

低光度IIP型超新星SN 2016bkvにおける星周物質

中岡竜也, 川端弘治, 山中雅之(広島大), 前田啓一(京都大), 田中雅臣, 守屋堯(国立天文台), 富永望(甲南大)

爆発後数日から~100日以上、可視光で光度がほとんど変化しないプラトーを持つIIP型超新星(SN IIP)の中でも際立った特徴を示すサブグループとして、低光度IIP型超新星(LL SN IIP)が挙げられる。また近年はSNe IIPの爆発直後に星周物質との相互作用の兆候と見られる水素輝線が検出される例が報告されている。これは大質量星が進化の最終段階に起こす質量放出で説明可能であり、輝線強度から爆発前の質量放出率、また親星の質量を推定できると期待されるが、LL SNe IIPにおいてはそのような報告例はない。我々は、LL SN IIP 2016bkvが~140日以上にもなる長いプラトーを持つことから、親星が厚い水素外層を有していた可能性が高いことを見出し、SN 2016bkvの親星が他のLL SNe IIPと比較して大質量であることが示唆された。さらに我々は解析を進め、この超新星が初期の光度曲線において~1等の増光、及び同時期のスペクトルにおいて水素輝線が見られ、LL SN IIPにおいて初めて高密度星周物質との相互作用の可能性のあることを見出した。星周物質が親星(赤色超巨星)からの星風によって形成されたと仮定すると、爆発の約5年前から $5.0 \times 10^{-3} M_{\odot} \text{ year}^{-1}$ に到達する爆発的な質量放出を経験したと考えられる。LL SNe IIPにおいても、一部のSNe IIPに見られるような爆発的な質量放出を伴う可能性が示唆される。

1. Introduction

低光度IIP型超新星(LL SN IIP)

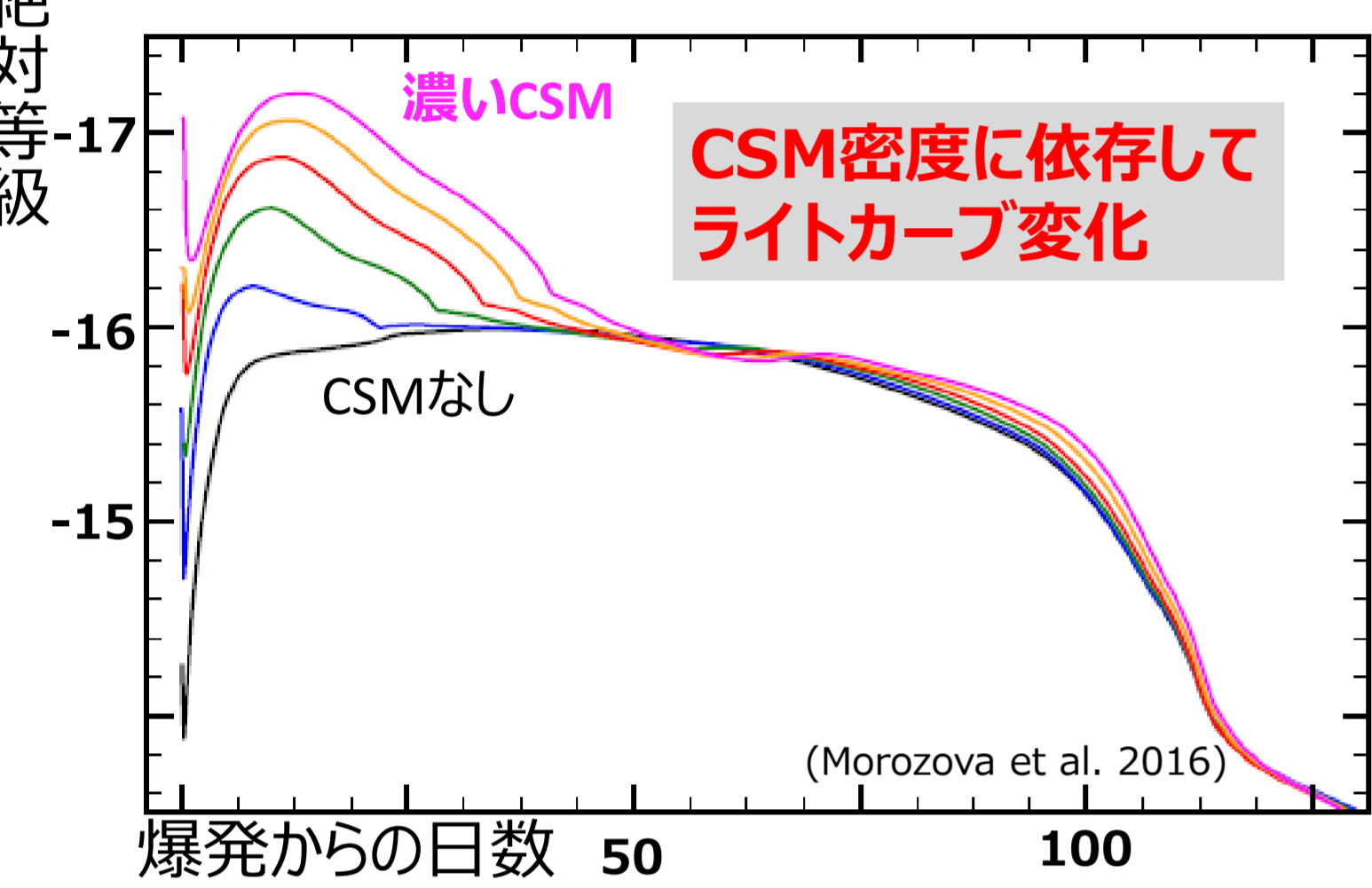
- ①典型的IIPと比較して1/2~1/10の光度
- ②スペクトルに顕著な差あり(右図)

