
教-學序列研究對科學教學的啟示

林靜雯^{1*} 邱美虹²

¹ 臺北市立教育大學 自然科學系

² 國立臺灣師範大學 科學教育研究所

摘 要

近年來，歐洲探究教學興起一種以特定科學主題為導向，重視適當教-學序列設計的研究。此種研究以逐步演化的研究過程為基礎，重視科學概念與學生先備概念之間相互交織所形成的複雜作用，並期望藉由特定段落或單一主題序列課程的循環發展與真實教室場景中深度教學的過程相連，形成新概念性的課程結構，最後促使學生成功學習。本文針對此種教-學序列研究的發展背景、理論及研究方法架構加以闡述及介紹。藉此引介，本文希冀對於國內科學教學有進一步的啟示。

關鍵詞：教育重建、教-學序列、教學實驗、發展性研究、學習路徑

壹、緒論

過去數十年來，科學教育從 1960 年代對學科結構的關注，乃至於 1980 年代科學-技學-社會 (science-technology-society, STS) 理念的推展及學生另有概念的探索在在投注了龐大的心力 (Tyson, Venville, Harrison, & Treagust, 1997)。就認知學習而言，這種大尺度課程的發展與學生概念之間的研究存有極大的落差，並且忽略了學習與教學之間緊密的關聯。這種情形或可解釋為什麼我們花了那麼多的心血投注於課程的開發，而學生的學習狀況卻僅能獲得有限的提升。而後，持有建構主義觀點的研究者借助概念改變的理論及研究，將學生的先備知識納入考量，進一步提出

改良的教學策略。雖然這些策略隱含著「意義是建構的」、「概念無法由教師傳遞到兒童身上」的理念，但事實上卻很難落實到實務上，其中最主要的原因乃在於其對如何在教室中進行教學仍鮮少著墨 (Lijnse, 1995)。

據此，在 1980 年代初期，探究教學中興起一條值得注意的研究路線，其所關注的焦點與上述一年以上之大尺度課程的設計大相逕庭，改以特定科學主題為導向，重視適當教-學序列 (teaching-learning sequence, TLS) 的設計以作為改進學生學習的利器。此條路線以逐步演化的研究過程為基礎，重視科學概念與學生先備概念之間相互交織所形成的複雜作用 (Méheut & Psillos, 2004)，並期望藉由此種小尺度 (例如特定的段落) 或中尺度 (例如單一主

* 為本文通訊作者

題序列)課程的循環發展與真實教室場景中深度教學的過程相連,形成新概念性的課程結構,最後促使學生成功學習(Lijnse, 1995)。以下便針對此種 TLS 之研究的發展背景、理論及研究方法架構加以闡述,並進一步介紹其設計的趨勢。

貳、教-學序列的發展背景

傳統科學課程乃以科學基本概念為基礎,此種概念組成的方式與順序反映了基本的「邏輯」結構,適用於一般範例式的理想化情境。而後,以 STS 理念所設計的課程雖然嘗試將課程與生活情境融合以尋求改變,但就整體而言,概念結構和順序在本質上並未有所改變。另言之,教學並未真正考量學童所知、所思,或其對於相關情境有何興趣或考量。這種策略主要由上到下傳遞概念,即便教學過程中的確涵蓋了討論和發現的活動,但由於未考量學童的先備概念及其認知學習的結果差異,因此無可避免地強迫了學童概念的發展(Lijnse, 1995)。

1980 年代後有關「概念改變」的研究蔚為風潮,此種取向重視學生的先備知識在學習時扮演的角色,並且提供了許多改良的教學策略,的確有助於改善概念傳遞式的教學(Lijnse, 1995),但此種建構觀點仍有三個重要的問題亟待解決。其一,許多物理教學的實徵研究指出學習不僅僅是修正認知結構中某些特徵的概念改變過程,更是一連串增加新認知特徵、發展新認知結構的過程(Duit & Treagust, 1998;

Niedderer, 1997)。再者,原來概念改變的教學,例如 PSHG 的概念改變模式(Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982),教師所為乃是降低學生概念的狀態,提升所欲教授概念的狀態,而非基於學生原有的概念因勢利導,因此仍僅止於由上到下教學方式的改良,而非真的建基於學生的概念,採由下到上的教學方式。最後,這種觀點過於高估教師的教學能力(Lijnse & Klaassen, 2004),而把研究者應該努力尋求較佳 TLS 的責任加諸於教師和學生的身上(Lijnse, 1995)。

