

太陽系外行星的類型（一）

文／陳輝樺

摘要

早在 16 世紀，義大利哲學家布魯諾(Giordano Bruno)已提出太陽系外存在類似太陽系裡的行星繞著固定的恆星運行的論點；而在 19 世紀就有天文學家聲稱發現系外行星(exoplanet)，但是這些早期的論點和觀測都被認為是可疑的。直到 1988 年，加拿大天文學家布魯斯·坎貝爾(Bruce Campbell)等人利用視向速度法發現圍繞少衛增八（仙王座 γ , Alrai）行星並經確認，以及 1995 年首次發現一顆主序星飛馬座 51 行星 b (51 Pegasi b)，才掀起了當代發現系外行星的序幕。至今在距離我們 300 光年內已確認約 2,000 顆系外行星，其中 100 多顆極可能適合生物存活。因此，在這麼多系外行星中，會有什麼特徵、呈現哪幾類型呢？科學家將這些行星的組成、大小、結構、大氣成分、運行方式等特徵分類，分別以**碳行星**(Carbon planet)、**環聯星運轉行星**(Circumbinary planet)、**冥府行星**(Chthonian planet)、**無核行星**(Coreless planet)、**類木行星**(Gas giant)、**熱木星**(Hot Jupiter)、**大離心率類木行星**(Eccentric Jupiter)、**氦氣行星**(Helium planet)、**熱海王星**(Hot Neptune)、**鐵行星**(Iron planet)、**海洋行星**(Ocean planet)、**脈衝星行星**(Pulsar planet)、**類地行星**(Terrestrial planet)、**超級地球**(Super-Earth)等類型來進行探討。

關鍵詞：系外行星、碳行星（鑽石行星）、環聯星運轉行星、冥府行星、無核行星、類木行星、熱木星、大離心率類木行星、氦氣行星、熱海王星、鐵行星、海洋行星、脈衝星行星、類地行星、超級地球

早在 16 世紀，義大利哲學家布魯諾(Giordano Bruno)已提出太陽系外存在類似太陽系裡行星繞著固定恆星運行的論點；而在 19 世紀就有天文學家聲稱發現系外行星(exoplanet)，但是這些早期的論點與觀測都被認為是可疑的。直到 1988 年加拿大天文學家布魯斯·坎貝爾(Bruce Campbell)等人利用視向速度法發現圍繞少衛增八（仙王座 γ ，Alrai）的行星並經確認，以及 1995 年首次發現一顆主序星飛馬座 51 行星 b (51 Pegasi b)，才掀起了現代發現系外行星的序幕。至今在距離我們 300 光年內已確認約 2,000 顆系外行星，其中 100 多顆極可能適合生物存活。因此，在這麼多的系外行星中，會有什麼特徵、呈現哪幾類型呢？科學家以這些行星的組成、大小、結構、大氣成分、運行方式等特徵來進行以下的討論。

一、**碳行星(Carbon planet)**：它是由美國天文學家 Marc Kuchner 最先提出，是一種內部可能存在厚達幾十公里的鑽石碳質內層的類地行星。**碳行星**可在恆星的原行星盤中產生，如果它們真的擁有大量碳元素且缺少氧，那麼它們的演化將與地球、金星及火星等這些矽氧化合物的行星截然不同。依據理論推測，碳行星擁有豐富的鐵內核，此特徵與已知的類地行星相似，而其內核上層則有很厚的碳化矽及碳化鈦，是以石墨形態存在的碳元素層（圖 1）。如果行星的體積夠大且壓力足夠，碳元素層的底部便能擠壓出鑽石。碳行星的表面充滿碳氫化合物及一氧化碳，如果有水存在的話，它們便有機會孕育出生命。

