

圖一：第九行星想像圖。(Caltech/R. Hurt (IPAC))

第九行星

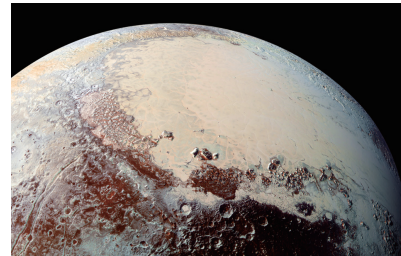


葉永炬／中央大學天文所及太空所教授，研究興趣為太陽系來源及演化、小行星與彗星的物理性質和動力學、行星磁層與衛星及環系統的電漿作用，以及系外行星與恆星的作用。

美國 NASA 的新視野太空船在 2015 年 7 月 14 日飛越冥王星，讓世人大開眼界。第一次見到這千里冰封的遙遠星球，居然存在很年輕的表面結構，在液態氮構成的海洋飄浮著水冰。雖然有這麼多奇妙特色，冥王星並不屬於從水星到海王星的八大行星家族。在 2006 年的國際天文學聯會會議熱烈討論和表決結果，把冥王星界定為新一類的「矮行星」。主要原因是自從 1992 年朱維特 (David Jewitt) 和劉麗杏 (Jane Liu) 發現第一顆海王星外的小物體 (1992 QB1) 後，已經在外太陽系發現越來越多的星體。美國學界統稱它們為古柏帶物體 (Kuiper belt objects)，歐洲學界則稱之為海王星外物體 (Trans neptunian objects)。

這些海王星外物體有部份的公轉週期如冥王星一樣，和海王星公轉週期有 2:3 比例的關係 (圖三)。除了冥族小行星的 2:3 共振週期，也存在 3:4、2:5 等共振族群。

科學月刊
SOCIETY MONTHLY
校對稿

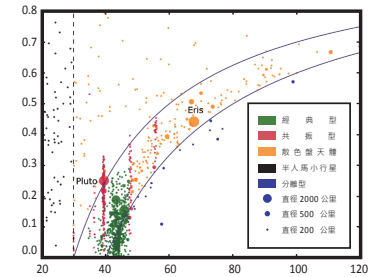


圖二：冥王星的年輕表面。(NASA/JHUAPL/SwRI)

這些軌道構造可能和天王星及海王星形成時的軌道遷移作用有關，把一些海王星軌道外的小物體鎖在這些共振軌道。有趣的是，半長軸 (a) 在 42 AU (天文單位) 和 48 AU 之間，有一群低離心率 (e) 和低傾角 (i) 的物體，它們被稱為經典古柏帶物體。另一群稱為黃道離散天體的物體則有較大的 e 和 i，但它们的近日點距離都在 30~40 AU 之間，相信是因為海王星重力彈射的作用而形成這樣的軌道分佈。

冥王星不再是行星，但從體積 (半徑 1187 公里) 和質量 (1.3×10^{22} 公斤) 而言，它都是海王星物體之首。但這個榮譽差一點也掉了，在 2005 年發現的開神星 (Eris，半徑 1163 公里，質量 1.66×10^{22} 公斤) 和冥王星不相上下。它是黃道離散天體的一員。一些理論模型則認為，可能有許多同樣類型的大型海王星外物體尚待發現。

精選文章

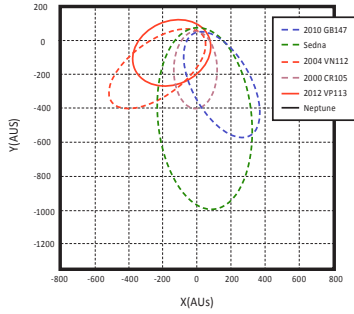


圖三：海王星外物體的半長軸分佈。(科倫文博士提供)

不尋常的軌道位置

故事主角在 2003 年開始陸續出場，它們是以賽德娜星 (Sedna) 為代表稱為賽德娜族 (Sednoids) 小行星。軌道特點是近日點都遠超過海王星的重力影響範圍，所以亦稱為分離物體。在 2010 年前，只有 3 個賽德娜族小行星被發現 (Sedna、2004 VN112 與 2000 CR105)。第 4 顆 (2010 GB174) 是由中央大學天文所陳英同博士分析加法夏望遠鏡 (CFHT) 觀察資料所得。

