

學童手繪空間表現與三維設計能力之關係探究

洪珮華* 馬睿平** 林榮泰***

*、*** 國立臺灣藝術大學創意產業設計研究所

* paywhathome@gmail.com、

*** rtlin@mail.ntua.edu.tw

**高雄醫學大學人文與藝術教育中心

artma2010@gmail.com

摘要

三維列印設計在產學界的推廣日增，除了應用於大學及高中職課程外，更以實驗性質被帶入國小課程中；但在課程操作前，應具備認知與空間概念的基礎，方能勝任相關學習，國小學童由於認知發展不同於成人，空間概念的表現更因個人發展或性別而異；因此，此類課程是否適宜全面性讓學童應用學習，實為值得探討的問題。本研究以國小高年級學童手繪空間表現及三維設計能力為觀察向度，進行手繪圖的空間表現實驗，再輔以其三維設計作品加以量化統計分析，以探究兩者之相關性。研究結果顯示：1. 手繪空間表現各觀察要項「重疊法、非折疊法、不同基底線、非 X 光法」彼此皆呈現顯著相關性，並與其整體能力達相關顯著，然以「重疊法」最具觀察代表性；2. 三維設計能力各觀察要項「聯集差集交集、放樣、三維環轉、契合」亦彼此呈現相關顯著，並與其整體能力達顯著相關性，其中以「聯集差集交集、三維環轉、契合」能預測三維設計整體能力；3. 手繪空間表現整體能力確實能顯著預測學童的三維設計整體能力；4. 性別不為影響學童在手繪空間表現及三維設計能力優劣之關鍵因素。本研究希冀此結果，能切實提供教學者未來實施三維設計課程前的能力衡量參考，以利三維設計課程之向下推展。

關鍵詞：空間概念、空間能力表現、三維列印設計

論文引用：洪珮華、馬睿平、林榮泰（2017）。學童手繪空間表現與三維設計能力之關係探究。《設計學報》，22（3），45-68。

一、前言

資訊科技在日益普及的開放與共享趨勢下，促成了「自造者」時代的來臨，「創客」成為應用科技以自我實現的焦點議題，而三維列印設計於其中更扮演了革命性的角色，因其技術門檻的降低，漸次普及於大眾，近來更常被應用於設計者的自造與創作領域中。2015 年，我國資策會創新應用研究所在經濟部工業局的指導下，為整合三維（以下簡稱 3D）創作資源與產業需求，打造了 FAST Lab 創用中心，並於 2016 年開設了 FAST Lab 3D 列印入口網站；經濟部工業局更將 2016 年訂定為台灣 3D 列印元年，擬

定「3D 列印產業發展推動計劃」，強調重視「創客人才」與「產業創新」之銜接與整合（經濟部工業局，2016）。台灣也於同年舉辦以猴年為主題的 3D 列印設計及軟體創意競賽，鼓勵學生及社會民眾參與，以激發全民創造更多自造時代的可能性。反應在教育上，則是 3D 列印設計課程納入學校教育的年齡層逐步調降，更將之帶入國小課程中實踐，開創新的教學模式。若就 3D 列印設計本身的學習歷程來看，在進行 3D 列印前，需事先藉由電腦輔助設計軟體，在二維（以下稱 2D）介面上進行立體設計，但因電腦螢幕本身為 2D 空間的畫面，因此，操作上是藉由透視法及視角改變來瀏覽虛擬空間，並進行空間中的移動，這些操作仍需透過訓練才能達到使用之順暢（向士賢，2004）。以往設計者使用實體材料建構形體，在實體空間中以肢體操作堆疊、切割或組合等傳統的設計行為，相較於電腦虛擬空間須透過指令步驟而言相對容易；尤其是設計者進行概念塑模時，於腦中進行空間性的思考模擬，再轉換 3D 的空間概念為 2D 的操作控制，其所產生額外的認知負擔（cognitive load），的確需消耗心力去規劃及適應（黃致傑，2005）。

空間能力為多元智能的一環，國小學童或因個人成長背景、性別、認知發展受到的影響，使得空間概念表現因而歧異；3D 列印設計為一與空間概念相關的課程，其是否適宜全面推展於國小學程，又是否有可評估觀察的衡量依據，此即為本研究之原始動機。在美術課程中，二維繪圖的空間表現被認為與認知發展相關，於學術上更依年齡階段別而有相應的空間能力論述，若以 3D 設計所涵蓋的空間能力而言，兩者間又是否呈現相關性與可預測性，實為值得探討的問題。國內外許多空間表現研究，皆曾以指令方式請學童手繪表現該主題，以探求各年齡階段可能發展的空間認知與繪畫能力，因此，本研究亦欲以主題指令探求學童的「手繪空間表現」，並以此探究其與「三維設計能力」之關係，希冀能提供 3D 設計課程實施前的衡量參考。具體而論，本研究欲了解 4 個主要問題：1.「手繪空間表現」能力要項與整體能力之關係為何，以及何者能力表現更具觀察代表性；2.「三維設計」能力要項與整體能力之關係為何？及其代表能力？3.手繪空間表現與三維設計兩者整體能力是否具相關性與可預測性；4.為衡量全面實施之適宜性，深入探討此兩面向是否存在性別差異表現？緣此，本研究首先透過文獻整理與分析，了解學童空間概念及表現能力等相關認知發展，針對兩研究標的「手繪空間表現」及「三維設計能力」探析可行之觀察要點，以作為評定空間表現能力的衡量標準；接續以實驗設計、量化分析及推論結果三階段進行，就學童的手繪空間表現要項及三維設計能力要項等量化表現，探究兩者的相互關係，並深入探討性別是否為影響能力差異之因素。研究結果期望提供學童在二維與三維介面空間能力之實務經驗與例證，並作為未來國小實施 3D 設計課程前的能力參酌依據。茲將研究目的與研究架構，如圖 1，舉列如下：1.探究手繪空間表現各觀察要項之相關性與預測性；2.探究三維設計能力各觀察要項之相關性與預測性；3.探究手繪空間表現整體能力及三維設計整體能力之相關性與預測性；4.探究性別是否為影響手繪空間表現及三維設計能力之因素。

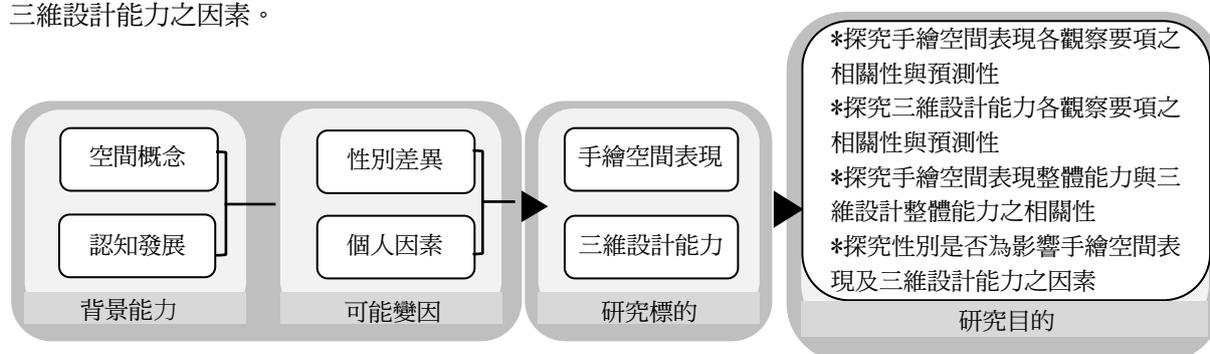


圖 1. 研究架構（資料來源：本研究整理）

二、文獻探討

2-1 空間概念

空間概念或空間智能是個體認知發展中重要的一環，也是科學概念發展的基礎，儘管人類心智運作未被完整的認識，但空間概念仍為顯著相關的要素之一（Linn & Petersen, 1985）。Guildford（1967）指出，空間概念能力為能於心像（mental images）中旋轉物體，或能了解空間中物體相互位置改變等能力。McGee（1979）亦認為，空間能力涵蓋於心中旋轉、扭轉、反轉（倒轉）圖形等空間視覺化能力（spatial visualization），以及空間方位改變時能判別方位等能力（spatial orientation）。學者 Linn 與 Petersen（1985）則進一步表示，空間能力通常指能再現（representing）、轉化（transforming）、產出（generating）、回憶（recalling）象徵性及非語言性的資訊等，其在研究中將之分類為空間知覺（包含空間定位）、心像旋轉與空間視覺化等能力。而 Lohman（1988）增加了對處理速度及應用策略的探討，其認為空間能力包含能處理圖像刺激物之心像再現、自動化進行空間處理的速度、以及處理空間相關任務等策略的能力等。提出多元智能理論的學者 Gardner 與 Hatch（1989）則表示，空間智能為多元智能理論中的一種形式，除了上述於心像中能操作物件以解決問題及能認知物體的改變與定位外，也包含能記憶三維立體樣態並將其部件分解與重組等能力。Carroll（1993）則續將空間能力細分為空間視覺、空間關係、完形速度、形狀應變性及知覺速度等，各包含有心像操作圖形等認知、以心像快速解決問題、由部份視覺訊息重建完整圖像、記憶刺激圖像加以識認以及視知覺作業速度等能力。爾後，空間能力被進一步概括表示，指能產出（generate）、保留（retain）、擷取（retrieve）、轉換（transform）組織好的視覺影像之處理能力（Lohman, 1994）。後續有學者將其定義為能從靜態空間中感知物體的空間關係，包含位置、方向、距離等覺知，並能從周遭環境事物中建立空間定位概念，而空間智能所指即為能準確感受彼此空間關係並表現其知覺的能力（王為國，2006；陳埤淑，2005）。

2-1.1 空間概念與認知發展關係

在國內基礎教育上，我國教育部於 2003 年發布九年一貫課程各學習領域正式綱要中，將幾何圖（包含圖形與空間）的學習能力指標表現，列於數學的教學領域中，對空間概念上的學習，訂定第一階段（一至三年級）須達到能運用上下、左右、前後、內外等方位語來「描述物體的相對位置」，且須達到「能描繪與仿製簡單幾何形體」等能力，並建議在小學的幾何教學活動中，由操作練習以認識幾何形體與性質，後續再依認知發展階段於四至六年級加入推理、特徵及性質之探討（教育部，2008）。而中國大陸於 2001 年頒佈的『全日制義務教育數學課程標準（實驗稿）』之總體目標亦提出：使學生豐富對現實空間及圖形的識認，建立初步空間概念，發展形象思維等目標；並於 2011 年的『義務教育數學課程標準』，將空間觀念列為核心概念之一（張文宇、范文貴，2012），並認為空間能力為個體處理空間關係中，外顯或內隱的心理及行為過程，同時為數學能力的重要表現之一（吳宏、汪仲文，2014）。另一方面，研究發現學童空間概念的成熟度除了隨年齡增長外，發展階段的表現亦大致相同（I, 1995），且與其背景與生活經驗相關（鄭淑榮，2009）；因此，在教育可行的積極作為與啟發上，許多學者亦主張，藉由增強相關的視覺空間教學與活動設計，學童在「實作」的經驗下，能提早促進空間概念的發展與提升空間定位能力，亦即，學童的空間能力因此能獲得良好的提升成效，無須消極等待個體認知發展的自我成熟（林佳蓉，2004；周淑惠，2000；陳埤淑，2005）。Newcombe 與 Frick（2010）亦提及，經由多樣化的涉入活動，例如學業活動、任務導向學習以及電腦遊戲等，皆有助於增進學童的空間觀念。綜上所述，就「幾何」等抽象概念而言，對於圖形與空間的認知，雖有相對應的認知發展階段表現，然而空間概念

此數理等科學能力的基礎，亦能透過有效、多元或跨領域的教學活動，成功提升相關能力，其中，以繪畫方式引導學童觀察表現以拓展空間知覺，亦為增進空間概念的教學活動之一（郭榮瑞，2002）。

