科學教育學刊
1999, 第七卷第三期， 281-298

Chinese Journal of Science Education
1999, 7(3), 281-298

科學家的「不當行爲」故事在中等科學教育的價值與意義

傅麗玉
國立清華大學 教育學程中心

（投稿日期：87 年 10 月 20 日，接受日期：88 年 7 月 6 日）

摘要：科學家的「不當行爲 (improper behavior) 」，是指相對於傳統對科學方法、科學態度以及科學家形象的刻板印象，科學家在其科學專業工作範圍內所做的不適當、不客觀、不理性、或作假的研究行爲。科學家的「不當行爲」故事是否應該在中等學校的課堂上教給學生呢？早在大約二十年前，當時正值科學史材料被視爲是可以提昇科學教學與科學學習， Brush (1974) 就已提出這個問題。而在當前的科學教育潮流中，科學史材料是被期望能幫助學生理解科學本質。新的國家科學課程標準也強調科學本質的重要，但是科學家的「不當行爲」的相關科學史材料，在國內仍未受到科學教育學者的重視。本文從科學教育的角度討論科學家的「不當行爲」故事是否適合在中等學校的課堂上教給學生；包括科學家的「不當行爲」故事與科學教育之間的問題由來、一些科學家「不當行爲」的案例及相關的科學本質議題、以及科學家的「不當行爲」在中等科學教育所具有的價值與意義、最後建議運用科學家的「不當行爲」故事於科學教育的原則及可能的發展方向。

關鍵字：中等科學教育、科學史、科學本質、科學作假。

壹、前言

科學家的「不當行爲」故事是否該納入教材？「不當行爲」一詞係源自 Brush 在 1974 年所發表的論文： Should History of Science be Rated X? 中所用的 improper behavior 一詞，中文譯爲「不當行爲」(Brush, 1974, p.1170) 。科學家的「不當行爲 (improper behavior) 」，是指相對於傳統對科學方法、科學態度以及科學家形象的刻板印象而言，科學家在其科學專業工作範圍內所做的不適當、不客觀、不理性、或作假的研究行爲，包括：僞報研究結果、假造數據、隱藏不利的數據、捏造未完成或未進行的實驗結果、欺騙同事、倫取或佔有他人的研究成果、進行非法或不道德的實驗以及報復研究工作上的對手等行爲 (Wible, 1992) 。科學家個人私生活範圍的行爲不在「不當行爲」討論範圍內。值得注意的是， Brush 並未預設任何的立場對這些研究行爲進行對或錯的批判。 Brush 所以稱之爲「不當」，是因爲這些研究

行爲相對於傳統對科學研究方法以及科學家形象的刻板印象，就顯得「不當 (improper) 」。Brush 舉出不少科學史上的案例，提醒教師重新思考科學史研究結果所呈現的科學本質與科學家形象，與一般學校的科學教學中所要傳遞的科學本質與科學家形象，兩者之間的差距以及相關的問題。

近年來，科學家「不當行爲」的故事或作假的故事，不但受到科學史家關切；其在科學教育上的價值亦逐漸引起科學教育工作者的重視，並已著手發展相關的課程教材，將其納入學校的科學教學中 (Vandervoort, 1992) 。筆者去年在一暑期高中科學營隊活動中，與高中生討論有關科學家「不當行爲」的故事以及相關的科學本質問題，不少在場的高中生反應他們聽過類似的故事，但而且很想多了解一些相關的問題。前年在中央研究院科學史委員會做相關的專題演講時，也引起與會學者的熱烈討論，並從中獲得更深入的一些想法，在此做進一步的討論 (傅麗玉， 1997) 。

在本世紀過去的幾十年中，科學史已被用在科學教學中。在不同的地區，不同的年代，基於不同的需要，無論是知識發展、社會需要、科學本質的了解、科學概念的學習，科學史以不同的方式被用於課堂的科學教學。根據傅麗玉 (1996) 對 1900 年至 1990 年代有關運用科學史於科學教育的文獻整理分析，科學史在科學教育上曾被認定的功能如下：

- 兒童科學概念發展與科學史的發展類同。
- 科學史可以使科學教育具人文思想之文化價值。
- 科學史使學生了解科學對人類生活的貢獻。
- 科學史有助於培養良好的公民。
- 科學史可替代實驗室教學。
- 科學史有助學生對科學本質的了解。
- 科學史有助於科學傾向與非科學傾向的學生從不同觀點看科學的不同面。
- 科學史可幫助學生學習科學概念。
- 科學史滿足學習認知的需要。

其中有些功能仍有待進一步探討，並且伴隨著一些問題與爭議；根據傅麗玉 (1996) 對 1900 年至 1990 年代有關科學史與科學教育的文獻探討分析，運用科學史於學校科學教學所引發的問題、爭議與質疑，可分爲下列幾項，包括：

- 教科書中採用的科學史太偏重西方科學史。
- 以訛傳訛的科學歷史事實充斥於學校的科學教科書中或是一般通俗的科學故事書中。
- 女科學家的科學故事常被忽略甚至錯誤扭曲。
- 教科書誤用科學史以助其說服學生接受教科書所傳達的觀念，並使科學知識的發展過程變成只是一種知識累積過程。
- 科學史會佔用太多時間，會不會妨礙教科學概念的時間？
- 該用多少科學史？
- 如何評量科學史的學習？
- 科學家的「不當行爲」故事是否該納入教材？
- 兒童的科學概念發展歷程是否與科學史發展過程類似？
- 教師缺乏科學史的知識背景，如何使用科學史教材？

在不同國家，不同社會文化背景，不同的教育體制下，這些問題與質疑因相互關聯，而更形複雜。其中「科學家的不當行爲故事是否該納入教材？」，多年來不只在科學教育家、科學家、科學史家間引發爭議；近年來，由於科學史在科學教育改革潮流中的重要角色，在科學教師之間亦引起爭議，但國內有關「科學家的不當行爲故事是否該納入教材」的研究較少，有進一步探討之必要。本文從科學教育的角度討論科學家的「不當行爲」故事與科學教育之間的問題之由來、一些科學家「不當行爲」的案例及相關的科學教育議題、科學家的「不當行爲」在科學教育上的價值與意義。最後建議運用科學家的「不當行爲」故事於科學教育的原則及可能的發展方向。

貳、科學家的「不當行爲」故事與科學教育

科學家「不當行爲」的故事是否該放入科學教學中所涉及的問題，早在 1970 年代已有爭議。Brush (1974) 提醒學校教師用科學史材料於科學教學的目的，不只在於呈現科學知識與技能，同時能引導學生理解科學態度與科學方法。然而，他要教師們特別謹慎地思考科學史材料在教學中的運用，因爲科學史的研究顯示，科學家的研究工作並不都是自始至終地客觀的。科學家不客觀的研究行爲在科學教學中固然不適合做爲傳遞傳統科學形象的材料，卻能啓發教師謹愼考慮運用科學史材料的方式與理由。Siegel (1979, 1980) 則認爲身爲教育工作者，基於道德不應爲了特定目的而在教學中扭曲科學史實。Goldwhite (1975) 發現即使要用非常偉大的科學家的故事，教師必須非常小心選用科學史材料；在討論一群化學史上著名的化學家的「不當行爲」故事後，他提醒化學教師運用科學史教學時，要特別注意史料的選用，否則不如只將學科本身的概念教清楚。然而在即將進入 21 世紀之際，因應全球人類生存環境的變化，人類社會與科學之間的關係比過去更密切，科學教育除強調學科概念的學習外，對科學本質的理解更是不可忽視，因此科學史與科學教育的關係應更爲緊密。對科學教育而言，只強調學科概念的教學是不足的。

