

引導式建模探究教學架構初探

鐘建坪

臺北縣立錦和高級中學

摘要

透過科學教師的策略引導在多數學生無法獨立完成探究學習的中、小學環境是必要的(Krajcik, Czerniak, & Berger, 1998; NRC, 2000)。作者結合探究(inquiry)以及模型為主(model-based)學習與教學的優點，以科學家探究科學知識與理論的方式融入建模的建構歷程，所提出的引導式探究建模架構植基於 5E 學習環(learning cycle) (Bybee, 1997)，並以 Schwarz 和 White (2005)科學探究建模(scientific modeling inquiry)架構為輔，包含七個階段：參與(engage)、問題(question)、假說(hypothesis)、研究(investigation)、分析(analysis)、模型(model)與評鑑(evaluation)，除了強調參與的動機因素之外，每個階段再透過產生(generation)、評鑑(evaluation)以及修正(modification)的歷程，形成可檢驗與回溯的探究階段程序。

關鍵字：探究、模型、建模、引導式建模探究

Learning is inquiry. (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982, p.212)

Modeling is fundamental to human cognition and scientific inquiry. (Jonassen, 2008, p.667)

壹、前言

一、探究與建模是科學的基本面向

探究與建模歷程(modeling process)是科學的基本面向(Jonassen, 2008; National Research Council, 簡稱 NRC, 1996)。真實的探究扮演整合科學知識的角色，而建模歷程透過模型(model)形成科學推理的基本工具(Gilbert, 2004)，而個體內在心智模式的建模歷程涵蓋模型的建造、評斷、修正以及表達，而這些歷程可以在科學探究過程中顯現(Nersessian, 2002)。建模理論(modeling theory)宣稱模型是任何科學理論的核心，並

且認為模型的建立與調度(deployment)是科學探究的基本歷程(Halloun, 2006)。

二、學童的學習歷程機制與科學家是相似的

探究是科學家發現問題以及解決問題的過程(NRC, 1996)，也可表示用以發展知識與了解科學概念，以及知悉科學家如何研究自然世界之學習者的學習活動(NRC, 1996)。若將科學家不斷發現問題與解決問題的探究歷程機制轉化至一般學習者或者孩童的學習過程(Thagard, 1992)，

可更廣泛地將學習視為一種探究的歷程 (Posner et al., 1982)。

對於「兒童是科學家嗎？」的問題，Thagard (1992)曾從知識的內容、結構與機制三個面向探討此一問題。他認為兒童所發展的知識內容、概念改變與信念修正並非如科學家一樣，具有艱深的科學理論或根本性的概念改變，但是兒童在認識論上的改變機制卻類似於科學家概念改變的機制。

三、大部分的學生需要教師的引導

Bruner (1977)認為進行科學教學必需以學科結構為主，進而倡導發現學習法 (discovery learning)。在此架構下，經由教師的協助，使得學生能夠自行發現學科的架構，對學科概念產生直觀思維 (intuitive thinking)，並以分析思維 (analysis thinking) 作為後續問題處理的機制；然而研究發現，資賦優異的學生比較能夠進行較為開放式的發現探究學習，而一般能力的學生則需要更多的教師協助才能達成此一目標，也就表示大多數的中小學生，在缺乏教師的指導下，是無法直接進行獨立的探究活動 (Krajcik, Czerniak, & Berger, 1998; NRC, 2000)。

無庸置疑地，教師應該具備探究教學的能力 (Crawford, 1999; Windschitl, 2004)，但是在面對不同群組的學生時，教師必須有不同的協助方式，也就是說在面對大多為一般能力以及生手學習者的中小學教育環境，則需要教師更多投入與輔

助，因此，發展不同群組學習者的建模探究教學策略整合到教師教學實務之中，是一項必須施行的工作 (Schwarz & Gwekwerere, 2007)。

四、強調引導式建模探究的教學

探究學習可視為是將科學家的探究歷程類比至學生的學習上 (NRC, 1996)。科學家歷經不斷的探究歷程，透過發現問題與解決問題的方式，追求物質或概念世界的理解；並利用類比與架構模型的方式，過程中不斷地修正與精緻化此一模型 (Buckley & Boulter, 2000)，以作為經驗世界與科學概念的橋樑 (Duit, Roth, Komorek, & Wilbers, 2001)。若將此模型建構歷程同樣類比至學生概念或物質世界的探索上，學習者在探究的學習活動中，也被期望能建立類似科學家的心智模式或概念模型。學習者在探究的過程中，引領建立對現象世界的表徵，透過表徵的建立，期望能夠強化內在的心智模式，透過不斷修正與精緻化，最後形成基模儲存在長期記憶之中 (Gagne、Yekovich, & Yekovich, 1993)。強調科學探究與建模歷程的科學教學，能夠協助學習者發展對科目教材的深入理解、熟悉科學技能以及理解科學本質 (Carey & Smith, 1993; Feurzeig & Roberts, 1999; Lehrer & Schauble, 2000; NRC, 2000; Schwarz & White, 2005)。

本文首先概述探究以及模型為主的學習與教學，而後嘗試植基 5E 學習環 (Bybee, 1997) 以及修正科學探究建模

(Schwarz & White, 2005)，並依據教師主導學習歷程的程度差異性，將建模策略融入探究歷程，提出引導式建模探究教學架構，以供未來實證研究的基礎。

貳、探究學習與教學

一、探究

探究被視為是學習科學以及瞭解自然與物質世界現象的一種方式(NRC, 2000)，將探究視為學習的歷程，則是知識與過程技能的獲得與熟悉(NRC, 2000)。Hosfstein 和 Luneta (1982, 2004)定義探究是一種擷取自科學家使用證據去研究自然世界而研讀、思考與詮釋的方法，強調學習者能夠主動研究、提出觀點、基於證據而詮釋結果並且為自己陳述做辯駁。科學方法形式的探究學習在學習科學知識的歷程中相當重要，不僅學習者能構思問題、界定問題以及能夠利用已知的概念架構而提出有可能解決方案，最後作適當評估(NRC, 2000)，以展現出探究過程中的科學精神。

