

國立臺灣師範大學教育心理與輔導學系
教育心理學報，民 99，41 卷，4 期，751-772 頁

模型化活動模組對國小學童 科學推理能力之促進效果*

李光烈

劉嘉茹

江新合

國立高雄師範大學
科學教育研究所

本研究的目的是探討模型化活動模組對國小學童科學推理能力的影響。參加的對象是由高雄市某國小六年級的班級中，以非隨機分派的方式，選取兩個班共有 72 位學生，一班為實驗組 36 人，另一班為控制組 36 人。活動內容以「水溶液」單元為主，活動期間五週。活動後，兩組分別施於兩種不同的推理測驗：1. 領域特定（水溶液）的科學推理測驗。2. 一般科學推理測驗（Lawson, 1978, 1995）。結果顯示：實驗組在兩種不同的科學推理測驗分數，都顯著高於對照組。實驗組學生在含有領域特定的科學推理測驗分數較高，其中體積守恒、控制變因的向度，達顯著性差異。本研究建議，當對科學現象的觀察要產生深層的理解時，老師可嘗試讓學生運用意象推理和說明，以調適預測和觀察之間的矛盾。

關鍵詞：科學推理能力、模型化活動

在過去十年科學教育改革中，模型和模型化（modelling）在教學與學習的重要性，已經漸增地被確認（Giere, 1991; National Research Council, [NRC], 1996; American Association for The Advancement of Science, [AAAS], 1993）。且目前也被考慮整合成為科學素養的一部分（Gilbert & Boulter, 1998）。Gilbert 和 Boulter 認為模型可定義為是一種想法、目標（object）、事件、過程或者一種系統的表徵；模型化（modelling）就是對上述各種表徵的行動。有一些研究（Justi & van Driel, 2005a）根據 Hodson 在 1992 年所提的科學教育目標，指出模型和模型化在科學教育上有三個重要的角色：1. 學習科學：學生應該了解主要科學模型的本質、範圍和限制；2. 學習有關科學：學生應該能夠在科學調查結果的鑑定與傳播中認識模型的角色（Justi & Gilbert, 2003）；3. 學習如何做科學：學生應該能夠創造、表達和測試他們擁有的模型（Greca & Moreira, 2000; Harrison & Treagust, 2000），要達成這些目標，最關鍵的就是科學模型化（science modelling）（Justi & Gilbert, 2002a）。

* 本篇論文部分內容曾發表在 the 19th ICCE at the Sookmyung University in Seoul, Korea.

通訊作者：李光烈，通訊方式：science@mail.ccps.kh.edu.tw。

Justi 和 van Driel 認為模型化活動，可提供老師監控學生從初始的心智模型到建立科學或歷史模型的理解和進展 (Duit & Glynn, 1996)，根據 Sins、Savelsbergh 和 van Joolingen (2005) 的研究經由模型化的推理，可使學生對複雜現象有深層的理解。Justi 和 van Driel (2005b) 也提出模型和模型化在科學教學與學習的理由：(A) 模型在科學扮演著不可或缺的角色，如使抽象的實體視覺化 (Francoeur, 1997)，提供一種預測構想的基礎 (Erduran, 2001)。(B) 模型和模型化特別符合 Hodson 的三個科學教育目的：學習科學，學習關於科學、學習做科學 (Justi & Gilbert, 2002b)。所以經由模型和模型化探討學生科學的學習是值得研究的課題。

通常一般性科學推理的基本型態是以「若 P 則 Q」的命題形式呈現，是一種條件式推理 (conditional reasoning)，典型的例子如 Wason (1968)「E、K、4、7」卡片的選擇作業，它需符合該作業的法則 (若卡片的一面有一個母音字母，則它的另一面會有一個偶數數字)，才可以將卡片翻面，結果發現只有少於 10% 的參與者會把正確的「7」翻面，但根據 Johnson-Laird、Legrenzi 和 Legrenzi (1972) 的研究發現當這個卡片的選擇作業，加入了較有意義的背景情境，有 81% 的參與者正確回答了這個問題，Johnson-Laird 等人認為要達成這種邏輯性的結論，需要先熟悉問題的情境，就能在問題情境的脈絡中，辨認出因果的關係，不完全需要邏輯法則，也就是說當個體透過特定領域知識解決推理作業時，能建構出對本身產生意義的心理表徵，就能覺察到變因，推論出合理的結論。另外，知識和推理的關係研究，Tytler 和 Peterson (2005) 研究發現知識和推理會相互作用，當概念性知識在影響學童執行推理作業時，同時，學童對自己的說明如有評價和重新考慮的能力和傾向，也會嚴重地影響學童的概念成長。是以，探討學生對有無蘊含特定領域知識的科學推理作業反應，可提供我們更進一步的了解學生在科學推理時，所遭遇到的問題。

綜合上述，本研究的目的有二：

- (一) 探討「模型化活動」對小六學生科學推理成效之影響。
- (二) 探討領域特定的水溶液知識與一般性科學推理能力之關係。

根據上述研究的目的，本研究的問題如下：

- (一) 模型化活動後，實驗組與對照組學生在兩種不同科學推理測驗是否有差異？
- (二) 實驗組與對照組學生在兩種不同科學推理測驗作答反應的關聯情形？

一、模型化活動的理論基礎

為建立模型化活動的理論基礎，以下先從心智模型的推理歷程、模型化推理歷程加以闡述，再提出模型化推理歷程的理論模型，以作為活動設計的理論基礎。

(一) 心智模型的推理歷程

心智模型的推理歷程研究依目的的不同，主要分為兩類：訊息處理取向和建模學習取向。

1. 訊息處理取向的推理歷程

在這方面最具代表性的便是 Johnson-Laird (1983) 心智模型的推理歷程，他認為當人們經由直接的知覺或理解語言的敘述後，會建立個人的心智模型，接著，就會仰賴這些心智模型進行推理，也就是根據前提的意義和一般知識，對前提所敘述的事件狀態建構類似於真實世界的心理表徵，不需運用邏輯法則 (Polk & Newell, 1995)，其推理歷程分為三階段：(1) 理解階段：理解前提的語意與訊息，加以編碼，建構一些與背景知識有關的視覺化心智表徵。(2) 發展階段：前提各種模型的隱含、複雜或負荷較大的關係被處理並組合起來形成一個整合的模型 (或一組模型)，最後被以簡約的模型加以描述，形成暫時性結論。(3) 確證階段：搜尋所有可能的反例證或替代

模型，以確證暫時性結論是否錯誤，若發現結論錯誤，可能回到理解或發展階段而重新編碼。上述心智模型用於關係推理時，個體會透過直接表徵呈現前提（問題表徵），如呈現圖畫或操作物，透過操作能減縮認知容量的負荷，特別有助於關係複雜前提之整合（Andrew & Halford, 1998）。

2. 建模學習取向的推理歷程

Justi 和 Gilbert (2002a) 基於 Clement (1989) 探討心智模型在科學概念理解，所扮演的基礎角色，而形成的模型建構環（假說發展）：科學假說的形成、評價、修正，以及為達成 Hodson 在 1992 年所提的三個科學教育目的：學習科學，學習關於科學、學習做科學，發展了「模型化的模式」(model of modeling) 的架構，以促進科學模型化學習的教學，其分成四個階段：(1) 選定目標：人們要形成現存的共識模式 (consensus model)、修正已存在的模式，或者是重新產生一個新的模式，都必須要清楚的知道目標的定位。(2) 心智模式的產生與表達：在選定目標的過程中，要涉及到一些初始的、直接或間接、質或量以及現象塑模的經驗，以產生有結構圖像 (structure mapping) 的心智模式。對所產生的心智模式可以用實體的、視覺的、口語的或是數學的方式來表達，而表達的過程可以視為是心智模式一個週期性的發展過程。(3) 思考實驗：在心中執行理性的評價 (思考實驗) 以探索上述心智模式表徵的意涵，如果覺察到不合理則進行心智模式的修正或放棄原有的模式。(4) 經驗測試：思考實驗若是成功則進行實徵的測試，在實徵測試的過程中，需要實際的操作並且收集資料進行分析，如果錯誤，則模式再進行修正。上述建模學習取向的推理歷程，著重在內在的心智運作及理性的評價，促使學生以心智建模的思考方式學習科學。

