科學教育學刊
2014, 第二十二卷第一期, 33-55
DOI: 10.6173/CJSE.2014.2201.02

Chinese Journal of Science Education
2014, 22(1), 33-55

數位動畫對小六學童數常識發展之研究

黃仕奇　楊德清*
國立嘉義大學 數理教育研究所

摘要

本研究旨在探討國小六年級學童在數常識數位學習動畫下其數常識能力之改變情形。採混合研究法，選取南部某公立國小六年級學生共七班，分為動畫實驗組三班(90人)、繪本實驗組三班(90人)與對照組一班(30人)，進行實驗。經過5節課不同學習模式後，研究發現：(1)動畫實驗組、繪本實驗組學生之後測表現均顯著優於對照組學生的表現；(2)在數常識各向度中，向度二動畫實驗組學生表現較佳；向度四繪本實驗組學生表現較好；(3)在答題比例上，動畫實驗組學生則同時在數常識提升與錯誤下降均獲得顯著差異；繪本實驗組在數常識的表現有提升，但錯誤比例未有改變；(4)在性別上，動畫實驗組男生在數常識後測的表現顯著優於繪本實驗組男生與對照組男生；動畫實驗組女生與繪本實驗組女生在數常識後測的表現皆顯著優於對照組女生的表現。但是動畫實驗組女生與繪本實驗組女生在數常識後測的表現則無顯著差異。

關鍵字：科技、動畫、數常識

壹、前言

協助兒童發展數常識(number sense)已被許多國家教育當局所重視(Anghileri, 2000; Australian Education Council [AEC], 1990; Jordan, Glutting, & Ramineni, 2010; National Council of Teachers of Mathematics [NCTM], 2000; National Governors Association Center for Best Practices and the Council of Chief State School Officers, 2010; Sood & Jitendra, 2007; Verschaffel, Greer, & De Corte, 2007; Yang & Tsai, 2010)。如美國數學教師學會所發表之*Principles and Standards for School Mathematics*即強調：發展兒童數常識的能力為中小學數學課程的主要目標(NCTM)。同時美國近期所發表之各州共同核心數學課程標準(Common Core State Standards Initiative, CCSSI)亦主張教師教學應協助學生發展多元且彈性的策略，如參考點的使用、合十策略的發展、分解與組合數字能力、以及培養估算與心算能力等，進而促進兒童數常識能力之發展。此外近期許多研究皆指出兒童數常識能力的發展會影響兒童未來數學成就之表現(Jordan, Glutting, & Ramineni; Jordan, Glutting, Ramineni, & Watkins, 2010; Yang, Li,

*通訊作者：楊德清
(投稿日期：民國101年10月05日，修訂日期：民國101年12月3日，接受日期：民國102年4月16日)

airiti

& Lin, 2008)；數常識是未來發展進階數學知識與解題技能之基石(Lago & DiPerna, 2010; Moomaw, Carr, Boat, & Barnett, 2010)，由此可見幫助孩子發展數常識的重要性。

然而，在數常識教學方面，多數研究採融入課室教學為主，雖然結果多有顯著的成效，然而礙於課程進度、教學方式與時數限制，教師無法兼顧多數學生之學習進度與適性教學(劉曼麗、侯淑芬，2006；Yang, 2006; Yang & Tsai, 2010)。此外，教師在教學的過程中可能因固定之教學進度與教學內容、教學時間之限制、或需要使用教具與具體之情境化素材，但由於受限於可使用之教材，導致教師可能浪費許多時間在黑板作圖或直接教導，再加上學習也僅限於課堂之中，因而學生的學習成效仍受限制。而數位學習能透過豐富且生動的動畫來引起學生學習的動機與意願，並提供具體化的學習經驗，如圖像表徵的動畫操作協助學生建構數學知識，進而幫助學生發展良好的數學概念與技能(Forster, 2006; Taylor, Pountney, & Malabar, 2007; Yang & Tsai)。然而，國內外研究顯示中小學學生普遍缺乏數常識(Menon, 2004; R. E. Reys & Yang, 1998; Yang, 2005)。Yang (2005)以及Yang等(2008)的研究進一步發現臺灣國小五年級與國小六年級學生除了數常識能力有待改進之外，亦發現學生有多樣之迷思概念，如缺乏估算的能力、缺乏使用參考點的能力以及無法判斷答案合理性的能力等。同時，一些研究指出學生在多媒體之動態學習情境下比傳統之學習模式有更好之學習效果，主要原因是多媒體之動態學習不但提供文字說明與視覺之學習，同時學生可以透過動態之活動融入學習，這些是傳統教學模式無法提供的(Gegner, Mackay, & Mayer, 2009; Mayer, 2003; Taylor et al.)。此外，研究亦發現女生在科技的使用上較男生缺乏信心，且女生比男生較傾向於喜歡使用文本閱讀的方式學習(Sohn & Lee, 2007)，此種行為之差異將顯著地影響科技融入之學習成效(Goh, 2011)。

綜合上述，本研究依上述研究發現將常見的迷思概念發展5個數位動畫學習活動。期能克服上述之限制，使剛進入國小六年級學生，在快樂而主動的學習氛圍下，經由動畫的自我學習與具體操作，協助學生發展數常識。因此，本研究之研究目的為比較動畫自我學習組、動畫轉化成紙本自我閱讀組、與對照組在數常識學習成效之差異，相關之研究問題說明如下：

一、實驗後，不同學習模式學生在數常識表現是否有顯著之差異？

二、實驗後，不同學習模式學生在數常識各向度之表現是否有顯著之差異？

三、實驗後，不同學習模式學生在數常識策略使用是否有顯著之差異？

四、實驗後，不同學習模式學生在性別變項上之數常識表現是否有顯著之差異？

貳、文獻探討

一、數常識

什麼是數常識(number sense)？數常識可以解釋為個人對數字與運算，以及數字和運算所產生之情境的理解；同時，數常識亦是一種能力，如具備使用參考點的能力，並能夠以彈性的方法發展解題策略與處理日常生活中的數字問題，同時能夠判斷答案的合理性(Jordan, Glutting, & Ramineni, 2010; Verschaffel et al., 2007; Yang & Wu, 2010)。

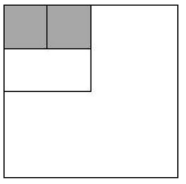
airiti

R. E. Reys與Yang (1998)的研究發現國內六年級與八年級學生在筆算測驗上的表現顯著優於數常識測驗的表現，此顯示學生具有良好的筆算能力並不代表他們能發展良好的數常識。同時，Yang (2005)透過訪談臺灣21名國小六年級學童後發現，平均只有14.000%的學童能夠使用數常識的方法解題，此結果顯示臺灣學生數常識的不足。此外，劉曼麗與侯淑芬(2006)的研究亦發現國小四年級學生在進行教學實驗前的前測答對率約為50.000%，顯示受測學生的數常識表現普遍不理想。

Griffin (2004)的研究顯示透過數常識的情境教學，可以降低兒童早期階段學習數學失敗的經驗。此外，Griffin進一步指出發展學童數常識能力對孩童學習數學、克服數學的障礙、甚至建立數學內部的連結均會有幫助。因此，如同B. J. Reys (1994)所述，數常識的發展將促使學習者能夠將新訊息與先前所獲得的經驗作邏輯性的連結，更重要的是，幫助學童發展數常識就是幫助學習者建立形成此種連結的能力。

數常識既然如此重要，那麼數常識的組成成分為何？過去20年來，國內外在數常識的相關研究持續成長(劉曼麗、侯淑芬，2006； Markovits & Sowder, 1994; McIntosh, Reys, Reys, Bana, & Farrel, 1997; Menon, 2004; Verschaffel et al., 2007; Yang & Tsai, 2010; Yang & Wu, 2010)。雖然各研究者之定義未必完全相同(Berch, 2005; Verschaffel et al.)，但一般而言，上述各研究所定義之數常識已包含「了解數字的基本意義」、「比較數字的大小」、「了解運算對數字的影響」、「發展數與運算的多重表徵」以及「判斷答案的合理性」等組成成分。基於研究需求與本研究之對象為國小六年級學童，因此，本研究之數常識組成成分定義如下：

