

# 光赤外線大学間連携OISTERによる 近傍超新星爆発のフォローアップ観測

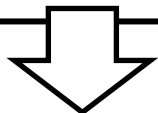
山中雅之 (甲南大学)

前田啓一(京都大)、川端弘治(広島大)、  
田中雅臣(国立天文台)、富永望(甲南大)、  
高木勝俊、中岡竜也、川端美穂(広島大)  
および 光赤外線大学間連携メンバー

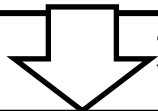
# OISTERにおける我々の動向

## <観測の流れ>

初期より長期間観測可能な  
近傍超新星(TNS, ATELなど)  
13等より明るい~1 yr-1  
15等より明るい~10 yr-1



広島かなたでフォローアップ



大変興味深いなら..

OISTER ToO!

論文出版状況  
(ToO 7件, 2編出版, 2編投稿)

SN 2011by

SN 2011dh (13ge論文で使用)

SN 2011fe

SN 2012Z (MY+ 2015)

SN 2012dn (MY+ 2016)

SN 2013ge (MY+ submitted)

SN 2016coi (MY+ submitted)



山中直(2カ月)

大学間連携関係者の皆様に  
感謝申し上げます。

- ついに明らかに！スーパーチャンドラセカール超新星の正体(MY et al. 2016, PASJ, in press)
- 緩やかに進化するIc超新星の可視近外線観測 (MY et al. submitted to PASJ)
- 極超新星(BL SN)での~~史上初めて~~強いヘリウムの検出 (MY et al. submitted to ApJL)
- そして3.8mとの“連携”へ…

- ついに明らかに！スーパーチャンドラセカール超新星の正体(MY et al. 2016, PASJ, in press)
- 緩やかに進化するIc超新星の可視近外線観測 (MY et al. submitted to PASJ)
- 極超新星(BL SN)での~~史上初めて~~強いヘリウムの検出 (MY et al. submitted to ApJL)
- そして3.8mとの“連携”へ…



降着シナリオ  
(シングル)

親星不明

合体シナリオ  
オ

(ダブル)

