

一年中各太陽日的長短並不一致的證據—太陽的針孔照明

國中組地球科學科第二名

高雄縣立阿蓮國民中學

作 者：石仲賢、林博清

指導教師：李 喆、趙元賓

一、研究動機

“一年中各太陽日的長短並不一致”這句話出於我們的物理課本第一冊 p18；真有這件事嗎？有確實的證據嗎？

二、研究目的

(一) 主要目的：

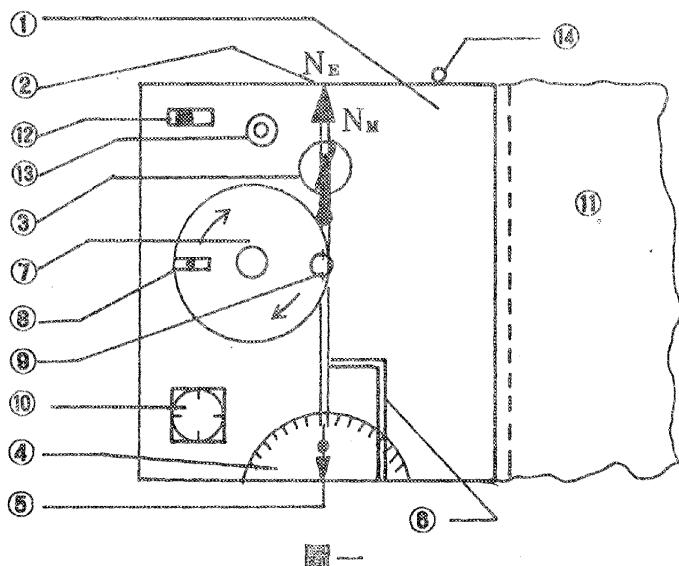
證明地球自轉一周並不都是 86400 秒，且證明其原因，確實是因為地球自轉有快慢而引起的，並不僅是因為人為的時區劃分而已。

(二) 次要目的：

1. 學習日圭 (Gnomon)、日晷 (Sundial) 的構造、原理及使用方法，進而利用此兩種儀器，以達到主要目的。
2. 學習針孔照相術，製成合用的針孔照相機，並改進成可連續重疊攝影，以攝取太陽在天體球 (The gelestil sphere) 上的連續變化，全部集中在一張照片上，作為詳細研究的依據。
3. 學習如何測定地磁北方與地理北方的方法，以了解並利用磁偏角。
4. 學習如何決定本地的經緯度，以完成主要目的的精確計算。
5. 用照片證明春分、秋分、夏至、冬至的日期、及南北回歸線度以支持一般的計算。
6. 在校內建立 5 公尺高的日圭一座，一方面可規正本實驗的地理北方，同時可以做為日常時的科學教具。

