

運用「以建模為基礎的論證教學模式」 促進國二學生的科學學習成效 —以光學單元為例

洪振方*、封中興**

摘 要

本研究旨在發展融合「建模」與「論證」的教學模式，分析此教學模式對國二學生在學習科學的成效有何影響。以準實驗研究法進行設計，研究對象取自臺南市某國中二年級學生，實驗組(n=34)及對照組(n=35)分別用「以建模為基礎的論證教學模式」及「教導的論證教學模式」進行教學。以「科學學習動機量表、對科學模型的理解量表、對科學現象的理解測驗卷」，蒐集資料進行統計考驗。研究結果發現：在「科學學習動機、對科學模型的理解、對科學現象的理解」等三個面向，實驗組的表現均優於對照組，達顯著水準($p=.000, .005, .03$)，具有大或中度的效果量($\eta^2=.516, .116, .069$)。依據本研究之結果，「以建模為基礎的論證教學模式」是一個可運作的教學模式，可用於促進國二學生的科學學習成效。

關鍵詞：建模、論證、以建模為基礎的論證教學模式、科學學習成效

* 本文第一作者為國立高雄師範大學科學教育研究所教授

** 本文第二作者為國立高雄師範大學科學教育研究所博士候選人

運用「以建模為基礎的論證教學模式」 促進國二學生的科學學習成效 －以光學單元為例

洪振方、封中興

壹、緒論

一、研究動機與研究目的

科學家從事的是何種性質的工作？儘管科學家有各種不同的工作目標，但其中最最重要的一個目標就是要對「自然現象是如何運作的？」這個問題發展出科學性的理解，而這個理解通常是透過把種種自然現象轉化為模型而完成的。Hacking(1983)指出：「科學家以理論來表徵世界，也以實驗來參與世界。透過建立的模型，科學家建構出一點一滴的實驗技術，藉此瞭解抽象的大自然現象。換言之，是模型使我們可以做實驗，發現意想不到的現象」。對於 Hacking 的看法，我們可以從科學史中，許多不同的領域找到例證。例如：在天文學的領域，對於天體的運動，托勒密提出地心說的模型，哥白尼則提出日心說的圓形軌道運轉模型，而克普勒則在日心說的基礎之下提出橢圓軌道的運轉模型。在物理運動學的領域，伽利略提出單擺等時性、斜面運動、自由落體運動的模型。在光學的領域，對於光的本質，有波動說模型、粒子說模型及波粒二元說模型。對於原子的結構，有湯木生的布丁模型、拉塞福的行星軌道模型、波爾的軌域模型。在生物學的領域，對於遺傳現象的解釋，孟德爾提出遺傳因子、弗來明提出染色體的模型、摩根提出基因學說的模型。綜觀上述在不同的領域中找出的例證，科學家的工作內容以及科學家進行思考與推理的方式有一個很重要的特徵，就是在「建構模型（modeling，簡稱建模）」。

因此，許多學者提出：「科學即是建模（science as modeling）」的看法（Fretz et al., 2002; Justi & Gilbert, 2002; Stewart, Hafner, Johnson, & Finkel, 1992; Zhang, Liu, & Krajcik, 2006）。

基於「科學知識與它的解釋模型是不可分割的」之觀點，許多學者(Buckley et al., 2004; Clement, 2000; Clement & Rea-Ramirez, 2008; Gobert, 2000)主張要實施「以模型為基礎的教學(model-based teaching/learning)」。但學生是怎樣看待科學模型？通常學生是把模型當成玩具或是某個實際物體的縮小版，很少有學生會理解到科學家是把模型作為思考的工具，用來理解科學現象(林靜雯與邱美虹，2008；Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991; Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2002)。許多學生會把教科書提到的每個模型的內容都背起來，然後在考試中把這些所謂的「事實」寫出來。學生會認為在這些模型中有最正確的一個，並試著找出此「最正確的」模型(周金城，2008；Harrison & Treagust, 2000b; Justi & Gilbert, 2000; Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2004)。為何會出現上述情況？根據 Justi 和 Gilbert(2002)，Van Driel 與 Verloop(1999, 2002)的研究發現，許多教師是採用邏輯實證論的知識論觀點，常把模型當作是靜態知識，聚焦於講述某個特定模型的內容。對於模型具有理想化、暫時性、多元性的本質，以及科學活動的建模歷程，這些老師往往沒有和學生詳細討論。因此造成學生對模型及建模在科學活動中所扮演的角色，看法是有限且質樸的。

要如何修正上述缺點，研究者認為可從科學活動的另一個面向：「論證」作切入。當科學家的研究有了成果，他必須透過期刊、研討會等公開媒體，對科學社群的其他成員做發表。在發表歷程中，科學社群的其他研究者扮演領域守門員，挑戰此科學宣稱的可信度。因此，對於「實驗設計的適當性、對證據的解釋是按照哪一個替代理論」等議題，科學社群成員開始進行論證，而就是藉著論證的過程，來檢驗及批判這些科學宣稱，科學知識的「品管」才得以被維持下來，因此，Driver、Newton 和 Osborne (2000)指出：「對於科學事業的本質，現今的觀點是把論證視為是科學家的核心活動。」因此，許多學者有以下的共識：「科學即是論證(science as argument)。」(Kim & Song, 2005; Kuhn, 1993; Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar, & Duschl, 2003; Sandoval & Millwood, 2005; Yore & Hand, 2003)。然而，儘管論證被視為是科學家的核心活動，但在課室中的科學教學中，卻鮮少此類活動。Russell(1983)及 Boulter 和 Gilbert(1995)研究發現：在傳統的科學教學中，比較常見的對話形式，常常是由教師對全班學生提供科學解釋，藉此使學生相信教師講述的知識宣稱的有效性。這種形式的論證被稱為「教導的(didactic)」論證。而依據 Driver 等人(2000)研究發現，以「對話」或「多人發言」的論證形式，在傳統講述式的科學課程中，是比較少見。因此，研究者認為必須重新思考課程的進行方式，在活動中提供學生適當的「建模」與「論證」的活動，提供學生有練習「建模加上論證」形式的機會，才能促使學生對科學知識的功能和價值產生更深的理解。如同美國《國家科學教育

標準》(NRC, 1996)指出：「學校的科學教育應該要呈現當代科學實踐的理性與文化傳統(p.21)」，因此，該標準主張「學生要獲得科學與自然世界的豐富知識，就必須熟悉科學探究的形式、使用證據的規則、形成問題的方式、和提出解釋的方法」。依據上述觀點，既然科學家從事「建模」與「論證」的活動，那麼，學校的科學教育就應當反映出這個「當代科學實踐的理性與文化傳統」，換言之，學校的科學教學也應當提供適當的建模和論證的活動。

因此，本研究旨在發展融合「建模」與「論證」的教學模式，命名為「以建模為基礎的論證教學模式(Modeling-Based Argumentation teaching model, 簡稱 MBA 教學模式)」，以此模式設計教學活動，進行研究，依據研究結果來驗證運用此模式對於促進國二學生的科學學習成效之影響。

二、研究問題

基於上述研究目的，本研究的研究問題為：經過實驗處理後，實驗組與對照組

- (一)在「科學學習動機」上，有何差異？實驗效果量為何？
- (二)在「對科學模型的理解」上，有何差異？實驗效果量為何？
- (三)在「對科學現象的理解」上有何差異？實驗效果量為何？

貳、文獻探討

以下分別對建模與論證之文獻，進行探討，並說明如何融合建模與論證的理論，形成本研究的 MBA 教學模式。

一、建模的文獻回顧

(一)模型的定義、本質與作用

在日常生活中，模型通常是被用來代表某個真實物體的複製品，例如飛機、火車的模型。但它的意義並不侷限於此，在科學領域，模型一詞還具有其他更豐富的含意。學者指出：模型是某個想法、物體、事件、過程或系統的表徵(Gilbert & Boulter, 1998; Seel, 2003)；是對真實世界的一種抽象的描述(Develaki, 2007; Rubinstein &

Firstenberg, 1995)；是科學家對複雜現象提出的合理且簡化的形式 (Acher, Arca, & Sanmarti, 2007; Magnani, 2004)。綜合上述看法，本研究把模型定義為：「模型是一種表徵(representation)，是人類發明出來，用以表徵他想要瞭解的現象」。例如可以用牙籤和保力龍球來建構分子的結構模型；也可以用燈泡來代表太陽，用不同大小的球來象徵不同的行星，建構太陽系的模型；也可以用圖像或數學公式來表徵一個系統，上述的表徵方式，都可被稱之為模型。

至於模型的本質，因為大自然現象都是很複雜的，比起所要表徵的自然現象，所有的模型都是簡化的。因此 Lee(1999)指出：模型具有「簡化、理想化」的本質。此外，因為模型是從它所表徵的現象，抽取部份因素而組成，若是抽取到不同的因素，就會建構出不同的模型，因此，同一個現象存在許多替代的模型，這代表模型具有「多元性」的本質。再從科學史觀之，原子模型有湯木生的布丁模型、拉塞福的行星軌道模型、波爾的軌域模型、量子力學的能階模型，隨著科學知識的發展，將會有越來越精緻的模型出現，這代表模型具有「暫時性」的本質(Justi & Gilbert, 2000)。

至於模型的作用，Doerr 和 Tripp(1999)指出：模型是用來描述、解釋實徵資料所蘊含的關係、組型，預測可能會發生的事情。Lee(1999)指出模型有三個最主要的功用：(1)表徵：這是模型最基本的功能，模型必須能夠捕捉到它所表徵的現象的主要因素；(2)解釋：模型要能解釋清楚本身的運作機制，即模型內在所蘊含的因果關係；(3)預測：模型必須能夠估計它所表徵的系統在某個特定情況下，會有什麼樣的反應，這就是做預測。而 Van Driel 和 Verloop(1999)則指出，模型具有描述性、解釋性及預測性三種特徵：(1)描述性指的是模型和它的目標物之間，有相當大程度的正向類比；(2)解釋性指的是如果以理論來當作工具，就可以建立解釋性的模型，例如以牛頓萬有引力理論做為基礎，就可以建立模型來解釋行星運轉的關係；(3)預測性指的是當把理論和模型作結合，模型就具有預測的功能。例如德國天文學家 Galle 在 1846 年成功地預測海王星的存在，而海王星的發現，就是在克卜勒的橢圓行星軌道模型和牛頓的萬有引力理論共同協助下才完成的。綜合上述學者的看法，他們指出模型至少必須具備「描述、解釋、預測」三個重要功用，而同時具有上述三個功能的模型，就是一個精鍊的科學模型。