(二) 模型化推理歷程

模型化推理歷程的研究依關注焦點的不同，主要分為兩種：生手觀點和專家觀點的模型化推理歷程。

1. 生手觀點的模型化推理歷程

Sins 等人 (2005) 認為模型化的過程是非常複雜和需要鷹架，所以為了提供適當的支持，此研究深入了解生手（學生）在物理領域運用推理過程和模型化作業期間所遭遇的困難，並提出模型化的推理歷程，包含五部份：(1) 分析 (Analyze)：學生分析正要研究的現象成為模型的一部分和確認重要的模型元素（如定量或定量之間的關係），在模型中是可被執行的。大部分的模型化活動和這個分析的推理過程相關連，是在模型化作業的定向階段完成。(2) 歸納推理 (Inductive Reasoning)：歸納性推理發生在學生猜測模型的元素如何交互作用和模型將如何起作用的假設時。(3) 量化 (Quantify)：當學生建構初步的模型，學生對於模型的元素和關係藉由更精確的數學形式表達他們的想法。(4) 說明 (Explain)：指學生澄清模型的元素相互之間為什麼相關，也就是他們提出為什麼一個因素會引起其他因素改變的理由。(5) 評價 (Evaluate)：指學生必須連接他們所產生的模型和實驗結果，以評價和確證他們的模型。上述的模型化推理，可提昇學生對複雜現象深層的理解，但在模型化推理的過程中，學生會遭遇到困難，需要教師提供適當的鷹架支持。

2. 專家觀點的模型化推理歷程

Löhner、van Joolingen、Savelsbergh 和 van Hout-Wolters (2005) 綜述了不同學者在模型化推理歷程的研究，如對生手推理，採歸納的觀點研究 (Hogan & Thomas, 2001) 而基於專家立場，則採規範的觀點，產生理想模型化過程的描述 (de Jong et al., 2002)，並概要出探究式模型化的推理歷程，其分成五個主要部分：(1) 定向 (Orientation)：學習者根據和主題有關的自身經驗或從課堂獲得的先有知識，再談論所要探究事件中，不同變因的意義。(2) 假設 (Hypothesizing)：包含假設的產生和預測結果，是不同精確性的區分 (定性和定量)。(3) 實驗 (Experimenting)：對系統模擬的設計實驗。(4) 模型執行 (Model implementation)：學習者談論到他們實際建造模型的

活動情形。(5) 模型評價 (Model evaluation): 學習者對他們所建造的模型評論。上述專家觀點的模型化推理歷程, 注重在探究過程中, 專家們一般常用的推理歷程, 是為了有效的解決問題而經常使用的思考方式。

(三)、模型化推理歷程的理論模型

基於前述對心智模型和模型化的推理歷程的探討, 研究者提出了模型化推理歷程的階段, 以作為建立模型化推理活動的理論架構, 分成四個主要階段包括: 目標呈現和理解, 心智模型的產生和表達、模型的應用、模型的確證和修正等階段 (如圖 1), 說明如下:

1. 目標的呈現與理解

教師呈現實物圖像並提供差異性的問題, 其目的是使學生以既存的相關經驗察覺問題, 和分析確認重要的變因。此是整合 Johnson-Laird (1983) 的理解階段, Sins 等人 (2005) 的分析階段和 Löhner 等人 (2005) 的定向階段。

2. 心智模型的產生和表達

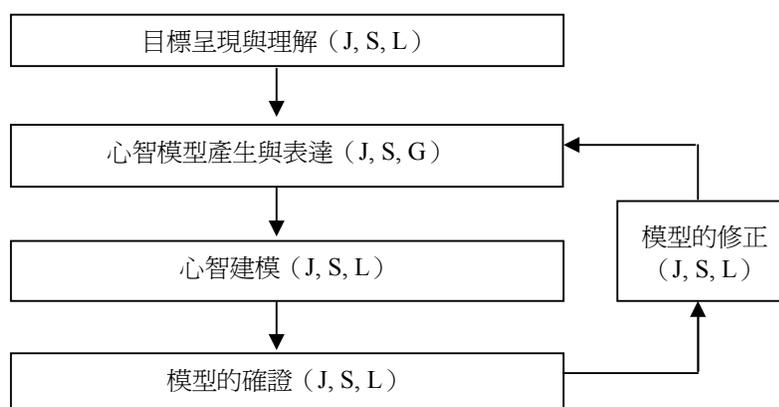
學生對事件內容與訊息的知覺或語意的理解, 加以編碼, 建構初始的心智模型, 目的是在心智模型, 並讓學生以說的、寫的、畫圖的敘述 (narrative) 方式呈現自己的整體想法, 目的是能引發學生形成適當的和整體的構想。此是參考 Johnson-Laird (1983) 對心智模型的推理歷程中的理解階段, 並依據 Sins 等人 (2005) 的歸納推理階段以及 Justi 和 Gilbert (2002a) 對學習的看法, 認為學習者的內在表徵和觀點, 經由敘事的方式, 可整體而有脈絡的展現出來。

3. 心智建模

教師提出科學社群的呈現或共識的模型, 以供學生和自己的模型作比較和模仿, 並激發學生以思考實驗的方式, 整合前提, 處理隱含、複雜或負荷較大的關係, 推論出一個暫時性的結論, 其目的是促發學生能操弄心智思考的推理。此是整合 Johnson-Laird (1983) 的發展階段與 Sins 等人 (2005) 的說明階段以及 Löhner 等人 (2005) 的設計模擬實驗和模型執行的階段。

4. 模型的確證與修正

執行思考實驗後所推論出的暫時性結論和實際所觀察的結果作比較, 以測試出和現有的證據是否相符, 作為是否要重構或修正原有的心智模型的依據, 如相符合則考慮新的心智模型的條件限制與範圍, 目的是要學生評價假設 (概念) 和證據間的合理性。此是整合自 Johnson-Laird (1983) 對心智模型的推理歷程中的確證階段, Sins 等人 (2005) 的評價階段和 Löhner 等人 (2005) 的模型評價階段, 以批判性的評價與確證其模型是否適當。



(註：括號中 J 表示引自 Johnson-Laird (1983)，S 表示引自 Sins 等人 (2005)，L 表示引自 Löhner 等人 (2005)，G 表示引自 Justi 和 Gilbert (2002a)。

