
「太陽經緯儀」在國小天文科學教育上的應用

鄭宏文

國立臺北教育大學 自然科學教育學系

壹、前言

九年一貫課程國民小學自然與生活科技領域五年級上學期的第一個單元，在探討「太陽的觀測」，並學習太陽運行的規律變化。現行各種版本教科書的教學內容，則有立體天空模型與竿影教具教學兩種模式，以求提高其學習太陽規律運行概念之成效。但是，太陽規律運行概念牽涉到複雜的「日地關係」，需要立體幾何推理能力才能充分理解。依據學者的研究，空間能力是影響學生在「太陽的觀測」單元學習成效的主要因素(楊天德，2009)。許民陽、鄧國雄、卓秀娟、李崑山和殷炯盛(1994)認為國小各年級學童在大空間的認知方面有辨識的困難，甚至高年級還難以達成大空間或三度空間內較抽象的空間概念應用。蘇偉昭(2003)指出天象觀測是屬於三度空間，應該回歸三度空間的方式來教學，二度空間的教材設計的方式，無法使生活在三度空間的人們以自然的理解方式來學習。

更重要地，雖然藉由太陽觀測可以使學童獲得紮實的學習經驗，但是，在教學的實務經驗上，卻會發現不論在太陽運行

規律的「日週期」、或者是「年週期」的變化現象，學童所欲獲得之「完整的觀測經驗」，不但受限於觀測當天的氣候條件、雲量多寡，且所需之觀測時間亦是曠日廢時，實務面上確實有無法達成的困窘。

本文提出了一種嶄新的「太陽經緯儀」教具(鄭宏文，2010; Cheng, 2010)，在建構概念上類似於坊間使用於星座辨識教學的「星座盤」原理，且操作方式簡單、易學、有趣，突破了如上述關於時間、空間、與氣候…等等外在條件，加諸於太陽觀測教學實務面上的種種限制。不但足以提供教師、學童、乃至於天文愛好者學習使用、除具備記錄太陽位置之基本太陽觀測功能之外，還可用以模擬地球上在任何觀測地點、於任何季節、與任何時間所觀測到的太陽運行軌跡，使用者可進一步藉此進行實驗並觀察、歸納、與理解太陽軌跡的運行規則、或以直接在陽光下驗證觀測結果是否服膺所謂的「日地關係」。期待本「太陽經緯儀」的發明及應用，能夠有助於提升觀測太陽單元的教學暨學習成效、並填補竿影教具、立體天空模型兩種教學的不足之處。

貳、日地關係與太陽軌跡

因為萬有引力，使地球以一橢圓形軌道環繞著太陽周而復始地進行著公轉，然而，與此同時，地球本體也繞著自身的地軸自西向東進行自轉。自轉一周直到下一次太陽再次地通過中天的時間，我們俗稱為一天，有時也稱之為一個「太陽日」。而地球繞日公轉一周的時間，我們則通稱為一年。但因為地球在繞著太陽公轉的過程中，自轉軸傾斜了約 23.5 度，也造成世界各地日照角度與日照時間的年週期變化。所以地球的南、北兩極就會有整整半年的时间持續面對著太陽，而另外半年的时间則一直不見天日。至於地球上的其他地區，則隨著所在地點的緯度高低，而使日照角度與日照時間(也就是白晝長度)有所差異。一般而言，氣候寒暖的程度依該地區所受的日照角度與日照時間所決定。舉例而言，若該地區所受的日照角度愈垂直地面、且接受日照的時間愈長，則該地區的氣候就會愈趨於嚴熱。相反地，若該地區所受的太陽日照角度愈是傾斜、且接受日照的時間愈是短暫，則該地區的氣候就會愈趨嚴寒。

由於天空上的太陽漸漸地自東向西移動，形成了一條運動軌跡，在地球上不同緯度地區的觀察者們所看到的同一條太陽軌跡，在觀察者各自所在地區之天空上的位置，其高、低仰角當然不會一樣，所以也就造成了不同地區的觀察者們所觀察到的日照角度與日照時間上的差異。換句話說，只要我們能夠掌握太陽軌跡運行與

