

寓教於樂：太陽系儀與天文演示

黃相輔

倫敦大學學院科學與科技研究系

摘要

太陽系儀是十八世紀時開始發展的天文視覺教具，其原型由英國工匠Graham及Tompion於1704年發明，隨後發展成精密複雜的機械模型。十八世紀時巡迴各地講學的講演者對於牛頓自然哲學的推廣普及有很大貢獻。太陽系儀被廣泛地應用在此類演示中，並迅速成為流行的演示教具。1740年代後，隨著教學及推廣的需求，又有簡化的小型太陽系儀問世，使得此儀器更加方便被大眾收藏、使用。今日各式的天文館、星象儀等軟硬體繼承了此演示的精神；太陽系儀作為其前輩，在兩百多年前的歐洲扮演了相同的教育角色。本文以十八世紀英國的科學文化脈絡為經、格林威治皇家天文台的太陽系儀收藏為緯，介紹這種特別的天文視覺教具，說明其歷久不衰的寓教於樂精神。

The Instructive Role of the Orrery in Astronomical Display

Hsiang-Fu Huang

Department of Science and Technology Studies, University College London

Abstract

This article introduces the development of the orrery, which was an important visual aid of astronomy through the 18th century. The original orrery was invented by English clockmaker George Graham and Thomas Tompion in 1704, and this apparatus had been modified to become more complex. Through the entire 18th century, itinerant lecturers promoted the popularity of Newtonian natural philosophy, and their lecturing was based on the demonstration of instruments and experiments. The orrery was one of the apparatuses used in such philosophical lectures. Many 18th century lecturers, such as James Ferguson and Benjamin Martin, were also involved in the instrument-making trade, and had contributions to the improvement of the orrery. A joint collaboration between instrument business and philosophical lecturing was formed in 18th century marketplace, and this market was promoted by contemporary polite culture. By investigating the selected orrery items in the Royal Observatory Greenwich/National Maritime Museum collection, this study will show how the orrery combined instruction with entertainment in 18th century polite culture contexts.

關鍵字(Keywords)：太陽系儀(orrery)、天文演示(astronomy display)、科學傳播史
(history of science communication)、天文史(history of astronomy)

Received : 2010.10.21; accepted: 2010.12.06

1、引言

天文教育者常常苦於如何向一般大眾解釋天體的運行。地面上的人常被日月星辰流轉的景象所惑，很難將地球的運行與實際觀測經驗作直觀的連結。能幫助人們跳脫地球本位來思考的視覺教具在教學上就顯得十分重要。今日的天文教育者有投影式星象儀等利器，網際網路上也不乏動畫或影片等資源。兩三百年前的歐洲人則利用一種稱為太陽系儀(orrery)的機械裝置來達成輔助教學的目的。

太陽系儀是模擬太陽系天體軌道運動的模型，通常可包括地球、太陽、月球、其他行星及衛星。英文名 orrery 源自儀器工匠 John Rowley(1665-1728)的贊助者，第四代歐瑞里伯爵 Charles Boyle。這個命名原本只是不正式的綽號，但迅速成為此儀器的流行名稱。太陽系儀可以由機械驅動或手動，各種型式的設計也具有不等的複雜程度。在文獻中通常統稱此類儀器為太陽系儀、行星儀(planetarium)。

太陽系儀剛開始只是富有貴族的昂貴收藏品，但之後逐漸發展為作為演示用途的教具，價格也變得較便宜。太陽系儀的發展與十八世紀的自然哲學演講及儀器製造行業息息相關，這兩種行業在此期間同時進展神速。許多學者對自然哲學講師及工匠間的密切合作作過詳盡討論，例如 Turner(1987)、Stewart(1992)、Walters(1992)、Morton and Wess(1993)、Bennett(2006)。在啟蒙時代，包括自然哲學演講在內的理性休閒娛樂常與文化教養(politeness)的追求相關連，而此種關連造成

了十八世紀特殊的雅科學文化(polite science culture)。Morton and Wess(1993)對此種雅科學文化的歷史脈絡有詳細介紹。在天文學的實例方面，Walters(1997)以太陽系儀、Taylor(2009)以十九世紀初的家庭用天球儀，探討天文學與雅科學文化的關連。

