

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 地球科學科

030508

疏散星團赫羅圖

學校名稱：臺北市立天母國民中學

作者： 國二 傅琇平 國二 廖芸萱 國二 朱騰彬	指導老師： 王禮章 羅文杰
---	-----------------------------

關鍵詞：疏散星團、赫羅圖、M45 星團

摘 要

利用數位單眼相機拍攝多幅疏散星團 M45 影像，將影像扣除暗電流及平場修正後，使用軟體疊圖，匯出 M45 每顆星體的 V 星等及 B 星等，依此做出 M45 的赫羅圖後發現：

- 1.由天體攝影與影像處理的過程中，印證了恆星演化的理論
- 2.由影像處理程式中了解 R、G、B 色光與轉換 V、B 光度影像關係
- 3.透過 M45 星團 V、B 光度影像的 H-R 圖，可分析星團的分布與演化

在操作與理解原理的過程中，不知不覺也開啟了我們對天文知識的理解，也終於體會到天文愛好者，為何會對天上的星星如此著迷了！

關鍵詞：疏散星團、赫羅圖、M45 星團

壹、研究動機

已前在上看星星的課時，老師有提到冬季星座，故事中的金牛座附近，有一顆很有名的七姊妹，據說用肉眼就可以看到七顆亮星聚集在一起，但其實不只七顆，而是成千上萬顆，只是不知道他們是怎樣算出來的。直到有機會開始研究星團，原本面對陌生的星空，讓我目睹七姊妹的真面目，在眾多亮點背後，終於揭開神秘的面紗.....

其實疏散星團是由數百顆至上千顆，由較弱引力聯繫的恆星所組成的天體，直徑一般不過數十光年。它比球狀星團適合用來研究星體的演變，根據其赫羅圖，可看到同一星團中的恆星，因各因素的差異而有不同的演化階段，從而驗證所學的恆星演化理論。

貳、研究目的

- 一、操作練習使用單眼相機拍攝天體影像的技巧
- 二、熟練使用軟體消除數位影像的雜訊
- 三、利用 Astroart，將乾淨的彩色影像，分解為 R、G、B 單色影像。
- 四、利用 Astroart，確定參考星，獲得每顆恆星的座標與 B 儀器星等、V 儀器星等。
- 五、利用 Microsoft Excel 處理數據。
- 六、利用 Microsoft Excel 繪製 M45 星團星色-星等圖。

參、研究設備及器材

一、器材部分



Canon 50D 機身



Canon 400 mm F5.6 鏡頭



三腳架



萬向雲台



快門線



對焦魚板

二、應用軟體部分



Stellarium



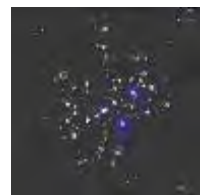
Rawdrop



DeepSkyStacker



Astroart5.0



M45-UBV 星圖

肆、研究過程與方法

一、相關原理說明

(一)恆星質量：與溫度成正比；
與壽命成反比。

(二)恆星亮度：與溫度的 4 次方成正比；
與半徑的平方成正比；與距離的平方
成反比。

(三)M45 星團：半徑約 8 光年，成員超
過 1000 顆，主要是年輕、高溫的藍
色星，肉眼最多能看見 14 顆亮星，
星團總質量約是太陽質量的 800 倍。

(四)色指數：利用顏色顯示表面溫度的純量，使用 B 藍+(V
黃綠或 U 紫外)兩濾鏡測光後得光度差 U-B(B-V)的色指
數。色指數小顏色接近藍色；色指數大顏色越紅(或溫
度越低)。故明亮天體數值比暗淡天體小(或為負)，淡
黃色太陽 B-V 色指數 0.656 ± 0.005 ，藍色參宿七 B-V 值
為 -0.03 (參宿七 B 為 0.09，V 為 0.12， $B-V = -0.03$)。

(五)絕對星等：把天體放在 10 秒(32.616 光年)的距離的視
星等，以減少距離的影響。

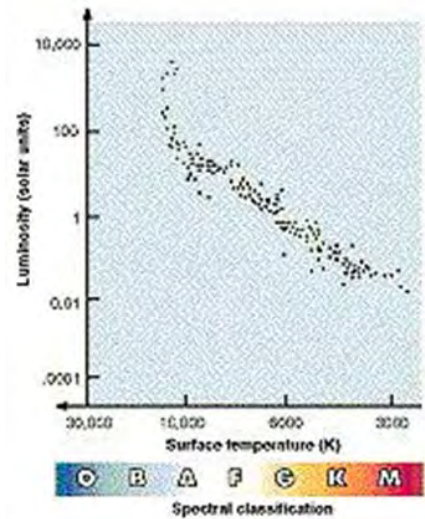
(六)赫羅圖：將恆星色指數當橫座標，絕對星等以縱座標
表示，從所呈現恆星光度-溫度分布圖可分析：

1.同質量恆星演化過程相同：從 H-R 圖上恆星類型可看
出不同的演化階段。

2.恆星誕生和死亡率一致：從 H-R 圖上各類恆星數可看出該演化階段所停留的時間長短

表：各型恆星的表面溫度、質量與壽命

光譜型	表面溫度	質量	壽命
O5	44000K	60	五十多萬年
B0	30000K	10	兩百多萬年
A0	9500K	3	四億年
F0	7200K	1.5	二十億年
G2	5700K	1	一百億年
K0	5250K	0.8	一百四十多億年
M0	3850K	0.5	五百億年
M5	3000K	0.2	一千五百億年



M45 星團赫羅圖

二、天文攝影誤差與修正

(一)拍攝誤差：曝光過度或不足、震動、失焦。

(二)儀器誤差：

1.暗電流：未感光時 CCD 元件本身的電流雜訊。

2.平場：光線不均勻造成感光元件間的差異。

(三)誤差修正：

誤差	聚焦失準	曝光錯誤	影像震動	影像雜訊	受光不均
修正	魚骨板 輔助對焦	高感光度 多張疊圖	固定反光板 快門線輔助	進行暗電流 修正成序	進行平場 修正程序



三、觀測與**星空攝影**

(一)攝影器材架設

- 1.使用 Canon 50D 機身 + Canon 400 mm、焦比 5.6 鏡頭，安置在相機三腳架+雲台上，進行拍攝，1.3 秒一幅影像。
- 2.Canon 50D 感光晶片尺寸為 22.3 mm × 14.9 mm，有效像素 4752 畫素 × 3168 畫素，每畫素尺寸為 4.7 μm 見方。
- 3.Canon 50D 接上 Canon 400 mm 鏡頭之感光晶片對應之大小約為 $3.2^\circ \times 2.1^\circ$ 。



圖一、拍攝天體影像

(二)拍攝星體：2012 年

表一、觀測紀錄

疏散星團	日期	曝光	暗電流	平場	平場暗電流
M45	10 月 19 日	1.3 秒 11 幅	5 幅	曝光 1/60 秒 5 幅	5 幅
M45	11 月 13 日	1.3 秒 9 幅	5 幅	曝光 1/60 秒 5 幅	5 幅

(三)**相機操作**與設定

- 1.ISO：1600
- 2.光圈：5.6
- 3.使用快門線：為避免手按相機快門時因而產生震動。
- 4.曝光時間：對準星體，將影像格放大 10 倍檢查，以看不出星體運動之拉線為最佳曝光時間：1.3 秒。

