

日本天文学会 早川幸男基金による渡航報告書

First Star V

氏 名：衣川智弥（東京大学研究員*）

*渡航当時

渡航先：ドイツ

期 間：2016年7月31日-8月5日

私はドイツのハイデルベルクで行われた研究会“First star V”に参加し、ポスター発表を行いました。本研究会は、天文学における重要なトピックである初代星の形成や進化、またそれらが基になっている可能性のある超大質量ブラックホールの形成についての研究成果が発表されていました。私は本研究会において「Binary black hole remnants of first stars for the gravitational wave source」というポスター発表を行いました。

私は現在、初代星起源のコンパクト連星合体の重力波による観測可能性を理論的に研究しています。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ました。日本でも重力波観測器KAGRAがテスト稼働を終え、本格的な観測に向け動き出しています。これら重力波観測器のメインターゲットはコンパクト連星の合体です。コンパクト連星とは、星が寿命を終え超新星爆発や重力崩壊を起こしてできるコンパクト星（ブラックホール、中性子星）同士の連星で、コンパクト連星は重力波放出により軌道が縮まり、いずれ合体します。合体およびその直前には強い重力波を発するので重力波観測器でその現場を捉えることができます。しかし、重力波によるエネルギー放出は弱いため、合体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くなります。したがって、宇宙初期にできたコンパクト連星でも現在に合体するものがあるはずです。よって、重力波観測において宇宙初期にできたコンパクト連星

の寄与が効いてくると考えられます。そこで、われわれは初代星に注目しました。最近の研究から、初代星の典型的な質量は10-100太陽質量程度と考えられています。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、非常に重い天体です。コンパクト星は母天体が8太陽質量以上なので、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ので、より重いコンパクト星になりやすいという特徴をもちます。重力波観測は質量の5/2乗で観測範囲が広がるので、観測に有利になります。したがって、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ました。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年に示しました。この結果は連星特有の不定パラメータや初期条件によらず、初代星自体の星の進化の物理から決まっていることも2016年に明らかにしました。なぜ、初代星が30太陽質量の連星ブラックホールになるかという点、初代星は前述のように典型的に10太陽質量から100太陽質量の大質量星として生まれます。そのうち、50太陽質量より小さいものは半径が小さく進化するため、連星の相互作用などによる質量の損失が効きにくくブラックホールになるものはほとんどそのままの質量で進化していきます。一方、50太陽質量より重いものは半径が大きく連星の相互作用によって質量を失い30太陽質量程度の星に落ち着きます。そのため、初代星は典型的に約30太陽質量の連星ブラックホールとなります。一方で従来観測されてきたX線連星内にあるブラックホール候補天体は10太陽質量程度であり、30太陽質量のような重いブラッ

クホールはほとんど存在しないだろうと思われていました。しかし、LIGOによる重力波の初検出 (GW150914) 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、宇宙には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おり、それが初代星起源だった可能性がでてきます。

私は本研究成果は重力波業界だけでなく、初代星形成および進化について研究している方々にも知っていただきたく、本研究会で研究の発表および議論をしてきました。現地でも、海外のいろいろな研究者の方に興味をもっていただき、特にINAFのStefania Marassi氏やMITのAlexander Ji氏には非常に興味をもっていただき、初代星の観

測可能性や初期宇宙でのr-processなどについて議論を交わしました。特に、宇宙初期のr-process元素の起源については、私の結果では初代星起源の連星中性子星が形成されないという結果が出ているので中性子星ブラックホール連星でのr-process元素形成も考えたほうがいいのではないかと議論をJi氏と行いました。

本研究会へ参加したことで、今まで議論したことのない方々と議論ができ、今後の研究を進めるうえで非常に貴重な経験となりました。今回の渡航に関しまして、多大な援助をいただいた、日本天文学会早川基金ならびに関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

日本天文学会 早川幸男基金による渡航報告書 *The Supernovae through the Ages Conference*

氏 名: 川端美穂 (広島大学理学研究科D1*)

