科學教育學刊
2013, 第二十一卷第三期, 317-344
DOI: 10.6173/CJSE.2013.2103.04

Chinese Journal of Science Education
2013, 21(3), 317-344

國小學童月亮數位遊戲學習之發展與學習成效之評估

廖家瑜[1]　連啟瑞[2]　盧玉玲[2、*]

[1]臺北市立西松國民小學
[2]國立臺北教育大學 自然科學教育學系

摘要

月亮相關概念之教與學是小學自然科中的一項困難課題。本研究旨在發展一個能作爲小學月亮單元延伸學習之數位教材與教學模式，以有效增進學生月亮及相關概念的理解。本研究自行研發3D月亮數位遊戲，結合教學學習活動單來引導學生進行探究，從而評估教學成效。研究對象爲國小四年級學童2班共60人。教學工具包括自行發展的3D月亮數位學習遊戲軟體(3D Educational Game-Fly to the Moon, 3DEG-FM)及活動單，供學生進行延伸教學；評量工具則包括自編的「月亮概念成就測驗」、「月亮實作評量」、「半結構性晤談」，用以評估學童學習成效與此輔助學習教材的適用性。結果發現，進行月亮數位遊戲延伸學習，不論是以傳統紙筆評量或實作評量觀察，學習成效皆顯著優於使用一般教學的學生。此顯示本研究發展之三維度月亮數位遊戲輔以學習活動單之教學可適合國小四年級的學生使用，學生能在高學習動機中，藉由模擬各種視角觀察，從擬真中獲得天體間之相互運動關係的直接經驗並形成概念，適宜作爲國小月亮單元課程後的延伸學習。

關鍵詞：月亮、延伸學習、數位遊戲、學習成效、學習單

壹、緒論

自古以來，天文學一直是人們研究的重要科學並且和生活密切相關。微而言之，例如農夫的耕作要配合季節的變化；海上的漁夫需要觀看星象來判斷方位、個人的出入行止也要顧慮各種曆法節氣；古人甚至相信天象就是國家社稷命運，故重視太陽、月亮的運行，日食、月食的推算、乃至金木水火土等等星體的運行。天文的想像、觀察、理解和好奇，是人類發展史中的一部分，也常是個人內在想要探尋的一項主題。

1969年7月16日，在全世界的注目之下，人類首次登陸月球，樹立太空探險的新里程碑。而今，不僅是成年人，即便是中、小學生對天文也充滿好奇，課堂中經常可以聽到學生討論天文的問題(Sherrod & Wilhelm, 2009)，例如：「爲什麼天黑？」、「月亮爲什麼會有圓缺？」、「日落就會月升嗎？」、「宇宙有多大？」、「黑洞是什麼？」等等。此類的問題有一個特徵，就是

*通訊作者：盧玉玲
(投稿日期：民國101年6月20日，修訂日期：民國102年1月7日，接受日期：民國102年2月7日)

問題常見，但包含的概念卻不易爲人理解！是以有關日、月、地、星球、宇宙的迷思概念普遍存在於小學生(Jones, Lynch, & Reesink, 1987)、中學生到大學生(Lelliott & Rollnick, 2010; Trumper, 2001a, 2001b)；國內一些研究也指出，學生對於天文，例如月相的成因等，也有許多的迷思概念(王美芬，1992；姜滿，1993)。其實，不只學生如此，擔任教學的老師也有同樣的困惑並感到教學不易(王美芬，1994；Trundle, Atwood, & Christopher, 2007)。

研究者之一在國小擔任自然科教師多年。進行「月亮」單元教學時也發現到，包括：學生的迷思概念、學校環境各項教學條件的限制、主題概念本身的抽象性格等等，都是可能造成施教困難、學習成效不佳的原因；再加上月亮單元教學，常因光害、天氣、高樓、安全、耗時等等問題，使得此一主題的探究成爲紙上談兵，缺乏實效。

爲了彌補這實境上難以克服的困難，各種圖片、動畫、影片、模型等等教學媒體也常被使用。在相關教育單位的資源網站就常可取得教學輔助媒材，其中，臺北市多媒體教學資源中心(2012)就是其一。雖然這些資源庫中已有一些教材可供選取運用，但可惜的是，這些教材因多是教師獨力編製，而仍多以2D的PowerPoint或Flash呈現，缺乏3D虛擬實境設計，提供學生真實體驗學習。對於2D和3D圖像，Parker與Heywood (1998)很早前即主張用2D的圖像不足以有效呈現3D空間概念；Mintz, Litvak與Yair (2001)更進一步認爲必須從不同的3D空間感來設想物體(如日、月、地)相對位置的變化和事件(如月相、日食)的關係，方能有效習得主要概念。基此，一些後續研究亦發展若干3D數位模擬或教學的教材(王聖閔，2007；吳再福，2005；吳延慶，2008；Chen, Yang, Shen, & Jeng, 2007)，但這些系統，或較適用於國中以上的學生使用、或其爲單機版本無法隨時取得；更重要者，這些設計對於引導學習最重要的主動探究之設計，普遍較爲不足。因此，發展能配合國小課程教學與學生操作使用，並能讓學生願意主動探究進行學習的3D月亮數位學習教材，具有相當的必要性。

綜合上述背景，本研究將採用數位遊戲的形式提供學生主動探究的情境，進而設計適合國民小學自然科教學使用之3D月亮數位遊戲學習軟體(3DEG-FM)，並進行引導式探究教學。教學前後，以紙筆測驗與實作評量來觀察學生之學習成效，以作爲評測此新教學模式的依據。

綜上所述，本研究除發展3DEG-FM數位遊戲學習軟體外，研究目的有二：

一、了解以3DEG-FM數位遊戲進行延伸學習後，對學生在概念評量與實作評量之成效。

二、了解學生使用3DEG-FM數位遊戲學習之學習方式與對此軟體與學習方式之評價省思。

貳、文獻探討

一、數位遊戲與學習

學習的科學(learning science)中，一個重要的成分，就是在發展能促進有效學習的學習環境(learning environment; Sawyer, 2006)。建構主義觀點亦強調學生在環境中進行主動學習，才能激發較高學習動機，進而產生有意義的學習。因此創發能讓學習者主動參與的學習環境，一直是教育研究重要課題，而數位遊戲就是一個可以提供這樣學習環境的

方式。Cheng, Annetta, Folta與Holmes (2011)等人在討論爲何研究者將數位遊戲運用於教學時，一方面強調電腦的虛擬實境可提供真實世界的模擬，促進學生學習；另一方面更引述Vygotsky (1978, p. 96)「遊戲對小孩的發展有重大的影響」的觀點，強調遊戲不僅影響兒童的社會和情緒發展，同時也影響其認知發展，主張數位遊戲具有激發學習之功能。Collins (2006)也曾以任務導向的情境式學習爲例，將認知的技巧(cognitive skills)和知識隱含於情境中，讓學習者在情境中不僅習得知識並學習到運用知識的能力。數位遊戲爲可提供情境式學習之一種工具，其可產生各種學習情境，讓學習者進行模擬或角色扮演，讓學生能有做中學的學習環境。

Prensky (2005)曾從社會變遷的角度來論述數位遊戲學習的時代意義，他除引述文獻強調遊戲是人腦偏好的學習方式外，並提出兩個論點：1.由於社會環境的變遷，學習者的本質已然改變；2.已發生本質改變的學習者，需要的是符合其新本質的學習方式。他認爲現在的學生，可被稱爲是：「電腦、電玩與網路爲母語的數位移民」。他們思考、資訊處理方式、學習情緒等，都和傳統的學習者不同。Prensky (2007)更進一步提到數位遊戲學習能吸引學習者的原因，在於其具有以下特性：娛樂性、遊戲性、規則性、目標性、人機互動性、結果與回饋、適性化、勝利感、衝突競爭性與挑戰性、問題解決、社會互動、圖像與情節性。數位遊戲學習，提供新一代的學習者在符合其思考、資訊處理方式與學習情緒的環境中進行探究與學習的新可能；同時也爲傳統的教學模式加入新的成分。

二、國小學童「月亮」的迷思概念與教學

關於月亮迷思概念的相關研究相當多，不僅有針對不同對象的研究：例如從中、小學生(王美芬，1992；Baxter, 1989; Jones et al., 1987; Küçüközer, Küçüközer, Yürümezoğlu, & Korkusuz, 2010; Trumper, 2001b)、至大學生(Trumper, 2001a)、與職前教師(王美芬)等等；還有針對知識來源，例如，教科書中的迷思概念(King, 2010)或其他的媒體資源等等向度進行研究。

王美芬(1992)指出學生之天文迷思概念生成原因之一，可能來自於老師本身即具有迷思概念，其後續研究亦發現職前教師的月相錯誤概念極多(王美芬，1994)。教師擁有相當的迷思概念，加上學童的認知成熟度與教師的教學策略無法配合，以致學習複雜的太陽、地球、月亮運轉等概念時，有所困難。這造成整個社會中，從兒童到甚至成人中菁英份子，都難以理解或解釋月相的成因及相關的天文現象(王美芬，1992；李曉雯，2001；陳彥廷、陳穎志，2008；Baxter, 1989; Trumper, 2001a; Trundle et al., 2007; Wilhelm, 2009)，對於生活中熟悉的月亮，認識上多是處在一種霧裡看花的境界。

對小學生而言，國內相關研究(蔡名杉，2005)指出其迷思概念主要在兩方面，一爲月相的成因、二爲月亮出現的時間。在月相成因方面的迷思概念包括：1.地球遮住照在月亮上的太陽光；2.反射太陽光的面積；3.雖以位置角度來解釋月相盈虧，但月球所在位置對應的月相並非完全正確等。另外，在月亮出現時間方面的迷思概念則包括：1.無法由日期預測月相或由月相預測日期；2.無法正確預測每日、月出時間和位置等。國外的學者Dunlop (2000)也發現學生會以爲地球的影

子造成月亮的陰影(和月食的概念混淆)，或以爲同一天中可以從不同的城市看到不同的月相，對照相關研究中迷思概念和困難的所在，發現具有共通的現象(Lelliott & Rollnick, 2010)。

目前，國民中小學〈九年一貫課程綱要—自然與生活科技學習領域〉三、四年級的學生僅止於觀察並記錄月亮東升西落及月相，到了第四學習階段才進入太陽、月亮、地球的相對運動關係的學習(教育部，2008)，故目前國小階段學生的學習，都被從地面實際觀察的天文概念所限制，而缺乏星體在宇宙中實際運行的概念學習。然而，實際的小學教學中無可避免的必須討論到這些星體的存在與相互的運動；因此，許多學校都需用到類似圖1的掛圖教具或種種方式來增進學生的理解。

此現象應該是很自然的，由於學校並非是資訊來源的唯一場域；月相與相關天文現象是受日、月、地相對運動造成的這一個概念，在卡通、電影、電視、新聞、或日常對話中，不時的出現，其中還充斥著許多的錯誤概念訊息(Trundle, Troland, & Pritchard, 2008)。因此，小學教學中如果不對此正面看待，而僅將這議題避而不談，讓學生只因爲

