

## 実験室で超新星爆発をシミュレート？

ボース・アインシュタイン凝縮（以下BE凝縮）は、レーザー、超伝導、超流動を引き起こす基本メカニズムであり、ボース統計に従う多数の粒子が1つの量子状態をとる現象である。原子気体のBE凝縮体は、原子を絶対零度付近まで冷却できるレーザー冷却技術の発展によって、1995年にルビジウム原子 ( $^{87}\text{Rb}$ ) 気体で実現された。現在では10種以上の元素でBE凝縮体が生成されている。

その特徴は、光や磁場などを用いて、原子の内部状態や原子間相互作用の強さ、運動状態を容易に操作できることにある。BE凝縮体は、観測や実現が難しかったり、非常に複雑だったりする物理現象や状態を純粋に発現できる、単純で制御しやすい量子系である。つまり、理想的な量子(物理)シミュレータといえる。

BE凝縮体の量子シミュレータとしての活用例の1つが、重力崩壊型超新星爆発と類似した爆縮現象の実験研究である。重い恒星では、核融合反応が進み自重に耐えられなくなると重力崩壊を起こし、その反動による衝撃波で星を構成している物質が吹き飛ばされると考えられている。これと類似の内力による爆縮現象を引き起こすことは簡単ではない。BE凝縮体では磁場によって、原子間相互作用を斥

力から引力に急激に変えることができる。引力相互作用するBE凝縮体は重力崩壊のごとく収縮し、不確定性原理による運動量の増大により爆発する。現実の超新星爆発と同様、多数の原子が飛散したあとに、中性子星に対応する小さなBE凝縮体が残る現象も観測されている。恒星とBE凝縮体の爆縮は物理過程が異なるが、今後の研究の進展により、爆縮過程の普遍性が見出されるかもしれない。

ほかにも、ディラックが予言した磁気単極子に相当する磁場分布状態の実現や、宇宙マイクロ波背景放射のゆらぎのシミュレーションなど、多数の実験が行われている。また、ホーキングが提唱したブラックホールの蒸発や、真空中で加速度運動する観測者が黒体放射を観測するとされるウンラー効果を検証できる可能性が理論的に提案されている。

一方、極低温原子系としては、イオン原子や、半整数スピンをもつ原子集団のフェルミ縮退系がある。これらも優れた量子シミュレータであり、物性物理や素粒子物理、宇宙論、宇宙物理、そして量子情報など、多方面への展開が期待できる。