科學爭論案例教學傳達科學本質之研究

何燿州
國立東華大學科學教育研究所
* 96p4004@ems.ndhu.edu.tw

摘　要

本研究以「日心說與地心說」、「引力波探測器」等科學史上的爭論案例為教材，促使學生瞭解科學研究過程中蘊含的社會因素，進而思考科學知識的客觀性並傳達科學本質。研究對象為花蓮縣郊區小學五年級學生二班，分別為實驗組及對照組。科學爭論案例的教材由研究者設計並在實驗組進行教學，活動流程為情境、提問、發表、討論、省思等五階段。兩組學生在教學活動前、後皆施以科學本質問卷，結果顯示實驗組在總量表及各分量表的前測、後測平均分數改變量皆大於對照組，表示實驗組學生在進行教學後較傾向當代科學哲學觀點。本研究結果顯示，科學爭論案例教學有助於學生瞭解科學本質。

關鍵詞：科學本質 (nature of science) 、科學爭論 (scientific controversies)

壹、研究背景

美國科學促進會 (American Association for the Advancement of Science，簡稱 AAAS) 在 *Project 2061: Science Literacy for a Changing Future* 中以「培養具有科學素養的公民」做為因應未來多變環境的目標 (AAAS, 1989) ；隨後在 1989 年出版的 *Science for all Americans* 及 1993 年出版 *Benchmarks for Science Literacy* 等書籍，都指出學生正確的科學本質觀是成為具備科學素養的要件之一；此外 Lederman 和 Zeidler (1987) 更認為「對科學本質的瞭解」是具有科學素養公民的重要特徵。而我國九年一貫課程自然與生活科技學習領域課程綱要，也將「科學與技術本質」列為達成基本能力的要項之一（教育部，2003）。因此，傳達科學本質的教學成為中外科學教育的重要內涵。

然而，傳達科學本質的教學在實際運作上卻有諸多困難，除了現場教師對科學本質能力指標的瞭解程度是素樸的（黃慶隆，2006）以外，學生體會科學本質內涵也有如概念改變的困難，因此傳達科學本質的教學是具有挑戰性的。

本研究以科學史上的科學爭論案例為素材，讓學生循著前人科學研究的過程，瞭解科學研究中社會因素的影響，可能有助於促進學生深思科學的本質。因此，提出研究問題為：1. 科學爭論案例傳達科學本質的教學模式為何？2. 科學爭論案例教學傳達科學本質的成效為何？

貳、文獻探討

AAAS 在 1989 年出版 *Project 2061* 的研究報告中，將科學本質分為科學的世界觀、科學探究活動、科學事業等三個領域。而 Abimbola (1983) 說明科學哲學界對科學本質的觀點，根據科學哲學觀的歷史演進，將經驗主義、實證主義、邏輯經驗主義和理性主義視為「傳統」的觀點，後實證主義視為「新」的哲學觀，而否證主義被視為介於以上兩種科學哲學間的「過渡」觀點（引自邱明富、高慧蓮，2006）。本研究以傳達科學本質的教學，促進學生傾向新的、當代的科學哲學觀點為目的。

Matthews (1994) 認為科學史在科學教學上可激發學生的學習動機，吸引學生投入科學的探究；可使教材更具人性化；可使學生認識科學的本質；可以使學生瞭解科學的不定性、可變性…等。Collins 和 Pinch (1994) 認為藉由研讀科學史事例，可以了解科學知識發展的本質，也能認識科學中較不為人知的一面，看到科學家並不全然是理性客觀的，其主觀的信念往往決定了實驗結果如何解釋。因此，藉由科學史進行科學本質教學，應該有助益的。

