

名雖正而言未順： 太陽系行星的新定義**

陳天機 彭金滿 王永雄*

香港中文大學

必也正名乎！……名不正則言不順，言不順則事不行。

——孔子：《論語·子路》

一、前言

孔子對「名」特別的關注。他說：「多識於鳥獸草木之名」。¹也許「多識於鳥獸草木」對科學更有意義，但的確歷史上許多學問都起源於命名和分類。

2006年8月，世界天文學界為了「行星」一詞的定義展開了罕有的爭論，國際天文學聯會（International Astronomical Union，以下簡

* 陳天機，香港中文大學大學通識教育部榮休講座教授。
彭金滿、王永雄，香港中文大學物理系導師。

** 本文是三位作者「宇宙揭秘」散文系列的第3篇；第1篇參見陳天機、彭金滿、王永雄：〈地心論面臨挑戰〉，《大學通識報》，2007年，總第二期，頁125-149；第2篇參見陳天機、王永雄、彭金滿：〈太陽系理論的突破〉，《大學通識報》，2007年，總第三期，頁133-151。

1 孔子：《論語·陽貨》。

稱IAU)最後通過了重要的決議，但餘波仍未平息。本文將問題的緣起、決議的經過、會後不同的意見和展望作綜合的報道。²

二、五大行星和六大行星

行星(Planet)一詞來自古希臘文，意義是「流浪者」。古希臘人認為行星繞地運行；太陽、月亮都是行星。他們當初更認為黃昏時的水星不同於黎明時的阿波羅(Apollo)星，但畢達哥拉斯(Pythagoras of Samos)³終於宣佈兩者是同一顆行星。中國古天文學家也把傍晚出現的亮星稱作「長庚」，清晨出現的亮星稱作「啟明」；其實它們都是同一顆金星。

公元前3009年，佚名的印度學者在史詩摩訶婆羅多(Mahābhārata)⁴裏早已描述了水、金、火、木、土五大行星的不尋常運動。⁵但它們的「逆行(retrograde motion)」要到十六世紀才由哥白尼(Nicolaus Copernicus)圓滿解釋。⁶結果，地球加入了行星的行列，太陽是行星環繞的對象，月亮是環繞地球的衛星；它們都不再是行星了。

開普勒(Johannes Kepler)知道在三維空間恰好只有五種正多面體。他提出一個太陽系模型，認為每顆行星的圓形軌道都分別附在六塊晶體球殼上，而球殼間有看不見的正多面體。每種正多面體只出現一次；每個多面體恰好正接一個外面的球殼，同時恰好正切一個內包

2 本文主要參考Wikipedia，“2006 Redefinition of Planet”條，23：00，2006年12月27日。

3 畢達哥拉斯(約公元前582-約公元前507)，希臘數學家。

4 這是世界最長的史詩，包含詩74,000首，文章多篇，描述傳說中3,200年前發生的事迹，創作於公元前八世紀至公元後一世紀。

5 Wikipedia，“History of Astronomy”條，16：17，2006年12月10日。

6 參見陳天機、彭金滿、王永雄：〈地心論面臨挑戰〉，頁125-149。

的球殼。⁷他的太陽系模型算出的軌道半徑比例與實際數字比較，相差不到10%。但他得到布拉赫（Tycho Brahe）的精密觀測數字後，毅然揚棄了過往心愛的「正多面體」學說，發展出空前準確的橢圓軌道理論；開普勒對行星看法的改變也是自然科學史上的重要轉捩點。

三、提史斯－波德定律（Titius-Bode Law）⁸

1766年，提史斯（Johann Daniel Titius）發現不同行星 $\{P_n\}$ 的平均軌道半徑 $\{a_n\}$ 依循一條簡單的規律。1772年波德（Johann Elert Bode）卻用自己的名字發表了表達這規律的公式。後者採用天文單位⁹後可以寫成：

$$a_0 = 0.4 \text{ AU}; \quad a_n = 0.4 + 0.3 \times 2^{n-1} \text{ AU}, n \geq 1.$$

這公式一般稱為「波德定律」，但欺名盜世之徒的名字似乎不該埋沒了原作者的貢獻。這公式其實也只是「猜想」，不能算是嚴謹的科學定律。

表1比較了提史斯－波德定律與行星的實際數據。依照開普勒的第三定律，任何太陽系的行星週期（以年為單位）與軌道半主軸（以AU為單位）的關係是：

$$T_n = a_n^{3/2}, n \geq 0.$$

7 軌道球殼和多面體的排列次序，從最接近太陽的一顆數起，是：水星／正八面體／金星／正二十面體／地球／正十二面體／火星／正四面體／木星／正六面體／土星。

8 提史斯－波德定律，以發現者提史斯（1729–1796，德國天文學家）和抄襲者波德（1747–1826，德國柏林天文台長）命名。請參見J. Conklin, “The Titius-Bode Number Sequence Deciphered,” 〈<http://bellsouthpwp.net/j/o/josephconklin/jw/tb/titius.html>〉。

9 天體間的距離通常以天文單位（Astronomical Unit, AU）表示；1 AU=149,597,870.691 ± 0.030 km ≈ 92,955,807英里 ≈ 1.58125 × 10⁻⁵光年 ≈ 8.317光分 ≈ 499光秒。

這是未經牛頓 (I. Newton) 修訂的第三定律，但 T_n 的誤差不到 0.1%。

$$T_0 = 0.252 \text{年}; T_n = (0.4 + 0.3 \times 2^{n-1})^{3/2} \text{年}, n \geq 1.$$

