
從科學學習的觀點探討模型與建模能力

邱美虹^{1*} 劉俊庚^{1,2}

¹國立臺灣師範大學 科學教育研究所

²臺北市立中崙高級中學

摘要

科學的發展過程中科學家常透過模型的建立，使科學知識得以簡明的方式表示或傳遞其理論，以做為溝通的媒介。但是在科學教育的教學中，教師較少發展學生對模型的觀點，也不重視建模能力的建構，因而學生對模型的看法常停留在具體的層次而未能提升到抽象的層次，使得科學學習受到阻礙，更遑論整體建模能力的培養。有鑑於此，本文主要是回顧有關模型和建模能力的相關文獻，並對其在科學教育的教與學中所扮演的角色以及以模型為基礎的教學實例加以評析，以作為科學教與學之參考。

壹、前言

Hodson (1992) 認為科學教育的目的有下列三個：科學的學習 (the learning of science)，如理解由科學所產生的想法；關於科學的學習 (learning about science)，如理解在哲學、歷史和科學方法的重要議題，和學習去做科學 (learning to do science)，如能夠參與那些獲得科學知識的科學活動，而達成這些目的最為關鍵的角色即是對模型 (model) 的認識與建立模型 (modelling) 的能力。在科學的實踐上，模型與建模也扮演著相當重要的角色，模型的形態或結構可以減少其所呈現現象的複雜性，讓抽象理論更易被理解，並可用來進行預測和推論，當然更是科學教學與學習歷程中相當重要的呈現方式與不可或缺的能力，然而在科學探究活動與科學本

質的教學中卻常被忽略 (Gilbert, 1995; 引自 Crawford & Cullin, 2004)。近來，科學教育研究也重新關注於模型與建模的議題，如科教著名的期刊 *International Journal of Science Education* 於 2000 年 9 月即針對此議題出版專刊。因此，確有其必要對於模型與建模做更為深入的探討。

貳、何謂模型

一、模型的定義

關於模型 (model) 這個名詞，許多研究者均有不同的解釋，在這些不同意義之間，有一個共同的核心意義，即是模型代表在某些情況下所呈現的另有表徵。一般來說，通常模型常被視為是一個物件、事件、想法或現象的表徵 (Gilbert & Boulter, 2000)。

然而，學生與科學家對於模型卻有不同的看法，通常學生僅能建構可以見到物

* 為本文通訊作者

件的模型，他們會認為模型是一個實體或一個人工的複製品。但科學家使用模型則更加考慮無法見到的物體，或甚至於那些僅能想像的現象。因此，科學的模型所描述可能是抽象的，並用來對未知物體的結構與過程做描述或預測。Saari 和 Viiri (2003) 對科學模型與學生對於模型的想法之進行比較如表 1 所示。

由表 1 的比較，我們可以發現大部分學生無法察覺關於模型抽象的想法，他們認為模型是具體的複製品，透過尋找最符合他們想法的模型，以理解模型的意義。因此，如何從日常生活觀點的模型轉換為科學的模型即是教師教學中需考量的地方。

二、模型的分類與交互作用

許多研究者依照模型的外觀或功能

對模型做分類，主要是做為強調這些模型之間的差異，然而，這些模型也有些共同的特徵。以下將介紹幾位研究者對於模型所做的分類形式。

(一) Harrison 和 Treagust (2000) 的類比模型分類

依 Harrison 和 Treagust (2000) 的分類，類比模型可以分為四大類，分別是科學和教學的模型 (Scientific and teaching models)，用以建立概念知識的教育性類比模型 (Pedagogical analogical model that build conceptual knowledge)，用以描述多重概念或過程的模型 (Model depicting multiple concepts and/or processes)，和對實體、理論和過程的個人化模型 (Personal models of reality, theories and process) 等，分別整理如下表 2 所示。

表 1. 學校科學與學生對於模型想法之比較 (Saari 和 Viiri, 2003, 引自邱美虹, 2008)

學校科學的模型	學生對於模型的想法
科學模型是表徵一個可能已知或未知的目標	模型是一個物件或是一個行為
模型的目的是表徵一個目標物，並且用來協助概念化	模型的目的是複製
對於討論目標物的結構和性質，模型提供我們描述的語彙	模型的適當性是基於誰創造了模型，但是此模型必須盡可能地準確
模型能夠被檢驗，並且根據檢驗來改變	假如模型包括錯誤，或是它的創造者想要改變它，則模型是可以改變的

表 2. Harrison 和 Treagust (2000) 的類比模型分類

類別	次類別	描述	範例
科學和教學模型	尺度模型 (scale models)	尺度模型通常反映了外在的比例，但是很少顯示內在結構、功能和效用(Black, 1962；引自 Harrison & Treagust, 2000)。尺度模式由於是實體的放大或縮小，因此這種真實性的對應可能會阻礙顯示特定模型與目標物的差異。	玩具或類似於玩具的東西，如模型汽車。
	教育的類比模型 (pedagogical Analogical Models)	所有在教學與學習使用的類比模型均稱為類比，因為模型與目標物分享共同的屬性，教師可用模型來解釋無法觀察到的實體(如原子與分子)，而讓學生理解。由於，類比模型採取一對一的對應關係，因此類比的屬性通常會被過度簡化，或出現誇大的現象。	利用水流模型來類比電流。
用來建立概念知識的教學類比模型	圖像與符號模型 (iconic and symbolic models)	圖像或符號是用來作為解釋或溝通的工具，如化學分子式與方程式是化合物與化學反應的符號模型。	如利用 CO ₂ 表徵二氧化碳，但準確來說的話，則需要轉換成 OCO，或是 O=C=O。
	數學模型 (mathematical modes)	以數學方程式與圖表來表示物理性質與過程，因為它們描述概念的關係。	根據波以耳定律 Kline(1985,引自 Harrison & Treagust, 2000)的觀點，數學模式是最抽象、準確和預測的模型。
	理論的模型 (theoretical models)	理論模型是人類所建構，用來描述理論的實體。	如氣體動力學理論模型的體積、溫度和壓力即屬於此類別。