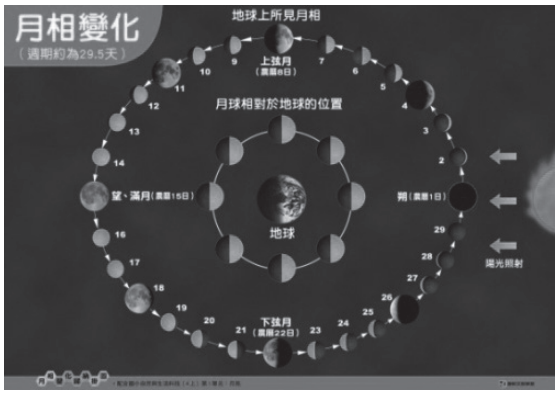

圖1：國小常使用之月相變化歸納掛圖

課綱條文而需在多年後的第四學習階段才能再行探討，此恐會造成科學好奇消退、迷思概念繼續蔓延；此應是不符合學習的真意。揣度課綱的設計，將月亮相關概念予以延宕的主要原因應該是從皮亞傑的認知發展學說(Piaget, 1972)來考量，而認爲學生的發展階段尚不宜進行此相對運動的學習。但從教學實務研究資料顯示，這個發展界限是模糊的(Indiana Department of Education, 2010; Isik-Ercan, Kim, & Nowak, 2010; Young & Guy, 2008)；再從認知發展之理論研究探悉，學生的發展情形和皮亞傑當初的年齡劃分已有差異的看法，越來越普遍的被提出。皮亞傑四個階段和年齡的一對一關係，受到重新的檢視，如許瑛玿與洪榮昭(2003)即提出對認知發展階段的新詮釋，以認知的比例模式說明學生在任一年齡階段都可能具有此四種認知發展的能力。透過適當的觀察與心智建構歷程(陳翠雯、侯依伶、劉嘉茹，2010；Subramaniam & Padalkar, 2009)，學生應可以進行概念澄清與轉化並習得所需的科學能力。因此，若能有適當的教材與教學來協助學生學習，或許將能解決月亮相關重要概念的問題，進而促使深化而且有效的學習發生。

三、相關天文觀測軟體

由於月亮單元輔助教材的不足，研究者參考相關文獻並搜尋適合國小教師使用的教學輔助天文軟體，以作爲發展3D教學系統之參考。常見的天文觀測軟體包括Stellarium, Sky Charts與Google Earth 茲分述如下：

Stellarium (Chéreau, 2012)是一套開放原始碼的免費星圖軟體，讓使用者可以在電腦螢幕上享受一個超逼真立體星空。可用於國小觀察星星的單元教學中由教師展示使用，

內容包含逼真的星空模擬及星座圖像顯示，但功能複雜，缺乏教學引導，不適合四年級學生獨立操作學習。

Sky Charts (Anonymous, 2012)軟體可以用以畫星圖、顯示行星、小行星和彗星的位置等數據。軟體中包含大量的參數有助於選擇恆星和星雲，並且顯示各種標籤和坐標網格，也可將這些圖片疊加起來，綜合表現，但此軟體功能多且操作不易，僅較適合天文專家使用或在課堂上教師介紹星空使用。

Google Earth (Google Co. Ltd., 2012)可以觀看衛星圖像、地圖、地形圖、3D建築物，從外太空的星系到海洋深處的峽谷。其中包含的Google月球，可以探索月球表面，甚至還有阿波羅任務的模擬動畫。其容易操作，可探索月亮表面，包含阿波羅任務的照片、影片及動畫模擬，適合教師演示太空人登陸月球的狀況，本軟體主要功能偏重導覽，而非用於學生學習與課堂教學。

綜合以上，現有各種天文軟體皆有其特色，教師可按照各種天文軟體的特性來進行教學的演示輔助，但這些天文軟體無法顯示月亮的轉動方式及月、日、地的相對運動，若能設計出一天文軟體可像Stellarium一樣模擬逼真立體星球，並改爲可從各種不同角度觀察月亮，如Google Earth一樣可以讓學生近距離觀察月球表面及太空人，並讓學生操作太空船在太空中自由飛行探索，應能增進學生的學習興趣與成效。

四、「月亮」單元應用數位學習的相關研究

有關月亮單元的研究很多，由於數位學習是未來趨勢，故近年來應用數位學習以提昇月亮單元的教學也越來越受到重視(National Science Teachers Association, 2010)。在國內，古仁元(2004)以國小四年級學生爲研究對象，並以國小月亮盈虧爲內容設計網路教學教材網站，其研究結果顯示，透過此網路式的數位學習方式能達到和傳統教學一樣的成效，並具有顯著較佳的概念保留，顯示出以網路作爲四年級學生的學習平台具有可實現性。

另外蔡孟雄(2009)以國小四年級學生爲研究對象，研究線上學習型遊戲融入教學對國小四年級學童月亮概念學習暨迷思概念改變的影響，發現線上學習型遊戲融入教學對國小學童月亮概念學習有顯著的效果，且國小學童對線上學習型遊戲持正面的看法。

由於國小課程原僅重視學生在地面上的觀察，學生對於月亮和地球在宇宙中實際的運轉情形並不瞭解，導致學生不得不從觀察的有限資訊去推測月亮和地球的運動關係，學生在月相的成因及月亮出現的時間等學習常有極大的困擾，所以有許多研究採用3D虛擬技術以協助學習。以下，分析各發展之軟體與相關研究，如表1。

此外，一項研究曾評析過幾種用於日、月、星、地的常見虛擬實境教學軟體，其中包括：Round Earth Project, Virtual Solar System, Virtual Physics and Astronomy和AstroTour等，基於可得性、可操作性、教學合適性以及學習引導性等的不足，該研究發展了一項模擬地球運動的3D系統(Desktop Virtual Reality Earth Motion System, DVREMS)，並以單組前、後測之實驗設計進行學習成效之檢證，此DVREMS雖然包含了太陽與地球之運動，但並未涵蓋到月相與相關天文之教學(Chen et al., 2007)。

綜上文獻之探究與評析，基於月亮單元與相關天文之教學之需求，發展一個數位教學軟體，以3D虛擬實境的網路平台建立合於

表1：使用虛擬實境的月亮輔助教學設計

研究主題	研究者	軟體特色	備註
月亮和太陽星象的全球觀測之虛擬實境教學系統設計	吳再福(2005)	利用3D虛擬實境建立一個超越時空不受天候和時地的影響，可在PC單機操作的互動型軟體「月亮和太陽星象的全球觀測之虛擬實境」。	僅能單機操作，學生無法利用網路進行線上學習。
建置國民中小學觀測月亮、太陽運動之虛擬實境模型研究	王聖閔(2007) Sun, Lin, & Wang (2010)	太陽、月亮、地球實際相對運動參數實做出可用於太陽、月球、地球相對運動位置的觀察、月相的變化、太陽位置及軌跡觀測的虛擬實境模型。	國小學生操作較爲困難，無法獨自進行操作學習，部分的專業名詞遠超出國小四年級學生能理解的範圍。
國小自然與生活科技領域虛擬實境網路數位教材開發與設計—以「月亮迷思概念教學網站」爲例	吳延慶(2008)	以個別的迷思概念爲單位，發展教學單元(例如模擬：「月亮會公轉也會自轉嗎？」、「月亮不斷繞行地球嗎？」等十個概念)，供學生澄清概念，所建構成的虛擬實境網站。	因所設計之學生學習係針對所列出之各單一迷思概念進行。對各迷思概念之個別學習是否爲達成整體概念之充分條件，尚待加以探討。

教學知識架構的引導探究，提供學生在目前課程綱要的基礎上進行延伸學習，具有重要性和可行性。

參、研究方法

一、研究設計

本研究採用準實驗研究法進行研究設計並輔以質性資料，研究之進行初期廣泛蒐集相關文獻資料，經過分析、整理，以形成研究主題，並藉由蒐集和研讀文獻資料，對於國小學童月亮迷思概念能更進一步地瞭解，隨後尋找相關之數位教材，惟因未能找尋到適合的月亮數位學習教材，故在發展階段中，依據月亮、地球、太陽運轉的模型設計「月亮數位遊戲學習網站」。爲瞭解學生是否能透過此遊戲學習來提升學習成效，編製「月亮概念成就測驗」(the Concept-Learning Assessment on Moon, CLAM)、「月亮實作評量評分表」(the Performance-Learning Assessment on Moon, PLAM)，並擬定「月亮數位遊戲半結構式晤談大綱」(the Semi-structured Interview on Learning with 3D Educational Game-Fly to the Moon, SIL-3DEG-FM)以便進一步瞭解此遊戲是否適合學生使用。

本研究之實驗設計如表2：本研究中學生學習月亮相關概念之教學歷程，可概分爲兩階段，第一階段基本教學(實驗預備教學)，每週3節課(1節課40分鐘)，歷程四週的學習，教學內容與教學方式則配合學校用書；第二階段延伸教學(實驗處理)部分，每週3節課(1節課40分鐘)，歷程一週。主要在進行實驗組和對照組的比較教學並觀察兩組學生的學習成

表2：實驗設計表

組別	實驗預備教學	前測	實驗處理	後測
實驗組	基本教學	O_1, O_2	X	O_1, O_2, Interview (*)
對照組		O_1, O_2	C	O_1, O_2

註：(*)：O_1, O_2, Interview分別表示：「月亮概念成就測驗」、「月亮實作評量」、「月亮數位遊戲半結構晤談」

效差異。

在資料蒐集部分，基於研究目的之需要，於實驗處理階段之前後實施，以「月亮概念成就測驗」、「月亮實作評量」並蒐集相關資料之後進行月亮數位遊戲活動，實驗教學結束後進行後測，以便進行統計分析。最後，在資料分析階段中，依據測驗結果以SPSS12.0版進行*t*檢定和共變數分析，並根據晤談蒐集的資料進行分析，而據以作成研究結論與建議。

二、研究對象與教學處理

本研究爲瞭解學生透過月亮數位遊戲學習後的學習成效，故以臺北市松山區某國小四年級兩個班級共60位學生爲研究對象，其中一個班級作爲實驗組，男生14位，女生16位；另一個班級作爲對照組，男生16位，女生14位，爲便利取樣。兩班皆由同一位研究者擔任授課，研究過程中，皆未向學生標識實驗組或對照組，以避免霍桑效應與強亨利效應；同時藉由同一教學者來進行兩組教學，減少變異因子。質性研究的部分，在實驗組中，依據學生在「月亮概念成就測驗」及「月亮實作評量」中，學生在此兩項成績的進步量總和由高、中、低各取4名，共12名進行半結構性晤談。

