

II n型超新星的觀測

文/ 黃立晴

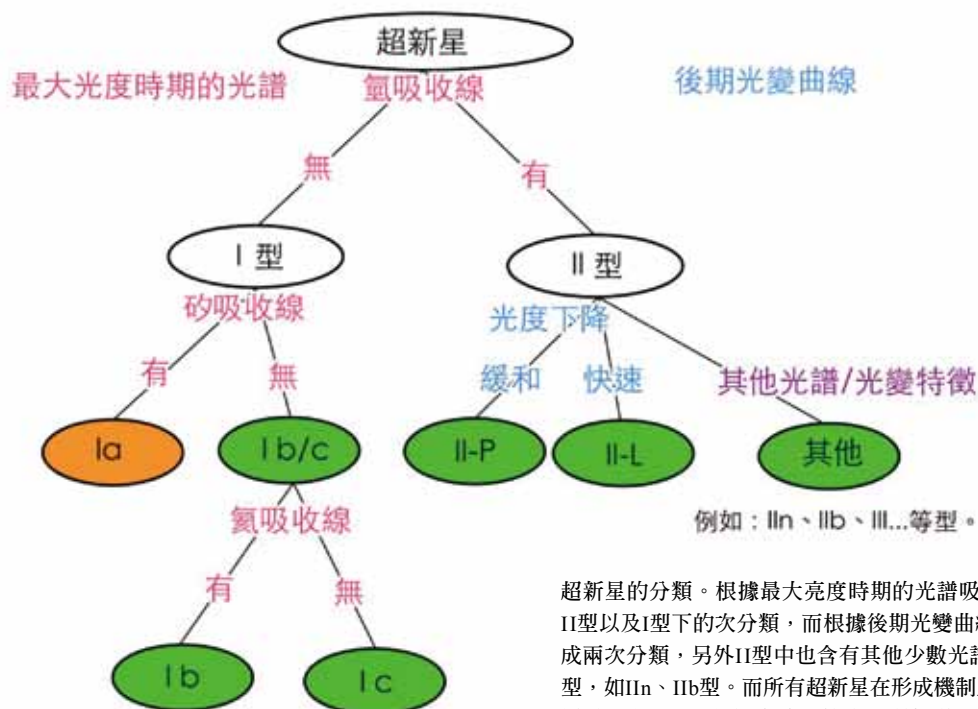
什麼是超新星？

當天空中出現一顆以往看不見的星星，我們叫他新星，如果這顆新星的亮度增加非常多，幾乎像一個星系一樣明亮時，我們便稱作超新星。超新星是來自死亡的巨質量恆星（大於八個太陽質量）爆發或是白矮星質量超過負荷時放出大量能量成為明亮的超新星。

密近雙星中的白矮星吸積伴星物質達到錢氏質量上限（Chandrasakhar limit）時爆發會產生Ia型超新星，另外來自巨質量恆星爆發的超新星則分屬I型及II型。目前區分超新星的方法是根據超新星的光變方式或是光譜特徵，由於是用觀測特徵作為分類的依據，所以無法明確地區分超新星的形成機制。

超新星的光度變化大致可分為最大亮度時期前光度上升的階段、達最大亮度之後光度下降的過程以及後期微弱的光度三個階段。最大亮度時期前大約會有一週至數十天的時間光度不斷的上升，而當超新星光度到了最大亮度時期後光度則開始下降，下降的方式與超新星的周圍環境、核心質量以及輻射能量來源有密切的關係，例如超新星是否被環星物質包覆或是四周星際物質濃密與否、衝擊波衝撞環星物質將其激發等都是影響的因素。後期也可能因為有伽瑪射線爆而使光度再次提高及下降。

超新星的光譜有許多不同的特徵，最大亮度時期時的光譜也是超新星分類的依據之一，光譜中的譜線可以反應前身星的組成物質以及超新星的四周環境，我們也可以由光譜譜線的寬度推算超新星爆發的擴張速度，還可以利用譜線的位移計算超新星和其所在星系與我們的距離。



