

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 地球與行星科學科

團隊合作獎

051903

以校園望遠鏡尋找 M39 星團的系外行星與變星

學校名稱：國立金門高級中學

作者： 高二 蔡侑岑 高二 翁可盼	指導老師： 李育賢 許戎霆
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：凌星法、光變現象、軌道週期

壹、摘要

本研究以尋找系外行星作為目標，使用校園望遠鏡對 M39 星團進行觀測，並利用其中 60 顆星體的觀測數據中星體儀器星等的變化，透過離散傅立葉轉換計算其週期強度，繪製各星體的週期相位圖。藉由判斷週期光變曲線的形狀確認是否為系外行星又或是其他變星的光變特徵，並進一步與資料進行比對。本研究從選定的 60 顆中目標中發現，1 顆疑似為 Lava Worlds 類型的潛在系外行星，同時觀測到一顆天琴座 RR 型潛在變星及未知類型的潛在變星，而我們也在目標星之中發現與 Sarah 論文所得到的分析結果不同，並針對其情形進行研究。透過觀察與討論，探討所發現的潛在系外行星以及各潛在變星推測根據。

貳、研究動機

對於外太空抱持著興趣的我們，在高中時期參與了系外行星監控觀測計畫 (ExoClock)，加入尋找新地球的一分子。研究其計畫中系外行星的相關資料，以及熟悉了學校望遠鏡，我們開始思考自行發現系外行星的可能性。與老師討論後，我們挑選了在適當季節能在晚間上半夜位於頭頂上方觀測的目標星團，透過拍攝星體及分析星等，並利用現有的科學知識分辨觀測結果的正確性，從研究過程中深度了解變星等知識，希望能自行分析觀測數據尋找未知的系外行星。

參、研究目的

1. 利用點星資料的光變曲線尋找星團中的變星
2. 從變星光度變化分析其亮度是否有被系外行星所影響
3. 以實驗資料辨別系外行星與恆星變星的可能
4. 從觀測資料計算星團年齡並了解星團的性質

肆、研究設備及器材

一、本校望遠鏡設備

主鏡	感光元件(CCD)	本校圓頂望遠鏡座標
Celestron EdgeHD 14 口徑：14 吋(356mm) 焦距：3910mm 焦比：F/10	SBIG STF-8300 成像/像素陣列:3326×2504 像素 總像素:830 萬像素 傳感器尺寸:17.96 毫米×13.52 毫米	Longitude: 118.1850°E Latitude: 24.269°

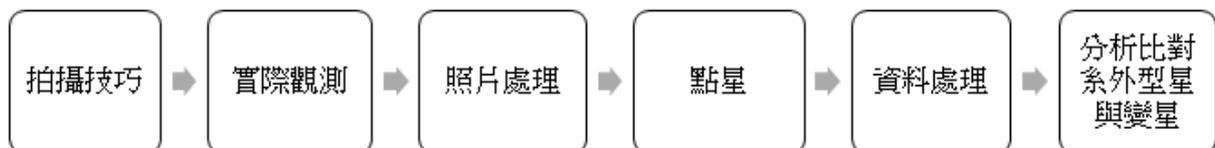


圖(一)、校園望遠鏡觀測時監視器畫面

二、軟體應用

1. [Astronomy tools](#)：查詢校園望遠鏡觀測星團的視野。
2. [AladinLite](#): 確認星團位置及範圍，並尋找星團中所要參考星的星等及各參數值。
3. [Maxlm DL 5](#)：使用程式對觀測資料進行預處理(偏壓、平場、暗電流等校正)、疊圖並點星，獲取各星點的儀器星等數據以利分析。
4. [VStar aavso](#)：將所得數據上傳，繪製星體的週期強度圖以及星體亮度與時間的關係圖，以利探討其週期關係。

伍、研究過程及方法



一、文獻探討及目標選定

在尋找的過程中觀察到系外行星的光度變化與變星的光變週期難以區分，因此我們在觀測的同時也著手了解變星的資訊，疏散星團的相關物理性質，以做為研究資料後的討論基礎。

(一) 星團

星團可分為疏散星團及球狀星團。疏散星團由較為年輕的恆星所組成，恆星數量遠少於球狀星團，多集中在銀盤。球狀星團由年老的恆星所聚成，數量多且緊密聚集，主要分佈在銀心及銀暈。本次觀察變星的計畫以 [M39](#) 疏散星團為主。星團擁有相同的徑向速度、年齡與距地球的距離等，可透過固定的參考星亮度參數，對星團中的恆星進行比較。

(二) M39(NGC 7092)星團

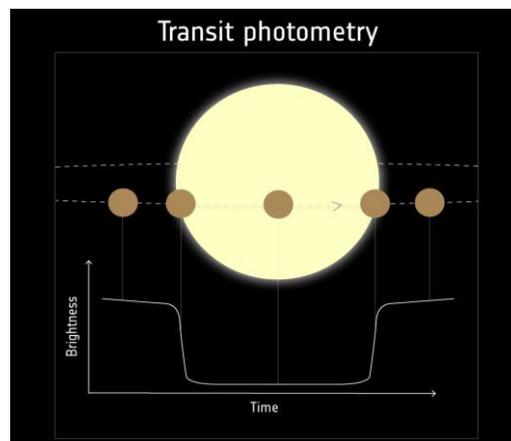
為本次研究星團，位於天鵝座的疏散星團，恆星騰蛇四南面兩度的位置，與天津四東北偏東 9° 左右，距離地球約824.4光年，成員星年齡約為三億年。

(三) 搜尋系外行星方法(主要有三種常見的方法)

1. 凌星法(Transit Method)：

為現今主要搜尋小行星之方法。當系外行星公轉軌道、母恆星、地球在同一平面上時，系外行星繞行其母恆星會遮蔽到母恆星，稱「凌」，造成地球觀察者觀測到母恆星光度些微下降的情形。通常會以光變曲線來描述其光度變化，由光變曲線的形狀，可以推斷出行星的基本性質，適合尋找數百光年以外的系外行星。

使用凌星法而獲取系外行星的光變曲線，其最大的特徵在於當凌現象發生，母恆星的光變趨勢會下降，且幾乎垂直。而在沒有凌星時，光變趨勢回升，光度會呈水平，光變曲線呈對稱。



圖(二)、凌星示意圖。圖源:scitechdaily

2. 徑向速度法(Radial Velocity Method)：

常與凌星法搭配使用，其原理為若此恆星系統裡有系外行星，則使此系統繞一質心公轉而不是單繞恆星質心旋轉，此時我們就能量到恆星旋轉時的都卜勒效應紅移與藍移，進而判斷出是否為系外行星。適合尋找100光年以內的系外行星。

3. 微重力透鏡法(Microlensing)：

根據愛因斯坦廣義相對論預測，當大質量物體(ex：行星)通過一恆星時，會因為引力，導致光彎曲、放大，使那一瞬間恆星亮度增加，進而判斷是否有系外行星，此種方法適合尋找數千光年以外的系外行星。

(四) 變星

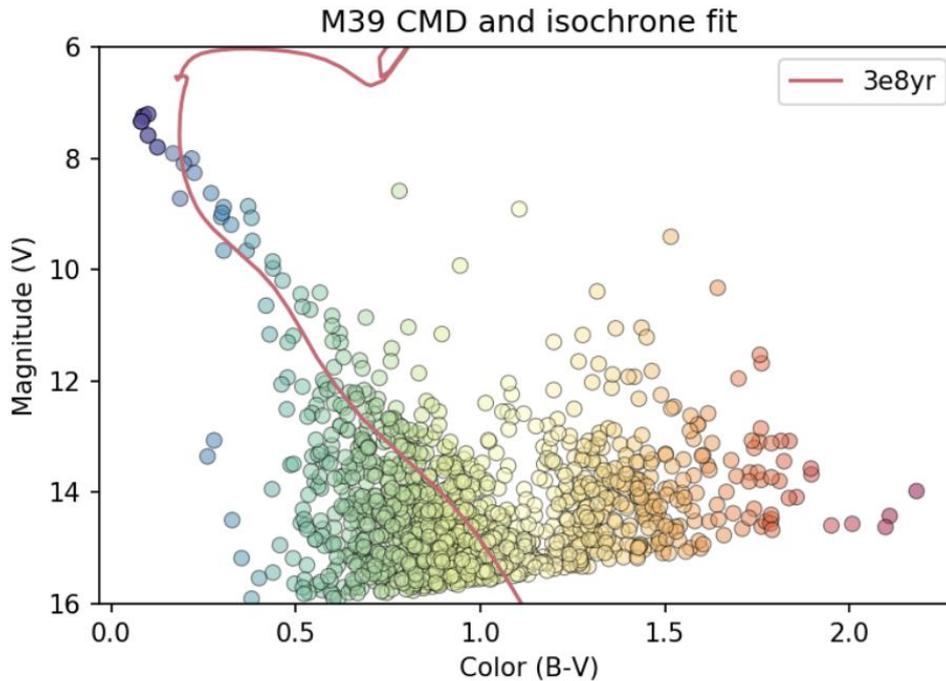
1. 脈動變星：脈動性機制是在低質量、population II 恆星其核在氦階段進入赫羅圖的不穩定帶時所產生的，在這個階段，恆星因為外表面重力無法與內部壓力產生平衡，試圖利用流靜力平衡調節自身，而不斷超調導致本體極端收縮與膨脹，亮度產生週期性的變化，直到恆星離開不穩定帶。據推測，約有三分之二的變星屬於脈動變星，造父變星、天琴座 RR 型變星及長週期的米拉變星也是其中的一種。
2. 噴發性變星：恆星因吸積或是丟失質量而使光度產生不規則的變化，如獵戶 FU 型變星。
3. 激變性：恆星內部核融合過程引起爆炸，使其外部大氣產生劇烈過程而影響其光度變化，通常稱此活動爆炸為新星或是超新星。
4. 食雙星：兩顆恆星所組成的雙星系統，在圍繞彼此旋轉時會互相遮蔽而使得在地球觀測時產生光度的變化，如同月球遮蔽太陽時產生的日食一般使得其光度下降。在星團中發現食雙星，其光變曲線通常看起來平坦，突然下降則顯現出恆星被遮蔽時刻的特徵，如天琴座 β 型變星。
5. 自轉變星：恆星外型形狀的不均勻即軸向的旋轉，對於所觀測的光度均有所影響，如橢圓形的小行星，因各測呈現的表面積不同，因而在旋轉時產生不規則且變化多的光變曲線。

(五) 光變曲線

光變曲線是天體的光強度隨時間變化的圖表，顯示了天體的亮度在觀測過程中的變化情況，可用於推導天體的光變週期、旋轉速率等。光變曲線常用於識別變星與系外型星，藉由檢查它們的形狀也可區分變星的類別和系外行星的一些基本資訊。

(六) 赫羅圖 H-R diagram 與星色星等圖 CMD

根據恆星的光譜型來做分類，可從赫羅圖探討恆星演化過程以及其基本性質。其橫軸可以是表面溫度、恆星類型；縱軸則有光度、絕對星等、波長或色指數，而星色星等圖(CMD)是適合用來擬合等齡線來估計星團的年齡。



圖(三)、由此 CMD 圖可以得知我們所觀測的目標年齡約為 3×10^8 年。

圖源:ASTRO WILL

(七)儒略日(Julian Dates)：

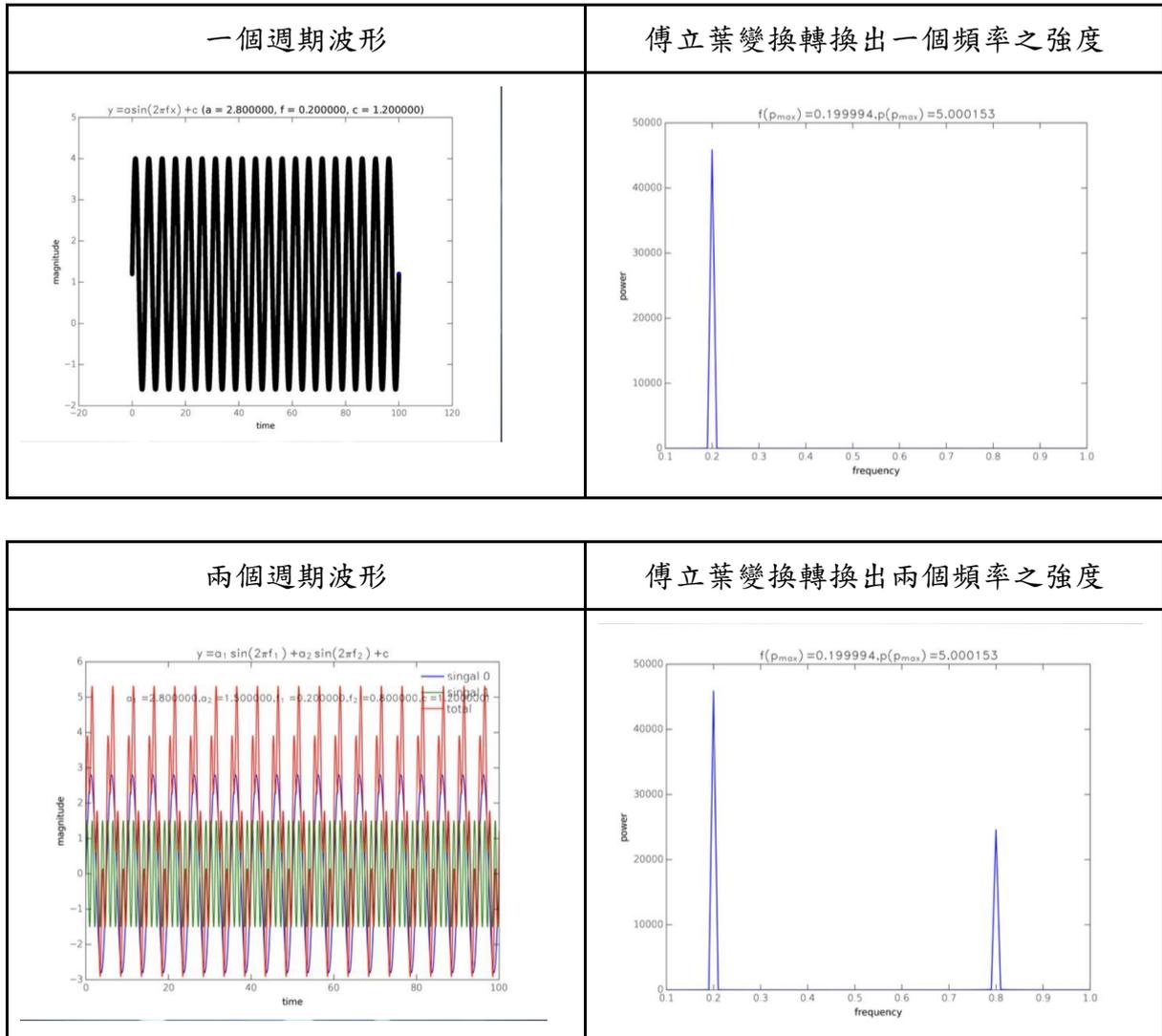
廣泛用於天文分析上，是標準統一的計時間方法，自西元前 4713 年 1 月 1 日格林威治時間中午 12 點十開始計算，每一個時間點對應一串特定的數字。

(八)目標選定-星團 M39(NGC 7092)

秋冬之際，M39 星團大約在圓頂望遠鏡的正上方，對於我們做測光的研究可以減少城市的光害影響，加上 M39 為疏散星團各恆星也比較好辨別。M39 距離地球 824.4 光年，適合利用凌星法，並有已知的研究 (Sarah L. Schuff, 2007) 可以做對照以外，研究中更有許多不確定的恆星或是系外行星狀態值得我們再深入探討。

