

# 變化萬千的變星

傅學海

國立臺灣師範大學 地球科學系

變星，一種亮度會變化的星星。

「一閃一閃亮晶晶，滿天都是小星星，掛在天上放光明，好像許多小眼睛」朗朗的兒歌，說出了一般人心中對星星的印象。星星彷彿是恆古不變的，一直就在哪裡閃爍著，很難想像星星的亮度居然也有變化，有些星星亮度的變化甚至明顯到人人都能察覺。

在將近兩千年以前，古希臘人認為恆星是永恆不變的，壓根兒不會去想、或去看恆星的亮度有沒有變化。雖然在西元前二世紀的希臘天文學家依巴谷（Hipparchus）偶然的在天蠍星座看見一顆星星，但是那兒原來並沒有星星。這情形真是太奇怪了，這使他製作了一份星圖星表，可以用來檢查恆星是否會從空無一物中再次出現。這是西方最早發現變星的記載，現在了解依巴谷發現的可能是一顆超新星。

隨後千年流逝，星空彷彿古井之水一樣沒有變化。但是隨著文藝復興的興盛，第谷（Tycho Brache）與刻卜勒（Kepler）兩人分別在一五七二年、在一六〇四年看見並仔細測量出現在仙后座與蛇夫座的星星，這兩顆星星都像恆星一樣動都不動。所以當時認為它們是新誕生的恆星，稱為新星（nova，拉丁字，意為新誕生的恆星）。這些被稱為「新星」的星星，經過數個月至一年便黯淡而消

失了。但是，人們仍然沒有體認到一般恆星的亮度會產生變化。

有趣的是，這些被稱為「新星」的星星，在現代天文學中，卻是恆星演化末期爆炸時的景象，而且被更名為「超新星」。「新星」屬於一種亮度陡然增亮、但是增亮程度沒有「超新星」那麼亮的天體，而且幾乎都屬於雙星系統。用現代天文術語來說，新星的亮度增加約幾百萬倍，而超新星的亮度就超過一億倍了。

## 變星的發現與確認

文藝復興不僅是歐洲大事，也是人類歷史中的重要時期，許多新觀念、新技術都在這時候萌芽、茁壯，也是現代科學啟蒙時期。由於亞里斯多德學派認為天體是完美的、是恆久不變的，所以整個中古歐洲都認為恆星的亮度應該是恆久不變的。但是就在文藝復興時期，亞里斯多德學派以及教會等權威所認定與宣揚的觀念，都受到衝擊與挑戰，有些觀念甚至被證明是錯誤的。

恆星亮度恆久不變的挑戰終於在一五九六年降臨。這一年的八月十三日晚上，荷蘭有一位牧師大衛·法巴雷克斯（David Fabricius, 1564-1617）觀察星空時，在鯨魚座看見一個亮度為三星等的恆星，竟然在幾個星期內就黯淡下去到看不見了。但是，更

令人訝異的是，法巴雷克斯竟然在一六一九年二月十五日晚上又在鯨魚座同一位置看到了這顆星。拜葉（Bayer）在一六三三年繪製星圖《Uranometria》時，將這顆星列為鯨魚座  $\epsilon$ （ $\epsilon$  Ceti，注意這是希臘字母 omicron，不是英文字母 o）星，亮度標記為四星等。

荷蘭的赫娃達（Jan Fokkens Holwarda）在一六三八年再度發現這顆星，並持續觀測了數年，他在一六三九年推算出這顆星的亮度變化約十一個月的週期。海威里斯（Johannes Hevelius，1611-1687）從一六五九年至一六八二年持續的觀察這顆星。而且他在一六六二年出版的一本書《奇妙的恆星史》（*Historiola Mirae Stellae*），將稱鯨魚座這顆亮度會變化的星稱為「米拉」（Mira）。Mira 是拉丁字，意思是「奇妙的」，便被流傳下來，這是第一顆被確認光度會呈現週期性變化的恆星。

