

科學模型本質剖析：認識論面向初探

吳明珠

私立華夏技術學院 生化工程系

【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】

摘 要

本研究是科學學習的建模模式研究的一部分，是研究者參與發展建模指標和建模能力診斷工具的初步結果。研究採取 Baird 模型是一種認識狀態的主張和孔恩模型是學科基體的元素，模型的種類由啓發的模型之一端延續至本體的模型的另一端的觀點。以「模式」、「屬性」和「情境」為向度設計科學模型本質問卷。從六十八位台北市某高中學生施測結果的資料分析，對此認識面向的科學模型本質問卷檢驗信、效度。資料分析的結果顯示認識面向之科學模型本質問卷，有相當的內在一致性（ $\alpha = 0.825$ ），因素分析結果顯示問卷具有建構效度。根據研究的初步結果，研究者提出一個科學模型本質認識面向的三維架構，做為後續研究分析學生科學模型本質想法的參考架構。

關鍵詞：科學模型、建模、認識論

壹、簡介

「模型」泛指某個對象的樣本或與原型具有一定相似結構的系統，如地球儀、DNA 雙螺旋模型、理想氣體模型…。模型是人造的物件，一種表徵系統。建模（modeling）是在問題情境中形成實體、符號或抽象表徵的過程（processes）和產物（products）。美國國家科學研究院（National Research Council, NRC）和美國科學策進會（American Association for Advancement of Science, AAAS）等近年來大力推動以建模為教學目標的科學和數學教育（NCMST, 2000；NCR, 1998；AAAS, 1993）。

化學領域中，不論使用球棒模型，以球代表原子核、棒代表組成原子間的化學鍵呈現三維分子結構，或是以二維化學結構式表徵分子，還是以電腦靜電位表面圖形理論模型等表徵、觀察或計算分子結構都是化學研究、化學教學的一種重要認識模式。化學史中更是流傳著諸如 Kekul 發現苯環共振結構、Chauvin 烯烴複分解反應分子之舞機構等，前輩化學家透過各種模型的臆想、視覺化解釋或建立化學理論的絕技。

雖然『三維球棒分子是種分子模型』似乎是想當然爾。但是，由於科學上「模型」一詞的廣泛應用，模型可以是一個具

體的物件如地球儀，也可能是諸如有理數、理想氣體等本質上是一種概念或是一個抽象物件。因此要回應「什麼是模型？」、「模型是何種形式的認識運作？」等問題就變得複雜。

孔恩在科學革命的結構跋文中主張模型是學科基體 (disciplinary matrix) 的元素，是對一種信念的允諾 (commitments)，科學家透過模型以類比和隱喻幫助解釋現象或解謎。模型的種類由啟發的模型 (heuristic models) 之一端延續至本體的模型 (ontological models) 的另一端，但所有模型的功能是相同的 (Kuhn, 1970 : p.184)。Baird 認為從理論的語意觀點 (semantic view of theories)，理論是模型的集合體，模型和理論以相似的認識運作呈現現象的相關知識 (Baird, 2004 : p.23)。Baird 指出模型是種可修補的理論 (tinker' s theory)，例如太陽系儀 (orrery) 中的球體需要外力才能轉動且連結代表各天體的圓球與代表太陽的圓球之間的連線在物理世界並不存在。模型受限於使用的材料，雖然不完美，但是親手操作太陽系儀，卻提供科學家發展主觀知識與現象之間的連結空間，科學家的主觀知識在模型媒介下變成客觀的工作知識。因此，親手操作模型是一種閱讀的形式，模型是一種認識狀態 (epistemic status)、一種知識。

貳、模型為基礎的學習

科學教育的主要工作是從認識的本

質、概念本質幫助科學概念、科學過程的學習。科學教育研究顯示學習來自學習者的主動建構；認知心理學研究則主張學習者建構不同形式的內在表徵了解世界。心智模式是儲存於記憶的概念組織，被定義為內在表徵或模型。根據 Johnson - Laird 的理論，心智模式是物理世界的結構類比。Johnson-Laird (1989) 認為知覺 (視覺、聽覺、嗅覺、觸覺等) 提供並篩選資訊以產生心智模式。學習是利用結構對應 (structure-mapping) 使既有的舊模式對新的情境產生通則。心智模式是一種動態、衍生性工作模型，受限於知覺和先備知識 (Vosniadou, 1999)。科學是物理世界的演繹表徵系統，在心智模式的假設下，理解科學概念和科學理論需要對物件或相關現象建構心智模式。學生學習科學概念主動建構的心智模式並非是一般性的，是特別的表徵。學生具備與現象對應的心智模式後才能理解和應用相關科學概念、數學公式和原理原則。