シングル:伴星からの  
星風による濃い星周環境

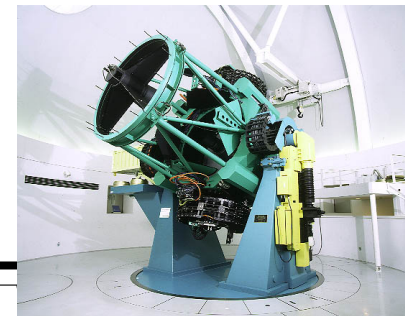
# 超新星



広島1.5m  
Kanata

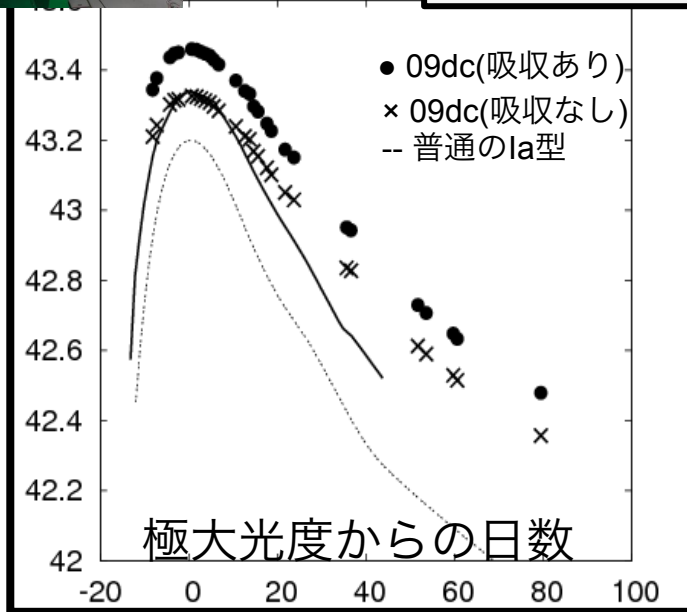
SN 2009dc

ぐんま  
1.5m

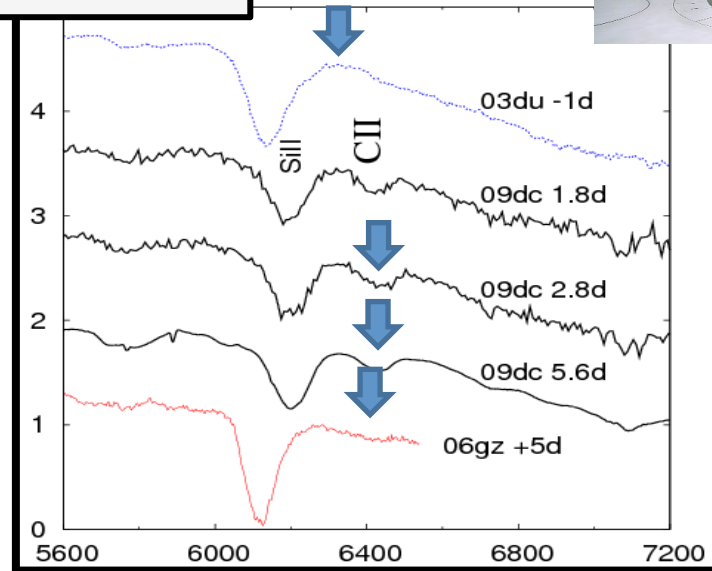


Yamanaka et al. 2009

明るさ



明るい  
ゆるやかな減光



強い炭素の吸収  
遅い膨張速度 ~8000km/s

回転のない白色矮星の爆発では説明不可

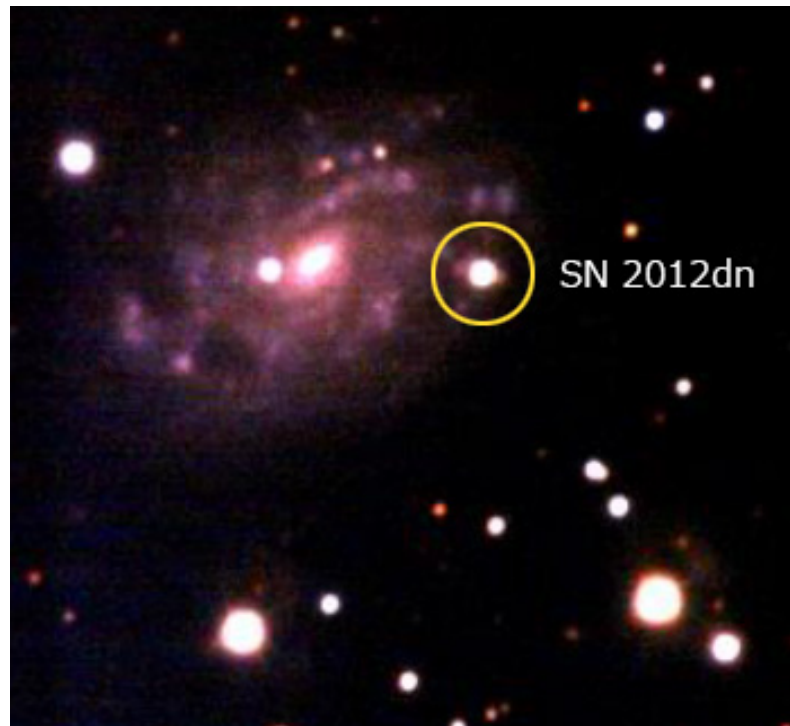
# SN 2012dn in ESO 462-G016

## Position

R.A. 20:23:36.26  
Decl. -28:16:43.4

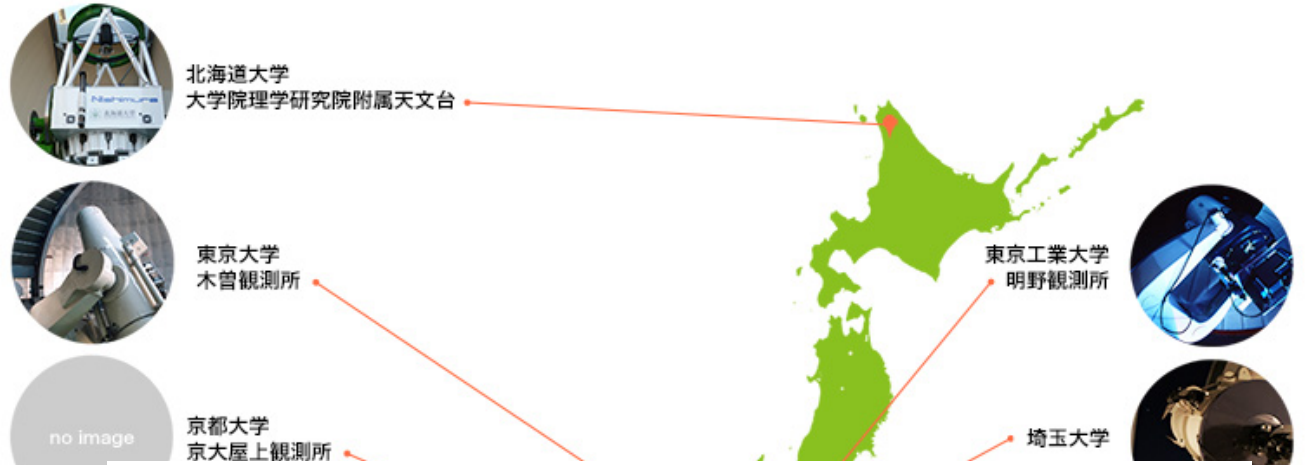
高度 < 30度

- ✓ 7/8(梅雨) 発見
- ✓ **最も近い**スーパーチャンドラ候補  
(=distance ~ 30 Mpc)
- ✓ **早期に**identify (極大1週間前)



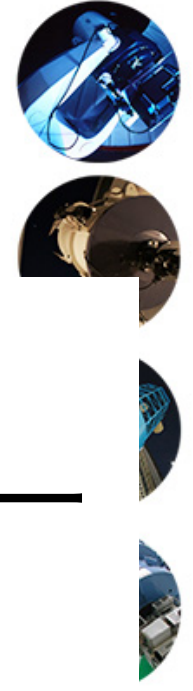
**史上最も多くの情報を提供しうる**スーパーチャンドラ候補  
徹底した**可視近赤外線観測**によりその描像を明らかにする。