1. 了解數字的基本意義：包含瞭解整數、小數位值的概念與分數的意義，以及瞭解整數、小數與分數之間的關係。例：某數(>0)的小數點往右移，請問這一個數的數值會如何(變大、變小或不變)？
2. 比較數字大小：能夠直接比較數字(包含整數、分數與小數)之大小的關係，例如：知道5602大於5099、能夠分辨0.52為何大於0.5199、或者是能夠使用彈性的策略以比較9/19與18/35的大小。
3. 發展數與運算的多重表徵：能將數字與運算以多元的方式(如圖形、數線、面積及其他生活情境等)表示。例：右圖中，著色的兩個正方形是整個大正方形的幾分之幾？



4. 了解運算對數字的影響：包含運算對位值及數值的影響及透過數學性質以有效率地進行運算。例如當學生被要求不使用紙筆計算的方式去判斷7/18 × 14/25的乘積是大於1/2、小於1/2、不變、或者無法判斷時，具備數常識者則能夠彈性的應用7/18 < 1/2，14/25 < 1，所以7/18 × 14/25的乘積應該小於1/2。
5. 判斷運算結果的合理性：能透過估測、情境脈絡及對數字意義與運算的理解去判斷答案的合理性。例：旗竿高5層樓，大約是多少公尺？具備數常識者知道一層樓的高度約3公尺，所以旗竿的高度大約是15公尺。

上述5個數常識組成成分為本研究所使用之前、後測(數常識診斷測驗系統)之理論基礎，以及發展數常識數位動畫學習活動之根據。

airiti

二、數常識教學之相關研究

幫助國小學童發展數常識能力已是國際間數學教育之共識(Anghileri, 2000; Berch, 2005; NCTM, 2000; Verschaffel et al., 2007; Yang & Wu, 2010)，因此，過去20年國內外已有許多探討兒童數常識表現與迷思概念之相關研究(Jordan, Glutting, Ramineni et al., 2010; Markovits & Sowder, 1994; McIntosh et al., 1997; R. E. Reys & Yang, 1998; Yang, 2005; Yang et al., 2008)，進而，國內外已有許多將數常識教學活動融入課室教學以促進兒童數常識發展之相關研究(劉曼麗、侯淑芬，2006；Griffin, 2004; Markovits & Sowder; NCTM; Yang, 2006; Yang & Tsai, 2010; Yang & Wu)。上述研究發現將數常識概念融入數學課室教學，並在教師的良好的引導下，比傳統只講述教科書內容之教學方式，更能有效地協助兒童發展數常識。且這些研究亦發現有效協助兒童發展數常識之教學必須具備以下幾個特點：需發展設計良好之數常識教學活動、教師需具備良好之數常識內容知識、教師必須知道如何去引導與協助兒童發展數常識之教學智能等。然而當前由於學校教學進度之壓力、教師可能不具備良好數常識內容之相關知識、或者是教師不知道如何去引導與協助兒童發展數常識之教學智能。基於上述困難，欲廣泛推動數常識教學於國內小學數學課室實際上而言有其困難度。基於上述理由，本研究乃思考發展數常識動畫學習活動，不需透過正式數學課室的教學，並藉由自學的方式以協助兒童發展數常識的可行性？基於上述想法，本研究乃依據國內數常識相關研究文獻的發現與相關兒童常見之迷思概念(楊德清、李茂能，2008；Yang; Yang et al.)，以發展數常識數位動畫學習活動。

綜合上述，本研究將參考上述的數常識理論與所發現之迷思，輔以學習成功的教學研究案例，開發出對學生有所幫助的數常識數位學習動畫，以進一步協助兒童發展數常識。讓學生達成McIntosh等(1997, p. 3)所述：「一位擁有良好數常識能力的人，將能夠應用多重內在的『檢驗及平衡』(checks and balances)，來判斷數與運算結果的合理性，進而在數學的學習上有更好的發展」。最終在數學上獲致良好的學習成果。

三、數位學習與數學學習之相關研究

美國教育部於2000年公佈的數位學習計畫，將科技化學習作為計畫的總目標，強調「把世界教育放到每一個兒童的指尖」(putting a world-class education at the fingertips of all children; U.S. Department of Education, 2000)。而我國教育部更於2008年提出中小學資訊教育白皮書，該書中期望(教育部，2008)我國學生能運用科技增進學習與生活能力。什麼是數位學習？徐新逸(2003)認為，數位學習是學習者透過電腦、衛星廣播、互動式電視、光碟、網際網路等數位化電子媒體進行學習的一種學習方式，並藉由其所提供之數位學習內容及教學方法在情境中創造有意義的學習經驗，以便達到教學目的。吳清山與林天佑(2004)則認為數位學習是指學習者經由網際網路在教學者的網站中，利用其所提供的數位教材內容進行系統化學習，此種學習異於傳統教師在教室上課的方式，它可以提供更多樣化的學習內容，亦可減少時間與空間的障礙，讓學習者從事更有效率的學習。

在數位學習的理念部分，數位學習強調學生是教學活動的中心，應可決定自己所要學習的內容與進度；設計的課程、教材、教學策略從以學科為中心的分科課程到以

學生為中心的統整課程(Moyer, Niezgoda, & Stanley, 2005)。然而，教育上不同科技的使用，會導致對於學習的不同觀點，進而影響課程主題如何被教導與學習(Timmerman, 2004)。因此良善且有系統地設計教材，成為數位學習活動最重要的起步。Erbas, Ledford, Polly與Orrill (2004)即認為，科技不只是一個用來執行一些計算或使學生忙於鑽牛角尖練習的簡單工具；科技應能使學生透過多重表徵的方式與其互動，進而探索抽象或具體的概念，這也將使他們成為更好的問題解決者。Jonassen, Peck與Wilson (1999)則補充不能只讓學生從科技的畫面中學習知識，而是應讓學生從思考中學習，思考可以做什麼，思考還有什麼可以做的；其希望學生透過活動參與去思考與學習相關的知識，教師提供學生透過科技的媒介進行學習活動，而學習的意義在活動中獲得，亦即運用科技進行學習。

科技在數學的教與學中扮演一個非常重要的角色，它不但影響數學的內容如何被傳遞，同時可以增強生學習數學的動機(NCTM, 2000)。此外，科技的使用也提供一個有效的途徑，在數學與解題的過程中促進學生多重表徵的發展(Erbas et al., 2004)。然而，Erbas等的研究指出即使多重表徵的發展有這麼多的優點，教師仍認為在時數有限及傳統數學教學的限制下，將多重表徵之策略融入開放式解題情境是困難的。但是科技能夠協助只具備有限數學知識及運算技能之學生透過科技之探究活動，以及多重表徵之功能，以引發學生之學習興趣。因此，教師應重視並鼓勵多重表徵及科技的使用，以支持學生對於所有數學範圍的概念與解題情境的想法與理解(Erbas et al.; Geiger, Forgasz, Tan, Calder, & Hill, 2012)。同時相關的研究亦發現，適當地將科技融入數學的教學與學習，不但能夠協助學生發展數學概念與提升學生之數學成就表現(Dick, 2008; Eseryel, Guo, & Law, 2012; Geiger et al.; Vulis & Small, 2007; Yang & Tsai, 2010; Zbiek, Heid, Blume, & Dick, 2007)，同時能夠促進學生學習數學的動機(Aliasgari, Riahinia, & Mojdehavar, 2010; Eseryel et al.; Lan, Sung, Tan, Lin, & Chang, 2010; Yang & Tsai)。

在設計數位學習活動的策略上，學生在進行此類型的學習時，先備知識與資訊能力是教師要確認的重要因素(吳新華、劉世雄、吳沂木，2004)。一個好的數位學習活動，必須能藉由電腦呈現一個模擬真實的假想情境，讓學生操弄情境中的某些變因，並觀察操弄的結果；據以修正自己的認知結構，從而學習解決問題的能力(靳知勤、劉冠任，1998)。而為使操作與練習有效，練習活動應該對學生可能會產生錯誤的地方提供正確的回饋(Newby, Stepich, Lehman, & Russell, 2000)。此外，Newby等進一步指出，數位遊戲提供學生高度動機，在一個學習的規則下，努力地挑戰以獲得學習目標的機會；特別針對單調乏味且需要重複練習的內容，這樣的數位遊戲將可幫助學生在自願的情況下於遊戲中獲得足夠的練習。綜合上述，一個好的數位學習活動，必須提供學生模擬真實的情境，讓學生在情境中主動操作並建構自己的認知，適時地給予回饋與增強，並透過遊戲的方式幫助學生有動機地重複練習，進而達到學習果效。

