隕石— 原始太陽系的密碼

黃武良、劉淑蓉

兒時看到流星掠過天空,曾想著星星到底掉在何方?可否撿到?兒時的夢想在歲 月中流失,取代的是對大自然的好奇-流星來自何方?帶來什麼樣的太空訊息? 對撞擊地球的影響等?就從墜落美國亞利桑納州的流星說起吧!

孤星流浪記

墜落亞利桑納的隕石約在5萬年前抵達, 在地表撞擊出一直徑約1.2公里的坑,循例 以撞擊的地點命名為戴布洛峽谷隕石。它原 是太陽系的小行星,漫遊於火星與木星之間 的小行星帶。那裡住著不同族群,大小不一 的小行星,各自四處遊蕩,有些相撞碎裂, 有些脫離軌道,飄盪於太陽系星際之間,成 為八大行星或其衛星的獵物一流星體。若被 地球的重力吸住,有時形單影隻,有時結伴 以高速直衝地球,經過大氣層後,多數燃燒 殆盡,只留下流星掠過天空的痕跡,少數如 亞利桑納的隕石抵達地表。



戴布洛峽谷鐵隕石(圖片來源:攝自休士頓自然 歷史博物館)

地球上被隕石撞擊的岩石礦物,在被巨大隕石衝擊力道下產生的高壓高溫粉碎和部分熔融,因此岩屑及熔岩四濺,讓大地染上獨特的外星成分。有些礦物岩石傷痕累累甚至轉成超高壓礦物,成為人類判別隕石撞擊的關鍵信物。

解剖隕石

隕石可分成 3 大族群:鐵隕石、石鐵質隕石、石質隕石。石質隕石最多,鐵隕石次之, 約為目擊掉落隕石的 5%,石鐵質隕石只有 2%。戴布洛峽谷隕石屬於鐵隕石。鐵隕石以鐵及



藝術家筆下隕石撞擊月球表面的情景(圖片來源:http//www.nasa.gov/exploration/home/Lunar_strike.html)

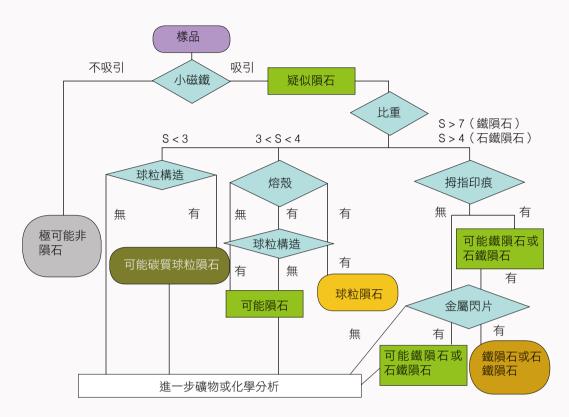
鎮為主,類似地心的成分,石質隕石成分 較接近地殼及地函的岩石,石鐵質隕石則 介於兩者之間。

石質隕石又以內部結構分為球粒隕石 (占95.3%)與無球粒隕石(占4.7%)。 球粒隕石含1~5毫米的球狀顆粒及玻璃 質,是因遭受超高溫熔融後又快速冷卻而 成。球粒隕石又分為普通球粒隕石(占 94.7%)與含碳量特別高的碳質球粒隕石 (占5.3%)。無球粒隕石較難與地球岩石 區分。

偶爾也會發現月球隕石和火星隕石, 是月球或火星物質受隕石打擊而濺出落到 地球上的。如何知道是從月球或火星來的? 月球隕石的化學及礦物成分與從阿波羅計 畫帶回的月岩十分類似,而有異於一般隕石,因而得以分辨。火星隕石則是其內玻璃質中夾帶的氣體成分,與從火星探測計畫所量測的火星大氣的成分類似。

