

重力波創世記領域シンポジウム開催報告

1. 新学術領域、重力波創世記について

重力波が直接観測される時代がやってきました。日本でもKAGRAが観測への準備を進めています。2017年度にスタートした新学術領域は、この好機を活かすために、重力波データ解析、対応天体観測、理論的研究が連携することで重要な成果を挙げるとともに、将来を担う若手研究者の育成をおこないこの新しい学問の創世をリードすることを目指すものです。八つの計画研究はA01-A03は連星ブラックホール(BH)合体、B01-B03は連星中性子星合体、C01, C02は超新星爆発からなります。A01, B01, C01の三つの計画研究は理論グループとデータ解析グループの連携による先進的な重力波解析手法の開発を、他の五つの計画研究は重力波検出が導く新しい物理学・天文学を切り開いていくことを目指すものです。各研究計画の詳細や計画代表者からのメッセージについては領域のホームページ¹⁾を参照してください。

2. 領域シンポジウムの様子

領域の初年度の成果をまとめたシンポジウムが2018年3月5日から7日に東京大学柏キャンパスの宇宙線研究所にて開かれました。日本から94名、アメリカなどから7名、合計101名の参加がありました(図1を参照)。プログラムは朝9:00から夕方18:00までみっちりある日もあり、重力波の電磁波対応天体が初めて観測された連星中性子星合体イベントGW170817についての特別セッションも組



図1 参加者。

まれました。このイベントについては天文月報の2018年1月号、2018年2月号にも特集したため、本報告ではそれ以外の側面について相対的に多く紙面を用いることにしたいと思います。ページ数の都合で多くは紹介できませんが、もし興味をもていただけたら、領域のホームページにいらしてください。講演のスライドは公開されています²⁾。

2.1 連星BHを主ターゲットとする研究

A01では重力波データ解析から重力理論に対する新たな制限を得ることを目標としています。GW170817とガンマ線バーストの同時観測による重力波の伝播速度に対する非常に厳しい制限が得られましたが、関連する発表がなされました。

加えて、BHの固有振動の周波数および減衰率が一般相対論の予言どおりかという点にも注目しています。擬似データを作成し、さまざまなデータ解析手法の能力を比較するという試みを進めています。また、ディープラーニングを重力波解析にいち早く取り入れている、EliuHuerta氏(シカゴ大)に招待講演をしていただきました。

A02のセッションでは重力波という新しい観測手段による重力理論の検証に向け、天文学的・宇宙論的観点からの重力波の研究についての議論がなされました。特に、最近繰り込み可能性が証明されたHorava-Lifshitz理論の低エネルギー有効理論であるアインシュタイン・エーテル理論について、GW170817を含む様々な観測や理論的整合性からの制限についての議論がなされたのが印象深いです。また、インフレーション中の揺らぎの理論と原始BH、一般化されたmimetic理論のハミルトニアン解析と不安定性、Chern-Simons理論における自己重力系等について、幅広い議論もなされました。

A03では重力波天体の起源の解明に向けての、宇宙初期の連星形成および進化過程の数値シミュ

レーション結果が報告されました。いまだ最終解決までには長い道のりではありますが、シンポジウムにおける議論を通じてそれに向けての筋道について理解が深まったと思われます。

2.2 連星中性子星を主ターゲットとする研究

B01ではGW170817の重力波から得た原子核の状態方程式の制限についてや、LIGO-VIRGO Collaborationの次期観測O3での共同観測に向けたKAGRAの準備状況が話われました。

B02ではMaxi, Swift, Calet, Fermiほか複数のX線、ガンマ線検出器がGW170817の発見において果たした役割が紹介されました。この重力波イベントに付随したショートガンマ線バーストはスペクトラムは典型的なものの、光度が低いという特徴があります。これを説明するための理論モデルについても話されました。

B03グループからは重力波イベントGW170817の光赤外線フォローアップ観測の結果と理論的な解釈が紹介されました(詳細は天文月報2018年2月号をご覧ください)。観測のセッションでは、これまでに得られた成果に加え、幅広い領域から対応天体を選び出す手法や、今後の観測体制の整備について議論が行われました。理論のセッションでは、数値相対論と輻射輸送のシミュレーションを通して、中性子星合体からどのような物質が放出されるのか、*r*-process元素合成の様子がどのように観測量に反映されるかなどについて議論を深めました。

2.3 超新星爆発を主ターゲットとする研究

C01では超新星爆発からの重力波を通してその爆発メカニズムの解明を目指します。理論、データ解析、実験のそれぞれから最新の研究成果が報告されました。理論としてはもちろん3次元シミュレーションの研究が王道ですが、その解釈のための線形解析も発展を見せています。データ解析では波形の特徴を用いたスパースモデリングが使用され始めました。また、もちろん超新星からの重力波は受かってはいませんが、近傍の超新星

と同じタイミングの重力波波形データが精査されるなど、超新星爆発からの重力波検出も非常に現実味を帯びてきています。早急な理論と観測手法の整備が必要だと感じました。

C02では重力波と同時に観測されるはずのニュートリノに着目し、他の研究班と同様観測と理論の研究者が協力して研究を遂行しています。観測については、スーパーカミオカンデの純水に硫酸ガドリニウムを添加することにより、超新星ニュートリノの検出効率を劇的に向上させる研究を進めています。長年にわたる準備を経て、2018年6月1日よりガドリニウムを添加するためのスーパーカミオカンデの改修工事を行います。加えて、スーパーカミオカンデに高性能計算機クラスタを導入し、オンラインのデータ処理能力を向上させました。これは特に近傍超新星爆発からのニュートリノの検出を即座に天体物理学のコミュニティへ通知することを目的としています。

理論については、C01重力波班の系統的な超新星爆発計算と合わせて、第一原理計算によるBH形成計算を行い、神岡での観測予測イベント数の違いからBHに至る場合の境目を探る可能性を示しました。

3. おわりに

「創世記」というタイトルが示すように、この重力波物理学・天文学の創生に際し、本領域が重要な貢献を残したと後世に伝えられるような成果を残すことが目標です。今後も面白い研究成果を着実に積み上げていきたいと考えています。

参考文献

- 1) <https://gw-genesis.scphys.kyoto-u.ac.jp> (2018.6.25)
- 2) https://gw-genesis.scphys.kyoto-u.ac.jp/ilias/goto.php?target=fold_892 (2018.6.25)

田中貴浩(京都大学大学院理学研究科/重力研究センター)
e-mail: t.tanaka@tap.scphys.kyoto-u.ac.jp