

# 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高級中等學校組 物理與天文學科

佳作

051808

利用二微米巡天資料與青藏天文臺觀測資料對  
英仙座雙星團性質的探討

學校名稱：臺北市立建國高級中學

作者： 高二 洪辰昊	指導老師： 江豪章
---------------	--------------

關鍵詞：羊八井觀測站、雙星團、變星

## 摘要

本研究的目標天體為「英仙座雙星團」NGC869 和 NGC884，利用線上資料庫取得二微米波段巡天計劃（Two Micron All Sky Survey, 2MASS）之資料，分析該天體的年齡、距離、星際紅化及運動等性質，輔以青藏天文臺取得的觀測資料，進行兩者的分析比對後，顯示出兩種數據在於天體年齡及紅化值的差異，進而探討此差異的可能原因。同時，也分別從兩種方式挑出該天體成員中的變星，期能藉由分析變星的性質，對該天體能有更深入的理解。

### 壹、 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當作一樣，且跟太陽的相對運動也大約相同。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挑出來，用來當作研究恆星形成與演化的工具，而星團的運動及成員星的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。

目前星團列表中，大部分星團都保持一定距離因此引力太弱互不影響，不過發現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？本校與臺大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。

## 貳、 研究目的

- 一、 探討星團在天文學上分析恆星年齡及距離的應用。
- 二、 利用現有的巡天資料庫分析英仙座雙星團的基本特性。
  - (一) 挑選出雙星團的成員星。
  - (二) 估計雙星團的距離、年齡及星際消光值。
  - (三) 從變星資料庫中，找出該星團的變星成員。
- 三、 利用青藏天文臺羊八井觀測數據進一步分析英仙座雙星團的性質並與現有的巡天資料庫結果做比較。

## 參、 研究設備及器材

- 一、 網路上現有的資料庫：
  - (一) WEBDA：含有各種著名星團及其特性的網站。
  - (二) VizieR Database：有一萬多種天文觀測數據的資料庫。
  - (三) AAVSO、GCVS、CVSOC：含有各式各樣變星的資料庫。
  - (四) Pan-STARRS：光學波段的天文觀測數據，目前還沒公開。
- 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。



【圖一】臺灣大學遠距天文觀測實驗室

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。

三、程式編譯器：Python 3.5.0 in Anaconda 2.4.0

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

#### 肆、研究過程及方法

##### 一、理論基礎：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。星團由於他的成員星誕生地方與時間差不多，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（各類恆星在此圖會分佈於相對應的表面溫度與重力場上）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，或 Caldwell 14），又稱為  $h$  and  $\chi$  Persei，是二個位在英仙座頭部的疏散星團。二者在空間中距離相當接近，並存在引力的關係；年齡約一千五百萬年，離地球約七千五百光年。[表一](#)列出了英仙座星團的基本性質（資料來源：Kharchenko 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 (h Per)	NGC 884 ( $\chi$ Per)
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
B-V 星際紅化 [星等]	0.521	0.560
年齡[百萬年]	19.0	15.8



【圖二】英仙座雙星團，左側是 NGC 869，右側是 NGC 884。（圖片來源：WEBDA, 2016）

二、二微米波段巡天（Two Micron All Sky Survey, 2MASS）是一個數位巡天計劃，可以利用此數據庫分析英仙座雙星團（NGC 869 及 NGC 884）的距離與年齡及辨識其成員星；再從變星資料庫中，找出該星團的變星。

（一）由於星團的成員年齡大約相同，因此可以利用等年齡線擬合，估計星團的距離與年齡。

1. 二微米波段巡天計畫利用南北半球的望遠鏡，觀測波長 2 微米附近的 3 個近紅外線波段，分別為 J（ $1.25\mu\text{m}$ ）、H（ $1.65\mu\text{m}$ ），和 Ks（ $2.17\mu\text{m}$ ）。利用線上資料庫 VizieR 選取該計畫資料庫（圖三），並分別在二星團的中心半徑 30 與 15 角分內，並以二星團的平均中心座標（35.1625, +57.1325）以邊長 2 度的正方形範圍內（圖四），挑選出 3 個波段星等誤差值皆小於 0.1 等的星，當作我們數據分析的資料。



VizieR Search Page

Simple Target | List Of Targets Fast Xmatch with large catalogs or Simbad

Search Criteria  
 Save in CDSportal  
 Keywords: II/246  
 Tables: II/246  
 Preferences: max: unlimited, ascii text/plain, 輸出格式

Target Name (resolved by Sesame) or Position: Clear 02 19 00 57 07 42 J2000 Target dimension: 0.5 deg 輸入篩選範圍 (Ex. 半徑0.5度)  
 \* Radius \* Box size

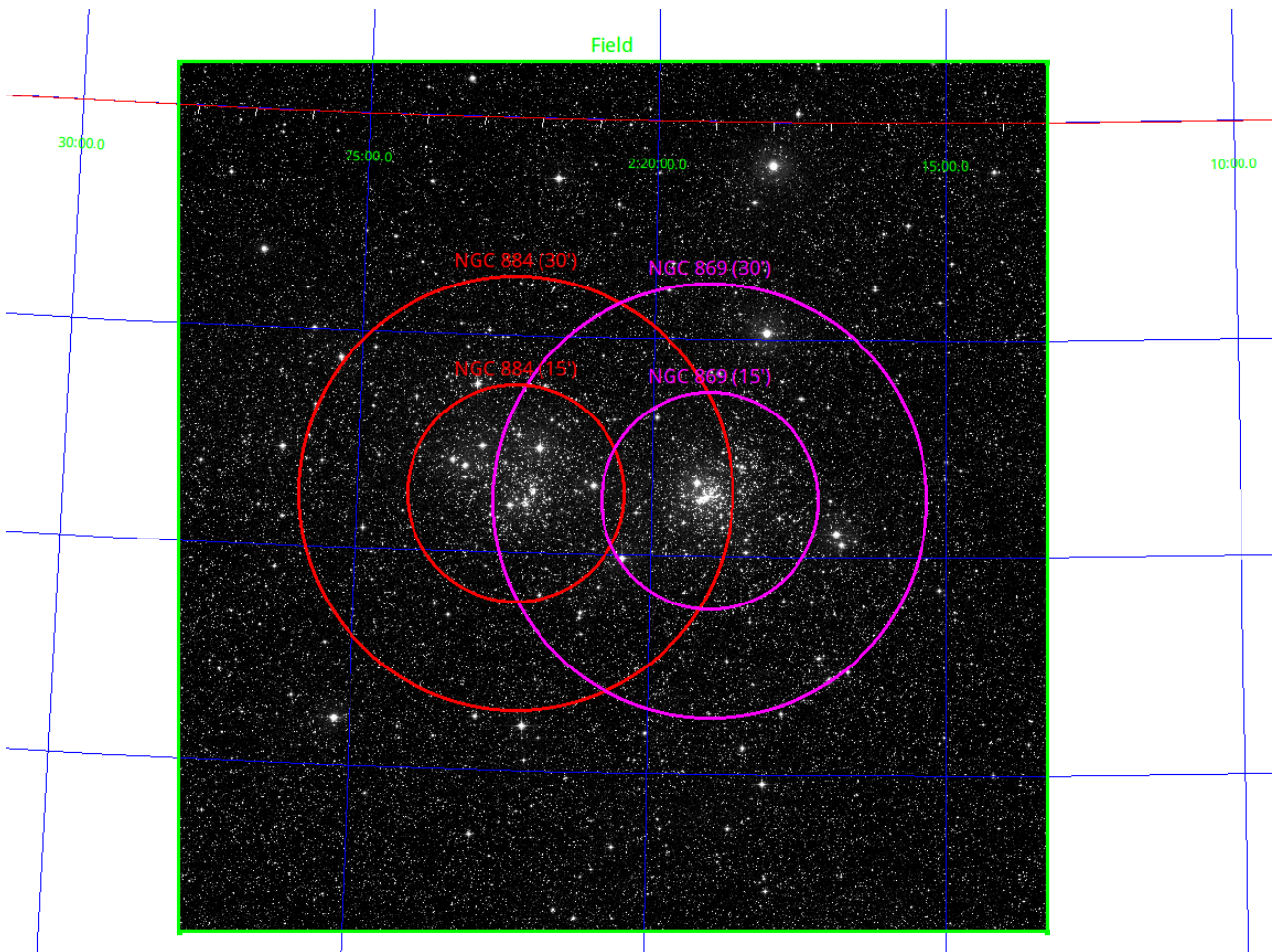
II/246 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources (Cutri+ 2003) Similar Catalogs: 2003yCat.2246...0C ReadMe+ftp  
 1.II/246/out The Point Source catalogue of 470,992,970 sources. Please acknowledge the usage of the 2MASS All-Sky Survey; see also the 2MASS Pages. (470992970 rows)

