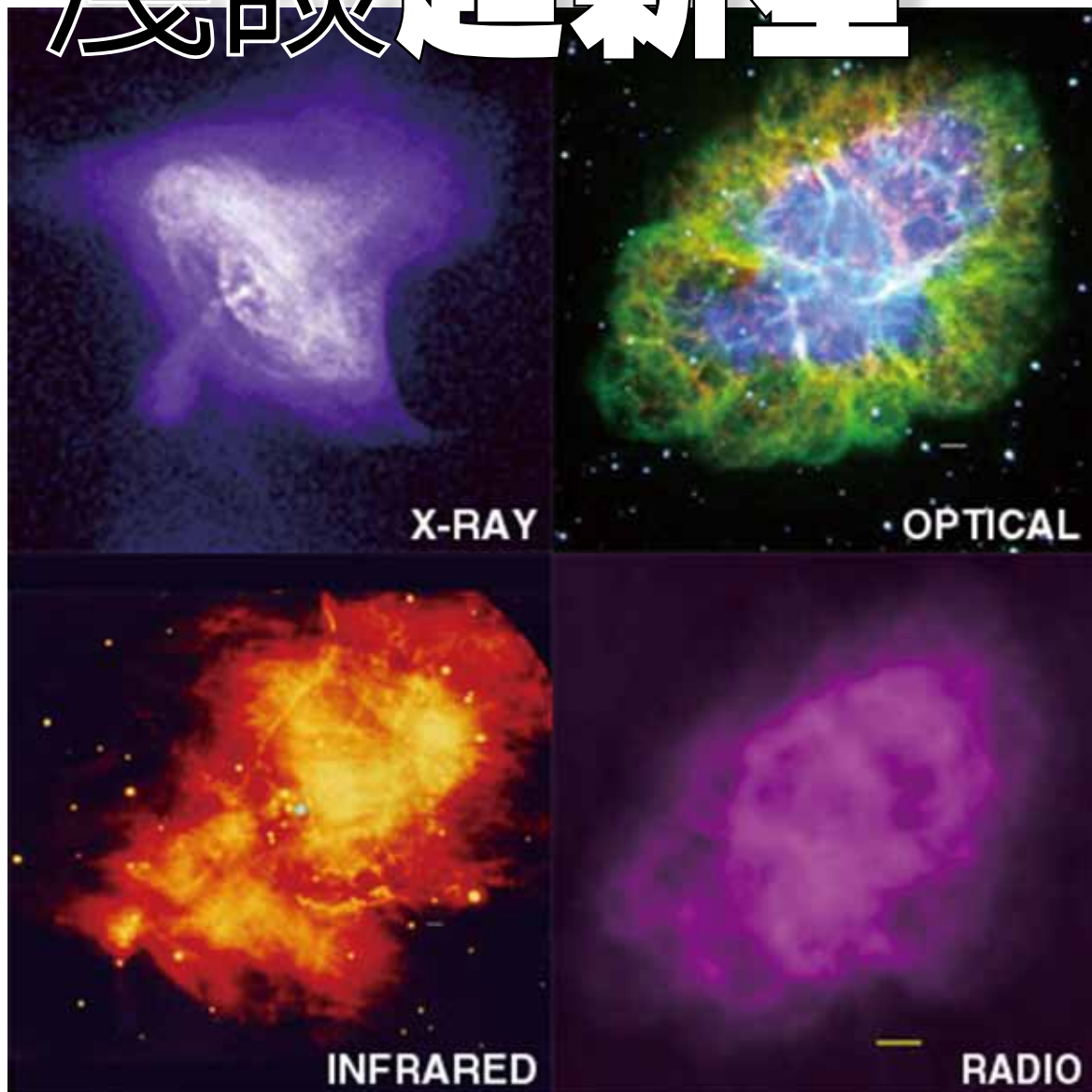


銀河系的超新星爆發

西元1054年7月4日，也是宋仁宗至和元年的五月己丑日，當時掌管天文的政府官員正在紀錄星空的變化時，於天關(即金牛座靠南邊牛角的 ζ 星)附近發現了一顆突然出現的亮星，此亮星因而被稱作「天關客星」。根據歷史記載，天關客星於發現後的23天內，其亮度比金星還亮，連白天都可在天空看到這顆明亮的客星。這顆客星，一直到西元1056年4月5日為止的643天內，其亮度達肉眼可見的程度，當時的天文官員也詳細觀測記錄天關客星的位置、顏色和亮度的變化。原來，這顆天關客星，是一次的超新星爆炸，被古人直接以肉眼觀測並詳加紀錄於史料中。