圖 1 模型化推理歷程的理論模式

二、科學推理的相關研究

科學推理常被視為是科學探究中的思考過程 (Hogan & Fisherkeller, 2000)，在這方面的科學推理研究，傳統上常著重在以假說-演繹和歸納因果的形式，進行形成假說、設計實驗、控制變因、進行推論，以及統整理論和數據等一般性科學推理技能的研究 (Kuhn, Amsel & O'Loughlin, 1988; Lawson, 1995; Schauble, 1996)。這些研究是基於傳統的訊息處理模式和 Piaget 的邏輯推理理論，把這些科學推理技能視為是與內容無關之邏輯操作，而且認為這些邏輯操作使得人們能夠對具體世界作抽象表徵的運思 (Mintzes, Wandersee & Novak, 1999)。由於探究中的思考過程會涉及到知識結構，而良好的知識結構較能支持高層次的推理 (Hogan & Fisherkeller, 2000)，所以擴展一般科學推理的概念，需要關聯到特定領域 (domain-specific) 理論或概念，例如 Tytler 和 Peterson (2005) 以縱貫研究的方式，探討澳洲墨爾本國立小學學童在科學推理與概念知識成長之間的關係，研究發現，當增加與紙螺旋直昇機和降落傘這兩個作業相關的知識時 (如空氣和重量的作用會影響飛行)，學童探索的方式和確認及控制變因的能力會增長，這兩個作業，不是以傳統科學主題的方式呈現如「運動學」，而是以學童在生活中可經驗到的事件，如類比成真正的降落傘和飛機以及一般的物體掉落的運動，並從活動中獲得的知識。據此，本研究所謂的科學推理能力，係指個體能利用知識推理，在新情境下，進行理解、分析、推論，運用訊息預測結果的能力。

在科學推理測驗方面，大部份把科學推理當做科學認知領域評量的面向之一，就國外而言，例如，美國全國教育進展評量 (National Assessment of Educational Progress, NAEP) 的科學教育成就評量架構，由二個主要面向所組成：科學領域 (fields of science) 和認知領域 (knowing and doing science)。認知領域評量面向分為三個範疇：(1) 概念理解—評量運用在科學研究歷程中的基本科學概念和科學方法；(2) 科學研究—測量學生使用科學方法的能力，包括訂定計劃，運用各種科學方法取得資訊，傳達研究結果等；(3) 實際推理—評量學生在新的、真實世界中應用適當科學知識、思維和行動來解決真正 (日常) 問題的能力。另外，國際教育成就調查委員會 (International Association for the Evaluation of Educational Achievement, IEA) 自一九九一年開始推動國際數學與

科學教育成就趨勢調查 (Trends in International Mathematics and Science Study, TIMSS) 的科學測驗中，科學推理也為其評量面向之一，科學認知領域則涵蓋以下三項：(1) 事實性知識 (factual knowledge)，評量記憶/識別；描述；概念...等技能；(2) 概念性理解 (conceptual understanding)，評量區分/比較/分類；描繪等技能；(3) 推理與分析 (reasoning and analysis)，讓學生在不熟悉的背景下，利用科學推理來解決問題、發展解釋...等。國內部份，全國性的國中基本學力測驗，其測驗內容是以九年一貫自然學科能力指標「科學認知」所規範的範圍作為命題的核心。其中科學推理的試題部分，強調學生能依資料推測其屬性及其因果關係。綜合上述的探討可知，科學推理和概念理解是隸屬於「科學認知」的兩個不同部份，而目前在科學教育中，經常被使用的科學推理測驗，首推 Lawson (1978, 1995) 的課堂科學推理測驗 (Classroom Test of Scientific Reasoning)，它是測量學生一般性科學推理能力 (如守恆、比例、確認和控制變因等科學推理技能)，是一種形式推理 (法則) 取向的推理測驗，就如同 Piaget 之前做過的研究一樣，常被當成是一般性推理技巧的測量工具，並沒有涉及到領域特定的陳述性知識，而且 Lawson (2003) 的研究也指出學童最少需至 11 歲 (形式運思期) 才能進行假設演繹思考，有系統的運用法則，以推論出有效的結論。但是，這種法則取向的一般性科學推理測驗，有可能低估學童關係邏輯推理的能力，因為根據 Johnson-Laird 等人 (1972) 的研究，當人們對推理作業的情境脈絡，具有相當程度的熟悉時，也就是說對特定領域的知識有相當的理解時，就能推論出合理的結論，所以，探討學生對特定領域知識推理的反應，來理解學生在科學學習上的問題，具有其重要的意義和必要性。

研究方法

本研究採準實驗研究法，茲將研究設計、研究對象、研究工具、研究設計與研究步驟說明如下：

一、研究設計與程序

為探討模式化活動模組對學童科學推理能力的促進效果，本研究採準實驗研究設計。其中，實驗組進行「模型化活動模組」教學，對照組則依照教學指引的內容與程序實施教學活動，以上兩組皆採用符合現行九年一貫課程之相同單元教材，自變項為教學策略、依變項為科學推理測驗的成績。由研究者本身擔任實驗組「模型化活動模組」的教學，研究者曾在科學教育研究所修讀過相關的課程，並曾經在自己所擔任的班級實際進行過相關主題的教學。而另一班為「對照組」由有師院數理教育背景的同年段老師擔任教學。

實驗進行的程序為：前測 (課堂科學推理測驗)、實驗處理 (模型化活動)、後測 (課堂科學推理測驗和水溶液的推理測驗)；因本研究採準實驗設計，是以共變數分析 (analysis of covariance；ANCOVA) 之統計控制方法，將課堂科學推理測驗之前測結果作為共變項，調整各組間在實驗處理之前所既存的差異，再進行後測結果之統計分析，以增加實驗內在效度 (吳明隆，2003)。也就是經過調整後的變異數分析，以統計控制的方法，將足以影響實驗結果以及無法用實驗控制的方法加以排除的有關變項，利用直線迴歸分析將這些因素從變異數中剔除，之後，再利用變異數分析去考驗各組平均數之間是否有顯著差異存在 (林清山，1992)。

二、研究對象

本研究對象以高雄市一所國小六年級學童兩班：一班為實驗組 36 人、另一班為對照組 36 人，共計 72 人，進行五週教學（配合實際課程進度時間）。

三、活動模組設計

本研究以教學模組的理念來設計課程，是改編六年級自然科康軒版教科書的「水溶液」單元，本研究之教學模組的設計係配合小學自然與生活科技中的「水溶液」教材發展階段以及水溶液概念的結構循序漸進地鋪陳問題情境，以引導學習者逐步建構「水溶液」的相關概念，並以模型化的教學策略，使學生對自然現象巨觀性的觀察後，能「意象」的進入到物質微觀的世界，促進學生對抽象概念的理解。所謂意象（image）是指人在心中想像出來的圖象，本研究指學生對現象無法看見的微觀部分（如物質溶解的情形），利用想像力把自己認為合理的「圖像」描繪出來。本研究「水溶液」單元的活動模組考量的層面分為：

- （一）課程目標：強調與生活的連結、培養學童推論思考與科學過程技能的能力。
- （二）教學策略：依據本研究建構的「模型化推理歷程的理論模型」，設計模型化活動的教學策略（如表 1），進行教學活動，引導學生達成教學目標。
- （三）科學概念：以「水溶液」單元的內容結構，循序漸進地鋪陳問題情境，主要的概念有：物質的溶解、水溶液的酸鹼性質、自製酸鹼性試紙、酸鹼中和、水溶液的導電性。
- （四）學習情境：為學生營造一個合作學習的情境。

「教學策略」部分：研究者根據所建構的「模型化推理歷程的理論模型」，設計模型化活動的教學策略，底下學水溶液單元中「物質溶解」的例子說明（如表 1）。而對照組的活動設計則採用現行教材之相同單元，依照教學指引的內容與程序實施教學活動，並在教學的過程中提出問題以確認學生是否已經學會課本上的概念。研究者比對實驗組與對照組在「水溶液」單元的教學設計，整理出活動內容對照表（如表 2）。由表 2 可知，實驗組與對照組的教學節數一樣，都是 18 節，共計七百二十分鐘，兩位老師必須依據教學指引，要達成的活動目標也是一樣的，在「水溶液」單元所用的教學策略：實驗組為模型化活動的教學策略（如表 1），對照組為一般慣用的教學，其教學策略包含：觀察、假設、實驗、討論、歸納結果等。兩組之間主要的差異是，實驗組著重在差異性事件的預測與觀察後，以繪圖說明的方式，呈現出推理性的連環圖，目的是為了對現象無法看見的微觀部分（如物質溶解的情形），利用想像力把自己認為合理的「圖像」描繪出來。

