

---

# 自然老師，你教的東西到底存不存在？

## — 多元觀點下的科學與科學學習

鄭榮輝

臺北市立中山女子高級中學

### 摘要

本文以兩個類比所引發的有關「實在」的問題為起點進行哲學思考，旨在探討包括知識論、本體論等不同觀點之下的科學，以及其對科學學習的影響。首先，介紹從現代到後現代相關科學哲學思潮下對「科學」的多元觀點；其次，進入科學的本體論觀點，討論科學實在論與反實在論之主要論點與爭議，及二元對立之外的另類觀點；最後回到科學教育，指出科學概念也具有多元觀點，其中本體論的觀點對某些科學概念的學習具有重大影響，其重要性不亞於傳統著重的知識論觀點，文末並提供一些教學實務與研究上的建議。

**關鍵字：**知識論、本體論、科學實在論/反實在論、概念改變

### 壹、前言：兩個類比所引發有關「實在」的問題

筆者任教高中生物數年來，一直習慣以「推過一個小山丘後，球便能自然由山坡上滾下來」來比喻「酵素係藉由降低反應所需的活化能來催化化學反應」；在此類比中，山丘高度代表活化能，在沒有酵素存在的情況下，小山丘較高，因此欲使球能自然滾下山坡需要較大的力氣，在酵素的幫助下，小山丘降低了，因此很輕易就能使球自然滾下山坡。然而，一次偶然翻閱中國大陸出版的簡明生命科學教科書（吳慶餘，2003），是以「鯉魚躍龍門」來比喻同一個科學概念：鯉魚若沒有吃飽，則不易躍過龍門，就像化學反應的進行需要先跨過一個活化能為門檻，若鯉魚吃飽

了有力氣，則較易一躍而過，就像酵素可以促進跨越化學反應的活化能一樣...。多麼有中國味的類比！我迫不及待將此與同事、學生分享，沒想到學生很快向我反應：「這兩個比喻不一樣，若依照小山丘為活化能的說法，則鯉魚躍龍門中，酵素應是藉由降低龍門的高度而非使鯉魚吃飽來促進化學反應！」，還沒等我想清楚同學這句話的意思時，學生接者問：「活化能到底是小山丘、龍門還是鯉魚的食物？」，「到底“實際上”是怎樣？」。

真是大哉問！在科學教室中，我們一直習於以各種科學理論、模式解釋現象，例如酵素與受質結合就像鑰匙與鎖一樣具有專一性、遺傳基因就像電腦程式，電腦硬體執行程式就像是生物根據基因表現出

性狀...等說法，更毫不質疑的將此傳遞給學生，從未想過「到底“實際上”是怎樣？」(really is)的問題，經過詢問，驚覺同樣的情況也發生在同辦公室的物理、化學與地球科學教師身上：原子間的鍵結到底是棍棒還是點？電子到底是線性軌道還是雲狀軌域環繞原子核？磁力線到底存不存在？以上這些「東西」包括基因、原子/電子/化學鍵、磁力線等，誰「觀察到」、「經驗到」過？思考這些問題與平時我們在科學的範疇之內描述、計算、預測現象不同，而必須在科學之外(之後)，亦即由科學哲學的領域中尋找答案，其中科學理論的產生、證成與發展或興替是科學的知識論(epistemology)所探討的問題，而有關科學理論探究的對象究竟「實際上是什麼？」，究竟「存不存在？」...等，則是科學的本體論(ontology)所關注的焦點。

筆者認為，上述這些科學哲學問題的探討對科學學習的成效有重大影響，但在教學前線的科學教師多未體認其重要性或不具相關背景知識來區分其間的差異，因此，本文藉由介紹科學的多元觀點與本體論的科學觀，引出在科學概念的教學中亦需注意本體論觀點的主張，希望能對科學教師提供一點參考。

## 貳、「科學」的多元觀點

科學教育工作者或科學教師所投入的科學教學與研究工作中，往往只是一味的探討科學理論本身與因應理論產生的技術應用，對「科學到底是什麼？」、「科學

的對象是什麼？」、「人們對科學的意象是什麼？」、「科學是怎麼發展的？」...等議題不加深思，然而，這些對科學作系統性探索的「科學之研究」(science studies)不但重要，對科學本身的發展與科學學習均具有重要的影響。

上述這些對科學做系統性探索的工作主要是科學哲學領域的學者關注的議題，二十世紀末以來，科學哲學界整合了包括科學的哲學、哲學的相關領域、及不同專業學科領域的哲學之發展，對某些重要議題逐漸達成一個“後實證者”(post-positivist)的共識，此共識並非不可變通的教條或稱某某主義、某某論，而是取代過去歷史上許多的二元對立或爭議，以對自然世界的運行之因果及現象提出解釋的科學知識，及以科學語言為對象進行哲學的思考而達成普遍一般的共識地位(Boyd, 1992)，筆者認為這共識最主要的內涵是：多元化的科學觀。