淺談超新星

文/ 黃麗錦



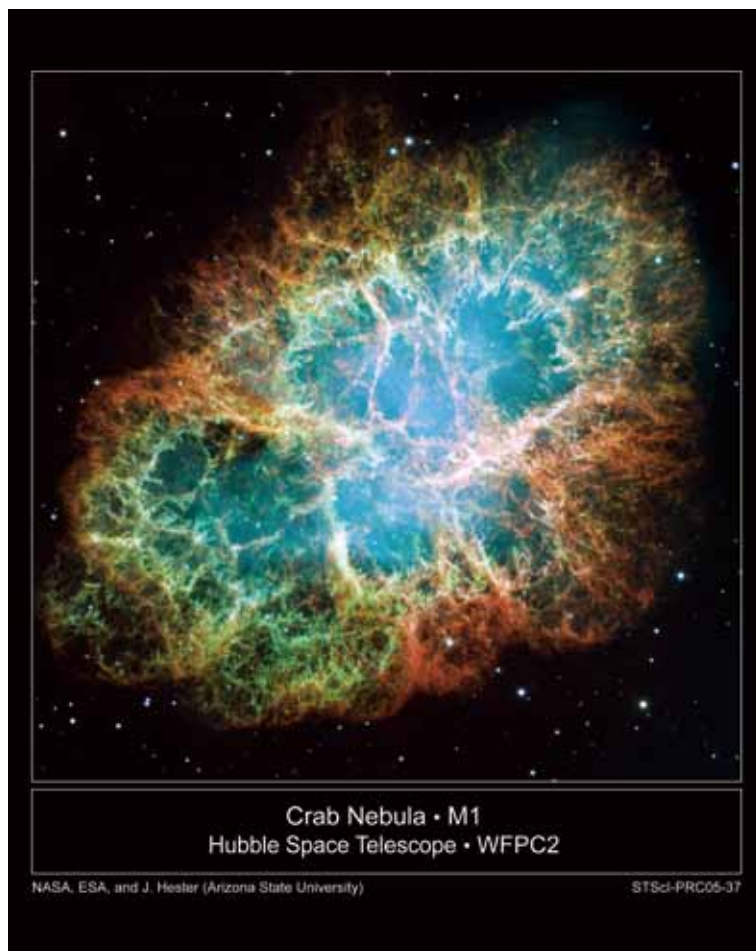
圖一：不同波段下的蟹狀星雲。左上：X射線（錢德拉太空望遠鏡）；右上：可見光（帕羅瑪望遠鏡）；左下：紅外線（凱克望遠鏡）；右下：無線電波（特大天線陣列）圖片來源：<http://www.aip.org/png/html/crabneb.html>

所謂的超新星是初始質量8倍於太陽質量的恆星，在其演化末期時所經歷的劇烈爆發現象。其爆發所發出的光相當於 10^7 - 10^{10} 倍的太陽光，若以能量計算，則相當於 10^{27} 枚氫彈同時爆炸的威力（每枚氫彈約10兆噸TNT炸藥）。如此強大的能量使得超新星可以持續幾周，幾個月，甚至一年才逐漸消失不可見。而超新星爆炸的過程中會將其大部份物質以高達十分之一光速的速度向外拋散，並與其周圍的星際物質碰撞而產生激波，進而形成一個以氣體和星際塵埃組成的球殼狀或是雲狀結構，被稱為『超新星殘骸』。

西元1731年，英國天文愛好者畢斐斯(John Bevis)於金牛座的牛角尖發現一團暗淡的星雲。而在1758年，法國業餘天文學家梅西爾也發現了同一團星雲，並將此星雲列為梅西爾星雲目錄中的第一號，稱“梅西爾一號 (M1)”。

