

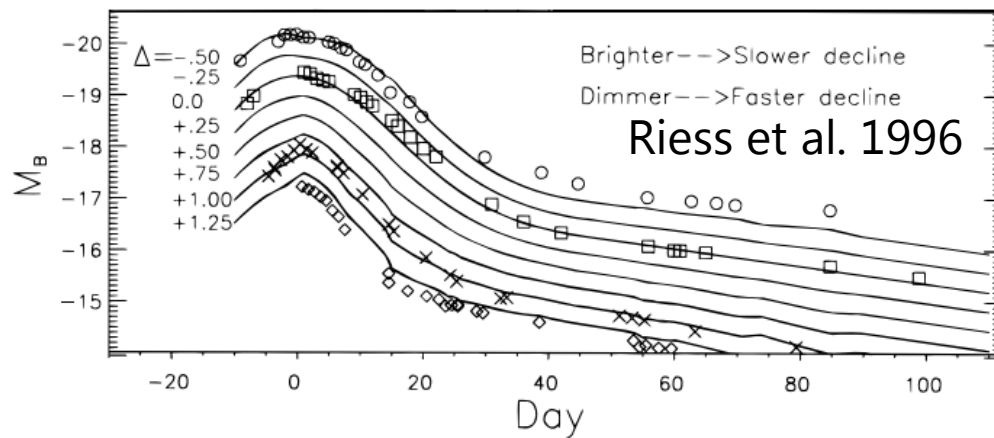
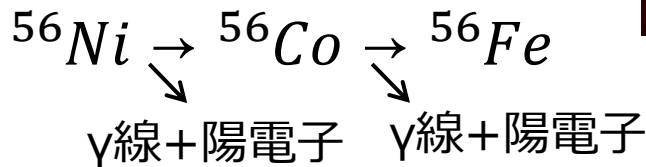
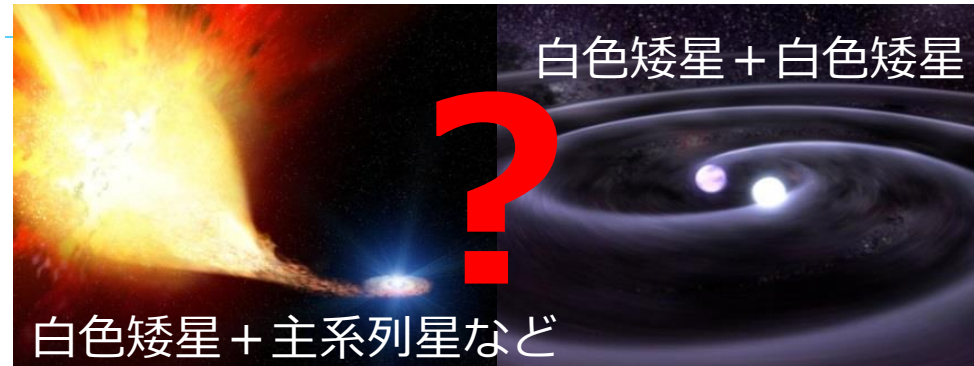
特異なIa型超新星SN 2014dtの 長期に亘る可視近赤外線観測 (II)

広島大学
川端美穂

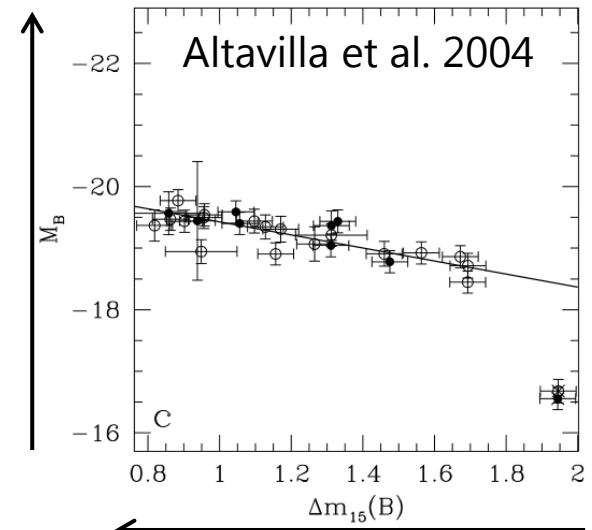
川端弘治、高木勝俊、中岡竜也(広島大学)、山中雅之(甲南大学)、
前田啓一(京都大学)、松本桂、福嶋大樹(大阪教育大学) 他

