

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 地球與行星科學科

051908

以校園望遠鏡觀測 NGC7092 星團外圍天區

學校名稱： 國立金門高級中學

作者： 高二 楊甯鈞	指導老師： 李育賢 薛郁潔
-------------------	-----------------------------

關鍵詞： M39、系外行星、變星

摘要

M39 又名 NGC7092，是個位於天鵝座方向的疏散星團。本研究選定 M39 外圍的區域進行觀測，配合分析 Gaia DR3 在 M39 天區經過初步篩選的資料，大致符合 Gaia DR2 資料庫中明確標示的成員星。本作品的觀測資料中，多數星點座落在 Gaia 資料繪出的 CMD 圖主序帶中，可以推論本作品觀測的外圍天區還是有不少 M39 成員星。本次研究觀測到一顆食雙星變星，雖然在 CMD 圖所座落的位置接近星團主序帶，但在校的觀測資料在無法得知恆星的自行運動與視差的條件下，要確認這顆變星是否為成員星，只能搭配資料庫的資料進行深度分析，經確認這顆變星應該就是 M39 星團的成員星。

壹、動機

我自國中起常常參加學校的天文活動，多次活動後也熟悉學校望遠鏡的觀測，進而對星團研究產生了興趣，便思考是否能做星團觀測的研究。與老師討論後，決定在 2024 年的 10-12 月，針對 NGC7092 星團進行觀測(本文主要以 M39 稱之)。

本研究挑選這個目標的主要原因是過去的資料大多聚焦在觀測 M39 的中心區域，但由於 M39 範圍廣大，若我們選擇了較外圍的區域拍攝，就有機會找尋到潛在成員星中的系外行星或是變星。

貳、研究目的

- 一、針對 Gaia 天文望遠鏡的 M39 觀測資料進行處理以確定理論之可行。
- 二、挑選一個 M39 較外圍的區域觀測，尋找可能存在的成員星及其潛在的系外行星。

參、研究方法

我們進行初步文獻探討後找到觀測方向，配合本校的時區與可觀測的時間後，以 M39 星團為初步目標，只是我們想要拍攝較外圍的天區，並確保觀測的天區至少有一顆已知變星，經請教中央大學該領域的專業研究員後，確立觀測的天區座標。

於 2024 年的冬天(10 月-12 月)持續觀測目標天區，待觀測資料足夠後進行數據處理，最後與文獻進行綜合比較，再進行討論分析。

肆、文獻探討

本次科展主要參考 2024 年中研院季報夏季號的文章-適合中學生參與的星團研究(陳文屏，2024)。該文首先介紹了星團的成因與特性，恆星在重力收縮下成群誕生而形成星團。由於星團成員來自同一個分子雲，具有相似的成分、距離、年齡，使得星團成為驗證恆星演化理論的理想研究對象。

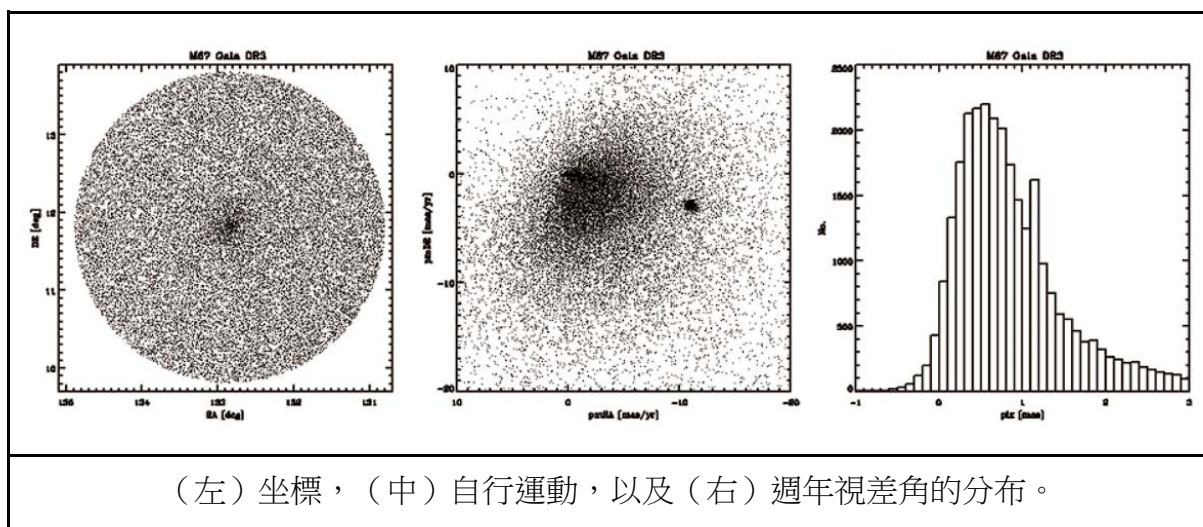


圖 1、在 M67 兩度星場內，Gaia DR3 有關恆星(陳文屏，2024)

該文以疏散星團 M67 為例，使用天文資料庫 SIMBAD、Vizier 獲取星團的觀測數據。透過 Gaia 太空望遠鏡的資料，可分析星團的自行運動與視差角，以區分星團成員與場星。因為成員星團的距離都一樣，即使以視星等不以絕對星等作圖，仍然可以顯出星團的本質。

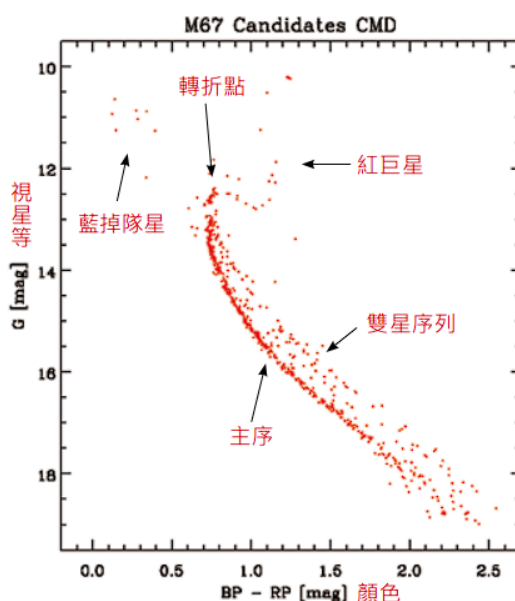


圖 2、同時限定了坐標、自行運動，以及距離得出的星團成員樣本(陳文屏，2024)

伍、研究設備與器材

	 https://www.celestron.com/products/edgehd-14-optical-tube-assembly-cge-dovetail
<p>Paramount MX 赤道儀 (取自：永光儀器網站)</p>	<p>EdgeHD 14" Optical Tube Assembly (CGE Dovetail)</p>
	
<p>QSI660 冷卻相機(取自：永光儀器網站)</p>	<p>Antlia LRGB 系列濾鏡</p>

圖 3、觀測的重點器材(取自各儀器網站)


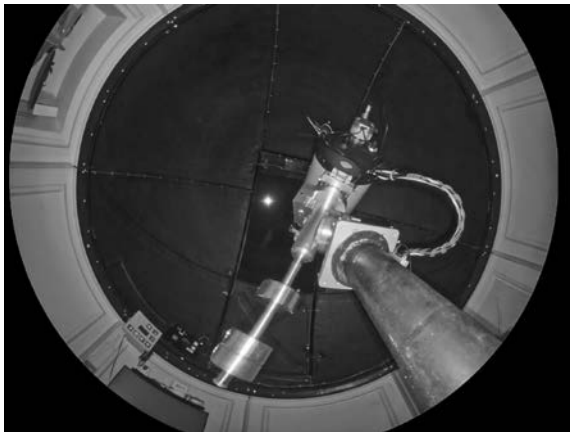
	
<p>望遠鏡本體</p>	<p>觀測時監控畫面</p>

圖 4、望遠鏡本體與觀測時畫面(自行拍攝)

陸、研究過程與結果

一、資料庫數據處理

下圖藍色的點為 **Gaia DR2** 資料庫中明確標示為成員星的星點，而紅色點則是使用 **Gaia DR3** 較新的資料庫。再依據中央大學天文所的博士後研究員建議的參數所抓取的數據，以 **RA**、**Dec** 座標顯示在實際天空中的分佈區域。從圖中可以看得出來，**Gaia DR3** 資料中包含了成員星及非成員星的資料，所以我們使用該條件作為篩選，找出潛在的成員星。

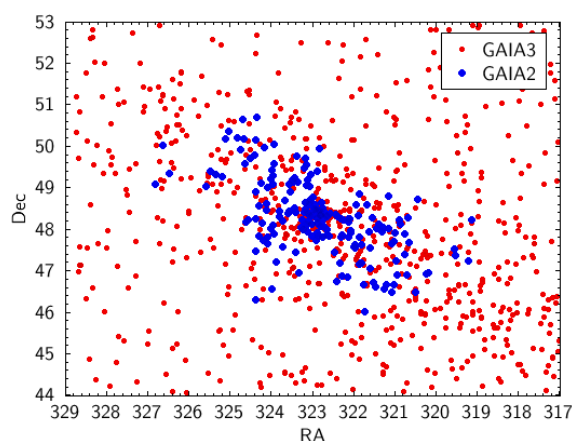


圖 5、Gaia DR2 成員星(藍色)與 Gaia DR3 天區 RA329-317，Dec44-53(紅色)資料
(自行繪製)

首先，使用 **CMD** 分別畫出兩個資料庫的分布，由於 **Gaia DR3** 的資料庫在 **G** 星等 18.5 以上與 **Gaia DR2** 重疊良好，表示其中多數為星團的成員星。同時，也考慮到後續將使用校園望遠鏡進行觀測，而以學校的望遠鏡設計來說，對於 18 等以下的星體觀測效果不佳，所以我們直接以 18.5 為界，比 18.5 等還暗的星點直接去除不予考慮，以利對照。

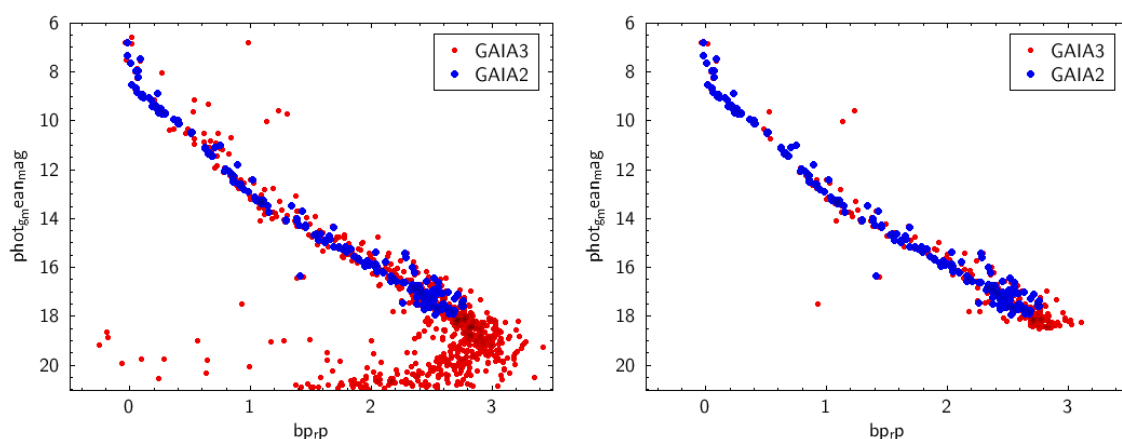


圖 6、Gaia DR2 成員星(藍)與 Gaia DR3 天區 RA329-317 至 Dec44-53(紅)CMD 圖
(自行繪製)

第二步，以自行運動(Proper motion)參數作為取舍，由於星團成員星成形的時間、環境非常相似，所以在天空中的自行運動應該也差異不大。所以我們從下圖左可以看出 Gaia DR2 所標記的成員星，其自行速度相當集中，因此我們參考其自行速度的區間給予限制，單位為 mas/yr(milli-second of arc per year)，以 $-9.5 \text{ mas/yr} < \text{PmRA} < -6 \text{ mas/yr}$ ， $-21.5 \text{ mas/yr} < \text{PmDec} < -17.5 \text{ mas/yr}$ 為界，其餘部分皆去除，留下的資料分布如下圖右。

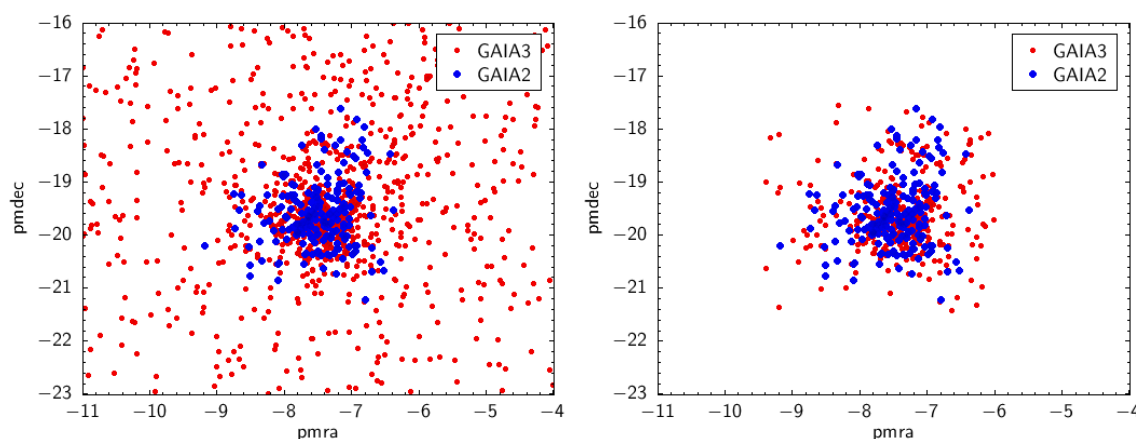


圖 7、Gaia DR2 成員星(藍色)與 Gaia DR3 天區 RA329-317、Dec44-53(紅色)資料 (自行繪製)

第三步，再以視差運動(parallax motion)為參數，其理由如同自行運動，我們取 $3 \text{ mas/yr} < \text{parallax} < 3.7 \text{ mas/yr}$ 為界，取得的資料比 Gaia DR2 稍大一點，最後結果如下圖右。

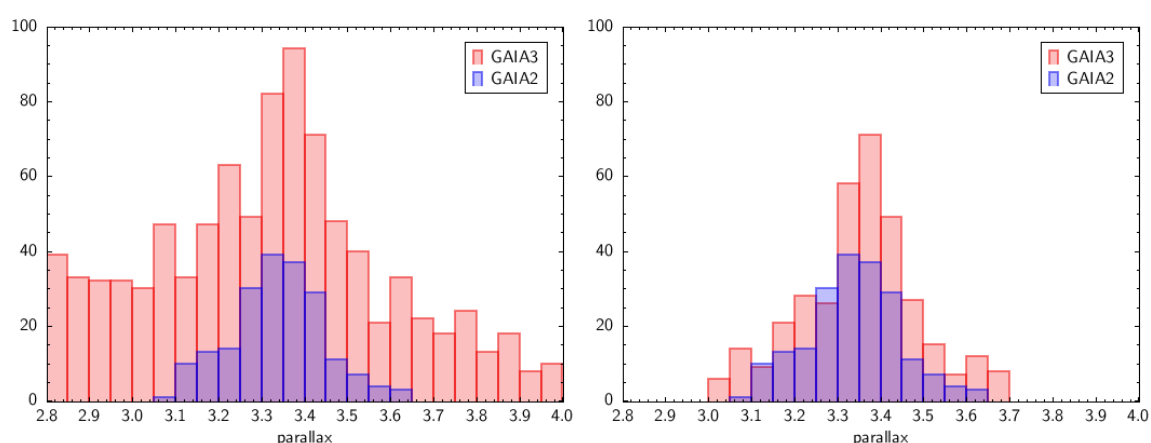


圖 8、Gaia DR2 與 Gaia DR3 星團視差分布比較(左圖為寬分布、右圖為集中分布) (自行繪製)

經過以上 3 個步驟的篩選，最後一樣將結果畫在 RA-Dec 座標上，直接比對兩者的空間分佈(如下圖)，可以看得出篩選過後的 Gaia DR3 潛在成員星，成員星分布情形與 Gaia DR2 類似。也可以觀察出外圍還是有少量成員星的可能。

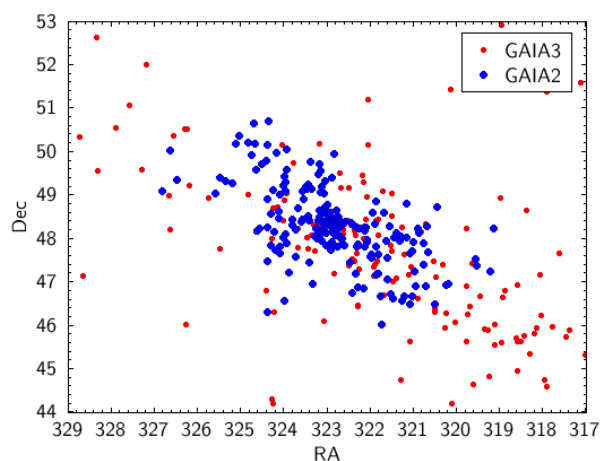


圖 9、Gaia DR2 與 Gaia DR3 星團成員在天球座標(RA、DEC)上的分布
(自行繪製)

最後我們將 Gaia DR3 潛在成員星與實際星圖對標，可看到分佈的區域呈現左上-右下的分布，但仍有少數潛在成員星落在較外圍，其中依中央大學研究員的建議，在右上的區域(紅色框框)有一個目標是變星，在他列為潛在成員星的列表中，但在我們條件篩選中，它是被排除的部份，因此我們以此區域作為研究目標進行觀測。

