

2017 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號	160010
參展科別	物理與天文學
作品名稱	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
得獎獎項	大會獎：四等獎

就讀學校 臺北市立建國高級中學

指導教師 江豪章、林建爭

作者姓名 洪辰昊

關鍵字 疏散星團、短週期變星、動力學

作者簡介



仰觀宇宙之大，人在時光的遞嬗中不過電光石火，而有限的生命卻常常能創造出無窮的可能。天文人以管窺天，卻能在管中窺得無垠的宇宙，進而一片片拼湊出天地萬物的本來面貌，將自然界運行不輟的諧和節奏譜成悠揚韻律，成為人們繼續追求真理的動力——這是促使我走上天文之路的緣分。

科學的進步從來不是一蹴可及，任何的科學研究都是經由前人汗水灌溉的果實，同時也構築起後人往前推進的基石。如果說追求科學是建一座塔，我期許自己能成為其中的一塊磚，共同擔下承先啟後的使命。

摘要

本研究主要目的在於利用現有的天文資料庫搜集星團成員星，並探討疏散星團中短週期變星的類型與空間分佈，以及星團在銀河系中的運動狀態，希望能對疏散星團的演化有更進一步的瞭解。英仙座雙星團在天空中的投影很靠近，以往文獻認為此雙星團可能相互影響，因此我以此天體當研究目標。除了線上天文資料庫檢索結果可以用來分析星團成員及基本物理參數，我還利用西藏天文台來取得觀測資料以填補研究中變星數據的不足。利用 2MASS 測光數據及蓋亞巡天自行數據，此雙星團我挑選出共約 80 個成員星，另外我分析了 51 顆變星，其中有 17 顆星是經由本次觀測得到的新週期。根據該天體的自行與徑向速度，其運動狀態是以一快一慢的速度朝向銀心運動，並皆以銀心為中心相同方向旋轉，且在垂直銀盤方向同時向下遠離銀盤。

Abstract

This study is using current astronomical database to identify member stars in open clusters, to discuss variable stars in open clusters, and to understand the motion of open clusters in our Milky Way. The Double Cluster located at Perseus Constellation are quite close in the sky so that they are considered to have gravitational interaction each other. In addition to use current astronomical database identifying cluster members and analyzing cluster parameters, I also applied observing time from Tibet Observatory to supplement photometric data for variable stars. Based on photometry from 2MASS and proper motions from Gaia, I selected about 80 cluster members and analyzed 17 new periods of variable stars out of 51 known ones. According to the proper motions and radial velocities of the double cluster, the motion of this object is with different speeds toward Galactic center, with same rotation direction on the Galactic plane, and with similar vertical motions away the Galactic plane.

壹、 前言

一、 研究動機

天文領域浩瀚無垠，從太陽系裡的八大行星，一直到遙遠的銀河系，甚至更大尺度的星系團到整個宇宙，各種星體與天文現象都令人著迷，其中在天空中用肉眼就可以看到成團聚集的星團，更是古今中外一直被拿來做觀測或研究的目標。

目前一般相信大部分恆星是從分子雲裡成群誕生，這樣一群星稱之為星團，是銀河系中由幾千或幾萬顆星組成的結構。因為這群星從同一團分子雲中同時誕生，所以年齡相近；大部分星團距離地球都相當遙遠，因此可以把同一個星團的成員星與地球距離視為一樣，且其成員跟太陽的相對運動也大約相同。由以上幾種星團特性，能夠有效的將星團裡各種不同類型的成員星從背景裡挑選出來，用來當作研究恆星形成與演化的工具，而星團的軌道運動及成員星之間的交互運動更可以拿來探討一般恆星是如何從星團脫離並分散於銀河系中。

目前已知星團中，大部分星團都保持一定距離，因此引力太弱互不影響，不過英仙座方向有兩個星團(NGC 869 及 NGC 884)又稱雙星團(Dobule Cluster)在天空上看起來特別靠近，雖然文獻指出他們之間可能有交互作用，不過他們是正在相互靠近或是從同一團雲氣中形成而正在分離卻還沒有定論。

另外，變星在恆星演化過程中佔有相當關鍵的地位，從星團中不同種類的變星可以得知該星團的演化情形，對於探索星團的形成也有相當的幫助。目前人們對於該星團中的變星所知不多，於是我也想藉此機會探討其中的變星類型與分佈。

本校與臺灣大學恰好有一項關於西藏遠距遙控天文臺的觀測計劃，於是便想利用這機會來對英仙座方向的兩個星團做進一步的觀測與研究，從過程中嘗試解決疑惑。

二、 研究目的

- (一) 從文獻資料及現有巡天資料庫，辨識星團範圍及成員星。
 - 1. 根據星場的密度分佈，定出星團的中心與範圍。
 - 2. 利用等年齡線¹(Isochrone)擬合辨認星團成員星。
 - 3. 利用自行量²(Proper motion)辨認星團成員星。
- (二) 利用現有巡天資料庫及青藏天文臺觀測資料對於英仙座雙星團變星分佈的探討。
 - 1. 利用青藏天文臺觀測資料計算變星週期與類型。
 - 2. 探討不同類型的變星在星團中的分佈。
- (三) 利用現有巡天資料庫的資料，探討英仙座雙星團的運動狀態。
 - 1. 利用資料庫資料推算兩個星團的自行量與徑向速度³(Radial velocity)。
 - 2. 根據成員星的運動狀態，探討兩個星團在銀河系中的運動。

三、 研究工具

(一) 線上資料庫

- 1. 二微米波段巡天計劃(Two Micron All Sky Survey, 2MASS. VizieR No.: II/246)

以波長在 2 微米附近的紅外線波段(J:1.25 μ m, H:1.65 μ m, Ks:2.17 μ m)，利用南北半球的望遠鏡進行的全天空巡天。在本研究中為主要的星表，並在等年齡線擬合進行星團成員星辨識時使用。

- 2. 蓋亞任務(Global Astrometric Interferometer for Astrophysics, GAIA. VizieR No.: I/337)

由歐洲太空總署主導的太空望遠鏡巡天計劃，是目前收錄恆星最多，也最精確的目錄，並且可以解析其自行量。在本研究中主要使用其中的定位資料與自行量。

¹ 根據恆星演化理論模型計算出特定年齡時星團成員星的演化分佈曲線，可用來估計星團年齡與距離等性質。

² 天體相對於太陽系質量中心，在天球背景上隨時間的角度改變。通常以毫角秒/年為單位。

³ 天體朝向太陽系質量中心方向，遠離或靠近的速度。通常以公里/秒為單位。

3. 大天區多目標光纖光譜望遠鏡(Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopy Telescope, LAMOST. VizieR No.: V/146)

由中國科學院國家天文臺主導的光譜巡天計劃，利用位於中國河北省承德市的四米望遠鏡。在本研究中主要使用其中的徑向速度資料。

4. 銀河星團巡天(Milky Way global survey of star clusters, MWSC. VizieR No.: J/A+A/558/A53)

由 N. V. Kharchenko et al.於 2013 年在 *Astronomy & Astrophysics* 發表的研究成果。在本研究中主要使用其查詢星團並取得相關星團數據。

5. 變星目錄(Variable Star Index, VSX)、變星總表(General Catalogue of Variable Stars, GCVS. VizieR No.: B/gcvs)、疏散星團變星表(Catalogue of Variable Stars in Open Cluster fields, CVSOC)

以上三者分別是由美國變星觀測者協會(American Association of Variable Star Observers, AAVSO)、俄羅斯科學院、以及 M. Zejda et al.建置，收集了目前已知及疑似變星的資料庫。

6. 帕多瓦演化軌跡與等年齡線資料庫(The Padova Database of Evolutionary Tracks and Isochrones, PADOVA)

由義大利國家天文物理研究所(Istituto Nazionale di Astrofisica, INAF)下轄的帕多瓦天文臺(Osservatorio Astronomico di Padova, OAPD)建置的恆星演化學理論軌跡及理論等年齡線資料庫。

(二) 青藏天文臺羊八井觀測站

此觀測站為臺灣大學天文物理研究所的遠距天文觀測實驗室與中國科學院國家天文臺合作之建設【圖一】。位於西藏拉薩北方 90 公里念青唐古拉山山腳的羊八井鎮，海拔 4,300 公尺，交通便利，不遠處即為青藏鐵路羊八井貨運站，且為青藏線公路必經之處，對於後勤補給非常方便。其特色是不需要觀測者到達觀測站便能從遠端操作望遠鏡而進一步觀測並蒐集資料。

羊八井觀測站的儀器設備：中國製 3.5 米金屬圓頂、Officina Stellare 公司 ProRC 400 型 40 公分望遠鏡、Software Bisque 公司 Paramount ME 德式赤道儀、及 Princeton Instrument 公司 PIXIS 2048B 型背照式電荷耦合器(Charge Coupled Device, CCD)，使用的濾鏡系統為 Astrodon Photometrics 公司製造的 Sloan 濾鏡組，波段為可見光 u' 、 g' 、 r' 、 i' 、 z' 五個波段。



圖一 臺灣大學遠距天文觀測實驗室羊八井觀測站

(三) 程式語言與資料庫

1. Python 3.5 in Anaconda 2.4
2. MySQL 5.7

(四) 影像處理工具：IRAF in Ureka 1.5.2

(五) 恆星光度測量工具：SExtractor 2.19.5

(六) 恆星座標測量工具：Astrometry.net

四、 文獻探討與相關知識：星團的特性及英仙座雙星團的基本性質

星團分為球狀星團與疏散星團，其中球狀星團的恆星數量多，形狀接近球狀，年齡相對比較老；疏散星團的恆星數量少，形狀比較不規則，年齡相對比較年輕。星團由於成員星誕生地方與時間差不多，其成員星跟地球的相對運動也幾乎一樣，因此如果能夠判定出星團的成員星，便能夠從赫羅圖⁴(Hertzsprung-Russel diagram, H-R diagram)搭配理論模型估計出一個星團的年齡及距離。

英仙座雙星團(NGC 869 & 884, Caldwell 14)，又稱為 h and χ Persei，是二個位在英仙座頭部的疏散星團。二者在天空中的投影相當接近，二者之間的引力可能對其演化過程

⁴ 將恆星的表面亮度對溫度作圖，可以得到的分佈圖，是研究恆星演化的重要工具。

產生影響；年齡約 1500 萬年，離地球約 7500 光年。【表 一】列出了英仙座雙星團的基本性質(Kharchenko et al. 2013 and Currie et al. 2013)。【圖 二】是這兩個星團的影像。

表 一 英仙座雙星團的基本性質

基本參數\星團	NGC 869	NGC 884
赤經(RA)、赤緯(DEC)[度]	(34.740, +57.145)	(35.512, +57.145)
銀經、銀緯[度]	(134.616, -3.731)	(135.012, -3.590)
距離[秒差距]	2300	2345
距離模數 ⁵ [星等]	11.976	12.031
B-V 星際紅化 ⁶ [星等]	0.521	0.560
J-Ks 星際紅化[星等]	0.250	0.269
年齡[年]對數值 ⁷	7.280(約 19.1 百萬年)	7.200(約 15.8 百萬年)
自行量(RA, DEC)[毫角秒/年]	(-2.81, 0.05)	(-4.00, 1.65)
徑向速度[公里/秒]	-41.8	-43.6
質量[太陽質量] ⁸	4704	3699



圖 二 英仙座雙星團，左側是 NGC 869，右側是 NGC 884。(圖片來源：WEBDA, 2016)

⁵ 將視星等減去絕對星等的值。此處是 Ks 波段星等的值。

⁶ 天體發出的電磁波被路徑中的物質吸收或散射造成的影響。由於短波長的電磁波較易被星際物質散射，故天體的顏色看起來會比實際上略為偏紅。此處是在 B-V 色指數測量出的偏移量，下一列同理。

⁷ 因天體年齡通常都很大，習慣以年齡的常用對數值表示。

⁸ (Currie et al. 2013)

貳、 研究過程及方法

一、 研究流程

起初利用 2MASS 資料庫取得的星等資料繪製星色星等圖⁹(Color-Magnitude Diagram, CMD)，並將由 PADOVA 取得之等年齡線試著擬合。為了完成這些工作，還另外學習了程式語言 Python 與資料庫語言 MySQL。

