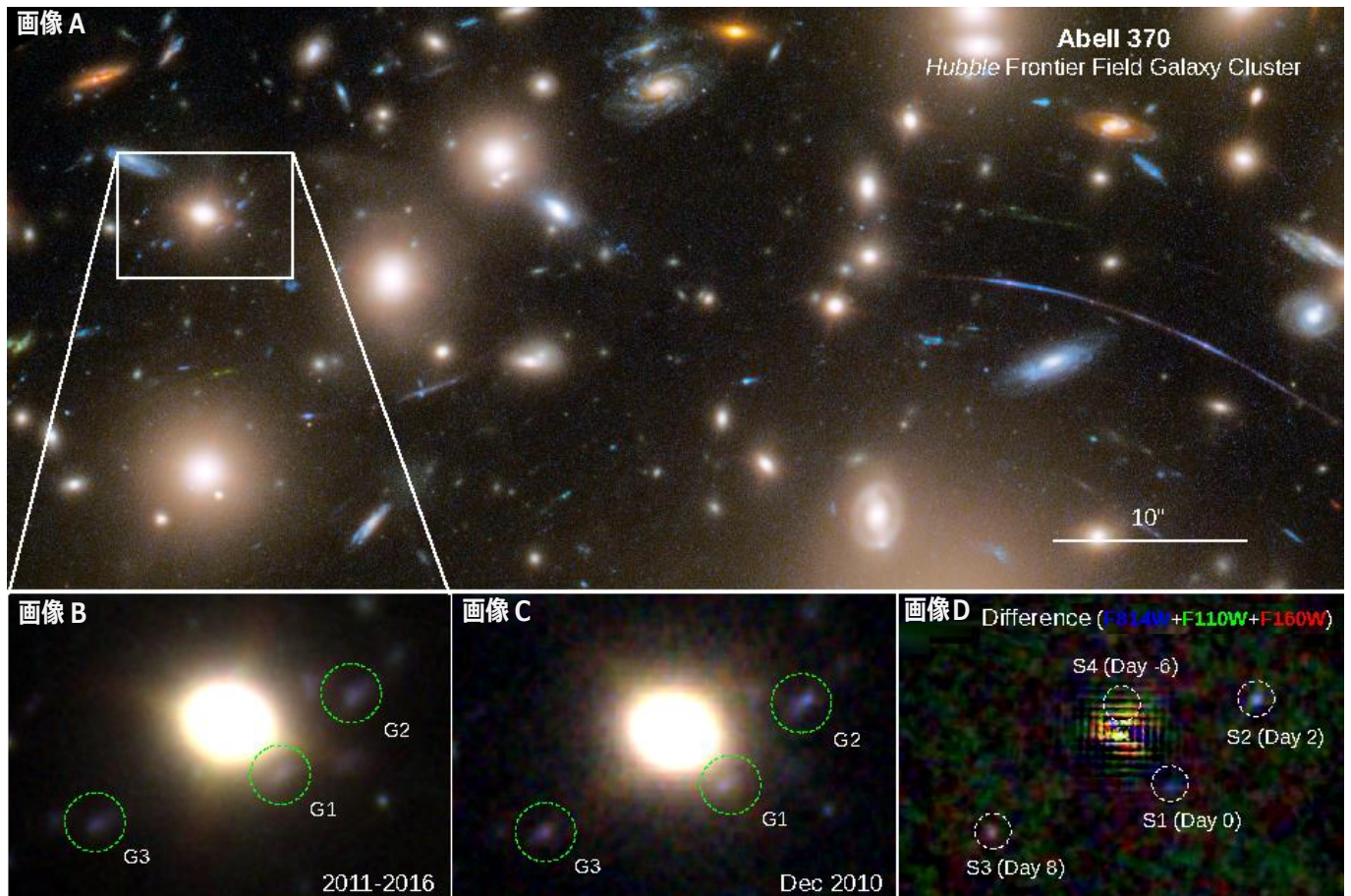




115 億光年の遠方から届いた超新星爆発初期の様子 —重カレンズにより超新星爆発の遠方観測世界記録を大幅に更新—

千葉大学先進科学センターの大栗真宗教授らの国際共同研究チームは、115 億光年（1 光年は光が1 年間に進む距離）離れた遠方の超新星爆発の初期の様子を捉えることに成功しました。超新星爆発は重力レンズ^{注1}と呼ばれる望遠鏡によって3 個に分裂して観測され、またそれぞれの重力レンズ像の到達時間の違い（時間の遅れ^{注2}）を利用することで超新星爆発初期の明るさの時間変化をも捉えることができました。また今回観測された超新星は、太陽の約500 倍の半径を持つ赤色巨星（比較的低温度の巨大な恒星）の死に伴うものであったことが明らかになりました。初期放射の観測により、爆発した元の星（親星）の性質が明らかになったものとしては、これまでで最遠方の超新星爆発です。

本研究結果は英学術誌 *Nature* 11 月 10 日発行号に掲載されました。



(credit: NASA/ESA/HST Frontier Fields/W. Chen et al.)

