

# 2023 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 160013

參展科別 物理與天文學

作品名稱 日中必彗~由速霸陸(SUBARU)望遠鏡影像分  
析彗星大小

得獎獎項

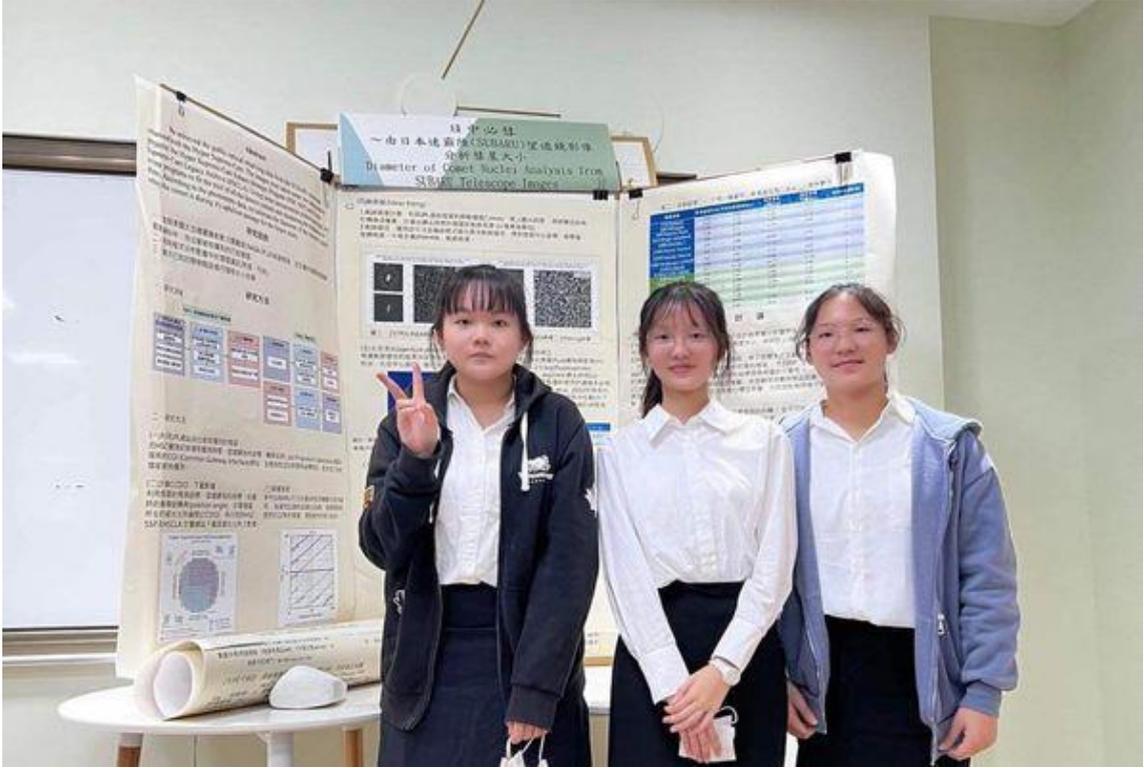
就讀學校 國立中興大學附屬高級中學

指導教師 鄭宇棋、林士超

作者姓名 林忻俞、陳珮云、童玉函

關鍵詞 彗核大小、孔徑測光、軌跡擬合

## 作者簡介



## 摘要

本研究從日本 Subaru 天文台 Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program (HSC-SSP) 及 Hyper Suprime-Cam Legacy Archive (HSCLA) 計畫網站下載公開的可見光觀測影像，撰寫程式進行彗星軌跡擬合 (trail fitting) 與孔徑測光 (aperture photometry)，分析已知彗星在遠日軌道時的光度並初步測量其彗核大小，進行後續討論。

## Abstract

We retrieved the public optical observing data from the Subaru telescope obtained with the Hyper Suprime-Cam. The images were taken under two independent projects: the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program (HSC-SSP) and Hyper Suprime-Cam Legacy Archive (HSCLA). Using some astronomical python packages, we wrote programs to fit the trail of all the known comets and measuring the brightness of them. According to the photometry data, we estimate the diameter of the cometary nuclei when the comet is during its aphelion passage for the future study.

## 壹、研究動機

就讀高一時我們參加了泛星計畫（Pan-STARRS）的尋找小行星活動，在活動過程中，我們好奇在影像上看到的小行星有沒有可能為無活動的彗星。在得知日本 Subaru 天文台於 2021 年底釋出了大量的可見光觀測影像後，我們便思考該如何使用這些資料來進行更進一步的天文研究。

在這次公開的影像資料中，Subaru Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program（HSC-SSP）<sup>1</sup>及 Hyper Suprime-Cam Legacy Archive（HSCLA）<sup>2</sup>共提供了多達四萬筆以上的觀測資料，借助其八米口徑的集光能力，可以偵測到極暗的太陽系內天體。

我們利用 Subaru 的公開影像資料，以 Astropy 套件為基礎，自行撰寫挖掘彗星影像與亮度測量之程式，特別針對彗星在遠日軌道時的光度，換算其彗核大小，並進行後續討論。

## 貳、研究目的

- 一、查詢美國太空總署噴射動力實驗室（NASA JPL）的軌道預測，從巨量的觀測資料中，找出曾被拍攝到的已知彗星
- 二、利用程式分析影像中的彗星資訊（亮度、形狀）
- 三、基於已知的彗核假設進行彗核大小估算

## 參、研究設備

一、筆記型電腦、VScode（Visual Studio Code）、Python 及其套件

二、日本 Subaru 望遠鏡：

（一）口徑大：曾是世上最大的單片主鏡，口徑 8.3 公尺。

（二）地理位置：位於夏威夷毛納基山（Mauna Kea），海拔 4139 公尺，受大氣影響較小。

---

<sup>1</sup> <https://hsc.mtk.nao.ac.jp/ssp/>

<sup>2</sup> <https://hscla.mtk.nao.ac.jp/doc/>

### 三、HSC (Hyper Suprime-Cam) 相機

(一) 濾鏡：g、r、i、z

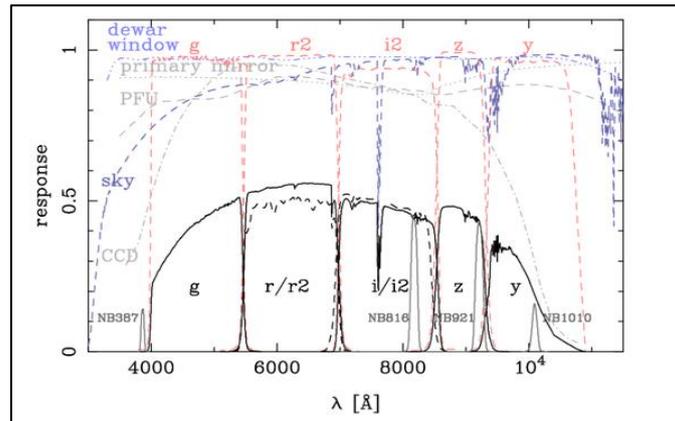


圖 1：HSC 相機光學系統整體效率圖

圖片來源：Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Survey (survey)

(二) HSC 視野大小：直徑 1.5°

(三) CCD (Charge-coupled device)：由 104 個 2k × 4k 的 CCD 拼接而成，編號為 0~103。

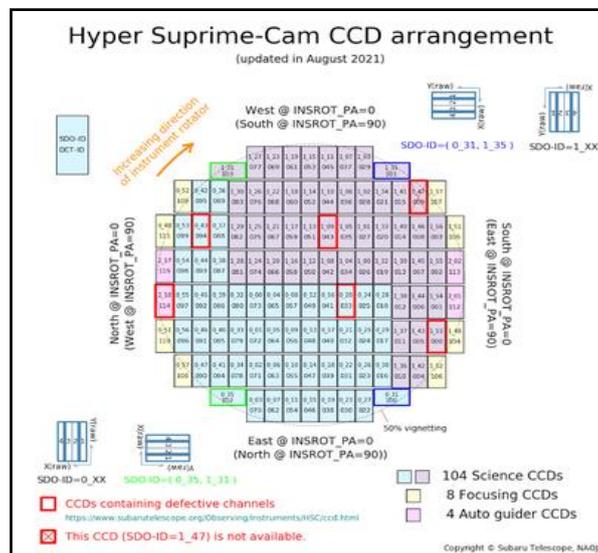


圖 2：CCD 排列方式

圖片來源：Subaru telescope

(四) 像素範圍：一個像素為 0.168 角秒

(五) 曝光秒數：影像曝光秒數介於 30~1200 秒間

(六) 資料數量：約 44000 筆

(七) 大氣寧靜度 (Seeing) : 0.6~0.8 角秒

(八) 影像預處理 : HSC 所釋出的影像已由 HSCpipe (Bosch et al., 2017)<sup>3</sup>軟體處理完成，並計算出了每個 CCD chip 的零點星等 (zero-point) 及 WCS (World Coordinate System)，因此不必再進行額外的校正工作。