(九)傅立葉變換

利用正弦函數擬合出可能週期，我們將資料用傅立葉轉換(因此會有多個強度)。強度代表周期可能性，最後將其轉換成相位圖。以下我們以單一正弦波與正弦波的疊加為例(楊庭彰, 2017)，單一正弦波的函數計算出的 POWER 值為 0.2，即此正弦波的頻率為 0.2，兩正弦波的疊加經傅立葉變換後即可得知兩個頻率。也就是說傅立葉變換能找出隨時間變化的函數週期。



圖(四)、引用自(楊庭彰, 2017)

二、觀測方式

我們使用本校天文台望遠鏡，在天氣好天空較無雲的放學時刻設定拍攝目標。傍晚時拍攝平場影像，晚上六七點左右則設定拍攝星團的 G 與 B 影像持續到十點半左右。從十月多至十二月累計三個月的影像資料進行偏壓、平場、暗電流等處理，分析亮度變化週期及尋找系外行星。

分析光變週期原只需拍攝 G 濾鏡的影像即可分析，但考量到持續拍攝得時間較長，加上不確定在未來是否有做星團等齡線的需求，於是我們將拍攝的策略改訂為設定 B 波段 30 秒和 G 波段 30 秒輪流拍攝。

表(一)、數個月觀測資料中，我們實際分析的觀測資料日期與每日拍攝的時間長度。

曝光時間：30s，濾鏡：B、G

日期	持續時間	曝光時間
20221113	18：00~20：45	每分鐘 B 與 G 各拍攝 30 秒
20221117	18：00~23：30	每分鐘 B 與 G 各拍攝 30 秒
20221118	18：30~22：00	每分鐘 B 與 G 各拍攝 30 秒
20221119	18：00~21：30	每分鐘 B 與 G 各拍攝 30 秒
20221129	18：00~21：00	每分鐘 B 與 G 各拍攝 30 秒
20221203	20：30~22：15	每分鐘 B 與 G 各拍攝 30 秒
20221208	19：50~20：40	每分鐘 B 與 G 各拍攝 30 秒
20221223	18：00~21：10	每分鐘 B 與 G 各拍攝 30 秒
20221225	19：20~21：30	每分鐘 B 與 G 各拍攝 30 秒
20221226	18：00~21：30	每分鐘 B 與 G 各拍攝 30 秒
20221227	18：00~21：10	每分鐘 B 與 G 各拍攝 30 秒

三、資料處理

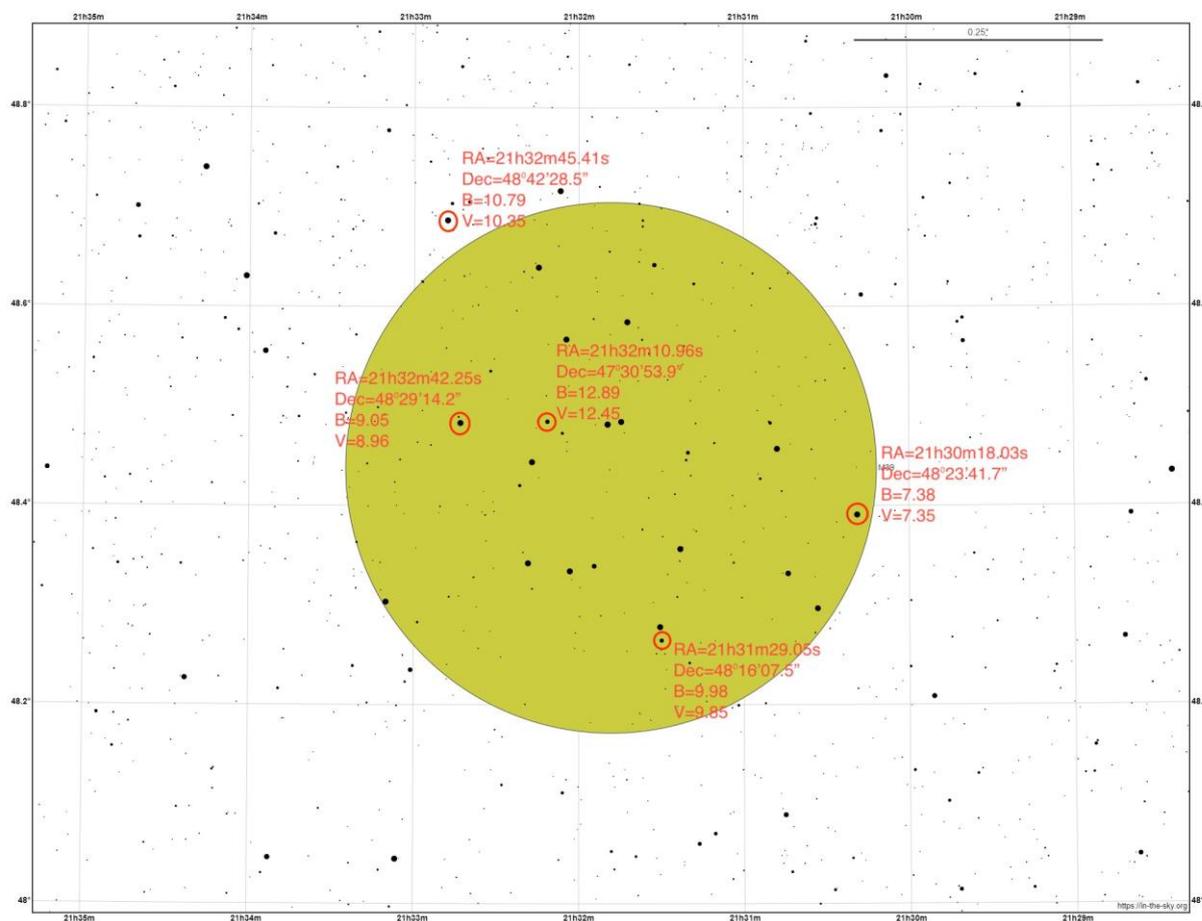
(一)M39 星團資訊



圖(五)、圖源:Aladin Lite，M39 星團

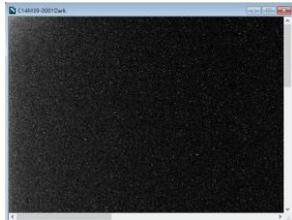
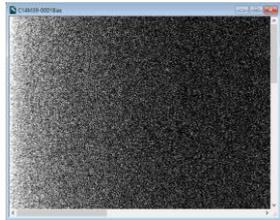
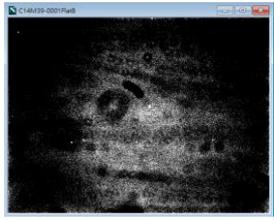
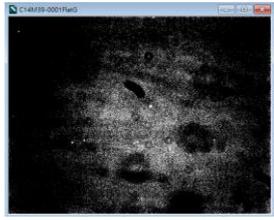
表(二)、M39 星團資訊

星團名稱	M39/NGC 7092
赤經 R. A.	21h 31m 48.0s
赤緯 Dec.	+ 48° 26" 00"
視亮度	4.6 星等
視直徑	29'
類型	e 型 疏散星團
距地球距離	325.92 秒差距
計算直徑	28.89 光年
質量	232 M _☉



圖(六)、M39 星團範圍選定

(二)暗電流、偏壓與平場

暗電流	偏壓	B 濾鏡波段	G 濾鏡波段
			
<p>暗電流修正： 感光元件在快門關閉，進行天文拍攝時，會因為熱的影響而有數值的產生，稱此為暗電流。此雜訊會隨著時間與溫度的上升而增加，在我們拍攝目標前，會先將當日的暗電流拍攝完成，使得目標的訊號提升。</p>	<p>偏壓修正： 感光元件在未進行曝光而開始讀出所得到數值，稱此為偏壓，這是感光元件本身所帶有的電壓雜訊，因此在作處理時，我們會將此來自元件的雜訊扣除。</p>	<p>濾鏡平場修正： 拍攝時，因為感光元件上的各像素感光光度不同以及望遠鏡聚焦所產生的影響，降低了成像的光度準確性。因此我們會在觀測前的傍晚(太陽剛落下)，對亮度均勻且無雲的天空進行拍攝，使得處理成像時各像素光度起點相同。</p>	

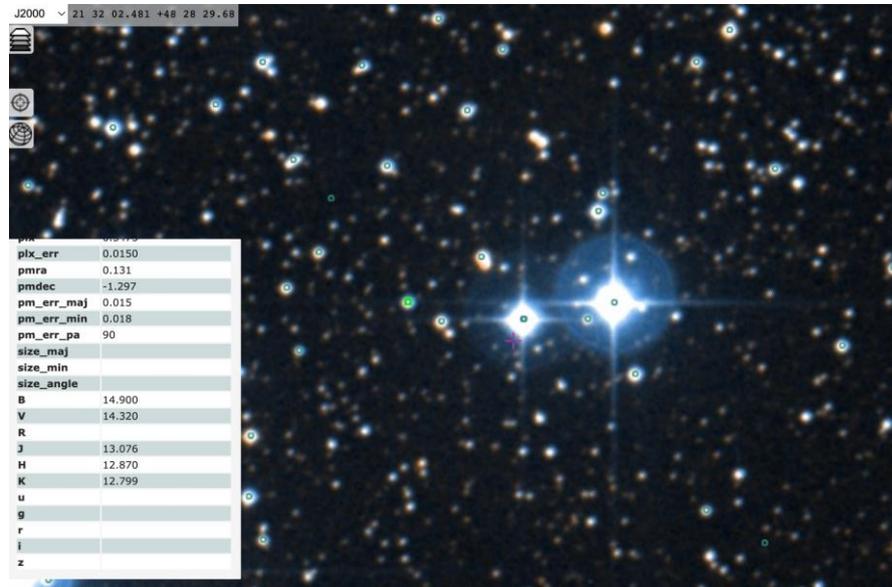
(三)M39 星團的 B 與 G 波段影像

	B 波段	G 波段
<p>預處理前</p>		

預處理後		
濾鏡參數 (穿透波長)	400~510nm	480~590nm

(四)標準星選定

標準星須為光度恆定之恆星且周圍不能有雲氣，通常標準星為主序星。



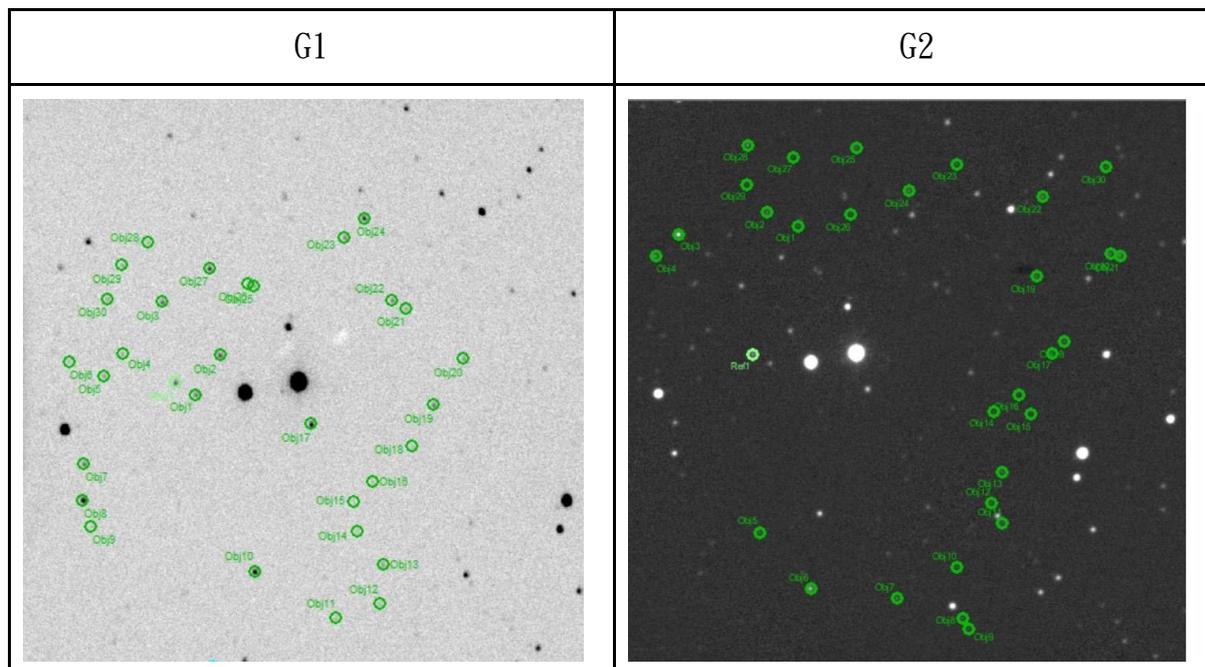
圖(七)、圖源:Aladin Lite，M39 星團自設標準星截圖

main_id	C1* NGC 7092 PLAT 3958
赤經 RA	322.9826216072
赤緯 DEC	+48.4843944896
B	14.900
G	14.320

表(三)、標準星資料數據

(五) 星體點選

本次研究用 G 濾鏡片，主因在綠色光在可見光中在中間位置，最能代表可見光波段，因此我們在挑選最有機會的 60 顆恆星時，就以 G 開始編碼，但因 Maxlm DL 軟體一次有 30 顆的上限，故就以 G1-01 開始至 G1-30，G2-01 接續以至 G2-30。



圍繞所選的標準星，將周圍較可能為系外行星的星體做點選。
 本次研究為長時間的數據觀測與分析，在處理每一次的數據時，所點選的星體順序必須一致，使同一星體的光度數據根據 Maxlm DL 5 程式進行排列，整合成完整的光變數值表格。若無按照順序點選，則資料呈現凌亂，無法辨別光度數值屬於哪一個星體。
 我們將點星的目標圍繞於標準星，選擇共 60 顆星體，由於 Maxlm DL 5 程式有點星數量上限的條件，我們將 60 顆目標星分為兩部分，G1 和 G2，個別進行分析。

(六) 星點基本資訊 (參考 AladinLite 網站數據提供)

G1 編號	赤經 RA	Dec	B	V
參考星	322.9826216072	+48.4843944896	14.900	14.320
1	322.9750404577	+48.4815034924	15.220	13.900
2	322.9660833333	+48.4912222222	14.990	13.260
3	322.9873670178	+48.5049280130	14.640	14.150
4	323.0027746192	+48.4918795699	16.120	14.660
5	323.0100429310	+48.4865119022	15.860	14.500
6	X	X	X	X
7	323.0180366544	+48.4642032308	15.260	13.540

