

篇名：

太陽串成的項鍊--日行跡

作者：

高經富。私立興華高中。高二3班

吳思儔。私立興華高中。高二3班

賴匯霖。私立興華高中。高二3班

指導老師：

黃冠夫老師

壹●前言

高一下時，剛開學就發下了許多新書，當我在看地科的高二上第一冊時，我發現了一張讓我印象深刻的圖片，圖片中的太陽排出了一個∞的符號，我當下就去找這張圖片了由來，他叫做日行跡，喔!原來太陽在天空中的位置並不是固定的!太陽位置的變動起因於當地球繞日運行時地球自轉軸的傾斜。我便對日行跡感到了興趣，我去請教了地科老師許多問題，地科老師就問說：「你既然這麼有興趣，那要不要做小論文呢?」我便決定和兩位朋友做日行跡的小論文了!並且揭開它神秘的面紗。

貳●現象

如果你能在每天的同一時間記錄太陽在天空的位置，你將注意到太陽帶一條相當奇怪的軌跡。你會發現在一年之中太陽不是隨著你所認知的季節變化高低移動（北和南），也有稍微往東方和西方移動。太陽在天空中所劃出的這條 8 字型軌跡（圖一）被稱為日行跡(*analemma*)。

在你的手錶時間和太陽位置之間的時間差被稱為均時差。在北半球，如果太陽的位置在原本太陽應該在的位置的東邊，均時差為負；如果在西方，均時差則為正。

有一種簡單的方法可以觀察到這種現象。找一個一整年的中午都能被太陽照射的地方，放置一根離地大約 90 公分高的竿子，並且一整年都不要移動他的位置。接著準備 12 根比較短的桿子，在每個月的第一天的同一時間，將長桿的陰影頂端一一標記，十二個月後，你將會看見短的桿子在地上形成一種 8 字型的圖案。



《圖一》取自三民書局地球與環境(上)p.15

叁●原理

爲什麼太陽會有這條奇怪的軌跡？有以下兩個原因：

- 1.地球的自轉軸與公轉軌道面呈 23.5 度
 - 2.地球的公轉軌道並非正圓而是橢圓
- 整合這兩個原因就形成了所謂的日行跡。

我們先提出這個假設：地球自轉軸斜角 0 度

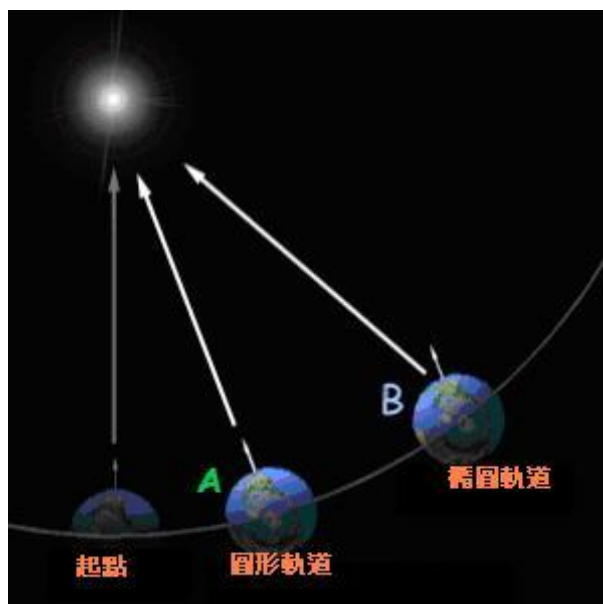
如果地球繞太陽的軌道是圓形的話，那麼地球繞太陽速度是保持不變的，我們可以看做這是地球的平均速度。但是地球繞太陽的軌道是橢圓的，地球繞轉的速度整年都不同。例如：在 1 月時，也就是離太陽最近的時候，地球繞轉的速度最快；而在 7 月時，地球離太陽最遠，繞轉速度最慢。換句話說，在 1 月時繞轉速度大於平均值，在 7 月時速度則低於平均值。所謂的一天是指竿影最短到下一次竿影最短的時間，也就是由正午到正午的時間叫做一天。由（圖二）可知由起點到 A 點到 B，一天之中旋轉的角度並非 360 度。