表1 提史斯—波德定律

(〔矮〕指矮行星；見下文「矮行星和太陽系小天體」一節)¹⁰

行星 (P_n)	n	發現 日期	估計 軌道 半徑 a_n (AU)	實際軌 道平均 半徑 (AU)	軌道 半徑 誤差 (%)	估計軌 道週期 T_n (年)	實際軌 道週期 (年)	軌道週 期誤差 (%)
水星	0	—	0.4	0.39	2.6	0.252	0.241	4.6
金星	1	—	0.7	0.72	-2.8	0.586	0.615	-4.7
地球	2	—	1.0	1.00	0.0	1.000	1.000	0.0
火星	3	—	1.6	1.52	5.3	2.024	1.88	7.7
小行星帶 (穀神星〔矮〕):	4	1801	2.8	2-4 2.77	— 1.1	4.685	— 4.599	— 1.9)
木星	5	—	5.2	5.20	0.0	11.86	11.86	0.0
土星	6	—	10.0	9.54	4.8	31.62	29.46	7.3
天王星	7	1781	19.6	19.2	2.1	86.77	84.01	3.3
海王星 (冥王星〔矮〕):	8	1846 1930	38.8	30.05 39.48	— -1.8	241.6	146.79 247.68	— -2.8)

初時，提史斯和波德都只知地球和另外五顆肉眼看得見的行星： $n = 0-3, 5-6$ 。他們預留了 $n = 4$ 的空檔，以求接駁上木星、土星已知的數據。後來，天文學家陸續發現太陽系新天體（詳情參見下文「六大行星以外」）。比較定律與觀測所得的軌道，固然有顯著不同之處，也有驚人的吻合。

提史斯—波德定律至今仍然是一個謎。許多人相信，這是太陽系初期由旋轉雲霧形成時，共振作用所引起的自然劃分。定律可否用到 $n \geq 9$ 的領域？可否用在太陽系之外的行星？這些都是有趣的問題。

¹⁰ 有關太陽系行星的詳細資料見 NASA, *Planetary Fact Sheets*, <<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/planetfact.html>>。

四、六大行星以外

（一）天王星

從1750至1769年的19年內，法國天文學家勒蒙奈（Pierre Charles Le Monnier）記載了天王星的觀察至少十二次，其中包括一連四晚的觀察。¹¹他沒有正式宣佈這是一顆行星。1781年，赫歇耳（William Herschel）用望遠鏡發現了五千年來第一顆新行星——天王星，¹²替提史斯—波德定律打了強心針。預測的軌道半徑是19.6 AU；實際值是19.2 AU。

（二）穀神星（Ceres）和小行星帶

1801年，皮亞齊（Giuseppe Piazzi）¹³發現穀神星。可惜它在41日內掠過9°的夜空，然後在無法繼續觀測的白晝出現。德國天才數學家高斯（Carl Friedrich Gauss）¹⁴當時只有24歲；他憑著皮亞齊的記載，選擇三個觀測數據，推出軌道；科學家在夜間再找到穀神星時，誤差不到1°，穀神星於是「失而復得」，而高斯的方法至今沿用不衰。¹⁵

穀神星的軌道半徑是2.77 AU，在火星與木星之間，恰好相當於提史斯—波德定律「虛位以待」的 P_4 行星（2.8 AU）。但後來天文學家陸續發現，穀神星軌道附近（尤其在2.06–3.27 AU）有許多小行星（asteroids），形成小行星帶（Asteroid Belt）。帶中現知的小行星數目已超過十萬顆，總數可能有好幾百萬顆。

11 見Wikipedia，“Pierre Charles Le Monnier”條，12：12，2007年1月31日。1690年，英國首位欽天監弗蘭斯蒂德（J. Flamsteed）早已觀察過天王星，但誤以為是金牛座的一顆恆星。

12 赫歇耳（1738–1822），英籍德國天文學家，提議「天王星（Uranus）」這名字的正是波德。

13 皮亞齊（1746–1826），意大利天文學家。

14 高斯（1777–1855），德國偉大的數學家。

15 L. Weiss, “Gauss and Ceres,” 1999, 〈<http://www.math.rutgers.edu/~cherlin/History/Papers1999/weiss.html>〉。

有一個理論說，小行星帶只是太古時被擊碎行星的遺留物質；但整條小行星帶的總質量也只有地球的千分之五。穀神星是帶中最大的一顆，擁有全帶總質量的三分之一，但只有地球的0.00016倍。雖然如此，它和三顆小行星享受「行星」的稱號達半個世紀，直到1864年才被降格為小行星。

也許因為穀神星擁有足夠的質量，¹⁶它呈球形；小行星帶中其他已被發現的小行星的形狀，大都極不規則。¹⁷穀神星軌道與黃道（Ecliptic）¹⁸的交角（inclination）是 10.59° ，只略大於水星的 7.00° ；小行星帶軌道的平均交角卻是不尋常的 20° 。

（三）海王星和冥王星

海王星和冥王星的發現，直接和間接都是以提史斯—波德定律的推測數據為計算的起點。海王星和冥王星其實都不符預測，除非我們張冠李戴，硬把質量是地球千分之二冥王星當做 P_8 ，同時忽略質量17.2倍於地球的海王星。

1. 海王星

1821年，布華德（Alexis Bouvard）¹⁹發表了天王星星曆。但天王星的運行總是略慢於算出來的預測。布華德認為必然有天體在軌道附近影響天王星的運行。

英國的亞當斯（J. C. Adams）²⁰在1843年，和法國的勒威耶

16 參照「流體靜壓平衡」一節。

17 可能的例外是1849年發現的健神星（Hygiea）；它是一個長的橢圓體：長、闊、高分別是 $500 \times 385 \times 350$ km。

18 黃道是以地球為中心所看出來的太陽軌道。

19 布華德（1767–1843），法國數理天文學家，巴黎天文台台長。

20 亞當斯（1819–1892），英國數理天文學家。

(Urbain Le Verrier)²¹在1846年，每人都分別兩次計算出這天體的約略位置，並邀請天文觀測家幫忙尋找這新天體。替亞當斯觀測的天文學家心不在焉；他在1846年8月看到新行星兩次，但居然認不出來，正是失之交臂了。同年，替勒威耶觀測的加勒 (Johann Gottfried Galle)²²在觀測的第一夜 (9月23日) 便輕易地找出新行星來；它距離勒威耶預測的地方只有1°，距離亞當斯預測的地方4°。勒威耶後來建議給這新行星命名為「海王星」，獲得廣泛的支持。²³

