

# 中華民國第 58 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

051906

利用恆星周日運動之研究求其位置的誤差

學校名稱：臺中市立文華高級中等學校

作者：  高一 李呈燁  高一 曾柏瑜  高一 郭宥麟	指導老師：  陳正元
---	------------------

關鍵詞：大氣折射、恆星位置

## 摘要

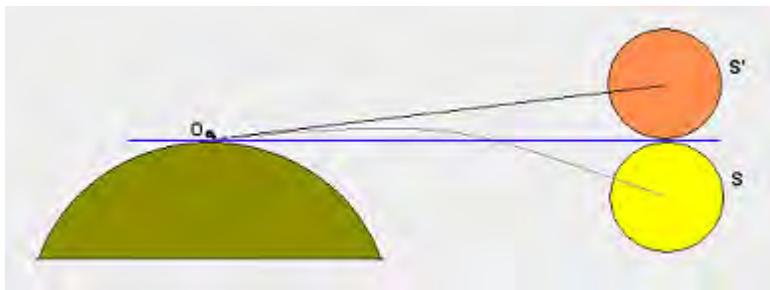
我們知道天上恆星周日運動轉動的角速度與地球自轉的應該會是一樣的，但是因為大氣折射和大氣擾動的影響，所以當我們真正觀測的時候，其轉動的角度真的會和理論一樣嗎？我們照出一些連續時間的照片，分析找出觀測值誤差，這是大氣折射和大氣擾動所造成的。

以觀測值誤差和實際仰角做數據分析，第一:風速越大，仰角與觀測值誤差就並無太大關聯，因為大氣擾動的視相偏差很嚴重。第二:風速越大，大氣擾動視相的最大和平均視相偏差也越大，若無風，大氣擾動很小，其觀測值誤差幾乎是大氣折射造成的，和修正公式一樣，仰角越小，觀測值誤差越大。但無風時，但是觀測值誤差和公式修正值不是完全一樣，代表大氣擾動還是造成一定誤差的影響。

## 壹、研究動機

上完地球科學課時我們學到，當光線進入不同的介質會產生折射，例如在岸上看池水，池水會看起來比實際的深，又或者近視的學生戴上近視眼鏡可以更看得清黑板.....等，生活中非常常見的一種光學現象。天體的光由外太空進入地球大氣層時，介質的密度變大而受到大氣折射效應的影響，使得觀星時所見的天體並非其實際位置，例如落日的時候，太陽愈接近地平線會逐漸變形，上網搜尋才發現此現象與大氣折射也有關，於是我們設計了一個簡單的實驗來測得夜空中恆星的視相偏差(游鎮烽，民 105)。

對於折射現象，西元 1621 年荷蘭物理學家司乃耳(Snell)對此現象提出了「司乃耳定律」(Snell's Law)即光入射到不同介質的界面上會發生反射和折射(沈青嵩，民 105)。根據以上的理論便可以推斷天體的光由外太空進入地球大氣層時，因為介質的密度變大，光的路線偏折，因此當我們剛看到太陽日出時，實際上它還沒升起；而我們看到太陽日落時，實際上它尚未落下。



圖一、理論太陽(黃色)和觀測太陽(橘色)在地平線附近狀況(Atmospheric refraction, n.d.)

而星光受大氣的影響會偏移，問題是這種偏移有多少？大氣的影響使星光偏移可分為兩類，一是因為大氣折射，當星光射向我們時，除了位於天頂時外，星光會經過一個和光線不垂直

的大氣層表面。因為空氣密度會隨著高度而變化，因此光通過空氣時密度的增加使得速度降低（折射率增加），所以才會有折射。

另一個原因是大氣的短期紊動造成大氣不平均，不斷流動的大氣也使得空氣密度快速的改變，也因此光線路徑也隨此快速的變化、彎曲而造成偏折，這就是天文觀測中視相(seeing)的問題，或稱之大氣擾動的問題。大氣層中不同的溫度層和不同的風速會扭曲光線路徑，導致天文觀測的影像失真。視相好的夜晚往往是沒有陣風和大氣上下對流溫差不明顯的晚上 (Astronomical seeing, n.d.)，因為空氣的折射率取決於其密度和溫度，只要有不同溫度的氣團相遇，它們之間的邊界層就會許多的漣漪和漩渦，很像日曬道路的熱空氣與上面較冷的空氣混合在一起，其介面上有很明顯的大氣擾動一樣(MacRobert, 2006)。視相是在地球上觀測天文學最大的問題之一，雖然大型望遠鏡理論上具有毫角秒級的解析力，但真實圖像卻限於視相的影響，高海拔天文台最好的條件是約為 0.4 角秒。而第一項大氣折射率偏移量可由公式計算，但是大氣擾動的影響只能靠實際觀察來估算(Atmospheric refraction, n.d.)。

地球的大氣層由外而內分為增溫層、中氣層、平流層與對流層，每層的分布並非均勻，每一層的大氣密度不盡相同，愈靠近地表，大氣密度愈大，愈遠離地表，大氣密度則愈小。而大氣的折射率為壓力、溫度的函數，也和星光離天頂的角度有多遠有關。因此，愈靠近地表的光線，因為地表大氣密度愈大，光線折射率愈大，折射角度也就愈大。但是，地球上每一個區域的上空大氣層厚度、組成比例皆相異。如熱帶（赤道）地區對流層高約十六公里；但極區則僅高八、九公里。基於各種因素的影響，也讓修正大氣的難度提升。

Sæmundsson (1986) 發展了一個公式，利用真實仰角來算折射偏差，下列公式中  $h$  是真實仰角(度),  $R$  是折射偏差，公式是假設在大氣壓力為 1010 百帕，氣溫 10 °C；

$$R = 1.02 \cot \left( h + \frac{10.3}{h + 5.11} \right) ;$$

對不同的溫度和壓力，可以乘下列係數修正(Meeus, 1991)

$$\frac{P}{1010} \frac{283}{273 + T}$$

另外，一個恆星日為 23 小時 56 分鐘，地球轉了 360 度，所以我們有星星在天空中的轉動角速度。因此我們設計了本實驗來找出實際上夜晚中恆星的視相偏差。照片中移動的時間間隔為真實的移動角度，減去恆星在照片中移動的觀測角度，兩者相減得到移動的角度差，這是大氣折射和大氣擾動所造成的。

## 貳、研究目的

- 1.我們實際觀測的數值跟理論值會有多少差距呢？
- 2.如果有差距的話，有那些因素可能會影響呢？

## 參、研究設備及器材

- 1.個人電腦、程式 MICROSOFT Word and Excel，Photoimpact，Stellarium
2. Canon PowerShot G16 相機 f/1.8 焦距 6.1mm ISO800

### 第一組照片參數

2016/7/30 P.M.10:52~2016/7/31 A.M.1:35，共 20 張

位置:塔塔加遊客中心

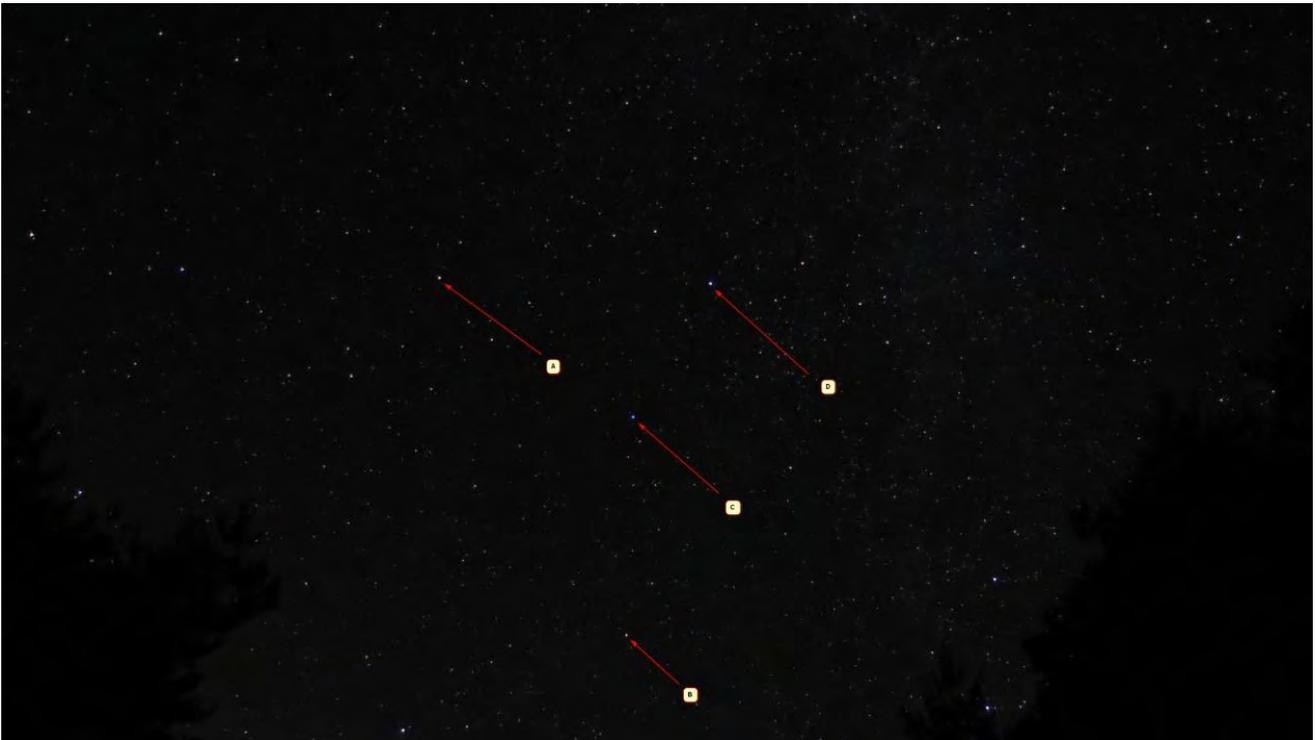
緯度:23° 29'14"N

經度:120° 53'48"E

氣壓 763hPa

氣溫 12.8° C

風速 0.45m/s



恆星 A:天廚一(Altair)，恆星 B:少衛增八(Errai)，  
恆星 C:上衛增一(Alfirk)，恆星 D:天鉤五(Alderamin)

第二組照片參數

2016/12/5 P.M.1:13~2016/12/5 P.M.1:33，共 5 張

位置:小風口

緯度:24° 08'38"N

經度:121° 19'03"E

氣壓 730.4hPa

氣溫 6.4° C

風速 1.7m/s



恆星 A:帝[北極二](Kochab) 恆星 B:天璣[北斗三](Phecda)

恆星 C:天樞[北斗一](Dubhe) 恆星 D:開陽[北斗六](Mizar)

