

科學想像力學習進程之驗證：測量觀點*

王佳琪 何曉琪 鄭英耀 邱文彬
南臺科技大學 國立中山大學
師資培育中心 教育研究所

本研究旨在以 Wang、Ho 和 Cheng (2015) 所發展的科學想像力學習進程為架構，提出一個國小三至六年級學生科學想像力之假設性學習進程模式，運用 BEAR 評量系統以實徵證據驗證，進而修編科學想像力情境測驗，試圖釐清科學想像力的核心概念與發展途徑。研究對象分為評量工具施測對象為臺灣國小三至六年級學生共 767 名；另依據研究結果，訪談兩名指導科學發明展且獲獎無數的自然科績優教師。研究工具有科學想像力情境測驗、心像問卷修编版和訪談大綱。資料分析方面，本研究採用 Rasch 部份給分模式分析學生在科學想像力情境測驗的反應，提供量表的多元效度證據 (Wolfe & Smith, 2007)，並輔以訪談資料解釋結果。研究結果指出，運用 BEAR 評量架構和 Rasch 測量模式的分析，能開發具多元效度證據的科學想像力之學習進程評量工具；結果亦支持科學想像力的學習進程由「漫想力、聯想力、奇想力、妙想力」所發展之理論假設。最後，針對「科學想像力學習進程」的應用，提出未來研究之建議。

關鍵詞：科學想像力、學習進程、BEAR 評量系統、Rasch 部份給分模式

* 本篇論文通訊作者：王佳琪，通訊方式：wcc0805@stust.edu.tw。

十九世紀德國化學家庫勒 (August Kekulé) 宣稱自己在半夢半醒之間，看到碳鏈變成了一條蛇，在他面前不斷翻騰，突然咬住了自己的尾巴，形成了一個環，猛然驚醒明白苯分子原來是一個六角形環狀結構，進而解決當時化學家們百思不得其解的難題，間接隱含夢境似乎可以轉換為科學現實 (Robinson, 2010)。二十世紀末桃莉羊的基因複製研究 (Campbell, Mcwhir, Ritchie, & Wilmut, 1996) 實現了明朝神話傳說西遊記中，孫悟空透過毛髮變出許多分身的想像。愛因斯坦 (Albert Einstein) 想像自己以光速飛行可能看到的景象，經不斷的思索與驗證，最後發展出相對論。愛迪生 (Thomas Edison) 經由想像各種可能做為燈絲的材料，經過無數次的試驗，發明出電燈泡；在美、英科學家的研究下 (Pendry, Schurig, & Smith, 2006)，透過超穎材料的突破實現了哈利波特的隱形斗篷。美國經典科幻喜劇電影《回到未來 2》(Back to the Future Part II)，主角馬蒂跟布朗博士從 1989 年穿越到了 2015 年 10 月 21 日，看見了飛行汽車、懸浮滑板、虛擬／擴充實境、遠端通訊等驚奇事物，當時電影裡預言的新科技，今日竟也成真 (Gale & Zemeckis, 1989)。諸如此類的例子，無不證明想像力對人類發展的重要性，人們運用與生俱來的想像力，透過不斷的思考、嘗試，發現了許多科學理論及創造出改進生活的新發明，現今科學技術的發展，就是想像具體化至創造的最佳範例 (Vygotsky, 1930/2004)。

近年來，國內外開始重視想像力對人類生活所帶來的影響，並致力於想像力測量與培育的相關研究與推動。包括美國麻省理工學院 (MIT) 人文與寫作中心開設的「想像未來」(Imagining the Future) 課程、美國 MIT 所推行系列的 CMS 計畫 (Comparative Media Studies Program)、賓州大學 (University of Pennsylvania) 正向心理學中心 (Positive Psychology Center) 附屬的「想像力機構」(Imagination Institute) (<http://imagination-institute.org/>)、加拿大西蒙菲沙 (Simon Fraser) 大學成立「想像力教育研究中心」(Imaginative Education Research Group [IERG])、以及芬蘭豌豆島 (Hernesaari) 的重建計畫等 (邱發忠、陳學志、林耀南、涂莉萍, 2012; 詹志禹, 2010)。此外，國內自前行政院長劉院長在第八次科技會議閉幕式指示：「請教育部、國科會針對『想像教育』，規劃改進基礎教育的啟發方式及加強科學教育相關研究...」後，教育部與科技部開始極力推動想像力教育與研究，例如科技部的科學教育發展處 (Department of Science Education) 於 2009 年開始徵求「想像力與科技研究／實作能力培育」整合型計畫 (科技部, 2012)，以培育未來的科技人才、提升國人的研究能力；教育部顧問室 (現已更名為教育部資訊及科技教育司) 則於 2011 年至 2014 年，推動「未來想像與創意人才培育計畫」(教育部, 2012)。由此可見，國內想像力教育及推廣正逐漸擴散，想像力在世界各國的重要性愈趨重要。

科學教育是培育富有想像力和創造力人才一道良好的途徑 (McCormack, 2010)，想像力也著實是科學研究中的重要元素。自 2013 年 4 月起，美國以國家研究委員會 (National Research Council, NRC) 「K-12 科學教育架構」(Framework for K-12 Science Education) 為基礎，正式公布「新世代科學標準」(The Next Generation Science Standards, NGSS)，包含學科核心構念 (disciplinary core ideas)、科學與工程實務 (science and engineering practices)、跨學科概念 (crosscutting concepts) 等三個重點面向，發展新的一貫美國科學教育標準，強化科學教育的認知與應用性。NGSS 報告書在科學本質 (nature of science) 其中一個主軸提及「科學是人類努力的結果」(science is a human endeavor)，並分別在國小三至五年級、中學、及高中等不同年齡階段，特別強調創造力和想像力對科學的重要性，認為科學知識是經由人類努力、想像力和創造力所形成的結果 (The Next Generation Science Standards, 2013)。因此，激發學生的想像力進而導引至創造，並轉化科學知識至生活情境，實為目前科學教育領域不可忽視的重要議題。

再者，Duncan 和 Rivet (2013) 在 NGSS 框架下探討學習進程 (learning progressions, LPs) 的概念，強調其重要性，認為學習進程可重新精緻科學內容，將學習發展途徑具體化，學生可以透過不同的階段形成不同的學習路徑，發展更多複雜的認知推理模式。事實上，學習進程是以發展心理學為基礎所發展的理論架構，用以探討學生在某領域的核心概念 (big ideas) 學習，隨著時間發展而產生變化的情形，可以描述潛在 (underlying) 概念發展、推理與轉換過程，亦可提供評量發展的基礎 (Smith, Wiser, Anderson, & Krajcik, 2006; Wilson, 2009)。美國 NRC 在 2006 年出版的「國家科學評量系統」(Systems for State Science Assessments) 和 2007 出版的「將科學帶入學校：K-8 年級的科學學習及教學」(Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8) 報告書中，先後建議美國州政府應該透過學生的學習進程，將課程、教學和評量做有效的連結

(NRC)，可見學習進程對教學實務之重要性。此外，美國科學教學研究學會 (National Association for Research in Science Teaching, NARST) 所出版的國際學術期刊—科學教學研究期刊 (Journal of Research in Science Teaching)，於 2009 年以專刊「學習進程」(Learning Progressions)，刊登此議題的相關研究 (Duncan, 2009)；另外，國際學術期刊—科學教育 (Science Education) 於 2015 年第 99 期在「學習」議題的文章更聚焦在學習進程的研究。由此顯示，學習進程的研究已是當前科學教育研究的重要國際趨勢，亟待各國的科學教育研究者從不同的文化脈絡及研究取向下，進行更深入且廣泛地探討。

過去，學習進程在科學教育研究中，主要是探討科學重要的核心概念，例如：生物的「食物鏈」(food chain) 概念 (Songer & Gotwals, 2012)、「生物多樣性」(biodiversity) 概念 (Songer, Kelcey, & Gotwals, 2009)、「遺傳」(genetics) 概念 (Duncan, Rogat, & Yarden, 2009; Duncan, Castro-Faix, & Choi, 2016; Elmesky, 2013; Freidenreich, Duncan, & Shea, 2011; Shea & Duncan, 2013)、「生態學」(ecology) 概念 (Gotwals & Songer, 2013) 等；地球科學的「天體運動」(celestial motion) 概念 (Plummer & Krajcik, 2010; Wilson, 2009)、「太陽系」概念 (Plummer et al., 2015)；物理的「力與運動」(force & motion) 概念 (Steedle & Shavelson, 2009)；化學的「物質」(matter) (Hernandez, Couso, & Pinto, 2015; Johnson & Tymms, 2011; Stevens, Delgado, & Krajcik, 2010)、「化學思考」(chemical thinking) (Sevian & Talanquer, 2014)、「分子結構和性質」(molecular structure and properties) (Cooper, Underwood, Hilley, & Klymkowsky, 2012) 等概念；跨學科領域的「能量」(energy) 概念 (Jin & Anderson, 2012; Lee & Liu, 2010)、「碳循環」(carbon cycling) 概念 (Mohan, Chen, & Anderson, 2009) 等。然而，學習進程在科學教育的研究上，除了探討學科核心能力，亦探討「科學建模」(scientific modeling) (Cullen, 2015; Schwarz et al., 2009) 及「科學論證」(scientific argumentation) (Berland & McNeill, 2010) 等在科學教育重視的高層次思考概念。表示學習進程取向的研究不僅僅只侷限於學科概念，也可應用於特定領域所重視之能力研究。

基於此，在科學教育領域中，如何結合重要研究議題 (想像力) 與最新的研究趨勢 (學習進程)，是本研究關心的主軸。目前，國內已有學者針對此主軸進行初步的研究，Wang 等人 (2015) 採用 Wilson (2005, 2009) 提出之 BEAR 評量系統 (BEAR Assessment System, BAS)，以科學想像力歷程模式 (Ho, Wang, & Cheng, 2013) 為基礎，建構國小五、六年級學生科學想像力之學習進程，試圖釐清科學想像力發展階段中的核心概念與發展途徑，進而發展科學想像力評量工具，並根據此學習進程開發一套簡易科學想像發明課程教材。然而，Wang 等人所發展的科學想像力學習進程僅是一個初步的雛形模式，仍有許多待改進之處，例如，部分進程內涵需進一步修改、評量工具需重新調整評分標準、可進行想像力融入正式課程教材之實驗教學，以探討其教學成效等。

再者，不同年齡層會有不同的生活經驗及認知發展，想像力的思維從兒童時期就開始發展，持續至成年期，想像力發展階段亦會隨著不同的年齡階段有不同轉換 (Eckhoff & Urbach, 2008, Vygotsky, 1930/2004)。此外，一個學習進程的發展，需透過相關文獻回顧及特定學科概念的探究，提出一個理論上的學習進程假設模型，再以系統性的方式蒐集實徵資料，進行反覆檢證和修改 (Claesgens, Scalise, Wilson, & Stacy, 2009; Shea & Duncan, 2013; Songer et al., 2009)，例如，Songer 等人以實徵資料取向，利用五個步驟流程來加以驗證在生物多樣性之複雜思考的學習進程。因此，本研究將採用 Wilson (2005, 2009) 提出之 BAS 測量取向，以 Wang 等人 (2015) 所發展的科學想像力學習進程為基礎，將研究對象向下延伸至三、四年級學生，並參考 Songer 等人驗證學習進程之流程，提出一個國小三至六年級學生科學想像力之假設性學習進程模式，進而修編科學想像力評量工具，釐清科學想像力發展階段中的核心概念與發展途徑，作為未來科學想像力教育培育及推展之參考。

