



Asia-Pacific Forum on

Science Learning and Teaching

亞太科學教育論壇

亞太科學教育論壇, 第十一期, 第一冊

中文前言

科學師資培育的理論觀點

郭重吉

彰化師範大學 講座教授

台灣 500 彰化市

電郵: pfcjguo@cc.ncue.edu.tw

內容

- [中文摘要](#)
- [前言](#)
- [當代科教學者對科學教育的理論觀點](#)
- [當代學者對師資培育的理論觀點](#)
- [針對教師學習教學的歷程](#)
- [結語](#)
- [參考文獻](#)

中文摘要

科學師資培育是科學教育體系中的重要一環，目前在科學教育的領域中，尚缺乏合適的理論可以對科學教學和師資培育所涉及錯綜複雜的現象和問題，做整體而有系統的描述、解釋，或是對政策和實務提供有效的指導。本文旨在整理晚近學者對於科學師資培育的一些理論觀點，以供實務工作和未來研究之參考。首先，綜述當代科教學者對科學教育目標、科學教學、評量和師資培育的理論觀點，這些觀點是以近數十年來有關學生對科學學習的相關研究為基礎，進而形成科學教育的目標和科學教學、評量、師資培育的原理。其次，分別從師資培育的目的與功能、教師應具備的條件和教師學習教學的歷程等三方面，簡要評述當代學者的理論觀點。最後，在結語中指出以往科技理性、專業技能導向的師資培育方式的限制，並建議對於科學師資培育的實務和研究，宜綜合各個不同的理論觀點，針對不同的目標、情境、人員和其它資源，合理的加以考慮。至於未來研究的方向，則宜繼續加強理論和實務之間的連結，例如，如何讓教師們更能夠



了解和科學教學相關的理論知識和研究成果，而能在教學情境中善加運用；以及如何從科學教師在教學情境中的教學實務，引出更有利教學成效的研究問題，並導致教師教學實務理論的建立。

關鍵字： 科學教育、科學師資培育、教師專業素質、教師學習教學

前言

面臨二十一世紀知識經濟和科技資訊社會的來臨，近一、二十年來許多先進國家都在中小學的學校教育，尤其是科學教育方面，持續規劃與推動一些重大革新措施。以美國為例，在 National Research Council(1996)出版國家科學教育標準之後，對於科學課程、教學、評量乃至於師資培育方面，陸續展開一系列的研究與改進措施。針對科學師資培育，National Research Council(2000) 在一份有關培育新世紀科學、數學和科技教師的研究報告中，綜合回顧相關文獻並參酌時局變化和國家需求，對於科學、數學和科技師資培育，提出下列六項指導原則：

1. 改進師資培育和科學、數學和科技的教學應優先列為國家頭等大事。
2. 科學、數學和科技的師資培育必須成爲一個長期職業生涯的過程。教師智力的成長以及知識和技能的提升，是高品質教師專業發展計畫所應該達成，而且也是所有教師職業生涯中最基本的特徵。
3. 通過對教師的期望以及獎勵和激勵方式的改變，教學的專業在地位和聲譽上應該被提升到和其它專業相同的水準。
4. 從個別和集體的層面，二年制及四年制的高等學校，必須對師資培育的改進擔負更大的責任。
5. 爲了面對這些議題，中小學和大學中的教職員、行政人員，決策者，父母和私營機構，彼此之間集體而整合的努力，是極爲必要的。
6. 更多的科學家、數學家 and 工程師必須有足夠的資訊，以便積極參與在地方和國家層級上，爲當前和未來的教師提供適當的學科內容知識和教學方法上所做的努力。

Carnegie Corporation of New York 和 Institute for Advanced Study 共同組成的一個委員會，在 2009 年六月間提出了一份研究報告，名爲 The Opportunity Equation: Transforming Mathematics and Science Education for Citizenship and the Global Economy (Carnegie Corporation of New York and Institute for Advanced Study, 2009)。在該報告書中強烈主張爲了使美國人民能應付未來的需求，教育體系必須要大幅改變，例如，把中小學的教育目標提昇到所有學生皆有進入大學就讀或順利就業的能力、以數理教育爲核心推動中小學教育革新來培養學生 21 世紀的素養、強調重要核心數理概念重新訂定課程標準。