(四)拍攝**目標天體**

- 1.利用星空模擬軟體 Stellarium 查詢疏散星團 M45 的方位，從相機視窗中比對，確定觀測目標後，開始拍攝。
- 2.啟動相機「反光鏡預鎖」功能，將鏡頭上的 A/M 鈕，轉至 M，鎖定鏡頭焦距，利用對焦魚板確定鏡頭的焦距正確。
- 3.拍攝時，按下快門線曝光鈕，反光鏡闔上，靜待 3-5 秒鐘，待反光鏡闔上時的微震靜止後，再一次按下快門線曝光鈕，才真的曝光。
- 4.連續拍攝 10~20 幅影像，以累積曝光時間。

(五)拍攝**暗電流**

- 1.將鏡頭蓋子闔上，確定沒有任何光線射入鏡頭。
- 2.設定同樣的攝影條件(ISO：1600、光圈：5.6、曝光時間：1.3 秒)。

3.拍攝 5 幅影像。

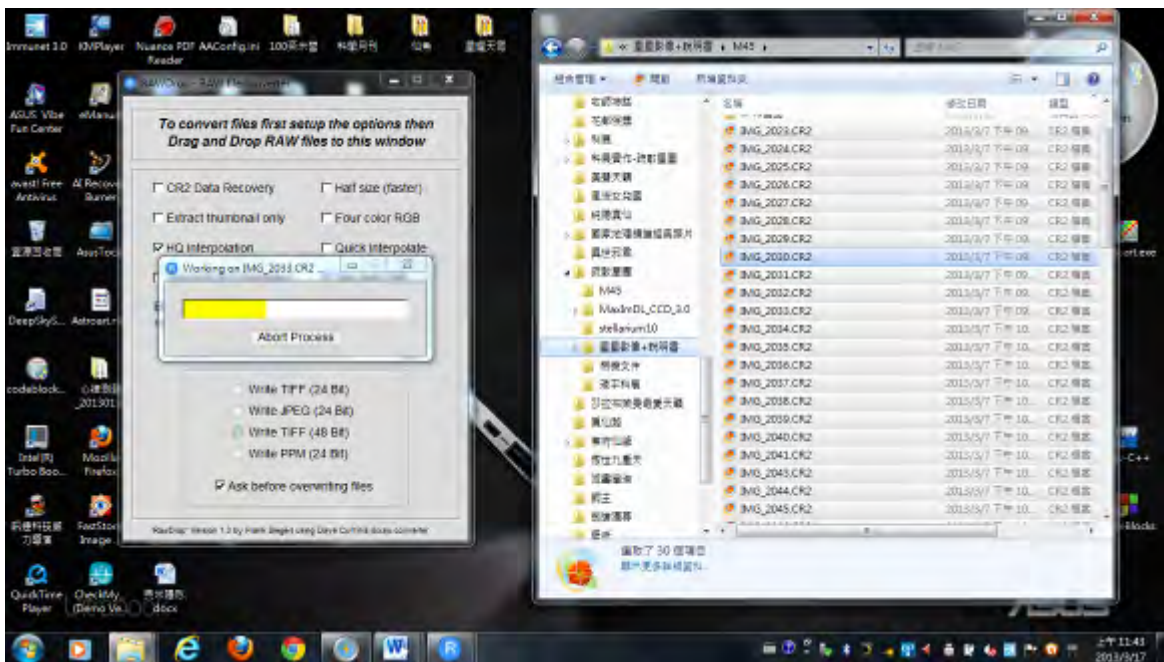
(六)拍攝平場

- 1.在太陽剛落下或剛升起的時候，將鏡頭對向離太陽約 60 度到 90 度左右、天空亮度均勻的天區拍攝
- 2.檢查曝光影像的強度分布圖，最大光量約為滿載的 70%
- 3.曝光時間約為 1/10 秒到 3 秒間。(用自動曝光時間拍攝 5 幅影像)
- 4.另以拍攝平場的相同條件拍攝 5 幅平場暗電流，作為平場扣除暗電流之用。

四、影像處理

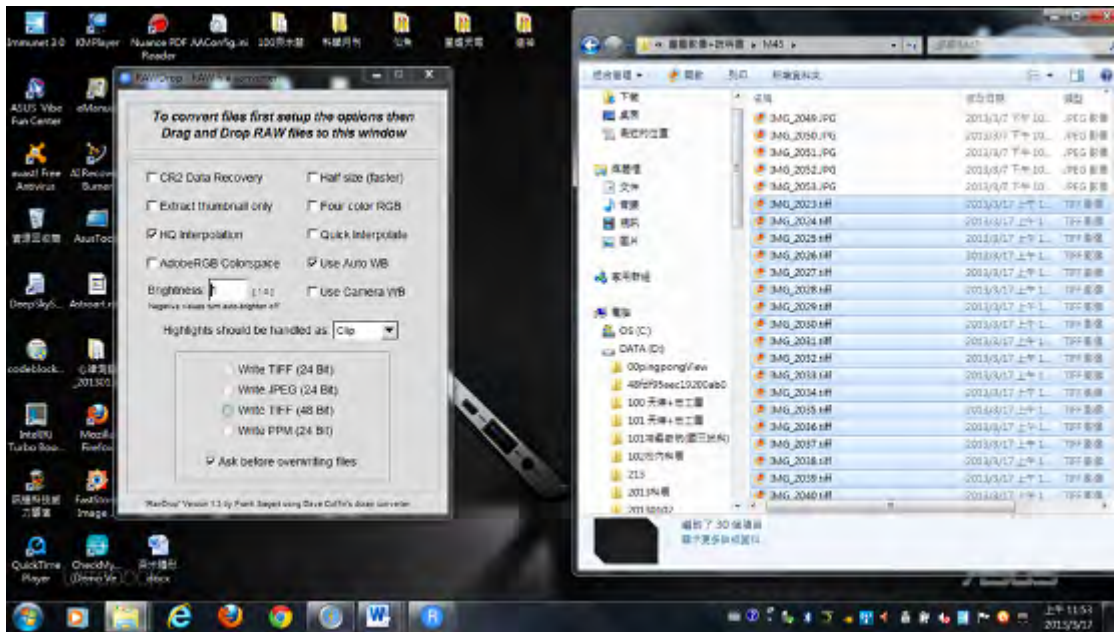
(一)原生檔轉換

- 1.使用自由軟體 Rawdrop，將影像檔.CR2 轉檔為.TIFF。
- 2.在「增益表」(Gamma)中填寫數字「1」(表示採用原始值而不增減)
- 3.勾選「快速內插」(Quick Interpolate)與「48 位元格式」(Write TIFF (48 Bit))。快速內插應是線性關係，而 TIFF (48 Bit)為 16 位元之彩色 TIFF 格式，也就是三原色 R、G、B 各 16 位元，共 48 位元
- 4.到影像資料夾，將要轉換影像格式的檔案選定，按住滑鼠左鍵將其移至 Rawdrop 介面。