經過選擇後的 M39 成員星分佈示意圖，搭配使用 Aladin 軟體抓取線上資料庫 DSS2 的影像，其中橘色十字是 Gaia DR3，紅色方框為本校天文台觀測的天區，白色星狀符號是疑似成員星的變星。

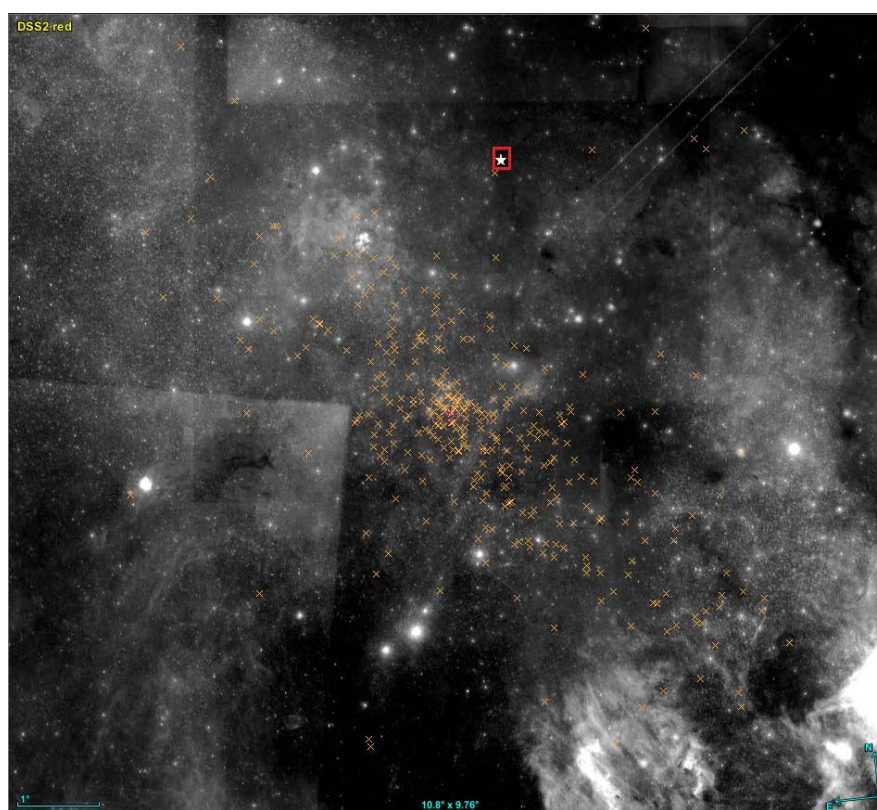


圖 10、Gaia 潛在成員星與 DSS2 星圖對比及觀測區域標示圖(自行繪製)

二、資料分析過程

(一)M39 測光處理過程

1、打開 MaxIm DL 軟體，點選 File 匯入資料

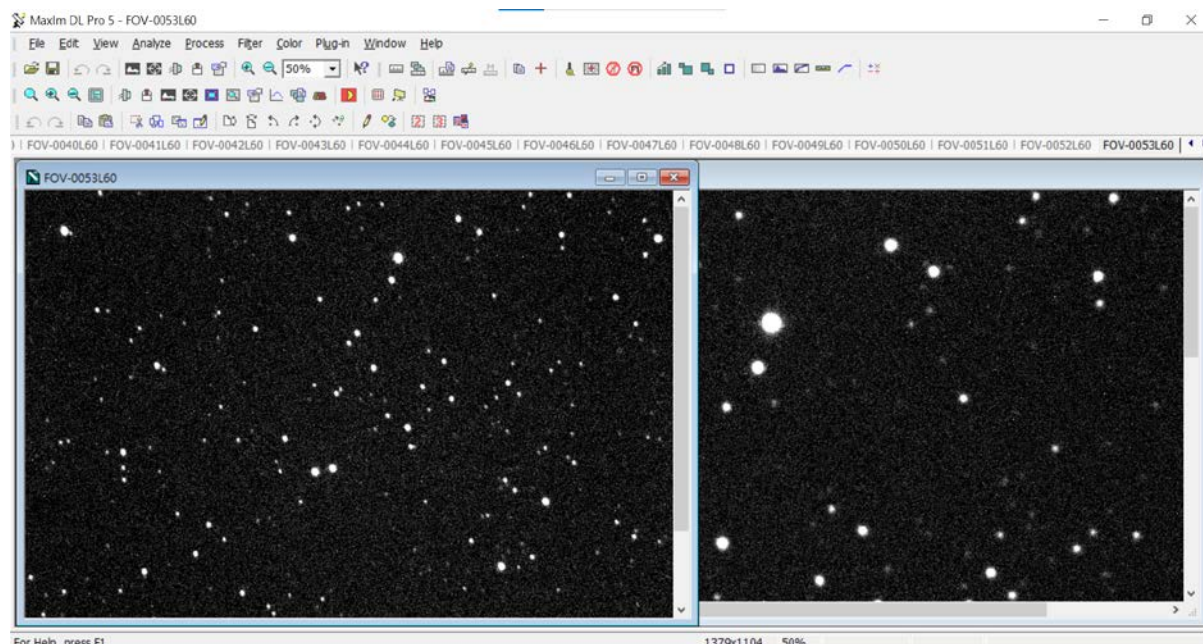


圖 11、操作介面截圖(自行截取)

2、到 Process 中的 Calibrate 進行運算後，再進入 Stack。點 Select 中的 Add images-Add all 匯入資料，再點選 Align-Compute 進行星點對齊，最後到 Combine-Go 將多張圖片疊合。

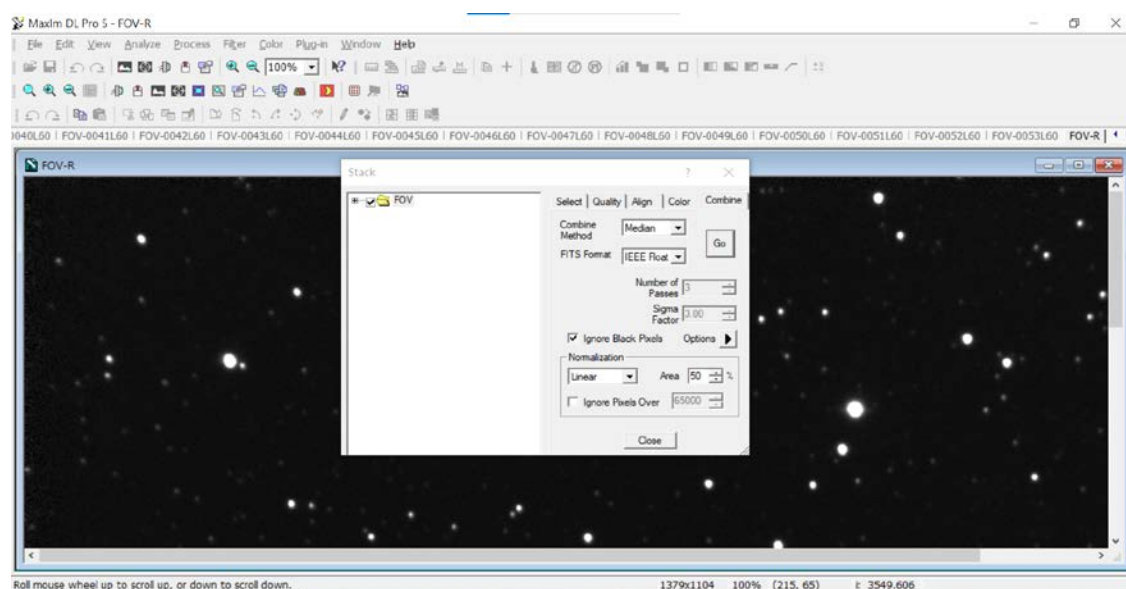


圖 12、操作介面截圖(自行截取)

3、到 Analyze 的 Photometry 中先點選兩顆參考星，並輸入其星等值。再依照星圖分別點選出星團的成員星及非成員星。

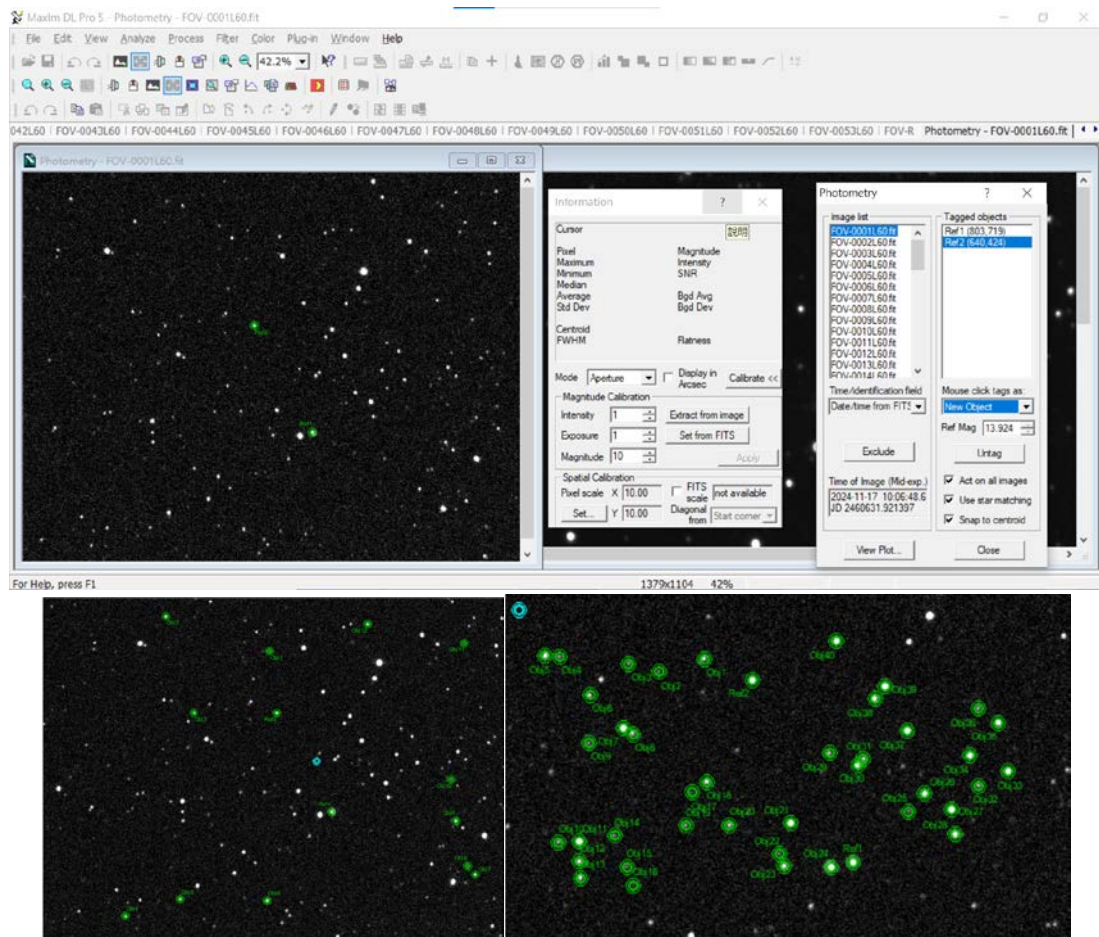


圖 13、操作介面截圖(自行截取)

4、觀測天區全貌



圖 14、為星團的成員星、非成員星以及參考星圖(取自 Aladin)

三、本校觀測資料結果

本校對特定星場進行觀測，並將所得的顏色-星等圖（Color-Magnitude Diagram, CMD）與 Gaia 資料庫中的數據進行比較。由於本校使用 B、G、R 三個波段濾鏡，而 Gaia 使用的是 Bp 和 Rp 波段，兩者之間存在一定的波段差異。因此，我們以 Gaia 的數值為基準，對我們觀測所得的色指數進行 0.4 的平移，以對齊主序帶。經過這一調整後，可以更準確地比對兩者的數據，確認我們的觀測結果與 Gaia 數據之對應關係。我們特別在 CMD 圖中標定了 obj24 這顆變星，並將所有觀測到的資料點加總，並繪製其光變曲線。

首先選取了第一組 30 顆的觀測資料，並據此繪製 obj24 變星的相位圖（Phase Diagram），確認其為變星，圖片顯示了該變星的光度隨時間變化的週期。

由於我們學校使用的是 B、G、R 三個波段濾鏡，與 Gaia 的 Bp、Rp 波段略有差異，所以我們以 Gaia 資料庫的數值為基準，在繪製 CMD 圖時，將我們觀測得到的色指數加 0.4，平移主序帶使其與 Gaia 的主序帶大致對齊。

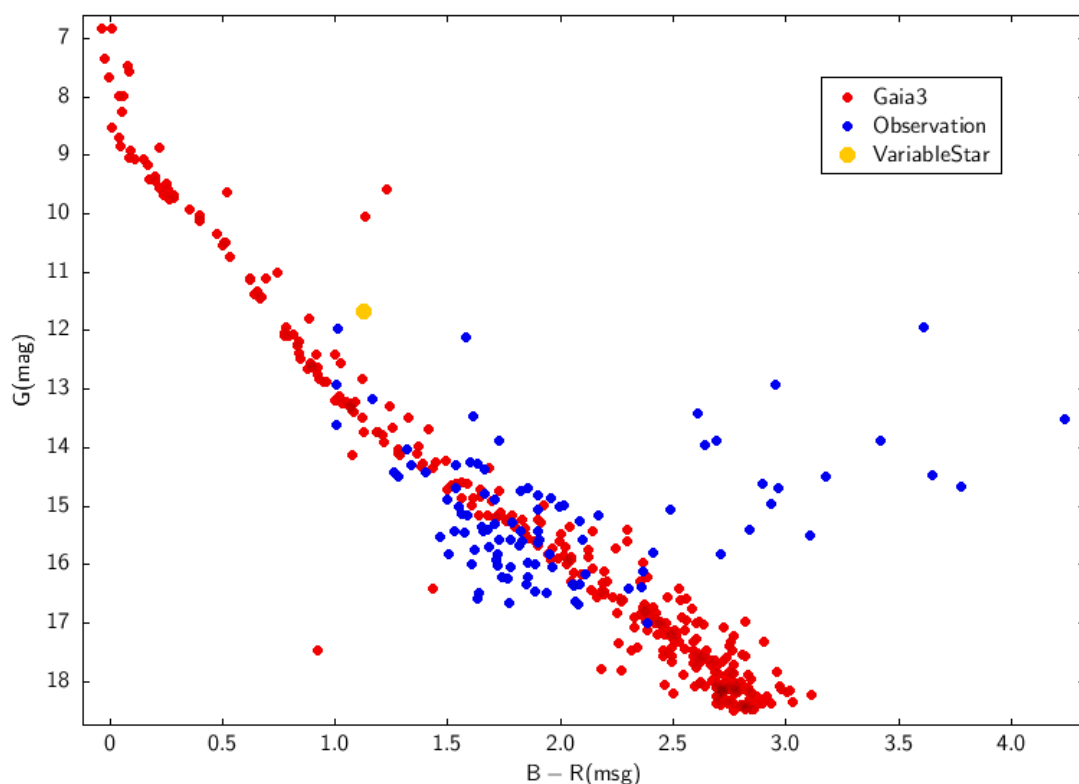


圖 15、本校觀測資料(藍)、obj24 變星(黃)與 Gaia DR3 資料(紅)。(自行繪製)

從上圖資料可初步推測，我們觀測的天區星點資料還是有多數可能是屬於 M39 的成員星。若把我們觀測到的 obj24 變星與 Gaia DR3 資料特別以黃色標示出來，可觀察出其非常接近主序帶，具備候選成員星的可能。但若要確認這顆變星是否屬於成員星，可能還需要分析其自行運動等資料。

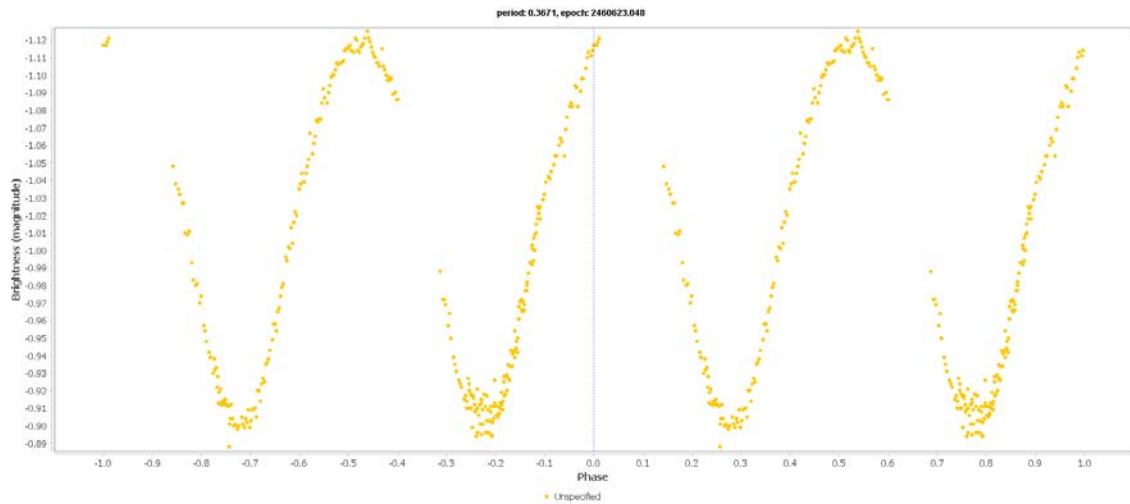


圖 16、取第一組資料畫出來的 obj24 變星相位圖(自行繪製)