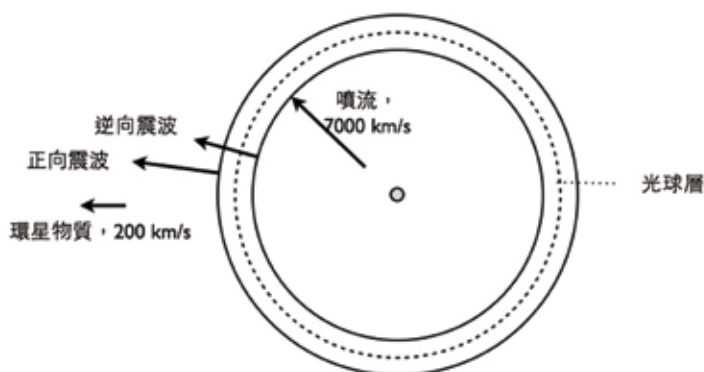
超新星的分類。根據最大亮度時期的光譜吸收線可分出I型、II型以及I型下的次分類，而根據後期光變曲線可以將II型略分成兩次分類，另外II型中也含有其他少數光譜及光變特徵的類型，如II n、II b型。而所有超新星在形成機制上只有Ia型是由白矮星爆發形成，其他皆為巨質量恆星核塌縮所形成。

II n型超新星

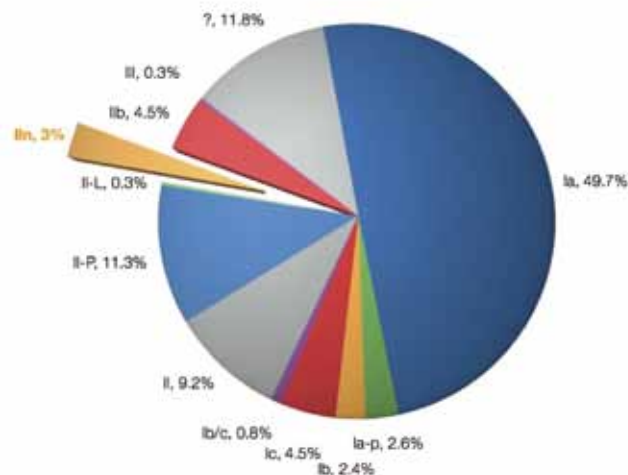
II n型超新星也是一種由巨質量恆星核塌縮所形成的超新星，其特點是早期光譜中的寬發射線上帶有強烈的巴耳麥窄發射線（narrow Balmer emission），取narrow的第一個字母「n」為此次分類的名字。這類型超新星光譜中有顯著強烈的H α 窄發射線，從其譜線半寬全高可推出其擴張速度約為每秒1000公里，屬非常窄的發射譜線，同時亦可能伴隨H β 、FeII、OIII或HeI的發射線。

一般認為，窄發射線的來源是超新星爆發時的噴流與周圍又熱又濃密（每立方公分含 10^7 個以上的粒子）的環星物質交互作用所產生，並非來自超新星的高速噴流，速度只有每秒數百公里的震前環星物質（Pre-shock CSM）亦是氫發射線的來源之一，但造成的譜線寬度則較寬。大量的環星物質則來自前身星的恆星風吹出的物質，由於必須將恆星風吹出的物質保留在超新星附近，因此在超新星爆發前數十年間的恆星風風速不能太快，或是前身星必須吹出非常大量的物質，恆星風造成的前身星質量流失率約為每年 $10^{-4}M_{\odot}$ ，而非常明亮的II n型超新星則需要每年 $10^{-1}M_{\odot}$ 以上的流失率，例如eta-Carinae(海山二)或其他高光度藍變星（LBVs）可以有每年 $0.01M_{\odot}\sim 1M_{\odot}$ 的質量流失率。