也就是說，如果地球是一個圓形的軌道，我們可以很快的計算出這個角度上的平均日：

$$\text{平均角} = 360^\circ / 365.24 \text{ 天/年}$$

$$\text{平均角} = 0.985653^\circ / \text{一天}$$

由於地球繞轉速度有時快，有時慢，所以我們必須要比較這差距（圖二），並且找出平均日。



《圖二》取自 <http://www.analemma.com/Pages/framesPage.html>

而下面這方法可以找到地球和太陽在橢圓軌道的關係

將平均角= 0.985653 °/天 乘以 N =天數(1 月 1 日算起)

$$\lambda = 0.985653(N-2)$$

$$v = \lambda + \frac{360}{\pi} e \sin \lambda$$

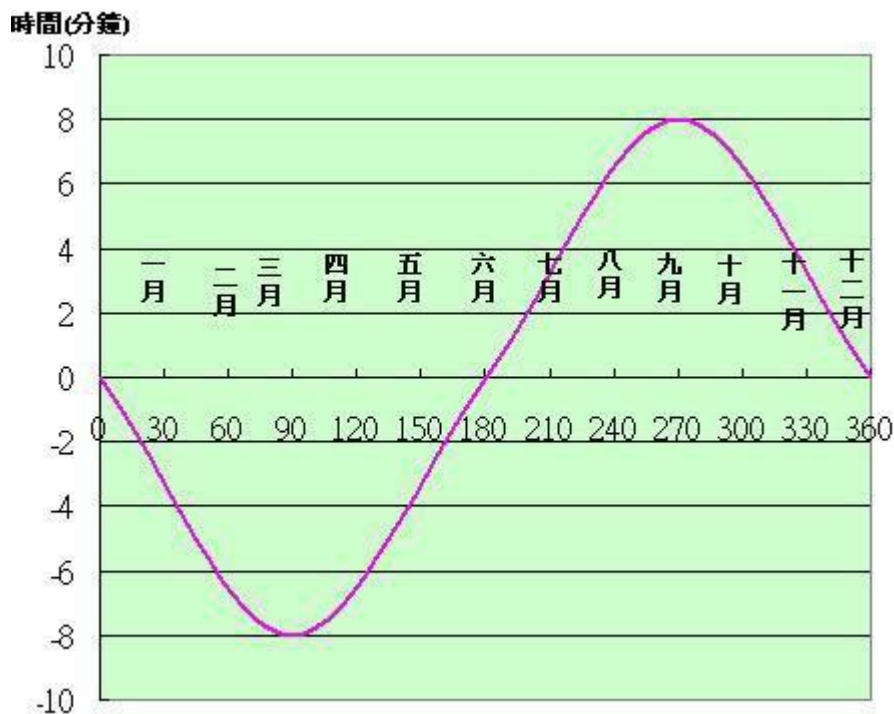
$$= \lambda + 1.915169 \sin \lambda$$

其中 $e = 0.016713$ (橢圓離心率)

