

光赤外線大学間連携による 近傍超新星の徹底追観測



山中 雅之

〈甲南大学理工学部 〒658-8501 神戸市東灘区岡本8-9-1〉

e-mail: yamanaka@center.konan-u.ac.jp

われわれが光赤外線大学間連携を通して実施してきた近傍超新星爆発の観測的研究についてレビューを行う。本稿では特に、二つの特異なIa型超新星に焦点を当てる。Ia型超新星は連星系をなす白色矮星がその限界質量近くに到達したときに引き起こされる熱核暴走反応由来と考えられ、その観測的特徴は非常に似通っている。さらに減光速度は絶対光度に強く相関し、標準光源として使われ宇宙の加速膨張などセンセーショナルな発見がなされてきた。しかしながら、21世紀に入り従来のIa型とは全く素性の異なる特異な天体が発見されるようになった。減光速度から予測される光度に比べて非常に暗い光度をもつIax型超新星や、チャンドラセカール限界質量以内の白色矮星では説明することができない光度をもつスーパーチャンドラセカール超新星である。われわれは、光赤外線大学間連携を通して紫外-可視-近赤外線の広い波長域で、非常に密に、かつ中長期的な観測を実施した。特に近赤外線での観測からは、新規性ある結果を見いだしつつあり、これらを紹介する。

1. 超新星爆発の観測的分類

近年の超新星の新たな発見と分類の発展は目覚ましいものがある。筆者も研究会などに出席すると、分類についてよく聞かれるのであるが、ここでは2015年10月現在において、“通用する”と思われる型分類について、まず教科書的に紹介したい¹⁾。すなわち、スペクトル上に水素の吸収線が見られるものをII型、見られずヘリウムが見られるものがIb型、水素もヘリウムも双方見られないものをIc型とする。これらは8-10太陽質量以上の重力崩壊型超新星が起源である。

一方で、水素もヘリウムも見られず、さらに強いSi II λ 6335, “W”型のS IIが見られ、5,000 Åより短波長側でFe II, Fe IIIによるブレンドした吸収線が見られるものがIa型である。

Ia型超新星は、限界質量をもつと考えられる親

星起源であることから、明るさを含めたスペクトルや光度曲線など観測的特徴が非常に類似する。

超新星の放射メカニズムは、ほとんどの場合、放射性崩壊元素である⁵⁶Niに関係する。特に、Ia型、Ib/c型、IIb型（水素ヘリウム共存型）の場合、極大光度は爆発で元素合成された⁵⁶Niの質量に依存する。重力崩壊では、⁵⁶Niの質量は親星の初期質量に関連すると考えられているが、Ia型では、核暴走反応における爆轟波（detonation）の強さに関連すると考えられる。親星進化モデル、爆発モデルともに理論面においても非常に活発に研究が進められている。

2. 新種の発見と未解決問題

Ia型超新星では、その光度が明るいほど緩やかな減光を示す、幅光度関係（発見者の名前に因んで、Phillips relationとも呼ばれる²⁾。）が知られ、

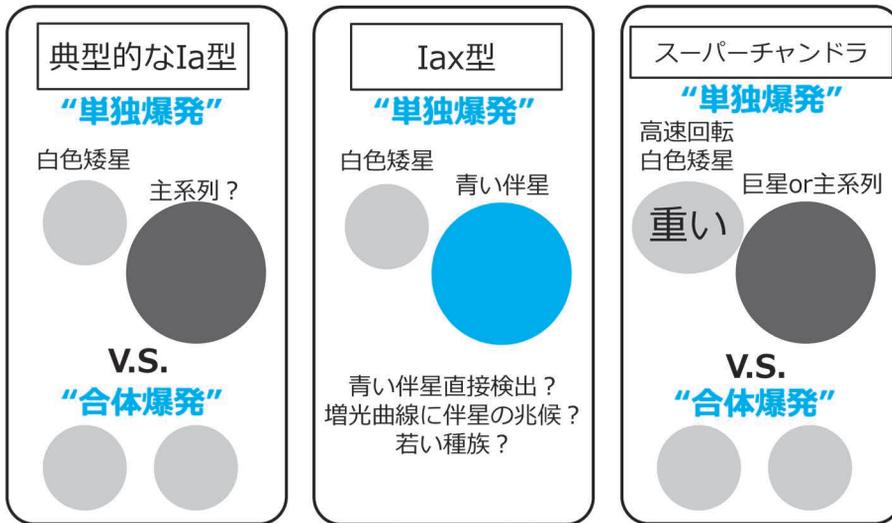


図1 左から、典型的なIa型超新星、Iax型超新星、スーパーチャンドラセカール超新星の親星の描像についてまとめた。現時点においては、伴星の証拠といえるものが見つかり始めているのはIax型超新星のみである。典型的なIa型、スーパーチャンドラセカール超新星ともに、依然としてどのような系が親星であるのか決着がついていない。