2-1.2 空間能力與性別差異表現

如同數理能力，空間能力亦普遍被認為具性別差異性（Lord, 1987）。Linn 與 Petersen（1985）研究表示，性別表現差異確實在某些類型的空間能力中存在，但最大的差別在於心像旋轉能力表現，而空間知覺的性別差異性則較小；其同時認為，空間能力可發現存在於個人的整个人生歷程中，並不因年齡增長突然變好轉。研究指出，空間能力的性別差異，大致發生於青春期後的青少年階段，如同數學與科學能力於此時期亦出現性別差異相似（Benbow & Stanley, 1984）；若早於此階段，則被歸因為基因與產前（胎兒期）的賀爾蒙影響（Reinisch, Ganadeiman & Spiegel, 1979）。其他較近期的研究亦同時表示，男性在空間概念的優勢能力也表現在工程及科學領域上，並認為女性在空間概念中的空間定位、心象旋轉之處理速度與正確度皆較男性低落（Collins & Kimura, 1997; Lipson, 2007; Scali, Brownlow, & Hicks, 2000）。劉俊祥（1999）亦曾以學者康鳳梅、鍾瑞國於 1998 年發展的空間能力量表及自編的立體圖成就表現測驗，探究此兩者表現能力在機械製圖科學生之間的相關性，研究結果得知，男性在空間能力量表及立體圖成就表現測驗上亦顯著高於女性。而 Poulin、O'Connell 與 Freeman（引自林漢裕、李玉琇與陳垣長，2012）也曾證實，男性的心像旋轉能力較女性為佳，而女性則在圖形位置回憶的空間作業能力上，較男性有更好的表現。綜上所述，空間能力的性別差異多存在於心像旋轉能力與三維立體圖的表現上，於空間知覺的性別差異性較小，例如在圖形位置的空間記憶測驗中，即呈現女性能力較佳的結果。然而，空間能力至少包含知覺、想像、旋轉與操弄等心智運作，各能力間既相互獨立卻又互相依賴（鄭海蓮、陳世玉，2007），本研究中欲探討的手繪空間表現，其可能涵蓋有空間知覺、想像與記憶等能力，此是否如文獻所述，與女性的空間能力較為相關，而三維設計此涵蓋空間旋轉、操弄能力的空間表現，又是否呈現男性能力較佳的相應結果，此等心智運作上的性別差異，實為本研究欲探析的研究目的之一。

2-2 手繪空間表現與發展認知

繪畫是一項引導眼睛去觀看與發覺的過程，美術教育不僅教導孩子知覺的發現，更教導視知覺上的美感體驗（Southworth, 1982）。Luquet（2001）最早曾將學童的繪畫能力發展分為四階段：1.塗鴉期：學童以其經驗與「非再現」（non-representational）的方式表現為特徵；2.假能力期（synthetic incapability stage）學童首次嘗試「失敗的再現」；3.心智寫實期：學童畫其所知，非其所見；4.視覺寫實期：為「成功再現」能力的時期。Paine（1984）的研究亦指出，學童直到 8-9 歲，才會自主依自己的「意圖」以寫實手法表現所知的繪畫主體，但能力卻無法表現其所見；孔起英（1996）比較 Piaget 的學童認知發展階段與 Lowenfeld 的學童繪畫發展階段時表示，兩種階段存在顯著的對應性，能以其對應關係證實學童的繪畫發展，同時也作為學童認知發展的一種標示，並且前一階段的能力能被交叉重疊、整合到後一階段表現，也就是繪畫能力有其基礎性、定向性及先後次序。陸雅青（1999）亦認為，學童畫中空間的安排，常反映其智力方面的成長，其涉及不同層級的認知運作以及情緒成長的軌跡。年紀較小幼兒所表現的空間概念，常常為畫者與物（或人）的情感關係表現，物體間的大小比例並非客觀的邏輯關係，而是反應繪畫者的主觀性，如越重要的物體被畫的比例越大、和主體的距離越近。普遍而言，學者們皆認為學童的繪圖表現隨著年齡成長趨向寫實，在空間的形體表現上，也愈具立體感（Golomb & McCormick, 1995；葉宗青、李隆盛，2007）。然而，學童繪畫能力與認知能力的相依性，及其表現的是心智寫實或視覺寫實，許多學者後續提出了認知導向或視覺導向兩不同的看法（伊彬、徐春江，2008）。

1978 年於美國「U 型行為發展會議」中提出學童心理發展的 U 型曲線發展模式，即認為學童繪畫為一有峰谷曲線變化的發展過程（張曉澗，2011）。Paine（1984）亦持反對意見地表示，繪畫能力與認知能力之間，並非線性或平行的發展過程，其可能為多線性甚或循環的綜合發展形式；同時，學童在繪畫中也不全為了追求寫實的再現，可能為其當下發揮個人特質與想像力的尋常表現而已，因此也無法代表學童的智力發展程度。Atkinson（1991）同樣認為，以透視法則等階段性來衡量學童繪畫能力，實為不適當的方法；Golomb 與 McCormick（1995）亦曾指出，平面繪畫的 2 維空間因少了深度感，學童自然刻意選擇以物體的整合特徵為表現，以求在平面上展現所知的立體感的最佳樣態，其同時表示，表現技術與認知觀念兩者並非等同，概念應早於繪畫再現能力的發展，亦即，立體表現能力會因作業複雜度與技術困難而調整，最後的產出僅為其協調表現。而學童是否會自主描繪細節，其實因人而異，缺乏細節、觀察與紀錄，並非代表感知與認知缺陷，有時僅與學童選擇「再現」的意圖相關，其或許選擇以最具經濟效益與象徵性的方式表達目的（Cox, 2009）。Cox（2009）觀察，學童繪畫時常以遊戲心態進行，若非聽到孩子敘述其動作與意圖，很難將完成的靜態畫作視為其認知能力的所有呈現。

然而在學童繪畫發展理論中，空間表現能力一直是重要議題，自 20 世紀初的心理學、教育學、人類學、以及藝術領域等研究，仍綜合奠定了學童空間發展的理論基礎（伊彬、徐春江，2008）。在繪畫呈現上，空間認知與繪畫能力的確尚有落差。一般 3 至 5 歲幼兒在認知發展階段中，已普遍從能辨別「上下」，進而「前後」，接續為「左右」概念的發展（洪文東，2007）；然而在物體遠近關係的繪畫表現上，卻無法將此認知成功地表現出來，例如：Kalyan-Masih（1976）於其實驗（house-tree task）中要求 98 位（4-6 歲）的幼兒畫出主題「一間房子後面有一棵樹」時，四歲幼兒僅以隨意塗鴉來表示；五歲的孩子則將房子與樹並列呈現；六歲孩子將房子畫在樹下方，或者兩相重疊，或者分別畫在紙的兩側。實驗結果顯示，沒有任何一位六歲以下學童能以成人視覺觀點呈現此主題。Cox（1978）也在一百三十位 5-7 歲學童的繪畫空間表現實驗中，請學童先觀察實物，再畫出「一顆紅色的球，後面擺著一顆綠色的球」，實驗結果呈現，大部分孩子在畫面上將這兩顆球上下並排，尚沒有以重疊的技巧來表現物體遠近關係的能力。孔起英（1996）另外以客體永久性闡述 8-9 歲前學童繪畫的立體表現或空間表現，例如，凡存在的東西皆須畫出的「透明畫」（X 光畫），以及不同視點觀察到的實際表象「展開圖示」（折疊法），以求成功表現例如箱子等立體物的上下或左右各面等，此皆為該年齡學童的普遍表現能力。以德國學者 Kerchensteiner（1905）（引自伊彬，2003）提出的學童繪畫發展階段而論，「心智」寫實時期表現的特點在於透明畫（X 光法）及混和視點，而「視覺」寫實時期表現上，則為固定視點，具比例、透視與消失點。

在國小學童繪畫的空間表現上，國內學者陸雅青（1999）表示，學童有能力以透視觀點畫出正方體，最起碼為將近八歲的年紀，而黨群期階段（9-12 歲）學童由於自覺力與現實感的增強，已能開始批判前一時期所用的空間表現手法（X 光法、折疊法等），漸能以此時期的視覺概念來表現空間問題，例如能發現應用「重疊」技巧來表達物體前後關係，能利用多條基底線來表現「平面」概念，並且以「單一」視點的應用，展現其漸脫離以個人為中心的主觀表達。同時，陸雅青（1999）認為，多條基底線的展現，為學童從象徵化基底線時期邁向視覺寫實表現形式的轉折期指標。張文宇與范文貴（2012）表示，於 2D 平面中畫出所感知的三維實物，這其中的相互轉換關係，都需要經過思考的加工與組合，這種重現，使得幾何能被具體地表象出，並提升空間概念從「感知」進而成為「能把握」的能力。綜上文獻所述，學齡前與基礎教育中的學童，應有其認知發展階段中相對應的空間表現能力，從心智寫實的畫其所知時期，依年齡成長而發展至視覺寫實的畫其所見階段，此繪畫中的空間表現仍有能力發展上的參考價值。茲將手繪空間表現能力之文獻理論、所提出的觀察要點與評量方式臚列如下頁表 1 所示，並依此為評定學童手繪空間表現之觀察要素參酌。

表 1. 學童手繪空間表現其能力論點與評量方式

空間能力論點	文獻理論	軟體功能應用
重疊法	Kalyan-Masih (1976) 於實驗 (house-tree task) 中要求 98 位 (4-6 歲) 的幼兒畫出主題「一間房子後面有一棵樹」, 四歲幼兒僅以隨意塗鴉來表示; 五歲的孩子將房子與樹並列呈現; 六歲孩子將房子畫在樹下方, 或者兩相重疊, 或者分別畫在紙的兩側。實驗結果顯示, 沒有任何一位六歲以下學童能以成人視覺觀點 (亦即重疊法) 呈現此主題。	畫出主題: 「一間房子後面有一棵樹」
	Cox (1978) 在一百三十位 5-7 歲學童的繪畫空間表現實驗中, 請學童先觀察實物, 再畫出「一顆紅色的球, 後面擺著一顆綠色的球」, 實驗結果呈現, 大部分孩子在畫面上將這兩顆球上下並排, 尚沒有以重疊的技巧來表現物體遠近關係的能力。	畫出主題: 「一顆紅色的球, 後面擺著一顆綠色的球」
非 X 光畫法 非摺疊法	Lowenfeld 與 Brittain (1987) 表示 7-9 歲的樣式畫階段主要表現單一基底線、摺疊畫法、X 光透視畫。 孔起英 (1996) 以客體永久性闡述 8-9 歲前學童繪畫的立體表現或空間表現, 例如, 凡存在的東西皆須畫出的「透明畫」(X 光畫), 以及不同視點觀察到的實際表象「展開圖示」(折疊法), 以求成功表現例如箱子等立體物的上下或左右各面等。	
不同基底線	Lowenfeld 與 Brittain (1987) 表示 9-11 歲的寫實萌芽階段主要脫離單一基底線, 且能有遮蔽 (重疊法) 能力以表現遠近關係。	
	王文科 (1994) 表示 Piaget 與 Inhelder 於測試兒童手繪物體的前後關係能力時, 發現 9 歲前的兒童多以一條水平軸 (單一基底線) 正面描繪所有物體。	以村莊模型 做寫生
	蘇春敏 (1995) 要求 4-6 歲兒童畫出捉迷藏主題, 發現垂直排列畫法 (不同基底線) 比起水平排列更能表現前後關係。	畫出主題: 「捉迷藏」
	陸雅青 (1999) 認為, 多條基底線的展現為學童從象徵化基底線時期邁向視覺寫實表現形式的轉折期指標。	

