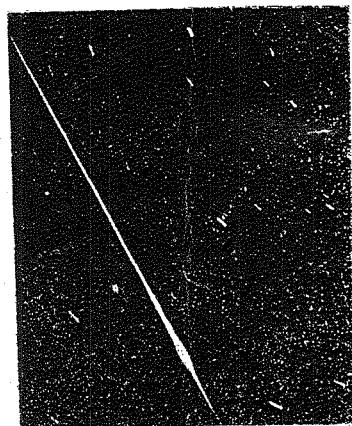


# 流星的探索法

臺南市私立光華女中 何耀坤

流星的科學研究自十八世紀末開始，過去被認為不吉祥的這不可思議天文現象，漸漸被揭開其真像。流星原是一種普通的自然現象，並不是夜空上的恒星流落的。

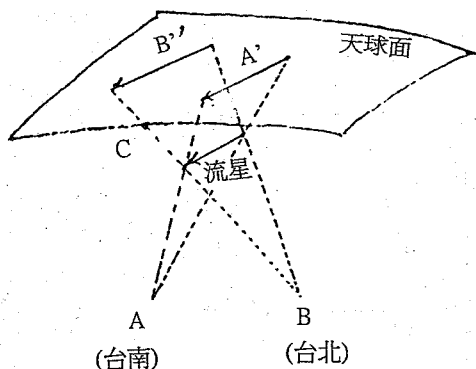
大部分的流星具有太陽系內橢圓軌道，其母體的彗星或小行星也屬於太陽系，因此流星也應屬於太陽系的天體。流星物質的產生和太陽有關，是天體受太陽之作用而崩壞產生許多流星物質。流星在太陽系天體之中雖然是小小的存在，但是研究太陽系成因時流星問題不可忽視時流星之研究有助於太陽系成因的探討。



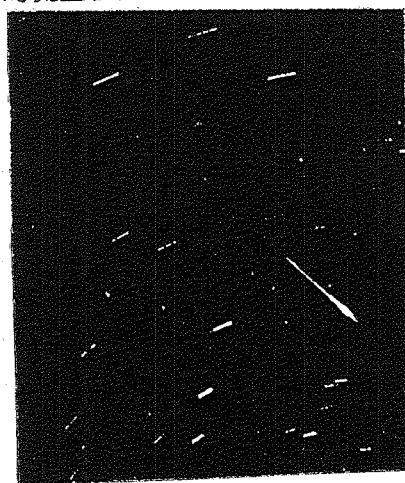
圖一 1968年1月4日凌晨  
3時50分(成田廣攝)

## 一、流星的高度和速度

研究科學的第一步是儘量將現象以數量來表示，所以流星的科學研究應從其高度的決定而開始，然後探討其速度、大小及軌道等問題。流星不是非常遠方的現象，所以可如圖二，從不同地點A和B兩點觀測。假設一流星從A地點看來如A'，從B地點看來如B'，相反地從A'和B'可知外表上的流星位置。若測量AB間的距離，那麼流星位置以類似三角測量方法可求算，同時也可求算該流星的高度。例如圖一和圖三是從不同兩地點所拍攝同一流星的，圖三的流星在天龍座和小熊座附近，圖一的流星在麒麟座。



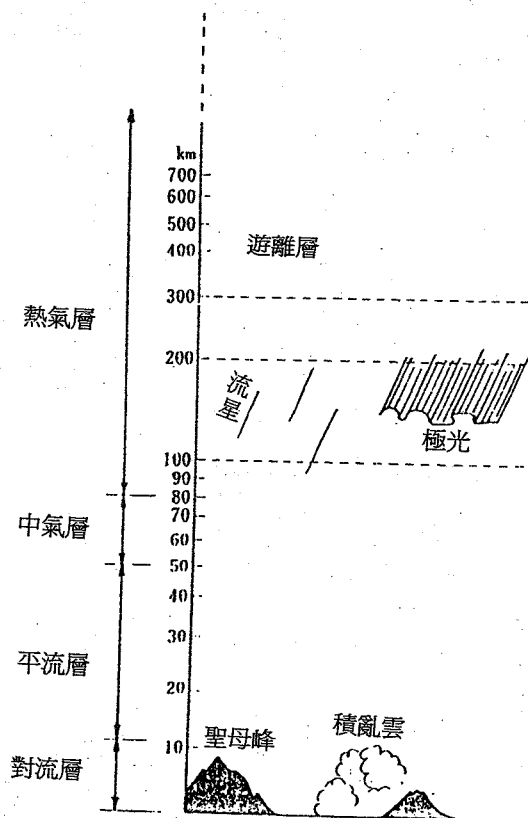
圖二 從不同地點所看見的流星的相異。C點是流星在外表上的位置。



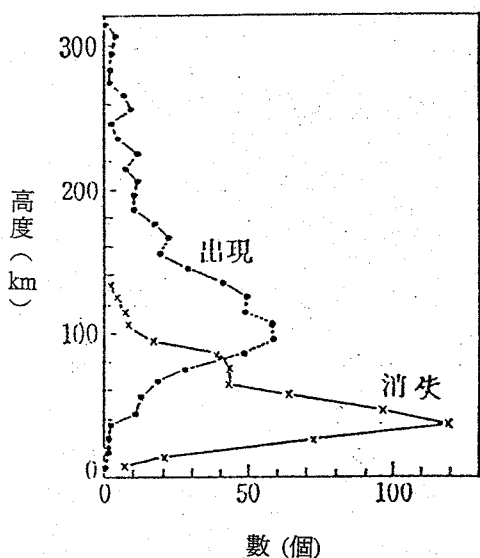
圖三 1968年1月4日凌晨3時47分(柳澤夏夫攝)