未知の銀河の距離測定を行う道具としても使われる。これを応用して、宇宙加速膨張が発見され、ダークエネルギーの存在が示唆されているというインパクトの強い研究成果が出版された^{3), 4)}。しかしながら、その親星は伴星（典型的な恒星、あるいは赤色巨星）から質量が降着する白色矮星の“単独爆発”か、白色矮星二つが合体衝突する“合体爆発”か30年来決着がついていない。ハッブル宇宙望遠鏡を用いて、この40年間で最も近傍に出現したSN 2011fe (6.4 Mpc) とSN 2014J (3.5 Mpc) の親星探索が行われたが、その兆候は全く検出されていない^{5), 6)}。一方で21世紀に入り、新たな多様性が明らかになりつつある。一つは、幅光度関係から予測される光度に比べて有意に暗く、また膨張速度の遅い特異なIa型超新星^{*1}である⁷⁾。また、一方でチャンドラセカール限界質量以内の白色矮星では説明できないような極めて明るい光度をもつスーパーチャンドラセカール超

新星（以降、スーパーチャンドラとする）も発見された⁸⁾。以下に、未解決問題と背景を簡単に紹介する。また現時点での理解に基づき、親星の描像を図1にまとめる。唯一Iax型超新星のみが伴星の直接的兆候が認められたというだけで、依然としていずれのサブクラスも親星の形態が明らかになったとは言えない。

2.1 Iax型超新星

Iax型超新星とは、初期は明るいクラスのIa型超新星のようなスペクトルを示すにもかかわらず、幅光度関係に従わない暗い超新星である。距離指標として扱われるIa型超新星にとっては、このような天体が混じり込むことは極めて問題である。最初に発見されたプロトタイプ天体のSN 2002cxは、 $M_V \sim -18$ 等程度の明るさであり、Bバンドの減光速度から予測される光度より、1等程度暗いことが指摘された。その後、SN 2005hkが早期から可視近赤外線よく調べられ、失敗し

*1 Iax型超新星、プロトタイプに由来してSN 2002cx-likeともされる。

た爆轟波モデル（爆燃波モデル）でよく再現できることが指摘された⁹⁾。この結果で、Iax型超新星の観測的性質は一貫した理解が得られたかに思われたが、その後 $M_V = -14$ 等程度にしか到達しない極めて暗いSN 2008haが発見された。この天体は、もはや爆燃波モデルでは説明することができず、重力崩壊型超新星由来の可能性すら議論された¹⁰⁾。

2014年には、さらにインパクトのある研究成果が報告された。ハッブル宇宙望遠鏡によって取得されていた、Iax型超新星SN 2012Zの爆発前画像に青い天体が検出されたのである¹¹⁾。親星が直接検出されたのはIa型超新星のサブクラスでは初めてのことである。ヘルツスプルング・ラッセル図上において主系列星進化モデルと比較すると、比較的コンパクトなヘリウム星の近くに位置することがわかり、もし伴星由来であるならば、いわゆる“単独爆発”シナリオを支持することとなる。また、一方で極めて暗かったSN 2008haの1,500日後にハッブル宇宙望遠鏡で取得されたデータにおいては、超新星の減光速度から予測される光度に比べて有意に明るい赤い天源が検出された¹²⁾。先行研究では、あらゆる観点で議論がなされている。爆燃波モデルにおいて期待される燃え残った残骸か、残った伴星であるかの二つが特に重要な指摘であった。もし前者であれば、エネルギーが弱く噴出物質が親星の重力的束縛から解放されないシナリオ¹³⁾を支持し、後者であれば起源に多様性があることを示唆する。Iax型超新星は、特にここ数年になりインパクトの強い報告がなされるようになり、明るいサンプルについて可及的速やかに調査することが求められている。

2.2 スーパーチャンドラセカール超新星

すでに述べてきたとおり、Ia型超新星の親星は連星系をなす白色矮星が限界質量付近に到達したときに爆発に至ると考えられてきた。2006年に最初の例として異常に明るいIa型超新星SN 2003fg

