

科學教育研究的進展、困境與挑戰

郭重吉

國立彰化師範大學 物理系

(投稿日期：民國 101 年 05 月 14 日，修訂日期：101 年 06 月 12 日，接受日期：101 年 06 月 12 日)

摘要：物理教育的推展，不但涉及學校中老師和學生的教學互動、課程與教材的發展、以及考試和升學等實務工作，更涉及到物理教育研究、整體教育制度和國家教育政策等不同層面的問題。在這種整體的考量之下，物理教育研究自然而然就是推展物理教育的重要一環。普遍而言，物理教育研究和科學教育研究，乃至於包含範圍更為廣泛的教育研究，在研究主題、研究方法和理論基礎等方面，有許多共通或類似之處。基於科學教育研究已是發展相當完整的領域，而且在中小學學校教育中，物理是自然科學的一部分，兩者的教育目標和教學方法一致，因此在本文中將先藉由介紹國內外科學教育研究的進展，其次從個人從事科學教育研究的經驗，檢視當前科學教育研究的困境與挑戰，期盼作為探討國內發展物理教育研究未來發展的參考。

關鍵詞：方法、目標、理念、物理教育研究、科學教育

壹、前言

自 1960 年代在美國掀起的科學課程改革開始，世界各科技先進國家莫不大力投注於科學教育的推展和研究。在台灣，有關中小學和大學階段科學教育的研究，約從 1970 年代開始，即受到學術機構和政府單位的重視，陸續有學者投入教科書的研發、教學與評量的改進，以及實驗設計和教學媒體的發展等方面的工作，其中有關物理的部份，自然是與化學、生物、地科或數學等，受到同

樣的關注。從學科的特性來看，物理教育和其他自然學科的教育確存有重要差別，但是從研究的議題、研究的方法、研究的理論基礎而言，物理教育研究和科學教育研究之間仍是關係密切，可以相輔相成。

貳、科學教育研究的進展

近數十年來，科學教育的實務、研究和理論，深受科學史、科學哲學、認知心理學、教育社會學、質的研究法、心理計量理論與

技術以及網路資訊科技的發展，而有長足的進展(Abell & Lederman, 2007; Fraser, Tobin, & McRobbie, 2012)。以 Fraser, Tobin 與 McRobbie (2012) 這本專書為例，編者從全球科學教育社群邀請超過 100 位的一流學者，共同撰寫 96 篇文章，其中主要內容係繼該書第一版本(Fraser & Tobin, 1998) 之後將科學教育研究領域最新近的進展加以彙整。該書內容包括當前科教研究 11 個主要的議題：社會文化視角與城市教育；學習和概念的改變；師資培育與專業發展；平等和社會公正；評估和評鑑；課程與改革；論證與科學的本質；校外學習；學習環境；素養和語言；和研究方法。撰寫各章內容的科學教育學者從不同的觀點和嚴謹的研究方法，突顯我們目前在某一特定領域所擁有的知識，指出未來有待努力的方向，並且說明對政策與實務可能的影響與啓示。

另一方面，在美國有一個非官方的學術研究組織The National Academies，其設立宗旨在於提供聯邦政府在有關科學和科技事務上面的建議，其屬下包括：The Academy of Sciences, The National Academy of Engineering, The Institute of Medicine, 以及 The National Research Council. 在最近十餘年來，National Research Council 幾度成立研究小組針對當前科學教育研究的進展進行深入的探討，並陸續發表一系列的研究報告。Bransford, Brown 與 Cocking (National Research Council, 2000)編著的*How People Learn* 這本專書中指出，有關學習的最新科學研究的特徵之一，是強調以理解為目標的學習(learning with understanding)，也就是將研究的焦點放在認知的過程。他們強調可以將人視為目標導向的行為者(goal-directed agents)，自己會主動追求資訊。學生進入正式教育體系時，本身已經具備一些先前的知