2. 冥王星 (Pluto)

海王星的運行看來也慢於計算出來的預測。美國的洛威爾 (P. Lowell)²⁴計算出新行星的可能位置，又一次引起了尋找的熱潮。1930年，湯博 (C. Tombaugh)²⁵因而發現了冥王星，它立即成為第九顆行星。²⁶

海王星的軌道接近正圓 (離心率 [eccentricity] = 0.009)，冥王星的軌道卻是相當顯著的橢圓 (離心率 = 0.249)。後者的近日點 (perihelion) 比前者更靠近太陽。冥王星的軌道週期是248.1年，其中有13至20年侵犯了海王星軌道的領域；最近的一次是由1979年2月7日至1999年2月11日。

1978年，克里斯蒂 (J. W. Christy)²⁷看到冥王星形狀好像因時而變，因而發現了衛星冥衛一 (卡戎 [Charon])²⁸。2005年，「冥王星

21 勒威耶 (1811–1877)，法國數理天文學家。

22 加勒 (1812–1910)，德國天文學家。

23 伽利略 (Galileo Galilei) 分別在1612年末和1613年初觀察過海王星兩次，但誤以為它是恆星。

24 洛威爾 (1855–1916)，獨自斥資在美國亞利桑那州建造天文台的美國天文學家。

25 湯博 (1906–1997)，美國天文學家。他在洛威爾天文台發現冥王星時只有24歲。

26 提出Pluto這名字的是11歲的英國女孩V. Burney。開首的兩個字母恰好也是洛威爾英文名字 (Percival Lowell) 的簡寫。

27 克里斯蒂 (1938年出生)，美國天文學家。

28 卡戎，古希臘神話中運載亡靈渡過冥河的舟子。

伴星探索隊 (Pluto Companion Search Team) 使用哈勃太空望遠鏡，更發現了冥衛二 (匿斯 [Nix]) 和冥衛三 (海特拉 [Hydra])。²⁹

行星擁有衛星不算是大新聞，但冥王星質量只是卡戎的九倍。它們繞著共同質量中心 C 旋轉，週期是6.387日；更特別的是， C 不在冥王星星球之內，而在冥王星與卡戎之間的空間。卡戎因此不是平常的衛星，可以說是與冥王星平起平坐的小弟弟。在太陽系裏這是唯一已知的雙天體互繞現象；在整個銀河星系裏，雙星（互繞的兩顆恆星）卻很常見。

3. 兩個巧合

海王星和冥王星的發現一般都認為是數理天文學的勝利。但科學家多年後舊事重提，³⁰ 指出亞當斯和勒威耶所預測的海王星軌道（半徑~37 AU）與實際（半徑~30 AU）相差很遠；相信兩位都從提史斯—波德定律中的 $n = 8$ 行星（半徑=38.8 AU）開始他們的計算。但在尋找海王星那幾年（1840–1850），使用錯誤假設推算出來的預測位置竟然大致正確。也許這也算是數理天文學的勝利吧。

海王星運行的誤差，引導我們到冥王星。可是，天文學家後來發現，海王星的運行根本沒有誤差；以前所宣稱的「誤差」只是由於海王星質量的錯誤；這估計可能來自亞當斯和勒威耶計算的錯誤軌道。洛威爾因而估計冥王星的質量是地球的六倍；實際質量只有地球的

29 匿斯，古希臘神話中掌黑暗的女神，卡戎的母親；海特拉，古希臘神話中的九頭蛇。

30 請參見J. J. O'Connor and E. F. Robertson, "Mathematical Discovery of Planets," http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/HistTopics/Neptune_and_Pluto.html}, September, 1996; N. Kollerstrom, "Neptune's Discovery: the British Case for Co-prediction," <http://www.ucl.ac.uk/sts/nk/neptune/witihin.htm>}, October, 2001; W. Sheehan, N. Kollerstrom, and C. B. Waff, "The Case of the Pilfered Planet," *Scientific American*, December 2004, <http://www.sciam.com/article.cfm?articleID=000CA850-8EA4-119B-8EA483414B7FFE9F&pageNumber=4&catID=2>}。

0.002倍，等於海王星質量的萬分之一，影響海王星軌道的能力極微。原來冥王星的發現也是歪打正着、喜劇性的巧合！

4. 新視野計劃

2006年1月，美國太空總署啟動了新視野（New Horizons）計劃：火箭將太空艙射向木星，再由木星拋向冥王星，預料太空艙在2015年會到達冥王星上空。可是，在2006年8月，冥王星已被IAU擯除於行星行列之外了。

五、爭議³¹

（一）定義的需要

1930年發現冥王星以來，小學課本告訴我們，太陽系有九大行星。但「行星」一詞向來沒有公認的定義。

許多人認為冥王星太小，軌道也太不正常，不配與其他八大行星並排，應該除名。2003年發現的2003 UB₃₁₃（後來正式命名為伊里斯〔Eris〕）比冥王星更大。³²所以，假如冥王星是行星的話，伊里斯至少也應該是行星吧。