Ia型超新星

- ▶ 連星系を成す白色矮星
→チャンドラセカール限界質量
($\sim 1.4M_{\odot}$)に達し、核暴走



この明さ



ゆっくり減光

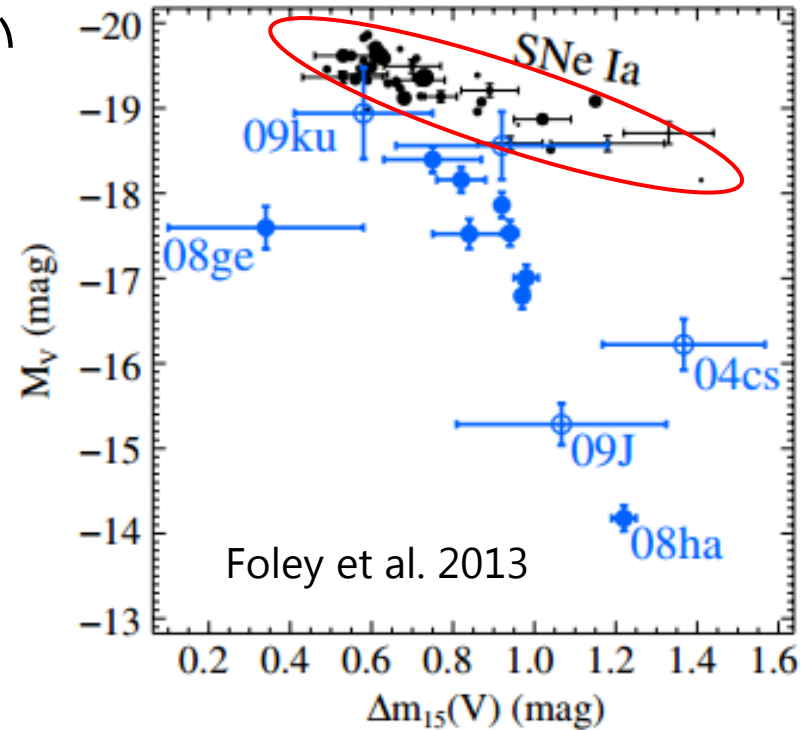
- ▶ 明るさと減光速度に強い相関関係
→宇宙の標準光源、宇宙の加速膨張の発見(2011年ノーベル物理学賞)

Iax型超新星

- ▶ 明るさ-減光速度の相関関係に乗らない Ia型超新星が見つかった
→Iax型超新星

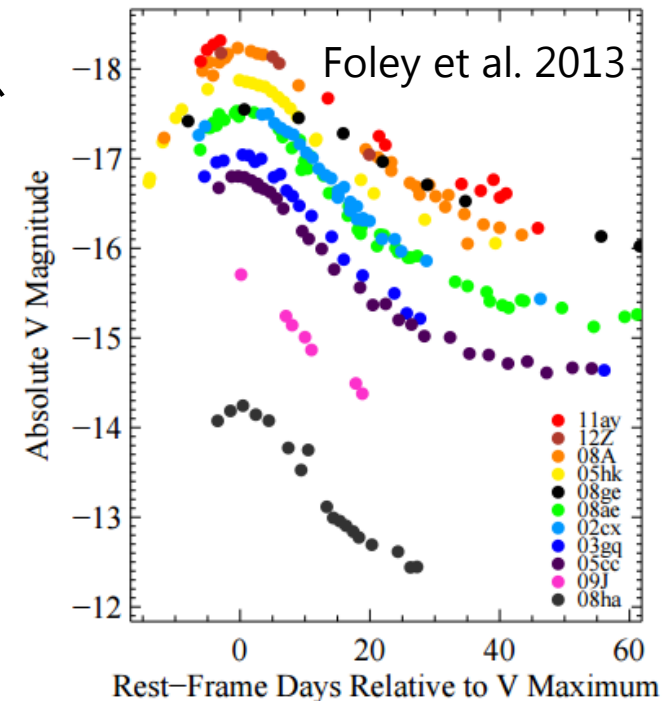
その他のIax型超新星の特徴として…

- ▶ 放出物質の速度が遅い
- ▶ 初期スペクトルは明るめのIa型超新星と類似



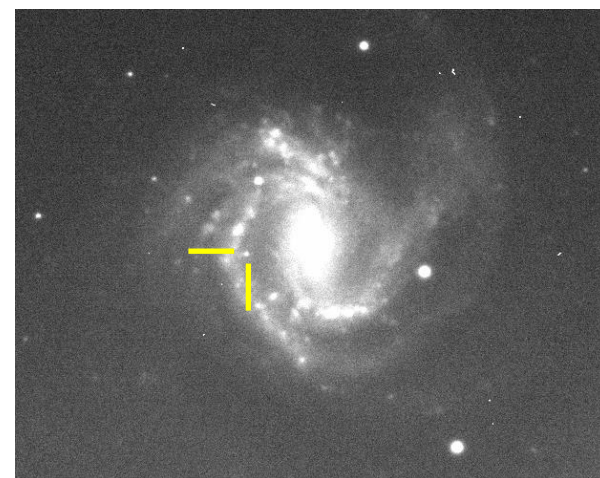
Iax型超新星 ~未解決問題~

- ▶ 爆発メカニズムは？
- ▶ いくつかの爆発モデルが提唱され、理論的研究が行われている
- ▶ Iax型超新星の中で ^{56}Ni 質量($\sim 0.003 - 0.3 M_{\odot}$)、爆発エネルギー($\sim 10^{49} - 10^{51} \text{ erg}$)とばらつきがある
- ▶ 観測例が依然稀少
理解は滞ったまま



本研究の目的

- ▶ Iax型超新星：観測例は少なく、爆発モデルはよくわかっていない
- ▶ SN 2014dtは最も近傍のIax型超新星
見かけの明るさは明るく、
長期に渡る観測が可能
→多バンドでの測光、スペクトルから
Iax型超新星の新しい知見を得る
- ▶ 爆発パラメータの推定
 - ・明るさの起源となる ^{56}Ni 質量
 - ・爆発エネルギー
 - ・放出物質の質量→ Iax型超新星で提唱されている爆発モデルと比較、制限をつける

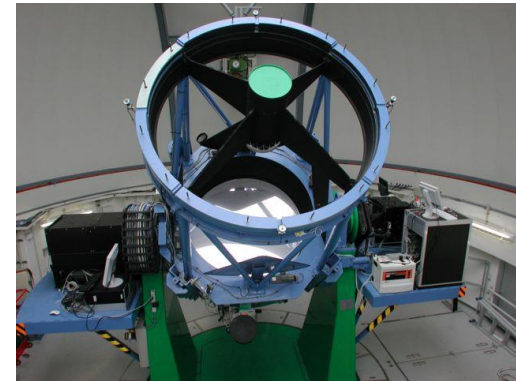


SN 2014dtとM61

SN 2014dt 観測

- ▶ 2014年10月29日 近傍銀河M61(距離12.3Mpc)で発見
- ▶ 10月31日 Iax型超新星と同定(Ochner et al. 2014)
最も近傍のIax型超新星
→長期に渡って観測できる貴重な例
- ▶ 11月3日よりfollow up観測開始

