

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 地球科學科

040502

兄弟間的眼淚--雙子座流星雨

學校名稱：國立暨南國際大學附屬高級中學

作者： 高一 江東憲 高一 任夏瑾 高一 郭騰翔 高一 陳冠宏	指導老師： 吳秉勳
---	------------------

關鍵詞：流星雨、輻射點、天球座標

兄弟間的眼淚--雙子座流星雨

摘要

本研究利用 2009 年十二月十四日晚間所拍攝的流星雨照片，根據流星在天球座標所出現的位置，回推出此次流星雨的輻射點範圍中心約在赤經 7.66^h 、赤緯 $+38.42^\circ$ ，輻射點分布範圍大約在赤經 $6.7^h \sim 8.6^h$ 、赤緯 $+32.8^\circ \sim +47.6^\circ$ 之間。

流星雨的輻射點不是一個精確的點，而是一個分散的範圍，雙子座流星雨輻射點的範圍赤經寬約 30° 、赤緯寬度約 15° ，範圍和流星雨來源彗星或小行星的運動軌道有關。

根據分析的記錄數據顯示影響輻射點判斷的偏差可能來自觀測者所在的位置、所拍攝的區域、流星軌跡判斷的方式、數學平面與球面計算所造成的誤差等，這些因素希望未來能夠仔細研究，加強記錄的精準度，以推測出更精確的流星雨位置來源。

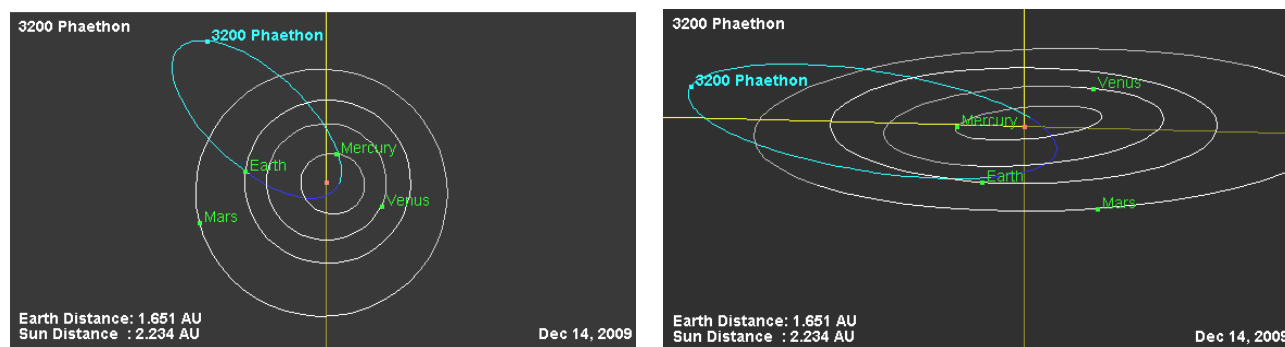
壹、研究動機

星星的眼淚劃破夜空，人們閉上雙眼，雙手合十許了願，原來，夜晚雖然寧靜，但浩瀚的天空正不時的上演一首華麗的交響曲。可是卻很少知道星星的眼淚究竟來自何方？最後又到哪去了呢？

十二月是雙子座流星雨出現的時間，雙子座流星雨是年度三大流星雨之一，雖然命名為雙子座流星雨，實際上和雙子座並沒有絕對的關連。那麼雙子座流星雨為何命名為雙子座流星雨呢？這次研究，我們算出雙子座流星雨時所拍攝的照片經由模擬軟體對應出流星線所畫出的座標，發現有一定的規律性，然而這些規律與流星雨又能擦出甚麼火花呢？

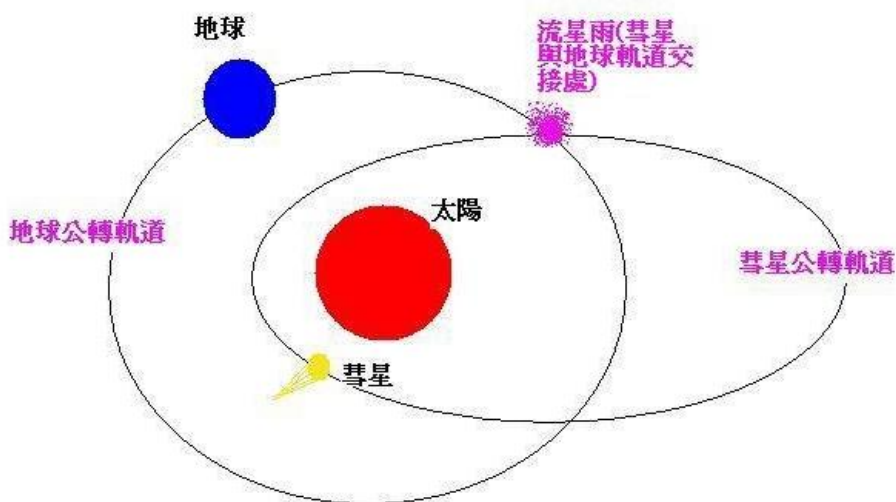
貳、研究目的

以雙子座附近為輻射點出現的流星雨，每年在 12 月 7~17 日出現，於 12 月 13~14 日左右達到高峰，與象限儀座流星雨、英仙座流星雨並稱為年度三大流星雨；雙子座流星雨也是唯一一個母體非彗星的流星雨，其母體是編號 3200 的小行星—Phaethon（法厄同），這一顆小行星屬於阿波羅族小行星，這一類的小行星近日點小於 1.017AU ，軌道半長徑大於 1.0AU 。



圖一、小行星 Phaethon 軌道模擬

流星雨一般是由於彗星在繞日公轉中，靠近太陽時所留下的殘骸，當地球運轉到其軌道附近時，因為地心引力而將這些碎屑吸引過來並和大氣層磨擦燃燒所形成的，觀測者將會看到流星雨在天空某一特定位置向四面八方散射出來，而且這個位置還會隨著時間像其他星體一樣移動，我們稱此一特定位置為「輻射點」，這一個特定位置會讓流星看起來似乎都是從某個星座發射出來的樣子，我們稱此星座為該流星雨的輻射點，向輻射點望去就如同站在鐵軌上往遠方眺望，兩道鐵軌好像從遠方同一點延伸過來，鐵軌就好比流星路徑，遠方那一點就是輻射點（如圖四）。



圖二、彗星與流星雨的關係

每年在 12 月 14 日左右所發生的雙子座流星雨，輻射點的位置在天球座標赤經 7.5^h 、赤緯 $+33^\circ$ ，相當於是在雙子座的範圍之中，因此我們想探討利用所拍攝到的雙子座流星雨照片，驗證此次流星雨的輻射點是否在雙子座之中，並探討所算出來的輻射點位置和流星雨的關係。



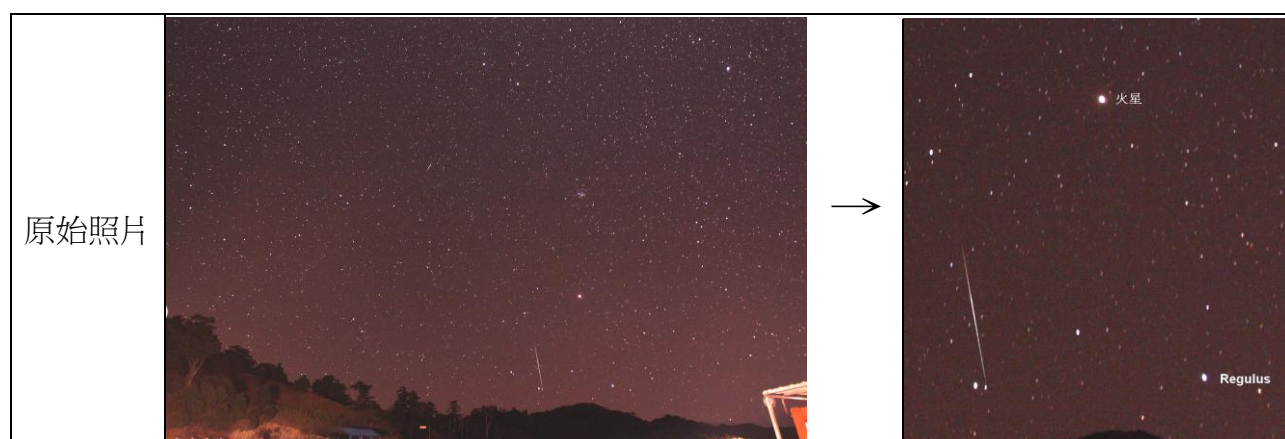
圖三、流星輻射點與鐵軌一點透視示意圖

參、研究設備與器材

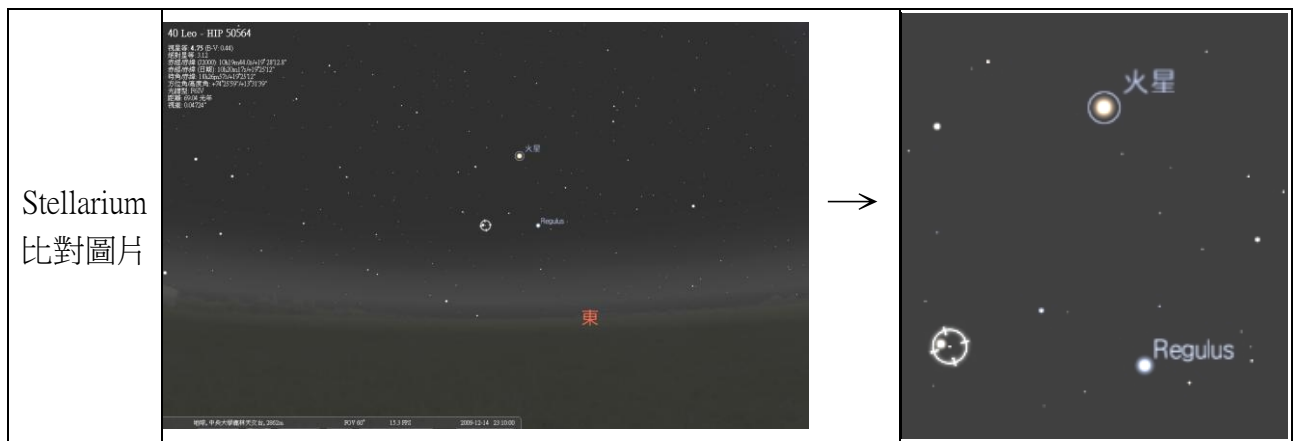
- 一、數位單眼相機 Canon 450D、鏡頭 Canon 16-35mm/F2.8（視角相當於 $50^{\circ} \times 70^{\circ}$ ）。
- 二、數位單眼相機 Canon 5D、鏡頭 Sigma 8mm/F3.5（視角相當於 $180^{\circ} \times 180^{\circ}$ ）。
- 三、電腦、網路。
- 四、Excel 軟體：數據歸納（座標整理、公式運算）、圖表製作（統計、分析）。
- 五、Stellarium 軟體：1.模擬當晚星空並推導出流星雨照片上天球座標。
2.將 IMO 組織和我們的輻射點及小行星 Phaethon 的運行軌道相比對。
- 六、The Sky6 軟體：模擬出小行星 Phaethon 的運行軌道。

