

中華民國第 62 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

051909

利用校園望遠鏡與 LCO 所測得的星團星色星等
圖求星團年齡

學校名稱：國立金門高級中學

作者： 高一 張奇恩 高一 歐陽凱宸 高一 盧岑驊	指導老師： 李育賢 陳盈霖
------------------------------------	---------------------

關鍵詞：RGB 濾鏡觀測、UBV 光度觀測、疏散星團

摘要

本研究使用校內望遠鏡（14-inch）拍攝英仙座的雙星團 NGC884、NGC869 及后髮座的球狀星團 M53，並申請 LCO 的望遠鏡(16-inch)拍攝同為北半球后髮座的球狀星團 M53 以及位於南半球天體 Grus II、Tuc II 的潛在星團，繪製出其星色星等圖(Color-Magnitude Diagram, CMD)並分析之，得出英仙座雙星團的年齡皆約在 10^7 年之間，兩者實際年齡相近；而南半球天體 Tuc II 的 CMD 以等年齡擬合後似乎有個趨勢，假設此趨勢為真，推測其年齡相當年輕，約千萬年的數量級，可能是麥哲倫星流的物質所誕生。在 M53 的部分，比較本校天文台和 LCO 申請排程的望遠鏡拍攝出的數據，得出在北半球的部分 LCO 的降噪比較差，測量誤差稍大。

壹、研究動機

上了高中後，參加了學校舉辦的天文營，第一次接觸到天文，發現各種天文現象和宇宙的浩瀚都令人震撼，發現宇宙中原來有如此多我們並不了解的事，而對於未知，我們更是感興趣。再跟著老師學習操作天文台內的天文望遠鏡後，讓我們更能夠深入了解宇宙中的恆星、星雲和星團等等的特性，在某次與老師的聚會中，我們知道有申請 LCO 望遠鏡排程的機會，於是開始了解可以研究的目標，最後決定以星團做為研究主題，分析南半球的 Grus II 及 Tuc II 潛在星團，但在開始研究前我們藉由拍攝 NGC884 及 NGC869 驗證了我們的觀測方法，以及透過 M53 北天星團比較了校園望遠鏡及 LCO 望遠鏡，最後再來分析 Grus II 及 Tuc II 的年齡近似值。

貳、研究目的

1. 觀測並繪出於本校拍攝的 NGC884 和 NGC869 星團之星色-星等圖(Color-Magnitude Diagram, CMD)與 LCO 計畫觀測的南半球 Grus II 及 Tuc II 潛在星團之星色-星等圖以及 LCO 及本校天文台拍攝的 M53 球狀星團之星色-星等圖。
2. 利用上述星團之星色-星等圖分析並判斷星團年齡。
3. 比較使用 LCO 及校園望遠鏡所拍攝的 M53 星團之數據

4. 了解 Grus II 及 Tuc II 潛在星團是否為大小麥哲倫星系的伴隨星團。

參、研究設備與器材：

一、本校天文台設備

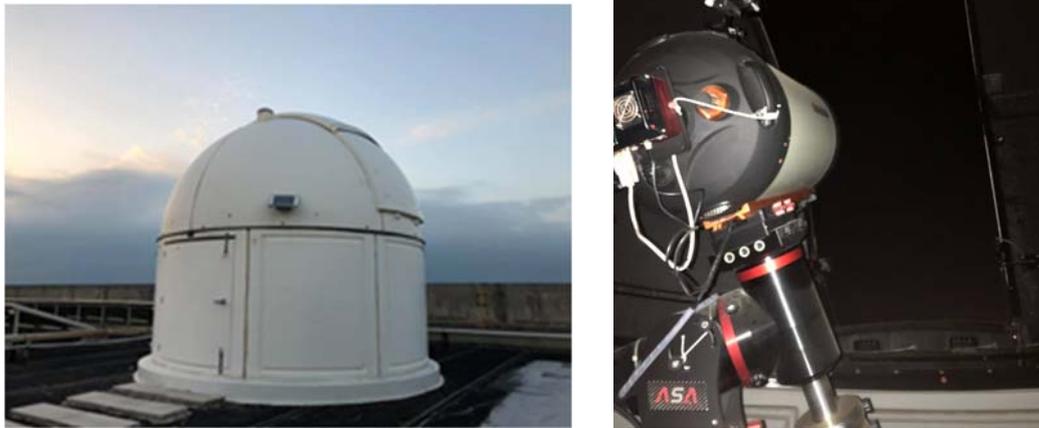


圖 1，本校圓頂外觀及夜晚觀測時望遠鏡系統的照片

表 1，本校望遠鏡設備參數表

主鏡	感光元件(CCD)	本校圓頂望遠鏡座標
Celestron EdgeHD 14 口徑:14" (356mm) 焦距:154" (3910mm) 焦比:F/10	SBIG STF-8300 成像/像素陣列:3326 像素 x 2504 像素 總像素:830 萬像素 傳感器尺寸:17.96 毫米 x 13.52 毫米	Longitude: 118°18' 50.10" E Latitude: 24°26' 09.40"

二、LC0 (Las Cumbres Observatory)觀測

LC0(拉斯坎布雷斯天文台)全球天空合作夥伴計劃的目標是激勵世界各地的學生、教師和公眾參與科學。研究小組在指導老師的協助申請後，透過 100 Hours for 100 Schools 這個活動機會，於 2021 年 11 月、2022 年 3 月與 5 月各獲得了 100 小時，合計 300 小時的望遠鏡觀測時間。

肆、文獻探討

一、星團：

同一個星團內的恆星彼此因引力作用而聚集，且皆在差不多時間內產出自同一團雲氣，故它們應有相近的組成(金屬豐度)與年齡，距地球的距離也相近，疏散星團是由數十到數千顆恆星所組成，而球狀星團，由數萬至數百萬顆不等的成員星所組成。一般來說球狀星團因組成星球多，質量大較有可能與星系生成時間相近，而疏散星團主要分布於銀盤上，受外力如重力波、超新星爆炸影響而形成。

二、UBV 光度學：

UBV 測光系統乃於 1950 年代，由美國天文學家強生(Johnson)和摩根(Morgan)提出，其中 UB 波段分述如下：U band 為近紫外光，波長在 360nm、B Band 為藍光，波長 440nm 和 V Band 為黃綠光，波長在 550nm。由下圖 2 可知，恆星輻射強度隨波長的分布，近似於黑體輻射的能量分布，因此恆星光譜也隨著光譜型的不同而變化；恆星的表面溫度高時，輻射能量的峰值落在藍色區域，反之則在紅色區域。

而色指數 (color index)為天文學上使用顏色來表示恆星表面溫度的一種方法，要測量此數據必須要使用至少 2 種濾鏡「U 和 B」或是「B 和 V」的差值，該系統定義的原點在 A0 型恆星光譜測得的 U-B 和 B-V 為 0。因此若所測量的恆星 B-V 的值小於 0，此恆星的表面溫度高於 A0 型恆星，反之亦然。

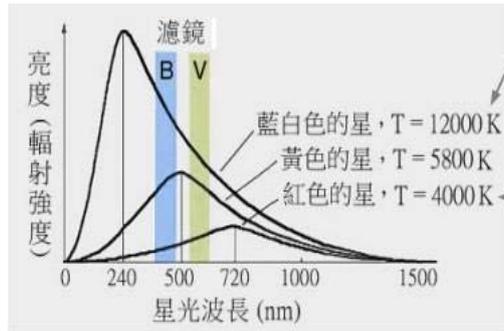


圖 2、不同表面溫度的恆星輻射強度與波長分布圖(朱永鴻, 2016)

三、赫羅圖 (Hertzsprung - Russell diagram, 簡寫為 H-R diagram、HR diagram 或 HRD) :

恆星的光度和表面溫度為其主要特徵，並且將它們統計成赫羅圖。其中圖的刻度也能改成其相應量例如縱軸的光度由絕對星等代替，橫軸的表面溫度以光譜型或色指數代替。

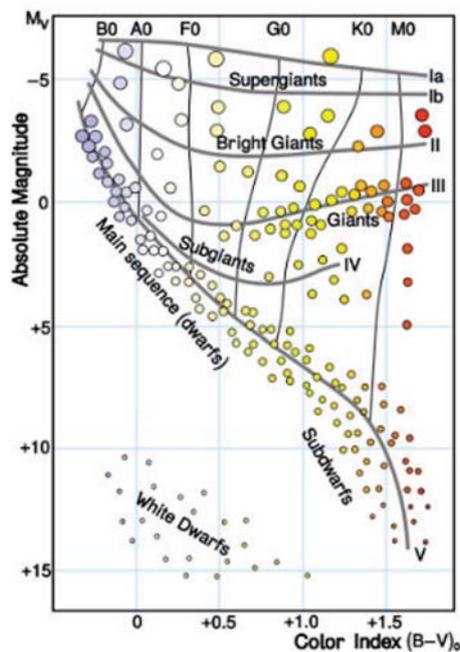


圖 3、絕對星等與 B-V 色指數座標的赫羅圖
Siarhey Hadon, Ivan Adamin. (2014)

四、赫羅圖和星團年齡的關係：

同一星團內的星各有不同的質量，但可視為同時誕生。當我們把星團的成員展示在赫羅圖上，當星團誕生一段時間後，低質量恆星由於燃燒速度慢，仍留在主序帶，而大質量恆星由於燃燒速度快便開始脫離主序帶，而在星團的赫羅圖上，便能找到脫離主序帶的轉折點，在轉折點的恆星年齡，即為星團的年齡。

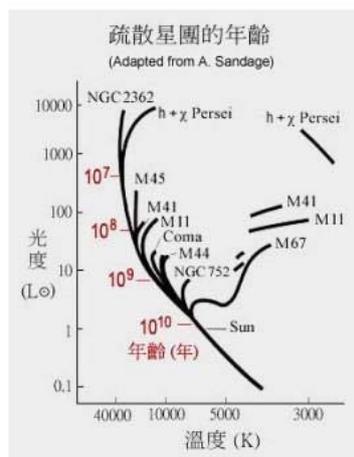


圖 4、赫羅圖和星團年齡的關係(朱永鴻, 2016)

五、星色星等圖(CMD, Color Magnitude Diagram)

$$\text{距離模數} : M - m = 5 - 5 \log D$$

M: 絕對星等

m: 視星等

D: 距離

由於星團所屬恆星之間的距離對比星團與地球的距離，恆星間的距離相對很小，基本上可視星團整體成員星與地球之距離相同，因此我們可以將距離(D)視為相同

$$M - m = 5 - 5 \log D$$

因 $M-m$ 僅差了一個定值，因此研究小組可將視星等來替換赫羅圖中的絕對星等，此種圖就為星色星等圖(CMD)，CMD 亦可與赫羅圖有相同的功能，判斷其年齡、溫度(顏色)和光度等。

六、星團等齡線

繪製等齡線的網頁(<http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd>)

CMD 3.6 input form

A web interface dealing with stellar isochrones and their derivatives

Latest news

- NEW! (23nov21) Added DPO version of LSST filters.
- NEW! (28oct21) Fixed integrated magnitudes of single-burst stellar populations
- NEW! (19oct21) Implemented LPV non-linear fundamental mode periods cf. Trabucchi+21.
- NEW! (19oct21) Improvements in TP-AGB: slightly better description of M-C transition and of thermal pulse cycles.
- (19oct21) Corrected swapped *r* filters in Megacam post-2014 system.
- (30jun21) Revised filters for Euclid and Roman (ex-WFIRST).

[Help FAQ](#)

調整所繪製的等連線參數

在 ages 的欄位中選擇所要繪製的等齡線年齡

Ages/metallicities

Choose your metallicity values using the approximation $[M/H]=\log(Z/X)-\log(Z/X)_{\odot}$, with $(Z/X)_{\odot}=0.0207$ and $Y=0.2485+1.78Z$ for PARSEC tracks.

Input form for multiple values of ages/metallicities (up to a maximum of 1e4 isochrones):

	initial value	final value	step (use 0 for a single value)
ages	<input checked="" type="radio"/> linear age (yr) =	1.0e9 yr	1.0e10 yr
	<input type="radio"/> log(age/yr) =	6.6 dex	10.15 dex
metallicities	<input checked="" type="radio"/> metal fraction Z =	0.0152	0.03
	<input type="radio"/> [M/H] =	-2 dex	0.3 dex

輸出圖檔

Output

Kind of output:

- isochrone tables: stellar parameters as a function of initial mass
- Luminosity functions: star counts expected, in the interval from -15 to 20 mag, with bins 0.5 mag wide, per 1 Msun of stellar population
- Simulated populations with a total mass of 1.0e4 Msun
- Single-burst stellar populations, integrated magnitudes (for 1 Msun)

gzip the output file (Files above 50 Mby will always be gzipped!)

將檔案匯出

CMD 3.6 output

Results

Your job was submitted on Sat May 28 18:10:13 CEST 2022
 Your job was completed on Sat May 28 18:10:23 CEST 2022 .
 The results are available at [output264865706748.dat](#), and will be deleted in 2 h from now.

Output header:

```
# File generated by CMD 3.6 (http://stev.oapd.inaf.it/cmd) on Sat May 28 18:10:13 CEST 2022
# Isochrones based on PARSEC release v1.28 - COLIBRI S.37 + S.35 + P916
# Basic references: Bressan et al. (2012), MNRAS, 427, 127 + Chen et al. (2014, 2015), MNRAS, 444, 2525 + MNRAS, 452, 1068 + Yang et al. (2014), MNRAS, 445, 4287 + Marigo et al. (2017), ApJ, 835, 1
# On RGB, assumed helium mass loss with efficiency eta=0.2
# TPV periods and growth rates added cf. Trabucchi et al. (2016)
# Isochrone fundamental-mode LPV periods are from Trabucchi et al. (2021)
# Photometric system: UVVRJJK (cf. Maiti-Apellanis 2006 + Bessell 1990)
# Using YBC version of bolometric corrections as in Chen et al. (2019)
# O-rich circumstellar dust from Groenewegen (2008)
# C-rich circumstellar AMCI015 dust from Groenewegen (2004)
# IMF: Kroupa (2001, 2002) + Kroupa et al. (2013) canonical two-part-power law IMF corrected for unresolved binaries
# Kind of output: isochrone tables
```

Useful system parameters

Filter	U	B	V	R	I	J	H	K
λ_{eff} (Å)	3598.54	4385.92	5490.56	6594.72	8059.88	12369.26	16464.45	22105.45
ω_{eff} (Å)	584	913	857	1591	1495	2047	2854	3646
A_V/A_V	1.55814	1.32616	1.00096	0.80815	0.59893	0.28688	0.18103	0.11265

These values are for a G2V star, using Carilli et al. (1989) + O'Donnell (1984) extinction curve with Rv=3.1.

