

隕石的探索法

何耀坤

臺南市私立光華女中

爲了獲得研究宇宙的資料，去月球或火星携回岩石，需花費龐大經費及高度科技。但是經常從宇宙那邊飛來不速之客，即是隕石，是貴重而廉價的物質，這是現今唯一能直接拿在手上可研究的宇宙物質試料。隕石是自地球外向地球表面落下的固態物質，又稱隕星。隕石落下地點被確認後得採集的數目，每年平均只有六個。有時大流星其行踪清楚，但找不到隕石之例有十二倍之多，若包含落在海洋、沙漠或高山，一年間落在地球的隕石總數約有 5000 個，現在世界各地所保存的主要隕石總數約有 2400 個。

有關隕石最古紀錄是舊約聖經約書亞記第十章十一節記載，中國最古紀錄在漢書五行志：「漢惠帝三年（BC 192 年）隕石縣諸一」，此後只在漢書共有二十一例有關流星及隕石之紀錄。隕石自古有許多迷信及傳說，真正以科學方法研究隕石從兩百年前。於 1803 年四月在巴黎近郊有大規模流星雨，後來經由法國理科學的科學調查判定隕石是來自宇宙空間物質。隕石（Meteorite）是空中物質之意（自古希臘語 Meteora），是很適合的名稱。

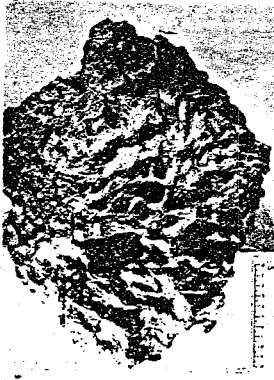
研究隕石需要物理、化學、地質學及天文學知識。高中地球科學課本中有隕石教材，本文以隕石爲中心從相關科學方面探討其現象和意義，並提供探索隕石的方法，提高對隕石的關心，喚起對地球及宇宙的興趣。

一、隕石的落下現象

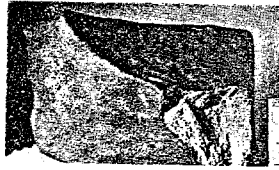
看記述隕石落下狀況報告很有趣，其共同事項如下。常伴如大砲的音響，發出閃光而落下；有時沒有光，也沒有聲音而突然落在人家屋頂。落下時在空中有煙又有尾，其大音響如噴射機的衝擊音，可能隕石在空中爆裂。光和煙是隕石衝入大氣圈內飛行空氣

時，由於磨擦變高溫，表面燃燒所生的。

許多隕石外表沒有棱角而有熔跡，被覆一層薄的黑焦殼，也有燒跡。大部分隕石落下後溫度仍高，發出煙和水蒸氣。許多科學家認為隕石衝入大氣圈之前的溫度為 4°C 左右，所以落下後有時被霜。隕石表面有時有滴狀流紋(圖一之A,D)，也有像壓指紋的凹



A (鐵隕石之表面，有流紋)



B (石質隕石表面，表面有熔殼，右邊裂面可看到內部)



C (石鐵隕石的斷面，黑色珠是橄欖石)



D (在黑殼表面可推測熔解而流的方向)

圖一

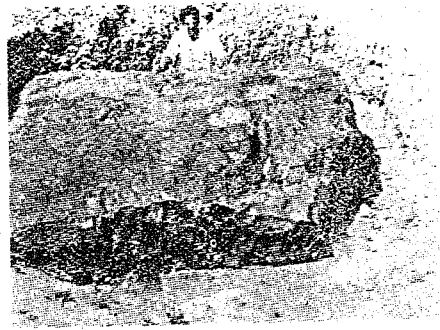
處。有時如冰塊的隕石落下，如1963年8月在蘇俄境內有一農婦採集後送莫斯科研究結果，判定是起源於宇宙的冰塊。

