

天文学へのインパクト (2) フォローアップ観測

吉田 道利

〈広島大学・宇宙科学センター 〒789-8526 広島県東広島市鏡山1-3-1〉

e-mail: yoshidam@hiroshima-u.ac.jp



2015年9月16日、G184098というコード名を付けられたイベント情報が、LIGO/Virgo 共同研究チームから Advanced LIGO (aLIGO) フォローアップ観測協定参加機関にメールで送信された。G184098は、2日前の9月14日 (UT) にaLIGOで検出された重力波イベント候補だと言う。このとき、aLIGOは第1回正式運転 (O1) 開始の2日前で、機器調整中であった。データ解析・校正も十分ではなく、LIGO チームからの連絡には信号の有意性は決して高くないとの注釈が付けられていた。位置誤差範囲は南天北天にまたがる600平方度以上に及んでいた。このような状況にもかかわらず、多くの望遠鏡がG184098の位置誤差範囲に向けられ、電磁波対応現象の探査を行った。その結果、フェルミ衛星によるガンマ線対応現象候補の報告を除いて、有意な電磁波対応現象は発見されなかった^{1),2)}。G184098はその後のLIGOチームの解析により真の重力波イベントであることが判明し、GW150914と改名され2016年2月、全世界に発表されたのである³⁾。

重力波の直接検出は、それだけで、物理学・天文学に非常に大きなインパクトを与えるものである。しかし、今回の観測はさらに、30太陽質量のブラックホールの存在を示し、かつ、ブラックホールが連星系をなすことがあるということを示したという意味で、天文学に大きな衝撃を与えた。

これほど豊かな内容を含む今回の観測であったが、それがどのような天体現象と対応しているのか、また、重力波発生環境はどのようなものであるのかは、実は重力波観測だけから突き止めることはできない。このような情報は、電磁波やニュートリノによる多様なフォローアップ観測によって重力波源を特定し追跡することで得ることができる。現在のニュートリノ観測は感度の点から、われわれの銀河系の近傍の超新星が主要なターゲットとなる。電磁波観測はより遠くの現象まで捉えることができるため、当面、重力波のフォローアップ観測は電磁波観測が主要な役割を果たすであろう。

重力波源のフォローアップ観測で障害となるのは、重力波望遠鏡の位置決定精度である。GW150914においては、位置誤差範囲は600平方度に及んだ。これだけ広範囲な空をすべてフォローアップするのは困難である。将来、ヨーロッパの Advanced Virgo (aVirgo)、日本の KAGRA などが立ち上がって協調観測を行ったとしても、その位置誤差範囲は条件が良くても5~10平方度もある。10平方度と言えば満月50個分ほどの視野であり、600平方度に比べれば画期的に狭くなるとは言え、その中で電磁波対応現象を同定することは依然、容易ではない。よって、多波長・広視野の観測装置と世界的な連携観測が必須となる。

冒頭で述べたとおり、GW150914においては、LIGO/Virgo チームが世界中の電磁波観測機関と結んだ協定^{*1}により、20を超える望遠鏡、天文観測衛星がフォローアップ観測を試みた。日本では、日本の

*1 現在では全世界で70余りの観測研究機関・観測チームが協定を結んでいる。

大学・研究機関がもつ光学赤外線望遠鏡を連携させたJ-GEMプロジェクト⁴⁾を立ち上げ、LIGO/Virgoチームと協定を結び、フォローアップ観測に参加した。2016年秋頃から予定されているaLIGOの第2回正式運転(O2)とaVirgoのO1に向けて、協定参加機関の間ではより緊密な連携体制を整える動きが活発化している。現在、重力波検出情報は協定参加機関だけに流されているが、LIGO/Virgoチームがいくつかの重力波現象を検出した後は、重力波アラートは全世界即時公開となる。そうなれば、あらゆる観測施設が重力波フォローアップに参加することができ、全世界的なネットワークはもっと広がるであろう。

GW150914はブラックホール連星の合体であった。ブラックホール同士の合体では強い重力波は出るが、電磁波は出にくいとされている。しかし、もしフェルミ衛星の受けたガンマ線が本当にGW150914と関係があるのなら、ブラックホール周辺に物質があり、何らかのメカニズムでブラックホール合体に伴うエネルギーが物質に渡されて電磁波に変換された可能性が示唆される。今後、ブラックホール合体からの重力波放射に伴う電磁波が検出されていけば、ブラックホール周辺環境やブラックホールからのエネルギー抽出機構などを探ることができ、ブラックホールの形成と進化といった問題に新たな道筋をつけるであろう。

GW150914の発見まで、最初に検出される重力波放出現象の有力候補は、中性子星同士の合体であろうと多くの人々が考えていた。GW150914はこの大方の予想を覆したわけだが、中性子星合体は、重力波に伴う電磁波放射の観点からは非常に重要な現象である。多くの理論的研究が、中性子星合体では合体に伴うエネルギーで物質が加速・放出され、そこから多波長の電磁波が放射されると予測している^{5),6)}。中性子星合体は、短時間ガンマ線バーストの有力候補であるとされているが、いまだに観測的確認は得られていない。金やプラチナなど、速い中性子捕獲(rプロセス)によって生成されると考えられている重元素の起源の有力候補も中性子星合体である。しかし、これも観測的には直接の証拠が得られていない。そもそも中性子星合体の頻度や、銀河中での発生位置などもよくわかっていない。電磁波観測によって、中性子星合体の位置と距離を特定し、周辺環境を探り、放出物質の速度や電磁波放射機構を調べ、さらには放出物質内での元素合成の現場を直接見ることなどが可能となる。

GW150914が検出された今、重力波に伴う電磁波対応現象のフォローアップ観測は、次への大きなステップである。それはさらに豊かな天文学への道を拓くであろう。

参考文献

- 1) Abbott B. P., et al., 2016, arXiv: 1602.08492
- 2) Connaughton V., et al., 2016, arXiv: 1602.03920
- 3) Abbott B. P., et al., 2016, PRL 116, 061102
- 4) 吉田道利, 2016, 天文月報 109, 192
- 5) Metzger B. D., Berger E., 2012, ApJ 746, 48
- 6) Tanaka M., et al., 2014, ApJ 780, 31