

重力波源の電磁波追跡観測—その意義

吉田 道利

〈国立天文台 ハワイ観測所 650 North A'ohoku Pl., Hilo, Hawaii 96720, U.S.A.〉

e-mail: yoshida@naoj.org



重力波源の電磁波追跡観測による対応天体の同定は、重力波源の位置を精確に知り、重力波放射と天体現象の関連を明らかにするうえで非常に重要である。重力波イベント GW170817 においては、ガンマ線から電波に至る多波長電磁波が検出されたことにより、連星中性子星合体とそれに伴う天体現象について多くの新たな知見が得られた。

およそ100年前、アインシュタインによってその存在が予言された重力波は、宇宙を見る新しい目として期待され、一般相対性理論の検証の意味からもその直接検出は物理学者、天文学者の夢であった。2015年、米国の重力波望遠鏡LIGOによってその夢が実現し、ここに重力波天文学の道が拓かれた¹⁾。その後もLIGOはブラックホール合体による重力波を次々に検出し、その一連の成果に対しLIGOチームにノーベル賞が授賞されたのは記憶に新しい。

しかしながら、重力波の放出源についてより詳細な知見を得るには、電磁波による追跡観測が必須である。その最も大きな理由の一つは、現在の重力波望遠鏡の位置決定精度が極めて悪いことにある。LIGOとヨーロッパのVirgo、建設中の日本のKAGRAがすべて稼働しても、その位置決定精度は5-10平方度程度であるとされており、重力波源の詳しい位置がわからない。重力波放射の電磁波対応天体を同定できれば、重力波源の位置を精確に知ることができる。また、そのスペクトルから電磁波対応天体の放射機構やその距離を調べることができる。さらには、重力波源の周囲の環境に関する情報を得られる。このように、重力波源からの電磁波放射が検出できれば、重力波放射と天体現象との関係を明らかにし、重力波源の起

源に迫ることが可能となる。

電磁波対応現象が検出されると最も期待されていたのは、連星中性子星合体である。連星中性子星合体は、長年にわたって、ショートガンマ線バーストの放射源の有力候補とされてきた。合体によって形成される相対論的ジェットから短時間の強いガンマ線が放射されると考えられている。しかし、間接的な証拠はあっても、中性子星合体そのものが同定されておらず、その起源は観測的に実証されてこなかった。また、中性子星合体は、金やプラチナなどの元素を合成するために必要な速い中性子捕獲過程— r プロセスの現場としても有力視されてきた。中性子星が合体するとき、星の一部が高速で宇宙空間に放り出され、それが可視赤外線を中心とした電磁波放射を行う。これをキロノバ（あるいはマクロノバ）と呼ぶ。さらに、この放出物質が星間ガスと相互作用を行うことで、電波を放射することが予測される。電磁波放射の特徴から、中性子星の状態方程式への制限を付けることも期待されている。だが、これまでキロノバ候補とされてきた現象は、数えるほどしかないうえにいずれもデータの質が十分ではなく、中性子星合体との関連も明らかではなかった。連星中性子星合体からの電磁波放射の検出は、ショートガンマ線バーストやキロノバの謎の解明、さらに

は中性子星本体の物理解明のカギを握ると期待されてきたのである。

2017年8月17日にLIGO, Virgoによって検出された重力波イベントGW170817は、果たして連星中性子星合体であった²⁾。そして、驚くべきことに、ガンマ線から電波に至る広い波長域で電磁波放射が検出されたのである。その詳細は、本特集の内海氏³⁾、坂本氏⁴⁾、田中氏⁵⁾らの記事に譲るが、重力波と電磁波の協調観測によって、重力波源の位置が精確に突き止められたことは言うに及ばず、中性子星合体がショートガンマ線バーストの起源であることの強い観測的証拠が得られ、 r プロセスの現場とされるキロノバ放射を捉えることに成功した。じつに実りの多いイベントであったと言える。

GW170817の電磁波追跡観測を可能としたのは、世界中に張り巡らされた電磁波追跡観測網である。LIGO/Virgoプロジェクトチーム(LVチーム)は、2013年に世界の天文観測施設、観測グループに、LIGO, Virgoの追跡観測を行う協定書(Memorandum of Understanding; MoU)を結ぶように呼びかけた。これに応えた観測グループの数はおよそ70に及び、それらのグループはLVチームからの重力波アラートを受け取ることができるようになり、MoUを結んだチーム間での情報交換の仕組みも整備された。ただし、重力波アラートについてはLVチームの許可なしには公開してはならないとされ、その秘密順守を義務づけられた。こうしてできた観測網は、その中のグループ同士は特

別に組織立てられてはいないが、メールベースの情報交換を通じて互いに緩く結びついている、自由度の高いものであった。日本からも、J-GEM, MAXI, CALETのチームがMoUを結び、追跡観測に参加した。

重力波源の電磁波追跡観測は、GW170817という希有なイベントの出現によって、大きな成功を収めた。重力波観測と電磁波観測の連携によって得られるサイエンスはたいへん豊かであり、われわれを未知の世界の探求にいざなってくれるであろう。GW170817は、その初めの一步に過ぎない。現在の重力波望遠鏡で検出が期待されているものには、他に、重力崩壊型超新星からの重力波がある。超新星からの重力波は、ブラックホール合体や中性子星合体からのそれよりも弱く、信号に規則性がないため検出は容易ではないと考えられている。しかし、近傍、たとえば銀河系内で超新星が起これば確実に検出できであろうし、この場合は強いニュートリノ信号も期待される。そうなれば、重力波、電磁波に加えてニュートリノも合わせた連携観測が実現する。これこそまさに「マルチメッセンジャー天文学」の一つの完成形であろう。その日はもう目の前に迫っているのかもしれない。

参考文献

- 1) Abbott B. P., et al., 2016, Phys. Rev. Lett. 116, 061102
- 2) Abbott B. P., et al., 2017, Phys. Rev. Lett. 119, 161101
- 3) 内海洋輔, 2018, 天文月報 111, 84
- 4) 坂本貴紀, 2018, 天文月報 111, 82
- 5) 田中雅臣, 2018, 天文月報 111, 86