しかし

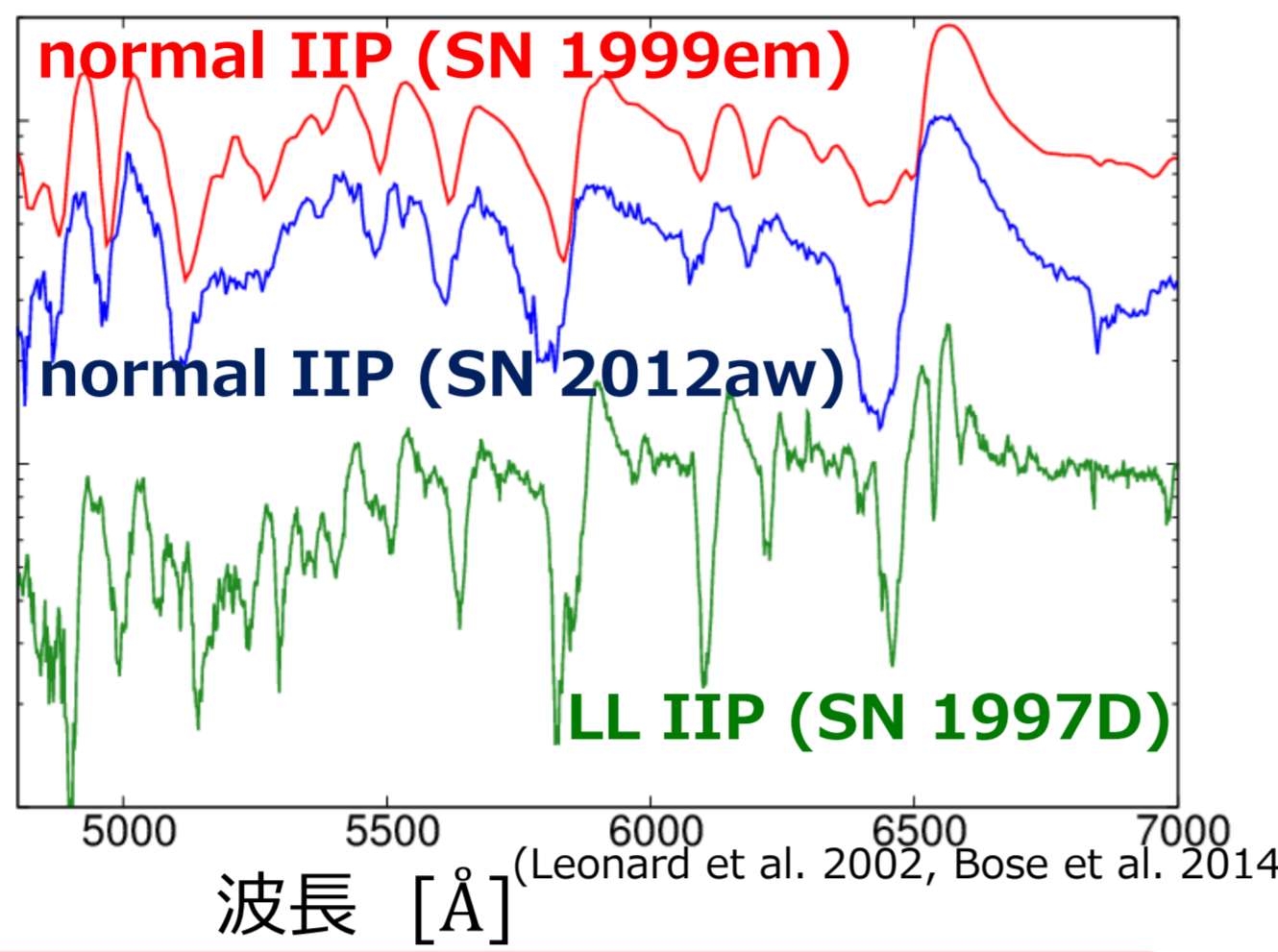
初期から晩期まで連続して観測できたLL SNe IIPはない

親星質量に大きな不定性

CSM密度を変化させたライトカーブモデル



normal IIPとLL IIP (~100日)



