

彗星與相關天體

何耀坤

臺南市私立光華女中

在古代彗星的出現會引起先民的恐懼，在今天彗星於天文學上仍然是值得注意的特別天體，因為從彗星的研究能帶給太陽系的形成過程各種線索。——研究自然科學有兩種趨向，一為注意追究某物體的一般特性，暫不考慮例外，二為詳細追究某一特殊實象，然後將之推展至整個性質。這是科學研究常用的方法，哈雷彗星的研究是一個良好的例子。為了解彗星的本質而只觀察彗星本體是不夠的，也要注意和彗星相關的天體，才能真正了解彗星的意義。從天體的綜合研究不但能了解彗星的本性，而且能明白彗星在太陽系中的意義和由來。

關於彗星的本質以及其在太陽系的意義，於 1950 年美國理論天文學家惠波（I. F. L. Whipple）曾發表了「彗星的冰核說」，同年荷蘭天文學家歐爾特（J. H. Oort）提出了「彗星雲說」。最近由於電波天文學的進步，可從人造衛星自大氣圈外觀測彗星後，對彗星在天體物理性質之了解更有大的進步。現代天文學認為我們的太陽系有四十六億年歷史，首先由星際分子雲收縮產生太陽系行星系的母體，有許多微行星繞太陽周圍，被行星捕獲成為衛星。剩下的微行星由行星重力和微行星間的引力而被加速，被打出遠離太陽的地方形成所謂「歐爾特彗星雲」，是彗星之巢（圖 4）。所以彗星原是微行星，保存有太陽系形成當初的物質，可謂太陽系的化石。

一、星際分子雲

兩百年前曾經發現了八個彗星的英國天文學家維廉·哈歇爾（Sir Frederick William Herschel 1738 ~ 1822）發現在恒星間漂浮的黑暗星雲時，認為是宇宙的

黑洞，相信從此可看到無限的大宇宙。經一百年後，十九世紀末，由分光學研究認知這黑暗星雲是沒有和其他原子結合的原子漂浮宇宙間。到 1930 年由星雲的光譜分析發現星際之間的氣體中有一氧化碳，又在星際雲中有 $(CN)_2$ 基等原子團。這些塵雲最易通過氫所發出的波長 21cm 的電波，又在電波中發現有數十種分子的光譜線。如此以前用可視光線無法觀測的黑暗星雲，現在用電波望遠鏡可證明是分子氣體和固體微粒子的混合物。於 1968 年又發現黑暗星雲中有氨和水蒸氣，甲醛、氰酸、甲胺 $(CH_3 \cdot NH_2)$ 和乙醇等五十多種分子，其中 70% 以上是有機化合物。所謂黑暗星雲，現在都改稱為星際分子雲。

二、星際分子雲與原始太陽系星雲

獵戶座的大星雲（圖 1）周圍有以氫為主成分的數十種微量化合物的巨大星際分子雲，是絕對溫度 10 度 $(-263^\circ C)$ 左右的極低溫世界。其密度在一立方公分內有氫分子一千個，在宇宙空間中算密度很高的。因為低溫，所以分子運動不活潑，壓力也低。若密度高，壓力低，分子雲因為自己的重量而收縮，可能有許多物質會引起複雜化學反應，在如此地方會產生星球。

根據最近的電波和紅外線觀測發現，獵戶座的星際分子雲中有強的能源，放射較太陽有一百倍以上能量，以猛烈氣勢向周圍吹散氣體。這裡離地球約 1500 光年，用 CS 的 6.3mm 波長觀測，有低溫的濃氣流。另外如獵戶座附近的金牛座的 Lins 1551 星際分子雲（天文學家 Lins 編的黑暗星雲目錄編號 1551），據電腦解析認知，正在這裡誕生的星周圍有迴轉氣體圓盤。在獵戶座星雲中所發現的迴轉氣體圓盤（圖 2、據日本野邊山電波望遠鏡觀測資料），中間有原始星，其質量為太陽的五十倍，周圍有直徑約 6 兆公里（太陽系的 500 倍）的氣體圓盤，每秒以 1.3 公里之速度迴轉。從



圖 1 獵戶座大雲星（正在誕生許多星星的地方）

中心部向圓盤垂直方向噴出猛烈的氣體，在 Lins 1551 所發現的圓盤比較小，可能是原始太陽系星雲。為何知這圓盤噴出氣體呢？因為圓盤中心產生原始星時，因其重力使圓盤內氣體和星際物質聚合，所以原始星的重力能量增加而噴出趨於安定狀態，因圓盤迴轉，氣體從中央噴出。Lins 1551 的圓盤之大約為太陽系之 200 倍，原始星的质量和太陽差不多，從中心也噴出氣體，Lins 1551 中心星不會發出光可吹散圓盤周圍的物質。若要產生行星系，必要較大氣體的迴轉圓盤，行星因重力作用而產生在圓盤內側。在圓盤外側因中心星的光和熱無法到達，所以大部分的氣體變成分子和固體粒子塵，或冰塊，這就是彗星巢，如歐爾特彗星雲（圖 4）。