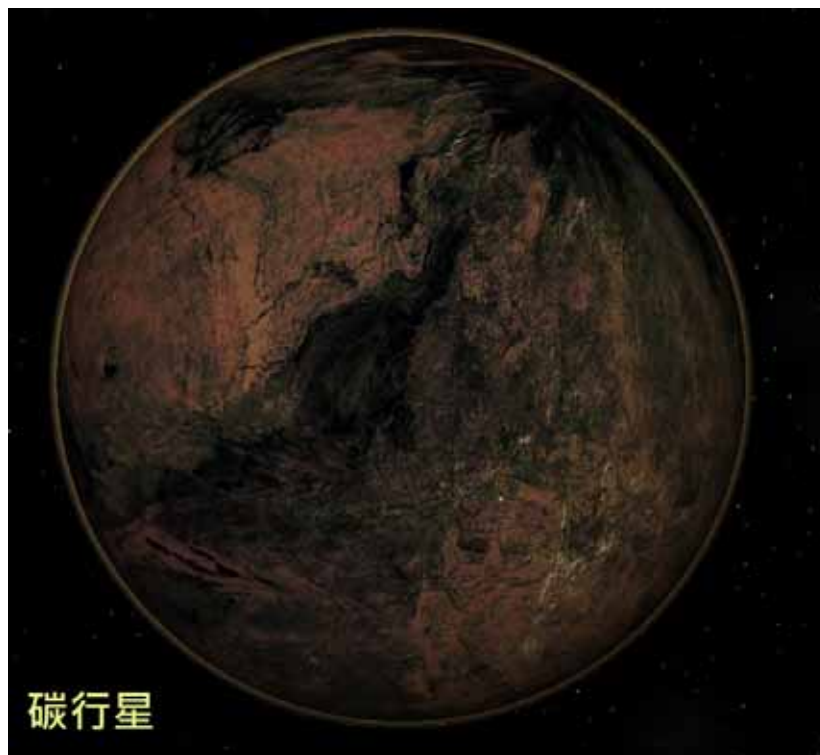


圖 1. 碳行星 (Carbon planet) (取材自 NASA Luyten 繪)

二、**環聯星運轉行星(Circumbinary planet)**：是一種處於聯星系統之中，並環繞兩顆恆星運轉的行星。該類行星只能在聯星相互公轉的軌道之外形成，目前確定存在環聯星運轉行星的聯星系統並不多。2003 年首度發現了一顆約木星質量 2.5 倍，存在於聯星系統中的**系外行星 PSR B1620-26c**，該行星所在的聯星系統包含一顆毫秒脈衝星和一顆白矮星，兩者在相距約 1 天文單位(AU)的軌道上相互繞行轉動。

三、**冥府行星(Chthonian planet)**：冥府行星 (Chthonian，源自希臘語，字意是「在地之下」，意指希臘眾神之下熱的地獄)是一種外圍數層的氫和氦被剝離之後的假想類木行星。這些行星的大氣層被剝離是因為行星過度接近母恆星的結果，其殘餘的岩石或金屬核心從許多方面來看均類似於類地行星。位於麒麟座，距離我們約 390 光年的柯洛 7b (CoRoT-7b，圖 2)可能是被發現的第一顆冥府行星，它的直徑約為地球的 1.7 倍，質量約為地球的 5.6~11 倍，公轉軌道十分靠近其母恆星，公轉週期為 20 小時，它可能是一顆岩石行星。另外一顆則是大小僅為地球 1.4 倍的刻卜勒 10b (Kepler-10b)，它繞行母恆星的週期短於一個地球日，距離不及水星與太陽距離的二十分之一。