第三組照片參數

2017/1/1 A.M.12:17~20170101 A.M.01:52，共 20 張

位置:后里泰安國小

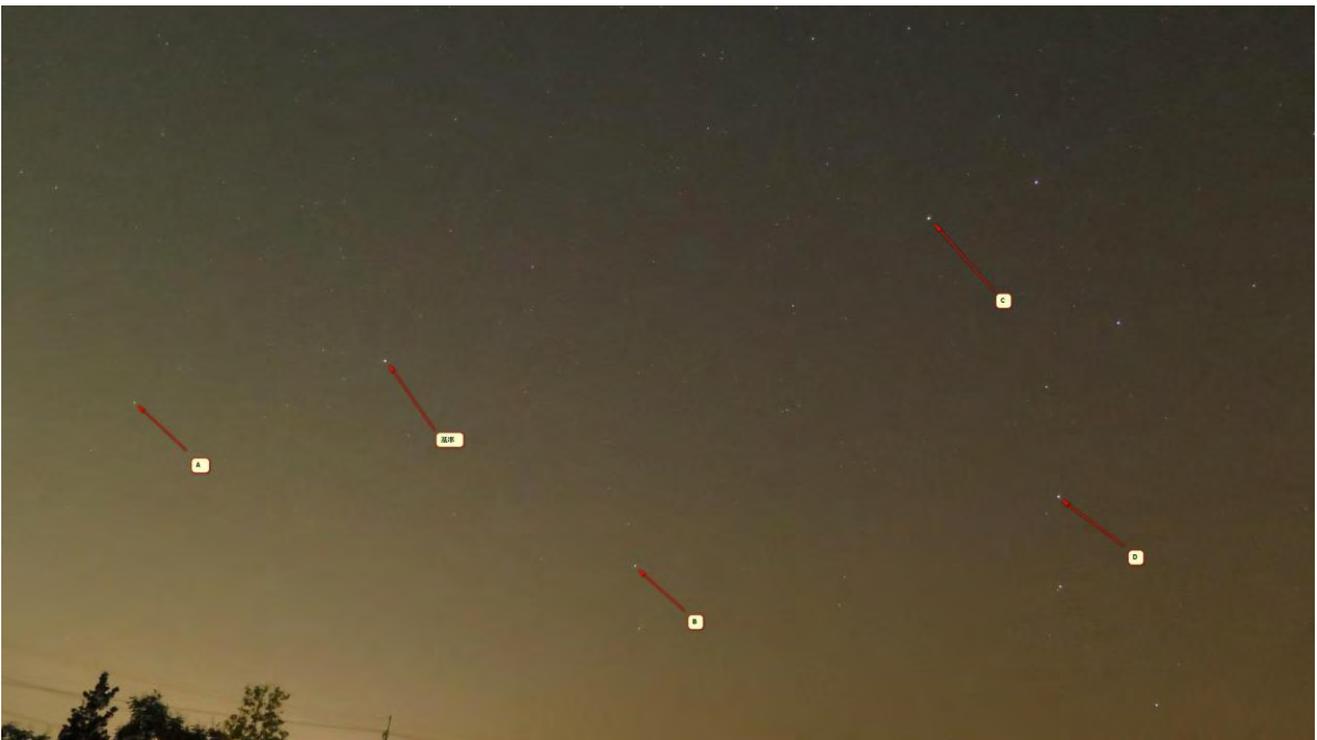
緯度:24° 19'13"N

經度:120° 44'46"E

氣壓 991hPa

氣溫 15.6° C

風速 0m/s



恆星 A:少衛增八(Errai) 恆星 B:帝[北極二](Kochab)

恆星 C:天樞[北斗一](Dubhe) 恆星 D:玉衡[北斗五](Alioth)

第四組照片參數

2018/5/18 P.M.8:26~2018/5/18 P.M.10:06，共 21 張

位置:台中市西屯逢甲

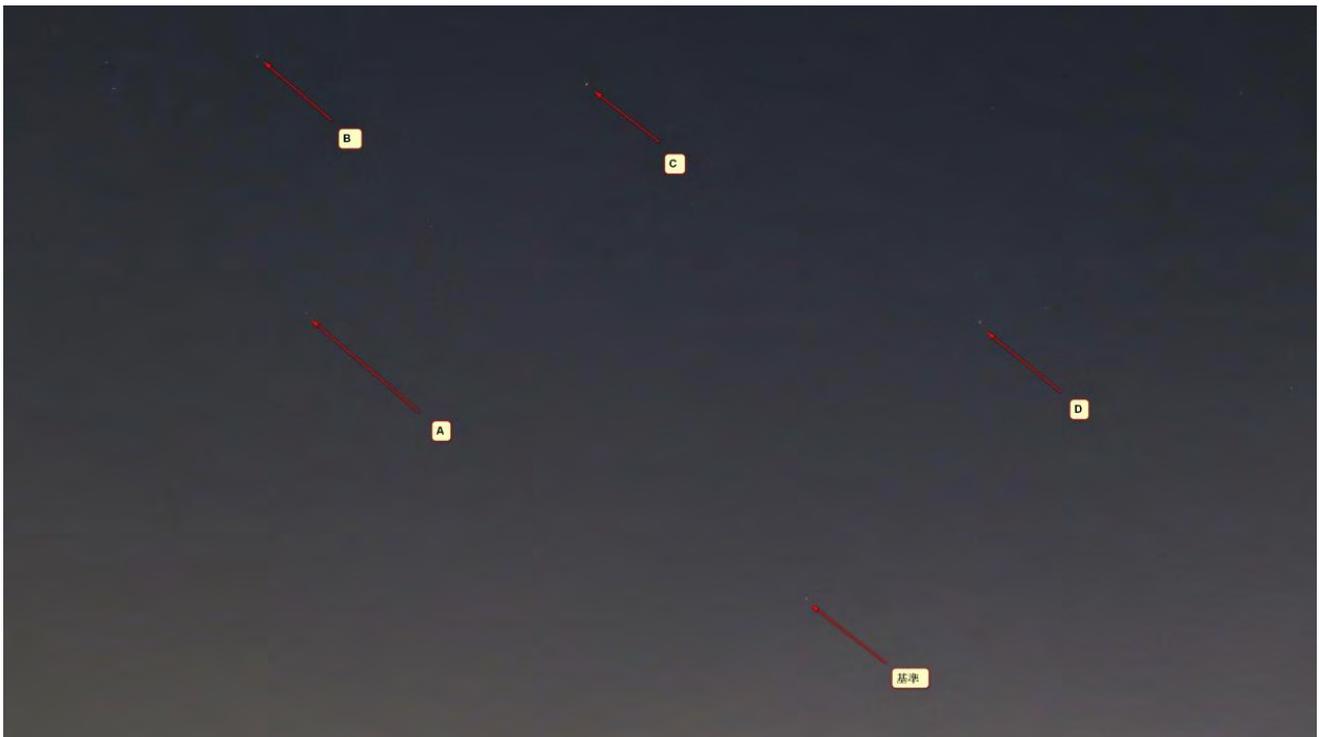
緯度:24° 10'56"N

經度:120° 38'24"E

氣壓:994.2hpa

溫度:28.8°C

風速:1.5m/s



恆星 A:內階一(Muscida) 恆星 B:文昌四(Alhud V)

恆星 C:天樞[北斗一](Dubhe) 恆星 D:帝[北極二](Kochab)

## 肆、研究方法與過程

首先，使用 Canon PowerShot G16 相機 f/1.8 焦距 6.1mm ISO800 各照出一些連續時間的照片，照出有明亮星星的夜空，這裡我們選擇了 2016/7/30 在塔塔加遊客中心、2016/12/5 在小風口、2017/01/01 在后里泰安國小以及 2018/5/18 在台中市西屯逢甲所照出一些連續時間的照片。然後在這些連續時間的照片中挑出皆有出現以及較明亮的 4 顆星來作為我們的測量目標。

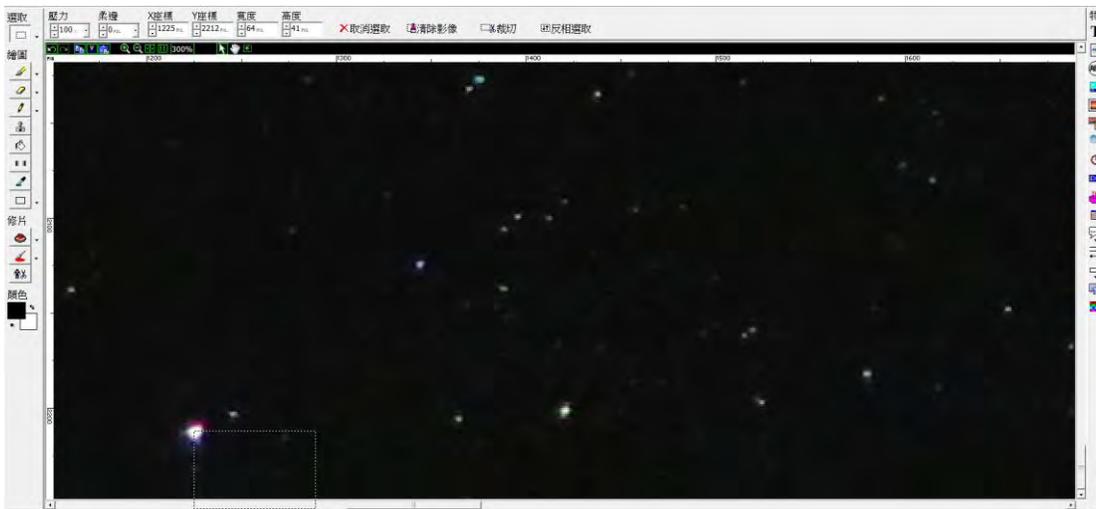
接著，我們使用 PhotoCap6.0 來暫定星星的座標：

1. 將須查詢座標的圖載入 PhotoCap6.0 內
2. 找到需查詢座標的那顆星後，放大那顆星所在的位置
3. 接著用選取工具所做出來的虛線框的左上角對準那顆星的中心，上方會出現 X 及 Y 座標值

如圖，測量於塔塔加遊客中心

2016/7/30P.M.10:52 時所拍攝的照片中的北極星位置

依照上方所寫的步驟即可於圖內上方處看到 X 及 Y 座標值



把查出來的北極星座標先利用圓公式算出天球北極座標，然後我們要測量的恆星座標相減天球北極座標開絕對值即可得到測量恆星相對天球北極的座標差，用 excel 把得到的座標差的 X 與 Y 帶入  $\text{ATAN}(Y/X) * 180 / \text{PI}()$  公式即可得到測量星在天球北極的角度方向。把第二張照片的角度方向減掉第一張的照片角度方向開絕對值可得到五分鐘後星星轉動了幾度觀測角度（照片間隔為五分鐘）。

地球轉 360 度是 23 小時 56 分鐘，所以 5 分鐘地球會轉 1.253481894 度，將上面得到的轉動觀測角度與 1.253481894 相減開絕對值可得到恆星視位置的誤差。



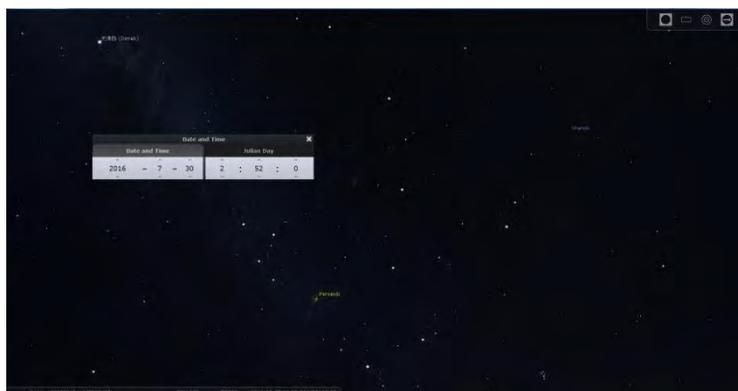
圖二、天球北極周日運動狀況(友校老師攝)

我們使用 Stellarium0.17.0 找出星星在每張照片的實際仰角度數，操作步驟如下：

1. 於 Stellarium0.17.0 中輸入欲查詢地點的經緯度及高度



2. 輸入時間



### 3. 將畫面對應到與照片相同的位置即可點擊對應正確位置的星星以看到詳細資料



圖中的 Az/Alt 即為我們要找的仰角度數，但是 Stellarium 的仰角度數為 60 進位制，所以我們還得轉換成 10 進位。由於大氣折射的關係，我們得套入公式進行修正，公式是假設在大氣壓力為 1010 百帕，氣溫 10 °C，對本實驗狀況不同的溫度和壓力，乘上係數修正。最後將修正過後的仰角度數及每 5 分鐘轉動度數的誤差製成圖表。