據此,一群歐洲物理教育的研究者開始反思上述現象,並著手進行 TLS 的研究以回應概念改變建構觀點的限制(Lijnse, 1995; Méheut & Psillos, 2004)。他們主要貫徹建構主義的理論發展並以學生另有概念的研究為基礎,主張 TLS 是種奠基於行動研究傳統的發展性研究,其間交織了序列的設計、發展及其於特定主題中的應用。這些活動本身不但是研究的工具,須由豐富的研究資料所啟迪,其亦為一種創新的教學與學習活動,專門處理學生於特定主題中的學習困難,並且以循環性演化的過程在真實的教室環境中持續數週(Méheut & Psillos, 2000; Psillos & Méheut, 2001)。

參、教-學序列的理論架構

TLS 研究的設計受到許多研究趨勢的影響,它們各自從不同的角度反映了不同的研究傳統和教育情境脈絡、考量不同的

教學因素，進而對 TLS 的研究有所貢獻。以下擬介紹發展性研究 (developmental research) 及教育重建 (educational reconstruction) 兩個主要理論的架構，接著再引介 Méheut 和 Psillos(2004)對 TLS 所提出的教導菱形 (didactical rhombus) 作為分類綱領，進一步針對這兩種理論加以比較，尋求其定位。

一、發展性研究

一般我們若討論 TLS 在科教上的研究都首推 Piet Lijnse 一連串有關學童物理學習的發展性研究。Lijnse 對現有教育研究不甚滿意，他認為之前科學教育的研究過於忽視科學概念內容，因而鼓吹應以特定科學主題為導向，進行 TLS 研究，此外，他也認為一般學習或教學法的理論無法落實於特定主題設計的層次，因而導致了理論與實務之間的鴻溝。為了填補理論和實務之間的縫隙，其借用荷蘭數學教育家 Freudenthal (註 1) 的觀點，發展了一套教導結構 (didactic structure) 以作為同時改進科學教學並朝向教導理論的長期研究綱領 (Lijnse & Klaassen, 2004; Méheut & Psillos, 2004)。此結構具有內容、動機及反身性 (reflexivity) 三個層次 (Lijnse, 2000)。所謂反身性意謂參與者的思想和他們所參與的事態都不具有完全的獨立性，二者之間不但相互作用，而且相互決定，不存在任何對稱或對應。據此，Lijnse 主張科學是人類的活動，科學教學應引導學生以合乎科學的方式建構自身的概念世界，而非將科

學視為是已完成的成品灌輸給學生。教師須創造一個教學情境以引導學生精緻化自身的概念並進一步重新發明概念 (Méheut & Psillos, 2004)。這種重新發明概念的過程提供學生建構和接受某一概念的理由，並具有四種功能，其分別為：實務 (學習生活)、理論 (學習瞭解科學本質)、科技/工業 (學習設計科技產品或工業產品) 及社會 (學習有關科學和社會之間關係的議題)。這些目標導向分別和不同的科學、科技及社會的觀點相連，乍看之下，似乎和建構主義的科學教學沒有什麼兩樣，但實際上卻有兩點主要的差異 (Lijnse & Klaassen, 2004)：

- (一) 兩者雖然皆以教育的建構為首要起始點，但發展性研究並不認同另有架構運動。因為學生經驗世界所產生的信念大多是正確的，這意味著若經由適當地闡釋，我們一定可以發現學生共同的概念基礎，並以之作為教學的起點 (Klaassen & Lijnse, 1996)。
- (二) 學生必須具備增加這些知識的動機，並且應該在教學與學習的任何時間點知道他們正在做什麼。

Lijnse 為教-學情境的設計提出一些方針，這些方針以問題的形式呈現，重視教師和學生的動機和後設認知。教師在設計教-學情境時，不妨反覆詢問自己相關的問題 (Lijnse & Klaassen, 2004)：

- (一) 教-學問題基於何種考量？何者提供解決方法？何者是教導結構的重要

基本觀點？這些觀點是否適當地設計，以及這些形成的結構是否真的對欲解決的問題提供新貢獻？

- (二) 所設計的教-學過程真的和學生的觀點一致？學生是否具有動機？學生能建構預期的概念嗎？學生是否達到預期目標？
- (三) 教師是否充分掌握教-學過程？是否能以預期的教學情節成功地解決未預期的問題？教-學過程是否始於學生共同的、核心的詮釋？教-學活動真的為每個學生所準備嗎？
- (四) 教師真的提供每個學生充足建構想法的機會嗎？教師真的和學生充分互動嗎？教師能在後設認知的教導層次上監控學生的學習過程嗎？

此外，Lijnse 特別重視「教導結構」過程中以實徵經驗加以調整結構的環節。這樣的調整從一開始對教學情節的描述到先驗性地確證教-學活動設計與教-學過程預期之間的關係都扮演著重要的角色。教導結構經由這樣的循環性發展與調整後，教師便能利用這樣的教學情節說明以準備教室試驗，而教室試驗又能再進一步引導產生一個具優良教學實務基礎的教導結構以指導教室觀察(Méheut & Psillos, 2004)。

