
科學之美的內涵及其教學與相關問題

林樹聲^{1*} 任宗浩² 李哲迪²

¹國立嘉義大學 科學教育研究所

²國立臺灣師範大學 科學教育中心

摘要

無疑地，「科學之美」已被大眾忽略很久。本文試圖以文獻回顧的方式論述科學之美的內涵，及其教學與相關的問題。科學教學時往往會將其中的人文面向省略，以致於科學之於學生的印象多為抽象或深奧。若能從科學之美來認識科學，將可縮減學生與科學的距離。科學之美不僅可反映在「對象之美、實驗之美、理論之美」上，而且也可反映在「科學家」探究的精神和態度等「人文之美」上。在科學教學中談論科學之美，既可培育學生科學素養、讓學生了解美是科學探究中的重要本質，也可增進學生學習科學的動機、促進學生展現學習遷移。至於教材組織上，可由現象或事物的表象美開始，再到深層的簡約或和諧，進而達成崇高美感的整體體認；而教法上宜以討論與分享為主，評量上則不宜使用具標準答案的紙筆測驗。然而，在實徵性教育研究不足、師資缺乏對科學之美的認知與體會，且現成教材幾乎沒有提及科學之美的前提下，若要在台灣情境推廣科學之美的教學，仍有許多困難必須克服。

壹、前言

從十七世紀以來，作為看待和解讀世界的方法之一的自然科學（以下簡稱「科學」），在漸次脫離自然哲學的純粹思維與辯證後，就以銳不可擋的趨勢發展開來，它不但左右人類的思想，也大大地影響著整个人類文明的進展。而科學之所以變得如此強勢，主要憑藉著兩種力量（Gauch, 2003）：之一，高舉著「理性」的旗幟，繼續運用思維，推敲事理；之二，充分配合「客觀」的實驗方法，反覆檢驗，不斷地找出新證據，發覺潛藏在自然背後的「真

理」。除了上述兩種力量外，在科學哲學思潮的改變之下，作為實踐「理性」和追求「真理」的主體——「科學家」，也從過去隱而不見的幕後角色，逐漸成為眾所皆知的社會要角。

因此，科學在今日眾人的意象上大致可以反映在三方面（AAAS, 1989）：（1）作為科學產物的「科學知識體系」——包括「事實、概念、定理、定律」等，這是一般民眾最為熟知的科學面向，也是作為生活應用最重要的基礎；（2）科學探究的「過程和方法」——不論是觀察、實驗、

* 為本文通訊作者

歸納、演繹……等等，科學家運用這些過程和方法，找出證據，解釋自然現象或事物，既是求真也是求實的歷程；(3) 操控整個科學運作與前進的「科學家」，以及由其所組成的「科學社群」——正因為科學家個別與群體的運作，科學才得以進步，自然界裡新的事物或事理才能夠不斷地被發現。而這個追求的過程也往往受到今日社會體制的經費支持與否或道德想法的限制。

然而，在二十世紀中期時，科學發展的影響於學術界中卻引發了「兩種文化」的省思。Snow (1959) 指出在大學校園裡出現了「兩種文化」的隔閡，那就是科學與人文領域因為學術的分化各自發展，彼此之間沒有太多的交流和溝通，他因而直指若任憑這樣的現象繼續下去，將會危害人類整體文化的發展。面對這樣的危機，一些學者自是努力地提出一些因應對策，企圖增加科學與人文之間的對話。

事實上，科學只是因應學術分工和知識分化下所產生的一門學問，正如同其他學問一樣。因此廣義地說，科學亦是經由作為認知主體的「人」，在探究自然的過程中產生的一套學問，所以科學亦屬於「人文產物」之一。而科學與其他學問的不同，僅僅在於看待世界的立場和方法不同而已。所以，科學中蘊含著人文的面向不僅不足為奇，而且科學的人文面向亦是認識科學時值得一探的內涵。

提及科學的人文面向，在科學教育的範疇裡，除了已被突顯的科學「歷史、哲

學、社會」等方面外，「美學」當然也屬於其中的一部分。早在 1970 年，Hurd 就主張可從科學的人文面向之一「美」來擴大學生接觸科學的視野。雖然「科學美」至今似乎未在「美學」的範疇裡引起眾多的討論，但在科學學習的目標涵蓋「認知、技能、情意」的前提下，引領學生由富涵情意層面較多的「科學之美」來接近科學，進而欣賞科學、解讀自然的神奇，即是可行的方式。換句話說，科學既有其理性、嚴謹的一面，也包含感性、美感的成份，而這些都是值得學生學習的科學內涵。而民國九十一年召開的「第一次全國科學教育會議」，其中擬訂的《科學教育白皮書》就明確地揭櫫我國的科學教育目標為：「使每位國民能樂於學習，並了解科學之用，喜歡科學之奇，欣賞科學之美」(教育部，2002)。畢竟對多數的學生而言，成為科學家也許未必是他們將來選擇的志業，但培養他們能欣賞科學之美、體會科學之美，積極創造科學之於他們的經驗，這正是科學教育幫助學生定位科學之於他們生活的一項重要意義(林樹聲，1999)。

此外，教育部(2003)正式頒布的國民教育九年一貫課程綱要自然與生活科技學習領域中，有許多較過去課程標準增加或更為強調的主題和內容，例如「科學本質、科學之美、科學倫理、科技文明」等。其中，在「科學與人文」的主題下，「科學之美」的要項裡也列出了「自然之美、時序之美、結構之美、變化之美」等內涵。然而，環顧當今國內各版本的教科書內

容，幾乎沒有明確提及「科學之美」。再加上，這十多年來國外的文獻雖有零星探討「科學與美」的關係，但國內科學教育界對這方面的論述或研究卻付諸闕如。這不但顯示若要在我國國民教育中推廣「科學之美」的依據極為不足的問題，而且這也提醒我們必須有更多的人力投入「科學之美」的理念建立和教材的開發，才能讓「由人文面向認識自然科學」的主張，得到更多的支持與推廣。