高い機動性  
シンプルな観測モード

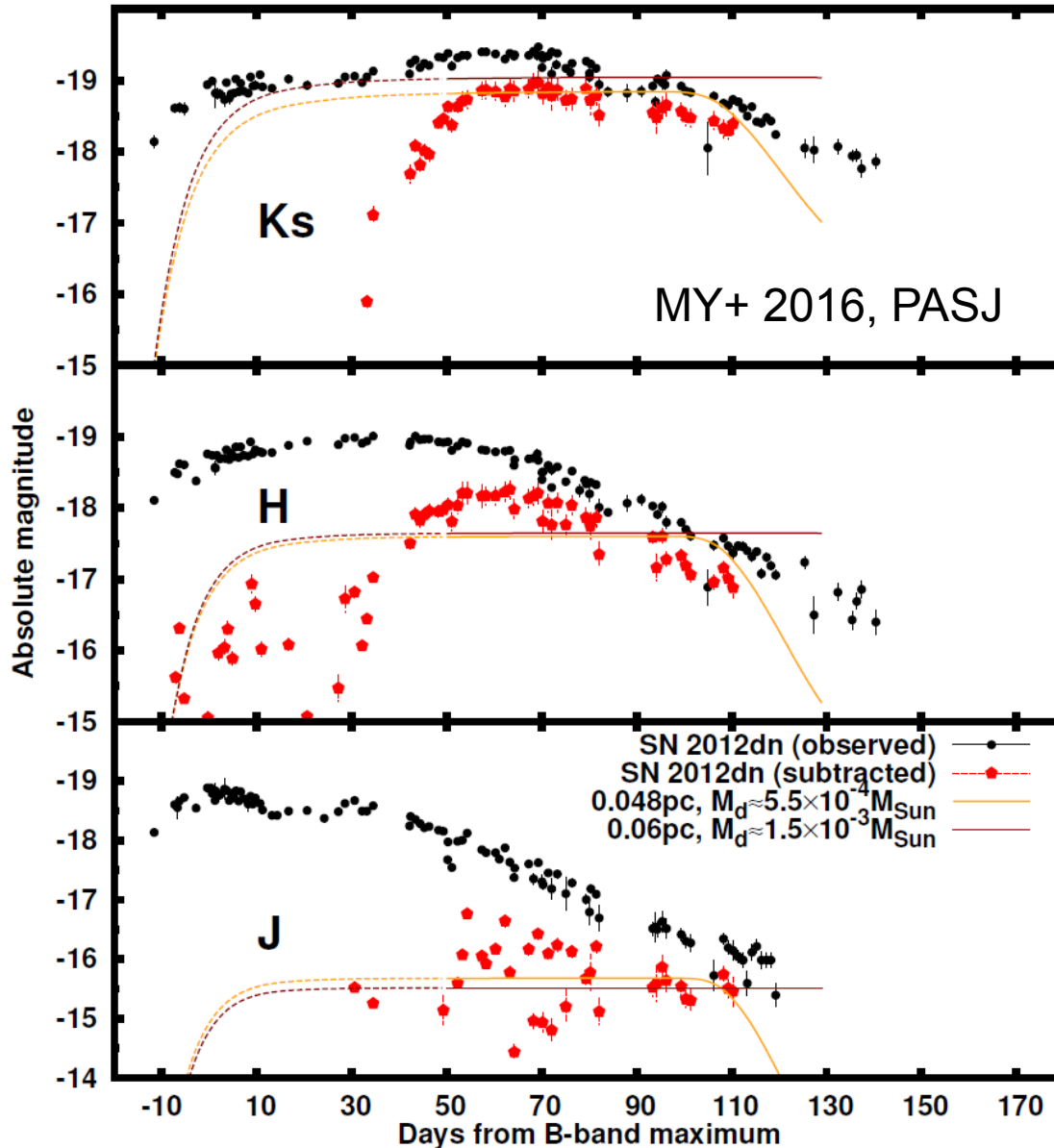
天候に関係なく取得  
可



Credit: NAOJ



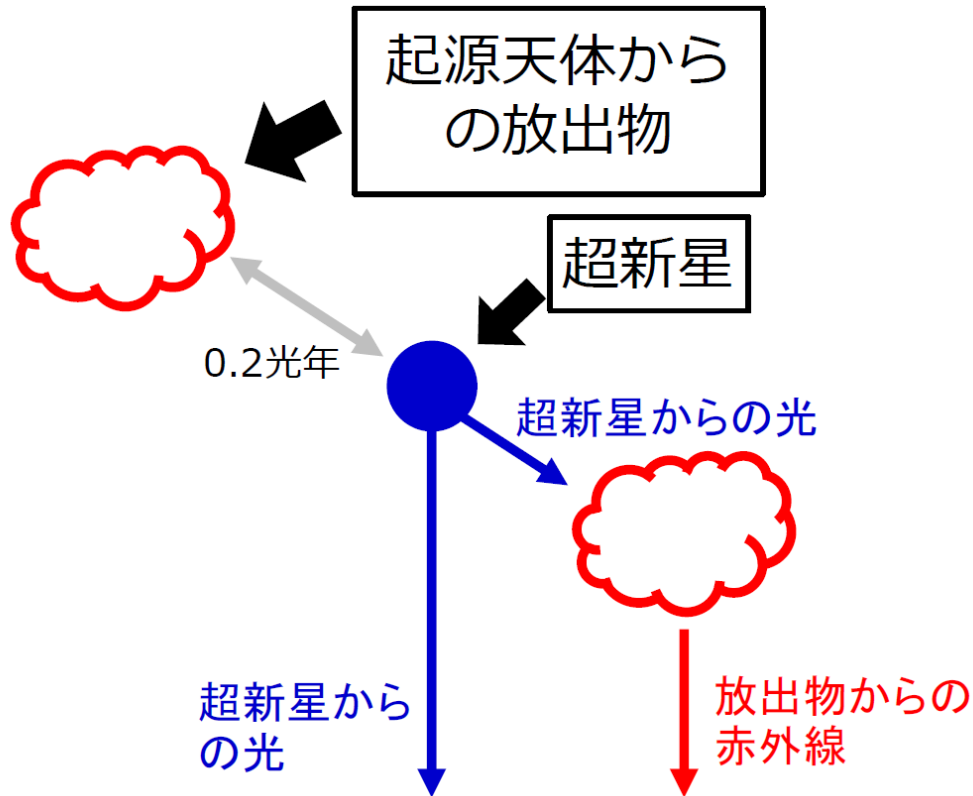
# J, H, Ksバンド差分光度曲線



SN 2012dn の  
J, H, Ks フラックスを  
SN 2009dcで引き算  
(本質的な超新星成分を  
SN 2009dcと仮定)

赤外線超過成分：  
Ksバンド50dまで  
急激に増光した後に、  
フラットな変化を示す  
：NIR エコーを示唆

モデル(Maeda et al. 2015)と  
の比較：colorとタイムスケール  
をよく説明するのは、  
 $0.048\text{pc}$ ,  $5.5 \times 10^{-4} M_{\text{Sun}}$   
炭素系ダスト



## 降着シナリオ ->星周物質

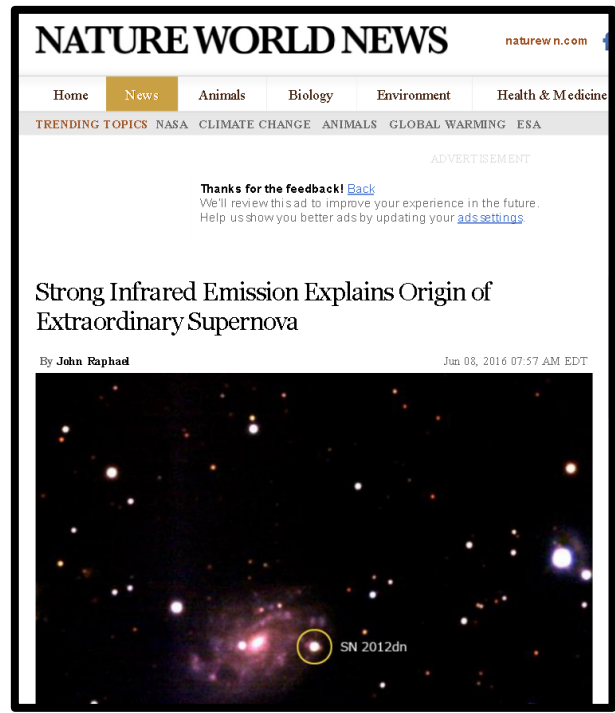
# プレスリリース (Jun 7)



山中雅之（甲南大学工学部・平生太郎基金 研究員）の研究グループが、正体不明だった『限界を超えた超新星』の起源を明らかにしました。

## 本研究のポイント

『限界を超えた超新星』SN 2012dnを観測し、強い赤外放射を捉えた



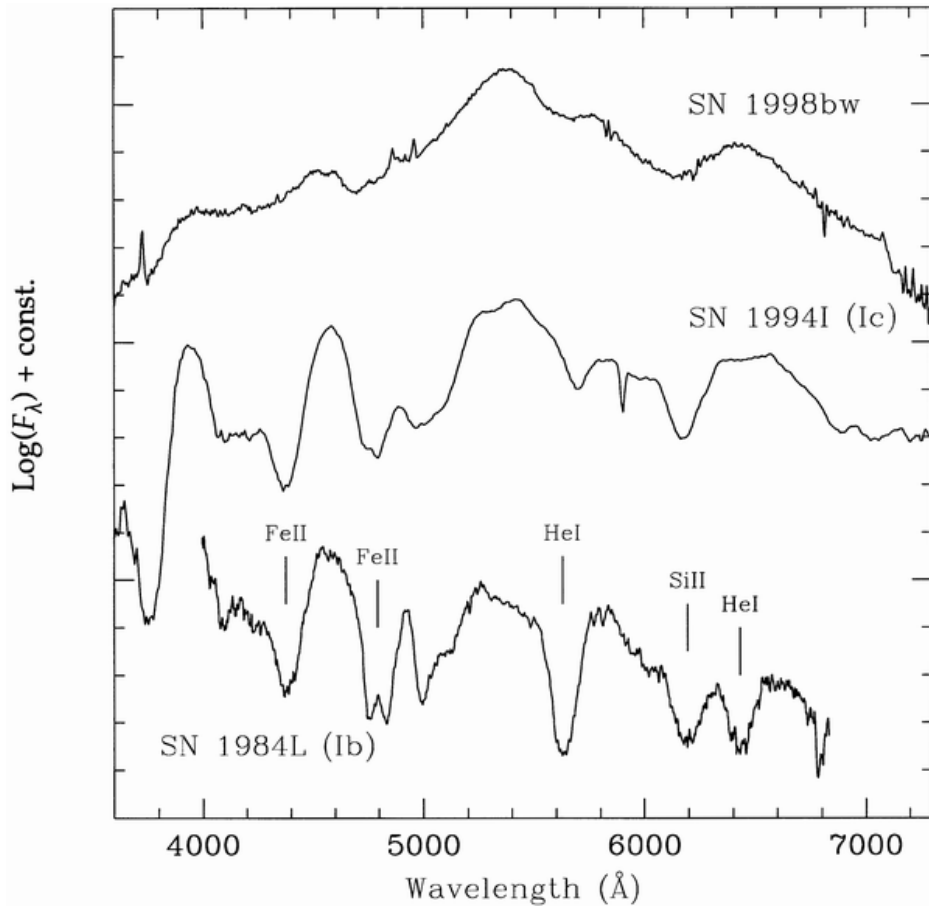
科学新聞  
Nature World News  
Science Daily

オランダ・ロシア・  
ウクライナ・中国な  
どの  
宇宙自然系ニュースサ  
イトにて掲載

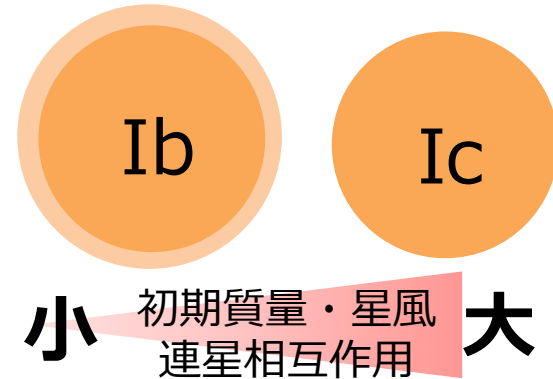


- ついに明らかに！スーパーチャンドラセカール超新星の正体(MY et al. 2016, PASJ, in press)
- 緩やかに進化するIc超新星の可視近外線観測 (MY et al. submitted to PASJ)
- 極超新星(BL SN)での~~史上初めて~~強いヘリウムの検出 (MY et al. submitted to ApJL)
- そして3.8mとの”連携”へ...