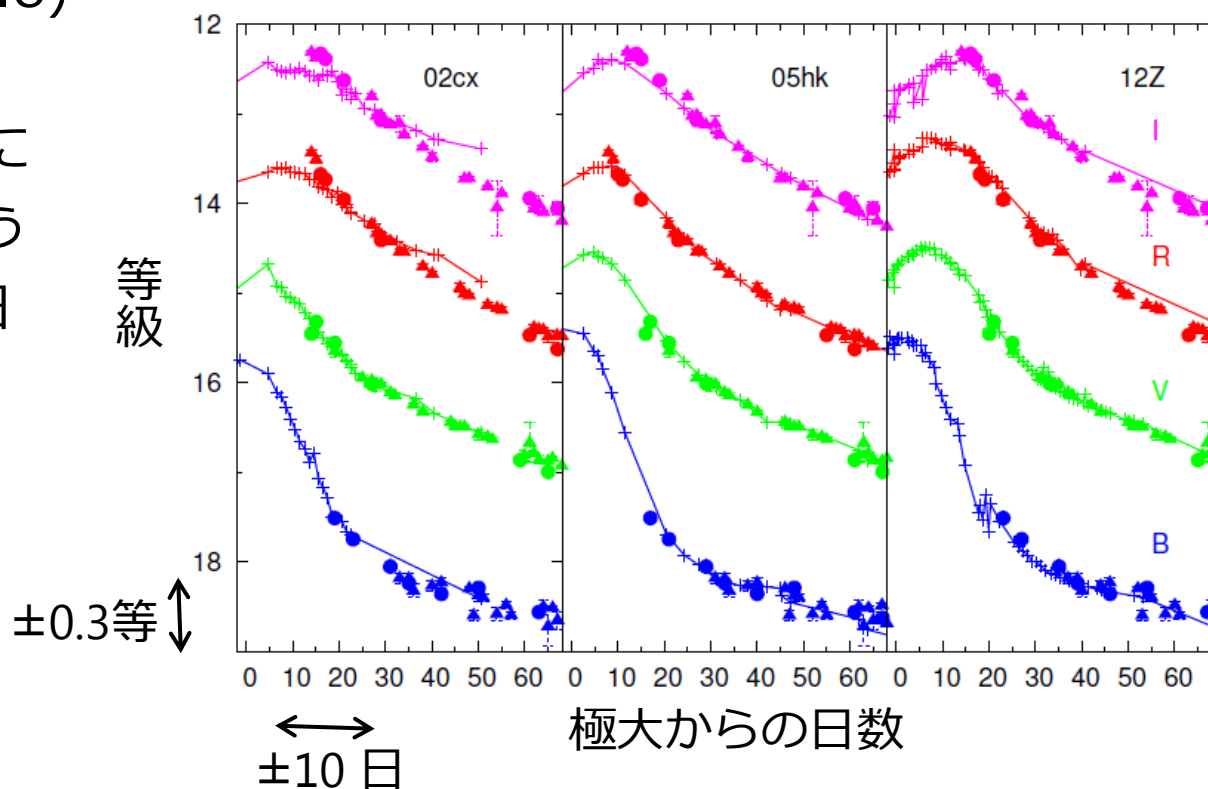
- ▶ 広島大学かなた望遠鏡
HOWPol : BVRI測光 (27夜)、分光 (13夜)
HONIR : BVRIJHKs測光 (21夜)
- ▶ 大阪教育大学51cm反射望遠鏡
Andor: BVRI測光 (71夜)
- ▶ すばる望遠鏡
FOCAS : VR測光、分光 (3夜)



極大日の推定

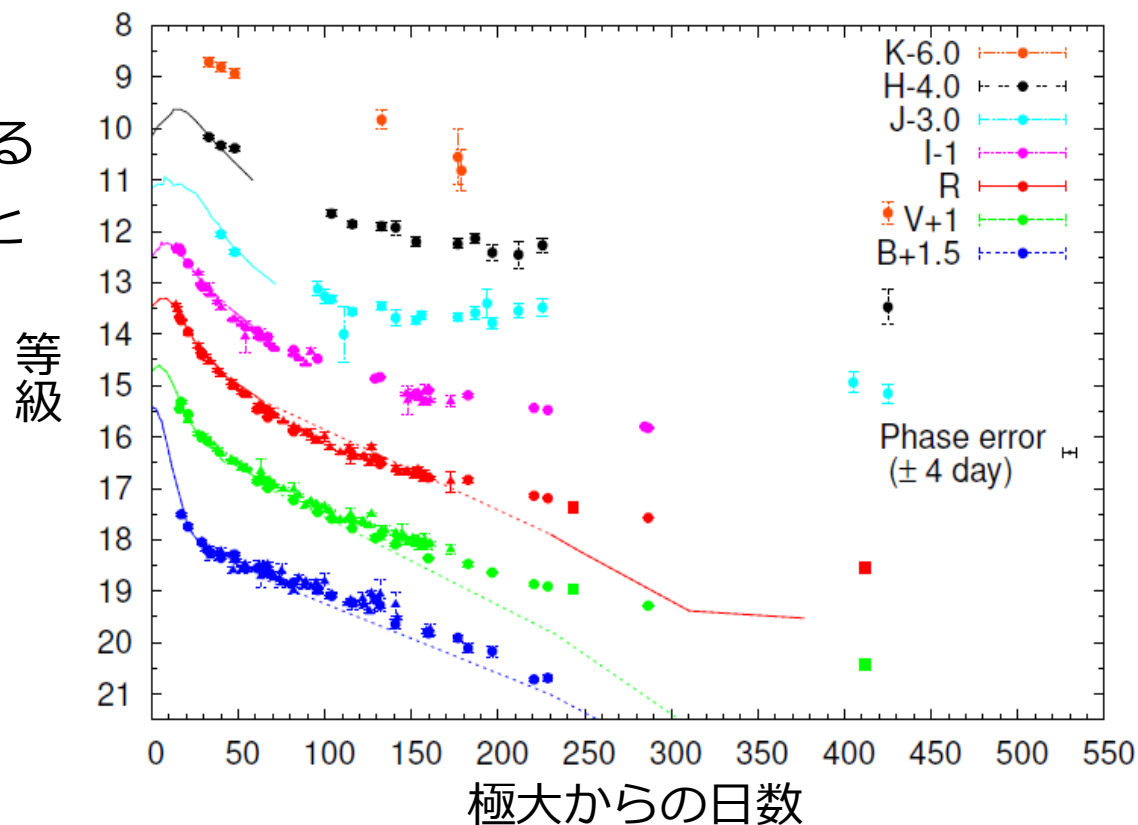
- ▶ Iax型超新星の中でもスペクトルが似ているものと比較し、大まかにフェーズを決める (0日 = 2014/10/20.8)