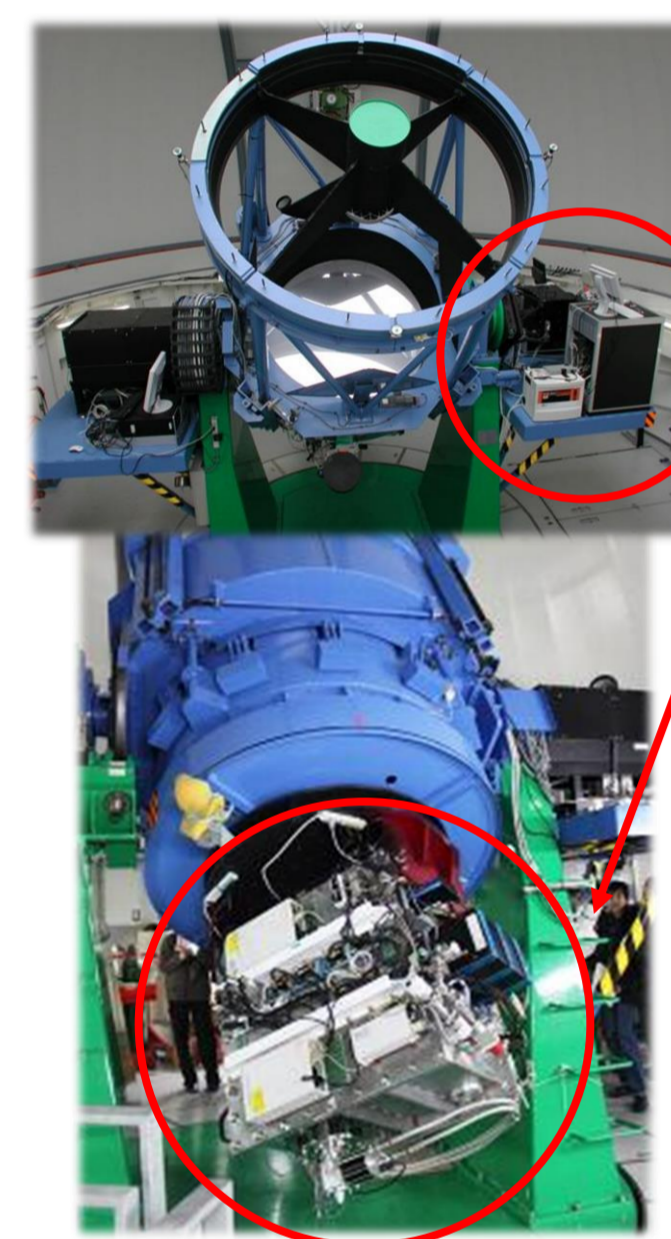
星周物質 = 大質量星の進化の最後の質量放出

一部のIIP型超新星にはライトカーブ初期にbumpが見られるが、LL SNe IIPでの観測例はない

CSMの観測で親星に制限

2. Observation and Object: SN2016bkv

かなた望遠鏡



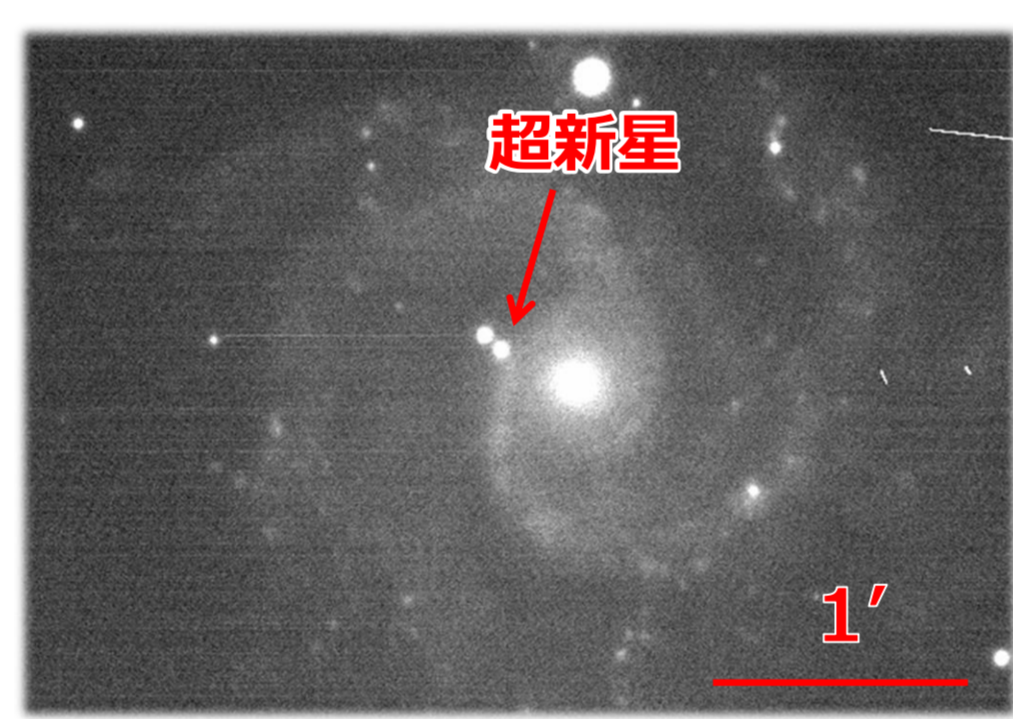
HOWPol (Hiroshima One-shot Wide-field Polarimeter)

- ・可視 撮像、偏光、分光
- ・GRB自動観測

HONIR (Hiroshima Optical and Near-Infrared camera)

- 様々な撮像モード + 可視・近赤外同時取得
- ・撮像 ・分光
- ・偏光 ・偏光分光

Kanata/HOWPol



初期から観測できた最も近いLL SN IIP (SN 2003Z: 23 Mpc)

Host galaxy	NGC 3184
Distance	13.2 Mpc
Discovery	2016 Jan. 20.5 (UT)
Explosion	2016 Jan. 19.4 ± 1.1 (UT)