從上圖可以初步確認，我們觀察到的變星週期大約為 0.3671 天。因本次觀測只發現一顆變星，根據變星的型態，本次觀測到的變星不是系外行星系統，屬於食雙星類型。本研究之後的討論將以本次觀測到的變星做說明。

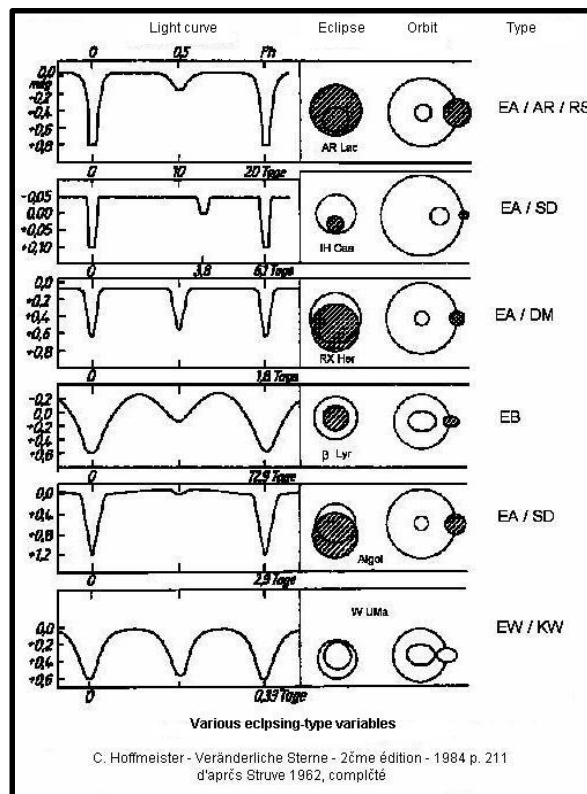


圖 17、本次觀測到的變星形態較接近 EW / KW 型(C. Hoffmeister. 1984)

柒、討論

一、參考星資料的分析

在此星場範圍中，除了 obj24 變星外，並沒有找到其他的變星，可能的原因是我們觀測數據的背景誤差。根據參考星 1 的星等測量，其星等落於 11.752-11.766，誤差範圍約 0.012 星等。參考星 2 的光變曲線星等範圍約為 13.65-13.74，誤差範圍約 0.1 星等。目標星 3 的光變曲線星等範圍約為 15.5-15.8，誤差範圍約 0.3 星等。

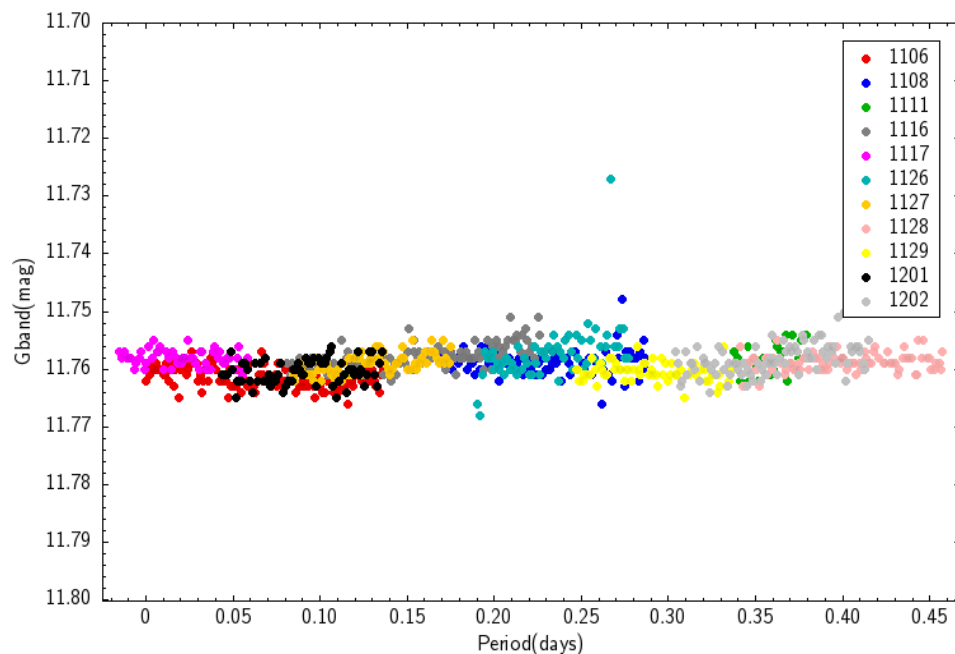


圖 18、參考星 1 的光變曲線星等誤差範圍約 0.012 星等(自行繪製)

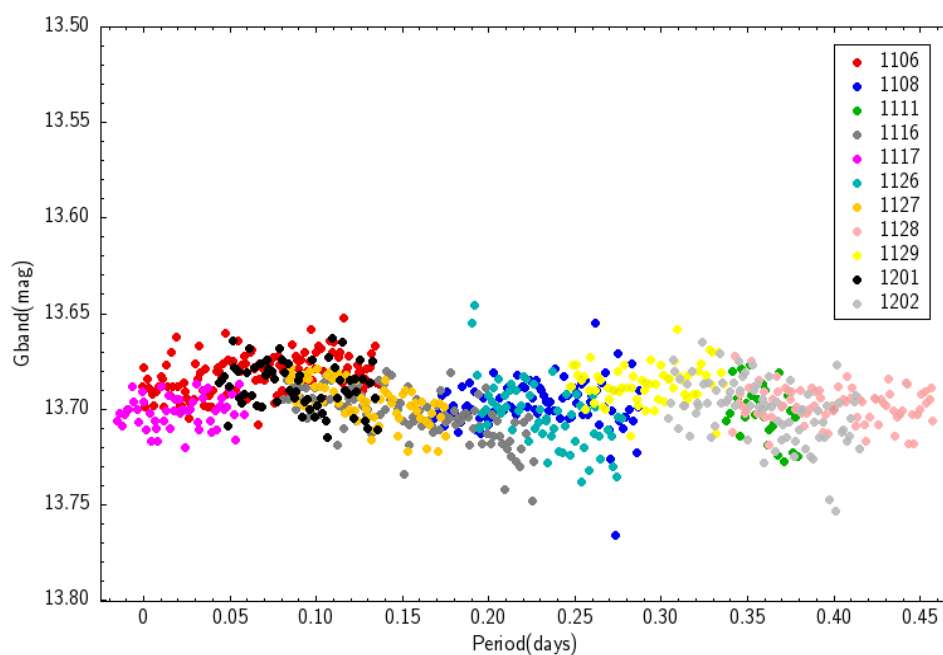


圖 19、參考星 2 的光變曲線星等誤差範圍約 0.1 星等(自行繪製)

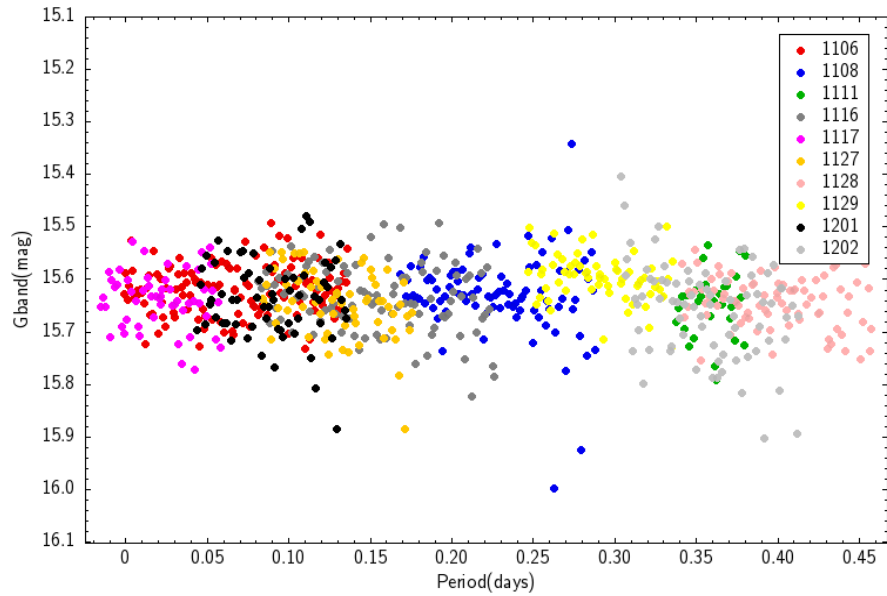


圖 20、目標星 3 的光變曲線星等誤差範圍約 0.3 星等(自行繪製)

根據繪製出的光變曲線，可推論星等愈暗，誤差愈大。若變星的光度變化小於誤差範圍，則我們無法分辨到底是光變還是測量誤差。初步探究其原因是因為暗星的訊噪比較差，所以造成測量的準確度較低，而產生較大的誤差。

由本次觀測天區選定的 3 個參考星可以初步判斷，星等愈暗誤差就愈大，若變星的光度變化小於誤差範圍，就無法找到這個天區光度變化較小的變星或是系外行星。

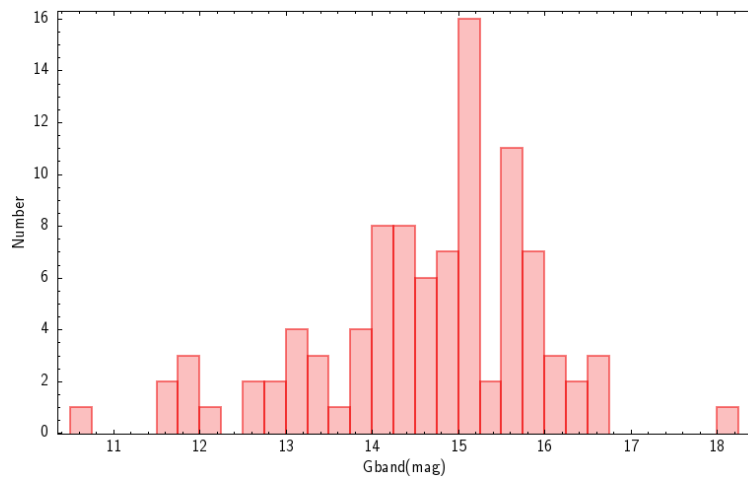


圖 21、本次研究星場中的星等分布圖(自行繪製)

我們觀測的星場中，星等的分布圖，可以看得出來，大部份集中在 13-17 等區間，而 16 等以下的數據，誤差過大，會發生同一天觀測有時候無法測量到的狀況，所以 16 等以下之星點我們都忽略不進行分析。而按上面誤差範圍來說，在我們觀測數據中，星等變化需至少達到 0.1 星等量級，甚至是 0.3 量級以上，我們才有比高的把握從數據中看出差別。

二、觀測到的變星是否為成員星的深度處理

因為本次觀測較外圍的天區，為了討論觀測到的變星是否確實屬於 M39 的成員星，我們重新下載使用最新的太空望遠鏡 **Gaia DR3** 資料庫，下載角直徑 **10 度** 範圍。本次的資料有一共超過 **400 萬顆** 恆星的數據，包括星球坐標、週年視差角、自行運動、星等。

表 1：本次觀測到的變星資訊

RA	Dec	Parallax	PmRA	PmDec	Photo_G	bp-rp
321.8363785	51.3622936	3.057279927	-5.685606515	-22.30489645	11.368904	0.8187485

上表是我們觀測到的變星資訊，發現其落在在下載資料的 **7 度** 左右，離中心有一點距離。

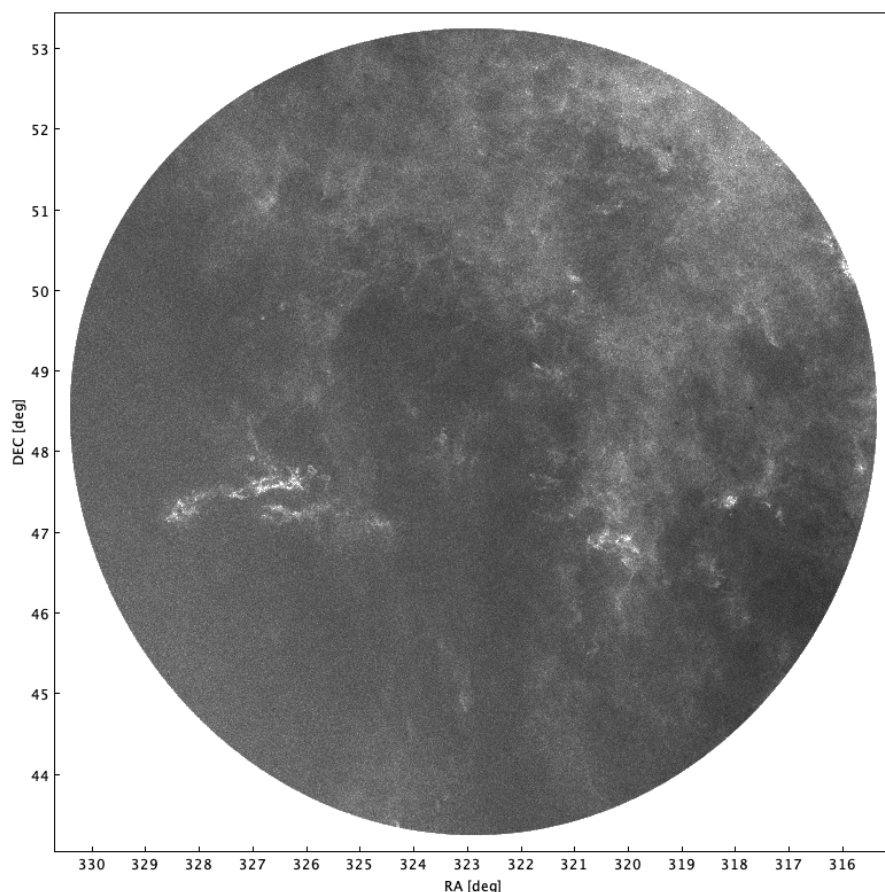


圖 22、恆星位置圖，每顆星以灰點表示(自行繪製)

上圖中白色缺塊表示有星際介質遮擋，也就是後面的恆星被阻擋導致數據不完整，但不影響最終結果。我們把上圖的資料自行運動與週年視差角整理如下圖。

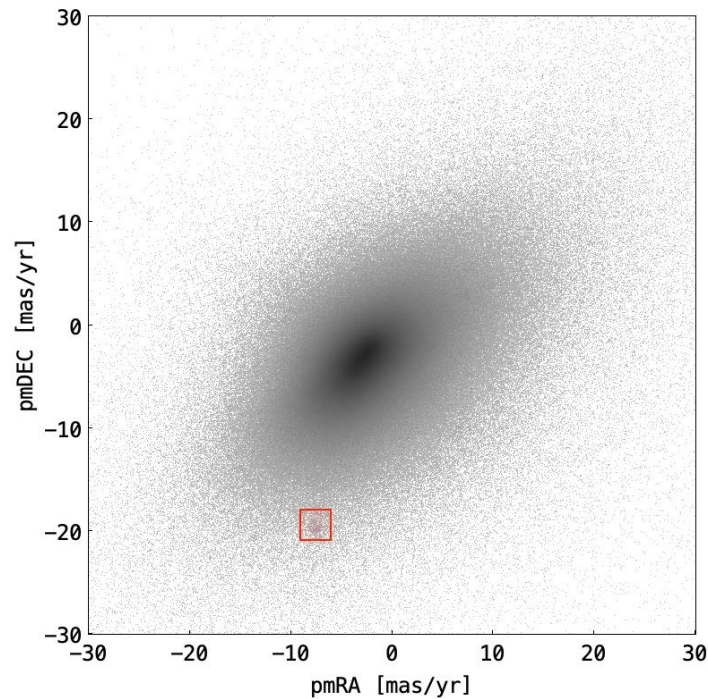


圖 23、自行運動圖(自行繪製)

上圖的自行運動圖，可以看出兩群明顯集中的星點，一群集中於圖中央屬於場星，占絕大多數，另外一群為星團，初步以 $(-7.5, -20)$ 為圓心，半徑 2 mas/yr 選出（紅色圓圈內是滿足自行運動的篩選條件）。下圖為週年視差角長條圖，左圖灰色的直條是全部恆星，右圖只標示紅色圈內的星球，可發現也有兩群，左邊（紅色）數字小，表示距離遠，是場星；右邊（3.0 到 3.8 mas/yr 範圍）以藍色標示。這些是同時滿足自行運動以及週年視差（也就是距離）的候選成員星，共有 400 顆星。