二、探究學習

探究學習的發展已有百年的歷史(NRC, 2000)。20 世紀初期學者 Dewey (1910；引自 The biological sciences curriculum study, 簡稱 BSCS, 2005, p.19)曾經評論當時以蒐集並記憶片段科學事實的教學，強調教學應該注重思考的方法；Dewey 的觀點強調科學的學習應該是結果與過程並重，而非只有結果的事實性記

憶，而忽略探究過程思考的重要性；20 世紀中期，由於當時蘇聯人造衛星的升空，引發美國本土全面進行科學教育革新(National Society for the Study of Education, 簡稱 NSSE, 1960；Deboer, 1991)，當時學者 Schwab (1966, 引自 BSCS, 2005, p.19)提出穩定性探究(stable inquiry)以及流動性探究(fluid inquiry)的觀點進一步說明探究過程的重要性；截至目前為止，科學探究方式的學習型態，在科學教育中仍是主要決定性工作之一(NRC, 1996, 2000；教育部, 2003)，其在形式上可分成許多不同的類型(Hammer, 1997)，例如：問題為主的學習(problem-based)、發現式學習(discovery learning)以及案例為主(project-based)的學習等，這些形式共同強調以任務為主的學習型態，在解決問題達成任務的過程中，讓學生能夠根據問題設計實驗，將課內所學的知識能夠延伸至應用層面。

根據 NRC，探究學習的特徵(essential features)分述如下(NRC, 2000；引自謝州恩和吳心楷, 2005, p.58)：

- (一) 學習者提出或討論科學取向的問題：學生有機會提出有興趣的、可被回答的研究問題，並試著透過觀察、實驗、收集並使用資料等方法來解釋科學現象。
- (二) 學習者能根據問題廣泛地收集證據：科學和其他方法所不同的是能提供許多實證的證據，作為解釋自然世界的基礎。精確的證據收集是經由檢

視儀器、重複觀測、或收集相同現象中的不同資料。

- (三) 學習者從證據中形成解釋來回答問題：科學解釋是基於推理而來，科學解釋要提供原因給結果，並建立證據和邏輯論證的關係。
- (四) 學習者能評鑑自己和他人的解釋：學生在解釋過程中應評鑑解釋，並可能會排除另有解釋、修正解釋。
- (五) 學習者能溝通與辯護所提出的解釋：學生在溝通解釋的過程中，需要清楚的描述問題、程式、證據、提出解釋並檢視其他可能的解釋。分享解釋能使學生彼此發問，並幫助學生利用證據來強化論點，建立科學知識與解釋間的關聯。

科學性的知識具有兩種形式(Hestenes, 1987), 包括事實性知識(factual knowledge) 以及程序性知識(procedural knowledge) : 其中事實性知識涵蓋理論、模式以及根據理論中的模式所詮釋的實證數據, 而程序性知識一般指稱為科學方法, 涵蓋策略、手段、發展的技術、使有效性以及事實性的使用。探究學習的結果, 不僅可以發現科學性知識更可獲得科學方法的程序性知識(NRC, 1996, 2000 ; Bybee, 2006)。

三、探究教學

以探究學習的觀點進行的教學模式即是探究教學, 而實施探究教學主要著重在引導學生發展出能主動發現及解決問題的能力(楊秀停和王國華, 2007)。以探究學習

的觀點進行探究教學, 許多研究已經提出具體正面成效, 包括提升學習動機(蔡執仲和段曉林, 2005 ; Kempa & Diaz, 1990)、產生正面學習態度(Gibson, & Chase, 2002 ; Shrigley, 1990)以及提高學習成就(毛松霖和張菊秀, 1997 ; Kempa & Diaz, 1990)。同時實施探究教學其學習者在過程技能(毛松霖和張菊秀, 1997 ; 楊秀停和王國華, 2007)、科學本質(高慧蓮, 2006)、思考推理與對資料的解釋(毛松霖和張菊秀, 1997 ; 謝州恩和吳心楷, 2005 ; Tamir, Stavy, & Ratner, 1998 ; Zuckerman, Kieffer, & Knee, 1998)方面比起傳統式教學具有更顯著的效果。

探究教學可以依據學生在科學學習的自主性或教學者介入的程度, 可以區分為四種類型(引自 Bell, Smetana, & Binns, 2005, p.32), 如表 1 所示: 包括驗證性的探究(Confirmation inquiry)、結構化的探究(Structured inquiry)、引導性的探究(Guided inquiry) 以及開放性的探究(Open inquiry)。以階層 2 為例, 教師主動提供學生探究的問題, 學生依據欲探討的主題確認假說、進行實驗, 獲得結果; 引導式與開放式探究的差異在於教師是否主動提供學生可研究的問題讓學生從中選取感興趣的部份; 與結構化探究型態的差異在於教師是否主動提供研究問題的解決方式。階層愈低代表學生學習的自主性愈低, 而教師介入的程度愈高; 階層愈高代表教師介入程度低, 且學生愈能夠自行完成整個探究的學習工作。

表1、探究活動的四個層次（引自 Bell et al., 2005, p.32）

探究活動的四個層次	提供探究問題	提供解決方法	提供正確答案
階層 0 驗證性的探究 (Confirmation inquiry)	v	v	v
階層 1 結構化的探究 (Structured inquiry)	v	v	
階層 2 引導性的探究 (Guided inquiry)	v		
階層 3 開放性的探究 (Open inquiry)			