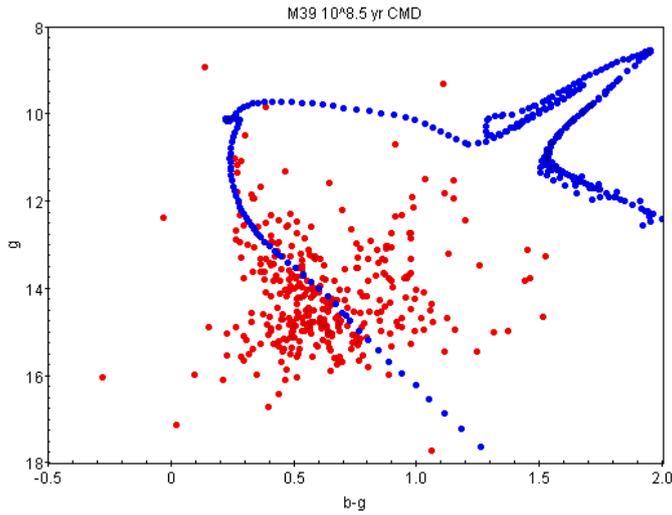
8	323.0184843895	+48.4550032046	13.960	13.350
9	323.0152258197	+48.4484984711	16.310	15.330
10	322.9534071824	+48.4362251360	14.210	13.340
11	X	X	X	X
12	X	X	X	X
13	322.9047155019	+48.4377467565	15.540	14.620
14	X	X	X	X
15	322.9152638654	+48.4530196005	16.680	15.570
16	X	X	X	X
17	322.9312744532	+48.4735353632	14.340	13.470
18	322.8845880035	+48.4778752117	15.310	14.270
19	322.8729589246	+48.4895460848	15.700	14.640
20	322.8545833333	+48.5065277778	15.540	14.700
21	X	X	X	X
22	322.9100344012	+48.5254685851	14.860	13.260
23	322.9175205185	+48.5206487573	15.520	14.560
24	322.9100344012	+48.5254685851	14.860	13.260
25	X	X	X	X
26	X	X	X	X
27	322.9693015171	+48.5133048585	14.790	14.140
28	322.9931250000	+48.5200833333	16.010	15.140
29	X	X	X	X
30	323.0085833333	+48.5058333333	15.750	14.750

G2 編號	赤經 RA	Dec	B	V
參考星	322.9826216072	+48.4843944896	14.900	14.320
1	322.9612910421	+48.5225332157	16.300	15.140
2	322.9758124565	+48.5271479225	15.690	14.520
3	323.0154983008	+48.5205576665	13.930	13.540
4	323.0261526579	+48.5141279911	15.090	14.450
5	X	X	X	X
6	322.9577988600	+48.4138300872	14.680	13.840

7	322.9192472655	+48.4106232631	15.780	14.770
8	322.8901308916	+48.4043313465	16.320	15.390
9	X	X	X	X
10	X	X	X	X
11	X	X	X	X
12	X	X	X	X
13	322.8714231373	+48.4481348981	15.900	14.740
14	X	X	X	X
15	X	X	X	X
16	X	X	X	X
17	322.8482484046	+48.4834629508	16.290	15.290
18	322.8422562117	+48.4868504082	15.970	14.970
19	322.8545833333	+48.5065277778	15.540	14.700
20	322.8209884512	+48.5128991495	15.570	14.340
21	322.8167124333	+48.5123742166	15.140	14.250
22	322.8511541667	+48.5303833333	15.460	14.570
23	322.8898330115	+48.5404787500	15.930	15.210
24	322.9113880142	+48.5326567344	15.340	14.850
25	322.9355000000	+48.5457222222	15.820	14.830
26	X	X	X	X
27	322.9639583333	+48.5434444444	16.590	15.700
28	322.9837868523	+48.5470859486	15.530	14.150
29	X	X	X	X
30	322.8225416667	+48.5390277778	15.630	14.700

(七)星色星等圖繪製

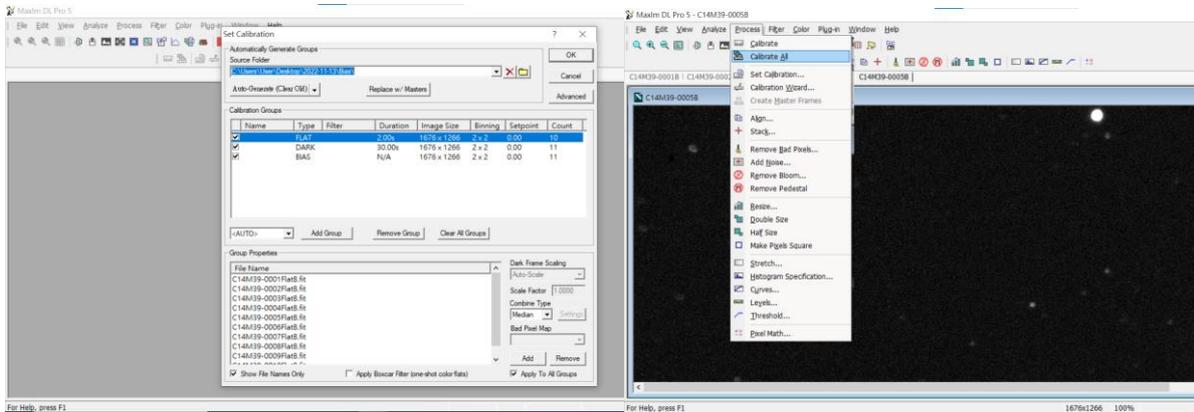
我們以觀測目標群中 2022 年 11 月 19 日的影像，把成員星的 B 與 G 星等數值化後繪製 CMD 圖，確認所分析目標的等齡線與理論值相符，也可初步判定我們所選定的目標主要範圍沒有錯誤，也初步確認有非主序帶的分支，應該更有找到變星的機會。



圖(八)、本校 M39 的 CMD 圖

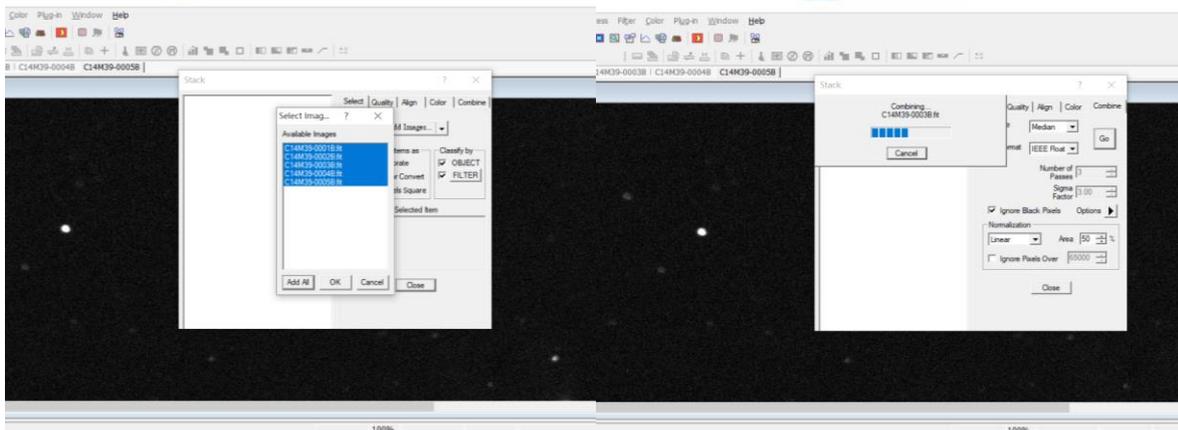
四、資料處理

(一)預處理



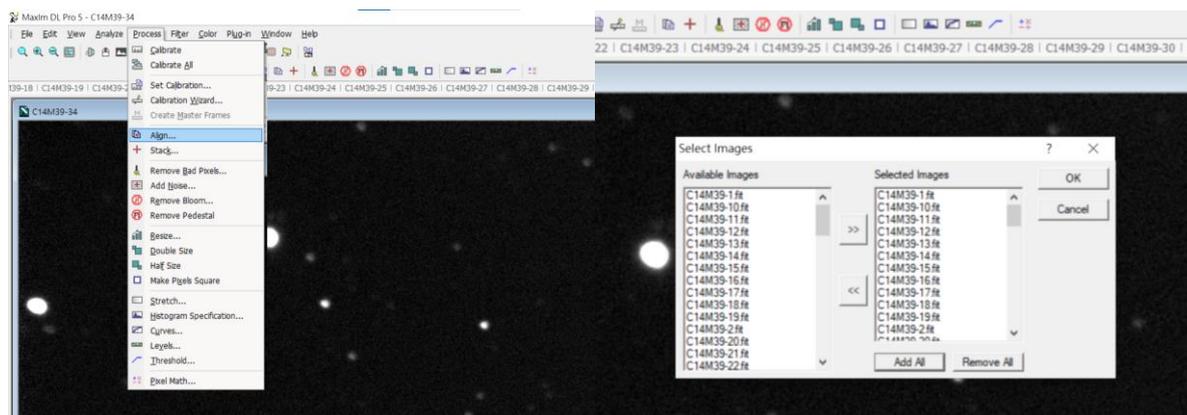
圖(九)、去除感光元件、熱等對影像數據帶來的雜訊

(二)五合一疊圖



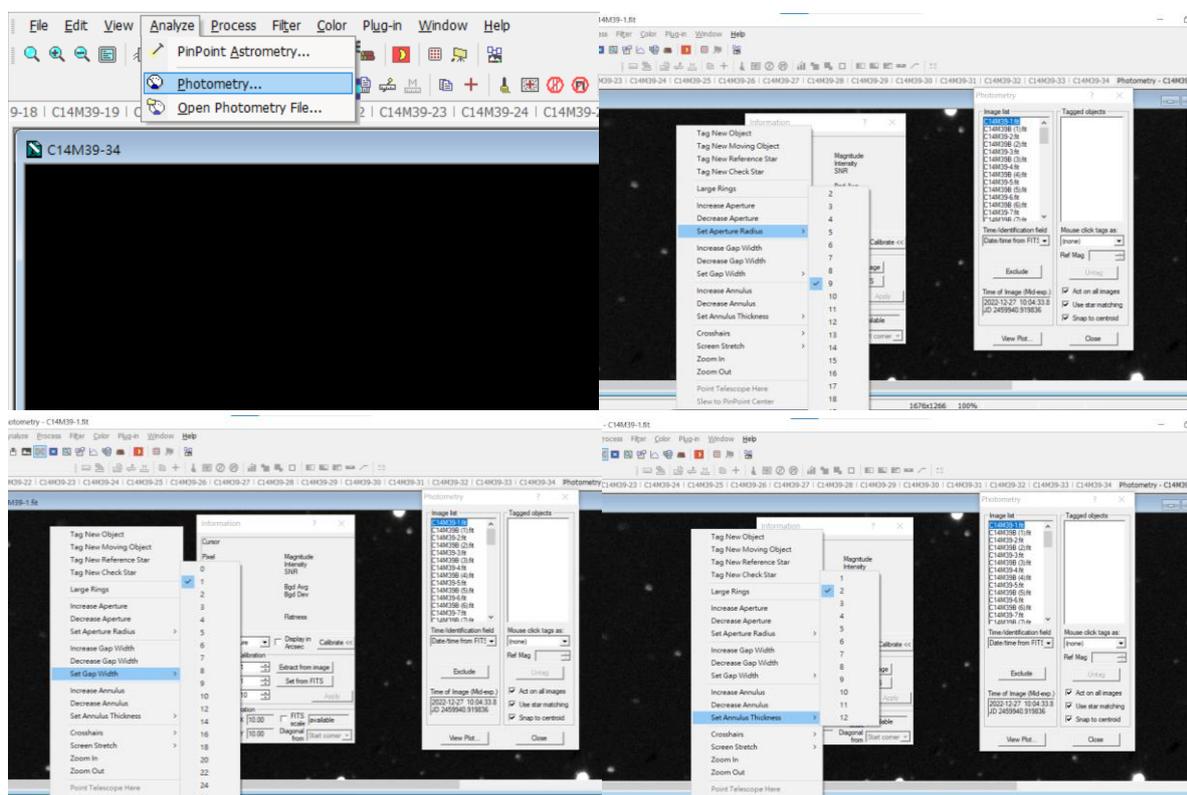
圖(十)、因資料龐大，我們將每五張影像疊合，因拍攝間隔時間較短，疊圖對於影像跑動偏差不會有太多影響。