Nersessian (1992, 1995, 2002) 以認知歷史方法學 (cognitive-historical method) 研究顯示科學家往往不是直接使用規則 (ruled-based) 解題，而是透過類比、思考實驗、想像推理及極端案例等技巧建立模型解題。Nersessian 稱這類的建模歷程是一種模型推理 (model-based reasoning)，並認為模型推理有助於科學家概念改變。由於建模需要主體主動介入，主體在建模歷程與外來資訊協商，概念得以形成並客觀化。因此建模的過程是一種

創造性的有意義學習。

Passmore (2002) 主張若設計科學課程使學生有機會參與使用、修正、評估與課程內容相關的多種模型的建模歷程，將有助於學生對科學概念的理解。由於科學發展史本身就提供許多與理論相關的模型 (Kipnis, 1996, 1998; Justi & Gilbert, 1999, 2000)，透過科學發展史的模型呈現理論是達成科學學習的有效策略。因此一些科學教育研究者 (Gobert, 2000; Gilbert & Boulter, 1998; Gilbert, 1997) 提出「模型為基礎的學習」(model-based learning) 的概念。主張透過模型的形成、應用、精緻化等建模程序進行衍生式學習 (generative learning) (Buckley & Boulter, 2000)。研究也顯示，學生參與和科學家工作性質相似的建模實務，使學生從內容、探究和認識論等三個面向建構整合性知識 (Clement, 2000; Gobert & Buckley, 2000)。詳細討論理論和模型，包括理論的起源、發展，先前的模型如何被其他理論模型取代等有助學生對科學探究本質的了解 (Kipnis, 1996)。

Grosslight 等 (1991) 以晤談方式研究學生和專家對模型本質的想法。研究顯示學生對模型本質的想法大部份屬於「素樸實在認識論」(naive realist epistemology)，認為模型是實體不同空間關係的物理複製品。較成熟的學生才了解模型是為特定目的設計、主要功能是幫助溝通。研究也顯示專家持建構論模型本質觀點，將模型視為理論不同面向的表徵，

且將模型區分為抽象模型和物理模型。Grosslight 將不同的模型本質想法對應到三個層級的認識論觀點，認為模型的信念一旦出現，概念也隨之發展。因此，科學概念教學應該提供現象不同觀點的模型，使學生有應用同一概念的多種模型的經驗。Gobert 和 Discenna (1997) 研究學生藉建構模型和模型推理學習板塊理論，發現具素樸或成熟的模型認識論的學生在與空間相關的概念或因果關係的概念的了解均無顯著差異，但是具成熟模型認識論的學生對如「地震為什麼會發生？」等應用概念解題能力則有顯著差異。Gobert 等人 (2004) 主張學生選用不同模型作為現象的表徵之能力與學生對表徵本質的認識有關。

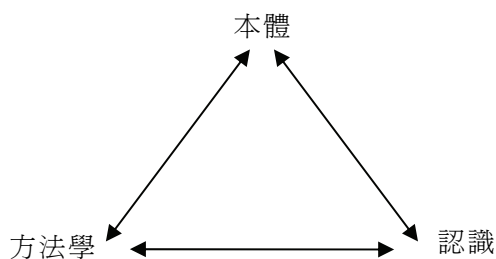
參、科學模型本質診斷工具設計

回應科學史、認知心理學和科學教育等之研究結果，本研究團隊希望架構科學學習的建模模式 (A modeling model for learning science)。發展融入科學概念相關模型的建模學習課程，並進行「模型為基礎的學習」的教學與研究。就模型的定義、表徵類別、功能、建模機制等面向比較外顯模型、心智模式、科學理論模型的本質。本報告是研究者參與發展建模指標和建模能力診斷工具的初步結果。