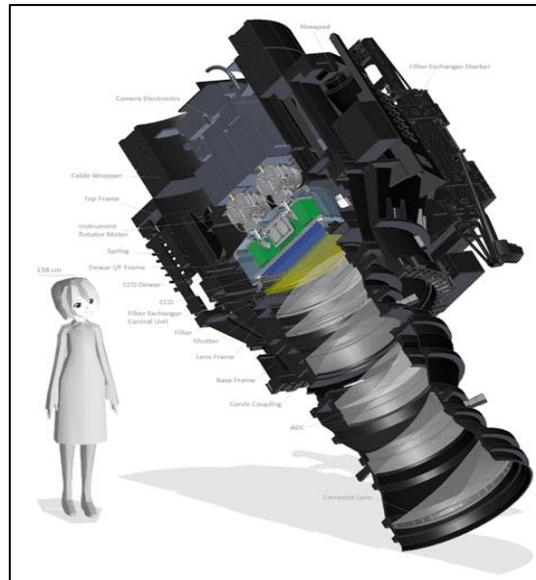


圖 3 : HSC 相機結構示意圖，圖中女生的身高為 158 公分

圖片來源 : Hyper Suprime-Cam

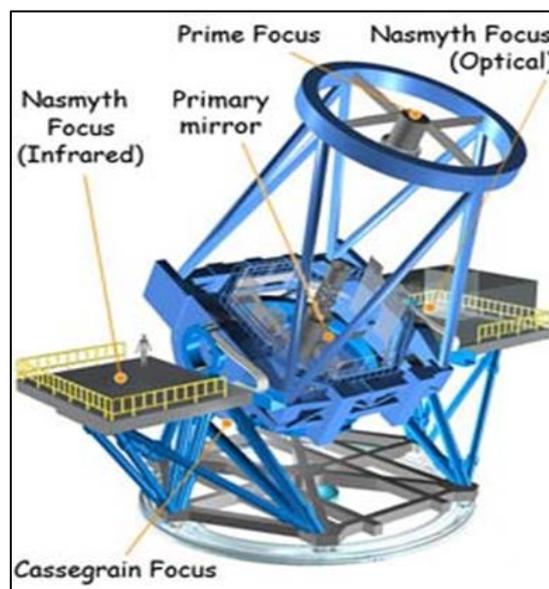


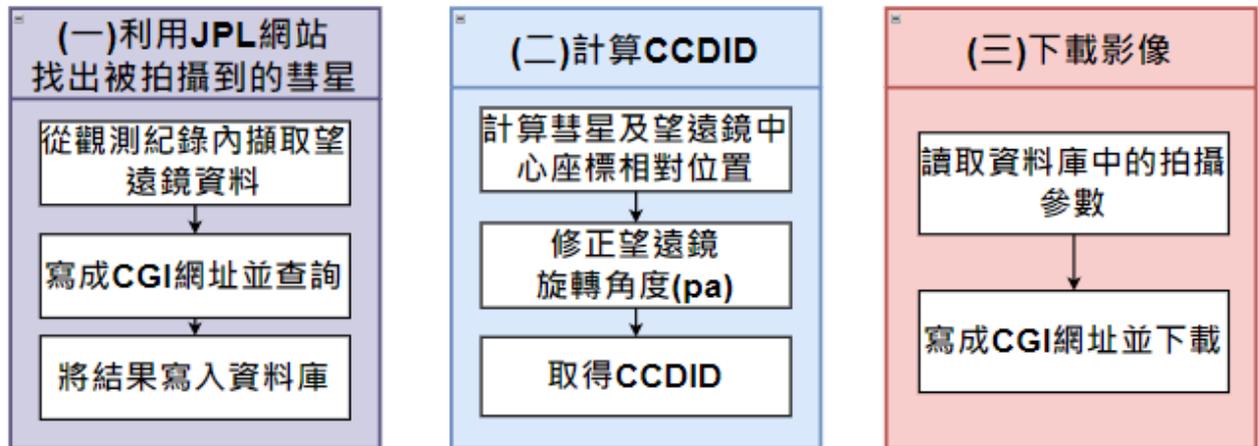
圖 4 : Subaru 望遠鏡結構示意圖，其中 HSC 相機位於圖中的 Prime Focus

圖片來源 : Instrument of the prime focus on the Subaru telescope

<sup>3</sup> <https://academic.oup.com/pasj/article/70/SP1/S5/4494136>

## 肆、研究方法及流程

### Part1：取得觀測紀錄並下載影像



### Part2：影像分析

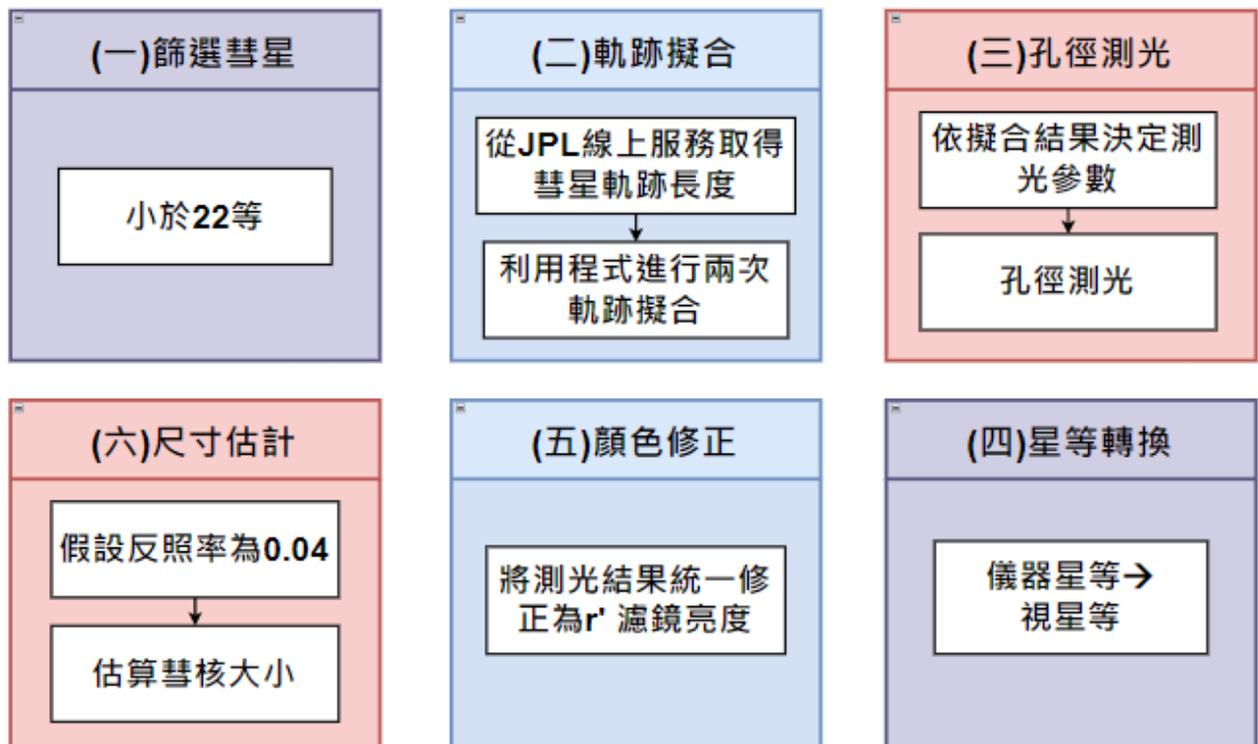


圖 5：本研究流程圖

## 一、從觀測紀錄中篩選並下載所需影像

- (一) 利用 JPL 的線上服務<sup>4</sup>，找出 HSC 觀測中可能被拍攝到的已知彗星：將 HSC 觀測紀錄內的觀測時間、望遠鏡指向座標擷取出來，轉換成 JPL (Jet Propulsion Laboratory) 線上服務的 CGI (Common Gateway Interface) 網址 (範例如下)，至網站上查詢指定的時間與座標附近，是否有已知的彗星剛好被拍攝到，並將得到的彗星座標與亮度寫入自行建立的資料庫。