(三) 影像對齊



圖(十一)、星團隨著觀測時間偏離望遠鏡中心，因此我們利用程式自動對齊影像，使點星時能確認星體均有在設定範圍內。

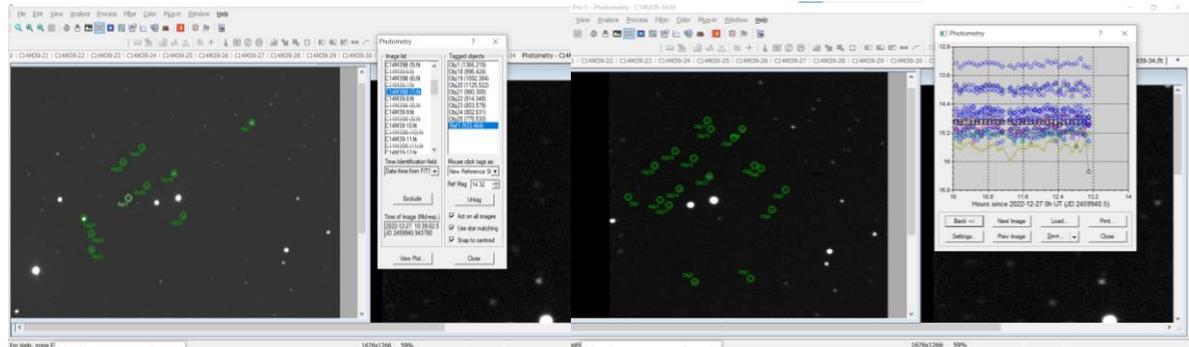
(四) 點星設定



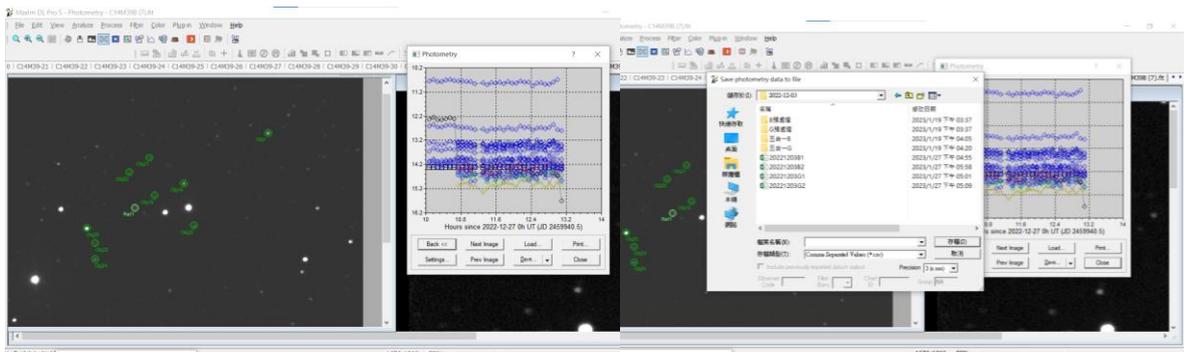
圖(十二)、對望遠鏡視野範圍等進行設定，確認亮度數據都能被圈選進範圍

(五) 點星

點選標準星，並分別輸入標準星 B 濾鏡和 G 濾鏡星的星等，圍繞標準星按照順序點選目標星體，分別輸出 B 濾鏡和 G 濾鏡下，影像中星體的儀器星等數據。



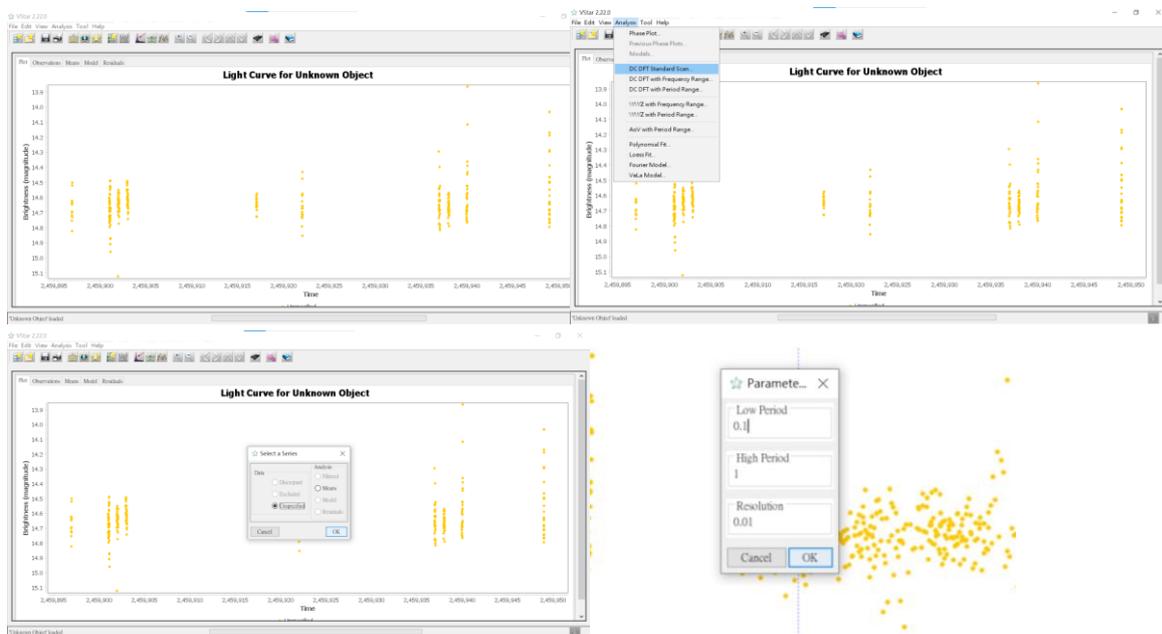
圖(十三)、標準星設定和 B 濾鏡和 G 濾鏡目標星點選



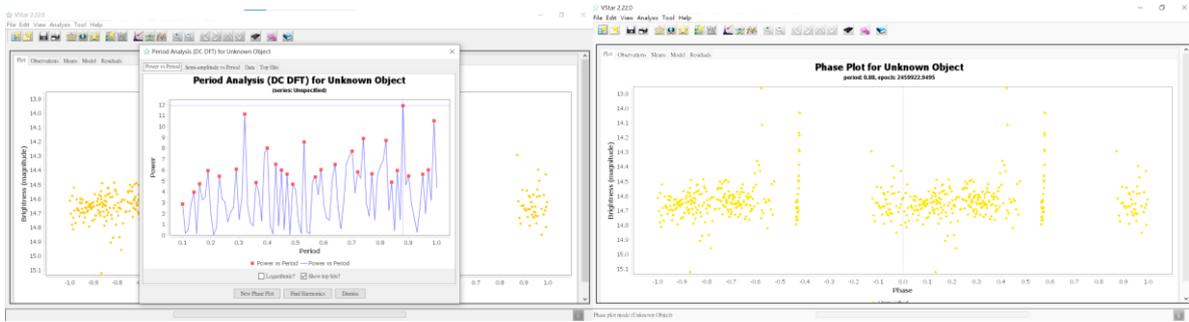
圖(十四)、儀器星等數據輸出

(六)繪製亮度變化週期曲線

輸入數據，設定各參數，初始圖表橫軸為儒略日，縱軸為星等。獲取由離散傅立葉轉換計算的星體週期強度圖，選取強度最高的值，計算相位位置，可得到其光變曲線。



圖(十五)、設定 0.1 天開始進行計算，每增加 0.01 計算其 POWER 值

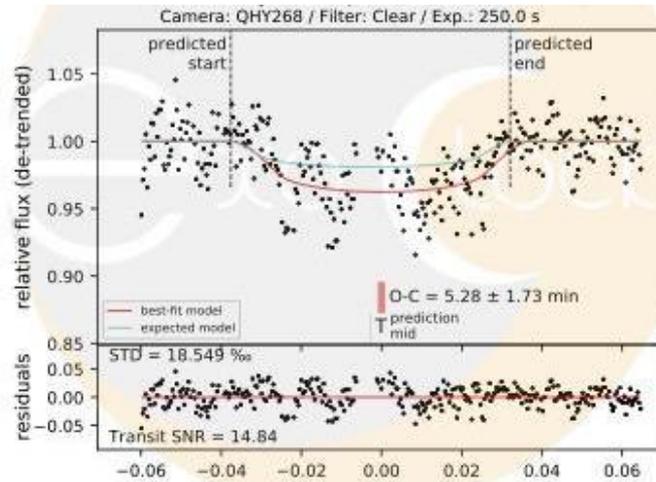


圖(十六)、以離散傅立葉轉換計算其週期強度，點選強度最高值，得出星體最可能的週期相位圖。註：本研究皆呈現繪置 2 個相位週期的分佈。

陸、實驗結果

一、校園望遠鏡觀測

以本校望遠鏡觀測已知系外行星 HAT-P-36b 結果上傳 ExoClock 後結果為例，雖然存在著一定的誤差，但可以確定本校的望遠鏡對於系外行星或是變星，具有一定可分別亮度變化的能力。不過對於未知系外行星或是變星的發現，因為我們不知道該恆星亮度的變化時間點，因此，我們只能花時間經常觀測再以數學方法找到週期與相位資訊。



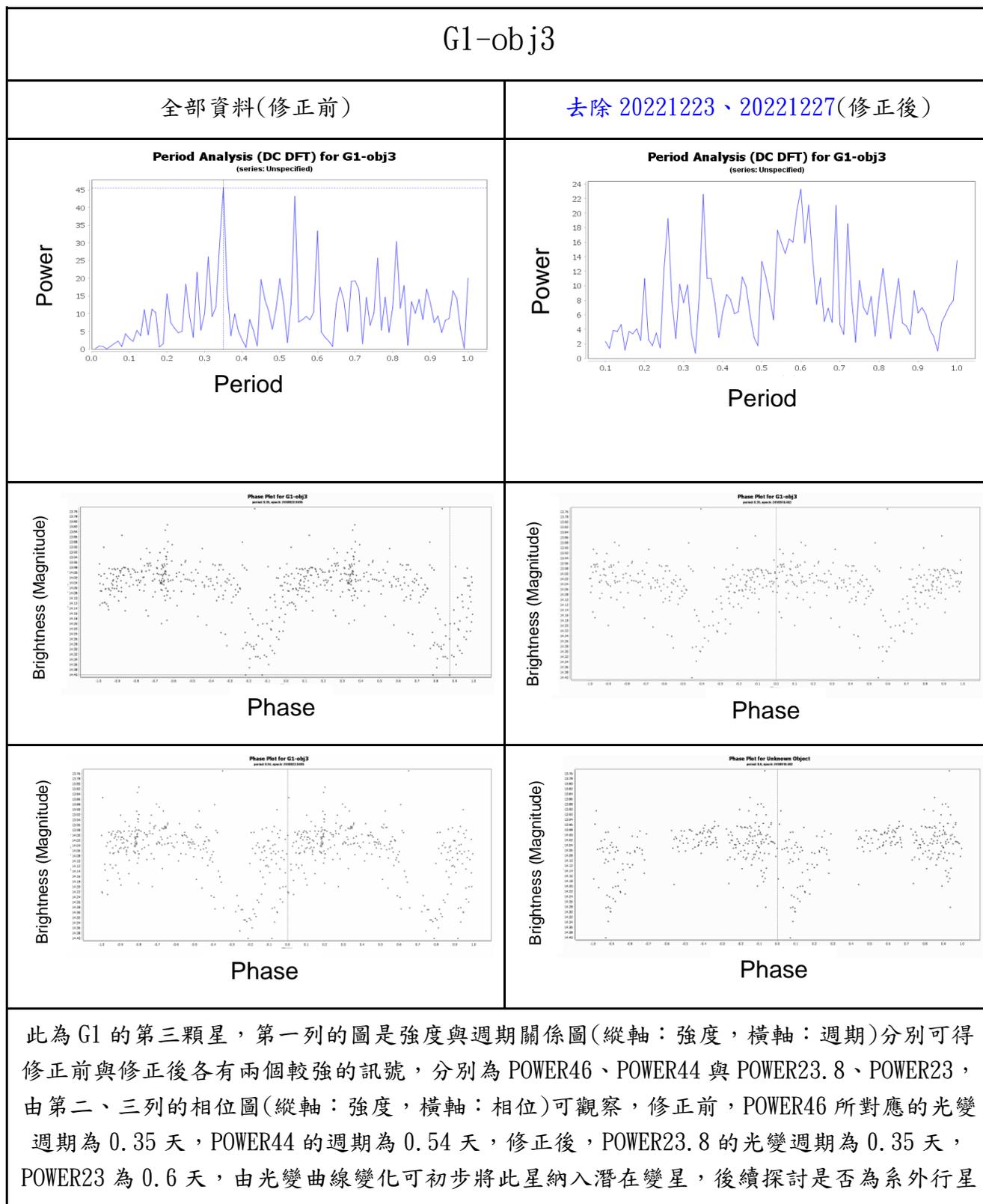
圖(十七)、圖源:ExoClock 系外行星週期資訊

二、離散傅立葉轉換對週期的判斷

我們以 1 天當作單位進行分析，並設定 0.01 天作為離散傅立葉的計算刻度，由 Vstar 程式編跑出的數值，便是我們所得的週期強度訊號，此可以當作是與完整週期之間的擬合程度，當其 POWER 值越高，為星體的光變週期可能性也就越高。因為我們觀測的數據為離散值每 1 分鐘曝光 30 秒，數據處理再以 5 分鐘為單位合成，且只有好天氣的夜晚才能觀測，因此，幾個月下來的觀測數據可以用一樣的概念處理，在數學的形式上稱做離散傅立葉。

三、目標星發現

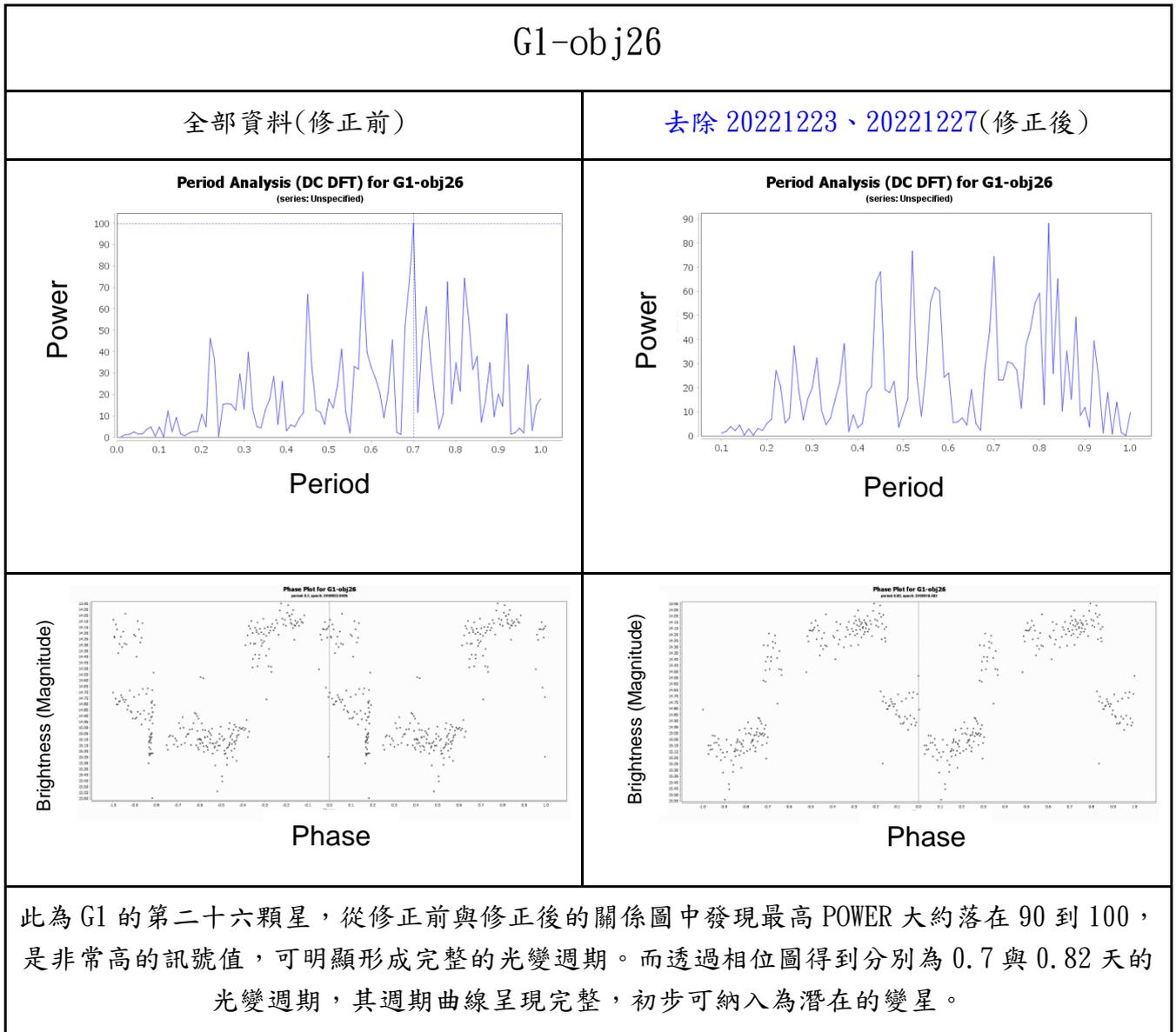
(一)G1-obj3



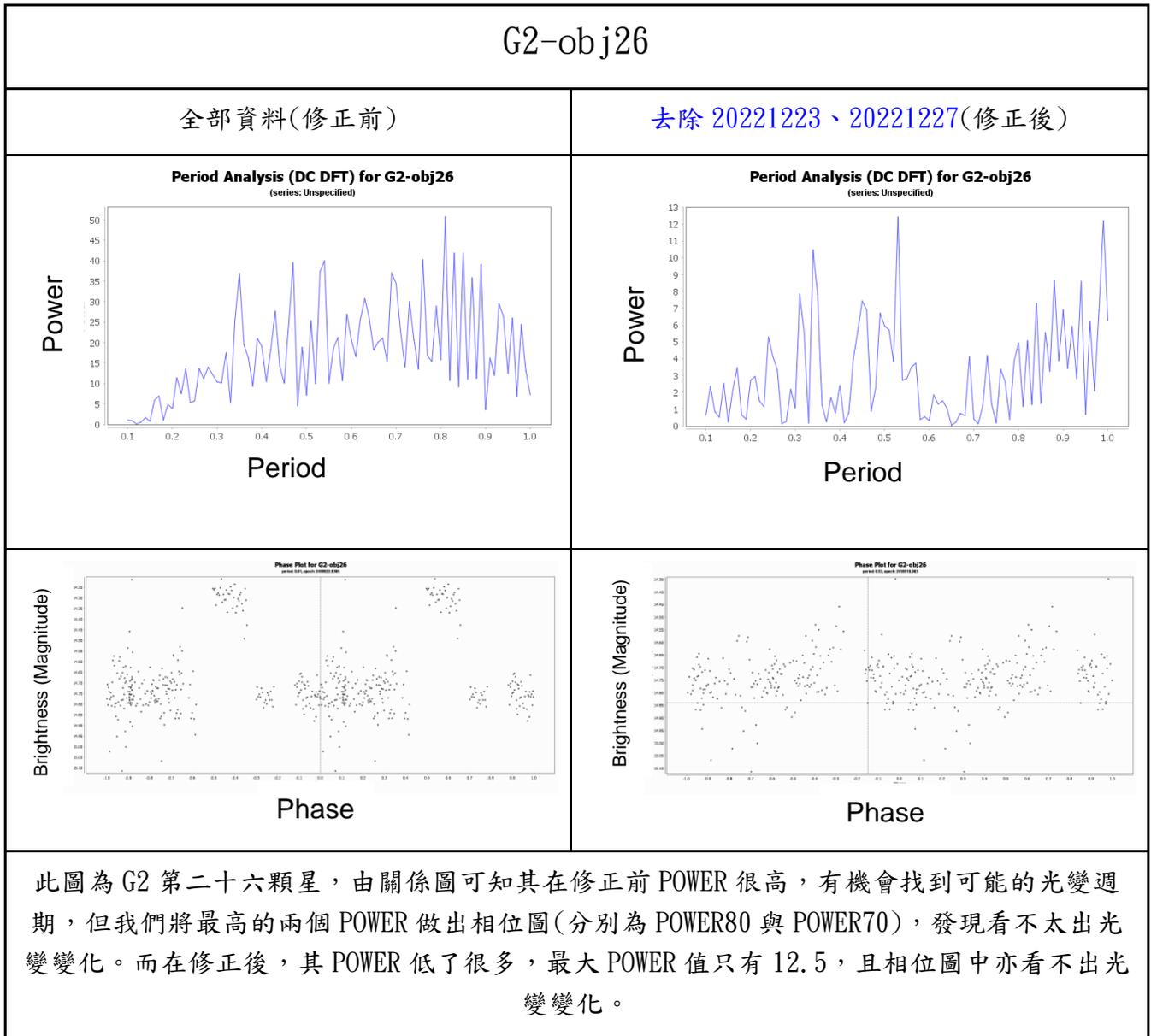
(二)G1-obj20

G1-obj20	
全部資料(修正前)	去除 20221223、20221227(修正後)
<p>Period Analysis (DC DFT) for G1-obj20 (series: Unspecified)</p>	<p>Period Analysis (DC DFT) for G1-obj20 (series: Unspecified)</p>
<p>Phase Plot for G1-obj20 (series: Unspecified)</p>	<p>Phase Plot for G1-obj20 (series: Unspecified)</p>
<p>Phase Plot for G1-obj20 (series: Unspecified)</p>	<p>Phase Plot for G1-obj20 (series: Unspecified)</p>
<p>此為 G1 的第二十顆星，修正前，在強度與週期關係圖中，發現各個訊號強度差異不大，大約落在 10，是極小的訊號強度，且從相位圖中看不出明顯的亮度變化，幾乎不可能是變星。修正後，最大 POWER 值約為 9，訊號強度依然極小，從相位圖仍然看不出亮度變化。</p>	