本文即立基在這樣的動機和背景之下，針對「科學之美及其教學與問題」做初步的論述與探討。另外，必須事先界定的是：本文並不試圖以哲學的觀點去辯證「到底科學有沒有美存在」，或是「科學之美是屬於『唯物論』或『唯心論』」的問題，而本文的立場是藉由美學中的一些想法，探討「科學之美」的內涵與其相關的科學教育實務。

貳、何謂「科學之美」？

一、美的詮釋

在進一步地談論「科學之美」前，我們必須先釐清「什麼是美」這個問題。朱光潛（1967/2000）在其著作《談美》中就指出「脫淨了意志和抽象思考的心理活動叫做『直覺』。……美就是事物呈現形相於直覺時的特質（頁18）」。周憲（2002）也提及美是一種引起人們感官和理智愉快與滿意、且具感性形式的一種對事物屬性的反應。以上這些說法都延續著康德（Immanuel Kant）對美的論述。康德認為

「美是透過直覺而非概念、且不涉及利害考量地讓認知主體產生愉悅情緒的感覺」（易杰雄，1991）。同時，「美」並非只決定於外在客體的形象、形式或特性，而是認知主體與外在客體互動之下，本身主動產生的喜悅和美好的感受（李澤厚，1996）。

也就是說，「美」基本上是認知主體心裡呼應外在客體的一種情感的效應，此一效應必須透過人與外在客體產生互動後，才會在人心中衍生出的情趣，此即為對「美」的覺知。而就認知主體而言，他因而經歷了一次統合個人「情感」與「知覺」的「美感經驗」。康德就進一步指出美感經驗是一種主觀的判斷，可依個體感受的程度區分為「美」和「崇高」（sublime）（曹俊峰，2003）：「美」讓人感覺精緻、細微的愉悅，例如一朵花、一條小溪；「崇高」則讓人感到驚異、震撼、敬畏或崇敬，例如狂風暴雨、閃電打雷，亦或是宇宙的浩瀚等。顯然地，二者分屬於不同層次的美感經驗，崇高感雖比美感顯示更多心境上的起伏、更深刻的體認，但美感的體會卻比崇高感更平易近人、更先被覺察。

因此，作為激起認知主體產生美感經驗的客體，其本身具備的「美」，就成了它將引發何種美感經驗的重要條件。也因此，「物須先有使人覺察到美的可能性，人不能完全憑心靈創出美來」（朱光潛，1967/2000，頁72）。然而，在「美」的判斷既是主觀、又是相對的前提之下，對那些讓多數人產生美感經驗的同一對象來

說，它本身勢必含有多數人共識下的「美之特質」，也因此才會引起多數人對「美」的共鳴，或做出類似的「美的判斷」。而這就是康德提及的「美具有主觀中的普遍性」（易杰雄，1991），意即每個人的審美判斷既展現了個體主觀認定的一面，但也因審美判斷有某種程度的共通性，所以人與人之間既能夠溝通、也可以傳達美感經驗。

在美學裡，對於美的特質雖無定論，卻有一些共識。大致來說，一個能引起「美感」的事物都可從「反覆、漸層、均衡（平衡）、對稱、和諧（調和）、對比、比例、節奏（韻律）、統一（一致）」等形式或性質做分析（蓋瑞忠，1989）。所以對同一事物而言，也許每個人指稱出來的美的面向不盡相同，但基本上都不脫離這些形式或性質的詮釋。

而正因為美的價值在於它豐富了我們的生活，提升了我們的精神層面，讓我們生活可以過得更完善（Moore，1994）。所以，「學習欣賞美」是重要的教育目標就不言而喻，而在科學教育中談美也一樣順理成章。Martin 和 Brouwer（1991）就認為如果認識的過程是個體組織、結構和形塑外在實體對他/她的經驗，那麼美作為一種認識科學的面向就理所當然。同時，費曼（Richard Feynman）（1988）在與其藝術家朋友的對話裡也提到：「我雖無法像藝術家一樣如此精緻地闡釋美，但我一樣能欣賞花的美。……我能想像花內部的細胞及其運作的過程，而所有來自科學領域有趣的問題，都能讓花變得令人感到興奮、

神秘和敬畏。（頁 27-28）」Feynman 長期浸潤在科學探究的世界裡，讓他覺知到的不僅是自然事物表象美所帶來的興奮，而且更進一步地，他也能領略到表象之下的深層美感、及其所引發的神秘與敬畏。這些感受完全符合康德將美感經驗區分為「美感」與「崇高感」兩種不同的層次，而且也正是體會出「科學中有美」的最佳寫照和範例。

二、科學與美

對美有了初步的認知後，不難理解所謂的「科學之美」就是人們從客體——「科學」所涵蓋的範圍中，體會、經歷或欣賞到了「美」。所以對科學之美感經驗的產生，必然是個體與科學之間產生了某種有形或無形的互動，才讓人們產生了愉悅的內心感受。費曼曾提到科學的內容充滿著自然界裡美的事物，這些美的事物既另人激賞，也能激勵眾人（引自 National Academy of Science，1995）。同時，Polanyi（1958）也指出引領科學家在自然中評估對什麼有興趣、什麼是重要的憑據之一，就是來自科學家智識上的美感經驗與判斷，並非全然倚賴探究對象的用處。再者，因鑽研「星體結構與星體演化理論」獲得諾貝爾物理學獎的得主 Chandrasekhar（1987），他更明確地說明自己和其他科學家在科學探究的過程中，都受到了美的引導和影響，因此更加投入自己的工作。所以，從事科學探究所經歷的美感經驗，確實是激勵科學家們繼續鑽研、努力不懈的重要因素（Eisner，2002）。

那麼到底引發美感經驗的「科學之美」為何呢？基本上，我們可以從「本體論」和「認識論」兩個層面來談。

就「本體論」而言，本體論關心「究竟是什麼」的問題，所以科學勢必存在著「美」的成份，才足以讓科學家或一般人感受到其中的「美」，進而產生出「美感經驗」。那麼科學內涵反映了哪些「美」的面向呢？

