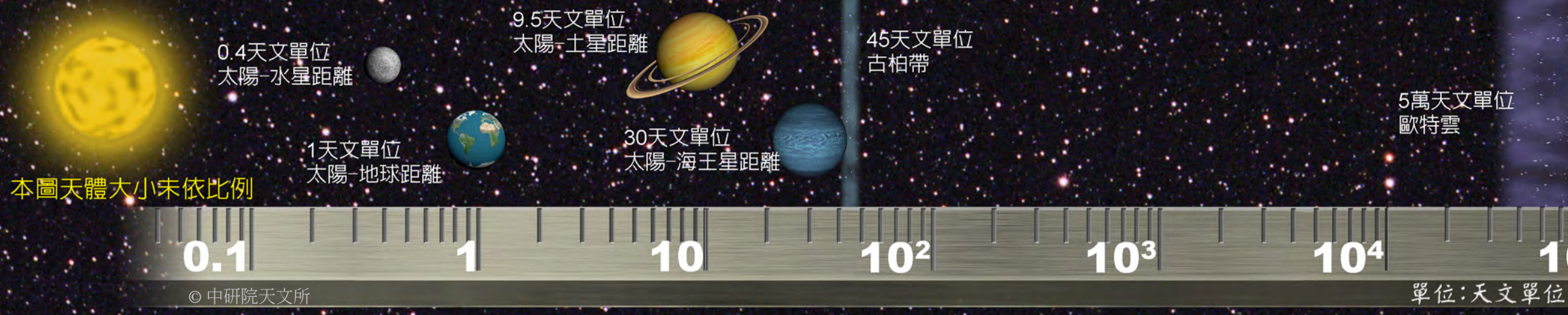


地球的遠房兄弟們 — 太陽系小天體



太陽系裡，繞太陽公轉的成員，最為人熟知的不外乎「八大行星」。除此之外，還有大部分出現在火星與木星間的小行星，以及以橢圓軌道運行的彗星。二十世紀時，天文學家推測海王星軌道外可能有許多一樣環繞太陽公轉的小型天體，或大致在黃道面上下，稱為「古柏帶」(Kuiper Belt)，或呈球狀分佈，稱為「歐特雲」(Oort Cloud)。別看這些天體雖小，它們可是「鶴髮童顏」的長者，很多都是太陽系形成過程的遺孓，留有太陽系早期物質的資訊。本季季報就要向大家介紹最近幾年為了瞭解這些小巧的長者們而開展的觀測及探測計劃。

古柏帶天體的數目與分佈是建構太陽系形成理論中的重要資訊，但是它們極其遙遠而難以直接觀測，以至於我們對它們的認識總還在瞎子摸象的階段：1930年，當時古柏帶上最亮的天體被發現，成了「行星」冥王星；2003年之後陸續發現數個類似大小的天體，導致在2006年，讓國際天文學聯合會在全球天文迷的啼哭中，將冥王星「降格」為矮行星。今年一月，因發現大型古柏帶天體而讓冥王星失格的科學家團隊，注意到有天體軌道的偏心率方向有群聚性，推測古柏帶外可能有一個海王星大小的氣體行星……越來越多的謎團因為觀測技術的精良而被發現，而許多大型望遠鏡巡天計畫已經摩拳擦掌嘗試解決問題。我們邀請本所陳英同博士為大家介紹古柏帶研究的最新進展。

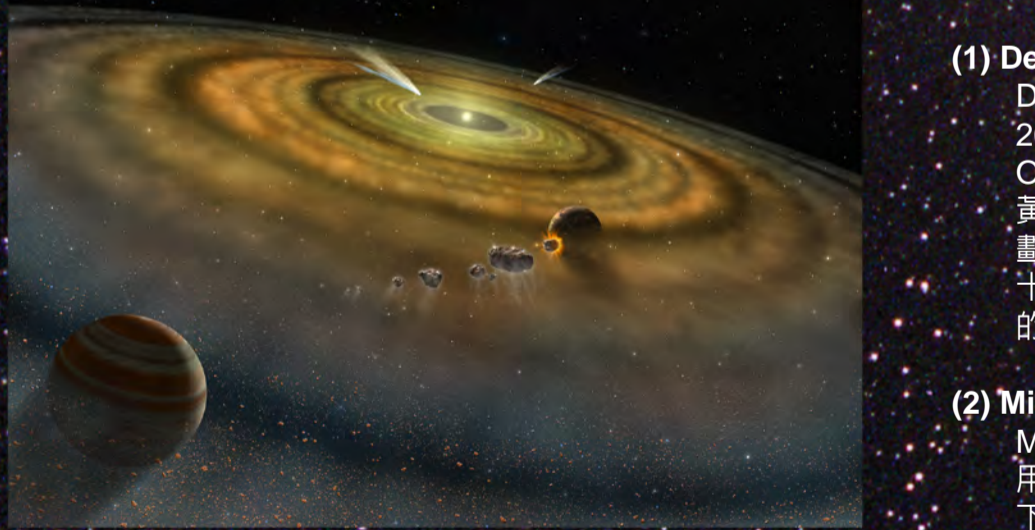
古柏帶星體 — 最原始的太陽系物體

整個宇宙演化至今超過1百億年，我們太陽系也有50億年的年紀了。在這50億年中，太陽系從一團雲氣逐漸收縮成盤狀，然後各行星也在不同位置逐漸形成。這就是目前天文學家比較相信的太陽系模型，除此之外，我們對太陽系原始的組成，以及演化細節都還不是很了解。

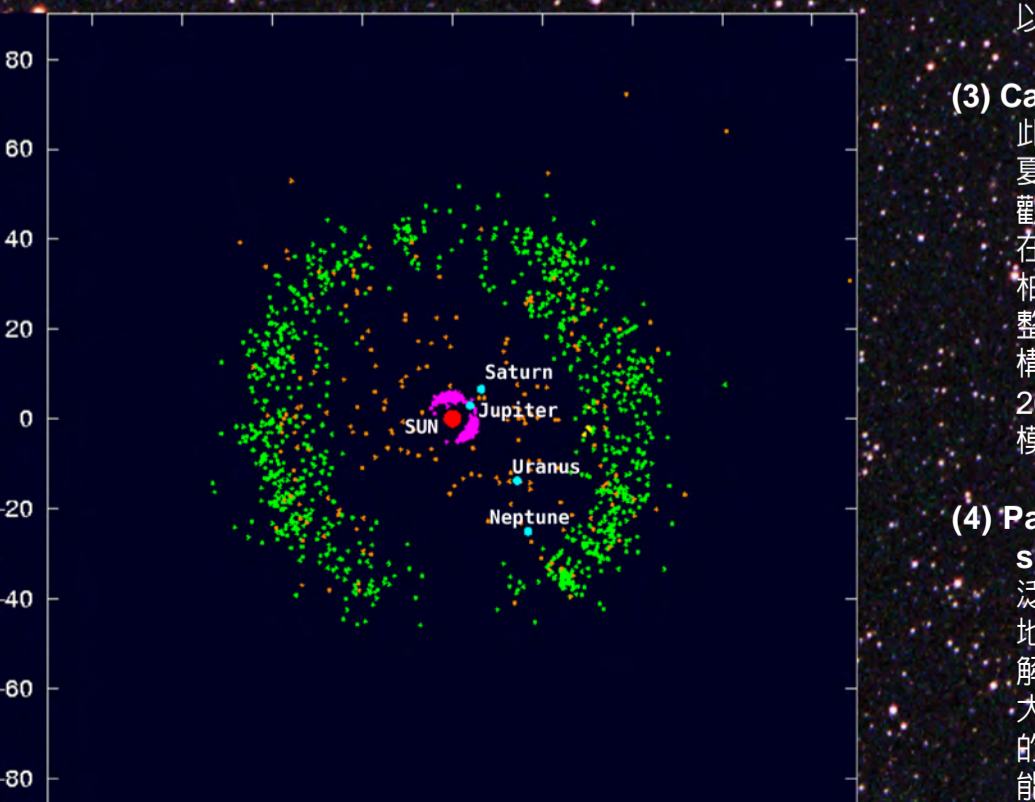
在太陽點燃核融合反應後，距離太陽比較近的類地行星，例如：水星、金星、地球、火星，因為受到較大的太陽輻射的照射以及在太陽風的不斷吹拂之下，其外表的組成已經與原始形成時完全不一樣，更別提在地質作用的更新或是風化作用之下，現存的地表物質早就不知經過多少次循環或是化學反應。這讓我們即使想利用太空船飛去該行星採樣分析，也無從得知何種物質是原始太陽系的物質。那我們何不更遠的物質做研究？這個點子在火星以外的類木行星，例如：木星、土星、天王星、海王星皆不可行，因為這幾顆巨大的行星幾乎完全由氣體所組成，太空船無從登陸，更別提採樣分析。

古柏帶的發現

於是天文學家開始推論，距離太陽越遠的地方，溫度越低，受到太陽輻射及太陽風的影響較小，是否會保留原始太陽系的物質。接下來我們把點子動到更遠的地方——海王星之外。1930年代時，也就是冥王星找到不久後，Frederick C. Leonard 首先提出在那個距離應該還有其他天體的存在。1943年 Kenneth Edgeworth 也提出在海王星之外應該存在太陽系原始物體的假說。1951年 Gerard Kuiper 更推測出在海王星之外應該會形成一個由小天體所組成包圍原始太陽



圖一：藝術家筆下的原始行星形成盤面。© NASA/FUSE/Lynette Cook.