- ▶ このフェーズをもとに光度曲線の比較を行う
不定性としては ± 4 日



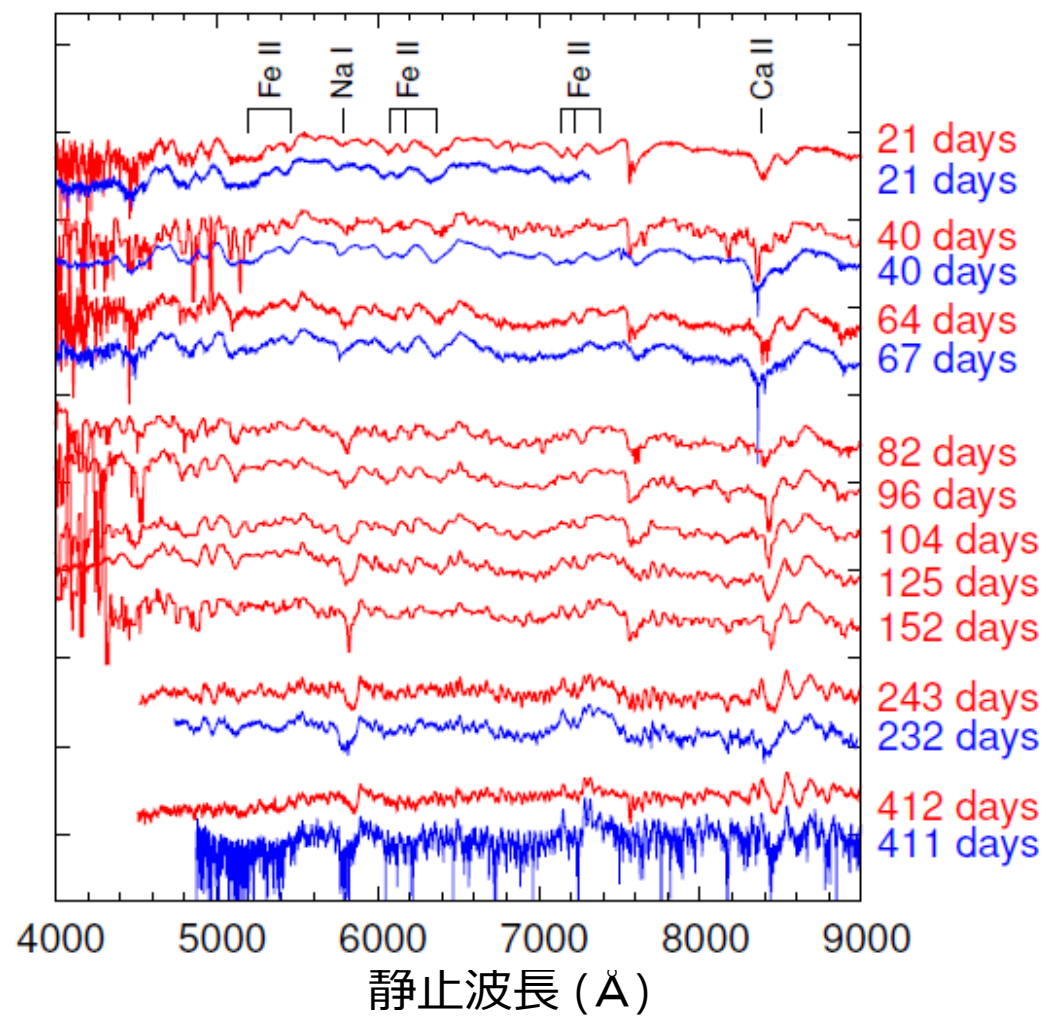
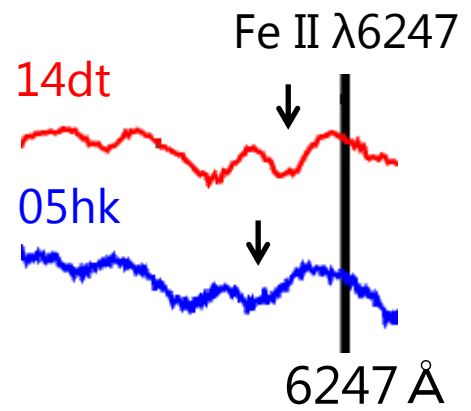
光度曲線

