



科學教育之發展與反思—— 從萌芽期、蓬勃期、 挑戰期談起

文／邱美虹

臺灣的科學教育發展早期大都與課程標準的發展進程有關，之後受西方國家課程改革的影響，尤其是美國科教運動的思潮，再加上回應社會期待，臺灣在過去 60 多年間科學教育的發展面貌也有很大的轉變。以主觀性的分段方式，臺灣科學教育的發展可分成：(1) 萌芽期（1957～1980 年）、(2) 蓬勃發展期（1980～1999 年）、和 (3) 挑戰期（2000 年～）。

前言

早期臺灣科學教育的發展基本上是以科學課程標準與教科書為主軸出發，以因應社會與教育的需求。之後課程標準（或綱要）也因受到不同時空下科教思潮的影響，而逐漸發展與國際接軌的課程，藉以解決臺灣教育問題與配合國內需求的，以強化國民科學素養。

而 1980 年代初期國家科學發展委員會（以下簡稱國科會）正式成立科學教育處（簡稱科教處）以降，科學教育研究方興未艾，自此，科學教育研究和相關的研究活動在臺灣蓬勃發展，其中國內科學教育界也有許多的變化，如 1987 年起，臺灣設立頒授碩士和博士學位的科學教育研究所，科學教育學會於 1988 年成立，並於 1993 年出版《科學教育學刊》創刊號，從而開

啟科學教育人才培育和研究之風（郭重吉和邱美虹，2016）。而 1980 年代後期實施一系列的教育改革運動的同時，科學教育專家或研究者在臺灣也陸續獲致了許多的研究結果，對於科學師資的培育和專業發展產生極大的衝擊，而其影響之所及，包括對學生在數理學科方面的學習有更好的理解，對於數學和自然科學的教學和評量有所改善，並發展出許多有效的教材和教學策略。1990 年代以後，臺灣參與國際數學與科學的成就評量以及各種國際科學展覽競賽，展露出臺灣基礎科學教育的豐碩成果。2006 年開始，臺灣參與國際科學素養研究，顯示國人科學素養雖未獨佔鰲頭，但也具相當的水準。而科學教育研究的成果，在國際間更是受到相當高的重視，其充分展現出臺灣科學教育人才的軟實力，以非英語系國家而言，這樣的表現

是值得欣喜的（Lee, Wu, & Tsai, 2009; Lin, Lin, & Tsai, 2014; Tsai & Wen, 2005）。這些皆顯示出一個國家科學教育的發展除在經濟上給予充分可資運用的研發經費外，也必須在政策面上提出具前瞻性的施政方向與因應措施，以引領研究人員進行具發展性的研究，且可藉此培育更多具潛力的研究人才，使研究得以穩定且持續地發展（Guo & Chiu, 2006）。

除這些成果之外，臺灣非制式教育對臺灣科學教育的發展與普及發揮了更大的效益。從學校教育走入社會大眾教育，提供更寬廣的學習機會，扮演重要的科普舵手（圖 1）。自 1956 年，「國立臺灣科學教育館」成立後，1960 年起定期舉辦全國中小學科學展覽會以及近年來的與臺灣國際科學展覽會、全國走透透的行動科學館巡迴教育、以及網路科教館等，對推動中小學科學教育有具體貢獻。在走過一甲子的推動科普教育，科教館將於 2016 年慶祝創

館 60 年，隨著臺灣的發展，科教館在推動社會大眾對科學的認識與興趣之貢獻有目共睹，可喜可賀。未來如何更加善用這些資源，提升全民科學素養，與學校制式教育相輔相成，共創科學教育的新局面是值得永續經營的方向。

科學教育發展

邱美虹和周金城（2005）根據美國科學教育的發展將科學教育的發展分成三個階段：第一階段是科學教育形成期（1904～1956 年）—主要是強調科學課程是學生學習的基本課程之一，透過教學讓學生認識科學知識結構、原理與方法；第二階段是科學教育專業發展期（1957～1980 年）—以科學課程改革強化科學學科的認識，並重視實驗的過程技能；第三階段是全民科學素養拓展期（1980 年～）—強調科學、技學的重要性，並強調課程縱向的順序性