### 一、「科學」的多義性

談到「科學」(science)這個字，其拉丁字源 *scientia* 就其最廣的意義來說，泛指「學習」、「求知」、「知識」。在德文中，「科學」的等值字眼則涵意較廣泛，包含一切系統性的知識，所以包括歷史、文獻學與哲學等人文科學。英文的 *science* 已經失去了拉丁文的原始涵意，也沒有德文中的寬泛，專指對自然的系統知識，亦即在沒有刻意強調的情況下，*science* 通常指稱「自然科學」，所以一般所謂 *the history*

and philosophy of science 也只包括自然科學的歷史與哲學(陳瑞麟, 2003)。

然而, 在不同的文化背景與社群之間, 「科學」卻沒有完全一致的定義, Lindberg 在其著作《西方科學的起源》(1992; 引自陳瑞麟, 2003)中便整理出八種科學的不同意義:

1. 科學是人類控制自然環境的行為模式, 科學結合工藝與技術。
2. 科學和技術有別, 科學是理論知識的體系。
3. 科學是理論性的知識體系, 但並非所有的理論體系都是科學。
4. 科學是建立在實驗程序(科學方法)上的理論。
5. 科學是應用科學方法所產生的可修正、可改變的信念。
6. 科學需由其內容來定義, 科學是一組關於自然的特別信念。
7. 任何嚴格、精確或客觀的程序或信念, 都可以算是科學。
8. 最後, 「科學」或「科學的」一詞, 通常被用來讚美—任何我們想鼓掌的東西就稱為科學的。

到底哪一個才是科學的真正意義? 答案可能是: 以上都是, 但任一意義也都不能完全代表科學! 「科學」的多義性(multiplicity)是與脈絡相依的, 隨著科學的發展, 以科學作為探討對象的科學哲學, 也一直在演變, 因此所持的科學觀(views of science)也隨時代而有不同的看法。

## 二、「現代」的科學觀

現代科學與技術在二次大戰後獲得重大進展, 也導致西方資本主義國家經濟上的長足進步, 由現代科技革命中, 科學、技術與生產一致化所產生的強大威力, 進而導致科學不只是理論知識或技術體, 甚至逐漸成為一種意識型態(劉魁, 1998)。科學若做為一種意識型態, 其影響層面將較只是一門學問既深且廣, 除了影響學生科學知識的學習外, 亦將影響其科學過程技能、科學態度, 甚至影響選擇科學做為終身事業的意願, 更可能影響到科學本身的發展方向, 因此, 探討現代與後現代(現代之後)科學觀的主要特點對科學本質的教學是重要的。在時間的區分上, 現代與後現代之間並無明確界線, 具後現代主義特色的思潮最早孕育於 30 年代的現代主義思潮母體中, 60 年代才開始嶄露頭角(劉魁, 1998)。Abimbola 將採邏輯實證論的科學哲學之後的科學哲學研究成果稱為「新」科學哲學(Abimbola, 1983; 引自林陳涌, 1996), 因此本文採其分類, 以邏輯實證論作為現代科學觀的代表, 簡介其對科學之相關主張; 又由於提出理論的科學哲學家本身並非本文探討重點, 除非極重要, 否則將盡量不提及哲學家的名字。

現代科學認為自然是由不可分割的、相互獨立的基本要素構成, 這些基本要素透過彼此推動而產生如機械般的規律作用, 所以自然界中所有現象最終都可以化約為其組成部分的機械作用來解釋, 這樣的想法又被稱為原子論(atomism)、機械

論(mechanism)、本質論(essentialism)、化約論(reductionism)等；現代的邏輯實證論在本體論上主要採實在論的觀點，雖然實在論有許多不同的形式，但有一共同點，就是均視自然(Nature，包括物理世界與生命世界)是真的、獨立於人類而存在的實體，因此，Good 和 Shymansky 將之稱為科學的現代/實在論者觀點(The Modern/Realist View)(Good & Shymansky, 2001)。在科學知識是什麼與如何產生等知識論問題上，首先強調科學知識或理論就是客觀的描述自然這個實體，換言之，科學反應實在，科學就是客觀的真理；其次，在科學知識如何產生方面，主張必定有正確而唯一的科學方法以產生科學知識，而這方法結合了傳統理性主義與經驗主義，除了延續實證主義的精神，還把數理邏輯方法加入實證的哲學，並認為知識應以經驗為基礎，不相信認識經驗以外的實在。舒煒光(1994)分析實證主義知識論，歸納出下列兩點對科學理論與科學方法的觀點：

