

## 極超新星における強いヘリウムの検出 山中雅之（甲南大学）

### 1. はじめに

超新星爆発はスペクトルに見られる吸収線によって型が分類される。水素が見られるものが II 型、水素が見られずヘリウムが見られるものが Ib 型、水素もヘリウムも見られないものが Ic 型と分類される (1)。

これらの元素は親星の直接成分として見られ、外層成分を反映している。Ib/c 型超新星の親星は外層の水素をほとんど失った状態で爆発に至ると考えられている。しかしながら、Ib/c 型超新星において爆発前の過去画像に親星が直接検出された例は 1 例のみである。これらは一般に、現時点で人類が持ちうる最も性能の高いハッブル宇宙望遠鏡によって得られている。超新星は親星時代と比べると 10 万倍以上は明るくなっているため、親星の研究はそもそも非常に難しい。よって親星時代の外層を知るためには、明るい超新星爆発を分光観測するのが最適である。

また、20 世紀後半にはガンマ線バーストと呼ばれる宇宙最大規模の爆発現象に超新星が付随していることが明らかになった (2)。そのスペクトルは非常に特異で、極めて幅の広い吸収線が見られる。30,000km/s 以上の膨張速度を持つエジェクタで説明され、見積もられたエネルギーは典型的なものより一桁大きい。これらは極超新星と呼ばれる。一方で、典型的な Ib/c 型超新星は平均的には 15000km/s 程度である。

極超新星は一般に、親星の質量が典型的な超新星より大きいと考えられ、外層から水素とヘリウムを剥ぎ取ったと考えるのが一見正しいように見える。しかしながら、古くからの親星進化理論では連星相互作用があったとしても、外層のヘリウムを全てはぎ取ることはできないとされている (3, 4)。一方で、極超新星スペクトルの統計的解析において、ヘリウムを完全に失った外層モデルでよく説明可能であると報告されている (5)。外層にヘリウムが存在するか

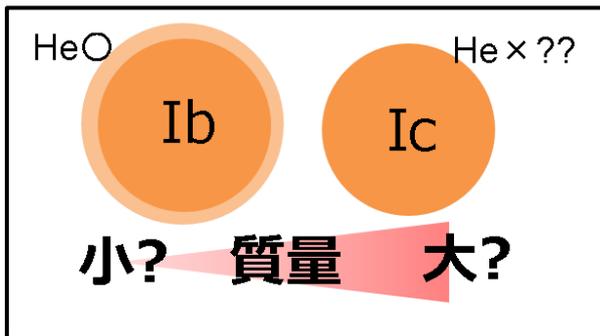


図 1 水素外層が剥ぎ取られ、ヘリウム層が剥き出しになった親星が Ib 型超新星に、ヘリウム層さえもはぎ取られた親星が Ic 型超新星に対応するように考えられるが、連星進化論においてもヘリウム層を完全に失うことは難しい。

どうか焦点となる。

SN 2016coi は 2016 年 5 月 27 日におよそ 17Mpc の近傍銀河に発見された超新星である。その初期スペクトルの極超新星への類似が報告された。これほどの近傍で極超新星が発見されたのは SN 2002ap 以来であり、非常に希少価値が高い。

### 2. 観測

我々は、光外線大学間連携を通じて可視近赤外線波長域での ToO 観測を実施した。超新星の追観測において光赤外線大学間連携は、①予期せぬ装置不具合や悪天候のリスクを抑え、②可視近赤外線波長域での密な観測を実現可能とする強みを持つ。

我々は、広島大かなた望遠鏡および HOWPol、兵庫県立大なゆた望遠鏡および MALLS、ぐんま天文台 1.5m 望遠鏡および GLOWS を用いて極大光度の 10 日前より分光観測を実施した。また、可視測光観測を広島大かなた望遠鏡および HOWPol、国立天文台石垣島天文台



図 2 光赤外線大学間連携と関係協力機関の持つ望遠鏡群(クレジット: 国立天文台)。北は名寄から、南は石垣島まで非常に広範なエリアに渡る望遠鏡が含まれる。また、南アフリカの IRSF やチリの miniTAO など海外観測サイトにも望遠鏡を持つ。

1.05m 望遠鏡、北海道大 Pirka 望遠鏡および MSI、東京大木曾観測所 1.0m 望遠鏡で実施した。また、近赤外線測光観測は、兵庫県立大なゆた望遠鏡および NIC、広島大かなた望遠鏡および HONIR、鹿児島大 1.0m 望遠鏡および名古屋大南アフリカ観測所 IRSF 望遠鏡を用いて実施した。

### 3. 結果

可視紫外波長域の UBVRI バンドで非常に密な観測に成功した (図 3)。発見前に限界等級が求められており、増光期の光度曲線 fitting で爆発日および増光時間を推定することができた。増光時間は 17 日と求めた。

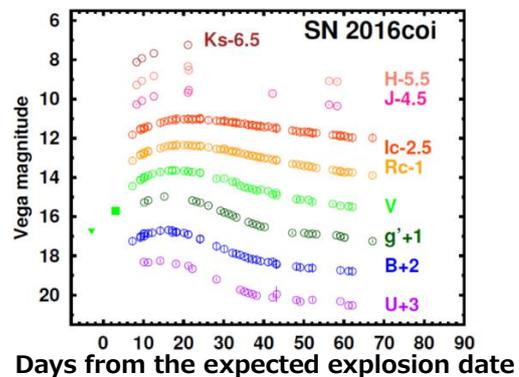


図 3 光赤外線大学間連携を通じて得られた SN 2016coi の UBVRIJHKs バンド光度曲線。発見の直前に限界等級が与えられており、比較的精度よく爆発日を推定することができた。増光時間は極超新星の中でもやや長い。

