

NEWS RELEASE (2023年8月18日) 取材依頼

21世紀で最も明るい重力崩壊型超新星の追観測による成果
-大学望遠鏡とアマチュア天文家のタッグによる高い機動力を活かした成果-

報道機関 各位

平素より本学の報道に関しては大変お世話になっております。大学院理工学研究科天の川銀河研究センターは、21世紀で最も明るい重力崩壊型超新星の追観測による成果をあげました。つきましては、以下の通りお知らせ致しますので、是非とも取材していただきますようどうぞ宜しくお願いいたします。

【趣旨】

本学の大学院理工学研究科の山中雅之特任助教らが21世紀以降で最も明るい重力崩壊型超新星の追観測によって成果を挙げました。近年、爆発直後の超新星に強い輝線が検出されていることが報告されています。これは、爆発の前に星から噴出して形成された星周ガスの存在を示唆します。その後、いくつか観測例が増えたものの詳細な観測事例が乏しく、特に輝線を示す組成には多様性が認められるのか、その特徴と超新星そのものの性質に関係性が存在するのか、などは明らかになっていませんでした。超新星 SN 2023ixf は太陽系から非常に近くの銀河 M101 にて爆発後間もない時期に発見されました。研究グループは、発見情報をすぐにつかみ翌晩から超新星 SN 2023ixf の分光観測および近赤外線観測を実施しました。その結果、スペクトルにおいて水素・ヘリウム・炭素・窒素による強い輝線を見出しました。この超新星が窒素などを豊富に含む星周ガスを持つと類推されます。このガスは、爆発する元の星から噴出されたものと考えられます。超新星を引き起こす星の進化に対する理解への手助けとなるものであり、今後の理論研究の発展に期待が持たれます。

【内容】

近年、重力崩壊型超新星(用語解説*1、以降このタイプを単に超新星と呼びます。)の分光観測によって注目すべき現象が発見されました。スペクトル(*2)に水素などの元素の強い輝線が発見されたのです。これは星周ガスと呼ばれる、星のごく近くを取り巻くガスが存在することを意味します。恒星が爆発直前に活動的となり、ガスを噴出することで形成されると考えられます。予測されていなかった現象で、当時の多くの超新星研究者を驚かせました。その後、いくつかの超新星で輝線が観測されましたが、サンプルが乏しく星周ガスの詳細な性質は依然として理解が進んでいません。特に、星周ガスの組成には多様性が認められるのか、どのような超新星がどのような星周ガスを持つのか、といったことが明らかになっていません。ガス組成と超新星の性質の関係性を明らかにすることができれば、爆発直前の星の進化過程を理解する手助けになると期待されます。

ただし、このような輝線は一般的には爆発した後 2-3 日程度という短い期間で弱くなり見えなくなってしまいます。輝線を捉えるためには、発見後に速やかに分光観測を行う必要があります。超新星の多くは暗いため、口径 2-8 メートルの大型望遠鏡が使われるケースがほとんどでした。これらの望遠鏡はユーザーである研究者が多く、アクセスできる時間が限られます。より小さな望遠鏡でも観測できる明るい超新星の出現が待たれていました。

5 月 19 日にビッグニュースが舞い込んできます。世界的なアマチュア天文家である板垣公一氏が太陽系からわずか 2100 万光年先にある渦巻銀河 M101 に超新星 SN 2023ixf を発見したのです。そのニュースは全世界を駆け巡り、プロ・アマチュアを問わず追観測がなされました(補足事項 1)。発見時に 14.9 等であったこの超新星は増光を続け、5 月 24 日には 10.8 等にまで到達しました。これ程明るくなる超新星はたいへん稀です。

