

探究美國 STEM 與 STEAM 教育的發展

湯維玲

培育 21 世紀具有國際競爭力的人才，成為許多國家教育改革的重要目標，跨（學科）領域課程（Interdisciplinary Curriculum）「科學、科技、工程、數學」（Science, Technology, Engineering, and Mathematics, 簡稱 STEM）的倡議成為教育改革良方。1990 年代美國首倡 STEM 教育，歷經三任總統頒布教育政策，國會立法 STEM 法案，以提升全民 STEM 素養為目的。近年受到「STEM 到 STEAM」運動影響，納入藝術（Arts）成為 STEAM 教育新風潮。

本文探究美國 STEM 與 STEAM 教育的發展，以文件分析法剖析此一跨領域課程的實踐歷程及結果，希冀成為我國推動教育改革之參酌。本研究分析架構，首先蒐集白宮或國會相關法規文件及學者論述，依據政策時間軸梳理 STEM 與 STEAM 教育的發展；其次，理解 STEAM 教育的中、小學案例為橫軸，分析其課程與教學；再次，剖析 STEAM 教育面臨的困境及因應；最後，從研究的經緯取徑，綜合歸納研究結果，提出我國未來推動 STEM 與 STEAM 教育政策及學校實踐可資借鏡之處。

關鍵字：STEM 教育、STEAM 教育、統整課程、跨（學科）領域課程

作者現職：國立屏東大學教育學系副教授

通訊作者：湯維玲，e-mail: tangwl@mail.nptu.edu.tw

壹、前言

為了培育 21 世紀的學習者，成為具有國際競爭力及產業經濟所需之人才，一股強調跨學科領域課程（Interdisciplinary Curriculum）、統整各學科知識與技能之教育理念因應而生，匯聚成動手做的實踐學習（hands-on learning）與專案導向學習（Project-based Learning, PBL）的教育潮流，再結合創客運動（maker movement），成為教育改革的核心（Patton & Knochel, 2017）。其中，著重科學、科技、工程和數學（Science, Technology, Engineering, and Mathematics，以下簡稱 STEM）的知識和技能，以跨學科方法解決問題、運用技術、創新與善用多種媒體工具的溝通能力，成為世界經濟產業支持力的重要關鍵點之一（Young, House, Wang, Singleton, & Klopfenstein, 2011）。

這種因應全球知識型經濟的 STEM 教育趨勢，視 STEM 為解決教育分割學科、促進經濟成長和國際競爭力的工具，正逐步由美國拓展至歐洲及亞洲（曾鈺成、馮可強、戴希立、馮智政，2017；Fenyvesi et al., 2017; Kennedy & Odell, 2014）。美國於 1990 年代首先提出 STEM 教育，企圖解決在國際教育評比，中學生數學與科學成績落後於世界已開發國家的問題，亦為培育創新科技人才而準備，因此聯邦政府於 2009 年實施創新教育行動，簽訂了教育法案，積極挹注經費與資源，發展 STEM 教育（Obama Whitehouse, 2010a）。

我國教育部修訂課程綱要於 2014 年 11 月發布《十二年國民基本教育課程綱要總綱》，在中學納入科技領域課程，預計 2019 年 8 月於小學、中學及高級中等學校一年級逐年實施。2017 年 12 月的科技領域課程手冊初稿（更新第五版）中提及：先進國家設有科技領域課程，強調科學、科技、工程、數學、藝術等學科知識的整合，未來 12 年國教的科技領域，將納入資訊、科技與工程，從生活科技與資訊科技兩大內涵，培養學生動手設計實作、運算思維，及跨學科知識整合運用的能力（國家教育研究院課程與教學研究中心主編，2017）。具體而言，未來將 STEM 教育納入 12 年國教的科技領域課程綱要中，且規畫在高級中等學校教育階段，「強調藉由工程設計的專題製作活動，提供學生跨學科知識整合的學習（如科學、科技、工程及數學），並藉此培養設計、創新、批判思考等高層次思考能力」（教育部，2018a，頁 11），及其領綱中明列主題科技的本質（N）/學習內容：「生 N-V-2 工程、科技、科學與數學的統整與應用」（教育部，2018a，頁 17）。至於「自然科學領域」未明確敘述 STEM 教育，僅在學習表現主題納入「科學、科技、社會及人文」，希望在科學、科技與其他領域/科目運用跨科概念相互滲透融合（教育部，2018b）。由上述可知臺灣的 STEM 教育正處於起步階段，尚未全面推廣與實施。

歐美與亞洲各國發展 STEM 教育的過程，常以科學為基礎，再拓展納入不

同的領域整合，形成「從 STEM 到 STEM+」的跨領域學習，例如：納入環境（environment）的 eSTEM，或 E（entrepreneurship，創業精神）；或加 G（girls，女性）鼓勵女性從事 STEM 的學習；也有強調資訊科學與編碼（Computer science 與 Coding）的 STEMC，或者加上閱讀（Reading）的 R 成為 STREAM；甚至內含人文（humanity）蘊意，或社交與情感的 SE（Social and Emotional）；也有加上博雅教育（Liberal Arts）A 的 STEAM；而發展尤盛者為加上藝術 A（Arts），STEM 納入藝術設計則成為「科學、科技、工程、藝術和數學」（Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics，以下簡稱 STEAM）的 STEAM 教育（陳怡倩，2017；曾鈺成等，2017；張德齡，2017；Portz, 2015; Quigley, Herro, & Jamil, 2017）。

美國近年來倡議加入藝術創意的 STEAM 教育，統合數理邏輯概念與人文藝術美感，並將之視為教育改革之良方。這股教育風潮的主要推動者，例如 Maeda（2013）呼籲將 STEM 教育擴大規模，納入藝術和設計，從幼兒園至大學階段實施 STEAM 教育；Sousa 與 Pilecki（2013）出版《從 STEM 到 STEAM》乙書，鼓吹納入藝術之重要性，展現 STEAM 統整課程的示例；Oner、Nite、Capraro 與 Capraro（2016）亦主張納入藝術的 STEAM 教育，能使學習者成功地形成 STEM 知能和創造力。再加上 2017 年 STEAM 教育獲得美國聯邦政府的支持，可在非正規教育機構推展並獲得補助經費，甚至將每年的 11 月 8 日訂為國家的 STEM / STEAM 日（National STEM/STEAM Day）。可見從 STEM 發展到 STEAM 是美國近年發展的教育改革趨勢，值得吾人關注其發展動向，以資我國實施「STEM+」之參酌。

綜合上述，本文分析美國 STEM 與 STEAM 教育的發展過程，以及 STEAM 教育的實施狀況與問題，可借鏡對照我國目前處於發展初期，如何迎頭趕上與各國並駕齊驅，是值得探討的課題。是故，本文的研究目的有二：首先，探討美國 STEM 到 STEAM 教育政策發展，歷任美國總統推動此一政策的情形；其次，探討 STEM 或 STEAM 在中小學實施的狀況、面臨的問題及因應之道，期許以他山之石提供我國教育政策制定者及教育實踐者發展 STEM 與 STEAM 教育之參酌。本研究分析架構與過程，首先蒐集白宮或國會相關法規文件及學者論述，依據政策時間縱軸，梳理 STEM 與 STEAM 教育的發展。其次，理解 STEAM 教育的中、小學案例為橫軸，分析其課程與教學；再次，剖析 STEAM 教育面臨的困境及因應；最後，從研究的經緯途徑，綜合歸納美國教育的研究結果，提出我國未來推動 STEM 與 STEAM 教育政策及學校實踐可資借鏡之處。

貳、美國 STEM 教育政策的沿革

以下分述 STEM 教育的倡議，歷經三任美國總統頒布教育政策與法規，國會立法 STEM 法案提升全民 STEM 素養之發展過程。

一、1990 年代國家科學基金會提議發展 STEM 教育

1996 年美國國家科學基金會（National Science Foundation, NSF）發表《塑造未來：透視科學、數學、工程和科技的大學教育》（Shaping the Future: New Expectations for Undergraduate Education in Science, Mathematics, Engineering, and Technology），首次提出 S、M、E、T（SMET）的通用縮寫，便於課程討論或政策推行用語；NSF 提出明確的 SMET 教育政策與行動方針，建議積極培養幼兒園至高中階段（K-12）的 SMET 教育的師資（Bybee, 2010; National Science Foundation [NSF], 1996）。NSF 在 1998 年再次向國會提出報告，以「SMET」統稱科學、數學、工程及科技的學科，明白指出「每一個人都有參與科學、數學、工程、科技的學習機會，美國會因此而強大」（NSF, 2000, p.1）。