## 伍、研究成果

第一組照片 2016/7/30 於塔塔加遊客中心所攝，其中四顆恆星量測數據如下，表中說明為 1.(時間)為拍攝照片時間，2.(角度)為恆星在照片中以天球北極為基準的角度，3.(照片角度差)為前後兩張照片角度相減，4.(時間角度差)為照片間隔為五分鐘的實際角度差，5.(誤差)為(照片角度差)-(時間角度差)，代表恆星視位置的觀測值誤差，6.(星圖軟體仰角)為照片中恆星當時的仰角，7.(平均仰角) 為照片間隔為五分鐘的平均仰角，8.(公式修正)為在此仰角、壓力、溫度的大氣折射公式的修正值，表中的單位皆為度。

恆星 A:天廚一(Altair)

時間	角度	照片角度差	時間角度差	誤差	星圖軟體仰角	平均仰角	公式修正
2016/7/30 P.M.10:52	79.115				45.725		
2016/7/30 P.M.10:57	82.186	3.071	1.253	1.817	45.670	45.698	0.012
2016/7/30 P.M.11:02	83.519	1.333	1.253	0.079	45.602	45.636	0.012
2016/7/30 P.M.11:07	84.844	1.325	1.253	0.072	45.520	45.561	0.012
2016/7/30 P.M.11:12	86.173	1.328	1.253	0.075	45.424	45.472	0.012
2016/7/30 P.M.11:17	87.503	1.330	1.253	0.077	45.316	45.370	0.012

2016/7/30 P.M.11:22	88.833	1.330	1.253	0.077	45.194	45.255	0.013
2016/7/30 P.M.11:27	89.790	0.956	1.253	0.297	45.060	45.127	0.013
2016/7/30 P.M.11:32	88.457	-1.332	1.253	0.079	44.912	44.986	0.013
2016/7/30 P.M.11:37	87.124	-1.333	1.253	0.079	44.752	44.832	0.013
2016/7/30 P.M.11:42	85.740	-1.384	1.253	0.131	44.580	44.666	0.013
2016/7/30 P.M.11:47	84.358	-1.382	1.253	0.128	44.395	44.488	0.013
2016/7/30 P.M.11:52	82.984	-1.374	1.253	0.120	44.199	44.297	0.013
2016/7/30 P.M.11:57	81.583	-1.402	1.253	0.148	43.990	44.094	0.013
2016/7/31 A.M.12:07	78.789	-2.794	2.507	0.287	43.537	43.764	0.013
2016/7/31 A.M.12:17	76.037	-2.752	2.507	0.245	43.042	43.290	0.013
2016/7/31 A.M.12:27	73.217	-2.820	2.507	0.313	42.503	42.773	0.014
2016/7/31 A.M.12:37	70.957	-2.260	2.507	0.247	41.923	42.213	0.014
2016/7/31 A.M.12:47	68.319	-2.638	2.507	0.131	41.305	41.614	0.014
2016/7/31 A.M.1:35	54.616	-13.703	12.033	1.670	37.874	39.590	0.015

恆星 B:少衛增八(Errai)

時間	角度	照片角度差	時間角度差	誤差	星圖軟體仰角	仰角	公式修正
2016/7/30 P.M.10:52	11.266				28.689		
2016/7/30 P.M.10:57	12.330	1.064	1.253	0.189	28.935	28.812	0.023
2016/7/30 P.M.11:02	13.574	1.244	1.253	0.010	29.178	29.057	0.023
2016/7/30 P.M.11:07	14.682	1.108	1.253	0.146	29.419	29.299	0.022
2016/7/30 P.M.11:12	15.887	1.206	1.253	0.048	29.657	29.538	0.022
2016/7/30 P.M.11:17	17.030	1.143	1.253	0.111	29.892	29.775	0.022
2016/7/30 P.M.11:22	18.181	1.150	1.253	0.103	30.125	30.008	0.022
2016/7/30 P.M.11:27	19.408	1.228	1.253	0.026	30.354	30.239	0.022
2016/7/30 P.M.11:32	20.571	1.163	1.253	0.091	30.580	30.467	0.021
2016/7/30 P.M.11:37	21.725	1.154	1.253	0.100	30.803	30.692	0.021
2016/7/30 P.M.11:42	22.901	1.175	1.253	0.078	31.023	30.913	0.021
2016/7/30 P.M.11:47	24.003	1.102	1.253	0.151	31.239	31.131	0.021
2016/7/30 P.M.11:52	25.252	1.249	1.253	0.004	31.452	31.346	0.021

2016/7/30 P.M.11:57	26.508	1.256	1.253	0.003	31.661	31.556	0.020
2016/7/31 A.M.12:07	28.837	2.329	2.507	0.178	32.066	31.863	0.020
2016/7/31 A.M.12:17	31.243	2.406	2.507	0.101	32.456	32.261	0.020
2016/7/31 A.M.12:27	33.578	2.334	2.507	0.173	32.827	32.641	0.020
2016/7/31 A.M.12:37	39.126	5.548	2.507	3.041	33.181	33.004	0.019
2016/7/31 A.M.12:47	41.521	2.395	2.507	0.112	33.515	33.348	0.019
2016/7/31 A.M.1:35	54.636	13.115	12.033	1.081	34.825	34.170	0.019

---

恆星 C:上衛增一(Alfirk)

時間	角度	照片角度差	時間角度差	誤差	星圖軟體仰角	仰角	公式修正
2016/7/30 P.M.10:52	45.981				39.832		
2016/7/30 P.M.10:57	47.199	1.219	1.253	0.035	40.074	39.953	0.015
2016/7/30 P.M.11:02	48.389	1.189	1.253	0.064	40.306	40.190	0.015
2016/7/30 P.M.11:07	49.549	1.161	1.253	0.093	40.529	40.418	0.015
2016/7/30 P.M.11:12	50.826	1.277	1.253	0.023	40.743	40.636	0.015
2016/7/30 P.M.11:17	52.006	1.179	1.253	0.074	40.948	40.846	0.015
2016/7/30 P.M.11:22	53.304	1.298	1.253	0.045	41.144	41.046	0.014
2016/7/30 P.M.11:27	54.453	1.149	1.253	0.104	41.329	41.236	0.014
2016/7/30 P.M.11:32	55.719	1.266	1.253	0.012	41.505	41.417	0.014
2016/7/30 P.M.11:37	56.974	1.255	1.253	0.002	41.671	41.588	0.014
2016/7/30 P.M.11:42	58.192	1.218	1.253	0.036	41.826	41.749	0.014
2016/7/30 P.M.11:47	59.431	1.240	1.253	0.014	41.972	41.899	0.014
2016/7/30 P.M.11:52	60.677	1.245	1.253	0.008	42.106	42.039	0.014
2016/7/30 P.M.11:57	61.927	1.250	1.253	0.003	42.230	42.168	0.014
2016/7/31 A.M.12:07	64.508	2.581	2.507	0.074	42.447	42.338	0.014
2016/7/31 A.M.12:17	67.040	2.532	2.507	0.025	42.619	42.533	0.014
2016/7/31 A.M.12:27	69.667	2.627	2.507	0.120	42.747	42.683	0.014
2016/7/31 A.M.12:37	73.152	3.485	2.507	0.978	42.830	42.788	0.014
2016/7/31 A.M.12:47	75.608	2.456	2.507	0.051	42.867	42.848	0.014
2016/7/31 A.M.1:35	88.800	13.192	12.033	1.159	42.418	42.643	0.014

恆星 D:天鉤五(Alderamin)

時間	角度	照片角度差	時間角度差	誤差	星圖軟體仰角	仰角	公式修正
2016/7/30 P.M.10:52	49.996				46.798		
2016/7/30 P.M.10:57	51.208	1.212	1.253	0.042	47.144	46.971	0.012
2016/7/30 P.M.11:02	52.373	1.165	1.253	0.088	47.477	47.310	0.012
2016/7/30 P.M.11:07	53.599	1.227	1.253	0.027	47.796	47.636	0.012
2016/7/30 P.M.11:12	54.800	1.201	1.253	0.052	48.101	47.948	0.011
2016/7/30 P.M.11:17	56.034	1.233	1.253	0.020	48.392	48.246	0.011
2016/7/30 P.M.11:22	57.260	1.227	1.253	0.027	48.668	48.530	0.011
2016/7/30 P.M.11:27	58.449	1.188	1.253	0.065	48.929	48.798	0.011
2016/7/30 P.M.11:32	59.644	1.196	1.253	0.058	49.175	49.052	0.011
2016/7/30 P.M.11:37	60.880	1.236	1.253	0.017	49.405	49.290	0.011
2016/7/30 P.M.11:42	62.116	1.235	1.253	0.018	49.619	49.512	0.011
2016/7/30 P.M.11:47	63.354	1.238	1.253	0.015	49.817	49.718	0.011
2016/7/30 P.M.11:52	64.579	1.225	1.253	0.028	49.831	49.824	0.011
2016/7/30 P.M.11:57	65.840	1.261	1.253	0.007	50.162	49.997	0.011
2016/7/31 A.M.12:07	68.339	2.499	2.507	0.008	50.438	50.300	0.010
2016/7/31 A.M.12:17	70.876	2.537	2.507	0.030	50.644	50.541	0.010
2016/7/31 A.M.12:27	73.362	2.486	2.507	0.021	50.778	50.711	0.010
2016/7/31 A.M.12:37	76.192	2.829	2.507	0.322	50.839	50.809	0.010
2016/7/31 A.M.12:47	78.689	2.497	2.507	0.010	50.827	50.833	0.010
2016/7/31 A.M.1:35	88.799	10.110	12.033	1.923	49.771	50.299	0.010

第二組照片於 2016/12/5 小風口所攝，其四顆恆星量測數據如下

恆星 A:帝[北極二](Kochab)

時間	角度	照片角度差	時間角度差	誤差	星圖軟體仰角	仰角	公式修正
2016/12/4 A.M.1:13	39.362				13.682		
2016/12/4 A.M.1:18	42.336	2.974	1.253	1.721	13.933	13.807	0.049

2016/12/4	A.M.1:23	41.124	-1.212	1.253	0.041	14.189	14.061	0.048
2016/12/4	A.M.1:28	39.868	-1.256	1.253	0.002	14.450	14.320	0.047
2016/12/4	A.M.1:33	38.663	-1.204	1.253	0.048	14.715	14.582	0.046

---

恆星 B:天璣[北斗三](Phecda)

時間	角度	照片角度差	時間角度差	誤差	星圖軟體仰角	仰角	公式修正	
2016/12/4	A.M.1:13	68.413				22.057		
2016/12/4	A.M.1:18	67.853	-0.560	1.253	0.693	22.786	22.422	0.030
2016/12/4	A.M.1:23	69.510	1.657	1.253	0.404	23.518	23.152	0.029
2016/12/4	A.M.1:28	71.192	1.682	1.253	0.428	24.251	23.885	0.028
2016/12/4	A.M.1:33	72.858	1.666	1.253	0.412	24.987	24.619	0.027

---

恆星 C:天樞[北斗一](Dubhe)

時間	角度	照片角度差	時間角度差	誤差	星圖軟體仰角	仰角	公式修正	
2016/12/4	A.M.1:13	7.230				29.305		
2016/12/4	A.M.1:18	7.662	0.363	1.253	0.891	29.898	29.601	0.022
2016/12/4	A.M.1:23	8.787	1.124	1.253	0.129	30.490	30.194	0.021
2016/12/4	A.M.1:28	11.195	2.408	1.253	1.155	31.081	30.786	0.021
2016/12/4	A.M.1:33	11.101	-0.094	1.253	1.159	31.671	31.376	0.020

