
模型與建模能力之理論架構

邱美虹

國立臺灣師範大學 科學教育研究所

【轉載自：中華民國第二十三屆科學教育學術研討會 合集論文】

壹、前言

對於科學教育而言，模型（model）與建模（modelling）是科學發展的元素，也是科學學習中不可缺少的認知與能力。根據 Gilbert 等人(2000)的觀點指出，在科學的發展過程中，模型在建立與實驗的檢驗中扮演相當重要的角色。同時科學史與科學的模型是科學的重要結果。除此之外，教師教學時常在課堂中使用模型，而學生則需透過心智的運作去形成或使用內在的表徵，以便了解複雜的科學知識架構。然而要了解學生對於模型與建模屬性的認識，目前雖有一些學者針對他們提出一些看法，但至目前為止較常被引用的仍屬 Grosslight 等人在 1991 年發表的研究工具，因此本研究團隊根據既有的文獻以及相關的理論，發展出一個三面向的理論架構，並據此開發研究工具、進行效化，本文即以介紹理論基礎與相關的結果為主。

貳、理論基礎

本研究主要是探討學習者對模型的觀點以及其建模能力的展現，本研究群發

展出一個三面向的建模架構；本體論、認識論、方法論，藉此了解學習者模型與建模能力對學者認知表現的影響。以下分就三面相加以討論最後再以實力來驗證本研究架構。

一、本體論

根據 Gilbert & Boulter (2000)的觀點，他們認為通常模型被視為是一個物件、事件、想法或現象的表徵。對於學生而言，他們傾向於將模型視為物體或人工複製品的表徵(Gilbert, 1991)。然而科學的模型有時是抽象的或是模擬的，以用來對未知物體的結構與過程做描述或預測。

許多研究者對模型進行分類，以強調模型之間的異同。如 Gilbert 等人(2000, p.12) 根據模型的本體地位來區分模型：

1. 心智模式（mental model）：心智模式是私人且個人化的認知表徵，它是由個人或於小組討論所形成。
2. 表達模型（expressed model）：是由個人或小組置於公眾領域的模型，通常是透過一個或較多表徵的使用來與他人產生互動。
3. 共識模型（consensus model）：在討論實驗之後，不同的小組均同意表達模型是有用的，因此，形成一個共識模型。

4. 歷史模式 (historical model): 這些共識的模型是在特殊的歷史情境產生, 並且隨後常被取代。
5. 課程模型 (curricular model): 若是將歷史或是科學模型的產生包含入正式的課程, 通常是在簡化以後, 即是課程模型。
6. 教學模型 (teaching model): 通常共識、歷史和課程模型是較難產生的, 而教學模型即是發展來促進這些歷程, 教學模型可藉由教師或學生來發展。
7. 混合模型 (hybrid model): 藉由合併每個不同模型的特徵, 而用來課程與課堂的教學, 猶如它是一個具一致性的整體。
8. 教育模型 (model of pedagogy): 教師在課堂中使用的模型, 並且考量科學的本質、科學教學的本質和科學學習的本質。

而 Buckley 和 Boulter (2000)的分類準則是依據表徵的方式來區分模型: 如

1. 具體的 (concrete): 三度空間的實體模型, 例如: 一個塑膠的心臟。
2. 言語的 (verbal): 是指被聽到, 或是讀到的、描述的、解釋的、陳述的、辯論的、類比和隱喻的模型, 如: 心臟是一個泵浦。
3. 視覺的 (visual): 是指被看到的模型, 例如圖表、動畫、模擬、影像。例如: 對於月蝕過程的描述。
4. 數學的 (mathematical): 是指式子、方程式, 和一些模擬, 例如: 行星運動的方程式。

5. 動作的 (gestural): 物體或部分的移動。例如: 以學生相互圍繞的運動來表示太陽系。

其餘即是上述的混合模式, 如視覺混合模式 (visual mixed), 即包含有語言或數學的視覺模型。例如: 附有詮釋的心臟結構圖。

Harrison & Treagust (2000)對模型的分類可以整理如下: 科學性和教學性模型、用來建立概念知識的教學類比模型、模型描述多重概念和過程、實體、理論和過程的個人化模型。在這些類別中還再以不同方式呈現, 如尺度模型、教學類比模型、圖像與符號模型、數學模型、理論模型、地圖、圖形和表格、概念-過程模型、模擬、心智模型、綜合模型等形式。