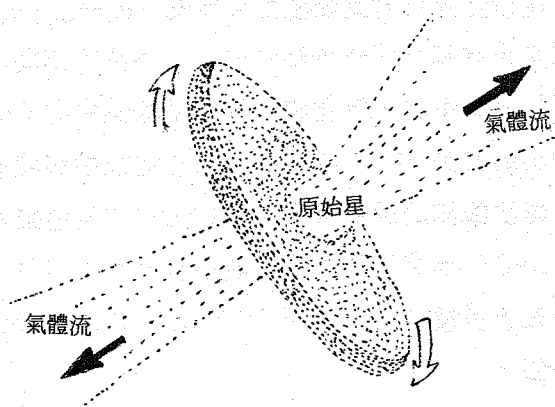


圖 2 迴轉氣體圓盤模式圖（據電波望遠鏡）

三、行星系的誕生與彗星

從星際分子雲誕生行星系的過程，現代天文學認知如下。首先星際分子雲失去安定性而開始收縮，這是太陽和太陽系歷史的開始。收縮的星際分子雲形成迴轉氣體圓盤，其中心部氣體聚合蓄積重力能量而變高溫。其熱能可控制重力收縮時，因高溫而塵粒蒸發，分子破壞，原子的電子被奪去成為離子氣體的聚合（所謂電漿 plasma），而向周圍發出強光，就是原始太陽。（圖 3）氣體圓盤周邊部的物質因為迴轉離心力，在原始太陽的赤道面附近形成圓盤狀的原始太陽系星雲。這原始太陽系星雲的氣體圓盤，初期時非常高溫，但是放出紅外線後漸漸冷卻安定。

原在星雲中的固體微粒子起初是微小粒子，後來互相衝擊結合而增大。重粒子沈澱於原始太陽系星雲的赤道面，然後分離成氣體層和固體層。沈澱進行時作用於固體粒子聚合的自己引力會超過自太陽的引力，故在重力上變得不安定，終於在固體層的圓盤分裂為無數細塊。所產生的細塊若直徑只有數公里的小天體稱微行星。細砂粒子聚合最後也可變成可觀的天體，所以微行星的形成是太陽系形成史上最重要的。這些微行星繞太

陽周圍，有時衝擊，有時結合漸漸變成大的行星，若經十萬年間會變成月球的五分之一大，這稱為「原始行星」。變成大的天體時引力會變大而吸引星際氣體，並在周圍形成濃厚大氣，那麼微行星就不會和原始行星衝突。若能落入重力圈內受大氣的抑制作用而落下原始行星表面，就是原始行星的成長，若經一百萬年至一億年就成為更大的行星。在原始太陽附近的行星受太陽之光和熱，氣體成分的大部分被吹散成為以岩石為主的行星，遠方的行星成為以氣體為主的行星。如此星際分子雲開始收縮，經一千萬年至一億年；行星系的基本型就完成。

還有許多微行星繞太陽周圍，在長期間偶然被行星捕獲就變成衛星。剩下的微行星受行星重力或微行星互相引力而加速，被衝出離太陽更遠方地方就形成歐爾特星雲（圖 4）。所以在歐爾特星雲的微行星受某種力量而被彈出來，偶而到我們地球附近來，就是彗星。所以彗星是原始太陽系當時的活化石的存在。

