

哈柏深景深幾許

本照片是哈柏太空望遠鏡的先進巡天相機在光學波段拍攝到的影像，是GOODS (Great Observatories Origins Deep Survey) 巡天觀測中南北兩天區的北天區 (GOODS-North)。本照片的中心即是著名的哈柏深景 (Hubble Deep Field)，但GOODS在深度與

廣度上都已大幅超越哈柏深景。這張照片中有超過三萬個處於宇宙不同時期的遙遠星系，從它們在照片中的亮度、形狀、顏色等資訊，我們可以研究星系是如何形成、演化、與分布，也可以研究早期宇宙的各種特性。



遙遠星系

太空望遠鏡或地面的大型望遠鏡拍攝的超長時間曝光影像，配合光譜觀測量出畫面中每個遙遠星系的距離後，就可用於宇宙大尺度結構與星系演化的調查與研究。然而，就算只有影像而沒有光譜，只從天體的顏色也可能推測出天體的距離，尤其是顏色特紅的天體。本圖中的微小紅點是距我們127億光年的極遠星系，其所處的宇宙只有10億歲。是宇宙目前年齡的8%，可以說是出現於宇宙嬰兒時期的太初星系。在這整張照片中，你能找出多少像這樣的小紅點呢？



變動天體

長時間曝光的GOODS-N巡天照片其實是疊合許多短曝光照片的結果。這些年累月所取得的許多短曝光照片很可能捕捉到一些時短時長的變體，如超新星爆發。名星是GOODS-N中一個小區域，在觀測時間在2003年4月5日的時機，可以看到左側的變體多出一個天體 (白色圓圈標示)，這是超新星2003dy。在整個GOODS-N巡天中，天文學家找到了22個像這樣的瞬變事件，其中絕大部份是極遠方星系的超新星。這樣的變體絕對是II型，可用於測定星系的成長速度，如果與Ia型則可做標準燭量天尺，測量宇宙在不同時間的膨脹速度。



遙遠星系

詳見正高色氏分布



中央研究院
天文及天文物理研究所
ACADEMIA SINICA
Institute of Astronomy and Astrophysics

【天文影像觀測】

天文觀測有兩大基柱：影像觀測與光譜觀測。其中，影像觀測的歷史最長，甚至可以追溯到遠古人類的夜觀天象—天體的東升西落以及恆星的排列在實用面上產生了基本的曆法，抽象層面上則創造出各種星座神話以及宇宙觀。古代的宇宙觀雖然不正確，卻標誌著人類對宇宙面貌的思考與探尋，這說明了好奇心與求知慾是深埋在人性裡而不可割捨的。

天文學真正開始在各種文明中發揮實質影響力的代表是第谷布拉赫（Tycho Brahe）與中國古代的天文學家；他們藉由儀器精確標註天體位置與行星的運行，催生更精確的曆法、克卜勒行星運動定律、與牛頓萬有引力定律，奠定了近代科學的基石。在伽利略自製望遠鏡並用於天文觀測後，赫歇爾等先驅透過天文望遠鏡對天體的運動、形貌、數量、亮度等特徵做了大量詳實的記錄。20 世紀的天文學家則使用攝影術取代人眼目視，讓天文影像觀測的靈敏度更高、有可再現性，且從此進入客觀定量的時代。

始於 19 世紀的光譜觀測雖然公認是讓天文學進步到天文物理學的轉戾點，但是光譜觀測難度較高，所以較易於在短時間內取得大量資料的影像觀測在近代天文物理裡扮演的角色仍然極為吃重。自 70 年代起，因為 CCD 的發明與應用，天文影像觀測的精確度與靈敏度都得到空前的提升，這讓我們的「視力」甚至可以直逼宇宙的盡頭。今日我們在各種媒體與教科書上看到的美麗天體，都是各大小天文台、甚至業餘天文愛好者使用 CCD 或 CMOS 拍攝到的天文影像。這樣的影像是怎麼來的？這些照片除了看起來美麗以外，可以提供我們怎樣的科學數據？本期天聞將為各位做深入淺出的介紹。

（作者/王為豪）



天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，
以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

【天體影像的取得】

自古以來，浩瀚無垠的夜空除了提供人類神話與占卜題材，諸如航海或農耕上的種種指引也讓我們在生活上得到實質的幫助。今天當我們走進書店，打開電視機，各種天文報導與資訊讓我們耳目一新。望著一張張精美照片，你曾否想過這些影像如何而來？

天文望遠鏡上的儀器—相機與偵測器

日常生活裡我們最熟悉的影像產生器便是照相機了。透過相機鏡頭把當下的光影聚集在機內的焦平面上，然後偵測器把光子轉成電子並儲存起來就成了照片。在天文的世界裡，望遠鏡就像是照相機，而做光電轉換的偵測器就是我們常聽到的「CCD」或是「CMOS」。