變化的規律，就能夠充分地瞭解上述於地球上不同地區、不同季節、與不同時間，各種與太陽有關的在地生活經驗。

這三大規律其實非常簡單：第一、觀察者所在地區的緯度愈高，太陽的照射角度則愈為傾斜。第二、地球相對於太陽自轉的平均速度為 24 小時 360 度(相當於每小時 15 度)。第三、太陽位置因為春夏秋冬季節交替的年週期變化，使得太陽的南北位置偏移週期性變化，其振幅為地球的自轉軸傾斜角 23.5 度，週期長度則為 365.25 天。所以令人們真正感覺複雜難懂的，其實只是在於透過立體空間的幾何推演，將這三條簡單的原則進行概念串連的那個過程，而並非這三條簡單的原則本身令人難以理解。

所以為了提升觀測太陽單元的教學暨學習成效，可以仿效傳統上使用星座盤輔助星座辨識課程的概念，設計一種全新的「太陽羅盤」，讓學習者可以依照其所在地區的緯度，進行緯度調整。再來依照觀察太陽的日期、時間，調整這一個所謂的「太陽羅盤」的日期與時間，就可以依照這一個「太陽羅盤」的指示，來進行太陽觀測的學習活動。想一想，這樣的操作流程，不是與我們透過「星座盤」學習認識星空與星座辨識時非常地相類似嗎？本文就將這一個所謂的「太陽羅盤」命名為「太陽經緯儀」。

參、日地關係與太陽軌跡

「太陽經緯儀」若以其功能性而言，

可以稱之為「太陽羅盤」，用以讓學習者模擬、預測、觀測、並記錄太陽的位置與軌跡。其外型則如圖 1(a)所示。為了讓使用者在進行太陽觀測暨其教學活動時，更方便地實施操作與記錄太陽位置的相關數值，使用者可以選擇搭配透明指日管、一個透明半球罩、及一個代表太陽的透明圓球形強力磁鐵，詳見圖 1(b)及圖 1(c)。其原理則是將日地關係濃縮在轉軸結構之中。主要有三個轉軸，分別職司(1)觀測地

點的緯度調整、(2)觀測日期的調整、與(3)觀測時間的調整。在這樣的機構設計之下，使用者便可以此太陽經緯儀，輕易地預測並模擬在地球上的任何一個觀測地點、任何日期、時間下的太陽位置暨其運行軌跡。

肆、太陽經緯儀的構造

茲將本研究所提出之太陽經緯儀的相關操作暨所有零件的相關功能整合於表 1。


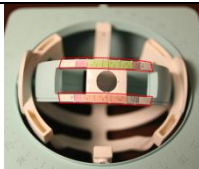



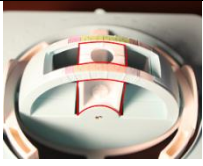

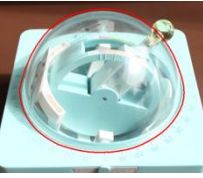
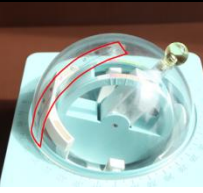