提出 SMET 教育之時，因教育系統重視分科學習、輕忽跨科統整，所以未受到廣泛注意，直至 SMET 主張跨學科教育（interdisciplinary education）能提高成就、少數族群學生的學習成就，也能增進各級學生參與學科學習，提升所有學生的 STEM 素養及問題解決的能力，為此，重新命名 SMET 為 STEM，強調不分性別、種族條件下推廣 STEM 教育，才為跨科教育注入了新的能量，啟動 STEM 教育的發展（陳怡倩，2017；NSF, 2005）。

二、2006 年迄今歷任總統推動 STEM 教育政策與國會立法

（一）2006 年至 2009 年喬治布希（George Bush）時期

2006 年布希發表《美國競爭力計劃》，指出具有 STEM 素養的人才，是全球競爭力的關鍵。同年美國國家學院（U. S. National Academies）發表對 STEM 跨領域知識的關切，聯邦政府增加對 STEM 教育經費的挹注，以培育學生的 STEM 素養（Sousa & Pilecki, 2013; The White House, 2006）。當時美國不僅面臨日益激烈的世界經濟競爭，為保持其世界領導地位，需積極改進 15 歲學生科學與數學成績，在 34 個已開發國家的國際排名，處於落後不利的情況，國會於 2007 年通過《美國競爭法案》（America Competes Act），啟動從幼兒園至研究所的 STEM 教育經費補助，由學校提出計畫，爭取聯邦與州的經費支持，進而改善 STEM 教育（America Competes Act, 2007; Smith, 2015; Sousa & Pilecki, 2013）。

(二) 2009 年至 2017 年巴拉克歐巴馬 (Barack Obama) 時期

1. 《2009 年美國復甦與再投資法案》、《教出創新人才》與《重新授權美國競爭法案》

2009 年歐巴馬簽訂《2009 年美國復甦與再投資法案》(Apple Inc, 2009), 明確以「STEM 教育」為總稱, 落實教育改革方向和內容, 規劃 STEM 教育與其他教育長期發展, 投注 100 億美元推動 STEM 教育; 同年 11 月, 歐巴馬以《教出創新人才》(Educate to Innovate) 重申 STEM 教育的重要性, 推估 2010 年到 2020 年, 數學領域的工作人力需要增加 16%, 電腦系統分析師增加 22%, 系統軟體設計師增為 32%, 醫療科學增加 36%, 結合兩種領域的生物醫學工程師則是增加了 62% 的需求量, 足見培育人才具備 STEM 能力之重要性; 編列 4 億美元培訓 10 萬名 STEM 教育的教師, 設計實際動手作的課程, 讓科學變得實用有趣, 運用知識統整的實證精神, 提升學生「學以致用」的科學、數學及問題解決的能力(陳怡倩, 2016; Obama Whitehouse, 2010a)。

延續《教出創新人才》之後, 歐巴馬擴展計畫, 於 2010 年 9 月 16 日推出名為「改革方程式」(Change the Equation) 之政策, 以企業執行長為首來改善 STEM 教育, 主要重點在擴展公立學校和私營企業之間的合作夥伴關係, 為 100 所高需求的學校和社區, 創建新的 STEM 教育計畫, 強化教育品質; 具體措施如鼓勵學生參加如機器人比賽的課外活動, 或為數學和科學教師提供額外的 STEM 知能培訓, 亦鼓勵家長參與孩子的科學教育; 此一改革方程式獲得非盈利組織的支持, 投入許多私人資金, 以培養未來優秀的企業人才為目的(Guyotte, Sochacka, Costantino, Walther, & Kellam, 2014; Obama Whitehouse, 2010b)。繼 2007 年頒布美國競爭法案之後, 又於 2010 年《重新授權美國競爭法案》(The America Competes Reauthorization Act of 2010), 訂定五年期的 STEM 教育實施方案, 明確規劃長期目標、每年度活動及其優先順序, 並說明聯邦機構在 STEM 方案或活動的角色(Smith, 2013)。

美國白宮的科學與科技政策辦公室(Office of Science and Technology Policy, OSTP), 專責協調與 STEM 教育有關的工作; 至於美國聯邦政府投注 STEM 教育, 高達數十億美元的資金, 均由 NSF 整合 STEM 教育創新計畫, 一方面使高等教育機構廣泛參與研究, 培育與 STEM 有關的市場勞動力; 另一方面透過教師、行政領導人員的合作, 產出競爭型計畫, 向 NSF 爭取經費資助, 完成跨領域的 STEM 培育課程; 而且這些計畫中特別強調支持較少參與 STEM 教育的少數族群, 能夠完成兩年制或四年制的 STEM 大學學位; 或者由藝術、科學、科技、設計學院從事 STEM 教學的案例研究; 在 2014 年時美國白宮編列 4.5 億美元做為改進 STEM 教育的經費, 例如: 提供中、小學建置 STEM 創新網絡、虛

主題文章

擬學習網絡、專家教師社群專業發展、給予教師進修機會、要求高效能的教學計畫等，也為改善 STEM 實驗室設備而做好準備（Office of Science and Technology Policy [OSTP], 2018a）。

2. 《2015 年 STEM 教育法案》

2015 年 10 月 7 日正式通過《2015 年 STEM 教育法案》（STEM Education Act of 2015, 2015），重申 STEM 教育的重要地位，該法擴展教育機構的範圍，納入由國家科學基金會、能源部、國家航太總署、國家海洋和大氣管理局、國家標準與技術局，及環境保護局等所支持而進行的 STEM 教育活動；同時明確定義 STEM 教育為科學、科技、工程和數學學科的教育，包括計算機科學；該法也規範 NSF 繼續提供競爭型的獎助經費，支持在博物館、科學中心和課外活動等場所進行的 STEM 非正規教育。此一法規顯示出美國 STEM 教育兼顧正規教育與非正規教育的發展。

2015 年 11 月 9 日在華盛頓特區舉行 STEM 教育論壇，來自 STEM 各領域的學者、獲得 NSF 經費支持的學校教育人員與社團機構、以及與創新設計背景相關的人士與會，其共同的目的在解決有關 STEM 學習的問題、提出具體策略，以改善各類學校和社區的 STEM 學習狀況（Parker, Pillai, & Roschelle, 2016）。

3. 《每位學生成功法案》與《美國創新與競爭法案》

2015 年 12 月 15 日歐巴馬隨即簽署了《每位學生成功法案》（Every Student Succeeds Act, ESSA），確立提供學校實施 STEM 與 STEAM 教育的任務和資金（Catterall, 2017; Every Student Succeeds Act, 2015）。2017 年國會通過《美國創新與競爭法案》（The American Innovation and Competitiveness Act, AICA），該法案內含《2015 年重新授權美國競爭法案》鼓勵成立私人--公共的科學獎項（private-public science prizes），鼓勵各界廣泛地參與 STEM 教育有關的研究和就業，解決重要的科學和技術問題（Smith, 2017）。

（三）2017 年迄今唐納川普（Donald J. Trump）時期

1. 延續 STEM 教育與業界合作獲取資金

2017 年 1 月 20 日川普入主白宮，國會表達需要強化科技部門的多樣性和包容性，增加學生學習 STEAM 教育的機會，掌握 STEAM 領域的就業勞動力統計資料（House Committee on Education and the Workforce, 2017）。同年川普在 9 月 26 日簽署備忘錄，宣示每年至少撥款 2 億美元，補助幼兒園至高中階段的學生接受 STEM 和資訊科學教育，延續 STEM 教育政策（Whitehouse Articles, 2017）。川普於 2018 年 2 月 12 日再次強調 STEM 教育是未來勞動力的「必要

條件」(imperative)，指示教育部長從民間機構獲得額外 3 億美元的 STEM 教育資金 (Whitehouse Articles, 2018)。

2. 提出《為成功制定路線：美國的 STEM 教育策略》

STEM 教育被視為攸關美國未來競爭力和人才培育相關的國家政策，2018 年 6 月白宮科學與科技政策辦公室統籌舉行 STEM 教育高峰會，聯邦政府與地方政府相關部會的官員、學校、社會教育機構、非政府組織代表、產業界代表等，共同討論未來五年符合美國競爭法案的聯邦 STEM 教育策略，不僅以 STEM 知識與技能學習為目標，更朝向創新與創業精神，培養未來領導人才為終極目標 (黃敦晴，2018)。

