

探討高中學生於建模導向科學探究之學習成效

蔡哲銘* 邱美虹 曾茂仁 謝東霖

國立臺灣師範大學 科學教育研究所

摘要

本研究旨在探討在建模導向科學探究的教學策略下，高一學生的學習成效。學生在經過3週建模教學之後，再利用3週時間進行開放式問題的探究教學。學習成效的評估從學生對模型本質認識的變化、建模能力測驗的表現，以及探究的實作作品進行分析。結果顯示：一、學生在教學前後對於模型本質的認識有顯著差異。二、學生在建模能力測驗中對於模型選擇及模型建立歷程的表現較佳，對於模型效化及模型應用歷程則表現較差。三、分析學生作品發現，對於開放式探究，學生能夠掌握選擇正確變因，並且能透過實作找到變因之間的定性關係，但是距離科學社群能夠形成模型解釋實作成果仍有差距。值得注意的是，在建模能力測驗上，模型效化的結果顯示有雙峰現象，模型效化等級較高的學生在模型本質問卷的表現優於等級較低的學生，由此推測若要在模型效化達到較高等級，學生對於模型本質須要有較好的瞭解。臺灣在2019年實施「探究與實作」課程，本研究發現，高一學生受限於數學及建模能力尚未成熟，對於變因複雜的開放式問題探究，無法完成整體探究歷程。建議採用引導式的探究取代開放式探究，讓學生針對變因較單純之現象進行建模。同時建議應協助教師對於模型的認識與增能，以協助培育學生的建模與探究能力。

關鍵詞：建模、探究與實作、模型

壹、緒論

模型是科學家進行抽象思考的重要工具，科學史上許多重要的發現，都是科學家運用模型進行探究的成果，例如原子模型、DNA模型等。Halloun (2006)提到：「科學家產生、測試以及具體化富有創意或可行的想法，再透過一連串模型精緻化的過程來描述與預測現象。」(p. 28)。邱美虹(2016)指出：「在科

學史上科學家運用系統性的推理方式發展理論，無異可以視為一部科學模型發展史。」

近年各國開始注意將模型與建模列入中小學課程標準。例如2013年訂定的美國下一代科學標準(Next Generation Science Standards [NGSS], 2013)，說明學科的核心概念學習應強調以模型系統解釋與理解科學知識。在科學實作學習方面，學生應學習像科學家一樣探討與使用模型，以及運用理論來描述自然

*通訊作者：蔡哲銘，cmtsaick@gmail.com

(投稿日期：民國108年9月30日，修訂日期：民國108年12月13日，接受日期：民國108年12月13日)

現象。根據NGSS的標準，幼稚園至高中三年級(K-12)的學生都應學習發展與使用模型。而臺灣於2019年開始實施的「探究與實作」課程也將「論證與建模」當成探究過程的重要部分，也重視將模型或建模融入於探究之中，足見模型或建模逐漸受到的重視。

為瞭解模型或建模融入於探究的教學策略下，高中生對於模型認識與建模能力改變的情形，本研究發展結合建模於科學探究的課程，引導學生進行建模導向的科學探究，比較學生在課程實施前後模型認識的變化情形。學生對於模型認識、實作作品成果的關係，也將加以討論。

貳、文獻探討

一、科學探究學習的發展與遭遇的挑戰

從Dewey (1910)倡議探究教學以來，科學教育領域即開始將探究教學做為科學教育重要的一環，認為學生學習科學不應只是學習知識而已，同時也要學習科學研究的過程或方法。歷經一個世紀，探究教學的重心不斷演進，從早期認為要讓學生學習如同科學家一樣進行探究，到美國國家研究委員會(National Research Council [NRC], 1996)公布的國家科學教育標準提到探究的一個重要層面是要學習者也能經由類似科學家理解自然世界的過程，發展對科學概念的理解。洪振方(2003)從分析美國國家科學教育標準(NRC, 2000)發現探究教學已轉為強調「調查和分析科學問題的活動」、「作為論證和解釋的科學」、「將想法和結論與同學公開交流」。由此可以看出探究教學越來越重視學生學習的觀點，說明科學探究也可以是學生學習科學的方式或活動(劉湘瑤，2016)。

NRC (1996)的國家科學教育標準公布後，陸續出現相關的探究學習理論，例如White與Frederiksen (1998)提出探究環(inquiry circle)，將探究過程分為提問、預測、實驗、模型與應用等五個階段，形成探究循環。Krajcik等(1998)也提出科學調查網絡(investigate web)，將探究歷程分為提問、擬定研究計畫、進行研究、蒐集資料、分析資料與展現成果等六個階段，強調探究的歷程並非單向、線性的歷程，應該是複雜的、反覆的歷程。上述探究理論更重視學生學習的觀點，實徵研究亦已證實獲致部分成功。由於學生在探究過程中，需要主動建構、批判思考、邏輯思考及解決問題，有較高層次思考機會及較長學習時間，學生有較佳的學習表現(謝州恩、吳心楷，2005；Windschitl, 2003)。另外Gibson與Chase (2002)的研究也指出探究教學改變傳統過於著重事實記憶的學習方式，轉為重視知識的理解與應用，學生也因此對科學抱持更正向態度，對科學生涯也有較高興趣。

此外，在設計以探究為基礎的教學策略時，是否能根據教學的目標與學生學習的特性設計探究活動的難度或層次是一個重要的考量。Hansen (2002)根據學生主導程度不同，將探究教學區分為結構探究、並行探究、引導探究、開放探究等四種方式。其中結構探究是學生主導性最低的探究方式，學生依據教師設計好的步驟進行探究活動。引導探究學生的主導性提高，但經常仍是由教師選擇研究問題，提供可行方向並且協助發展研究。並行探究為引導探究與開放探究的混合，先由教師進行引導，之後逐漸轉變由學生主導。開放探究則以學生為中心，學生選擇問題、設計並發展可行的方案，學生主導的程度最高。

臺灣於2019年實施之「十二年國民基本教育課程綱要」將「探究與實作」列為自然科的領域課程。依據課程綱要規劃，「探究學習內容」著重於科學探究歷程，分為發現問題、規劃與研究、論證與建模、表達與分享等四個主要項目(國家教育研究院，2018)，搭配探究的學習進行，學生探究活動的層次也可望超越確認層次或驗證式層次，達到學生導向程度較高的探究活動。

然而探究學習也遭遇一些挑戰，吳百興、張耀云與吳心楷(2010)回顧文獻分為四個階段說明學生遭遇的困難，分別為提出問題階段、設計實驗階段、評估證據階段與形成結論階段等。首先是在提出問題階段，學生所提出的問題常過於發散、無法提出可驗證的問題。其次是在設計實驗階段，學生缺乏控制變因的能力，無法有效設計實驗，也有研究指出若學習者只能著重於部分的變因，也會無法進行全盤的實驗設計。接著是評估證據階段，學生在分析與整理數據時會遭遇困難，包含缺乏經驗去組織與檢驗數據，無法從數據中得到結果。最後是形成結論階段，學生無法由證據發展合乎邏輯的論證去支持所獲得的主張，導致無法有效推論。

二、結合模型或建模於科學探究

要克服探究學習遭遇的困難，將模型或建模與探究結合是受到矚目的方向。科學模型是科學推理及思考的工具。科學家在解釋現象或解決問題需要進行抽象思考時會運用模型構思，透過界定問題、尋找並確認與問題有關的因素，進而釐清關係，以建立具有合理性與系統性的科學模型。Cheng與Lin (2015)從模型作為解釋及預測目標現象之機制與互動的表徵工具來看，認為模型不只是科學的產物，也是科學的工具與過程。因此學生若能學習科學家以模型或建模為基礎的探究，將有機會在使用模型的幫助下，進行更為聚焦、更有系統觀且歷程更完整的科學探究。

Gobert與Buckley (2000)認為，學生在進行以模型為基礎探究時，有機會將要探討現象的結構、功能、反應等訊息透過模型操作進行整合，藉由歸納或映射(mapping)至可相類比的系統以找尋現象的成因。Windschitl, Thompson與Braaten (2008)比較使用傳統科學探究與以模型為基礎探究兩者之間的差異，如表1所示。從科學知識在認識上的特徵，來說明以模型為基礎探究，更能符合科學知識認識特徵之要求。

表1：「傳統科學探究」與「以模型為基礎探究」比較表

傳統科學探究	科學知識認識特徵	以模型為基礎探究
會測試假設	可以測試	以模型形式呈現的想法可測試
無可修正之想法	可以修正	以模型形式呈現的想法可修正
測驗最終於結論總結資料的趨勢與模式，但不包含解釋	具有解釋力的	使用資料或證據解釋為何所探究之現象會發生 模型可視為一種解釋的工具
課室內的探究不討論超越理論以外的資料	具有推測力的	解釋可用以說明潛在的觀察或結構(經常是無法觀察的因果過程)
模型被視為是探究成果，但更常發生的是模型從未被提及	具有產出力的	模型可在探究的任一時刻產出可理解的假設、新的概念、新的預測

資料來源：“Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations,” by M. Windschitl, J. Thompson, & M. Braaten, 2008, *Science Education*, 92(5), pp. 941-967.