photometry	27 night
spectroscopy	18 night

3. Light Curve

初期に~1等の増光あり + その後減光

星周物質との相互作用を示唆

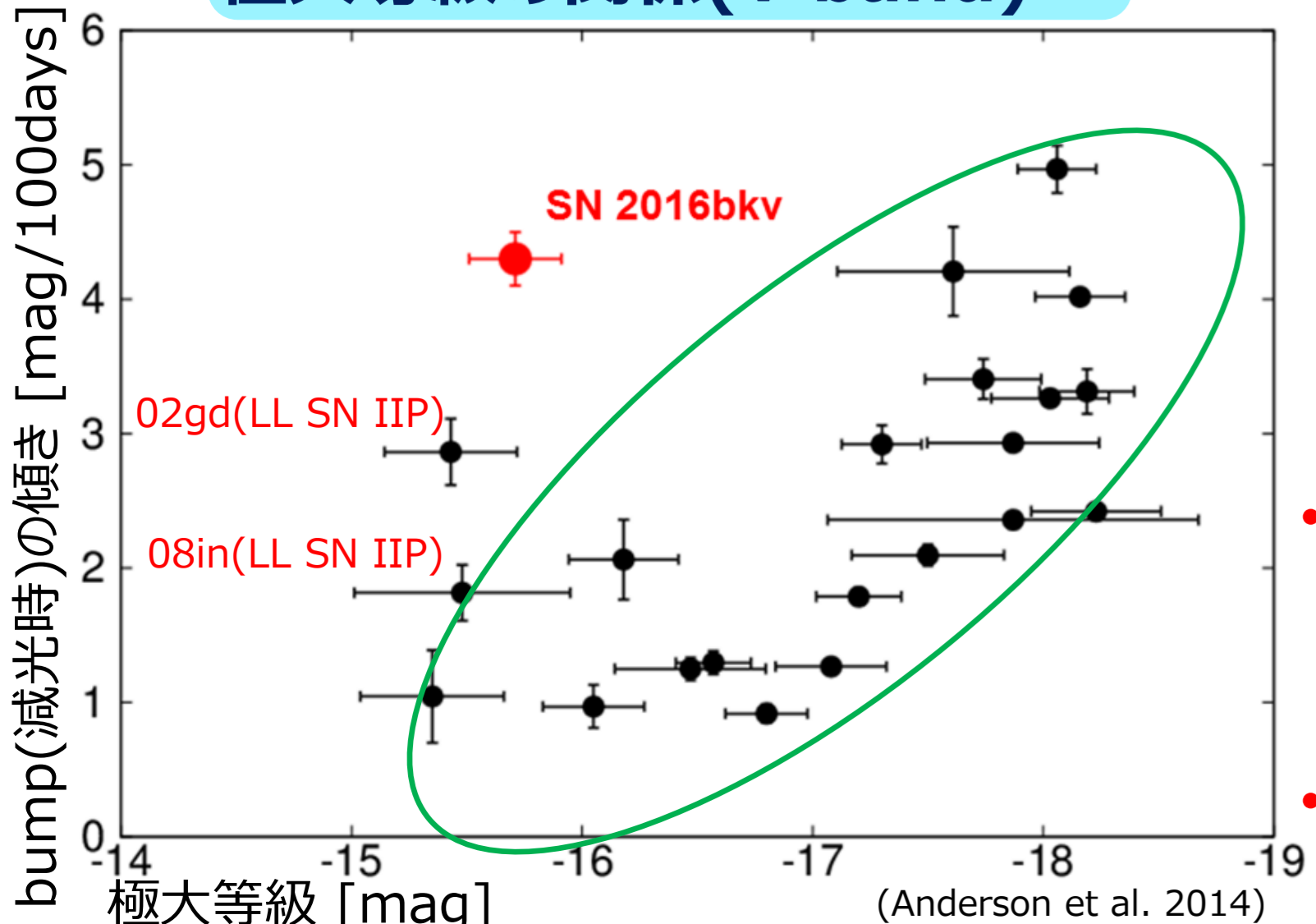
星周物質との相互作用が見られた超新星として非常に近傍

プラトーの長さが~140日以上

大質量星による爆発

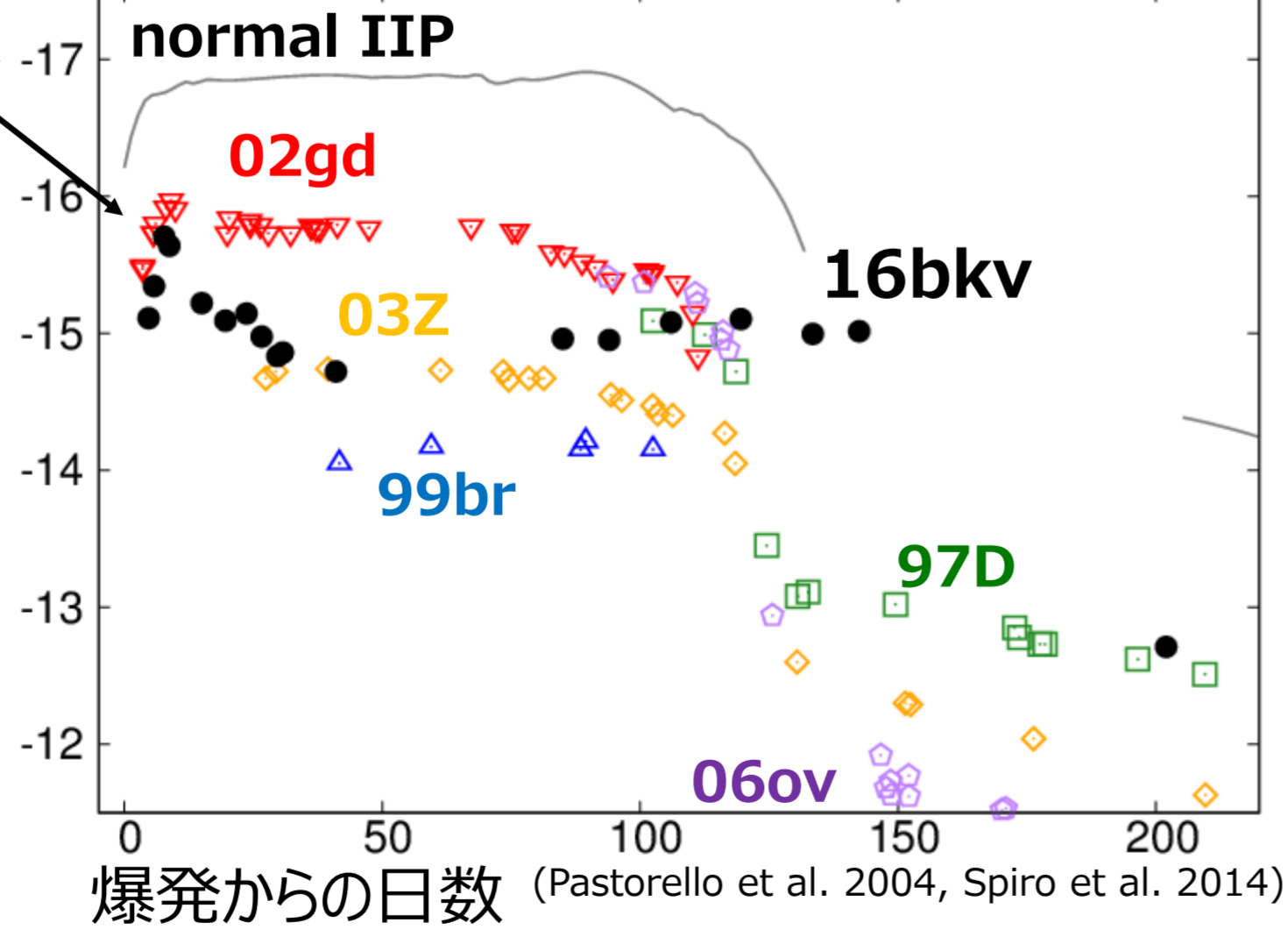
(17年春季天文学会, K06a)