圖 1. 各大科學館所致力於非制式科學教育，對我國科學教育的發展與普及發揮極大的效益；本圖為由科教館於 2012 年發起，由各科學館所輪辦的「科學教育與傳播論壇」，今年已經是第五屆，由國立海洋生物博物館舉辦（圖片來源：本刊檔案照片）



與橫向的協調性，並論及科學素養的標竿與科學教育的各項標準（National Science Education Standards, NSC, 1996）。在該文發表後，美國又有新的科學教育運動，如 Next Generation Science Standards (NGSS, 2013)，強調核心概念、跨科概念、實作，其主要目的除重視科學素養的均衡發展，也在回應大學選修 STEM 為主修專長的人數漸減的問題，其影響可從各州開始強調 STEM 課程以及美國國科會（NSF）補助研究學者進行相關研究可知其影響之所及。

而臺灣的科學教育發展早期大都與課程標準的發展進程有關，之後受西方國家課程改革的影響，尤其是美國科教運動的思潮，再加上回應社會期待，臺灣在過去 60 多年間科學教育的發展面貌也有很大的轉變。以下文章會以上述主觀性的分段方式，分成：(1) 萌芽期（1957～1980 年）、(2) 蓬勃發展期（1980～1999 年）、和 (3) 挑戰期（2000 年～），進行科學課程和科教研究等相關議題的簡要說明。

1957 到 1980 年萌芽期

根據邱美虹和劉俊庚（2011）的分析，1957 到 1980 年期間臺灣經歷萌芽與積極發展期。當政府遷台後，於 1954 年宣稱為「發展科學年」起，便成為科學教育發展的濫觴。隨後數個重要的委員會的成立（如 1959 年國家長期發展科學委員會和 1967 年的科學發展指導委員會），以及 1976 年《科學教育月刊》出刊（圖 2），對臺灣科學教育的發展產生莫大的影響與助益（邱美虹和劉俊庚，2011）。同時，這一段期間臺灣經歷 1968 年的九年國民義務教育，其修訂內容即以強調採取九年一貫的精神對內容進行編排，以減少中小學之間課程的隔閡，並強調師資在職訓練，以提高教師素



圖 2. 由國立臺灣師範大學科學教育中心發行的《科學教育月刊》，對臺灣科學教育的發展有莫大的影響與助益（圖片來源：「師大 70 特展」官方網站）

質。雖然此一課程要求九年一貫，但當時的課程委員會則是小學與國中分開設置，雖有九年一貫之名，但卻無九年一貫之實，直到 2001 年實施國民中小學九年一貫課程，才由同一個委員會負責課程綱要的職責。

在這一階段研究報告多為論述型文章（如吳大猷，1977；楊冠政，1976；魏明通，1979），較少實徵性的論文發表。同時，也尚無專屬的科學教育學術性期刊。

1980 到 1999 年蓬勃發展期

1980～1999 年期間為科學教育蓬勃發展期，教育部在 1983 年修訂的課程標準中指出，課程設計應富有彈性、擴大選修課程、並可依學生性向及學習能力選修適

當的科目進行學習，故設有「實用物理」和「實用化學」科目；教育部（1985）並辦理實驗教材的檢討、修訂、教學評鑑與實施。隨後在 1990 年代，課程標準強調嘗試打破學科間的藩籬（鄭湧涇，2005）、發揮九年一貫的精神、尊重個別差異、教材設計以學生生活經驗為中心、強調多元評量（劉俊庚和邱美虹，2012）。同時對於過去比較少提及的科學發展對人類與環境的影響，以及強調教材與生活經驗相結合的觀點皆揭槩於課程綱要中，以期學校教育與生活相呼應並為就業做準備。