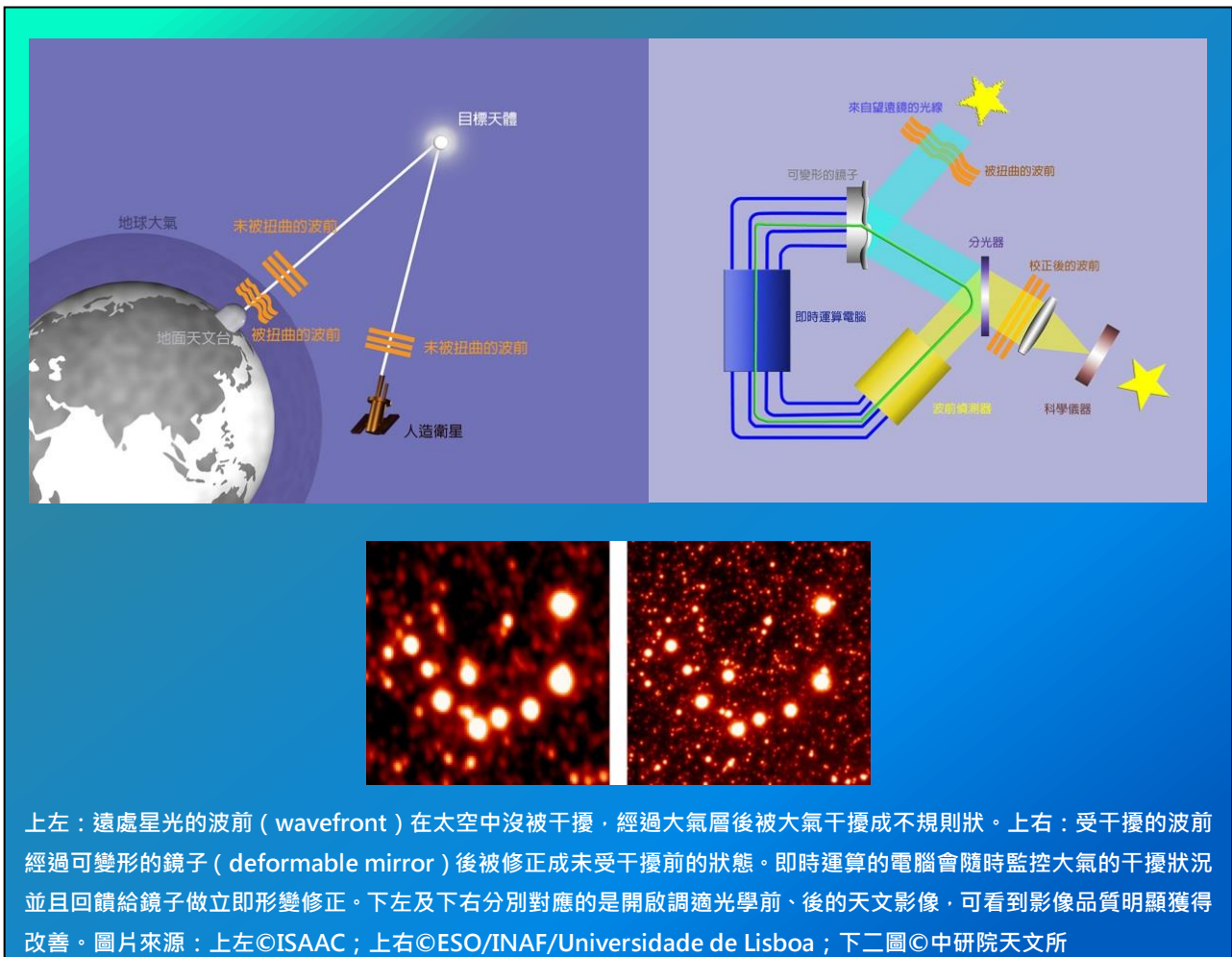
常見的天文望遠鏡有兩種，一是全透鏡折射式望遠鏡，另一種是採用反射鏡的反射式望遠鏡。一般小的望遠鏡大多是折射式望遠鏡；需要大口徑（> 20 cm）望遠鏡時，通常會採用反射式望遠鏡。最基本的反射式望遠鏡如卡塞格林式（Cassegrain）包含一個主鏡以及一個次鏡（詳見「天文望遠鏡」圖說）。這樣的主-次鏡組合相當於把焦距摺疊在望遠鏡鏡身裡面，如此人們便可在有限的空間裡得到較大的放大率。目前專業用的大口徑望遠鏡都是這種主-次鏡組合的反射式望遠鏡（不全是卡塞格林式望遠鏡）。人們在進行專業天文攝影或是觀測時，除了望遠鏡本身的主、次鏡外，往往還會另加額外的鏡頭組來修正望遠鏡本身造成的像差，讓視野裡的影像更為清晰正確。

常用的影像偵測器—也就是前面提到的 CCD 與 CMOS，其實分別是「電荷耦合元件」（charge-coupled device）及「互補式金屬氧化物半導體」（complementary metal-oxide semiconductor）的縮寫。CCD 與 CMOS 都是利用矽元素特性來達到光電轉換的目的，這兩種影像偵測器最主要的功能差異在於光電轉換後的放大線路是否會整合在每一個畫素之中（詳見「影像偵測器」名詞解釋）。一般來說 CCD 的感光度比 CMOS 來的好且雜訊也較低；而 CMOS 的優勢則在於製作成本低廉。近年來技術上的發展讓 CMOS 感光度與雜訊程度越來越接近 CCD，尤其 CMOS 影像讀取時間比 CCD 快速又能單獨讀取特定畫素資料的特點，讓 CMOS 在某些需要快速連續攝影的天文研究中獲得重視。

如何觀測—長時間曝光、疊合、調適光學高解析力成像

剛剛介紹的望遠鏡與偵測器，應該如何拿來觀測呢？直覺上就是把望遠鏡對準目標，並且按下快門就可以拍照了。原則上沒有錯，但是天體往往都很暗，如果不拉長曝光時間是拍不到東西的，所以長時間曝光幾乎是天文攝影的必要條件。然而偵測器一次曝光所能容納的光子數量很有限；為了能讓天體在長曝光下盡量累積光子數又不超過偵測器的容量上限，天文學家會採取疊合的方式來拍照。比方說一張需要曝光三小時的照片，可以把它分成六次半小時的曝光時間來完成，如此便可以避免照片過度曝光。

但是進行長曝光便要考慮拍照過程的環境條件是否一致，一般來說影響比較大的是地球自轉與大氣的擾動。地球自轉只要有赤道儀便可以讓望遠鏡隨著地球轉動；然而大氣的擾動卻相當令人頭痛。大氣擾動會讓影像變得模糊，使得星星的光點變成一片光斑。為了解決這個問題，人們研發了所謂的調適光學技術（adaptive optics；簡稱 AO），這個技術是藉由改變光路中某個鏡子的表面形狀，利用鏡面的形變去補償大氣產生的擾動（見下圖）。這種技術可以改善影像品質，也使得地面觀測與太空望遠鏡觀測的結果更接近。



後端處理

影像被拍下來後，還需經過後端的處理才能確保資料的正確性。使用偵測器時要注意偵測器本身的偏壓 (bias)，也要考慮相同曝光時間下所產生的暗電流 (dark current)；這兩項都不是源自外來光線所產生的訊號，所以必須扣除。此外，每個畫素對光線的反應都不完全一致，因此需借助一個標準的亮屏 (flat field—平坦、能平均發亮的屏幕) 來校正每個畫素的對光源的反應效率。

我們日常看到的美麗天文圖片其實都是合成影像；實際上，用肉眼直接透過望遠鏡觀察是看不到那麼多顏色的。天文攝影都會加上濾片，只讓紅光、藍光或是綠光被拍下來，然後再把不同濾光片所拍出來的影像拿去合成，並將顏色比例加以調整讓細節更為突出，最後才是我們所看到的美麗照片。

(作者/周瞿毅)