IIP型超新星のbumpの傾きと極大等級の関係(V band)



他のLL IIP型超新星と比較(R band)

(我々の銀河の吸収等を補正済)



絶対光度とbumpの傾きには正の相関がある

しかし

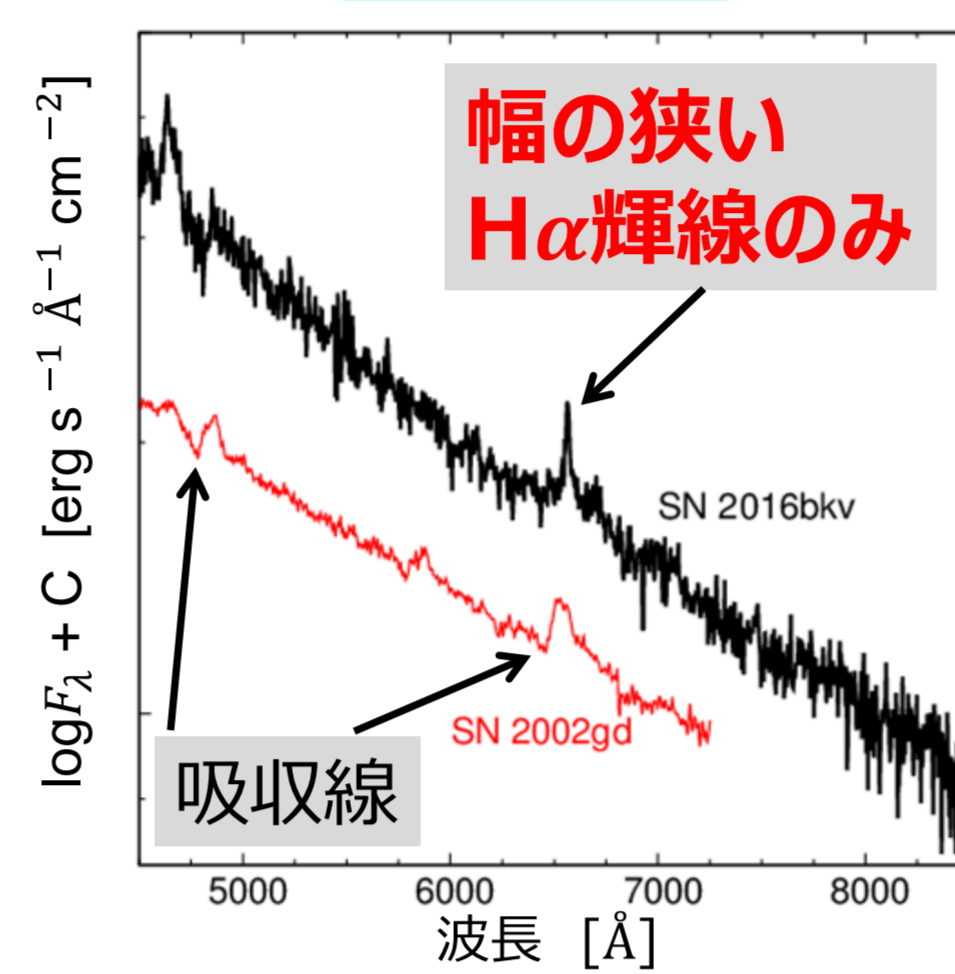
LL SNe IIP, SN2016bkvは相関なし

SN 2016bkvはLL SN IIP初のbumpを示した

LL SNe IIPは親星の多様性の幅が広い

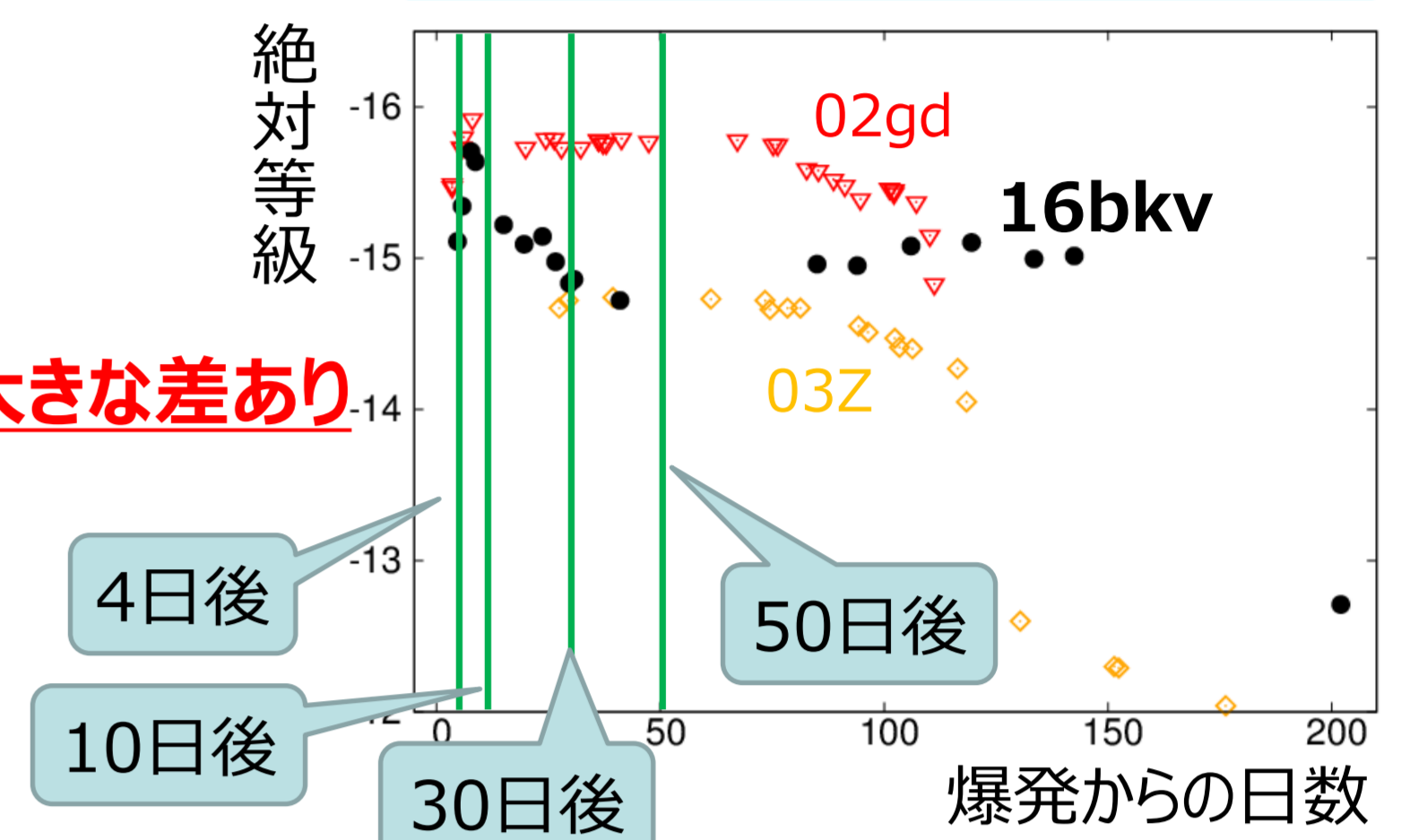
4. Spectral Evolution

爆発4日後

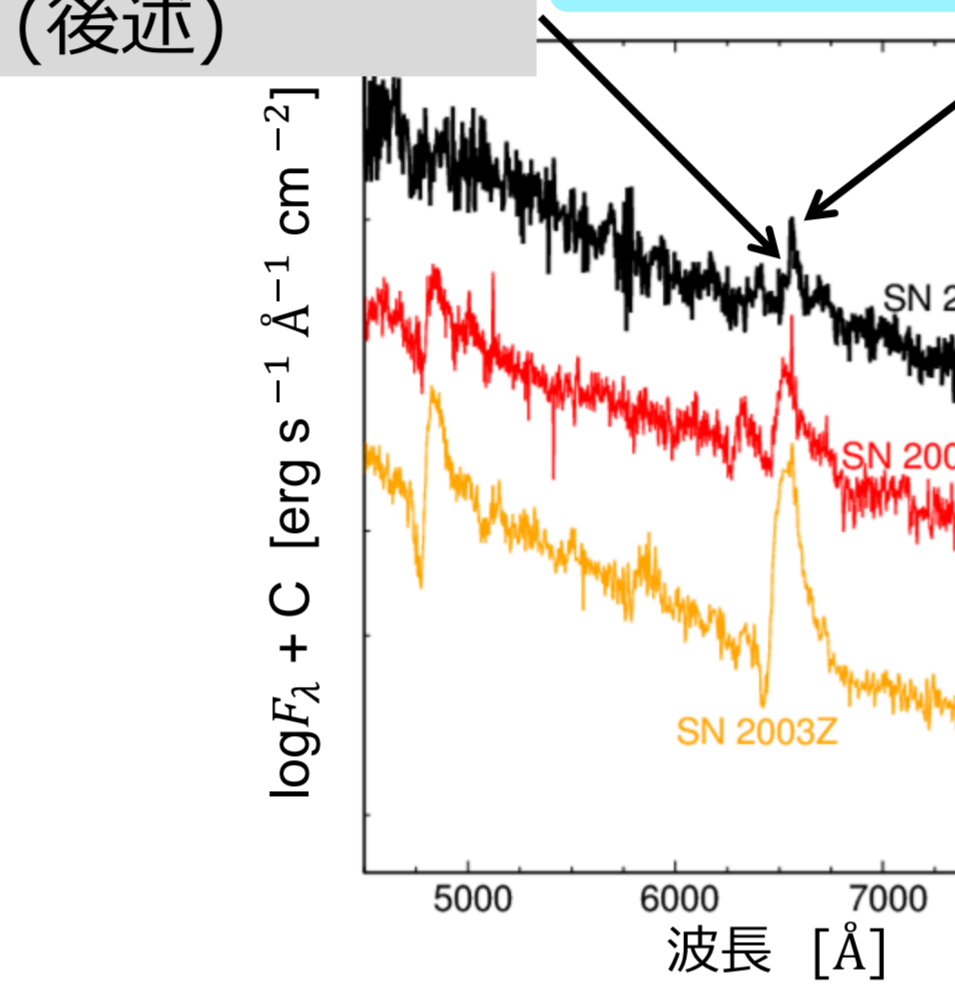


爆発直後はスペクトルに大きな差あり

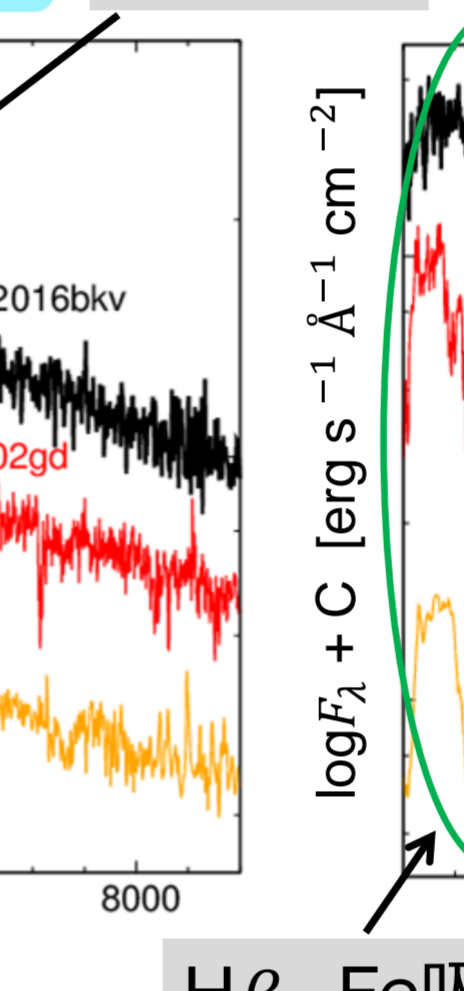
LL SNe IIPのRバンド絶対等級



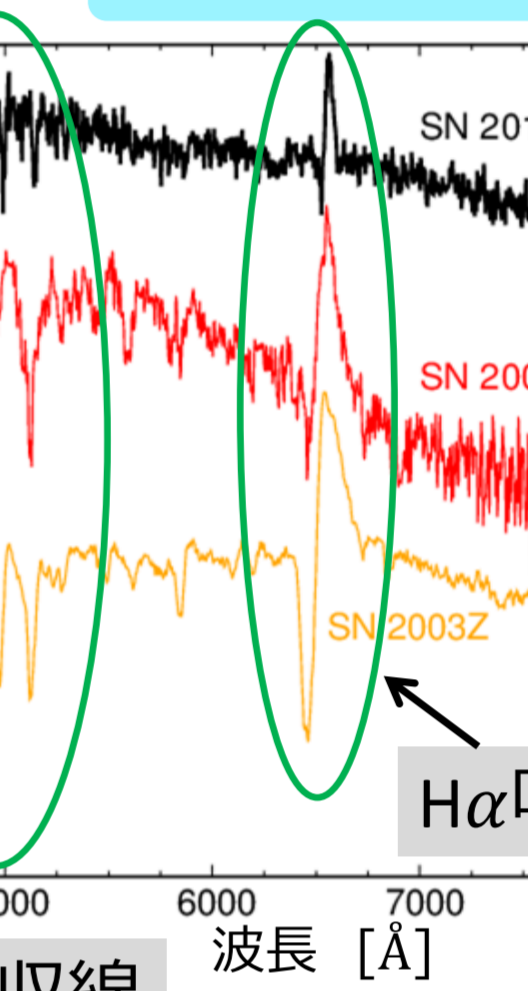