2-3 3D 列印設計與空間能力

空間能力雖然是公認的重要心智技能, 但其理論構面卻又難以描述、定義, 因此其測驗的編製設計亦難有效架構 (鄭海蓮、陳世玉, 2007); 然而儘管測量空間能力的基準尚未能有共識, 但空間能力涵蓋多元的處理過程此一特點, 卻普遍獲得學界同意 (Linn & Petersen, 1985)。既有的研究顯示, 空間能力常與藝術或設計能力呈現相關性: Lohman (1988) 研究證實, 空間能力優異者, 不僅於數學和科學領域上能有較佳表現, 於藝術領域上亦能呈現高創造力; 國內學者康鳳梅、簡慶郎與詹秉鈞 (2003) 亦於設計製圖等相關研究發現, 空間能力含括記憶、邏輯思考與創造性空間思考等能力。而在空間設計相關的學習過程中, 設計能力的高低基礎更被認為建基於個人空間概念的形成與發展 (何友鋒、陸建浩、沈永堂, 2008)。林漢裕與李玉琇 (2010) 研究同樣證明, 空間能力是影響設計科系圖學表現的重要因素, 若能加強空間能力訓練, 對圖學表現能呈現直接影響。

自 2011 年興起之 3D 列印科技, 除了反映在製造業、醫學、藥學、食品業、設計行業之間, 更深深影響在教育領域上, 不斷從大學、高中、國中、小學課程向下紮根, 並被認為在學童的教育面向上, 有其可發展與必發展之需要 (Eisenberg, 2013)。就設計教育而言, 3D 列印課程被認為是 E 化學習與 E 化製造間虛擬與實體的結合課程, 提供學生將想法從二維螢幕帶至三維現實, 並強調學習者在 E 化學習上的方式改變; 「從做中學」, 一直以來即為設計教育中將想法付諸實現的一連串測試與發展的過程, 3D

列印設計課程則將傳統手作技術的訓練轉為 3D 電腦設計的模組訓練 (Loy, 2014)。基於 3D 列印設計的創新應用空間與發展遠景，中國大陸許多高中職學校亦將其列為重點研究方向，肯定其在工業設計教育中的積極應用意義，並確信其能提高空間思維能力 (文藝、康紅娜，2015)；中國學者更於設計圖學課程改革方案中提出，以三維設計軟體構建三維模型更符合人類空間形象思維，其建議如運用布林運算、拉伸、旋轉、放樣、掃掠等成型方法進行構型設計，更能協助學生掌握組合體形體分析，並能激發學習熱情與設計表達能力 (李東梅、張持重、張耀娟、張云峰，2010)。陳偉民 (2010) 亦曾在不同空間能力學生使用 3D 繪圖軟體對創意表現影響的研究中證實，高空間能力學生使用 3D 繪圖軟體的創意表現與低空間能力學生之創意表現實呈現顯著差異。

然而針對兒童使用 3D 列印設計或教育面向而言，美國學者 Eisenberg (2013) 表示，3D 列印軟硬體開發可著重在針對兒童使用的便利性上設計，其對於兒童 3D 組建在文化及智能潛力上的發展持以樂觀態度，並指出，傳統兒童熟悉的、能組構的軟、硬體設備或材料，如同電腦像素 (pixels) 多以二維方式呈現，而 3D 列印中的立體像素 (voxels) 組構元件及繪圖軟體，對兒童來說則更具挑戰性，其概念性及空間模組或視覺認知的應用能力，能表現出兒童在 3D 列印設計上的個別能力差異。Buehler、Kane 與 Hurst (2014) 則於 3D 列印設計在特殊教育環境的應用中指出，3D 列印設計課程因其與空間概念之相關性，亦能協助認知、肢體及視覺障礙學童對於 STEM (科學、科技、工程、數學) 領域的投入。茲將 3D 設計涵蓋相關空間能力的文獻理論、能力論點與相關軟體功能應用，條列整理如表 2，並依此文獻基礎作為評量學童三維設計能力之觀察要項參考。

表 2. 3D 設計相關空間能力論點與涵蓋的軟體功能應用

空間能力論點	文獻理論	軟體功能應用
旋轉、扭轉、反轉 (倒轉) 圖形、判別方位	McGee (1979) 認為空間能力涵蓋於心中旋轉、扭轉、反轉 (倒轉) 圖形等空間視覺化能力，以及空間方位改變時能判別方位等能力。	三維環轉
空間相關任務處理	Lohman (1988) 認為空間能力包含能處理圖像刺激物之心像再現、自動化進行空間處理的速度、及處理空間相關任務等策略的能力等。	三維環轉
立體構件分解與重組	Gardner 與 Hatch (1989) 表示空間智能包含能記憶三維立體樣態，並將其部件分解與重組等能力。	建模
空間關係、形狀應變性	Carroll (1993) 將空間能力細分為空間視覺、空間關係、完形速度、形狀應變性及知覺速度等，各包含有心像操作圖形等認知、以心像快速解決問題、由部份視覺訊息重建完整圖像、記憶刺激圖像加以識認以及視知覺作業速度等能力。	三維環轉、契合
空間能力與立體圖成就表現相關，且存在性別表現差異	劉俊祥 (1999) 引用學者康鳳梅、鍾瑞國於 1998 年發展之空間力量表及自編的立體圖成就表現測驗，探究兩者於機械製圖科學生表現之相關性，研究得知男性在空間能力及立體圖成就表現測驗上皆顯著高於女性，且無論性別，空間能力與立體圖成就表現皆為顯著相關。	
3D 設計能提升立體旋轉空間定位及立體圖繪等能力	莊振中 (2004) 於研究表示，以 3D 繪圖軟體進行立體圖教學的組別較 2D 繪圖軟體組，在立體旋轉空間定位能力與平面轉換立體空間組織能力等測驗中，能得到較高成績並達顯著差異；同時證明應用 3D 繪圖軟體能助益於立體圖繪學習。	三維環轉、建模
3D 設計中的構型建模方式更符合空間思維	李東梅等人 (2010) 建議運用三維設計軟體中的布林運算、拉伸、旋轉、放樣與掃掠等成形方法進行構型設計，更能協助學生掌握組合形體分析，同時更符合人類空間形象思維。	布林運算、拉伸、旋轉、放樣、掃掠
高空間能力能提升 3D 設計之創意表現	陳偉民 (2010) 研究發現，高空間能力學生在使用 3D 繪圖軟體時，能較低空間能力學生表現更好的創意，並達顯著差異。	

表 2. 3D 設計相關空間能力論點與涵蓋的軟體功能應用 (續)

空間能力論點	文獻理論	軟體功能應用
3D 設計與工程製圖於立體建模時許多概念應用相似	張京英等 (2010) 認為 3D 設計軟體與工程製圖相似, 在以 3D 設計軟體構思立體模型時, 皆對組合採用分解、分類與歸納的方法; 尤其進行拉伸、旋轉、掃掠、放樣等功能, 更近似於工程製圖中的特徵視圖概念, 同時以疊加、切割、相交等方式完成造型, 此設計過程如同讀圖時的思維過程再現。	拉伸、旋轉、掃掠、放樣、疊加、切割、相交
3D 設計中空間模組、視覺認知與個人因素相關	Eisenberg (2013) 認為 3D 列印軟體中的立體組構元件, 其概念應用與空間模組、視覺認知等, 更能表現兒童的個別能力差異。	組構元件
電腦軟體的幾何圖形設計與空間能力相關	吳宏與汪仲文 (2014) 表示, 繪圖、組合圖形描繪、運用電腦軟體進行繪製與幾何圖形設計, 皆為空間表象的一種空間能力。	建模
空間能力為 3D 列印設計與學習建模的關鍵因素	林俊佑 (2016) 表示 3D 建模技術以及其所需的空間能力為新興的核心能力, 惟空間能力優異與否常成為學習 3D 建模的關鍵因素。其主張依據學習者的空間能力, 設計差異化的空間能力教學模式, 才能提升 3D 建模的學習效益。	建模

資訊科技的新發展, 的確更加著重在視覺以及空間技能的應用, 使用者更需要能觀察、編碼、轉化及組構視覺資訊的能力 (Kirby & Boulter, 1999); 以國內情況而言, 因應創客時代的來臨, 3D 設計課程以實驗性質被提早導入國小教育中實踐, 此類課程既涵蓋資訊科技的應用能力, 亦包括設計所屬的美術教學, 如文獻所述, 同時更涵蓋空間概念等能力。就國內資訊教育而論, 為了培育具競爭力的人才, 教育部 (2016) 於 2016-2020 資訊教育總藍圖中指出, 未來人才的基本條件在於成為能應用資訊科技進行深度學習之數位公民, 同時更建議運用 3D 列印等學習項目, 強調其實際應用與提昇問題的解決能力。綜上文獻探討可知, 3D 列印設計課程已列為教育部「創客」知行合一的理想, 其所涵蓋的應用能力包含有空間概念、視覺設計及資訊技能等; 許多學者曾表示, 無論科技教育課程內容如何變革, 對於「設計製作」等相關課程而言, 手繪製圖仍是重要活動之一, 其快速表達設計意圖的作用無法替代 (李東梅等人, 2010; 葉宗青、李隆盛, 2007), 亦即, 在設計相關課程下, 手繪圖的表現能力仍為奠基科技教育之基礎課題。鄭海蓮與陳世玉 (2007) 指出, 空間能力至少包含空間知覺、想像、旋轉與操弄等心智運作, 本研究欲探討手繪空間表現 (涵蓋空間知覺、想像與記憶能力) 與三維設計能力 (涵蓋空間旋轉、操弄能力) 等心智運作表現之相關性, 亦即, 在實驗性質的 3D 設計課程教導下, 國小學童是否能應用現有的資訊能力與空間智能, 於電腦二維平面中成功進行三維擬真的立體組構, 而原徒手繪圖的空間表現能力又是否可為其評估依據, 即為本研究欲探討的主要待答問題。

三、研究設計

本研究欲以探求「手繪空間表現」與「三維設計能力」的關聯性, 作為評估課程適宜性與否的衡量依據, 於名詞界定上, 茲將本研究所指「手繪空間表現」定義為: 於平面繪畫中以徒手繪製方式, 所表現的物體立體感及畫面空間感之表現能力; 「三維設計能力」則指: 於 3D 設計課程利用電腦繪製 3D 列印設計作品之能力。具體研究問題條列如後: 1. 「手繪空間表現」能力要項之間, 是否具相關性與可預測性, 何者能力表現更具觀察代表性? 2. 「三維設計」能力要項之間, 是否具相關性與可預測性, 何者能力表現更具觀察代表性? 3. 手繪空間表現整體能力與三維設計整體能力之間, 是否具相關性與可預測性? 4. 性別因素是否造成手繪空間表現及三維設計能力之表現差異?