四、引導式探究教學

研究顯示透過引導式探究策略，能夠協助學習者完成探究的任務(楊秀停和王國華, 2007)。教師透過一定教學序列協助學習者，引導學習者在適當的情境中，專注在特定的焦點。著重在學生探究能力的探究式教學被視為是以學生的探究活動為中心，教師安排適當的學習情境，從中引導學生發現問題、界定問題以及能夠利用已知的概念架構而提出有可能解決方案，最後作適當評估(楊秀停和王國華, 2007；NRC, 2000)。以 Bell 等 (2005)的區分顯示，引導式探究與開放式探究的差異在於教師是否提供學習者研究問題，當學習者透過教師給與研究問題之後，能夠自行設計實驗、尋找解決方法，而獲得合理的答案。據此，引導式探究是一項能夠幫助大多數學習者理解與獲得探究能力的教學方式(National Science Education Standards, p.24)。

參、模型及模型為主的學習與教學

一、模型

對於科學理論的任何外在描述都可

以稱為模型(Buckley & Boulter, 2000)，而科學理論能被視為是一套建模(modeling)真實物件的系統性定律，此種觀點即認為理論的概念中預設了模型的概念，而科學理論是透過相關經驗的測試與驗證，建構出特別的模型(Hestenes, 1987)。模型的種類可能是物質物件(material objects)、實體的抽象表徵(representation of abstracts)、或者兩者的混合體，更可以是一個事件(event)、一個過程(process)或是一套系統(system)(Gilbert, 2004)。在科學研究中描述的科學現象，模型在形成假說以及考驗假說都扮演重要角色(Gilbert, 1995)，也就是說模型可以架構起科學理論與外在經驗世界的橋樑(Gilbert, 2004)。另外，模型能夠為了特別目的而簡化所觀察實體的描述(Rouse & Morris, 1986)，也能夠將特別的實體做理想化或視覺化的表徵(Francoeur, 1997)，並且模型更是關於現象的科學解釋與預測的基礎(Gilbert, Boulter, & Rutherford, 1998)。

模型可以有多種的本體論狀態(Gilbert, 2004)，包含心智模式(mental model)以及呈現模型(expressed model)，其

中呈現模型尚可依據不同目的區分不同模型種類(Gilbert, 2004)。而 Buckley & Boulter (2000)認為現象、呈現模型與心智模型之間會彼此作用，透過感官知覺協助三者之間的相互聯繫，如圖 1 所示。個人透過感官知覺對於外在現象進行解釋與內化，內部的心智模式與外在概念世界或物質世界進行動態的作用，透過各種話語的表徵型態呈現出來成為呈現模式，而呈現模式仍會與心智模式以及外在世界現象繼續進行動態的交互作用。

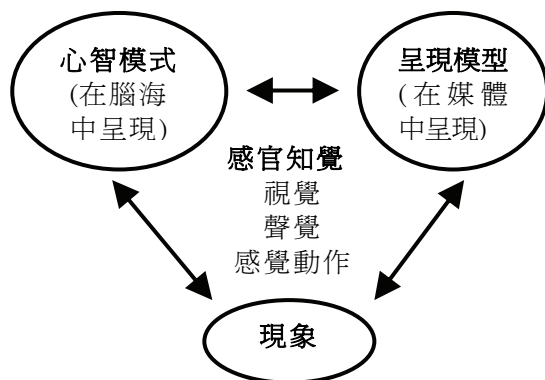


圖 1、現象、心智模式和呈現模型的交互作用 (引自 Buckley & Boulter, 2000, p.121)

二、模型為主的學習(model-based learning)

Buckley 和 Boulter (2000)透過圖 2 再詳細說明模型的學習歷程與機制。他們認為學習者透過感官知覺可以接收新的訊息，而新的訊息會再與學習者個人的先前知識融合形成對某物質或事件的初始模型。依據模型成功學習或解決問題與否，判別此一模型是否獲得強化而持續保存或

需要進行檢視與修正，達到精緻模型的目的。如果成功解決問題，模型會受到強化，學習者將持續使用此一模型；如果無法達到目的，學習者必須檢視模型的適用性，判斷是要進行修正或是摒棄不用，修正後會使個人內在心智模式更加擴充以適用於特殊的情境中。其他學者也曾提出相似的解釋架構說明模型建構的循環歷程，表示透過模型可以架構外在現象世界的呈現模型以及個人內在心智模式，使心智模式逐漸茁壯(Clement, 1989；Justi & Gilbert, 2002)。

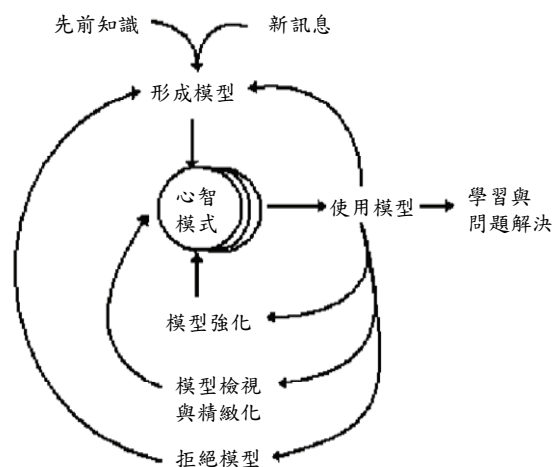


圖 2、呈現模型與個人內在心智模式的學習方式 (引自 Buckley & Boulter, 2000, p.122)

三、模型為主的教學(model-based teaching)

透過呈現模型以及多種的教育經驗可以降低以模型為主教學的難度(Buckley & Boulter, 2000)。Gilbert (2004)建議科學教學中教師應該具備建模的教學策略，課