天文學家近年利用精密儀器，尋覓「日外行星」（Extrasolar planet）³³，截至2006年12月止，已找到209顆。它們繞恆星運行，而自己體內也沒有產生（恆星特有的）核熔融反應。我們因此也極需要一個可用於太陽系外的正確行星定義。

31 Wikipedia，“2006 Definition of Planet”條，13：20，2006年12月13日。

32 在2006年9月13日，IAU將以前暫名2003 UB₃₁₃、暱名仙娜（Xena，美國電視連續劇的女武士）的天體正式命名為伊里斯。伊里斯是希臘神話中戰神艾瑞斯（Ares）的妹妹，不和的女神。

33 亦稱exoplanet。

(二) IAU的動議

IAU自從在1919年成立以來，一直負責決定行星和衛星的命名。在行星定義方面，IAU當仁不讓，在2004年組織了一個七人的委員會，名為「行星定義委員會（Planet Definition Committee，簡稱PDC）」。³⁴2006年8月14至25日，IAU在捷克布拉格舉行第26屆大會（IAU XXVI），在8月16日提出行星定義委員會的共識，作為動議，³⁵交由大會在8月22日表決。

動議可以分成兩部分：

1. 行星的定義

- (1) 行星擁有足夠質量使自我重力征服剛體阻力，達到「流體靜壓平衡（hydrostatic equilibrium）」的形狀（大致作球狀）；
- (2) 行星繞著一顆恆星運行，本身既不是恆星也不是行星的衛星。

2. 定義下的行星

除現已公認的九大行星外，根據定義，穀神星、卡戎和伊里斯也是行星。太陽系行星的總數是 $9+3=12$ 個，而且將來探測結果可能增加好幾倍。冥王星與卡戎是定義下特別的「雙行星」。許多繞日的天體與冥王星相類：軌道離心率高、軌道平面與黃道平面的傾角大、週期

34 主席是知名的天文歷史學家金吉瑞奇（O. Gingerich）。

35 IAU0601, "The IAU Draft Definition of Planet and Plutons," 16 August 2006, <<http://www.iau.org/iau0601.424.0.html>> .

超過二百年；IAU的動議將它們稱做「冥王體（plutons）」。此外，在太陽系中不達到「球狀」的天體將稱為「太陽系小天體（Small Solar System Body，簡稱SSSB）」。

（三）民主的勝利？³⁶

2006年8月22日，大會會員聆聽了IAU的動議後，討論激烈，出人意表。對動議的行星定義本身毀譽參半；對增加行星數目一項，反對者卻顯然佔大多數。

Pluton一字備受非議；原來它正是冥王星的法文名字，而且也是常用的地質學名詞——深成岩體。假如名字改錯了，通常換一個就是，問題本身其實不大；但行星定義委員會和IAU的威信因此大受打擊。假如動議一部分可以更改，其他部分豈不是也可以更改嗎？

最關鍵的問題，當然是行星的定義和由此引起的後果。IAU的動議幾乎保證，在幾年內，行星總數必然會增加，可能幾倍，甚至幾十倍；³⁷小學常識教科書便要相應更改。而且，當前更重要的問題可能是：冥王星有足夠資格做行星嗎？顯然，大會的大多數會員認為，多三顆行星不如少一顆。2006年8月24日，大會正式通過了與原來動議大相徑庭的決議。³⁸當時大會已近尾聲，IAU擁有會員9,785人，參加大會的有二千七百多人，參加決議討論的只有424人。雖然如此，這決議仍可以說是民主的勝利，大會「從善如流」的表現。

36 Deutsche Presse-Agentur, "Astronomers Divided Over 'Planet' Definition," *Science News*, 22 August, 2006, 16:55 GMT, <http://science.monstersandcritics.com/news/article_1193282.php> .

37 美國加州理工學院的布朗（M. Brown）估計在開浦帶內近乎球形的星體超過二百顆。見M. Brown, "How Many Planets Are There?" <<http://www.gps.caltech.edu/~mbrown/whatsaplanet/howmanplanets.html>> .

38 領導大會將冥王星降格的是烏拉圭天文學家費爾南德斯（Julio Ángel Fernández）。

六、太陽系天體的新定義³⁹

(一) 行星的新定義⁴⁰

大會正式決定了行星的定義：

- 行星定義1： 它依軌道繞日運行；
- 行星定義2： 它擁有足夠質量，達到「流體靜壓平衡」
(大致呈球形)；
- 行星定義3： 它在軌道附近已清除了別的天體。

大會特別指出，適合定義的只有八大行星：水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星。

(二) 矮行星和太陽系小天體

大會將太陽系天體重新分類。冥王星的軌道一部分在海王星軌道之內，觸犯了「行星定義3」的天條，因此它不是行星而是一顆矮行星：

- 矮行星定義1, 2： (同行星定義1, 2)；
- 矮行星定義3： 矮行星沒有在軌道附近清除了別的天體；
- 矮行星定義4： 它不是衛星。

39 Wikipedia, “2006 Definition of Planet”條, 21: 41, 2006年12月10日。

40 原文為：“(a) is in orbit around the Sun; (b) has sufficient mass for its self-gravity to overcome rigid body forces so that it assumes a hydrostatic equilibrium (nearly round) shape; and (c) has cleared the neighbourhood around its orbit.”