圖二：古柏帶天體（綠色點）在太陽系中大概的分佈。（紅色點：太陽；藍色點：類木行星；紫色點：柯伊伯小行星；橘色點：冥王星小行星）© Minor Planet Center/Murray and Dermott

彗星是太陽系裡的孤獨旅者，大部分時間只是一團低調的靜雪球，只有在靠近太陽時才會顯現其「鶴髮」。近數十年發展迅速的電波觀測，發現彗髮中，不但帶有水，還有許多簡單的有機分子，甚至還發現，有些彗星的水分子裡，氫的同位素比率；跟地球上海水裡氫的同位素比率一致。於是科學家據此推論，地球上海水的源頭，甚至生命的起源，都有可能與彗星脫不了干係。如此的「外來論」聲塵塵上，也讓彗星成為熱門話題。天文學家當然要進一步研究，才能對彗星在太陽系裡的重要性下結論。一個方法是盡可能尋找彗星，研究它們的軌道與亮度等性質，才能知道它們來自何方。這樣的工作如大海撿針，於是天文學家向所有天文迷尋求協助，這就是本所合作建立的「彗星獵捕手」(Comet Hunters)計畫。另一個方法是直接登陸彗星！就像歐洲太空總署的羅賽塔(Rosetta)計畫。本次季報我們邀請彗星獵捕手計畫推手之一，本所副所長王祥宇博士為大家介紹彗星獵捕手，還有中央大學林忠義博士為大家介紹羅賽塔計畫。

以下就讓我們一探太陽系小型天體的神祕面纱！

(作者 / 劉君帆)

十年磨一劍的羅賽塔任務

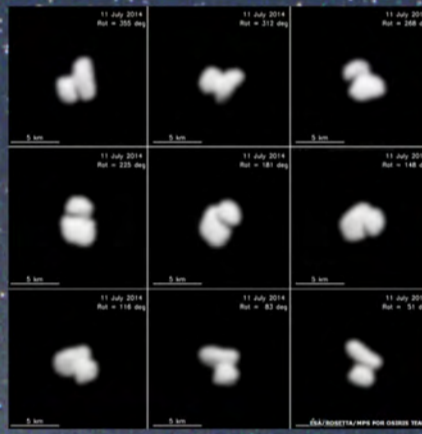
彗星的重要性

彗星被人們描述為「靜雪球」，是由冰和少量岩石組成的小天體。彗星在古中國被認為是凶兆的天象，因而有另一別名「掃把星」，但也因為這肉眼可見的天體很特殊，不論中國或西方國家都有一些文獻或圖畫來記錄彗星！彗星被認為是太陽系最古老、最原始的天體，記錄了太陽系演化初期所發生的物理與化學過程，可以說是太陽系的活化石。這活化石在低溫環境下（如帶狀的古柏帶或歐特雲）保存得非常好，一直到它們受到重力擾動而進入內太陽系，表面物質才受熱而開始揮發。此外，彗星也是研究地球生命與水的重要窗口之一，地球生命中的原始物質（有機分子）很可能是在彗星撞擊「幼年地球」時帶來的；而彗星中具有揮發性的輕元素，則在地球海洋和大氣形成過程中占有一席之地。

羅賽塔號任務

從1986年哈雷彗星最近的一次回歸以來，有許多彗星的太空任務，但這些任務都只是飛越過彗星，從來沒有像羅賽塔號繞行彗星，並跟隨著彗星從遠（約在木星與火星間）到近（2015年8月通過近日點約1.2天文單位）觀察彗星的變化。地高望遠鏡曾經跟隨著著名的海爾-波普彗星(C/1995 O1, Hale-Bopp)相當長一段時間，也曾利用哈伯太空望遠鏡來看此彗星，但由於解析力不夠，只能從彗髮形態與彗尾去推敲彗核可能發生的變化，而羅賽塔任務便是此小尺度彗核與大尺度彗髮彗尾的橋樑，就像「羅賽塔石碑」利用已知的古希臘文把神秘的象形文字破解開來。象形文字是古埃及語言的基石，而彗星則是太陽系與行星生命形成的基石，故此將太空船命名為「羅賽塔」，並期望像羅賽塔石碑一樣，透過對彗星的觀測幫助科學家解開太陽系的起源與演化之謎團。

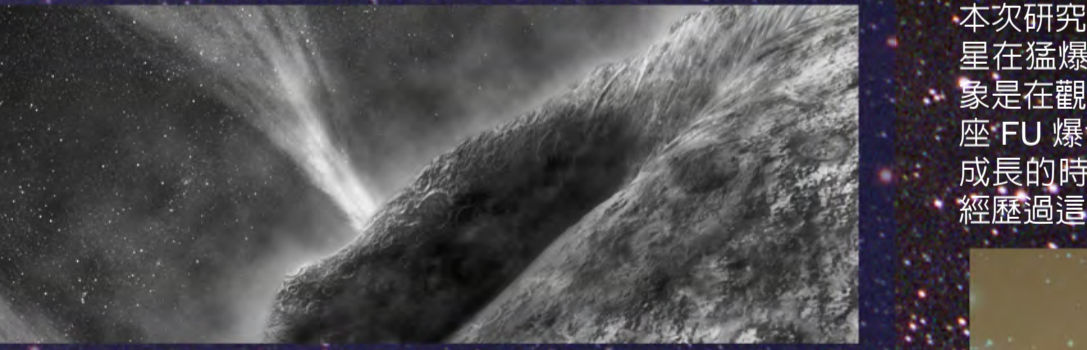
羅賽塔任務原定在2003年發射，2011年到達彗星46P/Wirtanen，但是2002年底因火箭發射失敗，間接造成了羅賽塔任務的延誤。歐洲太空總署(European Space Agency, 簡稱ESA)因此更換探測目標，而編號第六十七號彗星楚留莫夫-格拉希門克(67P/Churyumov-Gerasimenko)成為人類探索史上的幸運兒。2004年3月，羅賽塔太空船順利發射升空，為了節省能源，太空船在2011年6月距離太陽約8億公里遠處進入深度睡眠。在休眠31個月後，ESA於臺北時間2014年1月21日成功喚醒還在距太陽約



圖A：OSIRIS 相機在2014年7月解出的彗星67P-CG的形狀，型態類似當時時髦的黃色小鴨。©ESA/Rosetta MPS for OSIRIS Team

彗星獵捕手

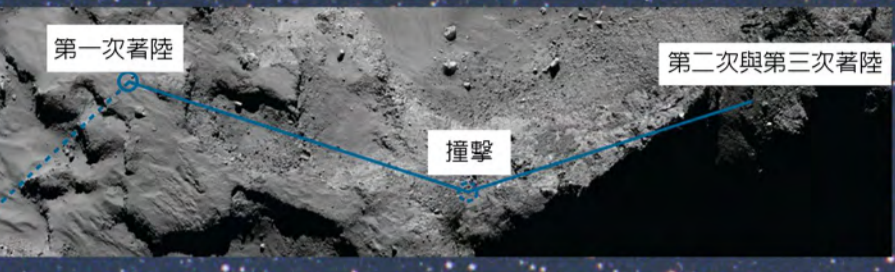
彗星獵捕手(Comet Hunters)是本所最近新增的網路公民科學研究計畫，希望利用大眾的力量來發現小行星帶中的彗星。網路公民科學是藉由一般大眾的閒暇時間，進行大量資料的分類、辨識或是紀錄等，來幫助科學家進行研究，以在短時間內完成電腦分析軟體無法勝任的工作。



圖說：藝術家繪製的小行星帶彗星想像圖。© NASA/JPL/Stanford Team Artist Rendition

小行星帶的彗星是最近幾年才被發現的天體，它們雖然位於小行星帶，但是具有像彗星一樣的尾巴。到目前為止，只有大約十個小行星帶的彗星被發現。小行星帶位在火星與木星之間，一般認為其中天體組成以岩石和金屬為主，所以不大可能有彗星活動存在。它們的發現，顛覆了一般天文學家對小行星帶的認識，這類型小天體表面具有大量的冰及灰塵，很有可能是地球上水分子的重要來源之一。但是由於數量稀少，加上其噴出氣體與灰塵的形狀也各不相同，也不一定具有持續的彗星活動，很難利用影像辨識方式有效地找出它們。彗星獵捕手希望能夠利用大眾的力量在短時間內讓彗星的數目倍增。我們第一步是尋找八米 Subaru 望遠鏡所有已公開的廣角相機觀測影像。將具有已知小行星的影像區域卸下來，讓大家來辨識影像中的小天體是否有拖著一條尾巴或是在其周圍具有朦朧的氣體圍繞。如果一張影像被許多人判定具有這些特徵，而同一個小天體在其他相近時間的影像也有類似的特徵，它就很有可能是小行星帶中的彗星。目前我們已經有數萬個的影像，等著大家來辨識。如果第一階段的辨識成功，第二階段我們將使用大型超廣角可見光相機 Hyper Suprime-Cam(HSC) 巡天計畫的影像，來尋找小行星帶中的彗星。您也想要發現新的彗星嗎？趕快來<https://goo.gl/kdLIQH> 幫我們尋找彗星吧！

(作者 / 王祥宇)



圖B：在OSIRIS圖片中菲萊號飛行的路徑。©Data:Auster et al. (2015), Comet Images ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team

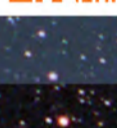
進入彗星軌道之後，羅賽塔全力為另一個富有野心的任務做足準備。這計劃就是讓菲萊(Philae)登陸器直接降落在彗星上。經由數個月觀測分析，ESA在2014年10月中決定讓登陸器菲萊軟著陸到彗星楚留莫夫-格拉希門克上。這是有史以來科學家第一次嘗試「輕輕地接觸彗星」！羅賽塔太空船於臺北時間11月12日釋放菲萊登陸器，在下降過程中，菲萊同時對靠近彗星的塵埃、氣體和電漿環境進行調查。然而，十年前的設想並沒有完全實現，推進器(Ithuster)失靈，魚叉(harpoons)在著陸後也沒有按計劃射出固定，於是菲萊就在彗星上彈跳兩次，最後降落在彗星上一處峭壁陰影中(如圖B)。按照設計，菲萊的主電池只能維持60小時，在那之後，必須依靠太陽電池才能持續工作。而降降所在位置，只能有一個半小時的太陽照度(原先預期有6-7小時)，靠著電力一點點耗盡，終於菲萊在臺北時間2014年11月15日進入休眠狀態。所幸，在此之前菲萊把著陸後所獲取的實驗數據都傳回地球，也把面積較大的太陽電池板旋轉35度後朝向陽光。

菲萊醒醒：起身說「Hi」!