1. 科學由觀察經驗開始，從觀察和實驗收集經驗事實，然後對事實加以分類和整理，再推出定律與結論，也就是說，觀察先於理論。
2. 理論的可靠基礎在於觀察和實驗的檢驗，凡是能被實驗或觀察檢驗的理論即是真理，或至少部分包含了真理。

在這樣的觀點之下，科學家的工作主要在以預設的科學方法—觀察與實驗來描

述自然、發現自然的規律，並進而預測甚至操弄自然，不可經驗、無法證實的事物不是科學應探討的事物，不是以預設的科學方法所產生的知識不是科學知識(張巨青等，1994)。林陳涌(1996)總結了邏輯實證論的科學觀的三點形象，首先，科學方法的客觀及理性；其次，科學知識的絕對性；最後是，個人在整個科學的過程是可忽略的。

### 三、「後現代」的科學觀

前述這種認為科學係客觀描述實在、預設唯一且絕對的科學方法以產生科學知識的邏輯實證論科學觀，在二十世紀中後期起受到許多哲學家與科學哲學家的批判，Good 和 Shymansky 將這些想法統稱為科學的後現代/相對論者觀點(The Postmodern/Relativist View)(Good & Shymansky, 2001)。後現代主義不論起源、提出論述的學者與關注並影響的範圍均非常豐富而多元，而本文焦點在介紹後現代主義的科學觀，因此將僅就科學本體論與知識論方面提出其對前述現代科學觀的批判。首先，後現代的本體論批判現代科學所持的實在論觀點，認為自然不是由任何永恆的實體構成，而是由事件或事件集構成的，因此在本體論上由機械論轉向有機論、本質論轉向反本質論，其次，後現代的知識論也反對化約與方法的一元論，因此由化約論走向整體論，產生知識的方法上由一元轉向多元論(劉魁，1998)。

這種後現代的新科學哲學觀係因近

數十年來對科學史的實際研究而起，對科學歷史個案的實證研究揭露了科學事業的實際面紗，Abimbola 整理出這種新科學觀的知識論特點(Abimbola, 1983；引自林陳涌，1996)：

1. 我們已經具有的知識、理念和學說很大程度會決定我們的觀察結果，因此觀察本身就是理論負載(theory-laden)的。
2. 科學家在已接受的典範、假設或研究架構內進行科學活動。典範本身決定了什麼問題該被處理、什麼設備該被使用及什麼推論技術與模式該被應用。
3. 正式的邏輯已不再被認為是研究分析科學的主要工具，取而代之的是，依賴詳細的分析科學史。科學問題的最後仲裁是科學社群。
4. 科學的核心在於不斷的研究與批判，不是在於被接受的知識。
5. 科學有兩個面向：常規科學與革命科學。常規科學在一個共同的典範下進行，並導致科學革命。科學史上最重要的事件是科學典範的革命，因此科學的進步不是累積性的。科學革命代表典範的改變，新舊典範之間沒有共量性。
6. 新舊典範間沒有共量性，所以觀察所得的數據在新舊典範中不代表相同的意義。

林陳涌(1996)針對邏輯實證論科學觀的科學形象，提出後現代的新科學哲學相

對應的三個對比的科學形象，首先，科學的觀察過程與實驗設計已被個別科學家所服膺的典範所浸潤，客觀與理性的科學方法是不存在的。其次，科學知識的權威不是絕對而是暫時與局部的；不同典範之間由於評估準則不同，科學知識的意義有了不同的認識。最後，科學家與科學社群在科學知識的取捨過程佔有相當重要的地位，其所接受的典範或其他信念正是指導科學活動的準則。

### 參、科學哲學中的本體論議題

科學的本體論(ontology)主要在探討有關「實在」的問題，包括思考「世界是什麼？」、「其中有什麼樣的東西？」、「理論或真理是什麼？」、「理論所假定、描述的事物是否是真的？」這些有關真實性(reality)的問題，均屬於科學的本體論範疇，對於這些問題的答案，科學哲學界主要區分為兩大對立的看法，即科學實在論(scientific realism)與許多可泛稱為“反實在論”(anti-realism)的陣營。

#### 一、「實在論」與「反實在論」之爭議

所謂實在論的最簡單意思是：一切都是真的！科學實在論主張，正確的理論所描述的物質、狀態和過程確實存在。科學的實在論者認為質子、光子、力場、黑洞等理論的存有物(theoretical entity)，即使目前我們無法觀察得到，但都是真的，其真實性就像腳指甲一樣，若有關基因的科學理論正確，它便是真實存在的真理。