文獻探討

學習進程 (learning progressions, LPs) 在科學教育中屬於新興起之觀點，從近年來 LP 在科學教育上的研究品質及數量提升，即可見其被關注之程度。本研究結合了「科學想像力」及「學習進程」兩個近年來較為新起之概念，先介紹學習進程的內涵、探究方式，再說明科學想像力學習進程如下。

一、學習進程

近年來，學習進程在科學教育上的研究品質及數量逐步提升 (Duncan, 2009; Smith et al., 2006)。從美國國家委員會 (NRC) 在 2006 年、2007 年出版的報告書 (NRC, 2006, 2007)、2013 年所公布的 NGSS (The Next Generation Science Standards, 2013)、以及相關科學重要學術期刊 (e.g., Journal of Research in Science Teaching 和 Science Education) 等對 LPs 的提及與重視 (Duncan)，得知學習進程已成為科學教育關注的新興議題，值得各國的科學教育研究者從不同的文化脈絡下，進行更廣泛且深入地探究。

學習進程是源自於認知發展和學習知識理論所發展的理論架構 (Duschl, Maeng, & Sezen, 2011)，用以探討學生在某領域的概念學習，是指學生隨著時間「從對某一個概念或主題的粗淺認識到精熟理解」之學習成長歷程的一種假設性模式 (Berland & McNeill, 2010; Duschl et al., 2011; Elmesky, 2013; Jin & Anderson, 2012; Mohan et al., 2009; NRC, 2006, 2007; Plummer & Krajcik, 2010; Schwarz et al., 2009; Shea & Duncan, 2013; Smith et al., 2006; Stevens et al., 2010)，此模式是需要經過實驗驗證 (Stevens et al.)，透過時間發展，概念產生變化的情形，可以描述潛在 (underlying) 概念發展、推理與轉換過程，並可藉由課程及教學來表示學生在關鍵學科概念及實踐上，達到精熟的可能路徑 (Duncan et al., 2009; Smith et al.)，同時可提供評量發展的基礎 (Smith et al., Wilson, 2009)，完善的學習進程概念可作為聯結標準、課程及評量之應用 (Gotwals & Songer, 2013; Jin & Anderson, 2012; NRC, 2007)。

學習進程包含四個關鍵的特徵 (Duncan, 2009; Mohan et al., 2009; Shea & Duncan, 2013; Stevens et al., 2010)，首先，學習進程著重描述一些基礎且具有發展性的學科概念 (disciplinary ideas) (例，生物學科的遺傳概念) 或實踐 (practices) (例，科學論證)；第二，學生在某一段期間的學習歷程中，學習進程的層次有高低標準之分。最高層次標準 (upper anchor)，代表在學習進程結束後，學生應該知道什麼、做到什麼。最低層次標準 (lower anchor)，代表學生在進入學習進程之前，應有的先備知識與技能；此外，在最高與最低之間的中間層次，依據學生的理解情形建立不同的學習階段，Smith、Wiser 和 Carraher (2010) 將中間層次 (intermediate steps) 視為「階段中的踏腳石 (stepping-stone)」。這些階段的踏腳石在學生進行適當教學後，成功地築起較低和較高層次標準之間的橋樑；最後，學習進程會因為教學與課程的介入而改變，且學習進程的發展並非只有單一軌跡。簡言之，透過對學生學習成長歷程的具體描述，可幫助教師瞭解學生學習的階段性和次序性，作為設計課程、教學和評量之依據，進而促進課程、教學和評量之間連結 (Duncan; Stevens et al.)。

目前探究學習進程的方式包括：發展評量試題，分析知識概念的難易程度 (Johnson & Tymms, 2011; Songer & Gotwals, 2012)、訪談學生，澄清其理解層次的發展狀況 (Schwarz et al., 2009; Stevens et al., 2010)、進行教學介入，比較學生在教學前後的理解層次改變情形 (Adadan, Trundle, & Irving, 2010; Freidenreich et al., 2011; Plummer & Krajcik, 2010)、透過橫斷面跨年齡層的評量，進行不同階段學生理解層次之比較 (Lee & Liu, 2010; Mohan et al., 2009; Steedle & Shavelson, 2009)，以及進行縱貫性追蹤評量，分析學生隨著年齡成長，其理解層次改變的情形 (Songer et al., 2009) 等。上述常用的研究方法有助於學生在某特定概念學習進程的建立，但對如何落實在教學實務現場則較少提及，為使學習進程的發展與課程、評量工具相結合，美國加州大學柏克萊分校評估與評量研究中心 (Berkeley Evaluation and Assessment Research Center, BEAR Center) 發展出一套可建構學生學

習進程，並同時結合課程發展與評量工具的評量系統（BEAR Assessment System, BAS），兼具形成性評量和總結性評量的功能，可進行學生的學習診斷和檢核學生學習的成效（Wilson, 2005）。

目前 BAS 已被許多的研究運用於發展科學領域相關主題或概念的評量工具，包括物質概念（Claesgens et al., 2009）、天體運動（Briggs, Alonzo, Schwab, & Wilson, 2006）、力與運動（Alonzo & Steedle, 2009）、以及科學想像力（Wang et al., 2015）等。此外，透過概念發展的構念圖（construct maps）之建構，以及特殊形式的試題設計，BAS 可運用於評量科學學習進程（Wilson, 2009），以及提供有用的形成性評量回饋訊息，幫助教師進行教學改進與促進學生的學習（Black, Wilson, & Yao, 2011）。因此，本研究擬以 BAS 的架構（可參考 Wang et al.），參考 Songer 等人（2009）驗證學習進程之架構，以科學想像力學習進程為基礎，提出一個修正的假設性學習進程，進而修編發展適當的科學想像力評量工具，以作為未來科學想像力教育推廣之依據。

二、科學想像力學習進程

想像力是創造力的基礎，創造力是想像力具體發揮的極致。社會上（學術界）通常在解釋科學家如何發現一個科學理論或科學知識時，常歸因於科學家靈光一閃的意念、神秘的直覺、夢境的啓示、幸運的意外或非理性的因素，如同化學家庫勒宣稱自己是在夢到一條蛇咬住自己的尾巴後，透過夢的啓示，發現了苯環結構（Robinson, 2010）。對於科學家而言，想像力是重要的技能，對其科學的發展有極大之貢獻（Ren, Li, Zhang, & Wang, 2012）。後來，Cruz 和 Smedt（2010）試圖提出一個歷程機制，來探討科學家如何做出有貢獻的假說、提出有意義的科學理論、以及創造出影響人類文明的科學發明，並將科學定義為一種「結構性的想像力」（science as structured imagination）。他們認為，當個體在創作新作品時，想像力是基本且必備的，這種想像力本身需依賴現有知識，以作為創造力引導的傾向，而所創作出來的作品容易包含現有物品的特質，這種獨特能力稱作「結構性的想像力」（Cruz & Smedt; Ward, 1994）。


Ho 等人（2013）以世界青少年發明展（International Exhibition for Young Inventors, IEYI）績優教師為對象，藉由質性訪談、現場錄影觀察等，有系統的蒐集、紀錄和分析績優教師指導學生科學發明的歷程，發展歸納分析出科學想像力三階段與四能力的歷程，初步釐清科學想像力的定義、運作歷程以及影響因素，並認為科學方面的想像力應該偏重於有目的的想像，將科學想像力定義為一種應用科學原理原則，與日常生活經驗聯結而產生新穎點子的心智活動（Ho et al., 2013; Wang et al., 2015; Wang, Ho, Wu, & Cheng, 2014）。進一步，Wang 等人（2015）在科學想像力歷程模式的基礎下，邀請教育測驗與評量、科學教育、想像力以及現場教師等專家，透過專家會議重新討論科學想像力學習進程階層，並採用 Wilson（2005, 2009）提出之 BEAR 評量系統，初步建構國小五、六年級學生科學想像力之學習進程（表 1），希冀能釐清科學想像力發展階段的核心概念與發展途徑，進而發展科學想像力評量工具，並透過學習進程的評量與回饋，設計科學發明之課程單元，促進課程教學與評量之連結。

在 Wang 等人（2015）的研究中，提及在科學想像力運作的歷程中，每個階段並不侷限只有一個主要的能力運作，同一種能力在不同的階段可能有程度和性質上的差異。首先，第一個能力為漫想力，意旨想出很多點子的能力，包含可能遇到的問題以及解決的方法。在發想階段時，學生會著重在可以想出生活中可能會遇到的問題數量；在動態修正階段時，則強調學生能提出解決問題的點子數量。第二個能力則為聯想力，意旨連結點子跟點子之間關係的能力，形式包含如何將相近的點子聯結、延伸點子間的概念及找出點子間矛盾關係等。在發想階段時，著重在學生能說出與生活經驗相關的問題；在動態修正階段時，學生要進一步針對所提出解決問題的點子，進行功能上的說明。第三個能力為奇想力，意旨重組、分離點子間關係的能力。Wang 等人認為這樣的能力主要運作在動態修正階段，要讓學生試著重組物品的外型、功能來解決問題。最後一個能力為妙想力，意旨選用材料、如何組裝、如何發揮應有功能的線索，形成設計圖、發想圖的定稿，以作為心智想像和後續實際創作連結依據的能力，此能力也強調在虛擬實作階段所運作。

狹義來說，科學想像力與科學思考應有所區別。科學思考是指應用方法或科學探究的原則來推理或解決問題，此定義容易和科學想像力中的奇想力、妙想力重疊。奇想力是指學生能重組物品的外型或功能（運用簡單的科學與科技知識）來解決問題，著重在重組物品的外型或功能來解決問題；妙想力是指學生考量點子實作的可能性，包含選材、組裝與操作等，能將重組後的外型、功能（運用簡單的科學與科技知識）畫（說）出來，著重在點子實作的可能性。然而，這兩個能力運作所產生的點子，更隱含必須要有新穎之特性，並非僅是運用科學方法或探究原則來推理或解決問題。

Wang 等人（2015）依據此學習進程，編擬以問題情境為主的科學想像力情境測驗。此測驗包含兩個任務，學生依據問題的情境進行開放式作答，在第一個任務中，受試者需回答此情境可能會造成的問題，並設計出能解決此問題的產品，以及說明如何使用。第二個任務的回答需銜接上一個任務，畫出一個現在市面上沒有看過，但能夠解決此情境造成生活不便的新發明，並說明可能的功能，以及需要使用哪些材料等，最後再針對此發明進行命名。經以 Rasch PCM 分析學生在該測驗的反應，結果指出，除了妙想力外，科學想像力中的漫想力、聯想力以及奇想力的確具有階層的特性外，另奇想力與妙想力能力內的層次也需進一步修正檢驗。另外，該研究亦根據此學習進程開發一套適用於國小中高年級學生的科學想像發明課程教材，試圖提供一座連結課程、教學與評量的橋樑，讓教師與學生能在這樣非正式的科學教學活動教學相長，提供未來更完善課程教材發展之原型。

表 1 科學想像力學習進程指標

科學想像力	階段	構念	說明
	3. 虛擬實作階段	3-1 妙想	學生考量點子實作的可能性，包含選材、組裝與操作等，能將重組後的外型、功能畫（說）出來
		2-3 奇想	學生能重組物品的外型、功能來解決問題
	2. 動態修正階段	2-2 聯想	學生能針對解決問題的點子，進行外型、功能上的說明
		2-1 漫想	學生能提出解決問題的點子
	1. 發想階段	1-2 聯想	學生能說出與生活經驗相關的問題
		1-1 漫想	學生能依照問題情境說出可能遇到的問題（例如：不便利、自然現象），說出的問題不可重複

Note. From "Building a learning progression for scientific imagination: A measurement approach." by Authors, 2015, *Thinking Skills and Creativity*, 17, p.4.

