

太陽系的 形成與 尋找其他 星系行星

以「人外有人、天外有天」
用這句時常在武俠小說中出現的句子，
來描述身處地球的人類真是再恰當不過了；
究竟我們身處的環境是如何形成的？
宇宙其他角落是否也具有足夠的條件，
產生生命現象呢？

■演講人／陳文屏

宇宙大爆炸初期，星際間一片混亂，經過了將近一百多億年的演進後，我們的太陽系終於在大約五十億年前形成，而接著在數億年內地球上便產生了原始的生命，此後物種快速發展，終於變成現在的樣子。抬頭望天，我們不禁懷疑，地球上的生命究竟是不是宇宙唯一，還是別的星球上也有其他生命體，正發出相同的問題與疑惑。

知己知彼，先從本身做起

認識別人，先從認識自己開始，我們只知道宇宙很大、非常大，但是卻需要比較清楚的概念來理解究竟大到什麼程度，以下的形容或許能提供較為具體的概念。

如果我們把尺度整個縮小，讓我們居住的地球變成一粒直徑約0.3公釐的鹽粒來看，那離我們最近的月球就像一根手指頭外的胡椒粒，而我們的太陽，這時候也成了四公尺外的一顆番茄。太陽系中最大和最小的行星——木星、冥王星，在這種比例下則成了20公尺外的木瓜籽與150公尺之外的細沙粒。那距離我們最近的一顆恆星呢？它位於半人馬座的方向，距離我們4.3光年遠，在這樣的比喻下，相當於位於馬尼拉的另外一顆番茄。

若以目前所知最快的光速前進，從地球出發到達太陽要花費八分多鐘，要跨越我們所屬的銀河系則得花上五萬到十萬年（因為從不同的地方穿越銀河系，所花的時間自然有所差異），更別說抵達別的星系……從這裡我們可以看出，宇宙除了非常廣闊之外，連星球之間的距離對人類來說不只遙遠，而且相當空曠。

太陽系家族，包含哪些成員

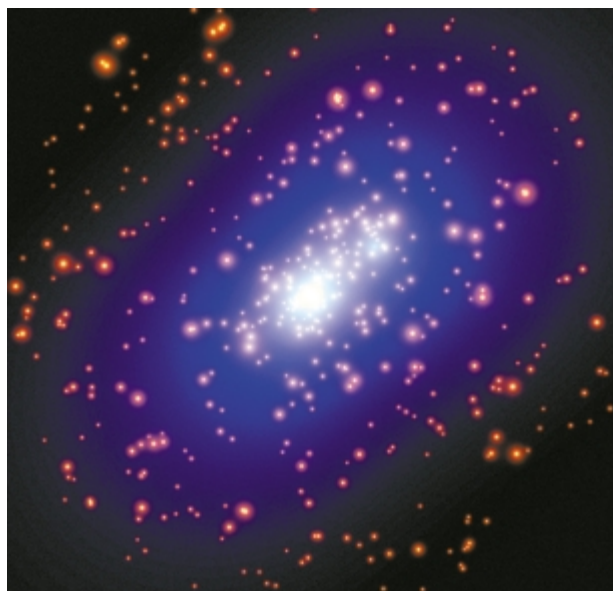
太陽系家族是怎麼構成、又包含了哪些成員？事實上目前我們有關太陽系成因的知識，可以說是一種「宇宙考古學」，畢竟對於我們無法親眼目睹已經發生的過去，只能加以推測。然而幸運的是，目前在宇宙間仍然能觀測到許多新的星球正在形成中，這些形成過程與現象就可以提供我們參考，以推論出我們太陽系過去形成的原因。

在原始渾沌時期，宇宙間的氣體、灰塵逐漸靠著彼此的重力交互作用，開始聚集靠攏並旋轉成爲圓盤狀的構造，當圓盤裡這些小粒子如滾雪球般越聚越大時，引

力也越來越強，自然能夠吸附更多的粒子。當圓盤中心持續聚集收縮的質量大到某個程度之後，內部的壓力與溫度越來越高，若是達到數百萬度，便能夠點燃原子核間的融合反應，原始的恆星就此誕生。

至於整個圓盤的四周，同樣的旋轉、吸積現象也跟著太陽的形成同時進行著。但是由於先天條件不同，形成的天體大小也都不一樣，這些圍繞著太陽旋轉的天體，就稱之爲行星，例如地球、火星、木星等。比行星更小的，且圍繞著行星旋轉的叫做衛星，如我們的月球。而當這些主要的天體成形之後，剩下來的物質日漸稀少，加上太陽風的驅散作用，或是大型行星（如木星）的重力干擾，於是這些不成氣候的小石塊或是冰塊無法繼續成長茁壯，就形成發育不良的小行星。另外土星環或是木星環等，則是未能成形的衛星，或是小行星、冰塊等物質被土星、木星等強大重力場所捕捉而構成的。