(二)建模的定義

Gilbert 和 Boulter(2000)提出一個架構來描述建模的歷程，他們指出建模是從個人內隱的心智模型(Mental models)、轉換成表達出的模型(Expressed models)、最後

形成有共識的模型(Consensus models)的歷程。其中，心智模型的產生是始於人類認知的建構歷程，是用來描述及解釋個人所經歷的現象。當心智模型透過外顯的行動，例如：說出來、寫出來或以其他的形式被表達出來，此外顯的模型就被稱為表達出的模型。當表達出的模型通過社群的考驗，就被稱為有共識的模型。Gilbert 和 Boulter 是從模型的「發展歷程」來描述建模。其他學者則是從「模型的結構」來定義建模，他們的看法是當找出複雜系統的組成成分（組成元素、重要參數），以及找出這些組成成份之間的關係，此即為建模。(Doerr & Tripp, 1999; Lee, 1999; Márquez, Izquierdo, & Espinet, 2006; Wotawa, 1999)

根據上述建模的「歷程」和「結構」這兩個面向，本研究對建模的定義如下：「建模是因為個人嘗試要對複雜的現象進行瞭解，它始於個人內隱的心智模型，在外顯出來之後就轉變成被表徵出的模型，此外顯的模型若能通過社群守門員的檢驗，就成為該社群有共識的科學模型。此外，模型的建構必須要把複雜的現象予以簡化，從複雜的現象抽取出能描繪出該現象的最主要因素（元素或參數），並找出這些因素之間正確的組合關係，就能形成具有正確結構的模型。」

(三)模型與建模的實徵研究

Grosslight 等人(1991)分析中學生對模型的看法，依據研究結果把學生分成三個層級，第一階層的學生相信在模型和實體之間有 1:1 的相似性，即模型是某個實體的縮小複製品，他們並不認為模型可作為代表想法的表徵形式。第二階層的學生仍然把模型當作代表真實世界的物體，而不是代表想法的表徵，但已能接受模型的主要目的是用來溝通，但還不接受模型可用來探索我們的想法。第三階層的人被稱為專家，他們能接受模型是多元的、思考的工具。研究發現許多學生處於第一階層，某些可達第二階層，有部分學生處於第一、二階層或第二、三階層之間。學生大多能體會模型具有描述的功能，但很少有學生能察覺模型具有解釋及預測的功能。

Van Driel 和 Verloop(1999, 2002)研究荷蘭的資深科學教師(平均教學年資 17.5 年)，對科學模型及建模的看法及瞭解程度。結果發現大部分教師是採邏輯實證主義的觀點，認為模型是某個實體的表徵，因此，聚焦在講授某個特定模型的內容，把模型當作靜態的知識教給學生。對於模型的功能，聚焦在模型的描述性及解釋性，很少提及模型具有預測性的功能。對於模型具有暫時性、多元性的本質，及建模的歷程，這些老師往往沒有和學生詳細討論。

Justi 和 Gilbert(2000)分析巴西及英國的中學教科書對原子模型及其建構歷程的

描述方式，結果發現雖然教科書提到六種原子模型(古希臘、道耳吞、湯木生、拉塞福、波耳、量子力學的原子模型)，但教科書並沒有清楚地說明建構這些模型的歷史背景與情境，也沒有提及科學模型與科學理論之間的關係。因此，學生傾向於認為最後被講到的量子力學原子模型才是最正確的，學生會試著把模型的資料背起來，以應付考試。

Harrison 和 Treagust(2000a)提出一個模型分類法，把在科學教學中常使用到的教學類比模型分為：尺度模型、圖像及符號的模型、數學模型、理論模型、圖形與表格、概念-過程模型、模擬等，以此架構分析教師使用了哪些模型來表徵科學知識。他們建議教師應該使用多元的模型來教學，有系統地呈現所使用的模型的意義，逐漸引進精緻化的模型。因此，他們的研究主要探討模型對教師教學上的助益。

Harrison 及 Treagust(2000b)對澳洲 11 年級的中學生，使用多元模型進行教學，分析學生在原子、分子及化學鍵概念的學習，結果顯示許多學生認為在這些不同的模型之中，會有最正確的一個，執著地要找出最正確的模型，記住它的細節，然後在考試中把這些所謂的「事實」寫出來。

Treagust 等人(2002)發展量表，研究澳洲高中生對科學模型在科學學習上扮演的角色的理解程度。研究結果顯示：有六成的學生能夠察覺到科學模型有各種不同的表徵方式，例如圖表、方程式等。還是有一部份學生對模型有比較狹隘的看法，認為模型是某個實體的複製品。大多數的學生都能察覺模型具有描述的功能，但只有五成學生察覺到模型具有預測及解釋的功能。有三分之二的學生能夠察覺到模型是被建構用來支持科學理論，因此隨著科學理論的改變，模型也會跟著改變。

Treagust 等人(2004)研究高中生對於模型具有的描述性及預測性本質的理解情況，教師使用多元模型來進行有機化學單元的教學，包括：化學式、實體模型、繪圖及電腦模擬。研究發現，許多學生把每一個模型都視為是要學習的對象，把每個模型的內容都記憶下來，而不是把模型視為學習工具，用來理解他要瞭解的現象。此外，大部分學生都能察覺模型具有描述性的本質，但是，儘管教師使用各種不同形式的多元模型來進行教學，很少有學生能體驗到模型具有預測性的功能。針對這一點，Treagust 等人建議教師在使用多元模型進行教學時，在適當時機要不斷地向學生強調，模型可用來預測、測試或評量我們的想法。

Coll、France 和 Taylor(2005)分析模型及類比在科學教學上的功效，研究發現在教學中使用模型及類比，可以幫助學生瞭解科學現象，而且在教學中使用各種不同

的多元模型是最有效的，藉著讓學生比較自己所建構的模型及科學家的模型，可使學生對科學社群建構知識的歷程，發展出後設認知的理解。

周金城(2008)發展問卷來調查高中生對模型本質的理解情況，發現有 42.8%的學生認為模型與對應物必須呈現不可扭曲的對應比例；52.9%的學生認為模型必須完全對應特定事物的結構、性質與關係；30.9%的學生不同意模型可以是符號；21.5%的學生不同意模型可以是過程；8.8%的學生認為對一個特定的現象，只有一個正確的模型能給予解釋。

林靜雯與邱美虹(2008)發展評量工具來探究高中生對模型的功能與建模歷程的知識，該研究將模型具有的功能分為低（用來描述特定現象）、中（用來解釋現象、進行推理、解決問題、溝通想法）、高（用來預測、模擬、產生新想法）三個層次。研究發現高一學生對模型的低層次功能有較多的理解，對中等層次功能的理解偏低，對高層次的預測功能理解偏低。

上述的實徵研究顯示：教師本身如何看待模型與建模，及其所使用的教學模式，將影響學生是否能對模型及建模的意義產生深刻的理解。傳統講述式的教學方式，注重的是要學生記下某個特定模型的內容，例如教科書介紹原子結構的行星模型：「原子是由電子和原子核組成的，電子在原子核外運動」，這樣介紹敘述性知識的方式，無法使學生體會每個原子模型都有其侷限性，因此造成學生對模型的意義、功能、本質，及對建模的理解，看法都是質樸且有限的。上述的研究，有些是聚焦在探討教師對模型及建模的看法，有些是聚焦在探討學生對模型及建模的看法。比較少有研究探討讓學生對某一科學現象實際來建模，從建模的歷程中，體驗模型具有描述、解釋與預測的功能。因此，本研究以建模為基礎，讓學生對科學現象進行建模活動，並在建模的歷程中，融入論證的活動。以下繼續對論證的相關文獻做回顧。

二、論證的文獻回顧

(一)論證的定義與性質

在英語的詞彙中，argument 和 argumentation 都代表論證，牛津英文辭典(The Oxford English Dictionary, 1989)對 argument 一詞的解釋是：「用來支持一個想法、行動或理論的理由(a reason or set of reasons given in support of an idea, action or theory)」，上述文字是描述論證的「內容」。而牛津英文辭典對 argumentation 一詞

的解釋是「系統性地進行推理以支持一個想法、行動或理論的過程(the process of reasoning systematically in support of an idea, action, or theory)」，上述文字是描述論證的「過程」。因此，若把字典中的說法當作是對此字詞的通俗解釋，則論證的定義必須包括「內容」與「過程」兩個面向。

若從「內容」面向來對論證下定義。洪振方(1994)認為：「論證就是提出足夠形成推論判斷的證據，以形成結論」。而 Browne 和 Keeley(1998)則把論證定義為「理由+結論(argument=reasons+conclusion)」，他們認為提出合理的理由和結論，就是論證。若採用此定義，則論證具有「有說服力(rhetorical)」的性質，它強調的是論證的內容必須具有合理性。

若從「歷程」面向來對論證下定義。Kuhn(1991)把論證定義為：「對不同主張或觀點進行辯證的過程」。而 Driver 等人(2000)則把論證定義為「經由對談來檢視彼此不同的觀點，最後產生一個有共識的宣稱的歷程」。若採用此定義，則論證具有「對話式的(dialogical)」或「多人發言(multivoiced)」的性質，它強調的是論證的過程是具有社會建構的性質。

本研究綜合論證的「內容」與「歷程」的觀點，將論證定義為：「論證是一種推理的歷程，藉著提出具有合理性的理由及支持理論，使資料與結論之間，產生合理的聯結」。

(二)論證進行的形式

教室的成員是由教師及學生組成，因此，論證的發展隨著人際互動方式的不同而隨之改變。在教師導向的教學活動中，論證的形式常常是由教師對全班學生提供科學解釋，目的是要使學生相信他所講述的知識宣稱的有效性，它在傳統的科學課程中比較常見，Boulter 和 Gilbert (1995)把這種形式的論證稱之為「教導的(didactic)」論證，這種教師導向的講述式教學，常常是依賴教師的權威性，忽略了推理和證據。(Russell, 1983)

除此之外，論證還有第二種形式，即 Driver 等人(2000)提出的「對話式的」或「多人發言」的論證，它在傳統科學課程中比較少見。這種形式的論證，可能發生在個人身上也可以發生在群體之中。建構論證必須考量到不同的替代觀點，即使是個人在建構論證，也會考量、質疑不同論點，這種發生在個人身上的論證，可稱為「自我論證」。而發生在群體中的論證，「多人發言」的本質則是更為明顯的，即由抱持不同立場的個體，各自提出自己的宣稱，互相對談，檢視彼此不同的觀點，

