

從經驗證據和科學理論之間的關係來探討 自然科實驗教學的意義

林陳涌

國立臺灣師範大學生物學系

收稿日期：民國 84 年 8 月 31 日，接受日期：民國 84 年 10 月 12 日

摘要：本文的主要目的將由探討實驗在科學理論或知識的獲得及驗證上的真實功能及角色，釐清經驗證據和科學理論的真實關係，進而勾畫出實驗課在自然科教學上適當的功能及角色。

在科學哲學探討上，歸納法及假設演繹法曾被視為經典的科學方法，前者用於科學知識的獲得；後者用於科學知識的驗證。在科學教育實施上，兩者亦有重要的影響性。本文首先討論兩者在哲學上的謬誤與科學事業上的滯礙，進而說明其所宣稱的功能在科學教育上亦無法達成。再者，經由闡明後邏輯實證／經驗主義科學哲學思潮的發展，強調人的社會心理因素在科學知識發展的地位，科學理論的發展不再被認為是對或錯的截然分野，而是妥協與取代；成長與衰退的辨證歷程。並提出這樣的轉變在科學教育上的應用。

最後，綜合提出良好的實驗教學的消極條件：勿企圖以歸納法來使學生發現科學知識，或企圖以經驗證據來證實或完全否認學生現存知識、破除實驗教學是最好的或唯一的科學教學的迷思、實驗技能學習的進行不能獨立於學科知識及情境之外、引用科學方法和科學態度時需十分的謹慎；及積極的條件：尊重並提供機會讓學生表現其現存知識的機會、實驗教學的設計及進行應顧及學生的現有概念，並鼓勵學生自行或共同設計實驗活動、實驗教學活動的目的不是為了獲得經驗證據的，而是要學生進行討論及協商建構經驗證據的意義。

關鍵詞：實驗教學、科學哲學

壹、前言

國民中小學的實驗課是自然科教學的一大特色，也是通常被視為區分自然科和其它科目的主要指標。自然科教師和科學家也從不間斷的強調實驗在自然科教學和科學研究上的重要性，認為實驗是教學和科學研究上的必需課題，因而長久以來鮮少有人質疑使用實驗課在自然科教學上的正當性，遑論更進一步探討實驗課在自然科教學上的意義及功能。

一般而言，自然科教師和學生常認為實驗課在自然科教學上是不可或缺的。他們認為經由實驗的安排，學生就能藉以獲得科學知識和藉以檢驗科學知識。這個觀念主要源自傳統哲學及一般人對科學的看法。此一看法，認為實驗在科學的發現情境（context of discovery）和驗證情境（context of justification）均扮演著重要且關鍵的角色。也就是認為科學理論或知識是經由累積大量的經驗證據（empirical evidence）

就自然可得，經驗證據即實驗或感官觀察的結果，而科學理論或知識的驗證基本上也是直接查對科學理論和經驗證據是否吻合。在這兩個過程，經驗證據對科學理論擁有最高且最後的判決權。前述的觀點被毫不保留的轉移到自然科學教學上，實驗課也被認為在自然科學教學上應享有同樣的功能及角色。本文的主要目的將經由探討實驗在科學理論或知識的獲得及檢驗上的真實功能及角色，釐清經驗證據和科學理論的真實關係，進而勾畫出實驗課在自然科學教學上適當功能及角色。

在進入討論之前，經驗證據 (empirical evidence)，實驗 (experiment)，和觀察 (observation) 等三個名詞需先加以界定。一般認為實驗是指系統化的控制及改變某些變項以確使相對假說 (alternative hypothesis) 是否能被排除 (DES, 1988)。觀察是指對進行中的事件，不加以干預的記錄 (Harre, 1983)。經驗證據是指感覺器官對實驗或觀察事件的感受。然而實驗和觀察在科學實務活動的分野不是十分明確。同樣的，現行中小學教科書用「實驗課」一詞來統稱實驗，觀察，及其他科學活動，如此不僅易於混淆而且誤導「實驗」為科學的唯一活動，事實上在科學實務上，尤其生物學及地球科學，進行觀察的頻率往往高於實驗，因此用實驗一詞描述整體科學活動不是很恰當的。本文建議教科書應以「實驗活動」、「科學活動」、「科學學習活動」、或「科學教學活動」來替代慣用的「實驗」或「實驗課」。

貳、邏輯實證 / 經驗論的主張及批判

對於如何獲得和檢驗知識這個問題的爭論，可溯自古希臘以來理性論 (Rationalism) 和經驗論 (Empiricism) 的競爭。理性論者一方面指出感官知覺不可盡信，另一方面強調唯有運用推理才能得到永久絕對的知識。相反的，經驗論者則認為感官知覺才是獲得客觀知識的唯一途徑。理性論挾著柏拉圖及亞里士多德的權威宰制了歐洲的科學思潮直到十五、六世紀。之後，由於培根歸納法的提出和實驗科學的重大成就，經驗論逐漸在科學事業上取得正統。自十九世紀以來的實證化運動—經驗論的別支—將科學哲學的研究推到一個前所未有的高峰，然而後續的研究却使得二十世紀前葉科學哲學的主流—邏輯實驗論 (Logical positivism) 或邏輯經驗論 (Logical empiricism)—遭遇到非常嚴重的考驗。這個考驗主要是來自科學哲學研究法的重大轉變。邏輯實證 / 經驗論主張以邏輯為主要研究方法，來分析和建構科學理論應然的內在抽象結構，新近科學哲學研究法則偏重科學史個案研究，來探討科學家或科學社群的實際科學活動。後者雖常被統稱為歷史學派，其共同點主要是反對將科學視為靜態的研究對象，然而事實上其