## 初期スペクトル=外層



Galama et al. 1998



稀にGRBに付随  
(ただし、エネルギーの大きい  
Ic型超新星のみ)

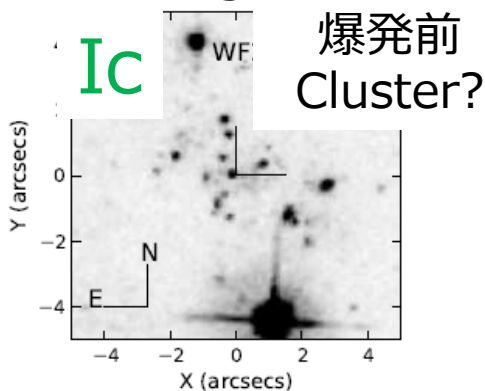
エジェクタ質量の多様性 <-> 親星質量

?

# Ib/c型超新星の親星多様性

親星が同定：わずかに1例のみ

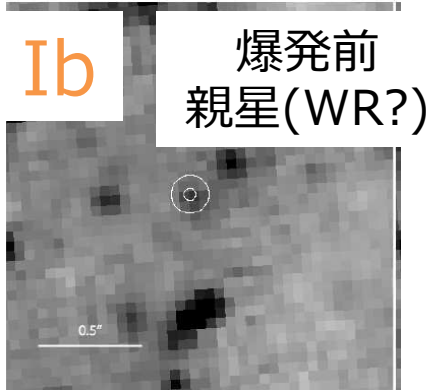
SN 2007gr



爆発前  
Cluster?

Chen et al. 2014, ApJ, 790, 120

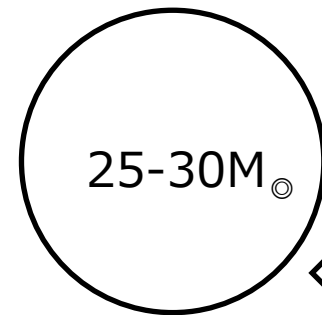
iPTF13bvn



爆発前  
親星(WR?)

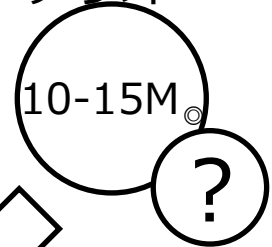
Cao et al. 2013, ApJ, 775L, 7

単独星シナリオ

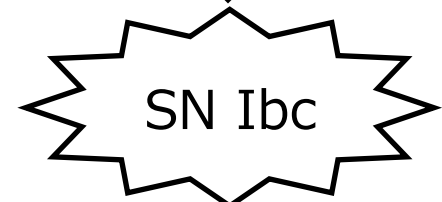


星風

低質量連星系シナリオ



連星相互作用



一方で、親星モデルは星風・連星でもヘリウムを完全にはぎ取れない  
(例えばWoosely+1995)

Mejの小さいIc型??  
大きなIb型??





SN 2013ge

Kanata/HOWPolで  
得られたイメージ

発見日	2013年11月8.80日
発見者	板垣公一氏
母銀河	NGC 3287
距離	~20Mpc (とても近傍)
発見等級	17.3mag
型	Ic型

✓これほど近傍でIc型超新星が出現する確率は比較的稀

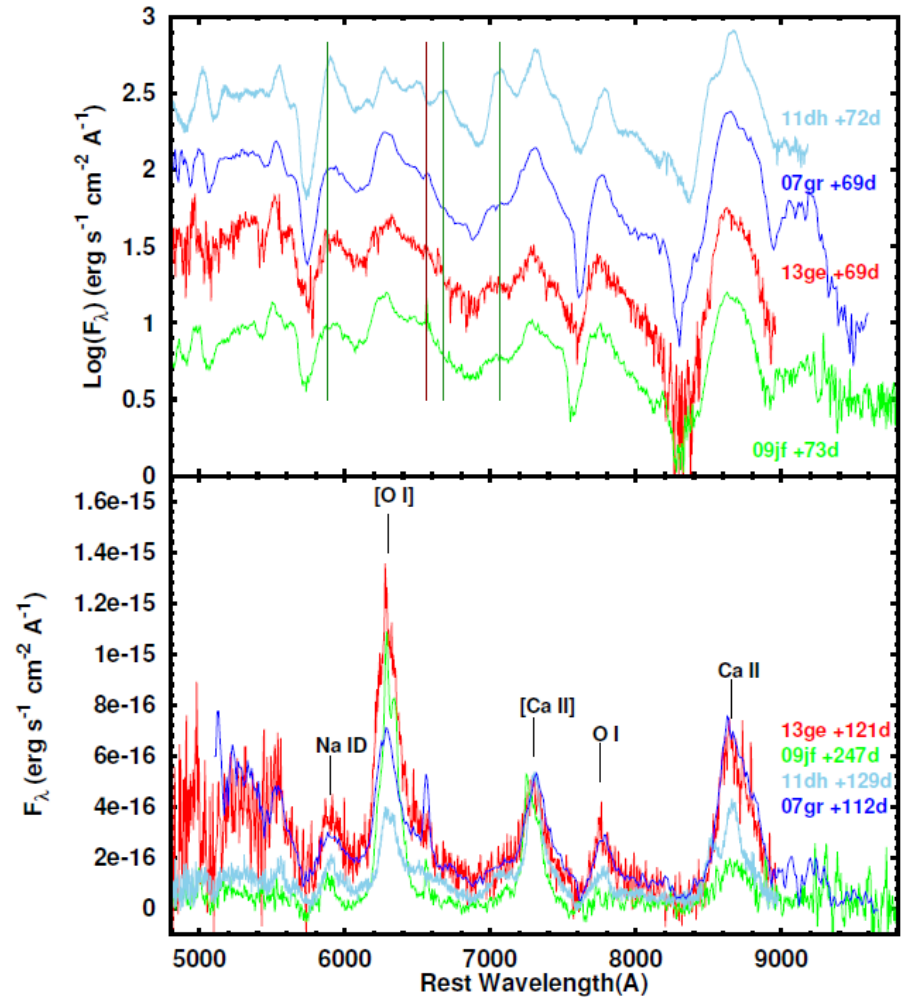
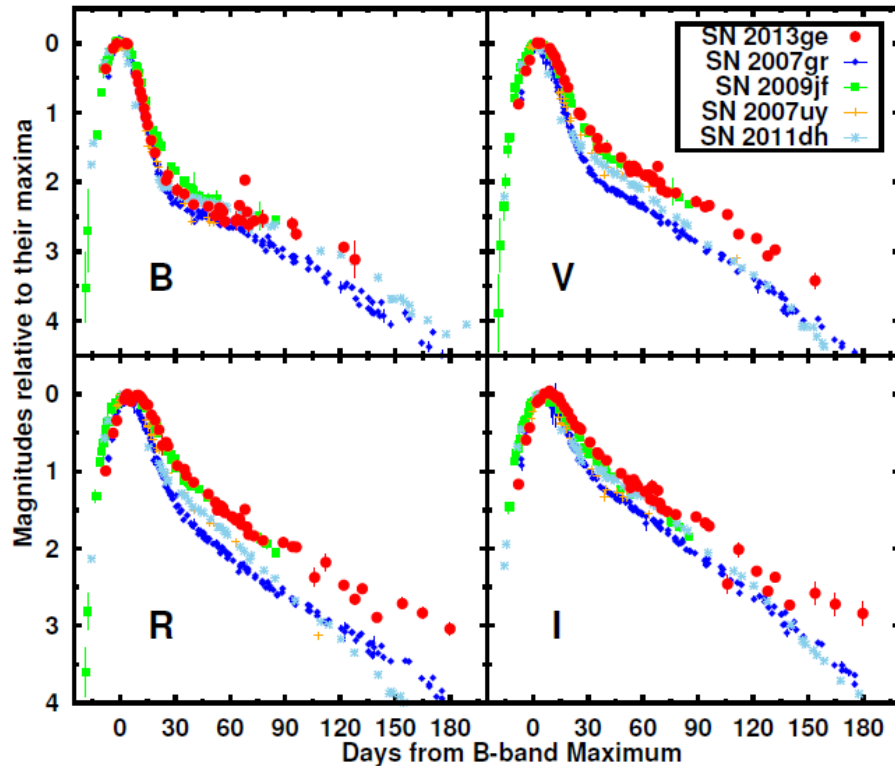
✓典型的なIc型超新星の可視近赤外線サンプルは依然希少 (e.g., SN 2007gr)