Ke (2008)探究透過電腦遊戲與傳統紙筆運算的學習活動兩者對學童學習的影響，結果顯示在提升數學學習興致上，電腦遊戲顯著高於一般傳統紙筆的學習。Kinzie與Joseph (2008)的研究設計一份「教育遊戲偏好調查」

airiti

(educational game preferences survey)探究中學男女學生對電腦教育遊戲類型的喜好。結果顯示，探險類的遊戲是男女生共同喜好的遊戲類型。而「主動類型」、「策略類型」及「創造性類型」的遊戲則在男女喜好上達顯著的差異。

此外，不同的學習媒介，如數位或紙本的學習模式，對學生自我學習數學之成效亦會有不同的影響(Clark & Mayer, 2008; Mayer, 2003)。例如，Mayer指出學生在設計良好之文字、視覺與影音組合的多媒體學習模式下，其學習成效將遠過傳統中只包含文字之靜態的學習模式。Clark與Mayer亦指出動畫多媒體學習活動比靜態繪本之學習有效，必須符合四個原則：1.動畫活動內容設計應減少與學習主題不相干的多餘資訊，進而減輕多餘的學習負擔；2.動畫活動設計能夠將身體的與心理的情況融合於應用的學習情境中；3.適當的練習問題能夠融入於動畫活動內，以加強長期保留學習成效；4.動畫活動設計能夠提供適當的回饋。同時，一些研究進一步指出，透過設計良好之電腦動畫活動比傳統之學習方式更能提升學生之數學學習成效(Geiger et al., 2012; Lipeikienė & Lipeika, 2006; Steen, Brooks, & Lyon, 2006; Szabo & Poohkay, 1996; Taylor et al., 2007)。例如，Lipeikienė與Lipeika即指出透過視覺的感官，動畫不但可以提供學生探索複雜數學概念的機會；同時動畫活動比靜態的繪本閱讀或口語的講解，更能協助學生進行許多數學概念的證明。

綜合上述討論可以發現科技適時的融入數學課室的教與學，不但可以有效協助兒童發展數學概念與提升數學表現，同時亦能提升兒童學習數學的態度；目前雖然尚未有透過數位動畫學習的方式以協助兒童發展數常識的相關研究，但是Yang與Tsai (2010)的研究發現透過科技融入數學課室教學，可以有效提升兒童的數常識與學習數學的興趣。因此，本研究企圖透過數常識數位動畫活動的開發，並透過自學與自行操作的方式以促進兒童自我數常識的發展。期盼研究成果可以做為未來廣泛協助兒童發展數常識之參考依據與推廣之途徑。

參、研究方法

一、研究方法

本研究採準實驗研究法(如表1)，以探討本研究所開發之數常識電腦化數位學習活動對參與學生之數常識學習成效的改變情形。

二、研究樣本

本研究採立意抽樣選取南部地區某大型公立小學一所並擁有電腦教室的國小六年級學生共三個班級90位學生(男生50人，女生40人)作為動畫實驗組；同時，為了比較動畫與繪本的差異，研究者也另外選取了六年級的三個班級共90位學生(男生50人，女生40人)做為繪本實驗組；最後，再選取六年級一個班級30位學生(男生16人，女生14人)做為對照組。三組在數常識前測的結果並無顯著

表1：準實驗設計表

	前測	實驗	後測	控制變項
動畫實驗組	A_1	X_1	A_2	
繪本實驗組	S_1	X_2	S_2	學校教材、起點行為、自行學習時數等。
對照組(一般學習)	C_1	X_3	C_2	

airiti

差異；而三組班級所使用之數學教材是相同版本。

三、研究工具

(一)數常識電腦化診斷測驗系統

本系統為楊德清與李茂能(2008)所開發之「數常識電腦化診斷測驗系統」。該測驗的題型是以選擇題為主；且測驗分兩階段進行，第一階段請受測學童依據所提供之數常識問題選擇適當之答案選項，然後依照答案選項電腦自動進入第二階段之原因選項。在原因選項中，除了正確的原因外，其它原因還包含了傳統算則、學童常犯的錯誤迷思與猜測選項等。本系統之五年級測驗問題之Cronbach's α值為 .801。同時本測驗之數常識問題經過二位數學教育專家，三位具數常識相關經驗之小學教師協助審題，一致同意數常識問題符合數常識之定義與內涵，因此題目具專家效度。

(二)數常識數位學習活動

本研究依據先前研究所發現國內小六年級學生常見之分數與小數思迷概念為基礎(R. E. Reys & Yang, 1998; Yang, 2005; Yang et al., 2008)，設計了5個數常識電腦化數位學習活動，每個活動所包含的故事情節、數學內容、數常識向度與學習目標，詳述如表2。

(三)實驗處理

動畫實驗組與繪本實驗組三個班級的實施均由研究者親自前往監督與說明，動畫實驗組學生在電腦教室進行動畫活動的操作(動畫活動已事先安裝於電腦內，並已測試可行)；繪本實驗組學生與對照組學生則在該班教室進行繪本的閱讀與相關單元之教材的閱讀。三組學生皆接受數常識電腦化診斷測驗系統之前、後測；在授課的時數上，三組學生都接受完全相同之學習時數，以確保實驗結果的可信度。

表2：數常識電腦化數位學習動畫一覽表

活動名稱	故事情節略述	數學內容	數常識向度	學習目標
小數迷宮	阿奇意外被數學之神選擇與小綠天使一同冒險挑戰混沌魔王，在激烈而刺激的冒險旅途中，究竟他們會遇到什麼可怕的生物與關卡呢？	小數意義 小數加減 小數乘除 估算	一、二、三、四	小數位值 小數比較 運算影響
電算器 快手 爭奪賽	電算器快手爭奪賽中，小綠與小紫競爭激烈，到底有什麼方式能夠比電算器算的更快更正確呢？	估算 電算器 小數	一、四、五	估算能力 參考點 運算影響
蛋糕 大胃王	小英、小華在蛋糕大胃王競賽中，兩個人將蛋糕分成不同的大小，結果都剩一塊，勝負究竟該如何判定？	分數比較大小 分數基本意義	一、二	參考點 剩餘策略
1/2標兵	小胖今天數學只有考20分，被媽媽罵了一頓。可是小胖也覺得很奇怪，為什麼一下子對一下子錯呢？想著想著就沉沉的睡著了……	分數比較大小 等值分數	一、二	參考點 1/2策略
我是 估測王	緊張刺激的校園大地遊戲，來到我是估測王這一關，究竟哈士奇小隊成員是否能成功估計出椰子樹的高度呢？	估測 長度化聚	五	估測能力 參考點 長度化聚

airiti

由於動畫組學生在操作數位動畫活動二：電算器快手爭奪賽的過程中將使用電腦內的電算器，因此，為配合繪本組學生閱讀相同之數學素材，每位繪本組之學生亦可使用簡易具備四則運算之電算器。同樣地，對照組學生在同時閱讀數學教科書之小數單元時，亦提供每位學生可以自由操作計算器。其它活動過程則是依照既定方式，動畫組學生操作電腦，繪本組學生則是閱讀繪本內容，對照組學生則是閱讀數學教科書之對應單元。

四、實驗流程

本研究之實驗設計為準實驗設計，礙於本研究對照組設置之目的為確保動畫實驗組與繪本實驗組學童非因學校教材、課程進度、前測與時間成長等變因而造成進步。因此，對照組學生在實驗期間接受自行閱讀教科書內之數與量主題內容。而繪本實驗組則是將數位學習內容轉化為繪本提供學生自主學習，共5節課。如圖1繪本實驗組實驗設計流程圖所示。

而動畫實驗組則是實施數位學習動畫，活動共5節課，每節課均由研究者帶領研究群前往進行，接著再以同樣的數常識診斷測驗系統進行後測。如圖2動畫實驗組實驗設計流程圖所示。

由於數位動畫活動之設計包括小數(二個活動)、分數(二個活動)以及整數估算之學習為主，因此，對照組學生在實驗的同時間則是閱讀數學教科書之小數單元(二節)、分數單元(二節)以及整數之概算單元(一節)，活動共五節課。活動前後亦同樣地參與進行數常識診斷測驗系統前、後測。如圖3對照組實驗設計流程圖所示。

