

重力波を聞き、電磁波を見る—電磁波対応天体

久徳浩太郎 〈ウイスコンシン大学ミルウォーキー校〉

仏坂健太 〈京都大学理学研究科〉

重力波による全く新しい天文学—重力波天文学—の幕開けが手の届くところ迫っている。一般相対論で予言される時空の計量の波である重力波は、ブラックホールや中性子星のような強重力天体が激しく運動するときに効率良く放射される。そのためこれら強重力天体、通称コンパクト天体が対をなした連星が重力波を放射しながら合体する「コンパクト連星合体」は、最も有望な重力波源である。重力波の直接観測は間違いなく物理学の一つの金字塔となり、さらに強重力場の観測による一般相対論の検証や原子核以上の密度を持つ中性子星内部の観測など、重力波天文学によって初めて可能になる様々な展開が期待される。

その幕を開く鍵になるのが重力波源からの電磁波放射、すなわち重力波源の電磁波対応天体の観測である。重力波の検出は質的に新たな挑戦であり、初検出を確実にするには他の状況証拠の存在が望まれる。その点で電磁波は、古来の肉眼による夜空の可視光観測から、現在では電波からガンマ線まで、幅広く宇宙の観測に用いられてきた信頼のおける手段である。そのため、連星が合体するときに特徴的な電磁波が放射され、それを観測できれば、連星が合体しているという確かな証拠を得て、重力波の検出をより確実にできる。

では、連星が合体するとき本当に、またされるときどのような電磁波が放射されるのだろうか？ 電磁波対応天体は近年大きな注目を集めており、理論研究が急速に進展している。一つの確実に近い知見は、連星の合体に伴って中性子星から物質が放出されると、様々な機構での電磁波放射が期待できるということである。そのため、連星合体に伴って起こる質量放出の様子を調べることは、電磁波対応天体の定量的な理論予言のために不可欠である。

我々は数値相対論シミュレーションを用いて、中性子星を含むコンパクト連星の合体では、太陽質量の0.1–10%程度の物質が光速の10–30%で放出される可能性が高いことを、一般相対論での定量的な計算として初めて示した。電磁波対応天体の理論モデルによれば、これだけの物質が放出されれば、それに付随して十分に観測可能な明るい放射が期待できる。たとえば、放出された物質の中でr過程元素合成と呼ばれる過程により非常に重い中性子過剰核が合成され、放射性崩壊して温度が上がるために増光が起こる「巨新星」や、放出された物質が宇宙に存在する希薄な物質と衝突して、シンクロトロン放射を起こす「コンパクト連星合体残骸」などが電磁波対応天体の有望な候補となる。

我々の質量放出の研究とほぼ同時期、2013年の6月に、巨新星と見られる増光現象が初めて観測された。我々は質量放出の結果に放射輸送のシミュレーションを組み合わせ、観測された現象が巨新星の理論予言と整合することを明らかにした。この一例の観測は決定打ではないが、重力波源の電磁波対応天体として、巨新星を始めとする理論的な予言が現実のものとなる蓋然性が高まったといえる。同時に、理論予言に過ぎなかった電磁波対応天体の探査に多大な観測能力が投入されたことは、この分野が注目を集めていることの証左となろう。

—Keywords—

中性子星：

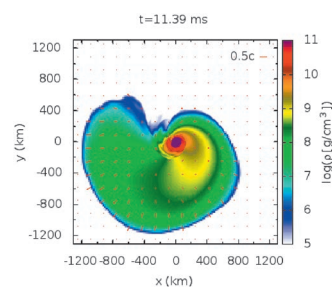
中性子の縮退圧及び核力によって支えられた天体。典型的に1.4太陽質量、半径は10 km超であり平均密度は原子核の飽和密度を超える。太陽質量のおおよそ8倍から30倍程度（諸説あり）の主系列星が核融合の原料を使い果たし、超新星爆発を起こした結果形成されると考えられている。

重力波：

いわゆる時空の歪みの波で、背景計量の上を光速で伝わる摂動成分。大質量が速く動くときに激しく放射される。透過性が高いので、電磁波では見えない天体深部などを探るための手段として期待されているが、同時に検出も困難である。

数値相対論：

一般相対論での重力場の方程式であるアインシュタイン方程式を、計算機上で近似なしに解く手法。アインシュタイン方程式に内在する拘束条件の破れによる計算の破綻を防ぐこと、安定な計算を可能にする座標条件を選ぶこと、特異点であるブラックホールを安定に追うことなどの困難があったが、今世紀に入ってほぼ全ての問題が解決されたと言ってよいだろう。



ブラックホール・中性子星連星からの質量放出の赤道面上での様子。