四、研究工具

（一）一般性課堂科學推理測驗（General Classroom Test of Scientific Reasoning, GSR）

本測驗係譯自 Lawson（1995）課堂科學推理測驗（Classroom Test of Scientific Reasoning），其測驗原有的向度：題一是「重量守恒」、題二是「體積守恒」、題三和題四是「比例」、題五和題六是「確認變因」、題七和題八是「控制變因」、題九和題十是「機率」、題十一是「組合」、題十二

是「相關」，共計十二題。題目型式採二階段（two-tier），第一階段依題意選擇適當的答案，第二階段為開放性方式說明或解釋第一階段所選擇的答案。本測驗答對一題得一分，最後計算得分與總分，得分愈高，表示推理能力愈佳。以 142 位六年級學生進行預試，信度方面，內部一致性係數 α 為 .803，難度指數在 .21 至 .53 之間。

表 1 「物質溶解」模型化活動的教學策略

階段	教學策略	活動實例
目標呈現和 理解	1. 提出兩種有差異性的實驗情境，提問誘發學生預測會有何不同？並說明理由？ 2. 進行差異性實驗並提醒學生仔細觀察和比較，操弄了什麼不同變因？並比較實驗的結果有何不同？	【預測】：在燒杯中，裝有 100 毫升的水，分別把一平匙和八平匙的硼酸加入後並攪拌，使其溶解成水溶液，你猜硼酸在裝有水的燒杯中 有什麼變化？為什麼你會有上述的預測？ 【觀察】：請比較一平匙硼酸和八平匙硼酸溶解在水中的情形，有何不同？
心智模型的 產生和表達	利用意象模擬的方式，促發心智模型產生，並以畫圖和說明的方式表達本身初始的心智模型。	【說明】：假想你有一雙可「看到」非常微小的『顯微鏡眼睛』，請把上述在『裝有水的燒杯中』，可能產生了什麼『事件』，才會使「硼酸」發生上述變化的「圖像」描繪出來？
心智建模	以意象推理（思考實驗）的方式，選擇和整合情境中的訊息形成一問題表徵，並推論出一個暫時性的結論。	請依下列問題，畫出推理性連環圖？ a. 我把「硼酸」剛放入『裝有水的燒杯中』時，會想像成什麼？（畫圖） b. 「硼酸」在『裝有水的燒杯中』會發生了什麼情形？（畫圖說明） c. 推測「硼酸」看不見的現象是如何造成的？
模型的確證 和修正	對所推論出的暫時性結論做新的預測，並設計實驗檢驗。	根據上述推測的結論，提出新的預測並設計可以測試新預測的實驗並比較看看符合不符合？如不符合你會把前述的構想，修正成什麼？

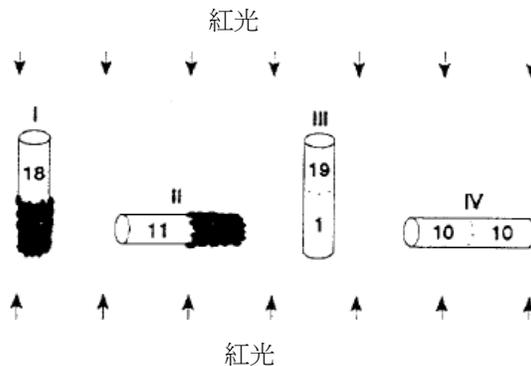
表 2 實驗組與對照組「水溶液」單元的活動內容對照表

活動目標	A-1 觀察物質溶解在水中的現象。						
	A-2 透過實驗過程，學習操作控制變因的方法。						
	B-1 從實驗過程中，察覺水溶液中的水蒸發後，可以析出溶解的物質。						
	B-2 利用石蕊試紙檢驗水溶液酸鹼性						
	B-3 透過實驗和討論，察覺酸性溶液和鹼性溶液混合後，水溶液的酸鹼性質會改變。						
B-4 說出酸與鹼作用在日常生活的應用。							
C-1 透過實驗操作過程，了解有些水溶液具有導電的性質。							
組別	教學策略					教學活動名稱	
實驗組	模型化活動					A. 物質溶解在水中，還存在嗎？ B. 怎麼知道水溶液有酸鹼性？ C. 水溶液會導電嗎？	
	階段	1.目標呈現 和理解	2.心智模型 產生和表達	3.心智 建模	4.模型 確證		5.模型 修正
	策略	觀察差異性 事件	意象模擬	意象推理	推論出暫時 性結論		修正暫時性 結論
對照組	現行九年一貫課程教學指引的教學活動					A. 溶解的觀察。 B. 水溶液的酸鹼性。 C. 水溶液的導電性。	
	策略	觀察	假設	實驗	討論	歸納 結果	

底下以本測驗的第七題：控制變因，舉例如下：

一般性課堂科學推理測驗 (GSR)：

7. 如下圖，各有 20 隻果蠅先被放入四個透明試管中，然後把試管口封起來。並在試管 I 和試管 II 一半的地方用黑紙包起來，試管 III 和試管 IV 則沒有用紙包住。每一支試管懸吊在半空中，並用紅光照射約五分鐘。五分鐘之後，試管內蒼蠅分佈的數量如圖中試管內的數字。由此實驗可以知道果蠅的分佈數量是受什麼因素影響？



(1) 受紅光的影響，而與地心引力無關 (2) 受地心引力的影響，而與紅光無關 (3) 受紅光和地心引力兩者因素的影響 (4) 與紅光和地心引力兩者因素都無關。

請說明為什麼？

(二) 自編領域特定(水溶液)的科學推理測驗(Domain-specific scientific reasoning, 簡稱 DSR)

本測驗的目的是評量受試者對領域特定(水溶液)的科學概念理解之情形。DSR 的測驗係參考和對應上述課堂科學推理測驗各題的向度和二階段方式編制十二題題目，測驗內容則以「水溶液」單元的重要概念為主，其概念有：物質的溶解、水溶液的酸鹼性質、自製酸鹼性試紙、酸鹼中和，設計適合國小高年級程度的二階段試題。試題編制完成後，請一位科學教育專家(化學領域)和兩位國小資深自然科教師進行審題。修正後以 142 位六年級學生進行預試(預試的學生已學過水溶液單元且不參與實驗組和對照組)，預試的結果，信度方面：內部一致性係數 α 為 .796，難度指數在 .28 至 .68 之間。

底下以本測驗的第七題：控制變因，舉例如下：

「水溶液」推理測驗(DSR)

7.100C.C 的醋酸水和 50C.C 的小蘇打水加在一起後，攪拌五分鐘，用紅色石蕊試紙測試的結果是變成藍色，用藍色石蕊試紙測試的結果不變色。由此試驗可以知道，會影響此水溶液酸鹼性的因素是什麼？

- (1) 與水溶液體積多少有關，而與物質溶解量無關。
- (2) 與物質溶解量多少有關，而與水溶液體積無關。
- (3) 與水溶液體積和物質溶解量兩者都有關。
- (4) 與水溶液體積和物質溶解量兩者都無關。

請說明為什麼？

五、資料分析

首先，是關於整體教學效果的統計分析，由實驗組和對照組在「兩種不同的科學推理測驗」上所得的結果，進行單因子多變量共變數分析，將教學實驗前所獲得的「課堂科學推理測驗」前測的成績視為共變量，經排除共變量的影響後，考驗問題一的假設，以探討教學實驗產生的效果及比較兩組之間的差異情形。