代表人物之間對科學哲學重要議題的看法存在著不可忽視的歧異性。

經驗論的基本立場主張知識起源於客觀的觀察，且經由歸納 (Induction) 和假設演繹 (Hypothetico-deduction) 便可保證知識的確實性 (Chalmers, 1982)。現行自然科實驗課教學就是反映此一立場，希望學生能從實驗課所顯示客觀的經驗證據中獲得科學知識—歸納法，或是希望藉由實驗課所顯示的經驗證據來證實或否認科學知識—假設演繹法。大部份的自然科教師也持有相似看法，認為科學家做實驗的目的在於找出新的定律和建立理論及肯定現有理論的正確 (許玫理, 1992)。

歸納法是經驗論取代理性論的最大利器，然而也是自 Hume 於 1748 年發表《人類悟性的探索》一書以來成為經驗論者最大的隱痛。歸納法不同於理性論的演繹法在於其結論不包含在其前提中。當由「到目前為止所觀察到的烏鴉都是黑色的」推出「世上所有的烏鴉都是黑色的」時，不是「所有的烏鴉」都已被觀察到。所以可說歸納法中的結論是由前提擴展出來的，這樣雖然因此可以得到比較通則化的知識，但也冒著可能犯錯的危險。Hume——一個嚴格的經驗論者——想用經驗事實來證明歸納法的使用是正當的，却發現只能用歸納法來證明歸納法。這種走馬燈式的循環證明是無法被 Hume 本人及其他哲學家所接受，他只好痛苦的宣稱接受歸納法只是一種心理作用，不是哲學思辯所得。但這樣一來，由歸納法所獲得的知識就不能被視為「真知識」，只能「相信為真」。換句話說，我們只能「相信」明天太陽會升上來，不能說明天太陽一定會升上來。

科學知識變成只是信仰，當然不是經驗論者所樂見的。而近代哲學家從三個方向嘗試解決這個歸納法的缺失。首先，羅素 (Russell, 1912) 坦承歸納法的原則是無法以經驗事實來證明，但他辯稱，接受歸納法的原則是根據無數的經驗事實所產生的本能信仰。他這種說法基本上和 Hume 相距不遠。其次，Strawson (1952) 提出有一先天的關聯存在於理性 (Rationality) 和歸納法的原則之間，歸納法就是理性的同義詞所以歸納法是世上最根本的原則。因此只能用歸納法來證明其他方法是否合乎理性，而無其他更根本的原則來證明歸納法。如果這種說法要能被接受，Strawson 需提出更有力的證據或說詞來說明理性和歸納法原則之間有必然的關聯。最後，Salmon (1970) 採用 Reichenbach 的實用性證明 (Pragmatic vindication) 說明歸納法是建立可信賴知識的最佳方法，但是說歸納法是最佳方法並不能證明歸納法的使用是正當的。因此依 Salmon 的說法，歸納法所能得到的也只是真正的信仰，不是真正的知識。

退一步來說，哲學家曾企圖引用機率的概念，欲證明以歸納法所得的知識為「可能為真」，但其證明方法仍然落入 Hume 所質疑的循環證明 (Chalmers, 1982)。因

此以歸納法所得的知識不僅不能證明為「真知識」，甚至連欲證明「可能為真」都不可得。而引用機率本身又衍生出一個更嚴重的問題，因為任何觀察證據是有限數目的，而歸納通則化的企圖是無限數目的全稱陳述，以有限除以無限，機率必為零（張巨青，吳寅華，1994，P. 63）。

除了歸納法本身的哲學思辨困難外，科學哲學家更進一步懷疑能否實際上使用歸納法去獲得知識。Hempel（1966）認為這是不可能的。當使用歸納法去獲得知識時，為了避免降低科學知識的客觀性，首先，蒐集經驗證據時，不能有個人預存的立場。其次，在組織和分類經驗證據時，也不能有個人預存的架構。在這樣的嚴格條件下，研究者甚至無法知道應該蒐集那些或多少經驗證據，第一步驟已無法踏出或結束，更遑論進行組織和分類經驗證據。最後，欲由蒐集到的經驗證據去形成通則化的原則時，歸納法本身沒有一套機制方法可遵循。Hempel（1966）更進一步指出，由經驗證據形成理論需要有創造性的想像。科學的理論或假說並不是由經驗證據直接推論而出，而是經由研究者「創造」出來說明解釋經驗證據。物理學家愛因斯坦亦多次表示，由經驗證據到理論之間沒有一條合乎邏輯的路，這是一條經由直覺或創造的歷程。

