

重力波天文観測開幕の一端にふれて

近池 日出夫 (前 帝塚山高校)

あらまし

1916年、アインシュタインの一般相対性理論が発表された。1919年、エディントンにより皆既日食の観測で最初の実証がなされた。それから1世紀後、最後の実証課題と言われた重力波が、米国のLIGOにより検出された。今回、理化学会地学部会の米国海外研修で滅多にない見学の機会を得た。

キーワード

重力波、LIGO (ライゴ)、連星ブラックホール合体、連星中性子星合体、ノーベル物理学賞

1. はじめに

人類は永年可視光線によって天文観測を続けてきた。20世紀に入り、電波観測を皮切りに、赤外線・紫外線・X線・γ線を含む**電磁波観測**と並行して**宇宙線**による観測が始まった。また、ロケット技術の進歩は、大気に邪魔されない宇宙空間での**飛翔体観測**に道を拓いた。加えてIT技術の進歩はあらゆる観測で活用されている。

他方、岐阜県旧神岡鉱山におけるカミオカンデによる**ニュートリノ**の検出は新たな観測手段をもたらした。以前、理化学会物理部会は夏季研修でカミオカンデに替る後継機として建設中のスーパーカミオカンデの内部見学を実施し、私も同行させていただいた。

また、理化学会地学部会は、1997年、ハワイ巡検でマウナケア山頂に建設中のすばる望遠鏡内部の見学(遠隔操作されるので、完成すれば立ち入ることができない)を実施した。当日は成相恭二東大教授による案内・解説を頂いた。現在、地上からの観測で最も観測条件に優れているとされているのは、ハワイのマウナケア山上とアンデスの高地、カナリア諸島(ラ・パルマ島とテネリフェ島の山上)の3か所であると言われている。アンデスでは国際協力の下で、ALMA(アルマ電波望遠鏡)がミリ波・サブミリ波の観測を開始している。まさに人類の宇宙に関する知見は様々な手段により実現されつつある。

このような背景の下、更に新たな手段が加えら

れることになった。**重力波**天文観測である。1916年に発表されたアインシュタインの一般相対性理論の最後の実証課題とされてきた重力波が検出された。丁度100年後の2016年2月(検出は2015年9月)、多くのチェックをクリアし、満を持して発表された。マスコミも大々的にとりあげることになったが、実はもう1例2015年12月に既に2回目の検出があり、これは2016年6月になって発表された。初回同様、シビアな確認を経て慎重に発表された(2015年10月、別にもう1例あった観測については、厳密な審査の結果、重力波と確定するに至らなかった)。また、今年2017年1月、3度目が観測され、この6月に発表された。いずれも連星ブラックホールの合体による重力波の検出であった。初回は、太陽質量の3倍、2回目は太陽質量程度、3回目は太陽質量の2倍程度が重力波のエネルギーとして放出されたものである。天球上の波源の範囲を図1に示す。

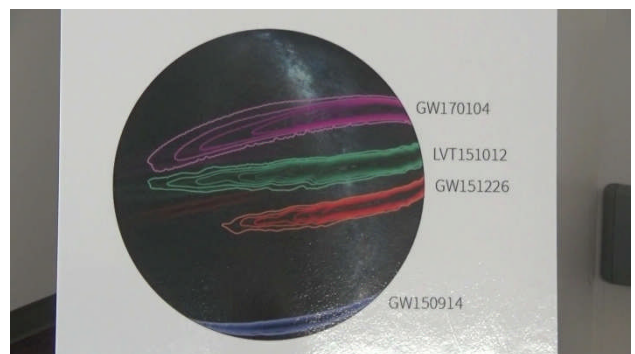


図1 検出された重力波 GWは重力波・数字は検出年月日、緑は確定に至らなかったもの。

1995年、東京三鷹の国立天文台にTAMA300というプロトタイプの重力波検出装置が設置され、見学の機会を得た（稼働は1999年）。並々ならぬノイズの削減努力を垣間見ることができた。一辺300mのレーザーを用いたマイケルソン干渉計が直角に2方向に配置され、高度な真空と低温下で機器の性能向上が試行されていた。これは「第1世代」と称される観測装置であり、「第1世代」は世界のいずれもが重力波検出には至らなかった。

日本では、来年にも本格稼働されるはずの神岡鉱山地下に建設中のKAGRAという第2（2.5）世代の重力波観測装置が準備中である。

さて、今回、理化学会地学部会でアメリカ日食の観測に併せ、重力波検出に成功した第2世代のLIGOの見学が企画された。

2. LIGO (Laser Interferometer Gravitational -Wave Observatory) 見学記

現在、アメリカ合衆国では、南部ルイジアナ州リヴィングストンに設置された第2世代のAdvanced LIGO（アドバンスド ライゴ）と、3000km離れた北西部ワシントン州ハンフォードに設置された同型のALIGO（アドバンスド ライゴ）の2基で観測している。第1世代に対して建物と真空設備以外を全て入れ替えアップグレードされたと言われていた。距離の離れた2か所で同時観測を行う事により、極端に微小な重力波信号を選り分けることができる。私達は、Caltech（カリフォルニア工大）とMIT（マサチューセッツ工大）で共同運用されているLIGOのハンフォードの施設の方を見学させてもらうことになった。幸い、私達の案内をしてくださったのは、元東大助手で現カリフォルニア工大LIGO主任研究員の河邊径太（カワベケイタ）氏で、第1世代の施設当時から現場に関してこられていた。講演会場での解説の後、施設の案内をして頂くことができた。