が報告された⁸⁾。SN 2003fgは、 $M_V \sim -19.9$ 等もの、極めて明るい光度をもち、光度から見積もられた ^{56}Ni の質量は、標準的な爆発モデルでの限界をはるかにしのぐ1.2太陽質量であった。その後、数例の発見があり、われわれのグループでもSN 2009dcというスーパーチャンドラの追観測に成功し、これを世界に先駆けて発表した¹⁴⁾。これまで4例確認されているが、その特徴は、極めて明るい光度 ($M_V < -19.8$ 等)、非常に緩やかな減光速度、スペクトルに見られる強い炭素の吸収線、遅い膨張速度（ただし、SN 2006gzは除く）、である。これらの特徴は、非常に重い白色矮星起源であることを示唆し、これまでの研究では、およそ2.0–2.4太陽質量程度の親星であることが指摘されている。このような極めて重い質量は、回転の弱い白色矮星では再現することはできない。考えられるシナリオは、白色矮星同士の“合体爆発”が高速回転する白色矮星が降着する質量をチャンドラセカール限界質量以上に支える“単独爆発”のシナリオである。合体爆発シナリオでは、典型的かやや暗い光度のIa型の再現に成功しているものの、明るいものは再現できていない¹⁵⁾。また、紫外線波長で超過の見られる天体も報告されており、これは親星のごく近傍の星周物質との相互作用由来という指摘もある¹⁶⁾。しかしながら、相互作用の兆候として期待されるはずの増光曲線の盛り上がりや、スペクトルの輝線などは依然として確認されていない。

3. 激しい国際競争と生き残りの戦略

これまで述べてきたような、超新星の分類の発展と相次ぐ新種の発見は、国際競争がとても激しいことを意味している。例を挙げればきりがなが、例えばアメリカでは、パロマー48インチをはじめパロマー天文台の望遠鏡を駆使したIntermediate Palomar Transient Factory (iPTF)、カルフォニア大バークレー校のAlex Filippenkoが中心となっているLick Observatory Supernova

Search (LOSS), チリにおいては、特にIIP型超新星の研究にフォーカスしている Mario Hamuy らのグループ, Ia型超新星の Phillips relation でお馴染みの Phillips 率いる Carnegie Supernovae Project II, ヨーロッパでは2012年から PESSTO と呼ばれるフォローアップ体制が走っている。また、オーストラリアでは2011年にノーベル物理学賞を受賞した Brian P. Schmidt が率いるグループが追観測体制を構築している。国際プロジェクトであるのか、大学・研究室単独であるのかにこだわらず列挙させていただいたが、それぞれに超新星観測を専門とする研究者が3-20人程度はいると見て良い。ほかにも国際的かローカル的なのか問わず、多くの追観測のグループが体制を整えている。最近ではインド、中国、ロシアからまとまった成果が出版されている。

また、参考程度に見て欲しいが ADS 検索を使えば2015年10月20日現在、“2011fe”で30編、“2014J”では29編もの査読論文が出版されていることがわかる。ちなみに、最初に arXiv に投稿論文が出現したのは、SN 2011fe で発見14日後の9月7日、SN 2014J で発見9日後である1月30日である。SN 2014J はガンマ線でも検出されたものの¹⁷⁾、Ia型超新星の観測は可視近赤外線波長域以外では基本的に上限値を決めたものがほとんどである。いかに可視近赤外線のフォローアップの競争が激しいかを物語っているのである。これらの背景には、海外グループは1-4 m クラス望遠鏡の極めて豊富な観測時間をもっていること、撮像データ・低分散分光などの古典的観測で十分に研究が可能であること、などが挙げられるだろう。

このような厳しい競争の下、われわれはどのような戦略をもって観測体制を構築すれば良いだろうか。本稿で紹介する、2例の観測研究はそのヒントとなると信じている^{*2}。すなわち、海外で

比較的手薄な近赤外線で時間的に密に、かつできる限り長期間観測を継続することである。また、自分たちの弱みを克服する必要もある。日本国内においては、まず湿潤で雨が降りやすい気候帯であることが足かせとなる。これらを一挙に解決できる観測体制がまさに光赤外線大学間連携である。この枠組みにおいては、1-2 m の質の近い中小口径望遠鏡を5-10台同時に使うことで、天候および装置不具合などのリスクを十分に回避することができる。湿潤な日本といえど、例えば本州の梅雨時期には、石垣島天文台は梅雨が空けているし、名寄にはそもそも梅雨がない。また、慎重なメンテナンスが必要で、かつ高価な近赤外線観測装置も豊富にそろそろ。これらにより、厳しい国際競争においても十分に差異を示すことのできる体制を整えることができた。

実は、本稿で紹介する SN 2012Z, SN 2012dn ともに、それぞれチリとインドのグループから可視をメインにした先行研究論文がすでに出版されている^{18), 19)}。しかしながら、前述のとおり近赤外線をメインに据えた連携観測により、先行研究では議論されていなかったような新規性ある結果を見いだすことができた²⁰⁾。