要達到結合模型融入於探究的目的，Schwarz等(2009)認為學生對於建模的後設知識扮演重要的角色，建模的後設認知包括模型的本質、模型目的之瞭解，以及評估與修正模型的條件。擁有良好後設建模的學習者，可以更有效率地進行建模的計畫、評估模型，以及更成功的使用模型進行科學推理及反思。邱美虹(2016)則指出影響學生建模的因素應包含認知層面、後設知識，以及問題解決與探究實作三方面。Chiu與Lin (2019)更進一步指出建模能力除對應自然科學領綱的問題解決和探究實作外，應該包括三個部分：模型和建模的知識、實踐面(包含建模歷程與活動產物)，以及模型與建模的後設知識，如圖1。如此方能較為完整的達到建模的目標。

邱美虹(2016)與Schwarz等(2009)皆認為學生對於模型的認知會影響其使用模型進行探究，但是兩者對於後設能力的討論則有所不同。邱美虹認為對於建模的理解則屬於認知的一環，而學生對於建模的後設知識則為計畫、監控及評估建模的進行。此外，邱美虹也特別提出建模能力應實踐於探究活動中，讓

學生成為建模實踐者。兩者架構雖有不同，但仍可歸納出學生對科學模型的認識、對建模的認知，以及後設知識為影響學生能否成功使用模型進行科學探究的重要因素。Chiu與Lin (2019)進一步指出，建模能力不僅是要從對模型觀的知識面著手，同時也要針對建模的歷程和建模後的產物加以發展與評估，才能完整地培養出建模能力。以下就學生對科學模型的認識、建模的歷程及後設知識等三個影響因素分別進行討論。

(一)學生對科學模型的認識

儘管模型在科學發展上占有重要角色，但研究發現學生對於模型的認識與科學社群有明顯差異(Cheng & Lin, 2015; Chiu & Lin, 2019; Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991; Justi & Gilbert, 2003; Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2002)。常見的差別是許多學生基於日常經驗，認為模型是具體事物的複製品，與實體之間有等比例的放大或縮小關係。其次則是學生將模型視為靜態的物品或知識，忽略模型可用以描述動態的過程。例如Van Driel與Verloop (2002)的研究即顯示，

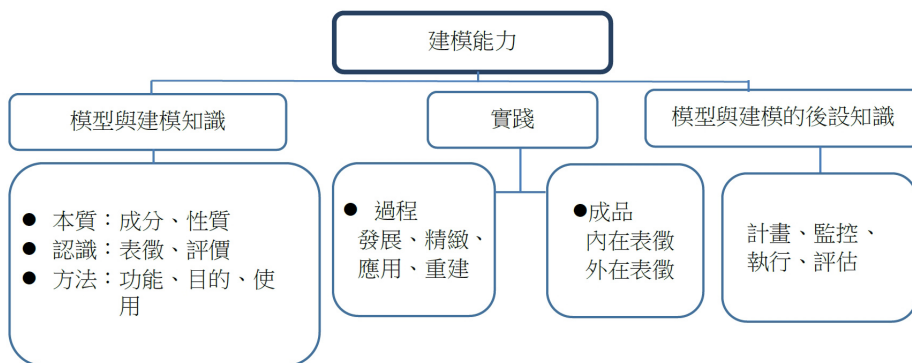


圖1：影響學生建模能力的架構

資料來源：“Modeling competence in science education,” by M.-H. Chiu & J.-W. Lin, 2019, *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1. Retrieved December 10, 2019, from <https://diser.springeropen.com/articles/10.1186/s43031-019-0012-y>

由於教師教學時常將模型當作靜態的知識交給學生，然而對於模型具有動態、多元的本質則較少提及。也因此研究顯示學生在學習模型時，經常使用的策略是將模型陳述內容記憶下來以應付考試，而非將模型視為工具(Harrison & Treagust, 2000; Justi & Gilbert, 2000; Treagust et al.)。

由於多數的學生對於模型持有的觀點與科學社群不同且彼此之間有差異，Grosslight等(1991)分析學生對於模型的理解並區分成三級，第一級的學生持有素樸的觀點，認為模型是外在真實物體的複製品、是正確的、不會去尋找模型的形式。第三級學生的觀點接近科學社群專家，認為模型是抽象的工具，可以用來發展和檢驗想法。第二級的學生則是介在兩者之間，瞭解模型是為特定且明確的目的而建構，對模型的功能已由具體轉趨抽象。Grosslight等的工作對後續研究產生影響，學者將學生素樸觀點及科學社群觀點視為光譜兩端，來調查學生對於模型所持有的觀點。

學生對於模型的觀點影響學生運用模型進行探究的能力。根據Schwarz與White (2005)的研究指出學生對於模型的認識是影響他們使用模型進行科學推理及反思效果的因素之一，如果學生無法將模型視為思考的工具，學生難以運用模型進行探索。因此調查學生

對於模型的認識即成為重要的課題。科學教育學者將調查解構成不同的面向設計工具進行，例如Treagust等(2002)將學生對模型的認識分為模型是什麼及模型的角色等二個面向。Schwarz與White則從多重模型、模型本質、模型的使用與目的、建模本質與評價模型等面向對學生進行質性訪談。Sins, Savelsbergh, van Joolingen與van Hout-Wolters (2009)從模型本質、模型目的、設計與修正模型及評價模型設計問卷調查。Cheng與Lin (2015)則將學生對模型的認識分為模型本質、模型目的及建模歷程三個面向進行討論。邱美虹(2008)則從本體論(本質、呈現形式、變化關係)、認識論(表徵形式、屬性、情境)及認知與方法論(現象解釋、推理、歷程、連結新想法)等三個面向針對學生對於模型的觀點和建模的能力進行分析。表2整理以上學者對學生持有模型觀點的調查面向，從上述研究可以發現學者基於不同的研究目的所解構的面向雖不相同，但大致上涵蓋模型本質、模型的目的與功能，以及建模的本質與歷程。

為提升學生對於科學模型的認識，本研究將運用模型外顯化的教學策略，透過實體模型與科學模型的比較、科學史上地心與日心說的模型競爭、原子模型形成與演進等示例，讓學生理解科學社群如何以模型系統解釋與理解自然界的過程，進一步提升對模型本質與功能的認識。

表2：不同學者對於學生模型觀點的調查面向

面向	Treagust, Chittleborough與 Mamiala (2002)	Schwarz與White (2005)	邱美虹(2008)	Sins, Savelsbergh, van Joolingen與van Hout-Wolters (2009)	Cheng與Lin (2015)
模型本質	模型是什麼	多重模型 模型本質	本體論	模型本質	模型本質
模型的目的與功能	模型功能角色	模型的使用與目的	認識論	模型目的	模型目的
建模本質或歷程		建模本質 評價模型	認知與方法論	設計與修正模型 評價模型	建模歷程