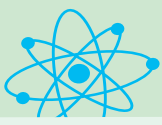
當然此時美國幾項科學教育運動亦受到臺灣學者關心，而產生對科學教育發展的影響，尤其是 1980 年代的科學—科技—社會（Science-Technology-Society，簡稱 STS）、全民科學（Science For All America，簡稱 SFAA，1985）、Project 2061（1989），以及 1990 年代美國史無前例地提出〈科學教育標準〉（National Science Education Standards，簡稱 NSES，1996），其中強調在精不在多（less is more），以及重視科學

素養的養成過程，並在其中說明教學內容標準、教師專業成長標準、評量標準、科教方案標準等等，其中以科學標準內容對後來臺灣課程綱要的發展有較為顯著的影響，顯見我們對於學習內容的重視，至於其他類別標準的制定，我們至今仍無在這些方面的努力成果。

1982 年國科會正式成立科教處開始，積極推動科學教育研究，使科教研究在臺灣蓬勃發展，而研究者的研究主題以學生概念學習（如毛松霖、張菊秀，1997；邱美虹、傅化文，1993；邱美虹、高淑芬，1999；林振霖，1992；郭重吉，1992；黃湘武、邱韻如、莊福泰，1995；黃寶鈿、陳世雄，1993），和師資培育（如段曉林、張惠博、王國華，1998；陳文典，1997；張惠博，1997）為主等。這些研究探討學生科學學習時的迷思或另有概念、其特質為何、其來源為何，以及科學職前教師和在職教師的學科教學知能等等，採用許多現場資料的調查與分析，奠定了未來相關研究的基礎。（圖 3）



圖 3. 科學職前教師和在職教師的學科教學知能，是臺灣科學教育研究重大主題之一；本圖為本文作者邱美虹教授辦理的行動科技融入科學教學工作坊



2000 年～為挑戰期

課程標準或是課程綱要在 2006 年以前大約每十年修訂一次，惟近年來社會需求與教育理念的快速轉變，改革的步伐更加快速，使得 2006 年的課程綱要在實施五年後就面臨另一次改革（邱美虹、劉俊庚，2011）。2011 年實施國民中小學九年一貫課程，強調培養學生能帶著走的能力，這樣快速的改變使得課程實施的周全性、教師的準備度、和教材的嚴謹度都受到相當高的挑戰與質疑。在即將於 2018 年實施的 12 年國民基礎教育的課程綱要，包括「科學探究與實作」課程，這是史無前例的新課程，教師的惶恐與不安是無可厚非的。此時，主管單位由上而下規劃教師專業成長促進新課程的認識以及建立發展校本課程研發的能力，乃是當務之急。而教師由下而上的組成各種的教師學習型團體，也是面對這一改革的積極作法。若能調合由上而下系統性規畫，與由下而上的需求導向的配合，則可望為新課程做較完善的準備，以利未來新課程的順利實施。

在這一段期間，我國開始重視且積極參加各式各樣的國際數學與科學的大型計畫，如國際數學與科學成就評量計畫（Trend of International Mathematics and Science Study, TIMSS），臺灣表現一直相當突出，也受到相當高的重視。2006 年臺灣開始參與經濟合作暨發展組織（Organisation for Economic Co-operation and Development，簡稱 OECD）每三年舉辦一次的國際學生能力評量計畫（the Programme for International Student Assessment，簡稱 PISA），此項調查主要是以科學素養、語言素養、數學素養的調查為主，臺灣在這方面的表現雖高於國際平均值，但卻未能一

如 TIMSS 的表現呈獨占鰲頭之勢。這兩項國際研究的目的不同，前者（TIMSS）以學校課程所教授的內容為主，其考試方式臺灣學生也較熟悉，故在 TIMSS 表現上較佳；然而後者（PISA）以學校教育統整性的表現為評測的內容，包括以科學解釋現象、評價和設計科學探究、以科學詮釋數據和證據（OECD, 2015），故學生在 PISA 的表現上較不如預期，也呈現出臺灣學生在科學素養的薰陶上較為薄弱。與其重視臺灣在世界的排名，還不如想想如何在政策面上提出改善學校科學實驗環境或增權賦能（empowerment）科學教師教學能力的方案，以提升學生的科學素養。