本研究中教學歷程，分爲兩個主要歷程階段。第一階段是基本教學，主要在提供兩組學生相同之月亮學習的基本經驗。此階段之基本教學，即是一般國小學生學習此單元的相同學習經驗。在此第一階段基本教學實施中，實驗組和對照組皆進行相同的教學，教學期程如一般現行國小教學實施，總共歷程四週，每週3節課。教學內容與教學方式則配合學校用書、參照某版教科書及其教學指引進行，課堂教學主要藉投影電子教科書內容進行講解、補充、討論。兩組學生在月亮單元中之學習機會應能視爲相同。

第二階段延伸教學部分，主要在進行實驗組和對照組的比較教學並觀察兩組學生的學習成效差異。兩組之教學內涵與教學時數相同均是3節課，但教學呈現與實施方式不同。實驗組的學生透過3DEG-FM數位遊戲學習輔以學習活動單進行引導探究教學，對照組則以圖卡與PPT的方式由老師依照傳統教學的模式進行。實驗組與對照組教學方式比較如表3。

三、研究工具與資料分析

本研究所使用的工具包括：自編「月亮概念成就測驗」(CLAM)、「月亮實作評量評分表」(PLAM)、「月亮數位遊戲半結構晤談大綱」(SIL-3DEG-FM)。前兩項用以收集量化資料，後一項收集質性資料。量化資料係以SPSS軟體進行分析。

「月亮概念成就測驗」以實驗組與對照組活動中共同學習的概念來設計，概念內容包括了「一、太陽和月亮的外觀」、「二、地球的自轉」、「三、月亮的自轉、公轉」、「四、日、地、月的相對運動」、「五、月亮盈虧日期」、「六、月亮起落時間」。編擬26題，每題1分，滿分26分，在題目修訂過程，因預試學生須學習過月亮單元，而四年級學生部分班級尚未完成學習，故以五年級115位學生進行預試，依據預試結果，採難易度、鑑別度分析來增刪題目，並進行庫李信度(KR20)得到$\alpha = .82$，符合本研究所需。

「月亮實作評量評分表」的編制，在了解學生透過月亮數位遊戲的學習之後，是否能夠提升操作地球及月亮模型來演示星體運動狀態的能力，其中實作內容包含：

表3：月亮教學實施方式對照表

教學階段		實驗組	對照組
一、基本教學	教學內容	兩組同，如：某版教科書	
	時數	兩組同，每週3節課，共四週，兩組均爲12節課	
	教學方式	兩組同，均參據教學指引實施	
二、延伸教學	課程內涵	兩組同，主要是基本教學階段未涵蓋，但與月亮學習有關之重要概念內容	
	教學時數	兩組同，均爲3節課，共120分鐘	
	教材來源	研究者自行彙總研發	研究者自行彙總研發
	教學資源	3D月亮數位遊戲學習(3DEG-FM)軟體＋學習活動單	相對位置圖卡、月相的變化圖卡、投影片
	教學方式	1.教師示範月亮數位遊戲操作方式 2.學生自行操作月亮數位遊戲 3.教師配合學習活動單提問 4.學生討論、發表 5.學生完成學習活動單	1.學生報告月亮觀察記錄結果 2.教師教學、配合學習活動單提問 3.學生討論、發表 4.教師以月亮圖卡說明 5.學生完成學習活動單
	教學硬體	電腦(每生一台)	投影機、電腦
	教學地點	電腦教室	一般教室

「一、地球的自轉」、「二、月亮的自轉與公轉」、「三、月相的變化」、「四、日、地、月的相對運動」等四項重要的學習關鍵。「月亮實作評量評分表」設計初稿完成之後，先由專家進行效度檢視，再與兩位國小現職的資深自然科教師針對評量內容共同研討評量的可用性、適切性，並進行討論修訂。

在本工具的信度部分，因考慮教學評量如採用觀察法、判斷法、或評定量表法時，評分結果均有可能受到評分者的主觀判斷與意見的影響，此部分應採用評分者信度以估計數位評分者間評分結果的一致性。本研究之實作評量評分採用觀察法之三點評定量表，故亦進行信度檢核，檢核方式採用評分者間的評分信度係數。作法上是採用事先錄製五位不同程度學生的實作評量過程，並請三位老師進行評分，評分者間進行同質性信度檢核(余民寧，2002)，所得之評分者內部同質性信度(coefficient of homogeneity)平均值爲.94，符合本研究的需要。最後版本共有18個實作評量項目，滿分爲36分。

「月亮數位遊戲半結構式晤談大綱」之發展部分爲事先完成晤談大綱初稿，再由兩位資深自然教師及專家提供意見進行修改完成後使用。本研究中8題訪談題目分爲三類，其中包括：一、遊戲學習歷程與知識建構6題；二、模擬與實境的連結與認別1題；三、對數位遊戲學習的興趣1題。其中，第一類6題中，則包括，1.月亮的光源；2.日、地、月相對大小；3.地球自轉；4.月球自轉、公轉；5.月相與日期；6.月亮盈虧。學生的晤談結果經過基本資料編碼、分析，並據以形成結論。

爲了幫助對照理解，歸納整理研究內容的對照表，如表4。

四、「月亮數位遊戲學習」教學設計

本研究所使用的數位遊戲學習系統係由研究者自行開發，開發過程中使用到的技術包括，課程設計、3D建模、介面、程式設計等等理論與技術。本系統使用3DS Max與Virtools兩項軟體來做系統開發，分別作爲3D

表4：目的、對象、資料蒐集與分析方法對照表

研究目的	研究對象	資料蒐集	分析方法
不同教學法對學生月亮學習成就之影響	對照組、實驗組	「月亮概念成就測驗」前、後測 「月亮實作評量」前、後測	成對樣本*t*檢定、共變數分析
學生對月亮數位遊戲學習之評價與省思	實驗組	半結構式訪談	質性分析

模型的建模和用以驅動模型之運作。

為使專案開發之成果確能配合國小月亮單元的教學使用需要，本研究採用ADDIE模式的教學發展模式，其步驟如下：「1.分析」(Analysis)、「2.設計」(Design)、「3.發展」(Development)、「4.建置」(Implement)、「5.評鑑」(Evaluation)五階段(Lohr, 1998; Wang & Hsu, 2009)。以下，分別說明之：

在「1.分析階段」中，研究者首先分析學生之認知、迷思概念、操作能力、預期成果等，並評析國小課程的內容，發現學生之天體概念係以「月亮」為核心概念進以延伸，從觀察到的月相、相對應的農曆日期、進而瞭解時間與月相和位置變化的現象，而後推導出在月球公轉時，受光面與觀察角度之關係可造成月相的變化，最後再建構成日、地、月相對運動模型，並解釋盈虧現象。本部份課程中原可在未來之學習階段進行學習，但考量學生觀察完月相後，常提出月相為何會改變等等的問題，依據九年一貫課程總綱中教材選用編輯的精神並考量國小教學實務上教師也常會以圖卡的方式進行說明，因此本研究在教學內涵採取深淺兼容的設計方式，提供學生廣泛學習的機會。

在「2.設計階段」中，研究者對學習目標、評鑑工具、內容分析等進行規劃。在本設計中，為了讓學生能夠直接地從觀察中重構概念，以學生親身操作經歷的3D圖像，對其舊有概念造成認知同化、類化或衝突(Carey, 2009)，而在課程設計中採用直接觀察日、地、月的相對運動模型作為主要概念，而後，依序教導地球的自轉、月亮的公轉與自轉等基本天文概念，並從地球的自轉中推導出地球上的時間變化，最後再讓學生學習月相的變化和月亮出沒的時間等較複雜的概念，使之在各階段中，進行概念的重構。研究者的設計概念圖如圖2所示，圖中之概念由五個單元主題來貫穿，這五個單元為：(1)月亮在哪裡；(2)地球的一天；(3)月亮的移動；(4)月亮大探險；(5)探索太陽系。這五單元之教學內容能充分配合學習主題，同時，和評量向度具有密切的關聯，其中：

(1)月亮在哪裡，包含了「月亮概念成就測驗」的「一、太陽和月亮的外觀」概念。

(2)地球的一天，包含了「月亮概念成就測驗」的「二、地球的自轉」；「月亮實作評量」的「一、地球的自轉」概念。

(3)月亮的移動，包含了「月亮概念成就測驗」的「三、月亮的自轉、公轉」；「月亮實作評量」的「二、月亮的自轉與公轉」概念。

(4)月亮大探險，則包含了「月亮概念成就測驗」的「四、日、地、月的相對運動」、「五、月亮盈虧日期」、「六、月亮起落時間」；「月亮實作評量」的「三、月相的變化」、「四、日、地、月的相對運動」概念。

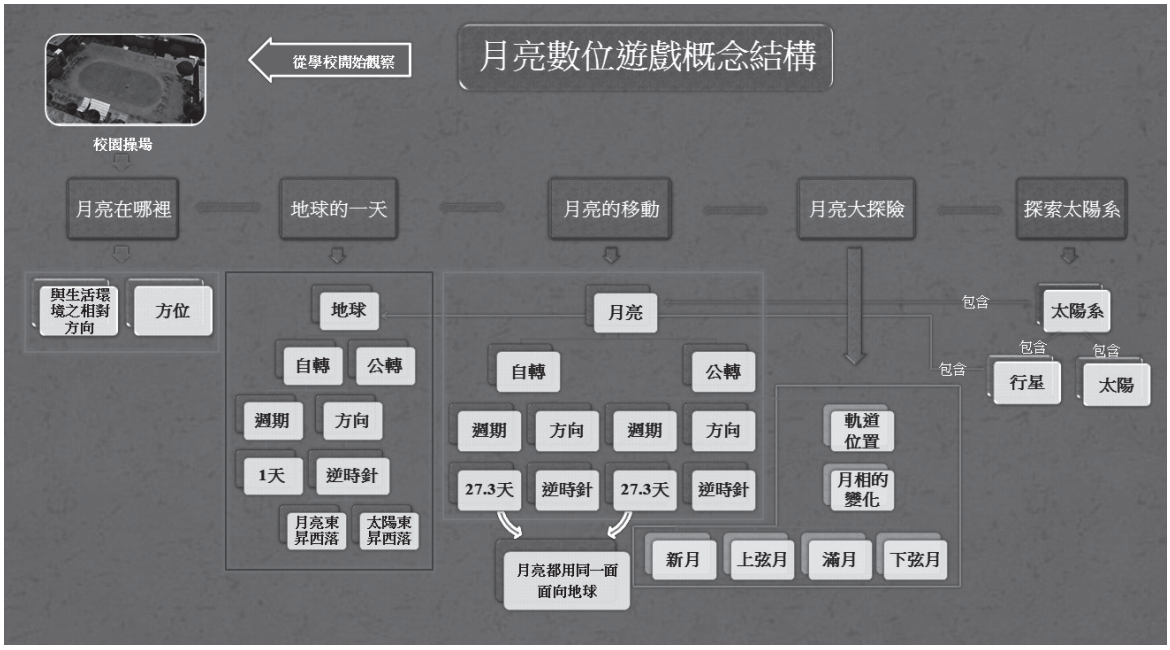

圖2：本研究發展之月亮數位遊戲概念結構圖

(5)探索太陽系，包含了「月亮概念成就測驗」的「二、地球的自轉」、「三、月亮的自轉、公轉」、「四、日、地、月的相對運動」概念；「月亮實作評量」的「三、月相的變化」、「四、日、地、月的相對運動」概念。