4. SN 2012Z

SN 2012Z は、2012年1月29日に17.6等で近傍銀河 NGC 1309 に発見された超新星である。分光観測によって、極大光度1週間前の特異な Ia 型超新星 SN 2005hk によく似ていると同定された。SN 2005hk は上記で紹介したとおり、Iax 型超新星のプロトタイプ天体である。われわれは、光赤外線大学間連携を通じて、可視近赤外線波長域で明るい時期の徹底観測を実施した。結果として、われわれは時間的に非常に密な $UBg' VRIz' JHK_s$ バンドの可視近赤外線光度曲線の取得に成功した

^{*2} 本稿では成功例を二つ紹介するが、インパクトのある成果を上げることができたのは、それまでの連携観測の苦い経験が活かしている。

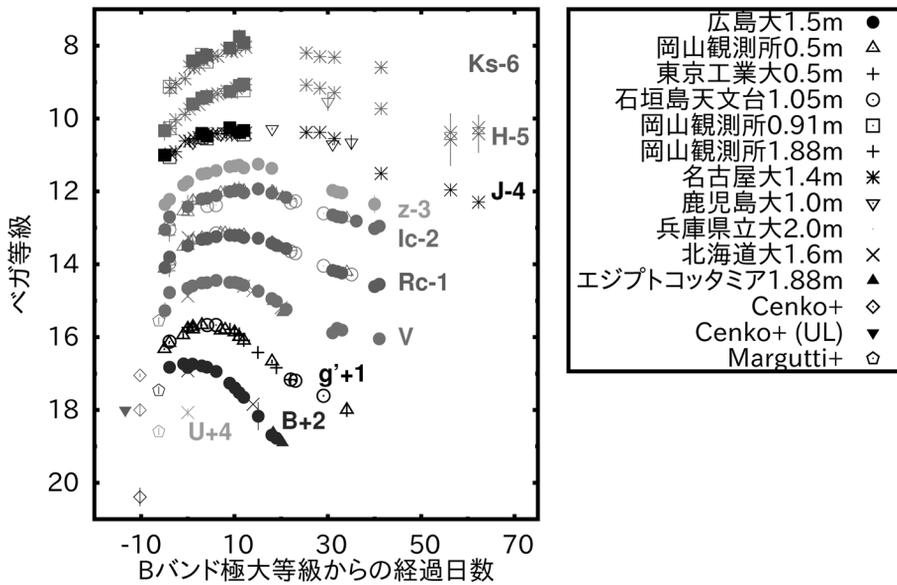


図2 光赤外線大学間連携による徹底観測で得られたUBg' /VRIZ' /JHK_sバンド光度曲線。国際協力で得られたエジプトコッタミア天文台のデータも含まれる。“UL”は限界等級（upper limit）である。

(図2)。特に、Iax型超新星では不明瞭であったK_sバンド波長域のデータを密に取得することができた。

4.1 光度変化

SN 2012Zのマルチバンド光度曲線を図2に示す。SN 2012Zは、発見直後にSwift/UVOTで追観測されており、発見時から急激な増光を示した。その後青い波長側から先行して極大光度に到達し、長波長であるほどより遅れて極大光度に到達することを確認できた。また、可視から近赤外線にかけてすべてのバンドでシングルピークを示すことがわかった。特にIバンドより長波長側で典型的なIa型超新星と振る舞いが異なる。図3を見ていただきたい。Ia型超新星においてはJHK_sバンドにおいて極大光度30日で第二極大が見られるが、Iax型超新星においては見られず、すべてシングルピークとなっている。K_sバンドデータでは、初めて精度の良いデータを取得することができ、シングルピークであることが明瞭にわかった。

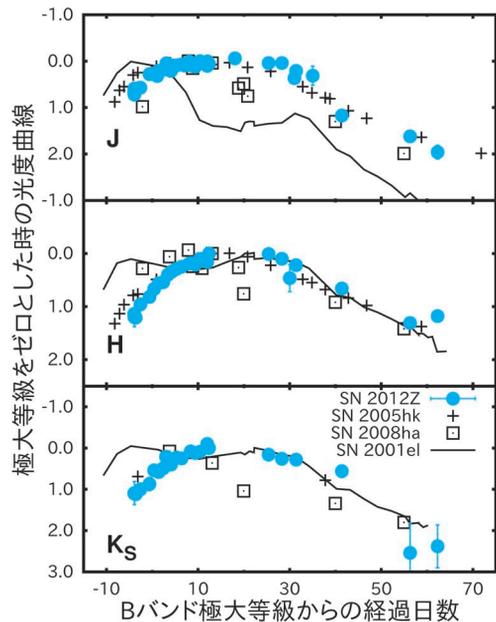


図3 JHK_sバンド光度曲線をIax型のプロトタイプであるSN 2005hk、暗いIax型SN 2008ha、および典型的なIa型SN 2001elと比較している。典型的なIa型に見られるダブルピークではなく、シングルピークを示す。