天文學是十八世紀的自然哲學演講主題之一，太陽系儀常在此類天文演講中展示。當時許多知名的講師亦同時是技藝精湛的工匠，對於太陽系儀的使用、推廣、改良有很大貢獻。King(1978)的著作詳盡生動地介紹了與天文相關的鐘錶機械裝置，是此類研究範疇極佳的入門磚。其他諸如 Millburn(1973)、Walters(1992; 1997)、Morton and Wess(1993)等作品也是認識太陽系儀的重要參考文獻。在現代天文教育方面，Bailey et al.(2005)、Asher et al.(2007)則對現代的天文館等教育設施提供一個活潑創新的太陽系儀應用實例。

許多現存的太陽系儀仍被歐美的博物館、學術教育機構或私人所收藏。這些現存的實物是讓我們一窺過往歷史事件的重要遺產。英國的國家海事博物館(National Maritime Museum, NMM)暨格林威治皇家天文台(Royal Observatory Greenwich, ROG)擁有豐富的太陽系儀收藏。這些收藏品大多是屬簡便的可攜式，製造年代約在 1750 至 1800 年間。本論文即以 NMM/ROG 內的部份收藏品為研究實例，並以十八世紀的自然哲學演講、雅科學文化為脈絡來介紹太陽系儀這種特別的天文視

覺教具，期望能對現代天文教育帶來些許啓發。

2、太陽系儀與儀器製造行業

太陽系儀於十八世紀初問世前，荷蘭物理學家 Christiaan Huygens(1629-95)及丹麥天文學家 Ole Roemer(1644-1710)已各自有類似的太陽系機械模型設計。Huygens 的行星機械模型現仍存於荷蘭萊登的博物館，但 Roemer 的機械並未流傳下來，僅遺文獻記載(Millburn 1973)。

首座太陽系儀由英國鐘錶工匠 George Graham(1674-1751)與其師傅 Thomas Tompion (1639-1713)在 1704 年左右製造。隨後 Graham 將儀器原型贈給當時聲名卓著的 John Rowley，他加以複製後將儀器呈獻給包括 Charles Boyle 等貴族贊助者。Rowley 和其徒弟 Thomas Wright 其後合作太陽系儀的改良，最後衍生出的產物就是著名的大太陽系儀 (grand orrery)。大太陽系儀比最初 Graham 的原型更加龐大複雜，但其精緻的技藝則吸引許多顧客的注意，也讓更多工匠投入太陽系儀的製作事業(見圖 1)。



圖 1：大太陽系儀，摘自 Benjamin Martin 《年輕紳士及淑女的哲學》(1759)，插圖 XIX。

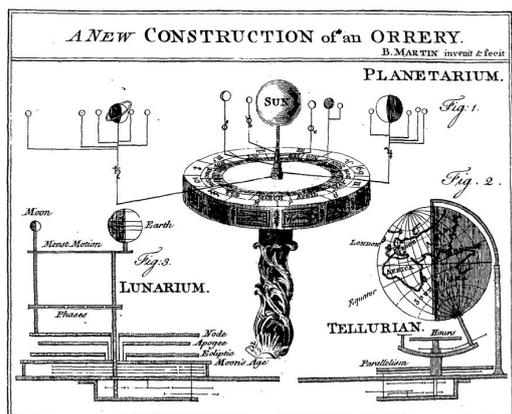


圖 2：Benjamin Martin 設計的可攜式手動太陽系儀，摘自《一種新式太陽系儀的說明及使用》(The description and use of an orrery of a new construction, 1771)。

正當太陽系儀在教育上的潛力及商機逐漸受工匠與哲學講師們青睞時，其過於昂貴的缺點也曝露出來。當時流行的大太陽系儀造價超過一百基尼(guinea)金幣，精密且雕工細琢者甚至要價達一千基尼，除了富裕的貴族外，一般民衆負擔不起。著名的哲學講師 Benjamin Martin 曾自述其簡化太陽系儀的動機：

太陽系儀的價格非常昂貴，這是此種有用的機器無法如許多人期望般普及的理由。它有助於傳達簡易而適切的世界體系知識，當然，還有天文學及地理學的基本原理；作為如此基礎的一部份，吾輩英格蘭青年都該擁有這樣的教育。(Martin 1762; Millburn 1973)