然而，反實在論者則認為沒有像電子這樣的“東西”存在，我們觀察到的只是電的“現象”，我們建構的理論只是為了預測及產生所要的現象，它只不過是思想的工具，它可能是正確的、可應用的，卻不能當成是“真實的”（蕭明慧譯，1991；譯自 Hacking, 1983）。這些反對理論存有物是真實的存在之反實在論想法亦可稱為「工具論」(instrumentalism)。事實上，持類似觀點的陣營還包括「世俗論」(conventionalism)、「觀念論」(idealism)、「建構論」(constructivism)、「現象論」(phenomenalism)等(Fine, 1992)，甚至在傳統的「實證論」(positivism)與「經驗論」(empiricism)的某種變異形式中，對科學理論的存有物，亦是傾向反實在論的立場；反實在論的論點可以由 Van Fraassen 在其 1980 年的著作《科學的形象》中所提出之「建構的經驗論」(constructive empiricist)為代表，他藉由區分信念(belief)與接受(acceptance)的不同，而主張我們不需要相信好的理論是真的，也不要因而相信理論所假設的存有物是真實的。因此，在其建構經驗論中，對科學有著與科學實在論不一樣的描述：「科學的目的在於提供我們經驗上正確的理論；而接受一個理論只在於相信這個理論在經驗上是正確的。」；以最簡單的一句話表示其論點為：「理論就應該當作理論來看—別無他法」(Van Fraassen, 1980)。

然而，這種懷疑理論存有物的反實在論觀點，對孜孜不倦從事科學研究的科學

家來說是一大打擊！試想：如果電子、夸克、基因等理論存有物都不是真實的，那科學家到底在實驗室做什麼？科學家的工作只是益智遊戲嗎？我們不是根據科學理論產生了一大堆強而有力的科技工具嗎？Hacking 藉由探討科學理性的成分，將實在論進一步分為兩個向度：存有物的實在論與理論的實在論、一般實在論與特殊實在論，進而為這些問題提出他的看法。首先，Hacking 引用 Smith 的分析，列出科學理性具有三成分(蕭明慧譯，1991；譯自 Hacking, 1983)：

1. 本體的成分(ontological ingredient)－科學理論不是真就是假，而理論的真假要視世界的真相而定。
2. 因果的成分(causal ingredient)－如果一個理論是真的，那此理論的語詞所指涉的理論存有物，在因果關係上產生了我們所觀察到的現象。
3. 認知的成分(epistemological ingredient)－我們對理論或存有物具有保證的信念。

因此，Hacking 認為實在論至少可分為理論的實在論：關心理論是否為真，與存有物的實在論：關心存有物是否存在兩種。前述工具論是否定了科學理性本體的成分，Van Fraassen 的建構經驗論則是否定認知的成分，而 Hacking 自己則是同時承認本體、因果與認知等成分，但強調不需爭辯理論是否為真，要將目標導向存有物的實在論，亦即他強調離開理論的表象，而以實際的實驗、操弄來認識存有物。

至於一般實在論與特殊實在論的區別則在於，特殊實在論關心像電子、夸克、基因等科學理論所指涉的存有物其真實性如何？此種特殊實在論的問題可藉由自然科學的發展與實驗得到解決，而一般實在論所問的：這一切到底存不存在？則留給關心形上學的哲學家們思考。

筆者認為，Hacking 這樣的分析可以協助我們思考前述有關實在的問題，即提出「鯉魚躍龍門」與「推球下山坡」類比的背後都代表類比使用者所持的科學概念，而這兩個類比背後的科學概念在本體論上是不同的，它們均在描述酵素這個理論存有物，兩個類比可能都是真的，也可能都是假的，亦可能其中一個比另一個更真，但至少我們可以相信，科學概念與理論會隨人們的努力進步而更趨近真實，且不論理論有多真，酵素還是一直存在，以一定的方式運作，不管理論如何稱呼與描述它。

## 二、「實在論/反實在論」之外的觀點

在科學的後現代/相對論者觀點中，「典範」與「理論間的不可共量性」此兩大核心概念遭到許多批評，連提出的 Kuhn 在後期也放棄了「典範」一詞，其雖仍堅持「不可共量性」，並進一步主張不可共量就是不可翻譯，但無法解釋科學史家如何能重建過去數百、數千年的科學理論之問題。爭議之後，接下來面臨的問題是，就本體論來說，到底要接受、相信科學實在論還是反實在論的陣營？其實，正如後人

將實證論與否證論間的對立，在某種層次上同歸屬於邏輯經驗論(張巨青等，1994)一樣，科學實在論與反實在論間亦可能找到共識，這些發展中的觀點也許未臻成熟，有些也不是新的想法，但相信有助於我們更能瞭解「科學」究竟是什麼，在此分別介紹「自然的本體態度」、「自然論者的回歸」與建構實在論。

針對實在論/反實在論二元對立的衝突，Fine(1992)就曾提出一個折衷的看法解決兩者間的矛盾，稱為「自然的本體態度」(NOA, natural ontological attitude)。Fine 認為不論科學實在論或反實在論，在最低限度的標準上均接受科學的結果為真，也就是他們都不否認科學家所做的實驗、所產生的科學技術產物是真的，換言之，「科學研究是真的！」科學實在論與反實在論間的差異是對前述真相外加之物(addenda)的導向(direction)：科學實在論者外加之物的導向是表面的、外在的，它只是一再「強調一切都是真的！」，而反實在論陣營如前述工具論、歷史論、某些經驗論或建構論者等，其對前述真相外加之物的導向是內在的，是以“人”為導向的化約(human-oriented reductions)，簡單的說，持「自然的本體態度者」(NOAer)認為科學實在論者承認有一真實實體存在，科學發展是一直在逼近這個真相，一直在進步，而反實在論者亦不否認有自然界某種實體存在，他們只是認為科學發展是對實體的瞭解方式有改變罷了。總之，看似互相矛盾的觀點之間其實有共識與脈絡可循。

在二十世紀末與二十一世紀之交，美國科學哲學界興起了一股「自然論者的回歸」(The Naturalists Return)之自然論(naturalism)風潮(陳瑞麟，2003)。所謂科學哲學的「自然論」，依 Giere(1998；引自陳瑞麟，2003)所言，在倡議科學哲學自然化(philosophy of science naturalized)，亦即以「科學」這個文化事業為對象來尋求一個科學的理論，換句話說，科學哲學應是「科學之科學」，對過去科學哲學的實證、否證、歷史相對主義...等進行反省與研究，並因而產生了規範的、社會化的、演化的與實在論的自然論等不同更精緻化的進路，值得科學教育學者與科學教師密切關注其發展(陳瑞麟，2003)。

在美國科學哲學界進行自然論的轉向同時，歐洲哲學界曾產生邏輯實證論的維也納學圈(Vienna School)也興起一股新科學哲學運動—建構實在論，針對邏輯實證論的本體論問題提出修正，並因應科際整合研究的需要與全球化下不同文化間之協同研究提出知識論上的策略。在本體論上，建構實在論認為必須區分兩種實在：「實在本身」與「建構的實在」。不同學科以不同語言來接近實在，形成許多所謂「微世界」(Microworld)，因此，其知識論上的主要策略就在使不同微世界間互相溝通，即所謂「外推策略」(strangification)，藉由「語言性的外推」、「實踐性/社會性的外推」甚至「文化的外推」達到前述科際整合的需求與因應全球化下的文化衝突。在科學觀方面，建構實在論不以追求真理為

科學活動的主要目的，而採實用主義觀點，認為有實際效益、合乎倫理判準並設定實在本身先於建構的實在的才是合理的科學活動(沈清松，1997)。

#### 肆、科學概念的多元觀點與科學學習

前面是在科學之外對「科學」做不同觀點的探討，接下來讓我們回到科學教育，探討近來科學教育重視的科學概念之學習，是否如科學一般，也有不同的觀點與面向？如果答案是肯定的，那學生所持的科學觀是否會影響其科學概念的學習？科學教師應不應從不同觀點詮釋科學概念？...筆者認為這些問題的探討對科學教育相當重要。

在建構主義思潮影響下，目前科學教育界均認為科學的學習是一種概念改變(conceptual change)的過程，但對於概念改變過程的模式究竟為何？即使對人類學習過程進行更基礎研究的學科如認知心理學界，也沒有一致的看法，有別於純粹從知識論觀點探討學生的概念改變，Venville與 Treagust(1998)提出了「概念改變的多面向架構」(multidimensional framework of conceptual change)，認為欲探討學生如何發展一個科學概念，除了前述的知識論觀點(epistemological perspective)外，還必須包括本體論的觀點(ontological perspective)與社會/情意的觀點(social/affective perspective)，而且，本體論的觀點對學生概念改變影響的優先性高於知識論觀點與社會/情意的觀點，下面就分別依照知識

論、本體論與社會/情意的觀點探討其與科學學習的關係。

### 一、知識論的觀點與科學學習

認知心理學與科學教育學界對有關概念改變的知識論觀點已有不少成熟的相關研究，一般均以 Hewson 與 Hewson(1992) 所提出的條件，認為學生需先對現有概念不滿足(dissatisfaction)，認為新概念是可理解的(intelligible)、合理的(plausible)和有用的(fruitful)，如此才會改變概念，並以新概念去解決未來問題。此外，相關研究更進一步發現，甚至對不同的學科之間如物理學、生命科學與心理學，學生都會因學科領域的特殊性而有不同的知識論，此種科學知識論觀點的領域特殊性(domain-specific scientific epistemological beliefs)會影響學生的科學本質觀(views of nature of science)，並進而影響科學的學習(Sinatra, 2003)；另有研究發現，學生的知識論觀點，亦即對知識形成過程的認知，如同 Piaget 的認知發展論與 Kholberg 的道德發展論一般，是有階段性順序的(Hofer & Pintrich, 2002)，知識論觀點的發展順序主要有以下四階段：