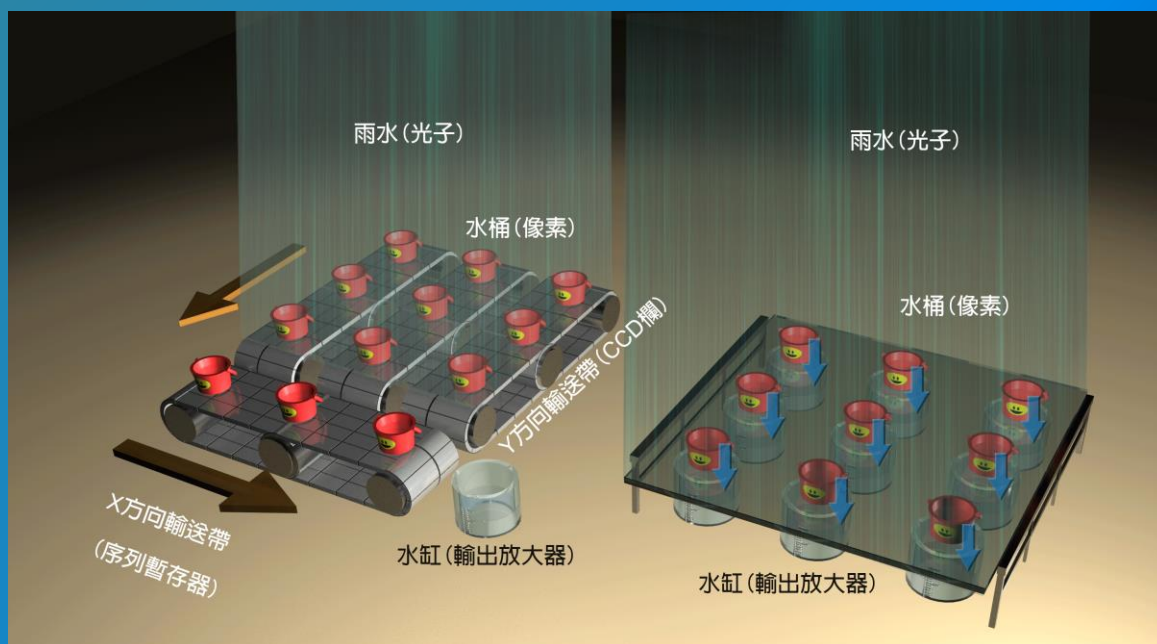
天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，
以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

影像偵測器

CCD 影像偵測器工作時就像是用水桶去接雨水（見下圖左）。雨水就代表了從天上來的光子，而一個個水桶就是影像偵測器上面的像素。每一個水桶收到水之後，會先往 Y 方向輸送，然後才往 X 方向依序送至後方水缸作統一的輸出放大。下圖右是 CMOS 的運作原理示意圖：從天上來的雨水（光子）先被每個水桶（像素）收集起來，而且每個水桶都有獨自整合在一起的水缸。每一個水桶的水皆可以單獨輸出，不需要依序傳遞。

先不論製作成本與良率高低，CMOS 因為需要把放大電路整合在單獨的畫素中，和 CCD 比起來，同面積晶片底下可以感光的面積就會比較小。加上 CMOS 需要上百萬個放大器，雖說放大器都是統一製作，但難免還是存在微小差異。因此一般來說 CCD 的畫質會比 CMOS 來的好。但近年來由於科技的進展，CMOS 有逐漸趕上 CCD 的趨勢。

（作者/周瞿毅）

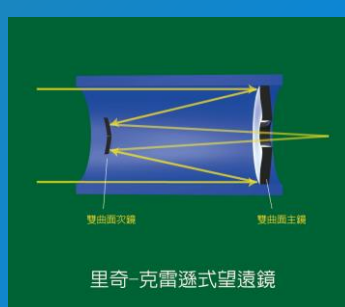
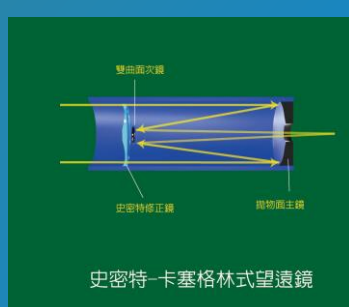
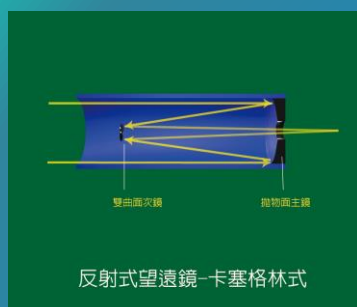
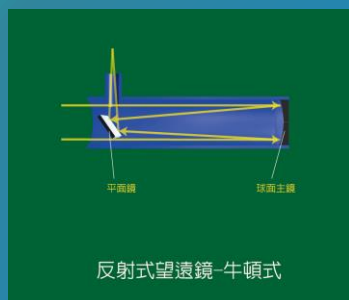
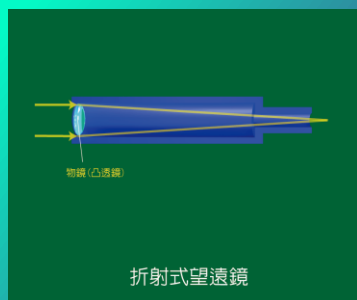


圖說：圖左、圖右分別為 CCD 和 CMOS 的運作原理示意圖。©中研院天文所



天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，
以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

天文望遠鏡



天文望遠鏡©中研院天文所

圖說：

1. 折射式望遠鏡：折射式望遠鏡為小口徑（直徑十五公分以下）望遠鏡最常見的型式，因為小透鏡製作成本低廉且容易大量生產。折射式望遠鏡主要由一個透鏡組構成，稱為物鏡，主要功能是将光線聚焦成像。觀測儀器則放置在光線聚焦點上。
2. 反射式望遠鏡-牛頓式：當望遠鏡口徑增大時，製作較大直徑的透鏡開始變得成本高昂，因此反射式望遠鏡變成為大口徑（直徑十五公分以上）望遠鏡的主流。最基本的反射式望遠鏡為牛頓式，主要的反射鏡為球面鏡，而與之搭配的次鏡是平面鏡。次鏡由於是平面鏡所以沒有放大功能，純粹改變光的行進方向。觀測儀器則放置在光線聚焦點上。牛頓式望遠鏡的鏡筒長度基本上由主鏡的焦距決定。
3. 反射式望遠鏡：卡塞格林式反射望遠鏡是卡塞格林於 1672 年提出的設計。主鏡為拋物面鏡，次鏡是雙曲面鏡且焦點落在主鏡的焦點上，望遠鏡後方的焦點 F 則是主-次鏡組合的共同焦點。這種組合可以在有限的空間內把望遠鏡焦距拉得更長，提供較高的放大倍率。從此之後，主鏡與次鏡的搭配成為專業天文望遠鏡的主流。在卡塞格林建立的基礎之上，望遠鏡有更多的變化類型。例如額外添加修正鏡的史密特-卡塞格林式望遠鏡。還有利用不同曲面的主-次鏡組合，例如兩個雙曲面組合的里奇-克雷遜式望遠鏡。今天的天文用大望遠鏡幾乎全都是里奇-克雷遜式的設計。