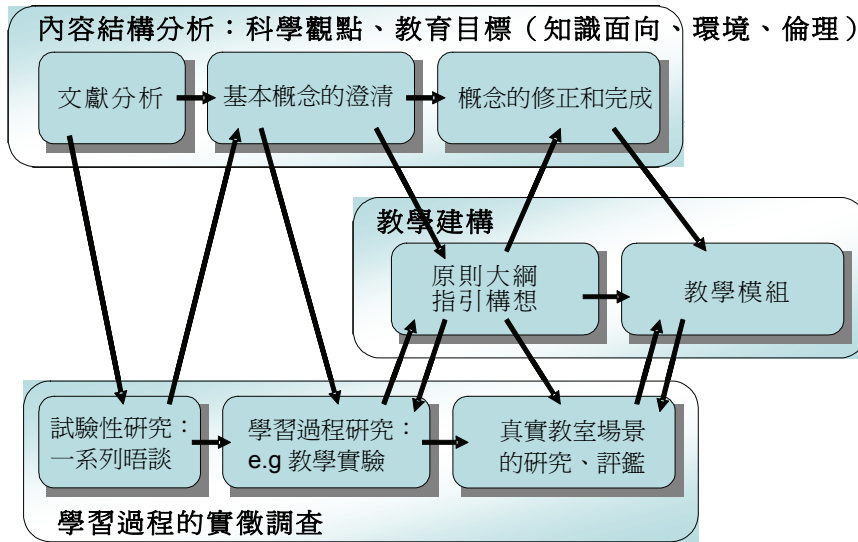
二、教育重建

Kattmann, Duit, Gropengießer 和 Komorek(1995)整合了德國對科學內容的解釋傳統與建構主義教學的取向，由「教育重建」的觀點提出一個架構進一步精緻

化 TLS 的設計 (Komorek & Duit, 2004; Méheut & Psillos, 2004)。此架構主要將科學知識視為人類暫時的建構物，而獲得知識的過程乃個體在某種社會和教材場景中主動建構的過程。

此架構有三個重要的組成(圖一)：其一為內容結構分析，其主要分析科學的觀點及包括知識面向、環境及倫理等議題之整組教育目標，其二是一系列學習和教學相關的實徵研究，包括試驗性的晤談、教學實驗和評鑑真實教室的場景。至於發展原則大綱(outline of principles)，以及發展進一步指引教學模組建立的構想和實際的教學模組，則是第三個組成(教學建構)中的重點要項。這三個組成之間相互影響，交織著複雜的關係，在其中一個組成中所獲得的知識必然動態地影響到其它組成中的解釋和活動的結果，可謂牽一髮而動全身(Komorek & Duit, 2004)。

內容結構的分析以及教學建構的初步想法在計畫教學和學習研究的實徵研究中扮演著重要的角色。研究者常主要或唯一參照科學內容的架構，建構及闡明科學主題的核心和基本內容，進行基礎化(elementarization)的過程 (Komorek & Duit, 2004)。已然澄清科學主題中何者為核心及基本內容之後，接著才能考量其他教、學的問題，而教育重建取向的重要特點之一便在於其對科學內容的分析，不僅考慮概念的起源、功能和意義的知識面向，同時也考慮概念於環境中應用的層次、科學、科技之倫理，以及科學、科技



圖一、教育重建組成圖 (Komorek & Duit, 2004)

與社會互動的意涵 (Méheut & Psillos, 2004)。另一方面，實徵研究的結果亦影響教學過程、基礎化教學行為目標的設定，反之，內容結構的分析亦指引著學習過程實徵調查的規劃與設計。因此，這個互動的程序對教育研究而言極不尋常，它特別警示著教學建構的內容架構除根據科學內容結構分析外，更必須根據學生教學前的概念以及其學習的路徑加以發展，此外，並根據教學建構的實際情形，重新規劃學習過程的研究、重新評估真實教室場景，以及重新決定科學主題的核心概念及基本概念。研究者須嘗試基於前人的研究回答諸如：「學生概念架構中最重要元素是什麼？」「學生概念或觀點中的哪些元素提供了哪些學習機會？」「學生的哪個概念與科學概念一致？我們如何因勢利導提供學生更充分、更有成效的學習？」這樣的問題