取得等齡線的 txt 檔

```
# File generated by CMD 3.6 (http://stev.oapd.inaf.it/cmd) on Sat May 28 18:10:13 CEST 2022
# Isochrones based on PARSEC release v1.28 + COLIBRI 8_37 + s_35 + PR16
# Basic references: Bressan et al. (2012), MNRAS, 427, 127 + Chen et al. (2014, 2015), MNRAS, 444, 2525 + MNRAS, 452, 1068 + Tang et al. (2014), MNRAS, 445, 4287 + Mariago et al. (2017), ApJ, 835, 77 + Pastorelli et al. (2019), MNRAS, 485, 5666 + Pastorelli et al. (2020), MNRAS, in press
# Thermal pulse cycles included
# On RGB, assumed Heimers mass loss with efficiency eta=0.2
# LRV periods and growth rates added of Trabucchi et al. (2019)
# but fundamental-mode LRV periods are from Trabucchi et al. (2021)
# Photometric systems: <19DUBVRIJHK/i> (cf. Mai+Apellaniz 2004 + Bessell 1990)
# Using YKC version of bolometric corrections as in Chen et al. (2019)
# O-rich circumstellar dpm0d6alox40 dust from Groenewegen (2006)
# C-rich circumstellar AMSC1C15 dust from Groenewegen (2006)
# IMF: Kroupa (2001, 2002) + Kroupa et al. (2013) canonical two-part-power law IMF corrected for unresolved binaries
# Kind of output: Isochrone tables
# Zini MH logAge Mini int_IMF Mass logL logTe logg label MooreTP C_O period0 period1 period2 period3 period4 pmode Mloss taulm X Y Xc Xc Xc
0.0152 0.01508 9.00000 0.090000036 1.081689562 0.090 -3.384 3.3657 5.191 0 0.000 0.545 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -1 -4.43e-17 0.00 7.091e-01
2.756e-01 2.746e-03 7.408e-04 6.719e-03 -1.000 1.527e-02 12.230 22.457 19.862 18.032 15.888 13.642 11.140 10.526 10.234
0.0152 0.01508 9.00000 0.100000015 1.171064577 0.100 -3.222 3.3893 5.170 0 0.000 0.545 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -1 -6.24e-17 0.00 7.091e-01
2.757e-01 2.746e-03 7.408e-04 6.719e-03 -1.000 1.527e-02 12.826 22.013 19.440 17.617 15.880 13.238 10.737 10.124 9.829
0.0152 0.01508 9.00000 0.120000012 1.319315527 0.120 -2.975 3.4228 5.135 0 0.000 0.545 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -1 -1.05e-16 0.00 7.090e-01
2.757e-01 2.746e-03 7.408e-04 6.719e-03 -1.000 1.527e-02 12.208 21.023 18.583 16.788 14.731 12.543 10.133 9.520 9.220
0.0152 0.01508 9.00000 0.1229623184 1.3385313749 0.123 -2.948 3.4259 5.131 0 0.000 0.545 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -1 -1.1e-16 0.00 7.090e-01
2.757e-01 2.746e-03 7.408e-04 6.719e-03 -1.000 1.527e-02 12.140 20.769 18.389 16.607 14.591 12.430 10.073 9.459 9.159
0.0152 0.01508 9.00000 0.140000006 1.4384527206 0.140 -2.794 3.4430 5.102 0 0.000 0.545 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -1 -1.52e-16 0.00 7.089e-01
2.758e-01 2.746e-03 7.408e-04 6.719e-03 -1.000 1.527e-02 11.759 19.486 17.374 15.667 13.647 11.828 9.727 9.112 8.812
0.0152 0.01508 9.00000 0.1493837237 1.4869878557 0.149 -2.726 3.4495 5.088 0 0.000 0.545 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -1 -1.75e-16 0.00 7.089e-01
2.758e-01 2.746e-03 7.408e-04 6.719e-03 -1.000 1.527e-02 11.585 18.996 16.976 15.296 13.547 11.582 9.572 8.956 8.657
0.0152 0.01508 9.00000 0.1599999964 1.5372919557 0.160 -2.653 3.4565 5.073 0 0.000 0.545 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -1 -2.03e-16 0.00 7.088e-01
2.759e-01 2.746e-03 7.408e-04 6.719e-03 -1.000 1.527e-02 11.403 18.485 16.559 14.900 13.226 11.327 9.409 8.791 8.494
0.0152 0.01508 9.00000 0.200000030 1.6938791275 0.200 -2.438 3.4752 5.030 0 0.000 0.545 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -1 -3.14e-16 0.00 7.087e-01
2.760e-01 2.746e-03 7.408e-04 6.719e-03 -1.000 1.527e-02 10.865 17.155 15.445 13.843 12.351 10.618 8.915 8.296 8.008
0.0152 0.01508 9.00000 0.2500000000 1.8403258324 0.250 -2.236 3.4916 4.991 0 0.000 0.545 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -1 -4.67e-16 0.00 7.086e-01
2.762e-01 2.746e-03 7.408e-04 6.719e-03 -1.000 1.527e-02 10.360 16.059 14.495 12.927 11.369 9.993 8.452 7.830 7.552
0.0152 0.01508 9.00000 0.3135805130 1.9793733346 0.314 -2.035 3.5051 4.941 0 0.000 0.545 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -1 -7.02e-16 0.00 7.085e-01
2.759e-01 2.746e-03 7.408e-04 6.719e-03 -1.000 1.527e-02 9.856 15.152 13.684 12.157 10.889 9.414 7.979 7.354 7.087
2.759e-01 2.746e-03 7.408e-04 6.719e-03 -1.000 1.527e-02 9.856 15.152 13.684 12.157 10.889 9.414 7.979 7.354 7.087
2.758e-01 2.746e-03 7.408e-04 6.719e-03 -1.000 1.527e-02 9.810 15.074 13.612 12.090 10.828 9.362 7.935 7.310 7.044
0.0152 0.01508 9.00000 0.3466122150 2.0378298759 0.347 -1.938 3.5118 4.916 0 0.000 0.545 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -1 -8.59e-16 0.00 7.091e-01
2.756e-01 2.746e-03 7.408e-04 6.719e-03 -1.000 1.527e-02 9.616 14.731 13.301 11.794 10.566 9.141 7.755 7.126 6.865
2.756e-01 2.746e-03 7.408e-04 6.719e-03 -1.000 1.527e-02 9.616 14.731 13.301 11.794 10.566 9.141 7.755 7.126 6.865
2.756e-01 2.746e-03 7.408e-04 6.719e-03 -1.000 1.527e-02 9.593 14.692 13.265 11.760 10.535 9.115 7.733 7.105 6.844
0.0152 0.01508 9.00000 0.4000000338 2.1185026169 0.400 -1.781 3.5233 4.866 0 0.000 0.545 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -1 -1.22e-15 0.00 7.092e-01
2.755e-01 2.746e-03 7.408e-04 6.719e-03 -1.000 1.527e-02 9.221 14.069 12.690 11.212 10.044 8.700 7.388 6.752 6.501
0.0152 0.01508 9.00000 0.4500000477 2.1822810173 0.450 -1.631 3.5353 4.815 0 0.000 0.545 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -1 -1.72e-15 0.00 7.092e-01
2.755e-01 2.746e-03 7.408e-04 6.719e-03 -1.000 1.527e-02 8.847 13.464 12.114 10.666 9.551 8.286 6.993 6.399 6.157
0.0152 0.01508 9.00000 0.5000000000 2.2374541759 0.500 -1.476 3.5498 4.744 0 0.000 0.545 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -1 -2.47e-15 0.00 7.092e-01
2.755e-01 2.746e-03 7.408e-04 6.719e-03 -1.000 1.527e-02 8.459 12.851 11.514 10.092 9.027 7.858 6.692 6.037 5.806
0.0152 0.01508 9.00000 0.5093277693 2.2468676567 0.509 -1.444 3.5535 4.755 0 0.000 0.545 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -1 -2.66e-15 0.00 7.095e-01
2.753e-01 2.743e-03 7.401e-04 6.712e-03 -1.000 1.526e-02 8.381 12.725 11.386 9.969 8.921 7.771 6.624 5.966 5.738
0.0152 0.01508 9.00000 0.5500000119 2.2834582641 0.550 -1.315 3.5684 4.719 0 0.000 0.545 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -1 -3.59e-15 0.00 7.115e-01
9.731e-01 2.756e-03 7.408e-04 6.719e-03 -1.000 1.527e-02 8.047 12.514 10.868 9.464 8.462 7.414 6.424 5.844
```

可再將此檔案透過 topcat 應用程式做照片的疊合
此網站所提供的等齡線屬理論值，可做星團年齡的估算

伍、研究方法與結果

一、本校圓頂天文台

觀測方法與步驟：

- (一)使用本校望遠鏡，進行 RGB 三波段濾鏡拍攝，拍攝原始照片如圖 6、7 所示，使用濾鏡參數如下：紅色濾鏡(red)，穿透波長 590 - 700nm、綠色濾鏡(green)，穿透波長 480 - 590nm、藍色濾鏡(blue)，穿透波長 400 - 510nm、上述三濾鏡的穿透率皆接近 100%。

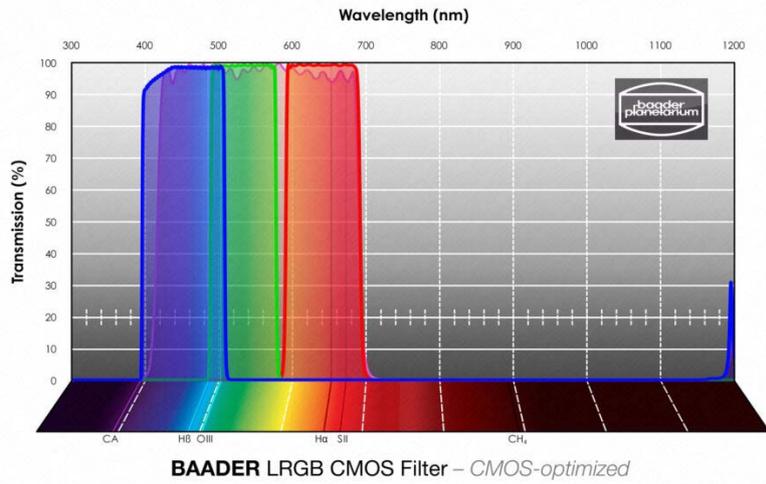


圖 5、RGB 濾鏡波段(<https://www.baader-planetarium.com/en/baader-uvir-cut--l-filter-%E2%80%93-cmos-optimized.html>)

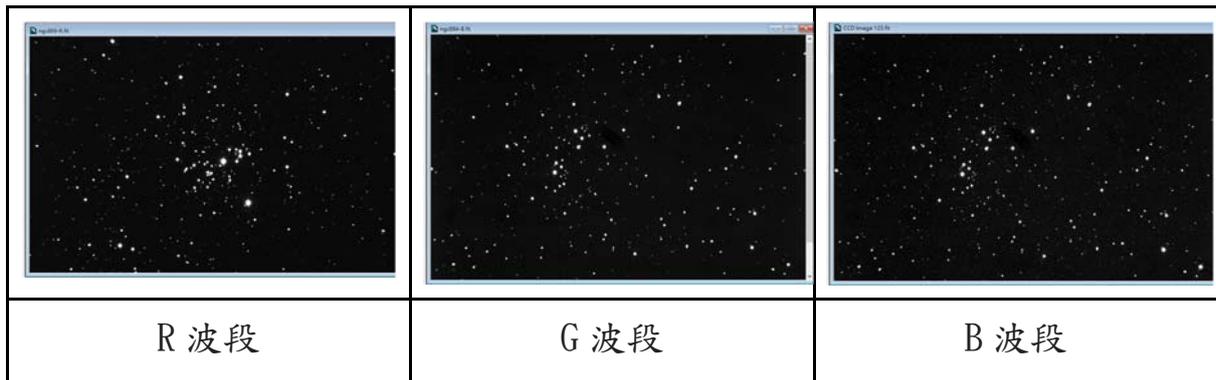


圖 6、NGC884 的 RGB 波段照片的其中一張

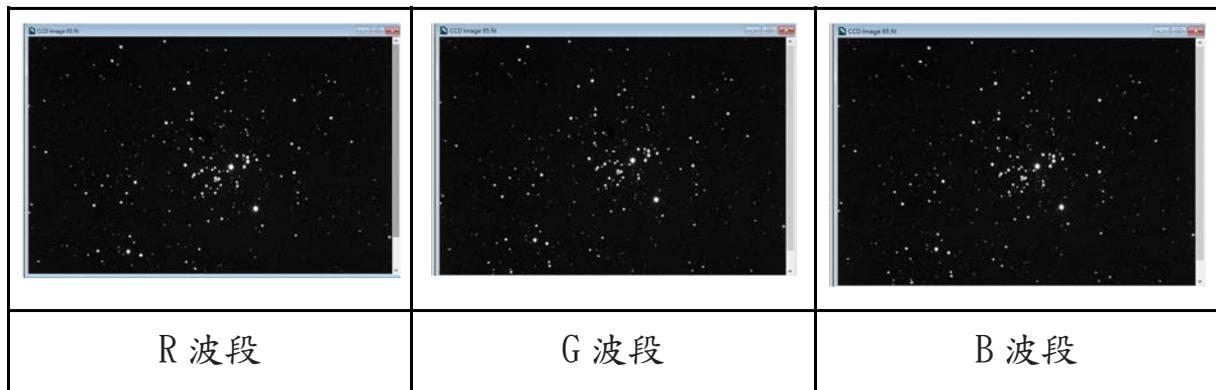


圖 7、NGC869 的 RGB 波段照片的其中一張

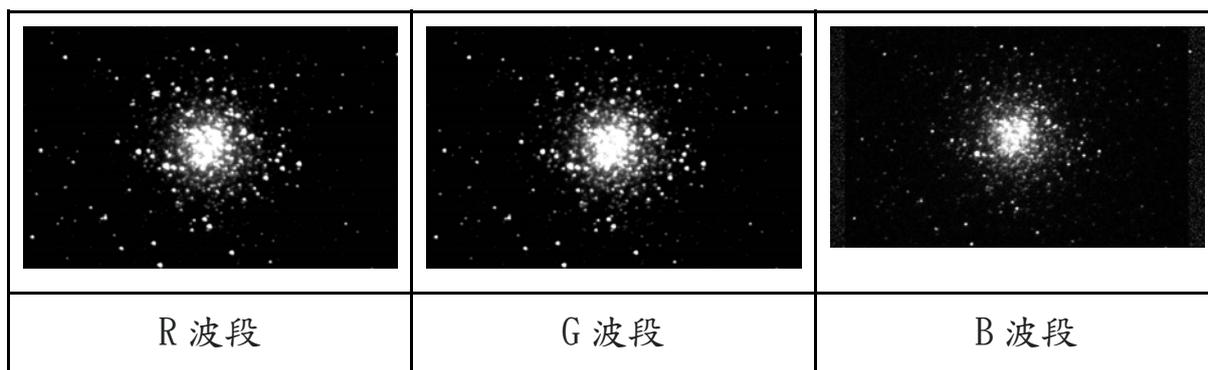


圖 8、M53 的 RGB 波段照片的其中一張

(二) 拍攝暗電流、平場與暗電流

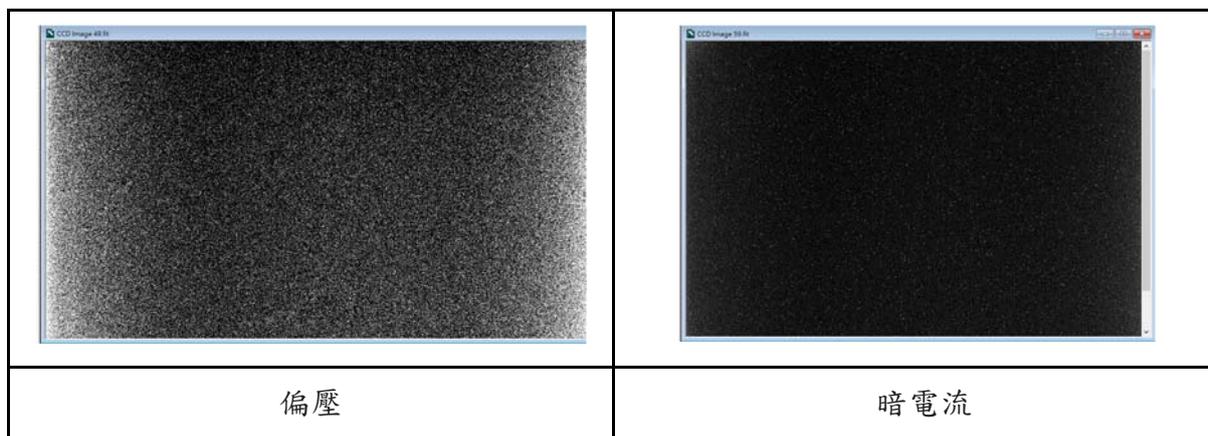


圖 9、校園望遠鏡的偏壓及暗電流照片

偏壓：在一個 CCD 上會有好幾百萬個像素，而每個像素特性必然存在一些差異，在訊號傳遞的過程中，會加入一微小電壓，以排除感光元件對讀出訊號的影響。

暗電流：一般而言，在黑暗中，若沒有光線照射到 CCD 上，每個畫素所測得數值應為 0，但電子元件會因觀測時通電所造成的溫度，電子因溫度產生的熱擾動，會造成微量電流而產生噪訊，且溫度越高噪訊越多，通常會將晶片降溫讓噪訊下降，一般每下降 6°C ，噪訊會減少一半，而由於是在完全沒有光的情況下拍攝取得的數據就叫暗電流。

(三)平場拍攝

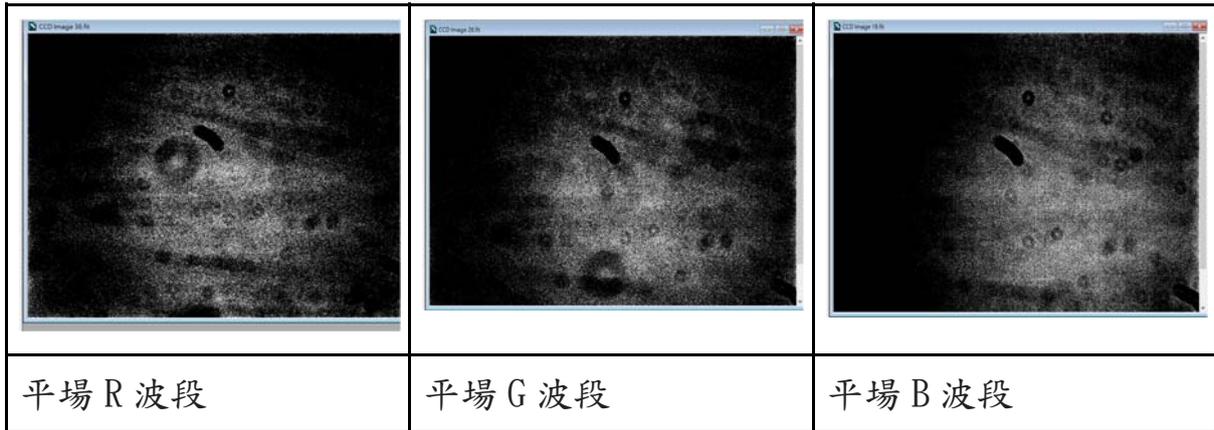


圖 10、校園望遠鏡的平場照片

平場：一般光學系統的成像圈亮度，不是均勻的，而是周圍暗中間亮的漸層圖像，而在像天文這種數據必須精準的情況下，就必定要減去掉多餘的數值。

表 2 為我們在 2021 年 12 月 14 日-15 日於學校天文望遠鏡拍攝英仙座雙星團 NGC884、NGC869 及 M53 的數據資料，拍攝 3 個目標，每個目標各拍三個波段，每個波段拍攝 9 張，每張照片拍攝 60 秒，合計每波段的總曝光時間為 9 分鐘。每個目標的總曝光時數為 27 分鐘。

表 2、本研究使用的校園望遠鏡觀測資料參數

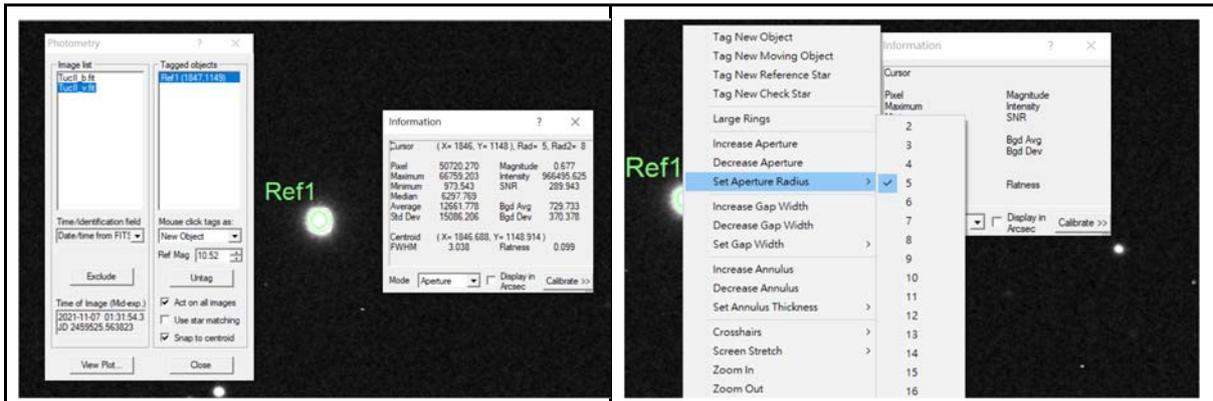
拍攝日期	使用濾鏡	曝光時間	總曝光時間	CCD 溫度	拍攝時間
NGC884	R	60s	60s*9 幅	-4°C	2021/12/14 18:00
	G	60s	60s*9 幅	-4°C	2021/12/15 19:15
	B	60s	60s*9 幅	-4°C	2021/12/15 19:25
NGC869	R	60s	60s*9 幅	-4°C	2021/12/15 18:45
	G	60s	60s*9 幅	-4°C	2021/12/15 18:55
	B	60s	60s*9 幅	-4°C	2021/12/15 19:05
M53	R	60s	60s*9 幅	-4°C	2022/5/17 19:25
	G	60s	60s*9 幅	-4°C	2022/5/17 19:35
	B	60s	60s*9 幅	-4°C	2022/5/17 19:45
BIAS	NONE	0s	0s*9 幅	-4°C	2021/12/14
DARK	NONE	60s	60s*9 幅	-4°C	2021/12/15