Simple Constraint | List Of Constraints  
 Query by Constraints applied on Columns (Output Order: \* + @ -) Submit Reset All

Show	Sort	Column	Clear	Constraint	Explain (UCD)
<input checked="" type="checkbox"/>		RAJ2000		deg	(ra) Right ascension (J2000) (pos.eq.ra:meta.main)
<input checked="" type="checkbox"/>		DEJ2000		deg	(dec) Declination (J2000) (dec) (pos.eq.dec:meta.main)
<input checked="" type="checkbox"/>		errMaj		arcsec	(err_maj) Semi-major axis of position error ellipse (stat_error)
<input checked="" type="checkbox"/>		errMin		arcsec	(err_min) Semi-minor axis of position error ellipse (stat_error)
<input checked="" type="checkbox"/>		errPA		deg	[0,180] (err_ang) Position angle of error ellipse major axis (E of N) (stat_error)
<input checked="" type="checkbox"/>		2MASS		(char)	(designation) Source designation (Note 1) (meta.id:meta.main)
<input checked="" type="checkbox"/>		Jmag		mag	(n)(j_m) J selected default magnitude (Note 2) (phot.mag:em_IR_J)
<input checked="" type="checkbox"/>		Jcmsig		mag	(n)(j_cmsig) J default magnitude uncertainty (Note 3) (stat_error:phot_mag)
<input checked="" type="checkbox"/>		e_Jmag	<0.1	mag	(n)(j_msigcom) J total magnitude uncertainty (Note 4) (stat_error:phot_mag:em_IR_J)
<input checked="" type="checkbox"/>		Jsnr	篩選條件	mag	(n)(j_snr) J Signal-to-noise ratio (stat_snr)
<input checked="" type="checkbox"/>		Hmag		mag	(n)(h_m) H selected default magnitude (Note 2) (phot.mag:em_IR_H)
<input checked="" type="checkbox"/>		Hcmsig		mag	(n)(h_cmsig) H default magnitude uncertainty (Note 3) (stat_error:phot_mag)

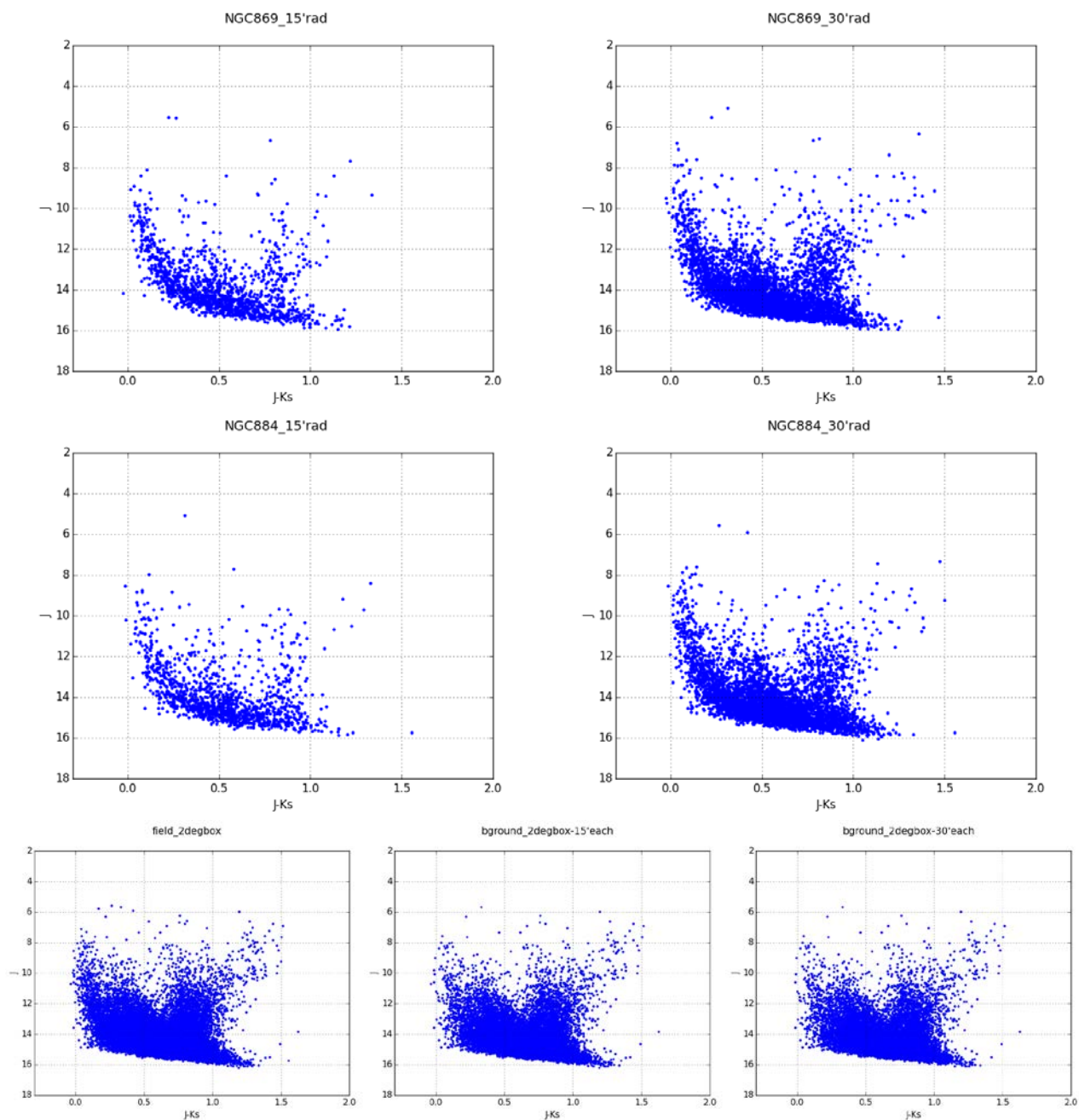
ALL cols Reset All Clear Submit

【圖三】VizieR 資料庫頁面



【圖四】背景星場與取樣範圍（底圖：The STScI Digitized Sky Survey）

2. 赫羅圖如果把距離考慮進去，便可以轉換成顏色－星等圖（色等圖）。因此我們以 J、Ks 波段取得每一顆星的 J-Ks 色指數，加上 J 星等來做出色等圖如圖五所示。



【圖五】雙星團的色等圖。

左上：NGC 869 半徑 15 角分範圍      右上：NGC 869 半徑 30 角分範圍

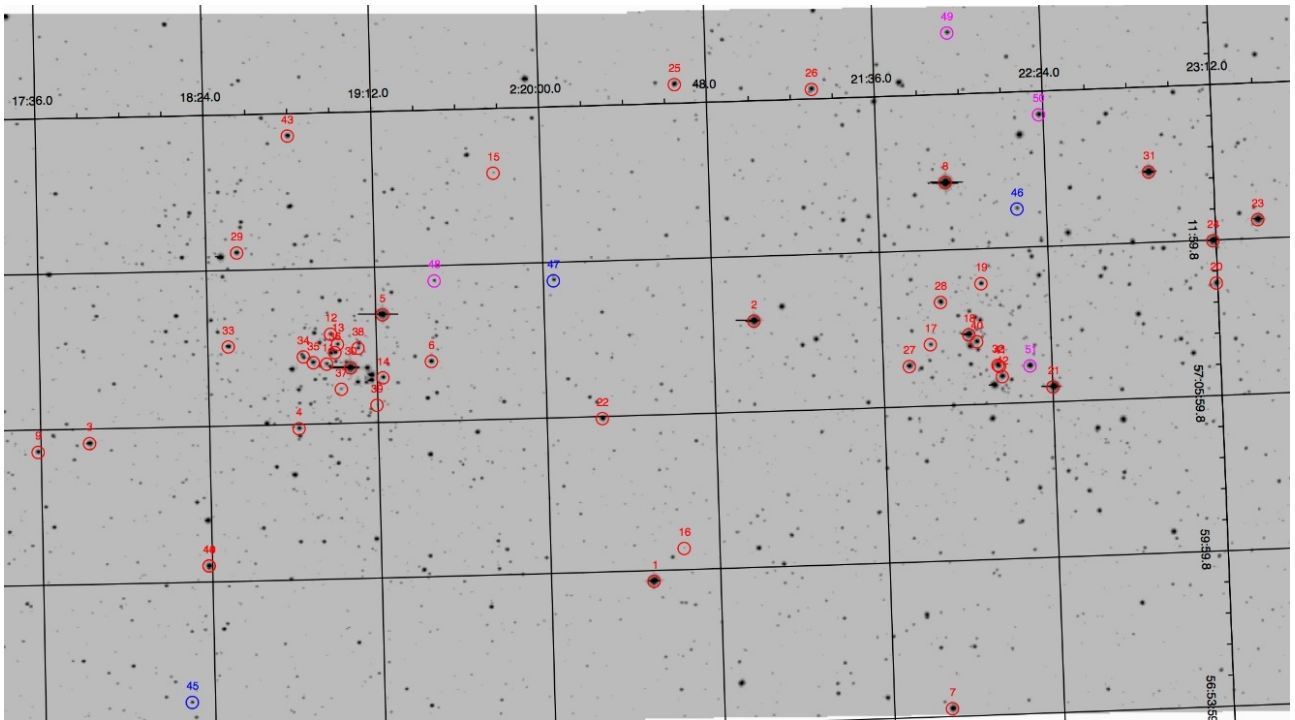
左中：NGC 884 半徑 15 角分範圍      右中：NGC 884 半徑 30 角分範圍