(二)建模歷程

建模即是建構模型的歷程，許多研究者嘗試描述建模的歷程，例如Hestenes (1995)即提出一般性建模歷程的模型，建模者在特定的情境下，可選擇其有意討論的系統進行清楚的界定與描述，並且根據研究目的建立模型並進行效化，之後持續分析應用所建立之模型。以上歷程有可能反覆進行，並據此得出適當結論；Halloun (1996)在Hestenes的基礎之上，除了提出建模歷程的五個階段，分別為模型選擇、模型建構、模型效化、模型分析和模型調度，也指出建模雖可分為五個階段，但其過程並非線性的完成一個階段再進到下一個階段，部分階段會相互重疊。Justi與Gilbert (2002)提出在科學教學及課程設計使用的建模架構，認為建模必須基於目的，所以依據目的選擇模型開始。之後建模者從舊有經驗產生心智模式並將其表徵，透過思考與實驗驗證的檢核，決定模型能否達成其目的。若模型無法通過檢核，則返回之前的階段，反覆進行建模的歷程。Justi與Gilbert的架構提出一個重要概念，亦即建模

需考量模型的範圍與限制，若原有模型無法通過檢核時，需要再依其目的重新建立模型。邱美虹(2016)及Chiu與Lin (2019)亦精緻化在2008年所提之建模歷程，參考Halloun的觀點，將此歷程細分成四階段與八步驟，操作型定義如表3所示。

邱美虹(2016)及Chiu與Lin (2019)作者進一步說明，學生在進行建模時，每個學生的歷程有可能因人、因事不同而有所差異。有些學生的歷程順序可能序列性的從第一階段到第四階段，但也有些學生會在某些階段形成一個迴圈反覆進行操作，階段完成後才繼續往下進行，直到任務結束。其建模歷程示意如圖2所示。

從上述的研究可以發現以下特徵：

- 1.多數學者皆認為建模的歷程並非線性或是有固定程序的過程，有些階段是相互重疊並且有可能是同步建構。學習者也會因抉擇有機會產生重複的歷程，整個歷程有可能為循環進行。
- 2.雖然建模歷程並沒有定義明確的界線，也沒有規定的順序。但多數學者在描述此一

表3：建模歷程架構

建模階段	建模步驟	操作型定義
模型發展	模型選擇	從先前概念選擇適合的物件(或成分)組合成模型，或是選擇適切的模型
	模型建立	建立所選擇物件(或成分)之間的關係(連結)與結構
模型精緻化	模型效化	驗證已建立的模型，對成分間之關係與結構進行效化，並確認模型內部的一致性
	模型分析	利用已完成效化的模型進行問題的解釋與分析(多數情形為數據計算或是邏輯推理)
模型遷移	模型應用	利用已效化的模型於相似的問題情境中(近遷移)
	模型調度	利用已效化的模型於新情境中(遠遷移)
模型重建	模型修正	察覺已效化的模型部分失效，必須增加或減少成分(物件)與關係，才能進行問題的解釋，進而修正為新模型，此乃屬於模型(弱)重建
	模型轉換	察覺已效化的模型整體失效無法解釋科學現象，必須建立新的模型，屬於模型(強)重建

資料來源：整理自邱美虹(2016)。科學模型與建模：科學模型、科學建模與建模能力。臺灣化學教育，11。查詢日期：2018年3月12日，檢自：<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=13898>；“Modeling competence in science education,” by M.-H. Chiu & J.-W. Lin, 2019, *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1. Retrieved December 10, 2019, from <https://diser.springeropen.com/articles/10.1186/s43031-019-0012-y>

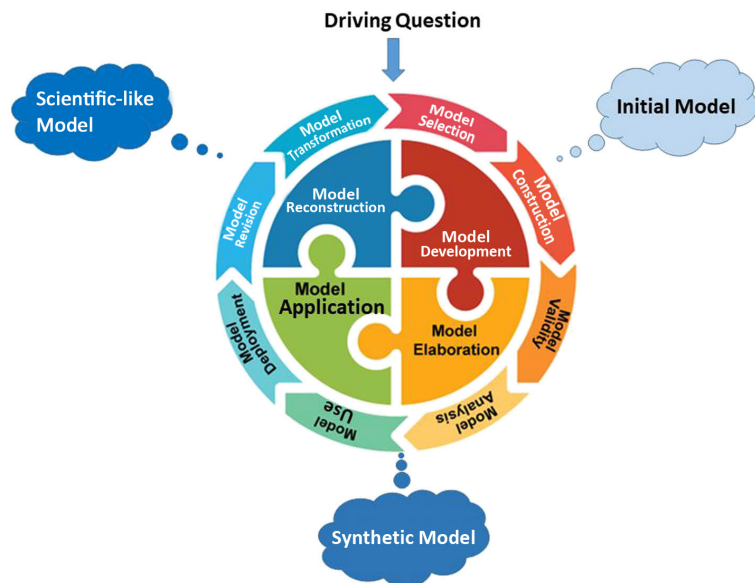


圖2：建模歷程的相互關係

資料來源：“Modeling competence in science education,” by M.-H. Chiu & J.-W. Lin, 2019, *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1. Retrieved December 10, 2019, from <https://diser.springeropen.com/articles/10.1186/s43031-019-0012-y>

- 歷程時，仍舊明確區分為不同階段，對於學習者而言也能有所依循。

3.不同學者對歷程中各階段使用之名詞雖有不同，然而所指之歷程內容大致相同，但在階段劃分及所用名詞上有所差異。用於描述科學發展的理論對建模歷程的描述較為詳細、階段較多，對所建模型的要求也較為嚴謹。而用於科學教學模型所劃分的階段較少，著重於學習者建模歷程的精神，但對模型的要求相對較少。
- 4.將建模歷程與科學探究進行結合，可以回應探究教學所遭遇的困難。表4說明運用邱

表4：結合建模之探究策略解決探究教學所遭遇的困難之對應表

階段	遭遇困難	解決策略	結合建模探究
提問	問題發散、無法聚焦 無法形成可驗證問題	活化學習者的 先前知識經驗	模型發展——學生從先前的概念選擇適切的模型，可活化 先前知識經驗
設計	缺乏控制變因能力	強調控制變因 的重要性	模型建立——學生需建立所選擇物件之間的關係(連結)與 結構，建立關係時會強調控制變因，以利尋找關係
實驗	僅注重部分變因，無法依據其 他變因進行全盤設計		
評估	無法由數據找出變因影響關係	強化證據導向 的評估策略	模型效化——學生要驗證已建立的模型，對成分間之關係 與結構進行效化，並確認模型內部的一致性。
證據	缺乏經驗去組織與檢驗數據		
形成	無法由證據發展合乎邏輯的論 證去支持主張，導致無法有效 推論	整合證據與理 論	模型選擇時，學生需觀察現象選擇與先前經驗適切的模型 模型建立時，學生需要基於證據建立物件(或成分)之間關 係(連結)與結構 模型分析——模型建立後，需運用已完成效化的模型進行 問題的解釋與分析，問題的解釋與分析過程亦須基於證據 推論
結論			

美虹(2016)結合建模歷程之探究策略可用以傳統科學探究各階段遭遇之困難。

故若讓學生先瞭解建模的歷程後進行探究，有機會克服探究教學所遭遇的困難，所以學者倡議應協助學生將建模的歷程融入探究活動(鐘建坪，2010；Namdar & Shen, 2015)。

(三)後設知識

從文獻對於建模歷程之研究，可以發現學習者對於模型的認識或是對於建模的後設知識，對其建模歷程有明確的影響。例如Justi與Gilbert (2002)提到建模的歷程要考慮到模型使用的範圍及限制，故學習者須對模型本質有所認識。邱美虹(2016)將模型重建列入建模的歷程，亦是反映模型動態本質，學習者必須對模型會隨著新證據出現而改變的本質有所瞭解。Schwarz等(2009)討論後設建模知識對建模歷程的影響與互動關係，明確指出兩者相互支持的關係如圖3所示。

Schwarz等(2009)認為透過建模的練習及後設建模的培養，學習者可以運用模型描述及理解現象，協助他們思考及達成共識，達到「使有意義」的學習目標。同時當學生擁有想法，亦可利用模型作為溝通工具，協助他們說服他人或幫助他人理解他們的想法。