本研究以國小五年級學生已學習過的觀測太陽單元為出發點，擇取「日心說與地心說」的科學史事例作為教學素材，以下概述兩學說的發展過程。 Aristotle (384~322 BC.) 主張宇宙是球狀且有限的，並以地球為中心，行星和其他星體都是在這以地球為中心的球層殼上運行。而 Ptolemy (100~170 BC.) 引用 Apollonius (262~170 BC.) 的本輪與均輪的概念，和 Hipparchus (190~125 BC.) 的偏心理論，加上自己的偏心等距點理論，提出以地球為宇宙中心的宇宙體系，並在歐洲獨霸約 13 個世紀。然而這種太陽東升西落的地心說直觀現象，後來卻被 Copernicus (1473~1543) 提出的日心說所動搖（馬文蔚、唐玄之和周永平，1995）。當時 Copernicus 的日心說並不會比 Ptolemy 理論更簡單、更準確，即存在的資料並不能決定哪一個理論較為優越，而是當時的天文學家公認為危機狀態所致 (Kuhn, 1996) 。

另一個教學素材，取自 Collins (1985) 對探測引力波案例的研究。「引力波」出自 Albert Einstein (1879~1955) 廣義相對論的預言「移動物體本身會產生引力波」，然而引力波非常微弱，探測非常困難。第一個探測引力波的裝置是由馬里蘭大學的 Joseph Weber 教授設計並建造的，並在 1969 年首次表明探測到引力波，後來雖然有許多科學家重複他的實驗，卻都無法探測到引力波，因此受到科學社群的批評。Collins 從科學家是否相信所研究的現象，以及實驗發現的結果是否和現象相一致等兩個維度來看本案例，關係如表 1 所示。此外，本案例所描述的是一個重複實驗的科學活動，正確的結果依賴於是否存在可探測的引力波；而要發現這一點，實驗者就必須建造一台好的引力波探測器並試試看；但實驗者並不知道他是否建造了一台好探測器，直到他進行探測並得到正確結果；但實驗者不知道什麼是正確的結果，直到…這是一個無限回歸的循環，即 Collins 所稱的「實驗者的回歸」(experimenter's regress) 。對於那些想要用重複實驗檢驗科學知識主張的真理性的人來說，這是一個佯謬或怪圈，因為我們永遠也不知道第二個實驗是否做得足夠好，以致於可以將它看成是對第一個實驗結果的檢驗。因此，「不是世界的齊一性本身影響了我們的意識，而是我們體制化的信念的齊一性本身影響了世界。…形成秩序的是社會」。換言之，把過去同未來聯系起來的歸納推理不是一個邏輯或理性過程，而是一個社會過程（趙萬里，2002）。

表 1 實驗者的勝任能力

		實驗結果與現象	
		一致	不一致
科學家是否相信研究現象的存在	相信	勝任	不勝任
	不相信	不勝任	勝任

因此，本研究以「日心說與地心說」、「引力波探測器」等科學史上的爭論案例為教材，促使學生瞭解科學研究過程中蘊含的社會因素，進而思考科學知識的客觀性並傳達科學本質。

參、研究方法

一、研究設計：本研究以爭論情境、小組討論、發表、全班討論、個人省思等流程進行科學爭論案例的教學，教學架構圖如圖 1 所示。在爭論情境中，教師提供科學爭論案例的情境予學生瞭解；在小組討論中，教師依據科學爭論案例，提出問題予學生進行小組討論，目的在以問題協助學生瞭解情境；在發表活動中，請各小組發表討論結果；在全班討論中，協助學生瞭解科學爭論案例所要傳達的科學本質觀（即科學知識的形成過程中，不全然是理性、客觀所仲裁，亦有非理性、社會性等情境因素的影響）；最後是紙筆省思，藉由紙筆省思教學中所傳達的科學本質意涵，這是最重要的關鍵活動，學生若缺乏紙筆省思的指導，將難以深思教學中所欲傳達的科學本質意涵。

