

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 地球科學科

080510

阿波羅的航行地圖

～太陽移動軌跡和 8 字型之探討

學校名稱：高雄市小港區港和國民小學

作者：	指導老師：
小五 葉映彤	陳翠雯
小六 黃籍弘	鄭文光
小五 黃柏尹	
小五 林竝緯	
小五 黃柏鈞	

關鍵詞：太陽移動軌跡、8 字型、太陽能板

作品名稱：阿波羅的航行地圖~太陽移動軌跡和 8 字型之探討

摘要：

我們發現太陽的移動軌跡會因緯度的不同會有不同的變化，研究中我們得到以下幾項結論：

一、四季高度角變化並不相同，水平變化量平方值+垂直變化量平方值=固定數值，越接近天球東西方位線水平變化量變大，垂直變化量變小。

二、太陽每天相同時間出現在不同的位置，若長期會呈現 8 字型的變化，當距離 8 字型中線越遠，則時差越大。

三、南、北半球相同緯度地區，6/21 和 12/22 太陽軌跡恰好相反，但南半球軌跡偏北，北半球軌跡偏南。

四、太陽 8 字型，北半球偏南；南半球偏北；短圈都是 4~8 月，長圈是 1~3 和 9~12 月。

五、東北、西北方日影時間長，太陽能板適合擺放於東南、西南方，若要設置於建築物周邊，則可考慮在 1/2 ~2/3 建築物高的距離擺放。



壹、研究動機：

五年級的時候，曾經學過有關於太陽的單元，它上面有提到太陽四季的軌跡變化，以及日晷的使用方式讓我學到不少。大多數人對太陽的認識不多，只認為太陽就是一個照亮大地的星體罷了，但是，大家都說太陽東升西落，難道說.....，太陽就真的一直都是正東升起、正西落下嗎？其他緯度地區的國家呢？這些問題使我們對於太陽充滿好奇心，也做了很多實驗，使我們更加認識太陽，有時，不禁會發出一聲讚嘆：「太陽的奧秘真是神奇呢！」我們希望藉由這次科展的機會，挖掘出太陽的秘密，也培養出團隊的合作精神，我們利用好奇、用心、向學的精神，向充滿著神奇奧秘的太陽學習，也告訴自己，在做任何事的同時，要記得對照亮萬物的太陽懷著感激的心唷~。



貳、研究目的：

我們要探討的是：

- 一、台灣地區，太陽竿影的變化情形為何？
- 二、台灣地區，太陽移動軌跡之分析探討？
 - (1)台灣地區，四季竿影軌跡變化為何？
 - (2)台灣地區，四季太陽移動軌跡變化為何？
- 三、台灣地區，太陽每天都準時出現在相同位置嗎？
 - (1) 每天 12:00 都是太陽最高的時間(日中天時刻)嗎？



- (2) 相同時間，太陽的移動有何規律性嗎？
- (3) 天空中的太陽 8 字型之分析探討？
- 四、不同緯度地區，太陽移動軌跡和 8 字型軌跡有差異嗎？
 - (1) 四季竿影的變化情形？
 - (2) 不同緯度地區太陽移動軌跡的變化情形？
 - (3) 太陽高度角的變化有規律性嗎？
 - (4) 各地 12:00 太陽 8 字型的變化情形？
- 五、太陽移動軌跡對日常生活的影響為何？
 - (1) 由建築物影長變化來探討太陽移動軌跡的變化情形？
 - (2) 太陽移動軌跡對太陽能板電功率的影響為何？

參、名詞定義：

1. 太陽移動軌跡(sunpath)：來指太陽在天球上的位置移動，可以分成兩個方向來看：同一天不同時間、以及不同季節。如我們的【研究二】。
2. 太陽 8 字型(日行跡 Analemma)：是指不同天同一時間記錄太陽位置的變化，經過一年時間的觀察，會發現太陽在天球上的移動會呈 8 字型的變化，所以又稱「太陽的 8 字型」。如我們的【研究三】。
3. 天球東西方位線：為相對於「天球子午線」的名詞；我們定義「天球東西方位線」是通過天球東（西）與天頂（底）的大圓，與天球地平線與天球赤道垂直。

肆、研究設備及器材

- 一、週邊器材：數位相機、指北針、電腦
- 二、電腦軟體： wjsu-天球圖軟體、wjsu-日晷軟體、excel
- 三、其他：方格紙、計算機、透明半天球、仰角尺標、木板、手搖鑽、太陽能板、電表、手電筒、壓克力天球模型、洋菜粉、布尺

伍、研究過程、方法與結果：

研究一、台灣地區，太陽竿影的變化情形為何？

研究 1-1：每個月竿影的變化有何差異？

【研究方法】

1. 在方格紙上標示出方位，再將方格紙用雙面膠貼在塑膠板上。
2. 把垂直固定的竿子放在方格紙上「東、西、南、北」的正中間，然後用指南針來對準方格紙上所畫的方位。
3. 每週挑選兩天，約間隔 1 小時記錄一次竿影的變化情形。

【研究結果】

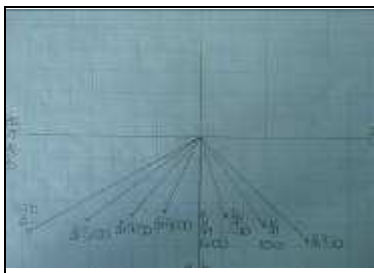


圖 1-1-1：2010/1/29

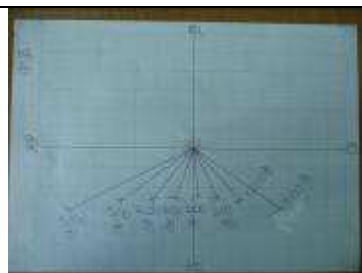


圖 1-1-2：2010/2/11

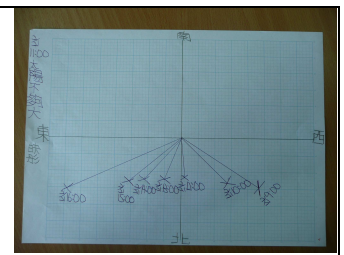


圖 1-1-3：2010/02/21

【研究發現】

1. 太陽竿影的長度由長變短，然後再由短變長，且方向與太陽相反。
2. 6 點和 18 點是一天中竿影最長的時候；中午 12 點是一天中竿影最短的時候。
3. 台灣地區竿影都在北方，表示太陽偏南方運行，但六月、七月份較為特殊。
4. 不同月份竿影軌跡不同，但某些月份相似，例如六月和七月份、1 月和 12 月份：

月份	一月份	三月份	六月份
竿影軌跡	 S	 S	 S
月份	七月份	十月份	十二月份
竿影軌跡	 S	 S	 S

研究 1-2：「竿影長/物體長」的變化是否有規律性？

【研究結果】

1. 每月影長/物體長的變化情形如下表 1-2-1:

時間	3月		6月		9月		12月	
	最小數值	最大數值	最小數值	最大數值	最小數值	最大數值	最小數值	最大數值
06:00	3.54	3.83	2.17	2.38	3.2	4		
07:00	1	3.08	1.17	1.23	1.17	3.17	3.59	4.12
08:00	1.23	3.07	1.00	1.08	1.08	2.54	2.12	2.47
09:00	1.22	1.5	1.00	1.04	1.08	1.39	1.53	2.35
10:00	1.15	1.5	1.00	1.04	1.08	1.25	1.53	1.82
11:00	1.15	1.5	1.00	1.04	1	1.23	1.41	1.59
12:00	1.08	1.5	1.00	1.04	1	1.23	1.41	1.59
13:00	1.08	1.43	1.00	1.04	1	1.23	1.41	1.59
14:00	1.08	1.5	1.00	1.04	1.07	1.25	1.47	1.71
15:00	1.08	1.5	1.00	1.04	1.08	1.31	1.76	1.94
16:00	1.15	2.31	1.04	1.09	1.23	1.67	2.53	3
17:00	1.15	2.73	1.23	1.31	1.31	2.38	3.59	3.76
18:00	1.16	3.62	2.31	3.29	3.46	3.75		

【研究發現】

- 1.一天之中，越接近中午時間，比值「影長/物體長」越小，早上與傍晚「影長/物體長」比值較大。
- 2.一年中「影長/物體長」的比值以6月最小，12月最大，但3月、9月「影長/物體長」的比值相近。
- 3.由比值可得知當知道物體高度時，即可利用數學的計算得知影長的長度。

研究 1-3：太陽高度角與竿影長度的關係為何？

【研究結果】

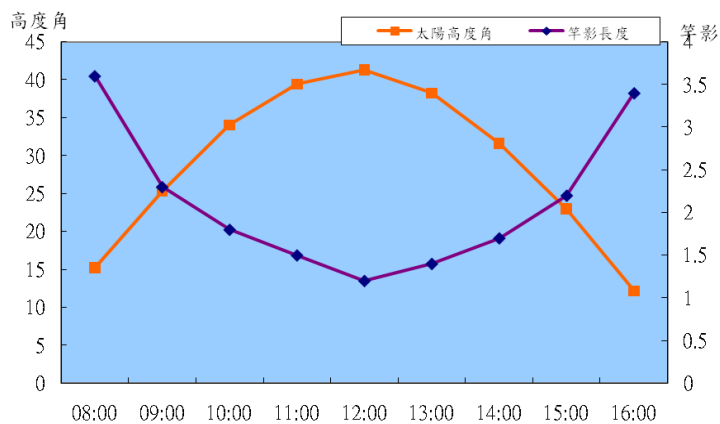
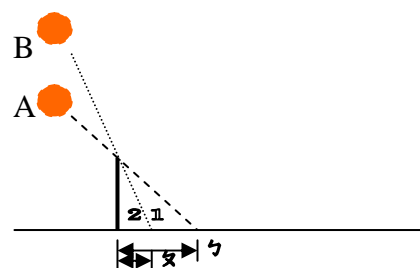


圖 1-3-1: 太陽高度角和竿影長度變化圖

【研究發現】

1. 當太陽高度角從大變小的時候，竿影卻是從短變長；反之，當太陽高度角從小變大的時候，竿影卻是從長變短。所以，竿影長度和太陽高度角的大小呈現反比關係，一個變大，另外一個就變小。
2. 當太陽在 A 時，角度為 $\angle 1$ ，影長為 λ ；
當太陽在 B 時，角度為 $\angle 2$ ，影長為 λ' ；
由上圖可清楚看出來， $\angle 1 < \angle 2$ ，但是 $\lambda > \lambda'$ ；
可見竿影長的時候，角度小；竿影短的時候，角度大，
這兩個正好相反。
3. 高度角和竿影長度越接近中午，相鄰的兩個時間差距越小。



從研究一得知太陽高度角和竿影有關，當高度角高時，竿影長度短。但一年四季太陽的位置都不變嗎？太陽移動軌跡都相同嗎？若不相同，有什麼規律性呢？

研究二、台灣地區，太陽移動軌跡之分析探討？

研究 2-1：台灣地區，四季竿影軌跡變化情形為何？

【研究方法】

1. 製作方位盤，裁切邊長 9.5cm 木板，在四個角落固定螺絲釘。



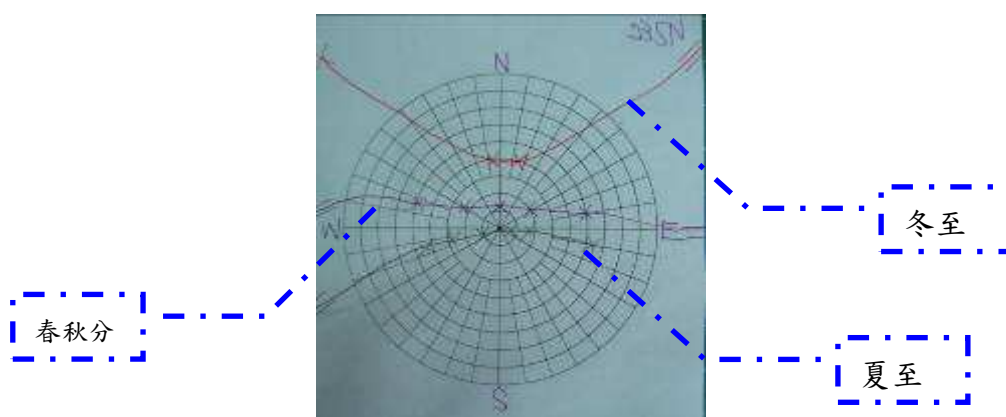
2. 將方位盤擺放至緯度 23.5°，調整螺絲釘長度，並利用水平儀確定水平。
3. 模擬春分時，光線需直射赤道，先確認在赤道上的方位盤正午時影子最短，再進行紀錄；模擬夏至時，光線直射北回歸線；模擬冬至時，光線直射南回歸線，竿影最短。