識、技能、信念和概念，學生注意環境的哪方面，如何組織和解讀這些資訊，都深受其影響。這也就影響他們記憶、推理、解決問題和求取新知的能力。該書也提及，近代學習理論的一項基本宗旨是，不同的學習目標，需要不同的教學方法來配合；至於新的教育目標，需要在學習機會上有所改變。設計學習環境，則與在學習、轉化和能力表現的過程中特別重要的一些議題有關。而這些過程則深受學習環境是否以學生導向、知識導向、評量導向和社群導向的程度影響。以學習者為中心的環境強調：有效的教學是從學習者對學習情境所帶來的原有知識開始；這包括文化實踐和信念，以及對於教材內容的知識。以知識為中心的環境所注重的是：思考和解決問題能力需要容易提取和適當加以運用的知識。而支持學習的評量方面則強調形成性的評量，提供機會讓學生修正和改進他們思考和瞭解的品質，以及評量必須和學習目標相互呼應。至於以社群為中心的環境則強調學生在家、社區活動中心、和課外的俱樂部的活動，都可對學生的學術成就有重要作用。

以National Research Council (2000) *How People Learn* 這本書為基礎，針對自然科學的教與學，Bransford 與 Donovan特別指出下列三個原則(National Research Council, 2005)：

一、先前概念(Preconceptions)

學生對世界究係如何運作有一些原先就有的體認、看法和構想，而他們是帶著這些來到教室的。老師在進行教學時，如果未用到學生原先就知道的，則他們可能無法掌握老師所教的新概念和資訊，或是，他們可能為考試而學習，但是在教室以外的情境時

則又回到他們原有的想法。

二、科學學習乃是探究的過程(To learn science as a process of inquiry)

學生探究能力的培養有賴：對於基本事實知識的充分了解、在一個概念架構的脈絡中對於事實和想法的理解、以及以有利於擷取和應用的方式來組織知識。

三、後設認知(Metacognition)

採用強調後設認知的教學方式，有助於幫助學生經由設定自己的學習目標而學會如何控制自己的學習，並監測自己在達成目標上的進展。

National Research Council (2007) 的一本專書 *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8*。該書包括四大部分，第一部分首先回顧美國中小學科學教育的過去與現況，接著介紹當代學者對科學、科學教育、科學學習和科學教學的一些較具共通性的看法。第一部分隨即針對中小學科學教育的目標，指出以往的研究經常把精熟科學的知能(proficiency in science) 視為分離，主要包括科學知識和科學方法，但該書作者主張其實理解科學是多方面的；當今的研究顯示，學生對某方面科學知能的獲得，是與在其它方面的知能密切相關(例如，一個學生對於熟悉的領域會有較好的推理能力)。因此，該書強調學生的科學知能包括底下所述彼此纏繞在一起的精熟科學的四股知能(strands of proficiency in science)，而這也代表著比較寬廣的科學學習目標：

1. 知道、使用與詮釋對自然界的科學的解釋；
2. 提出並且評鑑科學的證據和解釋；
3. 理解科學知識的本質和發展；並且
4. 積極而有成效的參與科學實務和對話方面

的活動。

National Research Council (2007)的第二和第三部分進一步詳細探討學生如何學習科學以及學生的學習科學應該要受到哪些支持。對於科學教學方面，該書認為孩子對自然界豐富但純真的了解，是發展他們科學概念的基礎。孩子的經驗隨他們文化、語言、和經濟背景而變。這樣的差別，意味著學生到達教室時，是帶有不同程度的科學知識，並且對科學實踐的規範也有不同的反應。教師需要對這些文化和其他背景的差別具有適當的敏感性，以及根據這些差別調整教學的意願與技能(National Research Council, 2007)。在該書中也認為學生知識的發展和推理能力，是構成做科學(doing science)的活動整體的一部份。這些活動包括進行探究；與同儕分享想法；特定模式的交談和寫作；以機械、數學和電腦為基礎來建立模型；以及對現象發展出適當的表徵。在科學方面要發展精熟的學習，學生必須有機會參加這整個範圍的活動。高品質的教學應該促進一個體認，亦即科學乃是一個建立和改進知識與理解的過程。學生應該在產生研究問題、設計解答的方法、處理數據分析、並且辯論可能的詮釋，擁有適當的經驗(National Research Council, 2007)。