✓可視近赤外線による中長期の観測が期待

光赤外線大学間連携におけるToO観測を実施



# LC, スペクトル進化(一部)

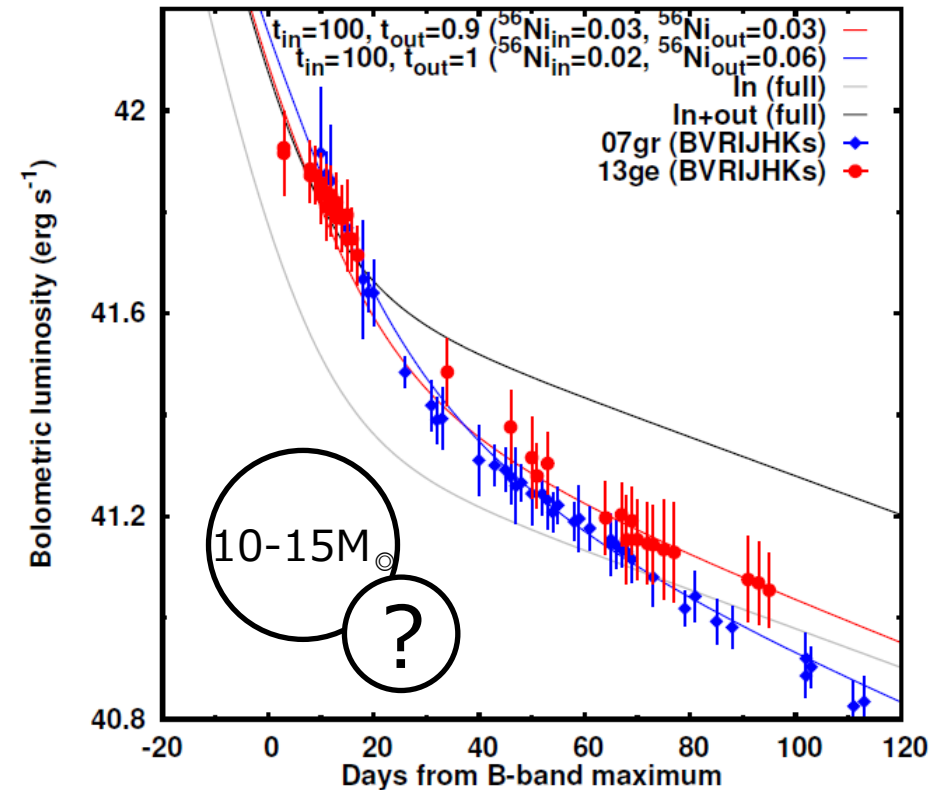
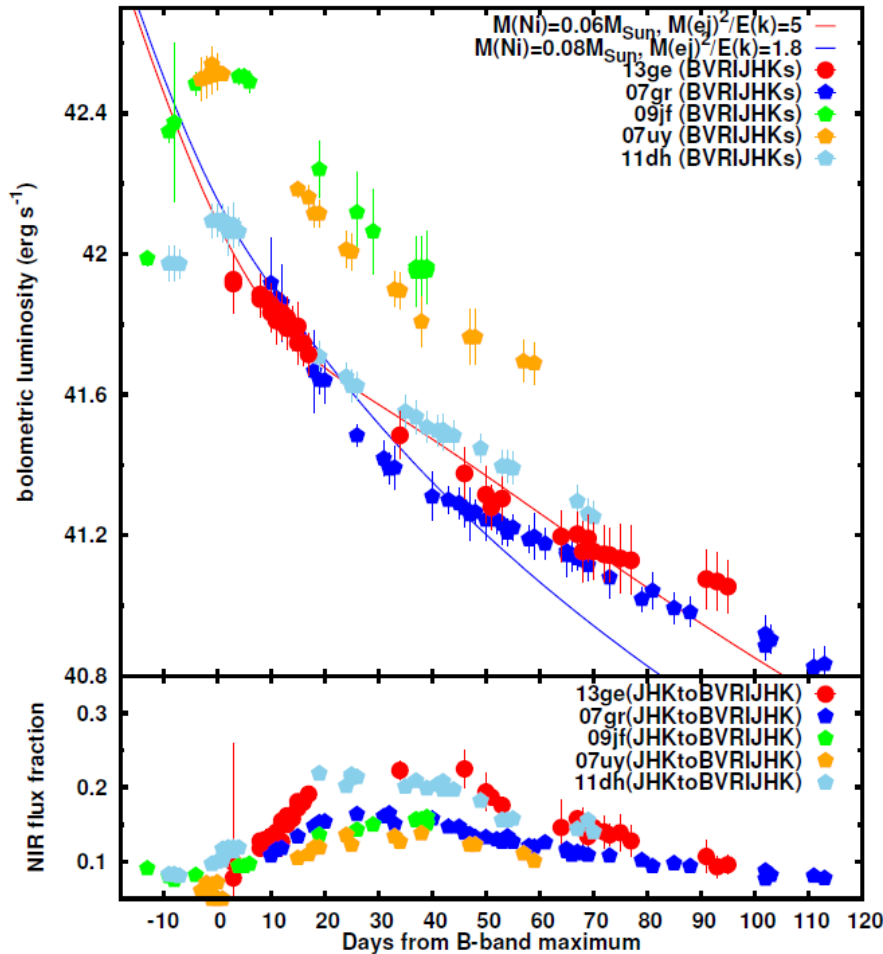


BVRI LCは07grより緩やか

か  
09jfと似ている  
-> 進化は遅い

[O I]/[Ca II] LC緩やかな程大きい?  
非対称性のindicator? (->MY in prep)