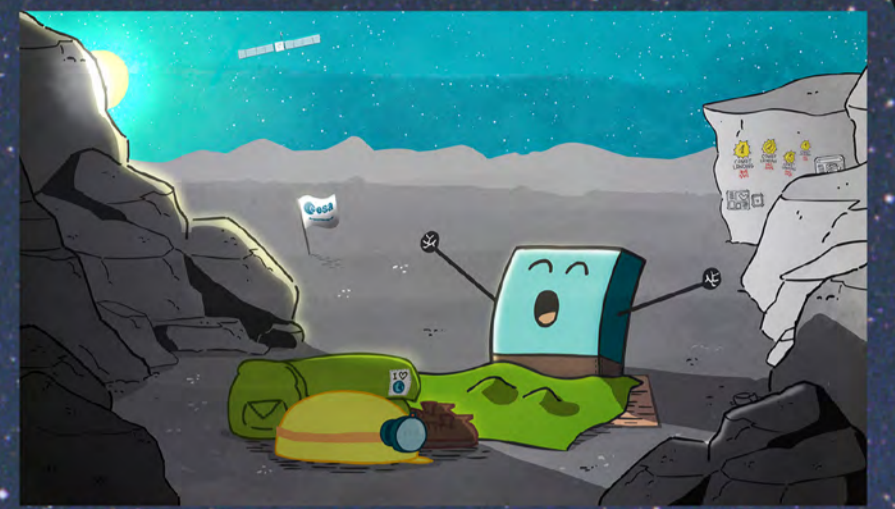
臺北時間2015年6月14日歐洲太空運轉中心(European Space Operations Centre, ESOC)接到來自菲萊的信號(見圖C)！這第一次的信號與隨後幾次的聯絡確定了菲萊登陸器自身當前的狀況，也透露本身有存在一些醒睡後的探測數據。訊息顯示，菲萊其實已經醒醒一段時間了，並告知科學家最後降落地點溫度約為-35°C，有足夠電力可以與羅賽塔太空船取得聯絡，展開一些簡單任務，如測定溫度與磁場，但電力不足以應付一些複雜任務，如拍攝照片和分析彗星塵埃等。

然而科學家於2015年7月9日收到菲萊發出的最後一次訊號後就再也沒有任何消息了，因為太空船飛向彗星的南半球，無法接受菲萊來自北半球的訊號，加上彗星通過近日點，太空船與彗星需保持幾百公里的距離來維護太空船的安全。然而，2016年初ESA發出的消息顯示菲萊或許到了和地球說再見的時候了。科學家在2015年聖誕節前向菲萊再次發送喚醒指令，希望能夠啟動其調速輪軸並清除其表面塵埃；也幫助其重新定位，但科學家至今未能收到任何回響。由於彗星67P距離太陽越來越遠，表面溫度越來越低，光線越來越少，這也就意味著菲萊被再次喚醒的可能性也越來越低。儘管如此，科學家仍存有期望，希望將來還是有機會能接收到來自菲萊的信號。

有關「羅賽塔和菲萊的彗星大冒險」中文字幕影片，可以來<https://goo.gl/Ox0k12> 這裡觀看喔。



(作者 / 林忠義)



圖C：2015年6月13日已沉睡7個月的菲萊登陸器輕輕過來的示意圖。©ESA

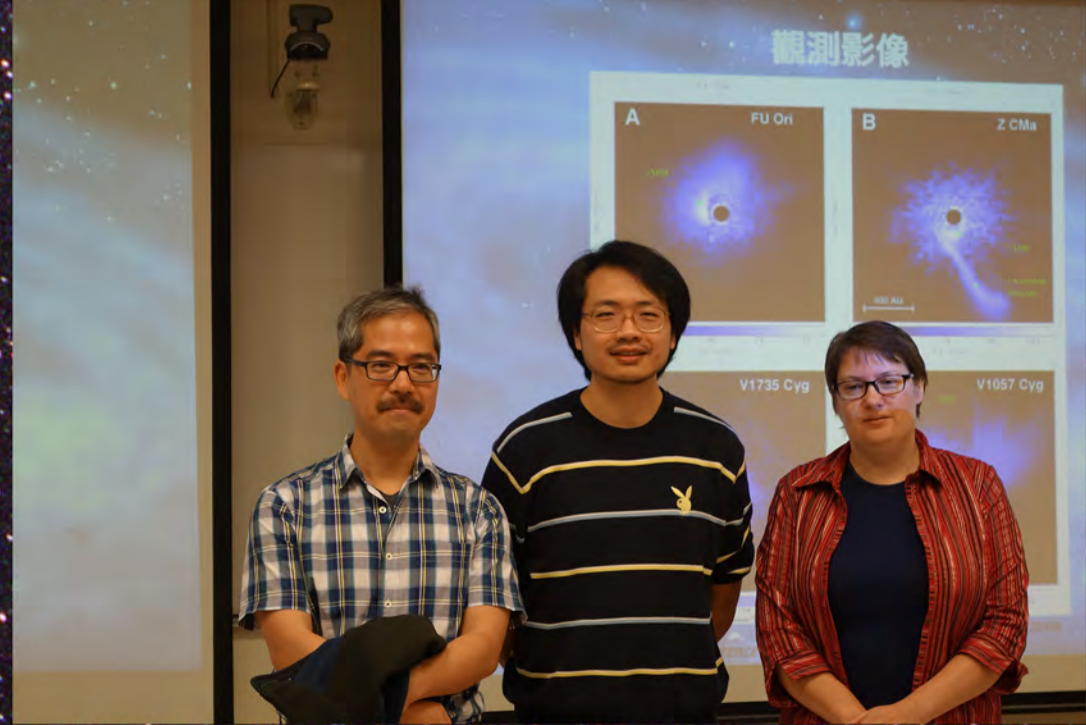


圖D：羅賽塔太空船、菲萊登陸器及彗星的合成照。(大小未按比例)。©ESA-C. Carréau/ATG mediahub

【研究發表】天文觀測揭露新生恆星暴食成長秘密

過去天文學家一向認為，恆星從氣體塵埃雲中形成的過程，應該是持續而穩定的。然而，用平穩而連續的吸積過程來解釋恆星怎麼長大，其實有困難——速度太慢，效率太低。所以，天文學家一直都在積極了解，大部分令恆星得以生長的物質，到底是怎麼取得的？本所天文團隊認為比較合理的解釋，塵埃和氣體雲間的引力交互作用有關。

本次研究為首度看到獵戶座FU型恆星形成氣體雲內部的精細結構。這型原恆星在猛烈吸積發生時，原恆星質量吸積速率可較平時增加十倍，因為此現象是在觀測一個叫做獵戶座FU的恆星正在爆發時首次發現，因而命名為獵戶座FU爆發(FU Orion outburst)。恆星形成歷時幾百萬年，其中這種爆發性成長的時間可能只有幾十年之久。本所研究團隊假設，應該所有恆星都曾經經歷過這種爆發性成長。



圖說：本所高見道弘(左)、呂浩宇(中)與Jennifer Kan博士，及其觀測成果。©中研院天文所

本所高見道弘博士說：這是個非常震撼的發現，首先觀測結果與理論相符合，這說明他們的各種假設都正確無誤。其次，這次觀測看到了前所未見的細節，他說：「雖然用的是一樣的觀測技術，但我們本來沒有預期會看到這麼明顯的結構，所以真的很意外。不過，與自然界冥冥中相期而遇自能突破性地更深入了解宇宙奧秘，這正是科學家最開心的時刻。」

結合電腦模擬和實際觀測結果，團隊驗證的新模型更可以解釋：為什麼最近

一些新發現的系外行星，軌道距離母星是那麼的遙遠，甚至是大太陽和地球間距離的一千倍，這遠大於標準行星形成理論可以解釋的軌道大小。高見博士說：「我們在電腦上能模擬出像在望遠鏡上所看到的複雜塊塊，最終，這些塊塊就可能成為氣體巨行星。」

巨大氣體塵埃雲會因本身重力塌縮而形成恆星。同時，環繞母恆星的物質盤也可能因重力不穩定性而裂解產生行星。本次研究引用之數值模型得以完整描述這個過程，匹配觀測結果並帶來新見解，顯示真實適用性，也因此更令人信服。雖然新發現令人振奋，研究團隊在相關議題上還有許多挑戰，其中之一即為更多詳細觀測與理論比較。阿塔卡馬大型毫米及次毫米波陣列(ALMA)也將對這個領域提供關鍵貢獻，為原恆星周圍氣體與塵埃的觀測提供前所未見的解析力與靈敏度。此外，天文學家亦計劃建造尺寸遠大於Subaru的可見光望遠鏡，期望對極靠近原恆星的區域提供更豐富的觀測資料。

(摘自本所新聞稿)

發行人 | 朱荷苓
執行主編 | 周奕宏
美術編輯 | 蔡毅輝
執行編輯 | 曾麗君、蔣毅毅
底圖版權歸屬 | 海爾、波普彗星，經影像處理及裁剪而成
原圖版權 © 王為豪

發行單位 | 中央研究院天文及天文物理研究所
地址 | 中央研究院 / 臺灣大學天文數學館 11 樓
(臺北市羅斯福路四段 1 號)
電話 | (02)2366-5389
電子信箱 | ep@asiaa.sinica.edu.tw
天體學報版權所有 | 中研院天文所
ISSN 2311-7281 / GPN 2009095151

天體學報編輯部敬謝各位閱讀本內容，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。歡迎各界來信提供稿件、選稿、讀後心得、天文問題或是建議稿。

來稿請寄至：臺北羅斯福路四段 1 號 中央研究院 / 臺灣大學天文數學館 11 樓 中央研究院天文所天體學報編輯小組收。
歡迎向各級學校師生提供天文相關活動訊息，有機會在天文學報上刊發喔！