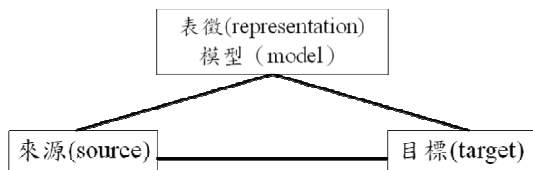
周金城 (2007)一文指出模型相關文獻中陳瑞麟 (2004)的模型分類架構, 有實物模型、圖像模型、概念模型、數學模型、邏輯模型、和電腦模型。其他如 Justi and Gilbert (2003)對模型本質的看法, 其中區分成七個部份:

1. 模型是與事物的對應關係。
2. 模型的功能。
3. 組成模型的實體。
4. 模型的獨特性。
5. 模型的穩定度。
6. 模型的預測性。
7. 模型的建立者。

Treagust, Chittleborough, 和 Mamiala (2002)發展學生對科學模型測驗工具, 經分析後計有五大類型: 一、模型是多重表

徵；二、模型是精確的複製；三、模型是解釋的工具；四、科學模型的使用；五、模型變化的本質。

這些模型類別的定義有助於我們對模型有更進一步的認識。模型的來源通常並不是直接相對應於目標，其在形成時須透過部分性質的轉換，在目標與來源之間尋找相似度可被接受或被理解程度，此即模型性質轉移的程度(見圖一)。



圖一、模型的結構 (Duit & Glynn, 1996; Gilbert, 1993)

Grossligh 等人(1991) 提出建模能力之層次有三：

Level 1：模型與實體之間有 1：1 的

相對應關係，是真實物體較小的複製品，模型應該是正確的，不會去尋找模型的形式或目的。

Level 2：專注於實體的構成元素，仍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，不是探索想法。

Level 3：模型的使用是用來發展和檢驗，是抽象的想法，而不是實體的描述。而且模型是多重的，思考的工具，並且專注於模型的解釋和預測能力。

Grossligh 等人 (1991) 即根據學生對於模型的理解，來判斷他們的建模能力。換言之，這樣的結果似乎也意謂著教學的過程中應協助學生建立、發展、修正模型的觀念。然而學校教育的科學模型與學生生活所遇到的模型又有一層落差，因此更增加學習轉換的困難度。表一顯示兩者之間的差異。

表一、學校科學與學生日常生活對於模型的觀點(Saari & Viiri, 2003)

學校科學的模型	學生關於模型的日常生活觀點
● 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，並且協助來予以概念化	● 模型的目的是複製
● 對於討論目標的結構和性質，模型提供我們描述用的語彙	● 模型的適當性是基於誰創造了模型，但是此模型必須儘可能地準確
● 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

二、認識論

以模型為基礎的學習 (model-based learning) 是透過形成、使用、修正與詳細闡述的反覆過程來建構模式的 (Buckley, 1995)。從模型與建模的認識觀點來看, 學生需要理解模型是思考與科學的產物, 也是學習與教學的主要工具 (Gilbert, 1993), 因此透過不同的方式去認識模型的本質和功能是科學學習中不可缺少的一環, 同時學生亦需學習建立與檢驗自我的模型以及了解其在學習時所扮演的角色。美國化學會(1997, 如下所示)引用國家科學教育標準中對化學學習所需的建模能力來說明對不可觀察的化學概念而言, 我們是需要證據和不同的模型來解釋觀察到的數據。

美國化學會指出：

Since so, much of chemistry cannot be directly observed, much of what we have constructed about how matter behaves has been derived from explanations of evidence, using various models to interpret the observed data. Chemists use models for many purposes; for example, to illustrate an unseen reality or to provide a facsimile of unseen realities such as molecules.
(American Chemical Society, 1997, p.16)

基本上, 科學知識的發展即為一個不斷產生模型與修正模型的過程。學生使用他們已知的知識去整合新的訊息, 進而延伸他們的知識。在整合的過程中, 來自於現象觀察、直接經驗、或是經由許多表徵

的交互作用經由心智的運作建立模型。不僅如此, 同時模型的建立亦可透過討論、理解、評估他人的模型、或是透過檢驗呈現的模型來進一步了解我們自己的心智模式是否能讓我們進一步去理解、描述、解釋和預測現象或事件。若是符合, 則模型將會被強化, 或更為穩定, 模型即可以被使用。若經由這些歷程必須否定模型時, 則模型必須進行改變, 此時所需的便是修正模型, 或是拒絕模型, 而重新開始一個新的模型(Buckley, 1995)。

除此之外, 吳明珠(2007)進而指出 Boulter 等人(2000)的表達模型的類型學 (typology of expressed models) 的分類: 模式 (modes)、屬性 (attributes)、情境 (context) 可作為探究認識論面向的基礎。