現在知道米拉是一個體積膨脹、收縮的脈動星，最亮時約為 3 星等，最暗時的亮度約為 10 星等。但是最亮與最暗時的光度卻有一些不規則，例如有時最亮可達 2 星等。米拉距離約為四百光年，是一顆紅色、低溫的超巨星，最暗時的光度與太陽差不多，但是最亮時的光度卻是太陽的七百倍左右，有時更可達到一千五百倍。

天文學家與業餘觀測者發現了許多與米拉同性質的變星。其中，米拉是長週期脈動變星中最亮、最著名的一顆星，因此成為這一類型變星的代名詞：米拉（型）變星。

義大利天文學家蒙坦雷（Geminiano Montanari，1633-1687）在一六七一年曾經寫

下英仙座第二亮星的亮度會改變。這顆星是大名鼎鼎的英仙  $\beta$ （中名大陵五），專名為「阿古爾」（Algol）。Algol 是阿拉伯文，意思是惡魔的頭。而在希臘神話中，這顆星是蛇髮女妖梅杜莎（Medusa）那滿頭蛇髮的頭。任何人看見梅杜莎的頭都會化成石像，勇敢機智的英仙斐修斯（Perseus）利用盾牌當鏡子，看著盾牌中的影像殺了梅杜莎。英仙星座的圖像便是斐修斯手中拿著梅杜莎頭的情形。

「天生我才必有用」這句話在許多方面都有深刻的呈現，在變星觀測史上，也彰顯了這句話的內涵。英國有一位聾啞的青少年古德列克（John Goodricke，1764-1786），在好朋友的共享下，享受用望遠鏡觀星的樂趣。

古德列克是首先發現「大陵五是一個週期性變星」的人，他觀測的光變週期是六十八小時五十分鐘。這結果於一八七三年在不列顛皇家學會中報告，並提出兩種說法來解釋這現象，第一個可能是有一個看不見的暗星圍繞著大陵五，週期性的互食所形成；第二個可能是大陵五本身有一個暗斑（類似太陽黑子），隨著自轉，週期性的面對我們而呈現週期性變暗的情形。目前天文學家認為大陵五是雙星互繞互食的系統。

辛勤的工作帶來美好的果實，古德列克在一七八三年又發現天琴座  $\beta$  是另一個週期性變星，光度每十二天又二十小時重複一次。在一七八四年，當時十九歲的古德列克在十月又發現仙王座  $\gamma$  星的亮度也呈現週期性變化。

仙王座  $\gamma$  星的亮度變化週期約為五十四天，最亮時為 3 星等，最暗時為 5 星等。有

趣的是，米拉最暗時，肉眼無法看見，而仙王座星在最暗時仍然可以看見。任何人如果耐心觀察，都能看見仙王座星的亮度變化。另外，米拉的週期不但長，而且也略有不規則，每次最亮時的亮度都略有不同。但是仙王座星的週期與亮度變化曲線都非常規則，穩定重複的亮、暗，每五天又八小時四十七分二十八秒循環一次。

令人悲傷的是，古德列克因患肺炎在一七八六年冬天去世，享年二十一歲。年紀雖輕，卻在天文圈中「留名青史」。

後來陸續發現許多這類型的變星，便通稱為仙王座（型）變星，至一九九一年時已經發現了一千多個仙王座變星。在中國流傳下來的星名中，仙王座星被稱為「造父一」，因此仙王座（型）變星翻譯為造父（型）變星。

變星的亮度為什麼會產生變化？變星有多少種類型？種種問題引起許多天文學家的興趣，開始系統性的找尋變星，並且持續性的觀測變星。變星的數量隨著時間流逝與觀測技術的進展開始增加，當攝影技術被用在變星搜尋計劃中時，可以在同一幅影像中找到許多變星，變星的數量也就快速增加。

天文學家將觀測資料處理分析後，以論文的形式出版，俄羅斯科學院匯集所有已經發表的變星資料，出版變星總表（General Catalog of Variable Stars，簡稱 GCVS），並持續更新。在一九九一年時，變星總表第四版已經登錄 28435 顆變星的資料。

