると、流れの方向に対して垂直成分がブーストされるため、衝撃波面と磁場の方向が平行になる。このような場合には粒子加速の標準的な理論とされる Fermi 加速は有効に働かない。

この問題を解決するためのメカニズムのひとつとして衝撃波面での直接加速が研究されている。これに関しては粒子シミュレーションを用いた研究により、電子陽電子プラズマ中において β が 1/100 よりも小さい場合に加速が起こることが確認されている (M.Hoshino 2001)。このときの上流の磁場は一定である。先の KC モデルについても磁場は構造を持たないとしている。ところがパルサー風には中性子星の磁極の歳差運動により、赤道面付近において磁場の反転があると考えられる。

そこで本研究では相対論的 1 次元粒子シミュレーションを用いて、上流からの Harris 解を満たす反平行磁場（カレントシート）の流入を考慮した粒子の加速を調べた。その結果、あるパラメータ範囲において反平行磁場が流入しないときに比べ、より強い加速が見られた。本大会ではそのシミュレーション結果をもとに、反平行磁場と衝撃波の相互作用による粒子加速のメカニズムについて発表する。