應用這原理於 1798 年德國人當時在 Gottingen 大學就讀的學生 H. Brandes 和 J. Bentzenberg 兩人，克服困難自九月至十一月成功於從不同兩地點，同時觀測 22 個流星。根據這觀測記錄發現流星在地面約 80 至 100 公里的高空發光。他們推測流星現象是從宇宙空間有某物體，每秒以數十公里的高速衝入大氣的現象，這是流星天文學的伊始。當時只知流星速度很快，而無法正確測定，這問題的解決還等了將近一世紀之久。

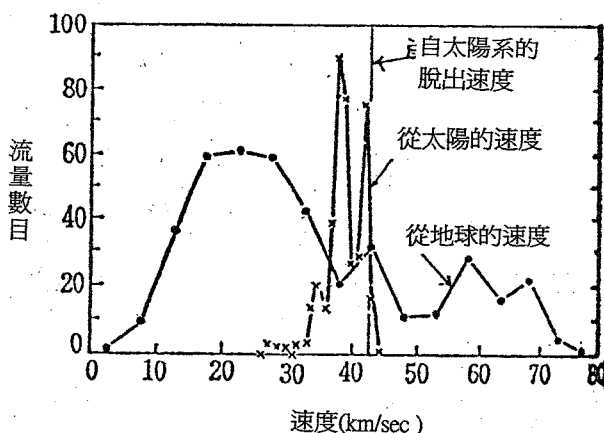
若兩人以上合作測定同一流星經路，就能算出流星的出現點和消失點之高度，更能知持續時間的話，就能算出其平均飛行速度。小流星在離地面高空 110 公里地方開始發光，在 80 公里附近就消失，經路長度平均 55 公里，速度為 5~75km/秒。大流星較容易測定，小流星的持續時間不易測定。



圖四 大氣層的分層及高度



圖五 流星的出現高度和消失高度 (據 Wegner)

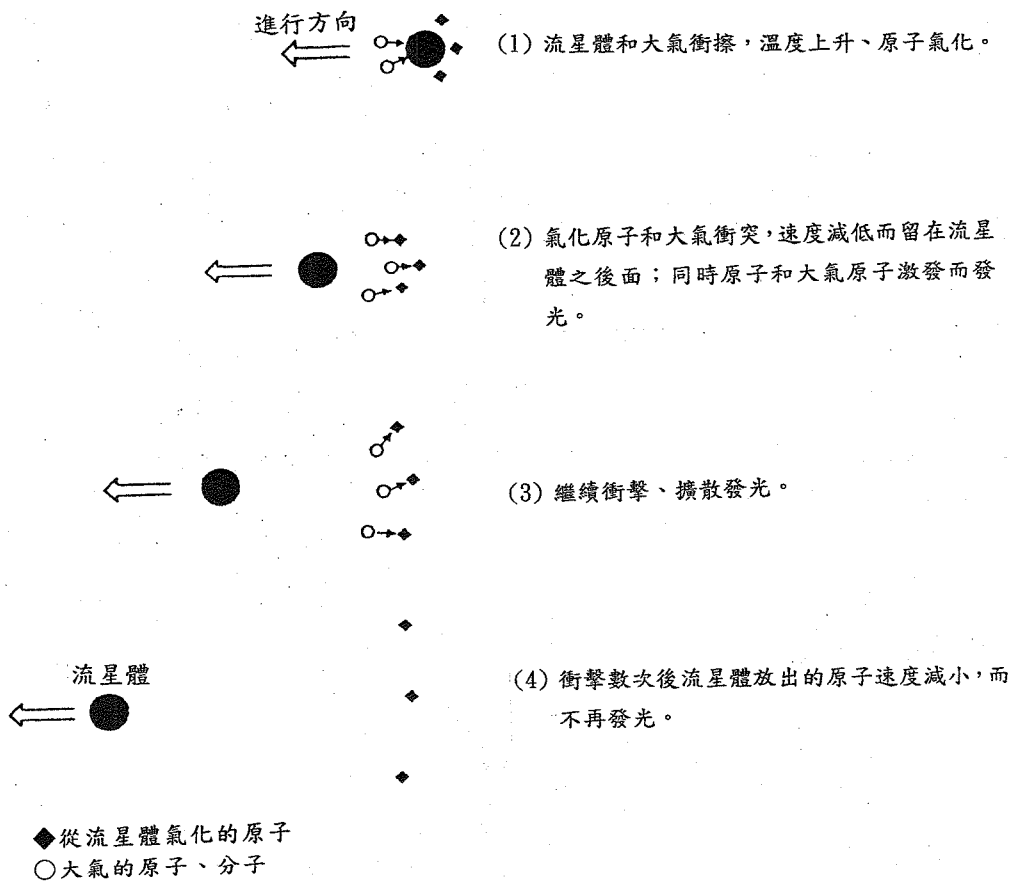


圖六 以攝影測定 413 個流星的速度 (據 Wegner)

