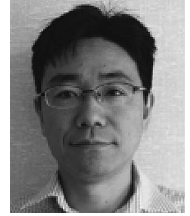


GW170817：X線・ガンマ線観測



坂本 貴紀

〈青山学院大学 理工学部 物理・数理学科 〒252-5258 相模原市中央区淵野辺 5-10-1〉

e-mail: tsakamoto@phys.aoyama.ac.jp

継続時間の短いショートガンマ線バーストの起源として中性子星同士や中性子星とブラックホールの合体によって起こるという説が有力視され、その起源から強い重力波も同時に検出されることが期待されていた。重力波に付随したガンマ線バーストのX線・ガンマ線観測について述べる。

重力波イベントGW170817では、重力波発生直後に弱いガンマ線と思われる信号が検出され、また、9日後の追観測からは、X線での増光が電磁波対応天体から検出された。全く異なるタイムスケールで検出されているこれらの放射にはガンマ線バースト（GRB）が関係していると考えられている。それぞれの観測結果について見ていきたい。

1. 重力波と同期したGRB

継続時間が2秒以下の短いガンマ線バースト（以後SGRB）の起源として中性子星同士や中性子星とブラックホールが合体したときに生成されたジェットからの放射という説が有力視されてきた。そのため、中性子星が合体したときに発生する重力波とほぼ同時にSGRBが観測されることが大いに期待されていた。

日本時間の8月17日午後9:41、NASA *Fermi*衛星のGBM検出器からSGRB（以降GRB 170817A）検出の自動アラートが流れた。その約30分後、LIGO-Virgoグループから重力波候補イベントの検出が速報された。さらに10分後にLIGO-Virgoグループより、LIGOで検出した重力波イベントと*Fermi*-GBMのSGRBが同期しているという報告がなされ、事態は急変した。また30分後にはESA *INTEGRAL*衛星のSPI-ACS検出器で*Fermi*-GBMのGRB 170817Aを同時検出したという報告があり、いよいよ

重力波とSGRBの同時検出というGRB研究者の長年の夢であったことが現実味を帯びてきた。

実際の観測データを見てみると、GBMとSPI-ACSで検出したGRB 170817Aは、重力波の信号が見えなくなってから、約1.7秒後に検出されていた。GBMチームのデータ解析によると、このバーストの継続時間は 2.0 ± 0.5 秒で、今まで観測されている典型的なショートGRBと72%の確率で矛盾しないという結果を出している¹⁾。

私の個人的な見解ではあるが、このGBMとSPI-ACSが検出したと主張しているGRB 170817Aは、まだ、万人を納得させられる検出レベルのものではないと思っている。GBMもSPI-ACSもシンチレータと呼ばれる放射線検出器であり、ガンマ線だけでなく、軌道上の荷電粒子も検出する。検出した信号がガンマ線なのか、荷電粒子なのかを判別する事が難しい。現に、LIGOが最初に検出した重力波イベントGW150914において、GBMチームが二つにわかれて、重力波の信号に同期したガンマ線を検出したと主張する論文²⁾と検出していないと主張する論文³⁾が出版されていることから明らかである。また、SPI-ACSの検出レベルも 3.2σ であり⁴⁾、バックグラウンドを多く検出する検出器の有意度としては決して高くない。そうすると、そのほかの現在稼働中のX線・ガンマ線観測装置の結果が重要となってくる。国際宇宙

ーションに搭載されている日本の全天X線監視装置MAXIと高エネルギー電子・ガンマ線観測装置CALET GBMは、残念ながら、重力波発生時の観測条件が悪く、有益なデータが取得できていない。それ以外にはロシアのKonus-Windと中国のInsight-HXMTはGRB 170817Aの未検出を報告している。残念ながらNASA Swift-BATとインドのAstroSatともに重力波の到来方向は地食だった⁵⁾。このような状況であるため、重力波と同期したSGRBが検出されたと言い切るには、まだ時期尚早な気がしている。今後のさらなる中性子星合体による重力波イベントで、できれば、Swift-BATで時間的にも位置的にもドンピシャで同期したSGRBの検出を期待したい。

2. ジェットを斜めから見たGRB

GW170817の電磁波対応天体はSwift衛星で観測されているGRBとは全く異なる特徴を示していた。Swift衛星はGW170817検出の14.4時間後に電磁波対応天体の追観測を開始したが、通常のGRB残光の検出が難しい紫外／可視光望遠鏡UVOTの紫外線フィルターで対応天体が検出された。さらに驚くことに9割のガンマ線バーストのX線残光の検出に成功しているSwiftのX線望遠鏡XRTでは何も検出されなかった⁶⁾。さらにGW170817発生後の2.2日後のNASA Chandra X線望遠鏡による追観測でも対応天体の位置からのX線放射が検出されなかった。そこで、Elenora Troja率いるわれわれの観測グループは、X線放射が遅れて増光する可能性に賭け、さらなるChandraによる追観測を重力波発生後の9日後に行った。そして、ついにGW170817の電磁波対応天体からX線放射の検出に成功した⁷⁾。

この非常に遅れて増光したX線放射はGW170817の電磁波対応天体の初期段階で観測されたキロノバ放射（田中雅臣氏の記事を参照）とは異なる起源をもつ新たな放射と考えるのが自然である。重力波の観測結果から観測者は中性子星連星の回転

軸から11-33°の方向から観測したことがわかっている。GRBのジェットが回転軸の方向に飛び出したとすると、典型的なGRBのジェットの開き角は5-10°と言われていることから、観測者はジェットを斜めから観測したことになる。このようにジェットを斜めから観測したときのGRBの放射モデルは「off-axisジェットモデル」と呼ばれている⁸⁾。この「off-axisジェットモデル」で予想される残光の振る舞いは、まさにGW170817のX線放射で観測された、遅れて増光するというものである。バースト発生直後のジェットがまだ非常に速い速度で運動しているとき、相対論的ビーミングの効果でガンマ線放射がジェットの軸方向にビームされ、ジェットを斜めから観測している観測者は、その放射を見ることができない。徐々にジェットの速度が遅くなり、相対論的ビーミングが弱まってくると、ジェットを斜めから観測している観測者へも徐々に放射が見え出す。長いこと、GRBの観測者が探していたGRBからのoff-axis放射が重力波という意外な形で初検出された。ただし、ここで述べた「off-axisジェットモデル」はGW170817のX線での観測結果を説明するモデルの一つであり、さらなる検証が必要である。

今まで、われわれは電磁波の信号で突発天体を探し、電磁波の詳細観測により、その正体を探ることを行ってきた。しかし、重力波によって、われわれは全く新しい方法で新種の突発天体の見つけ方を手に入れた。重力波天文学の幕開けである。

参考文献

- 1) Goldstein A., et al., 2017, ApJ 848, L14
- 2) Connaughton V., et al., 2016, ApJ 826, L6
- 3) Greiner J., et al., 2016, ApJ 827, L38
- 4) Savchenko V., et al., 2017, ApJ 848, L15
- 5) Abbott B. P., et al., 2017, ApJ 848, L12
- 6) Evans P. A., et al., 2017, Science 358, 1565
- 7) Troja E., et al., 2017, Nature 551, 71
- 8) Yamazaki R., Ioka, K., Nakamura, T., 2002, ApJ 571, L31