

極めて明るい II 型超新星 SN 2010jl の爆発 1 年後の赤外超過の発見

○上野一誠(広島大)、山中雅之(京都大)、川端弘治(広島大)、宮ノ下亮、面高俊宏(鹿児島大)、奥嶋貴子、秋田谷洋、先本清志、伊藤亮介、高木勝俊、浦野剛志、宇井崇紘、佐藤久之、かなた望遠鏡チーム(広島大)、笹田真人(京都大)、新井彰(京都産業大学)、守屋堯、野本憲一(東京大)、他大学連携観測グループ

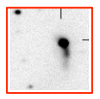
1. 観測天体

この1年の観測成果(2012/10/1-2013/8/1)

かなた HOWPol (B)VRI撮像15夜
かなた HONIR JHK撮像7夜
すばる FOCAS (B)VRI撮像2夜 可視分光2夜

SN 2010jl

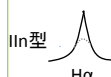
2010/11/3.52(UT)発見されたII型超新星
Host galaxy UGC5189A(距離 48.9Mpc)
極大絶対等級 -20等 非常に明るい部類
(Smith et al.2011,Stoll et al.2011,Zhang et al.2012)



爆発から約1年後に近赤外超過を示した超新星
→過去に赤外超過を示した超新星はSN 2006jc(IIb型超新星)のみ

II型超新星

一般的なII型超新星
→スペクトルに幅の広い
P-Cygni型のH α 線を示す



II型超新星
→細い(100km/s $\sim$)輝線+幅広い輝線
が合わさった特殊な
水素の輝線を示す超新星

水素の輝線を示す超新星

2. 背景銀河の差し引き



SN 2010jl : 超新星が銀河に埋もれている

後期の超新星が暗いフェーズ
→銀河の影響を受ける

かなたで撮られた SN 2010jl 背景銀河の差し引きを行ってから測光解析を行う

差し引き方法

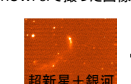
銀河+超新星が写っている画像 - 銀河のみが写っている画像 = 超新星のみが写っている画像

HOWPolで撮った画像

超新星爆発以前の銀河のSDSSの画像

差し引きを行う前に2つの補正を行った

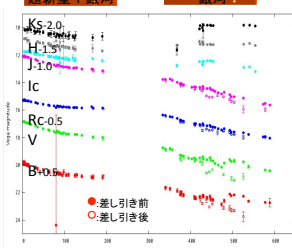
・バンド合わせ
・PSF合わせ



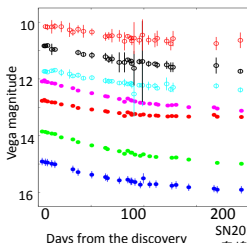
超新星のみの画像を作ってから後期のデータを再解析

450日以降、B、Vバンドで大きく等級差が生じる
→超新星が暗くなった後期においては銀河差し引きが必須

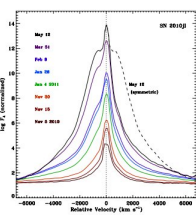
以降、差し引き後の
ライトカーブを正しいものとして扱う



3. SN 2010jl の先行研究

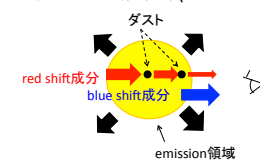


- II型の中でも特に明るい部類 (極大光度 -20等)
- Ha輝線が時間経過とともに次第に強くなった(Smith et al.2012)
- 中間赤外線超過
⇒星周ダストによる吸収・再放射
⇒濃い星周物質の存在を示唆 (Andrews et al.2011)

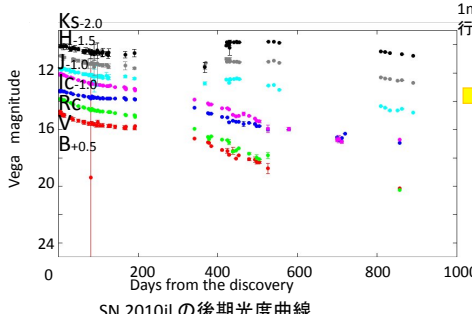


Ha輝線の時間経過によるプロファイルの比較 (Smith et al.2012)
(日が経つにつれてred shift成分が削られてる)

- Ha輝線の(みかけの)blue shift
⇒emission領域において、観測者から遠いred shift成分がダストに吸収され弱くなったため
⇒比較的早い段階からemission領域にてダストが生成(?) (Smith et al.2012)



4. SN 2010jl の後期における可視近赤外光度曲線



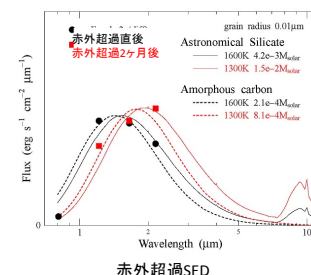
広島大学かなた望遠鏡および鹿児島大学1m望遠鏡をもちいて発見から約900日間観測を行ったところ...