圖 1、(a)太陽經緯儀的外型。

(b)透明指日管用以指示太陽在天球上的位置。

(c)透明半球罩代表天球、太陽磁鐵除了代表太陽之外，還可以用來操控太陽經緯儀以模擬地球上任何觀測地點、任意觀測日期、與任意觀測時間，太陽在天球上的軌跡。

表 1、太陽經緯儀的相關操作暨所有零件的相關功能整合

名稱	功能	圖示
緯度尺規	依使用者所在之觀測地區，調整當地的緯度數值。	
日期刻度尺規	依使用者觀測太陽的日期，調整太陽方位的赤緯角度。	

<p>太陽時鐘</p>	<p>依使用者觀測太陽當地的視太陽時，調整時鐘指針的指示刻度。</p>	
<p>指日準心</p>	<p>使用者可直接在陽光之下進行驗證，利用指日準心直接找到太陽的位置。</p>	
<p>透明指日管</p>	<p>用以指示太陽在天球上的位置座標。其內有一顆強力磁鐵，使用者亦可以直接經由透明指日管操作與調整緯度、日期、與時間等刻度，以節省操作程序及操作時間。</p>	
<p>太陽磁鐵</p>	<p>以圓球形磁鐵代表太陽在天球上的運動軌跡。使用者可以隔著透明半球罩，直接透過太陽磁鐵模擬不同觀測地點、日期、時間的太陽位置，直接由半球罩上記錄太陽位置之方位角/高度角座標。</p>	
<p>透明半球罩</p>	<p>透明半球罩除了有代表「天球」概念的象徵性意義之外，同時也提供高度角、方位角尺規，讓使用者記錄太陽位置座標。另外，使用者也可以直接將太陽運行的軌跡記錄於半球罩之上，成為一種記錄工具。</p>	
<p>高度角刻度尺規</p>	<p>半球罩上的高度角刻度尺規，可提供使用者將太陽的位置，轉換成為「高度角—方位角」數值，以提供書面記錄數據之所需。</p>	
<p>方位角刻度尺規</p>	<p>基座上的方位角刻度，係乃搭配透明半球罩上的仰角刻度尺規，可以提供使用者將太陽的位置，轉換成為「仰角—方位角」數值，以提供書面記錄數據之所需。</p>	

伍、如何以太陽經緯儀模擬預測太陽的軌跡

類似於星座盤的使用經驗，太陽經緯儀的使用過程中，也必須依據觀測日期與觀測時間調整太陽經緯儀零組件的相對應角度。但是星座盤卻會因為使用地點的不同，而有使用上面的限制。舉例而言，由於北半球與南半球的星空相異，所以南、北半球的星座盤也就無法互用。另外，雖

然美國的阿拉斯加與臺灣一樣同處於北半球，但是緯度差異過大，星座盤上代表地平面的外罩則必須進行相對應的圖樣修正，亦無法直接通用。所以，太陽經緯儀在設計了緯度調整的功能之後，就可以讓使用者超越地域上的使用限制，可以輕易地預測並模擬在地球上的任何一個觀測地點、任何日期、時間下的太陽位置暨其運行軌跡，詳見圖 2。