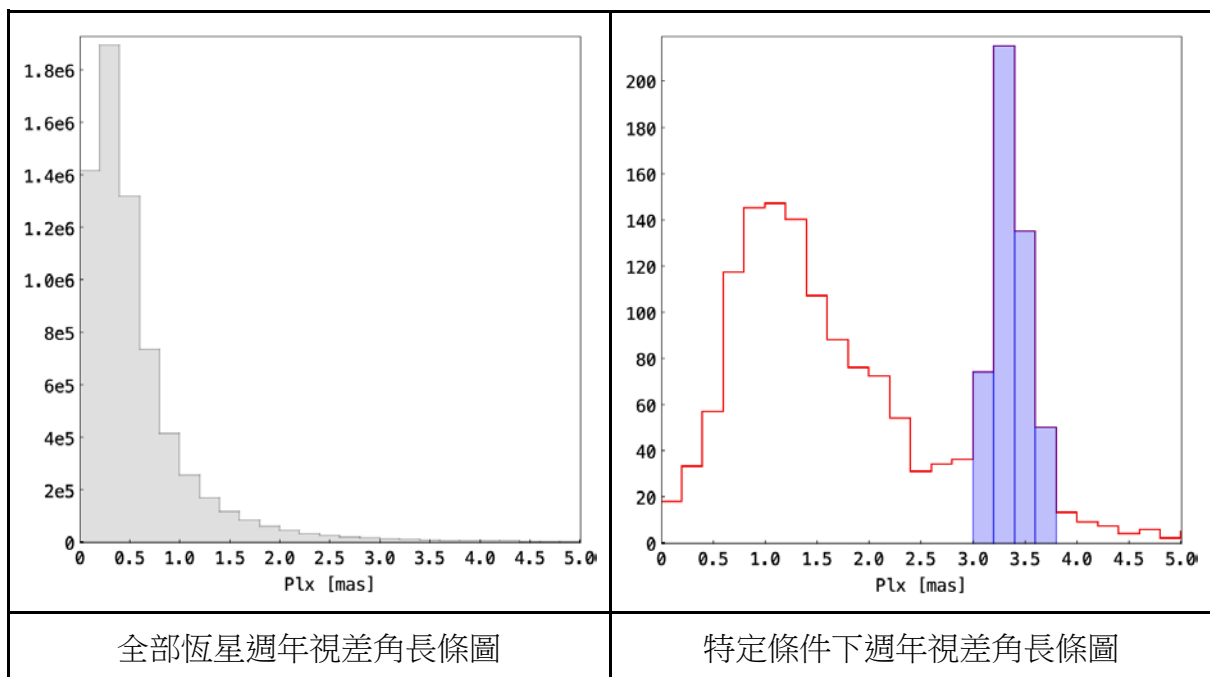


圖 24、週年視差角長條圖(自行繪製)

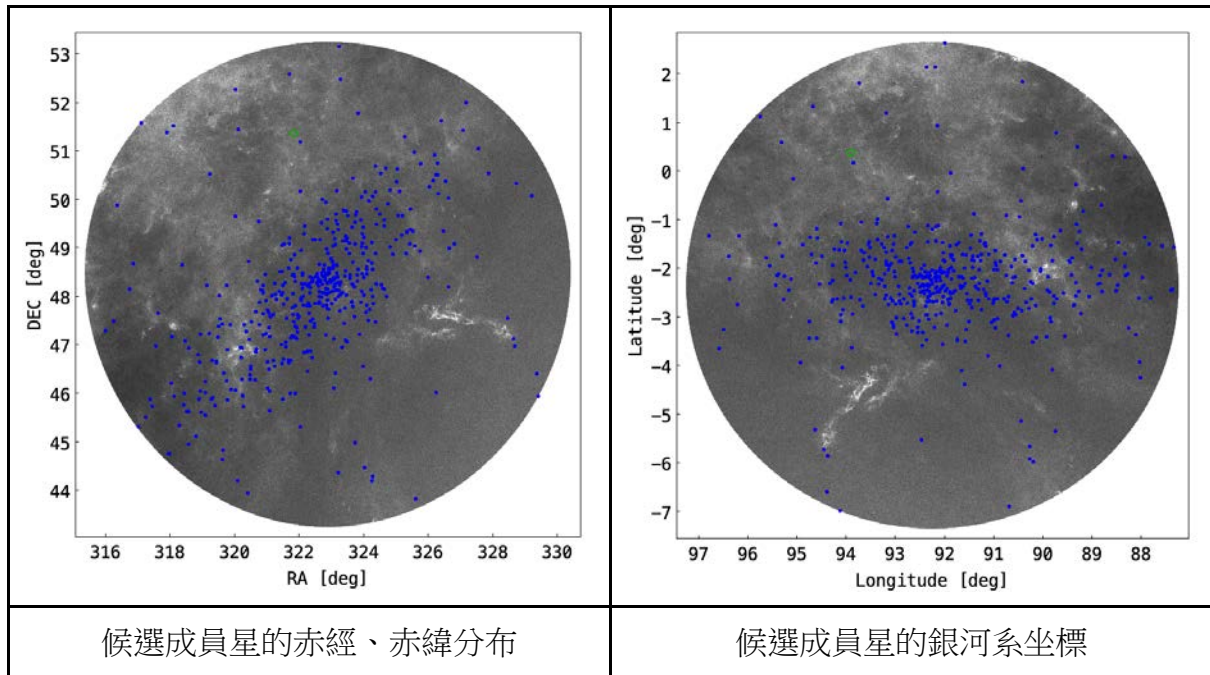


圖 25、候選成員星的座標分佈(自行繪製)

上圖中候選成員星的赤經、赤緯分布，我們發現除了中央星團呈圓形分布（超過文獻中說的 29 角分），外圍則呈現長條形。如果將候選成員星改成銀河系坐標（銀經、銀緯），則形狀沿著銀緯拉長，這應該就是星團受銀河系重力影響而成的潮汐尾，而本校在外圍天區所觀察到的食雙星（綠色）在視野外。

我們下載的資料 10 度視野(對星團來說已經是非常大且可觀的範圍)，初步看起來不能包含所有的 M39 成員星，表示 M39 星團的成員星可能還有不少在原先定義 (SIMBAD) 的區域外，M39 星團若要分析的完整，還可以做更大的範圍的處理。

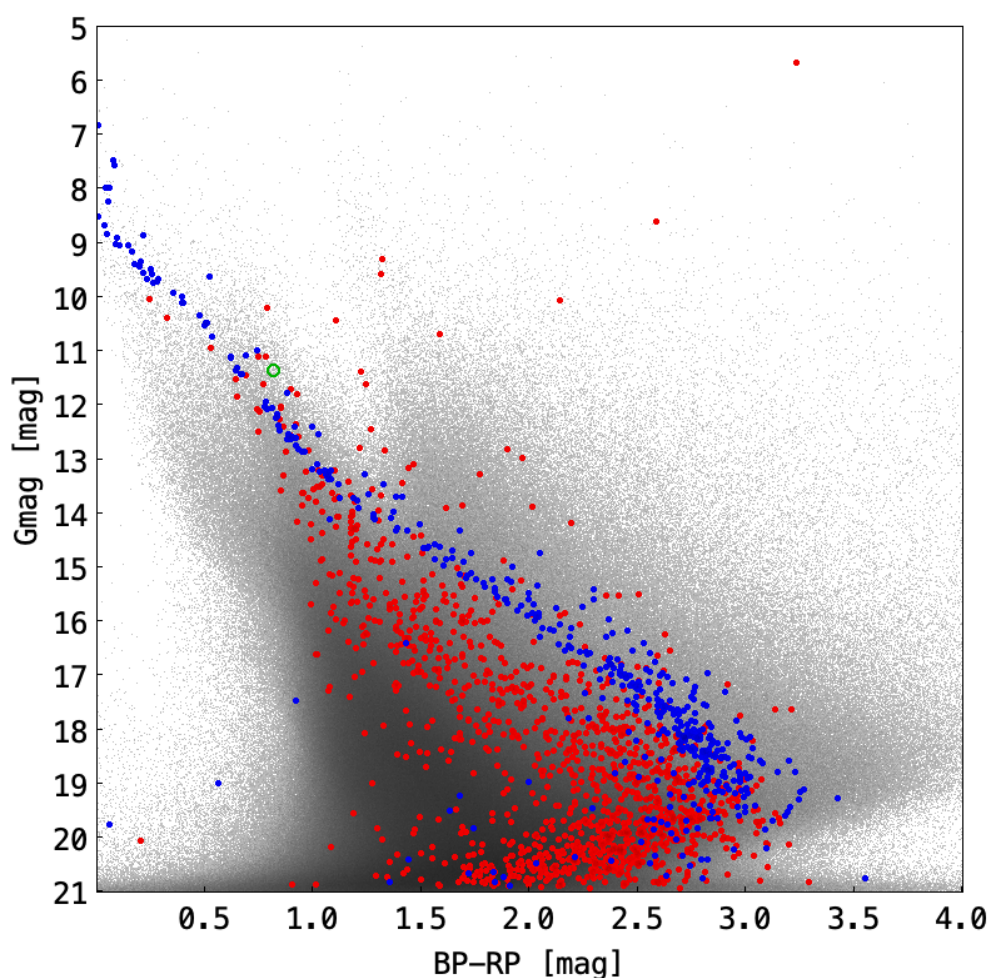


圖 26、以 Gaia 資料繪製的赫羅圖(自行繪製)

上圖為 Gaia 的赫羅圖，標示出上頁（右）圖中紅色圈內的星球（滿足自行運動，此處以紅色符號標示），以及藍色標示的星球（除了滿足自行運動篩選，也同時滿足距離篩選的 400 顆「成員」），灰色則是星場內全部的星球，可看出成員（藍色）呈現出星團主序帶，綠色則是觀測到的食雙星。

我們觀察到的這顆星的自行跟週年視差角都離星團整體不遠，而且文獻中 (SIMBAD) 估計 M39 的角直徑為 29 角分，也就是直徑約為 2.6 pc（8.5 光年）。另外已知有潮汐結構 8.6 pc (28 光年)，可以判斷這顆食雙星仍有可能是成員星，位於潮汐尾內；其距離為 327.1 pc，那麼絕對星等小於 $M_G = -3.80$ ，顏色比 0.82 稍藍，判斷這顆星為 Late F Dwarf。以光變曲線來看，屬於接觸雙星 EW，且兩顆星質量相近，稱為 W UMa 變星。

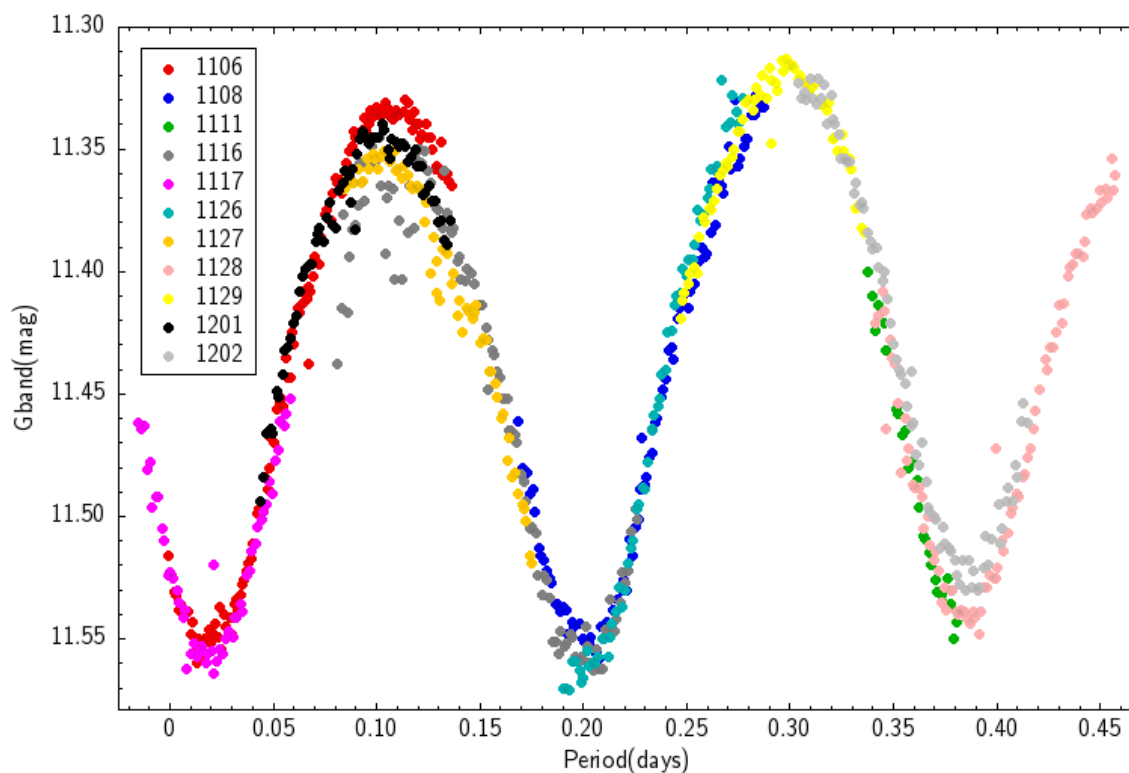


圖 27、我們將 obj24 觀測的資料點每日以不同顏色加總一起(自行繪製)

這次觀測到食雙星，光變在綠光(G 濾鏡)振幅為 (11.56~11.33)，也就是 0.23 星等，若設定週期 $p=0.3671$ 天的相位光變曲線。可以觀察出，12 月 2 日的資料稍有受到大氣影響而產生誤差外，多數觀測天數的資料都是良好的。

本次研究初步可以確認我們觀測到一顆稀有的接觸食雙星，變星在我們設定的週期下，吻合屬於 W UMa 的 A 型或 W 型(參考資料九)。A 型在統計上週期為 0.4~0.8 天；如果是 W 型，週期為 0.22 至 0.4 天，溫度略等於太陽。這顆食雙星較屬於 W 型，週期偏短，吻合「週期越短，顏色越紅」的趨勢。但由於觀測誤差值的存在，我也不排除這顆變星其實是屬於 A 型的可能。

捌、結論

本研究分析 Gaia DR3 全天區資料的篩選，大致符合 Gaia DR2 資料庫中明確的成員星星點，本校的觀測資料也有部份符合其 CMD 圖的主序帶中，可以推論本作品的觀測天區星點還是有不少成員星的資料。

本次我們的望遠鏡觀測的天域有一顆食雙星變星，光度變化的週期約為 0.3671 天，我們觀測資料繪製的 CMD 圖所座落的位置與 Gaia DR3 資料比對雖然接近主序帶，但若要確定是否為 M39 成員星，就一定會需要自行運動與視差的資料幫助我們更加肯定我們觀測的目標就是成員星。

展望

在分析我們觀測到的變星，產生了許多問題，過程中請教了老師與專家，一步步解決我的困難。在本文完成後意外發現觀測結果非常好，不僅發現了星團的潮汐尾，也找到一顆稀有的接觸食雙星。或許未來還有很多物理量可以推導，或是可深入研究探討之處。

參考資料

- 一、永光儀器網站。網站：<https://nick.com.tw/>
- 二、中研院天文所季報。2024 年夏季號。網站：<https://www.asiaa.sinica.edu.tw/IAAQ/>
- 三、Gaia 資料庫。網站：<https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/data-release-3>
- 四、Vizier 資料庫。網站：<https://vizier.unistra.fr/>
- 五、天體分布圖像化工具 Aladin Sky Atlas。網站：<https://aladin.cds.unistra.fr/>
- 六、光變曲線分析軟體 AAVSO Vstar。網站：<https://www.aavso.org/vstar>
- 七、圖表繪製工具 TOPCAT。網站：<https://www.star.bris.ac.uk/~mbt/topcat/>
- 八、影像初步處理軟體 Maxim DL Pro 5。網站：https://maxim-dl.software.informer.com/5.0/#google_vignette
- 九、大熊座 W 型變星。網站：https://en.wikipedia.org/wiki/W_Ursae_Majoris_variable
- 十、SIMBAD Astronomical Database - CDS (Strasbourg)
- 十一、座標轉換工具。網站：<https://www.astrouw.edu.pl/~jskowron/ra-dec/>

【評語】 051908

M39 又名 NGC7092，是個位於天鵝座方向的疏散星團。研究選定 M39 外圍的區域進行觀測，配合分析 Gaia DR3 在 M39 天區經過初步篩選的資料，大致符合 Gaia DR2 資料庫中明確標示的成員星。作品的觀測資料中，多數星點座落在 Gaia 資料繪出的 CMD 圖主序帶中，可以推論本作品觀測的外圍天區還是有不少 M39 成員星。研究觀測到一顆食雙星變星，雖然在 CMD 圖所座落的位置接近星團主序帶，但在校的觀測資料在無法得知恆星的自行運動與視差的條件下，要確認這顆變星是否為成員星，只能搭配資料庫的資料進行深度分析，經確認這顆變星應該就是 M39 星團的成員星。