美國 *National Science Education Standards* 明確指出「運用科學史所呈現科學探討的不同面向，科學的人性面以及科學在不同文化發展中所扮演的角色」(National Academy Press, 1996, p.107)。科學史中科學家「不當行爲」的部份在當今的科學教育應具有不同的價值與意義。美國的 Project 2061 科學教育改革專案資源書 *Benchmarks for Science Literacy* (AAAS, 1992) 將科學史列爲各級學校的科學課程重點之一，並強調教師自行斟酌科學史材料，而並非所有的教材都一定要用到科學史材料。因此，運用科學史材料於科學教育時，教師所扮演的角色十分重要。然而教師們往往有不知如何選擇科學史材料以及如何將科學史放入教學中 (Fu, 1995)。教師們選擇科學史材料以及如何將科學史放入教學中的問題，使得「科學家的『不當行爲』故事是否該納入教材？該如何納入教材？」又成爲運用科學史於科學教育的問題。

有些科學家的「不當行爲」，不只是影響科學社群的專業活動，對社會造成相當的影響，值得中等學校科學教育工作者注意，因爲中等科學教育的主要對象是社會未來的公民。教師是否應該加以修飾或省略科學家的「不當行爲」的史實，以符合傳統的科學家形象？教師如何顧慮到有關科學家「不當行爲」的一些個案，是否會使中學生對科學家產生負面的印象呢？科學教育的目標是在於使學生更瞭解科學本質還是塑造完全偉大的科學家形象？科學教育工作者在研究如何將科學史融入中等學校科學教學的同時，是否考慮科學史的故事並非都是「偉大神聖」？是否考慮科學史用於科學教學時，背後所隱藏的一種維護傳統科學家刻板印象的期望，影響科學史材料的選用與呈現方式？有一些科學家「不當行爲」的故事是否會使中學生對科學有悲觀的看法呢？運用科學史於科學教學時，是否預設一種固定的模式將科學史材料套入，同時省略不合該模式的材料，用以說服讀者，要讀者相信教科書中所傳遞的科學理論知識是絕對的眞理，因爲科學家的研究過程是如此客觀無私，科學家是如此「偉大神聖」？

從實際的情況來說，近年來，科學界愈來愈多作假的案例被揭發，在大衆媒體的傳播下，科學家的「不當行爲」故事也逐漸成爲中小學生日常所聞的一部份，例如 Pons 和 Fleischmann 的冷核融合反應 (cold fusion)，David Baltimore（諾貝爾獎得主）1986 年

在 *Cell* 發表的論文所引發的長期爭論 (Culliton, 1988)。與其讓學生在大衆媒體的報導下學習或被誤導，不如在科學教育中予以適當的引導。此外，科學家「不當行爲」的故事所關聯的科學方法問題、科學社群內的互動以及科學社群與社會之間的互動，與傳統中小學教科書所傳達的科學家形象有很大的不同，卻與當今科學教育潮流所強調科學本質的學習內涵有所契合。因此無論從當今科學教育改革的潮流或是從學生科學學習與生活實際的層面考慮，科學家的「不當行爲」故事是否該納入教材？該如何納入？的確是當今科學教育必要思考的問題。

參、一些科學家「不當行爲」的案例與相關的科學本質議題

至目前爲止，科學史家已發現不少科學家「不當行爲」的案例，其中幾個案例是有關國內中等學校教科書常提到的著名科學家及科學理論，所涉及的的問題與目前科學教育改革潮流所強調的科學本質議題有所關聯。

一般國中理化教科書大都提到伽利略 (Galileo) 以比薩斜塔的自由落體實驗，以證明亞里斯多德的落體理論是錯誤的；然而科學史家的探討發現事實並非如此簡單，並且懷疑現代實驗科學鼻祖伽利略的理論並未完全根據實驗結果而得到，包括其中被認爲影響其發展自由落體定律的斜面實驗。雖然在他的著作 *The Two New Sciences* 中，他十分詳細地說明他的斜面實驗裝置與過程 (Galilei, 1989, p. 169-170)。但是並沒有充份證據顯示伽利略從操作實驗獲得理論，他所談到的實驗通常是無法複製也得不到他所說的結果；有些科學史家甚至認爲伽利略可能沒有做實驗 (Drake, 1989)。例如法國神父 Mersenne 無法複製伽利略的斜面實驗結果；而且在 1612 年及 1641 年在義大利比薩斜塔分別已有 Giorgio Coresio 與 Vincenzio Renieri 兩位科學家進行落體實驗；他們發現相同材質不同重量的落體，較重者先著地。Coresio 認爲亞里斯多德的落體理論是對的，Renieri 卻不認爲如此，並且把他的實驗結果交給伽利略 (Crombie, 1979)。從伽利略 1604 年的手稿發現，他曾進行斜面實驗，然後以數學的方法修改實驗結果 (Drake, 1990)。伽利略是否不當地假造其實驗結果？雖然伽利略 (1989) 在 *Two New Sciences* 中強調其理論已經數學推理與實驗證明 (I can add new confirmation of the truth of that principle which has already been examined by us with probable reasonings and by experiments. p.171)，但 Broad 和 Wade (1982) 卻認爲伽利略如此做法是一種不尊重實驗事實的做法。伽利略以其深信的數學邏輯推理建立理想實驗 (thought experiment) 解釋物理現象，修正實際實驗的觀察結果，是僞造數據？還是開創一種新的科學研究方法，而將數學理論與物理實驗結合？

至於密立肯 (Milikan) 的油滴實驗數據，已被科學史家質疑是經密立肯刻意挑選某些數據以符合他預期的結果。根據一般中學教科書經常提到的敘述，密立肯由這個實驗確定了基本電荷值，同時獲得 1923 年的諾貝爾獎。幾年前，密立肯的實驗筆記受到科學史家的注意，並開始懷疑密立肯油滴實驗的眞正原始數據是否與他公諸於世的數據一致 (Friedlander, 1995)。在密立肯最關鍵的 1909 年實驗室筆記尚未被找到時，科學史家仍然無法理解爲什麼密立肯不在他公開的論文中討論他所捨棄的那些數據 (Fiedlander, 1995)。目前爲止科學史家研究的結果顯示，密立肯的油滴實驗原始筆記所記錄的有 175 個油滴數據，然而在他所發表的論文中，只報告其中 58 個完全符合他所期望的油滴數據。密立肯卻在他的著作中一再強調，他所發表的研究報告沒有

遺漏任何一個油滴數據，到底密立肯爲什麼會有這樣的作法呢？物理哲學家 Allan Franklin 曾用密立肯的筆記中所記載而未公布的油滴數據重新計算，所得的基本電荷值並沒有太大的出入。在此情況下從實驗技巧的角度進一步探討密立肯的筆記，那些被密立肯捨去的油滴數據，通常是一些密立肯認爲受其他因素影響而不具代表性的油滴，例如：油滴太大或兩個油滴擠在一起，到底密立肯的作法算不算作假呢？還是密立肯依其專業的經驗或直覺判斷、實驗經驗與實驗技巧，而決定捨去一些油滴數據 (Vandervoort, 1992) ？科學方法是否就像學校教科書所提到的一系列步驟－觀察、假設、實驗？

有些科學家本身並非有意作假，而是受制於外在的因素，過於執著其「預期想法 (wishful thinking)(Fiedlander, 1995, p.162) 」中所要見到的現象，或被他人在裝置上矇騙，而掉入假裝置的陷阱，以致得到不實的實驗結果。1932 年諾貝爾化學獎得主 Irving Langmuir 在 1953 年就明白指出 N 射線 (N-ray) 事件，就是最典型的例子 (Fiedlander, 1995)。在十九世紀末，德國的科學家倫琴 (Wilhelm Conrad Roentgen) 發現 X 光引起一場射線的狂熱，媒體大肆渲染 X 光的神奇功能。約在同時，法國 Nancy 大學的 Rene Blondlot 宣稱在研究 X 光的極化 (polarization) 實驗中發現可以從 X 光分出一種新的射線，並以其任教大學之名 Nancy 命名該射線爲 N-ray。之後其他科學家們也陸續發表相關 N-ray 的研究，可是應德皇之邀而進行 N-ray 研究的 Heinrich Rubens 卻苦於無法複製 Blondlot 的 N-ray 實驗。美國物理學家 Robert Wood 在 1904 年到 Blondlot 的實驗室請 Blondlot 親自示範 N-ray 實驗，終而揭發 N-ray 實驗是一樁作假的事件，原來 Blondlot 的助理在實驗裝置上作假，使 Blondt 以爲發現新的射線 (Dewdney, 1997)。雖然如此，當年相信 N-ray 存在的科學家仍不願接受 Wood 的說法；甚至在 1905 年仍然設法繼續以實驗要證明 N-ray 的存在。