接著，比較實驗組學生在兩種不同科學推理測驗中的「守恆」、「比例」、「確認變因」和「控制變因」、「機率」、「組合」、「相關」等分測驗作答反應的情形；並根據結果分析進行討論。本研究將科學推理測驗第二階段開放性回答的資料(如代碼【DSR 測驗：6-3-1】DSR 測驗代表一般性課堂科學推理測驗，6-3-1 代表六年三班 1 號學生)，依推理反應的類型加以分析。類型係參考心智模式的推理歷程(Johnson-Laird, 1983)，分析學童在科學推理可能的反應，四種推理反應的類型為：(1) 無關或沒有反應：與前提訊息無關的反應或無法判斷。(2) 直觀反應：直接依所知覺的物體特性進行判斷。(3) 經驗反應：根據主觀的生活經驗或信念作判斷。(4) 理解反應：會根據問題情境中對特定概念的理解而進行判斷。現以學生在「控制變因」推理反應類型為例說明(詳見表 9)。上述的分析，採評分者間信度，以確保資料分析結果之一致性，其實際分析的方式如下：參與評分者除了研究者本身外，還有一位科學教育博士(化學背景)，研究者首先向這位評分者說

明四種推理反應類型的內涵與判準，然後，先試著任意抽取五位學生的資料進行分類，並討論分類的結果，最後，正式的分別進行分類學生的資料，結果兩人共同分類的相似度達 98%，顯示資料分類的一致性相當良好。

研究結果與討論

一、實驗組和對照組學生在兩種不同科學推理測驗的差異情形

(一) 共變數分析的基本假定檢測

首先，根據實驗組和對照組在兩種不同的科學推理測驗的表現所獲得的平均數與標準差（如表 3），進行多變量和單變量之變異數同質性考驗，其 Box 多變量變異數同質性檢定之 $F(1, 68) = .33, p = .80 > .05$ ，未達顯著水準和 Levene 單變項變異數同質性檢定也未達顯著水準（DSR 測驗： $F(1, 68) = 1.84, p = .18 > .05$ ；GSR 測驗： $F(1, 68) = .08, p = .78 > .05$ ），表示都未違反變異數同質性假定，意謂實驗組和對照組的離散情形無明顯差別。其次，進行多變量及單變量之組內迴歸係數同質性檢定，其多變量組內迴歸係數同質性檢定之 Wilks' $\Lambda(1, 68) = .98, F(1, 68) = .50, p > .05$ ，未達顯著水準和單變量組內迴歸係數同質性檢定也未達顯著水準（DSR 測驗： $F(1, 68) = .63, p = .80 > .05$ ；GSR 測驗： $F(1, 68) = .86, p = .36 > .05$ ），表示各組迴歸線的斜率相同，亦即各組受共變量（課堂科學推理測驗前測）影響程度都相同，可進一步進行單因子多變項共變數分析。

表 3 實驗組和對照組在兩種不同推理測驗前測、後測及調整後之平均數摘要表

組別	人 數	GSR (前測)		DSR (後測)				GSR (後測)			
		平均數	標準差	平均數	標準差	平均數 (調整 後)	標準 差(調 整後)	平均數	標準差	平均數 (調整 後)	標準差 (調整 後)
實驗組	36	2.11	1.55	6.47	3.61	6.23	.532	3.69	2.62	3.24	.174
對照組	36	2.07	1.49	4.75	3.09	4.99	.532	2.16	2.37	2.63	.174
平均	72	2.09	1.52	5.61	3.45			2.93	2.60		

(二) 單因子多變項共變數分析之檢定

由表 4 結果可知，排除課堂科學推理測驗前測之影響，實驗組和對照組在兩種不同推理測驗之差異達顯著水準（Wilks' $\Lambda(1, 68) = .92, p < .05$ ），表示實驗組和對照組在不同推理測驗的整體性上有明顯差異，而由單變量 F 值可發現，這種差異在「水溶液」推理測驗和課堂科學推理測驗也都達顯著差異（DSR 測驗： $F(1, 68) = 2.64, p = .03 < .05, MSE = 9.98$ ；GSR 測驗： $F(1, 68) = 6.07, p = .01 < .05, MSE = 1.06$ ）。由表 3 可知，實驗組和對照組在「水溶液」推理測驗成績的調整後平均數分數各為：實驗組 = 6.23 > 對照組 = 4.99，而在課堂科學推理測驗成績的調整後

平均數分數各為：實驗組 = 3.24 > 對照組 = 2.63，表示「水溶液」推理測驗成績和課堂科學推理測驗成績上，實驗組都比對照組高。其實驗效果量部分：課堂科學推理測驗 ($\eta^2 = .081$)、「水溶液」推理測驗 ($\eta^2 = .037$)，都屬於小效果。此研究結果，肯定本研究所設計的模型化活動在促進學生科學推理成效上有其效果。

表 4 實驗組和對照組在兩種不同推理測驗之單因子多變項共變數 分析摘要表

變異來源	df	SSCP'		多變量 (<i>A</i>)	單變量 (<i>F</i>)	
		DSR	GSR		DSR	GSR
常數	1	U_1	U_1'			
組間 (排除共變項)	1	$\begin{pmatrix} 26.35 & 13.04 \\ 13.04 & 6.45 \end{pmatrix}$.92*	2.64* (9.98)	6.07* (1.06)
共變項 (排除實驗 設計效果)	1	$\begin{pmatrix} 103.28 & 194.24 \\ 194.24 & 365.33 \end{pmatrix}$.16*	10.35*	343.86*
組內 (排除共變項)	68	$\begin{pmatrix} 688.45 & 99.45 \\ 99.45 & 73.31 \end{pmatrix}$				
總和	71					

註：1.單變量 (*F*) 小括號內數字為 *MSE* 值。

2. * $p < .05$

二、兩組學生在不同科學推理測驗的作答反應

為了探討領域特定的水溶液知識與一般性科學推理能力之關係，本研究以比較兩組學生在不同科學推理測驗之作答反應情形來回答，但由於篇幅的關係，本研究僅以實驗組在「水溶液」推理測驗和一般性課堂科學推理測驗達顯著差異 ($t(70) = 4.02, p < .05$) 之各成對子項：體積守恆 ($t(70) = 2.64, p < .05$)、控制變因 ($t(70) = 5.57, p < .05$)，作為討論項目並以卡方考驗分別進行「科學推理測驗、組別、推理反應類型」三個類別變項之多重列聯表分析。

(一) 體積守恆方面：

由表 5 可知，當以科學推理測驗為控制變項時，在 GSR 測驗中，組別與推理反應的類型沒有顯著不同， $\chi^2(3, N = 72) = 2.649, p = .481 > .05$ ，兩組在 GSR 測驗中的推理反應類型分布沒有差異。而在 DSR 測驗中，組別與推理反應類型則達顯著差異， $\chi^2(3, N = 72) = 8.665, p = .034 < .05$ ，

由表 6 和表 7 資料可知，實驗組學生在 DSR 測驗中推理反應各經驗（無關、直觀、經驗、理解）的比例分別為 6%、19%、53%、22%，而控制組的比例分別為 14%、44%、25%、17%，實驗組學生形成「經驗」和「理解」等類型的人數比例比控制組高。