隕石落下經常是一個或二、三個，有時如雨落下，特稱隕石雨。如1976年3月8日在中國吉林省(圖二)，又如1912年7月在美國亞利桑那州共落了16000個隕石，這是隕石在空中分解成許多粒塊落下。大隕石(圖三)落下時，如炸彈在地上挖成大圓孔，稱隕石坑，小隕石落下後潛入地中。世界共有35處隕石坑，其中最有名的是美國亞利桑那州的Barringer meteorite crater(圖四)，直徑約1.2公里，在沙漠中央部，深200公尺，又從周圍發現10公噸以上的鐵隕石。隕石坑在非洲，澳洲也有發現，都在沙漠，因為沙漠容易保存隕石坑。此外在地質時代也有發現過古時隕石坑的遺跡。

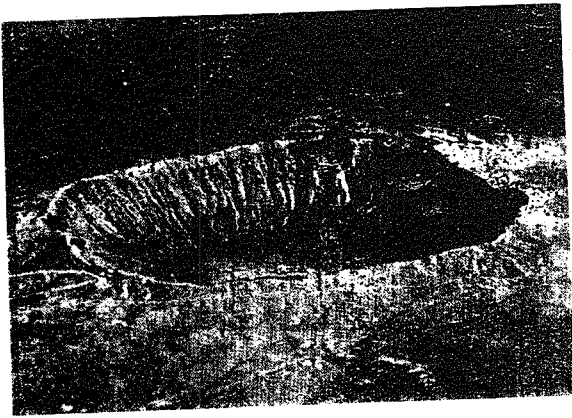
隕石落下過程中會引起數次分裂，如最硬的隕鐵也有分裂現象，其隕石切口很銳。石質隕石衝入大氣時必分裂，許多完全崩壞而不能落到地面，變成大流星群。隕石材質不均時分裂沿脆部發生，曾經看到的石質隕石中最大不超過二公噸。



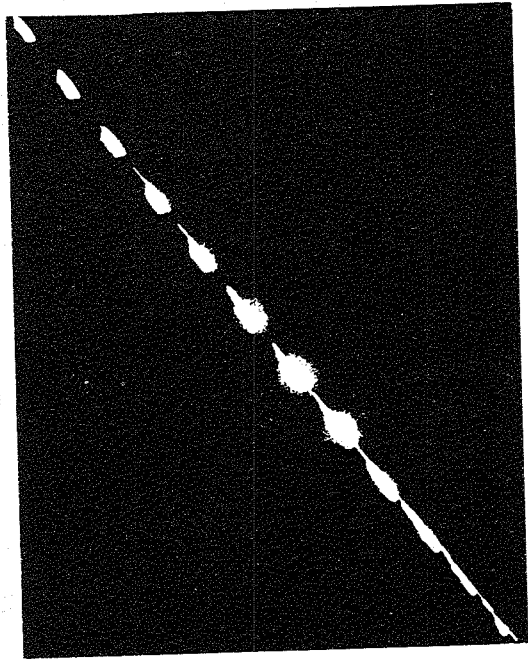
圖二 中國吉林省，落下流星雨時所生的小隕石火口



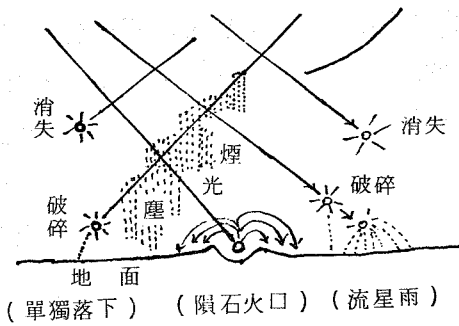
圖三 落在非洲的世界最大隕石



圖四 美國亞利桑那州的隕石火口



圖五 隕石一邊落下，一邊分裂（1977年2月5日）



圖六 隕石落下模式圖

二、隕石的分類和統計

關於隕石的分類和統計，從古代已有許多研究者引用古書及目擊紀錄編寫隕石目錄，其中最有名的是英國布賴歐目錄表如表一，另有 Leonald system 的分類法。

表一 隕石的分類，數和量

隕石的分類	細 分 類 之 例		目擊數	發現數	總重量 (Kg)
鐵 隕 石	hexahedrite Octahedrite 富含鎳的 ataxite		42	503	約 50,000
石 鐵 隕 石	parasaites mesosiderite		12	55	約 10,000
石 質 隕 石	chondrite	頑火輝石 chondrite 古銅輝石橄欖石 chondrite 紫蘇輝石橄欖石 chondrite 碳素質 Chondrite	628	304	約 20,000
	eichondrite	玄武岩質 eichondrite chondrite 質 eichondrite			