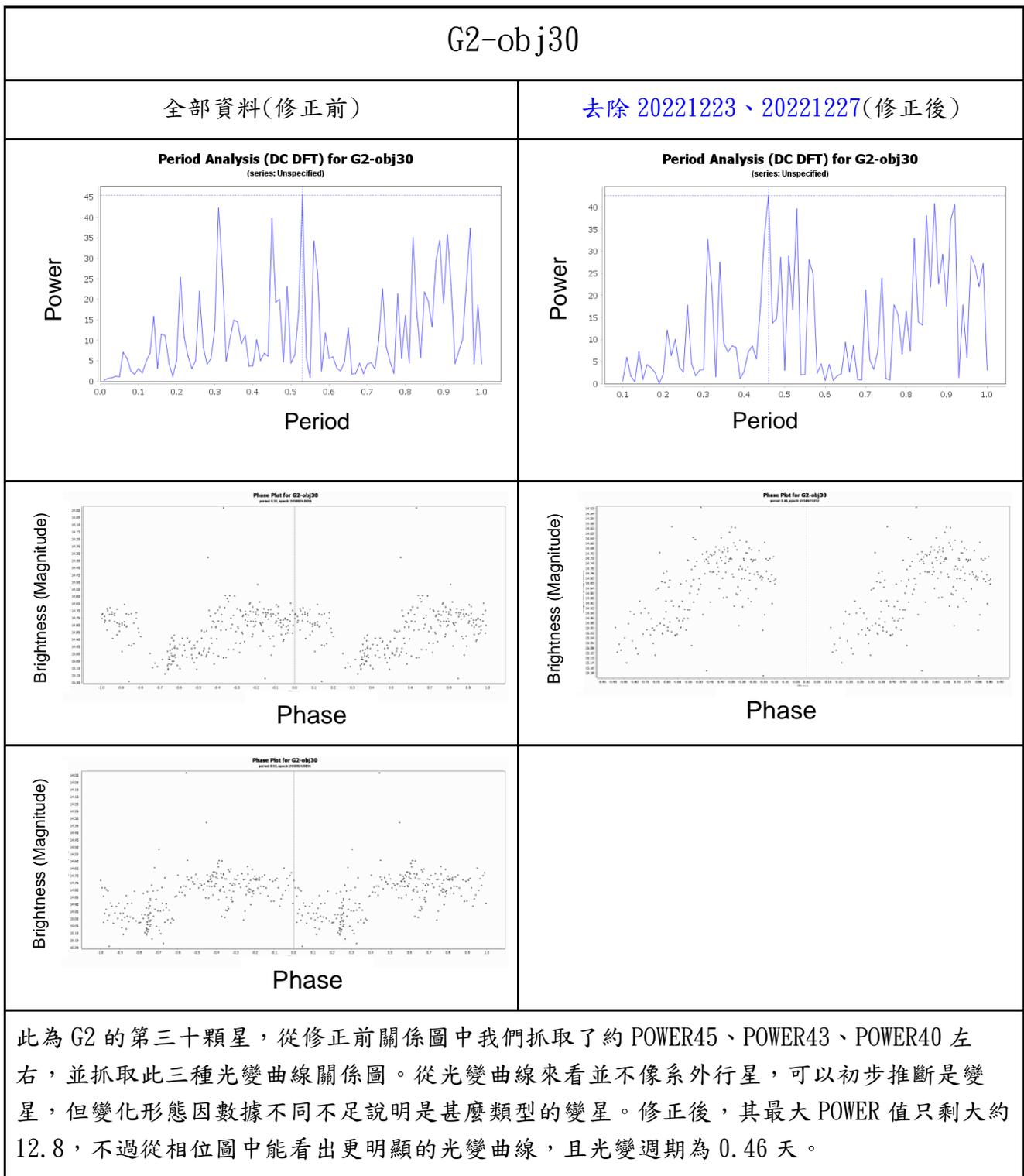
(三)G1-obj26



(四)G2-obj26



(五)G2-obj30



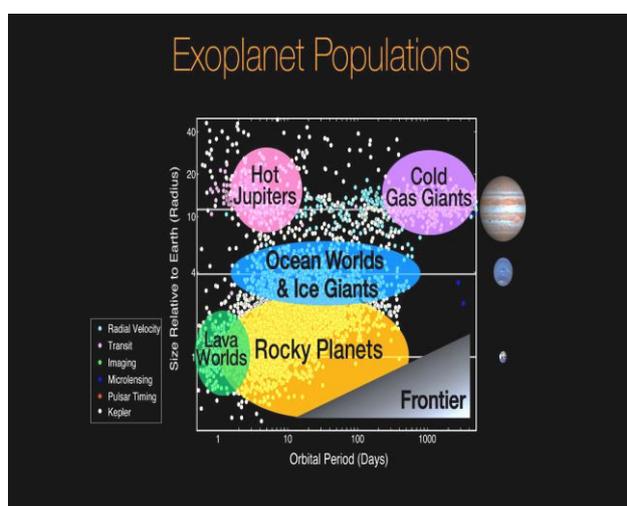
柒、討論

我們針對 5 個目標星的發現，初步分類潛在系外行星與潛在變星進行討論，並對數據不佳的資料，分析結果不佳的原因進行探討。

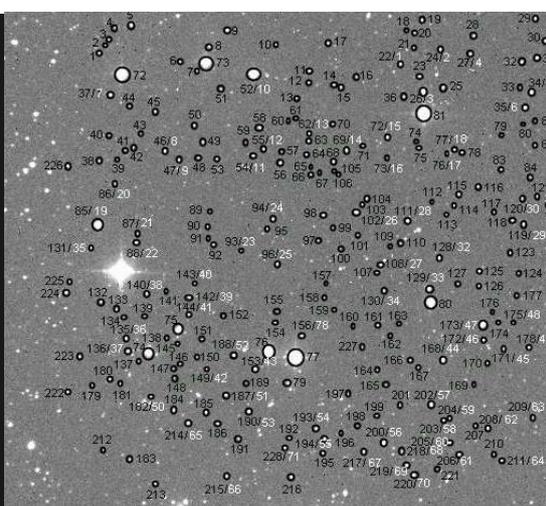
一、潛在系外行星

從我們所觀測得出的 G1-obj3 週期圖中，可以看到可能的光變週期有兩個，分別是 0.35 天及 0.6 天，再觀察其對應的相位圖，我們無法確定何者為確切的週期，需要有更穩定的觀測數據才能進行確認。但無論是週期 0.35 天還是 0.6 天的相位圖，其中的光變曲線都是平緩，接著亮度變小，然後回升，又趨於平緩，此光變曲線的特徵類似系外行星的光度變化。但大部份系外行星的軌道週期都大於 0.5 天，所以 G1-obj3 以可能性來說，附近無系外行星的機率比較高。而若此星體周圍確實有一系外行星，由於光變週期小於一天可推論有可能是 Hot Jupiter 或 Lava Worlds 類型的系外行星。以短光變週期來說，若此系外行星如 Kepler 6b，母恆星體積較小或是軌道半徑短，使我們測出的凌星時間較短；而若此系外行星如 Kepler 8b，其繞行母恆星之軌道沒有通過母恆星圓心而是軌道在偏下方位置，凌星時間較小，因此有可能是因為 G1-obj3 的母恆星較小或其軌道路徑的問題才導致我們測出較短的凌星時間（圖二十一）。以亮度變化的程度來說，在學校天文台的環境設備下，比較可以觀測到的是 Hot Jupiter 型，因為 Hot Jupiter 型的行星體積較大，發生凌日時，會造成母星的亮度下降較多；而以光變週期來說，則為 Lava Worlds 的可能較高，因為行星愈靠近母星，繞行母星的速度愈快，凌日發生的週期也就會比較短，而近距離靠近母星的行星，以 Lava Worlds 型的可能性為高。

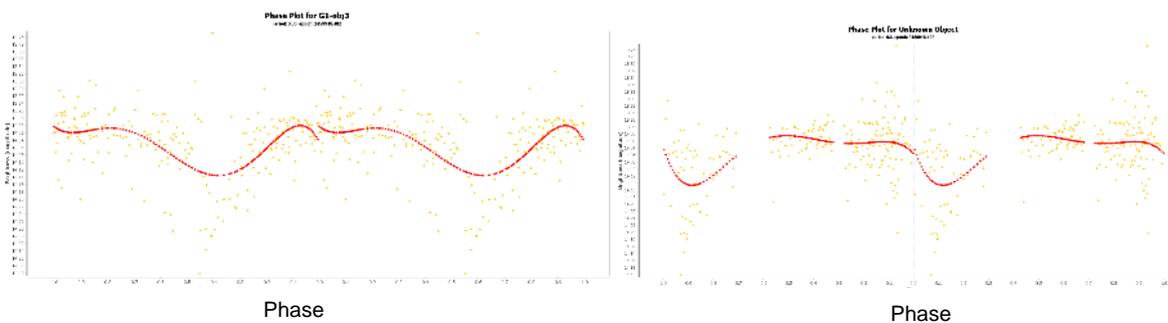
在參考 Sarah L. Schuff(2007)的研究，我們拍到認為潛在的系外行星與其對應為編號 187/51。



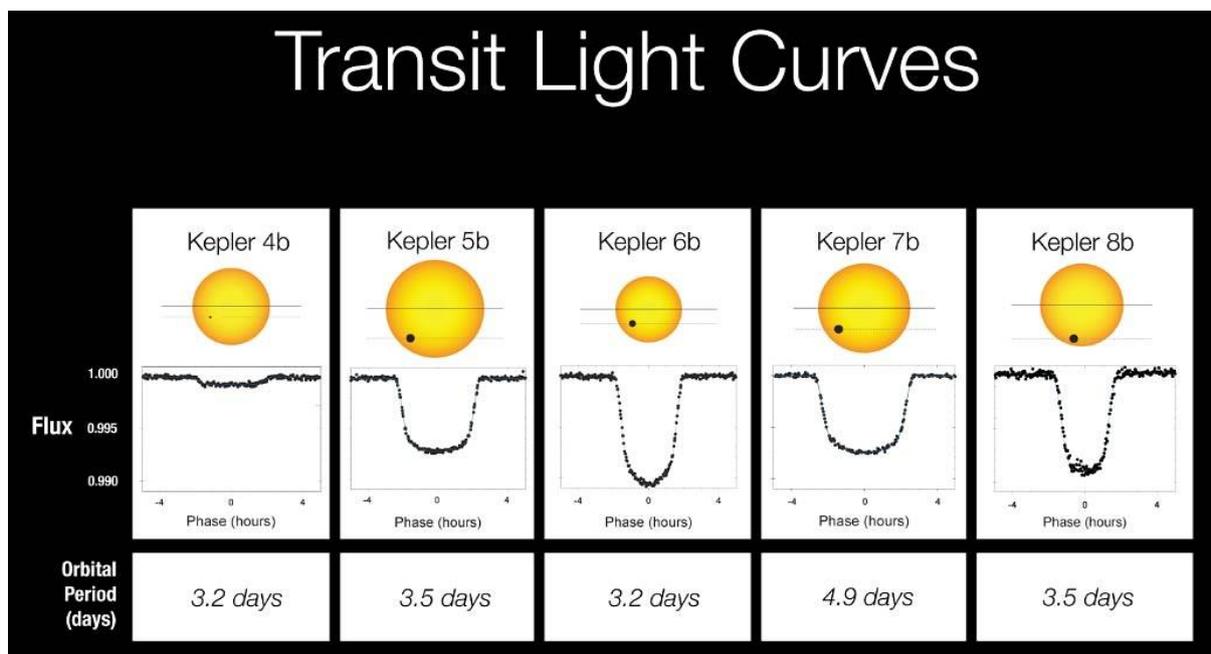
圖(十八)、圖源:NASA



圖(十九)、圖源:Sarah L. Schuff(2007)