表 5 「科學推理測驗、組別、推理反應類型」多重列聯表分析結果摘要表

檢驗方式	控制水準	考驗值	自由度	顯著性
以推理測驗為控制變項				
Pearson 卡方檢驗	GSR 測驗	2.649	3	.481
	DSR 測驗	8.665	3	.034*
Tau 非對稱關聯係數	GSR 測驗	.011	-	.512
	DSR 測驗	.054	-	.010*
列聯係數（對稱係數）	GSR 測驗	.182	-	.481
	DSR 測驗	.328	-	.034*
以組別為控制變項				
Pearson 卡方檢驗	實驗組	15.114	3	.002*
	控制組	2.261	3	.520
Tau 非對稱關聯係數	實驗組	.077	-	.001*
	控制組	.006	-	.718
列聯係數（對稱係數）	實驗組	.417	-	.002*
	控制組	.174	-	.520

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

以組別為控制變項時，在實驗組中，科學推理測驗與推理反應類型有顯著關聯， $\chi^2(3, N = 72) = 15.114$, $p = .002 < .05$ ，表示實驗組學生的推理反應類型會受到不同科學推理測驗的影響，由表 6 和表 7 資料可知，實驗組學生在 GSR 測驗的推理反應各類型（無關、直觀、經驗、理解）比例分別為 28%、42%、19%、11%，而 DSR 測驗的比例分別為 6%、19%、53%、22%，實驗組學生在 DSR 測驗形成「理解」和「經驗」等類型的人數比例較 GSR 測驗高。而在控制組中，科學推理測驗與推理反應類型沒有顯著關聯， $\chi^2(3, N = 72) = 2.261$, $p = .520 > .05$ ，表示控制組學生受到科學推理測驗的影響較小。

表 6 學生在「體積守恆」之科學推理反應類型、特徵與舉例

類型	特徵摘要	舉 例
無關 或 沒有 反應	理由和問題內容沒有關係或沒有說明理由。	「比量筒 1 來的高」【GSR 測驗：6-3-2】
		「量筒寬度不同」【GSR 測驗：6-5-7】
		「水溫高溶的快」【DSR 測驗：6-3-34】
直觀 反應	體積在直觀上比重量較不容易被知覺到。	「因爲鐵球較重，放下去水裡時，一定比放玻璃球的高。」【GSR 測驗：6-3-27】
		「因爲鐵球比玻璃球重，放到水裡時，水位就升的比較高。」【GSR 測驗：6-5-8】
		「加鹽在水中不會改變水位的體積，只會改變水的重量而已」【DSR 測驗：6-3-3】
經驗 反應	鹽溶解成水溶液，無法直觀到鹽在水中的體積。	「因爲乙杯放的鹽比較多」【DSR 測驗：6-5-11】
		「因爲重物壓下，水面會上升，鐵球比較重，壓下時水面當然上升的多」【GSR 測驗：6-3-27】
		「物體愈重，推開的水就愈多。」【GSR 測驗：6-5-26】
理解 反應	把物體「壓入」水中時，水位會上升；物體「愈重」，水就會排開愈多。	「甲放兩匙的鹽就溶解了，乙放四匙的鹽，當然要放多一點水才能溶解。」【DSR 測驗：6-3-31】
		「不管溶解多少溶質，只會增加重量，不會增加水量。」【DSR 測驗：6-5-5】
		「物品放入水中後水升高，要看體積，而鐵球和玻璃球一樣大，所以一樣高」【GSR 測驗：6-3-1】
理解 反應	同體積物體沈入水中後，上升的水量和體積有關。 球一樣大就是體積一樣。 鹽溶解後，雖看不見，但還是存在。	「因爲球一樣大」【GSR 測驗：6-5-20】
		「因硼酸雖然溶解，但還是有重量和體積，所以水會增高。」【DSR 測驗：6-3-38】
		「因鹽也占有體積，加到水裡不會不見，只是看不到。」【DSR 測驗：6-5-40】

表 7 兩組學生在「體積守恆」之科學推理反應類型、人數與百分比

科學推理測驗		GSR 測驗				DSR 測驗			
反應類型	無關	直觀	經驗	理解	無關	直觀	經驗	理解	
組別	實驗組 (N=36)	10 人 28%	15 人 42%	7 人 19%	4 人 11%	2 人 6%	7 人 19%	19 人 53%	8 人 22%
	對照組 (N=36)	6 人 17%	18 人 50%	10 人 29%	2 人 6%	5 人 14%	16 人 44%	9 人 25%	6 人 17%

再進一步以關聯係數來比較，實驗組在模式化活動與形成具有科學的推理反應類型之關聯強度 ($Tau = .077$ ，列聯係數 = .417) 均大於控制組 ($Tau = .059$ ，列聯係數 = .267)，更加顯示不同科學推理測驗的確對實驗組學生在「體積守恆」推理產生影響。

綜上所述，在體積守恆方面的結論為 DSR 測驗中，兩組在推理反應類型有顯著差異，實驗組學生產生「經驗」和「理解」等較佳的推理反應類型比控制組多。在實驗組中，學生在不同科學推理測驗所產生的推理反應類型也有顯著差異，DSR 測驗比 GSR 測驗，呈現較多的「經驗」和「理解」等較佳的推理反應類型。本研究認為在 GSR 測驗中，學生大都認為重量較重物體，會使水位上升的較高，這可能因為體積是形式概念 (Brainerd & Allen, 1971) 在直觀上比重量概念較不容易被知覺到，以及學生對體積概念缺乏所造成的 (Hewson, 1986)，而在 DSR 測驗中，學生會透過並想像鹽在水溶解後的情境，建立鹽太小看不見，但它還是存在並佔有空間的體積觀念，合理地推理出水位變高的結論。

(二) 控制變因方面：

由表 8 可知，當以科學推理測驗為控制變項時，以 GSR 測驗而言，組別與推理反應類型的類型沒有顯著關聯， $\chi^2(3, N = 72) = 4.685, p = 1.96 > .05$ ，兩組在 GSR 測驗中的推理反應類型分布沒有差異。另以 DSR 測驗而言，組別與推理反應類型則有顯著關聯， $\chi^2(3, N = 72) = 19.240, p = .000 < .01$ ，由表 9 和表 10 資料可知，實驗組學生在 DSR 測驗的推理反應各類型（無關、直觀、經驗、理解）的比例分別為 14%、28%、36%、22%，而控制組的比例分別為 47%、42%、8%、3%，實驗組學生形成「理解」和「經驗」等類型的人數比例比控制組高。

如以組別為控制變項時，就實驗組而言，科學推理測驗與推理反應類型有顯著關聯， $\chi^2(3, N = 72) = 10.244, p = .017 < .05$ ，表示實驗組學生的推理反應類型會受到不同科學推理測驗的影響，由表 9 和表 10 資料可知，實驗組學生在 GSR 測驗的推理反應各類型（無關、直觀、經驗、理解）比例分別為 30%、47%、17%、6%，而 DSR 測驗的比例分別為 14%、28%、36%、22%，實驗組學生在 DSR 測驗形成「理解」和「經驗」等類型的人數比例較 GSR 測驗高。就控制組而言，科學推理測驗與推理反應類型沒有顯著關聯， $\chi^2(3, N = 72) = 3.386, p = .336 > .05$ ，表示控制組學生受到科學推理測驗的影響較小，也就是不同科學推理測驗所產生的推理反應類型差異不大。

表 8 「科學推理測驗、組別、推理反應類型」多重列聯表分析結果摘要表

檢驗方式	控制水準	考驗值	自由度	顯著性
以推理測驗為控制變項				
Pearson 卡方檢驗	GSR 測驗	4.685	3	1.96
	DSR 測驗	19.240	3	.000**
Tau 非對稱關聯係數	GSR 測驗	.015	-	.362
	DSR 測驗	.059	-	.000**
列聯係數（對稱係數）	GSR 測驗	.247	-	.196
	教學中	.459	-	.000**
以組別為控制變項				
Pearson 卡方檢驗	實驗組	10.244	3	.017*
	控制組	33.86	3	.336
Tau 非對稱關聯係數	實驗組	.045	-	.021*
	控制組	.026	-	.139
列聯係數（對稱係數）	實驗組	.353	-	.017*
	控制組	.212	-	.336

