

『サイエンスカフェ』

主 催： 日本学術会議
日 時： 平成30年1月26日（金）19：00～20：30
場 所： 日本学術会議6階6-A(1)(2)会議室
テ ー マ： 「重力波」で探る宇宙の元素の起源
講 師： 田中 雅臣さん（自然科学研究機構 国立天文台 助教）
ファシリテーター： 須藤 靖さん（東京大学大学院理学系研究科物理学専攻教授）
参加人数： 30名

2015年9月、初めて「重力波」が直接観測されました。重力波は1916年にアインシュタインが一般相対論からその存在を予言していたもので、まさに世紀の偉業といえます。初めて捉えられた重力波は宇宙に存在するブラックホールの合体現象によるもので、天文学にも大きなインパクトを与えました。この成果に対して2017年のノーベル物理学賞が与えられたことは記憶に新しいことでしょう。2017年8月には中性子星の合体からの重力波が初めて観測されました。その速報を受け、日本のすばる望遠鏡を含む世界中の望遠鏡が重力波を放った天体の電磁波による観測に成功しました。人類は初めて重力波を放った天体を目にしたのです。中性子星の合体は、金やプラチナ、ウランなどの重元素を作り出す現象としても注目されており、重力波と電磁波の共同観測によって宇宙における元素の起源の理解が大きく進むようとしています。

今回のサイエンスカフェでは重力波観測、そして重力波天体の電磁波観測の意義をお話しし、研究の最前線（と裏側）を紹介したいと思います。

◎はじめに

ファシリテーターの須藤さんより、講師の田中さんについての簡単な紹介がされた。

続いて、講師の田中さんより、自己紹介を交えて内容の説明がなされた。



（左：講師・田中雅臣さん、右：ファシリテーター・須藤靖さん）

◎話題提供の主な事項

1. 重力波とは？

- 重力波:重力を時空のゆがみと考えたときの伝播する波。強重力天体が動き回るほど、強くなる。
- 強重力天体:主に中性子星とブラックホールを指し、赤色超巨星・超新星爆発を経て、約1千万年で生まれる。
- 中性子星:質量が地球の50万倍、半径10kmの密度が1兆 kg/cm^3 にも及ぶ、重力が地球の2千億倍もある天体。
- 重力波天体:中性子星やブラックホールが合体することで生まれる。
- 重力波の観測には重力波望遠鏡が使われる。重力波の初観測はブラックホール同士の合体。
- 重力波を検出するだけでは正確な場所を特定できない。電磁波も検出することで場所を特定し対応天体を探す。これを「マルチメッセンジャー天文学」という。

2. 重力波と元素の意外な関係

- 天体の内部では、核融合反応によって水素からヘリウム、炭素や酸素などに変化していき、最終的に約1千万年で最も安定な鉄ができる。
- 鉄より原子番号の大きい金やプラチナはどのようにできたのか？その鍵は中性子星にある。
- 中性子が原子核にぶつくと放射性崩壊を生じ、より重い元素ができることから、中性子星合体によって重力波が生じるとともに、金やプラチナが放出されると考えられた。
- キロノバと呼ばれる現象によって中性子星は光る。これは金やプラチナを放出する際に、放射性崩壊エネルギーが生じるからである。可視光線よりも赤外線の方が長く輝き、10日間も続く。

3. ついに「見えた」重力波天体

- 2017年8月17日中性子星合体からの重力波を初検出。
 - ⇒すばる望遠鏡で他にそれらしい天体がないことを確認。
 - ⇒1週間ほどで光が消失 = キロノバと特定
 - ⇒重元素の合成現場を捉えることができた。
- 中性子星合体からの重力波初観測 + 重力波天体からの電磁波初観測
 - ⇒「マルチメッセンジャー天文学」の幕開け
 - ⇒更なる展開が見込まれる。
 - ・中性子星合体の頻度は？
 - ・いつも同じだけ元素を作るのか？

- ・作り出している元素の種類は？
- ・ブラックホールと中性子星が合体すると？ 等

◎会場との質疑の主な内容

- ◆－中性子星合体によって原理的にはどんな重元素でもできるのか？天然元素最大のウランもできるのか？
- －可能と思われる。中性子が大量にくっつくため、瞬間的にはウラン以上の元素ができていると思われるが、直接の証拠はない。キロノバがあったということは、鉄以上の重元素ができたということが言える。今後、現象を観測し、一つ一つ検証することで、判明すると思われる。
- ◆－過酷な状況下であれば重元素固有のスペクトルが観測できるはずだが、それは明示できていないのか？
- －中性子星から逃げ出しており、膨張の速度が光速の10%のため、現在はよくわからない。分光観測はできているため、理論的に観測は可能である。
- ◆－今までに重元素が生まれた説がいくつもあったと思うが、キロノバが有力な説となった経緯を詳しく伺いたい。
- －説として大きく分けると、超新星爆発の瞬間に作られるという説と、中性子星の合体の2つがある。元々は超新星爆発の説が有力だったが、この10年でコンピュータの精度が飛躍的に向上したことで状況が一変した。ニュートリノで星を爆発させたとすると、中性子がなくなってしまうことが判明した。また、中性子星の合体のシミュレーションでは、重力が強い中性子星でもものが飛んでいくことが判明した。その結果、中性子星の合体の方が有力な説となったが、これは超新星爆発の説を否定するものではない。これからの検証が必要となる。
- ◆－中性子星が合体する確率は1万年に1回ということだが、地球になぜこんなにも重元素があるのか？
- －確かに、宇宙に存在する金やプラチナの割合は非常に少ない。それらがどこでできたのもわからないが、100億年もの間に中性子星合体が繰り返され、少しずつたまった結果として考えると不思議ではない。
- ◆－重力波望遠鏡のLIGOやVirgoは全長4kmもあるのはなぜ？
- －長いほど、観測できる精度が向上する。しかし、広大で平坦な環境や予算上の限界が4kmとなっている。しかし、全長10kmのものを作ろうという計画もあり、それが実現されれば、現在3億光年先まで観測可能なのに対して、7億光年先まで観測可能になる。

◆－キロノバの光はなぜ10日で消えるのか？

○－切りのいい日数になったのは全くの偶然。もし、中性子星合体で大きなものが飛び出すと、その日数は長くなり、逆に小さいと、日数も短くなる。

最後にファシリテーターの須藤さんより、物理の歴史に残る出来事を田中さんを通して追体験できたことへの謝意が述べられた。また、自分が生きている間に重力波が観測できるとは思わなかったこと、途方もないことでも人類はなんでも達成できるのではないか、とのまとめがされた。