3-1 受測對象

本研究以國小六年級一個班級之全體學生為受測對象，此實驗班級須接受 3D 設計課程教學。為求實驗受測對象能具推測母群體之客觀代表性，遂先探究該實驗班級與其他同齡班級是否為同質性。本研究隨機抽樣一個六年級班級，就文獻探究其與手繪圖、3D 列印設計課程之相關領域，選定數學、美術與資訊等領域成績進行變異數同質性檢定。分析結果呈現，該實驗班級與抽樣班級在數學成績表現之變異數同質性 Levene 檢定，未達顯著 ($F=2.835, p=.099>.05$)；同樣在美術與資訊成績上亦未達顯著 ($F=.674, p=.416>.05$ ； $F=1.654, p=.204>.05$)，顯示此實驗班級與一般同齡班級具同質性，在數學、美術、資訊等領域，皆呈現同樣的學習成就表現。接續就該實驗班級進行學業平均成績表現之常態分布分析；分析結果其偏態與峰度係數皆小於 1 (偏態=-.690，峰度=.023)，顯示其組內學童之學業成績表現實呈現常態分佈，為一能代表該學齡班級普遍性樣態之樣本。依上述結果確定以此實驗班級為受試對象，共計 25 位學生 ($n=25$)，分別為男生 14 位，女生 11 位，平均年齡介於 11-12 歲之間。

3-2 研究流程

本研究首先以文獻資料探究空間能力概述，並分析手繪空間表現之觀察構面，接續探究三維設計相關之空間能力應用及資訊操作構面，續依專家訪談訂定二階段實驗之觀察要項，於實驗測試後就各評量分數進行統計分析；統計方法中，因迴歸的分析功能在於解釋變數間的關聯強度與方向，以及能建立迴歸方程式來利用已知的自變數而預測未知的依變數。因此，本研究在各觀察變項之相互關係上，採用多元逐步迴歸或簡單線性迴歸加以探討，並求迴歸模式以探測其預測指數，以得知何能力要項具有觀察代表性。具體而言，本研究以 Pearson 積差相關檢定探究手繪空間表現及三維設計能力各觀察變項間之關聯強度及其相關係數，接續就手繪空間表現整體能力及三維設計整體能力兩方面，探討二者間的相互關係，最後以獨立樣本 t 檢定分析，探究二實驗結果之間是否存在性別表現差異。研究流程見圖 2 所示。

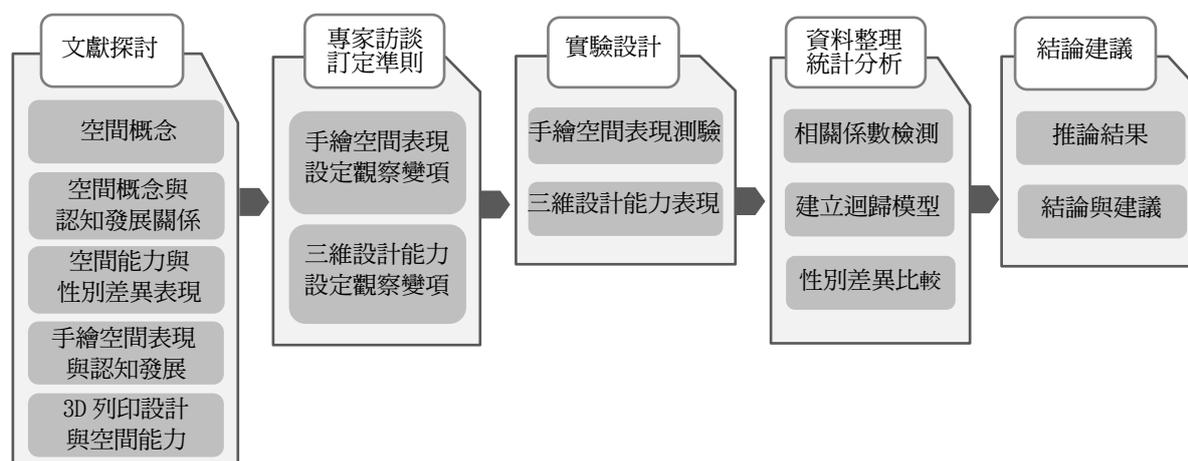


圖 2. 研究流程

3-3 研究方法與實驗規劃

本研究採實驗法搭配統計分析，以解析受測學童在二階段實驗測試的空間表現能力；包含：1.手繪空間表現測驗；2.三維設計能力表現等部份，採分時依序進行。受測學童於 3D 設計課程進行前，先實施手繪空間表現測驗，測驗時間 25 分鐘；爾後進行 3D 設計課程共計 16 節課，該課程雙週一次，每次連續 2 節課（每堂課 40 分鐘），全部課程共計 640 分鐘，並依教學內容所應用之空間能力與工具操作，進行三維設計創作，並以學童之三維設計作品綜合表現進行第二階段試驗之評量。實驗設計過程分述如下。

3-3.1 手繪空間表現之觀察變項與研究假設

本研究在「手繪空間表現」名詞界定上，所指為平面繪畫中能表現的物體立體感及畫面中的空間感。依文獻研究，學童於 4-7 歲的前樣式化階段常以透明、X 光畫及折疊法，畫出所知的存在物體，在 7-9 歲階段，於畫面中能呈現遠近空間秩序，並且在 9-11 歲的寫實萌芽階段，可能表現出透視、重疊法等形式。依上述學童繪畫發展特性與文獻探究，如表 1 所示，本研究先列出受試者該年齡階段應有的手繪空間表現能力，接續進行專家訪談，以確認各觀察變項之適切性。訪談對象以 3 位國小美術教師為專家代表，美術教學年資皆為 5 年以上，訪談內容就研究者提出之觀察變項，進行同意度調查及指令設定。續依訪談結果，將手繪空間表現設定四個觀察要點，包含能表現兩物體前後關係的「重疊表現」、能表現畫面遠近與景深的「不同基底線」法、脫離以個人認知為中心的「非 X 光法」、以及能表現物體視覺立體感的「非折疊法」等。繪畫主題指令訂定為：「我站在桌子後面與房子的前面，桌上有一個小長方形積木，媽媽站在遠處看著我，我們的房子後有一棵樹，屋內有一盆花」。受試者依指令繪圖，以「我」為空間定位的參照系統，依指令繪出相對於主體「我」的空間關係，如圖 3 所示。陳埤淑（2005）認為，空間概念涵蓋的空間關係，如位置（上下左右裡外）、方向、距離及空間定位等，因此就上述四觀察變項外，增加「整體表現能力」之衡量標準，以求其空間關係的綜合表現。本實驗不限繪圖材料及表現方式，但限制受試者不得相互觀摩，試驗時間 25 分鐘。本研究以三位美術教師為觀察者，以李克量表 1-5 等級評定上述五項要點，各觀察要點對應之空間能力表現，如表 3 所示。並依據文獻探究與研究問題推論以下假設：H1：「重疊法」對於空間「整體表現能力」具顯著正向之影響；H2：「非摺疊法」對於空間「整體表現能力」具顯著正向之影響；H3：「不同基底線」對於空間「整體表現能力」具顯著正向之影響；H4：「非 X 光法」對於空間「整體表現能力」具顯著正向之影響；H5：手繪空間表現各觀察要項之間具顯著正向之影響；H6：手繪空間表現各觀察要項之能力具性別差異。

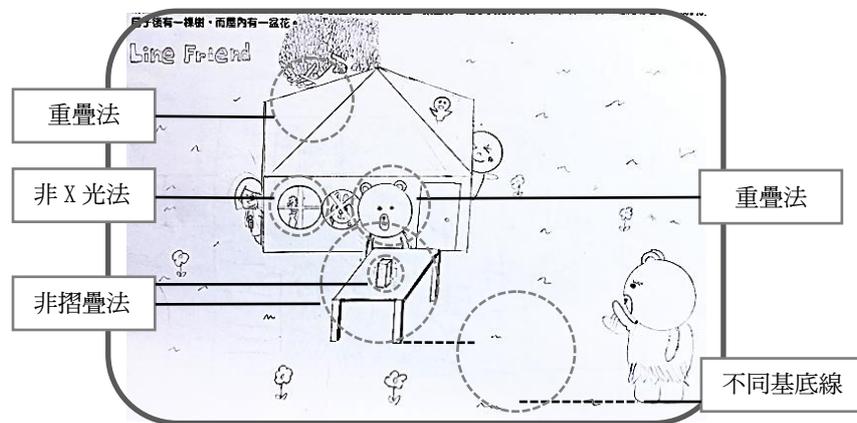


圖 3. 手繪空間表現之觀察要項（以受試者 3 號為例）

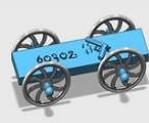
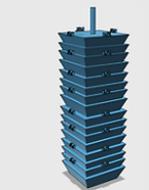
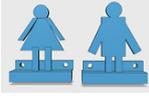
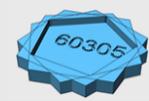
表 3. 手繪空間表現之觀察要項與空間能力對應表

指令	觀察變項	對應的空間表現能力
我站在桌子後面與房子的前面 / 我們的房子後有一棵樹	重疊法	能表現物體間的前後位置關係
桌上有一個小長方形積木	非折疊法	能表現物體的視覺立體感
媽媽站在遠處看著我	不同基底線	能表現畫面遠近景深之空間感
屋內有一盆花	非 X 光法	能表現視覺認知的空間關係
統整所有指令訊息	整體表現能力	空間能力的綜合安排表現

3-3.2 三維設計能力之觀察變項與研究假設

本研究實驗班級須接受 16 節課之 3D 設計課程教學，總課程共計 640 分鐘。每位學童個別使用一台電腦，於資訊應用背景上，所有學童皆自國小 3 年級開始，接受每週 1 節課之資訊課程至今，但無任何電腦立體設計或建模經驗。課程之教學軟體以 123D Design 為主要應用設計軟體，該軟體為一套針對設計愛好者或業餘者之 3D 列印設計自由軟件，以基礎圖形或描圖應用為入門，是一套較簡易與標榜友善使用者界面的 3D 設計應用軟體，並支援 3D 列印印表機、雷射切割、水刀切割等機型。實驗課程以一位資訊教師及一位美術教師協同教學，在技術面向上以資訊教師教學為主，設計面向則以美術教師為主要教學者；考量國小學童認知及空間概念表現程度，兩位教師就該軟體應用之難易性進行課程教學設計，教學主題以能運用基礎圖形、基礎造型線條而建模、並能於虛擬三維空間中操弄、旋轉物體及能順暢組構立體圖形以利列印等為主要內容。此部分課程與空間能力之相關性，參考文獻論述，如表 2 之軟體功能應用，將 16 節課的內容概述、應用能力與練習圖例，整理如表 4 所示。

表 4. 本研究 3D 設計課程之內容概述、應用能力、練習主題與圖例

課程節數	課程應用能力	課程內容概述	應用練習	學生圖例
第 1-2 節	立體建模、 三維環轉	3D 列印概述、印製過程介紹、 3D 列印軟體下載及資源庫認識 立體建模、物件 (move) 與畫面 (pan) 之移動、 物件三維環轉 (rotate)	課堂練習	無
第 3-4 節	聯集差集交集、 三維環轉、 拉伸、契合	基礎建模：長方體、球體、柱體、圓錐體應用 技術應用：拉伸、結合為單一物件 (merge)、 資源庫應用	牛車製作	
第 5-7 節	描繪建模、 三維環轉、 聯集差集交集、 拉伸、契合、 減去	基礎建模：圓形、長方形、多邊形、線性、曲線 描繪 (sketch)、移動再製 (offset) 技術應用：描繪平面物件、拉伸、結合、 減去應用	杯墊製作	
第 8-10 節	描繪建模、 三維環轉、 拉伸、契合、 減去、放樣	基礎建模：描繪梯形、放樣 (loft)、文字建模 技術應用：多邊形描繪、物件拉伸、 文字建立與設定、文字拉伸、 結合為單一物件	101 大樓製作	
第 11-12 節	描繪建模、 三維環轉、 聯集差集交集、 拉伸、契合、 減去、放樣	網路應用：搜尋廁所標示 基礎建模：匯入圖案、描摹圖案、 描繪拉伸建模、物件結合為單一物件 技術應用：格式轉換、物件描繪與拉伸、 聯集差集交集 (疊加、切割、相交)、 文字建立與設定、文字拉伸	廁所標示	
第 13-14 節	描繪建模、 三維環轉、 聯集差集交集、 拉伸、契合、 減去、放樣	網路應用：搜尋肥皂盒外框樣式 基礎建模：匯入圖案、描摹圖案、 描繪拉伸建模、物件結合為單一物件、 挖空物件 (shell) 技術應用：格式轉換、物件描繪與拉伸、 聯集差集交集 (疊加、切割、相交)、 文字建立與設定、文字拉伸	肥皂盒	
第 15-16 節	綜合能力	3D 印表機操作與實物列印、 充料與卸料示範、解說印製過程、 學生兩人一組實作	完成所有 作品	無