有關上述報告書中的一些建議，其實在先前即已積極規劃或進行，例如在 National Research Council (2007) 的研究報告對於中小學自然學科教學的革新，有詳細的討論與建議；NSTA 與 Partnership for 21st Century Skills 於 2009 年六月底發表對於在科學課程中如何融入 21 世紀的技能的藍圖 (http://science.nsta.org/nstaexpress/nstaexpress_2009_06_29.htm#1)。另外，NSTA 在 2009 年八月初也報導歐巴馬政府推名為 Race to the Top 的一項新的計畫 (http://science.nsta.org/nstaexpress/nstaexpress_2009_08_03_legupdate.htm)，預計投入美金 43 億用以鼓勵及獎賞各州針對下列四個“保證”的領域實施重大教育改革：標準和評量的實施、提高教師的有效性和達成老師分佈的公平性、提高資料的收集和使用、和支援必須努力掙扎才能生存的學校。此項計畫的經費補助是競爭性的，而且是以數理、科技和工程等學科優先。

以上以美國在科學教育和科學師資培育方面的新近的一些改革為例，可見科學師資培育是科學教育體系中的重要一環，科學師資培育的問題不但涉及政策、理論、研究與實務的層面，科學師資培育工作的進行與成效更受到組織、人員、制度、法令、經費、社會需求等等諸多變數的影響。尤其是有關科學的教學，到底老師要教什麼、怎麼教、學生怎麼學、學習成果如何，以及老師如何學習教學、如何協助老師教得更好等等，這些問題更是受到老師和學生的知識、能力、生活經驗、動機、目的、態度、信念、情境等等因素的影響。目前，在科學教育的領域中，尚缺乏一套完整的理論，可以對科學教學和師資培育所涉及錯綜複雜的現象和問題，做整體而有系統的描述、解釋，或是對政策和實務提供處方性的指導。因此，要針對國情、社會需求和師生的特性等等因素，有系統的探討科學師資培育的重要議題，也就成爲一項值得關切和回應的挑戰。本文的旨趣之所在，即是整理晚近學者對於科學師資培育的一些理論觀點，以供實務工作和未來研究之參考。

當代科教學者對科學教育的理論觀點

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。Bransford, Brown, 與 Cocking 編著的 How People Learn (National Research Council, 2000) 這本專書中指出，有關學習的最新科學研究的特徵之一，是強調經由理解而進行學習 (learning with understanding)，也就是將焦點放在認知的過程。他們強調可以將人視爲目標導向的行爲者(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，學生注意環境的哪些方面，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(NRC, 2000)。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，則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 (National Research Council, 2000)。



1. 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。
2. 以知識為中心的環境：注重的是思考和解決問題能力需要容易提取和加以適當運用的知識。
3. 支持學習的評量：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理解的品質，以及評量必須和學習目標相互呼應。
4. 以社群為中心的環境：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產生重要的影響。

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

1. 學生對於自然界究竟是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。教師在進行教學時，如果未能使用學生原先就知道的，則學生可能無法掌握教師所教的新概念和資訊，或是，學生可能為考試而學習，一旦在教室以外的情境時，則又回到他們原有的想法。

2. 學生探究能力的培養有賴：

- (1) 對於基本事實知識的充分了解。
- (2) 對於事實和想法的理解，是在一個概念架構的脈絡中進行。
- (3) 以有利於擷取和應用的方式，來組織知識。

3. 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。

針對中小學科學教育的目標，National Research Council (2007)在 *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8* 的專書，指出以往的研究經常把精熟科學的知能和表現(Proficiency in Science)視為由彼此獨立的知識和能力組成，但其實理解科學是多方面的。當今的研究顯示，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，一個人在熟悉的領域會有較好的推理能力)。因此，該書中強調當前中小學比較寬廣的科學學習目標，應包括下述彼此纏繞在一起的精熟科學的四股知能和表現：