肆、研究過程及方法

- 一、我們以 2009 年 11 月 14 日晚上雙子座流星雨極大期所拍的照片做分析，當晚 IMO（International Meteor Organization 國際流星組織）所預測的雙子座流星雨輻射點約從 19:20 從地面升起，極大期出現時間為台灣時間 11：10 左右。
- 二、使用兩台相機做為流星攝影記錄，拍照地點位於合歡山的鳶峰，一台為 Canon450D，搭配 Canon 16-35mm/F2.8 鏡頭，朝東方拍攝，每幅照片快門為 30 秒、光圈 F2.8、ISO1600、鏡頭焦距 16mm（視角相當於 $50^{\circ} \times 70^{\circ}$ ），；另一台 Canon5D，搭配 Sigma 8mm/F3.5 鏡頭，朝天頂拍攝全天空，每幅照片快門為 30 秒、光圈 F3.5、ISO1600，拍攝時間大約從 22：00 到隔天凌晨 01:00 左右。
- 三、拍攝完後的照片，以人工檢視是否有流星，只取有拍到流星的照片做後續分析，Canon450D 共拍攝 350 照片，其中 24 張照片出現 25 顆流星；Canon5D 共拍攝 255 張照片，其中 6 張照片出現 6 顆流星。
- 四、將照相機拍攝的照片使用 Stellarium 天文星象模擬軟體對照出流星雨所對應於相對恆星的位置。



圖四、搜尋到流星的照片



圖五、軌跡比對

五、紀錄流星頭尾兩端的天球座標輸入 Excel，使用 Excel 做數據分析，以編號 3（圖 P4951）和編號 5（圖 P4997）兩張照片為例：

編號	圖名	流星一端座標		流星另一端座標	
		X ₁ （赤經）	Y ₁ （赤緯）	X ₂ （赤經）	Y ₂ （赤緯）
3	P4951	09 ^h 53 ^m 24.3 ^s	+33° 02' 0.2"	09 ^h 58 ^m 33.0 ^s	+32° 56' 47.9"
5	P4997	09 ^h 38 ^m 32.4 ^s	+23° 00' 58.6"	09 ^h 44 ^m 09.7 ^s	+22° 12' 35.8"

表一、流星軌道比對天球座標

編號 3（圖 P4951）中 $(X_1, Y_1) (X_2, Y_2) = (09^h 53^m 24.3^s, 33^\circ 02' 0.2'') (09^h 58^m 33.0^s, 32^\circ 56' 47.9'')$ 就是一顆流星頭尾的座標。X 代表赤經座標，以時(h)、分(m)、秒(s)為單位；Y 代表赤緯座標，以角度(°)、角分(')、角秒('')為單位。

六、在計算時，必須將所有的單位換算成「角度」為統一的單位。

赤經： a 時 b 分 c 秒 = $[a + (1/60)b + (1/3600)c] * 360/24$ 角度

赤緯： d 角度 e 角分 f 角秒 = $d + (1/60)e + (1/3600)f$ 角度

七、利用 Excel 求出編號 3（圖 P4951）流星軌跡的直線方程式 $y = mx + k$ ：

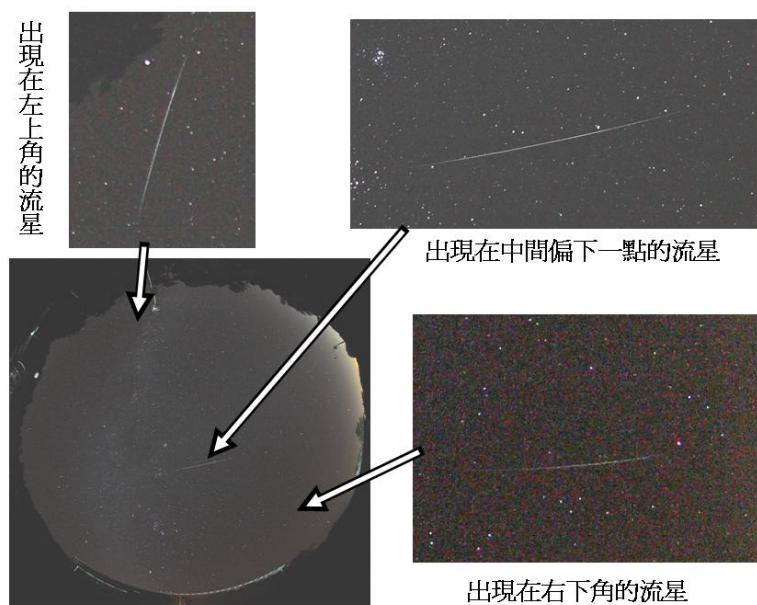
$m = -0.06744$ ， $k = 43.03881$ ，該直線方程式為 $y = -0.06744x + 43.03881$

八、假設流星所畫過的軌跡設為一條直線，求出各流星軌跡延伸直線的相交點，這些相交點所在的範圍即為此次流星雨的輻射點，利用 Excel 求出編號 3（圖 P4951）和編號 5（圖 P4997）流星所延伸的直線相交點，得到相交點座標為 $(8.29030^h, +34.65182^\circ)$ 。

九、將所有照片交叉算出相交點、做圖嘗試找出規律，推測出此次雙子座流星雨輻射點的位置。

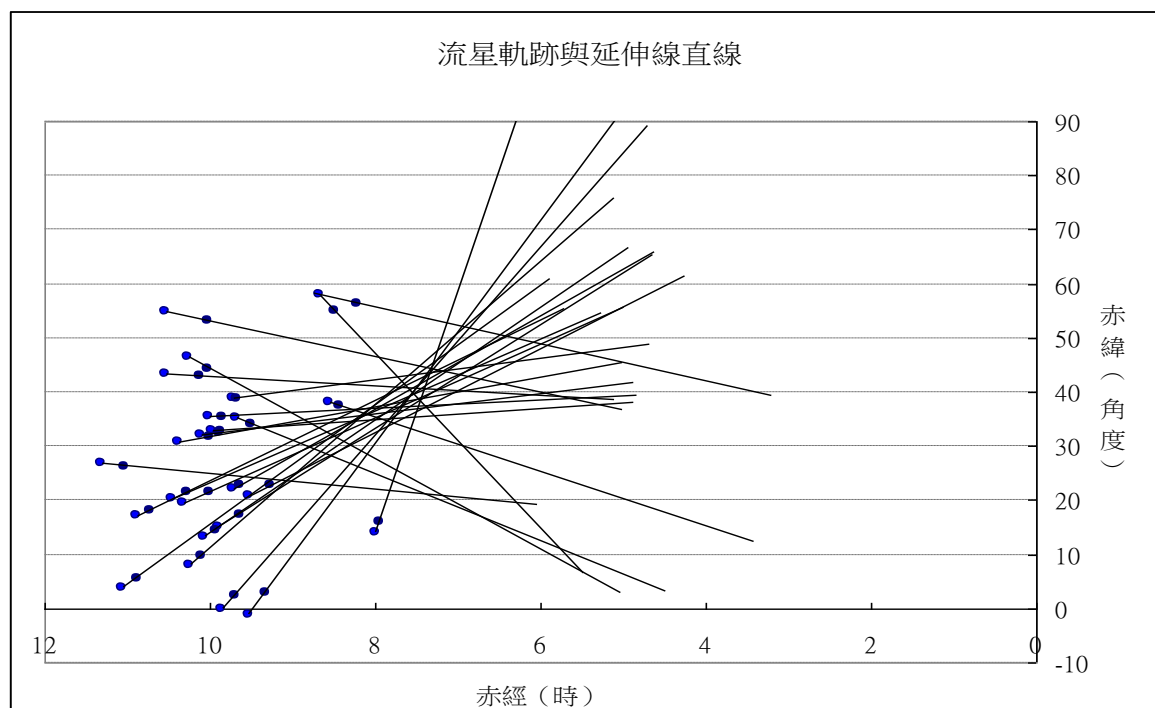
伍、研究結果

- 一、 這一次的拍攝，我們使用了兩組攝影器材，分別朝雙子座流星雨輻射點與全天空的方向拍攝。但是拍攝全天空（Canon5D+8mm 鏡頭）的影像出現的流星少了很多，估計是因為光圈比較小、流星在照片上更細更不容易照到，且影像變形量大，流星大多呈現圓弧狀，為避免之後的研究衍生出其他的問題，這一組全天空的照片就不使用在此次分析輻射點的研究中，而只當作最後結果的參考。



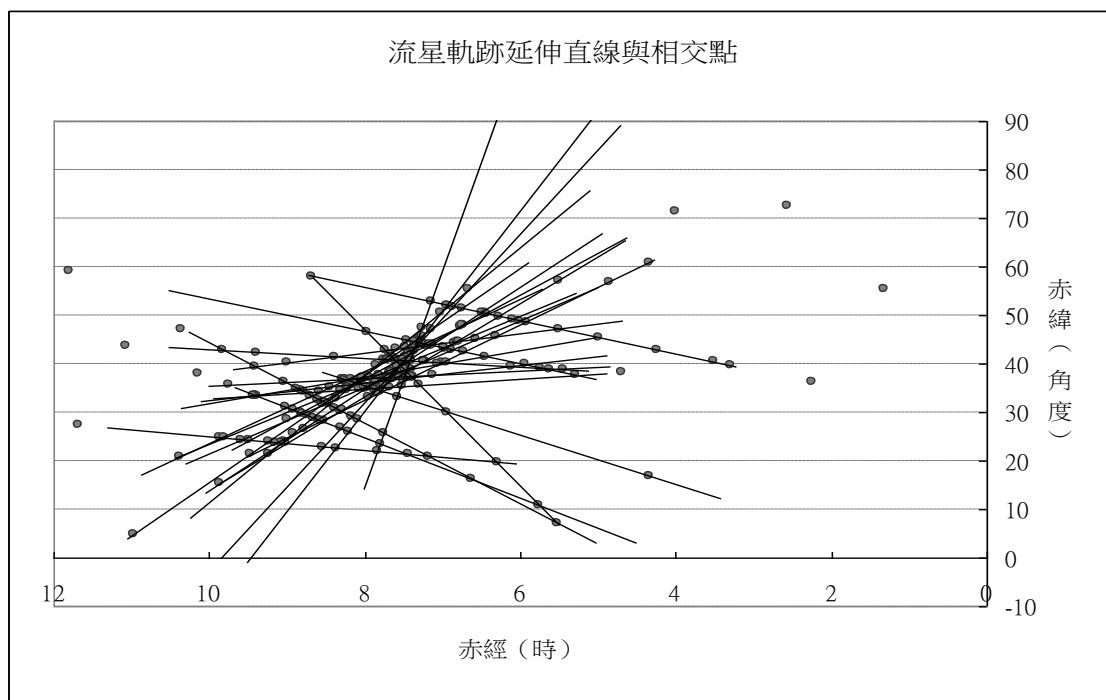
圖六、全天空（Canon5D+8mm 鏡頭）拍攝流星造成的變形

- 二、 從 Canon450D 相機+16mm 鏡頭（朝東方雙子座輻射點）拍攝的照片中，我們一共找了 25 顆流星，假設軌跡為一直線，延伸後的直線如下圖表示。由於拍攝方向的關係，流星出現的區域為赤經 $2^h \sim 11^h$ ，赤緯 $0^\circ \sim +60^\circ$ 左右的位置。



