

重力波天文学の誕生から隆盛まで

爺・セラム・和歌

〈重力波天文台 日本支部〉

重力波天文学はどのようにして誕生し、どのようにして発展してきたのであろうか？ 本解説記事では、この 100 年間に起こった重力波天文学の誕生から隆盛に至るまでの歴史を簡単に紹介する。

1. はじめに

いやはやこの 20 年間はまさに重力波天文学の独壇場であった。今でこそ、あたりまえのことであるが、世界の天文学者の約半数が重力波天文学者となるほどに重力波天文学が光り輝くものになろうとは、100 年前の天文学者には全く想像すらできなかったであろう。『重力波天文学を創成するぞ！』などと威勢のいいことを言っても、「まず一発でも検出することが先でしょう。」といわれた時代である。しかし今日の重力波天文学の隆盛は、100 年前に重力波天文学の創成を夢見て頑張ってきた人々の献身的とさえいえるような努力があってこそなされたものであることは間違いない。もし筆者の生まれるのが 100 年早かったとしても、信号のない天文学に何年も何十年も人生をつぎ込むことはとてもできないと思う。まさに彼らの執念は敬服に値するものである。

さて今回の天文月報は記念すべき第 200 巻である。そこで筆者は 100 年前の重力波検出実験（まだ重力波天文学にはなっていない！）の世界がどんな様子であったかを、もう少し詳しく調べるため 100 年前頃の天文月報を眺めてみた。すると何と天文月報 100 巻記念の特別付録として『第 200 巻の創作』というおもしろい企画があったのである。「どれどれ、100 年前の重力波の先駆者たちはいったいどれほどの想像力をもっているのである

うか？」興味津々でその企画の重力波の記事を読んだ筆者は愕然とした。そこに書かれていたことは、この 100 年の歴史をほぼ忠実に予言していたのである。まさに『前生畏るべし』である。

ということで、本解説記事では、この 100 年間に起こった重力波天文学の誕生から隆盛に至るまでの歴史を簡単に紹介し、先人の切り開いてきた道をもう一度たどってみることにしよう。

2. 地上観測機による重力波の初検出と重力波天文学の創成

100 年前、すなわち 2007 年の時点で重力波はまだ検出されていなかった。重力波検出実験に携わる先人たちは、地上に数キロメートルの長さをもつレーザー干渉計を建設し重力波の検出を目指していた。当時、最高感度であったアメリカ（当時はまだ地球は多数の国から成り立っていた）の重力波検出器 LIGO は 16 メガパーセクの遠方で起こる中性子星連星の合体を検出できる感度をもっていたが、それではまだ重力波の検出には不十分であった。

その数年後、LIGO の感度を 1 桁上げた Advanced LIGO や日本の LCGT が完成し、2015 年、ついに人類初の重力波の検出がなされたのである。そしてその後の 10 年間で、年間 10 回程度の中性子星連星の合体イベントをとらえることができてだけでなく、太陽質量の 10 倍程度のブラッ

クホール連星の合体、超新星爆発、パルサーなどからの重力波も検出され、重力波天文学が一気に開花したのである。

3. スペース重力波アンテナの活躍と重力波天文学の発展

その次に重力波天文学の発展に大きな寄与をしたのが、スペース重力波アンテナであった。2022年に旧NASAと旧ESA（現在のEarth-SAの前身）によりスペース重力波アンテナLISAが打ち上げられ、中質量-大質量ブラックホール連星の公転運動および合体からの重力波が大量に検出され、銀河中心にある巨大ブラックホール形成のメカニズムが判明したことにより、重力波天文学の重要性とスペース重力波アンテナの有用性が一段と深く認識されるようになった。

LISAの後を受けて登場したのが、DECI-BO（デサイボ）であった。DECI-BOは日本で考案されたDECIGOと米欧のBBOとが融合した究極のスペース重力波アンテナである。当初の予定よりは少し遅れたようであるが、2038年、日米欧の国際協力でスペース重力波アンテナDECI-BOが打ち上がった。この検出器は10年間の稼働期間の間に、中性子星連星の合体の観測から宇宙膨張の加速度を精密に計測しダークエネルギーのモデルに重要な制限をつけ、さらにインフレーションからの重力波を検出しインフレーション理論の確認と特徴づけを行うことに成功したのである。またこのとき、当時の常識からはそのメカニズムが全く想像できないような不思議な波形をもつ重力波天体も見つかり、理論家の間でこの正体について激しい議論がなされたが、結局この謎の星（現在のグラグラ星）の正体がわかったのは何と2090年代に入ってからであった。