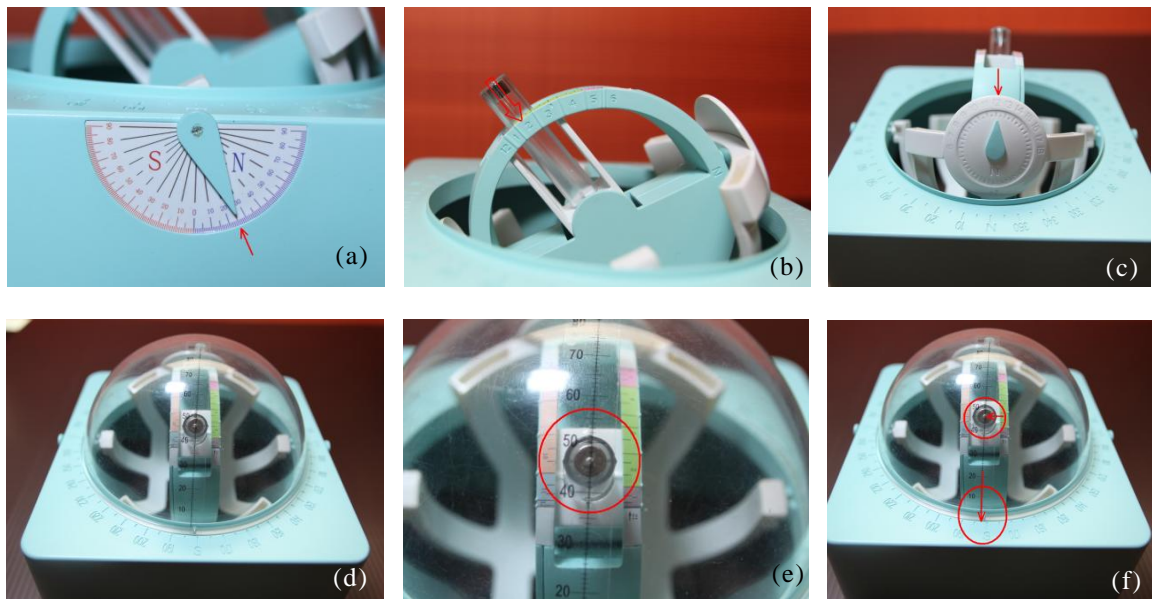


圖 2、(a)：依照使用者所在觀測地點之緯度，調整緯度刻度(以臺北地區為例，緯度為北緯 25 度)。

(b)：依照日期調整「指日準心」所指的「日期刻度尺規」。

(c)：依照觀測進行的太陽時，調整「太陽時鐘」的指針方向。

(d)：蓋上「透明半球罩」。

(e)：轉動半球罩，使「透明指日管」的正中央對準「太陽高度角尺規」。

(f)：讀取太陽位置的高度角與方位角數值。

陸、如何以太陽經緯儀記錄現在的太陽位置

太陽經緯儀在觀測太陽單元的教學活動中不但可以用來預測、模擬一年中不同季節、或一天之中不同時間的太陽軌跡，同時也具備觀測太陽學習活動中，作為一個完整的「太陽位置記錄器」的功能。由於太陽經緯儀的特殊機構設計，其本身就是一套將「太陽赤緯角/太陽時角」座

標，自然轉換成為學童容易理解的「太陽高度角/太陽方位角」地平座標系統的「座標轉換器」。使用者不需要知道這兩套座標系統相互轉換的矩陣及其數學理論，只要直接依循操作建議進行操作，就可以用太陽經緯儀將太陽位置的座標，以「太陽高度角/太陽方位角」的地平座標模式，在象徵天球的透明半球罩上進行觀測記錄，詳見圖 3 所示。