西元1844年，法國業餘天文學家羅斯 (Lord Rosse) 爵士使用90公分望遠鏡觀測M1，發現此星雲有許多絲狀結構，並於西元1848年使用當時最大的180公分望遠鏡重新觀測，進一步發現M1的形狀看起來像是一隻螃蟹，因此稱此星雲為「蟹狀星雲 (Crab Nebula)」。

此後，天文學者不斷對蟹狀星雲進行觀測研究，更發現了其雲氣正不斷的向外膨脹擴張，這隻天上的螃蟹，因時間的演化而長大。根據此性質，天文學者推斷出蟹狀星雲就是中國史料記載的天關客星，是一個超新星爆炸後留下的殘骸。不僅如此，無線電波天文學者更於1968年在蟹狀星雲裡偵測到一顆的無線電波脈衝星



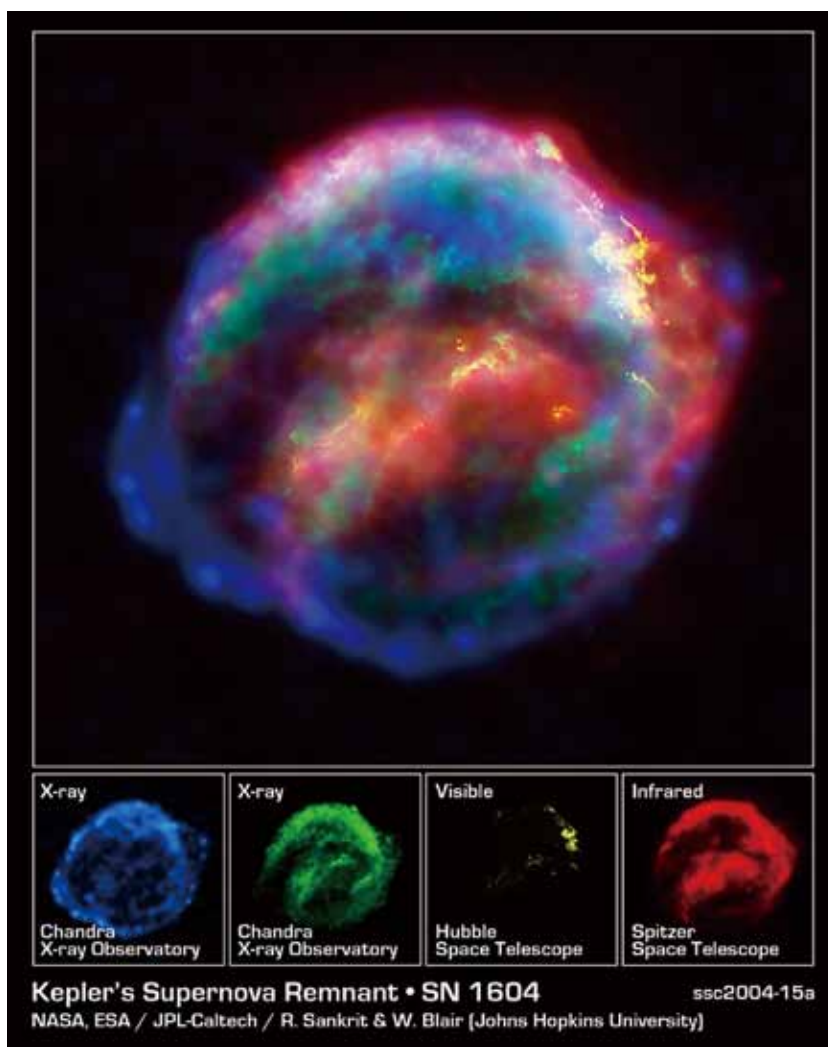
圖二：哈柏太空望遠鏡拍攝的蟹狀星雲高解析影像。
圖片來源：<http://apod.nasa.gov/apod/ap080217.html>