左下：全區正方形 2 度範圍    中下：背景星場（各減去半徑 15 角分）    右下：背景星場（各減去半徑 30 角分）

3. 已知雙星團的年齡對數值約為 7.03~7.06，故從恆星演化模型裡選定 6.95、7.00、7.05、7.10 四條等齡線，利用自行撰寫的程式（isofit.py，程式碼見附錄二）進行擬合，得出紅化值  $E(J-K_s)$  與距離模數  $dM$ 。（見研究結果一）

(二) 從變星目錄找出該星團中的變星

1. 將美國變星協會（American Association of Variable Star Observers, AAVSO）建置之變星目錄、變星總表（General Catalogue of Variable Stars, GCVS）及疏散星團變星表（Catalogue of Variable Stars in Open Cluster fields, CVSOC）交互比對，排除三個變星庫重覆的變星資料後，將結果條列出一個較為完整的變星列表。（見附錄一）
2. 同樣取二星團平均中心座標（35.1625, +57.1325）畫出邊長約 60 角分×30 角分的矩形範圍，並從上個步驟得到的變星列表中，檢索該範圍內的變星，共計 51 顆。（圖六）（放大圖見附錄一）

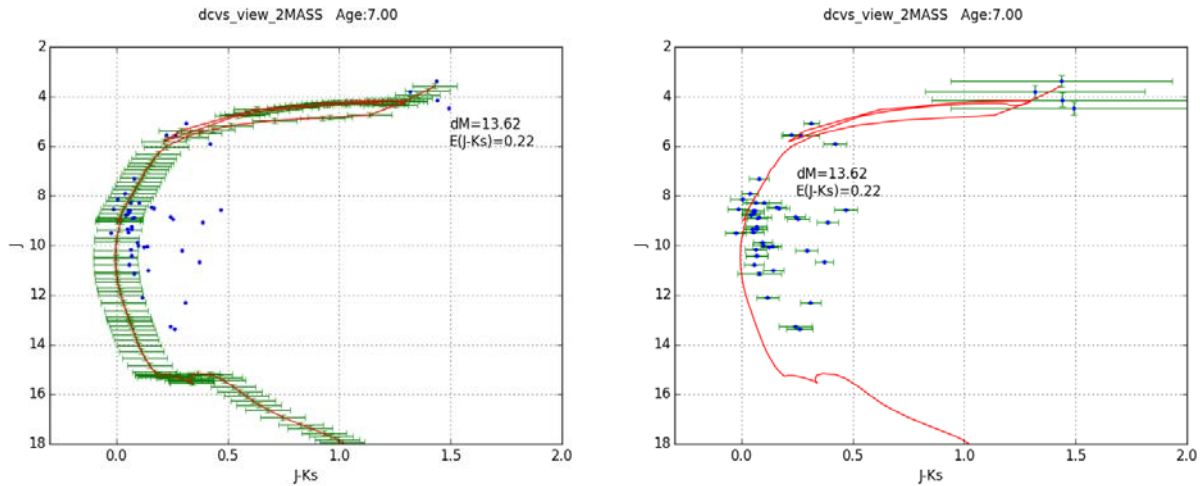


【圖六】變星在星場中的位置。（GCVS：紅色；CVSOC：藍色；紫紅色：VSX）

3. 將以上變星的座標作為檢索條件，至 VizieR 目錄中，以半徑 1 角秒為搜尋半徑在 2MASS 數據庫中檢索，得到以上變星在 J、H、Ks 波段中的星等與誤差值。



4. 利用程式 (isofit\_errbar.py, 程式碼見附錄二) 將變星標在色等圖上如圖七, 並與雙星團的等齡線比較, 如果變星在等齡線同一顏色附近約 0.1 星等, 即屬該星團成員。在 51 顆變星中共挑出 33 顆星團成員星。



【圖七】變星(藍點)在色等圖等齡線(紅線)上的分布(左)等齡線 0.1 星等的範圍(右)考慮變星的顏色誤差

三、以青藏天文臺羊八井觀測站的觀測數據分析該星團, 並與先前結果做比較。

(一) 利用 2MASS 資料對英仙座雙星團有初步瞭解後, 即以自行觀測的資料開始進行分析。

1. 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 月及 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。
2. 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 30 秒或 60 秒 (表二), 總共觀測約 22 小時; 每個目標在每個濾鏡被觀測約 100~300 張, 詳見 (表三)。

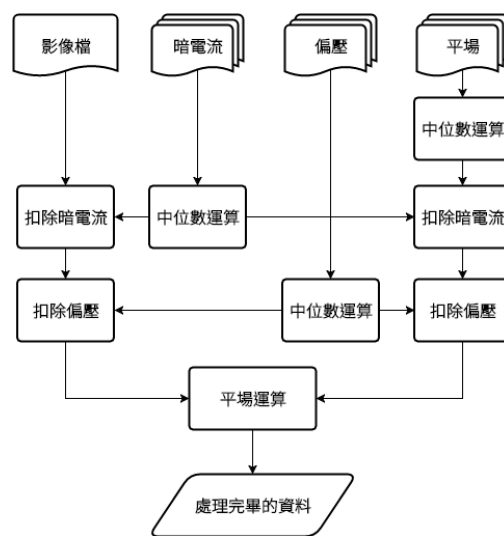
【表二】觀測紀錄

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	30	$u', g', r', i', z'$	3.949"
	2015/10/20			5.675"
	2015/10/21			5.017"
NGC 884	2015/10/19	30	$u', g', r', i', z'$	3.949"
	2015/10/20			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"

【表三】觀測結果

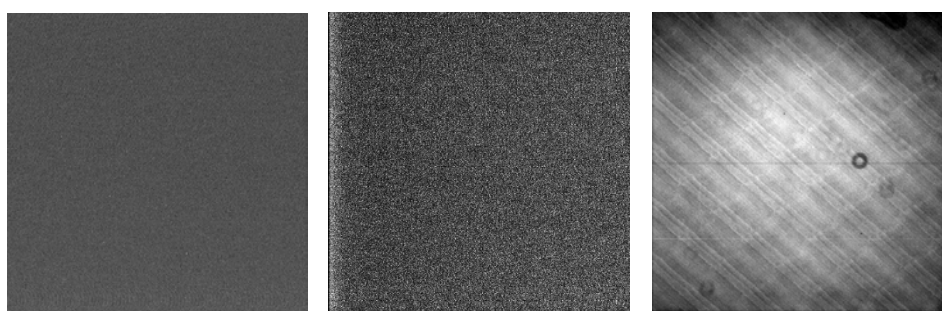
目標 (張)	$u'$	$g'$	$r'$	$i'$	$z'$
NGC 869	108	275	275	185	108
NGC 884	99	103	103	103	99

3. 天文觀測得到的數位影像資料，在未經處理前，是無法直接用在進一步的科學分析，因此需要有個處理影像的流程如圖八。這是由於 CCD 是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」如圖九左，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」相同時間就能得到暗電流數據；CCD 在將訊號讀出時，會施加一電壓，稱為「偏壓」如圖九中，也會影響數據品質，同樣是在相同溫度下「曝光」0 秒，得



【圖八】影像處理流程

到單純讀出資料施加的電壓，並與暗電流一併扣除；另外，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」影像如圖九右，以修正此種誤差；因此，能得到一條影像處理的公式：
$$\frac{(\text{obj}-\text{dark}-\text{bias})}{(\text{flat}-\text{dark}-\text{bias})}$$
，而消除這三種誤差的過程，稱之為預處理，處理過的影響可以發現背景很明顯被扣除如圖十所示。在本研究中利用 Linux 系統底下的 IRAF 軟體進行影像預處理，其中 CCD 在讀取資料的過程中，Readout noise 為 12，Gain 為 2，我們用自己撰寫的自動處理腳本 doublecluster.cl 處理影像，見附錄二。



【圖九】暗電流（左）、偏壓（中）、平場（右）

Pixel Table												
檔案	編輯	Size										
	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