私たちもいち早く情報をつかみ、観測を開始しました。岡山県では、発見の翌晩から共同研究者の 1 人であるアマチュア天文家の藤井貢氏が、40cm 望遠鏡に搭載された自作の分光器でスペクトルの取得を開始しました(補足事項 2)。得られたスペクトルはとても精度が高いもので、十分に天文学的な研究調査が可能でした。そのスペクトルには強い輝線とともに青い連続光と呼ばれる特徴が見られ、初期段階の重力崩壊型超新星に合致していました。これは、SN 2023ixf が 21 世紀以降で見かけの上では最も明るい重力崩壊型超新星であることを意味します(補足事項 3)。藤井氏は、その後も観測を続け推定爆発日から 8 日間で合計 4 本ものスペクトルを取得しました。

まず、研究グループはこのスペクトルを使って水素の輝線を調査しました。その結果、水素の輝線は 2 つの成分に分けられることを見出しました。それぞれ、超新星そのものの膨張ガスと取り巻いていた星周ガスに対応します。さらに、スペクトルには水素だけではなく、ヘリウムや炭素、窒素などの輝線が存在することを明らかにしました。窒素などの元素が豊富に星周ガスに含まれていることを意味します。さらに、これまでの星周ガスを持つ超新星サンプルを集め比較検討を行いました。その結果、特に、炭素と窒素をスペクトルに示さない超新星に比べ、窒素などを豊富に有している可能性が示唆されました。

過去の炭素と窒素を示した超新星は僅少なながらも 3 例あって、重力崩壊型超新星の中でも比較的高い光度(補足事項 4)を持つものでした。研究グループでは、鹿児島大学でも発見の翌晩から入来観測所の 1m 望遠鏡を使って近赤外線観測を開始していました(補足事項 5)。その結果、近赤外線波長域においては絶対等級が -18 等程度であるとわかりました(補足事項 6)。この超新星もまた、重力崩壊型超新星の中でも高い光度を持つことがわかりました。本研究によって、超新星の光度と輝線として見える元素には関係性がある可能性が示唆されたと言えます。研究グループは世界に先駆け論文を査読ジャーナルに投稿し、またアーカイブにて公開しました。その後受理されました(補足事項 7)。

理論的には、高い光度を持つ超新星は親星の初期質量も大きいことが予想されます。今後は、星の質量と星周ガスの元素との関係性に焦点を当てた理論研究が進むことが期待されます。また、この超新星は 8 月上旬の段階で 12 等台と見かけの等級で明るい状態を保っており、可視光線や近赤外線を中心として様々な研究が遂行されることが期待されます(補足事項 8)。

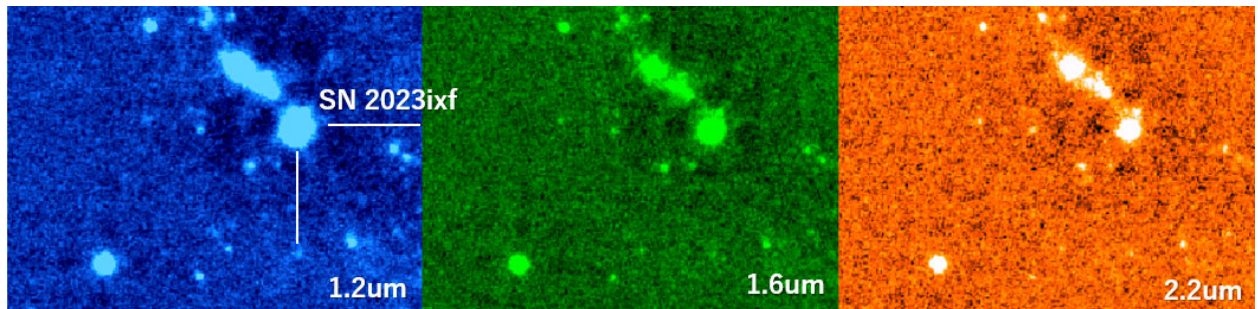


図 1: 鹿児島大学入来観測所に設置されている 1m 望遠鏡に近赤外線 3 色同時撮像装置 kSIRIUS を搭載し、撮影した SN 2023ixf の近赤外線データ。左から順に、それぞれ 1.2、1.6、2.2 ミクロンを中心としたフィルターバンドにて撮影している。任意の色をつけており、実際の色ではないことに留意願いたい。