導論

太陽系裡，繞太陽公轉的成員，最為人熟知的不外乎「八大行星」。除此之外，還有大部分出現在火星與木星間的小行星，還有以橢圓軌道運行的彗星。二十世紀時，天文學家推測海王星軌道外可能有許多一樣環繞太陽公轉的小型天體，或大致在黃道面上下，稱為「古柏帶」(Kuiper Belt)，或呈球狀分佈，稱為「歐特雲」(Oort Cloud)。別看這些天體雖小，它們可是「鶴髮童顏」的長者，很多都是太陽系形成過程的遺緒，留有太陽系早期物質的資訊。本季季報就要向大家介紹最近幾年為了瞭解這些小巧的長者們而開展的觀測及探測計劃。

古柏帶天體的數目與分佈是建構太陽系形成理論中的重要資訊，但是它們極其遙遠而難以直接觀測，以至於我們對它們的認識總還在瞎子摸象的階段：1930年，古柏帶上離我們最近的天體被發現，成了「行星」冥王星；2003年之後陸續發現數個類似大小的天體，導致在2006年，讓國際天文學聯合會在全球天文迷的唏噓中，將冥王星「降格」為矮行星。今年一月中，因發現大型古柏帶天體而讓冥王星失格的科學家團隊，注意到現有天體軌道的偏心方向有群聚性，推測古柏帶外可能有一個海王星大小的氣體行星……越來越多的謎團因為觀測技術的精良而被發現，而許多大型望遠鏡巡天計畫已經摩拳擦掌嘗試解決問題。我們邀請本所陳英同博士為大家介紹古柏帶研究的最新進展。

彗星是太陽系裡的孤獨旅者，大部分時間只是一團低調的髒雪球，只有在靠近太陽時才會顯現其「鶴髮」。近數十年發展迅速的無線電波觀測，發現彗髮中，不但帶有水，還有許多簡單的有機分子，甚至還發現，有些彗星的水分子裡，氫的同位素比率，跟地球上海水裡氫的同位素比率一致。於是科學家據此推論，地球上海水的源頭，甚至生命的起源，都有可能與彗星脫不了干係。如此的「外來論」甚囂塵上，也讓彗星成為熱門話題。天文學家當然要進一步研究，才能對彗星在太陽系裡的重要性下結論。一個方法是盡可能尋找彗星，研究它們的軌道與亮度等性質，才能知道它們來自何方。這樣的

工作如大海撈針，於是天文學家向所有天文迷尋求協助，這就是本所合作建立的「彗星獵捕手」(Comet Hunter)計畫。另一個方法是直接登陸彗星！就像歐洲太空總署的羅賽塔(Rosetta)計畫。本次季報我們邀請彗星獵捕手計畫推手之一，本所副所長王祥宇博士為大家介紹彗星獵捕手，還有中央大學林忠義博士為大家介紹羅賽塔計畫。

下面就讓我們一探太陽系小型天體的神秘面紗！

(作者/劉君帆)

十年磨一劍的羅賽塔任務

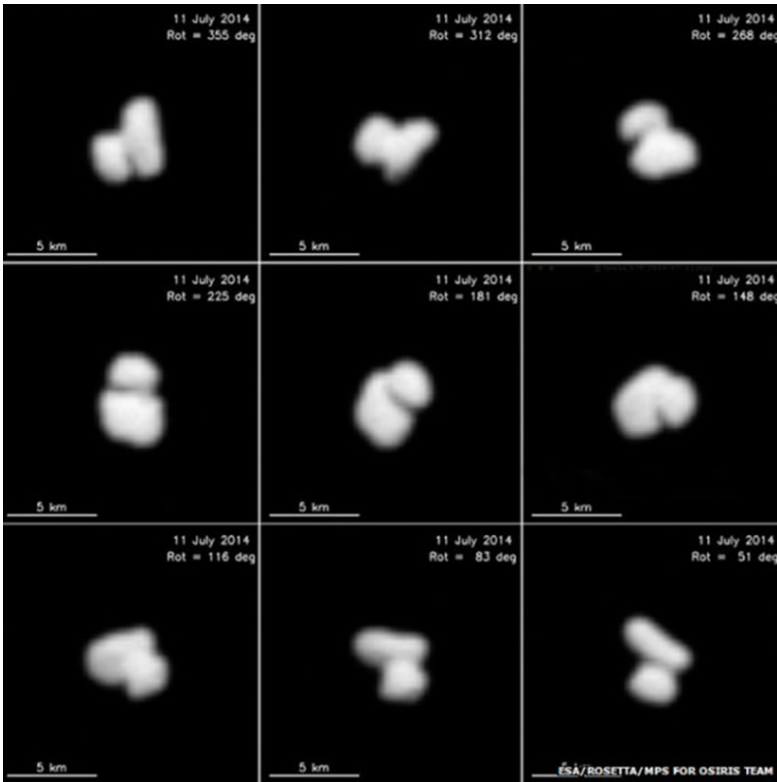
彗星的重要性

彗星被人們描述為「髒雪球」，是由冰和少量岩石組成的小天體。彗星在古中國被認為是凶兆的天象，因而有另一別名—「掃把星」，但也因為這肉眼可見的天體很特殊，不論中國或西方國家都有一些文獻或圖案來記錄彗星！彗星被認為是太陽系裏最古老、最原始的天體，記錄了太陽系演化初期所發生的物理與化學過程，可以說是太陽系的活化石。這活化石在低溫環境下(如帶狀的古柏帶或球狀歐特雲)保存得非常好，一直到它們受到重力擾動而進入內太陽系，表面物質才受熱而開始揮發。此外，彗星也是研究地球生命與水的重要窗口之一，地球生命中的原始物質(有機分子)很可能是在彗星撞擊「年幼地球」時帶來的，而彗星中俱有揮發性的輕元素，則在地球海洋和大氣形成過程中占有一席之地。

羅賽塔號任務

從 1986 年哈雷彗星最近的一次回歸以來，有許多彗星的太空任務，但這些任務都只是飛越過彗星，從來沒有像羅賽塔號要繞行彗星，並跟隨著彗星從遠(約在木星與火星間)到近(2015 年 8 月通過近日點約 1.2 天文單位)觀察彗星的變化。地面望遠鏡曾經跟隨著著名的海爾-波普彗星(C/1995 01, Hale-Bopp)相當長一段時間，也曾用哈伯太空望遠鏡來看此彗星，但由於解析力不夠，只能從彗髮形態與彗尾去推敲彗核可能發生的變化，而羅賽塔任務便是此小尺度彗核與大尺度彗髮彗尾的橋樑，就像「羅賽塔石碑」利用已知的古希臘文把神秘的象形文字破解開來。象形文字是古埃及語言的基石，而彗星則是太陽系與行星生命形成的基石，故此將太空船命名為「羅賽塔」，並期望像羅賽塔石碑一樣，透過對彗星的觀測幫助科學家解開太陽系的起源與演化之謎團。

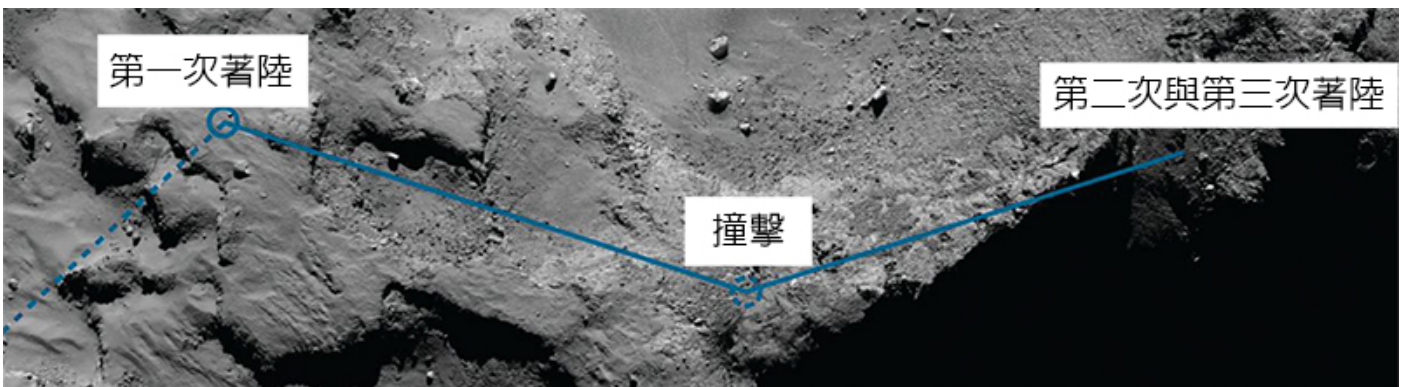
羅賽塔任務原定在 2003 年發射，2011 年到達彗星 46P/Wirtanen，但是 2002 年底因火箭發射失敗，間接造成了羅賽塔任務的延誤。歐洲太空總署(European Space Agency, 簡稱 ESA)因此更換探測目標，而編號第六十七號彗星楚留莫夫-格拉希門克(67P/Churyumov-Gerasimenko)成為人類探索史上的幸運兒。2004 年 3 月，羅賽塔太空船順利發射升空，為了節省能源，太空船在 2011 年 6 月距離太陽約 8 億公里遠處進入深度睡眠。在休眠 31 個月後，ESA 於臺北時間 2014 年 1 月 21 日成功喚醒遠在距太陽約 6.7 億公里遠、距離彗星約 9 百萬公里的羅賽塔太空船，並展開這趟任務最關鍵也是最後的旅程。甦醒之後的太空船除了檢測所攜帶的各項科學儀器，從不斷接近彗星的過程中拍攝了大量照片，也因距離縮短，使得太空船在七月(距離彗星約 1 萬 2 千公里)得以解析到彗星的形狀。OSIRIS 相機捕獲到一只黃色小鴨形態的彗星(圖 A)，從外形判斷，可能是由兩個緊密的個體相連而成，或是在此前接近太陽的過程中不均勻「風化」導致的侵蝕不均形成。2014 年 8 月 6 日為任務歷史性的一刻，因為這一天太空船終於進入彗星楚留莫夫-格拉希門克軌道中，而這一刻等了 10 年 5 個月又 4 天，總共飛了近 64 億公里！



