



中性子星連星合体重力波イベント GW170817のインパクトと 重力波物理学・天文学の明るい展望

田中 貴 浩

〈京都大学大学院理学研究科／重力研究センター 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町〉
e-mail: t.tanaka@tap.scphys.kyoto-u.ac.jp

初の連星中性子星合体からの重力波GW170817が検出され、電磁波対応天体のフォローアップ観測が行われました。この発見により、ショートガンマ線バーストの生成機構、 r -過程元素合成で生成される重元素の起源などの解明が大きく進展し始めています。

2017年、重力波という新しい宇宙を観測する手段が、いよいよ真価を見せ始めました。重力波はアインシュタインが1915年に提唱した一般相対論によって予言される、時空の歪みの波です。一般相対論は時空の歪みによって重力を記述する理論で、それゆえに等価原理を見事なまでに満足する理論となっています。物質が存在すると時空が歪み、その結果、周囲のものが重力を感じるわけですから、物質が運動すると時空の歪みが波となり伝播していくことになります。これが重力波です。

2016年2月、アメリカの重力波検出器LIGOによる重力波初検出(GW150914)のニュースが飛び込んできました。このときの重力波源は、おおよそ30太陽質量の連星ブラックホールの合体だったと考えられています。連星ブラックホールであることから想像されるように、電磁波対応天体は見つかりませんでした。さらに、3例の連星ブラックホール合体が報告されていますが、いずれも対応天体は見つかりません。しかし、このような大質量のブラックホールの存在が明らかになり、連星ブラックホールの起源という新たな問題を提起しました。この発見は、レイナー・ワイズ氏(マサチューセッツ工科大学)、バーリー・C・バリッシュ氏(カリフォルニア工科大学)とキップ・ソーン氏(カリフォルニア工科大学)の2017年度のノーベル物理学賞受賞へと続きました。

ノーベル賞に華を添える演出であるかのように、待望の連星中性子星合体からの重力波検出が、2017年10月16日に発表されました。LIGOの2台の検出器は2015年から感度を向上しての観測(アドバンスドフェーズ)を開始し、2回目の観測O2を2016年11月末から続けていました。フランス-イタリアの重力波検出器であるVirgoも2017年8月からアドバンスドフェーズに入り観測に加わりました。3台の検出器の同時観測のもと、今回のイベントは8月17日に起こりGW170817と名づけられました。重力波信号は観測帯域内でおおよそ100秒間継続し、信号とノイズの比(S/N)は32.4と、過去最大のS/N比をもつGW150914の23.7をも上回るものでした。一般的にS/N比が10程度あれば重力波検出とみなせるので、

今回のイベントが3倍以上遠くで起こったとしても検出可能であり、体積に換算すると約30倍広い領域でも検出可能だということになります。すなわち、30回に1回程度の非常に幸運なイベントであったといえます。

このイベントに対して語るべきことはあまりにも多く、詳細は個別の記事に譲らざるを得ませんが、ごく簡単に紹介したいと思います。まず、重力波観測からはチャープ質量 $m_{\text{chirp}} := (m_1^3 m_2^3 / (m_1 + m_2))^{1/5}$ (ここで、 m_1, m_2 は連星を構成する天体のそれぞれの質量) が非常に正確に決定されました。その値は二つの1.36太陽質量の等質量の中性子星からなる連星と無矛盾であり、かつ、コンパクトな天体であったことははっきりしています。重力波波形からは星の潮汐力による変形の効果は検出されませんでした。このことは中性子星の構造に制限を与えています。Virgoも観測に加わったことで、重力波到来方向が30平方度程度の領域にまで絞られ、日本の重力波対応天体フォローアップチームであるJ-GEMをはじめとする、世界の数多くの望遠鏡が追観測を試み、対応天体が同定されました。まず、ショートガンマ線バーストと見られるが、極めて弱いバーストが連星合体の約2秒後にフェルミ衛星のガンマ線バーストモニタによって検出されました。光赤外対応天体としては、うみへび座の方向、約40 Mpcの距離にある早期型銀河NGC4993の方向に同定され、SSS17aと名づけられました。光度曲線やスペクトルの観測から、合体に伴う質量放出、重元素合成、ガンマ線バーストの生成機構などに対して、多くの示唆を与えられています。加えて、中性子星連星合体の頻度、重力波生成・伝播を通じた重力理論のテスト、重力波を標準光源とするハッブル定数の決定など、さまざまな議論が展開されています。

重力波観測については日本においてもKAGRA計画が進行中で、観測に加わるのは2019年の予定です。KAGRAが重力波観測網に加われば重力波源の位置決定精度が格段に向上すると期待されます。位置決定精度が高くなれば対応天体を同定確率が向上するとともに、同定までの時間も短くなり、より初期のデータの取得が可能になります。また、複数台での観測は一般相対論のテストの意味でも大いに意味をもちます。重力波伝播を修正するような理論モデルを強く制限することにつながります。加えて、LIGO/Virgo/KAGRAが重力波観測の最終形ではなく、将来的にはET (Einstein Telescope) やCE (Cosmic Explorer) などのさらに高感度の検出装置の開発が検討されています。そのような高感度の検出装置の実現には、地下施設、低温鏡などのKAGRAが取り組んでいる技術要素の導入が不可欠になります。将来的な技術を先取りしたKAGRAの成功は次世代の重力波研究を考えるうえでも重要です。

2017年度より新学術領域「重力波物理学・天文学：創世記」がスタートしました。重力波物理学・天文学の創世という課題を掲げ、A) 連星ブラックホール合体、B) 中性子星連星合体、C) 超新星爆発の三つの重力波源を中心に研究を進めるものです。振り返ると、LIGOがアドバンスドフェーズで観測を再開してすぐに連星ブラックホール合体が発見され、今回は、Virgoの再開とともに連星中性子星合体が起こりました。しかも、それらはいずれもかなりS/N比の高い幸運なイベントでした。この幸運が続くなら、次は、KAGRAの本格観測開始直後に、天の川銀河内での超新星爆発が起こるかもしれません。