於三維設計能力評定上，以學童完成的所有設計圖檔為研究主體，研究者以課程中的主要教學內容，對照文獻探究，如表 2 所提及與空間能力相關的軟體應用功能，預先擬定觀察要項。在觀察變項上同樣進行專家訪談，以確認各觀察變項之適切性。訪談對象以 2 位國小美術教師及 1 位資訊教師為專家代表，3 位教師皆具 3D 列印設計教學經驗，並就研究者提出之觀察變項，進行同意度調查。續依訪談結果，設定四個主要觀察變項：布林運算中的「聯集、差集、交集」（疊加、切割、相交）的建模應用能力、能將多個封閉造型線作串聯的「loft 放樣」能力、於空間中能適當「平移、環轉」立體物的三維環轉能力、以及能將不同物件於三維空間中「align 契合」以利列印的空間相關能力等；同樣就上述四變項外，增加「整體表現能力」以求空間能力的綜合表現為評量標準。本實驗不限幾何圖形的應用方式，同樣以 2 位國小美術教師及 1 位資訊教師為觀察者，並以李克量表 1-5 等級評定上述五變項，相對應的三維設計能力如表 5 所示。並依據文獻探究與研究問題推論以下假設：H7：「聯集、差集、交集」建模能力對於三維設計「整體表現能力」具顯著正向之影響；H8：「loft 放樣」建模能力對於三維設計「整體表現能力」具顯著正向之影響；H9：「三維環轉」應用能力對於三維設計「整體表現能力」具顯著正向之影響；H10：「align 契合」應用能力對於三維設計「整體表現能力」具顯著正向之影響；H11：三維設計各觀察要項之間具顯著正向之影響；H12：三維設計各觀察要項之表現具性別差異。

表 5. 三維設計能力之觀察變項與空間能力對應表

觀察變項	對應的空間能力表現
聯集、差集、交集建模能力	能運用聯集、差集、交集處理幾何立體圖形間的造型組構表現
loft 放樣建模能力	能應用多個封閉造型線作串連組構、拉伸、放樣而設計
三維環轉能力	能在三維空間中進行適當的立體圖形平移與翻轉
align 契合能力	能將不同物件於三維中密合以符合列印之完形
整體表現能力	三維設計能力的綜合應用表現

四、結果與討論

4-1 手繪空間表現能力

手繪空間表現的測驗目的，在於了解學童於此認知發展階段具有的空間概念能力，呈現在手繪圖上的表現為何；研究之評量指標依文獻探究與專家訪談，設定「重疊法」、「不同基底線」、「非 X 光法」以及「非摺疊法」為觀察要點，同時加入「整體表現能力」進行整體評估；此部份評量之整體測驗信度 Cronbach α 值為.913，各評量要點 α 值介於.895-.915 間，顯示評量的各要項之間，具高度內部一致性信度。於效度檢驗上，各觀察要點之因素負荷量介於.736-.950，皆具評量效度。同時進行評分者間之信度考驗（Kendall's $w=.055$ ，卡方值=24.679， $p=.000<0.05$ ），顯示三位評量者的評分為顯著相關存在，亦即評分結果具一致性。接續為進一步探究受試者於手繪空間表現的各觀察變項間是否具相關性，利用 Pearson 積差相關檢定得知，「重疊法」表現與「整體表現能力」呈現正相關，並達相關顯著（ $p<0.001$ ），且相關係數大於 0.8；「非摺疊法」表現、「不同基底線」、「非 X 光法」亦與空間能力整體表現達到顯著正相關（ $p<0.001$ ）。而本研究手繪空間能力的 4 項觀察要項之間，亦皆呈現正相關，並為相關顯著（ $p<0.05$ ），此皆證實研究假設 H1-H5，經驗證後予以成立。如下頁表 6 所示。

表 6. 手繪空間表現各觀察變項之相關分析結果

	重疊法	非折疊法	不同基底線	非X光法	整體表現能力
重疊法	1				
非折疊法	$r = .660^{**}$ $\alpha = .000$	1			
不同基底線	$r = .662^{***}$ $\alpha = .000$	$r = .694^{***}$ $\alpha = .000$	1		
非X光法	$r = .499^*$ $\alpha = .011$	$r = .613^{***}$ $\alpha = .001$	$r = .606^{***}$ $\alpha = .001$	1	
整體表現能力	$r = .837^{***}$ $\alpha = .000$	$r = .757^{***}$ $\alpha = .000$	$r = .725^{***}$ $\alpha = .000$	$r = .677^{***}$ $\alpha = .000$	1

* $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$

接續為求知各觀察變項與整體表現能力之相互預測關係，以求得手繪空間表現的代表性觀察要項，續以手繪空間「整體表現能力」為依變項，分別以重疊法、非折疊法、不同基底線、非 X 光法等評量角度為自變項，以逐步多元迴歸分析建立迴歸模型如下：

手繪空間表現整體能力 = $.566 + 0.445$ (重疊法) + 0.130 (非折疊法) + 0.094 (不同基底線) + 0.099 (非 X 光法)

整體相關程度達到顯著 ($F(4, 20) = 22.560, R^2 = .905, p = .000$)，然就個別變數分析，「重疊法」($\beta = .445, t(20) = 3.814, p = .001$)，可顯著預測手繪空間整體表現能力，而非折疊法、不同基底線與非 X 光法，則無法達到顯著預測，因此，推論手繪空間表現中以「重疊法」能力最具觀察代表性。另外，雖就受試者全面性表現來看，手繪空間表現的各觀察變項間，彼此呈現正相關，且都達相關顯著，然以折線比較圖，如圖 4 得知，第 1、2 號受試者之「非 X 光法」表現與其他觀察要項皆呈現負相關，第 9 號之「非摺疊法」表現、21 號之「非摺疊法」與「重疊法」表現與其他觀察要項亦呈現負相關，此等例外或許須深入研究才能得知影響因素，如圖 5 所示。

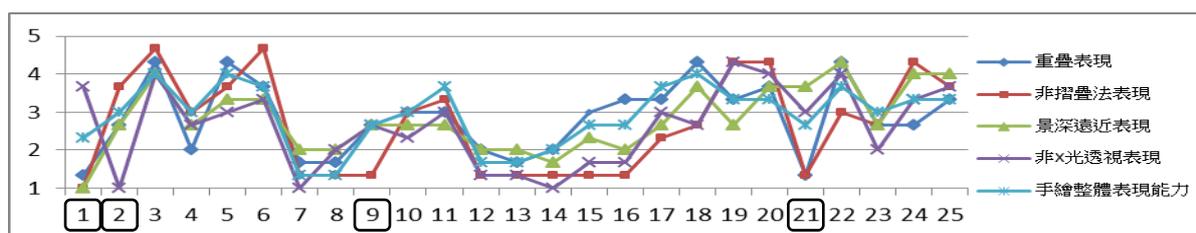
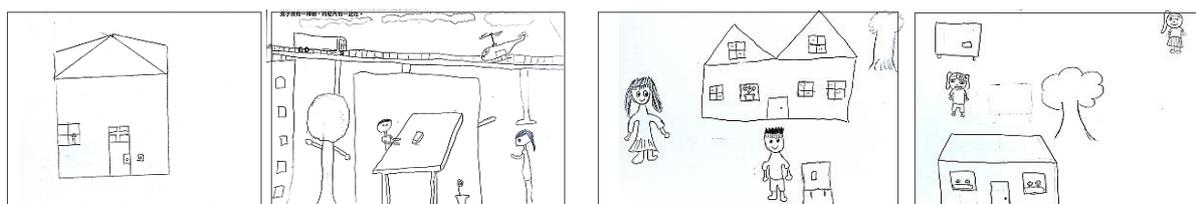


圖 4. 手繪空間表現比較折線圖



1 號受試者作品
非 X 光法表現與其他觀察要項呈現負相關作品
2 號受試者作品
9 號受試者作品
非摺疊法、重疊法表現與其他觀察要項呈現負相關作品
21 號受試者作品

圖 5. 手繪空間表現觀察變項間呈現負相關之手繪作品

然而就性別差異探究而論，研究假設「H6：手繪空間表現各觀察要項之能力具性別差異」中，僅有「不同基底線」表現呈現差異顯著（* $p=0.023<.05$ ），其餘皆未達顯著差異；若就平均數分析，女性學童在手繪空間的各觀察要項之得分平均數，均高於男性學童，如表 7，此與文獻探究中，女性於空間知覺、想像與記憶等空間能力上優於男性之論述，呈現相似結果。

表 7. 性別差異於手繪空間表現各觀察變項之獨立樣本 t 檢定分析結果

觀察變項	性別	N	平均數	標準差	SEM	F 值	t	p (雙尾)
重疊法	M	14	2.257	.990	.265	1.117	-1.714	.100
	F	11	3.210	.833	.251			
非摺疊法	M	14	2.499	1.353	.362	1.085	-.669	.510
	F	11	2.847	1.206	.363			
不同基底線	M	14	2.477	.770	.206	.463	-2.443	.023*
	F	11	3.243	.790	.238			
非 X 光法	M	14	2.309	1.042	.279	.389	-1.788	.087
	F	11	3.030	.947	.285			
整體表現能力	M	14	2.667	.952	.257	8.487	-1.829	.080
	F	11	3.243	.449	.135			

* $p<.05$

4-2 三維設計能力表現

為避免單一 3D 設計作品無法完整涵蓋教學課程應用之能力，或缺漏相關的空間能力觀察要項，因此本研究以受試者於 3D 設計課程後的所有圖稿（牛車、杯墊、101 大樓、廁所標示、肥皂盒）等，進行三維設計能力之綜合評鑑，評量指標設定「聯集差集交集」、「放樣」、「三維環轉」以及「契合」為觀察要點，同時加入「整體表現能力」進行整體評估；此部份評量之整體測驗信度 Cronbach α 值為.970，各評量要點 α 值介於.958-.968 間，顯示評量各要項之間，具高度內部一致性信度。效度檢驗上，各觀察要點之因素負荷量介於.907-.969，皆具高度評量效度。同時進行評分者間之信度考驗（Kendall's $w=.109$ ，卡方值=40.871， $p=.000<0.05$ ），顯示三位評量者的評分為顯著相關存在，評分結果具一致性。接續進一步探究受試者於三維設計能力各觀察變項間之交互關係。以 Pearson 積差相關檢定得知，聯集差集交集、放樣、三維環轉、契合等應用能力皆與三維設計能力之整體表現，呈現顯著正相關（ $p<0.001$ ），且相關係數均超過 0.8（ $r=.871$ 、 $r=.922$ 、 $r=.950$ 、 $r=.914$ ），尤以「放樣、三維環轉、契合」與三維設計「整體表現能力」之相關係數超過 0.9，此結果顯示，研究假設 H7-H10 經驗證後皆成立，如下頁表 8 所示。

同樣為求得三維設計能力的代表性觀察要項，接續進行各觀察變項與三維設計整體能力之相互預測關係探究，以三維設計整體能力為依變項，聯集差集交集、放樣、三維環轉、契合等評量向度為自變項，以逐步多元迴歸分析建立迴歸模型如下：

$$\text{三維設計整體能力} = -.459 + 0.204 (\text{聯集差集交集}) + 0.077 (\text{放樣}) + 0.416 (\text{三維環轉}) + 0.324 (\text{契合})$$