同時練習進行觀測作業，包括觀測計劃安排、實際遠端遙控天文臺進行觀測、觀測後的影像處理、座標校正(Astrometry)、光度測量(Photometry)。

在具備相關知識與技術後，即著手進行資料分析。

一開始利用星場的密度分佈定出星團的中心位置與範圍，並從範圍中檢索資料庫，利用等年齡線與自行量、徑向速度辨認成員星，得出運動參數。接著使用青藏天文臺的觀測資料，計算星團中變星的週期，並繪製光變曲線(Light curve)；進而探討不同類型的變星在星團中的性質與星團在銀河系中的運動狀態。【圖 三】

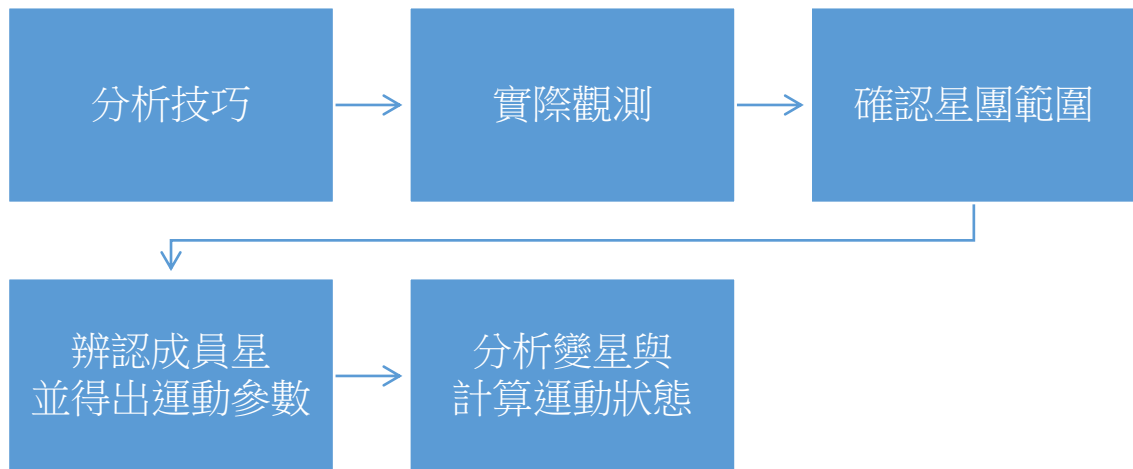


圖 三 研究流程圖

⁹ 又稱星團赫羅圖，以星等對色指數作圖，並與等年齡線比較，可以得出星團的紅化值與距離模數。

二、 確認星團範圍與辨認成員星

(一) 確認星團範圍

根據 Kharchekno 等人的研究，英仙座雙星團的兩個成員星團 NGC 869 與 NGC 884 的中心位置分別位在(34.740, +57.145)與(35.512, +57.145)，於是以二星團的平均中心座標(35.126, +57.145)，在 GAIA 資料庫中選取週邊矩形範圍，並在每單位面積 0.05×0.05 平方度的精度下，繪製等密度圖【圖 四】。

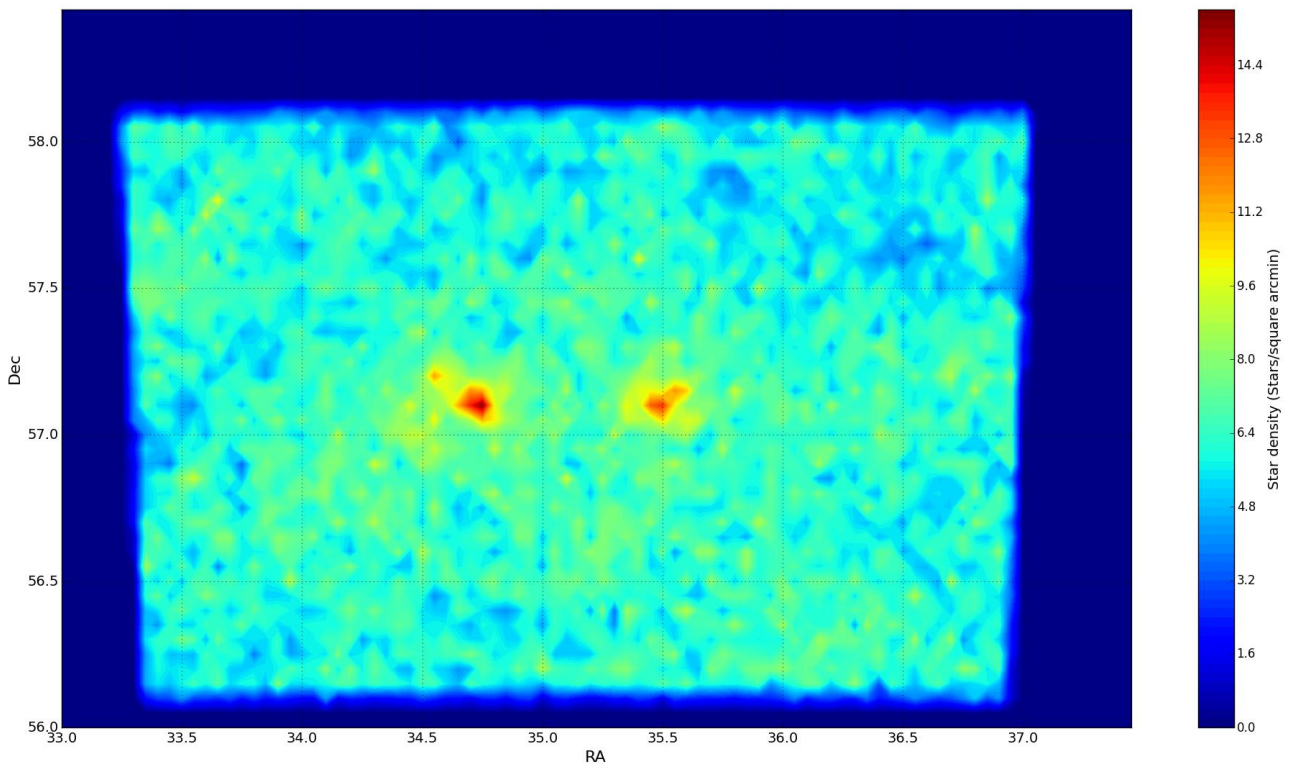


圖 四 英仙座雙星團附近星場的等密度圖

為了確定星團的大致範圍，則分別以兩星團中心為圓心，以 0.025 度為間隔，向外繪製數個同心圓，計算出由同心圓圍成的每個環狀區域中的星點密度。發現在約距離中心半徑 0.3 度處，星點密度便不再有大幅度的變化【圖 五】。將距離星團中心 20 角分內的範圍，劃定為星團成員星的可能分佈區域，並利用該區域進行後續的分析。

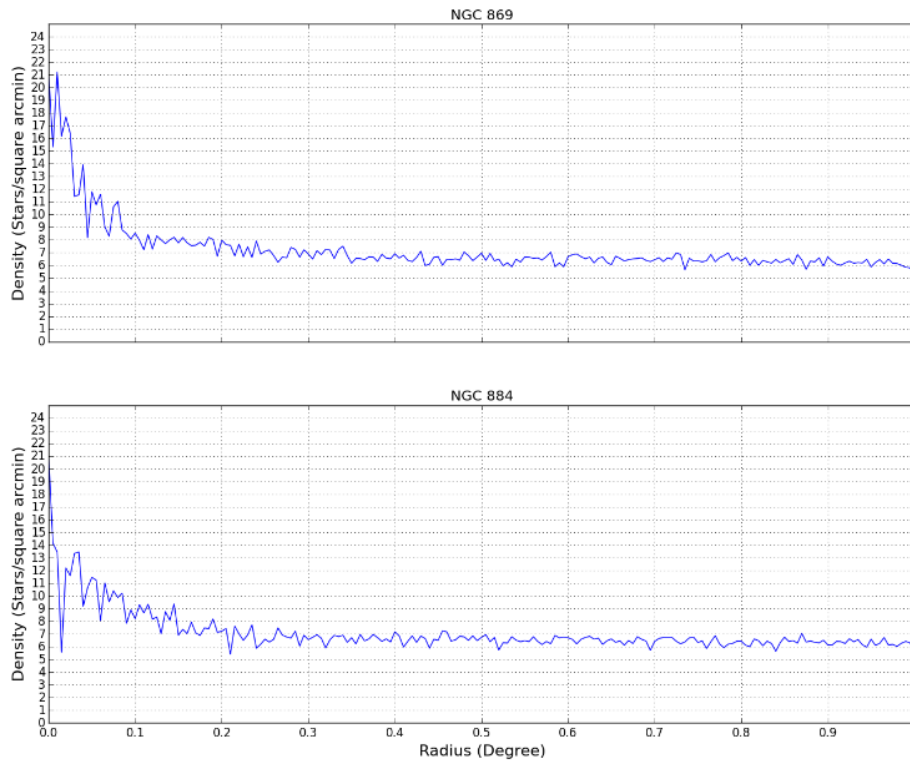


圖 五 距星團中心距離與密度分佈

(二) 辨認成員星

1. 以等年齡線作為判斷依據

根據 Kharchekno 等人的研究，可以分別將 NGC 869 與 NGC 884 進行等年齡線擬合，進一步從中辨認成員星。

以上步驟劃定的範圍分別繪製星色星等圖，並利用 J-Ks 紅化值與距離模數，將理論的等年齡線平移，得到星團的等年齡線【圖 六】。

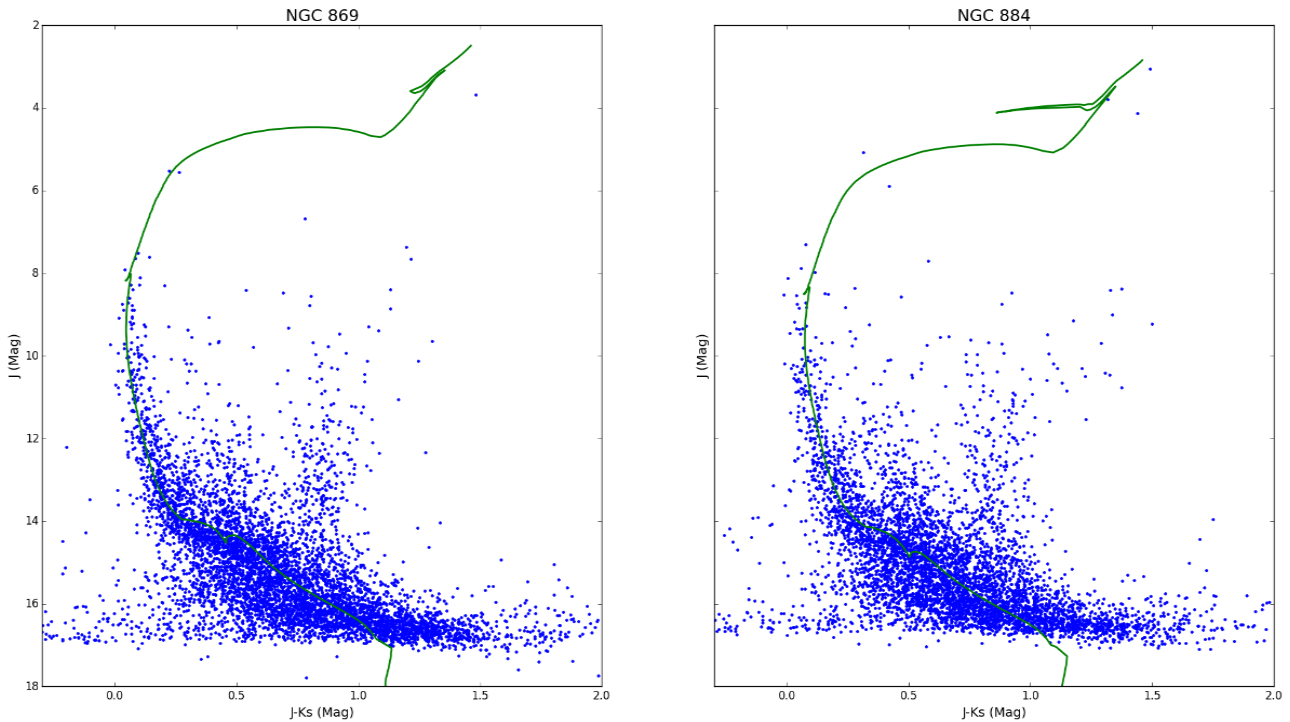


圖 六 NGC 869 與 NGC 884 的星色星等圖與等年齡線

因為星際消光影響，視距離模數 μ_v 會比真距離模數 μ_0 稍大，將視星等、絕對星等、距離、星際消光造成的影響分別表示為 m, M, d, E ，可得到表達式如下：