角度與時間的轉換非常簡單，地球在 24 小時內轉了 361 °，而 24 小時=1440 分鐘，因此：

$$1440/361 = 3.98892^\circ/\text{每分鐘}$$

這看起來雖然沒什麼，但是隨著時間的累積，正如圖三的圖表顯示，在 3 個月的時間內中誤差值將近 8 分鐘



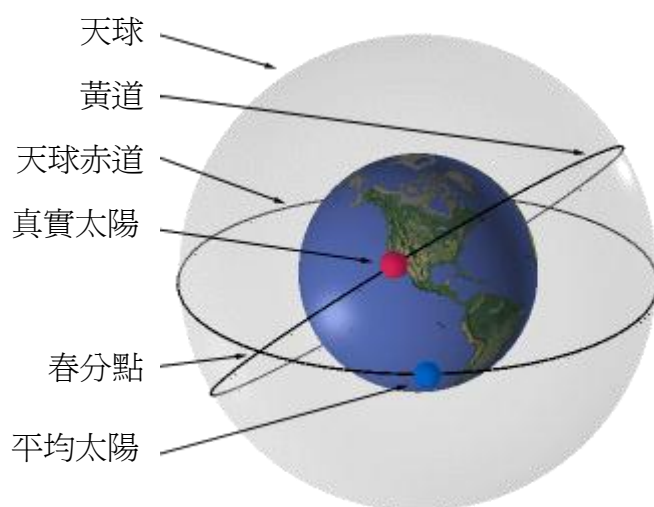
《圖三》Excel 自製

接著假設地球繞太陽是以圓形軌道公轉，且地軸傾斜 23.5 度，比較與地軸未傾斜之地球（暫稱為平均太陽）的差別，如下圖四。

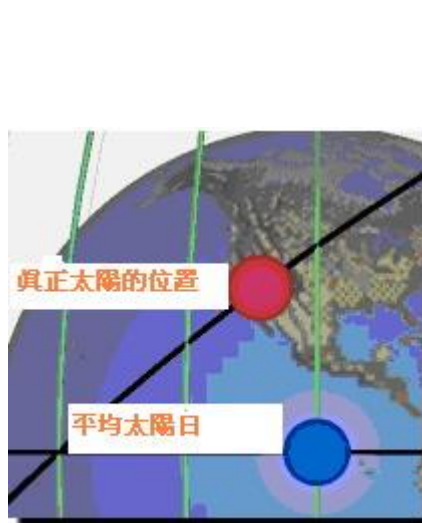
記得這兩個太陽是以相同的速度移動，只是他們的軌跡不同。注意真實的太陽運

行到與平均太陽日相同的軌跡長度位置。從地球看出去，真正的太陽在平均太陽的西方（圖五）。

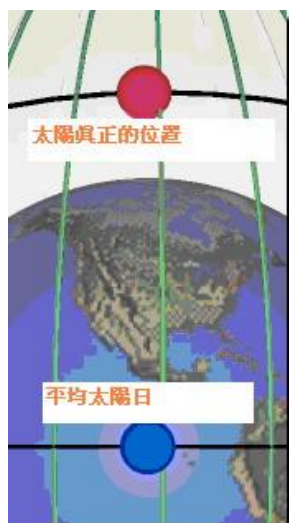
