

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 地球科學科

080511

日跡月軌星羅布—自製天體觀測儀與其應用

學校名稱：彰化縣立原斗國民中小學

作者：	指導老師：
小六 吳明錄	王文明
小六 黃禹碩	陳樹衛
小六 洪子宥	
小六 陳瑜依	
小六 邱子杰	

關鍵詞：天體觀測儀、天體軌跡、天球儀

日跡月軌星羅布－自製天體觀測儀與其應用

摘要

國小自然課以量角器搭配窺管觀測月亮，利用竿影間接觀測太陽，描繪天體在天空的軌跡，使用星座盤認識夜晚星空，但觀測器與竿影測量精密度低，操作複雜不直觀。本研究利用窺管與雷射筆，加上手機感測晶片與軟體測量傾斜角，自製精準度極高的「天體觀測儀」，可以同時測量日、月、星三種天體，將測量所得的天體方位角、高度角座標，利用壓克力半圓球描繪太陽、月亮在天空運行的軌跡，製成「天體軌跡紀錄半天球」；利用試算軟體泡泡圖功能，將測量所得的恆星座標畫成平面星圖。將恆星座標經過周日運動校正，使用弧形刻度游標尺系統，描繪恆星在壓克力球上，製成「星羅布天球儀」。開發出便利、精準、實用的天體觀測儀，並繪出天體的運行軌跡與分布。

壹、前言

一、研究動機

國小四、五年級自然課開始學習認識天體，課程內容包含日、月、星三種天體的相關知識。為了觀察天體的運行，需要觀測並且記錄天體在天空中的方位與高度，藉此描繪出天體運行的軌跡，認識天體運行的四季變化。

月亮可以直接肉眼觀測，但需要高度角觀測裝置來測量高度角；太陽光線很強，無法直接觀測，利用影子來測量換算成高度角；星星則是藉由星座盤與搭配的赤經、赤緯盤來輔助觀測。本研究將借助前人的智慧與現代科技的便利，開發出高精準度、方便實用的天體測量儀器，取代課本的觀測裝置，並且利用研發的裝置來描繪出天體的運行軌跡與分布。

二、文獻探討

(一) 測量天體的裝置與星圖

1. 國小自然科學課本提供的天體（日、月）測量裝置與平面星圖（星座盤）

(1) 月亮的測量裝置

因地球由西向東自轉，因此地球上的觀察者可以看到月亮自東向西產生相對視運動，為了記錄月亮運行的軌跡，國小自然科學課本提供了簡易的高度角觀測裝置，利用光線直線前進以及重力的原理，可以用來觀測記錄月亮在天空的運行軌跡（表 1-1）。

表 1-1、不同版本國小自然科學教科書中月亮單元提供的高度角觀測裝置

	康軒版（四上）	翰林版（四上）	南一版（四上）
觀測裝置			
科學原理	1. 光的直進 2. 重力 3. 三角形內角和與相似三角形		

註：圖片引用自各版本教科書（康軒文教事業，2023）、（翰林出版事業，2024）、（南一書局，2024）

(2) 太陽的測量裝置

太陽是距離地球最近的恆星，對於地面的觀察者而言太過明亮，因此太陽在天空中相對視運動的軌跡不容易直接觀察與測量，所以觀察月亮位置的高度角觀測裝置無法直接使用，國小自然科學課本利用光的直進性，藉由竿影來間接測量太陽在天空中的高度角（表 1-2）。

表 1-2、不同版本國小自然科學教科書中太陽單元提供的高度角觀測裝置

	康軒版（五上）	翰林版（五上）	南一版（五上）
觀測裝置			
科學原理	1. 光的直進 2. 相似三角形		

註：圖片引用自各版本教科書（康軒文教事業，2023）、（翰林出版事業，2024）、（南一書局，2024）

(3)、星星的觀測與平面星圖（星座盤）

夜晚星空繁星點點，這些恆星看起來像是投影在天球球幕上，隨著地球由西向東自轉，對地面觀察者而言，這些星星構成星座，與太陽、月亮一樣東昇西落，同樣都有周日運動。課本提供了平面星圖（星座盤），可用來標示星星的分布，而且星座盤上多半附有赤經、赤緯盤，可以幫助標定星星在天球上的位置（表 1-3）。

表 1-3、不同版本國小自然科學教科書中星星單元提供的平面星圖（星座盤）

	康軒版（五上）	翰林版（五下）	南一版（五下）
平面星圖			
科學原理	1. 周日運動 2. 投影法		

註：圖片引用自各版本教科書（康軒文教事業，2023）、（翰林出版事業，2024）、（南一書局，2024）

2. 古人的智慧：渾儀、渾象、渾天儀

「渾儀」是中國古代用來測量天體座標的觀測儀器；「渾象」用來模擬實際的天象（陳久金、楊怡，2005），渾儀和渾象統稱為「渾天儀」（圖 1-1）。在西方也有類似渾天儀的裝置：Armillary sphere，Armillary sphere 是天空中天球的模型（圖 1-2），它以地球或太陽為中心，由環的球形框架組成。它與天球儀不同，天球儀是一個光滑的球體，主要目的是繪製星座的圖（Encyclopedia Britannica, n.d.）。

張衡改良了渾天儀，渾天儀上的窺管，長 8 尺，有直徑 1 寸的圓孔。觀測時，轉動內層的環，將窺管導向某一星星，經過微調，根據環上的刻度，就可以定出這顆星星在天球上的座標，也就是它的天球赤經、赤緯（張之傑，2023）。



圖 1-1、北京古觀象台的渾天儀（引用來源見參考文獻）



圖 1-2、Armillary sphere（引用來源見參考文獻）

(二) 科學原理

1. 天球

自古以來，天文學家就假想「天」是個球體：「天球」是觀察星空的依據。假想中的天球，是以地球為中心、向外擴充的無限大球面。地球的南北極，向外擴充，就成為天球南北極；地球的赤道，向外擴充，就成為天球赤道。地球有經緯度，天球也有經緯度，稱為赤經、赤緯（圖 1-3）。

對地球上的觀察者而言，遠方天體好像投影在天球球幕上（圖 1-4），形成夜晚可見的星空。古人藉由這個天球與天體投影的概念開發出渾象、天球儀等裝置，市面上常見的是將天球壓成平面的平面星圖（星座盤），近代則因為科技進步與手機的普及，有許多模擬的 3D 天球 APP 可以在手機上使用。

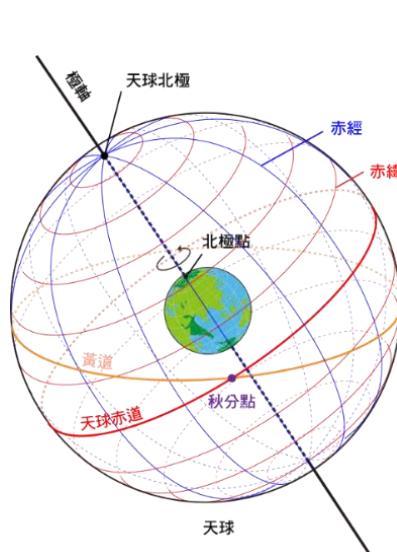


圖 1-3、地球外假想的天球與赤經、赤緯

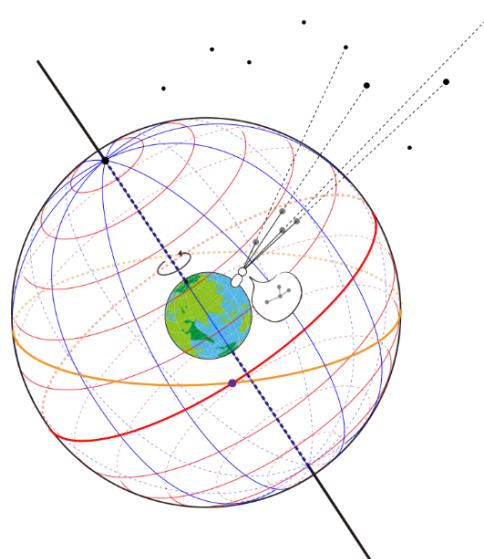


圖 1-4、遠方的天體好像投影在天球上

註：本研究使用所有圖片、表格來源見附錄一

2. 周日運動

隨著地球由西向東自轉，對地面觀察者而言，投影在天球上的天體：太陽、月亮、星星同樣東昇西落，都有相對視運動，稱為：「周日運動」（圖 1-5、1-6）。

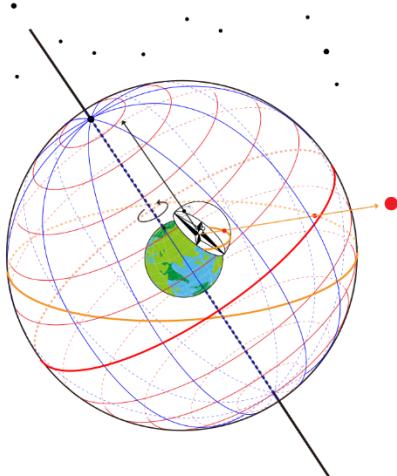


圖 1-5、地球由西向東自轉，天體產生反向相對視運動



圖 1-6、北方天空群星繞著極軸進行周日運動形成的星軌（攝於石門山）

三、待解決的問題

國小自然科學課本裡提供的月亮高度角測量裝置，只說明了當將吸管（窺管）對準天體，垂下的棉線對上裝置板上的刻度即為高度角（圖 1-7），但沒有解釋原理，這個裝置運作原理需要應用到三角形的內角和與重力等相關知識（圖 1-8），許多同學學習本單元時只知道儀器操作的方式而不清楚原理，產生理解上的困難。

如圖 1-8 所示，窺管與地面夾某個角度 ($\angle 1$) 時，棉線與重物因為重力而垂直地面 ($\overline{BD} \perp \overline{AC}$)，此時棉線與觀測裝置前緣夾角 $\angle 3$ 等於窺管與地面夾角 $\angle 1$ ：

$$\because \triangle ABC \text{ 中}, \angle 1 + \angle 2 = 90^\circ \quad (\text{三角形內角和為 } 180^\circ)$$

$$\text{且 } \triangle BCD \text{ 中}, \angle 2 + \angle 3 = 90^\circ \quad (\text{三角形內角和為 } 180^\circ)$$

$$\therefore \angle 1 = \angle 3$$

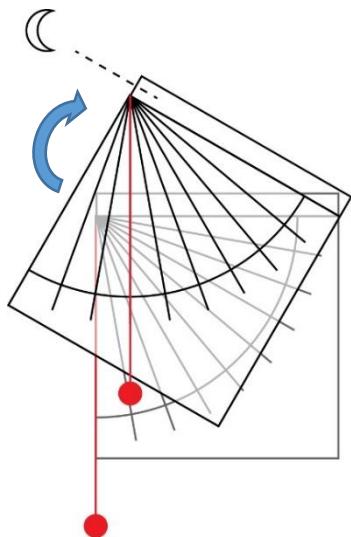


圖 1-7、月亮高度角觀測器

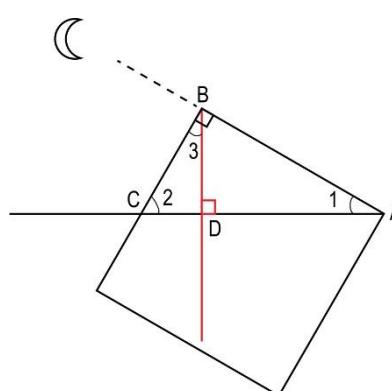


圖 1-8、高角觀測器原理

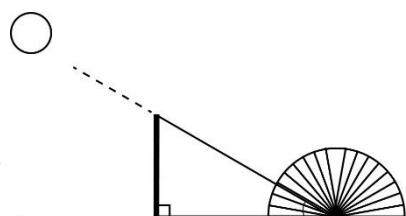


圖 1-9、太陽高度角觀測

測量太陽時，因為太陽是最靠近地球的恆星，對地面觀察者來說太過明亮，無法直接透過窺管觀測，因此利用光的直進性質，將竿影末端與竿子頂端連線，測量此線與地面的夾角，即為太陽所在位置的高度角（圖 1-9）。

月亮與太陽的觀測的裝置，使用非直覺的科學原理外，最大缺點是操作複雜、精密度不足，月亮的高度角觀測器與太陽竿影末端與竿頂連線與地面的夾角，兩種裝置都需要使用量角器（精度 1° ），因此，天體高度角測量裝置有許多改良的空間。

平面星圖（星座盤）是將原本立體的天球和上面投影的恆星，以北極星為中心點壓成平面的圓形盤面製作而成，因此在天球北極（北極星）附近的星星位置相對準確，但是圓盤周圍星星間的距離會被拉長，產生失真的狀況（圖 1-10）。

天球儀（圖 1-11）是利用圓球來標示恆星的位置，與平面星圖（星座盤）比較，天球儀比較準確，但是體積過大，在野外觀星時不方便使用。拜科技進步與手機普及所賜，許多模擬立體天球的應用軟體相繼問世，如 Star Walk 2[®]（圖 1-12）等手機 APP，可以兼顧便利與準確性。

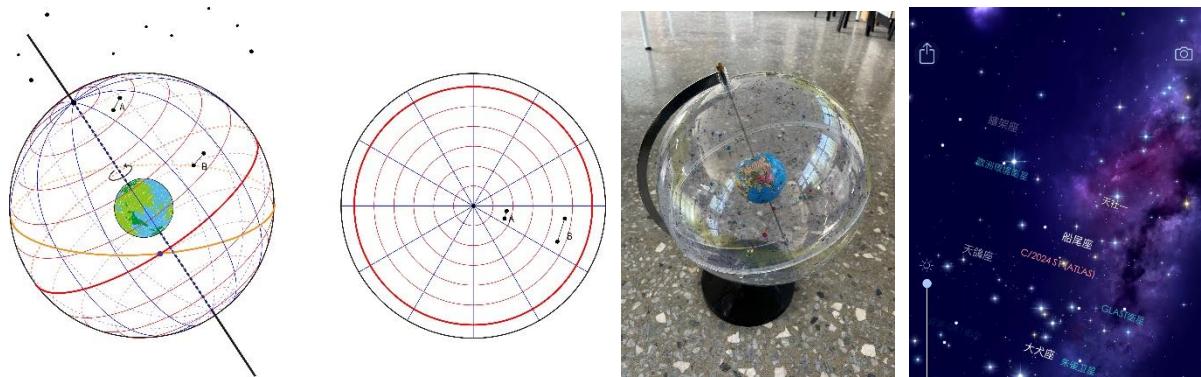


圖 1-10、天球轉成平面星圖造成失真現象 圖 1-11、天球儀 圖 1-12、Star Walk 2®

本研究旨在開發新的天體觀測儀，可以同時應用在太陽、月亮的運行軌跡測量，此外，也希望能夠使用同樣的天體測量裝置來測量夜空的恆星分布位置。最終將測量所得的天體數據，畫成天體運行軌跡：「日跡」、「月軌」，以及利用測量數據繪製成天球儀：「星羅布」。