不過，變星的數量一直在變動中。在學術界，每當發現一顆變星或有什麼風吹草動

的消息，都會寫一封短訊給「變星情報快訊」（The Information Bulletin on Variable Stars，簡稱 IBVS）。這是一份由位於匈亞利布達佩斯的空古利（Konkoly）天文台負責的刊物，由國際天文聯合會（IAU）第 27 與 42 委員會（Commissions 27 and 42）所賦予的任務。因此要知道最新的訊息，「變星情報手冊」是不可或缺的選擇。

但是近年來針對麥哲倫星雲或銀河中心恆星密集區，進行一些特殊的觀測計劃，一個晚上可以監測百萬顆恆星，數個月至一年下來，發現大量的變星。

## 變星的命名

雖然人人都有姓名，但是命名的方式中外有別。例如中國人的姓或名大都是一或兩個字，而且都是先念姓、再念名。但是歐美的姓或名常是多音節，而且恰恰與我們相反，先念名、再念姓。而且隨著年代的不同，習慣也隨著變化，例如歐洲在文藝復興以前，提到某人的話，前面常提到地名，例如在臺灣的張三，在美國的查理等等。

恆星也有其命名的方法，一般以星座為姓、希臘字母或阿拉伯數字為名，例如天鵝座 $\alpha$ 、天鵝座 61 星（西方命名順序剛好顛倒， $\alpha$  Cygni、61 Cygni）變星，則有其獨特的命名法則，也是以星座為姓，但卻以因英文字母或數字為名。在同一個星座中，第一個被發現的變星命名為 R、第二個為 S、依序為 T、U、V、ZZ（參見表一）。但是第 334 個以後被發現的變星，則用英文字母 V 加一個數字作為名字，V 是英文單字 Variable

(變化)的縮寫。

表一：在同一個星座中，前 334 個變星的命名法則

R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	9 個
RR	RS	RT	RU	RV	RW	RX	RY	RZ	9 個
	SS	ST	SU	SV	SW	SX	SY	SZ	8 個
		TT	TU	TV	TW	TX	TY	TZ	7 個
							YY	YZ	2 個
								ZZ	1 個
AA	AB							AZ	25 個 (沒有 AJ)
	BB							BZ	24 個 (沒有 BJ)
			II	IK				IZ	17 個 (沒有 IJ)
				KK				KZ	16 個
									11 個
						QQ		QZ	10 個
									共 334 個

在天文慣例上，手寫的英文字母 J 容易混淆，並不使用。

以天鵝座中的變星命名為例：

第一顆被發現的變星：天鵝座 R (R Cyg)。

第二顆被發現的變星：天鵝座 S (S Cyg)。

第 334 顆被發現的變星：天鵝座 ZZ (ZZ Cyg)。

第 335 顆被發現的變星：天鵝座 V335 (V335 Cyg)。

第 475 顆被發現的變星：天鵝座 V475 (V475 Cyg)。

凡事都有例外，變星的命名法則也不例外。有少數變星，在原先命名時並不知道它是變星，後來才發現它是變星，則常使用原來的名稱而不使用變星命名，例如仙王座 (造父一) 雙子座  $\alpha$  星、天琴座  $\beta$ 、英仙座  $\beta$  (大陵五)。

## 變星分類

當變星成為天文學的一個分支後，很快的成長茁壯，成為了解恆星內部結構與雙星系統的重要工具。例如：

造父變星在距離測量上具有關鍵性地位，

藉著超新星探討重質量恆星演化末期的情形，

透過食雙星的光變線與光譜研究恆星倍重力拉扯變形的情形，

激變星的光變曲線與光譜可以研究環繞恆星周圍的吸積盤，

早期的變星研究，雖然也探討導致恆星光度變化的物理機制，但主要還是集中在變星光度觀測，獲得變星光度隨時間變化的情形。依據變星光度隨時間的規律性，大致將變星分為 (週期) 規則變星、半規則變星與不規則變星；或者分為長週期變星、短週期變星與不規則變星。其中像米拉 (型) 等長週期變星，光度變化的幅度大，很容易觀測，吸引了許多業餘觀星者的興趣，也是變星觀測新手的入門對象。

