超新星：総括と今後

山中雅之（広島大学）

大学間連携の柱

- 重力波
- ニュートリノ
- GRB

- 全て超新星に関係しうる

超新星爆発とは？

✓宇宙、最大規模の爆発の一つ

$E = (0.5) \times M \times V^2$　　星一つの爆発のエネルギー

$= 0.5 \times (2.0 \times 10^{33}\ \mathrm{kg}) \times (10000\ \mathrm{km\ s^{-1}})^2$

$= 0.5 \times 10^{51}\ \mathrm{erg}$ ($1\ \mathrm{erg} = 10^{-7}\ \mathrm{J}$)

✓現代天文学において研究されているのはすべて系外銀河のもの

(→点源で観測)

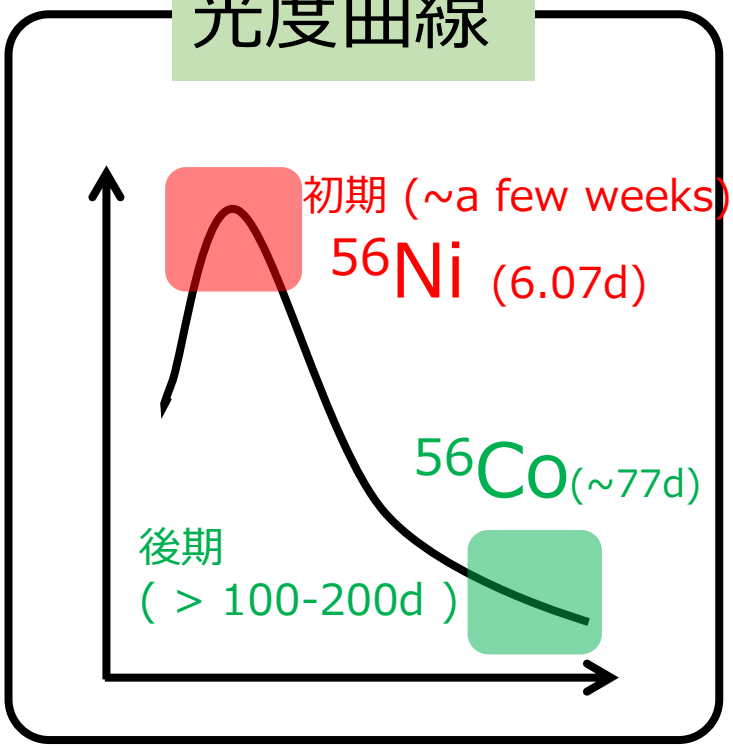
$N \sim 1000\text{-}1500\ \mathrm{yr}^{-1}$

我々の銀河では400年間、

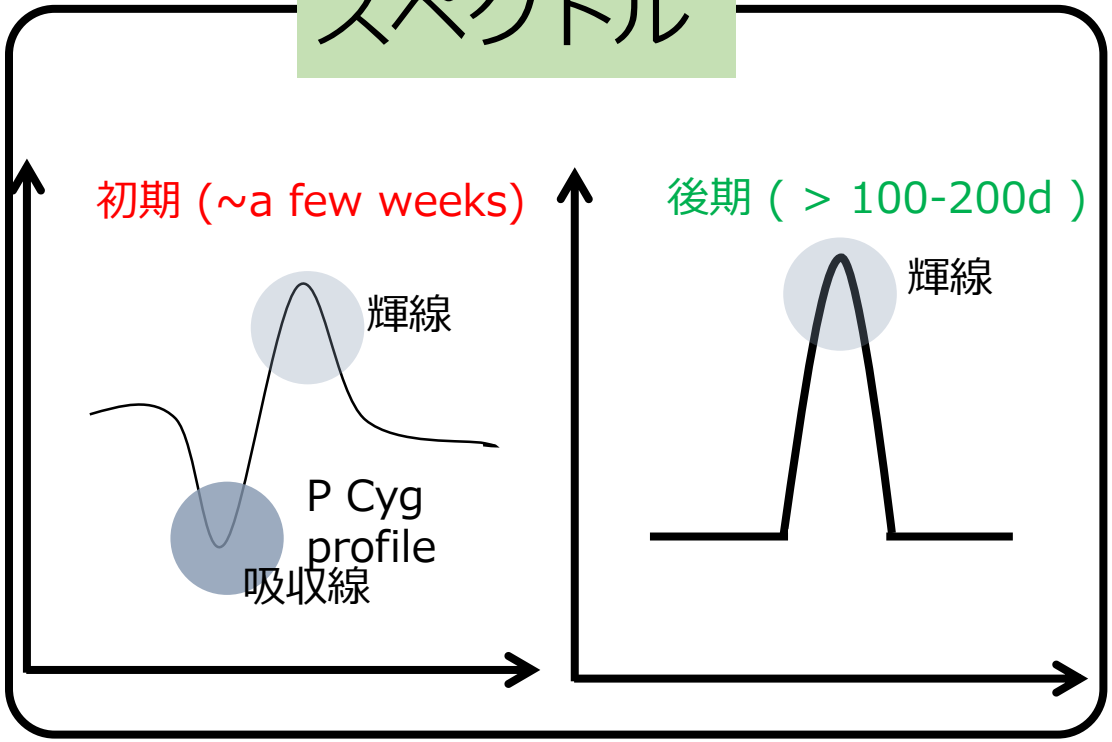
未発見

光赤外線観測から得られる超新星の物理

光度曲線



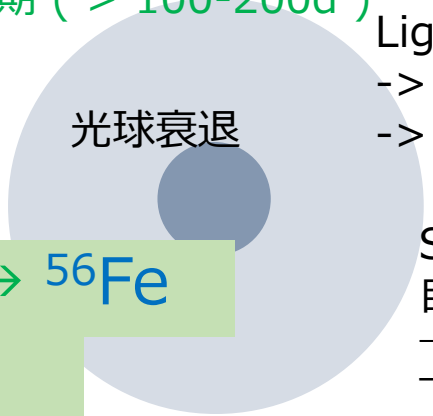
スペクトル



初期 (~a few weeks)

外層
H, He etc.
(IIb/Ibc)

後期 (> 100-200d)



$^{56}Ni \rightarrow {}^{56}Co \rightarrow {}^{56}Fe$

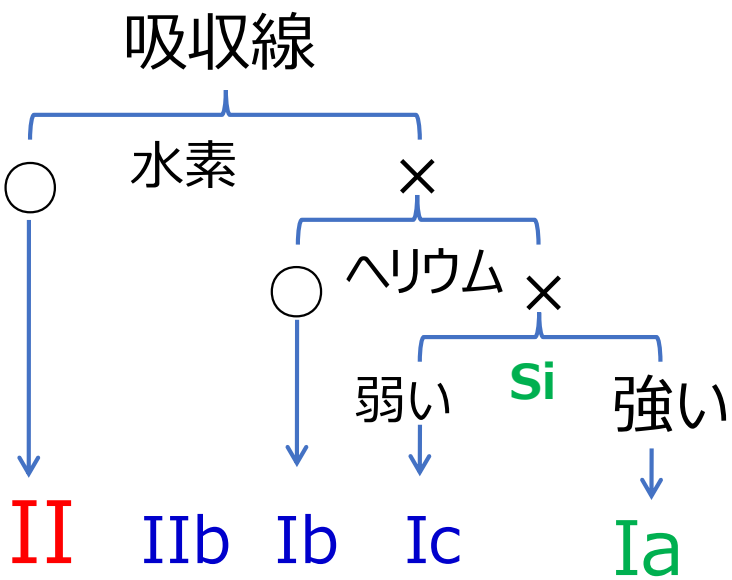
γ

γ, e^+

Light Curve (放射起源)
-> ^{56}Ni 質量
-> Ek, Mej (親星質量への制限)

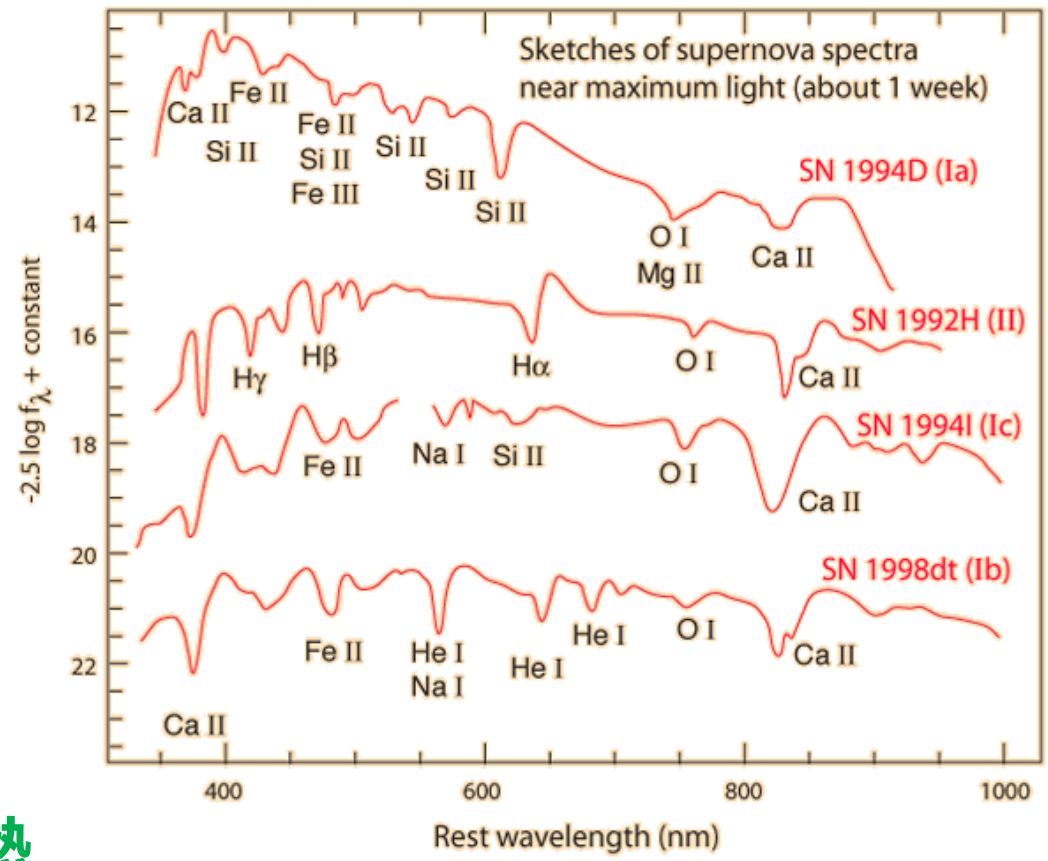
Spectra → Line velocity
自由膨張のため v ∝ r
→ **速度構造は膨張大気構造を示唆**
→ **爆発モデルへの制限**

スペクトルによる超新星の観測分類



大質量星の
重力崩壊型

低質量連星系を
成す**白色矮星**の**熱**
核暴走反応爆発



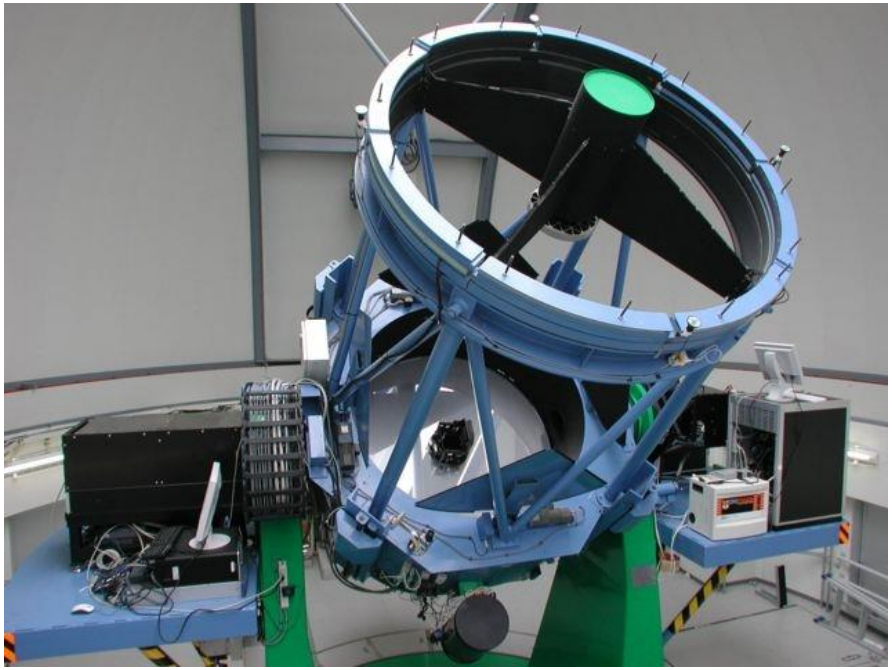
Sketches of spectra from Carroll & Ostlie, data attributed to Thomas Matheson of National Optical Astronomy Observatory.