方法

一、發展架構

本研究將沿用 Wilson（2005, 2009）提出之 BAS 架構，作為驗證及延伸學習進程，並在進程變項步驟，提出一個假設性的學習進程模式，以及修改發展相應之評量，分別說明如下：

（一）進程變項

本研究以 Wang 等人（2015）所發展的科學想像力學習進程架構為基礎，並參考過去文獻資料，組成專家會議，邀請三位具備創造力、想像力、測驗評量等專長的學科專家及研究團隊進行討論，進一步驗證並延伸這四個構念的階層性。最後，研究共識一致認為同一種能力在不同階段的確會有程度和性質上的差異，但科學想像力內四個組成的發展需跳脫發想、動態修正、虛擬實作階段發展的觀點，將科學想像力視為一種以漫想力、聯想力、奇想力、妙想力等循序漸進發展的能力，而所歷經的三個階段則是以循環的方式進行（表 2）。

科學想像力是一種應用科學原理原則，與日常生活經驗聯結而產生新穎點子的心智活動，但對於國小階段的學生，科學想像力中科學知識的成分並不是這麼重要，強調的是點子的新奇性，而科學想像力隨著年齡的增長，會逐漸強調科學知識成分的重要性。另一方面，專家一致認為在虛擬實作階段應該要強調重組、分離點子間關係的「奇想力」，以及選用材料、如何組裝、如何發揮應有功能的線索，形成設計圖、發想圖的定稿，以作為心智想像和後續實際創作連結依據的「妙想力」等兩個能力，因此，本研究提出一個假設性的科學想像力學習進程，做為發展範例評量之依據，修改如表 2。

表 2 科學想像力學習進程階層

科學想像力	成分	成分說明	運作階段	科學想像力階段
↑	Level 4 妙想力	4.1 學生考量點子實作的可能性，包含選材、組裝與操作等，能將重組後的外型、功能（運用簡單的科學與科技知識）畫（說）出來。	虛擬實作	
	Level 3 奇想力	3.1 學生能重組物品的外型或功能（運用簡單的科學與科技知識）來解決問題。	虛擬實作	
	Level 2 聯想力	2.2 學生能提出解決問題相關的點子。 2.1 學生能說出與生活經驗相關的問題。 1.2 學生能提出解決問題的點子。	動態修正 發想 動態修正	
	Level 1 漫想力	1.1 學生能依照問題情境說出可能遇到的問題（例如：不便利、自然現象），說出的問題不可重複。	發想	

註：研究者自行整理

（二）試題模式

本研究依據新提出的假設性科學想像力學習進程階層，重新調整 Wang 等人（2015）所發展的評量試題內容。測驗類型以相同問題的情境為主，此部分的情境內容是與學生日常生活較為有關係的掃落葉題。此測驗共計有四道題目，請學生依據問題的情境進行開放式作答，包含此情境可能會造成的問題、造成生活的影響、如何解決、以及設計出能解決此問題的產品，並說明功能、選材及命名，作答時間共 15 分鐘。在試題內容效度方面，本研究邀請三位在想像力、創造力、教育測驗與評量的學科專家及研究團隊來評定試題難易度及合適性。試題編擬完成後，經專家效度評定、修改後，編製成正式量表，內容如表 3。

表 3 修編科學想像力情境測驗內容

情境：「在拉比多星球內有一所學校，校園內座落了許多大樹，大樹旁邊的區域，總有許多的落葉……」 Q1. 聰明的你，你覺得以上的情境可能會產生哪些問題呢？（寫出越多點越好唷） Q2. 承上題，這些問題又會造成生活中哪些影響呢？（寫出越多點越好唷） Q3. 聰明的你，可以想出哪些方法來解決所產生的問題呢？（寫出越多點越好唷） Q4. 身為太空勇士的你，為了拯救拉比多星球學校的困境，請在下面空白處，畫出一個現在市面上沒有看過，但能夠解決此生活不便問題的新發明，並說明需要使用哪些材料及可能的功能等，最後再針對此發明進行命名。作答時間共 15 分鐘，請你寫仔細一點，加油喔！
--

（三）作答空間

此部分參考 Wang 等人（2015）的計分原則及研究建議，認為妙想力的評分依據應進一步參考 Amabile（1996）視產品或可觀察的反應為創造力最終證明的觀點，將此想像設計圖原型視為一種產品的概念，並參考其評分的指標進行修改。因此，參考評定創造產品的「創造力」（creativity）和「技術優點」（technical goodness）兩個指標，再加上科學實用概念的觀點，透過專家共識會議，擬定妙想力的評分依據，最後修改評分標準如表 4。

本研究所修編開放性的情境式題組試題，由學生進行開放式的作答，所擬定的評分規準，透過專家依據之前評分規準，以共識評量的方式進行次序性的評分，評分方式為：評分者參照評分規準，依照學生回答內容的品質優劣，進行程度上的計分，程度最低計得 0 分，最高計為 3 分。

此測驗的評分者成員包括一名具備創造力、想像力及測驗專長的博士後研究員，以及一名具備同樣專長、教育研究所的博士候選人，其評分者專長背景為教育心理學、創造力、想像力等相關領域。由兩位評分者成員對評分標準進行了解後，從樣本中隨機抽取 10 份進行評分，求得評分者一致性信度，達 .83 以上 (Miles & Huberman, 1994)。

表 4 科學想像力構念、評分標準及測驗題目對應之整理表

科學想像力構念	構念內容	評分標準	情境測驗內容
Level 4 妙想力	4.1 學生考量點子實作的可能性，包含選材、組裝與操作等，能將重組後的外型、功能（運用簡單的科學與科技知識）畫（說）出來。	4.1.1 學生無法畫（寫）出產品構想圖或者與解決問題無關的外型、功能或選材等。(0)	Q4. 請在下面空白處，畫出一個現在市面上沒有看過，但能夠解決此生活不便問題的新發明，並說明需要使用哪些材料及可能的功能等，最後再針對此發明進行命名。
		4.1.2 學生僅能畫出簡易的產品構想圖雛形，但並未說明其功能或選材等。(1)	
		4.1.3 學生能畫出具體的產品構想圖，並能簡易說明其功能、材料等。(2)	
		4.1.4 學生能畫出具有新奇可行的產品構想圖，例如造型特殊、功能新奇等，並能說明其功能、材料等。(3)	
Level 3 奇想力	3.1 學生能重組物品的外型或功能（運用簡單的科學與科技知識）來解決問題。	3.1.1 學生無法提出物品的外型或功能來解決問題。(0)	Q4. 請在下面空白處，畫出一個現在市面上沒有看過，但能夠解決此生活不便問題的新發明，並說明需要使用哪些材料及可能的功能等，最後再針對此發明進行命名。
		3.1.2 學生能提出一種物品的外型或功能來解決問題。(1)	
		3.1.3 學生能重組出兩種的外型或功能來解決問題。(2)	
		3.1.4 學生能重組出三種以上的外型或功能來解決問題。(3)	
Level 2 聯想力	2.2 學生能提出解決問題相關的點子。 2.1 學生能說出與生活經驗相關的問題。	2.2.1 學生無法提出解決問題相關的點子。(0)	Q3. 聰明的你，可以想出哪些方法來解決所產生的問題呢？（寫出越多點越好唷） Q2. 承第 1 題，這些問題又會造成生活中哪些影響呢？（寫出越多點越好唷）
		2.2.2 學生能提出一種解決問題相關的點子。(1)	
		2.2.3 學生能提出兩種解決問題相關的點子。(2)	
		2.2.4 學生能提出三種以上解決問題相關的點子。(3)	
Level 1 漫想力	1.2 學生能提出解決問題的點子。 1.1 學生能依照問題情境說出可能遇到的問題（例如：不便利、自然現象），說出的問題不可重複。	2.1.1 學生說出與生活經驗無關的問題。(0)	Q3. 聰明的你，可以想出哪些方法來解決所產生的問題呢？（寫出越多點越好唷） Q1. 聰明的你，你覺得以上的情境可能會產生哪些問題呢？（寫出越多點越好唷）
		2.1.2 學生能提出一個與生活經驗相關的問題。(1)	
		2.1.3 學生能提出兩個與生活經驗相關的問題。(2)	
		2.1.4 學生能提出三個以上與生活經驗相關的問題。(3)	
Level 1 漫想力	1.2 學生能提出解決問題的點子。 1.1 學生能依照問題情境說出可能遇到的問題（例如：不便利、自然現象），說出的問題不可重複。	1.2.1 學生無法提出解決問題的點子。(0)	Q3. 聰明的你，可以想出哪些方法來解決所產生的問題呢？（寫出越多點越好唷） Q1. 聰明的你，你覺得以上的情境可能會產生哪些問題呢？（寫出越多點越好唷）
		1.2.2 學生能提出一種解決問題的點子。(1)	
		1.2.3 學生能提出兩種解決問題的點子。(2)	
		1.2.4 學生能提出三種以上解決問題的點子。(3)	
Level 1 漫想力	1.1 學生能依照問題情境說出可能遇到的問題（例如：不便利、自然現象），說出的問題不可重複。	1.1.1 學生無法說出可能遇到的問題。(0)	Q1. 聰明的你，你覺得以上的情境可能會產生哪些問題呢？（寫出越多點越好唷）
		1.1.2 學生能說出一種可能遇到的問題。(1)	
		1.1.3 學生能說出兩種可能遇到的問題。(2)	
		1.1.4 學生能說出三種以上可能遇到的問題。(3)	

註 1：科學想像力構念的階層由表格下方至上方進行排序。

註 2：括號 (0)、(1)、(2)、(3) 表示不同能力的學生在該階段所達到的程度。以 1.1.1 為例，學生在發想階段的漫想力上，最低的表現為 (0)：學生無法說出可能遇到的問題；最高的表現則為 (3)：學生能說出三種以上可能遇到的問題。

(四) 測量模式

此步驟用意在於採用適當的測量模式分析作答空間的結果，以提供學習進程的效度證據。根據教育與心理測驗標準 (Standards for Educational and Psychological Testing; American Educational Research Association, American Psychological Association, & National Council on Measurement in Education [AERA, APA, & NCME], 1999)，一份良好的測量工具應提供多元的效度證據。Rasch 測量模式由於具有客觀等距的特性，可提供多元的測驗效度證據，分別為內容 (content)、結構 (structural)、類推 (generalizability)、本質 (substantive)、解釋 (interpretability) 及外在 (external) 等效度證據 (Wolfe & Smith, 2007)。

BAS 採用 Rasch 家族測量模式進行分析。此模式是以機率的方式來表徵受測者的作答反應。透過 Rasch 模式公式的轉換，可把考生的能力和題目的難度置於一個相同的等距量尺 (logit) 上進行比較，將次序的資料轉換成等距的資料，若測驗資料能符合模式預期，可解決傳統測驗理論測驗依賴、樣本依賴及原始分數非等距等限制問題。此外，Rasch 分析是基於理論導向的分析方式，可檢驗測量構念的結構是否符合理論上的預期，可避免因採用探索性因素分析所造成的因素結構不一致的問題。再者，Rasch 分析除了可檢驗測量構念的因素結構外，亦可提供每一個因素內試題特性的階層，此訊息將有助於大眾對心理構念 (如科學想像力) 的發展有更深一層的認識。

由於科學想像力情境題目計分標準為多元計分，由低程度 (0 分) 至高程度 (3 分)，我們只能宣稱得 3 分者的科學想像力程度高於得 2 分者，得 2 分者高於得 1 分者，依此類推。換言之，作答選項僅可視為次序量尺，而非等距的量尺，因此本研究採用 Rasch 部分給分模式 (Partial Credit Model, PCM; Masters, 1982) 進行分析，公式如下：

$$P_{nix} = \frac{\exp \sum_{j=0}^x [\theta_n - (\delta_i + \tau_{ij})]}{\sum_{k=0}^{m_i} \exp \sum_{j=0}^k [\theta_n - (\delta_i + \tau_{ij})]}, x = 0, 1, \dots, m_i \quad (1)$$