三、設備器材設計及理由

(一)針孔照相機上視圖：如圖一



圖一

設計理由說明：

①針孔照相機盒：木製，外型 $30 \times 35 \times 30\text{ cm}$ 長方體，內外均漆成黑色，以保護照相感光紙。

② N_E 地理北方。

③指北針： N_M 為地磁北方； N_E 對 N_M 而言約偏西 1° 。

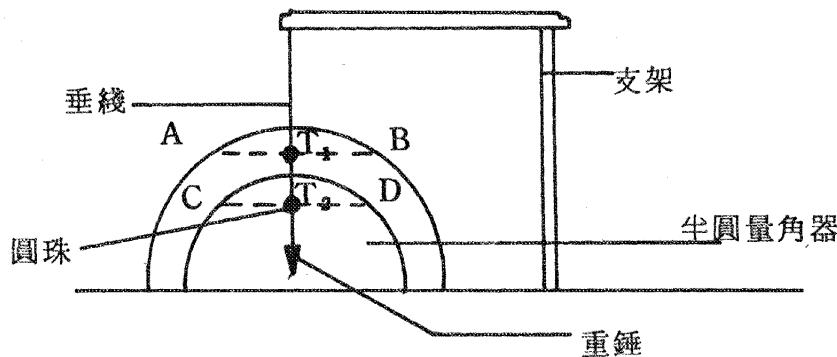
求證如下：

甲. 參考資料(六)道頓航海學上冊 p 85。

乙. 用④⑤⑥所組成的日圭求證之。

如圖二，垂線下懸一圓珠及重錘，恰好指向量角器的圓心。量角器上有兩個同心半圓， AC 為上午圓珠的日影， DB 為下午圓珠的日影，作 AB 的中垂線，可與 CD 的中垂線幾乎重疊，則 T_2T_1 即指向地理北極 N_E 。第二天用透明玻璃紙貼蓋於量角器上，可以再作實測，而得第二條 T_2T_1 ，依此法重複作五天以上，在各次的透明紙上畫出多條 T_2T_1 。求各 T_2T_1 的幾何中間線，就可求得本校實驗的地理北方 N_E 。

⑦同步小馬達：家庭電扇調節風向用的小馬達，規格 110 VAC



圖二 改裝的日圭

、 60Hz ， 3W 。減速後為 6RPM ，即 10秒轉一圈 ，其轉速是與電力公司的 60Hz 同步，所以絕無誤差。

⑧黑色壓克力圓盤：半徑 12 cm 由⑦同步小馬達驅動。

⑨針孔：直徑約 0.5 mm 。自針孔至壓克力圓盤的圓心為 10 cm ，在圓盤的邊緣挖一個 6.3 mm 寬、 3 cm 長的狹縫。因為以 10 cm 為半徑之圓周為 $62.8\text{ cm} = 628\text{ mm}$ 。則 6.3 mm 為 628 mm 的百分之一。而圓盤轉動一圈需時 10秒 ， 10秒 的百分之一為 0.1秒 。亦即每角當圓盤轉一圈時，針孔開放 0.1秒 。於針孔照相機內放一個照度計，測量一般晴天正午的日照，在針孔直徑為 0.5 mm ， 0.1秒 下，其照度約 3 LUX ，以太陽眼鏡遮針孔，其照度約為 2LUX ，而感光最遲鈍的照相紙（黑白4號）僅 1LUX 即可感光，所以可連續重疊攝影，絕不會感光過度模糊不清。

⑩電子鐘：裝電池一次可運轉一年以上，經加裝電刷後，可每隔 15 分鐘，導電 3 至 7 秒，導電時間分別定在 0 、 15 、 30 、 45 分鐘前 30 秒，以驅動鳥鳴器，提醒我們攝影的時間快到了，於是我們就注意時鐘上的秒針，當其指到 $59'55''$ 、 $14'55''$ 、 $29'55''$ 、 $44'55''$ ，按下⑪按鈕，圓盤⑧就會轉一周，亦即攝影一次。因為圓盤⑧上的狹縫與針孔相差半圈，所以要提前 5 秒按鈕。