三、認知/方法論

根據林靜雯與邱美虹(2007)指出模型在科學上有七個功能, 其分別為: 1.簡化複雜現象, 易於思考; 2.提供更容易理解的方式瞭解理論; 3.提供理論的預測能力, 一個結構化與機械化的向度; 4.強化理論的預測能力; 5.提供理論發展的方式; 6.提供相關理論深刻理解與想像的媒介; 7.提供實驗與觀察的理論推導關 (Leatherdale, 1974; 引自 Gilbert, 1993)。

在科學學習中的功能, 為了發揮模型的功能, 發展建立模型 (簡稱建模, modelling) 的能力是必要的。建模同時也是科學家的主要活動之一 (Greca & Moreira, 2000)。何謂建模呢? Gilbert

(1991)認為模型的建構是一種較為進階的過程技能，發展此能力是科學素養的一部分，且可使學生了解知識是人們所建構的。Schwarz & White (2005)認為建模的知識應包括模型的本質 (nature of models)、建模的本質或過程 (nature or process of modeling)、模型的評鑑 (evaluation of models)、模型的目的或使用 (purpose of utility of models)。但是在 Justi & Gilbert (2002)指出獲得這些能力所需的時間是相當漫長的。Halloun (1996)和 Hestenes (1995)則從問題解決的角度認為建模歷程是一個相當複雜的歷程，包括許多的活動與技能，如確認 (identify) 問題、模型選擇 (model selection)、模型建構 (model construction)、模型效化 (model validation)、模型分析 (model analysis)、模型調度 (model deployment)、以及模型應用 (model application) 與模型再發展或再建構 (re-development or re-construction)。在這些歷程中，主要的認知活動包含有：確認與描述在情境裡，每個現象的系統的組成；確認建模的目的，而且所期望結果的有效性；選擇適當的理論來評論，而選擇和建構一個適當的模型和建構；處理與分析模型，若其仍具有有效性，則根據分析對問題盡合適當的結論。因此，透過互動 (interactive) 和辯證 (dialectic) 的歷程，有助於學生在建模的歷程中發展其模型的有效性和調度性。Hestenes (1997) 則指出，模型的發展和模型的應用是其模型建立步驟中很重要的活

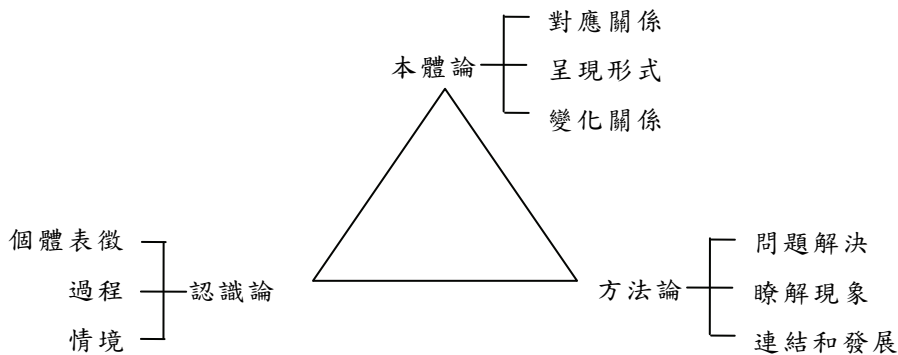
動。Saari 和 Viiri (2003) 則進一步指出建模是一個相當抽象的歷程，因為它不僅是實體簡單地複製而已，而且也包括建構無法觀察到物體或事件。學生必須透過高層次的理解，方能建構出正確的模式，然而大多數的學生都缺乏抽象思考的能力。因此，未來有必要設計建模教學的活動以促進學生對建模步驟的了解 (Hestenes, 1997)，進而能使用建模能力於問題解決與概念理解。

參、整份問卷之意義

本研究經實驗驗證後發現根據上述三個面向的理論基礎以及本整合型計畫其他子計畫的初步分析結果顯示 (見圖二)，在本體論方面，學生對模型本質的觀點可區分為三類：對應關係、呈現形式、變化關係 (周金城, 2007)，在認識論方面有三個類別：個體表徵、過程、情境 (吳明珠, 2007)；在認知與方法學方面，根據因素分析可以發現學生認為模型功能有三個主要構念：問題解決、了解觀察的現象、連結和發展想法 (林靜雯與邱美虹, 2007)。而在建構能力部分，研究顯示學生缺乏對模型進行效化和調度這兩個步驟的能力，本研究的研究結果與張淑女 (2007) 以大學生進行建模能力的檢驗均與 Halloun (1996) 相互呼應。

