

超新星爆発の瞬間「ショックブレイクアウト」を初観測 —コンピュータシミュレーションの正しさを実証—

概要

京都大学大学院理学研究科 前田啓一准教授らの国際研究グループ（アルゼンチン・ラプラタ国立大学天体物理学研究所、国立天文台、京都大学、東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構ほか）は、アルゼンチンのアマチュア天文家の Víctor Buso 氏が観測した超新星が、ショックブレイクアウトと言われる爆発したばかりの段階であったということ、観測データの解析及びシミュレーションから明らかにしました。ショックブレイクアウトは、理論から長年予測されていたものの、継続時間が短いとされる現象のためこれまで観測で捉えられたことはなく、世界中の研究グループにより探されてきました。重い質量の星がどのように超新星爆発として爆発するのかを理解する上で、今回得られた超新星爆発の最初の瞬間の情報は大変重要な一歩です。

本研究成果は英国科学雑誌 Nature の 2018 年 2 月 22 日号に掲載されました。



図 1. ショックブレイクアウトの様子を表す想像図（Credit：東京大学・Kavli-IPMU）

1. 背景

重い質量の星がどのように超新星爆発として爆発するかを理解することは、天体物理学において重要ですが、爆発以前の星の構造が超新星爆発の性質に与える影響は明らかとなっていません。そのため、超新星爆発が生じる最初の瞬間の情報を得ることは、この問題を解明する上で極めて重要です。理論から、超新星爆発が生じる際には爆発の衝撃波が星の内部へ伝わった後に表面へ到達し、X線等の電磁放射線と可視光が生じると考えられています。この最初期の様子はショックブレイクアウトと呼ばれており、突如として起きるという予測不可能な性質と短い継続時間のために観測が難しく、近年の大型観測の努力にも関わらずこの現象を捉えられる可能性を持った決定的な観測はありませんでした。

2. 研究手法・成果

しかし、2016年9月にその状況は予期せずして変わることとなりました。アルゼンチンのロサリオのアマチュア天文家である Víctor Buso 氏は、家の屋根の上にある40cm反射望遠鏡に新しいカメラを搭載してテストしていました。彼は、天頂近くにあった渦巻銀河の NGC613 にカメラを向け、美しい写真を撮ろうと短時間露出で写真を撮り始めました。1時間近くして、Buso 氏は銀河中心の南側に新しくごく小さい天体が現れていたことに気づきました。小さな点は動いて何処かに動いてしまったり画像から消えるということもなく、時間が経つにつれより鮮明になっていきました(図2)。

Buso 氏が捉えたのは超新星爆発で、その後 SN2016gkg と呼ばれるようになりました。Buso 氏の発見についての情報はすぐに本研究グループに伝わり、本格的な解析が開始されました。研究グループはこの観測結果がこれまでにない性質を持つことに直ぐに気づきました。Buso 氏の一連の観測画像に見られる急速な増光は、これまでの超新星では類似するものがありません。この性質は、超新星爆発が生じるショックブレイクアウトの段階で SN2016gkg が発見されたことを示す決定的な証拠でした。

研究グループはさらに注意深く画像を解析し、画像データとコンピュータシミュレーションを比較しました。Buso 氏の観測は天体観測には不適な大都市の中心付近で行われたものでしたが、短時間における明るさの変化をとらえるのに十分な質の画像でした。幸運にも、超新星 SN2016gkg が爆発した際、大都市においてはまれな天体観測に適する夜空のコンディションが実現されていました。Buso 氏の発見は、これ以外にも様々な幸運とも言える偶然が積み重なりもたらされたものです。超新星爆発は平均して各銀河で1世紀あたり1個生じるかという頻度であり、超新星爆発を捉えられる機会はそう多くありません。加えて、銀河の中心部や腕の部分など明るい場所で起きていたら、見過ごされてしまっていたかもしれません。超新星 SN2016gkg は丁度良いタイミングで爆発しただけでなく、銀河中心部から離れた場所で生じたことも幸いしました。様々な偶然が重なった Buso 氏の発見は、少なくとも千万分の一程度の確率に相当するものです。

研究グループにより行われたシミュレーションは、Buso 氏の観測した超新星 SN2016gkg の初期の急激な増光が超新星爆発に伴う衝撃波の出現により生じること、更にはその後に超新星爆発が発展していく様子を矛盾なく再現しました(図2)。つまり、観測事実が研究グループのモデルを支持した結果と言えます。アマチュア天文家によりもたらされたこの幸運な発見により、ショックブレイクアウトの段階も含めた研究グループのモデルの有用性の検証が可能となったのです。