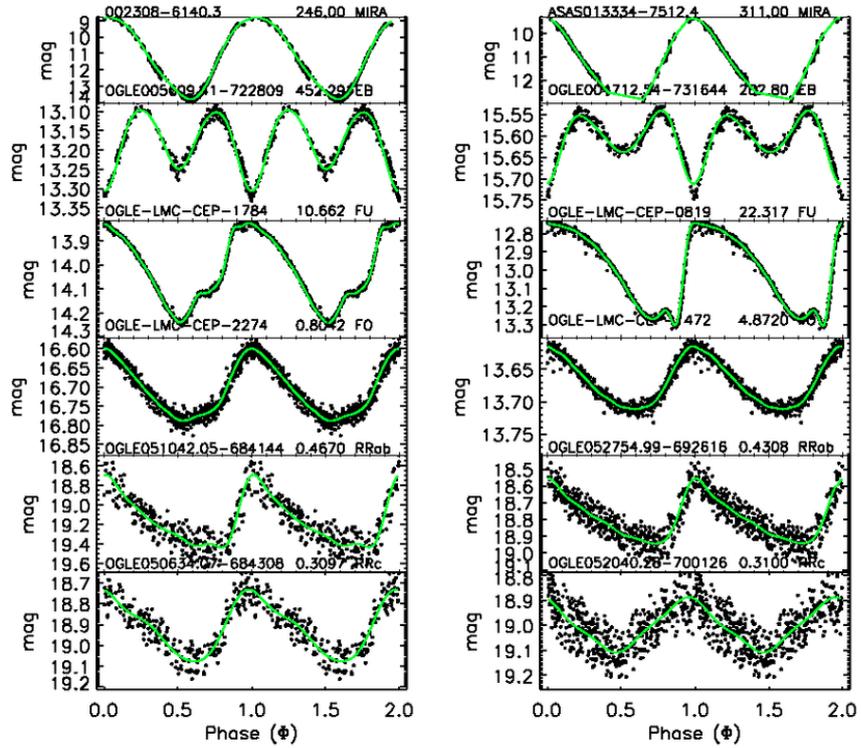
圖(二十)、G1-obj3 光變週期曲線



圖(二十一)、圖源：NASA。

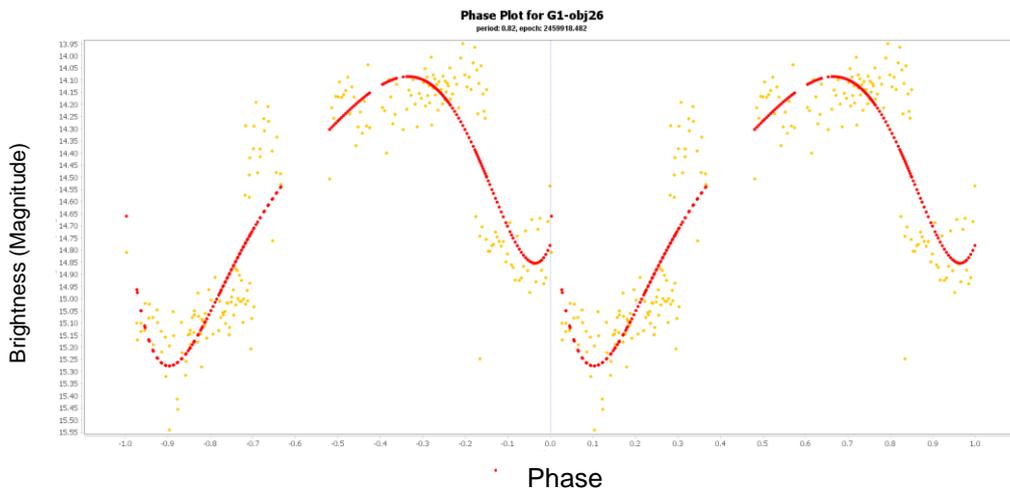
二、潛在變星

1. 將由數據所得的相位圖進行最佳擬合排序，橫軸及縱軸分別為周期及絕對星等，獲取不同類變星光變曲線進行分類，大致有顯著的 Mira(米拉變星)、EB(天琴座 β 型變星)、FU(獵戶 FU 型變星)、FO(寶瓶座 FO 變星)、天琴座 RR 型變星中的 RRAb 變星和 RRc 變星。



圖(二十二)、圖源：Sukanta Debi and Harinder P. Singh^{1,2}

2. 我們發現觀測目標 [G1-obj26](#) 的光變曲線型態並不像我們所研究的系外行星，而是類似於變星。其週期擬合強度高，且週期變化完整，大約為 0.82 天，由光變曲線的形狀推測此變星可能為 RRc 變星，此星體為我們研究中週期最為明顯的潛在變星。



圖(二十三)、G1-obj26 光變週期曲線

3. 根據 Sarah L. Schuff(2007)的研究，認為編號 Star 164 Long 是一顆潛在變星，且推測週期約為 0.088925 天，對應我們的目標 G1-obj20。在我們的強度與週期關係圖中，發現各個訊號強度差異不大，大約落在 10，是非常小的訊號強度。從我們的數據直接分析看不出其明顯的亮度變化，而使用 Schuff 所推測的週期畫出來的相位圖也看不出變化的情況。我們推測可能的原因，是因為 Schuff 的數據在 2004 至 2006 的時間段進行了 6 次觀測，但每次取樣的頻率及品質不同，以他顯示的數據為例，2004 年 9 月和 2005 年 10 月的數據都不到 20 點，而 2006 年 8 月的數據在星等值上的離散程度為 0.6mag(我們的數據為 0.3mag)，而亮度變化的振幅約 0.2mag，似乎都在誤差範圍內，所以我們無法認定 G1-obj20 為變星。

圖(二十四)、Sarah L. Schuff(2007)報告

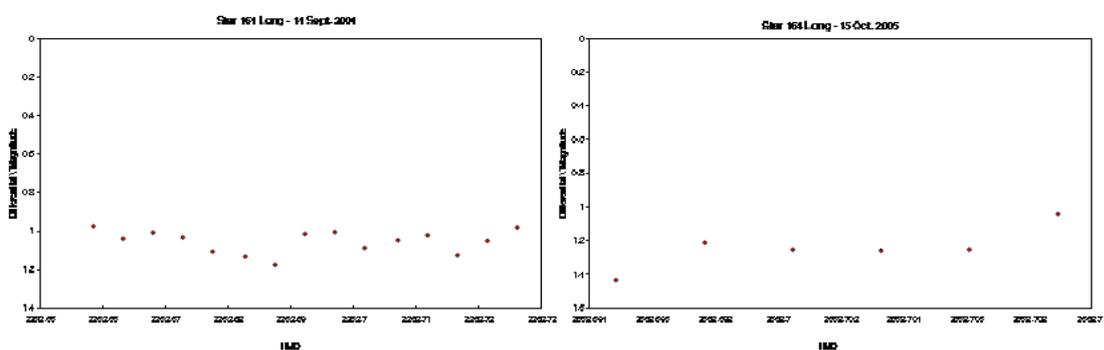


Figure 4.39 Light Curves for Star 164 Long, taken 14 Sept. 2004 and 15 Oct. 2005.

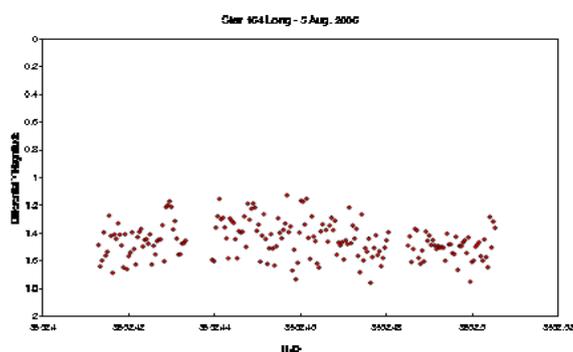
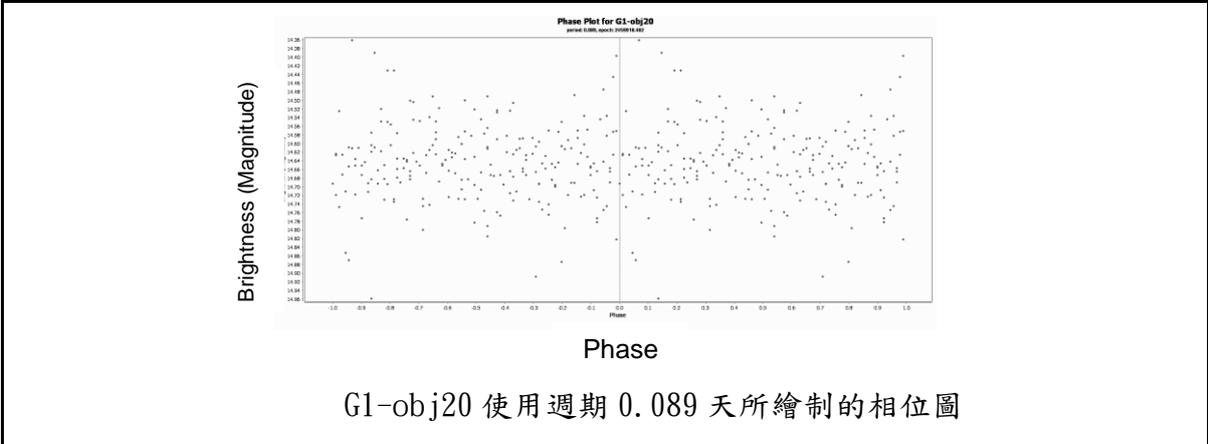
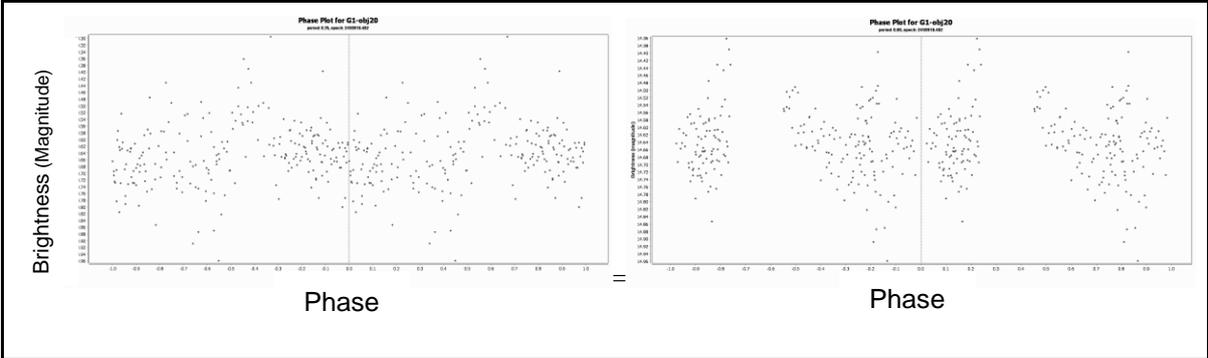
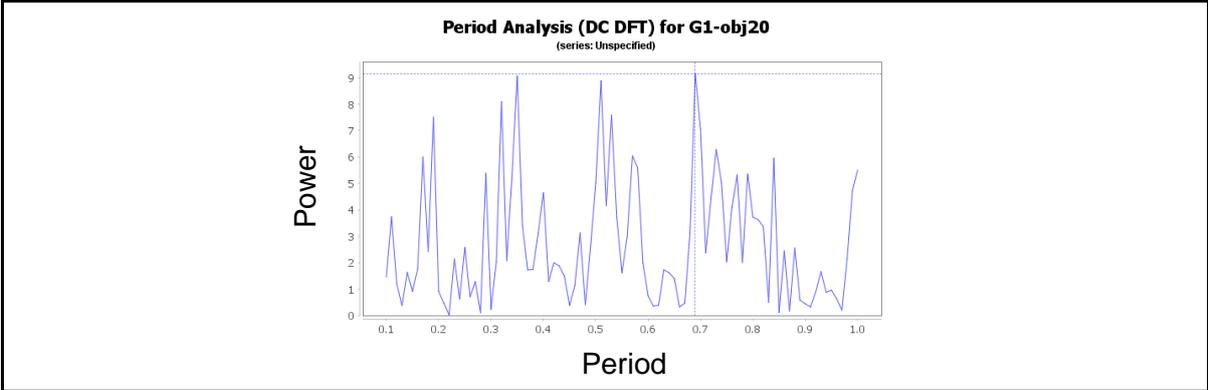
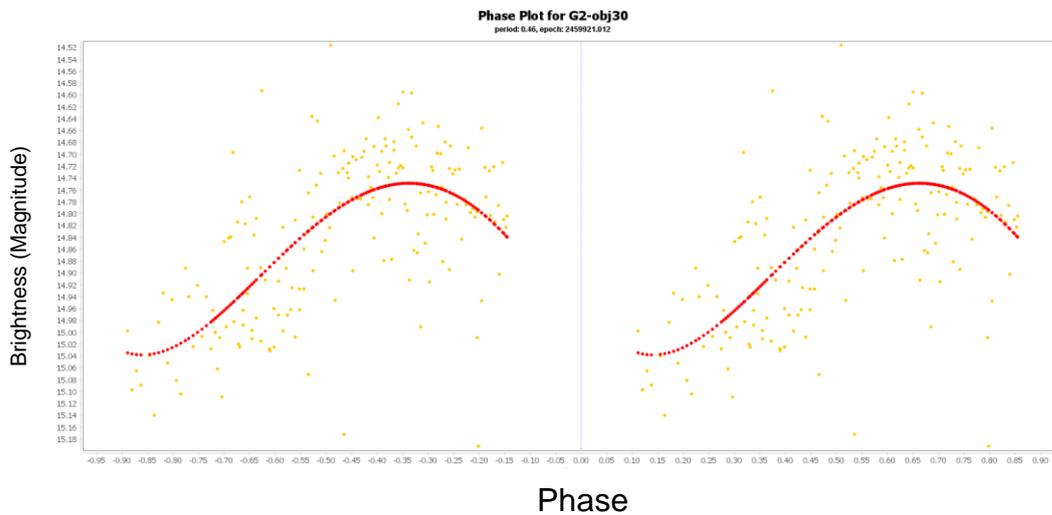


Figure 4.40 Light Curve for Star 164 Long, taken 5 Aug. 2006.

圖(二十五)、我們所分析的數據



4. 目標 G2-obj30 的光變曲線並不對稱，且沒有穩定呈現水平的特徵，因此我們排除其為系外行星的可能。透過週期推測此星體為變星，週期大約為 0.46 天，不過因為數據不充足的因素，目前無法判斷此星體為何種類型的變星。

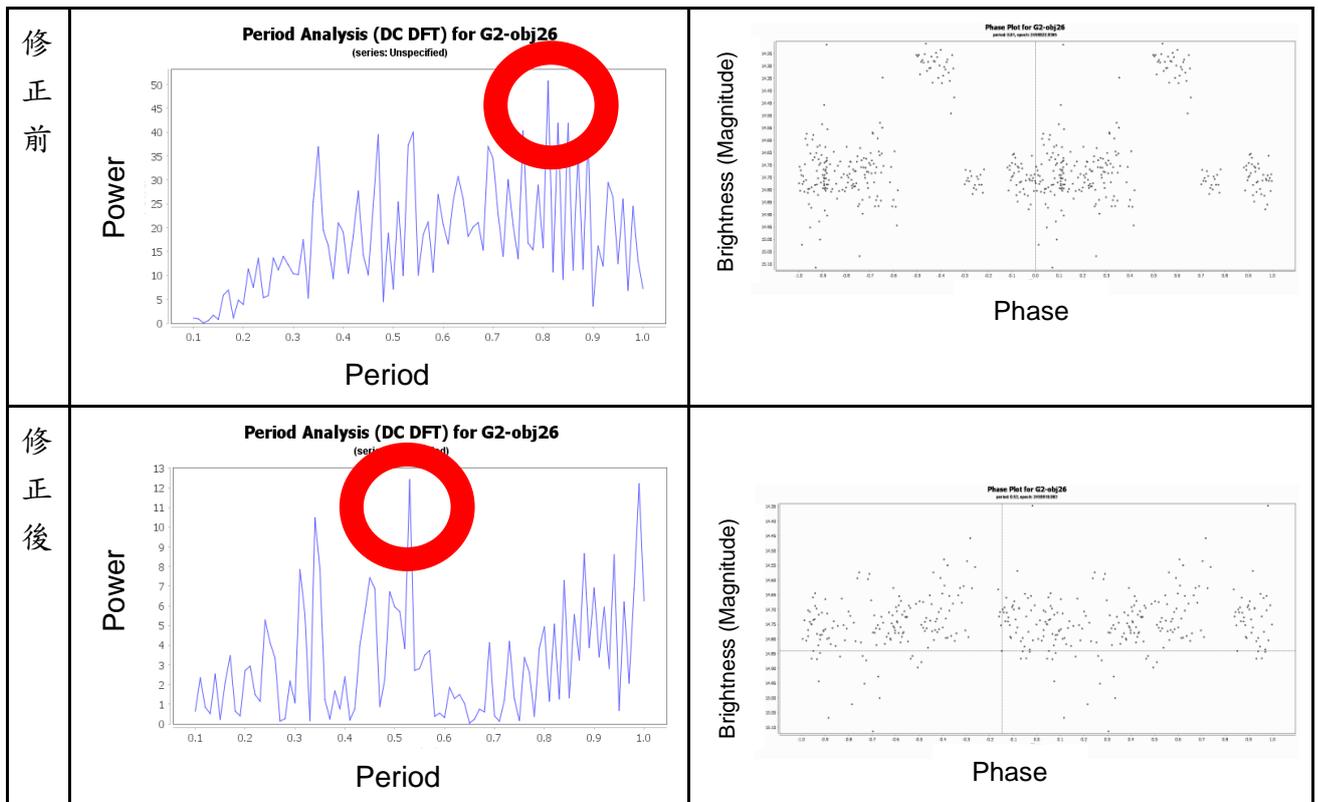


圖(二十六)、G2-obj30 光變週期曲線

三、數據資料的再分析

在我們觀測時，有時候可能有薄雲會飄過，造成觀測數據的不均勻變化，其中一個相位呈一條直線，所以我們嘗試將幾天的數據，(2022 年 12 月 23 日及 27 日)去除，看是否會優化觀測分析的結果。從實驗結果修正前與修正後的對比中，可以發現雖然修正後大部分 POWER 值有下降的趨勢，但相位圖呈現比修正前有更明顯的光變曲線，因此我們在討論中只針對修正後的結果進行討論。