圖A：OSIRIS 相機在2014 年7 月解析出彗星67P/C-G 的形狀，型態類似當時火紅的黃色小鴨；

©ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team

進入彗星軌道之後，羅賽塔全力為另一個富有野心的任務做足準備，這計劃就是讓菲萊(Philae) 登陸器直接降落在彗星上。經由數個月觀測分析，ESA 在 2014 年 10 月中決定讓登陸器菲萊軟著陸到彗星楚留莫夫—格拉希門克上。這是有史以來科學家第一次嘗試「輕輕地接觸彗星」！羅賽塔太空船於臺北時間 11 月 12 日釋放菲萊登陸器，在下降過程中，菲萊同時對靠近彗星的塵埃、氣體和電漿環境進行調查。然而，十年前的設想並沒有完全實現，推進器(thruster)失靈，魚叉(harpoons)在著陸後也沒有按計劃射出固定，於是乎菲萊就在彗星上彈跳兩次，最後降落在彗星上一處峭壁陰影中(如圖 B)。按照設計，菲萊的主電池只能維持 60 小時，在那之後，必須依靠太陽能電池才能持續工作。而降落所在位置，只能有一個半小時的太陽照度(原先預期有 6-7 小時)，看著電力一點點耗盡，終於菲萊在臺北時間 2014 年 11 月 15 日進入休眠狀態。所幸，在此之前菲萊把著陸後所獲取的實驗數據都傳回地球，也把面積較大的太陽能電池板旋轉 35 度後朝向陽光。

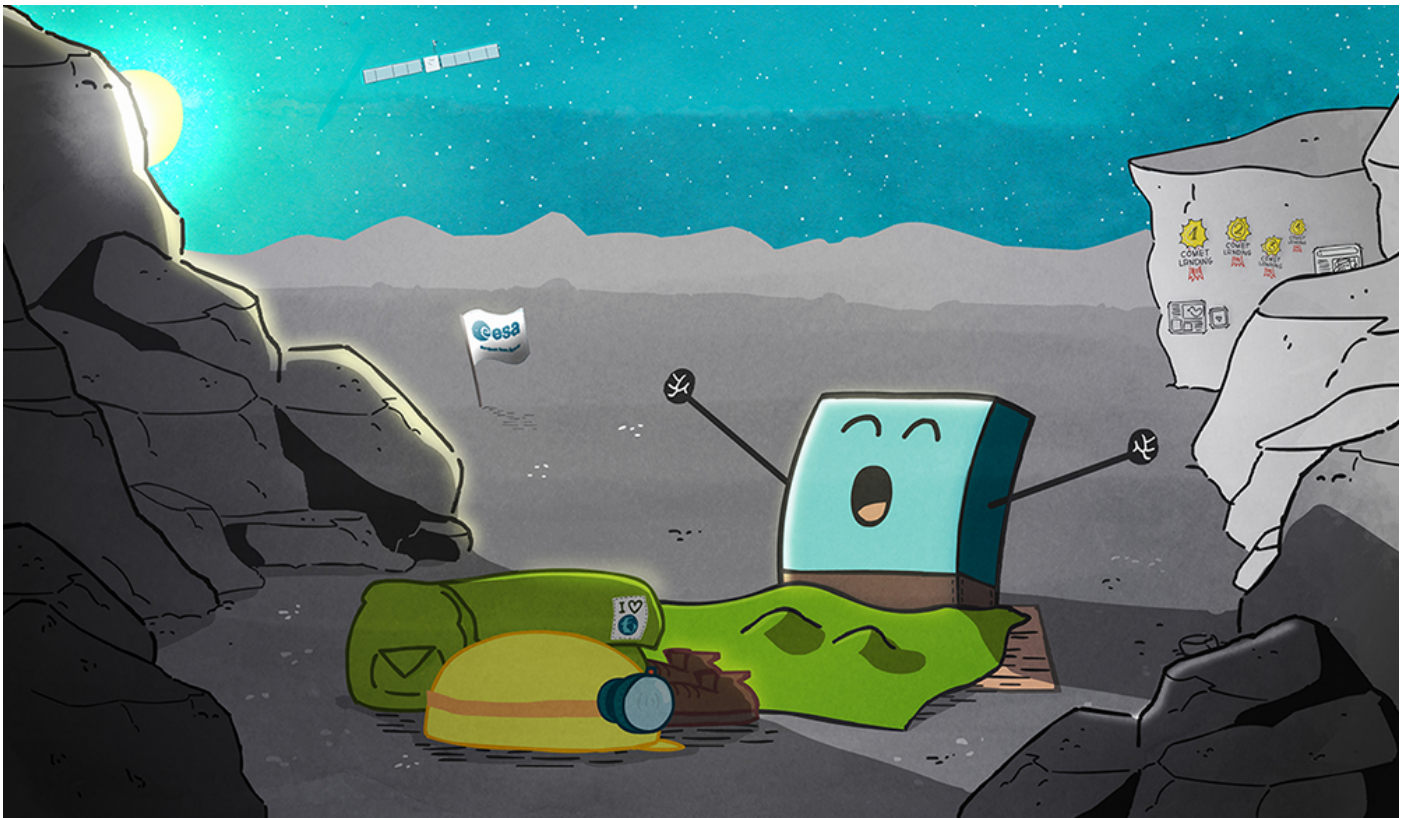


圖B：在OSIRIS圖片中菲萊號飛行的路徑。©Data:Auster et al. (2015) / Comet

image: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team

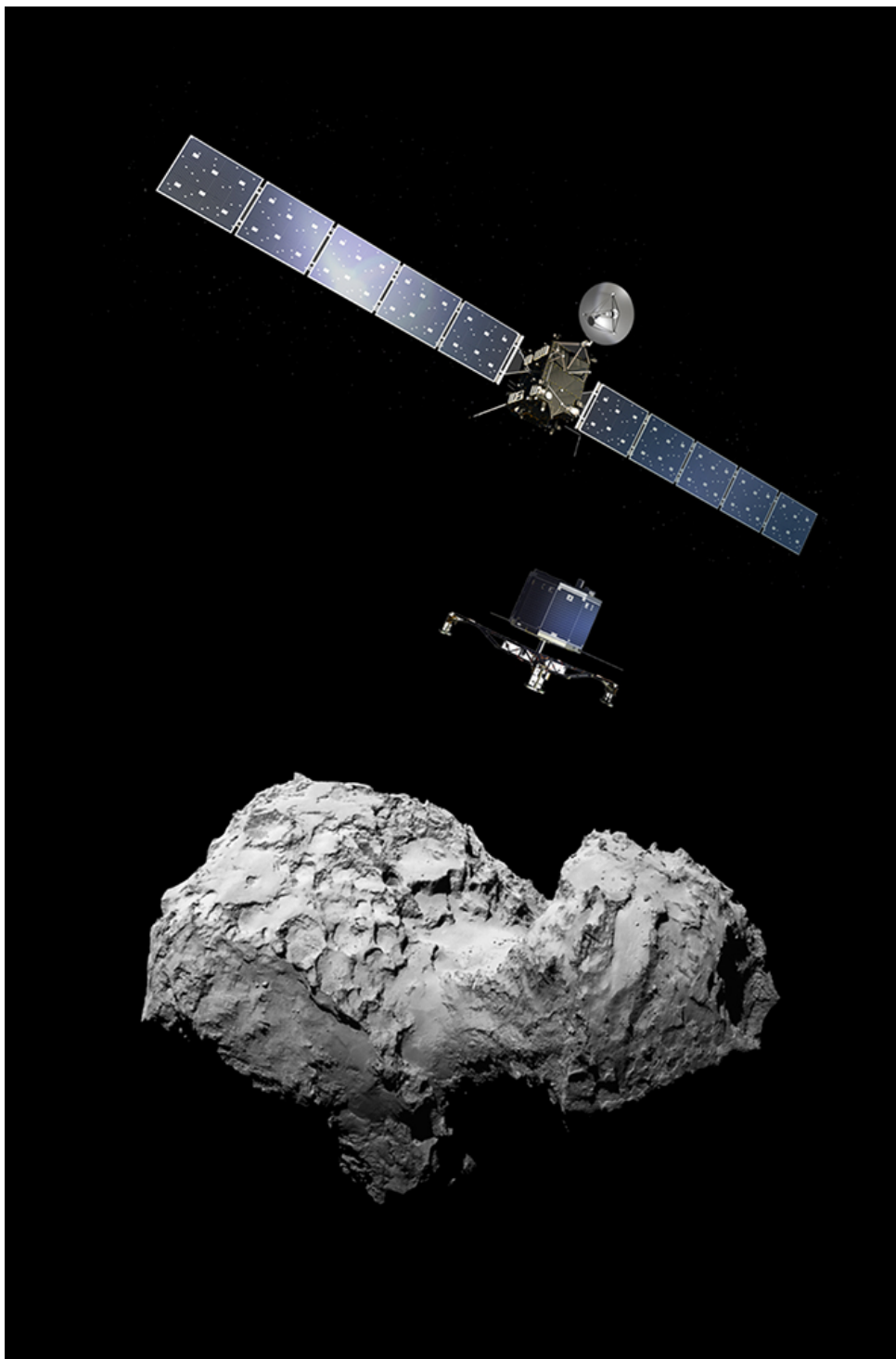
菲萊甦醒, 起身說「嗨」!!!