基於上述研究的發現，在 National Research Council (2007)的書中強調對 K-8 學校的科學教育需要一個新的觀點。它應該建立在由過去 30 年在認知和發展心理學以及科學教育方面的研究，對孩童如何學習科學所提供的新洞察力和新體認之上。基於這些對學習的洞察力，我們需要在科學教育的標準、課程、教學和評量方面做一些改變，讓他們是環繞著精熟科學的 4 股知能組織而成，並且用逐漸增長的方式，讓學生跨越 K-8 年級建立起科學的核心概念或想法。有

關標準、課程、評量、教學和教師專業發展的構想、設計和實施，應該被當作一個彼此符合相互一致的系統來進行。在這觀點下，標準和課程應該對透過縱貫 K-8 (幼稚園到 8 年級) 學校教育持續的教學而得以實現的重要的科學想法和實踐，訂定明確具體而前後一致的目標。評量應該針對學生逐漸形成的新的想法為教師和學生提供及時的回饋，以便支援教師改進教學的努力。師資培育和專業發展應該集中於發展教師在下列方面的知識：所任教的科學、學生怎樣學習科學、以及一些特定方法和科技以支援為所有學生學習科學。該書也在第四部份進一步對科學教育政策和實務提出具體建議。

有鑒於科學教育的推展是在和學校教育密切相關的整個系統中進行，為了落實 National Research Council (2007) 的書中強調的構想和主張，除了科教學者行政主管和政策制定者之外，還有更多的科學教育實務工作者、教師、家長等，需要對於該書強調的資訊、理念和建議有充分的瞭解，因此另外又由 Michaels, Shouse 與 Schweingruber (2008) 撰寫一本專書，名為 *Ready, Set, Science! Putting Research to Work in K-8 Science Classrooms*，其中包括一些個案研究，說明如何把 National Research Council (2007) 書中強調的理念在教室中予以實踐。

繼此之後，National Research Council (2012) 新近完成的另外一項重要研究報告是 *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*，這是作為推動另一波新的科教課程革新的藍圖，它本身還不是中小學科學課程的標準，但卻是進一步朝此方向繼續發展的基礎。作為中小學科學教育的參考架構，本報告的首要目標是確保所有學生在 12 年級(高三)結束時，能對適度欣賞科學的美妙、具備

足夠的科學和工程知識能參與相關公共問題的討論、成為與日常生活相關的科學和技術資訊的細心的消費者、能夠在學校之外繼續學習科學、並且具備合適技能能夠勝任他們在科學、工程和科技(乃至於其他行業)所選擇的職業生涯。基於晚近科學教育研究的成果，編撰該書的委員們認為，K-12 的科學和工程教育應把重點放在跨學科的一些重要概念和各學科有限數量的核心概念，而課程的設計要讓學生在不同的年級能夠繼續建立和修改他們的知識與能力，並且經由學生從事科學探究和工程設計所需的一些實務來支援這些知識與能力的整合。因此該委員會建議 K-12 年級的科學教育應包括底下三個主要向度：科學和工程實務；整合科學和工程的學習而可以跨越學科領域加以應用的跨學科的概念；和在下列四個學科領域的核心理念：物質科學；生命科學；地球和太空科學；工程、科技術和科學的應用。