此一會議後，促成最新的聯邦教育政策，2018 年 12 月發布一項有關 STEM 的教育計畫：《為成功制定路線：美國 STEM 教育的策略》(Charting a Course for Success: America's Strategy for STEM Education) (OSTP, 2018a)。此一 STEM 教育策略計畫 (STEM Education Strategic Plan) 被喻為 STEM 社群的「北極星」(North Star)，以此為願景 (Vision)，各方群策群力合作，指引未來五年發展高品質的 STEM 教育，使美國成為 STEM 素養、創新和就業機會的全球領導者。該計畫是以三個目標來實現願景。首先，建立穩固的 STEM 素養基礎，確保所有人均有機會精熟 STEM 的運算思維、數位素養等基本概念，方能掌握科技的快速變遷，為參與公民社會而準備。其次，增加 STEM 教育學習者的多樣性、公平性和包容性，為全民提供 STEM 教育終身學習的機會，特別關照較少於 STEM 領域學習或就業的人群。最後，為未來的 STEM 勞動力做好準備，利用多元管道，培育大學教育層級的 STEM 人才，以及非大學教育層級的技術人才，體驗真實的學習經驗，做好未來工作準備。此外，該計畫建議整合一套方法作為 STEM 教育的策略，諸如發展各種協作關係、擬定學生投入各種學科學習的策略、培養運算思維的能力、維持公開透明與績效責任的運作等 (OSTP, 2018b)。

美國傾聯邦政府之力、結合產官學界、國會立法公布實施 STEM 教育，將其視為攸關國家競爭力的發展路線。從 1990 年代建議發展 STEM 教育迄今，歷任美國總統任內無不以 STEM 教育成就國家競爭力為訴求，並且在 2015 年完成 STEM 立法，確保 STEM 教育的重要地位，延續至今方興未艾。2018 年底還為能成功地完成國家層級的 STEM 教育，訂定五年計畫的策略，落實跨學科領域及未來相關產業人才的培育，更與國家競爭力息息相關。

參、影響美國 STEM 教育政策的 STEAM 運動

以下將就影響美國 STEM 教育政策的 STEAM 運動理念萌芽、立論基礎及推動入法的過程敘述之。

一、跨領域統整科學與藝術的 STEAM 教育理念萌芽

歐巴馬呼籲提高少數族群學生或女性學生參與 STEM 教育的比例，鼓勵更多人完成和 STEM 相關的大學或碩士學位，讓教育機構培育「動手操作」(all hands-on-deck)的人才 (Scott, August, & Eggers-Piérola, 2013)。STEM 教育不同於傳統單獨授課的學科教育 (disciplinary education)，尤其需要不同領域教師的合作，設計統整課程 (integrated curriculum)，發展超學科課程 (a transdisciplinary endeavor) (Guyotte et al., 2014)。然而，當國家進步教育測驗 (National Assessment of Educational Progress) 分析 2011 年美國中、小學生在 4、8 與 12 年級的科學成績時，僅有 8 年級成績較 2009 年時稍有進步，對於高層次的問題解決和批判思考能力則表現貧乏 (Sousa & Pilecki, 2013)。為思解決之道，爭取藝術納入 STEM 教育，導致另一股 STEAM 教育運動順勢而起。

當美國如火如荼發展 STEM 教育之際，由於 STEM 教育有明顯的排他性，有些學者憂心造成其他學科邊緣化、不受重視的問題，例如藝術學科，所以主張推動藝術與 STEM 教育的整合，而形成了 STEAM 教育 (Catterall, 2017)。為什麼 STEM 需要轉變為 STEAM 呢？科學的 STEM 和藝術兩者常被視為對立面，STEM 的特徵是客觀的、邏輯的、分析的、可再現的和有用的，而藝術的特徵卻是主觀的、直觀的、感性的、獨特的、或無用的 (Sousa & Pilecki, 2013)。推動者認為這些看似相反的結合，可能激盪出產品設計所需要的創新性與多樣性；科學提供了藝術的方法論與工具，而藝術提供了科學發展的創造性原型 (Kim, Kim, Nam, & Lee, 2012)。並存互補的多元概念，以心理學家加德納 (Howard Gardner) 的多元智能理論最受到注意，常被引述為 STEAM 教育的理論基礎之一。多元智能涵蓋語言、數理邏輯、視覺空間、音樂、肢體動覺、人際、自省、自然觀察，能透過探索跨領域的理解，表現於問題解決，具有分析、創造與實踐力的均衡性 (王怡雅、湯維玲, 2004; Gardner, 2011)。Sousa 與 Pilecki (2013) 也運用加德納的多元智能理論，協助教師發展藝術統整 STEM 的教案與教學策略，也呈現多種個案方法。透過藝術融入 STEM 概念的方式，學生對於各種智能有更深層的理解；推動 STEAM 教育者，積極發揚 STEAM 的藝術優勢，主張有助於學生的認知發展、改善長期記憶、促進社會發展、減輕壓力、增加學科領域的吸引力、提升創造力等，使 STEAM 教育的萌芽與茁壯更顯說服力。

二、從 STEM 到 STEAM 教育的運動

如何將 STEM 轉變成 STEAM 教育? Platz (2007) 分析俄亥俄州的 STEM 教育, 認為有許多研究顯示教師有能力將藝術結合 STEM, 統整為 STEAM 課程, 雖有此倡議, 但遲遲未納入教育政策之中, 較著重 STEM 教育。STEAM 教育真正受到關注是從 2011 年美國羅德島設計學院(Rhode Island School of Design, RISD), 由當時的院長約翰前田(John Maede)率先發起「從 STEM 到 STEAM」(STEM+ART=STEAM) 運動, 順應跨領域統整的 STEM 教育, 主張加入藝術與設計的教育, 才能孕育出真實的教育革新, 呼籲推動 STEAM 教育, 結合科學家/技師的心智, 和藝術家/設計家的創思, 共同朝向問題解決與創造, 所以該學院積極設立推廣組織「從 STEM 到 STEAM」(stem to steam), 日漸擴大其影響力 (Maede, 2011, 2013; Rhode Island School of Design [RISD], 2014)。創設網站改變美國教育政策和研究, 企圖將藝術+設計納入 STEM 的中心; 鼓勵將藝術+設計融入從幼兒園至大學教育; 同時影響雇主僱用藝術家和設計師來推動創新; RISD 推動 STEAM 教育的影響力, 已初步擴及到教育法案, 納入 2015 年《每位學生成功法案》, 給予與 STEAM 教育有關的經費資源法源依據 (ESSA, 2015; RISD, 2019)。

再就 2016 年世界經濟論壇「工作大未來」報告指出, 未來五年全球將產生 200 萬個有關 STEM 的新工作, 同時 700 萬個工作將被機器所取代, 因此培養全人的 STEAM 教育能創造、超越改變、不被機器人取代, 成為全球教改的關鍵目標 (賓靜菘, 2017)。具體落實於法案中, 當舉例 2017 年 7 月 20 日美國第 115 屆國會眾議院代表提出《2017 年從 STEM 到 STEAM 法案》(STEM to STEAM Act of 2017, 2017), 新提案的目的在修正 2015 年的 STEM 法案, 主張 NSF 應提供經費繼續支持 STEAM 的非正規教育學習機會, 透過各種活動設計, 測試藝術與設計融入 STEM 的統整教育方案, 改善教育成果, 促進創造與創新 (Committee on Science, Space, and Technology, 2018)。所謂非正規的學習機會 (informal learning opportunities) 包括課後計劃 (afterschool programs)、博物館、自然實驗室和其他展覽活動; 籌設科學和技術中心社區的計劃, 以及其他校外學習機會 (RISD, 2017)。上述議案的進度, 已於 2018 年 5 月進入國會研究與科技委員會, 處於議程討論中, 尚未成為正式法案公布 (Committee on Science, Space, and Technology, 2018), 日後可追蹤該修正法案的後續發展。

三、STEAM 教育的藝術內涵

當 STEAM 教育運動繼續推展 STEM 修正案, 各地對於 STEAM 教育的藝術內涵, 亦如百花齊放般展開, 定義歧異且品質參差不齊。曾參與美國 STEAM 教育諮詢的陳怡倩 (2017) 指出: STEM 或 STEAM 都是打破學科單一化, 解

主題文章

決分科教育造成知識缺乏連貫性的問題；因此她建議以統整課程作為核心，運用跨領域的概念引導學生探究、批判、創作；尤其運用「解決問題」連結 STEM 與藝術，STEM 著重實用性，藝術彰顯創造力，互補結合能賦予社會新價值與生活意義。陳怡倩（2017）剖析藝術的內涵，認為應該包括視覺、音樂、舞蹈、戲劇、媒體等與藝術相關的學科，由教師引導學生自由創作，充分展現藝術的六個面向（外顯的美、設計思維、大藝術的視角、視覺化的過程、美感素養、藝術性的詮釋），甚至納入「人文」的第七面向。同時她也突顯 STEAM 教育的理念在：1.科學理性思維與實際操作，類似於藝術創作的過程，取其共同性；2.結合創造力與實用性解決問題；3.跨領域的藝術實用化；4.問題導向的教學，如探討社會議題、解決生活中問題、整合實踐與思考等。這是 STEAM 教育在藝術層面的廣義定義及理念訴求。