當天文學家逐漸了解變星的成因與本質以後，變星的分類也逐漸轉型。基本上，變星分為脈動變星、食變星、爆發變星與特殊變星，每一種再分為許多類型。脈動變星本身體積膨脹、收縮不已，形成脈動，最有名的當推米拉 (型) 變星、造父 (型) 變星、天琴座 RR 型變星、金牛座 T 型變星。而食變星是兩星互繞，週期性的互相遮掩，形成亮度呈現週期性的變化，著名的有大陵五 (型) 變星、天琴座  $\beta$  型變星、大熊座 W 型

變星。爆發變星屬劇烈的爆發事件，主要是新星、超新星。特殊變星又依據不同的物理性質分為許多次類，例如激變星、閃焰星。

如果採用最廣義的說法，則所有的恆星都是變星。因為恆星有其形成、演化的一生，它的光度總是會有變化的。基本上，像太陽這種主序星，處於穩定期，光與熱由核心的氫融合反應所提供，並不屬於變星。但即使是太陽，它的光度也有百分之一的些微變化。因此，如果將精確度提高至百分之一星等或更小，甚至達到萬分之一星等，則幾乎所有星星的光度多少都會有些微的變化，這些變化可能是恆星表面震盪所造成，或目前還不知道的原因。換句話說，當光度測量達到千分之幾星等以內時，變星的定義就變得模糊而無法精確定義。

基本上，屬於主序帶上的恆星並不視為變星。如果主序星的亮度有變化，則屬於物理機制的探討，並不用變星的理論來探討。

有些變星的亮度變化源自於恆星本身的

因素，稱為「本質變星」。例如體積膨脹、收縮形成脈動，導致光度呈現週期性的亮暗。但是，還有一些變星的原因是由外在因素造成的，例如兩星互繞時彼此遮掩而形成亮度變化的「食變星」，或不發光的行星通過恆星前面時（稱為行星掩星現象），導致亮度稍微暗下來，或微重力透鏡事件導致的亮度變化。微重力透鏡事件是一些暗天體（棕矮星、行星）剛好在恆星與觀測者之間通過時，由於恆星、暗天體、觀察者三者幾乎形成一線，使得遠方的恆星星光被暗天體的重力聚焦，恆星的亮度因而增亮再回復原狀的情形。

其中食變星的成因是兩星互相遮掩所造成的，所以又常稱為食雙星。食雙星依據兩星靠近的程度、軌道傾斜的程度、兩星是否有物質交流的情形，而有不同的分類。單存的食變星，是指兩星相距較遠，彼此的重力不至於將星體本身變型，也沒有物質流失或交換的問題，可以很精準的由其光度變化曲線，推算兩星的軌道、相對大小等重要參數。其他情形，則依據個案而有不同的處理。

#### 變星分類

脈動變星：米拉變星、造父變星、天琴座 RR 型變星、金牛座 T 型變星

食變星：大陵五變星、天琴座 型變星、大熊座 W 型變星

爆發變星：新星、超新星

特殊變星：激變星、次矮星雙星 (sdB)

下一節以金牛座 T 型變星為例，了解天文學家如何研究變星。

### 金牛座 T 型變星

（本小節內容較深，一般讀者可以跳過）

在一九四五年，天文學家喬 (Joy) 最先

將十一顆混雜在星雲中、具有發射譜線的變星稱為金牛座 T 型變星，到一九六二年已經發現一二六顆比 14.5 星等亮的金牛座 T 型變星。這些變星通常籠罩在瀾漫星雲中，表面溫度較低。除少數外，光度變化不規則，光度變化的幅度從十分之幾星等到幾星等，常

伴隨著氫的發射譜線，也常有鈣離子（Ca II）的譜線。由光譜分析，顯示金牛座 T 型變星有物質流出的現象，噴發的速度由每秒二二五公里至四二五公里不等，而且隨時間變化。

在 H-R 圖中，金牛座 T 型變星分佈在主序帶的右上側，顯示它們是非常年輕的恆星，為進入主序星之前的恆星，屬於前主序星（pre-main-sequence stars）。