結果顯示整體相關程度達到顯著〔 $F(4, 20) = 86.504$, $R^2 = .972$, $p < .001$ 〕，而就個別變數分析，聯集差集交集能力〔 $\beta = .264$, $t(20) = 2.612$, $p = .017$ 〕、三維環轉能力〔 $\beta = .416$, $t(20) = 2.215$, $p = .039$ 〕、契合能力〔 $\beta = .324$, $t(20) = 2.498$, $p = .021$ 〕，可顯著預測三維設計整體能力，而放樣能力則無法達到顯著預測，因此，三維設計整體能力表現能以「聯集差集交集、三維環轉、契合」等建模與空間操作能力視為觀察代表要項。另外，若以受試者全面性表現來看，三維設計能力的各觀察變項間，彼此呈現正相關，且都達相關顯著；以折線比較圖，如下頁圖 6 得知，第 5、20 號受試者各項表現獲得高度一致性，為三維設計能力表現優異之作品（平均得分：4.73、5）；第 12、13 號受試者則獲得較低之平均得分（2.11、2.39），此等個案差異亦須深入研究才能得知影響之因素，如圖 7 所示。

表 8. 三維設計能力各變項之相關分析結果

	聯集差集交集	放樣	三維環轉	契合	整體表現能力
聯集差集交集	1				
放樣	$r = .826^{***}$ $\alpha = .000$	1			
三維環轉	$r = .841^{***}$ $\alpha = .000$	$r = .921^{***}$ $\alpha = .000$	1		
契合	$r = .723^{***}$ $\alpha = .000$	$r = .896^{***}$ $\alpha = .000$	$r = .897^{***}$ $\alpha = .000$	1	
整體表現能力	$r = .871^{***}$ $\alpha = .000$	$r = .922^{***}$ $\alpha = .000$	$r = .950^{***}$ $\alpha = .000$	$r = .914^{***}$ $\alpha = .000$	1

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

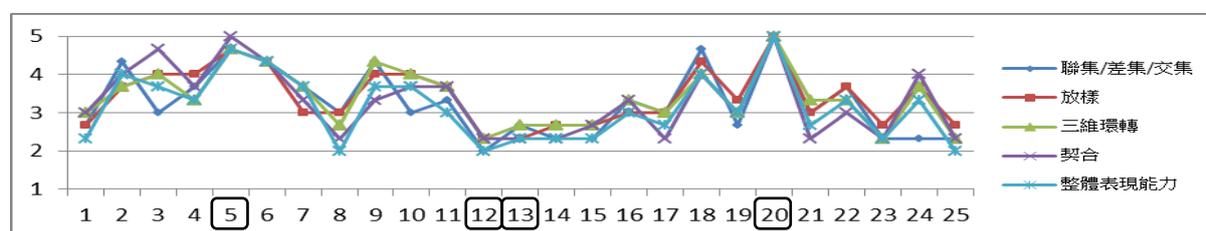
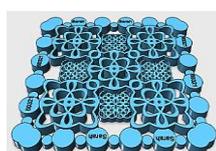


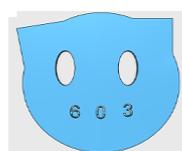
圖 6. 三維設計能力比較折線圖



5 號受試者作品



20 號受試者作品



12 號受試者作品



13 號受試者作品

表現優異作品 (各變項總和平均得分: 4.73、5)

表現較差作品 (各變項總和平均得分: 2.11、2.39)

圖 7. 三維設計作品之表現差異 (以杯墊為例)

另外就性別差異探究而論，以獨立樣本 t 檢定分析得知，研究假設「H12：三維設計各觀察要項之表現具性別差異」，此假設無法成立。亦即，性別並非影響三維設計能力高低之因素。然而就得分之平均數探究，相異於手繪空間表現，女性學童在三維設計能力各觀察要項平均得分皆略低於男性學童，如表 9 所示，此亦與文獻探究中，男性於空間旋轉、操弄等相關能力上優於女性之論述，呈現相似結果。

表 9. 性別差異於三維設計各觀察變項之獨立樣本 t 檢定分析結果

觀察變項	性別	N	平均數	標準差	SEM	F 值	t	p (雙尾)
聯集差集交集	M	14	3.367	.831	.222	.056	.579	.568
	F	11	3.150	.949	.286			
放樣	M	14	3.453	.770	.206	.354	.288	.776
	F	11	3.365	.751	.226			
三維環轉	M	14	3.501	.736	.197	.154	.755	.458
	F	11	3.272	.773	.233			
契合	M	14	3.438	.892	.239	.007	.859	.399
	F	11	3.120	.886	.267			
整體表現能力	M	14	3.274	.884	.236	.495	.439	.664
	F	11	3.060	.854	.258			

* $p < .05$

4-3 手繪空間表現與三維設計能力之交互關係

為進一步探討手繪空間表現「整體表現能力」與三維設計「整體表現能力」之間的交互關係，續進行相關分析，研究結果得知，三維設計整體能力與手繪空間表現整體能力彼此具顯著正相關($r=.533^{**}$, $\alpha=.006$, $p<0.01$)。接續為求知手繪空間表現整體能力與三維設計整體能力之相互預測性，續以三維設計整體能力為依變項，手繪空間表現整體能力為自變項，以簡單迴歸分析建立迴歸模型如下：

$$\text{三維設計整體能力} = 1.518 + 0.558 (\text{手繪空間表現整體能力})$$

結果顯示整體相關程度達到顯著〔 $F(1, 23) = 9.113$, $R^2 = .533$, $p < .01$ 〕；就變數分析，手繪空間表現整體能力〔 $\beta = .558$, $t(23) = 3.019$, $p = .006$ 〕可顯著預測三維設計整體能力；以此而論，亦即手繪空間表現在四個觀察向度「重疊法、非摺疊法、非 X 光法、不同基底線」等基準上，實可視為進行三維設計教學前對學童能力的評估參考。另外，雖然受試者在手繪空間表現及三維設計能力的整體表現來看，二者間彼此呈現顯著正相關，然就折線比較圖，如圖 8 得知，第 7、20 號受試者手繪空間表現及三維設計能力呈現負相關，為三維設計能力表現較手繪空間表現優異；第 5、18 號受試者則在手繪空間表現及三維設計能力表現上獲得較高之一致性，如圖 9 所示。

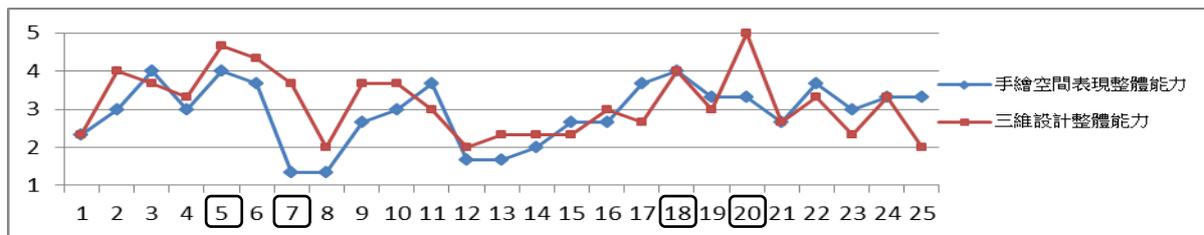


圖 8. 手繪空間表現與三維設計能力之比較折線圖

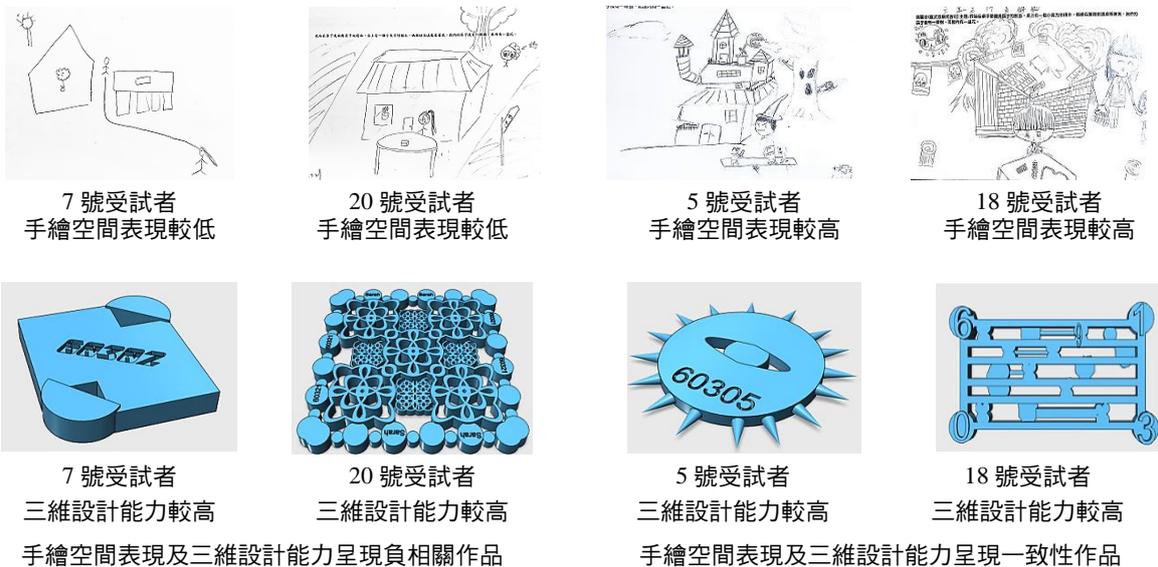


圖 9. 手繪空間表現與三維設計能力相異或相符作品（以杯墊為例）

而在性別差異探究上，以手繪空間表現整體能力與三維設計整體能力而論，依獨立樣本 t 檢定分析得知，性別因素在兩者的表現差異並不顯著，亦即，性別並非影響三維設計整體能力與手繪空間表現整體能力高低之因素。另就得分之平均數探究，同上述各觀察要項分析結果，男性學童在手繪空間表現整體能力上略低於女性學童，女性學童則在三維設計整體能力上略低於男性學童，如下頁表 10 所示。

雖然文獻探討中，有些學者主張手繪表現並不全然代表學童的認知發展，然就研究結果顯示，手繪空間表現的各觀察要項彼此呈現顯著正相關，亦即，研究中的四個觀察要項「重疊法、非摺疊法、非 X 光法、不同基底線」仍可視為手繪空間表現能力的參酌要素；而與三維設計能力的相關性與預測性而言，研究結果得知，手繪空間表現亦可視為探究學童在三維設計能力的評估依據。唯研究中，仍有個案學童在兩者間呈現負相關之情形，此或許為文獻所述，手繪表現中，個體若缺乏細節的觀察與紀錄，並非完全代表其感知或認知能力的缺陷（Cox, 2009），學童成就表現的好壞與否，或許取決於其個人特質與學習特質等潛在變項，亦或與個案當下的心情、自身興趣或自我選擇呈現的結果相關。

表 10. 性別差異於手繪空間表現與三維設計能力之獨立樣本 *t* 檢定分析結果

觀察變項	性別	N	平均數	標準差	SEM	F 值	t	p (雙尾)
三維設計整體能力	M	14	3.214	.884	.236	.496	.439	.664
	F	11	3.060	.854	.258			
手繪空間表現整體能力	M	14	2.667	.962	.257	8.487	-1.982	.062
	F	11	3.243	.449	.135			

* $p < .05$

五、結論與建議

本研究以國小六年級學生為研究對象，探究該年齡學童的手繪空間表現以及三維設計能力二者之交互關係，並探討研究之 4 個主要問題，亦即，探究「手繪空間表現」能力要項與整體能力之關係，以及何者能力表現更具觀察代表性；同時探析「三維設計」能力要項與整體能力之關係以及其代表能力；另外針對此兩面向探求相互關係，最後探析此揭表現是否存在性別差異。茲將研究所得結論列述如下：