$$\mu_v = m - M = 5 \log d - 5 + E = \mu_0 + E$$

將同樣星等時，與等年齡線的色指數差在 ± 0.1 等內的星挑選出來，視為該星團的成員星【圖 七】；並以此篩選條件進行下一步的分析。

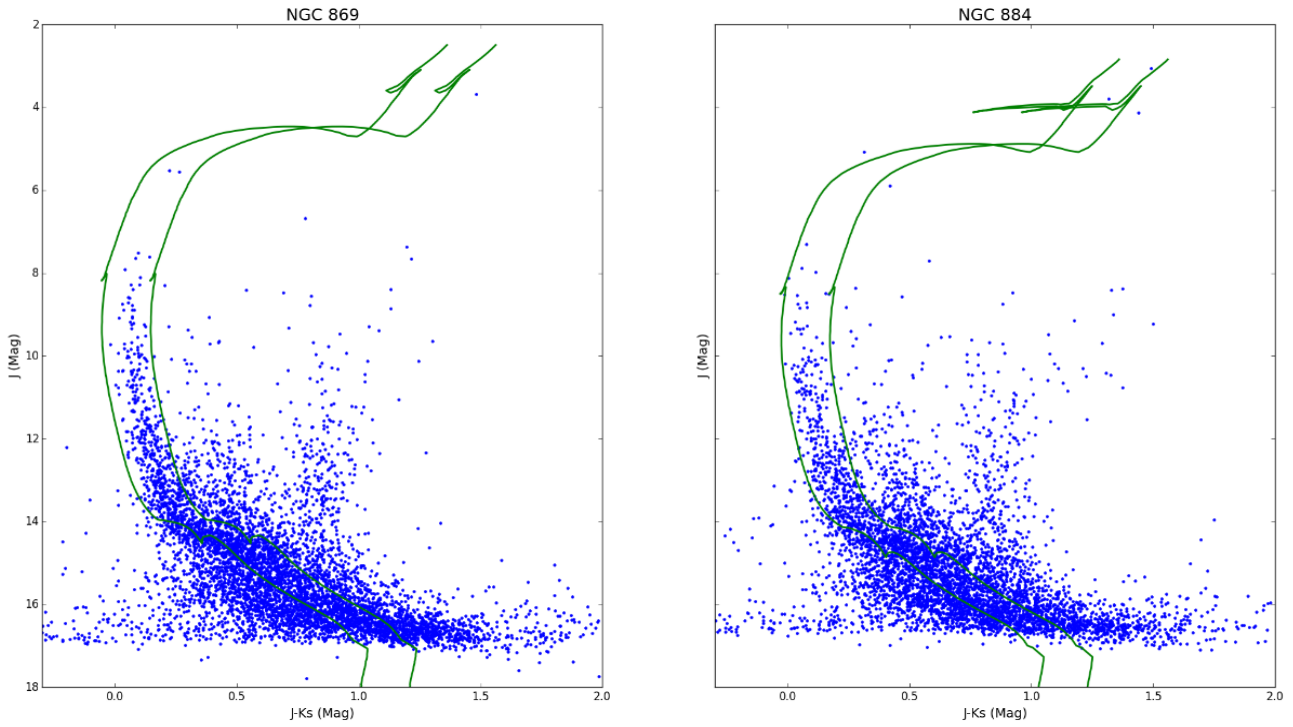


圖 七 NGC 869 與 NGC 884 色指數差在 ± 0.1 等內的範圍

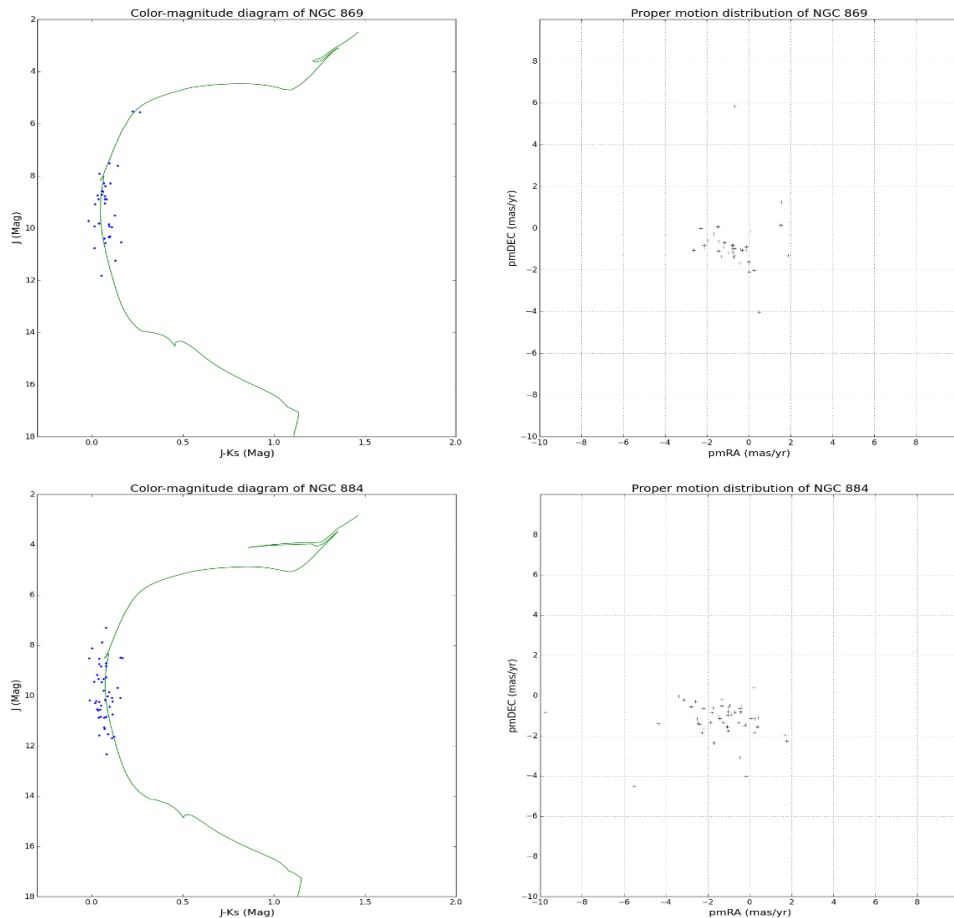
2. 以自行量作為判斷依據

同一星團的成員星相對於地球而言，通常有相似的運動狀態，所以可以將星團範圍內的星，以赤經方向的自行量與赤緯方向的自行量作分佈圖，藉以分析星團的運動。

根據 GAIA 資料庫，在雙星團附近的星場共有 729 顆已知自行量的星。對兩個星團分別用以下條件從中篩選出運動學上可能的成員星：

- 能從 GAIA 資料庫得到自行量數據
- 與星團中心距離在 20 角分之內
- 與等年齡線的色指數差在 ± 0.1 等以內

將利用以上條件篩選出的星分別繪製成星色星等圖與自行量分佈圖【圖八】，並利用統計方法，算出自行量的原始平均值與標準差【表二】。將自行量與平均值在三倍標準差內的星挑出，便可以視作該星團成員星，並得出成員星的自行量平均值與標準差。【研究結果與討論：一、】



圖八 NGC 869 與 NGC 884 成員星的星色星等圖與自行量分佈圖

表 二 NGC 869 與 NGC 884 的自行量統計結果

	NGC 869	NGC 884
原始自行量平均值(RA, DEC)[毫角秒/年]	(-0.686, -0.787)	(-1.419, -1.246)
原始自行量標準差[毫角秒/年]	1.761	2.066
成員星自行量平均值(RA, DEC)[毫角秒/年]	(-0.687, -0.987)	(-1.234, -1.255)
成員星自行量標準差[毫角秒/年]	1.352	1.667

三、 變星的週期分析與分佈

(一) 從變星目錄檢索該星團中的變星

取二星團平均中心座標畫出邊長約 60 角分×30 角分的矩形範圍，分別將 VSX、GCVS、CVSOC 等資料庫中檢索。將得到的資料交互比對，排除重覆後，可以列出較為完整的變星列表【附錄：一、變星列表】；該範圍內的變星，共計 51 顆。【圖 九】

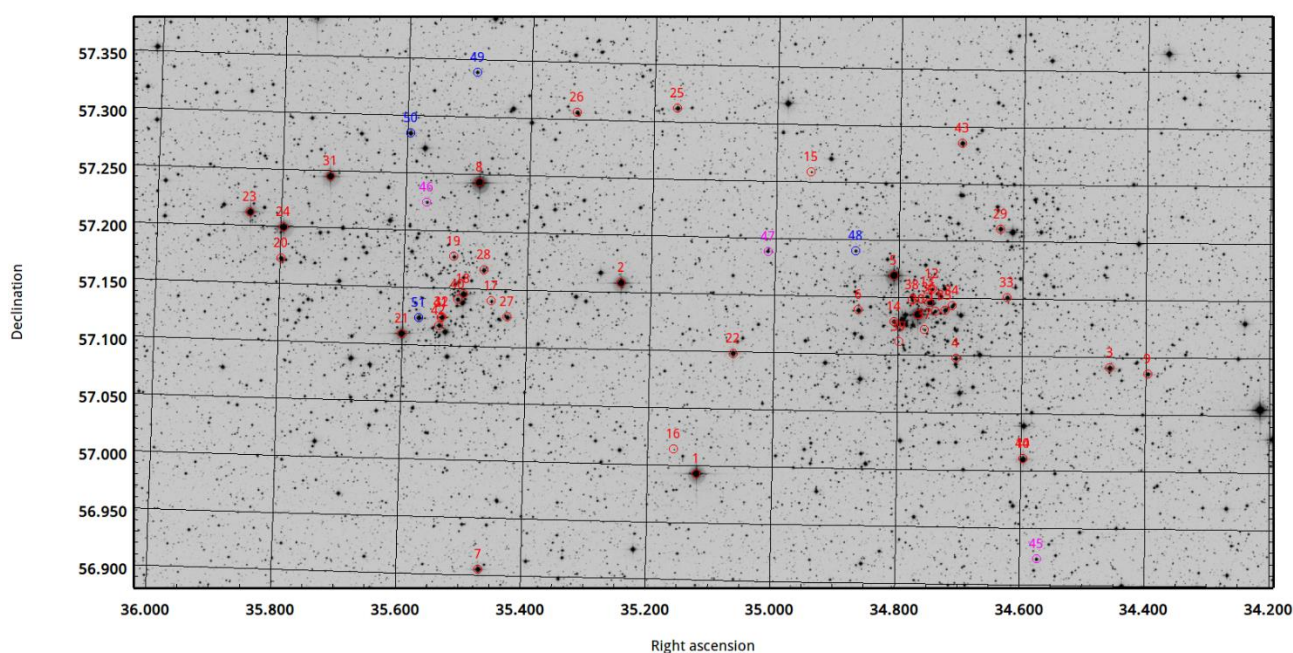


圖 九 雙星團附近星場的變星分佈

(二) 利用青藏天文臺進行觀測

因為現有的資料庫對於變星週期與類型的資料相當缺乏，為了找出他們在不同時間的星等，於是開始親自觀測。

該星團位於北天，以 9 月到次年 1 月為佳觀測期。為進一步分析英仙座雙星團中的變星及成員，故利用西藏羊八井觀測站的 40 公分望遠鏡，於 2015 年

10月、12月及2016年11月、12月進行遠距觀測，起初利用赤道控制軟體 The Sky 6，與 CCD 控制軟體 MaxIm DL 手動觀測作測試；熟悉以後則利用 ACP Observatory Control Software 進行自動排程觀測。

觀測數據的平均大氣視寧度大約是 3~5 角秒，每個濾鏡(u', g', r', i', z')曝光時間長 15 秒、30 秒或 60 秒【表 三】，總共觀測約 50 小時；每個目標在每個濾鏡被觀測約 100~640 張不等，詳見【表 四】。