許多研究指出藝術結合 STEM 的重要性，也影響了學者與教育實踐者對於 STEAM 研究的興趣日增。各研究偏重面向或有不同，例如有專注於創意設計過程，結合基礎工程概念和藝術表徵的 STEAM 課程 (Bequette & Bequette, 2015)；或著重 STEAM 教育的創造性和統整性思維，結合藝術的技巧，表現科學和數學的探索精神，提高學生學習科學與數學的興趣及學習成效 (Liao, 2016; Wynn & Harris, 2012)。另有跨學科合作，關注社區參與和生態環境，進行工程和景觀建築的藝術教育，使 STEAM 概念化為一種社會實踐，實現社會和生態正義，擴展 STEAM 教育的影響 (Guyotte et al., 2014)。這些研究推動 STEM 到 STEAM 教育不遺餘力，對藝術內涵的表現實各顯其趣。

肆、美國 STEAM 教育實例的分析

美國自 2006 年迄今大力推動 STEM 教育政策，再加上 2011 年 RISD 發起從 STEM 到 STEAM 教育運動之後，有許多機構和資源紛紛投入正規與非正規的 STEAM 教育。2017 年有一份諮詢了 61 名教育及科技專家的預測報告顯示，未來五年幼兒園至高中的教育趨勢會強調程式設計與機器人、動手做的學習實踐、創客、運用 3D 列印、動畫軟體，以及結合 STEAM 學習，鼓勵跨學科領域和企業家思維來培養創造力 (Education Week, 2017)。為能清楚描繪出美國 STEAM 教育的實施狀況，筆者參考 STEM 與 STEAM 專文、中小學的實例，梳理出以課程實施場域不同，分成正規及非正規途徑的跨領域 STEAM 教育、設立專門 STEAM 教育學校，及其運用的課程與教學，作為實踐例證。

一、以不同途徑實施 STEAM 教育

(一) 實施於正規學校教育

實施於正規學校教育的 STEAM 統整課程，有以藝術人文為主的表現，或者以科學為基礎，分別發展課程主題。

以藝術為主的 STEAM 統整課程，例如美國密根州立大學教育學院的 Danah Henriksen (2014) 訪談研究曾獲得 2008 年全國教師獎的中學科學教師蓋森 (Michael Geisen) 實施 STEAM 的經驗，統整藝術與科學，培養學生創造力和跨學科思維。受訪教師是以藝術為基礎，結合 STEM 學科內涵，教授科學概念；具體作法是使學生設計圖像來表達科學的概念或文本；實施結果表現在學生的學習動機與參與性明顯提高，也加強了 STEM 學科內部與學科之間的統整，促進學生的學習成效。Liao (2016) 說明小學生學習 STEAM，以 PBL 完成一個立體故事書為例，該專案所涉及的學科領域，包括語言藝術(兒童文學)、科學、科技、工程、藝術、和數學，在為期 3 週的課程中，學生分組創作互動式的立體故事書，傳授「接受差異」的主題概念；學生可以修改自己所選擇的故事，也可發展原創故事；學習歷程中使用 3D 列印創建故事中的角色，在故事書上設計按鈕，便於播放錄製的故事配音，最後以 3D 列印成果，展示立體書籍。

由於 STEM 教育的本質是科學教育(李偉展, 2017)。以 STEM 為核心的 STEAM 統整課程，採取以科學為核心的統整課程，例如 Stix 與 Hrbek (2006) 分析美國幼兒園至中小學實施 STEAM 教育時，大多數運用 PBL 探究模式，針對特定主題提出問題、研究、批判思考，通常以工程取向發展 STEAM，由學生應用創造性的方法，解決工程相關問題，藝術設計或美學體驗為外加型態；因而建議個別學生或學生小組合作 STEAM 方案時，鼓勵更多元的思維習性，實際完成含有藝術設計的 STEAM 美學作品，才是真正考慮納入藝術要素。又如 Yakman (2015) 對於 STEAM 教育有不同的詮釋，其主張 STEAM 的基礎是數學，透過工程和藝術來解釋科學和科技，STEAM 是利用不同字元，加深主題的理解，提供學生脈絡化的學習 (contextual learning)，整合數學與其他元素的概念，給予 STEM 共同實踐的場域。至於統整數學與舞蹈藝術的實例，如 Catterall (2017) 提供了小學 3 至 8 年級使用「分數」的概念來編排舞蹈，學生從體驗舞蹈節拍動作，表現內心感受，從中獲得學習數學的樂趣。上述這些使學生親身體驗、表現出創造力 STEAM 的方案，就是學生成功學習並認同 STEAM 的課程案例。

(二) 實施於非正規教育機構

1. 在社會教育機構實施學校課後計畫

美國 STEAM 教育可在創造中心或藝術實驗室中進行。例如，佛羅里達州一所以多元智能和布魯姆(Bloom)的認知領域教育目標的創造教育中心(Center for Creative Education)，培育藝術家成為教導藝術的業界教師，可協助中、小學實施 STEAM 統整課程(Sousa & Pilecki, 2013)。另一實例如 2013 年紐約市小學生參加學院週六開設的藝術實驗室，完成專案研究，學習簡單電路製作、LED 燈的電路開關，並設計鑲嵌於立體童書中，最後在社區藝術節中展出成果，這是結合创客自造者運動與 STEAM 教育，探究分享新的藝術思維，連結社區進行展示，使藝術成為催化劑，引領跨學習 STEAM 課程(Patton & Knochel, 2017)。

再以德克薩斯州的休斯頓兒童博物館為例，其以課後計劃「A' STEAM」實施 STEAM 教育，該課後計畫給予低收入社區的兒童得以增強 STEM 知能的機會；同時該博物館也提供各種學習機會，例如，程式設計、實驗、設計、探索、工程、機器人、問題解決等 PBL、探究導向的學習(inquiry-based learning)(Children's Museum of Houston, 2017, 2018)。

2. 非正規學習環境的夏令營

STEAM 教育也可在夏令營課程中實施。Oner 等人(2016)研究 104 位 7 至 12 年級參與為期兩週 STEAM 教育夏令營的中學生，學習 STEM 學科知識，發展創造力的 PBL 課程，包括 3D 設計、橋樑建設、設計宣傳冊、製作影片、製作機器人、設計手機應用程式、製作唇彩，以及程式設計與建立編碼資訊等；以 PBL 設計產品，製作橋樑或機器人的原型，運用 3D 列印後，學生小組學習報告或演示。該研究檢視學生在 STEM 活動中所抱持的藝術信念，其結果顯示九個班級中，有八個班級的學生能運用創造力完成任務，因而建議正規的學校應重視教育的藝術性，給予學生並用創造性和邏輯思維來解決問題。

(三) 採行 PBL 或「設計思考」的探究模式教學策略

不論是正規或非正規教育，均有其教學模式或策略的共同性。例如喬治亞州的亞特蘭大市於 2000 年設立第一所公立特許學校(public charter school)查理斯杜爾特許學校(Charles R. Drew Charter School)，發展幼兒園到高中的 PBL 取向 STEAM 統整課程，該校教師同時進行「設計思考」(Design Thinking, DT)與編碼的專業發展，共同規劃各年級的 STEAM+PBL 單元，其中创客(含 3D 列印)與工程設計也納入該校課程發展的重要任務(Drew Charter School, 2019)。

援引亞利桑那州聖坦谷的 Circle Cross Ranch 小學為例，實施 3 至 5 年級蜂

鳥機器人設計課程，使學生學習思考、投入問題解決的過程，體驗跨領域新知識的學習經驗；這種問題導向的探究，結合 DT 的移情(empathize)、定義(define)、構思(ideate)、原型(prototype) 及測試(test) 五階段教學方法，再經該校修正後實施於 STEAM 統整課程中 (Cook & Bush, 2018; Henriksen, 2017; Plattner, 2010)。

從上述不同的課程實施的途徑，析解出 STEAM 教育的教學模式或方法，大多運用 PBL、探究教學，實施主題式 STEAM 統整課程，或者結合創客自造者動手操作，也可運用 DT 教學設計，以學生個人或小組合作，完成專案成果製作或創作。

二、STEAM 專設學校型態

除了以不同形態實施 STEAM 教育之外，亦可見專設的 STEAM 學校，運用 PBL 或 DT 教學，或者融入創客自造者精神實施之，以下即分述 STEAM 完全學校與專門實驗學校。

(一) 小學（或幼兒園）至高中的 STEAM 完全學校

喬治亞州的杜爾特許學校發展從幼兒園到高中的 STEAM 課程。而位於南卡羅來納州哥倫比亞市里奇蘭學區二區學校 (Richland School District Two, 2013) 合併中小學，改為磁石學校 (magnet school)，從小學至高中形成一體的連續學習，實施全面的 STEAM 教育。又如田納西州蒙利縣 (Maury) 的一個小鎮蒙特皮利森特 (Mount Pleasant)，把小學至中學改建為一個 STEAM 校園，該校區統合 STEAM 課程，形成一體式的學習堡壘 (Lestch, 2016)。