現在除 tektite (以矽酸鹽為主成分，變玻璃質的岩石黑小塊，直徑 2 ~ 3 公分以下，和隕石外觀、組成，發現地點不同) 及冰隕石外，隕石可分鐵隕石 (siderite)，石鐵隕石 (siderolito) 和石質隕石 (aerolite) 三種。

鐵隕石主要由鐵合金構成，石質隕石由矽酸鹽礦物，石鐵隕石由鐵隕石和石質隕石各半混合。這三種的分類法由其內部礦物組成及成分可更細分，如鐵隕石以鎳 (Ni) 含量更分為三種。石質隕石可分為 chondrite (其特徵為如穀粒圓小) 和 eichondrite (不含小球，其組成構造相似月球和地球上的火成岩，大多不含鎳和鐵)。石鐵隕石以矽酸鹽礦物種類可分兩種，凡含橄欖石的稱 Parasite，含輝石和斜長石的稱 mesosiderite。chondrite 之中也有含有機物 and 水的碳隕石，但稀有。eichondrite 由化學成分可分兩種，其中富含鈣的特稱玄武岩質隕石。

表一內記有隕石落下目擊數目及回收數目，有些不知落下時間而後來發現所回收的數目，並表示隕石個數及重量。在此所謂個數是以一個隕石落下或發現算為一個，所以

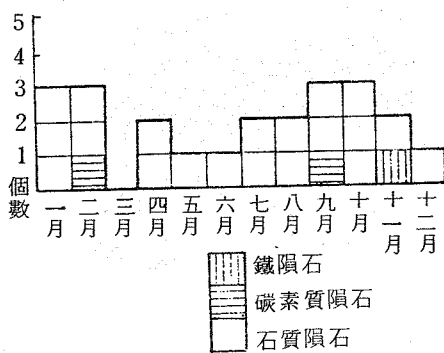
流星雨也算為一個。

隕石之中石質隕石數目特多，但以重量來說鐵隕石較重。若以落下目擊數目而言，石質隕石較多，但在地面發現的數目鐵隕石略多。因為鐵隕石和周圍岩石及土壤很不同，容易引起人們的注意。石質隕石相似一般岩石，所以落下數目雖然多，但是發現數目少。隕石的目擊數目和發現個數之多少和人口分布有關，如人口稠密地方，發現個數多。例如日本陸地面積占世界陸地面積之四百分之一，隕石發現個數約 30 個，其中目擊數 23 個。按照世界平均在日本面積範圍內平均發現數只有三個而已，事實上有十倍之多。看隕石落下統計，北半球特多。以上事實證明隕石發現數和人口密度相關。下表二是 1966 年至 1970 年間的隕石落下及發現數目分類統計。

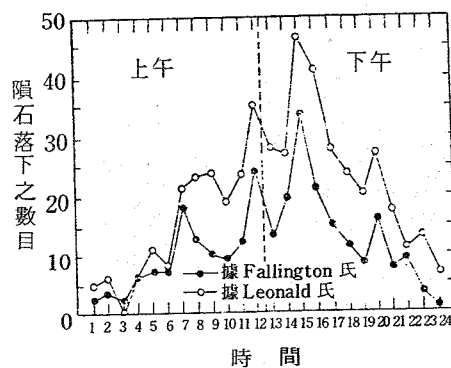
表二 1966 ~1970 年間隕石落下及發現數。

	鐵 隕 石		石鐵隕石		石質隕石		合 計	
	數	重量 (K g)	數	重量 (K g)	數	重量 (K g)	數	重量 (K g)
目 擊 現	1	30			22	640	23	670
發 現	10	10,531	1	10	25	416	36	10,957
計	11	10,561	1	10		1,056	59	11,627