- ▶ 極大後～430日に亘る多バンド観測は初めて
- ▶ 過去に良く調べられているIax型超新星SN 2005hkと比較
- ▶ 60日を過ぎたところから、SN 2014dtの光度変化が緩やかになっている



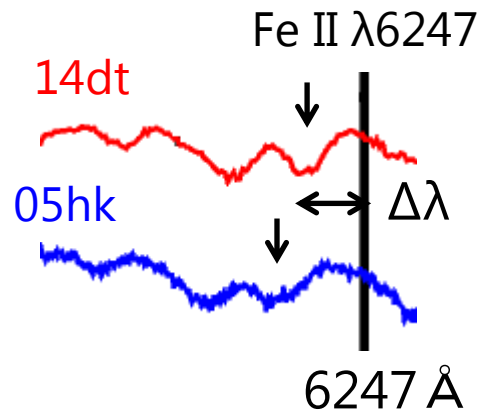
スペクトル進化

- ▶ SN 2005hkと似ている
SN 2014dtの方が線幅は
細く、青方偏移量も小さい



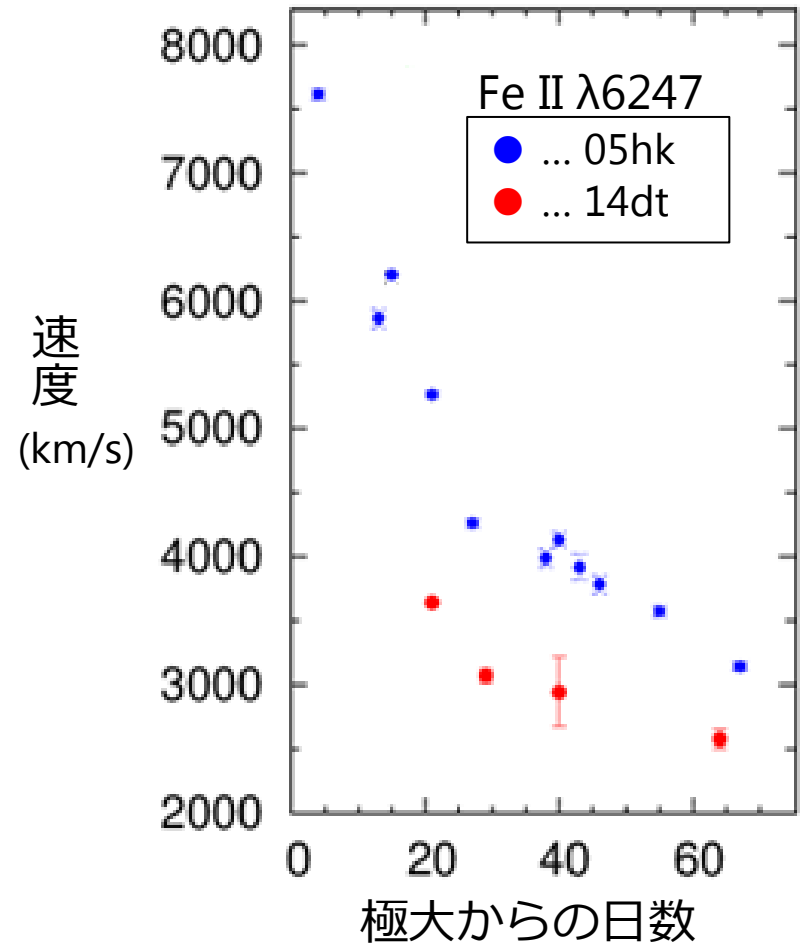
膨張速度

- ▶ 吸収線の位置のズレが見られる
→超新星の膨張によるもの

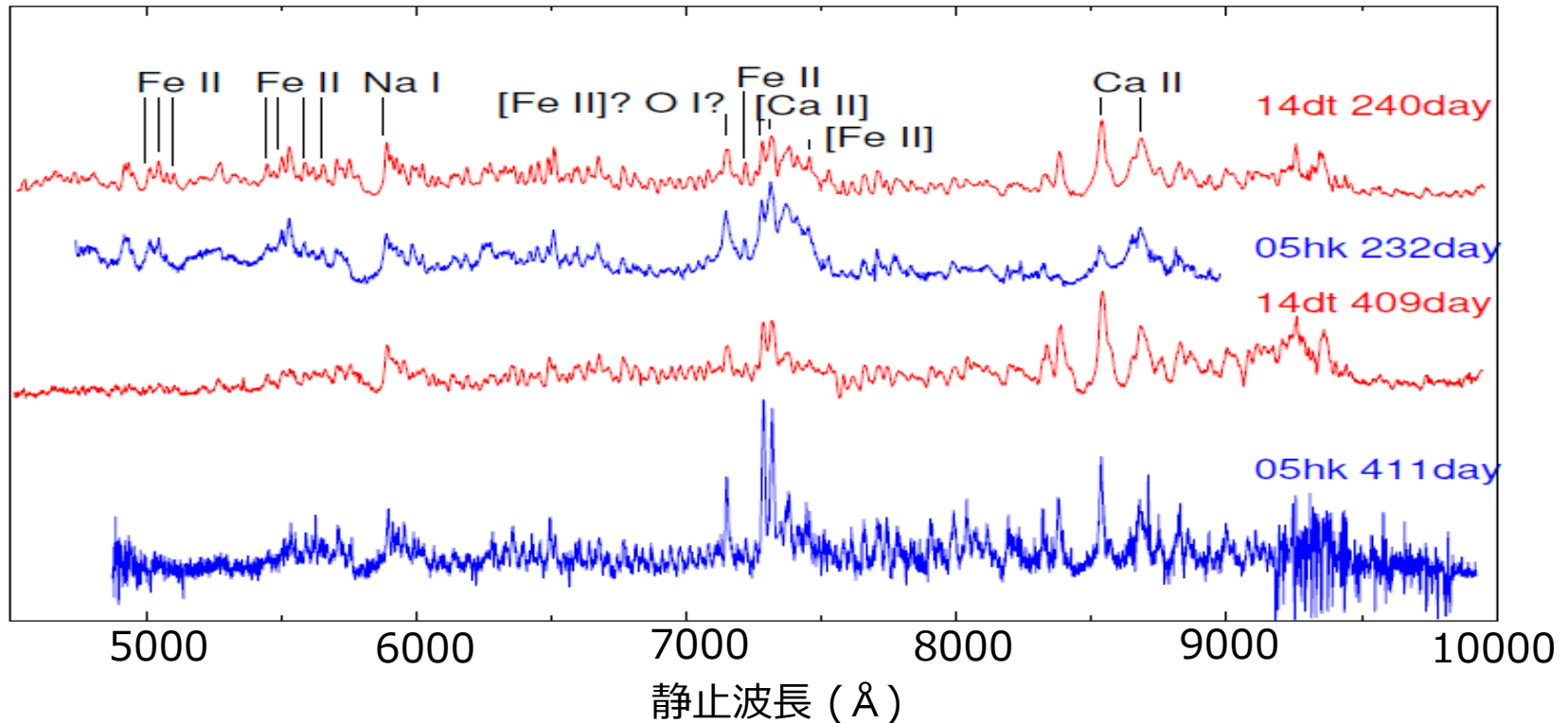


- ▶ ドップラー効果の式を用いて
膨張速度を求める