其最終目的是要獲得一個大家可以共同接受的宣稱。在此歷程中，它強調的是論證所具有「社會建構」的面向。

(三)論證的實徵研究

研究發現，學生在進行論證時常會遭遇困難，例如：Richmond 和 Striley (1996) 研究十年級學生在做探究活動時的對話內容，結果發現學生在進行論證時，對於要如何「建立論證來連結在活動中的各個不同的觀點、區分問題與假說、理解控制變因的價值、區分觀察與結果所代表的意義」都有困難。學生的對話常聚焦在討論要如何做出實驗結果，很少討論到有關實驗活動所涉及的科學概念的議題。而 Jimenez-Aleixandre、Rodriguez 和 Duschl(2000)研究高中生對遺傳基因問題的論證，結果發現，學生講述的內容很有限，論證依據的理由也不夠明確，使用的科學概念常常會彼此混淆而影響到論證的品質。學生在進行論證時常遭遇到的困難包括：(1) 如何整理證據；(2) 如何使用對該主題的理解來形成論證以支持自己的宣稱。

上述兩個研究的啟示是，習慣於教導的(didactic)論證的學生，要練習做論證時常遭遇到困難，因為他們不知道「做實驗」和「科學理論或個人想法」之間的關係，學生做實驗，常常只是想做出個結果，交差了事，只會按照課本的步驟執行下去，不知為何要這樣做，在這樣的活動方式中，學生是只動手而不用大腦，當然產生的對話是很簡單而沒有深度的(Millar, 1998; Rath & Brown, 1996; Schauble, Klopfer, & Raghavan, 1991; White, 1996)。因此，學生需要幫助與支持，才能夠在課室中進行有效的論證。

Ratcliffe(1997)發展一個六階段架構，來引導學生如何在小組討論時進行協商以做決定，以此思考架構作為支持學生論證的鷹架。研究發現，小組做決定的水準會隨著這項教學介入而提升。對於一開始不知道如何進行討論的小組，如果能夠教導學生如何用這個架構來進行協商，將改善學生的論證表現。

Kuhn、Shaw 和 Felton(1997)以同時呈現正反兩面觀點的二元討論策略，讓學生從不同的觀點來解釋相同資料，藉著比對不同的立場，判斷哪一個才是最好的解釋。研究發現，實驗組的推理品質有顯著的增進，論證的範圍也有增加，能從片面的論證，轉移到更複雜的雙面的論證。

Herrenkohl 和 Guerra(1998)設計進行科學交談及科學探究的規則，明確地指導學生練習如何在交談中監控自己的理解、如何調節理論與預測及證據、挑戰其他人的觀點與主張、教導學生如何傾聽其他人的報告、檢驗在報告中是否有說出所依據

的理論及預測可能產生的結果、檢驗在報告中是否有清楚的說出結論、檢驗在報告中理論是否有獲得證據的支持，是否有其他的替代解釋。學生逐步練習上述的規則，然後對全班進行口頭發表。結果發現，當提供學生進行論證的規範之後，學生就能夠產生較多且精緻的對話。

Zohar 和 Nemet(2002)設計「兩難議題」的生物基因演化課程，培養九年級學生的論證能力。研究發現：進行教學之前，只有 16.2%的學生能正確使用科學知識於論證中；在經過兩難議題的討論後，實驗組學生能正確地將生物基因學知識用於論證，並將論證所學的推理技巧，應用於日常生活的情境。

Osborne、Erduran 和 Simon(2004)發展一系列的教材與策略，來支持課堂中進行論證的教學，他們認為要在教學中開啟論證活動，先決條件是要「產生差異」，提供另有理論，讓學生進行論證。研究發現，藉著提供競爭的另有理論給學生，讓學生對這些另有理論做檢視、討論與評價之後，能增進學生論證的品質。

綜合上述研究成果，對於缺乏論證經驗的學生，教師必須提供適當協助，否則學生連對話都不會，更不要說要針對探究內容進行論證。雖然由學生自己呈現精緻論證的機率並不多見，但是若由教師精心佈局來引發論證的活動，提供適當的輔助工具，那麼就有可能產生精緻的論證。

三、本研究發展的「以建模為基礎的論證教學模式(MBA 教學模式)」

(一)MBA 教學模式的理論基礎

本研究旨在融合「建模」與「論證」，發展「以建模為基礎的論證教學模式」。以下先回顧兩個以模型為基礎的教學模式，再說明如何把建模與論證做融合，形成本研究的 MBA 教學模式。

Clement(2000)回顧「以模型為基礎的學習(Model based learning)」的研究之後，提出一個教學模式，其架構如圖 1 所示。Clement 主張建模是始於個人的先備概念，在教學中由教師提供多元的中介模型，促使學生的心智模型不斷地朝向目標模型演進，最後希望使學生發展出的目標模型，能接近專家已有共識的科學模型。Clement 並以此教學模式，發展出一系列的建模課程。(Clement & Rea-Ramirez, 2008)

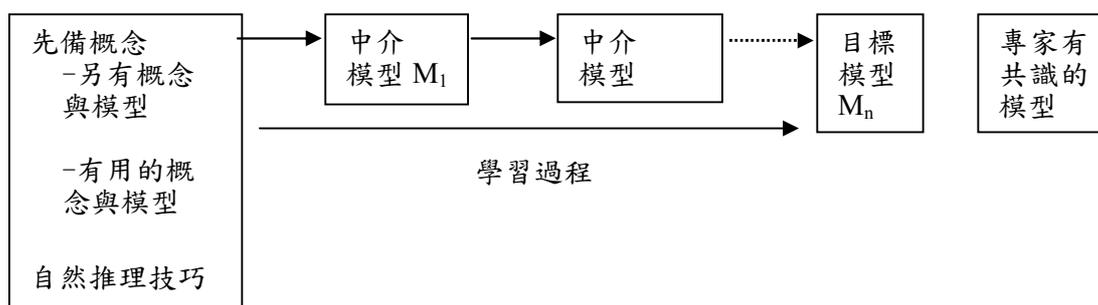


圖 1 在課室的學習過程中，模型發展的理论架構圖

Chittleborough、Treagust、Mamiala 和 Mocerino(2005)提出另一個教學模式，架構如圖 2。由教師使用多元的教學模型及科學社群已公認的科學模型，藉此影響學生的心智模型，然後觀察學生表達出來的模型，藉此探討不同教育階段的學生(從國一到大一學生)對科學模型以及建模在學習上扮演的角色的看法。結果發現，教育階段越高的學生，對模型在科學中所扮演的角色，會有較佳的理解，比較能察覺到模型具有多元性及可變性的本質。

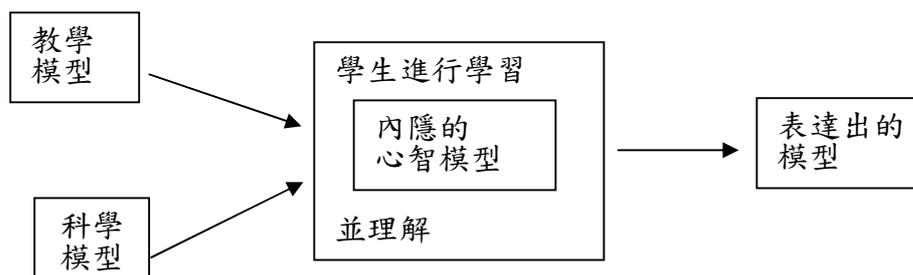


圖 2 心智模型、教學模型、科學模型、表達出的模型的交互作用架構圖

分析 Clement(2000, 2008)及 Chittleborough 等人(2005)所提出教學模式，有兩點值得進一步討論：

第一點、因為他們認為要由學生自行產出或選擇適當的類比模型是有困難的，所以他們的教學模式是由教師提供多元的類比模型（或中介模型），促使學生的心智模型產生演變，這是屬於教師導向的教學模式。這種教師導向的教學模式，是目前臺灣中小學教學現場較常出現的教學模式。因此，本研究以 Clement(2000, 2008)及 Chittleborough 等人(2005)的教學模式做為對照組的教學模式，並將之命名為「教導的論證教學模式(Didactic Argumentation teaching model, DA 教學模式)」。有關此模式的內涵，將在研究方法的教學模式中做說明。

第二點是他們比較著重探討個人在認知發展的歷程中，心智模型的轉變情況。他們並沒有探討建模的歷程中「社會互動」的因素。然而，在科學知識的建構歷程，社會論證是扮演非常重要的角色。