臺北時間 2015 年 6 月 14 日歐洲太空運轉中心(European Space Operations Centre, ESOC)接到來自菲萊的信號(見圖 C)！這一次的信號與隨後幾次的聯絡確定了菲萊登陸器自身當前的狀況，也透露本身有存在一些甦醒後的探測數據。訊息顯示，菲萊其實已經甦醒一段時間了，並告知科學家最後降落地點溫度約為 -35°C ，有足夠電力可以與羅賽塔太空船取得聯絡，展開一些簡單任務，如測定溫度與磁場，但電力不足以應付一些複雜任務，如拍攝照片和分析彗星塵埃等。



圖C：2015 年6 月13 日已沉睡近7 個月的菲萊登陸器甦醒過來的示意圖。©ESA

然而科學家於 2015 年 7 月 9 日收到菲萊發出的最後一次訊號後就再也沒有任何消息了，因為太空船飛向彗星的南半球，無法接受菲萊來自北半球的訊號，加上彗星通過其近日點，太空船與彗星需保持幾百公里的距離來維護太空船的安全。然而，2016 年初 ESA 發出的消息顯示菲萊或許到了和地球說再見的時候了。科學家在 2015 年聖誕節向菲萊再次發送喚醒指令，希望能夠啟動其調速輪軸並清除其表面塵埃，也幫助其重新定位，但科學家至今未能收到任何回復。由於彗星 67P 距離太陽越來越遠，表面溫度越來越低，光線越來越少，這也就意味著菲萊被再次喚醒的可能性也越來越低。儘管如此，科學家仍存有期望，希望將來還是有機會能接收到來自菲萊的信號！



圖D：羅賽塔太空船、菲萊登陸器及彗星的合成照(大小未按比例)。©ESA-C. Carreau/ATG medialab

有關「羅賽塔和菲萊的彗星大冒險」中文字幕影片，可以來 <https://goo.gl/0x0kl2> 這裡觀看喔。

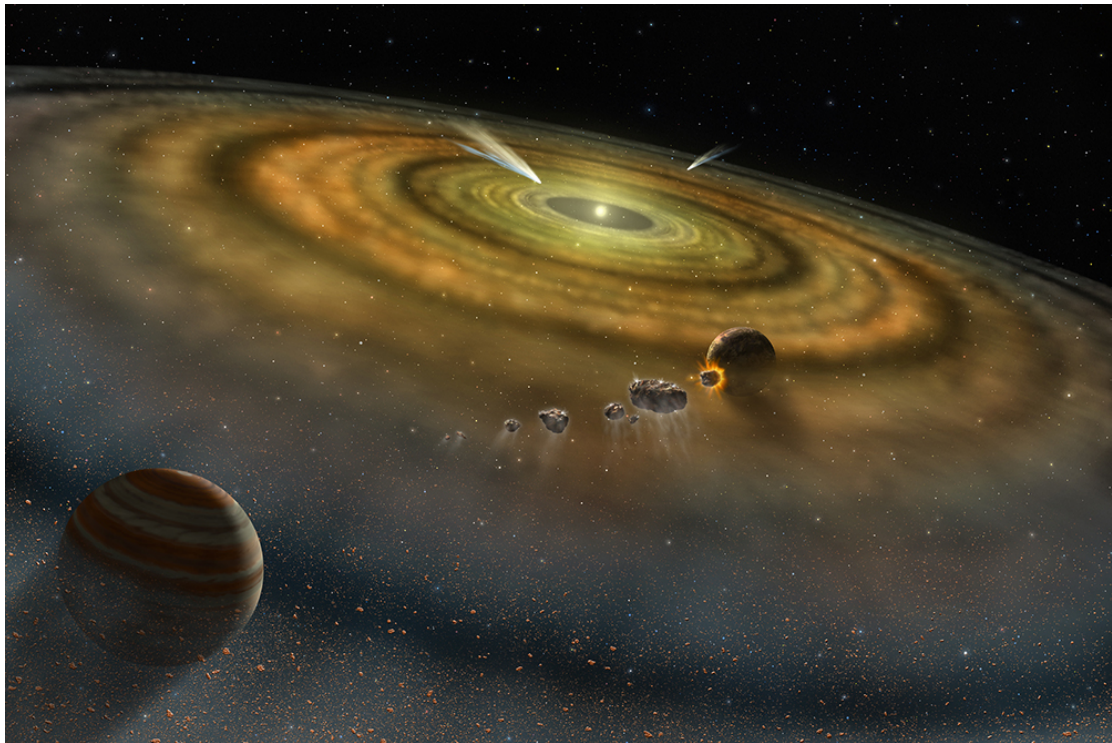


(作者/林忠義)

古柏帶星體 - 最原始的太陽系物體

整個宇宙演化至今超過1百億年，我們太陽系也有50億年的年紀了。在這50億年中，太陽系從一團雲氣逐漸收縮成盤狀，然後各行星也在不同位置逐漸形成 - 這就是目前天文學家比較相信的太陽系模型，除此之外，我們對太陽系原始的組成，以及演化細節都還不是很了解。

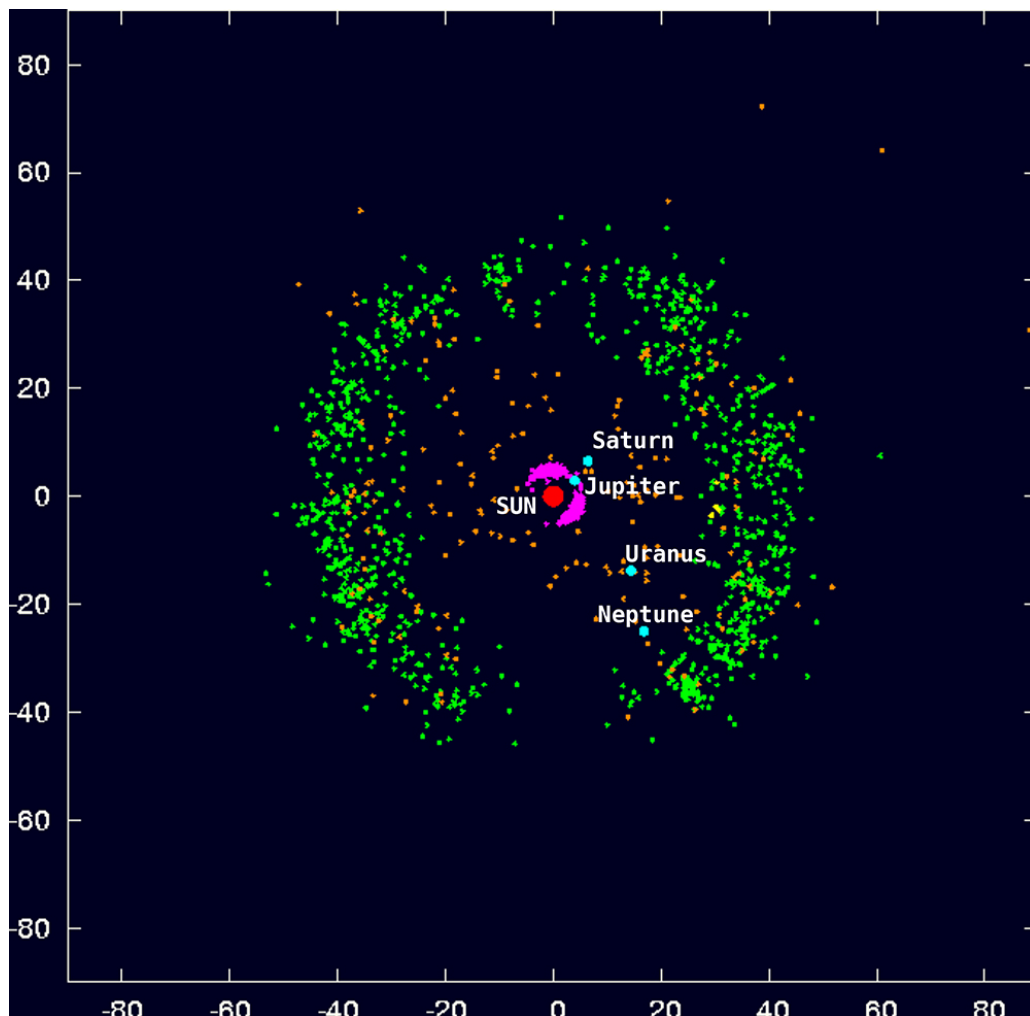
在太陽點燃核融核反應後，距離太陽比較近的類地行星，例如：水星、金星、地球、火星，因為受到較大的太陽輻射的照射以及在太陽風的不斷吹拂之下，其外表的組成已經與原始形成時完全不一樣，更別提在地質作用的更新或是風化作用之下，現存的地表物質早就不知經過多少次的循環或是化學反應。這讓我們即使想利用太空船飛去該行星採樣分析，也無從得知何種物質是原始太陽系的物質。那我們何不對更遠的物質做研究？這個點子在火星以外的類木行星，例如：木星、土星、天王星、海王星皆不可行，因為這幾顆巨大的行星幾乎完全由氣體所組成，太空船無從登陸，更別提採樣分析。



圖一：藝術家筆下的原始行星形成盤面。©NASA/FUSE/Lynette Cook.

古柏帶的發現

於是天文學家開始推論，距離太陽越遠的地方，溫度越低，受到太陽輻射及太陽風的影響較小，是否會保留原始太陽系的物質。接下來我們把點子動到更遠的地方 - 海王星之外。1930 年代時，也就是冥王星找到不久後，Frederick C. Leonard 首先提出在那個距離應該還有其他天體的存在。1943 年 Kenneth Edgeworth 也提出在海王星之外應該存在太陽系原始小物體的假說。1951 年 Gerard Kuiper 更推測出在海王星之外應該會形成一個由小天體所組成包含原始太陽系物質的盤狀結構，不過當時推估的冥王星大小與地球差不多大，應該會將這些小天體都甩出太陽系。然而，因為觀測技術的限制，無法證明這些假說。一直到 1992 年，藉由剛起步的 CCDs (charge-coupled devices, 電荷耦合元件) 技術的發展，David Jewitt 與他的學生 Jane Luu 利用夏威夷的 2.2m 望遠鏡終於找到了第一顆古柏帶天體 1992 QB1。



圖二：古柏帶天體(綠色點)在太陽系中大概的分佈。(紅色點：太陽。天藍色點：類木行星。紫色點：特洛伊小行星。橘色點：半人馬小行星)©Minor Planet Center ;Murray and Dermott

古柏帶巡天計劃

在接下來二十年中，天文學家努力的規劃新的巡天計劃去找尋到更多古柏帶天體，並且開始研究太陽系演化及原始組成。下面列出幾個大型古柏帶天體巡天計劃。

(1) Deep Ecliptic Survey (DES)