科學美就在於「自然界客觀存在的有序性或規律性，亦即宇宙自然所固有的秩序與和諧（汪信硯，1994，頁 8）」。也就是說，「科學美是通過揭示自然界的內在規律來反映自然美」（汪信硯，1994，頁 17）。Flannery（1991）也指出科學美可以表現在「秩序、簡單、複雜、統一、模式（pattern）、律動（rhythm）、對稱」等特質上，不論是外顯或內隱於自然界。而 Ridley（2001）也認為科學家在理性地描述自然世界的同時，美學中的「精緻（elegance）、簡約（economy）、簡單」等原則和特質，也常常是其中的內涵。

另一方面，「認識論」則著重「從哪裡獲得、什麼是知識範疇」等問題的探討，所以「科學之美從何而來？又涵蓋哪些範圍？」正是本文必須加以闡述的部分。

可以肯定地，美感經驗的獲得大多來自「經驗」，尤其是與促進或刺激我們產生美感經驗的對象有所互動之下。如此一來，美感經驗才會在內心因應而生，所以美感經驗不可能無中生有。而大自然既作為科學探究的對象，因此自然界中的組成

（不管是生命或無生命）、組成之間的關係、相互之間的作用和影響……等等，都是科學探究的內容。所以科學探究就涉及了「對象、過程、成果」三個部分，其中「對象」即指「自然界的組成和現象」，過程則是研究的「設計和實驗」，至於成果則反映在「知識體系」，尤其是「理論上」。因此汪信硯（1994）就將科學之美的內容分為「科研對象的美、科學實驗的美、科學理論的美」三個部分。

（一）對象美和理論美

就「對象美」和「理論美」來說，這是一般人較常接觸、也較能想像和體會的部分。以微觀來看對象美，各種物質都由原子組成，原子和原子之間的排列不僅反映了原子的「排列之美」、「結構之美」，而其所構成的分子也散發著物質的「分子之美」（Hoffmann, 1990），例如小至甲烷結構（一個碳鍵結四個氧），大如 DNA 的雙螺旋結構。而若進一步探究分子世界的運作，每一種原子或分子皆因碰撞或交互作用而產生了鍵結，此一結果表現了化學反應的「變化之美」；或者一系列的化學反應延續了一個生命的活動，甚至造就出了一個新生命的開始，進而讓我們看到了「生命之美」。

其次，若以巨觀來看對象美，星體與星體之間因引力而相互牽引著，每一顆星體都遵循著一定的軌道運行，在偌大的宇宙裡畫出了一個個橢圓形的絕美軌跡。這裡表張著宇宙星體運作的「秩序之美」，更潛藏著牛頓發現的「萬有引力定律」（兩個

物體之間都有引力存在，該引力與二物體之間的距離平方成反比)；同時，星體的運行也反映著刻卜勒指出的「行星運動定律」(該定律其中之一為「行星與太陽的連線在等長的時間內掃過相同的面積」)。再者，當多數人只注意到了鐘擺像是重物受到細線的束縛而無法自然掉落在地面時，伽俐略卻看到了擺動中鐘擺的規律，因而洞察出了「鐘擺原理」(鐘擺的週期與擺錘的輕重和幅度無關，僅與擺長有關)。不論是哪一個理論，若能簡單地以數學式子呈現出其中的奧秘，那麼它就反映了物理理論的「簡約之美」。

此外，每一種生命都是由細胞所構成，細胞構成器官，器官構成組織，組織再構成整個有生命的個體。每一個層次都有它的美感存在，例如「細胞之美」、「器官之美」、「組織之美」、生物本身的「個體之美」等。而上一個層次總是比下一個層次複雜許多，且每一個層次都表現出組成份子無法預知的特質(即「突現現象」(emergence))，也就是個別的總合不等於整體，所以生命有其「神奇之美」；同時，整體的存在依賴著各組件間的協調，而整體對組件也有著指揮的功能(Mayr, 1999)，如此一來就形成了生命個體的「動態平衡」，於是有著微觀角度的「平衡之美」出現。

進一步地，若再就個體組成族群，族群與族群之間則形成了食物鏈的關係，而各個食物鏈又構成複雜的食物網，再加上環境(空氣、食物、水)的依存關係，整

個組成就構成了地球上複雜的生態體系。只要沒有外力的干擾和破壞，物種與物種之間就會達成生存上的「平衡」，任一種生物因而能在生態圈中生生不息，地球也能永續地發展下去，而這整體的現象裡既透露著一種「平衡之美」，也彰顯著一種「秩序之美」或「和諧之美」。

而值得再闡述的是，「自然之美」正是反映在科學之美範圍內的「對象美」之中。作為科學研究對象的「自然世界」，本身存在的「美」，一方面就足以吸引科學家的投入，促使其發覺存在於自然世界背後的原理和法則(McAllister, 1996)；另一方面也表現出科學之美的多元面向，既有表象的美感，也有深層的美感。所以，科學家由自然世界的「表象」(不管是鉅觀或微觀)，深入到自然世界的內部或底層，進一步發現組成、性質，解出結構、順序，找出關係、相互影響的因素與條件……等，抽絲剝繭，一層一層發覺「科學之美」的所在。所以，「科學研究對象的美，構成了科學理論美和科學實驗美的本體論基礎；科學理論美和科學實驗美又進一步構成(認知)主體心理和諧感的認識論基礎」(汪信硯, 1994, 頁9)。換句話說，科學之美事實上是捕捉了自然之美的訊息，並透過科學家將其詮釋和表達出來。

因此，廣義地說，色彩之美、對稱之美、節奏之美、律動之美、秩序之美……皆是科學之美的一部分(徐宗林, 1990)。這些科學之美的面向大致可以分為「表象」和「深層」兩個部分。同時，在物理科學

