

## 以建模與認知師徒制開發新興科技融入高中課程之教學研究

蔡炳坤<sup>1</sup>、邱美虹<sup>2</sup>、蔡哲銘<sup>1\*</sup>、常月如<sup>1</sup>、葉昭松<sup>1</sup>、張祐穎<sup>1</sup>

<sup>1</sup>臺北市立建國高級中學

<sup>2</sup>國立臺灣師範大學科學教育研究所

\*cmtsaick@gmail.com

### 摘要

本研究以「建模」及「認知師徒制」為課程發展主軸，開發將新興科技融入至高中階段的創新課程。在課程的設計上，依據認知師徒制的精神，透過「示範」、「訓練」、「鷹架」、「闡明」、「反思」和「探索」六步驟規劃教學策略；在教材發展及師生教學活動的安排上，則以培養學生建立模型的能力作為課程的主要目標。

本計畫以三年為期進行規劃，第一年（96 學年度）的主要工作為協助教師專業成長及研發課程。第二年（97 學年度）則正式實施課程，透過開設選修課程或舉辦營隊蒐集各項資料以了解師生參與課程前後的差異，進行成果評估。第三年（98 學年度）則根據上一年課程的回饋進行第二年課程的實施和營隊辦理，同時發表及推廣研究成果並評估三年計畫的成效。

研究發現透過本項課程的實施，學生在學習興趣、學習成效以及對於新興科技的認識等各方面皆有提升，由評鑑計畫的前後測結果顯示參與計畫的教師對於建模的概念也明顯發生改變。

在國科會高瞻計畫的支持下，本研究也建立大學與高中合作開發課程的參考模式。由臺北市立建國高級中學負責課程研發，臺灣師範大學科學教育所負責建立參與式評鑑系統，一方面幫助高中端課程研發教師學習成長，另一方面檢驗高中端課程研發的結果與效能。讓大學與高中在緊密合作下，共同開發創新課程。

關鍵字：建模、高瞻計畫、認知師徒制

### 一、研究背景

國科會於民國 95 年推動高中職科學與科技課程研究發展實驗計畫（高瞻計畫），強調將新興科技融入課程之中，並使學生主動探究學習、研發實驗之課程。由高中教師規劃執行創新教學課程，並邀請大學或學術機構協助評鑑，其目的在培養高中職學生以創新思維面對未來「知識型社會」的能力。

本校教師提出「以建模與認知師徒制開發新興科技融入高中課程之教學研究」的整合型研究計畫，其中包含以下五個子計畫：

(一) 子計畫一「數學建模課程之開發」：計畫目的在提昇學生解決問題的能力，拓展其實際生活的應用面，奠定研究相關新科技的基礎；同時提升教師設計課程的專業知識，並提供他校教師，作為開發與實施數學新課程的參考。第一年計畫以蒐集資料及課程研發為主，訓練學生觀察並以數學方式有效解決生活相關議題之能力。

(二) 子計畫二「探索式化學實驗課程之開發」：計畫目的在開發一種創新的化學實驗課程，以認知師徒制為理論背景，發展探索式化學實驗課程 (Krajcik, Czerniak & Berger, 1999)，研究學生在化學實驗能力方面的建模過程。第一年即設計了新興化學科技相關的專題選修課程及寒假化學營，推行探索式化學實驗。

(三) 子計畫四「『後人類社會』的探究與批判—攸關人體、生命課題的新興科技之STS課程發展」：子計畫四嘗試從人文社會取向探索科技及科學的課題，發展「克隆人」、「幹細胞」、「遺傳工程」等課程，訓練跨領域的思考模式。第一年計畫設計了課程與課程發展流程，舉辦讀書會、尋求專家諮詢，以備第二年正式的課程實施及推廣使用。

(四) 子計畫五「創新程式設計課程與教學模式之研發」：利用新興的程式開發環境 Alice 做為教學工具，Alice 為一 3D 動畫程式設計環境。藉由視覺化學習與便於操作的特性，期能有效提升學生的學習興趣並降低學習的挫折感，而為能使教學成效進一步提升，本研究亦將融入認知師徒制與建模的概念，對傳統程式設計教學方法進行改良，藉由認知師徒制進行程式設計課程之教學活動設計。第一年計畫期間，舉辦了讀書會、專家諮詢及演講活動，並於高一學生選擇一班級進行教學實驗，為第二年的擴大教學打下基礎。

(五) 子計畫六「建國高中高瞻計畫課程評鑑之研究」：計畫目標為建立評鑑系統，一方面「監控成果及效能」：協助教師評估其專業能力提昇情形、監控課程建構的效能與學生認知及學習態度改變情形；另一方面是「幫助組織學習成長」：藉由參與式評鑑，提供整體架構及重要準則，協助教師及相關人員成長，加速組織的進步。為讓評鑑結果更被廣泛使用，架設課程與教學評鑑網站，隨時提供教師動態立即回饋資訊。