（簡稱波霎），而這顆脈衝星，其實是一顆直徑約28-30公里，質量約一個太陽重，每秒轉動33圈的中子星，其強大的磁場使得發射的電磁波會隨著中子星自轉而以脈衝的形式朝我們發射。從高能的伽馬射線波段一直到可見光波段，甚至無線電波段觀測都可偵測到這顆中子星的脈衝現象，這顯示著這顆位在蟹狀星雲的中子星是個年輕的中子星。錢德拉X射線衛星所拍攝的蟹狀星雲高解析度照片（圖一）解析出位於星雲中央的中子星是被一團光亮的環所包圍，而此光環半徑長1光年，是由高能粒子組成。而這些高能粒子是從中子星射出，並將附近的星際物質加熱，而變成美麗且光亮的蟹狀星雲。哈柏太空望遠鏡的多色合成影像（圖二）顯示，瀰漫在星雲中心的藍綠色發光氣體雲，是中子星加熱其周圍氣體所產生。而多彩的絲狀結構則顯示者星雲中含有不同的化學元素，例如：氫（橘色），氦（紅色），硫（粉紅色），以及氧（綠色）。這些元素則是恆星經由超新星爆炸過程散佈在星際介質中。

蟹狀星雲，歷時一千多年，天文學者才對其各種面貌的成因有所了解，也伴隨著許多理論的發展（例如：中子星，大質量恆星演化等），才將所觀測到的現象串連起來，也進而證實了某些大質量恆星在他們演化末期，會經由超新星爆發的模式結束生命，並促成了中子星與波霎的機制，以及殘骸膨脹擴張的性質。而原本包含在恆星內部的一些元素，也經由超新星爆炸過程，散佈在周圍的星際空間。天文學者分析所有歷史記載可能是超新星爆發的現象，並確定有七次的超新星爆發被古人所紀錄。根據這七次超新星發生的時間估計，我們約100-300年可目睹一次銀河系的超新星爆發。最近的一次是1604年被克卜勒於蛇夫座發現的「克卜勒超新星」（圖三），又稱SN1604，為銀河系內最後一次被發現的超新星，僅距地球2萬光年。

大麥哲倫雲 與SN1987A

西元1987年二月，天文學者謝爾頓(Ian Shelton)和杜阿爾德(Oscar Duhalde)使用位在智利拉斯坎帕納斯天文台的望遠鏡觀測大麥哲倫星系時發現了一顆質量約20個太陽重的藍超巨星(Blue Supergiant)在大麥哲倫星系內的蜘蛛星雲外圍，並離地球約十六萬八千光年處爆發。由於這是1987年第一顆被發現的超新星，因此稱作「SN1987A」（圖四）。SN1987A，為伽利略自1609年發明望遠鏡以來，離地球最近，肉眼可見



圖三：不同波段下的克卜勒超新星遺骸（SN1604）。圖片來源：<http://www.compadre.org/Informal/images/features/sn1604large6-11-07.jpg>



圖四：哈柏太空望遠鏡拍攝的SN1987A遺跡。圖片來源：http://www.astronet.ru/db/xware/msg/1175570/sn1987a_hst_big.jpg.html

的明亮超新星爆發，也是天文學者第一次看到一顆星球由超巨星轉變成超新星。此超新星釋放的能量相當於太陽的一億倍，其亮度於1987年5月達到極大值，視星等為3等，之後漸漸變暗，最後剩下爆炸後的遺跡。

與蟹狀星雲一樣，天文學者使用先進的天文儀器觀測SN1987A的遺跡。據理論模型預測，SN1987A在爆炸後應會遺留下一顆中子星。然而，哈柏太空望遠鏡對SN1987A拍攝了最清晰的影像，卻無法找到預測的中子星。對於失蹤的中子星，天文學者認為中子星可能吸收了太多物質，進而塌縮成為黑洞，因此無法被觀測到。

