

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H06715

研究課題名(和文) 宇宙初期起源コンパクト連星からの重力波

研究課題名(英文) Gravitational waves from the remnants of primordial stars

研究代表者

衣川 智弥 (Kinugawa, Tomoya)

東京大学・宇宙線研究所・特任研究員

研究者番号：90779159

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、宇宙初期から現在までの連星の進化について研究することで、現在どのようなコンパクト連星が観測されるかを予測した。本研究計画中に、以下のような成果を出した。初代星連星からできるブラックホール中性子星連星の重力波での観測可能性を示した論文を発表した。初代星起源と現代御星起源の分布から修礼の観測結果を予想し、何天体観測することで初代星起源と判別ができるようになるかをモデル計算を行い論文として発表した。ガンマ線バーストとして連星起源のものを計算し宇宙初期で観測可能なガンマ線バースト数を計算し、論文発表を行った。

研究成果の概要(英文)：I researched binary evolutions and expected what kind of binaries will be observed. I wrote papers such as the neutron star - black hole binary of first star for gravitational wave observation, whether the binary black hole of first star can distinguish from the binary black hole formed at the present day, and the gamma ray burst rate of the binary merger model.

研究分野：宇宙物理学

キーワード：連星進化 初代星 重力波

1. 研究開始当初の背景

2015年9月14日、アメリカの重力波観測器 advanced LIGO は世界で初めて重力波 (GW150914) の直接観測に成功した。日本においても地上レーザー干渉計 KAGRA による重力波観測が開始する予定である。さらに将来計画としては、DECIGO (DECI-Hertz Interferometer Gravitational wave Observatory) などの人工衛星による宇宙空間での重力波観測も計画されており、DECIGO が動きだせば、より遠方宇宙からの重力波も観測できる。今はまさに重力波天文学の黎明期に位置している。

重力波観測のメインターゲットはコンパクト連星の合体である。コンパクト連星とはコンパクト天体 (ブラックホール、中性子星) からなる連星である。コンパクト連星の重力波による合体するまでのタイムスケールは数億年から宇宙年齢以上と非常に長い。したがって、宇宙初期にできたコンパクト連星でも現在で合体するものがあるはずである。しかし、宇宙初期から残っているコンパクト連星の寄与について、先行研究ではまじめに考慮されてこなかった。

そこで申請者は宇宙最初の星である初代星に注目し、重力波源として研究を行ってきた。最近の研究から、初代星の典型的な質量は 10-100 太陽質量と考えられている (Hosokawa et al. 2011)。これは、典型的な質量が太陽質量程度である現在の星に比べ、非常に重い。コンパクト星は元となる親星が 8 太陽質量以上だと考えられており、初代星は現在の星よりもコンパクト星になりやすい。さらに、初代星は重元素がないために、不透明度が小さく、星内部からの輻射を受けづらいため、輻射起源の星風による質量損失が効かない。つまり、質量を失わず重いまま進化していくため、より重いコンパクト星になりやすい。その結果、初代星起源の連星は典型的に約 30 太陽質量程度の連星ブラックホールになることを 2014 年に示した。一方で従来観測されてきたエックス線連星内のブラックホール候補天体は 10 太陽質量ほどの重さしかなく、30 太陽質量ほどの重いブラックホールはほとんど存在しないだろうと思われていた。しかし、LIGO による重力波の初検出はまさに約 30 太陽質量の重い連星ブラックホールの合体によるものであった。LIGO による最初の重力波の観測論文内でも、初代星による予測が重力波の観測結果と非常にっていると引用されている。これにより、従来考えられていなかった重い連星ブラックホールが多く存在することが示唆されている。これより、重力波源となる連星ブラックホールの起源が宇宙初期の低金属量の環境でできた星ではないかと注目されている。

2. 研究の目的

1. の背景により、今後、観測される重力波源として、宇宙初期からのコンパクト連星の累積が有力視されている。したがって、宇宙初期から現在までの各時代でのコンパクト連星の種類、特徴を明らかにし、それらが重力波によりどのように観測されるかを示す事が、重力波を通じて天文学を行う上で急務である。

宇宙は時代が進むごとに恒星の核融合や超新星爆発等によって生成された金属が増えていく。つまり、宇宙の各時代の恒星を見るという事は形成された際の金属量の違う恒星を見る事に対応する。なので、本研究では以下の項目に着目して研究を行った。

- (1) 金属量ごとの連星進化計算をする事でコンパクト連星と金属量の関係の調査、
- (2) 重力波観測結果との比較、
- (3) 重力波観測計画や他観測計画への提言。