目標 G2-obj26 在修正前的強度訊號值較高，從其週期關係圖中我們看不太出有週期性的光變變化，認為此目標還需要再做長期觀測才能確認是否為變星或是其他。不過到了修正後，發現 POWER 值大幅度下降，且幾乎看不出有光變變化，可能是因為沒有將那兩日的影響扣除而造成的誤判，因此修正是有必要的。



四、望遠鏡影響

在參考楊庭彰的論文中，其研究目標為長週期的變星，要使用到跨區域的望遠鏡協助觀測。以標準造父變星為例，目前認定的週期變化大約為 1.5 到 50 天，1.5 天的理論上有 5 天觀測，每次 6 小時，剛好看的都是錯開的相位時，就可能是完成 1 個週期的數據，而週期愈長，就要看更多數據才可行。而在我們的研究中，則使用校園的地面望遠鏡觀測，位置單一無法遍及全球，也因為在位置中受到城市的光害和天氣的影響，只能在合適的上半夜能進行觀測，一整年的觀測時間大約只有半年，所以以學校的觀測模式，都會是以找變化在 1 天內的變星為主，因此較適合觀測系外行星凌日或是短週期變星，更長的則需要配合數據庫。

捌、結論

此研究以校園望遠鏡觀測 M39 星團，利用 ExoClock 資料庫確認校園望遠鏡觀測變星以及系外行星的亮度變化是可行的，接著畫出 CMD 圖，確認我們所點的目標星是 M39 裡的成員星。我們評估出 M39 星團最有可能是系外行星與變星的 60 個星點作為目標星，再由 Vstar 程式利用離散傅立葉變化尋找最大訊號值強度，跑出相位圖，擬合出最有可能的光變曲線。

本研究初步從 60 顆星點中，找出 1 顆疑似潛在系外行星，並也推論出其最可能的類型為 Lava Worlds。研究找出 2 個潛在變星，其中 1 個透過光變曲線確認其為 RR 型變星。

玖、參考資料

1. Sarah L. Schuff, 2007. A Photometric Search and Analysis of Short-Period Variable Stars in the Open Cluster NGC 7092. Department of Physics and Astronomy Brigham Young University Bachelor of Science thesis.
2. 楊庭彰，2017。利用巡天計畫資料研究激變變星的長周期光變現象。國立中央大學博士論文。
3. 胡瑞華，2004。在疏散星團中尋找系外行星與變星。國立中央大學碩士論文。
4. Astronomy & Astrophysics: How To Find an Exoplanet 尋找系外行星:凌星法資訊。引用自 <https://scitechdaily.com/astronomy-astrophysics-how-to-find-an-exoplanet/>
5. UNIVERSE TODAY Space and astronomy news，逕向速度參考資料。引用自 <https://reurl.cc/xloaXb>
6. Space-Warping Planets: The Microlensing Method，微透鏡觀測參考資料。引用自 <https://reurl.cc/gZxGEz>
7. ASTRO WILL，M39 CMD 參考資料。引用自 <https://www.astrowill.page/blog/2020/01/13/make-your-own-color-magnitude-diagram-prepare-to-astronomize/>
8. 儒略日的用途及其轉換，儒略日參考資料。引用自 <https://bieyu.com/astp-doc/a02.htm>
9. Sukanta Debl and Harinder P. Singhl, 2，變星的光變週期分析。引用自 <https://arxiv.org/pdf/0903.3500.pdf>
10. 圖解傅立葉分析，傅立葉分析參考資料。引用自 <https://hackmd.io/@sysprog/fourier-transform>
11. 洪辰昊，2017，利用星團內短週期變星性質與星團運動狀態對疏散星團的性質探討——以英仙座雙星團為例。臺北市立建國高級中學，台灣國際科展報告。
12. 楊庭彰，2017，大數據天文學 —— 時間序列分析，傅立葉轉換參考資料。引用自 https://www.astro.ncu.edu.tw/~edlin/2015bigdata/bigdata_ast.pdf
13. NASA，Light Curves of Kepler's First 5 Discoveries，系外行星的光變週期分析。引用自 <https://www.nasa.gov/content/light-curves-of-keplers-first-5-discoveries>

【評語】 051903

以校園望遠鏡對 M39 星團進行觀測，接著利用影像處理技術以辨識星團中的成員是否為系外行星與變星。過程交代清楚，結果也含算明確。研究動機與目標之選取可以多做一些說明。研究方法若能結合校園望遠鏡觀測與其他天文觀測數據應用於系外行星或變星之分析與辨識，是可以再延伸之研究。相關研究之文獻收集與探討可以再加強。

作品海報

以校園望遠鏡尋找
M39星團的行星與變星

壹、摘要

本研究以尋找系外行星作為目標，使用校園望遠鏡對 M39 星團進行觀測，並利用其中 60 顆星體的觀測數據中星體儀器星等的變化，透過離散傅立葉轉換計算其週期強度，繪製各星體的週期相位圖。藉由判斷週期光變曲線的形狀確認是否為系外行星 又或是其他變星的光變特徵，並進一步與資料進行比對。本研究從選定的 60 顆中目標 中發現，1 顆疑似為 Lava Worlds 類型的潛在系外行星，同時觀測到一顆天琴座 RR 型 潛在變星及未知類型的潛在變星，而我們也在目標星之中發現與 Sarah 論文所得到的 分析結果不同，並針對其情形進行研究。透過觀察與討論，探討所發現的潛在系外行星以及各潛在變星推測根據。

貳、研究動機

對於外太空抱持著興趣的我們，在高中時期參與了系外行星監控觀測計畫 (ExoClock)，加入尋找新地球的一份子。從熟悉了學校望遠鏡到開始思考自行發現系外行星的可能性，透過拍攝星體及分析星等，從研究過程中深度了解變星等知識希望能自行分析觀測數據尋找未知的系外行星。

參、研究方法

工具與軟體應用

- 以本校望遠鏡觀測

觀測時間：無雲時，從晚上大約6、7點持續觀測至10.30左右

曝光時間：每分鐘B、G各拍攝30秒

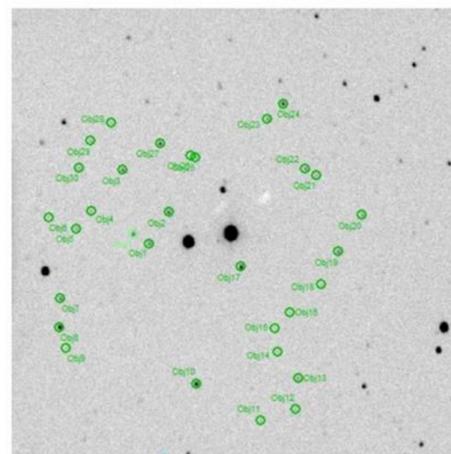
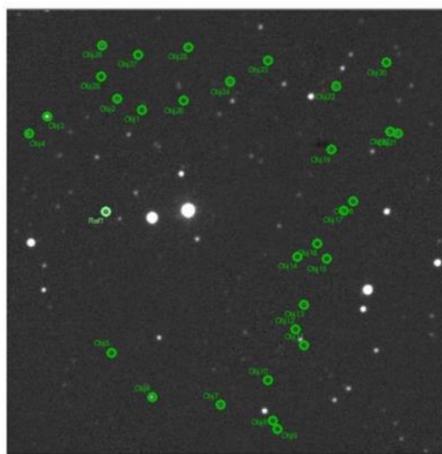
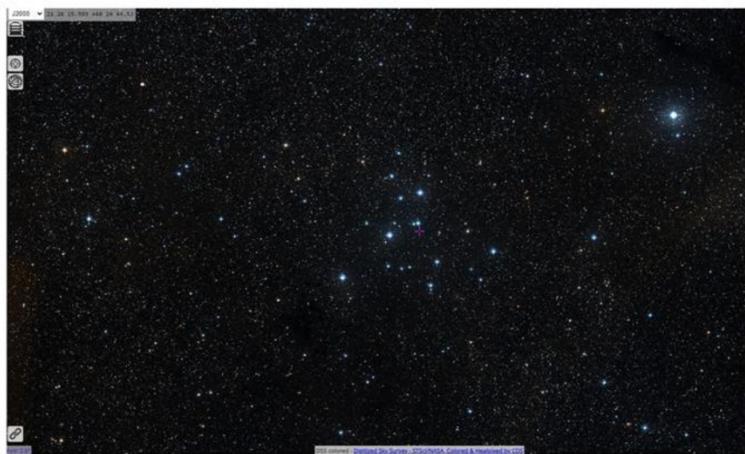
- 重要軟體