CGI 連結範例：

[https://ssd-api.jpl.nasa.gov/sb\\_ident.api?sb-kind=c&mpc-code=568&obs-time=2014-07-04\\_07:21:59&mag-required=true&two-pass=true&suppress-first-pass=true&req-elem=false&vmag-lim=25&fov-ra-center=16-10-02&fov-dec-center=+20-01-55&fov-ra-hwidth=0.8&fov-dec-hwidth=0.8](https://ssd-api.jpl.nasa.gov/sb_ident.api?sb-kind=c&mpc-code=568&obs-time=2014-07-04_07:21:59&mag-required=true&two-pass=true&suppress-first-pass=true&req-elem=false&vmag-lim=25&fov-ra-center=16-10-02&fov-dec-center=+20-01-55&fov-ra-hwidth=0.8&fov-dec-hwidth=0.8)(畫底線處為可調整之參數)

- (二) 計算感光元件編號 (CCDID)：利用彗星的預測座標，望遠鏡指向座標，以及拍攝時的像場旋轉角，計算彗星所在的感光元件編號，再分別到 HSC-SSP 及 HSCLA 計畫網站下載該感光元件之影像。
- (三) 下載影像：讀取資料庫中的觀測資訊 (濾鏡、曝光編號、拍攝日期)，整理出我們需要的彗星影像位於 HSC 公開資料的影像連結 (範例如下)，至網路上下載影像。

影像下載連結範例：

[https://\[redacted\]@hscla.mtk.nao.ac.jp/archive/files/1a2016/00990/HSC-I/corr/CORR-0006084-074.fits](https://[redacted]@hscla.mtk.nao.ac.jp/archive/files/1a2016/00990/HSC-I/corr/CORR-0006084-074.fits) (黑底為連線密碼，畫底線處為可調整之參數)

---

<sup>4</sup> <https://www.jpl.nasa.gov/>

## 二、影像分析

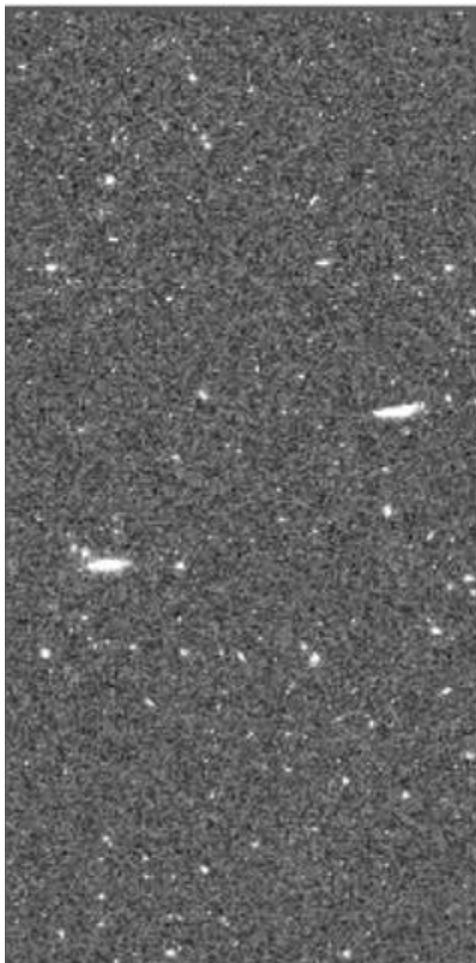


圖 6：117P/Helin-Roman-Alu 1 彗星 r 濾鏡觀測影像

圖片來源：Subaru telescope

- (一) 篩選合適的彗星：為了確保觀測影像有足夠的訊噪比（SNR），根據 HSC 觀測的曝光秒數（30~1200 秒），並參考 Subaru 天文台網站上的 HSC 相機曝光效率資料<sup>5</sup>，選擇預測星等亮於 22 等的彗星進行後續分析，以避免過大的測光誤差。

---

<sup>5</sup> [https://hscq.naoj.hawaii.edu/cgi-bin/HSC\\_ETC/hsc\\_etc.cgi](https://hscq.naoj.hawaii.edu/cgi-bin/HSC_ETC/hsc_etc.cgi)

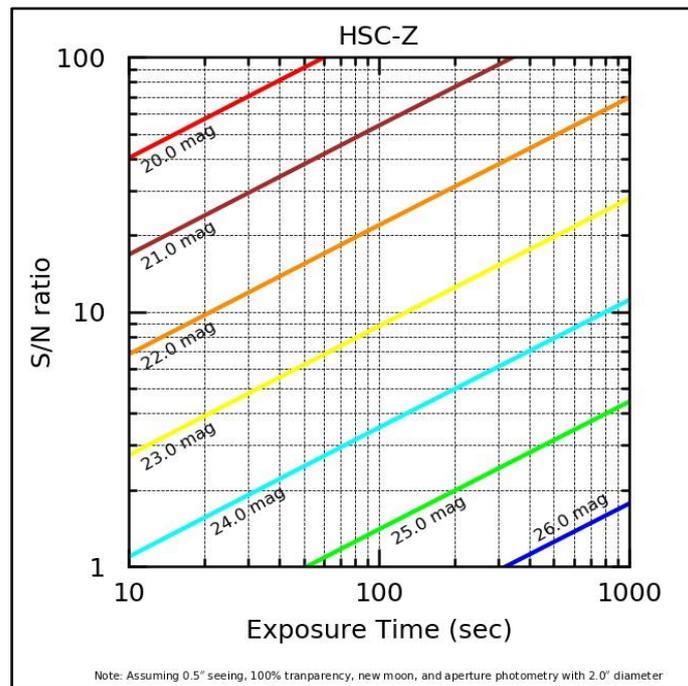


圖 7：HSC 曝光時間估計與訊噪比關係圖

圖片來源：<https://hscq.naoj.hawaii.edu>

(二) 軌跡擬合 (trail fitting)：參考 Vereš et al., 2012 及 Fraser et al., 2016

1. 軌跡長度計算 (程式碼詳見附錄 1-1)：

利用 JPL 的查詢服務，取得彗星在天球投影的移動速度 ( $''/min$ )，乘上曝光時間，再將單位由角秒轉換成像素，計算出曝光時間內彗星的軌跡長度 (以像素為單位)。

2. 軌跡擬合 (程式碼詳見附錄 1-3)：

利用程式進行兩次軌跡擬合，得到彗星中心座標、背景值、旋轉角度、半高全寬 (FWHM)、軌跡長度。

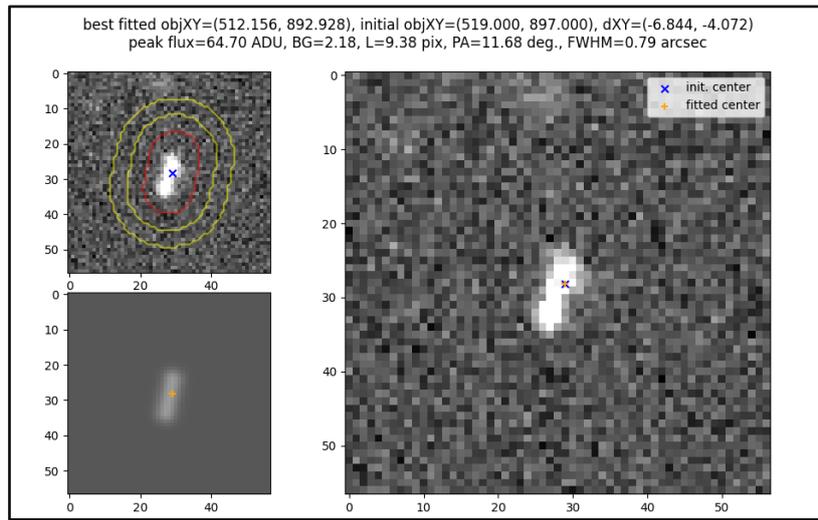


圖 8-1：237P/LINEAR 彗星第一次軌跡擬合結果，左上圖是觀測影像，左下圖是 237P/LINEAR 彗星軌跡擬合模型，右圖是殘差（左上-左下）

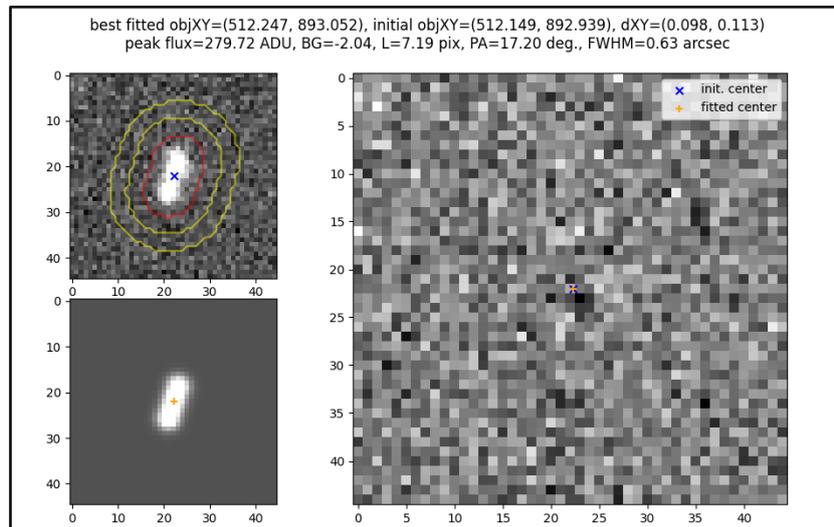


圖 8-2：237P/LINEAR 彗星第二次軌跡擬合結果，左上圖是觀測影像，左下圖是 237P/LINEAR 彗星擬合模型，右圖是殘差（左上-左下）

(一) 孔徑測光 (aperture photometry) :

