

非ガウス統計にしたがう宇宙線の輸送

原田 大輔 [1]; 羽田 亨 [2]
[1] 九大・総理工・大海; [2] 九大総理工

Transport of cosmic rays with non-Gaussian transport

Daisuke Harada[1]; Tohru Hada[2]
[1] ESST, Kyushu Univ.; [2] ESST, Kyushu Univ

Diffusion of cosmic rays (energetic charged particles) have been discussed mainly using quasi-linear theories, which assumes presence of small amplitude, phase random magnetic fluctuations as scatterers. However, the magnetic fluctuations in space often have large amplitude (nonlinear), and are also often intermittent. Thus the diffusion of the cosmic rays may differ from normal, Gaussian diffusion, in which individual particles obey Brownian-type motion.

We analyzed anomalous diffusion of cosmic rays by performing test particle simulations and also by numerically solving the fractal diffusion equation. In the test particle simulation, we adopt the walk-stick model (Weeks et al., 1996), in which the walk and the stick time intervals are given by Levy distribution. The fractal diffusion equation is solved as an initial value problem (Podlubny, 1999; Shimamoto, 2012).

Perri and Zimbardo (2008) analyzed energetic particle flux observed by Ulysses, and suggested the presence of non-Gaussian scattering in the solar wind. However, the flux data they used in the analysis have large fluctuations, and thus statistical significance of their conclusions must be carefully examined. We numerically produce the cosmic ray flux using the model described above, and evaluate associated power-law index and its statistical error, for the cases of normal and non-Gaussian transport. Also, we analyze a model in which cosmic rays travel several distinct regions with different scattering properties.

これまで多くの場合、宇宙線の拡散過程はブラウン運動に代表される通常拡散と準線形理論で説明されてきた。準線形理論において、磁場揺らぎを構成する MHD 波動は平均場よりも十分小振幅であり、位相はランダムであると仮定されている。しかし宇宙プラズマ中の MHD 波動や磁場揺らぎ構造はしばしば大振幅、したがって非線形であり、その分布は間欠的である。したがって宇宙線の拡散は必ずしも通常拡散ではなく、異常拡散となっている可能性が指摘されている。

本研究では宇宙線の異常拡散について、テスト粒子計算およびフラクタル拡散方程式の数値解によって解析を行った。テスト粒子計算としては、歩行・停滞モデル (Weeks et al., 1996) を用い、歩行準拡散に対応する粒子運動を生成した。フラクタル拡散方程式 (非整数階偏微分方程式) は初期条件として原点に宇宙線が集中している場合の時間発展を初期値問題として解いた (Podlubny, 1999; 島本, 2012)。

太陽観測衛星である Ulysses の観測データに基づき、Perri and Zimbardo (2008) は宇宙線フラックスを時間のべき乗分布としてあらわし、そのべき乗指数の値より散乱が非ガウスのであると結論した。しかし、彼等の用いたデータにはかなり大きなフラクチュエーションが伴っており、結果の統計的有意性は慎重に検討する必要がある。先述の拡散モデルを用いて通常拡散と異常拡散の場合についてフラックスの時間変化を計算し、これをべき乗として記述した場合の結果の有意性を、観測点に到達する粒子数への依存性に注目しつつ議論した。また、散乱体の統計的性質が異なる領域が複数隣接する場合の統計についても解析を行った。