Martin 所設計的可攜式太陽系儀將內部構造大幅簡化，並將其成本及售價大為降低：根據 Martin(1757)的目錄，可攜式太陽系儀不含齒輪傳動裝置的最簡單型號只需 2.12 鎊(當時的幣制一鎊約為 0.95 基尼)；含機械裝置的型號為 5.5 鎊至 22.1 鎊(Millburn 1973)。Martin 設計的可攜式太陽系儀(見圖 2)在十八世紀中葉後很快取代大太陽系儀成為市場主流，許多工匠仿製並不斷推陳出新。

當時的儀器製造及自然哲學演講結合成

一種龐大的複合式產業。許多講師常身兼書籍作者、儀器工匠、事業經營者等多重角色。倫敦之類的大都市尤其是儀器工匠的活動重鎮，彼此間亦有商業上的競爭。這種市場機制的形成深受十八世紀物質文明的影響：由於上層社會追求博雅教養文化的風氣，天文學、地理學、自然哲學等知識成為社交話題，收藏持有相關的儀器及商品成為一種時尚，並有助於一種社會形象的塑造及炫耀。航海事業的發達亦促進了此類儀器的需求，因此儀器市場在十八世紀的英國不停蓬勃擴展(Walters 1997; Morton and Wess 1993)。

3、十八世紀的自然哲學演講

自牛頓的《原理》(*Principia*)於1687年出版以來，牛頓哲學迅速地在學術圈內流行並得到肯定。牛頓的貢獻在於以數學有條理地描述自然現象，然而數學卻也是讓外人難以清楚了解其學說的障礙：與牛頓同時代的人很少具有像他一樣的數學天賦及技巧。因此，牛頓的追隨者熱切地希望能以較簡單明瞭的方法推廣牛頓哲學，尤其是藉由實驗演示的方式(Stewart 1992)。

最早在倫敦以「自然哲學」為題的大眾演講由 James Hodgson(1672-1755)於1705年舉行，其報紙廣告開宗明義「為了促進自然哲學及天文學的進步，以及所有希望建立適切實用知識、具好奇心及求知欲的紳士的福祉。」(Daily Courant 1705; Morton and Wess 1993)十八世紀的自然哲學演講是儀器導向，也就是側重以實驗演示的方式講解自然現象的原理(Morton and Wess 1993; Walters 1997)。天文儀器，例如望遠鏡、太陽系儀，也在此類演示中扮演重要角色。最早將太陽系儀引入此類演講

的是 J. T. Desaguliers(1683-1744)，他在1717年寫到：

藉由鐘錶工匠 Mr. Graham 的行星機器，可展示地球與月球相對於太陽的運動，以及太陽相對於地軸與月軸的運動；另外也有地軸的傾斜，保持恆定。(King 1978)

因此可推估太陽系儀開始被使用在哲學演示的時間不晚於1717年。有些演講者如 Desaguliers、James Ferguson 及 Benjamin Martin，不僅使用太陽系儀，也對此儀器的改良有所貢獻。



圖3：Joseph Wright of Derby〈以太陽系儀為題演講的哲學家，油燈放於太陽的位置〉(1766)。58 × 80 英寸(147.3 × 203.2 公分)帆布油畫。原作收藏於德比博物館暨藝廊(Derby Museum and Art Gallery)。

Joseph Wright of Derby(1734-97)的繪畫或許是十八世紀自然哲學演講的最佳寫照。圖3為創作於1766年的油畫〈以太陽系儀為題演講的哲學家，油燈放於太陽的位置〉(*A Philosopher giving that Lecture on the Orrery in which a Lamp is put in place of the Sun*)。這幅畫呈現了對當代自然哲學演講十分理想及浪漫化的形象：一群觀眾圍繞著畫面中央所展示的大太陽系儀，表現出驚嘆、好奇，或沉思的表情。演講者以自信而有權威的姿勢立於中間，身旁並有人筆記演講內容。由於觀眾的人數不多，加上成員有老有幼，這場景應不是典型的