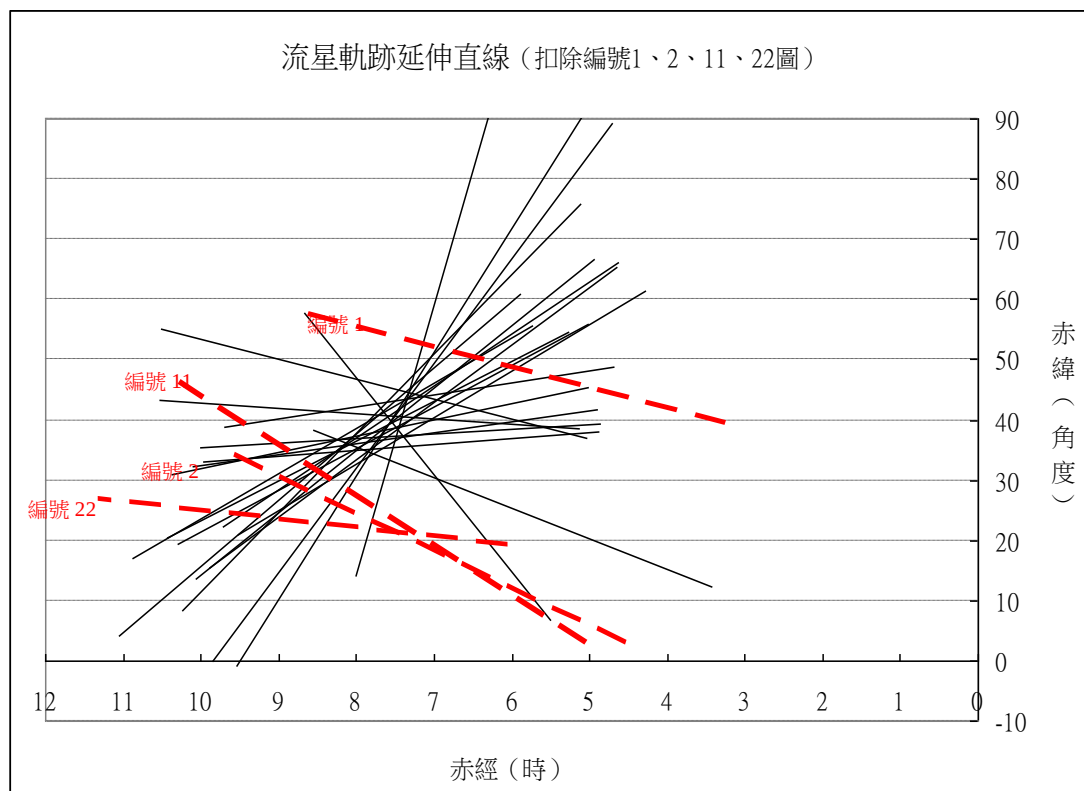
圖七、流星軌跡與延伸直線

三、 下圖為根據流星軌跡延伸直線所計算出的交點位置（25 條直線，共有 300 個相交點），可看到有許多點非常的分散。



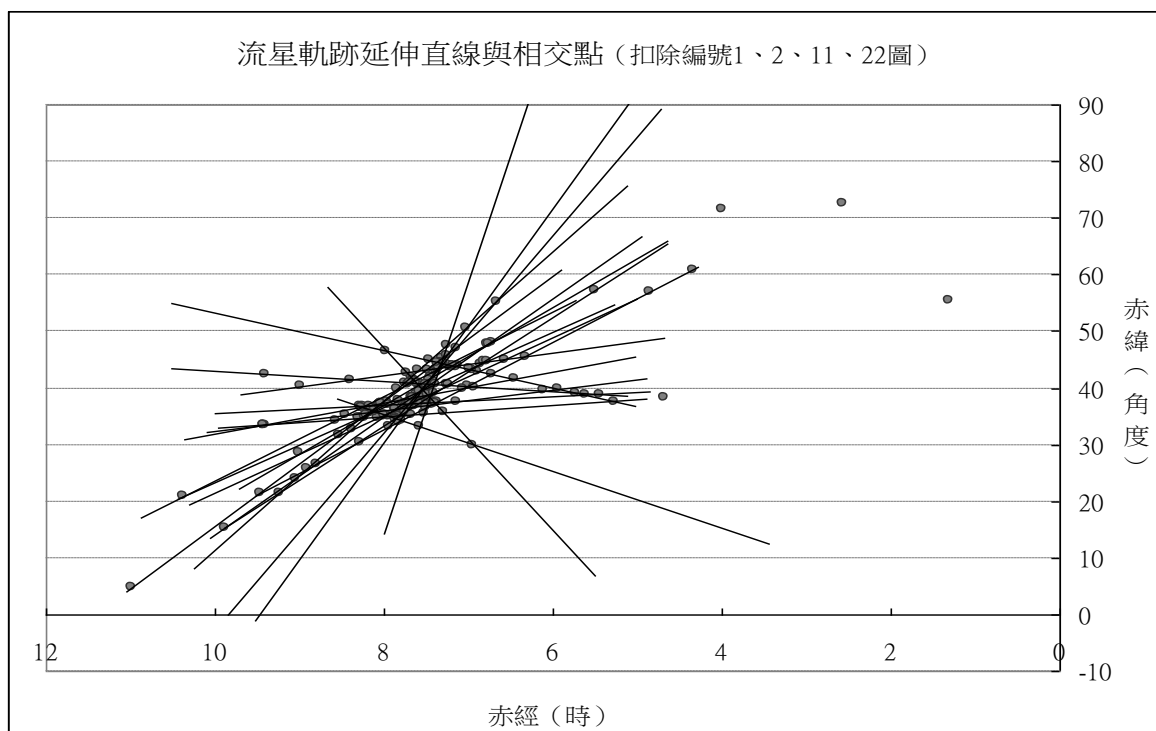
圖八、流星軌跡延伸直線與相交點

四、 我們發現編號 1（照片 4938）、編號 2（照片 4939）、編號 11（照片 5019）、編號 22（照片 5139）的流星軌跡延伸直線與其他直線交叉的差異較大，因此先排除與這四條直線有關的相交結果。這四條流星軌跡我們推測比較可能不屬於雙子座流星雨，可能是當晚的偶發或是其他原因發生的流星。



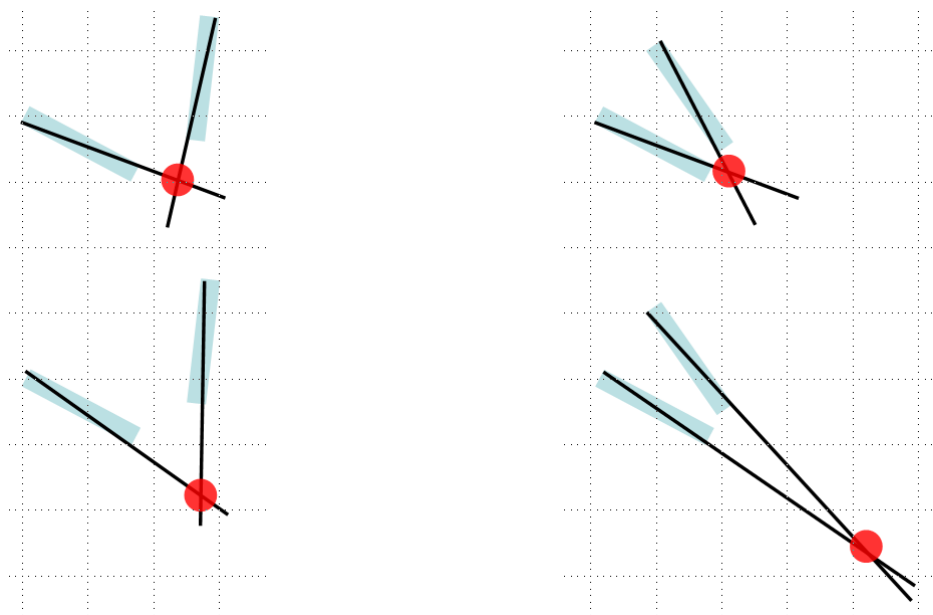
圖九、流星軌跡延伸直線（扣除編號 1、2、11、22 圖）

五、扣除這四條可能和雙子座流星雨不相關的流星軌跡後，剩下 21 條流星軌跡線、共 210 個相交點。



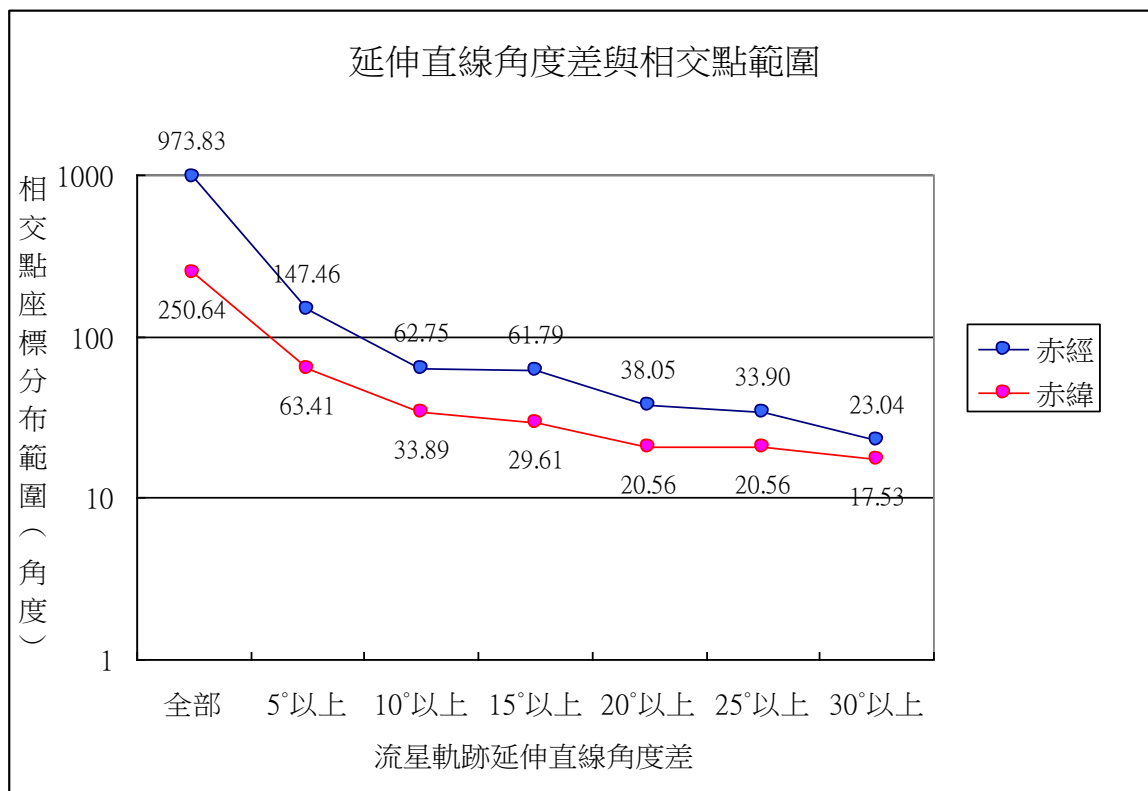
圖十、流星軌跡延伸直線與相交點 (扣除編號 1、2、11、22 圖)

六、由於我們標定流星座標時是以人工辨識最接近的星體為依據，因此為避免標訂座標的誤差使得造成後續研究更大的影響，由其是當某兩條流星軌跡的斜率太接近，此兩條軌跡延伸直線的相交點會產生更大的誤差。圖十一中，淡藍色的線條為實際流星的位置、黑色直線為人為判斷延伸直線，造成相交點的位置（紅點）不同，由示意圖可知道斜率（或是相交的角度）相差越小、相交點的計算可能有較大的偏差。