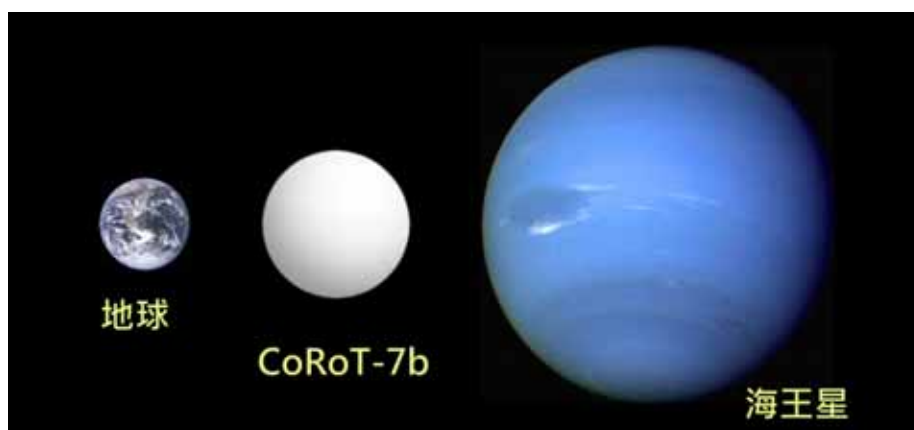


圖 2. 柯洛 7b (CoRoT-7b) 和地球及海王星的大小比例想像圖
(取材自 NASA Aldaron 繪)

四、**無核行星(Coreless planet)**：是指缺金屬核心，但擁有巨大岩質地幔的類地行星。Sara Seager 和 Linda Elkins-Tanton 在 2008 年指出無核行星的形成機制可能有 2 種方式：一是在遠離母恆星的較冷處，類似於球粒的星體在富含水物質的環境中因完全氧化而成長，而其鐵質金屬在此寒冷的溫度下結成了晶體狀態；另一種可能是，此類型行星在富含水物質和金屬性鐵物質的環境裡，因為充分的氧化而形成氧化鐵且釋出氫原子，使得行星的金屬核心無法產生，而氧化鐵則呈滴狀溶於地幔當中。在性質特徵上，**無核行星**因為沒有金屬核心，當然也就沒有磁場的呈現。**無核行星**這種缺乏磁場的特徵和一般的類地行星截然不同，雖然它們都有相類似的質量、外觀與大小。

五、**類木行星(Gas giant)**：又名「氣體巨行星」，它們並不是由岩石和固態物質組

成，故其特徵迥異於擁有岩質地幔的類地行星。我們的太陽系已知有木星、土星、天王星與海王星等 4 顆氣體巨行星（如圖 3 從左到右排列，在太陽的背景下呈現其大小的比例），所以我們俗稱它們是「類木行星」。近年來，天文學家們也在太陽系外發現許多環繞其他母恆星的氣體巨行星。大於 10 倍地球質量的行星才夠資格被稱之為巨行星，因此質量較低之氣體行星有時也被稱為氣體矮星。一般而言，氣體巨行星擁有濃厚的氫氦大氣與碩大的質量，在外觀上它們根本沒有固態的表面可言。這些行星也可能具有熔融的岩石核心，但若該行星本身具有足夠的熱能，則其核心可能蒸發並與大氣融合，而平均分散於整個行星。由於目前系外行星偵測的技術有限，至今發現的大多數系外行星，幾乎座落在類木行星的範圍內，因此將這些系外行星統稱為「類木行星」。