程設計中應該包含四項主要成分：

(一) 學習使用模型(learning to use of models)：

學生能夠在脈絡中使用模型且其結果是正向的，也就是指此一模型能夠成功地表示所選擇的現象行爲。

(二) 學習修正模型(learning to revise models)：

已經學習如何使用模型的學生，以某種另外的方式使用模型，表示學生能夠爲了某種目的，修正模型以能表達脈絡中的現象。

(三) 學習重塑一個模型(learning the reconstruction of a model)：

學生創造一個他們已經知覺存在但細節卻不熟悉的模型。

(四) 學習重新建構一個模型(learning to construct models de novo)：

從模型的組成份中，能夠知覺完整模型的突現性質。

關於模型的學習與建立能夠協助教師進行有效的教學(Rubin & Norman, 1992)，因此以模型爲主的學習與教學是值得探討的主題。對生手學習者而言，要學習一套科學理論，教師勢必要協助學習者對外在物質現象或概念建立表徵，進而形成呈現模型與心智模式，透過不間斷地互動與修正歷程(Buckley & Boulter, 2000)，最後整合至長期記憶之中形成基模儲存(Gagne et al., 1993)。雖然目前模型與建模已經有整合至科學素養之中(Gilbert, 1991；Gilbert & Boulter, 1998；Linn &

Muilenberg, 1996；Perkins, 1986)，但是對於生手學習者而言，仍然欠缺良好的架構將建模策略融入探究活動之中。

肆、以建模策略融入引導式探究教學

一、主要想法

對於科學理論的任何外在描述都可以稱爲模型(Buckley & Boulter, 2000)，而科學理論能被視爲是一套建模

模型由科學知識的核心內容組成，建模是建構與利用這些知識的歷程(Halloun, 1996)，而科學教師需要具備以模型爲中心的知識探究與教學策略，並且整合到教學實務之中(Schwarz & Gwekwerere, 2007)。

探究過程中，透過學生發現問題、設計實驗、獲得結果與解釋資料的探究過程，學生不斷地在經驗內涵的觀察與實驗中建立規則、形成一些概念、並且透過一些模型表徵的建立，能夠建立系統性的組織架構，而此種循環探究的學習即不斷地透過外在實驗結果與所學的理論形成模型表徵，繼而在內心建立心智模型，再透過不斷觀察、實驗的操作與結果的解釋，修正心智模式中對概念或理論的理解，最後依據實驗的解釋成果，發展出學生對探究結果的一套理論架構。過程中對於科學理論建模的歷程正是一種溯因的過程，而模型的產生既是探究的結果也是對現象的系統性解釋，因此，探究的歷程應該涵蓋建模的認知歷程，透過建模策略協助學生建立模型，架構科學理論與經驗世界的橋樑

(Gilbert, 2004)。

建模即是應用一套理論的律則以產生一個概念世界或物質世界的模型的認知歷程(Hestenes, 1987, 2006)。Hestenes (1992)區分概念世界與物質世界的差異，其宣稱在尚未完全理解空間、時間、粒子、質量與力的概念時，學生無法開始理解牛頓運動定律，因為牛頓運動定律中的其餘概念都是從這些主要概念定義而來，因此，Hestenes 認為學生概念的學習歷程是透過建構主義認識論的方式而獲得，也就是概念的意義是經由個體主動建構而獲得並與經驗相符，與可脫離物質經驗的理性陳述不同。

探究活動的實驗設計是讓學生經由主動建構表達物質世界模型的方式，學習概念世界的意義，並且希望藉由模型的建構，提供概念與物質世界的聯結，使學生能夠循環式地透過概念世界與物質世界進行互動。當學生實際參與探究活動時，才會有實證觀察的機會，而有效地觀察結果會強化本身模型的創造，隨後學生有效使用這些模型去解釋與預測另外的現象，同時產生新的實證證據。因此，Hestenes (1992)認為學生必須要能明瞭理解即是一項創造性的行為，並且為了創造出模型以表徵物質的世界，學生須在過程中不斷地進行模式(pattern)的協調。據此，強調學生個人內在心智模式與外在環境的交互作用，是建模策略融入探究式教學的主要目的。

二、融入的目的

(一) 將模型的觀點，融入傳統探究活動中。

模型是複雜現象世界的簡單描述，學習者可以透過模型的傳遞連結科學理論以及現象世界。傳統探究活動強調實際動手做的歷程，然而除了動手做的操作技能需要學習之外，利用思考實驗進行的假設性推理的心智運作也具深度的重要性。將模型為主的學習與教學整併到科學探究歷程中，除了符合原本真實性的探究精神，更讓教師注重科學模型、科學理論以及現象世界之間的關連性，並由學生內部思考的歷程產生對外的連結，同時藉由評估模型的有效性主動建構科學是暫時性的科學本質觀點。

(二) 透過模型外顯化的策略，使教師注重學生內在真正建立的表徵。

傳統探究教學活動通常著重在教師如何引導學生提出問題、產生假設、進行實驗、分析數據以及從數據歸納出合理性的規則以作為現象的原理原則；然而，通常忽略學生探究歷程中的內部心智運作，因此透過將模型與建模的外顯化策略，可以讓教師協助教導學生的科學過程技能之外，也能夠注重學生內在心智表徵如何與外在訊息產生互動形成個體的知識架構。

伍、修正學習環成為引導式建模探究教學架構

Karpus (1977)提出的學習環區分為三個階段，包括探索(exploration)、概念引介(concept introduction)與概念應用(concept application)。探索階段是讓學生處在一個不熟悉的情境中，無法利用平常習慣的推理模式解決問題，使學生產生心智上不平衡(mental disequilibrium)，作為後續自我調適的準備；接著介紹可以解決目前手邊問題的概念屬於概念引介階段；概念應用階段是指將所學習到的新概念應用在其他新的情境中；透過教師的引導過程，可以將 Karpus 的學習環轉化成教學環，同時經由教學環的輔助，教師可以知悉學生在不同的探究階段的學習情形而給予適當的鷹架與引導。許多的科教學者依據研究對象與目的的不同，修正 Karpus 的學習環，例如：Bybee (1997)協助 BSCS 課程提出 5E 學習環，區成為五個階段，分別是參與、探索(explore)、解釋(explain)、精緻化(elaboration)以及評鑑，其中參與階段目的是讓學生能夠參與理解學習任務並且連結過去與目前的學習經驗；探索階段過程中學生會提出問題，開始進行數據的收集，形成基本的概念理解；解釋階段目的是讓學生基於先前知識與探索的數據結果提出合理解釋作澄清說明；精緻化是指學生能將所學到的概念透過情境的轉變達到遷移的效果；評鑑階段是讓學生能夠有機會評量自己的概念理解，提供教師評鑑學生進步的情形。