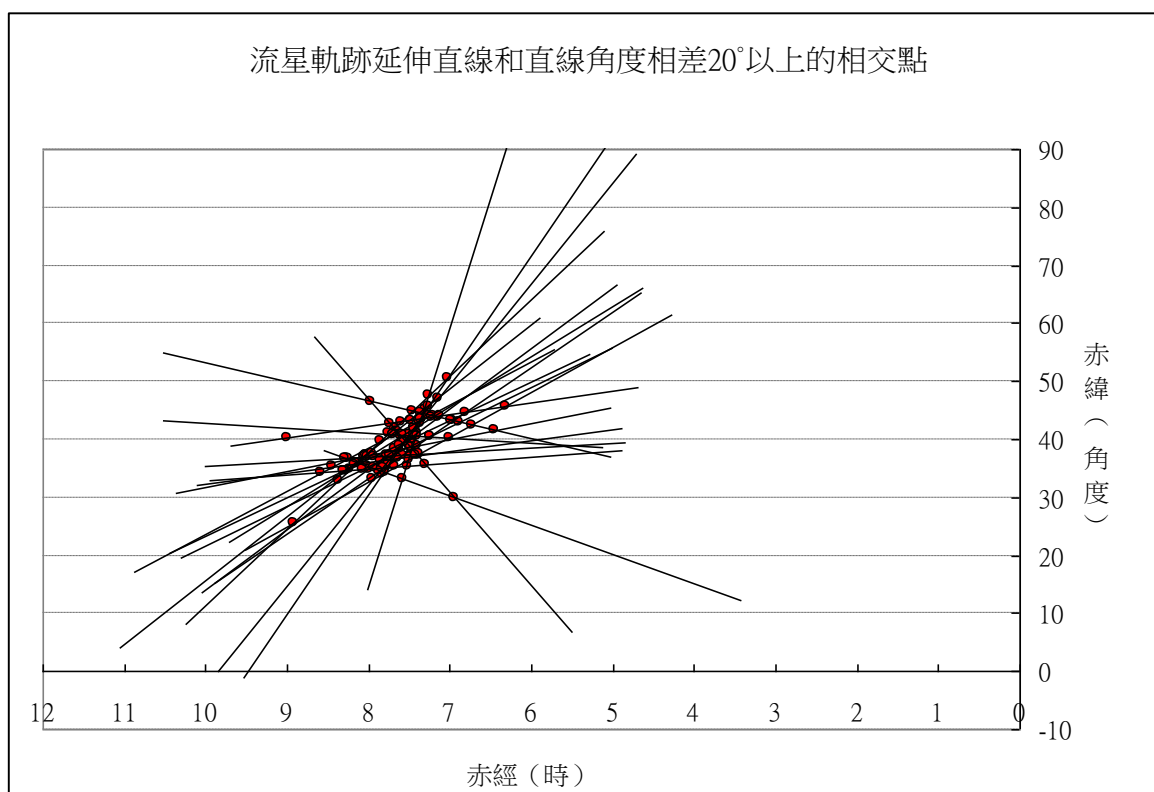


圖十一、左邊的直線相交角度較大、右邊的相交角度較小

七、由圖十二可知流星軌跡延伸直線的角度差和直線相交點座標所擴散的範圍，為避免所推算的輻射點範圍太大，當兩直線角度相差 20° 以上，我們才計算其相交點作為判斷輻射點的依據。

