

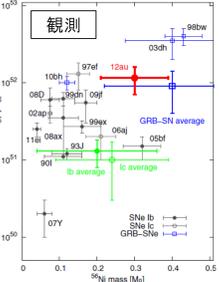
# 光赤外線大学間連携における Ic型超新星SN 2013geの早期観測

山中雅之(甲南大学/京都大学), 川端弘治, 高木勝俊, 秋田谷洋(広島大学), 前田啓一(京都大学), 田中雅臣, 関口和寛, 衣笠健三(国立天文台), 永山貴宏(鹿児島大学), 新井彰, 高橋隼(兵庫県立大学), 諸隈智貴(東京大学), 橋本修(ぐんま天文台), ほか光・赤外線大学間連携観測チーム

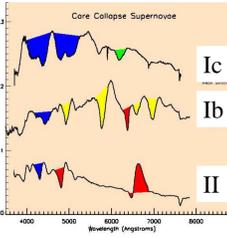


## 外層剥ぎ取り型超新星の多様性

質量・エネルギーの多様性

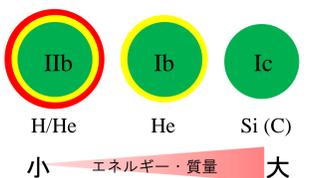


外層分布物質の多様性



SN type: 親星の外層構造が反映

一般に、外層剥ぎ取り型超新星(Ib/Ic)の親星は、より初期質量の重い程、外層剥ぎ取りの進化が速く、より多くの外層を吹き飛ばすと考えられている。しかしながら、実際の超新星爆発の観測では、最外層元素が異なるにも関わらず、同程度のエネルギーや光度を持つ天体も知られており、その多様性は単独星自身の星風による質量損失だけでは説明が困難なものも見られる。

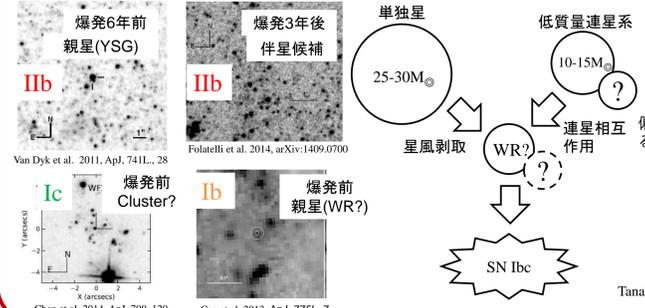


Takaki et al. 2013, ApJ, 772, L17  
Picture by D. Kasen

近年、外層剥ぎ取り型超新星の観測サンプル数は増え、理論的な解釈と合わせて、系統的な議論が進められつつある。とりわけ、爆発や放射のエネルギーは親星の初期質量に依存して、多様性を示す傾向があることが知られつつあるが、親星とのコネクションについては未解明な点が多い。

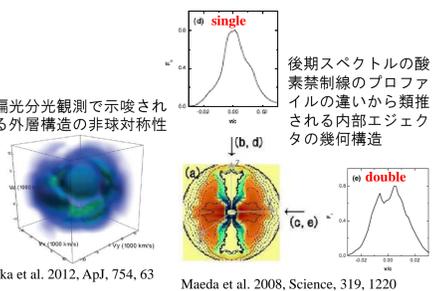
## 外層剥ぎ取り型超新星の親星多様性の指摘

最近の爆発前画像の解析による研究では、親星と同等されていた天体が消えたことが確認され、なおかつ伴星候補天体の検出が報告されている(Type Ib SN 2011dh)。また、SED fittingによる低質量星シナリオ(Type Ic SN 2007gr)も提案されている。一方で、Ib型のiPTD13bvnにおいて直接同等されているが、単独星の進化によく合う。しかしながら、爆発後の光度曲線の解析からはむしろ連星モデルを支持されており、矛盾が指摘されている。近傍Ib/c型超新星の密度の高い早期観測データサンプルが求められる。

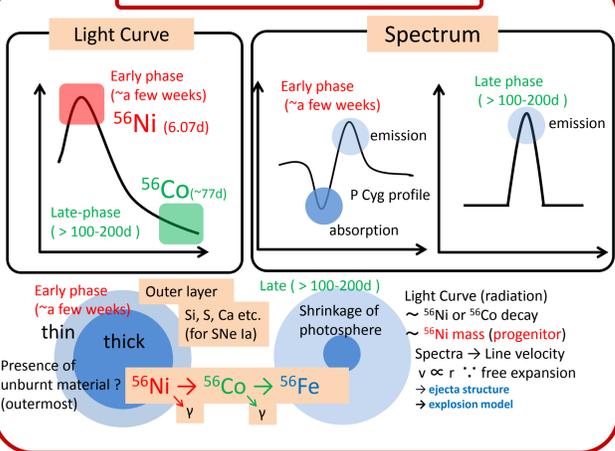


幾何構造が反映?