學習環的階段數目依據不同目的而有所差異，然而本質上皆具有：1.引起動

機、誘發學生的先前知識；2.經由科學方法進行觀察、討論以及實驗而提出解釋；3.評鑑自己所學到的概念並應用到新的情境中。van Joolingen (2004)認為建模式探究是將建模融入探究中，而建模式探究教學，主要是在探究過程，更專注在科學模型的提出、考驗以及修正的歷程(Schwarz & Gwekwerere, 2007)。目前已有學者將學習環的理念設計在建模教學架構之中(Halloun, 1996；Schwarz & White, 2005；Wells, Hestenes, & Swackhamer, 1995)。

Wells 等人(Wells et al., 1995)曾探討建模教學(Modeling Instruction)，同樣是利用 Karplus (1977)學習環(learning cycle)的修正模式，教導學生新的概念，他們認為建模教學是透過一個歸納—演繹的環狀建模(modeling cycle)策略引導學生建模歷程；模型的初始階段，學生觀察一個新的現象、確認變項、計畫、進行、分析實驗並且呈現結果，當班級成員對於結果具有意識(consensus)之後，教學者引導學生將特殊性的模型轉化成一般性的模型(generalized model)；在模型發展階段，學生透過演繹的過程，在新的情境中確認模型的成效性，並且透過同儕合作(peer-collaboration)問題解決的過程，有效地學會確認模型的特殊性假設。

Wells 等人(Wells et al., 1995)認為環狀建模策略能夠給與學生機會去詮釋觀察到的現象，以及在創造的模型中產生話語(discourse)，並且整合模型到他們的知識結構中。因此，他們認為建模教學的主要

目標之一要讓學生從科學知識的敘述性理解到科學知識的操作性 (operational) 理解，代表真正能夠說明科學知識的原理、原則與意涵。學生在學習的歷程中，透過建模的機會參與，培養學生的能力以產生自身的模型，並且進一步考驗、修正與精緻化。

Halloun (1996) 嘗試修改 Hestenes (1995) 建模架構，提出概要建模 (schematic modeling) 策略，包含模型選擇 (model selection) – 在特定的理論中選擇適當的模型，例如：在牛頓力學理論中，選定合力為零或是不為零的定力作用；模型建構 (model construction) – 學生被引導建立數學模型；模型效化 (model validation) – 評量所提模型的有效性，例如：是否具有內在一致性、是否使相關理論相符合；模型分析 (model analysis) – 對數學模型形成過程進行模型分析；模型調度 (model deployment) – 能夠應用模型到新的問題情境，達到學習遷移；此一架構 Halloun 主要強調使用在教科書的物理問題解決，透過建模歷程讓學生對物理學習可以達到有意義的理解。

Schwarz 和 White (2005) 提出科學建模歷程課程 – Model-Enhanced ThinkerTools curriculum (簡稱 METT 課程)，嘗試應用電腦軟體協助學生建立與精緻化所提出的模型。不同於 Wells 等人 (Wells et al., 1995) 以及 Halloun (1996) 所提出的架構，Schwarz 和 White 以科學探究歷程為主軸，但同樣以線性的方式進行

問題、假說、研究、分析、模型、評鑑等形成六個階段的科學探究教學課程架構，如圖 3 所示。探究歷程中教師首先會提供一個可預測性的問題讓學生形成假說，接著學生真實地進行科學研究，經由所獲得數據結果分析可能的解釋模型，最後透過評鑑精緻化模型使其更趨完善。

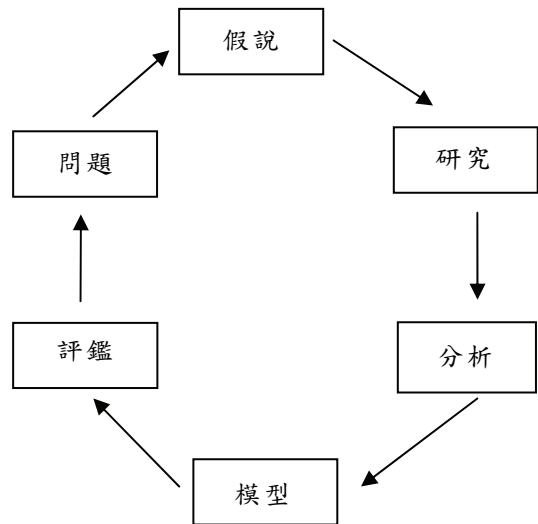


圖 3、科學建模歷程 (引自 Schwarz 和 White 2005, p.173)

不同於其他學習環或教學環的類型，引導式建模探究學習專注在探究過程中，學習者必須**創造、檢視並應用模型**(Schwarz & Gwekwerere, 2007)，唯有透過模型的建立與修正，並且運用後設認知能力，才能達到科學學習的真正理解；同時，以模型為主的探究推理歷程**不會是理想化的線性模式**，而是可在階段間擺盪回溯的歷程 (Sun, Newstetter, & Nersessian, 2006)。