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；
4. 積極而有成效的參與科學實務(scientific practices，或譯為科學實踐)和對話方面的活動。



在 National Research Council (2007)的書中強調對幼稚園到八年級學生的科學教育，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的體認之上。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四股知能和表現組織而成，並且用逐漸增長的方式，讓學生跨越幼稚園到八年級建立起科學核心概念或想法。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。

針對中小學學生科學認知與學習的評量的發展趨勢，近年來亦有許多專書分別從評量的角色與功能、評量的目的與類型、評量的原理和科學學習評量的研究等方面加以探討。從系統化的教育改革的角度而言，在國家科學教育標準(National Research Council, 1996)描述的願景中，指出評量是在科學教育系統上面的一個主要回饋機制。例如，對學生而言，評量的數據可提供關於他們達成教師和父母預期的回饋；對教師提供關於學生學習情形的回饋；對整個學區提供教師和學程的有效性的回饋，而對決策者則提供政策運作情形的回饋。回饋將刺激在政策上的變化並導致在科學教育系統的改變，引導教師專業發展，並且鼓勵學生改進他們對科學的理解。National Research Council (2006)在 Systems for State Science Assessment 一書中報導，他們組成了一個科學學習成就測驗設計委員會，邀集許多知名專家學者一起研究，強調以系統的取向來進行有關評量方面的設計、發展與實施。圖 1 所示為科學教育系統的示意圖(National Research Council, 2006)。

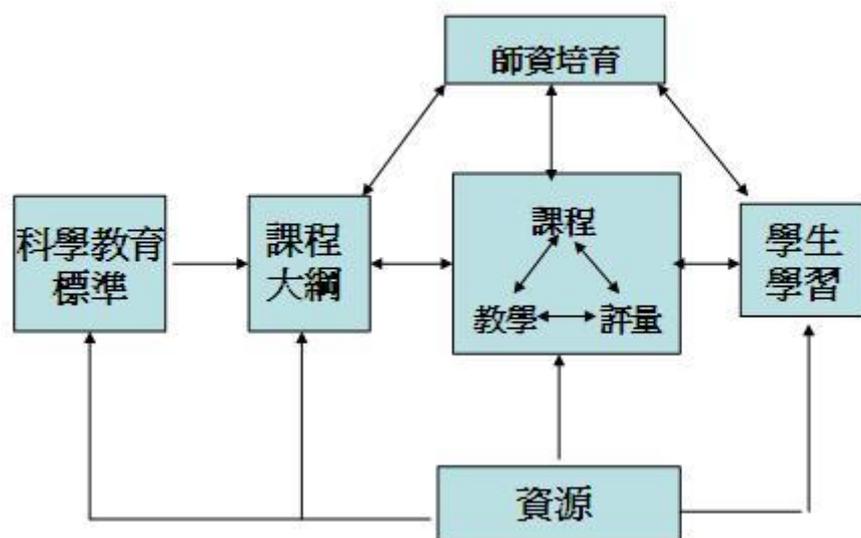


圖 1：科學教育系統示意圖 (譯自 National Research Council, 2006)

綜合上述文獻，晚近科學教育學者和學術團體，對於科學師資培育的目標，可以歸納為：科學師資機構應提供教師發展知識、技能與教學方略(teaching approaches)的機會，使其



能夠為學生創造更佳的學習機會。這方面的重點包括：提供教師深入了解數理概念和教學法的學習機會；加強教師的學科教學知識(PCK)—了解學生的學習歷程和困難，並且具有能夠在教材和教法上面加以因應的知識；以及增進教師在選取教材內容、設計與實施課程、營造教室學習氛圍方面的能力。

當代學者對師資培育的理論觀點

(一)、針對師資培育的目的與功能

Doyle(1990)指出師資培育的目標與功能，常反映在職前老師應該如何培養的問題上，並綜合 Zeichner 和 Joyce 的分析，提出師資培育計畫的五種派典：