矮行星除了冥王星之外，還包括在小行星帶的穀神星，以及遠在開浦帶（Kuiper Belt）⁴¹、離日68倍於地球、新命名的伊利斯。與冥王星相類的天體不會取名為“pluton”；決議草案提出的新名稱“plutino”也不獲通過。

IAU接受了反對派提出的「太陽系小天體」，囊括行星、矮行星與衛星之外所有繞日運行的天體：

太陽系小天體定義：太陽系小天體是行星、矮行星與衛星之外，繞日運行的天體。

所有彗星因此都是太陽系小天體。

IAU更講明冥王星按定義是一顆矮行星，而且公認它是一組新的「海王星外物體」的樣本。⁴²

此外，動議並沒有給太陽系外行星下定義。

七、行星問題引出的新概念

（一）流體靜壓平衡⁴³

太陽系內大大小小的天體數以百萬計，以其外形界定它能否位列行星，應該是比較容易理解的。若星體內部曾經達至流體靜壓平衡，則現在會呈現近乎球形的形狀。但問題在於怎樣才算是近乎球形？怎

41 Kuiper Belt是海王星外的小行星帶，亦稱埃奇沃斯—開浦帶，是紀念愛爾蘭天文學家埃奇沃斯（K. E. Edgeworth, 1880–1972）在1943年和荷蘭天文學家開浦（Gerald Peter Kuiper, 1905–1973）在1951年關於這「第二小行星帶」的推測。開浦認為這帶是短週期彗星的來源，迄今未見實例。

42 原文為：“and is recognized as the prototype of a new category of Trans-Neptunian Objects.”

43 Wikipedia, “Hydrostatic equilibrium”條，03：16，2006年12月10日。

樣才算是不規則形狀呢？根本難以定出清晰的界線。除此以外，天衛五（Miranda）和土衛一（Mimas）這些較小星體的形狀是扁球形；而有些稍大的星體，例如帕拉斯（Pallas）和健神星卻不是球形的。星體是否近乎球形，不一定是由質量來決定的。也就是說，不能單靠大小或質量來明確地區分太陽系內的球體和不規則的天體。⁴⁴事實上，「流體靜壓平衡」這條件關係到星體的質量、密度和主要成分的強度。例如，直徑約800 km以上、從熔岩階段凝固的石隕星在理論上一定會呈現近乎球形形狀。⁴⁵

（二）清除鄰近空間⁴⁶

1930年湯博發現冥王星，它以太陽系第九顆行星的身份繞著太陽運行。不過，由於冥王星的軌道有部分比海王星軌道更接近太陽（圖1），未能「清除鄰近區域」內的天體，觸犯了IAU在2006年制定行星定義的天條，因而被降格為矮行星。

八、未息的爭論⁴⁷

IAU大會決議後爭論仍未平息，但爭論的方向卻改變了。

一個重要的問題是：假如天體 P 、 Q 軌道互相接近，是否兩者都同時失去「行星」的資格呢？IAU決議使用「清除了（cleared）」的字眼，看來高質量的一員才有「清除」的能力，才配做行星；但在

44 Wikipedia, "Definition of Planet"條, 05:08, 2007年2月14日。

45 石隕星（stony meteorites），密度約3.0–3.7 g/cm³，參見〈<http://meteorites.wustl.edu/id/density.htm>〉；G. Basri and M. E. Brown, "Planetesimals to Brown Dwarfs: What Is a Planet?" *Annual Review of Earth and Planetary Science* 34 (2006): 193–216。

46 Wikipedia, "Clearing the Neighborhood"條, 11:48, 2007年1月13日。

47 D. Fischer, "Inside the Planet Definition Process," *The Space Review*, 11 September, 2006, 〈<http://www.thespacereview.com/article/703/1>〉。

「清除」之際，行星定義相當模糊。即使 P 暫時「清除」了 Q ，也難保此後沒有進侵的 Q' ，企圖搶奪行星的名號呢！

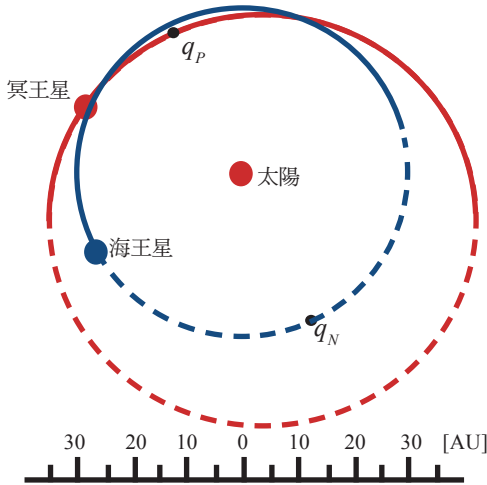


圖1 在地球的軌道平面從上方向下看的冥王星軌道——海王星的軌道（小圈）較冥王星（大圈）的近似圓形；且部分冥王星的軌道更接近太陽。 q_p 和 q_N 分別為冥王星和海王星的近日點。圖中所示為這兩顆星在2006年4月16日的位置；虛線部分代表行星的軌道在地球的軌道平面以下。（本圖取自〈<http://en.wikipedia.org/wiki/Pluto>〉，略有修改。）

上面所說絕非空穴來風，海王星和冥王星的共存便是定義模糊的佳例。冥王星軌道部分侵犯了海王星軌道的「領域」，冥王星因而慘遭降格，但IAU厚此薄彼，並沒有把「未能清除冥王星」的海王星改稱為「矮行星」。另一個問題是：木星看來不但沒有盡「清道夫」的職責，反而「樹大招風」。早年關於「三體問題」（例如太陽、木星和小行星）的研究已知，有些小行星受木星的重力影響，被鎖置於木星

軌道上 (T_1, T_2) 兩點附近，且處於穩定平衡 (stable equilibrium)，即小行星輕微偏離 T_1 (或 T_2) 點，也只會在那點附近擺動，不會逃離。⁴⁸ (見圖2) 因此，木星不但會清除軌道上所有星體，他的重力更吸引了二千多顆「特洛伊小行星 (Trojan asteroids)」⁴⁹。那麼這顆太陽系最大的行星豈不是有被降格成「矮行星」之虞嗎？