校園觀測資料與 Gaia 資料比對顯示前者有明顯差異，作者應先行計算校園觀測資料誤差之佔比，並評估使用該資料之可行性。或是嘗試解釋那些偏離的資料點。

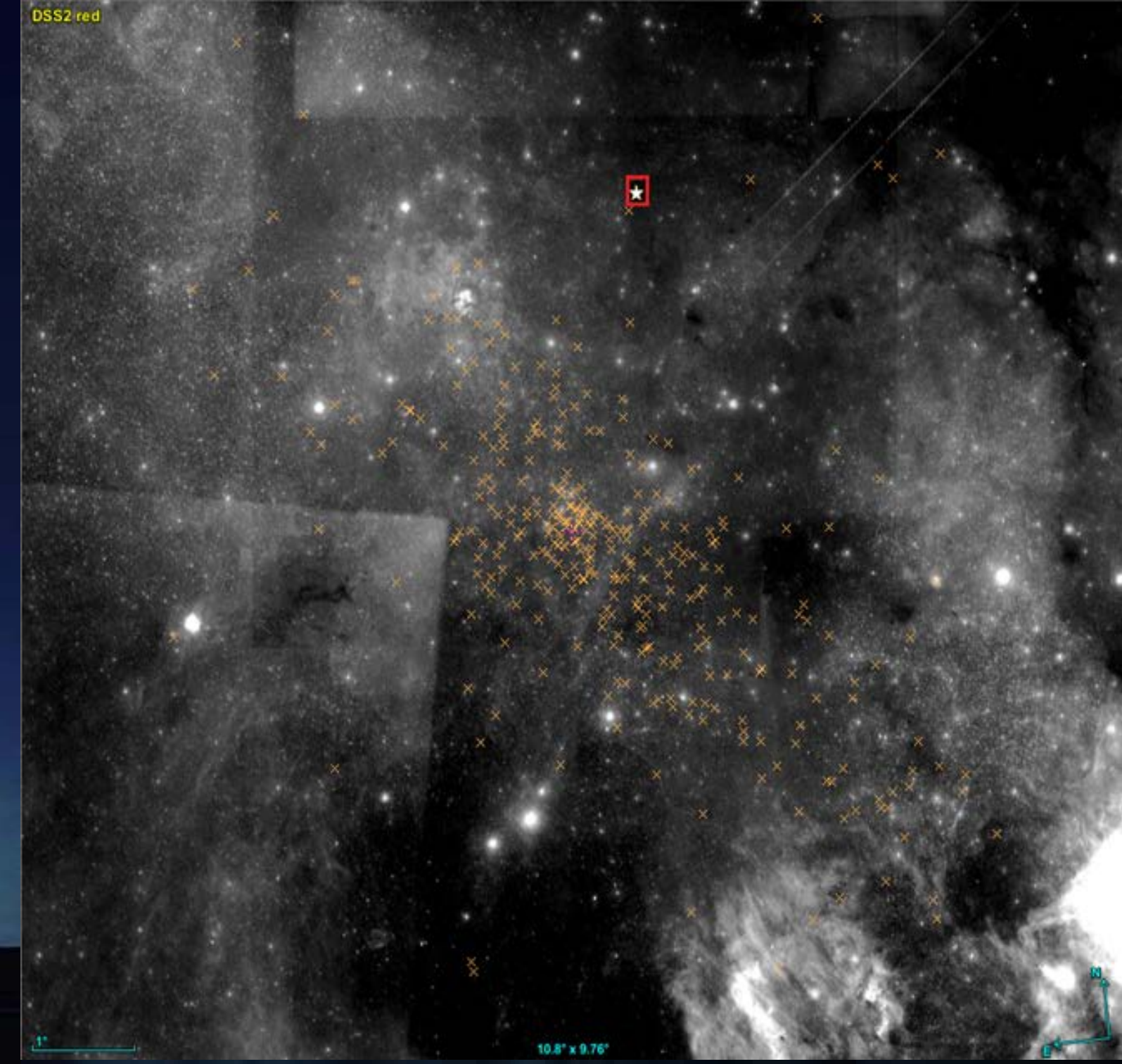
報告篇幅主要集中於變星發現與分析，建議可加強與「星團演化」「邊界擴散」等主題，也可補充探討該變星的演化階段是否符合 M39 星團年齡與金屬量，進一步支持其成員歸屬與物理意義。建議增加觀測頻率與樣本數，或跨季節追蹤，提升研究的

時間解析與統計信度。若能比較星團內外變星比例差異，亦可作為探索星團重力邊界與逃逸成員的依據。對於變星的分類，建議納入與典型 EW/W UMa 星之相位對比，或查詢 AAVSO 資料庫是否已有相關變星登錄，將可提升分類的可信度。

作品海報

以校園望遠鏡觀測 NGC7092星團外圍天區

本校天文台與M39星團(自行拍攝)



摘要

M39又名NGC7092，是個位於天鵝座方向的疏散星團。本研究選定M39外圍區域進行觀測，配合分析Gaia DR3在M39天區經過初步篩選的資料，大致符合Gaia DR2資料庫中明確標示的成員星。本作品的觀測資料中，多數星點座落在Gaia資料繪出的CMD圖主序帶中，可以推論本作品觀測的外圍天區還是有不少M39成員星。本次研究觀測到一顆食雙星變星，雖然在CMD圖所座落的位置接近星團主序帶，但在本校的觀測資料在無法得知恆星的自行運動與視差的條件下，要確認這顆變星是否為成員星，只能搭配資料庫的資料進行深度分析，經確認這顆變星應該就是M39星團的成員星。

壹 研究動機

我自國中起常常參加學校的天文活動，多次活動後也熟悉學校望遠鏡的觀測，進而對星團研究產生了興趣，便思考是否能做星團觀測的研究。與老師討論後，決定在2024年的10至12月，針對NGC7092星團進行觀測。本研究挑選這個目標的主因是過去的資料大多聚焦在觀測M39的中心區域，但由於M39範圍廣大，若我們選擇了較外圍的區域拍攝，就有機會找尋到潛在成員星中的系外行星或是變星。

貳 研究目的

- 一、針對Gaia天文望遠鏡的M39觀測資料進行處理以確定理論之可行。
- 二、挑選一個M39較外圍的區域觀測，尋找可能存在的成員星及其潛在的系外行星。

參 研究方法

我們進行初步文獻探討後找到觀測方向，配合本校的時區與可觀測的時間後，以M39星團為初步目標，只是我們想要拍攝較外圍的天區，並確保觀測的天區至少有一顆已知變星，經請教中央大學該領域的專業研究員後，確立觀測的天區座標。於2024年的冬天(10月-12月)持續觀測目標天區，待觀測資料足夠後進行數據處理，最後與文獻進行綜合比較，再進行討論分析。

肆 文獻探討

本次科展主要參考2024年中研院季報夏季號的文章-適合中學生參與的星團研究(陳文屏，2024)。該文首先介紹了星團的成因與特性，恆星在重力收縮下成群誕生而形成星團。由於星團成員來自同一個分子雲，具有相似的成分、距離、年齡，使得星團成為驗證恆星演化理論的理想研究對象。

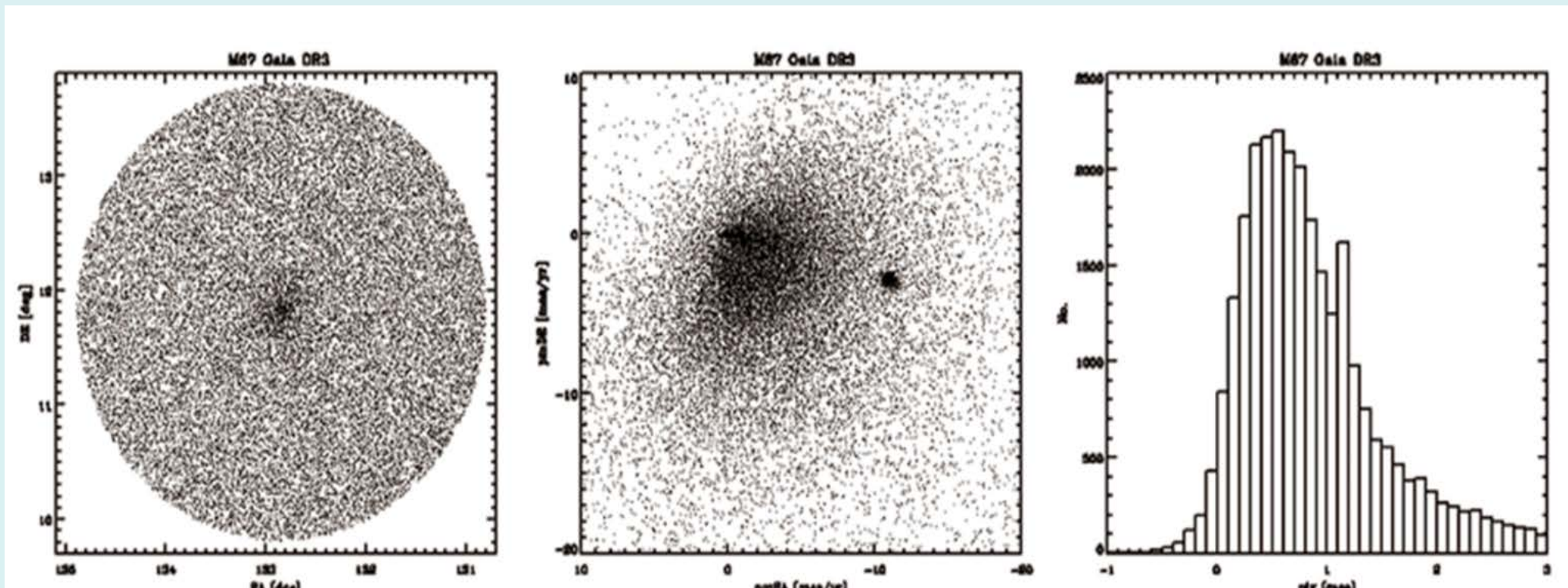


圖1、 M67兩度星場內GaiaDR3恆星(陳文屏，2024)

該文以疏散星團M67為例，使用天文資料庫SIMBAD、Vizier獲取星團的觀測數據。透過Gaia太空望遠鏡的資料，可分析星團的自行運動與視差角，以區分星團成員與場星。因為成員星團的距離都一樣，即使以視星等不以絕對星等作圖，仍然可以顯出星團的本質。

伍 研究設備與器材

Paramount MX 赤道儀 (取自：永光儀器網站)	EdgeHD 14" Optical Tube Assembly (CGE Dovetail)
QSI660 冷卻相機(取自：永光儀器網站)	Antlia LRGB 系列濾鏡

圖3、觀測的重點器材(取自各儀器網站)

望遠鏡本體	觀測時監控畫面

圖4、望遠鏡本體與觀測時畫面(自行拍攝)

陸 研究過程與結果

一、資料庫數據處理

下圖**藍色**的點為**Gaia DR2**資料庫中明確標示為**成員星**的星點，而**紅色**點則是使用**Gaia DR3**較新的資料庫。再以RA、Dec座標顯示在實際天空中的分佈區域。從圖中可以看得出來，**Gaia DR3資料中包含了成員星及非成員星的資料**，所以我們使用該條件作為篩選，找出潛在的成員星。

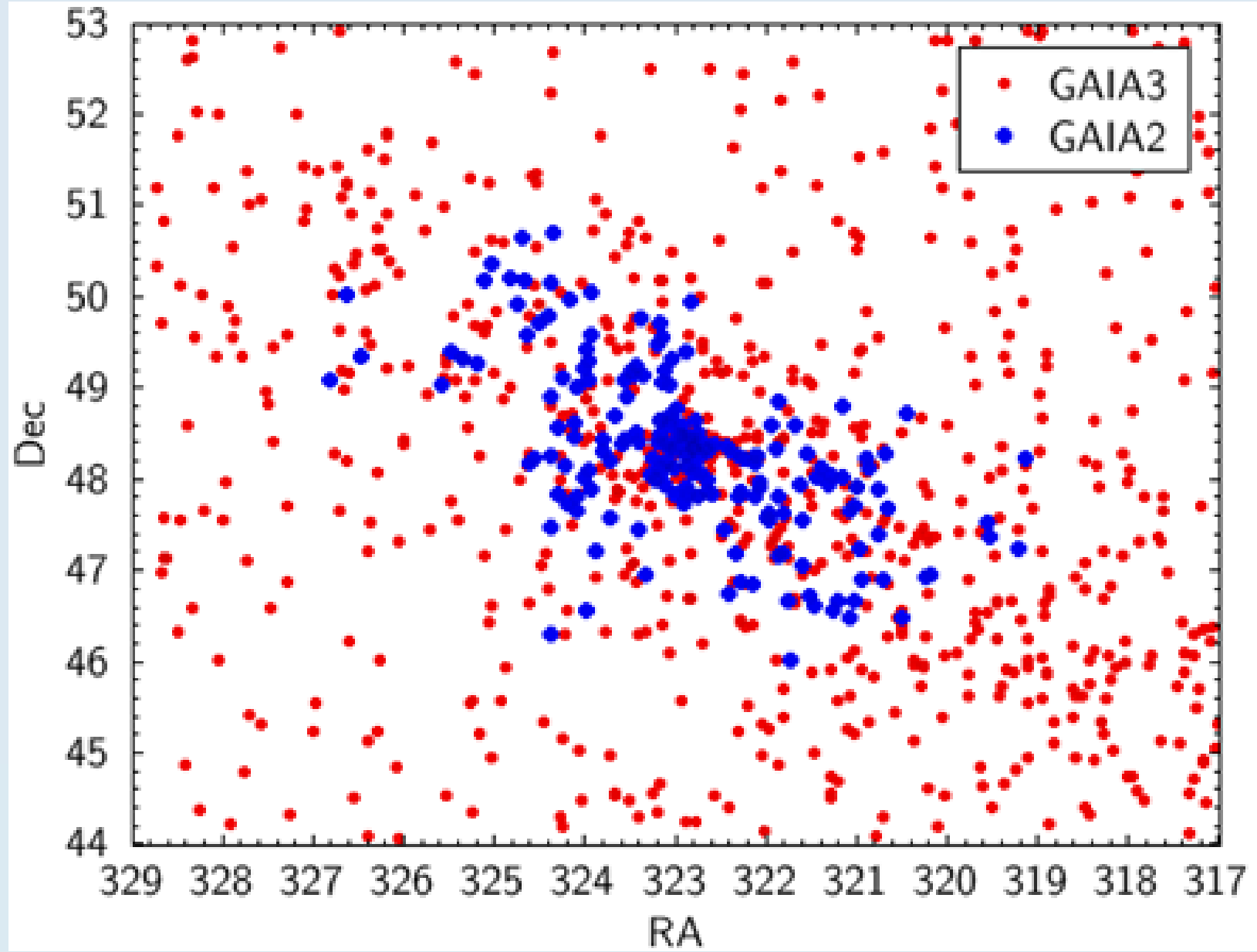


圖5、Gaia DR2成員星(藍色)與Gaia DR3天區RA329-317、Dec44-53(紅色)資料(自行繪製)

第一步，使用**CMD圖**畫出兩個資料庫的分布，由於兩個資料庫重疊良好，表示其中**多數為星團的成員星**。以學校的望遠鏡設計來說，對於18等以下的星體觀測效果不佳，所以我們直接以18.5為界，**比18.5等還暗的星點直接去除不予考慮，以利對照。**

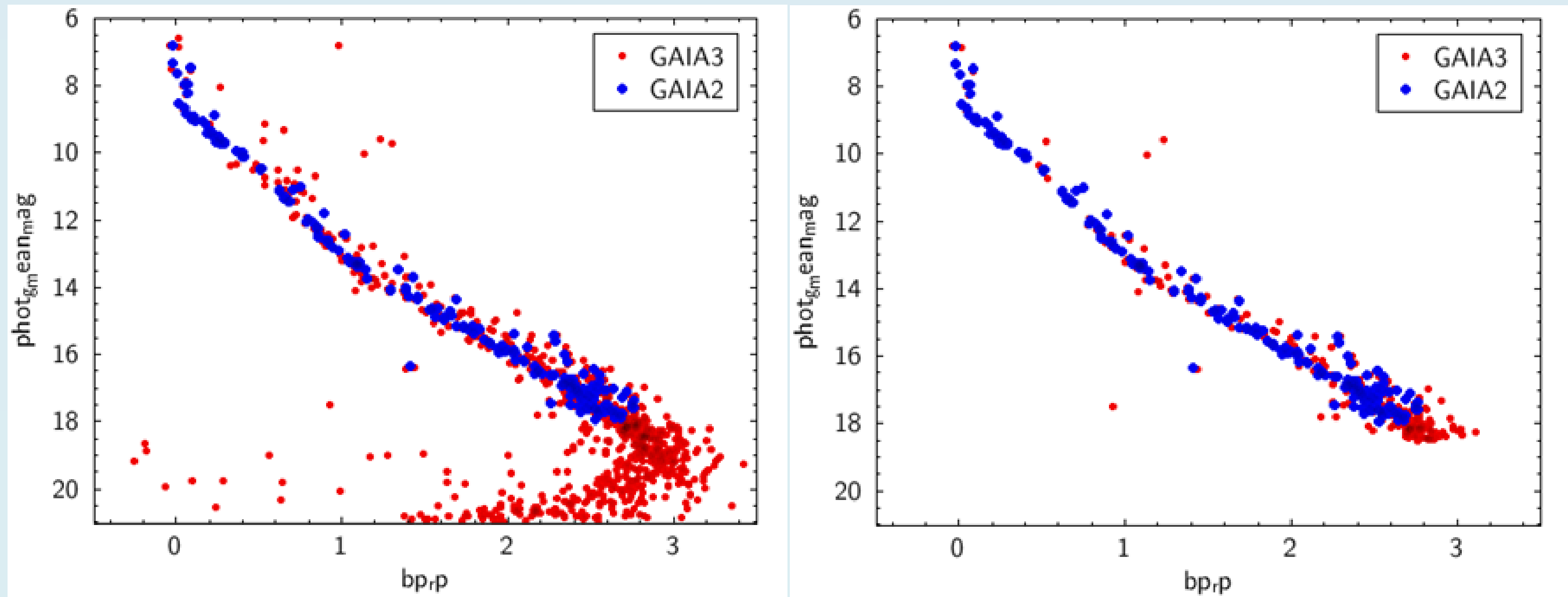


圖6、Gaia DR2成員星(藍)與Gaia DR3天區RA329-317至Dec44-53(紅)CMD圖(自行繪製)

第二步，以**自行運動**(Proper motion)參數作為取捨，由於星團成員星成形的時間、環境非常相似，所以在天空中的自行運動也差異不大。從下圖左可以看出Gaia DR2標記的成員星自行速度相當集中，因此**參考其自行速度的區間給予限制**，其餘部分皆去除，留下的資料分布如下圖右。