流星速度由於地球引力會增加  $1 \sim 4 \text{ km/sec}$ ，若不考慮這些所增加的，那麼流星之速度在理論上可得下值。拋物線軌道的流星塵速度在地球附近為  $42.1 \text{ km/sec}$ ，若從地球公轉方向正面向地球衝入時（地球公轉速度平均  $29.8 \text{ km/sec}$ ）為  $71.9 \text{ km/sec}$ 。若從背後衝入時為  $12.3 \text{ km/sec}$ ，向側面衝入時為  $42.1 \text{ km/sec}$ 。發射人造衛星火箭速度必須要  $8 \text{ km/sec}$  以上，若落下後衝入大氣層後幾乎燃盡，可知流星在大氣中會受何等激烈的變化。

## 二、流星的發光和光度

流星從高度一百公里地方開始發光，這地方的大氣密度約地表的三百萬分之一，但是對高速流星來說，有充分可發光的大氣。衝入大氣的流星體會和氫、氧和氮等大氣分子及原子衝擊，其中有的在流星體表面反撥，有些被吸收。因此流星體漸漸減速，所失的運動能量一部分變為熱能，使流星體溫度提高。熱能的一部分因輻射而消失，但大多因衝擊提高溫度，所以流星表面漸漸白熱化，表面熔解而汽化。



圖七 流星的發光模式圖

從流星體飛出的原子有的受激發(excited)，有的離子化，其原子和大氣分子及原子由於衝擊，變為大氣分子和原子，並受激發或離子化，其詳細情形如圖七，這過程中流星體周圍有高溫的電漿(plasma)，這是我們所看見的流星。從表一可知速度愈快的流星，愈在高處開始發光。

表一 流星平均高度(和三等光度比較)

速 度 (km/秒)	開始發光的高度 (km)	最亮時的高度 (km)	消失的高度 (km)
10	80	75	70
20	91	86	80
30	95	91	86
40	101	95	90
50	104	99	94
60	108	102	97
70	110	105	100

流星在外表上的光度，一般常和恒星光度比較，「如一等星光度」或「暗如四等星」，若看流星攝影照片更能正確決定其光度。看同一個流星時，從遠方的人說暗的，雖然在同距離，在地平線附近的流星看起來較暗。這樣在理論上不方便，所以將目標的流星假設在天頂高度 100 公里地方，其光度稱為流星的絕對星等，這樣才能決定從不同地點及距離看來的流星光度。

為使觀測結果能配合理論，首先將觀測的外表光度等級  $m$  換算為絕對等級  $M$ 。暫時不考慮觀測高度之影響（儘量不採用地平附近的流星），只考慮距離之影響。

設從觀測者到流星之距離為  $d$  km，視亮度為星等  $m$ ，那麼絕對等級為  $M$ ，

例如看起來 2.6 等的流星之距離為 145km，因為  $M = m + 10 - 5 \log d$

$$\therefore M = 2.6 + 10 - 5 \cdot \log 145 \dots\dots\dots(1)$$

$$= 1.8$$

其絕對等級為 1.8 等。

### 三、流星的物理現象

#### (1) 光能量與質量減少之關係

假設流量體為球形，落下途中不爆發，流星經路上的一點之絕對等級為  $M$  等，一秒單位所發出的光能量為  $I$  erg/sec，即時的流星速度為  $v$  cm/sec。一秒單位的流星之質量之減少為  $\frac{dm}{dt}$  g/sec，那時的流星之半徑為  $r$  cm，流星通過的大氣密度為  $\rho$  g/cm<sup>3</sup>，從流星發出的光能量為  $I$ ，

那麼  $\log I = 9.72 - 0.4M$  .....(2)

流星的質量減少為  $\frac{dm}{dt} = \frac{2I}{v^2 \tau}$  .....(3)

上式中的  $\tau$  是稱光力係數，隨流星體速度  $v$  而增加，大約  $\tau = 2 \times 10^{-10} \cdot v \text{ sec/cm}$ ，將之代入(3)式

$$\frac{dm}{dt} = \frac{1 \times 10^{10}}{v^3} \text{ .....(4)}$$

流星體的半徑為  $\gamma = \sqrt{\frac{2\delta \frac{dm}{dt}}{\lambda \pi \rho v^3}}$  .....(5)