表 三 觀測記錄

目標	日期	曝光時間(秒)	濾鏡	視寧度
NGC 869	2015/10/05	30	g', r'	5.076"
NGC 869	2015/10/19			3.949"
	2015/10/20	30	u', g', r', i', z'	5.675"
	2015/10/21			5.017"
NGC 884	2015/10/19			3.949"
	2015/10/20	30	u', g', r', i', z'	5.675"
	2015/10/21			5.017"
NGC 869	2015/12/13	60	g', r', i'	3.758"
NGC 869	2015/12/15	60	g', r', i'	3"~5"
NGC 884	2015/12/13	60	g', r', i'	3.758"
NGC 884	2015/12/15	60	g', r', i'	3"~5"
NGC 869	2016/11/26			
	2016/11/27	15		
	2016/11/28	60	g', r'	3"~5"
	2016/11/30			
	2016/12/01			
NGC 884	2016/11/26			
	2016/11/27	15		
	2016/11/28	60	g', r'	3"~5"
	2016/11/30			
	2016/12/01			

表 四 觀測結果

目標(張)	u'	g'	r'	i'	z'
NGC 869	108	637	635	185	108
NGC 884	99	473	471	103	99

(三) 處理天文影像

天文觀測得到的影像，在未經處理前，其所包含的雜訊會影響最終的科學結果，因此每幅影像需要標準的影像處理，其流程如【圖 十】。

這其中包含 CCD 運用光電效應將光子轉變為電子訊號，會受溫度影響，造成隨時間變化的隨機雜訊，稱為「暗電流」如【圖 十一左】；通常在相同溫度下與曝光時間成正比，只要在相同溫度下，不使 CCD 暴露於光線中，曝光與觀測目標相同時間就能得到暗電流數據。

另外 CCD 在將訊號讀出時，會施加一電壓，稱為「偏壓」如【圖 十一中】，也會影響數據品質，同樣是在相同溫度下「曝光」0 秒，得到單純讀出資料施加的電壓，並與暗電流一併扣除。最後，在一整套光學系統中，有時會因為鏡片或濾鏡的不均勻，或是灰塵造成的繞射，甚至是 CCD 本身每個像素的靈敏度不同，產生數據的差異，故須在清晨或黃昏，天空亮度均勻時，取得「平場」影像如【圖 十一右】，以修正影像的不均勻程度。

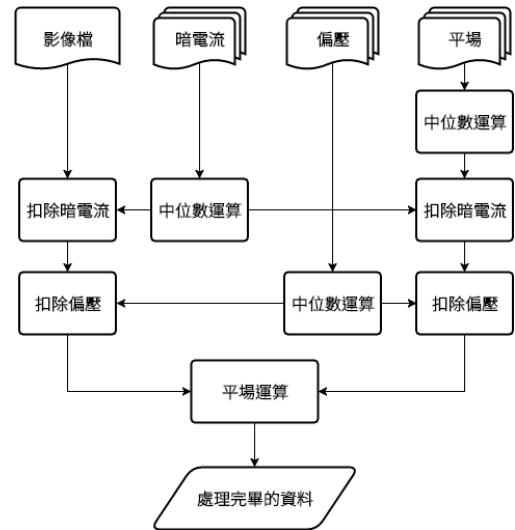


圖 十 影像處理流程

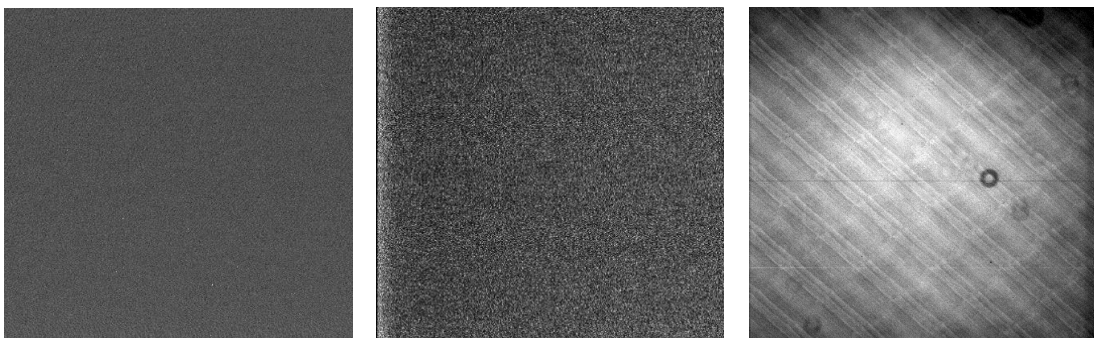


圖 十一 暗電流(左)、偏壓(中)、平場(右)

一般扣掉暗電流、偏壓、除平場後(預處理)的影像可以發現背景變得比較均勻如【圖 十二】所示。

Figure 12 consists of two screenshots of a 'Pixel Table' window. The top screenshot shows a grid of numerical values representing background noise levels before processing, with values ranging from approximately 541 to 567. The bottom screenshot shows the same grid after processing, with values significantly reduced, ranging from approximately 71.0953 to 92.0915. The tables are organized with columns representing pixel coordinates and rows representing different rows of the image.

	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390
1130	561	541	551	547	552	552	544	542	544	561	546	544
1129	556	545	544	560	558	538	541	557	553	574	550	547
1128	534	535	556	555	539	559	554	552	559	560	551	550
1127	543	550	546	539	557	555	553	550	554	530	538	559
1126	536	539	551	543	539	553	554	543	559	569	543	554
1125	545	557	540	536	559	543	557	558	549	532	554	554
1124	541	554	552	555	541	534	557	558	555	550	561	539
1123	553	548	545	547	552	566	546	549	531	547	558	550
1122	565	545	548	551	546	543	548	540	538	548	551	563
1121	547	540	559	557	553	546	549	543	535	555	550	531
1120	536	549	541	552	549	551	556	539	545	553	562	543
1119	551	544	562	543	556	552	532	530	557	555	568	550
1118	553	540	536	540	544	554	564	550	545	547	541	567

	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147
1086	76.3743	80.5848	95.0177	65.6187	74.6143	86.3262	69.5955	74.5775	80.9118	77.8775	76.8444	68.7773
1085	74.013	76.6888	68.2424	87.9717	83.11	74.4522	63.0466	84.7065	71.7416	77.5472	88.4671	78.4355
1084	75.3258	80.5087	88.4671	88.632	81.1336	74.4109	76.3584	85.8454	73.8135	86.0535	85.8384	89.3278
1083	74.7272	70.1324	71.6741	112.873	72.097	72.8801	85.4073	79.6168	65.6437	87.53	82.2688	65.1503
1082	71.8532	69.5235	86.9872	82.8405	73.9168	74.116	71.1414	63.6374	79.1784	81.7191	67.7086	85.144
1081	73.1186	73.9444	91.8751	59.5089	90.5109	85.8583	68.8033	91.1011	88.6595	73.0328	77.2366	77.6968
1080	67.6605	87.6398	97.5106	86.34	81.0025	85.0426	71.0953	75.6693	90.8145	84.2569	75.3623	93.5019
1079	72.6577	79.0782	81.3108	71.8301	83.5789	92.9566	60.7515	92.4361	72.4557	77.9436	71.4281	79.7631
1078	65.7822	75.1689	70.2966	78.4087	91.5782	70.575	97.1799	77.949	71.3561	76.9172	88.0759	71.7161
1077	68.1328	79.5151	77.4313	73.6936	74.2965	80.9959	88.4294	78.7675	74.1561	66.0432	87.4739	71.0673
1076	80.6215	84.6312	83.7317	84.3176	96.3635	78.5148	84.0645	75.3229	92.1636	93.2683	83.0593	78.4024
1075	72.5167	83.3948	75.0414	81.793	77.2082	76.5784	89.499	76.5965	64.6933	77.8343	76.2887	75.048
1074	82.0664	72.6692	92.0915	78.3	86.4476	78.2159	98.3463	76.8737	87.25	91.8899	77.6909	76.3408

圖 十二 (上)處理前，背景雜訊值約在 500~600 之間；(下)處理後，剩天空背景值約 100 內。

將預處理後的影像做座標校正。Astrometry.net 中的 Solve-field 功能，可以對天體做定位測量並解出其所在的天球座標系統。

(四) 測量星等

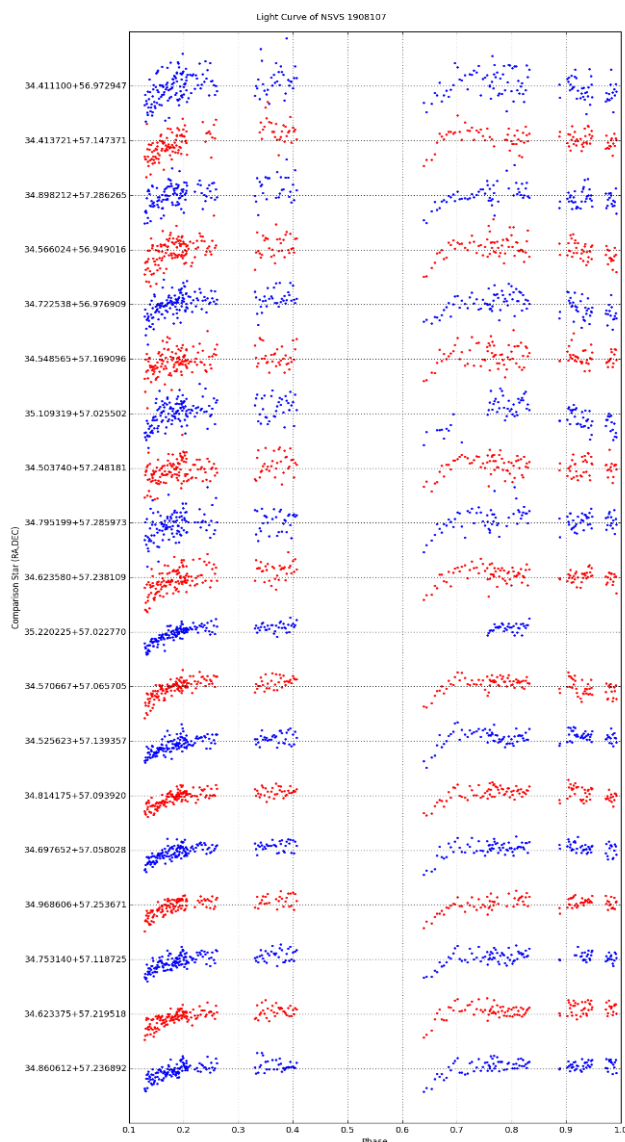
在完成座標校正後，利用 SExtractor 對整張影像，利用點瀰散函數¹⁰(Point spread function, PSF)進行恆星光度測量，得出星等值與誤差值。其中星等 m 是由測得的光通量 F ，代入星等公式

$$m = -2.5\log(F) + 25$$

所得，25 是將原本的負星等平移到正星等。

以上測得之星等為儀器星等，需經過標準星校正後才能得到實際視星等，但於觀測期間內因時有月亮影響，並不適合做標準星測光；又因為接著需要分析變星週期，星等對時間的相對變化十分重要。因此利用較差測光¹¹(Differential photometry)修正星等誤差。

選定同一幅影像中的非變星作為標準，與欲比較的變星星等相減，得出星等差；此優點是天候因素與校正誤差可以忽略不計。為識別出哪些星適合用來當作較差測光的參考星，便在與變星同一星場中挑選出數顆星作



圖十三 挑選 19 顆基準星與 NSVS 1908107 較差測光結果(參考星星等從上而下是最暗到最亮)

¹⁰ 遙遠恆星對於地球而言是點光源。點光源經過光學系統後會因繞射而擴散，其分佈稱作點瀰散函數。將點瀰散函數擬合星點的光通量分佈，便能較為準確的計算出星等。

¹¹ 在目標星周圍選擇一到多顆非變星作為參考星，將目標星與參考星的儀器星等相減，就可以得到相對星等。

為參考星，分別將其較差測光結果繪製成光變曲線圖，即能藉由圖形辨別：越接近理論值者越適合當作參考星。【圖 十三】以變星 NSVS 1908107 與臨近 NGC 884 的星場為例，顯示被挑選出來的 19 顆參考星，其中下面 9 顆相對亮星的瀰散程度比較小，是本次拿來當作較差測光的參考星。