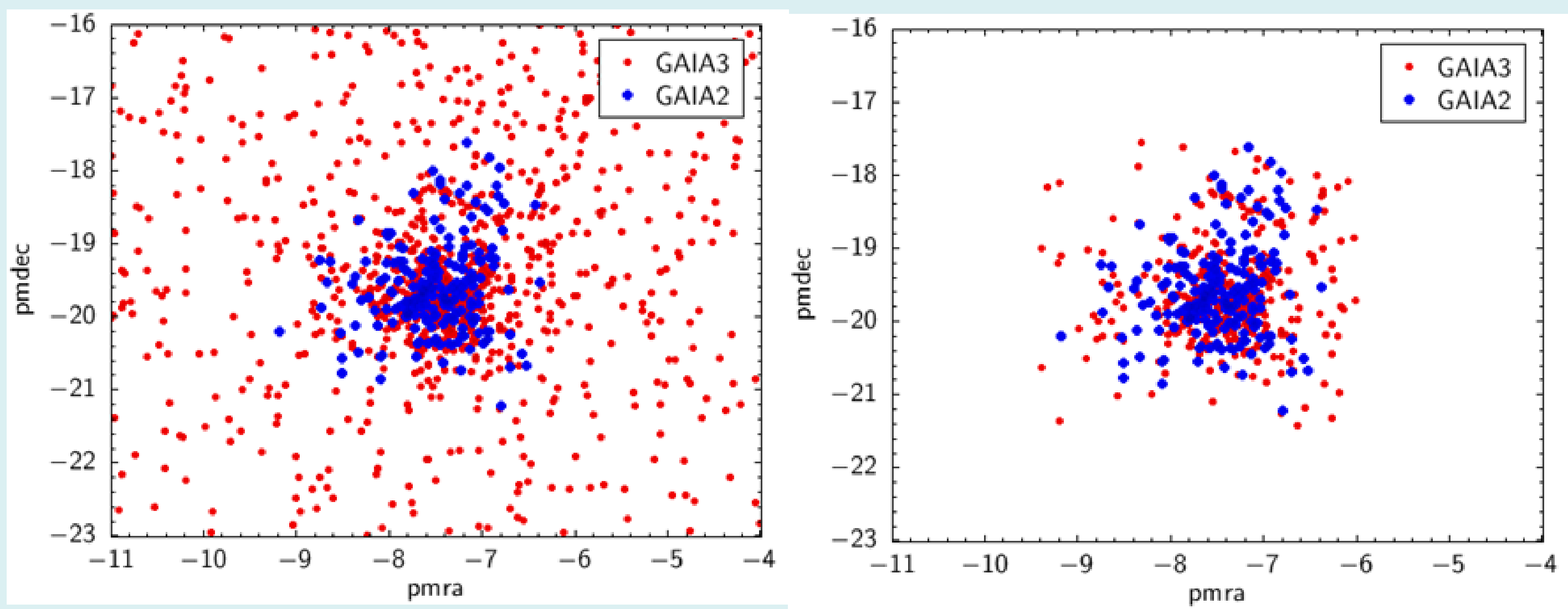


圖7、Gaia DR2成員星(藍色)與Gaia DR3天區RA329-317、Dec44-53(紅色)資料(自行繪製)

第三步，再以**視差運動**(parallax motion)為參數，其理由如同自行運動，取得的資料比Gaia DR2稍大一點，最後結果如下圖右。

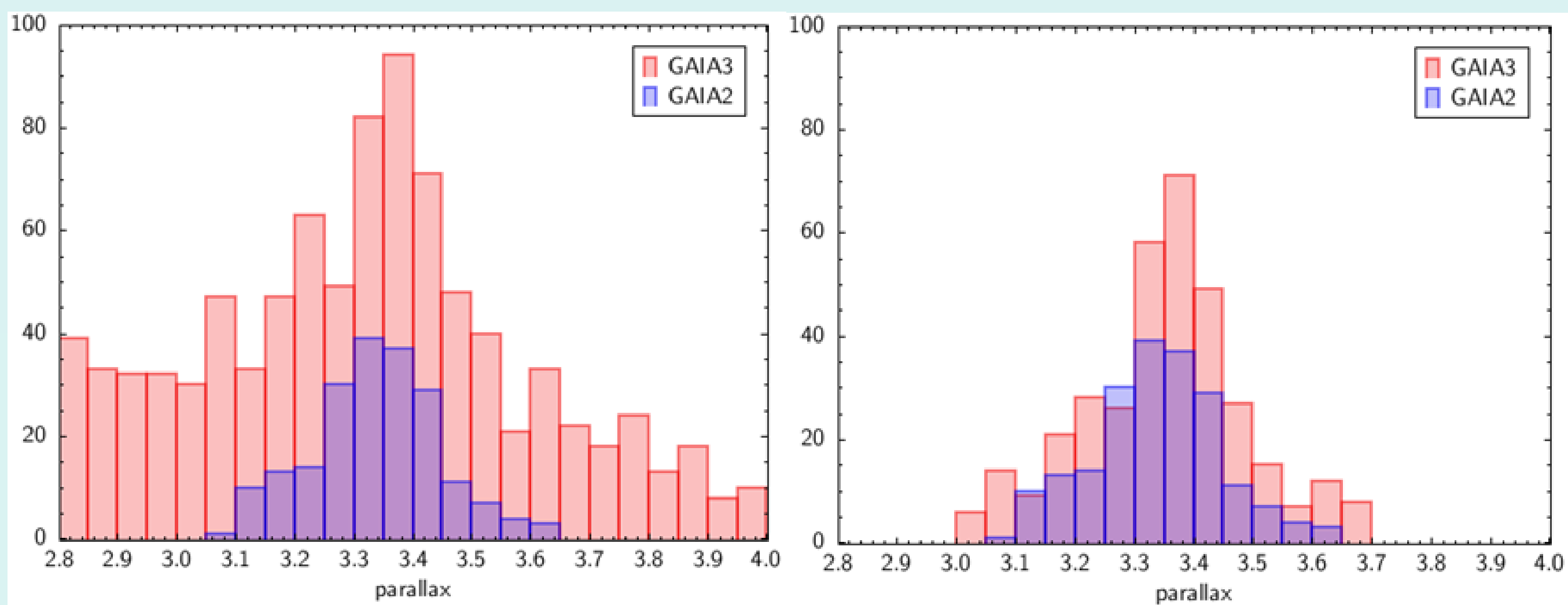


圖8、Gaia DR2與Gaia DR3星團視差分布比較，左圖為寬分布、右圖為集中分布。(自行繪製)

經過以上3個步驟的篩選，最後一樣**將結果畫在RA-Dec座標上**，直接比對兩者的空間分佈(如下圖)，可以看得出篩選過後的Gaia DR3潛在成員星，成員星分布情形與Gaia DR2類似。也可以觀察出**外圍有少量成員星的可能。**

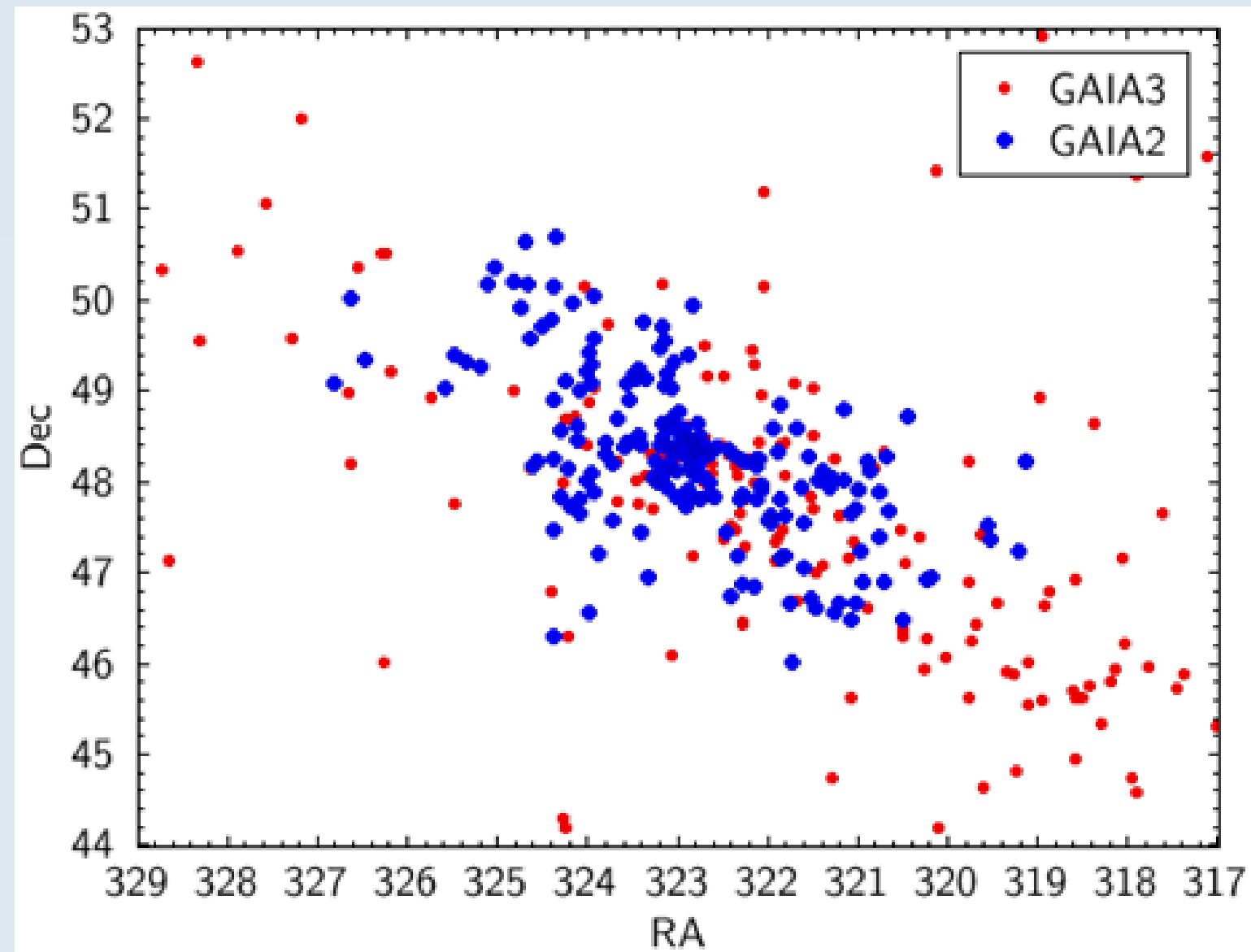


圖9、Gaia DR2與Gaia DR3星團成員在天球座標(RA、DEC)上的分布(自行繪製)

最後將Gaia DR3潛在成員星與實際星圖對標，可看到分佈的區域呈現左上-右下的分布，但仍有**少數潛在成員星落在較外圍**，其中**有一個目標是變星，它被列為潛在成員星，但在我們條件篩選中被排除**。因此我們以此區域作為研究目標進行觀測。下圖為經過篩選後的M39成員星分佈示意圖，搭配使用Aladin軟體抓取線上資料庫DSS2的影像。

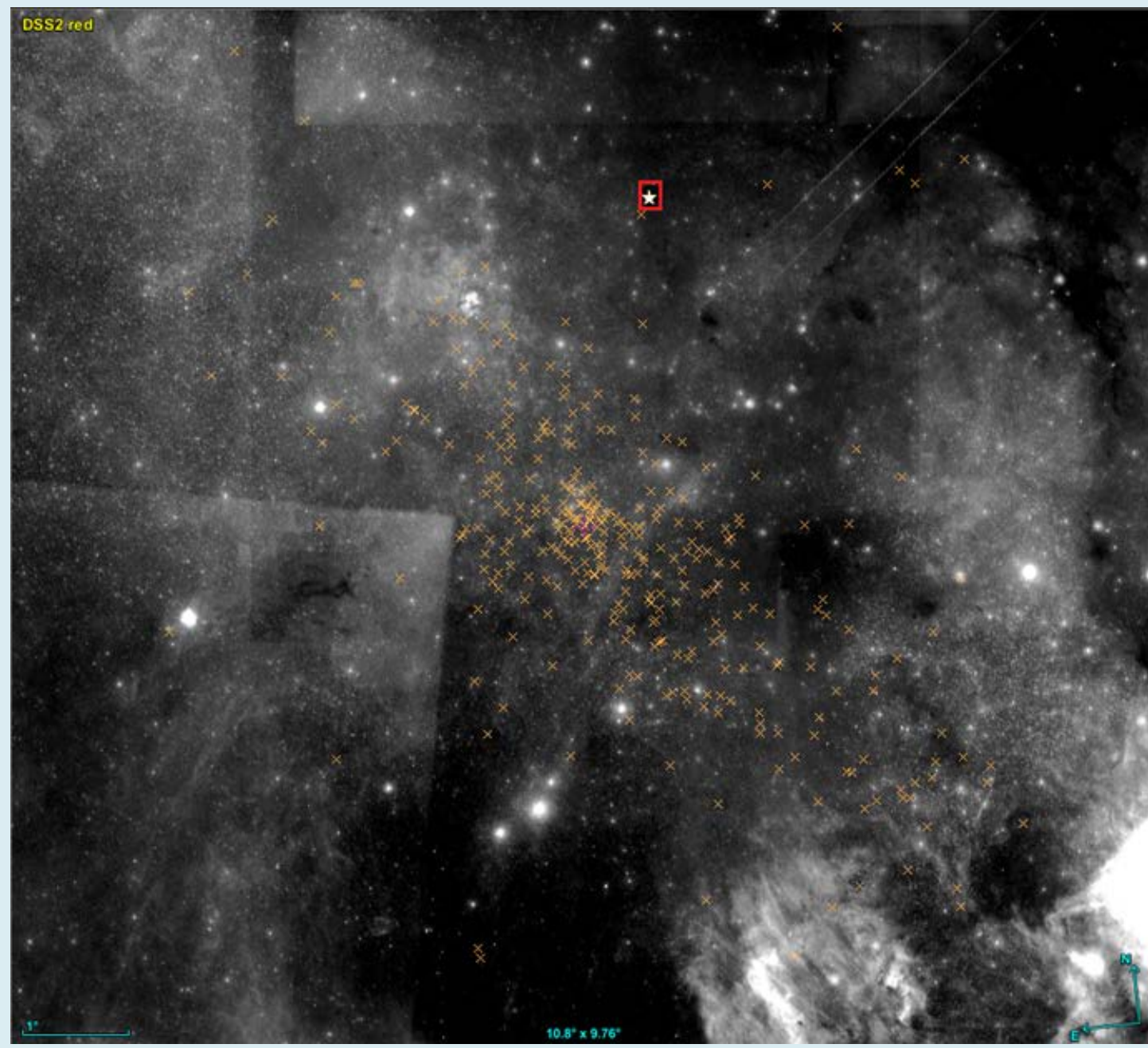


圖10、Gaia潛在成員星與 DSS2 星圖對比及觀測區域標示圖(自行繪製)

二、資料分析過程

步驟如下:1. 匯入資料 2. 資料疊合與運算 3. 輸入參考星值，列出成員星與非成員星 4. 輸出資料進階分析

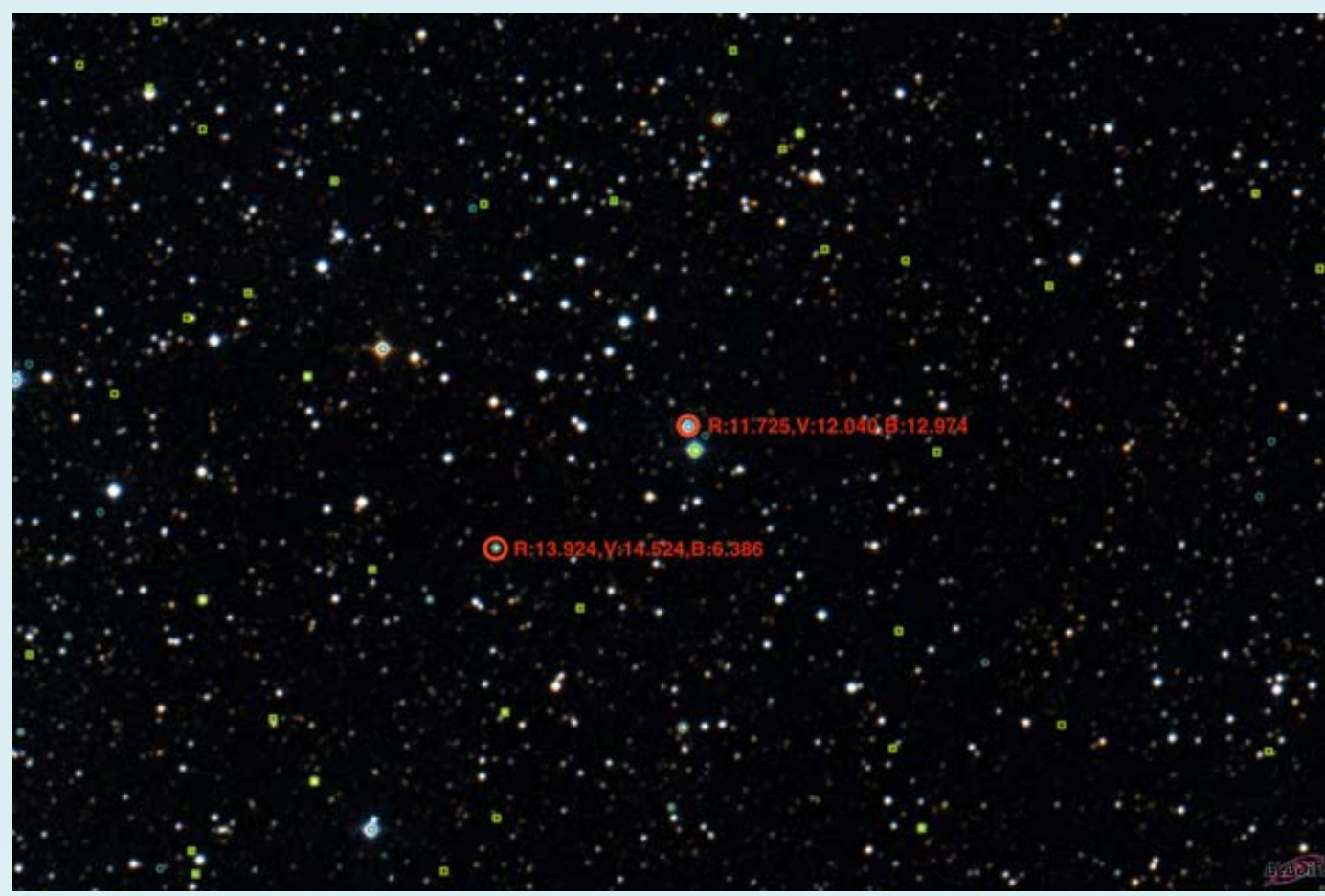


圖14、星團的成員星、非成員星、參考星圖(取自Aladin)