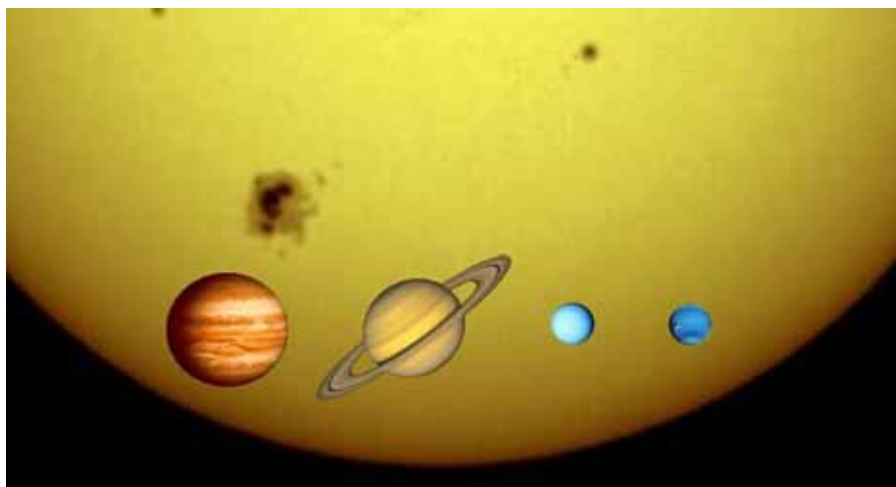


圖 3. 類木行星 (Gas giant) (取材自 NSSDC Urhixdu 繪)

六、**熱木星(Hot Jupiter)**：是一種質量接近或超過 1.9×10^{27} 公斤（木星質量）的系外行星，距離其環繞的母恆星約在 0.05 天文單位(AU)以內。**熱木星**的特徵有：

1. 因為距離母恆星很近，且質量與體積龐大，所以在觀測上母恆星被遮掩的機會多且明顯，因此以凌日變光的觀測法最容易發現，是目前已發現系外行星的大宗。

2. 它們的公轉軌道離心率都很低，幾乎都呈現近似圓形軌道，且受母恆星潮汐鎖定(Tidal locking)的影響，造成了這些行星的公轉與自轉週期相同，因此它們總以同一面朝向其母恆星。

3. 它們被認為是經歷了行星遷移之後才存在於現在的位置。因為在如此緊挨著恆星的位置上是沒有足夠的材料能生成質量如此巨大的行星。在熱木星的大氣層被剝離之後，其殘留的核可能成為冥府行星。

七、**大離心率類木行星(Eccentric Jupiter)**：簡稱「**離心木星**」，是一種在太陽系外其軌道離心率極大，近乎於彗星軌道的類木行星（圖 4）。離心木星系統中和熱木星系統一樣也不大可能存在類地行星。據現有觀測資料推估，約 7%的恆星都擁有

一顆以上的離心木星，較之熱木星來得普遍。(待續)

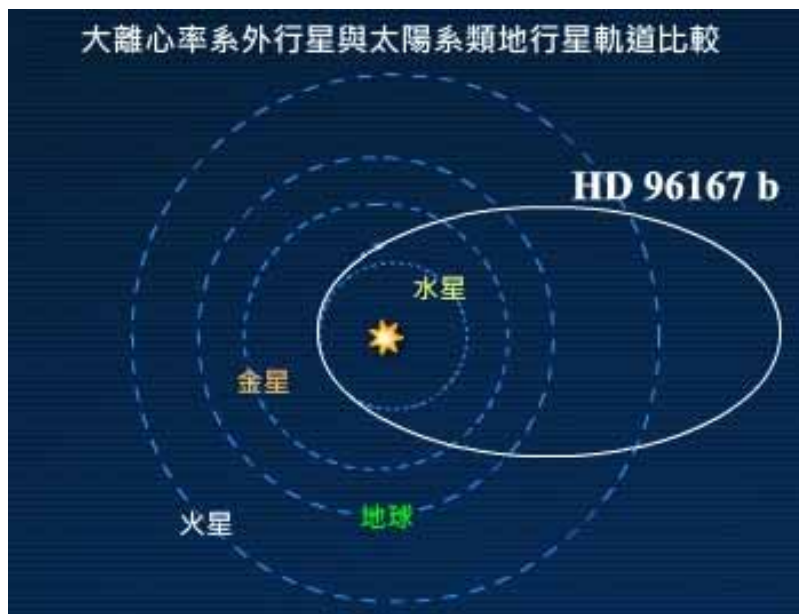


圖 4. 位於巨爵座內距離我們約 274 光年的離心木星 HD 96167b 大離心率軌道和太陽系內類地行星幾近圓形軌道不同 (取材自 NASA PlanetQuest Kevin Heider 繪)