一、科學模型本質問卷設計

由於建模是科學家進行科學探究的重要活動，建模是一種科學典範的學習。

因此研究團隊提出建模模式具有認識、本體和方法學三個交互作用的維度之基本假設（圖一）。本研究聚焦在建模模式的認識面向。由於模型是表徵系統，課堂教學或觀察活動中學生和老師可能使用了許多類型的表徵。因此研究者參考 Grosslight（1991）研究使用的晤談問題、學生模型想法的內容，Boulter 等（2000）提出的外顯模型的類型學（typology of express models）設計認識面向的科學模型本質問卷。將模型本質問卷的項目區分成（1）模式（modes）：模型的狀態或理解的形式。（2）屬性（attributes）：模型性質的歸因。（3）情境（context）：模型的社會或個人脈絡等三羣組，共有十五題（表 1）。採李克特式量表法，分別為「非常同意」（四分）、「同意」（三分）、「不同意」（二分）和「非常不同意」（一分）四點評定。問卷設計完成後，針對六十八位台北市某市立高中之學生進行施測，並就測驗結果進行分析。



圖一、建模模式架構

二、科學模型本質問卷信度分析

針對六十八位高中生問卷結果，以 SPSS 分析測驗分數的信賴度，發現整份科學模型本質問卷總量表信度 Cronbach α

= 0.885，認識面向之科學模型本質問卷信度 Cronbach α = 0.825，整體而言整份問卷有相當的內在一致性。就「刪除後 α 係數的改變」發現認識面向問卷之第 20 題「我認為透過語言可以呈現和了解模型。」、第 24 題「我認為模型可以是某種事物或現象的隨機呈現。」對內部一致性有些微的影響，但並不顯著。

三、科學模型本質問卷效度分析

對六十八位高中生問卷結果以 SPSS 進行因素分析。描述統計結果顯示有七題（第 16、18、20、21、24、25、26 題）平均分數低於整體認識面向問卷的平均分數（3.01）。尤其以 18 題「我認為透過文字可以呈現和了解模型。」、20 題「我認為透過語言可以呈現和了解模型。」、24 題「我認為模型可以是某種事物或現象的隨機呈現。」最為明顯。這樣的結果和信度檢驗結果有某種程度的吻合。研究者認為可能是受試者對「文字」、「語言」和「隨機」三個變項的名義不了解的影響。檢視各題的共同性（communalities），發現第 21 題「我認為透過肢體動作可以呈現和了解模型。」和第 30 題「我認為模型可以是某種事物或現象經過長時間演變的結果。」可測量的共同特質最少，可能是「肢體動作」和「長時間演變」兩個變項又分別蘊含空間和時間維度而影響學生對變項類別的判定。主成分分析結果顯示認識面向之科學模型本質問卷可抽取出五個共同因素，五個因素累積的解釋變量為 71.108%。第 27、28、29 等三題歸類為因素一，第 16、

18、20 等三題歸類為因素二，第 17、19、21、30（因素負荷量相對稍低）等四題歸類為因素三，第 22、25、26 等三題歸類為因素四，第 23、24 等二題歸類為因素五（表 1）。對照問卷設計的基本假設，除第 30 題外都可合理歸因。研究者認為第 30 題的變項「長時間演變」與「肢體動作」或「圖像」都是蘊含「現象的」連續性特質，因而造成學生對變項的判定的混淆。類似的影響值得後續研究進一步探討。

四、結果與討論

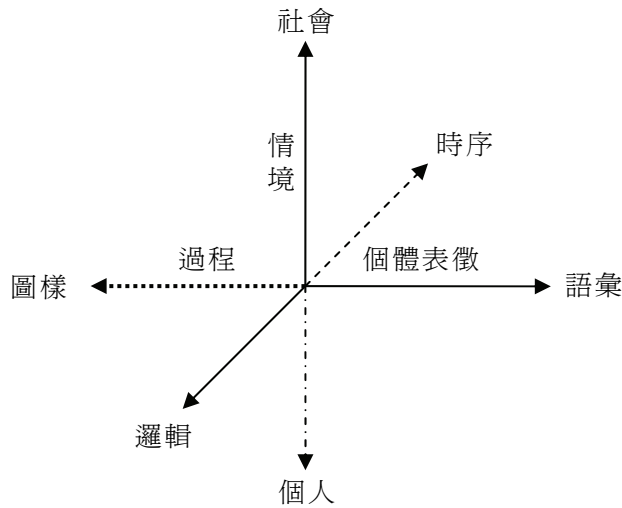
概括而言認識面向之科學模型本質問卷有相當的內在一致性和建構效度。描述統計顯示第 18、20 和 24 題平均分數明顯低於整體認識面向問卷。第 18、20 題的變項分別為「文字」和「語言」是命題式