(四)進行影像預處理：

先將 RGB 波段的照片進行偏壓、暗電流和平場的校正處理，再把校正後的各波段九張照片，修正每一張的偏移量後進行疊加。

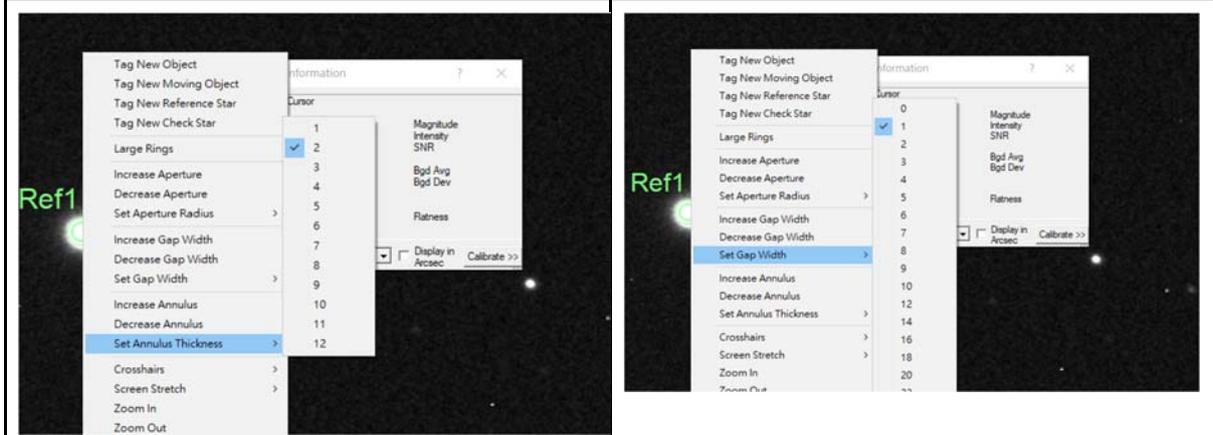
(五)孔徑測光測得星等：

研究小組把疊加後的圖檔，以 Maxim DL 5 or 程式來逐顆點選可見的所有星點，並選定參考星，利用參考星進行星等校正後，匯整所點星點的星等資料。



設定參考星、設定星點選取範圍

設定孔徑半徑



設定背景圈厚度(因為點較近所以厚度設為2)

設定間隙寬度

圖 11、取得星點數據過程

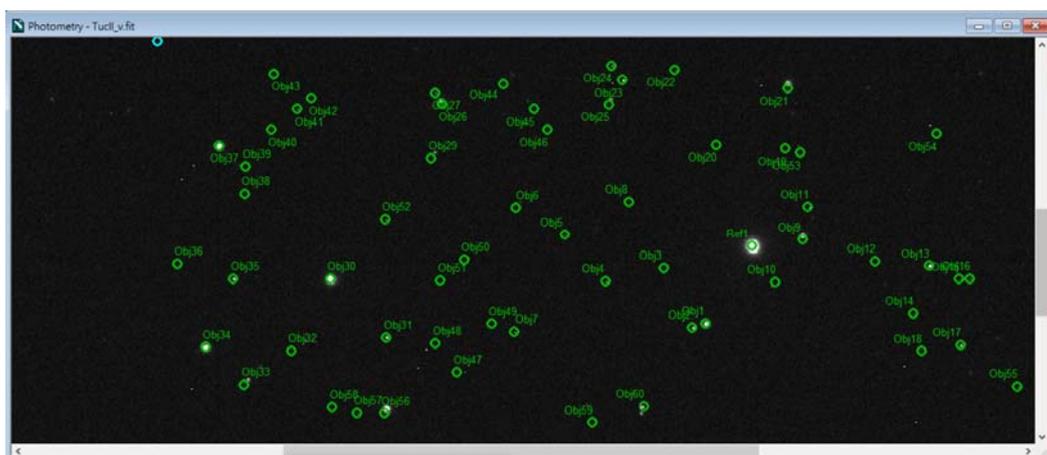
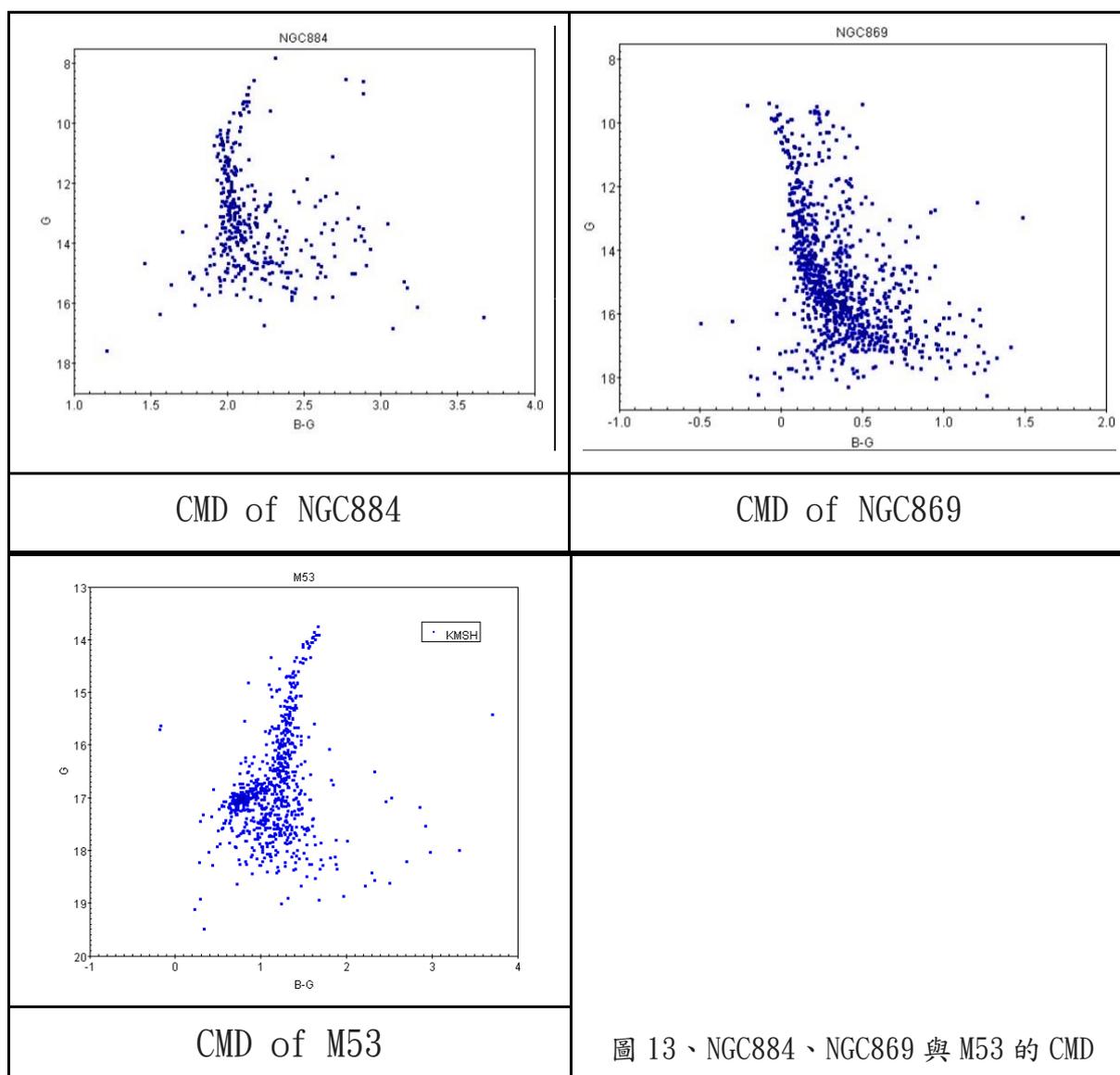


圖 12、開始點選星點取得數據過程

(六)繪製:CMD(星色星等圖)

用眼睛判段星星的顏色並不準確，通常天文學家都採用 UBV 系統的色指數 (color index)來量化恆星顏色，但本校的望遠鏡的濾鏡為 RGB 波段，因此我們使用方法是使用 RGB 波段中的 B 濾鏡所得星等減去 G 濾鏡所得的星等，得到 B-G 色指數，其中數字越大代表恆星的顏色越紅，相反的，顏色則越藍。

圖 12 為本校進行影像分析後的 NGC884、NGC869 以及 M53 三個星團，透過 EXCEL 繪製而成的星色星等圖，其中縱軸為星等 (G)橫軸為色指數(B-G)。



二、LCO 部份

LCO 望遠鏡觀測使用的是 0.4m+SBIG 6063，濾鏡為 Blue(Bessell B)、Green(Bessell V)、Red(SDSS r')，在這之中 B band 影像訊噪比較不好，約為 V band 的 1/10，SDSS r' 的 1/100，V band 1 分鐘約 13 等，3 分鐘 14.5 等；視相度(Seeing) 1.6"~1.7"。

在 2021 年時，由於是拍攝位於南半球的大小麥哲倫的潛在星團，所以皆是使用 Cerro Tololo Inter-American Observatory(托洛洛山美洲天文台)位於南半球以觀測窗口。因為設定的時間若太短，排程進度若錯過就會取消提出的觀測，所以我們提出目標標攝時會讓窗口長度多設幾天，如圖 13。

User Info	State Info	#Requests / Pending / Failed / Complete			
KP ylee LCOEPO2019A-005	✓ COMPLETED 2022-05-20 21:07:07	1	0	0	1
KP ylee LCOEPO2019A-005	✓ COMPLETED 2022-05-11 17:19:27	1	0	0	1
KP ylee LCOEPO2019A-005	✓ COMPLETED 2022-04-23 01:42:07	1	0	0	1
KP ylee LCOEPO2019A-005	✓ COMPLETED 2022-04-25 00:51:52	1	0	0	1
KP ylee LCOEPO2019A-005	✓ COMPLETED 2022-03-17 00:47:19	1	0	0	1
KP ylee LCOEPO2019A-005	✗ WINDOW_EXPIRED 2022-03-17 01:40:07	1	0	1	0
KP ylee LCOEPO2019A-005	✓ COMPLETED 2021-11-07 01:46:09	1	0	0	1
KP ylee LCOEPO2019A-005	✗ WINDOW_EXPIRED 2021-11-05 09:00:07	1	0	1	0
ylee ylee LCOEPO2019A-005	✓ COMPLETED 2021-11-04 00:49:42	1	0	0	1
QuickSubmit_m27_ylee ylee LCOEPO2019A-005	✓ COMPLETED 2021-10-26 07:32:09	1	0	0	1
QuickSubmit_m27_ylee ylee LCOEPO2019A-005	✓ COMPLETED 2021-10-25 20:08:37	1	0	0	1

圖 14、2021-2022 年利用 LCO 排程所觀測的數據
(<https://lco.global/education/partners/>)

LCO 資料在給使用者前，會進行預處理，所以我們可以直接將從 LCO 得到的數據及照片(如圖 14、15)一樣以 Maxim DL 5 程式進行處

理，再將資料放到 EXCEL 進行繪製，本文我們使用 2021 年 11 月 4 日、7 日及 2022 年 4 月 22 日的 LCO 資料做探討。

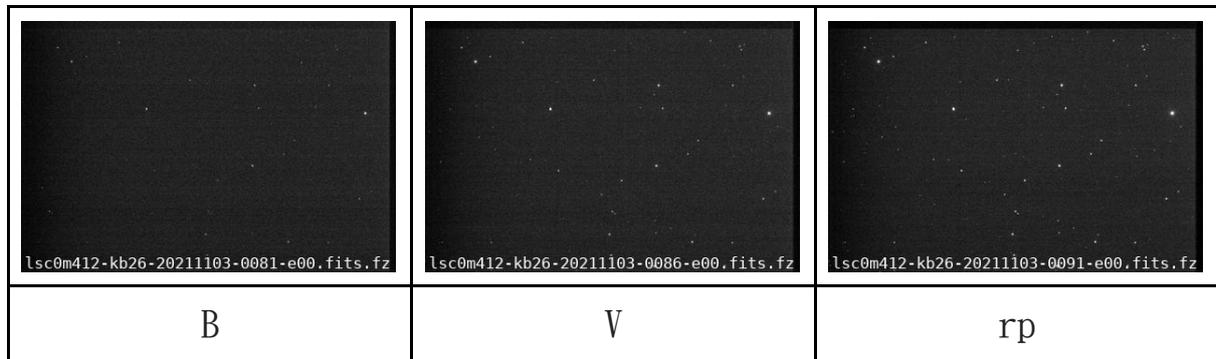


圖 15、11 月 4 日 LCO 拍攝 Grus II 潛在星團每波段拍攝 10 張其中一張

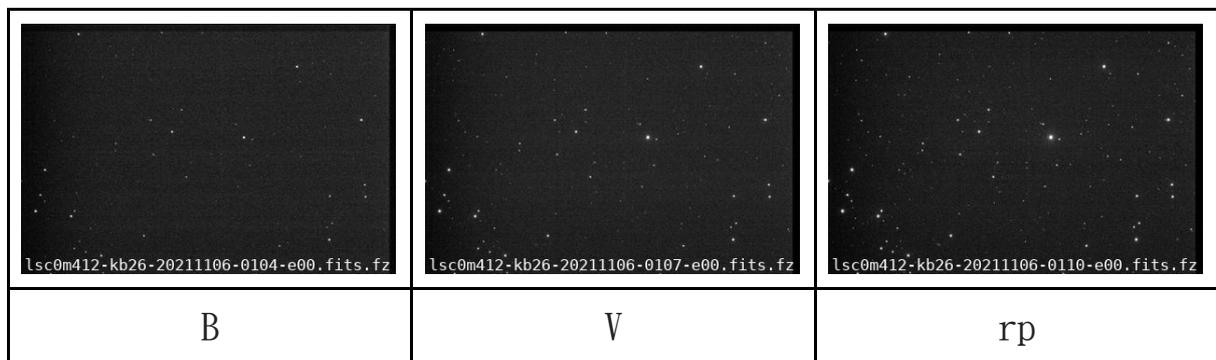


圖 16、11 月 7 日 LCO 拍攝 Tuc II 潛在星團每波段拍攝 6 張其中一張

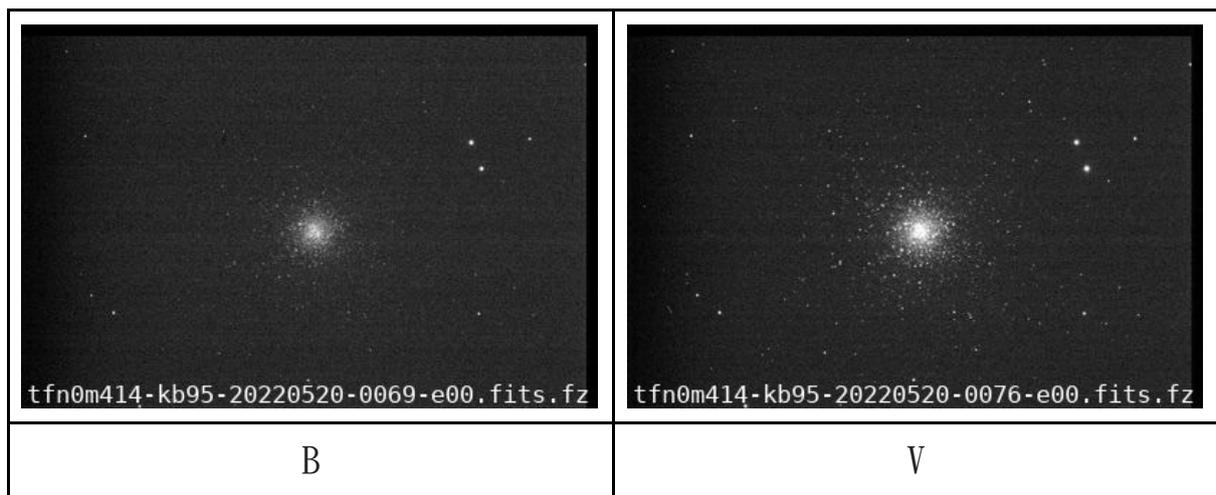
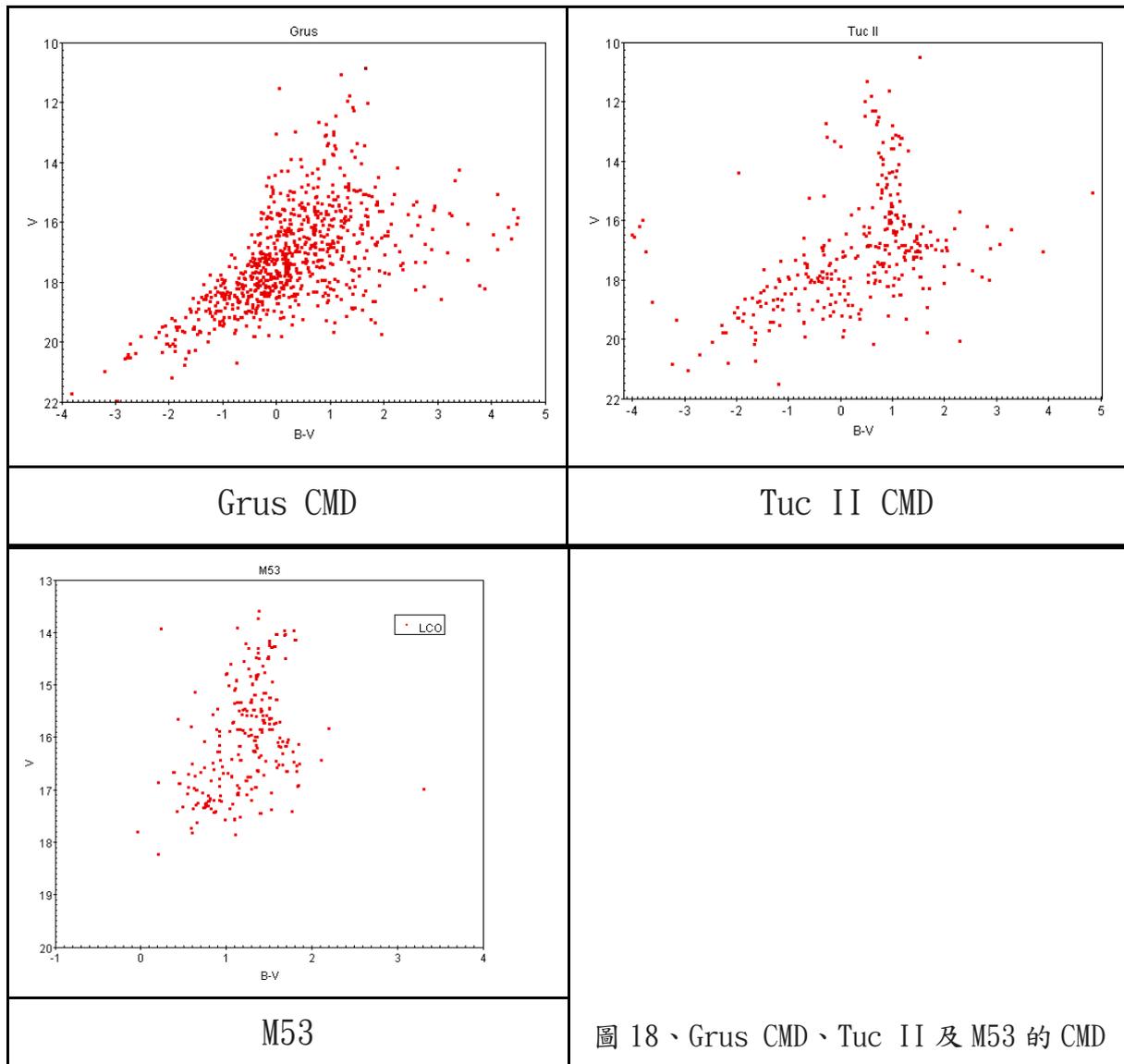