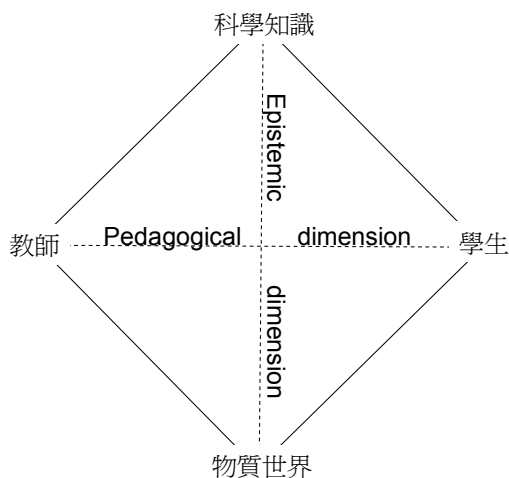
(Kattmann et al., 1995)。畢竟，科學模式和兒童個人對世界的觀點極為不同，為了橋接這樣的差距，奠基於科學內容的重要性以及學生的學習困難以「重建」科學模式是必須的，是故此架構名為「教育重建」。

三、分類綱領

統整影響 TLS 研究發展的因素大概包括學生概念的研究、特定科學領域的特徵、認識論的假設、學習觀點以及目前教學取向和教育情境的種種特徵。這些特徵可用 Méheut 和 Psillos (2004) 所提出之二維度的教導菱形來加以表徵 (圖二)。在此表徵中，垂直軸代表「知識」(Epistemic) 的向度，而水平軸則代表「教學」(Pedagogical) 的向度。沿著知識的軸，潛藏有關科學方法的假設、精緻化和效化科

學知識的過程；沿著教學的軸，則包含了教師角色的選擇、教師和學生的互動類型。此外，沿著學生-物質世界這一邊，意味著學生對物理世界的概念加上一般自發的推理方式，而學生的態度是否朝往科學知識則放在學生-科學知識那一邊。

若比較上述兩種理論取向，發展性研究中 Lijnse(1995) 主要將注意力放在學生。所欲教的知識向度在其架構中並未扮演決定性的角色，所形成的問題乃由學生所提出，老師只是輔助的角色。至於教育重建 (Kattmann et al., 1995)則考慮了知識的向度並就此建議了精確的方針。在此架構中，我們也可以發現內容和心理認知分析的具有重要的地位，且可見其較著重於動機、社會面向以及所欲教授之知識的倫理意涵。總而言之，發展性研究乃奠基於心理邏輯，所設計的活動偏重學生為中心，而教育重建則主要著重於考量心理-社會觀點和知識分析的交織(Méheut & Psillos, 2004)。



圖二、影響 TLS 研究因素的教導菱形 (Méheut & Psillos, 2004, p. 517)

肆、教-學序列的研究方法

一般 TLS 的研究多採用質性或半量化的研究方法，有關質性的部分主要源於質性的社會學研究 (Komorek & Duit, 2004)。而 Driver 於 1991 年引介學習路徑的調查方法以討論學習過程的分析，也被廣泛應用於學生認知狀態及中間概念的調查 (Scott, Asoko, & Driver, 1992, 引自 Niedderer & Goldberg, 1995)。此外，選擇題和相關的測驗方式以及概念圖也是常用的技巧，所使用的方法極為多元。近來，藉著整合概念改變和社會建構主義的觀點，研究方法又更為寬廣。由於在社會建構的陣營中主張合作建構意義過程的建模，並且描繪了個體和社會在特定社會的和教材學習環境中個人和社會之建構過程間的相互影響，因此改良數學教育家 Steffe(1983)所發展的研究方法—教學實驗(teaching experiment)，其重視社會建構的特質便適合引入科學教育，以其更具彈性的方式協助 TLS 的研究與發展 (Komorek & Duit, 2004)。以下主要針對學習路徑及教學實驗這兩種較為特別的研究方法加以介紹。

一、學習路徑

Duit, Goldgerg 和 Niedderer (1992)於 1991 年積極籌辦國際研討會，力促研究朝往學生學習過程的實徵調查這個新方向。當時有三個主要的研究團隊：Von Aufschnaiter、Niedderer 和 Schwedes，其共同點都是著重教學中的研究，利用質化

個案研究探討不同年紀的學生在真實教學情境中認知系統改變的情形。Von Aufschnaiter 團隊主要分析學習在某一科學主題的內容結構下學生認知元素發展逐漸增加複雜性的情形，Niedderer 團隊，則針對特定學科內容中學生在另有架構或概念基模的修正來描述學習，至於 Schwedes 則著重發展類比，觀察學生類比活化、對應等過程於學習過程中發展的情形，並藉此發展其理論 (Niedderer, 1997)。大致上，由於學習路徑的調查並不直接涉及教學策略及 TLS 的設計，因此此種研究方法和另有概念運動及概念改變取向相容，亦可協助概念改變教學的設計。只是另有概念及概念改變取向僅著重教學前，部分研究尚且注意到教學後的晤談以瞭解學生的認知狀態，但卻都忽略了教學中間學生的認知狀態如何受到學習環境、學習活動、課程、媒體、教學類別和教師的改變。