以上主要是以課程發展為例，介紹晚近科學教育研究成果的影響與應用。由於篇幅的關係，其他有關評量、師資培育和科技融入教學等方面類似的進展，無法逐一說明。

參、科學教育研究的困境與挑戰

科學教育研究成果不但對制定政策和課程改革有所助益，對於提升國民科學素養和培育科技以人才方面也有實質上的貢獻，但是和一般教育研究一樣，長久以來不乏有民眾、學者和政策制定者，對於研究結果是否肯定、具體、有助於教學實務的改進，提出質疑。科學教育的研究成果和理論，也常被教學現場的教師和行政主管視為天馬行空，與現實脫節。面對這些值得正視的批評，近年來，有許多教育學者和科學教育學者，從不同的角度來加以檢討並設法提出改進之

道。底下對於這方面的議題，分別從理念、目標和方法的角度加以介紹。

以往許多教育(含科學教育)研究的主題，主要關心的問題是諸如：老師用什麼樣的教法、什麼樣的教材或媒體、或是學生在什麼樣的環境之下，教學的成效最好，理由為何？從教育研究的理念而言，類似上述研究的進行，大體說來，是如同在進行自然科學的研究一樣，由研究者(多半是大學教授或碩、博士生)選擇特定的研究問題和具有代表性的研究對象，然後利用一套公開、可靠的方法(例如操縱變因和控制變因)，對現象加以觀察並蒐集相關數據，期能對研究問題作深入的了解，找出變因之間的關聯或因果關係，進而提出可以解釋現象或解決問題的機制，建立可以普遍適用的理論。大部分研究者會將研究成果，撰寫成論文公開發表在具有審查制度的期刊，或是碩、博士論文和相關研究報告，一方面提供師資培育機構在職前教育階段教學或實習課程中參考使用，另一方面也期望現場教學的老師、教科書的編撰者和其他關心教育問題的專家學者，可以用來幫助解決和教學實務相關的問題。在1990年代前，類似上述描述的研究，在科學教育的領域中蔚為主流，而其影響所及迄今仍繼續存在。不過，越來越多的科教學者體認到教育工作和教學過程是在一個很複雜且持續變化的情境和歷史脈絡中進行，很多內在、外在的因素，彼此糾纏交相影響著學校和教室中師生的互動和教學成效。這也正是近二十多年來，質性研究或是質量並重的研究，在科學教育研究中越來越受重視的原因。質性研究強調對於個案在特殊情境下問題的深入了解與描述，固然能補足定量研究在這方面的不足，但對於教育問題的廣泛了解卻是有所侷限，這方面的問題對於科學教育研究所帶來的挑戰和因應之道，在底下還

會提到。

面對理論(研究)和實務脫節的難題，一個可以採行的方式是：由一個成員中包括兼具理論背景和實務經驗的專家學者(例如，進修或取得碩、博士學位的資深中小學教師)的編撰小組，來規畫編輯專書，把科學教育學者的研究成果和理論知識加以改寫，盡量補充舉例說明，轉換成教師們易懂且容易實際運用的方式，猶如前述 Michaels, Shouse 與 Schweingruber (2008) 把 National Research Council (2007) *Taking Science to School* 一書改寫成 *Ready, Set, Science! Putting Research to Work in K-8 Science Classrooms* 一樣，這種處理方式其實行之已久，而且也不難想像，若能配合加上一些在職進修或研討會等活動，成效或許會更好。近十餘年來，另外一個比較不同的思考方向，也越來越受重視，即是有學者們認為中小學教師們為了完成教學任務所需要的專業知識，主要的是和教學情境和教學實務相關的知識(*practical knowledge*)，而非以往師資培育的模式中，教育學者提供給職前教師，而希望在其成為教師時能加以實際加以運用的理論知識(*theoretical knowledge*，例如，認知心理學、科學哲學、社會學等等)。而對於教師們所需要的實務知識為何？誰知之最深？這些學者們的主張是應該就是從事師資培育工作的教育學者以及教師們本身。換句話說，如果教育研究(含科學教育研究)的研究目的是要發掘和建立教師所需要的實務知識，而非企圖普遍適用的理論知識，則原先存在的理論(研究)和實務脫節的難題，自然而然消失不見。American Educational Research Association [AERA] 會員中就有一個小組致力於這方面的研究，並出版一系列的專書強調這方面研究的知識論的基礎和相關的研究方法論，而在英國、澳洲等國家，