Mary Jo Nye 對 Rene Blondlot 的 N-ray 事件整體分析，發現 Rene Blondlot 事件是當時地域主義 (regionalism) 推波助瀾的結果，爲 Blondlot 辯護者都是 Nancy 大學的科學家，而批評者以美國、德國的科學家爲主，甚至 Nancy 大學地區以外的法國本土科學家。N-ray 的發現被期望用以提昇大學聲望，吸引逐漸流向德國的外國留學生 (Friedlander, 1995)。Rene Blondlot 的 N-ray 事件凸顯科學家有時也會在不自覺的情況下，或是在當時社會因素影響下，受到心中一種期望的導引，只看到自己預期看到的現象而造成偏差。

一般在學校的科學課中，本生燈常被認爲是本生 (Robert Bunsen) 發明，因爲本生燈就是以 Robert Bunsen 這個人名命名。本生發明了許多實驗室的器材、但不包括我們常用到的本生燈。事實上，本生燈是本生的實驗助理 Peter Desdega 發明的，而 Desdega 的設計構想可能是來自早期 Aim'e Argand 及 Michael Faraday (Allchin, 1996)。Desdega 的生平故事卻很少人知道。這牽涉到科學家彼此之間的專業名望問題。通常在科學上，會以科學家的名字命名一定律原理，以紀念對那項定律或原理有貢獻的科學家；尤其在當時有地位的科學家就會被優先考慮。像身爲技術員的 Desdegea 就不可能上榜了，技術性的工作者的貢獻常常被相關理論的科學家的名望所掩蓋而不爲人知。本生是否佔有 Desdegea 的研究成果呢？還是當時科學社群的規矩呢？

大家耳熟能詳的波以耳定律 (Boyle's Law)；$P_1V_1=P_2V_2$，在定溫下定量氣體之壓力與體積成反比。事實上，波以耳並未提出這個公式，也沒有設定這個現象爲一個定律，波以耳只是一群發現這個規律的科學家之中的一個。波以耳並稱這個現象爲「空氣彈簧」

(the spring of the air)，也沒有進行量化的研究。波以耳本人確實探討過一大氣壓以上的空氣壓力與體積之間的關係。而波以耳的助理 Richard Townley 採用波以耳的想法，對一大氣壓以下的空氣，研究壓力與體積之間的關係；也探討過位在高處的托利切里管頂端部分和空氣。波以耳將他與研究夥伴的研究以他自己的名字發表，刪除其他人的名字 (Allchin, 1996)。波以耳是否佔有他人的研究成果？

波以耳本人是英國人，在英國以及其他許多英語系國家，或比較有關聯的國家，所謂的「波以耳定律」在法國被稱爲馬利歐特定律 (Mariotte's Law)，以紀念法國的著名科學家 Edme' Mariotte。Mariotte 是在波以耳出版「關於空氣彈性及其效果的物理機械新實驗」(New experiments physico-mechanical touching the spring of the air its effect) 後才發表類似的發現。法國人是否有意忽略波以耳的成就還是要特別彰顯法國人的成就，到底是 Mariotte 還是波以耳才是首先發現「波以耳定律」，我們無從得知 (Allchin, 1996; Raman, 1971)。「波以耳定律」顯然不是如一般教科書所說的是波以耳一人的貢獻。科學與社會文化之間的互動如何影響科學的發展？科學是否無國界？科學成就的歸屬如何認定？

現代遺傳學之父孟德爾 (Gregor Mendel) 的豌豆實驗，根據統計學家 R. A. Fisher 在 1936 年重新研究，發現孟德爾的研究成果能出現的機率，只有百萬分之一。科學家是否應該扭曲假造數據，無論其研究結論是否被接受 (Vandervoort, 1992)？孟德爾是否採用某種獨特的實驗方法還是僞造數據呢？科學的研究結果應是可接受考驗複製，何以孟德爾的豌豆實驗結果最後能被接受？難道科學成果的考核檢驗只是一種說法，而不完全是必要的？若無複試性的考驗，科學的理論如何評估？理論的成立只在於能否自圓其說或是人們願意接受？

國中生物課本中提到的微生物學之父巴斯德 (Louis Pasteur)，生前一再叮嚀子孫不可將他的實驗筆記外流，然而近年來科學史家從巴斯德私人的實驗筆記中，發現巴斯德非常小心地隱藏他進行人體實驗失敗的事實。在他 1885 年 10 月所發表的論文中，明白指出在他對 Joseph Meister 進行人體注射前，已經對五十隻未被狂犬病狗咬過的狗，以相同的方法進行實驗，而且五十隻狗在實驗後，都完全成功免疫。根據 Geison (1995) 在巴斯德私人的實驗筆記所發現，1885 年 7 月 6 日當天爲 Meister 注射之前，巴斯德才剛開始進行四十隻狗的狂犬病實驗，而且那四十隻狗中，只有二十隻接受完整的注射，最後竟無一存活。巴斯德將用在 Joseph Meister 的疫苗用在病患 Jean-Baptiste Jupille 身上致死的事件則被刻意隱藏。巴斯德爲什麼隱藏他進行人體實驗失敗的事實？科學的知識與過程的公開與可考驗性，經常使科學比其他知識更具可靠性，巴斯德爲什麼隱藏他進行人體實驗失敗的事實？科學方法在涉及人體生命時，就不必考慮過程的公開與可考驗性嗎？科學的方法程序是否眞的客觀理性？

國中生物課本中，達爾文 (Charles Darwin) 被描述成演化論的始祖，是天擇說的創始人。達爾文於 1839 年對物種演化的想法首次寫下一篇十四頁的論文草稿，並於 1842 年擴充至二百三十頁，但遲遲不出版。當他在 1855 年讀到 Alfred Russel Wallace 送審的相關的論文手稿後，才急著發表他的論文。達爾文的朋友 Charles Lyell 不希望 Wallace 搶先發表，經過盤算後，將 Wallace 送審的論文與達爾文的一些零散論文片斷，以達爾文與 Wallace 的名義共同在 Linnean Society of London 發表。當時 Wallace 不過是個無名的博物學家，論家世背景與當時兩人聲望的懸殊，Wallace 根本無法與與達爾文相比 (Hull, 1988)。達爾文因爲當時社會的神學思想、道德以及政治，遲遲不發表演化論，最後在面臨 Wallace 即將發表類似理論的壓力

下才發表。而達爾文自己的說法是：「我並不在意贏得優先發表的地位，但如果有其他人在我之前先發表了我所提出的理論，我當然會苦惱」(Stevenson & Byerly, 1995, p.87)。如果達爾文沒看到 Wallace 送審的論文手稿，Wallace 的論文手稿順利發表，也許今天國中生物課本中，演化論的始祖未必是達爾文。

從達爾文發表演化論的過程來看，他的作法與一般對科學家形象的刻板印象相比，的確相當「不當」。難道科學不是科學家共同努力的智慧產物，而是科學家彼此之間充滿理論發表優先地位的競爭？科學團體也許未必是傳統的印象中的一群共同追求眞理、不畏權威的人？科學家「不當行爲」的現象顯示「科學的人性面在科學中的重要性，也透露著科學知識所呈現的邏輯結構，並不足以使科學成爲有別於其他知識的領域」(Broad & Wade, 1982, p.223)。