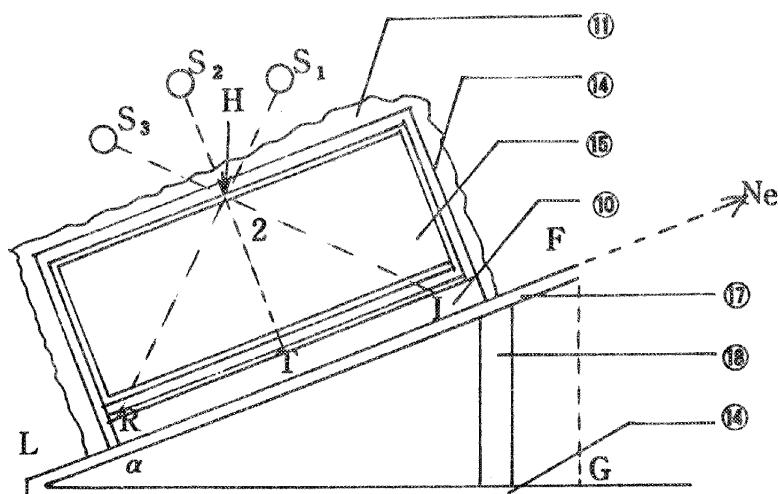
⑪多層黑布罩：便於照相感光紙之裝卸。

⑫電源總開關。

⑬手動旋轉按鈕：可在 0、15、30、45 分鐘前 5 秒按下⑬使圓盤⑧轉動，而達攝影之目的。

⑭水平儀：1 cm 的透明軟塑膠管，內裝紅墨水，可校正全機水平。

(二)針孔照相機右視圖：如圖三



圖三 針孔照相機右側透平圖

設計理由說明：

⑪多層黑布罩。

⑯H 鈿孔。

⑭水平儀。

⑮機門。

⑯裝感光紙抽屜：12 吋照相感光紙約 $30.5 \text{ cm} \times 25.4 \text{ cm}$ 。

$HT = 23.1 \text{ cm}$ 。今設 S_1 為夏至太陽的位置， S_2 為春分秋分、 S_3 為冬至，則 $\angle 1 = \angle 2 = 23^\circ 27'$ (參考資料(三)天文日曆 P 116) $\tan \angle 1 = TI / HT \quad \therefore TI = \tan 23^\circ 27' \times 23.1 \text{ cm} = 10.04 \text{ cm}$ ， $IK = 2TI = 20.08 \text{ cm} < 30.5 \text{ cm}$ 。所以感光紙的長度已足夠。一年假定攝影 365 天，則每

天可平分的感光紙長度為 $\frac{2IK}{365} = 0.11 \text{ cm} = 1.1 \text{ cm}$ ，根據試

攝結果，感光後感光紙上的太陽直徑為 2.5 cm，所以每三天

攝影一次，則不致出現重疊的日像。再說感光紙的寬度，預定每次攝兩小時，每 15 分鐘攝一像，則每次總共可攝 9 個日像，已足可描繪成一曲線。對於一個圓來說，2 小時相當於

$$\frac{360}{24} \times 2 = 30^\circ \text{ 如圖四}$$

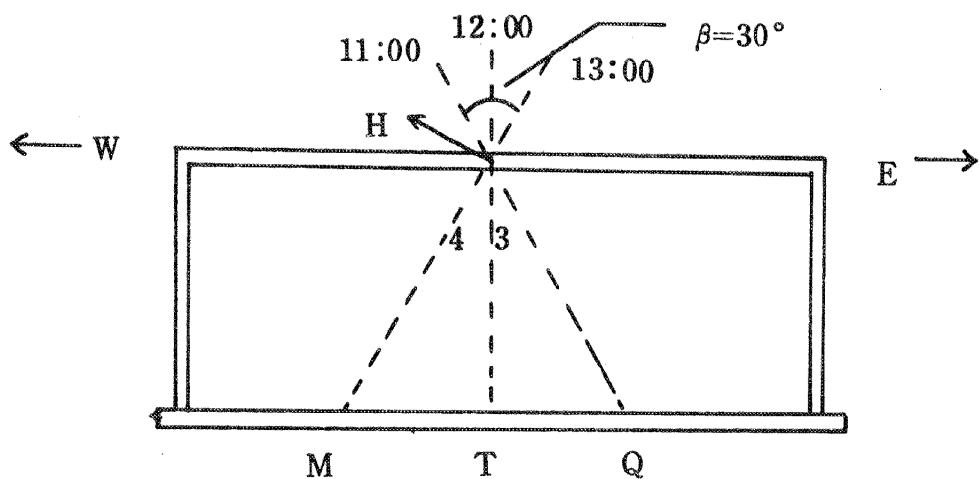
$$\angle 3 = \angle 4 = 15^\circ, HT = 23.1 \text{ cm}$$