四、研究目的

- (一) 改良課本天體測量方式，開發新的天體觀測儀，同時可測日、月、星
 - (二) 比較「課本測量天體裝置」與「自製天體觀測儀」的精準度
 - (三) 利用自製天體觀測儀，進行太陽、月亮運行軌跡觀測
 - (四) 利用自製天體觀測儀，進行夜晚恆星的觀測
 - (五) 使用觀測所得數據，繪製天體運行軌跡：「日跡」、「月軌」
 - (六) 使用觀測所得數據，製成「星羅布天球儀」

貳、研究設備與器材

一、手機 APP：

phyphox[®] APP、Star Walk[®] 2 APP

二、PC APP：

Inkscape[®]、IBM[©] SPSS[®]、TINKERCAD[®]、Microsoft[©] Office Excel[®]

三、器材：

iPHONE[®] 13、綠光雷射筆、不鏽鋼吸管、壓克力板、壓克力半圓球、壓克力圓球、雷雕機、3D 列印機、自製「天體觀測儀」、手電筒、星座盤、投影片、萬向雲台（Manfrotto[®] 486RC2）、腳架（Manfrotto[®] MT055XPRO 3 Tripod）、下振、棉線、紅外線測距儀

參、研究過程或方法

一、天體觀測儀設計概念

(一) 利用光的直進性

本研究使用不鏽鋼環保吸管作為觀察月亮的「窺管」，透過窺管觀測月亮，再設法量測出窺管與地面的夾角，這個角度代表觀測天體的高度角。「窺管」也可以用來進行太陽的測量（圖 3-1），不需要透過窺管直視太陽，因為只有窺管與太陽光線前進的方向重疊時，在窺管後方可以投影出完整的太陽光斑（圖 3-2）。窺管的視野比較狹窄，觀測夜晚天空的恆星時不易找尋標的星星，本研究使用綠光雷射筆（指星筆）作為輔助。

(二) 使用手機高感度晶片（陀螺儀）測量手機傾斜角

隨著科技進步，高感度陀螺儀晶片已是手機的標準配備之一。本研究以智慧型手機為載具，利用手機的高感度陀螺儀晶片進行角度測量，感測晶片利用角速度變化量進行光感測，取代傳統機械式陀螺儀；利用 phyphox[®] APP (physical phone experiments)，可以調用手機傳感器的資料（圖 3-3、3-4），其輸出測量值可達小數點後八位（圖 3-5）。

(三) 結合窺管、手機與指星筆

本研究需要讓搭載 phyphox® APP 的手機或平板、指星筆、窺看天體的「窺管」，三者可以同步轉動。需要窺管、指星筆、手機固定在同一平台上，讓它們在空間上處於同一平面，安裝在相機腳架的萬向雲台上，使三者可以同步轉動，以此作為「天體觀測儀」設計概念。



圖 3-1、利用窺管測量太陽的位置

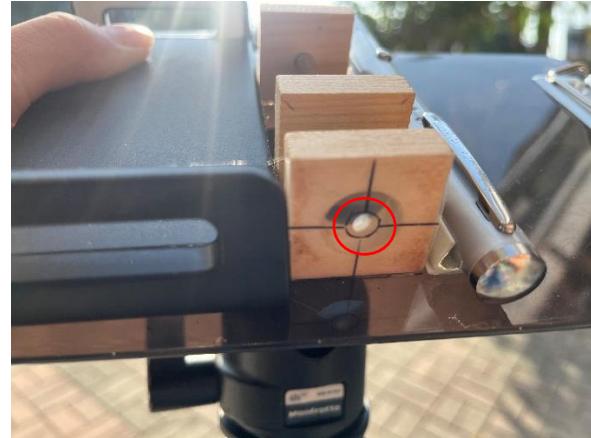


圖 3-2、窺管和太陽光線重疊產生圓形光斑（圖中紅色圓圈處）



圖 3-3、phyphox® APP

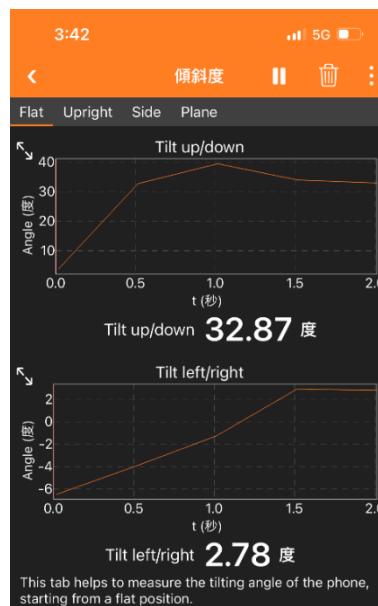


圖 3-4、phyphox® APP 測量手機傾角

A	B	C	D	E
1	t (s)	Tilt up/down (Tilt left/right, deg)		
2	0.01648775	3.6969154	-6.5134883	
3	0.51623408	32.6441415	-3.9587203	
4	1.01598008	39.390592	-1.2636389	
5	1.515727	33.8664992	2.90453947	
6	2.015476	32.8705057	2.7838077	
7	2.51522421	34.5402937	2.2329649	
8	3.01497321	33.943173	-0.7841058	
9	3.51472208	45.0726877	-15.788439	
10	4.01447408	41.0384217	-11.289126	
11	4.51422346	41.7763111	-10.998948	
12	5.01397346	41.3217835	-11.161707	
13	5.51372308	39.9398836	-10.190842	
14	6.01347508	37.1438892	-7.2988391	
15	6.51322658	39.7216442	-8.7355769	
16	7.01297858	33.1221595	-1.8300482	
17	7.51272958	32.1652426	-2.3642669	
18	8.01248358	31.5661041	-2.2964601	
19	8.51223621	32.0018308	-2.0115036	
20	9.01198921	32.2531936	-2.3440037	
21	9.51174271	31.9810993	-2.1804164	
22	10.0114977	31.9846637	-1.5848585	
23	10.511254	32.142533	-2.5819268	
24	11.011009	31.2821615	-2.8120575	
25	11.5107641	32.7658267	-3.4938484	

圖 3-5、phyphox® APP 實測輸出數據

二、天體觀測儀製作與改良

(一) 第一代天體觀測儀

將不鏽鋼吸管（窺管）用木塊固定、使用電線壓條的溝槽固定指星筆，將手機架、不鏽鋼吸管與指星筆平行的黏在壓克力墊板上，在下方鑽孔，固定在相機腳架的萬向雲台上，完成「第一代天體觀測儀」（圖 3-6），經實測發現三者在黏貼固定時，會有些許誤差導致不平行，產生測量的誤差，因此著手進行改良。

(二) 第二代天體觀測儀

使用游標尺測量不鏽鋼吸管直徑、雷射筆直徑，利用自由軟體 TINKERCAD® 繪製天體觀測儀的 3D 建模，利用 3D 列印機輸出觀測儀，可以使手機架、窺管與指星筆三者擺放位置達到平行（圖 3-7），改善第一代觀測儀的誤差。經實測發現，第二代觀測儀下方固定在雲台時，因 3D 列印成品強度不足，會讓雲台鎖孔螺牙處磨損，導致觀測儀無法穩定固定在雲台上，觀測儀使用幾次後就毀損，因此再次著手進行改良。

(三) 第三代天體觀測儀

使用游標尺測量不鏽鋼吸管直徑、雷射筆直徑，利用自由軟體 Inkscape® 繪製觀測儀各部件的向量圖，選用 3mm 厚的壓克力板，藉由雷雕機進行切割，製作組裝「第三代天體觀測儀」，不但提高測量裝置的精準度，也提高了裝置的強度（圖 3-8）。



圖 3-6、第一代天體觀測儀



圖 3-7、第二代天體觀測儀



圖 3-8、第三代天體觀測儀

三、自製「天體觀測儀」精準度測試

使用任何儀器進行科學測量，儀器的**精準度**非常重要，儀器的**精準度**包含了**精密度**(precision)與**準確度**(accuracy)。**高精密度**的儀器所得的觀測值與可接受之參考值或標準(真實值)的平均標準差越低越好，**高準確度**的儀器，相同量測情況反覆測定時，量測儀器的觀測值與可接受之參考值或標準(真實值)越接近越好。因此，**精準度**非常重要，影響測量數據的可信程度。

將自製天體觀測儀進行**精準度**測試與分析，以棉繩綁下振自三樓垂下(圖 3-9)，以紅外線測距儀測量標記處距離地面距離(H)，以測距輪測量下振垂下處到裝置的直線距離(L)，利用裝置上的指星筆光束對準標記(圖 3-10)，開啟手機 phyphox® APP，測量角度，每次紀錄 5 sec.，紀錄完後將儀器回歸原始狀態，重複測量 15 次，以 IBM® SPSS® 進行**精準度**分析，觀測值與總平均值對照，並以實際測量地點的數值作為真實值參照：

$$\tan \theta = \frac{H - h}{L} \dots\dots \text{(圖 3-11)}$$



圖 3-9、棉線綁下振自三樓垂至地面



圖 3-10、以指星筆光束對準標的(圖中紅色圓圈處)



圖 3-11、光束對準標的，以手機 phyphox® APP 測量

四、使用天體觀測儀觀測天體

(一) 觀測太陽、月亮

使用自製「天體觀測儀」進行太陽的運行軌跡測量，選擇晴朗無雲的日子，每月一次，自早上 8 點起，每隔 1hr.測量一次，測量時先將萬向雲台轉鬆，將觀測儀的窺管對準太陽，等到窺管後方看到圓形的太陽光斑，鎖緊雲台，開啟手機 phyphox® APP，讀取觀測儀的傾斜角(圖 3-12)，再將觀測儀放平，開啟羅盤，測量方位角，自 2024 年 11 月 20 起，每間隔一個月測量一次，共計 5 次。

月亮的運行軌跡測量，測量時以指星筆讓雷射光束對準月亮，開啟 phyphox® APP，讀取觀測儀的傾斜角與方位角，月亮的測量自傍晚 5 點至隔天清晨，每隔 1hr.測量一次，每間隔一個月測量一次，共計 5 次，測量時須注意月亮升起與沒入的時間，應選擇每月農曆廿前。

(二) 觀測星空

使用自製「天體觀測儀」進行星空測量，目標是紀錄主要星座的亮星座標，考量星星周日運動隨時間產生相對視運動，每一星座測量時間控制在 10 min.內，記錄各星座主要亮星在測量當日的方位角與高度角，高度角測量方式與測量月亮方式相同，以指星筆光束對準測量標的，測量地點選擇無光害的高山，第一次為 2024 年 11 月 29 日，在大雪山森林遊樂區，第二次為 12 月 24 日於合歡山進行測量（圖 3-13、圖 3-14）。



圖 3-12、測量太陽天空運行軌跡



圖 3-13、大雪山森林遊樂區夜間測量星空



圖 3-14、合歡山夜間測量星空

五、天體運行軌跡與天球儀

(一) 紀錄裝置

為了將自製「天體觀測儀」紀錄所得太陽、月亮運行軌跡資料描繪出來。選擇直徑 25 公分的壓克力半圓球，加上標示方位的方位盤與高度角弧形尺（圖 3-15），過程中為了提升精準度，使用自由軟體 Inkscape® 繪製（圖 3-16），以雷雕機切割製作壓克力方位盤與弧形尺（圖 3-17），組裝成「天體軌跡紀錄半天球」（圖 3-18）。

以直徑 25 公分的壓克力圓球作為天球儀主體，以雷雕機切割製作三個刻度環，每隔 1°劃分一格，共 360 格，分別表示天球赤道、天球子午線與一條和子午線、赤道相互垂直的赤經（圖 3-19），組裝成「全天天球儀」。

(二) 高度角弧形尺精密度提升

因使用手機 phyphox® APP 測量得到的高度角讀值超過小數點後八位數，在繪製天球儀時，使用的弧形尺精度也必須提升，才能符合需求，本研究**使用游標尺主尺與副尺的概念，改良弧形尺（原精度為 1° ），利用自由軟體 InkScape® 繪製，將弧形尺主尺的 19° ，在副尺上切分成 20 格，使副尺上每格角度為 0.95° ，利用雷雕機切割製作含副尺的弧形高度角游標尺（圖 3-20），製作精度高達 0.05° 的高度角弧形游標尺系統。**



圖 3-15、壓克力半圓球、方位盤與高度角弧形尺

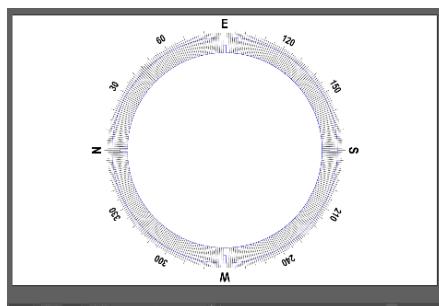


圖 3-16、自由軟體 InkScape® 繪製刻度盤

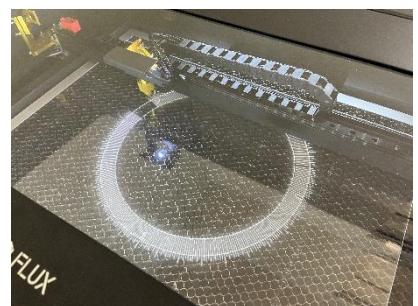


圖 3-17、雷雕壓克力方位盤與高度角弧形尺



圖 3-18、天體軌跡紀錄半天球



圖 3-19、天球儀與赤經、赤緯刻度盤

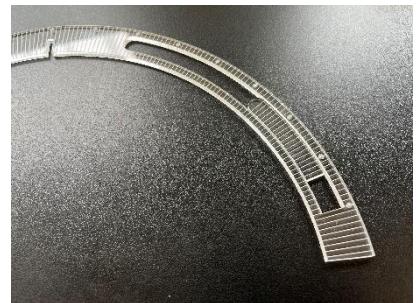


圖 3-20、弧形高度角游標尺主尺與副尺

(三) 紀錄軌跡（日跡、月軌）

測量所得太陽、月亮在天上運行的原始數據，是測量當天每隔一小時天體的方位角與高度角，在「**天體軌跡紀錄半天球**」上，透過方位盤與高度角弧形游標尺，可以繪出紀錄點（圖 3-21），形成天體運行軌跡（圖 3-22），成為「**日跡**」、「**月軌**」（圖 3-23）。

(四) 繪製全天天球儀（星羅布）

測量所得天空恆星原始數據，是測量當下目標恆星的方位角與高度角（測量座標），

但是因為周日產生相對視運動，所以恆星位置不斷隨時間改變，因此需要經過換算與校正，才能把天上恆星的「測量座標」轉換成「天球座標」繪製在天球儀上。

本研究使用 Microsoft[®] Office Excel[®]進行座標轉換與星圖繪製，使用觀測得到的方位角作為橫軸，高度角作為縱軸，估計視星等作為座標值的變量，以泡泡圖繪製平面星圖（圖 3-24），繪製時方位角與高度角格線間隔都設定為 1° ，繪製出來的平面星座星圖長、寬才會等比例；且注意方位角為 $0^\circ \sim 360^\circ$ ，因此若是測量值跨越子午線（正北方兩側），則須調整數值；數值大小表示視星等，則以亮度值 = $(12 - \text{估計星等})$ 為數值繪製。