【研究結果】 模擬直射赤道地區竿影變化情形



【研究發現】

1. 春秋分的影子較為相似；夏至的影子為最短，中午時太陽在天頂；冬至影子最長。
2. 冬至的影子連線呈開口向上的曲線，而春秋分則是接近水平，夏至則是開口向下的曲線。



研究 2-2：台灣地區，四季太陽移動軌跡變化為何？

【研究方法】

1. 透過美國海軍天文臺 <http://www.usno.navy.mil/USNO>，查詢 23.5°N 的太陽高度角和方位角。
2. 分析春分、夏至、秋分、冬至的太陽移動軌跡。

【研究結果】

時間	3月21日		6月21日		9月23日		12月22日	
	高度角	方位角	高度角	方位角	高度角	方位角	高度角	方位角
06:00			9.3°	68.4°	2.5°	90.9°		
07:00	12.6°	95.5°	22.2°	73.1°	16°	97°	4.3	117.8
08:00	26.2°	102.2°	35.5°	77.1°	29.4°	104.1°	15.9	125.1
09:00	39.4°	110.7°	49°	80.7°	42.5°	113.4°	26.5	134.5
10:00	51.7°	123.1°	62.6°	84.1°	54.4°	127.3	35.2	146.9
11:00	61.8°	143.5°	76.3°	87.3°	63.5°	150.7	41.1	162.8
12:00	66.6°	176.7°	89.9°	228.3°	66.4°	185.9	43.1	181.1
13:00	63.2°	211.6°	76.2°	272.8°	61.1°	218.1	40.6	199.3
14:00	53.7°	234.2°	62.5°	276°	50.7°	237.8	34.3	214.8
15:00	41.7°	247.6°	48.9°	279.3°	38.4°	249.8	25.3	226.8
16:00	28.6°	256.6°	35.4°	282.9°	25.2°	258.1	14.6	235.9
17:00	15.1°	263.6°	22.1°	287°	11.6°	264.8	2.9	243
18:00			9.2°	291.7°				

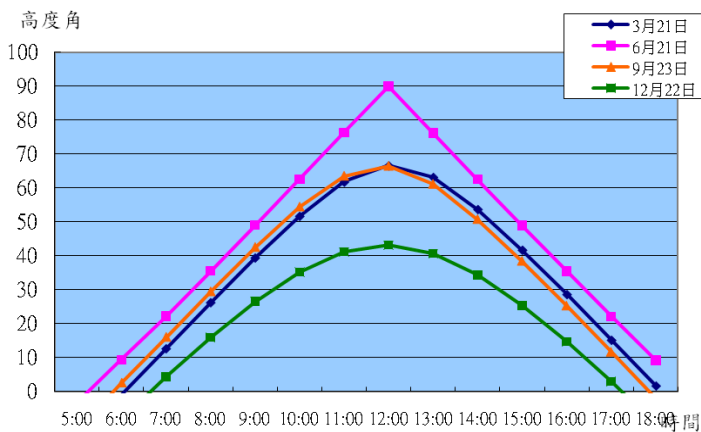
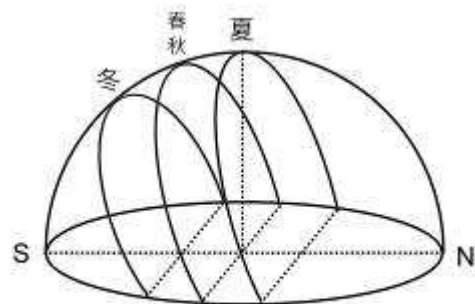


圖2-2-1: 23.5度N太陽高度角變化情形



【研究發現】

1. 太陽夏至東偏北升起，西偏北落下；冬至太陽東偏南升起，西偏南落下；春秋分太陽軌跡相似，都是約正東升起，約正西落下。
2. 夏至太陽在天空的時間較長；冬至太陽在天空的時間較短。
3. 如圖 2-2-2，春秋分高度角的變化還算規律，約每小時改變 13-14°，但是在 11:00~14:00 之間，高度角變化約每小時改變 3-9°；冬至時，每小時高度角的變化約為 10-12°，但是約在 11:00~15:00 之間，約每小時改變 2-6°；特別的是，我們發現夏至不論任何時間高度角變化約為 12-14°，詳細討論待研究 2-3、2-4 進行討論。

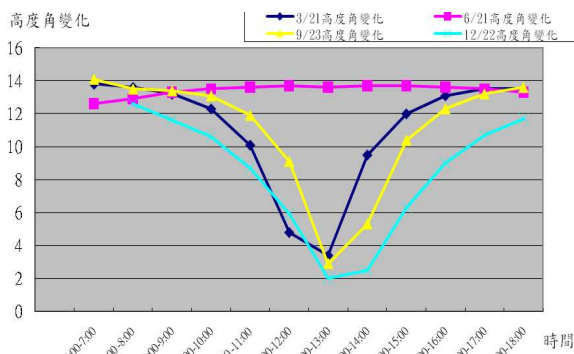


圖2-2-2: 台灣地區四季每小時太陽高度角變化情形

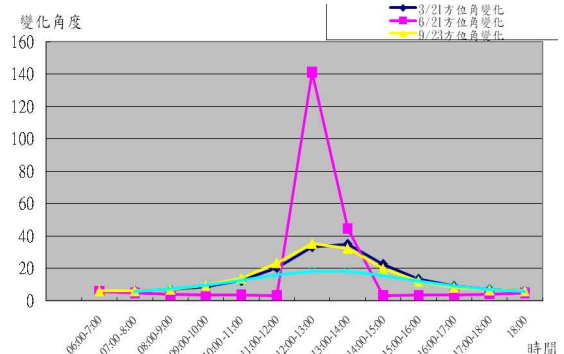


圖2-2-3: 每小時太陽方位角變化情形

4. 由圖 2-2-3，方位角變化角度，早晚時間太陽方位角變化較為緩慢，約每小時 6~8°，但越接近中天改變角度為 15°以上。

研究 2-3: 由水平和垂直分量探討台灣地區四季太陽高度角變化?

太陽移動軌跡是因為地球自轉所造成的現象，因為地球每小時轉動 15 度，太陽應該也會移動 15 度，但從研究 2-2 中發現並非如此，我們猜測與水平、垂直分量有關，於是進行以下研究。

【研究方法】

1. 利用洋菜凍製作天球模型，並標出太陽位置。
2. 分別切出 6:00、08:00、10:00、12:00 的太陽高度變化，並測量出高度。



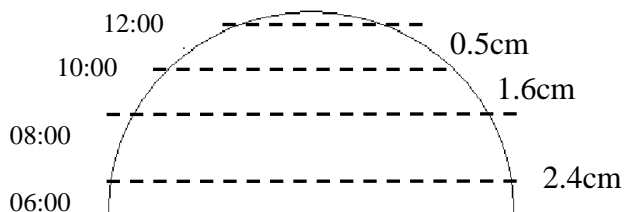
3. 量出水平距離和垂直高度。



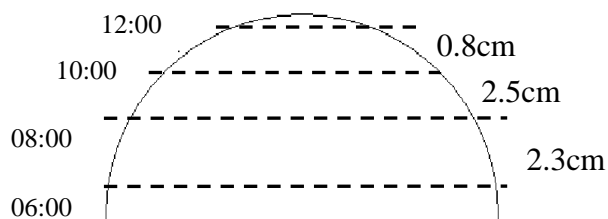
【研究結果】

一、四季高度變化情形:

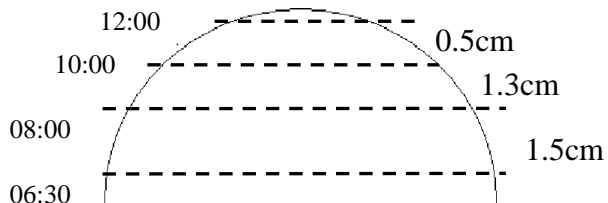
春秋分



夏至



冬至



二、兩點間水平、垂直的距離

時間		春秋分	夏至	冬至
6:00-8:00	水平(cm)	1.1	1.4	0.5
	垂直(cm)	2.8	2.5	3
8:00-10:00	水平(cm)	1.85	1.8	2.6
	垂直(cm)	2.2	2.1	1.5
10:00-12:00	水平(cm)	2.1	2.9	2.5
	垂直(cm)	2	1	1.4
12:00-14:00	水平(cm)	2.4	2.8	2.3
	垂直(cm)	1.4	1	1.2
14:00-16:00	水平(cm)	1.6	2.3	2.2
	垂直(cm)	2.4	2.1	1.8
16:00-18:00	水平(cm)	1.3	1.8	0.4
	垂直(cm)	2.6	2.4	3.1

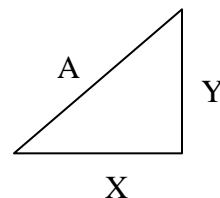
【研究發現】

1. 我們發現春秋分和夏至的水平、垂直數據較為相近。
2. 從洋菜凍模型我們發現越底部的垂直分量變化較大，越接近中天位置垂直分量變化小。
3. 承上，實驗結果與數據資料有異，於是我們推測可能與空間座標的位置有關係，於是接下來將利用投影方式進行分析。

研究 2-4: 用雷射筆來探討台灣地區四季太陽高度角變化?