---

恆星 D:開陽[北斗六](Mizar)

時間	角度	照片角度差	時間角度差	誤差	星圖軟體仰角	仰角	公式修正	
2016/12/4	A.M.1:13	26.239				26.239		
2016/12/4	A.M.1:18	26.187	-0.052	1.253	1.201	26.187	26.213	0.063
2016/12/4	A.M.1:23	26.716	0.529	1.253	0.725	26.725	26.456	0.060
2016/12/4	A.M.1:28	27.251	0.535	1.253	0.719	27.260	26.992	0.057
2016/12/4	A.M.1:33	27.806	0.555	1.253	0.700	27.815	27.537	0.054

第三組照片於 2017/1/1 后里泰安國小所攝，其四顆恆星量測數據如下

恆星 A:少衛增八(Errai)

時間	角度	照片角度差	時間角度差	誤差	星圖軟體仰角	仰角	公式修正
2017/1/1 A.M.12:17	6.780					19.736	
2017/1/1 A.M.12:22	8.040	1.260	1.253	0.006	19.358	19.547	0.045
2017/1/1 A.M.12:27	9.240	1.201	1.253	0.053	19.121	19.239	0.046
2017/1/1 A.M.12:32	10.454	1.214	1.253	0.039	18.886	19.003	0.046
2017/1/1 A.M.12:37	11.671	1.217	1.253	0.037	18.654	18.770	0.047
2017/1/1 A.M.12:42	12.821	1.150	1.253	0.104	18.425	18.539	0.048
2017/1/1 A.M.12:47	13.972	1.151	1.253	0.103	17.198	17.812	0.050
2017/1/1 A.M.12:52	15.227	1.255	1.253	0.002	17.975	17.587	0.050
2017/1/1 A.M.12:57	16.399	1.172	1.253	0.081	17.755	17.865	0.049
2017/1/1 A.M.01:02	17.593	1.194	1.253	0.059	17.537	17.646	0.050
2017/1/1 A.M.01:07	18.790	1.197	1.253	0.057	17.323	17.430	0.051
2017/1/1 A.M.01:12	19.988	1.198	1.253	0.055	17.112	17.218	0.051
2017/1/1 A.M.01:17	21.172	1.184	1.253	0.070	16.905	17.008	0.052
2017/1/1 A.M.01:22	22.400	1.228	1.253	0.025	16.701	16.803	0.053
2017/1/1 A.M.01:27	23.565	1.165	1.253	0.089	16.500	16.600	0.053
2017/1/1 A.M.01:32	24.824	1.260	1.253	0.006	16.303	16.402	0.054
2017/1/1 A.M.01:37	26.053	1.229	1.253	0.025	16.110	16.207	0.055
2017/1/1 A.M.01:42	27.254	1.201	1.253	0.053	15.921	16.015	0.055
2017/1/1 A.M.01:47	28.523	1.269	1.253	0.016	15.735	15.828	0.056
2017/1/1 A.M.01:52	29.666	1.142	1.253	0.111	15.553	15.644	0.057

恆星 B:帝[北極二](Kochab)

時間	角度	照片角度差	時間角度差	誤差	星圖軟體仰角	平均仰角	公式修正
2017/1/1 A.M.12:17	40.117					16.439	
2017/1/1 A.M.12:22	38.886	-1.231	1.253	0.023	16.731	16.585	0.053
2017/1/1 A.M.12:27	37.560	-1.327	1.253	0.073	17.026	16.878	0.052
2017/1/1 A.M.12:32	36.356	-1.204	1.253	0.050	17.324	17.175	0.051

2017/1/1 A.M.12:37	35.064	-1.292	1.253	0.038	17.625	17.474	0.051
2017/1/1 A.M.12:42	33.773	-1.292	1.253	0.038	17.931	17.778	0.050
2017/1/1 A.M.12:47	32.497	-1.276	1.253	0.022	18.239	18.085	0.049
2017/1/1 A.M.12:52	31.239	-1.258	1.253	0.005	18.550	18.394	0.048
2017/1/1 A.M.12:57	29.959	-1.279	1.253	0.026	18.864	18.707	0.047
2017/1/1 A.M.01:02	28.709	-1.250	1.253	0.003	19.181	19.022	0.046
2017/1/1 A.M.01:07	27.428	-1.281	1.253	0.028	19.500	19.340	0.046
2017/1/1 A.M.01:12	26.203	-1.225	1.253	0.029	19.822	19.661	0.045
2017/1/1 A.M.01:17	24.950	-1.253	1.253	0.000	20.146	19.984	0.044
2017/1/1 A.M.01:22	23.666	-1.283	1.253	0.030	20.472	20.309	0.043
2017/1/1 A.M.01:27	22.440	-1.227	1.253	0.027	20.801	20.637	0.043
2017/1/1 A.M.01:32	21.156	-1.283	1.253	0.030	21.117	20.959	0.042
2017/1/1 A.M.01:37	19.917	-1.239	1.253	0.014	21.464	21.290	0.041
2017/1/1 A.M.01:42	18.616	-1.301	1.253	0.047	21.797	21.630	0.040
2017/1/1 A.M.01:47	17.433	-1.184	1.253	0.070	22.119	21.958	0.040
2017/1/1 A.M.01:52	16.190	-1.243	1.253	0.011	22.470	22.294	0.039

---

恆星 C:天樞[北斗一](Dubhe)

時間	角度	照片角度差	時間角度差	誤差	星圖軟體仰角	平均仰角	公式修正
2017/1/1 A.M.12:17	16.152				35.080		
2017/1/1 A.M.12:22	17.403	1.251	1.253	0.003	35.655	35.368	0.019
2017/1/1 A.M.12:27	18.630	1.228	1.253	0.026	36.228	35.941	0.019
2017/1/1 A.M.12:32	19.858	1.227	1.253	0.026	36.796	36.512	0.019
2017/1/1 A.M.12:37	21.115	1.257	1.253	0.004	37.361	37.078	0.019
2017/1/1 A.M.12:42	22.363	1.248	1.253	0.005	37.921	37.641	0.018
2017/1/1 A.M.12:47	23.610	1.247	1.253	0.007	38.477	38.199	0.018
2017/1/1 A.M.12:52	24.868	1.259	1.253	0.005	39.029	38.753	0.018
2017/1/1 A.M.12:57	26.125	1.256	1.253	0.003	39.575	39.302	0.018
2017/1/1 A.M.01:02	27.348	1.223	1.253	0.030	40.115	39.845	0.018
2017/1/1 A.M.01:07	28.584	1.236	1.253	0.017	40.650	40.383	0.018

2017/1/1 A.M.01:12	29.851	1.266	1.253	0.013	41.179	40.914	0.018
2017/1/1 A.M.01:17	31.085	1.235	1.253	0.019	41.701	41.440	0.017
2017/1/1 A.M.01:22	32.364	1.279	1.253	0.025	42.216	41.958	0.017
2017/1/1 A.M.01:27	33.583	1.218	1.253	0.035	42.723	42.470	0.017
2017/1/1 A.M.01:32	34.837	1.254	1.253	0.001	43.224	42.974	0.017
2017/1/1 A.M.01:37	36.116	1.280	1.253	0.026	43.716	43.470	0.017
2017/1/1 A.M.01:42	37.385	1.269	1.253	0.016	44.199	43.958	0.017
2017/1/1 A.M.01:47	38.651	1.266	1.253	0.012	44.674	44.437	0.017
2017/1/1 A.M.01:52	39.909	1.257	1.253	0.004	45.139	44.907	0.016

---

恆星 D:玉衡[北斗五](Alioth)

時間	角度	照片角度差	時間角度差	誤差	星圖軟體仰角	平均仰角	公式修正
2017/1/1 A.M.12:17	10.899				20.972		
2017/1/1 A.M.12:22	9.693	-1.205	1.253	0.048	21.658	21.315	0.041
2017/1/1 A.M.12:27	8.441	-1.252	1.253	0.002	22.346	22.002	0.040
2017/1/1 A.M.12:32	7.217	-1.225	1.253	0.029	23.036	22.691	0.038
2017/1/1 A.M.12:37	5.999	-1.218	1.253	0.035	23.729	23.383	0.037
2017/1/1 A.M.12:42	4.750	-1.249	1.253	0.004	24.424	24.076	0.036
2017/1/1 A.M.12:47	3.535	-1.214	1.253	0.039	25.120	24.772	0.035
2017/1/1 A.M.12:52	2.292	-1.243	1.253	0.010	25.801	25.461	0.034
2017/1/1 A.M.12:57	1.078	-1.215	1.253	0.039	26.517	26.159	0.033
2017/1/1 A.M.01:02	0.164	-0.914	1.253	0.339	27.217	26.867	0.032
2017/1/1 A.M.01:07	1.405	1.241	1.253	0.012	27.919	27.568	0.031
2017/1/1 A.M.01:12	2.619	1.214	1.253	0.039	28.620	28.269	0.030
2017/1/1 A.M.01:17	3.862	1.243	1.253	0.011	29.323	28.971	0.029
2017/1/1 A.M.01:22	5.106	1.244	1.253	0.010	30.025	29.674	0.028
2017/1/1 A.M.01:27	6.324	1.218	1.253	0.036	30.727	30.376	0.028
2017/1/1 A.M.01:32	7.569	1.245	1.253	0.009	31.418	31.073	0.027
2017/1/1 A.M.01:37	8.816	1.247	1.253	0.006	32.131	31.775	0.026
2017/1/1 A.M.01:42	10.048	1.232	1.253	0.022	32.832	32.482	0.025

2017/1/1 A.M.01:47	11.269	1.221	1.253	0.032	33.532	33.182	0.025
2017/1/1 A.M.01:52	12.500	1.230	1.253	0.023	34.231	33.882	0.024

第四組照片於 2018/5/18 台中市西屯逢甲所攝，四顆恆星量測數據如下

恆星 A:內階一(Muscida)

時間	角度	照片角度差	時間角度差	誤差	星圖軟體仰角	平均仰角	公式修正
2018/5/18 P.M.8:26	29.539				37.711		
2018/5/18 P.M.8:31	28.490	1.049	1.253	0.204	37.127	37.419	0.020
2018/5/18 P.M.8:36	27.238	1.251	1.253	0.002	36.539	36.833	0.020
2018/5/18 P.M.8:41	26.017	1.221	1.253	0.032	35.947	36.243	0.021
2018/5/18 P.M.8:46	24.782	1.235	1.253	0.018	35.353	35.65	0.022
2018/5/18 P.M.8:51	23.532	1.250	1.253	0.003	34.755	35.054	0.022
2018/5/18 P.M.8:56	22.283	1.249	1.253	0.004	34.154	34.454	0.025
2018/5/18 P.M.9:01	21.047	1.235	1.253	0.018	33.551	33.853	0.023
2018/5/18 P.M.9:06	19.784	1.264	1.253	0.010	32.946	33.249	0.024
2018/5/18 P.M.9:11	18.574	1.210	1.253	0.044	32.339	32.642	0.024
2018/5/18 P.M.9:16	17.304	1.270	1.253	0.017	31.727	32.033	0.025
2018/5/18 P.M.9:21	16.045	1.259	1.253	0.006	31.120	31.424	0.025
2018/5/18 P.M.9:26	14.827	1.218	1.253	0.036	30.509	30.814	0.026
2018/5/18 P.M.9:31	13.580	1.247	1.253	0.006	29.896	30.202	0.027
2018/5/18 P.M.9:36	12.311	1.269	1.253	0.015	29.283	29.59	0.027
2018/5/18 P.M.9:41	11.082	1.229	1.253	0.025	28.670	28.977	0.028
2018/5/18 P.M.9:46	9.793	1.290	1.253	0.036	28.057	28.363	0.029
2018/5/18 P.M.9:51	8.543	1.250	1.253	0.004	27.443	27.75	0.029
2018/5/18 P.M.9:56	7.268	1.275	1.253	0.021	26.830	27.137	0.030
2018/5/18 P.M.10:01	6.000	1.268	1.253	0.015	26.217	26.524	0.031
2018/5/18 P.M.10:06	4.766	1.234	1.253	0.020	25.605	25.911	0.032