(作者/周瞿毅)



天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，
以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

【天體形狀的測量】

簡單而言，天文是量測天上物體的學問，而天文物理主要是在探究宇宙中各式物體形成演化背後的機制。在天文觀測中，最基本的度量包括位置、亮度、顏色和形狀；本文將簡略介紹天文學家測量天體形狀的方法。得知天體的形狀，能進而獲得重要資訊，對於瞭解它們的本質很有幫助。

除了少數巨大的恆星（以及太陽）之外，所有恆星的大小都在光學望遠鏡解析力之下，因此從地球上看起來都是點光源。然而透過望遠鏡成像後，星體不再是點光源，而呈現特定的大小形狀，這取決於望遠鏡的點散布函數（point spread function；簡稱 PSF）。量測星體的大小能讓我們判斷觀測過程中的「視相(seeing)」，也就是大氣紊流干擾觀測的程度；更重要的是，由於所有天體透過望遠鏡的成像，都是它們真正形狀跟 PSF 結合之後的結果，因而我們必須準確量測 PSF，才能獲得延展的光源（以下稱「展源」）真正的形狀。太陽系中的行星、銀河系中的星雲、球狀星團、銀河以外的星系等天體都是展源。為求具體起見，本文以下的探討將以星系形狀的測量為主。

什麼是星系？從結構上來說，常見的螺旋星系（例如銀河系及仙女座星系）擁有一個由星及氣體構成的盤面，盤面上可能會有數個旋臂以及棒狀結構，而星系中心通常會有由較老的恆星組成，形狀呈橢球狀的核球。另一方面，橢圓星系則可以想成是個大小各異的核球。

早在 1930 年代，哈柏便提出了以星系外型作為基礎的分類法（詳見天聞季報 2013 年春季號背面海報「哈柏序列」）；由於星系在圖上的排列猶如音叉，這個分類法也被稱作哈柏音叉圖。音叉的柄由橢圓星系構成，而具棒狀結構及無棒狀結構的螺旋星系，則代表了音叉的兩個分支；連結分支跟柄部的是透鏡狀星系（lenticular galaxy）。更詳細來看，在分支上離透鏡狀星系越遠的螺旋星系，它們的旋臂分散程度越大，核球越不明顯。而在橢圓星系這部份，是以它們的橢圓率來排序，離透鏡狀星系越遠的顯得越圓。

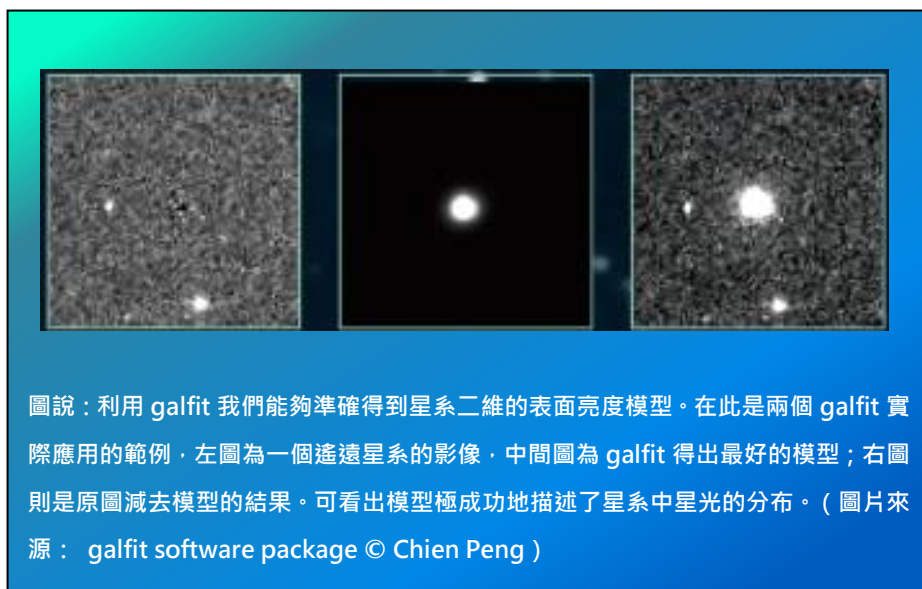
這是個概念簡單的分類法，但它的背後是否有清楚的物理圖像呢？我們可以說，哈柏音叉圖（詳見哈柏音叉圖）由右向左走，是個星系中核球比例逐漸升高的趨勢，另外也代表有秩序的運動（在此為轉動）在星系動能中所佔比重逐漸下降。一般來說，橢圓星系是星系碰撞後的產物，在這過程中，兩個星系間相對運動的動能會傳給星系中的恆星，擾亂它們原先的軌

道，因而橢圓星系中恆星大致是以混亂的方式繞行星系中心。值得注意的是，星系並不盡然都由圖的右側向左側「演化」：我們可以想像，一個橢圓星系和一個大小相當的螺旋星系碰撞之後若有氣體剩下，這些氣體有可能形成新的恆星，最終產出一個擁有核球的螺旋星系（如：仙女座星系）。

綜上所述，我們從一個星系的外觀便能大致猜測它形成的歷史。

那麼，我們該如何去量測星系的形狀呢？雖然觀測上星系的星光分布是二維的，但我們通常會對方位角求平均（azimuthal average），將表面亮度的分布簡化為一維分布。在分析過大量星系的數據後，人們發現由色氏（Sersic）所提出的函數（詳見「色氏分布」名詞解釋專欄），可以準確描述絕大多數星系（尤其是橢圓星系及核球）的一維表面亮度分布。