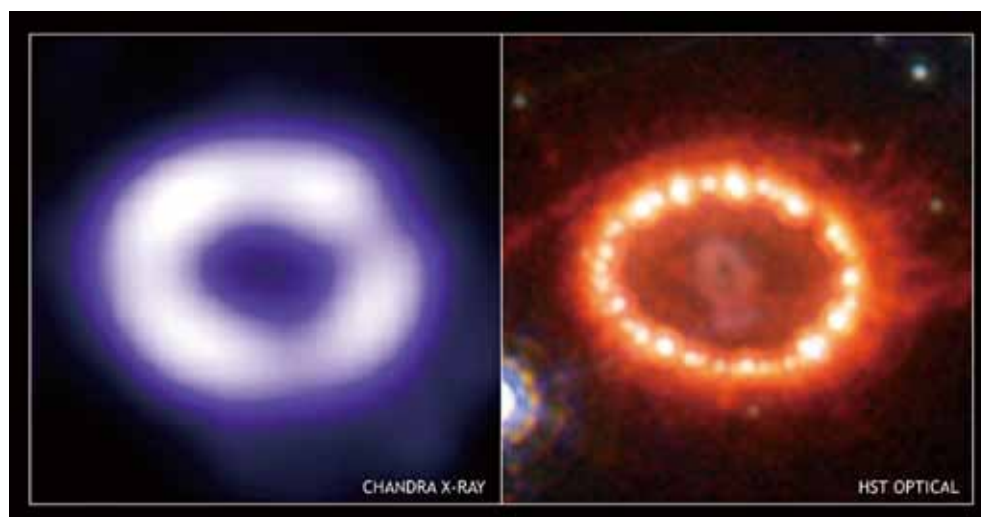
理論模型也預測，當超新星爆時會釋放出大量的微中子。在SN1987A爆發的光線到達地球的三小時前，全球各地有三台微中子偵測器同時偵測到一股微中子爆發，為史上首次直接偵測到超新星爆發產生的微中子。天文學者透過觀測數據推測微中子比光子早三小時到達地球的原因是微中子在超新星爆發時比光子更早被射出來。

雖然SN1987A的爆發提供許多珍貴資訊並驗證某些理論模型預測，然而實際的觀測結果，同時也挑戰著超新星理論模型。例如，SN1987A的前身星是顆藍超巨星，而不是理論模型推測的紅超巨星。可能的解釋是，當超巨星的外部物質距中心較遠，所受到引力小，所以很容易流失外部的物質。當恆星演化到超巨星階段時，大量流失

其外部質量時，便有可能演化成表面溫度較高的藍超巨星。

直徑1光年由塵埃和氣體組成的環狀結構，以非常緩慢的速度向外擴張並不斷變化的SN1987A為超新星演化的一個里程碑，提供了許多線索供天文學者研究超新星如何爆炸噴出氣體，並與周圍氣體與星際介質的作用。天文學者於1996年，也就是超新星爆發後的9年後，首次在SN1987A的外圈發現一亮點，然而在2003年哈柏太空望遠鏡拍攝的SN1987A影像中，發現亮點增到數十個分布在外圈上，如同一串珍珠項鍊。這些「珍珠」則是在超新星爆發後產生的音速衝擊波，以每小時約百萬公里的速度撞上恆星爆發前所噴出的氣體，並將氣體加熱而產生的光點。天文學者認為之後會陸續出現更多類似的光點，而藉由研究光點的位置和其特性，可進一步推測超新星爆炸前是如何噴發物質至太空中。

不僅如此，在SN1987A爆發後的29年，也就是西元2006年，Dwek等人使用位於智利的八米雙子星南座望遠鏡進行紅外觀測，意外發現了SN1987A原始星在爆發前所製造的塵粒，這些塵粒竟在超新星爆炸後將近20年後，存在於爆炸震波中，隨著遺跡的擴張而前進，低溫的塵粒被加熱到紅外線偵測器可以偵測到的溫度。這是天文學者首次直接觀測並證實塵粒可在超新星爆發後繼續存在，也是首次觀測到低溫的塵粒可與達數百萬度，可輻射出X射線的氣體混雜在一起（圖五）。



圖五：SN1987A內環。左圖：錢德拉X射線影像。右圖：哈柏太空望遠鏡的可見光影像。圖片來源：http://asc.harvard.edu/newsletters/news_13/sn1987a.html

鄰近的超新星爆發，不但給與天文學者有機會一窺大質量恆星經歷激烈的爆發併產生絢麗的超新星遺跡，更可使用先進的天文儀器觀測解析研究天文物理的重要課題。例如：恆星從演化到末期，然後如何爆發成超新星並散發高能粒子，到其拋出的氣體如何與周圍星際物質作用的產生我們所觀測結果。然而一個星系中要產生超新星是很罕見的，更無法事先預期何時何地會產生超新星。歐洲太空總署(ESA)的INTEGRAL天文台偵測銀河系中因大質量恆星和超新星爆發所產生的放射性鋁(Al-26)的含量，確定我們的銀河系約每隔50年會產生一個超新星。然而銀河系中心的厚重灰塵嚴重吸收了超新星爆發時所產生的可見光，因此大大降低目睹銀河系超新星誕生的機會。所幸，宇宙中分布著許多星系，若我們長期監測這些星系，即有機會取得更多可供研究的超新星樣本。