---

恆星 B:文昌四(Alhud V)

時間	角度	照片角度差	時間角度差	誤差	星圖軟體仰角	平均仰角	公式修正
2018/5/18 P.M.8:26	44.485				49.188		
2018/5/18 P.M.8:31	43.437	1.048	1.253	0.205	48.490	48.839	0.014
2018/5/18 P.M.8:36	42.2	1.237	1.253	0.016	47.783	48.136	0.014
2018/5/18 P.M.8:41	41.011	1.188	1.253	0.064	47.069	47.426	0.014
2018/5/18 P.M.8:46	39.773	1.238	1.253	0.015	46.348	46.709	0.015
2018/5/18 P.M.8:51	38.567	1.206	1.253	0.047	45.621	45.984	0.015
2018/5/18 P.M.8:56	37.338	1.229	1.253	0.024	44.888	45.254	0.015
2018/5/18 P.M.9:01	36.101	1.237	1.253	0.016	44.149	44.518	0.016
2018/5/18 P.M.9:06	34.889	1.212	1.253	0.041	43.406	43.777	0.016
2018/5/18 P.M.9:11	33.672	1.217	1.253	0.036	42.657	43.031	0.017
2018/5/18 P.M.9:16	32.437	1.236	1.253	0.018	41.905	42.281	0.017
2018/5/18 P.M.9:21	31.215	1.221	1.253	0.031	41.149	41.527	0.018
2018/5/18 P.M.9:26	29.976	1.24	1.253	0.014	40.389	40.769	0.018
2018/5/18 P.M.9:31	28.762	1.214	1.253	0.039	39.626	40.008	0.019
2018/5/18 P.M.9:36	27.529	1.233	1.253	0.020	38.860	39.243	0.019
2018/5/18 P.M.9:41	26.288	1.241	1.253	0.012	38.092	38.476	0.020
2018/5/18 P.M.9:46	25.06	1.228	1.253	0.025	37.322	37.707	0.020
2018/5/18 P.M.9:51	23.844	1.216	1.253	0.037	36.550	36.936	0.021
2018/5/18 P.M.9:56	22.587	1.257	1.253	0.004	35.776	36.163	0.021
2018/5/18 P.M.10:01	21.341	1.245	1.253	0.007	35.001	35.389	0.022
2018/5/18 P.M.10:06	20.116	1.225	1.253	0.028	34.219	34.61	0.023

---

恆星 C:天樞[北斗一](Dubhe)

時間	角度	照片角度差	時間角度差	誤差	星圖軟體仰角	平均仰角	公式修正
2018/5/18 P.M.8:26	66.574				50.784		
2018/5/18 P.M.8:31	65.537	1.037	1.253	0.216	50.524	50.654	0.013
2018/5/18 P.M.8:36	64.335	1.202	1.253	0.051	50.247	50.385	0.013
2018/5/18 P.M.8:41	63.132	1.203	1.253	0.050	49.955	50.101	0.013

2018/5/18 P.M.8:46	61.898	1.234	1.253	0.019	49.648	49.802	0.013
2018/5/18 P.M.8:51	60.692	1.206	1.253	0.047	49.325	49.487	0.013
2018/5/18 P.M.8:56	59.497	1.195	1.253	0.058	48.989	49.157	0.014
2018/5/18 P.M.9:01	58.272	1.225	1.253	0.028	48.638	48.813	0.014
2018/5/18 P.M.9:06	57.104	1.168	1.253	0.085	48.273	48.455	0.014
2018/5/18 P.M.9:11	55.888	1.216	1.253	0.037	47.895	48.084	0.014
2018/5/18 P.M.9:16	54.662	1.226	1.253	0.027	47.505	47.7	0.014
2018/5/18 P.M.9:21	53.454	1.208	1.253	0.045	47.102	47.303	0.014
2018/5/18 P.M.9:26	52.225	1.229	1.253	0.024	46.687	46.895	0.015
2018/5/18 P.M.9:31	51.05	1.175	1.253	0.078	46.261	46.474	0.015
2018/5/18 P.M.9:36	49.806	1.244	1.253	0.009	45.825	46.043	0.015
2018/5/18 P.M.9:41	48.633	1.173	1.253	0.080	45.377	45.601	0.015
2018/5/18 P.M.9:46	47.414	1.219	1.253	0.034	44.920	45.148	0.016
2018/5/18 P.M.9:51	46.195	1.219	1.253	0.034	44.453	44.686	0.016
2018/5/18 P.M.9:56	44.953	1.242	1.253	0.011	43.976	44.214	0.016
2018/5/18 P.M.10:01	43.759	1.194	1.253	0.059	43.491	43.734	0.016
2018/5/18 P.M.10:06	42.564	1.195	1.253	0.058	42.998	43.244	0.017

---

恆星 D:帝[北極二](Kochab)

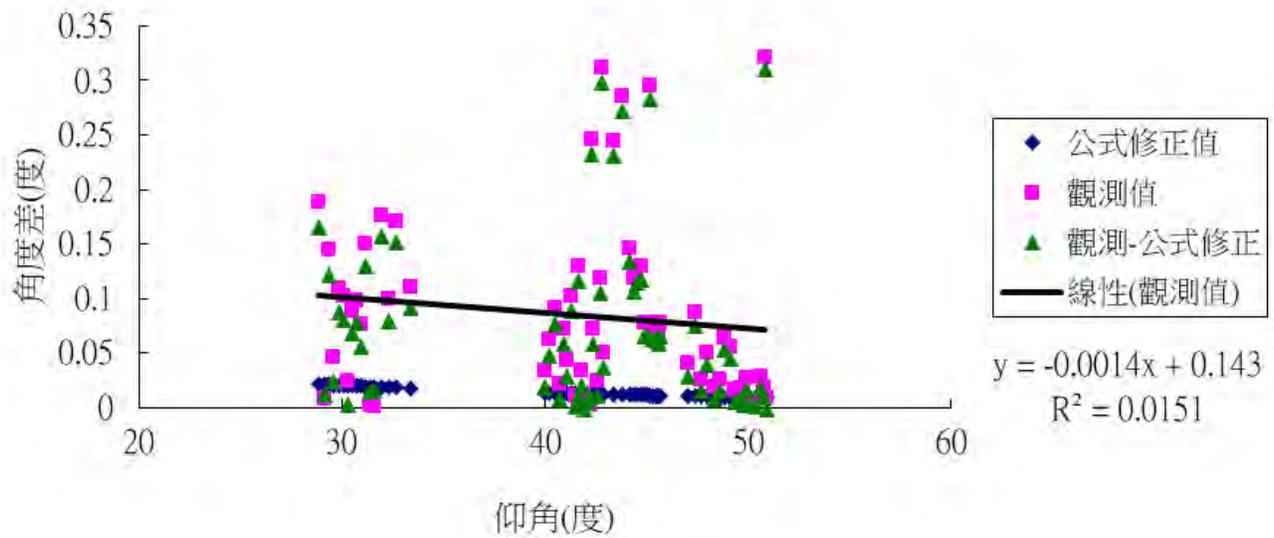
時間	角度	照片角度差	時間角度差	誤差	星圖軟體仰角	平均仰角	公式修正
2018/5/18 P.M.8:26	58.307				35.991		
2018/5/18 P.M.8:31	59.393	1.086	1.253	0.167	36.234	36.112	0.021
2018/5/18 P.M.8:36	60.641	1.248	1.253	0.005	36.470	36.352	0.021
2018/5/18 P.M.8:41	61.811	1.17	1.253	0.083	36.701	36.586	0.021
2018/5/18 P.M.8:46	63.061	1.25	1.253	0.003	36.926	36.813	0.021
2018/5/18 P.M.8:51	63.946	0.885	1.253	0.368	37.144	37.035	0.021
2018/5/18 P.M.8:56	65.539	1.593	1.253	0.34	37.355	37.249	0.021
2018/5/18 P.M.9:01	66.795	1.256	1.253	0.003	37.560	37.457	0.020
2018/5/18 P.M.9:06	67.954	1.159	1.253	0.094	37.757	37.659	0.020
2018/5/18 P.M.9:11	69.214	1.26	1.253	0.007	37.948	37.853	0.020

2018/5/18 P.M.9:16	70.453	1.239	1.253	0.014	38.132	38.04	0.020
2018/5/18 P.M.9:21	71.673	1.22	1.253	0.033	38.308	38.22	0.020
2018/5/18 P.M.9:26	72.896	1.223	1.253	0.03	38.477	38.392	0.020
2018/5/18 P.M.9:31	74.102	1.206	1.253	0.047	38.638	38.557	0.020
2018/5/18 P.M.9:36	75.367	1.265	1.253	0.012	38.791	38.714	0.019
2018/5/18 P.M.9:41	76.562	1.195	1.253	0.058	38.937	38.864	0.019
2018/5/18 P.M.9:46	77.83	1.268	1.253	0.015	39.074	39.005	0.019
2018/5/18 P.M.9:51	79.016	1.186	1.253	0.067	39.204	39.139	0.019
2018/5/18 P.M.9:56	80.214	1.198	1.253	0.055	39.325	39.264	0.019
2018/5/18 P.M.10:01	81.451	1.237	1.253	0.016	39.438	39.382	0.019
2018/5/18 P.M.10:06	82.64	1.189	1.253	0.064	39.543	39.49	0.019

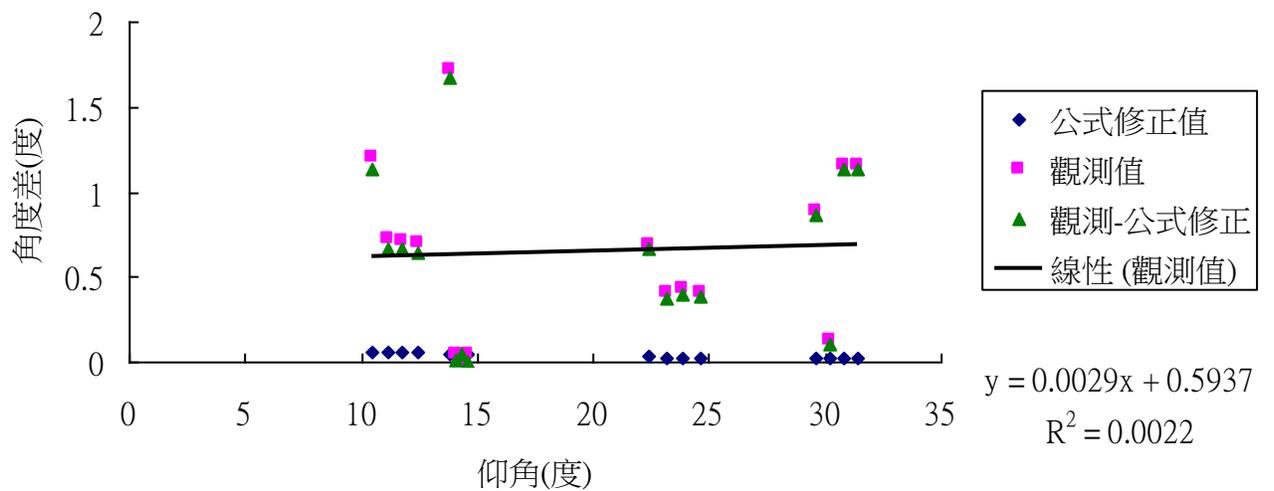
根據上列表格的最後計算結果，可以看出實際上恆星的位置(照片角度差)和真實值(時間角度差)有些差異，將兩者相減即得觀測值(誤差)，用(平均仰角)和觀測值(誤差)角度差去做相關係數分析，發現第一組相片的相關係數是-0.12297，第二組相片的相關係數是 0.04652，第四組相片的相關係數是 0.15529，代表仰角和觀測值誤差相關性很低，只有第三組相片的相關係數是 -0.45156，顯示中度負相關，代表仰角越小，觀測值誤差越大。而第一、二和四組相片和第三組的相關係數的差異，代表可能是有某種原因造成這不同的結果，檢視天氣因素，在第三組拍攝的夜晚風速為 0，其他組的夜晚皆有風吹。