4.2 増光曲線

われわれは初期の増光曲線に対して、二次関数による fit を試みた。最近では、典型的な Ia 型超新星において、ごく初期からの連続観測が試みられており、爆発日と増光時間（爆発日から極大光度までの日数で定義される。）が精力的に求められつつある^{21)–24)}。われわれは、SN 2012Z の増光時間を 12 ± 3 日と求めた。平均的な Ia 型超新星では 17–20 日程度である。これに比べて優位に短い。また、一方で Iax 型のプロトタイプである SN 2005hk は 15 日程度と求められている⁹⁾。冒頭で述べたとおり Ia 型超新星においては観測的一様性が知られており増光時間も類似するが、Iax 型超新星においては、ばらつきが大きいようである。Ia 型超新星における増光時間の多様性は、膨張大気内部の ^{56}Ni の分布によると考えられている²⁵⁾。 ^{56}Ni がより外側まで広がって分布していれば、極大光度へ到達する時間はより短いと考えられる。すなわち、今回の SN 2012Z に当てはめて考えれば、 ^{56}Ni がより外側まで分布している可能性を示唆する。これは、光度曲線に見られるダブルピークが示唆する噴出物質の混合に一致するセンスである。しかしながら、これまで求められている Iax 型超新星の増光時間は不定性が大きく、今後の研究で系統的に同じ手法で求められる必要がある。

4.3 爆発モデル

SN 2012Z は絶対等級も暗く（典型的な Ia 型が $M_V = -19.1$ 程度であるのに対して、 $M_V = -17.6$ 等）、膨張速度が遅い（同じく典型的なタイプでは $12,000 \text{ km s}^{-1}$ で、SN 2012Z は $7,000 \text{ km s}^{-1}$ ）。さらに、すでに述べてきたとおり、SN 2012Z の観測の特徴を説明するためには、噴出物質の混合が引き起こされるような爆発メカニズムが必要である。これらは、総じて爆燃波（deflagration）モデル¹³⁾と合致する。爆燃波モデルにおいては、

燃焼面が音速に満たない速度でより低温の物質を燃やしながら進み、流体力学的不安定性のため噴出物質が混合されたまま自由膨張を始める。爆燃波モデルに基づいた輻射計算はすでにプロトタイプである SN 2005hk をよく説明しており、われわれの観測とも無矛盾である。

4.4 親星

SN 2012Z は爆発前画像の解析により、親星の伴星由来と見られる青い点源が検出されており、“単独爆発”シナリオを支持する可能性がある。われわれは、すばる望遠鏡においてもおよそ極大 270 日後の観測を行っている。超新星爆発位置から 100 pc 以内の近傍に H II 領域が見えていることがわかった。最近の“単独爆発”の親星進化計算によれば、星生成後数百万年以内で爆発に至る道筋も計算されており、この観測事実と矛盾しない²⁶⁾。また、最近 Iax 型と見られる特異な Ia 型超新星のごく初期の観測にも伴星と噴出物質の相互作用の兆候が捉えられた²²⁾。これら、多様な観測事実と理論計算が“単独爆発”シナリオを支持している状況である。

5. SN 2012dn

SN 2012dn は、2012 年 7 月 13 日（世界時）におよそ 30 Mpc の距離にある ESO 462–16 という渦巻銀河の近くに 16.3 等で発見された超新星である。追分光観測が実施され、スーパーチャンドラ超新星である SN 2006gz とよく似ており、炭素の吸収線が見られたことが報告された*³⁾。私は、この報を受けて、即座に光赤外線大学間連携による徹底追観測を呼びかけることを決意した。理由は以下のとおりである。まず、そもそもスーパーチャンドラはこれまで 4 例のみが報告されており希少である。また、回転の弱い白色矮星による“単独爆発”では観測を説明できず、その正体は全くの不明と言ってよい。次に、SN 2012dn の母