圖二、將影像檔.CR2 轉檔為.TIFF

5.Rawdrop 進行轉檔，當全部檔案處理完畢，在原先影像資料夾中，便會出現轉換好的 TIFF 檔案。

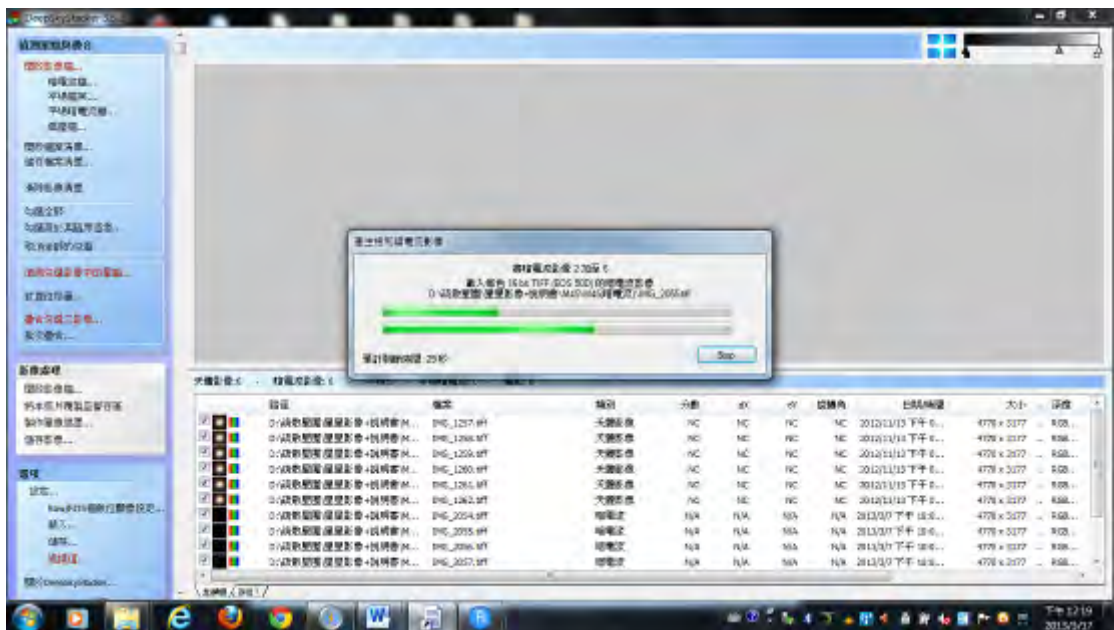


圖三、原資料夾中，出現轉換好的 TIFF 檔案

6.將目標天體、暗電流、平場之所有影像轉換成 16 位元（彩色為 48 位元）的 TIFF 格式。

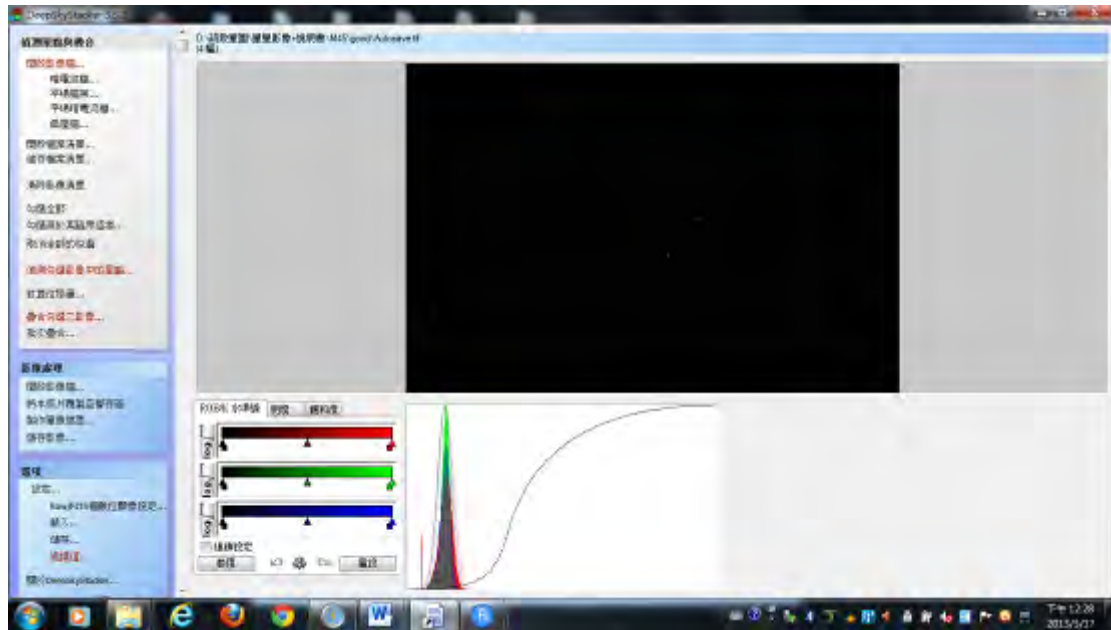
(二)消除噪訊及疊加影像：

- 1.使用免費的「深空疊合」(DeepSkyStacker，簡稱 DSS) 來進行影像處理與重疊。
- 2.扣除暗電流
- 3.平場修正



圖四、扣除暗電流及平場修正

4.疊加天文影像

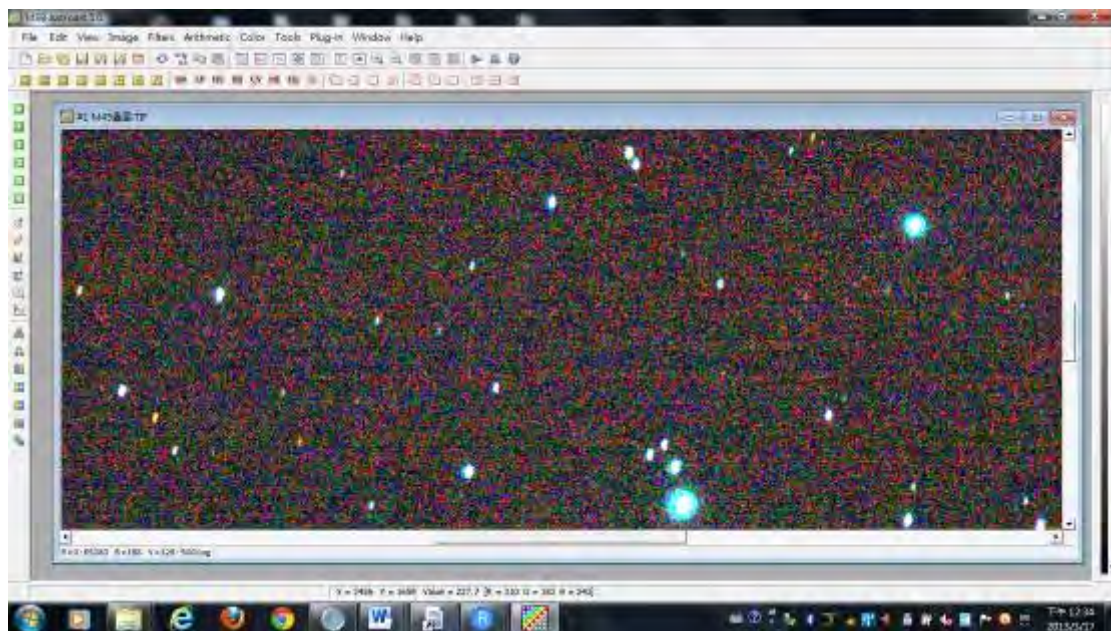


圖五、疊加天文影像

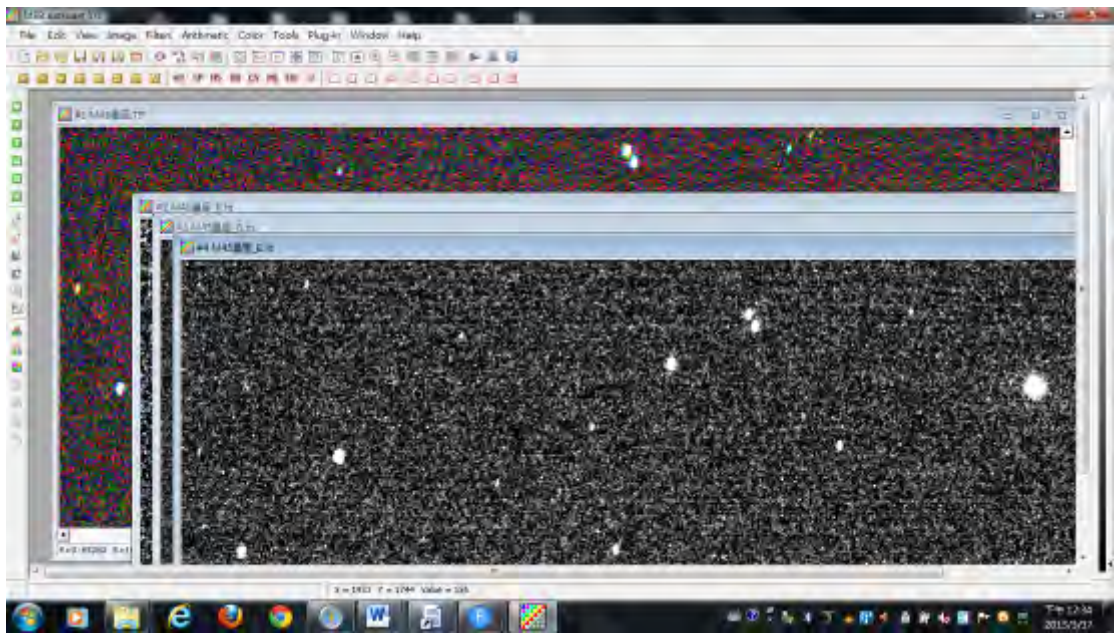