爆発10日後



爆発30日後



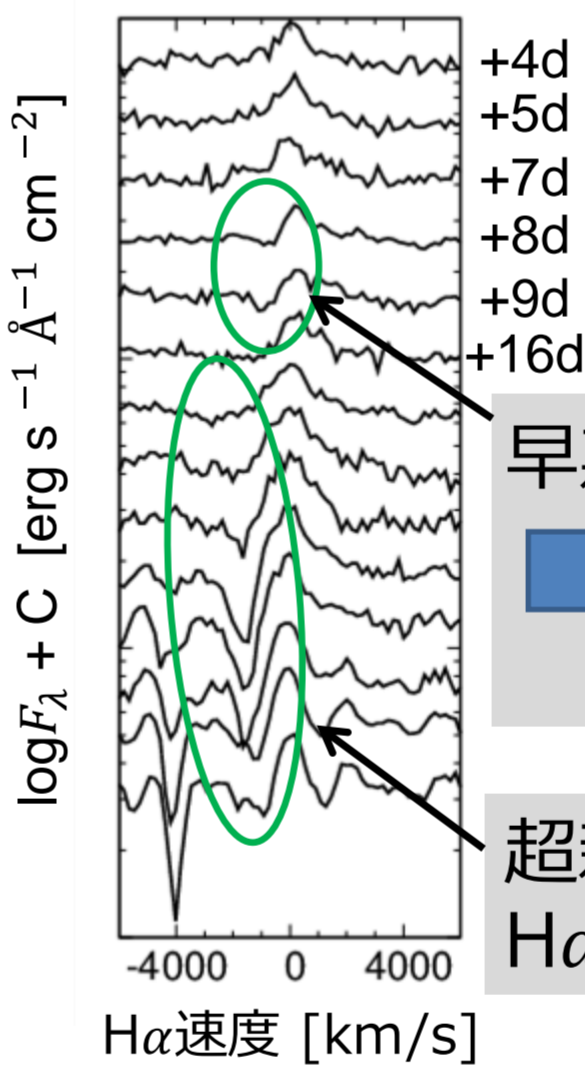
爆発50日後



爆発30日以降は徐々に差が小さくなる

5. Line Velocity

Hα付近の拡大図



スペクトルのHα吸収線の波長からHαの速度(外層膨張速度)を推定

$$v_{SN} = \frac{\lambda_{shift}}{\lambda_{rest}} \cdot c$$

λ_{shift} : 静止波長からのずれ
 λ_{rest} : 静止波長

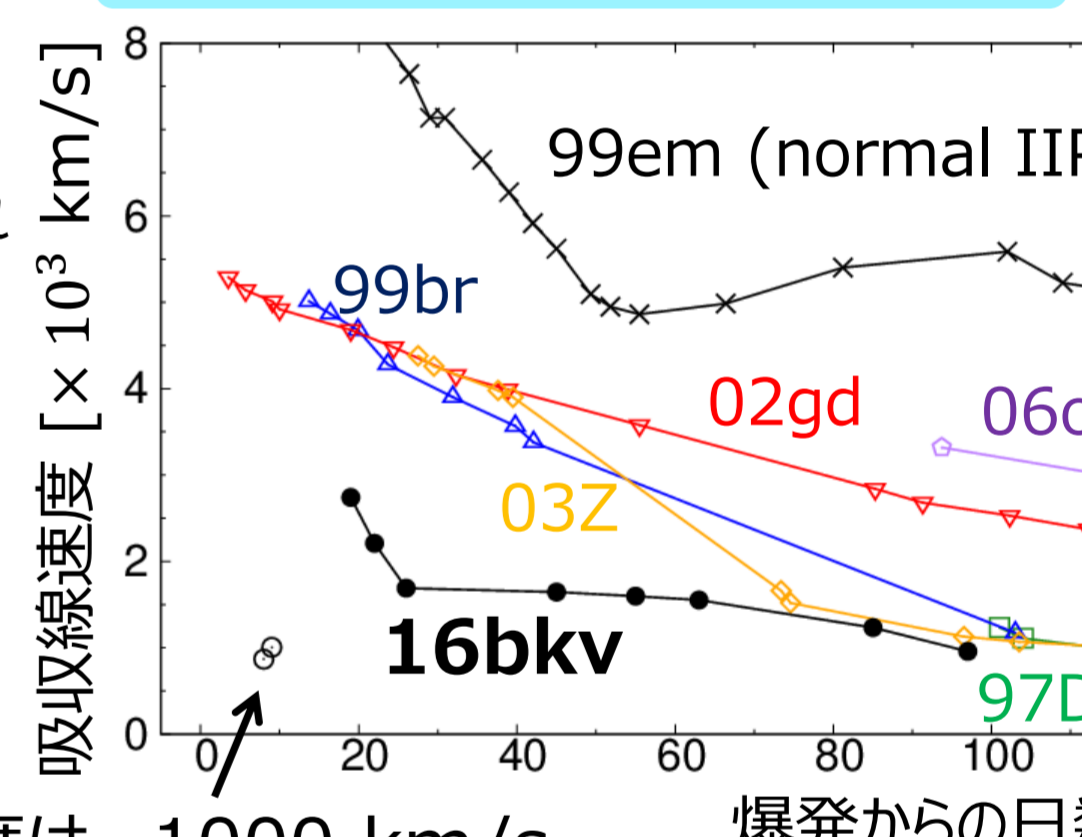
早期に低速のHα吸収線が見える

CSM由来の吸収線?

(次項で議論)

超新星由来のHα吸収線

LL SNe IIPのHα速度進化



初期のHα速度は~1000 km/s

CSMとしては異様に速い

※典型的なCSM速度は10~100 km/s