圖 3-21、標上太陽觀測紀錄



圖 3-22、太陽運行軌跡



圖 3-23、日跡、月軌

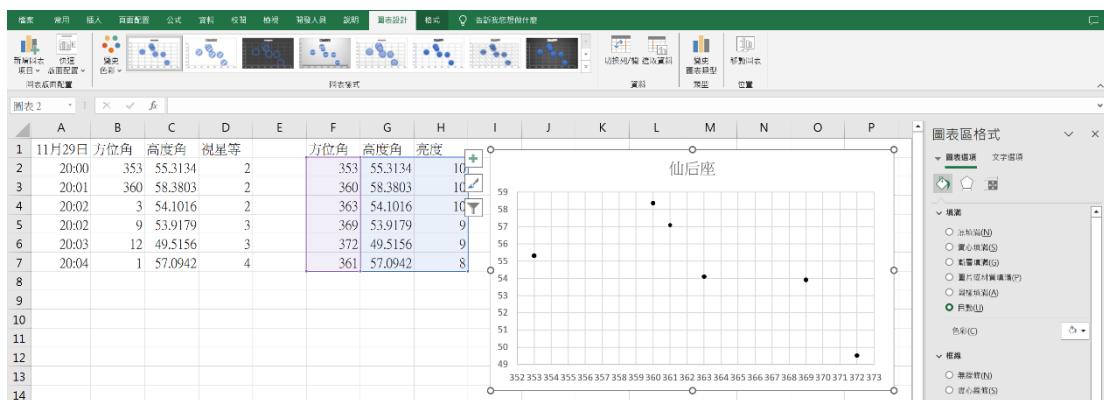


圖 3-24、使用 Microsoft[®] Office Excel[®]進行座標轉換與平面星圖繪製

1. 貼圖法：

若是想要將 Office Excel[®]繪製的星圖列印在透明投影片上，貼在直徑 25cm 的壓克力球，先要進行縮放比例的換算，以圖 3-24 為例，測量所得仙后座座標繪製出來的泡泡圖，兩側端點的星星(W、E)方位角差值 $\Delta\theta = 19^\circ$ ，則在自製全天天球儀上距離應該為：

$$25\text{cm} \times \pi \times \frac{19^\circ}{360^\circ} \square 4.15\text{cm}$$

若是原圖輸出的星圖上仙后座中兩顆星星水平距離 (\overline{WE}) 為 : 11.75cm

就需要將星圖縮小百分比為 : $\frac{4.15\text{cm}}{11.75\text{cm}} \times 100\% = 35.3\%$ (圖 3-25)

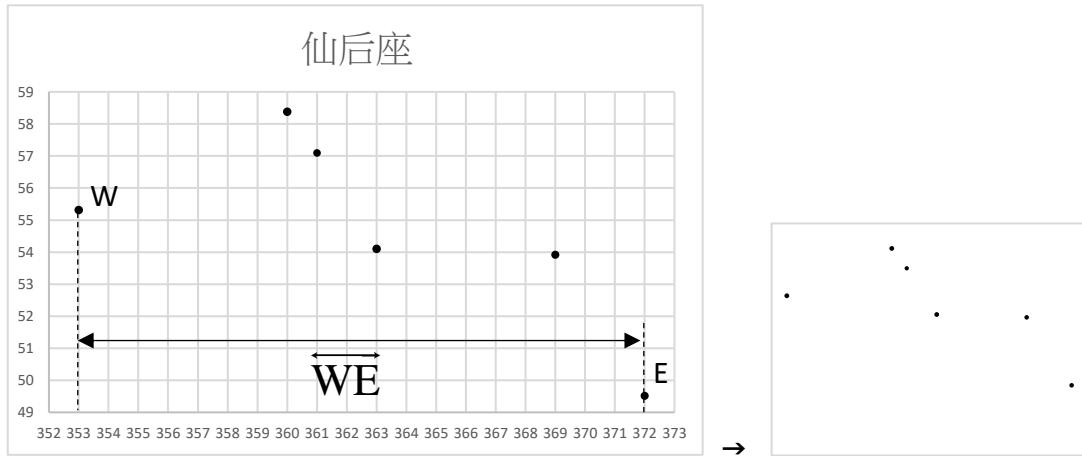


圖 3-25、將 Excel® 繪製星圖縮小輸出為原圖的 35.3%示意圖

除了縮放外，因為赤緯（天球緯度）越高，東西兩顆星星在平面星圖上的相對距離就越短，因此平面星圖恆星的赤經角度還需要經過球面校正（圖 3-26）：

$$\text{天球儀半徑} : R = \overline{OG} = 25\text{cm}$$

$$\text{測量恆星赤緯} : \theta_1 = \angle AOG$$

所以球面校正平面星圖比例：

$$\frac{AB}{GH} = \frac{\overline{AF}}{\overline{OG}} = \frac{R \cdot \cos \theta_1}{R \cdot \cos 0^\circ} = \cos \theta_1$$

即恆星赤經需要往中央軸校正

的比例。

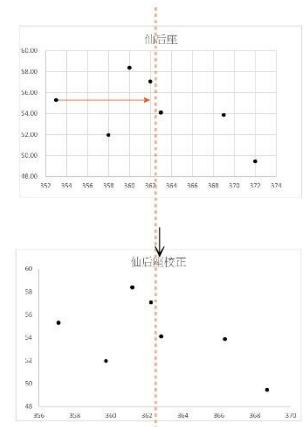
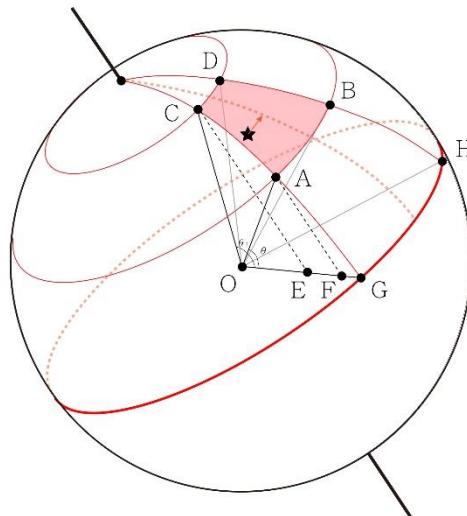


圖 3-26、仙后座星圖球面校正示意圖

2. 點圖法

使用「點圖法」將測量所得的恆星座標描繪在「全天天球儀」上，只需要利用自製天球儀外三個刻度環定位恆星座標，不需要經過球面校正赤經角度。

3. 周日運動校正

無論是「貼圖法」(圖 3-27) 或是「點圖法」(圖 3-28)，都需要利用三個刻度環定位恆星座標或是星座圖的座標位置。而且因為周日運動的關係，天球隨著時間推移與觀察者間有相對視運動，在點圖或是貼星圖時，需要校正周日運動造成的位移現象，以北極星為軸，換算每 1 分鐘天球旋轉的角度，逆向校正：

$$\frac{360^\circ}{23h.56m.} \times 1m. \square 0.250697^\circ \rightarrow \text{天球每 1 分鐘轉 } 0.250697^\circ$$

此外，若是測量時間並非同一日，需要換算間隔日數天球旋轉的角度，如 11 月 29 日晚上 8：00 進行第一次測量，若是經過 30 天，在 12 月 29 日晚上同一時間進行第二次測量，則天球旋轉角度為：

$$\frac{30d.}{365d.} \times 360^\circ \square 29.5890411^\circ \rightarrow \text{天球每 30 天轉 } 29.5890411^\circ$$

本研究以測量地點緯度 24°N 為基準，亦即北極星距離地平面仰角 24°設計一個可以旋轉的「星羅布天球儀」，方便進行周日運動校正。



圖 3-27、使用貼圖法標定恆星在星羅布天球儀上的位置



圖 3-28、使用點圖法標定恆星在星羅布天球儀上的位置

肆、研究結果

一、自製天體觀測儀精準度

使用自製天體觀測儀，讀取手機 phyphox® APP，其測量值每 0.5 sec. 紀錄一次，每次測量 5sec.，共測量 15 筆數據，經過 IBM® SPSS® 進行精準度分析，其結果顯示使用本觀測儀測量標的物得到的平均仰角為 16.10406553° (N=150)，平均標準差為：0.103089388 (圖 4-1)，其準確度約為 ±0.1° (圖 4-2)。

和真實值 16.019249° （圖 3-11：利用紅外線測距儀量測標的作為真實值）比較，平均誤差 $<0.5\%$ 。本儀器測量所得數據具有非常高的精準度，並且具有高度再現性：

$$\therefore \tan \theta = \frac{H-h}{L} = \frac{8.39-1.04}{25.6} = 0.287109375 \quad \therefore \theta = 16.019249^\circ \dots\dots \text{ (圖 3-11)}$$

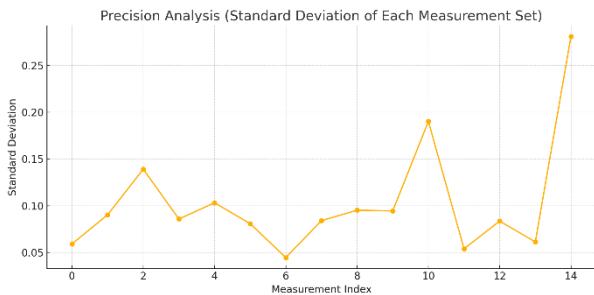


圖 4-1、測量值標準差分布（精確度）

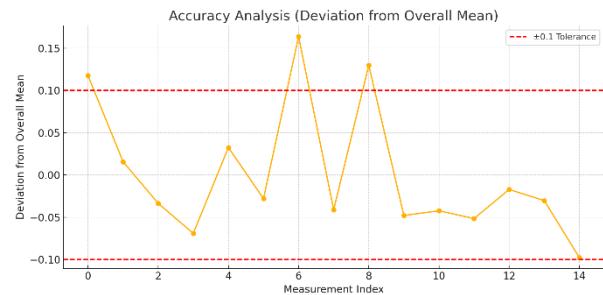


圖 4-2、測量值準確度分布

二、「日跡」、「月軌」

(一) 太陽在天空中的運行軌跡：「日跡」

使用「天體觀測儀」以手機 phyphox® APP 讀取手機傾斜角，作為測量當下太陽的高度角，讀取手機電子羅盤為方位角，分三組人馬同時測量，取平均值，共測量 5 次，其結果如表 4-1 所示，利用測量記錄在「天體軌跡紀錄半天球」上，透過方位盤與高度角弧形尺，繪出紀錄點（圖 4-3），形成「日跡」。

表 4-1、使用自製天體觀測儀測量記錄(N=3)太陽在天空中的運行軌跡（節錄）

時間	Nov. 20, 2024		Dec. 24, 2024		Jan. 20, 2025	
	方位角(°)	高度角(°) ^註	方位角(°)	高度角(°)	方位角(°)	高度角(°)
7:00	116.8	9.05827	118.6	4.86385	114.5	4.26188
8:00	125.2	20.66340	126.3	16.21992	122.0	16.11852
9:00	135.7	31.01330	136.2	26.43218	131.2	26.66197
10:00	149.7	39.26575	148.8	34.63003	143.0	36.59057
11:00	167.5	44.25145	164.6	40.65313	159.8	42.35963
12:00	187.3	44.86692	182.9	41.48787	179.0	44.88913
13:00	205.9	40.94685	200.5	38.71565	198.4	42.82630
14:00	220.9	33.43092	215.5	32.30830	214.9	36.70428
15:00	232.4	23.53842	227.2	23.31442	227.7	27.71563
16:00	241.1	12.19825	236.4	12.65512	237.5	16.92753
17:00	-	-	-	-	245.2	5.10860

註：使用手機 phyphox® APP 讀取手機傾斜角，取至小數點後五位讀值

(二) 月亮在天空中的運行軌跡：「月軌」

使用「天體觀測儀」進行月亮軌跡測量，以指星筆光束對準月亮，讀取手機 phyphox® APP 傾斜角讀值作為高度角，讀取手機電子羅盤為方位角，共測量 5 次，其結果如表 4-4 所示，利用測量記錄在「天體軌跡紀錄半天球」上，透過方位盤與高度角弧形尺，繪出紀錄點（圖 4-4），形成「月軌」。

表 4-2、使用自製天體觀測儀測量記錄月亮 (N=1) 在天空中的運行軌跡 (節錄)

時間	Nov. 15, 2024		Dec. 14, 2024		Jan. 14, 2025	
	方位角(°)	高度角(°)	方位角(°)	高度角(°)	方位角(°)	高度角(°)
18:00	76	18.99462	71	24.75890	—	—
19:00	81	31.95183	75	37.34378	70	14.94322
20:00	86	45.11765	78	50.16312	75	27.44578
21:00	91	58.39928	80	63.13148	79	40.28602
22:00	99	71.66835	79	76.15028	83	53.35952
23:00	131	84.12497	16	87.88518	89	66.58505
0:00(+1) ^註	250	80.17957	283	77.27370	97	79.84875
1:00	266	67.20122	281	64.29367	242	86.11392
2:00	273	54.11627	283	51.37603	267	73.05343
3:00	278	40.91193	286	38.62747	273	59.72128
4:00	283	28.01180	289	26.13570	277	46.45788
5:00	288	15.42328	294	14.01535	281	33.34243
6:00	—	—	—	—	286	20.45727