「ハンフォード」という言葉は古い記憶の片隅

にあった。LIGOの案内所のテーブルで、無料配布物の中に黒い地味なパンフレットが1部目に止まった。「THE MANHATTANPROJECT NATIONAL HISTORICAL PARK」とあった。かつて第2次世界大戦中、極秘に進行された原爆製造施設が3か所（ニューメキシコ州ロスアラモス、テネシー州オーク・リッジ、ワシントン州ハンフォード）あった。ハンフォードは、主としてプルトニウム製造を担ったことで知られる。現在は、古くなった原子力潜水艦の解体処理などを行っているそうである。LIGO到着直前、河邊さんから「間違っって原子力施設の方に行かないように」と連絡があったのはこの施設の事だったのかと合点がいった。

まず、受付カウンターの横には、写真で見たことがある大きな円筒形の装置の実物が置かれていた。これは、初めて重力波検出に挑んだジョゼフ・ウェーバーが使用したもので、共振型重力波検出器と呼ばれるものである。1969年、所属のメリーランド大学と1000km離れたシカゴのアルゴンヌ国立研究所に置かれた同じ2つの装置で、検出に成功したと発表された。これを契機に、各国で重力波検出装置が作られたが、否定的観測結果が重ねられていった。



図2 ウェーバーが使用した共振型観測装置

やがて共振型検出器ではなく、マイケルソン干渉計にレーザー光を用いる第1世代の検出器が作られることになったが、河邊さんはウェーバーの業績を高く評価されていた。レーザー干渉計のミス

は、大型の真空槽内に入れた防振装置を懸架する工夫で、様々な雑音要因の検討と低減にある。ハンフォードの場合、アラスカの海岸に打ち寄せる強烈な風波のノイズが非定常雑音として入ったりするのを分析除去する等の苦労があったとのこと



図3 防振装置と河邊上級研究員

であった。

「今のところ、連星ブラックホールの合体しか検出されていないが、連星中性子星合体の検出は？」と聴くと、「連星中性子星合体の場合、連星ブラックホール合体に比べエネルギーが低く観測可能な距離が短くなってしまっているので」とのこと。実は、この日(19日)の2日前(17日)には、初の連星中性子星合体が観測されていたのだが、嚴重な緘口令が敷かれていたようであった。8時間交替24時間連続観測中の中央制御室の案内の後、広大な屋外施設を見晴らすことができた。

見学を終えて、話題がトランプ大統領ことに及ぶと、アメリカ社会の雰囲気急変に当惑しておられる様子が窺えた。

3. 今後の重力波観測

現在、LIGOは同型のものがインドに設置されることになっており、仏・伊共同のピサにあるアドヴァンスド・ヴィルゴVIRGOや英・独共同のGEO-HF(ハノーヴァー)、日本のKAGURA(神岡)の稼働により、重力波天体の位置の絞り込みに力が注がれている。

また、地球上のできるだけ離れた位置で観測す

ることにより天体の位置を限定できれば、他の観測手段での同時観測が広がる。日本には、広視野観測に適した望遠鏡がある。木曾観測所(視野2.2度)、日本がニュージーランドに設置したMOA II(視野1.3×1.6度)、すばる(視野1.5度)である。例え重力波天体と確定される前でも、可能性がある天体が検出されれば、速報を受け取って、追観測を行うJ-GEMという取り組みが始まっており2014年にLIGO-VIRGO collaborationと覚書を交換している。

4. 後日談

この報告を書いた直後、重力波天文学は俄に脚光を浴びることになった。

- ① 8月14日、イタリアのVirgo(ヴァーゴ)がLIGOと共にブラックホール合体を初観測し、9月27日に両施設による共同発表が行われた。
- ② 2017年ノーベル物理学賞が多くの予想通り重力波観測に道を拓いたレイナー・ワイズ、バリー・バリッシュ、キップ・ソーンの3氏に決まった。
- ③ 8月17日、LIGOとVirgoの両施設で初検出された中性子星合体は、世界各地(70か所)の天文施設で観測が試みられた。

参考) 重力波特集

雑誌 ニュートン 2017年12月号

岩波 科学 2017年12月号

日経サイエンス 2018年01月号

大阪市立科学館うちゅう 2017年07月号

一般書 重力波とはなにか ブルーバックス

安藤 正樹 講談社

URL

<http://www.ligo.caltech.edu/>