画像 A：銀河団 Abell 370 のハッブル宇宙望遠鏡画像および超新星爆発が観測された領域の拡大図。

画像 B：超新星爆発が観測されていない時期の画像。

画像 C：超新星爆発が観測された時期の画像。

画像 D：画像 B と画像 C の差分。超新星爆発の三つの複数像が確認できる。また複数像の到達時刻の遅れを考慮すると、これらの複数像は爆発後の異なる時期の超新星爆発の様子を示しており、時間とともに温度が低下し色が赤くなっていることが見てとれる。

■ 研究の背景

超新星爆発は星の死に伴う爆発現象で、星の中で合成された元素を撒き散らすことにより宇宙の元素進化をもたらす。星の形成や銀河の進化において主要な役割を果たします。しかしながら、超新星爆発をもたら

す物理的機構については未だ解明されていないことも多く、理論研究および観測研究が活発に行われています。特に、どのような質量や半径の星の死によってどのような種類の超新星爆発が起こるのか、すなわち観測されるそれぞれの超新星爆発についてそれらの親星の情報が得られれば、超新星爆発の物理的機構の解明の大きな手がかりとなります。しかしこれまで親星の情報が得られていたのは、我々から数億光年以内の近傍の超新星爆発に限られていました。

■ 研究の成果

ミネソタ大学の Wenlei Chen 博士研究員と Patrick Kelly 准教授、千葉大学の 大栗教授を中心とする国際共同研究チームは、ハッブル宇宙望遠鏡で撮影された銀河団 Abell 370 (くじら座の方向、地球から 42 億光年) のアーカイブ画像を調査し、2010 年 12 月に観測された画像から重力レンズ効果によって 3 個に分裂して観測された超新星爆発を発見しました。解析の結果、地球から 115 億光年離れた非常に遠方の超新星爆発であることがわかりました。

重力レンズで複数像が観測される場合、異なる像からの光は異なる経路を通過して地球に到達するため、到達時刻に時間差が生じます。重力レンズ質量モデルの計算から、観測された 3 個の超新星爆発の複数像は、それぞれ数日の時間差で地球に到達していたことがわかりました。この時間差を利用することで、一枚の画像の観測から超新星爆発の明るさがどのように時間変化していたかを導き出すことに成功しました。こうして得られた明るさの時間変化から、爆発から 6 時間後の、非常に爆発初期の超新星爆発の姿を捉えていたことが明らかとなりました。爆発初期の明るさと色の時間変化は、衝撃波が星の表面を通過したのち星が膨張し温度が低下する、衝撃冷却の時期の時間変化を観測したものと解釈でき、これにより親星の半径を精度よく予測することができます。我々の解析によって、親星の半径は太陽の半径の約 500 倍 (約 3 億 5000 万 km) と見積もられ、親星は赤色巨星であることが明らかとなりました。初期の明るさと色の変化によりその親星の性質が明らかになった超新星爆発としては、これまでの記録を大幅に更新する最遠方の超新星爆発となります。

■ 今後の展望

本研究は、重力レンズの時間の遅れを利用して重力レンズ効果で増光した遠方の超新星爆発を発見するのみならず、その明るさと色の時間変動をも同時に観測し、その性質を詳しく調べることが可能であることを実証しました。この手法をジェームズウェッブ宇宙望遠鏡 (2021 年 12 月打ち上げ、2022 年 7 月観測開始) やルービン天文台 (2023 年観測開始予定) の観測画像に適用すれば、遠方超新星の理解が進むことが期待されます。

また、重力レンズ効果を受けた遠方の超新星爆発の観測頻度から宇宙の星形成史を調べることも可能となります。今回の発見に基づき 115 億光年の遠方までの超新星爆発頻度を観測的に求めた結果、遠方の宇宙でこれまで考えられていたよりも多くの超新星爆発が起こっており、星の形成が活発であったことも明らかになりました。今後の同様の手法を用いた将来の観測により宇宙初期から現在までの幅広い年代の星形成史を調べることができるでしょう。

■ 用語解説

注 1) 重力レンズ : 恒星や銀河などが発する光が、観測者から見て手前にある天体などの重力の影響で曲げられる現象。これにより複数の像が見えたり、変形した像が見えたりする。

注 2) 時間の遅れ : 重力レンズの影響を受けた光は、異なる経路で観測者に到達することで到達時間に差が生じる。

※重力レンズおよび時間の遅れについては、以下の解説動画もご参照ください。
《千葉大学研究紹介》先進科学センター・理学部物理学科 (宇宙論グループ)
<https://www.youtube.com/watch?v=OKquCm7MEyM>



■ 研究プロジェクトについて

本研究は JSPS 科研費 JP20H00181, JP20H05856, JP22H01260, JP18K03693 の支援を受けて行われました。

■ 論文情報

タイトル : Shock cooling of a red-supergiant supernova at redshift 3 in lensed images

著者 : Wenlei Chen, Patrick L. Kelly, Masamune Oguri, Thomas J. Broadhurst, Jose M. Diego, Najmeh Emami, Alexei V. Filippenko, Tommaso L. Treu & Adi Zitrin

掲載誌 : Nature

DOI : <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05252-5>

<本研究に関するお問い合わせ>

千葉大学先進科学センター 教授 大栗真宗

TEL:043-290-3522 E-mail:masamune.oguri@chiba-u.jp

<広報に関するお問い合わせ>

千葉大学広報室

TEL:043-290-2018 E-mail:koho-press@chiba-u.jp