以上的案例中的科學家多半是臺灣中等學校科學教科書中經常提到的，這些故事背後蘊涵相當多與科學本質相關的課題，而這些課題在一般刻意標榜傳統科學家形象或刻板印象的科學故事中，難以呈現或甚至被扭曲。根據目前教育部發布的國、高中科學類科的課程標準，臺灣中等科學教育的目的在於養成具有科學素養、科學態度，獨立思考、探求眞理的習慣、能解決問題、以及適應變遷的能力的國民；使中學生能體認自然的奧妙，認識科技發展對人類生活和環境的影響，尊重他人、愛護環境與積極樂觀的態度，並進一步了解科學科技發展與人類生活、環境生態、社會發展、人文科學、生命奧祕與尊嚴的關係（教育部，1996；教育部，1994）。科學是在人類社會產生，是人類文化的一部份，科學知識的邏輯結構只是科學的特質之一，從科學的本質中的人性面以及我國科學教育的目的思考，科學家的「不當行爲」故事，應可引導學生從一不同的面向了解科學本質，在臺灣中等科學教育具有其價值與意義。

肆、科學家的「不當行爲」故事在臺灣中等科學教育的價值與意義

從臺灣中等科學教育的角度，科學上的「不當行爲」故事在一些層面具有其價值與意義，不只是在於提供材料以檢視一般中等學校科學教學所傳遞的科學本質概念，同時提供想要運用科學史材料於科學教學的教師們，以科學家「不當行爲」的故事，對科學社群、科學與社會的互動關係、科學的人性面、科學家的工作生涯，進行更多面向的思考。同時反省科學教學的意義、科學教學方法與評量方法、科學教育中所闡述的科學方法與科學家形象。

㈠呈現科學社群研究成果不斷地受到檢驗

科學家「不當行爲」的故事一再呈現的是科學研究的結果一直不斷地接受檢驗，即使是舉世公認的科學偉人的研究成果也不例外，即使在科學家死後，其科學成果仍繼續受到檢驗，而不是屈從於科學家本身的社會權威，如此反而更能呈現科學家社群對「不當行爲」的態度，科學家的「不當行爲」終究是不被科學界接受。同時科學界更不願意這些作假的行爲破壞整個科學的發展。例如 Blondlot 的 N-ray 事件也是由科學家所揭發的。科學家「不當行爲」的故事可以具體呈現科學社群追求眞理的態度，並提供更多實例說明科學社群如何檢驗科學研究的成果，更進一步地，讓學生學習到「科學其實就像人類在其他方面所作的努力一樣，並非毫無瑕疵，但科學家們會負責將令人厭惡的瑕疵減至最少，同時追求這個領域的最高成就」(Koshland, 1988, p.637)。

㈡檢視科學教育如何呈現科學與社會的互動關係

在一般強調科學學科知識的學校科學教學中，科學往往被視爲一套等同於絕對眞理的知

識，科學家的研究結果通常不受一般社會大眾的質疑，同時科學家也自認爲科學社群有一套管理監督的制度，不需要科學專業以外的群體介入。而實際上，科學與社會的不同面有著互動的關係。這種互動關係主要有兩種層面，一是科學的社會價值，另一是科學社群的活動受社會價值的影響。這兩個層面的互動關係常常因缺乏充分的理解，而導致對科學本質的誤解。前者與科學本身幾乎無關，因爲科學的社會價值並不在科學研究的範圍內 (Feynman, 1998)。而科學社群的活動則是在社會價值的影響範圍內。雖然科學的自主性在科學社群中被視爲一種科學的倫理，但是由於科學與社會的互動關係，科學的自主性無法完全地與社會的價值觀劃分，因爲科學家們生活在社會中，科學家價值觀受到社會環境的影響。因此，科學受社會價值觀影響，不同的社會文化背景對於自然的探討形成不同看法，科學也成爲一種社會文化在某一時期的一種表現。在科學領域中，知識的爭論有時甚至會成爲一種社會的衝突 (Knight, 1976)。

有關科學的社會價值的層面，舉例來說，例如達爾文的演化論曾因被誤用導致社會問題 (Knight, 1976)。有時候科學的用語可能被利用於擴充權力、或吸引大眾注意的人加以利用 (Merton, 1962)。通常一般社會大眾很難完全了解科學知識與理論的內容與意義，於是「從科學挪借來的權力成爲非科學教條一強有力的特權代號」(Merton,1962, p.62)。像 S. G. Merton 的結論：「白人的智力最高、印地安人其次、黑人最下，西歐的白人智力高於猶太人」成了奴隸制度的藉口。例如，「科學精神」曾被扭曲成誇大理性的探討、科學方法、科學邏輯和科學客觀性的社會工具，並廣泛地在不同場合被用來促成扭曲的權力，甚至助長社會衝突。 這個層面的問題與科學無關，然而確有必要在科學教育中加以釐清。

有關科學社群的活動受社會價值的影響，不同於一般對科學社群那種公平客觀的刻板印象，有些科學家受其個人社會價值觀或成見的影響而選用科學研究方法、預設結論或是取捨公佈的研究結果。例如，針對「遺傳和環境對生物與人類的影響」的問題， S. G. Merton 原本就相信白人的智力最高、印地安人其次、黑人最下，而且可以腦容量作爲智力的指標。他將 1830 年至 1851 年所收集的一千多片不同族群人類的頭蓋骨加以分類，而證明白人的智力最高、印地安人其次、黑人最下，西歐的白人智力高於猶太人。然而， Merton 的研究內幕在 1978 年被 S. Gould 揭穿。 Merton 被發現「當他想要證明某一族群腦容量較小時，就將腦小的一批列入表中，而當要提高時就將它們除去」(Broad & Wade, 1982 ，p.161)。又例如不同於一般對科學家堅持追求眞理的刻板印象，達爾文因爲害怕其演化論不容於當時社會的神學思想、道德價值以及政治，一再擱置遲遲不敢發表 (Stevenson & Byerly, 1995)。

因此科學家「不當行爲」的史料可引導科學教師思考如何在教學中釐清社會大眾對科學的價值觀與科學本質之間的界限，重新思考科學教育如何呈現科學與社會的互動關係，進而幫助學生從不同的層面更深入理解科學本質以及科學與社會之間互動的相關問題。

㈢呈現科學的人性面與科學社群工作生涯之間的交互關係

在科學社群工作生涯中，科學家們有各自的專業領域知識，不同的專業領域知識之間的差異很大，因此不同領域專長的科學家可能也無法互相了解對方的專業知識。而非科學領域的人更是無法了解科學家的專業知識，如 Polanyi (1962) 所說的，只有科學家自己能了解他們專業範圍內的知識，其中的知識一定要身在專業的環境中，才能眞正了解。科學家在他們專業範圍內所用的術語是不同於科學專業外的人們。然而對科學教育而言，教育的對象是人，更關切的不只是科學家們研究所得的科學專業知識，而是科學的人性面與科學社群

工作生涯之間的交互關係，期望從中引導學生從人性面的角度理解科學社群工作生涯。例如像前述提到的達爾文即明白表述其不願意其理論被搶先發表的情緒。衆多知名科學家曾經因不接受與自己想法不同的理論，也不管對手有多麼充分的實驗證據，仍有過情緒性的表現，或是排除異己的作法。像 Max Planck 這樣地位崇高的科學家，在其回顧一生科學工作生涯的自傳中，提到他在 Boltzman 與 Ostawald 的爭論中的處境時（ Planck 當時不是站在 Boltzman 這邊， Boltzman 爲此很不高興，雖然最後 Boltzman 贏了），仍不免傷感地說：「這個經驗讓我有機會認清一個事實：一個新的科學眞理並不是因爲它使反對者了解信服才被接受，而是因爲反對它的人最後都死了」(Planck, 1949, p.33)。

然而在學校的教科書中，或坊間的科學家傳記，科學家通常被形容爲理性客觀的、尊重不同意見、從不犯錯或是勇於認錯；而科學家身爲人的一面與其科學社群工作生涯之間的交互關係，常因過於強調知識面而被忽略。使得學生不是將科學家視爲一群與我們不同世界的人，就是將科學家們看做是一群十分偉大的人，誤以爲自己根本沒有能力成爲科學家因而不願意也沒有信心讓自己也成爲他們其中的一份子。