(二) STEAM 專門（實驗）學校

2016 年一所公立實驗高中 (Design Tech High School) 以史丹佛大學研發的 DT 方法，學習 4C 加上 2P 的能力，包括合作 (collaboration)、溝通 (communication)、批判性思考 (critical thinking)、創造力 (creativity)、解決問題 (problem solving) 和專案管理 (project management)，探討的 DT 主題，如未來校園，可以由學生共同設計能夠容納 550 名學生和 30 位老師的校園，實際解決生活中的問題 (Cook & Bush, 2018)。

另一所 STEAM 實驗學校，賓州匹茲堡郊外的羅賓遜鎮 (Robinson Township) 蒙特 (Montour) 小學，以 STEAM 教育、創客運動，實踐學習及虛擬實境著稱。該校先後與微軟、樂高 (Lego) 實驗室、卡內基梅隆大學、巴恩斯與諾布爾 (Barnes & Noble) 機構合作，親師生共同開發和實施積木創客空間 (Brick Makerspace)，透過有趣、真實的 PBL，學習與未來工作相關的知能，於是自 2017 年開始成為

主題文章

STEM 和 STEAM 教育的專設學校 (Nagel, 2018a, 2018b)。

又如 2017 年 9 月聖荷西 (San Jose) 創立一所全新的實驗中小學 (Steindorf STEAM School) (幼兒園到 8 年級)，學校除了閱讀、寫作等一般課程之外，還安排許多創造啟發性的課程，以科學為基礎的實驗、動手做，統整各領域的主題式學習 PBL (Cook & Bush, 2018)。另一所位於洛斯奧圖 (Los Altos) 的布里斯 (Bullis) 實驗學校 (幼兒園到 8 年級)，該校注重科學與藝術人文的跨領域學習，利用跨領域的主題式教學，教導學生 DT 的概念，從發掘問題到研究、製作原型，培養學生完整的思考模式；該校實施的跨領域主題教學，例如讓學生在數學課中，組成學生小組，合作設計美國的一州，學習過程中可運用數學幾何、科技網路、社會領域城市地圖的建築物和商業知識，規劃並圖繪出該州城市的交通和建築 (Cook & Bush, 2018)。

綜合上述實例，研究者分析 STEAM 教育的實施策略，在正規或非正規的學習環境下，在學校、社會機構、完全學校、或專門的學校實施之。教學模式或策略上，大多運用 PBL、DT 策略、主題式教學、工程教育、創客自造等，著重探究方法、知識概念的理解與運用，在歷經一連串的學習改變過程，學生能夠完成專案或產出成品，展現問題解決和實驗測試的成果。簡言之，課程型態係以藝術增進學習者的設計思維能力，將 STEAM 的藝術創造特質，激發學習者發展出各種問題解決的方案、或設計產品，提升學習者對 STEM 內涵的學習興趣，以及熟稔 STEAM 跨領域統整課程的知能。

伍、STEAM 教育面臨的問題與因應

一、STEAM 教育的支持系統問題

(一) 藝術課程較不受學校及家長重視

藝術是創新的必要條件，透過 STEAM 教育，可以不同的方式感知與認識世界，也是擴展科學和工程的手段；但實際情況卻是藝術列為選修，而且學校藝術經費預算緊縮，小學階段的藝術課程常面臨刪除，再加上家長常不願孩子主修藝術，相對其他學科而言，學校及家長較忽視藝術的重要性(陳怡倩, 2016; Wynn & Harris, 2012)。

(二) 缺少明確定義與指引手冊

Quigley 與 Herro (2016) 指出教師需要明確的 STEAM 定義，才能建構清晰的教學模式，改進教學實踐，也藉此發展與評估課程。Catterall (2017) 則分

析學校推動跨領域課程，缺少可資參考的課程發展手冊、教學活動手冊和資源，可能導致學校實施時背離 STEAM 目標。

(三) 缺少有系統的實證研究與評估

有些學者指出以藝術著稱的 STEAM 學校，例如：加州的 Da Vinci 學校、喬治亞州的杜爾特許學校、南卡羅來那州的費雪（Fisher）STEAM 中間學校、維基尼亞州普拉斯基（Pulaski）中間學校等，鮮少有系統的實證研究，能充分表現出 STEAM 為基礎的教學實踐，遑論系統性的課程發展、應用和評鑑（Quigley & Herro, 2016; Yackman, 2015）。

二、STEAM 課程的統整問題

(一) 統整課程模式的偏向問題

課程學者曾提出不同的統整課程模式，例如 Beane（1997）課程統整分成四個向度（經驗、社會、知識和課程設計）；Fogarty（1991）為統整課程細分成十種方法（分立式、聯立式、窠巢式、並列式、共有式、張網式、線串式、整合式、沉浸式、網絡式）；而 Jacobs（1997）以六個層次說明統整課程的連續性（學科本位、平行學科、多學科、跨學科領域課程、課程統整日、完全統整課程方案）。Drake（1998）針對跨學科領域的課程統整，列出四種統整方式（概念為主的單元統整、議題取向、與人類事務有關的模式，或重要問題的跨領域概念模式）；分析超學科的課程統整途徑則有 PBL、故事為中心的組織、課程協商、合作課程設計歷程四種取向。

研究者認為 STEAM 課程若是採用並列式的平行學科，或者使用共有、張網、線串式的統整模式，學科本身的知識結構改變不會太大；若採取整合、多學科、跨學科領域的統整，知識結構將會產生較大的變化。因為多學科和跨學科建立在學術學科產生的知識基礎之上，跨學科會產生學術結構變化及協同作用，因此多以專案整合學科觀點；至於超學科方法（transdisciplinary approach）側重於知識生產過程，而非組織學科知識，因此會「超越」學術學科結構（Catherine, Bruce, Tait, & Meagher, 2011）。因而 STEAM 教育大多以 PBL 的問題或專題型態呈現，與學校各領域課程並存。由於在美國中學實施 STEAM 超學科的課程統整尤其困難，可能與中學教師為單一學科領域的師資培育過程，美國傾向單科課程標準的設計理念背道而馳（Quigley & Herro, 2016）。初步分析美國課程統整案例，研究者認為 STEAM 的課程統整採取多學科或跨學科領域的 PBL 設計，整合學科知識。對於名為超學科領域的課程統整，常因定義不同而有不同的詮釋，再加上超學科領域的統整課程，設計難度也較高，是故統整課程能否有知識產生的過程，因資料不足難以判斷。

(二) STEAM 課程的均衡性問題

教育學者憂心 STEAM 課程的均衡性問題，如何兼顧科學與藝術的課程組織？著重藝術文學性的 STEAM 課程，可能簡化 STEM 課程的知識概念；也常見工程設計的創客 STEAM，忽略藝術表現 (Glass & Wilson, 2016)。就課程組織的方式而言，Liao (2016) 認為 STEM 教育的統整，強調至少有兩種以上的學科，找出不同學科間的關係相連、有意義之處，再共同建構課程。由於 STEAM 教育的藝術層面益顯重要，如何將藝術設計原則、概念和技術融入 STEM 的教學和學習；又如何能夠避免過於重視科學與工程，造成形式化的藝術與科技 STEAM 課程，這是美國實施 STEAM 教育的課程均衡性問題。

Glass 等人 (2016) 指出許多 STEAM 教育強調工程設計的創客方案，其納入藝術元素的目的是在提升創造力，所以常運用 PBL 為方法，共同合作解決設計的問題，因而建議 STEAM 課程的設計，需要緊密連結美國科學和藝術課程標準，整合藝術、科學與數學學科內容；然而卻面臨科技無法納入課程之窘境，常因教師在課堂中運用電腦平板就以為是科技表現。有些學校就在主題式統整、統整日方案、或 PBL 的 STEAM 課程設計時，均衡地明列出每一學科領域的知能作為因應策略。

三、STEAM 教育的挑戰在師資

(一) 教師缺乏藝術、工程或科技設計能力的問題

美國 STEAM 教育缺乏高素質的師資，一直是多年來的問題，聯邦政府因此編列預算培育 STEM 相關教師。若將 STEAM 視為整合跨領域的教育，常會面臨科學教師未受過藝術培訓的問題；相對的，藝術教師則可能 STEM 知能不足。美國為解決藝術教師問題，有些學者建議從方法面向解決問題，以 DT 統整藝術與 STEM，強調課程統整；另有學者建議外聘藝術家到中、小學協助 STEAM 課程；對於教師工程知能不足的問題，學校內部雖有科學、數學教師，卻缺少具有工程背景的教師，或者教師不熟悉工業技術之運用，因此解決之道為安排參訪鄰近工廠，使其與學生生活經驗相連結，成為有效解決策略之一 (Catterall, 2017; Henriksen, 2017; Portz, 2015)。