也把鼓勵和培育教師使其具有對自己的教學實務進行研究的專業能力(Dana & Yendol-Hoppey, 2009; Pinnegar & Hamilton, 2009; Schulz, 2010)。這方面的動態發展值得我們參考,當然,師資培育制度要如何改革,期能在教師的養成過程中,兼顧上述理論知識和實務知識,使其能相輔相成,為教師的專業成長和教學成效,以及學生的學習帶來更佳成果,仍是後續需要面對的挑戰。

上述有關(科學)教育研究理念的討論,已經指出未來對於教育研究在目標上可以考慮的方向,包括:更多考慮到師生特性和實際教學情境的個案研究、讓更多教師和師資培育者對於自己的教學實務進行研究。這方面的研究目標仍是比較侷限在學校和教室情境中教學方法和教學成效的提升,從系統化的角度來探討科學教育的問題,則科學教育研究的目標和主題,其實還有更大探索的空間,例如高中物理課程大綱的訂定、職前物理教師的甄選和養成等等。此外,和政策相關的議題,其實也還很缺乏有明確、可靠的研究成果,可供參考。當然,隨著研究理念和研究目標的改變,在研究方法上也勢必要配合調整。

針對個別的研究而言,以往在研究設計、資料處理與分析、研究工具和數據蒐集設備等各方面,不管是定性、定量或質量並重的研究,在研究法上皆有規則可循,比較欠缺的是對於現有文獻做更為深入的回顧與評析,以及對於共通研究問題的諸多研究(包括定性和定量研究),設法將其成果加以系統化的綜合或回顧(systematic synthesis or review),在這方面,除了定量的研究的後設分析(meta-analysis)有既定的方法之外,其餘仍是往後有待努力的方向。此外,針對相同的主題,有系統的規劃與進行整合型的研究,讓許多子計畫從不同角度切入進行探

究,期能對主要的研究問題有更為全面而深入的了解,這在經費、時間和人力資源的考量之下,應是為了解決重大的科學教育問題,可以採行的方法。當然,這在政策上牽涉到研究問題的優先順序和資源分配等問題,要經過什麼樣的機制才能做出明智的抉擇,是另外一項挑戰。

肆、結語

面對當前快速變遷的科技社會,提升國民科學素養已經普遍被列為世界各國教育重要目標之一,透過科學教育,學習者得以理解所處的自然環境,追求更美好的生活與未來,就國家社會而言,成功的科技教育養成優秀科技研究與相關從業人才,奠定國家經濟與競爭力的基礎,而成熟之民主社會也有賴於普遍具備科技基本素養、理性思考、善於溝通合作、不斷自我學習與面對科學相關社會議題作明智決定的公民,方得以實踐。

二十一世紀的來臨,宣示人類進入所謂「知識社會」,我們面對的是一個更複雜、變遷快速的世代,人類除面對石化燃料的逐漸匱乏、溫室效應等所引發的環境與生態危機,全球化也逐漸成為驅動社會變遷的重要力量。然而,在另一方面,地區化、本土化的呼聲亦不絕於耳。在科學教育領域,早期由美國所啟動新科學課程改革運動,曾被引介到世界各地,然而後續的研究卻發現,科學知識的傳播或許是跨地區、跨文化,但科學教育面對的是人,科學教育過程與成果深受到當地文化與學生所處自然社會文化所影響。近年來,在建構主義的風潮影響下,對於學習者科學知識的概念建構、改變歷程、與影響因素有更深入的理解,並肯定學習者所在區域文化、個人特性與影響因素的複雜性,在全球化浪潮下,正視科學學習本土化