*³⁾ スーパーチャンドラセカール超新星については、天文月報 2010 年 10 月号の山中の記事を参照願いたい。

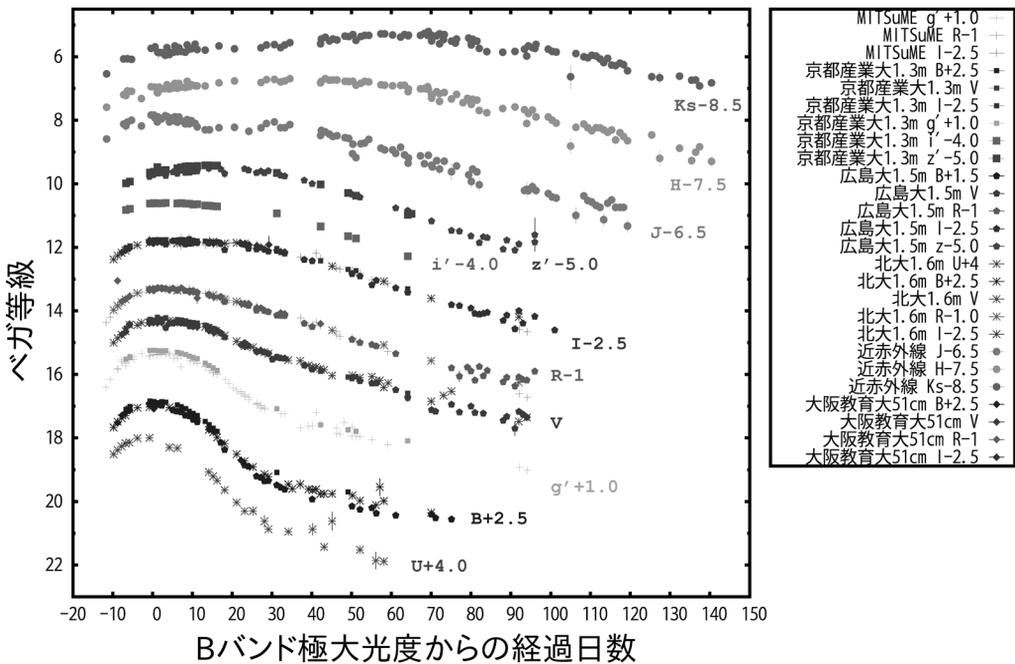


図4 光赤外線大学間連携をはじめとする国内望遠鏡による徹底観測で得られたUBg' VRIi' z' JHK_sバンド光度曲線。“MITSuME”は、東工大0.5 m, 岡山天体物理観測所0.5 m, および石垣島天文台1.05 m望遠鏡が含まれる。“近赤外線”データには、名古屋大1.4 m IRSF望遠鏡, 兵庫県立大2.0 mなゆた望遠鏡, および鹿児島大1.0 m反射望遠鏡で取得されたデータが含まれる。

銀河がこれまでのスーパーチャンドラに比べて、最も近いことである。すなわち、可視光だけでなく近赤外線においても精度良く観測できることが期待される。まずは、近赤外線で観測すべきであろうと確信した。当然、スーパーチャンドラとしての観測の特徴も系統的に議論すべきであり、過去のサンプルとの比較、噴出物質質量やエネルギーの見積もりのためには可視の観測も絶対必須である。以上が、光赤外線大学間連携によるToO観測を要請した理由である。

5.1 観測

私は、SN 2012dn以前にPIとしてすでに4件のToO観測を実施していた。特に最初の3例は、すでに海外グループから追観測データに基づく論文が大量に出版されており、さらなる失敗は許され

ない状況にあった。これまでの経験を活かし、反省を踏まえたうえで絶対に漏らしてはならない観測を提案させていただいた。すなわち、地上で観測することのできる、全波長のブロードバンドデータを限界まで取得し続けることである。北海道大1.6 mピリカ望遠鏡では紫外線であるUバンドを中心としたUBVバンドの測光観測、名古屋大1.4 m IRSF望遠鏡、兵庫県立大2.0 mなゆた望遠鏡、鹿児島大1.0 mで近赤外線であるJHK_sバンドの観測を実施した。可視光では、広島大1.5 mかなた望遠鏡、東工大0.5 m, 岡山天体物理観測所0.5 m, 石垣島天文台1.0 m望遠鏡からなるMITSuMEシステム、さらに大阪教育大51 cmでも観測を実施した。広島大では分光観測も実施しているが、SN 2012dn発見時には通常観

*4 川端弘治氏を中心とする広島大グループのたゆまない努力により、HOWPolの年間欠損期間はほとんどない。

測で使用されているHOWPolが運悪くダウンしており*⁴、岡山天体物理観測所1.88 m望遠鏡およびKOOLSで初期に1夜のみToO分光観測を実施させていただいた。これらの全日本体制による全波長観測によって、全く欠損のない、完璧なUBg' VRIi' z' JHK_sバンド光度曲線の取得に成功したのである(図4)。

5.2 光度曲線

まず、可視光では、Iバンドでダブルピークを示さず滑らかなフラットな光度変化がBバンド極大の35-40日後まで見られた。また、可視全バンドで緩やかな光度減光を示しており、これまでのスーパーチャンドラと共通する特徴を示すことがわかった。しかしながら、近赤外線においてはいかなるIa型超新星のサブクラスにも見られない際立った特徴を示した。すなわち、Hバンドにおいては、40-50日もの、K_sバンドにおいては80日もの、長い期間にわたり極大光度を示したのである。JHK_sバンドにフォーカスして、典型的なSN2001el、スーパーチャンドラSN2009dcと比較するとその違いは明らかである(図5)。SN2009dcでは、JHK_sバンドすべてで40日後には減光が始まるのに対して、SN2012dnは明るい時期が続く。特に、K_s