科學教學應讓學生知道有時候科學家的研究行爲並非像他們所發表的科學著作那樣的合乎邏輯與理性。科學家們從事科學工作時，仍然保有人的本性，不完全是客觀的理性成份，因此，沒有必要將科學家們限定爲一群異於常人的人，或是一群能完成一般人無法做到的科學成就的人。也沒有必要在科學史故事簡略的片斷中，將某一科學成就，不經思考地歸功於特定的某一位所謂的「偉大的科學家」。Broad 和 Wade (1982) 認爲我們一旦提供給學生充足的科學歷史背景，那麼科學家們的「不當行爲」反而可以幫助學生了解科學的人性面，以及人性面的因素如何影響科學家的工作生涯。 Silva 等 (1995) 認爲有關科學家作假的故事，可幫助學生探討科學社會學的材料，例如，社會壓力對科學研究方向的影響、科學家之介入行政體系、科學家出刊論文的動機、造成科學家作假的人格特質等等，均可透過科學家作假的歷史故事進行思考及討論。

㈣檢視科學教學的意義，反省科學教學方法與評量方法

密立肯在油滴實驗中，處理數據的方式可能是基於密立肯直覺的判斷，而將受其他因素影響而不具代表性的油滴數據剔除不計，教師可以引導學生思考密立肯的事件透露直覺 (intuition) 在科學創造的意義，以及科學研究的過程與已完成的科學理論之間的差別。科學直覺是許多知名的科學家所提到的最重要的個人研究內在歷程。孔恩 (Kuhn, 1970) 也認爲直覺在從「異例」與科學危機，到科學革命之間，具有關鍵性。愛因斯坦曾提到「沒有什麼邏輯的途徑導致這些基本的定律，除了直覺，而直覺與經驗密切相關」(Holton, 1988, p.18)。直覺是一種感官活動的認知能力，感官知覺運作是全面性的 (Arnheim, 1985)。直覺與科學創造力在一般正規的科學教育與訓練是無法培養。一般所謂的邏輯的科學知識、科學方法以及科學客觀性，只不過是科學的一部分面向，也不足以構成科學創造力的整體。

科學從其它面向來看，是一系列無止盡的個人的奮鬥、行爲與經驗、科學之間的社會性協調或競爭。因此，若要培養學生的科學創造力，學校科學教育不只是提供正規的邏輯的科學學習，還要幫助學生超越他們正規教育中的學習，達到直覺的境界，一種超越理性的內在活動歷程 (Bailin, 1990)。然而學校的科學教學，往往不鼓勵學生在實驗中發揮其知識經驗進行探索，反而是要求學生按照課本把實驗做好，以得到好的數據，符合課本中所敘述的理論，完全失去科學理論所具備的價值與意義。在學校的實驗室教學，教師通常在學生進行實驗之前，就先將該實驗所要驗證的理論說

明清楚並告訴學生實驗的預期結果。教師評量學生的實驗多以學生所繳交的實驗報告爲主，評量的方式以學生所得到的數據結果爲依據。當學生所得到的數據與教師期望的數據不同時，學生可能修改數據或抄襲坊間參考書提供的數據。例如學習自由落體運動時，老師要求學生進行實驗，並且從實驗數據歸納出和課本一模一樣的自由落體運動公式。事實上，學生在一般中等學校的實驗室，幾乎不可能從實驗的數據得到這樣的結果。伽利略自由落體的理論公式是經由數學方法推導証明而得，並不只是從實際實驗得到。教師應該幫助學生理解科學實驗所得的結果與科學理論之間的差異，以及這種差異的意義，科學實驗與科學理論之間的關係，進而了解科學理論的本質。在教學中，應使學生知道一個科學理論的發展背景，而不只是一味地強調理論的敘述及理論已如何地被科學的實驗強力證明，而確認一個科學理論就是一個不變的眞理。相反地，應讓學生知道沒有一個科學理論已到達其最完美無瑕的最後階段。其實，科學家的「不當行爲」故事引導科學教師與學生共同思考科學的本質，檢視科學教學與評量方法是否也在有形無形之間，促使學生作假或進行不當行爲以獲取高分。

㈤檢討傳統科學教育中科學方法的意義與問題

在一般學校教育，對科學方法的傳統看法主要來自歸納法及經驗論的哲學。科學方法被看做是一套有系統、有組織，有邏輯架構的程序。事實上，不同的科學領域會有不同的研究方法。一個科學家針對不同的主題，會用不同的方法 (Knight, 1976; Ziman, 1980) 。同一領域的科學家們也可能引用其他領域的方法來解決問題。因此，沒有那一套特定方法可以被認定爲所謂的科學方法。若再進一步探究，甚至在科學家們及哲學家們之間，對科學方法也沒有共同的看法。

譬如說吧！孔恩 (Kuhn, 1970) 不認爲科學家們在其研究工作，所用的方法是完全正規且合乎邏輯。而康南 (Conant) 甚至宣稱「根本沒有科學方法這回事」 (Conant, 1962, p.45) 。費若本 (Feyerabend, 1981) 認爲沒有所謂的科學方法，科學家們沒有必要被強迫去懂所謂科學方法的規則，或是演繹法，歸納法的邏輯，科學家們用他們認爲必要的方法。 Polanyi (1962) 和 Ravetz (1971) 則強調所謂的科學方法蠻像一門藝術而不是一套規則，它是一種經由人與人之間爲解法問題而產生的互動及個人的親身經驗。就像徒弟見習師父示範時，不知不覺地學到一門藝術的規則，甚至連師父自己平常都沒有知覺到的潛在的規則，也被同化到徒弟的學習當中。

Lindsay (1963) 定義科學本身就是一種方法，一種形容人類經驗、創造人類經驗、了解人類經驗的方法。從 Lindsay 的定義，科學方法，是一種人類解決問題的經驗。基於這種說法，從人類過法處理自然現象的經驗中，我們可以看到一些基本的規則邏輯，從中找出一些共同的基本程序，如：觀察 (observation) ，推理 (reason) ，詮釋 (interpretation) ，分類 (classification) 及測量 (measurement) 。這些程序未必按照特定的順序或邏輯排序，而且每一種程序本身又有許多不同的技巧，科學家必須依照其研究的需求，決定要採取什麼程序，什麼技術，甚至必須創新研究的程序或技術 (Lindsay, 1963; Ziman, 1980) 。

以中等學校科學教學中比較常提到的程序，包括：觀察、假設、實驗及測量，來進一步說明。觀察一向被邏輯實證論 (logical positivism) 者看作是絕對客觀，且在科學理論發展過程中具關鍵性的角色。然而從科學整體的發展來看，科學觀察並不是絕對像邏輯實證論者所說的那樣客觀，而是可以說大多數的科學觀察是先有理論架構 (theory-laden) ；換句話，實驗者本身已有的觀念、猜測、假設、預期的結果或已持有的理論，會影響並左右其觀察 (Hull, 1988) 。觀察的進行過程是觀察者本身已有的世界觀、已有的想法，與觀

察者企圖觀察到的現象之間的一種交互作用，「我們看到我們所知道的」(Beveridge, 1957, p.133)。而觀察者企圖要看到的，往往是因觀察者想要如何解決問題而定，觀察者能看到的是因觀察者的觀察習慣而定。科學家在觀察過程中，往往集中注意力看他們期望看到的，而很容易忽略他們沒有預期要看的，「可觀察到的遠多於目光所及」(Hanson, 1958, p.97)。科學家的背景、教育、訓練、經驗、或社會文化背景也在觀察中產生影響力。在此情況下，有些科學家在觀察、假設、實驗及測量過程中會發生理論期望左右觀察的現象。而有些科學家在偶然唯一一次的成功實驗得到所期望的結果，即使之後該實驗結果從無機會再次被複製，這些科學家仍然公佈了那唯一次的結果，加上整個科學社群或其他社會力量的推波助瀾，即使這種實驗結果已被揭發是無複製性，這些科學家仍然堅持他們的實驗結果，譬如像前述的從 X 光分離出 N-ray 事件，還有 cold fusion 事件。

在教學中，培養觀察的習慣十分重要。教師不必要過度限制學生要觀察什麼，或阻止學生觀察什麼。教師要做的是引導學生培養更多角化更敏銳的觀察習慣。由於學生的觀察習慣與學生的既有知識與經驗有密切的關係，爲培養學生敏銳的觀察習慣，教師應設法提供一種能使學生充分運用他們思考主動進行觀察，同時得到檢視既有的知識與經驗的機會。