表徵。第 24 題的變項為「隨機」是過程表徵。文獻顯示學生學習命題式或過程表徵往往有困難（Chiu et al.,2002；Chi et al.,1994；Pavio,1990）。

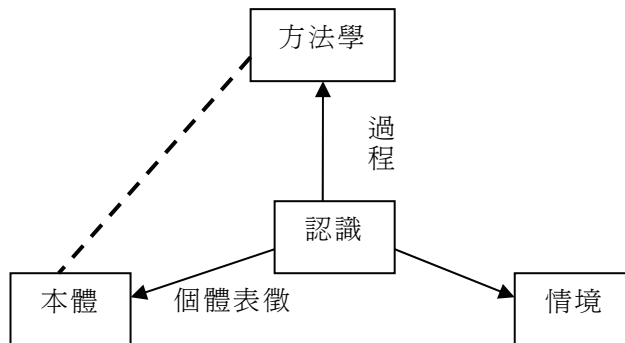
根據初步的分析，研究者規劃科學模型本質認識面向的三維架構的雛形（圖 2）。這個三維架構有「個體表徵」、「過程」和「情境」三個向度。以「個體表徵」為架構橫軸，此向度考慮個體表徵類別，兩端分別為「圖樣的」（iconic）和「語彙的」（lexical）表徵。縱軸為「過程」向度，以「時序的」（temporal）和「邏輯的」（logical）為兩端。「情境」為第三個維度，分別以「社會的」（social）和「個體的」（personal）為兩端。圖 3 說明研究者從初步的相關分析推論的認識論面向三維架構與建模模式架構的關係。

表一、認識論模型本質問卷向度分析

群組	類別	題號	變項	因素歸類
1	個體表徵 《模式：模型的狀態》	16	符號	二（語彙的）
		17	圖像	三（圖樣的）
		18	文字	二（語彙的）
		19	感官	三（圖樣的）
		20	語言	二（語彙的）
		21	肢體動作	三（圖樣的）
2	過程 《屬性：模型性質的歸因》	22	靜態	四（邏輯的）
		23	動態	五（時序的）
		24	隨機	五（時序的）
		25	定性	四（邏輯的）
		26	定量	四（邏輯的）
3	情境 《情境：模型的社會或個人脈絡》	27	個人	一（個體的）
		28	專家	一（個體的）
		29	社會大眾	一***（社會的）
		30	時間（歷史）	三***（社會的）



圖二、科學模型本質認識面向的三維架構



圖三、建模模式中的認識面向架構

肆、誌謝

感謝「科學學習的建模模式」研究團隊及熱心參與本研究的高中同學及施測老師。

伍、參考文獻

- Baird, D. (2002). Thing Knowledge. A Philosophy of Scientific Instruments. Berkeley and Los Angeles, California : University of California
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. (1994). From things to process: A theory of conceptual change for learning science. Learning and Instruction, 4, 27-43.

- Chiu, M-H, Chou, C-C., and Liu, C-J. (2002). Dynamic processes of conceptual change: Analysis of constructing mental models of chemical equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 713-737.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 1041-1053.
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. (Eds.) (2000). *Developing Models in Science Education*. Kluwer Academic Publishers, Dordrent, The Netherland.
- Gilbert, J. K. (Ed.) (1993). *Models and Modeling in Science Education*. Hartfield Herts, UK: Association for Science Education.
- Kuhn, T.S. (1970). *The structure of scientific revolutions* (2nd ed.) Chicago: University of Chicago Press.
- Nersessian, N. J. (1992). How do scientist think? Capturing the dynamics of conceptual change in science, *Minnesota Studies in the Philosophy of Science* (XV): Cognitive Models of Science. R. N. Giere (Eds.), Minneapolis: the University of Minnesota Press.
- Nersessian, N. J. (1999). Model-based Reasoning in Conceptual Change. In *Model-based Reasoning in Scientific Discovery*, L. Magnani, N.J. Nersessian, and P. Thagard, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York