在「3.發展階段」中，研究者進行細部課程規劃與教學設計，並著手結合課程、程式和美術，以形成本研究實驗組使用的3DEG-FM數位遊戲學習教材與學習活動。遊戲學習發展的內容部分，在「(1)月亮在哪裡」中，學生可藉由鍵盤操作來控制視角方向並環視校園，將虛擬的世界空間與實際的地理空間概念緊密相連，如圖3。此設計係爲將科學學習和學生之生活經驗連結，以促使有意義學習(meaningful learning)的發生(Novak, 2002)。此設計經受訪的學生表示，對於分辨學校大部分的建築物，並進而連結到未來探索的地球、月亮及太空等，甚有幫助。接下來使用鏡頭距離拉遠的功能，觀察



圖3：「月亮在哪裡？」中的校園場景用以橋接真實與虛擬世界

學校在臺灣的位置，再觀察臺灣在地球的位置。鏡頭距離拉遠到太空中的位置時，可模擬太陽和地球的相對位置，最後再建構出地球、太陽和月亮的相對位置，如圖4。

在「(2)地球的一天」中，學生能學習到地球的自轉方式、自轉時造成地球的日夜變化以及世界各地時間的不同。地球時區輔助線的功能讓學生可瞭解到世界各國的時間不同，時間暫停的功能來暫時停止地球自轉，學生可順利觀察時區的意義等，如圖5。

在「(3)月亮的移動」中，學生能學習到月亮的自轉方式、月亮的公轉方式。學生可模擬月亮沿著黃色圓形軌道繞著地球轉，月亮的表面附著一個立體箭頭指向地球，學生可觀察到月亮是否都用同一面面向地球。從地球觀看月亮的視角，學生可模擬出月亮的表面是否隨著公轉改變。

在「(4)月亮大探險」中，學生需藉由太空船在太空中航行來完成觀察各種月相的任務，當月亮公轉至上弦月的位置時，學生需航行至月亮的附近，並觀察地球被太陽照射的情況。遊戲內容只安排觀察基本的四種月相：上弦月、滿月、下弦月、新月。在完成四種月相的觀察時，可顯示月亮公轉軌道及農曆日期，作爲輔助學生觀察各種月相的依據，並透過不同視角，學生得以建構出月相變化的真正原因。藉此減少學生常有的兩個迷思概念：月相的成因、月亮出現的時間(蔡名杉，2005)。另外，在完成各階段的觀察任務後，畫面左上角會顯示任務完成的徽章，作爲完成任務的回饋，以增進遊戲性。如圖6。

在「(5)探索太陽系」中，學生有公轉和自轉的概念，因此介紹太陽系中其他行星的自轉及公轉，作爲課程的延伸進階內容，如圖7。



圖4：地球、太陽和月亮的相對位置

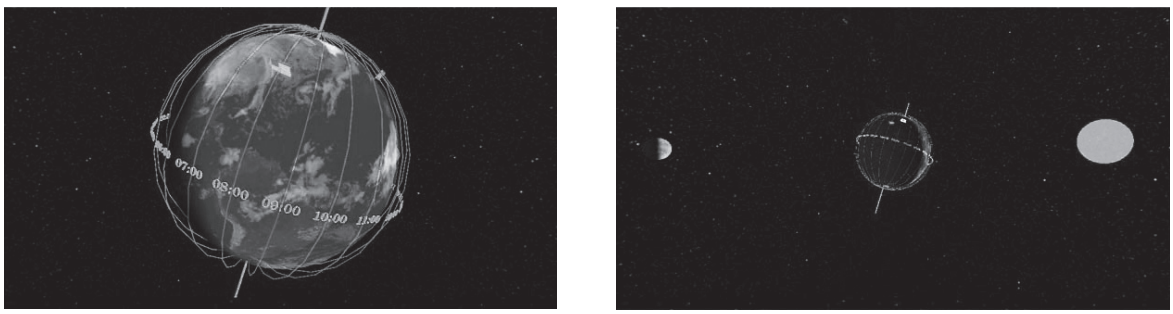

圖5：「地球的一天」中的時區輔助線和「月亮的移動」中月亮暗面之模擬

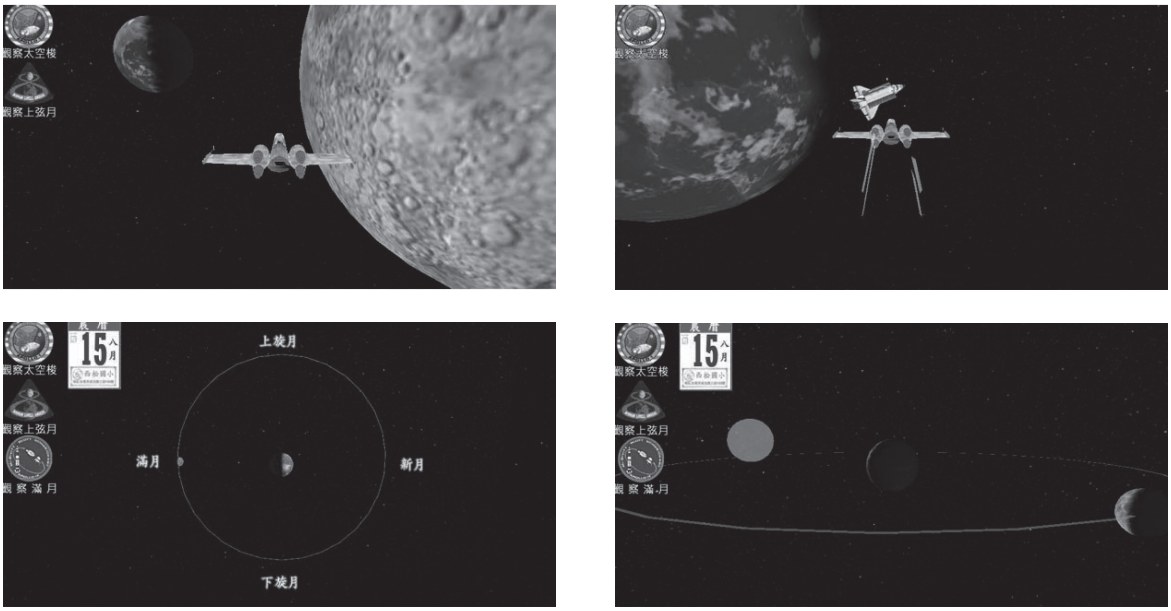

圖6：「月亮大探險」中學生之操控探究情形

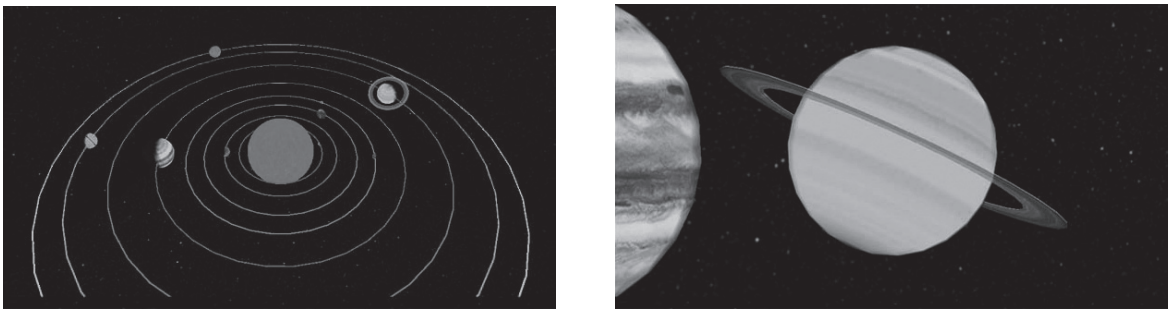

圖7：「探索太陽系」活動中的進一步學習

在本發展階段中，研究者蒐集有關月亮、地球及太陽的天文知識，如各星球的大小、距離、公轉及自轉的速度等相關資料，並蒐集各種天文模擬軟體，做爲設計之參考。在發展過程實際設計時發現，若要依照實際比例及大小來進行設計有其困難，因爲若按星球的大小照實際比例設計，較小的星球可能不易觀察，且若星球間的距離按照實際比例，學生在操作太空船時，若航行太久容易失去耐心。此外星球的公轉及自轉的速度也須依比例增加，使得學生能順利觀察。對此，教師在指導學生時，應事先說明清楚或顯示正確比例的圖示，以免學生產生迷思概念。

在「4.建置階段」中，爲了讓學生能夠在家裡也能自行學習，故將月亮數位遊戲整合設計爲「月亮數位遊戲學習網站」。架設於臺北市某國小的教師網頁伺服器，連線品質穩定，瀏覽速度快，網站網址：http://mailt.sups.tp.edu.tw/~neo (如圖8)。在國小執行測試



圖8：本延伸教學主網頁

後發現，一般的國小桌上型電腦以及具有獨立顯示卡之筆記型電腦均能順利執行。

在「5.評鑑階段」中，選出非研究對象的班級學生，在進行遊戲後提出遊戲的使用意見並邀請自然與生活科技的科任教師實際操作後，提出遊戲的建議，最後再與專家討論後，進行遊戲的修正，至此，完成了「月亮數位遊戲學習」單元之教學設計。

此外，相關研究指出，在數位學習環境中如何提供動機支持條件非常重要。Keller (1983)曾提出ARCS動機激勵理論模式，其包含注意(Attention)、關聯(Relevance)、信心(Confidence)、滿意(Satisfaction)四項動機要素。曹蔚恆(2007)曾將之落實在數位遊戲學習中，並以實證研究來顯示教學支持策略對數位教學成效的顯著效果。因此，本研究除在數位軟體設計中盡量提供適度的引導以協助學生在虛擬環境中探究外，並參考Keller的學習支持策略，採用配合數位學習操作的學習單(本學習單可在網頁中自由下載)，學習單之各題提供了學生探索的引導與概念同化、類化或衝突的各種問題，供學生闖關之用並協助學生獲得統整的概念。本研究發展之學生學習活動單共五份，供學生配合各單元探究使用。學生進入網頁，閱讀說明後，依據單元順序逐一探究，探究過程中，學習活動單扮演引導探究的功能，教師則僅視必要給與有限的指導協助，使學生的學習能處在一種主動、自由引導探究(guided-inquiry)狀態中。