3. 波及効果、今後の予定

ショックブレイクアウトの性質は爆発した星の構造により異なることが予想されています。逆に、ショックブレイクアウトの調査は、爆発直前の星がどのような性質を持っているかという未解明問題に対する新たな研究手法となります。今回初めて可視光でショックブレイクアウトの決定的な検出がなされ、またその観測データが理論モデルを支持したことにより、ショックブレイクアウトを用いた超新星の研究の基礎が築かれました。現在、複数の大規模超新星サーベイ計画の開始時期にあたり、国内でも東京大学木曾観測所で新広視野カメラを用いたサーベイが2018年度から本格稼働する予定です。今後さらに同様の現象が捉えられることが期待されます。今回は撮像データの取得でしたが、次の目標は爆発直後におけるより詳細な分光観測であり、やはり2018年度に稼働予定の、京都大学が岡山に建設中の3.8m望遠鏡における重要なターゲットでもあります。また、ショックブレイクアウトは短時間ながら超新星が最も明るく輝く瞬間であり、非常に遠方の超新星を発見することも期待されています。すばる望遠鏡の超広視野ハイパー・シュプリーム・カムを用い、遠方まで広視野で撮像をおこなって、ショックブレイクアウトを発見するプロジェクトも進行中です。

<イメージ図>

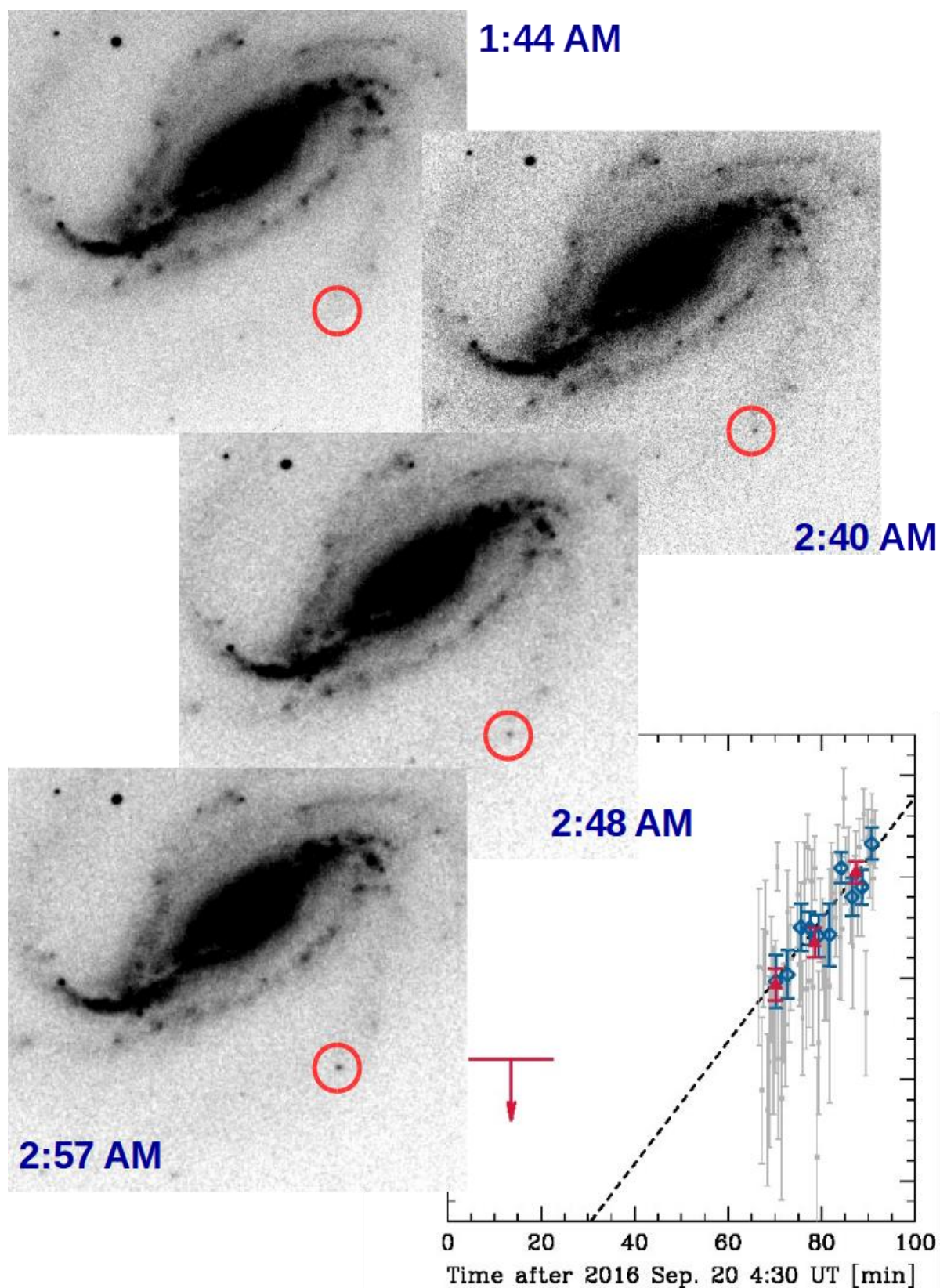


図 2. 一連の銀河の画像は、V́ctor Buso 氏によって観測されたものです。赤い丸で示すように、超新星 SN2016gkg は ちょうこくしつ座にある NGC613 の銀河の外れに出現しました。各画像右下は、撮影時刻です。右下のグラフで示すように、超新星は 1 時間以内のうちに出現して光り輝き、安定的に明るくなっています。(図は Nature 論文より改変して掲載)