$\delta$  為摩擦係數，大約  $\delta = 8 \times 10^{10} \text{ erg/sec}$

$\lambda$  為抵抗係數，大約 0.5~1 之間

流星開始發光時約 1，後來漸漸減少，最後約 0.5。

## (2) 計算例

設某流星的絕對等級  $M = 1.8$ ，每秒速度為 50 公里，通過高度 90 公里地方，那麼從(2)式：

$$\log I = 9.72 - 0.4 \times 1.8 = 9$$

$$\therefore I = 10^9 \text{ (erg/sec)}$$

可知這流星每秒放出  $10^9 \text{ erg}$  的光能。

從(4)式  $\frac{dm}{dt} = \frac{10^9 \times 10^{10}}{(5 \times 10^6)^3} = 0.8 \text{ (g/sec)}$

流星速度每秒  $v$ ，以單位  $\text{cm}$  代入  $\lambda$ ，那麼可知流星一秒鐘以 0.08g 減少其質量而發光。

## (3) 求流星體的半徑

據(5)式，從理科年表可查出大氣高度 90 公里地方的密度  $\rho = 3 \times 10^{-9} \text{ g/cm}^3$ ，假設  $\lambda$  為 0.8，那麼流星體半徑如下：

$$\gamma = \sqrt{\frac{2 \times 8 \times 10^{10} \times 0.08}{0.8 \times 3.14 \times 3 \times 10^{-9} \times (5 \times 10^6)^3}} = 0.12$$

可知流星半徑為 0.12cm，而大多流星的直徑在 2.4mm 左右，比我們想像的甚小。

如果能知從地面到流星之距離、高度、流星速度就可計算而知流星體的變化情形。

## (4) 進入大氣前的流星質量計算法

假設流星在途中不引起爆發，進行經由中最亮地方的絕對等級為  $M_t$ ，這流星衝入大氣前的質量為  $m_i$  公克，

$$\text{那麼 } m_i = \frac{10^{(26.72-0.4M_t)}}{6.84v^4 \cos \theta} \dots\dots\dots (6)$$

$\theta$  是流星徑路為和垂直線所成的角。現在計算的流星的最亮點為  $M=1.8$ ，設  $\theta=45^\circ$ ，那麼

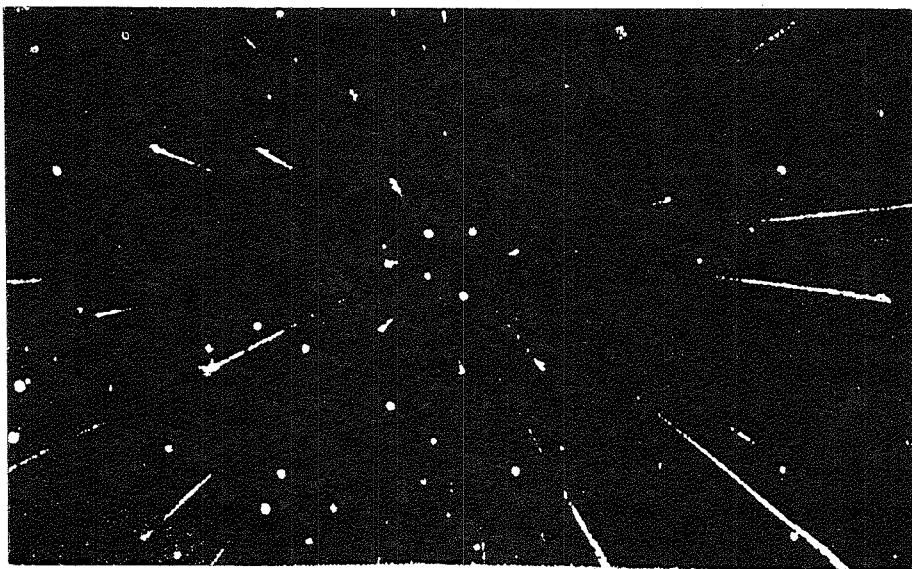
$$m_i = \frac{10^{(26.72-0.4 \times 1.8)}}{6.84 \times (5 \times 10^6)^4 \times 0.707} = 0.03(g)$$

可知這流星體的質量只有 0.03 克，那麼小小物體。

#### 四、流星群和一般流星

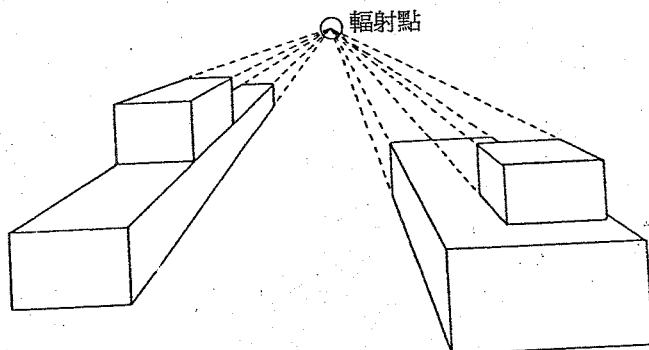
##### (1) 流星雨和輻射點

若長期注意觀察流星時，能發現流星的顯現非一樣，有時多有時少，若一小時內出現數萬個或十多萬個的稱大流星雨。對大流星雨曾作過詳細觀測的，是 1833 年 11 月 12 日的北美流星雨，連續七小時，每一小時出現一萬個以上。Olmsted 及 Twining 在那次觀測發現下列兩點重要事實：①流星都從獅子座的獅頭部一點，向周圍輻射。②其輻射點隨星星的日周運動而移動。由這次觀察確認流星群的輻射點(radiant)，在研究流星史上有重要意義。