至此，經由歸納法來獲得知識這個立場，無論在哲學上或在實際實行上均面臨無法克服的困難。Reichenbach（1938）認為科學發現的情境是屬於心理學的領域，不是哲學家應努力的範圍；而科學驗證的情境才是哲學家應該努力的範圍。之後，邏輯實證／經驗論者轉而全心致力於檢驗科學知識。檢驗科學知識通常可分為證實（verify）和否證（falsify）兩種觀點，而其方法主要還都是假設演繹法。用假設演繹法來證實科學知識，其推理型式如下：

$$\begin{array}{r} H \text{ (受測假說)} \\ I \text{ (起始狀況)} \\ \hline O \text{ (可觀察的預測)} \end{array}$$

也就是，用受測假說預測某件自然現象的發生或某種實驗結果，若事實觀察的結果的確符合預測時，則此受測假說就被證實；若事實觀察的結果不符合預測時，則此受測假說就被否證。主張前者的稱為證實主義；主張後者則為否證主義。

這個推理型式經常被認為經典的科學方法，然而邏輯上來講，經由假設演繹法來證實或否證科學知識是行不通的。當H、I和O均為真時，這個推論可說是有效的演繹，但也只能講由「受測假說」到「可觀察的預測」這個推論有效，不能說由「可觀察的預測」到「受測假說」這個推論有效。由通則化法則（受測假說）推論到個例（可觀察的

預測)是一演繹推論；然而由個例(可觀察的預測)推論到通則化法則(受測假說)却是歸納推論。欲以歸納法來證明使用假設演繹法的證實檢驗，勢必面臨到前述有關歸納法的種種困難。因此用假設演繹法來證實科學知識，甚至只是確認(confirm)科學知識，都是邏輯上行不通的。

否證主義不企求以正確的單稱陳述來證實全稱陳述，而以一个錯誤的單稱陳述來否認全稱陳述。這在邏輯上較證實主義有理，但仍有缺失，首先，遭遇到Duhem-Quine Thesis的挑戰。Duhem-Quine thesis認為一假說要能預測某一事件，必需結和某些輔助假說。因此當事實觀察的結果不符合預測時，則很難確定到底是受測假說或是輔助假說有了錯誤。所以，經由假設演繹法來否證科學知識也是行不通的。其次，是心理問題。一般人，包括科學家，很難因經驗證據與其所相信或使用的學說不符，即放棄該學說，反而會以其它方式來保護該學說。十九世紀時，天文學家發現天王星繞太陽的運行軌道與牛頓力學預測不符，即提出可能另有一個星球影響天王星的運行，因此經由計算預測某個星球的存在，由此發現了海王星。否證主義雖然在邏輯上有理，但執行上有困難且不符合實際的科學。

參、邏輯實證 / 經驗論的基石與破滅

歸納法和假設演繹法要能進行，需預設有客觀的觀察存在；要有客觀的觀察存在，需要有一截然劃分的界線存在於理論和觀察之間。如此，經由觀察所蒐集到的經驗證據才能客觀的形成、證實、或否證科學理論。這條界線的存在是維繫著邏輯實證 / 經驗論霸業的主要命脈，有了這條界線客觀的觀察才能存在；客觀的觀察存在，歸納法和假設演繹法才能進行。歷來邏輯實證論者無不疲於奔命致力於維護此一界線的存在，最後這條截然分明的界線，還是被認為無法維持且必需被放棄(Hempel, 1954)。如此，客觀觀察的存在就被存疑。

觀察不僅不是毫無己見的客觀，而且絕對是含有個人觀點及需求的主觀。首先，感官對於外來的刺激具有區別和選擇的功能。在長途巴士或火車上，車聲人聲非常吵雜，但吵不醒沉睡中的母親和其嬰兒，然而相對上聲量較小的嬰兒哭聲却很容易喚醒他的母親。這個例子很明顯的說明感官本身具有過濾的功能，主觀上不重要的刺激就被排除在外；只有有意義的訊息才會被接受加以處理。其次，感官對訊息的感受和詮釋往往會受到過去的經驗或預存的立場所左右。正如許多教育心理有關書本中，常轉載的老巫婆與少女圖，因觀察者不同觀點而「看出」不同的人物，有些人會看成醜陋的老巫婆，而有

的則會看成一位美麗的少女。很明顯的同樣的外在環境條件下，不同的觀察者觀察同一物件，不見得會得到相同的感官經驗。這正如Hanson（1958）所強調的，我們所看到的比我們的眼球所經驗的還要多。

Hanson指出觀察是「蘊涵理論」（Theory-laden）的。當進行觀察時，不是單純的由眼睛攝入影像，且無誤的印在像白紙一樣的大腦，而是基於自己本身的現有的知識、信仰、經驗、和預期以詮釋所攝入的影像。也就是一切抵達意識的訊息將完全的被調整、組織、和詮釋。因此當在觀察老巫婆與少女圖時，人像由巫婆轉變成少女時，不是攝入眼睛的影像—感官證據—有所改變，而是觀察者本身內在參考架構發生了變化。