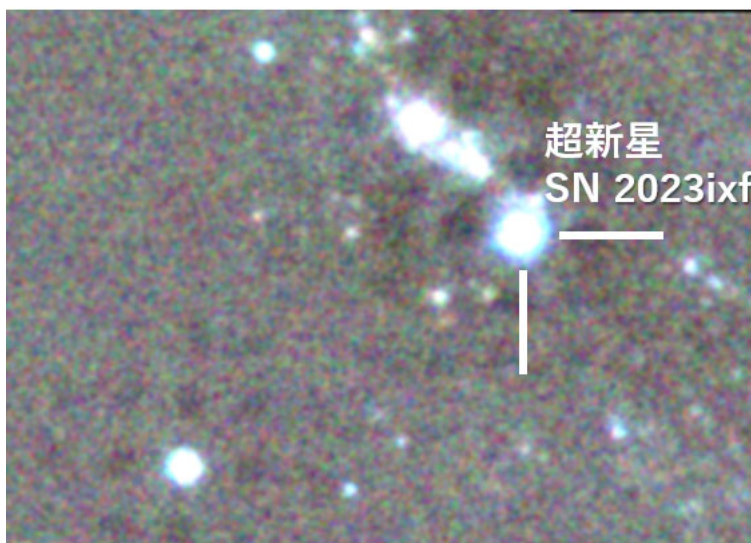


図 2: kSIRIUS で撮影した SN 2023ixf の 1.2、1.6、2.2 ミクロンの撮影データを合成した画像。あくまで近赤外線の波長域であり、人間の目には見えない色であることに留意願いたい。

【補足事項】

- (1) 世界中のアマチュア天文家も独自の機器を使って、超新星 SN 2023ixf やその母銀河である M101 の観測を行っています。特に、日本人アマチュア天文家は重要な貢献を果たしています。この超新星は、世界的な超新星ハンターである板垣公一氏によって発見されました。また、本研究グループの共同研究者である藤井貢氏も国内屈指のアマチュア天文家の一人です。彼は岡山県の藤井黒崎観測所にて彼の自作の分光器を用いて速やかにスペクトルを取得する観測を行いました。