由以上發展的理念、內涵、功能與介面等說明，可以發現本研究發展之3DEG-FM月亮數位學習遊戲和其他文獻中所發展的相關系統相較，具有顯著的不同。本研究發展之系統包含學校校園模型、太空梭、學童人物、太陽、月亮、八大行星等，場景豐富，並連結學生生活經驗，讓學生在任務遊戲情境中，依照遊戲中的五個關卡和學習架構(活動單可於網站中下載)進行引導式的任務探

索。系統的介面符合學生的操作能力，允許學生拉近拉遠，從不同視角觀察日、月、地或藉由太空船自由航行到任何位置觀察。學生並在學習活動單之引導下進行主動探索，並由完成任務得到成就感，進而持續形成概念、獲得學習。遊戲是一種讓人獲得娛悅與輕鬆感覺的活動，在本研究設計中，學習者先置身於學校場景，透過3D的實境操作，騰空而飛，俯視校園，在任務導向的情境中，航向目的地。學習者可駕馭太空船的飛行方向，遨遊於外太空，飛行的感覺可讓學習者有娛悅與輕鬆之感，本系統具有娛樂性、規則性、目標性、挑戰性、圖像性等，應能被認爲具有Prensky (2007)之數位遊戲的特質。

肆、結果與討論

一、教科書月亮單元基本教學後，學生之學習表現

本研究根據學生在「月亮概念成就測驗」及「月亮實作評量」的前測答題情形進行分析，如表5、表6。

表5顯示，國小學生在課堂中經歷傳統之月亮單元教學後，六類概念之學習成效；從表中可看出答對率部分，除了「五、月亮盈虧日期」一類達到甚高的水準(88.33%)外，其餘五類概念之答對率，相較於第五項並不理想，僅介於37.08% - 57.22%之間。學生透過國小的自然課程，能夠確實的學習到月亮的盈虧現象，了解各種月相出現的日期，「六、月亮起落時間」答對率最低，答對率爲37.08%，顯示學生在「月亮何時升起？何時落下？」的概念相對薄弱，雖然學生在課程中已觀察過月亮，但可能礙於觀察月亮的時間點，無法從觀察中了解到月亮何時升起及落下；此研究結果與李曉雯(2001)的結果相同：對於月亮的升起時間知識缺乏，高低成就組的學生對此概念的理解程度皆不佳。「四、日、地、月的相對運動」答對率爲41.67%，顯示學生對於太陽、地球、月亮等三個星球的相關概念認知在相較下亦顯不足，其結果與李曉雯的研究結果亦相同：對於月相位置變化的成因理解不理想，高低成就組的學生對此概念的理解程度皆不佳。其餘的三個概念「一、太陽和月亮的外觀」、「二、地球的自轉」、「三、月亮的自轉、公轉」，約有五成的答對率，顯示出學生對於自轉、公轉等星球運行的基本概念並不是非常清楚，有待課程補充加強。

由表6可得，「一、地球的自轉」答對率最高，答對率爲42.74%；「二、月亮的自轉、公轉」概念次之，答對率爲22.22%；而

表5：「月亮概念成就測驗」前測各概念的答題情形

概念內容	題數[a]	答對平均題數[b] (標準差)	答對率[c] (%)
一、太陽和月亮的外觀	3	1.72 (0.76)	57.22
二、地球的自轉	5	2.37 (1.40)	47.33
三、月亮的自轉、公轉	4	1.87 (0.83)	46.67
四、日、地、月的相對運動	6	2.50 (1.44)	41.67
五、月亮盈虧日期	4	3.53 (0.91)	88.33
六、月亮起落時間	4	1.48 (0.85)	37.08
小計	26	13.73 (3.50)	52.82

註：1.學生數 = 60。2. c% = b/a。

表6：「月亮實作評量」前測各概念的答題情形

概念內容	題數[a]	答對平均題數[b] (標準差)	答對率[c] (%)
一、地球的自轉	7	5.98 (4.04)	42.74
二、月亮的自轉、公轉	3	1.33 (1.27)	22.22
三、日、地、月的相對運動	4	0.50 (1.16)	7.50
四、月亮起落時間	4	0.35 (0.99)	3.13
小計	18	8.17 (5.27)	22.69

註：1.學生數 = 60。2. c% = b/a。

「三、日、地、月的相對運動」、「四、月亮起落時間」答對率都很低，答對率分別爲7.50%、3.13%，且遠低於其他概念。

綜合上述，「月亮概念成就測驗」結果顯示出除了「五、月亮盈虧日期」以外，各概念的答對率(爲37.08% - 57.22%)。而「月亮實作評量」結果更顯示學生真實學習情形相對「月亮概念成就測驗」答對率更低(爲3.13% - 42.74%)。雖然，此答對率偏低之情況之主要原因，應該是本研究之評量工具概念內涵並不是僅以教科書內容爲依據來編製。但值得注意的是，對這些用以理解月亮相關現象的核心概念，在經過小學一般自然課(即本研究的實驗預備教學——基本教學階段)的教學後，猶然相當不完整。因此本研究之第二階段延伸實驗教學之設計，具有重要的意義。

二、延伸實驗教學階段後兩組學習成效之比較

在第二階段延伸實驗教學之前後，實驗組與對照組學生在「月亮概念成就測驗」及「月亮實作評量」兩種評量方式的結果，顯示如表7。其中，觀察兩個評量測驗的前後、測分數，對照組的前測分數皆高於實驗組，但實驗組的後測分數反而出現高於對照組的現象(如圖9)。

爲了解兩組學生在分別經歷不同教學，其在兩種測驗之進步具有統計上之顯著意義，遂進行各組內的前、後測平均值*t*檢定，結果如表8。此結果顯示，經過一般教學或月亮數位遊戲教學後，不論使用「月亮概念成就測驗」或「月亮實作評量」來進行前、後測，學生的月亮學習成效都有顯著的進步($p = .00 < .05$)。

爲了再更進一步探究實驗組與對照組是否有差異，將「月亮概念成就測驗」、「月亮實作評量」的結果，分別使用單因子共變數(ANCOVA)分析進行比較。此分析以兩種不同教學方法爲自變項，以前測分數爲共變數，排除學生的月亮背景知識對於後測影響，觀察兩組的實驗效果差異。

在「月亮概念成就測驗」分析中，先進

表7：「月亮概念成就測驗」與「月亮實作評量」前、後測分數

組別	人數	月亮概念成就測驗		月亮實作評量	
		前測平均數	後測平均數	前測平均數	後測平均數
實驗組	30	12.80	19.37	6.80	29.17
對照組	30	14.67	17.40	9.53	25.00

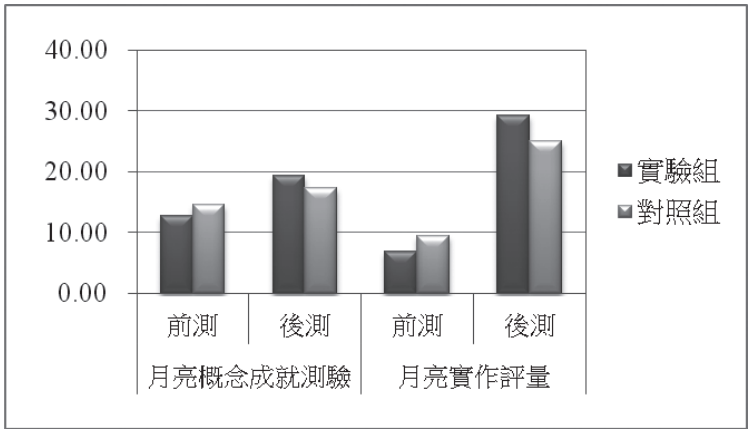

圖9：「月亮概念成就測驗」與「月亮實作評量」前、後測分數

表8：「月亮概念成就測驗」與「月亮實作評量」前、後測分數成對樣本*t*檢定

評量方式	組別		成對變數差異			*t*值	自由度	顯著性
			平均數	標準差	平均數的標準誤			
月亮概念成就測驗	實驗組	後測—前測	6.56	4.31	0.78	8.34	29	.00*
	對照組	後測—前測	2.73	3.32	0.60	4.50	29	.00*
月亮實作評量	實驗組	後測—前測	22.36	7.19	1.31	17.02	29	.00*
	對照組	後測—前測	15.46	7.39	1.35	11.45	29	.00*

*$p < .05$

行組內迴歸係數同質性考驗結果($F = 0.54$, $p = .46 > .05$)，未達顯著差異，符合同質性之假設，可再進行共變數分析。共變數分析結果顯示兩組學童在接受不同的教學法後，學習成就有顯著的差異($F = 10.16$, $p = .00 < .05$)；實驗組的調整後之後測平均分數(19.94)高於對照組的調整後之後測平均分數(16.82)。此顯示從「月亮概念成就測驗」的表現觀察出，採用「月亮數位遊戲學習」的實驗組學生之學習成效比對照組顯著優異。

在「月亮實作評量」分析中，亦先進行組內迴歸係數同質性考驗結果($F = 0.63$, $p = .43 > .05$)，未達顯著差異，再進行共變數分析。共變數分析結果顯示兩組學童在接受不同的教學法後，學習成就有顯著的差異($F = 8.97$, $p = .00 < .05$) ，實驗組調整後的後測平均分數(29.83)高於對照組調整後的後測平均分數(24.33)。此顯示從「月亮實作測驗」的表現觀察出，採用「月亮數位遊戲學習」的實驗組學生之學習成效亦比對照組顯著優異。

研究統計結果至此顯示，本研究設計的「月亮數位遊戲學習」和對照組的教學相較，具有整體的優勢；為更深入了解在各課程向度的細部比較情形，本研究再將實驗組、對照組的「月亮概念成就測驗」及「月亮實作評量」各概念前、後測的答對率與兩組進步量的差異，及以前測分數為共變數，比較兩組後測分數差異之共變數分析結果列表整理，分別如表9及表10所示。

由表9可得知，實驗組和對照組在每

表9：「月亮概念成就測驗」各概念的進步情形

概念內容	對照組			實驗組			兩組差異	ANCOVA
	前測(%)	後測(%)	進步量(%)	前測(%)	後測(%)	進步量(%)	實驗—對照(%)	*p*值
一、太陽和月亮的外觀	57.78	76.67	18.89	56.67	91.11	34.44	15.56	.02*
二、地球的自轉	50.00	74.00	24.00	44.67	73.33	28.67	4.67	.78
三、月亮的自轉、公轉	51.67	78.33	26.67	41.67	77.50	35.83	9.17	.82
四、日、地、月的相對運動	43.33	60.56	17.22	40.00	79.44	39.44	22.22	.00*
五、月亮盈虧日期	92.50	90.00	-2.50	84.17	84.17	0.00	2.50	.67
六、月亮起落時間	38.33	39.17	0.83	35.83	43.33	7.50	6.67	.48