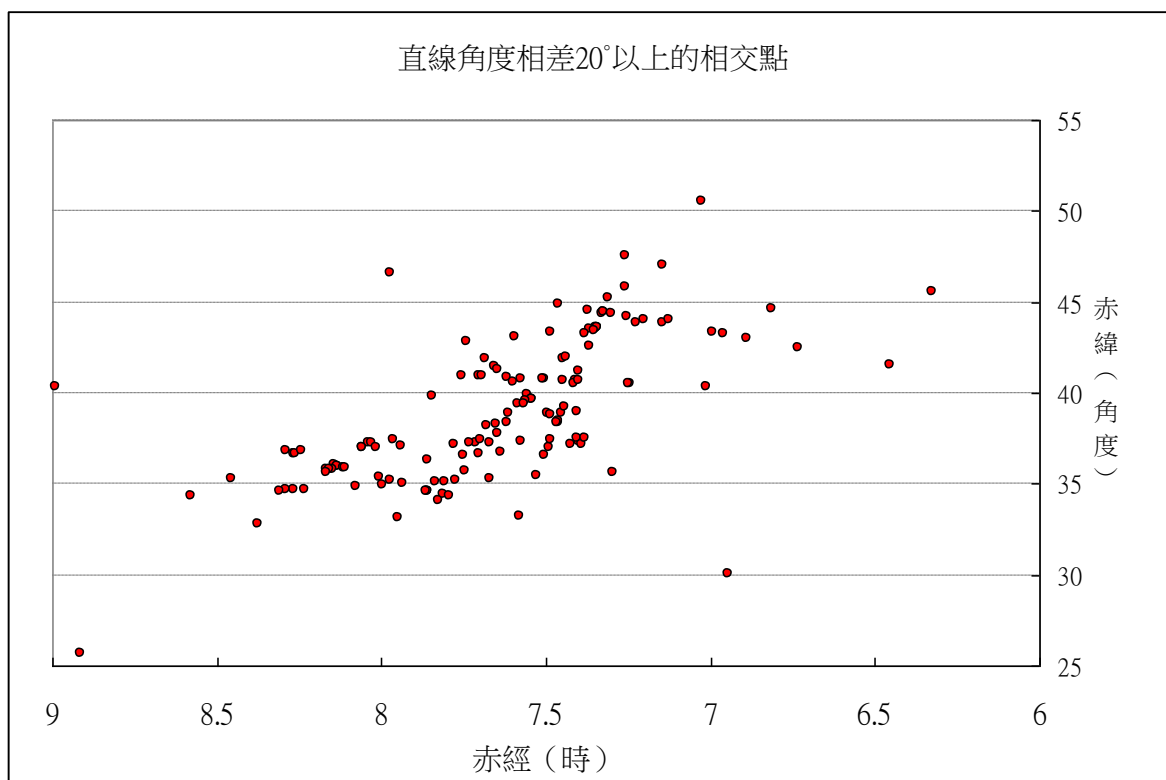


圖十二、延伸直線角度差與相交典範圍



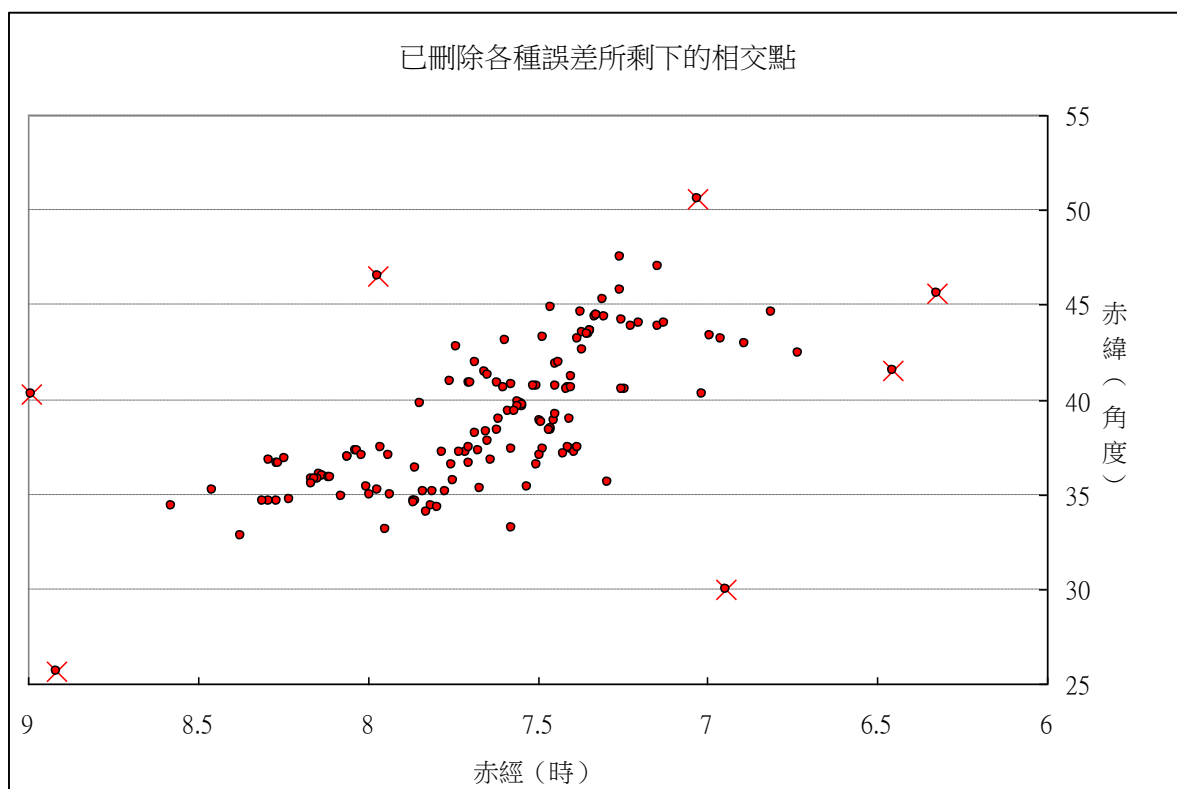
圖十三、流星軌跡延伸直線和直線角度相差 20° 以上的相交點

八、由圖十四可明顯看出相交點大多集中在赤經 7~8.5、赤緯 +35°~+45°之間，但仍有許多相交點比較分散。



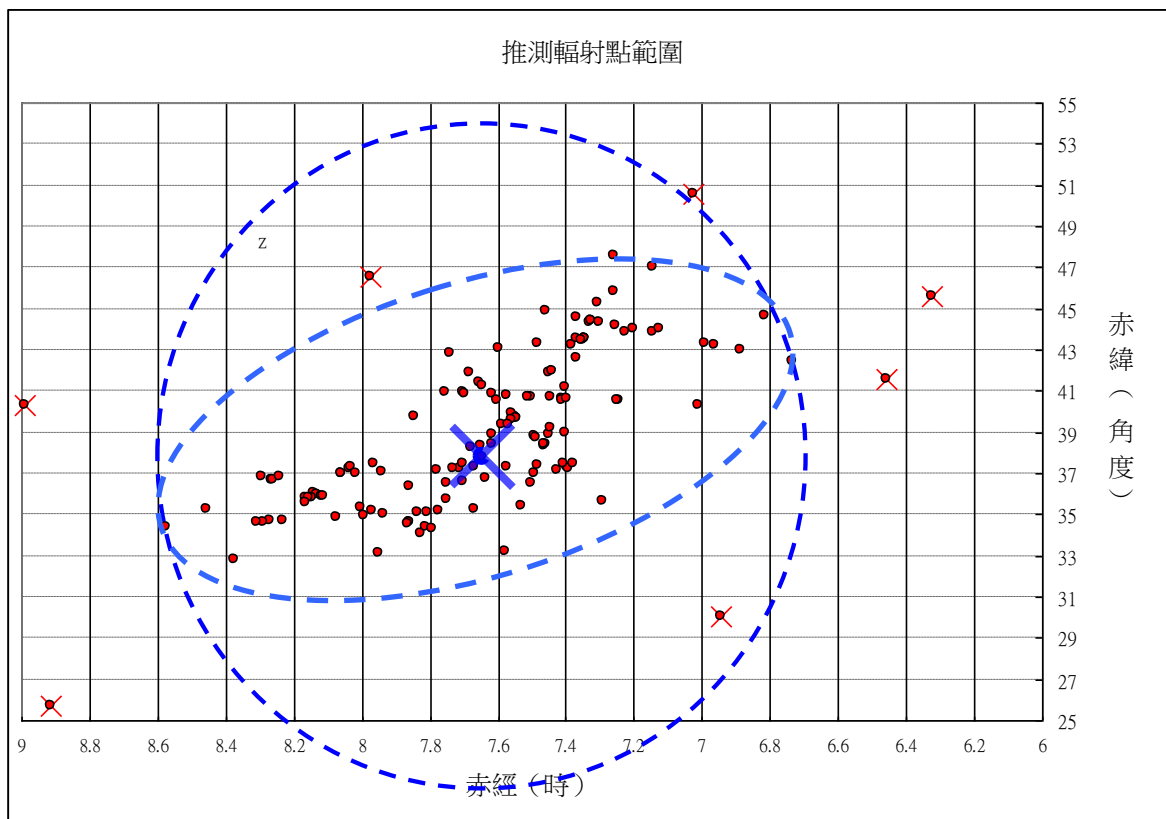
圖十四、直線角度相差 20°以上的相交點

九、圖十五標示出較為分散、看起來偏差較大而要刪除的相交點，之後我們將刪除這些數據。

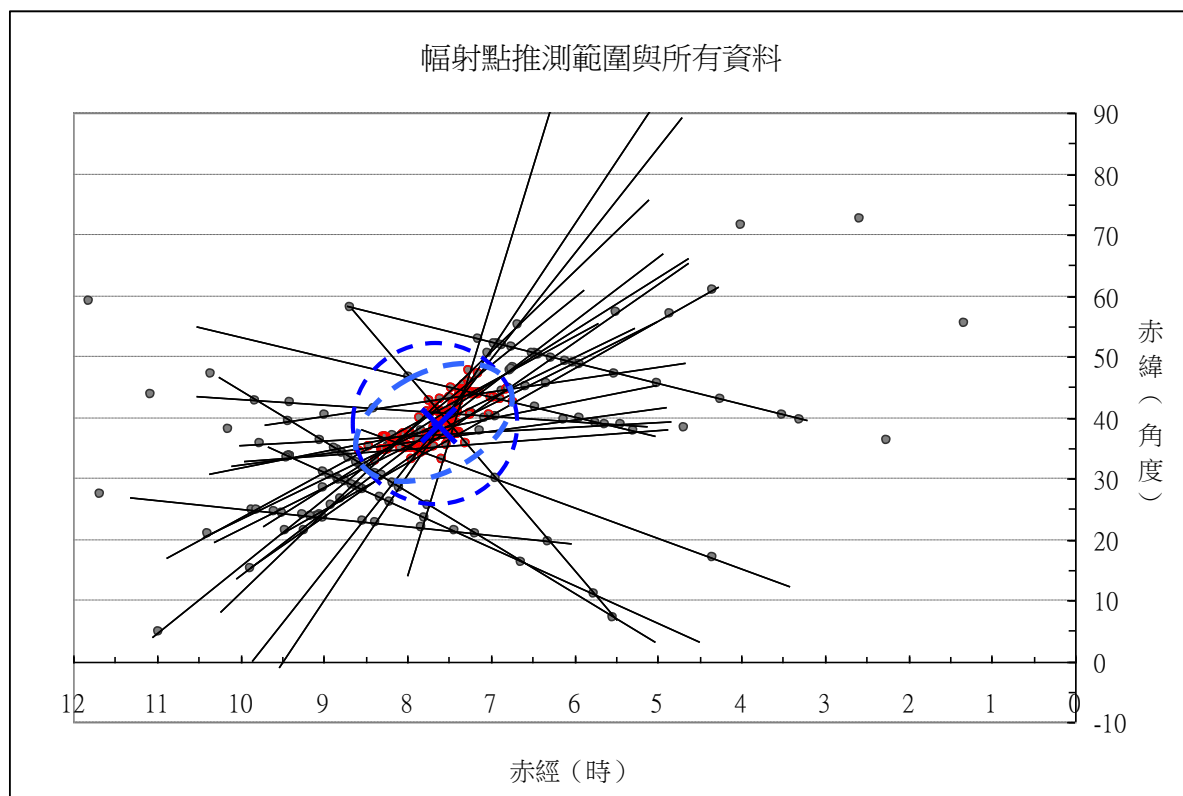


圖十五、已刪除各種誤差所剩下的相交點

十、根據這些相交點畫出雙子座流星雨輻射點的範圍，並標上中心點作為輻射點中心，中心位置大約為 $(7.66^h, +38.42^\circ)$ ，相交點的範圍大約為 $(6.7^h \sim 8.6^h, +32.8^\circ \sim +47.6^\circ)$ ，圓形範圍的分布大約為 $(6.7^h \sim 8.6^h, +24.0^\circ \sim +53.9^\circ)$ 。

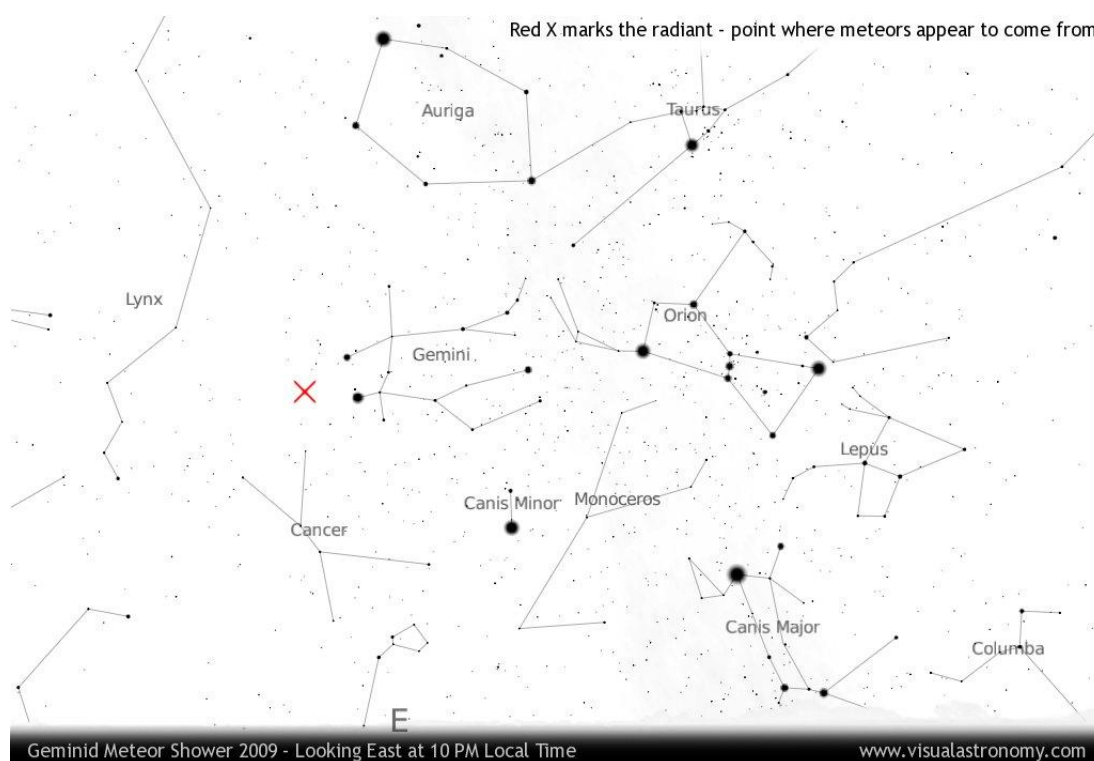


圖十六、推測輻射點範圍



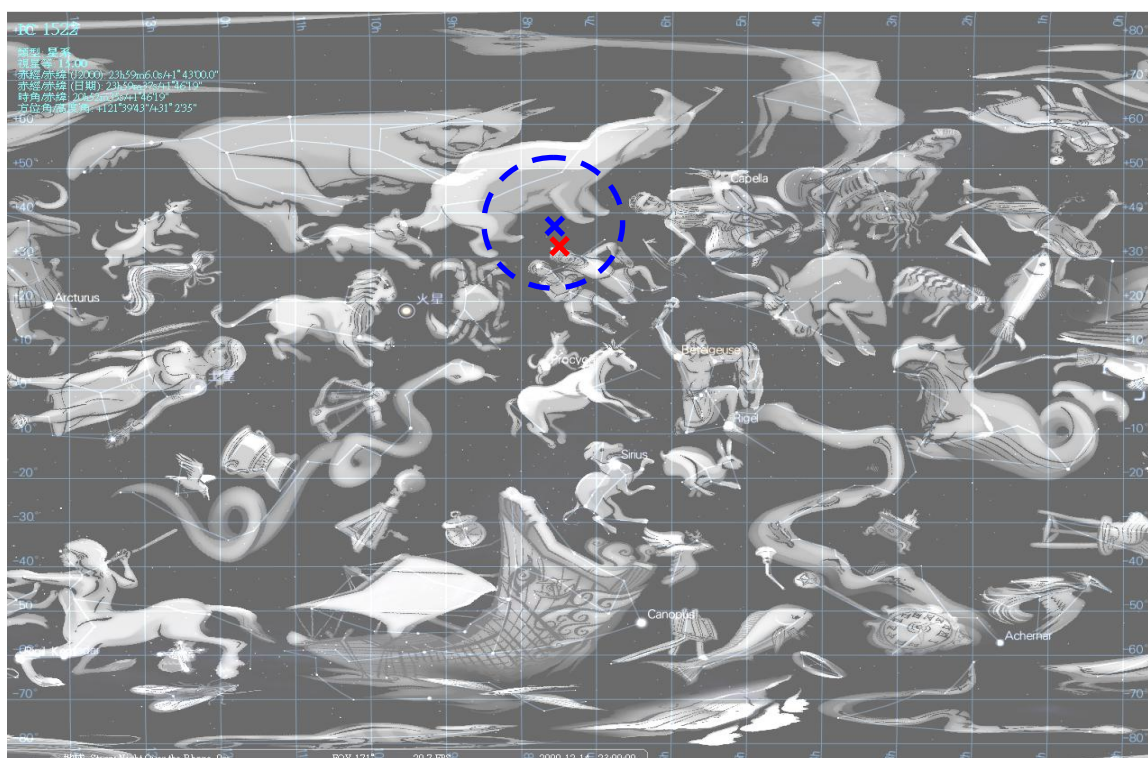
圖十七、輻射點推測範圍與所有資料

十一、 下圖是科學家推測的輻射點位置，IMO 國際流星組織公布的輻射點為（RA113°，DEC+33°），相當於赤經 7.5^h，赤緯+33°。



圖十八、IMO 所公布的 2009 年雙子座流星雨輻射點位置

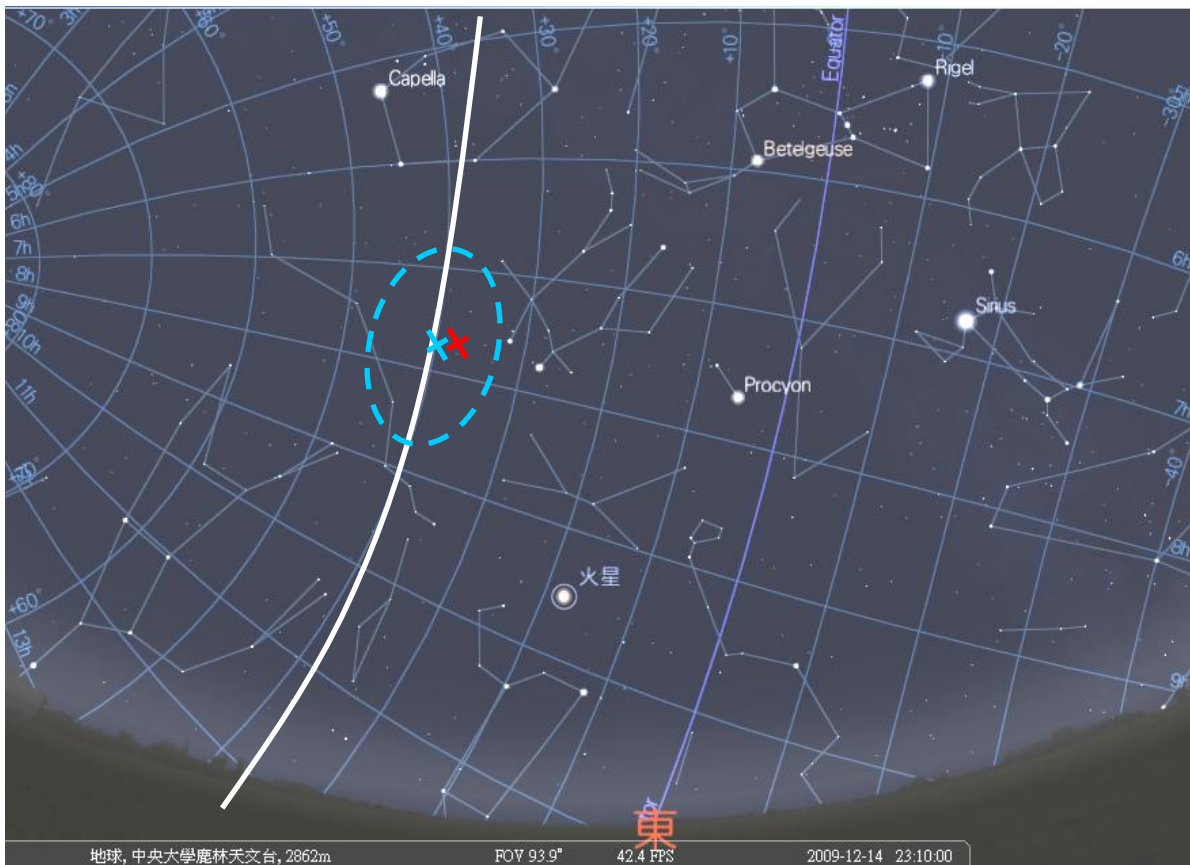
十二、 比對 Stellarium 軟體所繪的座標位置，藍色虛線所框的區域就是推算出來的輻射點範圍、藍色的「x」代表根據這個輻射點範圍所推算的輻射點中心，而紅色的「x」則代表 IMO 所計算出來的輻射點中心。