【研究方法】

1. 利用雷射投影筆由上方直射透明天球儀找出投影座標點，計算出水平分量距離。
2. 由側方水平投影，找出垂直分量。



【研究結果】以夏至為例：

時間	水平座標	垂直	X 平方	Y 平方	A 平方
06:00	(-10, -4)	0.9			
07:00	(-9.5, -2.5)	3	2.5	4.41	6.91
08:00	(-8, -1.5)	4.9	3.25	3.61	6.86
09:00	(-7, -1)	7.1	1.25	4.84	6.09
10:00	(-5, 0)	9	5	3.61	8.61
11:00	(-2.5, 0)	9.6	6.25	0.36	6.61
12:00	(0, 0)	10	6.25	0.16	6.41
13:00	(2.5, 0)	9.7	6.25	0.09	6.34
14:00	(5, 0)	9	6.25	0.49	6.74
15:00	(7, -1)	7.6	5	1.96	6.96
16:00	(9, -2)	5.7	5	3.61	8.61
17:00	(9.5, -3)	3.2	1.25	6.25	7.5
18:00	(10, -4)	0.9	1.25	5.29	6.54

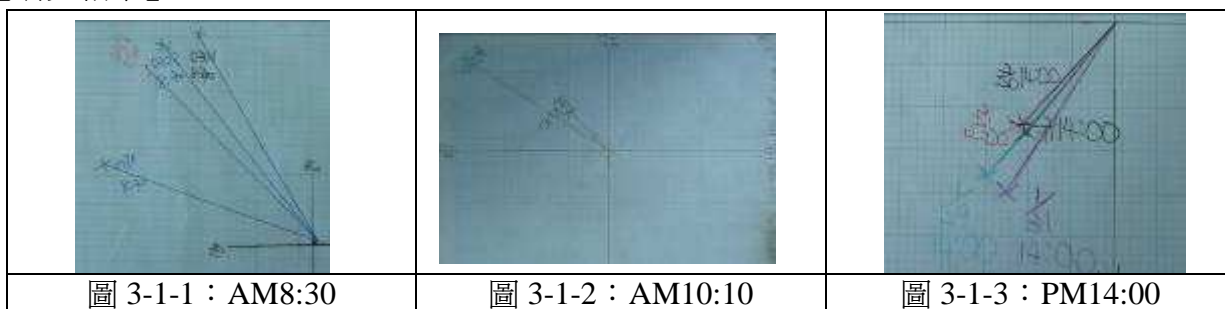
【研究發現】

1. 水平分量(X)、垂直分量(Y)非固定的數值，越接近中午水平分量變化越大，但垂直分量變化越小。
2. 水平分量的平方值(X 平方)+垂直分量的平方值(Y 平方)= A 平方，A 平方幾乎為定值，可見每小時太陽位置的變化是相同的。

研究三：太陽每天都準時出現在相同位置嗎？

研究 3-1：固定時間竿影的變化會相同嗎？

【研究結果】



【研究發現】

1. 每天相同時間進行竿影紀錄，發現竿影位置會改變；雖然竿影位置會改變但相差不大，可能還須再精準測量。
2. 由竿影可發現太陽每天在天空中的位置都不相同，影長長短也不同。

研究 3-2：每天中午 12:00 太陽的位置變化情形？

【研究發現】

1. 1/21、2/21、3/21、4/21 的高度角變化差異為 9 度，但 5、6、7 月高度角相當接近，但 8 月後又慢慢拉大變化幅度。
2. 一年中以 6 月的太陽高度角最高；1 月和 12 月太陽高度角最低，可推之六月天氣最嚴熱，12 月和 1 月較為涼爽。
3. 9、10 月的高度角差相差最多。

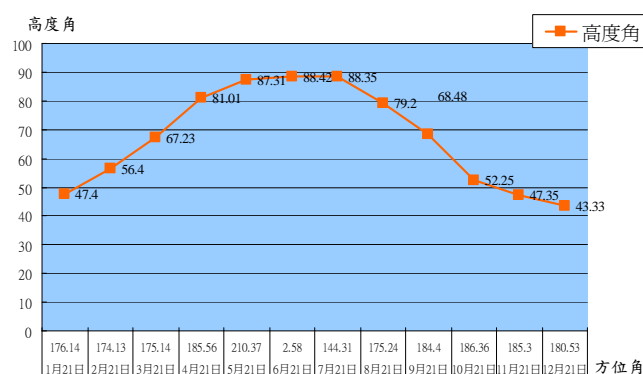


圖 3-2-1: 12:00 太陽方位和高度角變化情形

研究 3-3：以台灣地區來說，12:00 與日中天時刻相同嗎？

【研究方法】

1. 選定週二的 11:30 到 12:30 為觀測的時間。
2. 在方格紙標示出方位。
3. 把竿子垂直固定放在方格紙「東、西、南、北」的正中間，然後用指南針來對準方位。一分鐘紀錄一次的方式，讓我們自己來紀錄竿影。
4. 看到竿影由長變短，再由短變長，最短的那一點就是日中天時刻。

【研究結果】

表 3-3-1：太陽日中天時刻記錄表

日期	日中天時刻	日期	日中天時刻	日期	日中天時刻	日期	日中天時刻	日期	日中天時刻	日期	日中天時刻	日期	日中天時刻
4/6	12:02	5/4	11:55	6/1	11:57	9/7	11:58	10/5	11:48	11/2	11:40	12/7	11:50
4/13	12:00	5/11	11:54	6/8	11:59	9/14	11:56	10/12	11:44	11/9	11:41	12/14	11:52
4/20	11:58	5/18	11:54	6/15	12:01	9/21	11:52	10/19	11:42	11/16	11:43	12/21	11:55
4/27	11:56	5/25	11:55	6/22	12:03	9/28	11:49	10/26	11:40	11/23	11:46	12/28	11:59
			6/29	12:04						11/30	11:48		

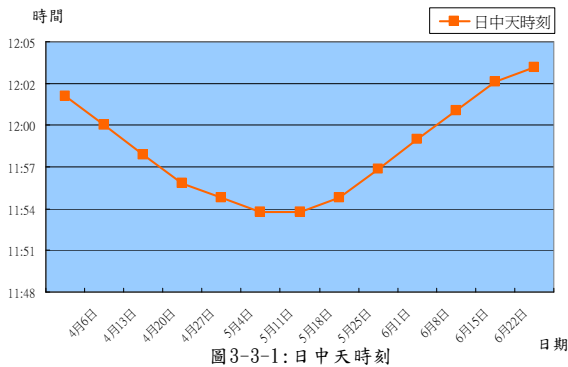


圖3-3-1:日中天時刻

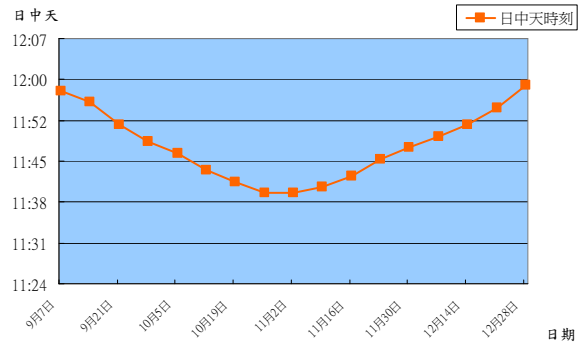


圖3-3-2:日中天時刻

表 3-3-2：日中天時刻與 12 點的時間差(「+」表示在 12 點以前，「-」表示在 12 點以後)

日期	時間差	日期	時間差	日期	時間差	日期	時間差
4/6	-2	6/1	+3	10/5	+13	12/7	+10
4/13	0	6/8	+1	10/12	+16	12/14	+8
4/20	+2	6/15	-1	10/19	+18	12/21	+5
4/27	+4	6/22	-3	10/26	+20	12/28	+1
5/4	+5	6/29	-4	11/2	+20		
5/11	+6	9/7	+2	11/9	+19		
5/18	+6	9/14	+4	11/16	+17		
5/25	+5	9/21	+8	11/23	+14		
		9/28	+11				

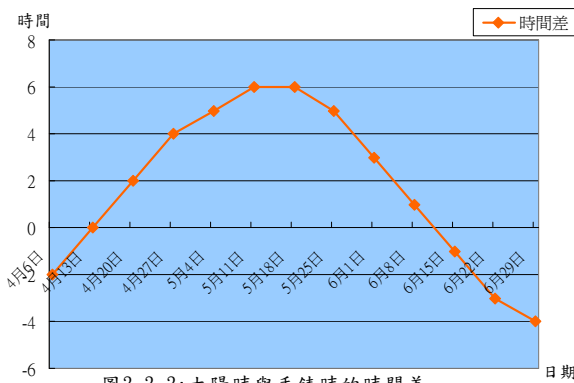


圖3-3-3:太陽時與手錶時的時間差

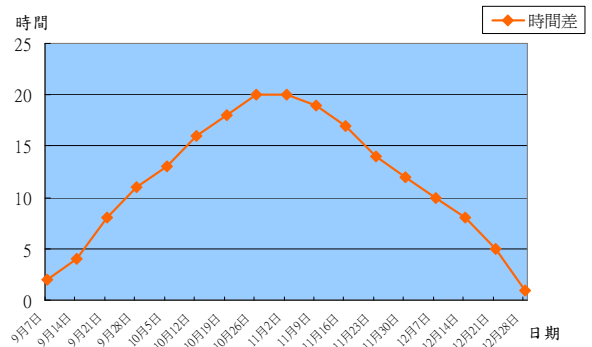


圖3-3-4:太陽時與手錶時的時間差

【研究發現】

1. 日中天的時間並不是固定都發生在 12 點，我們從 99 年 4 月 6 日開始紀錄，日中天時間從 12:02 開始一天比一天提早，隨著紀錄越來越多，時間又會一天比一天延後。
2. 查詢中央氣象局資料，發現與實驗結果相近，誤差小(圖 3-3-5)。查詢 2010 年每月 1 日、11 日、21 日、31 日日中天時刻，發現日中天高度變化呈現曲線變化(如下表 3-3-3、圖 3-3-6)。

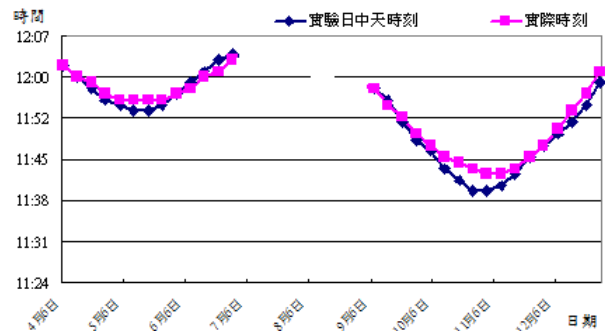


圖3-3-5:太陽時與手錶時的時間差

表 3-3-3：日中天時刻表

日期	日中天時刻	高度角	日期	日中天時刻	高度角
1/1	12:03	45°	7/21	12:06	87°
1/11	12:07	46°	7/31	12:06	85°
1/21	12:11	47°	8/11	12:05	82°
1/31	12:13	50°	8/21	12:03	78°
2/11	12:14	53°	8/31	12:00	74°
2/21	12:13	56°	9/11	11:56	72°
3/11	12:10	61°	9/21	11:53	68°
3/21	12:07	68°	10/1	11:49	61°
3/31	12:04	72°	10/11	11:46	59°
4/11	12:01	75°	10/21	11:44	56°
4/21	11:58	79°	10/31	11:43	54°
5/11	11:56	84°	11/11	11:43	50°
5/21	11:56	86°	11/21	11:45	47°
5/31	11:57	88°	12/1	11:48	46°
6/11	11:59	89°	12/11	11:53	44°
6/21	12:01	89°	12/21	11:57	44°
7/1	12:03	89°	12/31	12:02	43°
7/11	12:05	89°			

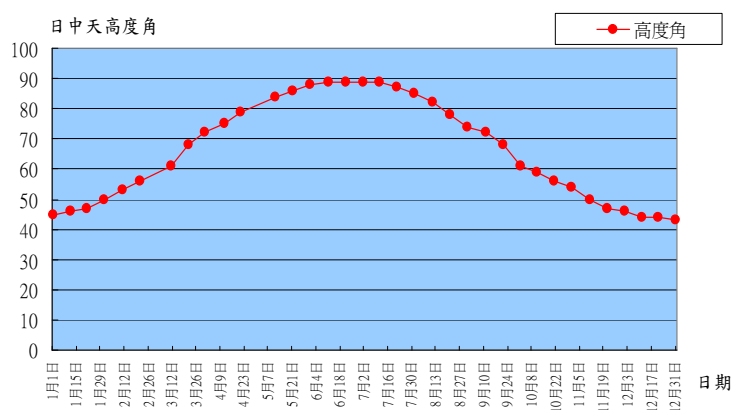


圖3-3-6:日中天高度角

- 3.日中天的高度角於 6/11~7/11 到達最高 89°，1 月、12 月最低。
- 4.一年中，日中天高度角的變化具有規律性，每 10 天約相差 1~4°，少數幾次差 7 度，可得知高度差相當接近。
- 5.若以太陽軌跡來計算時間，可發現太陽時與平日常用的手表時有些許差異，最多相差 17 分，最少相差 1 分鐘。

