

STEM 教育自幼開始—幼兒園主題探究課程中的經驗

周淑惠

國立清華大學教授

一、前言

近年來為增進國家競爭力與因應人工智慧新紀元的到來，推行 STEM（Science, Technology, Engineering, Mathematics）教育已成為全球各國的教育趨勢，美國、英國、德國、中國等都陸續發佈相關法令、政策與不遺餘力地投入經費推動。然而 STEM 教育究竟是甚麼？與傳統的教育有何不同？在當代與可見的未來有甚麼重要性？又照字面之意，它涉及科學、技術、工程與數學，可以在幼兒園階段實施嗎？若可，要如何具體實施，都是非常值得探討的問題。本文探討以上相關問題，並舉幼兒園「探究取向主題課程」實例，說明在幼兒園階段的課程亦可以充滿豐富的 STEM 經驗，為培養 STEM 素養奠下良好根基。

二、STEM 教育的由來與意涵

STEM 最早源起於美國，乃因其學子在各項世界競爭中的排名落後，再加上 21 世紀所需能力大不同於過往的考量所致。例如 2006 年布希總統發布的《美國競爭力計畫》（American Competitiveness Initiative, ACI）就指出，全球競爭力關鍵是具有 STEM 素養人才，開始了 STEM 教育的投入（請參見 <https://georgewbush-whitehouse.archives.gov/stateoftheunion/2006/aci/aci06-booklet.pdf>）。接著 2009 年歐巴馬政府公布《教育創新計畫》（Educate to Innovate Initiative）即編列數億美元

以培訓數萬 STEM 教師（請參見 <https://obamawhitehouse.archives.gov/issues/education/k-12/educate-innovate>）。第二年總統科技諮詢委員會（President's Council of Advisors on Science and Technology, PCAST）的《為美國的未來預備與激發 K-12 年級的 STEM 教育》（Prepare and Inspire: K-12 Education in Science, Technology, Engineering, and Math “STEM” for America's Future）報告，又重申 STEM 教育的重要性—它將決定美國是否保持各國間領導者地位，以及是否能解決在能源、健康、環保與國安方面的巨大挑戰，並提出幼兒園至高中的 STEM 教育（請參見 https://nsf.gov/attachments/117803/public/2a—Prepareand_Inspire—PCAST.pdf）。而 2013 年美國國家研究委員會（National Research Council, NRC）又公布《下一代科學教育標準》（Next Generation Science Standards, NGSS）（NRC, 2013），特別說明 STEM 四領域與日常生活的相關性，正式將 STEM 教育列於課程標準內。

自美國大力推動 STEM 教育後，世界各國也急起直追。舉中國為例，2016 年教育部在《教育信息化十三五規劃》中明確提出 STEM；2017 年又印發《義務教育小學科學課程標準》，倡導跨學科學習方式，建議在教學實踐中嘗試 STEM 教育。2017 年 6 月教育科學研究院在成立 STEM 教育研究中心的基礎上，召開第一屆中國 STEM

教育發展大會，並發表了中國 STEM 教育白皮書及啟動了中國 STEM 教育 2029 創新行動計畫（中國教育科學研究院，2017）。總言之，STEM 教育已經成為面對新時代、強化國家競爭力的教育改革與創新政策。

STEM 代表四個英文字母—科學（Science）、技術（Technology）、工程（Engineering）、數學（Mathematics）。探究自然世界以了解或回答其如何運作的「科學」與涉及數、量、空間與邏輯的「數學」乃為教育學者所熟悉的學科領域，在此不再贅述。「工程」一詞按照美國 NRC 所定義，係指以一個系統的與經常是替代的方式去設計物體、程序與系統，以滿足人類的需求與願望（NRC, 2009: 49）；又根據 NGSS，工程設計是指形成透過設計可加以解決的問題，相對於科學探究是形成透過探究可加以回答的問題，二者間有些異同（<https://www.nextgenscience.org/three-dimensions>）。而「科技」一詞按照國際技術教育協會（International Technology Education Association, ITEA）所定義，係指創新、改變或修正自然世界，以符合人類的需求與願望（ITEA, 2007: 242），因此如遠古人類以堅硬石頭製作石刀、石斧；繼而發明印刷術以保留人類文明；或是當今人類廚房用的簡單機械如開罐器、削皮器；甚或是更複雜的照相機、電腦等，均屬之。就此，技術比較是指成果、發明物，而工程比較是指一套系統的方法、程序。