五、資料蒐集與分析

蒐集資料：數常識電腦化診斷測驗透過網路蒐集資料，測驗流程如圖4所示。

資料分析：透過數常識測驗系統所蒐集之前後測成績，將輸入SPSS軟體並透過單因子共變數分析、雙因子變異數分析等方法進行統計考驗，以了解樣本學童之數常識表現能力為何？在數常識五大內涵各向度的表現為何？性別的不同是否會影響數位學習之成

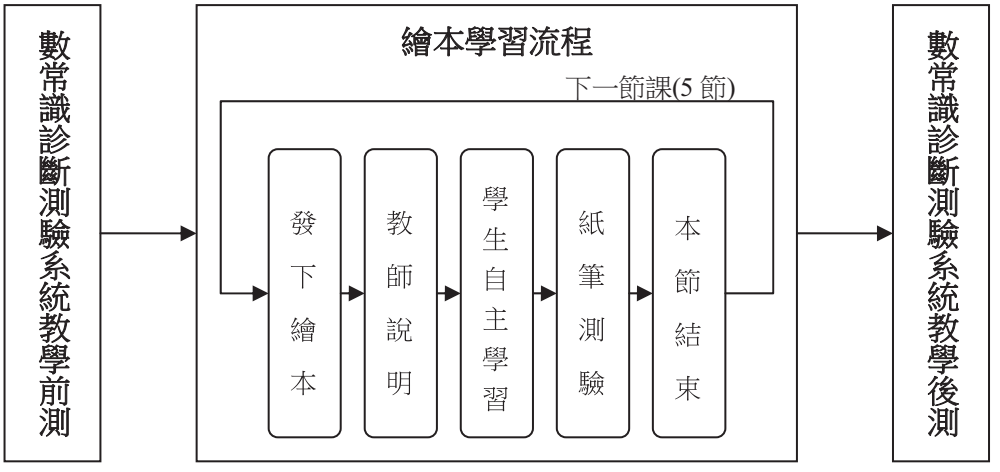


圖1：繪本實驗組實驗設計流程圖

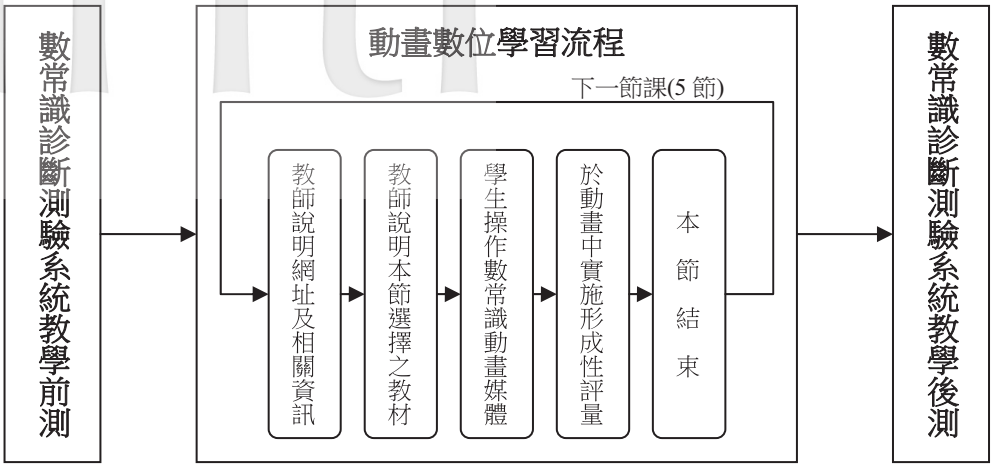


圖2：動畫實驗組實驗設計流程圖

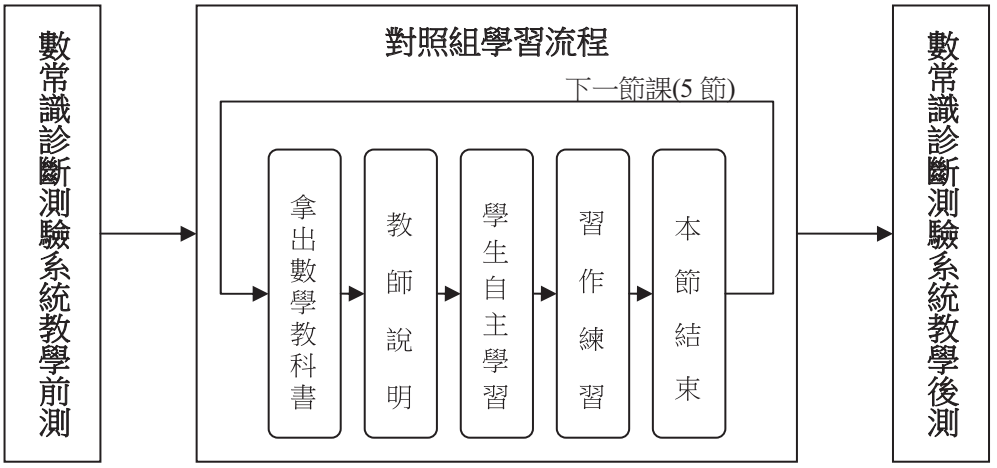


圖3：對照組實驗設計流程圖

效？此外，為了能確實鑑別學生數常識的能力，本研究採取多元計分方式(Adams, Wilson, & Wang, 1997)，在錯誤答案的部分依照高程度學生選答比例進行配分，最多高程度學生選擇的錯誤答案得到2分，其次則得到1分，最少則為0分。透過更細緻的配分模式進一步看出學生的數常識表現。因此，本研究採取的配分方式如表3所示。

肆、研究發現

一、不同學習模式學生在數常識表現之差異

表4報告動畫實驗組、繪本實驗組與對照組學生在數常識前、後測得分之敘述性統計結果，三組學生在實驗前之數常識測驗經由ANOVA檢測，F值為0.059，$p > .050$，結果顯示三者在數常識前測無顯著差異。

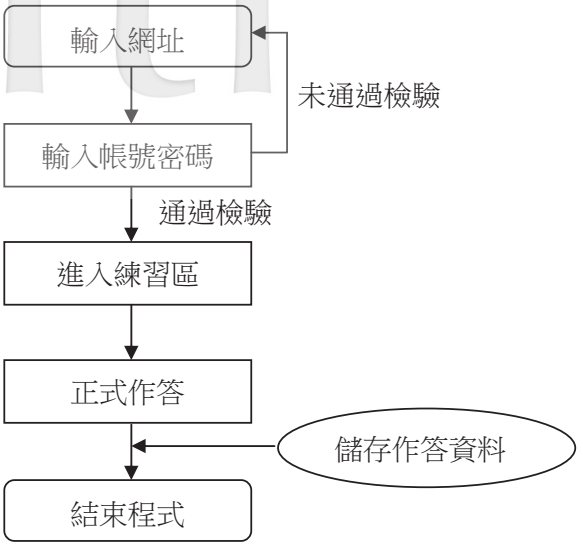


圖4：數常識診斷測驗流程圖

表3：數常識多元計分配分表

答案選項	正確答案				錯誤答案		
	4分						
原因選項	數常識	算則	迷思	猜測	最多高程度學童選擇之答案	次多高程度學童選擇之答案	最少高程度學童選擇之答案
	4分	2分	1分	0分			
總計	8分	6分	5分	4分	2分	1分	0分

表4：數常識測驗前、後測平均分數之敘述性統計量

	統計量	動畫實驗組(n = 90)	繪本實驗組(n = 90)	對照組(n = 30)
前測	平均分數	177.960	177.140	174.500
	標準差	53.089	40.535	50.758
後測	平均分數	195.910	192.940	174.330
	標準差	51.593	45.315	48.264

接著以「不同學習模式」為自變項、「前測成績」為共變項及「後測成績」為依變項進行共變數分析(analysis of covariance, ANCOVA)。結果如表5所示。由表5可知在排除了前測的影響後，學習模式的F值為5.711，$p < .010$，亦即在數常識學習成效上三組成績達顯著差異。

接著表6呈現事後比較之結果以了解三組間的差異關係。

綜上可知，依據本實驗所設計腳本開發之繪本與動畫均能一定程度地提升學童數常識能力的發展，且繪本與動畫兩者後測分數未達顯著差異。相對之下，若僅透過學校正式課程的教材內容進行學習，則學童的數常識能力未有任何改變。

表5：不同學習模式之共變數分析摘要表

變異來源	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*p*
組間(學習模式)	7924.442	2	3962.221	5.711	.004**
組內(誤差)	142913.545	206	693.755		