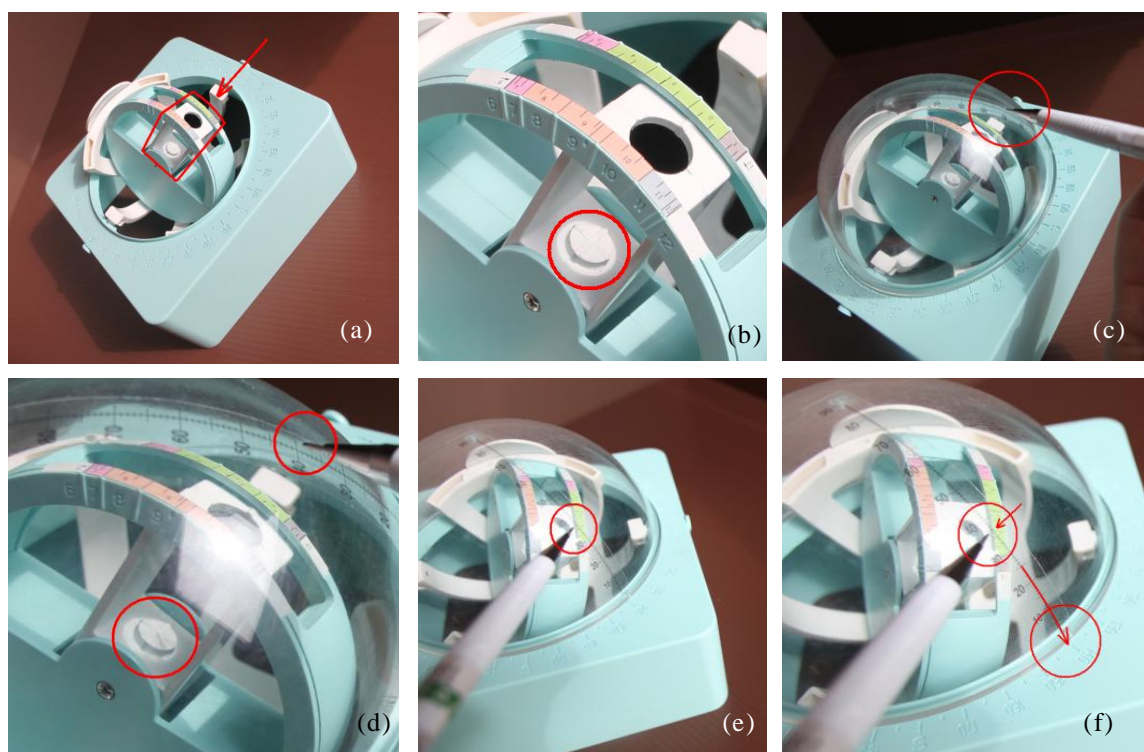


圖 3、(a)：調整「指日準心」的方向對準太陽。
(b)：將太陽光影投射於準心正中央。
(c)：蓋上透明半球罩，以鉛筆尖端輕點在半球罩上。
(d)：使鉛筆尖端的影子指在準心中央。
(e)：轉動半球罩，使其上的太陽高度角尺規落在鉛筆尖端。
(f)：由半球罩高度角尺規讀取太陽高度角刻度。由基座上方位角尺規讀取方位角。

柒、如何展示地球上其他觀測地點的太陽軌跡

本研究所提出的太陽經緯儀，最強大的功能，在於它不但具備了模擬太陽軌跡的功能，同時也非常適合用以進行天文教學活動的實地展示。使用者不但可以用太陽經緯儀來模擬地球上任何一個地點、任何季節、與任何時間所觀測到的太陽軌

跡，更可以太陽經緯儀作為天文科學教師向學生展示太陽軌跡的教學模型。觀測地點以北極為例，其所在緯度為北緯 90 度。觀測日期則設定為北半球的夏至。如何以本太陽經緯儀預測、模擬、並展示觀測者於北半球的夏至這一天，在北極所觀測到的太陽軌跡呢？茲將操作方式整理於圖 4 所示。