如果我們有品質良好的影像，便可不受限於一維的表面亮度，而用二維的色氏（或其他適合的）函數來描述星系的亮度分布。隨著電腦運算能力的提升，同時以多重單位（component）來重現星系二維的表面亮度已經不是難事。最



常用的程式如 galfit、gim2d 等，都可讓人免費下載使用。（見右圖）

簡單而言，天文是量測天上物體的學問，而天文物理主要是在探究宇宙中各式物體形成演化背後的機制。在天文觀測中，最基本的度量包括位置、亮度、顏色和形狀；本文將簡略介紹天文學家測量天體形狀的方法。得知天體的形狀，能進而獲得重要資訊，對於瞭解它們的本質很有幫助。

當我們處理很遙遠的星系，有時即便使用的是哈柏太空望遠鏡的資料，也無法準確的量測色氏分布。退而求其次，我們只能求得一些比較簡略的參數，如光分布的緻密度（concentration）

及非對稱性 (asymmetry)、核球佔全星系的光量比 (bulge-to-total ratio)、或是基尼係數 (gini coefficient；見註解)。要能對遙遠星系的形狀做出精準的描述，我們只能期待 30 米級望遠鏡如 TMT、GMT、E-ELT 等的觀測數據。

儘管利用電腦程式我們可以對大量的星系樣本做出定量的形狀分析，但在多數情況下，尤其是對遙遠星系而言，經驗老到的天文學家的判斷仍是不可或缺的。2007 年，時為英國牛津大學研究生的 Kevin Schawinski 花了一個星期的時間，日以繼夜地將五萬個鄰近星系分成橢圓及螺旋兩類，之後依此目錄做出關於橢圓星系形成過程的重要結果。有鑒於人眼分類的重要，星系動物園計畫應運而生，號召全球天文愛好者參與星系分類的行列（詳見天聞季報 2014 年春季號）。使用者在得到非常基本的簡單訓練後，便能對隨機選取的星系加以分類。每個星系在被足夠數量的使用者檢驗後，便能被相當準確的分類。星系動物園計畫將接近百萬個星系分類的結果公開，讓專業天文學家能依此進行更深入的分析，也讓參加該計畫的數十萬業餘天文同好得以間接參與天文研究。本所主導了星系動物園網站的中文化，也展開數個讓公眾參與天文研究的計畫，歡迎大家踴躍參加。

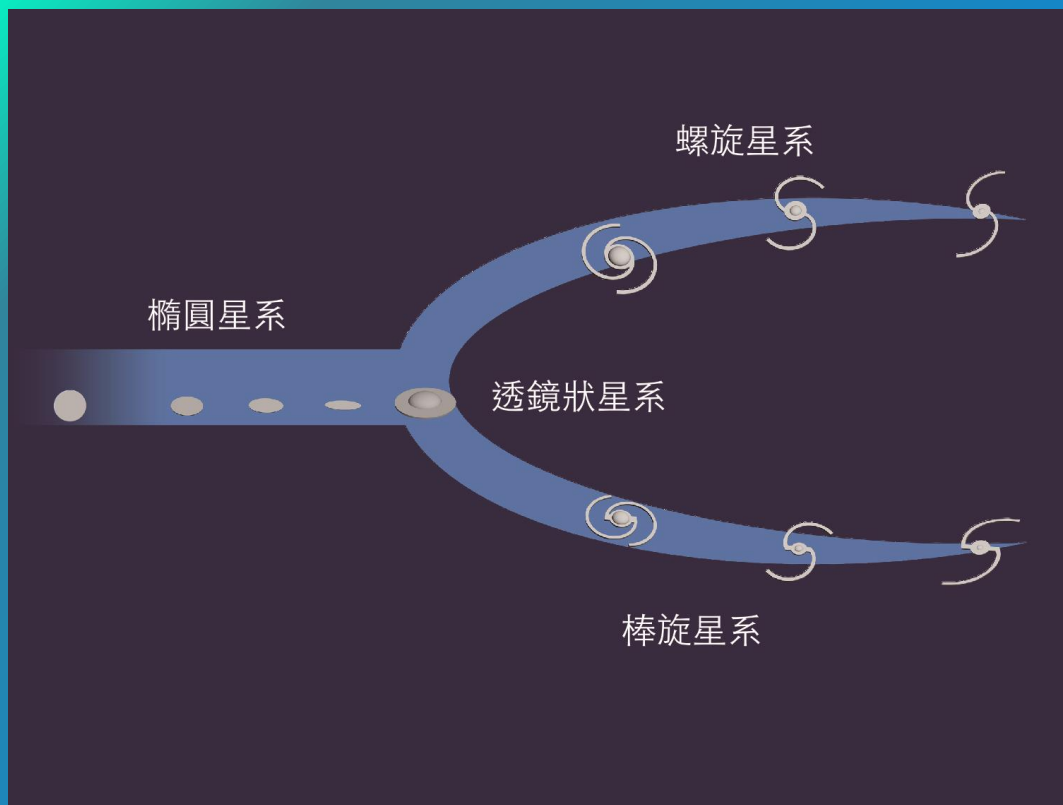
(作者/林彥廷)

註解：基尼係數在此描述一個星系的光是如何分佈的—若光主要是由星系影像中少數幾個像素發出，則係數大（接近 1）；反之，若光均勻來自大多數的像素，則係數小（接近 0）。



天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，
以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

哈柏音叉圖



圖說：這是由哈柏提出的星系分類（又稱為哈柏音叉圖）：音叉的柄由橢圓星系組成，而兩個分岔由缺乏棒狀結構的螺旋星系（上）及具有棒狀結構（下）代表。兩音叉連結處為透鏡狀星系，在分支上離透鏡狀星系越遠的螺旋星系，它們的旋臂分散程度越大核球越不明顯；在柄上離透鏡狀星系越遠的橢圓星系則顯得越圓。©中研院天文所

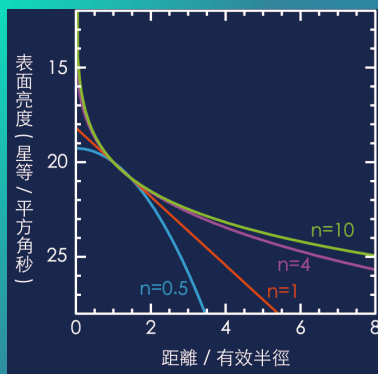


天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，
以創用 [CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/tw/) 授權條款釋出。
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