現實生活顯示，科學、技術、工程、數學已經滲透、充斥於人類生活的各層面，所有人類欲加解決的生活問題與整部歷史文明的進步都無法脫離這四領域的運用；可以說 STEM 這四領域的整合可以行得通，是因為所有的這四科都涉及相同的程序，即解決問題的過程，雖然解決的問題可能不盡相同（Zan, 2016）。尤其在未來人工智能駕馭的社會，更需依賴這四領域，個體具備 STEM 素養，將更形重要。值得一提的是，根據 Becker 和 Park（2011）檢視 28 個研究的後設分析發現，整合性 STEM 教育對於學生的學習，確實具有正向效果。綜言之，STEM 教育旨在增加學生的 STEM 素養，以利未來個體生存與國家競爭；它乃強調綜合運用科學、工程、技術與數學等知能，解決日常生活中的問題，在學習上具有探究性與統整性，而正因為它涉及生活中現實的問題，所以也具有趣味性與挑戰性。

三、探究取向主題課程的意涵

筆者綜合文獻將主題課程定義為：師生共同選定與生活有關且涉及多學科面向的議題或概念，作為學習之探討議題；並設計相關的學習經驗，以統整該主題脈絡相關的知識，以及試圖「理解」該主題與「解決」與該主題相關的問題；而它的特徵是具有統整性與探究性（周淑惠，2006）。主題課程具有探究性為學者所認同（Beane, 1997; Campbell & Harris, 2001; Krogh & Morehouse, 2014），如 Beane 所言，統整性的主題課程較把知識當成工具，一面投入探究行動，一

面運用知識並獲得知識，師生共同探究中自然涉及知識、經驗、社會與課程計畫的統整。至於探究則是科學家為試圖回答他們所感興趣的問題，所運用的有系統方法（Lederman, 1999），即回答問題或解決問題的求得科學知識的方法，這些方法就是「科學程序能力」（Scientific process skills）—觀察、比較、分類、排序、測量、推論、預測、實驗、記錄、溝通等（周淑惠，1997）。其實探究不僅適用於科學領域，所有學科均可運用，它是人類學習的基本方式（Anderson, 2002），任何學科都需要探究與科學思考（Zuckerman, Chudinova, & Khavkin, 1998）。Audet 和 Jordan（2005）也認為探究驅動了對不同學科領域理解的追求，他們於《跨課程中探究的整合》（Integrating Inquiry Across the Curriculum）一書中，在數學、科學、社會學科、歷史、地理與語文等諸領域，均有專章論述探究的運用。

鑑於坊間諸多幼兒園所實施的主題課程淪於單元教學，或依教材照本宣科（陳淑琴，2007a，2007b），又在抱持「任何學科領域皆可探究，非僅囿於科學領域」的信念下，研究者遂進行國科會實徵研究—特意將科學程序能力強調與運用於幼兒園主題課程情境中，研究成果載於 2006 年《幼兒園課程與教學：探究取向之主題課程》一書，正式提出此一詞彙（簡稱主題探究課程），以與坊間缺乏探究精神、有如各學科領域拼盤的主題課程有所區別。此書出版後，研究者接續於輔導的幼兒園中落實此一探究取向的主題課程。

總之，主題探究課程容許幼兒在主題情境中積極運用各種探究能力與學科領域知能，以增進與理解主題相關知能或解決相關問題，由於知識於探究歷程中現學現用，臻抵真正的課程統整境界，而非只是各學科領域的大拼湊，實有別於傳統教師主導、灌輸與分科的教學型態，這就是探究取向主題課程的主要精神。至於吾人之所以推展探究課程之最主要考量，乃因成為會主動求知探究的「求知人」，為新紀元高度變動與競爭社會的重要教育目標之一（周淑惠，2006），可以說探究是資訊時代學校的根基，探究學習能幫助學校迎接挑戰，預備學生，使其能於資訊化的環境中勝任工作與生活（Kuhlthau, Maniotes, & Caspari, 2015）。

其實具探究性與統整性的主題課程有多元形式，例如以孩子的一百種語言為特色的義大利瑞吉歐（Reggio Emilia）幼兒園經驗與以深入探究為精神的美國的方案教學，均深富探究性，幼兒在主題或方案中運用探究能力深入探討某一議題或解決某一問題（Krogh & Morehouse, 2014）。此外，在探究取向主題課程此一詞彙提出前，臺灣也有一些幼兒園如愛彌兒、四季、南海等，或多或少都具有探究特性與園本課程特色，成為師資培育的學習教材與參訪對象。