和生命科學的世界裡，所表徵的科學之美也不盡相同。例如在物理科學裡，由於常常應用數學大量地表徵其內涵，一些複雜的現象都可利用數學式子來表示，所以較能彰顯出自然世界反映在理論上的「簡約之美」，也無怪乎伽俐略提及「大自然是由數學寫成的」這樣的理念。而在科學哲學中，歷史學派的代表人物 Kuhn (1962) 就明確地指出，許多科學家改宗信奉新典範的理由之一即是「新典範比舊典範『更靈巧、更適宜或更簡潔』」。無疑地，美感經驗正是影響科學家抉擇理論的重要指標。然而，對於不可化約的生命世界而言，其展現的往往是組成單位的整體集合（例如單細胞組成多細胞的生物個體），或是多樣生命彼此間的互動（群落、生態圈），所以讓人體會的美感就不在於簡約，而是「個別的總和不等於全體」後的繽紛與和諧、活力與脈絡之「互動之美」、「生命之美」。

總之，上述的一些舉例只不過是科學之美的一小部分。不管是物理科學或生命科學，也不論是平衡或秩序，科學所欲探究的一個終極境界都直指自然的「和諧」，所以「和諧本身就表徵著一種美感」，這種美感可由科學之美中去建構，值得學生去感受、去體驗、去欣賞的科學內涵。

(二) 實驗美

相較於「對象美」和「理論美」，「實驗美」則因涉及到科學實驗的面向，眾人往往較少接觸，所以可能較難體會來自從事實驗的這份美感。科學家真正設計和執行的實驗，自非是學生求學時代，依著實

驗手冊，一步一步操作而從事的「食譜式實驗」。有別於這類實驗，不論是科學家「實作實驗」，亦或只是動腦的「思想實驗」（thought experiments），其所反映的那份科學之美則是科學家的「巧思」和「創意」。而這份巧思和創意可能是邏輯思維的過程，也可能是豁然貫通後的靈感和想像，進而再由自己或後人落實在實驗上，找出支持理論的證據，或是因此而締造理論上的突破、解決了前人待解的問題。所以，思維和探究的過程也是科學家美感經驗的來源（Flannery, 1991）。

以「實作實驗」為例，例如 Thomas Young 運用光源和狹縫，證明光有波動性質的「雙狹縫干涉實驗」； Robert Andrews Millikan 測量油滴在電場中的運動，並利用數學運算，獲得一個電子所帶的電量，且證明電荷有最小單位的「油滴實驗」；再例如 Matthew Meselson 與 Franklin Stahl 以大腸桿菌為材料，他們採用同位素氮 15 追蹤的方式，證明 DNA 在複製時有所謂「半保留」現象的「DNA 複製半保留實驗」（Holmes, 1996）……等等皆是。至於「思想實驗」方面，伽俐略利用思維，推理由木板斜面滾動而下的球體，其運動時間與距離的關係（Lattery, 2001）；而愛因斯坦狹義相對論的靈感來自於「追光理想實驗」，他想像自己的速率能追上光，或者比光跑得還要快的時候，「到底世界和周遭會發生什麼事」？此一問題觸發他突破古典的時空觀念，進而構思出狹義相對論的內容（沈致遠, 2002）。

基本上，不論是哪一個實驗設計，都說明著科學家思維歷程或實作過程中，獨具的「巧思之美」或「創意之美」。

三、科學家展現的「人文之美」

然而，上述的說明似乎都是以「科學家」為主體來說明其眼光裡的科學之美。也就是說，這些科學之美全然是聚焦在科學探究的對象、實驗與產物上，並未考量作為科學運作主體的「科學家」本身，其在從事科學探究時所展現的「精神、態度」，事實上亦是一種科學的「人文之美」，它應該也是學生學習科學的一個重要面向。趙金祁（1986）指出科學教育無論就「科學」或就「教育」的內涵來說，不但不應該忽視「人」的因素，而且也必須把握科學的人文本質，如此才能創造理想的科學學習環境。同時，1980 年代以來，強調科學教育培育全民科學素養的許多論述裡就提及，學生不僅應該學習「科學本身」的內容，也應該學習「有關科學」的部分，而科學的人文面向即是其中之一（Bybee, Powell & Ellis, 1991）。正因為科學家是科學人文面向的一環，所以他們探究自然時所表現的專注、投入，以及解決問題的決心與毅力，就屬於有關科學的人文之美。

而提及科學家的人文之美，它往往在科學家的傳記中被突顯。以近代科學家為例，發現元素鐳的居禮夫人（Mary S. Curie）、發現跳躍基因 Barbara McClintock，或是用實驗證明「宇稱不守恆」理論的吳健雄（McGrayne, 1992），亦或是對蛇毒蛋白研究有重大貢獻的數位

台灣科學家——李鎮源、張傳炯、歐陽兆與楊振忠等人（楊玉齡、羅時成，1996）、建立起量子電動力學的 Feynman（Feynman, 1985）等，許許多多科學家的奮鬥史例，都可作為談論科學的人文之美的素材。

參、科學之美的教育意涵

科學既然有上述的美感，且此美感的體驗並不專屬於科學家，那麼在科學教育中談論科學之美有何重要性呢？

一、作為科學素養的一部分

自古以來，人取之於自然、用之於自然，文人雅士更是以自然為創作的泉源和對話的意象。落花有情，流水亦然，在感念蟲魚鳥獸、花草樹木的天地之美時，孕育了人間處處是風景，生命時時是體驗的感受。而作為幫助人類脫離對自然無知的「科學」興起後，人們終於懂得探究自然，了解自然中的事實和現象。這不但因而建構了龐大的科學知識體系，也同時造福了人類自己，提升了生活的品質，而且也因科學的力量過度應用或曲解，造成了自然的失衡，亦或是人類本身的浩劫。

顯然地，人類締造了科學，科學也反過頭來形塑人類的文化。所以科學作為人類文化的一環，教學所需涵蓋的內容絕非僅止於科學知識，或者只有教導學生「分析、推理」等理性地建構這個世界而已。相對地，科學對人類文化的影響、科學探究過程中的「知覺、想像、感受、欣賞、創造」一樣也不能少。因為有了理性和感