# Bolometric LC, 2成分モデル



Bolometric LC, 1成分モデルでは合わない  
 -> 2成分でfit, 内部コアが非常にdense  
 非対称爆発モデルで期待される爆発構造

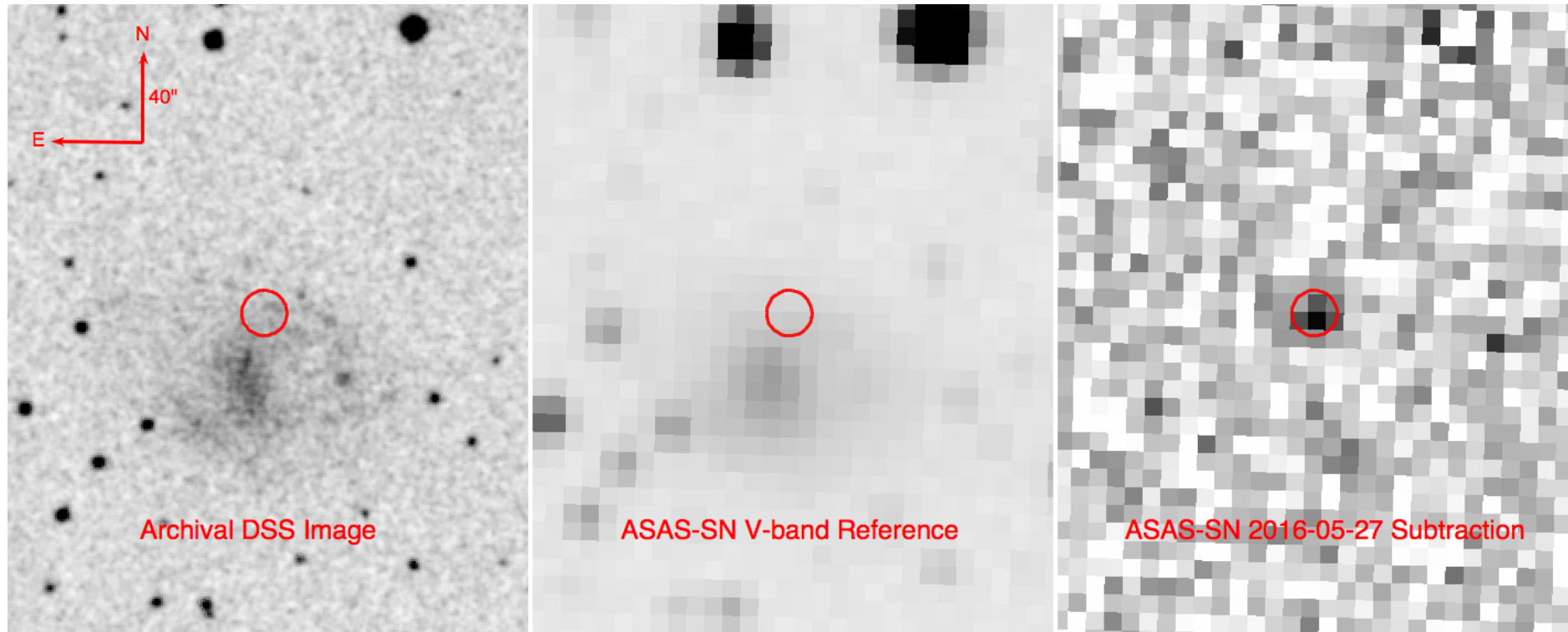
LC解析:  $M_{\text{ej}} \sim 1.7-3.5M_{\odot}$

-> 定性的的には10-15M<sub>☉</sub>

-> 典型的なlc

-> ヘリウムまではぎ取るには(少なくとも)連星は必要

# SN 2016coi



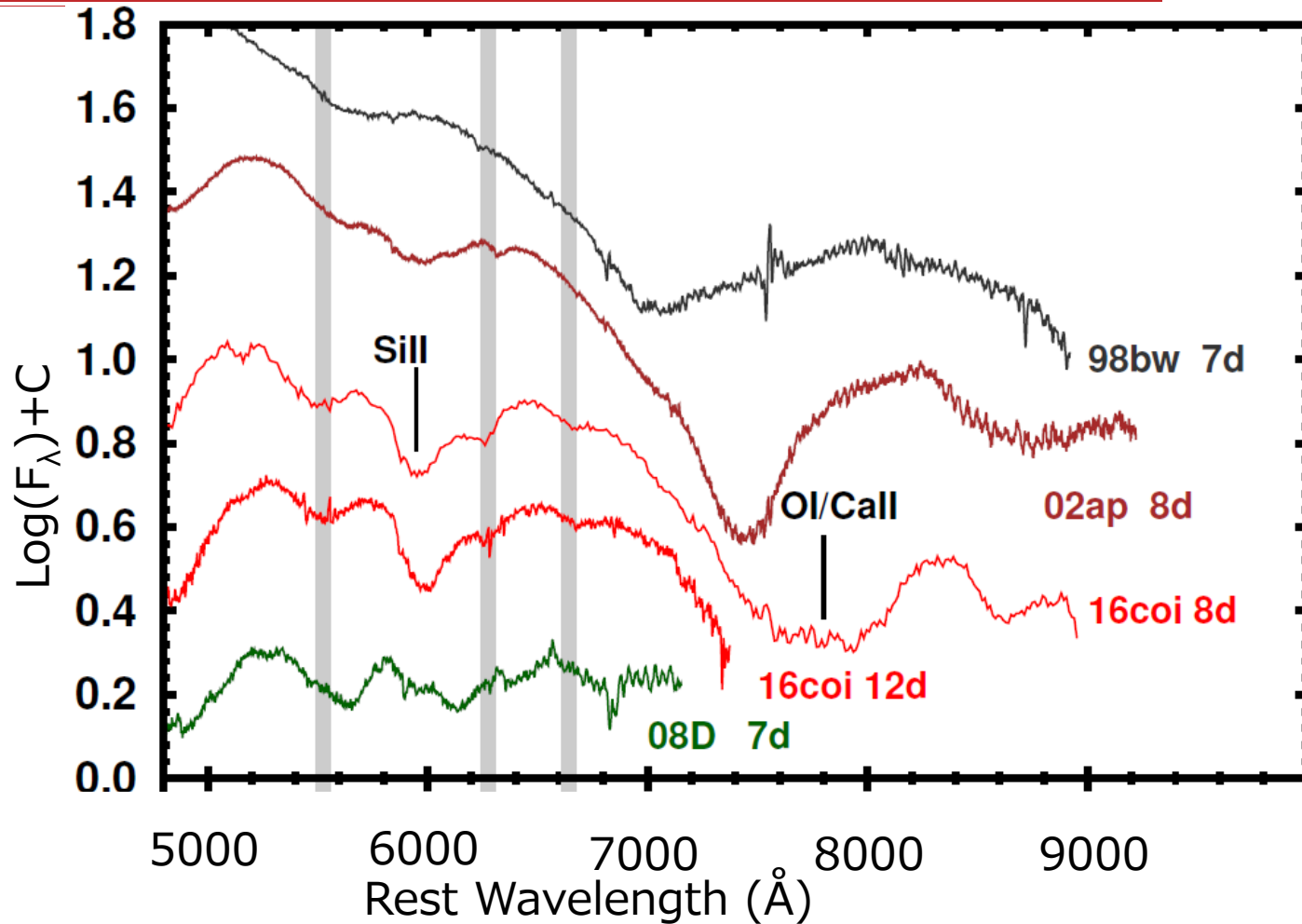
ASAS **17.2Mpc**の近傍銀河UGC 11868で発見  
(ASASSN-16fp; ATEL 9088)

