

追憶年華

1970年代，在美的臺灣留學生，將對學術知識的渴求，轉化成自身熟悉的文體撰寫。在一顆顆緊密排列的鑄字背後，轉印成一本本的《科學月刊》，記錄著當年珍稀的新知。50年後的今日，印刷技術不再是制式的活版印刷，更遑論組數這18000多個日子裡，科學的容貌也已悄然發生變化……

飛越半世紀的天文探索之旅



葉永旭／中央大學天文所及太空所教授，研究太陽系起源、小物體及系外行星。



潘康綱／中央大學天文所博士生，研究太陽系小行星家族型態與小行星光度及偏振觀測。



葉庭碩／中央大學天文所博士生，主要研究領域為主帶小行星的自旋狀態與結構。



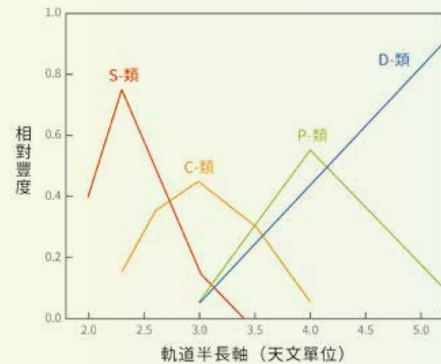
圖一：《科學月刊》第5期封面。（科學月刊社提供）

在過去50年間，隕石及隕石和小行星相互關係的研究有很多重要成果和突破。回想在1969年，科學家們對隕石的來源還是各說各話。有人說是從彗星而來〔註一〕，有人認為是因小行星受到碰撞碎裂，產生的碎片被發射到與地球相交的軌道，才有機會穿入地球大氣層而墜落在地面，成為隕石。但問題在於要從火星和木星軌道之間的空間，改變成近日點小於一個天文單位（地球和太陽的距離）的軌道，需要極大的能量，一般來說很難有適合這種條件的碰撞事件。

而這個難題要等到80年代電腦計算能力到達一定的水平，可以執行長時期的軌道演變計算時，才知道與木星有共振作用的小個體，即繞日公轉週期與木星週期成2個簡單的正數比（即1/2、2/3、3/4、3/5等），其軌道可以從穩定狀態過渡成為混沌狀態，因此離心率可以變得非常大，使得軌道的近日點跨入火星軌道和地球軌道的空間。從而變成與地球有碰撞機率的近地小行星。事實上這個天體力學過程本身是相當的複雜，還有很多重要細節都需要了解，不過現今的科學家已把這個問題解決了。

隕石的分類

當隕石的母體來自小行星的事實得到初步澄清後，接下來的工作便是認定各類隕石與小行星的關連。從地面的天文望遠鏡的光譜或者濾光片測光觀察所得資料，可知小行星的化學成分依它們離太陽距離的近遠大略可以分為E、S、M、V、C和D六類（圖一）。如將各種小行星的光譜和隕石的光譜比較，則知道S類的行星成分與普通球粒隕石相近；C類小行星成分與碳質球粒隕石相近；D類小行星的隕石標本很稀有，被認為是富含水分和有機物質的成



圖一：根據表面反射光譜和顏色的資訊所得小行星在太陽系中的分類。它們和隕石的化學成分也各有相應。

分所成。以灶神星（Vesta）為代表的V類小行星成分，接近一種由溶漿岩形成並簡稱為HED族的隕石〔註二〕。而M類小行星的成分則和鐵質隕石差不多，可能是一些大型的小行星個體，在太陽系的早期歷史中的破碎性激烈碰撞事件，把中間的鐵質核心整個分裂出來。所以在某種程度來說，針對一塊塊不同的隕石作分析和比較，便有如玩拼圖遊戲，嘗試把小行星的內部構造重新接合，更進一步推論太陽系在最開始的幾百萬年間的溫度和化學成分的分佈。