1. 在手繪空間表現的觀察向度上，各能力要項呈現顯著相關性，尤其以「重疊法」為手繪空間表現之代表性指標。以手繪空間表現而言，「重疊法」能力與「整體表現」之相關性最高，並能顯著預測手繪空間表現的整體能力，依此推論「重疊法」應可視為衡量該學齡手繪空間表現的代表基準。此亦與文獻探討中，國外學者常以重疊表現為試驗學童認知發展與繪畫能力的實驗相符，並確實與該年齡層應有的繪畫表現能力相互呼應。
2. 以三維設計能力的觀察向度而言，各能力要項交互關係皆高，顯示「聯集差集交集」建模能力與「放樣、三維環轉、契合」能力等，實可視為學童三維設計能力的觀察要素；尤其，布林運算中的「聯集、差集、交集」建模能力、「三維環轉」及「契合」等空間旋轉與操弄表現，更能顯著預測學童的三維設計整體能力。
3. 在手繪空間表現與三維設計能力的交互關係上，研究結果得知，兩者的表現能力呈現顯著正相關，並能以學童的「手繪空間表現」預測其「三維設計能力」。此結果顯示，手繪空間表現涵蓋的空間知覺與空間概念呈現，確實與 3D 列印設計中，應用物像旋轉及二維轉三維的立體組構能力相關；而除了空間能力的相關性外，二者表現同樣皆涵蓋美術、設計之視覺相關範疇，或許與美感、繪畫技能的基礎亦較為一致，此或許可為後續研究之方向。
4. 在性別差異表現上，手繪空間表現的各觀察要點中，僅於「不同基底線」變項上獲得顯著差異，研究結果為女性學童在此變項較男性學童表現更佳，亦即女性學童於手繪空間表現，容易呈現不同基底線能表達的空間深度感，而男性學童則易於忽略此點。而就三維設計能力之觀察，雖然許多文獻表示，性別差異常存在於心像旋轉與三維立體圖的表現上，然而在本研究以建模組構、三維環轉能力為主的觀察要項中，男女表現其實趨於一致。

5. 研究結果得知，手繪空間表現能顯著預測學童的三維設計能力，亦即在能力要項「重疊法、非摺疊法、非 X 光法、不同基底線」的手繪表現愈佳，學童在「三維設計能力」亦會有較佳表現，因此，手繪空間表現若已達較高階程度，於三維設計能力應用上，則能呈現更好的學習成效；本研究依所得結果，建議於國小高年級學程才適宜實施此類課程，而性別差異在本研究中並不為影響兩者能力的關鍵因素，故全面性實施於高年級課程亦應當適宜。

誠如文獻所述，在針對個案的手繪觀察中發現，學童是否自主再現寫實細節，其實因人而異，有時僅與學童選擇表現的意圖相關；學童各項成就表現的好壞與否，並不全數等同其智能表現或認知發展，重視個人特質、興趣與學習特質等潛在變項，適時適性啟發，才能引起學習動機，誘發其成就表現。現今學童接觸資訊科技、沉迷動漫與線上遊戲時間相較提高，除非是對繪畫有興趣與熱情的孩子，否則徒手繪圖之機會減低，從兩方面來看，生活經驗的局限，以及不自覺或故意忽略客觀的視覺感受，皆促使學童概念畫的時間停留愈久。Piaget 認為，經驗對於智慧的發展永遠是必要的（孔起英，1996），何友鋒等人（2006）亦表示，個體對於空間經驗的多寡，實為影響空間設計能力的因素之一。因此，為增進孩子的手繪空間表現，強化客觀觀察，除了增廣生活經驗外，亦可從引發舊經驗的連結著手；而在視知覺的深化上，則可從局部觀察練習描繪起，透過觀察物與物的相互關係，來強化視覺感受（郭榮瑞，2002）。

三維列印設計引發了創意實現與「想即做」的「自造者時代」，就設計教育而言，此等美術設計、資訊能力與空間能力的融合更顯重要，資訊科技的學習在國小學程及現今社會背景下，已為高年級學童普遍可應用的能力，美術教學或設計教學則可建構在利用學童已有的知識與技術能力，選擇適當能增進其形象觀察、創造思維及手眼協調操作能力的教學方式。而三維列印設計若帶入國小高年級課程中，同樣也須在此資訊能力與空間能力基礎上，才得以適當推展進行，並達到學童未來能內化應用的能力。

因本文所探討的主要面向為學童「徒手繪圖」的空間表現與「三維設計」表現能力之相關性，著重在兩者涵蓋的空間能力是否互為關聯且可否成為觀察的衡量依據，因此以美術教學中，學童表現在手繪的認知發展、繪畫技能與空間概念，探究其可否視為觀察三維設計學習之參酌，因而未採用學者先進所研究發展出的空間能力量表以為探究標準，此或許亦可為後續研究發展之新方向，並期望未來能探析更多可能的相關因素。本研究結果希望能對高年級學童的空間認知及空間表現能力提供更多實務參考，並加廣學童空間認知發展的觀察面向，亦期望能提供未來三維設計課程教學前之評估與參酌依據。

參考文獻

1. Atkinson, D. (1991). How children use drawing. *Readings in Primary Art Education*, 10(1), 139.
2. Buehler, E., Kane, S. K., & Hurst, A. (2014). ABC and 3D: Opportunities and obstacles to 3D printing in special education environments. In *Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility* (pp. 107-114). Rochester, NY: ACM.
3. Benbow, C. P., & Stanley, J. C. (1984). Gender and the science major: A study of mathematically precocious youth. In M. W. Steinkamp & M. L. Maehr (Eds.), *Women in science* (pp. 165-196). Greenwich, CT: JAI Press.
4. Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. New York, NY: Cambridge University Press.
5. Cox, M. V. (1978). Spatial depth relationships in young children's drawings. *Journal of Experimental Child Psychology*, 26 (3), 551-554.

6. Cox, S. (2009). Intention and meaning in young children's drawing. In S. Herne, S. Cox & R. Watts (Eds.), *Readings in primary art education* (pp. 185-196). Chicago, IL: Intellect Ltd.
7. Collins, D. W., & Kimura, D. (1997). A large sex difference on a two dimensional mental rotation task. *Behavioral Neuroscience, 111*, 845-849.
8. Eisenberg, M. (2013). 3D printing for children: What to build next? *International Journal of Child-Computer Interaction, 1*(1), 7-13.
9. Gardner, H., & Hatch, T. (1989). Educational implications of the theory of multiple intelligences. *Educational Researcher, 18*(8), 4-10.
10. Golomb, C., & McCormick, M. (1995). Sculpture: The development of three dimensional representation in clay. *Visual Arts Research, 21*(1), 35-50.
11. Guilford, J. P. (1967). *The nature of human intelligence*. New York, NY: McGraw-Hill.
12. I, B. (1995). *Spatial representation in drawing: The influence of size, viewpoint, and observation on drawing development* (Unpublished doctoral dissertation). University of Illinois, Urbana-Champaign, IL.
13. Kalyan-Masih, V. (1976). Graphic representation: From intellectual realism to visual realism in draw-a-house-tree task. *Child Development, 47*(4), 1026-1031.
14. Kirby, J. R., & Boulter, D. R. (1999). Spatial ability and transformational geometry. *European Journal of Psychology of Education, 14*(2), 283-294.
15. Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development, 56*, 1479-1498.
16. Lipson, H. (2007, October). Printable 3D models for customized hands-on education. In *Proceedings of Mass Customization and Personalization 2007*. Retrieved from http://creativemachines.cornell.edu/papers/MCPC07_Lipson.pdf
17. Lohman, D. F. (1988). Spatial abilities as traits, processes, and knowledge. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (pp. 181-248). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
18. Lohman, D. F. (1994). Spatial ability. In R. J. Sternberg (Ed.), *Encyclopedia of intelligence* (Vol.2) (pp. 1000-1007). New York, NY: Macmillan.
19. Lord, T. R. (1987). A look at spatial abilities in undergraduate women science majors. *Journal of Research in Science Teaching, 24*(8), 757-767.
20. Lowenfeld, V., & Brittain, L. (1987). *Creative and mental growth* (8th ed.). New York, NY: MacMillan.
21. Loy, J. (2014). eLearning and eMaking: 3D printing blurring the digital and the physical. *Education Sciences, 4*(1), 108-121.
22. Luquet, G. H. (2001). *Children's drawings ('Le Dessin Enfantin')* (A. Costall, Trans.). London, England: Free Association Books. (Original work published 1927)
23. McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin, 86*(5), 889.
24. Newcombe, N. S., & Frick, A. (2010). Early education for spatial intelligence: Why, what, and how. *Mind, Brain, and Education, 4*(3), 102-111.
25. Paine, S. (1984). Changing views of childhood and their effects on continuity in the teaching of drawing. *Readings in Primary Art Education, 3*(1), 127.
26. Reinisch, J. M., Gandeiman, R., & Spiegel, F. S. (1979). Prenatal influences on cognitive abilities: Data

- from experimental animals and humangenetic and endocrine syndromes. *Sex-related differences in cognitive functioning: Developmental issues* (pp. 215-239). New York, NY: Academic Press.
27. Scali, R. M., Brownlow, S., & Hicks, J. L. (2000). Gender differences in spatial task performance as a function of speed or accuracy orientation. *Sex Roles*, 43(5-6), 359-376.
 28. Snow, R. E. (1999). Commentary: Expanding the breadth and depth of admissions testing. In S. Messick (Ed.), *Assessment in Higher Education* (pp. 133-140). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
 29. Southworth, G. W. (1982). Art in the primary school: Towards first principle. In S. Herne, S. Cox & R. Watts (Eds.), *Readings in primary art education* (pp. 21-32). Chicago, IL: Intellect Ltd.
 30. Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2009). Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology*, 101(4), 817.
 31. 文藝、康紅娜 (2015)。3D 列印技術對高校工業設計教育的啟示。 *大眾文藝：學術版*，4，56-56。
Wen, Y., & Kang, H. N. (2015). The enlightenment of 3D-printing technology to high school industry design education. *The Masses Arts: Academic Edition*, 4, 56-56. [in Chinese, semantic translation]
 32. 王文科 (1994)。 *課程與教學論*。台北：五南。
Wang, W. K. (1994). *Curriculum and teaching methodology*. Taipei: Wunan. [in Chinese, semantic translation]
 33. 王為國 (2006)。 *多元智能教育理論與實務*。台北：心理。
Wang, W. K. (2006). *Multiple intelligences and education: Theory and practices*. Taipei: Psychology. [in Chinese, semantic translation]
 34. 孔起英 (1996)。皮亞傑兒童發展理論與學前兒童繪畫的發展和教育。 *學前教育研究*，4(1)，18-21。
Kung, C. Y. (1996). Piaget's children development theory and the development and education of pre-school children's paintings. *The Research of Pre-school Education*, 4(1), 18-21. [in Chinese, semantic translation]
 35. 伊彬、徐春江 (2008)。從不同形式的描繪對象來看全盲者的空間表現發展末階。 *藝術教育研究*，15，71-100。
I, B., & Shiu, C. J. (2008). Spatial presentation of totally blind people: The late developmental stages. *Journal of Research in Arts Education*, 15, 71-100. [in Chinese, semantic translation]
 36. 向士賢 (2004)。 *使用手部動態輸入裝置操控虛擬空間中的 3D 設計物件* (未出版碩士論文)。國立交通大學，新竹市。
Hsiang, S. H. (2004). *Using hand movement system to operate 3D design objects in virtual environment* (Unpublished master's thesis). National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
 37. 李東梅、張持重、張耀娟、張云峰 (2010)。以創新能力培養為目標的設計圖學課程改革的研究與實踐。 *工程圖學學報*，3，161-164。
Li, D. M., Zhang, C. Z., Zhang, Y. J., & Zhang, Y. F. (2010). Research and practice on design graphics course reform for training innovation ability. *Journal of Engineering Graphics*, 3, 161-164. [in Chinese, semantic translation]
 38. 何友鋒、陸建浩、沈永堂 (2008)。建築系高中職學生空間設計能力評量之研究。 *設計學報*，11(2)，83-100。