5.儲存檔案命名為 M45 疊圖.TIFF

(三)獲得恆星的**座標與星等**：使用天文影像處理軟體 Astroart5.0

- 1.用 Astroart5.0 影像處理軟體，將 M45 疊圖.TIFF 彩色影像分解為 R、G、B 三個單色影像，分別儲存為 M45_final_R、M45_final_G、M45_final_B；將 G 影像視為 V 光度影像，B 影像視為 B 光度影像。

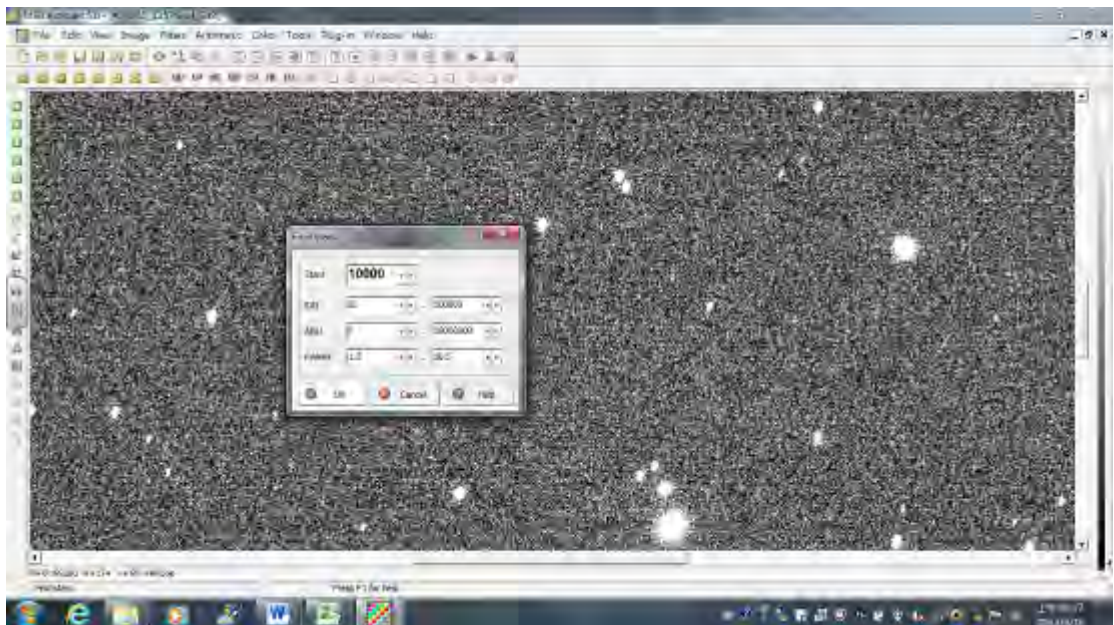


圖六、將 M45 疊圖.TIFF 影像拉入 Astroart5.0 視窗中

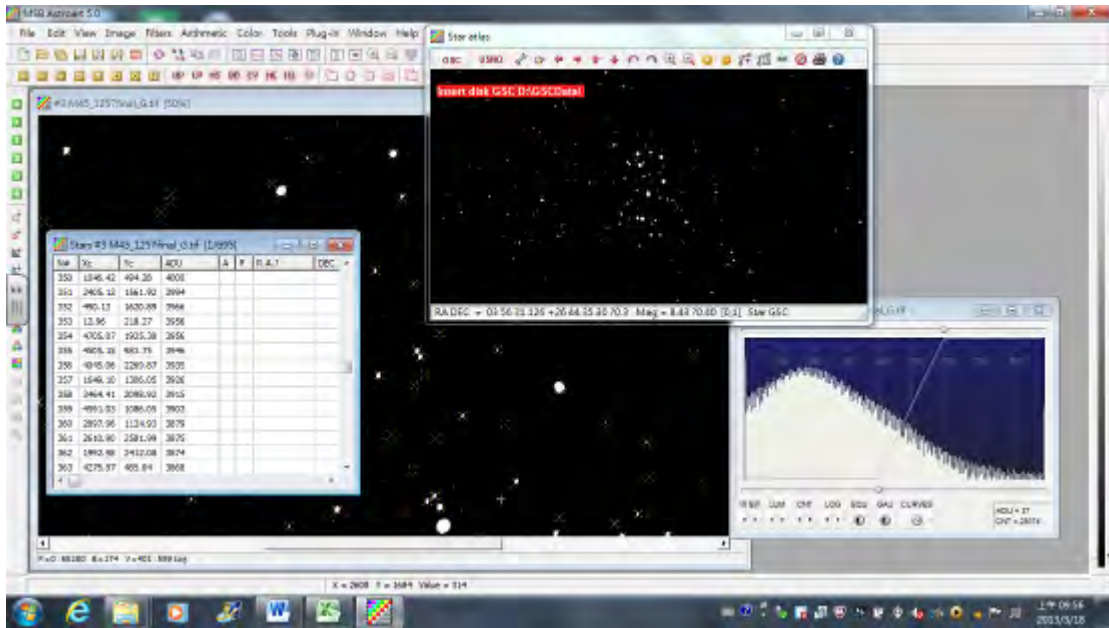


圖七、影像分解為 R、G、B 三個單色影像

2.將 M45_final_G 拉進 Astroart 視窗中，按下 find stars 按鈕，Stars 取 10000，S/N 取 15，完成後存檔為 M45_V 數據.sta。