圖十九、天球座標位置標示出 IMO 與我們所推算的輻射點。

陸、討論

- 一、 利用簡單的數學公式，能夠計算出流星雨輻射點的位置，但由於天球座標是球面的，而我們只以平面的數學方法來計算，可能造成很大的誤差，所以在挑選拍攝位置時，盡量靠近輻射點，以減少推算時的誤差。
- 二、 雙子座流星雨並不是從遙遠的雙子座射到地球大氣層，而是小行星的碎屑被地球吸引，更可以說是地球在公轉運動時撞擊上去的，以地球觀測者的角度而言，有輻射散開的錯覺。
- 三、 輻射點計算出來並不是剛好相交在一個點，而是在一個區域之中，雖然科學家所計算出來的輻射點位置是在我們推算的區域中，但這一個區域仍然太大，必須減少誤差以求得更精準的數據。
- 四、 流星雨相交點判斷誤差去除標準：第一次去除誤差值在圖九，我們將四條流星軌跡去除，原因是延伸線較偏離雙子座；第二次是角度差，選取角度相差 20° 以上的直線所得到的相交點是因可以較有效的縮小相交點的範圍、大幅增加精準度；而第三次是因為求得更大的精準度所以用目測將較疏離的相交點剔除
- 五、 輻射點是我們觀測流星所回推得一個假設點，根據我們的資料顯示，這並不完全是一個點，應該是一個範圍，而此範圍的分布和流星雨來源的彗星或小行星運動軌道有關。
- 六、 當我們找到小行星 3200(Phaethon)的運動軌道之後，將所測得的輻射點範圍為赤經 $6.7^h \sim 8.6^h$ 、赤緯 $+32.8^\circ \sim +47.6^\circ$ ，中心位置為 $(7.66^h, +38.42^\circ)$ 相比，反而較 IMO 所公布的輻射點位置更接近小行星軌道，在不了解 IMO 如何測定輻射點的方法之前，我們對自己所得到的數據的準確度有更大的信心。

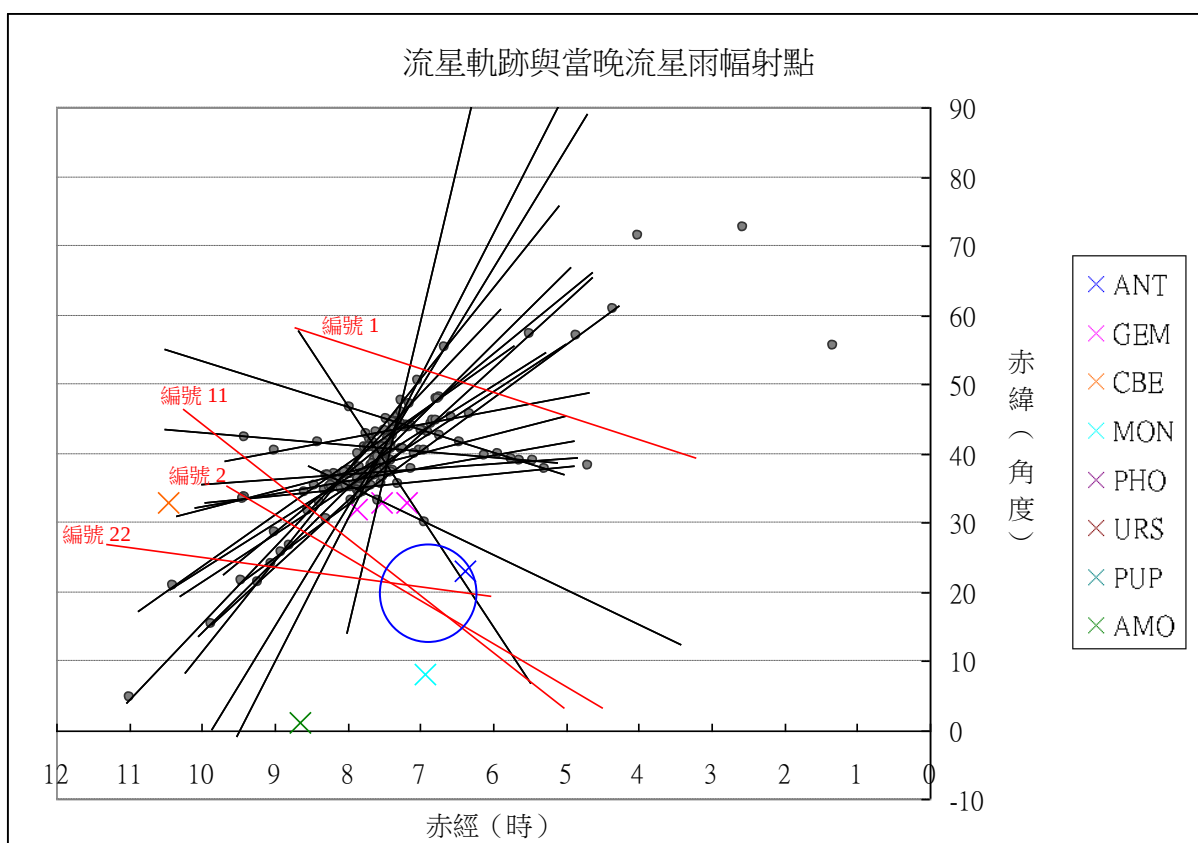


圖廿、小行星 3200(Phaethon)的運動軌道

七、從 IMO（國際流星組織）可查出在 2010 年 12 月 15 日，除了雙子座流星雨之外，還有其他的流星雨。

	ANT	GEM	CBE	MON	PUP	AMO
10-Dec	90°，+23°	108°，+33°	153°，+34°	100°，+8°	125°，-45°	126°，+2°
15-Dec	96°，+23°	113°，+33°	157°，+33°	104°，+8°	128°，-45°	130°，+1°
20-Dec	101°，+23°	118°，+32°	161°，+30°			

表二、IMO 公布的流星雨輻射點座標（ANT：Antihelion Source、GEM：Geminids、CBE：Coma Berenicids、MON：Monocerotids、PUP：Puppis/Velids、AMO： α -Monocerotids）



圖廿一、流星軌跡與當晚流星雨輻射點

從圖廿一可看出編號 2、11、22 三條流星軌跡的延伸直線相交點最靠近 ANT 流星雨的輻射點，從原始照片也的確可以看出這三條流星軌跡明顯與其他流星的輻射點不大相同，推測是屬於 ANT 流星雨的流星；ANT 流星雨（Antihelion Source）稱為反太陽源流星雨，輻射點大而彌散，輻射中心在太陽相反的黃道位置以東 12°而得名，輻射點範圍分布區域赤經寬 30°、赤緯寬度 15°。

柒、結論

- 一、 本研究成功的測得雙子座流星雨的輻射點分布範圍和中心位置，輻射點範圍為赤經 $6.7^h \sim 8.6^h$ 、赤緯 $32.8^\circ \sim 47.6^\circ$ ，中心位置為 $(7.66^h, 38.42^\circ)$ ；最後也從三顆軌跡較為不同的流星粗略判斷出可能是來自 ANT 流星雨。
- 二、 流星的輻射點不是一個很精準的點，輻射點範圍的分布和流星來源的彗星或小行星運動軌道有關，本研究所判斷出來的雙子座流星雨輻射點分布範圍赤經寬約 30° 、赤緯寬度約 15° 。
- 三、 流星的拍攝最好使用高感光度的拍攝儀器，短時間曝光增加時間解析度，對於流星定位也要精準。
- 四、 拍攝的範圍最好接近輻射點的位置，範圍也避免太大，一方面減少照片影像變形的問題，一方面流星軌跡較粗、容易拍攝得到。
- 五、 座標計算上需改進為球面的數學方法，以增加精確度，並適合用來處理拍攝大範圍（超廣角）的照片資料。
- 六、 根據流星軌道的反演，可以推算出輻射點的區域位置，也可以根據這樣的特徵，來判斷該流星是否為某個流星群，將來還可推算該流星雨的來源彗星（或小行星）的運動軌跡。
- 七、 未來計畫將以高感光度的錄影、大範圍拍攝、多地點記錄來觀測同一時間的流星雨，希望能精準標訂出流星的高度位置、出現時間等相關研究。

捌、參考資料

1. 吳昆臻（民 99）。第一次觀星就上手。易博士出版社
2. 吳昌任、林詩怡（民 94）。追星族的天空奇緣。聯經出版公司。
3. 林完次、渡部潤一（民 93）。星星地圖館。時報出版
4. 陳立群（民 83）。十二月的雙子座流星群。科學月刊，300，932-938。民 83 年 12 月，取自：<http://library.hwai.edu.tw/science/content/1994/00120300/0010.htm>
5. 雙子座流星雨 12/14 極大（民 91）。TAS 台灣天文網。民 91 年 12 月 13 日，取自：
<http://www.tas.idv.tw/news/2002/02121301.asp>
6. 流星雨（無日期）。維基百科。取自：<http://zh.wikipedia.org/wiki/流星雨>
7. 雙子座流星雨（無日期）。維基百科。取自：<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/雙子座流星雨>
8. 流星雨的成因（無日期）。取自：<http://earth.fg.tp.edu.tw/learn/esf/magazine/990302.htm>
9. 流星亮度（無日期）。取自：http://content.edu.tw/senior/earth/tp_ml/stu/106_7/metore.htm
10. 流星顏色（無日期）。取自：<http://www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab/mirrors/apod/ap020816.html>
11. 法厄同星 Phaeton（無日期）。維基百科。取自：<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/法厄同星>
12. 神秘的小行星「菲以頌」（無日期）。取自：<http://www.c-science.com/txt/sc/un/ac/991209unac.htm>
13. 本年度最後一波大流星雨—雙子座流星雨將現（民 96.12.07）。取自：
<http://tamweb.tam.gov.tw/forecast/2007/h07120701.htm>
14. 李昀岱（無日期）。獅子座流星雨的觀測。天文學實驗室。取自：http://www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab/e_book/special_topics/essays/meteor/leonids.html
15. 天象資料（民 99）。台北市立天文館。取自：<http://tamweb.tam.gov.tw/forecast/forecast.asp>
16. 焦點距離計算器。取自：<http://www.c-creators.co.jp/okayan/focal-length-calc.html>
17. Stellarium 星圖軟體。From <http://www.stellarium.org/>
18. IMO Meteor Shower Calendar 2009. International Meteor Organization. From
<http://www.imo.net/calendar/2009>
19. 3200 Phaethon (1983 TB). JPL Small-Body Database Browser. From <http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=3200;orb=1>
20. Geminid Meteor Shower 2009. Retrieved November 25, 2009, From
<http://www.visualastronomy.com/2009/11/geminid-meteor-shower-2009.html> ,
21. The 2009 Geminid Meteor Shower. NASA. From http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2009/08dec_geminids/
22. Meteor showers calendar. TAU Astronomy Club. From <http://astroclub.tau.ac.il/ephem/Meteors/index.php>