Pixel Table												
檔案	編輯	Size										
	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】（上）處理前，背景雜訊值約在 500~600 之間；（下）處理後，背景雜訊值減至 100 以內。

4. 將預處理後的影像用來進行座標校正。先利用 Astrometry.net 中的 Solve-field 功能，進行天文定位測量（Astrometry），解出影像所在的天文座標系統。
5. 在完成座標校正後，利用 SExtractor 對整張影像，分別用 Kron 類橢圓函數與點瀾散函數（Point spread function, PSF）進行恆星光度測量（Photometry），得出星等值與誤差值。因為點瀾散函數對恆星點光源的測量較準確，而 Kron 類橢圓函數比較適合用在星系測光，因此最後取用點瀾散函數擬合結果，部分結果如圖十一所示，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。

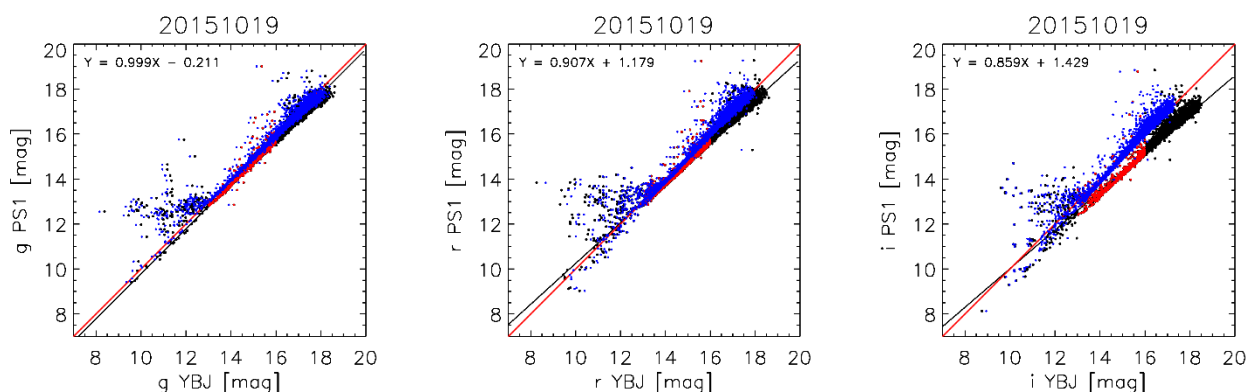
#	1 NUMBER		Running object number						
#	2 ALPHA_J2000		Right ascension of barycenter (J2000)						[deg]
#	3 DELTA_J2000		Declination of barycenter (J2000)						[deg]
#	4 MAG_AUTO		Kron-like elliptical aperture magnitude						[mag]
#	5 MAGERR_AUTO		RMS error for AUTO magnitude						[mag]
#	6 MAG_PSF		Magnitude from PSF-fitting						[mag]
#	7 MAGERR_PSF		RMS magnitude error from PSF-fitting						[mag]
#	8 FWHMPSF_WORLD		FWHM of the local PSF model (world units)						[deg]
	1	34.4576598	+57.0906394	9.2006	0.0005	99.0000	99.0000	0.0009666667	
	2	34.4296864	+57.3151101	14.1072	0.0078	14.9165	0.0084	0.0009666667	
	3	34.4220926	+57.2514699	11.7632	0.0019	12.5247	0.0025	0.0009666667	
	4	34.4161156	+57.2519063	15.9527	0.0345	17.0228	0.0309	0.0009666667	
	5	34.4137296	+57.0371560	12.1320	0.0023	12.9775	0.0031	0.0009666667	
	6	34.4076443	+57.1862762	8.1592	0.0003	99.0000	99.0000	0.0009666667	
	7	34.4078831	+57.1922944	7.8408	0.0003	15.1947	0.0123	0.0009666667	
	8	34.4006693	+57.0089741	6.5570	0.0002	99.0000	99.0000	0.0009666667	

----- (下略) -----

【圖一一】：光度測量結果（節錄）

(二) 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，但於觀測期間內因有月亮影響，並不適合做標準星測光。因此將儀器星等，與泛星計畫（Panoramic Survey Telescope & Rapid Response System, Pan-STARRS）中測得之星等做比較；將 Pan-STARRS 星等對觀測得到的儀器星等作一對一對應，並取出其中星等誤差較小的範圍約 13~16 等的星點求迴歸直線，如圖十二所示，分別對  $g'$ ， $r'$ ， $i'$  的星等進行仿射變換完成星等校正，即視星等。

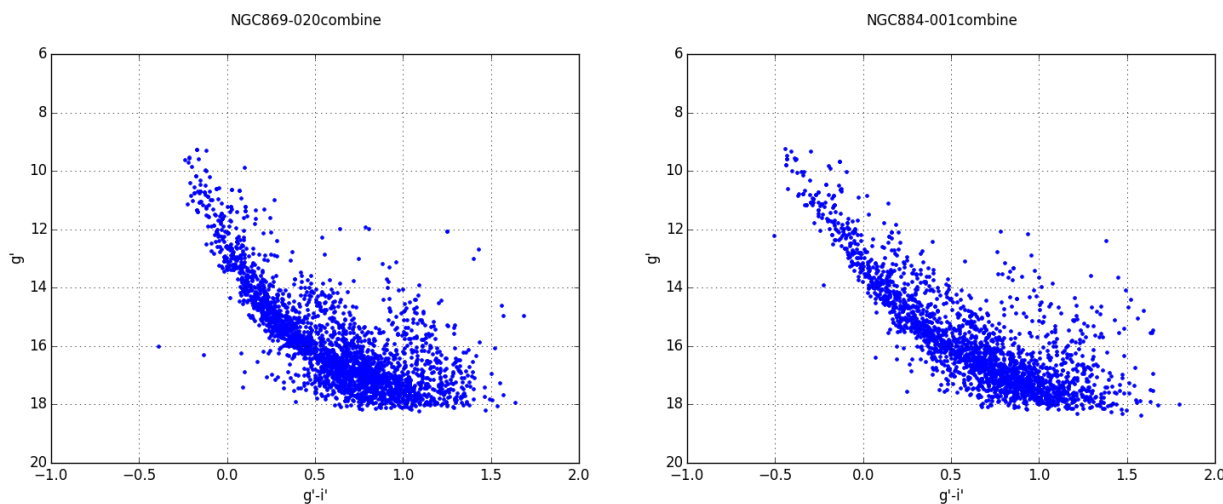




【圖十二】將儀器星等與 Pan-STARRS 星等做比較並修正，儀器星等之數據點為黑色、紅色（13~16 等取樣範圍），校正後之數據點為藍色；黑線為校正前回歸直線，紅線為斜直線  $x=y$

(三) 得到視星等後，依照研究過程一方式作出色等圖如圖十三，並用 Pan-STARRS 的恆星演化模型等齡線做擬合，估計出星團年齡、距離模數與紅化值。

(見研究結果二)



【圖十三】以  $g'$  波段星等與  $g'-i'$  色指數作色等圖（左：NGC 869；右：NGC 884）

(四) 將以上星點的資料在色等圖上與星團等齡線比較，挑出位於在等齡線上顏色範圍  $\pm 0.1$  等內的星團成員星。其中原本的 51 顆變星表中有 37 顆屬於星團成員。