其中 P_{nix} 是受試者 n 在第 i 題得 x 分的機率； θ_n 為受試者 n 的能力或稱為潛在特質 (latent trait) 程度，指測驗想要測量的構念 (construct)。就本研究而言， θ_n 即代表受試者 n 的科學想像力程度； δ_i 為第 i 題的整體難度 (overall difficulty)； τ_{ij} 稱為第 i 題第 j 級的閾難度 (threshold difficulty)。為了比較每一個題目的科學想像力程度之階層，本研究另外計算每一個題目的塞斯通閾值 (Thurstone threshold)。由於本研究的量表採四點計分，所以每一個題目會有三個塞斯通閾值，每一題的第 k 個塞斯通閾值定義為，該題得 k 分以下的機率和得 k 分 (含) 以上的機率相同時的試題難度 (Linacre, 1998)。就科學想像力情境題目而言，試題中的第 2 個塞斯通閾值表示，受試者在該試題得 1 分和 1 分以下的機率，與得 2 分 (同意) 和 2 分以上的機率相同時的試題難度，可作為科學想像力之截斷點。因此，本研究將以每一個試題的第 2 個塞斯通閾值，作為比較不同試題科學想像力之依據。所有的 Rasch 分析採用套裝軟體 ConQuest (Wu, Adams, & Wilson, 2007) 進行分析，估計方法採用貝氏期望後驗法 (Expected A Posteriori, EAP)。

二、研究對象

本研究對象以全臺灣北中南東四個區域，每個區域隨機挑選一個縣市，每個縣市再隨機挑選兩所國小，每間國小挑選 3、4、5、6 年級各一班的國小學生為研究對象，在資料部分，共有 777 名學生填答該測驗，扣掉無效樣本，有效樣本為 767 名。其中，3 年級學生佔 22.30% ($N = 171$)，4 年級學生佔 36.40% ($N = 279$)，5 年級學生佔 21.60% ($N = 166$)，6 年級學生佔 19.30% ($N = 148$)，有 3 名未填答年級；學生年齡的範圍是 8 歲~14 歲 ($M = 10.67$, $SD = 1.20$)；男生共佔 53.10% ($N = 407$)，女生佔 46.50% ($N = 357$)，有 3 名未填答性別。

由於本研究將研究對象向下延伸至國小三、四年級，研究者針對研究結果，另外邀請兩位高雄市指導科學發明展的自然科績優教師進行訪談，以質性資料的內容提供更多豐富的資訊。在背

景經歷上，C 和 Y 兩位教師亦都有指導中年級學生參加比賽的經驗。其中，C 老師為高年級自然科教師（男性、教學年資 25 年、教育研究所碩士），在國小科學展覽及青少年發明展的參賽及得獎經歷相當豐富，在指導科學展覽參賽經歷，指導學生參加高雄市科學展覽共計參賽 22 屆，作品共計 44 件；累計獲獎 20 屆，作品 32 件；參加全國科學展覽共計參賽 9 屆，作品共計 12 件；累計獲獎 8 屆，作品 9 件。另外，在指導發明展參賽經歷上，指導學生參加世界青少年發明展臺灣選拔共計參賽 8 屆（2004-2012），作品共計 59 件；指導學生參加世界青少年發明展國際賽 7 屆，作品計 8 件。Y 老師為中年級資優班教師（女性、教學年資 25 年、工業科技研究所碩士），過去在指導國小科學展覽及青少年發明展的經歷非常豐富，帶領學生參展得獎次數亦多不勝數，在科展方面，Y 老師指導年資為 14 年（1995-2013），指導科展的件數約 42 件，其中第一名 9 件、第二名 5 件、第三名 6 件、佳作 11 件、最佳團體合作 3 件、最佳鄉土教材 1 件、最佳創意 1 件等。在發明展方面（2005-2013），國內賽部分，獲得國中組銀牌 1 面，國小組 3 面金牌、8 面銀牌、及 9 面銅牌、特優 13 件、優等 24 件、甲等 49 件、及佳作 14 件；在國際賽方面，更是多次獲得台灣代表權，代表台灣參加世界青少年發明展國際競賽，並榮獲 4 面金牌、1 面銀牌、及 2 面銅牌等殊榮。

三、研究工具

（一）科學想像力情境測驗

本工具依據所提出的假設性科學想像力學習進程為基礎，修編 Wang 等人（2015）所發展的科學想像力情境測驗。該測驗包含漫想力、聯想力、奇想力以及妙想力等四個成分，此情境測驗是以問題情境為主的題型，受試者需依照情境題進行開放性回答，共有四道問題，第一題是所描述的情境可能會產生哪些問題，主要是測量漫想力；第二題是這些問題會造成生活中哪些影響，主要是測量聯想力；第三題則是提出解決所產生問題的方法，分別測量漫想力與聯想力；第四題是依據該情境，畫出一個現在市面上沒有看過，但能夠解決此生活不便問題的新發明，並說明需要使用哪些材料及可能的功能等，最後再加以命名，分別是測量奇想力及妙想力。因此，該工具包含四個問題，共有六項計分指標，適用於國小三至六年級學生，作答時間共 15 分鐘。

（二）效標工具：心像問卷修編版

心像（mental image）是一種能在心裡想像一幅景物、圖畫或實體，且可以超越外界實質的心理能力（鄭昭明，1993），亦被視為影響個體科學學習的因素之一（AL-Balushi, 2009）。心像在科學想像力歷程中扮演相當重要的角色，Wang 等人（2014）指出在科學想像力各階段的發展中，所運作的能力會在腦中形成不同的圖像，由分散的點到聯結的點、由模糊的圖像到清晰的意象。因此，本研究效標工具參考 Blajenkova、Kozhevnikov 和 Motes（2006）所發展的物體－空間心像問卷（Object-Spatial Imagery Questionnaire, OSIQ），修編一份適用於國小學生的心像問卷，來評估個體的心像能力。

OSIQ 包含兩個分量表：一個是物體心像量表（object imagery），主要是來評估對個別物體的描繪及處理顏色的、圖像的、高解析圖像的偏好，例題：「在我腦海中想到的圖像通常是非常生動，就像真的一樣」；空間心像量表（spatial imagery）則是評估對於描繪和處理圖像式圖片、物體和空間轉換的空間關係，例如：「我可以輕易的在腦海中想像幾何圖形的立體（3D）形狀和旋轉的情形」。其中，物體心像量表的信度為 $\alpha = .83$ ，空間心像量表的信度為 $\alpha = .79$ ，並具備理論、效標效度、區辨效度等效度證據。

然而，原問卷為英文版且發展時是以大學生作為研究對象，故研究者挑選適用於測量心像能力的試題，並將其翻譯成中文版後，請英國文學語文專家學者審核與校正；進一步邀請兩位教育心理學、教育測驗與評量等專長的領域專家，以及兩位具創造力、想像力及教育測驗與評量等專長之教育研究所博士候選人進行專家效度，以檢視問卷題目內容是否符合心像定義及適當的用詞遣字。最後，再邀請 10 名國小學生（6 名國小 3 年級以及 4 名國小 6 年級學生）瀏覽問卷試題內容，並針對疑慮之處加以修改為 8 題的預試問卷。該心像問卷經以國小三至六年級共 425 名學生

施測後，分別以 Rasch PCM 分析學生在心像題目上的反應，結果指出所有心像題目具有適當的模式適配度，在 DIF 檢驗上，男女生對於試題意涵上並無差異。正式心像問卷共 8 題，信度值為 .73，採李克特氏五點量表計分，由完全符合（4 分）至完全不符合（0 分）。

（三）訪談大綱

本研究將以研究結果為基礎，以半結構性訪談為主，所訪談的問題，將針對教師在指導學生進行科學發明過程中，在指導不同年級學生的教學經驗與心得進行訪談，例如，指導發明展時，從點子至成品完成的過程中，如何引導學生？在不同的階段，對其不同年級的引導方式為何？不同年級學生所提出的點子有何不同？不同年級學生在發明製作過程中有什麼樣的優勢及限制？影響不同年級學生發明的因素等。

四、資料分析

在量表信、效度檢驗部分，本研究主要採 Rasch 測量模式—Rasch PCM (Master, 1982) 進行分析，並根據 Wolfe 和 Smith (2007) 所提出的 Rasch 觀點之效度理論，分析學生在科學想像力評量工具的作答資料，從多元的面向提供各種效度證據，包括內容 (content)、結構 (structural)、類推 (generalizability)、本質 (substantive)、解釋 (interpretability) 及外在 (external) 等面向的效度證據。

在內容效度證據上，本研究記錄科學想像力評量試題之修改歷程，從核心概念的界定、命題陳述撰寫，到試題的編擬、基本資料描述，專家的審查，以及後續的試題修改歷程。整個歷程中，評量團隊的討論、專家的審查，都將以文字資料佐證。

在結構效度證據上，本研究所開發的試題都是在測量科學想像力概念，理論上屬於單一的潛在構念。首先，為證明科學想像力中四種能力皆是屬於同一個向度且具有階層的特性，本研究採用單向度 Rasch PCM，進行模式—資料適配度 (model-data fit) 分析。適配度指標採用 infit 及 outfit 均方誤 (mean square error, MNSQ) 統計量，若數值介於 0.75- 1.33，表示模式資料適配度良好 (Wilson, 2004)。若題目的適配度佳，表示題目所測量到的是相同的構念；若題目的適配度不佳，則考慮刪題。因此，透過 PCM 的分析，若學生的作答反應能符合 PCM 單向度的假設，此結果將可提供測量的結構效度之證據。

在本質效度證據上，本研究假設每一試題的評分標準都隱含著不同的理解程度。理論上本研究所認定的評分標準理解程度之排序，應該與選答每一選項的學生程度相呼應。換句話說，隨著學生的能力增加，學生選答高 Level 的選項之機率也會愈高，此可提供本質效度之證據。此外，每一試題的選項乃是評量團隊根據學生普遍的反應所設計，因此，本研究也將提供每一個選項的選答比例，以提供額外的本質效度之證據。

在類推效度證據上，本研究將提供不同性別、年級群體的試題參數估計不變性，以及受試者能力估計的精準度 (類似於傳統測驗分析的信度概念)，作為測驗的類推效度證據。在不同性別、年級群體的試題參數估計不變性方面，為了確保每一試題對於男、女學生以及中、高年級學生具有相同的意涵，進一步針對保留下來的題目，分別進行性別及年級的差異試題功能 (Differential Item Functioning, DIF; Holland & Wainer, 1993) 分析。DIF 分析是另一種檢驗試題品質的方式，就一般的 DIF 分析而言，當兩個群體在某一個試題的整體難度估計值差距達 0.5 個 logits 以上時，表示這兩個群體對於此題的認知已達到一定程度的差異 (Wang, 2008)，則應考慮刪題。在受試者能力估計精準度方面，就 Rasch 測量的信度觀點，當受試者能力估計的愈精準，表示受試者間的能力愈能有效地區辨，受試者的能力分散程度愈佳。本研究將提供整體的受試者分散性信度 (person separation reliability) (Schumacker & Smith, 2007) 作為測量的類推效度證據。此外，由於 Rasch 模式分析可以針對每一個受試者提供個別的測量精準度，不同程度的受試者作答相同的測驗，會有不同的信度，因此，本研究亦提供條件化信度 (conditional reliability) (Raju, Price, Oshima, & Nering, 2007)，針對不同程度的學生提供較精確的測量信度，豐富測量的類推效度證據。