圖 17、4 月 22 日 LCO 拍攝 M53 每波段拍攝 14 張其中一張

將孔徑測光後的數據，同本校天文台的處理方式後，便得到各星團的星等資料，再使用 EXCEL 繪製 Grus、Tuc II 及 M53 的星色星等圖（如圖 18）。



陸、討論

一、消光的修正考量：

(一) 星際紅化：

天體所發出的光傳遞到地球之間，會因為星際間的一些物質如氣體或塵埃，造成光的散射和被吸收，而在其中藍光波長較紅光短，

更容易會被散射和被吸收，因此我們所觀察到的星光較未受氣體或塵埃影響的星光更偏向紅色。

星光在被紅化的過程中，其實也正在被消光，故兩者間應有一定的關係存在，而研究也顯示在銀河系裡，「完全消光」與「選擇性消光」的比例，為一常數。因此，若經過如圖 19 的雙色圖修正，就有機會找到 U、B、V 各波段星光的真實數值。

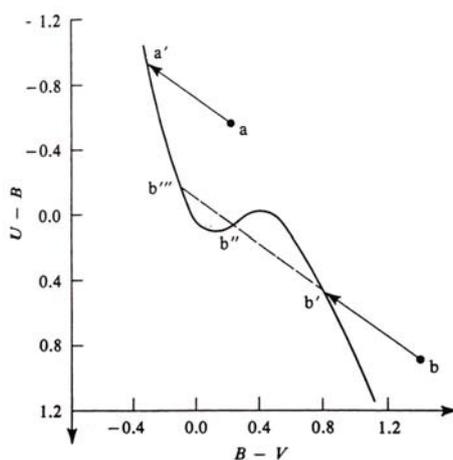


圖 19、利用雙色圖修正星際紅化示意圖(徐遐生，民 90)

(二)大氣消光：

指光通過大氣時被吸收，在這中又分別以臭氧和氧吸收了紫外線，而水氣則吸收了紅外線。

我們受限於觀測工具主要為可見光波段濾鏡，在器材受限的影響，因此在缺乏 U 濾鏡無法做消光修正的情況下，雖有誤差，但對於本研究只針對數量級的年齡判斷，大趨勢應該還是可靠的。

以上的星際消光對於等齡線的估算影響並不大，未做星際消光處理的數據較比處理後的數據老 $10^{0.2} \sim 10^{0.3}$ 年，所以我們直接使用疊合出來的數據。

二、NGC884 和 NGC869 的年齡估算

圖 20、21 分別為 NGC869 和 NGC884 兩個星團 CMD 與星團年齡模擬曲線的擬合圖，NGC869 和 NGC884 兩個星團 CMD 對於 10^7 年擬合的最好， 10^8 年稍差， 10^9 年幾乎沒有對上，所以我們可以猜測兩個星團的年紀介於 10^7 年與 10^8 年之類，但較接近 10^7 年，也就是千萬年的數量級。

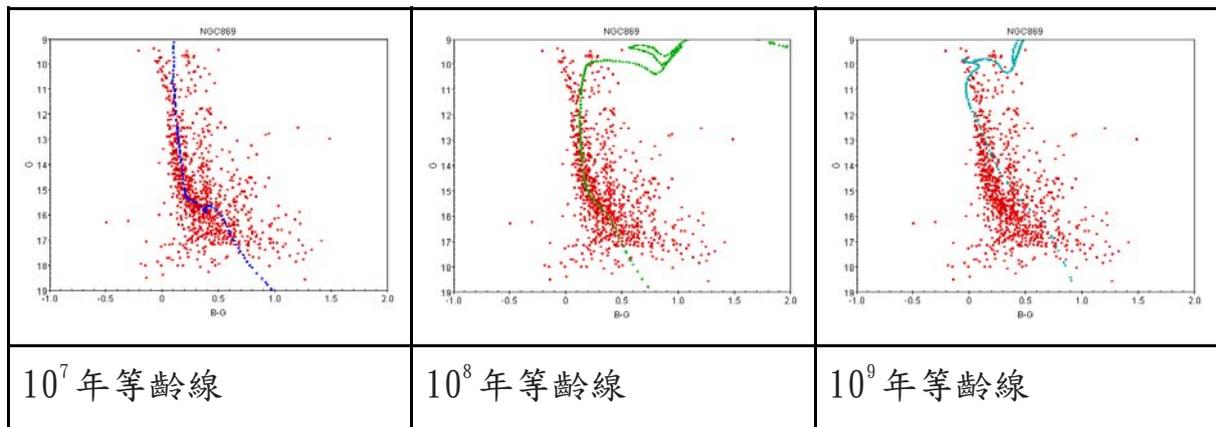


圖 20、NGC869 的 CMD 與 10^7 、 10^8 、 10^9 年等齡線擬合

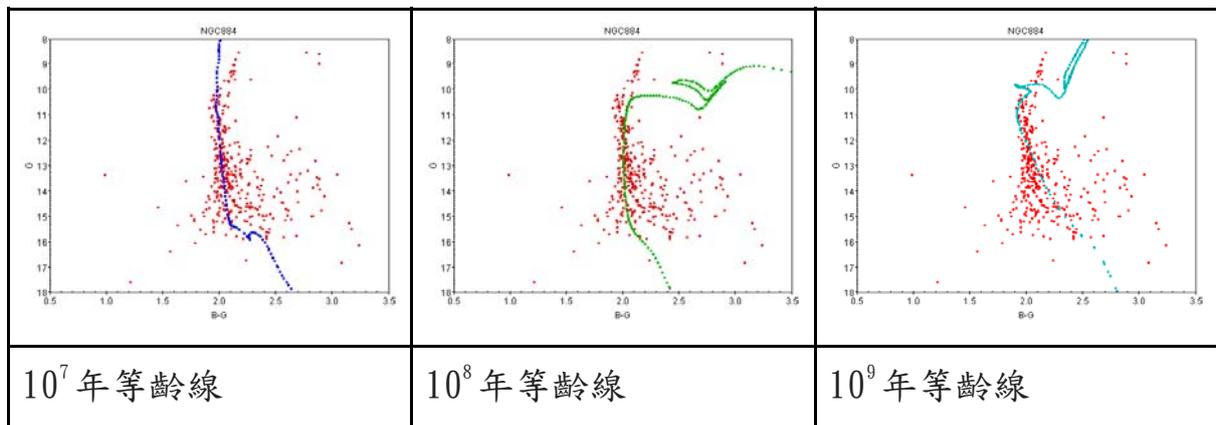


圖 21、NGC884 的 CMD 與 10^7 、 10^8 、 10^9 年等齡線擬合

等齡線無法完全擬合的可能原因有：

- (一) 等齡線與實際星團年齡有落差，因為擬合時只以整數的年齡數量級調整，未考量非整數細節。

- (二)等齡線的線型與星團的金屬豐度有關，但這關係到更學術性的研究資料，所以我們不考慮此項修正。
- (三)我們繪製的 CMD 並沒有做過非成員星修正，因為裡面的數據包含前景星及背景星，所以散佈範圍大。
- (四)CMD中的暗星等部份散佈範圍大，可能是因為太暗了，星等的訊噪比較差，因為測量出來星等的誤差值較大。
- (五)因為設備不足，無法拍攝 U 波段，無進行紅化修正，因此會低估星團的亮度，且因紅化因素，也會認為恆星星色偏紅。

三、 LCO 南半球星團資料

Grus II 及 Tuc II 潛在星團為南半球大小麥哲倫星系延伸系統的潛在星團或是潛在矮星系，屬於不確定性質的天體。根據學者 Bica 2020 年的研究，Grus II 可能是麥哲倫星系的衛星星團或星系，而 Tuc II 是尾隨大麥哲倫星系統。

圖 22、23 為 Grus II 和 Tuc II 兩個星團 CMD 與星團年齡模擬曲線的擬合圖，感覺沒有特別明顯的擬合趨勢。

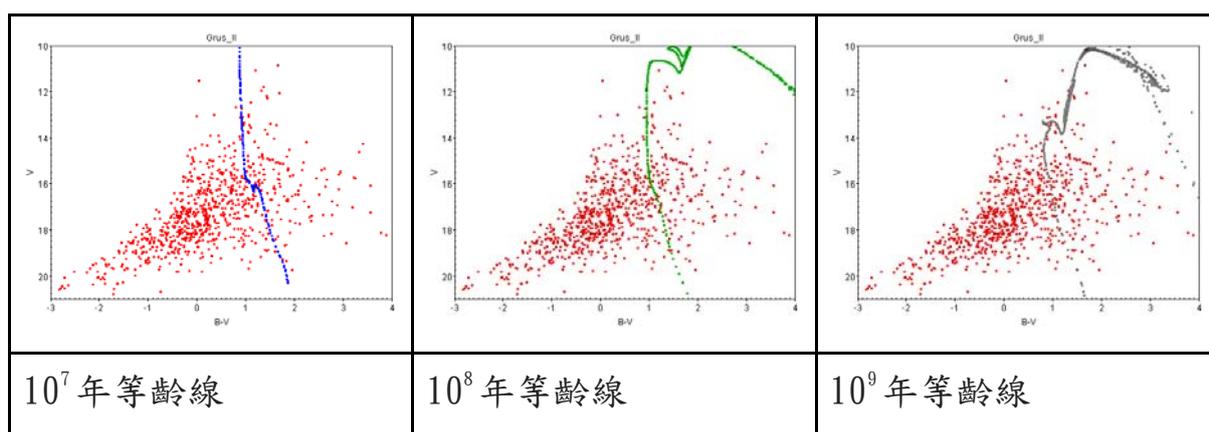


圖 22、Grus II 的 CMD 與 10^7 、 10^8 、 10^9 年等齡線擬合

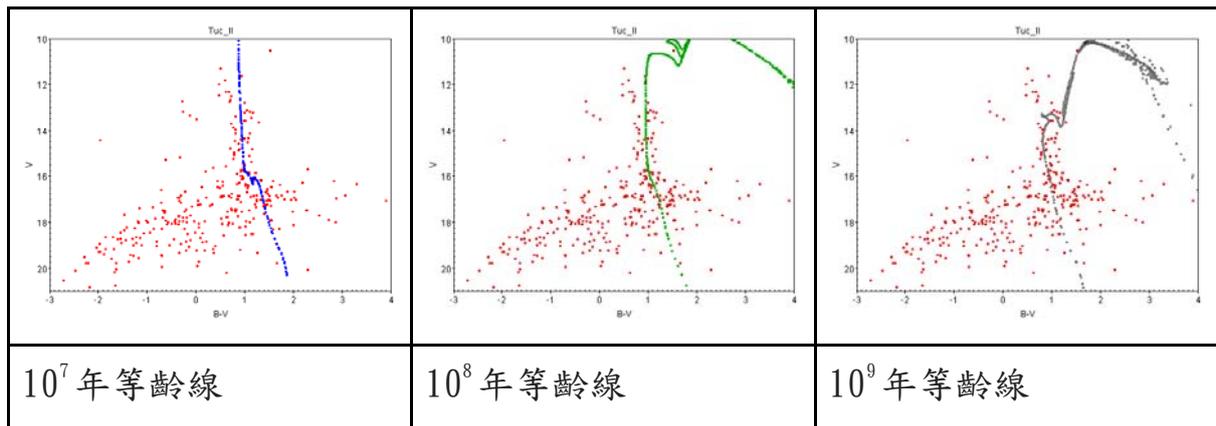


圖 23、Tuc II 的 CMD 與 10^7 、 10^8 、 10^9 年等齡線擬合

等齡線無法完全擬合的可能原因有：

- (一)可能因為這兩個潛在星團的成員星都偏暗，所以測量到的星等是偏暗部，散佈範圍大，而較亮星等的部份數量很少，故無法確定其趨勢。在這兩個星團的 CMD 中，在圖的左下方有一大群非該星團主序帶的星星，研究推論可能為前景星造成，受到前景星的影響，也對判讀這兩個星團的主序帶，會有較大的誤差。
- (二)可能這兩個天體非星團，而是矮星系，故成員星的演化非在同一起點，即非差不多時間生成，故沒有特別的趨勢的 CMD 分佈。
- (三)Tuc II 的 CMD 相比 Grus II 的，略有趨勢，若此為真，以 10^7 年等齡線及 10^8 年等齡線擬合的較好，則 Tuc II 可能的年齡介於 10^7 到 10^8 年之間。然而大麥哲倫星系的年齡約為 10^9 年，Tuc II 卻是個相當年輕的星團，猜測可能是由於大麥哲倫星系受到銀河系的潮汐力影響，剝離了一些恆星和星際物質，形成了漫長的麥哲倫星流，而 Tuc II 就是因此誕生。

四、 LCO 與校園望遠鏡所拍攝的 M53 星團資料比較

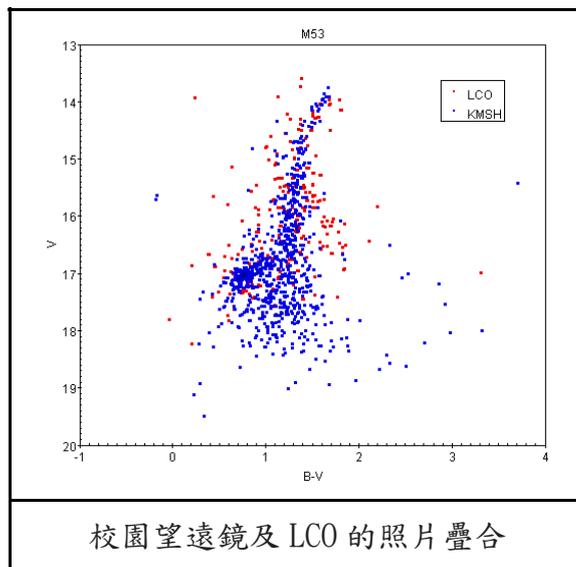


圖 24、本校天文台(KMSH)與 LCO 觀測資料疊合圖

由於我們想要進階觀測分析的目標為南半球星團，而且們無法親自以校園望遠鏡來進行觀測，因此為了比較我們的分析方法用在 LCO 資料上是否可行，數據的可讀性與相似性等等，我們找了一個目標讓兩測站都可進行觀測，而由觀測結果分析可知，其實兩組數據是有一定的相似性，也就是說我們以相同的分析方式來處理南半球 LCO 的資料是可行的，且判讀出來的結果應該有一定的依據。

柒、結論

- 一、本校觀測資料初步擬合出來的數據，在無修正情況下，數量級符合目前已經的觀測結果，所以本校的地點及設備對於天文研究還算不錯。
- 二、LCO 的數據無法按造 CMD 趨勢分布，明確指出 Grus II 及 Tuc II 是否為星團，其原因不知道是由於 LCO 的數據不足以分析出，或是原本天體就不是星團的特性。
- 三、原本要比較大小麥哲倫所屬星團與銀河系所屬星團的 CMD 差異，因為之前有看到新聞報導說，麥哲倫所屬星團，存在著很老跟很年輕的年齡落差，但目前觀測的兩個麥哲倫潛在星團無法說明此項。
- 四、Tuc II 的 CMD 似乎還是有個趨勢，假設此趨勢為真，以等年齡擬合後，推測其年齡只有千萬年的數量級，相常年輕，可能是麥哲倫星流的物質所誕生。
- 五、比較 LCO 北天以南天的望遠鏡以及校園望遠鏡
觀測條件:LCO 南天稍及好於學校，但學校比 LCO 北天的好
CCD 畫素:LCO 南天~學校>LCO 北天
視野:LCO 南天 30' x20'，學校 16' x12'，LCO 北天 7' x4.5'

捌、展望與心得

LCO 的望遠鏡，雖然比較好一點，但由於時間上的不受控又加上時間使用上的限制，可能就造成了一些數據上的不完美，相較之下，本校的地面望遠鏡，因為 365 天只要沒有雲就都可以嘗試拍攝，因此即使設備和地點沒有比較好，但在每天等待下，可以掌握拍攝目標的仰角及天氣狀況。

玖、參考資料

100 Hours for 100 Schools。檢自：

<http://iasc.cosmosearch.org/Home/LCO>。

Eduardo Bica et. al, An Updated Small Magellanic Cloud and Magellanic Bridge Catalog of Star Clusters, Associations, and Related Objects, (2020), ApJ, 159:82

Frank Shu(徐遐生，民 90)。物理學宇宙。(李太楓等譯) 台北市：明文書局。

Heng Yu, Zhengyi Shao, Antonaldo Diaferio, Lu Li(2020).
Unveiling the Hierarchical Structure of Open Star Clusters: the Perseus Double Cluster. arXiv:2007.11850v1 [astro-ph.GA] 23 Jul 2020

LCO 網站。檢自：<https://lco.global/education/partners/>

Siarhey Hadon, Ivan Adamin. Pulsating variable stars and the Hertzsprung-Russell diagram. Variable Stars Observer Bulletin (Amateur's Guide). 2014 (#4)