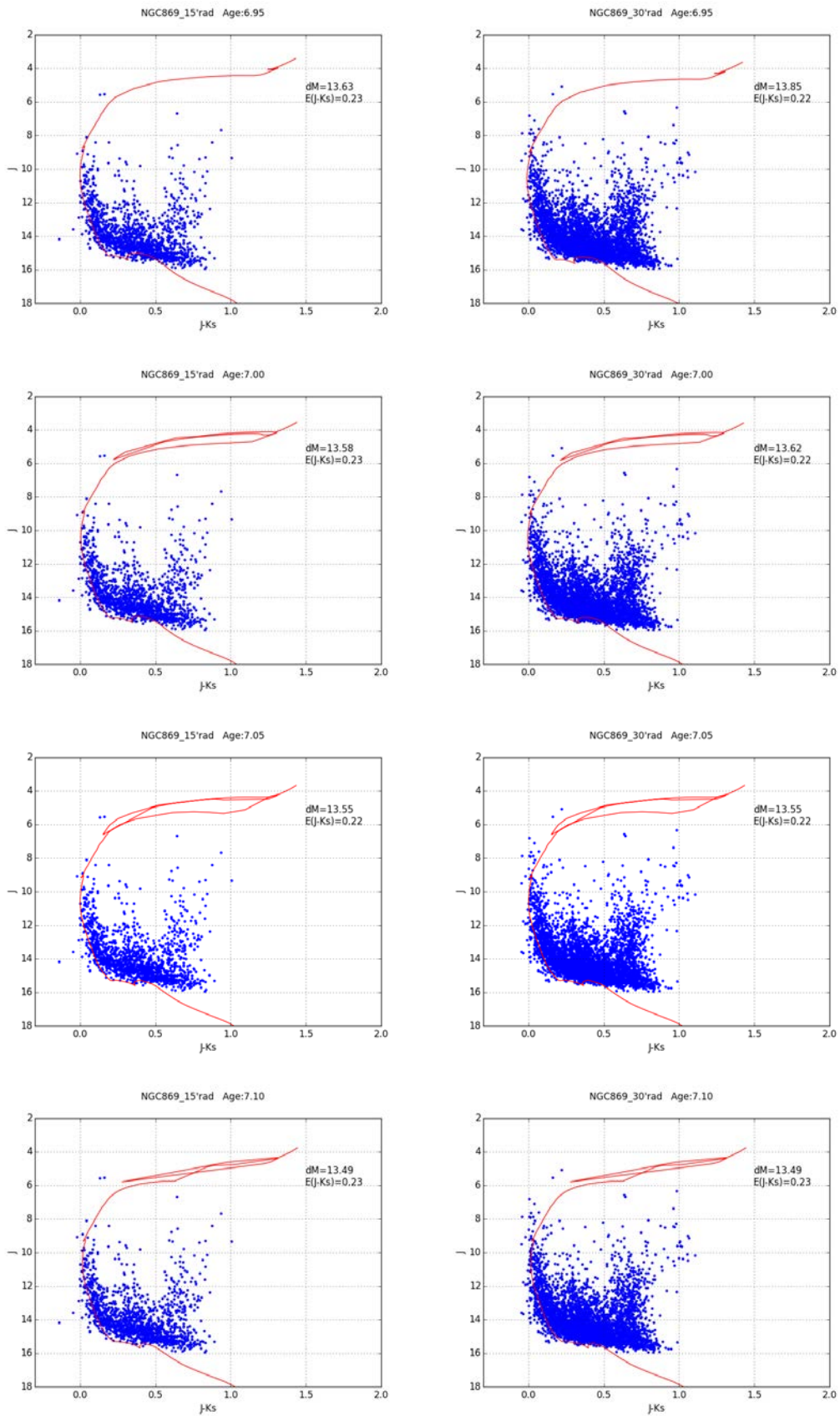
(見研究結果二)

(五) 將此結果與 2MASS 得出者進行比較，找出差異性並探討其原因。（見討論一）

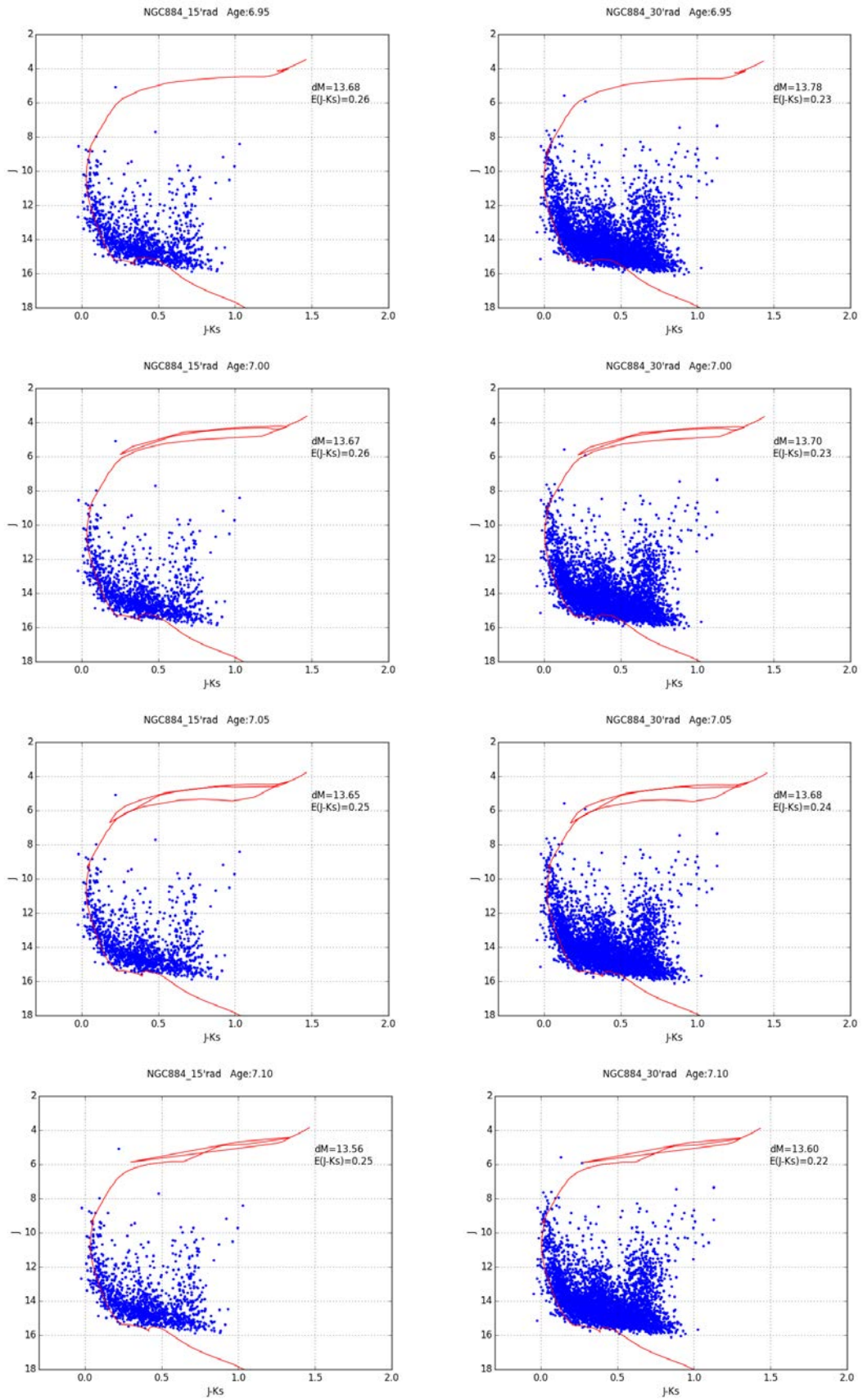
## 伍、 研究結果

- 一、 利用二微米波段巡天（Two Micron All Sky Survey, 2MASS）計劃之資料，分析英仙座雙星團（NGC 869 及 NGC 884）的距離與年齡及辨識其成員星；並從多個變星資料庫中，找出該星團的變星候選源。

(一) NGC 869 & NGC 884 等齡線擬合的過程如圖十四、十五，其結果在表四、五。



【圖十四】 NGC 869 在 J 對 J-Ks 的色等圖與等齡線擬合結果 (左) 取樣範圍半徑 15 角分、(右) 取樣範圍半徑 30 角分、年齡取對數後由上至下依序為 6.95、7.00、7.05、7.10 年



【圖十五】與圖十四相同，但是用在 NGC 884

【表四】NGC 869 的距離模數 dM 與紅化值 E(J-Ks)

目標	範圍 角分	等齡線 log(t)	距離模數 dM	紅化值 E(J-Ks)
NGC 869	15	6.95	13.63	0.23
	15	7.00	13.58	0.23
	15	7.05	13.55	0.22
	15	7.10	13.49	0.23
	30	6.95	13.85	0.22
	30	7.00	13.62	0.22
	30	7.05	13.55	0.22
	30	7.10	13.49	0.23
	平均			<b>13.60</b>

【表五】NGC 884 的距離模數 dM 與紅化值 E(J-Ks)

目標	範圍 角分	等齡線 log(t)	距離模數 dM	紅化值 E(J-Ks)
NGC 884	15	6.95	13.68	0.23
	15	7.00	13.67	0.23
	15	7.05	13.65	0.22
	15	7.10	13.56	0.23
	30	6.95	13.78	0.22
	30	7.00	13.70	0.22
	30	7.05	13.68	0.22
	30	7.10	13.60	0.23
	平均			<b>13.67</b>