因此，本研究融合建模與論證的理論，形成 MBA 教學模式，其基本架構如圖 3。

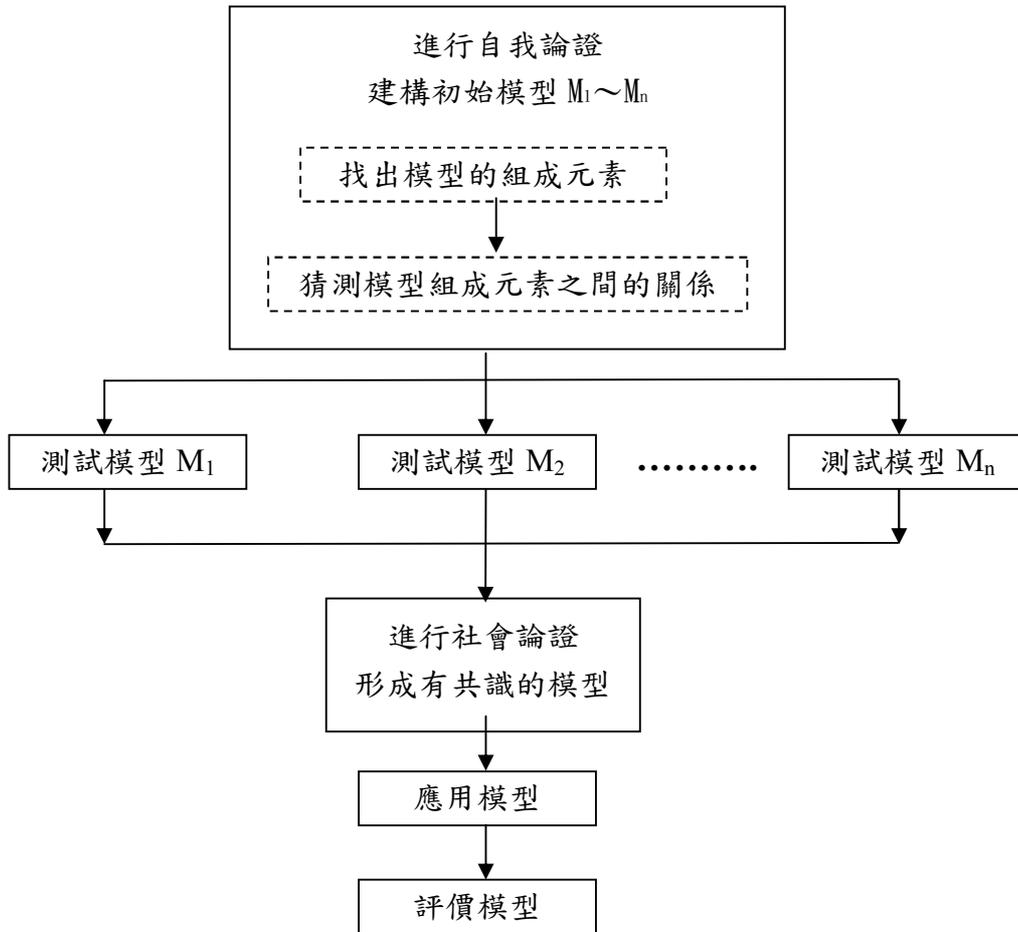


圖 3 MBA 教學模式的基本架構

MBA 教學模式與上述兩個教學模式的主要不同之處，在於本研究是採用社會建構論的觀點，由不同個體分享彼此建構的初始模型 $M_1 \sim M_n$ ，經過測試之後，進行社會論證形成有共識的模型 $M_{123\dots n}$ 。接著由教師佈局，請學生思考如何將模型應用到新的情境，並對各階段的模型做出評價。本模式分成五個階段，各階段的內涵

及其所援引之建模與論證的相關理論，分述如下：

- 階段一「建構初始模型」：讓學生觀察某個科學現象，建構可呈現該現象的初始模型。學生必須找出模型的組成元素與它們之間的可能關係。當學生挑選不同的組成元素，就建構出不同的模型，因此本階段自然會產生不同的多元模型。
- 階段二「測試模型」：針對自己建構的模型，實際進行測試活動，驗證所建構的模型的正確性。

階段一與階段二是採用建模的歷程觀點：「建模始於個人內隱的心智模型，外顯之後成為表達出的模型(Chittleborough et al., 2005; Gilbert & Boulter, 2000)」，及建模的結構觀點：「找出複雜系統的組成成分及組成成分之間的關係，即為建模(Doerr & Tripp, 1999; Lee, 1999; Márquez et al., 2006; Wotawa, 1999)」。在建構及測試初始模型的過程中，個人必須提出理由說服自己，所找到的組成元素及它們之間的關係是否恰當，此歷程屬於個人的認知活動，因此，若從論證理論來分析，本階段是在建構「自我論證」。

- 階段三「形成有共識的模型」：讓學生進行全班討論，形成有共識的模型，然後再由教師引介科學術語，建立符合科學社群觀點的模型。

階段三亦是採用建模的歷程觀點：「初始模型在外顯成為表達出的模型之後，最後要朝向有共識的模型發展(Clement, 2000; Gilbert & Boulter, 2000)」。在此階段，本研究援用社會建構論的觀點：「知識是個體與他人協商後的社會建構歷程之產物」，讓不同個體發表自己建構的初始模型，針對該模型的元素及其組合關係是否恰當，進行全班討論，藉此形成共識(Driver et al., 2000; Kuhn, 1991; Kuhn et al., 1997; Osborne et al., 2004)。因此，若從論證理論來分析，本階段是在建構「社會論證」。

- 階段四「應用模型」：請學生思考如何把此有共識的模型，運用在新的情境中。
- 階段五「評價模型」：請學生回想從活動中學到的概念或能力，是如何學到的，並對上述各階段所建構的模型(初始模型、中介模型、有共識的模型)做出評價。

本研究對建模歷程之定義，是從「初始模型」發展為「中介模型」，再發展為「有共識的模型」。在整個學習活動中，建構的模型包括「初始模型、中介模型、有共識的模型」。因此，在活動結束前的第五階段，請學生回想從整個活動中，學到哪些概念或能力，又是如何學到的，並對各階段建構的模型做出評價。評價的標準是援用建模理論中，「模型必須具備描述、解釋、預測三個重要功用，而同時具有上述三個功能的模型，就是一個精鍊的科學模型」(Doerr & Tripp, 1999; Lee, 1999;

Van Driel & Verloop, 1999)。因此，在階段四由教師佈局，請學生將模型運用在新情境中，藉此檢驗各階段的模型，是否具有描述、解釋、預測等三項功能。然後在活動結束前的階段五，對前面各階段的模型(初始模型、中介模型、有共識的模型)，形成評價。

(二)MBA 教學模式的輔助工具

Thier 和 Daviss(2002)主張應該培養學生在「讀、寫、說與聽」四個面向的能力，在以探究為基礎、以活動為導向的情境下學習科學。他們分別在「讀、寫、說與聽」這四個面向發展出教學策略，並設計出一個「表現期望表(Performance Expectations)」的教學輔助工具，藉此提示學生在「讀、寫、說與聽」應有的卓越表現。因為研究性質及國情的不同，他們提出的表現期望表，部分內容並不適合臺灣現在的學生。但是，他們的想法給本研究一個很大的提示，就是必須提供學生進行建模與論證的輔助工具，使建模與論證的步驟變得明確。

考量到臺灣學生習於食譜式實驗方式(實驗器材、實驗步驟都由教科書提供)，如果沒有任何協助，要靠學生自己對科學現象建構科學模型，必定成效不佳。因此，依據臺灣國中生的現況及本研究對「建模」及「論證」的定義，自行設計「建模表現期望表」，如表 1。「論證表現期望表」，如表 2。此工具在活動一開始就發給學生，做為支持學生建模與論證的輔助工具，藉此提醒學生注意進行建模與論證時，應有的表現。

表 1 建模表現期望表

建模表現期望表 (當你要建模的時候，請注意下列提示的重點)
這個科學現象的模型，可以分解成哪幾個重要的組成元素？請把它們找出來。
這些元素之間有什麼關係？請把它們找出來。
要怎麼組合這些元素，才能呈現出你想要瞭解的現象？

表 2 論證表現期望表

論證表現期望表（當你要做論證的時候，請注意下列提示的重點）	
如何小組討論	使用你學過的科學知識來做討論的證據，而不能說我覺得...應該是這樣。
如何小組討論	除非每個人都同意這個觀點，否則不算是達成本小組的結論。
如何聽	當你在聽別人報告的時候，聽到你覺得有疑問、沒道理的地方，要把它記錄在活動單上。
如何聽	當你在聽別人報告的時候，聽到和你的研究有關連的部分，要把它記錄在筆記本上。
如何說	要把報告的內容組織好，按照重要性，一點一點的講清楚。
如何說	適當的使用圖表或圖畫，把它們寫在白板或黑板上，來輔助你的說明。
如何全班討論	從你有疑問、聽不懂的地方開始討論。
如何全班討論	使用你學過的科學知識來做討論的證據，而不能說我覺得...應該是這樣。

參、研究方法

一、研究設計

本研究以準實驗研究法進行設計。自變項為教學模式，實驗組與對照組分別用「以建模為基礎的論證教學模式(MBA 教學模式)」及「教導的論證教學模式(DA 教學模式)」實施教學活動。研究對象為國二學生，教學處理時間在國二上學期，以某版本國中自然與生活科技第三冊第四章「光」作為教學單元。在教學活動開始的前一週，進行「科學學習動機、對科學模型的理解、對科學現象的理解」的前測，在教學活動結束的後一週，進行後測。

二、研究對象的選取

基於便利取樣，選取本文第二作者任教之臺南市某國中二年級的兩個班級作為研究對象。該校實施常態編班，每班約 35 人。本研究是在國二上學期第一次段考

後實施教學活動，因此，以國二上學期第一次自然科段考成績，進行獨立樣本 t 檢定。統計考驗結果如表 3 及表 4。從表 4 的數據($F=1.749$ ， $p=.19>.05$)可看出，兩組學生在國二上學期第一次自然科段考成績並無顯著差異，因此可推論在本研究進行前，實驗組與對照組具有同質性。

表 3 國二上學期第一次自然科段考成績的描述性統計資料

組別	人數	平均數	標準差
實驗組	34	60.68	21.985
對照組	35	61.23	19.763

表 4 國二上學期第一次自然科段考成績的獨立樣本 t 檢定摘要表

	變異數相等的 Levene 檢定		平均數相等的 t 檢定		
	F 檢定	顯著性	t	自由度	顯著性(雙尾)
假設變異數相等	1.749	.19	.110	67	.913
不假設變異數相等			.110	66.606	.913

實驗組由本研究的第二作者擔任授課教師，對照組的授課教師則邀請該校教學年資、學經歷與本研究第二作者相近之教師來擔任。個案教師的背景資料，如表 5。

表 5 個案教師的背景資料

組別	教學年資	學經歷
實驗組授課教師	任教國中自然科 17 年	某師大物理系畢業 某國立大學物理研究所碩士班畢業
對照組授課教師	任教國中自然科 25 年	某師大物理系畢業 某師大物理研究所四十學分班結業

三、教學單元與活動進行方式

(一)教學單元

本研究是在國二上學期進行，教科書為國中自然與生活科技第三冊。考量到學校有既定的教學及考試進度，無法將整本教科書都轉換為本研究的活動。因此在取

樣學校的許可下，以該冊教科書的第四章「光」作為教學單元，該章共有 5 個小節。該教科書的教師手冊建議的教學時數與教學目標，如表 6。實驗組與對照組的教學活動設計，均依據教科書建議之教學時數與教學目標來進行設計。實驗組及對照組均以小組的方式來做實驗及進行討論活動，每組人數約 5~6 人。

表 6 教師手冊建議的教學時數與教學目標

教科書章節	教學時數	主要教學目標
4-1 光的直進	1 節	1.了解影子的形成。 2.了解針孔成像的原因和性質。
4-2 面鏡成像	1 節	1.了解光的反射定律。 2.了解平面鏡、凹面鏡、凸面鏡成像的性質及應用。
4-3 透鏡成像	2 節	1.認識日常生活中光的折射現象。 2.了解凹透鏡、凸透鏡成像的原理和性質。
4-4 光學儀器	1 節	1.了解複式顯微鏡、照相機、眼睛的成像原理及性質。 2.了解近視眼、遠視眼及老花眼的成像原因及補救。
4-5 光與顏色	2 節	1.了解物質色彩的形成原因。 2.認識色光合成的現象。