四、彗星和小行星

觀測天體時若發現周圍有模糊如髮狀（Coma）的是彗星，若是恒星狀的就是新星或是小行星，彗星和小

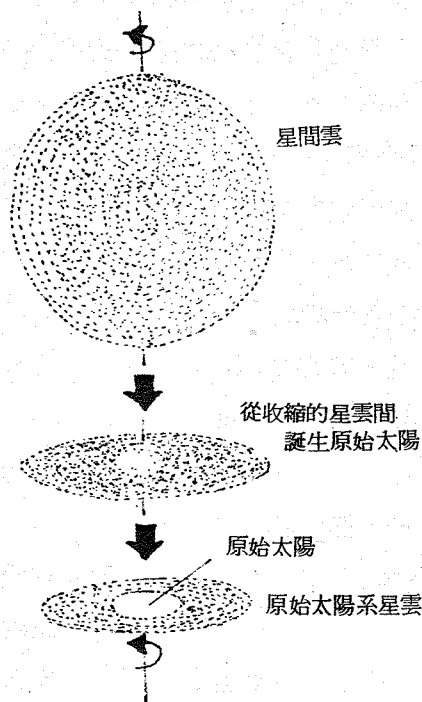


圖 3 從星間雲產生原始太陽系星雲

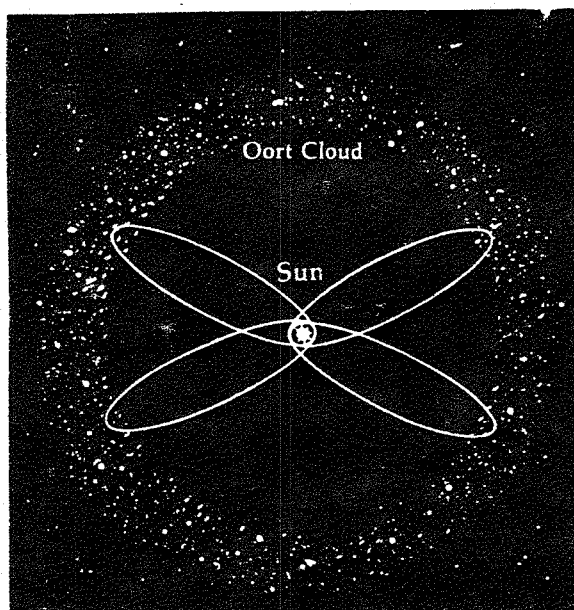


圖 4 歐爾特彗星雲

行星的軌道特徵上有明顯區別。圖 6 是將小行星和彗星的軌道半長徑(a)和離心率(e)，以二次元圖示。○表示小行星，●表示彗星，○愈大表示其天體愈明亮。從圖可知彗星區域(A、B、C)和小行星區域(D、E)有明顯區分。圖 6 是比較其軌道特性，若細查其運動特性也可分別彗星和小行星的特徵。

支配短周期彗星和小行星運動的是木星，據美國史密松天文台的 Marsden，木星族彗星之 50% 在過去五十年內通過離木星 0.5 AU 以內地方，但是小行星避離木星。如軌道半長徑和木星略相等的 Toloya 群小行星，對太陽和木星恰排成正三角形位置，所以不能接近木星，其他小行星也避離木星 1.1 AU 以上距離。也有小行星具有相似彗星的軌道，相反地也有彗星具有似小行星的軌道。如圖 6，小行星 Hydargo 完全在彗星區範圍，但是 Marsden 根據其軌道解析，認為那是彗星。於 1977 年發現的 Kairon 小行星，其軌道在土星和天王星之間的圓軌道，常反覆和土星及天王星異常接近，也許是巨彗星。也有小行星在發現當時被認為是彗星，但是現在看起來是小行星。若是短周期彗星應有噴射非重力效果，其光度相近小行星，其具有的彗星特徵