性的調和，愛因斯坦才會寫下「我只是自然的一小部分」(I am a little piece of Nature)的深厚感悟，此話不僅透露著認知的成份，也有情意的抒發(引自 Holton, 1973)。而 Dewey (1934/1980) 更在《藝術即經驗》一書中指出「美即是生活」，一個人的生活因為有美的經驗才更完整。所以，在倡導全民科學素養的今天，欣賞科學之美就成了不可缺少的內涵，更是豐富生活的一部分。

二、作為科學本質的面向之一

一般而言，科學本質反映在「科學知識的本質、科學探究的本質、科學事業的本質」三方面，其中科學探究的本質裡，就包括了「美」的成份。Brandy 和 Kumar (2000) 指出若能利用科學的「美學」面向引導學生談論科學，將讓學生更接近科學探究過程的真實面。同時，Eisner (1985) 也表示，科學的作品正如同藝術作品一樣，也需要科學家以美的觀點來做建構的工作。而「為什麼許多科學家孜孜不倦地著迷於科學探究的過程」？相信這是許多學生不解的疑問。科學家受到科學之美的吸引，或進一步追求科學之美，正是回答此一疑問的重要答案。Herri Poincare (引自 Girod, Rau & Schepige, 2003) 就指出科學家因為自然是美的，所以醉心於科學的探究；而 Root-Bernstein (1996) 也闡述科學家在從事科學工作時，並非只有發揮認知和理性，運用想像、用心感受、追求美感等情意成份，也是必然會發生的歷程。同時，也因為「直覺和美感」的引導，

讓科學家在探究原因的選擇之中知道「它就是這樣」(this is how it has to be) (Wechsler, 1978)。所以，科學家確實會憑藉著一些所謂「非理性的因素」，幫助自己在科學探究過程中做判斷。

誠如 Dewey (1934/1980) 所倡導的，「藝術來自生活經驗，而生活經驗中也蘊涵著美感經驗」。因此，科學家的美感經驗既來自生活中，也來自工作中，二者相互融滲和影響是必然的。也許對不同科學家而言，「科學美」的成份不同，「科學美」的理由也不一樣，但不論是發現科學之美的過程或結果，都成了滿足科學家內心世界追求美，並牽動其繼續探究自然的重要因素。換句話說，對科學家而言，科學之美既是科學家追求與發現的目標，也是激勵和促進科學家努力的一大動機，而這些都反映著「科學之美是科學探究中追尋的重要本質」。

三、作為學習科學的動機之一

Wilson (1998) 提及「藝術的特質能用真和美來形容，且藝術是科學的一部分」；而沈致遠 (2002) 也認為「科學求真，真中涵美；藝術求美，美不離真。真和美是統一的」。正因為科學蘊涵著美，所以讓科學家在追求真理的過程中，不但領略到了美，而且也為發覺更多的美，投入更多的心神與精力。

由此可知，美學動機若是科學家探究自然、創造科學的一大因素，這樣的動機一樣也可以成為促進學生學習科學的動力之一。也就是說，科學之美不僅之於科學

家而言，將其放在科學教育的情境脈絡中，也一樣可以作為引發學生學習科學的一種動機、一種情意的目標。從建構主義的教學或學習觀點出發，孩童或學生對自然世界的探索，事實上是與科學家相當的，只是程度上的不同（Chaille, 2003）。所以，「美使人愉悅，美激發想像，經歷美之後的感動與讚賞、敬畏與謙卑」等過程，更能讓學習者留下深刻的印象，促進其有意願再接觸、再探究的欲望。而這些歷程在無形之中都深化了學生學習科學的旨趣，形成其生活中有意義學習的一環。所以，Shaker（2001）指出應該正視美感經驗對學習正增強的力量，它讓學習變得更有意義、更有樂趣；Greene（1995）也認為若能對美感有更多的了解和體會，將讓學生更有機會以新的方式欣賞美的事物。

四、作為學習遷移的一種媒介

如果人文與科學的文化隔閡的起因之一是因為彼此不認識對方探究的學問領域，那麼為雙方創造對話的議題和機會，正是當今大學的通識教育、或是中、小學的普通教育所努力的一大方向。而其中以科學史或其中的案例作為促進學生認識科學的內容或工具，已備受學者所重視（林樹聲，2001）。同樣地，利用「科學之美」也可以發揮這樣的功能。

Martin & Brouwer（1991）就主張由美的觀點來學習和談論科學，將讓學校的科學課程變得更為學生接受，連帶地也擴展了學生將校內科學學習的成果，應用至校外的生活中，成為與他人交談的內容之

一。也就是說，此一擴展將以科學之美作為橋樑，讓學生利用這樣的主題與他人做美感經驗上的交流。如此一來，無形之中就模糊了「學校科學」與「校外科學」的界線（Girod, Rau & Schepige, 2003）。同時，Wilson（1984）也指出人天生就會受到生物的美所吸引，若能善用這樣的美感經驗影響眾人，將能發展出拯救環境的重大力量。顯而易見地，對於科學之美經驗的分享既能發生在學校教室內，也能擴展到校外，甚至能進一步地影響環境與生態的保育。所以，欣賞和談論科學之美的力量不容忽視，值得去推廣和運用。

肆、科學之美的教、學與評量

提出多元智慧理論的 Gardner（1993）就認為任何一種型式的智慧都有美的成份在內，而美對任何的學習都是重要的。Sprague 和 Bryan（2001）也認為人類的心靈會主動找尋「美」，而透過教育活動可以改善和提升大家對美感的評鑑與追求。同時，生活經驗是一切美感經驗的來源（Dewey, 1938/1980），科學作為學生學校生活經驗的一部分，所以教師運用科學創造讓學生體驗的美感經驗就顯得格外重要，也因此對科學的美感經驗就非科學家所獨享。那麼該運用什麼教材和教學策略去談論科學之美呢？