研究 3-4：天空中的太陽 8 字型之分析探討？

【研究方法】

- 1.製作太陽觀測器。



- 2.利用每週二進行記錄，觀察太陽的移動情形。
- 3.每次測量須於十分鐘前先行定位，調整方位和水平。
- 4.紀錄時最好由同一組人進行，可減少誤差。



【研究結果】

1. 由圖 3-4-1、3-4-2、3-4-3 發現，每天相同時間太陽的位置都不相同，並非在一直線上，長期紀錄發現呈現 8 字型，4 月和 8 月的位置相當接近。

【圖 3-4-1】

【圖 3-4-2】

【圖 3-4-3】



2. 1 月、12 月的太陽高度角較低；6 月和 7 月太陽高度角較高。

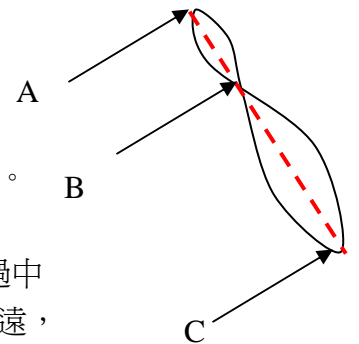
【圖 3-4-4】

【圖 3-4-5】

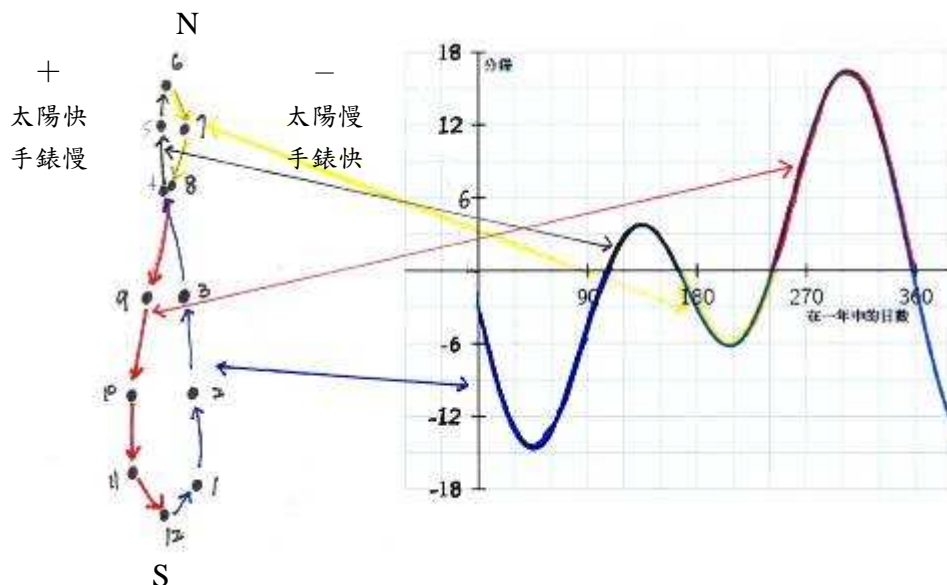


3. 1 月~4 月和 8 月~12 月角度變化大，4 月~8 月角度變化小。
4. 承上，與日中天時刻(表 3-3-3)相比較，發現虛線右邊為 1、2、3、7 月，太陽時間走的比手錶時間來的慢，虛線左邊為 5、9、10、11 月月份，太陽時間走的比手錶時間來的快。(本研究的 8 字型因由上往下標記，所以與實際天空中 8 字型左右位置相反)

5. 如右圖，我們發現太陽移動軌跡在 6/21 日移動到 A 點，12/21 日移動到 C 點，4 月中旬與 8 月底軌跡相交(B 點)，且不論任何時間軌跡都相似。太陽移動有時早一點，有時慢一點，呈現 8 字型，接下來想瞭解與時差曲線的關係。
6. 如下圖，當太陽移動軌跡在 8 字型右邊，太陽經過中天時間較 12:00 晚(太陽慢，手錶快)；當在 8 字型左邊，則太陽經過中天時間較 12:00 早(手錶慢，太陽快)，當距離 8 字型中線越遠，



則時差越大。

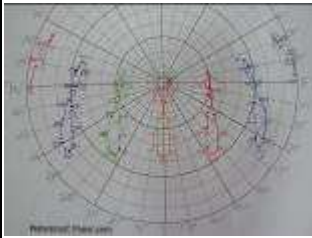







7. 爲了減少誤差，特地尋找大型壓克力天球模型進行實驗，將每天 12:00 的太陽方位標示出來，再利用布尺測量距離，並計算移動出百分比，與時差曲線相互比較發現時差與『位置/全長』有相關，『位置/全長』越遠，時差越大。



日期	全長	位置	(位置/全長)*90分	實際時差
1/21	12	1.4	10.5	-11:18
2/21	10.5	1.6	13.7	-13:37
3/21	7.5	0.8	9.6	-07:13
4/21	3.5	0.1	2.6	+01:16
5/21	0.85	0.7	5.3	+03:25
6/21	0.25	0.04	14.4	-11:45
7/21	0.72	0.07	8.8	-06:25
8/21	3.5	3.3	5.1	-03:10
9/21	7.2	0.6	7.5	+06:53
10/21	9.9	1.8	16.4	+15:21
11/21	12.1	2.1	15.6	+14:09
12/21	14	0.2	1.3	+01:58

8. 8 字型直起直落嗎?不同時間的 8 字型轉動角度有規律性嗎?將 6:00、8:00、10:00、12:00、14:00、16:00、18:00 的 8 字型相比較，發現在平面圖 8 字型形狀會變形，猜想因投影的關係造成此現象，於是利用實驗求證，發現地球上 8 字型與投影後 8 字型形狀果真不同，接下來改由天球模型進行。

	8:00	10:00
		
12:00	14:00	16:00
		

9. 利用立體天球模型標出太陽位置，發現 8 字型延長線會交於一點，此點位於北方 23 度的位置，與北極星相同。測量夾角每 2 小時移動約 30 度，可知 8 字型非直起直落，會旋轉角度為 30 度。



研究四：不同緯度地區，太陽移動軌跡和 8 字型軌跡有差異嗎？

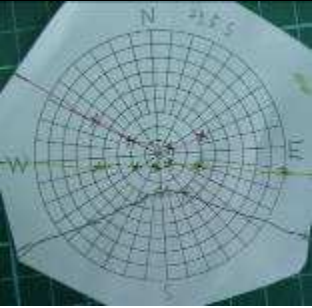
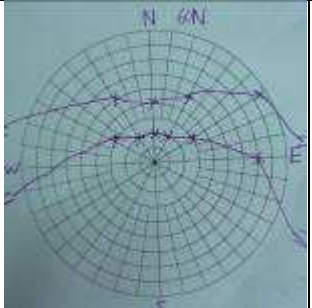
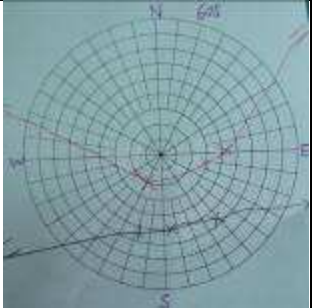
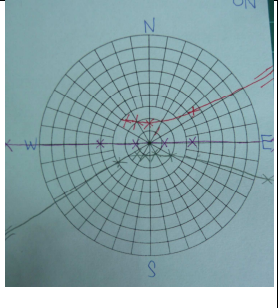
研究 4-1：不同緯度地區，四季竿影的變化情形？

【研究方法】

1. 將方位盤擺放至不同的緯度，調整螺絲釘長度，並利用水平儀確定水平。
2. 利用投影機模擬太陽光線；並記錄竿影的變化情形。

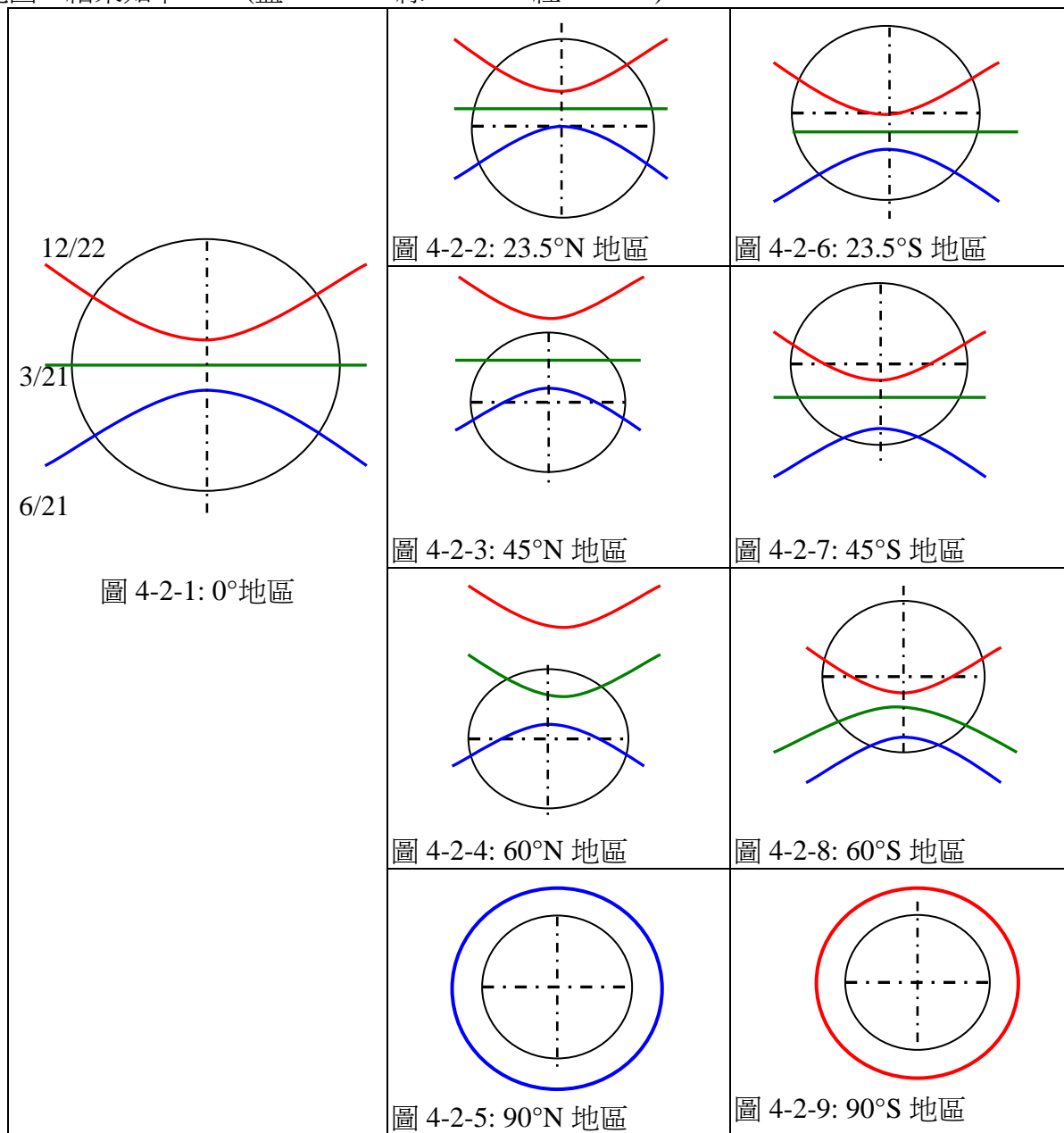
【研究結果】

(紅色—12/22，紫色—3/21、9/23，綠色—6/22)

圖 4-1-1:23.5°S	圖 4-1-2:60°N	圖 4-1-3:60°S	圖 4-1-4:赤道 0°
			

【研究發現】

1. 23.5°S 和 23.5°N 的竿影軌跡相似，但方向相反；相同情形也發生在其他緯度地區。
2. 在模擬的過程中，60°S 因緯度較低較不易進行記錄，且地球儀常因為不小心的碰撞會產生極大的竿影誤差，於是尋求較大型的模型，以減少誤差，增加實驗的正確性。
3. 利用大型模型記錄南、北緯 0°、23.5°、45°、60°、90° 在 3/21、6/21 和 12/22 的竿影變化圖，結果如下：（藍—6/21，綠—3/21，紅—12/22）