圖八 1933 年 10 月 9 日流星群圖(流星從輻射點放射出)

看起來流星自輻射點向周圍放射原因，因流星平行向地球大氣衝入，輻射點之方向就是流星衝入的方向。例如我們站在火車鐵軌上看去，鐵軌好像從遠方一點出來，鐵軌好比流星徑路，遠方那一點就是輻射點。這情形也可好比圖九，立方體盒平行稜，看起來如從一點輻射，平行稜可好比流星徑路。



圖九 輻射點的顯示法(如平行稜從一點輻射)  
(據長澤工)

流星輻射點隨日周運動而移動，證明流星群和地球上的位置無關，向太陽系內一定方向運動，可知流星和地球無直接關係，也有流星以一定秩序運行太陽系內。因為流星是太陽系內的天體，流星也是天文現象。

表二 近世的大流星雨

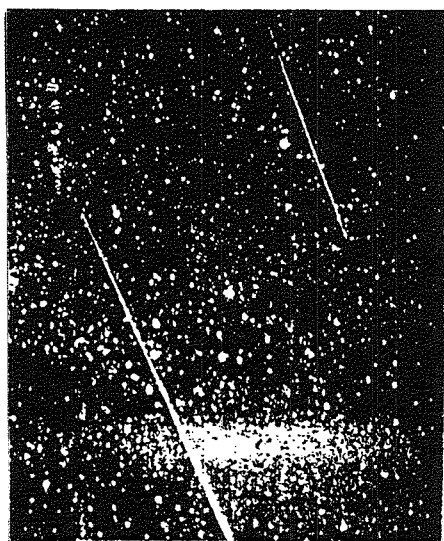
流星群	出現年月日	一小時平均出現數	母彗星	週期
獅子座流星群	1799.11.11	70 萬~100 萬	1866 I 彗星	33.2 年
	1833.11.12	>1 萬		
	1866.11.13	0.5 萬		
仙女座流星群	1872.11.27	>0.3 萬	Beeler 慧星	6.6 年
	1885.11.27	0.5 萬~7.5 萬		
	1892.11.23	~300 萬		
Jacobini 流量群	1933.10.09	0.5 萬~1.9 萬	Jacobini. Chinner 彗星	6.4 年
	1945.10.10	0.2 萬~50 萬		

周期性大流星雨如獅子座流星群，於 1799 年及 1833 年，隔 33 年一次大出現。如表二獅子座流星群在 1866 年也有大出現，但 1899 年出現數目較少。可知大流星雨並非稀有，其出現情形困難預測。

## (2) 流星群

最近各國研究流星的人增加，研究者更想知流星塵的軌道，所以必觀測決定流星的輻射點和速度。從流星觀測更知流星的出現有規則性，流星出現特多的晚上每年在一定日期，並且有如大流星雨那樣的輻射點，這些是規模小的流星雨，出現數目不少。這些小流星雨流星物質也成群，在太陽系內有一定軌道。若地球接近其軌道時就出現流星雨，因為地球每年繞太陽公轉一周，所以每年到那時期就接近該軌道會出現有同輻射點的流星雨。

在太陽系內有許多群流星物質運行一定的軌道，稱為流星群。表三是從台灣地區能看到的主要流星群。



(英仙座流星群)



(天龍座流星群)

圖十 流星群(將流星軌跡延長的交點是輻射點)

從圖十一可知流星出現數目在極大日(流星物質密集部)大增，數小時後漸漸減少。地球通過流星物質密集部時間若恰好台灣的晚上，必有壯觀的流星雨出現。因為地球軌道一定，通過流星物質密集部的時間每年一定。地球公轉為 365.25 日，所以地球經過密集部的時間每年差 6 小時，每四年(閏年)回復為同條件。如英仙座流星群極大期為 8 月 13 日，因每年地球位置不同，不能比較每年的出現數目，那不是因為時間，是地球在那位置而定。圖十一是以 1950 年春分點為基準表示，就是太陽黃經。

流星出現數目最多在英仙座群，恰地球運行到太陽黃經  $39^{\circ} 20'$  時位置。每年流星出現數有變化原因，是彗星反覆運行太陽周圍時釋出的流星物質形成環狀(圖十二)，而環上有粗密之別。流星群的流星出現數目，輻射點高度愈高而愈多，在天頂時最多(圖十三)。