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda} = \frac{v}{c}$$



スペクトル進化 (後期)



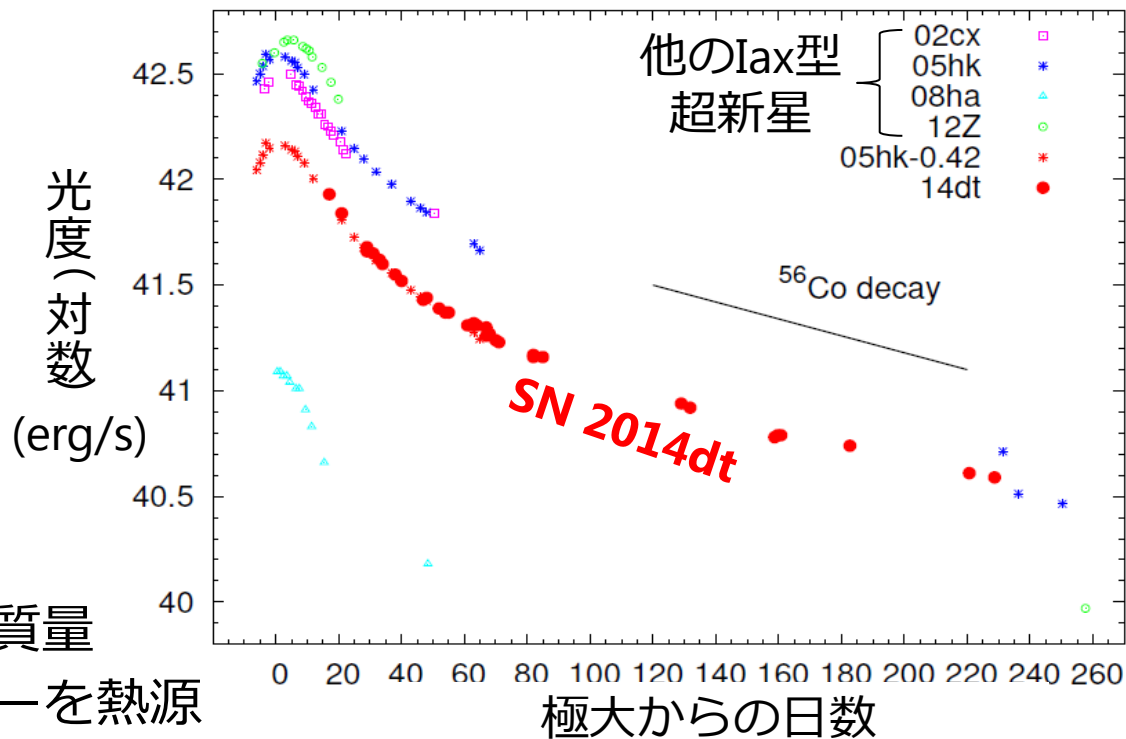
- ▶ 時間が経つにつれ、より内側を見ることができる →輝線が卓越
- ▶ SN 2014dtの進化が遅く、[Ca II] 7291, 7324 / Ca II 8542 の比が大きい

SN 2014dt: 2.5 ± 0.1

SN 2005hk: 0.7 ± 0.1

爆発パラメータの推定 ~ ^{56}Ni 質量 ~

- ▶ 長期の多バンド観測より総輻射光度を得ることができた
- ▶ やや暗め、光度変化が緩やか
- ▶ 極大時の明るさ
→ 爆発時に生成した ^{56}Ni 質量
放射性崩壊のエネルギーを熱源