此外一些較輕的冰塊若是飛進太陽附近遭到太陽引力的吸引，形成長橢圓的固定軌道，就會成爲話題主角



星系團內的暗物質 影像中的星系團CL0025+1654距離我們約有45億光年遠，它內部的總質量，表現出的行為就像是一片宇宙級的重力透鏡，使背景光依照愛因斯坦重力理論預測的方式發生偏折，讓遙遠的背景星系聚成我們可以偵測到的影像。當然，這裡提到的總質量是星系團會發光的可見物質和本質仍不明的暗物質質量的總和。在分析可見物質的分布和全部質量所產生的重力透鏡的特性時，研究人員破解了如何描繪暗物質分布的難題。他們的成果就呈現在這張影像裡，原來不可見的暗物質就分布在藍色輝光狀的區域內，而星系團的成員星系則以黃色來標示。這項工作所使用的數據是由哈伯太空望遠鏡所提供，這項研究顯示，星系團暗物質的分布是不均勻的，而且和發光物質的分布相當接近。

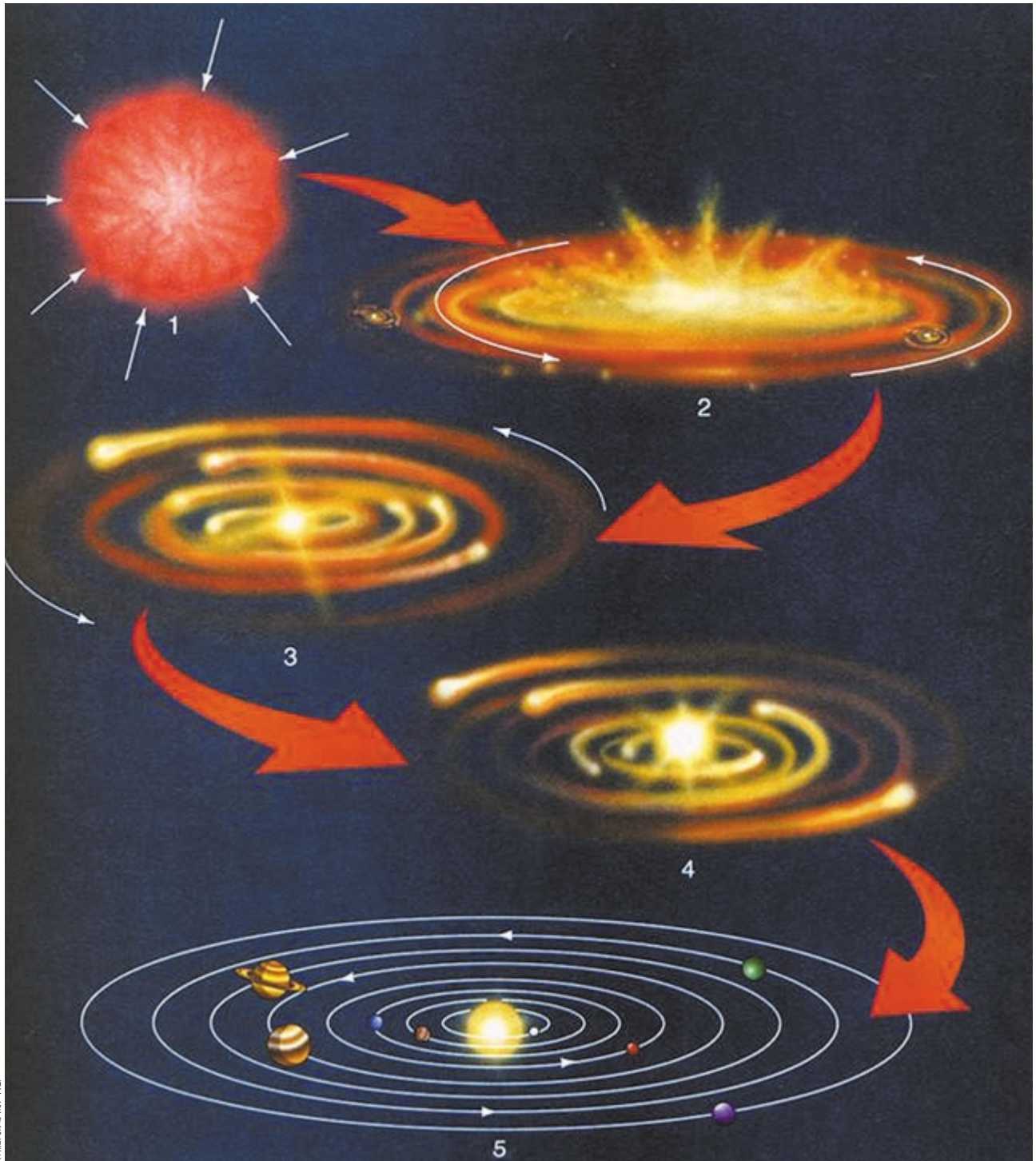
影像提供：J.P. Kneib (Observatoire Midi-Pyrenees, Caltech, ESA and NASA) 文稿：蘇漢宗
http://www.phys.nyu.edu/~astrophot/mirrors/apod/apod30814.htm
(窗口 | 天文圖 | 成大物理分站)

