

天外訪客—— 來去匆忙的鹿林彗星

古人認為彗星「來無影、去無蹤」，視它為惡兆。現在我們知道，能夠幸運看到某顆彗星，其實是「緣分」。鹿林彗星的軌道是雙曲線，表示它一去不復返，只來一次，能夠觀測到它，運氣真的很好。

■ 陳文屏

彗星是什麼

彗星是形成太陽與行星後剩下的小型天體。大約46億年前，太空中一團濃密雲氣因本身萬有引力而收縮，中央形成太陽，旋轉的雲氣因離心力而形成盤狀結構。當中的塵埃彼此凝聚增大，逐漸成為行星，它的周圍則形成衛星。剩下的小型天體充斥在太空中，和太陽距離較近的，以岩石、金屬氧化物為主，稱為小行星；靠外部與太陽距離遠的，以冰體成分居多，稱為彗星。



● 歐特雲是假想的包圍在太陽系行星系統之外的區域，大小可達光年。

在太陽系剛誕生的時候，彗星受到巨型行星（尤其是木星）的擾動，容易被拋射出去，但有些仍受到太陽微弱的引力束縛，分布在太陽系的上下四方，這個彗星存在的空間，稱為「歐特雲」（Oort cloud）。歐特雲並不是雲，而是假想的圍繞在太陽系之外，一個龐大、可能近似球形的空間。一般推測歐特雲的大小可能達到光年的尺度。

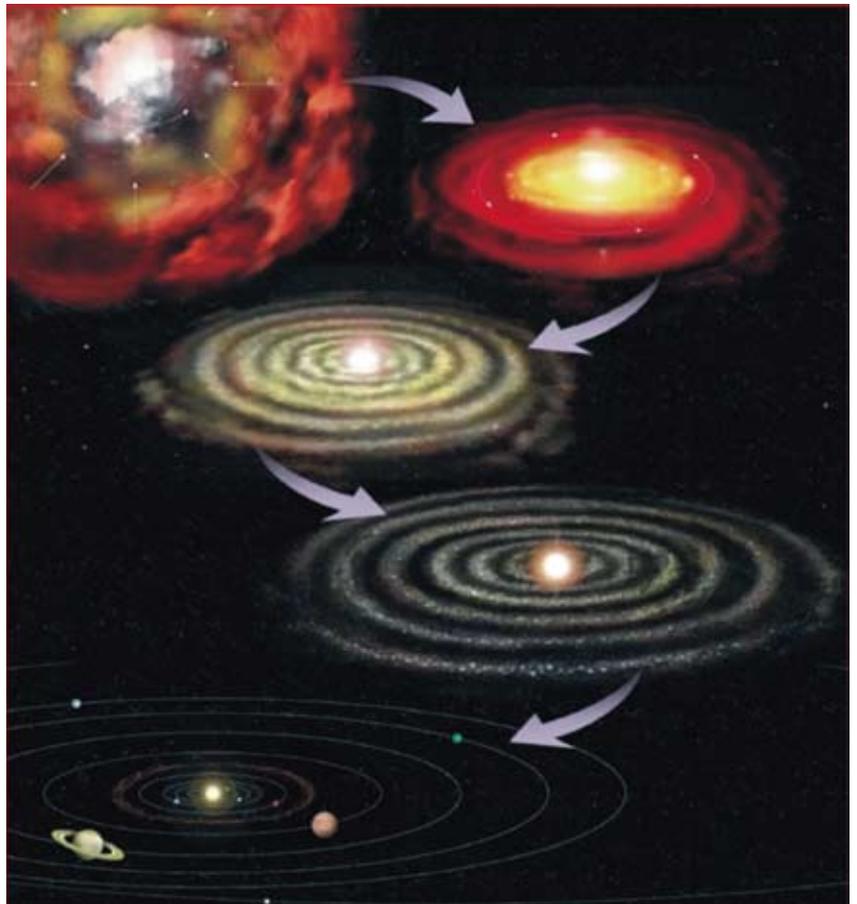
前幾年發現的「賽德娜」（Sedna）彗星，直徑超過1千公里，距離太陽遙遠且軌道狹長，軌道近日點遠超過海王星的引力影響範圍，因此並非受到擾動而被拋出去，它可能就是屬於歐特雲天體。