玖、附錄

一、拍攝照片與流星軌跡天球座標（拍攝儀器：Canon450D+16mm 鏡頭）

編號	圖名	拍攝時間		流星一端座標						流星另一端座標					
				赤經 X ₁			赤緯 Y ₁			赤經 X ₂			赤緯 Y ₂		
		時	分	h	m	s	角度	角分	角秒	h	m	s	角度	角分	角秒
1	P4938	22	5	8	13	50.1	56	27	7.9	8	44	52.1	58	12	20.3
2	P4939	22	5	9	30	50.9	34	12	39.1	9	41	4.1	35	15	56.4
3	P4951	22	5	9	53	24.3	33	2	0.2	9	58	33	32	56	47.9
4	P4981	22	28	7	57	36.6	16	7	58.2	8	0	32.1	13	57	12.5
5	P4997	22	43	9	38	32.4	23	0	58.6	9	44	9.7	22	12	35.8
6	P4998	22	43	9	56	48.9	14	35	15.9	10	4	20.5	13	16	43.2
7	P5007	22	48	9	54	9.5	32	36	43.5	10	7	24.2	32	12	28
8	P5009	22	49	9	51	34.3	35	37	15.7	10	1	23.6	35	29	49.8
9	P5011-A	22	50	10	1	4.1	21	34	43.6	10	19	21	19	29	37.3
10	P5011-B	22	50	8	26	20.4	37	32	43.2	8	33	44.4	38	9	57.6
11	P5019	22	54	10	2	28.1	44	34	41.6	10	16	37.4	46	31	47.7
12	P5024	22	57	8	30	9.5	55	5	48.1	8	41	1.1	58	0	32.4
13	P5036	23	3	9	39	8.3	17	28	4.6	9	54	10.8	15	4	4.7
14	P5053	23	13	10	7	2.9	9	50	40.1	10	15	29.4	7	59	21.8
15	P5070	23	22	9	19	49.7	3	0	2.6	9	31	58.9	-1	-11	-4.8
16	P5080	23	27	9	16	39.8	22	54	38.2	9	32	16.4	20	54	39.3
17	P5086	23	30	10	43	50.2	18	21	31	10	53	56.9	17	6	23.3
18	P5091	23	33	9	43	2.8	2	28	47.4	9	52	15.5	0	-10	-52
19	P5122	23	50	10	53	53.6	5	39	49.5	11	4	5.3	3	47	22.2
20	P5132	23	55	10	16	54.5	21	36	21.5	10	27	25.8	20	26	51.5
21	P5136	24	58	9	41	22	38	56	59.3	9	43	9.9	38	53	25.7
22	P5139	24	0	11	3	11.1	26	29	29.8	11	19	42.2	26	53	0.7
23	P5154	24	8	10	7	44.3	43	1	9.1	10	32	27.8	43	22	36.8
24	P5163	24	13	10	1	33.3	31	51	49.1	10	22	59.1	30	53	35.4
25	P5271	25	10	10	2	13.2	53	22	5	10	32	4.3	55	0	28.9

二、流星軌跡延伸直線方程式

編號	圖名	m	k
1	P4938	$Y = 0.22601 X + 28.54954$	
2	P4939	$Y = 0.41284 X + -24.70636$	
3	P4951	$Y = -0.06744 X + 43.03881$	
4	P4981	$Y = -2.98032 X + 371.99084$	
5	P4997	$Y = -0.57373 X + 105.99809$	
6	P4998	$Y = -0.69570 X + 118.38942$	
7	P5007	$Y = -0.12210 X + 50.74885$	
8	P5009	$Y = -0.05044 X + 43.08134$	
9	P5011-A	$Y = -0.45621 X + 90.13257$	
10	P5011-B	$Y = 0.33550 X + -4.92336$	
11	P5019	$Y = 0.55152 X + -38.49024$	
12	P5024	$Y = 1.07267 X + -81.71150$	
13	P5036	$Y = -0.63822 X + 109.87233$	
14	P5053	$Y = -0.87901 X + 143.24529$	
15	P5070	$Y = -1.37753 X + 195.79551$	
16	P5080	$Y = -0.51241 X + 94.22109$	
17	P5086	$Y = -0.49532 X + 98.08562$	
18	P5091	$Y = -1.15548 X + 170.90440$	
19	P5122	$Y = -0.73536 X + 125.87558$	
20	P5132	$Y = -0.44036 X + 89.52159$	
21	P5136	$Y = -0.13197 X + 58.13113$	
22	P5139	$Y = 0.09490 X + 10.75678$	
23	P5154	$Y = 0.05787 X + 34.22710$	
24	P5163	$Y = -0.18114 X + 59.10547$	
25	P5271	$Y = 0.21975 X + 20.28367$	

三、流星軌跡延伸直線交點座標與直線斜率差

編號	編號	赤經(時)	赤緯(角度)	斜率差(角度)	編號	編號	赤經(時)	赤緯(角度)	斜率差(角度)
1	2	19.0031	92.9725	0.1868	2	16	8.5690	28.3580	0.9253
1	3	3.2917	39.7087	0.2935	2	17	9.0139	31.1133	0.9082
1	4	7.1409	52.7580	3.2063	2	18	8.3151	26.7857	1.5683
1	5	6.4561	50.4366	0.7997	2	19	8.7431	29.4359	1.1482
1	6	6.4980	50.5787	0.9217	2	20	8.9254	30.5653	0.8532
1	7	4.2514	42.9623	0.3481	2	21	10.1365	38.0648	0.5448
1	8	3.5044	40.4297	0.2765	2	22	7.4361	21.3426	0.3179
1	9	6.0179	48.9509	0.6822	2	23	11.0682	43.8344	0.3550
1	10	20.3815	97.6454	0.1095	2	24	9.4068	33.5460	0.5940
1	11	13.7301	75.0961	0.3255	2	25	15.5333	71.4853	0.1931
1	12	8.6820	57.9825	0.8467					
1	13	6.2733	49.8166	0.8642	3	4	7.5287	35.4223	2.9129
1	14	6.9197	52.0081	1.1050	3	5	8.2903	34.6518	0.5063
1	15	6.9532	52.1218	1.6035	3	6	7.9957	34.9499	0.6283
1	16	5.9290	48.6496	0.7384	3	7	9.4042	33.5249	0.0547
1	17	6.4266	50.3366	0.7213	3	8	-0.1668	43.2076	0.0170
1	18	6.8696	51.8384	1.3815	3	9	8.0757	34.8689	0.3888
1	19	6.7491	51.4299	0.9614	3	10	7.9354	35.0109	0.4029
1	20	6.0999	49.2290	0.3580	3	11	8.7812	34.1552	0.6190
1	21	5.5090	47.2255	0.3580	3	12	7.2946	35.6591	1.1401
1	22	-9.0477	-2.1233	0.1311	3	13	7.8062	35.1416	0.5708
1	23	2.2511	36.1811	0.1681	3	14	8.2315	34.7113	0.8116
1	24	5.0032	45.5110	0.4072	3	15	7.7734	35.1748	1.3101
1	25	-88.0514	-269.9549	0.0063	3	16	7.6683	35.2811	0.4450
					3	17	8.5767	34.3621	0.4279
2	3	9.4035	33.5257	0.4803	3	18	7.8346	35.1128	1.0880
2	4	7.7941	23.5590	3.3932	3	19	8.2682	34.6742	0.6679
2	5	8.8322	29.9881	0.9866	3	20	8.3098	34.6321	0.3729
2	6	8.6056	28.5848	1.1085	3	21	15.5921	27.2649	0.0645
2	7	9.4036	33.5261	0.5349	3	22	13.2562	29.6280	0.1623
2	8	9.7547	35.7004	0.4633	3	23	4.6879	38.2963	0.1253
2	9	8.8095	29.8474	0.8691	3	24	9.4206	33.5083	0.1137
2	10	17.0519	80.8892	0.0773	3	25	5.2822	37.6950	0.2872
2	11	6.6262	16.3269	0.1387					
2	12	5.7596	10.9602	0.6598	4	5	7.3685	42.5853	2.4066
2	13	8.5361	28.1540	1.0511	4	6	7.4003	41.1636	2.2846
2	14	8.6672	28.9663	1.2919	4	7	7.4928	37.0257	2.8582
2	15	8.2107	26.1390	1.7904	4	8	7.4840	37.4185	2.9299