的彗星。最後我們在夜晚見到的流星，則是四處遊蕩的小行星或是雜質被地球吸引過來，在與大氣層摩擦燃燒時所造成發光的現象；如果地球公轉時經過彗星軌道上留下的大量殘骸，一下子大量湧入的雜質就成為壯觀的流星雨現象。事實上這種撞擊是家常便飯，不過由於我們有大氣層保護，不至於像月球面向外太空的那面一樣

被宇宙間的小石頭打得千瘡百孔。但是地球也不是就這麼永保安康，這些宇宙孤兒也在地球上成就過許多有名的隕石坑。

尺寸，真的很重要

太陽系中有不同大小的行星，銀河系中也有不同大



陳文屏教授插畫

太陽以及周圍的行星系統是由一團不斷旋轉收縮的宇宙物質所形成。



陳文屏教授提供

質量大的恆星，會呈現出藍白色的光芒。

小的恆星，究竟尺寸大小有何重要性呢？

當原始恆星形成、開始發光發熱時，若是這個恆星本身的質量巨大，它內部核反應快速，發出的能量也就越強。這種星球光亮耀眼，表面的溫度也高，我們會看到它發出藍白色光芒，如金牛座的昴宿星團中的亮星或是天狼星皆是例子。

但是這種巨大高溫的恆星卻有一個致命的缺點，就是由於核反應快速，因此很快就會把本身的物質消耗殆盡，壽命相當短暫，大約只有數千萬年之久。在這麼短暫的壽命之下，其周圍就算有行星系統，即使有生命存在，可能也沒有足夠的時間發展出文明。

若恆星質量較小如我們的太陽，由於內部核反應較為緩慢，光度弱，表面發出較為低溫的黃橙色光芒，如此得以細水長流，壽命較為久遠。根據科學家計算，我們的太陽大約壽命有一百億年左右。恆星壽命的長短，會影響到行星上生命的產生與進化，若以太陽系來說，我們的太陽正值壯年，住在地球上的我們尚有大好前途可以進化、發展，不用太擔心面臨太陽死亡的威脅。

當恆星壽命將盡，由於缺少了能量來源，不再能抵抗萬有引力的壓縮，使得結構產生改變。小質量的恆星

以緩和的方式，將一生中核反應所製造的複雜元素送到星際空間。大質量的恆星則以劇烈的爆炸方式結束一生，這種瞬間爆炸的事件，我們稱之為「超新星」爆炸。超新星爆炸釋放出大量能量，引發一連串核反應，產生各種重元素，撒向星際太空，成為下一代星球的原始物質。換句話說，你我身上的碳、鈣、鐵，甚至所穿戴的金、銀，其實都是星球製造出來的。

至於行星的尺寸大小，以我們的太陽系為例，分成「類地行星」與「類木行星」兩大類。前者位於太陽系內圈，體積跟質量較小，擁有堅硬的外殼與岩石，如水星、金星、地球、火星等等。而後者則位於太陽系外側，體積跟質量相對於類地行星大很多。由於質量巨大，因此可以吸引住質量較小的氫氣、氦氣等氣體當作星球的主要成分，內部則因為高壓的關係，沒有如同地球一般的陸地，而呈高溫、高密度的液態，這種類型的行星我們可以把它們想像成發育不良的太陽。而這種類木星型的行星由於重力場強大，可以幫忙協助清除太陽系內側或是外面入侵的許多小行星，間接保護地球。

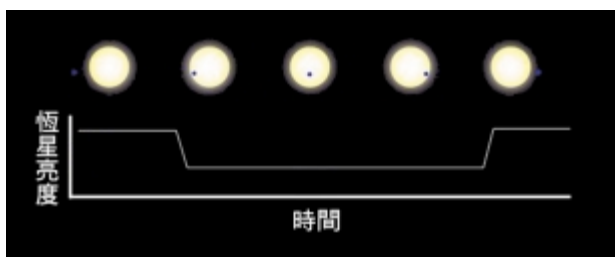
這些環繞著太陽的行星，接受著太陽的光與熱，也因此距離太陽越近的行星溫度就越高，越遠的溫度就越低，排名最遠的冥王星可以說幾乎感受不到太陽的溫暖，是個一片死寂的世界。很幸運的，我們的地球所在的位置恰恰好不遠也不近，各種因素影響之下，才能產生地球上各種生命，發展繁衍。

立足地球，放眼宇宙

宇宙如此遼闊，很難使人接受獨獨只有地球擁有生命現象。若是宇宙中其他星球也有類似的太陽系、類似地球的行星結構，是否也會演化出和我們類似的生命體呢？因此若要尋找宇宙間其他生命體之前，或許得先找到同樣擁有行星系統的恆星。

眾所周知，行星由於體積相當小，加上又是只能靠著反射恆星的光線而發亮，因此要觀測到並不是一件簡單的事情。所幸科學提供了許多便捷的方法，讓我們可以偵測到那些遠在天邊的行星朋友們。

正常情況下，恆星發出來的光線亮度是相當固定的。但是假設這個恆星擁有行星系統，當這些行星恰巧越過恆星表面時，便對這顆恆星造成部分的遮蔽（如同



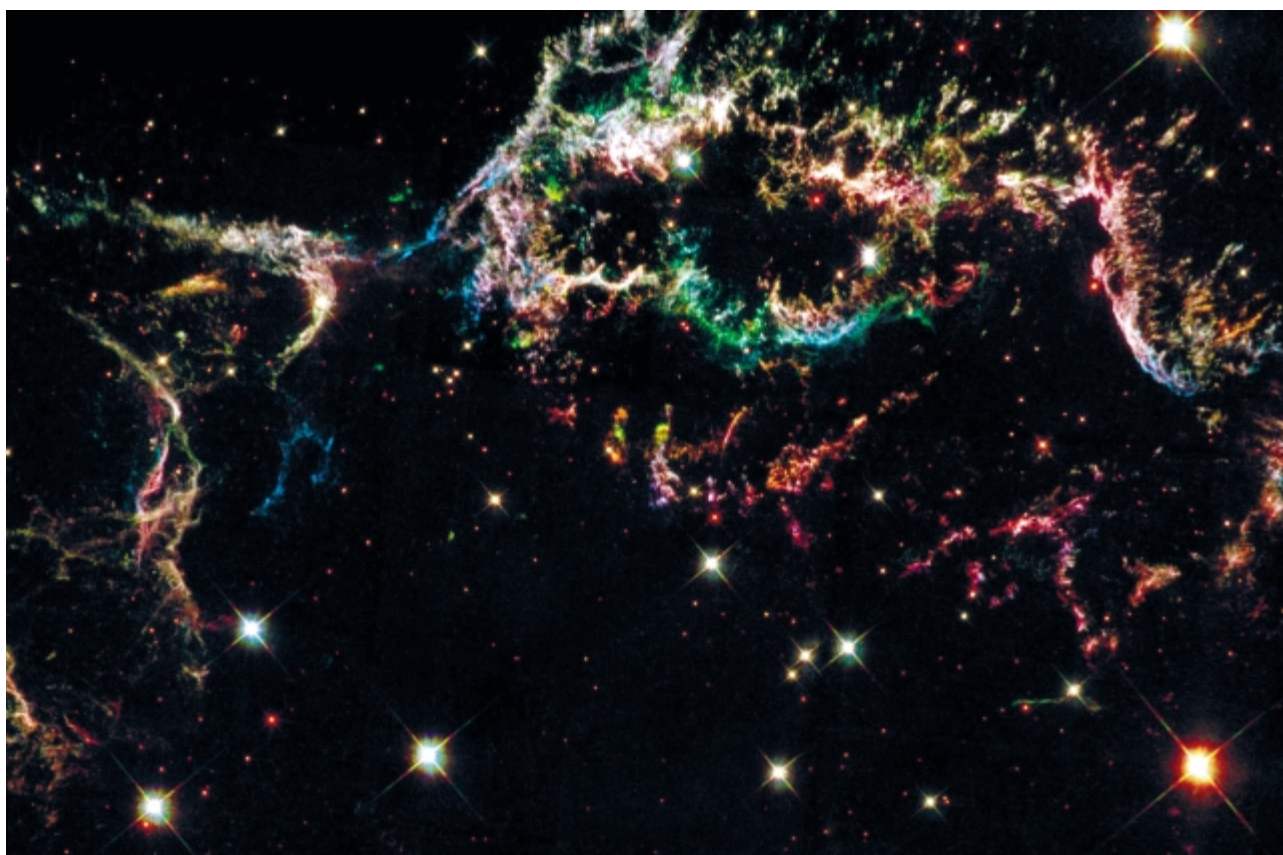
透過掩星現象，我們可以觀測出該恆星周圍是否有行星。

日蝕一般)，於是恆星的亮度便會產生周期性的減弱。若是觀測的恆星有這種周期性光線減弱的情況，我們便可以推測這個恆星可能擁有行星系統。

另外，從恆星位置的變化，也可以推測出這個恆星附近是不是有行星。星球之間不管大小，一定脫離不了萬有引力的交互作用，就如同一個鏈球選手，甩動鏈球旋轉時，選手本身會受到鏈球的重量影響而無法固定在同一個位置上。將鏈球選手的動作放大從頭頂上看下

去，原本應該是走直線運動的恆星，受到周遭行星的重力干擾，會變成走螺旋線前進。若是由水平方向看過去，則恆星就會變成前後擺動。截至二〇〇三年九月為止，天文學家共發現了110個恆星的周圍有行星系統，這些行星都被稱之為「系外行星」，這些系外行星的系統大都是利用上述的前後擺動原理而發現的，這是為什麼呢？因為觀測螺旋線運動需要相當長的時間才能有明顯的變化，而前後擺動測量的是星球互繞的軌道的運動，時間尺度短，而且與光線亮暗無關，這種方法便成為最快速且有效偵測行星的方式。

此外，在我們太陽系內，行星跟行星間由於也會因為重力的互相干擾，導致行進軌道的異常，從這點我們也可以用來推測是否有其他行星的存在。以我們的太陽系而言，海王星就是第一個根據計算而推論其存在的行星，連帶其後的冥王星也是根據海王星的軌道而推算出



圖：R. Fesen (Dartmouth) and J. Morse (CASA, U. Colorado), HST/NASA 文：羅維宗 (財團法人國家太空中心) <http://www.phys.nyu.edu/~astrolab/mirrors/qpod/p030830.html>

恆星仙后座A的回收工作 大質量恆星一生都過著很絢麗的日子。它們從巨大的宇宙塵埃雲裡誕生出來，當核心的核子火爐點燃後，就成為夜空中的亮星，並不停地在核心合成更重的化學元素。過了數百萬年後，核燃料用完了，恆星發生了驚天動地的超新星爆炸，把恆星在核心加工製造出來的物質拋回星際空間，成為形成下一代恆星的材料。這張影像中的超新星遺骸稱為仙后座A，就是恆星生命輪迴落幕階段的例證。雖然在三百多年前，人類才在地球的夜空中看見產生這個遺骸的超新星爆炸，不過實際上這顆死亡恆星的星光，要經過一萬年才能傳到地球呢。在這張壯麗的哈伯太空望遠鏡影像裡，仙后座A逐漸冷卻的絲帶物質和糾結特別經過上色處理，以方便天文學家了解，我們銀河內的造星物質是如何被回收的，其中紅色的區域代表硫原子所輻射出的光，而藍色代表來自氧原子的輻射。



影像提供：A. Riess (HST/NASA)
 文稿：蘇漢宗 (街口一文圖—成大物理分館)
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/~astrolab/mtmors/pod/p0130911.htm>

星系NGC 3370 大小和結構都和我們銀河系很相似的螺旋星系NGC 3370，位在獅子座內，離我們約有一億光年遠。這張優美細緻的NGC 3370影像，是由哈伯太空望遠鏡的先進巡天相機所拍攝的。雖然這個面向我們的螺旋星系是影像中搶盡風采的天體，不過分散在宇宙更深處的背景星系也都清晰可見。為何NGC 3370會是這次觀測任務的主題呢？因為哈伯望遠鏡影像，可以讓天文學家分辨出一種稱為造父變星的脈動星，據此可以精確定出這個星系的距離。而在一九九四年，一顆第一型超新星也曾出現在這個星系內。結合超新星和造父變星所定出的星系距離後，再參照更遙遠超新星的觀測結果，就可以推斷宇宙的大小和擴張的速率。

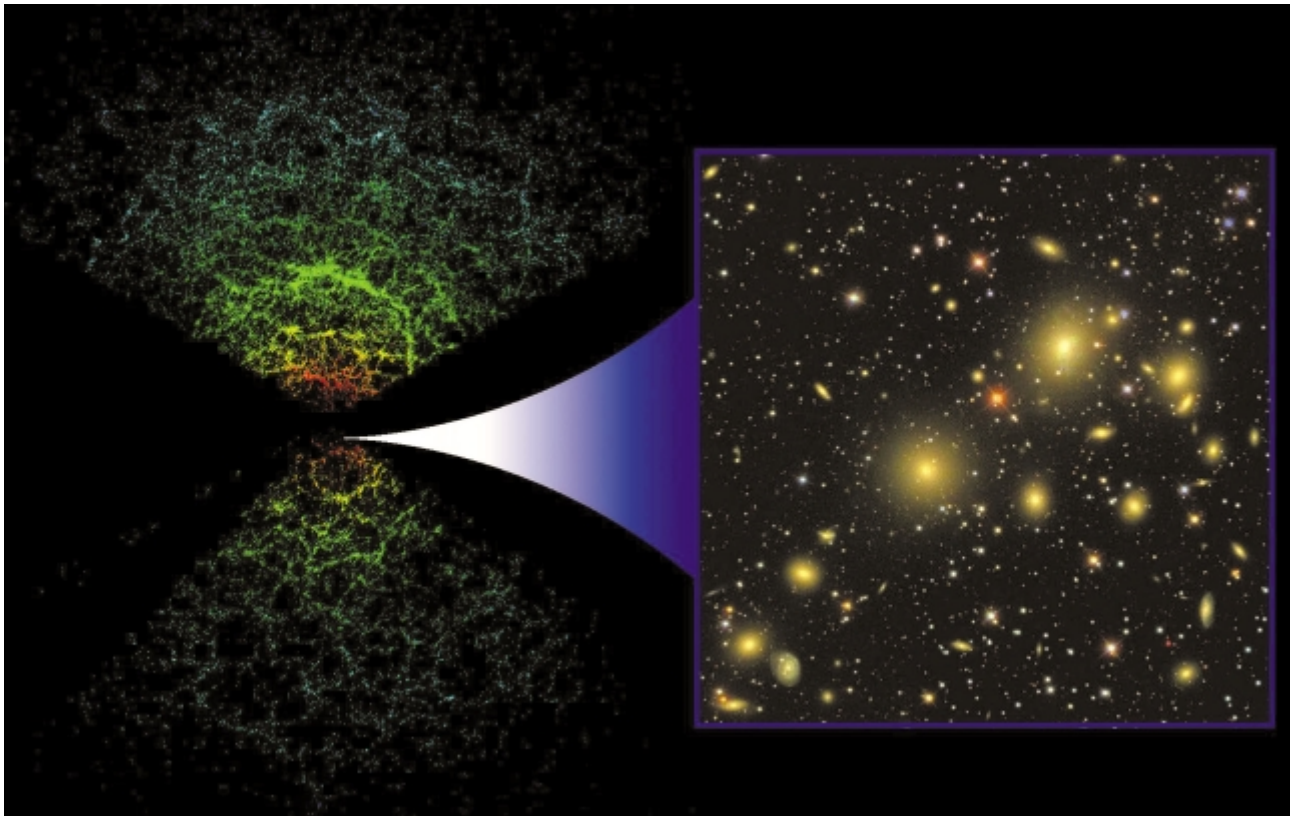
來的行星，雖然冥王星比我們的月球還要小，不過我們仍然將它列入九大行星之一。

台灣目前正由中研院、中央大學、美國勞倫斯利物摩國家實驗室、賓州大學等單位進行一項「中美掩星計畫」(Taiwan-America occultation survey, TAOS)，這個計畫透過架設在鹿林山的望遠鏡，持續監測恆星亮度，若是太陽系外側的小行星、彗星等恰巧遮掩住某顆恆星，

后髮座星系團 在這張后髮座星系團影像中，幾乎每一個天體都是一個星系。后髮座星系團是目前所知星系最密集的星系團，它擁有數千個成員星系，而每一個星系又像我們的銀河系一樣，擁有數十億到數千億顆恆星。雖然與其他星系團相比，它離我們算是比較近的，可是從后髮座星系團所發出的光，還是需數億年才能到達地球。后髮座星系團是個相當巨大的天體，從星系團這一頭到另一頭就有數百萬光年。后髮座星系團和其他星系團內的星系，大多數都是橢圓星系；然而位在星系團外的星系大部分是漩渦星系。



影像提供：A. Riess (HST/NASA)
 文稿：許瑞榮 (街口一文圖—成大物理分館)
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/~astrolab/mtmors/pod/p0131012.htm>

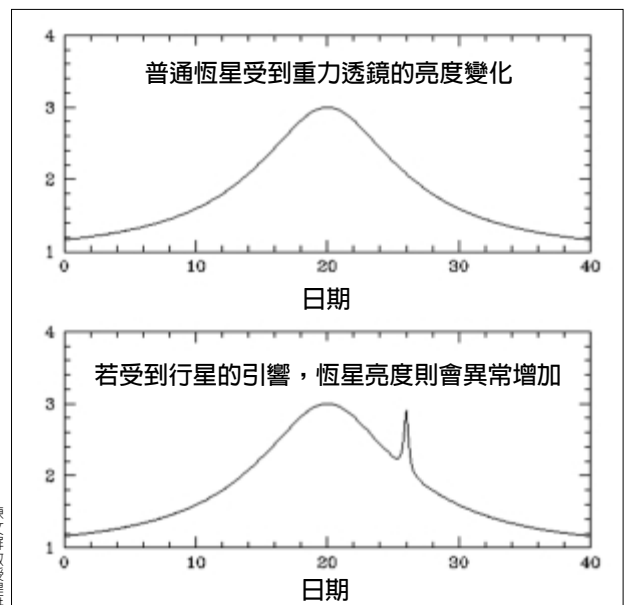


宇宙的三維圖像 最新的宇宙三維圖像指出暗物質與暗能量主宰了我們的宇宙。史隆數位巡天計畫 (Sloan Digital Sky Survey) 測量超過一百萬個星系的距離，運用右方嵌圖的這種二維影像，加上剛量到的距離資訊，就可以建構出這種宇宙三維圖像。史隆數位巡天計畫到目前已經公布了20多萬個星系的三維資訊，其數量超過了目前其他的二維巡天計畫。這種宇宙星系分布，只有在特定的宇宙物質組成和演化方式下，才能夠形成。在現在許多可能的宇宙模型中，灰姑娘模型的預測最符合上面這幅實測分布圖。灰姑娘模型指出宇宙是由5%的原子、25%的暗物質、和70%的暗能量所組成，並且在早期經歷了快速的膨脹。

這顆恆星的亮度就會短暫的消失，然後再出現，好像「星星眨眼」一般。TAOS計畫希望藉由偵測這樣的掩星事件，來估計太陽系外圍小型天體的數量，以及他們的分布狀況。中美掩星計畫在年內便將全面開始觀測。

還有一種觀測行星的方法相當特殊，是透過「重力透鏡」的效果來偵測行星。何謂重力透鏡？我們可以自己做個小實驗，若是我們在床上滾動一個球，當床表面是平整的情況下，球幾乎會沿著滾動的方向直直前進，假設我們用個重物將床壓凹下去，再來滾動這個球，當球滾到凹下去的地方時，行進路線便會受到凹下處的影響而彎曲。光線行進的路線就如同滾動的球，平常光都是走直線前進，但要是光線在行進過程中，遇到相當大的重力場時，則光線會受到重力的牽引而稍微彎曲改變行進方向，所以當遠處的恆星與我們之間若剛好有另一顆恆星通過，光線受到牽引歪斜，原來一些不會射向我們的光線，因為重力影響，有如透鏡一般，使得射向我們的光線突然增加，也就是說原來那顆恆星就會暫時增