根據軌跡擬合的結果決定測光孔徑的大小、形狀以及孔徑中心座標，進行孔徑測光。

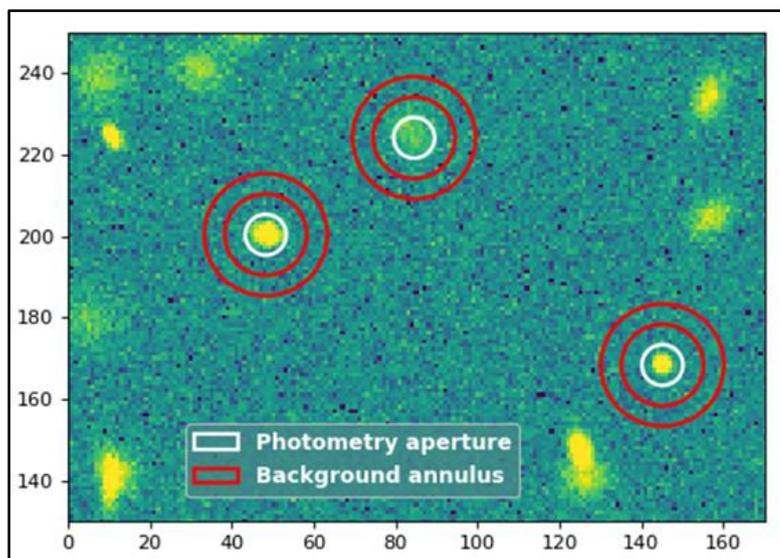


圖 9：孔徑測光示意圖，計算白色圓圈內的總亮度，  
，取兩個紅圈之間的讀數中位數作為背景值

圖片來源：Aperture Photometry (photutils. aperture)

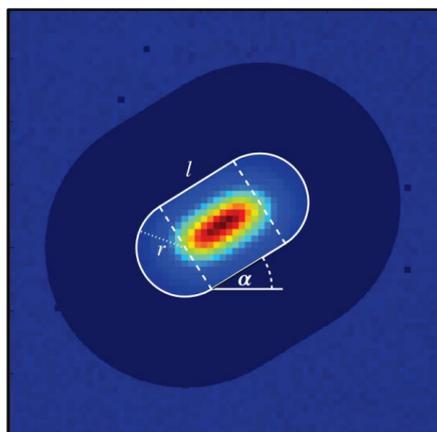


圖 10：帶有軌跡的孔徑測光示意圖，越紅處（中心）亮度越亮，  
越藍處（外側）亮度越暗。（ $l$ ：軌跡長度， $r$ ：半高全寬， $\alpha$ ：軌跡方位角）

圖片來源：Fraser et al., 2016

(二) 星等轉換 (程式碼詳見附錄 1-2) :

將光通量 (flux) 轉為視星等 (m)

$$m = z_p - 2.5 \log (\text{flux} / \text{exptime})$$

( $z_p$  : 零點星等,  $\text{exptime}$  : 曝光時間)

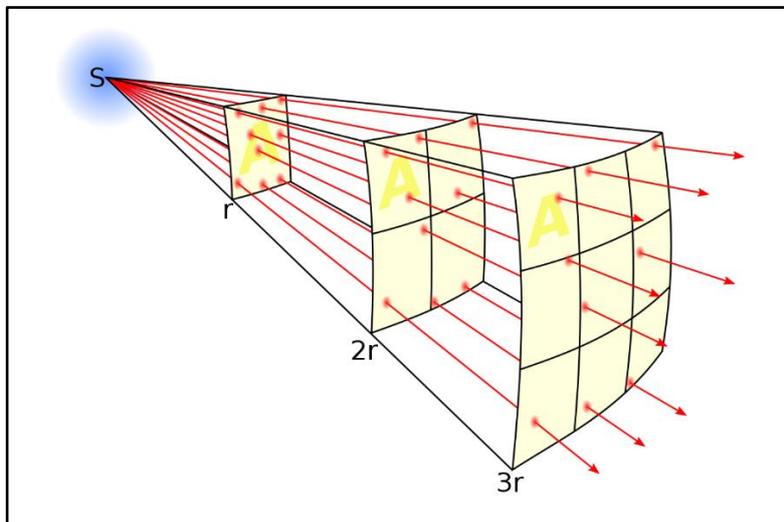


圖 11 : 平方反比定律 (Inverse-square law) 示意圖

資料來源 : 維基百科-平方反比定律

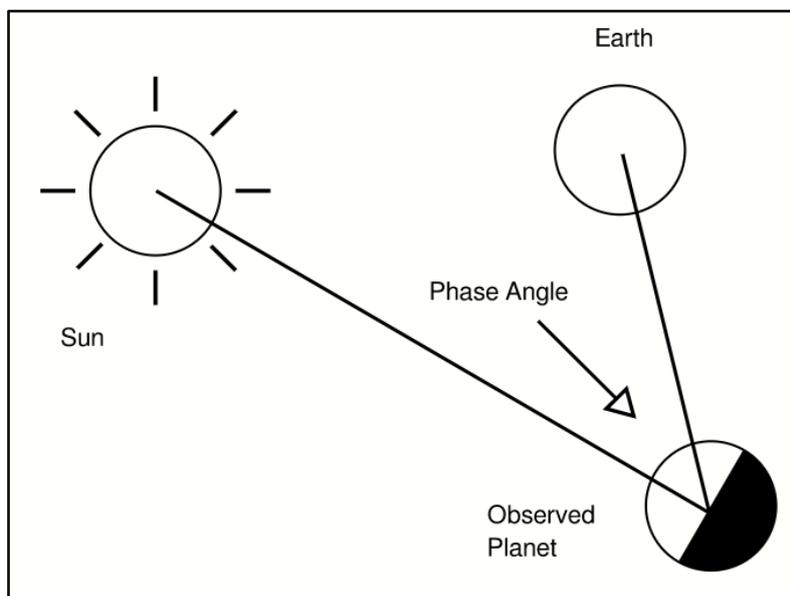


圖 12 : 小天體相位角 (Phase Angle) 示意圖

資料來源 : 維基百科-相位角 (天文學)

(三) 顏色修正：

因每張影像拍攝時所使用的濾鏡未必相同，因此參考 Solontio et al., 2011 所發表的論文，利用上述論文中提出的彗星顏色中位數，將測光結果統一修正為  $r'$  濾鏡的視星等，修正方法如表 1。

表 1：彗星顏色修正方法

filter	g - r	r - i	i - z
Median color	$0.57 \pm 0.05$	$0.22 \pm 0.07$	$0.09 \pm 0.07$

(四) 估算彗核大小：

假設彗星表面反照率 ( $\rho_R$ ) 為 0.04，形狀為正球體，將反照率與修正後視星等代入以下公式<sup>6</sup>。

$$\rho_R a^2 = 2.238 \times 10^{22} r^2 \Delta^2 10^{0.4[m_{\text{sun}} - (m_{\text{nucleus}} - \alpha\beta)]}$$

表 2：公式內符號意義

$\rho_R$	a	r	$\Delta$	m_sun	m_nucleus	$\alpha$	$\beta$
反照率	彗核直徑 (m)	彗日距 (au)	彗地距 (au)	太陽在 $r'$ 濾鏡 下的視星等	彗星在 $r'$ 濾鏡 下的視星等	相位角 ( $^\circ$ )	相位係數 (星等 / $^\circ$ )