邱美虹(2016)則認為應讓學生實踐建模歷程於探究活動中，讓學生可以學習計畫、監控及評估建模進行成為建模實踐者。

本研究透過原子模型形成與演進的過程，讓學生討論科學家如何設計實驗以確認模型的正确性、如何根據實驗結果進行評估模型，以及運用模型作為解釋的工具。同時提供學生實作機會能夠運用建模歷程探究開放式問題，以提升學生對於建模的後設認知。但針對後設認知的部分，則非本研究的重點，故後續分析將不納入討論。

參、研究問題

臺灣的新課程綱要，訂定「探究與實作課程」為自然科二學期必修四學分課程。許多高中規劃是在一個學期由自然科其中兩科合作開設課程，例如上學期由物理、地球科學合作；下學期由化學、生物合作。故本研究設計約8週之長度開發教學模組，並將建模課程融入於科學探究。

本研究之研究問題為在建模課程融入於科學探究的教學策略下，學生的學習成效如何？包括：一、學生對於模型本質認識的情形為何？二、學生建模能力的發展情形為何？三、學生對於開放式問題探究的表現為

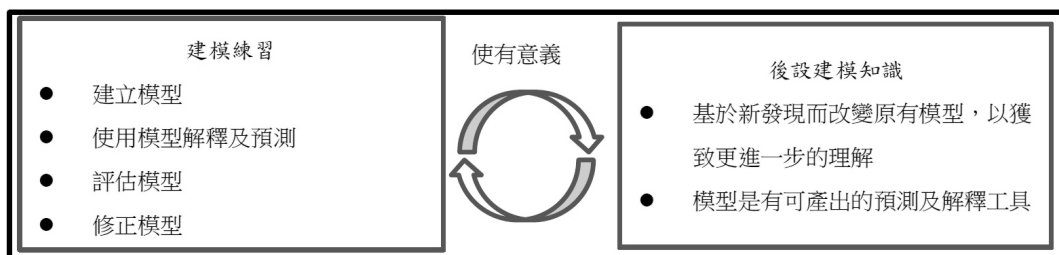


圖3：後設建模與建模練習之間關係

資料來源：“Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners,” by C. V. Schwarz, B. J. Reiser, E. A. Davis, L. Kenyon, A. Achér, D. Fortus, et al., 2009, *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), pp. 632-654.

何？四、學生的模型觀點、建模能力與開放式問題探究表現的交互關係為何？最後綜合上述研究目的，為「探究與實作」課程提出建議。

肆、研究方法

一、研究對象

本研究對象為臺北市中正區某普通高中高一學生。利用每週2節的選修課程實施科學建模教學，共有30名來自不同班級的男學生參與研究。所有學生在教學前皆未接受過建模相關課程。

二、研究流程與教學設計

本研究為研究者自行設計課程，並由研究者擔任課堂教學的工作，流程如表5，在進入建模教學之前，先進行模型的問卷前測。接著進行連續3週、每週2節課的模型與建模教學。在進行教學時即預先告知教學結束後會有3週探究實作的課程，請學生預先討論欲探究的題目。教學結束後進行3週探究實作與1週的成果發表，之後再進行建模能力測驗、模型問卷後測及晤談。

本研究的教學內容包含科學模型本質與功能的介紹、建模歷程的介紹與練習，之後再由學生自行就有興趣問題進行探索。由於本研究課程採取開放式探究等方式進行，考量多數學生未曾接觸類似課程。因此將建模

歷程參考圖2之歷程，但進行簡化，在模型遷移階段僅保留模型應用與調度步驟；在模型重建階段僅保留模型修正與轉換步驟。

在教學流程中(如表6)，規劃在每個建模歷程外顯化的搭設鷹架協助學生後續的開放式問題探究能自行運用建模歷程。首先是在教學中引進車流模型，讓學生思考如何描述變因(包含汽車長度、汽車數量、汽車速度、馬路長度等參數)並進行模型建立，討論如何規劃紅綠燈的時間長度以使車流順暢，接著將建立的模型對照日常經驗中所觀察到現象，思考模型的效化與分析。

此外亦利用Physics Education Technology (PhET)網站Mass & Spring的動畫，讓學生探討鉛直彈簧振盪週期與哪些變因有關(模型選擇)，探究模型的變因與關係以進行建模。在討論變因的量化關係則是指導學生運用Excel程式，將量測數據轉換為圖、表，尋找變因之間的定量關係(模型建立、模型效化、模型分析)，並且讓學生運用模型量測未知的質量(練習模型調度，可能運用到模型修正與重建等階段)。

三、研究工具

(一)模型本質問卷

本研究模型本質問卷工具以邱美虹(2008)的理論架構，修正劉俊庚(2011)所提出模型本質觀點問卷，分別從本體論、認識論、認知與方法論等面向調查學生對模型觀點。問卷採用李克氏量表評量：分為非常同意(4分)、同意(3分)、不同意(2分)和非常不同意(1分)等4個評量標準予以計分。本問卷透過同年級學生進行預試，問卷試題之Cronbach's α 值為.812。表7說明各面向問題調查的觀點，表8提供問卷的試題。

表5：研究流程表

流程	內容
前測	模型問卷
教學實施	建模教學(3週)
探究實作	建模探究(3週)
成果發表	成果發表(1週)
後測	模型問卷、建模能力測驗、晤談

表6：教學流程表

節次	課程大綱	教學內容
第1節	模型本質與功能	以原子模型為例介紹科學模型的本質與功能
第2節	建模歷程整體介紹與練習 回家作業：提出問題、模型描述	以車流模型練習模型的描述選擇、模型的建立、模型的效化、模型的分析與調度
第3節	實作練習——模型的建立(1) 確認所選模型的相關成分 模型的描述與選擇、模型的建立	以科學展覽學生作品練習模型的修正與重建 以PhET網站Mass & Spring的動畫練習建立鉛直彈簧震動週期的模型(練習模型選擇、模型建立等階段)
第4節	實作練習——模型的建立(2) 確認所選模型的相關結構 如何將數據轉換為圖、表 尋找變因之間的關係 模型建立	將量測數據轉換為圖、表，運用Excel尋找變因之間的關係，建立模型(練習模型效化、模型分析等階段) 運用建立的模型量測未知的質量(練習模型調度，可能運用到模型修正、模型重建等階段)
第5節	實作練習——表達與溝通	如何呈現探究成果、研究報告格式介紹
第6節	小組討論及修正建模計畫	小組討論及修正建模計畫
第7～8節	建模導向探究實作(第一週)	確定建模問題、進行模型的選擇與描述 各組設計實驗進行建模探究
第9～10節	建模導向探究實作(第二週)	設計實驗確定模型成分、尋找成分之間的關係 各組進行建模探究
第11～12節	建模導向探究實作(第三週)	執行探究實驗以進行建模 將實驗結果及建模歷程進行記錄 各組進行建模探究
第13～14節	成果發表與回應	確定所建立的模型是有效的 利用已效化的模型進行問題解釋與分析 描述如何運用模型解決其他問題 運用模型有沒有失敗而須修正的情形 各組發表

註：PhET: Physics Education Technology。

表7：模型本質問卷各面向調查之觀點

模型本質面向	題數	問卷題目調查之觀點
本體論	9	模型是什麼、模型與真實／現象的對應關係、模型能不能改變。
認識論	7	模型在不同情境下可透過不同表徵形式呈現、模型是特定人士對某種事物或現象的觀點。
認知與方法論	8	模型有描述、解釋、推理、預測、檢驗、產生新想法等功能。

資料來源：劉俊庚(2011)。探討模型與建模對於學生原子概念學習之影響。未出版之博士論文，國立臺灣師範大學科學教育研究所，臺北市。

(二)建模能力測驗評量與建模能力指標 (Modeling Ability Analytic Index, MAAI)

本研究建模能力測驗選取全國科學展覽的學生作品改寫測驗題目，藉由參加科學展覽學生真實探究的歷程及範例，發展形成評量試題。作品內容為討論「測量物體於流體中所受阻力之創新實驗設計與簡易方法」。