本文作者依據 van Joolingen (2004) 區

分探究學習中建模的角色定義，認為建模探究策略代表使用建模策略去解決探究性的問題，而探究性的問題可以使學習者藉由操作實驗形成假說並測試假說，以解釋實驗的結果。不同於其他的探究教學，在此架構中，學習者透過模型能夠表達假說的推理與相關性，並且模型能夠符合已經被發現的科學理論(van Joolingen, 2004)甚至透過異例而修正科學理論的模型表徵(Kuhn,1970)。建模探究的主要目標在於能夠從數據中尋找模式，以及與他人溝通分享不斷地建構與修正模型，達到對科學知識的真正理解。

引導式建模探究教學架構必須強調學習者的先前知識，以及欲研究的新概念，透過呈現模型的操弄以進行科學實驗，學習者尋找數據的模式創造對於現象的模型解釋，而此模型必須經由不斷考驗與修正形成科學社群所接受的模型，進而內化成爲個人的心智模式，用以解釋或解決往後相似的情境問題。因此，引導式建模探究教學架構除了教師過程中的引導之外，尚必須符合：

- 一、連結學習者的先前概念，誘發學習者產生興趣，並且維持。
- 二、透過科學方法對於欲探討問題進行實驗，以考驗假說的合理性。
- 三、經由數據的分析處理形成新的概念想法，提出適當的模型架構並評估其適切性。
- 四、與教師或同儕討論，並且應用到新的情境，以評鑑想法的合理性。

本文植基於 BSCS 發展的 5E 探究模式 (Bybee, 1997)，並參考 Schwarz 和 White (2005)所提出的科學探究學習環，形成引導式建模探究教學架構，如圖 4 所示。本文作者認同 Schwarz 和 White (2005)將 5E 探究模式中的探索階段以研究(investigate)取代，主要希望能夠含有探究而非只是空泛的發現學習的教學意涵，並且可藉由科技工具表達科學話語的便利性，強調學習者、學習者間與科學概念間溝通達到認知協調的重要性；但**本架構與其差異是更強調學習者的動機因素以及非線性的探究歷程**，表示學習者在每個階段都必須保有良好的參與意願，透過**產生、評鑑以及修正**的循環歷程，使得每個階段都是可以**檢驗與回溯的歷程**，整個引導式建模探究學習的階段包含：**參與、問題、假說、研究、分析、模型與評鑑**七個階段。分別說明如下：

- 一、**參與**：教學活動能引發學生的學習興趣，使學生願意主動參與教學活動，同時能讓學生在整個階段歷程都能維持高度興趣與正向學習態度，包括：對於現象提出問題、形成科學假說、透過設計實驗獲得數據、進行數據分析，進而獲得解釋模型。
- 二、**問題**：引導學生使用先前學過的知識提出問題，強調與學生的先前知識作連結，透過日常生活現象的觀察，或是學校課程內容的額外啓發引起學習者的好奇心，進而對自然現象產生問題，並且聚焦於所要解決的問題。

三、**假說**：學生根據問題提出可能性的假說；教師引導學生形成含有變因條件的科學性假說。

四、**研究**：依據假說變因間的關係設計實驗、尋找或製造實驗工具，觀察所操弄的現象以獲得實驗數據。

五、**分析**：透過科技工具的協助，找出所收集數據的可能因果關係，以解釋所呈現的普遍性規則。

六、**模型**：使用數據中呈現的規則性結果整合形成模型，再使用形成的解釋模型去做預測，並應用這些模型到新的情境中。

七、**評鑑**：探究過程中必須經歷不斷的評鑑過程，包括學生參與意願的變動、所提出的問題是否合適中小學生的能力範圍、假說是否具備限制性條件的操弄、操作實驗的方式與實驗器材是否能夠收集到具有效度的數據、評估是否有其他的模型也可以符合所收集的數據，最後將想法公開化，並且透過數據中異常的部份修正初始的模型，並且回應他人的評論；過程中教師透過評鑑方式協助學生評估整個探究歷程以及所提出的模型解釋，以作為往下一個階段或是回到先前階段修正的依據。

學生的學習與參與意願可能會因為長時間進行探究活動而降低，當學習者在整個探究歷程持續保持良好的學習意願，才能夠真正自主性而非被動地參與整個科學探究，同時每個階段再經由產生、評鑑

以及修正的循環歷程，評鑑每個階段的成效使得新提出的外顯表徵(可以是參與動機、提出的問題、假說、實驗設計、數據

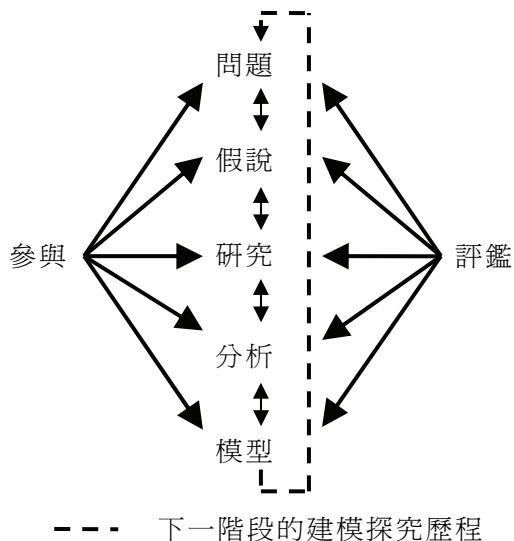


圖 4、引導式模型化探究教學架構 (修改自 BSCS, 2005 ; Schwarz & White, 2005)

分析方式或模型等)與個人內在心智模式形成交互作用，達到修正每個階段的目的，舉例來說：對於科學現象形成問題階段，可以透過「欲探討的問題深度是否超過學生能力太多？」或是「所提出的問題，在現有的資源中是否可以進行科學實驗？」等幾項標準，評價教師或學生所提出研究問題的適切性。

建模探究的主要目標在於能夠從數據中尋找模式，評估所得數據與模型的有效性與合理性，以及透過與他人溝通分享不斷地建構與修正模型，以達到對科學知識的真正理解，也就是經歷不斷積極參與、發現問題、形成假說、進行研究、分