故在每一幅影像中固定選取數顆星等約在 14 等附近的星點，以其星等中位數對星場中所有星點進行較差測光，取得修正後的相對星等值。

(五) 辨認變星

利用 2MASS 資料庫作為主星表，以座標 3 角秒誤差範圍將觀測資料分類，共解析出 10161 顆星。算出其中被觀測超過 20 次的星點之相對星等標準差及平均值，並以標準差對平均值作圖【圖 十四】，由於變星光度會隨時間變化，星等的標準差會大於一般的星，故將相對星等平均值大於-3 等¹²且標準差大於 0.4 等，又不與已知的 51 顆變星重複的星取出，共 62 顆；再將因為個別數據點受周圍亮星影響造成星等標準差偏高的情形剔除，共找出 21 顆可能的變星。

【研究結果與討論：二、】

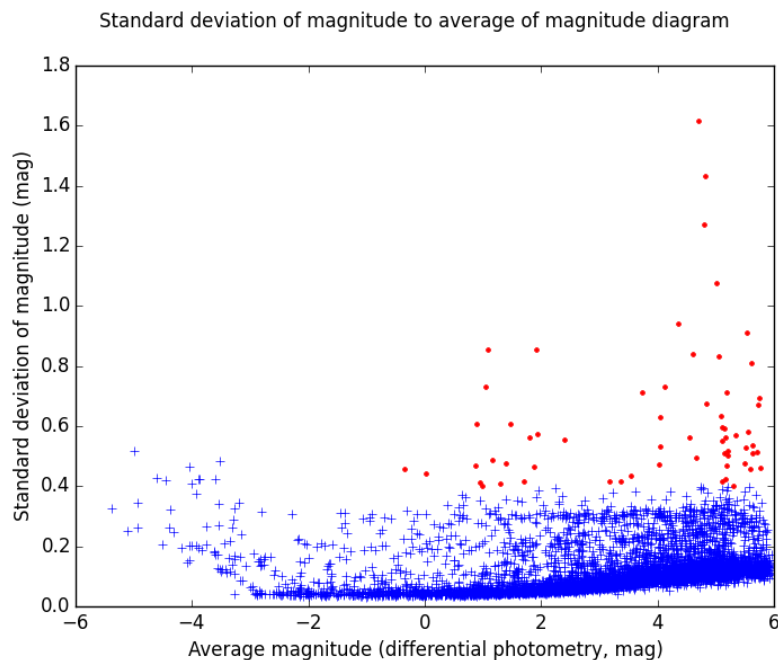


圖 十四 星等標準差—星等平均值圖

¹² 較亮的星可能因為星芒在 CCD 上造成溢出導致測光失準，故不採用。

(六) 測量變星週期

為了找出變星的週期，將上述經過較差測光後的數據，利用 Lomb-Scargle 方法¹³(Lomb-Scargle method)，求出週期圖譜(Periodogram)；並將強度(Power)較高的週期對原始數據作圖，若該變星確實是週期變星，便可測出變星光度變化的實際週期。

以 NSV 789 為例，週期為 0.50548 天時可畫出明顯的光變曲線。從其形狀可以推測應該屬於天琴座 β 型變星，即有物質交換的食雙星。【圖 十五】

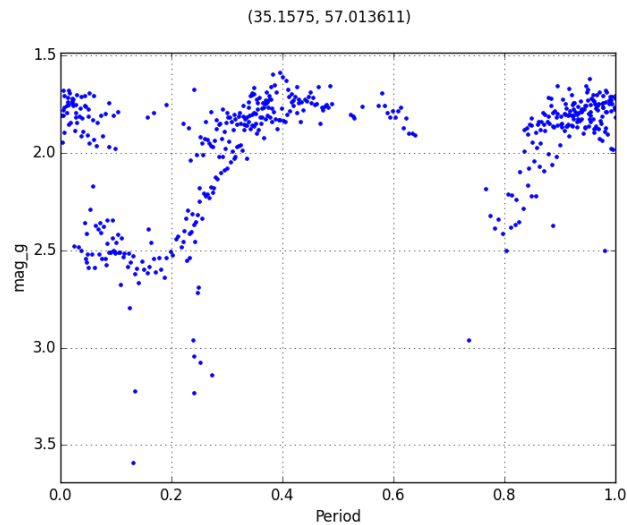


圖 十五 NSV 789 的光變曲線 (週期：0.50548 天)

利用此方法可以得到 51 顆變星中 17 顆的週期。【研究結果與討論：二、】

¹³ 又稱最小平方頻譜分析(Least-squares spectral analysis, LSSA)。利用最小平方法(Least squares)，將已知數據以正弦函數擬合，差值最小者強度最高，為變星最有可能的週期。與傅立葉分析類似，但本方法並不會放大長週期雜訊，並且克服傅立葉分析不適用於觀測週期不等的缺點。

四、 探討雙星團的運動狀態

(一) 星團在銀河系中的位置與運動速度

天體的自行量與徑向速度是描述天體運動狀態的重要因素，在先前【研究過程及方法：0】中已經算出 NGC 869 與 NGC 884 的自行量。利用 LAMOST 數據，分別選取以星團中心半徑 1 度內，以及在星色星等圖等齡線上差 ± 0.2 等的成員星，求其徑向速度，求得結果與 Kharchenko 等人的發表數據一致。

【圖 十六】

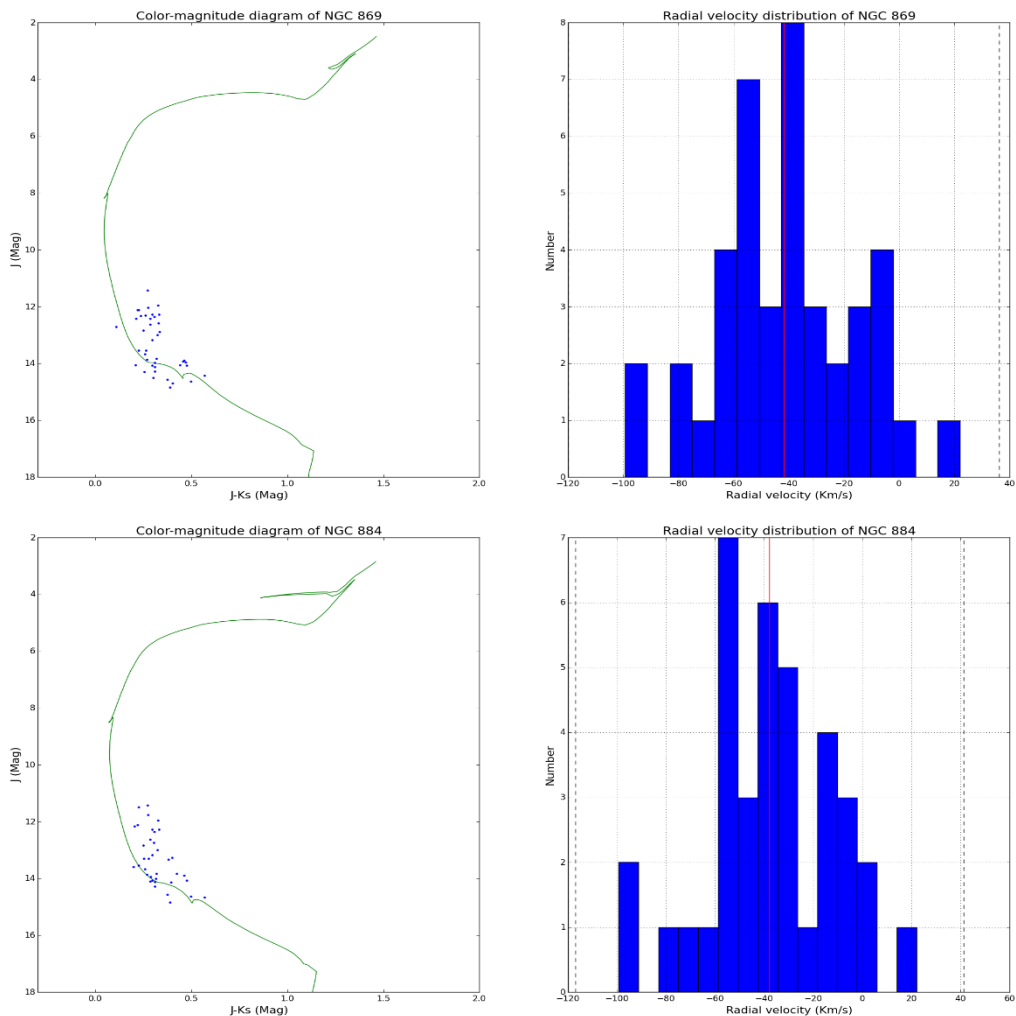


圖 十六 NGC 869 與 NGC 884 成員星的星色星等圖與徑向速度分佈圖

為便於分析天體在銀河系中的運動狀態，先以 Python 函式庫 AstroPy 與 galpy，利用天球赤道座標與天體距離，求出以銀河系中心為原點的直角座標；利用自行量與徑向速度，求出其 U、V、W，即朝向銀心運動的速度分量、與銀河系自轉方向相同的速度分量、與銀盤垂直朝北的速度分量。

考慮兩個星團之間的引力與其相對速度，將數據利用 Python 函式庫 VPython 進行模擬，目前並未發現兩者之間有明顯的動力學關係。

表 五 NGC 869 與 NGC 884 在銀河系中的位置與速度參數

參數\星團	NGC 869	NGC 884
銀心座標[秒差距]	(-9912.58, 1633.59, -117.26)	(-9955.82, 1654.45, -114.26)
U, V, W [公里/秒]	(32.359, -27.824, -9.895)	(37.286, -25.825, -15.052)

(二) 星團在垂直銀盤方向的運動狀態

星團在銀河系的重力影響下，除了繞著銀心旋轉外，還有在垂直銀盤方向的上下振盪，因此我假設銀河系是個簡單的圓盤面，

根據重力場的高斯定律

$$\oint_{\delta V} \mathbf{g} dA = -4\pi GM$$

，可推得天體與銀盤距離與所受加速度的關係式

$$\mathbf{g} = -4\pi G\rho z$$

其中 ρ 為銀河系平均密度，約為 $0.1 M_{\odot}/\text{pc}^3$ (Korchagin et al 2003)。故知銀河系中天體在垂直銀盤方向進行簡諧運動，週期為

$$T = \sqrt{\frac{\pi}{G\rho}} \cong 8.35 \times 10^7 \text{yr.}$$

根據簡諧運動方程組

$$\begin{cases} z(t) = z_0 \cos(\omega t + \delta) \\ v(t) = -\omega z_0 \sin(\omega t + \delta) \\ g(t) = -\omega^2 z_0 \cos(\omega t + \delta) \end{cases}$$

可求得雙星團與其質心的振幅與最大垂直速率，再考慮星團形成時間，即可求得星團形成的初始位置與初始速度。【圖 十七】【研究結果與討論：三、】

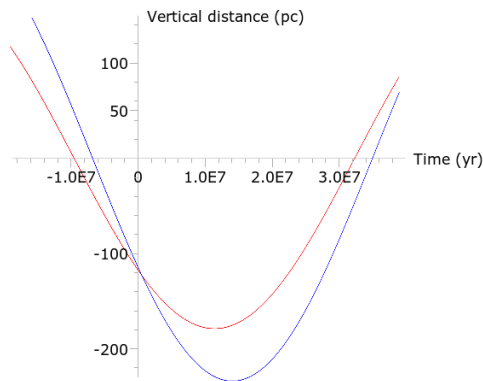


圖 十七 NGC 869 與 NGC 884 在垂直銀盤方向的位置—時間圖
時間 0 點代表現在，紅色曲線代表 NGC 869，藍色曲線代表 NGC 884

參、 研究結果與討論

一、 經由等年齡線與自行量篩選出的星團成員星

以星團中心為中心，分別作半徑 20 角分的範圍中，色指數在理論值 ± 0.1 等內，且個別自行量與平均自行量在三倍標準差範圍內者視為成員星。NGC 869 平均自行量約為 (-0.686, -0.787)，共確認 33 顆成員星；NGC 884 平均自行量約為(-1.419, -1.246)，共確認 45 顆成員星。成員星列表如下【表 六、表 七】：