一、教材與課程

科學之美既有表象和深層之分，也可由「對象美、理論美、實驗美」，以及科學家投入工作的探究精神與態度等「人文層

面」來認識。不可否認的，人類知覺這世界最直接的就是使用五官，而對一般人而言「視覺」又是主導的部分，所以不論從哪一方面著手去引領學生認識或感受科學之美，都應該由「表象到深層」，才容易讓學生接受。也就是說，從表象的「顏色、排列、結構、律動、組成……」等客體的特質，到諸如「生態平衡、運動規律、宇宙和諧」等深層意涵的領會，既讓學生經歷科學「求真」的理性，也讓學生體會科學「求美」的感性。

例如，Girod, Rau 和 Schepige(2003)以週期表為例，說明著科學之美的「美感了解」(aesthetic understanding)的層次。由於週期表中的個別元素，構成了一系列的關係、組成和連續性，同族(直排)之間有著相似的化學性質，同列(橫排)之間又有著週期循環的變化，既有共相的部分，也有殊相的部分。所以他們認為可以先從個別元素及其性質介紹起(元素之美、性質之美)，再說明各元素之間同族、或同列元素的關係(關係之美或結構之美)，最後再導引至元素「排列的週期性」，闡釋大自然元素之間的「規律之美」或「秩序之美」。

這樣循序漸進的歷程都在促進學生景仰或讚嘆自然的奧妙、感悟自己的渺小，或是尊重天地萬物的存在。換句話說，由康德對美感經驗中的「美」的層次，走向「崇高」的境界，不但激發學生的好奇心，讓學生對科學學習留下較深刻的印象，而且也可能因此促進學生投入探究自

然世界的行列，發現更多的科學之美。誠如曹俊峰(2003)所言：

人類審美意識不斷由低級到高級、由野到文、由粗到精地向前發展，能夠從對象上發現越來越多的審美性質，得到越來越精細的審美感受，能夠從審美情感中區分出越來越多的層次，使人類審美活動的內容越來越豐富。(頁35)

所以，拓展學生對科學的美感經驗，無非是企圖在科學學習的歷程中，彰顯感性與理性協調和互補的重要。李澤厚(1996)就指出在康德的哲學體系下，兼具感性和理性才能擁有愉快的美感經驗，而這樣的理念正好提供我們修正過去向來重視理性認知多於情意體會的科學教學。由於多數國小學生的心智發展仍處於具體操作期，且國小階段涵蓋的科學內容較為淺顯，所以科學之美的教材也許僅止於表象美感的介紹和體驗；中學生之認知發展較為成熟，且所學的科學知識層面加深加廣，同時也學會應用數學或符號表徵現象或事物，因此可深入科學之美的深層面向做討論，並領會深層的科學美感。

再者，科學之美的課程若在中、小學階段實施，適合以「融入」式課程涵蓋在原科學課程之中，而非「獨立開課」。理由在於新課程的加入必須調整各年級的課程架構，涉及層面較廣，需從長計議，所以採取「融入式課程」應該是較可行的方式。Jarcho(1985)指出如果希望學生多學一

些與原課程相關的內容，基本上可採取以小活動、小主題的融入方式（infusion approach），將要教的內容加入平常的課程中，如此對原課程的干擾最小，教師也容易準備。此外，Colburn（2003）也認為「統整」（integrate）其他學科，或以某些主題或概念「統整」學習的內容，亦是組織教材、進行教學的可行方式。然而，考量科學與美學二者以何種方式進行統整，則是教師必須發揮專業、做決定的部分。

所以，科學之美融入在科學課程中來談既可以是科學之美的討論或感受的抒發，也可以是以一個主題為核心做一系列的介紹。總之，科學之美的教學所強調的是提點學生注意科學也含有美的面向、引導學生欣賞科學之美、介紹學生認識科學之美的理念，以及和學生分享科學之美的感受與想法。原則上，屬於一種潛移默化的學習，而非強迫式的灌輸。如果教師想以灌輸的方式從事科學之美的教學，想必未教之前美感已盡失，根本談不上美。

二、教法

「科學之美到底能不能『教』？」是一見人見智的問題，答案往往取決於論述者對「教」的定義。幸且不論教之定義，無疑地，純然的「講述」或「灌輸」式的傳遞皆非科學之美教學的最佳策略。若真這樣做，恐怕只會讓學生對科學產生更大的排斥與反感。理由就在於「美」往往是主觀的、屬於個人知覺上、心理層面上的體會，並無絕對的標準，日常生活中提及的「情人眼裡出西施」正是最普遍的寫照

之一。畢竟教師認為的科學之美，也許學生不以為然（反之亦然）。所以，教師雖然不可能確切地為學生訂定出哪些是科學之美，但卻可以引導學生去注意科學之美的可能面向，並加以解釋理由，讓學生學習自己可以從何觀點出發去發覺和欣賞科學之美。

由於科學之美沒有必然的部分，所以教師個人獨腳戲的講述也僅止於引言、串場或總結，最重要地還是必須回歸到師生或同儕之間的「討論」。有關「討論」此一教學策略的優點，已無需作者在此贅言，一些教學法的專書皆有詳盡的闡述（例如 Burden & Byrd, 1999; Kindsvatter, William, & Ishler, 1996）。而討論的旨趣之一在於「分享」，在於激盪出「更多元」的想法和意見，甚至為自己的觀點做出辯護。所以，教師只要適度地提問和引導，並給學生討論的機會，讓學生彼此聆聽不同理由支持下的美之觀感、美的經驗與探索，相信如此一來必能擴展學生對科學美的視野與想法。而配合適當的多媒體圖片和影像，也有助於學生將某些抽象的科學概念或現象予以具象化，促進學生想像科學之美，增加美感經驗。

此外，教師的教學技巧裡，情意的成份是必須與認知的過程相互融合的，否則空有理性的認知，缺乏情感的投入，如何能激起學生對科學的「美感知覺和經驗」呢？所以，教師在引導學生學習科學之美的過程中，不應吝惜表達自己感性的一面，同時也應多多分享自己對科學之美的想法、解釋美的理由，以提供學生做參考。