表 1：本文所介紹的三件 NMM/ROG 太陽系儀館藏。

館藏編號	年代	製造者	包含附件	備註
AST1055	1794	W. & S. Jones	地象儀(地球及太陽)	
AST1061	1790 – 1810	William Harris	行星儀(太陽, 水星, 金星, 地球/月球, 火星, 木星/四顆衛星, 土星/七顆衛星, 天王星/兩顆衛星); 月象儀(地球/月球)	底盤印有三組彗星軌道及回歸年份
AST1066	1779	William Lacy	地球/月球, 木星/四顆衛星, 土星/七顆衛星 (原始設計為五顆, 其中一顆現已遺失; 另有兩顆非原始設計, 為後來添加)	土星系統有複雜的齒輪傳動裝置

大眾演講，而是在上流階層家庭的私人家教場景。

哲學演講舉行的場合彈性多變，包括貴族仕紳的鄉間宅邸、咖啡館、儀器製造者的工坊、地方上的哲學學會等。演講的規模也有大有小，可以是十人以內的私人家教，也可能是數十人以上的公開講座。許多公開講座常要求需三十人以上的觀眾預約才會開班授課。整體來說，十八世紀的自然哲學演講還是限於較小規模的觀眾。

Walters(1997)指出天文學在十八世紀自然哲學演講中的興盛是受到當時的雅科學文化推波助瀾。天文學傳統上與人文學科、地理學有所關聯，這些科目都被當代視為培育博雅教養的通才教育一環。另一方面，地理學及天文學知識可以牽涉到航海導航，對於當時正在全球進行帝國擴張事業的英國來說，此實用意圖亦符合其國家利益(Stewart 1992; Walters 1997)。天文學既附庸風雅又實際的特性，使其在當時的上層社會中蔚為風潮。

4、NMM/ROG 太陽系儀館藏

本研究的主要目的即為調查 NMM/ROG 的太陽系儀館藏。最終選取八件藏品作為研究對象，其館內編碼分別為 AST1055、AST1056、AST1058、AST1060、AST1061、AST1062、AST1066 及 AST1068。以下僅就 AST1055、AST1061、AST1066 三件較特別的



圖 4：AST1061，照片中的直尺長度為 30 公分。



圖 5：AST1061 的底盤。讀者可留意在底盤上印有三組彗星軌道。

藏品作詳述，其綜合結果請參見表一的整理。

AST1061(見圖 4)由 William Harris 製作，根據製造者開業的年份及地址考證，其製造時間約在 1790 年至 1810 年間。整套儀器包含木製底盤、可拆卸的行星儀及月象儀配件各一組。行星儀內含太陽、水星、金星、地球及月球、火星、木星與四顆衛星、土星(無環)及七顆衛星、天王星及兩顆衛星。本藏品最特殊之處是在底盤上依序印有各行星軌道及三組彗星軌道(見圖 5)。這三組彗星軌道分別標有

(1759, 1835)、(1105, 1680)、(1661, 1789)的回歸年份，顯示當時的人們認為這是三顆週期彗星。然而據考證，只有第一組軌道正確(哈雷彗星)，第二組為兩顆不同的彗星(X/1106 C1 及 C/1680 V1)。第三組於 1789 年回歸的資訊源自 Nevil Maskelyne 的預測，但後世天文學者亦證實此預測失誤(Kronk 1999; Harley 1705; Maskelyne 1787)。

AST1066(見圖 6)由 William Lacy 製於 1779 年。King(1978)曾提及此儀器，並指出這可能是 Lacy 唯一保存至今的作品。這套儀器包含地球及月球、木星及四顆衛星、土星(有環)及五顆衛星。除了底盤及三根腳柱為木製外，中央盤面及齒輪傳動裝置為黃銅製、行星及衛星球體為象牙製作，比館藏內其餘多數可攜式太陽系儀更加厚重精緻。本儀器最特異之處在於呈現詳細的土星系統，包括較複雜的齒輪傳動裝置及突出的尺寸；相較之下，儀器內的木星系統及月地系統則相對簡陋。這樣的設計可明顯看出作者有意強調土星系統。圖 7 顯示 AST1066 的土星系統細部構造，可看出原始設計中每顆衛星都有獨立的齒輪驅動，並可由齒輪相對位置、連接臂長，對應實際衛星順序而知每顆球體代表的衛星。此儀器特徵符合 Lacy(1777)的自述中提及的產品：