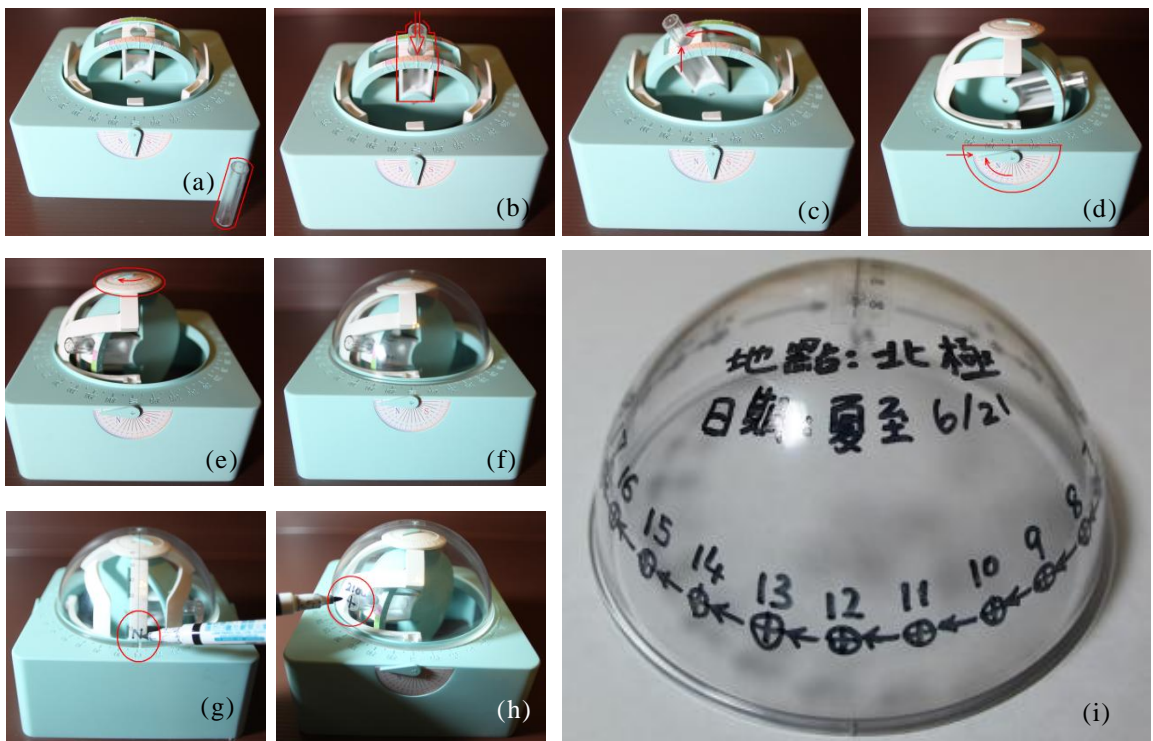


圖 4、(a) 取出「透明指日管」。
(b) 將「透明指日管」裝入「指日準心」之中。
(c) 調整日期刻度(例如，夏至：6月22日)。
(d) 調整觀測地點的緯度(例如，北極：北緯90度)。
(e) 調整觀測時間(例如，下午時間：21:00)。
(f) 蓋上「透明半球罩」。
(g) 在「透明半球罩」上標明正北方向。
(h) 在「透明半球罩」上標示太陽位置與時間。
(i) 依序在「透明半球罩」上標示其他時間的太陽位置(例如，觀測地點為北極，觀測日期為夏至6月21日，天球上的太陽運行軌跡則如右圖所示)。

捌、結論

本文提出了嶄新的「太陽經緯儀」教具，在建構概念上類似於坊間用於星座辨識教學的「星座盤」，且操作方式易學、簡單、而有趣，突破了太陽觀測關於時間、空間、與氣候…等等外在條件，加諸於太陽觀測教學實務上的實際限制。不但足以提供教師、學童、乃至於天文愛好者學習使用、除具備記錄太陽位置之基本太陽觀測功能之外，還可用以模擬地球上在任何觀測地點、於任何季節、與任何時間所觀測到的太陽運行軌跡，使用者可進一步藉此觀察以歸納、理解太陽軌跡的運行規則、或是以實驗直接驗證觀測結果是否服膺所謂的「日地關係」。期待本「太陽經緯儀」的發明及應用，能夠有助於提升觀測太陽單元的教學暨學習成效，提供教師一套方便有效的教學教材，俾能於天文科學教育的紮根上有所貢獻。

參考文獻

- 許民陽、鄧國雄、卓娟秀、李崑山、殷烱盛（1994）。國小學童對方向及位置兩空間概念認知發展的研究。臺北市立師範學院學報，000（025），91-120。
- 楊天德（2009）。以空間建構教學進行「太陽的觀測」單元教學之成效研究。臺北市立教育大學自然科學系碩士班碩士論文，未出版，台北市。
- 蘇偉昭（2003）。A Computer Simulation for the Sun and Moon on the Celestial Sphere。論文發表於 International Conference on Science & Mathematics Learning，國立台灣師範大學。
- 鄭宏文(2010)，專利名稱「準單軸太陽軌跡追蹤經緯儀」，中華民國(99)智專一(一)證字第 09971483720 號，專利案新型第 M 387330 號專利。
- Hong-Wen Cheng (2010), "Quasi-Uniaxial Solar Trajectory Tracing Transist System", Application Serial Number 12/753,232, Patent Number US 7,832,110 B1, Date of Patent Nov 16 2010。