### (3)散在流星

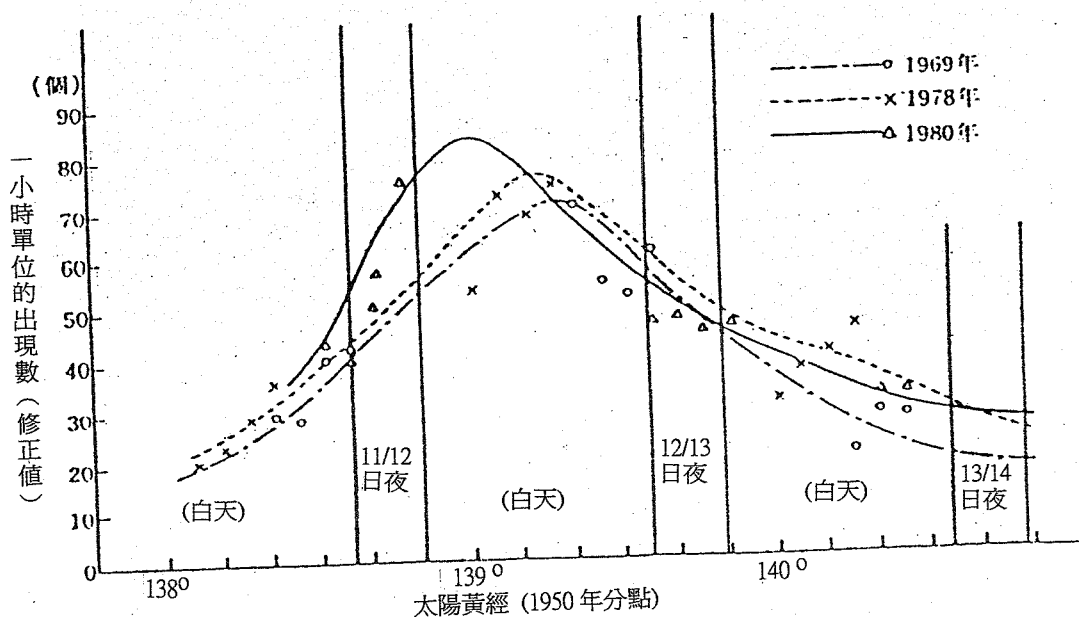
平時在夜空上我們所看到的流星不一定都屬於流星群，另有許多不規則性的流星稱為散在流星。較明亮的流星大多屬於小行星帶中之天體，連暗的流星總計算，散在流星較多。



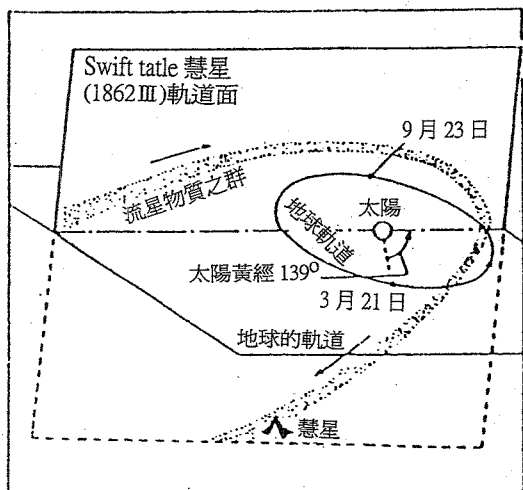
天文學家認為散在流星原屬於群流星，經長年時間因為受行星攝動或其他原因分裂的。

表三

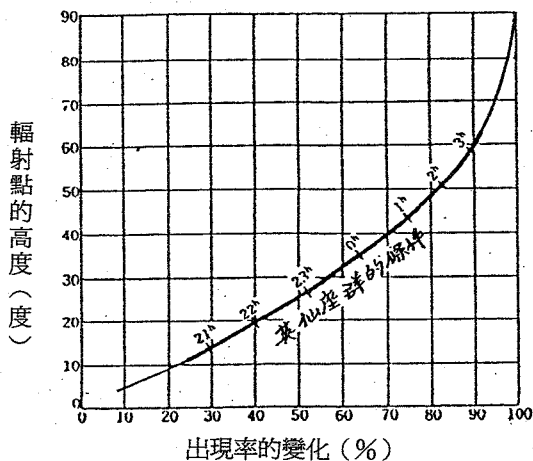
流星群	出現日期	極大日	一小時 平均流星數	速度 km/s	特 徵
四分儀座群	1/3~1/4	1月4日	45	43	短時間集中出現，白色的較多。
寶瓶座 n 群	5/3~5/8	5月5日	20	67	以肉眼看，拂曉時才有，在台灣出現數少。
英仙座群	8/7~8/15	8月13日	50	60	出現較明顯，青白色的較多。
獅子座群	11/14~11/19	11月17日	—	72	33年周期出現數會增減。明亮的流星多，在末端爆發增光。
雙子座群	12/11~12/16	12月14日	60	36	每年出現數多，速度較慢，黃色光的較多。