四、主題探究課程促進 STEM 教育

探究取向主題課程涉及多個學科的生活議題，幼兒在探究歷程中，試圖理解該主題或解決相關問題，它所運用的方法、策略就是在「科學」教

學中所強調的探究；而且思考與設計相關步驟或方法以解決相關問題或理解該主題，這就涉及了「工程」設計面向；又在探究歷程中與其後的表徵行為中，自然運用「數學」知能、「技術」工具，以蒐集與呈現資料，因此它自然瀰漫 STEM 教育的內涵與精神。誠如也具探究精神的方案教學法提倡者 Helm 和 Katz（2016）所言，方案教學法為 STEM 經驗提供很好的平台與機會，因為它是孩子學習的自然方式，提供了 STEM 學科重要的整合經驗，他們並以飛機方案說明該方案如何充滿 STEM 經驗。換言之，方案探究即為 STEM 經驗，方案教學法與 STEM 教育的目標息息相關（Katz, 2010）。本文接續遂以探究取向主題課程中的實例說明幼兒園課程如何與 STEM 教育接軌。

五、主題探究課程實例

以「木頭真神奇·看我變魔術」主題為例，主題萌發於角落中老師加入的一箱木頭與木工基本工具，孩子興起做木凳的念頭，從畫設計圖開始，經測量、裁鋸、拼裝木條，到黏合完成可坐的凳子，充滿成就感，因此對木頭還可以做甚麼？躍躍欲試。過程中孩子為了要有樹皮黏著的木頭，於是想出親自鋸切園裡枯死的盆栽木頭，並用學習單與父母一起查詢鋸木工具名稱—線鋸、板鋸、摺疊鋸等。

除了木工創作外，教師與幼兒共同規畫了幾次的木工相關場所的參觀如坊間木工廠、親子 DIY 木工園區與學校實習工廠等，參觀場所得自於訪

談園內其他教師、詢問父母、或在老師鷹架下上網找尋。每次參觀前，幼兒都先準備所欲詢問的問題，分組提問並記錄所獲答案，回教室後教師幫忙統整，幼兒製作成表徵探究結果的參觀小書並投票命名如《木頭工廠的秘密》。從參觀中，幼兒了解木頭從哪裡來、種類等，了解木製成品需經電腦設計，並認識許多大型機具與其功能，如線鋸機、刨木機、磨砂機等。

在歷程中，孩子們個別製作的物品有簡單的木槌（用手搖鑽將圓柱體鑽洞並塞入木條），也有較困難的海馬（用線鋸裁切出九片圓形木片再加組合）；其後又製作了幼幼班要求的三層櫃、個人吊飾、立體注音符號，也分組決定雕刻物並合力製作。所運用的工具愈來愈多樣如線鋸機、電烙筆、熱熔槍等，在嘗試錯誤與修正過程中，建構出對工具、材料、技法的認識。最後在統整整學期所學中，將其設計成關卡活動，並製作木製邀請卡與杯墊送給來參加的父母（親仁幼兒園彩虹花朵班，2016-2017）。

再以「環保小創客」主題為例。主題萌發於老師分享《怕浪費的奶奶》繪本故事，引發孩子從家帶入許多回收資源的舉動。在整理與分類後，發現寶特瓶數量最多，激發幼兒創意思考寶特瓶可以製作甚麼？於是進入主題發展期。

孩子發表寶特瓶運用的多樣想法並投票選出望遠鏡、盒子兩種最想製作的物品後，全班遂分兩組分別從繪畫設計圖開始。製作過程中發現裁切

寶特瓶的切割面刺刺的，孩子於是利用各式膠帶黏貼保護，比較後發現絕緣膠布效果最佳。其後因國慶日欲製作手持的國旗，孩子想到可利用紙箱製作，又開啟了紙箱的創意運用。首先老師先分享紙箱王、紙箱車影片，並讓幼兒帶回學習單與父母共同研究及繪出紙箱可以做甚麼？在全班分享與投票後，選定製作房子與車子兩組，兩組均從繪畫設計圖開始，經過討論與投票，再分工合作。以房子組為例，孩子投票決定製作長方形的房子，在團討中決定用「紙箱磚塊」一個個堆疊並且在教室地面以膠帶貼出房子的基地區域，就開始分工製作。但兩組在製作過程中都遭遇無數的問題並運用科學程序能力設法加以解決，最後終於完成作品。