圖八、設定 find stars 條件



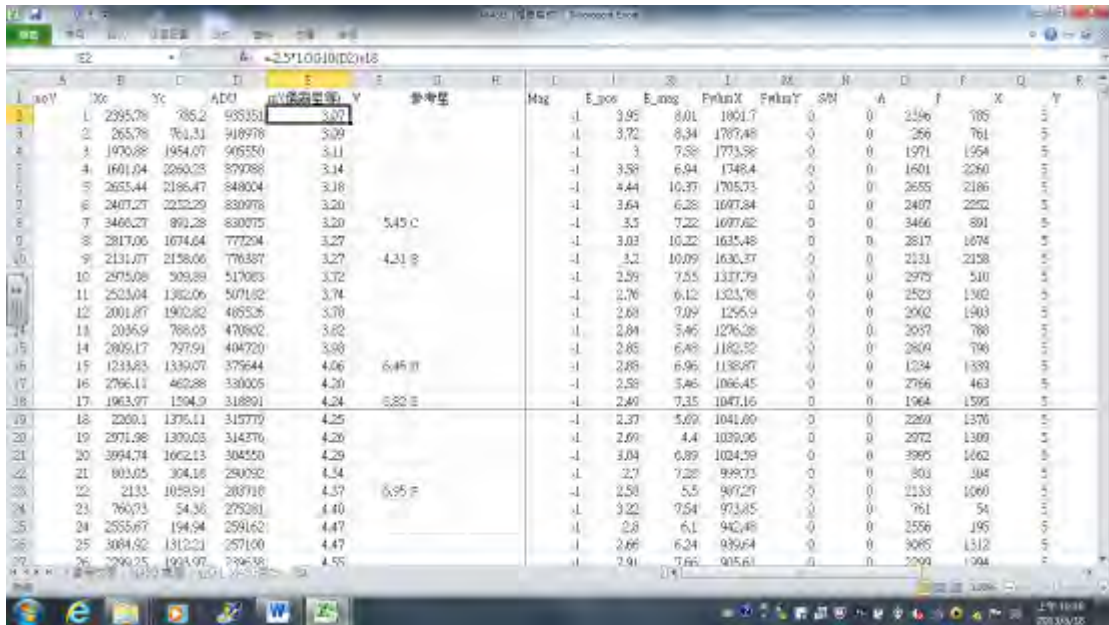
圖九、匯出 stars 座標存檔為 M45_V 數據.sta

3.同樣方式處理 M45_final_B，得到 M45_B 數據.sta。

五、數據處理與分析

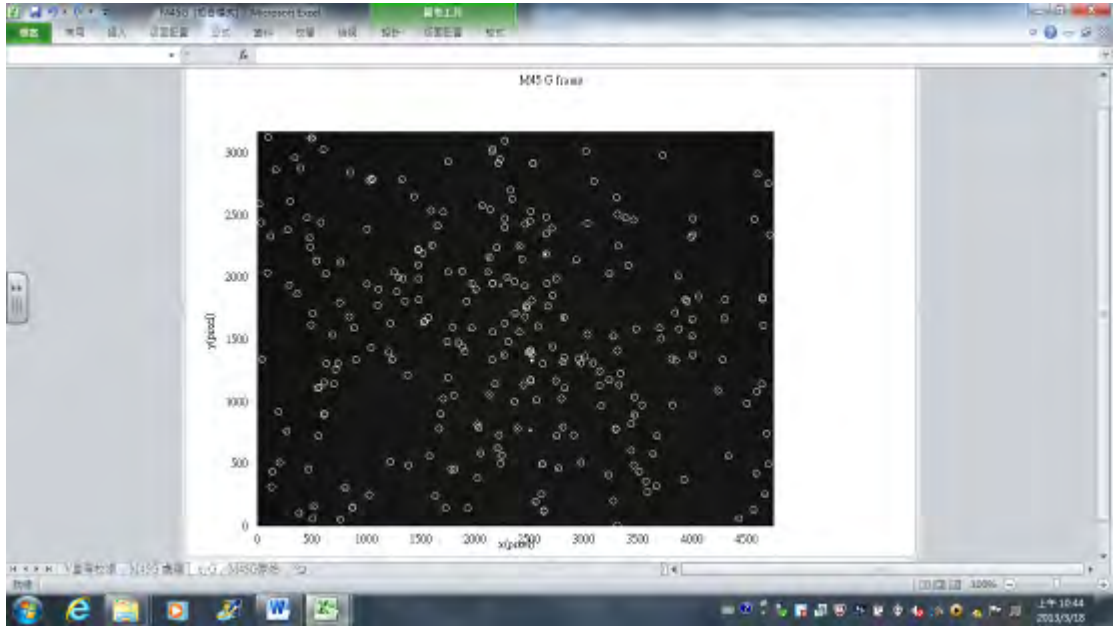
(一)獲得 M45 每顆星的座標、V 星等。

1.以 EXCEL 開啟 M45_V 數據.sta，將欄位調整如圖十，將儀器星等設為 $-2.5 \cdot \text{LOG}_{10}(D2)+18$ ，得到每一項的 V 儀器星等。