** $p < .010$

表6：不同學習模式之事後比較結果一覽表

依變數	(I)學習模式	(J)學習模式	平均數差異(I-J)	標準誤	顯著性[a]
後測數常識表現	1[b]	2	1.197	3.926	.000
	2[c]	3	16.890 (*)	5.554	.008**
	3[d]	1	-18.086 (*)	5.554	.004**

註：[a]多重比較調整：Bonferroni；[b]學習模式1：動畫實驗組；[c]學習模式2：繪本實驗組；[d]學習模式3：對照組。
*$p < .050$ **$p < .010$

二、不同學習模式之學生在各向度之比較

首先，將動畫實驗組、繪本實驗組與對照組在各向度之前、後測平均得分，整理如表7所示。

因此，本研究必須將前測總分作為「共變數」。而向度一到向度五之後測得分做為「依變數」，並將組別變項作為「固定因子」進行多變量共變數分析。結果如表8所示。由表8知，在排除了前測總分的影響後，數常識後測向度二與向度四得分在不同學習模式間達顯著差異，其F值分別為3.440 ($p < .050$)與3.076 ($p < .050$)。而在向度二與向度四之得分中各組的差異究竟為何？

表9則呈現事後比較之結果以了解三組在向度二與向度四的差異情形。

由表9發現，在向度二的後測得分中，只有學習模式1 (動畫實驗組)與學習模式3 (對照組)達顯著差異，而反觀向度四的後測得分中，卻是學習模式2 (繪本實驗組)與學習模式3 (對照組)達顯著差異。研究者省思認為，向度二內問題的主要內涵為比較數字的相對大小，而在同樣的腳本下，動畫比繪本更能幫助學童發展這個向度的能力，顯示動畫的動態呈現相對於繪本的靜態呈現，對於學童理解分數、小數與整數比較大小的能力有較佳的學習效果。如本研究所開發之「蛋糕大胃王」活動，即透過圖像動態表徵的方式說明分數比較大小的參考點策略及剩餘策略的使用，而繪本相對之下就無法將這樣的比較過程以動態方式呈現給學生觀看，這可能是造成向度二得分有差距的因素；另一方面，向度四問題的內涵主要則是了解運算對數字的影響，在同樣的腳本設計下，繪本反而更能幫助學童發展，以本次研究開發的腳本而言，「電算器金頭腦挑戰賽」最能符應這個向度的學習，而這樣的結果也顯示讓學生在電腦操作計算機與透過繪本閱讀而實際操作真實的計算機將造成不同的學習成效，而本研究結果顯示，後者的表現較佳。

三、不同學習模式之答題策略比較

表10先呈現三組學童在數常識前、後測之選答策略百分比。

airiti

表7：三組在數常識各向度前、後測之平均分數比較表

數常識各向度	數常識得分					
	動畫實驗組		繪本實驗組		對照組	
	前測	後測	前測	後測	前測	後測
一、了解數字的基本意義	36.370	39.320	36.820	38.390	35.130	34.870
二、比較數字的相對大小	39.080	42.600	39.780	42.110	38.570	37.230
三、發展數與運算的多重表徵	33.860	38.910	33.460	37.680	30.070	35.100
四、了解運算對數字的影響	36.140	39.360	35.580	40.140	37.400	34.370
五、判斷運算結果的合理性	32.510	35.720	31.510	34.620	33.330	32.770

註：各向度滿分為80分

表8：不同學習模式之各向度得分多變量共變數分析摘要表

變異來源	依變數	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*p*
組間(學習模式)	後測向度一得分	297.781	2	148.891	1.926	.148
	後測向度二得分	502.588	2	251.294	3.440	.034*
	後測向度三得分	194.637	2	97.318	1.238	.292
	後測向度四得分	588.975	2	294.488	3.076	.048*
	後測向度五得分	185.955	2	92.978	1.430	.242

*$p < .050$

表9：不同學習模式之各向度得分事後比較結果一覽表

依變數	(I)學習模式	(J)學習模式	平均數差異(I-J)	標準誤	顯著性[a]
後測向度二得分	1[b]	2	0.430	1.276	.000
	2[c]	3	4.182	1.810	.066
	3[d]	1	-4.612 (*)	1.805	.034
後測向度四得分	1	2	-0.864	1.461	.000
	2	3	5.100 (*)	2.072	.044
	3	1	-4.236	2.067	.125

註：[a]多重比較調整：Bonferroni；[b]學習模式1：動畫實驗組；[c]學習模式2：繪本實驗組；[d]學習模式3：對照組。
*$p < .050$

表10：數常識測驗前、後測選答策略百分比

選答策略 \ 組測驗別		動畫實驗組		繪本實驗組		對照組	
		前測	後測	前測	後測	前測	後測
答案正確之答題策略	數常識	21.100%	24.700%	20.300%	23.900%	19.700%	19.100%
	算則	8.200%	10.200%	8.800%	10.200%	8.600%	8.700%
	迷思	8.000%	9.200%	9.100%	8.200%	7.600%	7.900%
	猜測	5.000%	5.200%	3.800%	5.600%	6.300%	8.600%
答案錯誤		57.800%	50.700%	58.100%	52.200%	57.800%	55.700%

airiti

接著透過共變數分析，獲得表11結果。由表11可見，五個策略在排除了前測可能的影響後，只有在數常識選答比例與錯誤選答結果，三組有達顯著差異。

接下來針對這兩個策略繼續進行事後比較，如表12所示。由表12可以發現，在數常識的選答比例上，學習模式2 (繪本實驗組)與學習模式1 (動畫實驗組)均顯著高於學習模式3 (對照組)，顯示經過本研究所開發之動畫與繪本的學習後，兩組學生與對照組學生在數常識選答比例均達統計上顯著差異。此顯動畫與繪本組學生在實驗後有較好的數常識學習成效。另一方面，在錯誤的選答比例上，有學習模式1 (動畫實驗組)與學習模式3 (對照組)達顯著差異，顯示本研究所開發之動畫不僅能提升學童的數常識能力，更進而能降低其錯誤的比例，並與對照組學生之表現達顯著差異。

綜上所述，可以發現，本研究所開發之繪本，能有效提升學童的數常識選答比例；但更進一步的是，本研究所開發之腳本所製作的動畫，不僅能有效提升學童的數常識選答比例，更能進而顯著降低學童錯誤的比例，再次驗證本實驗動畫之價值性。

綜合上述分析，本研究發現，在經過三種不同的學習模式進行五節課後，動畫實驗組與繪本實驗組之整體數常識得分均顯著優於對照組；此外，進一步分析各向度之得分情形也發現，在向度二(比較數字的相對大小)與向度四(了解運算對數字的影響)之得分三組有達顯著差異，其中在向度二是動畫實驗組顯著高於對照組，在向度四則是繪本實驗組顯著高於對照組；最後，在選答策略的比例上，數常識方法與錯誤類型的方法中三組達顯著差異，其中動畫實驗組與繪本實驗組均在數常識方法上顯著優於對照組，而錯誤

表11：不同學習模式之選答比例共變數分析摘要表

變異來源	依變數	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*p*
組間(學習模式)	後測數常識比例	0.051	2	0.025	4.391	.014*
	後測算則比例	0.007	2	0.004	1.157	.316
	後測迷思比例	0.010	2	0.005	2.338	.099
	後測猜測比例	0.015	2	0.008	1.158	.316
	後測錯誤比例	0.056	2	0.028	4.017	.019*

*$p < .050$

表12：不同學習模式數常識、錯誤選答比例事後比較結果

依變數	(I) 學習模式	(J) 學習模式	平均數差異 (I-J)	標準誤	顯著性[a]
後測數常識選答比例	1[b]	2	0.003	0.011	.000
	2[c]	3	0.043 (*)	0.016	.024
	3[d]	1	-0.045 (*)	0.016	.015
後測錯誤選答比例	1	2	-0.013	0.012	.939
	2	3	-0.037	0.018	.106
	3	1	0.050 (*)	0.018	.015