王品文、林佳毅、莊雯凱(2011)。探討疏散星團年齡與視直徑大小之研究—以 NGC2099 為例。中華民國第 51 屆中小學科學展覽會地球科學科作品。

朱永鴻(2016)。基本天文學課程。香港：朱永鴻

【評語】 051909

利用校園 14 吋望遠鏡，並申請國外 16 吋 LCO 望遠鏡時間，取得星團觀測數據，目的是估計星團的年齡，並試圖判斷星團是否來自鄰近星系。

本研究學習到基本觀測影像處理、校正，以及將理論模型與數據模擬。LCO 的數據看不出明顯主序，因此無法判斷年齡，也因此不確定其來源。科學目標宜明確，如果 LCO 的數據不好（例如太遠，主序短，或測光精準度不夠），就不需列入結果；而將自己取得的雙星團以及 M53 數據，用更精準的參數（例如非整數對數值），推論出年齡，然後跟文獻相比，也是良好練習，也才符合題目與目標。

作品簡報



利用校園望遠鏡與LCO所測得的
星團星色星等圖求星團年齡



研究動機與目的



上高中後接觸了天文，引發了我們的好奇心

得知有申請望遠鏡的排程機會

想要以視野可及的星團作為研究目標(Grus II及Tuc II)

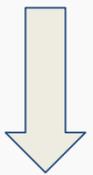
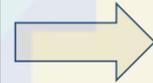
取得星點數據，繪製與色星等圖(CMD)

了解Grus II及Tuc II潛在星團是否為大小麥哲倫星系的伴隨星團。

分析Grus II及Tuc II的年齡近似值

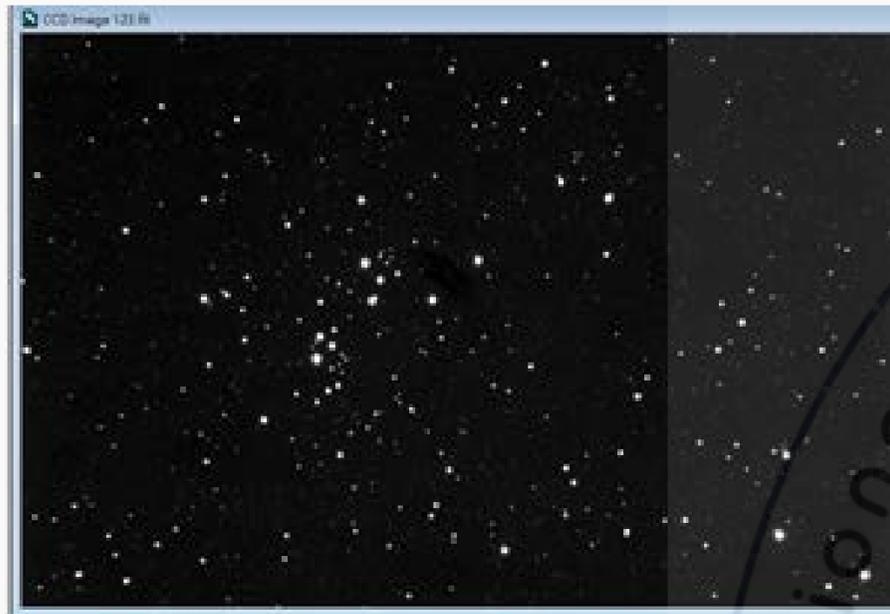
驗證實驗方法(NGC884及NGC869)

比較本校天文望遠鏡及LCO望遠鏡(M53)

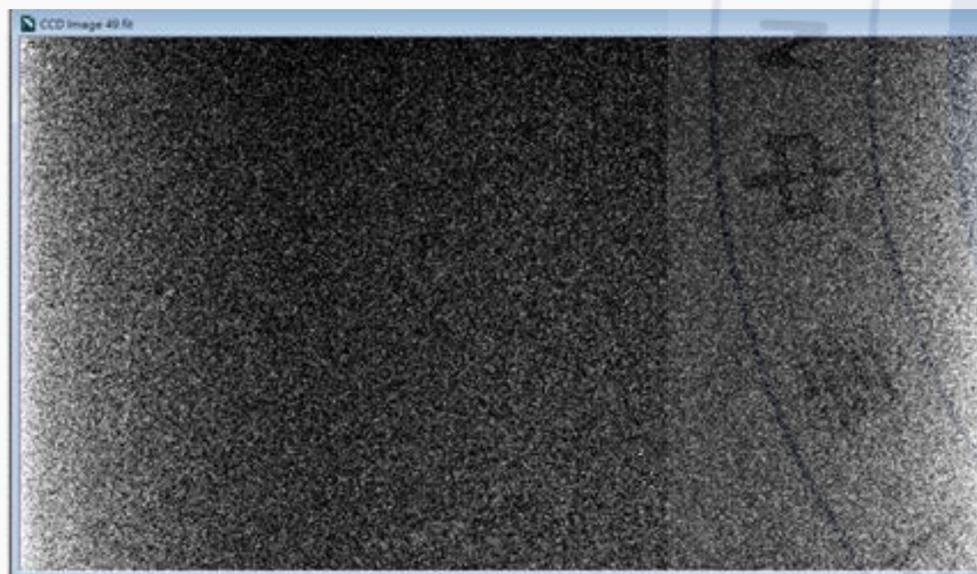


影像取得與修正

LCO

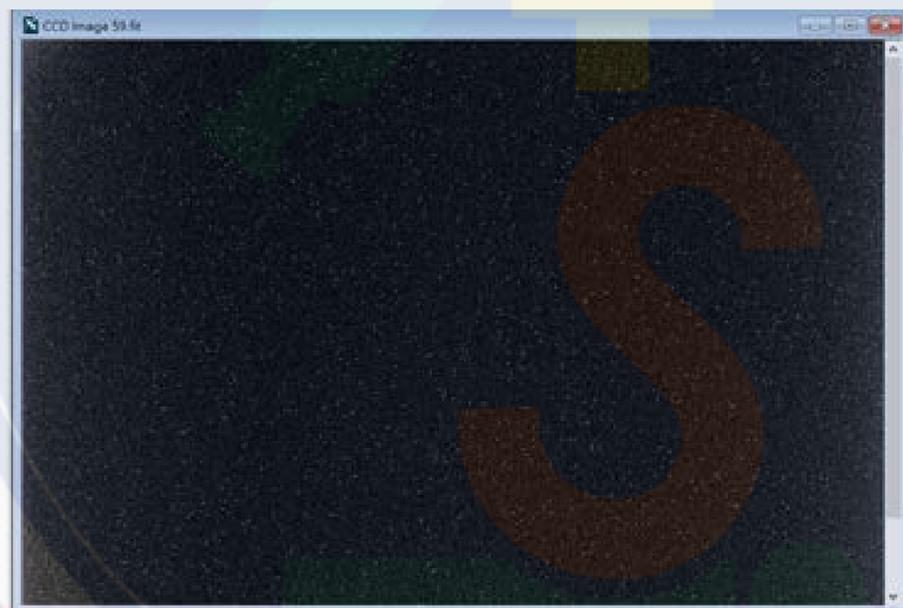


NGC884 R波段



偏壓

本校部分



暗電流

RequestGroup # 1334012

State	Updated	Submitted	Proposal	Submitter	IPP	Type
COMPLETED	2021-11-07 01:46:09	2021-11-06 08:47:15	LCOEPO2019A-005	ylee	1.050000	NORMAL

Sub-requests / #2702392

2702392

Duration: 1858 seconds

Instrument: 0.4 meter.SBIG

COMPLETED

Acceptability Threshold: 90%

2021-11-07 01:46:09

View in API

Download

Details

Scheduling

Visibility

Data

Windows

Start

2021-11-06 08:45:42

End

2021-11-14 08:45:00

Configurations

Type: EXPOSE

Target: Tuc II

Target

Type	ICRS
Name	Tuc II
Ra	342.9796 (22:51:55.104)
Dec	-58.5689 (-58:34:08.04)
Proper Motion Ra	0.9360
Proper Motion Dec	-1.2320
Epoch	2000
Extra Params	None

Acquisition

Mode	OFF
Extra Params	None

Guiding

Optional Mode	true
Mode	ON

Optical Elements

Extra Params	None
--------------	------

Instrument Configs

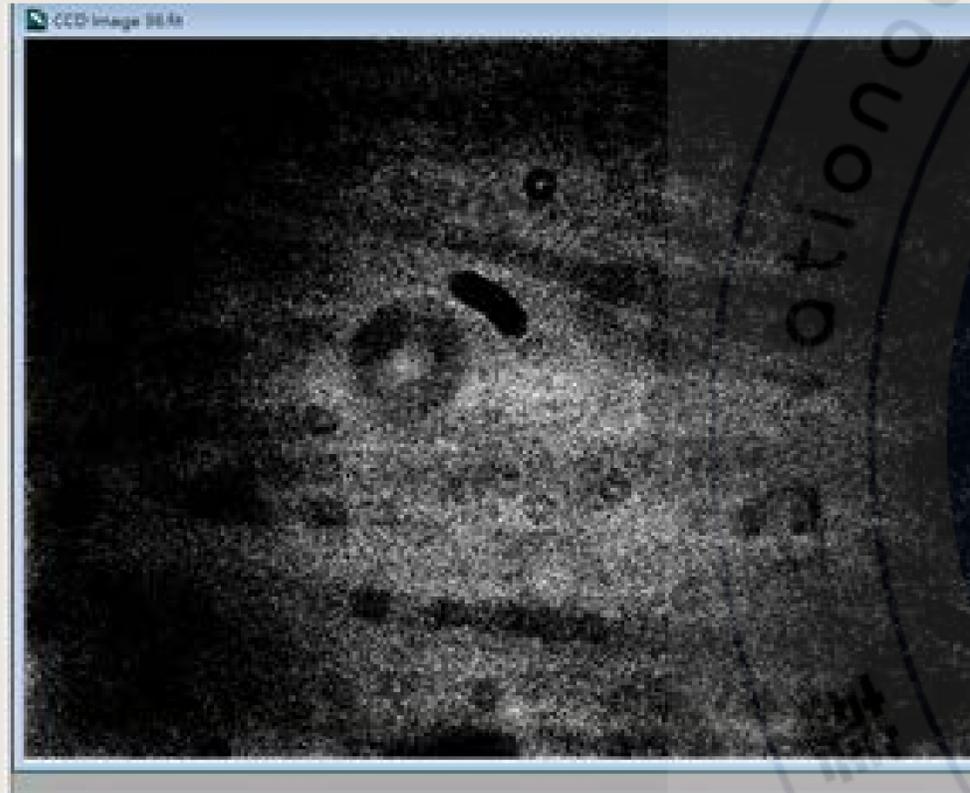
Mode	Exposure Time	Exposure Count	Optical Elements	Extra Params
default	180	3	filter: B	bin_x:1, bin_y:1, defocus: 0, offset_ra: 0, offset_dec: 0
default	180	3	filter: V	bin_x:1, bin_y:1, defocus: 0, offset_ra: 0, offset_dec: 0
default	180	3	filter: rp	bin_x:1, bin_y:1, defocus: 0, offset_ra: 0, offset_dec: 0

Constraints

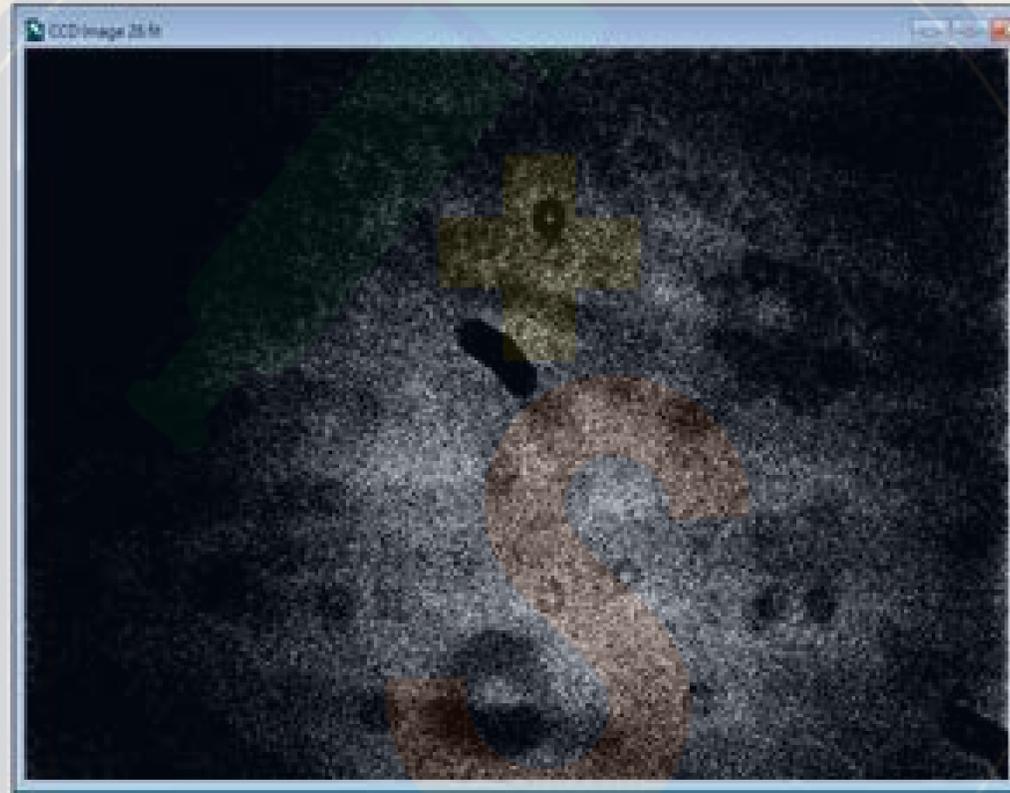
Max Airmass	2
Min Lunar Distance	30
Extra Params	None