濃密的環星物質對於噴流也有減速的效果，當噴流撞上海星物質產生震波，原本的大量動量及動能則轉變為X光或可見光釋出，大大提高了超新星的輻射光度。而噴流被環星物質反彈的部份往回撞到噴流又會產生逆向震波，逆向震波則是一個相較於正向震波擴張速度為慢的殼層。



圖二、II n型超新星模型。高速的噴流與緩慢擴張的環星物質交互作用產生H α 的窄發射線。



圖三、2009年超新星類型數量統計。

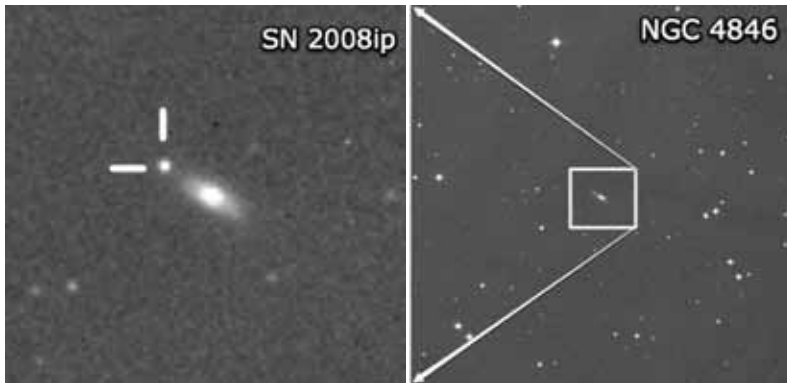
II n型超新星為較稀少的類型之一，以2008年及2009年的統計為例，2008年總共發現兩百四十五顆超新星，其中II n型只有十四顆，約佔5%，而最常見的Ia型超新星則有一百二十一顆，約佔49%。2009年則在三百八十二顆超新星中有十一顆II n星超新星，約佔3%。

觀測目標

我們在2009年上半年觀測兩個II n型超新星SN 2008ip及SN 2009au，以下將分別對其做更詳細的介紹。

SN 2008ip

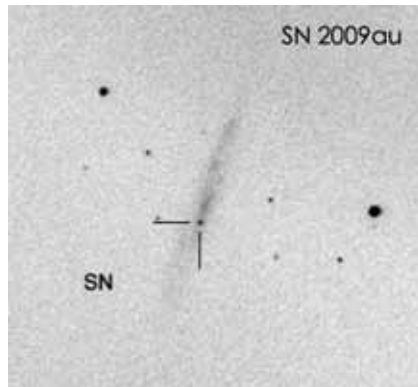
SN 2008ip在2008年12月31日為Takao Kobayashi所發現，位於Sb星系NGC 4846。（ $z=0.015124$ ）中，其天球座標為R.A.=12h57m50.20s，Dec.=+36 22' 33.5"，發現時的亮度為15.7等。



圖四、發現超新星SN 2008ip時的影像。
(修改自http://www.rochesterastronomy.org/SN_2008/n4846s1.jpg)

SN 2009au

SN 2009au於2009年3月11日由CHASE (The CHilean Automatic Supernova sEarch)發現，位於Sc星系ESO 443-21 ($z=0.009404$)中，其天球座標為R.A.=12h59m46.00s，Dec.= $-29^{\circ}36'07.5''$ ，發現時的亮度為16.4等。



圖五、發現超新星SN 2009au時的影像。
(修改自 http://www.das.uchile.cl/proyectoCHASE/sne_2009/carta_sne_2009au.jpg)