1. 二元論(dualism)時期：認為知識不是正確便是錯誤，而老師、家長便是告知知識的權威角色。
2. 多元論(multiplicity)時期：開始體會知識其實具有多重面貌，在絕對的對與錯之間形成中間的模糊地帶。
3. 情境的相對論(contextual relativism)

時期：開始瞭解決定知識的對與錯，是依據情境的特性而定的。

4. 相對論下的允諾(commitment with relativism)：在瞭解知識的情境相對性後，重新選擇形成自己的知識論。

Hofer 與 Pintrich(2002)進一步指出，學生具有的這種知識論發展順序不但與科學史中科學知識的發展類似，更與科學學習相關，其相關處有：(1)教育的目的就是在培養知識論觀點的發展，(2)學習的過程及結果會受到個人知識論觀點的影響，(3)知識論觀點的運用與學習時所處的情境有關。

總之，由個人知識論觀點的相關研究顯示，學生學習科學的過程中會受到學科領域特殊性與學習時所處情境的影響，並且這種知識論觀點是具有發展性與階段順序性的，值得科學教育研究者與科學教師注意。

### 二、本體論的觀點與科學學習

Venville 與 Treagust 根據 Chinn 等(1993, 引自 Venville & Treagust, 1998)的界定，指出本體論觀點是學生所持的一種有關世界的性質與基本類型(categories 或譯為範疇)的信念，Chi 等人(1994)從對學生所持有關光、熱與電流等物理概念的研究，將學生所持科學概念依本體論的觀點分為物質(matter)、過程(process)與心智狀態(mental state)等不同類型，Chi 等更進一步指出，在科學概念的建構過程中，學生常需進行本體論類型的替代(swapping, 較

強的轉換形式)或跳躍(jumping, 較弱的轉換形式), 例如由物質轉為過程。

在生命科學領域的概念學習中, 也存在著與本體論觀點密切相關的重要概念, 抽象又複雜的「基因」概念就是一例: Martins 與 Ogborn(1997)的實證研究指出, 本體論的觀點不同會影響基因概念的學習, 該研究發現國小教師們對基因持有兩種不同的本體論模式: 認為基因只是物質的所謂「基本模式」, 與認為基因是一系列指示訊息的「進階模式」(圖一), 他們認為, 持基本模式的本體論觀點將無法解釋基因如何運作, 因此是導致學生無法學得較進步、複雜的基因概念之阻礙原因。

基因 = 實體 + 自然作用 gene = entity + natural action
--

基本模式

基因 = 一系列指示訊息 gene = sequence of instructions
---

進階模式

圖一：兩種基因概念的本體論模式(引自 Martins & Ogborn,1997)

Venville 與 Treagust(1998)所進行的實證研究也發現澳洲 10 年級的學生(相當於我國高一程度)對「基因」的本體論觀點會隨著學習而遷移: 從認為基因是被動的, 遷移到認為是主動的、由基因是粒子的觀點遷移到基因像是一系列的指示訊息、甚至將基因的表現關連到將蛋白質的合成過

程, 這種在本體論上的基因概念的進步路徑可使學生導向更精緻化的心智模式, 換言之, 也就是習得更精緻複雜的基因概念; 該研究亦指出, 學生在學習基因概念的過程中, 知識論向度的概念改變幅度較微弱(weaker), 比較像是同化(assimilation)而非調適(accommodation), 反而是前述本體論向度上的改變幅度比較強(stronger), 由此我們可說: 採用兼顧本體論觀點的多面向架構, 對科學學習中概念的改變應有正面助益。

### 三、社會/情意的觀點

學習是學生的活動, 科學教室中的學習是發生在科學教師與學生及學生與學生之間的社會活動, 因此欲探討學習, 必不可少社會/情意等背景脈絡因素的影響。在此觀點之下, 影響學習的首要重點就是學生的學習動機, 其次, 師生間的互動關係與生生間的互動關係也影響重大, 最後, 就是當時教室的情境因素, 綜合來說, 要達到良好學習成效, 科學教師具有責任營造一個高學習動機、良好師生與生生互動且具適合學習的教室軟硬體環境。

### 伍、結語與建議

#### 一、教學方面—採納多元觀點

要科學教師改變慣用的教學法是困難的, 要科學教師改變自己的教學信念, 也就是「教科學就是教科學知識!」這樣的信念, 更是難上加難! 但是信念若不改變, 純以知識論觀點為取向的教學模式將一