根據統計，不但陸地，全世界一年間落下的隕石推測個數約 12 個，按月別統計隕石落下頻率如圖七，可知 9 月至 10 月和 1 月至 2 月，共一年間有兩次高峯期。以一天



圖七 月別的隕石落下數目



圖八 時間別隕石落下數目

來看，傍晚的落下頻率較高，尤其看古代紀錄統計愈明顯。看圖八是 Fallington 氏和

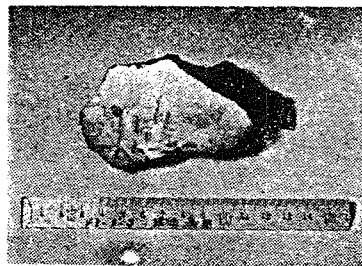
Leonald 氏統計，可知隕石落下和地球或月球運行有關，可是不能很肯定。

三、鑑別隕石的特徵

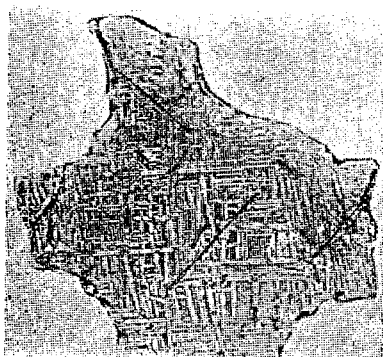
隕石有許多種形式，各形式別又有許多特徵，下列舉出其一般性特徵。(1)大致上呈暗色。(2)隕石不具銳角。(3)球形的隕石極稀少。(4)隕石中沒有中空或含泡情形。(5)比較新的隕石表面有熔跡 (fusion crust)，但是經風化後表面會生銹變褐色(圖九)。鐵隕石以鐵和鎳為主成分，將其斷面磨平後用弱酸腐蝕時會出現鑲嵌紋，稱Wetmansteten組織(圖十，十一及圖一之C)，紋帶寬度約0.1~2公分，其鎳含量約7%。若鎳含量更少時出現平行細線，稱Noiman線(圖十二)。(6)大多隕石被磁化，連石質隕石也有強的磁性。(7)所有的隕石都含鎳。(8)比重在7~8之間，比一般岩石很重。(9)從地面撿得



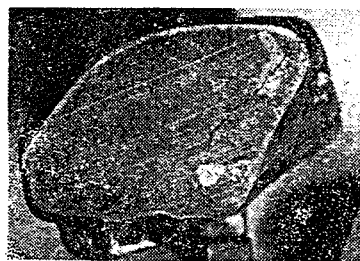
圖九 經風化後的隕石



圖十 具有鑲嵌紋的鐵隕石



圖十一 鐵隕石的Wetmansteten構造



圖十二 有Noiman線的隕石

的石質隕石表面，用鑪磨時會出現亮的金屬斑點。(10)石質隕石普通含有球狀塊，稱 chonddur，有的要用顯微鏡才能看見，一般都以肉眼可見。(11)石質隕石常有脈理。(12)大

部分隕石表面有如以拇指壓的痕跡。(13)隕石表面有時出現熔紋。(14)隕鐵斷面有金屬光澤。(15)大多數隕鐵若以酸腐蝕，會出現Wetmansteten構造。(16)在同地方發現的，都有共同特徵。(17)tektite的折射率約1.48。(18)作吹管試驗，黑曜石會起泡，但tektite不然。(19)tektite在吹管試驗後會變粉紅色。