<sup>6</sup> G.I. Kokhirova et al., 2021

## 伍、研究結果

### 一、軌跡擬合結果

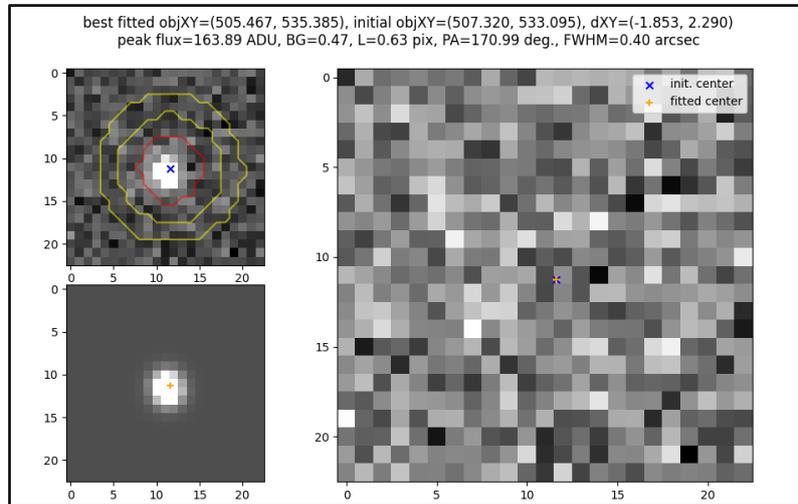


圖 13-1：237P/LINEAR 軌跡擬合結果

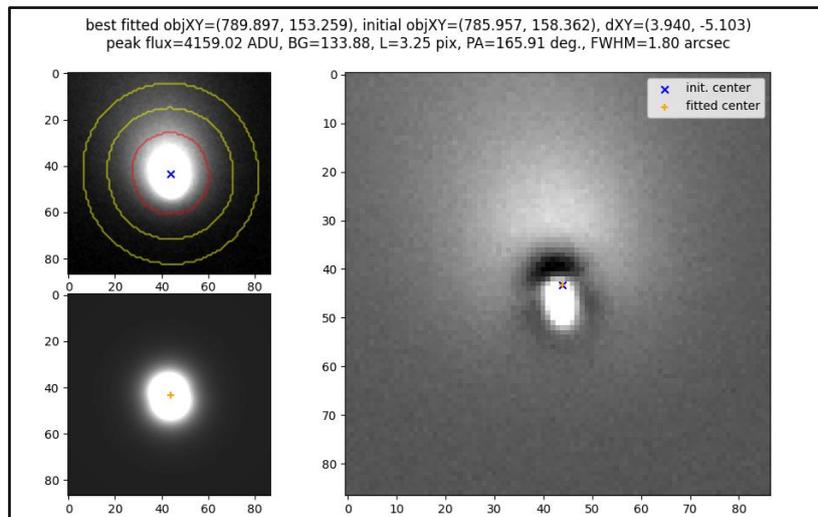


圖 13-2：117P/Helin-Roman-Alu 1 軌跡擬合結果

## 二、彗核比較散佈圖

表 3、彗核估算直徑與參考直徑比較

編號	彗星名稱	參考直徑 (km)	平均估算直徑 (km)	估算直徑上限 (km)	估算直徑下限 (km)	有效影像張數 (張)	標準差
1	17P/Holmes	3.42	3.66	4.26	3.22	4	3.17
編號	彗星名稱	參考直徑 (km)	平均估算直徑 (km)	估算直徑上限 (km)	估算直徑下限 (km)	有效影像張數 (張)	標準差
2	36P/Whipple	4.64	4.70	6.00	4.01	4	4.31
3	59P/Kearns-Kwee	1.58	2.78	3.28	2.32	5	2.38
4	61P/Shajn-Schaldach	1.28	3.71	4.35	1.46	6	3.35
5	100P/Hartley 1	2.6	1.78	—	—	1	—
6	134P/Kowal-Vavrova	2.8	3.08	4.49	2.41	4	2.83
7	139P/Vaisala-Oterma	5.2	2.74	3.17	2.41	13	2.64
8	148P/Anderson-LINEAR	4.2	2.81	3.33	2.20	3	2.09
9	237P/LINEAR	2.06	3.69	3.94	3.17	9	3.42
10	P/2010 JC81 (WISE)	15.7	12.28	12.77	12.06	3	10.08

註：上表的彗星參考直徑是參考 Michel Festou et al., 2005、Bauer et al., 2015，“—”表示只有一筆資料，無標準差與直徑上下限。

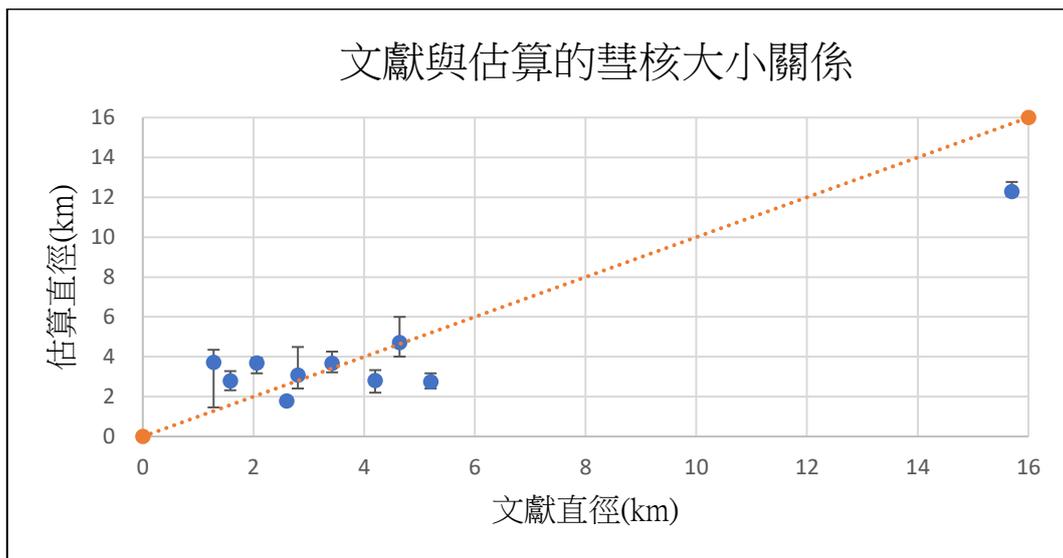


圖 14：彗核比較散佈圖

### 三、 分析結果表格

本研究經影像分析及軌跡擬合之後，進行估算的  $r'$  濾鏡下的絕對星等及估算的彗星直徑如下表：

表 4、分析結果表格

編號	彗星名稱	絕對星等( $r'$ 濾鏡)	估算直徑(km)	參考直徑(km)	平均直徑(km)
1	17P/Holmes	16.406	3.22	3.42	3.66
		15.799	4.26		
		16.165	3.60		
		16.226	3.50		
2	36P/Whipple	15.053	6.00	4.64	4.70
		15.924	4.02		
		15.928	4.01		
		15.316	5.32		
3	59P/Kearns-Kwee	17.122	2.32	1.58	2.78
		16.970	2.48		
		17.010	2.44		
		16.704	2.81		
		16.367	3.28		
4	61P/Shajn-Schaldach	15.750	4.35	1.28	3.71
		15.862	4.14		
		16.711	2.80		
		16.261	3.44		
		16.487	3.10		
		15.947	3.98		
5	91P/Russell 3	18.125	1.46	2.6	1.46
		18.107	1.47		
6	100P/Hartley 1	17.687	1.78	2.6	1.78

7	134P/Kowal-Vavrova	16.664	2.86	2.8	3.08
		17.039	2.41		
		16.770	2.72		
		15.685	4.49		
8	139P/Vaisala-Oterma	16.889	2.58	5.2	2.74
		16.904	2.56		
		17.003	2.44		
		16.896	2.57		
		17.036	2.41		
		16.683	2.83		
		16.631	2.90		
		16.442	3.17		
8	139P/Vaisala-Oterma	16.765	2.73	5.2	2.74
		16.633	2.90		
		16.647	2.88		
		16.619	2.92		
		16.733	2.77		
9	148P/Anderson- LINEAR	17.186	2.25	4.2	2.81
		16.336	3.33		
		17.229	2.20		
10	220P/McNaught	17.874	1.64	n.a.	1.47
		18.185	1.42		
		18.690	1.12		
		17.674	1.80		
11	237P/LINEAR	16.226	3.50	2.06	3.69
		16.278	3.42		
		16.333	3.33		
		16.440	3.17		
		16.016	3.85		

		16.042	3.81		
		15.968	3.94		
		16.093	3.72		
		16.003	3.88		
12	317P/WISE	18.555	1.20	n.a.	1.09
		18.737	1.10		
		18.724	1.11		
12	317P/WISE	18.838	1.05	n.a.	1.09
		18.848	1.05		
13	327P/Van Ness	16.325	3.34	n.a.	2.13
		17.511	1.94		
		17.759	1.73		
		17.907	1.61		
14	337P/WISE	18.538	1.21	n.a.	1.00
		19.325	0.84		
15	364P/PANSTARRS	14.634	7.28	n.a.	7.28
16	382P/Larson	15.289	5.38	n.a.	4.43
		15.931	4.01		
		15.926	4.02		
		15.845	4.17		
		15.692	4.47		
		15.848	4.16		
		15.703	4.45		
		15.578	4.71		
		15.631	4.60		
		15.782	4.29		
		15.498	4.89		
		15.765	4.32		
		15.783	4.29		