接著圖六是一個在夏至附近的兩個太陽位置的特寫鏡頭。



《圖四》



《圖五》

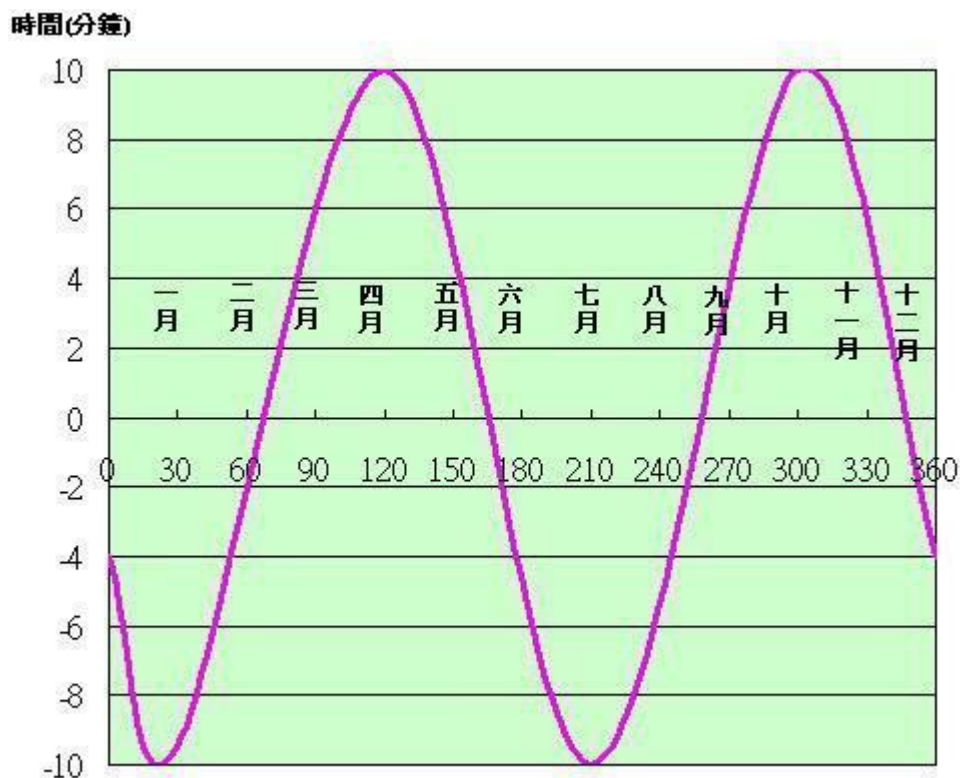


《圖六》

《圖四》《圖五》《圖六》皆取自 <http://www.analemma.com/Pages/framesPage.html>

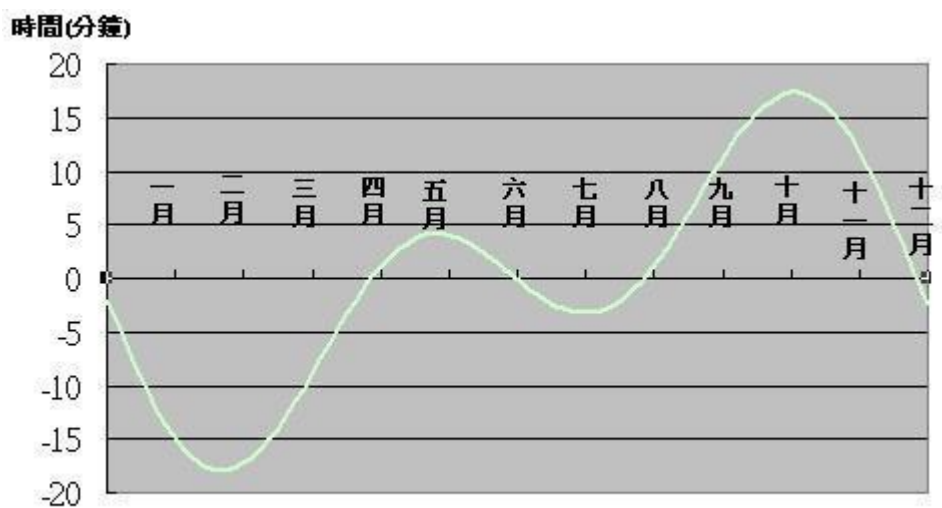
將這點整合成圖七顯示，在每一個半月的時間內的時間誤差值將近 10 分鐘。

太陽串成的項鍊--日行跡



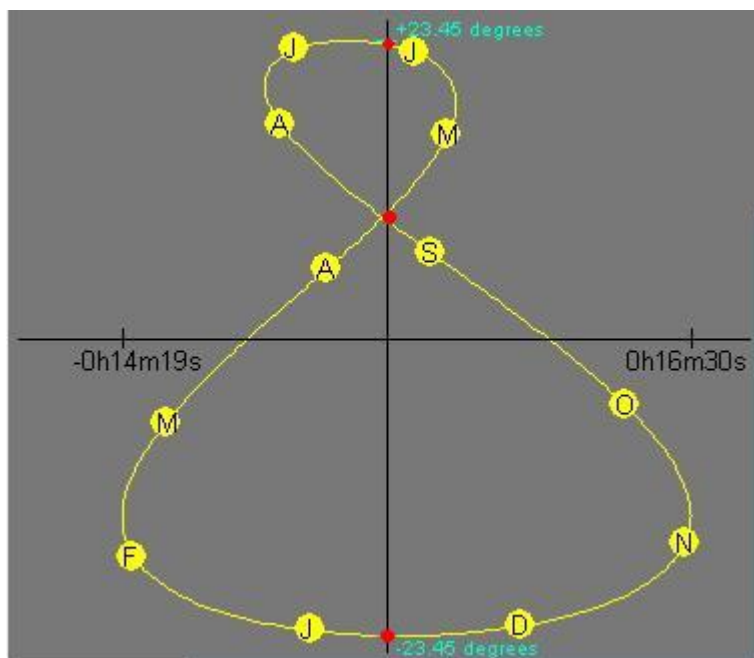
《圖七》Excel 自製

接著將圖三和圖七相加，就變成圖八的圖形（黑線）



《圖八》Excel 自製

之後畫成圖九表示在整個這一年期間在天空真實的太陽的位置。在圖表上的 y 軸是在天球裡一年中太陽的傾斜，從夏天的+23.5 度至冬天的-23.5 度。x 軸是太陽在天球內的實際位置的偏差。