- (1) 優秀的雇員：老師是一位執行者，能有效地處理學校的事務
- (2) 資淺的教授：老師要有豐富的學科知識。
- (3) 全方位的人：老師除了學科知識之外，關於人類發展、個人理解等也是師資培育的核心。
- (4) 改革者：培育新老師主要是為了推動新的教育改革。
- (5) 有反省能力的專業人員：如進行研究般，培養老師具有對自己的教學透過觀察、收集資料、詮釋、判斷等反思能力。

Feiman-Nemser(1990)綜合相關文獻，認為師資培育概念取向(Conceptual Orientations)，亦即對於師資培育的目的和方法的一些基本觀念，可以略分為下列五大類：

1. 學術(Academic)：強調知識的傳遞，培養學生的理解
2. 實務(Practical)：強調教學的技藝層面和教室的學習經驗
3. 技術(Technological)：利用有效教學研究的結果，培養精熟教學技能的教師
4. 個人(Personal)：在師資培育過程強調教師乃是學生的觀點
5. 批判/社會(Critical/Social)：師資培育的目的在使老師能夠改變社會；消除社會不公正，在教室裡倡導民主價值，培養學生以小組的方式來問題處理。

(二)、針對教師應具備的專業素質

Doyle(1990)的文章對這方面的議題有相當詳盡的回顧與探討。Doyle(1990)指出，如何確保師資培育計畫的品質和教師教學的有效性，是師資培育者經常關切的核心問題，而這樣的議題從早期關切教師專業地位的提升，到教學品質的管控，延伸到後續有關教師的教學行為、教學表現和教學成效，同時也從早先比較關切教師的專業知識，延伸到包括教師的信念、思考、反省和教師的教學實務以及學生的學習成果，茲將該文重點整理如下。



1. 專業技術與知識基礎

在 Doyle 的文章中指出，早期對於教師應該具備什麼樣的知識與技能，傾向於一種所謂技術理性的模式，藉由有關教學和師資培育的研究，對於教學的技術尋找有效性的實用指標，好讓行政主管能夠控制學校教育的品質。能力本位師資培育(competence-based teacher education)所強調要培訓教師一長串的專業知能，即是來自於 1970 年代以降，許多所謂的過程—成果研究(process-product research)的結果，這些多半是利用相關性研究或是實驗研究的方式，探討在師資培育和教學過程中，究竟哪些變項會和預期的學習成果有關或是具有因果關係。這種注重專業技術與知識基礎(knowledge base)導向的師資培育，把早期教育專業化的議題聚焦在品質、有效性、地位與控制，強調教師教學技能的直接訓練和普遍化、通則化教學知識的傳授。然而，這些技能和知識必須在相似情境脈絡與場合才能被使用。

2. 個人實務知識

Doyle(1990)指出，大致上從 1980 年開始，有越來越大的反對聲浪在對抗上述這種控制教師的技術理性的觀點。其中，最強而有力的批判來自強調教師個人實務知識(personal practical knowledge)的觀點，強調個人意義、洞悉力和創意在教學和師資培育方面，所扮演的明顯的角色，認為教師的教學實務主要是藝術、直覺、就地靈機一動創造出來的，是深受其個人對教學工作的意義和重要性的獨特的觀感、體認或想法(conception)之影響。這樣的觀點係與建構主義的主張相符，根據建構主義的觀點，教師在特定情境中是利用過去的獨特思想和情感的經驗來建構意義和瞭解，建構觀點強調直接經驗和對於跟隨經驗逐漸調整的知識架構的反省之重要性，教師的學習包括學術技能(academic skill)，學科內容(subject matter)，教學法和課室處理等，都是在社會情境下主動建構而來的。