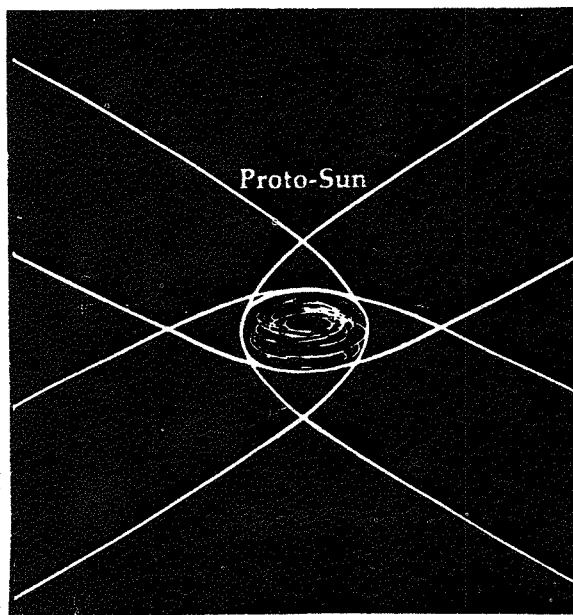


圖 5 原始太陽

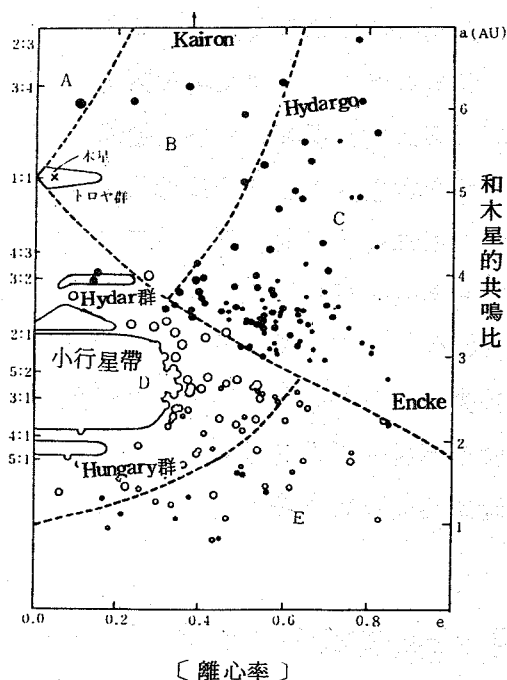


圖 6 彗星和小行星的軌道特性
(Cresack 1979)

是離心率為 0.61, 0.77 較大。所以一部分小行星和彗星也許是同一天體，已失去揮發成分的彗星殘骸變成爲小行星。

五、阿波羅天體與彗星

大部分小行星軌道半長徑在 2.2 AU 至 3.3 AU 之間，特稱「小行星帶」。1932 年德國天文學家發現橫貫地球軌道而接近太陽的一個特異小行星（圖 7），其近日點距離爲 0.65 AU，命名爲 Apollo（阿波羅）（用希臘太陽神 Apollon 之名），此後凡橫貫地球軌道接近

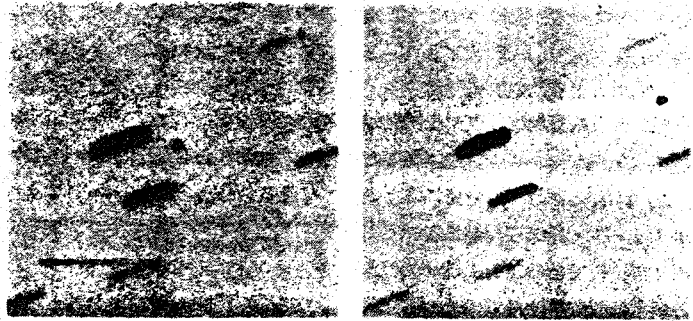


圖 7 1973 年再發現的阿波羅天體（左圖中央點像），一小時後向右方移動

太陽的小行星都稱阿波羅天體（圖 9）。短週期彗星的遠日點在木星軌道附近或在其外側，但是阿波羅天體的遠日點只延至小行星帶外緣部。阿波羅天體由其軌道種類可分爲三種類型；在近日點附近和地球軌道交叉的稱 Amor 型，和地球軌道交叉的稱 Apollo 型，軌道全體在地球軌道內側而在遠日點附近和地球軌道交叉的，稱 Aten 型。其軌道已被計算出的 Amor 型有 15 個，Apollo 型有 30 個，Aten 型有 4 個，其直徑都在 0.5 至 5 公里。



圖 8 在加拿大的巨大受侵蝕的圓坑（大的直徑 35 公里，小的直徑 25 公里）

阿波羅天體被注意，因爲有人認爲月球和地球上有許多圓坑，可能是阿波羅天體造成的，在地球上的圓坑因爲受侵蝕風化，圓坑消失。最近由衛星照片發現在加拿大和沙漠地帶發現有巨大圓坑（圖 8）。現在天文學認爲阿波羅天體供給源可能是小行星帶內

緣部的小行星，或短週期彗星。如果是從小行星帶供給的，因為火星質量小，以其攝動難將小行星從小行星帶帶到地球軌道內。若是短週期彗星都變成阿波羅天體，那麼會產生衆多阿波羅天體。

阿波羅天體到底是死彗星，或從小行星帶來的小行星，這是研究彗星起源及彗星內部構造上很重要的問題。如果彗星核是污穢冰塊，那麼失去氣體和塵粒後不能留下如阿波羅天體殘骸。假

設彗星中心部有岩石核，外側為冰層（由 Secanina 提）；或惠波所提，彗星消耗氣體後表面形成塵埃的斷熱殼，那麼從彗星就有產生阿波羅天體之可能。那一方假設是對的，現在無法結論。據中村士民報告，軌道與黃道夾角（ i ）近於 90° 的長週期彗星比 i 近於 0° 的多，所以應有 i 近於 90° 的阿波羅天體。如果阿波羅天體其 i 近於 90° ，那麼可斷言其由來自彗星。