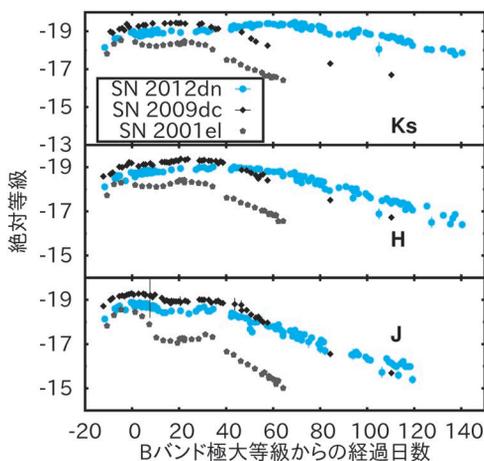


図5 SN 2012dnの絶対等級と、スーパーチャンドラのプロトタイプ天体SN 2009dc、典型的なIa型超新星SN 2001elとの比較。

バンドではその傾向は顕著で、110日後辺りで比較しても、1.5等ほどSN 2012dnのほうが明るい。この強い“赤外超過”は、超新星の放射とは全く別の放射由来であることが示唆される。

5.3 スペクトルエネルギー分布 (SED) 解析

われわれは、SN 2012dnのUBV RIJHK_sバンド測光データに基づきSEDフィッティング解析を行っている。現在進行中の予備的解析なので、かい摘んで結果だけを概観すると、(1) 40日以降から強い赤外超過が始まる。(2) 赤外超過成分は温度1,500 K程度、ダスト粒径0.01 μm程度のアモルファスカーボンのダスト放射で再現可能である。(3) 超新星成分を差し引いた近赤外線光度曲線はおおむね、平らな光度変化を示す、といったことが明らかになりつつある。

5.4 解釈

このような平らな光度曲線は、超新星周りに星周物質が分布していることを示唆する。モデル曲線²⁷⁾との比較から、0.1 pcスケールのごく近傍に星周ダストが分布している可能性が高いと見ている。もし、このような解釈が正しいとするならば、SN 2012dnは親星時代に活発な質量損失を行っていたことを意味する。これまで、どのIa型のサブクラスにおいても質量損失率は上限値ばかりが報告されてきたが、今回初めての見積もりが可能となる。この星周物質は、白色矮星からの星風が伴星外層を剥ぎ取ったか、あるいは伴星そのものの星風と考えられ、“単独爆発”を支持する。一方で、“合体爆発”シナリオにおいては、親星である二つの白色矮星は、それらが形成された後に非常に長い時間をかけて合体に至ると考えられているために、星周環境の密度が非常に低いことが期待される。したがって、SN 2012dn周辺の高い密度の環境とは不一致なセンスである。

6. まとめと今後

本稿においては、光赤外線大学間連携を通じて実施した二つの特異なIa型超新星の徹底追観測

の報告を行った。SN 2012Zは、近赤外線光度曲線が典型的なIa型で見られないようなシングルピークを示した。近赤外線光度曲線は他のIax型超新星とよく類似していることがわかった。Iax型超新星は一樣に噴出物質の混合が強い爆発である可能性を示唆する。また、SN 2012dnは、これまで発見された中で最も近いスーパーチャンドラセカール超新星であり、強い赤外超過を示したことが明らかになった。この赤外超過へのSEDフィッティングの結果、ダスト由来の放射で説明できることがわかった。モデル曲線との比較の結果、SN 2012dnの親星の近傍に星周物質が分布している可能性を見いだした。この結果は、親星が“単独爆発”由来であることを支持する極めて重要な結果となった。

これらの重要な結果は、近赤外線にフォーカスした観測により得られた。しかしながら依然として可視光の観測もまた重要であることに変わりはない。膨張大気の見積もり、あるいはそもそものタイプに分類されるのかといった基本的な性質を知るには可視光のデータが必要不可欠である。また、SN 2012dnのように、赤外超過成分を議論するためには、超新星成分である可視データの評価が重要である。したがって、光赤外線大学間連携を通して、可視-近赤外線と同時にデータを取得することはとても意義がある。海外グループにとっては、これほど大規模な観測を実施しようと思うと、複数のグループによる国際共同観測体制を取る必要があるものと思われる。一国の体制で一貫したデータを取得することのできる光赤外線大学間連携は、この点において優れた立場となっていると私は考える。