這段期間在學界的研究蓬勃發展，主題相當多樣化，除針對學生學習與師資培育的研究持續進行外，還包括數位學習（如許瑛珺、吳心楷，2016；Wang & Yang, 2016）、以新興科技的方法探討科學學習（如劉嘉茹和黃琴屏，2016；顏妙璇、楊芳瑩，2016）、以及科普傳播（黃俊儒，2016）。同時。除此之外，在制度上也起了很大的變革，國科會對於學者的評價與獎勵偏重 SSCI 和 SCI 的文章發表數量，到 2000 年更是如火如荼地以此為唯一取決學者表現的標準（郭重吉、邱美虹，2016），在這樣的〈遊戲規則〉下，臺灣在國際期刊的發表量與質的表現甚至曾達到全世界第三名，其在國際研究的貢獻不容小覷。然而另一篇研究顯示國內優秀教授漸漸以國外期刊發表，對於國內期刊的耕耘較少，使得國內的學生或同行較少機會拜讀其研究報告（邱美虹、譚克平、顏妙璇，2016），這樣的現象不失為一警訊。除此之外，過度強調國外量化學術研究的成果，使得大學教育難免有所偏失，在如火如荼

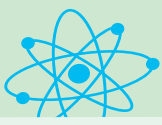
推動 SSCI 之後的十多年後，學界是否應該以更嚴肅的學者態度來檢視這樣的評價制度的意義，尤其科學教育與現場教學有密切的關係，如何將研究的能量轉化到學校教學，提升教師教學品質與教學信念的改變，以落實科學教育的理念。

最後，國科會《科學教育白皮書》(2003)、教育部《人才培育白皮書》(2013) 的出版，期盼能為我國科學教育奠定重大發展基礎，作為我國科學教育政策之施政藍圖，並提供我國科學教育研訂具體行動計畫之重要指標。其內容涵蓋「教育目標」、「課程教學與評量」、「師資培育」、「大眾科學教育」、「人文關懷」、「學術研究」，以及「政策制度與環境建立」。然此項政策公告後已十多年，在這期間未見針對此白皮書對科學教育的影響進行成效之評估，甚為可惜。時至今日，此白皮書應接受檢視並進行調整，以符合時代之需求與社會之期待。

綜上所述，個人覺得「科學探究與實作」或許可以成為一門為科學教育重新找到一條活路的課程(圖4)。長久以來，課堂上紙上談兵講述學理多，學生動手做實驗的機會越來越少，更遑論讓學生經歷科學家探究的歷程—發現問題、解決問題。臺灣在 TIMSS 或是 PISA 的表現上，都是屬於高成就低興趣的一群學生。這樣畸形的發展，實在是科學教育的危機。除此之外，課程改革過程中，我們較少以國內學者具證據導向的研究成果作為改革的基礎，而教材的實施或教科書的適用性，也未透過教學現場試用、檢驗、修正再實施的歷程，這是很冒險且大膽的作風，不免讓人懷念以前中學課程必定會先在中正預校實施、進行檢討、修正後再提供給全國學生使用的日子。或許現在的出版社也應該負起這樣的社會責任，在出版教科書之前，在合作學校先行使用、預教，並檢討利弊，以求能提供高品質且具備高信度的教科書給學生使用。



圖 4. 12 年國教課程綱要中的「科學探究與實作」課程，希望讓學生動手做實驗機會越來越多，或許可以成為一門為科學教育重新找到一條活路的課程(圖片來源：本刊檔案照片)



結論

綜觀上述的討論，作者認為我國科學教育發展至今已成熟，但也面臨不同的挑戰，不論是在政策面或是在學校教學面，如何將挑戰化為機會、將危機化成轉機，以下幾點拙見，提供參考。