- Ho, Y. F., Lu, C. H., & Shen, Y. T. (2008). Evaluation of spatial ability in architectural design course. *Journal of Design, 11*(2), 83-100. [in Chinese, semantic translation]
39. 林佳蓉 (2004)。幾何空間教學對國小二年級學童空間能力學習之研究 (未出版碩士論文)。國立臺北教育大學, 台北市。
- Lin, C. J. (2004). *The study of geometric spatial teaching for second grader's spatial ability learning* (Unpublished master's thesis). National Taipei University of Education, Taipei, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
40. 林俊佑 (2016)。探究以 CDIO 與認知學徒制教學策略融入 3D 列印建模課程對學習者空間能力提升及認知序列之影響 (未出版碩士論文)。國立台中科技大學, 台中市。
- Lin, J. Y. (2016). *Influence of the integration of CDIO and cognitive apprenticeship teaching strategy in 3D printing and modeling courses on the improvement of learners' spatial ability and cognitive sequence* (Unpublished master's thesis). National Taichung University of Science and Technology, Taichung, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
41. 林漢裕、李玉琇 (2010)。空間短期記憶、空間工作記憶與空間能力對圖學表現的影響。《設計學報》, 15 (4), 1-18。
- Lin, H. Y., & Lee, Y. S. (2010). The effects of spatial short-term memory, spatial working memory and spatial ability on performance in engineering graphics. *Journal of Design, 15*(4), 1-18. [in Chinese, semantic translation]
42. 林漢裕、李玉琇、陳垣長 (2012)。探討指長比和空間能力的關係。《設計學報》, 17 (1), 25-40。
- Lin, H. Y., Lee, Y. S., & Chen, Y. C. (2012). An investigation into the relationship between digit ratio and spatial ability. *Journal of Design, 17*(1), 25-40. [in Chinese, semantic translation]
43. 吳宏、汪仲文 (2014)。中小學生空間能力的構成要素與水平層次及評價指標。《數學教育學》, 23 (5), 41-45。
- Wu, H., & Wang, J. W. (2014). The elements, levels and evaluation norms of primary and secondary school pupil's spatial ability. *Mathematics Education, 23*(5), 41-45. [in Chinese, semantic translation]
44. 吳文如 (2004)。國中生空間能力與數學成就相關因素之研究 (未出版碩士論文)。國立臺北教育大學, 台北市。
- Wu, W. R. (2004). *A study of the relationship between the performance of spatial abilities and mathematics achievement of junior high school students* (Unpublished master's thesis). National Taipei University of Education, Taipei, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
45. 周淑惠 (2000)。《幼兒數學新論-教材教法》(第二版)。台北: 心理出版社。
- Jhou, S. H. (2000). *The new theory of pre-School pupil's mathematics-Teaching materials and teaching methodology* (2nd ed.). Taipei: Psychology publishers. [in Chinese, semantic translation]
46. 洪文東 (2007, 5 月)。幼年期兒童的空間概念。美和技術學院主辦, 2007 南台灣幼兒保育學術研討會, 屏東縣。
- Hung, W. T. (2007, May). The spatial concept of pre-school pupils. In *2007 South Taiwan Child Welfare Conference*. Symposium conducted at the Meiho University, Pingtung, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
47. 陸雅青 (1999)。《藝術治療: 繪畫詮釋 從美術進入孩子的心靈世界》。臺北市: 心理。
- Lu, Y. C. (1999) *Arts therapy: Interpretation of paintings, from arts to children's mind world*. Taipei:

- Psychology. [in Chinese, semantic translation]
48. 張京英、羅會甫、張彤、焦永和（2010）。三維造型設計與工程圖學的有效融合。《工程圖學學報》，6，151-154。
- Zhang, J. Y., Luo, H. U., Zhang, T., & Jiao, Y. H. (2010). The effective integration of 3D design and engineering graphics. *Journal of Engineering Graphics*, 6, 151-154. [in Chinese, semantic translation]
49. 莊振中（2004）。製圖科學生應用3D電腦繪圖軟體學習立體圖在空間能力表現之研究（未出版碩士論文）。國立臺灣師範大學，台北市。
- Chuang, C. C. (2004). *The effects of applying 3D computer-aided-design drafting software to learn pictorial drafting for the students of drafting departments of high schools in Taiwan* (Unpublished master's thesis). National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
50. 康鳳梅、簡慶郎、詹秉鈞（2003）。工程圖交線電腦創意教材提升學生空間能力之研究。《師大學報：科學教育類》，48（2），225-238。
- Kang, F. M., Jin, C. L., & Jan, B. J. (2003). The study of editing creative teaching materials in computerizing intersection of engineering drawing to promote the students' spatial ability. *Journal of Taiwan Normal University: Mathematics and Science Education*, 48 (2), 225-238. [in Chinese, semantic translation]
51. 黃致傑（2005）。針對CAD概念塑模行為提供的手勢空間輸入介面（未出版碩士論文）。國立交通大學，新竹市。
- Huang, C. C. (2005). *A gestural spatial interface for 3D conceptual modeling* (Unpublished master's thesis). National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
52. 陳埤淑（2005）。教小一辨左右前空間概念教學之研究。《臺中教育大學學報：數理科技類》，19（2），53-68。
- Chen, C. S. (2005). The study of the spatial concept of teaching prior to teaching first graders to left and right. *The Scholarly Journal of Taichung University of Education: Math, Science and Technology*, 19(2), 53-68. [in Chinese, semantic translation]
53. 陳偉民（2010）。不同空間能力學生使用3D繪圖軟體對創意表現影響之研究（未出版碩士論文）。國立臺灣師範大學，台北市。
- Chen, W. M. (2010). *A study of effects on creative performance of students with different spatial ability after using 3D computer graphics software* (Unpublished master's thesis). National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
54. 郭榮瑞（2002年）。全球化與圖式化-東方線條的再生。摘自《現代教育論壇-全球視覺化與藝術教育：西方與東方的對話-研討會論文集》（頁15-26）。台北市：國立教育資料館。
- Kuo, R. R. (2002). Globalization and graphicalization-The rebirth of oriental lines. In *Proceedings of The Forum of Modern Education-Global Visualization and Arts Education: The Dialogue between Western and Eastern- The Symposium* (pp. 15-26). Taipei: National Institute of Educational Resources and Research. [in Chinese, semantic translation]
55. 張文宇、范文貴（2012）。小學生對空間概念的理解與培養策略。《數學教育學報》，21（6），91-93。
- Chang, W. Y., & Fan, W. G. (2012). The understanding of primary school pupil's spatial concept and the strategy of education. *The Scholarly Journal of Mathematics Education*, 21(6), 91-93. [in Chinese, semantic translation]

56. 張曉潤 (2011)。兒童美術心理研究的發展及其對兒童美術教育的啟示。《學前教育研究》，4，21-26。
Chang, H. C. (2011). Psychological analysis of children's art development and enlightenment of children's art education. *The Research of Pre-school Education*, 4, 21-26. [in Chinese, semantic translation]
57. 教育部 (2008)。國民中小學九年一貫課程綱要。台北：教育部。取自 http://teach.eje.edu.tw/9CC2/9cc_97.php。
Ministry of Education. (2008). *Grade 1-9 curriculum guidelines*. Taipei: Ministry of Education. Retrieved from http://teach.eje.edu.tw/9CC2/9cc_97.php. [in Chinese, semantic translation]
58. 教育部 (2016)。2016-2020 資訊教育總藍圖。台北：教育部。取自 <http://ws.moe.edu.tw/001/Upload/3/refile/6315/46563/65ebb64a-683c-4f7a-bcf0-325113ddb436.pdf>。
Ministry of Education. (2016). *The blue print on information technology education*. Taipei: Ministry of Education. Retrieved from <http://ws.moe.edu.tw/001/Upload/3/refile/6315/46563/65ebb64a-683c-4f7a-bcf0-325113ddb436.pdf> [in Chinese, semantic translation]
59. 葉宗青、李隆盛 (2007)。繪圖情境與國中學生繪製立體幾何圖之表現的關係。摘自《科技教育課程改革與發展學術研討會論文集》(頁 414-420)。高雄市：國立高雄師範大學。
Ye, Z. C., & Li, L. S. (2007). A study of representative types and correlated factors of solid geometric figure drawings by teenagers. In *Proceedings of 2007 International Conference of Curriculum and Instruction in Technology Education* (pp. 414-420). Kaohsiung: National Kaohsiung Normal University. [in Chinese, semantic translation]
60. 經濟部工業局 (2016 年 7 月 15 日)。3D 列印產業推動計畫。取自 <http://fastlab.tw/>。
Industrial Development Bureau, Ministry of Economic Affairs. (2016, July 15). *Action plan for 3D printing industrial development*. Retrieved from <http://fastlab.tw/> [in Chinese, semantic translation]
61. 鄒品梅 (1983)。視覺障礙學童美感經驗之研究。台北：台北市立師範專科學校。
Tsou, P. M. (1993). *The study of visual impaired students' esthetic experience*. Taipei: University of Taipei. [in Chinese, semantic translation]
62. 鄭淑榮 (2009)。幼兒空間概念發展之研究 (未出版碩士論文)。致遠管理學院，台南市。
Jheng, S. R. (2009). *A study of pre-school children's spatial concept development* (Unpublished master's thesis). Taiwan Shoufu University, Tainan, Taiwan. [in Chinese, semantic translation].
63. 鄭海蓮、陳世玉 (2007)。標準化空間能力測驗之建模與驗證。《教育研究與發展期刊》，3(4)，181-216。
Jeng, H. L., & Chen, S. Y. (2007). Model exploration and validation of the standardized spatial ability test. *Journal of Educational Research and Development*, 3(4), 181-216. [in Chinese, semantic translation]
64. 劉俊祥 (1999)。機械製圖科學生空間能力與立體圖成就表現之相關研究 (未出版碩士論文)。國立台灣師範大學，台北市。
Liou, J. S. (1999). *A study of the correlation between the spatial ability and the pictorial drawing achievement of major in vocational high schools* (Unpublished master's thesis). National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan. [in Chinese, semantic translation].
65. 蘇春敏 (1995)。畫捉迷藏－談兒童的空間概念與繪畫表現。《雄獅美術》，290，62-67。
Su, C. M. (1995). Drawing hide and seek- Children's spatial concept and drawing representation. *Hsiung Shih Art Monthly*, 290, 62-67. [in Chinese, semantic translation]

The Study of the Correlation between Pupils' Spatial Performance on Hand-drawing and 3D Design Ability

Pei-Hua Hung* Jui-Ping Ma** Rungtai Lin***

*. *** Graduate School of Creative Industry Design, National Taiwan University of Arts

* paywhathome@gmail.com

*** rtlin@mail.ntua.edu.tw

** Center for Humanities and Arts Education, Kaohsiung Medical University

artma2010@gmail.com

Abstract

In response to the rapid changing on information technology, 3D-printing design courses in an experimental manner were taken into elementary school's curriculum for the trend of the times. As pupils' cognitive development is different from adults, the performance of spatial concept varied personally, even believed for the gender difference. Therefore, whether the 3D design course is appropriate to overall elementary-school pupils is worthy to be explored. This study had 6th-grade pupils as research subjects, taking hand-drawing spatial performance and 3D design ability as the research targets, and focused on exploring the correlation between them. The results revealed: 1. The observation aspects as "overlap, non-foldout, varied ground lines, and non-X-ray" of spatial performance on hand-drawing had significant relations with each other and the overall performance, especially the "overlap" item could predict its total ability. 2. The observation aspects of 3D design ability, "merge/subtract/intersect, loft, rotate, align", had significant correlation with each other and the overall ability, and "merge/subtract/intersect, rotate, align" items could predict its total performance. 3. There exists significantly positive relation between students' spatial performance on hand-drawing and their 3D design ability. 4. Gender difference is not the key issue to spatial performance of these two fields. These results provided references for pupils' spatial cognition and spatial expression ability, and expected to benefit on future 3D-printing design curriculum rooted on primary education.

Keywords: Spatial Concept, Spatial Performance, 3D Printing Design.