本稿では、非常に特異なタイプの超新星を取り上げ、報告してきたが、実は典型的といえるようなサブクラス天体であっても、可視近赤外線で十分なデータが取得されてきているわけではない。今後は典型的と呼ばれるものも含めて、近傍に出

現する超新星に焦点を当て、可視近赤外線の非常に密なデータを取得することが強く望まれる。

また、より将来のことを考えれば、柔軟性・機動性という観点で京都大岡山観測所3.8 m望遠鏡および東京大アタカマ天文台6.5 m望遠鏡の参入も期待したい。口径が大きくなることにより、観測期間を延ばす、多波長多モードでの観測が可能となること、などが期待される。例えばこれまで可視光で極大光度以降100-200日程度追観測してきた超新星の観測期間をさらに300-400日程度まで延ばすことができ、超新星内部の物理構造に制限を与えることができると期待される。また、近赤外線分光観測が実現できれば、より多様な元素の同定と速度構造の研究が可能となり、外層構造の情報が引き出せるかもしれない。時間発展偏光分光観測が実現できれば、層ごとに異なる幾何構造を知ることができる可能性もある。そのような観測は、爆発メカニズムに強い制限を与えるかもしれない。当然、部分的にそれらの観測が報告されることはあるが、一つの天体に焦点を当て、マルチバンド・マルチモードで徹底観測してやれば、その超新星の包括的描像が見えてくるのが強く期待される。

謝 辞

本稿の基となる研究にあたっては、数多くの方のご指導をいただきました。共同研究者である、前田啓一氏、川端弘治氏、田中雅臣氏、富永望氏には感謝を申し上げます。また、光赤外線大学間連携を通して取得されたデータを用いた研究をお許しいただきました。観測と解析に携わったすべての方たちに心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Filippenko, 1997, ARA&A 35, 309
- 2) Phillips, 1993, ApJ 413, L105
- 3) Perlmutter, et al., 1997, ApJ 483, 565
- 4) Riess, et al., 1998, AJ 116, 1009
- 5) Li, et al., 2011, Nature 480, 348

- 6) Kelly, et al., 2014, ApJ 790, 3
- 7) Li, et al., 2003, PASP 115, 453
- 8) Howell, et al., 2006, Nature 443, 308
- 9) Phillips, et al., 2007, PASP 119, 360
- 10) Valenti, et al., 2009, Nature 459, 674
- 11) McCully, et al., 2014, Nature 512, 54
- 12) Foley, et al., 2014, ApJ 792, 29
- 13) Kromer, et al., 2013, MNRAS 429, 2287
- 14) Yamanaka, et al., 2009, ApJ 707, L118
- 15) Pakmor, et al., 2010, Nature 463, 61
- 16) Scalzo, et al., 2010, ApJ 713, 1073
- 17) Diehl, et al., 2014, Science 345, 1162
- 18) Stritzinger, et al., 2015, A&A 573, 2
- 19) Chakradhari, et al., 2014, MNRAS 443, 1663
- 20) Yamanaka, et al., 2015, ApJ 806, 191
- 21) Nugent, et al., 2011, Nature 480, 344
- 22) Cao, et al., 2015, Nature 521, 328
- 23) Olling, et al., 2015, Nature 521, 332
- 24) Yamanaka, et al., 2014, ApJ 782, L35
- 25) Piro & Nakar, 2014, ApJ 784, 85
- 26) Liu, et al., 2015, A&A 574, 12
- 27) Maeda, et al., 2015, MNRAS 452, 3281

Follow-Up Observations of Nearby Supernovae with Optical and Infrared Synergetic Telescopes for Educations and Research (OISTER)

Masayuki YAMANAKA

Department of Physics, Faculty of Science and Engineering, Konan University, 8-9-1 Okamoto, Higashi-Nada-ku, Kobe 658-8501, Japan

Abstract: We introduce the follow-up observations of nearby peculiar Type Ia supernovae (SNe Ia) using the OISTER. SNe Ia are thought to come from a nuclear runaway of a white dwarf. It occurs when the mass reaches near the Chandrasekhar-limiting mass. Their observational properties are very similar among different objects. The absolute luminosity is well correlated with the decline rate of the light curve. Using this relation, the accelerating expansion of the universe has been discovered. Recently, several peculiar SNe Ia have been discovered. SNe Iax have the fainter luminosity than those expected from their light curves. Super-Chandrasekhar SNe have the extremely high luminosity which cannot be reproduced by the Chandrasekhar-limiting mass white dwarf. We performed the ultraviolet, optical and near-infrared observations of peculiar SNe Ia for a long duration among their bright phases using OISTER. Therefore, we focus on the near-infrared properties of these SNe.