

最原始的太陽系物體

古柏帶天體

文/ 陳英同

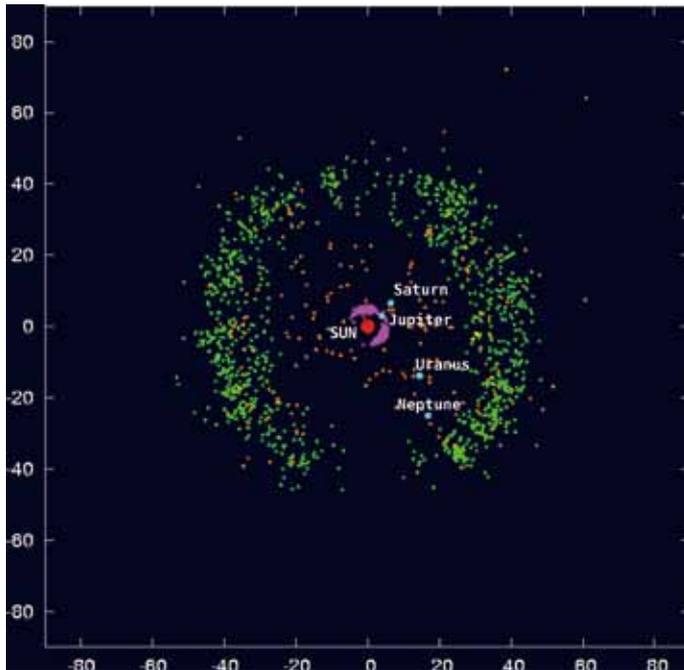
圖一：藝術家筆下的原始行星形成盤面。 <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Protoplanetary-disk.jpg>

前言

整個宇宙演化至今超過100億年了，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從對宇宙中其他恆星的觀測中，所建立較為人所相信的模型。除此之外，我們對太陽系原始的組成，以及如何演化都還不是很了解。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照射以及在太陽風的不斷吹拂之下，其外表的組成已經與最初形成時完全不一樣，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

根據目前的了解，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，假如那個位置剛好又沒有行星形成，或許那裡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，也就是找到冥王星不久後，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包含太陽系原始物質小物體的假說。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，在動力學上會將這些小天體都甩出太陽系。這些假說在當時，因為觀測技術的限制，都無法證明。一直到1992年，藉由當時剛起步的CCDs (charge-coupled devices)技術以及望遠鏡建造技術的發展，



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：半人馬座小行星)
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Outersolarsystem_objectpositions_labels_comp.png

David Jewitt與他的學生Jane Luu利用夏威夷大學在Mauna Kea的2.24m望遠鏡終於找到了第一顆古柏帶天體1992 QB1。

古柏帶巡天計劃

既然找到了第一顆，我們相信就能找到更多的古柏帶天體證明它的存在，所以在接下來將近二十年中，天文學家設計與規劃新的巡天計劃去尋找到更多古柏帶天體，並且開始對太陽系演化及原始組成做研究。下面列出已經完成的三個大型古柏帶天體巡天計劃，以及目前正在執行中的最完整的巡天計劃。

(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National Optical Astronomy Observatory的望遠鏡，總共對黃道附近觀測了1.3%全天面積(註： $550/41253=1.3\%$ 。雖然整個天球立體角大約41,253平方度，不過他們是對太陽系物質最集中的黃道面觀測了550平方度)。此計劃的望遠鏡觀測極限星等是22.5(註：約肉眼可見的亮度的三百五十萬分之一。肉眼可視約6等星，一個星等差2.5倍。)，在這樣的限制下，計劃成員總共找到了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以及基本的古柏帶天體動力學分類。

(2) Michael E. Brown's team

Michael Brown目前是加州理工學院的教授，他的團隊從2001至2005年利用Palomar Observatory的小望遠鏡，在極限星等20.5的限制之下，陸續找到好幾個非常有名而且尺寸非常大的古柏帶天體，例如：Sedna(直徑~1600km)、Quaoar(~1000km)、妊神星(Haumea，~1900km)、鳥神星(Makemake，~750km)。(註：台灣全長約400km)