研究有其必要性。同樣道理，雖然跨學科之間的聯繫與整合很重要，但學科特殊性的影響卻也不容忽略。因此，有關物理教育和物理教育研究的推展，在國內仍有很大的發展空間，值得大家共同朝此方向一起努力。

參考文獻

1. Abell, S. K. & Lederman, N. G. (Eds.). (2007). *Handbook of research on science education*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
2. Carnegie Corporation of New York and Institute for Advanced Study (2009). *The opportunity equation: Transforming mathematics and science education for citizenship and the global economy*. Retrieved Sept. 21, 2009 from <http://www.opportunityequation.org/>
3. Dana, N. F. & Yendol-Hoppey, D. (2009). *Teacher Inquiry Defined*. Chapter 1. In *The Reflective Educator's Guide to Classroom Research: Learning to Teach and Teaching to Learn Through Practitioner Inquiry*. [Paperback] Second Edition. Corwin. Retrieved April 30, 2012 from http://www.sagepub.com/upm-data/7119_dana_ch_1.pdf
4. Fraser, B. & Tobin, K. G. (Eds.). (1998). *International handbook of science education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
5. Fraser, B. J., Tobin, K. & McRobbie, C. J. (Eds.). (2012). *Second international handbook of science education*. Springer. Retrieved April 30, 2012 from <http://www.springerlink.com/content/978-1-4020-9041-7#section=1002231&page=1>
6. Michaels, S., Shouse, A. W., & Schweingruber, H. A. (2008). *Ready, set, science! Putting research to work in k-8 science classrooms*. Board on Science Education, Center for Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.
7. National Research Council. (2000). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. Bransford, J. D., Brown, A. L., and Cocking, R. R. (eds.). Washington, DC: National Academy Press. Also available at <http://books.nap.edu/catalog/6160.html>.
8. National Research Council. (2005). *How students learn: History, mathematics, and science in the classroom*. Committee on How People Learn, A Targeted Report for Teachers, M. S. Donovan and J. D. Bransford, Editors. Division of Behavioral and Social Science and Education. Washington, DC: The National Academies Press.
9. National Research Council. (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades k-8*. Committee on Science Learning, Kindergarten Through Eighth Grade. Richard A. D., Heidi A. S., and Andrew W. S., (eds.). Board on Science Education, Center for Education. Division of Behavioral and Social Science and Education. Washington, DC: National Academy Press. (Free Executive Summary available online at <http://www.nap.edu/catalog/11625.html>).
10. National Research Council. (2012). *A*

framework for k-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press. (http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=13165&page=1)

11. Pinnegar, S. & Hamilton, M. L. (2009.). *Self-Study of Practice as a Genre of Qualitative Research--Theory, Methodology, and Practice.* Springer.
12. Schulz, R. (2010). *Inquiry-Oriented Teacher Education.* In B. McGaw, E. Baker, & P. Peterson (Editors-in-Chief), *International Encyclopedia of Education Eight-Volume Set.* Elsevier Ltd.

Progress, Predicament and Challenges of Research in Science Education

Chorng-Jee Guo

National Changhua University of Education

Abstract

The implementation of physics education involves a range of practices including the interactions of teachers and students at schools, the development of curriculum and teaching materials, and examination and entrance to schools at a higher level. In addition, it also involves important factors such as physics education research, the whole education system and national education policies. Apparently, physics education research plays an important role in the promotion of physics education. Generally speaking, there are many things in common between research efforts in physics education and science education, in terms of research topics, research methods, and theoretical perspectives. While physics education research is still a relatively young field of study, research in science education is well-established. In addition, especially at the K-12 school levels, physics is part of the subject matters in science, having aligned educational goals and pedagogy. Therefore, the author intends to introduce recent progress in science education research at first, and then to examine the predicaments and challenges of research in science education, based on personal experiences in the field of science education research. Hopefully, the discussions in this article will be referential for exploring the future development of physics education research in Taiwan.

Key words: method, goal, rationale, physics education research, science education