陳英同在 2013 年完成的博士論文中，比較了這 4 個物體的軌道形狀 (圖四)。他當時已發覺它們的遠日點方向都似乎集中在一邊，是有點不尋常，但因為只有 4 個資料點，在統計誤差較大之下，並未特別提出這個現象。隨後在 2014 年，特魯希略 (Chadwick Trujillo) 和雪帕德 (Scott Sheppard) 發現另一個分離物體 2012 VP113，並且把所有近日點距離大於 30 AU 之海王星



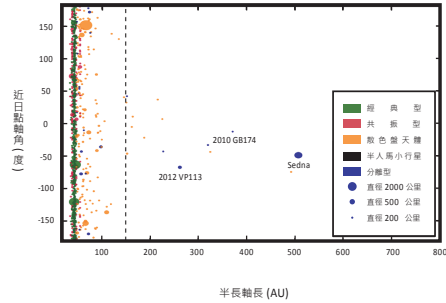
圖四：陳英同博士論文中所示的 4 個賽德娜物體，與特魯希略和雪帕德發現的 2012 VP113 的軌道位置都在同一側。(陳英同博士提供)

物體的近日點幅角 (ω) 分佈整理出來，發現半長軸小於 150 AU 時， ω 值的分佈呈均勻狀態；但半長軸大於 150 AU 時， ω 值都集中在一個角度範圍 (圖五)。他們便大膽指出這個軌道結構，說不定是因為在太陽系外圍存在一個大質量行星的作用效應。這便是尚待證實的第九行星。

尋找第九行星

由於離開太陽很遠，第九行星的亮度微弱不容易被找到。替代方法便是用天體力學計算認證，模擬第九行星的重力作用對海王星外物體的擾動，檢查用何種軌道參數和質量方可以產生如圖五的近日點幅角分佈。首先的想法，便是考慮一個 2~3 倍地球質量的星體及在半長軸為數百 AU 的圖形軌道運轉，如中央大學天文所博士謝宗富的計算所示，這種組合通常只產生 $\omega = 0^\circ$ 及 $\omega = 180^\circ$ 附近的對稱性分佈，而無法形成單方向的集合點。

有點事後諸葛的說明，便是應該把近日點距離固定在某幾個格點，接著把離心率和傾角從零開始增大，然後比較哪些組合可得到較接近觀察數據的結果。在眾多嘗試中，



圖五：近日點在海王星軌道外的物體，可見半長軸小於 150 AU 的物體有均勻的分佈，而半長軸大於 150 AU 的則集中在一個位置。(特魯希略和雪帕德提供；林英同博士提供)

加州理工學院的貝提金 (Konstantin Batygin) 和布朗 (Michael Brown) 於 2016 年初發表的一篇論文中利用分析和數值計算方法，推導出在太陽系外可能有一個質量大於 10 個地球，半長軸在 400~1500 AU 之間，離心率在 0.5~0.8 的第九行星。有趣的是，第九行星的軌道平面和黃道面差不多。此外，它的近日點和賽德娜物體的遠日點會落在同一個方向。

這個思路連接到兩個重要問題。其一為第九行星的來源，它是如何形成的？為什麼會有這樣奇怪的軌道？其二是我們在海王星外物體的儲藏庫外，還需要一個賽德娜族物體的源區，當中物體的近日點原本遠大於 100~200 AU，只有在受到第九行星的重力擾動，才會射入近日點 50~100 AU 的空間。

帶來毀滅的「復仇者女神」

當物理學諾貝爾獎得主阿爾瓦雷斯 (Luis Alvarez) 和他身為地質學家的兒子阿爾瓦雷斯 (Walter Alvarez) 合作提出 6500 萬年前的恐龍絕滅，是由於一顆 10 公里直