(二)活動進行方式

1.實驗組

本研究以國中自然與生活科技第三冊的第四章「光」作為教學單元，該章共有 5 小節，實驗組在各小節的活動進行方式，均依照 MBA 教學模式的五個階段：「建構初始模型→測試模型→形成有共識的模型→應用模型→評價模型」的流程，讓學生進行「建模」與「論證」的活動。在實驗組的建模活動中，先讓學生針對某個科學現象各自建構初始模型，並測試該模型的有效性，然後針對不同小組所建構的多元模型進行論證，論證的內容包括模型的競爭（討論不同模型的優缺點）、模型的結合（把性質相同的模型，結合成有共識的模型）、概念的區分或整合（區分此模型所涉及的不同科學概念，整合相同的科學概念）、模型的演化（促使模型從 $M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow \dots \rightarrow M_n$ ，朝向更精緻化的模型演進）等活動。以「4-1 光的直進」單元為例，來說明實驗組的活動流程，如表 7 所示。

表 7 實驗組以 MBA 教學模式進行教學活動的流程（以「4-1 光的直進」為例）

教學階段	教師活動	學生活動	使用時間
一、 建構初始模型	<ol style="list-style-type: none"> 1. 請學生把「影子」的形成原因，以畫圖及文字敘述的方式，紀錄在筆記本上。 2. 請學生把「針孔成像」的形成原因，以畫圖及文字敘述的方式，寫在筆記本上。 3. 請學生進行小組討論，對於要建構「針孔成像」的模型，需要哪些組成元素？而該組成元素之間又有何關係？在討論之後，實際建構初始模型。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 思考該科學現象的形成原因，將思考結果紀錄在筆記本上。 2. 建構該科學現象的初始模型。 	10 分鐘
二、 測試初始模型	對自己建構的模型，實際進行測試，驗證建構的模型的正確性。	實際建構「針孔成像」的模型，進行測試，並把測試結果，記錄在筆記本上。	5 分鐘
三、 形成有共識的模型	讓各組學生發表自己小組的初始模型的測試結果，進行全班討論，以形成有共識的模型。然後由教師引介科學術語：「光的直進性、光線、本影、半影」，以建立符合科學社群觀點的模型。	各小組發表，並進行論證。	10 分鐘
四、 應用模型	<p>由教師佈局新的情境：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 如果在針孔成像裝置的紙上，刺三個小針孔，則會發生什麼變化。 2. 如果在針孔成像裝置的紙上，把該針孔挖成一個較大的洞，則會發生什麼變化。 <p>請學生思考如何把上階段形成的有共識的模型，運用在新的情境中。</p>	思考如何把有共識的模型，運用在新的情境中，將思考結果紀錄在筆記本上，然後實際進行測試。	15 分鐘
五、 評價模型	請學生回想他們在本節課的活動中，學到的科學概念或能力，並且對本節課的活動內容做反思，以促進其成長。	將思考結果紀錄在筆記本上。	5 分鐘

2. 對照組

使用教科書，依照教師手冊的建議來進行教學，是多數教師採用的教學方式。對照組在各小節的活動方式，均依照教師手冊建議的教學流程進行教學，由教師以

教科書中的教學類比模型(Harrison & Treagust, 2000a)，例如：尺度模型、圖像符號模型、數學模型、理論模型、圖形表格、概念-過程模型、模擬等模型，把課本內容講解給學生聽，此即為 Clement(2000, 2008)及 Chittleborough 等人(2005)提出教學模式：由教師提供教學類比模型，促使學生的心智模型產生演變，這是屬於「教師導向」的教學模式。本研究是以國中自然與生活科技第三冊的第四章「光」，作為教學單元，該章共有 5 個小節，其中在「透鏡成像」及「光與顏色」兩個小節，課本有安排作「食譜式」實驗活動，由教師把課本的實驗操作方式(包括：器材、步驟等)，詳細地為學生講解，學生聽完教師講解之後，按照課本實驗步驟做實驗。實驗完成之後，將結果登錄在實驗記錄簿，並對課本及實驗記錄簿中的討論問題進行論證。在課本沒有安排做實驗的單元，則由教師以教科書上的圖片(即 Harrison & Treagust 所定義的圖卡模型)，來解說該單元的內容，藉此作為支持科學知識所需的證據，使學生相信教師所講述的科學知識的有效性。依據論證的理論，這種形式的論證即為「教導的論證」，因此將對照組的教學模式，命名為「教導的論證教學模式(DA 教學模式)」。以「4-1 光的直進」單元為例，來說明對照組的活動流程，在此單元，教師手冊建議用下述之流程進行教學，如表 8 所示。

表 8 對照組以 DA 教學模式進行教學活動的流程（以「4-1 光的直進」為例）

教學階段	教師活動	學生活動	使用時間
一、引起動機	請學生發揮創意，秀出各式各樣的「手影」。	用手在燈光下用手做出各種手影。	5分鐘
二、提出問題	請學生對於為何有手影，進行討論，觀察影子中間和周圍部分，有何相異點。	討論並發表看法。	5分鐘
三、細說分明	用教科書中的圖像模型來講解光的直進性質，並繪圖解釋影子、本影、半影的形成原因。	聽教師講解，將重點抄在筆記本上。	10分鐘
四、精益求精	請學生討論影響「影子大小和形狀」的變因為何。	討論並發表看法。	5分鐘
五、提出問題	請學生討論為何光通過針孔後，所形成的影像會上下顛倒。	討論並發表看法。	5分鐘
六、細說分明	用教科書中的圖像模型來講解光的直進性質，並繪圖解釋針孔成像的性質。	聽教師講解，將重點抄在筆記本上。	10分鐘
七、精益求精	請學生討論如果將針孔改成一 個大洞，將會有何改變。	討論並發表看法。	5分鐘

四、研究工具

本研究的研究假設是：不同的教學模式，會促使學生產生不同的科學學習動機，進而造成學生在「對科學模型的理解、對科學現象的理解」等方面產生差異。基於此研究假設，本研究必須蒐集學生在「科學學習動機、對科學模型的理解、對科學現象的理解」等三方面的資料，進行統計分析，藉此探討不同教學模式的教學成效。選用 Tuan、Chin 和 Shieh(2005)發展的「科學學習動機量表」，是因為本研究發展的 MBA 教學模式是要使學生投入於建模與論證的活動，此活動方式與學生以往的學習方式不同，因此必須瞭解學生是否能在活動中，提昇自己的內在動機，主動進行建模與論證。而 Tuan 等人發展的此份量表，包含「自我效能、主動學習策略、科學學習價值、表現目標、成就目標、學習環境誘因」等六個面向，整份問卷探討的重點即是在內在動機的提升。因此，本研究採用此份量表來分析學生的科學學習動機。選用 Treagust 等人(2002)發展「對科學模型的理解量表」，是因為本研究希望探討學生對科學模型具有「多元性、暫時性」的本質以及模型具有「描述、解釋、預測」等功能的理解程度，而 Treagust 等人所發展的量表的五個向度，恰包含本研究欲探討的建模內容。因此，本研究採用此份量表來分析學生對科學模型的理解程度。至於「科學現象理解測驗卷」，則由本研究團隊，針對探究主題自行設計。

上述研究工具之來源、信效度，分別說明如下：

(一)量表來源

1.科學學習動機量表

本量表由 Tuan 等人(2005)所發展，目的是要探討影響學生科學學習動機的六個面向：

- (1) 自我效能：本分量表用來探知學生對自己是否能在科學學習工作中有好的表現，具有信心。
- (2) 主動學習策略：本分量表用來探知學生是否能基於已有的理解，主動採取學習策略，來建構新的知識。
- (3) 科學學習價值：本分量表用來探知學生是否能夠察覺到學習科學的價值在於獲得問題解決的能力，體驗探究活動，激發自己的思考，並發現科學與日常生活的相關性。
- (4) 表現目標導向：本分量表用來探知是否學生學習科學的目標，是要與其他同學

競爭，獲得老師的注意。

- (5) 成就目標：本分量表用來探知學生在科學學習的過程中，能力增強而獲得成就的時候，是否會產生內心的滿足。
- (6) 學習環境誘因：本分量表用來探知在課室中，課程內容、教師的教學方式及同學間的互動等學習環境，是否會影響學生學習科學的動機。

此量表為李克特氏五點量表，共有 35 題，其中有九題為反向題，包括：2、4、5、6、7、21、22、23、24，其餘 26 題為正向題。本量表給分方式為：勾選「非常同意」、「同意」、「無意見」、「不同意」、「非常不同意」，正向題依序給 5、4、3、2、1 分，反向題則給 1、2、3、4、5 分。

2. 對科學模型的理解量表

本量表由 Treagust 等人(2002)發展，包括五個分量表，分別為：

- (1) 模型是多樣化的表徵：本分量表用來瞭解學生對於不同表徵的模型的接受度，以及他們對於模型具有「多元性」本質的理解情況。
- (2) 模型是精確的複製品：本分量表用來探究學生是否會執著於認為模型應該盡可能與真實物品相近。
- (3) 模型是解釋的工具：本分量表是用來研究學生對模型的意義及作用的理解情況。
- (4) 科學模型的用途：本分量表是用來研究學生對於模型的用途的理解程度。
- (5) 模型具有可變性的本質：本分量表用來研究學生對於模型具有「可變性」本質的理解程度。

此量表為李克特氏五點量表，共有 27 個題目。依據學生勾選「非常同意」、「同意」、「不確定」、「不同意」、「非常不同意」，依序給 5~1 分。反向題則反之。反向題之題號為：9、10、11、12、13、14、15、16 共八題。

3. 科學現象理解測驗卷

此工具是由本研究團隊自行發展而成，試題內容及評分標準，均經過科教專家審查及學生試做，逐步修訂完成。測驗卷的題型是半開放式的題目，學生必須選出正確答案，並以文字或繪圖的方式，說明選擇此答案的原因，依據學生作答內容的正確與詳細程度來給分(0~3 分)。以國中自然與生活科技第三冊第四章「光」作為命題範圍，共有五個小節：4-1 光的直進、4-2 面鏡成像、4-3 透鏡成像、4-4 光學儀器、4-5 光與顏色，每小節有兩個主要教學目標，如表 6。考量到學生要在一節課(45 分鐘)完成作答，因此依據各小節的教學目標，每個教學目標出 2 題，每小節有 4 題，整份試卷共有 20 個題目。本測驗卷共有兩份，分別用於前、後測，用來比較在經