観測多様性を爆発の非対称性で解釈する試みもなされつつある。偏光分光観測(Tanaka et al.)や、後期分光観測(Maeda et al.)による観測結果は、非対称爆発を支持する。非対称性もまた、爆発エネルギーや元素の幾何分布の多様性に寄与しているかもしれない。

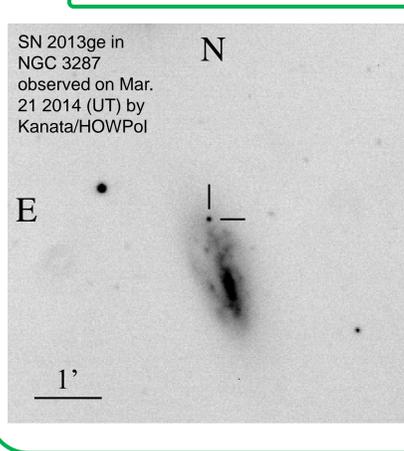


## 可視観測からわかる物理



Light Curve (radiation) ~  $^{56}\text{Ni}$  or  $^{56}\text{Co}$  decay  
Spectra → Line velocity  $v \propto r \cdot \dot{r}$ ; free expansion → ejecta structure → explosion model  
Shrinkage of photosphere  
Presence of unburnt material? ( $^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$ )  
Outer layer thin/thick (Si, S, Ca etc. for SNe Ia)  
Early phase (~a few weeks) Late (> 100-200d)

## SN 2013geの発見とOISTERでのToO観測要請

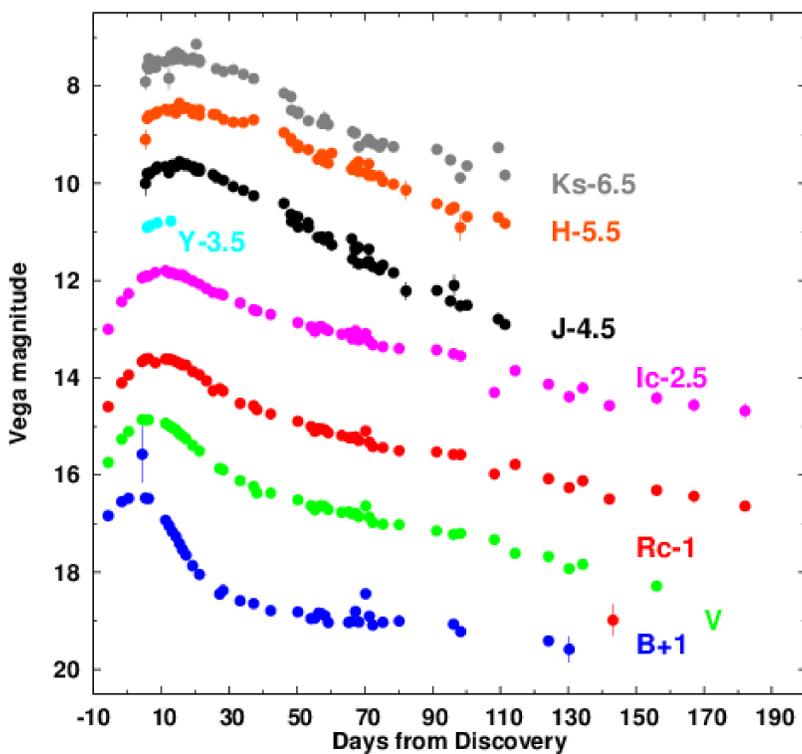


SN 2013ge は、世界時2013年11月8.80日に、板垣公一氏によって、およそ20Mpcの近傍銀河NGC 3287に17.3等で発見された。その後の分光観測によって、初期のIc型超新星であると同等された(CBET 3701)。Ic型超新星がこれほどの近傍で出現する割合は非常に珍しく、可視近赤外線による中長期の観測が可能であることが期待される。このことから、我々は光赤外線大学間連携におけるToO観測を実施した。可視観測には、広島大1.5mかなた望遠鏡及びぐんま天文台1.5m望遠鏡、近赤外線観測には、兵庫県立大2.0mなゆた望遠鏡、東京大アタカマ天文台1.0m miniTAO望遠鏡、鹿児島大1.0m望遠鏡を用いた。さらに、中後期の分光観測には OAO1.88m/KOOLSを用いた