かなたSN team

広島大グループ

川端弘治
(センター長・教授)

山中(特任助教)



かなた望遠鏡

広島大院生(5名)
川端美穂(D2)
中岡竜也(D2)
河原直貴(M2)
長木舞子(M1)
大坪一輝(M1)

年5-10天体程度の近傍超新星を
かなた望遠鏡
(BVRIJHKs + 可視分光)で追観測

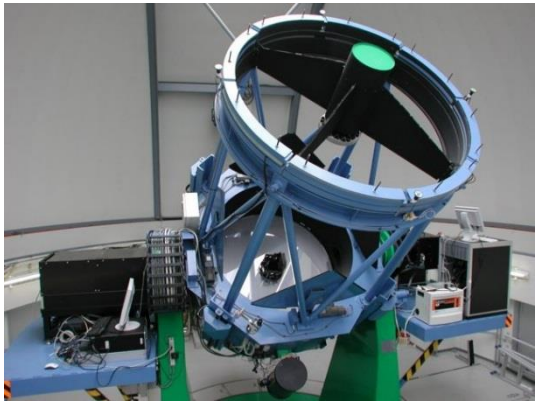
HOWPol
BVRIz'+Yバンド 測光
可視分光(R~400)
可視偏光撮像
HONIR
VRI+JHKsバンド 2色同時撮像
可視近赤外線 分光 (R~300)
可視近赤外線偏光撮像
可視近赤外線偏光分光

OISTER SN 投稿出版状況

これまで観測した超新星
青：出版済、緑：投稿中、
水色：現在論文準備中

SN 2010jl
SN 2011by
SN 2011dh (Yamanaka+ submitted, for comparison)
SN 2011fe
SN 2012Z Yamanaka+ 2015
SN 2012aw (Nakaoka+ in prep, for comparison)
SN 2012dn Yamanaka+ 2016
SN 2013ge Yamanaka+ submitted
SN 2016coi Yamanaka+ 2017
SN 2017eaw Yamanaka+ in prep

光赤外線大学間連携での超新星観測



ToO依頼

かなた望遠鏡の初期観測
ATEL/TNSの報告内容
✓ 20-50Mpc以内 (Mvに依る)
✓ 爆発直後

強み　①天候リスク・装置不安定性の回避
-> **重要なフェーズで**確実に観測できる
②多モード・多波長の装置
-> ＝**可視近赤外撮像**・**可視分光**の連続観測の実現

Ia型：なぜ爆発？

白色矮星に物質が
降り積る

↓

太る

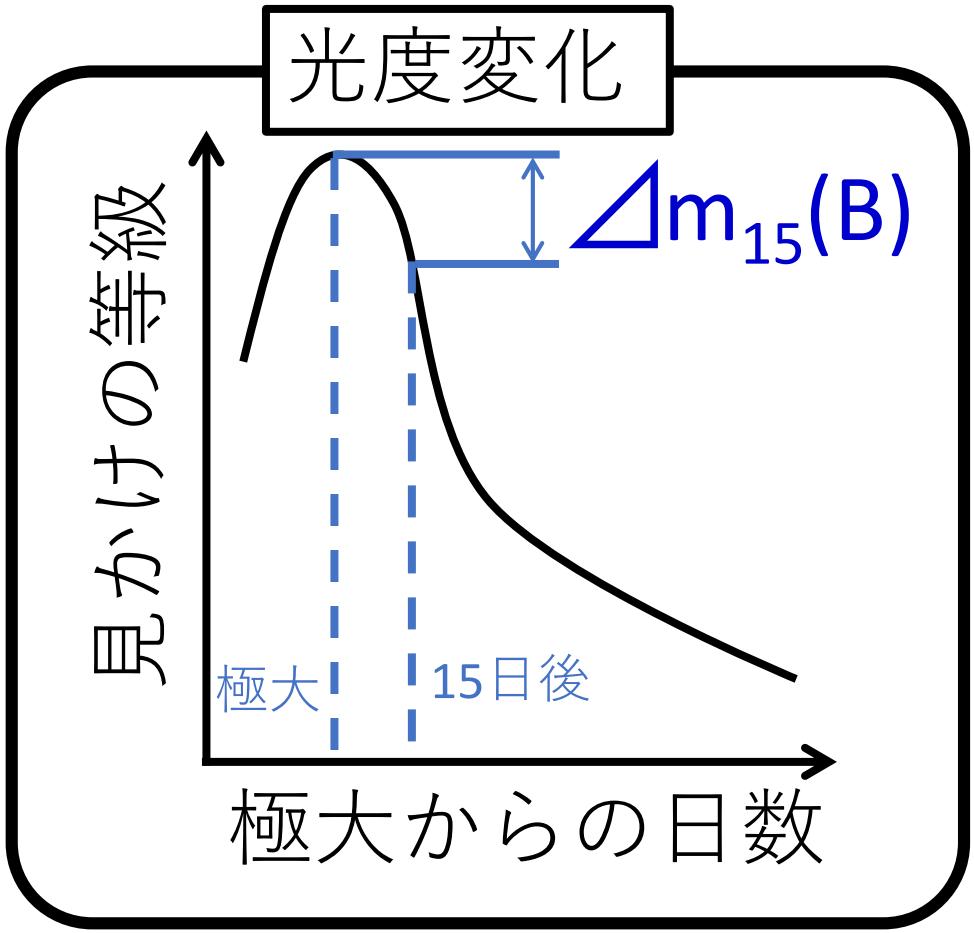
↓

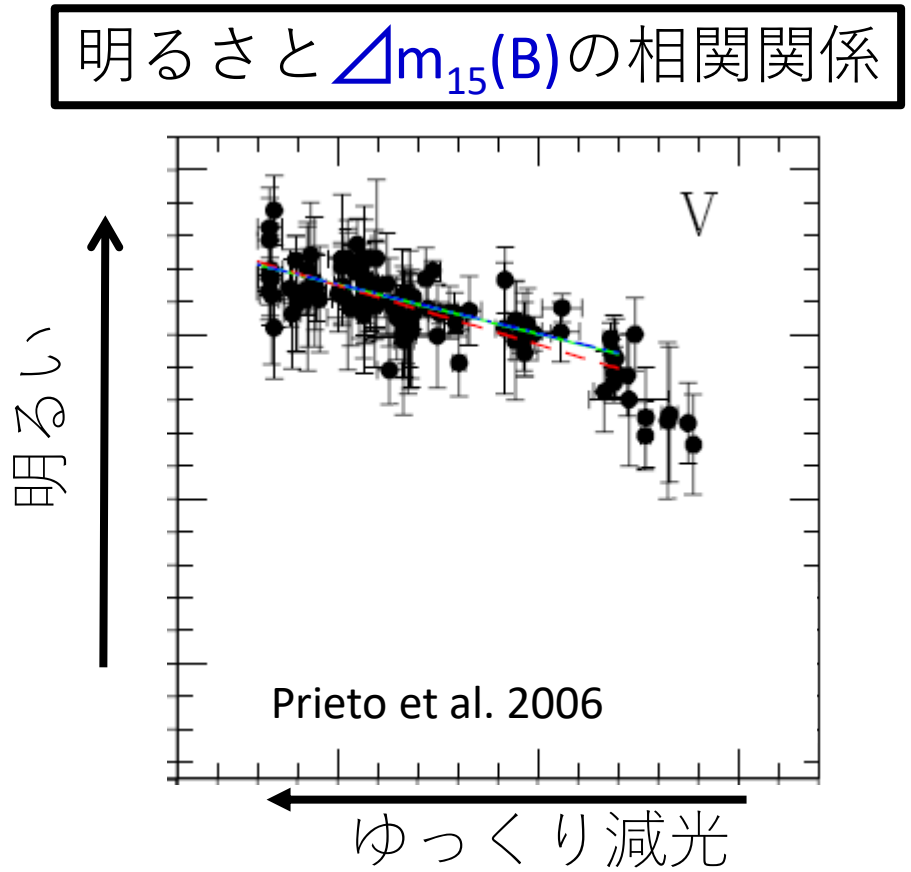
限界質量付近で爆発

↓

明るさには限界がある
(理論的な常識)

極大光度と減光率の相関関係

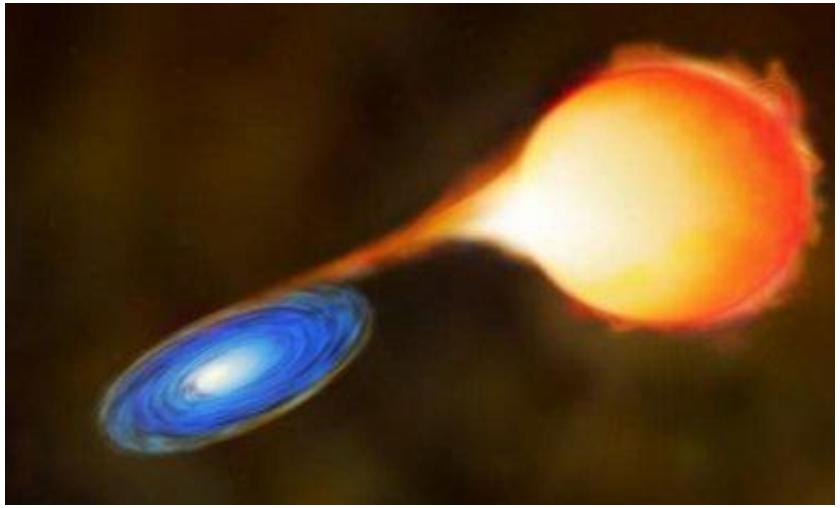




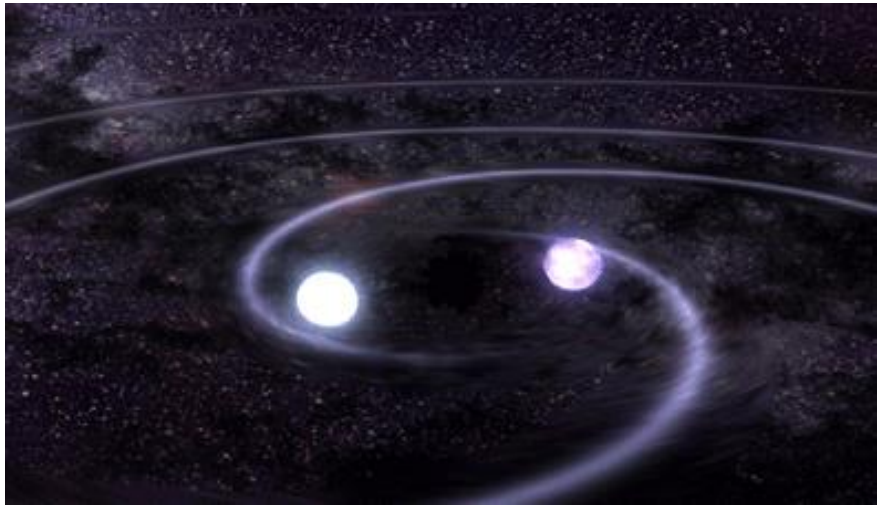
$\Delta m_{15}(B)$: 減光率
極大等級と15日後の等級の差
明るさと極めて良い相関

光度変化のみで距離の推定が可能
⇒宇宙論研究に応用

Ia型超新星爆発の親星の正体



降着



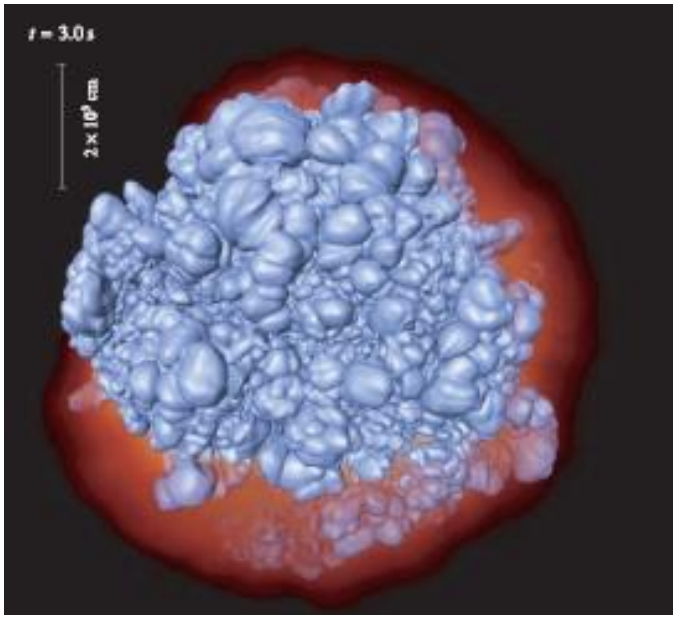
連星合体

親星不明

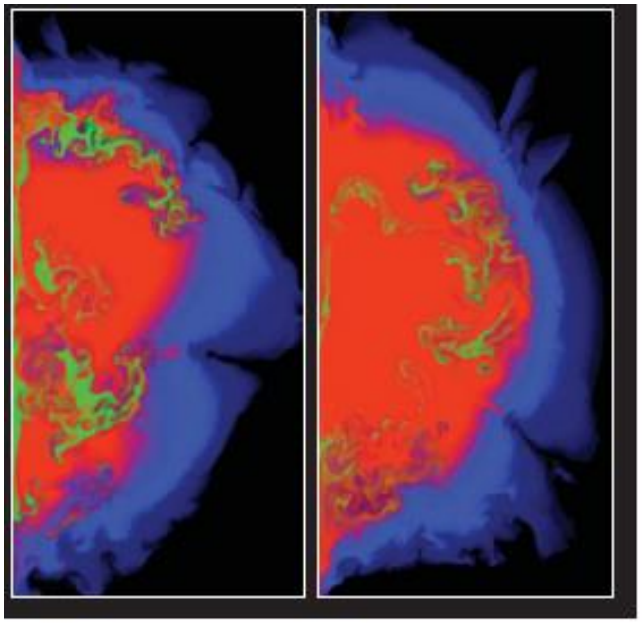
(想像図)