註：[a]多重比較調整：Bonferroni；[b]學習模式1：動畫實驗組；[c]學習模式2：繪本實驗組；[d]學習模式3：對照組。
*$p < .050$

airiti

類型的降低，則是只有動畫實驗組顯著優於對照組。從上述資料各項資料之確認，可以發現，本研究所開發之數位動畫在數常識得分與數常識選答比例之提升及錯誤比例下降均有很好的學習成效，唯在向度四可能學童對於真實計算機的使用比較有感覺才低於繪本實驗組，而在向度二需要圖像動態表徵的部份，則相對較繪本更具優勢；另一方面，本研究所開發之繪本則是在錯誤比例的降低能力，略不足於動畫之影響，但在某些情境下，反而較動畫更加真實。

四、不同學習模式在性別變項上之比較

首先我們透過表13，說明三組男、女生在數常識前、後測之敘述性統計量。

因此，研究者將「後測成績」做為依變數，「前測成績」為共變數，並將「學習模式」與「性別」列入固定因子中進行雙因子變異數分析。結果如表14所示。由表14可知，性別與學習模式在數常識得分上之交互作用顯著，其F值為4.208，$p < .050$。由於交互作用顯著，所以必須執行MANOVA語法進行單純主要效果考驗。

結果如表15所示。表15顯示，在繪本實驗組中，男、女生的學習成效有顯著的差異性($t = 3.250$, $p < .010$)，女生的表現顯著優於男生的表現。此顯示繪本的學習對男生是比較沒有效果，同時亦顯示男學生對靜態之繪本較缺乏興趣，但是女學生比較能夠安靜的閱讀繪本內的資料。此外，資料亦顯示單純主要效果考驗的結果也說明在全體男生中，動畫實驗組男生之數常識得分顯著高於繪本實驗組與對照組的男生，此結果顯示對男生而言，數位動畫學習模式是三種學習模式中最能幫助他們發展數常識的方式。本實驗結果與Kinzie與Joseph (2008)的研究中所發現男生最喜歡挑戰型的遊戲結果一致。而在全體女生中，動畫實驗組與繪本實驗組之數常識得分則都顯著高於對照組女生，顯示不論是數位動畫還是紙本繪本對女生而言都能幫助她們數常識的發展。因此，我們可以知道數常識動畫是本研究中唯一對男、女生都很有

表13：不同學習模式下男、女生在數常識成績之敘述性統計量

統計量	組性別	動畫實驗組		繪本實驗組		對照組	
		男(50)	女(40)	男(50)	女(40)	男(16)	女(14)
前測	平均	176.660	179.580	177.400	176.830	173.000	176.210
	標準差	55.120	51.090	42.140	38.960	53.680	49.160
後測	平均	196.460	195.230	185.080	202.770	172.690	176.210
	標準差	51.100	52.840	48.540	39.340	51.160	46.570

表14：不同學習模式與性別之數常識得分變異數分析摘要表

變異來源	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*p*
B (學習模式)	8202.737	2	4101.369	6.163	.003**
A (性別)	1036.268	1	1036.268	1.557	.213
A * B (交互作用)	5600.809	2	2800.404	4.208	.016*

*$p < .050$ ** $p < .010$

表15：學習模式、性別在數常識得分之單純主要效果考驗

變異來源	*SS*	*df*	*MS*	*F*	事後比較
A因子(性別)					
在b1 (動畫實驗組)	436.440	1	436.440	0.660	
在b2 (繪本實驗組)	7037.750	1	7037.750	10.580**	女生＞男生** ($t = 3.250$, $p < .010$)
在b3 (對照組)	59.430	1	59.430	0.090	
B因子(學習模式)					
在a1 (男生)	5747.930	2	2873.970	4.320*	動畫實驗組＞繪本實驗組* ($t = 2.330$, $p < .050$) 動畫實驗組＞對照組* ($t = 2.520$, $p < .050$)
在a2 (女生)	9872.490	2	4936.240	7.420**	繪本實驗組＞對照組*** ($t = 3.840$, $p < .001$) 動畫實驗組>對照組* ($t = 2.540$, $p < .050$)

*$p < .050$ **$p < .010$ ***$p < .001$

幫助的學習方法。此結果回應了先前的相關研究：有效的使用科技於數學教學中，可以增強學生的數學學習(NCTM, 2000)，透過數位動畫的學習可以有效的協助學生理解數學概念(Gegner et al., 2009; Mayer, 2003; Taylor et al., 2007)。

伍、結論與建議

一、結論

綜合以上研究發現，本研究有以下結論：

研究發現動畫實驗組於後測的表現顯著優於對照組，但動畫實驗組與繪本實驗組則無顯著差異。顯示依據本研究設計腳本所開發之動畫與繪本能一致地提升學童數常識能力。亦即，透過將生活情境融入數位動畫與繪本中，能夠協助學童數常識能力的發展。此結果符應先前之相關研究的發現：科技融入數學課室，可引導學生參與一個良好的學習環境，並提供學童實際參與操作數位動畫活動，進而協助數學概念的發展(Geiger et al., 2012; Lipeikienė & Lipeika, 2006; Moyer et al., 2005; Steen et al., 2006; Szabo & Poohkay, 1996; Taylor et al., 2007)，進而協助學生發展數常識的能力(Yang, 2006; Yang & Tsai, 2010)。此顯示本研究所開發之數位學習動畫能有效協助學童發展數常識之能力。此外，繪本閱讀對繪本實驗組之女學生在數常識之表現亦有顯著之成長，此顯示女生可能較喜歡靜態的閱讀活動，此發現與Marshall (1984)的發現相一致，即女生比男生較喜歡閱讀的活動；而男生在科技工具的使用上比女生較有信心之相關研究一致(Pierce & Ball, 2009; Thomas, Hong, Bosley, & Delos Santos, 2008)。

此外，向度二動畫實驗組表現較佳，可見動畫的動態呈現相對於繪本的靜態呈現，對於學童理解分數、小數與整數比較大小的能力有較佳的學習效果。此外透過動畫能幫助學生看到各種比較大小策略的動態圖像表徵進而獲得較佳的學習果效，如Taylor等(2007)的研究即發現透過電腦動畫可以協助學生發展數學概念，同時動畫能幫助學生透

airiti

過紙本很難傳遞的動態圖形表徵學習數學概念。此結果亦與先前之相關研究發現一致－科技與動畫能提供一個環境讓學童從中發展良好的多重表徵能力(Erbas et al., 2004; Moyer et al., 2005; Reimer & Moyer, 2005; Suh & Moyer-Packenham, 2007)。但在向度四方面則是繪本實驗組表現較佳，這可能是由於相對於在電腦使用計算機，繪本實驗組在閱讀繪本時使用真實計算機比較有真實感，印象也較深刻所致。此結果符應Timmerman (2004)的主張，在教學現場使用不同的科技，對於學習者而言將會產生不同的觀點，進而影響課程如何被學習。而電腦與計算機不同科技的使用，似乎還是由學童習慣的傳統計算機效果較佳。本研究亦發現在實驗後，三組學生在向度一(了解數字的基本意義)、向度三(發展數與運算的多重表徵)與向度五(判斷運算結果的合理性)之表現沒有顯著差異，研究者推測可能的原因是由於本研究只進行5個動畫的學習活動，因為實驗的時間不夠長，且活動內容的焦點並不強調向度三(發展數與運算的多重表徵)，所以樣本學生在向度三的表現沒有顯著差異是可以理解的。雖然活動二與活動五之目標有促進學生發展向度五(判斷運算結果的合理性)之能力，但過去研究顯示國內學生在此向度之表現最差，且教科書內容並未協助學生發展此向度之能力(Yang, 2005; Yang et al., 2008)。因此，在有限的學習時間下，樣本學生在向度五的表現沒有顯著差異亦是可以理解的。此外，數位動畫活動一至四之學習目標雖然有協助學生發展向度一(了解數字的基本意義)之意涵；但是由於向度一之含括範圍較廣，包含了整數、小數、分數、與百分比等，且數位動畫活一與二主要在協助學生發展比較小數之大小以及運算對小數的影響，數位動畫活三與四主要在協助學生發展比較分數之大小以及運算對分數的影響。因此，同樣地在時間有限的情況下，造成樣本學生在向度一的表現亦沒有顯著差異。

另一方面，從選答策略的比例來看，動畫實驗組學童不但在數常識選答比例顯著的提升，同時也在答錯的比例顯著下降，反之，繪本實驗組則僅在數常識選答比例達顯著差異。再一次呼應了前述研究(Griffin, 2004; Yang, 2006; Yang & Wu, 2010)之論點——透過有趣的生活情境，輔以具體操作學習方式，是提升數常識能力的方法。