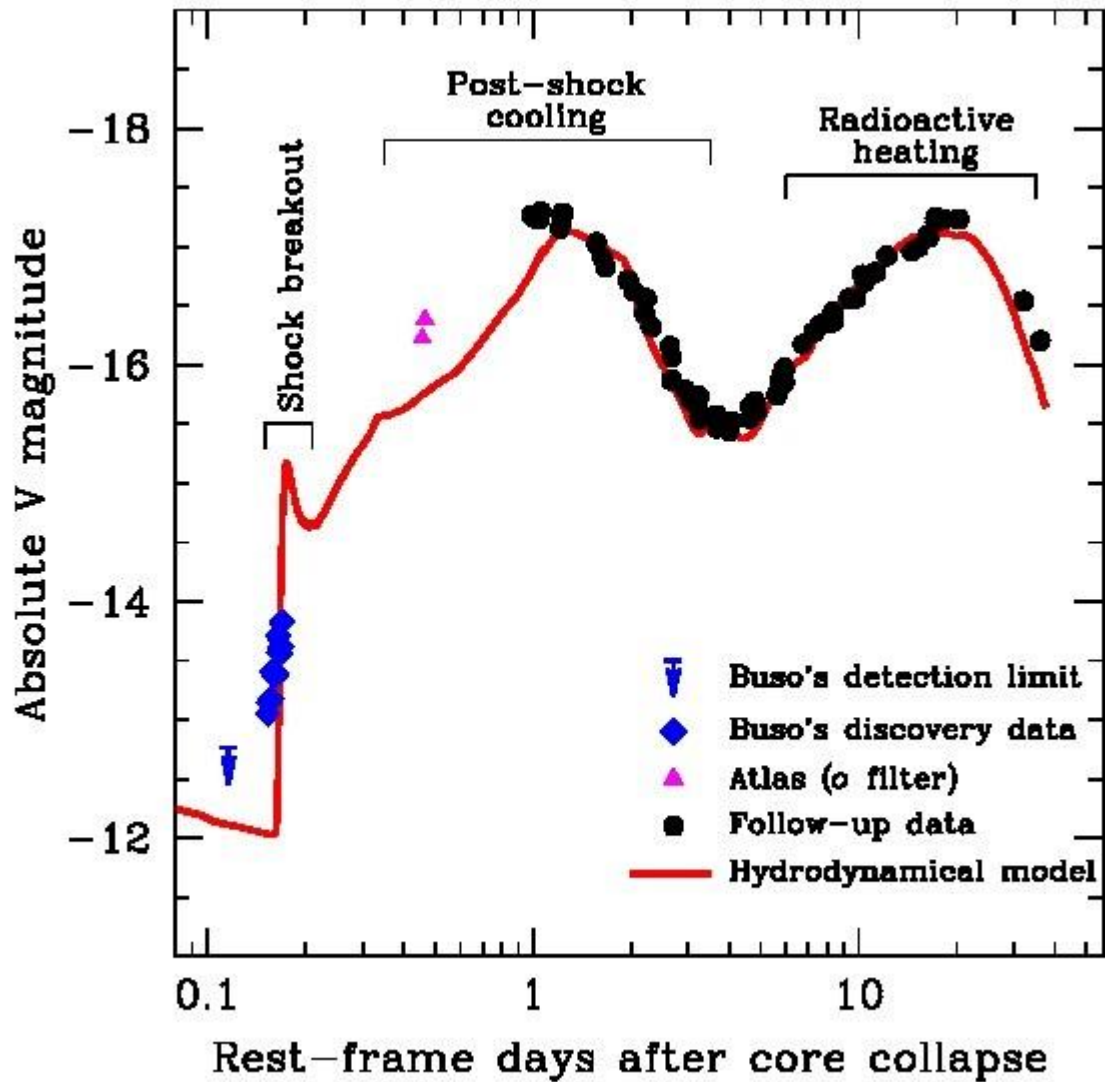


図 3. 観測された SN2016gkg の光度曲線 (点で示す部分) と爆発モデル (赤線)。モデルは異なる時間スケールで起きる超新星爆発の 3 つの段階を再現しています。1 番目がショックブレイクアウト (数時間スケール)、2 番目が衝撃後冷却による放射 (数日スケール)、最後が放射性加熱で生じる放射です (数週間スケール)。Buso 氏の発見は青の点で示しており、ショックブレイクアウトの急激に明るくなっていく段階に相当します。(Credit : Bersten et al. 2018, Nature 22 Feb issue)

<論文タイトルと著者>

論文タイトル : A surge of light at the birth of a supernova

著者 : M. C. Bersten (1,2,3), G. Folatelli (1,2,3), F. García (2,4,5), S. D. Van Dyk (6), O. G. Benvenuto (1,2), M. Orellana (7), V. Buso (8), J. L. Sánchez (9), M. Tanaka (10), K. Maeda (3,11), A. V. Filippenko (12,13), W. Zheng (12), T. G. Brink (12), S. B. Cenko (14,15), T. De Jaeger (12), S. Kumar (12), T. J. Moriya (10), K. Nomoto (3), D. A. Perley (16), I. Shivers (12) & N. Smith (17)

著者所属 :

1. Instituto de Astrofísica de La Plata (IALP), CONICET, Argentina
2. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Paseo del Bosque, B1900FWA, La Plata, Argentina.
3. Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe, Todai Institutes for Advanced Study, University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8583, Japan.
4. Instituto Argentino de Radioastronomía (CCT-La Plata, CONICET; CICPBA), CC No. 5, 1894 Villa Elisa, Argentina.
5. Université Paris Diderot, AIM, Sorbonne Paris Cité, CEA, CNRS, F-91191 Gif-sur-Yvette, France.
6. Caltech/IPAC, Mailcode 100-22, Pasadena, California 91125, USA.