降着シナリオ:星周物質との兆候

Ia型超新星爆発の爆発モデル



F.K. Röpke et al. 2007



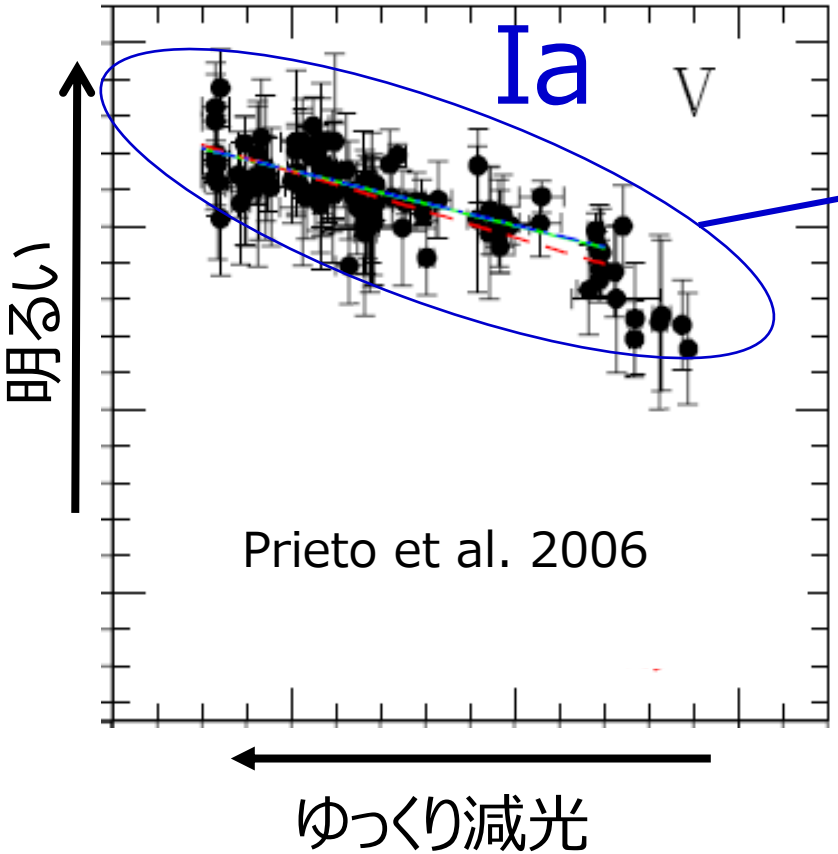
Kasen et al. 2009

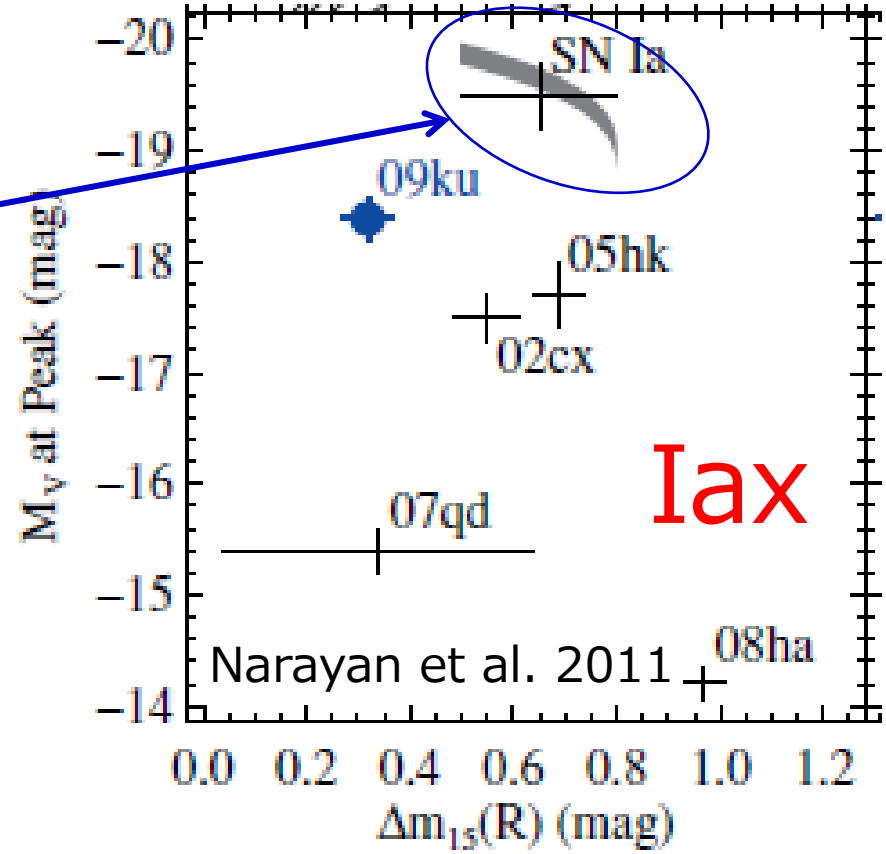
爆発モデルも未解決
(大規模シミュレーション)

Deflagration
(mixing強い, 暗い)

Delayed detonation
(層状, 明るい)

Iax型：絶対光度が暗くてバラつく



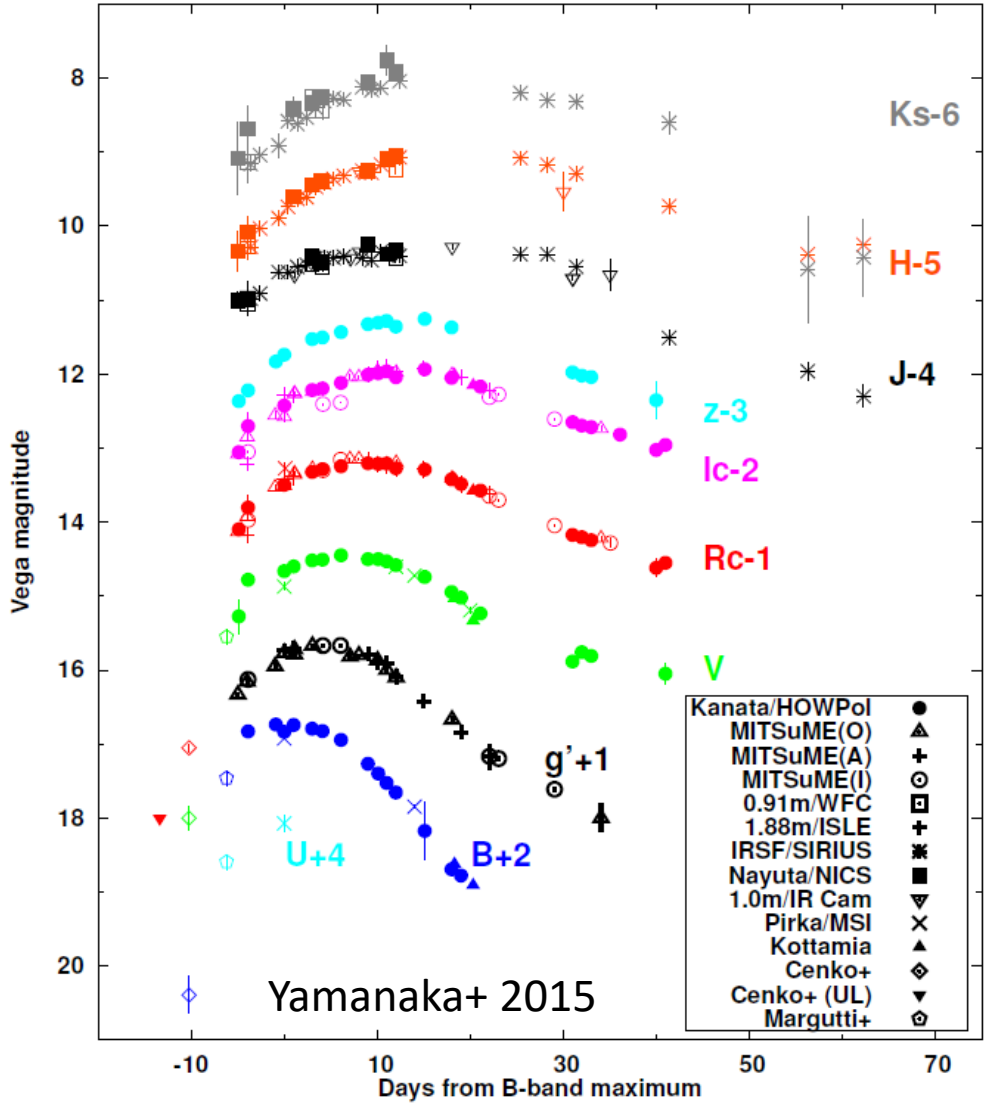


光度曲線から予測されるより**かなり暗い**

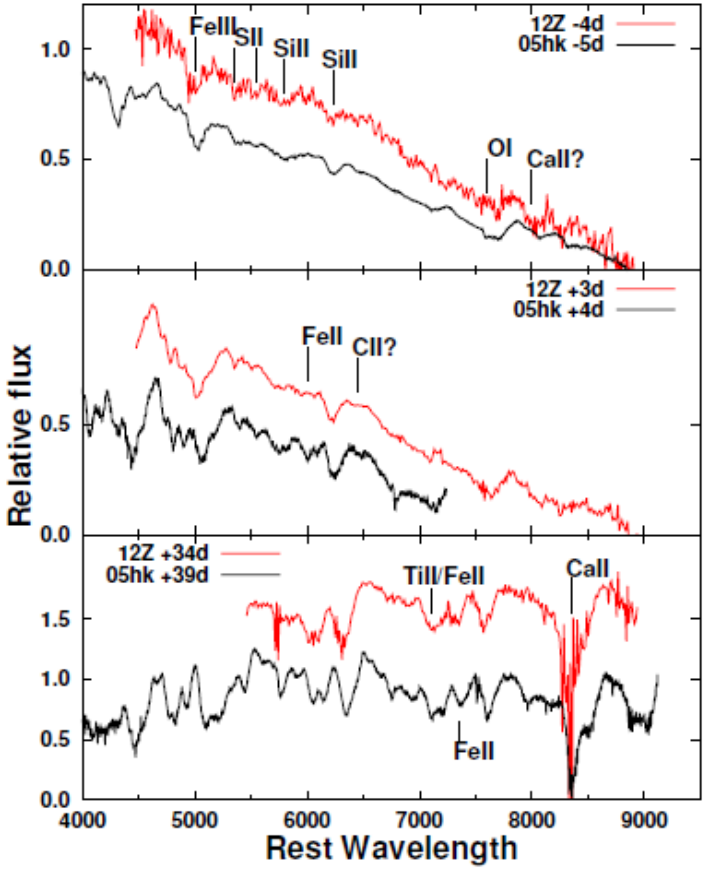
Iax長期可視観測
->川端美穂さん講演

OISTERでのSN観測例① SN 2012Z

UBg'VRIzJHKs light curves



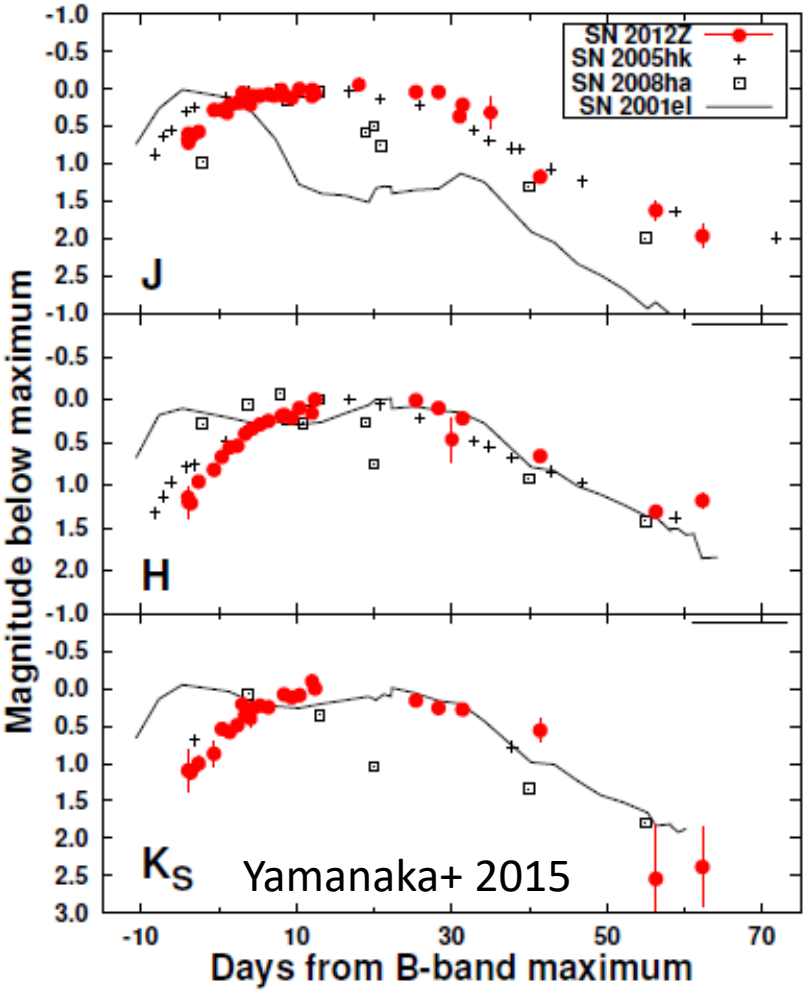
スペクトル(05hkとの比較)



SN 2012ZはType Iaxのプロトタイプであるの SN 2005hkによく似ている

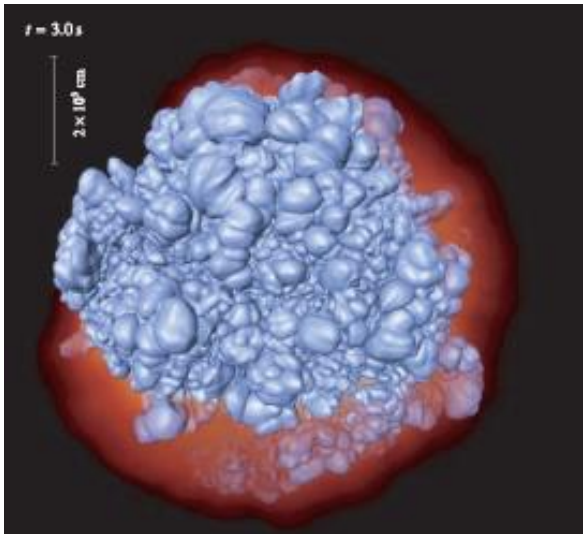
-> 波長方向に密に観測成功

J, H, Ks-band Light Curves



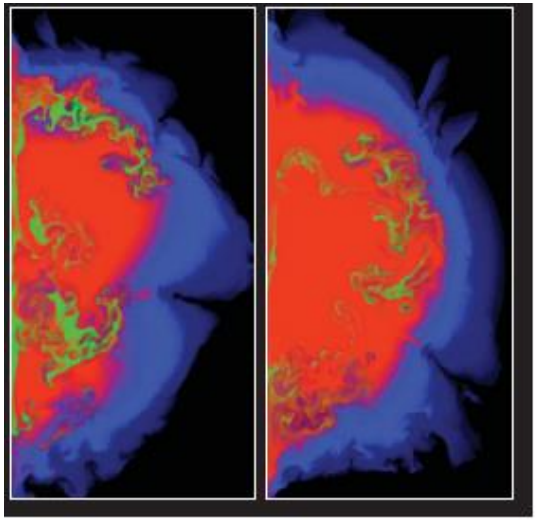
05hk, 08haによく似ている。
どのバンドにおいてもsingle peak

解釈：ミキシングが強い



Iax?