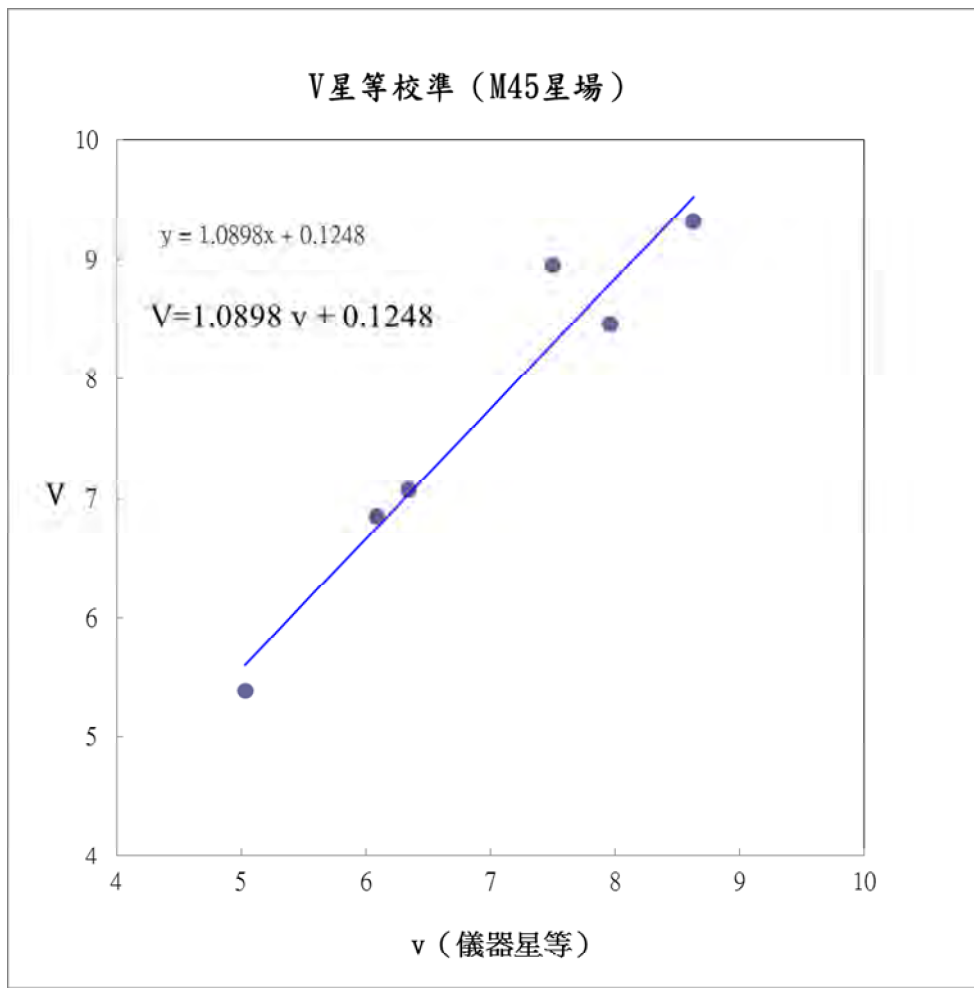
圖十、得到每一項的 V 儀器星等

2.取 Xc 及 Yc 項，繪製 M45Gframe 圖，對比昴宿星團 UBV 光度參考星圖，找出 B、C、D、E、F、G、H、J...，鍵入 V 星等。



圖十一、繪製 M45Gframe 圖

3.取已知的儀器星等-V 星等座標，繪製 V 星等校準表。

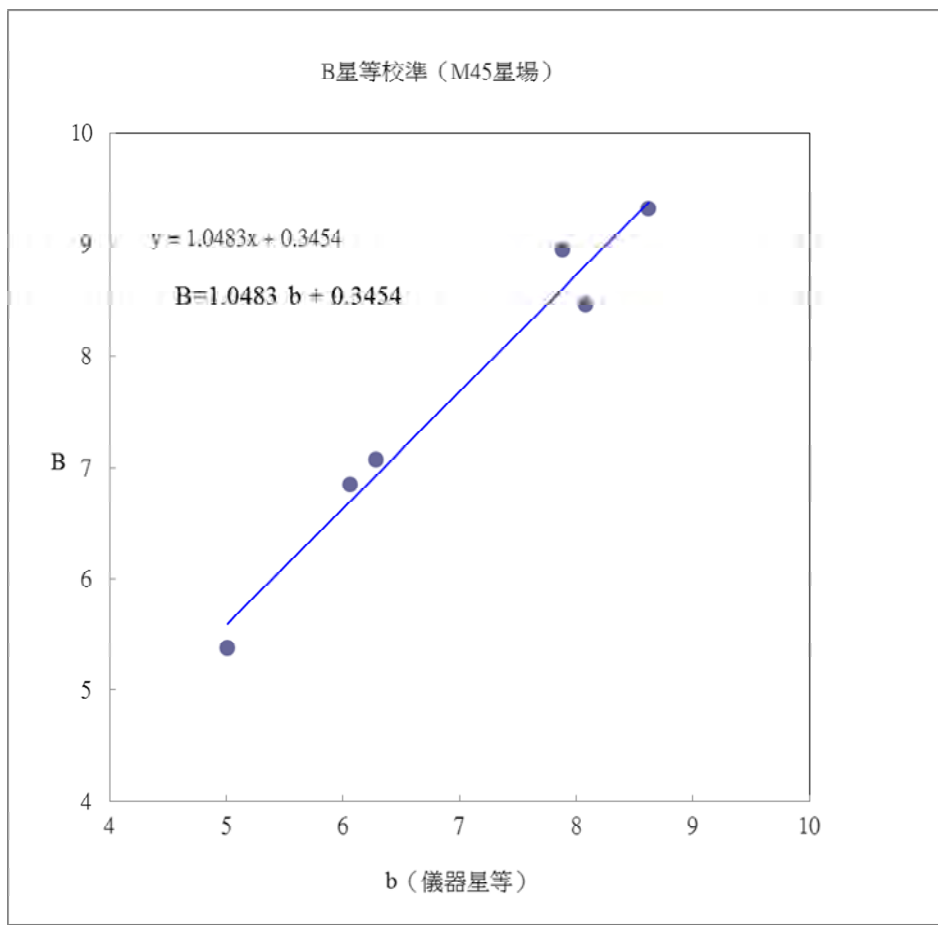


表二、V 星等校準表

4.利用 V 星等校準表，獲得每顆星的座標、V 星等。

(二)獲得 M45 每顆星的座標、B 星等。

- 1.同樣以 EXCEL 開啟 M45_B 數據.sta，調整欄位後，將儀器星等設為 $-2.5 \cdot \text{LOG}_{10}(D2)+20$ ，得到每一項的 B 儀器星等。
- 2.取 Xc 及 Yc 項，繪製 M45Gframe 圖，對比昴宿星團 UBV 光度參考星圖，找出 B、C、D、E、F、G、H、J...，鍵入 B 星等。
- 3.取已知的儀器星等-V 星等座標，繪製 B 星等校準表。



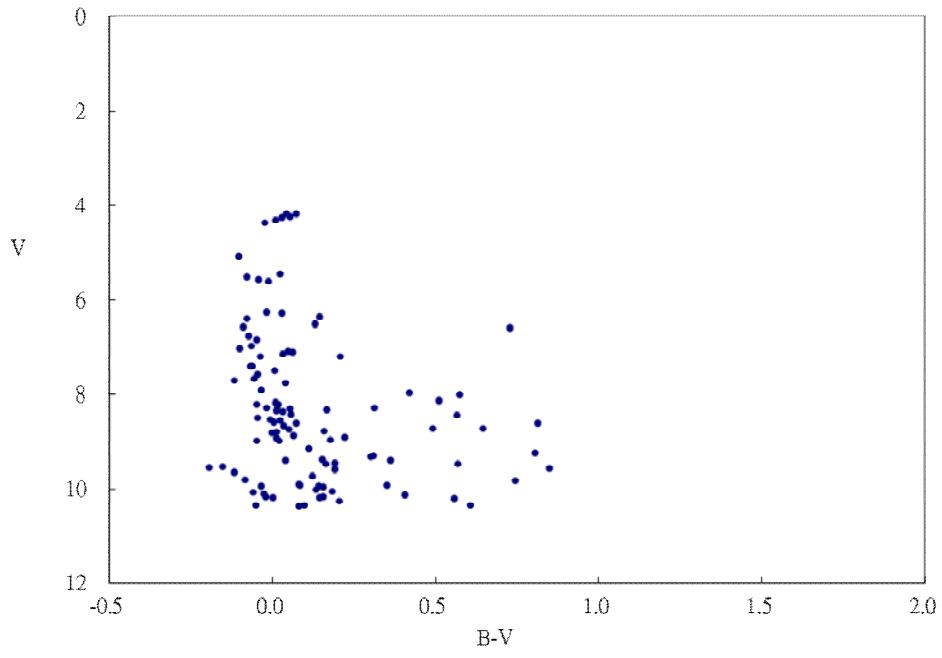
表三、B 星等校準表

4.利用 B 星等校準表，獲得每顆星的座標、B 星等。

(三)繪製 M45 之星色-星等圖。

- 1.以人工方式比對，每顆星的座標，兩邊都有的，就可得到此顆星的 V 星等和 B 星等。而單獨的就刪除之。
- 2.以每顆星的(B-V)為橫座標、V 星等為縱座標，用 EXCEL 繪製 M45 之星色-星等圖。