* 渡航当時

渡航先: チリ共和国

期 間: 2016年8月7日-8月17日

私は2016年8月9日から8月13日に、チリ共和国イースター島で開催された国際会議 “The Supernovae through the Ages Conference” に参加し、自身の研究成果についてポスター発表を行いました。また理論から観測までさまざまな手法で超新星の研究を行っている各国の研究者と議論を行うことができました。

この研究会のテーマは、近傍に現れた個々の超新星についての詳細な観測や、LSST (the Large Synoptic Survey Telescope) など将来的に稼働予定の大規模サーベイによる研究を通して、超新星を引き起こす天体の素性や進化、爆発メカニズムを解明しようというものでした。私は、“Long-

term Optical/NIR Observations of Type Ia Supernova SN 2014dt” というタイトルで、可視・近赤外線域での長期にわたる観測から特異なIa型超新星の爆発メカニズムを制約したことについて講演しました。

Ia型超新星は、極大光度と減光速度の相関関係が調べられており (Phillips, 1993), これを遠方宇宙で出現したIa型超新星の観測データに適用することにより、宇宙の加速膨張の発見という非常に重要な研究成果がもたらされました (Perlmutter et al., 1999; Riess et al., 1998). このように、Ia型超新星は宇宙論的研究にとっても重要な天体にもかかわらず、伴星 (主系列星か赤色巨星) からの質量降着で爆発を引き起こすのか、二つの白色矮星の合体によるものなのかという爆発メカニズムに関する根本的な問題の決着には至っていません。一方、Ia型超新星の中でも極大時の光度が光度変化から予想される値に比べ1等以上

暗い特異な Ia 型超新星が見つかり、この特異な Ia 型超新星は Iax 型超新星と呼ばれています (Foley et al., 2013 など)。Iax 型超新星は通常の Ia 型超新星に比べ暗いだけでなく、初期は明るめの Ia 型超新星に類似した高温のスペクトルを示す、放出物質の速度が遅い、といった特徴を示します。この類似性・相違性から、Iax 型超新星の爆発メカニズムの解明は長年、未解決問題として議論されている Ia 型超新星の爆発メカニズムの解明の手掛かりとなる可能性が示唆されており (Foley et al., 2013)、注目されるようになりました。しかし、十分に観測された Iax 型超新星の例は 3, 4 例しかなく、観測例の増加が切望されています。私たちは近傍銀河に現れた Iax 型超新星 SN 2014dt を、広島大学 1.5 m かなた望遠鏡、大阪教育大学 51 cm 望遠鏡を用いて早期の密な観測を行い、すばる 8.2 m 望遠鏡を用いた後期の詳細な観測を組み合わせることで、発見 3 日後から約 400 日にわたるデータを継続的に取得しました。長期にわたる精度の良い観測データを得られたことから、解析的な光度曲線モデルの比較において、精度よく爆発パラメータ (放射性元素 ^{56}Ni の質量、運動エネルギー、放出物質の質量) を決定することができました。得られた値は典型的な Ia 型超新星のものより小さいことから、爆発エネルギーが小さ

いため白色矮星全体を吹き飛ばすことができず、放出物質の質量が小さいと考えられます。さらに本研究では、可視・近赤外域でもデータを取得しており、広い波長帯での SED の時間変化から、Iax 型超新星の爆発メカニズムの中で“白色矮星の残骸が残る弱い燃焼波モデル (Fink et al., 2014)”の兆候と考えられる特徴を捉えることができました。

今回の国際研究会では、Iax 型超新星に注目して精力的に観測的研究を行っている研究者が参加しており、彼らの講演を聞くことで今後の研究における手がかりを得られました。十分な観測データがないためにほとんど触れられていなかった課題についても、今後、研究が進むにつれ、Iax 型超新星の特徴を捉えるうえで重要になると感じました。これらの議論を糧にして、今後も研究に励んでいこうと思います。さらに、Iax 型超新星だけでなく、ほかのタイプの超新星研究において第一線で活躍する研究者も多く集まっており、最先端の超新星の観測および理論研究について話を聞くことができ、非常に有意義に過ごすことができました。

このような貴重な機会をいただき、たいへん有難うございました。日本天文学会および早川幸男基金の関係者の皆様に感謝申し上げます。