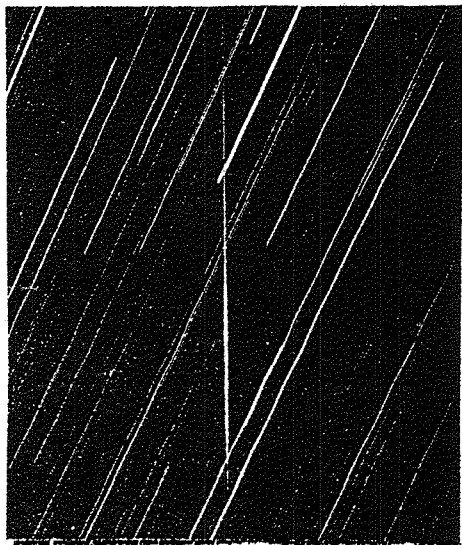
圖十一 英仙座流星群的出現數之變化



圖十二 英仙座流星群的軌道



圖十三 輻射點的高度和出現率之變化



圖十四 (左)1965年1月2日，散在流星。(右)1965年1月2日四分儀座流星群  
(據東京天文台，堂平觀測所)

## 五、流星和彗星之關係

1772 年 Montarneu 發現一小新彗星，其周期六年半，於 1805 年第五次回歸時開始引起一般人的注意，於 1826 年由比拉(Beela)再發現，並證明這些是同一彗星。這彗星於 1832 年再發現後，於 1845 年出現時發現這彗星分裂為大小兩個，1852 年回歸時看到兩個並排。1859 年這彗星沒有回歸，以後不再回歸，但是 1872 年 11 月 27 日出現大流星雨，輻射點在仙女座，流星出現數每小時 3000 個。調查其軌道和失蹤的比拉彗星很相似（表四），又

發現地球恰通過該彗星軌道上時有了大流星雨。

根據以上事實可證明：(1)比拉彗星分解後失去彗星形態，將其細小分解物質撒在其軌道上繼續運行。(2)地球恰好到該彗星軌道上時，彗星分解物就衝入地球大氣中成為流星。所以仙女座流星群就是比拉彗星的殘骸。

表四 比較比拉彗星和仙女座流星群的軌道要素

	$\omega$	$\Omega$	$i$	q (天文單位)	e	a (天文單位)	周期 (年)
比拉彗星	$223^{\circ}.22$	$247^{\circ}.28$	$12^{\circ}.55$	0.8606	0.7559	3.526	6.62
仙女座流星群	$218^{\circ}.6$	$250^{\circ}.7$	$13^{\circ}.2$	0.875	0.757	3.6	6.8

比拉彗星引起的大流星雨在 1885 年，1892 年也出現，尤其 1885 年時每小時出現 75000 個之多。後來這流星受木星之攝動，其軌道改變，現在已經看不到了。

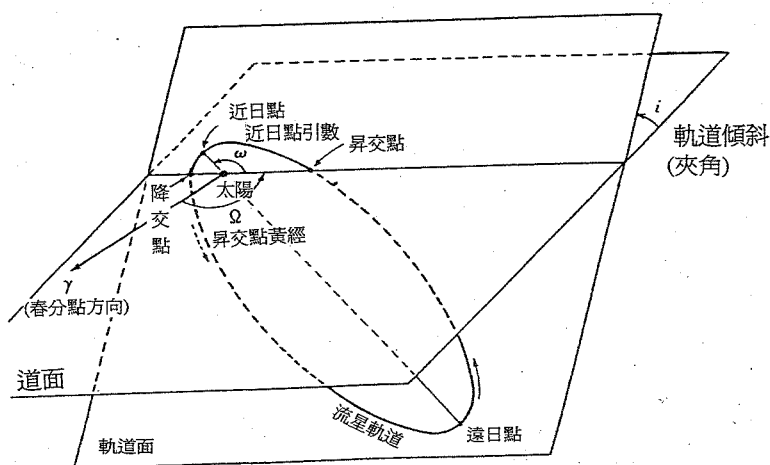
彗星在運行太陽周圍軌道時常受行星的攝動，到太陽附近時受其大的起潮力，彗星核粒子漸漸離核而散布在公轉軌道上。若地球運行到這地方，粒子就跳入地球

大氣中成流星，就是流星群。流星群在母彗星的公轉周期時出現較激烈，如獅子座流星群。彗星分解後經長久時間，粒子在軌道上分布平均，所以地球接觸母彗星軌道時隨時出現流星群。這時在每年同時期以相同頻度出現流星群，如英仙座及雙子座流星群。

## 六、流星和隕石及流星塵

### (1)流星與隕石

無論隕石落下或流星都是自地球外部衝入的物體之現象，因隕石較大才能達到地面，那麼隕石和流星體是否一樣呢？隕石在夜間落下時其經路如流星發光，那麼隕石是否流星體之一種呢？一般流星體和隕石有兩點明顯的不同，第一，其密度隕石比流星體甚大，約  $3.5 \text{ g/cm}^3$ ，若是隕鐵其密度達  $8 \text{ g/cm}^3$ ，隕石比流星體重的多。第二，兩者繞太陽軌道形狀，



