

ガンマ線天体と粒子加速

東京大学宇宙線研究所 森 正樹

宇宙線の超新星起源説は、1950年代に早川・伊藤・寺島や Ginzburg によって主にエネルギー収支の観点から提案され、超新星爆発時の衝撃波における Fermi 加速から加速粒子にべき乗エネルギー Spektrum が期待されることから、ずっと有力な説とされてきたが、荷電宇宙線は銀河磁場で偏向されて起源天体方向の情報を失ってしまうため、観測的な直接証拠は乏しかった。

加速理論の立場からは加速される粒子の最大エネルギー、粒子の加速効率、磁場の大きさ、拡散係数（磁場の乱れ）、電子・陽子の数比が観測から決められるべきパラメータとして挙げられる。陽子のラーマー半径 $r = 1 \text{ pc} (E/10^3 \text{ TeV})(B/1 \mu\text{G})^{-1}$ と超新星残骸のサイズ 10-100 pc からは、加速される粒子の最大エネルギーはいわゆる宇宙線の「knee」エネルギー ($\sim a \text{ few} \times 10^{15} \text{ eV}$) を超えないと考えられるが、そのことが knee の成因とも関連しているのかもしれない。最近 Berezhko らによって展開されている非線形加速理論と観測結果の比較の議論を講演で紹介した。

加速された陽子・原子核からは核相互作用で発生する π^0 粒子の崩壊によって、また電子からは制動放射や周囲の光子との逆コンプトン散乱によってガンマ線が発生する。CGRO 衛星の EGRET 検出器による GeV 領域の観測から数個の超新星残骸との同定が報告されているが、角度分解能の不足などから決定的な証拠にはならなかった。解像型大気チェレンコフ望遠鏡の急速な発達により、TeV 領域ガンマ線の観測が可能になって、数個の超新星残骸の検出が報告され、この状況は大きく改善されつつある。高エネルギー電子からは電波から X 線にかけてシンクロトロン放射が期待されるため、電波から TeV ガンマ線にいたる広い波長範囲にわたってエネルギー Spektrum を測定することにより、加速されている粒子の識別が可能になることが期待される。

EGRET で同定された GeV ガンマ線天体の多くはブレイザータイプの活動銀河核である。TeV 領域ガンマ線は銀河間赤外線により吸収を受けるため、 $z \sim 0.1$ 以遠の活動銀河核の観測は困難と考えられるが、Mrk421 など近いものからはフレア的な大きく時間変動するガンマ線信号が観測されている。しかし、銀河間赤外線量の観測は不定性が大きく、吸収を補正して活動銀河核で放出されているガンマ線本来の Spektrum を推定するのは困難な状況で、加速されている粒子の推定まで至っていない。ただし、シンクロトロン放射領域と TeV 領域の Spektrum の時間変動の相関からは、TeV 領域は逆コンプトン放射、したがって加速されているのは電子であることが示唆されている。

他のガンマ線天体には、かに星雲などパルサー星雲、銀河中心があり、最近では未同定天体もいくつか報告されている。各地で展開する第三世代と呼ばれるチェレンコフ望遠鏡群 (CANGAROO-III, H.E.S.S., MAGIC, VERITAS) による観測の進展とともに、これらの天体の広域 Spektrum や空間構造が明らかにされ、粒子加速機構の解明の進展していくことに期待したい。