(二) 利用色等圖及雙星團的等齡線篩選已知的 51 顆變星，得知

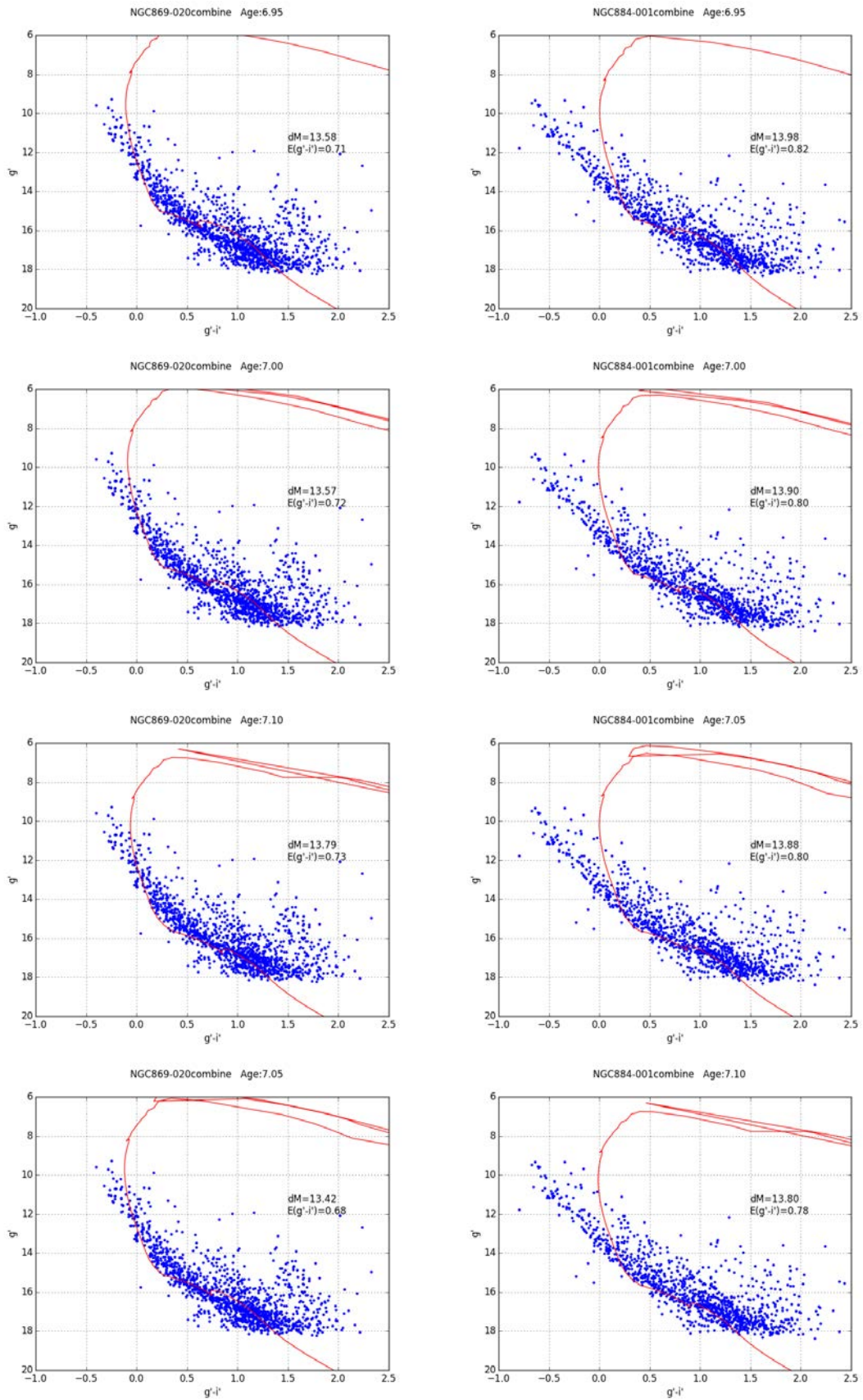
NGC 869 & NGC 884 的成員星中有 33 顆變星。(表六)

【表六】NGC 869 & NGC 884 的變星成員

變星名	來源	赤經	赤緯
AD Per	GCVS	35.120864	+56.993130
FZ Per	GCVS	35.248555	+57.158321
NSV 15470	GCVS	34.457691	+57.090473
NSV 15475	GCVS	34.706161	+57.097218
NSV 15479	GCVS	34.808055	+57.169258
NSV 15481	GCVS	34.864436	+57.138226
NSV 15489	GCVS	35.468425	+56.905010
NSV 15490	GCVS	35.480977	+57.242908
NSV 770	GCVS	34.396288	+57.085686
NSV 774	GCVS	34.595982	+57.010220
NSV 776	GCVS	34.740328	+57.138332
NSV 777	GCVS	34.745805	+57.157406
NSV 778	GCVS	34.753877	+57.150795
NSV 795	GCVS	35.456866	+57.139320
NSV 798	GCVS	35.502371	+57.144958
NSV 800	GCVS	35.519009	+57.177460
RS Per	GCVS	35.601199	+57.109467
V0359 Per	GCVS	35.065547	+57.098598
V0439 Per	GCVS	35.796093	+57.199417
V0507 Per	GCVS	35.470538	+57.166378
V0519 Per	GCVS	34.636573	+57.211025
V0520 Per	GCVS	34.768506	+57.135506
V0595 Per	GCVS	35.535689	+57.124577
V0611 Per	GCVS	34.624304	+57.150871
V0612 Per	GCVS	34.713041	+57.143444
V0613 Per	GCVS	34.724406	+57.139519
V0614 Per	GCVS	34.750853	+57.145660
V0615 Per	GCVS	34.756837	+57.121944
V0617 Per	GCVS	34.777985	+57.147842
V0619 Per	GCVS	35.511584	+57.140308
V0621 Per	GCVS	35.540435	+57.117313
V0665 Per	GCVS	34.700072	+57.285526
V0757 Per	GCVS	34.595982	+57.010220

二、以青藏天文臺羊八井觀測站取得之數據，分析該星團及標示成員星，並與二微米波段巡天所得結果比較。

(一) NGC 869 & NGC 884 等齡線擬合結果如圖十六、表七



【圖十六】NGC 869(左)、NGC 884(右)在  $g'$  對  $g'-i'$  的色等圖與等齡線擬合結果，等年齡線取對數從上到下依序為 6.95、7.00、7.05、7.10

【表七】NGC 869 & NGC 884 的距離模數  $dM$  與紅化值  $E(g'-i')$

目標	等齡線 $\log(t)$	距離模數 $dM$	紅化值 $E(g'-i')$
NGC 869	6.95	13.58	0.71
	7.00	13.57	0.72
	7.05	13.42	0.68
	7.10	13.79	0.73
	平均	<b>13.59</b>	<b>0.71</b>
NGC 884	6.95	13.98	0.82
	7.00	13.90	0.80
	7.05	13.88	0.80
	7.10	13.80	0.78
	平均	<b>13.89</b>	<b>0.80</b>

(二) 同樣利用色等圖及雙星團的等齡線篩選已知的 51 顆變星，可以挑選出 37 顆變星。(表八)

【表八】NGC 869 & NGC 884 的變星成員

變星名	來源	赤經	赤緯
NSV 15470	GCVS	34.457500	+57.090556
NSV 15475	GCVS	34.705833	+57.097222
NSV 15489	GCVS	35.467917	+56.905000
NSV 774	GCVS	34.595833	+57.010278
NSV 776	GCVS	34.740417	+57.138333
NSV 777	GCVS	34.745833	+57.157500
NSV 778	GCVS	34.753750	+57.150833
NSV 781	GCVS	34.806667	+57.128611
NSV 785	GCVS	34.943750	+57.258333
NSV 789	GCVS	35.157500	+57.013611
NSV 795	GCVS	35.456667	+57.139444
NSV 798	GCVS	35.502500	+57.145000
NSV 800	GCVS	35.519167	+57.177500
NSV 808	GCVS	35.798333	+57.172222
V0359 Per	GCVS	35.065417	+57.098611
V0403 Per	GCVS	35.850417	+57.211944
V0504 Per	GCVS	35.325417	+57.306111
V0506 Per	GCVS	35.430833	+57.125833
V0507 Per	GCVS	35.470417	+57.166389
V0519 Per	GCVS	34.636667	+57.211111
V0611 Per	GCVS	34.624167	+57.150833
V0612 Per	GCVS	34.712917	+57.143333
V0613 Per	GCVS	34.724583	+57.139444
V0614 Per	GCVS	34.750417	+57.145556
V0615 Per	GCVS	34.757083	+57.121944
V0617 Per	GCVS	34.777917	+57.148056
V0618 Per	GCVS	34.798750	+57.111111
V0619 Per	GCVS	35.511667	+57.140278
V0621 Per	GCVS	35.540417	+57.117222
V0757 Per	GCVS	34.595833	+57.010278
Mis V1395	CVSOC	34.572458	+56.922778
Mis V1397	CVSOC	35.565000	+57.224694
NSVS 1908107	CVSOC	35.011833	+57.188111
GSC 03694-01728	VSX	34.870375	+57.190083
GSC 03694-01870	VSX	35.489000	+57.339389
SAO 23255	VSX	35.594750	+57.284722
V0622 Per	VSX	35.573708	+57.123528