-
- (2) 研究グループの筆頭研究者である山中と藤井氏は、今から 12 年前に別の天体現象の観測において共同研究を実施したことがありました。当時は藤井氏は明るく増光したばかりの天体の分光観測を行っています。これにより、当時の未解明の新事実を突き止める研究を実施していました。
 - (3) SN 2023ixf は 5 月 24 日に 10.8 等もの明るさに到達したと報告されています。我々が得た観測事実と合わせると、SN 2023ixf が見かけの明るさでは 21 世紀以降で最も明るい重力崩壊型超新星であることを意味します。これより明確に明るいと言える重力崩壊型超新星は 1987 年に 16 万光年先の大マゼラン雲で発生した SN 1987A(約 2 等)までさかのぼりません。また、1993 年に 1200 万光年先の M81 銀河で発見された SN 1993J は 10.8 等と SN 2023ixf と同程度の明るさでした。また、全く別のタイプでは SN 2023ixf と同じ M101 銀河に現れた SN 2011fe(約 10 等)が知られています。
 - (4) ここで言う「光度」とは、絶対等級のことを指します。その天体を太陽系から 10 パーセク(32.6 光年)の距離に置いたときの等級です。光度が大きな超新星は一般的には単位時間あたりにより多くのエネルギーを光として放出していることを意味します。
 - (5) 鹿児島大学は近赤外線波長を3バンド同時に観測可能な「kSIRIUS」を開発しました。今年 1 月に入来観測所の 1m 望遠鏡に搭載し、本格的な観測運用を開始させたばかりでした。入来観測所では大学院生を中心とした観測体制が構築されており、kSIRIUS を用いて超新星や突発現象を精力的に観測しています。本研究対象である SN 2023ixf に対しても速やかな観測が実施されました。
 - (6) SN 2023ixf は本研究グループのスペクトルの分析から、超新星方向に存在する固体微粒子(ダスト)による散乱によって減光していることがわかっています。近赤外線波長では、このようなダストによる散乱が可視光線に比べて弱く、減光量を小さく抑えることができます。超新星の真の明るさを測定するには近赤外線波長がより効果的なのです。
 - (7) 本研究グループは論文を速やかに執筆し、5 月 31 日に欧文研究報告(PASJ)に投稿しました。さらに翌日に世界中の研究者がアクセス可能な arXiv(アーカイブ)においても公開しました。この天体のフォローアップ論文としては、アーカイブでの公開は世界最速となりました。また、本研究グループの論文公開を受け、世界中から次から次へと論文が投稿され、arXiv にて公開されています。その後、本研究論文は審査を経て 7 月 21 日に受理されました。受理された時点で 10 編もの arXiv 公開論文に引用されており、世界においても高いインパクトを与えています。
 - (8) 本研究の対象となった超新星 SN 2023ixf はその後順調に暗くなり続けており、8 月中旬現在 14 等台の明るさです。世界中の大型研究施設では、引き続き観測研究が進むことと期待されます。鹿児島大学が所有する 1m 望遠鏡でも近赤外線波長域における観測を継続する予定です。また、このような近傍の超新星においては、可視光や赤外線波長だけではなく、幅広い波長で観測されることが期待されます。近年、様々な光の波長に重力波やニュートリノなどを組み合わせたマルチメッセンジャー天文学と呼ばれる手法が注目を浴びつつありますが、SN 2023ixf もそのような対象となりうるかもしれません。
-

【用語解説】

*1 重力崩壊型超新星: 恒星はその一生を終える最終段階に、明るく輝く超新星と呼ばれる大爆発を引き起こします。誕生時に太陽の 10 倍以上の質量を持つ星は赤色超巨星へと進化した後、超新星を起こします。これを重力崩壊型超新星と呼びます。太陽系がある天の川銀河では超新星は過去 400 年間発見されていません。現代天文学で研究対象となる超新星は全て外の銀河で発見されています。銀河に出現する超新星は、太陽系から見るとただの点として見えます。研究のためには、専ら明るさを測定する測光と光を虹(スペクトル(*2))にわけた分光の観測が用いられます。

*2 スペクトル: 星には様々な色の光が含まれます。これを分光と呼ばれる観測で分解するとスペクトル(虹)を得ることができます。スペクトルにはさまざまな組成由来となる輝線あるいは吸収線が認められます。特に、星周ガスのような密度の低いガスに含まれる元素は輝線を示します。

【掲載誌情報】

【発表雑誌】 Publications of the Astronomical Society of Japan

【論文名】 Bright Type II Supernova 2023ixf in M101: A Quick Analysis of the Early-Stage Spectra and Near-Infrared Light Curves

【著者】 Yamanaka, Masayuki; Fujii, Mitsugu; Nagayama, Takahiro

【DOI】10.1093/pasj/psad051

【関連リンク】

<https://arxiv.org/abs/2306.00263> (アーカイブにて公開した論文。受理後に update 済)

<http://agarc.sci.kagoshima-u.ac.jp/ja/> (天の川銀河研究センターweb ページ)

http://otobs.org/FBO/fko/fko_index.html (藤井黒崎観測所)

【問い合わせ先】

鹿児島大学大学院理工学研究科天の川銀河研究センター 山中雅之

TEL: 099-285-8012 mail: yamanaka@sci.kagoshima-u.ac.jp

鹿児島大学大学院理工学研究科 永山貴宏

TEL: 099-285-8958 mail: nagayama@sci.kagoshima-u.ac.jp