由 William Lacy 發明、製造及銷售的哲學儀器，在倫敦近 Long Acre, New Broad Court 對面, Drury-Lane 145 號自宅展售。

[...] 月象儀價格 5 至 10 基尼，展示出土星環及五顆衛星的所有天象，就如同每一年從地球及太陽觀測。(Lacy 1777)

Lacy 亦在該著作中批評當時的太陽系儀皆不能滿足教學需求，促成了他發明此種設

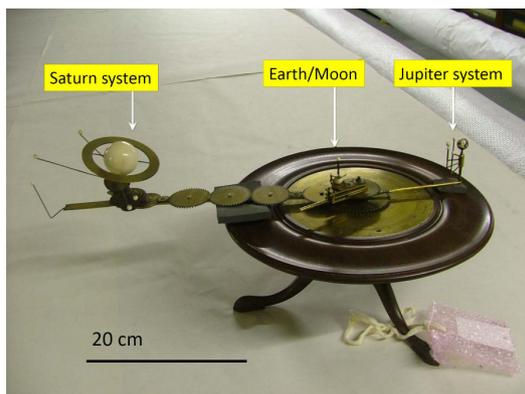


圖 6：AST1066，照片中並特別標明土星系統、地球、木星系統三個部份。

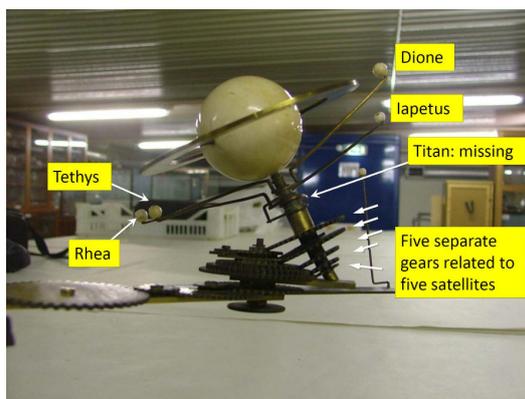


圖 7：AST1066 的土星系統細部，讀者可留意其複雜的齒輪傳動裝置。



圖 8：AST1055。

計。從此段自述即可佐證 AST1066 設計用途即專為教學演示：

因此，為了嘉惠年輕學子，我將太陽系巨觀描述，以一種新而實用的方法展示；從地球的觀點，以及所有行星的世界，以適當的比例表現與太陽以及彼此間的距離，就有如真實世界本身。(Lacy 1777)

另一個明顯作為演示用途的藏品是 AST1055(見圖 8)。年代約 1794 年，由 W. & S. Jones 製造。在本次調查的可攜式太陽系儀中，AST1055 的尺寸巨大且作工精緻。包括臺座、腳柱、地象儀裝置皆為黃銅製；在鼓狀臺座內可能亦有齒輪傳動裝置。其高聳的直立設計，非常適合使用於有許多觀眾的演示場合。

5、討論：寓教於樂

Lightman(2007)曾指出成功的科學講師必需兼顧娛樂及教學。雖然 Lightman 的評論是針對十九世紀的大眾演講，但同樣的原則仍可適用於其他時代。今日從事科學傳播工作者常遇到此兩難困境：如何在科學準確性及表演技巧(showmanship)兩者間取得平衡？換言之，清晰易懂之餘又要能引人入勝，是科學傳播工作的一大挑戰(Davies 2008; Gregory and Miller 1998)。因此我們也可用寓教於樂的標準去檢視太陽系儀在十八世紀大眾自然哲學演講中的角色。

無論太陽系儀有多少不同複雜程度的衍生型態，本質上它就是太陽系的模型。對科學史及科學哲學研究來說，模型是真實世界的簡化，是介於理論與自然現象間的中介物；或者說，理論可以被詮釋為許多不同模型的集合。模型具備許多在教學上的優點：可被預先佈置及化繁為簡的便利性、能輕易展示複雜的空間關係、能視需求操作及拆卸(Hopwood and de Chadarevian 2004)。因此，雖然模型的準確度