隕石的誕生與演化

同是來自小行星帶的隕石為什麼會有不同族群?小行星帶是如何形成的?從隕石中同位素的定年,發現最老的隕石是一種碳質球粒隕石,年齡約 45.6~ 45.67 億年之間。戴布洛峽谷隕石年齡是 45.5 億年,其他的隕石年齡在 45.38~ 45.58 億年之間,月球的年齡是 45.1 億年,與火星隕石的年齡 45.01 億年相近。從隕石的定



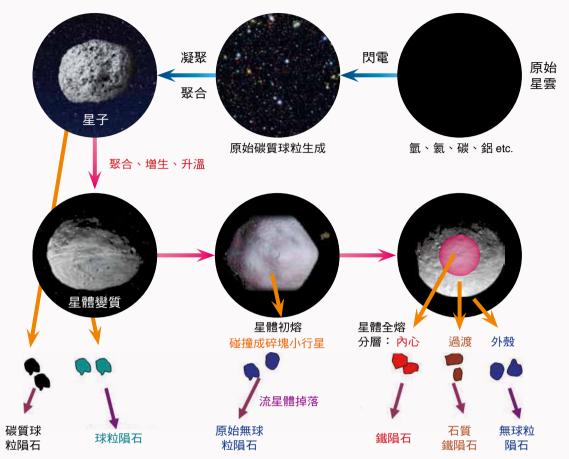
簡易辨識隕石的流程:用繩吊小磁鐵(稀土磁鐵或冰箱磁貼)測試,不被吸引的絕大多數是非隕石,但被吸引的不一定是隕石;以比重區分;檢視是否有球粒構造;檢視是否有熔殼(隕石外部熔化成棕黑熔殼,但內部保留隕石原色);檢視拇指印痕(氣印);檢視金屬閃片(以挫刀磨平後露出部分可見閃亮的鐵鎳金屬顆粒),或可檢視維德曼圖樣(鐵隕石樣品拋光再以稀硝酸侵蝕後,內部會出現鐵鎳交織的特殊結構)。若不確定,再進一步做化學或礦物成分分析。(本流程僅供參考,最後隕石的辨識需要專家確認。)

年,估算出地球的年齡約 45.4 ~ 45.5 億年。這些年齡都相當接近,意味著太陽系可能在短短的 5 千萬年內形成。因此,隕石、小行星與太陽系的行星、衛星來源類似。隕石中暗藏許多解開太陽系起源的密碼:例如今年(2017 年) 美國國家科學院報導,美國與德國合作進行鐵隕石中鉬與鎢的同位素定年,得知木星是在原始太

陽系演化一開始的短短一百萬年內形成, 證實木星是最老的行星,並推論:要不是木 星的形成如此早,構成一個巨大的屏障, 阻擋外圍的星雲物質向太陽系中心移動, 影響之後太陽系的發育,否則超大地球可 能會出現。

依星雲學說,原始太陽系是由太陽星雲 中的塵埃及氣泡(主要是氫和氦)組成的。

從隕石中同位素的定年,發現太陽系可能在短短的5千萬年內形成, 隕石、小行星與太陽系的行星、衛星來源類似。



隕石的演化分異過程。目前發現的各類隕石是太陽系演化過程中各個階段的產物。含原始球粒隕石的星子在 聚合增大時升溫,使其內的礦物改變,但仍保留球粒構造,是普通球粒隕石。星體再增大,溫度高到發生部 分熔融以致消除球粒結構,其碎片就是原始無球粒隕石。再增大的星體因高溫熔融到足以產生內部分層,如 同月球或地球分層,重的鐵錦沉入內心,而較輕的石質留在外殼,這類星體碰撞後含鐵鎳內心的碎片就是鐵 隕石的來源,含石質的外殼碎片就是無球粒石質隕石,而在分界過渡帶就是石質鐵隕石的來源。

當稀薄的星雲凝聚而塌縮時,經旋轉加速、重力、自轉等作用,使星雲中絕大多數的質量集中成為原始太陽,其餘則以原始太陽為中心旋轉成為扁平的原始星盤,開始孕育行星。其中最早形成的巨大木星吸引許多附近的小星子構成小行星帶,並阻礙了這些星子形成行星,甚至在引力下造成星子的相互碰撞,形成許多殘骸和碎片。前述原始的球粒隕石可能是早期的星塵在閃電高溫加熱熔化下,瞬間形成的球粒結構體分散於星雲中,是建構太陽系的原始材料。