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

表 9 學生在「控制變因」之科學推理反應類型、特徵與舉例

類型	特徵摘要	舉 例
無關 或 理由和問題內容沒有關係 沒有 或沒有說明理由 反應		「看不懂」【GSR 測驗：6-3-18】
		「因醋酸水較易溶解，而蘇打水較不易溶解，所以測出來是鹼性」 【DSR 測驗：6-3-36】
		「亂想的」【GSR 測驗：6-5-2】
直覺 直觀 反應 直接依水溶液體積大小， 判斷其混合 後的酸鹼性。		「因醋酸水較易溶解，而蘇打水較不易溶解，所以測出來是鹼性」 【DSR 測驗：6-5-36】
		「因為果蠅有向亮的地方走的習性」 【GSR 測驗：6-3-31】
		「因為果蠅會向有光的地方移動」【GSR 測驗：6-5-19】
經驗 反應 常看見小生物，在 發亮燈泡周圍盤旋， 藍光看起來較可怕。 經驗中，加檸檬汁 愈多，酸味愈強， 水溶液就愈濃。		「100C.C 醋酸水比 50C.C 小蘇打水多 50C.C，所以水溶液的體積 大小，會影響酸鹼性」【DSR 測驗：6-3-31】
		「因鹼性的蘇打水溶液體積大，因此水溶液會變成鹼性」【DSR 測驗：6-5-27】
		「因為昆蟲喜歡有光的地方，就會朝有光的地方飛去」【GSR 測 驗：6-3-6】
	「因為果蠅不怕光但怕藍光」【GSR 測驗：6-5-6】	
	「如果加很多檸檬水就更酸了」【DSR 測驗：6-3-3】	
	「因為醋酸水太濃了，所以會變成酸性」 【DSR 測驗：6-5-3】	

續下頁

表 9 (續)

類型	特徵摘要	舉 例
理解 反應	根據問題的數據判斷因果關係。無法看出意義。	「因為有藍光的地方就有較多的果蠅」 【GSR 測驗：6-3-7】
	酸性與鹼性作用， 醋酸溶解在水的量越多， 酸性越強。	沒有這類型的學生回答。【GSR 測驗】 「因 50C.C 小蘇打水裡的小蘇打粉可能比較多，而 100C.C 醋酸水裡的醋比較少，使水溶液變成鹼性，所以和物質溶解在水中的量有關。」【DSR 測驗：6-3-3】 「因醋酸的成分較多，所以會變成酸性」 【DSR 測驗：6-5-34】

再進一步以關聯係數來比較，實驗組學生在科學推理測驗與推理反應類型之關聯強度 ($Tau = .045$ ，列聯係數 = .353) 均大於控制組學生 ($Tau = .026$ ，列聯係數 = .212)，顯示不同科學推理測驗的確會對實驗組學生在「控制變因」推理產生影響。

綜上所述，在控制變因方面的結論為 DSR 測驗中，兩組在推理反應類型有顯著差異，實驗組學生產生「經驗」和「理解」等較佳的推理反應類型比控制組多。在實驗組中，學生在不同科學推理測驗所產生的推理反應類型也有顯著差異，DSR 測驗比 GSR 測驗，呈現較多的「經驗」和「理解」等較佳的推理反應類型。本研究認為在 GSR 測驗中，兩組學生都以直接經驗的方式確認變因，不會利用題目的數據作比較分析，判斷是何種變因影響結果。在 DSR 測驗中，可能因為實驗組學生在模型化推理活動後，誘發學生心智建模，能「意象」的進入到抽象的微觀世界，並轉換成可視覺化的圖像，作推理性的思考活動，因此理解了酸性和鹼性水溶液交互作用後的酸鹼性，會和溶解在水裡的酸性物質或鹼性物質（不可被觀察到的實體）的量有關，所以產生了確認和控制變因的能力。此呼應了 Lawson (2003) 的研究，當受試者具備對特定的陳述性知識時，可提升其確認變因的能力（包含可和不可被觀察的實體因素）。

表 10 兩組學生在「控制變因」之科學推理反應類型、人數與百分比

科學推理測驗	GSR 測驗				DSR 測驗			
	無關	直觀	經驗	理解	無關	直觀	經驗	理解
實驗組 (N=36)	11 人 30%	17 人 47%	6 人 17%	2 人 6%	5 人 14%	10 人 28%	13 人 36%	8 人 22%
對照組 (N=36)	12 人 33%	22 人 61%	2 人 6%	0 人 0%	17 人 47%	15 人 42%	3 人 8%	1 人 3%

從上述的結果與討論，研究者分析出在模型化活動中，學生對體積守恆、控制變因等推理方面的能力會較為顯著地的提升，可能是因為首先在透過差異性事件的預測與觀察活動中，減低直接依所知覺的物體特性確認變因，其次以意象的運思與推理，增進學生察覺不易從表面察覺的變因，再以心智模擬（思考實驗）的方式，整合情境中相關的變因，形成一個暫時性的結論，最後和實際實驗的結果作比較，以確證或修正先前的想法。

結論與建議

一、結論

(一) 模型化活動有效促進學生科學推理的思考

本研究模型化活動設計，包含了 1. 「目標呈現和理解」－差異性事件的預測與觀察；2. 「心智模型的產生和表達」－意象模擬；3. 「心智建模」－意象推理；4. 「模型的確證和修正」等四個不同階段的活動，其主要的目的是為了使學生透過對「水溶液」單元核心概念的理解，建構出適當和可視覺化的心智表徵，以推理出合理的結論，並因而促進其科學推理的能力。本研究以單因子多變量共變數分析發現，實驗組和對照組在兩種不同科學推理測驗之差異達顯著水準（Wilks' $\Lambda(1, 68) = .92, p < .05$ ），且實驗組都優於對照組，顯示本研究所設計的模型化活動模組，對促進學生科學推理能力的整體效益上有其正面的功效。

(二) 學生在科學推理測驗的體積守恆、控制變因向度，其作答反應呈現出四種科學推理反應的類型，實驗組比對照組呈現較多的理解反應類型

實驗組學生接受模型化推理活動後，整體上「水溶液」推理測驗成績較課堂科學推理測驗成績之表現為佳，且呈現出顯著差異，其中在「體積守恆」、「控制變因」等向度的推理測驗成績，達顯著差異。學生在科學推理測驗之「體積守恆」、「控制變因」等向度呈現出四種科學推理反應的類型：1. 無關或沒有反應。2. 直觀反應。3. 經驗反應。4. 理解反應。學生對蘊含在形式概念（如「體積守恆」、「控制變因」）的特定概念（如溶解、酸鹼性質、酸鹼中和等概念），因學生對測驗題目的特定概念有適當的理解和經驗，才較能提高其科學推理能力測驗的分數，這與 Tytler 和 Peterson（2005）認為概念性知識會影響學童執行推理作業－尤其是對特定領域的科學概念有正確性的理解，才能覺察到有效性的推理（Lawson, 2003），其結果是一致的。本研究在下一部份依上述的研究發現與結論提出一些教學上的建議。

二、建議

由於模型化推理活動可使學生對複雜現象產生深層的理解（Sins et al., 2005），也可監控學生從初始心智模型到建立科學模型的理解和進展（Duit & Glynn, 1996）。本研究結果發現，模型化活動有助於學生對科學抽象概念，會產生較深層的理解表現，是以，模型化活動之心智建模階段，以「意象」推理策略，促使學童進入到微觀的世界，察覺到不易被觀察的實體因素，以便確認出可能的變因。因此，本研究建議老師在進行這項教學活動時，應注意到以下幾點事項：