整個主題進程中，教師與幼兒曾到低碳環境教育中心參觀環保藝術品展示、漂流木再製、資源回收區等，並配合聖誕節慶以尺寸漸小的紙箱層疊而上並裝飾成聖誕樹。房子組與車子組完工後，在全班回顧主題歷程下，將整學期所學統整並設計成關卡活動，於期末歷程展中與父母同樂（親仁幼兒園兔子跳跳班，2016-2017）。

六、實例課程之 STEM 經驗分析

第一個課程是個十足的探究取向課程，孩子們數次參觀的場所是經由訪談、上網、與父母共構而來，並先詢問園長租交通工具的可能性，以規劃行程；而且孩子預先思考想要解答的疑惑，記錄下來並於參訪中提問及紀錄，最後並統整其發現製成小書，

以溝通探究結果。至於有關木工製品的實作，也是在嘗試錯誤中建構，例如孩子實際鋸枯木時，老師讓孩子帶齊各種工具，最後發現線鋸比其他種工具來得好用；在每項工具的使用時，也都是如此。而多樣工具的名稱與功用，也是透過學習單與父母設法共構而來。

木工主題不僅涉及「科學」探究，也涉及「工程」設計。每一次的木工製作，都是先畫設計圖於紙張上，並歷經測量或比對，然後再鋸，如製作三層櫃時，長、寬、高都要測量，怎麼正確測量？而且一片木板高度要分成三層，如何正確算出？這就涉及「數學」領域；又每次設計前的製作想法投票或是作品命名投票，也涉及「數學」計數。再且整個探究歷程也涉及「技術」領域，例如裁切木頭時，必須運用板鋸、線鋸、摺疊鋸等並測試、比較這些工具的省力與裁切效果。

第二個課程是以發想、製作、解決製作問題為主，是一個十足的解決問題歷程，當中孩子運用觀察、實驗、比較、溝通結果等科學程序能力。以房子組為例，過程中幼兒首先發現磚塊大小不一，蓋出凹凸不平牆面，於是有幼兒提出全部用一樣大小的紙箱磚塊；又有幼兒說都用大箱子磚塊，蓋起來的房子才會大些。在實作嘗試後，發現大箱子蓋出來的房子，裡面空間好小；幼兒產生認知衝突後，經教師以繪圖作鷹架引導後，孩子遂選擇用小紙箱磚塊。又在製作紙箱磚塊時，幼兒用剪刀剪得手好酸，如何輕鬆裁切紙箱成為關注問題，孩子在學

習單的家長建議中，找來了美工刀、板鋸與裁紙機，親身試驗哪一種比較省力並裁切效果好，結果發現裁紙機效果最好。接下來孩子又發現紙箱磚塊一直塌陷扁掉，孩子提出裡面塞乾掉的黏土、紙團、直接塞紙等方法，在試驗後發現揉紙團的方法較佳。最後於磚塊製作完成開始黏合時，孩子又試驗白膠、雙面膠、泡棉膠等哪一種膠黏效果最好。

小小創客主題不僅涉及「科學」探究，也涉及「工程」設計，無論是房子或車子都是先畫設計圖，思考細部並考量實用性，如車子大小尺寸、有幾個門、駕駛座等，還有一開始就測量門的寬度作為車身寬度的考量，好讓在室內製作的車子能開得出門去戶外使用。當然也涉及「數學」領域，如車子組測量門的寬度；房子組決定要蓋六層磚塊高的房子，孩子數算一層需 11 個磚塊，在老師以繪圖引導下，得知要製作 66 塊磚塊；而無論是房子或車子都要考量內部空間大小合宜否；又每次設計或討論後的投票計數，也涉及數學。當然整個探究歷程也涉及「技術」領域，例如裁切紙箱時，運用美工刀、板鋸、裁紙機等並測試、比較他們的省力與裁切效果。

七、結語

STEM 素養在當代與未來既然那麼重要，各級學校應大力推動。Zan 等人指出 STEM 經驗始於出生當幼兒觀察與投入周遭環境時，因此正式的 STEM 應始於幼兒時期。又研究發現，整合性 STEM 教育對小學生具有最大效果，大