亞蘭德(Allende)礦石球粒隕石,圖左的切片中可 見球粒狀構造。這隕石常做為最原始隕石的代表, 因為其內含有已知太陽系最古老的物質一難熔的鈣 鋁質內含物。(圖片來源:攝自哈佛大學自然歷史 博物館)

原始星盤中的球粒隕石、星塵及氣泡經聚合、增生、相撞後,小星體逐漸加大至約10公里,稱為星子,算是胚胎期的小行星。目前發現較老的球粒隕石,如1969年墨西哥的亞蘭德球粒隕石,含有已知太陽系最古老物質(45.67億年),可能來自這類星子或其碎片。各類隕石是原始球粒隕石在成長各個階段發生分異的產物。星子在發育過程中沒被撞碎的,就越聚越大成為大星體,而有幸就位於軌道環繞太陽運轉,形成太陽系的行星、矮星及衛星。其餘殘留的無數小行星體或碎片就流浪在小行星帶成為各類隕石的來源。

天涯何處無隕石

目前全球找到的隕石約4萬5千個以上,尚有無數未被發現,包括掉落海域,或經過長久的地質年代被地表的變遷所匿跡。根據北美地區的統計,鐵隕石約只占墜落隕石的3.4%,但發現的鐵隕石占23.3%,意味著地球上仍然有許多的石質隕石尚未認出。最近,科學家利用都卜勒氣象雷達追蹤墜落時的隕石,大大增加發現石質隕石的機會。

世界最大的單塊隕石是 1920 年在納米 比亞發現的霍巴鐵隕石。說也怪異,這 60 噸重的鐵隕石就像輕飄到地上,沒有一般 隕石的撞擊坑。是否從他處移過來仍是個 謎,有認為是其扁平的形狀進入大氣層時, 就像瓦片打在水面上跳躍後緩慢地下墜。 另外,重 14.5 噸的威拉姆特鐵隕石也是無 撞擊的痕跡,經研究認為原是墜落於蒙大 拿州或加拿大附近,在最後冰期時隨冰川 向南移動到奧勒岡州。石質隕石較脆弱, 撞擊後很少完整。目前,最大的單體石質 隕石是 1976 年撒落在吉林的石質球粒隕 石,最大的只有 1.7 噸。

天上掉下來的禮物

天上掉下來的禮物是福也是禍。2014年, 《自然》雜誌報導,地球剛形成後的五億年間,地球以及月球曾遭逢巨無霸隕石的重複撞擊,導致地表一再變化,足以滅絕當時地表上 的生物並蒸乾海洋。

近半世紀以來,科學家從隕石以及撞擊坑中抽絲剝繭,對於隕石撞擊對地殼的變動、氣候的變遷以及生態系統的影響已略有了解。古代人利用鐵隕石打造工具、武器和飾物。近年來,人們視隕石為珍奇的收藏品,是國際拍賣會的寵兒。更有福的,如俄羅斯在西伯利亞發現由隕石撞擊形成的巨大鑽石礦,南非的隕石撞擊讓世界最大的金礦露出地表,墨西哥的隕石撞擊使人發現了富含油氣的盆地。

但 1908 年,西伯利亞通古斯大爆炸事件 瞬間夷平廣達約 2,100 平方公里的森林,幸好 該地人煙稀少,目前確認是隕石撞擊或彗星闖 的禍。2013 年,流星掠過俄羅斯烏拉山附近 引發空中爆炸,當地的居民深受其害。