$$\tan \angle 3 = \frac{TQ}{HT}$$

$$\therefore TQ = \tan 15^\circ \times HT = 6.19 \text{ cm},$$

$$MQ = 2TQ = 12.38 \text{ cm} < 25.4 \text{ cm}$$

所以感光紙寬度已足夠。



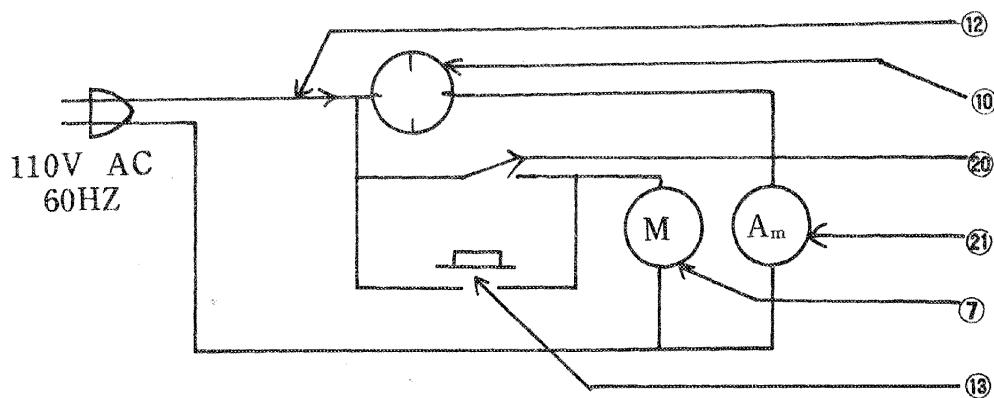
圖四 感光紙寬度分析

(17) 機殼底板，由(18)支架與(19)成 $\angle \alpha$ 。

(19) 為經水平儀校準之平面， $\angle \alpha$ 等於本校實驗點之大約北緯緯度。經緯度之估計是由參考資料(七)的 73 年校地圖推算所得。其結果本校的地理位置大約在 $120^\circ 18' E$ $22^\circ 53' N$ 則 $\angle \alpha = 22^\circ 53'$ 可解 $\triangle LFG$ 測定之。則 KI 指向 N_E ，而 $HT \perp LF$ 所以 HT 與赤道面平行，所以 S_2 為春分秋分點。

(三)全機電路圖：如圖五

設計理由說明：



圖五 全機電路圖

- (12)電源總開關。
- (10)定時導電鐘。
- (13)手電旋轉按鈕。
- (7)同步小馬達。
- (20)自閉開關：當轉盤(8)旋轉一圈後自閉電路，不使繼續旋轉。
- (21)鳥鳴器：攝影前30秒，發出悅耳聲，提醒我們準備攝影。

四、研究過程與方法

(一)從設計、製作到試攝期，經過三個月餘，才在10月24日照出第一張成功的照片，我們也因此學會了沖洗照片的全部過程。於此謹向本鄉良友照相館致謝。茲附貼該片之翻印縮小片及當時的紀錄抄件如下：

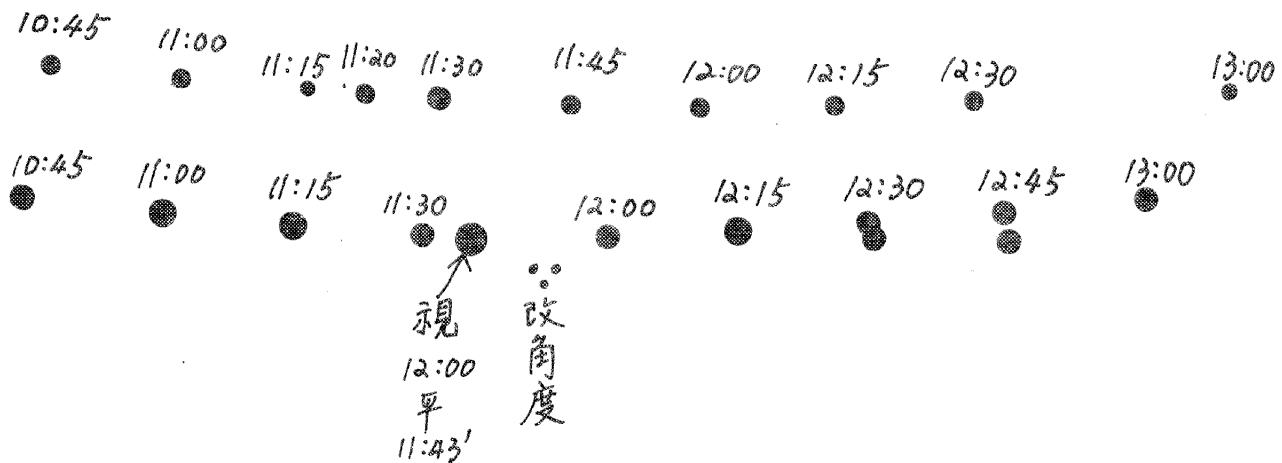
11:00 11:15' 11:30'' 11:45' 12:00 12:15' 12:30' 12:45' 13:00'
 ● ● ● ● ● ● ● ●