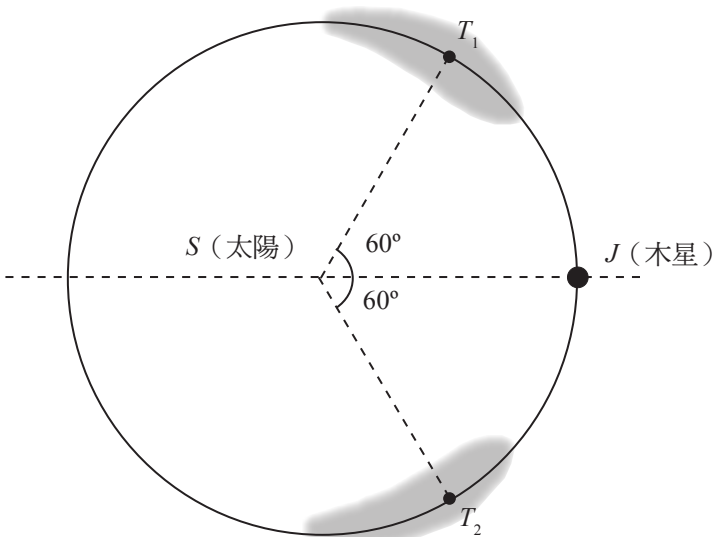


圖2 木星的重力鎖置了約二千多顆「特洛伊小行星」
在 (T_1, T_2) 兩點附近。

48 V. Szebehely, *Theory of Orbits: The Restricted Problem of Three Bodies* (New York: Academic Press, 1967). 但是，有些研究指出，部分木星的特洛伊星體受土星、天王星和海王星的重力影響，星體的軌道會變成混沌，甚至會遠離木星的軌道。見 K. Tsiganis, H. Varvoglis, and R. Dvorak, “Chaotic Diffusion and Effective Stability of Jupiter Trojans,” *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy* 92 (2005): 71–87；H. F. Levison, E. M. Shoemaker, and C. S. Shoemaker, “Dynamical Evolution of Jupiter’s Trojan Asteroids,” *Nature* 385 (1997): 42–44。

49 這些小行星聚集 (T_1, T_2) 兩點附近：一、兩點都在木星軌道上；二、若太陽在 S ，木星在 J ，則 $\angle T_1JS \approx 60^\circ \approx \angle JST_2$ 。2007年已知的特洛伊小行星有2,224顆。在別的行星軌道上相類的天體稱為「特洛伊行星 (Trojan planets)」，天文學家已發現火星和海王星軌道上都有特洛伊行星。見Wikipedia, “List of Objects at Lagrangian Points”條，21：13，2007年4月25日。

紐約大學的索特（S. Soter）完全棄用「清除鄰近區域」的字眼，為行星定義採取相當於「獨霸（dominance）」的新觀點：一個天體的質量百倍於相同「軌道帶」上剩餘的質量，它便是一顆行星；而兩顆天體共享相同軌道帶，是指該兩顆天體軌道的週期差別少於一個數量級（十倍），且沒有共振關係，⁵⁰而兩顆天體與所屬恆星有相同的距離（但未必相交！）。索特計算太陽系內主要天體的參數 $\mu = M / \sum m$ ，其中 M 是某天體的質量；所有與 M 共享相同軌道帶的其他天體，質量總和則為 $\sum m$ 。若 $\mu > 100$ ，這天體便是一顆行星。

新視野計劃的主要負責人——西南研究所（Southwest Research Institute）的史端（S. A. Stern）博士⁵¹對行星的定義有顯著的貢獻，對冥王星的降格也非常不滿。令人費解的是，史端於2000年曾發表對太陽系天體定義的看法。他以數值模擬方法計算某個特定參數，用以區分太陽系內主要天體。那些能把軌道上鄰近區域的微星體清除的天體，史端稱之為「上行星」（überplanet），共有八顆，恰好與IAU新定義下的八大行星完全相同；反之，冥王星、穀神星等天體則稱為「下行星」（unterplanet）。⁵²史端本人當時豈不是早已將冥王星降格嗎？

無論以史端或索特的定義來界定某顆天體是否行星，太陽系明顯只有八顆行星和為數眾多繞著太陽的其他天體，其中較大的是冥王星、穀神星和伊里斯。⁵³不過，即使兩種行星在觀念上得到客觀和嚴謹的定義，也無法避免一些獨處於自己軌道上的更小天體，可以稱為「行星」；而更大的，卻因靠近另一個天體而不是行星。加州理工

50 兩週期之比若寫成 $m:n$ ，則 m 和 n 不能同時為正整數。

51 Wikipedia, "Alan Stern"條，00：21，2007年3月27日。

52 S. A. Stern and H. F. Levison, "Regarding the Criteria for Planethood and Proposed Planetary Classification Schemes," *Highlights of Astronomy* 12 (2002): 205–213; as presented at the XXIVth General Assembly of the IAU–2000 (Manchester, UK, August 7–18, 2000); 複印本見〈http://www.boulder.swri.edu/~hal/PDF/planet_def.pdf〉。

53 S. Steven, "What is a Planet?" *The Astronomical Journal* 132 (2006): 2513–2519; 複印本見〈<http://arxiv.org/ftp/astro-ph/papers/0608/0608359.pdf>〉。

學院（California Institute of Technology）的布朗⁵⁴更簡單地將冥王星作界線。若太陽系內某天體比冥王星大，它就是行星，否則無論是否已「清除」，也不會視為行星。⁵⁵按這定義，由布朗於2003年發現的伊里斯便成了太陽系的第十顆行星了！