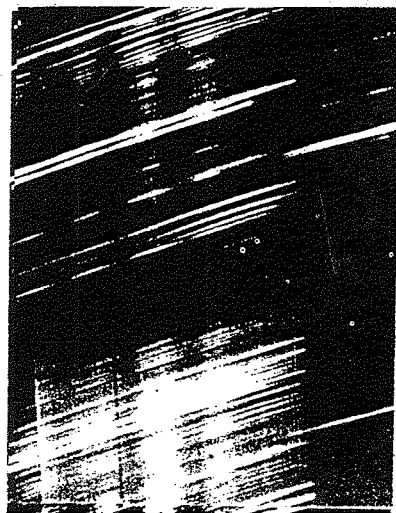
圖十五 流星的軌道要素

流星體軌道和彗星一樣是長橢圓形，隕石軌道近於圓形而相似小行星軌道。

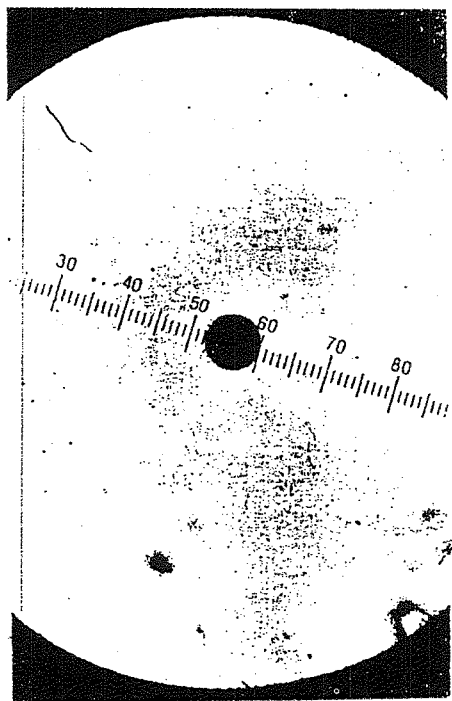
## (2)流星塵

一般流星在大氣中發光散失，但其物質並不消失。流星物質中含有鎳等重金屬及矽、鈉和錳等，是由流星光譜觀測分析（圖十六）得知，尤其鐵和鎳等重金屬會有凝縮降落地面。這些重金屬氯化熔解後凝固時，由表面張力會變成球形而降落地表，就是流星塵。例如在污染較少的南極冰原或數千年前沈積的深海底所發現的如此物，可能是流星塵，不僅在南極，甚至在我們周圍也可發現流星塵。例如用玻璃片上面塗甘油放在戶外後檢查，在顯微鏡下可找到球形物質，若有直徑數  $10\mu$  左右的球形物質（圖十七），也許是流星塵。

另外在電熔接工作時發出的火花中也會產生相似流星塵物質，和真的流星塵不易分別（圖十七）。流星中所含的矽化合物量塵相當多，但如何降落地面上無法知道，也無法採集。流星的最後狀態是流星塵，是我們的重要研究對象。



圖十六 獅子座流星群的光譜



(流星塵)



(人工假流星塵)

圖十七 流星塵和假流星塵

## 七、研究流星的意義

大部分的流星起源於彗星，但一部分可能是起源於小行星。行星因某原因破碎，較大的破片變小行星，其中微小的變流星物質，其確實性無法證明。如果要徹底追究流星的誕生，應追溯到彗星和小行星及太陽系的生成。

被撒在太陽系內的粒子受太陽引力而運行，這些物質受太陽風和宇宙線衝擊，又受行星攝動而軌道變化。經過長時間有些接近地球，受地球引力進入大氣而發光瞬間而消失。流星的發光不到一秒鐘，但提供我們許多重要事實。最近使用人造衛星和太空船，有新的觀測法。小天體因受太陽的作用崩壞產生流星物質，其數量在增加或減少無法知道。流星的規莫雖然小，但確屬於太陽系的天體，其存在不可忽視。

## 八、參考文獻

1. 鈴木敬信：天文學辭典，地人書館(1972)。
2. 長澤工：流星，地人書館 (1966)。
3. Harold R. Povenmire: Fireballs Meteors & Meteorites.
4. 長谷川一郎：天文計算入門，恒星社(1972)。
5. 長谷川一郎：天體軌道論，恒星社(1972)。
6. 長澤工及齊藤馨兒：流星(I)，恒星社(1972)。
7. 長澤工及齊藤馨兒：流星(II)，恒星社(1972)。

~~~~~  
(上接 42 頁)

◎在你成長到現在的人生旅程中，是否也曾經遇到類似的匆忙及心情不定，而犯下了錯誤，請敘述出來與大家分享。

◎看了這個故事，有什麼心得或啟示，請寫下來。

### 經驗分享學習單

◎事不能脫了它的“理”，以理為中心，諸“事”皆環繞在周圍。要以理來轉事，不是拿事來轉理。

◎理及事的中間需要的是人，理圓事圓則人圓。

◎一理通，萬理徹，了徹了真理，知道路在那裡，知道自己在做什麼，明明白白，清清楚楚就能把握自己。

1. 從懂事以來，你自認為處理得圓融的事情，請讓大家一起分享你的經驗談。
2. 你覺得有些遺憾的事情，如果重新再做可以處理得更圓融，可以提出來，彼此做為借鏡。
3. 請舉一實例，說明以“理”為中心，以理來轉事，不是拿事來轉理。