模型描述 多重概念 和過程	地圖、圖表和表格 (map, diagrams and tables)	這些模型表徵類型、路徑與關係，而使學生容易產生視覺化。	如週期表、天氣圖、電路圖、血液循環、家譜。
	概念－過程模型 (concept-process models)	許多科學概念是屬於過程，而不是物件概念。然而卻出現一個解釋的困境：教師如何解釋非物質的過程給學生？教師與教科書使用概念－過程模型，但學生無法理解為什麼教師對於相同的過程，卻要用不同的模型來解釋。因此，學生常會記憶規則，而不願意去探討其原因。	如利用輪子在不同材質行進的速率會有不同，造成行進方向的偏轉來解釋光的折射現象。
	模擬 (simulations)	模擬是一種多重動態模型的獨特類別，且模擬模型是複雜的過程。	如飛機的飛行、全球暖化、核反應，和污染的變化。
實體、理論和過程 的個人化 模型	心智模式 (mental models)	心智模式是“心智表徵的一種特殊形式，一種類比的表徵，是個體在認知運作時產生的 (Vosniadou, 1994 p.48；引自 Harrison & Treagust, 2000)”。此外，它可能是不正確的，而且它也因人而異。	
	綜合的模型 (synthetic models)	根據 Vosniadou(1994) 的觀點，綜合模型是學生初始模型與科學模型組成的模型。可以是不完整、不科學，但最重要的是具有功能性 (Functional)。	綜合來說，許多學生透過許多模型（如利用太陽系、殼層、電子雲和軌域）來學習原子結構，然而中學生會認為電子殼層是保護的結構－另有概念的形成。

（資料來源：Harrison & Treagust, 2000，作者自行整理）

(二) 以模型的本體地位來區分模型

爲了理解模型的角色，根據模型的本體地位來區分模型將會是非常有用的。舉例來說，藉由教師或學生在課堂中所發展的教學模型即可能與課程模型有所不同。Gilbert、Boulter 和 Elmer (2000) 根據模型的本體地位來分類，以說明模型的功能（亦請參閱邱美虹，2008）。根據 Gilbert 等人的看法，模型有七類，各司其職，如下所述。因此，當研究者在談論模型時宜清楚闡明其所指爲何。譬如，當談論到學生的心智表徵時，宜使用心智模式來說明其內在的知識單元的結構以及概念之間的互動與改變的狀態；但是若談到繪圖、類比等則宜視爲表達模型等等。茲將 Gilbert 等人的模型定義加以闡述如下：

1. 心智模式 (mental model)：心智模式是私人且個人化的認知表徵，它是由個人所形成。對其他人而言，它是無法觸接的 (inaccessible) (Gilbert, 2005)。
2. 表達模型 (expressed model)：爲了使個人的心智模式能夠與他人溝通，模型即需置於個人或群體的公眾領域，並且在與他人的互動過程中，予以表徵和使用，此即爲表達模型。
3. 共識模型 (consensus model)：在討論與實驗之後，不同的群體均同意“表達模型”是有用的，因此，原有的表達模型即成爲共識模型。若是群體是某個特定領域的科學社群，並且是科學中最爲重要的一部分，則可稱爲科學模型 (scientific model) (Gilbert, 2005)。

4. 歷史模式 (historical model)：這些共識模型是在特殊的歷史情境產生，並且隨後可被取代。換句話說，若是模型發生取代的過程，則被取代的模型可稱爲歷史模型，歷史模型依然能被使用，因爲它仍可以做爲特定目的解釋，如波耳的原子模型仍可在教科書中找到 (Gilbert, 2005)。
5. 課程模型 (curricular model)：若是將歷史或是科學模型予以簡化包含入正式的課程，即爲課程模型。
6. 教學模型 (teaching model)：通常共識、歷史和課程模型是非常困難產生的，而教學模型則是可藉由教師或學生來發展以促進理解這些模型發展的歷程。
7. 混合模型 (hybrid model)：藉由合併每個不同模型的特徵，而用於課程與課堂的教學，猶如它是一個具一致性的整體。
8. 教育學模型 (model of pedagogy)：教師在課堂中使用的模型，其考量科學的本質、科學教學的本質、和科學學習的本質。

(三) 以認知心理學的角度看模型和心智模式的交互作用

本文第一作者認爲模型是用以表徵現象、概念、過程、事件、或是物件等，它可以是以不同的表徵方式來呈現(如圖象、文字、符號、肢體動作等多元方式)，以達到不同的功能與目的(如解釋性、描述性、溝通、模擬、抽象化、預測性、推理性、問題解決等)。因此它也擁有單一或多

重、教學的、歷史的、個人的/團體的、靜態/動態等特質。實體則可包括具體物件屬性和結構，而自然與物質現象可以是巨觀或微觀的。在心智模式部份則是長期記憶中的元素與外在環境或刺激物交互作用所產生的內在表徵，因此它會隨外在人、事、物等異動而改變，因此其具有動態變化的特質。除此之外，它亦可能是完整或片斷

的知識、一致或不一致的結構、正確或不正確內涵等性質。圖一顯示實體或現象與模型和心智模式的交互作用之關係。簡言之，個體藉由模型所表徵的實體或現象來建立其內在的心智模式，而個體又可藉由模型表徵的方式來表達個人對實體或現象的理解。這種內隱知識結構與外顯模型的交互作用，使我們得以建立對科學的認識。