Doyle(1990)認為極端地主張個人實務知識的論調並不可取，因為這樣勢會排除所有普遍化、通則化的教學知識，並且去除了師資培育研究的角色。傳統師資培育對教學知識和技能的訓練仍是必須的，因為這將提供有利基礎去建造實際案例、模擬、行動研究和反思。個人實務知識與專業技術導向和教學理論之間的整合，使得有越來越多的研究，針對教學實務、內容知識、和實踐知識(teaching practice, content knowledge, enactment knowledge)進行研究。這些研究的重要前提是，有效的教學需要一個特殊化知識結構，以便連結課室行動系統和學科內容。教師應用這些知識結構，來詮釋教學實際情況、確認相關的資訊來源、規劃合適的策略、並且將這些策略在課室中付諸實施。這樣的知識是產出式的(generative)，讓教師得以辨識未曾遇見的事件並創造對問題的新奇的解決方式，這樣的知識是基於特定事件，是極為特殊化和情境化，不再是像以前「提出高層次問題」或「檢測學生的理解」那樣一般性的指標。實務知識需要是以事件來加以組織，且深入詳盡的描述，亦即是以教室經驗的自然單元來敘述，並且是嵌在教室情境的一些特殊細節之中。對教學績效的問題轉變成爲在此情境下教師是否使用合適的知識，而不



再是某項實務表現根據外在準則是否有效。對於未來師資培育研究的方向，Doyle(1990)指出後續對於教師知識的研究應著重於綜合情境脈絡(context)和思考，期能明確顯示一些使我們能獲得理解的規則和常規，目的在於瞭解在課室環境中意義是如何被建構出來的。要進行這樣的分析，必須擁有強而有力的語言同時描述事件和對事件的詮釋。最後，這類研究的目的地不在於產生指標(indicator)，而是在產生有關教師的知識、行動以及在解決教學難題時的判斷所擁到的一些參考架構。

Eryaman(2007)所作的分析和上述 Doyle(1990)的很接近，從知識論的觀點，Eryaman 分別用傳統-技術(traditional-technical)和反思-詮釋(reflective-interpretive)的取向來替代 Doyle 文中有關專業技術與知識基礎、個人實務知識這兩大類。除了檢討分析這方面理論觀點的一些缺點和限制之外，對於現有師資培育和教學的制度和作法，Eryaman 認為還可以朝更多從經濟、美學、科技、認識論、政治、批判、歷史、意識形態等多元的方向來考慮，以加強培養教師的實務和批判智慧(practical and critical wisdom)。

Korthagon (2004)基於長期從事數學師資培育研究，對於一位優秀的教師應該具有的素質，所提出的一些理論觀點，也可以作為一般教師和科學教師的參考。Korthagon 引述相關的文獻，認為一個人的改變涉及由外而內且彼此可能相互影響的許多不同的層次，逐步從最外層的環境、行為、能力、信念、專業認同直到最內層的使命感。這些不同層面也可以視為是檢試教師教學的不同的視角，從不同視角來看，對於一位優秀的教師應該具有的素質會有不同的答案。而針對不同層面的改變，其適用的專業發展的策略也會有所不同。這樣的觀點顯然涵蓋範圍比較周全，而事實上也是該研究團隊在數學師資培育方面長期以來努力的方向。

針對教師學習教學的歷程

Northfield (1998)引述 Farnham-Diggory 的說法，認為將新手造就成專家的有如下三種模式：

1. 行為模式：新手累積某些東西，變得更好，更快，得到更多，然後變成專家。
2. 學徒模式：強調新任教師慢慢適應教育文化，因為所需的是內隱知識並且和情境脈絡(context)密切相依。
3. 發展模式：將學習看成不斷重塑個人信念。教學被看成不斷尋找理解，如果對學校經驗是採取這種模式、隱喻或理論基礎，那麼似乎就有必要和其他貢獻方式(大學校園上課，在職講習，同事互動)強烈連結。

Northfield (1998)認為學徒模式和發展模式似乎更合適說明在職前教育和教師生涯中，學校經驗對於職前教師學習如何教學的貢獻。在師資培育的各個階段中，師資培育者應該與中小學的教學保持更為緊密的連結，從職前教師學習如何教學的歷程獲得新的教育知