其中子計畫一至五將各自發展課程，分別由本校教師主持計畫及課程研發。子計畫六則由本校邀請國立臺灣師範大學科學教育研究所邱美虹教授擔任計畫主持人，評鑑各子計畫之成效。各子計畫之間有縱向共同主軸，以及橫向合作關係。就縱向共同主軸而言，各子計畫以建模和認知師徒制為共同核心概念，搭配新興科技和問題探究以建立課程。就橫向合作而言，各子計畫間除了各自發展之外，同時能進行合作及成果交流。

## 二、理論基礎

### (一) 模型與建模

「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 (吳明珠, 2007)。根據 Gilbert 等人 (2000) 的觀點指出，在科學發展的過程中，模型在理論的建立與實驗的檢驗中扮演重要的角色。

在科學學習中，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 (邱美虹, 2007)。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。

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，包括許多活動和技能，如確認問題、模型選擇、模型建構、模型效化、模型分析、模型調度以及模型運用。邱美虹（2007）認為歷程可再包含模型的再發展或再建構。本研究採取此歷程作為教材發展的架構，同時亦採取此歷程為標準檢驗已開發的教材內容。

## （二）認知師徒制

在學校教育出現之前，傳統的師徒制是最普遍的學習方式。其學習環境即為工作的環境，且師傅所教導的知識與技巧即為其工作上所需實際應用的知識。然而教學的內容與方法因人而異，並未系統化與結構化，學徒學習到的可能是片段的知識技能，難以瞭解知識與技能的全貌。加以師傅在教學的過程中居於主導地位，學徒對於師傅所教的內容必須全盤接受，遇有不明瞭之處不敢反應，需透過自己摸索，教學效果有其限制。

現今的學校教育雖以系統化的方式安排學生的學習，但是許多知識在學習和使用時，卻是相互分離、獨立。為了建立具有發展性和開展性的完整學習活動系統，Brown 等人（1989）提出認知師徒制的教學模式，將傳統的師徒制與近代的認知論結合，保存傳統師徒制師生的教學方式與精神，但是更著重在學生思考能力的學習與訓練，擴展傳統師徒制所能達到的效果。

認知師徒制保留了傳統師徒制強調「真實情境學習」與「實務經驗獲得」的特性，重視情境化的學習環境安排，並在傳統師徒制原有的教學架構：「示範」(modeling)、「訓練」(coaching) 及「鷹架」(scaffolding) 外，更強調學習者的認知層面省思與探索歷程，增加了「闡明」(articulation)、「反思」(reflection) 和「探索」(exploration) 三個步驟，透過學習者的主動思考與探究，發展出新的知識、態度、行為和技能，以因應新的社會脈絡情境。

本研究即採用認知師徒制的六個步驟來安排教師教學的策略及順序，同時重視情境化學習環境的建立。透過討論及解決生活中實際面臨的議題，期使學生在學習之後，有能力透過思考的過程將所學習到的知識和技能應用於現實生活之中。

## 三、研究對象、方法與進行步驟

本整合型計畫的各子計畫在藉助建模及認知師徒制的主體框架下，就學科、實施對象、方法及進行的步驟分別進行研究。主要以臺北市立建國高級中學為課程實驗場域，課程實施於高中一、二年級學生。自 96 年 2 月起構想及規劃，8 月後開始進行課程研發及提升教師專業發展。本計畫定期召開專家諮詢會議，並舉辦工作坊介紹「認知師徒制」、「建模」及「課程評量工具研發」等主題，促進本研究參與教師之專業知能發展。

97 學年度為課程實施階段 I，於發展及實施過程中，包含設計教學前、後測的紙筆問卷及測驗以評估課程成效。並採用質、量兼併研究方法，蒐集量化與質化（如晤談、討論、會議的錄音及錄影）的資料以瞭解教師專業成長情形、學生表現以及課程發展與實施的情形，作為學生學習成效的比較。。

以下簡要說明各子計畫自 97 年 9 月至 98 年 6 月課程實施的狀況。

子計畫一	研究對象	1. 數學建模課程：於高二第二類組開設選修課程，與該班級其他學生做對照。 2. 數學建模融入高中課程：高一學生，與未實施班級做對照。
	課程 實施方式	利用數學建模問題及課程，觀察學生解決問題的能力、學習效果及反應。
子計畫二	研究對象	於高二開設選修課程，選修計 40 名。
	課程 實施方式	利用探索式實驗的方式，訓練學生實驗技巧及解決問題的能力。
子計畫四	研究對象	於 2008 年 12 月開始向高二班級實施選修課程。
	課程 實施方式	以課程、營隊及演講的方式，促進學生進行跨人文及科技領域的思考。
子計畫五	研究對象	於本校高一電腦課程中實施，參與學生人數約 160 人。
	課程 實施方式	分為實驗組及對照組，實驗組的 81 名學生學習 Alice，對照組的 85 名學生則學習 C++，評估學生對於程式語言的學習興趣及效果。