1. 從早期〈課程殖民化〉、〈本土化〉、〈國際化〉到〈國際在地化〉

臺灣對於外來文化的反應通常都比較快速，接受程度也比較高。從正面來看，臺灣有比較寬廣的心胸去接納新的思潮；但是從反面來看，則反思性較為不足，亦有如陳之藩〈失根的蘭花〉一文所指。科學教育亦同，如何在國際化的過程中找到我們自己的定位與需求，以融合國際思潮的趨勢與在地的需求，解決在地科教問題，發展出具〈國際在地化〉(glocalization)的科學教育理論與實踐。


2. 從〈實踐面〉、〈理論面〉到〈結合理論與實踐〉

不論是科學教學或是科學教育研究，從學理中取得基石與拓展，從實踐中取得經驗與驗證，最後應該要能結合科學教育理論與實務，發展與產生最適合的教學方案與教學成效、改變科學教學與學習的本質、建立良好面對社會上科學性問題的態度與實事求是的原則。

3. 制式教育與非制式教育的結合

長久以來，臺灣在考試取才的制度之下教學一直無法跳脫「考試領導教學」的緊箍咒，再加上學科分類太過瑣碎，使得學校課程不易鬆綁，12年國教即將來臨，社會對它的期待自然是希望課程更加有彈性、以達適性揚才的目的。制式

教育的基本責任乃是給予基本學科的訓練，科學知識、科學技能與科學態度三位一體。非制式科學教育單位的存在即是讓這些學習得以延伸到學校教育所不可及之處，如不拘年齡的社會大眾、如大型展覽品的陳列、如動手操作實驗的機會等等，都讓科學得以普及，並與學校知識相互呼應，相輔相成，達提升全民科學素養之目的。

整體而言，科學教育研究與實務對臺灣而言都是極具潛力發展的領域，為提升國家競爭力，結合學校教育與非制式教育、加強研究與實務的相互驗證、重視科學人才的培育、持續強化教師的教學與創新能力、發展學生科學素養與創造力，皆是不容忽視的主要課題。

參考文獻

1. Guo, J. C., & Chiu, M. H. (2016). Research projects on science education funded by the National Science Council in Taiwan from 1982-2012: A historical review. In M. H. Chiu (Ed.), *Science education research and practice in Taiwan: Challenges and opportunities* (pp.11-41). Singapore: Springer.
2. Hsu, Y. S., & Wu, H. K. (2016). Development and evaluation of technology-infused learning environment in Taiwan. In M. H. Chiu (Ed.), *Science education research and practice in Taiwan: Challenges and opportunities* (pp. 211-232). Dordrecht, NL: Springer.
3. Lee, M.-H., Wu, Y.-T., & Tsai, C.-C. (2009). Research trends in science education from 2003 to 2007: a content analysis of publi-