偶而有人拿來奇石要求鑑定是否隕石，看起來大多是紅鐵礦或磁鐵礦，在沈積岩中含鐵的部分。各位如果收到「似隕石」的岩石，大多是連專門的人也不易鑑別。我建議儘量迅速寄送隕石專門研究機關，所委託鑑定的隕石一百個之中若有一個是真正的隕石，算很好。發現新隕石對科學上算很大的貢獻，新隕石的發現沒有一個是不重要的。發現隕石時下列機關歡迎免費鑑定，標本必會退還。若該隕石是真物時，該機關也許會來信徵求購買，但是價額比一般少很多。小標本按原物送，大塊的可從損傷較少部取出一小塊寄送，下列介紹美國主要的隕石研究機關六所為參考。

American Meteorite Laboratory
P.O. Box 2098
Denver, Colorado 80201

Institute of Geophysics
University of California-Meteoritics
Los Angeles, California 20560

Institute of Meteoritics
University of New Mexico
Albuquerque, New Mexico 87106

Meteoritic Department
Arizona State University
Tempe, Arizona (602) 965-6511

Field Museum-Meteorites
Roosevelt Road and Lakeshore
Chicago, Illinois 60605

Smithsonian Institution
Meteorite Division
Washington, D.C. 20560

四、尋找隕石的方法

目前科學界在研究宇宙科學上沒有足夠的隕石標本，所以新發現的隕石個個都是重要。我們相信有不少新種隕石未被發現，甚至散在馬路邊，如果大家對隕石有多一點知識，必能增加發現隕石的機會。美國加州有一位教師曾經帶學生到一所干湖（這裡完全沒有天然岩石），採集所有的石頭而發現其中有數個小隕石。

業餘隕石採集家常調查最近出現火球地方，查出火球消失點，對照地圖計算火球經

由路線，然後組搜索隊去採集。美國法律規定，隕石的所有權在地主，也有國家規定隕石應歸國有，所以對隕石發現正確地點不必公開宣傳。如美國中西部自然岩石少，發現隕石機會多，曾經有一業餘天文學家只搜查一天，檢了一個隕石，算大收穫。

大多石質隕石通過大氣時會分裂，所以到附近應該可找到，石質隕石發現機會為鐵隕石的九倍之多。美且合作南極大陸探險隊，曾經在冰原上發現許多隕石(圖十三)。因為那裡沒有自然岩石，而且冰原表面的冰昇華而不斷更新，所以能保存數千年來落下的隕石，共找到將近五千個。



圖十三 在雪上發現的隕石

五、隕石的落下時間和散亂範圍

隕石的落下時間無法預測，但是落下情形有明顯的傾向。從若干火球輻射點所落下的隕石不只一次，而且有多數火球出現，但不在流星雨期間落下隕石。在一天當中隕石落下較多時間是下午二時左右，因為這時地球正在使隕石物質衝入大氣圈速度最小的方向。相反地衝入速度最大在上午二時左右，落到地表的隕石只有下午的八分之一。

一年之中隕石落下較多在夏季，尤其在六月間，三月間落下最少。也許夏季時有許多人在戶外，能看到火球或聽到爆音機會較多，這些都是人為因素。

能決定火球的消失點，就能計算其隕石落下地區。隕石不受大氣強風或重力影響，若注意將繼續飛而可能落下的地點和火球消失點互相連結的線畫在地圖上。隕石除垂直衝入大氣之外，其落下散亂範圍呈橢圓形，隕石愈重，散開愈遠，必落在離開火球消失點外地方，所以必須調查落下時的風向。散亂範圍最廣的流星雨是1976年3月8日在中國吉林省，其隕石落下範圍達450平方公里，第二是1962年2月8日在墨西哥 Alende落下的。在澳洲及南太平洋的 tektite 落下的散亂範圍達全地表的10%，共落了