## 望遠鏡/観測モード

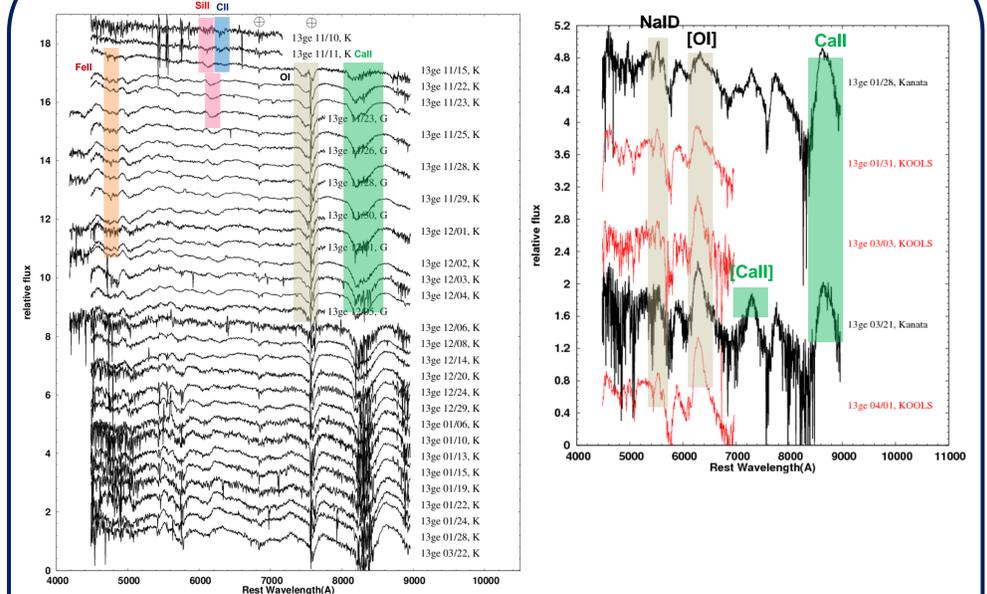
観測所	望遠鏡	装置	モード/フィルター	夜数
県立ぐんま天文台	1.5m telescope	GLOWS	R=600	6
東京大学/アタカマ観測所	1.0m miniTAO	ANIR	Y, J, H, Ks	4
兵庫県立大/西はりま天文台	2.0m Nayuta	NICS	J, H, Ks	35
NAOJ/岡山天体物理観測所	1.88m telescope	KOOLS	R=450	3
広島大学/東広島天文台	1.5m Kanata	HOWPol	Image/BVRI	56
広島大学/東広島天文台	1.5m Kanata	HOWPol	Spectroscopy	29
鹿児島大学/入来観測所	1.0m	IR Camera	Image/JHKS	25

## Light Curves



我々はSN 2013geのBVRIJHKSバンドで、非常に密な測光データを取得することができた。特に、近赤外線測光観測では、SN 2012ap (Milisavljevic et al. 2014, arXiv:1408.1606)やSN 2002ap (Tomita et al. 2005, 644, 400)と並んで最も時間的密度が高く、長期間にわたる観測を実施することができた。Bバンドにおいては、世界時2013年11月17日に14.9等で極大光度に到達していたことがわかった。発見前の限界等級に関する情報は無いが、発見日は極大8日であった。光度曲線からは、進化のやや遅いIc型超新星SN 2007grに類似していることがわかった。

## Spectral Evolutions



SN 2013geの極大光度7日前から極大後135日後までスペクトルを取得することができた。スペクトルにおいては、より初期において、膨張大気の外側を見ることになるが、我々が得た最も初期のスペクトルにおいては、CII 6580及びSiIII 6355の吸収線が同程度の線速度に到達していることがわかった。最も重要なことは、これらの可視スペクトルにおいては、いかなる水素及びヘリウムの吸収線が見られなかったことである。これらは、SN 2013geがIc型超新星に同等されたこととconsistentである。その後、SiIII 6355は急激に速度が減少していることが見てとれる。また、極大2日前からは非常に良いS/Nのスペクトルを取得することができ、CaII IR tripletやOII 7774の吸収線が見られた。他のIc型超新星と同様に、Fe II multipletの吸収線も見られた。これらの初期の特徴は、典型的なIc型超新星SN 2007grに総合的には類似しており、今後のより詳細な解析が待たれる。

また、1/28~4/1にかなた望遠鏡/HowPolおよび1.88m望遠鏡/KOOLSで得られた中-後期スペクトルを右図に示す。この時期においては、超新星爆発は光学的に厚いフェーズから薄いフェーズへの移行期となる。初期に卓越していた1.2階電離の許容線による吸収線から輝線、禁制線による輝線へと卓越するラインが遷移する。最も顕著な変化としては、[O I] 6300/6363の時間とともに強度を増していることである。また、一方で、[Ca II]もやや強くなっている。一方で、CaII IR triplet, NaID線の強度はほとんど変わっていない。特に、NaID線は他のラインに比べて有意に幅が狭く、吸収成分も確認することができる。これは、酸素やカルシウムが超新星由来のエジェクタによるものであることに対して、爆発前の星風起源である可能性もある。これらの振る舞いについては、今後の解析が待たれる。

## Summary & Future Works

- ✓ およそ20Mpcの近傍銀河NGC 3287に出現したIc型超新星SN 2013geに対して、光赤外線大学間連携事業(OISTER)を通して極大8日前から極大180日まで可視近赤外線測光分光観測を実施した。
- ✓ 得られた光度曲線及びスペクトル進化はこれまでに最も密に得られているIc型超新星に匹敵するほどの時間波長密度でかつ長期間にわたり測光分光データを取得することができた。
- ✓ 総じて、進化が遅く炭素の吸収線が卓越した、典型的なIc型超新星SN 2007grに似た振る舞いを示していることがわかった。測光分光データを合わせたより詳細な解析が今後期待される。