直持續，科學也將繼續被多數學生視為複雜困難、抽象不自然的艱深科目，不但降低興趣，學習成就也無法突破瓶頸，以研究有年的科學本質教學為例，Abd-el-khalick 等(1998)曾對十四位科學教師的教學做深入質性研究後發現，即使教師本身具有適切的科學本質觀，但仍無法有效從事科學本質的教學，他們分析限制教師實施有效科學本質教學的因素有：

1. 認為科學本質在科學課程中不重要，不如科學的內容或科學方法。
2. 把多餘時間耗在班級經營或其他瑣事上。
3. 對自己的科學本質瞭解沒信心。
4. 缺乏科學本質之教學經驗與教學資源。
5. 進行科學本質教學不獲其他教師認同。
6. 缺乏足夠備課時間，故著重在科學內容的準備。

此外，許多科學教師對科學本質的教學存有錯誤的信念，認為只要讓學生從事親自動手作(hands-on)的科學活動，就能使學生學到科學的本質；然而，研究發現，若針對科學史中特定事件，開誠布公的(explicit)討論科學本質將較藉由科學活動過程隱含(implicit)科學本質學習成效更好(Abd-el-khalick, et al, 1998)，因此，本文最後提供一些文獻中提過，且有實證研究證據支持的多元化教學策略供有心的科學教師參考：

1. 以潛在課程方式進行教學：如前述利用實驗課進行科學活動等科學探究過程中、或在校外參觀科學研究機構

時使學生體認一些科學的本質，但此種潛在方式成效較差。

2. 改進的實驗教學：林陳涌(1995)從經驗證據和科學理論之間的關係反省了自然科實驗教學的意義，提出積極的實驗教學有助於提升學生對科學本質瞭解，積極的條件有三：(1)尊重並提供機會任學生表現其現存知識、(2)實驗教學的設計與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，而是要學生進行討論及建構協商經驗證據的意義(林陳涌，1995)。
3. 進行科學史的教學：在科學內容教學之外，利用科學史中的小故事(許良榮，李田英，1995)、科學家傳記(徐光台，1999)、史上科學/科技引發之社會爭議(林樹聲，趙金祁，1999)進行閱讀、討論、角色扮演等多樣活動，將焦點放在科學知識之外的“人”的面向，探討科學家的人性面與科學社群、科學事業及科學在社會文化脈絡下的衝突與發展等。
4. 強調人際間之溝通、協商、論證、辯論之教學：在實驗小組內或不同實驗小組間可能出現不同的意見或實驗結果，對某些自然現象不同學生間亦可能有不同觀察與解釋，因此科學教師提供這些不同觀點間溝通的平台，以討論、辯論或溝通、協商為課室活動將可使學生體會到科學知識

的社會建構本質(林陳涌，1995；徐光台，1999)。

5. **融合科學-科技-社會(STS, Science-Technology-Society)課程與建構主義之教學**：因應今日社會快速發展，許多新科技議題如核能發電、遺傳工程、基因複製等已衝擊我們的社會與倫理，McFadden(1989；引自王靜如，2003)建議了先進行相關科學概念介紹，再進行爭議的解決，或先討論議題，再進行概念改變教學，最後回到爭議的解決等兩種教學模式。

總之，本文建議科學教師應將科學的多元觀點傳達給學生，並具體落實在科學概念的教學之上，如 Lederman 等學者一直強調教師應視科學本質教學為認知領域的教學(Abd-el-khalick, *et al.*, 2000)，故這不只是一種態度，更是認知上的學習，需要明白地(explicit)教授。至於應傳達什麼樣的科學觀點？是現代/實在論者觀點？後現代/相對論者觀點？還是後後現代的自然論或建構實在論？根據前述觀點論中觀點之跳躍與建構實在論中微世界之外推策略，我們當然不能只教學生邏輯實證論或任一單一的觀點！更進一步看，多元觀點下的教學將可訓練學生於已有的科學過程技能基礎之上，再精進懷疑批判、溝通論證、解決問題等能力。

## 二、研究方面--讓學生建立科學的世界觀

本文藉由對科學做哲學性思考，指出

科學哲學的知識論與本體論面向對科學學習有重要的影響，在知識論方面，學者由科學發展的實際過程中歸納了許多科學知識的本質，並已由科學教育工作者努力將瞭解科學知識的本質轉化為科學教育的主要目標之一，並發展出許多教學策略，雖然知識論面向的科學本質教學在執行層面與應用成效上仍有許多爭議與努力的空間，如師資培育、教師信念與教學策略等，但成果尚可稱豐碩，相對的，科學的本體論面向就較少為科教學者重視；然而，本文主張科學教育界需探究並重視科學教師與學生對科學的本體論觀點，其重視的程度不應亞於對科學的知識論觀點；如本文中提到學者的分析，學生的知識論觀點雖具有隨年齡與學識發展的階段順序性，但其亦具有領域特殊性與情境依賴性，因此無法因應科學專業化與資訊全球化下跨領域的發展趨勢之下，如奈米科技、生物資訊等跨學科領域的出現，增進學生科學的學習；相較於知識論，學生更應體認所謂自然世界到底是什麼？自然界的運行到底有著何種規律與秩序？…等問題，並在科學教育的引導下建立適切的本體論的科學觀(ontological view of science)，換言之，建立其對科學的世界觀(world view)。