無法完全反映真實世界，在教育功能上仍然廣受歡迎。

太陽系儀擁有先天上的限制。其中最大的缺陷在於無法呈現真實的等比例行星尺寸及行星間距離。另外在太陽系儀中的天體運行軌道為同心圓形，也與實際的偏心橢圓軌道不符。當代的人也嘗試針對這些缺陷作改進，例如 Lacy(1777)的等比例土星系統模型、Desaguliers 可表現橢圓軌道的彗星儀(cometarium)等(King 1978; Morton and Wess 1993)。

儘管有這些缺點，太陽系儀的教育功能無庸置疑地受到當代輿論的肯定。例如當代作者 William Deane 在介紹大太陽系儀時，下列的正面評價即為代表：

那些樂於學習天文學及地理學的紳士淑女們，藉由觀看這部壯觀的機器，將能領會由組成太陽系的眾多天體之運動所造成的天上自然現象原理；也將能靠寥寥幾場演講就比一整年的苦讀學習來得獲益良多。(Deane 1738)

理性的休閒娛樂在啟蒙時代的上流社會文化佔重要一部分。藉由參與如演講及社交談話等知性活動，啟蒙時代社會中上層人士希望能建立一種有教養的社會形象，以區別於世井小民的俚俗文化。

這種理性娛樂與文化教養的連結，可以從許多當代作者的著作中略窺一二。例如 Benjamin Martin 的科普通俗著作《年輕紳士及淑女的哲學》(*The Young Gentleman and Lady's Philosophy*)，就採用傳統的對話錄形式，以一對兄妹的文雅交談為主軸展開其介紹科學新知的內容。書中，Cleonicus 為學識淵博的兄長，教導其妹 Euphrosyne 自然哲學知識。在

介紹太陽系儀的章節，兩人的對話如下開展：

Cleon. [...] 因此我們已說明了這麼多關於天球的學問，現在必須讓妳對地球儀及太陽系儀有正確的認識，這將會進一步闡明及增強之前的所學，並讓妳更容易領悟及熟悉。Euphros. 親愛的 Cleonicus，你真令我感激歡喜；我期盼那些儀器登場已久：祈求，接下來我們從哪一項開始進行，是地球儀，還是太陽系儀？

Cleon. 太陽系儀，我的 Euphrosyne；我這裡已準備好一組儀器來教學，這將會在接著的閒暇時間提供妳愉快的娛樂。(Martin 1759)

我們可明顯地看出作者欲在字裡行間傳達一種文化教養，並希望讀者能將太陽系儀與一些諸如「愉快的娛樂」、「閒暇時間」的輕鬆情緒互相連結。Martin 的行文風格忠實地反映出一種啓蒙時代知識份子眼中的理想樂趣，而此種樂趣可從自然哲學演講、儀器展示等理性休閒娛樂中獲得。

6、結語：承先啓後

本研究以 NMM/ROG 的太陽系儀館藏為主，探討太陽系儀在歷史及文化上的脈絡，並連結到十八世紀英國的大眾天文教育。NMM/ROG 的館藏可為太陽系儀的教學功能提供良好的佐證，例如 AST1066、AST1055 等大型可攜式太陽系儀。其餘較小型的收藏品，雖然不太可能被使用在公開的演示場合，但仍可能在家庭內供私人家教使用，因此仍有其教學演示價值。

現代天文館使用的光學投影式星象儀最早於 1923 年問世，由蔡司公司(Zeiss)為慕尼

黑德意志博物館(Deutsches Museum)設計打造(King 1978)。在光學投影式星象儀於二十世紀興起之前，機械式的太陽系儀始終為重要的天文視覺教具。太陽系儀經過長期改良及演化，亦衍生出適合不同場合的類型。即使當首座光學投影式星象儀問世，機械式太陽系儀仍未被捨棄；天花板行星儀(ceiling planetarium)在當時仍在許多博物館建造使用。我們可將天花板行星儀視為從機械式至投影式間的過渡：它仍是機械式驅動，但尺寸大到佔據整個房間，完全是為展示用途所打造，給觀眾帶來的視覺效果不亞於今日的投影式星象儀。