#### 四、結果

本研究建立線上教學資源中心—建中高瞻網站 <http://210.71.78.52/ckscope/>，提供各子計畫記錄研究歷程、整合資源及交流的平台；同時推動各子計畫進行課程研發，結合總計畫主軸「建模」與「認知師徒制」概念，尋求各領域專業師資一同發展創新課程。總計畫並在評鑑計畫的協助下規劃辦理評量工具知能工作坊，在課程逐步研發及實施過程中，提升計畫參與教師設計評量工具知能，確實掌握本計畫研發課程之信效度，以利後續課程推廣之可行性。學術論文發表方面，總計畫已發表於第 24 屆科學教育學術研討會、98 年度高瞻嘉年華及 Network for Inter-Asian Chemistry Education (NICE)，成果也即將刊載於教育月刊。目前各子計畫成果部份如下：

- (一) 子計畫一結合高中數學課程單元，研發出發展多項式、指數對數等主題的數學選修建模課程單元及問題，適當簡化進而抽象化生活的實際問題，活化教師設計課程的能力，提昇學生應用數學的興趣及建立數學模型的能力，驗證模型的合理性及適用性。另外，也嘗試將數學建模融入一般高中課程設計之中，如「函數的擬合」、「週期現象的建模」及「三角函數—正弦」，推廣至更多學子。經過課程及營隊實施後，學生提昇運用數學建模概念解決問題的能力，學習更多數學解題策略，使得高中數學課程更加生活化，讓學生更有興趣學習。子計畫一以「數學建模融入高中課程設計——『函數的融合』發表於 98 年度高瞻嘉年華。
- (二) 子計畫二以探索式化學為主軸，已完成「錯合物」、「電化學與奈米粒子」二實驗主題，並分別針對教師及學生使用者設計兩套實驗手冊。研究發現，經由探索式實驗，學生能更加周詳的探討問題與設計實驗流程，尤其當學生們共同進行實驗探索時，更能提高成功機率。學生以「探討銅在塑膠匙上的無極電鍍之變因」為題，於臺北市第 42 屆中小學科學展覽獲得佳作及團體合作獎。子計畫二的研究成果已

於97年科學教育學術研討會及科學教育月刊發表，並撰寫小論文八篇。

- (三) 子計畫四以生物科技結合人文社會議題，發展「克隆人」、「幹細胞」、「遺傳工程」、「仿生科技」與「美容整型」等課程，促使學生研究尖端科技的同時，思索切身相關的倫理議題。就此類社會議題，子計畫四邀請科技與社會相關的學者演講，並舉辦「第二屆全國高中生 STS 寒假研習營」及「建國高中高瞻計畫 STS 假日研習營」，促進不同學科的互動，提昇問題意識。經過課程實驗的學生，在學習相關科技與社會議題之後，面對科技所引發的社會問題較為敏感，學生思考的嚴謹度明顯提昇。
- (四) 子計畫五則引入 Alice 程式語言，將原本生硬的程式語言結合 Alice3D 動畫圖像介面，讓學生於學習過程中建立程式語言語法及結構等概念，進而延伸運用到傳統程式語言。課程研發已完成7個單元，分作「程式設計簡介」、「運算式、變數與內建函數」、「程式的設計與完成」、「選擇結構一（關係運算）」、「選擇結構二（邏輯運算）」、「計數式重複結構（Loop 結構）」及「條件式重複結構（While 結構）。研究發現，實驗組及控制組學生的學習動機及自信並無顯著差異，但實驗組（學習 Alice）較控制組（學習 C++）的學生更為清楚程式設計的基本概念。由研究結果推論，由於 Alice 的入門門檻較傳統語言低，適合時間有限的高中程式語言教學，可作為入門教學的另一個選擇。研究成果已獲得 FIE (Frontiers in Education) 國際研討會錄取。接下來將著手將本系列課程推廣至其他學校，以驗證課程效果。

## 五、推廣課程活動及交流

目前各子計畫已進入課程實施的第二階段，並向國內外推廣交流研究結果，拓展研究視野。未來將繼續多元的收集歷程資料並加以分析探討，討論學生在課程實施前後對於模型概念的差異，建模能力的改變情形，並從評鑑結果調整課程內容與教學方式，增加推廣之可行性。在推廣方面，主要分為實施課程和舉辦研討會兩部分。