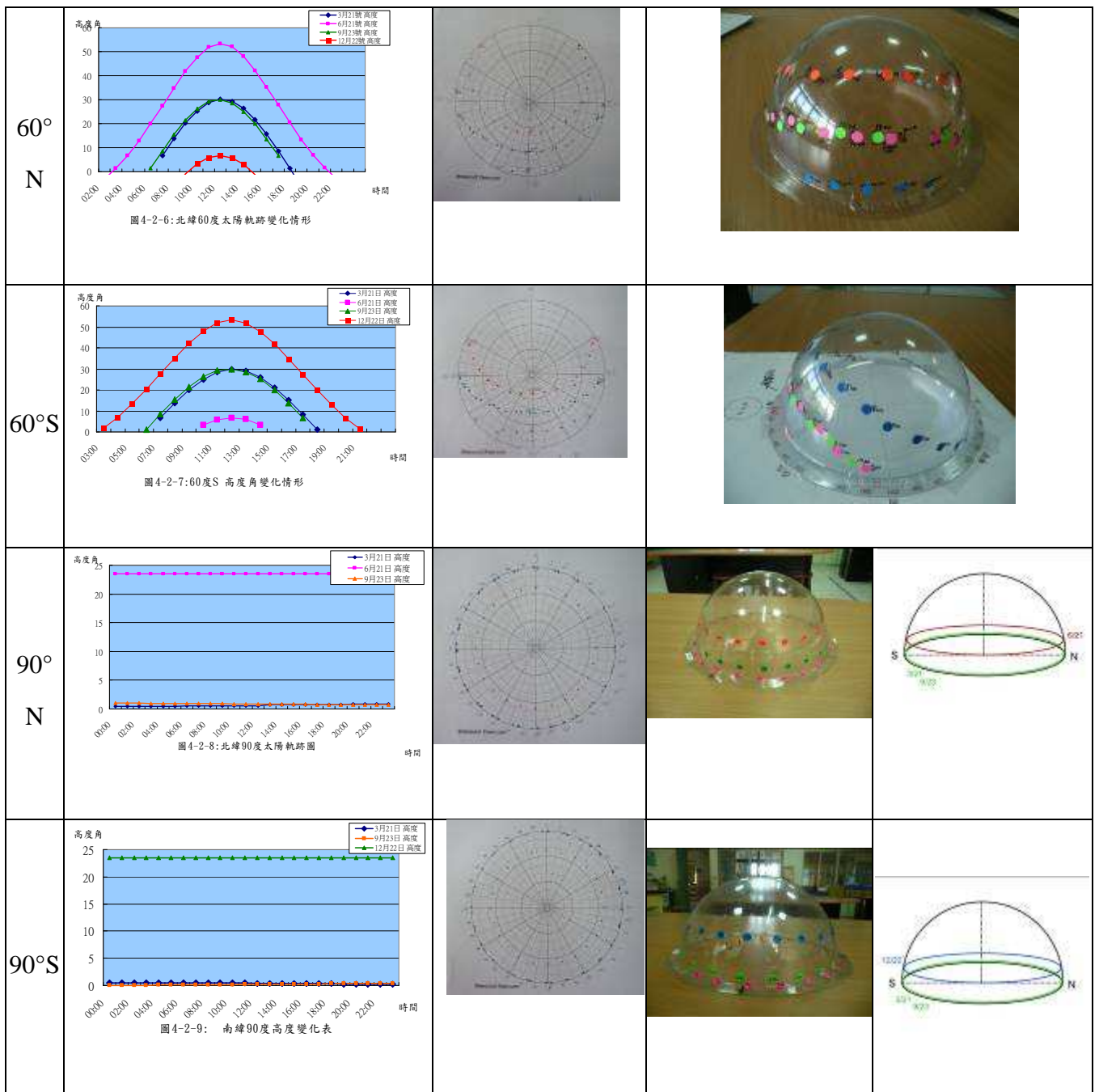
4. 承上，竿影軌跡多數呈現對稱性，但高緯度地區除外；緯度越高的地區，太陽高度角越低，四季間的竿影軌跡線的間距越大，可能是太陽高度角角度低所產生的現象。
5. 北半球緯度越高的地區，冬季太陽竿影越偏北，表示太陽越偏南；南半球反之。
6. 如果太陽的軌跡是向上的曲線，竿影的軌跡就會是開口向下的曲線，太陽軌跡與竿影軌跡兩者呈現對稱關係。
7. 不同的緯度，通過中天的季節都不同，例如：0°N 的春秋分竿影軌跡線通過中天，23.5°N 的夏至竿影軌跡線通過中天。



研究 4-2:不同緯度的太陽移動軌跡變化情形為何?

【研究結果】

緯度	統計圖	平面圖軌跡圖 (藍-春, 綠-秋, 紅-夏, 黑-冬)	立體天球模型	軌跡示意圖
0 度	<p>圖 4-2-1: 0 度太陽軌跡變化情形</p>			
23.5 °N	<p>圖 4-2-2: 23.5 度N太陽高度角變化情形</p>			
23.5 °S	<p>圖 4-2-3: 23.5 度S太陽高度角變化情形</p>			
45° N	<p>圖 4-2-4: 北緯45度太陽軌跡變化圖</p>			
45° S	<p>圖 4-2-5: 南緯45度太陽軌跡變化表</p>			



【研究發現】

1.

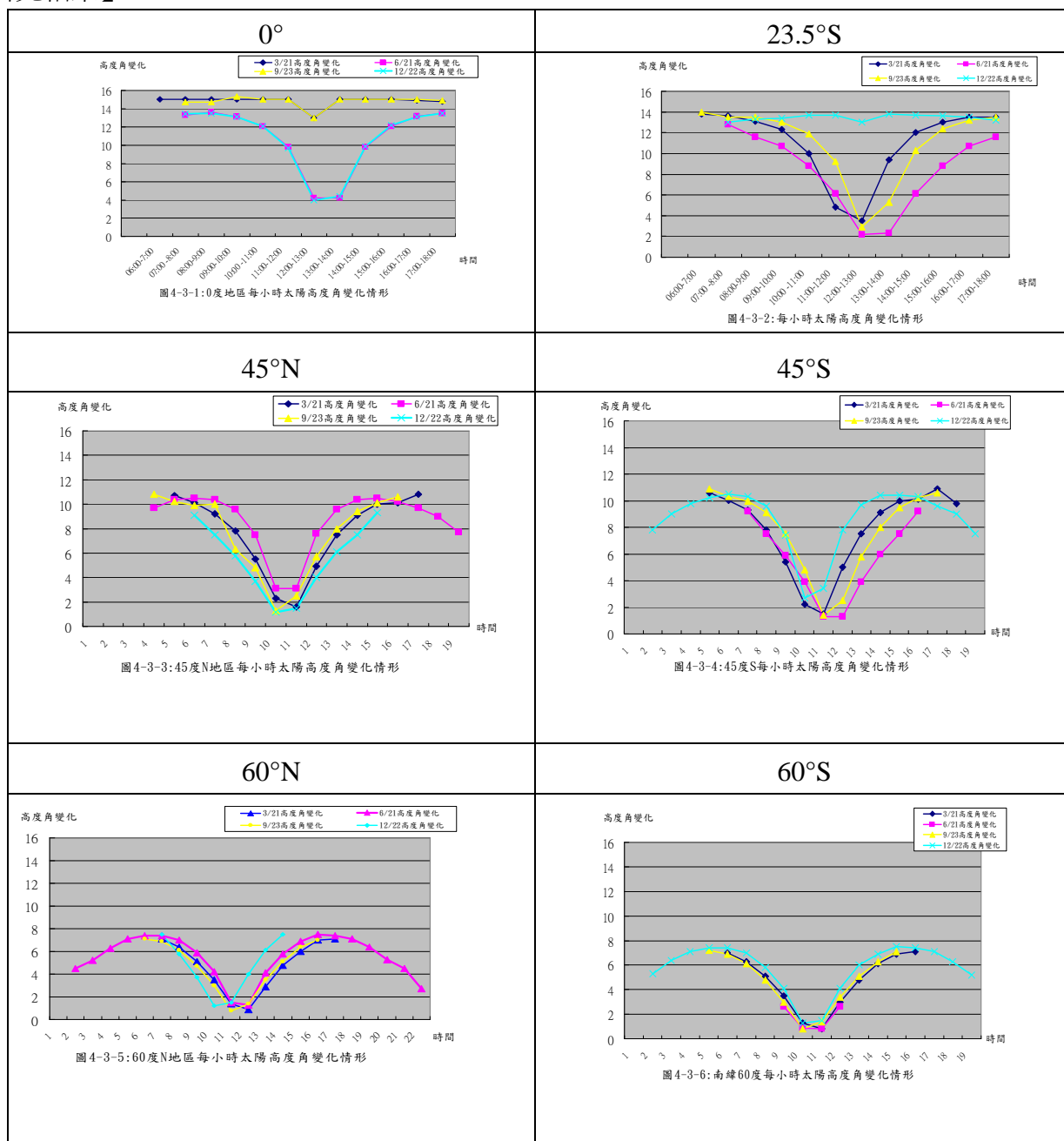
緯度	軌跡最長時間	偏北、偏南	一年中高度角最高季節	其他
23.5°S	12/22	偏北	12/22	
45°N	6/21	偏南	6/21	
45°S	12/22	偏北	12/22	
60°N	6/21	偏南	6/21	
60°S	12/22	偏北	12/22	
90°N	6/21			會出現永晝和永夜的現象

2. 不論任何緯度，3/21 和 9/23 的高度角、方位角相近。

3. 緯度越高，夏天白晝較長，冬天白晝較短。

研究 4-3:其他緯度地區，太陽高度角變化有規律嗎?

【研究結果】

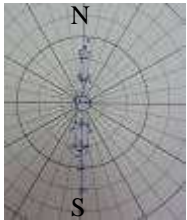
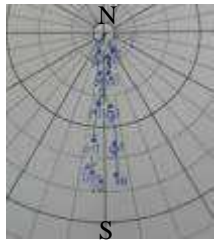

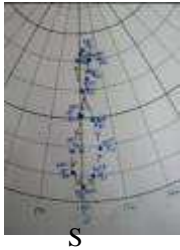
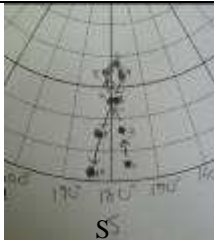
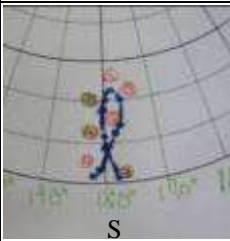
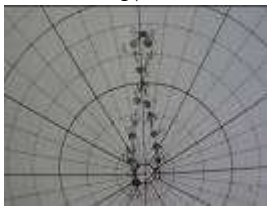


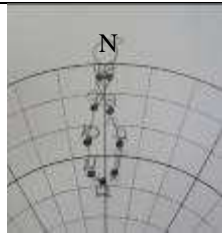
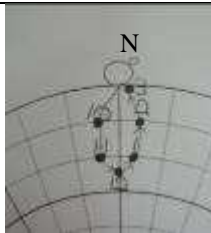


【研究發現】

- 1.緯度越高地區，高度角變化越小。
- 2.北半球，6/21 高度角變化最大；南半球 12/22 高度角變化最大。
- 3.23.5°N 地區 6/21 時高度角變化最大，而 23.5°S 地區 12/22 高度角變化最大，可發現越接近「天球東西方位線」的高度角變化越規律且最大。
- 4.除了赤道地區以外，其他緯度的 3/21、9/23 高度角變化都介於 6/21、12/22 之間。



研究 4-4:各地 12:00 太陽 8 字型的變化情形?