識，把發展學術研究與學校經驗之間做更好的銜接。對於上述模式在科學師資培育上的實際應用，可以參見 Koballa 和 Tippins (2001)的簡要說明。

Korthagon, Kessel, and Koster, Lagewerf, & Wubbels (2001)和 Korthagon (2004)基於長期從事數學師資培育研究，指出教師學習教學的成長歷程主要包括三個階段：完形經驗的形成(gestalt formation)、基模的形成(schematization)、和理論的建立 (theory building)，這三者是循序發展，但是藉由反覆的運用和演練，可以把高階的理論轉化成基模的形式來運作，或是把基模轉化成完形經驗的形式來運作。此三階段的特性簡述如下：

1. 完形經驗的形成: 指在某一情境下，經由先前在類似情境下所得經驗而引發的在需求、想法、情感、價值、意義和行動傾向等方面的一個整體的意念、感受或印象。一般而言，完形經驗是在無意識和無特定意圖的狀態下運作。
2. 基模的形成: 當教師爲了想了解或解釋自己在做什麼、爲什麼要那麼樣做，或是試圖和其他人的想法或意見相互比較時，教師是處於對自己的完形經驗加以檢視和反省，這是所謂基模化的過程，由此獲得的基模當應用在一個新的情境時，將會比應用先前的完形經驗，更有可能牽涉到有意識的行動。教師對教學的基模會形成一個有組織、有結構的體系。
3. 理論的建立: 教師教學基模的內容越豐富、結構越複雜時，會覺得有必要對基模的結構提出解釋，說明其中的邏輯，這時就牽涉到理論的建立。除非刻意尋求理論的建立，否則通常教師在教學情境中運用完形經驗或基模即已足夠。

近年，國外在師資培育方案和有關師資培育的研究，越來越多的學者主張中小學跟大學，甚至於科學家、數學家等，在數理教學方面要密切合作，建立一個所謂的專業學習社群(professional learning community)，甚或更制度化的形成所謂的專業發展學校(professional development school)，結合中小學教師跟大學教授，甚至於科學家數學家等，形成一個學習社群，把職前老師、在職老師、碩博士班研究生，還有大學教授等，形成一個團隊，提供參與教師在實際教學情境中學習與成長的機會，並對相關歷程加以觀察、省思和研究，對於從教師教學實務的探究朝向建立一種不同於自然科學典範的教學理論，而能更有利教師學習、省思和成長，以及促進學生學習成效，詳請參見 Vescio, Ross, and Adams (2008)。

結語

師資培育的制度會受到教育、國防、政治、經濟、社會等因素的影響。政府在教育經費的分配、制度的建立、投入的人力和其中資源等，均深深地影響師資培育的走向和成效。當然師資培育的實務和研究也會隨著一些教育的理論、教育思潮而變。

科學師資培育也牽涉到課程、教材、學生、老師和教學情境等問題，例如，到底科學教育的目標是要提升國家科技競爭力，還是培養國民具有適應二十一世紀知識經濟社會的



需求？而學生的學習可以從行為主義、皮亞傑認知發展心理學和建構主義(包括強調科學探究、情境認知、語言、社會文化、多元文化、後現代、複雜系統) 等各種流派來探討，科學的教學不但強調科學知識、技能、態度和實務的統整，也希望學生對科學的本質有所體認，至於科學學習評量方面則要兼顧學生在認知、情意和技能等方面形成性和總結性的學習成果。從這些方面來看，到底一位良好的科學教師應該具備什麼樣的知能？要如何遴選何合適人選並予以適當的培育？而這方面的理論基礎為何？這些都是長久存在且必得面對的問題。