（一）白馬非馬？

「矮行星」這名字本身也飽受非議；反對者認為，「矮」是一個形容詞，「矮行星」因此只是一顆「矮」的「行星」，仍然是行星。IAU的立場很像中國戰國時代名家公孫龍子「白馬非馬」的議論。但「白馬」不也是馬嗎？⁵⁶假如「白馬」也是馬，行星的總數，不多不少，依然是動議所說的12顆！

我們固然可以創造獨特的外文新字取代“dwarf planet”，但中文翻譯仍難免含糊；原因是中文單字數量太少，詞的合成方式也有限制。我們多年前把英文asteroid譯作「小行星」已經開了先例：asteroid不是行星，外文原意是「類行星」，它好像行星但不是行星，也不算是「小的」行星，所以天文學中文譯名含糊不清的情況早就開始了。其實，外國也有可能未被IAU正式承認的“minor planet”（次要行星）一詞。

（二）命名的過程

命名的過程也引起了不滿，因為最後通過決議時只有424名會員在場，而IAU的會員接近一萬，參加布拉格大會的也有兩千多人。

IAU的做法其實並無不妥，大會肯定認為參加布拉格大會的人已

54 M. Brown, “How Many Planets Are There?” <<http://www.gps.caltech.edu/~mbrown/whatsplanet/howmanplanets.html>>.

55 D. Weintraub, *Is Pluto a Planet? A Historical Journey through the Solar System* (New Jersey: Princeton University Press, 2007), 222–231. 書中介紹不同天文學家對行星定義的意見。

56 公孫龍子（約公元前320—約公元前250），通常被列入詭辯派，著有《公孫龍子》，現存六篇。

代表所有會員。參加布拉格大會而不參加決議投票的，按慣例是自動棄權的一群；這些人已經默認424位在場會員足以代表他們了。

（三）「更好的定義」要求

定義決議通過後不過五天，三百多位科學家聯名簽署了請願書；這份文件並沒有指出決議的任何毛病，只要求「更好的定義」⁵⁷：

我等行星科學家和天文學家，不同意也不會採用IAU的行星定義。需要的是更好的定義。

甚麼是更好的定義？很可能簽署者各有不同的想法；他們只一致認為決議不妥。其實署名的未必盡是IAU會員，也未必都是「行星科學家和天文學家」。這請願書當然有宣傳的效果，但未必能改變IAU的立場。

九、名雖正而言未順

筆者⁵⁸認為八大行星之中水星是最小、最不尋常的一員。然而，冥王星比起來更小、更不尋常：

冥王星／水星：赤道直徑比例：	= 0.184/0.382 ~ 0.48
質量比例：	= 0.002/0.06 ~ 0.033
軌道離心率比例：	= 0.249/0.206 ~ 1.2
軌道交角比例：	= 17.1°/7.00° ~ 2.4

57 原文為：“We, as planetary scientists and astronomers, do not agree with the IAU’s definition of a planet, nor will we use it. A better definition is needed.”

58 這名詞代表本文的三位作者。

冥王星的直徑只有水星的一半，質量只有水星的3%；而軌道離心率大於水星，軌道交角竟然是水星的兩倍半。相比起來，金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星的直徑和質量都遠大於水星，軌道離心率都低於0.1，軌道交角都低於 2° 。冥王星的軌道更「侵犯」海王星的軌道。這些資料都告訴我們：冥王星與八大行星是不同類別的天體，很可能有迥異的歷史背景。冥王星被IAU降格，是「正名」的表現，值得贊同。在八大行星之外，冥王星開始了「海王星外物體」系列；特別的一點是，它同時也是一顆矮行星。我們看到，穀神星也獲IAU升格為矮行星；它也開始了「小行星」系列。根據IAU的決議，以下行星相當齊整地形成兩個對應的次系統：

- (一) 水星、金星、地球、火星（矮行星穀神星與小行星，形成小行星帶）；
- (二) 木星、土星、天王星、海王星（矮行星冥王星與「海王星外物體」，形成開普勒帶）。

IAU當初的動議缺乏這種對稱架構。

在解釋方面，決議更顯得牽強，尤其是「清除軌道」等混淆不清的字眼，極需進一步的說明。

八大行星「自成一國」，與別的太陽系天體有顯著的不同；怎樣用科學語言解釋這分別，以及怎樣適當處理「矮行星」和「海王星外物體」，更重要的是，怎樣賦予「太陽系外行星」精闢的定義，尚有待將來的努力。

此外，科學家也當竭力以簡單語言向普羅大眾解釋這些定義及其科學含義。如果科學知識只為少數科學家所擁有，則一般人只能享受由科學帶來的各種成果，而未能透過科學的眼光來欣賞宇宙的奧秘。

在這方面，我們可以向香港天文台借鏡。本港雖非處於地震帶，但由於香港天文台一直積極推動地震科普教育，因此一般市民都明白震央、板塊、餘震等名詞所謂何義。同樣，IAU在討論行星定義之時，也應該盡量顧及大眾，留意這些定義是否容易為一般人所接受，讓普羅大眾與科學家一起分享科學研究的樂趣。

1609年，伽利略首次用望遠鏡觀天，發現月球表面凹凸不平，徹底改變了觀測天文學。IAU為紀念這位科學家400年前的貢獻，已宣佈2009年為國際天文年（International Year of Astronomy 2009，簡稱IYA 2009）。下一屆IAU大會也將在2009年舉行；那時肯定會再提出行星的定義，希望屆時會員會保留八大行星的名義，但也會寫出進一步、更切合實際的理由，並且讓大眾明白這些定義，那麼2009年就真的是「天人合一」的日子了。