學生藉由分別測量湍流(水)與層流(甘油)的狀況下，尋找不同大小及形狀的物體(圓球體與圓柱體)在不同液體流速下所受的阻力大小與關係，得到物體在液體中所受阻力的數學關係(數學模型)，並與流體力學理論相互印證。因題材限制，本測驗評量之歷程為模型選擇、模型建立、模型效化及模型應用等，測

表8：模型本質問卷試題

面向	試題
本體論	在道耳吞的原子說中，原子是構成物質的最小單位，其不可再分割。十九世紀末期，湯木生在陰極射線實驗，首先發現了原子內有帶電的粒子(後來稱為電子)存在，並提出新的原子理論。 問題1-6湯木生提出新的原子理論，因此我們可以說模型是可以被改變。你是否同意這樣的說法？
認識論	現在如果有一群社會學家分析某地區的相關資料後，提出「近來某地區小偷頻傳現象，可能是因為經濟不景氣所造成。」那這些社會學家所提出的觀點可稱為是模型。 問題2-6從上述的說明，模型可以是專家對某種事物或現象的觀點。你是否同意這樣的說法？
認知與方法論	當我們希望能解釋離子晶體不具有延展性，我們可以透過原子結構模型來解釋為什麼離子晶體不具有延展性的問題，如圖所示。
問題3-2從上述的說明，我認為利用模型可以解釋特定事物或現象的關係。你是否同意這樣的說法？	

驗題目經兩位專家審查(一位高中教師，一位為科學教育學者)。

為評估建模能力測驗，本研究採用張志康與邱美虹(2009)依據建模的階段(選擇、建立、效化、分析、調度與應用、修正與重建)，以及能力發展層次(依據學生所展示模型之關係結構或延伸抽象的概念思考定義，分為Levels 0 ~ 5)，發展出MAAI雙向細目表如表9，用以評估學生建模能力發展的情形。

(三)學生實作作品

本研究第7~12節為學生利用所學的建模歷程進行建模導向的探究與實作。透過半結

構式晤談與學生於最後一週的成果發表，藉MAAI (表9)來觀察學生所進行的實作作品所達到建模歷程的哪一個部分，同時記錄學生在各個建模歷程的回覆。

伍、結果與討論

一、模型本質問卷

學生模型本質問卷之回答情形如表10所示。在模型本體面向，基於題目之設計，分數較低表示學生認同模型須完全對應特定事物的結構、性質或關係，分數較高則表示學生認同模型不只是實體的複製品。結果顯示

表9：建模能力指標簡表

能力層次	操作定義
Level 0：無反應	無反應
Level 1：單一變因	提及單一正確變因
Level 2：多重變因	提及兩個以上的正確變因
Level 3：關係結構	提及兩個以上的正確變因，以及一個以上的正確關係
Level 4：延伸抽象	能夠預測(或操作)改變兩個變因時，應變變因會產生何種改變
Level 5：多重延伸抽象	能夠利用科學理論驗證自己的實驗成果 能將研究成果應用於其他情境(遠遷移) 能產生理論

資料來源：張志康、邱美虹(2009)。建模能力分析指標的發展與應用——以電化學為例。科學教育學刊，17(4)，319-342。

表10：模型本質問卷分析結果

面向	前測 <i>M (SD)</i>	後測 <i>M (SD)</i>	<i>df</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
模型本體面向	23.50 (3.21)	27.67 (2.76)	29	5.221	< .001
模型認識面向	22.10 (2.69)	23.93 (3.06)	29	2.505	.018
模型認知與方法面向	26.33 (3.08)	28.57 (3.58)	29	3.641	.001

學生在前測平均為23.50分，換算各題平均為2.61分，介於同意與不同意之間；後測平均為27.67分，換算各題平均為3.07分，介於非常同意與同意之間。前後測配對樣本 t 檢定(paired- t test)的結果 $p < .001$ ，達顯著差異。

模型認識面向，分數低表示學生認同模型為較具體的表徵形式，分數高則表示學生認同模型為較抽象的表徵形式。結果顯示在前測平均分數為22.10分，換算各題平均為3.16分，介於非常同意與同意之間；後測平均分數為23.93分，換算各題平均為3.42分，介於非常同意與同意之間。前後測配對樣本 t 檢定的結果 $p = .018$ ，達顯著差異。

模型認知與方法面向，分數低表示不認同模型具有抽象功能(包含描述、解釋、推理、預測、檢驗、產生新想法等)，分數高則表示認同模型具有上述的抽象功能。結果顯示在前測平均分數為26.33分，換算各題平均為3.29分，介於非常同意與同意之間；後測平均分數為28.57分，換算各題平均為3.57分，介於非常同意與同意之間。前後測配對樣本 t 檢定的結果達顯著差異($p = .001$)。

本研究結果顯示研究對象對於模型的觀點較諸文獻中的結果更能接受模型是抽象的

工具，而不僅是實體的複製品。例如Treagust等(2002)的研究發現有接近半數的學生認為模型是複製品，僅有接近20%的學生認為模型可以為抽象的未知實體。

同時在經過教學及實作後，學生對模型本體、認識及認知與方法三個面向，皆達到顯著差異。對比Schwarz與White (2005)的研究發現在後測有50%的學生認為抽象的理論、方程式及規則可稱為模型。顯示透過模型外顯化的教學策略，將模型與建模的觀點融入探究活動中之外，可以有效改變學生對於模型本質的觀點。讓學生對模型從素樸的觀點往科學社群的觀點遷移。

二、建模能力測驗

建模能力測驗的結果如表11，根據表9MAAI對學生作答情形進行評量，將學生的建模能力區分Levels 0 ~ 5，表11說明建模歷程各步驟達到不同能力層次的人數。評量由兩位科學教育背景的中學教師協助評分，評分者信度為.78，經過討論後兩位評分者皆達成共識。

由表11可以發現學生在針對由科學展覽作品改寫之評量題目在模型選擇及模型建立

表11：建模能力測驗分析結果

建模歷程	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	<i>M</i>	<i>SD</i>
模型選擇	0	13	2	0	15	0	2.57	1.48
模型建立	0	3	0	0	24	3	3.56	1.48
模型效化	17	2	1	0	6	4	1.60	2.08
模型應用與調度	25	4	1	0	0	0	0.20	0.48

歷程表現較佳。在模型選擇方面，學生可以根據研究題目尋找至少一個合適的變因進行討論(例如流速與阻力有關)，有半數的學生可以找到二個以上的變因及二個以上的正確關係進行討論(例如流速與阻力呈正相關、體積與阻力成正相關)。而在模型建立方面，有24位學生可以根據作品中所蒐集之實驗數據資料，達到Level 4(如找到甘油流速／鋼球半徑／圓柱鋼體長度皆與阻力呈正相關)，有3位學生可以用正確的數學關係式呈現所建立之模型，達到Level 5(例如寫出阻力 = 阻力常數 × 甘油流速 × 鋼球半徑的數學關係)。

在模型效化方面的結果顯示有雙峰的現象。在引進流體力學的理論與實驗所得之模型進行效化時，有17位學生是Level 0，2位學生是Level 1。但有6位學生可以達到Level 4，有4位學生更是可以運用流體力學理論驗證實驗所得模型，達到Level 5。

針對此一現象，進一步比較處於雙峰兩端的學生在建模能力測驗與模型本質問卷表現結果的關係發現，建模能力中模型效化達Level 4、Level 5的10位學生模型問卷三個面向的後測平均分數(28.5、24.5、30.5分)均高於17位模型效化Level 0的學生(27.5、23.8、27.8分)。由此可以發現若要在模型效化達到較高層次，學生對於模型本質須要有較好的瞭解。

此一結果與邱美虹(2016)和Schwarz等(2009)的研究結果一致，皆認為學生對於模型的組成與功能的認知會影響其使用模型進行科學探究。同時也Van Driel與Verloop(2002)的研究結果有關聯，認為學生因為缺乏模型效化和模型調整的教學，所以學生對模型本質、功能認識有限(邱美虹、劉俊庚，2008)。本研究結果則是發現模型效化達到較高層次，學生對於模型本質須要有較好的瞭