Niedderer 等人 (Niedderer, 1997; Niedderer & Goldberg, 1995) 界定了一般學習路徑中所探查的主要認知元素，包括後設認知、信念、一般思考的結構、目標、語言和興趣，但若考慮物理教育傳統中所謂的認知結構，那麼通常僅考慮學生的概念和語言。此種研究方法由分析學生的先備概念開始，接著定義中間概念，最後分析先前認知元素、教學內容，以及與教學目標相關之教學輸入之間的交互作用如何建構知識，藉此以闡述概念發展的過程。所謂中間概念意指新的想法有某種程度的穩定性且影響到後續學習的過程，可以結

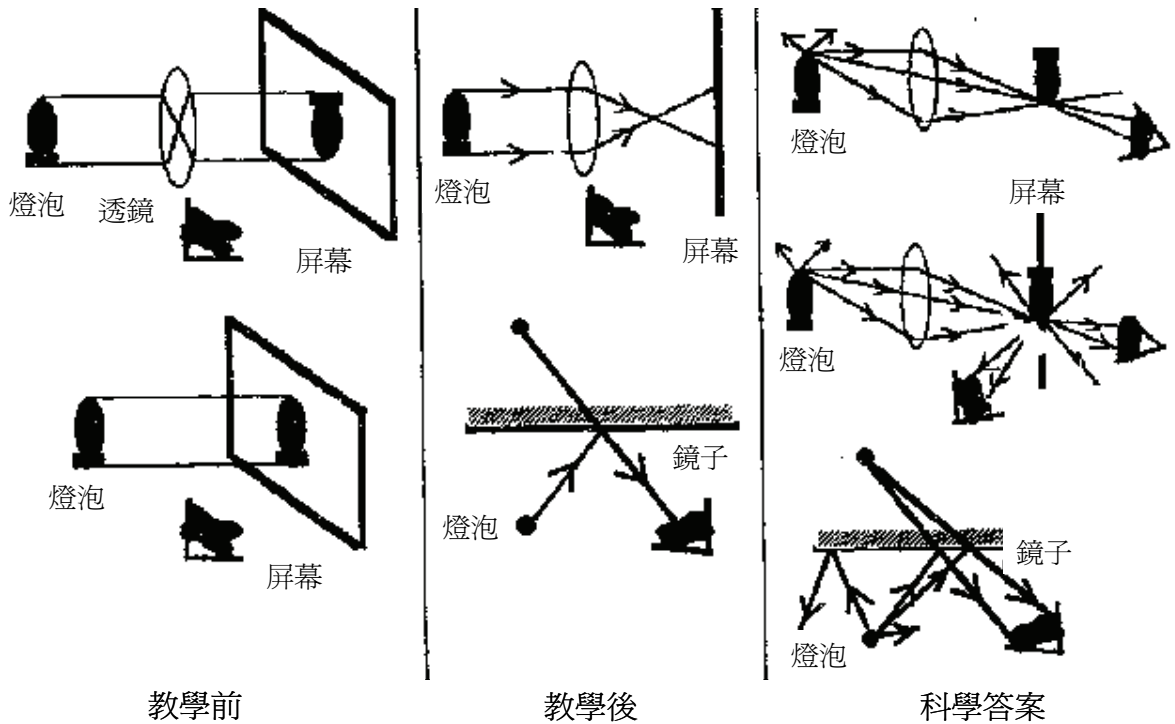
合上述認知元素的分析以呈現學生完整的學習路徑。Niedderer(1997) 便特別推薦 Galili, Bendall 和 Goldberg(1993) 研究中以射線建構光學成像這個主題的例子 (圖三)，此例用圖形的表徵來說明學生在習得科學答案之前，具有過渡的中間概念 (圖三中的教學後)，並藉此示範中間概念可能的呈現方式。另外，Welzel(1994, 引自 Niedderer, 1997) 研究中則是提供另一種表徵呈現個案學生 (Jessica) 的認知元素如何增加其複雜性。由圖四可見此名個案學生的認知元素經歷數個教-學序列後逐漸由物件、特徵、事件、大綱形成原則，是另一個有助於理解學習路徑研究方法及呈現方式的例子。