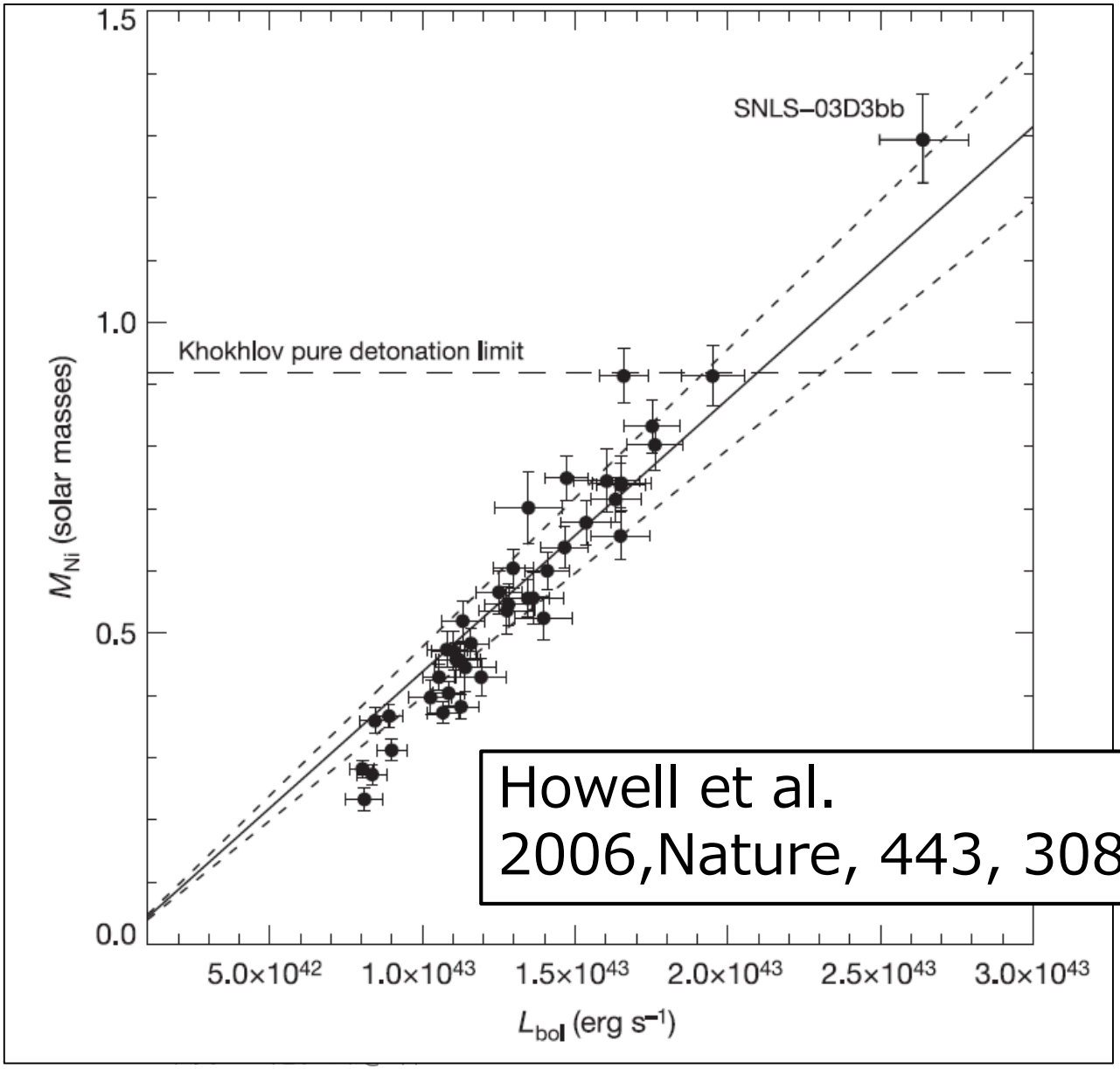
○



Ia?

×

スーパーチャンドラセカール超新星



Howell et al.
2006,Nature, 443, 308

最初の例

チャンドラセカール限界質量
白色矮星における熱核暴
走反応で合成される限界
～0.9-1.0太陽質量

⇩

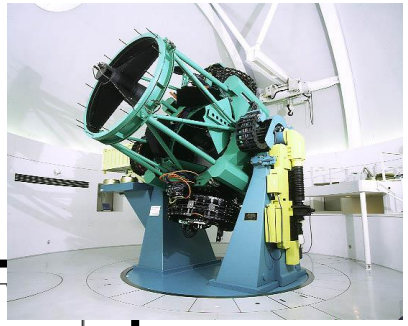
SNLS-03D3bb
(SN 2003fg)
M_{ejecta}~1.3M$_\odot$

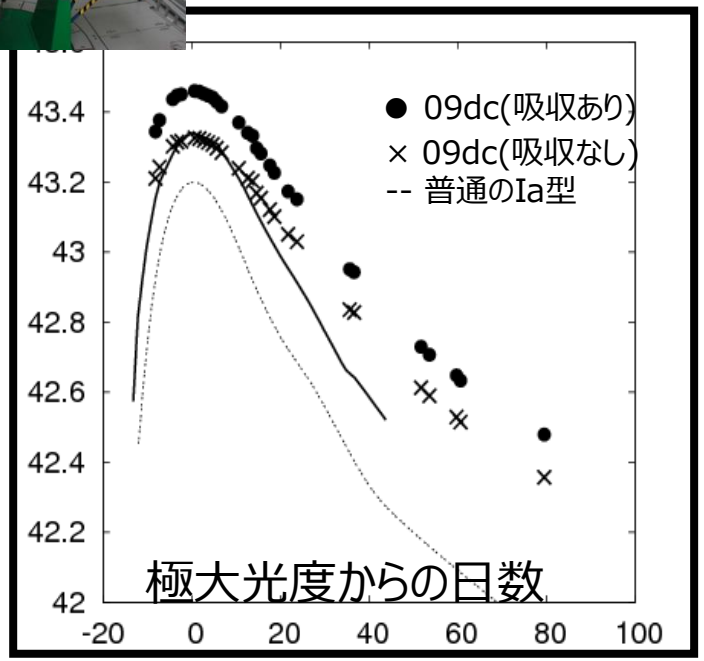
スーパーチャンドラセカール超新星

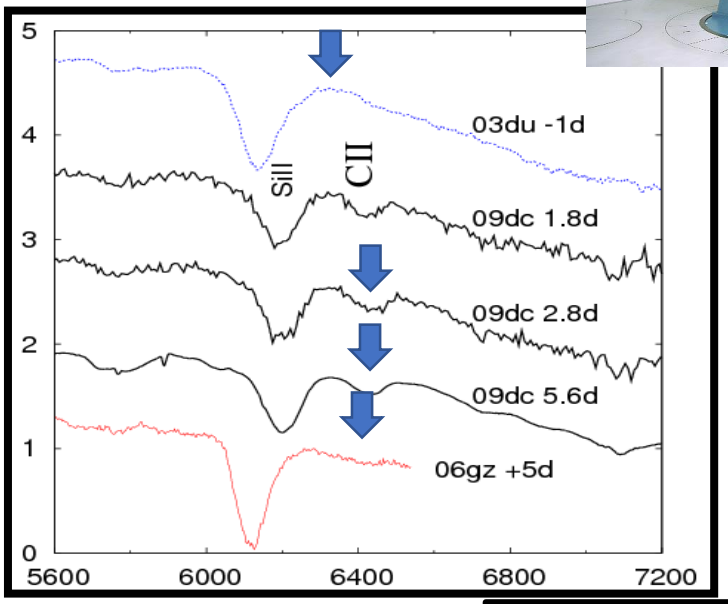
広島1.5m
Kanata

SN 2009dc

ぐんま
1.5m







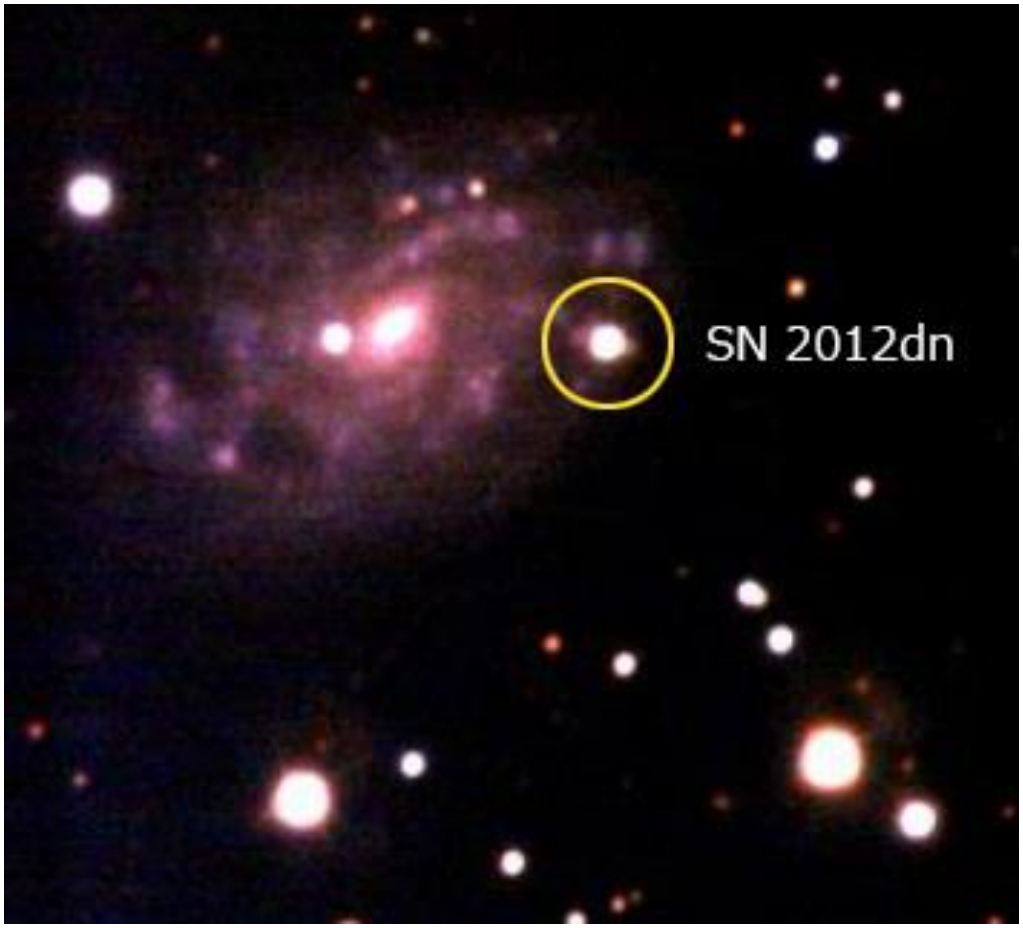
Yamanaka et al. 2009, ApJL, 707, 118

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

OISTERでの観測例② SN 2012dn

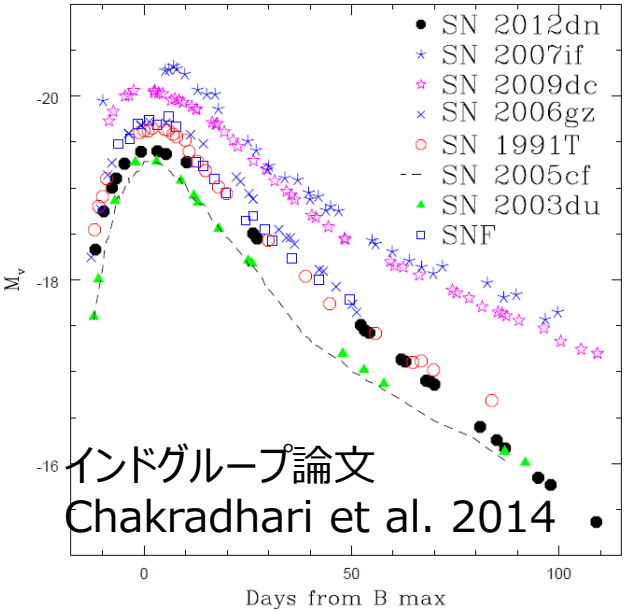


✓ 7/8(梅雨) 発見
✓ **最も近い**super-Ch SN候補
(=distance ~ **30 Mpc**)
✓ **早期に**identify (**極大1週間前**)

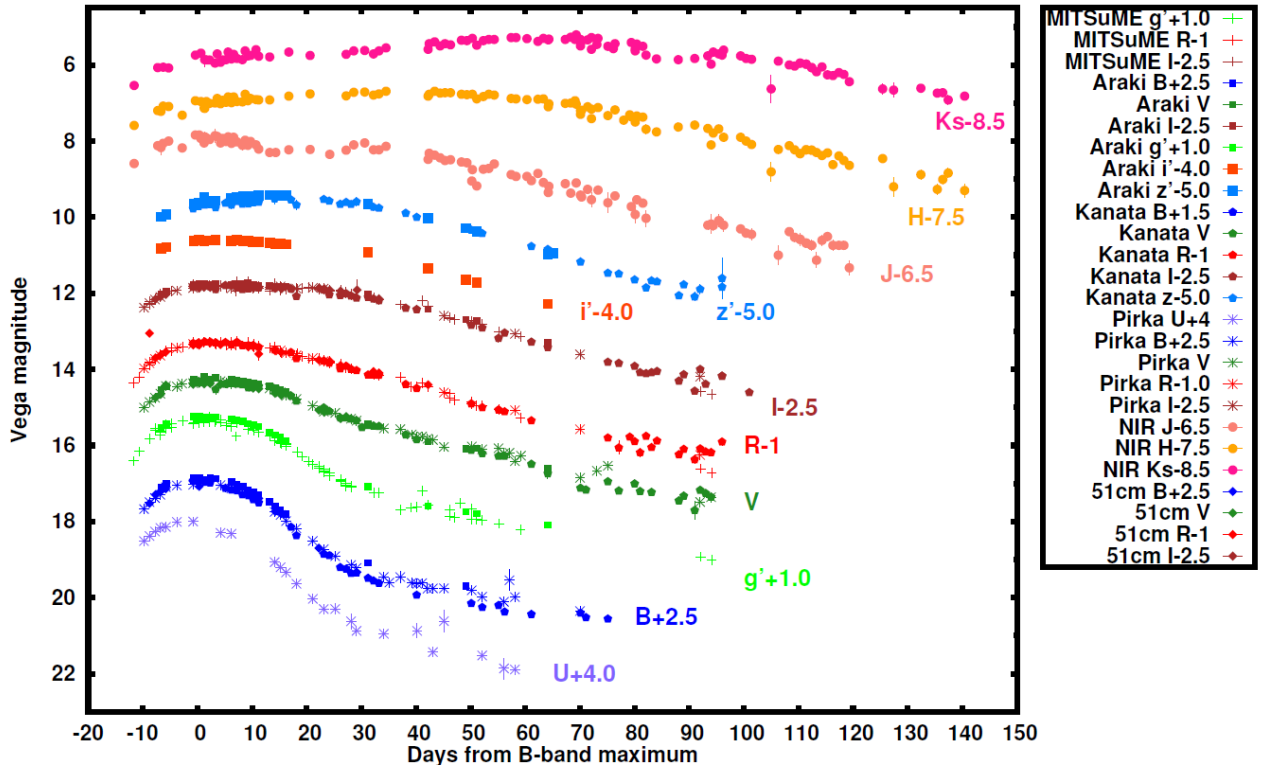
R.A.　20:23:36.26
Decl.　-28:16:43.4
高度 < 30度