恐龍大滅絕的禍首

1970年代,石油公司在墨西哥尤卡坦(Yucatán)半島探勘時,發現一隱藏地下半徑約180公里的奇蘇盧隕石坑。令人驚奇的是,據估計隕石撞擊的年代約在中生代白堊紀與新生代古近紀之間(K-Pg分界),也是中生代末恐龍大滅絕的時間點。因此,恐龍大滅絕可能是因這個隕石撞擊所引起的全球性灰塵迷漫、酸雨遮住陽光的效應所致。

「隕石撞擊說」之能夠超越另一勁敵「火山大噴發說」的關鍵是,1980年加大柏克萊校區物理學家發現在全球各地的 K-Pg 分界地層中所夾的薄層黏土裡,銃元素的含量異常高,認為是含銥隕石破碎的粉塵所造成的。2010年,《科學》雜誌報導全世界41位科學家終

於有初步的共識,認為恐龍的滅絕與這隕石撞擊直接有關。2013年進一步報導,把這隕石撞擊時間點(6,603萬8千年前)與K-Pg分界的時間差距縮小至3萬2千年內,以地質時間來說幾乎無差。

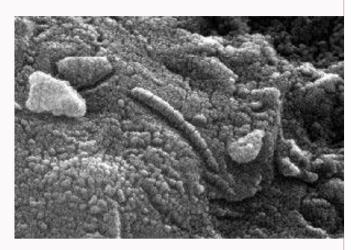
2015年,加大柏克萊校區以及普林斯頓大學團隊對造成地表上最大型火山地形的印度德干玄武岩進行同位素定年,發現火山噴發時期跨越 K-Pg 分界,而最劇烈噴發期與隕擊時間也不過相差 5 萬年,似乎這兩個災變都是恐龍的主要殺手。不過兩大災變同時發生也真巧!柏克萊團隊因此猜測,是否這隕擊的大地震與地裂引發或加劇了火山的噴發?惟這二者誰是主犯?

2016年,英國的團隊發現了另一幫凶, 從恐龍存活數分析,認為恐龍在隕石撞擊之 前2千5百萬年族群就已開始衰弱。這發現 支持一些古生物學家的認知:恐龍無法適應 白堊紀末生態系統的改變,本身對滅絕要負 相當責任。

地球的生物源自隕石嗎

地球上生物的起源至今仍然是個謎。碳質球粒隕石含有豐富的碳,是否意味有地外生物的存在?地球的生物是否源自外星? 1996年,美國總統克林頓宣稱太空總署發現火星上有過生物的跡象,是從一顆在南極尋獲自火星掉下來的艾倫丘陵 Allan Hills 隕石中,發現有古細菌遺留下來的化石,保持鍊條狀的外形類似地球上的古細菌化石,臆測火星可能孕育有原始生命,經由隕石移民到地球來。

雖然不少科學家認為無機礦物的形成也可造成所觀察的擬似化石外形,單靠外形不足為憑,需要找到直接證據一生物密碼。然而,1996年太空總署的發現掀起全球從隕石身上尋找生命起源的研究熱潮,嶄新的跨領域學門「太空生物學」因而誕生。



美國太空總署從一顆在南極尋獲的火星隕石中,在高倍電子顯微鏡下發現磁鐵礦結晶呈鍊條狀的排列,外形類似地球上發現的古細菌化石,引發地球生物源自火星的臆測。(圖片來源:http// www.lpi. usra.edu/lpi/meteorites/mars_meteorite.html)

2008年,戈達德太空中心發現隕石中的 胺基酸含有較多左旋有機分子,與地球上蛋 白質中只有左旋有機分子呼應。2011年,太 空總署進一步發現隕石中含有構成生命體 的基本要素 DNA 和 RNA 的組成物質核鹼 基,其中有些是地球上生物所無,表示的 確源自地球以外。最令人振奮的是 2015 年 太空總署報導,「好奇號」從火星鑽探的 泥岩的現場分析,發現其中含有可能源自 生物的有機碳,顯示地外生物存在的可能。 未來,科學家或許可從隕石中找到開啟生 命來源的鑰匙。

黄武良

臺灣大學地質科學研究所(已退休)

劉淑蓉

臺灣大學師資培育中心(已退休)