發現其他星系的超新星

研究超新星，要先發現他們，並作長期的追蹤監測。通常，超新星在爆發後，其亮度會慢慢增加，在達到亮度極大值後，其亮度開始慢慢變暗。因此在其他星系發現剛爆發不久，也就是亮度達到極大值前的超新星，對超新星的研究極為重要。

發現其他星系超新星，業餘天文學者的貢獻超越了專業天文學者，他們通常使用光學望遠鏡觀測一些鄰近星系，並與以前的觀測圖片作比較，來找超新星。此方法發揮了很重要的作用，也找到不少位在其他星系的超新星。越來越多的超新星被發現，如何有系統的命名所發現的超新星顯得相對重要。所有發現的超新星，都必須通報給國際天文聯合會，當國際天文聯合會收到相關的超新星報告後，會將超新星命名。

超新星命名的規則是由發現超新星的年份加上一至二個英文字母。例如一年中首先被發現的26顆超新星會用A到Z的大寫字母表示(例如：超新星1987A)；從第27顆開始則是用兩個小寫字母表示，從aa,ab,ac...ba,bb,bc...的順序開始(例如2005年發現的第30顆超新星，稱為SN 2005ad)。

而歷史上的超新星則只需以發現的年份命名，例如蟹狀星雲又稱SN 1054，克卜勒超新星又稱SN 1604。

20世紀末，許多天文望遠鏡已用電腦控制操作，而拍攝星體的底片也進步到用電子藕合元件(稱CCD)來紀錄觀測結果。透過撰寫電腦程式控制望遠鏡進行星系的監測，並開發偵測軟體將同一星系不同時間觀測的影像相減，來找新產生的超新星。此方法有效的提升超新星發現的數量，從每年數十顆增加到每年數百顆的發現，也是目前搜尋超新星的業餘和專業人士所採用的方法。