16	382P/Larson	14.947	6.30	n.a.	4.43
		15.574	4.72		
		15.931	4.01		
		15.801	4.25		
		15.874	4.11		
		15.713	4.43		
		15.914	4.04		
		16.053	3.79		
		15.855	4.15		
		16.044	3.80		
		16.219	3.51		
		16.070	3.76		
17	P/2010 JC81 (WISE)	13.539	12.06	15.7	12.28
		13.413	12.77		
		13.526	12.13		
18	P/2018 L1 (PANSTARRS)	18.150	1.44	n.a.	3.45
		15.719	4.42		
		19.690	0.71		
		17.358	2.08		

註：上表的彗星參考直徑是參考 Lamy et al., 2004、Bauer et al., 2015，"n.a."表示查無數據。

## 陸、討論

### 一、影像分析

(一) 軌跡擬合：彗星的預測座標及軌道有時不夠精確，因彗星表面的噴發活動會影響其軌道，查詢到的軌道根數 (Orbital elements) 也不一定完全準確，因此我們要進行軌跡擬合，得到更精確的彗星座標及其各項資訊。

## 二、尺寸估計

(一) 公式：

$$\rho_R a^2 = 2.238 \times 10^{22} r^2 \Delta^2 10^{0.4[m_{\text{sun}} - (m_{\text{nucleus}} - \alpha\beta)]}$$

左式來自彗核的有效反光面積（反照率 $\times \pi \times$ 半徑<sup>2</sup>），如果觀測到的彗星亮度全部來自於彗核反射的太陽光，則左式將會正比於觀測到的彗星絕對星等。

若省略常數項不看， $\rho_R a^2$  正比於  $10^{-0.4H}$ ，H 為彗星的絕對星等。

公式推導如下：

$$\begin{aligned} & 10^{22} r^2 \Delta^2 10^{0.4[m_{\text{sun}} - (m_{\text{nucleus}} - \alpha\beta)]} \\ &= 10^{0.4\{m_{\text{sun}} - [m_{\text{nucleus}} - 5 \log(r\Delta) - \alpha\beta]\}} \\ &= 10^{0.4m_{\text{sun}}} \times 10^{-0.4[m_{\text{nucleus}} - 5 \log(r\Delta) - \alpha\beta]} \end{aligned}$$

(二) 反照率：若反照率被低估，彗核大小的估計結果會小於實際值，反之，若反照率被高估，彗核大小的估計結果會大於實際值。彗星表面反照率的高低，可代表彗星的基本特性，或彗核表面活動的程度大小。就統計上而言，彗星反照率的平均值約為 0.04，而目前已知反照率最大的彗星為海爾波普彗星（C/1995 O1 Hale-Bopp），反照率為 0.09。

(三) 估計結果：本研究估算出的彗核直徑大部分大於自文獻中查詢到的直徑，推測其可能是因為部分我們所採用的彗星仍有些微表面活動，很難只測量到彗核的亮度，因此估算結果多半只是上限（upper limit），也就是說，彗核尺寸的估計結果都會比實際上的大一些。

## 三、誤差來源

(一) 形狀：彗核的實際形狀並非正球體，再考慮到彗核的自轉，我們在不同時間觀測到的彗星亮度並不能正確反映彗核的實際大小，而是代表著觀測當下彗核反光的截面積，因此我們將同一顆彗星的所有測量結果平均起來作為彗核的平均大小，而測量結果的標準差則代表了彗核形狀產生的測量誤差。

以 36P/Whipple 為例，我們估算出的直徑介於 4.16 到 6.32 km 之間，考慮到不同時間觀測到的不同自轉相位，有可能 6.32 km 為 36P/Whipple 的長軸，4.16 km 為 36P/Whipple 的短軸，根據 Lamy et al.

(2004) 彗星的平均長短軸比為 1:1.5，36P/Whipple 長短軸比為 1:1.51，在合理範圍內，因此形狀不能算是估算直徑與參考直徑的誤差來源之一。

(二) 表面顏色：引用 Solontoi et al. (2012) 所發表的彗核顏色來換算  $r'$  濾鏡視星等，這篇論文共用了 26 顆彗星來進行表面顏色的計算，但其平均顏色不能代表所有彗星的表面顏色。

(三) 測光誤差：我們分析的每張影像都存在個別的測光誤差，為了確保測量的可靠度，我們只採用誤差小於 0.5 星等的測量結果來換算彗核大小，0.5 星等的誤差相當於訊噪比 (SNR) = 2。

#### 四、測量彗星大小的不同方法

(一) 測量彗星的反光與發光能力：藉由觀測到的彗星絕對星等，推算彗核的有效反光面積，再除去反照率的影響，即可得到彗星的大小。

(二) 發射太空船至彗星附近直接測量：如 1983 年三月，歐洲太空總署發射 Giotto 太空船至哈雷彗星 (1P/Halley) 附近，回傳哈雷彗星的影像，分析後得知哈雷彗星的彗核是一個長 16 公里、另兩軸寬 8 公里的橢球體，這是最直接的測量方法。

(三) 利用掩星事件：當彗星掩過恆星時，恆星的亮度瞬間會變暗，只要彗星不是因太小或太遠而發生繞射效應，都可以造成明顯的掩星現象，與彗星距離無關。隨著地球運動，恆星的陰影也會移動，藉由地球上各地觀測站測量到的掩星時間差計算出陰影的運行速度，並推估彗星的大小。

## 柒、結論

- 一、 在我們所使用的 99 筆資料中，短週期彗星 (P) 共有 18 顆，彗星參考直徑介於 1.28~5.20 公里之間，觀測時彗日距介於 2.794~9.627 au 之間，彗地距介於 1.998~8.717 au 之間，修正後的  $r'$  濾鏡視星等介於 13.413 等~19.690 等 之間。
- 二、 在查詢 Lamy et al., 2004 與 Bauer et al., 2015 得知彗星實際大小後，發現我們所計算的 17P 和 36P 結果與實際最為接近，但計算數據都略大於實際數據。
- 三、 在得知彗核大小後，可進行後續分析，並了解太陽系起源。

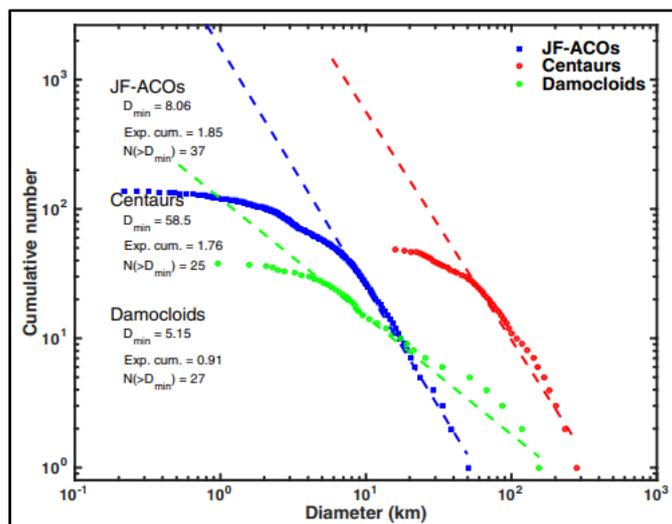


圖 15：彗星大小及彗星來源關係數量關係圖

資料來源：J. Licandro et al., 2016

## 捌、未來展望

- 一、 未來能夠對無活動彗星表面顏色進行研究。
- 二、 期盼未來能夠對木星及長週期彗星的尺寸及可能演化進行研究。
- 三、 若 Subaru 有釋出新的觀測影像，或能再尋獲更多長週期彗星的尺寸及表面顏色資訊。