*$p < .05$

表10：「月亮實作評量」各概念的進步情形

概念內容	對照組			實驗組			兩組差異	ANCOVA
	前測(%)	後測(%)	進步量(%)	前測(%)	後測(%)	進步量(%)	實驗—對照(%)	*p*值
一、地球的自轉	47.86	85.71	37.86	37.62	83.10	45.48	7.62	.98
二、月亮的自轉、公轉	28.33	70.56	42.22	16.11	95.56	79.44	37.22	.00*
三、日、地、月的相對運動	8.75	58.33	49.58	6.25	85.00	78.75	29.17	.00*
四、月亮起落時間	5.42	51.25	45.83	0.83	62.50	61.67	15.83	.17

*$p < .05$

個向度皆有進步，實驗組相較於對照組進步量比較大，且達顯著水準($p = .00 < .05$)的是在「四、日、地、月的相對運動」概念，進步量的差異爲22.22%；其次爲「一、太陽和月亮的外觀」，進步量的差異爲15.56%，且達顯著水準($p = .02 < .05$)，研究者推論可能實驗組在透過月亮數位遊戲學習時，學生可藉由虛擬實境的方式進行瞭解日、地、月的相對運動以及觀察太陽和月亮的外觀，印象較爲深刻，而對照組僅能以平面的圖片進行想像，學習效果較差；另外，實驗組及對照組兩組間差異最小，且未達顯著水準($p = .67 > .05$)，在「五、月亮盈虧日期」概念，進步量的差異爲2.50%，此是因爲原本前測的答對率已經非常高(對照組、實驗組分別爲92.50%和84.17%)，且此概念爲國小月亮單元課程中的內容，在教學中並未特別強調，實驗組沒有進步，對照組甚至退步了一點。其他三個概念「二、地球的自轉」、「三、月亮的自轉、公轉」、「六、月亮起落時間」的差異性不大且未達顯著水準，分別爲4.67% ($p = .78 > .05$)、9.17% ($p = .82 > .05$)、6.67% ($p = .48 > .05$)，但實驗組的進步量仍稍高於對照組。

由表10可得知，實驗組及對照組兩組間差異最大，且達顯著水準($p = .00 < .05$)在「二、月亮的自轉、公轉」，進步的差異爲37.22%，研究者推測可能在此概念中，月亮自轉以及公轉地球的方式，在月亮數位遊戲中可以清楚呈現月亮公轉、自轉的週期相同，且月亮都只有同一面面向地

球，而在一般教學中僅能依靠平面圖片來想像，學生較難憑空想像，故對照組的進步量不如實驗組的進步量。其次爲「三、日、地、月的相對運動」，進步的差異爲29.17%，且達顯著水準($p = .00 < .05$)，「四、月亮的起落時間」進步的差異爲15.83%，未達顯著水準($p = .17 > .05$)，但實驗組仍高出對照組許多，而「一、地球的自轉」進步的差異爲7.62%，未達顯著水準($p = .98 > .05$)，實驗組亦稍高於對照組。另外，經歷了數位遊戲學習的實驗組和其對照組相較，學生在實作評量中的進步表現都較紙筆測驗中的進步表現來的大(例如：在「一、地球的自轉」中，表10之第一項7.62%對表9之第二項的4.67%；「三、月亮的自轉、公轉」，表10之二37.22%對表9之三的9.17%等等)。

學者賴瑞芳(2002)爲探討國小學童對月亮概念的想法，以四、六年級爲研究對象，發現學生在月相盈虧現象、月相盈虧成因、月相盈虧週期及日、地、月相對運動等四個概念領域，存有許多迷思概念，學生對於各月形出現的日期、月亮升起時間的規則、月亮升起落下的方向等無法做合理的預測。而在本研究中，實驗組透過月亮數位遊戲教學後，「日、地、月的相對運動」概念有明顯的進步，顯示月亮數位遊戲教學有助於導正學生月亮迷思概念。整體而言，實驗組教學在大多數的概念向度學習，顯示與對照組教學之相對優異性。

三、國小四年級學童對月亮數位遊戲的評價與省思

爲能夠深入了解學生如何透過月亮數位遊戲來學習，本研究從實驗組學生中，依據其在「月亮概念成就測驗」及「月亮實作評量」兩項成績的進步量總和，由高、中、低組中各取4名，共12名進行半結構性晤談，因本研究之訪談是半結構訪談，問題相當明確，著重是否達到學習成效之自我陳述、學習路徑與系統操作之了解，學生之回答亦相當明確。所以質性資料部分無另進行分析編碼，而僅針對學生基本資料進行編碼，取樣結果如表11。

本晤談題目共有8題，如前所述爲經資深自然科教師與專家學者審核具效度之訪談大綱，所收集之資料經三位作者檢視，學生之回答確實具相當之明確性。因此本研究省略評分者間信度檢驗。此12名學生之晤談結果，分項說明如下：

(一)透過月亮數位遊戲，有沒有學習到月亮本身會不會發光？你是如何學習到？

受訪的12位學生中有11位均從遊戲操作與觀察中，學習到月亮不會發光，而且能利用鍵盤轉換角度觀察，發現月亮會有光，是因爲受到太陽的照射(如S28F-1訪談資料爲例：「月亮其實本身不會發光，畫面可以看到太陽照射的。」)；另只有一位學生(S14M-3)仍然認爲月亮會發光。研究者認爲在月亮

表11：取樣參加晤談學生基本資料

學童編碼	S32F-1	S28F-1	S07M-1	S21F-1	S05M-2	S08M-2	S02M-2	S27F-2	S33F-3	S03M-3	S35F-3	S14M-3
進步總合	93.91	87.67	84.56	82.25	73.31	66.76	61.34	54.74	36.50	28.36	21.77	20.23

註：編碼說明：S23表示實驗組學生代號，M表示男生，F表示女生，-1、-2、-3表示高、中、低成就。

數位遊戲中，容許在太空中移動或轉換角度來觀察月亮，可以讓學生主動發現並瞭解到月亮的發光原因，而不像在地球上只能透過單一角度觀察月亮。李曉雯(2001)研究中曾指出學生對此概念的理解程度皆不佳，而月亮數位遊戲可以提供一個延伸的學習理解方式，增進學生之學習。因此在國小月亮單元中有關月亮是否發光的學習，可以3D虛擬數位遊戲的方式呈現與進行，提供學生主動探索、觀察星體運行的機會，促進學習。

(二)透過月亮數位遊戲，有沒有學習到日、地、月的相對大小？你是如何學習到？

受訪的學生都能夠透過畫面的旋轉及拉遠的方式，進而觀察日、地、月的大小，大部分的學生都是將日、地、月放在一起後進行比較，有的學生(S05M-2)個別觀察日、地、月來判斷大小，也有學生是透過太空船飛過去各星球的方式來觀察大小，另外，有學生是在探索太陽系的單元中，從八大行星及太陽中來判斷日、地、月大小。在此遊戲中，每位學生都有自己的探索方式，且都能順利的觀察到日、地、月大小(如S07M-1：「太空船飛過去太陽和月球那邊，就可以觀察到哪一個比較大。」)。Prensky (2007)提到數位遊戲能吸引我們的原因，就是數位遊戲具有適性化的特性，遊戲設計可依學習者的能力不同，給予不同的適當任務。

(三)透過月亮數位遊戲，有沒有學習到地球的自轉？你是如何學習到？

大部分的學生都能透過不同角度來觀察，也知道從北極觀察是逆時針，有的學生更提到從北極上觀察及從南極上空觀察會有不同的轉動方向(如S05M-2：「如果從北極看就是逆時針，從南極看就是順時針，用這個線(時區輔助線)看，只要知道臺灣在哪，就可以知道大概的時間。」)。有些學生(S28F-1、S21F-1、S05M-2、S02M-2、S33F-3、S35F-3)提到時區的輔助線可以幫助他們了解到臺灣的時間，然而少數學生(S35F-3)沒有時區的輔助線就不知道時間。在此遊戲中，學生改變角度來觀察地球的自轉，時區的輔助線也能幫助學生了解時間的概念。研究顯示在設計數位遊戲時，依照學生的能力，適時的加入輔助的模型，讓抽象的概念(如本研究中的時區)更加具體，對於學生的學習應會有事半功倍的效果。

(四)透過月亮數位遊戲，有沒有學習到月球的自轉、公轉？你是如何學習到？

受訪的學生幾乎都會控制遊戲畫面的方向，如果忘記按鍵的功能時，也會按ENTER鍵來觀看遊戲使用說明，因此，在月亮數位遊戲中，學生對於遊戲的控制及操作應該沒有困難之處，不會因而影響學習。學生對於月亮公轉地球以及月亮自轉的概念，大都能從此遊戲中學得，有的學生(S08M-2、S02M-2、S03M-3)會用水平環繞的方式觀察，有的學生(S05M-2、S03M-3)會用垂直的角度環繞觀察，另外，遊戲也可讓學生從地球上觀察月亮(如S07M-1：「在走的時候可以看到變化的樣子，月球逆時鐘公轉地球，還可以從地球上觀察月亮的角度來觀察。」)。在月亮數位遊戲中，學生藉由自由改變角度來觀察月亮的方式，可以讓學生更容易理解「月亮的自轉、公轉」的概念。

(五)透過月亮數位遊戲，有沒有學習到四種月相出現的時間和位置？你是如何操作學習到？

當學生在學習四種月相出現時間的時候，大部分都會利用農曆的日期功能來協

助，部分的學生(S28F-1、S08M-2)提到自己以前有學過四種月相出現的日期，可以運用自己的背景知識來學習，也有學生(S05M-2)先判斷月亮是何種月相再來對照日期。學生在了解地球上看到不同月相，月亮在公轉軌道出現的地點時，部分學生提到可以從北極上空的角度來觀察，可見學生能善用遊戲中透過不同視角觀察的功能，進行其所需要的觀察(如S02M-2：「看農曆阿！就是跑一跑走到那邊的時候看一下時間，如果它顯示上弦月的徽章給你就知道是幾月幾號了！還可以從北極上空來觀察。」；S05M-2：「按5按鍵，飛到這裡的時候完成任務就知道了！月亮一半亮一半暗，就知道是上弦月，再看日期！滿月就是太空船從地球沒有燈光那一面看，如果月球全亮的就是滿月，再看日期就知道幾號了！」)。