最後，雖然動畫實驗組與繪本實驗組未達顯著，但從男女的差異比較可知，動畫實驗組男女之數常識能力均有顯著的提升，反之，繪本實驗組則只有女生表現較佳，由此可知雖然是使用同樣的腳本，但動畫學習相對於繪本學習，更能一致地提升男、女生數常識能力的發展。而本研究之動畫，大多採取任務型導向的方式，符合Kinzie與Joseph (2008)研究所述——男女生皆喜歡挑戰型的遊戲，因此，產生不錯的學習成效。

二、主要貢獻與對數學教育之啟示

本研究之突破性結果，即主要之研究貢獻有下列幾點：

(一)數位動畫學習對學生數常識之發展有正面的效果

過去幾年並未有透過數位動畫的學習以協助兒童發展數常識的相關研究，本研究結果顯示數位動畫學習對學生數常識之發展有正面的助益，更重要的是效果考驗的結果說明在全體男生中，動畫實驗組男生之數常識得分顯著高於繪本實驗組與對照組的男生，顯示數位學習動畫是三種學習模式中最能幫助男學生發展數常識概念的方式。

airiti

(二)透過自學數位動畫模式可有效提升學生之數常識表現

本研究發現透過學童自學數位動畫活動的方式，且不須使用數學正課的時間避免增加教師負擔或考慮教師數常識專業知識不足的情形下，學童可依個別需求與時間許可的環境下，自行學習。結果亦顯示此自學模式可提升學生之數常識。

本研究對數學教育之啟示為學生可依據個人需求自學數位動畫學習活動，以提升個人之數常識，同時不影響正課教學的時間與減輕老師的教學負擔，以當作輔助學習的工具。由於本研究所開發之數常識數位動畫活動具有上述優勢，未來可廣泛推廣此數位學習活動於全國。

三、建議

(一)教師的建議

從本研究七個班級的數常識前測成績可知，學生在數常識問題的平均答對率不到50.000%，顯示我國大多數國小六年級學童之數常識能力發展尚嫌不足，因此，每位教師都應試圖協助學童發展數常識。而本研究所開發之數位學習動畫之學習果效在本研究已經獲得驗證，因此，未來有興趣的教師可透過網路或光碟使用這些動畫，不需教師的輔助教學下，透過學生自主學習的模式，能對學生數常識能力的發展有一定的提升，如此才能藉此讓我國學童趕上世界數學學習的腳步。

(二)後續開發的建議

本研究在情境上大多採取挑戰型、比賽型等的模式，然而，遊戲的方式尚有很多可開發之情境，這些都是值得後續再繼續開發之部份。因此，本研究建議可從其他方式如練習型、養成型或其他更貼近學生生活之情境進行切入，以讓學生能在更快樂的氛圍中學習數學。另一方面，本研究動畫都是透過Flash軟體所製作。雖然有不錯的學習成效，但坊間尚有很多工具可供整合：如GSP動態幾何軟體、國內外數學教學相關網頁所開發之學習媒介等，這些工具的使用將可使開發之歷程更加快速，在學習上說不定也能有更棒的果效，值得後續嘗試。而在針對輔助教師教學的部份，應可開發一些分數、小數概念學習的基本工具提供教師使用，對於教學現場之助益也值得後續之開發。

(三)後續研究的建議

由於本研究透過國小六年級7個班級共五節課進行實驗。在年級上，後續研究者可考量發展符合其他年級的數常識數位學習教材；在班級數上，後續研究者亦可考慮共進一步擴大樣本數以更加確立動畫之學習性；在動畫數量上，由於本研究只有五節課，所以進步的比例有限，可考慮開發更多的腳本動畫俾利學生數常識的發展。

誌謝

本研究蒙國科會專題計畫補助，計畫編號NSC100-2511-S-415-008-MY3，特誌申謝；文中所提論點純屬作者個人之意見，並不代表國科會立場。作者衷心感謝總編輯暨審查委員對本文所提供之寶貴意見，由於您們的協助，方能使本文能夠以最佳的方式呈現。

airiti

參考文獻

1. 吳清山、林天佑(2004)。**教育新辭書**。臺北市：臺灣高等教育。
2. 吳新華、劉世雄、吳沂木(2004，2月)。**建構科技融入主題探究的創意教學模式之行動研究**。發表於二〇〇四年第二屆創新與創造力研討會。臺北市：政治大學創新與創造利研究中心。
3. 徐新逸(2003)。數位學習課程發展模式初探。**教育研究月刊**，**116**，15-30。
4. 教育部(2008)。**資訊新視野數位共悠遊——教育部中小學資訊教育白皮書2008-2011**。臺北市：作者。
5. 楊德清、李茂能(2008)。**九年一貫國小階段數常識電腦化診斷測驗系統之開發與應用**。臺北市：行政院國家科學委員會。
6. 靳知勤、劉冠任(1998)。以STS理念推展科學教育——非制式教育環境中的可行策略。**博物館學季刊**，**12**(3)，91-100。
7. 劉曼麗、侯淑芬(2006)。整數數感融入國小四年級數學科教學之研究。**科學教育學刊**，**14**(2)，121-147。
8. Adams, R. J., Wilson, M., & Wang, W. C. (1997). The multidimensional random coefficients multinomial logit model. *Applied Psychological Measurement*, *21*(1), 1-23.
9. Aliasgari, M., Riahinia, N., & Mojdehavar, F. (2010). Computer-assisted instruction and student attitudes towards learning mathematics. *Education*, *Business and Society: Contemporary Middle Eastern Issues*, *3*(1), 6-14.
10. Anghileri, J. (2000). *Teaching number sense*. London: Continuum International Publishing Group.
11. Australian Education Council. (1990). *A national statement of mathematics for Australian schools: A joint project of the States, Territories and the Commonwealth of Australia*. Carlton, VIC: Curriculum Corporation.
12. Berch, D. B. (2005). Making sense of number sense: Implications for children with mathematical disability. *Journal of Learning Disabilities*, *38*(4), 333-339.
13. Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2008). Learning by viewing versus learning by doing: Evidence-based guidelines for principled learning environments. *Performance Improvement*, *47*(9), 5-13.
14. Dick, T. (2008). Keeping the faith: Fidelity in technological tools for mathematics education. In G. W. Blume & M. K. Heid (Eds.), *Research on technology and the teaching and learning of mathematics: Syntheses*, *cases*, *and perspectives* (Vol. 2, pp. 333-339). Greenwich, CT: Information Age.
15. Erbas, A. K., Ledford, S., Polly, D., & Orrill, C. H. (2004). Engaging students through technology. *Mathematics Teaching in the Middle School*, *9*(6), 300-305.

airiti

16. Eseryel, D., Guo, Y., & Law, V. (2012). Interactivity design and assessment framework for educational games to promote motivation and complex problem solving skills. In D. Ifenthaler, D. Eseryel, & X. Ge (Eds.), *Assessment in game-based learning: Foundations*, *innovations*, *and perspectives* (pp. 257-285). New York: Springer.
17. Forster, P. A. (2006). Assessing technology-based approaches for teaching and learning mathematics. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, *37*(2), 145-164.
18. Gegner, J. A., Mackay, D. H. J., & Mayer, R. E. (2009). Computer-supported aids to making sense of scientific articles: Cognitive, motivational, and attitudinal effects. *Education Technology Research and Development*, *57*(1), 79-97.
19. Geiger, V., Forgasz, H., Tan, H., Calder, N., & Hill, J. (2012). Technology in mathematics education. In B. Perry, T. Lowrie, T. Logan, A. MacDonald, & J. Greenlees (Eds.), *Research in mathematics education in Australasia 2008-2011* (pp. 111-141). New York: Springer.
20. Goh, T. T. (2011). Exploring gender differences in SMS-based mobile library search system adoption. *Educational Technology & Society*, *14*(4), 192-206.
21. Griffin, S. (2004). Building number sense with number worlds: A mathematics program for young children. *Early Childhood Research Quarterly*, *19*(1), 173-180.
22. Jonassen, D. H., Peck, K. L., & Wilson, B. G. (1999). *Learning with technology: A constructivist perspective*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
23. Jordan, N. C., Glutting, J., & Ramineni, C. (2010). The importance of number sense to mathematics achievement in first and third grades. *Learning and Individual Differences*, *20*(2), 82-88.
24. Jordan, N. C., Glutting, J., Ramineni, C., & Watkins, M. W. (2010). Validating a number sense screening tool for use in kindergarten and first grade: Prediction of mathematics proficiency in third grade. *School Psychology Review*, *39*(2), 181-195.
25. Ke, F. (2008). Computer games application within alternative classroom goal structures: Cognitive, metacognitive, and affective evaluation. *Educational Technology Research and Development*, *56*(5-6), 539-556.
26. Kinzie, M. B., & Joseph, D. R. (2008). Gender differences in game activity preferences of middle school children: Implications for educational game design. *Educational Technology Research and Development*, *56*(5-6), 643-663.
27. Lago, R. M., & DiPerna, J. C. (2010). Number sense in kindergarten: A factor-analytic study of the construct. *School Psychology Review*, *39*(2), 164-180.
28. Lan, Y. J., Sung, Y. T., Tan, N. C., Lin, C. P., & Chang, K. E. (2010). Mobile-device-supported problem-based computational estimation instruction for elementary school students. *Educational Technology & Society*, *13*(3), 55-69.