一億噸玻璃性物質。在阿根廷的 Champo der Cerro 有隕石落下，是地球天然衛星脫出軌道，其散亂範圍細長。

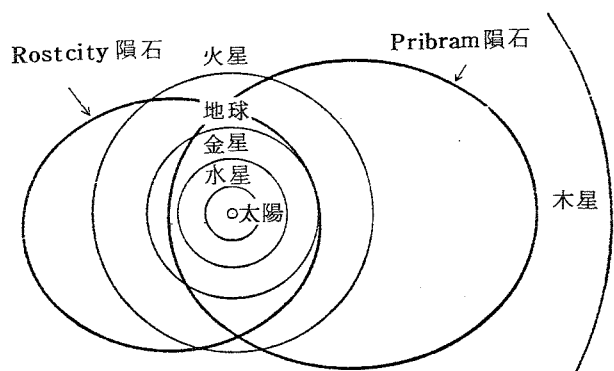
六、隕石的故鄉

來到地球的隕石到底從宇宙的什麼地方？如何落到地表，這問題很久不太明白。至於這隕石來到地球高空後，衝入大氣層時發出火或煙而落下情況，觀察記述甚多。尤其最近大眾傳播方面進步，對隕石落下這種偶發事件情形，很容易搜集在各地所觀測的方向及時間資料，將之綜合以決定隕石的空中飛行軌道。根據一般人對隕石落下的描述和記憶，雖然不夠正確，但是根據這些觀測資料對求算隕石落下速度和軌道也有幫助。

看以往的隕石落下觀測中最正確的例子，是於 1959 年捷克的布拉哈近郊的 Ondo-lyoff 天文台，爲了研究流星攝影天體時偶然有 Pribram 隕石落下。因爲其落下情形很清楚留在流星攝影底片上，能正確決定速度和方向，所以可計算精密的軌道。根據這些資料判斷，隕石的軌道相似小行星，其軌道的遠日點恰在火星和木星軌道之間，近日點在水星與地球軌道間，並和地球軌道相交，又偶而進入地球軌道範圍內。其後在美國華盛頓 DC的 Smithsonian 天文台將這種觀測，有計畫地實行，而在密西西比河中游平原上設十六所自動攝影站，從 1964 年開始工作。於 1970 年一月很幸運有一機會，恰有 Rostcity 隕石落下，隨時計算其軌道得如圖十四（圖中也表示 Pribram 隕石軌道）。根據攝影記錄網觀測的隕石軌道，起源於火星和木星之間。Rostcity 隕石於 1970 年一月三日落下於奧克拉荷馬，隨時回收後進行破碎作生成物的半減期測定。不久以前已有一個假設，即是隕石之故鄉可能在小行星附近，所以其實驗測定結果給這假設提供有力的證據。

隕石的軌道觀測其後隕石研究提供重要資料，例如不能落到地球上來的隕石也能把握其正確資料。

隕石非如流星其質量在 0.1 至 1 克之間，並密度很小，一立方公分只有 0.25 克的物質，隕石密度很大（如石質隕石的平均密度爲 3.6 克），而且具有鐵的光譜線，在觀測上有



圖十四 兩個隕石軌道

些沒有到達地表，也可能是隕石，其故鄉也在小行星附近。

現在有一小部分人認為，有些隕石是從另外地方來的。例如認為小行星非屬於太陽系的物質，是從遙遠的其他銀河那邊來的物體，也有人認為隕石是月球的碎片。如由里（Urey，美國地球化學家）支持後者，他說根據軌道計算，從月球投出的岩石片之一部分受引力攝動送入小行星軌道，偶而落到地球來。但是經登陸月球的太空人帶回的岩石，詳細檢查結果證明，月球岩石和隕石有異（也有相似的），所以隕石全自月球來的可能性減少很多。

無論如何，隕石每秒以 10 至 20 公里速度衝入地球大氣中，其中小石受空氣阻力而減速，重量 100 公噸以上的隕石減速較小，所以和地球衝突時的運動能量非常大，可能相當於 20 MT 級核子彈之爆炸，結果形成隕石火口。如月球面許多似噴火口的坑洞（Crater）的一部分的確是隕石火口，爆炸時放出的岩片和一般隕石的故鄉雖然不同，但這是宇宙空間物質之一“tektite”的看法是值得追究的問題。

主要參考書

H.R.Povenmire: Fireballs Meteors & Meteorites

B. Mason: Meteorites (1962)

V.T. Wasson: Meteorites (1974)

島 誠：隕石之科學