

超高エネルギー宇宙線の起源は？

この宇宙は静かな環境ではまったくなく、粒子加速のような激しい現象が当たり前のように起こっており、極めて高いエネルギーの粒子も広く存在している。とくに 10^9 電子ボルト (eV) をこえる相対論的な粒子は、宇宙線と総称される。宇宙の環境は粒子の密度が低く、エネルギーのやり取りをして熱的に緩和するには極めて長い時間がかかるため、これらは必然的に非熱的なエネルギー分布をもつ。

宇宙線のエネルギー範囲はじつに10桁以上におよび、 10^{20} eV (16 ジュール！) をこえるものの報告例すらある。これは現在の人工の加速器でつくり出せるエネルギーの約1,000万倍であり、宇宙における最も激烈な現象と関連していると考えられる。 10^{15} eV くらいまでの宇宙線は、超新星(大質量の星がその一生の最後に起こす爆発)の残骸で加速されているという説が有力である。実際いくつかの超新星残骸からは高エネルギーのガンマ線放射が観測されており、これらは超新星残骸で加速された宇宙線と周辺の物質、または宇宙電子と光子場との相互作用の結果生成されたと考えられており、この説を間接的に支持するものである。

しかしそれ以上のエネルギーへの加速は宇宙環境でも困難であり、そのような超高エネルギー宇宙線の起源は、理

論的にも観測的にも謎のままである。粒子を加速するには、ある領域に閉じ込めたうえで少しずつエネルギーを与えていく必要がある。大きな領域に強い磁場を備えた環境が必要条件であるが、我々の銀河系にはそれが可能な天体は見つかっていない。おそらく銀河系外の、活動的銀河核として知られる極めて活発な天体などが有力視されているが、観測例が多くないこともあり同定にはいたっていない。なお、このように低いエネルギーの粒子を高いエネルギーへと加速させるという考え方は、宇宙線起源の「ボトムアップ」モデルと総称される。他方、極めて大きな質量の未知の素粒子や暗黒物質が崩壊して超高エネルギー宇宙線として観測されるとする「トップダウン」モデルも議論されてきたが、最近の研究からは否定的である。

エネルギー 10^{20} eV の宇宙線の到来頻度は 100 km^2 あたり1年に1個程度と極めて小さく、観測には大きな検出面積と長い観測時間が必要である。 $1,000 \text{ km}^2$ 級の大きな有効検出面積をもった国際共同観測が推進されており、ニュートリノや重力波とともに、電磁波以外の観測手段による新たな宇宙現象の探索がはじまろうとしている。

誌編集委員会