## 玖、参考文献

1. Horizon System
2. Michael Solonoi , Željko Ivezić, Mario Jurić, Andrew C. Becker, Lynne Jones et al. (2012). *Ensemble properties of comets in the Sloan Digital Sky Survey*.
3. Tsuyoshi TERAJ, Fumi YOSHIDA, Keiji OHTSUKI, Patryk Sofia LYKAWKA, Naruhisa TAKATO et al. (2017). *Multi-band photometry of trans-Neptunian objects in the Subaru Hyper Suprime-Cam survey*.
4. Haruka SAKUGAWA, Tsuyoshi TERAJ, Keiji OHTSUKI, Fumi YOSHIDA, Naruhisa TAKATO et al. (2018). *Colors of Centaurs observed by the Subaru/Hyper Suprime-Cam and implications for their origin*.
5. Wesley Fraser, Mike Alexandersen, Megan E. Schwamb, Michaël Marsset, Rosemary E. Pike et al. (2016). *TRIPPy: TRAILED IMAGE PHOTOMETRY IN PYTHON*.
6. Hiroaki Aihara, Yusra AlSayyad, Makoto Ando, Robert Armstrong, James Bosch et al. (2022). *Third data release of the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program*.
7. James Bosch, Robert Armstrong, Steven Bickerton, Hisanori Furusawa, Hiroyuki Ikeda et al. (2017). *The Hyper Suprime-Cam software pipeline*.
8. J. Licandro, V. Alí-Lagoa, G. Tancredi, Y. Fernández. (2016). *Size and albedo distributions of asteroids in cometary orbits using WISE data*.
9. P. L. Lamy, I. Toth, Y. R. Fernández, H. A. Weaver et al. (2004). *Comets II , The sizes, shapes, albedos, and colors of cometary nuclei*. (pp. 223 – 264)
10. Masayuki Tanaka, Hiroyuki Ikeda, Kazumi Murata, Satoshi Takita, Sogo Mineo et al. (2021). *Hyper Suprime-Cam Legacy Archive*.

## 拾、附錄

### 一、Python 程式碼

#### (一)軌跡長度計算

```
sei_result = sei.basic_JPL('237P',[datetime],'568')[1][0]
dRA, dDec = sei_result[3:5] #每分鐘移動多少角秒
d_earth, d_sun, phase= sei_result[7:10]
v = (dRA**2+dDec**2)**0.5
v *= exptime/60 #曝光時間修正
v /= 0.168 #pscale修正 一個像素為0.168角秒
```

圖 16：軌跡長度計算程式碼截圖

#### (二)星等轉換

```
if type(photo_result) == list and photo_result[0] > 0:
    mag = zp-2.5*np.log10(photo_result[0]/exptime)
    H = mag - 5*np.log10(d_earth*d_sun) - 0.04*phase
```

圖 17：星等轉換程式碼截圖

#### (三)兩次軌跡擬合

```
#第一次fitting
TF0 = tfu.Trail_Fit(imgarr, [519,897], pscale=0.168, boxsize=30)
print(TF0.fit_trail('G', 'DE', L = 7.0))
print(TF0.apphot([1.5,2.5,3.5], 1.0, FWHM=None, SNR_threshold=3.))
#TF0.mkplot(title_str='', output_basename='', ap=True, mp=False)

#第二次fitting，用第一次fitting的座標結果-TF0.XYfit
TF = tfu.Trail_Fit(imgarr, TF0.XYfit, pscale=0.168, boxsize=30)
print(TF.fit_trail('G', 'DE', L = 7.0))
print(TF.apphot([1.5,2.5,3.5], 1.0, FWHM=None, SNR_threshold=3.))
TF.mkplot(title_str='', output_basename='', ap=True, mp=False)
```

圖 18：兩次軌跡擬合程式碼截圖

### 二、觀測紀錄

彗星名稱	觀測時間	彗地 距(au)	彗日 距(au)	相位 角(°)	濾鏡	視星 等	星等 誤差	絕對 星等	絕對星 等(r'濾 鏡)	估算 直徑 (km)
------	------	-------------	-------------	------------	----	---------	----------	----------	--------------------	------------------

17P/Holmes	2016-01-06 14:07:14	3.416	4.290	6.8	HSC-R	22.505	0.052	16.406	16.406	3.22
	2016-01-06 14:39:51	3.416	4.290	6.7	HSC-R	21.898	0.043	15.799	15.799	4.26
	2016-01-06 15:13:21	3.415	4.290	6.7	HSC-R	22.264	0.052	16.165	16.165	3.60
17P/Holmes	2016-01-06 15:45:50	3.415	4.290	6.7	HSC-R	22.324	0.049	16.226	16.226	3.50
36P/Whipple	2016-03-17 10:59:56	4.364	5.244	5.6	HSC-R	22.073	0.111	15.053	15.053	6.00
	2016-03-17 13:52:52	4.363	5.244	5.5	HSC-R	22.943	0.107	15.924	15.924	4.02
	2016-03-17 14:25:35	4.363	5.244	5.5	HSC-R	22.947	0.067	15.928	15.928	4.01
	2016-03-17 15:04:35	4.363	5.244	5.5	HSC-R	22.334	0.105	15.316	15.316	5.32
59P/Kearns-Kwee	2017-06-27 12:42:05	3.499	3.837	15.0	HSC-I2	23.143	0.058	16.902	17.122	2.32
	2017-06-27 13:36:01	3.498	3.837	15.0	HSC-I2	22.991	0.066	16.750	16.970	2.48
	2017-06-27 13:39:52	3.498	3.837	15.0	HSC-I2	23.031	0.069	16.790	17.010	2.44
	2017-09-19 09:00:22	2.482	3.472	3.3	HSC-Z	21.205	0.064	16.394	16.704	2.81
	2017-09-19 09:01:23	2.482	3.472	3.3	HSC-Z	20.868	0.028	16.057	16.367	3.28
61P/Shajn-Schaldach	2018-03-18 11:58:40	3.899	4.894	0.6	HSC-I2	21.958	0.064	15.530	15.750	4.35
	2018-04-24 08:53:39	4.138	4.957	7.4	HSC-Z	22.408	0.212	15.552	15.862	4.14

	2018-04-24 08:54:40	4.138	4.957	7.4	HSC-Z	23.257	0.114	16.401	16.711	2.80
	2018-04-24 09:51:53	4.139	4.957	7.4	HSC-Z	22.807	0.476	15.951	16.261	3.44
	2018-04-24 09:55:45	4.139	4.957	7.4	HSC-Z	23.033	0.151	16.177	16.487	3.10
	2018-04-24 10:58:42	4.139	4.957	7.4	HSC-Z	22.493	0.199	15.637	15.947	3.98
91P/Russell 3	2015-11-07 05:37:46	3.901	4.856	3.5	HSC-R	24.653	0.259	18.125	18.125	1.46
	2015-11-07 10:44:26	3.902	4.856	3.6	HSC-R	24.637	0.287	18.107	18.107	1.47
100P/Hartley 1	2018-11-02 09:36:57	3.778	4.726	4.0	HSC-G	24.675	0.148	18.257	17.687	1.78
134P/Kowal- Vavrova	2017-09-17 07:59:51	5.270	5.758	9.3	HSC-I2	24.226	0.221	16.444	16.664	2.86
	2017-09-17 08:57:46	5.270	5.758	9.3	HSC-I2	24.601	0.189	16.819	17.039	2.41
134P/Kowal- Vavrova	2016-07-03 13:33:09	5.068	5.862	6.7	HSC-R	24.401	0.116	16.770	16.770	2.72
	2016-07-29 12:27:24	6.420	7.418	1.0	HSC-Z	23.804	0.172	15.375	15.685	4.49
139P/Vaisala- Oterma	2020-01-01 12:09:18	4.037	4.549	11.2	HSC-I2	23.438	0.080	16.669	16.889	2.58
	2020-01-02 13:09:44	4.024	4.551	11.1	HSC- R2	23.663	0.101	16.904	16.904	2.56
139P/Vaisala- Oterma	2020-01-02 13:10:44	4.024	4.551	11.1	HSC- R2	23.763	0.047	17.003	17.003	2.44
	2020-01-03 12:02:04	4.013	4.553	11.0	HSC-G	24.216	0.078	17.466	16.896	2.57