解。對於兩者之間是否有互為因果的關聯，後續研究可深入探討。

最後在模型應用與調度方面學生表現不佳，多數學生無法對實驗所得的模型產生遷移，有25位學生無法有正確的反應，4位學生可以達到Level 1，僅1位學生可以達到Level 2(提及若要應用需調整體積形狀、液體流速等兩部分變因)。此結果顯示學生對模型應用與調度不易遷移。

三、學生實作作品

本研究讓學生分為8組，每組探究一個開放式問題。在8組學生的作品當中，有4組(組別1、2、4、6)學生探究的問題來自日常生活的經驗，選擇的模型也來自於對日常現象的觀察。另外有三組(組別5、7、8)的學生在決定探討的題目時，因為想不到可以討論的問題，因此選擇從網路上尋找題材。只有一組(組別3)的作品選擇驗證課堂中學到的題材。表12說明各組的題目及建立的模型。從學生的實作作品及晤談資料，發現以下結果。

(一)在模型建立方面

1. 學生能夠選擇正確變因並且能透過實作找到部分變因的關係，但與建模使用科學原理解釋實作成果仍有差距

8組實作作品評量的結果，有2組達到Level 5、有2組達Level 4、有4組達到Level 3。可以發現學生作品能夠選擇正確變因並能找到部分變因的關係，但仍未能充分討論因素之間的關係。

分析學生作品可以發現學生在尋找因素之間的關係時，會將注意力集中在獨立討論各變因與應變變因的關係，而忽略討論變因與變因之間的關係。例如組別1的學生探討題目是「不同黏著劑對於物體的黏著度」，學

表12：學生實作作品分析表

組別	題目	層次 (Level)	變因	關係	延伸關係	科學原理與應用
			Levels 1 and 2	Level 3	Level 4	Level 5
1	不同黏著劑對於物體的黏著度	4	1.黏著劑種類 2.時間 3.黏度	1.在30秒時，黏度大小為保麗龍膠>強力膠>膠水 2.在揮發物質乾掉之前，膠的黏性隨時間增加而增大	黏著劑所加的揮發性物質多寡影響黏劑乾燥的速度，而黏著劑膠的濃度則影響黏性的大小	
2	施力對雨傘結構差異影響	5	1.支架根數 2.支架結構 3.外力	1.支架根數越多，能夠抵抗越大的外力 2.不同結構的傘架可抵抗外力的大小不同	選擇正確的結構，在不用過多的支架根數，亦能夠形成抵抗外力能力最好的雨傘	可以應用在橋梁問題，或是房子的結構
3	氯化鈉及硝酸鉀於水中溶解度受溫度影響	3	1.溶質種類 2.溫度 3.溶解度	1.硝酸鉀於水中之溶解度較氯化鈉大 2.溶質的溶解度隨溫度上升而上升		
4	探討雨滴形狀影響因子	3	1.水滴落下高度 2.滴管口徑 3.水滴形狀	1.相同口徑，高度越高，水滴就會被拉長，形狀比較接近錐形 2.同高度，滴管口徑越大，水滴較圓，較大顆		
5	水球爆破的機率	5	1.水球落下高度 2.水球質量 3.接觸面性質 4.水球正面或與地面夾45度角落下 5.水球爆破機率	1.相同材質下，高度越高，爆破率越高 2.水球質量越大，爆破機率越大 3.相同高度條件下，不同接觸面材質影響爆破機率，砂紙>相對平滑面>凹凸平滑面 4.水球正面或與地面夾45度角落下與水球爆破率關係	特定高度以上，無論是以側面或是正面落下，水球爆破率相同；若在低於特定高度下，以正面落下的水球爆破率較低，可作為次組的證據	1.因為 $f=ma$ ，可推論 m 越大， f 越大，爆破的機會也越大 2.因為 h 越大，位能越大（動能也會越大） 3.改變接觸面時，因為水球落下時所受力不同，而產生差異 4.改變接觸面大小時，由於壓力 $p=f/s$ 不同，因此產生爆破的差異
6	溶液液面泡泡與器壁作用的關係	3	1.容器種類 2.溶液種類 3.液面上氣泡移動	1.氣泡附著於器壁的速度排序為不沾鍋<玻璃燒杯<塑膠燒杯 2.同樣容器時，氣泡附著杯壁速率為酒精<水<鹽水		
7	如何改善室內空氣品質	4	1.開風扇 2.開窗口 3.抽風機 4.濾紙 5.懸浮微粒量	1.抽風機對排除懸浮微粒之效果較風扇差 2.濾紙可以幫助抽風機排除懸浮微粒 3.開窗有助於整體裝置的循環，增加排除懸浮微粒的量	各種變因組合，對於減少懸浮微粒量的最佳方式	
8	手機網速探討	3	1.電信公司種類 2.手機廠牌 3.不同地點 4.手機網速影響	1.中華電信最快，再來是遠傳，再來是臺灣之星 2.操場空曠處>一樓普通教室 3.地下室賣場		

生選擇保麗龍膠、膠水及強力膠等三種不同的黏著劑進行討論，並且以黏著劑種類與黏著時間長度作為二項要探討的變因。學生的晤談資料也提及要探討的變因：「問：『實驗步驟你可以大概說一下嗎？』S02答：『我們後來決定的材質是竹筷，因為竹筷的截面積比較固定。我們會先把竹筷切一半，然後中間就是用不同的膠水黏起來，外面再加一個彈簧秤，看看時間內把他拉開最大力量是多少。』」(18060501)從其實驗設計，可以發現學生對因素之間關係釐清的示意如圖4所示，缺少對於不同黏著劑與等待時間關係的討論。

此與一般科學模型不同，如圖5，在高中階段有關牛頓第二運動定律的模型關係討論， F 、 m 、 a 三個因素兩兩之間的關係皆須進行討論。在獲得於 m 固定的條件下， a 與 F 成正比；在 a 固定的條件下， m 與 F 成正比的兩項關係後。再討論在 F 固定的條件下， m 與 a 的關係，不但可以釐清 m 與 a 的關係，同時也

可以檢查前面兩項關係的一致性，達到內部效化的效果。

2. 對於開放式的問題探究，學生對於探索變因之定量關係存在實際困難

此次8組學生作品當中，共有6組作品於實驗報告中呈現實驗數據。僅有2組作品以質性描述方式比較不同變因下實驗結果的差異。在6組作品，學生雖進行實際測量並獲得數據，並且試圖運用課程中所學之Excel程式呈現變因之間的定量關係。但由於數學能力有限，加以無法推測變因之間的函數關係，因此皆無法得到正確的定量關係。

以2號作品「施力對雨傘結構差異影響」為例，學生在經過實際測量後，所得到的關係圖如圖6。可以看到無論支架的根數是6、8或12支，第二類型的支架結構抗力明顯高出第一、三類型的支架結構，所以學生得出第二類結構最堅固的結論。學生的晤談資料提到：