「假設」通常用於建議一種新的觀察或一種解決問題的新方向。當科學家要解決一項問題時；他們未必要從設定理論性假設開始。科學研究的假設，在一開始極可能就像一般人在日常生活中所做的猜測而已。科學家遇到問題，他們也可能直覺地針對問題，做一個猜想(guess)，這個猜想就是所謂的「工作假設」(working hypothesis)，康南形容這種猜想爲「激發的猜測 (inspired guess)」、「直覺的靈感 (intuitive hunch)」或「想像力的靈光一現」(brilliant flash of imagination)，尤其是在一個科學研究的萌芽階段，這種靈光一現的假設經常扮演十分重要的角色。有時候連科學家們自己也無法用語言文字清楚地敘述他們在那些時刻的猜想，就像 Polanyi 所說：「他們知道的比他們能說出來的更多」(Polanyi, 1966, p.4)。雖然如此，他們仍可經由不同的方法檢驗他們所做的猜測；並且在一開始只是一個工作假設，有可能經一番修正之後成爲一個理論性的假設 (theoretical hypothesis) (Conant, 1962)。

教師不必要強制學生只是因循實驗課本中已指定的假設來進行實驗。已規定好的假設只是基於一個已有的問題解決的程序而設定，並不是由某一假設逐步演進而成。若學生只能因循已指定的假設，那麼學生將失去建構他們自己的假設的機會，也失去可以運用他們既有知識與經驗的機會。

科學實驗是經驗的創造 (Lindsay, 1963)。實驗是將科學探索活動的情境加以抽象化 (abstraction) 及集中化 (concentration)，以便科學家在實驗中選擇他們所要變項，並決定刪除那一些變項。通常有一些基本工作，是科學家們據以用來進行實驗，例如：考驗 (the screening test)；複製性 (reproducibility)，詳細記錄數據與現象，以及報告結果。然而這些基本工作也不完全是絕對必要在每一次進行實驗時都一定完備，有時候實驗會因種種因素而出現錯誤，甚至誤導詮釋。也有時候，在實驗進行當中，意外的觀察結果發生，並且導致一個新的研究主題。如果科學家們只是堅持原來既訂的實驗程序，只是按照原先規劃的變項及預期的現象進行觀察，忽略自身的直覺判斷，對於意外觀察到的現象，不予理會，那麼科學史上偉大的成就會減少許多。

因此，科學教學中的實驗活動，不只是讓學生學會如何操作實驗印証課本所提到的定理或理論。實驗活動不是一系列已經事先規定好的步驟，照著步驟做一次就可以印証理論是正確無誤。按照實驗課本所列的步驟，要求學生

從事食譜式的實驗活動，會誤導學生對實驗活動的了解，學生很害怕自己沒按照課本的方法做，更是無暇思考那些步驟的意義，也擔心所得的數據無法符合課本上的理論，於是，假造數據或抄參考書數據的現象常常發生。也就是說，學生根本很難在實驗活動中，驗証他們自己所有的相關知識 (Hamner, 1980) 。此外，教師對實驗與理論之間的關係的瞭解，也會誤導學生對實驗的理解。例如單擺實驗，在學校的實驗課中，學生常被要求得出符合單擺公式的數據與關係圖；實際上，連伽利略本身也不是從實驗數據歸納得到單擺公式，而是經由幾何學推導而得 (Matthews, 1990) 。

「測量」是科學方法中的定量程序。它不只是一種技能，而測量單位也不只是一堆的單位而已。但是學校的課堂教學中，它似乎被當作是理所當然的知識或是既訂的一種步驟，而不是一種方法。在新的理論或實驗推出時，科學家們必須決定用那一種測量單位，用那一種測量的方法，而不任意設定單位，因爲他們必須考慮所用的單位是否能與其他的科學家溝通。在科學教學中，學生必須學會運用計量單位的技能，但同時也應學會爲什麼測量的方法與測量單位被運用在科學 (Conant, 1957) 。

在學校的科學教學中，對科學方法的傳統看法，已被過度理想化，科學工作的實際情況並非如此。誠如 Brush 所提到的不少科學史上偉大的發現，所涉及的科學研究方法有許多往往已超出傳統對科學方法的印象。有意運用科學史於科學教學中的教師們或科學教育專家們，在透過科學史材料彰顯科學方法時，應參考科學史界的研究新取向，愼重思考所傳遞的科學方法。以傳統對科學方法的刻板印象中的方法標準來看，雖然科學家們都知道且也盡力忠於科學理想，但實際上科學家們所用的研究方法，並不是像傳統對科學方法的刻板印象如此理性客觀。在科學教學中，教師值得重新思考是否有必要爲了呈現一種連偉大科學家們都無法完全貫徹到底的科學方法與科學家形象或是傳統科學理想，而受限於傳統對科學方法的刻板印象，甚至避而不談這些科學家們在實際從事科學研究工作時，所用的科學方法以及研究行爲。

㈥挑戰學校教科書簡化科學理論發展的企圖

目前大多數的教科書作者仍然依循 Sarton 在 1900 年代早期所堅持的：科學史的目的與功能是在記錄人類所累積的正面的科學知識。 Sarton 認爲科學史如同是人類良知的規範者 (regulator for our consciences) （傅麗玉， 1996 ）。學校科學教科書傾向於利用扭曲的科學史故事，說服讀者接受書中所傳達的科學概念是絕對唯一正確的，甚至塑造一完美無缺的科學方法與過程，以加強說服的功能。企圖使依附於其下的科學概念成爲眞理，學生沒有機會認識和科學概念一樣重要的科學過程。因此科學史的故事只是用以說服學習者相信科學的理論知識，因爲科學家是一群忠實進行科學研究的偉人或名人，科學方法彷彿是萬能的，科學的態度是嚴謹而誠實的。目前大部分中小學的科學教科書中科學史材料所呈現的科學家形象、科學方法、或是科學態度，仍然是依循這樣的意識型態（傅麗玉，1999 ）。

這種情況使得一般學校科學教學通常強調的是科學家們所研究的那些客觀的科學現象或所得到的結論，而不是強調科學家們如何詮釋那些現象，期望的是學生能學到已被科學社群所接受的理論與知識。科學家們詮釋的過程所採用的方法往往被簡化成一種所謂的「科學方法」。如 Brush (1974) 提到的，在學校課堂上，科學教師往往會教學生依循一般公認的科學方法進行研究。而這種所謂的「科學方法」在一般大多數的教科書中，通常就是一種包含五個步驟的研究方法：「陳述問題、搜集資料、形成假設、考驗假設、結論」 (Barba, 1983) 。學校的科學教學往往忽略科學理論的發展與選擇所涉及的程序與科學理論知識的邏輯架構兩者之間的不同。科學理論的發展與選

擇所涉及的程序含有許多個人的因素或非理性的成份，如直覺、猜測、或想像等。科學理論知識的邏輯架構則是在科學理論發表以便被接受時，不可或缺的 (Broad & Wade, 1982)。在科學理論知識的邏輯架構下，所呈現的「科學家探究問題的思考過程及科學社群的運作方式」，就看不到那些個人的因素或非理性的面向，如直覺、猜測、或想像等。然而，對以人爲對象的科學教育而言，那些個人的因素或非理性的面向，如直覺、猜測、或想像等，都是十分重要的。

經由科學家的「不當行爲」故事，學生能有機會跳脫一般教科書這種簡化科學理論發展所產生的限制，從更多元的角度看到科學研究的過程、限制以及所涉及的問題。同時由於科學家的「不當行爲」科學史材料的引入，亦可提供教科書作者呈現科學本質的新取向，而不是一味地建立科學的正面偉大形象，企圖說服學生接受教科書所傳遞的科學概念。換言之，當教科書簡化科學發展理論的企圖能面對科學家的「不當行爲」故事的挑戰時，對將成爲科學家或不從事科學的學生而言，均有助於他們更瞭解科學。