(六)透過不同的任務，從不同的位置觀察月相是否有幫助？做什麼操作的時候對你月相的學習幫助最大？

大部分的學生在進行遊戲中探索任務時，都能以不同角度觀察月亮，有的學生飛高或飛低來觀察(S32F-1、S05M-2等，如S05M-2：「我全部任務都達成了，我從地球上看月亮的形狀，就知道什麼月(月相)，然後再飛過去繞一繞，我還有飛高飛低看一看，這樣就可以知道月亮的樣子。」)，有的學生(S28F-1、S05M-2、S33F-3)是環繞月球一圈來觀察，並且觀察到月亮的圓缺變化，也可以觀察到月亮的表面(S33F-3)。另外，部分學生(S21F-1、S33F-3、S03M-3)也能從月亮的角度觀察地球，可以觀察到地球的形狀(S21F-1：「等到月亮到滿月的時候按暫停，太空船飛過去，就得到徽章。我有觀察月亮的形狀，還有從月亮看地球的形狀。」)。學生在達成任務時都有自己的方式，有的學生依照日期判斷月相(S08M-2、S03M-3等，如S03M-3：「看到滿月，我知道滿月是農曆15號，等到15號時飛過去那邊等，再轉過去看地球，發現地球黑黑的。」)，有的學生(S05M-2)是從月亮的形狀判斷月相，有的學生(S02M-2、S27F-2)是從北極上方觀看的角度瞭解月相(如S27F-2：「有的是飛到月亮的位置，先從北極上方看，顯示日期後再飛過去等。」)，再按暫停鍵並飛過去完成觀察。另外，少數學生(S27F-2、S35F-3)在隨便亂飛的過程也能完成任務(如S27F-2：「我在家裡全部通過了，有的是亂走走到的。」)，但若要盡快完成所有任務，仍必須對月相的位置有充分的理解。

蔡名杉(2005)從學者的研究成果中發現月相的成因屬於較不容易改變的概念，學生會從地球的角度觀察並誤認月相的成因是：1.地球遮住照在月亮上的太陽光；2.反射太陽光的面積；3. 雖試圖以位置角度來解釋月相盈虧，但月球所在位置對應的月相並非完全正確等。另外，國外的學者Baxter (1989)等人也發現學生會誤認爲月相盈虧的成因有：地球的影子造成月相、雲遮蔽了部分的月亮、星球的影子造成了月相、太陽的影子造成了月相等。可見不論國內外的學生在月相的成因上皆容易有迷思概念，而月亮數位遊戲能透過不同視角的觀察、各種任務的達成中，讓學生清楚的了解到月相的成因。

(七)月亮數位遊戲中，你覺得遊戲中模擬的太空和你所認為的真實的太空可能有什麼差別？

學生對遊戲中虛擬的太空及真實的太空有辨別的能力，大部分的學生(S21F-1、S28F-1、S07M-1、S05M-2、S08M-2、S02M-2、S33F-3、S03M-3)認爲真實的太空應該比較大，而且星球間的距離較遠(如S28F-1：

「遊戲可以很近看到月球，真實的太空很大。」)，有的學生(S28F-1、S07M-1、S32F-1、S08M-2、S02M-2、S27F-2)認爲真實的星球大小應該更大(如S02M-2：「真實的地球比較大，距離應該更遠一點。」)，有的學生(S32F-1、S33F-3、S03M-3)認爲真實的星球轉動的速度應該沒這麼快，有的學生(S32F-1、S28F-1 S02M-2)認爲太陽應該更亮且溫度很高。教學者在課堂中曾說明遊戲爲了配合教學及學生的操作，故將遊戲中的星球大小、星球間的距離等進行修改，會與真實的太空有差異。由學生的訪談結果可以得知，大部分的學生對於真實的太空有基本的認識，能夠區分遊戲中虛擬的太空及真實的太空不同之處。因此，在月亮數位遊戲中，教學者的引導及說明是重要的，可以避免學生在透過此遊戲學習後，對真實的太空有不正確的認知，最重要的是避免增加學生其他太空知識的迷思概念。

(八)你覺得月亮數位遊戲會提高你的學習興趣嗎？有哪些吸引你的地方？

接受訪談的全部12位學生都認爲月亮數位遊戲是一個可以提高學習興趣的遊戲(如S35F-3：「會，我覺得遊戲可以增加我們的知識，又可以很像在玩電腦一樣。」)，部分的學生(S21F-1、S05M-2、S08M-2、S02M-2、S03M-3、S35F-3)喜歡月亮大探險的單元，有些學生(S32F-1、S28F-1、S27F-2)覺得學校的模型很有趣，有的學生(S05M-2)建議能有更多任務，有的學生(S08M-2)建議遊戲可以更真實。由此可以看出月亮數位遊戲確實可以引起學生的動機，尤其是「月亮大探險」的單元深受學生的喜愛，讓學生能夠在達成任務的過程中，不知不覺的學習到月亮的相關概念。故月亮數位遊戲具有Prensky (2007)提到的遊戲性：能提供一種遊樂的形式，帶給學習者強烈進行遊戲的動機和高度的樂趣。使得此遊戲能吸引學生來進行學習。

綜合晤談資料與分析，顯示整體而言，學生都能順利操作此遊戲，而且能依照自己的操作方式來進行個別學習，也會分享自己的發現給同學。學生在遊戲的過程中能以不同的角度、不同的位置觀察月亮，還可以觀察地球、太陽的運行，遊戲中虛擬3D的情境，相較於國小傳統教學只能以平面圖片展示，補充了國小課程的月亮單元不足之處，讓學生更了解月亮。學者Hansen, Barnett, MaKinster與Keating (2004)提到：對於教室裡的老師而言，提供學生從不同的角度來研究天文現象是很困難的，例如：學生不能拜訪月球後並回頭看太陽如何照射地球，也就是說在地球上可以觀察月球的月相(moon phase)，那麼如何觀察地球的地相(earth phase)呢？而在本研究發現「月亮數位遊戲」提供學生不同角度觀察天文現象的機會，並具備個別學習、3D虛擬情境體驗及適合做爲國小月亮單元輔助教材的優點，可以提供國小教師在進行「月亮」單元的另一種延伸學習的選擇。

伍、結論與建議

本研究發展3D月亮數位學習遊戲軟體以做爲國小月亮單元的教學教材，並以紙筆與實作評量分別評估國小學童以月亮數位遊戲進行延伸學習之成效。由研究結果形成之結論包括：

一、發展3D數位遊戲作為國小科學教學的新實施方案，具有可實現性

本研究的數位遊戲學習發展經驗指出，妥適運用科學教學原理、教學設計理論，結

合教學、程式設計與美術，以發展具有完整科學概念並能提供學生進行科學探索的3D數位遊戲作爲科學教學之用，是具有可實現性的。

二、一般國小四年級學生以傳統方式學習月亮相關單元，所獲得用以解釋現象的核心概念，尚屬非常有限

本研究中對經歷傳統月亮單元學習後之學生進行「月亮概念成就測驗」與「月亮實作評量」，結果顯示紙筆測驗之總答對率僅爲52.80%、實作測驗更低到僅爲22.69%，此顯示學生在傳統方式學習月亮相關單元學習情境中，所學尚不足用以解釋月相成因等現象，延伸學習之規劃與學習機會之提供應有需要。

三、本研究發展之3DEG-FM數位遊戲結合學習活動單之學習方式，可作為延伸學習之用，對學生學習之增進具有相當之成效

本研究以前、後測設計之*t*檢定證明，不管在紙筆或實作測驗，經歷3DEG-FM學習後，學生學習都有顯著之進步。再從實驗組(數位遊戲學習組)和對照組(PPT等教學組)實驗效果之ANCOVA檢定，更進一步驗證，數位遊戲學習組優於對照組之正向教學成效。再從兩組學生在紙筆和實作測驗之進步量差異來進行比較，更是發現，實驗3D數位遊戲學習因可提供每一位學生親身之操作與探索，此應有助於形成較完整的認知體系，因之，學生在實作評量的進步量更是明顯的大於紙筆測驗的進步量。

四、3DEG-FM數位遊戲學習提供具有目標性的、自由的探索情境，學生得以發展出有意義的建構

本研究從高、中、低進步量同學群中，選取12名，進行深度訪談。訪談資料顯示，學生在3DEG-FM數位遊戲學習時，縱使基於一個探索目的，但身在自由探索的情境中，不同學生在形成科學概念、發展科學認識時，經常會發展出自己的探索方式，獲得對自己有意義的學習。

五、學生對3DEG-FM數位遊戲學習，具有高度興趣

晤談資料亦發現，全部學生在晤談中都肯定3DEG-FM數位遊戲是一個可以提高學習興趣的遊戲。雖然其喜歡的理由不一，但此顯示，結合學生的實際經驗與環境(例如，課本知識與學校建築)，融入探索的事件(例如，飛向月球、探索自然系等)，提供學生從虛擬世界中進行在實際世界中不可能的活動經驗，增進學生的學習，所發展出來的數位遊戲學習，可以達到豐富學生的學習歷程、提高學生學習興趣的功能。

綜合上述研究結論，研究者針對科學教學和未來研究提出以下建議：

(一)月亮數位遊戲屬於3D虛擬遊戲，教學準備時，教學者本身必須熟悉數位遊戲的操作

進行數位遊戲教學前，應妥爲測試電腦教室的電腦狀況，以免教學時處理學生的電腦問題而讓課程延誤，影響其他學生的學習。月亮數位遊戲能對學生的學習有很大的助益，但教學者的引導也屬重要。吳延慶(2008)指出若先讓教師引導學生學習，再讓學生操作虛擬教學網站的學習成效高於單純讓

學生自行瀏覽網站。研究者也發現學生剛接觸新的數位遊戲時，會以嘗試的方式任意操作，然而由於課程時間的限制，無法讓學生任意嘗試來找出正確的操作方式，教學者有必要將學習的目標說明清楚，正確的示範如何操作遊戲，再讓學生能以自己的操作方式觀察月亮，達到學習的目的。

(二)評量方式的建議

本研究中，學生在紙筆與實作評量的表現，出現相當不一致的情形。而且，縱使學生在紙筆評量中可正確回答某一題目，但極有可能其並非真正有真實的了解，而在實作評量中得到較爲不佳的表現，此紙筆評量與實作評量之差異，應可爲未來繼續研究的課題。此外，在月亮單元教學實際經驗中看到，實作評量可以更了解學生的月亮立體空間概念，這確實是紙筆測驗較難測得之處，然而實作評量受限於班級人數眾多、評量的時間較長，在一般的教學中難以實現。研究者建議，實作評量可以在教學過程中分階段進行，進行方式可採分組形式以便有效節省時間，並達到隨時了解各組學習狀況的功能。

(三)數位遊戲學習軟體設計的建議

月亮單元是較抽象的天文概念，本月亮數位遊戲能夠將天文概念轉化爲虛擬且可見的3D畫面，然而受限於研究者之時間與經驗，真實太空情境的擬真化，尚有可再提升之空間。未來如能以研究者開發的遊戲爲基礎，進而設計更擬真的月亮數位遊戲，應更能引起學生的學習興趣，也可避免學生從遊戲中產生迷思概念。另外，五年級的太陽與四季單元也是屬於較抽象的天文概念，若能依照月亮數位遊戲的模式進行開發，應能對國小學生學習天文概念時有所助益。

誌謝

作者感謝國家科學委員會給予經費資助(NSC 96-2511-S-152-004-MY3; NSC 97-2511-S-152-007-MY3)、臺北市西松國小參與和協助本研究的師生以及協助研究進行的李倩如小姐。