二、教學實驗

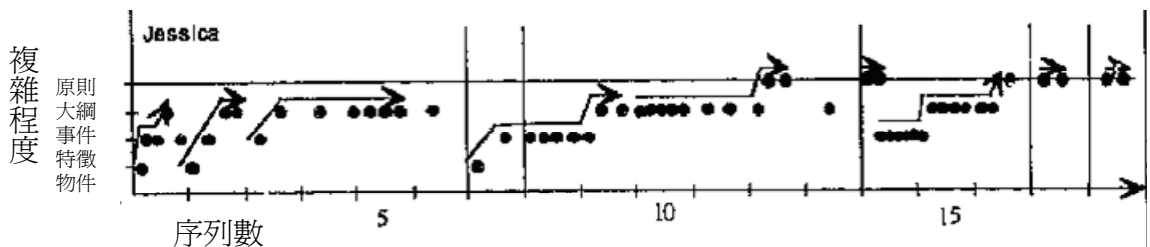
為了調查學生教學前的概念以及這些概念如何沿著科學觀點的方向發展，我們須要較為彈性的研究方法以適合學習過程的個別差異及允許教學介入。教學實驗便是具有此種特質的研究方法。此研究法之元素包括蘇格拉底的診斷式問法以及古典皮亞傑診斷式晤談。學生們須解釋和討論許多實驗和現象，研究者則同時扮演晤談者和教師的角色。身為一個晤談者，其工作是解釋學生個別的概念架構；作為一名教師，其任務是回應學生的概念並且在適當的時機進行適當的教學介入。晤談的策略主要考量科學內容分析的結果和關於學習已發展的教學策略，主要希望能幫助學生察覺他們自身的概念及其概念的限制。

學生受到教學的影響而發現自己的另有解釋，最後，察覺其概念的發展並盡力去改變它。當晤談和教學交錯，所發展的教學和學習活動的序列必須能完成教學實驗的目的，且最後所發展的教學和學習序列可作為後續真實教室情境中教學的基礎

(Komorek & Duit, 2004)。若將此法與古典皮亞傑診斷式晤談相較，有兩個較為顯著的不同：其一，它通常持續數節課；其二，此方法中研究者所設計的晤談內容彷彿是已深思熟慮組織過的教材(Komorek & Duit, 2004)。



圖三、學生由射線建構光學成像—物理概念教學前與教學後的比較(Galili et al., 1993, 引自 Niedderer, 1997)



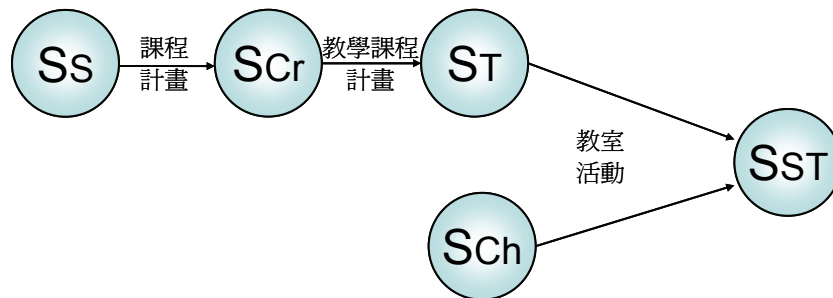
圖四、Welzel(1994, 引自 Niedderer, 1997)呈現了 Jessica 的學習如何增加其複雜性

我們可根據教學實驗所獲得的經驗初步規劃 TLS 使之成爲一個完整的教學單元 (Duit, Roth, Komorek, & Wilbers, 1998)。教學實驗的方法符合教育重建的架構，允許調查學生的教學前概念，學生除能受到科學觀點的指引，也可以促進教學和學習過程之實徵研究與教學發展之間的緊密連結。此種方法原先只是一對一的晤談，Komorek 和 Duit (2004) 又進一步加以修改變成小組的晤談方式以瞭解學生社群中教學與學習過程的互動。

伍、教-學序列研究對科學教學的啟示


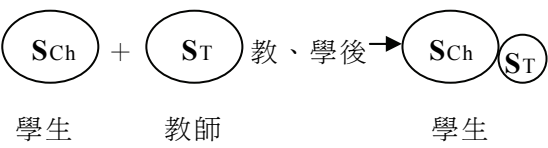
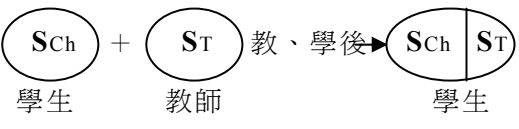
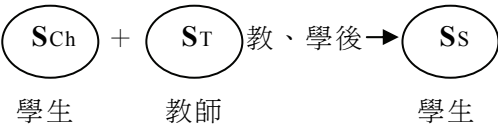
Gilbert 和 Zylbersztajn(1985)就傳統科學課程設計至學生學習之間的轉化過程提出了一個概念架構(圖五)。在此架構中「科學家的科學」(Ss)經由課程計畫而轉換成「課程科學(SCr)」，接著「課程科學」再經由教學課程計畫而成爲「教師的科學」(ST)，最後的過程則發生於科學教室中，學生們帶著他們的先備知識—兒童知識(SCh)進入教室並藉此與「教師的科學」互