學生效果最低，因此愈早進行 STEM 教育愈有效 (Becker & Park, 2011)。有如以上課程實例所示，主題探究課程充滿豐富的 STEM 經驗，而且如 Kuhlthau 等學者所言，探究學習能幫助學校迎接未來挑戰，預備學生的生存與工作能力，所以是頗值大力推廣的課程型態。最後，也是很重要的，為培養幼兒的 STEM 素養，教師的知能與引導也是必須的，吾人以為 Zan (2016) 所言甚是，當幼兒被有技巧與有知識的老師引導時，幼兒才有能力投入嚴肅的 STEM 研究，所以教師們皆須積極地充實 STEM 教育或是主題探究課程的相關知能。

參考文獻

- 中國教育科學研究院 (2017)。中國STEM教育白皮書。取自 <http://mp.weixin.qq.com/s/Pjlxk3Y0WP5qdgSfh8pShw>
- 周淑惠 (2006)。《幼兒園課程與教學：探究取向之主題課程》。台北市：心理。
- 周淑惠 (1997)。《幼兒科學經驗：教材教法》。台北市：心理。
- 陳淑琴 (2007a)。《幼兒教師主題教學信念與教學行為之研究》。台中教育大學學報：教育類，21(1), 27-51。
- 陳淑琴 (2007b)。《幼兒主題課程與方案教學》。載於陳淑琴、謝銘坤、薛庭芳、林佳慧、謝瑩慧、魏美惠 (主編)，《幼兒課程與教學—理論與實務》(頁 179-206)。台北市：華都文化。

- 親仁幼兒園彩虹花朵班
（2016-2017）。木頭真神奇・看我變魔術雙周報。未出版資料。
- 親仁幼兒園兔子跳跳班
（2016-2017）。環保小創客雙周報。未出版資料。
- Anderson, R.D. (2002). Reforming Science teaching: What research says about inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), 1-12.
- Audet, R., & Jordan, L. (2005). (Eds.). *Integrating inquiry across the curriculum*. Thousand Oaks, CA: Corwin.
- Beane, J. (1997). *Curriculum integration : Designing the core of democratic education*. New York: Teachers College.
- Becker, K., & Park, K. (2011). Effects of integrative approaches among science, technology, engineering, and mathematics (STEM) subjects on students' learning: A preliminary meta-analysis. *Journal of STEM Education*, 12(5-6), 23-36. Retrieved from <http://ojs.jstem.org/index.php?journal=JSTEM&page=article&op=view&path%5B%5D=1509&path%5B%5D=1394>
- Campbell, D. M., & Harris, L. S. (2001). *Collaborative theme building: How teachers write integrated curriculum*. Needham Heights, MA: Allyn & Bacon.
- Helm, J. H., & Katz, L. G. (2016). *Young investigators: The project approach in the early years* (3rd ed.). New York: Teachers College.
- International Technology Education Association (ITEA). (2007). *Standards for technological literacy: Content for the study of technology*. Reston, VA Author.
- Katz, L. G. (2010, May). STEM in the early years. Paper presented at the *STEM in early education and Development Conference*. Cedar Falls, IA.
- Krogh, S.L., & Morehouse, P. (2014). *The early childhood curriculum: Inquiry learning through integration*. New York, NY: Routledge.
- Kuhlthau, C. C., Maniotes, L. K., & Caspari, A. K. (2015). *Guided inquiry: Learning in the 21 Century* (2nd ed.). Santa Barbara, CA: ABC-CLIO, LLC.

- Lederman, N. G. (1999). The state of science education: Subject matter without content. *Electronic Journals of Science Education*, 3(2). Retrieved from <http://ejse.southwestern.edu/article/view/7602/5369>
- National Research Council (NRC). (2009). *Engineering in k-12 education: Understanding the status and improving the prospects*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- National Research Council (NRC). (2013). *Next Generation Science Standards*. Retrieved from <https://www.nextgenscience.org/three-dimensions>
- Zan, B. (2016). Introduction: Why STEM? why early childhood? why now? In Regents' Center for Early Developmental Education at the University of Northern Iowa (Ed.), *Learning with young children: Inquiry teaching with ramp and pathways* (pp.1-6). New York: Teachers College.
- Zuckerman, G. A., Chudinova, E. V., & Khavkin, E. E. (1998). Inquiry as a pivotal element of knowledge acquisition within the Vygotskian paradigm: Building a Science curriculum for the elementary school. *Cognition and Instruction*, 16(2), 201-233.