	2020-01-19 10:42:53	3.840	4.584	8.8	HSC-Z	23.306	0.241	16.726	17.036	2.41
	2020-01-19 10:43:58	3.840	4.584	8.8	HSC-Z	22.953	0.116	16.373	16.683	2.83
	2020-01-19 11:25:00	3.840	4.584	8.8	HSC-Z	22.901	0.097	16.321	16.631	2.90
	2020-01-20 10:09:39	3.831	4.586	8.6	HSC- R2	23.012	0.168	16.442	16.442	3.17
	2020-01-20 10:10:53	3.831	4.586	8.6	HSC- R2	23.335	0.061	16.765	16.765	2.73
	2020-01-20 10:49:16	3.831	4.586	8.6	HSC- R2	23.202	0.052	16.633	16.633	2.90
	2020-01-22 11:00:57	3.813	4.590	8.3	HSC-I2	22.973	0.039	16.427	16.647	2.88
	2020-01-26 09:23:32	3.781	4.598	7.6	HSC-I2	22.901	0.064	16.399	16.619	2.92
	2020-01-30 12:13:51	3.750	4.606	6.7	HSC-Z	22.879	0.064	16.423	16.733	2.77
148P/Anderson- LINEAR	2016-03-17 10:59:56	2.015	2.913	10.2	HSC-R	21.437	0.054	17.186	17.186	2.25
	2016-03-17 13:52:52	2.015	2.913	10.2	HSC-R	20.585	0.019	16.336	16.336	3.33
	2016-03-17 15:04:35	2.015	2.914	10.1	HSC-R	21.479	0.040	17.229	17.229	2.20
220P/McNaught	2019-02-05 12:56:39	3.583	4.304	9.8	HSC-I2	23.988	0.181	17.654	17.874	1.64
	2019-02-05 12:57:39	3.583	4.303	9.8	HSC-I2	24.299	0.092	17.965	18.185	1.42
	2019-02-05 14:07:34	3.583	4.303	9.8	HSC-I2	24.803	0.126	18.470	18.690	1.12

	2019-03-03 12:58:38	3.292	4.241	4.4	HSC-Z	23.263	0.129	17.364	17.674	1.80
237P/LINEAR	2015-01-16 08:27:44	3.307	4.210	6.0	HSC-Z	21.874	0.067	15.916	16.226	3.50
	2015-01-16 08:28:50	3.307	4.210	6.0	HSC-Z	21.926	0.050	15.968	16.278	3.42
	2015-01-16 08:53:12	3.307	4.210	6.0	HSC-Z	21.981	0.058	16.023	16.333	3.33
	2015-01-16 08:57:07	3.307	4.210	6.0	HSC-Z	22.087	0.059	16.130	16.440	3.17
	2015-01-16 10:11:55	3.306	4.210	6.0	HSC-Z	21.663	0.038	15.706	16.016	3.85
	2015-01-16 10:15:49	3.306	4.210	6.0	HSC-Z	21.689	0.037	15.732	16.042	3.81
	2015-01-16 10:35:29	3.306	4.210	6.0	HSC-Z	21.615	0.030	15.658	15.968	3.94
	237P/LINEAR	2015-01-21 09:23:32	3.268	4.195	5.1	HSC-I	21.763	0.027	15.873	16.093
2015-01-21 09:46:54		3.268	4.195	5.1	HSC-I	21.672	0.025	15.783	16.003	3.88
317P/WISE	2019-12-31 12:41:01	2.028	2.806	14.5	HSC-Z	22.599	0.097	18.245	18.555	1.20
	2020-01-02 10:50:47	1.998	2.794	14.0	HSC- R2	23.032	0.070	18.737	18.737	1.10
	2020-01-02 10:51:47	1.998	2.794	14.0	HSC- R2	23.019	0.044	18.724	18.724	1.11
	2020-01-02 10:54:48	1.998	2.794	14.0	HSC- R2	23.132	0.068	18.838	18.838	1.05

	2020-01-02 10:55:50	1.998	2.794	14.0	HSC- R2	23.142	0.035	18.848	18.848	1.05
327P/Van Ness	2019-03-08 08:40:27	4.585	5.562	2.0	HSC- R2	23.437	0.188	16.325	16.325	3.34
	2019-03-08 09:28:51	4.585	5.562	2.0	HSC- R2	24.622	0.195	17.511	17.511	1.94
	2019-03-08 09:43:57	4.584	5.562	2.0	HSC- R2	24.870	0.196	17.759	17.759	1.73
	2019-03-08 10:26:37	4.584	5.562	1.9	HSC- R2	25.018	0.177	17.907	17.907	1.61
337P/WISE	2018-01-10 06:03:23	3.652	4.000	13.8	HSC-G	25.483	0.247	19.108	18.538	1.21
	2018-01-10 07:06:49	3.653	4.001	13.8	HSC-G	26.272	0.199	19.895	19.325	0.84
364P/PANSTARRS	2016-01-05 08:36:50	4.111	4.955	6.4	HSC-R	21.434	0.150	14.634	14.634	7.28
382P/Larson	2015-03-16 12:01:03	6.730	7.722	0.6	HSC-Z	23.579	0.204	14.979	15.289	5.38
	2015-03-16 12:29:25	6.730	7.722	0.5	HSC-Z	24.221	0.196	15.621	15.931	4.01
	2015-03-16 12:57:13	6.730	7.722	0.5	HSC-Z	24.216	0.216	15.616	15.926	4.02
	2015-03-18 11:25:50	6.727	7.722	0.3	HSC-R	24.433	0.118	15.845	15.845	4.17
	2015-03-18 11:28:55	6.727	7.722	0.3	HSC-R	24.281	0.251	15.692	15.692	4.47
	2015-03-18 11:30:06	6.727	7.722	0.3	HSC-R	24.437	0.118	15.848	15.848	4.16

382P/Larson	2015-03-18 12:16:13	6.727	7.722	0.3	HSC-R	24.292	0.113	15.703	15.703	4.45
	2015-03-18 13:37:45	6.727	7.722	0.3	HSC-R	24.166	0.103	15.578	15.578	4.71
	2015-03-18 13:47:02	6.727	7.722	0.3	HSC-R	24.219	0.128	15.631	15.631	4.60
	2015-03-20 10:06:32	6.726	7.722	0.0	HSC-I	24.141	0.202	15.562	15.782	4.29
	2015-03-20 10:11:31	6.726	7.722	0.0	HSC-I	23.857	0.218	15.278	15.498	4.89
	2015-03-20 10:12:34	6.726	7.722	0.0	HSC-I	24.124	0.097	15.545	15.765	4.32
	2015-03-20 11:09:37	6.726	7.722	0.1	HSC-I	24.143	0.138	15.563	15.783	4.29
	2015-03-20 11:41:56	6.726	7.722	0.1	HSC-I	23.306	0.083	14.727	14.947	6.30
	2015-03-20 12:57:25	6.726	7.722	0.1	HSC-I	23.934	0.094	15.354	15.574	4.72
	2015-03-22 12:20:50	6.726	7.722	0.3	HSC-I	24.300	0.168	15.711	15.931	4.01
	2015-03-22 12:28:44	6.726	7.722	0.3	HSC-I	24.170	0.153	15.581	15.801	4.25
	2015-03-25 10:56:27	6.728	7.721	0.7	HSC-G	25.051	0.229	16.444	15.874	4.11
	2015-03-25 10:57:36	6.728	7.721	0.7	HSC-G	24.889	0.147	16.283	15.713	4.43
	2015-03-25 11:43:15	6.728	7.721	0.7	HSC-G	25.091	0.151	16.484	15.914	4.04

382P/Larson	2015-03-25 12:20:49	6.728	7.721	0.7	HSC-G	25.230	0.180	16.623	16.053	3.79
	2015-03-25 12:23:53	6.728	7.721	0.7	HSC-G	25.032	0.132	16.425	15.855	4.15
	2015-03-25 13:10:17	6.728	7.721	0.7	HSC-G	25.221	0.161	16.614	16.044	3.80
	2015-03-30 06:24:44	6.738	7.721	1.4	HSC-R	24.855	0.260	16.219	16.219	3.51
	2015-03-30 06:38:32	6.738	7.721	1.4	HSC-R	24.707	0.243	16.070	16.070	3.76
P/2010 JC81 (WISE)	2015-03-17 12:29:56	8.717	9.626	2.5	HSC-R	23.259	0.037	13.539	13.539	12.06
	2015-03-17 13:50:51	8.717	9.627	2.5	HSC-R	23.133	0.053	13.413	13.413	12.77
	2015-03-17 15:13:57	8.717	9.627	2.5	HSC-R	23.246	0.047	13.526	13.526	12.13
P/2018 L1 (PANSTARRS)	2017-01-21 09:59:58	3.585	4.465	6.3	HSC-Z	24.114	0.264	17.840	18.150	1.44
	2017-01-21 14:14:50	3.555	4.456	5.7	HSC-Z	21.637	0.040	15.409	15.719	4.42
	2017-01-23 10:17:13	3.554	4.456	5.7	HSC- R2	25.916	0.392	19.690	19.690	0.71
	2017-01-23 13:50:46	3.495	4.434	4.3	HSC-I2	23.263	0.218	17.138	17.358	2.08

## 【評語】 160013

本作品利用速霸陸望遠鏡的數據，分析已知短週期彗星在離太陽有相當距離時的光度，並推論其彗核大小。作者展現了很好的數據處理能力，有相當的潛能繼續發展。建議作者可以更進一步完整地討論其結果與文獻中結果差異的原因，並思考這些彗核大小對於彗星研究，甚或太陽系形成過程的了解有何影響。