照片(二)73年10月24日第一次攝日成功照片：

攝影時間	11時0分	11時15分	11時30分	11時45分	12時0分	12時15分	12時30分	12時45分	13時0分
備註					有雲			有雲	有雲

(二)連續試攝：照片(三)

73年11月15日、16日的日影軌跡照片

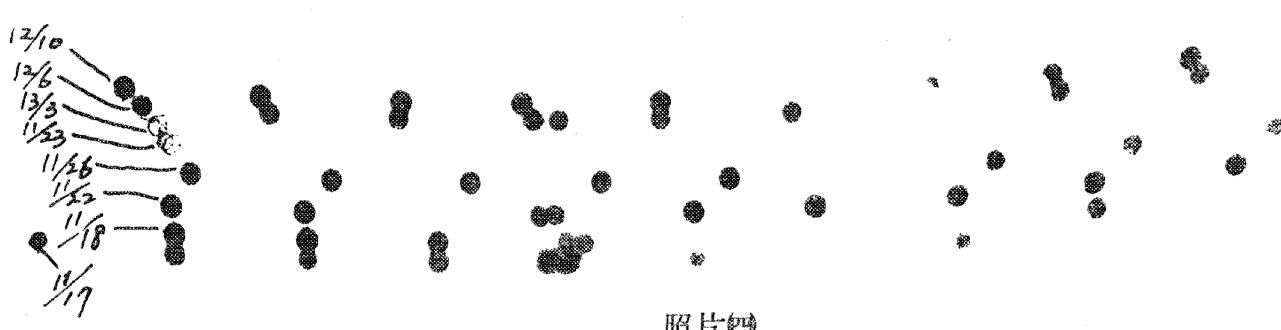


討論：

- (1) 11月16日的照片有部份曝光，所以有大片黑影。
- (2) 根據這兩張照片本實驗是可進行的。

(三)正式攝影：

第一張：自73年11月17日至12月10日如照片(四)。

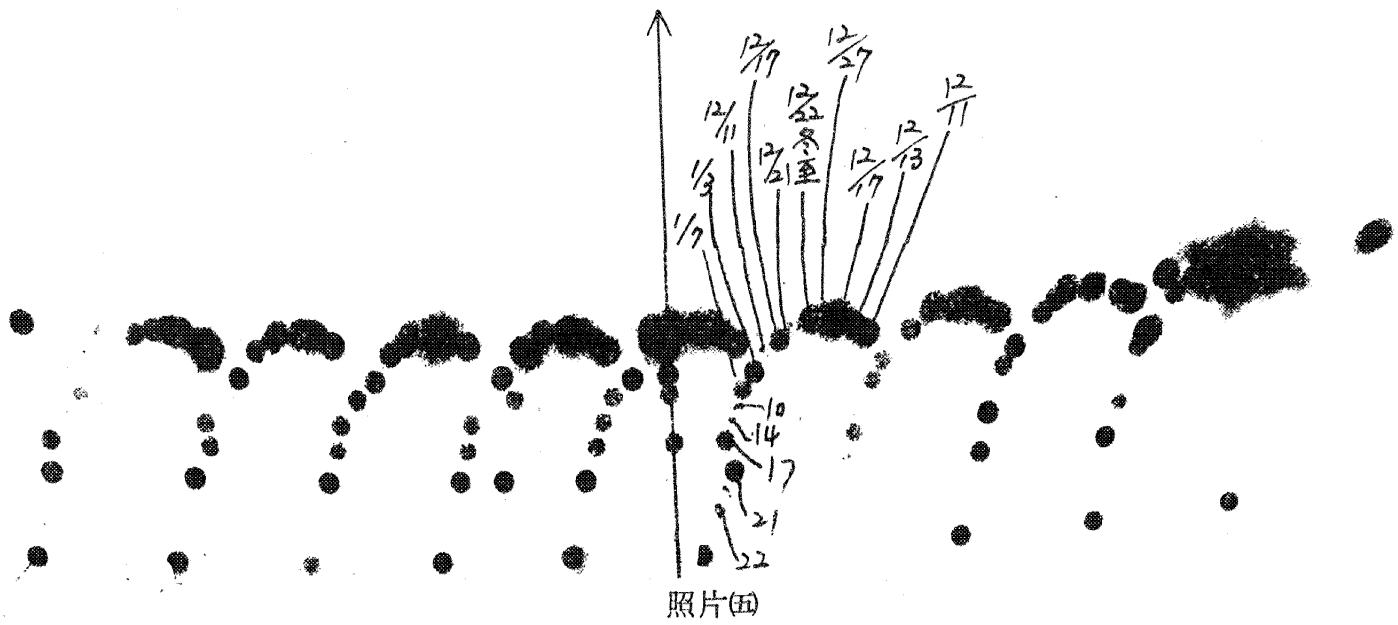


照片四

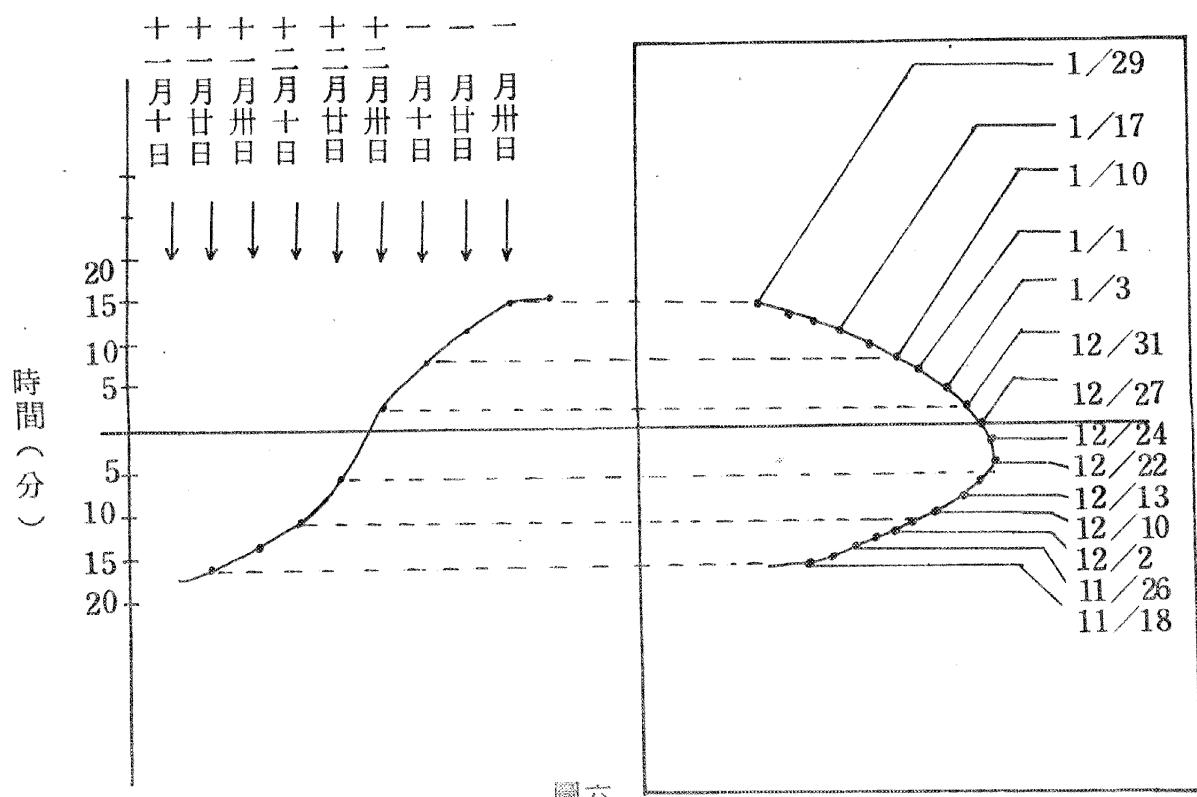
第二張：自73年12月11日至74年1月29日如照片(五)。

討論：

- (1) 根據圖(四)的分析 TQ 相當於 1 小時的日影位移，所以每 15 分鐘的日影位移等於 6.19 cm 而根據照片(四)及照片(五)的實際測量，每 15 分鐘的日影位移接近於 6 cm。