色氏分布

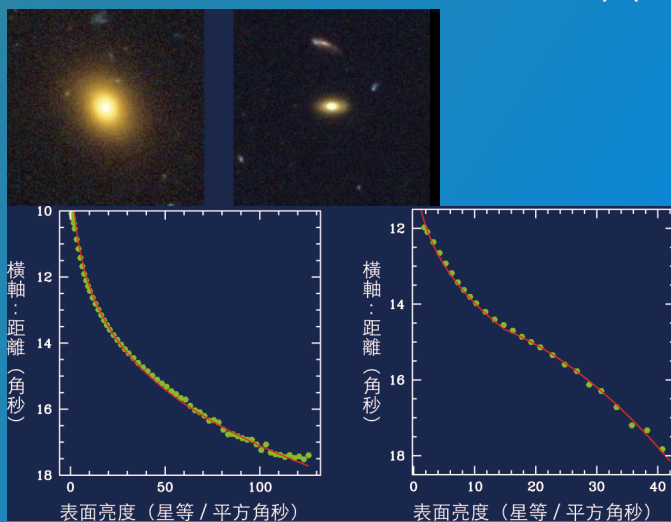
$$I(R) = I_e \exp \left\{ -b_n \left[\left(\frac{R}{R_e} \right)^{1/n} - 1 \right] \right\}$$

色氏分布有四個參數 R_e 、 I_e 、 b_n 及 n ，其中 R_e 代表有效半徑， I_e 是在有效半徑的表面亮度， n 用來描述此函數的形狀，稱為色氏指數。 n 越大，此函數中心越緻密、外圍越延展；反之 n 越小，中心分布平緩、外圍掉的越快（見圖一）。順帶一提，以往常見用來描述橢圓星系的迪·佛科留斯（de Vaucouleurs）分布、或是描述螺旋星系盤面的指數分布，都是色氏分布的特例，它們分別對應到色氏指數 4 和 1 的情況。



圖一、改變色氏函數中的指數 n ，我們可以有效的描述許多不同的表面亮度分布。此圖中我們畫出 n 在四個不同的值時的色氏函數形狀。©中研院天文所/林彥廷

對於橢圓星系，我們現在知道色氏指數跟星系的光度或質量有正相關，因而，採用色氏分布讓我們可以準確自然地去探討橢圓星系的統計性質。至於螺旋星系，由於它們由盤面、核球等不同的單位組成，描述它們的表面亮度分布自然比較複雜。不過，我們仍然能將不同的單位分開，再個別用不同的函數加以描述（除了棒狀結構和旋臂外，其他部份都可以色氏分布來描述）。（見圖二）



圖二、上排左右兩圖各為哈柏望遠鏡觀測到的遙遠星系©中研院天文所/王為豪，左邊為橢圓星系，右邊是透鏡狀星系。下排兩圖為此二星系的一維表面亮度分布（藍色資料點）以及相對應的色氏函數（紅色曲線）©中研院天文所/林彥廷。在左圖裡，我們能夠用單一個 $n=5$ 的色氏函數來描述這個橢圓星系的表面亮度分布；而在右圖中，我們必須結合兩個色氏函數（ $n=3$ 及 $n=0.5$ ）才能完整描述這個透鏡狀星系的表面亮度分布（請注意：此二圖中表面亮度的值僅為示意）。（作者/林彥廷）



天聞季報 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php> 報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。創用

【天體亮度的變化】

在各個古文明中的天文學觀點裡，恆星就是恆久不變的星體，它們在天空中的位置與亮度都不會發生變化。但是漸漸地，人們發現有一些恆星的亮度是會改變的，例如古代的中國天文學家發現天空中有一些新的亮星—超新星產生。隨著天文觀測技術的演進，天文學家發現恆星的確不是亙古不變，它們不但亮度會改變，甚至連位置也會改變。只是大多數的恆星距離我們非常遙遠，因此對於肉眼—不借助任何儀器的觀測之下，恆星的位置看起來是不會改變的，但是有些恆星的亮度變化卻是可以用人眼觀察出來的，例如英仙座大陵五就是一顆食變星（Algol）。

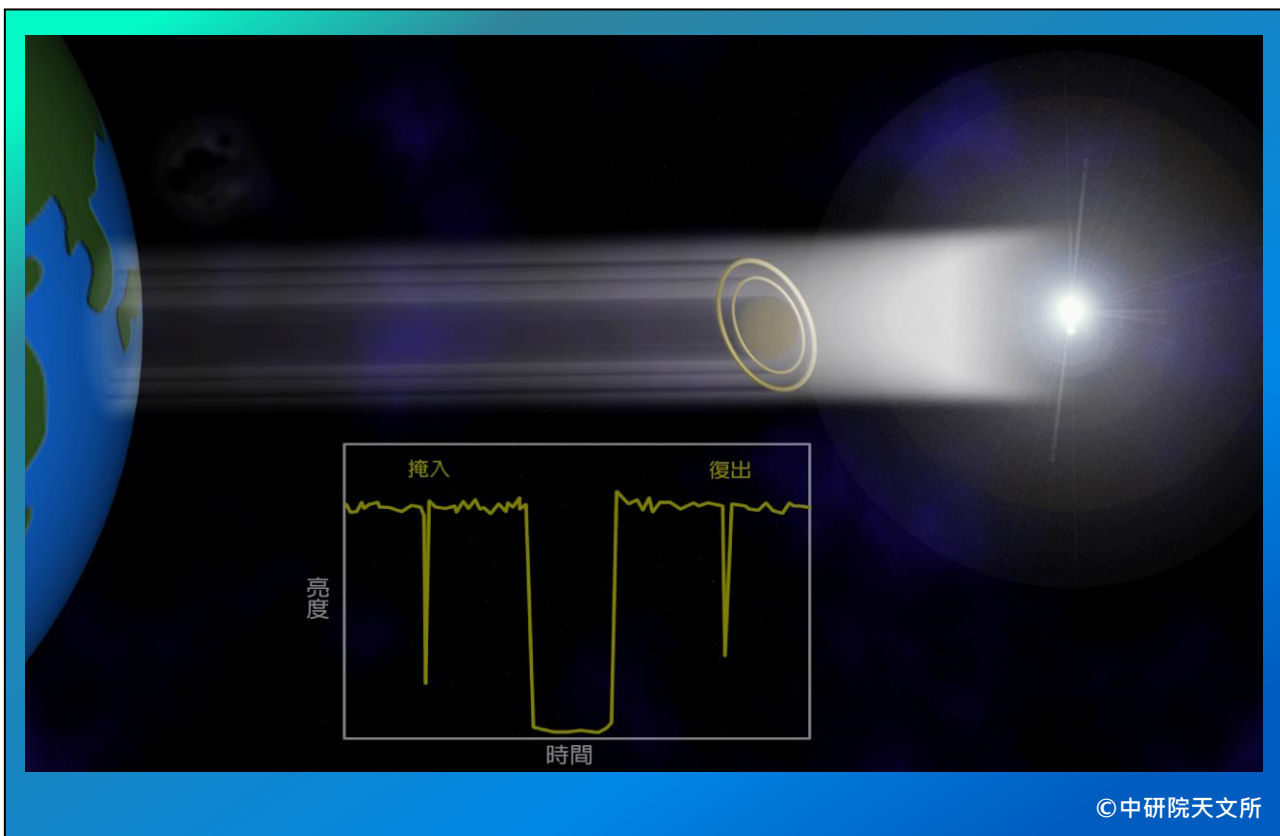
天文學家將會發生光度或亮度變化的星體稱為變星，而變星之所以會有光度或亮度變化可以是恆星的本質發生改變而產生光度變化，或是因為恆星本身之外的因素而造成恆星所發出的光線被局部或是全部掩蔽而造成的亮度變化。本質變星有脈動變星（造父變星、天琴 RR 變星、鯨魚 α 變星/或稱米拉變星）、不規則變星和激變星（新星、超新星）等等。非本質變星有食變星，或是廣義一點來說包括掩星、不規則小行星的自轉以及系外行星凌星、重力透鏡等等所造成的星體亮度變化。