29. Lipeikienė, J., & Lipeika, A. (2006). Animation tools of CAS for dynamic exploration of mathematics. *Informatics in Education*, *5*(1), 87-96.
30. Markovits, Z., & Sowder, J. T. (1994). Developing number sense: An intervention study in grade 7. *Journal for Research in Mathematics Education*, *25*(1), 4-29.
31. Marshall, S. P. (1984). Sex differences in children's mathematics achievement: Solving computations and story problems. *Journal of Educational Psychology*, *76*(2), 194-204.
32. Mayer, R. (2003). The promise of multimedia learning: Using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction*, *13*(2), 125-139.
33. McIntosh, A., Reys, B. J., Reys, R. E., Bana, J., & Farrel, B. (1997). *Number sense in school mathematics: Student performance in four countries*. Perth, WA: Mathematics, Science, & Technology Education Centre, Edith Cowan University.
34. Menon, R. (2004). Elementary school children's number sense. *International Journal for Mathematics Teaching and Learning*. Retrieved October 15, 2013, from http://www.cimt.plymouth.ac.uk/journal/default.htm
35. Moomaw, S., Carr, V., Boat, M., & Barnett, D. (2010). Preschoolers' number sense. *Teaching Children Mathematics*, *16*(6), 332-340.
36. Moyer, P. S., Niezgoda, D., & Stanley, J. (2005). Young children's use of virtual manipulatives and other forms of mathematical representations. In W. J. Masalski & P. C. Elliot (Eds.), *Technology-supported mathematics learning environments* (pp. 17-34). Reston, VA: NCTM.
37. National Council of Teachers of Mathematics. (2000). *Principles and standards for school mathematics*. Reston, VA: Author.
38. National Governors Association Center for Best Practices and the Council of Chief State School Officers. (2010). *Common core state standards for mathematics*. Washington, DC: Author.
39. Newby, T. J., Stepich, D. A., Lehman, J. D., & Russell, J. D. (2000). *Instructional technology for teaching and learning: Design instruction*, *integrating computers*, *and using media* (2nd ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
40. Pierce, R., & Ball, L. (2009). Perceptions that may affect teachers' intention to use technology in secondary mathematics classes. *Educational Studies in Mathematics*, *71*(3), 299-317.
41. Reimer, K., & Moyer, P. S. (2005). Third-graders learn about fractions using virtual manipulatives: A classroom study. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, *42*(1), 5-25.
42. Reys, B, J. (1994). Promoting number sense in the middle grades. *Mathematics Teaching in the Middle School*, *1*(2), 114-120.

43. Reys, R. E., & Yang, D. C. (1998). Relationship between computational performance and number sense among sixth-and eighth-grade students in Taiwan. *Journal for Research in Mathematics Education*, *29*(2), 225-237.

44. Sohn, S., & Lee, D. (2007, May). *Gender gap in the usage of mobile phone as digital multimedia device: The case of South Korea*. Paper presented at the annual meeting of the International Communication Association. San Francisco, CA.

45. Sood, S., & Jitendra, A. K. (2007). A comparative analysis of number sense instruction in reform-based and traditional mathematics textbooks. *The Journal of Special Education*, *41*(3), 145-157.

46. Steen, K., Brooks, D., & Lyon, T. (2006). The impact of virtual manipulatives on first grade geometry instruction and learning. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, *25*(4), 373-391.

47. Suh, J., & Moyer-Packenham, P. (2007). Developing students' representational fluency using virtual and physical algebra balances. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, *26*(2), 155-173.

48. Szabo, M., & Poohkay, B. (1996). An experimental study of animation, mathematics achievement, and attitude toward computer-assisted instruction. *Journal of Research on Computing in Education*, *28*(3), 390-402.

49. Taylor, M., Pountney, D., & Malabar, I. (2007). Animation as an aid for the teaching of mathematical concepts. *Journal of Further and Higher Education*, *31*(3), 249-261.

50. Thomas, M. O. J., Hong, Y. Y., Bosley, J., & Delos Santos, A. (2008). Use of calculators in the mathematics classroom. *The Electronic Journal of Mathematics and Technology*, *2*(2). Retrieved October 16, 2013, from http://www.freepatentsonline.com/article/Electronic-Journal-Mathematics-Technology/180749502.html

51. Timmerman, M. A. (2004). Using the internet: Are prospective elementary teachers prepared to teach with technology? *Teaching Children Mathematics*, *10*(8), 410-415.

52. U.S. Department of Education. (2000). *E-learning: Putting a world-class education at the fingertips of all children*. Washington, DC: Author.

53. Verschaffel, L., Greer, B., & De Corte, E. (2007). Whole number concepts and operations. In F. K. Lester, Jr. (Ed.), *Second handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 557-628). Charlotte, NC: Information Age.

54. Vulis, M., & Small, M. (2007). Why teaching business mathematics with technology might be very important in today's mathematics education. *International Journal for Technology in Mathematics Education*, *13*(4), 212-213.

55. Yang, D. C. (2005). Number sense strategies used by sixth grade students in Taiwan. *Educational Studies*, *31*(3), 317-334.
56. Yang, D. C. (2006). Developing number sense through real-life situations in school of Taiwan. *Teaching Children Mathematics*, *13*(2), 104-110.
57. Yang, D. C., Li, M. N., & Lin, C. I. (2008). A study of the performance of 5th graders in number sense and its relationship to achievement in mathematics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *6*(4), 789-807.
58. Yang, D. C., & Tsai, Y. F. (2010). Promoting sixth graders' number sense and learning attitudes via technology-based environment. *Educational Technology and Society*, *13*(4), 112-125.
59. Yang, D. C., & Wu, W. R. (2010). The study of number sense realistic activities integrated into third-grade math classes in Taiwan. *The Journal of Educational Research*, *103*(6), 379-392.
60. Zbiek, R. M., Heid, M. K., Blume, G. W., & Dick, T. M. (2007). Research on technology in mathematics education: A perspective of constructs. In F. K. Lester, Jr. (Ed.), *Second handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 1169-1207). Charlotte, NC: Information Age.

科學教育學刊
2014, 第二十二卷第一期, 33-55
DOI: 10.6173/CJSE.2014.2201.02

Chinese Journal of Science Education
2014, 22(1), 33-55

The Study of Computer Animated Activities to Students' Number Sense Performance

Shih-Chi Huang and Der-Ching Yang*
Graduate Institute of Mathematics and Science Education, National Chiayi University

Abstract

A quasi-experimental method was used to examine the effect of the use of e-learning animations to the development of sixth-graders' number sense in Taiwan. Seven classes with 210 sixth graders from southern public elementary school were selected to participate into this study. Animation experimental group has 90 students (three classes), sketchbook experimental group has 90 students (three classes), and control group has 30 students (one class). After five class periods learning, the results show that posttests of both the animation experimental group and the sketchbook experimental group were significantly better than the control group. As for the five components of number sense, the posttest of the animation experimental group was significantly better than the control group in component 2, and the posttest of the sketchbook experimental group is significantly better than the control group in component 4. As for the correct ratio, the sketchbook experimental group was significantly better than the control group on number sense. Moreover, the animation experimental group was significantly better than the control group on number sense as well as the reduction of being incorrect. As for the gender variable, the girls' achievements of number sense were significantly better than the boys in the sketchbook experimental group, and the boys and girls in the animation experimental group displayed identically.

Key words: Technology, Animation, Number Sense

* Corresponding author: Der-Ching Yang