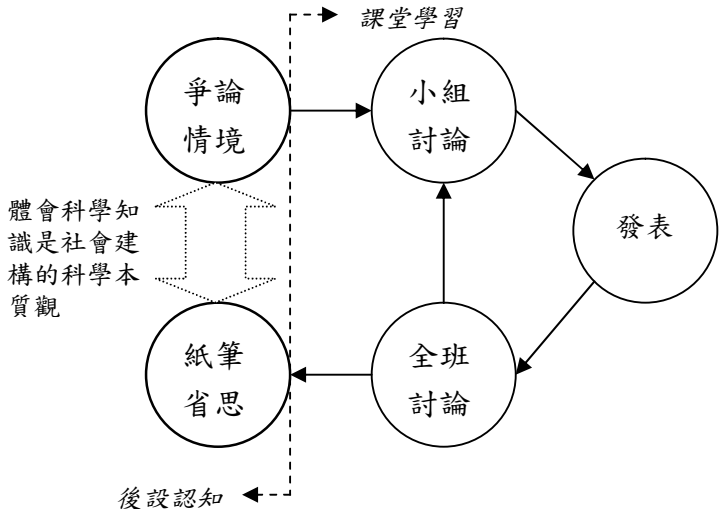


圖 1　科學爭論案例教學架構圖

二、研究對象：花蓮縣郊區某國小五年級學生，實驗組一班 26 人、對照組一班 28 人共 54 人。實驗組由研究者於五年級下學期進行「日心說與地心說」、「引力波探測器」等科學史上的爭論案例教學，而對照組並未實施科學爭論案例教學。兩組學生在進行教學前的科學本質問卷前測分數，以獨立樣本 t 檢定進行考驗結果，總量表及 3 個分量表皆未

達顯著，顯示兩組學生在「教學前」的科學本質觀並無顯著差異。

三、研究工具：包含科學爭論案例教學設計、科學本質問卷等二種。

(一) 科學爭論案例教學設計：本教學於 98 年 5、6 月，利用自然與生活科技學習領域課時間，每週實施 20 分鐘。教學內容如表 2 所示。

表 2　科學爭論案例教學內容

教學主題	思考觀點	問題討論	省思
地心說與日心說（教學時間：98 年 5 月）	兩個學說都可以解釋、預測天體運動的方式，而且當時哥白尼的理論並不會比托勒密的理論更簡單、更準確。	1. 你看到的太陽是東升西落（地心說）？還是地球自己由西向東轉（日心說）？ 2. 同樣在地球上觀測太陽，為何卻有不同的看法（地心說與日心說）？ 3. 每位科學家觀察同樣的事物與現象，都會有相同的解釋嗎？（地心說與日心說）	請回想一下，在這個故事中，我學到或想到什麼？
引力波探測器（教學時間：98 年 6 月）	1. 實驗作不出來，是誰的問題？ 2. 是引力波理論有問題？是引力波探測器有問題？是引力波探測器操作技術有問題？是引力波探測器所蒐集來的資料，解釋有問題？還是科學家的實驗能力太差？…到底原因是什麼？	1. 後來大家並不相信維伯的實驗結果。請問「大家」是指誰？ 2. 是不是只要自己宣稱「發現了！」就可以成為科學知識？ 3. 在「發現了！」之後，還需要怎樣的過程，大家才能認同這個是科學知識？ 4. 如果大家可以決定科學實驗的結果正不正確，那麼科學家是不是只要設法「說服大家相信」就可以了？ 5. 理論如果不能以實驗證明，是不是錯誤的理論？	請回想一下，在這個故事中，我學到或想到什麼？

(二) 科學本質問卷：使用李悅美（2002）編製之「科學本質問卷」，其內容包括：科學的世界觀、科學探究及科學事業等領域共計 36 題。問卷題目包括正、反向敘述兼具之 Likerts 態度量表，以「非常同意」、「同意」、「無法判斷」、「不同意」、「非常不同意」五點計分，單題得分最高為 5 分，最低為 1 分，得分越高者表示其科學本質觀越接近當代哲學觀點，得分越低者則表示其科學本質觀越接近傳統哲學觀點。信度考驗採用 Cronbach α 係數來估量其內部一致性，預試的三個分量表 α 值分別為 0.7311、0.7397、0.7121，總量表 α 值為 0.8715（N＝48）。在效度考驗係以專家效度來審查題目與各分量表的清晰度、流暢度及符合符合構念，以取得專家效度。