観測開始から400日後

BVRcIcの可視領域での減光
JHKsの近赤外領域での増光

SN 2006jc と似た振る舞い
⇒ダスト形成の可能性
Ksバンドの赤外超過の極大光度
06jc:M=-18, 10jl:M=-21
⇒より多くのダスト形成

SN 2010jl の後期光度曲線



赤外超過成分をより詳しく解析するため

- ・赤外超過直前
- ・赤外超過直後
- ・赤外超過2ヶ月後

の3つのフェーズを用いて
(赤外超過後のSED)-(赤外超過前のSED)とすること
で赤外超過成分の抽出

さらに、求めたSEDにミー理論を用い、ダストの熱放射を
 $I(\lambda) = \pi a^2 \times Q \times B(\lambda, T)$ と表して高温ダストの放射成分を見積もる
a:ダストの半径(モデルでは0.01 μ mと仮定)
Q:ダストの組成、サイズ、波長に依存する量
B(λ):黒体の放射強度
ダストはastronomical silicate (Drain 1985)と
amorphous carbon (Rouleau & Martin 1991)を仮定

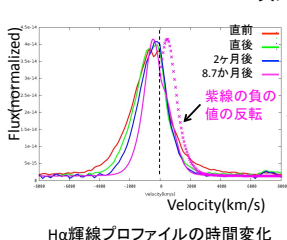
上図の凡例は仮定した温度とダストの質量であり、これを見てやると赤外超過直後から2ヶ月後にかけてダストの温度が冷えてゆき、より多くのダストが形成されたことが分かる

一般的に1000K以下でないSilicate質のダストは出来にくい⇒出来たダストはCarbon質のもの
JHK超過成分SEDは、温度 $\sim$ 1500K、総質量 $10^{-4} \sim 10^{-3} M_{\odot}$ のダスト熱放射とコンシステント

※観測された赤外超過分だけで出した量であるため、lower limit
※エコ(吸収・再放射)の可能性は否定はできない

次に・赤外超過直前

- ・赤外超過直後
- ・赤外超過2カ月後
- ・赤外超過8.7ヶ月後

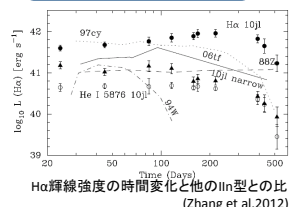


Ha輝線プロファイルの時間変化

赤外超過直後は多くのダストが出来ているのは明らかでも、emission領域でダストが出来たらよりblue shiftするはず
しかし左図をみると、4つのフェーズとも先行研究と同じようにblue shiftしているが、赤外超過直後以降その変化はほとんどない

emission領域より外側でのダストの形成を示唆

5. 議論



II型の中での10jlの位置づけ

- ・爆発から1年後に高温ダストを大量に形成
⇒中心からかなり離れたところまで密度の高い星周物質が存在
- ・極大光度が非常に明るかった(Andrews et al. 2011)
- ・輝線強度が強く、後期にかけて次第に強まった(左図,Zhang et al.2008)

爆発直前の親星の周辺に密度が高い星周物質がかなり外側まで分布していたこととコンシステント
⇒通常のII型よりも外側まで密度の高い星周物質が存在した

SN 2010jl : 典型的なII型よりも星周物質に富んだ環境

まとめ

- ・II型超新星では、珍しい赤外超過の観測に成功
- ・赤外超過成分のSEDを説明するには1500K程度のカーボン質ダストが少なくとも $10^{-4} \sim 10^{-3} M_{\odot}$ 程度必要
- ・ダストはemission領域より外側で形成か?
- ・SN 2006jc では爆発から2カ月程度で赤外超過が見られたがSN 2010jl では約1年経ってから、中心からより遠く離れた外側でのダスト生成
- ・SN 2010jl は、通常のII型よりも親星がより大規模な質量放出を経験したであろう