(一) 總計畫整合各子計畫的成果，計劃於臺灣南北部各舉辦一場研討會。研討會流程預計先由總計畫整合式的發表本計畫成果，並比較各子計畫的差異性；接著則交由各子計畫教師及學生分別展示研究成績，預計邀請新加坡華僑中學、萊佛士書院……等國內外各界人士蒞臨交流本計畫研發出的創新課程。除此之外，也將於2009年的東亞科教年會(2009 International Conference of East-Asian Science Education)發表研究成果。

(二) 子計畫一除了開設校內的數學選修課程之外，也將數學建模融入高中課程設計，推廣至計畫辦理數學建模研習營，並將發表於2009年的東亞科教年會。

(三) 子計畫二也延續前一年度實施探索式實驗課程，並推動教師研習推廣，但因考量實驗安全，擬不辦理學生推廣研習。同時，也將本計畫研究成果發表於東亞科教年會及第二十五屆科教年會。

(四) 子計畫四除了校內的「生物科技與社會」課程之外，持續進行校內外的演講分享與推廣活動，包括與中山大學附中舉辦科技倫理議題的跨校辯論比賽。

(五) 子計畫五將於十月前往美國 FIE (Frontiers in Education) 國際論文發表會公開發表所撰之論文。在課程推廣方面子計畫五則選擇兩所異質學校合作，將前一年度

在本校實施的創新程式設計課程推廣至其他學校，比較並評鑑教學效果。

## 六、結論

本研究致力於綜合建模及認知師徒制研發及推行課程，以期增進教師教學品質，提昇學生發現、思考及解決問題的能力。研究結果顯示，雖然新課程需要更多心力，但所能達到的教學效果也較佳，因為學生更樂意花精神於研究思索問題。因此，本研究致力於釐清及推廣建模的觀念，藉此提昇師生的知識、興趣及解決問題的能力。

根據邱美虹等人(2007)研究指出，科學教學中除應強調培養學生發展科學活動應有的建模能力外，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成分的重要性，更重要的是教師對模型的認識是師資培育中不可或缺的。因此，本研究團隊針對發展學生建模能力的教學目標設計研發課程，同時透過辦理研習及工作坊提供參與研發的教師團隊發展模型及建模方面相關的教學知能。

認知師徒制的概念提供本研究團隊以更符合教學理念的方式進行教學活動的安排。由於此新穎的教學方法給教師很大自行設計課程的空間，強調刺激學生思考，需要更多時間說明及嘗試。教師得以從教學內容、教學順序、學習環境、教學方面等面向，再次審視各項教學的安排。期能透過認知師徒制教學方式提供較佳學習品質，協助學生學習中各領域複雜的知識與技能。

## 七、致謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會經費補助(NSC 96-2514-S-640 -001-GJ、NSC 97-2514-S-640-001-GJ、NSC 98-2514-S-640-001-GJ)，邱美虹教授、周金城教授團隊以及各子計畫共同主持教授張幼賢教授、蔡蘊明教授、張永達教授、林美娟教授為研究提供的各項指導與協助，本校參與本計畫研究所有同仁的投入與付出，在此一併致謝。

## 八、參考文獻

王鼎中、丘聖光、林淑玲、梅文慧和林美娟(2008)。創新程式設計課程與教學模式之研發。中華民國第二十四屆科學教育學術研討會，國立彰化師範大學。

吳明珠(2007)。科學模型本質剖析：認識論面向初探。中華民國第二十三屆科學教育學術研討會，國立高雄師範大學。

吳武雄、蔡哲銘、邱美虹、常月如、葉昭松(2008)。以建模與認知師徒制開發新興科技融入高中課程之教學研究。中華民國第二十四屆科學教育學術研討會，國立彰化師範大學。

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知發展。中華民國第二十三屆科學教育學術研討會，國立高雄師範大學。

邱美虹(2007)。模型與建模能力之理論架構與研究工具之開發。中華民國第二十三屆

科學教育學術研討會，國立高雄師範大學。

陳木金 (1995)。教與學的另一種原理：認知師徒制。教育研究雙月刊，45，46-53。

曹淇峰、蔡蘊明、廖家榮、林志弘、譚利亞、邱美嬌 (2008)。探索式化學實驗課程之開發。中華民國第二十四屆科學教育學術研討會，國立彰化師範大學。

Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Research*, 18 (1), 32-42.

Gilbert, J. K. (1993, Ed. ). *Models and Modeling in Science Education*. Hartfield Herts, UK: Association for Science Education.

Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33 (9), 1019-1041

Hestenes, D. (1996). Modeling methodology for physics teachers. *Proceedings of the International Conference on Undergraduation Physics Education*. College Park, August.

Krajcik, J. S., Czerniak, C. M. & Berger, C. (1999). *Teaching Children Science: A Project-Based Approach*.