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**が可能

SN 2012dn 全ライトカーブ



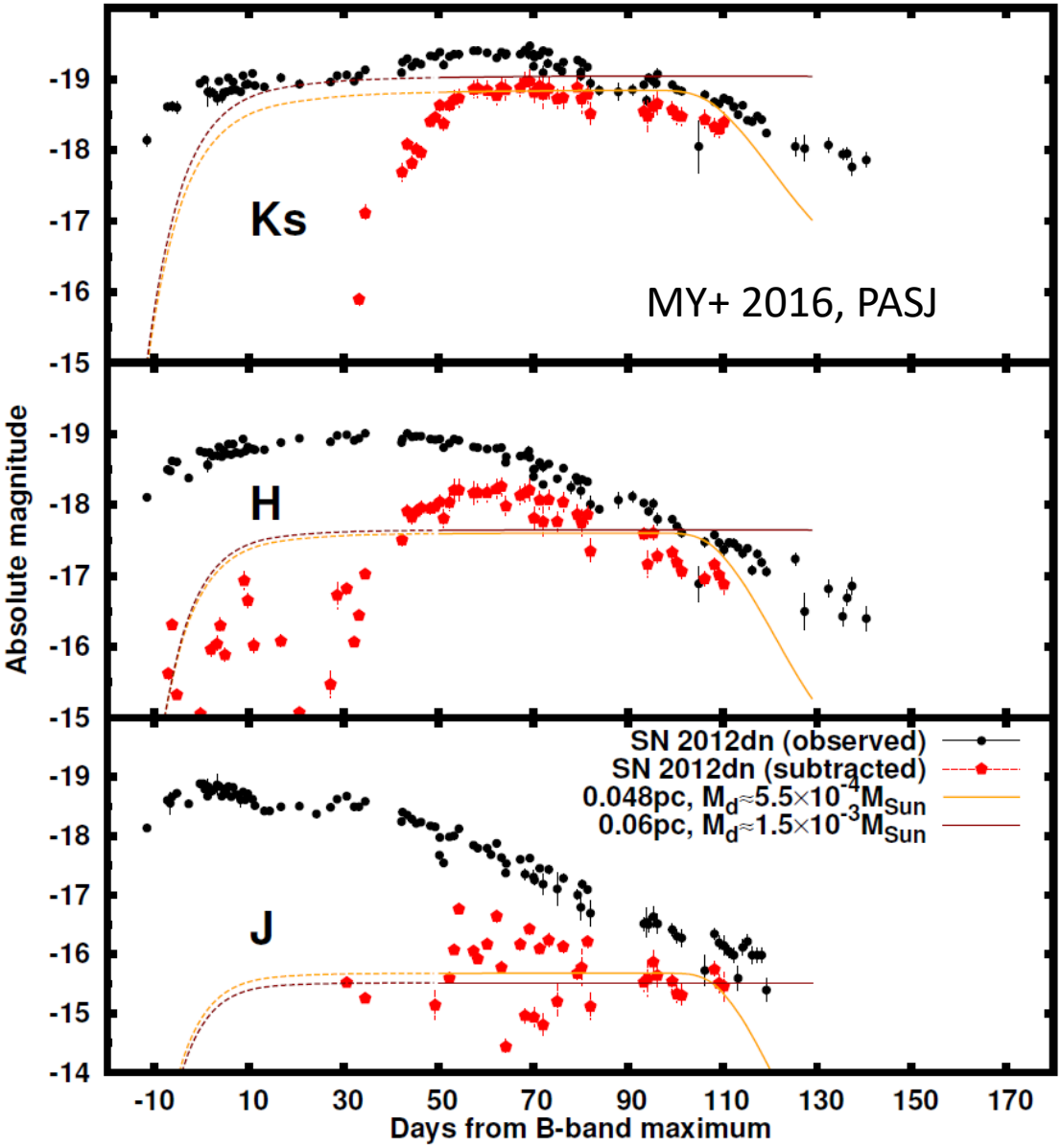
SN 2012dn
スーパーチャンドラ



Yamanaka et al. 2016

OISTER JHKsバンドの密な観測は
初めて近赤外線光度曲線-> 極大日の遅れ
H band 50 days, Ks band 60-70 days

J, H, Ksバンド差分光度曲線

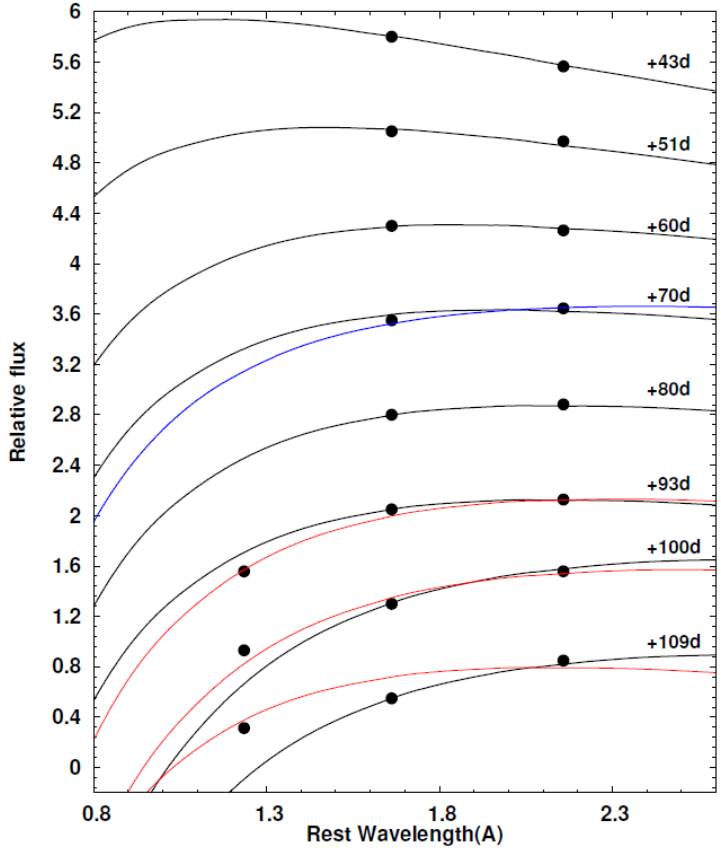


SN 2012dn の
J, H, Ks フラックスを
SN 2009dcで引き算
(本質的な超新星成分を
SN 2009dcと仮定)

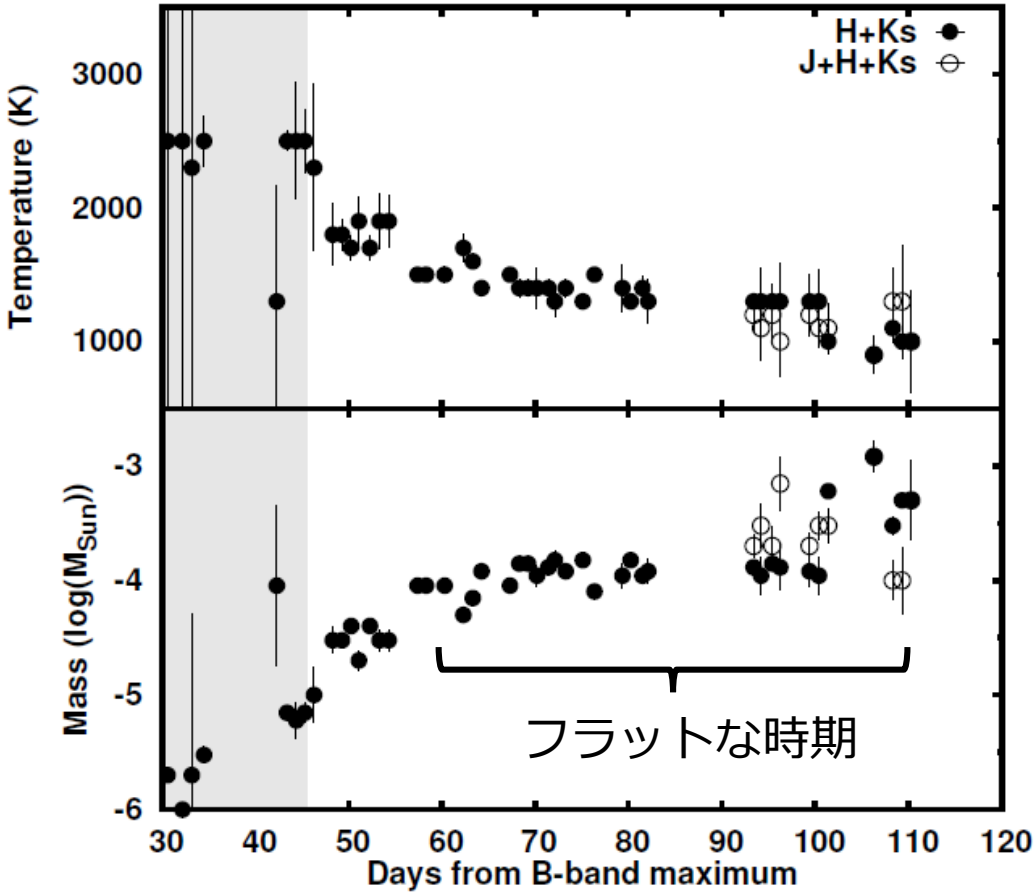
赤外線超過成分：
Ksバンド50dまで
急激に増光した後に、
フラットな変化を示す
：NIR エコーを示唆

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、
0.048pc, $5.5\times10^{-4} M_{Sun}$
炭素系ダスト

差分SEDをdust modelでfit



MY+ 2016, PASJ

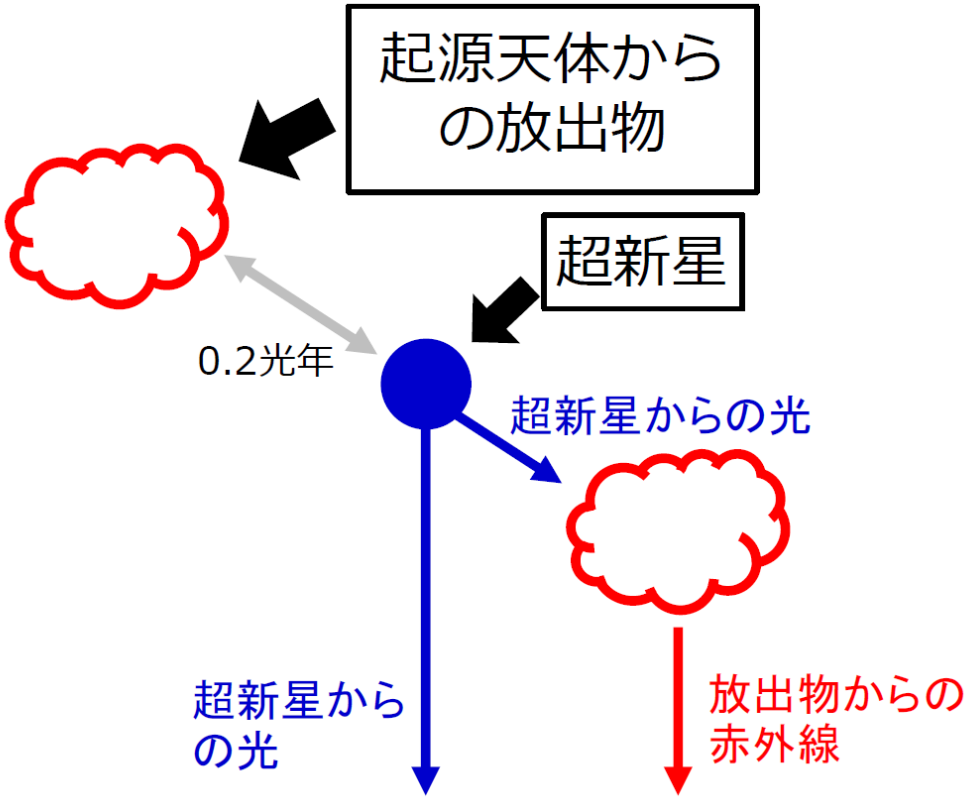


ダスト質量、温度のパラメータを振ってmodelを差し引きされた(J), H, Ksバンドにフィット (アモルファスカーボン、サイズ0.01μmを仮定)

-> 60d以降で、ダスト質量進化にフラットな時期が見られる

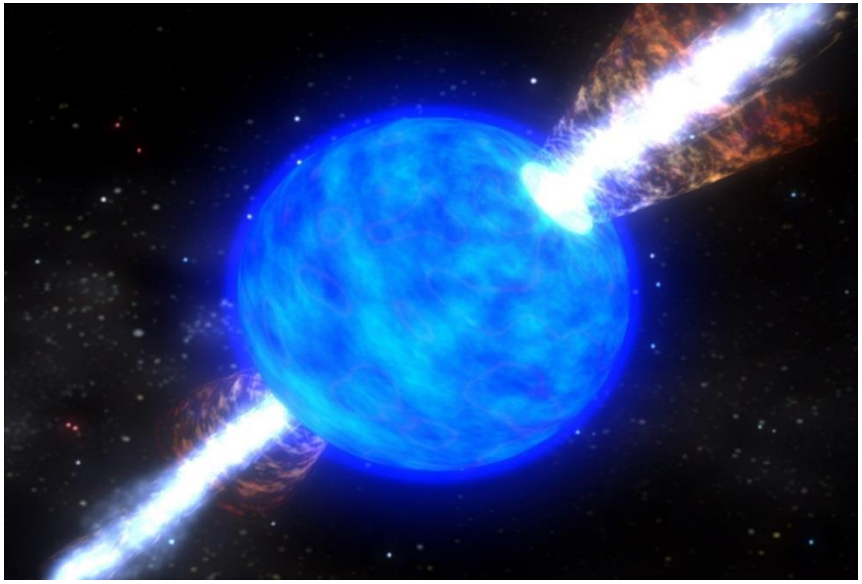
-> M_{dust}～$2\times10^{-4}M_{\odot}$, T_{dust}~1200-1300K (<アモルファスカーボンの蒸発温度)

