

プラズマ衝撃波による沿磁力線加速 Field aligned accelerations by plasma shock waves

竹内 智^{1*}

Satoshi Takeuchi^{1*}

¹ 山梨大学

¹University of Yamanashi

超新星残骸の衝撃波面に沿って高エネルギー粒子の分布が観測されている。ここでは、この高エネルギー粒子加速の現象を説明するために、星間磁場中を伝播する衝撃波の磁場に沿った粒子加速のモデルを提案する。相対論的な運動方程式の理論的解析から、最高エネルギー利得の公式が導き出された。テスト粒子によって獲得されるエネルギー利得は、衝撃波速度や衝撃波磁場と星間磁場の交差角度、星間磁場の強さ、加速時間の積によって与えられることが示された。

超新星残骸の強い衝撃波は、宇宙線の高エネルギー加速器の候補として注目されている。粒子加速の機構としては、2つのタイプの拡散型衝撃波 (Diffusive Shock Acceleration: DSA) によって説明される。1つは星間磁場の方向が衝撃波面の法線に垂直となる垂直衝撃波であり、もう1つは星間磁場の方向が衝撃波面の法線に平行となる平行衝撃波である。ここで提案する衝撃波のモデルは、星間磁場の方向が衝撃波面の法線に垂直であり、かつ衝撃波の磁場の方向にも垂直となる衝撃波である。

一様で定常な星間磁場中を伝播するプラズマ衝撃波を考える。衝撃波の磁場は星間磁場と平行であり、衝撃波の電場は星間磁場と垂直の方向となるような電磁場配置を考える。実験室系では、衝撃波の磁場の方向に電場は存在しないので、沿磁力線加速を予測することは困難である。そこで、衝撃波の座標系に乗ってテスト粒子が感じる電場と磁場について考える。波の座標系では、衝撃波の電場は消失する。一方、星間磁場は移動するため電場が発生するが、電場の方向は衝撃波の磁場と同じ方向となる。したがって、衝撃波面の近傍に存在するテスト粒子は、沿磁力線方向の電場によって加速されることになる。

テスト粒子が獲得するエネルギー利得は、星間磁場と衝撃波の磁場が交差する角度に依存することが導き出された。角度が90度よりも小さいと利得は小さくなる。ところが角度が90度よりも大きくなると、衝撃波の磁場と逆方向の磁場成分ができるため、衝撃波の前面に磁気中性面が形成されることが分かった。磁気中性面に捕捉されたテスト粒子は捕捉から逃れることができない [1]。その上、磁気中性面の近傍では磁場の方向に電場が存在するため、際限なく加速が継続されることが示された。

超新星残骸の衝撃波面では幅の狭いフィラメントがいくつか観測されている [2]。これは衝撃波の磁場に巻きついていく荷電粒子である可能性が高い。また、加速時間が短い高エネルギー現象も観測されている [3]。これらの現象は、ここで提案した沿磁力線加速の機構で説明が可能である。したがって、沿磁力線加速は超新星残骸の有望な加速機構の一つとして考えることができる。

[1]S.Takeuchi: Phys.Plasmas, Vol.12, 102901 1-6 (2005).

[2]A.Bamba et al.: Astrophys. J. Vol.589, 827 (2003).

[3]Y.Uchiyama et al.: Nature, Vol.449, 576-578 (2007).

キーワード: プラズマ衝撃波, 沿磁力線加速, 超新星残骸

Keywords: plasma shock wave, field aligned acceleration, supernova remnant