三、本校觀測資料結果

因波段差異，以 Gaia 的數值為基準，平移以對齊主序帶。從資料可初步推測觀測天區星點資料有多數可能是屬於M39的成員星。變星以黃色標示出來，可觀察出其非常接近主序帶，具備候選成員星的可能。但若要確認這顆變星是否屬於成員星，可能還需要分析其自行運動等資料。

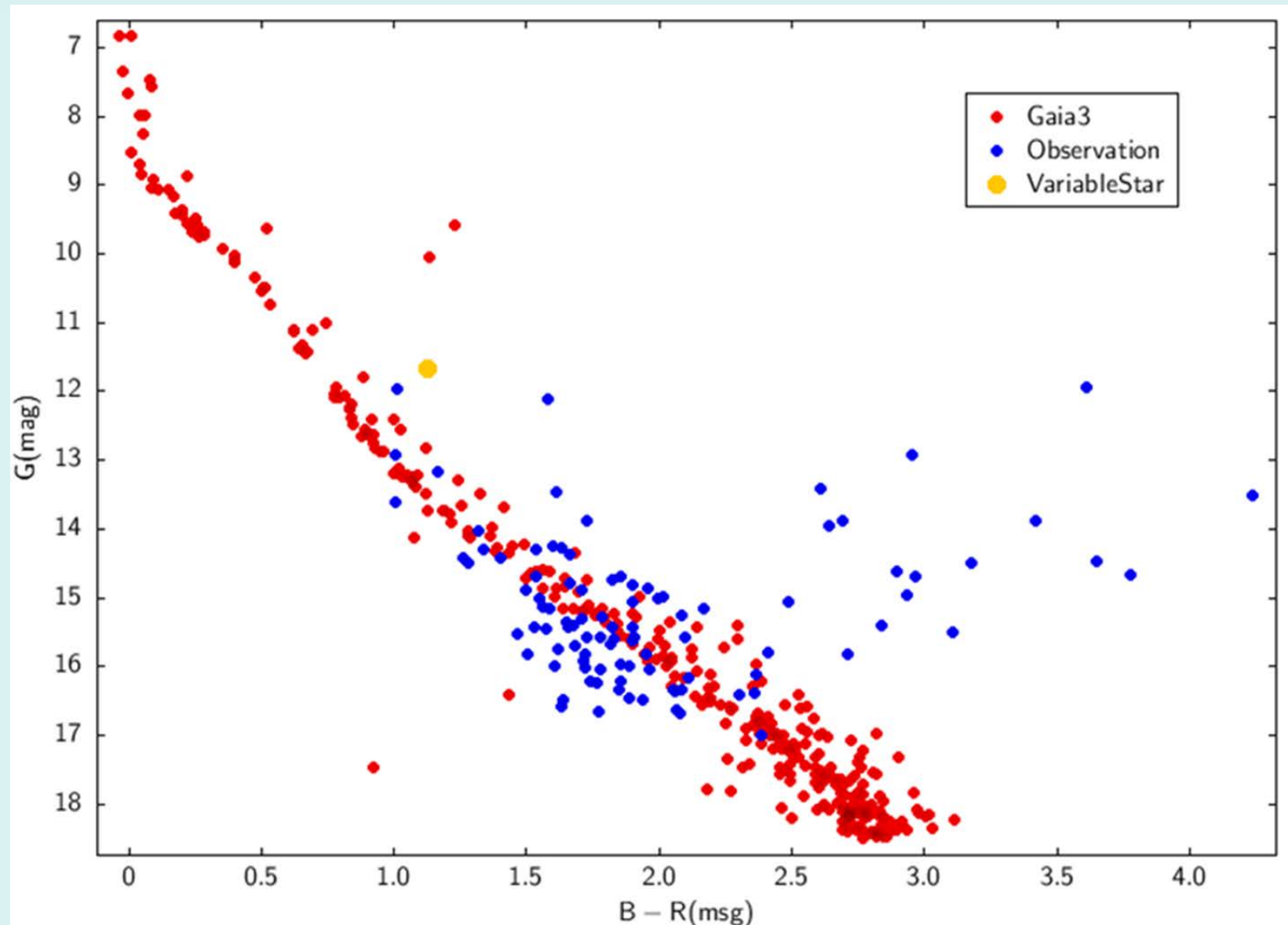


圖15、本校觀測資料(藍)、obj24變星(黃)與Gaia DR3資料(紅)。(自行繪製)

首先選取了第一組30顆的觀測資料，並據此繪製變星的**相位圖**，確認其為變星。週期大約為**9小時**。根據變星的型態屬於**食雙星類型**。

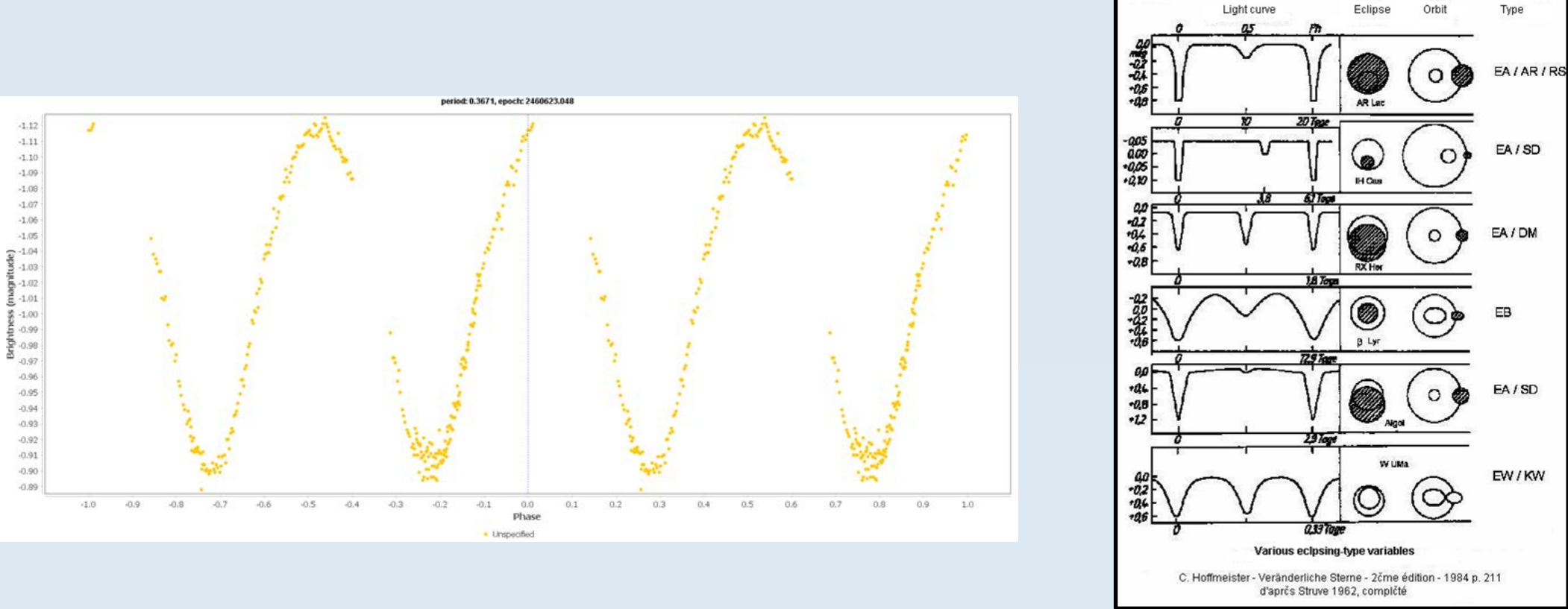


圖16、取第一組資料畫出來的obj24變星相位圖(自行繪製)

圖17、本次觀測到的變星形態較接近 EW / KW 型 (C. Hoffmeister. 1984)

柒 討論

一、參考星資料的分析

在此星場範圍中，只有找到一顆變星，可能的原因是觀測數據的背景誤差。

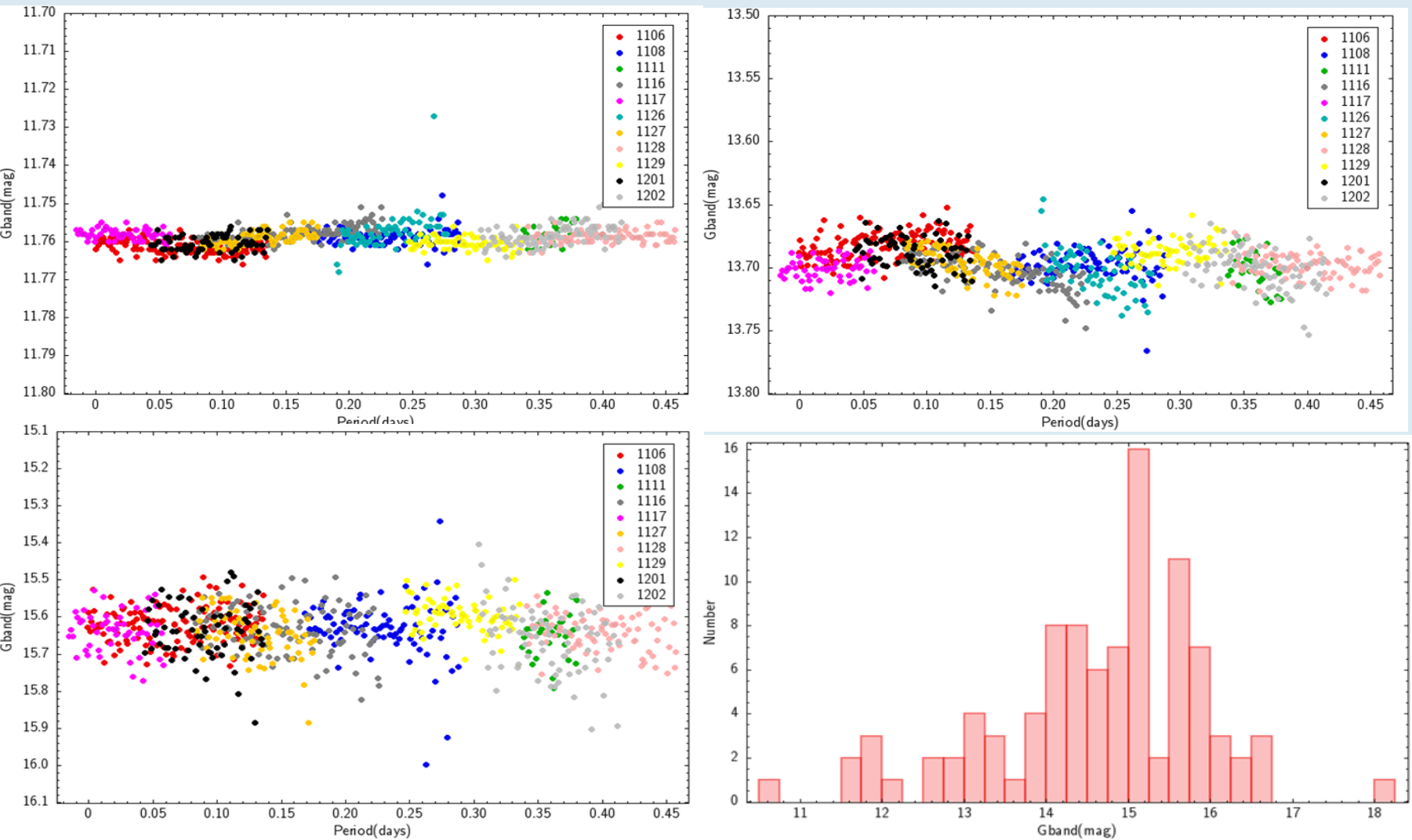


圖18、參考星1的光變曲線星等誤差範圍約0.012星等
圖19、參考星2的光變曲線星等誤差範圍約0.1星等
圖20、目標星3的光變曲線星等誤差範圍約0.3星等
圖21、本次研究星場中的星等分布圖(自行繪製)

由光變曲線、觀測天區選定的3個參考星可以初步判斷，星等愈暗，誤差就愈大，若**變星的光度變化小於誤差範圍**(變化量級達到0.1~0.3)，就**無法找到這個天區光度變化較小的變星或是系外行星**。

二、變星是否為成員星的深度處理

為了討論觀測到的變星是否確實屬於M39的成員星，我們重新下載使用最新的太空望遠鏡 Gaia DR3 資料庫，下載角直徑10度範圍。

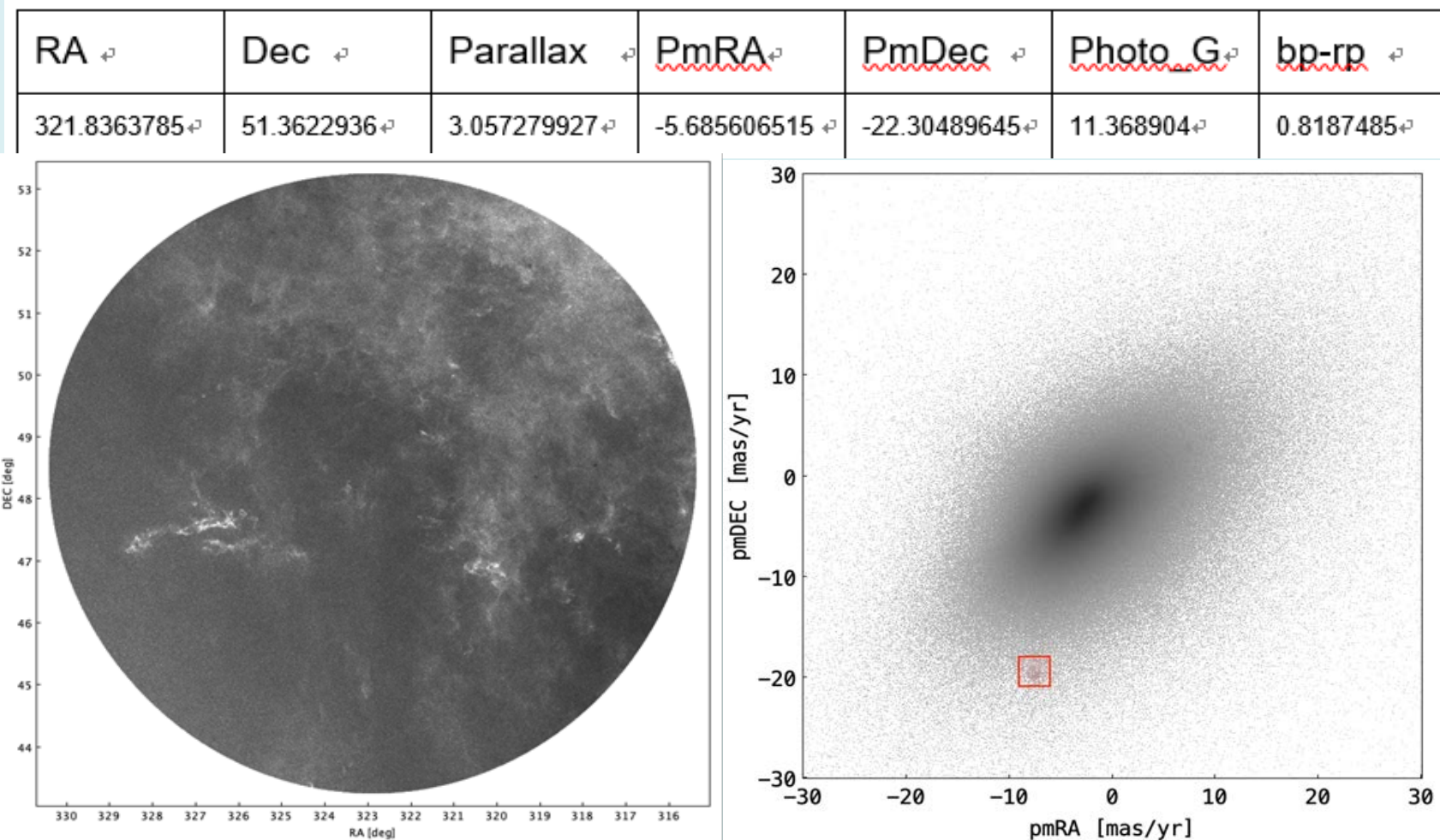


表1：本次觀測到的變星資訊
圖22、恆星位置圖(自行繪製)
圖23、自行運動圖(自行繪製)