此外，觀察本身亦不是如經驗論者所認為的，被動的呈現經驗證據，而是一個主動的行為。被動且全面性的呈現經驗證據，在事實上是不可能也無意義的。當有人在實驗室告訴我「紀錄下你所觀察到的」。他的意思絕不是要我寫下「我正在寫報告，遠方的車聲是八十分貝，室溫二十六度，走廊有兩人走過，下午四點半固體變成液體，我肚子很餓……」，而是要我基於現有的知識去蒐集對現行實驗有意義的經驗證據（Popper，1968）。因此經驗證據是否有意義則端視個人的現有知識架構，吻合時則採用或接受，不合則忽視或拒絕。

機械論的心物二元論大概是理論和觀察有截然劃分界線的濫觴。笛卡爾以來的機械論將宇宙比喻成一個精準的機械。機械論傳予後人一個印象，就是自然世界的運行是依照其內在的定律，也就是自然律。人類的心智雖然無法影響自然律的存在與運行，然而却能客觀的探討發現存在宇宙中的自然律，並加以運用來駕御自然。所發現的自然律就是客觀且絕對的科學知識。人類對科學的信心受到牛頓力學的成功更為高漲。

機械論的心物二元論與牛頓物理學的偉大成就鋪設了傳統對科學的觀感。科學被視為累積經驗證據而得出科學知識，科學知識在確立後就具有普適性且如真理般就不再更改了。也就是說自然律是決定性自然律（Determinant laws），可以用來指稱某一事件的必然發生。然而1919年愛因斯坦的廣義相對論比牛頓力學更成功的預測光偏折現象，粉碎了後者的真理地位。同樣的也使人類質疑科學知識是永不改變的觀念。近代量子力學中自然律的本質已不是決定性的，而是統計性（Statistic laws）的。也就是只能預測次原子粒子運動方向和出現位置的機率，而無法必然的指稱其行動方向和位置。相對論和量子力學發展的啓示孕育了批判邏輯實證／經驗論的種子。這樣的歷史發展也對「科學是客觀的真理」這一迷思一個嚴重的打擊。

邏輯實證／經驗論者堅持有一截然劃分的界線存在於理論和觀察之間以及客觀的科

學觀察的存在，進而宣稱客觀經驗證據本身足以決定科學理論的形成、檢驗、和取捨。前面引述的論辯已足以說明此觀點的誤謬，而近代物理學更加強了科學的理論和觀察的關係不是如此單向且直線的單純。近代物理學的發展展示了科學理論和觀察之間的複雜性，也給了「觀察是蘊涵理論的」此一觀點一個有力的例證，進而支持理論和觀察之間這條截然劃分的界線的不存在。量子力學中原子的波—粒二元性，讓使用波理論的科學家能夠找到波的證據；而讓使用粒子理論的科學家能夠找到粒子的證據。這樣理論和觀察的高度依存，促使Heisenberg懷疑科學家不是在研究大自然本身，而是在研究人類的大自然知識。因此，研究者與研究物，內在與外在，靈魂與肉體等的截然劃分是不足夠且有困難的。也就是說，當科學家一開始進行研究，就面臨到其個人所持有的主張，所信奉的學說理論，科學內在與外在證據等等因素的糾葛，截然劃分的理論 / 觀察界線與客觀的科學觀察便無法存在。

客觀觀察不存在，歸納法和假設演繹法便無以奠基。如此實驗在科學上所宣稱的功能便得不到支持。同樣的，在科學教育上應用歸納法和假設演繹法的實驗教學亦問題重重。

肆、邏輯實證 / 經驗論的教育應用及批判

歸納法的應用反映在自然科學教學上，是風行一時的發現式學習法 (Discovery learning)。此一學習法強調學生藉此能獲得第一手經驗，由此經驗而獲得科學知識；此一學習法又能避免教師直接灌輸教科書上的科學知識—第二手經驗—而導致學生機械式的記憶。其實施主要是讓學生直接觀察—組天然的或(教師)人為安排的事件，紀錄下經驗證據，進而得出科學知識。發現式學習法的確可使學生心理上主動去追求第一手經驗，而不只是死背第二手經驗。然而由前述的科學哲學的觀點來看，客觀的觀察與由經驗證據推出科學知識兩者均是不可能的，如此發現式學習法似乎違反知識獲得的歷程；又由認知上來看，學生的現有知識各有不同，觀點亦大不相同，其所紀錄的、獲得的，恐將五花八門而不是教師所預期的，結果只是徒增科學教學的困擾 (Millar, 1989a)。因此引用歸納法觀念的實驗教學是無法達成其所宣稱的目標和功能的。