**初期のIc型極超新星** (ATEL 9090)

-> SN 2002ap以来の近傍銀河での極超新星：OISTERでToO

->その後、初期に**ヘリウム**を検出(MY+, ATEL 9124)

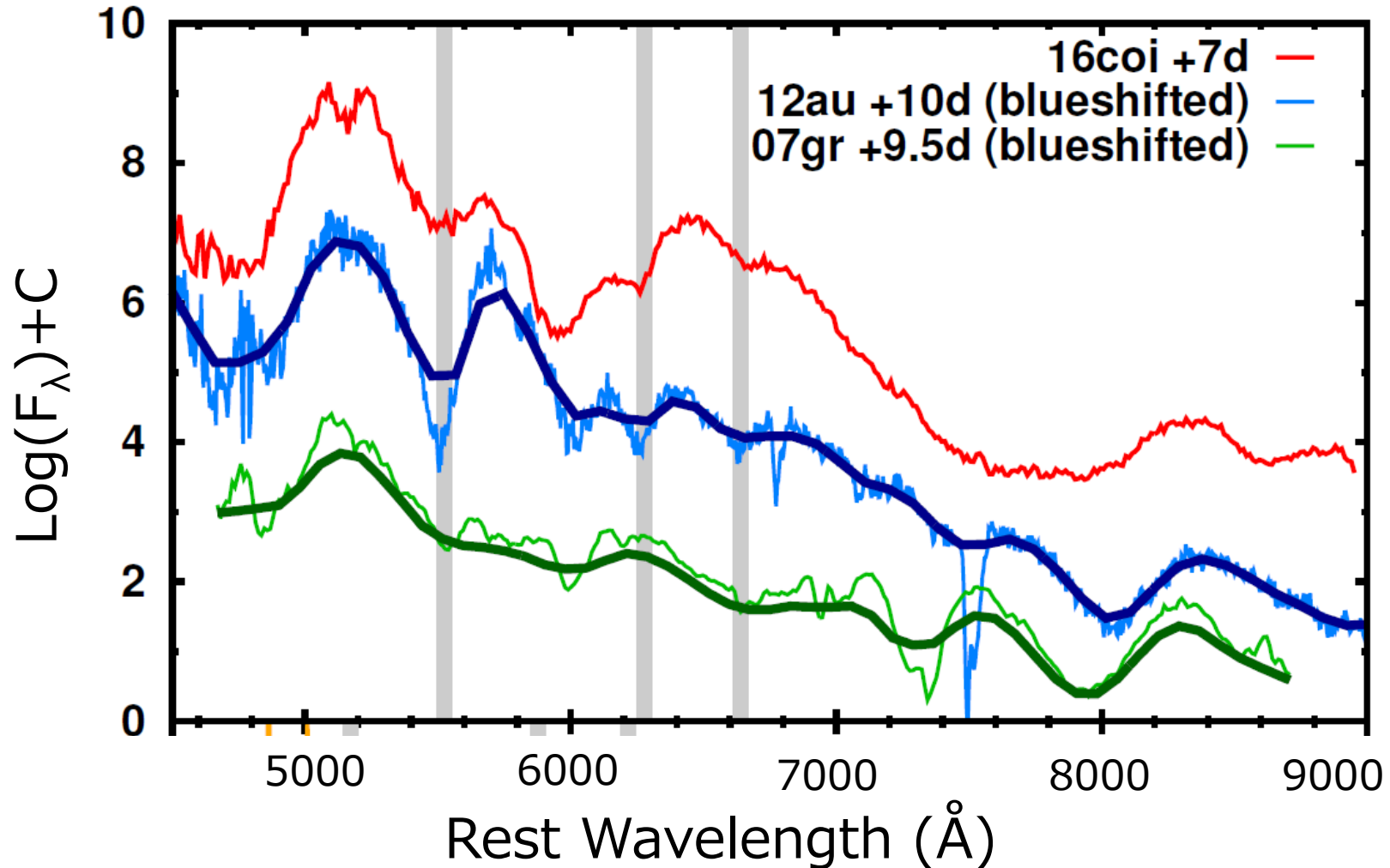
# SN 2016coi : 極超新星



爆発後12日までHeの吸収？

膨張速度 16,000km/s@極大付近～極超新星

# SN 2016coi : 本当にHe ?



Ib型超新星 (He有) をなまし、かつ青方偏移  
-> SN 2016coiのスペクトル => Ib-`BL'!

## EARLY-PHASE OBSERVATIONS OF SN 2016COI: THE DETECTION OF THE STRONG HELIUM ABSORPTION LINES IN THE BROAD-LINED SUPERNOVA

MASAYUKI YAMANAKA<sup>1</sup>, TATSUYA NAKAOKA<sup>2</sup>, MASAOMI TANAKA<sup>3</sup>, KEIICHI MAEDA<sup>4,5</sup>, SATOSHI HONDA<sup>6</sup>, HIDEKAZU HANAYAMA<sup>7</sup>, TOMOKI MOROKUMA<sup>8</sup>, MASATAKA IMAI<sup>9</sup>, KENZO KINUGASA<sup>10</sup>, KATSUHIRO L. MURATA<sup>11</sup>, TAKEFUMI NISHIMORI<sup>12</sup>, OSAMU HASHIMOTO<sup>13</sup>, HIROTAKA GIMA<sup>12</sup>, KENSUKE HOSOYA<sup>6</sup>, AYANO ITO<sup>12</sup>, MAYU KARITA<sup>6</sup>, MIHO KAWABATA<sup>2</sup>, KUMIKO MORIHANA<sup>6</sup>, YUTO MORIKAWA<sup>12</sup>, KOTONE MURAKAMI<sup>12</sup>, TAKAHIRO NAGAYAMA<sup>12</sup>, TATSUHARU ONO<sup>14</sup>, HIROKI ONOZATO<sup>15</sup>, YUKI SARUGAKU<sup>16</sup>, MITSUTERU SATO<sup>17</sup>, DAISUKE SUZUKI<sup>18</sup>, JUN TAKAHASHI<sup>6</sup>, MASAKI TAKAYAMA<sup>6</sup>, HIJIRI YAGUCHI<sup>6</sup>, HIROSHI AKITAYA<sup>2,19</sup>, YUICHIRO ASAKURA<sup>20</sup>, KOJI S. KAWABATA<sup>2,19</sup>, DAISUKE KURODA<sup>21</sup>, DAISAKU NOGAMI<sup>4</sup>, YUMIKO OASA<sup>22</sup>, TOSHIHIRO OMODAKA<sup>12</sup>, YOSHIHIKO SAITO<sup>23</sup>, KAZUHIRO SEKIGUCHI<sup>3</sup>, NOZOMU TOMINAGA<sup>1</sup>, MAKOTO UEMURA<sup>2,19</sup>, AND MAKOTO WATANABE<sup>24</sup>.