另一 STEAM 教育的問題出現在教師對科技設計的認知方面。Portz (2015) 批評美國教師常在數學或科學課程中讓學生使用平板電腦，而且認為採用工程師的產品就是科技技術的表現，其實無法落實科技知識的學習。他指出科學家從探究的過程中發現，而工程師是將科學的發現，設計成產品 (技術)，以獲得經濟和社會效益，科技則是工程設計活動的產物；因此，STEM 教育的學習策略，應該參考課程標準中有關科學內容統整概念，要求學生設計、重製和創新

科技，了解科學與科技的相關性，才是真正科技知能的學習。

（二）教師需要協助專業發展的問題

跨學科領域的 STEAM 教師群，需要理解廣泛的 STEM 工作世界。教師如何為學生創造有意義的學習機會，模擬工作環境，更要求教師的教學改變與創新，對於教師而言是一大挑戰。教師從跨領域的觀點，共同設計 PBL 的統整課程及教學方法，進行跨領域的協同教學，因此教師專業發展的過程中，需要不同領域教師的協助，尋求不同領域的專家諮詢課程內容，以及獲得更多校內外的支持（Kennedy & Odell, 2014; Quigley & Herro, 2016）。

美國 STEM 法案中鼓勵教師獲取 STEAM 學位。Catterall（2017）在 2015 年研究四名任教於 STEAM 學校，但未接受過專業發展培育的教師，這些教師缺少實施 STEAM 的方法，但是經過 STEAM 碩士課程的培訓之後，最後還有能力出書推廣 STEAM 教育。是故，參與 STEAM 教育的教師亟需專業發展，可經由進修學位或學程，取得 STEAM 學位和證書。

陸、借鏡美國 STEM 與 STEAM 教育的發展經驗

一、STEM 與 STEAM 教育政策落實在課程綱要

探究美國發展 STEM 與 STEAM 教育的過程，可知美國將其視為攸關國家競爭力之關鍵。從 2006 年 NSF 倡議 STEM 教育，後經布希總統納入白宮教育政策。歐巴馬主政期間挹注大量經費，以相關法規推動全民 STEM 教育，自幼兒園至高等教育，縱貫各級學校，正規與非正規教育並行實施；鼓勵女性、少數族群參與 STEM 教育並投入 STEM 相關職場；尤其在 2015 年通過 STEM 法案，為 STEM 教育奠定重要法源依據。2011 年加入創造力訴求的人文藝術，STEAM 教育運動躍上教育改革舞台，為美國教育增添藝術美學色彩。目前川普執政仍延續 STEM 政策，經費雖不如歐巴馬時期，但主張民間企業多方合作，從企業界募款，並於 2018 年年底提出 STEM 的具體策略迄今持續發展中。

借鏡美國經驗，我國對於 STEM 與 STEAM 教育的關注，應從未來 12 年國教課程綱要的修訂著手，納入 STEM 與 STEAM 元素，具體落實在相關的學習領域課程及跨領域課程之中。例如，目前已納入 STEM 教育的科技領域，未來若能加入藝術，強調創造性，而成為 STEAM 教育。同時也希望 STEAM 內涵能擴及至自然科學、藝術、及數學領域的綱要，方能培育小學至中學學生具備跨領域知能的 STEAM 素養。參照美國經驗，我國教育部若能納入 STEM 與 STEAM 教育政策，從幼兒園、小學至研究所階段全面進行，鼓勵少數族群與女

主題文章

性參與 STEAM 教育；亦可由科技部與教育部專案計畫補助學校進行 STEAM 教育，甚至擴展至非正規教育機構。至於 STEAM 教育的規劃與參與，可由政府和業界、高等教育與學術機關，共同研究與教育，產官學合作的機制，連結學生就業的工作世界，將會更符合產業需求，培養出有助於社會發展、提升國家競爭力的未來人才。

二、STEAM 教育的精神在跨領域統整課程與教學

STEM 與 STEAM 教育是目前美國教育改革的顯學。從科學本質進行跨領域的 STEM 教育，再結合廣義的人文藝術，發展成為 STEAM 教育，為培育創新人才，成就未來的一代而發展。借鏡美國 STEAM 教育經驗，在領域內容知識不可偏廢之下，培養學生面對生活世界的問題解決能力，需要特別強調跨學科、創意的統整課程設計。正規教育的課程統整必須考慮符合 STEAM 各學科領域的課程綱要；非正規教育的 STEAM 課程則有課程設計的彈性，但必須提升 STEAM 師資素質，方能確保雙管齊下的教育品質。兼顧統整課程的均衡性，避免科學教育主宰，拼湊式、形式化的 STEAM 課程，科學與藝術跨領域的共榮共創，朝向從 STEM 到 STEAM 教育發展。

實施 STEAM 教育的教學設計或方法，多採用問題或專案導向的 PBL、DT、創客自造者方案活動，以及主題跨領域的統整課程教學設計。在真實世界的脈絡中，提出議題，透過學生個人與小組合作學習方法，觀察、探究、思考、實驗與實作的動手操作、實踐體驗活動等多元教學策略，引起學生學習動機與興趣，解決生活中問題，再產出、分享學生的學習成果，為未來生活的設計或創業做準備。

STEAM 教育規劃之初，需要研發編制 STEAM 統整課程手冊、PBL 或 DT 等教學手冊，提供教學者參酌，以避免教育實踐者面臨 STEAM 定義不明、無所適從的困境，較能順利革新課程，縮短調適期。至於 STEAM 教育的配套措施，需要挹注充裕的經費，尤其硬體設備經費不可或缺，例如 STEAM 教學設備、數位科技教室、科學工程實驗室、藝術教室的空間建置等；同時考慮軟體層面的課程與教學、教學資源，硬體層面設備與學習空間。STEAM 教育的實施型態不侷限於課程統整，可借鏡美國設立專門實驗學校，或建置幼兒園至高中一貫的 STEAM 完全學校，進行整體教育型態的改變。

三、STEAM 教育的關鍵在教師素質及專業發展

STEAM 教育的成功關鍵在師資，教師須有統整課程的設計理念，願意跨領域合作，甚至有意願與能力進行協同教學，所以培養專業的師資成為 STEAM 教育重要的必要條件。美國與我國的師資培育過程，因知識分化，多培育單科

領域的教師，面對跨領域的專門知識問題，成為教師實施 STEAM 課程的挑戰。我國未來推動 STEAM 教育，首重參與 STEAM 教育的師資素質，及建立教師專業社群，藉由 STEAM 教師團隊合作，依需要外聘專長教師或專家學者，甚至邀請業界師資協助，上述做法均需要教育行政的支持系統運作順暢。教師專業社群若能充分人際溝通、專長互補，共同設計跨領域的課程統整，進行協同教學，就能掌握 STEAM 教育實施的成功關鍵。

借鏡美國經驗，可挹注師資培育與教師專業成長之補助經費，實質鼓勵教師獲取 STEAM 證書或碩士學位，尤其鼓勵少數族群或女性進入高等教育機構，未來投入 STEAM 就業市場，或進行 STEAM 學術研究，以達成教育政策所訂定之目標。

四、STEAM 教育的成就在展現學生創造力與問題解決能力

STEAM 教育結合科學與藝術領域，希望以此新教育型態提升學生學習跨領域的知能、興趣及學業成就。研究者認為借鏡美國經驗，STEAM 教育的主要成果，應著重培養學生的創造力與問題解決能力，並能展現具體的成果，給予我國學生從單一學習領域，發展到跨領域學習表現的機會。其具體策略就是使學習者能在正規或非正規教育的環境中，透過科學與藝術面獲取兩類知識的共有技能，例如觀察、探究、思考、設計、動手體驗、自主學習、互助合作。學習者在 PBL、DT 或主題統整課程中，從生活經驗、先備知識著手，結合新知，透過觀察、探索、研究、思考、腦力激盪討論，規劃實作，再動手創作，驗證研發成品原型，修正改良，再測試完成品。

以 STEM 的「實用思維」，學生要有機會動手實作，學習如何設計產出生活應用為導向的產品創造，而且不僅是將產品藝術化，同時也能學習到藝術之美的「創作」表現，將藝術實用化，具體展現在解決問題，完成 STEAM 專案的成果或创客產出作品。在校內、外展出作品、分享成果，或者鼓勵參與 STEAM 相關的競賽或觀摩，進而以行動實踐 STEAM 教育，擴展至社區，實踐社區改造的使命，或者成為生態正義的發聲者。這些研發過程、溝通實踐活動，均能展現出學生的創造力及問題解決能力。