註：測量時間跨午夜至隔日凌晨紀錄，所以紀錄日期+1



圖 4-3、日跡



圖 4-4、月軌

三、全天天球儀「星羅布」

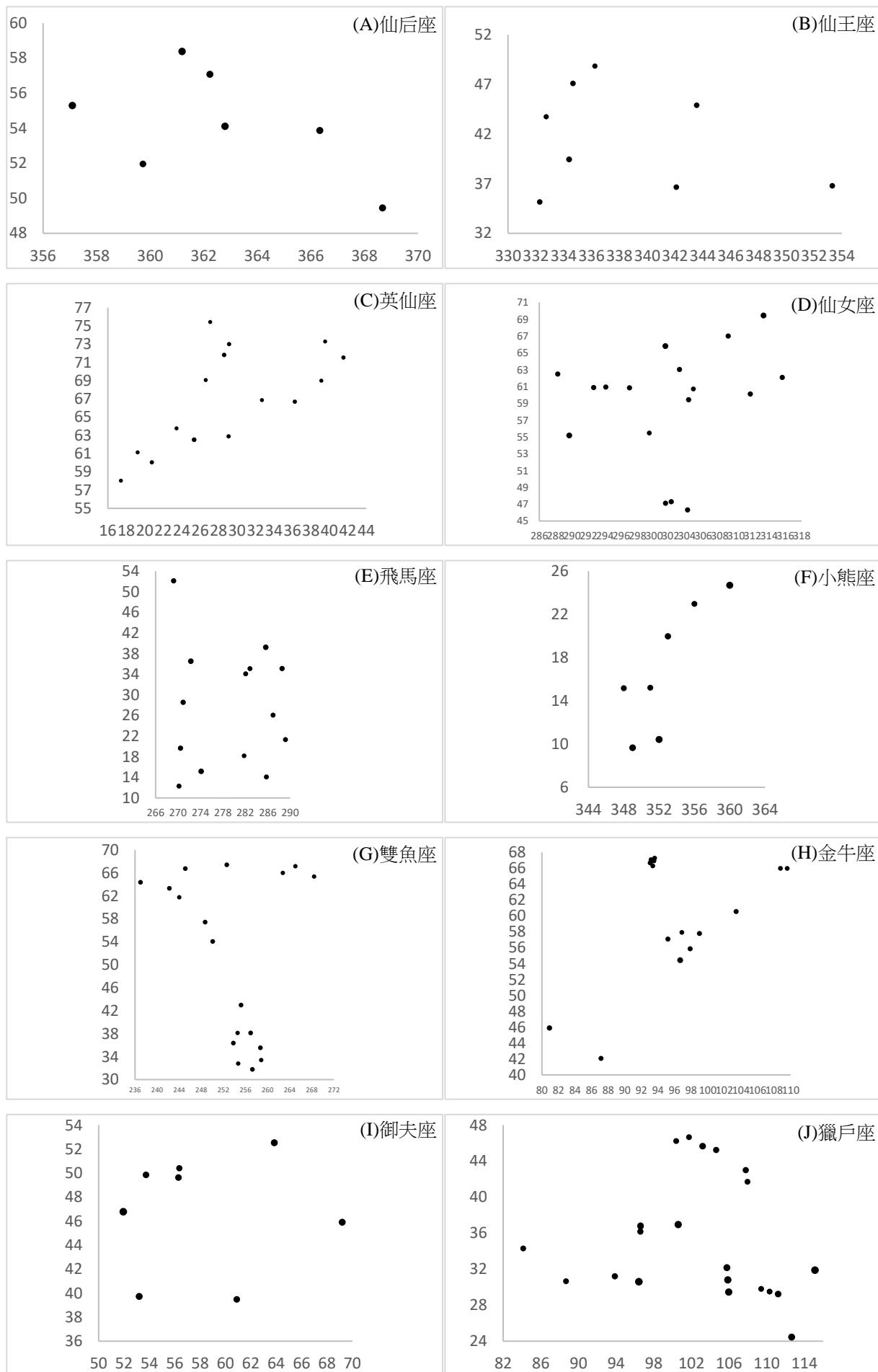
根據多次測量所得夜晚天空恆星（主要星座）座標（表 4-3），使用兩種方式製作全天天球儀，「點圖法」直接使用測量所得的恆星座標，透過刻度環在壓克力圓球上標定恆星。

「貼圖法」則透過星座中恆星的赤緯進行球形校正，調整恆星在天球上的赤經座標，以 Office Excel® 繪製星圖（圖 4-5(A)~(N)）。測量輸出星座中在方位角兩個端點恆星（W、E）的水平距離（WE），利用星座中高度角最低的恆星赤緯，換算貼在自製「星羅布天球儀」時，星圖需要進行的縮放比例（表 4-4）。兩種方法標定時需要經過周日運動的逆向校正。

表 4-3、使用自製天體觀測儀測量記錄恆星在空中位置及校正（節錄）^註

星座	時間	測量（點圖法）			校正（貼圖法）		校正 周日運動(°)
		方位角	高度角	視星等	球形校正	繪圖星等	
仙后座	20:00	353	55.2948	2	357.0911	10	+0.0000
	20:01	360	58.3798	2	361.1893	10	+0.2507
	20:02	362	57.0755	3	362.2282	9	+0.5014
	20:03	363	54.1101	2	362.7931	10	+0.7521
	20:04	369	53.8696	3	366.3326	9	+1.0028
	20:05	372	49.4515	3	368.6759	9	+1.2535
	20:06	358	51.9608	4	359.7271	8	+1.5042
仙王座	20:02	356	36.7832	3	353.3122	9	+0.5014
	20:03	342	36.6464	3	342.0988	9	+0.7521
	20:04	332	39.4387	2	334.3908	10	+1.0028
	20:04	329	43.7302	4	332.7449	8	+1.0028
	20:05	331	47.0827	3	334.6692	9	+1.2535
	20:05	333	48.8257	4	336.2457	8	+1.2535
	20:06	344	44.8875	3	343.5627	9	+1.5042
小熊座	20:06	330	35.1589	3	332.2805	9	+1.5042
	20:05	360	24.6958	2	359.4512	10	+1.2535
	20:05	356	22.9749	5	355.8414	7	+1.2535
	20:06	353	19.9729	4	353.0601	8	+1.5042
	20:06	351	15.2138	5	351.1051	7	+1.5042
	20:06	352	10.4219	2	352.0330	10	+1.5042
	20:06	349	9.6591	3	349.0709	9	+1.5042
	20:06	348	15.1682	5	348.2090	7	+2.0056

註：完整測量數據與校正詳見附錄二，本表只節錄部分數據



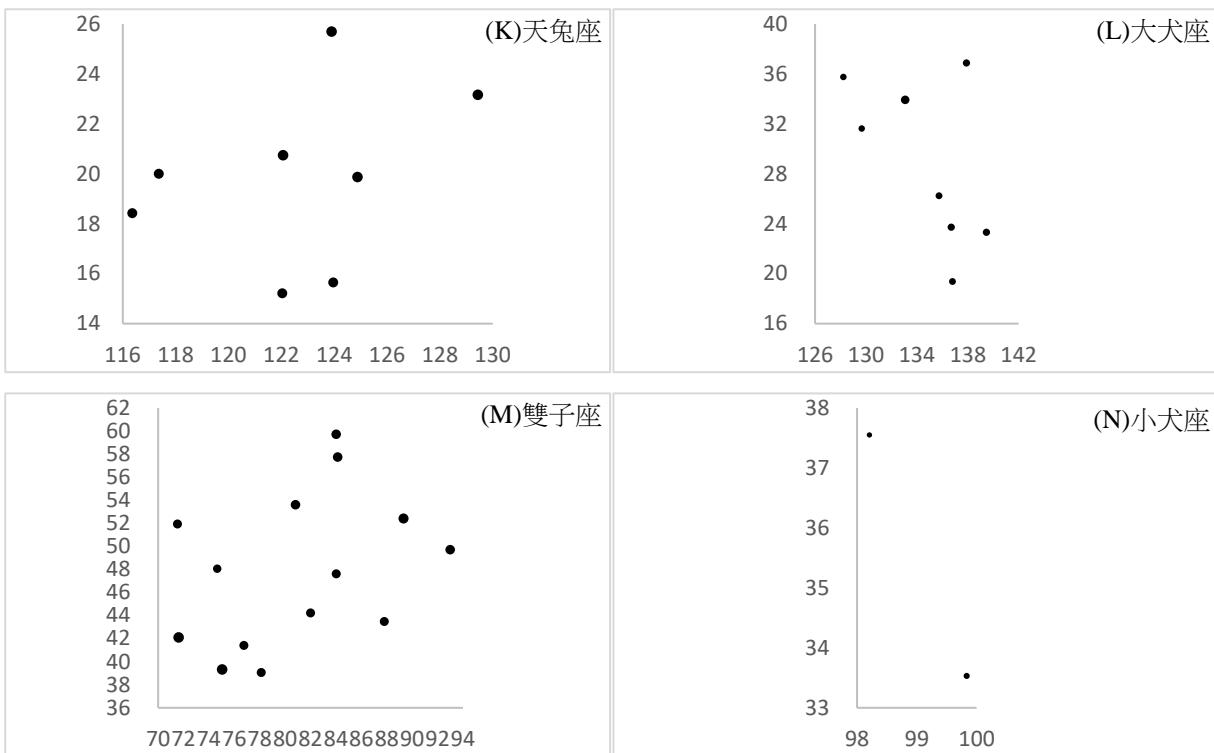


圖 4-5、經過球形校正後使用 Office Excel® 繪製星圖（橫軸是赤經，縱軸是赤緯，單位是 $^{\circ}$ ）：
(A)仙后座、(B)仙王座、(C)英仙座、(D)仙女座、(E)飛馬座、(F)小熊座、(G)雙魚座、(H)金牛座、(I)御夫座、(J)獵戶座、(K)天兔座、(L)大犬座、(M)雙子座、(N)小犬座

表 4-4、透過星座中兩端點恆星水平距離（ \overline{WE} ）換算輸出星圖縮放比

星座	赤經差	天球距	列印值	縮放比	星座	赤經差	天球距	列印值	縮放比
	(°)	(cm)	(cm)	(%)		(°)	(cm)	(cm)	(%)
英仙座	24.1148	5.2610	6.009	87.55	天兔座	13.0770	2.8530	7.269	39.25
仙女座	27.3804	5.9735	6.002	99.52	仙后座	11.5847	2.5274	9.286	27.22
飛馬座	19.3319	4.2176	3.277	128.70	仙王座	20.5674	4.4871	7.993	56.14
雙魚座	31.4266	6.8562	5.367	127.75	小熊座	11.2422	2.4527	3.851	63.69
金牛座	28.6746	6.2558	6.821	91.71	小犬座	1.6264	0.3548	2.120	16.74
御夫座	17.2573	3.7650	6.370	59.10	雙子座	21.4712	4.6843	5.718	81.92
獵戶座	31.0022	6.7636	8.556	79.05	大犬座	11.2444	2.4531	3.368	72.84

無論使用「點圖法」或是「貼圖法」，將測量得到的恆星座標，校正周日運動造成的相對視運動才能正確標示，因此本研究以測量地點緯度 24°N 為基準，亦即**北極星距離地平面仰角 24°** 設計一個可以旋轉的「星羅布天球儀」（圖 4-6、圖 4-7），使用點圖法（圖 4-8）貼圖法分別製作「星羅布天球儀」（圖 4-9）。

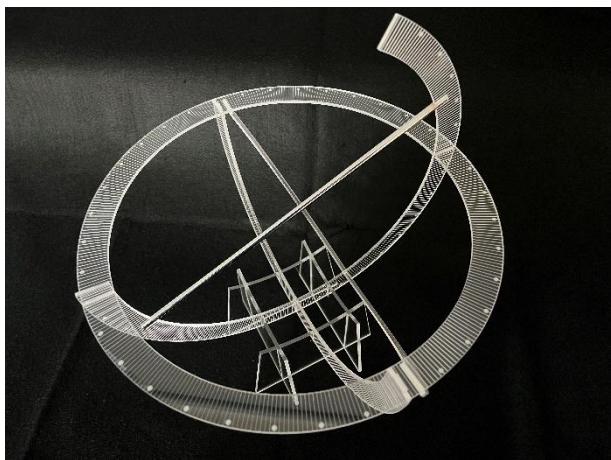


圖 4-6、星羅布天球儀支架

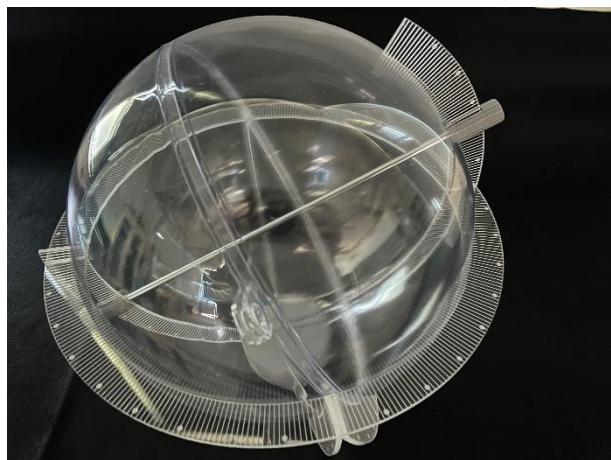


圖 4-7、以 24°N 設計的星羅布天球儀

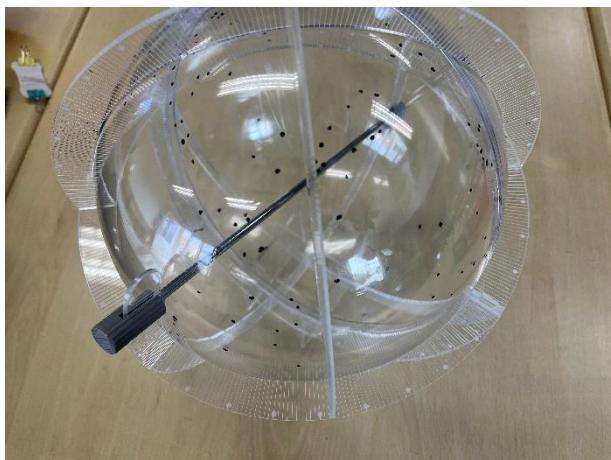


圖 4-8、點圖法星羅布天球儀



圖 4-9、貼圖法星羅布天球儀

四、「點圖法」與「貼圖法」比較

使用「點圖法」與「貼圖法」兩種方式繪製「星羅布天球儀」，各有優缺點，兩種方法比較如表 4-5。

表 4-5、「點圖法」與「貼圖法」優劣比較

	優點	缺點
點圖法	<ol style="list-style-type: none">1. 只需旋轉天球儀進行週日運動校正，即可將觀測數值標上天球儀2. 搭配極軸 24°N 的天球儀，可以準確描繪星星的位置	<ol style="list-style-type: none">1. 不易表達視星等2. 每次只能標繪一顆星星
貼圖法	<ol style="list-style-type: none">1. 輸出星圖美觀，可以透過 Excel® 泡泡圖表視星等2. 可以同時標示複數星星	<ol style="list-style-type: none">1. 輸出星圖前須經過運算進行球面校正2. 測量星星時，因周日運動使星座內每顆星星的位置需要單獨經過週日運動校正

伍、討論

一、創新與改良

(一) 測量的創新與改良

隨著科技進步，幾乎人人有手機，高感度陀螺儀晶片已是手機的標準配備之一。本研究以智慧型手機為載具，利用自由軟體 **phyphox® APP**，調用手機傳感器的資料，達到精密測量的需求。本研究結合了古人的智慧，利用「窺管」用來尋找天體，利用「渾儀」的赤經、赤緯等環上刻度概念來標定天體的座標；結合現代科技，利用手機的陀螺儀晶片達到天體高度角的精密測量需求，大大的改良了課本提供的天體測量裝置，除了更直覺外，可以同時用來測量日、月、星三種天體，也更加精準、便利。

(二) 天體運行軌跡與星圖

「渾象」可以用來演示與展現天體運行的軌跡與天體的位置，將測量所得到的資料具象化呈現，本研究使用常見的文書處理軟體 **Microsoft® Office Excel®** 繪圖功能，將測量得到的天體座標繪製成「平面星圖」，經過換算與校正，可以得到精密度很高的星圖，從國際天文協會的恆星表公開資訊，取得星座恆星座標與星等，利用 Excel® 繪圖功能（泡泡圖），畫出正確的星圖（圖 5-1），與本研究測量數據繪製的星圖（圖 5-2）互相比較，本研究測量星座中亮星位置無誤。