自行運動圖中可以看出兩群明顯集中的星點，一群集中於圖中央屬於**場星，占絕大多數**，另外一群為**星團**。下圖為週年視差角長條圖，左圖灰色的直條是全部恆星，右圖只標示紅色圈內的星球，可發現也有兩群，左邊**(紅色)**數字小，表示距離遠，是**場星**；以**藍色**標示。這些是**同時滿足自行運動以及週年視差(距離)的候選成員星**，共有400顆星。

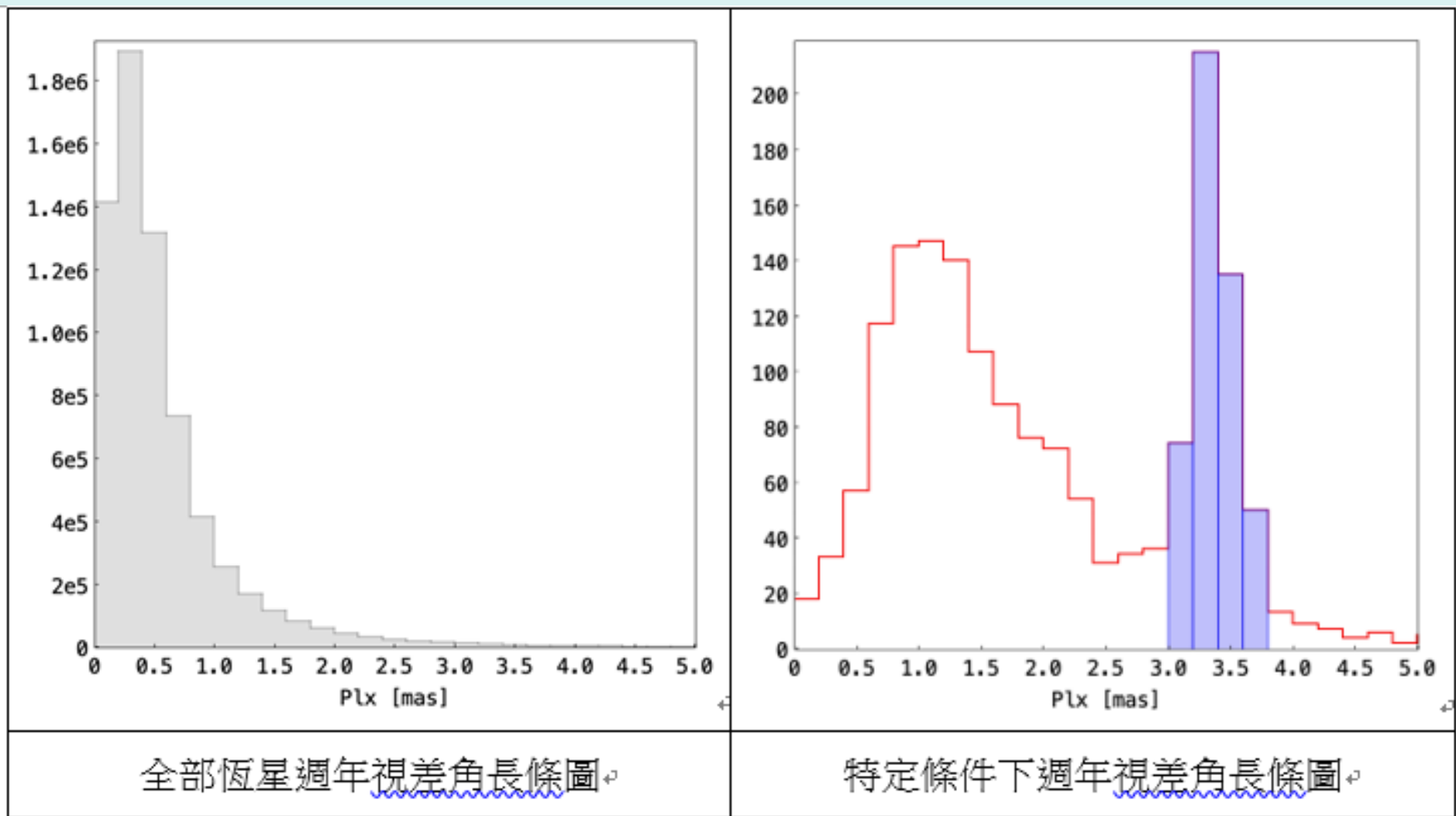


圖24、週年視差角長條圖(自行繪製)

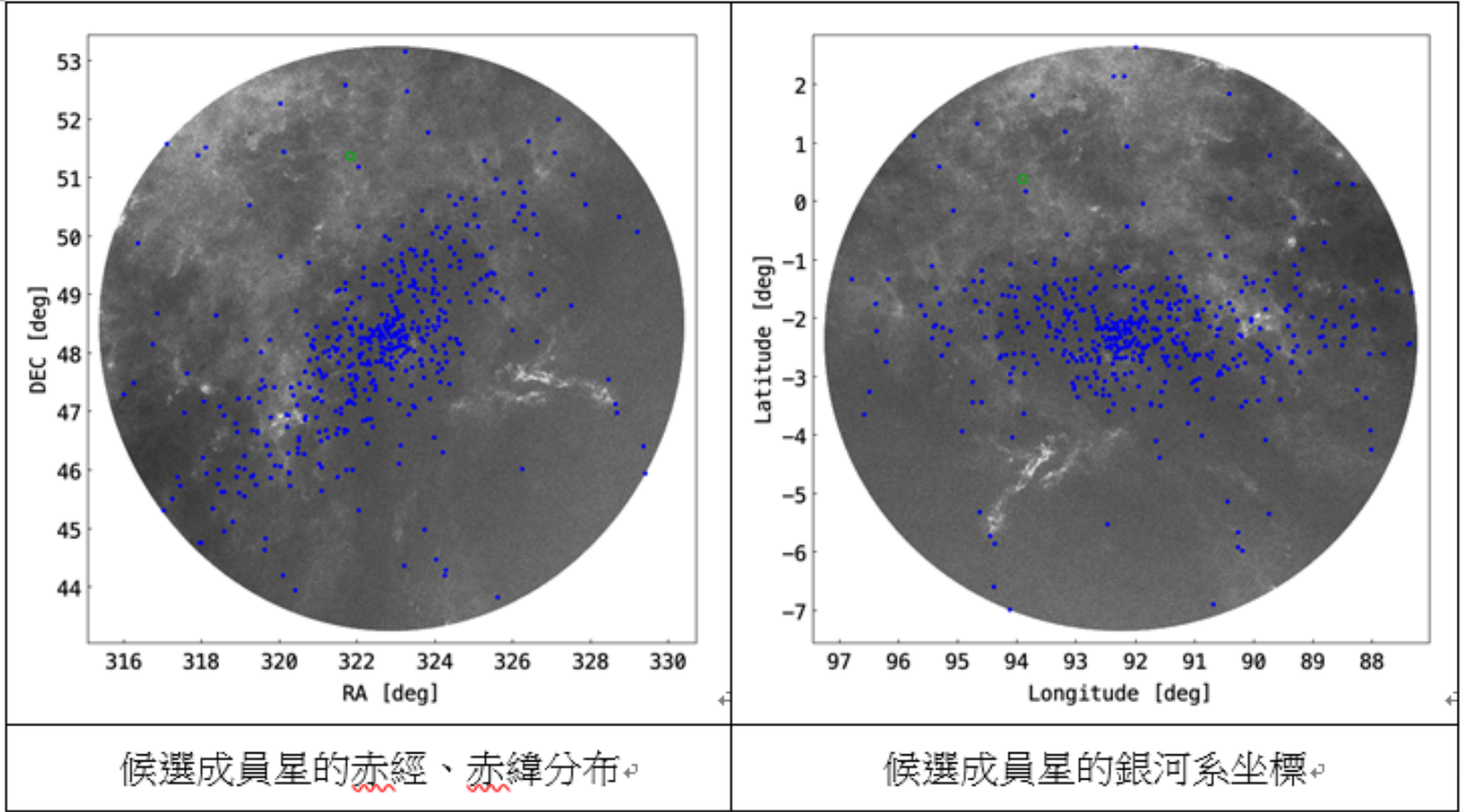


圖25、候選成員星的座標分佈(自行繪製)

上圖候選成員星的赤經、赤緯分布，中央星團呈圓形分布，外圍則呈現長條形。將候選成員星改成銀河系坐標，則**沿著銀緯拉長**，這應該是星團受銀河系重力影響而成的潮汐尾，而觀察到的食雙星(綠色)在視野外。下載的**資料10度視野不能包含所有的M39成員星**，表示M39星團的成員星可能還有不少在原先定義的區域外，M39星團若要分析的完整，未來還可以做更大的範圍的處理。

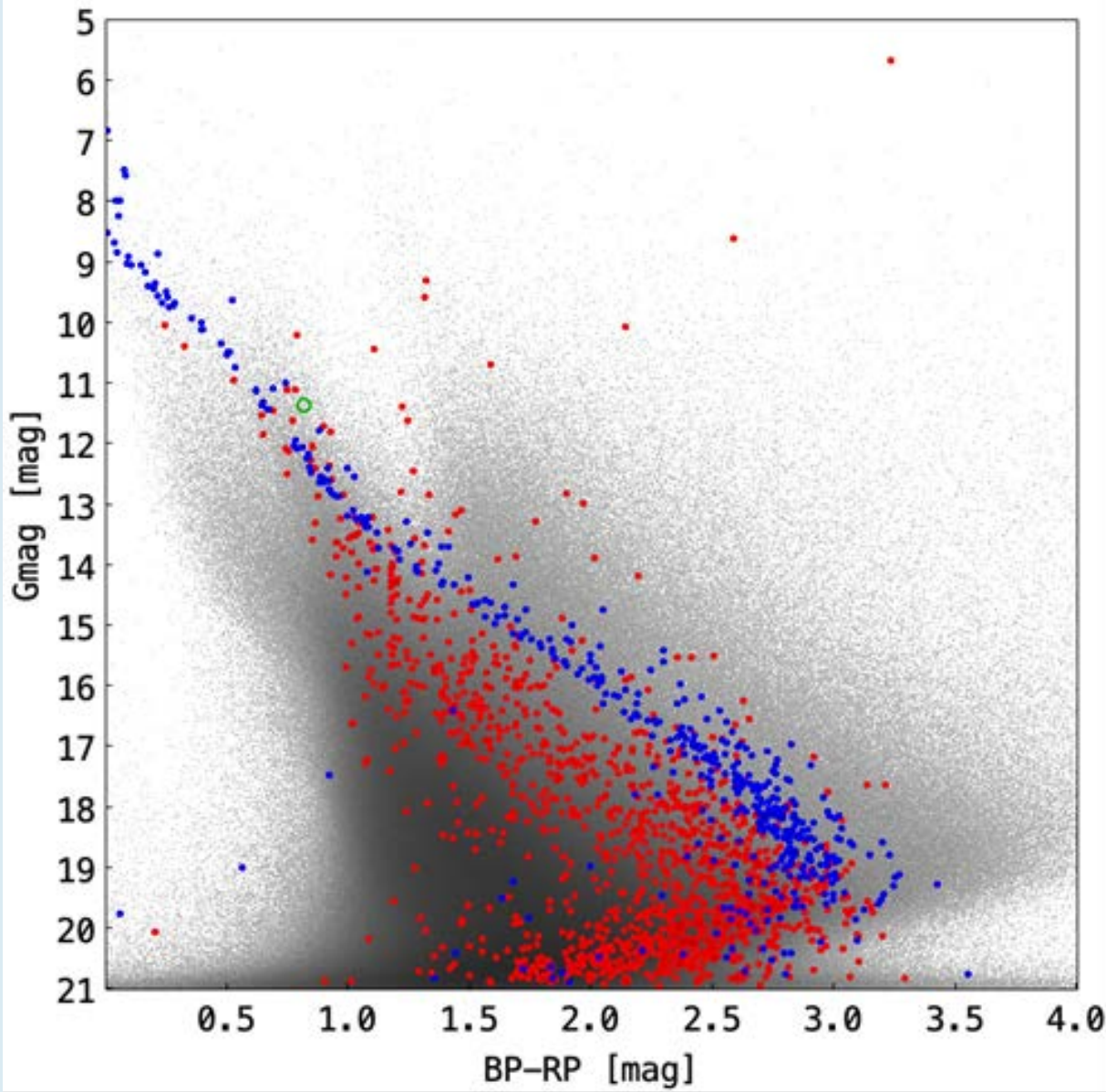


圖26、以Gaia資料繪製的赫羅圖(自行繪製)

赫羅圖中標示出圖中紅色圈內的星，以及藍色標示的400顆星球滿足距離與自行運動篩選)，灰色則是星場內全部的星，可看出**成員(藍色)呈現出星團主序帶**，綠色則是觀測到的食雙星。我們觀察到的這顆星的**自行跟週年視差角都離星團整體不遠，位於潮汐尾內**。這顆變星以光變曲線來看，屬於**接觸雙星 EW**，且兩顆星質量相近，為**W UMa 變星A型或W型**。(A型週期為0.4~0.8 天；W型週期為 0.22 至 0.4 天)

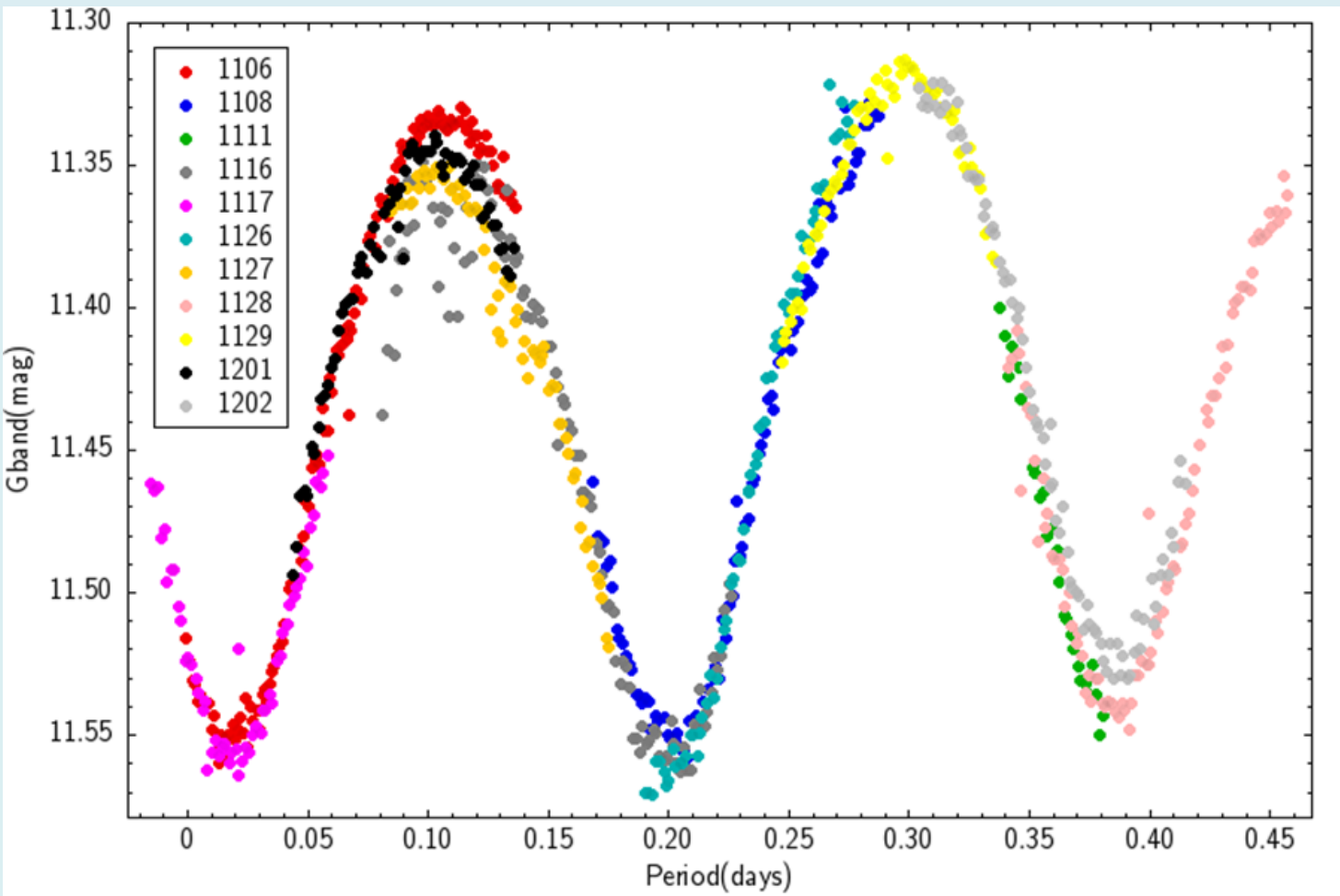


圖27、obj24觀測資料點每日加總(自行繪製)

捌 結論

本研究分析Gaia DR3全天區資料的篩選，大致符合Gaia DR2資料庫中明確的成員星星點，觀測資料也有部份符合CMD圖的主序帶中，可以推論本作品的觀測天區星點還是有不少成員星的資料。本次觀測的天域有一顆食雙星變星，光度變化的週期約為0.3671天，我們觀測資料繪製的CMD圖所座落的位置與Gaia DR3資料比對雖然接近主序帶，但若確定是否為M39成員星，就一定需要**自行運動與視差的資料幫助我們更加肯定我們觀測的目標就是成員星**。

玖 未來展望

在分析我們觀測到的變星，產生了許多問題，過程中請教了老師與專家，一步步解決我的困難。在本文完成後意外發現觀測結果非常好，不僅**發現了星團的潮汐尾**，也找到一顆**稀有的接觸食雙星**。或許未來還有很多物理量可以推導，或是可深入研究探討之處。