- cations in selected journals. *International Journal of Science Education*, 31, 1999-2020.
4. Lin T. C., Lin, T. J., & Tsai, C. C. (2014). Research trend in science education from 2008-2012: A systematic content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 36(8), 1346-1372.
 5. Liu, C. J., & Huang, C. F. (2016). Innovative science educational neuroscience: Strategies for engaging brain waves in science education. In M. H. Chiu (Ed.), *Science education research and practice in Taiwan: Challenges and opportunities* (pp. 233-247). Dordrecht, NL: Springer.
 6. OECD (2016). http://www.oecd-ilibrary.org/education/pisa-2015-assessment-and-analytical-framework/pisa-2015-science-framework_9789264255425-3-en
 7. Tsai, C. C., & Wen, M. L. (2005). Research and trends in science education from 1998 to 2002: A content analysis of publication in selected journals. *International Journal of Science Education*, 27(1), 3-14.
 8. 毛松霖、張菊秀 (1997)。「探究式教學法」與「講述式教學法」對於國中學生地球科學—氣象單元學習成效之比較。科學教育學刊，5(4)，461-497。
 9. 吳大猷 (1977)。我國科學教育的檢討與改進。科學教育月刊，1，6-8。
 10. 邱美虹、周金城 (2005)。美國百年科學教育發展。教育資料與研究雙月刊，64，19-40。
 11. 邱美虹、傅化文 (1993)。分子模型與立體化學的解題。科學教育月刊，1(2)，161-188。
 12. 邱美虹、高淑芬 (民 88)。類比對應對學生建構「原子結構」心智表徵之影響。師大學報，44(1&2)，31-59。
 13. 邱美虹、譚克平、顏妙璇 (2016)。臺灣科學教育研究趨勢分析：1993-2012〈科學教育學刊〉內容分析。載於邱美虹 (編)，臺灣科學教育研究與實踐：挑戰與機會 (頁 51-92)。台北：高教出版社。
 14. 邱美虹、劉俊庚 (2011)。我國科學教育發展回顧與展望。我國教育發展回顧與展望 (頁 181-198)，台北：國家教育研究院。
 15. 林振霖 (1992)：我國學生分子概念發展與診斷教學的研究：(一)我國學生分子概念的理解與解題之間的關係的研究。彰化師範大學學報，3，407-478。
 16. 段曉林、張惠博、王國華 (1998)。學生對教師之學科教學知覺問卷之發展。科學教育學刊，6(2)，129-147。
 17. 陳文典 (1997)。STS 教學教師所需之專業準備。科學教育學刊，5(2)，167-189。
 18. 許瑛珺、吳心楷 (2016)。科技導入科學學習環境之發展與評鑑。載於邱美虹 (編)，臺灣科學教育研究與實踐：挑戰與機會 (頁 271-300)。台北：高教出版社。
 19. 郭重吉 (1992)。國中學生能量和波動概念另有架構之研究，彰師學報，3，505-529。
 20. 郭重吉、邱美虹 (2016)。1982-2012 國家科學委員會推動科學教育研究計畫之歷史性回顧。載於邱美虹 (編)，臺灣科學教育研究與實踐：挑戰與機會 (頁



- 15-50)。台北：高教出版社。
21. 科教館。參考自 <http://www.ntsec.gov.tw/User/index.aspx>
22. 張惠博（1997）。國中理化科實習教師物理教學能力的內涵與其評鑑之研究。科學教育學刊，5(4)，1-30。
23. 黃俊儒（2016）。臺灣的公眾科技溝通。載於邱美虹（編），臺灣科學教育研究與實踐：挑戰與機會（頁359-384）。台北：高教出版社。
24. 黃湘武、邱韻如、莊福泰（1995）。我國學生水平面及空間概念成長之研究，科學教育學刊，3(2)，167-188。
25. 黃寶鈿、陳世雄（1993）。從重量守恆推理能力探究學生對物質變化的錯誤概念。師大學報，38，175-201。
26. 楊冠政（1976）。開拓科學教育的新境界(發刊詞)。科學教育月刊，1，4-5。
27. 劉俊庚、邱美虹（2012）。我國百年國中科學課程發展回顧與展望。科學教育月刊，347，2-20。
28. 劉嘉茹、黃琴扉（2016）。創新科學教育神經學：結合腦波與科學教育研究之策略。載於邱美虹（編），臺灣科學教育研究與實踐：挑戰與機會（頁301-320）。台北：高教出版社。
29. 鄭湧涇（2005）。我國科學教育改革的回顧與展望。科學教育月刊，284，2-22。
30. 顏妙璇、楊芳瑩（2016）。眼球追蹤技術在科學教育中的方法與應用。出自邱美虹（編），臺灣科學教育研究與實踐：挑戰與機會（頁321-357）。台北：高教出版社。
31. 魏明通（1979）。科學資賦優異兒童的科學教育。科學教育月刊，32，38-42。

邱美虹

國立臺灣師範大學科學教育研究所教授