在解釋效度證據上，本研究透過 Rasch 分析，呈現受試者的科學想像力程度與題目難度的對照圖，並檢驗每一個題目科學想像力程度的階層性，以作為科學想像力發展階段的證據。另外，本研究亦提供在性別、年級之科學想像力差異考驗分析，作為測驗分數解釋之參考。

在外在效度證據上，以多向度 Rasch PCM 直接估計科學想像力向度和心像問卷兩個分向度的相關，以獲得較準確的相關估計值（Cheng, Wang, & Ho, 2009）作為外在效標關聯效度的證據。最後，本研究輔以訪談資料作為解釋結果之參考。

結果

一、多元效度證據

（一）內容和結構效度證據（Content and Structural Evidence）

根據 Rasch PCM 分析顯示，*infit* 及 *outfit* 的 *MNSQ* 統計量，其數值皆介於 0.75- 1.33 之間，表示科學想像力向度每一題的模式—資料適配度皆在可接受範圍內，試題難度估計值和適配度數值如表 5 所示。

表 5 試題難度估計值和適配度數值

向度	題號	難度	SE	<i>OUTFIT</i> <i>MNSQ</i>	<i>INFIT</i> <i>MNSQ</i>
科學想像力	1.1	-1.05	0.04	1.13	1.13
	2.1	-0.61	0.04	0.91	0.94
	1.2	-0.46	0.04	0.79	0.82
	2.2	-0.26	0.04	0.76	0.79
	3.1	0.98	0.04	1.11	1.19
	4.1	1.40	0.09	1.33	1.28

註：1.1、2.1 指發想階段的漫想力與聯想力；1.2、2.2 指動態修正階段的漫想力與聯想力；3.1 指虛擬實作階段的奇想力；4.1 指虛擬實作階段的妙想力。

（二）類推效度證據（Generalizability Evidence）

DIF 分析顯示，男、女生在所有的題目上並無明顯的 DIF，所有題目的難度估計值在性別上的差距皆小於 0.29 個 logits；中、高年級學生在所有的題目上亦無明顯的 DIF，題目的難度估計值在年級上的差距皆小於 0.33 個 logits。整體而言，所有題目在性別、年級並無明顯 DIF，表示所有的試題對男、女學生及中、高年級學生具有參數估計不變性，可作為類推效度的證據。

在信度方面，整體學生的分散性信度為 .83。另外，本研究估計出每一位受試者的條件化信度，以提供個別的測量精準度，圖 1 為條件化信度和能力估計誤差，條件化信度介於 .86- .67 之間。由圖 1 可看出，此份測驗並不適合用來測量程度極端低的學生，表示此份測驗較適合用來測量中等程度以上的學生。

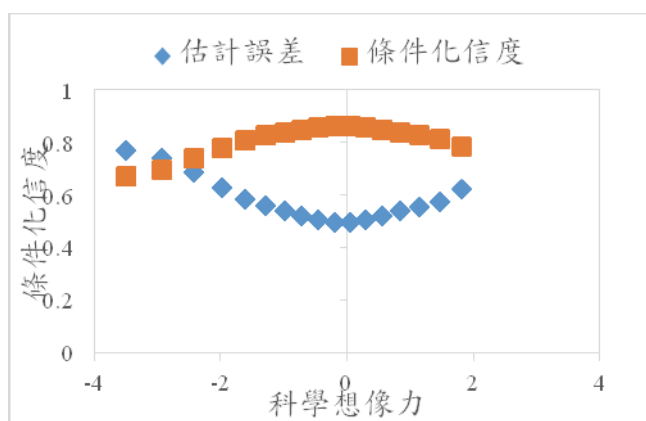


圖 1 條件化信度和能力估計誤差

(三) 解釋效度證據 (Interpretability Evidence)

圖 2 為科學想像力向度的受試者能力及題目塞斯通閾值對照圖，為 *ConQuest* 軟體所跑出來的報表，稱為「Item-Person map (又稱為 Wright map)」，圖左邊的“X”表示學生的科學想像力程度之分佈，右邊是每一題的第 2 個塞斯通閾值，愈上面的學生表示科學想像力程度愈高，愈上面的題目難度愈難，表示科學想像力程度越難達到。圖 2 亦標示每一道試題之塞斯通難度值，根據此對照圖的特性，可直接判定漫想力、聯想力及奇想力的階層性。另外，由圖 2 顯示，三至六年級學生在科學想像力的能力分佈 ($M = -1.01, SD = 1.21$) 低於題目的難度分佈 ($M = 0.10, SD = 0.62$)。整體而言，除了妙想力之外，漫想力、聯想力以及奇想力，某種程度來說，是有階層性的，此結果與 Wang 等人 (2015) 結果符合，亦吻合 Ho 等人 (2013) 科學想像力歷程模式之特性。

表 6 呈現的是小學生在不同性別、年級之科學想像力程度。整體而言，在性別方面，女生 ($M = -0.79, SD = 1.15$) 的科學想像力高於男生 ($M = -1.20, SD = 1.23$)，進一步進行性別的 t 考驗，發現男女之間的科學想像力是有差異的 ($t = -4.63, p < .001$)。在年級方面，使用單因子變異數分析檢驗科學想像力在不同年級的差異，結果顯示，年級之間的科學想像力沒有顯著差異 ($F = 2.40, p = .067, \eta^2 = .01$)，經事後比較後，發現所有年級的學生在科學想像力兩兩相比較的結果，並無顯著差異。

表 6 性別與年級在科學想像力程度之平均數與標準差

類別	性別 (人數)		年級 (人數)				合計 (767)
	男生 (407)	女生 (357)	三年級 (171)	四年級 (279)	五年級 (166)	六年級 (148)	
科學想像力 (logits)							
M	-1.20	-0.79	-1.10	-1.04	-0.79	-1.01	-1.01
SD	1.23	1.15	1.13	1.16	1.26	1.32	1.21

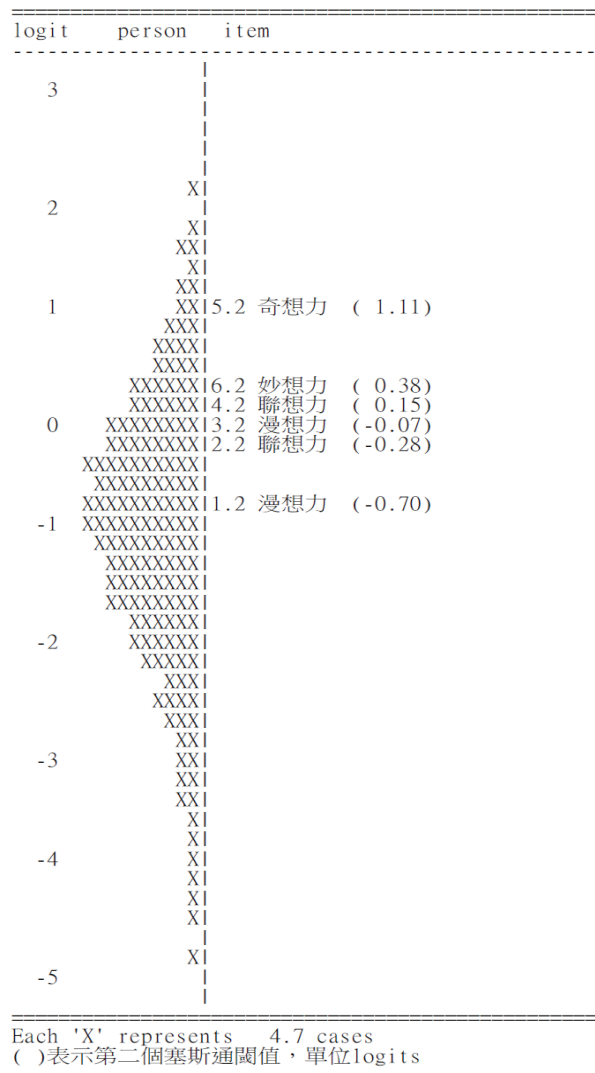


圖 2 科學想像力向度的受試者能力及題目塞斯通閾值對照圖

(四) 本質效度證據 (Substantive Evidence)

本研究的情境試題設計，本質上預期隨著學生的能力愈高，愈可能選答 Level 較高的選項。此本質上的預期，可從 PCM 分析的四個選項之 *infit MNSQ* 獲得驗證。正式施測分析結果顯示，隨著學生的能力增加，學生選答高 Level 的選項之機率也會愈高。

以任務一的第 1.1 題測量發想階段的漫想力為例，透過正式施測資料的 PCM 分析結果，學生在 4 個選項的選答機率如圖 3 所示。橫軸表示學生的科學想像力，單位以 logit 表示，愈右邊表示學生的能力愈高；縱軸表示學生選答每一個選項的機率。圖 3 中 4 條曲線表示學生在 4 個程度的選答機率。由圖中可看出當學生能力低於 -2.61 logits 時，最可能選到 Level (0) 的選項；當學生的能力介於 -2.61~ -0.37 logits 之間，最可能選到 Level (1) 的選項；當學生的能力介於 -0.37~ -0.15 logits 之間，最可能選到 Level (2) 的選項；當學生能力超過 -0.15 logits，最可能選到 Level (3) 的選項。整體而言，隨著考生的能力逐漸提升，其選答選項的 Level 也會跟著提升，顯示此題目每一個選項 Level 的設定，符合學生的實際能力之表現。

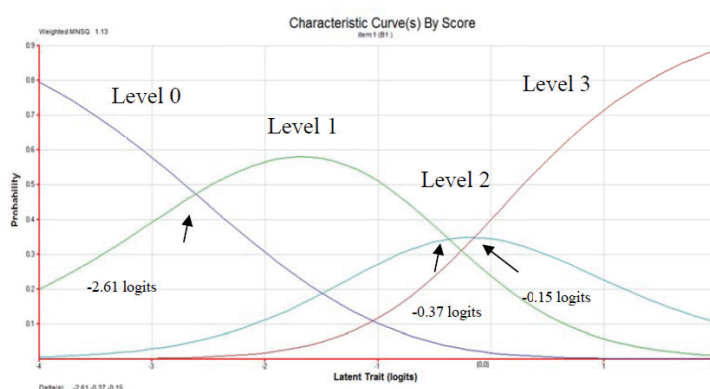


圖 3 不同能力的學生在 4 個選項的選答機率：以第 1.1 題為例

表 7 是圖 3 範例題的選項分析，由表 7 可看出每一個選項的選答人數都大於 5%，表示 4 個選項都有一定程度的誘答力。從選答不同 Level 的學生之能力估計值的平均數（PV1 Avg）可看出，選 Level (0) 選項的學生之平均能力最低 (-2.61 logits)，依序為選 Level (1) 的學生 (-1.20 logits)、選 Level (2) 的學生 (-0.55 logits)，選 Level (3) 的學生之平均能力最高 (0.11 logits)。此結果吻合理論上的預期，表示此题目的 4 個選項可區分出學生的能力。整體而言，從第 1.1 題至第 4.1 題選項當中，每一個選項皆有受試者選擇，僅有第 3.1 題和第 4.1 題的 Level 3 的選項，選答人數是低於 5%。

表 7 範例題的選項分析：第 1.1 題

Level	Score	Count	% of tot	Pt Bis	<i>t</i> (p)	PV1Avg:1	PV1 SD:1
(0)	0	138	17.99	-0.55	-18.08 (.000)	-2.61	1.31
(1)	1	288	37.55	-0.20	-5.73 (.000)	-1.20	0.90
(2)	2	170	22.16	0.21	5.79 (.439)	-0.55	0.87
(3)	3	171	22.29	0.54	15.57 (.000)	0.11	0.98