問：「經過探究之後，你們得到的

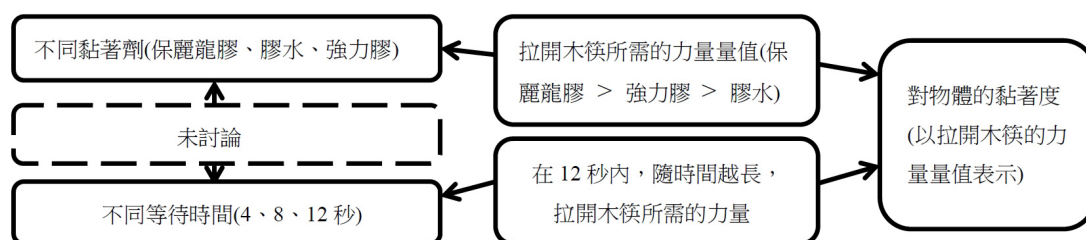


圖4：不同黏著劑對於物體的黏著度因素關係討論示意圖

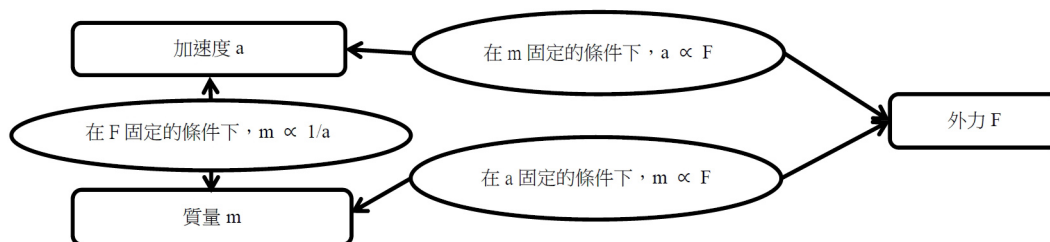


圖5：牛頓第二運動定律討論的示意圖

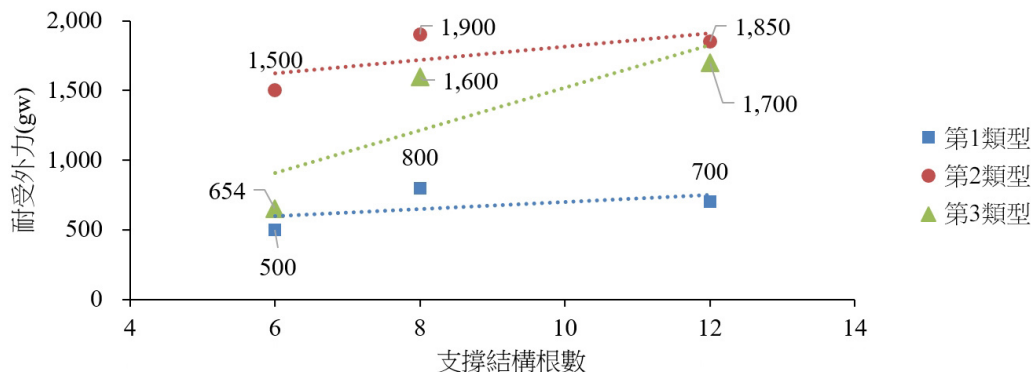


圖6：2號作品——施力對雨傘結構關係示意圖

成果是什麼？」

S04：「我覺得蠻酷的，就是第二類型最強。」

問：「就是結構的第二類型最強？」

S04：「第一類型是最差的、根數還是有一點點關係，但是他不是最主要的。最主要是結構。」

問：「根數的關係是什麼？」

S04：「隨著根數越多，會微微的比較強。」(18060501)

雖然學生明白此一作品與力學原理有關，然而學生尚無能力運用力學原理完整解釋為何第二類結構最堅固，亦無法說明數量的關係。其他5組作品皆存在類似的情形。

(二)在模型效化方面

根據學生的晤談資料發現，學生對模型效化感到困難，8組的學生代表訪談中，有4組的學生認為模型效化是困難的一個步驟。此步驟的定義原是利用模型的相關成分進行評估，檢驗或修正模型內部的一致性。然而學生會將「模型效化」名詞直接解釋成「檢驗模型是否為有效的模型」。

問：「在建模的歷程當中，哪一個

步驟覺得困難，理由是什麼？」

S06答：「在效化的部分，因為它是在驗證這東西做出來有沒有意義，有沒有意義很可怕，就是一開始在做的時候，可能是有點盲目地做，到頭來會發現之前在做的一堆東西，到底在幹嘛？」

S15答：「模型效化，一開始要考慮因素，會隨著慢慢想會越來越多。你會發現你做一個，好像還要加東西。」

S21答：「模型效化，因為我做的實驗數據推出來的模型，不一定可以應用的日常生活中的其他情境。應該說還不夠完全，因為我探討的變因只有兩、三個，但是日常生活中還要考慮變因，可能需要更完整的模型。」(18060801)

由於學生進行開放式的問題探究，模型所需要考慮的全部因素並非如同食譜式的問題，一般在探究開始即擇定，因此學生在檢驗自己所建的模型是否有效時，最擔心的是未將應考慮的因素放進模型當中。隨著學生在進行實驗時會發現有新的因素應被考量，

之後雖將因素加入模型當中，但學生仍擔心模型並未完整，模型並非有效的模型。

另外若從學生的建模報告進行分析，可以發現學生認為因素之間的關係由實驗數據推論而來，因此皆為有效。但由於學生對於模型各因素的關係缺乏完整的探討，僅注意各個因素與結果之關係，因此學生缺乏檢驗或修正模型內部的一致性的能力。這樣的結果與先前的研究一致。根據先前的研究，邱美虹(2008)的研究即發現多數學生對於所建模型不擅長做「效化」的動作。

(三)模型的應用與調度和模型的修正與轉換方面

根據晤談的資料，學生對於應用自己所建之模型缺乏明確的想法。原因可歸為以下二類(表13)。

第一類：覺得所建的模型尚未成熟，因此也無法應用此一模型於其他情境。「問：『你們的探究結果能夠適用在其他的情境中嗎?』S06答：『我們的實驗應該還不夠成熟。』S14答：『我覺得可能是我們必須研究更多才行。』」(18060502)

第二類：認為所建的模型只做特定現象的討論，因此僅能夠相同的條件下，無法應用在其他情境。「問：『你們的探究結果能

夠適用在其他的情境中嗎?』S02答：『感覺只能適用在我們這次的實驗情境。』S23答：『差不多就是這種溶解度這件事情上面可以適用這樣的情境。』」(18060101)

產生此一現象的原因可能是因為學生專注於模型建立的歷程，希望能夠尋找變因單純，容易討論的現象，因此所建立之模型的應用與調度容易受限。同時，學生也會認為因為課程時間尚短，目前的模型上有需要更精緻之處，故尚無應用之價值。

根據晤談資料，學生對於模型修正回答聚焦在模型建立的過程中如何修正實驗條件或是實驗步驟以將實驗設計得更精緻，以使所獲得的關係更精確：

問：「探究及建模過程中，有沒有發生原有模型需要修正的例子?」

S02答：「膠水的量(意指膠水量不易控制)，竹筷切面(截面)也會不完整。截面也不能保證每一個都是平滑的。」

S04答：「我覺得那個雨傘，我還是要用鐵絲，那比較符合我原來的想像，雖然那個時候做不太出來。」(18062201)

學生回答的內容屬於「模型精緻化」的範疇，與「模型修正」的定義不同，由此發現雖然在實作之前對建模的步驟進行介紹，但是學生對於「模型修正」與「模型精緻化」的概念依舊會發生混淆。分析此一現象發生的主要原因是由於課程的時間長度不足，學生沒有機會應用模型在於新的情境，進而察覺模型需要修正需求。

表13：學生對於模型應用與調度晤談反應表

組別編號	回應情形
1	第2類
2	可用於房子的結構
3	第2類
4	第2類
5	沒有想法
6	第1類
7	第2類
8	第1類

陸、結論與建議

模型與建模在科學教育研究上已累積豐碩的成果，也陸續獲得各國的重視紛紛置入科學課程標準中。過往建模的研究，主要聚焦於發展學生的科學概念，如張志康與邱美虹(2009)發展學生「電化學」的概念；Jong, Chiu與Chung (2015)發展學生對於「氣體」的概念；Cheng與Lin (2015)發展學生對於「磁性」的概念等。然而從回顧文獻可發現運用結合模型或建模進行開放式的問題探究的研究並不多。本研究透過將模型外顯化的策略，融入模型與建模的觀點於學生開放式問題的探究活動中，將探討學生對於模型觀點的變化、建模能力的發展，以及實作作品的成果。

在模型的觀點方面，本研究與Grosslight等(1991)及Treagust等(2002)的發現一致，部分學生在教學之前，仍將模型視為實體的複製品，而非抽象的思考工具。透過模型外顯化的教學策略之後，學生對於模型本質的認識，包含在模型本體、認識及認知與方法面向皆產生顯著差異。

其次是學生對於模型本質的瞭解程度，影響到後續的模型效化歷程，此與文獻上的結果一致(邱美虹，2016；Schwarz et al., 2009; Van Driel & Verloop, 2002)。透過模型的認知、建模的練習及後設能力的培養，學習者更能運用模型描述及理解現象，協助他們思考及達成共識。