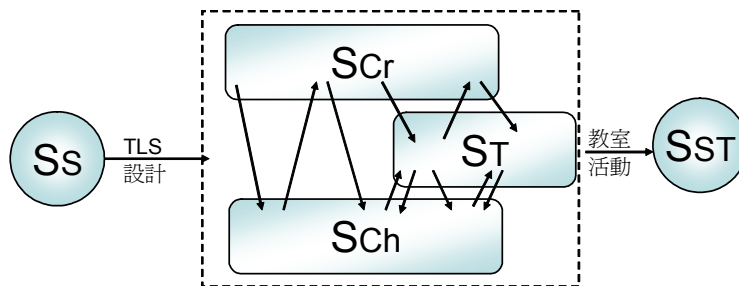
動，最後形成了所謂的「學生的科學」(SST)。但事實上，學生若欲達到公認的科學結果，其間的建構過程並不如上述架構預期的那樣順利。Gilbert, Osborne 和 Fensham (1982)便指出學生在教學後的學習效果通常可歸類成五種類型：前四種分別是 1.學生的科學並未受到教學影響；2.在課堂上的知識與學生本身原有的知識截然二分，相互隔離；3.先前概念影響後續學習，致使學生的科學產生無可預知的誤用，以及 4.學生僅學到有限的科學概念且學生的學習與其先備概念無法整合，甚至相互衝突(表一)，只有第五種類型—一致化科學結果是學生能夠理解、認識，並與其生活環境相結合的。此種未盡理想的教學結果與 TLS 興起的背景理念頗爲一致。就圖五觀之，此種學習概念架構雖然提出兒童知識的重要性，但在課程設計甚或教學課程計畫的過程中並未將之納入考量。另言之，研究者在此概念架構下並未扮演重要的角色，因而兒童知識與科學知識的統整工作主要落在學生自己的肩上。



圖五、傳統課程計畫至學生學習之轉化過程的概念架構(Gilbert & Zylbersztajn, 1985)

表一：兒童與科學教學交互作用的結果(Gilbert et al., 1982)

形式	圖示	說明
未被擾亂型		科學教學後，兒童的學習前科學觀(SCh)堅持不改
同時擁有型		科學教學後產生學校所須的第二種觀點(ST)，但學生仍堅持原有的科學概念
教學支持型		原有的兒童科學觀(SCh)反而因誤用教師科學教學而得到支持
相互矛盾型		科學教學後學生並未整合兩種知識，導致兩種知識共存並產生自我矛盾
一致科學觀型		科學教學擴展了學生和教師的科學成爲更一致的科學觀(Ss)



圖六、TLS 理念下學生學習之轉化過程的概念架構

另一方面，1980 年代以降，概念改變的議題一直是科學教育研究中的重要潮流，這使得我們對學生的（迷思）概念、表徵和自發推理已累積了相當的資料。時至今日，科學教育接著欲進一步追求的當然是考量如何利用這些片段的資訊，整合心理學與認識論的取向設計較好（可能不是最好，但至少是較好）的 TLS，此種 TLS 不但考量學生認知結構中的新認知特徵的增加，亦考量如何藉著學生已有的認知特徵因勢利導修正其原有的認知結構，因此，不會冀望僅藉著一兩個類比、一兩次的認知衝突而達到「概念改變」，而是真的奠基在一連串長期規劃的教學設計上促進學生概念的演化。更重要的是，這樣的教學序列，不再只是一對一的隔離情境，而是嘗試考量社會互動與教室真實情境的教學設計，縮短了研究與實務之間的距離。目前，已陸陸續續有各國學者對 TLS 的設計提出教導及理論架構，這些架構提示著我們設計 TLS 時應該考量的重點，而學習路徑及教學實驗的研究方法亦有助於我們進一步收集學生概念演化歷程的資訊，設計使學生進行概念演化的教-學序列。一個較好的 TLS 是介入性的研究活動和產物，是基於研究為基礎的教學學習活動，因此需要學校教師與研究者共同合作，致力於此種以學生概念為基礎，專門處理其學習困難，並於真實教室環境中循環演化實施的中、微尺度的課程。

陸、註解

註 1：Freudenthal 認為制式、純邏輯為基礎的數學方法並不適合大部分學生學習，他偏好讓學生自己經歷數學的發現，堅信重新發明 (re-inventing) 是學習數學最好的方式，因此他不會將抽象、缺乏情境的問題丟給學生解，而是從日常生活經驗中選擇跟學生生活經驗息息相關的問題以協助學生理解，並希望藉著解決此種情境數學題，使學生逐漸發展對數學的理解。此外，Freudenthal 十分強調動機，他認為問題的設計應引導學生逐漸增加對數學的興趣 (Het Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education, 2009)。

柒、參考文獻

- Duit, R., & Treagust, D. (1998). Learning in science: From behaviourism towards social constructivism and beyond. In B. Fraser & K. Tobin (Eds.), *International handbook of science education*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Duit, R., Goldberg, F., & Niedderer, H. (1992). Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies. Paper presented at the Proceedings of an International Workshop in Bremen, IPN.
- Duit, R., Roth, W.-M., Komorek, M., & Wilbers, J. (1998). Conceptual change cum discourse analysis to understanding in a unit on chaotic systems: Towards an integrative perspective on learning in science. *International Journal of Science Education*, 20, 1059-1073.