## 陸、討論

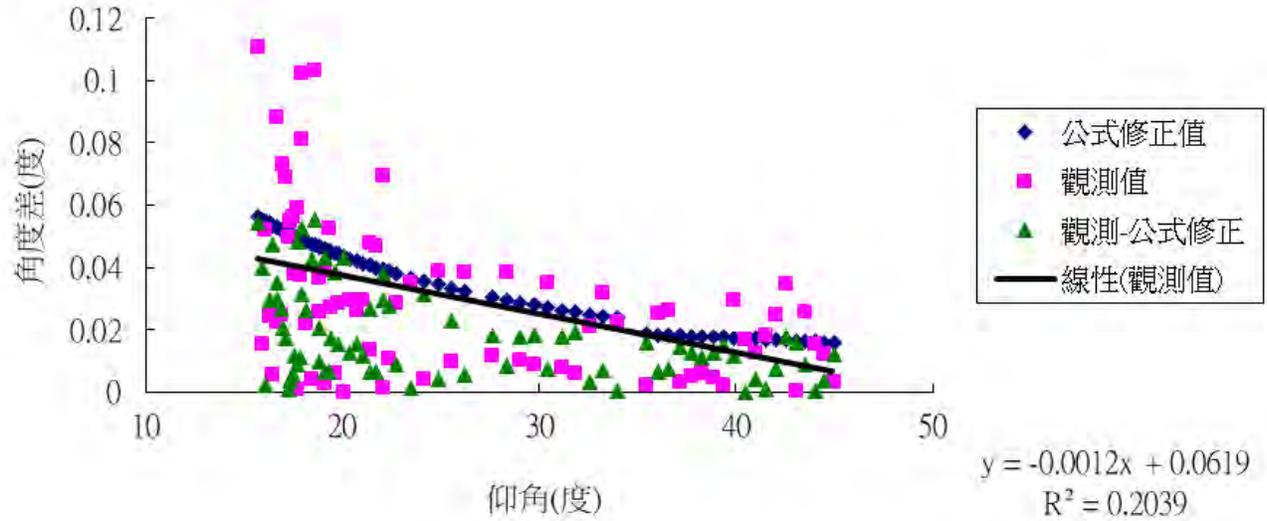
我們將上述資料做成圖表，(平均仰角)為 X 軸和觀測值(誤差)為 Y 軸，另外包含(公式修正)及觀測值(誤差)- (公式修正)。因為(公式修正)代表大氣折射造成的誤差，所以觀測值(誤差)- (公式修正)則代表大氣擾動的視相誤差。而圖中也對觀測值(誤差)做線性回歸。



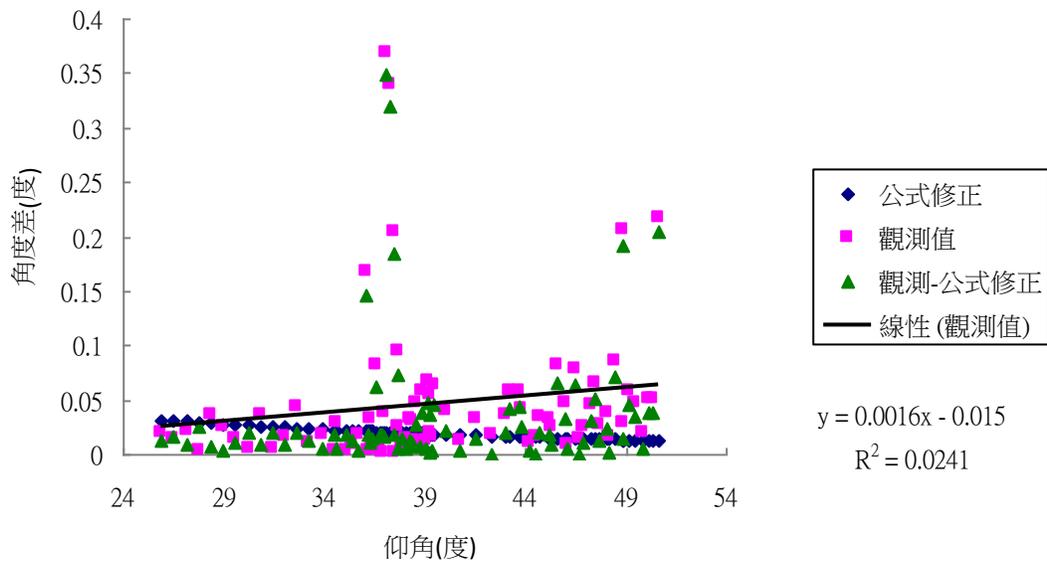
圖三、2016/07/30 第一組照片(平均仰角)和觀測值(誤差)的關係圖，仰角與觀測值誤差就並無太大關聯



圖四、2016/12/04 第二組照片(平均仰角)和觀測值(誤差)的關係圖，各個仰角所對應到的觀測值(誤差)無太大關聯



圖五、2017/01/01 第三組照片(平均仰角)和觀測值(誤差)的關係圖，觀測值(誤差)線性回歸的趨勢和(公式修正)值很貼近



圖六、2018/05/18 第四組照片(平均仰角)和觀測值(誤差)的關係圖，觀測值(誤差)和(公式修正)值呈現相反的趨勢，有可能地面附近大氣擾動不大，但離地面上一層的大氣擾動明顯

在前面四張圖中可以看出，第三組的觀測值誤差很小，其數值也和公式修正值不會差太多，觀測值的線性回歸也和公式值接近。在前所述，第三組照片在觀測時是無風狀況，大氣擾動極小，可以推斷其誤差大部分來自於大氣折射，可以由公式估算。但是其他組的狀況就不是如此單純，在有風的情況下，大氣擾動的現象影響非常巨大，觀測的數值會隨當時的天氣狀況改變很大，根據文獻我們知道大氣中不同層有風速或是不同層有溫度差，都會造成大氣擾動，有趣的是第一組和第四組的觀測值線性回歸的趨勢，在第一組中仰角越低，觀測值誤差越大，這符合一般假設，因為越接近地面大氣越厚，越容易有不同層風速或是溫度差，造成大氣擾動。但是第四組的趨勢是相反，仰角越高，觀測值誤差越大，可能的解釋是當時地面附近大氣擾動不大，但離地面上一層的大氣擾動明顯。

接下來來分析實際夜空的視相(seeing)造成多大偏差?我們將觀測值(誤差)- (公式修正)，代表大氣擾動的視相誤差，將上述四組的數據其中(觀測值- 公式修正)做分析，搭配當時的天氣參數，做出下表，表中的最大誤差為各組中(觀測值- 公式修正)的最大值，代表最大擾動，而平均誤差是各組中(觀測值- 公式修正)的平均值，代表平均大氣擾動。

表一: 大氣擾動的視相誤差和觀測當時的天氣參數

	最大誤差(度)	平均誤差(度)	氣壓(hPa)	氣溫(°C)	風速(m/s)
7月30日	0.312	0.072	763	12.8	0.45
12月4日	1.672	0.549	730.4	6.4	1.7
1月1日	0.056	0.018	991	15.6	0
5月18日	0.348	0.036	994.2	28.8	1.5

恆星的(觀測值- 公式修正)角度差，這數值的分離代表短暫的大氣擾動影響，也就是視相偏差。可以發現第一組照片的視相差最大為 0.312 度，平均為 0.072 度，第二組相片的視相差最大為 1.672 度，平均為 0.549 度，第三組相片的視相差最大為 0.056 度，平均為 0.018 度，第四組相片的視相差最大為 0.348 度，平均為 0.036 度，可以看出這四組的視相差有差異，第二組照片的視相差較大且變動量也較大。

而在氣象站的資料中可以發現，2016/07/30 晚上是有風的(0.2m/s)，2016/12/04 晚上是有風的(1.7m/s)，2017/01/01 晚上是無風(0m/s)，2018/5/18 晚上是有風的(1.5m/s)，所以可以推測風速越大，視相偏差越大，風造成的大氣擾動會產生影響。而同樣的氣象原因也可以解釋四組照

片在相關係數上的差異，因為第三組相片拍攝時近乎無風，可以推測大氣擾動很小，其觀測值(誤差)幾乎是從大氣折射造成的誤差而來，所以會和(公式修正)值很貼近，仰角越小，觀測值誤差越大。為了更進一步得到大氣參數和視相的關係，我們將表二中的(觀測值-公式修正)角度差和大氣的氣溫和風速參數做相關係數，得出下表

表二: 大氣擾動的視相誤差和天氣參數的相關係數表

	最大誤差	平均誤差	氣壓	氣溫	風速
最大誤差	1.000				
平均誤差	0.991	1.000			
氣壓	-0.693	-0.711	1.000		
氣溫	-0.601	<b>-0.692</b>	0.800	1.000	
風速	<b>0.741</b>	<b>0.646</b>	-0.279	0.078	1.000

可以看出關於大氣擾動(視相)的幾個明顯的影響原因，第一是風速和最大誤差(代表觀測當時的最大擾動)為高度正相關(0.741)，代表風速越大，視相的最大擾動也越大，另外風速也和平均大氣擾動呈中度正相關(0.646)，可以佐證風速越大，平均視相偏差越大。另外一個意外的趨勢是氣溫和平均誤差呈中度負相關(-0.692)，氣溫越高，平均視相擾動誤差越小，在文獻中較少描述氣溫對大氣擾動的影響，大部分是指大氣中不同層的溫度差才会有影響，四組照片中氣溫較低的兩組皆在山上拍攝(冬夏均有)，所以可能是地形影響，山區對流旺盛，所以氣溫低，平均視相擾動誤差大，從氣壓的趨勢也可以得到此推論，氣壓低(兩組在山上)，平均視相擾動誤差大。地面相對於山區對流比較不明顯，所以平均視相擾動誤差小。

## 柒、結論

從觀測結果來看，風造成的大氣擾動會產生影響，風速越大，視相的最大擾動也越大，另外風速越大，平均視相偏差也越大。

另外風速越大，仰角與觀測值誤差就並無太大關聯，因為大氣擾動的視相偏差很嚴重。若無風，大氣擾動很小，其觀測值(誤差)幾乎是從大氣折射造成的誤差而來，所以會和(公式修正)值很貼近，仰角越小，觀測值誤差越大。

## 捌、參考資料

Alan MacRobert (2006). How to Successfully Beat Atmospheric Seeing. *Sky and Telescope*. 取自  
<http://www.skyandtelescope.com/astronomy-equipment/beating-the-seeing/>

Astronomical seeing (n. d.)。民 107 年 2 月 10 日，取自  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Astronomical\\_seeing](http://en.wikipedia.org/wiki/Astronomical_seeing)

Atmospheric refraction(n. d.)。民 107 年 2 月 10 日，取自  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric\\_refraction](https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_refraction)

Meeus, Jean (1991). *Astronomical algorithms (1st English ed.)*. Richmond, Va.: Willmann-Bell.  
pp.102–103.