M45之赫羅圖

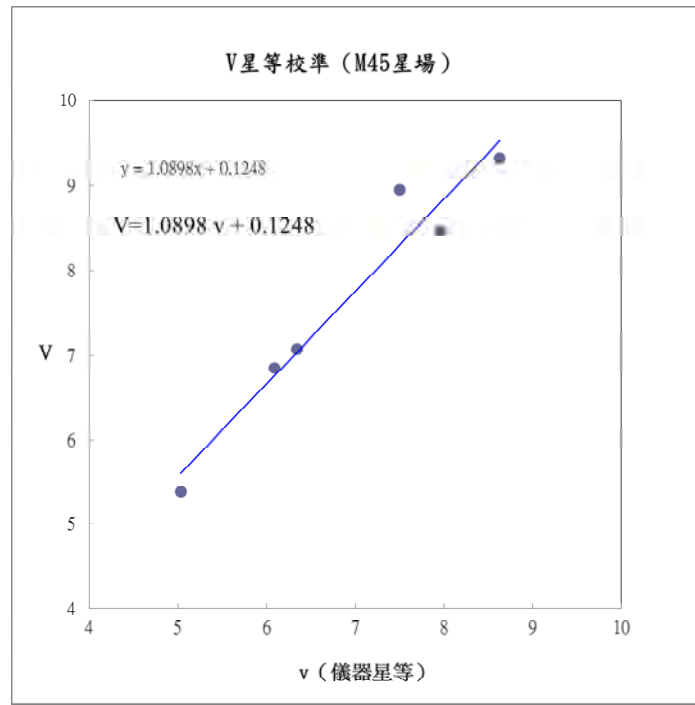


圖十二、M45 星色-星等圖

伍、研究結果

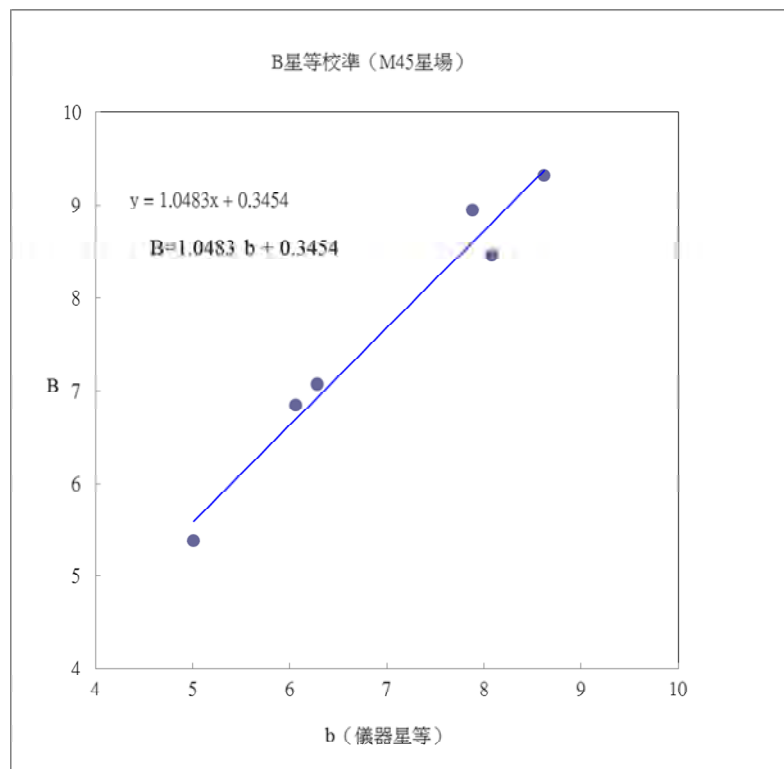
一、V 儀器星等-V 星等關係式

$$V = 1.0898 m' + 0.1248$$

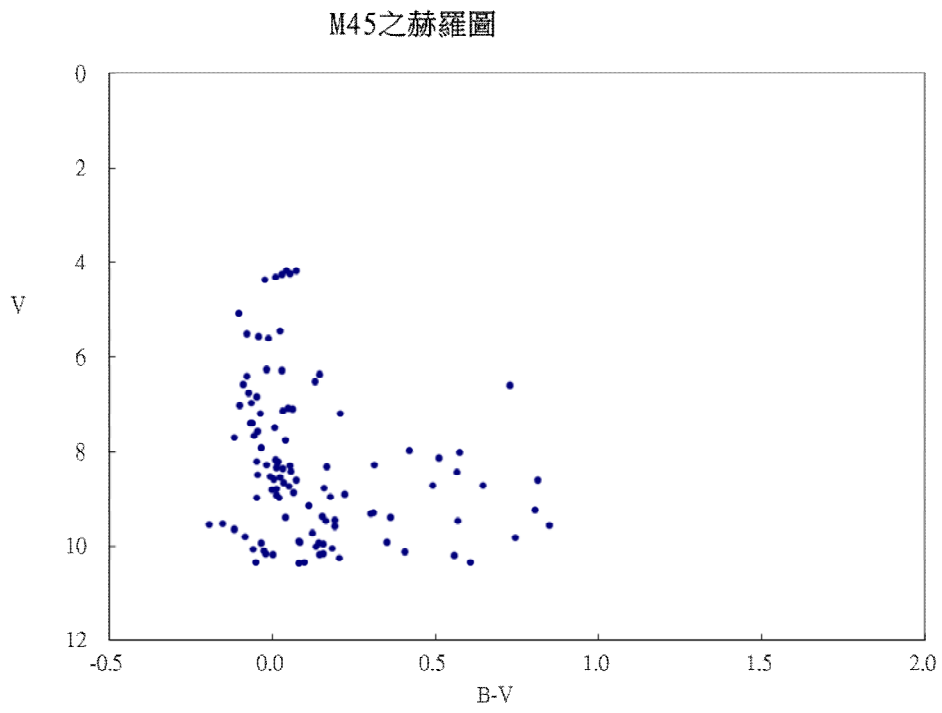


二、B 儀器星等-B 星等關係式

$$B = 1.0483 b + 0.3454$$



三、M45 星色-星等



陸、討 論

- 一、疏散星團是指由數百顆至上千顆由較弱引力聯繫的恆星所組成的天體，直徑一般不過數十光年。
- 二、疏散星團中的成員離地球的距離以及年齡都大致相同，它們在星等上的差別只來自於質量的不同；在比較各個成員時，很多參數都是固定的。由於這一特點，疏散星團很適合用來研究星體演變。
- 三、TIFF（.tif，Tagged Image File Format）是非壓縮格式，沒有失真的問題。一般影像瀏覽或影像處理軟體以 8 位元的 jpg 格式或 16 位元的 tiff 格式為主。JPEG 是很有效的壓縮格式，但壓縮會對影像造成破壞。各相機廠商用來紀錄原始影像的原生檔（raw 檔），各有其格式，並不通用，需要將這些影像原生檔轉換成一般常用的影像檔格式，才能進行「後製」處理。
- 四、為了避免機身的震動，一般在按下快門鈕、進行曝光時，在「按下的瞬間」很容易帶動整個裝置而造成影像晃動，所以在進行長時間曝光時，最好使用快門線。
- 五、星星和太陽、月亮一樣由東向西移動，大約兩分鐘左右就移動一個月亮直徑的距離。為了在最短的時間內，將星座拍攝下來而星點不至於形成拉線，曝光時間常常都只有 1~2 秒。
- 六、拍攝星座時，按下快門線（鎖住），視不同焦距的鏡頭以及天體所在的赤緯來決定曝光的時間。因為所有天體都繞天北極轉動，天北極居中不動，離天北極越遠移動的速率越快，在天球赤道上移動的最快。
- 七、曝光時間 $T_{\delta} = T_0 / \cos \delta$ 其中 δ 為天體的赤緯，天球赤道之赤緯為零度，天北極之赤緯為 90 度。令 T_0 為天體在天球赤道（即赤緯 0 度）上之曝光時間， T_{δ} 為天體在赤緯 δ 處所需的曝光時間。
- 八、天體都十分黯淡，即使設定高感光度，還是需要長時間曝光，才能獲得理想的作品。但是長時間曝光會造成星體拉線的現象，因而採用分段多次曝光，然後將影像疊加起來，達到長時間曝光的效果，也可以節省長時間精準追蹤的精力。
- 九、扣除暗電流：相機拍攝時，除了紀錄目標對象的影像訊息外，也紀錄一些雜訊與外加的訊息。相機本身會產生隨機電流（暗電流），這些訊號要扣除。
- 十、平場修正：數位相機上的感光晶片，每個畫素對光的反應程度都有些差異，必須加以修正，才能呈現天體的真實亮度與色彩。