表 六 NGC 869 的成員星

No.	赤經	赤緯	星等(J)	色指數(J-Ks)	自行量
1	34.586224	56.887143	9.721	-0.021	(-1.444, -0.633)
2	34.834856	56.832797	10.769	0.014	(0.076, -0.151)
3	34.937027	56.919546	11.829	0.051	(-0.11, -1.074)
4	34.927769	56.979407	9.934	0.013	(-2.131, -0.812)
5	34.948281	57.015954	10.349	0.092	(-1.687, -0.277)
6	34.994427	57.009966	10.547	0.161	(-0.005, -1.62)
7	35.065510	57.098603	8.274	0.065	(-0.315, -1.054)
8	35.050576	57.112374	10.329	0.097	(-1.968, -0.602)
9	35.025682	57.124501	10.576	0.074	(-0.766, -0.84)
10	34.645793	56.871806	9.857	0.091	(0.496, -4.024)
11	34.770750	56.958623	9.961	0.109	(-1.204, -0.918)
12	34.661314	57.033516	10.394	0.068	(1.557, 1.238)
13	34.596035	57.010196	7.913	0.039	(-0.692, -0.979)
14	34.457687	57.090428	8.276	0.099	(-1.158, -0.692)
15	34.678215	57.072637	9.827	0.037	(-0.791, -0.992)
16	34.667973	57.100867	8.886	0.034	(-2.305, -0.017)
17	34.624302	57.150873	8.895	0.071	(-1.469, 0.062)
18	34.788512	57.135088	8.391	0.072	(-0.124, -0.892)
19	34.793529	57.130579	7.602	0.14	(-2.629, -1.057)
20	34.768547	57.135494	5.558	0.263	(-0.759, -1.16)
21	34.864441	57.138232	8.588	0.053	(-0.466, -1.681)
22	34.808087	57.169226	5.53	0.223	(-0.693, -1.323)
23	34.699052	57.135203	8.78	0.07	(0.254, -2.022)
24	34.724416	57.139505	8.883	0.078	(-2.142, -0.956)
25	34.636577	57.211020	8.708	0.054	(-1.306, -1.349)
26	34.617316	57.208369	7.51	0.094	(-0.787, -0.807)
27	34.701546	57.240252	9.08	0.016	(1.536, 0.148)
28	34.700071	57.285519	8.596	0.059	(-0.386, -0.994)

29	34.413045	57.199329	8.742	0.029	(-0.706, -1.402)
30	34.563418	57.242418	11.247	0.126	(0.02, -2.104)
31	34.624566	57.366510	9.52	0.125	(-1.447, -1.093)
32	34.668286	57.407607	9.933	0.094	(-0.985, -1.199)
33	34.610599	57.380308	10.31	0.097	(1.881, -1.311)

表 七 NGC 884 的成員星

No.	赤經	赤緯	星等(J)	色指數(J-Ks)	自行量
1	35.468381	56.904996	8.127	0.003	(-0.481, -3.091)
2	35.496122	56.944081	10.746	0.113	(1.762, -2.263)
3	35.339510	56.898540	10.307	0.017	(-2.586, -0.295)
4	35.392180	56.913174	10.176	0.073	(-1.708, -2.359)
5	35.333938	56.916978	10.838	0.047	(-0.193, -1.457)
6	35.333331	56.923423	11.528	0.09	(0.055, -1.141)
7	35.342861	56.936459	11.33	0.069	(-0.287, -1.489)
8	35.441238	56.965766	10.225	0.025	(-2.195, -1.649)
9	35.274806	57.001381	10.535	0.028	(-1.033, -1.752)
10	35.282128	57.045724	11.624	0.121	(-1.257, -1.34)
11	35.736263	57.013386	9.171	0.03	(-0.44, -0.813)
12	35.528554	56.989029	12.332	0.081	(0.244, -1.148)
13	35.521967	57.003988	11.586	0.041	(0.398, -1.109)
14	35.557850	57.023476	10.876	0.037	(0.377, -1.552)
15	35.447393	57.064202	10.444	0.098	(-5.527, -4.511)
16	35.649503	57.028696	10.189	-0.011	(-3.145, -0.222)
17	35.638503	57.041564	10.237	0.113	(-0.161, -4.027)
18	35.680367	57.052624	10.563	0.046	(-1.433, -1.147)
19	35.651231	57.081771	9.455	0.012	(-1.339, -0.511)
20	35.681362	57.086798	8.54	0.039	(-1.327, -0.202)
21	35.681331	57.105970	10.595	0.035	(-1.881, -1.34)
22	35.573702	57.123504	8.483	0.156	(-0.706, -0.827)
23	35.540457	57.117302	8.753	0.041	(-2.369, -1.43)
24	35.530761	57.111733	7.872	0.057	(-1.029, -0.573)
25	35.535704	57.124549	8.524	-0.013	(-0.399, -0.501)
26	35.587760	57.181371	10.036	0.085	(-1.793, -0.848)
27	35.818288	57.135766	10.87	0.068	(-0.88, -0.963)
28	35.704015	57.153877	9.339	0.064	(-2.788, -0.565)
29	35.723966	57.196046	11.27	0.068	(-0.53, -1.356)
30	35.736556	57.195580	9.796	0.065	(-1.756, -0.62)

31	35.624373	57.208006	8.848	0.05	(-2.211, -0.64)
32	35.628330	57.236872	10.09	0.156	(1.708, -1.968)
33	35.674073	57.283267	9.687	0.141	(-0.466, -0.639)
34	35.388813	57.032403	10.844	0.077	(-1.508, -0.993)
35	35.380386	57.103294	10.253	0.04	(-1.068, -1.561)
36	35.320932	57.145180	9.28	0.079	(-1.023, -0.801)
37	35.502397	57.144960	7.31	0.078	(0.236, -1.847)
38	35.503923	57.137305	8.72	0.078	(-4.351, -1.404)
39	35.470583	57.166370	9.466	0.054	(-2.456, -1.384)
40	35.519020	57.177463	9.865	0.095	(-2.508, -1.153)
41	35.281955	57.166788	8.832	0.079	(-0.941, -0.497)
42	35.398824	57.296454	9.334	0.038	(0.185, 0.382)
43	35.287660	57.359526	10.396	0.052	(-3.39, -0.036)
44	35.594748	57.284721	8.502	0.168	(-2.272, -1.858)
45	35.494875	57.411602	11.702	0.111	(-1.046, -0.976)

二、 星團範圍內的變星性質

利用 Lomb-Scargle 方法，在原本已知的 51 顆變星中，可得到 17 顆變星的週期如下，
 並已確認 19 顆變星分別為 NGC 869 或 NGC 884 的成員星【表 八】【圖 十八】：

表 八 已知的 51 顆變星週期

No.	變星名	赤經	赤緯	週期 ¹⁴	星等(J)	色指數 (J-Ks)	自行量	屬於	來源
1	AD Per	35.120833	56.993056	362.5					GCVS
2	FZ Per	35.248333	57.158333	184.0					GCVS
3	NSV 15470	34.457500	57.090556	0.276	8.276	0.099	(-1.158, -0.692)	NGC 869	GCVS
4	NSV 15475	34.705833	57.097222	1.221					GCVS
5	NSV 15479	34.807917	57.169167		5.53	0.223	(-0.693, -1.323)	NGC 869	GCVS
6	NSV 15481	34.864583	57.138333		8.588	0.053	(-0.466, -1.681)	NGC 869	GCVS
7	NSV 15489	35.467917	56.905000		8.127	0.003	(-0.481, -3.091)	NGC 884	GCVS
8	NSV 15490	35.480833	57.243333						GCVS
9	NSV 770	34.396250	57.085556	0.126					GCVS
10	NSV 774	34.595833	57.010278		7.913	0.039	(-0.692, -0.979)	NGC 869	GCVS
11	NSV 776	34.740417	57.138333	0.558					GCVS
12	NSV 777	34.745833	57.157500						GCVS
13	NSV 778	34.753750	57.150833	0.306					GCVS
14	NSV 781	34.806667	57.128611	3.63					GCVS
15	NSV 785	34.943750	57.258333	1.739					GCVS
16	NSV 789	35.157500	57.013611	0.505					GCVS
17	NSV 795	35.456667	57.139444	0.493					GCVS
18	NSV 798	35.502500	57.145000	1.972	7.31	0.078	(0.236, -1.847)	NGC 884	GCVS
19	NSV 800	35.519167	57.177500		9.865	0.095	(-2.508, -1.153)	NGC 884	GCVS
20	NSV 808	35.798333	57.172222	0.327					GCVS
21	RS Per	35.600000	57.109444	244.5					GCVS
22	V0359 Per	35.065417	57.098611	0.275	8.274	0.065	(-0.315, -1.054)	NGC 869	GCVS
23	V0403 Per	35.850417	57.211944	0.493					GCVS
24	V0439 Per	35.796250	57.199444						GCVS
25	V0503 Per	35.162500	57.311944						GCVS
26	V0504 Per	35.325417	57.306111						GCVS
27	V0506 Per	35.430833	57.125833	0.288					GCVS
28	V0507 Per	35.470417	57.166389	0.390	9.466	0.054	(-2.456, -1.384)	NGC 884	GCVS
29	V0519 Per	34.636667	57.211111		8.708	0.054	(-1.306, -1.349)	NGC 869	GCVS
30	V0520 Per	34.768750	57.135556		5.558	0.263	(-0.759, -1.16)	NGC 869	GCVS
31	V0553 Per	35.722917	57.245278						GCVS
32	V0595 Per	35.535833	57.124722		8.524	-0.013	(-0.399, -0.501)	NGC 884	GCVS
33	V0611 Per	34.624167	57.150833		8.895	0.071	(-1.469, 0.062)	NGC 869	GCVS
34	V0612 Per	34.712917	57.143333						GCVS
35	V0613 Per	34.724583	57.139444		8.883	0.078	(-2.142, -0.956)	NGC 869	GCVS
36	V0614 Per	34.750417	57.145556						GCVS
37	V0615 Per	34.757083	57.121944						GCVS
38	V0617 Per	34.777917	57.148056						GCVS
39	V0618 Per	34.798750	57.111111	2.140					GCVS
40	V0619 Per	35.511667	57.140278	0.256					GCVS
41	V0620 Per	35.537500	57.123889						GCVS
42	V0621 Per	35.540417	57.117222		8.753	0.041	(-2.369, -1.43)	NGC 884	GCVS
43	V0665 Per	34.700000	57.285556		8.596	0.059	(-0.386, -0.994)	NGC 869	GCVS

¹⁴ 以斜體字表示者為原本已知週期的變星。

44	V0757 Per	34.595833	57.010278	0.164	7.913	0.039	(-0.692, -0.979)	NGC 869	GCVS
45	Mis V1395	34.572458	56.922778	0.696					CVSOC
46	Mis V1397	35.565000	57.224694						CVSOC
47	NSVS 1908107	35.011833	57.188111	1.733					CVSOC
48	GSC 03694-01728	34.870375	57.190083						VSX
49	GSC 03694-01870	35.489000	57.339389						VSX
50	SAO 23255	35.594750	57.284722		8.502	0.168	(-2.272, -1.858)	NGC 884	VSX
51	V0622 Per	35.573708	57.123528		8.483	0.156	(-0.706, -0.827)	NGC 884	VSX