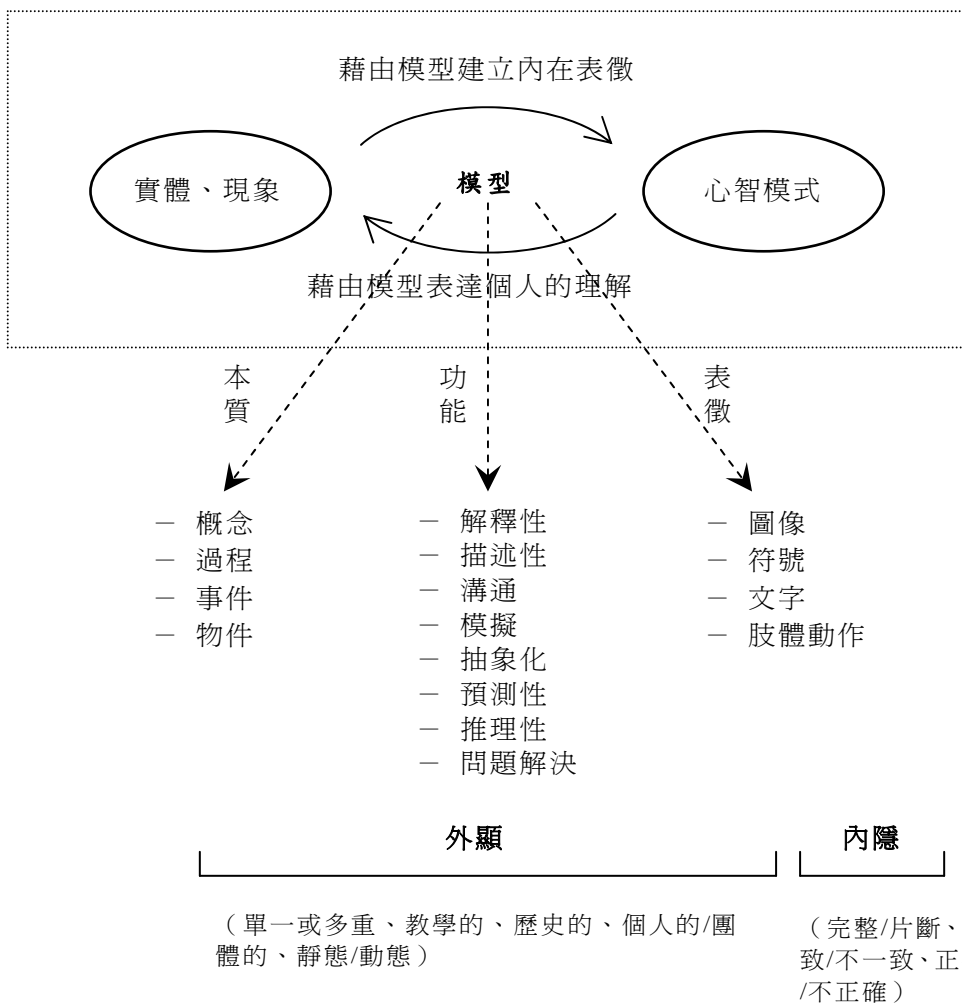


圖 1. 模型、心智模式、實體或現象之關係

參、為什麼模型與建模如此地重要？

綜合上述所言模型是“科學的產物、方法，並且它是學習與教學的主要工具”（Gilbert, 1993: p.1）。Gilbert 等人（2000）認為對於科學教育而言，模型與建模有下列三個主要的貢獻：首先，對於理解任何現象或是訊息的發展，心智模式的形成是相當關鍵的；第二，在科學的過程中，模型在產出與實驗的檢驗上扮演相當重要的角色；第三，歷史與科學的模型是科學的主要結果。Gilbert 認為在課堂的教學中，教師常會透過模型的使用闡明科學的理論；同理，當學生要理解教師呈現給他們的複雜想法時，他們也必須透過心智的運作去形成與使用模型，藉以理解複雜的科學知識與概念，由此可見模型是思考與科學工作不可或缺的部分，同時，模型與建模在科學教學與學習影響甚鉅，然而在教學或學習的過程中卻常被忽略。以下針對其貢獻加以說明：

一、模型的功能與建模在科學所扮演的角色

根據 Leatherdale（1974；引自 Gilbert, 1993）的觀點，他認為模型有七個功能，分別是：1.對於複雜現象予以簡化，以利思考，如利用 $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ 來描述光合作用；2.提供理論更容易理解的方式，如利用金屬導電模型來解釋或理解歐姆定律；3.對於理論的預測能力，提供一個結構化與機械化的向度，如德國科學家貝塞爾（F. W. Bessel）利用開普勒的行星

軌道和牛頓引力理論預測另一個新行星的存在—海王星的發現；4.強化理論的預測能力，並且提供它們發展的方式，如從拉塞福的有核原子模型到波耳的原子模型，了解原子模型的發展歷史；5.關於理論相關性提出問題，如利用電腦模擬來發現 CO_2 濃度上升是否造成全球暖化的問題；6.提供深刻理解與想像的媒介，如以足球來描述 C_{60} 的結構；7.提供對於實驗與觀察的理論推導的關係，如利用氣體分子模型來推導波以耳定律和查理定律。此七功能從簡易的說明到複雜的解釋與預測，充分說明模型在科學教育上的功能。

科學方法的主要元素之一即是模型的形成與檢驗，在科學教學的歷程中，建模能力的培養自然被視為是科學教育的目標之一。因此科學教育應將建模的能力包含入教學與學習中，透過學生對於科學模型的經驗以協助他們發展心智模式，如此將有助於學生科學的學習。

二、模型與建模在科學史所扮演的角色

從科學史與科學哲學的觀點來看模型與建模在歷史上所扮演的角色就可理解為何這兩者是不容忽視的。科學家的工作目標之一就是理解自然世界如何地運作，當物體可能體積太大、太小，現象出現太快或過於複雜，模型將會是一個相當有用的工具來協助科學家進行預測，解釋、理解與科學的發現（Jungck & Calley, 1985）。這在科學史上俯拾皆是（如波耳的原子模型），或是在生物學上，達爾文

以馬爾薩斯 (Thomas R. Malthus) 的人口論來類比演化論，在物理學上，氣體分子模型來解釋氣體定律。科學家經由觀察、確認數據的型態，並對這些形態做檢驗和解釋，如此的解釋即稱為科學模型 (Grawford & Cullin, 2004)。而科學家為了傳播他們的想法，他們也會使用不同的表徵方式，包括：圖畫、圖片、方程式，或三度空間的結構 (如分子模型)，這些均屬於模型。科學社群即使用這些模型來解釋與預測各種現象。然而，科學家評估模型時並不會去問它是否正確或錯誤，相反地，他們會去問：1. 模型是否能解釋所有的觀察？2. 模型如何能預測系統的行為，假如它以特殊的方式來運作的話？3. 模型是否與其他想法相互一致。同時，他們會發展多重的模型，並且對於相同的現象均是可接受的 (Crawford & Cullin, 2004)，很明顯地，科學家對於模型主要是著重於模型的功能，至於模型與實體或現象之間的差異，並不是他們所關心的部分。

三、模型與建模在科學教育所扮演的角色

模型是科學教育主要的教學與學習工具。Gilbert 等人 (2000) 認為建模與模型能夠在科學教育與科技教育之間建立起一個橋樑。由於科學理論通常非常抽象，若能利用模型來呈現，則將使理論變得容易理解。此外，也有許多模型是特別用於科學教學之中，如教師平時教學描述原子結構時，他們常會使用太陽系行星模型，原子核對應於太陽，電子則猶如於行星的運轉 (見圖 2)，而在描述化學反應的能量關係 (活化能) 時，則類似於跨欄比賽選手必須跳過柵欄 (見圖 3)。生物課程中則常使用鎖與鑰匙之間的關係來描述酵素專一性 (見圖 4，修改自康軒, 2007, p.53)。由此更可說明模型與建模在科學教育所扮演的角色，但無可厚非，這些模型仍有其限制性。