SN 2012dnの親星：降着シナリオ

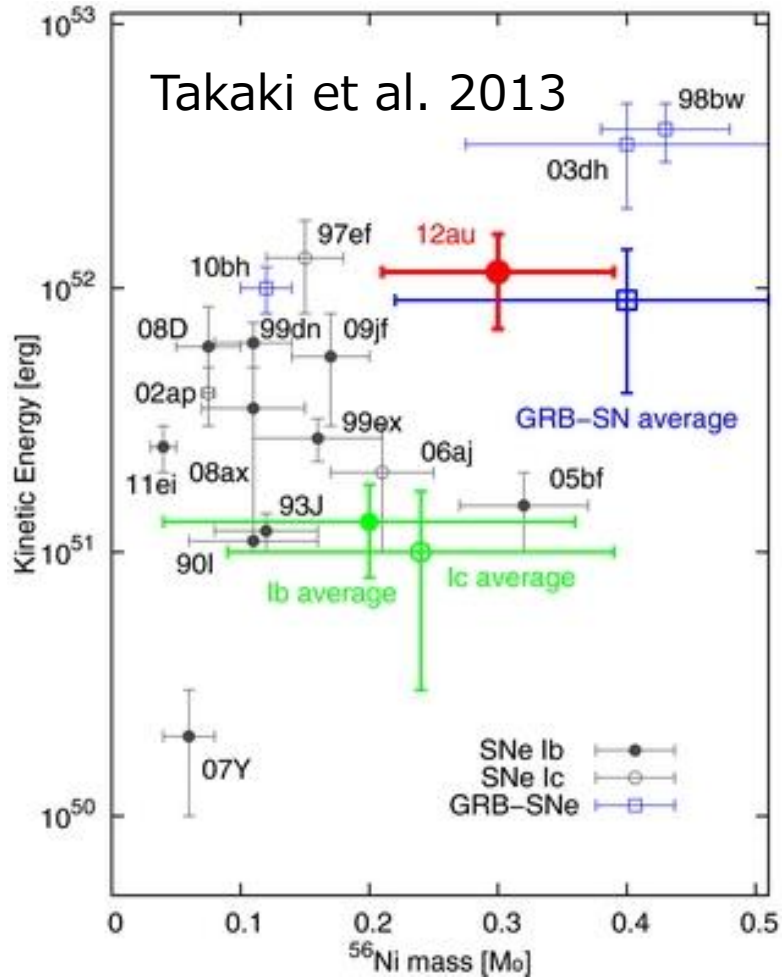


降着シナリオ
->星周物質

極超新星



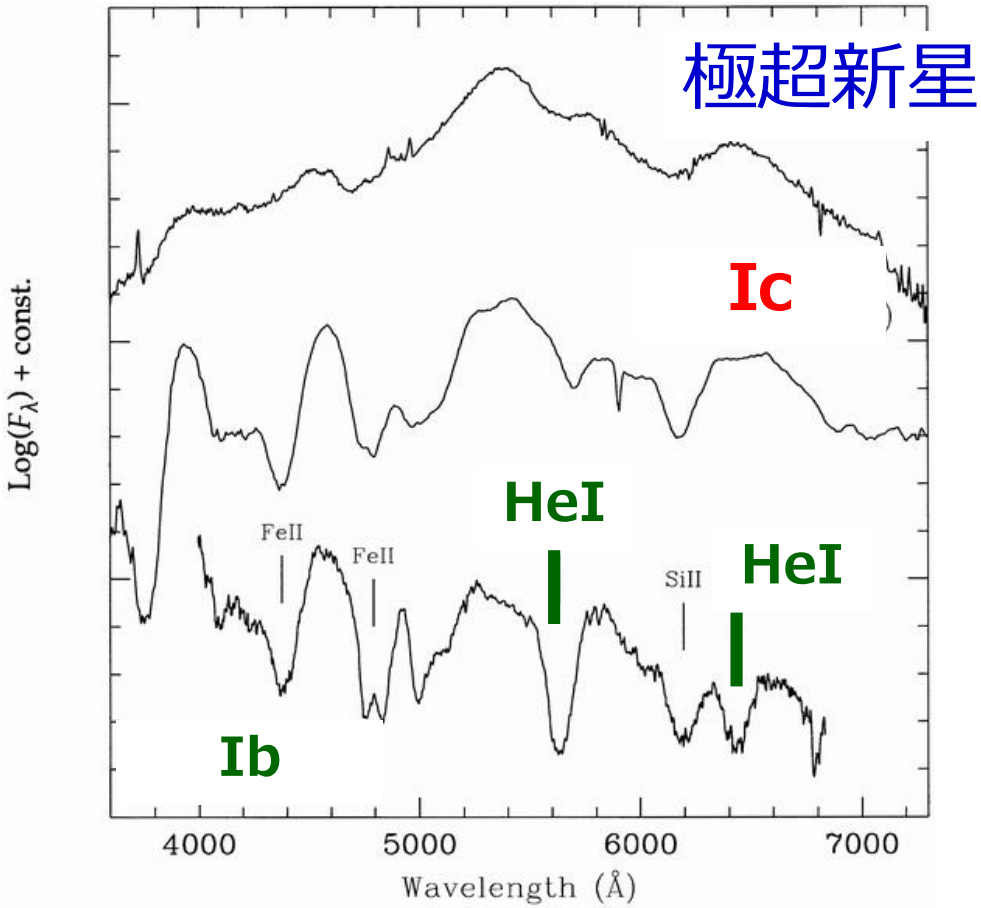
https://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2003/0618rosettaburst.html



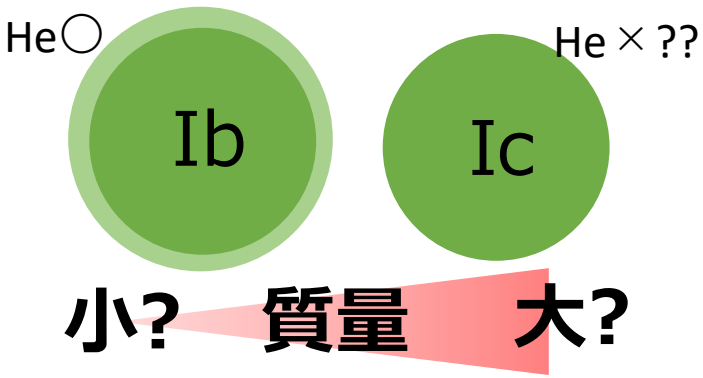
極超新星
典型的超新星よりエネルギー桁大
(ただし、全てIc型。Ibは例無し)

稀にガンマ線バーストに付随して発見
大質量星から進化したWR星？-> **親星直接検出例無し！**

極超新星の最外層は？



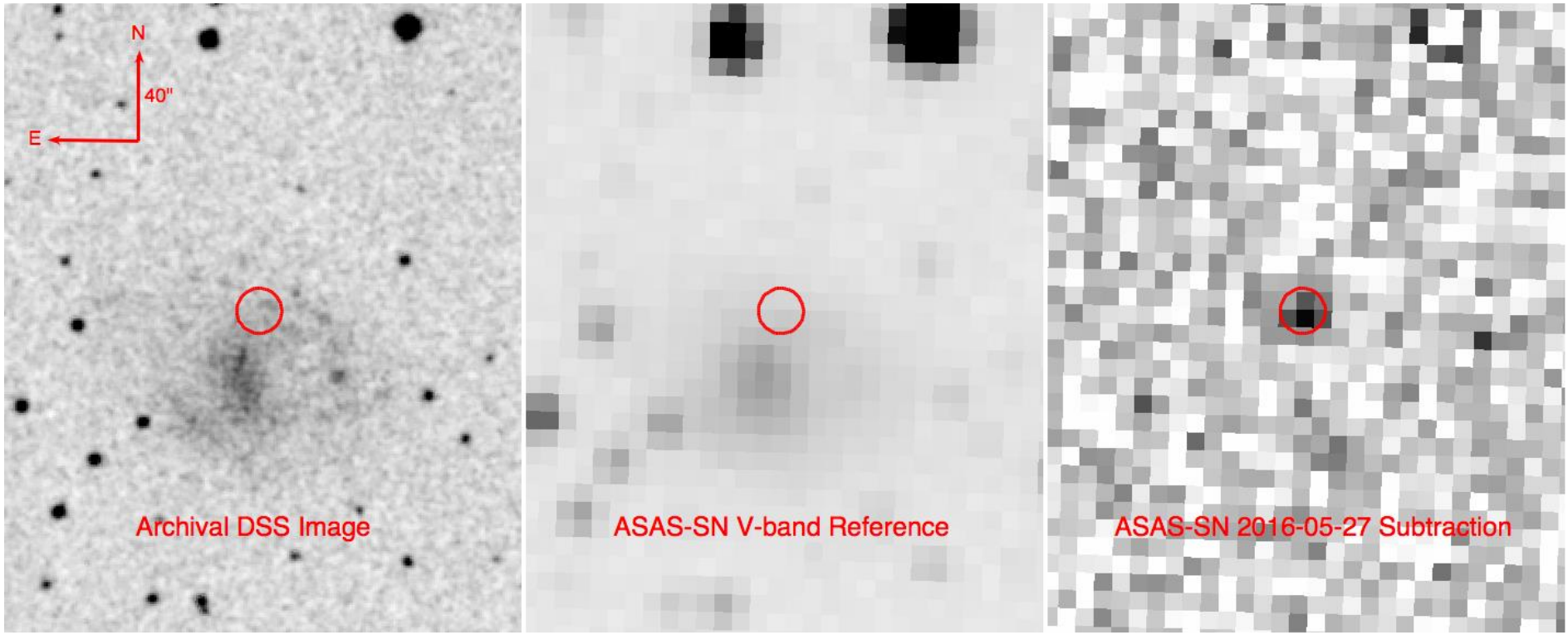
Galama et al. 1998, Nature



ガンマ線バーストに付随
エネルギーの大きい
極超新星(Ic型)のみ

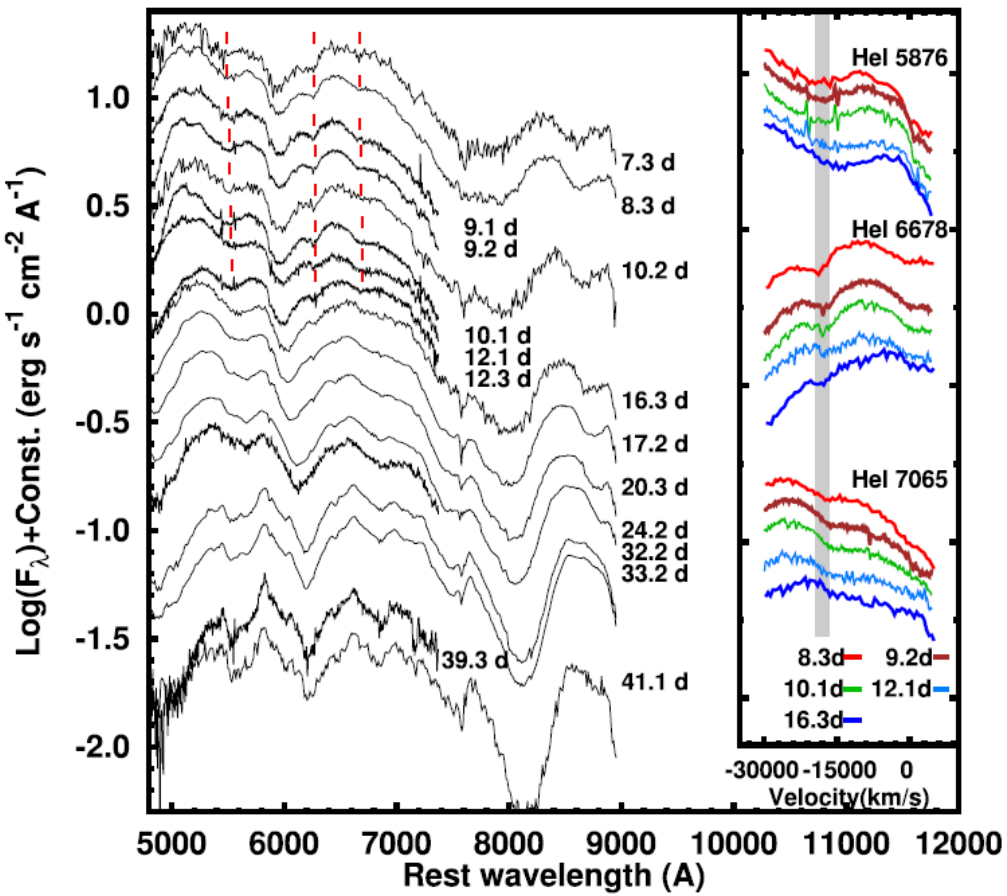
古典的な親星進化：
ヘリウム外層残る？

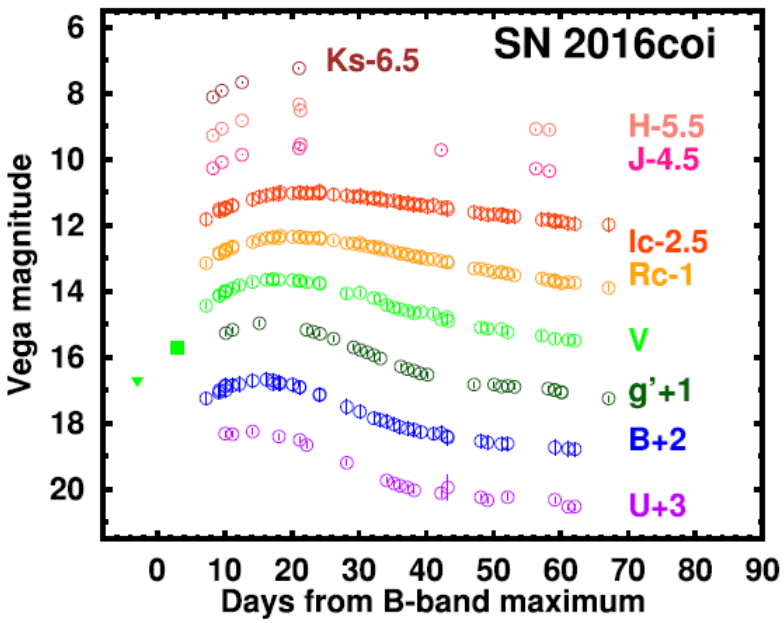
SN 2016coi



ASASが **17.2Mpc**の近傍銀河UGC 11868で発見
(ASASSN-16fp; ATEL 9088)
初期の極超新星 (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)