(2) 把照片(四)(五)描繪在一張方格紙上，再以投影之方式繪成日期與時差座標圖，如圖六我們就可以從縱軸上看出每天的時差，也就證明每天地球的自轉不一定是 86400 秒。並從圖中可以看出 12 月 27 日正好 86400 秒。



- (3)如果用高級的定時鐘來控制時間，當可得到更準確的結果。
- (4)如只以地球自轉的快慢為目的，則每天只要照三個點，且最好間隔 20 分鐘二個點，日正當中一個點。
- (5)圖(五)的縱軸分劃常用 $\tan \gamma = \frac{TQ}{HT}$ ， $\therefore TQ = \tan \gamma HT$ ，
 γ 代表太陽射到 H 的光線與 HT 延長線的夾角。
- (6)可惜攝影日期不夠不能把全年的日影都投影出來，我們以後會繼續完成。

五、結論及發展

- (一)地球自轉變化分為週期變化和長期非週期變化兩種，後者的變化率很小，在 20 世紀中地球才轉慢 $3\frac{1}{4}$ 小時，影響很小。本研究所測得的變化絕大部份應屬於週期性的變化。而從圖(五)中的寬線部份即可看出確有週期性的變化存在。也就成為本研究主要目的
一年中各太陽日的長短並不一致的證據了。
- (二)根據參考資料(五)天文學 p41，週期變化的主因是風和潮汐而論，其中必有因月球之公轉所導致的變因，而月球之公轉在地球對太陽的公轉時間中，並非準確的 12 $\frac{1}{2}$ ，所以有陰曆的閏月存在，倘若潮汐是影響地球自轉變化的主因，則必定造成另一種變化週期曲線，則參考資料簡明天文學 p14 及天文日曆 p145 中的曲線就顯然失去其代表性。所以本研究之作品當可作長期的紀錄，累積數年甚至數十年的結果，當可得到一條更切合自然現象的曲線了。
事實上，如果我們再深入推想，地球在公轉時是否與天體中的其他星體交互作用，導致自轉的快慢呢？這又是一個值得再繼續研究的大問題了。
- (三)根據圖(五)上日像的大小，是否可以解決光速、太陽的大小與地球的距離，地球公轉軌道的方向與大小等等問題呢？有待研究。

六、參考資料

編號	書 刊 名	頁 數	著 作 者	出 版 者
(一)	國中物理第一冊	p18		國立編譯館
(二)	國中物理第四冊	p71		國立編譯館
(三)	73年天文日曆	p9、10、102、103 144、145、149		中央氣象局
(四)	簡易天文學	p4、14、15、24、 25、31、34、35	董恩明譯	華聯出版社
(五)	天文學	p41	Robert H. Baker	復漢出版社
(六)	道頓航海學	p85	陳維川譯	大行出版社
(七)	台灣省全圖		周法平	大興出版社

評 語

利用太陽的針孔照片說明一年中各太陽日的長短不一所使用之簡易測定儀具有教學的價值，值得推廣。

本研究利用物理之概念，富有創意。