(五) 外在效度證據 (External Evidence)

在外在效度證據方面，以多向度 Rasch PCM 直接估計科學想像力向度和心像問卷兩個分向度的相關。結果顯示，科學想像力與心像的相關為 .20，表示科學想像力與心像能力具有低度相關。

二、訪談質性資料之歸納與整理

有鑑於本研究增加國小中年級的學生進行施測，本研究針對分析結果、訪談兩位高雄市指導科學發明展且獲獎無數的自然科績優教師，訪談的問題主要針對教師在指導學生進行科學發明過程中，對不同年級學生的指導經驗與心得進行訪談，例如，在不同的階段，對其不同年級的引導方式為何？不同年級學生在發明製作過程中有什麼樣的優勢及限制等。研究者歸納整理如下：

(一) 在科學發明引導時，教師對三至六年級學生的教學準備並無太大差異

受訪教師皆提及過去在指導不同年級進行科學發明時，在教學準備、引導、策略等，並不會有太大的差異，大部分還是從過去別人的成功經驗或是貼近個人的生活實例，來激發學生對科學發明的動機；唯一差異之處，則在於高年級學生的知識及生活經驗較為豐富，教師在引導時連結性較高，相較於中低年級而言，引導時則需要提供較多的實例，幫助學生進行發想。

引導的時候.....因為其實我上課都是全部一起上 3~6 年級，那最主要我都會用實例，來吸引他們的興趣這樣子，但是你說在升 3 年級到 6 年級好像沒有耶。其實大部分都是從別人成功的經驗，來激發他們對創意發明的興趣，然後再用很多的實例來告訴他們，說其實創意發明並不困難，先把他們心態先調整好，然後願意去投入願意去發想之後，就開始用很多的現成的東西作品來引導一些創意發明的傾向（Y 老師）。

在指導不同年級前的教學準備並沒多大的差異；但在指導過程中，發現較低年級的學生需要舉更多的實例，尤其是貼近生活中的用品，如文具類等；也可以讓中年級的學生選擇自己現有的發明品來做分享，運用此策略使學生更容易體會到什麼是發明，發明的意義為何。較高年級學生的知識與生活經驗較為豐富，因此對於教師指導的過程較容易理解，師生的互動會較為熱絡，較容易產生共鳴（C 老師）。

（二）年齡（年級）在國小階段不是影響科學發明的重要因素

受訪教師以過去指導學生科學發明的經驗，認為年級的高低在國小階段並不是影響發明最重要的因素，而是因為學生豐富的生活經驗、閱讀習慣、知識的廣泛以及實際動手做的經驗，才是影響科學發明的重要因素。

整體來說，高年級和中年級學生進行發明的時候，我認為不同階段的差異主要在知識基礎、閱讀及生活經驗的豐富度，還有動手做的能力，因此，發想主題的範圍及可行性就會受到不同的影響。另外，個人認為年紀大小應該不算是影響發明的重要因素，我認為發明者個人的知識基礎、閱讀的習慣、生活經驗的豐富度及動手做的能力應該會比年紀大小來得重要，當然，做第一次與做過多次的差異也是相當重要（C 老師）。

過去文獻提及，一個人的觀察力、好奇心、求知慾、開放態度、勇於冒險、多元經驗、興趣廣泛等，會影響到想像力的發展（Hadzigeorgiou & Stefanich, 2000; Ho et al., 2013; Osborn, 1953; Sternberg & Williams, 1996; Zabriskie, 2004; Wang et al., 2014; Wood & Endres, 2004; Zarnowski, 2009）；另外，多元感官刺激、自由氛圍、資源支持、組織措施、家庭、社會氣氛、同儕、教師激勵等外在因素（許育齡、梁朝雲、林志成，2013；Dilek, 2009; Gallas, 2001; Ho et al., 2013; Osborn; Wang et al., 2014; Wood & Endres, 2004; Zabriskie, 2004; Zarnowski, 2009），亦是影響科學發明的因素。因此，對於國小階段三至六年級的學生來說，年齡的增加並非主要影響想像力的因素，而是學生多元的生活經驗、家庭環境是否提供支持氣氛與資源、教師是否適當地引導其思考、提供刺激、同儕間的相互提問等，才是鼓勵與激發學生進行科學發明想像的原因。

（三）科學原理在國小學生科學發明扮演的角色

受訪教師認為，國小學生在進行科學發明時，科學原理知識是發想主題的基礎，不同的發明種類，會影響到科學原理知識所佔的比例，例如：

我認為科學知識和原理當然都重要；科學知識應該是發想主題設計的基礎，而原理是發想主題中問題解決的得力助手，尤其是有一些創作發明的主題需要找到一個最適合的模式，便必須善用實驗變因的概念，透過科學實驗的設計與驗證，使發明品達到最佳的效益。不過，有時候發明品的類別也會影響到科學知識與原理在發明設計中所佔有的成份喔！（C 老師）

然而，在教學策略上，教師一開始引導並不會以科學原理做為激發學生發想的起始點，而是到虛擬實作階段時，才會引導學生去進一步思考所想出的發明可適用何種科學原理；在此階段，教師在科學原理的引導上，扮演很重要的角色，若一開始告訴學生太多的原理原則，反而會限制了學生想像的表現。

通常我們在做創意發明的時候不會先以科學原理來做促發。他們會先找出自己需要改變的地方需要解決的問題，然後他就是在設計的時候先把自己想法寫出來。...那如果反過來一開始就告訴孩子那麼多，其實孩子就會比較受限，他就不敢大膽地去做，他就甚麼就這個不能做、不可能做。所以我覺得還是以鼓勵啦，鼓勵為原則，就是讓他願意然後敢去嘗試、去畫出他想要的東西（Y 老師）。

此外，在科學發明的過程中，國小學生天馬行空的想法，可能已經隱含科學原理的內涵，卻受限於認知能力的發展，難以顯現出來；再者，科學原理也會因為不同的發明種類、不同的階段，而扮演不同的角色。但是，在整個引導的過程中，最重要的是還是要讓學生先找出問題之處，進而思考如何解決，最後才會在既有的科學原理下，與學生共同探討該如何解決這樣的問題。

我們曾經做過那個發電的，學生只想說要這樣發電，然後用磁鐵就是用那個感應來，用法拉利定律感應電流來感應發電，但是她沒有相關的背景，那這時候老師可能就要有加以引導，或者是說帶他們去上網收集資料，知道說有這樣的一個科學的方式可以應用。...應該是後面實做部分才需要考慮到科學的原理，但是前面的部分就是在設計圖發想之前孩子當然有這樣的觀念是最好，那但是如果沒有，其實第一個最重要他能夠先把問題找出來，第二個他想要怎麼去解決這部分先引導完，然後最後才是看有沒有現成的，就是人家既有的科學原理可以解決這樣的問題（Y 老師）。

討論

本研究旨在以 BAS 架構，驗證國小三至六年級之科學想像力假設性學習進程，進而修編科學想像力評量工具，以作為未來科學想像力教育推展之參考。根據 Rasch 測量模式分析結果指出，科學想像力學習進程指標重新擬定妙想力的評分依據後，已解決了 Wang 等人（2015）當時在發展測量妙想力評分依據不適當的問題，並以實徵資料驗證科學想像力歷程的漫想力、聯想力、奇想力及妙想力等四向度結構，所有題目都具備適當的模式適配度，表示所有題目都是在測量科學想像力的向度，提供了內容及結構效度的證據。

在類推效度證據上，科學想像力情境測驗對不同性別、年級具有相同的意涵；另，測驗的整體分散性信度為 .83，堪稱適當，也符合 Wang 等人（2015）的信度 .85；另外，過去 Wang 等人（2015）所發展的工具版本，提出科學想像力工具的應用性僅適合一般中等程度的學生，並不適合用來測量能力極端低或極端高程度的學生。而本研究修改後的版本，透過估計受試者的條件化信度結果指出，發現在應用層面上，擴展到可適用於中等程度以上的學生，說明此工具將可廣泛使用在一般教學情境。

在解釋效度證據上，從圖 2 中可得知，漫想力、聯想力以及奇想力的試題難度排序，是有階層性的，此亦吻合 Ho 等人（2013）科學想像力歷程模式之特性；另外，與 Wang 等人（2015）結果一致，亦指出奇想力是四種能力中最困難的能力。在科學想像力發展歷程中，奇想力是指學生能重組物品的外型或功能（運用簡單的科學與科技知識）來解決問題，然而妙想力是學生需考量點子實作的可能性，包含選材、組裝與操作等，能將重組後的外型、功能（運用簡單的科學與科技知識）畫（說）出來。從質性資料訪談的結果來看，雖說年齡（年級）在國小階段不是影響科學發明的重要因素，但 Ren 等人（2012）研究 4 年級到 12 年級學生的創意想像力發展，提及在不同年級，學生會用不同的方式來表達他們的想像力，年輕的學生傾向使用繪畫來表達思考，長大後，就會運用語言來表達想像力。再者，國小學生在科學發明時，科學原理亦不是國小階段教師引導的重點。對此，本研究提出兩種論點來加以解釋，第一，對於國小學生而言，使用繪畫來表達思考，或許會比利用語言來思考顯得更加容易；第二，國小學生天馬行空的想法，可能已經隱含科學原理的內涵，卻受限於認知能力的發展，難以顯現出來，亦即想出科學原理進行功能重組進而解決問題，對於國小學生較為困難。換言之，對國小階段的學生來說，科學想像力學習進程

的「奇想力」以及「妙想力」可能有調整的必要性，但對於認知能力較高的年級可能會產生不同的結果。因此，建議未來可以將樣本擴展到國中、高中、大學，並蒐集更多質性資料（如放聲思考、觀察訪談等）佐以解釋，以提供科學想像力在不同的年齡階段更完善的學習進程。

在本質效度證據上，從 PCM 分析結果顯示，隨著學生的能力增加，學生選答高 Level 的選項之機率也會愈高。整體而言，所有題目的測量選項皆有學生選填，已經解決 Wang 等人（2015）當初在測量奇想力題目時，沒有學生能達到 Level（3）的程度。因此，透過此效度證據，能驗證本研究所提的假設性科學想像力學習進程，未來在科學想像力學習進程的應用層面，可運用科學想像力學習進程階層（表 2）以及對應的評分標準（表 4）等，作為後續發展更多元之科學想像力課程、教學及評量之參考依據。

本研究結果顯示，性別及年級的科學想像力能力差異分析上，發現國小女生的科學想像力顯著高於男生，Wang 等人（2015）的研究卻指出男女之間的科學想像力並沒有顯著差異。過去在創造力及想像力研究領域中，針對性別在創造力表現差異的結果，還是尚未有明確定論。因此，本研究建議未來可以在課程教學過程中，藉由師生互動及生生互動的觀察記錄，參考更多質性資料加以佐證不同性別之間的表现情況。另一方面，在年級的差異分析結果上，國小三至六年級的科學想像力並沒有大幅的變化，可推測國小中高年級的程度仍屬於同一階段。隨著年紀的增長，兒童的想像會漸漸符合客觀現實，概括性與邏輯性也會有初步發展，有研究顯示創意想像力會隨著年級增加（從 4 年級至 11 年級）而成長，但在 12 年級的學生之創意想像力卻略有下降，在不同的階段會有不同的發展速度（Ren et al., 2012）。再者，王依仁、葉忠達、江怡瑩（2012）認為幼童時期會是人類想像力的第一個高峰，高年級學童則處於想像力發展的轉捩點，可用 U 型趨勢表示想像力發展和年齡的關係，但該研究卻沒有任何實徵資料加以證實此趨勢。因此，若要能更確切了解科學想像力發展與年齡的關係，建議未來可以分別向上、向下延伸研究對象，建立不同階段的科學想像力之學習進程，以提供科學想像力發展歷程之證據，將有助於未來在不同教育階段的科學想像力教學及人才培育。