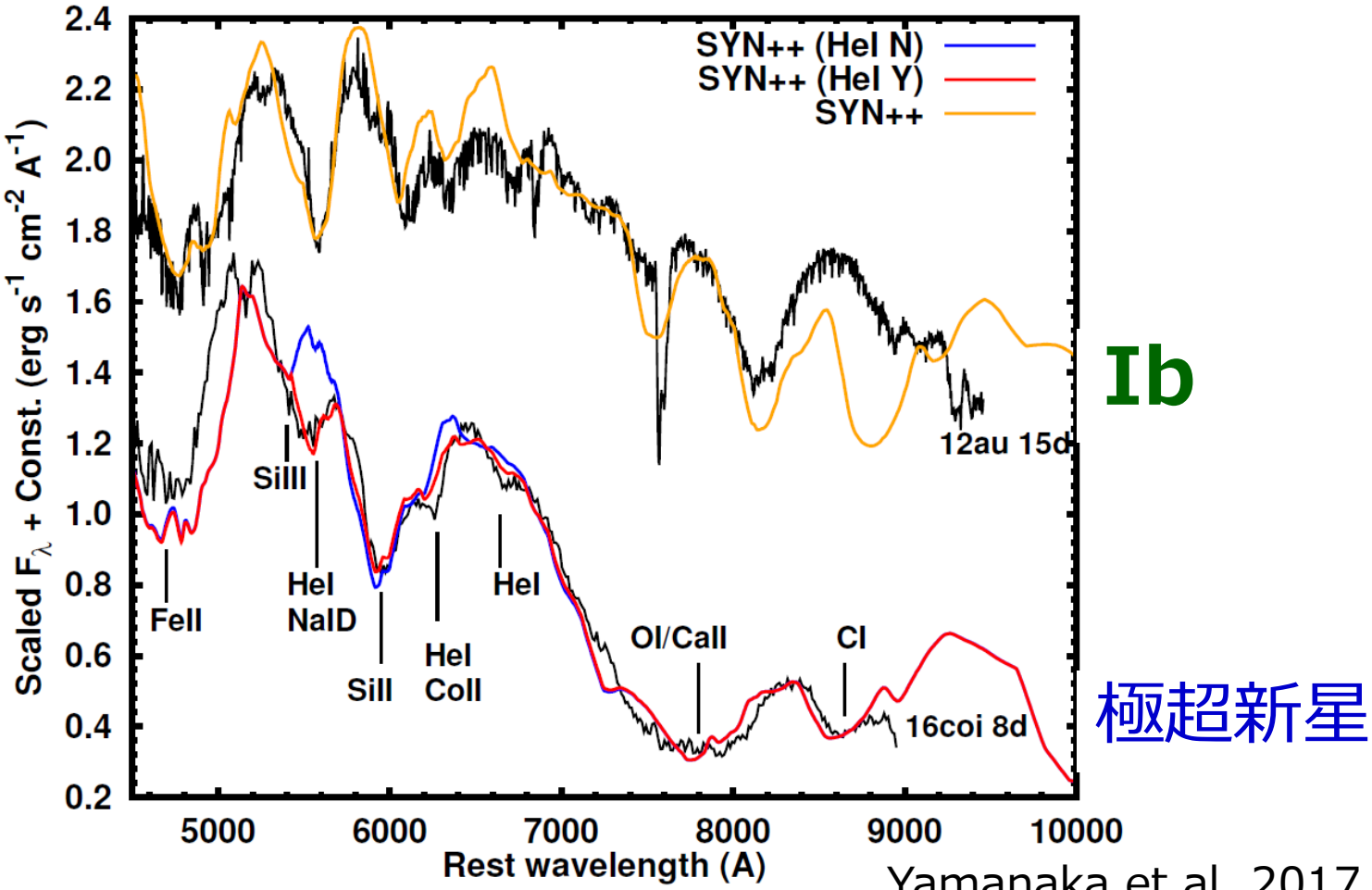
OISTERでのSN観測例③ SN 2016coi





爆発日推定5月24日（増光時間(Bバンド極大日ー爆発日)〜17日）
幅の広い吸収線(SiII 6355, OI 7774, CaII IR triplet)が見られる。
初期にヘリウムの吸収線が見られる。極大到達前にHeI見えなくなる

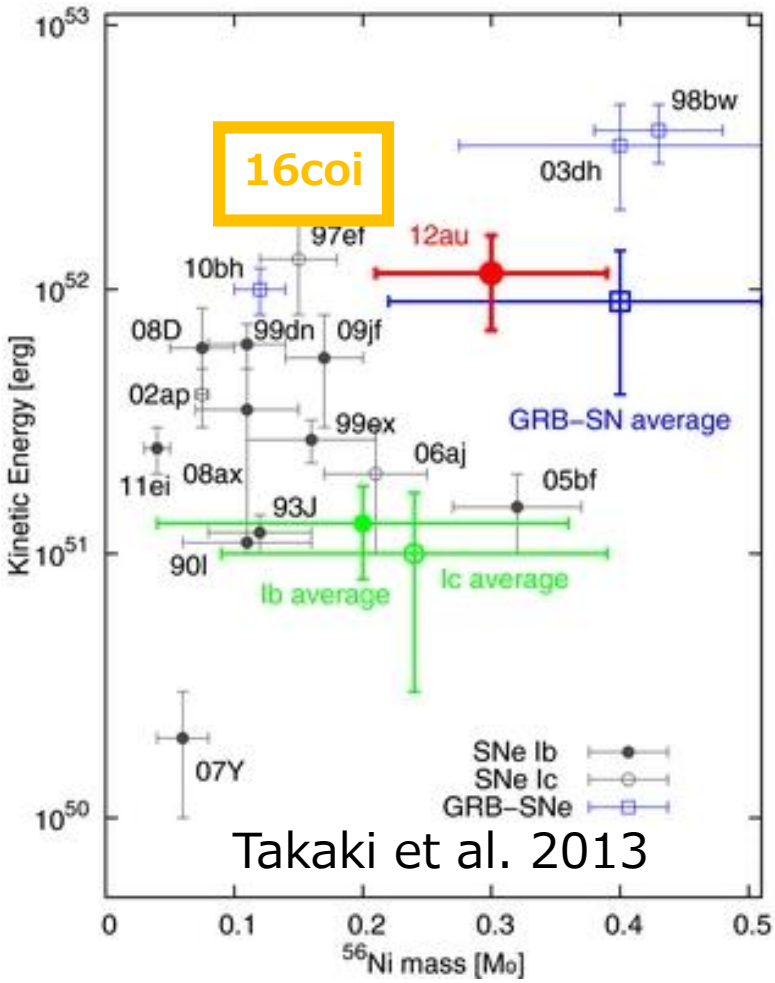
極超新星では非常に稀な**ヘリウム検出**



Yamanaka et al. 2017

モデルスペクトル(syn++)でほぼ完璧に再現
→ヘリウムの含まれるエジェクタを含む極超新星

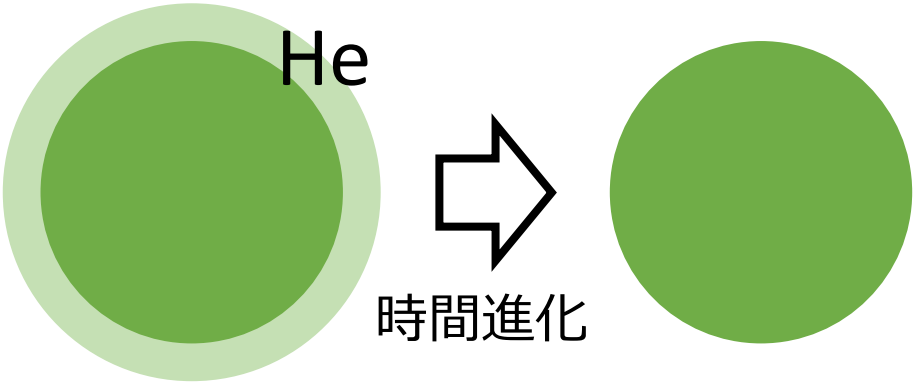
解釈



Takaki et al. 2013

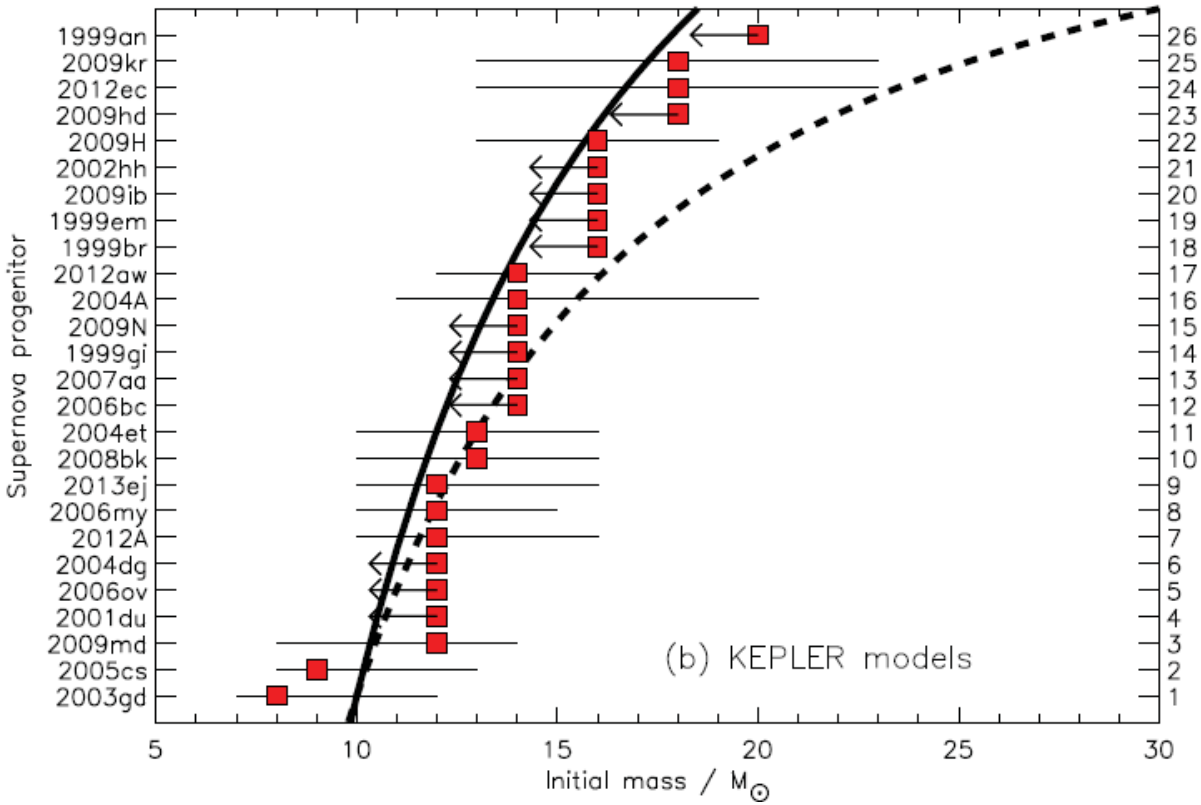
1.Ib/c型超新星のさらなる
多様性を示唆

2.より早期からの観測でより
多くの極超新星でHe見える？



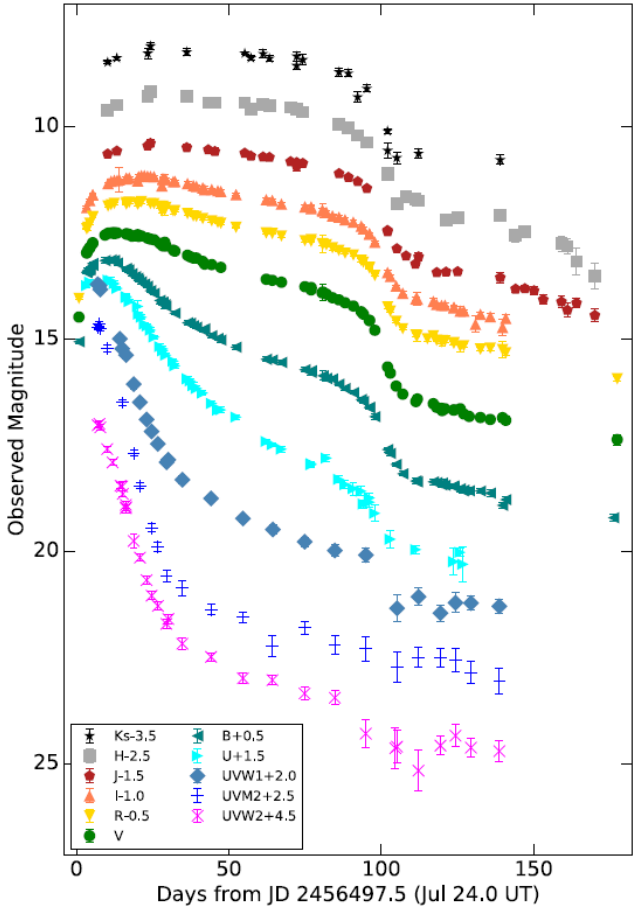
膨張とともに光球の後退
->より早期であればより外層が見える

IIP親星=赤色超巨星



典型的なIIP型超新星の親星8-20太陽質量に制限
[親星の素性は比較的よくわかっている]