參考文獻

1. 王美芬(1992)。我國五、六年級學生有關月亮錯誤概念的診斷及補救教學策略的應用。**臺北市立師範學院學報**，**23**，357-380。
2. 王美芬(1994)。Misconceptions about the moon held by preservice teachers in Taiwan。**臺北市立師範學院學報**，**25**，465-482。
3. 王聖閔(2007)。**建置國民中小學觀測月亮、太陽運動之虛擬實境模型研究**。未出版之碩士論文，國立臺南大學數位學習科技學系碩士班，臺南市。
4. 古仁元(2004)。**自然與生活科技領域網路教學教材網站之設計與成效研究——以國小月亮盈虧為例**。未出版之碩士論文，國立新竹教育大學數理研究所(自然組)，新竹市。
5. 余民寧(2002)。**教育測驗與評量——成就測驗與教學評量**(第二版)。臺北市：心理出版社。
6. 吳再福(2005)。**月亮和太陽星象的全球觀測之虛擬實境教學系統設計**。未出版之碩士論

文，國立臺南大學資訊教育研究所，臺南市。

7. 吳延慶(2008)。**國小自然與生活科技領域虛擬實境網路數位教材開發與設計──以「月亮迷思概念教學網站」為例**。未出版之碩士論文，國立臺北教育大學教育傳播與科技研究所，臺北市。
8. 李曉雯(2001)。**國小四年級學生「月相」迷思概念之研究**。未出版之碩士論文，臺南師範學院國民教育研究所，臺南市。
9. 姜滿(1993)。Children's understanding of the earth sciences。**臺南師院學報**，**26**，193-219。
10. 教育部(2008)。**九年一貫課程綱要──自然與生活科技學習領域**。查詢日期：2012年5月6日，檢自http://teach.eje.edu.tw/9CC2/9cc_97.php。
11. 曹蔚恆(2007)。**動機引導策略對科學數位遊戲學習之學習動機與學習成就影響研究──以國小六年級學童為對象**。未出版之碩士論文，國立臺北教育大學自然科學教育學系碩士班，臺北市。
12. 許瑛玿、洪榮昭(2003)。皮亞傑認知發展階段的新詮釋。**科學教育月刊**，**260**，2-9。
13. 陳彥廷、陳穎志(2008)。親子共讀情境中不同教育背景家長對科學的知識觀分析：以科學繪本《月亮．地球．太陽》爲例。**科學教育學刊**，**16**(3)，325-350。
14. 陳翠雯、侯依伶、劉嘉茹(2010)。不同非語詞刺激對國小學生月相概念學習之影響。**科學教育學刊**，**18**(4)，361-387。
15. 臺北市多媒體教學資源中心(2012)。**教材資源瀏覽**。查詢日期：2012年5月6日，檢自http://tmrc.tp.edu.tw/tmrc/ResLst.aspx?S=site04。
16. 蔡名杉(2005)。**國小月相另有概念改變教學之行動研究**。未出版之碩士論文，國立臺南大學教師在職進修自然碩士學位班，臺南市。
17. 蔡孟雄(2009)。**線上學習型遊戲融入教學對國小四年級學童月亮概念學習暨迷思概念改變的影響**。未出版之碩士論文，國立嘉義大學教育科技研究所，嘉義市。
18. 賴瑞芳(2002)。**小學生月亮迷思概念之研究**。未出版之碩士論文，國立臺中師範學院自然科學教育研究所碩士論文，臺中市。
19. Anonymous (2012). *Cartes du Ciel (Sky Chart)*. Retrieved May 22, 2012, from http://www.ap-i.net/skychart/start
20. Baxter, J. (1989). Children's understanding of familiar astronomical events. *International Journal of Science Education*, *11*(5), 502-513.
21. Carey, S. (2009). *The origin of concepts*. Oxford, UK: Oxford University Press.
22. Chen, C. H., Yang, J. C., Shen, S., & Jeng, M. C. (2007). A desktop virtual reality earth motion system in astronomy education. *Journal of Educational Technology & Society*, *10*(3), 289-304.
23. Cheng, M. T., Annetta, L., Folta, E., & Holmes, S. Y. (2011). Drugs and the brain: Learning the impact of methamphetamine abuse on the brain through a virtual brain exhibit in the museum. *International Journal of Science Education*, *33*(2), 299-319.

24. Chéreau, F. (2012). *Stellarium*. Retrieved May 23, 2012, from http://www.stellarium.org/
25. Collins, A. (2006). Cognitive apprenticeship. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 47-60). New York: Cambridge University Press.
26. Dunlop, J. (2000). How children observe the universe. *Publications Astronomical Society of Australia*, *17*(2), 194-206.
27. Google Co. Ltd. (2012). *Google earth*. Retrieved May 22, 2012, from http://www.google.com/intl/zh-TW/earth/index.html
28. Hansen, J. A., Barnett, M., MaKinster, J. G., & Keating, T. (2004). The impact of three-dimensional computational modeling on student understanding of astronomical concepts: A quantitative analysis. *International Journal of Science Education*, *26*(11), 1365-1378.
29. Indiana Department of Education. (2010). *Indiana standards*. Retrieved June 10, 2012, from https://learningconnection.doe.in.gov/Standards/Standards.aspx
30. Isik-Ercan, Z., Kim, B., & Nowak, J. (2010, September). *3D visualization in elementary education astronomy: Teaching urban second graders about the sun, earth, and moon*. Paper presented at the Third World Summit on the Knowledge Society. Corfu, GR.
31. Jones, B. L., Lynch, P. P., & Reesink, C. (1987). Children's conceptions of the earth, sun and moon. *International Journal of Science Education*, *9*(1), 43-53.
32. Keller, J. M. (1983). Motivational design of instruction. In C. M. Reigeeluth (Ed.), *Instructional design theories and models: An overview of their current status* (pp. 384-434). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
33. King, C. J. H. (2010). An analysis of misconceptions in science textbooks: Earth science in England and Wales. *International Journal of Science Education*, *32*(5), 565-601.
34. Küçüközer, H., Küçüközer, A., Yürümezoğlu, K., & Korkusuz, M. E. (2010). Elementary school students' conceptions regarding astronomical phenomena. *E-Journal of New World Sciences Academy*, *5*(1), 521-537.
35. Lelliott, A., & Rollnick, M. (2010). Big ideas: A review of astronomy education research 1974-2008. *International Journal of Science Education*, *32*(13), 1771-1799.
36. Lohr, L. (1998, March). *Using ADDIE to design a web-based training interface*. Paper presented at the SITE 98: Society for Information Technology & Teacher Education International Conference. Washing, DC. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 421 139)
37. Mintz, R., Litvak, S., & Yair, Y. (2001). 3D-virtual reality in science education: An implication for astronomy teaching. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, *20*(3), 293-305.
38. National Science Teachers Association. (2010). Moon simulations and learning. *Science*

Teacher, *77*(4), 14-15.

39. Novak, J. D. (2002). Meaningful learning: The essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. *Science Education*, *86*(4), 548-571.
40. Parker, J., & Heywood, D. (1998). The earth and beyond: Developing primary teachers' understanding of basic astronomical events. *International Journal of Science Education*, *20*(5), 503-520.
41. Piaget, J. (1972). *The principles of genetic epistemology*. London: Routledge & Kegan Paul.
42. Prensky, M. (2005). Computer games and learning: Digital game-based learning. In J. Raessens & J. Goldstein (Eds.), *Handbook of computer game studies* (pp. 97-122). Cambridge, MA: The MIT Press.
43. Prensky, M. (2007). *Digital game-based learning*. Saint Paul, MN: Paragon House.
44. Sawyer, R. K. (2006). Introduction: The new science of learning. In R. K. Sawyer (Ed.), *The cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 1-16). New York: Cambridge University Press.
45. Sherrod, S. E., & Wilhelm, J. (2009). A study of how classroom dialogue facilitates the development of geometric spatial concepts related to understanding the cause of moon phases. *International Journal of Science Education*, *31*(7), 873-894.
46. Subramaniam, K., & Padalkar, S. (2009). Visualisation and reasoning in explaining the phases of the moon. *International Journal of Science Education*, *31*(3), 395-417.
47. Sun, K. T., Lin, C. L., & Wang, S. M. (2010). A 3-D virtual reality model of the sun and the moon for e-learning at elementary schools. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *8*(4), 689-710.
48. Trumper, R. (2001a). Assessing students' basic astronomy conceptions from junior high school through university. *Australian Science Teachers Journal*, *47*(1), 21-31.
49. Trumper, R. (2001b). A cross-age study of junior high school students' conceptions of basic astronomy concepts. *International Journal of Science Education*, *23*(11), 1111-1123.
50. Trundle, K. C., Atwood, R. K., & Christopher, J. E. (2007). A longitudinal study of conceptual change: Preservice elementary teachers' conceptions of moon phases. *Journal of Research in Science Teaching*, *44*(2), 303-326.
51. Trundle, K. C., Troland, T. H., & Pritchard, T. G. (2008). Representations of the moon in children's literature: An analysis of written and visual text. *Journal of Elementary Science Education*, *20*(1), 17-28.
52. Vygotsky, L. S. (1978). *Minds in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

53. Wang, S. K., & Hsu, H. Y. (2009). Using the ADDIE model to design second life activities for online learners. *TechTrends: Linking Research & Practice to Improve Learning*, *53*(6), 76-81.
54. Wilhelm, J. (2009). A case study of three children's original interpretations of the moon's changing appearance. *School Science and Mathematics*, *109*(5), 258-275.
55. Young, T., & Guy, M. (2008). The moon's phases and the self shadow. *Science and Children*, *46*(1), 30-35.

科學教育學刊
2013, 第二十一卷第三期, 317-344
DOI: 10.6173/CJSE.2013.2103.04

Chinese Journal of Science Education
2013, 21(3), 317-344

A Study of Developing a Computer Educational Game for Elementary Science Teaching on Moon and the Effectiveness

Chia-Yu Liao[1], Chi-Jui Lien[2] and Yu-Ling Lu[2,*]

[1]Taipei Municipal Xisong Elementary School
[2]Department of Science Education, National Taipei University of Education

Abstract

Teaching and learning about concepts relating to moon have been regarded as a difficult part in elementary science. The purposes of this study were to develop an auxiliary teaching approach and to evaluate its effectiveness on improving students' learning. A 3D-computer educational game (3D Educational Game-Fly to the Moon, 3DEG-FM) and its worksheets were developed for students to use after traditional class learning, as advance investigation activity. There were 60 fourth-graders from two classes involved in this study and who were assigned into experimental group and control group. Self-developed "Moon Relating Concepts Test," "Moon Relating Performance Assessment," and "Semi-structure Interview" were used to monitor students' learning. The results showed that the auxiliary approach developed in this study significantly improved students' learning, both in concepts and performance assessments. These, combing with students' interview data, indicated that learning through the 3DEG-FM and its worksheets enables students to learn the movement of celestial bodies with operable experiences through virtual reality, and then achieves better learning.

Key words: Moon, Advanced Learning, Computer Educational Game, Learning Effectiveness, Worksheet

* Corresponding author: Yu-Ling Lu