《圖九》製圖程式 Analemma for Windows

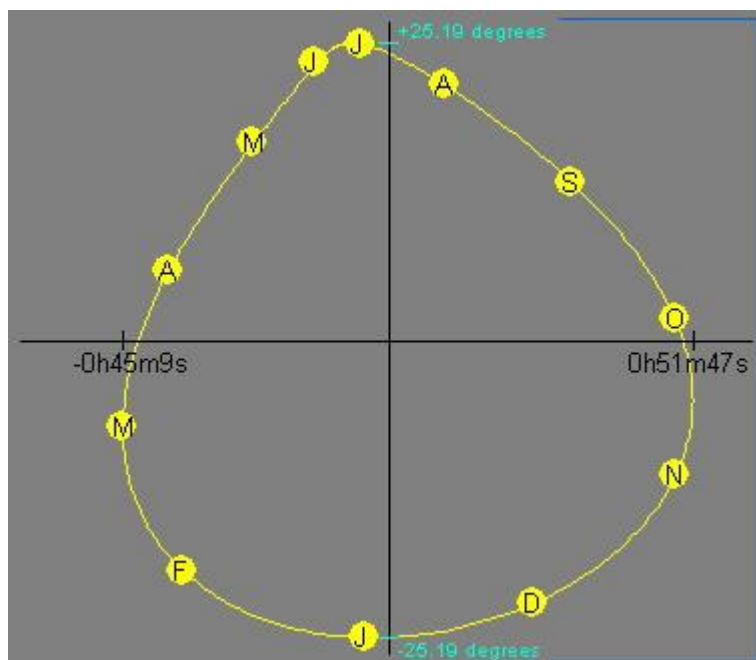
圖九也證明這一年的最長日子（夏至）是在 6 月 21 日左右，最晚的落日也在那之後幾天發生。在圖表頂上，我們能發現太陽的橫向運動比向下運動還多。換句話說，當你的表讀太陽本應下落時，真實的太陽可能稍微朝東方(向上)移動。同樣的，相反的效應也在冬天出現。這一年的最短的一天（冬至）是在 12 月 21 日左右，最晚的日出直到在那之後幾天才發生。

太陽的傾斜是太陽在整個這一年期間用天球赤道製造的角度。它在 6 月 21 日的 +23.45 度和在 12 月 21 日的 -23.45 度之間變化。在 3 月 21 日（春分）和 9 月 21 日（秋分）傾斜是零度。

肆●其他星球的日行跡

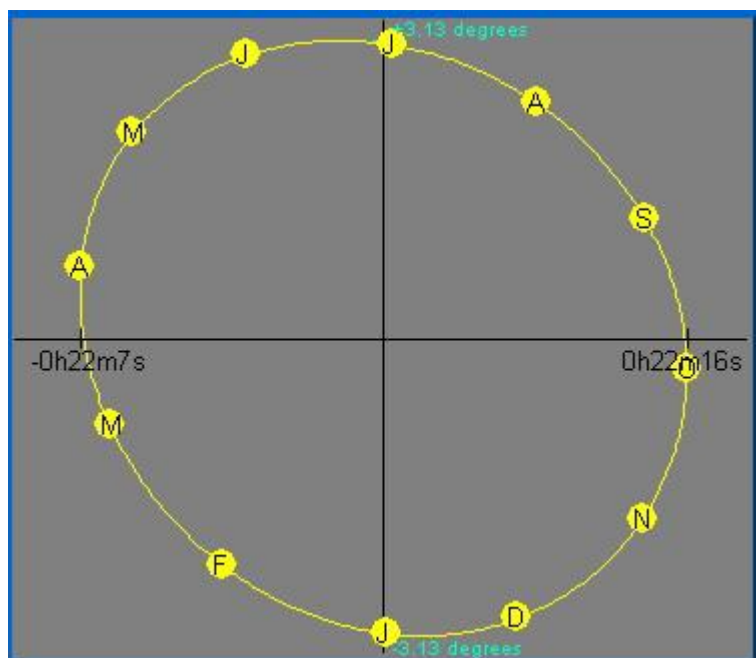
影響日行跡的主要原因是地球自轉軸的傾斜和地球公轉軌道的離心率。傾斜角度或離心率的不同，會導致日行跡呈現不同的面貌，以下我們就還看看在不同星球的日行跡是何種面貌。