【研究結果】

0°	23.5°N	45°N	60°N
			
75°N	90°N	23.5°S	45°S
			
60°S	75°S	90°S	
			

【研究發現】

1. 不論任何緯度 12:00 太陽呈現 8 字型變化，但經過的位置並不相同。
2. 8 字型的形狀越接近地平線越胖(寬)，反之，越接近天球東西方位線 90°地區較瘦(細)(如赤道地區的 12:00)
3. 因為高緯度地區太陽高度角較低，因此緯度較高，8 字型較不完整；反之，緯度越低的地區，8 字型越完整。
4. 在北半球，8 字型都偏南；在南半球，8 字型都偏北。
5. 8 字型短圈都是 4~8 月，長圈則是 1~3 和 9~12 月。
6. 南、北半球，8 字型的短圈都會朝向北方。

北半球	南半球
N 	S 

研究五：太陽移動軌跡對日常生活的影響為何？

太陽是地球能源的源頭，與我們的日常生活息息相關，在重視能源的今日，若能利用太陽獲取最多能源，應該如何考量呢？接下來我們將以台灣地區為例，從建築物的投影面和太陽能板吸收的功率來進行分析探討。

研究 5-1: 由建築物影長變化來探討太陽移動軌跡的變化情形？

【研究方法】

1. 製作「一字型」、「L型」、「工字型」三種建築物模型。
2. 將模型擺放成東西向，投射光線，並紀錄投影面的變化情形。



【研究結果】

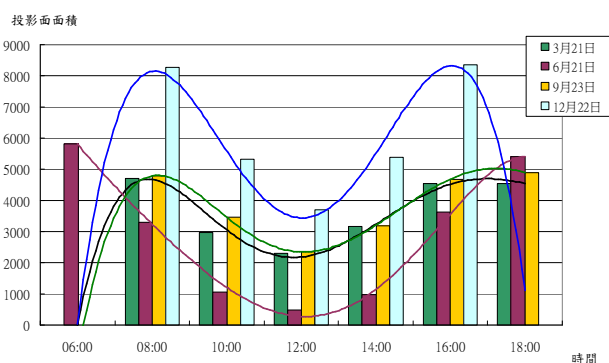
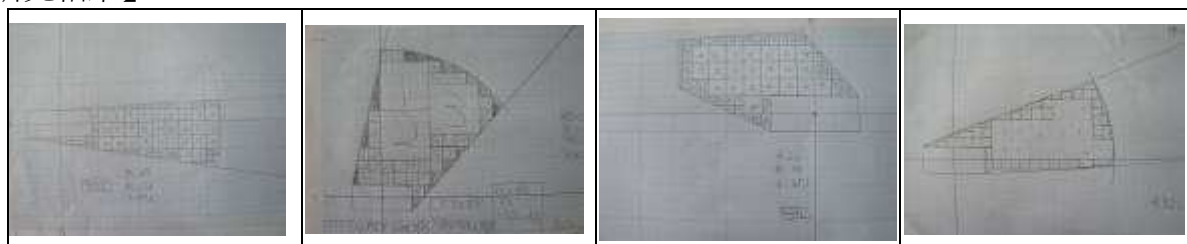


圖5-1-1: 一字型建築物四季投影面變化圖

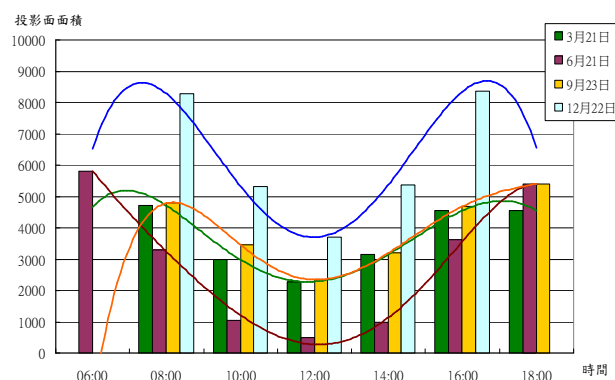


圖5-1-2: L型建築物四季投影面變化圖

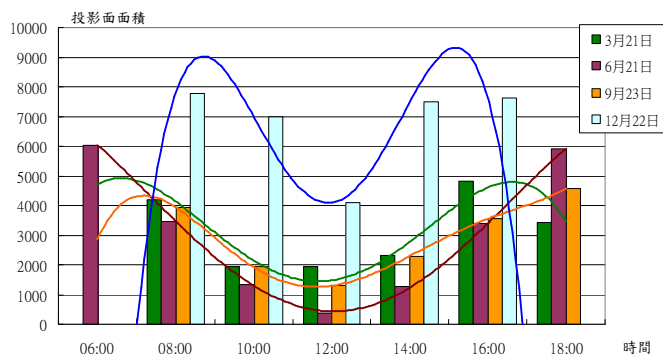


圖5-1-3: 工字型建築物四季投影面變化圖

【研究發現】

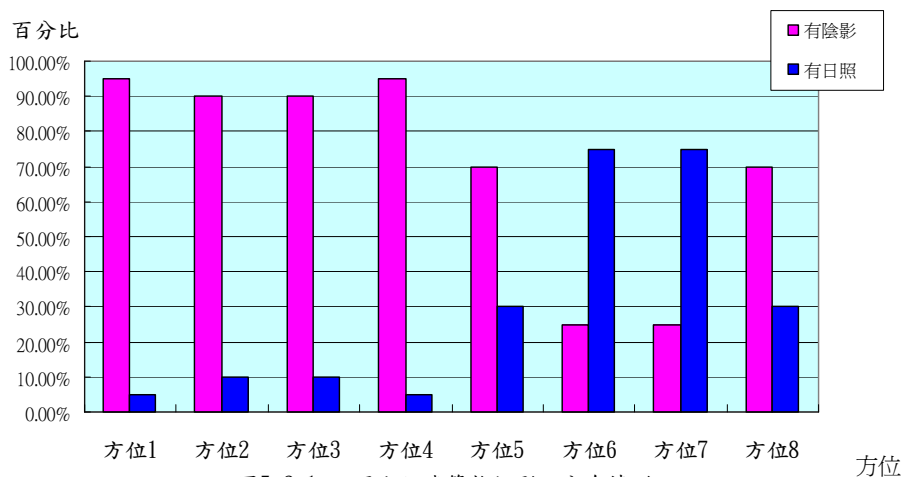
1. 一天之中，以中午時間建築物影長最短，投影面面積最少。
2. 不論什麼形狀的建築物，影長最短的時間都是在夏至，影長最長時間都在冬至。
3. 建築物的投影面與形狀無太大關係，與建築物高度相關性較大。

研究 5-2:以八方位分析建築物的影長變化?

【研究結果】

表 5-2-1:建築物八方位影長紀錄表 (◎有影子, X 無影長)

	08:00			10:00			12:00			14:00			16:00		
	春分	夏至	冬至	春分	夏至	冬至	春分	夏至	冬至	春分	夏至	冬至	春分	夏至	冬至
方位 1	◎	X	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
方位 2	◎	X	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	X	◎
方位 3	◎	X	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	X	◎
方位 4	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	X	◎
方位 5	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	X	◎	X	X	◎	X
方位 6	X	◎	X	X	◎	X	X	◎	X	X	◎	X	X	◎	X
方位 7	X	◎	X	X	◎	X	X	◎	X	X	◎	X	X	◎	X
方位 8	X	◎	X	X	◎	X	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎



【研究發現】

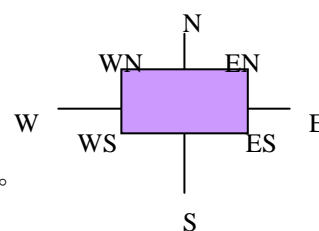
1. 夏至的數據裡, 10:00~14:00 都是「◎」; 春分和冬至 8:00~16:00 的方位 1~4 都是「◎」, 方位 6~7 都是「X」。
2. 春分和冬至的結果相同, 可見一年四季中春、秋、冬三個季節的影子變化較為相似。
3. 承上, 發現一年太陽光的照射角度以春、秋、冬三季佔大多數, 可推測出若要擺設太陽能板的角度可以三季的太陽變化當作參考指標。
4. 承上, 太陽能板較適合擺放的位置為方位 6 和方位 7, 因為日照時間較長。

研究 5-3:以建築物各方位分析日照時間長短?

爲了可以仔細模擬出臺灣地區建築物的投影面變化情形, 特地尋找大型模型實驗。

【研究方法】

1. 等比例放大原先實驗用(高 7cm)的一字型建築物。
2. 放置於太陽軌跡模擬器的中心, 並鋪上方格紙。
3. 台灣當地的緯度, 記錄四季建築物影長變化。
4. 模型的四個角落東北(EN)、東南(ES)、西北(WN)、西南(WS)。
5. 製作一個高度角圈來測量模擬建築物的影長。



【研究結果】

表 5-3-1:不同方位的日照紀錄表

(3/21 符號—★；6/23 符號—◎；12/22 符號—▲)

日期方位	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00
EN	★✓ ◎× ▲✓	★(49度) ◎(32度) ▲(33度)	★(57度) ◎(76度) ▲(41度)	★(41度) ◎(44度) ▲(32度)	★✓ ◎(23度) ▲✓
ES	★× ◎(26度) ▲×	★× ◎(43度) ▲×	★(60度) ◎(80度) ▲(44度)	★(44度) ◎(51度) ▲(38度)	★✓ ◎(23度) ▲✓
WN	★✓ ◎✓ ▲✓	★(43度) ◎(49度) ▲(29度)	★(60度) ◎(77度) ▲(44度)	★(50度) ◎(33度) ▲(38度)	★(23度) ◎× ▲✓
WS	★✓ ◎✓ ▲✓	★(45度) ◎(48度) ▲(32度)	★(68度) ◎(80度) ▲(54度)	★× ◎(40度) ▲×	★× ◎(27度) ▲×

表 5-3-2:建築物四個角落影長紀錄表 (■有影子, □無影長)

時間	08:00			10:00			12:00			14:00			16:00		
	>15 無影	>10 無影	>5 無影	>15 無影	>10 無影	>5 無影	>15 無影	>10 無影	>5 無影	>15 無影	>10 無影	>5 無影	>15 無影	>10 無影	>5 無影
EN0321	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■
EN0621	□	□	□	■	■	■	□	□	□	■	■	■	■	■	■
EN0923	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■
EN1222	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ES0321	□	□	□	□	□	□	■	■	□	■	■	■	■	■	■
ES0621	■	■	■	■	■	■	□	□	□	■	■	■	■	■	■
ES0923	□	□	□	□	□	□	■	■	□	■	■	■	■	■	■
ES1222	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■
WN0321	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■
WN0621	■	■	■	■	■	■	□	□	□	■	■	■	□	□	□
WN0923	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■
WN1222	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
WS0321	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□
WS0621	■	■	■	■	■	■	□	□	□	■	■	■	■	■	■
WS0923	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□
WS1222	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□

【研究發現】

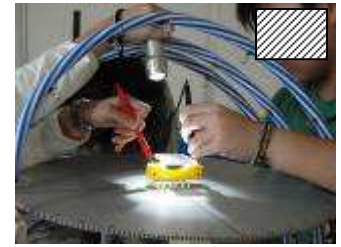
- 1.×的方向就是太陽所在的位置，春季、秋季和冬季太陽的位置偏南，所以 8:00 和 10:00 量不到東南的影子，14:00 和 16:00 量不到西南的影子。
- 2.東南、西南方日照時間較長，較適合於偏南方擺放太陽能板，與研究 5-3 結果相符合。
- 3.EN 的 8:00~10:00 和 WN 的 14:00~16:00 一樣；EN、ES 方 14:00~16:00 和 WN、WS 方的 8:00~10:00 相同；2.12:00 的 EN、WN 和 ES、WS 一樣，可見太陽運行有對稱性。