DES 算是第一個大型的古柏帶天體巡天計劃。從 1998 年到 2003 年間，DES 利用美國國家光學天文臺(National Optical Astronomy Observatory, NOAO)的望遠鏡，總共對黃道附近觀測了 550 平方度，約佔全天面積的 1.3%。此計劃的望遠鏡觀測極限星等是 22.5，約肉眼可見亮度的三百五十萬倍分之一。總共找到了 320 個古柏帶天體。從這些找到的古柏帶天體，他們建立了初步的古柏帶結構。

(2) Michael E. Brown' s team

Michael Brown 在加州理工學院的團隊從 2001 至 2005 年利用帕洛瑪天文臺的一米望遠鏡，在極限星等 20.5 的限制之下，陸陸續續找到好幾個非常有名而且尺寸比較大的古柏帶天體，例如：賽德納(Sedna)、創神星(Quaoar)、妊神星(Haumea)、鳥神星(Makemake)等，直徑都約有一千公里以上。(註：台灣全長約 400 公里)

(3) Canada-France Ecliptic Plane Survey (CFEPS)

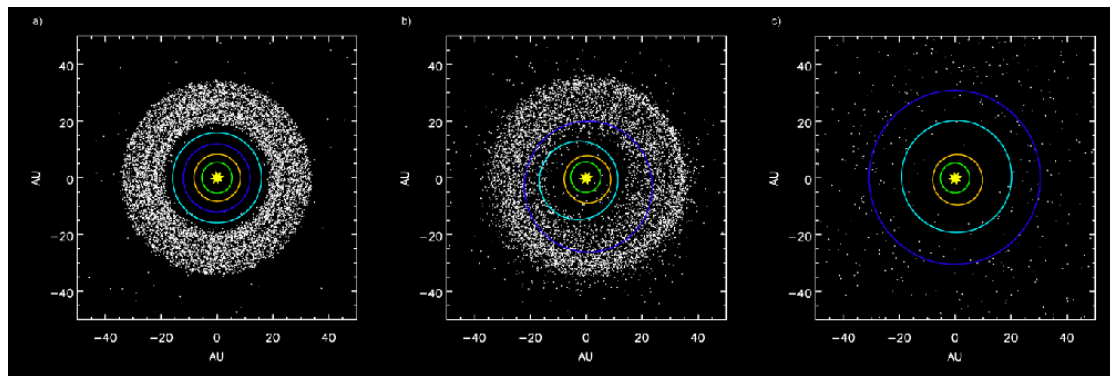
此計劃主要是由加拿大與法國的天文學家利用 3.6 米的加法夏望遠鏡 (Canada France Hawaii Telescope)對黃道面做觀測，從 2003 到 2007 年之間，總共觀測了將近 1%的天區。在極限星等 23.5 的望遠鏡中，CFEPS 是觀測範圍最廣的古柏帶天體巡天計劃。截至目前為止，他們公佈了 169 個有完整 3 年以上後續追蹤的古柏帶天體，大致確認了古柏帶的結構。除此之外，此計劃也發現了很有名的逆行古柏帶天體 2008 KV42，此種天體的數量與分佈對於建立太陽系演化的模型也有決定性的影響。

(4) Pan-Starrs - Panoramic Survey Telescope & Rapid Response System (泛星計劃)

泛星計劃始於美國國務院透過美國空軍欲對 50 公尺以上對地球有威脅性的近地小行星編表，以及時能提出避免撞擊之解決方案。此計劃結合 1.8 米超廣角望遠鏡及全世界最新最大型的 14 億畫素電子相機，對 3/4 全天天空做每個月數次的定期巡天。此計劃在找尋古柏帶天體上也具有前所未有的能力。以往的古柏帶天體巡天計劃只對部份黃道面固定範圍內做有限時間的觀測，而泛星計劃則是對完整黃道面做定期巡天，也就是說，泛星計劃在找尋及定義古柏帶天體上不會像前述計劃有觀測上的誤差。泛星計劃的正式巡天期間是從 2010 到 2014。目前此計劃已經進入第二階段-PS2。

太陽系行星理論模型與爭議

在這些觀測的結果之外，不少天文理論學家在近年來也建立不少太陽系演化及古柏帶的理論模型。在 1984 年，Julio Fernandez 與現職中央大學天文所葉永烜教授首先提出太陽系在演化過程中，行星應該經歷了軌道遷移的過程。在這個過程中，類木行星的軌道 - 例如海王星，會逐漸往外遷移，假如海王星外有古柏帶的存在，這樣的遷移過程可以解釋短週期彗星的補充來源。到了 2005 年，天文學家們提出了目前非常有名的 NICE 模型。此模型雖然粗略解譯了目前的一些觀測結果，例如類木行星、古柏帶的位置、以及演化後期的撞擊證據，不過不少天文學家覺得此模型的假設不夠嚴謹，而且完全無法解釋古柏帶天體的軌道分佈，所以它的正確性還有待商榷。

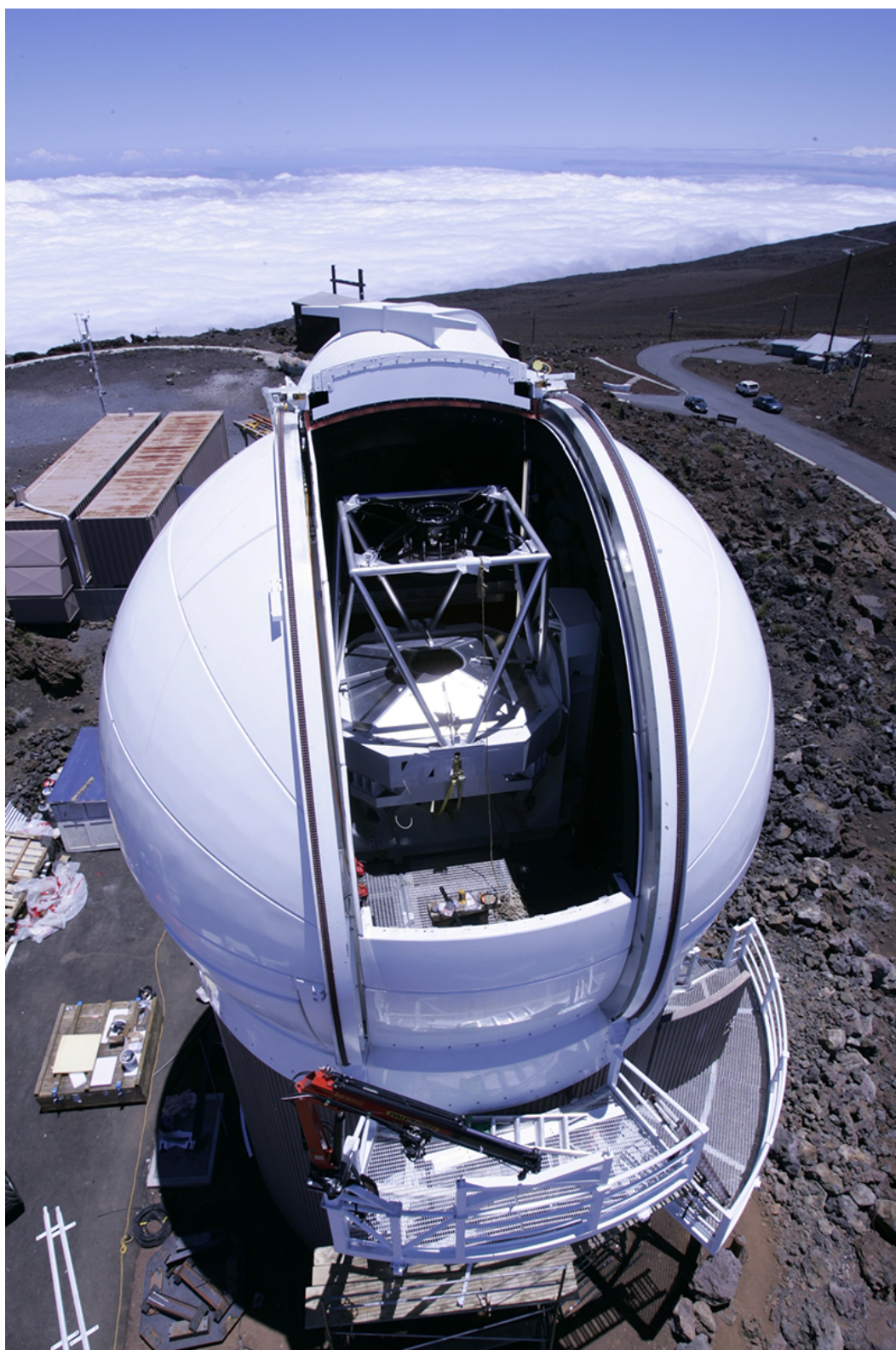


圖三：Nice模型對於類木行星向外遷移與古柏帶形成的模擬結果。從左至右為：演化初始狀態、演化中狀態、以及演化後的結果。Author: Mark Booth

未來展望

從 90 年代的半導體技術不斷成長，以及 CCDs 發展以來，天文研究便有了長足的進步，不過我們對於自身所在的太陽系演化仍然不是很了解。在理論方面，我們期待天文學家能建立更好的太陽系演化模型，以解釋太陽系的形成，在未來或許可以應用在其他恆星系統，讓我們理解系外行星的形成機制；在觀測上，我們在期待泛星計劃完整結果出來的同時，也沒停下腳步的在規劃下一代更新更好的巡天計劃，例如：泛星計劃第二階段 PS2、Subaru 望遠鏡的超廣角可見光相機巡天計畫(Hyper Suprime-Cam Survey)、大型綜合巡天望遠鏡(Large Synoptic Survey Telescope, LSST)等，這些新計劃都可在未來的太陽系演化研究上有非常卓越的貢獻。