析所得數據、尋找模式而形成模型並且透過評鑑的方式不斷修正所提出的外在表徵並且精緻化，最後公開陳述想法並與他人交互辯駁，形成環狀的路徑程序；透過程序不斷參與建構與修正模型的歷程使得學生逐漸獲得科學理論的模型表徵，甚至透過異例的探討修正理論模型。期望藉由上述七個步驟的建模探究教學環，輔以教師的鷹架協助，形成引導式建模探究教學策略架構。

陸、結語

兒童的科學學習是否類似科學家探究知識呢？Thagard (1992)認為如果從學習的機制方面而言，兒童的學習類似於科學家，因此，兒童的科學學習的歷程也期望能夠類似科學家一般，透過先備知識發現問題、提出假說、設計實驗，觀察與收集數據、根據數據的模式提出可能的模型，在與他人的互動分享中，不斷修正本身的模型並依據模型對現象做進一步的預測。透過科學事件的認知分析，Nersessian (1992)認為科學家的概念改變是逐漸形成的，並非是如 Kuhn (1970)所宣稱的格式塔轉換，探究期間不間斷的概念改變過程是一個循環式的認知歷程，要能獲得完善的理論體系架構，勢必要不斷進行科學理論探究，透過不斷發現問題、形成假說、進行研究、分析所得數據、尋找模式而形成模型並不斷修正與精緻化，最後公開接受科學社群的檢視。透過科學家認知歷程分析以及其概念改變歷程類比轉換在一般學

習者或生手探究者時，教師引導的份量勢必加重與凸顯，也就是說教師必須安排適當的學習情境，引導學生持續參與、發現問題、形成假說、進行研究、分析所得數據、尋找模式而形成模型並不斷修正與精緻化，最後公開接受他人的檢視並做辯駁。

本文作者認為教師有必要依據不同能力的學習者，而規畫不同的教學策略，因而提出引導式建模探究教學的理論架構，期望將科學建模融入科學探究的學習歷程之中，例如：專題計畫、科學展覽等探究活動，經由教師鷹架協助學生自己對認知過程的監控，達到科學學習的目的。本架構植基於 5E 學習環(Bybee, 1997)，並以 Schwarz 和 White (2005)所提出的科學探究學習環架構為輔，包含七個階段：參與、問題、假說、研究、分析、模型與評鑑，除了強調參與的動機因素之外，每個階段再透過產生、評鑑以及修正的歷程，形成可回溯的探究階段程序；然而不同於傳統教學環的作法，本架構除了將模型與建模的觀點融入探究活動中之外，也期望透過模型外顯化的建模策略，使教師注重學生內在真正建立的表徵。未來工作著重在以此架構設計細項科學建模指標以及教學活動，進行生手學習者的實證性研究，以期能夠獲得證據支持以上論述而更符合中小學學生的學習歷程。

柒、誌謝

本文作者誠摯地感謝兩位匿名審查者的寶貴評論與建議，讓本篇文章更趨完

整，同時感謝過程中給予協助的錦和高中所有師生以及台灣師大科教所－邱美虹教授課程上的教導。

捌、參考文獻

- 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。
- 高慧蓮 (2006)。九年一貫課程提升學生科學本質能力指標表現可行教學模組之開發研究。 *科學教育學刊*，14(4)，1-25。
- 教育部 (2003)。國民中小學九年一貫課程綱要。台北市：作者。
- 楊秀停、王國華 (2007)。實施引導式探究教學對於國小學童學習成效之影響。 *科學教育學刊*，15(4)，439-459。
- 蔡執仲、段曉林 (2005)。探究式實驗教學對國二學生理化學學習動機之影響。 *科學教育學刊*，13 (3)，289-315。
- 謝州恩、吳心楷 (2005)。探究情境中國小學童科學解釋能力成長之研究。 *師大學報：科學教育類*，50(2)，55-84。
- Bell, L. R., Smetana, L., & Binns, I. (2005). Simplifying inquiry instruction: assessing the inquiry level of classroom activities. *The Science Teacher*, 72 (7), 30-33.
- BSCS (2005). *Doing Science: The Process of Scientific Inquiry*. National Institutes of Health, National Institute of General Medical Sciences.
- Bruner, J. S. (1977). *The process of education*. (2nd Edition). New York: Vintage.
- Buckley, B. C., & Boulter, C. J. (2000). Investigating the Role of Representations and Expressed Models in Building Mental Models. In J. K. Gilbert and C.J. Boulter (eds.), *Developing Models in Science Education* (pp.119-135.) Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Bybee, R. W. (1997). *Achieving scientific literacy: From purposes to practices*. Portsmouth, NH: Heinemann.
- Bybee, R. (2006). Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning and Teacher Education. In L B Flick & N G Lederman (eds), *Scientific inquiry and science teaching* (pp.1-14), Springer: Dordrecht.
- Carey, S., & Smith, C. (1993). On understanding the nature of scientific knowledge. *Educational Psychologist*, 28, 235-251.
- Clement, J. (1989). Learning via model construction and criticism: Protocol evidence on sources of creativity in science. In J. A. Glover, R. R. Ronning, and C. R. Reynolds (eds), *Handbook of Creativity: Assessment, Theory and Research* (New York: Plenum Press), 341-381.
- Crawford, B. A. (1999). Is it realistic to expect a preservice teacher to create an inquiry-based classroom? *Journal of Science Teacher Education*, 10(3), 175 - 194.
- DeBoer, G. E. (1991). *A history of ideas in science education*. New York: Teachers College.
- Duit R., Roth W., Komorek M. and Wilbers J., (2001), Fostering conceptual change by analogies - between Scylla and Charybdis. *Learning and Instruction*, 11, 283-303.
- Feurzeig, W., & Roberts, N. (1999). *Computer modeling and simulation in science education*. (Eds.).New York: Springer-Verlag.
- Francoeur, E. (1997). The forgotten tool: The design and use of molecular models. *Social Studies of Science*, 27, 7-40.
- Gagne, E.D., Yekovich, C.W., & Yekovich, F.R. (1993). *The cognitive psychology of school learning* (2nd Edition).New York: Harper Collins.
- Gibson, H. L., & Chase, C. (2002).

- Longitudinal impact of an inquiry-based science program on middle school students' attitudes toward science. *Science Education*, 86, 693-705.
- Gilbert, J. (1995). The role of models and modelling in some narratives in science learning. Presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, April 18-22. San Francisco, CA, USA.
- Gilbert, S.W. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), 73-79.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and modeling : routes to more authentic science education, *International Journal of Science, & Math Education*, 2, 115-130.
- Gilbert, J.K., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998). Models in explanations, part 1: Horses for courses. *International Journal of Science Education*, 20(1), 83-97.
- Halloun, I. (2006). *Modeling Theory in Science Education*, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 1019-1041.
- Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physical education. *Am. J. Phys.*, 55, 440-454.
- Hammer, D. (1997). Inquiry learning and discovery teaching. *Cognition and Instruction*, 15(4), 485-529.
- Hestenes, D. (1992). Modeling Games in the Newtonian World. *Am. J. Phys.*, 60, 732-748.
- Hestenes, D. (2006). Notes on Modeling Theory, Proceedings of the 2006 GIREP conference: Modelling in Physics and Physics Education.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 2(2), 201-217.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88, 28-54.
- van Joolingen, W.R. (2004). A tool for the support of qualitative inquiry modeling. In Kinsuk, C.K. Looi, E. Sutinen, D. Sampson, I. Aedo, L. Uden, & E. Kähkönen (Eds.), Proceedings of the 4th IEEE conference on advanced learning .
- Karplus, R. (1977). Science teaching and the development of reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 14, 169-175.
- Kempa, R. F., & Diaz, M. (1990). Students' motivational traits and preferences for different instructional modes in science education: Part 2. *International Journal of Science Education*, 12, 205-216.
- Krajcik, J., Czerniak, C. M., & Berger, C. F. (1998). *Teaching children science: A project-based approach*. Boston: McGraw-Hill.
- Jonassen, D. (2008). Model Building for Conceptual Change. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 676-693). New York: Taylor & Francis - Routledge.
- Justi, R., & Gilbert, J. (2002). Models and modelling in chemical education. In J. K. Gilbert, O. DeJong, R. Justi, D. F. Treagust & J. H. Van Driel (Eds.), *Chemical education: Towards research-based practice* (pp. 47-68). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2000). Modeling in mathematics and science. In R. Glaser (Ed.), *Advances in instructional psychology: Volume 5: Educational design and cognitive science* (pp. 101 - 159). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Linn, M., & Muilenburg, L. (1996). Creating lifelong science learners: What models form a firm foundation? *Educational Researcher*, 25(5), 18-24.
- National Research Council. (1996).

- National Science Education Standards. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Society for the Study of Education. (NSSE). (1960). *Rethinking science education: Fifty-ninth yearbook of the NSSE, Part I*. Chicago: University of Chicago Press.
- Nersessian, N. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science Minnesota studies in the philosophy of science*, Vol. 15. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Nersessian, N. J. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. In Carruthers, P., Stich, S. & Siegal, M. (eds.) *The Cognitive Basis of Science*. 133 – 153. Cambridge University Press.
- Perkins, D. N. (1986). *Knowledge as Design*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Assoc. Publ.
- 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, 211-277.
- Rouse, W.B., & Morris, N.M. (1986). On looking into the black box: Prospects and limits in the search for mental models. *Psychological Bulletin*, 100(3), 349–363.
- Rubin, R. L. and Norman, J. T. (1992) Systematic Modeling Versus the Learning Cycle: Comparative Effects on Integrated Science Process Skill Achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (7), 715-727.
- Schwarz, C., & Gwekwerere, Y. (2007). Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support pre-service K-8 science teaching. *Science Education*, 91(1), 158-186.
- Schwarz, C., & White, B. (2005). Meta-modeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165 – 205.
- Shringley, R. L. (1990). Attitude and behavior correlates. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(2), 97-113.
- Sun, Y., Newstetter, W., & Nersessian, N. J. (2006). Promoting model-based reasoning in problem-based learning. Trabajo presentado en la reunión anual de la Cognitive Science Society, Vancouver, Canadá.
- Tamir, P., Stavy, R., & Ratner, N. (1998). Teaching science by inquiry: Assessment and learning. *Journal of Biological Education*. 33, 27-32.
- Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Wells, M., Hestenes, D., & Swackhamer, G. (1995). A modeling method for high school physics instruction. *American Journal of Physics*, 63, 606-619.
- Windschitl, M. (2004). Folk theories of “inquiry”: How preservice teachers reproduce the discourse and practices of an atheoretical scientific method. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 481–512.
- Zuckerman, M., Kieffer, S. C., & Knee, C. R. (1998). Consequences of self-handicapping: Effects on coping, academic performance and adjustment. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(6), 1619-1628.
- 投稿日期：97年03月03日
接受日期：99年05月04日

Guided Model--Based Inquiry and Modeling Teaching Framework

Jing-Ping Jong

Jing-Ho Senior High School

Abstract

Many reports showed that many students could not accomplish their inquiry task independently. Guided framework for learning and teaching is important (Krajcik, Czerniak, & Berger, 1998 ; NRC, 2000). The report here presents guided model-based inquiry and modeling framework to help science teacher and novice learners. The framework includes engagement, question, hypothesis, investigation, analysis, model, and evaluation, which are revised and elaborated from 5E learning cycle proposed by Bybee (1997) and scientific modeling inquiry proposed by Schwarz and White (2005).

Keywords: inquiry, model, modeling, guided model-based inquiry