4.若要在建築物週邊加強太陽能板的吸收效果，則可考慮在建築物的東南和西南方 1/2 建築物~2/3 建築物高的距離擺放。

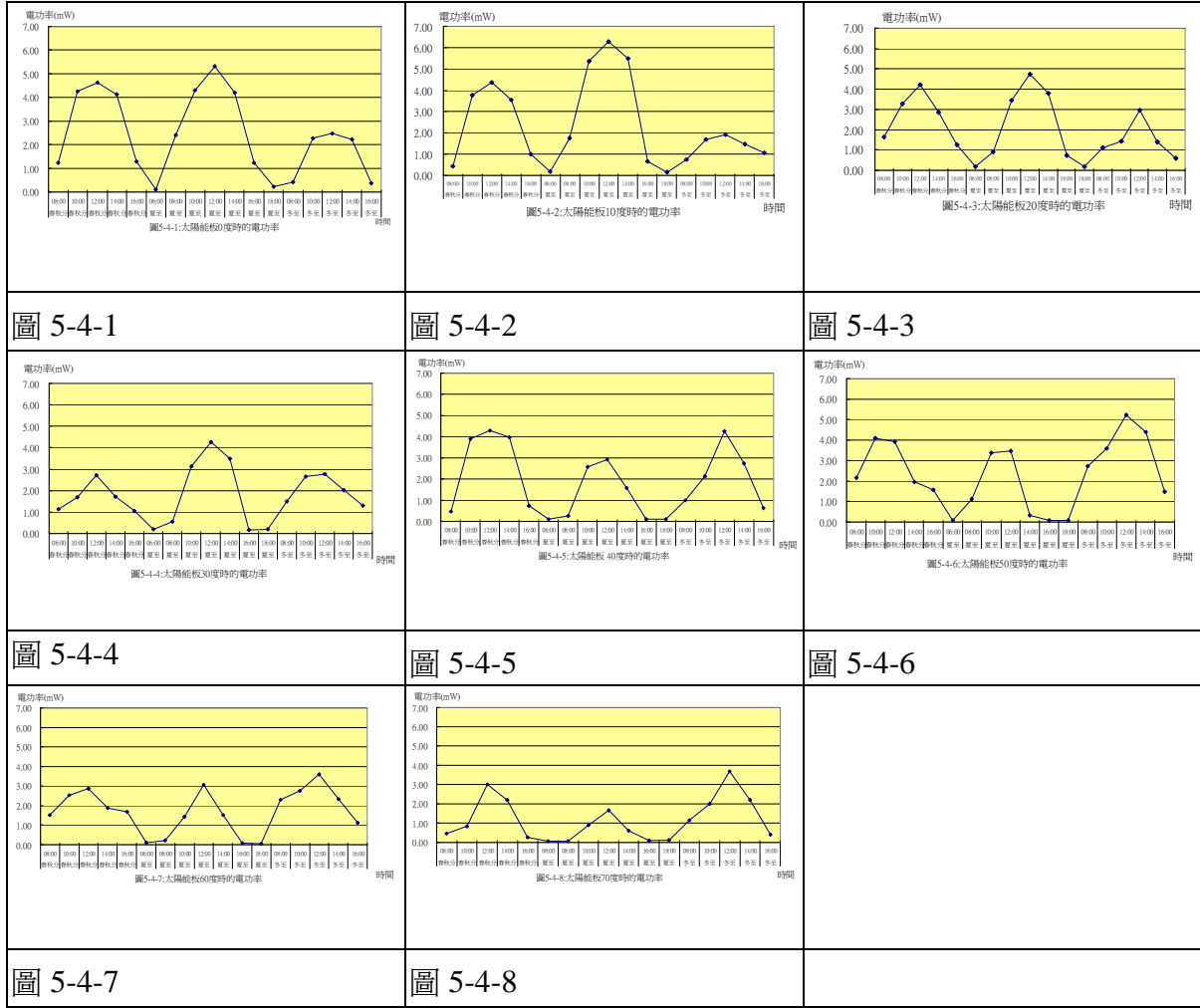
研究 5-4: 台灣地區，太陽移動軌跡對太陽能板電功率的影響為何？

【研究方法】

1. 製作太陽軌跡模型，調整不同的太陽能板角度。
2. 利用手電筒模擬太陽光。
3. 利用三用電表紀錄電流和電壓的數值，換算成電功率。



【研究結果】



【研究發現】

1. 電壓變化不明顯，電流卻容易變動，所以影響電功率的主要因素以電流為主。
2. 不論哪個季節 12:00 電功率都是最高的，可見中午 12:00 時太陽能板能吸收較多能源。

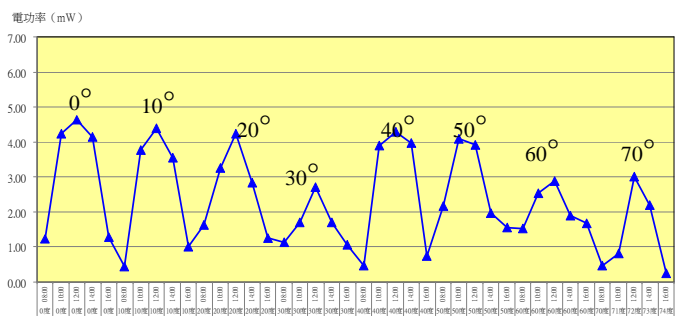


圖5-4-9:春、秋分時太陽能板電功率變化情形

角度

3. 一天當中，當太陽能板擺放 0° 時，太陽高度角越高，所獲得的太陽能板電功率最佳。

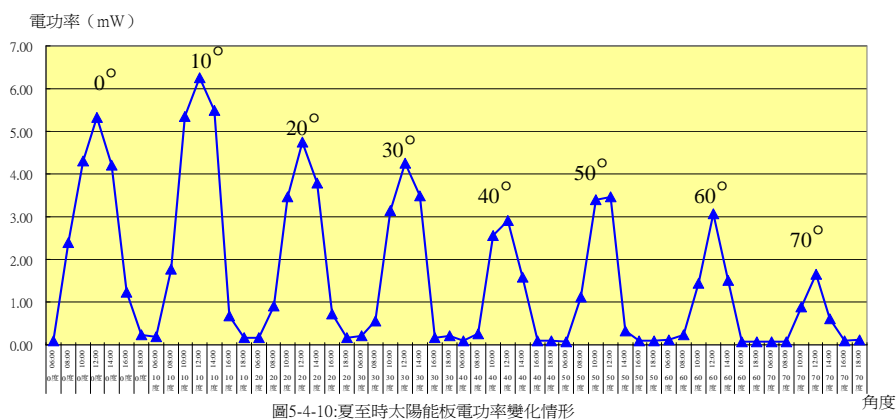


圖5-4-10:夏至時太陽能板電功率變化情形

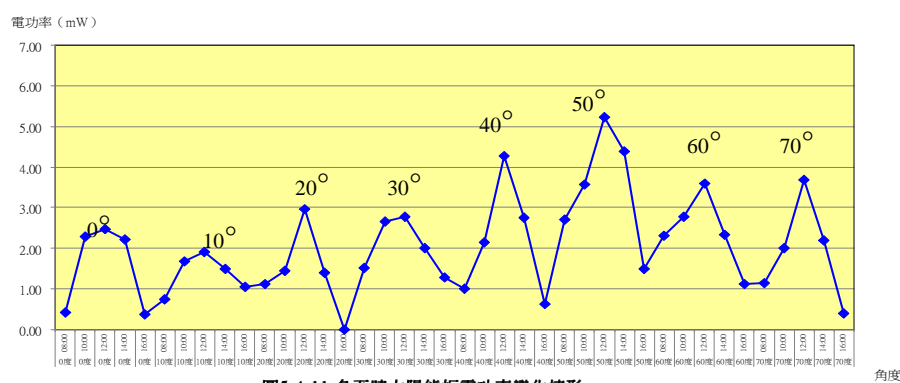


圖5-4-11:冬至時太陽能板電功率變化情形

4. 太陽能板 $0^\circ \sim 30^\circ$ 時，夏至的電功率整體上來說都是最高的；當太陽能板角度為 40° 時，春秋分和冬至的電功率較高。
5. 從圖 5-4-9、10、11 可知，當太陽能板角度為 50° 時，冬至的電功率較高；太陽能板 $40^\circ \sim 70^\circ$ 時，夏至的電功率整體上來說較其他季節低。由於冬至，太陽直射南回歸線，對台灣來說是斜射，單位面積所獲得能量最少，猜想可能與光線的入射角度有關，接下來將從光線的角度來瞭解電功率的變化。