Sæmundsson, Þorsteinn (1986). "Astronomical Refraction". *Sky and Telescope*. **72**: 70.

沈青嵩（民 105）。基礎物理(上) 新北市：康熹。

游鎮烽（民 105）。基礎地球科學（上）新北市：泰宇出版

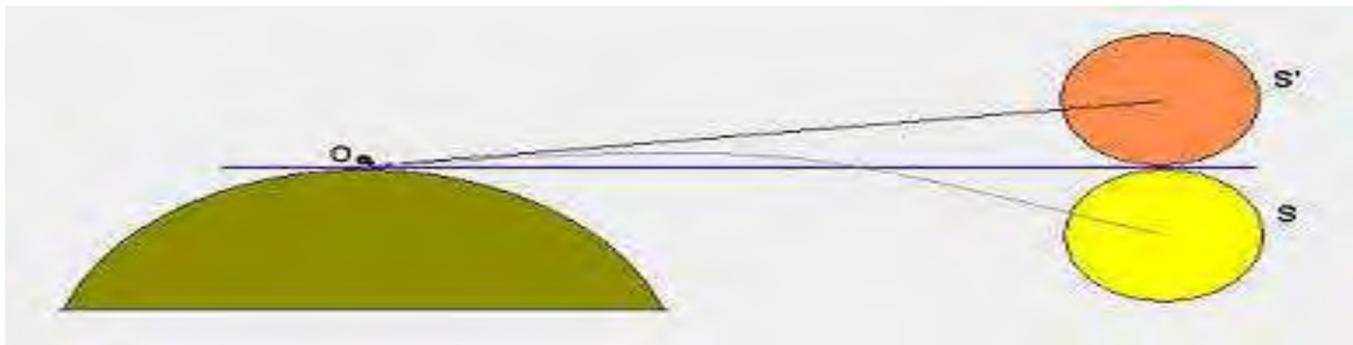
## 【評語】 051906

題目選取有趣，可惜對於所觀測的物理意義的認知有誤，而將一個二維的向量(星視角)問題以簡單的一維數值處理，以致結果的涵義不明。

# 壹、研究動機

上完地球科學課時我們學到，當光線進入不同的介質因為兩個介質的速率不同所以會產生角度上的偏移，即為折射，生活中非常常見的一種光學現象(游鎮烽，民105)。天體的光由外太空進入地球大氣層時，因受到大氣折射效應的影響，使得觀星時所見的天體並非其實際位置，例如落日的時候，太陽愈接近地平線會逐漸變形，上網搜尋才發現此現象與大氣折射也有關，於是我們設計了一個簡單的實驗來測得夜空中恆星的視相偏差。

對於折射現象，西元1621年荷蘭物理學家司乃耳(W.Snell)對此現象提出了「司乃耳定律」(Snell's Law)即光入射到不同介質的界面上會發生反射和折射(沈青嵩，民105)。根據以上的理論便可以推斷天體的光由外太空進入地球大氣層時，因為介質的密度不同而產生折射，例如:當我們看到太陽日落時，實際上它已經落下，而日出反之。



圖一、日落時理論太陽(黃色)和觀測太陽(橘色)在地平線附近狀況 (Atmospheric refraction，無日期)

而星光受大氣的影響會偏移，問題是這種偏移有多少? 大氣的影響使星光偏移可分為兩類，一是**大氣折射**，當星光射向我們時,除了位於天頂時外,星光會經過一個和光線不垂直的大氣層表面。因為空氣密度會隨著高度而變化，因此光通過空氣時會產生折射。另一個原因是大氣的短期紊動造成**大氣擾動**，不斷流動的大氣也使得空氣密度快速的改變，因此光線路徑也隨此快速的變化、彎曲而造成偏折。而第一項大氣折射率偏移量可由公式計算，但是大氣擾動的影響只能靠實際觀察來估算(Astronomical seeing，無日期)。地球的大氣層每一層的大氣密度不盡相同，愈靠近地表，大氣密度愈大。而大氣的折射率為壓力、溫度的函數，也和星光離天頂的角度有多遠有關。因此，愈靠近地表的光線，因為地表大氣密度愈大，折射角度也就愈大。但是，地球上每一個區域的上空大氣層厚度、組成比例皆相異。如熱帶(赤道)地區對流層高約十六公里；但極區則僅高八、九公里。基於各種因素的影響，也讓修正大氣的難度提升。Sæmundsson (1986) 發展了一個公式，利用真實仰角來算折射偏差，下列公式中 $h$ 是真實仰角(度),  $R$ 是折射偏差，公式是假設在大氣壓力為1010百帕，氣溫 $10^{\circ}\text{C}$ ；

對不同的溫度和壓力，可以乘下列係數修正(Meeus 1991)

$$R = 1.02 \cot \left( h + \frac{10.3}{h + 5.11} \right)$$

$$\frac{P}{1010} \frac{283}{273 + T}$$

另外，一個恆星日為23小時56分鐘，地球轉了360度，可以算出固定時間內轉動的角度。因此我們設計了本實驗來找出實際上夜晚中恆星的視相偏差。照片的時間間隔為真實的移動角度，減去恆星在照片中移動的觀測角度，兩者相減得到角度差，即為**大氣折射**和**大氣擾動**所造成的。

# 貳、研究目的

- 1.我們實際觀測的數值跟理論值會有多少差距呢？
- 2.如果有差距的話，有那些因素可能會影響呢？

# 參、研究設備和器材

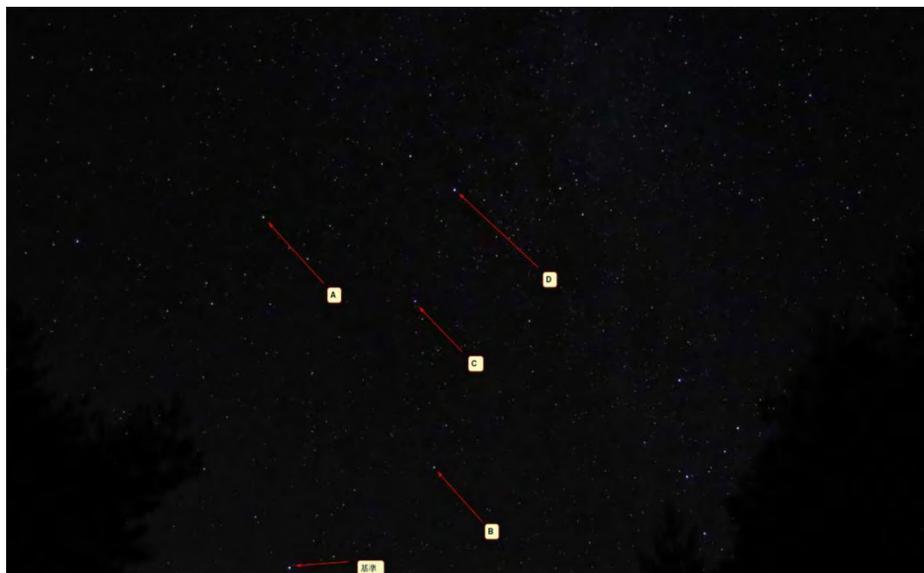
- 1.個人式程、腦電MICROSOFT Word and Excel，PhotoCap6.0，Stellarium
2. Canon PowerShot G16相機 f/1.8 焦距6.1mm ISO800