圖 5-1、使用國際天文協會恆星表公開資訊，利用 Excel® 繪圖功能畫出的仙女座星圖

圖 5-2 利用本研究自製天體觀測儀紀錄的仙女座恆星，利用 Excel® 繪圖功能畫出的星圖

(三) 測量 APP 與自製天體觀測儀的精準度

課本提供的月亮高度角觀測器精密度是 1° ，指北針方位角精密度也是 1° ，但是本研究開發「天體觀測儀」，利用手機自由軟體 phpyox® APP 進行測量，其傾斜角讀值可到小數點後八位，雖然手機感測晶片的運作原理屬於商業機密，使用本研究開發「天體觀測儀」進行測量，儀器的精準度經過統計學驗證，其平均標準差僅 **0.103089388**，十分精密；而其準確度僅約 $\pm 0.1^\circ$ ，因此不論何人操作本「天體測量儀」？都可以得到極高的精準度，遠勝於課本提供的測量儀器與測量方法。

(四) 軌跡紀錄半天球與星羅布天球儀的精準度

對於數據的輸出，本研究使用的「天體軌跡紀錄半天球」、「星羅布天球儀」，使用的天球赤道盤、天球經線刻度尺的原解析度均為 1° ，無法完全顯現測量儀器的高精度數值，經過本組開發弧形高度角游標尺系統，將繪製天體座標的精密度提升到 **0.05°**，可以呈現「天體觀測儀」的高精密度測量值。

二、誤差來源與校正

(一) 周日運動造成的位移與校正

因為周日運動的關係，地面觀察者看到天體繞著極軸（北極星）進行相對視運動，而且在相同時間內，越接近極軸的天體位移越短（圖 5-3），因此若是要換算周日運動各天體在球面上的移動軌跡，進行逆向校正，是相當複雜的事情，本研究製作的「星羅布天球儀」天球極軸以測量地點緯度 24°N 為基準，可以模擬臺灣地區天穹旋轉的天球系統，標示觀察天體座標時直接旋轉系統校正周日運動產生的位移，降低標記恆星座標的誤差。

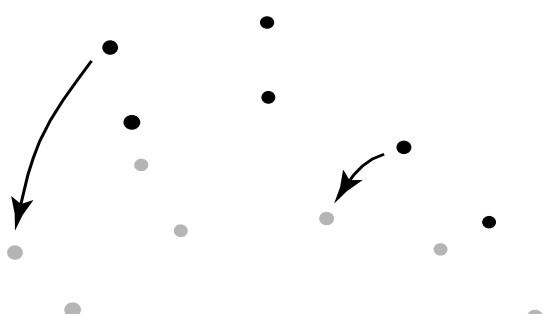


圖 5-3、周日運動天體在相同時間內的位移不同

（二）平面座標轉換球面座標

將測量所得的恆星座標，利用 Office Excel[®]繪圖功能，將測量得到的天體座標繪製成平面星圖，會因為測量的時間差產生周日運動的位移，導致恆星位置稍微有落差，再加上需要經過球面校正恆星的位置，才能使用貼圖法貼在球體上。

在可旋轉的天球上標示恆星座標，則可以直接透過旋轉天球來校正周日運動，精準定位恆星在天球上的位置，因此使用點圖法繪製的「星羅布天球儀」，要比貼圖法來的更加精準。

（三）測量環境的操作困境

本研究測量了星星、月亮、太陽三種天體，夜晚的星星最難測量，夜晚可見的恆星數量不知有多少？而且因為在平地有光害，本研究需要到光害比較少的地方測量，本研究期間選擇大雪山森林遊樂區、合歡山國家風景區兩處進行研究，山上氣溫很低，低溫環境導致指星筆一下子就沒電，換電池的過程會增加測量的時間，而且山上氣候瞬息萬變，星空時常被雲霧遮掩，最困難的是低溫造成的身體不適，也導致行動不方便，造成許多測量上的困難。

三、未來展望與可行性

（一）生生用平板—科技輔助融入學習

教育部從 2022 年開始推動「生生用平板」的政策，改變了教學模式，並且充實數位學習，讓師生透過科技的輔助，學習和教學更便利；同時提升科技素養，增加學生自主學習能力與培養解決問題的能力。

本研究過程中搭載手機使用的 phyphox[®] APP 也可以透過平板操作，只需要打開程式中的傾斜度測量，對準目標，按下開始鍵，就能馬上得知目標大概的高度角，操作上非常方便。且為了不影響到星星的測量，需到達無光害的高山，測量環境非常寒冷，本 APP 測量時可以將數據直接上傳至雲端，不需要依靠手寫。未來進行天文單元學習，只需使用平板即可達到天體的測量需求。

(二) 3D 繪圖的可行性

在 3D 模擬天球上標示恆星的赤經 (RA) 和赤緯 (Dec)，可以使用 3D 可視化工具。例如：使用 Python[®] 搭配 Matplotlib[®] 3D 和 Astropy[®] 來繪製恆星的天球座標，或者可以使用 Blender[®]，並透過 Python[®] 導入恆星數據。未來使用本研究開發的天體觀測儀，累積足夠的恆星座標，再利用上述的 3D 可視化工具，本組有信心完成類似 Star Walk 2[®] APP 一樣的虛擬天球。

陸、結論

一、國小自然課本以自製仰角觀測器搭配窺管觀測月亮，利用竿影間接觀測太陽，描繪天體在空的軌跡；使用星座盤，認識夜晚的恆星；裝置精度不足、並且複雜難以操作。本研究改良課本觀測天體的儀器，使用窺管與雷射筆，加上手機感測晶片與軟體 (phyphox[®] APP) 測量傾斜角，自製「天體觀測儀」，本觀測儀可以同時測量日、月、星三種天體在天空中的位置，操作更加便利、直覺，經過測試，本儀器精準度（平均標準差 0.1031/準確度 $\pm 0.1^\circ$ ）遠勝於課本裝置與方法，具有高度的再現性與實用性。

二、本研究利用自製「天體觀測儀」，在高山無光害的地方進行夜晚主要星座的恆星座標測量，將測量所得的天體方位角、高度角當作座標，利用試算軟體 Office Excel[®] 泡泡圖功能，可以將測量所得的恆星座標畫成平面星圖。

三、本研究利用自製「天體觀測儀」，利用壓克力半圓球描繪太陽、月亮在天空運行的軌跡（日跡、月軌），製成「天體軌跡紀錄半天球」。

四、以緯度 24°N 為基準，製作天球極軸仰角 24°，可旋轉校正周日運動的天球儀，將測量所得的恆星座標，利用弧形刻度游標尺系統（精度為 0.05°），定位出恆星位置，以點圖法繪製「星羅布天球儀」。將以 Excel[®] 泡泡圖功能繪製的平面星圖，經過球面換算與周日運動校正，以貼圖法製成「星羅布天球儀」。

五、「生生用平板」計畫提供的數位載具，可以取代手機製成本研究的「天體觀測儀」，便利且實用，值得推廣在學校進行地球科學的測量與學習。

柒、參考文獻

1. Encyclopedia Britannica. (n.d.). Armillary sphere, *Encyclopedia Britannica*, from:
<https://www.britannica.com/science/armillary-sphere>
2. 北京古觀象台的渾天儀 from <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1409230>
3. 陳久金、楊怡（2005）。中國古代的天文與曆法。台北：台灣商務印書館
4. 張之傑（2023，9月29日）。以管窺天：視野狹隘才看得清楚！「窺管」是怎麼幫助古人觀測星空的？泛科學。引自：<https://pansci.asia/archives/370026>
5. 康軒文教事業（2023）。白天和夜晚的天空。*國民小學自然科學課本第四冊*（初版）。台北：康軒文教事業股份有限公司
6. 康軒文教事業（2023）。神秘的天空。*國民小學自然科學課本第五冊*（初版）。台北：康軒文教事業股份有限公司
7. 翰林出版事業（2024）。閃亮的天空。*國民小學自然科學課本第三冊*（二版）。台南：翰林出版事業股份有限公司
8. 翰林出版事業（2024）。太陽的秘密。*國民小學自然科學課本第五冊*（二版）。台南：翰林出版事業股份有限公司
9. 翰林出版事業（2024）。探索星空的奧秘。*國民小學自然科學課本第六冊*（二版）。台南：翰林出版事業股份有限公司
10. 南一書局（2024）。地球的夥伴—日月星辰。*國民小學自然科學課本第三冊*（二版）。台南：南一書局企業股份有限公司
11. 南一書局（2024）。太陽與光。*國民小學自然科學課本第五冊*（二版）。台南：南一書局企業股份有限公司
12. 南一書局（2024）。星星的世界。*國民小學自然科學課本第六冊*（二版）。台南：南一書局企業股份有限公司
13. SIMBAD Astronomical Database. (12th Feb., 2025).Centre de Données astronomiques de Strasbourg, *Strasbourg astronomical Data Center*, from: <https://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>

捌、附錄

附錄一、繪圖及照片

一、照片攝影索引：

第一指導教師：圖 1-6、圖 3-1、圖 3-2、圖 3-6、圖 3-7、圖 3-8、圖 3-9、圖 3-10、圖 3-11、圖 3-12、圖 3-13、圖 3-14、圖 4-3、圖 4-4、圖 4-6、圖 4-7、圖 4-8、圖 4-9

第二指導教師：圖 3-21、圖 3-22、圖 3-23、圖 3-27、圖 3-28、

第一作者：圖 1-11、圖 1-12

第二作者：圖 3-3、圖 3-4、圖 3-5

第三作者：圖 3-15、圖 3-16、圖 3-17

第四作者：圖 3-18、圖 3-19、圖 3-20

二、圖表繪製索引

第一指導教師：圖 1-3、圖 1-4、圖 1-5、圖 1-7、圖 1-8、圖 1-9、圖 1-10、圖 4-1、圖 4-2

第二指導教師：圖 3-24、圖 3-25、圖 3-26、表 4-1、表 4-2、表 4-3、表 4-4、表 4-5

第一作者：圖 4-5-(A)、圖 4-5(B)、圖 5-1、圖 5-2

第二作者：圖 4-5-(C)、圖 4-5(D)、圖 4-5-(E)、圖 5-3

第三作者：圖 4-5(F)、圖 4-5(G)、圖 4-5(H)

第四作者：圖 4-5-(I)、圖 4-5(J)、圖 4-5-(K)、圖 4-5(L)

第五作者：圖 4-5-(M)、圖 4-5(N)