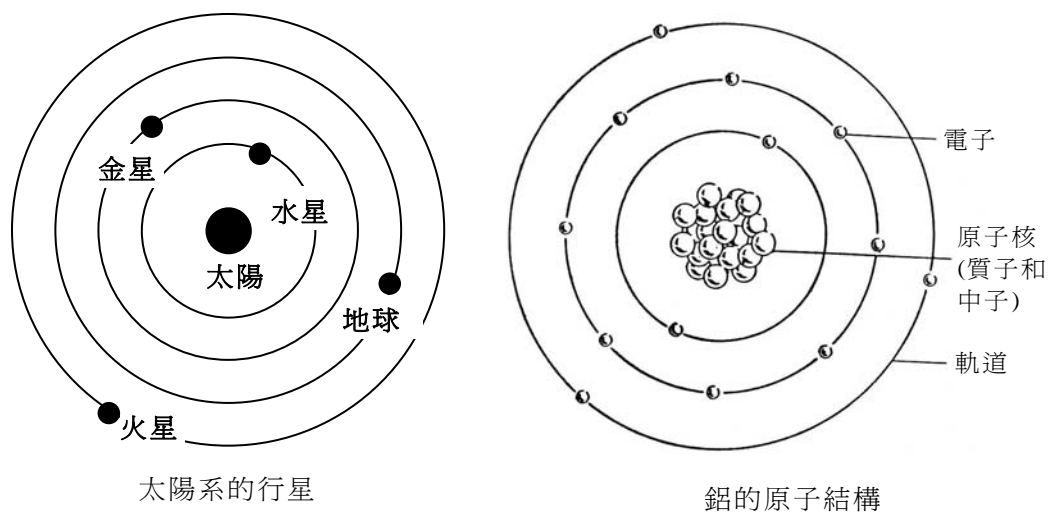


圖 2. 原子結構猶如太陽系的行星運轉

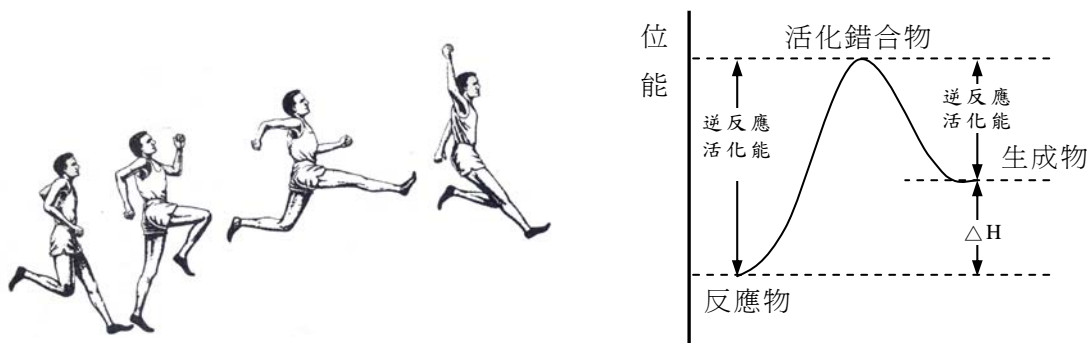


圖 3. 化學反應的能量關係猶如跨欄比賽選手跳過柵欄 (Alexander, 1992; 引自 Gilbert, 1993)

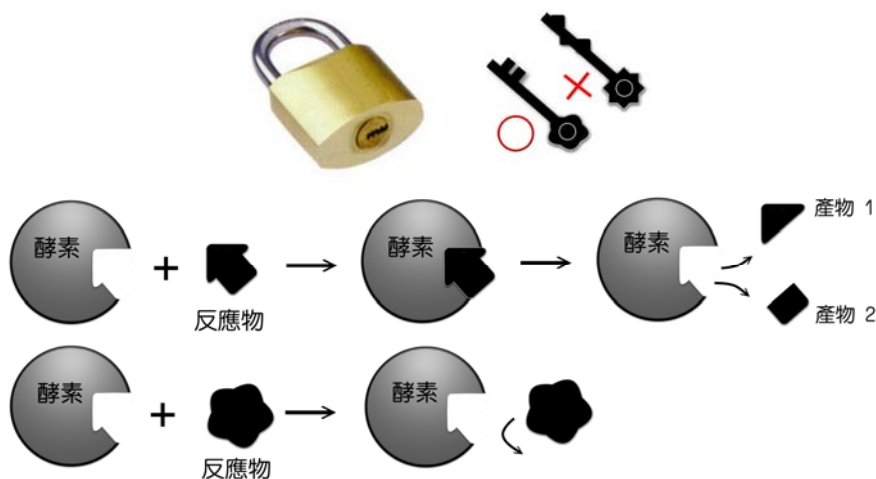


圖 4. 利用鎖與鑰匙的關係來描述酵素的專一性示意圖 (康軒出版社 2008, p.53)

肆、模型認識和建模歷程與能力之發展

一、科學模型角色的認識

(一) 學生對於模型的認識

對於科學模型而言，學生透過個人生活的經驗建構出具有個人經驗與獨特的理解，而這些理解可能並不正確，有時甚至會導致學生的另有概念。為了探討學生對於科學模型角色的理解，Treagust, Chittleborough 和 Mamiala (2002) 設計

了診斷學生科學模型角色認識的工具，分別探討模型是什麼和模型所扮演的角色（包括模型如何被使用、什麼因素會導致模型必須改變）。研究結果顯示，學生對於模型的認識可以分為五大類型：模型是多重表徵、模型是精確的複製、模型是解釋的工具、科學模型的使用和模型變化的本質。同樣的，Justi 和 Gilbert (2003) 的研究指出，大部分的 6-14 歲的學生對於模型本質的看法均與日常生活中關於模型的意

義有緊密的相關性，即是認為模型是某事物的複製、模型是一個標準物、模型所表徵的實體並不包括想法、模型是獨特唯一的、或是模型是不能改變的，雖然有 50% 的學生認為模型具有預測的能力，但他們相信對於模型存在性的判斷是屬於個人化的。綜合上述的研究，大部分的學生認為模型是某種事物的複製品，模型必須與真實的事物非常地接近，並且他們無法理解科學模型是如何被使用來說明科學想法與理論的發展。根據周金城(2008)研究顯示 42.8% 的高中生認為模型要與對應物呈現不可呈現扭曲對應的比例，52.9% 學生認為模型須完全對應特定事物的結構、性質與關係。同時，有 30.9% 的學生不認為模型可以是符號。