假設演繹法在自然科學教學上的應用，主要是在於教師秉持著前述的誤謬，企圖以實驗或觀察所得的經驗證據來校正或改變學生有關科學的另有概念。學生的另有概念通常是他們經由日常生活直接或間接所得，另有概念通常歷經日常生活實際的挑戰而存留下來，學生對於他們的現有概念抱有很大的信心。學生的另有概念不一定吻合教科書上或

現行的科學知識，而當教師欲以經驗證據來校正或改變他們時。學生有時會形成兩套知識架構，一套用在日常生活，一套用在學校學習，涇渭分明，同時併存；有時學生會暫時接受不同於他個人的概念，但過一段時間後却恢復其另有概念（Osborne和Freyberg, 1985；Gauld, 1989）。畢竟對個人來講，其另有概念才是最可靠最安全的知識，而且非常根深蒂固難以因一時與經驗證據的不吻合而改變。這也顯示應用假設演繹法觀念的實驗教學也無法達成其所宣稱的目標和功能。

經常有以「實驗」一詞來代表整個科學活動及科學教育教學活動，這有很大不妥之處。並不是所有的科學活動都是實驗，而很多是「非實驗」的，如植物分類學，其主要活動應是觀察；如天文學，其主要活動也是觀察，而且甚至無法進行實驗，但沒有人能否定這兩門學科為科學。因此用「實驗」一詞是不足以代表整個科學活動。在科學教育教學活動中，也用「實驗課」一詞來代表所有不是「正課」的教學活動，但事實上學生很少真正從事「實驗」，即從事驗證某種科學結論或假設的活動，反而大多不是「實驗」，如國中生物教科書中的「實驗 1-2：水中的小生物」是觀察活動，「實驗 5-2：膝反射」是展示某科學知識。而真正使用「對照組」和「實驗組」來驗證某種科學知識只是「實驗 6-1：魚釋出的氣體」，但這個實驗而只能說有酸性物質伴隨魚出現而存在，並無法如其所宣稱的「了解魚呼吸時所釋出的氣體是二氧化碳」，當然更談不上證實或否證某種科學知識。因此用「實驗課」一詞也是不足以代表整個科學教學活動。

Hodson（1988）將科學教學活動由窄至廣分為實驗（Experiments），實驗室活動（Laboratory Bench Work），實務活動（Practical Work），及教學方法（Teaching/Learning Methods），並建議以「實務活動」代替「實驗」。本文雖贊同Hodson的本義，但由於「實務活動」一詞在中文使用上不易顯示科學教育的特點，因此如前述，建議使用「實驗活動」、「科學活動」、「科學學習活動」或「科學教學活動」替代慣用而不實際的「實驗」或「實驗課」，而「實驗」則用在較合於嚴格定義的驗證活動。

實驗教學除了在哲學上有其宣稱，但不能達成的意義外，尙在教育學上也有其宣稱，但也不能達成的意義。一般認為實驗教學除了增進科學知識的學習外，最令人樂道的是培養科學態度和科學方法。本文接受實驗教學能增進科學知識「學習」的說法，但應注意這不意謂，如前面批評的，實驗教學能讓學生「發現」或「檢驗」科學知識。然對後兩者，培養科學態度和科學方法，則須有進一步的討論。

如前所述，科學三、四百年來已強烈的吸引了大眾的注意與好感，一般很自然的把

一些正向形容詞加在科學上，如：誠實的、理性的、尊重證據的。這些整體上被稱為「科學態度」，也經常被認為科學教育的重要目標。然而詳細分析這些所謂的「科學態度」，應是人類從事各種工作或行業共同的優良特質，並不是只絕對限定在科學家或科學企業所獨有。Gauld (1973) 認為，強調這些態度為「科學的」，無論由科學家的特質或科學本質來看均不合理的；而且若所有科學家都有這些共同特質，科學探究或思想可能流於「一言堂」，很可能科學的進步將受阻礙。他又認為科學教育若過份高舉「科學態度」為目標，反而易培養科學絕對主義，妨礙學生對其他學科的尊重。

培養學生科學方法也是一般認為實驗教學的重要目標。然而有三個問題需要澄清，何謂科學方法？科學方法有遷移性嗎？科學方法能教嗎？如果沒有適當的答案，科學方法將如同科學態度一樣只是虛幻不實際的。所謂科學方法，傳統上認為是歸納法和假設演繹法，此兩種方法已在前面有了詳細的分析，毋需重覆。然而必需提醒的是，存在（僅有）一套眾所認同的、可信賴的、可憑之客觀的科學方法，這個說法不能表現出實際科學事業的複雜性，是為許多哲學家（如：Koyre 和 Kuhn）所反對的（Schuster 和 Yeo, 1986）。更引人注目的是 Feyerabend (1988) 在其名著“Against Method”反對主張普遍性標準的一元主義方法論。他認為一切科學方法都有特定的適用情境，真正能獲得進步的原則是“Anything goes”（什麼都行），也就是只要能推動科學發展的方法就是科學方法。