參考書目

1. Fischer, D. “Inside the Planet Definition Process,” 11 September 2006, [〈http://www.thespacereview.com/article/703/1〉](http://www.thespacereview.com/article/703/1) .
2. Margot, J. L. *What Makes a Planet?*, [〈http://www.astro.cornell.edu/~jlm/planet.html〉](http://www.astro.cornell.edu/~jlm/planet.html) .
3. NASA. *Planetary Fact Sheets*, [〈http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/planetfact.html〉](http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/planetfact.html). (美國太空總署不時更新此網頁)
4. Wikipedia, “2006 Redefinition of Planet”條，23：00，2006年12月27日。

附錄I. 今日的太陽系

今日的太陽系擁有八顆行星、三顆矮行星、兩條小行星帶（小行星帶和開浦帶）；此外還有其他太陽系小天體、彗星、「行星際塵（interplanetary dust）」，更有未經證實的、遼遠而稀疏的球狀厚殼，稱作「奧爾特雲（Oort Cloud）」。奧爾特雲外圍的半徑約為1.6光年。

半人馬座的比鄰星（Proxima Centauri）是最接近太陽的恆星；它距離太陽4.22光年，只是奧爾特雲外圍半徑的2.6倍。

表2 太陽系簡介⁵⁹

[本表根據IAU 2006年的決議，「天體」欄中（矮）代表矮行星，（小）代表太陽系小天體；數字代表發現年份。]

天體	赤道直徑 ($2R_{\oplus}$)	質量 (M_{\oplus})	軌道半主軸 (AU)	繞日週期 (地球年)	軌道交角	軌道離心率	自轉恆星週期 (地球的恆星日) ⁶⁰	衛星數目
太陽	109	332,950	-	-	-	-	25.38	-
水星	0.382	0.06	0.387	0.241	7.00°	0.206	58.6	0
金星	0.949	0.82	0.723	0.615	3.39°	0.0068	-243	0
地球	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00°	0.0167	1.000	1
火星	0.533	0.11	1.524	1.881	1.85°	0.0934	1.03	2
小行星帶	-	0.0005	2.06-3.27	2.96-5.91	~20°	-	-	-
穀行星（矮，1801）	0.076	0.00016	2.766	4.599	10.59°	0.080	0.3781	0
木星	11.209	317.8	5.203	11.86	1.31°	0.0484	0.414	63
土星	9.449	95.1	9.537	29.46	2.48°	0.0542	0.426	56

59 取材自Wikipedia, “Planet”條, 15:13, 2006年12月18日, 略有修改。地球赤道直徑 ($2R_{\oplus}$) = 12,757.504 km, 地球質量 (M_{\oplus}) = 5.9742×10^{24} kg。關於地球的準確數據如下：軌道半主軸 = 1.00000011 AU = 149,597,887.5 km, 軌道週期 (地球年) = 365.25地球日；軌道交角 = 0.00005°, 軌道離心率 = 0.01671022。

60 地球恆星日 = 23.93447小時。

表2 太陽系簡介 (續)

[本表根據IAU 2006年的決議,「天體」欄中(矮)代表矮行星,(小)代表太陽系小天體;數字代表發現年份。]

天體	赤道直徑 ($2R_{\oplus}$)	質量 (M_{\oplus})	軌道 半主軸 (AU)	繞日 週期 (地球年)	軌道 交角	軌道 離心率	自轉恆星 週期 (地球的恆 星日)	衛星數目
天王星 (1781)	4.007	14.6	19.191	84.01	0.77°	0.0472	-0.718	27
海王星 (1846)	3.883	17.1	30.069	164.8	1.77°	0.0086	0.671	13
開普勒	—	~0.3	30-50	164-354	4°, 30-40°	—	—	—
冥王星 (矮, 1930)	0.184	0.002	39.482	248.1	17.1°	0.249	-6.4	3
夸奧瓦 (Quaoar, 小, 2002)	0.099	0.0002-0.0004	43.405	285.97	7.98°	0.034	0.74 ⁶¹	1
伊里斯 (矮, 2003)	0.185	0.0028	67.668	556.7	44.2°	0.442	>0.33	1
瑟娜 (Sedna, 小, 2003)	0.141	0.0002-0.0010	525.606	12,050.32	11.9°	0.855	0.42	0

61 數據來源: J. L. Ortiz, P. J. Gutierrez, A. Sota, V. Casanova, and V. R. Teixeira, "Rotational Brightness Variations in Trans-Neptunian Object 50000 Quaoar," *Astronomy & Astrophysics* (2003): 409, L13-L16.

附錄II. 歷史上的行星與矮行星

表3 歷史上的行星、矮行星命名變遷表⁶²

天體	繞日 軌道 半主軸 (AU)	類別	命名 日期	除名日期	改名原因
太陽	0	行星	(上古)	十七世紀	升格為太陽系的主星
月亮	-	行星	(上古)	十七世紀	降格為地球的衛星
穀神星	2.8	行星	1801	1864	降格為小行星
帕拉斯 (Pallas) ⁶³	2.8	行星	1802	1864	降格為小行星
朱諾 (Juno) ⁶⁴	2.8	行星	1804	1864	降格為小行星
灶神星 (Vesta) ⁶⁵	2.4	行星	1807	1864	降格為小行星
冥王星	39.5	行星	1930	2006	降格為矮行星
穀神星	2.8	矮行星	2006	-	從小行星升格
冥王星	39.5	矮行星	2006	-	從行星降格
伊利斯	67.7	矮行星	2006	-	(比冥王星還要大)

62 部分摘自Wikipedia，“Planet”條，17：21，2007年5月3日。

63 帕拉斯，希臘智慧女神，即雅典娜（Athena）。

64 朱諾，羅馬神話中的天后，主神朱庇特（Jupiter）的妻子，即希臘神話中主神宙斯（Zeus）之妻赫拉（Hera）。

65 維斯太，羅馬神話中的女灶神，即希臘神話中的女灶神赫斯提（Hestia）。