傳統的師資培育措施跨越比較長的時間，對於職前教育階段，以及後面的專業成長期間，種種師資培育措施的成效，到頭來要從師生在實際教學情境的表現和成效來加以評估。師資培育的措施，對後續教師教學表現和學生學習成果的影響，很難確立。此外，學生有其不同的生活經驗和知識背景，而學習成效包含認知、技能和情意等多方面的成果。在老師方面，也有許多相關的因素會影響教學成效，除了師資培育過程中的學習機會、學習過程和學習經驗之外，教師特質(信念、期望、知識、技能、教學風格等)也是重要的因素。在這樣錯綜複雜的情況下，我們不難想像相同的老師、相同的教材、教學方式，對於不同的學生，在不同的學習成果上面很可能產生不同的結果。對師資培育而言，這又是一大挑戰。

以往科技理性、專業技能導向的師資培育方式，顯然有其限制。對於科學師資培育的實務和研究，宜綜合考慮本文從各個不同層面整理出來的理論觀點，針對不同的目標、情境、人員和其它資源，做合理的因應。在科學教學和師資培育方面的研究，有一個重大的挑戰，就是如何經由研究來促進理論和實務之間的連結，包括：如何讓職前和在職教師更能夠了解和科學教學相關的理論知識和研究成果，而能在教學情境中善加運用；以及如何從科學教師在教學情境中的教學實務，引出更有利教學成效的研究問題，並導致教師教學實務理論的建立。

參考文獻

- 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 April 4, 2010, from <http://www.opportunityequation.org/>
- Doyle, W. (1990), Themes in teacher education research, In W. R. Houston (Eds.), *Handbook of research in teacher education*. New York, NY: Macmillan.
- Eryaman, M. Y. (2007). From reflective practice to practical wisdom: Towards a post-foundational teacher education. *International Journal of Progressive Education*, 3(1). 87-107. Retrieved April 4, 2010, from <http://www.inased.org/v3n1/IJPEv3n1.pdf>
- Feiman-Nemser, S. (1990). Teacher preparation: Structural and conceptual alternatives. In W. R. Houston, M. Huberman, & J. Sikula (Eds.), *Handbook of research in teacher education* (pp. 212-233). New York: Macmillan.



- Huchings, P., & Huber, P. (2008). Placing theory in the scholarship of teaching and learning. *Arts and Humanities in Higher Education*, 7(3), 229-244.
- Koballa, Jr. T. R. & Tippins, D. J. (2002). Portraits of professional development models in science teacher education: A synthesis of perspectives and issues. In D. R. Lavoie and W.-M. Roth (Eds.). *Models of science teacher preparation: Theory into practice*. New York: Kluwer Academic Publishers.
- Korthagen, F.A.J., Kessels, J., Koster, B., Lagerwerf, B., & Wubbels, T. (2001). *Linking practice and theory: The pedagogy of realistic teacher education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Korthagon (2004). In search of the essence of a good teacher: Towards a more holistic approach in teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 20(1), p. 77-97.
- National Research Council (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press. Also available via internet at <http://www.nas.edu>
- National Research Council. (2000). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. Bransford, John D., Brown, Ann L., & Cocking, Rodney R. (Eds.). Washington, DC: National Academy Press. Retrieved April 4, 2010, from <http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309070368>
- National Research Council. (2000). *Educating teachers of science, mathematics, and technology: New practices for the new millennium*. Washington, DC: National Academy Press. Also available at <http://www.nap.edu/catalog/9832.html>
- 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.
- National Research Council (2006) *Systems for state science assessment*. Committee on Test Design for K-12 Science Achievement. M.R. Wilson and M.W. Bertenthal, eds. Board on Testing and Assessment, Center for Education. Division of Behavioral and Social Science and Education. Washington, DC: National Academy Press.
- 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. Duschl, Heidi A. Schweingruber, and Andrew W. Shouse, Editors. 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>).
- Northfield, J. (1998). Teacher educators and the practice of science teacher education. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.). *International handbook of science education* (pp. 695-706). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Vescio, V., Ross, D., & Adams, A. (2008). A review of research on the impact of professional learning communities on teaching practice and student learning. *Teaching and Teacher Education*, 24, 80-91.