科學方法在學校科學教育中，通常被指為一套具有高度遷移性的科學過程技能。科學過程技能通常是指觀察、分類、提出假說、實驗、預測等。一般認為學生一旦學會這些科學過程技能後，便能由其原學習環境或領域，遷移應用到其它類似或不相關的情境。但 Millar 和 Driver (1987) 認為遷移只發生在水平橫向領域，不是靠學到高度通則化的原則就能應用到其它領域。Hodson (1992) 認為既然觀察是「蘊涵理論」，則其他科學過程技能便不可能離開其原有情境而抽象獨立出來。事實上，生物科實驗教學並不是在教抽象的科學過程技能，而是教生物過程技能，也就是在生物科學的情境（context）教含有生物科學內容（content）的生物過程技能。

最後，純粹的科學過程技能，如：觀察、分類、提出假說、實驗、預測等，是否能教也是一大問題。一般在教科學知識時，教師常把一知識概念分為較簡單及較複雜，而先教簡單後教複雜，或者以較簡單者來說明較複雜的知識概念。但在教科學過程技能時，實在無法區分甚麼是較簡單的觀察，甚麼是較複雜的觀察，或者甚麼是較簡單的預測，甚麼是較複雜的預測（Millar 和 Driver, 1987）。因此若無學科內容知識的加入，

純粹的過程技能是無法教授，甚至是無意義的。

在此先就本文的實驗教學理念做一整理。首先，基於歸納法及假設演繹法，以實驗教學為主體的科學教學有其哲學及實施上的困難，也就是企圖要學生以歸納法來發現科學知識，或以實驗或觀察的經驗證據來證實課本知識或否認學生的現存知識是不可能的。第二、實驗教學是科學教學方法中的一種，不是唯一的一種，科學教師應破除只有實驗教學才是好的科學教學的迷思。第三、實驗教學的進行不能獨立於科學知識情境之外。第四、經常附著在實驗教學的科學態度和科學方法是不切實際的，教師應謹慎引用這兩者，以免造成學生認為科學課或科學本身比其它學科優越的不適當觀念。本文認為一個好的實驗教學應認識到這四點，而這四點只是好的實驗教學的消極條件，以下將進一步探討好的實驗教學的積極條件。

伍、後邏輯實證 / 經驗思潮的發展與科教應用

過去三十多年來，科學哲學家採用歷史研究法展現出和邏輯實證 / 經驗論截然不同的科學面貌。科學理論不再被視為由獨立的單元所累積組成，且每個單元也不再被視為可單獨的由資料證據歸納形成，或可藉由假設演繹來驗證和取捨。相反的，科學理論被看成一整體的結構體，其組成單元之間環環相扣相互支持 (Chalmers, 1982)。一旦某一科學理論被接受，很少會因為實證的困難就被捨棄 (Kuhn, 1970; Lakatos, 1978)。由觀察或實驗所得的經驗證據不再像邏輯實證 / 經驗論所認為的那麼關鍵重要，而成為素材供研究者依其個人知識來評估取捨。雖然 Lakatos (1978) 堅持關鍵實驗 (Crucial experiment) 仍然可決定性的否認科學理論，但 Pinch (1985) 基於對太陽微中子有關的科學歷史個案研究，認為關鍵實驗不是在考驗科學理論而是在考驗科學家本人。他更進一步宣稱科學檢驗事實上不是有關邏輯的事，而是一件有關社會慣例的事。

事實上科學理論遭遇實證的困難是常有的，然而欲捨棄一個科學理論單有實證的困難是不夠的，重要的是需先有一對等的新理論存在 (Kuhn, 1970)。而在比較兩個競爭理論，由觀察或實驗所得的經驗證據更也成為素材供科學社群來評估取捨。科學社群所接受的科學理論，在 Kuhn 稱典範 (Paradigm) 在 Lakatos 稱研究綱領 (Research Programme)，更是被用來指導實驗的計劃和實施，以及判定和付予由觀察或實驗所得經驗證據的意義。因此經由新近科學哲學的研究，科學理論和經驗證據之間的關係，已不似邏輯實證 / 經驗論者所認為的，單純的由經驗證據決定科學理論。

理論的形成和取捨還需考慮個人的現有知識及其科學社群的動向。Kuhn 把科學社群列為構成典範的主要成份之一，強調人的社會心理因素在科學知識發展的地位，科學理論的發展不再被認為是對或錯的截然分野，而是妥協與取代；成長與衰退的辨證歷程。

在探討經驗證據和科學理論之關係時，納入人（科學家或科學社群）的因素是後邏輯實證 / 經驗時代的一個突破，這個突破主要是歷史個案研究法帶來的豐富成果。由歷史個案研究中可以看出，以人做為一個知識建構的主體，在科學活動中的辨證與關鍵地位，而經驗證據只是科學家用來支持與宣揚自己的科學理論而已。傅大為（1988）在一篇研究達爾文演化論與古生物學二者互動關係的論文中，顯示達爾文一方面使用化石證據來支持其演化論，一方面又以化石證據的不完全來迴避古生物學者的挑戰，人的主體性及經驗證據的工具性十分鮮明。古生物學者（相信災變說）對達爾文或達爾文演化論（相信均變說）入侵的競爭與反應，明顯的表現在許靖華的《大滅絕》一書（1992）和Gould 與Eldredge（1972）的間歇平衡論（Punctuated equilibria）與其對達爾文或達爾文演化論的攻擊。科學理論之間的動態競爭，科學社群的影響力不容忽視。