依據光譜中發射譜線的強弱，又分為典型金牛座 T 型變星與弱金牛座 T 型變星兩類，前者比後者活躍。典型金牛座 T 型變星（CTTS）發出很強的恆星風，被認為是物質由周圍盤面向中央吸積所致，這些物質是恆星形成過程中留下的殘餘物；相對的，弱金牛座 T 型變星就缺乏強烈的恆星風與吸積盤，可能是強金牛座 T 型變星演化的後期階段，周遭環星盤擴散後的結果。

原則上，混雜許多年輕恆星的瀰漫星雲中，是最適合進行金牛座 T 型變星觀測。但是實際上，這些恆星形成區都距離太陽很遠，遠在五百光年以外，因此很難觀測光度的細微變化。金牛座 T 型變星的光度呈現某種特性的變化，其中有許多為週期性的光度變化，被認為是恆星表面具有星斑隨著自轉的結果，這些星斑可以是冷的（像太陽黑子），也可以是熱的（像太陽色球中的譜斑）。以太陽作為類比，分析金牛座 T 型變星光度曲線的型態、振幅與週期，可以估算出低溫斑點所在的緯度、大小與形狀，以及它們如何隨時間改變。以金牛座 V410 星（V410 Tau）為例，以六年五次的光度觀測數據，導出自轉週期為 1.8710 天，而且其光度變化的外貌

與振幅，符合模型所預期的星斑大小、溫度與分佈的變化（Vrba, Herbst and Booth 1988）。由於主序星之前期的恆星自轉週期是一個重要的參數，而且只能由光度觀測推得，因此有必要對金牛座 T 型變星進行長期的光度觀測。

Stuart N. Vogel 與 Leonard V. Kuhl 是最先有系統性的研究金牛座 T 型變星的自轉（Bouvier 1992），約有一百多顆金牛座 T 型變星的自轉速度被測量過。由於自轉速度小於每秒二十公里，反映出大多數的金牛座 T 型變星質量小於一 二五個太陽質量。在主序星之前的恆星中，觀測結果顯示自轉速度隨質量增加而加大，這可能是恆星形成過程的結果。

### 變星觀測

變星的數量太多了。相對之下，全世界的天文台與天文學家的數量少的可憐，雖然發現這許多變星，但卻沒有充分的人力與時間隨時盯著變星，這便讓業餘天文學家有了揚眉吐氣的機會。別忘了，發現變星的古德列克，在當時可是一位名不經傳的青年。

要分析變星的光度如何隨時間變化可不容易，但是觀測變星倒是非常簡單易行，只要紀錄變星的亮度與觀測時刻就可以了。雖然簡單，但是如果只有零星的觀測紀錄，也並沒有太大的價值。對於規則週期變星或半規則週期變星來說，光度觀測最重要的是要得到其光變曲線（light curve），也就是變星光度週期性變化的情形。而不規則變星，就只能累積觀測數據，探討其光度變化的物理

機制，數據當然是「多多益善」了。

### 變星觀測實戰手冊

對變星觀測有興趣的人或新手，可以挑選一些明亮的變星，即使在光害嚴重的都會區，也可以輕鬆的享受變星觀測的樂趣。有些甚至只用肉眼觀賞星空的人，也可以在觀賞星座或流星雨之際，享受觀測變星之樂。

對變星觀測者的建議：

#### (1) 建議使用雙筒望遠鏡進行變星觀測。

因為以肉眼透過雙筒望遠鏡觀測、直接估計變星的亮度與時間，是最方便與快速的方法。對有經驗的觀測者來說變星亮度的精確度約為 0.1 星等。在台北市區，使用口徑為五公分之雙筒望遠鏡，觀測的極限星等約為 6 星等或 7 星等；在遠離都市光害的區域，觀測的極限星等約為 9 星等甚至更暗。

#### (2) 選取適合的變星及其參考星、星圖。

參考變星星表（例如 Sky Catalogue 2000.0 volume 2），找尋適合觀測的變星。適合的意思是指符合觀測地點、設備與需求的條件。例如亮度比 7.0 星等亮的食變星，且光度變化幅度比 0.1 星等大。