在外在效度證據上，結果指出，科學想像力和心像能力具有低度相關。有很多創意個體建議說，在科學和藝術產品方面常使用心像的能力（LeBoutillier & Marks, 2003）。進一步檢視本研究所使用的心像問卷，是參考 OSIQ 中物體心像及空間心像分量表題目所組成，而造成此低度相關的原因，可能是該量表主要是個體自我評估在視覺想像上的經驗，難以真正測得學生的心像能力，此外，也有可能是因為國小階段的學生之科學想像力和心像能力沒有太大的關連性。因此，建議未來可以改採用心像的表現作業，重新探討科學想像力與心像之間的關係。此外，敏銳觀察力、好奇心、求知慾、開放態度、勇於冒險、多元經驗、興趣廣泛等個人特質、心像能力、以及周遭環境，皆會影響到想像力的發展（Hadzigeorgiou & Stefanich, 2000; Ho et al., 2013; Osborn, 1953; Sternberg & Williams, 1996; Zabriskie, 2004; Wang et al., 2014; Wood & Endres, 2004; Zarnowski, 2009），建議未來可以採用更多元的實徵證據，來驗證影響科學想像力的因素。

另外，由於此評量工具是屬於開放式作答的測驗，評分者依據學生的答案給予不同的分數，本研究受限於篇幅及研究目的之緣故，僅進行測驗分數的量化分析，並未探討學生在測驗上的文字及圖形作答資料。Ward（1994）認為，想像力會在涉及到非創意分類的基本現象中，被相同的結構及歷程加以引導。因為相似背景的人，他們會分享粗略相似的類別知識基礎，假如在想像力作業中得到這樣的結果，將可預期不同個體的創作之間，會顯示出許多的共通性。再者，學生透過想像歷程，形成草圖（設計圖、發想圖）進而創作特定点子的作品原型（prototype），是想像力和後續實際創作連結的依據，此作品原型不代表想像力歷程的終點，而是個體生活經驗啟動下一階段循環的開始（Ho et al., 2013; Wang et al., 2014）。除此之外，不同年級的學生也會用不同的方式來表達其想像力（Ren et al., 2012），兒童與成人的想像能力亦是截然不同（Eckhoff & Urbach, 2008; Vygotsky, 1930/2004）。因此，本研究建議未來可進一步分析學生的填答資料，探討學生的生活經驗、不同年級、以及不同教育階段在想像力的表現方式，將可提供未來在驗證科學想像力學習進程更多面向的參考依據。

最後，學習進程的發展與精緻並非一次的驗證即可確認其途徑，本研究所建立的科學想像力指標內涵，在能力程度高低的敘述，仍有改進的空間。以聯想力為例，過去 Mednick（1962）提出「聯想層級」的理論，認為只有遠距的概念間之結合，才比較可能產生創新的新概概念，換言之，

概念結合不一定會產生獨特、有創意的新概念。另外，概念結合的詮釋方式也會影響想像力，即使相同概念組合透過不同詮釋方式，也會產生不同的新概念，不同類型概念的結合，也會引發思考過程的差異而產生不同的新概念（王精文、黃婉婷、李建道，2016）。因此，在聯想力指標內涵上，除了考慮聯想點子的數量外，也須考量聯想點子的品質、詮釋方式等，以解釋高、低想像力者聯想表現的差異。基於上述，未來將需要更多元的實徵證據，使其科學想像力學習進程模式建構的更加完善，作為連結課程、教學、評量之成功橋樑，以進行科學想像力教育培育和推展。

參考文獻

- 王依仁、葉忠達、江怡瑩（2012）：國小六年級學童的繪畫創作想像力研究。**藝術教育研究**，23，105-134。[Wang, Y. J., Ye, C. T., & Chiang, Y. Y. (2012). A study of imagination in drawings by sixth graders. *Arts Educations*, 23, 105-134.]
- 王精文、黃婉婷、李建道（2016）：運用抽象概念結合思考模式對管院學生想像力的激發。**教育心理學報**，47（3），373-390，DOI：10.6251/BEP.20150312。[Wang, C. W., Li, C. T., & Huang, W. T. (2016). Stimulating the Imagination of Management College Students by Concept Combination Thinking Mode. *Bulletin of Educational Psychology*, 47(3), 373-390. DOI: 10.6251/BEP.20150312]
- 邱發忠、陳學志、林耀南、涂莉苹（2012）：想像力構念之初探。**教育心理學報**，44（2），389-410。[Chiu, F. C., Chen, H. C., Lin, Y. N., & Tu, P. L. P. (2012). The Exploratory Study on the Construct of Imagination. *Bulletin of Educational Psychology*, 44(2), 389-410.]
- 科技部（2012）。98年度－「想像力與科技研究／實作能力培育」整合型計畫徵求書。取自科技部網站：<http://www.nsc.gov.tw/sci/ct.asp?xItem=16326&ctNode=3395>，2012年7月10日。[Ministry of Science and Technology (2012, July 10). 98 call for proposal-Research for imagination and technology / Practical ability cultivation. Retrieved from: <http://www.nsc.gov.tw/sci/ct.asp?xItem=16326&ctNode=3395>]
- 教育部（2012）。未來想像與創意人才培育計畫－計畫緣起。取自教育部網站：<http://hss.edu.tw/wSite/ct?xItem=2937&ctNode=274&mp=2>，2012年3月26日。[Ministry of Education (2012, March 26). *Imagination of the future-the goal fo plan*. Retrieved from: <http://hss.edu.tw/wSite/ct?xItem=2937&ctNode=274&mp=2>]
- 許育齡、梁朝雲、林志成（2013）：教師發揮教學設計想像力的心理與環境因素探究。**當代教育研究季刊**，21（2），113-148。[Hsu, Y. L., Liang, C. Y., & Lin, C. C. (2013). The Influences of Individual Psychology and School Environment on the Teachers' Imaginative Capability of Instructional Design. *Contemporary Educational Research Quarterly*, 21(2), 113-148. DOI: 10.6151/CERQ.2013.2102.04]

- 詹志禹 (2010)：「未來想像與創意人才培育」中程個案計畫。教育部顧問室委託計畫（計畫編號：MOE-100-2-2-B005）。台北：教育部。[Chan, C. Y. (2010). *The Program of futures imagination and creativity in education* (NO: MOE-100-2-2-BOO5). Taipei: Ministry of Education.]
- 鄭昭明 (1993)：認知心理學：理論與實踐。台北：桂冠。[Cheng, C. M. (1993). *Cognitive psychology: Theory and practice*. Taipei, Taiwan: liberal]
- Adadan, E., Trundle, K. C., & Irving, K. E. (2010). Exploring grade 11 students' conceptual pathways of the particulate nature of matter in the context of multirepresentational instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 1004-1035. doi: 10.1002/tea.20366
- Al-Balushi, S. M. (2009). Factors influencing pre-service science teachers' imagination at the microscopic level in chemistry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7, 1089-1110. doi: 10.1007/s10763-009-9155-1
- Alonzo, A., & Steedle, J. T. (2009). Developing and assessing a force and motion learning progression. *Science Education*, 93, 389-421. doi: 10.1002/sce.20303
- Amabile, T. M. (1996). *Creativity in context*. Boulder, CO: Westview Press.
- American Educational Research Association, American Psychological Association, & National Council on Measurement in Education. (1999). *Standards for educational and psychological testing*. Washington, DC: Authors.
- Berland, L. K., & McNeill, K. L. (2010). A learning progression for scientific argumentation: Understanding student work and designing supportive instructional contexts. *Science Education*, 94, 765-793. doi: 10.1002/sce.20402
- Black, P., Wilson, M., & Yao, S. Y. (2011). Road maps for learning: A guide to the navigation of learning progressions. *Measurement*, 9, 71-123. doi: 10.1080/15366367.2011.591654
- Blajenkova, O., Kozhevnikov, M., & Motes, M. A. (2006). Object-spatial imagery: A new self-report imagery questionnaire. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 239-263. doi: 10.1002/acp.1182
- Briggs, D. C., Alonzo, A. C., Schwab, C., & Wilson, M. (2006). Diagnostic assessment with ordered multiple-choice items. *Educational Assessment*, 11, 33-63. doi: 10.1207/s15326977ea1101_2
- Campbell, K. H. S., Mcwhir, J., Ritchie, W. A., & Wilmot, I. (1996). Sheep cloned by nuclear transfer from a cultured cell line. *Nature*, 380, 64-66. doi: 10.1038/380064a0
- Cheng, Y. Y., Wang, W. C., & Ho, Y. H. (2009). Multidimensional Rasch analysis of a psychological test with multiple subtests: A statistical solution for the bandwidth-fidelity dilemma. *Educational and Psychological Measurement*, 69, 369-388.
- Claesgens, J., Scalise, K., Wilson, M., & Stacy, A. (2009). Mapping student understanding in chemistry: The perspectives on chemists. *Science Education*, 93, 56-85. doi: 10.1002/sce.20292

- Cooper, M. M., Underwood, S. M., Hilley, C. Z., & Klymkowsky, M. W. (2012). Development and assessment of a molecular structure and properties learning progression. *Journal of Chemical Education*, 89, 1351-1537. doi: 10.1021/ed300083a
- Cruz, H. D., & Smedt, J. D. (2010). Science as structured imagination. *Journal of Creative Behavior*, 44, 29-44. DOI: 10.1002/j.2162-6057.2010.tb01324.x
- Cullen, D. M. (2015). Modeling instruction: A learning progression that makes high school chemistry more coherent to students. *Journal of Chemical Education*, 92, 1269-1272. doi: 10.1021/acs.jchemed.5b00544
- Dilek, D. (2009). The reconstruction of the past through images: An iconographic analysis on the historical imagination usage skills of primary school pupils. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 9, 665-689.
- Duncan, R. G. (2009). Learning Progressions: Aligning curriculum, instruction, and assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 606-609. doi: 10.1002/tea.20316
- Duncan, R. G., & Rivet, A. E. (2013). Science learning progressions. *Science*, 339, 396-397. doi: 10.1126/science.1228692
- Duncan, R. G., Castro-Faix, M., & Choi, J. (2016). Informing a learning progression in genetics: Which should be taught first, mendelian inheritance or the central dogma of molecular biology? *International Journal of Science and mathematics Education*, 14, 445-472. doi: 10.1007/s10763-014-9568-3
- Duncan, R. G., Rogat, A. D., & Yarden, A. (2009). A learning progression for deepening students' understandings of modern genetics across the 5th-10th grades. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 655-674. doi: 10.1002/tea.20312
- Duschl, R., Maeng, S., & Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: A review and analysis. *Studies in Science Education*, 47, 123-182. doi: 10.1080/03057267.2011.604476
- Eckhoff, A., & Urbach, J. (2008). Understanding imaginative thinking during childhood: Sociocultural conceptions of creativity and imaginative thought. *Early Childhood Education Journal*, 36, 179-185. doi: 10.1007/s10643-008-0261-4
- Elmesky, R. (2013). Building capacity in understanding foundational biology concepts: A K-12 learning progression in genetics informed by research on children's thinking and learning. *Research in Science Education*, 43, 1155-1175. doi: 10.1007/s11165-012-9286-1
- Freidenreich, H.B., Duncan, R. G., & Shea, N. (2011). Exploring middle school students' understanding of three conceptual models in genetics. *International Journal of Science Education*, 33, 2323-2349. doi: 10.1080/09500693.2010.536997