歷教學活動之後，學生對於「光學」單元的科學現象之理解程度。以其中一題為例，說明該題目要測量的科學構念，如表 9 所示，而該小題的評分標準，如表 10 所示。

表 9 科學現象理解測驗卷的題目與要測量的科學構念的範例

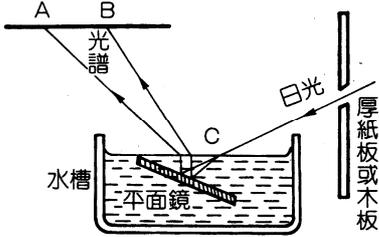
題目內容	要測量的科學構念
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本題目的正確答案是 A 2. 本題目要測量的科學構念是：當白光從空氣進入水中，因為不同色光在水中的速度不同，使得折射角不同而分開。因為紅光在介質中的速度較快，因此轉彎程度較小（折射角較大），所以從 C 點開始分開的不同色光，在上面的那一條光線是紅光。經過平面鏡的反射之後，照射到 A 點。 3. 這個題目可用來測量學生是否真的理解「光的色散現象」的形成原因與運作機制。
<p>有一個裝滿水的水盆，把一片平面鏡放進水中，平面鏡的角度和水面之間形成一個三角形的水層，如右圖所示。將一道太陽光投射進入水中，太陽光照到平面鏡之後反射，又從水中折射出來，結果折射出來的太陽光，產生色散現象，光束照射至天花板上的情況，如圖所示。請問白色太陽光分解成不同顏色的色光之後，光譜中的紅色是在 B 處？還是在 A 處？</p> <p>答：_____。</p> <p>請以文字或繪圖來說明你選擇此答案的理由：</p>	

表 10 「科學現象理解測驗卷」的評分標準

分數	評分標準	學生作答內容舉例
0	① 勾選答案錯誤	① 選到錯誤的答案：B
	② 勾選答案正確，但只勾答案，沒有寫出選擇它的理由	② 勾選到正確答案：A，但只勾答案，沒有寫出選擇它的理由（即空白未作答）
	③ 勾選答案正確，說明的理由完全錯誤（學生回答的理由與已知的科學概念不同，具有迷思概念、超自然現象等不合理之假設，或是回答的理由，與題目情境無關）	③ 日光照到平面鏡分成兩條光線，一條是路線 A，另一條是路線 B，我想可能是 A。

(續下頁)

分數	評分標準	學生作答內容舉例
1	勾選答案正確，說明的理由，部分正確、部分錯誤	和彩虹一樣，依照紅橙黃綠藍靛紫，內側為紅光，所以是 A 點。
2	勾選答案正確，說明的理由也正確，但是作答內容太簡略、不夠完整	因為紅光的折射角最大，所以我認為紅光是 A 點。
3	勾選答案正確，說明的理由也正確，而且作答內容完整	當太陽光照射到 C 點，就開始折射，分解成彩色的光，而不是從照到平面鏡反射之後才分解。因為紅色的光速度比較快，折射角比較大，所以從角度來看，它應該是會折射到 A 點。

(二)信效度

1.信度

「科學學習動機量表」，原量表是以 1407 名臺灣國中生作為施測對象。而「對科學模型的理解量表」，原量表是以 228 名澳洲中學生作為施測對象。本研究選取研究對象以外的四個國二班級，共 134 名學生作為預試樣本，進行量表的信度分析。原量表及預試樣本的 α 值，如表 11、表 12 所示。

從表 11、表 12 中的數據顯示，此兩份量表是理想的測驗工具，適合本研究用來瞭解在不同教學模式下的實驗組及對照組，其「科學學習動機」及「對科學模型的理解」是否有差異。

表 11 「科學學習動機量表」原量表與預試樣本的 α 值

分量表名稱	原量表(N=1407)的 α 值	本研究(N=134)的 α 值
自我效能	.82	.81
主動學習策略	.87	.86
科學學習價值	.70	.71
表現目標導向	.81	.71
成就目標	.80	.80
學習環境誘因	.75	.72
總量表	.89	.90

表 12 「對科學模型的理解量表」原量表與預試樣本的 α 值

分量表名稱	原量表的 α 值(N=228)	預試樣本的 α 值(N=134)
模型是多樣化的表徵	.81	.77
模型是精確的複製品	.84	.72
模型是解釋的工具	.71	.65
科學模型的用途	.72	.61
模型具有可變性的本質	.73	.74

至於「科學現象理解測驗卷」的信度分析，考量到本測驗卷的題型是半開放式的題目，學生必須選出正確答案，並以文字或繪圖的方式，說明選擇此答案的原因，然後依據學生作答內容的正確與詳細程度來給分(0~3分)。因此，本測驗卷在設計完成之後，選取研究對象以外的一個國二班級共 35 名學生作為預試樣本，進行信度分析。預試樣本的 α 值為.85，依據 Camines 和 Zeller 的觀點：「一份優良的教育測驗至少應該具有.80 以上的信度係數值，才比較具有使用的價值」(引自吳明隆，2007a)，此數據顯示本工具為一合適的工具，可用以測量學生對光的理解程度。

至於評分者信度的分析，本研究邀請某師範大學科教所的兩位物理背景的博士候選人，依據評分表評分。隨機抽取實驗組與對照組各五份測驗卷，合計十份。在預試階段，Pearson 積差相關係數為.946， $p=.000(<.01)$ 。在正式施測階段，Pearson 積差相關係數為.988， $p=.000(<.01)$ ，以上數據顯示評分者的評分過程具有可信度。

2.效度：

研究者將上述研究工具，送請兩位具有科教博士學位之教授及兩位物理背景的科教所博士候選人進行專家審查，並請取樣學校的一位自然科教師，就題目的敘述方式、題目數量、測驗時間等，提供修訂建議，以建立專家效度及內容效度。再請三位國二學生閱讀該量表，針對學生認為閱讀困難的語句作修飾，建立表面效度。

五、資料分析方式

本研究以「科學學習動機量表、對科學模型的理解量表、科學現象理解測驗卷」蒐集量化資料，進行統計考驗來探討實驗組與對照組學生的差異情況。量化資料均進行前、後測。以前測分數為共變數，以後測分數為依變項，進行組內迴歸係數同

質性考驗。在確定兩組學生同質後，將兩組學生後測成績進行單因子共變數分析，藉此了解實驗組與對照組是否有差異。若達到統計考驗上的顯著水準，再進一步求出其效果量。

效果量強度之判準，依據 Cohen(1988)的建議分為三等級(引自吳明隆，2007b)：大的效果量($\eta^2 \geq .138$)；中度的效果量($.138 > \eta^2 \geq .059$)；小的效果量($.059 > \eta^2$)。

肆、研究結果與討論

一、實驗組與對照組在「科學學習動機」的差異

(一)總量表的統計分析結果

以「教學模式」為自變項，「科學學習動機」總量表的前測成績為共變項，後測成績為依變項，進行「組內迴歸係數同質性考驗」。統計考驗結果， $F=.688$ ， $p=.410(>.05)$ ，未達顯著水準，此結果符合組內迴歸係數同質性檢定，因此，繼續進行單因子共變數分析。

共變數分析結果， $p=.000(<.001)$ ，達顯著水準。實驗組平均得分為 110.46，優於對照組平均得分 106.35。實驗效果量為.516，達到大的效果量。

(二)各分量表的統計分析結果

科學學習動機量表分為六個向度，包括：自我效能、主動學習策略、科學學習價值、表現目標導向、成就目標、學習環境誘因。分析實驗組與對照組學生在各向度的組內迴歸係數同質性考驗，六個分量表的 p 值均 $>.05$ ，分別為.888、.383、.634、.267、.544、.828，符合組內迴歸係數同質性檢定的假設。繼續進行單因子共變數分析，共變數分析結果，如表 13 所示：在「自我效能、主動學習策略、學習環境誘因」三個向度達顯著，實驗組平均分數高於對照組，具有中度或大的實驗效果。

表 13 兩組學生在「科學學習動機」之單因子共變數分析摘要表

項目	實驗組(N=34)		對照組(N=35)		F 值	效果量 η^2
	Adj M	SD	Adj M	SD		
自我效能	20.55	4.05	18.16	4.01	5.73*	.080
主動學習策略	26.21	3.92	23.51	4.50	7.63**	.104
科學學習價值	16.56	2.77	15.85	2.18	1.59	.024
表現目標	14.15	2.83	14.48	2.78	.24	.004
成就目標	16.99	3.55	16.81	3.74	.05	.001
學習環境誘因	18.03	2.90	15.58	3.57	10.95**	.142

* $p < .05$ ** $p < .01$

(三)綜合討論

任何一個創新教學模式，在積極層面應能提升學生的學習動機，而在消極層面，至少不應降低學生的學習動機，如此才不至於在推廣的過程中遭遇阻力。從總量表的統計數據可推論，整體而言，實驗組的科學學習動機，優於對照組。

而分量表的統計數據，在「自我效能、主動學習策略、學習環境誘因」等三個向度達顯著，這表示 MBA 教學模式比較能提升學生這三個向度的學習動機。探討其原因，根據其他學者的研究結果，建構主義取向的活動比較能提升學生的自我效能，並促使學生持續的主動學習(Pajares & Miller, 1994)。而營造一個充滿對談的學習環境，讓學生在此環境中與其他人互動，在互動的歷程中，測試自己的想法，並考慮其他人的觀點，藉此可獲得新訊息以解決問題(Bezzi, 1996)。本研究的 MBA 教學模式讓學生投入建模與論證的活動，而建模與論證的屬性都是為了建構知識，所以，MBA 教學模式是屬於建構主義取向的教學模式，因而能夠增進上述三個向度的學習動機。即以 MBA 教學模式來學習的實驗組，對於「自己是否能在科學學習工作中有好的表現」，比較有信心；比較能「基於已有的理解，主動採取學習策略來建構新的知識」；對於「課程內容、教師的教學方式及同學的互動」等學習環境方面，有更高的知覺。

至於在「科學學習價值、表現目標、成就目標」等三個向度，實驗組與對照組在統計上無顯著差異。對此結果，研究者推測可能的原因是：「不同的教學模式，對不同向度的學習動機，各自有不同的提升效果」。例如，在蔡執仲與段曉林(2005)