使用本校望遠鏡，進行RGB三波段濾鏡及偏壓、暗電流拍攝，原始照片如上圖所示

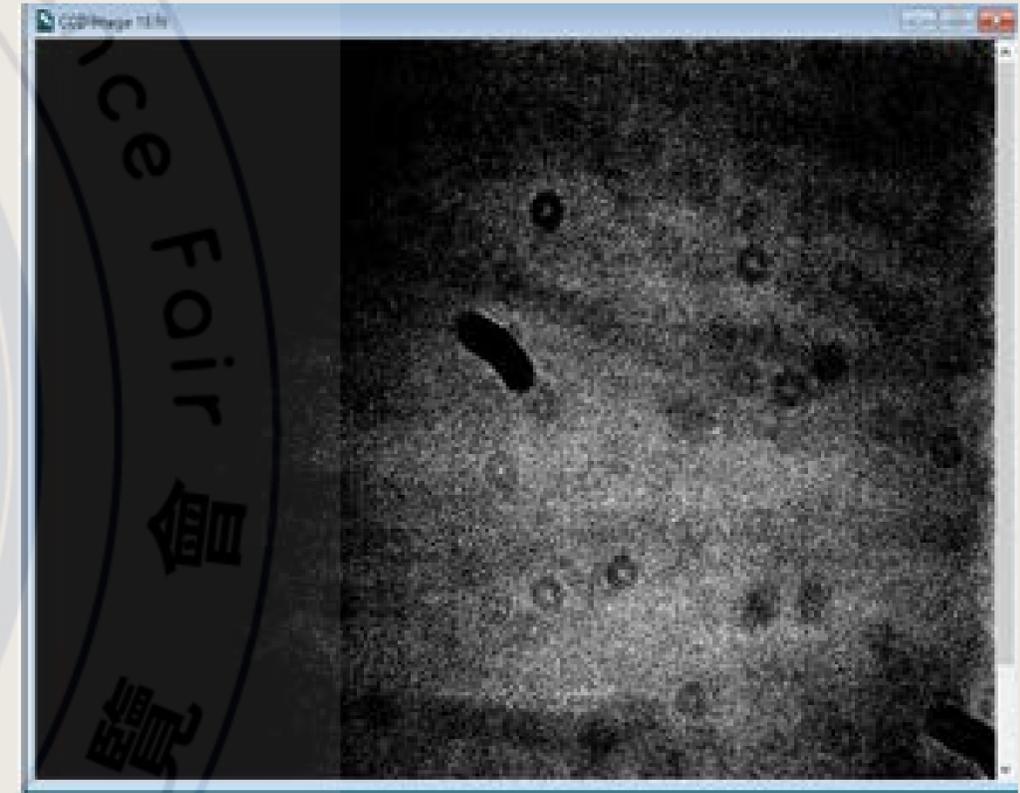
平場



R波段



G波段



B波段

由上圖可以看出，各波段的平場訊號相當明顯，所以平場的修正非常重要



本校部分

LCO

影像預處理



先將RGB波段的照片進行偏壓、暗電流和平場的校正處理，再把校正後的各波段九張照片，修正每一張的偏移量後進行疊加。

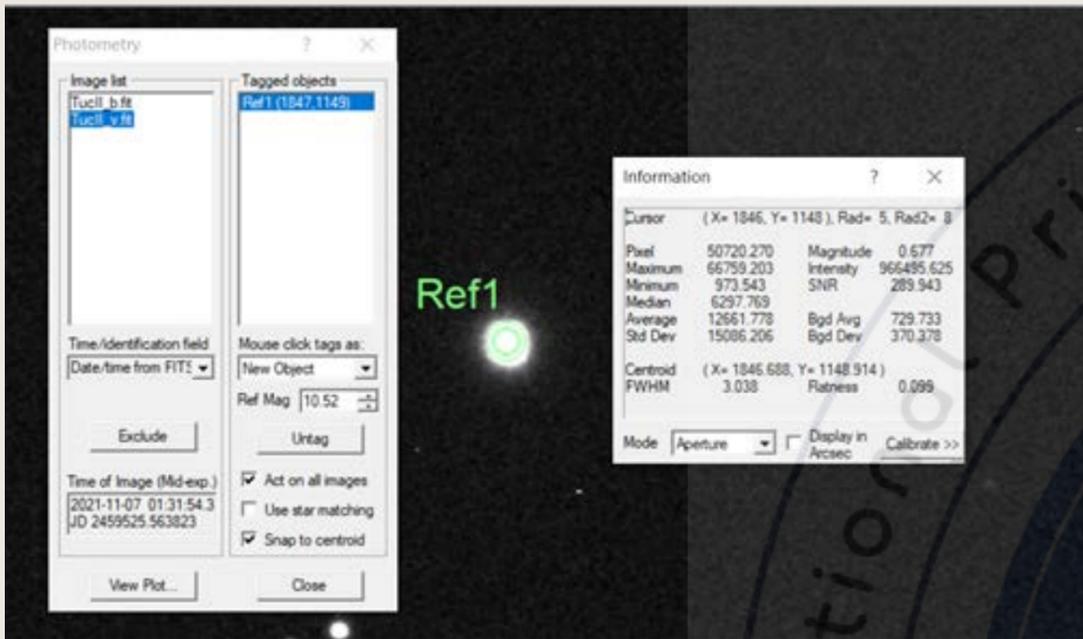
已處理好疊加好的影像

進行孔徑測光

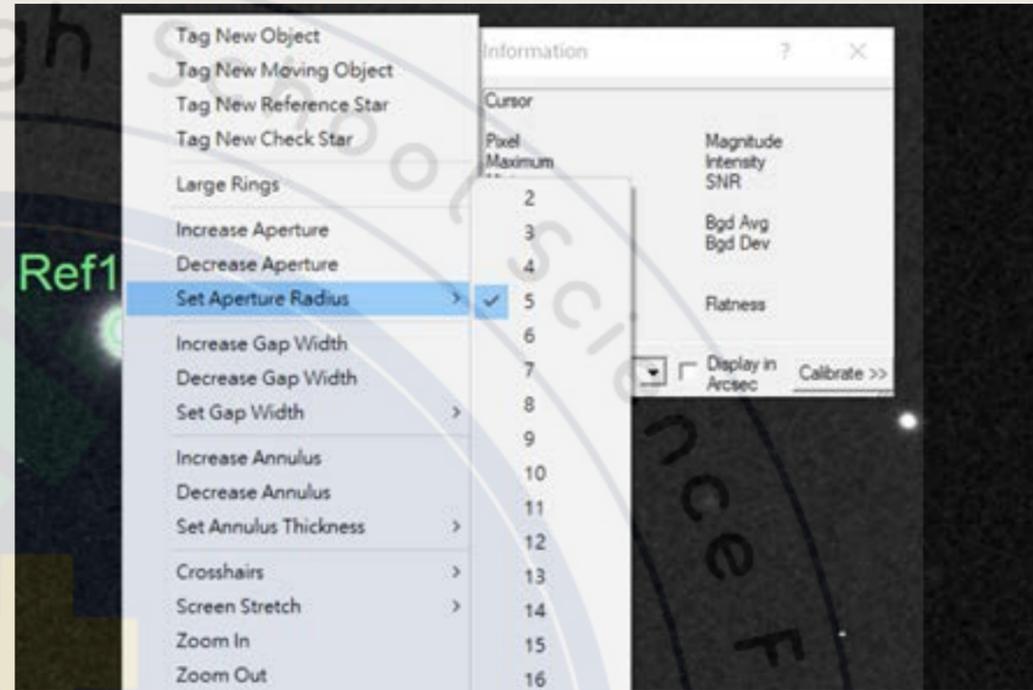


研究小組把疊加後的圖檔，以Maxim DL 5 程式來逐顆點選可見的所有星點，並選定參考星，利用參考星進行星等校正後，匯整所點星點的星等資料。

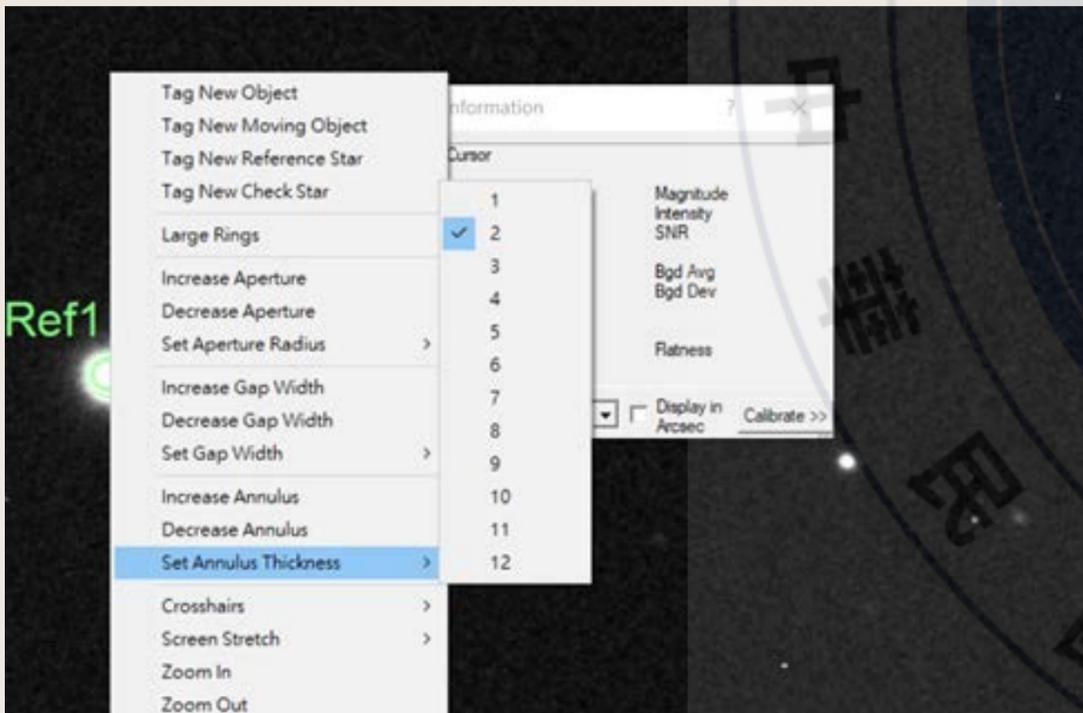




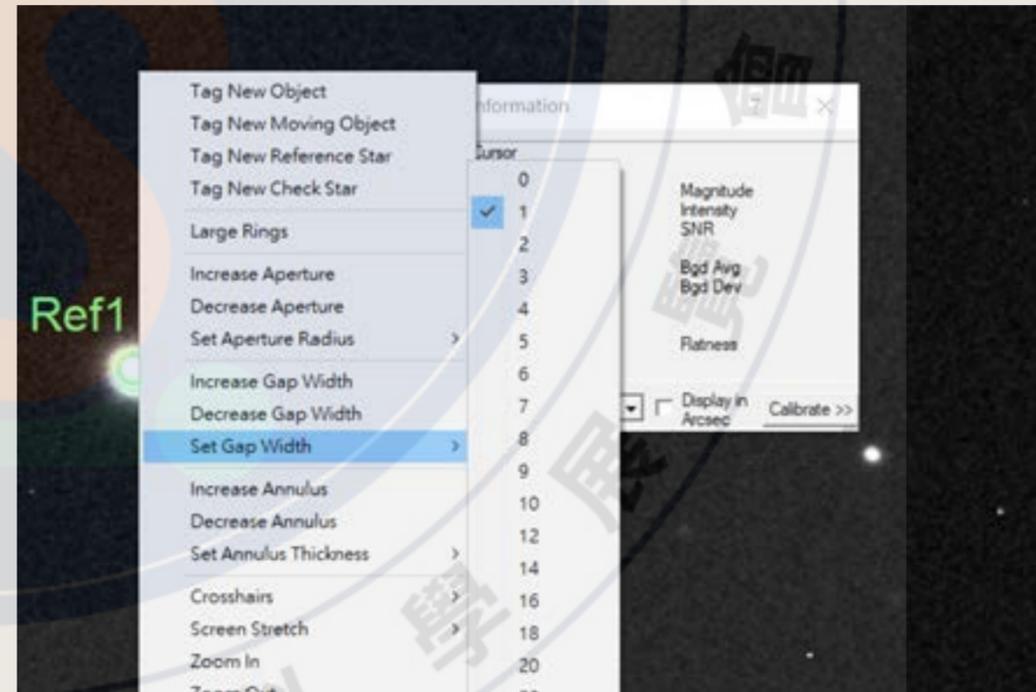
設定參考星
、設定星點
選取範圍



設定
孔徑半徑

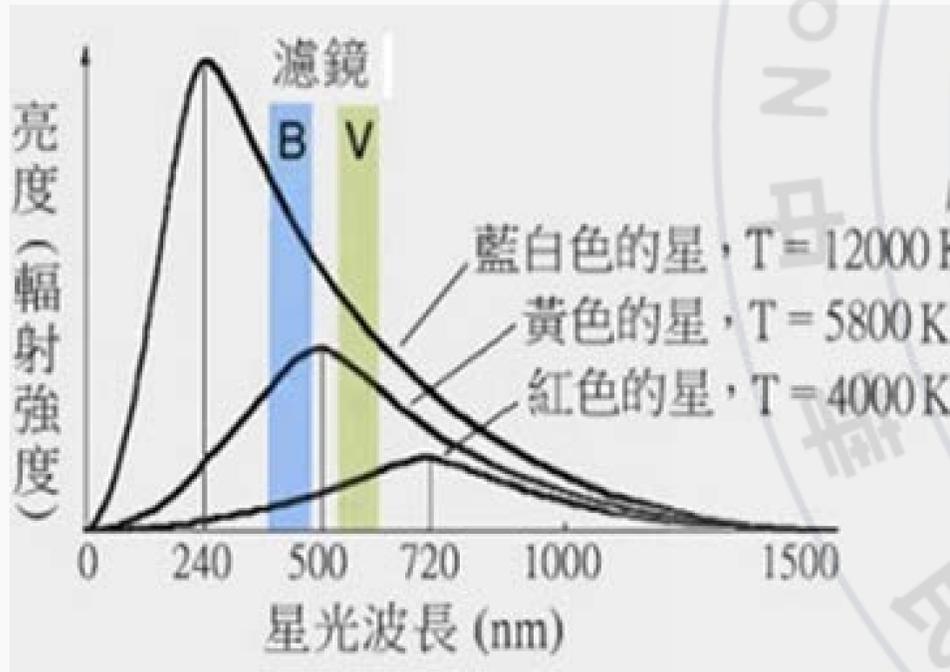


設定
背景圈厚度
(因為點較近所以厚度設為2)

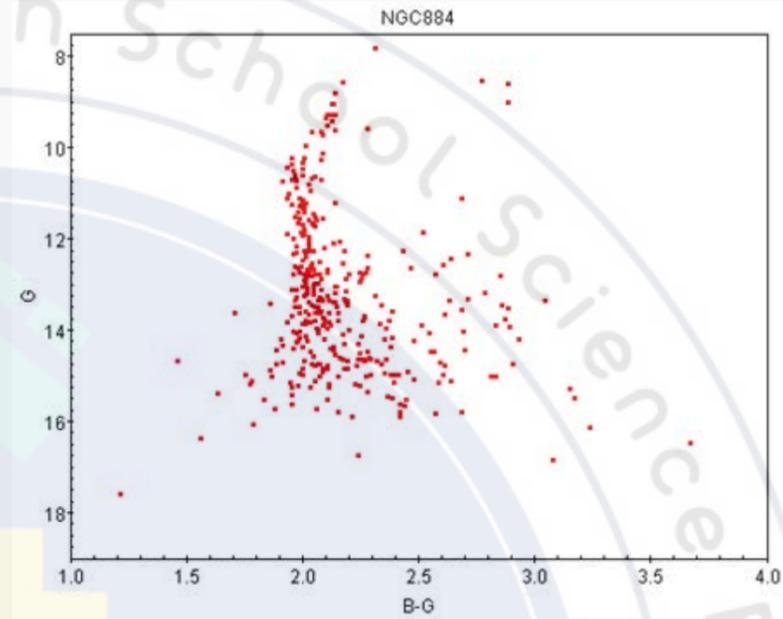


設定
間隙寬度

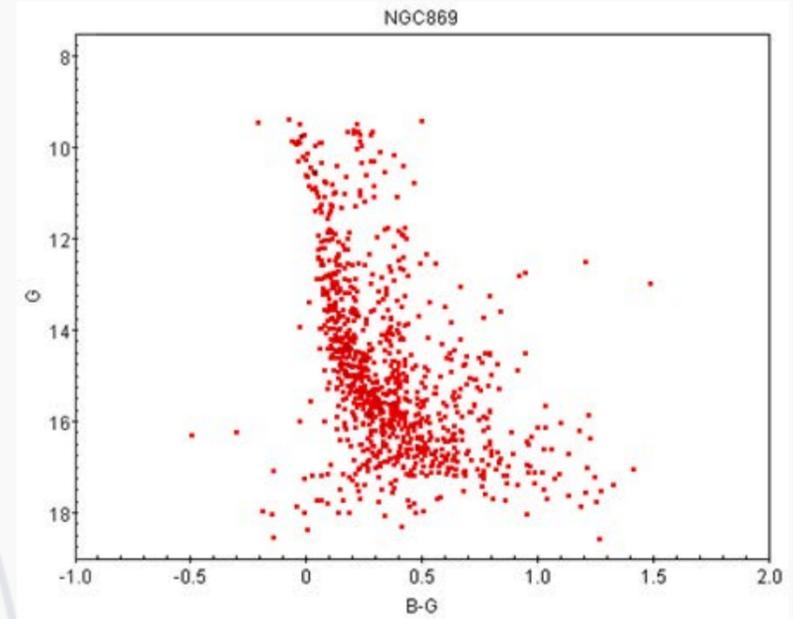
繪製CMD (星色星等圖)



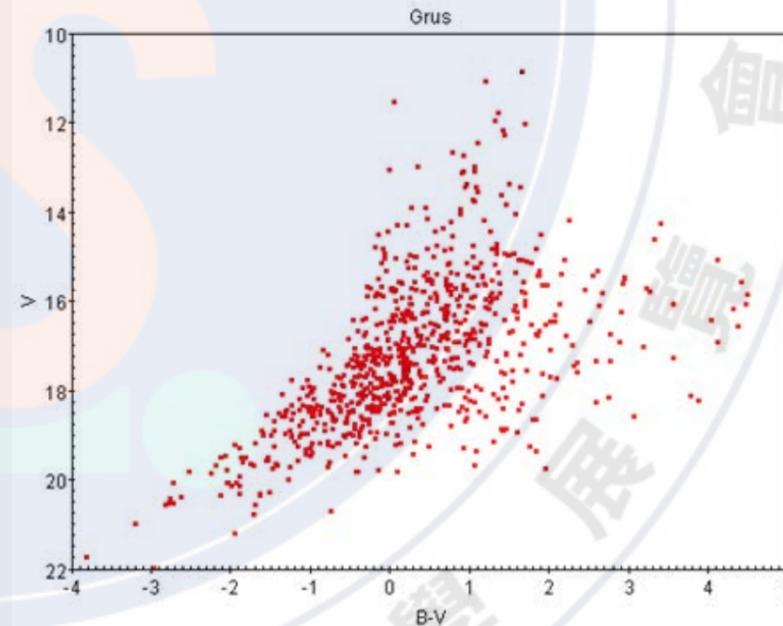
本校和LCO的望遠鏡的濾鏡分別為RGB/BVrp波段，短波長星等-長波長星等得到色指數。



