

Sedov 期における超新星残骸衝撃波での宇宙線の加速

阿部 愛 [1]; 星野 真弘 [1]; 天野 孝伸 [1]
[1] 東大・理

Acceleration of the cosmic rays at SNR shocks in the Sedov phase

Megumi Abe[1]; Masahiro Hoshino[1]; Takanobu Amano[1]
[1] University of Tokyo

Galactic cosmic rays (CRs) are believed to be produced at supernova remnant (SNR) shocks and the maximum energy reaches up to $10^{15.5}$ eV. The most plausible mechanism for the particle acceleration at the shock front is known as the Diffusive Shock Acceleration (DSA) process, in which the particles gain energy by bouncing back and forth across the collisionless shock front. According to DSA, the energy spectrum of CRs may be written by a power law with its index solely determined by the shock compression ratio. In the limit of a strong shock such as those of SNRs, the compression ratio approaches to the constant value, predicting a universal power-law index 2 as the CR source spectrum. Since the difference from the observed power-law index 2.7 of the galactic CRs may be attributed to propagation effect of CRs, DSA has been widely accepted as the standard theory of CR acceleration.

In this study, by adopting the Sedov solution as a more realistic model for evolving shocks with finite size, we investigate the energy spectrum of CRs accelerated by DSA. In a previous study, the power-law index of the energy spectrum is investigated with Monte Carlo simulations by changing the mean free path from 2×10^{17} cm to 10^{18} cm. The index was predicted to be 3.4 that is much softer than the observation (Takahara 1986). In order to bridge the gap between observations and theory, we incorporate phenomenologically several other effects in the diffusion coefficient in our model: the energy dependence of the diffusion coefficient, the increase in the gas compression due to back reaction from CRs, and the magnetic field amplification. During the Sedov expansion, the size of the shock wave becomes large, while the shock speed is decelerated. Then the acceleration efficiency may become worse. However, if the effects of the nonlinear shock and the magnetic field amplification are taken into account, the effective diffusion coefficient may decrease. As a result, the overall acceleration efficiency may be enhanced. The primary purpose of this study is to discuss quantitatively whether we can explain the observed CRs spectrum by the SNR shock scenario with the above phenomenological model.

銀河宇宙線は超新星爆発の際に発生する衝撃波で加速され、最大で $10^{15.5}$ eV まで加速されると考えられている。その加速機構としては、無衝突衝撃波面を何度も往復することでエネルギーを得る Diffusive Shock Acceleration (DSA) 機構が最も有力視されている。DSA 機構では宇宙線のエネルギースペクトルが冪型分布で表され、その冪指数が衝撃波の圧縮比にのみ依存する。超新星残骸衝撃波のような強い衝撃波の極限では圧縮比が一定値となるため、対応するエネルギースペクトルの冪指数は 2 に漸近する。一方、観測される銀河宇宙線のべき指数は 2.7 程度であるが、この観測と理論の差は、宇宙線の伝播効果によると考えられる。よって DSA は宇宙線の基本的加速メカニズムとして最も有力であるため、加速の標準理論となっている。

本研究ではより現実的な衝撃波として Sedov 解を採用し、衝撃波パラメータの時間変化や加速領域の有限性を考慮したモデルで、DSA によって加速された宇宙線のスペクトル調べる。先行研究では、モンテカルロ法を用いて、平均自由行程を 2×10^{17} cm から 10^{18} cm まで変えて調べられているが、得られたエネルギースペクトルは、観測とは程遠い冪指数 3.4 程度のソフトなものであった (Takahara 1986)。そこで本研究では、磁場増幅効果に伴う拡散係数の変化およびエネルギー依存性、宇宙線加速の非線形効果による圧縮率の増大などを組み込んだ現象論的なモデルで宇宙線の加速効率を考察する。Sedov 期の衝撃波では、年齢とともに加速領域のサイズは大きくなるが、衝撃波速度が下がり、断熱膨張の効果のため加速効率が悪くなると考えられる。その一方で現象論的に取り入れた圧縮率増大の効果や磁場増幅による拡散係数の減少は加速効率を上げると予想される。本発表では、このような現象論的モデルを採用し、観測される宇宙線スペクトルが超新星残骸衝撃波で説明できるかどうか定量的に評価する。