柒、結 論

- 一、以前對科學家只憑天空的幾個亮點，就能看出星星的大小、溫度，甚至年齡感到神奇，他們是根據哪種理論，後來老師花了許多時間，跟我們講解赫羅圖的原理後，才終於看懂，不僅佩服他們的思考力，同時也開啟了我對天文探索的興趣。
- 二、從結果的呈現，雖然只有幾條線和數個點，但背後卻花了我們好幾個月的晚上拍攝，累積的照片有好幾百張，但能成功拍到 M45 的，只有區區的個位數，原因有：
 - (一)夜間相機無法自動對焦，需手動對焦，在漆黑的晚上很不容易。
 - (二)就算對到焦，因為是長鏡頭，視野小，沒幾分鐘就會跑出視窗外，追縱不易。
 - (三)就算追縱到，雲層也常會飄過來影響拍攝。
 - (四)即使雲不會飄來，一點風吹草動，鏡頭馬上就會產生晃動，無法拍攝。
 - (五)有時要拍攝的星團，肉眼根本看不到，需要找適合的亮星，做為參考點。
 - (六)要是沒有參考點，天空經緯座標的定位相當重要，否則就像瞎子摸象。
- 三、影像處理要配合清晰和正確星體的原始照片，所以學習操作如何拍到好照片的技巧，才是精確數據分析的王道。
- 四、雖然拍攝技巧要靠長時間的經驗，但我們也從操作與錯誤中，竟然也慢慢理解到天文常識與操作訣竅背後的原理。
- 五、赫羅圖以色指數(B-V)為橫座標，絕對星等(V)為縱座標，疏散星團的赫羅圖顯示，大部分恆星都是主序星。從質量最高的一些星體開始逐漸開始偏離主序帶，成為紅巨星，通過分析逐漸偏離的位置，天文學家可以推算出星團的年齡。
- 六、編號 M45--昴宿星團，又稱七姊妹星團，是一個大而明亮的疏散星團，位於金牛座，裸眼就可以輕易的看見。
- 七、由色指數知參考星D是紅星，其他多是年輕、高溫的藍星。
- 八、天文資料可用 Excel 處理資料，能有效完成工作。
- 九、由於長時間曝光的照片，需要精確的同步追縱，若沒有赤道儀輔助，也可將長時間分段曝光，而拍出短時間、不晃動的多張照片後，再透過影像處理，將多張照片疊圖、還原，就像零存整付，效果還不輸長時間曝光的照片。
- 十、雖然拍攝很辛苦、枯燥，有時候根本不知道拍的到底對不對，不僅只能在晚上拍，若錯過了季節，至少要再等半年以上。但在操作與理解原理的過程中，不知不覺也開啟了我們對天文知識的理解，也終於體會到天文愛好者，為何會對天上的星星如此著迷了！

未來發展

- 一、可以觀測多個疏散星團，做出星色-星等圖後，比較之間的相對年齡。
- 二、估計星體的體積大小。
- 三、用赫羅圖來驗證恆星的演化理論。

參考資料

傅學海(2004)：CCD 天文觀測入門。觀星人。

王為豪(2004)：天文攝影的數位影像處理。網站：

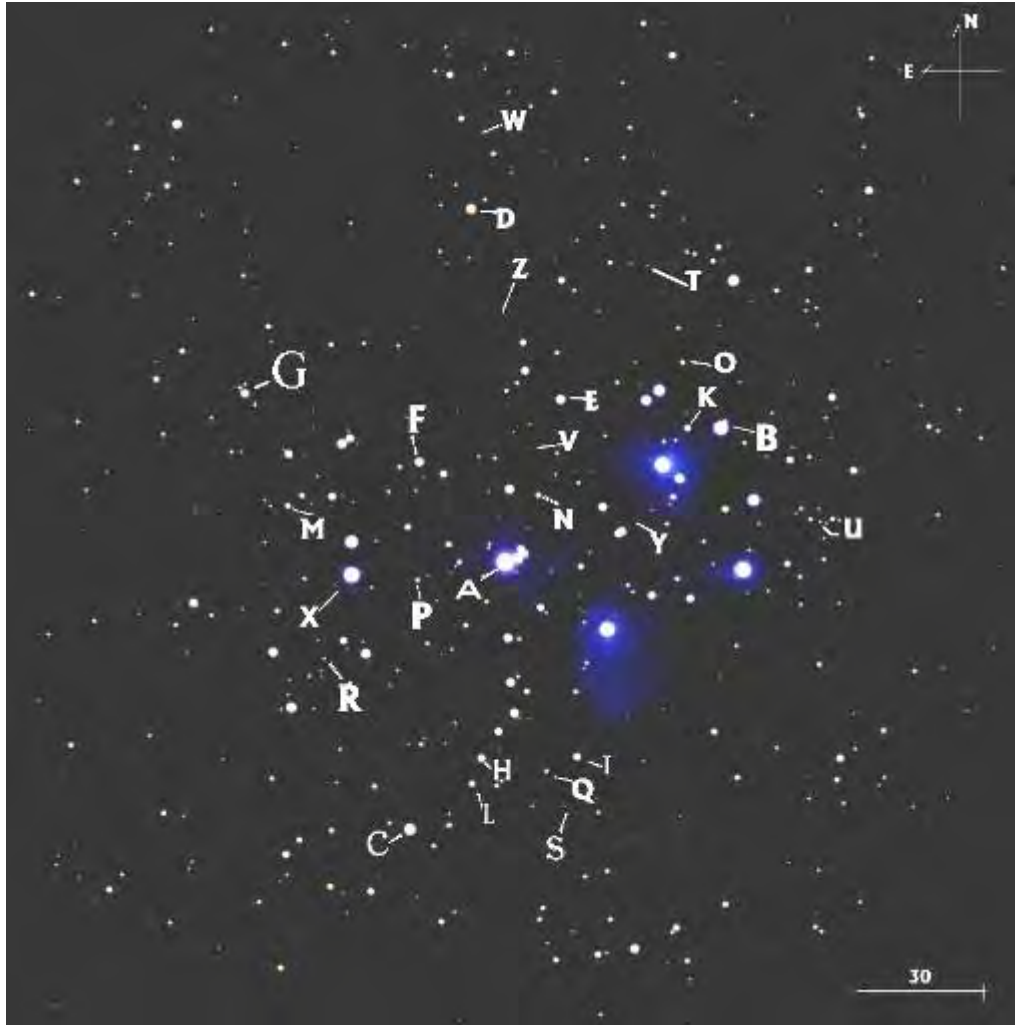
http://www.asiaa.sinica.edu.tw/~whwang/chinese/articles/digital_process_part1.pdf

傅學海、王靖華(1999)：昴宿星團彩色影像光度。中國天文學會八十八年年會。台北市立天文科學教育館。

傅學海(2010)：天文觀測的第一本書。貓頭鷹。

維基百科。網站：<http://zh.wikipedia.org/wiki/>

附錄 昴宿星團 UBV 光度參考星



HR	name	V	B-V	U-B	Sp
1165	A	2.87	-0.09	-0.34	B7 II
1145	B	4.31	-0.11	-0.46	B6 V
1172	C	5.45	-0.07	-0.32	B8 V
	D	6.46	1.70	2.07	K5
	E	6.82	0.03	-0.07	B9 V
	F	6.95	0.12	0.09	A0
	G	7.42	0.13	0.12	A2
	H	7.72	1.23	1.12	K0
	J	8.11	0.35	0.29	A0
	K	8.60	0.35	0.11	A2
	L	8.79	1.15	0.81	K0
	M	9.16	0.16	0.15	A0

HR	name	V	B-V	U-B	Sp
	N	9.46	0.47	0.02	F8
	O	9.70	0.55	0.05	F8
	P	10.02	0.56	0.09	
	Q	10.52	0.64	0.16	F9
	R	11.35	0.78	0.38	G2
	S	12.02	0.99	0.54	G8
	T	12.05	1.01	0.84	G5
	U	12.51	0.81	0.30	G1
	V	12.61	1.18	1.00	G9 V
	X	14.36	1.01	0.47	
	Y	15.72	1.15	0.98	
	Z	16.42	0.60	0.25	

【評語】 030508

1. 本實驗著重觀測技術的探討。
2. 對於此觀測技術的實用性說明，稍嫌不足。