- Galili, I., Bendall, S., & Goldberg, F. (1993). The effect of prior knowledge and instruction on understanding image formation. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), 271-301.
- Gilbert, J. K., & Zylbersztajn, A. (1985). A conceptual framework for science education: The case study of force and movement. *Europe Journal in Science Education*, 7(2), 107-120.
- Gilbert, J. K., Osborne, R. J., & Fensham, P. J. (1982). Children's science and its consequences for teaching. *Science Education*, 66(4), 623-633.
- Het Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education (n.d.). Prof. Dr. Hans Freudenthal (1905 - 1990). 2009年4月10日取自 <http://www.fi.uu.nl/en/freudenthal.html>。
- Kattmann, M., Duit, R., Gropengieber, H., & Komorek, M. (1995). A model of educational reconstruction. Paper presented at the National Associate of Research in Science Teaching 1995, San Francisco, CA.
- Klaassen, C. W. J. M., & Lijnse, P. L. (1996). Interpreting students' and teachers' discourse in science classes: An underestimated problem? *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 115-134.
- Komorek, M., & Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, 26(5), 619-633.
- Kortland, J. (2001). A problem posing approach to teaching decision making about the waste issue. Utrecht: CDi β Press.
- Lijnse, P. (1995). "Developmental research" as a way to an empirically based "didactical structure" of science. *Science Education*, 79(2), 189-199.
- Lijnse, P. (2000). Didactics of science: The forgotten dimension in science education research? In R. Millar, J. Leach & J. Osborne (Eds.), *Improving science education: The contribution of research* (pp. 308-326). Buckingham: Open University Press.
- Lijnse, P., & Klaassen, K. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequence. *International Journal of Science Education*, 26(5), 537-554.
- Méheut, M. (2004). Designing and validating two teaching-learning sequences about particle models. *International Journal of Science Education*, 26(5), 605-618.
- Méheut, M., & Psillos, D. (2000). Designing and validating teaching-learning sequences in a research perspective. Paper presented at the An International Symposium, Paris.
- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: Aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535.
- Niedderer, H. (1997). Learning process studies in physics: A review of concepts and results. Paper presented at the American Educational Research Association, Chicago.
- Niedderer, H., & Goldberg, F. (1995, 7th - 11th April). Learning pathway and knowledge construction in electric circuit. Paper presented at the European Conference on Research in Science Education, Leeds, UK.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Psillos, D., & Méheut, M. (2001). Teaching-learning sequences as a means for linking research to development. Paper presented at the Proceedings of the Third International Conference on Science Education Research in the Knowledge Based Society, Thessaloniki.

- Scott, P. H., Asoko, H., M., & Driver, R. H. (1992). Teaching for conceptual change: A review of strategies. Paper presented at the Theoretical issues and empirical studies. Proceedings of an international workshop in Bremen, IPN.
- Steffe, L. P. (1983). The teaching experiment methodology in a constructivist research program. Paper presented at the Proceedings of the Fourth International Congress on Mathematical Education, Boston.
- Tyson, L. M., Venville, G. J., Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1997). A multidimensional framework for interpreting conceptual change events in the classroom. *Science Education*, 81, 387-404.
- White, R., & Gunstone, R. (1992). *Probing understanding*. London: Falmer Press.
- 投稿日期：97 年 10 月 17 日
接受日期：98 年 10 月 03 日

The implications of science teaching from the research in teaching-learning sequence

Jing-Wen Lin^{1*} Mei-Hung Chiu²

¹Department of Science, Taipei Municipal University of Education

²Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal Unvers

Abstract

In recent years, one notable line of inquiry which involves the design and implement of specific topic-oriented teaching-learning sequences for teaching science has risen in Europe. This kind of research is based on progressive evolutionary processes in research, focus on the complicated interactions between scientific and students' pre-concepts and expects to link with courses of depth teaching in the scene of real classroom with the circulation development of the specific paragraph or the single topic of sequence, to form the new conceptual structure of curriculum, and to help students to succeed in science learning finally. This article expounds the development background, theory and methodology about this kind research of teaching-learning sequence. With the introduction, this article hopes to bring some implications for Taiwanese science teaching further.

Keywords: Educational Reconstruction, Teaching-learning Sequence, Teaching Experiment, Developmental Research, Learning Pathway