STEAM 教育的最終的目標是培養跨領域的未來人才，提高我國在全球經貿、科技、教育的競爭力。追求產品效能與美學並重的新時代，未來 STEAM 學校的圖像，希望是超越平凡、校內外合作、親師生共同成長的多贏教育。美國的 STEM 與 STEAM 教育仍繼續發展中，我國相對起步較晚，研究者為文借鏡美國發展經驗，彰顯其教育的價值和重要性，值得我國教育政策制定者及教育實踐者關注，啟動教育革新的力量，培育具有國際競爭力的新生代。

致謝

感謝激發與協助本研究的教育先進，尤其感謝審查委員提供的修正意見，使本研究結果更具落實性。本文部分內容為科技部專題研究計畫 MOST 106-2410-H-153-013 與 MOST 107-2221-E-153-005-MY2 之延伸。

參考文獻

- 王怡雅、湯維玲 (2004)。Gardner 多元智能理論初探。《**公教資訊**》，7 (4)，2-8。
- 李偉展 (2017)。從科學教育到 STEM 教育。取自 https://www.edb.gov.hk/attachment/tc/curriculum-development/cross-kla-studies/gs-primary/teacher--edu-program/Part_2-r2.pdf
- 教育部 (2018a)。十二年國民基本教育課程綱要國民中學暨普通型高級中等學校：科技領域。取自 https://www.naer.edu.tw/ezfiles/0/1000/attach/52/pta_18529_8438379_60115.pdf
- 教育部 (2018b)。十二年國民基本教育課程綱要國民中學暨普通型高級中等學校：自然科學領域。取自 https://www.naer.edu.tw/ezfiles/0/1000/attach/63/pta_18538_240851_60502.pdf
- 陳怡倩 (2016)。課程設計：統整課程設計的思維與趨勢。臺北市：洪葉出版社。
- 陳怡倩 (2017)。從 STEAM 的 A 來看美國 STEAM 教育。《**香港美術教育期刊**》，1，4-9。取自 <http://www.hksea.org.hk/wordpress/wp-content/uploads/2017/07/STEM-to-STEAMs.pdf>
- 國家教育研究院課程與教學研究中心主編 (2017)。十二年國民基本教育課程綱要：科技領域課程手冊初稿 (更新第五版)。新北市：作者。
- 黃敦晴 (2018，8 月 30 日)。從美國白宮發動的教改，為什麼 STEM、STEAM 教育這麼重要？親子天下，新聞。取自 <https://flipedu.parenting.com.tw/article/4895>
- 曾鈺成、馮可強、戴希立、馮智政 (2017)。香港願景計畫--推動 STEM+教育：STEM 教育的在地化與頂層設計。香港：香港政策研究所。取自

http://www.hkpri.org.hk/storage/app/media/Research_Report/20170925_stem_web.pdf

張德齡 (2017, 7月4日)。美國 v.s. 臺灣 STEM+教育：教孩子解決現實生活問題，激發創意與想像。《今周刊》。取自 [201707-04http://www.businesstoday.com.tw/article/category/154685/post/201707040002/](http://www.businesstoday.com.tw/article/category/154685/post/201707040002/)

賓靜蓀 (2017)。打造機器人搶不走的競爭力：STEAM 新素養。《親子天下雜誌》，89。取自 <https://www.parenting.com.tw/article/5073992-/打造機器人搶不走的競爭力：STEAM 新素養>

America Competes Act (2007). *Public Law 110-69* (Aug. 9 2007). Retrieved from <https://www.congress.gov/110/plaws/publ69/PLAW-110publ69.pdf>

Apple Inc (2009). *American Recovery and Reinvestment Act: Stimulus opportunities for integrating technology with education goals* (Apple white paper). Retrieved from http://images.apple.com/education/docs/Apple-Education_Stimulus_White_Paper.pdf

Beane, J. A. (1997). *Curriculum integration: Designing the core of democratic education*. New York, NY: Teacher College Press.

Bequette, J. W., & Bequette, M. B. (2015). A place for art and design education in the STEM conversation. *Art Education*, 65(2), 40-47. <https://doi.org/10.1080/00043125.2012.11519167>

Bybee, R. W. (2010). *The teaching of science: 21st century perspectives*. Arlington, VA: National Science Teachers Association Press.

Catherine, L., Bruce, A., Tait, J., & Meagher, L. (2011). *Departure point: Our approach to interdisciplinarity. Interdisciplinary research journeys: Practical strategies for capturing creativity*. London, UK: Bloomsbury Academic.

Catterall, L. G. (2017). A brief history of STEM and STEAM from an inadvertent insider. *The STEAM Journal*, 3(1), 1-13.

Children's Museum of Houston. (2017). *Annual report 2016*. Retrieved from https://www.cmhouston.org/files/2016%20Annual%20Report_1487803429612.pdf

Children's Museum of Houston. (2018). *Annual report 2017*. Retrieved from https://www.cmhouston.org/files/2018%20Annual%20Report_1530196506681.pdf

主題文章

- Committee on Science, Space, and Technology. (2018). *All Actions H.R.3344 — 115th Congress (2017-2018). Referred to the Subcommittee on Research and Technology*. Retrieved from <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/3344/all-actions>
- Cook, K. L., & Bush, S. B. (2018). Design thinking in integrated STEAM learning: Surveying the landscape and exploring exemplars in elementary grades. *School Science and Mathematics, 118*(3/4), 93-103.
- Drake, S. M. (1998). *Creating integrated curriculum: Proven ways to increase student learning*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Drew Charter School. (2019). *Steam at Drew charter school*. Retrieved from <https://steamatdrew.weebly.com>
- Education Week. (2017). Ed-tech trends, challenges predicted for next five years: Coding and robotics highlighted in report. *Education Week, 37*(5), 1-7.
- Every Student Succeeds Act, 20 USC 6301, § 1177 (2015). Retrieved from <https://www.congress.gov/114/plaws/publ95/PLAW-114publ95.pdf>
- Fenyvesi, K., Houghton, T., Diego-Mantecón, J., Crilly, E., Oldknow, A., Lavicza, Z., & Blanco, T. F. (2017). Kids inspire kids for STEAM. *The STEAM Journal, 3*(1), Article 21.
- Fogarty, R. (1991). *The mindful school: How to integrate the curriculum*. Palatine, IL: Skylight.
- Gardner, H. (2011). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. New York, NY: Basic Books.
- Glass, D., & Wilson, C. (2016). The art and science of looking: Collaboratively learning our way to improved STEAM integration. *Art Education, 69*(6), 8-14.
- Guyotte, K. W., Sochacka, N. W., Costantino, T. E., Walther, J., & Kellam, N. N. (2014). STEAM as social practice: Cultivating creativity in transdisciplinary spaces. *Art Education, 67*(6), 12-19.
- Henriksen, D. (2014). Full STEAM ahead: Creativity in excellent STEM teaching practices. *The STEAM Journal, 1*(2), Article 15, 1-9.

- Henriksen, D. (2017). Creating STEAM with design thinking: Beyond STEM and arts integration. *The STEAM Journal*, 3(1), 11.
- House Committee on Education and the Workforce. (2017). *H.Con.Res.29 — 115th Congress (2017-2018). Expressing the sense of the Congress regarding the need for increased diversity and inclusion in the tech sector; and increased access to opportunity in science, technology, engineering, arts, and mathematics (STEAM) education*. Retrieved from <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-concurrent-resolution>
- Jacobs, H. H. (1997). *Mapping the big picture: Integrating curriculum & assessment K-12*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Kennedy, T. J., & Odell, M. R. L. (2014). Engaging students in STEM education. *Science Education International*, 25(3), 246-258.
- Kim, E., Kim, S., Nam, D., & Lee, T. (2012). *Development of STEAM program math centered for middle school students*. Retrieved from <http://www.steamedu.com/wpcontent/uploads/2014/12/Development-of-STEAM-Korea-middle-school-math.pdf>
- Lestch, C. (2016). *Small Tennessee town creates first STEAM 'campus'*. Retrieved from <https://edscoop.com/small-tennessee-town-creates-first-steam-campus>
- Liao, C. (2016). From interdisciplinary to transdisciplinary: An art-integrated approach to STEAM education. *Art Education*, 69(6), 44-49.
- Maeda, J. (2011). *STEM to STEAM*. *Core77.com*. Retrieved from <http://www.core77.com/posts/20692/getting-steamy-in-rhode-island-20692>
- Maeda, J. (2013). STEM + Art =STEAM. *The STEAM Journal*, 1(1), 1-3. doi: 10.5642/steam.201301.34
- Nagel, D. (2018a). *The STEAM-powered elementary school: Montour opens world's first lego-themed brick makerspace*. Retrieved from <https://thejournal.com/articles/2018/02/26/the-steam-powered-elementary-school.aspx>