觀測儀器

我們利用鹿林天文台的SLT及LOT望遠鏡和CTIO的SMARTS 1.3m望遠鏡來對這兩個超新星做一百日以上的後續觀測。

鹿林天文台位於嘉義縣阿里山鄉及南投縣信義鄉交界的鹿林前山山頭，海拔2862公尺。我們利用這裡的SLT及LOT望遠鏡搭配B、V、R、I四種濾鏡進行觀測。而CTIO位於智利聖地牙哥北方五百公里的Toledo山，海拔2200公尺，其中SMARTS共有四部望遠鏡，口徑分別為1.5公尺、1.3公尺、1.0公尺以及0.9公尺，而我們使用1.3公尺口徑的望遠鏡搭配B、V、R、I四種濾鏡進行觀測。

觀測策略

當有人發現超新星後會向IAUC通報，經過確認後我們就

可以在List of Recent Supernovae網站上看到已發現的超新星列表，這個網站提供許多超新星的基本資料，包括位置、發現時間、發現時的亮度，甚至是超新星的類型，我們可以從中挑選適合的觀測目標。由於我們希望能做一百天以上的觀測記錄，因此這段時間內超新星所在的天區不可以超出可觀測範圍外，也就是開始觀測時超新星的R. A.座標值不可以太接近太陽位置，以免這個天區在未滿一百天就轉到太陽的另一邊導致無法進行觀測。另外一個限制是望遠鏡的集光能力，加上超新星的亮度會日益減弱，因此我們不能選擇亮度在一開始就太暗的超新星作為目標，理想的目標是16星等以下的明亮超新星。而超新星位置也是考量的因素之一，如果超新星投影的結果離星系核心太近，測光時容易將過多的星系的光列入，影響測光的準確性，因此以投影在星系盤面或旋臂上的超新星作為觀測目標會是較佳的選擇。

ToO

由於超新星爆發是無法預測的現象，因此我們不能在提出一季的觀測時間申請前預知要使用的時間，加上超新星的後續觀測需要長期間地隔幾天就觀測一次，但每次觀測並不需要用到整晚的時間，因此我們申請ToO (Target of Opportunity) 觀測，在適合的超新星出現時聯繫天文台，請天文台協助觀測工作，接下來每五至七天觀測一次以取得長期且連續的光度資訊。

測光

當我們取得觀測影像並將雜訊處理完畢後便開始進行測光的工作，測光可以分為孔徑測光和點彌散函數測光。孔徑測光是直接圈選星點的範圍，將這個範圍內的讀數全數視為來自星點的流量。但是超新星通常落在星系裡頭，這樣的測法會把其他屬於星系的流量當作超新星計算，使測光的結果太亮，因此我們可以使用去擬合星點流量分布（高斯分布）的點彌散函數測光法進行測光，將不屬於超新星的流量排除在外以得到更準確的測光結果。

利用點彌散函數測光可以得到「儀器星等」，但這並不是實際的星等值，因為CCD接收到的流量會因為觀測當時的大氣厚度（因仰角而改變）、天氣狀況等因素影響。因此我們需要一份國際公認的星表，裡面所列的目標都有詳細的各波段星等資料，我們在觀測超新星時同時觀測一些星表裡的星星，便可以當作校正儀器星等用的依據。

觀測結果

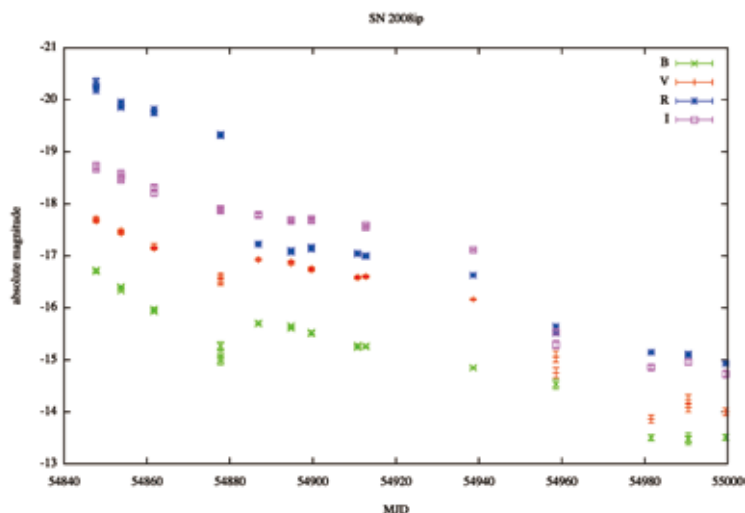
我們對SN 2008ip及SN 2009au的觀測影像做測光，將所得的視星等繪成光變曲線，亦可利用我們與星系的距離算出其絕對星等，再繪出絕對星等的光變曲線。