この時間は、たとえば極超新星の一つである SN

2006aj(～10日)に比べれば、非常に長く、SN

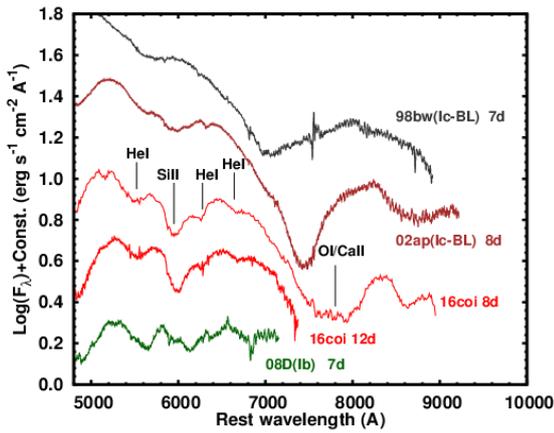


図4 SN 2016coi のスペクトルと、SN 1998bw(極超新星)、SN 2002ap(極超新星)、SN 2008D(Ib型)との比較。SN 2016coi は大きな青方変異を示すラインが見られ、さらに HeI の吸収線が見られる。

1998bw(～20日)に比べると同程度である。

初期のスペクトル(爆発後8日後・極大9日前)を他の Ib/c 型超新星や極超新星と比較する(図4)。その結果、大きな膨張速度(18,000km/s)の SiII が見られる。また、非常に大きく青方偏移した Call IR triplet が OI とブレンドしていることがわかった。これらの特徴は、極超新星と類似している。しかしながら、SN 2016coi には HeI 5876、HeI 6678、HeI 7065 と見られる強い吸収線が見られた。可視波長域でこの3つの HeI が明確に見られた極超星はほぼない。

SN 2016coi に見られる HeI の吸収線同定をより確固たるものとすべく、以下の二つの検証を行った。まず、Ib型超新星 SN 2012au のスペクトルを平滑化し、さらにある吸収線に着目し、同程度の速度まで人工的に青方偏移させ、比較を行った。その結果、全ての吸収線強度が SN 2016coi のものと良く一致することがわかった。特に HeI 5876、6678、7065 の吸収線の速度は非常に良く一致している。一方で、HeI を示さない SN 2007gr を平滑化させたスペクトルと比較す

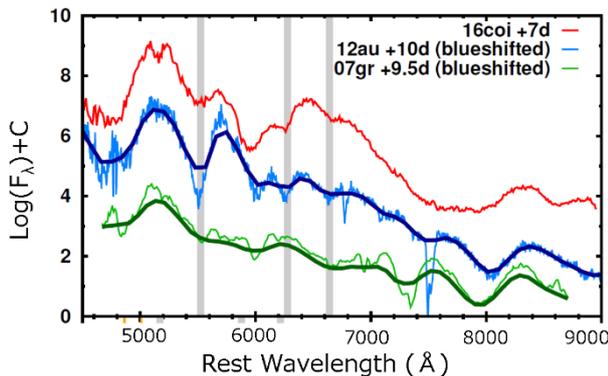


図5 SN 2016coi のスペクトルと平滑化・青方偏移させた Ib 型超新星 SN 2012au、Ic 型超新星 SN 2007gr のスペクトルとの比較

ると、ラインプロファイルは不一致となる。

また、我々は簡易に超新星スペクトルを計算することのできる syn++(6) を使って、ラインフィッティングを試みた。その結果、HeI 5876 には、SiIII、NaID の、HeI 6678 には、CoII の影響があることがわかり、これらを使えば全体的なスペクトルをうまく

説明できることがわかった。また、同じラインを使って Ib 型超新星 SN 2012au も比較的によく説明できる

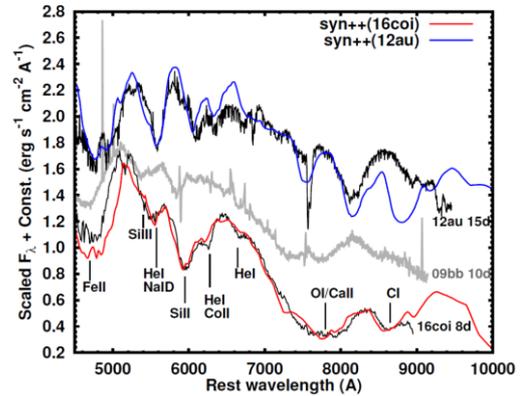


図6 SN 2016coi の観測スペクトルと簡易モデルスペクトルとの比較。モデルに使われたラインを示している。

ことがわかった。

#### 4. 考察と結論

以上の結果より、我々は SN 2016coi 膨張大気中にヘリウムが存在すると結論付けた。しかし、いくつか疑問点も残る。なぜ他の極超新星では HeI は見えなかったのだろうか。一般に Ib 型超新星では HeI の吸収線は時間とともに深くなる(7)。一方で、SN 2016coi は HeI の吸収は時間とともに浅くなっていった。極超新星ではより早期に HeI が観測されるかもしれない。

また、極超新星を引き起こすであろう大質量星の進化モデルにおいては、連星相互作用でもヘリウムは完全にはぎ取れないことが指摘されている(3, 4)。今回、極超新星でヘリウムが検出されたことは従来のモデルを支持するものである。

#### Reference

- (1) Filippenko, A. V. 1997, ARA&A, 35, 309
- (2) Galama, T. K., et al. 1998, Nature, 495, 670
- (3) Woosley, S. E. et al. 1995, ApJ, 448, 315
- (4) Yoon, S. -C. et al. 2010, ApJ, 725, 940
- (5) Modjaz, M. et al. 2015, arXiv
- (6) Thomas et al. 2011, PASP, 123, 237
- (7) Benetti et al. 2011, MNRAS, 411, 2726