主題文章

- Nagel, D. (2018b). The STEAM-powered elementary school. *T.H.E Journal*, May/June, 29-32. Retrieved from <https://thejournal.com/articles/2018/02/26/the-steam-powered-elementary-school.aspx>
- National Science Foundation. (1996). *Shaping the future: New expectations for undergraduate education in Science, Mathematics, Engineering, and Technology. Report from Directorate for Education and Human Resources of National Science Foundation*. Retrieved from <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED404158.pdf>
- National Science Foundation. (2000). *Executive summary. Committee on equal opportunities in science and engineering, 1998 biennial report to the United States Congress. An advisory committee to the National Science Foundation*. Retrieved from <https://www.nsf.gov/pubs/2000/ceose991/ceose991.html>
- National Science Foundation. (2005). *Science, technology, engineering, and mathematics talent expansion program (STEP)*. Retrieved from <https://www.nsf.gov/pubs/2005/nsf05519/nsf05519.pdf>
- Obama Whitehouse. (2010a). *Educate to innovate*. Retrieved from <https://obamawhitehouse.archives.gov/issues/education/k-12/educate-innovate>
- Obama Whitehouse. (2010b). *Changing the equation in STEM education*. Retrieved from <https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2010/09/16/changing-equation-stem-education>
- Oner, A. T., Nite, S. B., Capraro, R. M., & Capraro, M. M. (2016). From STEM to STEAM: Students' beliefs about the use of their creativity. *The STEAM Journal*, 2(2), Article 6, 1-14. Retrieved from <http://scholarship.claremont.edu/steam/vol2/iss2/6>
- Office of Science and Technology Policy. (2018a). *America will win the global competition for STEM talent*. Retrieved from <https://www.whitehouse.gov/articles/america-will-win-global-competition-stem-talent/>
- Office of Science and Technology Policy. (2018b). *Charting a course for success: America's strategy for STEM education: A report by the Committee on STEM education of the national science & technology council*. Retrieved from <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/12/STEM-Education-Strategic-Plan-2018.pdf>

- Parker, C. E., Pillai, S., & Roschelle, J. (2016). *Next generation STEM learning for all: A report from the NSF supported forum*. Waltham, MA: Education Development Center.
- Patton, R. M., & Knochel, A. D. (2017). Meaningful makers: Stuff, sharing, and connection in STEAM curriculum. *Art Education*, 70(1), 36-43.
- Platz, J. (2007). *How do you turn STEM into STEAM? Add the arts!* Retrieved from <http://www.oaae.net/en/resources/educator/stem-to-steam>
- Plattner, H. (2010). *An introduction to design thinking: Process guide*. Retrieved from <https://dschool-old.stanford.edu/sandbox/groups/designresources/wiki/36873/attachments/74b3d/ModeGuideBOOTCAMP2010L.pdf>
- Portz, S. (2015). *The challenges of STEM education. The space congress proceedings*. Retrieved from <http://commons.erau.edu/space-congressproceedings/proceedings-2015-43rd/proceedings-2015-43rd/3/>
- Quigley, C. F., & Herro, D. (2016). Finding the joy in the unknown: Implementation of STEAM teaching practices in middle school science and math classrooms. *Journal of Science Education Technology*, 25, 410-426. doi 10.1007/s10956-016-9602-z
- Quigley, C. F., Herro, D., & Jamil, F. M. (2017). Developing a conceptual model of STEAM teaching practices. *School Science and Mathematics*, 117(1-2), 1-12. <https://doi.org/10.1111/ssm.12201>
- Rhode Island School of Design. (2014). *Support for STEAM*. Retrieved from <https://www.risd.edu/about/campus-culture/>
- Rhode Island School of Design. (2017). *Renewed congressional support for STEAM*. Retrieved from <https://www.risd.edu/news/stories/renewed-congressional-support-for-steam/>
- Rhode Island School of Design. (2019). *STEM to STEAM 2019*. Retrieved from <http://stemtosteam.org/>
- Richland School District Two. (2013). *Full STEAM ahead!* Retrieved from <https://www2.ed.gov/programs/magnet/2013/richlandapp.pdf>

主題文章

- Scott, C. P., August, B., & Eggers-Piérola, C. (2013). All hands on deck: Using case studies to support institutional Change. In R. D. Lansiquot (Ed.), *Cases on interdisciplinary research trends in science, technology, engineering, and mathematics: Studies on urban classrooms*. Retrieved from <https://www.igi-global.com/chapter/all-hands-deck/70344>
- Smith, L. (2013). *Subcommittee explores STEM education initiatives to stimulate American competitiveness*. Retrieved from <https://science.house.gov/news/press-releases/subcommittee-explores-stem-education-initiatives-stimulate-american>
- Smith, L. (2015). *House passes bipartisan STEM education act*. Retrieved from <https://science.house.gov/news/press-releases/house-passes-bipartisan-stem-education-act>
- Smith, L. (2017). *President signs American innovation and competitiveness act into law*. Retrieved from <https://science.house.gov/news/press-releases/president-signs-american-innovation-and-competitiveness-act-law>
- Sousa, D. A., & Pilecki, T. (2013). *From STEAM to STEAM: Using brain-compatible strategies to integrate the arts*. Thousand Oaks, CA: Corwin.
- STEM Education Act of 2015, 42 USC 1861 § 1020 (2015). Retrieved from <https://www.congress.gov/114/plaws/publ59/PLAW-114publ59.pdf>
- STEM to STEAM Act of 2017, 42 USC 1862q § 3344 (2017). Retrieved from <https://www.congress.gov/115/bills/hr3344/BILLS-115hr3344ih.pdf>
- Stix, A., & Hrbek, F. (2006). *Teachers as classroom coaches, chapter 11. The nine steps of project-based learning*. Retrieved from www.ascd.org/publications/books/106031/chapters/The_Nine_Steps_of_Project-Based_Learning.aspx.
- The White House. (2006). *President Bush's technology agenda*. Retrieved from <https://georgewbush-whitehouse.archives.gov/infocus/technology/tech2.html>
- Whitehouse Articles. (2017). *President Trump signs memorandum for STEM education funding*. Retrieved from <https://www.whitehouse.gov/articles/president-trump-signs-memorandum-stem-education-funding>

- Whitehouse Articles. (2018). *Ryan Johnston, Trump stands by STEM education spending in fiscal 2019 budget*. Retrieved from <https://edscoop.com/trump-stands-by-stem-education-spending-in-fy19-budget>
- Wynn, T., & Harris, J. (2012). Toward a STEM + Arts curriculum: Creating the teacher team. *Art Education*, 65(5), 42-47.
- Yakman, G. (2015). *STEAM about us, educators*. Retrieved from <http://steamedu.com/about-us/educators>
- Young, M. V., House, A., Wang, H., Singleton, C., & Klopfenstein, K. (2011, May). *Inclusive STEM schools: Early promise in Texas and unanswered questions*. Paper prepared for the National Academies Board on Science Education and Board on Testing and Assessment for “Highly Successful STEM Schools or Programs for K-12 STEM Education: A Workshop”, Washington, DC.

Explore the Development of STEM and STEAM Education in the USA

Wei-Ling Tang

Cultivating talents with international competitiveness in the 21st century has become an important goal of education reform in many countries of the world. The interdisciplinary curriculum has developed vigorously. Integration of the fields of Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) education has been proposed as a good way to reform education.

STEM education policy was initiated in the 1990s in the USA, and then carried on by three presidents of the United States. They promulgated relevant education policies and regulations, and then passed the STEM Act in Congress to improve American's STEM literacy. In recent years, the Rhode Island School of Design (RISD) added "Arts" to "STEM" to advocate the "STEM to STEAM" movement, and which caused worldwide movement towards STEAM education.

This paper explored the development of STEM and STEAM education in the United State and analyzed the results of STEM and STEAM as interdisciplinary curriculum practice by the method of document analysis. The research results and suggestions can be proposed for STEM and STEAM education promoted in Taiwan.

The framework and procedure of this study are described as follows. Firstly, the researcher collected the scholars' academic papers and regulatory documents published by the White House or Congress. The researcher stratified the development of STEM and STEAM according to the policy promotion period as the vertical axis. Secondly, the researcher investigated the cases of the primary and secondary schools implementing STEAM education in the United States as the horizontal axis to explore the STEAM curriculum and instruction. Thirdly, the researcher analyzed the dilemma and response of the STEAM education. Finally, the suggestions were proposed for implementing STEM and STEAM as the educational policy in Taiwan.

Keywords: STEM education, STEAM education, integrated curriculum, interdisciplinary curriculum

Wei-Ling Tang, Associate Professor, Department of Education, National Pingtung University

Corresponding Author: Wei-Ling Tang, e-mail: tangwl@mail.nptu.edu.tw

主題文章