SN 2008ip的最大亮度時期約在MJD(Modified Julian Date, 修正儒略日)=54837.2。我們可以從SN 2008ip的光變曲線看到我們

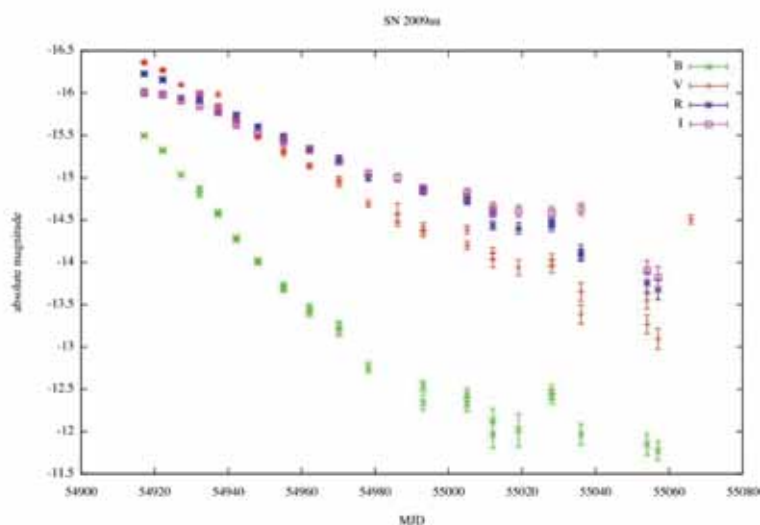
開始觀測時已經過了超新星的最高亮度時期，因此我們看見的是光度下降的區間。在一開始的六十天內，光度減弱速率約為每日0.025等，而B波段下降的速率較其他波段稍快，接下來的八十天中光度下降速率減緩，約為每日0.005等，直到最後四十天才又快速下降，並且，在MJD=54880時的光變曲線有不連續的現象。

SN2009au也是在光度達最大亮度時期後才開始觀測，光變曲線下降的速率比較一致，約為每日0.01等，但B波段光度下降較快速，約為每日0.043等。

比較SN 2008ip以及SN 2009au，SN 2009au較為明亮，光度下降的速率較快。由於這幾顆超新星皆錯過光度最大亮度時期的觀測時機，且超新星的年齡是以超新星發現當日作為第零日而非超新星爆