最後，本文願呼應 Giere(1998;引自陳瑞麟 2003)所倡議的自然論回歸，即進行「科學之研究」(science studies)，對「科學」這個西方文化產物以科學方法進行研究，以期建立「對科學的理論」(a theory of science)，對我們科學教育研究者應具有一

些啟發。其實，自然包括了自然的自然(non-social nature)與社會的自然(social nature)；換言之，社會在自然，自然有社會，我們人類所瞭解、建構的科學是處在社會中有關自然的知識，而自然也應有彈性容納這些由人類社會建構的不同的科學理論。

## 參考文獻

- 王靜如(2003)：科學本質的理論、教學知識與課程設計。《自然與生活科技學習領域課程研討會---科學課程論述》，1-31，教育部及國科會。
- 吳慶餘(2003)，簡明生命科學。台北：藝軒。
- 沈清松(1997)：書評《建構實在論》(Fritz Wallner 著 / 王榮麟、王超羣譯 / 沈清松 審定)。哲學雜誌，22，224-239。
- 林陳涌(1995)：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。《科學教育月刊》，184，2-15。
- 林陳涌(1996)：「了解科學本質量表」之發展與效化。《科學教育學刊》，4(1)，31-58。
- 林樹聲、趙金祁(1999)：大學教育中通識化科學課程的必要及實踐進向。《通識教育季刊》，6(4)，1-18。
- 徐台光(1999)：科學史與科學通識教育：以達爾文《物種源始》為例。《通識教育季刊》，6(4)，37-48。
- 張巨青、吳寅華(1994)：邏輯與歷史---現代科學方法論的嬗變。台北：淑馨。
- 許良榮、李田英(1995)。科學史在科學教學的角色與功能。《科學教育月刊》，179，15-27。
- 陳瑞麟(2003)：科學與世界之間---科學哲學論文集。台北：學富。
- 舒煒光(1991)：邏輯經驗主義。收錄於舒煒光、邱仁宗主編《當代西方科學哲學評述》。台北：水牛。
- 舒煒光(1994)：科學哲學導論。台北：五南。
- 劉魁(1998)：後現代科學觀。台北：揚智。
- 蕭明慧譯(1991)：科學哲學與實驗，譯自 Ian Hacking “Representing and Intervening”。台北：桂冠。
- Abd-El-Khalick, F., Bell, R. B., & Lederman, N. G.(1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science Education*, 82, 417-436.
- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665-701.
- Boyd, R. (1992). Introductory essay. In R. Boyd., P. Gasper., & J. D. Trout., (Eds.): *The philosophy of science*. MA: MIT press.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & deLeeuw, N.(1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27-43.
- Fine, A. (1992). The natural ontological attitude. In R. Boyd., P. Gasper., & J. D. Trout., (Eds.): *The philosophy of science*. MA: MIT press. 261-277.
- Good, R., & Shymansky, J.(2001). Nature-of-science literacy in *Benchmarks and Standards: Post-Modern / Relativist or Modern / Realist?* *Science & Education*, 10,173-185.
- Hewson, P. W., & Hewson, M. G.(1992). The status of student's conceptions. In R. Duit, F. Goldberg, and H. Niedderer (Eds.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 59-73). Kiel: IPN.
- Hofer, B. K., & Pintrich, P. R.(2002). *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Mariani, M. C., & Ogborn, J.(1991). Towards an ontology of commonsense reasoning. *International Journal of Science Education*, 13, 69-85.

- Martins, I., & Ogborn, J.(1997). Metaphorical reasoning about genetics. *International Journal of Science Education*, 19, 47-63.
- McComas, W. F.(1998). *The nature of science in science education -Rationales and strategies*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Sinatra, G. M., Southerland, S. A., McConaughy, F., & Demastes, J. (2003). Intentions and beliefs in students' understanding and acceptance of biological evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 510-528.
- Van Fraassen, B. C. (1980). *The scientific image*. NY: Oxford University Press.
- Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 1031-1055.
- Venville, G. J. (2004). Young children learning about living thing: a case study of conceptual change from ontological and social perspectives. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 449-480.