從天文學家所瞭解的恆星演化理論來看，在主序帶（main sequence）上的恆星由於氣體壓力與自身重力處於良好的平衡狀態，因此恆星的體積並不會產生劇烈的變化，例如我們的太陽就是這樣的恆星。但是當恆星經過一段時間的演化，離開主序帶而進入水平分支（horizontal branch）之後，恆星的體積就會發生比較劇烈的脈動變化（pulsating），也因此產生了光度的變化。甚至大質量恆星到演化末期發生超新星爆炸，它的光度會比所在的星系還要亮，這類的變星就稱為本質變星。非本質變星發生的原因是星體所發出的光線被另一個星體局部或是全部掩蔽，例如當一對雙星彼此圍繞者運動時，兩顆星體週期性地彼此互相掩蔽，如果觀測者與雙星互繞的軌道在同一平面上，就可以觀察到星體的亮度發生週期性的變化。

變星的觀測在天文學上的應用除了知道它們的變化週期之外，還有一個重要的應用就是測量天體的距離。造父變星非常明亮，而且週期與絕對星等有關，因此當我們發現在某個星系有造父變星並且知道它的週期時，就可以利用周光關係（period-luminosity relation）知道它的絕對星等，再以其視星等與絕對星等的差別來推算所在星系的距離。Ia 型超新星爆發時，其絕對星等的峰值可以到達約 -19 等。相同的，當我們比較 Ia 型超新星的視星等與絕對星等

差別時，便可以估計出所在星系的距離。

觀察恆星的光變曲線 (light curve) 也可用來尋找系外行星 (exoplanet)。在條件適當時，當系外行星週期性地通過母恆星表面，來自母恆星的一小部份光線將會被遮蔽而造成亮度的微小變化 (類似水星或是金星凌日的景象)。克卜勒 (Kepler) 太空望遠鏡就是利用凌星 (transit) 的方法來尋找系外行星 (請參閱天聞季報 2014 年春季號—網路公民天文學)。藉由這類天體的亮度變化不但可以尋找系外行星，也可以用來推算系外行星公轉母恆星的週期，並估計出它與母恆星之間的距離。



太陽系天體的「掩星」是另一種利用恆星亮度變化來測量天體物理性質的方法 (請參閱天聞季報 2011 年秋季號—TAOS)。當太陽系天體局部或是全部掩蔽背景恆星時，恆星的亮度便會發生改變。由掩星觀測過程中背景恆星的光變曲線，可以得知太陽系天體本身以及背景恆星的許多物理性質，例如天體的形狀大小、是否有大氣層、是否有環、是否有衛星，以及背景恆星的角直徑大小等等。在 1977 年，天文學家利用掩星的方法第一次發現到天王星有行星環。除了太陽系中有四個氣態行星有行星環，在 2014 年天文學家利用掩星觀測發現了小行星 (10199) Chariklo (124 \pm 9 公里) 竟然也有自己的小行星環 (見上圖)；此外，許多小行星的衛星都是由掩星的方法發現的。雖然天文學家早就發現 Chariklo 的亮度有一些變化，

但是當初卻沒有想到可能是小行星環的角度變化所造成。目前的太空望遠鏡沒有足夠的解析力可以觀測到 Chariklo 的小行星環，唯有利用掩星的技術才可以達到如此高的空間分辨率。

(作者/汪仁鴻)

名詞解釋：

- 1、光度 (luminosity)：單位時間內天體本身發出的能量。
- 2、亮度 (brightness)：觀察者在單位時間接收垂直通過單位面積的能量 (即 energy flux)，會隨距離改變。

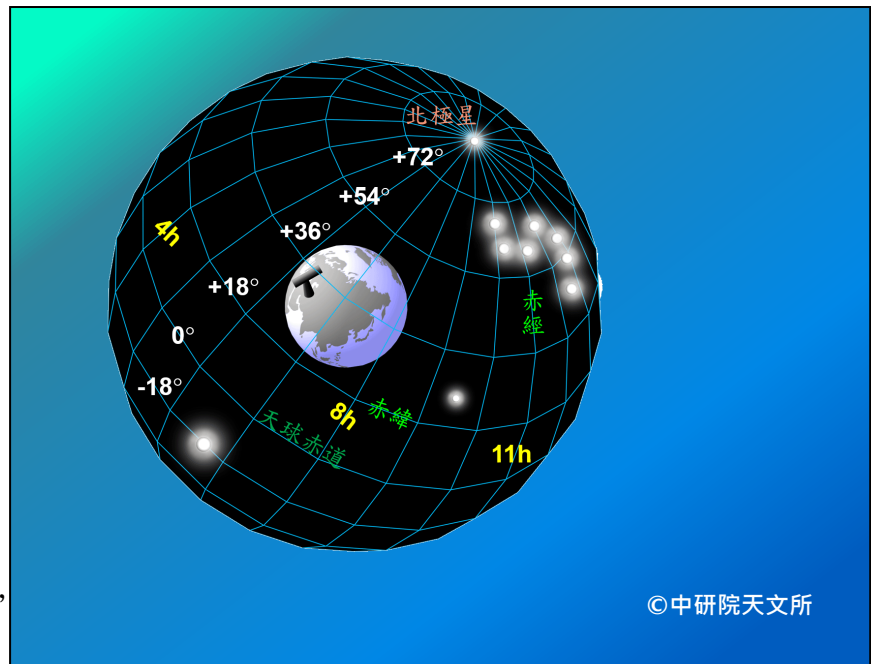


天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，
以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