在上世紀90年代有關太陽系來源的傳統模型，通常把行星胚胎從小積生到現在的質量和大小的過程，都固定在一定的軌道位置。因為太陽星雲的溫度與太陽距離（ r ）的平方根成反比（ $T \sim 1/\sqrt{r}$ ），離開太陽越近的原始物體會含有越多的金屬。因此，這些S類小行星主要成分是岩石。而在小行星外側的C類和靠近木星軌道的D類小行星，則會有越來越多的水冰和其它揮發性高的物質。而彗星則是在木星軌道或更遠區域的產物。太陽小物體成份的排列，一切都是規規矩矩的，45億年不變。但目前頗為流行的一個理論模型，卻認為當天王星和海王星形成時，它們會從原來的軌道區域，向外大幅遷移到今天的位置。而因為角動量守恆，土星和木星的軌道會稍微向內收縮。在這個動力學過程中，大量的原始微體會受到彈射到各種軌道。本來在木星軌道之內的小行星，都是石質成分（如普通球粒隕石）的S類小行星。而在木星軌道之外則是成分以碳質球粒隕石為代表的C類小行星，它們是在行星軌道遷移作用之下，才被注射入小行星帶外圍。而現今的科學家也嘗試利用天文觀測和太空船實地探測計畫，研討這些不同的理論。

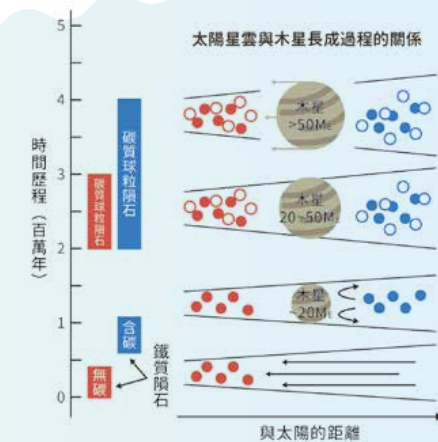
太陽系的原始物質

在最近一個很有趣的發展，便是發現太陽系中原始物質的成分分佈，非常可能和木星的形成有關係。重要線索在於比較70個鐵隕石的鎢（tungsten, W）和鉬（molybdenum, Mo）同位素的相對含量，發現在太陽系內部物質開始積生成小行星的3、400萬年內，所有物體的同位素含量的相對比例都一樣，但過了這個時段，便開始劃分為截然不同的2種。一個可能的解釋如圖二所示。當木星的質量尚未達到一定程度，太陽吸積盤中的物質的各種同位素含量，因為擴散作用可以變得非常均勻。但當木星質量在3、

400萬年內增長成今日的規模，把它軌道內外的物質分隔，有如楚河漢界而不能同化。使得在後段時期形成的小行星的同位素含量和前期形成的小行星不一樣。

結語

最後要說的是，在過去50年，由於天文學觀察、隕石研究、天體動力學研究及太空船實地探測的結果，讓人們對小行星和隕石的了解，有了長足的進步，也因此更令人覺得宇宙的奧妙，而且有更多問題需要更深入的鑽研。要透過短短一篇文章列出50年來的成果實屬不易，因此只能透過簡單和顯淺的描述，希望能引起讀者對天文學的興趣。



圖二：在太陽系形成階段的初期，因為固體粒子從外被輸送入內部，物質的同位素相對成份相似。但當木星的質量增加到一定程度，這個動力學途徑被切斷，同位素的相對成份也會分成2種不同的演化歷史，可以在隕石的分析找出蛛絲馬跡。

〔註一〕當時尚未確定彗星是冰塵混合而成的個體。
〔註二〕HED族：3種無球粒隕石的總稱，分別為古銅鈣無球隕石（Howardites）、鈣長輝長無球隕石（Eucrites）和古銅無球隕石（Diogenites）。

掃一下QR code，就能回顧《科學月刊》1970年5月號的〈月球標本之研究結果〉！

延伸閱讀
1. Gradie, J. and Tedesco, E., Compositional structure of the asteroid belt, Science, Vol. 216(4553): 1405-7, 1982.
2. Kruijer, T.S. et al., Meteorite dichotomy implies that Jupiter formed early, IPI Contribution, Vol. 2084: 4037, 2018.