これまでで可視近赤外線でよく観測されている例：SN 2013ej



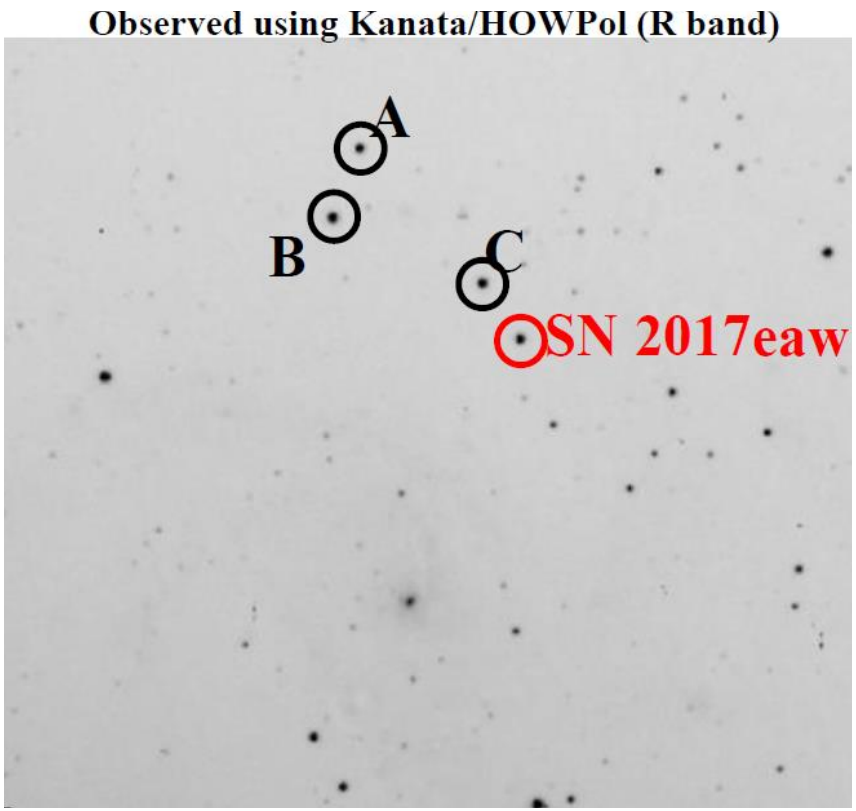
OISTERでの観測例④ SN 2017eaw

NGC 6946 **5.5Mpc**

02hh(IIP), 04et(IIP), 08S(IIn)他9天体

10Mpc以内での発見全体で2-3年に1天体

(->**明るい**)

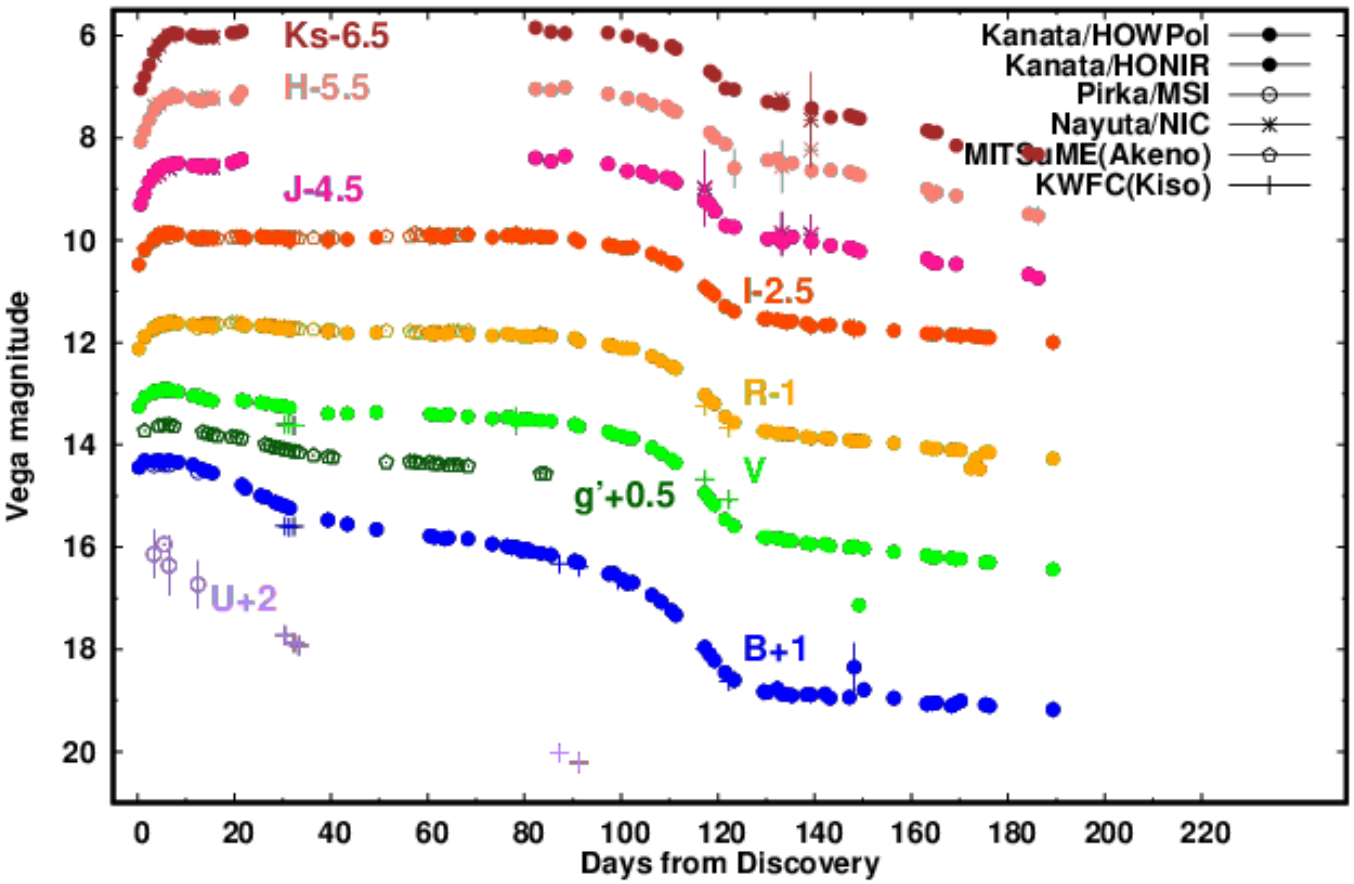


未発見　2017/05/12
発見　　2017/05/14.23
(アメリカのアマチュア天文家)

最初の追観測　2017/05/14.6-14.9

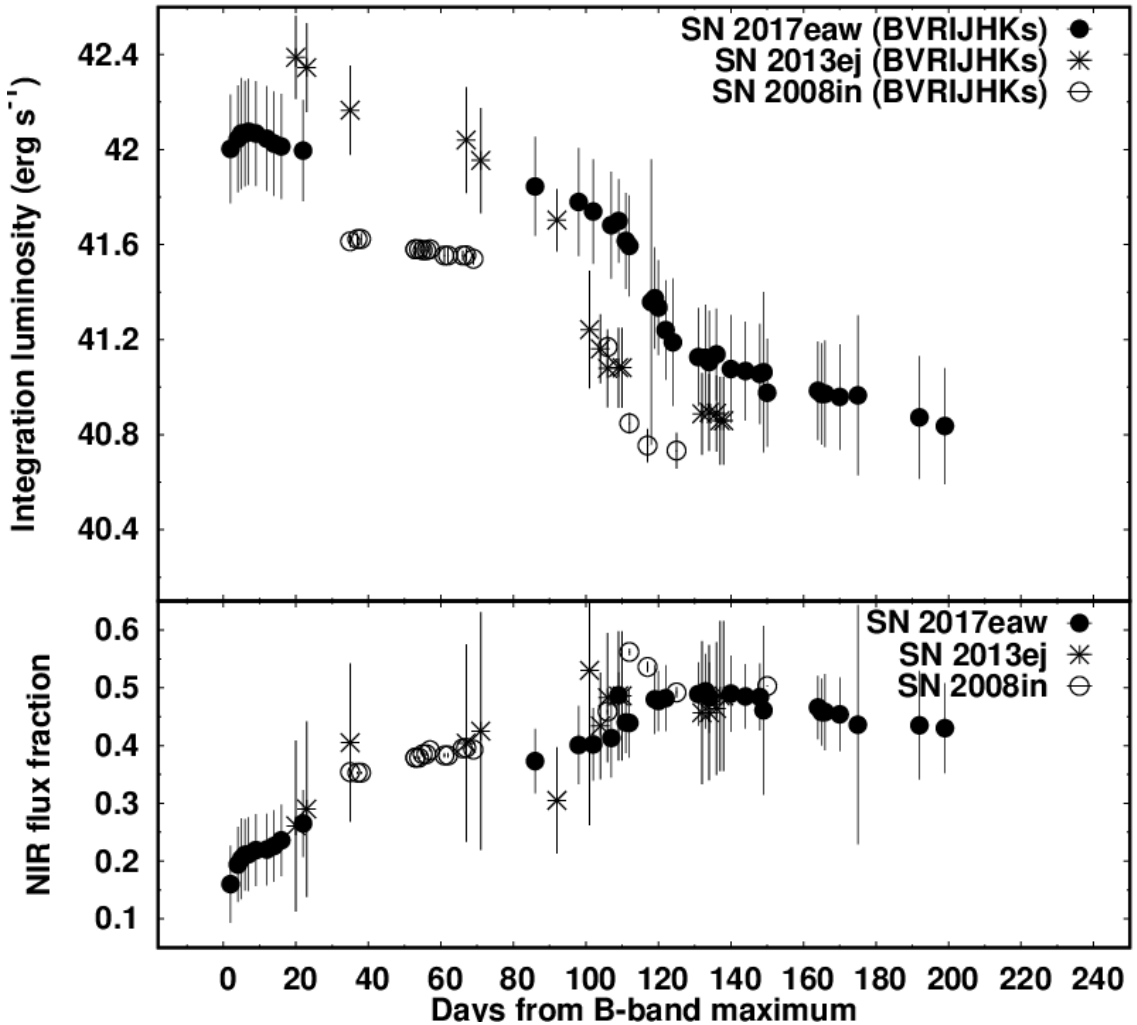
5/13に爆発と推定

BVRIJHKsバンドライトカーブ(ongoing)



急減光後、一定の減光期に。
可視近赤外線波長域で最も長期的・連続的に観測できた例

Integration LC & NIR fraction (ongoing)



非常に良い連続的な近赤外線放射観測

総括

- 光赤外線大学間連携を通じて近傍超新星の追観測を実施してきた。
- 3編の論文の出版済み、1編論文投稿中、1編論文準備中
- 近赤外線を主力エンジンとして大成功

今後

- 可視観測：特異天体がたくさん。動物園状態
- 可視近赤外線：徐々に埋められてきているが、まだ生き残っている
- 3.8m…

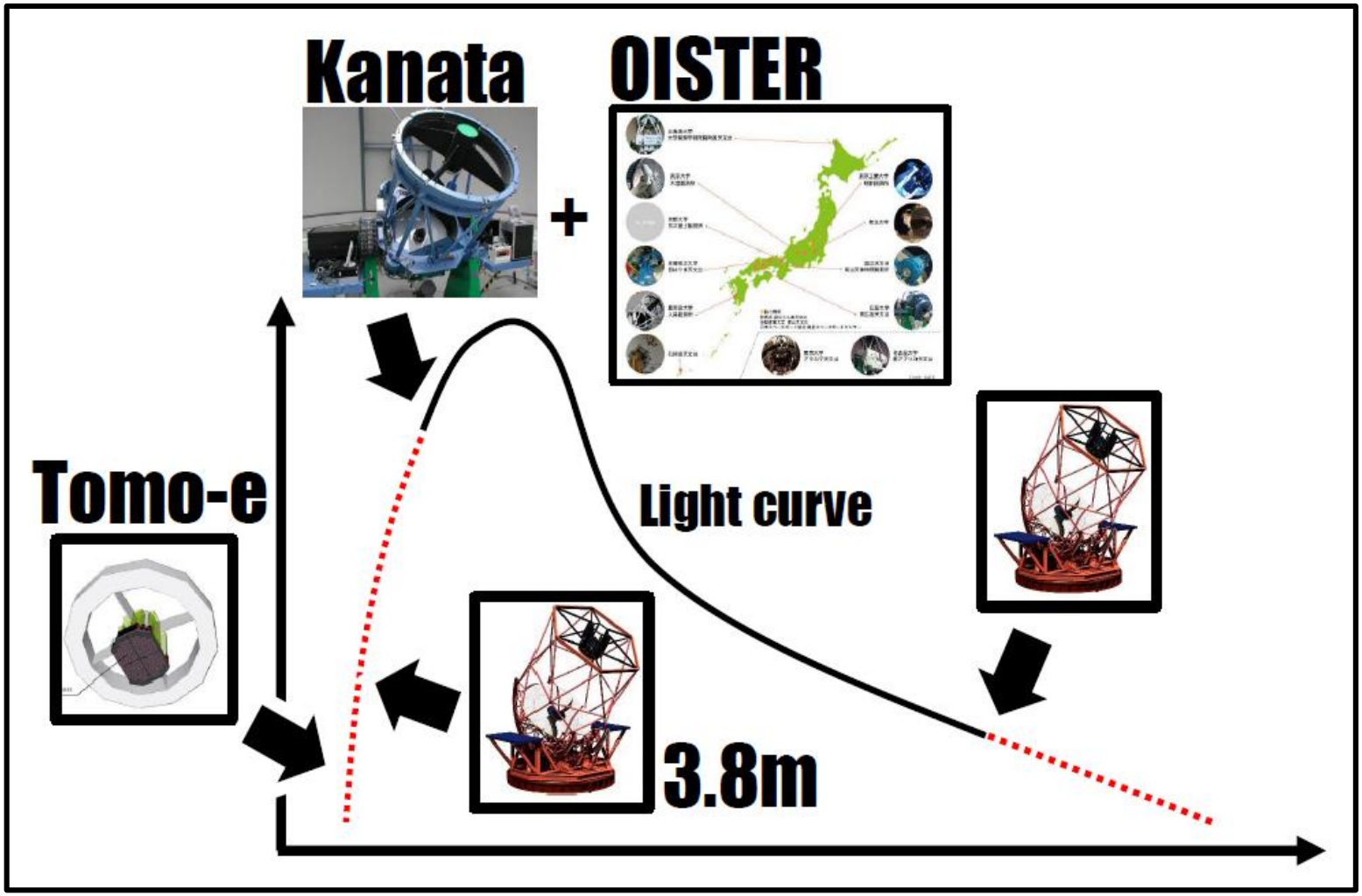
Tomo-e Gozen / 3.8mグループへの提案(要望?)

- **特異or稀な天体であれば数日でも早期**からの観測がクリティカルな情報を供給しうる
- 仮に<1 day の大増光現象でなくとも、**30Mpc以内程度で限界等級が数日以内に決まっている**ようなSN候補の発見はリスト内で数日は目立つようにして欲しい
- 3.8mだけでなく**かなたＳＮグループ**にも情報を提供して欲しい

理由① 近赤外線など多色での観測：CSM ??

理由② ピーク付近で~**13-15magならば追観測は、1-2mで**充分。18mag程度までかなたに任せて、その後再び3.8mで観測再開？

(その間、3.8mはTomo-e新天体の即時分光に備えるのが良い？？)

3.8m/Tomo-e Gozen WS　スライドより

提案：Tomo-e Gozen/Kanata/OISTER/3.8m Observations of the bright SNe