過去十年間每年所發現的阿波羅天體平均有三個，裏面沒有一個是其 i 近於 90° 。另必須要注意的是高軌道黃道夾角彗星和相關的流星群，所謂流星是從彗星放出的塵粒，現在已知許多流星群的母彗星。今後能否發現高軌道黃道夾角的阿波羅天體，這是決定阿波羅天體起源問題上最重要的。因為低軌道黃道夾角的阿波羅天體有小行星起源，以及彗星起源的雙方可能性，如果能發現若干個 i 近於 90° 的阿波羅天體，那麼可斷定其起源為彗星。

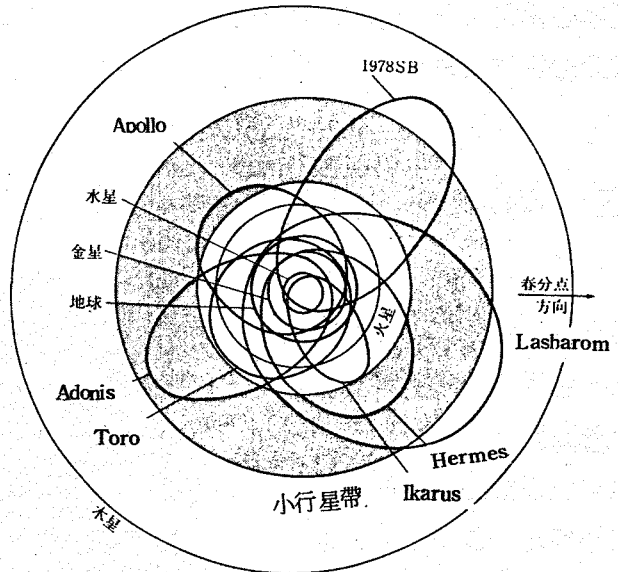


圖 9 阿波羅天體的軌道

六、流星群與彗星及黃道光

(1) 流星群與彗星

所謂「流星」是在地球上層大氣中，高速進入的微粒子和大氣分子衝擊發光的現象。

流星之中有些稱為「火球」的，另有燒不盡而落在地上的隕石。從大火球觀察得知，其軌道和小行星相同，和彗星崩壞的流星群起源相異。某彗星是否某流星群的母彗星，必視兩者軌道是否相似。

彗星核的冰所含的塵粒，由於噴出的氣體壓力，被引出核外。因為彗星噴出氣體在近日點附近最激烈，所以流星物質也在近日點附近時大量出現。彗星向太陽方向放出的粒子具有較小的軌道半長徑，其公轉週期也短，運行在母彗星之前方。和太陽相反方向放出的粒子公轉週期較大，比母彗星運行較遲。從彗星核離散的粒子，按其大小受不同的太陽能放射壓力而形成Ⅱ型尾。流星物質隨彗星軌道擴展，若其軌道和地球軌道交叉，就可看到流星群。現在所知的流星群之大多數，在一定季節裡可看見，有時和母彗星公轉週期間隔相等時可看到大流星雨，如 1885 年的仙女座流星雨。也有年間常出現的流星，和流星群有區別，稱「散在流星」，其起源不清楚。

流星是從彗星產生的，在物理上有下列證據：① 流星體的密度小（平均 0.8），是脆弱的物質。根據此點難假設流星起源於隕石。② 流星體和彗星核在物質上類似。③ 據流星的光譜分析，具有相似彗星的揮發性氣體和分子。

(2) 黃道光與彗星

流星和黃道光都由彗星供給的，這種假設以前就有，尤其是一部分短週期彗星是有力的候補。據統計，現在發出塵粒的彗星的總和不過是流星和黃道光的十分之一而已。假定黃道光是由短週期彗星崩壞而產生的，那麼有許多流星群無法說明其軌道。從前有許多人認為巨大彗星分裂產生現在的流星和黃道光，只以彗星和流星能否完全說明黃道光，這是將來的研究課題。



圖 10 獅子座流星群



圖 11 阿波羅 15 號衛星攝影的黃道光

【關於彗星的主要參考書】

1. 長谷川・大林編：現代太陽系科學（上），東京大學出版。
2. 長谷川一郎：天體軌道論，恒星社厚生閣。
3. 中村・山本著：彗星，恒星社厚生閣。
4. 藪下信：彗星と星間物質，地人書館。
5. 的川泰宣：ハレー彗星の科學，新潮社。

【關於彗星的專門性論文】

1. F. L. Whipple, A Comet Model. I. The Acceleration of Comet Encke, Ap. J. 111, 375—394, 1950.
2. B. G. Marsden, Z. Sekanina, D. K. Yeomans, Comets and nongravitational forces V., A. J. 78, 211—225, 1973.
3. J. H. Oort, The Structure of the Cloud of Comets surrounding the Solar system and a Hypothesis concerning its Origin Bull Astron. Inst. Netherlands, 11. 91—10, 1950.