其次，教師可善用隱喻和圖示，並多多鼓勵學生運用想像，如此將有利於學生了解科學中的想法，或進一步形成探究世界的「心像」(mental image)或「心智模式」(mental model)，以體會或領悟科學之美(Sticht, 1979; Flannery, 1991)。

三、評量

由於科學之美的教學重視情意方面的抒發和表達，所以評量的內容也以情意的內涵為主，這些內涵可以包括「欣賞、回應、接受、喜好、評價……」等等(Anderson & Krathwohl, 2001)。而有關情意的評量，多採用「量表、開放式問卷、晤談、觀察、學生的自評、同儕互評」等多元的方法(Tanner, 2001)。由於對科學之美的感受人人不同，所以學生只要明確地表達出自己的意見、或指出科學之美的面向和特質，並充分說明理由，這樣應該就達成了教學的目標。

伍、相關的問題

如眾所皆知的，教師對於教學的內容必須熟悉，才能展現其專業的一面。所以，只要有機會教到自然與生活科技領域的教師，都應該培養自己對科學之美的覺知、認識和欣賞能力。若教師自己對科學之美一無所知，或者根本沒有感受到科學之美的經驗，那麼這位教師大概也無法為學生創造學習科學的美感經驗。因此，不論是職前或在職的師資培育課程中，皆應該將科學之美的認知和體會融入課程中來談，藉以形成科學教師專業的一部分。不管是

不是獨立開課，科學之美此一主題勢必必須成為師生談論的話題與分享意見的內容，大家才會重視，也才可能逐步建立起應有的認知與感受。

此外，國民教育九年一貫課程的綱要中已出現科學之美的內容指標和要項，那麼衍生而出的另一問題即是需要有相對應的教材出現。而此一部分，目前仍有待更多的實徵性研究來支持和開發。由於科學之美此一議題具跨學科、跨領域的性質，而在知識、學問探究一切講求專精的時代，要進行這方面的研究確實有它的難處。這也無怪乎國外的研究總是零星出現，而國內則幾乎付諸闕如的主因。換句話說，這類研究正有待更多的人力投入，產生更多相關的論述，做更多元的經營與開發。否則在缺乏一些實證研究做基礎的前提下，將因缺乏證據而難以說服眾人來接受和推廣科學之美的教與學。

陸、結語

不可否認的，至今國內多數的教科書、科學書籍或文獻，作者皆以理性的筆調書寫著「科學」；同時，中小學的科學教學也仍著重在協助學生建立科學知識、經歷科學方法，甚至以科學解題訓練學生的邏輯和思考，因此學生不論是在制式教育或非制式教育中，要能接觸到科學之美的訊息確實是微乎其微，除非是課程本身就涵蓋，教師才有機會進行教學。再者，教師們無可避免地會以知識優越者的權威角度進行科學的教學，且對科學之美尚未建

立應有的覺知或素養時，造成學生對科學學習的印象停留在「抽象、艱澀、與生活無關」等，就不足為其了。

完整的學習是必須涵蓋「認知、情意、技能」三方面，不應該獨厚認知，也不應該偏廢任何一個面向。所以，若要打破學生對科學學習的刻板或負面印象，試圖從「科學之美」做出發的教學應該是可嘗試的。而利用科學創造學生的美感經驗與價值，也許只是個手段、只是個歷程，更重要地，由此為基礎去提升學生接納、欣賞、應用科學的意願、甚至引發從事科學的內在動機，或是因對科學之美有更深層的體悟，學會尊重自然、讚嘆宇宙的秩序與和諧，進而善用科學的力量，創造更多的福祉，這才是運用科學之美培育眾人具備科學素養的最終目的。

柒、參考文獻

- 朱光潛(1967/2000)：談美。台北：國際少年村。
- 李澤厚(1996)：批判哲學的批判——康德述評。台北：三民。
- 沈致遠(2002)：科學是美麗的——科學藝術與人文思維。上海：上海教育。
- 汪信硯(1994)：科學美學。台北：淑馨。
- 周憲(2002)：美學是什麼。台北：揚智。
- 易杰雄(1991)：康德。台北：書泉。
- 林樹聲(1999)：科學素養的省思，科學教育月刊。第 222 期，頁 16-26。
- 林樹聲(2001)：科學史融入中學科學教科書的問題和討論。科學教育研究——理論與實務。1，1-24。
- 徐宗林(1990)：現代教育思潮。台北：五南。
- 教育部(2002)：科學教育白皮書。
<http://www.nsc.gov.tw/sci/Discuss/科學教育白皮書.doc>。
- 曹俊峰(2003)：康德美學導論。台北：水牛。
- 楊玉齡、羅時成(1996)：台灣蛇毒傳奇。台北：天下文化。
- 蓋瑞忠(1989)：藝術欣賞入門。台北：台灣省立博物館。
- 趙金祁(1986)：漫談科學教育與技術教育。科學教育月刊，第 53 期，頁 13-17。
- AAAS(1989). *Science for All Americans*. American Association for the Advancement of Science. Washington, DC.
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives (complete edition)*. New York: Longman.
- Brandy, I., & Kumar, A. (2000). Some thoughts on sharing science. *Science Education*, 84, 507-523.
- Burden, P. R. & Byrd, D. M. (1999). *Methods for effective teaching (2nd ed.)*. Boston: Allyn and Bacon.
- Bybee, R. W., Powell, J. C., & Ellis, J. D. (1991). Integrating the history and nature of science and technology in science and social studies curriculum. *Science Education*, 75(1), 143-155.
- Root-Bernstein, R. (1996). The sciences and arts share a common creative aesthetic. In A. I. Tauber(Ed.), *The elusive synthesis: Aesthetics and science* (pp.49-82). Norwell, MA: Kluwer Academic.
- Chaille, C. (2003). *The young child as scientist: A constructivist approach to early childhood science education*. New York: Allyn & Bacon.
- Chandrasekhar, S. (1987). *Truth and beauty*. Chicago: University of Chicago Press.
- Colburn, A. (2003). *The lingo of learning*. Arlington, Virginia: NSTA Press.
- Dewey, J. (1934/1984). *Art as experience*. New York: Berkley.
- Eisner, E. (1985). Aesthetic modes of knowing. In *Learning and teaching the ways of knowing. Eight-fourth*

- yearbook of the N.S.S.E. (pp.23-36). Chicago: University of Chicago Press.
- Eisner, E. (2002). Art in science? *Curriculum Inquiry*, 32(2), 131-159.
- Feynman, R. (1988). *What do you care what other people think?* New York: Norton.
- Feynman, R. (1985). *Surely You're Joking Mr. Feynman: Adventures of a Curious Character*. 中譯本《別鬧了，費曼先生》，吳程遠譯。台北：天下文化。
- Flannery, M. C. (1991). Science and aesthetics: A partnership for science education. *Science Education*, 75(5), 577-593.
- Gauch, H. G. (2003). *Scientific method in practice*. London: Cambridge University Press.
- Girod, M., Rau, C., & Schepige, A. (2003). Appreciating the beauty of science ideas: Teaching for aesthetic understanding. *Science Education*, 87, 574-587.
- Greene, M. (1995). *Releasing the imagination: Essays on education, the arts, and social change*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Hoffmann, R. (1990). Molecular beauty. *The Journal of Aesthetics and Art Criticism*, 48, 191-204.
- Holmes, F. L. (1996). Beautiful experiments in the life sciences. In A. I. Tauber(Ed.), *The elusive synthesis: Aesthetics and science*(pp.83-101). Norwell, MA: Kluwer Academic.
- Holton, G. (1973). *Thematic origins of scientific thought*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Hurd, P. D. (1970). *New directions in teaching secondary school science*. Chicago: Rand McNally.
- Jarcho, I. S. (1985). Curricular approach to teaching STS: A report on units, modules, and courses. In R. W. Bybee(ed.), *Science/Technology/Society, 1985 yearbook of the national science teachers association* (pp162-173). Washington, DC: National Science Teachers Association.
- Kindsvatter, R., William, W., & Ishler, M. (1996). *Dynamics of effective teaching* (3rd ed.). N.Y.: Longman.
- Lattery, M. J. (2001). Thought experiments in physics education: A simple and practical example. *Science & Education*, 10, 485-492.
- McAllister, J. W. (1996). *Beauty & revolution in science*. Ithaca: Cornell University Press.
- Martin, B. E., & Brouwer, W. (1991). The sharing of personal science and the narrative element in science education. *Science Education*, 75(6), 707-722.
- Mayr, E. (1997). *This is biology*. 中譯本《看！這就是生物學》，涂可欣譯。台北：天下文化。
- McGrayne, S. B. (1992). *Nobel prize women in science*. 中譯本《諾貝爾獎女性科學家》，李靜宜譯。台北：牛頓。
- Moore, R. (1994). *Aesthetics for young people*. VA: National Art Education Association.
- Kuhn, T. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press. 中譯本《科學革命的結構》，程樹德、傅大為、王道還、錢永祥譯。台北：遠流。
- National Academy of Science (1995). *National Science Education Standards*. Washington D.C.: National Academy of Science.
- Polanyi, M. (1958). *Personal knowledge*. Chicago: University of Chicago Press.
- Ridley, B. K. (2001). *On science*. New York: Routledge.
- Shaker, P. (2001). Literacies for life. *Educational Leadership*, 59(2), 26-29.
- Snow, C. P.(1959). *The two cultures and a second look: An expanded vision of the two cultures and the scientific revolution*. New York: Cambridge University Press.
- Sprague, M. M., & Bryan, S. L. (2001). Aesthetics and the middle school learner. *The Clearing House*, 75(1), 41-44.

- Sticht, T. (1979). Educational uses of metaphor. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and thought*. New York: Cambridge University Press.
- Tanner, D. E. (2001). *Assessing Academic Achievement*. Boston: Allyn and Bacon.
- Wilson, E. O. (1984). *Biophilia*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Wilson, E. O. (1998). *Consilience: The unity of knowledge*. 中譯本《知識大

融通》，梁錦鑾譯。台北：天下文化。

- Wechsler, J. (1978). Introduction. In J. Wechsler (Ed.), *On aesthetics in science* (pp.1-7). Cambridge: The MIT Press.

投稿日期：95 年 10 月 23 日

接受日期：96 年 5 月 13 日

The Aesthetic Dimensions of Science, Its Instruction and the Related Problems

Shu-Sheng Lin¹, Tsung-Hau Jen² and Che-Di Lee²

¹Graduate Institute of Science Education, National Chiayi University

²Science Education Center, National Taiwan Normal University

Abstract

Undoubtedly, the aesthetic dimensions of science have been neglected for a long time. The purpose of this paper is to discuss the aesthetic dimensions of science, its instruction and the related problems. School science always gives students the impression that science is difficult, abstract and irrelevant to their everyday life. It is caused by ignoring the humanistic dimensions of science. In fact, aesthetic dimensions of science can be reflected not only on the beauty of Nature, scientific experiments and theory, but also on the spirits and attitudes of the scientists they show out in the process of scientific inquiry. If we discuss the aesthetic dimensions of science in science instruction, we can encourage the student to appreciate science, to give them a truer picture of the scientific inquiry, to foster their positive attitudes toward science, to motivate them to learn science and to apply it to their lives actively. In classroom practice, we suggest that teachers organize the teaching materials from the beauty of Nature to the other parts of aesthetic dimensions of science, discuss the aesthetic dimensions of science or share them with the students, and assess students' learning by observing, posing questions or using portfolio to record their improvement on the cognition or affection in aesthetic dimensions of science. However, developing the instruction of aesthetic dimensions of science in Taiwan is faced with several difficulties, such as the lack of research on teaching aesthetic dimensions of science, the lack of aesthetic understanding of the teacher in science, and lack of teaching materials.