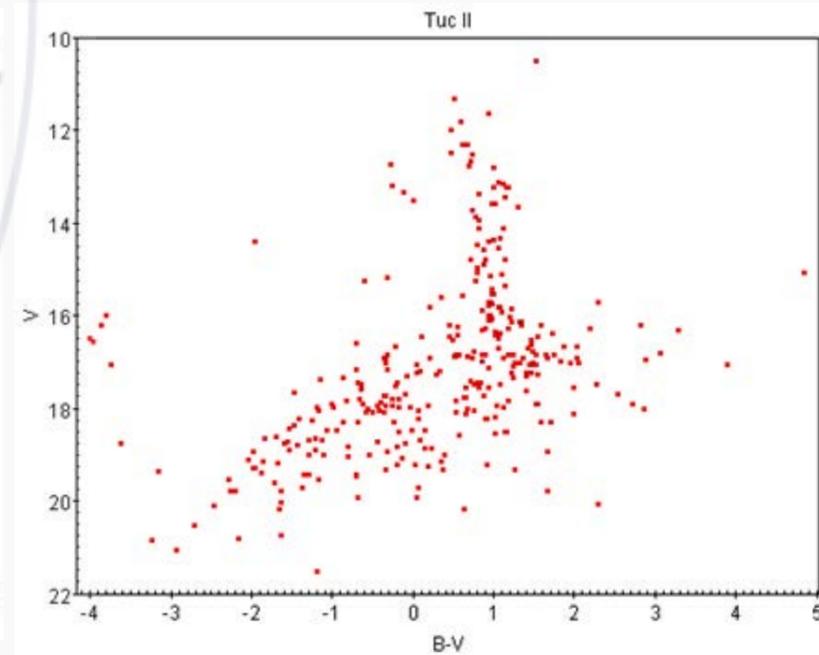
-NGC884



-NGC869

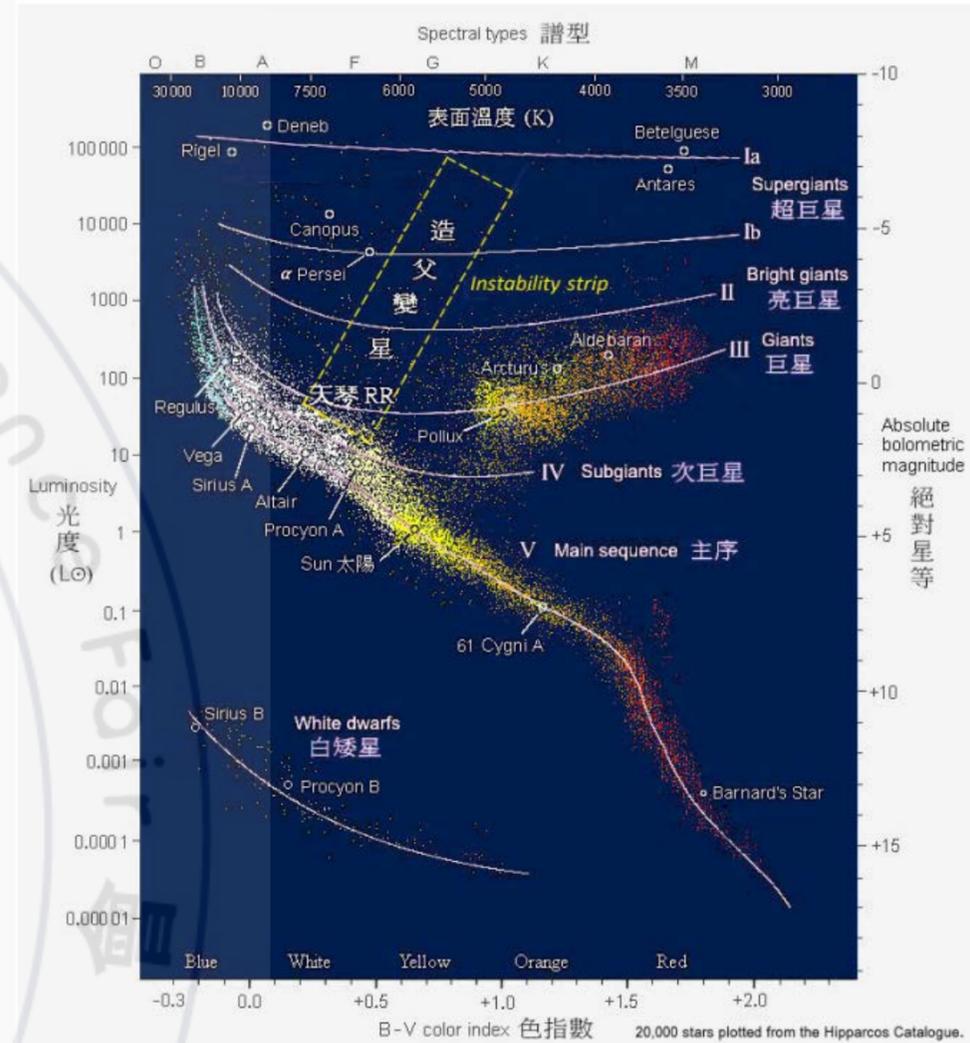
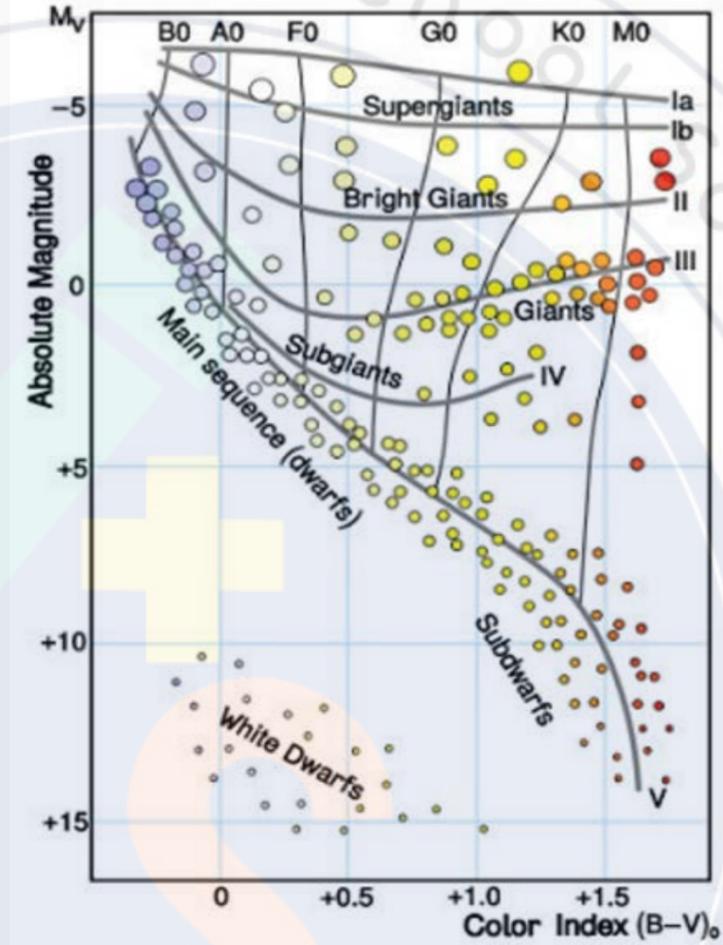
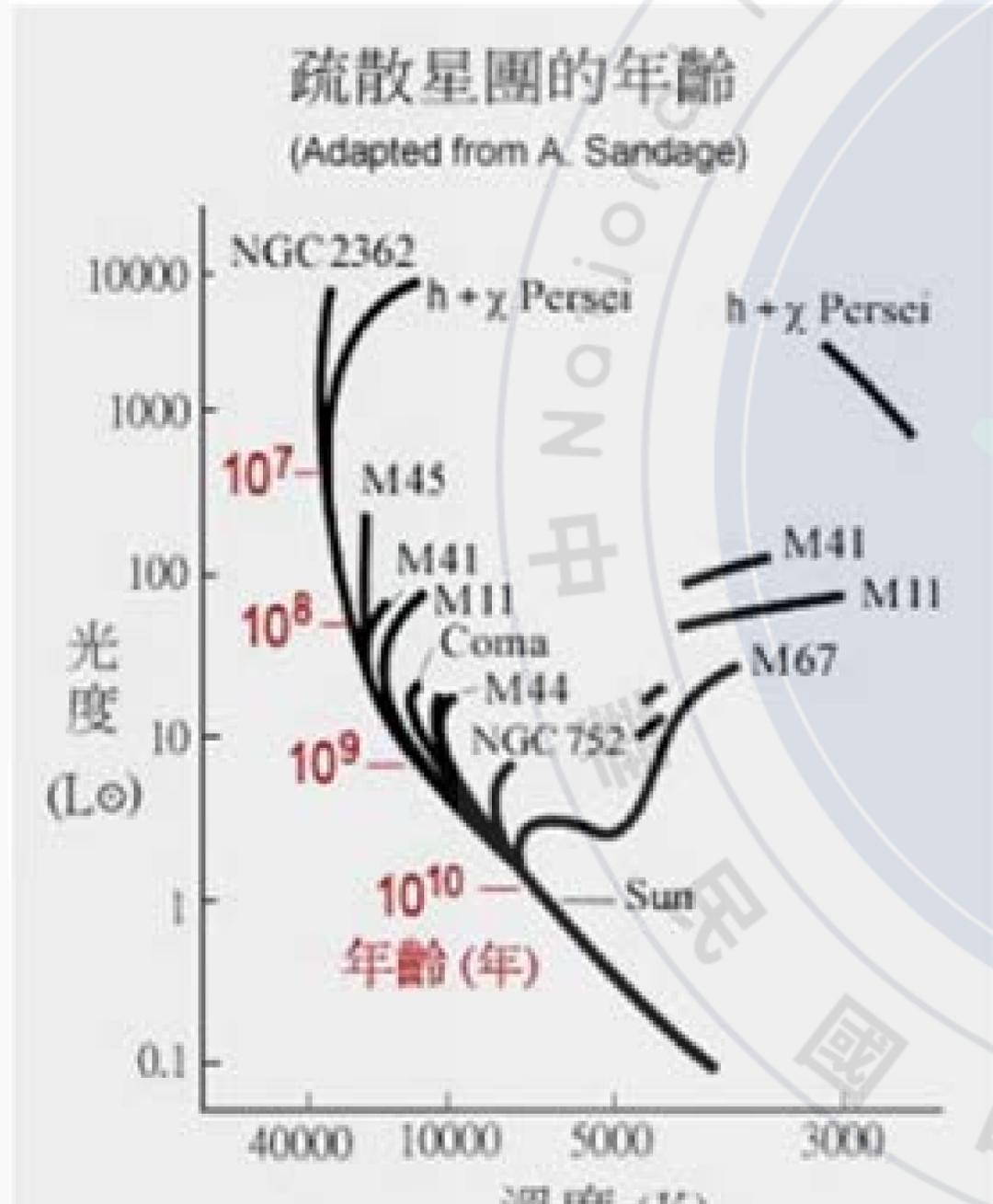


-Grus II CMD



-Tuc II CMD

赫羅圖

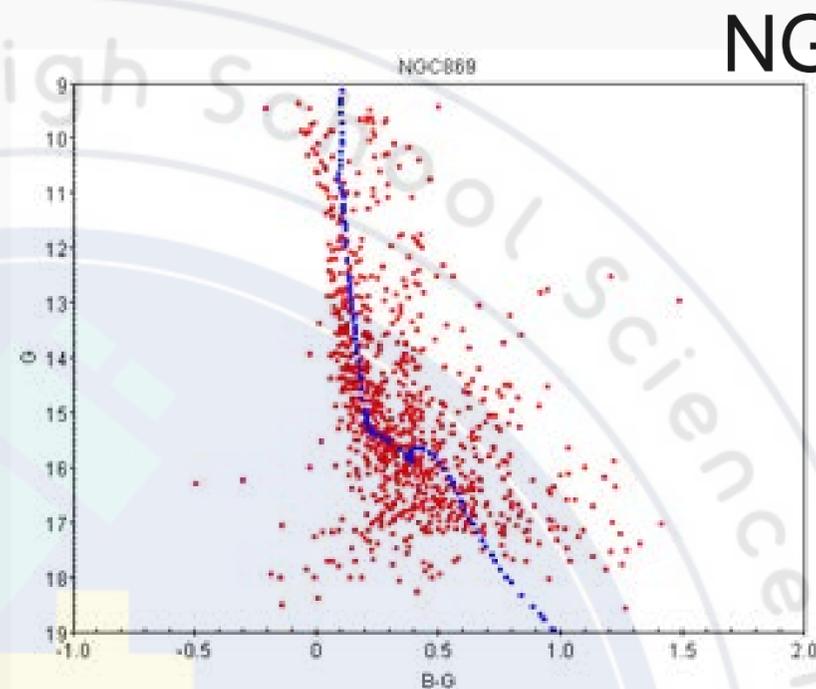


赫羅圖：恆星的光度和表面溫度為其主要特徵，圖的刻度也能改成其相應量例如縱軸的光度由絕對星等代替，橫軸的表面溫度以光譜型或色指數代替。

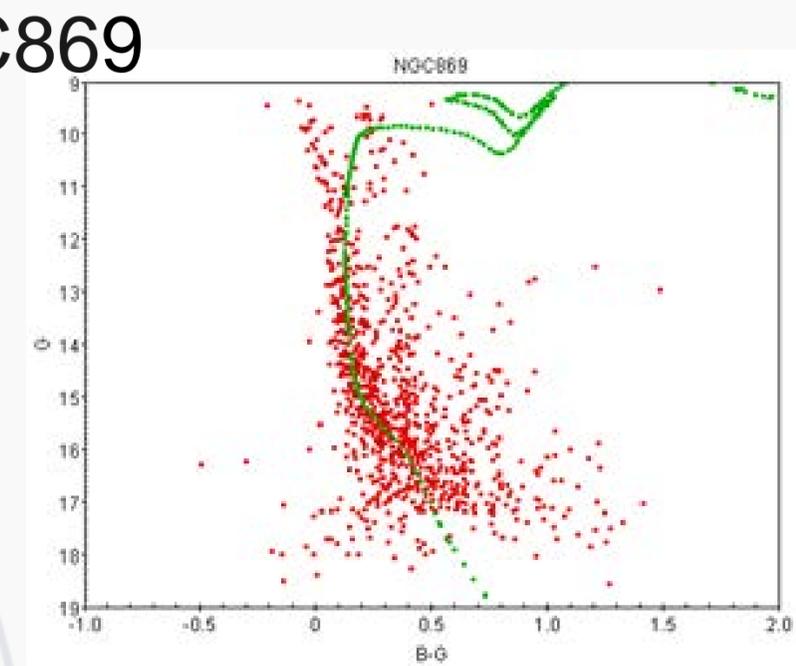
● ● ●

NGC884與NGC869 年齡估算

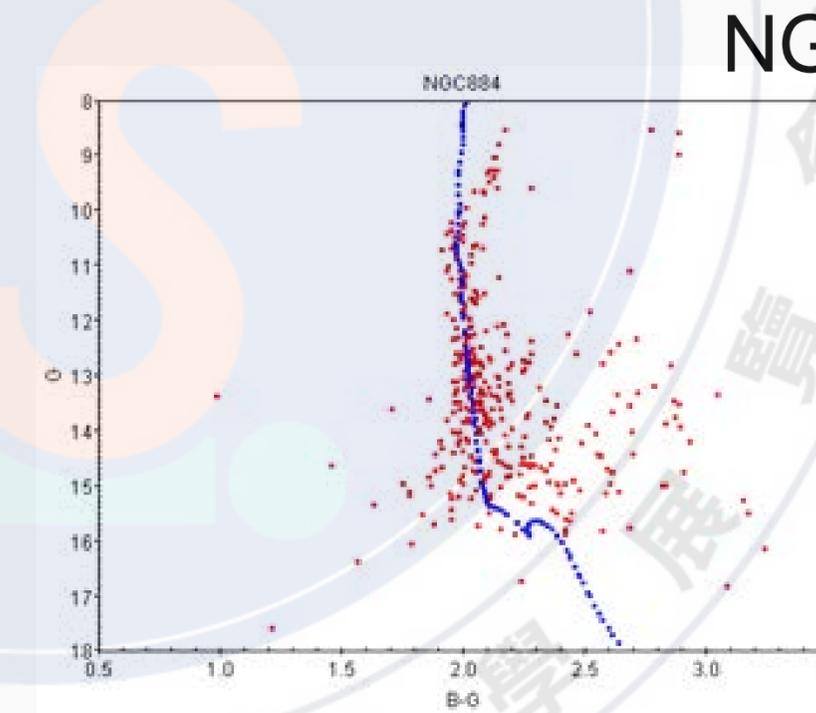
為NGC869和NGC884兩個星團CMD與星團年齡模擬曲線的擬合圖，NGC869和NGC884兩個星團CMD對於 10^7 年擬合的最好， 10^8 年稍差， 10^9 年幾乎沒有對上，所以我們可以猜測兩個星團的年紀介於 10^7 年與 10^8 年之類，但較接近 10^7 年，也就是千萬年的數量級。



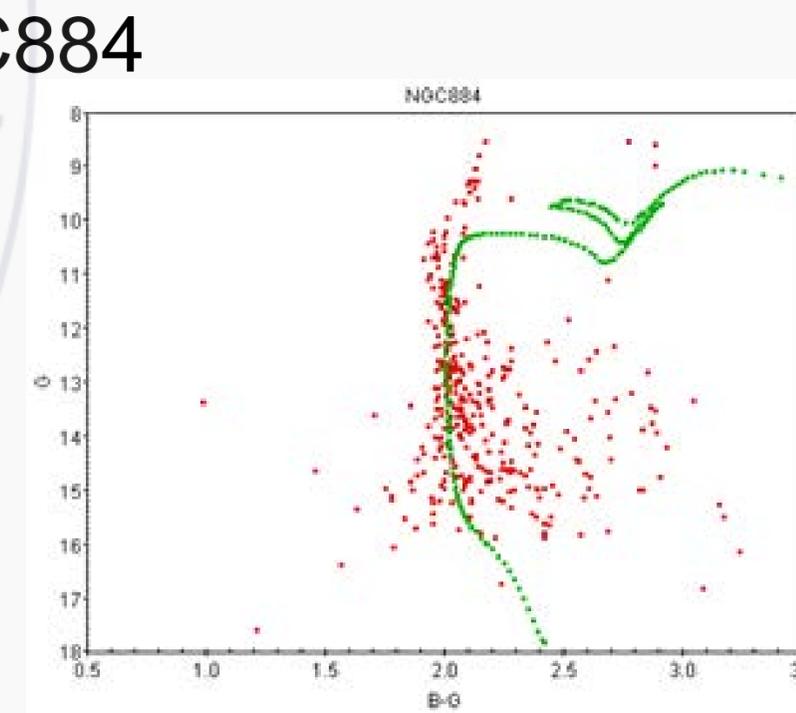
10^7 年等齡線



10^8 年等齡線



10^7 年等齡線

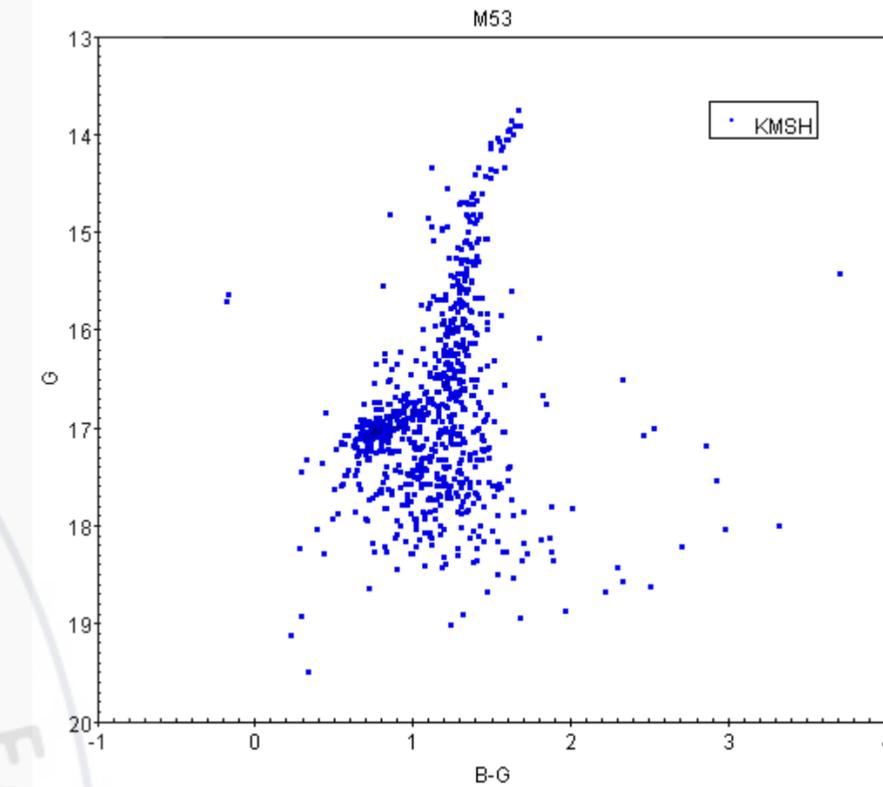
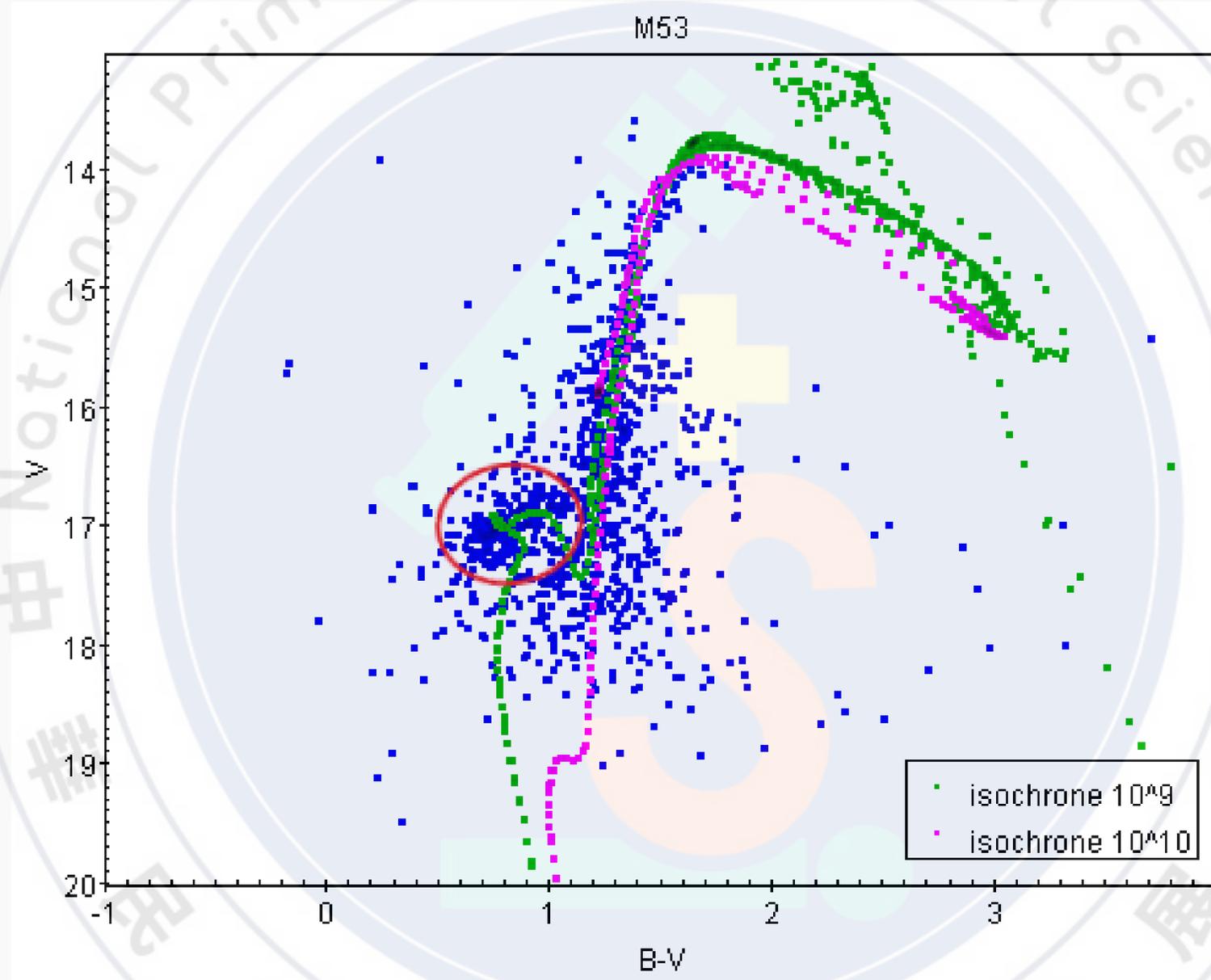