4. 『重力波ホイホイ』の登場と重力波天文学の隆盛

何とんでも重力波天文学を今日の隆盛に導い

たのは、超高感度小型重力波検出器の登場であろう。100年前にすでに始まっていた当時でいうところの第三世代重力波検出器の開発は、例えば量子非破壊計測に関しては10 dB程度のショットノイズの低減がせいぜいであった。しかし、長い間の地道な研究の末ようやく2060年代に入って、重力波検出器の重要な技術分野である、量子非破壊計測、低温技術、そして変位雑音キャンセル技術においてそれぞれ画期的なブレークスルーが見つかったのである。これらの技術革新により、量子雑音、熱雑音、変位雑音のそれまでにないレベルでの低減が可能となり、その後の20年間で重力波検出器の感度はそれ以前と比べて約10桁改善されるに至った。このおかげで、超高感度小型重力波検出器が廉価に製作できるようになり、それらを大量生産し地球上に設置することにより、重力波の弱点であった指向性の問題も解消し、バースト重力波に対しても現在の最高レベルの光学望遠鏡と同程度の角度分解能をもつようになった。そして2087年、重力波検出器を地球上に1万个敷き詰めた重力波検出ネットワーク、いわゆる『重力波ホイホイ』がついに完成したのである。

この装置を使い、過去20年の短期間の間に今日の重力波天文学の隆盛をもたらしたさまざまな発見が続々となされてきた。まず、インフレーションのさらに前の宇宙誕生の瞬間（プランク時間）からの重力波の観測に成功し、2053年に提唱された多次元確定論統一理論（Multi-dimensional Absolutely Deterministic Unified Theory; MAD-UniT）の正当性が確認され、宇宙誕生の謎が一気に解き明かされた。また、100年前にはおそらく小さすぎて測定不可能と思われていた、重力波信号の余剰次元への染み出しの測定に成功し、その存在を確認した。さらに、グラグラ星についても重力波による詳細な観測の結果、発見後50年経ってやっとそのメカニズムがグラグラボン効果によるものであるとわかったのはご存知のとおりである。ほかに、100年前には想像すらできな

かったような全く新しい重力波天体も数多く発見された。それらのほとんどはそのメカニズムが解明されたが、非常に不思議な振舞いをする重力波信号（オーマイガー信号）を出す謎の天体現象も存在する。さらにダークマターやダークエネルギーについても重力波観測によりかなりの部分が解明され、現在ではわずかに宇宙の全質量の5%を占めるトコトン・ダークマターと10%のトコトン・ダークエネルギーが謎として残っているだけである。

5. 現在の重力波天文学

現在の重力波天文学の最大の関心事は、何といても重力波を用いたワームホールの観測であろう。これまでに、ワームホール存在の手がかりはいくつか報告されているがいずれも決定的な証拠とはなっていない。このワームホールの謎を解くことにより、いまだ宇宙物理最大の謎であるトコトン・ダークマターとトコトン・ダークエネルギーの解明につながるのではないかと期待されている。また、最近では地球外知的生命体から発信される重力波信号を受信するための研究も始まっている。これに関して、オーマイガー信号は実は通常の重力波信号に地球外知的生命体何らかの操作をしたものではないかという報告もあがっているが確証はない。

6. 終わりに—100年後の重力波天文学

さて、これまでの100年の重力波天文学の歴史について簡単に解説を行ってきた。では100年後の重力波天文学はいったいどうなっているであろうか？現在の天文学の興味から今後の50年間の発展の予想をすることはそれほど難しくはない。例えば、重力波によりワームホールの存在が確認されることはかなりの確度で期待できるし、また全宇宙のすべての天体現象の解明がなされている

可能性も高い。

しかし、問題はその後である。50年後から100年後になされるであろう発見は現在ではまだ概念として生まれていないか、存在したとしても誰もそんなことが可能とは思えないようなものであろう。その点、100年前の研究者の未来を見通す豊かな想像力は驚嘆である。そこで筆者も先人の先見力に見習って、100年後の重力波天文学について考える限りもっとも大胆な予想をしてみることにする。

まず、100年後には、われわれの宇宙とは別の宇宙の存在が重力波によって確認されているかもしれない。（もっともわれわれの宇宙と別の宇宙とが重力波でどのようにつながることができるのか、現時点では皆目見当がつかないが……。）またその観測によりすべての宇宙の物理を記述する理論が確認されているかもしれない。（もっとも別の宇宙の別の物理をどうやって一つにすることができるのか、現時点では皆目見当がつかないが……。）一方、技術に眼を転じると、すでに重力波通信が可能となっており、地球外知的生命体との重力波による通信も日常茶飯事のようになっていくかもしれない。（もっともどうやって検出可能な重力波を発生させるのか、現時点では皆目見当がつかないが……。）以上100年後の重力波天文学の予想を無責任に書き並べたが、この予想が当たろうが外れようが、大切なことは「われわれが夢見ることができるものは必ずや実現できる！」ということである。そしてそれを教えてくれたのは100年前の研究者であった。まさに胸躍するようなこれからの100年間の重力波天文学の発展を期待しようではないか！

謝辞

本解説記事を執筆するにあたっていろいろと相談にのっていただいた露飛・カタ・彼方さんおよび貴緒・ナト・背さんに感謝いたします。