極大時のデータはないため、
他のIax型超新星の光度曲線を用いて推定
→ SN 2014dt : $0.05 - 0.23 M_{\odot}$

内部構造を探る ~光度曲線モデル~

- ▶ 総輻射光度曲線とモデル曲線
(Maeda et al. 2010)と合わせる

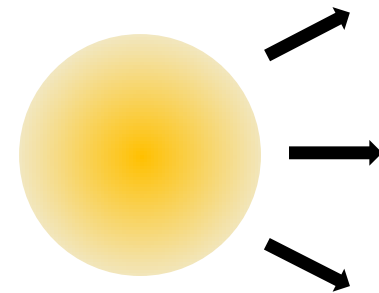
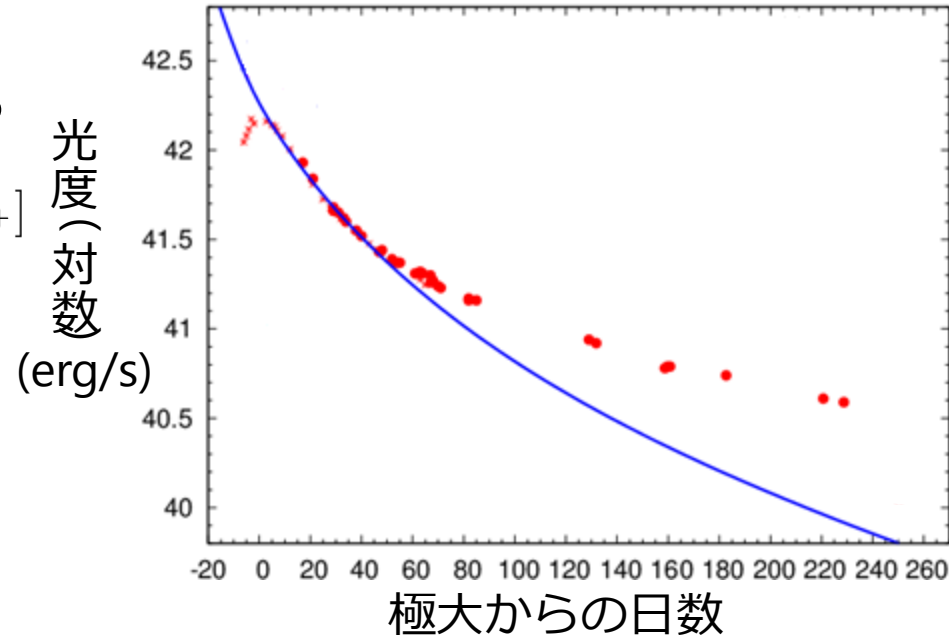
$$L = M(^{56}\text{Ni}) e^{(-t_d/113\text{d})} [\epsilon_\gamma (1 - e^{-\tau}) + \epsilon_{e^+}]$$

$$\tau = 1000 \times \frac{(M_{ej}/M_\odot)^2}{E_{51}} t_d^{-2}$$

ϵ_γ : γ 線のエネルギー流入
 ϵ_{e^+} : 陽電子のエネルギー流入
 t_d : 爆発からの日数

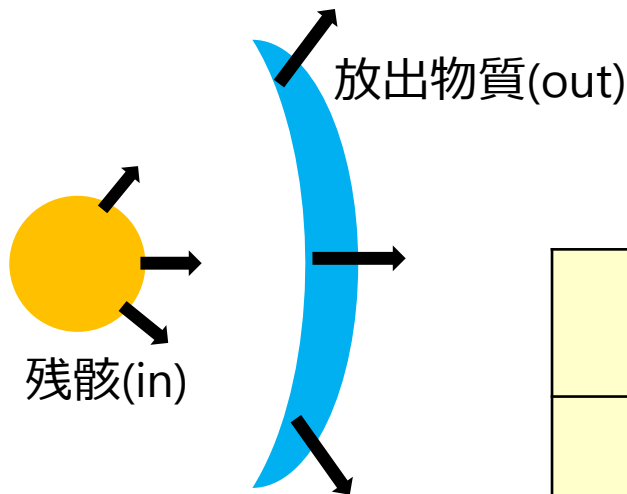
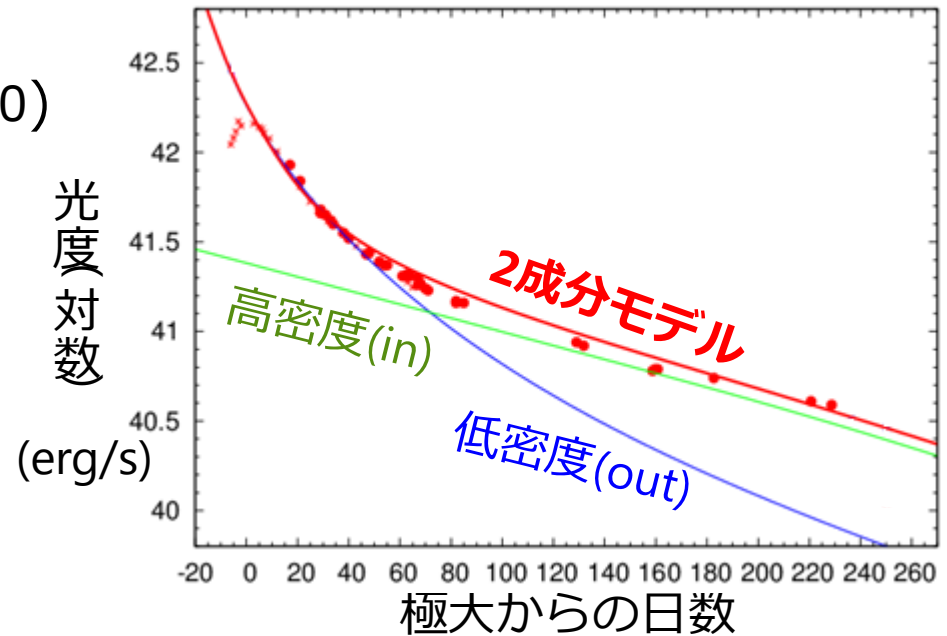
M_{ej} : 放出物質の質量
 E_{51} : 爆発エネルギー E_k
(10^{51}erg で規格化)

