

# ブラックホール・中性子星連星からの重力波とスピンによる 影響

京都大学基礎物理学研究所 D3 久徳浩太郎

ブラックホール・中性子星連星は、今後の宇宙物理学において重要な位置を占めるようになると期待される天体である。アメリカの LIGO や EU の VIRGO に加え、日本でも TAMA300 の後を継ぐ次世代重力波検出器 LCGT の建造が進んでおり、実際の重力波の検出は今後 10 年の間になされるだろうと期待されている。ブラックホールや中性子星からなるコンパクトオブジェクト連星は、重力波を放射しながらその距離を縮めて合体すると予想されており、重力崩壊型の超新星爆発と並んで検出が有望視される重力波源である。また同時に、ショートガンマ線バーストの母天体として、ロングガンマ線バーストのような重力崩壊でなく、中性子星を含むコンパクト天体連星の合体によって形成されるブラックホール降着円盤が有望視されている。このように重力波天文学や高エネルギー天文学といった今後の発展が期待される分野において、ブラックホール・中性子星連星は大きな位置を占める。

ブラックホール・中性子星連星の合体で特に重要な現象は中性子星の潮汐破壊である。合体前に潮汐破壊が起こる場合、重力波形が連星ブラックホールのもものと異なって流体による著しい修正を受け、この重力波は中性子星の半径や潮汐変形率など、未知の高密度物質の状態方程式を探るための手がかりとなる情報をもたらす。さらにこの場合、潮汐破壊によって散らばった物質がブラックホールの周りに広がり、降着円盤を形成するためにガンマ線バーストの母天体となる可能性が現実味を帯びてくる。

このように流体を含む強重力天体の激しい時間変動は、数値相対論によってのみ計算が可能である。強重力場では Einstein 方程式を解いて計量を求める必要があり、特にその激しい時間発展を調べる際は近似的な解析手法が通用せず、解析的な解の表式は得られない。さらに流体が存在する場合はこれも解析的な解を得ることは難しく、計算機によって数値的に解を求める必要がある。このような手法は数値相対論と呼ばれ、現在はコンパクトオブジェクト連星の合体や星の重力崩壊など、宇宙物理学的に興味深い取り扱いの難しい問題に応用されている。

我々はブラックホール・中性子星連星の合体を数値相対論によるシミュレーションによって調べ、特に合体過程や重力波、形成される降着円盤の性質が (i) 質量比、(ii) ブラックホールのスピン、(iii) 中性子星の状態方程式によってどのように影響を受けるかを調べた。以前の我々の研究では [K.Kyutoku, M.Shibata, K.Taniguchi, Phys.Rev.D 82 044049 (2010); erratum-ibid.D 84 049902(E) (2011)]、ブラックホールのスピンのない場合を扱い、ブラックホールがある程度軽ければ中性子星が潮汐破壊され、重力波による状態方程式の制限ないし決定が可能であり、またショートガンマ線バーストの母天体となりえる降着円盤が形成されることが分かっていた。同時に、ブラックホールの質量が中性子星の 3 倍程度より重くなると潮汐破壊が起こらず、現実的な質量のブラックホールでは潮汐破壊は難しいだろうということがわかっていた。

スピンを考慮した計算の結果 [K.Kyutoku, H.Okawa, M.Shibata, K.Taniguchi, Phys.Rev.D in press(arXiv:1108.1189)]、ブラックホールのスピンの向きが連星の軌道角運動量と同じ方向を向いており、極限ブラックホールの半分ないし 3/4 倍程度の強度であれば現実的な質量のブラックホールによっても中性子星の

潮汐破壊が起こることがわかった。これは主にブラックホールの最内接安定軌道 (innermost stable circular orbit: ISCO) の半径が小さくなることによっており、スピン-軌道角運動量相互作用による斥力の結果と言い換えることもできる。我々はこの場合に重力波による状態方程式の制限ないし決定することはやはり可能であることを示し、また降着円盤の質量はスピがあれば十分ガンマ線バーストを説明可能であることを示した。また、極限ブラックホールと中性子星との合体にまで外挿した結果では、合体後のブラックホールが極限ブラックホールより早く回転して裸の特異点が生じることはなさそうであるとわかった。