- (一) 設計具有差異性的事件或現象，而不是單一的觀察事件，使學生可以觀察、審辨（discern）及確認出關鍵性特徵（或變因）。例如，「一平匙和八平匙的硼酸分別溶解在 100 毫升的水中，會有什麼不同的情形？」，而不是「一平匙的硼酸溶解在 100 毫升的水中，會發生什麼情形？」
- (二) 利用『假想你有一雙可「看到」非常微小的顯微鏡眼睛』的提問策略，引發學生建構微觀粒子的心智模型。如「想像硼酸粉溶解在水中時，可能的「圖像」描繪出來？」
- (三) 利用上述建構微觀粒子的心智模型，以推理性連環繪圖（Drawing）的方式，讓學生在推

理作業的思考過程中，把內在認知情境呈現出視覺化的圖像表徵，以「看出」(seeing that)合理或矛盾之處的關係，進而確認出可能的變因，這是因為在關係推理時，所呈現的圖畫或操作物表徵，能減縮認知容量的負荷，尤其是關係複雜前提之整合。如呈現「硼酸粉溶解在水中時，發生了什麼變化，才會看不見呢？」的圖畫表徵。

參考文獻

- 林清山 (1992): *心理與教育統計學*。台北: 東華。
- 吳明隆 (2003): *SPSS 統計應用學習實務—問卷分析與應用統計*。台北: 知城數位科技。
- American Association for The Advancement of Science. (1993). *Benchmarks or science literacy*. NY: Oxford University Press.
- Andrew, G., & Halford, G. S. (1998). Children's ability to make transitive inferences: The importance of premise integration and structural complexity. *Cognitive Development, 13*, 479-513.
- Brainerd, C. J., & Allen, T. W. (1971). Training and transfer of density conservation: Effects of feedback and consecutive similar stimuli. *Child Development, 42*, 693-704.
- Clement, J. (1989). Learning via model construction and criticism. In J. A. Glover, R. R. Ronning & C. R. Reynolds (Eds.), *Handbook of creativity* (pp. 341-381). NY: Plenum.
- Duit, R., & Glynn, S. (1996). Mental modeling. In G. Welford, J. Osborne & P. Scott (Eds.), *Research in science education in europe*. London: The Falmer Press.
- de Jong, T., van Joolingen, W. R., Lazonder, A., Ootes, S., Savelsbergh, E. R., & Wilhelm, P. (2002). *Co-Lab specifications; Part 1 theoretical background* (Technical Report). Enschede, The Netherlands: University of Twente.
- Erduran, S. (2001). Philosophy of chemistry: An emerging field with implications for chemistry education. *Science & Education, 10*(6), 581-593.
- Francoeur, E. (1997). The forgotten tool: The design and use of molecular models. *Social Studies of Science, 27*, 7-40.
- Giere, R. (1991). *Understanding scientific reasoning*. Orlando, FL: Holt, Rinehart, and Winston, Inc.
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. (1998). Learning science through models and modelling. In B. Fraser & K. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 52-66). Dordrecht: Kluwer.
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education, 22*(1), 1-11.
- Hewson, M. (1986). The acquisition of scientific knowledge: Analysis and representation of student conceptions concerning density. *Science Education, 70*(2), 159-170.

- Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: An exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education, 14*, 541-562.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education, 22*(9), 1011-1026.
- Hogan, K., & Fisher-Keller, J. (2000). Dialogue as data: assessing students' scientific reasoning with interactive protocols. In J. J. Mintzes, J. H. Wandersee, & J. D. Novak (Eds.), *Assessing science understanding: A human constructivist view* (pp.95-127). NY: Academic press.
- Hogan, K., & Thomas, D. (2001). Cognitive comparisons of students' systems modelling in ecology. *Journal of Science Education and Technology, 10*(4), 319-345.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Johnson-Laird, P. N., Legrenzi, P., & Legrenzi, S. (1972). Reasoning and a sense of reality. *British Journal of Psychology, 63*, 336-400.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002a). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education, 24*(4), 369-387.
- Justi, R., & Gilbert, J. (2002b). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education, 24*(12), 1273-1292.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education, 25*(11), 1369-1386.
- Justi, R., & van Driel, J. (2005a). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: Promoting, characterizing, and understanding the process. *International Journal of Science Education, 27*, 549-573.
- Justi, R., & van Driel, J. (2005b). A case study of the development of a beginning chemistry teacher's knowledge about models and modelling. *Research in Science Education, 35*, 197-219.
- Kuhn, D., Amsel, E., & O'Loughlin, M. (1988). *The development of scientific thinking skills*. London: Academic Press.
- Lawson, A. E. (1978). Development and validation of the classroom test of formal reasoning. *Journal of Research in Science Teaching, 15*(1), 11-24.
- Lawson, A. E. (1995). *Science teaching and the development of thinking*. Belmont, CA: Wadsworth Publishing.

- Lawson, A. E. (2003). *The Neurological basis of learning, development and discovery: Implications for science and mathematics instruction*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Löhner S., van Joolingen, W. R., Savelsbergh, E. R., & van Hout-Wolters, B. H. A. M. (2005). Students' reasoning during modelling in an inquiry learning environment. *Computers in Human Behaviour*, 21(3), 441-461.
- Mintzes, J. J., Wandersee, J. H., & Novak, J. D. (1999). *Assessing science understanding: A human constructivist view*. Oxford, UK: Academic Press.
- National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Polk, T. A., & Newell, A. (1995). Deduction as verbal reasoning, *Psychology Review*, 102(3), 533-566.
- Schauble, L. (1996). The development of scientific reasoning in knowledge-rich contexts. *Developmental Psychology*, 32(1), 102-119.
- Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., & van Joolingen, W. R. (2005). The difficult process of scientific modeling: An analysis of novices' reasoning during computer-based modelling. *International Journal of Science Education*, 27(14), 1695-1721.
- Tytler, R., & Peterson, S. (2005). A Longitudinal study of children's developing knowledge and reasoning in science. *Research in Science Education*, 35(1), 63-98.
- Wason, P. C. (1968). Reasoning about a rule. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 20, 273-281.

收稿日期：2008年06月26日

一稿修訂日期：2008年12月01日

二稿修訂日期：2009年02月02日

三稿修訂日期：2009年04月01日

接受刊登日期：2009年04月01日

Bulletin of Educational Psychology, 2010, 41(4), 751-772

National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

Effects of Fostering Elementary Student's Scientific Reasoning Ability through Module of Modeling Activities

Kuang-Lieh Lee

Chia-Ju Liu

Shing-Ho Chiang

Graduate Institute of Science Education

National Kaohsiung Normal University

This study investigated the effect of modeling activities on scientific reasoning ability of elementary school students. Participants included 72 6th-graders from an elementary school in Kaohsiung who were nonrandomly assigned to an experimental group(n=36) and a control group(n=36). The scientific activity focused on chemical solutions that lasted for five weeks. After the activity, the two groups of students took various types of reasoning ability tests: (a) domain-specific (i.e., chemical solutions) reasoning test and (b) general science reasoning test (Lawson, 1978, 1995). Results of the study indicated that students in the experimental group scored significantly higher on both tests than students in the control group. Students in the experimental group scored higher on the domain-specific scientific reasoning test in general, and significantly higher on dimensions of volume conservation and control variables. Results suggest that when facilitating in-depth understanding of scientific phenomena, teachers may engage students in practices of imagistic reasoning and explanation to adjust the discrepancy between prediction and observation.

KEY WORDS: modeling activities, Science reasoning ability