近年來認知心理學的發展呼應了新近科學哲學的研究，同時共同提供給實驗教學寶貴的建議。傳統的行爲主義把學習化約成學習者被動的對外來刺激反應，而且知識是片段的存在。然而近代心理學家，如：Piaget, Ausubel 等都建議，知識應是以結構狀存在。片段知識能結合成較大且互相關連的知識體或基模。基模的存在本身並沒多大意義，重要的是基模具有主動認知新知識的功能；也就是認知系統能選擇性的接收外來資訊，並將其與現存基模結合，而付予或建構新的意義（Wittrock, 1990）。Kelly（1955）認為知識的建構是個人的事，個人評估自己、環境、未來而建構暫時性知識，其暫時性知識將可因各種條件改變而修改。

依據前面科學哲學及認知心理學的論述，好的實驗教學的積極條件應如下：首先，科學教師必需要認識到學生對所要學習的科學單元所具有形形色色各種不同的現有概念或基模，並且提供機會讓學生表現其現存知識。第二、實驗教學的設計及進行應顧及學生的現有概念，如果情況許可，鼓勵學生基於其現有概念，參與實驗教學的設計，則將更具有教學效果。第三、實驗教學任何活動的結果本身不具任何意義，只是成為素材供學生協商以付予意義。實驗教學的主要目的不在求其結果，而應重視學生對活動結果的詮釋與討論協商。透過討論協商過程，學生能精緻或修正自己的現有概念。這三個實驗教學的積極條件事實上是近來支持知識建構論的科學教育學者所共同推薦的。

因此一個可以被接受的實驗教學應該有消極和積極兩個層次。消極層次首先需摒棄

邏輯實證 / 經驗論賦與實驗不實際的功能，也就是用以獲得、證實、或否證科學知識。事實上學者早已認為實驗教學，主要應是用來展示科學知識 (Koertge, 1969)。其次需修正其實施的偏失，也就是實驗教學活動結果不是實驗教學的主要目的，實驗活動結果需由學生個人觀點去詮釋。換句話說，實驗教學活動結果應只是一個起點，接下來的討論與協商反而是必需而且比較重要的 (Gauld, 1989)。積極的層次是教師應設法誘出學生的現有概念，鼓勵學生基於自己的現有概念去設計實驗教學活動，預測，討論與協商結果。討論與協商的過程代表一種個人建構及社會學習過程，學生將學習如何精進個人的現有概念，洞察他人現有概念的缺失，進而合力得出較為合理的概念。

然而只要避免其不實際的目的且修正其偏失，實驗教學在科學教學上仍然有其應有的功能，而這些功能是其它教學法無法達成的。Millar (1989b) 提出實驗教學的功能。首先，對於某些抽象概念，如：能量，教師只能應用實驗教學活動的進行，使學生了解這些概念的理論意義。第二，實驗教學可以展現何者為好的科學活動，使學生學習科學研究歷程中的實用技術及一般策略。第三，實驗使學生能有機會嘗試問題解決的方式，了解解決實際問題不能完全遵循固定的一套所謂的科學方法。第四，實驗教學可以避免學生形成知識論上的偏失，如：科學只是驗證過的知識的集合體。

陸、結語

實驗課一向被視為科學教育的特徵與代表，主要這是受傳統的思潮及邏輯實證 / 經驗論的影響。在現代科學哲學的分析，實驗課的角色及功能均受到強烈的質疑；尤其在歷史個案研究法受到重視後，明顯的展示實驗在科學及科學教育的實際意義。一破一立值得科學教育學者深思。茲整理良好的實驗教學的消極及積極的條件如下表：

表一. 良好實驗教學的消極及積極條件

消極條件：

1. 勿企圖以歸納法來使學生發現科學知識，或企圖以經驗證據來證實或完全否證學生現存知識。
2. 破除實驗教學是最好的或唯一的科學教學的迷思。
3. 實驗技能學習的進行不能獨立於學科知識及情境之外。
4. 引用科學方法和科學態度時需十分的謹慎。

積極條件：

1. 尊重並提供機會讓學生表現其現存知識的機會。
2. 實驗教學的設計及進行應顧及學生的現有概念，並鼓勵學生自行或共同設計實驗活動。
3. 實驗教學活動的目的不是為了獲得經驗證據的，而是要學生進行討論及建構協商經驗證據的意義。