的研究發現，使用「開放引導式探究實驗教學模式」，可提升學生在「自我效能、主動學習策略、成就目標」三個向度的學習動機。而蔡執仲、段曉林和靳知勤(2007)的研究發現，使用「巢狀探究教學模式」，則可提升學生在「主動學習策略、科學學習價值、自我效能、成就目標」等四個向度的學習動機。因此，如何調整 MBA 教學模式的運作方式，以增進學生在此三個向度的學習動機，需要進一步的探討。

此外，根據 Greene 和 Miller(1996)的研究發現，傳統講述式教學方式比較偏向以「外在表現」為目標導向，會影響學生的學習動機，偏向外在因素(例如：注重與同儕的競爭、爭取高的考試成績、為了滿足家長或老師的期望)。因此，在「表現目標」的向度，雖然統計考驗未達顯著水準，但從對照組的平均數高於實驗組這一點來看，接受「教導論證教學模式」的對照組，可能比較注重「參與活動是為了得到好成績、是為了表現比同學好、是為了讓同學認為自己很聰明、是希望獲得老師的重視」等外在的學習動機。

二、實驗組與對照組在「對科學模型的理解」的差異

(一)總量表的統計分析結果

組內迴歸係數同質性考驗結果， $p=.241(>.05)$ ，此結果符合組內迴歸係數同質性檢定的假設，因此，繼續進行單因子共變數分析。共變數分析結果， $p=.005(<.01)$ ，達顯著水準。實驗組平均得分為 98.81，優於對照組平均得分 91.50。實驗效果量為.116，達到中度的效果量。

(二)各分量表的統計分析結果

對科學模型的理解量表分為五個向度，包括：模型是一種多元的表徵、模型是真實的複製品、模型是一種解釋的工具、科學模型的使用、模型是可變的。實驗組與對照組在各分量表的組內迴歸係數同質性考驗，五個分量表的 p 值均 $>.05$ ，分別為.569、.172、.152、.172、.211，符合組內迴歸係數同質性檢定的假設。因此，繼續進行單因子共變數分析。共變數分析結果，如表 14 所示：

表 14 「對科學模型的理解」各分量表的單因子共變數分析摘要

項目	實驗組(N=34)		對照組(N=35)		F 值	效果量 η^2
	Adj M	SD	Adj M	SD		
模型是一種多元的表徵	32.47	4.65	30.34	3.46	5.34*	.075
模型是真實的複製品	27.01	5.01	21.22	3.82	29.86***	.311
模型是一種解釋的工具	18.66	3.35	17.87	2.63	10.49**	.137
科學模型的使用	12.81	1.45	11.32	1.37	23.711***	.264
模型是可變的	13.28	1.61	11.05	2.14	23.708***	.264

* $p < .05$ ** $p < .01$ *** $p < .001$

根據表 14 的統計數據，五個分量表，實驗組與對照組都有顯著差異存在，實驗效果量達到中度或大的效果量。這表示 MBA 教學模式在這五個子向度，都能對學生產生正面的影響。

(三)綜合討論

從總量表及五個分量表的統計數據顯示，以 MBA 教學模式來學習的實驗組，比對照組更能對科學模型產生較佳的理解，即以 MBA 教學模式來學習的實驗組比較能接受不同表徵的模型，不會執著地認為模型是某真實物品的複製品；比較能瞭解科學模型可用來說明我們對科學事件的想法、用來解釋科學現象、用來對某個科學事件做預測；比較能體會模型具有可變性、多元性的本質。

本研究的對照組使用的「教導的論證教學模式(DA 教學模式)」，是由教師使用教科書中的教學類比模型，例如：尺度模型、圖像及符號的模型、數學模型、理論模型、圖形與表格、概念-過程模型、模擬等模型，把課本內容講解給學生聽。因此，在本質上，DA 教學模式是屬於以「多元模型」來講解課本的教學模式。而同樣以多元模型來進行教學的研究，結果發現即使經歷以多元模型為基礎的教學，還是有學生認為在這些不同的模型之中，有最正確的一個，會執著要找出最正確的模型(Harrison & Treagust, 2000b)。也有學生把每個模型都視為是要學習的對象，把每個模型的內容都記憶下來，而不是把模型視為學習工具，用來理解他要瞭解的現象(Treagust et al., 2004)。而在同樣採用「對科學模型的理解量表」的研究中，顏志昌(2006)發現，實驗組(以多元模型為基礎的教學)只在「模型是一種多元表徵、模型是一種解釋工具、科學模型的使用」等三個向度上，比對照組(以單一模型為基礎的教學)有更好的表現。因此，根據表 14 的統計數據結果，可宣稱本研究發展的「以建

模為基礎的論證教學模式(MBA 教學模式)」，更能夠促進學生對科學模型的理解。

對此結果，研究者推測可能的原因是：基於「科學即是建模(science as modeling)」與「科學即是論證(science as argument)」這兩個觀點，建模與論證對科學知識的建立，有密不可分的關係。所以，MBA 教學模式讓學生針對要瞭解的科學現象，親自投入建模的活動，以建模為基礎然後進行社會論證，在活動中，教師僅扮演主持人的角色，保持中立，讓學生自行發表，彼此論證，這種教學活動的方式更貼近科學社群建構科學知識的方式。因此，有助於促進學生對模型的意義、本質、作用，以及建模歷程的理解。

三、實驗組與對照組在「對科學現象的理解」的差異

(一)統計分析結果

以「教學模式」為自變項，前測成績為共變項，後測成績為依變項，進行組內迴歸係數同質性考驗。統計考驗結果， $F=1.589$ ， $p=.212(>.05)$ ，未達顯著水準，此結果符合組內迴歸係數同質性檢定，因此，繼續進行單因子共變數分析。

單因子共變數分析結果， $p=.03(<.05)$ ，達顯著水準，實驗組平均分數 37.78，高於對照組平均分數 36.67，實驗效果量.069，達到中度的效果量。

(二)綜合討論

本研究是以國中自然與生活科技第三冊第四章「光」作為活動單元，該章共有五個小節：「4-1 光的直進、4-2 面鏡成像、4-3 透鏡成像、4-4 光學儀器、4-5 光與顏色」，因此，學生在此測驗卷的得分，代表經歷不同教學模式的實驗組與對照組，對上述五個光學單元的科學現象的理解程度。從上述統計數據顯示，以 MBA 教學模式進行教學活動，有助於促進學生對光學單元的科學現象，形成較佳的理解。探討其原因，根據 Boulter 和 Gilbert(1995)及 Russell(1983)的研究結果：在教師導向的講述式教學中，教師常是以本身在地位上的優勢來支持他所講述的知識宣稱，這種依賴權威性的「教導式論證」，往往會忽略了推理和尋求證據的歷程。所以，MBA 教學模式讓學生以建模為基礎，然後再進行社會論證的方式，更能貼近科學家進行思考與推理的方式，因此，有助於促進學生對科學現象的理解，使得實驗組學生在此測驗中，有較佳的表現。

此外，因整份問卷共有 20 題，若將學生的總分除以 20，則代表學生在每題的

平均得分，因此，實驗組學生在每題的平均得分為 1.833。參考表 12「科學現象理解測驗卷」的評分標準，這顯示實驗組學生平均作答的水準是屬於「勾選答案正確，說明的理由也正確，但是作答內容太簡略、不夠完整」的層次。如何使學生的作答水準提升到「勾選答案正確，說明的理由也正確，而且作答內容完整」，有待進一步研究。

伍、結論與建議

有關本研究發展的 MBA 教學模式的教學成效，以下分別就「科學學習動機、對科學模型的理解、對科學現象的理解」之實施成果來形成結論，並提出後續研究的建議：

一、結論

(一)在科學學習動機方面

本研究發現，以 MBA 教學模式來學習的實驗組學生，對自己是否能在科學學習工作中有好的表現，具有信心；比較能基於已有的理解，主動採取學習策略來建構新的知識；對於課程內容、教師教學方式及同學的互動等學習環境，有更高的知覺。因此，整體而言，MBA 教學模式比較能夠促使實驗組學生對學習科學產生較高的學習動機。

(二)在對科學模型的理解方面

本研究發現，MBA 教學模式比 DA 教學模式更能促進學生對科學模型的理解，無論總量表及五個分量表，實驗組比對照組都更好的表現。這顯示將建模與論證的活動作結合之後，將有助於促進學生對科學模型的理解。

(三)在對科學現象的理解方面

本研究發現，在光學單元以 MBA 教學模式進行教學活動，將有助於促進學生對光學單元科學現象的理解，且達中度之效果量。

(四)本次研究的實施成果之總結論

依據上述三個結論，本研究的總結論是：MBA 教學模式是一個可以運作的教學模式，有助於促進學生的科學學習成效。使用 MBA 教學模式進行教學活動，將有助於促進學生在科學學習動機、對科學模型的理解、對科學現象的理解這三個方面的表現。

二、建議

根據本次的研究結果，作者分別就研究設計與教學活動兩方面提出建議，作為後續研究的參考。

(一)研究設計方面的建議

基於便利取樣，本次研究是選取本文第二作者任教之臺南市某國中的二年級學生，共兩個班級做為研究對象。因研究樣本較少，就研究的生態效度而言，還不夠充分。因此，建議後續的研究，將研究樣本擴大，把大型學校、中型學校及小型學校都列為研究樣本，並邀請該校的教師參與研究團隊，以 MBA 教學模式實施教學活動，藉此對 MBA 教學模式的教學成效，產生更廣泛的瞭解。

(二)教學活動方面的建議

本次研究是以光學單元作為教學單元，其屬性是屬於「物理」領域的科學知識。因為知識屬性不同，所以在本次的研究，並沒有將科學知識列為共變項。然而，科學知識也是會影響學生在活動中的表現之重要因素。因此，建議後續的研究，依照科學知識的屬性(例如：生物、物理、化學、地球科學)，以不同屬性的科學知識，作為活動的單元，藉此探討學生的科學知識對其在活動中的表現之影響。

此外，考量到所能運用的授課時數，在取樣學校的許可範圍之下，本研究的活動單元是針對單一屬性科學知識「光學」，進行建模與論證的活動。如果教學時間可以拉長到整學期，教學內容包括整本教科書不同性質的科學知識，例如物質、能量、光、熱、化學反應等等。這種大的時間尺度且涉及許多不同屬性科學知識的教學，在教學策略、活動設計與教學時間要如何彈性調整，是一個極具挑戰性的任務，此有待進一步的研究做了解。

謝誌

本研究承蒙國科會的經費支助（NSC-98-2511-S-017-003-MY3）及審查委員精闢的評論與建議，特此致謝！

參考文獻

- 吳明隆（2007a）。**SPSS 統計應用學習實務：問卷分析與應用統計**。臺北市：知城數位科技股份有限公司。
- 吳明隆（2007b）。**SPSS 操作與應用變異數分析**。臺北市：五南圖書出版有限公司。
- 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。
- 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。
- 洪振方（1994）。從孔恩異例的認知與論證探討科學知識的重建。國立臺灣師範大學科學教育研究所博士論文，未出版，臺北市。
- 蔡執仲、段曉林（2005）。探究式實驗教學對國二學生理化學習動機之影響。**科學教育學刊**，**13**(3)，289-315。
- 蔡執仲、段曉林、靳知勤（2007）。巢狀探究教學模式對國二學生理化學習動機影響之探討。**科學教育學刊**，**15**(2)，119-144。
- 顏志昌（2006）。以多元模型為基礎的教學對學生星象單元學習之影響。國立高雄師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，高雄市。
- Acher, A., Arca, M., & Sanmarti, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. *Science Education*, *91*(3), 398-418.
- Bezzi, A. (1996). Use of repertory grids in facilitating knowledge construction and reconstruction in geology. *Journal of Research in Science Teaching*, *32*(2), 179-204.