伍、運用科學家的「不當行爲」故事在科學教育的一些建議

基於上述所討論的案例看來，正如同 Brush (1974) 所指出的：「『不當行爲』並非只是一群偉大的科學家們所特有的，而是更廣泛的一群科學家們的特質」(p.183)。這些種種問題已涉及對科學方法的基本看法與價值觀，以及科學本質概念，不單是研究倫理的問題。誠如 Brush 所提到的不少科學史上偉大的發現，所涉及的科學研究方法有許多往往已超出傳統對科學方法的印象。呈現科學家「不當行爲」的故事並不在於否定科學家的科學成就或人格，也不在於否定常態科學存在的重要性，而是更多面向地呈現科學本質。上述幾個案例的討論並非以「不當行爲」概括否定密立肯、孟德爾以及伽利略等科學家們的科學創造力。相反的，筆者非常刻意地在全篇論文中的「不當行爲」一詞特加引號，其用意在於凸顯如何跳脫傳統對科學客觀性的刻板印象，引發教師重新思考科學本質，進一步思考這些「不當行爲」故事對科學教育所含的正面意義，檢討學校科學教學的迷思。但絕不建議在教學中直接以「不當行爲」概括否定或批評的方式，直接引入「不當行爲」的故事當作教材教法。

尤其是在孔恩的*科學革命的結構*一書問世之前，科學史所展現的通常是科學的進步與成就、科學的研究與發展過程的客觀性與邏輯性、科學家們如何埋首努力實驗工作並且忠實呈現實驗記錄、科學家社群彼此如何公平客觀地對理論進行選擇，毫無個人的好惡、科學家彼此對成就的歸屬亦是絕對公平等等。就如同 Brush (1974) 所指出的，大多數人仍然相信 Sarton 的看法：科學史的目的與功能是在記錄人類所累積的正面的科學知識。在孔恩的*科學革命的結構*一書發表後，新科學史的研究成果顯示 Sarton 的科學史主張並未能多面向地呈現科學本質。

科學家「不當行爲」有其科學教育上的價值，然而運用於學校教學時，必須掌握一些基本的原則，才能達到目的。筆者建議應將故事的全貌儘可能地從不同角度說明清楚，引導學生多方面地了解科學，而且所引用的故事應與學生的生活世界有關聯。譬如，比較近代的、與課堂教學的概念有關的、或是當前大眾媒體正在討論的事件案例，當更能使學生易於掌握事件的背景與來龍去脈。

以國內目前的中小學科學師資培育狀況，大多數的中等學校科學教師並未接受科學史的訓練，有關科學家「不當行爲」的科學史材料，筆者不建議直接寫入中等學校教科書中，因爲只要一寫進教科書中，無論教師的知識背

景如何，教師就極可能非教不可，在教師科學史背景不足的情況下，可能誤導科學家「不當行爲」的科學史材料在科學教育的價值與意義。教師可依個人的知識背景斟酌或請教相關的專家後，決定是否採用科學家的「不當行爲」的故事。教師在討論科學家「不當行爲」的故事時，應強調科學家作假行爲對科學知識的發展所造成的傷害，以及它如何使更多科學家必須付出難以計算的代價補救傷害。此外，絕對不涉及與科學家專業生涯無關的私人行爲，以免成爲人身攻擊，亦無助於科學本質的學習。此外，還要特別注意的是避免直接以「不當行爲」一詞在課堂中作爲教學用語，教師也要避免預設立場以負面批評性的方式進行教學。教師儘可強調科學上的作假行爲雖是科學社群的局部行爲，卻可能造成科學界莫大的傷害。教師大可強調，科學上作假的行爲，大部分仍然是由同行的科學家所揭發，使學生在這些科學家的「不當行爲」故事中，由具體的實例看到科學社群求眞的精神，學生應不致對科學產生悲觀的看法。且在另一方面，學生也可因此理解到無論聲望多高的科學家，一旦在科學研究中有不當行爲，無論生前或死後，終究會被發現。如此一來，除了科學家個人聲譽受損，也誤導後續科學社群的研究工作，傷害科學知識的發展，甚至傷害人類生命，如巴斯德之例所示。同時，從更多元的角度與學生討論科學家的「不當行爲」所涉及的科學方法問題、科學與社會等問題，尤其是有些尚未定論的或有爭議的科學家「不當行爲」的故事，如密立肯油滴實驗及伽利略的理想實驗，一定可以幫助學生從不同角度理解科學的本質。

科學家「不當行爲」的故事在教學所可能引起的缺點，首先在於科學研究所涉及的方法中所蘊含的價值觀與直覺經驗，對一個缺乏實地從事科學研究經驗的學生而言，較難體會理解，因此應提供學生進行科學研究的學習情境。譬如說，讓學生在其環境許可的情況下，選定一個有興趣的研究主題進行科學研究工作。如此，學生在研究的過程中所遭遇的種種問題以及解決問題的經驗中，實際體會到科學方法所涉及的價值觀與直覺經驗。其次另一個可能會被質疑的缺點是科學教師採用科學家「不當行爲」的故事材料進行教學，學生可能會對那些材料所涉及的科學理論知識產生懷疑；如此，那些材料本身是否還能有效地將當今被接受的相關科學知識理論傳遞給學生。事實上，科學教育的目的並非僅限於傳遞當今被科學社群認可接受的科學知識理論，而應更進一步了解什麼是科學以及科學理論是如何產生，否則科學的發展將受限於既有的理論範圍。學生對那些材料所涉及的科學理論知識產生懷疑，正足以激發學生進一步思考所學的科學理論知識。在此情況下教師必須對科學史材料更了解，以進一步提供學生更深入的理論發展背景才能滿足學生的學習需求。就像 Brush (1974) 所舉的例子， Albert Einstein, Niel Bohr, Erwin Schrodinger, Werner Heisenberg 以及 Paul Ehrenfest 等科學家在量子力學方面所提的理論已逐漸受到質疑，並對科學教學帶來衝擊。

陸、結語

科學史材料從不同的層面與角度呈現科學的本質，運用科學史材料於科學教學，提供教師與學生從更多元的角度理解科學的機會，如 *Benchmarks for Science Literacy* (AAAS, 1992) 的作者們基於兩大理由該專案極力建議科學史應被納入學校科學課程之中，其主要考慮是以科學史故事作爲實例，將科學之運作方式傳遞給學生，因爲科學史於文化之傳承具極大的意義。科學家在科學研究上的「不當行爲」與整個科學領域及人類社會文化有相當的關聯。一個僞造的實驗數據及研究成果，會誤導科學知識發展的方向。也就是說，一個因個人價值觀誤導的科學研究方法，所產生的結果，不但誤導科學知識發展，甚而造成人類彼

此的誤解並帶來社會問題。雖然到目前爲止，還有一些科學上疑似作假或不當的行爲尚無定論，然而其中所蘊涵有關科學本質、科學方法、科學態度、科學與社會文化等的課題，均是當今科學教育改革必須面對的問題。

無論是科學家的教育或是國民科學教育，科學家不當的研究行爲或是科學上作假行爲的故事，可提供另一種了解科學的角度，同時可作爲中等學校科學師資培育課程的教材，加強職前教師對科學本質的理解。對中等學校科學教育而言，將有助於非科學性向的學生思考科學對社會的衝擊與極限；有助於科學性向的學生思考科學家之間的互動關係，以及科學上的不當行爲所造成的種種傷害，包括個人聲譽及專業知識。臺灣歷年國高中科學類科課程標準中，經常強調的課程目標諸如：「培養科學態度：互助合作、尊重不同意見、忠於數據、實事求是」、「培養科學方法：觀察、分類、測量、傳達、數字的運用、時空關係的運用、預測、推理、解釋資料、控制變因、建立假設、從事實驗」、「明瞭基礎科學的研究，導致技術的革新和發明，進而密切影響人類生活和社會的進展」等等，應可經由在科學教學中討論科學家的「不當行爲」故事，出現另一種實現的可能。至於在科學教育的研究方面，則有必要以科學社會學的角度，從社會與文化的層面，探討科學教育中所討論的科學本質議題以及科學史運用於科學教育的問題。更期望科學家「不當行爲」故事所關聯的科學教育議題，能引發科學教育學者與科學史家更密切的合作，共同在運用科學史於科學教育的相關問題上，發展另一新的研究方向。最近美國科學史學會 (History of Science Society) 與科學教師協會 (National Science Teachers Association) 合作發展運用科學史於科學教學的單元活動設計，值得參考借鏡，因爲這是國內科學教師、科學史家及科學教育學者日後可以大力合作研究的方向之一。