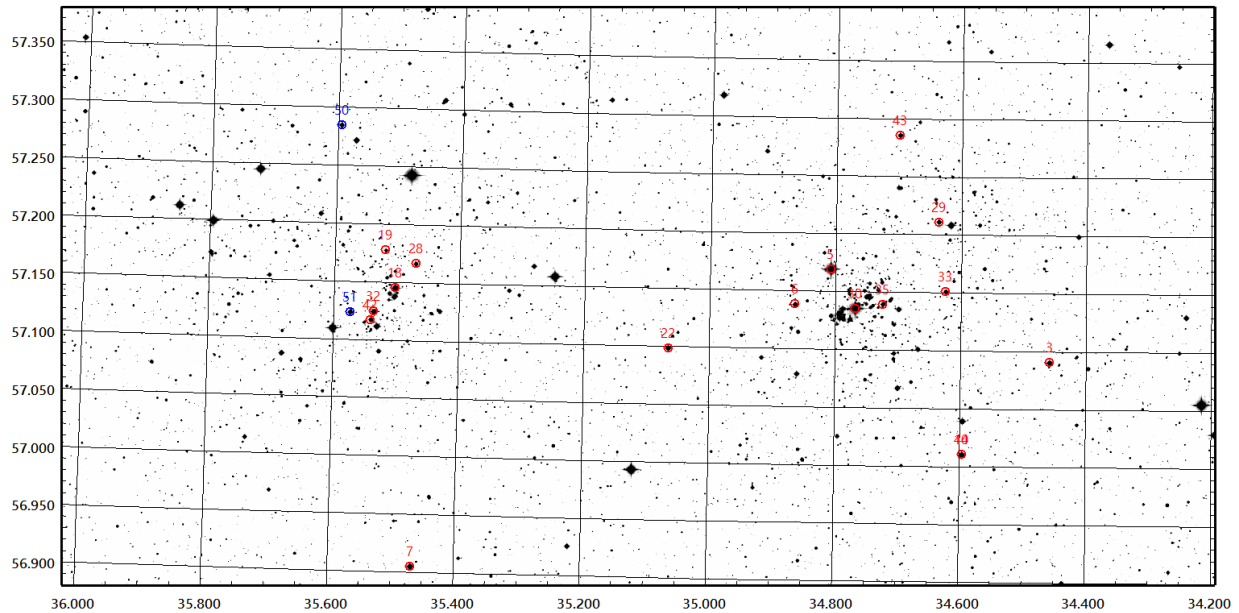


圖 十八 NGC 869 與 NGC 884 的成員變星

從觀測資料中篩選出來的 21 顆疑似變星，尚未確認任何一顆 NGC 869 或 NGC 884 的成員星：

表 九 尚未確認的疑似變星

No.	赤經	赤緯	平均相對星等(g')	星等標準差
1	34.311942	56.912392	-0.351	0.458
2	34.406817	57.273701	4.345	0.940
3	34.410179	57.360329	4.810	1.432
4	34.765023	56.941784	3.739	0.714
5	34.785631	57.419949	1.398	0.476
6	34.886368	57.268364	3.376	0.416
7	34.960413	57.400593	0.865	0.470
8	35.068398	57.393532	1.298	0.407
9	35.177611	57.091434	5.194	0.469
10	35.192613	57.252254	5.516	0.529
11	35.225304	57.193394	4.548	0.564
12	35.225713	56.946594	0.985	0.403
13	35.233534	57.278442	4.032	0.471
14	35.247083	56.997578	5.597	0.458
15	35.301490	57.403706	5.311	0.403
16	35.332506	57.402973	0.951	0.412
17	35.391135	56.937695	1.040	0.733
18	35.500200	56.938105	1.870	0.466
19	35.540715	56.941948	1.478	0.607
20	35.885997	56.937176	1.090	0.853
21	36.014394	56.930767	1.924	0.854

三、 星團的運動狀態

兩星團在垂直銀河盤面方向上的運動可以表示成以下形式，部分數值見【表 十】：

$$z_{NGC869}(t) \cong 178.51 \cos(\omega t + 0.27172\pi) \text{ [秒差距]}$$

$$z_{NGC884}(t) \cong 234.42 \cos(\omega t + 0.28245\pi) \text{ [秒差距]}$$

$$\omega \cong 7.5198 \times 10^{-8} \text{ [1/年]}$$

表 十 NGC 869 與 NGC 884 與其質心在垂直銀盤方向的運動狀態

參數\星團	NGC 869	質心	NGC 884
質量[太陽質量]	4704	-	3699
年齡[百萬年]	19.1	-	15.8
現在位置[秒差距]	-117.26	-115.94	-114.26
現在速度[公里/秒]	-9.895	-12.165	-15.052
振幅[秒差距]	178.51	202.03	234.42
最大速率[公里/秒]	13.129	14.859	17.241
初始位置[秒差距]	117.32	-	148.03
初始速率[公里/秒]	-9.893	-	-13.365
通過銀盤次數[次]	1		

四、 討論

(一) GAIA 與 MWSC 的自行量比較

GAIA 計劃在 2016 年 9 月公開第一階段的資料(GAIA Data Release I)，其中的子資料庫 TGAS 中的自行量，是將先前依巴谷衛星(High Precision Parallax Collecting Satellite, Hipparcos)建立的第谷第二星表(Tycho-2 Catalogue)中天體的座標資訊，與 GAIA 計劃得到的座標比較而成；而在 MWSC 中，自行量是來自 PPMXL¹⁵。

兩者資料來源有所不同，且因觀測方式也存在相對自行量與絕對自行量的差異。待日後 GAIA 計劃累計足夠觀測時間基線，預計能得到更多天體的自行量數據及更精確的結果。【表 十一】

¹⁵ Roeser S. et al. (2010)利用比較美國海軍天文臺星表(USNO-B1.0)與 2MASS 的天體位置資訊得出自行量。

表 十一 GAIA 與 MWSC 的自行量比較

[毫角秒/年]	NGC 869	NGC 884
GAIA 平均自行量(RA, DEC)	(-0.687, -0.987)	(-1.234, -1.255)
GAIA 自行量誤差範圍	1.352	1.667
MWSC 平均自行量(RA, DEC)	(-2.81, 0.05)	(-4.00, 1.65)
MWSC 自行量誤差範圍	0.10	0.14

(二) 誤差對週期分析的影響

由於 Lomb-Scargle 方法是利用星等與週期進行最小平方演算，星等的測量精準度對結果有相當大的影響。將部分變星演算出來的光變週期對該顆變星作光變曲線，發現並無法看到明顯的規律，推測與測光的誤差與觀測數據量有關。

在進行觀測時，由於大氣擾動及湍流加上薄雲的關係，視寧度多在 3"~5" 之間，對星點會造成一定的瀰散，尤其是越暗的星由於到達地球的光子數量不多造成測光誤差值越大；另外亮星因為過多的光子使得 CCD 上的單位元無法負荷造成溢出產生星芒的影響，也有相對較大的誤差，因此在本研究中主要以星等在 13~16 等範圍當作星等校正的參考星。

(三) 變星與光變曲線

一般辨別變星除了參考現有變星目錄比對外，從光變曲線判斷其有無周期也能夠確認其是否屬於變星，藉由曲線的形狀還能分辨其類型；或者可以以每一顆星的星等標準差對星等平均值作圖，由於變星的星等變化明顯，在平均星等相近者中，標準差應會較大，藉此可以分辨出變星。

本次研究的觀測資料中，沒有特別考慮以哪類變星週期為主當作觀測策略，而以隨機間隔來觀測雙星團。但是如同【研究結果與討論：二、】所見，並非所有的變星都能算得出週期。可能原因包括那一顆變星可能不是週期變星，或者屬於需要長期連續觀測才能得到週期的長週期變星，也可能是因為觀測次數與觀測頻率不夠多與密集，以致不易算出正確週期，或者看不出光變曲線的形狀。

(四) 變星與星團的關係

在本研究中利用分析自行量，已經從兩個星團分別挑選出 33 顆、45 顆成員星，另外也從觀測資料中得出 17 顆變星的週期，唯週期或類型已知的星團成員變星僅有四顆，難以藉此推論星團的形成過程，以及不同種類的變星在星團的演化過程中到底扮演何種角色。待日後包括 GAIA 與 LAMOST 等在內的巡天計劃累計足夠數據，預計能得到更多天體的自行量及徑向速度，進而取得更多可以用來分析的成員星資料。

(五) 在銀河中的運動

從天體的位置、距離、徑向速度與自行量，可以算出星體及太陽之間的相對運動，而太陽及銀河系中心的相對運動，已經由相當多觀測得到定值，因此可以從這兩者關係得到該天體對於銀河系中心的運動狀態。由於天體的自行量需要累積長時間的觀測資料，並非短短數年可以做到，故可檢索數十年來的巡天資料，並比對其位置，得出星體的自行量。

目前已經計算出兩個星團分別在垂直於銀盤方向上的運動狀態，發現兩者在形成時並不像現在那麼接近；而當星團通過銀盤時，銀盤中的物質也可能在成員星之間產生擾動，對星團的結構造成影響，使成員星互相靠近或遠離；另外，星團如何環繞銀河系中心公轉也尚未求出。以上部分預計待日後採用銀河系模型，以物理程式模擬的方式完成，並推算出雙星團在銀河系中的軌道參數。

肆、 結論與未來展望

一、 結論

從星團中心半徑 20 角分的範圍內，選取在等年齡綠色指數 ± 0.1 等的星，分析自行量，分別得出 NGC 869 與 NGC 884 的自行量為 $(-0.686, -0.787)$ 與 $(-1.419, -1.246)$ 。再利用自行量挑選星團成員，在 NGC 869 與 NGC 884 中分別辨認出 33 顆與 45 顆成員星。

利用 Lomb-Scargle 方法，分析青藏天文臺觀測資料，從 51 顆已知變星中，確認出 17 顆變星的週期；51 顆已知變星中有 11 顆屬於 NGC 869 的成員星、8 顆屬於 NGC 884 的成員星。另外還發現 21 顆可能的變星。

目前已知兩星團在垂直於銀河盤面方向上進行簡諧運動，並已得出其位置方程式，週期約為 8.35×10^7 年；從形成至今各已通過銀河盤面一次；兩者之間目前並未發現明顯的動力學關係。

二、 未來展望

本研究目前已完成部分觀測作業，並能夠利用觀測數據進行 Lomb-Scargle 擬合，得出部分變星週期，以及利用自行量與徑向速度計算出兩個星團在銀河系中的運動狀態。

本研究的未來發展目標如下：

- 待日後有足夠自行量與徑向速度數據，即能確認更多星團成員星，並從其中挑選出變星，以期利用變星的特性推測變星成員在該星團的形成與演化扮演的角色。
- 探討雙星團在銀河系中的運動軌跡，並以物理程式模擬的方式，了解兩者之間是否有物質的交換？在通過銀河盤面時如何受到銀盤物質的引力影響？進而探討其形成時的狀態與未來演變的方向。

伍、 參考文獻

1. Currie, T., Hernandez, J., Irwin, J., Kenyon, S. J., Tokarz, S., Balog, Z., . . . Calkins, M. (2010). The stellar population of η and χ Persei: Cluster properties, membership, and the intrinsic colors and temperatures of stars. *ApJS The Astrophysical Journal Supplement Series*, 186(2), 191-221.
2. Cutri, R. M., Skrutskie, M. F., van Dyk, S., Beichman, C. A., Carpenter, J. M., Chester, T., . . . Zacarias, N. (2003). VizieR Online Data Catalog: 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources. VizieR On-line Data Catalog: II/246. Originally published in: 2003yCat.2246....0C.
3. Gaia Collaboration, A. G. A. Brown, A. Vallenari, T. Prusti, J. H. J. de Bruijne, F. Mignard and et al. (2016a) Gaia Data Release 1: Summary of the astrometric, photometric, and survey properties. *A&A special Gaia volume*.
4. Kharchenko, N. V., Piskunov, A. E., Schilbach, E., Röser, S., & Scholz, R. (2013). Global survey of star clusters in the Milky Way. *Astronomy & Astrophysics A&A*, 558.
5. Korchagin, V. I., Girard, T. M., Borkova, T. V., Dinescu, D. I., & van Altena, W. F. (2003). Local surface density of the galactic disk from a three-dimensional stellar velocity sample. *The Astronomical Journal*, 126:2896–2909.
6. Luo, A.-Li; Zhao, Yong-Heng; Zhao, Gang; Deng, Li-Cai; Liu, Xiao-Wei; Jing, Yi-Peng, . . . Zuo, Fang (2015). The first data release (DR1) of the LAMOST regular survey. *Research in Astronomy and Astrophysics RAA*, 15(8), 1095.
7. Osservatorio Astronomico di Padova (2016). CMD 2.8 input form. Retrived from <http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd>
8. Pan, Y., Luo, Z., Zhang, X., Deng, L., Wang, K., Luo, Y., . . . Zhou, Q. (2016). NSVS 1908107, an EB-type eclipsing binary in the open cluster NGC 869. *Research in Astronomy and Astrophysics RAA*, 16(7), 009.

9. Samus, N. N., Goranskij, V. P., Durlevich, O. V., Kazarovets, E. V., Kireeva, N. N., Pastukhova, E. N., & Zharova, A. V. (n.d.). General Catalog of Variable Stars (GCVS database, Version 2013 Apr.). Retrieved from <http://www.sai.msu.su/gcvs/gcvs/index.htm>
10. Schönrich, R., Binney, J., & Dehnen, W. (2010). Local kinematics and the local standard of rest. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 403(4), 1829-1833.
11. Zejda, M., Paunzen, E., Baumann, B., Mikulášek, Z., & Liška, J. (2012). Catalogue of variable stars in open cluster fields. *Astronomy & Astrophysics A&A*, 548.