四、資料分析：將科學本質問卷的前測、後測資料分成總量表、分量表 1（科學的世界觀）、分量表 2（科學探究）、分量表 3（科學事業）等量表，以描述性統計及獨立樣本 t 檢定進行分析。

肆、結果與討論

(一) 學生在「教學前」的科學本質觀

實驗組與對照組在「教學前」的科學本質問卷施測結果，在描述性統計部分如表 3 所示，顯示實驗組在總量表及各分量表的分數皆小於對照組；而獨立樣本 t 檢定結果如表 4 所示，顯示兩組學生在總量表及各分量表的 t 檢定結果皆未達顯著。表示：實驗組與對照組學生，在研究前的科學本質觀表現以對照組較傾向當代科學哲學觀點，但無顯著差異。

表 3　科學本質問卷「前測」的描述性統計

		總量表		分量表1（科學的世界觀）)		分量表2（科學探究）		分量表3（科學事業）	
組別	人數	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差
實驗組	26	3.927	.443	3.906	.506	4.011	.505	3.863	.581
對照組	28	3.968	.395	3.909	.480	4.091	.447	3.925	.463

表4　科學本質問卷「前測」的獨立樣本 t 檢定

	總量表		分量表1（科學的世界觀）)		分量表2（科學探究）		分量表3（科學事業）	
	t	顯著性	t	顯著性	t	顯著性	t	顯著性
實驗組 / 對照組	-.357	.722	-.017	.987	-.618	.540	-.427	.671

(二) 學生在「教學後」的科學本質觀

實驗組與對照組在「教學後」的科學本質問卷施測結果，在描述性統計部分如表 5 所示，顯示實驗組在總量表、分量表 1、分量表 2 的分數皆大於對照組，而在分量表 3（科學事業）的分數依然小於對照組；至於獨立樣本 t 檢定結果如表 6 所示，顯示兩組學生在總量表及各分量表的 t 檢定結果皆未達顯著。表示：實驗組與對照組學生，在研究後的科學本質觀表現（除分量表 3 外）以實驗組較傾向當代科學哲學觀點，但無顯著差異。

表 5　科學本質問卷「後測」的描述性統計

		總量表		分量表1（科學的世界觀）		分量表2（科學探究）		分量表3（科學事業）	
組別	人數	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差
實驗組	26	4.022	.521	4.012	.552	4.094	.539	3.953	.721
對照組	28	3.935	.332	3.962	.289	3.841	.574	4.000	.468

表6　科學本質問卷「後測」的獨立樣本 t 檢定

	總量表		分量表1（科學的世界觀）)		分量表2（科學探究）		分量表3（科學事業）	
	t	顯著性	t	顯著性	t	顯著性	t	顯著性
實驗組 / 對照組	.733	.468	.421	.676	1.673	.100	-.282	.779

(三) 學生在前測、後測的科學本質觀比較

將學生在科學本質問卷前測上的平均數繪製成圖 2 ，顯示在教學前的實驗組分數皆小於對照組；而將後測上的平均數繪製成圖 3 ，顯示實驗組除了分量表3的分數以外，其餘總量表、分量表1、分量表2的平均數皆大於對照組。若將前測、後測的平均數做比較，如表 7 所示，顯示實驗組在總量表及各分量表的平均數增加量皆大於對照組，可知實驗組在進行科學爭論案例傳達科學本質教學後，傾向當代科學哲學觀點的改變量優於對照組。