彗星是形成太陽與行星後剩下的小型天體，和太陽距離較近的，以岩石、金屬氧化物為主，稱為小行星；靠外部與太陽距離遠的，以冰體成分居多，稱為彗星。

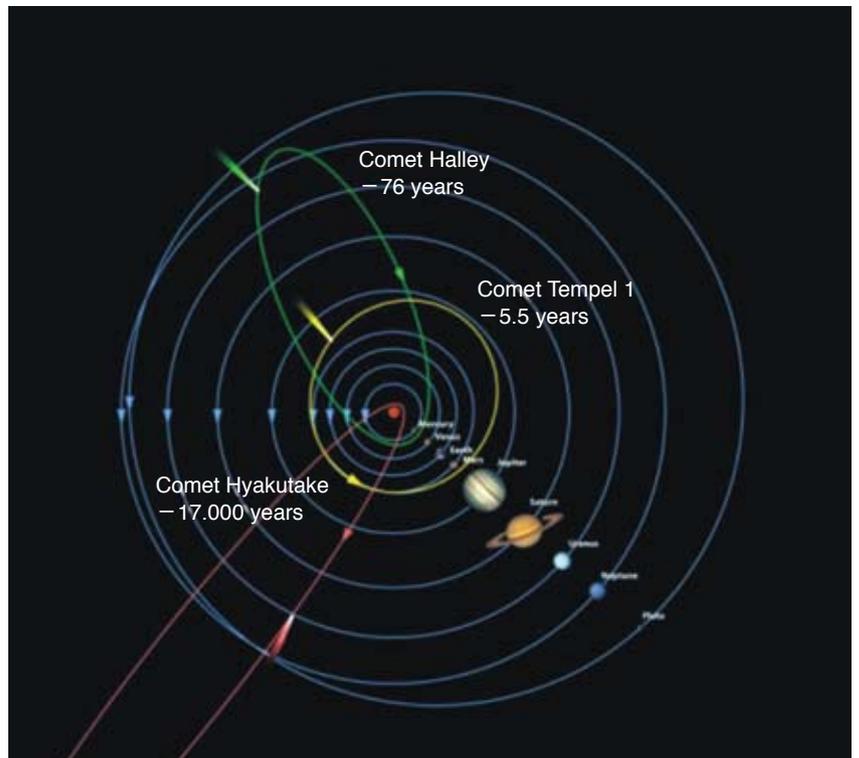
行星和衛星源於同一團旋轉而致扁平的雲氣，因此它們大多數以同一個方向（從北向南看是逆時鐘方向）公轉和自轉，連太陽的自轉也是如此。太陽系8顆行星的軌道幾乎分布在同個平面上，都很接近地球繞太陽的「黃道面」。太陽以引力拉住周圍的行星、衛星、小行星和彗星，一起在銀河系中運行，有時候在經過其他恆星或巨型分子雲時，外圍小型天體被擾動，有些便進入太陽系內圈，成為我們看到的彗星。這些來自遙遠歐特雲的天體，由四方進入內太陽系，軌道面凌亂且周期長。

在海王星軌道以外，目前已經發現了兩千多個小型天體，像闖神星（Eris）就因為體積大於冥王星，造成冥王星從行星的分類中除名，而成為「矮行星」一族。矮行星和行星一樣，也繞著太陽公轉，同時質量夠大，足以因為本身重力拉縮成為近乎圓球體，但是並沒有清除周圍的其他小天體。

太陽系現在已知有5顆矮行星，除了闖神星，還有冥王星（Pluto）、妊神星（Haumea）、鳥神星（Makemake），以及原來屬於小行星的穀神星（Ceres），它們的大小都在1千公里左右。比起來，地球的大小約為1萬公里，木星約為10萬公里，太陽則約為



● 太陽與行星形成的示意圖
(圖片來源：<http://www.thunderbolts.info/tpod/2006/image06/060126solar4.jpg>)



● 彗星各有不同的軌道
(圖片來源：http://deepimpact.umd.edu/gallery/jpg/D1381_001d.jpg)

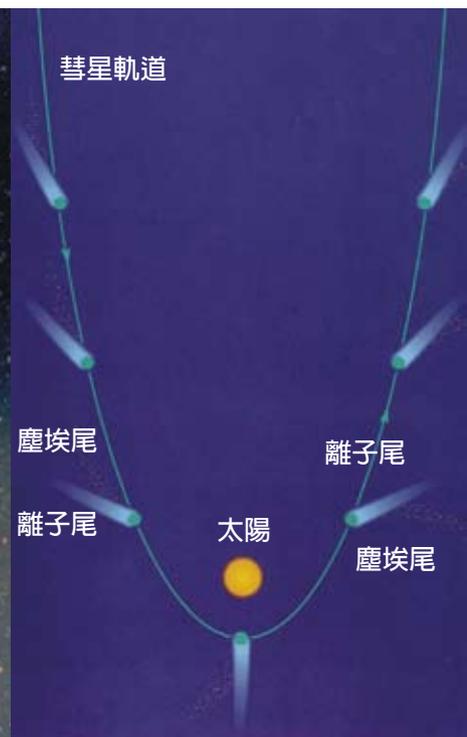
太陽系成員經過幾十億年的滄海桑田，各自隨著歲月演化，只有少小離家的彗星純樸依舊，仍然保有當初形成太陽系的原始物質，極具科學研究價值。

太陽系中具代表性的天體

天體名稱	種類	直徑大小 (公里)
太陽	恆星	1,392,000
木星	(氣態) 行星	142,984
天王星	(冰體) 行星	51,118
地球	(固態) 行星	12,756
水星	(固態) 行星	4,880
月球	衛星	3,476
閼神星	矮行星	大約 2,600
冥王星	矮行星	2,274
灶神星	小行星	(平均) 544
哈雷彗星	彗星	(平均) 11

百萬公里，各相差了一個數量級。目前把除了太陽以外的太陽系天體，分成行星、矮行星、衛星、小行星、彗星等，但無論以大小或軌道來定義都有模糊的界線，因此難免捉襟見肘。

冰塊與塵埃混合成的「彗核」大小約1~10公里，形狀多不規則。當彗核接近太陽時，



● 彗星的構造與軌道

因受到輻射加熱而昇華，彗核之外包覆了氣體和塵埃，稱為「彗髮」，直徑可達數十萬～數百萬公里。彗髮的氣體被太陽噴發出的物質（太陽風）游離，並且被推向背離太陽的方向，形成藍色離子尾，顏色主要來自一氧化碳離子（ CO^+ ），長度可達千萬～一億公里。

彗髮中的塵埃則受到太陽輻射推壓，大小不同的顆粒因受輻射壓力強度不同，抵銷了部分太陽引力，而以不同軌道速度繞行太陽，瀰散成扇形分布。這些塵埃反射陽光，形成灰黃色的塵埃尾。由於造成離子尾和塵埃尾的力量來自太陽，因此彗尾指向總是背向太陽。

大型彗尾綿延天際，變化多端，因此中國古代稱彗星為「掃帚星」，是彗星最震懾，也最吸引人之處。彗星的英文comet源於希臘文kom，意即「頭髮」之意，亞里斯多德便以「有頭髮的星星」來形容彗星。彗星的天文符號☄也是以尾巴做為象徵。彗星常突然出現在夜空中，然後外觀變化多端，尤其彗尾的形狀、



● 鹿林彗星被發現後不久的影像。針對彗星連續拍攝，並把恆星影像重疊，可以看到彗星運動。

指向更是如此，因此無論中外，在古代都視彗星是不祥之物。

彗星和太陽、行星、衛星同時誕生，但早年被送出了家園，在冰冷的太空遊走，只有極少數得以進入太陽系內圍。古人認為彗星「來無影、去無蹤」，視它為惡兆。現在我們知道，能夠幸運看到某顆彗星，其實是「緣分」。太陽系成員經過過去幾十億年的滄海桑田，各自隨著歲月演化，只有少小離家的彗星純樸依舊，仍然保有當初形成太陽系的原始物質，極具科學研究價值。

有關鹿林彗星

鹿林彗星於2007年7月11日由廣州中山大學學生葉泉志發現，他長期和鹿林天文台合作，

進行小行星研究。葉泉志檢視鹿林天文台觀測助理林啓生利用口徑40公分望遠鏡所拍攝的影像，目的在尋找未知小行星。在那晚的影像中，他指認出兩顆相異於一般小行星運動的黯淡天體，後來經證實，一顆是新發現的近地小行星，另一顆就是鹿林彗星（Comet Lulin），開啓使用台灣望遠鏡發現彗星的先河，也是兩岸合作的具體成果。

鹿林彗星被發現時距離地球約9億公里，亮度約19等。發現之初以為是小行星，但一周後出現彗星現象，才知道它是彗星。國際彗星組織按其為非周期彗星，是2007年7月上半月發現的第3顆新彗星，把它編號為C/2007 N3，並以發現的天文台為其命名為「鹿林」（Lulin）。



● 從鹿林天文台拍攝的鹿林彗星影像，可以看出彗星鮮綠的顏色。這張照片是鹿林彗星共同發現者林啓生於鹿林天文台拍攝的。

鹿林彗星在2008年逐漸受到天文界注意，因為預期它會於次年2、3月最接近地球，屆時會達到用肉眼就可以看到的亮度。果然在2009年1到3月，掀起全球觀賞熱潮。

跑到太陽附近（也就是地球附近）的彗星數量上平均每個月有數顆，但是明亮到不用透過望遠鏡，也不需用相機長時間曝光，以肉眼就能看到的彗星，數量上就少得多，一年

大概只有1顆左右。2009年適逢聯合國教科文組織通過的「全球天文年」，鹿林彗星因緣際會，在2009年受到矚目。而鹿林天文台因在兩年前發現這顆小天體，讓「鹿林」成為全球知曉的名詞，實在是件幸運的事！

觀看鹿林彗星

鹿林彗星於2009年1月10日最接近太陽，之後彗尾逐漸

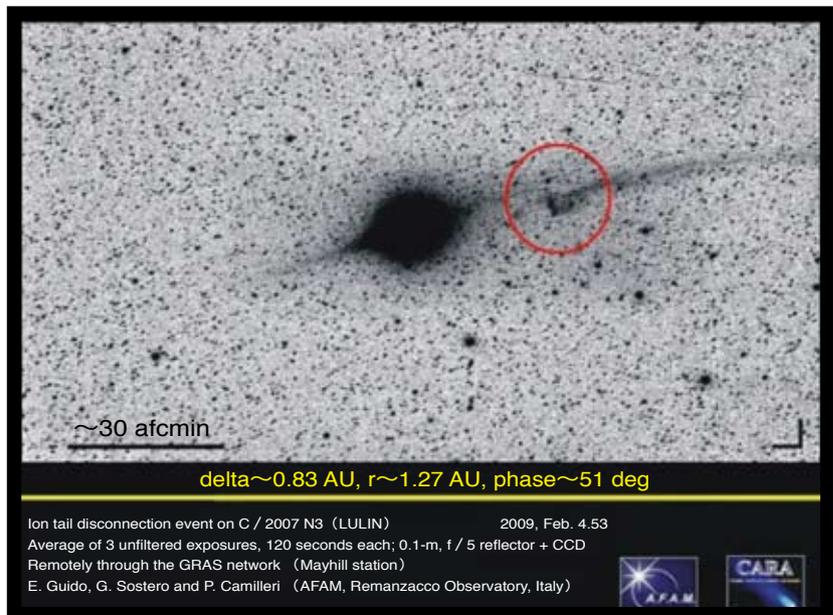
明顯。雖然離子尾指向太陽的反方向，但塵埃尾出現逆尾（antitail）現象，也就是塵埃尾「看起來」似乎指向太陽。鹿林彗星的另項特色在於它外觀鮮綠的顏色，一般相信主要來自氰基（CN）₂（cyanogen）與碳分子（C₂）氣體受到陽光照射後激發出來的。

鹿林彗星吸引了國際天文愛好者的注意。例如在2月4日，一組義大利天文學家遙控

位於美國新墨西哥州的望遠鏡，拍攝到由於太陽風沿著磁場撞擊到彗星，而造成離子尾斷裂、成串的變化，反映了當地星際磁場的複雜結構。世界上很多天文台，包括一些太空望遠鏡（例如美國 Swift 高能衛星與日本 AKARI 紅外衛星），也針對鹿林彗星觀測研究。

鹿林彗星接著於2009年2月24日最接近地球，距離地球0.411 AU（AU是「天文單位」，是地球和太陽的平均距離，約為1億5千萬公里），也就是差不多6千萬公里，亮度達5等。那幾天，彗星和明亮的土星看起來很接近，提供了饒有趣味的景觀，加上當時接近新月，非常適合觀測。

根據刻卜勒行星運動第二定律（角動量守恆律），天體的軌道速度和離太陽的距離有關，當距離近時，萬有引力強，繞行速度快；而當距離遠時，繞行速度變慢。因此，當彗星行至近日點附近時，軌道速度最快，與地球的相對運動達每秒50公里，也就是從台北到中壢只要1秒鐘！從地球看去，彗星的運行速度達到每天5度，使用雙筒望遠鏡就可以看出彗星相對於恆星的運動。



- 鹿林彗星在二月初出現離子彗尾斷裂的情形，在離子尾的反方向可以看到凸出的塵埃尾。（圖片來源：<http://www.spaceweather.com/comets/lulin/04feb09/Ernesto-Guido-Giovanni-Sostero-a-Paul-Camilleri1.jpg>）



- NASA 的Swift 迦瑪射線望遠鏡平常用來偵測宇宙伽瑪射線爆發源，2009年1月28日指向鹿林彗星。這裡所展示的是Swift影像與可見光影像的重疊，不同波段的影像以假色表示，綠色表示可見光，藍色表示紫外線，紅色則表示X射線。紫外線的部分主要來自OH基分子，由此估計彗星每秒釋放達3,200公升的水。（圖片來源：http://www.nasa.gov/images/content/314213main_swift_lulin_dss_HI.jpg Image Credit: NASA/Swift/Univ. of Leicester/DSS (STScI, AURUA) /Bodewits et al.)

拍攝彗星與一般天文攝影有不同的挑戰。拍攝遙遠天體時，如果把相機對著天空長期曝光，由於地球自轉的關係，天體影像會成線條狀，而不是

光點。為了保持星點形狀，拍攝者需要把相機架在赤道儀上，藉由精準的馬達帶動，以相反於地球自轉的方向轉動，這樣便可以使恆星在長期曝光

後仍維持光點的外觀。

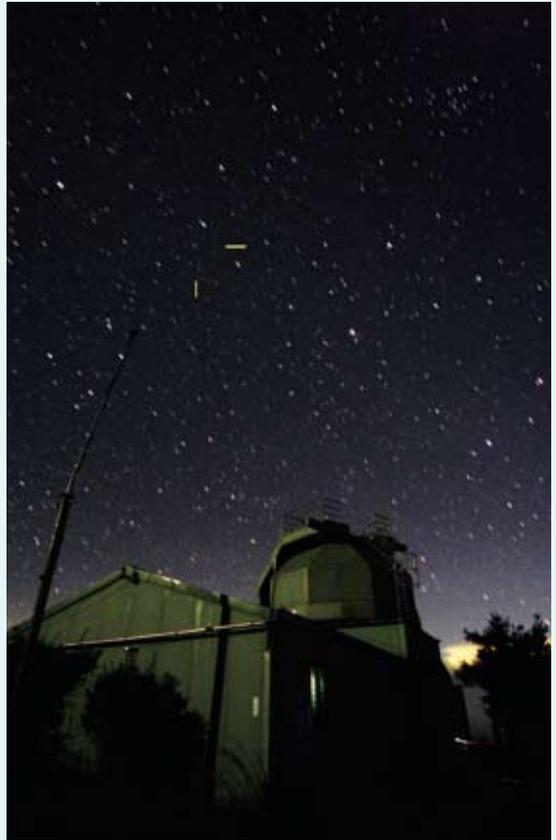
但是對於移動明顯的天體（例如小行星、彗星、人造衛星等）會有另外的困難，因為它們和遙遠恆星相比，運動快



● 鹿林彗星在最接近地球的那幾天，恰巧看起來在土星（右方亮星）附近。（圖片來源：林啓生）



● 鹿林彗星從2009年2月中到3月初在天空的位置



● 鹿林彗星與發現該彗星的鹿林40公分望遠鏡天文台合影，彗星位於影像的左上方，兩條黃色標示線條交會處，顏色偏綠。

彗星的尾巴變化多端，事實上就是藉著觀測到有東西從太陽「吹」出來造成彗尾，讓科學家在1950年代初便推測「太陽風」的存在。

得多。這好比拍攝跑步者，若相機跟著跑者移動，跑者可以拍得清楚，但是背景就模糊了；若相機不動，背景會清楚，但是跑者就不清楚了。

一般攝影時，使用高速快門，把運動「凍結」住，才可以讓兩者都清楚。然而天文攝影常在光線不足的情形下進行，無法使用短曝光。在拍攝彗星時，就

面臨追蹤恆星或彗星的兩難情形。很多攝影者便使用短時間曝光，讓恆星拉線不明顯，而彗星外觀也不至於變形，然後使用影像處理軟體來疊加影像。



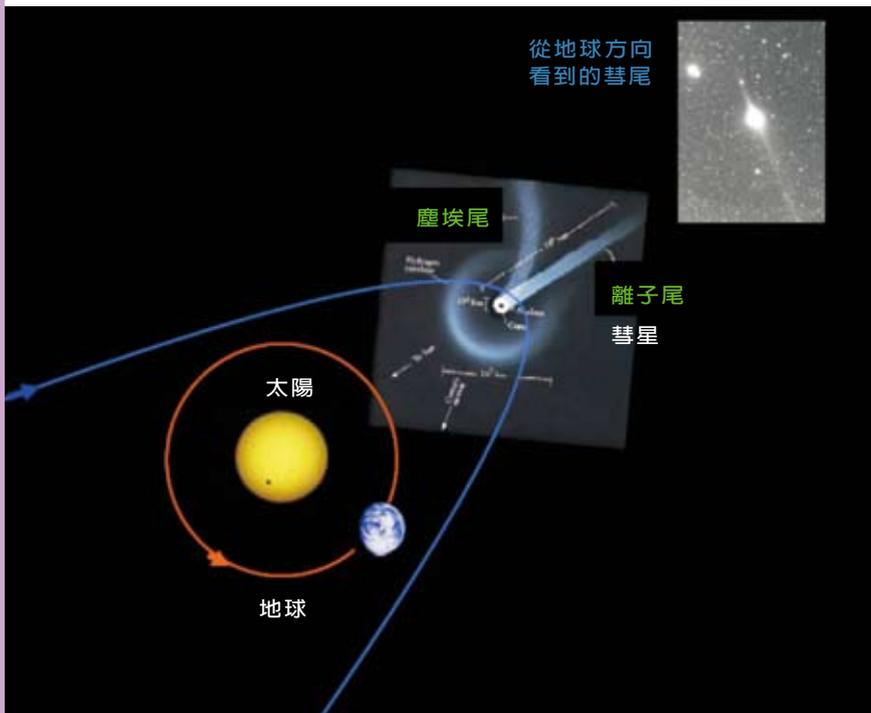
● 2009年2月20日鹿林彗星的影像，線條是人造衛星。
(圖片來源：林啓生)



● 2009年2月25日鹿林彗星的影像 (圖片來源：<http://www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab/mirrors/apod/ap090225.html>, APOD 2009-02-25 Richard Richins, NMSU)



● 鹿林彗星的外觀隨時間變化的情形 (圖片來源：<http://www.spaceweather.com/comets/lulin/02mar09/Alessandro-Dimai1.jpg>, Alessandro Dimai, www.cortinastelle.it)



● 彗星塵埃逆尾示意圖

2月的第1個星期，鹿林彗星位於室女座方向，亮度已達約六等。換句話說，在背景黑暗的環境，肉眼已經可以看到。當時它每天往西行走約2度，到了第2個星期，速度加快到每天3度。2月16日離室女座主星角宿一約3度，到了2月23、24日達到最亮五星等，同時離土星只有2度。

到了25日，彗星在「衝」的位置，也就是和太陽正好反向，這時彗星的速度達到每天5度，使用雙筒望遠鏡就可以看到它的運動。之後彗星逐漸離開地球與太陽，2月27、28日離獅子座主星軒轅十四只有約1度，此後彗尾指向東方，和之前相反。