- Boulter, C. J., & Gilbert, J. K. (1995). Argument and science education. In P. S. M. Costello & S. Mitchell (Eds.), *Competing and consensual voices: The theory and practice of argumentation* (pp.84-98). Clevedon, UK: Multilingual Matters.
- Browne, M. N., & Keeley, S. M. (1998). *Asking the Right Questions: A guide to critical thinking* (5th ed.). Upper Socldle River, NJ: Prentice Hall.
- Buckley, B. C., Gobert, J. D., Kindfield, A., Horwitz, P., Tinker, R., Gerlits, B., Wilensky, U., Dede, C., & Willett, J. (2004). Model-based Teaching and Learning with BioLogica™: What do they learn? How do they learn? How do we know? *Journal of Science Education and Technology*, 13(1), 23-41.
- Chittleborough, G. D., Treagust, D. F., Mamiala, T. L., & Mocerino, M. (2005). Students' perceptions of the role of models in the process of science and in the process of learning. *Research in Science & Technological Education*, 23(2), 195-212.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22, 1041-1053.
- Clement, J. J., & Rea-Ramirez, M. A. (Eds.) (2008). *Model based learning and instruction in science*. Dordrecht, NL: Springer.
- Coll, R. K., France, B., & Taylor, I. (2005). The role of models / and analogies in science education: Implications from research. *International Journal of Science Education*, 27(2), 183-198.
- Develaki, M. (2007). The model-based view of scientific theories and the structuring of school science programmes. *Science & Education*, 16(7), 725-749.
- Doerr, H. M., & Tripp, J. S. (1999). Understanding how students develop mathematical models. *Mathematical Thinking and Learning*, 1, 231-254
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287-312.
- Fretz, E. B., Wu, H. K., Zhang, B., Krajcik, J. S., Davis, E. A., & Soloway, E. (2002). An investigation of software scaffolds supporting modeling practices. *Research in Science Education*, 32(4), 567-589.

- Gilbert, J. K., & Boulter, C. J. (1998). Learning science through models and modelling. In B. Fraser & K. Tobin (Eds), *International handbook of science education* (pp.52-66). Dordrecht, NL: Kluwer.
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. J. (Ed.). (2000). *Developing models in science education*. Dordrecht, NL: Kluwer.
- Gobert, J. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.
- Greene, B. A., & Miller, P. B. (1996). Influences on achievement: Goals, perceived ability, and cognitive engagement. *Contemporary Educational Psychology*, 21, 181-192.
- 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, 799-822.
- Hacking, I. (1983). *Representing and intervening*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000a). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22, 1011-1026.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000b). Learning about atoms, molecules and chemical bonds: A case-study of multiple model use in grade-11 chemistry. *Science Education*, 84, 352-381.
- Herrenkohl, L. R., & Guerra, M. R. (1998). Participant structures, scientific discourse, and student engagement in fourth grade. *Cognition and Instruction*, 16, 431-473.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Rodríguez, A. B., & Duschl, R. A. (2000). “Doing the lesson” or “doing science”: Argument in high school genetics. *Science Education*, 84(6), 757-792.
- Justi, R. S., & 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, 993-1009.

- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, 24, 1273-1292.
- Kim, H., & Song, J. (2005). The Features of Peer Argumentation in Middle School Students' Scientific Inquiry. *Research in Science Education*, 36(3), 211-233.
- Kuhn, D. (1991). *The skills of argument*. New York: Cambridge University Press.
- Kuhn, D. (1993). Science as argument: Implications for teaching and learning scientific thinking. *Science Education*, 77(3), 319-337.
- Kuhn, D., Shaw, V., & Felton, M. (1997). Effects of dyadic interaction on argumentative reasoning. *Cognition and Instruction*, 15(3), 287-315.
- Lee, M. H. (1999). On models, modelling and the distinctive nature of model-based reasoning. *AI Communications*, 12, 127-137.
- Magnani, L. (2004). Model-based and manipulative abduction in science. *Foundations of Science*, 9(3), 219-247.
- Màrquez, C., Izquierdo, M., & Espinet, M. (2006). Multimodal science teachers' discourse in modeling the water cycle. *Science Education*, 90, 202-226.
- Millar, R. (1989). Bending the evidence : The relationship between theory and experiment in science education. In R. Millar (Ed.), *Doing science: Images of science in science education* (pp.38-61). London, UK: the Falmer Press.
- National Research Council. (1996). *The national science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What ideas-about-science should be taught in school science: A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692-720.
- Osborne, J., Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994-1020.
- Pajares, F., & Miller, M. D. (1994). Role of self-efficacy and self-concept beliefs in

- mathematical problem solving: A path analysis. *Journal of Education Psychology*, 86, 193-203.
- Ratcliffe, M. (1997). Pupil decision-making about socio-scientific issues within the science curriculum. *International Journal of Science Education*, 19(2), 167-182.
- Rath, A., & Brown, D. E. (1996). Modes of engagement in science inquiry: A microanalysis of elementary students' orientations toward phenomena at a summer science camp. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(10), 1083-1097.
- Richmond, G., & Striley, J. (1996). Making meaning in classrooms: Social processes in small group discourse and scientific knowledge building. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(8), 839-858.
- Rubinstein, M. F., & Firstenberg, I. R. (1995). *Patterns of Problem Solving* (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Russell, T. L. (1983). Analyzing arguments in science classroom discourse: Can teachers' questions distort scientific authority? *Journal of Research in Science Teaching*, 20(1), 27-45.
- Sandoval, W. A., & Millwood, K. A. (2005). The quality of students' use of evidence in written scientific explanations. *Cognition and Instruction*, 23(1), 23-55.
- Schauble, L., Klopfer, L. E., & Raghavan, K. (1991). Students' transition from an engineering model to a science model of experiment. *Journal of research in science teaching*, 28(9), 859-882.
- Seel, N. M. (2003). Model-centered learning and instruction. *Technology, Instruction, Cognition and Learning*, 1(1), 59-85.
- Simpson, J., & Weiner, E. (Eds.) (1989). *The Oxford English Dictionary* (2nd ed., Vols.1-20). Oxford, NY: Oxford University Press.
- Stewart, J., Hafner, R., Johnson, S., & Finkel, E. (1992). Science as model building: Computers and high-school genetics. *Educational Psychologist*, 27, 317-336.
- Thier, M., & Daviss, B. (2002). *The new science literacy: Using language skills to help*

students learn science. Portsmouth, NH: Heinemann.

- Treagust, D. F., Chittleborough, G. D., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education, 24*, 357-368.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. D., & Mamiala, T. L. (2004). Students' understanding of the descriptive and predictive nature of teaching models in organic chemistry. *Research in Science Education, 34*, 1-20.
- Tuan, H. L., Chin, C. C., & Shieh, S. H. (2005). The development of students' motivation toward science learning questionnaire. *International Journal of Science Education, 27*(6), 639-654.
- Van Driel, J. H., & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling 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 modelling in science education. *International Journal of Science Education, 24*(12), 1255-1272.
- White, R. T. (1996). The link between the laboratory and learning. *International Science Education, 18*(7), 761-774.
- Wotawa, F. (1999). Model-based reasoning. *AI Communications, 12*, 1-3.
- Yore, L. D., & Hand, B. M. (2003). Examining the literacy component of science literacy: 25 years of language arts and science research. *International Journal of Science Education, 25*(6), 689-725.
- Zhang, B. H., Liu, X., & Krajcik, J. S. (2006). Expert Models and Modeling Processes Associated with a Computer Modeling Tool. *Science Education, 90*(4), 579-604.
- Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching, 39*(1), 35-62.

Apply “Modeling-based Argumentation Teaching Model” to Enhance Students’ Science Learning Achievements: An Example on the Optical Unit

Jeng-Fung Hung^{*}, Chung-Hsing Feng^{**}

Abstract

The purpose of this research is to develop a teaching model integrating modeling and argumentation, and to analyze its teaching effectiveness using it in a junior high school science lesson. A quasi-experimental design was used in this study. The research samples were 8th grade students of a Junior High School in Tainan City. The experimental group (n=34) was instructed in the “Modeling-Based Argumentation teaching model (MBA teaching model)”, while the control group (n=35) was instructed in the “Didactic Argumentation teaching model (DA teaching model)”. Students’ Motivation toward Science Learning (SMTSL), Students’ Understanding of Science Models (SUMS), and Students’ Understanding of Scientific Phenomenon (SUSP) were analyzed. The research results are as follows: The experimental group performed better than the control group in (1) SMTSL Scale ($p=.000$, $\eta^2=.516$) (2) SUMS Scale ($p=.005$, $\eta^2=.116$) (3) SUSP Scale ($p=.03$, $\eta^2=.069$). According to the results of our research, the MBA teaching model is a workable teaching model which can be used in the junior high school science curriculum to enhance the Students’ Science Learning Achievements.

Key words: modeling, argumentation, modeling-based argumentation teaching model, science learning achievements

* Professor , Graduate Institute of Science Education, National Kaohsiung Normal University

** Ph. D Candidate , Graduate Institute of Science Education , National Kaohsiung Normal University

