

京都大学教育研究振興財団助成事業
成 果 報 告 書

平成28年8月 18日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団

会 長 辻 井 昭 雄 様

所 属 部 局 理学研究科・宇宙物理学教室

職 名 准教授

氏 名 前 田 啓 一

助成の種類	平成28年度 ・ 研究者交流支援 ・ 外国人研究者招へい助成		
招へいた研究者	所属・職名	National Astronomical Observatoriesten, Chinese Academy of Sciences・postdoc researcher	
	氏 名	Yimingaji ABOLIMITI	
研究課題名	連星進化モデルによる重力波天体の研究		
招へい期間	平成 28 年 6 月 19 日 ～ 平成 28 年 7 月 18 日		
招へい成果の概要	タイトルは「成果の概要／報告者名」として、A4版2000字程度・和文で作成し、添付して下さい。「成果の概要」以外に添付する資料 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有()		
会計報告	交付を受けた助成金額	450,000 円	
	使用した助成金額	450,000円	
	返納すべき助成金額	0 円	
	助成金の使途内訳	航空券	50,000 円
		査証手数料	8,000 円
		国内移動費	7,000 円
		宿泊料(11,000円 x 29泊)	319,000 円
		日当(2,200円 x 30日)	66,000 円
	合計	450,000円	
当財団の助成について	(今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。) 銀行口座開設などのわずらわしい手続きが必要なく、非常に使いやすくて助かりました。特にアジア圏などの欧米以外の研究者招へいは他の助成で申請可能なものが少ないため、今後も継続・拡大していただけると良いと思います。		

研究課題名 (和文) 連星進化モデルによる重力波天体の研究

(英文) Population synthesis study of gravitational wave sources

中国国家天文台 (National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences) 所属のポスドク研究員である Yimingaji Abolimiti 氏を、平成 28 年 6 月 19 日平成 28 年度 7 月 18 日の期間にわたり招聘し、京都大学・宇宙物理学教室において共同研究を推進した。

本研究課題は連星進化モデルを用いたコンパクト連星 (ブラックホールや中性子星からなる連星) の合体頻度の計算であったが、申請後の平成 28 年 2 月に世界で初めて重力波検出が報告されたこともあり (GW150914)、本滞在は非常にタイムリーなものとなった。さらに二例目の検出も報告されており (GW151226)、本研究課題のための滞在時においてはこの二例の観測事実をもとに理論研究を進めることができるという非常に有意義なものとなった。

本課題においては、近年の恒星進化の進展を取り入れたような、これまで用いられていた手法よりも現実的な仮定の下で共通外層期を取り扱った際にコンパクト連星合体頻度がどの程度の影響を受けるのかを明らかにすることが第一の目的であった。この研究を推進し、共通外層の取り扱いは中性子連星合体の頻度に影響を与える一方、ブラックホール連星合体の頻度への影響は (現在の宇宙環境においては) 小さいことがわかった。逆に、現在の標準的な連星進化モデルはブラックホール連星合体頻度に関してはあまりモデルの詳細によらない確実な理論予測を与えるのに対し、中性子連星合体頻度に関しては不定要素が大きいことが明らかになった。

上記の理論計算は現在の宇宙における環境を想定したものであるが、一方宇宙初期には炭素、酸素、鉄といった重元素が存在しないため、恒星進化経路が異なり、したがって連星進化経路と結果としてのコンパクト連星頻度が現在とは異なることが予想される。このような宇宙初期で形成されたコンパクト連星が長い時間をかけたのちに現在合体するということが大いにあり得るため、重元素量が与える影響も検討しなければならない。実際、上記の重力波天体は第一例・第二例ともにブラックホール同士の合体からのシグナルであったが、特に第一例目は太陽の約 35 倍と 30 倍という非常に重いブラックホール同士の合体であることが判明しており、これは現在の重元素が豊富な環境で生まれた連星ではありえないことである。一方、二例目の観測例は太陽の約 14 倍と 8 倍のブラックホール連星合体であり、これは現在の宇宙の環境の下で予想されるイベントである。

そこで、本研究ではさらに、様々な連星パラメータ (初期軌道半径、初期質量など) を想定した場合にどのような質量のブラックホール同士の合体がどの程度の頻度で起こるか、さらにそれが金属量にどのように依存するかを連星進化モデルに基づいて計算した。図 1 に示したように、現在の環境においては約 10 倍質量程度のブラックホール同士の衝突が典型的であり高確率で起こるのに対し、金属量が現在の数十倍以下の初期宇宙においては数十太陽質量程度の質量の大きなブラックホール同士の衝突が高確率で起こる。さらに、このような傾向はこれまで用いられてきた連星モデルでは現れないが、今回の共通外層と恒星風の取り扱いをより現実的にした場合には自然な帰結として現れることが明らかになった。

したがって、GW150914は宇宙初期の金属量の少ない環境で生まれた連星の進化したもの、GW151226 は比較的最近、宇宙の中になんかなり重元素が豊富にできたのちに生まれた連星の衝突と考えられる。このような仮定のもとに、さらにこの重力波源としての性質の遷移が宇宙の進化に沿っていつ起こるのか、言い換えると宇宙の金属量が単調増加する中でどの段階までは30太陽質量程度の大質量ブラックホールを形成しどの段階から10太陽質量程度のブラックホールを形成したのかが面白い議論の対象となる。