陸、 附錄

一、 變星列表【表 十二】

表 十二 雙星團附近星場已知的變星列表

No.	變星名	赤經	赤緯	類型	視星等	週期	來源
1	AD Per	35.120833	+56.993056	SRC	9.7	362.5	GCVS
2	FZ Per	35.250000	+57.158333	SRC	9.8	184	GCVS
3	NSV 15470	34.458333	+57.090556		8.83		GCVS
4	NSV 15475	34.704167	+57.097222		9.95		GCVS
5	NSV 15479	34.808333	+57.169167		6.64		GCVS
6	NSV 15481	34.866667	+57.138333		9.39		GCVS
7	NSV 15489	35.466667	+56.905000		8.5		GCVS
8	NSV 15490	35.479167	+57.243333		6.39		GCVS
9	NSV 770	34.395833	+57.085556		8.7		GCVS
10	NSV 774	34.595833	+57.010278	BCEP:	8.66		GCVS
11	NSV 776	34.741667	+57.138333	BCEP:	10.66		GCVS
12	NSV 777	34.745833	+57.157500		10.59		GCVS
13	NSV 778	34.754167	+57.150833		10.55		GCVS
14	NSV 781	34.808333	+57.128611		10.21		GCVS
15	NSV 785	34.945833	+57.258333	E	14.4		GCVS
16	NSV 789	35.158333	+57.013611	E	15		GCVS
17	NSV 795	35.458333	+57.139444		11.38		GCVS
18	NSV 798	35.504167	+57.145000		8.05		GCVS
19	NSV 800	35.520833	+57.177500	GCAS:	10.38		GCVS
20	NSV 808	35.800000	+57.172222		9.9		GCVS
21	RS Per	35.600000	+57.109444	SRC	7.82	244.5	GCVS
22	V0359 Per	35.066667	+57.098611	BCEP:	9.27	0.275	GCVS
23	V0403 Per	35.850000	+57.211944	LC:	8.31		GCVS
24	V0439 Per	35.795833	+57.199444	LC	8.03		GCVS
25	V0503 Per	35.162500	+57.311944	BE	9.43		GCVS
26	V0504 Per	35.325000	+57.306111	BE	9.77		GCVS
27	V0506 Per	35.429167	+57.125833	BE	9.45		GCVS
28	V0507 Per	35.470833	+57.166389	BE	9.77		GCVS
29	V0519 Per	34.637500	+57.211111	BE	9.05		GCVS
30	V0520 Per	34.766667	+57.135556	IA	6.55		GCVS
31	V0553 Per	35.725000	+57.245278	ACYG:	7.54		GCVS
32	V0595 Per	35.537500	+57.124722	BCEP	9.08		GCVS
33	V0611 Per	34.625000	+57.150833	BCEP	9.35		GCVS
34	V0612 Per	34.712500	+57.143333	LPB	11.94		GCVS
35	V0613 Per	34.725000	+57.139444	BE	9.5		GCVS
36	V0614 Per	34.750000	+57.145556	BCEP	9.9		GCVS
37	V0615 Per	34.758333	+57.121944	EA	12.98		GCVS
38	V0617 Per	34.779167	+57.148056	ELL:	11.13		GCVS

39	V0618 Per	34.800000	+57.111111	EA	14.6		GCVS
40	V0619 Per	35.512500	+57.140278	BCEP	10		GCVS
41	V0620 Per	35.537500	+57.123889	EA	12		GCVS
42	V0621 Per	35.541667	+57.117222	EA	9.5		GCVS
43	V0665 Per	34.700000	+57.285556	BCEP	9.51		GCVS
44	V0757 Per	34.595833	+57.010278	BCEP	7.74	0.164309	GCVS
45	Mis V1395	34.570833	+56.922778	S	11.04		CVSOC
46	Mis V1397	35.566667	+57.224694	EA:	11.56		CVSOC
47	NSVS 1908107	35.012500	+57.188111	EB	11.21	1.732882	CVSOC
48	GSC 03694-01728	34.870833	+57.190083	GCAS	11.43		VSX
49	GSC 03694-01870	35.487500	+57.339389	GCAS	10.55		VSX
50	SAO 23255	35.595833	+57.284722	GCAS	9.53		VSX
51	V0622 Per	35.575000	+57.123528	ELL:	9.3		VSX

二、 雙星團附近星場中的 51 顆變星【圖 十九】

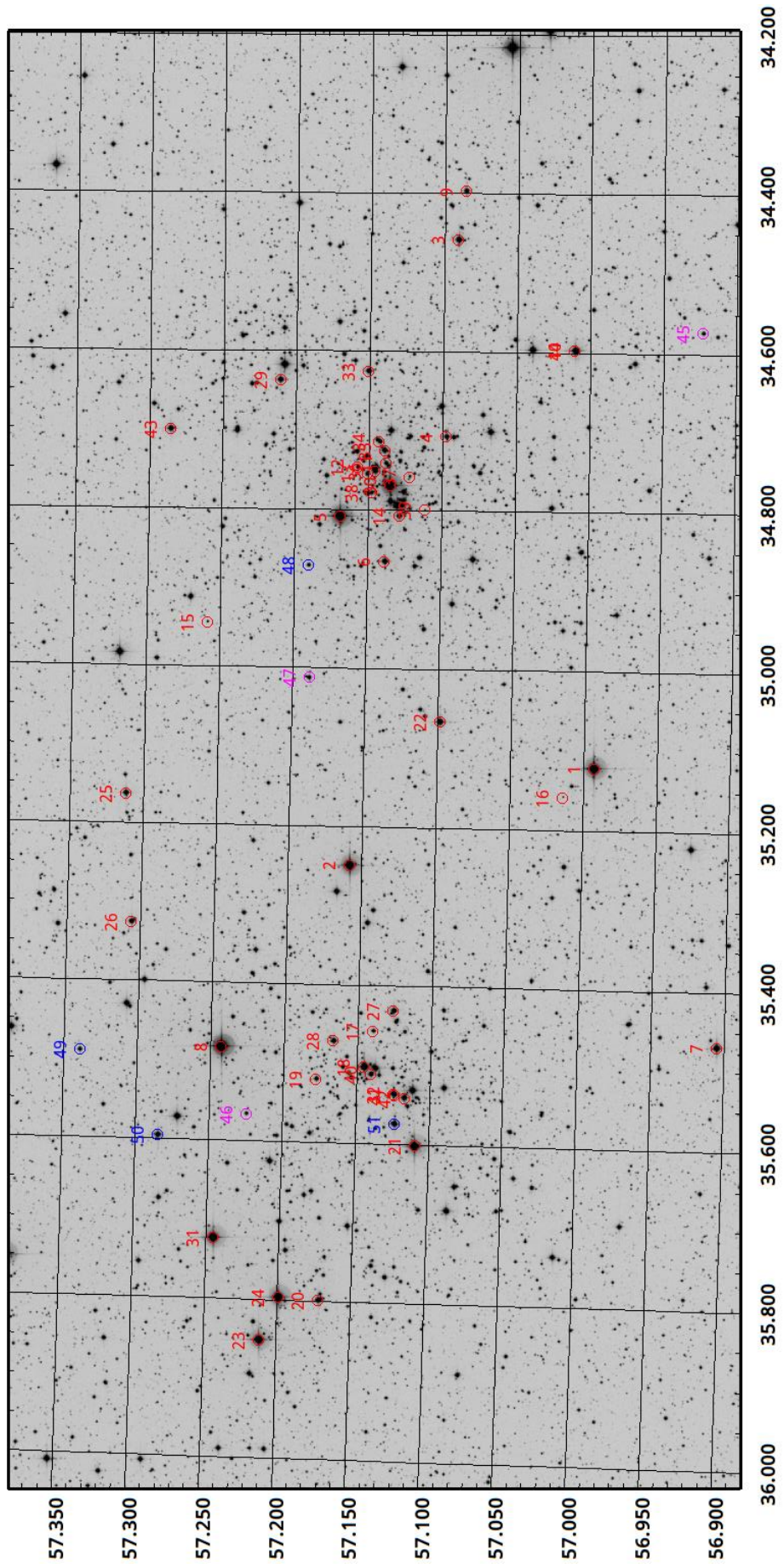


圖 十九 雙星團附近星場中的 51 顆變星

三、 NGC 869 & 884 的變星成員【圖 二十】

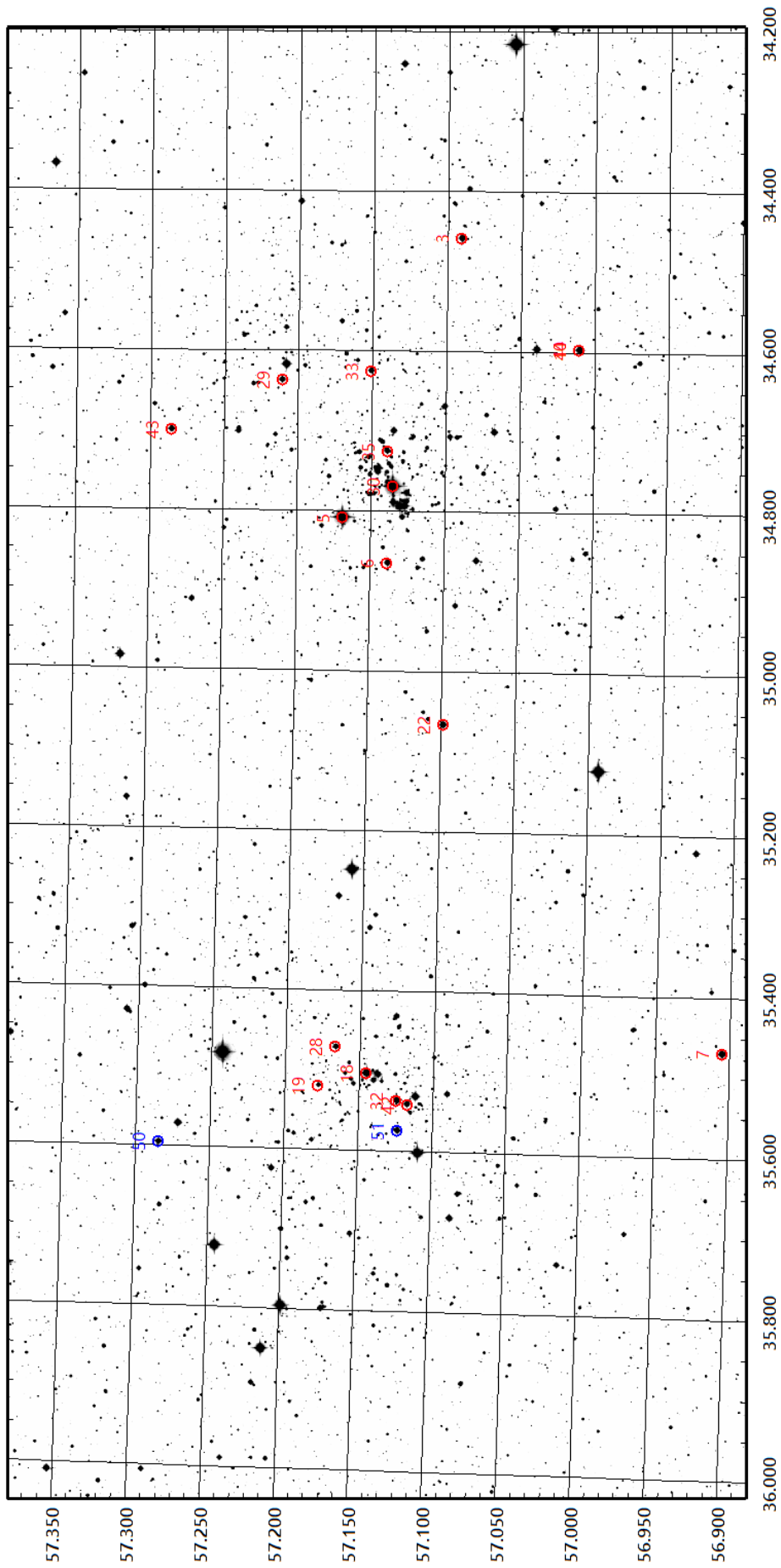


圖 二十 NGC 869 & 884 的變星成員

【評語】 160010

此作品以自己測量的天文台數據，分析星團中變量的性質，得知其變化之週期，進而了解星團內部的物理。作者具備自己尋找研究題目，自己測量數據，自己分析，已經具有獨立研究需要之各種能力，值得鼓勵。