圖六、SN 2008ip各波段的光變曲線（絕對星等）。（SLT and LOT）

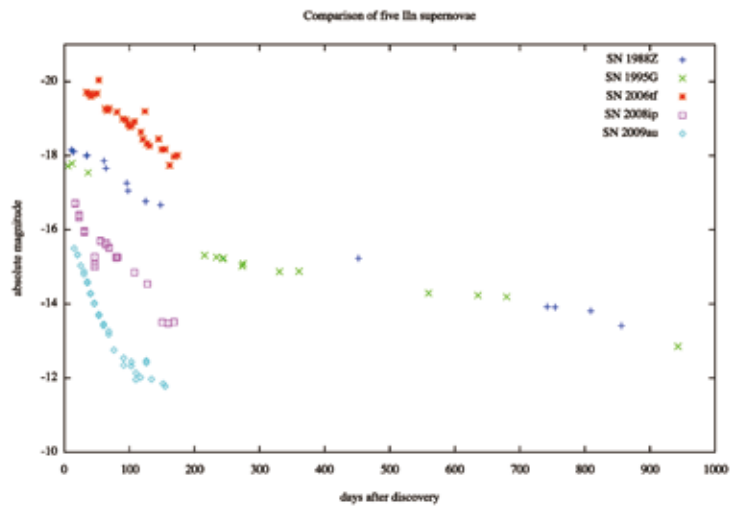


圖七、SN 2009au各波段的光變曲線（絕對星等）。（SMARTS 1.3m telescope）

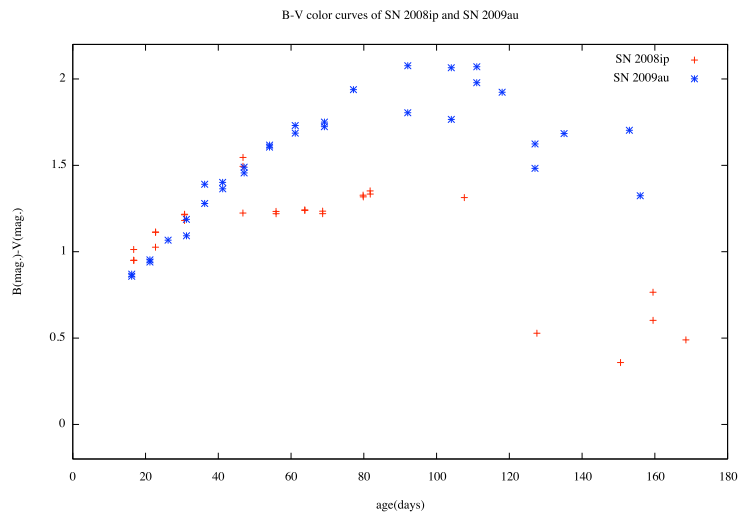
發當日，實際上應該要有十日或十日以上的平移，才能真正比較每顆超新星在相同年齡時的特徵，但我們仍能從目前所得到的數據比較超新星的光度大小以及光度變化的速度。比較SN 2008ip、SN 2009au以及其他IIn型超新星，SN 2008ip及SN 2009au的光度明顯較其他超新星黯淡，且光度下降速率也較快。

比較SN 2008ip、SN 2009au以及SN 1998S的B-V、V-R、R-I色曲線，三者趨勢相似，B-V值皆在七十至八十日左右達到最高，並在之後緩緩下降，而V-R及R-I皆為逐漸上升。比較IIn型超新星與Ia型超新星的B-V色曲線，IIn型超新星B-V的最大值發生在第八十至一百天左右，而Ia型超新星的B-V最大值則發生在光度最大亮度時期後的十至二十天左右。

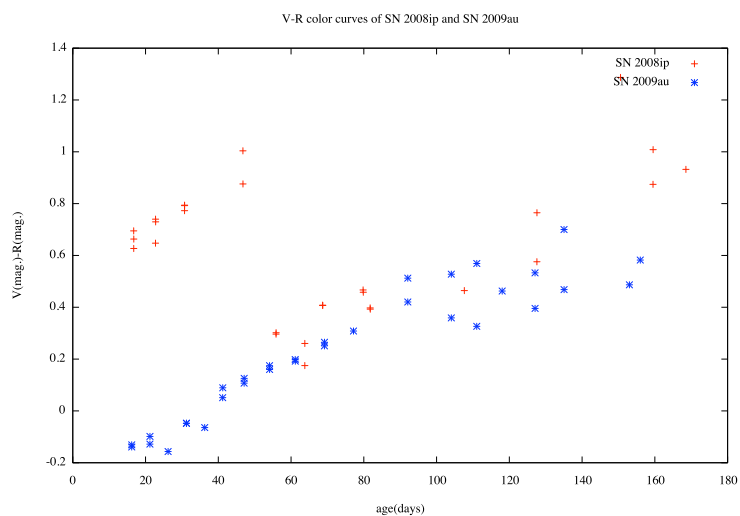
Ia型超新星的光變曲線有固定形狀且最大光度為定值，因此可作為標準燭光，但IIn型超新星的光變曲線並沒有固定形狀，最大光度也不一致，因此不能做為標準燭光。相較於其他IIn型超新星，我們所觀測的SN 2008ip和SN 2009au光度皆下降得比較快，且光度也較暗，可推測SN 2008ip和SN 2009au的前身星質量應該小於另外三顆IIn型超新星（SN 1988Z、SN 1995G以及SN 2006tf）。而光變曲線中B波段光度下降的速度也較其他波段快，表示超新星周圍有塵埃的存在，放出偏紅外的光。我們可以利用B-V、V-R及R-I