【天體位置的測定】

量測星體在天球上的位置或是建立星表是很重要的天文工作，除了方便快速尋找天體，也能藉著位置及距離來了解本銀河系的結構，以及行星、矮行星、小行星在天球上如何運動。標定星體位置首先要建立一套座標系統，早在西元前一千多年，美索不達米亞人已繪製簡單的星座圖及使用天球座標，這套系統沿用至今（見下圖）。這個座標系統是利用地球赤道向外延伸至一個假想的天球，然後將天球分為南北兩個半球，天球上的南北極，就是地球自轉軸通過的地方。

如果在天球上畫大圓通過南北兩極，這大圓上的弧線即稱為子午線。子午線通過春分點定為赤經零度，赤道定為赤緯零度，有了這套系統，就可以開始將觀測到的星體標示在座標系統上。十九世紀後，天文學家為了建立更準確的全天星體的位置(又稱為「星表」)，在天球上找了一些星體當作



參考點，接著對這些參考點做精密的位置測量，而天球上的其他星體則根據這些參考點再定出所在位置；藉由這有系統的方法，可建立非常精準的全天星表。

除了以地球赤道及南北極制定座標參考系統外，天文學家還發展出其他座標系統，如：以地球繞著太陽產生的平面當成零點的座標系統，稱為黃道座標系統，適合太陽系內行星、小行星、彗星的研究。又如以銀河系盤面當成零點的座標系統，稱為銀河座標系統，適用於銀河系中、銀河系外、和更大尺度的天體的研究。十七、十八世紀，天文學家利用六分儀量測星體的位置；底片發明後，便可用底片大量並精準地量測星體位置。近三十年來科學用數位相機的蓬勃發展，讓天文學家可以更快速地量測位置。

以下介紹如何由天文用數位相機取得的影像求得星體位置；簡單分成以下四個步驟：

一、辨識星體：用數學方法偵測影像裡「亮度分佈成圓形」的畫素群。

二、定出位置：用數學方法定出每個圓形分佈的中心，即為影像中星體的中心位置。

三、比對星圖：與星表做比對，找出這些星體在星表中的天球座標。

四、建立轉換：用數學方法建立一套轉換，可將星體在影像中的位置轉成星表用的天球座標系統。

有了這轉換方法，就可以開始進行有關座標位置的天文研究。以下是有關天體位置測量的例子：

(1) 天文學家在一個晚上的不同時間取得太陽系內某個天體的多張影像後，用上述方法定出此移動中天體的位置，再藉由天體運動的物理機制即可求得用來描述天體在太陽系中運行的軌道參數，進一步研究不同天體在太陽系中的軌道分佈。

(2) 天文學家在一年內的不同月份取得同一星體的影像後，用上述方法精確定出此星體的位置後，可以發現星體位置有些許變化。因為觀測在地球上進行，而地球繞著太陽公轉，於是每一個月觀測時，我們相對於星體的位置都不一樣，因此產生視差；利用視差法便可確定此星體相對地球的距離（見 2012 年天聞季報冬季號—量天尺）。有了星體的位置及距離，就能描繪星體在太空中的三度空間分佈。

以上提到的影像觀測都是在地面上進行的。在地面可用大口徑望遠鏡觀測，但是取得的影像皆會因為地球大氣的影響而限制了量測的精確度。所以歐洲太空總署（European Space Agency, ESA）分別籌劃了兩個太空任務，分別名為 Hipparcos 和 Gaia，目的是為了獲得恆星在太空中高精度的位置。Hipparcos 觀測任務在 1989 年至 1993 年觀測了超過十萬個天體；後繼的 Gaia 則在 2013 年 12 月順利升空，準備開始為期五年的觀測計畫。Gaia 將觀測近十億個天體（約為百分之一的銀河系恆星數量），量測座標位置的精度最高可達百萬分之一角秒，對於尋找系外行星系統和銀河系結構將可作出重大貢獻，甚至還可作為未來星際導航之用。

（作者/張智威）



天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，
以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

編輯資訊

發行人\朱有花

執行主編\陳筱琪

美術編輯\陸子鈞、蔡殷智

執行編輯\金升光、周美吟、曾耀寰、楊淳惠、蔣龍毅

網路版製作\陳筱琪

背面照片\Hubble Great Observatories Origins Deep Survey-North © NASA/STScI

背面解說文字\王為豪

發行單位\中央研究院天文及天文物理研究所

地址\臺北市羅斯福路四段1號/中央研究院台灣大學天文數學館11樓

電話\ (02)2366-5391

電子信箱\ epo@asiaa.sinica.edu.tw

天聞季報版權所有\中研院天文所



天聞季報編輯群感謝各位閱讀本期內容。本季報由中央研究院天文所發行，旨在報導本所相關研究成果、天文動態及發表於國際的天文新知等，提供中學以上師生及一般民眾作為天文教學參考資源。歡迎各界來信給我們，提供您的迴響、讀後心得、天文問題或是建議指教。

來信請寄至『臺北市羅斯福路四段1號中央研究院/台灣大學天文數學館11樓 中央研究院天文所天聞季報編輯小組收』；或是寄至電子信箱：epo@asiaa.sinica.edu.tw。

政府出版品（期刊類）編號（GPN）：

天聞季報海報版 2009905151

天聞季報網路版 4809905152

國際標準期刊編號（ISSN）：

天聞季報海報版 ISSN 23117281

Key title: Zhōng-yán-yuàn tiānwén suǒ jìbào

天聞季報網路版 ISSN 2311438X

Key title: Zhōng-yán-yuàn tiānwén suǒ tiān wén jìbào wǎnglù bǎn



天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，
以創用CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。
創用CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。