誌　謝

本文之部份內容爲筆者於民國八十六年十一月二十九日在中央研究院科學史委員會專題演講之部份講稿內容，感謝該委員會委員們提供的寶貴意見。同時感謝國科會專題研究計畫補助 (NSC88-2511-S-007-007)，使本文相關的研究得以繼續順利進行。

參考文獻

1. 教育部（ 1996 ）：**高級中學課程標準**，臺北市：中華民國教育部。
2. 傅麗玉（ 1996 ）：**科學史與台灣中等科學教育之整合一問題與建議**。載於國立臺灣師範大學中等教育輔導委員會主編：化學教學面面觀 (pp.165-193)，臺北市：國立臺灣師範大學中等教育輔導委員會。
3. 傅麗玉（ 1997 ，11 月）：**科學家的「壞行爲」在科學教育上的價值與意義**。中央研究院科學史委員會專題演講講稿。
4. 傅麗玉（ 1999 ，2 月）：**國小教科書中科學史之呈現方式：以七個地區之國小自然科學教科書爲例**。臺北市：中央研究院科學史委員會。
5. AAAS (1992). *Benchmarks for science literacy: Project 2061*, New York: Oxford University Press.
6. Allchin, D. (1996). In the shadows of giants (update): Boyle's Law, Bunsen's burner, Petri's dish, and the politics of scientific renown. *SHiPS Teachers' Network News, 7*(1), 1-8.
7. Arnheim, R. (1985). The double edged mind: intuition and the intellect, Eisner, E. (Ed.), *Learning and teaching the ways of knowing*. Chicago: The National Society for the Study of Education.
8. Bailin, S. (1990). Creativity, discovery and science education: Kuhn and Feyerabend revisited. In Herget, D. E. (Ed.) *More history and philosophy of*

science in science teaching: proceedings of the First International Conference, Tallahassee, FL: Science Ecuation land Dept. of Philosophy at Florida State University.
9. Barba, R.(1998). *Science in the multicultural classroom: a guide to teaching and learning*. Boston: Allyn and Bacon.
10. Beveridge, W. I. (1957). *The art of scientific investigation*. New York: Vintage Books.
11. Braunwald, E. (1987). On analyzing scientific fraud. *Nature, 325*, 215-216.
12. Broad, W. J. & Wade, N. (1982). *Betrayers of the truth*. New York: Simon & Schuster.
13. Brush, S. G. (1974). Should the history of science be rated X? *Science, 183*, 1164-1172.
14. Brush, S. G. (1979). Coments on "on the distortion of the history of science in science education". *Science Education, 63*(1), 111-118.
15. Conant, J. B. (1962). *Science and common sense*. New Haven: Yale University Press.
16. Crombie, A. C. (1979). *Augustine to Galileo*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University.
17. Culliton, B. J. (1988). A bitter battle over error. *Science, 240*, 1720-1723.
18. Dewdney, A. K. (1997). *Yes, we have no neutrons*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
19. Drake, S. (1989). History of free fall: Aristotle to Galileo. Toronto: Wall & Thompson.
20. Drake, S. (1990). *Galileo: pioneer scientist*. Toronto: University of Toronto Press.
21. Feyerabend, P. (1981). How to defend society against science. In Hacking I. (Ed.), *Scientific revolutions*. New York: Oxford University Press.
22. Feynman, R. P. (1998). The uncertainty of values. In *The menaing of it all: thoughts of a citizen-scientist*. MA: Perseus Books.
23. Friedlander, M. W. (1995). Yes, no, and maybe. *At the fringes of science*. Boulder, San Francisco, Oxford: Westview Press.
24. Fu, L. Y. (1995, January). Invite science teachers to good history: three issues of the history of science in science teacher education. Paper posted at National Conference of the Association for the Education of Teachers in Science, Charleston, West Virginia, USA.
25. Galilei, G. (1989). *Two new sciences*. translated by Stillman Drake. Toronto: Wall & Thompson.
26. Geison, G. L. (1995). *The private science of Louis Pasteur*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
27. Goldwhite, H. (1975). *Clio and chemistry: a divorce has been arranged. Journal of Chemical Education, 52* (10), 645-649.
28. Hamner, E. R. (1980). A new scientific method in school. *Education in Chemistry, 17*(2): 48 & 51.
29. Hanson, N. R. (1958). *Patterns of discovery*. Cambridge: Cambridge University Press.
30. Holton, G. F. (1988). *Thematic origins of scientific thought*. Cambridge: Cambridge University Press.
31. Hull, D. L. (1988). *Science as a process*. Chicago: The university of Chicago Press.
32. Knight, D. (1976). *The nature of science*. London: Andre Deutsch limited.
33. Koshland, D. E. Jr. (1988). The price of progress. *Science, 241*(4866), 637.
34. Kuhn, T. S. (1970). *The structure of*

scientific revolution. Chicago: the University of Chicago Press.
35. Lindsay, R. B. (1963). *The role of science in civilization*. New York: Harper & Row Publishers.
36. Matthews, M. R. (Ed.) (1990). *History, philosophy, and science teaching*. Toronto: The Ontario Institute for Studies in Education.
37. Merton, R. K. (1962). *Science and the social order*. In Barber, B. & Walter, H. (Eds). The sociology of science, New York: The Free Press.
38. National Academy of Science (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.
39. Planck, M. (1949). *Scientific autobiography and other paper*. New York: Philosophical Library.
40. Polanyi, M. (1962). *Personal knowledge*. Chicago: The University of Chicago Press.
41. Polanyi, M. (1966). *The tacit dimension*. New York: Double & Company.
42. Raman, V. V. (19710. The Gas Laws. *The Physics Teacher, 9*(7), 419-424.
43. Ravetz, J. R. (1971). What is science? *In Scientific knowledge and its social problem*. Oxford: Clarendon Press.
44. Siegel, H. (1979). On the distortion of the history of science in science education. *Science Education, 63*(1), 111-118.
45. Siegel, H. (1980). Comments on Brush on the history of science in science education. *Science Education, 64*(1), 121-122.
46. Silva, C.; Silva, P.; Morais, A. M. & Neves, I. P. (1995). Fraud in science-the sociology of science in the science classroom. In *Proceedings of third international history, philosophy, and science teaching conference*, Minneapolis, Minnesota, USA, Oct. 29 - Nov. 1, 1995.
47. Stevenson, L. & Byerly, H. (1995). *The many faces of science: an introduction to scientists, values and society*. Boulder, San Francisco, Oxford: Westview Press.
48. Vandervoort, F. (1992). Flirting with fraud with update: Millikan, Mendel and the fringes of integrity. SHiPS Teachers' *Network News, 3*(2), 1&5-7.
49. Wible, J. R. (1992). Fraud in science. *Philosophy of the Social Sciences, 22* (1), 5-27.
50. Ziman, J. (1980). *Teaching and learning about science and society*. Cambridge: Cambridge University Press.

The Meaning and Values of Scientist's "Improper Behavior" in Secondary Science Education

Li-Yu Fu

Center for Teacher Education, National Tsing Hua University, Taiwan, ROC

Abstract

Should stories about fraud in science be taught in secondary science class? Brush raised this issue 20 years ago when the history of science was ifrst regarded as a potential component in effective science teaching and learning. Currently reforms in science education place a strong emphasis on the history of science, which is expected to help students' understand the nature of science. However, fraud in science is not a concern among science educators in Taiwan even though an understanding of the nature of science is emphasized in national science curriculum. This paper explores the meaning and values of scientists' "improper behavior" in secondary science education in Taiwan.

Key words: fraud in science, history of science, secondary science education, the nature of science.