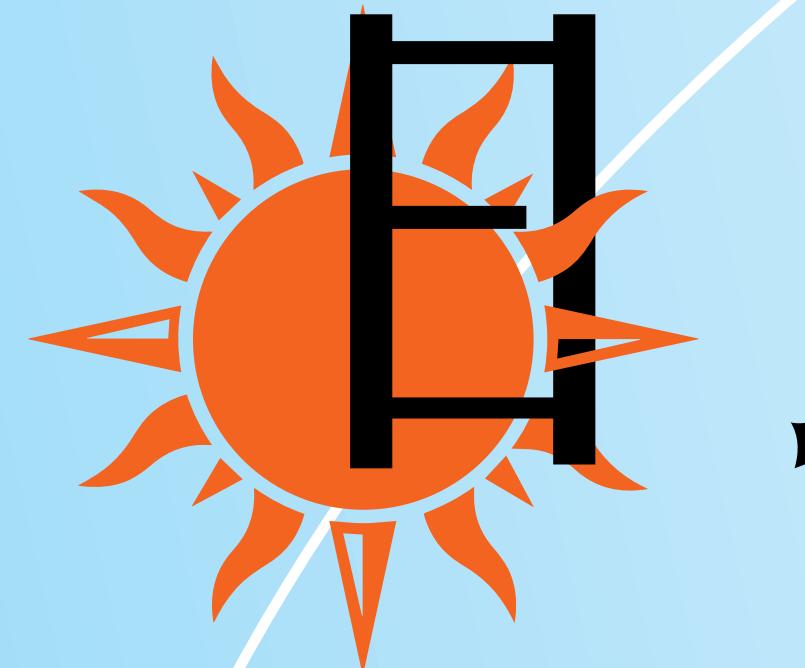
附錄二、研究期間測量主要星座恆星表

星座	時間	測量(點描法)			校正(貼圖法)			週日	測量(點描法)			週日			
		方位角	高度角	視星等	球形校正	繪圖星等	運動		方位角	高度角	視星等	球形校正			
11月29日															
仙后座	20:00	353	55.2948	2	357.0911	10	0.0000		20:28	260	33.4040	5	258.8437	7	36.6086
	20:01	360	58.3798	2	361.1893	10	0.2507		20:28	258	31.7814	4	257.2503	8	36.8593
	20:02	362	57.0755	3	362.2282	9	0.5014		20:29	255	38.1291	5	254.5732	7	36.8593
	20:03	363	54.1101	2	362.7931	10	0.7521		20:29	254	36.3614	4	253.8053	8	36.8593
	20:04	369	53.8696	3	366.3326	9	1.0028		20:29	255	32.7958	5	254.6812	7	22.0681
	20:05	372	49.4515	3	368.6759	9	1.2535		19:30	85	66.2958	4	93.3718	8	22.0681
	20:06	358	51.9608	4	359.7271	8	1.5042		19:30	85	66.9306	4	93.5142	8	22.0681
仙王座	20:02	356	36.7832	3	353.3122	9	0.5014		19:30	85	67.2752	4	93.5917	8	22.0681
	20:03	342	36.6464	3	342.0988	9	0.7521		19:31	84	67.0799	4	93.1583	8	22.3188
	20:04	332	39.4387	2	334.3908	10	1.0028		19:31	125	65.9800	4	109.5835	8	22.3188
	20:04	329	43.7302	4	332.7449	8	1.0028		19:31	123	65.9868	4	108.7667	8	22.3188
	20:05	331	47.0827	3	334.6692	9	1.2535		19:32	108	60.5585	3	103.4238	9	22.5695
	20:05	333	48.8257	4	336.2457	8	1.2535		19:32	95	54.4333	0	96.6734	12	22.5695
	20:06	344	44.8875	3	343.5627	9	1.5042		19:33	97	55.8733	3	97.8779	9	22.8202
	20:06	330	35.1589	3	332.2805	9	1.5042		19:33	99	57.7948	3	99.0000	9	22.8202
小熊座	20:05	360	24.6958	2	359.4512	10	1.2535		19:33	95	57.9311	4	96.8762	8	22.8202
	20:05	356	22.9749	5	355.8414	7	1.2535		19:34	92	57.0910	3	95.1969	9	23.0709
	20:06	353	19.9729	4	353.0601	8	1.5042		19:34	83	42.0793	3	87.1245	9	23.0709
	20:06	351	15.2138	5	351.1051	7	1.5042		19:34	73	45.9079	2	80.9088	10	23.0709
	20:06	352	10.4219	2	352.0330	10	1.5042		19:35	73	45.9079	2	69.1977	10	23.3216
	20:06	349	9.6591	3	349.0709	9	1.5042		19:36	66	52.5284	2	63.8460	10	23.5723
	20:06	348	15.1682	5	348.2090	7	2.0056		19:36	54	49.6309	3	56.2899	9	23.5723
12月29日															
英仙座	20:00	4	58.0369	4	17.4129	8	29.5890		19:37	50	49.8543	3	53.7303	9	23.8230
	20:01	9	60.0468	3	20.7666	9	29.8397		19:37	48	46.7827	0	51.9404	12	23.8230
	20:02	17	62.5256	1	25.3490	11	30.0904		19:38	51	39.7268	2	53.1935	10	24.0737
	20:02	16	69.0664	4	26.6048	8	30.0904		19:39	61	39.4818	3	60.8859	9	24.3244
	20:03	20	71.8183	2	28.5996	10	30.3411		19:40	107	32.1643	2	105.7722	10	19.5612
	20:03	21	73.0024	3	29.1382	9	30.3411		19:40	107	30.8081	1	105.8711	11	19.5612
	20:04	11	75.4259	4	27.0899	8	30.5918		19:41	107	29.4569	1	105.9658	11	19.8119
	20:04	25	62.8960	3	29.0829	9	30.5918		19:41	96	30.6044	0	96.4179	12	19.8119
	20:04	42	66.6926	3	36.2588	9	30.5918		19:41	101	36.9513	1	100.5983	11	19.8119
	20:05	51	68.9960	4	39.1310	8	30.8425		19:42	118	31.8893	0	115.1323	12	20.0626
	20:05	61	71.5329	3	41.5277	9	30.8425		19:42	114	24.4546	2	112.6543	10	20.0626
	20:05	57	73.2907	4	39.5441	8	30.8425		19:42	111	29.8071	5	109.4124	7	20.3133
	20:06	33	66.8700	4	32.6964	8	31.0932		19:43	112	29.5074	5	110.3138	7	20.3133
	20:06	12	63.7710	4	23.4398	8	31.0932		19:43	113	29.2375	3	111.2164	9	20.3133
	20:06	5	61.1403	4	19.2267	8	31.0932		19:43	96	36.8211	3	96.5985	9	20.3133
仙女座	20:08	287	55.1768	2	289.6541	10	31.5946		19:44	96	36.1746	4	96.5783	8	20.5639
	20:08	297	60.8436	4	296.9997	8	31.5946		19:44	96	36.7269	4	96.5955	8	20.5639
	20:08	309	63.0274	4	303.0983	8	31.5946		19:45	101	46.2277	5	100.3836	7	20.8146
	20:09	312	59.4279	4	304.2112	8	31.8453		19:45	103	46.6567	5	101.7455	7	20.8146
	20:09	313	60.7094	5	304.7877	7	31.8453		19:45	105	45.6578	3	103.1937	9	20.8146
	20:09	327	60.1088	4	311.7327	8	31.8453		19:46	107	45.2367	4	104.6334	8	21.0653
	20:09	336	62.0784	4	315.6311	8	31.8453		19:46	111	42.9982	4	107.7765	8	21.0653
	20:10	304	55.4674	5	299.4141	7	32.0960		19:47	111	41.7044	5	107.9590	7	21.3160
	20:10	309	47.1146	4	301.3960	8	32.0960		19:47	93	31.2038	4	93.8680	8	21.3160
	20:11	310	47.2973	4	302.0917	8	32.3467		19:48	87	30.6591	5	88.6774	7	21.5667
	20:11	313	46.3202	4	304.0828	8	32.3467		19:48	81	34.2997	5	84.1302	7	21.5667
	20:12	291	60.9325	4	294.1111	8	32.5974		19:49	122	15.2163	4	122.0351	8	14.5472
	20:12	288	60.8766	4	292.6293	8	32.5974		19:49	124	15.6503	4	123.9629	8	14.5472
	20:13	277	62.4833	4	288.2507	8	32.8481		19:50	122	20.7430	3	122.0648	9	15.2993
	20:13	304	65.8082	2	301.3776	10	32.8481		19:50	125	19.8699	3	124.8809	9	15.2993
	20:14	323	67.0031	4	309.0394	8	33.0988		19:51	124	25.6932	3	123.9011	9	15.5500
	20:14	336	69.4470	2	313.3459	10	33.0988		19:51	130	23.1621	3	129.4358	9	15.8007
飛馬座	20:15	264	52.1258	3	269.2119	9	33.3495		19:52	116	18.4237	4	116.3588	8	16.0514
	20:15	271	36.5304	2	272.2770	10	33.3495		19:52	117	20.0012	4	117.3619	8	16.3021
1月29日															
小犬座	19:20	100	33.5321	0	99.8336	12	50.1365								
	19:20	98	37.5515	3	98.2072	9	50.1365								
雙子座	19:21	73	39.3262	1	75.0380	11	50.3872								
	19:21	68	42.1043	1	71.6130	11	50.3872								
	19:22	77	39.0628	4	78.1177	8	50.6379								
	19:22	75	41.4135	4	76.7503	8	50.6379								
	19:23	82	44.2289	4	82.0000	8	50.8886								
	19:23	85	47.6217	4	84.0221	8	50.8886								
	19:23	94	52.4201	2	89.3184	10	50.8886								
	19:24	99	49.7152	3	92.9920	9	51.1393								
	19:24	90	43.4870	4	87.8042	8	51.1393								
	19:25	86	59.7283	3	84.0164	9	51.3900								
	19:25	86	57.7506	3	84.1344	9	51.3900								
	19:26	80	53.6146	3	80.8136	9	51.6407								
	19:26	65	51.9447	4	71.5208	8	51.6407								
	19:26	71	48.0648	5	74.6488	7	51.6407								
大犬座	19:30	133	33.9199	-2	133.0851	14	52.6435								
	19:30	127	35.7509	4	128.2248	8	52.6435								
	19:31	129	31.6238	4	129.6682										

【評語】080511

研究主題與生活有關。團隊使用窺管與雷射筆，加上手機感測晶片與軟體測量傾斜角，自製「天體觀測儀」。內容顯示操作過程比目前課綱教材內的方法便利與直覺，觀察結果也較精確。海報展示時清楚地說明各種星體量測與繪製，但實際科學發現稍嫌薄弱。

作品海報



跡



軌

星

羅

布

—

自製天體觀測儀與其應用

摘要

國小自然課以量角器搭配窺管觀測月亮，利用竿影間接觀測太陽，描繪天體在天空的軌跡，使用星座盤認識夜晚星空，但觀測器與竿影測量精密度低，操作複雜不直觀。本研究利用窺管與雷射筆，加上手機感測晶片與軟體測量傾斜角，自製精準度極高的「天體觀測儀」，可以同時測量日、月、星三種天體，將測量所得的天體方位角、高度角座標，利用壓克力半圓球描繪太陽、月亮在天空運行的軌跡，製成「天體軌跡紀錄半天球」；利用試算軟體泡泡圖功能，將測量所得的恆星座標畫成平面星圖。將恆星座標經過周日運動校正，使用弧形刻度游標尺系統，描繪恆星在壓克力球上，製成「星羅布天球儀」。開發出便利、精準、實用的天體觀測儀，並繪出天體的運行軌跡與分布。

壹、前言

一、研究動機

國小四年級、五年級自然課開始學習認識天體，課程內容包含：日、月、星三種天體的認識與相對視運動。為了觀察天體的運行，需要觀測並且記錄天體在天空中的方位與高度，藉此描繪出天體運行的軌跡，認識天體運行的四季變化。本研究將借助前人的智慧與現代科技的便利，開發出方便實用的天體測量裝置，並且利用研發的裝置來描繪出天體的運行軌跡與分布。

二、文獻探討

(一) 課本測量天體的裝置與星圖

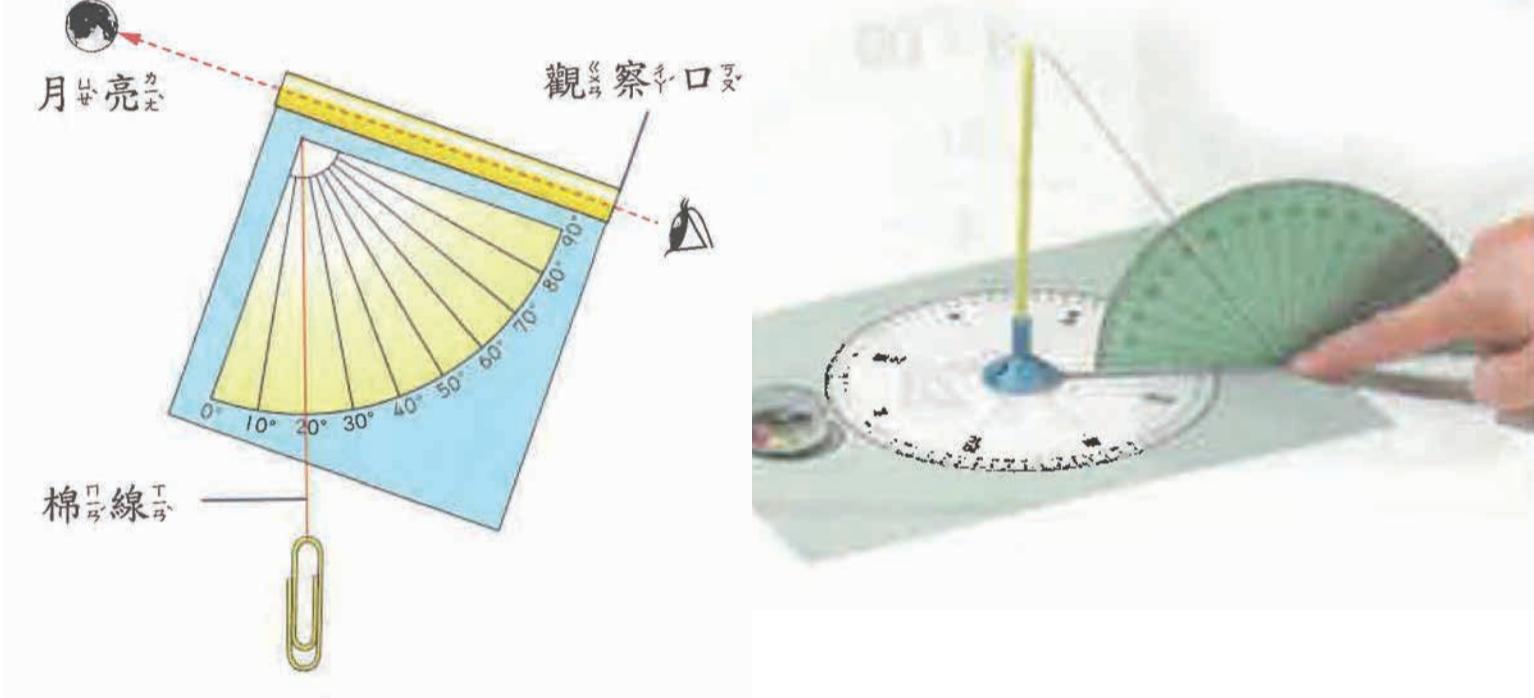


圖1-1、月亮高度角觀測器 圖1-2、太陽竿影測量 圖1-3、平面星圖
註：圖片引用自各版本教科書（康軒文教事業，2023）、（翰林出版事業，2024）、（南一書局，2024）

(二) 古人的智慧：渾儀、渾象、渾天儀



圖1-4、北京古觀象台的渾天儀（來源見參考文獻）



圖1-5、Armillary sphere, (來源見參考文獻)

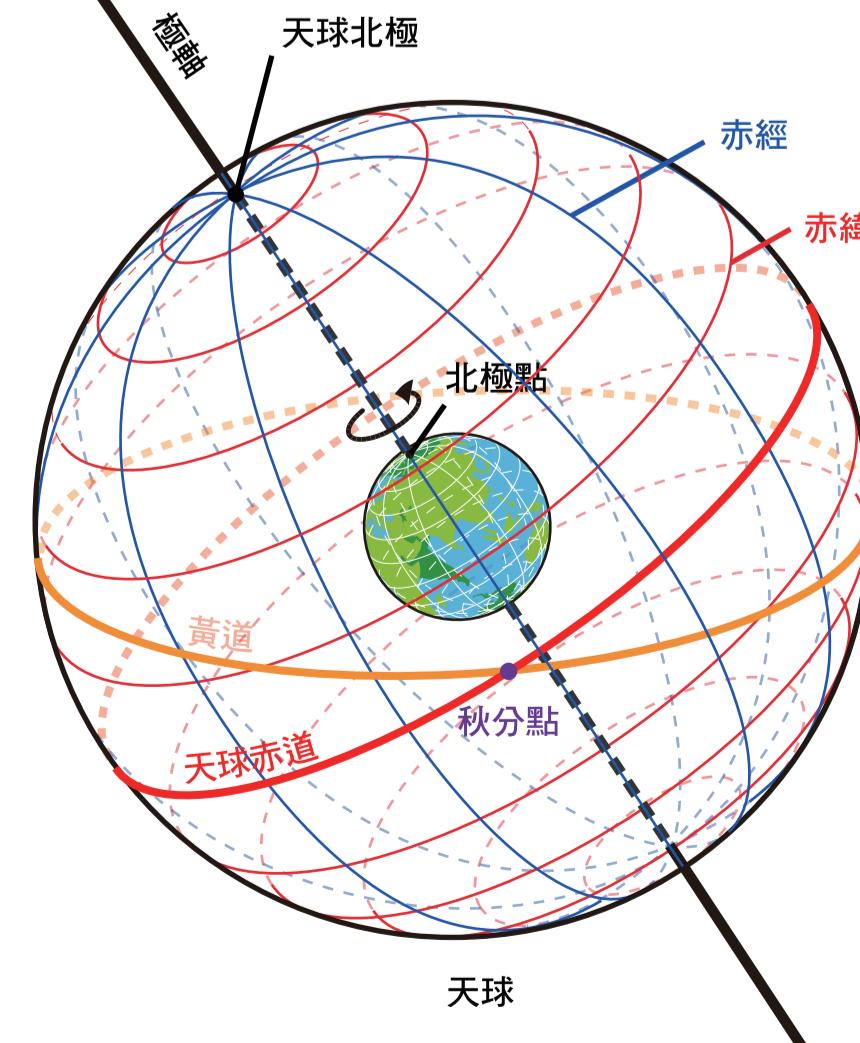
(三) 天球與周日運動

1. 天球

天文學家就假想「天」是個球體：天球，做為觀察星空的依據。假想中的天球，是以地球為中心、向外擴充的無限大球面。天球也有經緯度，稱為赤經、赤緯（圖1-6）。

2. 周日運動

隨著地球由西向東自轉，對地面觀察者而言，投影在天球上的天體：太陽、月亮、星星同樣東昇西落，都有相對視運動，稱為：「周日運動」（圖1-7）。



◆ 圖1-6、地球外假想的天球與赤經、赤緯

▲ 圖1-7、北方天空群星繞著極軸進行周日運動形成的星軌（攝於石門山）

三、待解決的問題

國小自然科學課本裡提供的月亮高度角測量裝置使用吸管（窺管）對準天體，垂下的棉線對上裝置板

上的刻度即為高度角，裝置運作原理需要應用到三角形的內角和與重力等相關知識，不夠直覺。測量太陽時，利用光的直進性質，將竿影末端與竿子頂端連線，測量此線與地面上的夾角，即為太陽的高度角。