7. Sede Andina, Universidad Nacional de Río Negro, Mitre 630 (8400) Bariloche, CONICET, Argentina.
8. Observatorio Astronómico Busoniano, Entre Ríos 2974 (2000), Rosario, Argentina.
9. Observatorio Astronómico Geminis Austral, Rosario, Argentina.
10. Division of Theoretical Astronomy, National Astronomical Observatory of Japan, National Institutes of Natural Sciences, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan.
11. Department of Astronomy, Kyoto University, Kitashirakawa-Oiwakecho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan.
12. Department of Astronomy, University of California, Berkeley, California 94720-3411, USA.
13. Miller Senior Fellow, Miller Institute for Basic Research in Science, University of California, Berkeley, California 94720, USA.
14. Astrophysics Science Division, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771, USA.
15. Joint Space-Science Institute, University of Maryland, College Park, Maryland 20742, USA.
16. Astrophysics Research Institute, Liverpool John Moores University, IC2, Liverpool Science Park, 146 Brownlow Hill, Liverpool L3 5RF, UK.
17. Steward Observatory, University of Arizona, 933 North Cherry Avenue, Tucson, Arizona 85721, USA.

雑誌名 : Nature DOI : 10.1038/nature25151 (2018年2月22日掲載)

論文のアブストラクト(Nature のページ) <https://www.nature.com/articles/doi:10.1038/nature25151>

<関連機関リンク>

国立天文台 : <https://www.nao.ac.jp/>

東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構 : <http://www.ipmu.jp/ja>