## 陸、 討論

### 一、 羊八井觀測站取得數據與二微米波段巡天數據的比較

羊八井觀測站使用濾鏡波段在可見光之間（477.0~762.5 nm），二微米波段巡天波段在近紅外區間（1.25~2.17  $\mu\text{m}$ ）。要比較兩者之間的紅化結果，先將兩者轉換到天文上常用的 B 與 V 波段的紅化值  $E(B-V)$ ，而  $E(J-Ks)$ 及  $E(g'-i')$ 與  $E(B-V)$ 的比值分別為 1.705 及 0.5115。因此可以估計出利用兩者數據得到的紅化值  $E(B-V)$ ，見表九。兩者無論在距離上或是紅化值的結果相當一致，因為差距都不超過 10%。

【表九】羊八井觀測站取得數據與二微米波段巡天數據比較（平均值）

數據來源	目標	dM	E(B-V)
2MASS	NGC 869	13.60	0.45
	NGC 884	13.67	0.47
YBJ	NGC 869	13.59	0.41
	NGC 884	13.89	0.47

### 二、 誤差討論

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，因此在本研究中以星等在 13~16 等範圍當作分析的樣本，包括星等校正及等齡線擬合等研究。

### 三、 在銀河中的運動

從天體的位置、距離、徑向速度（Radial velocity, RV）與自行運動（Proper motion, PM）（表十），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之前已經有相當多觀測也有定值，因此我們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。由於天體的自行需要累積長時間的觀測資料，並非在短短數年中可以做到的，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。

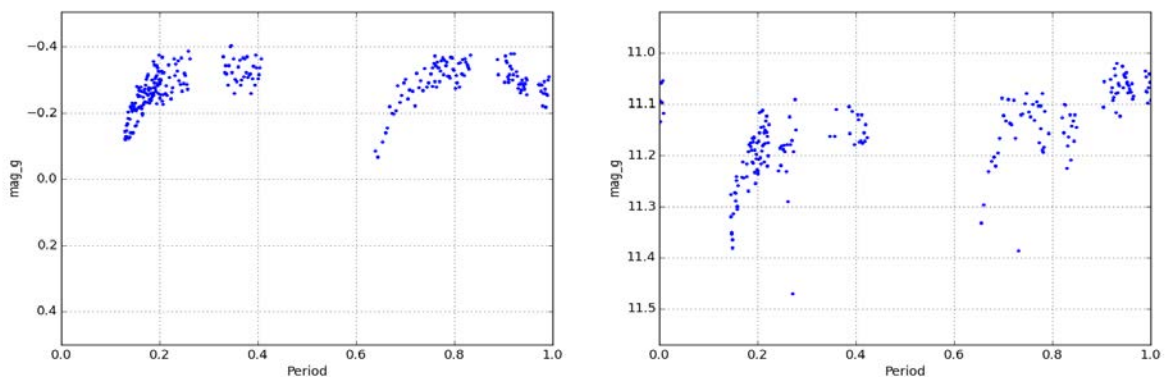
【表十】雙星團基本參數（資料來源：Kharchenko et al. 2013）

基本參數\星團	NGC 869	NGC 884
赤經(RA)、赤緯(Dec) [度]	(034.740, +57.145)	(035.512, +57.145)
銀經、銀緯 [度]	(134.616, -3.731)	(135.012, -3.590)
距離 [秒差距]	2300	2345
自行 [毫角秒/年]	(-2.81, 0.05)	(-4.00, 1.65)
徑向速度 [公里/秒]	-41.8	-43.6

令  $U$ 、 $V$ 、 $W$  分別代表朝向銀心、沿著銀河系自轉方向、指向銀河北極的速度分量。又知道太陽系的  $(U, V, W) = (11.1, 12.24, 7.25)$ （資料來源：Schonrich et al. 2010）。從網路上的 UVW 計算(<http://www.astro.ucla.edu/~drodrigu/UVWCalc.html>)，帶入星團參數，可得到 NGC 869 的  $(U, V, W) = (50.44, -9.71, -6.93)$ ，NGC 884 的  $(U, V, W) = (64.67, 3.32, 4.68)$ 。根據以上結果再進一步探討，則可得知兩者是否繞著共同質心對銀河系中心公轉，並得出其軌道參數。

#### 四、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。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，然而從圖十七的光變曲線圖顯示 NSVS1908107 這顆已知的變星週期都不易得出完整的光變曲線，可見觀測策略需要提高頻率與延長日期，方可得出較為精確的結果。



【圖十七】NSVS 1908107 的光變曲線（週期：1.733 日；類型： $\beta$  Lyr）

（左：以較差測光結果繪製；右：以 Pan-STARRS 校正結果繪製）

另外又以較差測光法（Differential photometry），選定同一幅影像中的非變星作為基準，與欲比較的變星星等相減，得出星等差；再以該星等差作圖，發現以較差測光結果繪製之圖形更接近理論，故可能是以 Pan-STARRS 校正時之誤差。在未來進一步的研究時將以標準星測光來解決此問題，期能得到更精確的數據。

為了從星團中辨認變星，目前正在進行的分析方法是利用統計方法，對於每一顆星體在不同時間得到的所有星等值，分別求出其標準差，若是星等變化在一指定範圍內，可視為誤差；若超過該範圍，則可視為變星。辨認出變星後要找出其週期，預計利用 Lomb-Scargle 方法，從相關性求出變星之週期。

## 五、未來發展

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等齡線擬合，得出星團年齡、距離與紅化值。

本研究的未來發展目標如下：

1. 從觀測資料或觀測更多次拉長時間找出星團成員中的變星或新的變星，並利用變星的特性推測變星成員在該星團扮演的性質。
2. 探討雙星團在銀河系中的運動狀態，了解兩者之間是否互相遠離或靠近？或者是否有物質的交換？對於銀河系與太陽系的運動軌跡又是如何？
3. 建立 NGC 869 & 884 中的完整變星目錄，包含光變曲線、星等、週期、類型等參數。

## 柒、結論

- 一、根據二微米波段巡天資料，得 NGC 869 的距離模數 13.60，紅化值  $E(J-K_s)=0.23$ ，年齡對數值約在 7.00~7.05 之間；NGC 884 的距離模數 13.67，紅化值  $E(J-K_s)=0.24$ ，年齡對數值約在 7.00~7.05 之間。NGC 869 & NGC 884 成員共有 33 顆已識別的變星。
- 二、根據羊八井觀測資料，得 NGC 869 的距離模數 13.59，紅化值  $E(g'-i')=0.71$ ，年齡對數值約在 7.00~7.05 之間；NGC 884 的距離模數 13.89，紅化值  $E(g'-i')=0.80$ ，年齡對數值約在 7.00~7.05 之間。NGC 869 & NGC 884 成員共有 37 顆已識別的變星。