(二) 教師對模型的認識

近來，關於教師對模型與建模本質的研究較多，在 Van Driel 和 Verloop (1999) 的研究指出，教師均認同“模型是簡化的或是實體的表徵”的觀點。Harrison (2001) 訪談了 10 位有經驗的中學教師關於模型本質的理解和模型在解釋上的使用情形。研究結果顯示，所有的教師均同意模型是科學主要的工具，然而其中有 6 位認為模型是科學的主要產物。在 Justi 和 Gilbert (2003) 的研究指出，幾乎所有的訪談者均表達了超過一個模型本質的觀點，多重模式表徵的使用似乎引發了額外的詮釋。然而，有 36% 的教師主張“模型是某事物的複製品”，21% 主張“僅有一種模型是可能的”，21% 主張“模型是不

能改變的”，而有 18% 認為“模型是藉由個體來確認的”。此外，Van Driel 和 Verloop (2002) 的研究則指出，教師對於學生在模型與建模的知識非常有限，因此無法有效的整合到他們教學活動的經驗中，如此將難以引導學生有關模型的認識與使用模型的機會。

二、建模歷程與能力的發展

科學學習的過程中，為了理解與應用模型，發展建模的能力是很重要的。那建模 (modeling) 是什麼呢？許多研究者均有不同的看法，如 Justi 和 Gilbert (2002) 認為建模是一個相當複雜的歷程，包括許多的活動與技能，並且獲得這些能力是相當緩慢的。Gilbert (1991) 則將科學定義為建構可預測概念模式的過程，認為模型的建構是一種較為進階的過程技能。在如此的架構下，研究的目的即是產生模型，而來表徵其一致性和可預測的關係。綜合上述的觀點，本文作者則認為，建模即是產出模型的過程，建模是一個動態的歷程，它必須牽涉到個體如何設定假說、建立模型所需要的達到的目的、確認模型的組成成分、確認它可能衍生出的來源、選擇模型、操弄模型中的變因、建立適當的模型 (產生一個表徵) 並進行檢驗與修正，進而發展出新的模型。換句話說，建模是企圖去協助學生了解知識是人們所建構的，並且具有促進科學理解和科學本質的潛能。

(一) 建模歷程之發展

依 Halloun (1996) 的研究指出解決

問題的建模歷程有五個步驟，分別是：模型選擇(model selection)、模型建構(model construction)、模型效化(model validation)、模型分析(model analysis)和模型調度(model deployment)。第一階段包含在情境中確認與描述每個現象中系統的組成。隨後，建模的目的將會被確認，而且期望結果能有效。在這些步驟之後，選擇適當的理論來評論，並選擇和建構一個適當的模型。隨後，此模型被處理與分析，若是它持續地有效，隨著這些分析，則可推論問題的結論。然而，在傳統的教學歷程中，有兩個步驟卻常被忽略，分別是：模型的效化和調度，因此，他認為互動(interactive)和辯證(dialectic)的過程對於學生發展建模歷程中的效化和調度特別地具有效益。類似地，在林靜雯和邱美虹(2007)的研究也有類似的結果。此外，Halloun(1996)認為這些過程並沒有等級的關係，中間的三個步驟是相互重疊的，並且某些步驟是同步建構的。教師不應該規定建模的步驟，而應當引導學生在問題解決的歷程中慢慢地發展這些能力。

Justi 和 Gilbert(2002)為了使建模能在科學教學中被使用，他們發展了一個建模模式的架構(model of modelling framework)，即是認為所有的建模必須基於其目的，對於所描述的現象去建立其所組成，並從已有的資源或經驗來形成心智模式、修正心智模式，或是重新形成新的模式。當形成心智模式後，則需決定以何種方式來予以表徵，可能是口語、視覺，

或是數學關係，接著即是透過思考實驗(thought experiment)來探討其意涵，假如模型無法符合思考實驗所產生的結果，則需修正模型，或是整個步驟必須重新運作。然而，若符合其結果，則執行實驗來檢驗，並且評估其結果與模型的差異；若無法符合實驗結果則需修正模型並重新運作，但如通過實驗的檢驗，則所建構的模型將是符合其目的。最後，也需要考量模型所適用的範圍與其限制。整個建模歷程如下圖 5 所示。

(二) 與建模相聯結的推理過程

Sins, Savelsbergh 和 van Joolingen (2005)認為與建模相聯結的推理過程包括：

1. 分析(analyze)：當學生分析時，他們會將現象做分解，並且在執行模型時確認模型的重要元素。此外，學生會以圖表或實證資料來詮釋模型的意義。大部分與推理相關聯的建模活動是在建模任務時執行。
2. 歸納推理(inductive reasoning)：當學生推測假說在模型元素中如何交互作用時，則會發生歸納推理，此過程意謂著模型結構與現象之間關係(如考量模型是如何運作、探討模型的表徵，並且探討模型之間的新關係)，對於學生而言，這將是一個複雜的過程。
3. 量化(quantify)：當學生建構了一個初步的模型，藉由數學關係的形式來使他們對於模型元素與相關的想法更為精確。

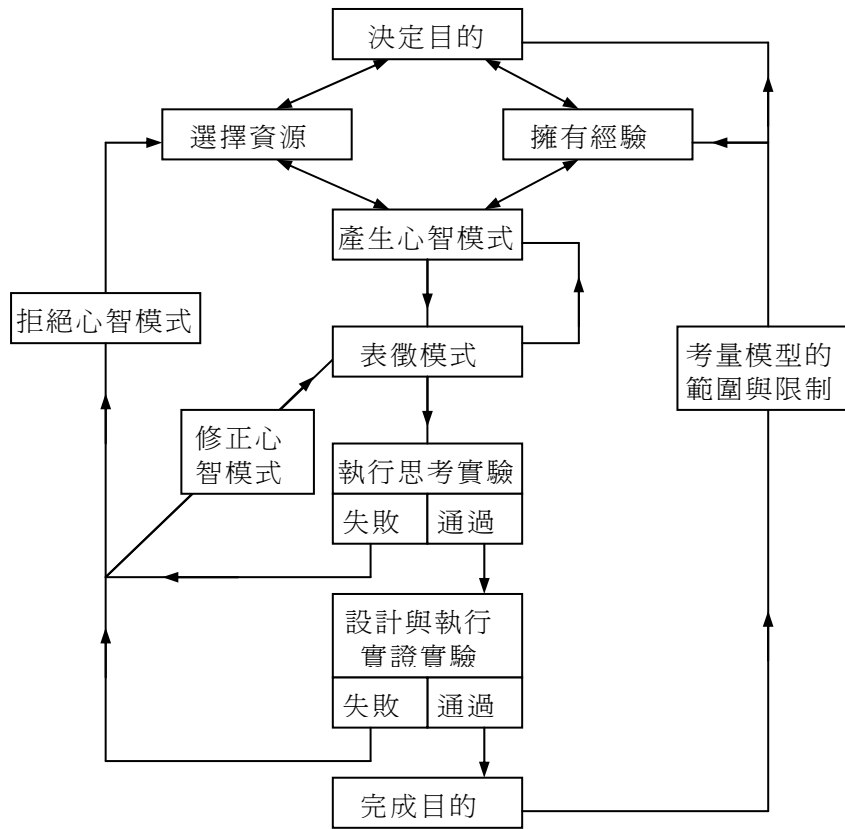


圖 5. 建模模式之架構 (Justi & Gilbert, 2002)

4. 解釋 (explain)：學生區分為什麼模型的元素是相關的，即是他們證明為什麼某一個因素會影響另一個因素。
5. 評估 (evaluate)：為了評估與檢驗他們的模型，學生必須聯結他們的模型與實驗所獲得的結果。在評估的過程中，學生必須決定他們的模型是否與信念相互一致，如此將會產生模型的修正。

Sins, Savelsbergh 和 van Joolingen (2005) 的研究發現，表現較佳的學生會傾向於以實驗與先前知識來判斷他們的推理以獲得較佳的模型；表現較差的學生則

會很仔細地專注於模型本身與模型所產生的結果。此外，表現較佳的學生也會將模型視為是一個整體，考量模型的結構，而表現較差的學生則僅會在修正模型的過程中考量單一變數，此屬於由下而上的建模歷程 (Hogan & Thomas, 2001)。他們也發現對於生手而言，動態現象的建模是一個複雜的過程，可能需要更多的經驗。因此，對於協助學生推理過程鷹架的建立，不論是建模的工具，或是教室情境，適當的支持是必須的。

（三）建模能力之發展－建模能力的層次

關於模型工具發展的相關研究，最著名的即是 Grosslight, Unger, Jay 和 Smith (1991) 的研究，他們訪談受試者關於模型的結構與目的，並依據模型的形成本質與使用，分成下列三個不同的層次。

層次 1 (level 1)：相信模型與實體之間有 1:1 的相對應關係 (模型是玩具，或是真實物體較小的複製品)，模型應該是正確的，他們不會去尋找模型的形式或目的，大部分 7 年級學生和少部分的 11 年級學生屬於此類別。

層次 2 (level 2)：仍專注於實體的構成元素，相信模型保持真實世界的物體或事件，而不是想法的表徵。模型的主要目的是作為溝通的工具，而不是探索想法，他們也認為多重模型是用來突顯實體的不同特徵。僅有少部分 7 年級的學生屬於此類別，大部分 11 年級的學生屬於此類別，或是介於層次 1 和 2 之間。

層次 3 (level 3)：理解模型的使用是用來發展和檢驗想法，且這些想法通常是抽象的，而不是實體的描述。同時視模型是多重的、是思考的工具，符合建模者認識論的需求目的，他們主要專注於模型的解釋和預測能力。

Grosslight 等人 (1991) 利用學生對於模型的理解來決定他們的建模能力，這樣的結果似乎意謂教學的過程中應強調模型的觀念，並且必須確認與發展學生對於模型的想法。Harrison (2001) 則利用 Grosslight 等人的工具訪談 10 位有經驗的

高中教師關於模型本質的理解和他們在解釋上的使用情形。研究結果顯示，所有的教師均同意模型是科學的工具，然而其中有 6 位也認為模型是科學的主要產物。而教師對於模型的理解方面，有 2 位教師是介於層次 1 和層次 2，2 位教師是在層次 2，4 位教師是介於層次 2 和 3 之間，僅有 2 位教師是在層次 3。然而，這樣的分類仍僅停留於模型的認識，或是將受試者依上述的層次來加以分類，仍無法表示受試者的建模能力。

（四）三面向建模架構

如上所述，許多學者對於模型和建模針對他們提出一些看法，但到目前為止較常被引用的仍屬 Grosslight 等人於 1991 年發表的研究工具。而且，大多數的研究也著重於特定模型「內容」與「模型認識」的探討，對於「模型功能之知識」及「建模歷程」較缺乏深入的探討 (Van Driel & Verloop, 1999)。數位學者從本體論、認識論和認知/方法論來探討學生對於模型的觀點 (邱美虹, 2007, 2008; 周金城, 2007, 2008; 吳明珠, 2007, 2008; 林靜雯和邱美虹, 2007, 2008; Chiu 和 Liu, 2008)，研究結果顯示，在本體論方面，學生對模型本質的觀點可區分為三個構念：本質、呈現形式和變化關係，認識論方面則有三個構念，分別是個體表徵、過程和情境。最後，在認知/方法論方面，學生認為模型功能有四個主要構念：現象解釋、推理、建模歷程，以及連結和發展新想法，如下圖 6 所示 (詳見上述文獻)。這樣的結果支持先

前研究的結果，即學生常以實物的縮小或外觀即為模型的本質，但邱美虹（2007, 2008）的研究結果進一步指出，學生對於模型的認識，除受個人經驗或環境影響外，學生在判斷是否是一個模型時亦會考慮模型的功能性，因此其所討論的面向相較於 Grosslight 等人（1991）或 Treagust 等人（2002）的研究更為廣泛與明確，此部分的相關研究仍值得努力。

伍、如何在將模型與建模應用在教學－模型與建模的結合

一、以模型為基礎的學習理論架構

Clement（2000）提出以模型為基礎的

學習(modeling-based learning)之理論架構（見圖 7），即是希望學生在教學後擁有目標模型或所擬學習的知識與概念。雖然學生可能無法像專家擁有一致或複雜的模型，但此架構呈現學生在教學前的先前概念與自然推理技能會影響後續的建模歷程。在此架構中，先前概念包括與目標模型相互衝突的另有概念，和有用的概念而能與現行科學模型相互兼容，並且能夠被用來建立發展目標模型的基礎。在學習過程方面，即是希望學生從先前概念轉變為目標的模型，中間經歷一個或多重中間的模型（M1、M2...），最後成為目標模型的部分模型（M1）。

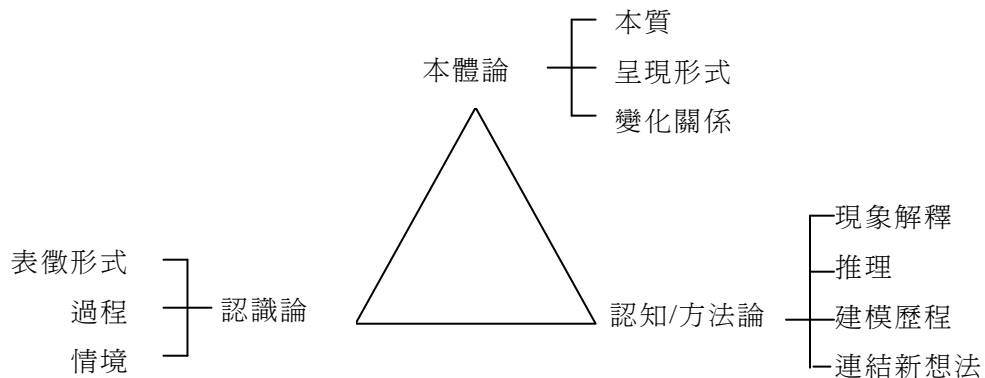


圖 6. 學生模型觀點的三面向示意圖

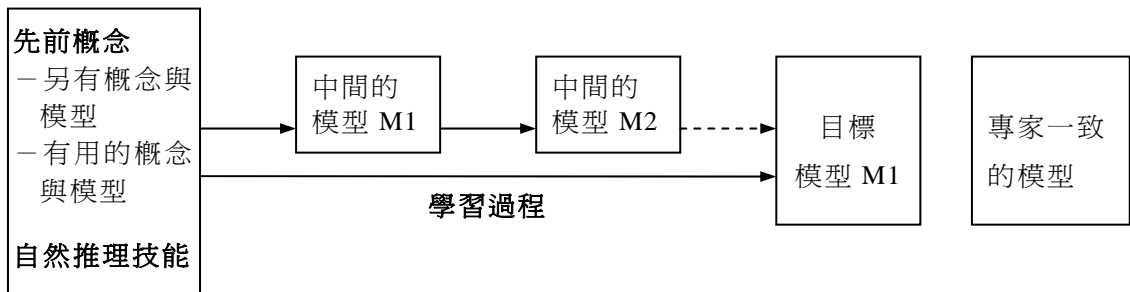


圖 7. 以模型為基礎的學習之理論架構（Clement, 2002）

而以模型為基礎的學習即是透過形成、使用、修正與詳細闡述的反覆過程 (Buckley, 1995)，進行心智模式的建構，不斷地修正模型，這是一個特殊獲得學習的過程，即是學生使用他們已知的知識，去整合新的訊息，以延伸他們的知識或是進行概念改變。

二、以模型為基礎的學習歷程

圖 8 是 Buckley & Boulter(2000)以模型為基礎學習之歷程的說明，透過新舊訊息的交互作用，個體產生新的心智模式，經過精煉、強化、修正的過程，決定模型是否需要被保留或拋棄；在進入模型被使用的階段，面對學習新知識或問題解決的情境。而經歷學習和問題解決的過程，又

可回饋給個體進行模型的精煉、效化、修正、或重建。

由於心智模式可以整合不同來源的知識、對現象的直接經驗、或是與許多表徵的交互作用，來促成模型的建立。因此在與他人討論的過程中，我們即可以利用它去獲得不同形式的模型，我們也可以利用心智模式去理解與評估其他人的模型，藉此，即可以檢驗所表達的模型與我們自己的心智模式是否有異同，以及其是否可以進行理解、描述、解釋和預測。假如答案是否定的，則模型必須改變、修正，或是被拒絕。然而，當模型符合我們的需求時，它們將會被強化，或是變得更為穩定，模型即可以被使用。

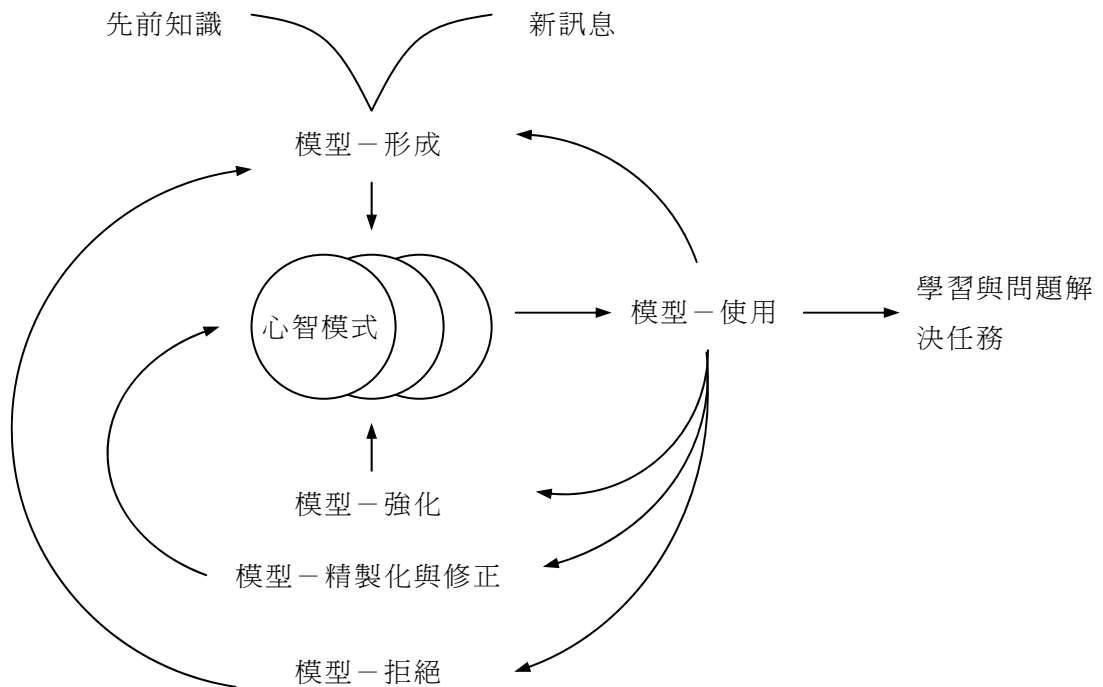


圖 8. 以模型為基礎學習的模型 (譯自 Buckley & Boulter, 2000)

三、如何在將模型與建模應用在教學之意涵

根據 Grosslight 等人 (1991) 的研究發現，學生在一般的教學後仍無法發展建模的觀念，除非特別強調建模的概念。因此，為了使模型在教學中更有成效，教師不僅應該知道學生關於建模的知識，教師的角色即是協助學生修正已存在的科學知識，建立科學的模型。而為了理解科學，學生也必須知道科學模型是如何建構的。

從科學本質觀之，科學本質的暫時性，強調理論會不斷地修正與被評估，但學生常將模型、科學理論與定律視為絕對的知識。因此，了解模型的暫時性，在建立模型扮演著非常重要的角色，換言之，學生在面對相同的現象時，他們須能發展一個以上的模型，以對科學現象或理論有本質上的認識。

許多研究指出(如 Harrison & Treagust, 1996; 2000; Justi & Gilbert, 2002)，模型與建模歷程應該更為明確地教給學生，而且教師應與學生相互討論每個表徵的形式，以協助學生理解模型與目標之間相對應和無法對應的部分 (Harrison & Treagust, 1996)。Harrison 和 Treagust (2000) 也認為以模型為基礎的教學是一個複雜的過程，教師對於用來解釋科學現象的模型之間的相似性與差異性在教學上應相當地謹慎，如此對於學生的學習才有效益，因此教師也需要理解模型與建模的本質。但在 Van Driel 和 Verloop (2002) 的研究中指出，教師關於學生在模型與建模的知識是

非常有限的，他們常無法非常有效地整合到教學活動的經驗裡，這也是未來師資培育需關注的地方。

陸、結論與未來發展

在建構主義的哲學觀下，科學的學習需要學生去重新建構概念與產生有意義的內化表徵，並且能夠對其提出合理的解釋與進行有效的溝通，在此過程中模型提供了一個可以結合想像力與背景知識的橋樑，並形成一個可以運作的工具，因此模型與科學學習之間聯結的重要性是無庸置疑的。然而，學生對於科學模型仍未能發展出完整的認識，其可能原因是他們缺乏使用模型的機會與經驗，或是教師未能強調模型的有效性與限制性，因此造成學生的誤解或是缺乏對模型的認識。為改善此情形，教師應適時提供適當的鷹架讓學生學習使用資料來發展與檢驗他們的模型，並能區辨個人與他人資料不同所產生的模型亦可能有不同的結果 (Sins 等人，2005)。這種建模能力經驗的累積將有助於學生學習建立有效的模型以應用於問題解決或了解科學現象之用。

為培養學生建模能力以及對模型本質的認識，作者建議從以下兩個面向著手，首先，在教育決策面上，應於課程目標中明確指出培養學生建模能力的重要性，並規範建模能力所應包含的內容。其次，在師資培育上，應提升職前和在職教師對於模型本質與建模能力內涵的了解、培養教師設計以模型為基礎的教學活動之

能力、以及運用以模型為基礎的教學評量方式來提升學生的科學素養。教師應提供學生適當使用模型的機會，透過認識與理解模型的本質，反覆練習建模的歷程，將有助於學生發展科學建模的能力以及進而靈活運用心智模式進行問題解決的活動。

致謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會經費補助 (NSC 95-2511-S-003-024-MY2、NSC 95-2511-S-003 -025 -MY2)，特此致謝。

參考文獻

- 吳明珠 (2008)：科學模型本質剖析：認識論面向初探。科學教育月刊，306，2-8。(轉載自論文發表於中華民國科學教育學術研討會，2007，高雄：國立高雄師範大學科學教育研究所)。
- 邱美虹 (2008)：模型與建模能力之理論架構。科學教育月刊，306，2-9。(轉載自論文發表於中華民國科學教育學術研討會，2007，高雄：國立高雄師範大學科學教育研究所)。
- 周金城 (2008)：探究中學生對科學模型的分類與組成本質的理解。科學教育月刊，306，10-17。(轉載自論文發表於中華民國科學教育學術研討會，2007，高雄：國立高雄師範大學科學教育研究所)。
- 林靜雯、邱美虹 (2008)：從認知/方法論之向度初探高中學生模型及建模歷程之知識。科學教育月刊，307，9-14。(轉載自論文發表於中華民國科學教育學術研討會，2007，高雄：國立高雄師範大學科學教育研究所)。
- 康軒出版社 (2008)：自然與生活科技 (1 上)。臺北：康軒文教事業股份有限公司。
- 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.
- Crawford, B. A., & Cullin, M. F. (2004). Supporting prospective teachers' conception of modeling in science. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1379-1401.
- Chiu, M. H. & Liu, C. K. (2008). *Designing research instrument for investigating students' conceptions about models*. Paper presented at 20th International Conference on Chemical Education (ICCE), August 3-8, Mauritius, Africa.
- Gilbert, S. W. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), 73-79.
- Gilbert, J. K. (1993). Models and modeling in science education (Hatfield: The Association for Science Education).
- Gilbert, J. K. (2005). Visualization: A metacognitive skill in science and science education. In J. K. Gilbert (ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 9-27). Netherlands: Springer.
- Gilbert, J. K., Boulter, C., J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J. K. Gilbert and C. J. Boulter (eds.) *Developing Models in Science Education*(pp. 3-17). Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers.
- Gilbert, J. D., & Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science conceptions

- of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-822.
- Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(11), 1365-1378.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1996). Secondary students' mental models of atom and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80, 509-534.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an explanation of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14, 541-562.
- Hogan, K., & Thomas, D. (2001). Cognitive comparison of students' systems modeling in ecology. *Journal of Science Education and Technology*, 10(4), 319-345.
- Jungck, J., & Calley, J. (1985). Strategic simulations and post-socratic pedagogy: constructing computer software to develop long-term inference through experimental inquiry. *American Biology Teacher*, 47, 11-15.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modeling, and implications for the education of modelers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' view on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369-1386.
- Justi, R., & Van Driel, J. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing, and understanding the process. *International Journal of Science Education*, 27(5), 549-573.
- Saari, H., & Viiri, J. (2003). A research-based teaching sequence for teaching the concept of modeling to seventh-grade students. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1333-1352.
- Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., & van Joolingen, W. R. (2005). The difficult process of scientific modeling: an analysis of novices' reasoning during computer-based modeling. *International Journal of Science Education*, 14(18), 1695-1721.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.
- Van Driel, J. H. & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modeling in science. *International Journal of Science Education*, 21, 1141-1153.
- Van Driel, J. H. & Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modeling in science education. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1255-1272.

投稿日期：97年03月24日

接受日期：97年07月02日

From science learning points of view to explore model and modeling ability in science education

Mei-Hung Chiu¹ Chun-Keng Liu^{1,2}

¹Graduate Institute of Science Education, National Taipei Normal University

²Taipei Municipal Zhong-Lun Senior High School

Abstract

Model construction has played an important role in the process of scientific development that allows scientific knowledge and its theories to be conveyed via a concise way and to act as a mediator for science learning. However, in science teaching, teachers neither help students develop their points of view about models, nor do they provide opportunities for developing students' modeling ability. Therefore, students' viewpoints about models remain at a concrete level and are lacking of abilities in thinking abstractly. The purpose of this paper is to review the relevant literature on models and modeling ability, their roles in science instruction, and importance of model-based teaching and learning in science education. Educational implications about models and modeling abilities are discussed.

Keyword: model, modeling ability