整體而言，月亮與太陽的觀測的裝置，除了使用非直覺的原理外，最大缺點在於精密度不足，天體高度角測量裝置有許多改良的空間。

平面星圖（星座盤）是將原本立體的天球，以北極星為中心點壓成平面的圓形盤面製作而成，因此在天球北極（北極星）附近的星星位置相對準確，但是圓盤周圍星星間的距離會被拉長，產生失真的狀況（圖1-8）。此外市面上也有天球儀（圖1-9）與虛擬3D天球APP（圖1-10）。

本研究開發新的天體觀測儀，可以同時測量太陽、月亮與夜晚的恆星。最終將測量所得的天體數據，畫成天體運行軌跡：「日跡」、「月軌」，以及利用測量數據繪製成天球儀：「星羅布」。

四、研究目的

- (一) 改良課本天體測量方式，開發新的天體觀測儀，同時可測日、月、星
- (二) 比較「課本測量天體裝置」與「自製天體觀測儀」的精準度
- (三) 利用自製天體觀測儀，進行太陽、月亮運行軌跡觀測
- (四) 利用自製天體觀測儀，進行夜晚恆星的觀測
- (五) 使用觀測所得數據，繪製天體運行軌跡：「日跡」、「月軌」
- (六) 使用觀測所得數據，製成「星羅布天球儀」



圖1-8、天球轉成平面星圖造成失真現象 圖1-9、天球儀 圖1-10、Star Walk

貳、研究設備與器材

一、手機APP：

phyphox® APP、Star Walk® 2 APP

二、PC APP：

Inkscape®、IBM SPSS®、TINKERCAD®、Office Excel®

三、器材：

iPHONE® 13、綠光雷射筆、環保吸管、壓克力板、壓克力半圓球、壓克力圓球、雷雕機、3D列印機、自製「天體觀測儀」（圖2-1）、手電筒、星座盤、投影片、萬向雲台（Manfrotto® 486RC2）、腳架（Manfrotto® MT055XPRO 3 Tripod）、下振、棉線、紅外線測距儀



圖2-1、自製天體觀測儀：(A)第一代、(B)第二代、(C)第三代

參、研究過程或方法

一、自製天體觀測儀與原理

(一) 手機與phyphox® APP

高感度陀螺儀晶片已是手機的標準配備之一。本研究以智慧型手機為載具，利用手機的高感度陀螺儀晶片進行角度測量，感測晶片利用角速度變化量進行光感測，利用phyphox® APP (physical phone experiments)，可以調用手機傳感器的資料，其輸出測量值可達小數點後八位（圖3-1）。

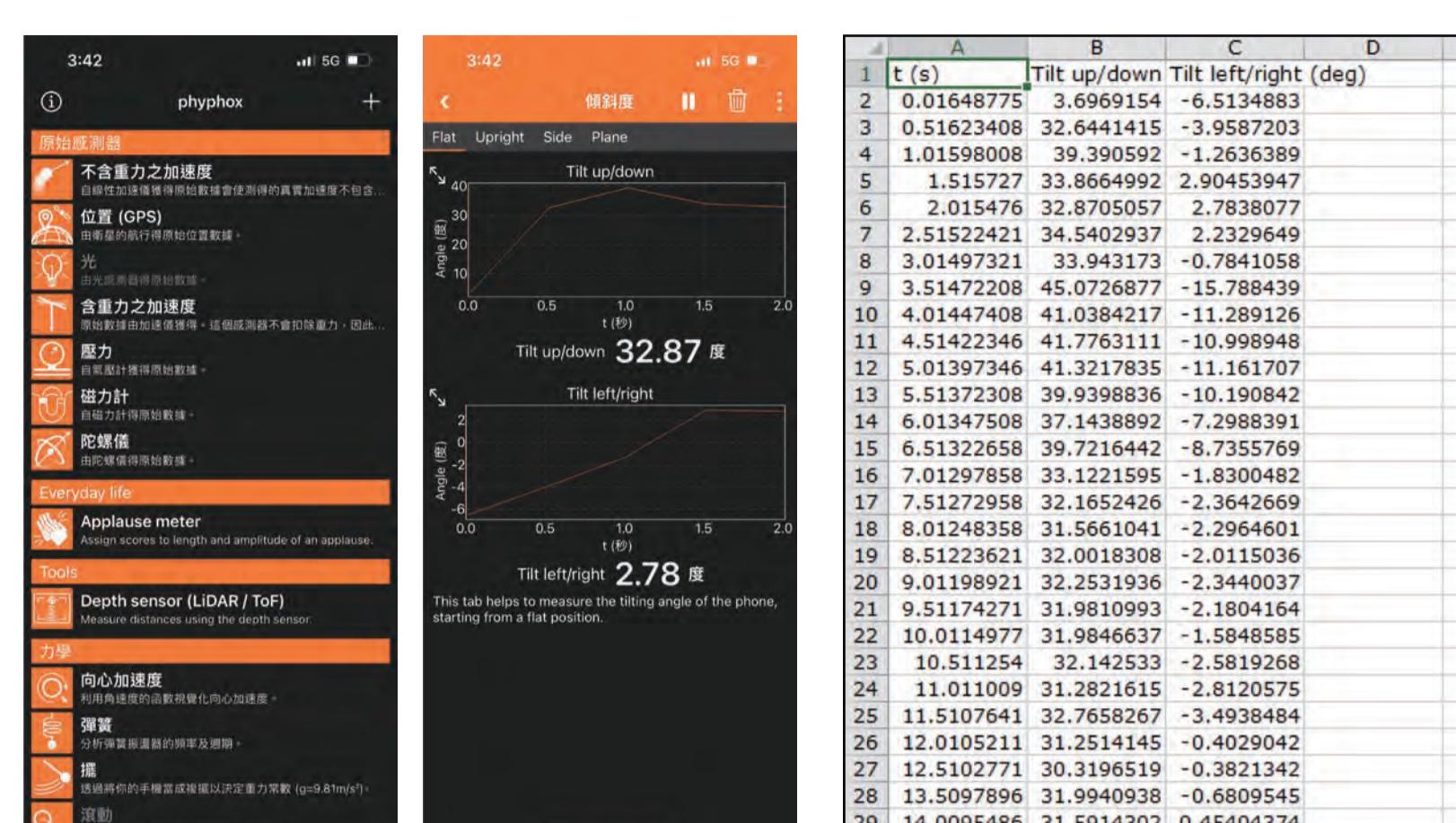


圖3-1、phyphox® APP 測量手機傾角

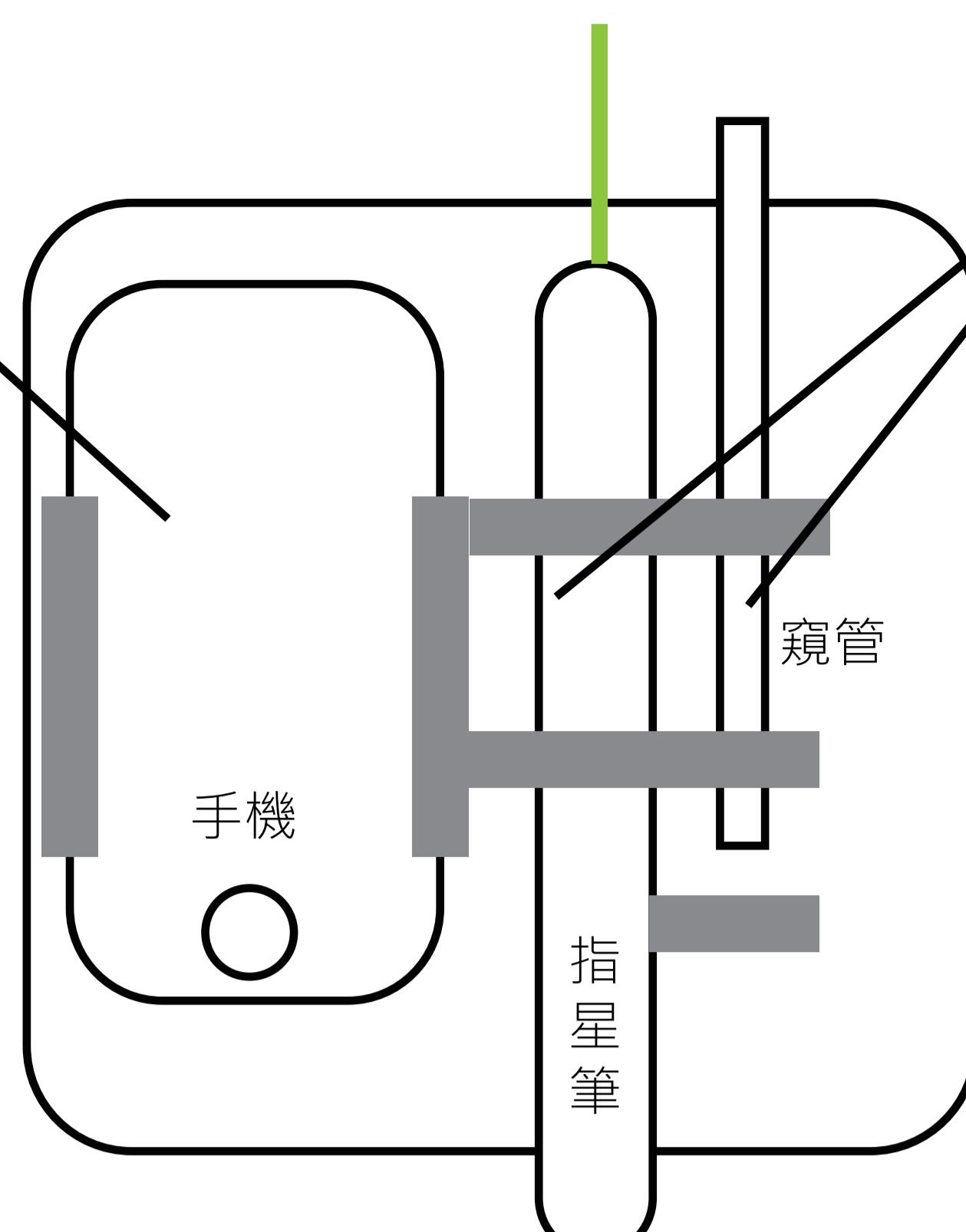


圖3-2、窺管和太陽光線重疊產生圓形光斑（紅圈處）

(二) 窺管與指星筆

使用不鏽鋼環保吸管作為「窺管」，當窺管與太陽光線前進的方向重疊時，在窺管後方可以投影出完整的圓形太陽光斑（圖3-2）。窺管的視野狹窄，觀測夜晚天空的恆星、月亮時不易找尋標的，本研究使用綠光雷射筆（指星筆）作為輔助（圖3-3）。

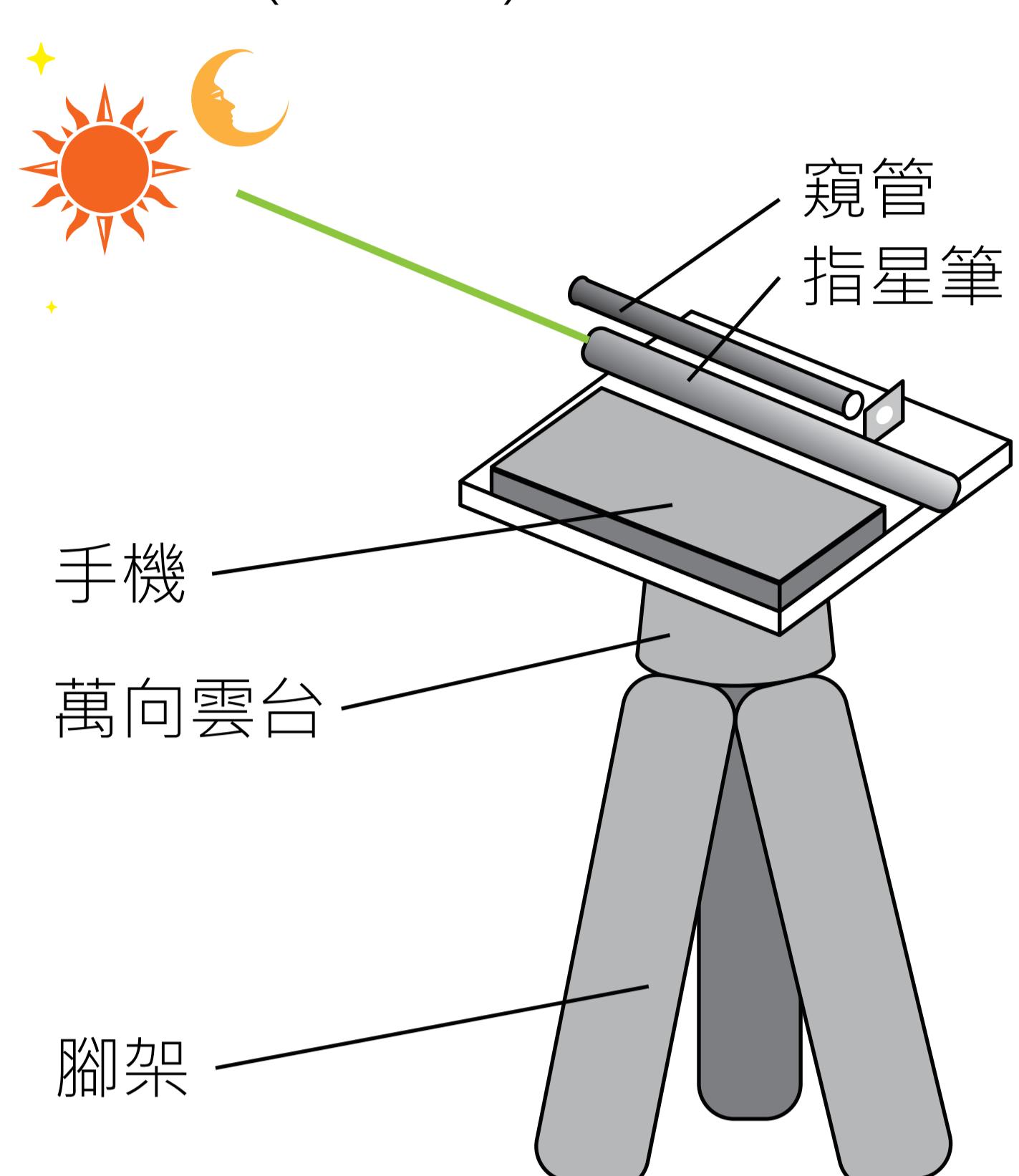


圖3-3、自製天體觀測儀操作示意圖

二、自製「天體觀測儀」精準度測試

以棉繩綁下振自三樓垂下（圖3-4-B），以紅外線測距儀測量標記處距離地面距離（H），以測距輪測量下振垂下處到裝置的直線距離（L），利用裝置上的指星筆光束對準標記（圖3-4-C），開啟手機phyphox® 測量角度，重複測量15次（圖3-4-A），以SPSS® 進行精準度分析，觀測值與總平均值對照。