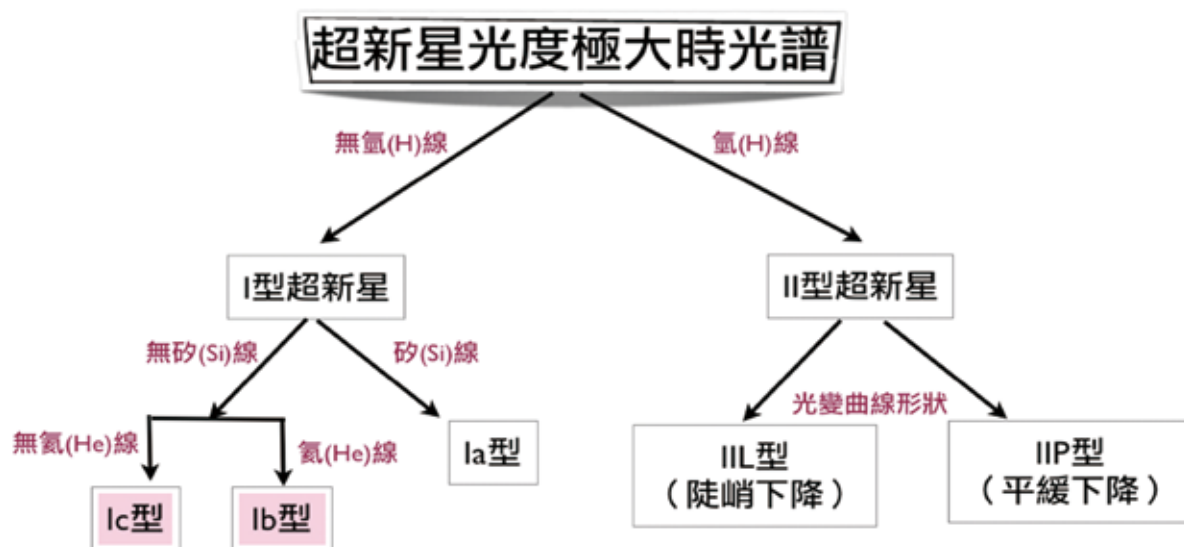
超新星研究及分類

目前對超新星的認識研究主要來自光學波段的觀測。天文學者對新發現超新星長期監測，紀錄不同時間，超新星的亮度變化，我們稱此為光變曲線。

同時，天文學者也會對超新星拍攝光譜。由於可見光中包含不同波長的光，而這些光在介質中有不同折射率，因此當可見光通過固定幾何形狀的介質(例如三稜鏡)，不同波長的光線會因射出不同折射角而產生色散現象(例如白色的太陽光，藉由此原理可分成紅橙黃綠藍靛紫連續分布的彩色光譜)。然而，每種元素都有自己的特徵光譜，且不同元素會有不同位置、不同性質或是缺少某些譜線，因此可透過拍攝天體光譜來鑒別天體的物質組成以及其化學特性。

天文學者根據超新星光譜將超新星分成I型和II型超新星。區分不同類型超新星的第一要素為超新星光度極大時其光譜中是否含氫的吸收譜線。若超新星光譜中包含氫的吸收譜線，則被分類為II型超新星；否則則被分類成I型超新星。從這一基礎，還可根據譜線中其他元素的吸收譜線和光變曲線，來分出更細的分類(圖六)。

分析累積的超新星觀測資料，目前我們知道超新星爆發可經由(1)兩顆白矮星或是一顆白矮星和一顆主序星互相吞食合併而產生，Ia型超新星是



圖六：超新星光度極大值時的光譜分類。

屬於此類型的爆發，通常可在橢圓星系或是螺旋星系被發現；(2) 大質量恆星在演化末期藉由核心塌縮所造成的爆發，Ib, Ic型（產生黑洞）或是II型（產生中子星）超新星是屬於此類爆發，通常在螺旋星系中被發現。

透過超新星的觀測資料，天文學者歸納出Ia型超新星具有特徵性的光變曲線，其發出的光輻射來自內部放射性元素衰變所釋放出的能量。一般認為Ia型超新星的光變曲線具有相同的亮度極大值，這使得Ia型超新星可被用來作為天文學上的標準燭光，進而用於測量宿主星系的距離。雖然天文學者歸納出分類超新星的準則，但還是有一些特異的超新星被發現。天文學者發現某些Ic型超新星爆發的能量比平均超新星爆發能量大上十倍，甚至百倍，這些超新星稱作「巨超新星(Hypernova)」，某些Ic型超新星甚至被證實與另一種高能爆發伽瑪射線爆相關。

結語

超新星是種罕見的激烈爆發現象，因與許多重要天文物理研究有密切關係，因此在天文學研究中佔有重要的地位。大質量恆星如何演化到末期，然後以壯烈的超新星爆發過程結束其一生且

留下中子星。爆炸時產生的高能激波向外擴張並與恆星末期拋出的氣體或是星際介質交互作用，產生絢麗且持久的遺跡成為銀河系內主要的電波、X射線以及伽馬射線源，使得超新星成為高能物理研究的主題之一。同時，超新星處於極端的條件下進行核融合，成為高能粒子交互作用的實驗室，引起了核物理學對超新星研究的重視。

超新星爆炸合成了一些重金屬（例如金，銀），這些重金屬隨著向外擴張的激波，散佈在宇宙的星際介質中，成為孕育新一代恆星的種子。我們地球上的元素，都是經由這樣的過程累積而來的。

隨著天文儀器的進步，天文學者研究分析超新星的數量也越來越多，然而我們對於超新星的認識只是冰山一角，還有許多有待解決的問題（例如：超新星雖可從觀測性質分類，但也有些混合型的超新星，造成分類的困難；還有為何有些藍超巨星會像紅超巨星產生超新星）甚至一些未知的新發現(例如：大廣角巡天觀測發現的超亮光學瞬變天體可能和Ic型超新星有關聯)，都等待著天文學者發掘更多的超新星樣本來進一步研究解析超新星與其他天體的關聯。

黃麗錦:中央研究院天文及天文物理研究所，博士後研究員。