從2月到3月間，台灣北部的天氣普遍不佳，幸好中、南部有很多機會可以觀賞。各地天文館、博物館、社團協會、學校等紛紛舉辦觀測活動，或趁這機會推廣天文教育，即使天氣不好，也以網路連線送回其他地區觀測到的即時影像。世界各地同好自然也拍攝了精彩照片放在網上，同享夜空盛宴。

熱潮過後

彗星的尾巴變化多端，事實上就是藉著觀測到有東西從太陽「吹」出來造成彗尾，讓科學家在1950年代初便推測「太陽風」的存在。而到1962年才經由水手二號（Mariner 2）太空船首先證實，太陽風就是來自太陽而充斥於行星際空間的高熱電漿。

既然彗星的尾巴朝向太陽的反方向，為什麼鹿林彗星會有明顯而持續存在的逆尾呢？首先，當彗核接近太陽時，內部受熱產生噴流，偶爾便可能

出現指向太陽的「尾巴狀」結構。但大多時候，逆尾並非真的指向太陽，而只是因為投影的關係，因為塵埃彗尾雖背向太陽，但有些向後彎曲，因此從地球看去，就可能看到似乎向著太陽的尾巴。

一般彗星的軌道面與黃道面傾斜，因此只有在彗星行經黃道面時，才看到逆尾的現象。但是因為鹿林彗星的軌道非常接近黃道面，因此很長一段時間都能看到逆尾。尤其塵埃尾原來在空間裡就是比較扁平的結構，從地球看去，塵埃尾便維持尖銳的外觀。

到底鹿林彗星有什麼樣的軌道呢？要知道天體的軌道，必須觀察它在不同時間的位置（座標），然後試圖找出最佳的數學解，這好比在圖上找出能夠通過某三個點的橢圓。對於行星或小行星帶中的小行星，甚至繞著地球的人造衛星，這不是太困難的事。但若是狹長的橢圓，在太陽（焦點）附近，也就是地球附近，我們觀測的只是極小一段軌

跡，要外插推測精確的軌道就比較不容易了。

根據觀察到的鹿林彗星的軌跡，從2007年7月發現彗星，到2009年2月初，一共一千七百多筆座標資料點，可以算出它的離心率是 $e=0.999986$ ，這表示鹿林彗星的軌道是非常狹長的橢圓（拋物線的離心率正好是1，雙曲線則大於1）。軌道的傾角是 178.374 度，也就是它的軌道非常貼近黃道面，相差不到兩度，但是它繞行的方向與行星相反（逆行）。

橢圓的極座標公式是 $r=a(1-e^2)/(1+e\cos\theta)$ ，其中 r 和 θ 分別是極座標的距離和角度， e 是橢圓離心率， a 則是橢圓軌道的半長軸。鹿林彗星的近日點和太陽的距離是 $q=1.212267$ AU。

由於軌道半長軸 a 和近日距離 q 的關係是 $q=(1-e)a$ ，因此可以算出 $a=86590.5$ AU。然而隨著更多觀測，軌道參數也隨之修正，目前最新的數據顯示鹿林彗星的軌道傾角仍然維持 178.374 度，離心率則修正為

$e=1.000046$ 。換句話說，鹿林彗星的軌道是雙曲線，近日點距離則是 $q=1.212240$ AU。雙曲線軌道表示鹿林彗星一去不復返，它只來一次，能夠觀測到它，真的運氣很好。

無論是雙曲線或極為狹長的橢圓，都表示鹿林彗星來自歐特雲。歐特雲天體一般遙不可及，像鹿林彗星這樣闖入太陽系內圍的彗星，則提供難得的機會，讓我們就近研究它們的性質。這段期間，國內學者利用光學影像研究鹿林彗星噴發氣體的機制，或利用電波望遠鏡檢視它的成分，或探究彗髮和彗尾中塵埃的分布。國外還有很多的課題，預計在未來一、兩年內展現研究成果，屆時對於這顆來自天外、令人驚喜的訪客，必定有更深入的認識。

陳文屏

中央大學天文所 / 物理系