*Draft version August 19, 2016*

### ABSTRACT

We present the early-phase spectral evolution and the light curves of the broad-lined supernova (SN) 2016coi since  $t = 7$  until 67 d after its estimated explosion date. This SN was reported to be identified as a broad-lined Type SN Ic (SN Ic-BL). However, we found that spectra up to  $t = 12$  d exhibited the strong He I  $\lambda 5879$ ,  $\lambda 6678$ , and  $\lambda 7065$  absorption lines whose velocities reach  $18,000 \text{ km s}^{-1}$ . We demonstrate that the smoothed and blueshifted spectrum of an SN Ib was remarkably similar to that of SN 2016coi. The line velocities of SN 2016coi were similar to those of the other SNe Ic-BL, significantly faster than those of SNe Ib. The light curve and color evolution were also similar to those of SNe Ib. The similarity both in the line velocities and light curves suggests that the kinetic energy and the total ejecta mass of SN 2016coi are similar to those of SNe Ic-BL. The ejected  $^{56}\text{Ni}$  mass was smaller than those of SNe Ic-BL, while it was usual among SNe Ib. These facts suggest that this SN could be a transitional object between SNe Ic-BL and SNe Ib, and be classified as a broad-lined Type ‘Ib’ (SN ‘Ib’-BL). The presence of helium in the outer layer is rather consistent with the classical progenitor model to reproduce highly-energetic SNe.

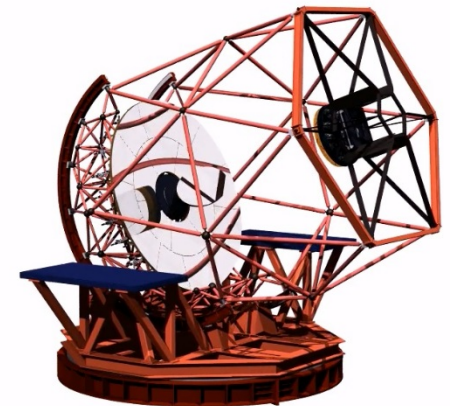
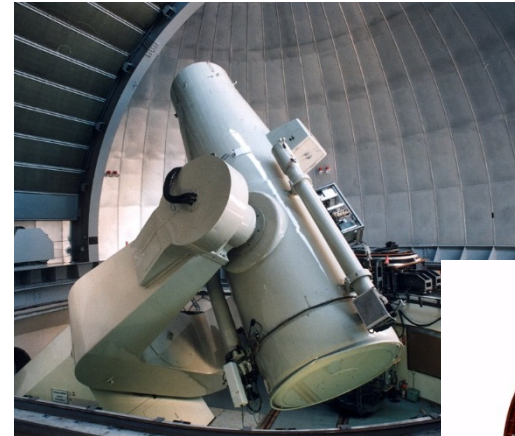
*Subject headings:* supernovae: general — supernovae: individual (SN 2016coi) — supernovae: individual (SNe 1998bw, 2008D, 2009bb, 2012au)

最外層のヘリウムが含まれる、~~史上初めての~~  
broad-lined Type Ic (=Ib!?)  
最近のProgenitor modelと無矛盾



# 木曾・3.8m望遠鏡との連携

発見年	<13mag	<16mag
2009	0	55
2010	3	50
2011	7	71
2012	5	78
2013	6	85
2014	2	87



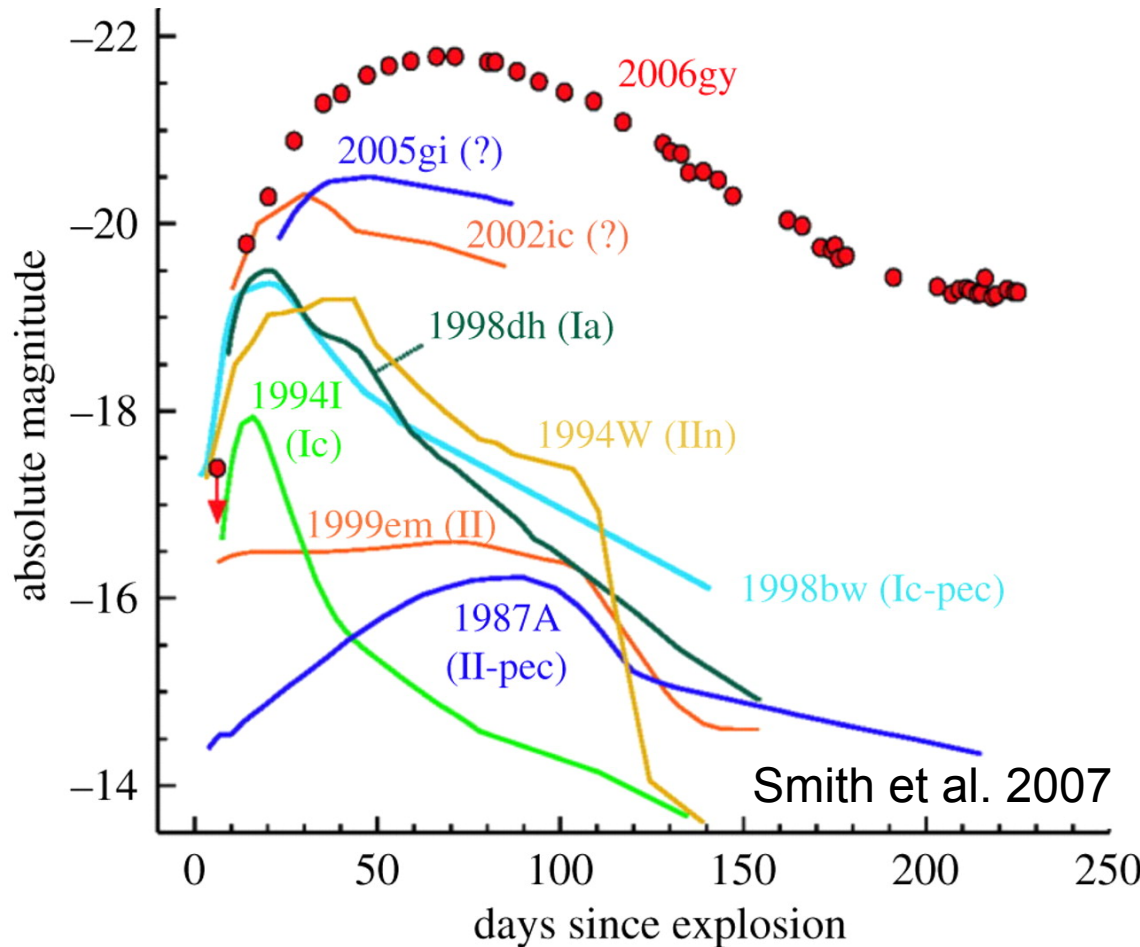
<http://www.rochesterastronomy.org/snimages/>より

木曾サーベイ **~21mag?**  
+3.8m/KOOLS-IFU follow up?

Kanata/HOWPol (分光 R~400, 測光 ~19mag)  
-> 3.8m/KOOLS-IFU (分光 R~1000, ~21mag)



# Welcome to 'supernova zoo'!!



超新星初期の多様性  
(木曾サーベイ副産物??)

-> 親星の多様性

IIIn -> LBV ?

Ia -> SD or DD?

Ib/ -> massive? binary?

II-pec -> BS?

希少な現象～  
新しい多様性

明るい超新星を爆発から星雲期(13-21mag, 400日間)まで  
やや暗いが希少なタイプを星雲移行期まで(16-21mag, 200日)

- ・ スーパーチャンドラセカール候補天体SN 2012dnの親星が降着シナリオで説明される根拠(星周ダスト)を示した
- ・ Ib/c型超新星SN 2013geにおいてLC解析から中心に密度の高いコアが分布していることを示した
- ・ 極超新星SN 2016coiにおいて~~史上初めて~~ヘリウムを検出した
- ・ 超新星は依然として、多様性に満ちていて、3.8m望遠鏡フォローアップで正体に迫りたい