三、使用自製天體觀測儀觀測天體與紀錄

太陽&月亮：每月一次，每隔1hr.測量記錄天體位置：測量太陽時，將觀測儀的窺管對準太陽，直到窺管後方看到圓形的太陽光斑；測量月亮時將指星筆光束對準月亮；固定觀測儀，開啟手機phyphox® APP，讀取觀測儀的傾斜角。

星星：考量周日運動影響測量，每一星座測量時間控制在10分鐘內，記錄各星座主要亮星，以指星筆光束對準測量標的，測量地點選擇無光害的高山（圖3-5、圖3-6）。

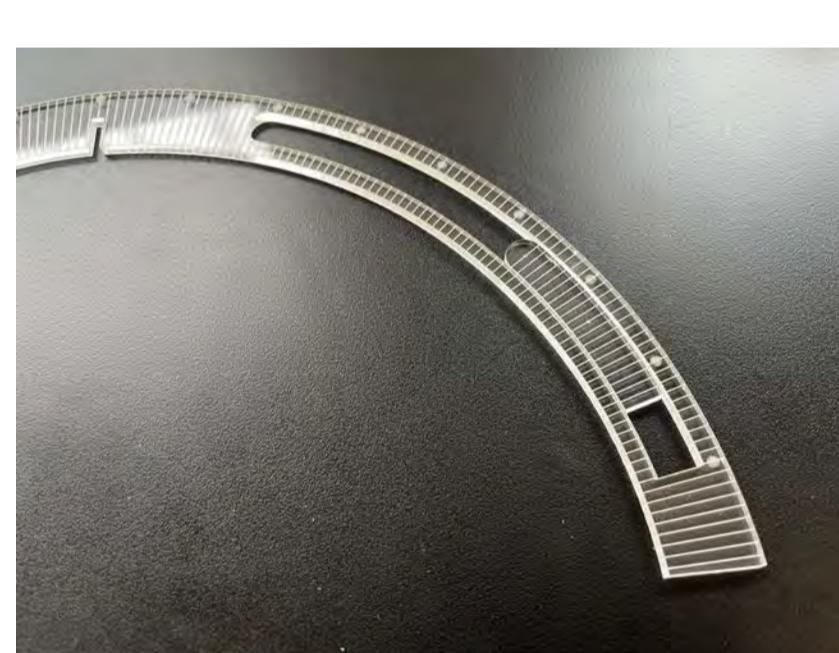


圖3-7、弧形游標尺系統



圖3-8、天體軌跡紀錄半天球



圖3-9、星羅布天球儀



圖3-10、「日跡」、「月軌」

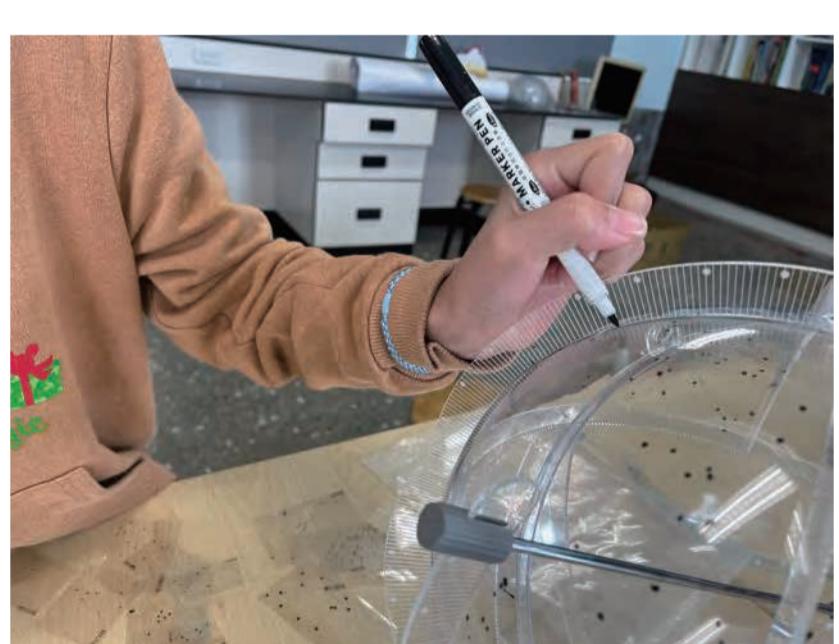


圖3-11、「點圖法」星羅布



圖3-12、「貼圖法」星羅布

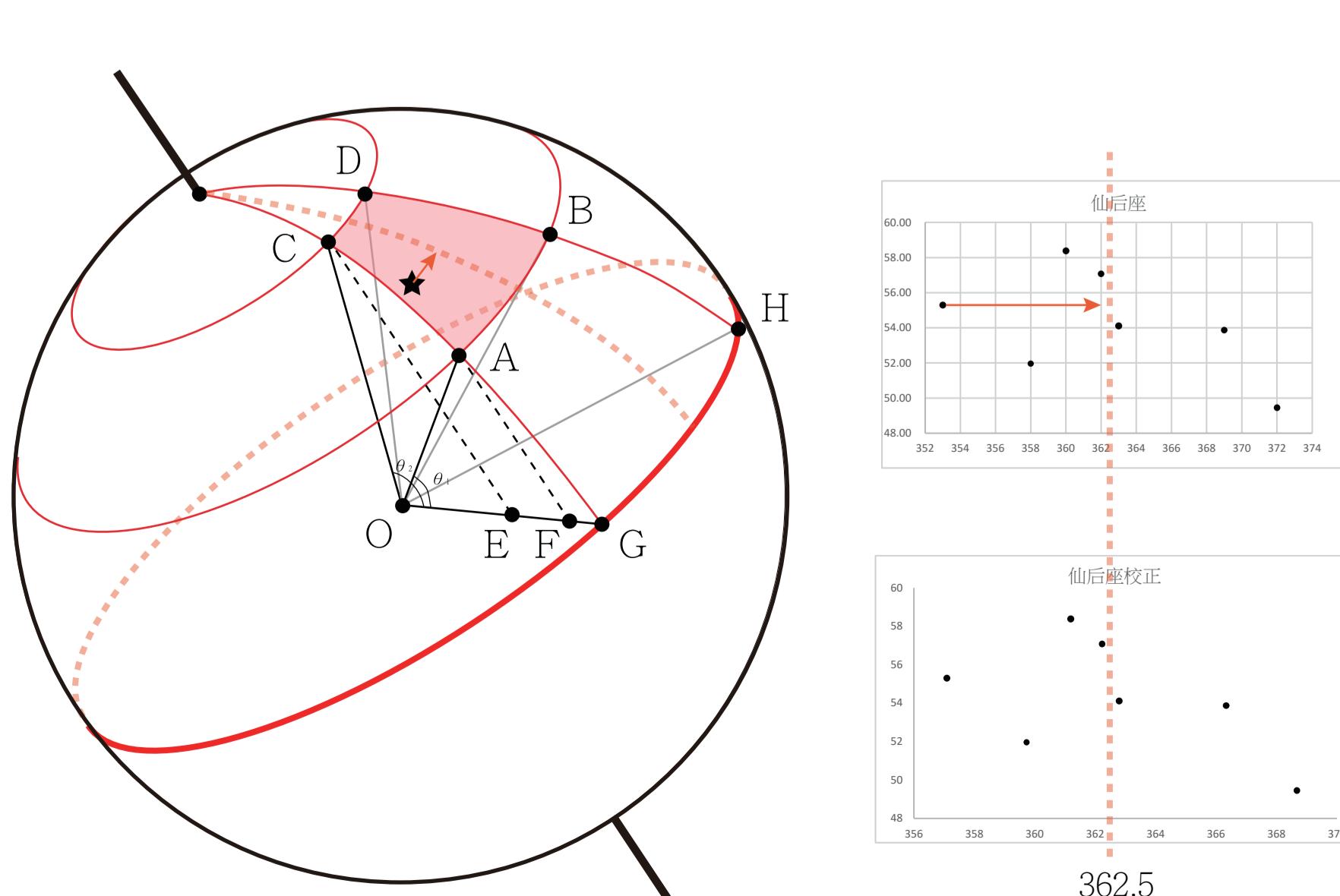


圖3-13、球面校正平星圖

四、「天體運行軌跡紀錄半天球」與「星羅布天球儀」

(一) 紀錄裝置

使用自由軟體Inkscape® 繪製，以雷雕機製作壓克力方位盤與弧形尺，為了提升精準度，本研究使用游標尺主尺與副尺的概念，將弧形尺主尺的 19° ，在副尺上切分成20格，製作精度高達 0.05° 的弧形游標尺系統（圖3-7）。

使用壓克力半圓球，組裝成「天體軌跡紀錄半天球」（圖3-8）。以壓克力圓球作為天球儀主體，以測量地點緯度 24°N 為基準，設計天球極軸仰角 24° 可以旋轉的「星羅布天球儀」（圖3-9），方便進行周日運動校正。

(二) 紀錄天體軌跡半(日跡、月軌)

測量所得太陽、月亮在天上運行的每間隔1hr.天體的方位角與高度角，在「天體軌跡紀錄半天球」上，透過方位盤與弧形游標尺系統，可以繪出紀錄點形成天體運行軌跡，成為「日跡」、「月軌」（圖3-10）。

(三) 繪製全天天球儀 (星羅布)

測量所得天空恆星原始數據，是測量當下目標恆星的方位角與高度角（測量座標），但是因為周日運動產生相對視運動，所以恆星位置不斷隨時間改變，因此需要經過換算與校正，將恆星「測量座標」轉換成「天球座標」。

使用「點圖法」：將不同時間測量所得的恆星座標，旋轉天球極軸仰角 24° 「星羅布天球儀」校正週日運動後描繪在天球儀上（圖3-11）。使用「貼圖法」，先將測量座標進行縮放比例的換算、再經過經過球面校正（圖3-13），以Excel® 繪製成平面星圖列印在透明投影片上，校正週日運動後貼在天球儀上（圖3-12）。兩種方法比較如表3-1。

表3-1、「點圖法」與「貼圖法」優劣比較

	優點	缺點
點圖法	1. 只需旋轉天球儀進行週日運動校正，即可將觀測數值標上天球儀 2. 搭配極軸 24°N 的天球儀，可以準確描繪星星的位置	1. 不易表達視星等 2. 每次只能標繪一顆星星
貼圖法	1. 輸出星圖美觀，可以透過Excel® 泡泡圖表視星等 2. 可以同時標示複數星星	1. 輸出星圖前須經過運算進行球面校正 2. 測量星星時，因周日運動使星座內每顆星星的位置需要單獨經過週日運動校正

肆、研究結果

一、自製天體觀測儀精準度

使用自製天體觀測儀測量15筆數據，使用SPSS®進行精準度分析，其結果顯示使用本觀測儀測量標的物得到的平均仰角為 16.1040653° (N=150)，平均標準差為：0.103089388(圖4-1)。其準確度約為 $\pm 0.1^\circ$ (圖4-2)。

二、「天體軌跡紀錄半天球」與「日跡」、「月軌」

使用「天體觀測儀」以手機phyphox®APP讀取手機陀螺儀資料，紀錄太陽、月亮的高度角、方位角，分三組人馬同時測量，取平均值，結果如表4-1、表4-2所示，在「天體軌跡紀錄半天球」上，透過方位盤與弧形游標尺系統，繪出天體軌跡(圖4-3、圖4-4)，形成「日跡」、「月軌」。

三、「天球儀」與「星羅布」

本研究主要使用「點圖法」，將測量得到星座恆星的數據(表4-3)，經過週日運動校正(約 $0.25^\circ/\text{sec}$)繪製在極軸仰角 24° 的天球儀上，完成「星羅布天球儀」(圖4-5)。另外，利用Excel®將測量所得恆星座標，利用泡泡圖功能繪製成平面星圖(圖4-7)，經過球面校正與縮放後，以「點圖法」製作(圖4-6)。

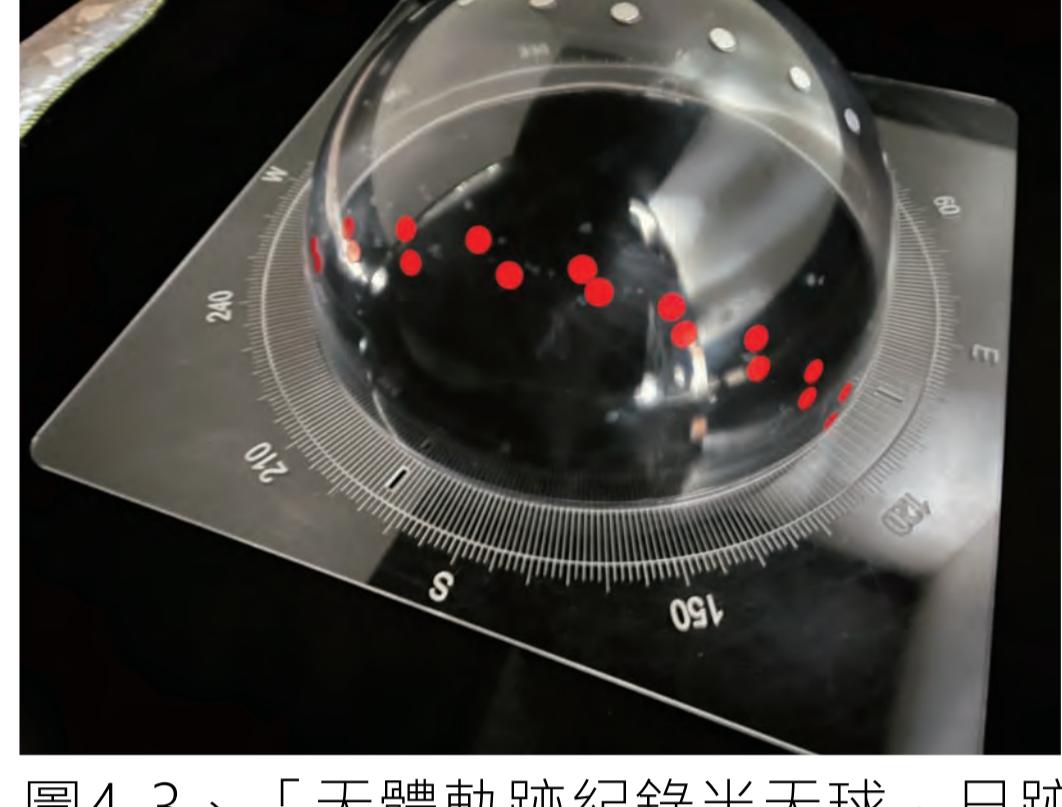


圖4-3、「天體軌跡紀錄半天球」日跡



圖4-4、「天體軌跡紀錄半天球」月軌



圖4-1、測量值標準差分布(精確度)



圖4-2、測量值準確度分布

Precision Analysis (Standard Deviation of Each Measurement Set)

Accuracy Analysis (Deviation from Overall Mean)

± 0.1 Tolerance

Measurement Index

Standard Deviation

Deviation from Overall Mean

Measurement Index