(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CFHT (Canada France Hawaii Telescope)望遠鏡對黃道面做觀測，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3年以上完整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一一編表，以能及時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，對全天3/4天空(~30000平方度)做每個月數次的定期巡天。這樣的巡天計劃除了在找尋近地小行星上非常有效率之外，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往往只對部份黃道面的固定範圍內在有限的時間觀測，而泛星計劃



圖三：泛星計劃的超廣角望遠鏡。

http://pan-starrs.ifa.hawaii.edu/public/images-hires/PS1_dome_tall.jpg

則是對包含完整黃道面的3/4天空做定期巡天，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已經從2010年五月開始，筆者所參與的外太陽系子計劃團隊，目前也如火如荼的分析最新的資料，預計在不久的將來就可以把完整的古柏帶分佈展現在全世界眼前。

太陽系行星理論模型與爭議

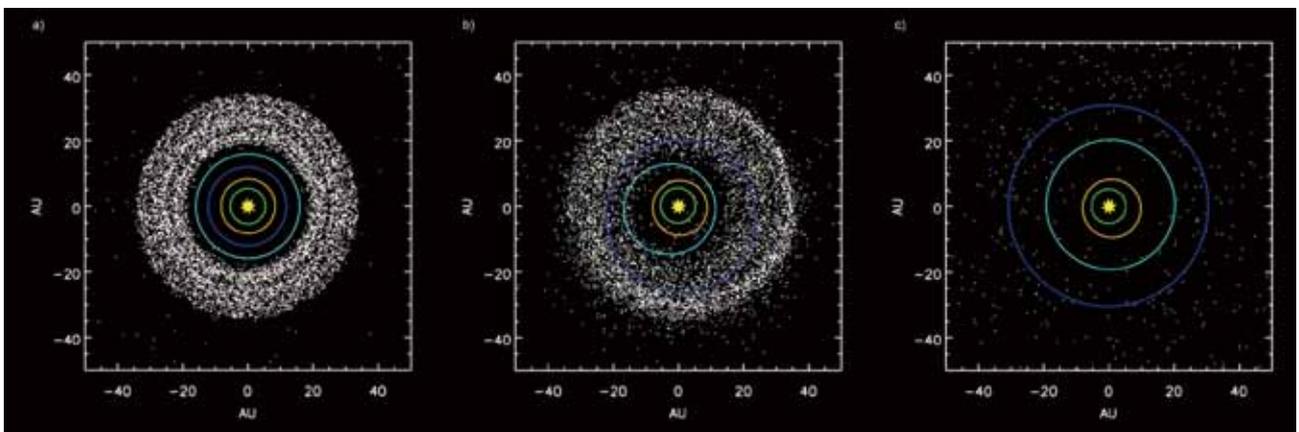
在這些觀測的結果之外，不少天文理論學家在近年來也建立不少太陽系演化及古柏帶的理論模型。在1984年時，Julio Fernandez與現職中央大學天文所葉永烜教授首先提出太陽系在演化過程中，行星應該經歷了軌道遷移的過程。在這個過程中，類木行星的軌道 – 例如海王星，會逐漸往外遷移，假如海王星外有古柏帶的存在，這樣的遷移過程可以解釋短週期彗星的補充來源。到了2005年時，天文學家們提出了目前非常有名的NICE model。此模型雖然粗略解釋了一些目前的觀測結果，例如類木行星、古柏帶的位置、以及演化後期的撞擊證據，不過不少天文學家覺得此模型雖然很簡易，但是在模型內的假設不夠嚴謹，而且完全無法解釋古柏帶天體的軌道分佈，所以它的正確性還有待商議。

未來展望

從90年代的半導體技術不斷成長，以及CCDs技術開始發展以來，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還不是很了解。在理論方面，我們期待理論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的完整結果出來的同時，也沒停下腳步的在規劃，誕生下一代更新更好的巡天計劃，例如：泛星計劃第二階段PS4、Hyper Suprime-Cam (HSC) Survey、Large Synoptic Survey Telescope (LSST)，這些新計劃都將會在未來的太陽系演化研究上有非常卓越的貢獻。

誌謝：在寫稿期間，感謝中央大學的林省文、趙聖嘉、蕭翔耀細心的建議與協助校稿。

陳英同：國立中央大學天文研究所博士候選人



圖四：NICE model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。<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0f/Lhborbits.png>