MaxIm DL 5：對觀測影像進行預處理(偏壓、平場、暗電流等校正)、疊圖並點星獲取各星點的儀器星等數據以利分析。

VStar aavso：繪製星體的週期強度圖以及相位圖，探討其週期關係。

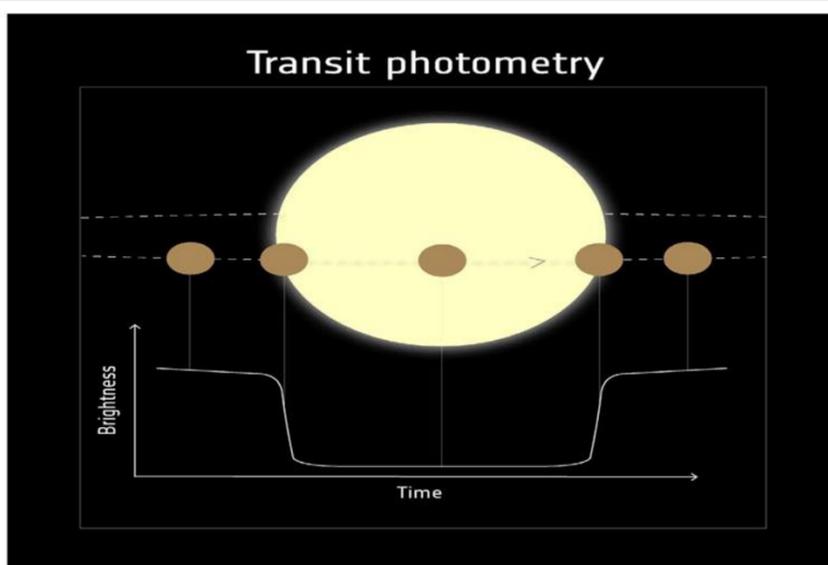
星團選定

秋冬之際大約在圓頂望遠鏡的正上。距離地球約824.4光年，適合利用凌星法尋找系外行星。M39為疏散星團，各恆星間距離密集度相對較低。



凌星法

當系外行星公轉軌道、母恆星與地球軌道在同一平面時，地球觀察者觀測到母恆星光度下降的情形，可透過光變曲線變化來觀察。

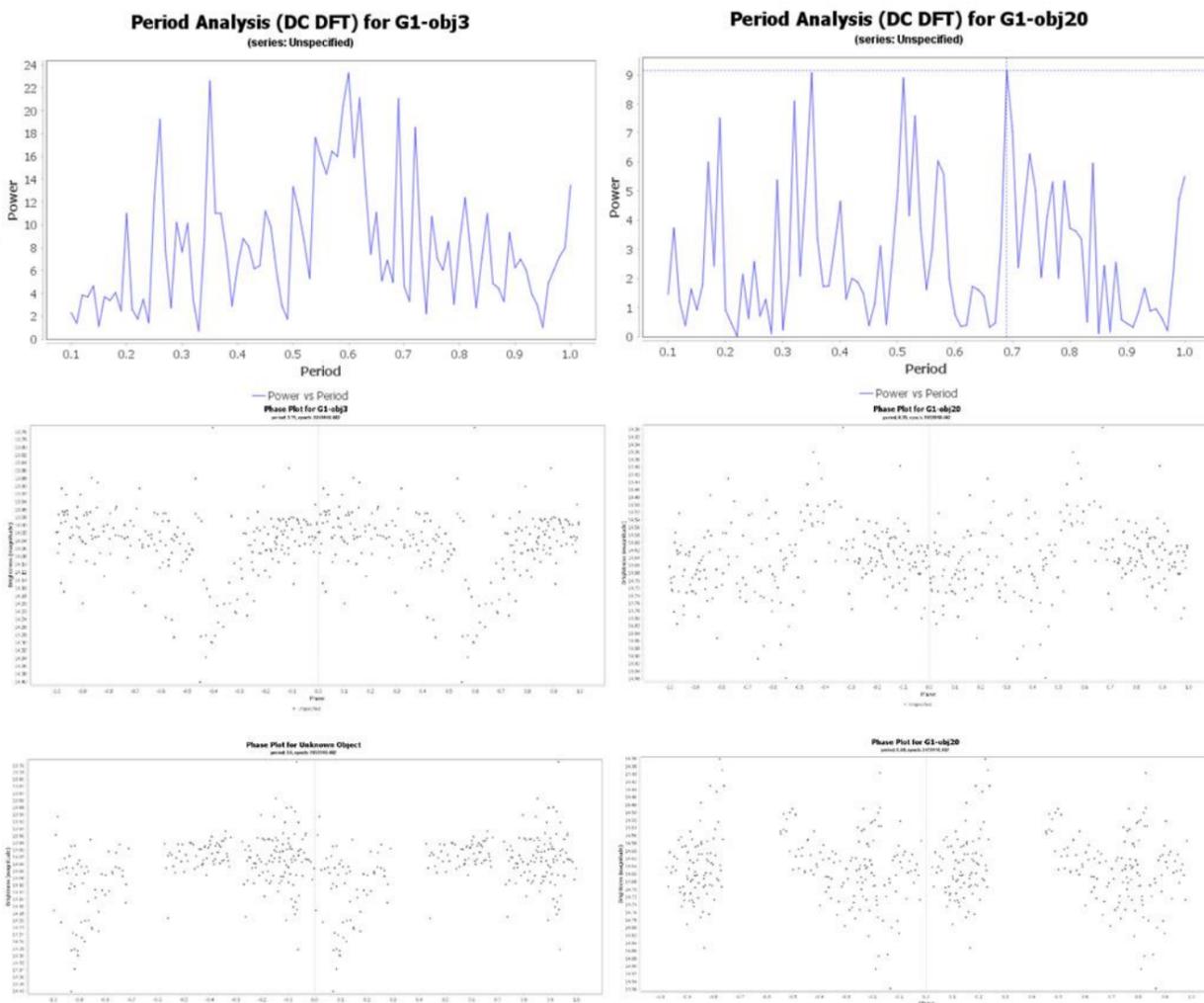


肆、研究結果

- 週期關係強度
橫軸: 週期
縱軸: 與對應週期之間的擬合程度
- 週期相位圖
將不同時間的星點星等插入該週期相位

G1目標3

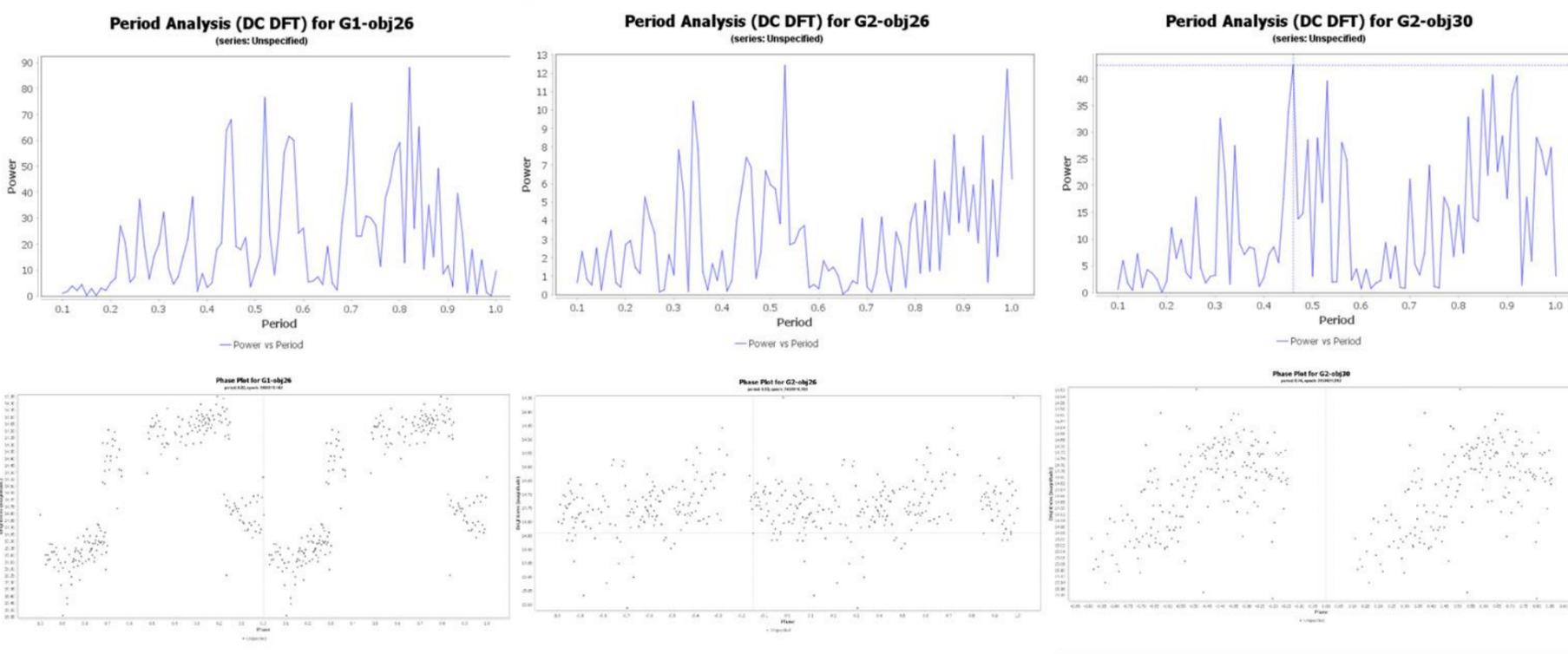
G1目標20



G1目標26

G2目標26

G2目標30

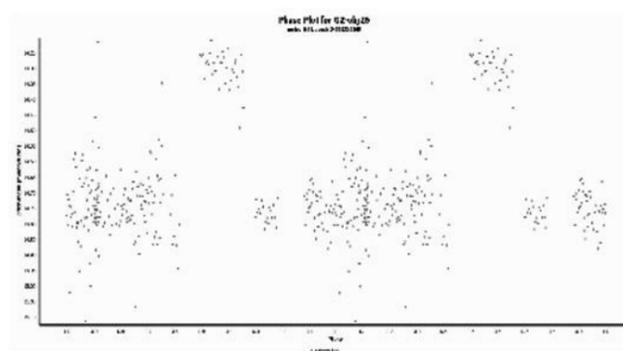
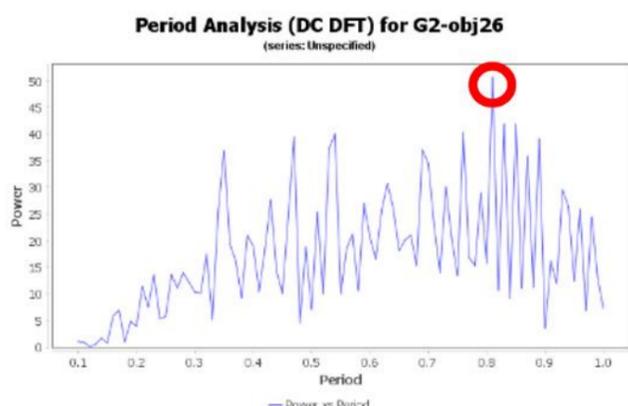


伍、討論

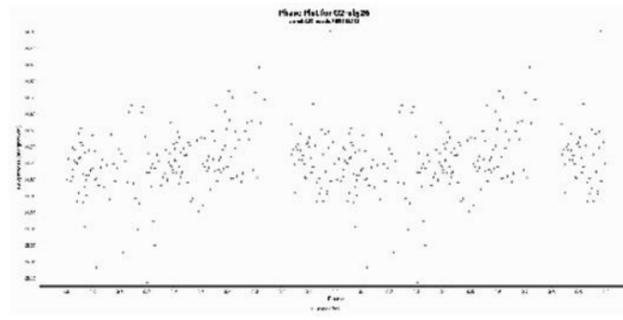
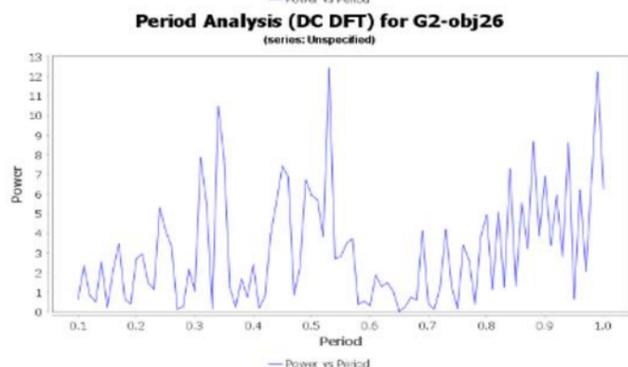
一、數據修正

G2目標26

修正前

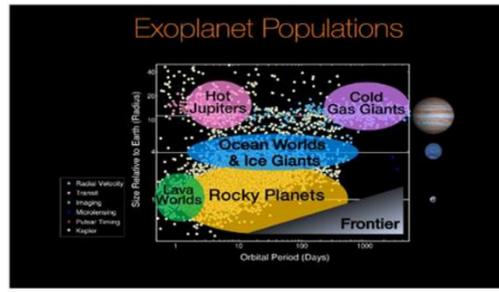
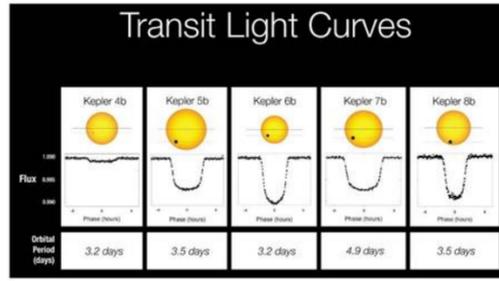
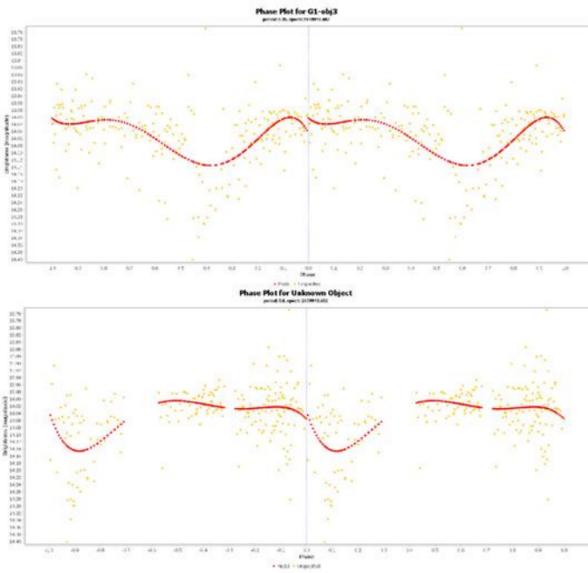


修正後



二、潛在系外行星

G1目標3



從G1-obj3週期圖中，可以看到可能的光變週期有兩個，分別是0.35天及0.6天。

可能系外行星種類

Lava Worlds

Hot Jupiter

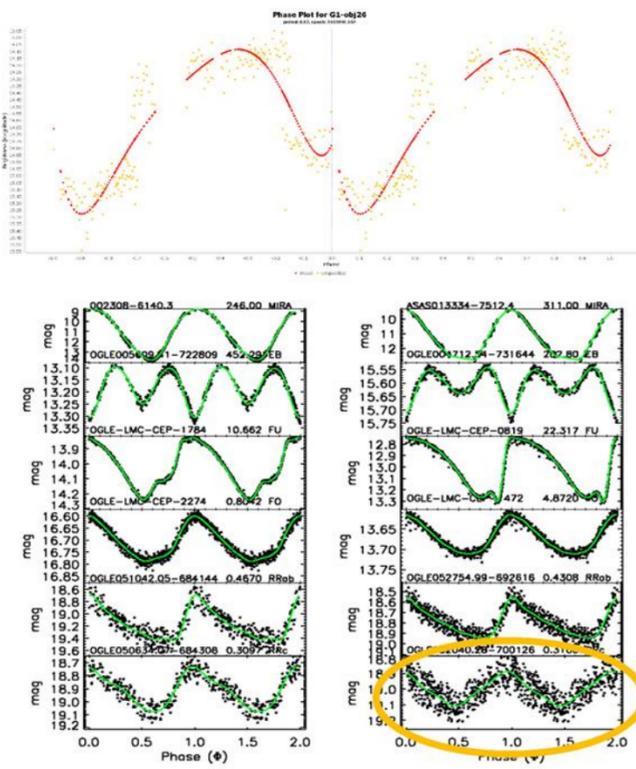
大部份週期大於0.5天→周圍有系外行星的可能性低

凌星法、學校天文台設備→ Hot Jupiter

光變週期→ Lava Worlds

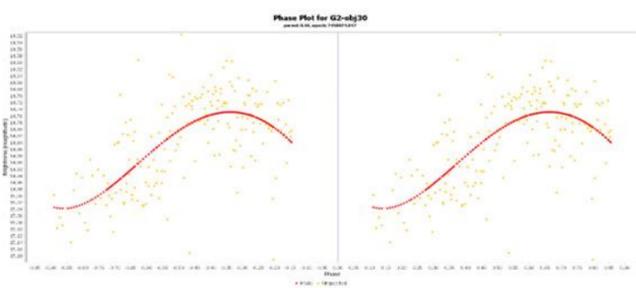
三、潛在變星

G1目標26



推測可能為天琴座RRc型變星

G2目標30



無法推測其變星類型

四、研究比較

G1目標20

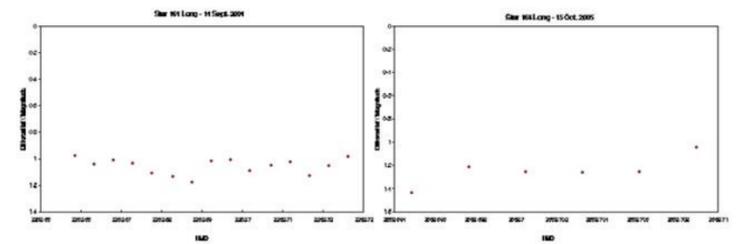


Figure 4.39 Light Curves for Star 164 Long, taken 14 Sept. 2004 and 15 Oct. 2005.

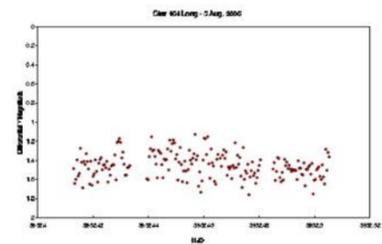
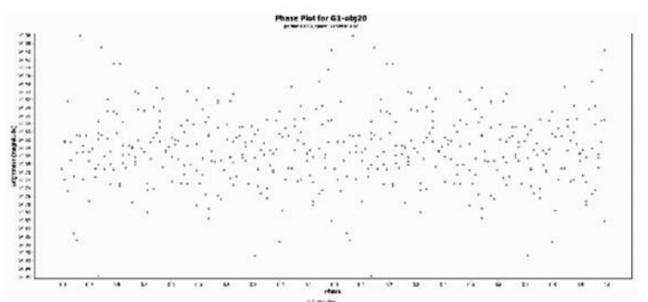
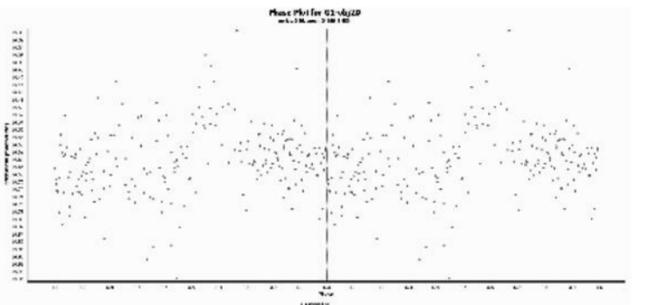


Figure 4.40 Light Curve for Star 164 Long, taken 5 Aug. 2006.

上圖為Sarah論文資料



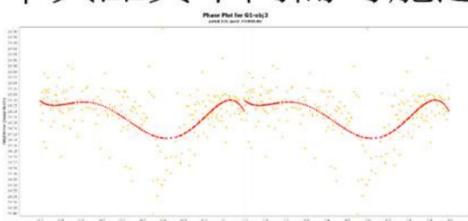
上圖為以論文中週期0.08天相位圖



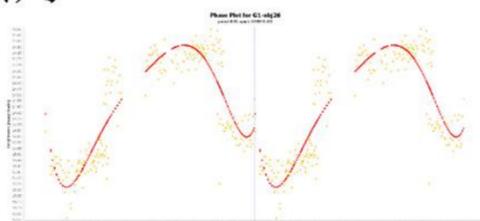
上圖為本研究觀測相同目標的相位圖

陸、結論

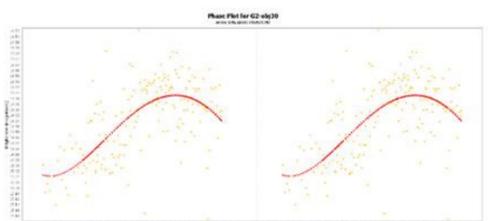
- 推測G1目標3為潛在系外行星。
- 2顆疑似變星，其中G1目標26初步確認為天琴座RRc型變星，G2目標30則未確認。
- 比對Sarah論文資料，得到G1目標20不同的分析結果並推論可能原因是其取樣頻率與品質不同而造成誤判。



系外行星



天琴座RRc型變星



未確認變星