分析學生的作品，發現學生能夠選擇正確變因並且透過實作找到部分變因的關係，但與建模使用科學原理解釋實作成果仍有差距。造成差距源自學生的數學能力有限，對於探索變因之定量關係存在困難。另外，對於模型精緻化、模型效化、模型應用與模型修正的觀念與能力尚未成熟，也是產生差距的原因。

針對在高中實施建模導向之科學探究課程，本研究發現在約8週的課程時間長度下，開放式問題探究涉及的變因過於複雜。建議可以引導式的問題取代，讓學生可以針對變因較單純之現象進行建模及探究，學生較容易完成建模之歷程，也更能體會建模之意義，不會因為高一的數學及建模能力尚未成熟，而無法完成整體歷程。

Namdar與Shen (2015)回顧文獻認為在進行建模教學時，應介紹歷程各個階段的內涵，以培養學習者各階段的能力。同時，學習者對於模型的認識或是建模的後設知識，明確影響後續建模歷程(邱美虹，2016；Chiu & Lin, 2019; Schwarz et al., 2009)。然而目前臺灣高中教師對於模型及建模的認識有限，更缺乏指導學生進行建模導向科學探究之實徵研究及相關課程，建議協助教師對於模型的認識及建模後設知識的增能，以協助學生培育建模能力與探究能力。同時也期待未來能有更多的建模課程、評量工具及實徵研究，提供更完整的理論架構，幫助教師指導學生實際參與建模探究。

參考文獻

1. 吳百興、張耀云、吳心楷(2010)。科學探究活動中的科學推理。科學教育研究與發展季刊，56，53-74。

2. 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。
3. 邱美虹(2016)。科學模型與建模：科學模型、科學建模與建模能力。臺灣化學教育，11。查詢日期：2018年3月12日，檢自：<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=13898>。
4. 邱美虹、劉俊庚(2008)。從科學學習的觀點探討模型與建模能力。科學教育月刊，314，2-20。
5. 洪振方(2003)。探究式教學的歷史回顧與創造性探究模式之初探。高雄師大學報，15，641-662。
6. 張志康、邱美虹(2009)。建模能力分析指標的發展與應用——以電化學為例。科學教育學刊，17(4)，319-342。doi:10.6173/CJSE.2009.1704.04
7. 國家教育研究院(2018年11月2日)。十二年國民基本教育課程綱要國民中小學暨普通型高級中等學校——自然科學領域。查詢日期：2018年11月20日，檢自https://www.naer.edu.tw/ezfiles/0/1000/attach/63/pta_18538_240851_60502.pdf。
8. 劉俊庚(2011)。探討模型與建模對於學生原子概念學習之影響。未出版之博士論文，國立臺灣師範大學科學教育研究所，臺北市。
9. 劉湘瑤(2016)。科學探究的教學與評量。科學研習，55(2)，5-11。
10. 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。
11. 鐘建坪(2010)。引導式建模探究教學架構初探。科學教育月刊，328，2-18。
12. Cheng, M.-F., & Lin, J.-L. (2015). Investigating the relationship between students' views of scientific models and their development of models. *International Journal of Science Education*, 37(15), 2453-2475. doi:10.1080/09500693.2015.1082671
13. Chiu, M.-H., & Lin, J.-W. (2019). Modeling competence in science education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1. Retrieved December 10, 2019, from <https://diser.springeropen.com/articles/10.1186/s43031-019-0012-y>
14. Dewey, J. (1910). *How we think: A restatement of the relation of reflective thinking to the educative process*. Boston, MA: D.C. Heath.
15. Gibson, H. L., & Chase, C. (2002). Longitudinal impact of an inquiry-based science program on middle school students' attitudes toward science. *Science Education*, 86(5), 693-705. doi:10.1002/sce.10039
16. Gobert, 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. doi:10.1080/095006900416839
17. Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (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. doi:10.1002/tea.3660280907

18. Halloun, I. A. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 1019-1041. doi:10.1002/(SICI)1098-2736(199611)33:9<1019::AID-TEA4>3.0.CO;2-I
19. Halloun, I. A. (2006). *Modeling theory in science education*. Dordrecht, The Netherlands: Springer.
20. Hansen, M. (2002). Defining inquiry. *The Science Teacher*, 69(2), 34-37.
21. Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). Learning about atom, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education*, 84(3), 352-381. doi:10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<352::AID-SCE3>3.0.CO;2-J
22. Hestenes, D. (1995). Modeling software for learning and doing physics. In C. Bernardini, C. Tarsitani, & M. Vicentini (Eds.), *Thinking physics for teaching* (pp. 25-65). New York, NY: Plenum.
23. Jong, J.-P., Chiu, M.-H., & Chung, S.-L. (2015). The use of modeling-based text to improve students' modeling competencies. *Science Education*, 99(5), 986-1018. doi:10.1002/sce.21164
24. Justi, R., & Gilbert, J. K. (2000). History and philosophy of science through models: Some challenges in the case of 'the atom'. *International Journal of Science Education*, 22(9), 993-1009. doi:10.1080/095006900416875
25. Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002). Philosophy of chemistry in university chemical education: The case of models and modelling. *Foundations of Chemistry*, 4, 213-240. doi:10.1023/A:1020608215725
26. Justi, R., & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369-1386. doi:10.1080/0950069032000070324
27. Krajcik, J., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Bass, K. M., Fredricks, J., & Soloway, E. (1998). Inquiry in project-based science classrooms: Initial attempts by middle school students. *Journal of the Learning Sciences*, 7(3-4), 313-350. doi:10.1080/10508406.1998.9672057
28. Namdar, B., & Shen, J. (2015). Modeling-oriented assessment in K-12 science education: A synthesis of research from 1980 to 2013 and new directions. *International Journal of Science Education*, 37(7), 993-1023. doi:10.1080/09500693.2015.1012185
29. National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
30. National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy Press.
31. Next Generation Science Standards. (2013). *Get to know the standards*. Retrieved March 12, 2015, from <http://www.nextgenscience.org/next-generation-science-standards>
32. Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., et al. (2009).

- Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654. doi:10.1002/tea.20311
33. Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205. doi:10.1207/s1532690xci2302_1
34. Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., van Joolingen, W. R., & van Hout-Wolters, B. H. A. M. (2009). The relation between students' epistemological understanding of computer models and their cognitive processing on a modelling task. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1205-1229.
35. 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. doi:10.1080/09500690110066485
36. 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. doi:10.1080/09500690210126711
37. White, B. Y., & Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16(1), 3-118. doi:10.1207/s1532690xci1601_2
38. Windschitl, M. (2003). Inquiry projects in science teacher education: What can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? *Science Education*, 87(1), 112-143. doi:10.1002/sce.10044
39. Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967. doi:10.1002/sce.20259

The Study of Investigating High School Students' Learning Performance Under the Instruction of Model-Based Inquiry

Che-Ming Tsai^{*}, Mei-Hung Chiu, Mao-Ren Zeng and Tung-Lin Hsieh

Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

Abstract

This study aims to investigate 10th grade school students' learning performance from using model-based inquiry instruction. After three weeks of modeling-based instruction, students were engaged in model-based inquiry with open-ended questions for another three weeks. Students' learning performance was analyzed via assessing changes of their (1) epistemological view of models, (2) performance in a modeling ability test, and (3) work collected from practice. Results show (1) a significant difference in students' epistemological view of models after instruction; (2) better performance on model selection and modeling construction processes; however, relatively poor performance in model validation and model application; (3) from their product of inquiry activities, students were found to select the correct variables and find the qualitative relationship among variables. There is still a gap that exists in the students' understanding before they form their models and explain the results of their actual work comparable to the way members of the scientific communities explain their results. A noteworthy finding is that a bimodal distribution exists in the model validation section on the modeling ability test. By comparing their responses on two questionnaires, the authors find that students who were ranked higher in their model validation performed better on questionnaire items related to the epistemological view of models. Therefore, investigators inferred from these results that students need a better epistemological view of models, in order to rank higher in model validation of the modeling competence.

Key words: Modeling, Inquiry and Practice, Model

* Corresponding author: Che-Ming Tsai, cmtsaick@gmail.com