- ▶ 40日を過ぎたところから、しだいにモデルと違いが大きくなる



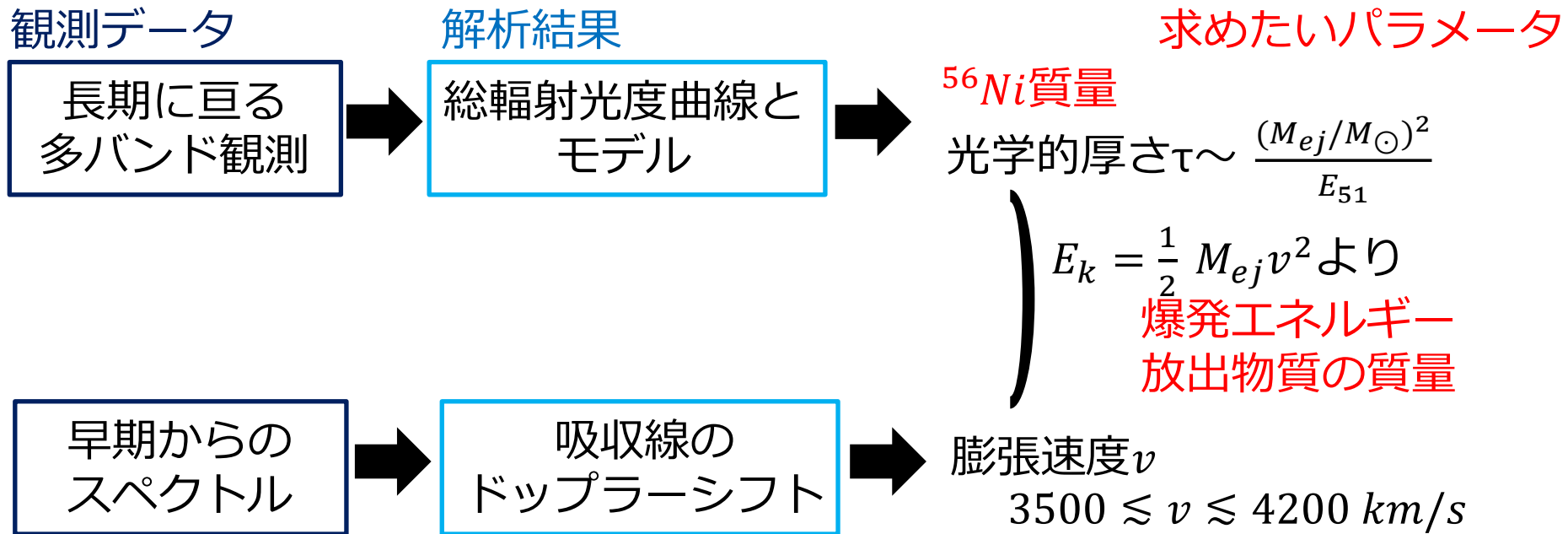
内部構造を探る ～光度曲線モデル②～

- ▶ 光度Lを2つの項の和
(2成分モデル; Maeda et al. 2010)
で表す
→2成分モデルで後期まで
よく合う



高密度 残骸		低密度 放出物質	
M_{Ni}	光学的厚み $\tau_{in} / 1000$	M_{Ni}	光学的厚み $\tau_{out} / 1000$
0.02 – 0.03	> 500	0.03 – 0.08	0.5 – 2.0

爆発パラメータの推定 ~エネルギーと質量~



$$\begin{aligned} &^{56}\text{Ni質量} : 0.05 - 0.23 M_{\odot} \\ &E_k : 0.02 - 0.09 \times 10^{50} \text{ erg} \\ &M_{ej} : 0.05 - 0.19 M_{\odot} \end{aligned}$$

爆発モデルの検討

弱い爆燃波

- ▶ 白色矮星内を熱伝導によって亜音速で伝わりながら燃える
爆発エネルギーが小さく、残骸が残される($M_{bound} \sim 1.0 M_{\odot}$)
- ▶ ^{56}Ni 質量、放出物質の質量など、Fink+ 2014のモデルと合う

特殊な重力崩壊

- ▶ 大質量星が星の進化段階の最期に重力崩壊、爆発を引き起こす
爆発エネルギーが小さく、ほとんど残骸に物質が落ち込む
- ▶ $25, 40M_{\odot}$ のCO星か $40M_{\odot}$ のHe星のモデルと合う(Moriya+ 2010)

	爆発エネルギー (10^{50}erg)	放出物質の質量 (M_{\odot})	^{56}Ni 質量 (M_{\odot})	
SN 2014dt	0.02 - 0.09	0.05 - 0.19	0.05 - 0.23	
弱い爆燃波	0.01 - 0.04	0.08 - 0.2	0.04 - 0.07	Fink+ 2014
重力崩壊 (ex. 40He)	0.01 - 0.03	0.10 - 0.19	-	Moriya+ 2010

まとめ

- ▶ Iax型超新星SN 2014dtの可視・近赤外測光分光観測を行った
→ 極大後から約430日に亘る長期の連続観測
Iax型超新星では初
- ▶ SN 2014dtは ^{56}Ni 質量、爆発エネルギー、放出物質の質量が小さめ
→4つの爆発モデルで比較
弱い爆燃波モデルと特殊な重力崩壊モデルで合う
- ▶ 緩やかな光度変化
- ▶ 後期スペクトルでは許容線が強く、高密度であることを示す
→残骸が残されたという状況を考えることで説明可能