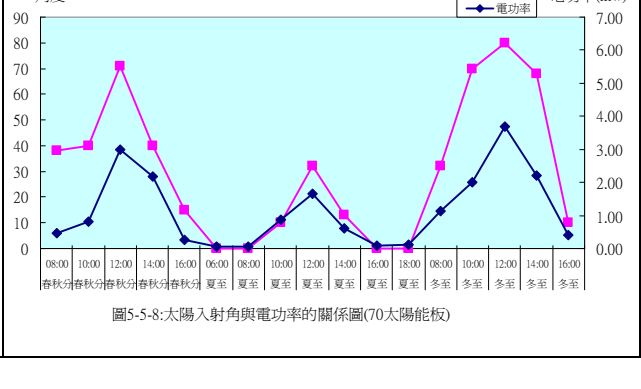
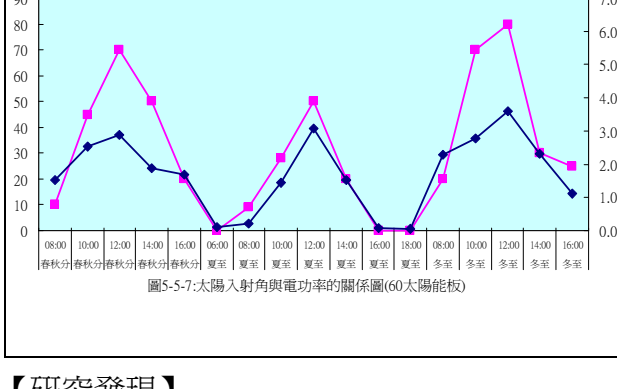
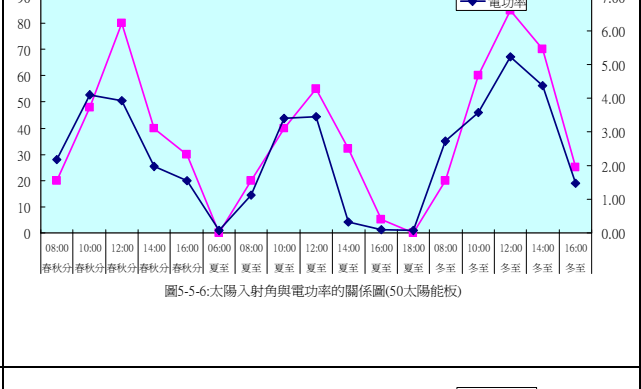
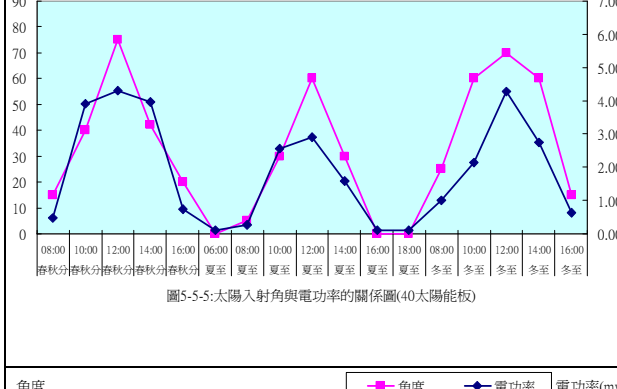
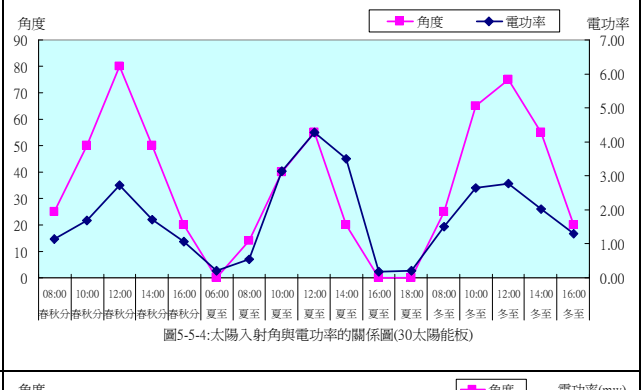
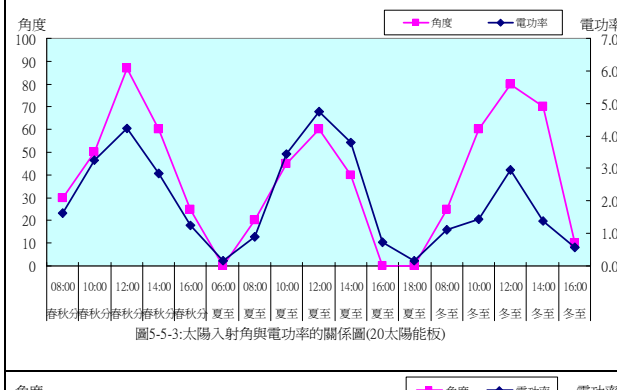
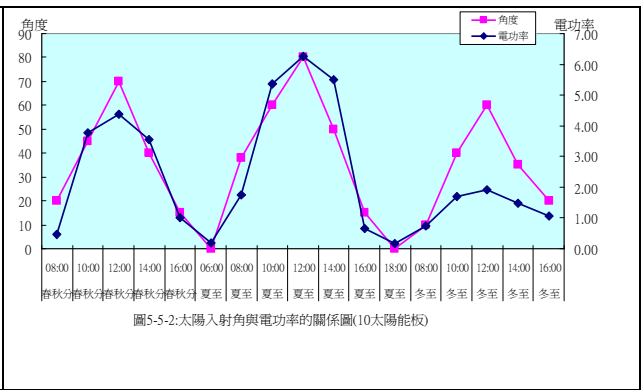
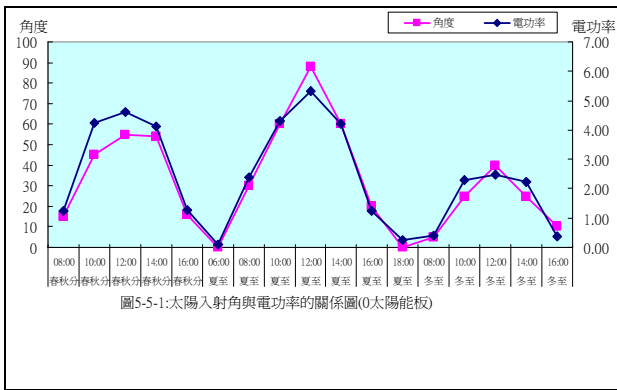
研究 5-5: 光線入射角與電功率的關係為何?

【研究方法】

1. 在太陽軌跡模型中擺放太陽能板，並用雷射光模擬太陽照射的角度。
2. 量出夾角。

【研究結果】





【研究發現】

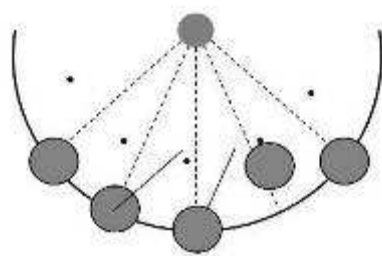
1. 在太陽能板角度為 0~30°時，夏季太陽能板電功率較其他季節高；在太陽能板角度為 40~70°時，四季太陽能板的電功率變化較不明顯。
2. 冬至正午，太陽高度角約 43°，太陽能板擺放約 50°時接收光轉換的電功率較大。
3. 夏至正午，太陽高度角約 89°，太陽能板擺放約 0°時接收光轉換的電功率較大。
4. 太陽光入射角度接近 90°，太陽能板電功率較佳，發電量較高，可發現光線入射角與電

功率有正相關。

陸、討論

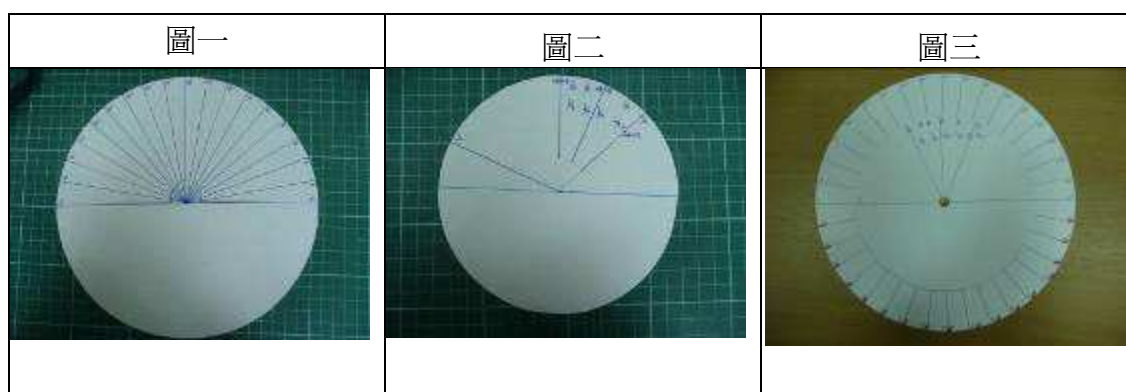
一、由「研究一」中發現影長與太陽的位置有絕對的關係，太陽高度角越高，竿影越短；反之，當太陽高度角越小，竿影越長。若能長期觀測紀錄「竿影長/竿長」的比值，以後只要知道物體長，就可以推算出影長的長度。

二、太陽每天並非都在相同位置，依照時間不同會有 1~17 分鐘的誤差，太陽日中天的時間之所以會有變化，可能是因為(1)地球繞太陽公轉的軌道並不是正圓形，而是橢圓形(2)地球的自轉軸不是垂直的，而是傾斜 23.5° 。因為地球繞太陽公轉的軌道並不是正圓形，而是橢圓形，在近日點的時候，地球公轉的速度較快，所以日中天時刻會慢慢延後；在遠日點的時候，地球公轉的速度較慢，所以日中天時刻又會慢慢提前，所以有時在 12 點之前，有時又會在 12 點之後。



三、在「研究二」中，發現日中天時刻與當地緯度有關係，依照當地緯度的不同，日中天時刻也不相同，並將其規則歸納設計成太陽盤可找出日中天時刻。

- 在外盤上標示出高度角（如下圖一）。
- 製作內盤，依照當地緯度標示出北極星的位置，並畫出赤道、北回歸線、南迴歸線。（如下圖二）
- 將內外盤組合起來，並標出每月 21 日的日中天時刻。
- 只要調整當地緯度，就可利用『太陽盤』找出日中天時刻（如下圖三）。



四、四季太陽軌跡的高度角變化，意外發現在北緯 23.5° 夏至高度角變化呈現規律性，其他緯度地區，則在越接近中天軌跡，高度角變化越大，猜測與水平、垂直分向量有關，本研究因受限作者年齡的因素，僅以簡易的方式進行分析探討，未來值得做更深入的研究。

五、在「研究三」中，發現平面和立體的8字型和軌跡形狀並不相同，主要是因為平面座標圖外圈與內圈為不等分圓，所以越接近地平圈8字型越寬，故在計算的過程中，一定要使用天球模型計算，避免因為投影而產生誤差。

六、8字型的紀錄需長期記錄，未來可透過天文攝影的方式，更精準呈現8字型的變化情形。

七、在「研究五」中，早上 6:00 和傍晚 18:00 影長較長會超過方格紙，從研究中發現物體長和影長有一定的比例關係，於是考量(1)建築物高 3.3cm 和(2)太陽高度角「竿影長/竿長」的比值，取半徑 12.32cm 畫一條弧線，再進行面積估算。

柒、結論

- 一、由「研究一」中發現，竿影長度和太陽高度角的大小呈現反比關係，「影長/物體長」越接近中午比值越小，早上與傍晚「影長/物體長」比值較大。
- 二、由「研究二」中發現，台灣地區，夏至太陽東偏北升起，西偏北落下，在天空的時間較長；冬至太陽偏南升起，西偏南落下，在天空的時間較短。四季高度角變化並不相同，春分、秋分、冬至高度角變化約每小時改變 13-14°，但越接近中午高度角變化較小；但夏至不論任何時間高度角變化固定為 12-14°，分析後發現水平變化量平方值+垂直變化量平方值=固定數值，但越接近「天球東西方位線」水平變化量變大，垂直變化量變小。
- 三、由「研究三」中發現，太陽每天相同出現在不同的位置，長期觀測會呈現 8 字型的變化，1~4 月和 8~12 月角度變化大，4~8 月角度變化小。太陽移動軌跡在 8 字型右邊，太陽經過中天時間較 12:00 晚，當距離 8 字型中線越遠，則時間越晚；當在 8 字型左邊，則太陽經過中天時間較 12:00 早。
- 四、由「研究四」中發現不同緯度地區：
 1. 緯度越高的地區，太陽高度角比較低，四季間的竿影軌跡線の間距越大，可能是太陽高度角角度低所產生的現象。
 2. 相同緯度，在南、北半球 6/21 和 12/22 兩個時間太陽運行軌跡恰好相反，但一個偏南，另一個偏北。
 3. 高緯度地區太陽高度角較低，因此緯度較高；8 字型較不完整，緯度越低的地區，8 字型越完整。
 4. 北半球，8 字型偏南；南半球，8 字型偏北；八字型短圈都是 4~8 月，長圈則是 1~3 和 9~12 月。
- 五、在「研究五」中發現，太陽軌跡對太陽能板電功率的影響大。
 1. 太陽能板較適合擺放的位置為方位 6 和方位 7，因為日照時間較長。
 2. 若要設置於建築物旁邊，則可考慮在東南和西南方 1/2 建築物~2/3 建築物高的距離擺放。
 3. 太陽光入射角度接近 90°時，太陽能板電功率較佳，發電量較高。

捌、參考資料

一、中文部份

1. 臺北市立天文教育館。天文年鑑 2010。臺北市：迦南。
2. 陽陽陽，大家一起來抓陽，全國科展 43 屆作品集國小組 自然科 地球科學類
3. 影子下的秘密-探討光影與投影面的關係，全國科展 45 屆作品集國小組 自然科 地球科學類
4. 照過來!看我為太陽能板擺 POSE，全國科展 48 屆作品集國小組 自然科 地球科學類

二、網路資源：

1. US Naval Observatory(2005) .Sun or Moon Altitude/Azimuth Table for One Day.From <http://aa.usno.navy.mil/data/docs/AltAz.html>
2. <http://analyzer.depaul.edu/>
3. <http://www.sundialsoc.org.uk/HDSW.htm>

【評語】 080510

優點：

1. 研究內容豐富充實，並能充分將數據轉化成模型呈現。
2. 能善用天文台網站的資源，將所得的數據妥善分析。

缺點：

1. 針對太陽運行的觀察，國小小朋友還是宜增強親自的觀察體驗，並做長期的記錄，他人資料合適使用，勿過度倚賴，以免失真。
2. 學生的觀察資料不完整，對作品欠缺了解。