徑的小行星碰撞地球所致。再加上古生物地質學家指出在地球過去的歷史，平均每 3 千萬年左右便有一次全球性的生物絕滅現象的統計數字。觸發很多有關太陽小物體分佈和演變的創見 (有的甚至牽涉到暗物質!)。其中一個理論是：太陽有一個小質量伴星，可能是一個紅矮星，或是棕矮星。這個叫做「復仇者女神」的恆星，約每 3 千萬年會接近太陽一次，它會在這段時間穿越位置在數萬 AU 的奧特星雲，產生為期約 1~2 百萬年的彗星「驟雨」進入內太陽系，由此產生週期性的毀滅碰撞事件。

經過仔細天文觀察搜索，在太陽附近尚未有找到符合條件的紅矮星或棕矮星。但這不是說太陽系和星系中其它恆星未曾有近距離的接觸。當賽德娜星首被發現時，因為它的近日點遠高於海王星軌道，所以不可能是從那裡的物體演變而成。一個可能解釋為：它 (和其它賽德娜族物體) 是來自奧特雲 (半長軸約 30000~50000 AU) 和古柏帶 (半長軸約 40~50 AU) 之間的一個叫做「內」奧特雲的區域。這個「內」奧特雲的結構比較扁平，但所含的物體數量和質量比「外」奧特雲的結構比較扁平，但所含的物體數量和質量比「外」奧特雲要大一百倍之上。偶然的恆星穿越此區便可以把其中星體分別射入「外」奧特雲和賽德娜族物體的軌道。

在中央大學天文所畢業的曹永新碩士的論文工作，便是計算在太陽系周邊經過的恆星對海王星外物體和「內」奧特雲物體的影響。他發現軌道變化的程度，與恆星質量和與太陽最接近時的距離成正比。在恆星經過後，一些本來傾角非常小的軌道可以轉變成差不多垂直黃道面的軌道。我們覺得這可能觀察到的是海王星外物體中有些傾角非常大，甚或是逆轉的物體的來源。當然，同樣的機制亦是可以用在貝提金和布朗提議的第九行星。事實上，謝宗富同學、林省文博士和我討論特魯希略和雪帕德的近日點幅角分佈圖時，便有想到假如賽德娜族物體的分佈不是常

態，而是一個偶發事件，要試試用小質量恆星 (因為它們比較多) 以及自由浮動行星 (free-floating planets) 來做模擬，看看可不可以得到比較理想的結果。

第九行星是否存在？

第九行星如果真的存在的話，我們說不定便要改寫太陽系來源的教科書了。事實上，我們可能已有足夠的線索。首先，根據隕石同位素鋁-26 (^{26}Al) 的研究，知道太陽是在一個星團中，和其它大小不一的恆星一齊生成的可能性很大。初始時，原始恆星之間的距離不大，所以它們的外圍行星受到旁邊恆星之重力干擾的機率也不小。假如原始太陽系的外行星不止天王星和海王星，更有第九和第十行星...。根據行星軌道遷移理論，它們的軌道範圍應該在 50~100 AU 之間。這便把受到破壞的機會增加 10~100 倍，創立行星碰撞發生理論模型計算的已故美國天文學家韋特利爾 (George Wetherill) 教授，有次便跟我抱怨說，外行星不好弄，因為它們軌道角動量小，當質量增長到一定程度，彼此的重力彈射作用便會將軌道弄得越來越偏離圓形，以致動不動便會互相拋射到很遠的地方。說不定這便是第九行星的命運。

這個第九行星的消息出來之後，引起很大的興趣和迴響。譬如提出冥王星和海王星公轉週期共振作用來源的馬爾霍特立 (Renu Malhotra) 教授和合作者推論這幾個賽德娜物體的軌道排列，可能是和第九行星的共振作用所致。使得這個外行星的可能位置的範圍，有一進步的界定。相信不久的將來，如在夏威夷的昂星團望遠鏡 (Subaru Telescope) 或者在建造中的大型綜合巡天望遠鏡 (Large Synoptic Survey Telescope) 的觀察，將可以釐清這件事情的真相。但我們不會閒著，因為如前所述，在過去我們已做了不少工作，積聚很多能量在行星系統形成的理論和觀察研究，歡迎各位年輕同學和學者加入這個行列，一同邁向太陽系的新視野。