

数値相対論で探る γ 線バースト中心動力源

関口雄一郎 (京都大学基礎物理学研究所)

利用カテゴリ XT4A・SX9A

ガンマ線バーストの中心動力源の有力な候補天体として、ブラックホールとそれを取り巻く降着円盤からなる系がある。しかし、理論的研究によりそのような系の形成過程を明らかにした研究は存在しない。本研究では、数値相対論シミュレーションを行い、大質量星の重力崩壊によってブラックホールと降着円盤からなる系が形成される過程をはじめ明らかにした (Sekiguchi 2010c; Sekiguchi & Shibata 2011, ApJ, to be published)。

申請課題を達成するのに必要なシミュレーションコードとして、重力場の方程式としてアインシュタイン方程式を解き、物質場の方程式として一般相対論的流体力学方程式、ニュートリノ場の運動方程式、及びレプトン数の保存則を解くコードを世界で初めて作成した (Sekiguchi 2010a, 2010b)。微視的物理過程として、有限温度の核物質状態方程式、電子陽電子捕獲反応、電子陽電子対消滅反応、プラズモン崩壊、ニュートリノ制動放射を組み込んでいる。ブラックホール形成前の高温状態からのニュートリノ放射を正しく取り扱うために、ニュートリノの散乱断面積は高次補正項をすべて考慮した場合の近似公式を開発して適用した。

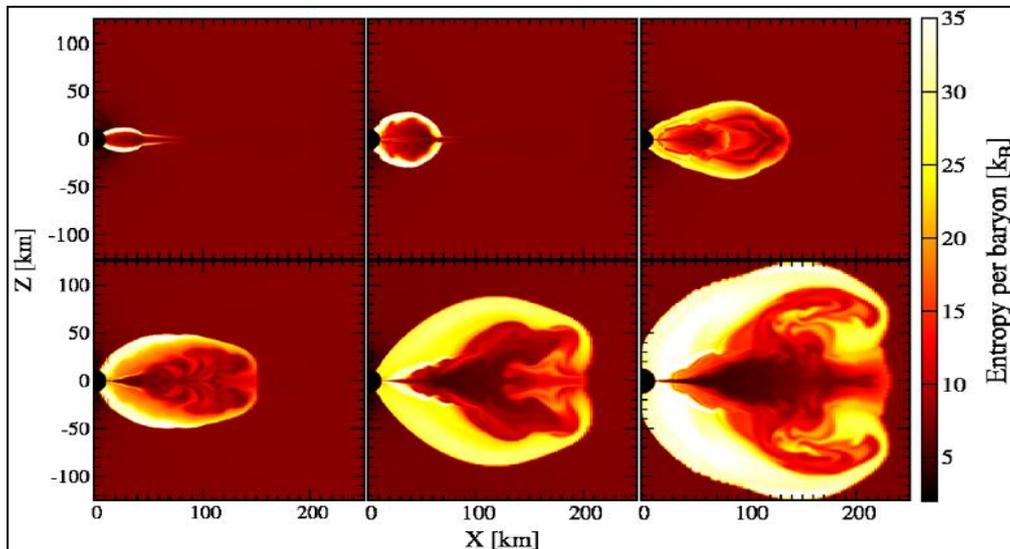


図1：エントロピー分布の時間スナップショット。ブラックホール（原点の黒い半円）周りの降着円盤で衝撃波が形成され、対流が励起されている様子が分かる。

近年の理論研究が、「ガンマ線バーストを起こしうる大質量星の中心核は通常の超新星爆発を起こす恒星の中心核に比べて高いエントロピーを持つ可能性がある」ことを示唆する点に着眼し、高速回転する高エントロピーの中心核がブラックホールとディスクへと重力崩壊する過程のシミュレーションを行った。その結果、高速回転するブラックホールの周りに降着円盤が掲載される過程を明らかにすることに成功した。特に、ブラックホール形成直後のディスクは、従来考えられていたような定常的なものではなく、ディスク表面で衝撃波が発生し、またディスクの内部では激しい対流運動が励起される、極めて動的なものであることが初めて明らかになった（図1）。

ブラックホールが高速回転していること、および衝撃波による加熱のために、重力エネルギーの熱エネルギーへの転換効率は高くなり、放射されるニュートリノの光度は従来考えられていたものよりも高くなり、対流によってニュートリノ光度や質量降着率は激しく時間変動することが分かった（図2）。これらの特徴は、ガンマ線バーストの生成にとって好都合である。ニュートリノの対消滅によるエネルギー生成率は、ガンマ線バーストの観測結果を十分に説明できる。

これらの結果は、現在に比べて大質量で高いエントロピーを持つ星が多かった可能性がある太古の宇宙において、現在よりも活発にガンマ線バーストが起こっていた可能性を示唆する。

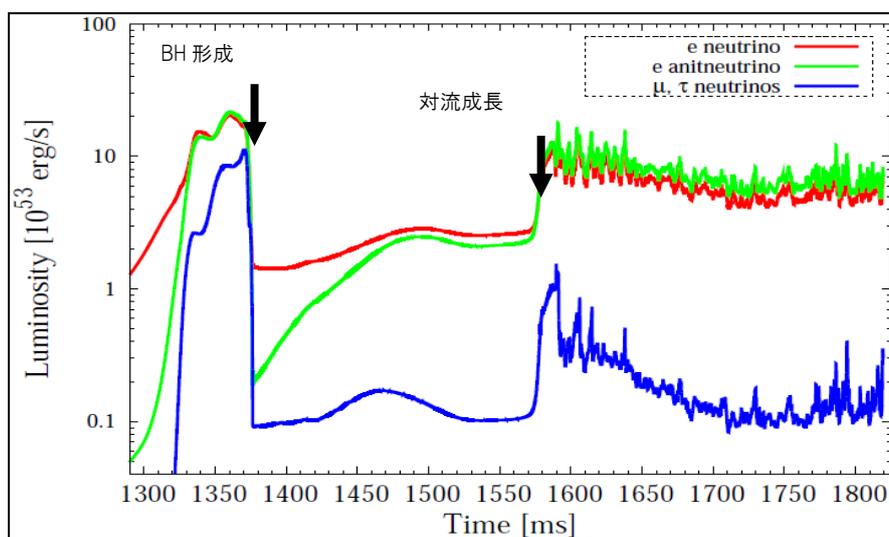


図2：ニュートリノ光度の時間進化。対流の発展に伴い、光度は激しい時間変動を示す。