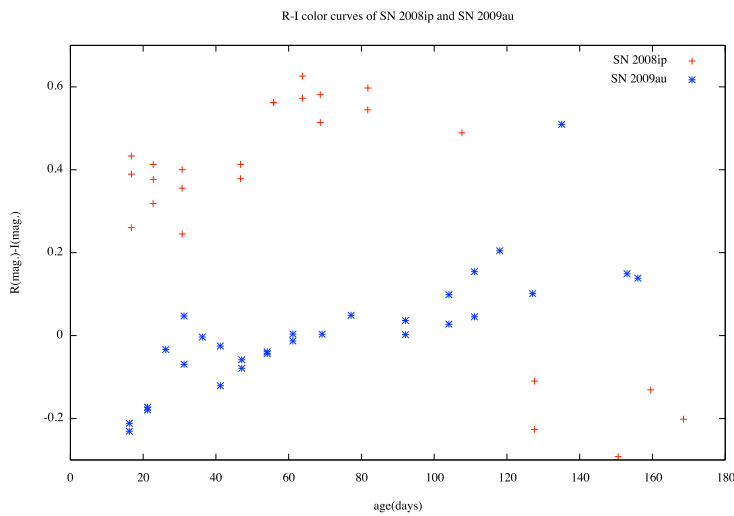
圖八、SN 1988Z、SN 1995G、SN 2006tf、SN 2008ip以及SN 2009au的絕對星等比較。



圖九、SN 2008ip及SN 2009au 的 B-V color curves。(SLT、LOT以及SMARTS 1.3m telescope)



圖十、SN 2008ip及SN 2009au的 V-R color curves。(SLT、LOT以及SMARTS 1.3m telescope)



←圖十一、SN 2008ip及SN 2009au的R-I color curves。(SLT、LOT以及SMARTS 1.3m telescope)

↓圖十二、SN 1988Z的B-V、V-R及R-I的顏色變化。Fassia et al. 2000)

↓↓圖十三、Ia型超新星的B-V顏色變化。(Wang et al. 2005)

等數值作為比較一天體顏色的方法。以B-V為例，這代表B波段的星等減去V波段星等，由於星等值越小則亮度越高，因此當B-V值越高則代表此天體在V波段較B波段亮越多，也就是此天體的顏色越藍的意思。比較三個IIn型超新星SN 1988Z、SN 2008ip及SN 2009au的B-V、V-R及R-I色曲線，B-V的值皆在第八十日左右達到最高，表示在此之前超新星的顏色是逐漸偏紅，直到第八十日左右趨勢才轉為逐漸偏藍。而V-R和R-I的曲線則顯示超新星的顏色越來越紅。比較Ia型和IIn型的B-V色曲線，B-V值皆為先上升再下降，表示一開始的光由於有周圍的環星物質以及超新星產生的塵埃造成的偏紅現象，待超新星的噴流逐漸將環星物質推開後我們方可看到內部較為炙熱的核心，後期的顏色才轉為偏藍。Ia型的轉折點發生在光度最大亮度時期後十天至二十天左右，而IIn型則發生在八十至一百天左右。

黃立晴:國立中央大學天文研究所
碩士班研究生