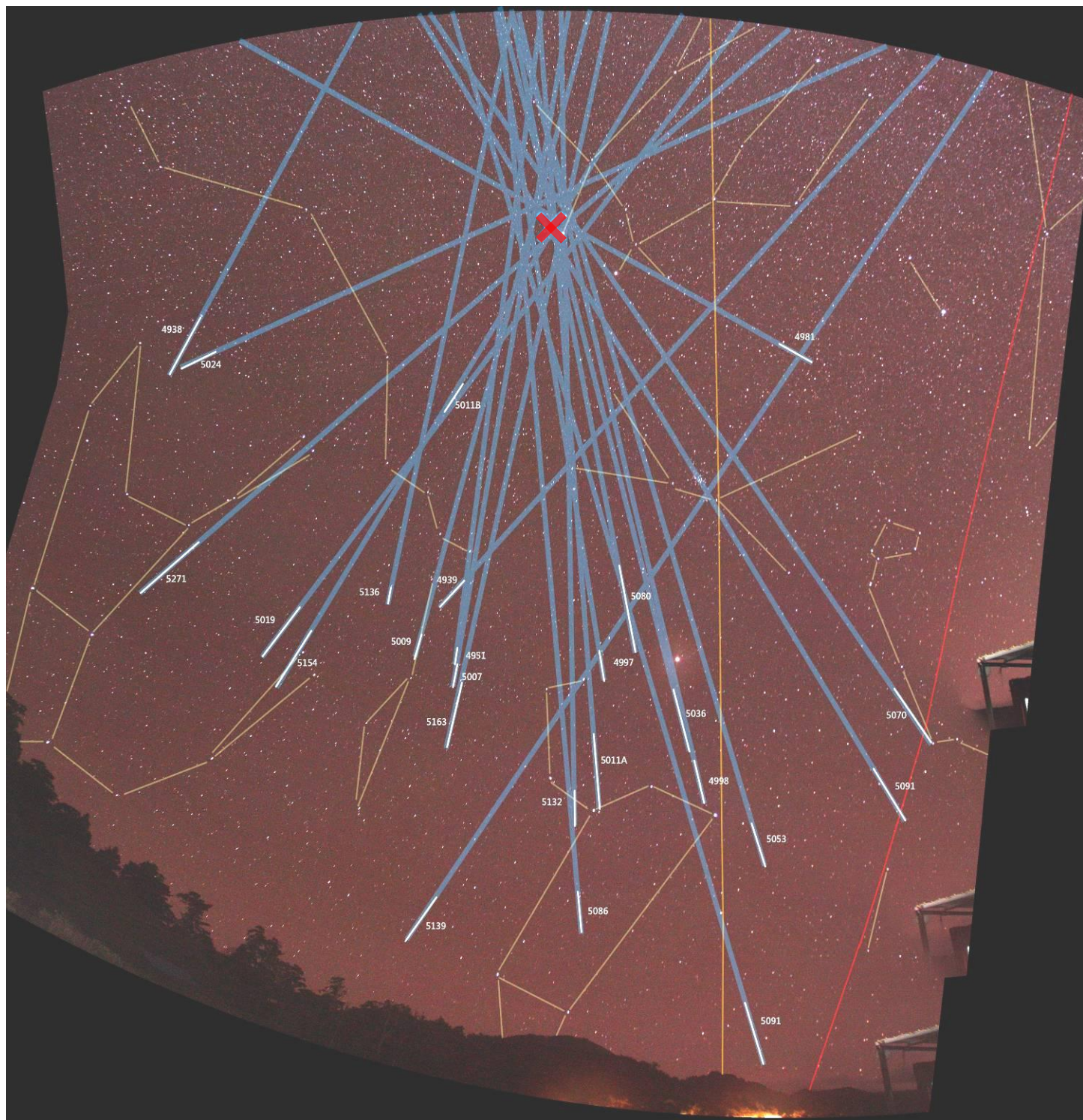
編號	編號	赤經(時)	赤緯(角度)	斜率差(角度)	編號	編號	赤經(時)	赤緯(角度)	斜率差(角度)
4	9	7.4444	39.1889	2.5241	6	7	7.8615	36.3505	0.5736
4	10	7.5781	33.2129	3.3158	6	8	7.7806	37.1940	0.6453
4	11	7.7482	25.6091	3.5318	6	9	7.8658	36.3054	0.2395
4	12	7.4628	38.3661	4.0530	6	10	7.9721	35.1958	1.0312
4	13	7.4611	38.4454	2.3421	6	11	8.3855	30.8817	1.2472
4	14	7.2572	47.5572	2.1013	6	12	7.5437	39.6669	1.7684
4	15	7.3287	44.3638	1.6028	6	13	9.8776	15.3114	0.0575
4	16	7.5035	36.5476	2.4679	6	14	9.0397	24.0549	0.1833
4	17	7.3482	43.4892	2.4850	6	15	7.5685	39.4075	0.6818
4	18	7.3463	43.5778	1.8248	6	16	8.7905	26.6552	0.1833
4	19	7.3087	45.2580	2.2450	6	17	6.7551	47.8961	0.2004
4	20	7.4140	40.5490	2.5400	6	18	7.6146	38.9269	0.4598
4	21	7.3460	43.5889	2.8483	6	19	12.5851	-12.9428	0.0397
4	22	7.8311	21.9048	3.0752	6	20	7.5370	39.7365	0.2553
4	23	7.4115	40.6604	3.0382	6	21	7.1261	44.0242	0.5637
4	24	7.4518	38.8578	2.7992	6	22	9.0759	23.6770	0.7906
4	25	7.3271	44.4355	3.2001	6	23	7.4456	40.6900	0.7536
					6	24	7.6808	38.2355	0.5146
					6	25	7.1444	43.8334	0.9155
5	6	6.7728	47.7115	0.1220					
5	7	8.1555	35.8120	0.4516					
5	8	8.0156	37.0163	0.5233	7	8	7.1336	37.6836	0.0717
5	9	9.0002	28.5424	0.1175	7	9	7.8584	36.3562	0.3341
5	10	8.1330	36.0055	0.9092	7	10	8.1108	35.8938	0.4576
5	11	8.5603	32.3279	1.1253	7	11	8.8318	34.5734	0.6736
5	12	7.6008	40.5858	1.6464	7	12	7.3911	37.2120	1.1948
5	13	4.0052	71.5296	0.0645	7	13	7.6369	36.7618	0.5161
5	14	8.1340	35.9971	0.3053	7	14	8.1468	35.8279	0.7569
5	15	7.4478	41.9025	0.8038	7	15	7.7024	36.6419	1.2554
5	16	12.8041	-4.1939	0.0613	7	16	7.4252	37.1496	0.3903
5	17	6.7276	48.1005	0.0784	7	17	8.4555	35.2626	0.3732
5	18	7.4381	41.9859	0.5817	7	18	7.7516	36.5517	1.0334
5	19	8.1989	35.4387	0.1616	7	19	8.1669	35.7911	0.6133
5	20	8.2359	35.1200	0.1334	7	20	8.1218	35.8737	0.3183
5	21	7.2237	43.8310	0.4418	7	21	49.8459	-40.5444	0.0099
5	22	9.4961	24.2751	0.6686	7	22	12.2861	28.2468	0.2170
5	23	7.5756	40.8028	0.6316	7	23	6.1202	39.5396	0.1800
5	24	7.9630	37.4690	0.3926	7	24	9.4358	33.4672	0.0590
5	25	7.2015	44.0217	0.7935	7	25	5.9412	39.8674	0.3419

編號	編號	赤經(時)	赤緯(角度)	斜率差(角度)	編號	編號	赤經(時)	赤緯(角度)	斜率差(角度)
8	9	7.7304	37.2321	0.4058	10	15	7.8115	34.3874	1.7130
8	10	8.2923	36.8069	0.3859	10	16	7.7952	34.3055	0.8479
8	11	9.0339	36.2457	0.6020	10	17	8.2656	36.6730	0.8308
8	12	7.4075	37.4764	1.1231	10	18	7.8619	34.6410	1.4910
8	13	7.5756	37.3492	0.5878	10	19	8.1430	36.0555	1.0709
8	14	8.0592	36.9833	0.8286	10	20	8.1153	35.9165	0.7759
8	15	7.6717	37.2765	1.3271	10	21	8.9923	40.3299	0.4675
8	16	7.3800	37.4972	0.4620	10	22	4.3449	16.9420	0.2406
8	17	8.2426	36.8445	0.4449	10	23	9.4012	42.3875	0.2776
8	18	7.7116	37.2463	1.1050	10	24	8.2622	36.6558	0.5166
8	19	8.0588	36.9836	0.6849	10	25	14.5186	68.1405	0.1157
8	20	7.9402	37.0733	0.3899					
8	21	12.3061	33.7698	0.0815	11	12	5.5289	7.2497	0.5212
8	22	14.8262	31.8629	0.1453	11	13	8.3134	30.2853	1.1897
8	23	5.4499	38.9577	0.1083	11	14	8.4694	31.5752	1.4305
8	24	8.1736	36.8967	0.1307	11	15	8.0968	28.4928	1.9290
8	25	5.6250	38.8251	0.2702	11	16	8.3158	30.3045	1.0639
					11	17	8.6976	33.4635	1.0468
9	10	8.0043	35.3577	0.7917	11	18	8.1779	29.1638	1.7070
9	11	8.5090	31.9035	1.0077	11	19	8.5149	31.9523	1.2869
9	12	7.4932	38.8550	1.5289	11	20	8.6040	32.6888	0.9919
9	13	7.2304	40.6535	0.1820	11	21	9.4242	39.4748	0.6835
9	14	8.3748	32.8224	0.4228	11	22	7.1901	20.9924	0.4566
9	15	7.6458	37.8108	0.9213	11	23	9.8203	42.7513	0.4937
9	16	4.8499	56.9437	0.0562	11	24	8.8804	34.9760	0.7327
9	17	13.5562	-2.6352	0.0391	11	25	11.8101	59.2127	0.3318
9	18	7.7006	37.4357	0.6993					
9	19	8.5362	31.7175	0.2791	12	13	7.4653	38.4052	1.7109
9	20	2.5695	72.5486	0.0159	12	14	7.6842	41.9278	1.9517
9	21	6.5798	45.1057	0.3242	12	15	7.5506	39.7782	2.4502
9	22	9.6018	24.4256	0.5511	12	16	7.3995	37.3470	1.5851
9	23	7.2499	40.5201	0.5141	12	17	7.6445	41.2884	1.5680
9	24	7.5198	38.6731	0.2751	12	18	7.5583	39.9024	2.2282
9	25	6.8888	42.9909	0.6760	12	19	7.6543	41.4461	1.8080
					12	20	7.5448	39.6850	1.5130
10	11	10.3589	47.2073	0.2160	12	21	7.7391	42.8108	1.2046
10	12	6.9443	30.0236	0.7372	12	22	6.3047	19.7320	0.9778
10	13	7.8596	34.6297	0.9737	12	23	7.6165	40.8383	1.0148
10	14	8.1333	36.0067	1.2145	12	24	7.4874	38.7612	1.2538

編號	編號	赤經(時)	赤緯(角度)	斜率差(角度)	編號	編號	赤經(時)	赤緯(角度)	斜率差(角度)
12	25	7.9722	46.5620	0.8529	16	17	-15.0759	210.0972	0.0171
					16	18	7.9498	33.1175	0.6431
13	14	9.2397	21.4176	0.2408	16	19	9.4655	21.4674	0.2229
13	15	7.7481	35.6977	0.7393	16	20	4.3482	60.7998	0.0721
13	16	8.2938	30.4729	0.1258	16	21	6.3243	45.6116	0.3804
13	17	5.4990	57.2288	0.1429	16	22	9.1621	23.7996	0.6073
13	18	7.8661	34.5680	0.5173	16	23	7.0134	40.3148	0.5703
13	19	10.9829	4.7301	0.0971	16	24	7.0668	39.9038	0.3313
13	20	6.8570	44.2283	0.1979	16	25	6.7323	42.4750	0.7322
13	21	6.8137	44.6426	0.5062					
13	22	9.0131	23.5875	0.7331	17	18	7.3537	43.4485	0.6602
13	23	7.2448	40.5157	0.6961	17	19	7.7183	40.7399	0.2400
13	24	7.4046	38.9862	0.4571	17	20	10.3876	20.9073	0.0550
13	25	6.9613	43.2298	0.8580	17	21	7.3308	43.6191	0.3634
					17	22	9.8638	24.7986	0.5902
14	15	7.0276	50.5855	0.4985	17	23	7.6958	40.9071	0.5532
14	16	8.9151	25.6975	0.3666	17	24	8.2713	36.6313	0.3142
14	17	7.8466	39.7865	0.3837	17	25	7.2535	44.1930	0.7151
14	18	6.6697	55.3043	0.2765					
14	19	8.0610	36.9595	0.1437	18	19	7.1454	47.0588	0.4201
14	20	8.1650	35.5885	0.4387	18	20	7.5869	39.4070	0.7151
14	21	7.5957	43.0946	0.7470	18	21	7.3456	43.5898	1.0235
14	22	9.0691	23.6673	0.9739	18	22	8.5386	22.9120	1.2504
14	23	7.7575	40.9607	0.9369	18	23	7.5097	40.7456	1.2133
14	24	8.0378	37.2657	0.6979	18	24	7.6496	38.3205	0.9743
14	25	7.4606	44.8757	1.0988	18	25	7.3016	44.3515	1.3752
15	16	7.8274	34.0578	0.8651	19	20	8.2156	35.2541	0.2950
15	17	7.3838	43.2252	0.8822	19	21	7.4849	43.3139	0.6034
15	18	7.4732	41.3781	0.2220	19	22	9.2435	23.9156	0.8303
15	19	7.2587	45.8087	0.6422	19	23	7.7026	40.9130	0.7932
15	20	7.5599	39.5850	0.9372	19	24	8.0318	37.2821	0.5542
15	21	7.3683	43.5448	1.2456	19	25	7.3703	44.5780	0.9551
15	22	8.3779	22.6833	1.4724					
15	23	7.5040	40.7407	1.4354	20	21	6.7859	44.6976	0.3084
15	24	7.6168	38.4095	1.1964	20	22	9.8101	24.7221	0.5353
15	25	7.3255	44.4302	1.5973	20	23	7.3988	40.6494	0.4982
					20	24	7.8225	37.8506	0.2592
					20	25	6.9926	43.3328	0.6601

編號	編號	赤經(時)	赤緯(角度)	斜率差(角度)
21	22	13.9206	30.5737	0.2269
21	23	8.3944	41.5135	0.1898
21	24	1.3211	55.5159	0.0492
21	25	7.1737	43.9300	0.3517
22	23	42.2466	70.8978	0.0370
22	24	11.6764	27.3790	0.2760
22	25	-5.0873	3.5146	0.1248
23	24	6.9393	40.2505	0.2390
23	25	5.7422	39.2114	0.1619
24	25	6.4559	41.5639	0.4009

四、所拍攝的流星軌跡延伸合成示意圖，紅色的「x」代表 IMO 所公布的輻射點中心。



【評語】 040502

本研究在拍攝雙子座流星的軌跡，回推其「輻射點」的位置，觀測及分析都很認真努力，也找到若干不屬於雙子座流星雨的其他流星，並學到了扎實的觀星技巧，值得鼓勵。但此課題較缺新意，同時未能觀測其他流星雨作為比較，較為可惜；若可分析母體為小行星或彗星所造成的不同，將更具有科學意義。