至少選擇一顆變星進行觀測，但建議選取三至四顆變星。因為稍有經驗的人，觀測一顆變星只需要數分鐘，因此可以多觀測幾顆。

如果是一組人進行變星觀測，則同組成員討論估計變星光度的方法，並確定大家都用的是相同的方法與參考星。同組成員至少藉著一次共同觀測的機會，觀測同一顆

變星，確定觀測的方式，所得到的觀測數據，作為比對之用。

(3) 針對所選取的變星，準備相關的星圖與參考星。原則上，每一顆變星有一份參考星圖。

(4) 將所觀測的數據好好保存，或寄給相關的天文社團，或寄給《觀星人》雜誌。

(5) 當然，最好是累積足夠的數據後，加以分析，並將結果發表。

### 變星觀測注意事項

變星觀測記錄最重視的是光度與時刻，因此應該儘可能正確記錄觀測的時刻。每個觀測者所使用的鐘錶都需要校準，最簡便的方法是利用「117」電話報時台所播報的時刻作為依據。要留意的是任何一個鐘錶每天都會快慢不定，所以最好養成觀測前進行時刻校準的習慣。國際上，對專業天文觀測的要求，觀測時刻的精確度必須在一秒以內。

在光度方面，最重要的是：「在觀測時不要心存預設立場」，也就是說不要憑過去、昨天、甚至剛才的印象來估計變星的亮度，因為那樣你可能會無形、或無心的修正（不管正確或錯誤）正在進行的亮度估計。記住，每一次的觀測都是獨立的，即使與五分鐘前的估計不同，也要忠實的記下當時估計的數值。持續累積觀測，隨著數據增加，其平均值自然會反映正確的數值，因此絕對不要在進行變星觀測時，憑以前的印像來估計變星的亮度。

如果使用雙筒望遠鏡或天文望遠鏡觀測變星，記住必須把目標星或參考星放在視野

正中央來估計星等，不能利用同一視野中的參考星來估計目標星的星等。因為望遠鏡視野中心與邊緣的明亮程度不同，由相同視野中不同位置的參考星來估計，會使星等估計值產生偏差。比較好的方法是多次反覆將目標星與不同參考星分別置於視野中央觀察後，再估計目標星的星等。

註一：本文有關大陵五與古德列克之譯名，與本期天文酷迷專欄「殘而不廢的降魔高手，研究變星第一人—古德里克」略有不同，請參考括弧內的英文加以比對。不變之

處，還請讀者見諒

《星星的故事》中一章《變星的故事》，傅學海等著，1990年，新新聞文化社出版。

<http://www.seds.org/~spider/spider/Vars/mira.html>：簡短但完整介紹米拉星的發現與觀測歷史。

<http://me.in-berlin.de/~jd/himmel/astro/Goodricke-e.html>：簡明介紹古德列克的發現，並有大陵五中三星互繞的動態模擬、天琴座 $\beta$ 星食雙星的動態模擬、與造父的膨脹收縮動態模擬。

---

(上承第 60 頁)

### 第二次討論：教學模組綱要

鑽石 (陳貞怡)：針對國三學生，三小時課程。

- (1) 以一個心理測驗「鑽石形狀會說話」引起動機。
- (2) 介紹鑽石的歷史、傳說、產地、來源與形成過程。
- (3) 切工 (4C) - 車工、成色、淨度、克拉。切工關係到鑽石的品質、價值與特性。輔以市售鑽戒之切工為例。
- (4) 精神面與價值觀的導正：藉著鑽石的硬度象徵堅貞、亮度象徵閃亮，化自卑為自賞；以不同角度看鑽石的瑕疵來隱喻人生。

### 第三次討論

在教學中，如何教鑽石為什麼這麼亮？

切工、打磨、全反射

光線進入鑽石以後，不會在底部透出，又從原處或上面透出，因此顯示燦爛的光芒。這是利用「全反射」的概念，將鑽石切割成型，讓光線進入鑽石後，在鑽石內部全反射，而不會從底部漏光，全都由鑽石上面射出。

如何利用實驗或操作進行全反射教學，讓學生了解全反射的原理，連帶了解鑽石切割面為什麼要這樣設計。