第一組照片的參數

2016/7/30 P.M.10:52~2016/7/31 A.M.1:35，共20張

位置:塔塔加遊客中心，緯度:23°29'14"N，經度:120°53'48"E，氣壓763hPa，氣溫12.8°C，風速0.45m/s

恆星A:天廚一，恆星B:少衛增八，恆星C:上衛增一，恆星D:天鈎五。



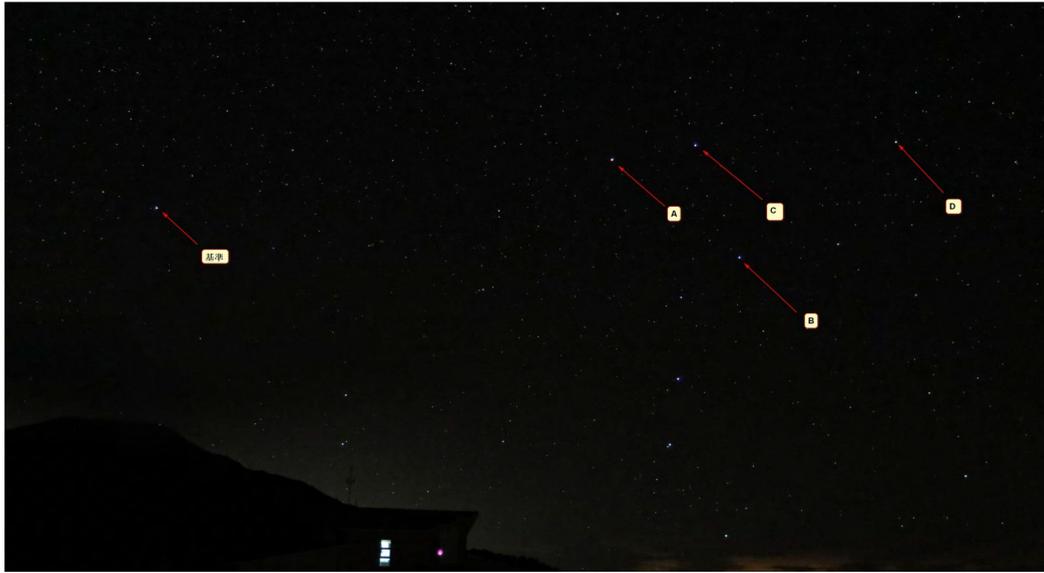
圖二、2016/7/30 P.M.10:52 於塔塔加拍攝

## 第二組照片的參數

2016/12/5 P.M.1:13~2016/12/5 P.M.1:33，共5張

位置:小風口，緯度:24°08'38"N，經度:121°19'03"E，氣壓730.4hPa，氣溫6.4°C，風速1.7m/s

恆星A:帝[北極二]，恆星B:天璣[北斗三]，恆星C:天樞[北斗一]，恆星D:開陽[北斗六]。



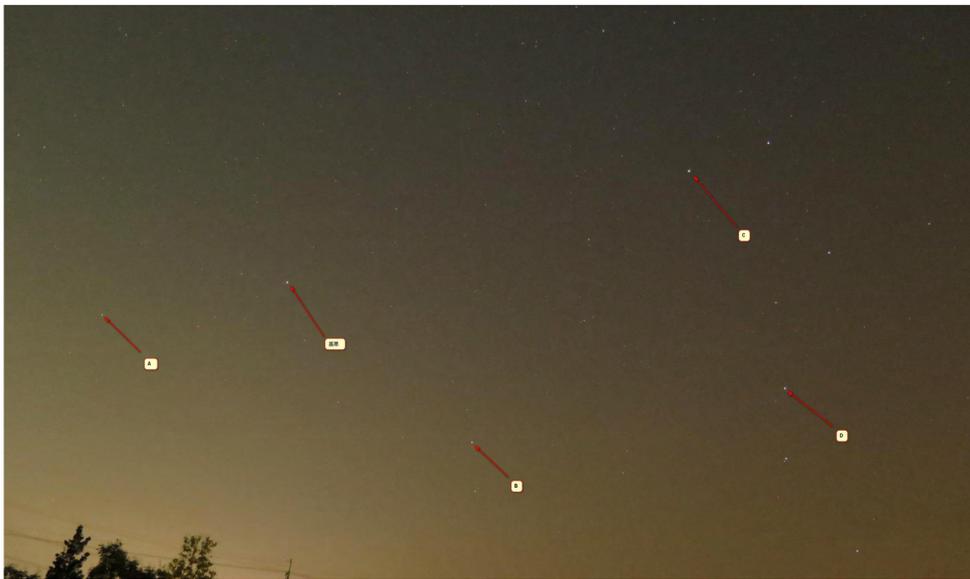
圖三、2016/12/5 A.M.1:13於小風口拍攝

## 第三組照片參數

2017/1/1 A.M.12:17~2017/1/1 A.M.01:52，共20張

位置:后里泰安國小，緯度:24°19'13"N，經度:120°44'46"E，氣壓991hPa，氣溫15.6°C，風速0m/s

恆星A:少衛增八，恆星B:帝[北極二]，恆星C:天樞[北斗一]，恆星D:玉衡[北斗五]。



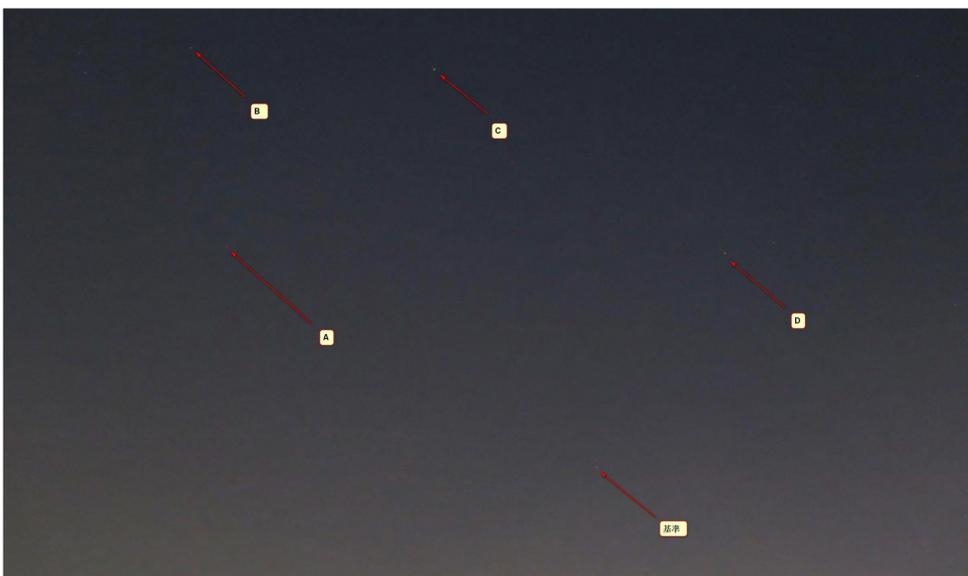
圖四、2017/1/1 A.M.12:17於后里泰安國小拍攝

## 第四組照片參數

2018/5/18 P.M.8:26~2018/5/18 P.M.10:06，共21張

位置:台中市西屯逢甲，緯度:24°10'56"N，經度:120°38'24"E，氣壓:994.2hpa，溫度:28.8°C，風速:1.5m/s

恆星A:內階一，恆星B:文昌四，恆星C:天樞[北斗一]，恆星D:帝[北極二]。



圖五、2018/5/18 P.M.8:26於西屯逢甲拍攝

## 肆、研究方法

(一)我們使用PhotoCap6.0來暫定星星的座標：

將須查詢座標的圖載入PhotoCap6.0內，接著用選取工具所做出來的虛線框的左上角對準那顆星的中心，上方會出現X及Y座標值

把北極星座標利用圓公式算出天球北極座標，然後我們將恆星座標減天球北極座標開絕對值即可得到恆星相對天球北極的座標差，用excel把得到的座標差的帶入公式可得到測量星在天球北極的角度方向。把第二張照片的角度減掉第一張的照片角度開絕對值可得到五分鐘後星星轉動了幾度觀測角度。地球轉360度是23小時56分鐘，所以5分鐘地球會轉1.253481894度，將上面得到的轉動觀測角度與1.253481894相減開絕對值可得到恆星視位置的誤差。

(二)我們使用Stellarium0.17.0找出星星在每張照片的實際仰角度數：

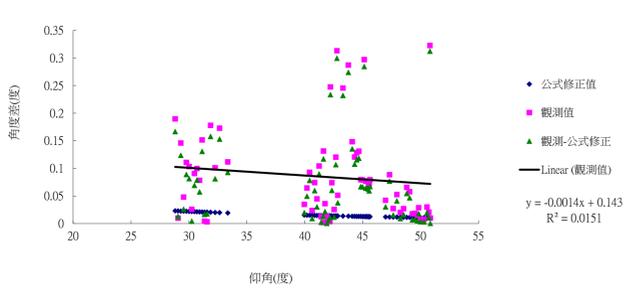
1.於Stellarium0.17.0中輸入欲查詢地點的經緯度及高度 2.輸入時間

3.將畫面對應到與所分析的照片相同的位置點擊目標恆星可看到詳細資料

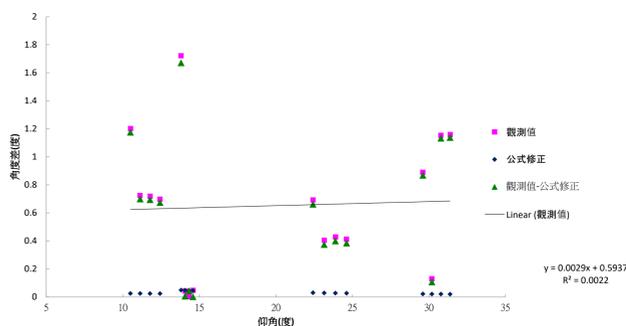
點擊恆星後畫面上的Az/Alt即為我們要找的仰角度數，但是Stellarium的仰角度數為60進位制，所以我們還得轉換成10進位。由於大氣折射的關係，我們得套入公式進行修正，公式是假設在大氣壓力為1010百帕，氣溫10°C，對本實驗狀況不同的溫度和壓力，乘上係數修正。最後將修正過後的仰角度數及每5分鐘轉動度數的誤差製成圖表。

# 伍、研究結果

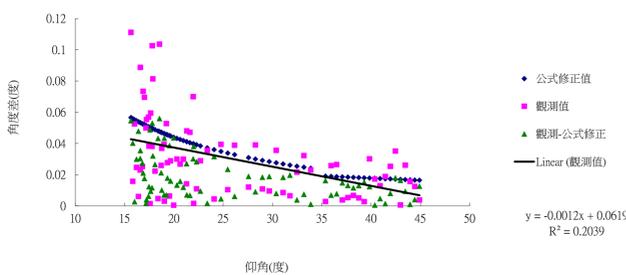
根據表格的計算結果，可以看出實際上恆星的位置(照片角度差)和真實值(時間角度差)有些差異，用(平均仰角)和恆星視位置的(誤差)去做相關係數分析，發現第一組相片的相關係數是-0.12297，為低度負相關；第二組相片的相關係數是0.04652，為低度正相關；第三組相片的相關係數是-0.45156，為中度負相關；第四組相片的相關係數是0.15529，為低度正相關。這幾組的差異，可能是有某種原因造成這不同的結果。我們將表格資料轉換成下面這四張圖，(平均仰角)為X軸而恆星視位置的(誤差)為Y軸，另外包含(公式修正)及恆星視位置的(誤差)-(公式修正)。因為(公式修正)代表大氣折射造成的誤差，所以恆星視位置的(誤差)-(公式修正)則代表大氣擾動的視相差。而圖中也對恆星視位置的(誤差)做線性回歸。



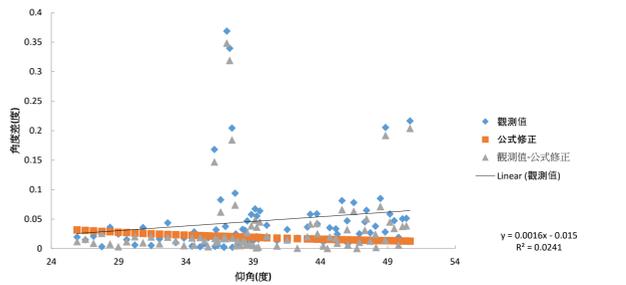
圖六、20160730圖表



圖七、20161204圖表



圖八、20170101圖表



圖九、20180518圖表

# 陸、討論

分析四張圖的視相差發現:第一組最大為0.312度平均為0.072度；第二組最大為1.672度平均為0.549度；第三組最大為0.056度平均為0.018度；第四組最大為0.348度平均為0.036度。

根據氣象站的資料發現各組風速不同，第一組為0.2m/s；第二組為1.7m/s；第三組為0m/s；第四組為1.5m/s，所以可以推斷風速越大其視相偏差越大。而同樣的氣象原因也能夠解釋四組照片的相關係數差異，由於拍攝第三張照片時幾乎無風，可以推測當時的大氣擾動很小，其恆星視位置的(誤差)幾乎是從大氣折射所造成的誤差來的，所以會和(公式修正)值很貼近，可以得出仰角越小，觀測誤差值越大。

表一、大氣擾動的視相誤差和天氣參數的相關係數表

	最大誤差	平均誤差	氣壓	氣溫	風速
最大誤差	<b>1.000</b>				
平均誤差	<b>0.991</b>	<b>1.000</b>			
氣壓	<b>-0.693</b>	<b>-0.711</b>	<b>1.000</b>		
氣溫	<b>-0.601</b>	<b>-0.692</b>	<b>0.800</b>	<b>1.000</b>	
風速	<b>0.741</b>	<b>0.646</b>	<b>-0.279</b>	<b>0.078</b>	<b>1.000</b>

# 柒、結論

從結果來看，可以看出大氣擾動(視相)的幾個明顯的影響原因，第一是風速和最大誤差為高度正相關，另外風速也和平均大氣擾動呈中度正相關。另外一個意外的趨勢是氣溫和平均誤差呈中度負相關，在文獻中較少描述氣溫對大氣擾動的影響，大部分是指大氣中不同層的溫度差才會影響，四組照片中氣溫較低的兩組皆在山上拍攝(冬夏均有)，所以可能是地形影響，氣溫低，平均視相擾動誤差大，從氣壓的趨勢也可以得到此推論，氣壓低(兩組在山上)，平均視相擾動誤差大。地面相對於山區對流比較不明顯，所以平均視相擾動誤差小。風造成的大氣擾動會產生影響，風速越大，使仰角和觀測誤差無太大關聯；若無風，大氣擾動很小，恆星視位置的(誤差)會和(公式修正)值很貼近，仰角越小，觀測值誤差越大。

# 捌、參考資料

Alan MacRobert (2006). How to Successfully Beat Atmospheric Seeing. Sky and Telescope. 取自 <http://www.skyandtelescope.com/astronomy-equipment/beating-the-seeing/>

Astronomical seeing (n. d.)。民107年2月10日，取自[http://en.wikipedia.org/wiki/Astronomical\\_seeing](http://en.wikipedia.org/wiki/Astronomical_seeing)

Atmospheric refraction(n. d.)。民107年2月10日，取自 [https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric\\_refraction](https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_refraction)

Meeus, Jean (1991). Astronomical algorithms (1st English ed.). Richmond, Va.: Willmann-Bell. pp.102 – 103.

Sæmundsson, Þorsteinn (1986). "Astronomical Refraction". Sky and Telescope. 72: 70.

沈青嵩（民105）。基礎物理(上) 新北市：康熹。

游鎮烽（民105）。基礎地球科學（上）新北市：泰宇出版