1. 火星的自轉軸傾斜其天球赤道 25.19 度，公轉軌道離心率為 0.0934028，日行跡如圖十



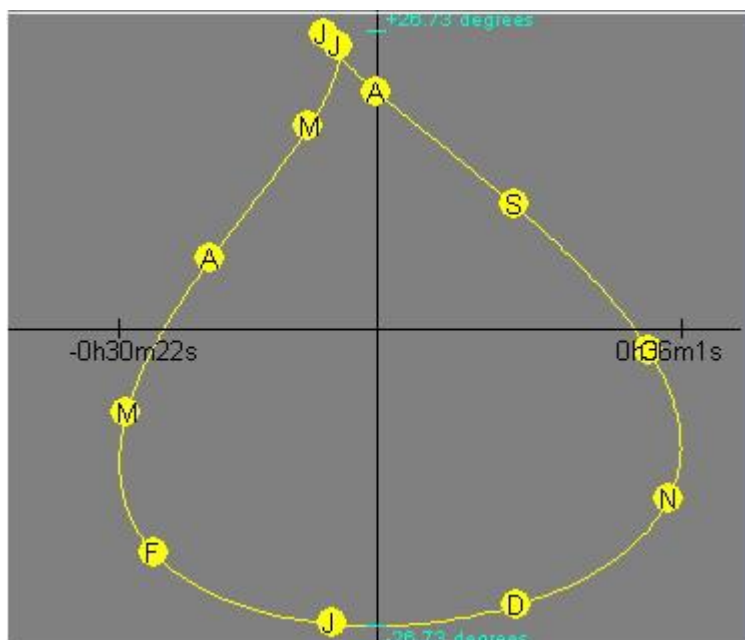
《圖十》製圖程式 Analemma for Windows

2.木星的自轉軸傾斜其天球赤道 3.13 度，公轉軌道離心率為 0.0484988，日行跡如圖十一



《圖十一》製圖程式 Analemma for Windows

3.土星的自轉軸傾斜其天球赤道 26.73 度，公轉軌道離心率為 0.0555003，日行跡如圖十二



《圖十二》製圖程式 Analemma for Windows

伍●結論

一般大家在講《一天》指的是從正午到正午，也就是竿影最短到下一次竿影最短的時間，這個時間我們一直認為應該是 24 小時，但是從日行跡可以得知，如果以 24 小時為一個單位，太陽不會在同一個位置上，也就是說從正午到正午的時間並非都是 24 小時。而且除了正午以外日出日落的時間除了要考慮太陽在不同季節在天空上的緯度(也就是赤緯)的移動之外，還要考慮日行跡的因素在內。

陸●引述資料

周玉文（譯）（2009）。**The Sun：你從來沒看過的太陽**。台北市：貓頭鷹出版社。

范光龍、許瑛珺、汪惠玲、王光正、翁玉華、白佩宜、陳政瑜（主編）（2008）。**地球與環境（上）**。台北市：三民書局股份有限公司

Analemma。2009 年 10 月 14 日，取自 <http://www.analemma.com/>

由「analemma 日晷」談北回歸線公園管理機構的不求甚解。2009 年 10 月 14 日，取自 <http://blog.xuite.net/nycl.chiu/blog/22508901>

製圖程式 Analemma for Windows。2009 年 10 月 14 日，取自 http://www.analemma.com/Graphics/other_Analemmas/Analemma.zip