10^8 年等齡線

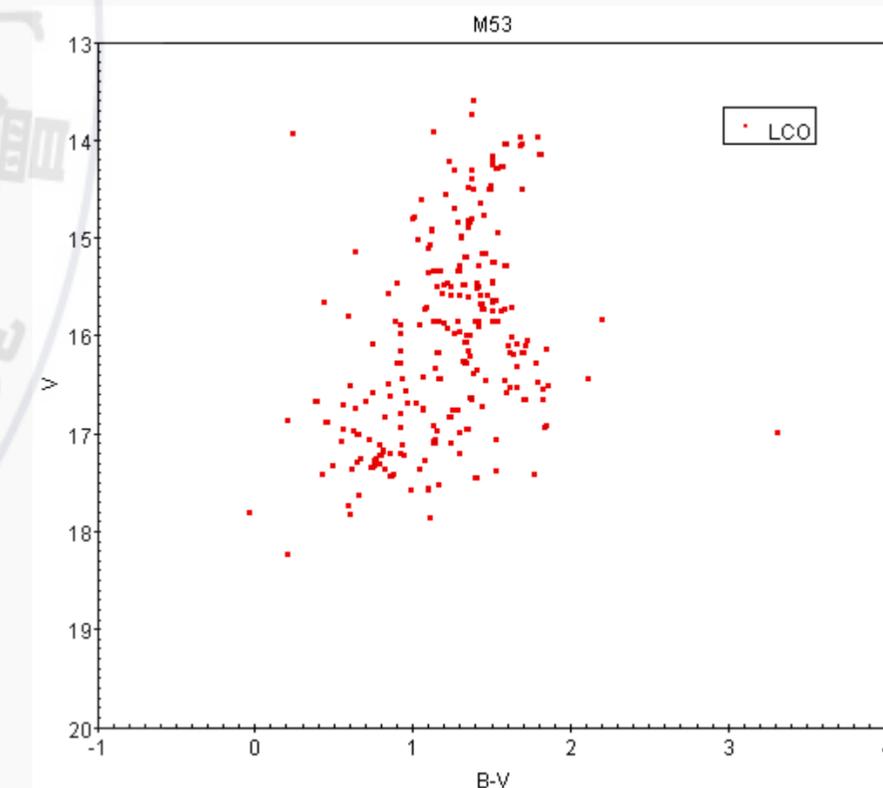
本校及LCO所拍攝M53數據擬合



透過分析水平
分支的聚落分
布位置後，發
現 10^{10} 年等齡
線擬合最好



-本校所拍攝的M53 CMD

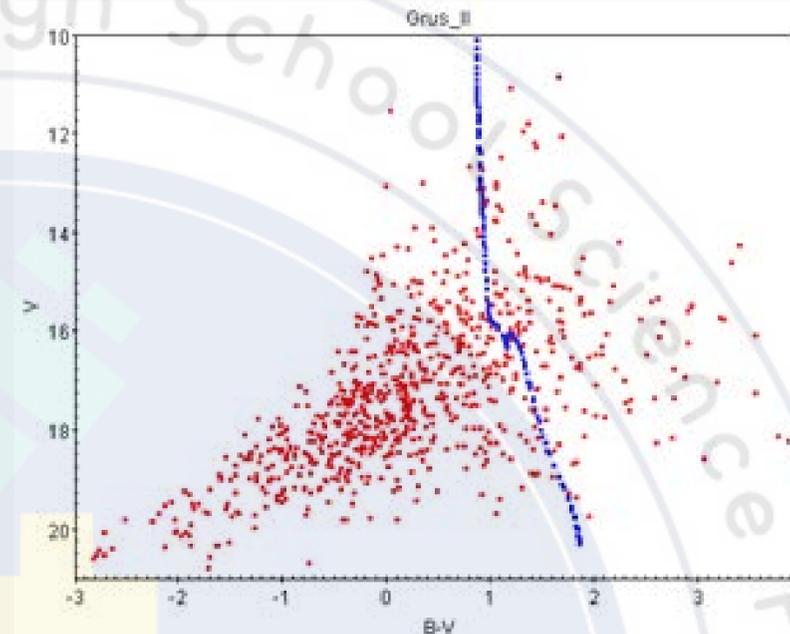


-LCO所拍攝的M53 CMD

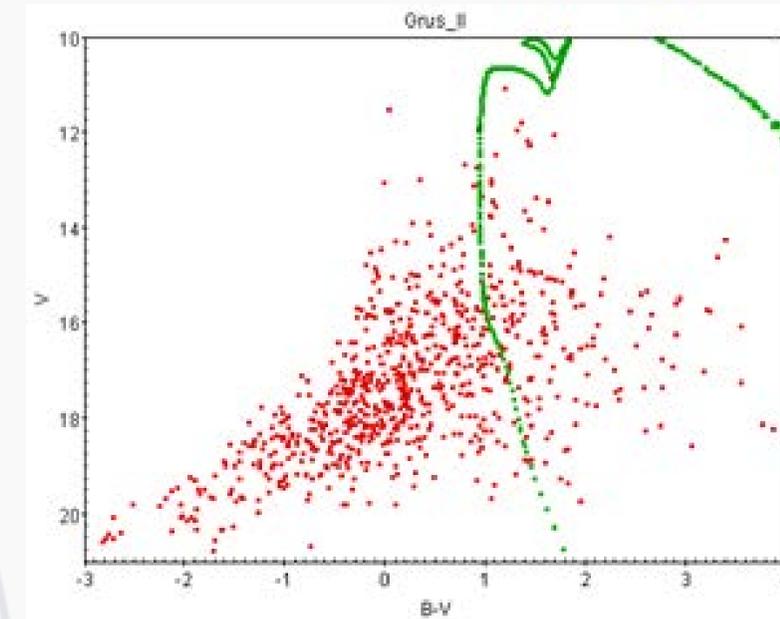
LCO南半球星團資料

Grus II 及 Tuc II 潛在星團為南半球大小麥哲倫星系延伸系統的潛在星團或是潛在矮星系，屬於不確定性質的天體。根據學者Bica 2020年的研究，Grus II 可能是麥哲倫星系的衛星星團或星系，而Tuc II是尾隨大麥哲倫星系系統。

Grus II

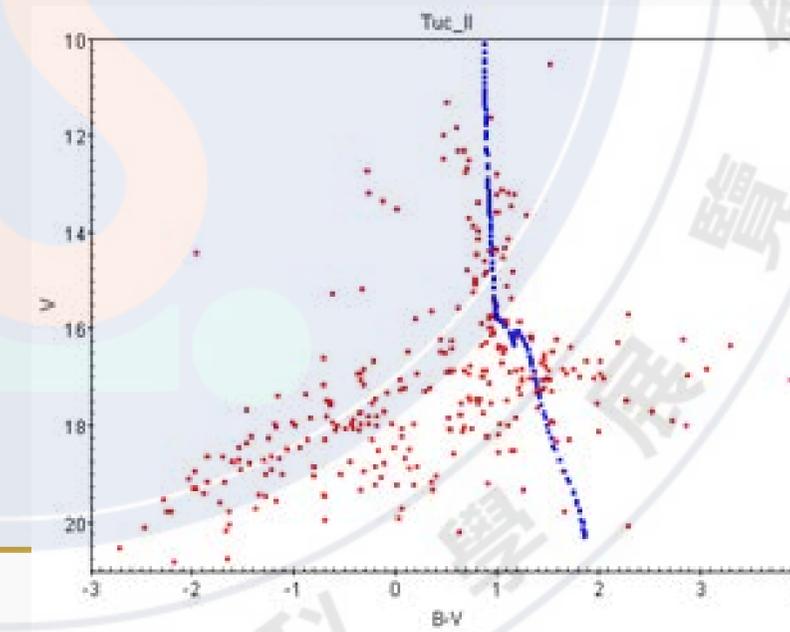


10^7 年等齡線

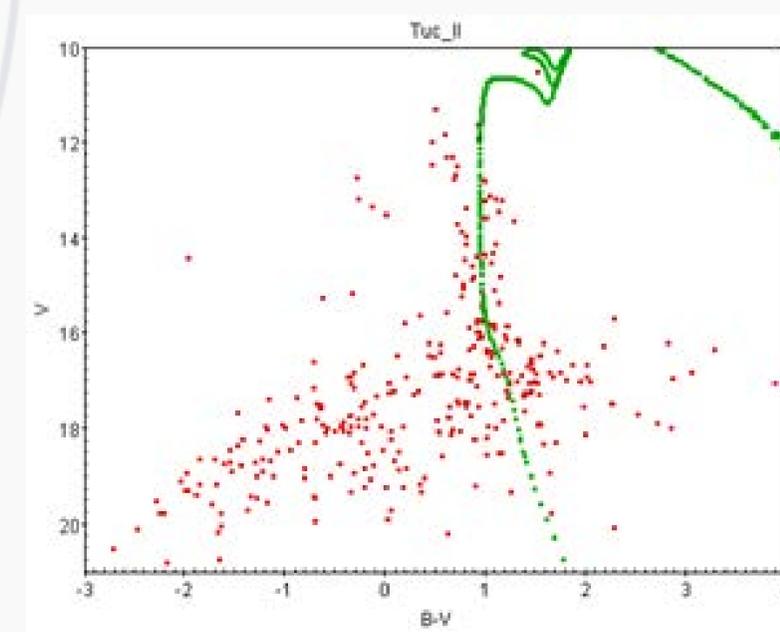


10^8 年等齡線

Tuc II



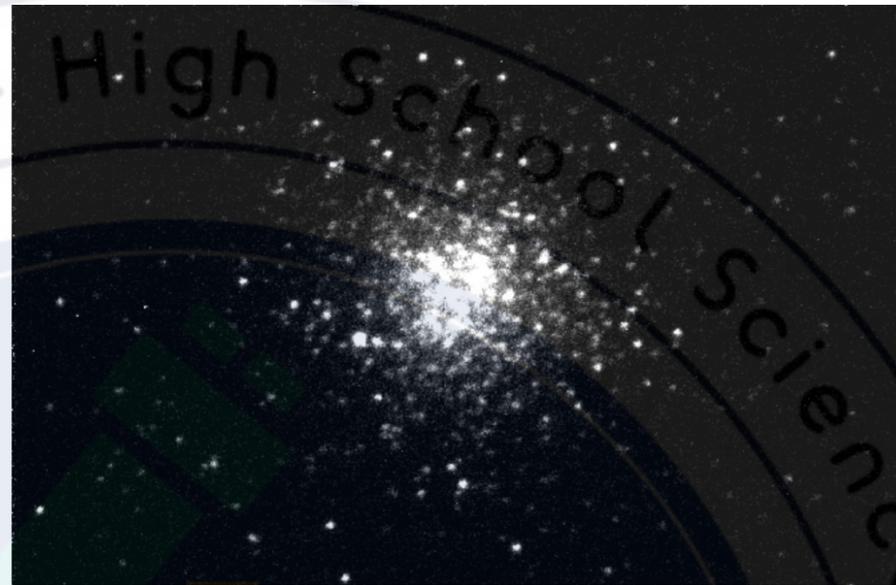
10^7 年等齡線



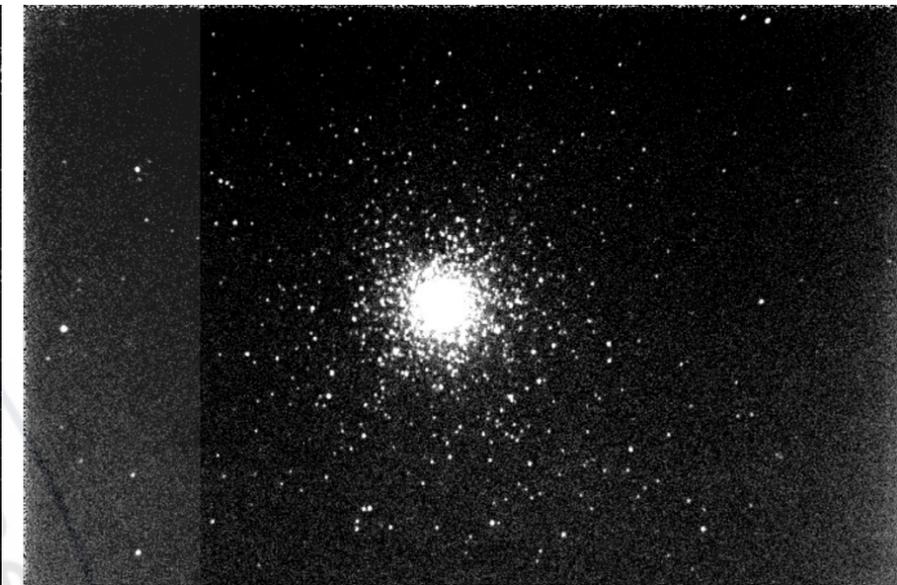
10^8 年等齡線

本研究結論

1. 得到學校及LCO望遠鏡影像之比較結果，本校較佳。

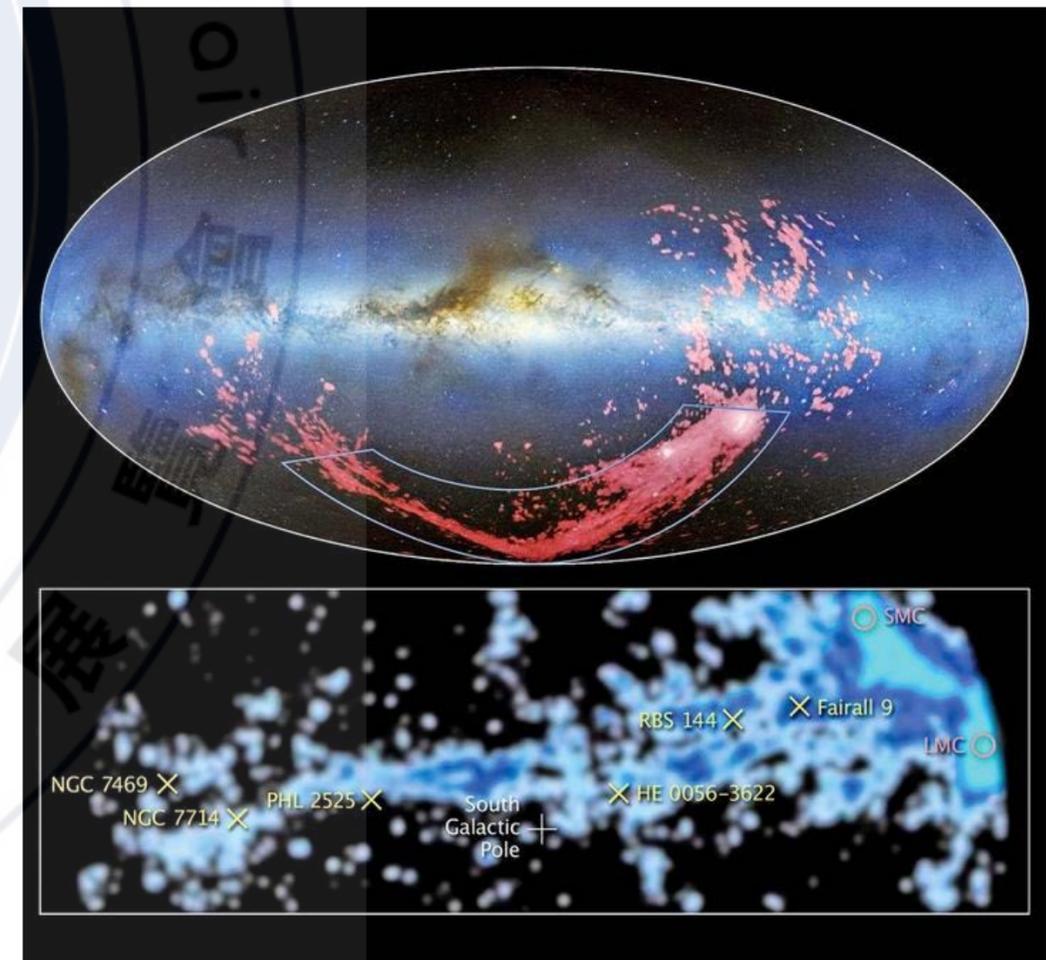


LCO 拍攝的M53



校園望遠鏡拍攝的M53

2. 本校觀測英仙座雙星團資料初步擬合出來的數據，在無修正情況下，數量級符合目前已知的觀測結果，約為 10^7 年的數量級。



3. 推測Tuc II 與麥哲倫星系可能的關係。