參考文獻

- 許玫理，（1992），我國國民中學自然科學教師科學哲學觀點之調查研究，國立彰化師範大學科學教育研究所碩士論文。
- 許靖華，（1992），大滅絕，任克譯，天下文化。
- 張巨青，吳寅華，（1994），邏輯與歷史—現代科學方法論的嬗變，淑馨出版社。
- 傅大為，（1988），“Ad Hoc”假設與「局部理性」—以達爾文演化論與古生物學二者的近代關係發展史為例，收於台大哲學系主編，當代西方哲學與方法論，東大圖書公司。
- Chalmers, A. F. (1982). What is this things called science? University of Queensland Press.
- Cyphert, F. R. and Gant, W. L. (1971). The Delpi Technique. *Phi Delta Kappan*, 42(5), 272-273.
- Department of Education and Science, (1988), Science for Ages 5 to 16: A Statement of Policy, Lodon. HMSO.
- Duschl, R. A. (1985). Science education and philosophy of science twenty-five years mutually exclusive development. *School Science and Mathematics*, Vol. 85(7), November, 541-555.
- Feyerabend, P. (1988). *Against Method* Revised Edition. New York, VERSO.
- Gauld, C. F. (1973). Science, Scientists and "Scientific Attitudes". *Austrian Science Teachers Journal*, Vol. 19, No. 3, 25-32.
- Gauld, C. F. (1989). A study of Pupil's Responses to Empirical Evidence. In R. Millar (ed) *Doing Science: Images of Science in Science Education*, 62-82. London: The Falmer Press.
- Hanson, N. R. (1958). *Patterns of Discovery*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Harre, R. (1983). *Great Scientific Experiment*, Oxford, Oxford University Press.
- Hempel, C. G. (1954). A logical appraisal of operationism. *Scientific Monthly*, 1, No. 79, 215-220.
- Hempel, C. G. (1966). *Philosophy of Natural Science*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, INC.
- Hodson, D. (1988). Toward a philosophically more valid science curriculum. *Science Education*, 72(1): 19-40.
- Hodson, D. (1992). Assessment of practical work: some considerations in philosophy of science. *Science & Education*, 1, 115-144.

- Kelly, G. A. (1955). *The Psychology of Personal Constructs*. New York: Norton.
- Koertge, N. (1969). Toward an integration of content and method in the science curriculum. *Curriculum Theory Network*, 4, 1, 26-44.
- Kuhn, T. S. (1970). *The Structure of Scientific Revolution*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lakatos, I. (1978). J. Worrall and G. Currie (eds.) *The methodology of scientific research programmes*, *Philosophical Papers Volume 1*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Millar, R. (1989a). What is "scientific method" and can it be taught? In J. Wellington (ed). *Skills and process in Science Education A critical Analysis*, London: Routledge.
- Millar, R. (1989b). Bending The Evidence: The Relationship between theory and experiment in science education. In R. Millar (ed) *Doing Science: Images of Science in Science Education*, 62-82. London: The Falmer Press.
- Millar, R. and Driver, R., (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- Osborne, R. and Freyberg, P. (eds.), (1985). *Learning in Science: The implications of children's science*, Auckland: Heinemann Education.
- Pinch, T. (1985). Theory testing in science - the case of solar neutrinos: do crucial experiments test theories or theorists? *Philosophy of Social Science*, Vol. 15, 167-187.
- Popper, K. P. (1968). *The Logic of Scientific Discovery*. New York: Harper & Row, Publishers, Inc..
- Reichenbach, H. (1938). *Experience and Prediction*. Chicago: University of Chicago Press.
- Russel, B. (1912). *The problems of Philosophy*. Indianapolis: Hackett Publishing Company.
- Salmon, W. C. (1970). Inductive inference. In B. Brody (ed.) *Readings in the Philosophy of Science*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Schuster J. A. and Yeo, R. R. (1986). *The Politics and Rhetoric of Scientific Method*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company.
- Strawson, P. F. (1952). *Introduction to Logical Theory*, chapter IX. New York: John Wiley & Sons, Inc..
- Witrock, M. C. (1990). Generative processes of comprehension. *Educational Psychologist*, Vol. 24, No. 4, 345-376.

The Role of Experiments in the Scientific Enterprise and Science Education

CHEN-YUNG LIN

Department of Biology

National Taiwan Normal University

Abstract

The aim of this article is, through clarifying the appropriate role and function of experiments in the course of theory-generation and theory-justification, to demonstrate realistic and complicate relation between empirical data and scientific theories. Based on the discussion, a proper role of laboratory instruction in the science teaching is proposed.

In the field of philosophy of science, induction and hypothetico-deduction were once thought of as the classic scientific method. According to the tradition, the former was used to generate theories; the latter was used to justify theories. Both have had profound implication in the science education. First, the philosophical fallacy and practical problem of induction and hypothetico-deduction is discussed, and then the impossibility of their supposed function in science teaching is delineated. Moreover, this article presents the thought stream of post-positivism, in which the psychological and sociological dimensions of human have been stressed in the development of scientific knowledge. The development of scientific knowledge is not thought of a matter of being absolutely right or wrong any more. Rather, it is a matter of compromise and replacement, and a course of progress and degeneration. The insight of the philosophical shift on science education is shown. Finally, the criteria for proper laboratory instruction is proposed.

Key Words : Laboratory Instruction · Philosophy of Science