肆、結論與建議

根據 Treagust 等人 (2002) 和 Justi & Gilbert (2003) 的研究指出，學生對於模型



圖二、學生模型觀點的三面向示意圖

的認識大都停留在具體的階段，學生透過個人生活的經驗建構出具有個人的經驗與獨特的「科學」模型，而這些理解可能並非全然是正確的，有時會導致學生的另有概念（Treagust 等人，2002）。Gilbert 等人（2000）進一步發現教師亦認為「模型是某些事物的複製品」且「僅有一種模型是可能的」。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，因此無法有效的整合到他們教學活動的經驗中。而在建模方面，由於缺乏模型的有效化和模型的調整的教學，所以學生不僅對模型本質、功能認識有限，且較少機會能透過模型而建立良好的科學知識架構，更遑論是使用模型的機會。

本研究團隊針對模型提出三面向的理論架構，並進一步以實證資料加以佐證學生建模能力有待加強。此結果對於科學教學中應強調培養學生發展科

學活動中應有的建模能力外，並應透過活動與教學的設計讓學生了解建模過程中所包含的組成份的重要性，更重要的是教師對模型的認識（Justi & Gilbert, 2003）是師資培育中不可或缺的。未來的研究，宜針對模型的意涵與發展建模能力的科學教學內容設計為考量，同時亦應考慮如何發展教師在模型與建模方面的學科教學知識（pedagogical content knowledge），以達科學教育的目標。

伍、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），以及本研究團隊李賢哲教授、吳明珠教授、周金城教授、張淑女教授、以及林靜雯博士、劉俊庚老師對理論架構、試題設計、以及施測等工作的討論與協助，在此一併致謝。

陸、參考文獻

- 吳明珠 (2007)。科學模型本質剖析：認識論面向初探。論文發表於中華民國科學教育學術研討會，高雄，台灣。
- 李賢哲、吳信輝和樊琳 (2007)。以奈米科技教學初探學生建模能力之發展。論文發表於中華民國科學教育學術研討會，高雄，台灣。
- 周金城 (2007)。探究中學生對科學模型的分類與組成本質的理解。論文發表於中華民國科學教育學術研討會，高雄，台灣。
- 林靜雯和邱美虹 (2007)。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以真實性評量探究建模能力。論文發表於中華民國科學教育學術研討會，高雄，台灣。
- 張淑女 (2007)。以真實性評量探究建模能力。論文發表於中華民國科學教育學術研討會，高雄，台灣。
- 陳瑞麟 (2004)。科學理論版本的結構與發展。台北市：台灣大學出版。
- American Chemical Society (1997). *Chemistry in the National Science Education Standards*, pp.15-16.
- Boulter, C. J., & Buckley, B. C. (2000). Constructing a typology of models for science education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 41-57). Netherlands: Kluwer Academic Publishers
- Buckley, B. C. (1995). A case of intentional model-based learning. Paper presented at the Annual meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, USA.
- Buckley, B. C. & Boulter, C. J. (2000). Investigating the Role of Representations and Expressed Models in Building Mental Models. In J. K. Gilbert & C.J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp.119-135.). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Duit, R., & Glynn, S. (1996). Mental modelling. In G. Welford, J. Osborne, & P. Scott (Eds.), *Research in science education in Europe* (pp. 166-176). London: Falmer Press.
- Gilbert, S. W. (1991). Model building and definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 73-79.
- Gilbert, J. K. (1993). *Models and Modeling in Science Education*. Hatfield, UK: Association for Science Education.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- Greca, I. M. & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modeling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11.
- 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.
- Hestenes, D. (1995). Modeling software for learning and doing physics. In C. Benardini, C. Tarsitani, & M. Vincentini (Eds.), *Thinking Physics for Teaching* (pp. 25-66). New York: Plenum Press.
- Hestenes, D. (1997). Modeling methodology for physics teachers. In E. Redish & J. Rigden (Eds.), *The Changing Role of the Physics Department in Modern Universities* (pp. 935-957). American Institute of Physics Part II.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Models and modelling in chemical

- education. In J. K. Gilbert, O. De Jong, 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.
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369-1386.
- Saari, H. & Viiri, F. (2003). A research-based teaching sequence for teaching the concept of modelling to seventh-grade students. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1333-1352.
- Schwartz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodelling knowledge: Developing students' understanding of scientific model. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.
- 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. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science Education. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1255-1272.