捌、 參考資料及其他

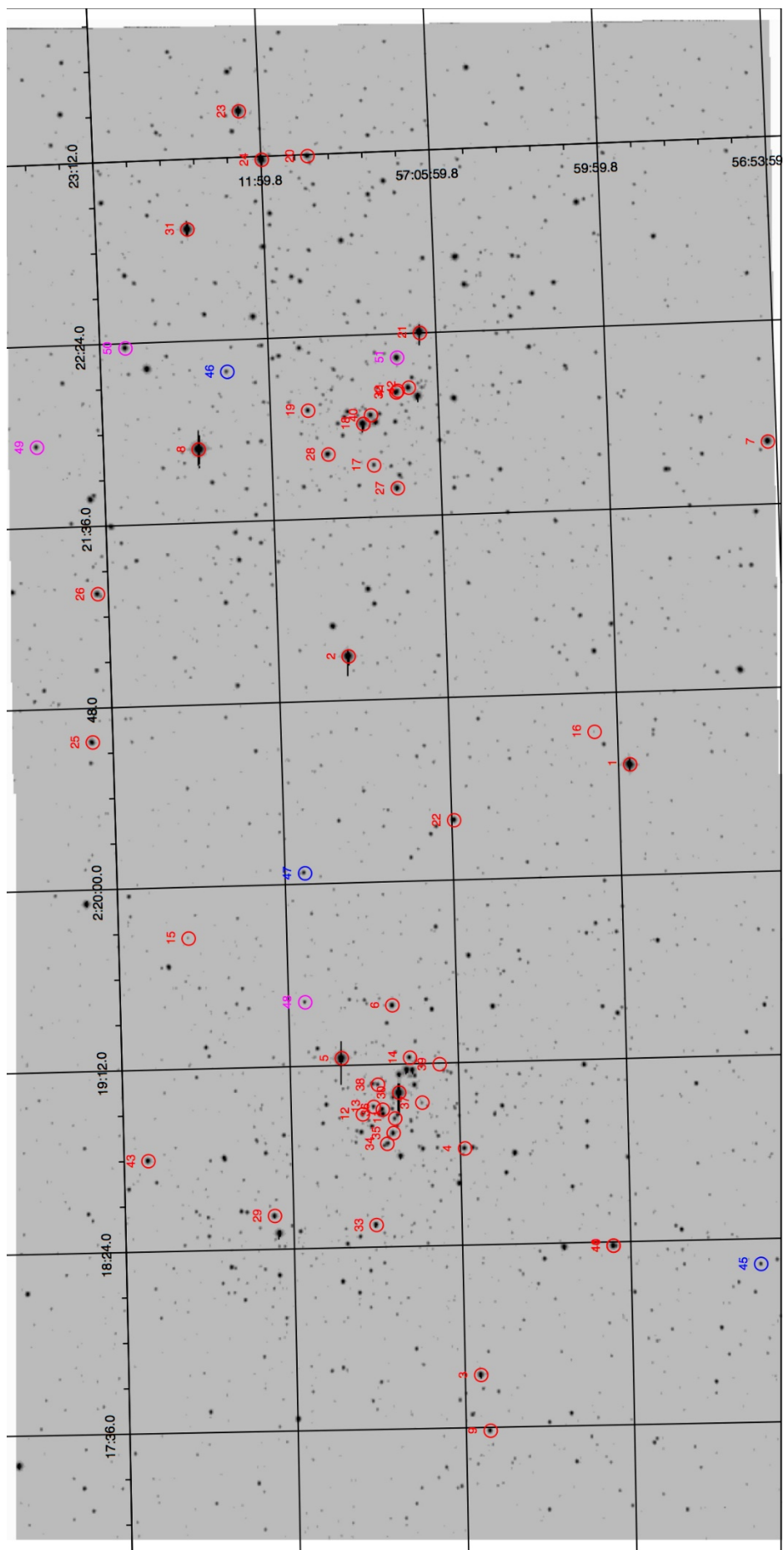
- 一、 Currie, T., Hernandez, J., Irwin, J., Kenyon, S. J., Tokarz, S., Balog, Z., . . . Calkins, M. (2010). The stellar population of  $\eta$  and  $\chi$  Persei: Cluster properties, membership, and the intrinsic colors and temperatures of stars. *ApJS The Astrophysical Journal Supplement Series*, 186(2), 191-221.
- 二、 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.
- 三、 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>
- 四、 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.
- 五、 Zejda, M., Paunzen, E., Baumann, B., Mikulášek, Z., & Liška, J. (2012). Catalogue of variable stars in open cluster fields. *Astronomy & Astrophysics A&A*, 548.

一、變星列表（表十一）（圖十八）

【表十一】觀測範圍內的變星完整列表

編號	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





【圖十八】變星位置與編號

## 二、Code and script

### (一) isofit.py

```
#make sure the files underneath are in current directory:
# 1. this file: "isofit.py"
# 2. object file: "*.csv"
# 3. isochrone files: "*.csv"

import os
import matplotlib.pyplot as plt
import csv

#manually choose an obj file and an iso file
objname = input("Object file:")
isoname = input("Isochrone file:")

#read file
with open(objname + '.csv', 'rt') as fin:
    cin = csv.reader(fin)
    obj = [line for line in cin]
with open(isoname + '.csv', 'rt') as fin:
    cin = csv.reader(fin)
    iso = [line for line in cin]

#(obj) show which bands can be chosen, then choose
print(obj[0])
lum = input("Magnitude:")
clr1 = input("Band 1:")
clr2 = input("Band 2:")

#(obj) set empty list for plotting
lum_list = list()
clr_list = list()

#(obj) add lum and clr of each star to the lists
for count in range(1, len(obj)):
    lum_list.append(float(obj[int(count)][int(lum)]))
    clr_list.append(float(obj[int(count)][int(clr1)])-float(obj[int(count)][int(clr2)]))

#(iso) show which bands can be chosen, then choose
print(iso[0])
_lum = input("Magnitude:")
_clr1 = input("Band 1:")
_clr2 = input("Band 2:")

#(iso) set empty list for plotting
_lum_list = list()
_clr_list = list()

#(iso) add lum and clr of each star to the lists
for count in range(0, len(iso)-1):
    _lum_list.append(float(iso[int(count)][int(_lum)]))
    _clr_list.append(float(iso[int(count)][int(_clr1)])-float(iso[int(count)][int(_clr2)]))

#visually fitting
while True:
    fit_lum = list()
    fit_clr = list()
    E = input("Reddening:")
    dist = input("Distance Module:")
    for count in range(0, len(iso)-1):
        fit_lum.append(_lum_list[count]+float(dist))
        fit_clr.append(_clr_list[count]+float(E))
    #plot
    plt.suptitle(objname + " Age:" + isoname)
    plt.grid(True)

    #2MASS
    plt.xlim(-0.3, 2.0)
    plt.ylim(18, 2)
    plt.xlabel("J-Ks")
    plt.ylabel("J")
    plt.text(1.5, 6, "dM=" + dist + "\nE(J-Ks)=" + E, fontsize=12)

    #SLOAN
    plt.xlim(-1.0, 2.5)
    plt.ylim(20, 6)
    plt.xlabel("g'-i'")
    plt.ylabel("g'")
    plt.text(1.5, 12, "dM=" + dist + "\nE(g'-i)'=" + E, fontsize=12)

    plt.plot(clr_list, lum_list, 'b.')
    plt.plot(fit_clr, fit_lum, 'r', lw=1)
    plt.show()
```

## (二) doublecluster.cl

```
ls *bias* > b.list
ls *dark* > d.list
ls *NGC869*g* > 869g.list
ls *NGC869*r* > 869r.list
ls *NGC869*i* > 869i.list
ls *NGC884*g* > 884g.list
ls *NGC884*r* > 884r.list
ls *NGC884*i* > 884i.list
ls *flat* > f.list
ls *flat*g* > fg.list
ls *flat*r* > fr.list
ls *flat*i* > fi.list

###BIAS###
print('bias')
imred
ccdred
ccdredit @b.list IMAGETYP "zero"
zerocombine @b.list output=zero combine=median ccdtype=zero process=no rdnoise=12 gain=2

###DARK###
print('dark')
ccdredit @d.list IMAGETYP "dark"
ccdproc @d.list ccdtype=dark fixpix=no oversca=no trim=no zerocor=yes darkcor=no flatcor=no zero=zero.fits
darkcombine @d.list output=dark combine=median ccdtype=dark process=no scale=exposure rdnoise=12 gain=2

###FLAT###
print('flat')
ccdredit @f.list IMAGETYP "flat"
ccdproc @f.list ccdtype=flat fixpix=no oversca=no trim=no zerocor=yes darkcor=yes flatcor=no zero=zero.fits
dark=dark.fits
flatcombine @fg.list output=flatg combine=median ccdtype=flat process=no scale=median rdnoise=12 gain=2
flatcombine @fr.list output=flatr combine=median ccdtype=flat process=no scale=median rdnoise=12 gain=2
flatcombine @fi.list output=flati combine=median ccdtype=flat process=no scale=median rdnoise=12 gain=2

###OBJECT###
print('object')

ccdredit @869g.list IMAGETYP "object"
ccdredit @869r.list IMAGETYP "object"
ccdredit @869i.list IMAGETYP "object"
ccdredit @884g.list IMAGETYP "object"
ccdredit @884r.list IMAGETYP "object"
ccdredit @884i.list IMAGETYP "object"

ccdproc @869g.list ccdtype=object fixpix=no oversca=no trim=no zerocor=yes darkcor=yes flatcor=yes zero=zero.fits
dark=dark.fits flat=flatg.fits
ccdproc @869r.list ccdtype=object fixpix=no oversca=no trim=no zerocor=yes darkcor=yes flatcor=yes zero=zero.fits
dark=dark.fits flat=flatr.fits
ccdproc @869i.list ccdtype=object fixpix=no oversca=no trim=no zerocor=yes darkcor=yes flatcor=yes zero=zero.fits
dark=dark.fits flat=flati.fits
ccdproc @884g.list ccdtype=object fixpix=no oversca=no trim=no zerocor=yes darkcor=yes flatcor=yes zero=zero.fits
dark=dark.fits flat=flatg.fits
ccdproc @884r.list ccdtype=object fixpix=no oversca=no trim=no zerocor=yes darkcor=yes flatcor=yes zero=zero.fits
dark=dark.fits flat=flatr.fits
ccdproc @884i.list ccdtype=object fixpix=no oversca=no trim=no zerocor=yes darkcor=yes flatcor=yes zero=zero.fits
dark=dark.fits flat=flati.fits

print('Finish Processing')
```

## 【評語】 051808

1. 本作品使用 2MASS 檔案數據及 YBJ 的觀測數據探討英仙座雙星團的年齡及距離，並嘗試找出該兩星團中的變異以及運動資料，是一個不錯的作品。
2. 作者已有不錯的天文知識及研究能力，若能在分析工作上更定量及嚴謹，在主題選取上更創新，會有不錯的成果。