

## 非ガウスの粒子拡散による宇宙線の衝撃波統計加速

# 羽田 亨 [1]  
[1] 九大総理工

## Diffusive shock acceleration of cosmic rays with non-Gaussian transport

# Tohru Hada[1]  
[1] ESST, Kyushu Univ

The diffusive shock acceleration (DSA) is recognized as the most likely acceleration process to produce the observed power law spectrum of cosmic rays. One of the key elements of the DSA is the scattering of the cosmic rays by MHD turbulence, which is believed to exist both shock upstream and downstream. As the cosmic rays are repeatedly scattered by the MHD turbulence, they travel back and forth across the shock and energized by effectively compressed by the convergent background plasma flow. While the majority of past studies on the DSA adopt quasi-linear type model for the cosmic ray spatial diffusion, actual transport of the cosmic rays in a plasma with MHD turbulence can be qualitatively different. In the quasi-perpendicular shock geometry, the cosmic ray diffusion may be sub-diffusive as the particles are trapped by the guiding field. In contrast, parallel diffusion of the cosmic rays may be considered super-diffusive when a time scale considered is less than the mixing (reflection) time scale. In the presentation, we report results of our recent test particle simulations of the DSA in which the scattering of particles is specified according to non-Gaussian statistics (Kirk et al., 1996). Cosmic ray spectrum index as well as spatial profile of the cosmic ray intensity are evaluated and discussed for both sub-diffusive and super-diffusive cases. Applications to observations will be discussed.

宇宙天体プラズマ中にはMHD乱流が存在し、数多くの物理過程において重要な役割を果たしている。特に衝撃波における宇宙線の統計加速過程（以下、DSA過程）では、宇宙線の散乱体として衝撃波上流および下流域のMHD乱流の存在は本質的である。これらMHD乱流による宇宙線拡散を古典的拡散過程と捉え、これを衝撃波前後の流体圧縮と組み合わせた移流拡散モデルを考えると、この解は実際に観測される宇宙線スペクトルをある程度定量的に説明するものであり、広く受け入れられている。

一方、MHD乱流による粒子拡散は、乱流の電磁場を介した波動粒子相互作用によるものであり、一般に古典的拡散であるとは限らない。例えば、磁力線垂直方向の空間拡散は、比較的短時間スケールでは不均一ラーマ運動による磁力線乗り換えによる拡散、長時間スケールでは磁力線自身の3次元のもつれによる拡散が支配的であり、後者は古典的拡散であるが、前者はいわゆる準拡散、つまり磁力線による粒子補足のために古典拡散よりも遅い過程となる。

本講演では、このように宇宙線拡散が非ガウスの（非古典的）である場合のDSA過程を数値的に解析した結果を報告する。準拡散の場合には、宇宙線は十分に加速されないまま下流域に運ばれるため、宇宙線のエネルギースペクトルは標準的なDSAモデルよりもソフトなものになることが期待される（Kirk et al, 1996）。一方、沿磁力線拡散ではMHD乱流に多く存在する間欠性のために超拡散となる時間スケールが存在する。この場合、下流域に流されるまでに宇宙線が多く衝撃波を横切ることができるため、標準的なモデルに比べてハードなスペクトルが実現し得る。準拡散・超拡散それぞれの場合に対し、宇宙線の散乱確率モデルを与え、これに基づいたテスト粒子計算により宇宙線スペクトルの時間発展を評価した。準拡散、超拡散の場合、それぞれ宇宙線フラックスのスペクトルは標準モデルに比べてソフト、ハードとなり、また衝撃波近傍での宇宙線密度は標準モデルに比べて減少、増大する。非ブラウン的粒子軌道（レビ歩行）に基づく理論モデルにより計算結果を解釈し、さらに実験データとの関わりについて言及する。