これを調べた結果が図2である。上記遷移が起こる金属量に対し、GW151226のようなイベントとGW150914のようなイベントがおこる頻度の比がどのように変化するかを表してある。観測されている誤差範囲は影付きの領域で示してあり、いくつかのモデルについて理論的な予測値を示してある。これから、現在の宇宙よりも5-10倍程度重元素量が少ない場合がこの遷移に対応し、これより重元素量が少ない宇宙初期に生まれたものはGW150914と同様のシグナルを示し、一方これより重元素の大きいより最近の宇宙で生まれたものはGW151226と同様のシグナルを示すことが予測される。この遷移の時の重元素量は、おおむね連星進化モデル(のうち最近の恒星風モデルを取り入れたもの)と合致することがわかった。つまり、これまでに検出され重力波とブラックホールの性質はおおむね標準的な連星進化モデルで説明できることがわかった。

以上の結果について現在国際査読誌に論文執筆中であり、論文投稿後に改めて京都大学教育研究機構へは論文プレプリントを提出する予定である。また、今回の滞在においては上記研究のみならず将来的な共同研究に向けた様々な議論を行うことを目的としていたが、これに関しても密な議論から複数の将来計画を策定することができた。

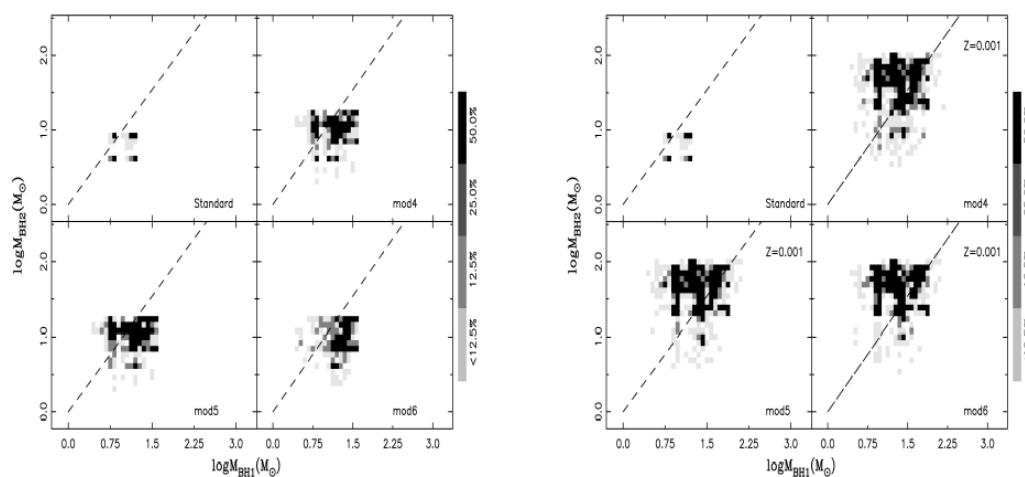


図1: 連星進化モデルの予想するブラックホール連星衝突時の質量分布。黒で示された質量範囲が最も頻度で発生する現象である。左のパネルは金属量が現在の宇宙と同じ場合であり、右のパネルは現在の金属量の1/10程度の時点で生まれた連星の衝突の場合である。また、各パネルで4つの小パネルがあるのはそれぞれ異なる連星進化の共通外層および恒星風の取り扱いを用いたものであるが、一般的とされて来たモデル(それぞれ左上のパネル)ではブラックホール質量が重元素量にあまりよらないことがわかる。一方、最新の共通外層進化・恒星風の

取り扱いを用いた場合、重元素量が少ない場合に限り重いブラックホールが形成されることがわかる。

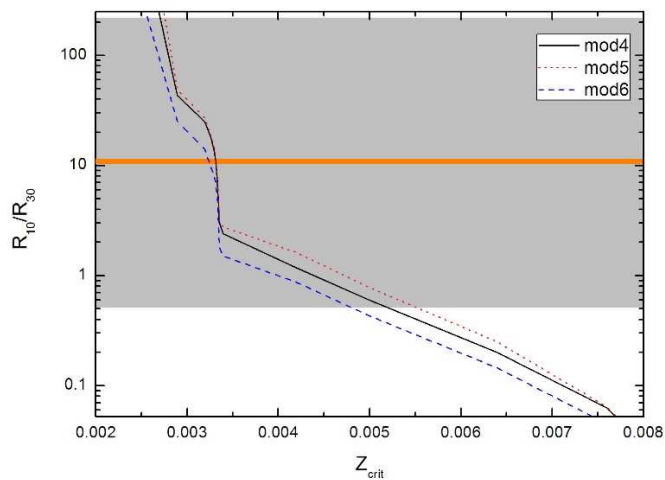


図 2: 比較的最近生まれた「10 太陽質量程度」のブラックホール連星の衝突頻度および宇宙初期で生まれた「30 太陽質量程度」のブラックホール連星衝突の比。横軸は遷移を起こす重元素量。赤、青、黒の理論予想。一方影付きの部分は GW150914 と GW151226 の観測から制限された二種類のブラックホール連星合体頻度 (日)。