今日太陽系儀亦非被時代淘汰的落伍產品；其將天文現象視覺化的演示精神仍歷久彌新，為投影式星象儀及各種模型、動畫所傳承。即便不需複雜的技術，這種演示效果仍能應用在現代的天文教育上：英國北愛爾蘭阿曼天文台(Armagh Observatory)的「人力太陽系儀」(The Human Orrery)即為範例(Bailey et al. 2005; Asher et al. 2007)。人力太陽系儀藉由觀眾親身扮演眾天體，可在互動中學習太陽系天體運動。關於阿曼天文台人力太陽系儀的詳細資訊可參見其網站：

<http://www.arm.ac.uk/orrery/>。

總而言之，太陽系儀於十八世紀雅科學文化的脈絡下開始發展，在急速興盛的儀器製造行業與自然哲學演講推波助瀾下，持續流行至二十世紀初，為當代的天文教育者倚重的視覺教具。其在天文教育上承先啓後的重要角色，不容現代的科學史學者及天文教育者忽視。

Acknowledgement

This study was under the internship project granted by the National Maritime Museum/Royal Observatory, Greenwich, from 7 June to 9

July 2010. During the internship, Dr. Gloria Clifton, Dr. Rebekah Higgitt, and Dr. Richard Dunn, had kindly provided professional commentaries to this study. Ms. Janet Small had given important administrative support to this work. This project was also a part of my master degree dissertation in the University of Kent. Dr. Don Leggett, my dissertation supervisor, also gave comments to the draft of my thesis. Dr. Charlotte Sleigh and Dr. Dan Lloyd, my tutors in the University of Kent, supported and encouraged my work. Here I would like to present my everlasting gratitude to all of the people above.

參考文獻

- Asher, D. J. et al., 2007, *Astronomy Education Review*, 5, Issue 2, 159.
- Bailey, M. et al., 2005, *Astronomy & Geophysics*, 46:3, 31.
- Bennett, J., 2006, *History of Science*, 44, 247.
- Davies, S. R., 2008, *Science Communication*, 29, 413.
- Deane, W., 1738, *The description of the Copernican system, with the theory of the planets*.
- Gregory, J. and Miller, S., 1998, *Science in Public: Communication, Culture, and Credibility*, Basic Books.
- Halley, E., 1705, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 24, 1882.
- Hopwood, N. and de Chadarevian, S., 2004, Dimensions of Modelling. In *Models: The Third Dimension of Science*, ed. Soraya de Chadarevian and Nick Hopwood, Stanford University Press.
- King, H. C., (in collaboration with Millburn, J. R), 1978, *Geared to the Stars: the evolution of planetariums, orreries and astronomical clocks*, University of Toronto Press.
- Kronk, G. W., 1999, *Cometography*, volume 1: Ancient-1799, Cambridge University Press.
- Lacy, W., 1777, *An Introduction to Astronomy, by which the knowledge of the solar system is rendered extremely easy to youth, and those who have not studied mathematics*.
- Lightman, B., 2007, Lecturing in the Spatial Economy of Science. In *Science in the Marketplace: Nineteenth-Century Sites and Experiences*, ed. A. Fyfe and B. Lightman, University of Chicago Press.
- Martin, B., 1757, *The theory of comets, illustrated, in four parts*.
- Martin, B., 1759, *The Young Gentleman and Lady's Philosophy*, Volume I (First commencing in 1755).
- Martin, B., 1762, *The description and use of both the globes, armillary sphere and orrery*.
- Maskelyne, N., 1787, *Gentleman's Magazine*, 57, 59.
- Millburn, J. R., 1973, *The British Journal for the History of Science*, 6, 378.
- Morton, A. Q. and Wess, J. A., 1993, *Public and Private Science: The King George III Collection*, Oxford University Press.
- Taylor, K., 2009, *Studies in History and Philosophy of Science*, 40, 360.
- Turner, G. L'E., 1987, *The British Journal for the History of Science*, 20, 377.
- Stewart, L., 1992, *The Rise of Public Science: Rhetoric, Technology, and natural Philosophy in Newtonian Britain, 1660- 1750*, Cambridge University Press.
- Walters, A. N., 1992, *Tools of Enlightenment: The material culture of science in eighteenth-century England*. Ph.D. dissertation.
- Walters, A. N., 1997, *History of Science*, 35, 121.