- Gale, B., & Zemeckis, R. (1989). Back to the future Part II Retrieved from <http://www.echinsicler.io/things-back-to-the-future-z-got-right-2015-10>
- Gallas, K. (2001). Look, Karen, I'm running like Jell-O: Imagination as a question, a topic, a tool for literacy research and learning. *Research in the Teaching of English, 35*, 457-492.
- Gotwals, A. W., & Songer, N. B. (2013). Validity evidence for learning progression-based assessment items that fuse core disciplinary ideas and science practices. *Journal of Research in Science Teaching, 50*, 597-626. doi: 10.1002/tea.21083
- Hadzigeorgiou, Y., & Stefanich, G. (2000). Imagination in science education. *Contemporary Education, 71*, 23-28.
- Hernandez, M. I., Couso, D., & Pinto, R. (2015). Analyzing students' learning progressions through a teaching sequence on acoustic properties of materials with a model-based inquiry approach. *Journal of Science Education and Technology, 24*, 356-377. doi: 10.1007/s10956-014-9503-y
- Holland, P. W., & Wainer, H. (Eds.) (1993). *Differential item functioning*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Ho, H. C., Wang, C. C., & Cheng, Y. Y. (2013). Analysis of the scientific imagination process. *Thinking Skills and Creativity, 10*, 68-78. doi:10.1016/j.tsc.2013.04.003
- Jin, H., & Anderson, C. W. (2012). A learning progression for energy in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching, 49*, 1149-1180. doi: 10.1002/tea.21051
- Johnson, P., & Tymms, P. (2011). The emergence of a learning progression in middle school chemistry. *Journal of Research in Science Teaching, 48*, 849-877. doi: 10.1002/tea.20433
- LeBoutillier, N., & Marks, D. F. (2003). Mental imagery and creativity: A meta-analytic review study. *British Journal of Psychology, 94*, 29-44. doi: 10.1348/000712603762842084
- Lee, H. S., & Liu, O. L. (2010). Assessing learning progression of energy concepts across middle school grades: The knowledge integration perspective. *Science Education, 94*, 665-68. doi: 10.1002/sce.20382
- Linacre, J. M. (1998). Thurstone thresholds and the Rasch model. *Rasch Measurement Transactions, 12*, 634-635.
- Masters, G. N. (1982). A Rasch model for partial credit scoring. *Psychometrika, 47*, 149-174.
- Mednick, S. A. (1962). The associative basis of the creative process. *Psychological Review, 69*, 220-232.
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis* (2nd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Mohan, L., Chen, J., & Anderson, C. W. (2009). Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching, 46*, 675-698. doi: 10.1002/tea.20314

- National Research Council. (2006). Systems for state science assessment. In M. R. Wilson & M. W. Be-
tenthal (Eds.), *Committee on testing design on K-12 Science achievement*. Washington, DC:
National Academy Press. Retrieved from <https://www.nap.edu/read/11312/chapter/6#69>
- National Research Council. (2007). Taking science to school: Learning and teaching science in grades
K-8. In R. A. Duschl, H. A. Schweingruber, & A. W. Shouse (Eds.), *Committee on Science
learning, kindergarten through eighth grade*. Washington, DC: The National Academy Press.
Retrieved from <https://www.nap.edu/read/11625/chapter/10#213>
- Osborn, A. (1953). *Applied imagination*. New York, NY: Charles Scribner's Sons.
- Pendry, J. B., Schurig, D., & Smith, D. R. (2006). Controlling electromagnetic fields. *Science*, *312*,
1780-1782. doi: 10.1126/science.1125907
- Plummer, J. D., & Krajcik, J. (2010). Building a learning progression for celestial motion: Elementary
levels from an earth-based perspective. *Journal of Research in Science Teaching*, *47*, 768-787. doi:
10.1002/tea.20355
- Plummer, J. D., Palma, C., Flarend, A., Rubin, K., Ong, Y. S., Botzer, B., McDonald, S., & Furman, T.
(2015). Development of a learning progression for the formation of the solar system. *International
Journal of Science Education*, *37*, 1381-1401. doi: 10.1080/09500693.2015.1036386
- Raju, N. S., Price, L. R., Oshima, T. C., & Nering, M. L. (2007). Standardized conditional SEM: A case
for conditional reliability. *Applied Psychological Measurement*, *31*, 169-180. doi: 10.1177/01466
21606291569
- Ren, F., Li, X., Zhang, H., & Wang, L. (2012). Progression of Chinese students' creative imagination
from elementary through high school. *International Journal of Science Education*, *34*, 2043-2059.
doi: 10.1080/09500693.2012.709334
- Robinson, A. (2010). Chemistry's visual origins-Vivid imagination was key to unlocking the secrets of
molecular structure in the nineteenth century. *Nature*, *465*, 36.
- Schumacker, R. E., & Smith, E. V., Jr. (2007). A Rasch perspective. *Educational and Psychological
Measurement*, *67*, 394-409. doi: 10.1177/0013164406294776
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., &
Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific
modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*,
632-654. doi: 10.1002/tea.20311
- Sevian, H., & Talanquer, V. (2014). Rethinking chemistry: A learning progression on chemical thinking.
Chemistry Education Research and Practice, *15*, 10-23. doi: 10.1039/C3RP00111C

- Shea, N. A., & Duncan, R. G. (2013). From theory to data: The process of refining learning progressions. *The Journal of the Learning Sciences, 22*, 7-32. doi: 10.1080/10508406.2012.691924
- Smith, C. L., Wiser, M., Anderson, C. W., & Krajcik, J. (2006). Implications of research on children's learning for standards and assessment: A proposed learning progression for matter and the atomic-molecular theory. *Measurement, 14*, 1-98. doi: 10.1080/15366367.2006.9678570
- Smith, C., Wiser, M., Carraher, D. (2010, March). *Using a comparative, longitudinal study with upper elementary school students to test some assumptions of a learning progression for matter*. Paper presented at NARST, Philadelphia, PA.
- Songer, N. B., & Gotwals, A. W. (2012). Guiding explanation construction by children at the entry points of learning progressions. *Journal of Research in Science Teaching, 49*, 141-165. doi: 10.1002/tea.20454
- Songer, N. B., Kelcey, B., & Gotwals, A. W. (2009). How and when does complex reasoning occur? Empirically driven development of a learning progression focused on complex reasoning about biodiversity. *Journal of Research in Science Teaching, 46*, 610-631. doi: 10.1002/tea.20313
- Steedle, J. T., & Shavelson, R. J. (2009). Supporting valid interpretations of learning progression level diagnoses. *Journal of Research in Science Teaching, 46*, 699-715. doi: 10.1002/tea.20308
- Sternberg, R. J., & Williams, W. M. (1996). *How to develop student creativity*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Stevens, S. Y., Delgado, C., & Krajcik, J. S. (2010). Developing a hypothetical multi-dimensional learning progression for the nature of matter. *Journal of Research in Science teaching, 47*, 687-715. doi: 10.1002/tea.20324
- The Next Generation Science Standards. (2013). *Appendix h understanding the scientific enterprise: The nature of science in the next generation science standards*. Retrieved from <http://www.nextgenscience.org/sites/ngss/files/Appendix%20H%20-%20The%20Nature%20of%20Science%20in%20the%20Next%20Generation%20Science%20Standards%204.15.13.pdf>
- Vygotsky, S. L. (1930/2004). Imagination and creativity in childhood. *Journal of Russian and East European Psychology, 42*, 7-97.
- Wang, W. C. (2008). Assessment of differential item functioning. *Journal of Applied Measurement, 9*, 1-22.
- Ward, T. B. (1994). Structured imagination: The role of category structure in exemplar generation. *Cognitive Psychology, 27*, 1-40. doi: 10.1006/cogp.1994.1010
- Wang, C. C., Ho, H. C., & Cheng, Y. Y. (2015). Building a learning progression for scientific imagination: A measurement approach. *Thinking Skills and Creativity, 17*, 1-14. doi: 10.1016/j.tsc.2015.02.001

- Wang, C. C., Ho, H. C., Wu, J. J., & Cheng, Y. Y. (2014). Development of the scientific imagination model: A concept-mapping perspective. *Thinking Skills and Creativity, 13*, 106-119. doi: 10.1016/j.tsc.2014.04.001
- Wilson, M. (2004). *Constructing measures: An item response modeling approach*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Wilson, M. (2005). *Constructing measures: An item response modeling approach*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Wilson, M. (2009). Measuring processions: Assessment structures underlying a learning progression. *Journal of Research in Science Teaching, 46*, 716-730. doi: 10.1002/tea.20318
- Wolfe, E. W., & Smith, E. V., Jr. (2007). Instrument development tools and activities for measure validation using Rasch models: Part II-Validation activities. *Journal of Applied Measurement, 8*, 204-233.
- Wood, K. D., & Endres, C. (2004). Motivating student interest with the imagine, elaborate, predict, and confirm (IEPC) strategy. *The Reading Teacher, 58*, 346-357. doi: 10.1598/RT.58.4.4
- Wu, M. L., Adams, R. J., & Wilson, M. R. (2007). *ConQuest*. Camberwell, Victoria, Australia: Australian Council for Educational Research.
- Zabriskie, B. (2004). Imagination as laboratory. *Journal of Analytical Psychology, 49*, 235-242. doi: 10.1111/j.1465-5922.2004.00455.x
- Zarnowski, M. (2009). The thought experiment: An imaginative way into civic literacy. *Social Studies, 10*, 55-62. doi: 10.3200/TSSS.100.2.55-62

收稿日期：2016年05月23日
一稿修訂日期：2016年08月16日
二稿修訂日期：2016年09月20日
三稿修訂日期：2016年09月30日
接受刊登日期：2016年10月05日

Bulletin of Educational Psychology, 2017, 49(1), 69-94

National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

Validation of the Learning Progression in Scientific Imagination: A Measurement Perspective

Chia-Chi Wang

Center for Teacher Education

Southern Taiwan University Science and Technology

Hsiao-Chi Ho

Ying-Yao Cheng

Wen-Bin Chiou

Institute of Education

National Sun Yat-sen University

This study aimed to validate a learning progression (LP) for the scientific imagination (Authors, 2015) based on a measurement approach using the BEAR Assessment System (BAS; Wilson, 2005, 2009) in an attempt to better understand the core ideas and developmental path of the scientific imagination process as well as align curriculum, instruction, and assessment through LP. Participants in this study were selected from Taiwan and classified into two categories. The first category, which included 767 third to sixth grade elementary school students, was administered the Scientific Imagination Test-Verbal (SIT-Verbal). The second category consisted of two award-winning teachers who were interviewed in order to achieve more information for the LP. The SIT-Verbal, Imagery Questionnaire, and the outline of interview were used in this study. Among these, the SIT-Verbal covered four key components of the scientific imagination process: brainstorming, association, transformation/elaboration, and conceptualization/organization/formation. The Imagery Questionnaire covered imagery ability, which could generate imagery, objects, and pictures in one's mind. For analysis, the multiple validities (Wolfe & Smith, 2007) of the SIT-Verbal were assessed using the Rasch partial credit model. The findings showed that (1) the BEAR assessment system and Rasch measurement approaches provided a feasible framework for developing validated tools to assess the LP of scientific imagination; (2) the empirical data supported that students' scientific imagination progressed "from brainstorming, association, and transformation/elaboration to conceptualization/organization/formation." Implications for the assessments with the LPs and revisions for both the SIT-Verbal and the scientific imagination LP are also proposed.

KEY WORDS: BEAR assessment system, Learning progression, Rasch partial credit model, Scientific imagination