加亮度。要是擋住別人的星不只是單顆恆星，而是周圍還有行星，那麼光亮便有異常方式增加，得以推測行星可能存在。



陳文屏教授提供

天體造成的重力透鏡效應，會讓背景恆星的亮度突然增加。

算得好不如看得妙

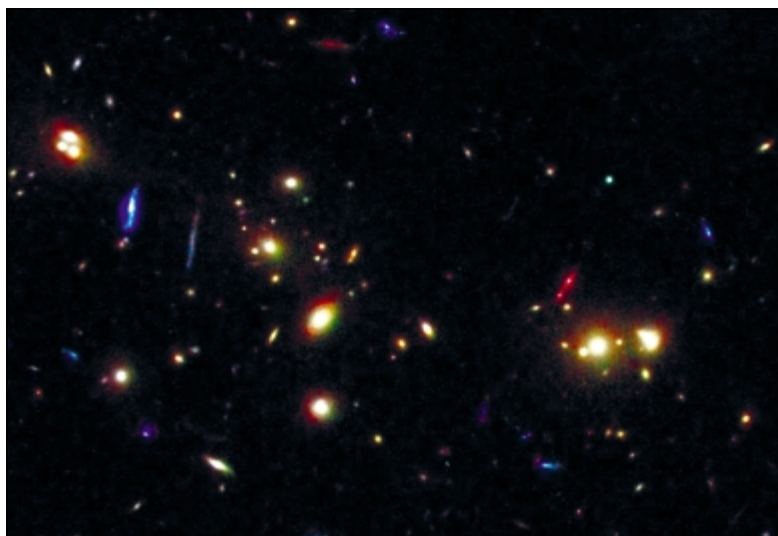
前面的觀測方式都是以間接的觀測、物理計算的方法得知，總讓人覺得不夠過癮，若是我們能夠直接用眼睛或是透過攝影的方式拍到系外行星，不是更加美好嗎？透過科學的進步及觀測技術的改善，這個方式已經漸漸變得可行，透過地表大型天文望遠鏡、陣列望遠鏡，甚至透過恆星光譜的分析，未來都有機會更清楚地得知被觀測的恆星是否有行星系統存在。

例如現在我們可以投射出一個雷射光束到我們要觀察星體旁邊的天空當參考點，利用電腦將被空氣擾動扭曲的雷射光點還原成正確的圓點，同時也就可以還原我們所觀測受大氣擾動的星體影像，讓它呈現出正確的樣子。

不過在地球表面上觀測，仍然無法擺脫空氣的干擾以及光害的影響，所幸現在我們有了哈伯太空望遠鏡，它不受大氣干擾，可以取得清晰的影像。未來數年仍不斷有在太空設置望遠鏡的計畫，將是研究宇宙天體的利器，也提供直接拍攝系外行星的良好機會。

生命的追尋

宇宙將近無窮大，恆星、行星更如恆河砂那麼多，所以我們可以做一個相當合理的假設，即宇宙中除了我



影像提供：R.A.E. Fosbury (ESA/NASA/NOAO)
文編：蘇美宗 (財大天文會) 成大物理系
<http://www.phys.nctu.edu.tw/~astrolab/mirrors/apod/ap031105.html>

天貓座的奇幻光弧 在研究天貓座星系團內的神祕光弧的光譜時，天文學家意外地找到了至今最大最遠的恆星形成區。在這張由哈伯望遠鏡和地面照片所組合出來的星系團影像裡，顯目的紅色天貓光弧位於中右方。雖然這個星系團的距離已經有五十億光年遠，光譜學研究證實，這道光弧是個更遙遠恆星形成區的扭曲影像。之所以會形成這種影像，是因為近端星系團的重力像放大鏡一樣把星光給彎折了，形成愛因斯坦重力理論所預測的光弧。據估計，這個巨大的恆星形成區離我們有120億光年遠，其亮度要比獵戶座大星雲這種恆星育嬰室要亮上一百萬倍。天文學家相信形成這道天貓座光弧的恆星形成區，大約可以誕生出一百萬顆大質量熾熱恆星。相較之下，讓獵戶座大星雲發出明亮輝光的恆星只有區區四顆。天貓座光弧恆星的表面溫度，要比獵戶座大星雲中心星的溫度要高兩倍以上，而且這些恆星是在宇宙只有20億年老時所形成的。話雖如此，天文學家相信宇宙第一代恆星形成的時間還要更早一些。

們之外，應該有其他的生命存在。也因此，美國國家航空暨太空總署 (NASA) 及歐、亞其他國家，持續推動了許多的太空計畫，最終目的都在找尋類似地球的行星。原因就是在於類似地球的行星，除了可能發現像我們一樣的生物之外，或許也將可以在不久的將來，進行星際移民計畫。 □



陳文屏教授提供

透過哈伯太空望遠鏡，我們可以更清楚地看到許多地球上不易看到的天體。

科學是一種生活的態度，是一種運用邏輯思考的方法和追根究柢的精神，去解決在日常生活上和宇宙探索中所遇見的問題的態度。為了讓社會大眾了解科技發展的趨勢，由國科會主辦，中央大學理學院科學教育中心承辦的「2003展望系列演講」於焉誕生，本篇為秋季「探索未知」系列民國九十二年九月廿六日第二場講座的演講實錄。

演講人／陳文屏

中央大學天文研究所暨物理系

文字整理／李健成

本刊特約文字編輯