これらの研究により、重力波をはじめとするこれからの天文学によって天体の物理、特に宇宙初期の天体の進化を明らかにしていくことを目的としている。

3. 研究の方法

本研究では、宇宙初期から現在までの連星の進化について研究することで、現在どのようなコンパクト連星が観測されるかを予測する。さらに、重力波観測との比較で、各金属量の連星進化の理論の検証を行う。具体的には下記の項目に従い研究を行う。

- (1) 金属量と連星進化の関係の解明
 - ・低金属量での連星進化計算
 - ・宇宙初期起源の天体から現在の天体までを考慮した重力波予想
- (2) 重力波観測結果との比較
 - ・初代星の存在証明
 - ・各金属量での連星進化理論の検証
- (3) 重力波観測計画や他観測計画への提言
 - ・将来のより遠方からの重力波で何が観測できるか。
 - ・重力波以外の高エネルギー天体現象へ連星進化計算を応用することで、他の観測の将来計画でなに見えるのかを提言する。

計算手法としては連星の進化シミュレーションを各金属量や連星のパラメータのモデルごとに百万体分行い、どのような連星が重力波や高エネルギー天体現象を行うかを調査する。特に、研究代表者は初代星の連星進化を詳細に追うことができる連星コードをすでに開発しているため、これを用いて初代星起源の連星進化計算を中心に行う。他の

金属量についての連星計算もコード制作を行い、計算を行う。

4. 研究成果

- (1) 金属量と連星進化の関係の解明、については、初代星連星からできるブラックホール中性子星連星の重力波での観測可能性を示した論文を発表した。ほかにも、初代星起源の中性子星 ブラックホール連星の合体率を計算し、KAGRA や LIGO で観測可能であることを示した。初代星起源の中性子星 ブラックホール連星は約 50 太陽質量ほどの重いブラックホールを持ち、質量によって、それ以降にできた星起源のものと区別できる可能性を示した。また、初代星起源の連星ブラックホールの形成シナリオについても今までの研究を総括し、より解析的に詳細に説いた論文を発表した。本論文により、現代の星と異なり、初代星は安定的な質量交換のみで連星進化を行えるということの詳細に明らかにした。
- (2) 重力波観測結果との比較については、初代星起源と現代の星起源の分布から将来の観測結果を予想し、何天体観測することで初代星起源と判別ができるようになるかをいくつかの連星モデルをもとにシミュレーションを行い結果を論文として発表した。本研究によって 20 個程度の連星ブラックホールの観測によって初代星起源を証明できる可能性について示した。
- (3) 重力波将来計画や他の観測への応用では、重力波観測の将来計画である DECIGO 計画及び、その実証機である pre-DECIGO について、サイエンステータゲットとして宇宙初期での初代星起源連星ブラックホール合体が観測可能であることを示し、論文として出版した。また、ガンマ線バーストとして連星起源のものを計算し論文発表を行った。本論文では日本の将来計画である High-z GUNDA M においてどの程度ガンマ線バーストが観測できるかの予測も行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 7 件)

T.Nakamura, M.Ando, T. Kinugawa
H.Nakano, K.Eda, S.Sato, M.Musha, T.
Akutsu, T.Tanaka, N. Seto, N. Kanda and

Y. Itoh, Pre-DECIGO can get the smoking gun to decide the astrophysical or cosmological origin of GW150914-like binary black holes, 9, 930 (2016)
T.Kinugawa, T.Nakamura and H.Nakano, The possible existence of Pop III NS-BH binary and its detectability, Progress of Theoretical and Experimental Physics, 2,210(2017)
Inayoshi Kohei, Hirai Ryosuke, Kinugawa Tomoya, Hotokezaka Kenta, Formation pathway of Population III coalescing binary black holes through stable mass transfer, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 468, 5020(2017)
Miyamoto Akinobu, Kinugawa Tomoya, Nakamura Takashi, Kanda Nobuyuki, How to confirm the existence of population III stars by observations of gravitational waves, Physical Review D, 96,1(2017)
Kinugawa Tomoya, Asano Katsuaki, Long Gamma-Ray Burst Rate in the Binary Merger Progenitor Model, The Astrophysical Journal, 849, L29 (2017)

〔学会発表〕(計 7 件)

衣川智弥、初代星連星の重力波観測可能性、初代星初代銀河研究会、呉、2018年2月

衣川智弥 “初代星からの重力波”、2017年天文天体物理若手夏の学校、長野、2017年7月

T.Kinugawa, Binary black hole remnants of first stars for the gravitational wave source, Collaborative Conference on Gravitational Wave, Jeju, Korea, 2017年5月

他省略

〔図書〕(計 0 件)

特になし

〔産業財産権〕

特になし

出願状況(計 0 件)

特になし

〔その他〕

第34回井上研究奨励賞 受賞

6. 研究組織

(1) 研究代表者 衣川智弥
(Kinugawa Tomoya)
東京大学宇宙線研究所・特任研究員

研究者番号：90779159