6. CSM Properties of SNe IIP Showing Initial LC Bump

ショックで光っていると仮定



$$L = 4\pi r_{CSM}^2 \cdot \frac{1}{2} \frac{\dot{M}}{v_{CSM}} v_{ej}^3 \epsilon$$

(Moriya et al. 2014)

16bkvのパラメータ

L (初期の増光量): 4×10^{41} erg/s
 r_{CSM} (等速膨張を仮定): $2300 R_{\odot}$
 v_{ej} (光球膨張速度): 3000 km/s

16bkvのみ、CSM速度を
・10 km/s (典型的速度)
・1000 km/s (初期Hα速度) 両方で推定

天体	CSM速度 [km/s]	質量放出開始 [year]	質量放出率 [M_{\odot}/year]
16bkv	10	5.1年前	5.0×10^{-3}
16bkv	1000	0.2年前	5.0×10^{-1}
13ej	10	1.5年前	5.0×10^{-1}
VY CMa	10	---	1.0×10^{-3}

VY CMaよりも高い質量放出率

(Morozova et al. 2016)

(Smith et al. 2009)

系内にある質量放出率が非常に高い天体

一時的な質量放出

SN2013ejに近い質量放出率で、既存の親星モデルでは説明が困難

Summary

- ・LL SN IIPで初めてbumpが見られた
- ・LL SNe IIPは典型的IIPと比較して、親星の多様性の幅が広い可能性あり
- ・爆発前の質量放出率は高いものの、質量放出のあったII型超新星とほぼ同じ

<reference>

Anderson et al. 2014, Bose et al. 2014, Leonard et al. 2002, Moriya et al. 2014, Morozova et al. 2016, Pastorello et al. 2004, Smith et al. 2009, Spiro et al. 2014