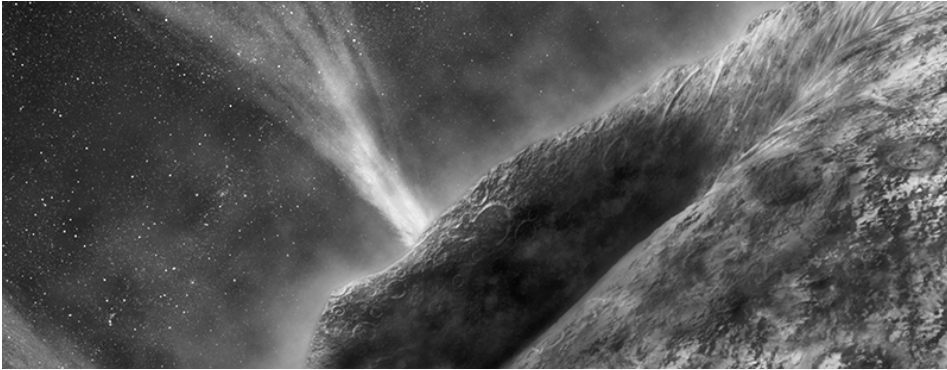
(作者/陳英同)



圖四：泛星計劃的超廣角望遠鏡。©PSISC

彗星獵捕手

彗星獵捕手(Comet Hunters)是本所最近新增的網路公民科學研究計畫，希望利用大眾的力量來發現小行星帶中的彗星。網路公民科學是藉由一般大眾的閒暇時間，進行大量資料的分類、辨認或是紀錄等，來幫助科學家進行研究，以在短期間內完成電腦分析軟體無法勝任的工作。



圖說：藝術家繪製的小行星帶彗星想像圖。© NASA/JPL/Stardust Team Artist Rendition

小行星帶的彗星是最近幾年才被發現的天體，他們雖然位於小行星帶，但是具有像彗星一樣的尾巴。到目前為止，只有大約十個小行星帶的彗星被發現。小行星帶位在火星與木星之間，一般認為其中天體組成以岩石和金屬為主，所以不大可能有彗星活動存在。它們的發現，顛覆了一般天文學家對小行星帶的認識，這類型小天體表面下具有大量的冰及灰塵，很有可能是地球上水分子的重要來源之一。但是由於數量稀少，加上其噴出氣體與灰塵的形狀也各不相同，也不一定有持續的彗星活動，很難利用影像辨認程式有效地找出它們。彗星獵捕手希望能夠利用大眾的力量在短時間內讓彗星的數目倍增。我們第一步是尋找八米 Subaru 望遠鏡所有已公開的廣角相機觀測影像。將具有已知小行星的影像區域剪下來，讓大家來辨認影像中的小天體是否有拖著一條尾巴或是在其周圍具有朦朧的氣體圍繞。如果一張影像被許多人判定具有這些特徵，而同一個小天體在其他相近時間的影像也有類似的特徵，它就很有可能是小行星帶中的彗星。目前我們已經有數萬個的影像，等著大家來辨認。如果第一階段的辨認成功，第二階段我們將使用大型超廣角可見光相機 Hyper Suprime-Cam(HSC)巡天計畫的影像，來尋找小行星帶中的彗星。你也想要發現新的彗星嗎？趕快來 <https://goo.gl/kdLlQh> 幫我們尋找彗星吧！



(作者/ 王祥宇)

【研究發表】

天文觀測揭露新生恆星暴食成長秘密

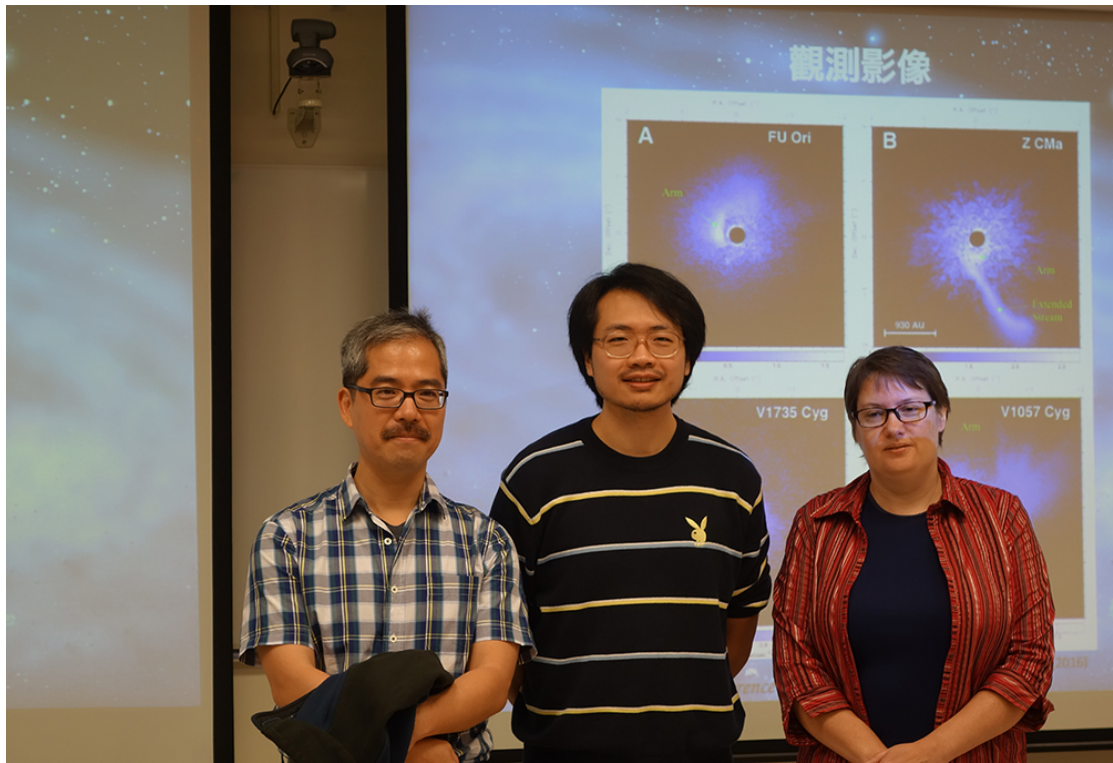
過去天文學家一向認為，恆星從氣體塵埃雲中形成的過程，應該是持續而穩定的。然而，用平穩而連續的吸積過程來解釋恆星怎麼長大，其實有困難——速度太慢，效率太低。所以，天文學家一直都在積極了解，大部分令恆星得以生長的物質，到底是怎麼取得的？本所天文團隊認為比較合理的解釋，應該和氣體雲間的重力交互作用有關。

本次研究中第一次看到獵戶座 FU 型恆星形成氣體雲內部的精細結構。這型原恆星在猛爆性吸積發生時，原恆星質量吸積速率可較平時增加千倍。因為此現象是在觀測一個叫做獵戶座 FU 的恆星正在爆發時首次發現，因而命名為獵戶座 FU 爆發(FU Orionis outburst)。恆星形成歷時幾百萬年，其中這種爆發性成長的時間可能只有幾十年之久。本所研究團隊假設，應該所有恆星都曾經經歷過這種爆發性成長。

本所高見道弘博士說，這是個「非常震撼的發現」。首先，觀測結果與理論相符，這說明他們的各種假設都正確無誤。其次，這次觀測看到了前所未見的細節，他說，「雖然用的是一樣的觀測技術，但我們本來沒有預期到會看到這麼明顯的結構，所以真的很意外。不過，與自然界真相不期而遇且能突破性地更深入了解宇宙奧秘，這正是科學家最開心的時刻。」

結合電腦模擬和實際觀測結果，團隊驗證的新模型更可以解釋：為什麼最近一些新發現的系外行星，軌道距離母恆星是那麼的遙遠，甚至是太陽和地球間距離的一千倍，這遠大於標準行星形成理論可以解釋的軌道大小。高見博士說，「我們在電腦上能模擬出像在望遠鏡上所看到的複雜團塊，最終，這些團塊就可能成為氣體巨行星。」

巨大氣體塵埃雲會因本身重力塌縮而形成恆星。同時，環繞其母恆星的物質盤也可能因重力不穩定性而裂解誕生行星。本次研究引用之數值模型得以完整描述這個過程，匹配觀測結果並帶來新見解，顯示其廣泛適用性，也因此更令人信服。雖然新發現令人振奮，研究團隊在相關議題上還有許多挑戰，其中之一即為更多詳細觀測與理論比較。阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列（ALMA）也將對這個領域提供關鍵貢獻，為原恆星周圍氣體與塵埃的觀測提供前所未見的解析力與靈敏度。此外，天文學家亦計劃建造尺寸遠大於 Subaru 的可見光望遠鏡，期望對極為貼近原恆星的區域提供更詳盡的觀測資料。



圖說：本所高見道弘(左)、呂浩宇(中)與Jennifer Karr 博士，及其觀測成果。© 中研院天文所

本所研究團隊藉裝設在 Subaru 望遠鏡上「偏極化日冕造影儀」觀測取得新生恆星周圍物質的複雜結構。各圖於其左下角分別提供數百 AU 的比例尺為參考，1 AU 等於「地球與太陽的平均距離」。圖像顯示，這些新生恆星的「食物」都散布在很遠的距離外，至少是海王星距離太陽的十幾倍以上。

(摘自本所新聞稿)

發行人 | 朱有花

執行主編 | 周美吟

美術編輯 | 蔡殷智

執行編輯 | 曾耀寰、劉君帆、蔣龍毅

底圖版權聲明 | 海爾-波普彗星，經影像處理及裁剪而成。

原圖版權 © 王為豪

發行單位 | 中央研究院天文及天文物理研究所

地址 | 中央研究院 / 臺灣大學天文數學館 11 樓
(臺北市羅斯福路四段 1 號)

電話 | (02)2366-5389

電子信箱 | epo@asiaa.sinica.edu.tw

天間季報版權所有 | 中研院天文所

ISSN 2311-7281 GPN 2009905151



天間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衆作為天文教學參考資源。歡迎各界來信提供您的迴響、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 / 臺灣大學天文數學館 11 樓 中央研究院天文所天間季報編輯小組收」。

歡迎各級學校師生提供天文相關活動訊息，有機會在天文季報上刊登喔！