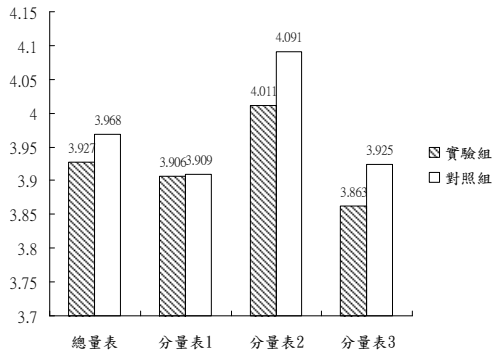


圖 2 科學本質問卷「前測」平均數比較

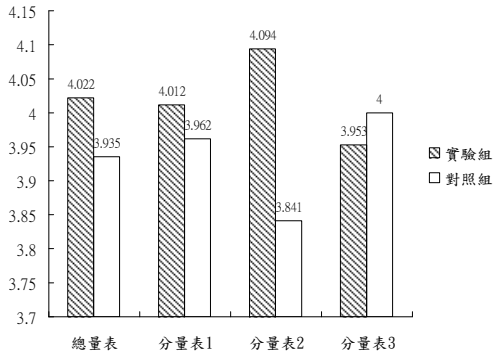


圖 3 科學本質問卷「後測」平均數比較

雖然實驗組在科學本質問卷分量表3（科學事業）的平均數小於對照組，但是兩組由前測平均數差距 0.062 縮短為後測平均數差距 0.047 ，可見實驗組在分量表3的表現仍是較對照組佳，即較傾向當代科學哲學觀點。

表 7　科學本質問卷前測、後測平均分數的改變量

平均分數	總量表			分量表1（科學的世界觀）			分量表2（科學探究）			分量表3（科學事業）		
組別	前測	後測	改變量	前測	後測	改變量	前測	後測	改變量	前測	後測	改變量
實驗組	3.927	4.022	0.095	3.906	4.012	0.106	4.011	4.094	0.083	3.863	3.953	0.090
對照組	3.968	3.935	-0.033	3.909	3.962	0.053	4.091	3.841	-0.25	3.925	4.000	0.075

伍、結論與建議

本研究以科學史上的科學爭論案例作為教學素材，以情境、提問、發表、討論、省思等五階段教學流程模式，引導學生深思科學研究過程中的科學本質意涵。研究結果顯示，雖然兩組學生的科學本質問卷後測分數經過獨立樣本 t 檢定的考驗結果未達顯著，然而根據平均分數的比較，實驗組的學生確實較對照組傾向當代科學哲學觀點，表示科學爭論案例教學對於學生瞭解科學本質意涵是有幫助的。

科學本質觀的改變類似 Kuhn (1996) 提出的科學革命那樣困難，如果不是面臨到迫切需要創新的危機時期，並不會輕易的格式塔轉變成新典範。本研究雖然歷經 2 個月

的教學，然而學生的科學本質觀改變仍未達顯著，意味著科學本質觀的改變是相當不容易的，以及需要更多時間的引導學生反覆思考，才可能有顯著的改變。

參考文獻：

李悅美（2002）：**國民小學高年級學童科學本質觀之研究**。台北市立師範學院科學教育研究所自然科學教學碩士學位論文。

邱明富和高慧蓮（2006）：科學史融入教學對國小學童科學本質觀影響之探究。**科學教育學刊，14**（2），163-187。

馬文蔚、唐玄之和周永平（1995）：**物理學發展史上的里程碑**。凡異出版社。

教育部（2003）：**國民中小學九年一貫課程綱要**。台北市：教育部。

黃慶隆（2006）：**國小在職教師對九年一貫課程綱要科學本質能力指標瞭解之研究**。國立花蓮教育大學科學教育研究所碩士論文。

趙萬里（2002）：**科學的社會建構：科學知識社會學的理論與實踐**。佛光人文社會學院。

American Association for the Advancement of Science(1989). *Project 2061: Science for all Americans*. Washington, D. C.: Author.

Collins, H. & Pinch, T. (1994). The germs of dissent: Louis Pasteur and the origins of life. In *The Golem: what everyone should know about science*. Cambridge university press.

Collins, H. (1985). *Changing order*. London & Beverly Hills, Calif.: Sage.

Kuhn, T. S. (1996). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press.

Lederman, N. G., & Zeidler, D. L. (1987). Science teachers' conceptions of the nature of science: Do they really influence teacher behavior? *Science Education, 70*(5), 721-734.

Matthews, M. R. (1994). *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge.