

# 科學教育的系統觀（續）

趙金祁

國立臺灣師範大學 科學教育研究所

## 肆、科學教育系統

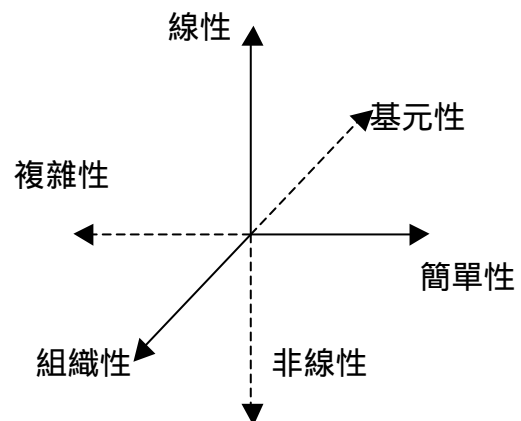
### 1、科學教育系統的整體特性

大約一、二百年前，在學校裡的科學教育是在科學教學名稱下執行，而其受重視的程度，卻與日俱增。一九五七年史潑尼克衛星升空之後，科學教育在普通教育的基礎上，勿論心理、課程、教具、評量等各方面，皆有所創新、突破與貢獻；一時之間，迭創新績，盛況空前，大有自立門戶的傾向。不過，科學教育圈中，仍有相當人數，認為擁有專精科學知識的科學專業人員，就可成為科學教育教學與研究兩方面的優秀從業人員。換言之，既然凡人都受過教育，當然知道教學，故增添科學專精知識後，至少就是良好的科學教師；如此推論，可知科學教育，應是單純的科學與教育兩門專業的合併結果，不必自立門戶、自成學科體系，將其歸屬在科學或教育的領域內，皆無不可。

其實，科學教育系統的意涵並非科學與教育兩次系統的線性相加結果。根據系統論的觀點，科教的因素，即科學與教育，經組合成新學科，應有組織性、複雜性、非線性整體累積的認識效應，形成格式塔式的結果。也就是說，科學教育的科學與教育應從無組織的基元性向有組織的組織性、從低階的簡單性向高階的複雜性、以及從算術相加的線性向歸屬指數型的非線性發展，達成新

境界，變科學與教育為科學教育的新學科(魏宏森、曾國屏，1995)。

如圖所示，科學教育最佳應屬左前下角方向第八象限內的成品，而非祇具基元性、簡單性、與線性型的內涵。因此，科學教育的本質目的、認知方式、課程釐訂、教材編製、評量原理等皆應重加評估、有所更張。茲為幫助了解科學教育應該涵蓋的思維，以下對其涉及的各次系統，先加反思，藉觸類旁通的方式，有利科學教育諸般特性成份的易於突顯。



### 2、科學教育對其涉及各方面的反思

#### (一) 縱向角度了解科學

人類從不同的觀點，反思科學已有一段時間，由於本節的主題是科學教育，故集中討論自然科學，包括數學在內的本質以及發展過程與發展結果的各方面問題。

一般說來，科學歷史都從古希臘時代開始，初期係將科學與哲學混淆在一起討論；自中古時代起，更與宗教密切關聯；而在文藝復興後，因實驗方法的興起，使科學、哲學、神學日益分離。尤其，在演化論與近代物理的觀點大放異彩之後，引發學術上對宗教與哲學的重大反撲，幾乎影響其能否續存。其實，除宗教、哲學的色微外，對美學亦復如此。例如，二十世紀七十年代，德國凱塞爾（Kassel）地方的近代藝術展覽會裡，甚至有年青藝術家懸出“藝術是不必要的”橫扁（趙金祁，民 63）。

顯然，實驗方法將人類依據思辯判斷事物道理的方式，大為改變，做了階段性的終結，取而代之的是信賴無所偏倚的與無所感觸的事實根據，即客觀的經驗。這與宗教或哲學在確認可靠的前提下，如聖經或宗派觀點等，推繹而成的智性活動結果，大相逕庭。

事實上，經哥白尼、伽利略、刻卜勒、牛頓等的學術演變，達到科學上的第一次大綜合，提出以萬有引力定律為中心的機械論說。當時，也有人變牛頓科學為機械哲學，大有從機械論觀點，了解大自然一切事物的勢頭；也有人夢想科學已發展完成，達到終極的階段。

十九世紀下半期，生物學由早期的活力論觀點討論生理現象，轉向生物機能的功能理論發展，即配合運用物理及化學的原理原則，啟迪了機械論與活力論併合處理生物問題的機體理論，最後引發系統理論。事實上，緊隨機械論之後發展的卻是海森伯的測不準定律、薛定諤的量子觀點；這些都是為人心

所不易模擬的觀念，與相對論的公理假定一樣，既不能實證卻也不能否證的形上論點。由以上兩端分析，顯示科學與哲學經深入的推敲，大有在解決問題上重新攜手的趨勢。

總之，科學與哲學是先經統一，而後分化，嗣再從分化而相互對立，最後又從對立而趨向協調。此種分分與合合的過程，也反映著學術體系動態平衡的自組織特性，由甚多科學家之往往相當重視哲學，即可見一斑。而系統思想是一種科學與哲學發展的新趨勢，即跨過學科層次上更高水準概念間的新整合，尤其在自然科學與人文社會學術間，表現出嶄新的整合結果。今日，德國學術圈的命名人文與倫理等學科為精神科學，值得玩味。

除上述大勢所趨的分析外，科學史的回顧指出科學內陳述事物的演變，遠較革命現象的更迭為真實。庫恩所述的異例、危機、革命等，看似石破天驚的突破，其實在歷史發展中，並非如此，都是在科學社群中各自努力下，不知不覺地演化而成。正像拉卡托斯（Lakatos, I.）所說，刻意的創造與發明，並非事實，也不易引起同業間的共鳴。例如二十世紀初，德國地質學界維格納（Wegener, Alfred）創言類似板塊理論的大陸漂移說，並未為同業接受其為劃時代的創見。依此類推，可知教育體系的刻意推動專注創造力提升的教學活動，亦未必一定有其效果，值得深思。他如科學史啟示的科學教育範例，相信為數不勝枚舉，值得科學教育同人注意及此。

## （二）從科學本質了解科學

科學哲學是研究科學本質、目的、認識、方法過程等課題的一門學術，由科學上更高一層概念構成，以了解所謂後設或元科學的種種課題。猶如前述，對貫穿科學知識各種關係之一的認識過程方法，作者曾提出較為清楚的交代，故本節將就文藝復興後，解釋科學本質、目的等問題的重要科學哲學宗派，就其具科學教育次系統的特性部分，加以闡明。

文藝復興以前，古希臘時代以及其後各時代的智者與宗教繼承者，縱使分別持有其獨有的哲學宗派與教義的觀點，而呈現不同的立場，卻同樣將宇宙看成是處在井然有序的狀態中，認定有序的價值高於無序態，即靜態優於動態，世間事物都有其自然地位，運動不過是在外力作用下為了達到另一個自然地位的過渡狀態，意指靜態才屬宇宙的常道。

顯然，這與星體的永恆運轉的觀察結果，並不相符，具有潛在的矛盾，最終引發近代科學的誕生。歷史上，依時序亦興起近世科學哲學各宗派，包括理性主義、經驗主義、邏輯實證論、否證論、歷史主義、建構實在主義等，各擅勝場，以解說科學本質與目的的問題。

理性主義的科學思想是人類脫開超自然轉向大自然實質問題探討的濫觴；並運用直觀思辯的演繹推理，贏得具理性本質的科學知識。其分析事物的依據，以不證自明的最低階理解，作為終極基礎，並具有從先天命題推演結論的特徵，認為除非經驗在不證自

明命題的認定上確屬必要，否則，就無需參照經驗，就能確定各該命題的真偽。從而，再從這真實的基礎上，論斷而形成理性的科學知識。顯見，理性主義多少尚含有超自然的先天性成分，但其對事物研究，在方法上所抱持的存疑態度，確屬科學哲學演化中的一大進步。

經驗主義是從後天的經驗基礎上，建立科學知識，並認為事物的知識，至少是所有可與已存概念之間的純粹邏輯關係相區隔的事物知識，都應在經驗的基礎上建立。一般說來，經驗主義者將邏輯或數學看成在公理證明中的無意義的符碼，故經驗主義中的公理、邏輯與數學在本質上都與不證自明相似；而其作用祇有在經驗的感受上需要利用其之參預，以便在推理的範圍內重建陳述時，才能彰顯其意義，恰似語文之與科學事實，兩者的意義至為雷同，即無另創新科學事實的功能。也由於經驗主義排斥先天性，故重視相對真理，而與超自然的觀點，愈行愈遠。

邏輯實証主義承襲著經驗主義的思路，是特別強調與借重現代邏輯與數學理論所提供的工具性功能，而形成的維也納學派觀點。在當前科學知識的了解上，邏輯實証論發揮著極為明顯的影響力，而為科學圈內大多數從業人員所持用而不自知的一種思維方式。顯見，不少科學從業人員，常反映著知難行易的實踐、力行風格。

否證論認為傳統上科學的發展是利用歸納法以及與邏輯分析相對立的觀察與實驗而

建立的思維結果。這種觀點，對科學資料皆同等看待，僅憑藉對自然觀察的齊一性信念，而確定觀察所得的陳述，是否存立；故不可能為科學制定一套超越歸納、實驗與確証循環的概括性證明機制。否証主義者就認定概括証明就是以有証偽可能性者作為準則，而任一事物陳述之有無証偽可能因子，就成為是否科學的標誌。也就是說，科學觀察的結果與其預測不一致時，就已証偽故必須修正或放棄其理論陳述，而另起爐灶。這也表示能超越實証論證，而有否証可能性的陳述，才是科學的常態。管見認為，否証亦可視為事物的歷經不斷實証，每增一次實証，必以二分之一的非線性指數比例，減少其存在機會，最後終極的存在可能性，必趨近零。反之，也可以說，沒有可能否証的陳述，就可直接指其根本就沒有二分之一的實証機率之可言，即屬不具科學的標誌。

歷史主義的堅持者，可以前述的庫恩的思維，為其代表，著眼科學的革命以及革命下的新典範之建立為其特徵。此一思維既落實否証論的觀點，更且將科學命運共同體所共立的真理，完全人性化與社會化而賦以相對的特性，即所謂科學界的真理，都屬臨時性真理。由於其內容已在上述相關章節中有所說明，故在此不再贅言。

建構實在主義或科學實在主義是傳統實在主義發展到當前階段的科學思維方式。從歷史上來看，早期的實在主義認定具普適性的實在是一種超時、空而獨立於人世事物所對應感官知覺所能感受之外的思維成果，具理想性的心智觀點。彼時，人類所以將萬事

萬物歸結成超自然力所創生的部分原因，即由此說明。其次，中間一段時間的實在論認為科學知識是由或多或少存在於時空中的實在所構成，卻不偏向個人的感知而側重獨立進行思辯的心智結果。而晚近的科學實在論，主張認知客體的事物，咸在時空中存在與作用，跟心智活動經由種種過程所建構的不同科學知識無關，可各自獨立存在，且知識的諸般不同陳述，確有趨同的可能。據此，科學教育圈的主張學習者建立觀念，包括迷思或另種概念的建構而冀期其最後邁向典範理念的趨同，確屬可予理解，且廣為教育圈採納、接受與運用。

綜上所述，科學哲學各宗派所闡明的科學本質與科學成長的方式，值得推動科學教育者參考與借鏡，不宜加以忽視。

### （三）從社會觀點了解科學發展

科學是從人類文化衍生而來，當然，科學的成長與人類的社會息息相關。大致說來，可分三方面加以推敲。

首先，分析科學之與全社會大眾的關係，也就是說與一般民眾、社會中堅與社會領導階層間，由互動而滋生的問題以及社會大眾因應科學發展，應有的態度與應採取的行動。

研究這種關係的發生原因，如前所述，最為關鍵的莫過於科學間接為大眾創造財富、健康、樂利生活等的改善。當然，這是透過科學所衍生的工藝技術成就的功力，而確立起科學在人世間優越地位；但是，一般人民除非具有此方面學養，否則，並不能深入理解，常直接將科學與創造財富等功能，

連接在一起。

就大眾的憧憬來說，顯見科學應致力追求富裕、平安、健康、大公、正義等條件的創造。凡與這些要求相違背的領導階層、社會菁英及一般民眾的行為，都是社會大眾應加唾棄的對象。理想上說來，全民應有共識，對製造科學負面效應而遂行自己私慾的任何人，都應發揮人民作主的力量，加以否定與推翻。不幸，中世紀來，崇尚求真的科學教育對社會大眾的化育工作，在闡明科學真正目的上，始終一籌莫展；反而坐視科技創造繁榮的同時，不少領導或菁英人士曲學阿世，引發甚多社會問題，而不能加以遏止，誠科學教育的敗筆，應予警惕。

其次，仔細分析前述史諾所指的兩種文化問題，原則上說來，可知一方面是涉及傾向自然科學、應用科學、社會科學等範圍的社會大眾，而另一方面是指傾向人文、藝術、哲學、宗教的另一批群眾。這兩方面的人士，縱無顯明的分野，然在社會上亦實質存在；由於彼此性向、愛好之不同，難免不生芥蒂，如對社會事物判準之不同、相互溝通之不易，跨越人文科技領域進行學習之不能適應等。歷來，為社會大眾消弭此兩方面矛盾所推動的求取人文科技平衡教育與隸屬科學範圍的通識教育，亦未見收效，甚或為人忽視，更妄論其達到終生學習、回流教育目的，值得科學教育圈注意及此。尤其，甚多社會問題，如社會財富成長中的巧取豪奪、大眾生活習慣的惰性守舊、迷信觀念的更見猖獗等，都必須人文科技平衡教育與科學範圍的

通識教育，掌握契機，透過專業倫理訓練等，防微杜漸，在潛移默化中改進。總之，解決社會問題，奠定回流、終身教育基礎是科學方面通識教育等的長遠目標，值得注意。

再次，分析科學社群的自身的內在問題。根據統計，一九七四年全美國人口中，自稱是科學工作者約為五十萬人（United States Bureau of The Census, 1974），約佔美國人口的四分之一。由於美國科學人口較多，就世界標準來說，科學從業人員估計應為全人口的八分之一，僅屬人口中的絕對少數。而普賴斯指出，在某一數量的相同學科科學家中，科學家人數與其論文產量之間，具有平方反比關係（Price, 1963）。顯見，同一科學學科內，由學術權威區分，必成金字塔型的智力結構。

科學社群是由科學研究人員自然組成，由少數頂尖人物在學術上主導。由於學科專業的不同，分成很多專業團體，其成員散居各地，由包括電子郵件在內的通訊，相互聯繫，彼此也知道各別的專長所在，以及其研究已達到的水準。

一般說來，科學研究人員所關心的是求知慾的滿足，再將求取的臨時真理向絕對真理趨同視為其唯一職志；故甚少聞問科學發展對人類將來可能造成的影響，反映科學的道德中立說的態度，與應用科學或技術人員的志趣，截然不同，有其獨特的行事風格，不受世俗所羈絆。

科學命運共同體的頂尖人物，能獲致舉世認同者，則更有可能問鼎諾貝爾獎，受社

會大眾敬重。不過，以已開國發家為例，大多科學家獲獎後，仍繼續研究生涯，縱為社會矚目，然亦甚少參預一般世務而維持原有行徑。

由於科學從業人員，包括頂尖與諾貝爾獎得主在內，究佔人民總人口的少數，其表演的凸出行為與所持的科學道德中立立場，任一開放社會應可容忍。準此，科學家的意圖複製包括人類在內的動物，除非對前述的社會大眾的科學教育辦理失策與無效，否則，似無必要透過政府或宗教的力量，加以阻止。由此可知，科教圈對社會的責任，實在很重大。

同理，科學教育對科學專精人員的培養，是否必須同時令其了然科學方法、科學態度、科學發展目標、與人文科技平衡等倫理問題，而要求其熟諳提振社會成熟度與維護社會安寧的科目，基於學科的節儉與分工原則與社會可予容忍的道理，故大有商榷餘地。因此，過去四、五十年來，減縮課程，加深教材等加速培養專精科學家的教育方針，只要教育的對象恰當，應屬合理，似可繼續發揚光大。

(四)從認知心理以及信息傳遞認識科學  
科學教育系統運作的主體對象是學生，故自然就將認知科學、心理學等視為其重要的子系統之一。早在科學教育還以科學教學的名稱操作之際，美國全國教育研究會（National Society for the Study of Education, U.S.A）第三十一年年鑑中，鮑威爾（Powers, S.R.）曾指出功能學習應為遂行科學教育的依據重點。其實，更早年代裡，德國結構心

理學創始人馮德（Wundt, W.）的第一位美國籍學生賀爾（Hall, G.S., 1844-1924），早經提出學習者個體本身內心自覺的經驗結構的重要性，而以意識內省方式完成學習過程；兩人對學習行為的看法，確有不同。

如前所述，時序上稍晚的鮑氏卻主張超越內心自覺的結構，而認為個體適應環境歷程的功能學習方式，較符實際。兩人的看法，縱然頗有出入，不過，賀氏的興趣是多元並進的，除提出結構學說之外，亦不排除功能心理學說，且因其與皮亞傑相似，探討人類與生物的同化與發展問題，而在後世經稱譽為發展心理學的創始人。

誠然，科學教育藉以推展的心理學基礎隨時代思潮而變移不居。譬如，自結構主義、功能主義、行為學派等等學說，以至現世與計算機理論密切有關的信息傳播理念。也就是說，由十六、七世紀的時鐘星座的宇宙說，演進至今日的認知心理，並有轉向控制論解釋學習行為的可能性。

在廿世紀六十年代初，為突顯以人體為主體研究對象的認知發展理論，科學教育圈對皮氏的認知學說，大感興趣。根據史載，皮氏在一九五五年受洛克菲勒基金會支助，在日內瓦設置國際發生認識論中心，每年接受三名美國知名學者前往研究。相信這一活動，對美國科學家推動一九五七年後的科教改革運動的了解皮氏工作成果，多少有所裨益，至少並非毫無淵源。茲將改革運動中，四位指標性心理學家，即奧蘇貝爾（Ausubel, D. P.）、布魯納（Bruner, J. S.）、皮亞傑及茄聶（Gagne, R. M.），介紹如下。

奧氏畢生強調語言教學 ( Verbal learning ) 有意義教學、接受學習、涵攝原理、學習遷移等傳統心理步驟；而以其所倡導之前置組合體配合學習活動，為其重要特色。原則上說來，教學活動前的重視前置組合體，顯示其教學過程，幾與布魯納的理念相仿，不無異曲同工之處。

布氏是當時最具代表性的科學教育心理學家，偏向加速科學家培養的作為，以趕上前蘇聯的優勢科學成就，並強調發現教學以及將高年級學習內容移向低年級傳習，通稱水向下流 ( Water-down ) 的課程安排。

皮亞傑部分已似前述，其試驗對象為其子女，故為科學共同體早期參預科改改革工作時所以更重視之原因之一。其實，皮氏係生物學家出身，原本並無實際介入教學工作的意思，其研究方法稱為臨床研究法，捨棄採用大量樣本，與行為學派的做法迥異。皮氏是發展心理學家、認知心理學家，另外亦是發生認識論的創始人。其實，發生認識論可界定為認知結構的創生理論，意指認識的知識從內容到形式，都表現為一種結構，且係逐步累積不斷創建而成，即所謂建構理念。結構與建構是發生認識論不可或缺的兩方面；沒有結構的發生，即各種形式的行為主義活動，如機械論或經驗論，具時鐘星座宇宙觀；沒有發生的結構是先天論說的結果，或格式塔式學習；而沒有建構的結構，即沒有結構的結構，是靜態教學或死記強背的學習結果。

第四位標誌性心理學家是茄聶。初期，

茄氏將人類學習分為不同複雜性的八大類型，並將最具關鍵性的刺激反映聯結 ( S-R ) 學習，加以層次結構化。茄氏反對運用僅憑單一制約作用的學習原理，推論與解釋學生全部學習活動，而提出其自創的修正意見；即學習必須由簡而繁，循八大類型之次序漸進，以迄達成求解各項學習問題。

茄氏對其原理，曾不斷加以修正，最後與其後人以類似系統論的方式，共同提出學習是外部輸入的信息經轉換為記憶結構，再藉人體作業形式而因應輸出。其中，經歷接受神經的衝擊、選擇性感知、不同編碼、與對外反應。在作業階段中，亦藉控制、反饋、強化等原理，貫穿其中；並以記憶結構主體的前置學習成就，中介動機與操作能力等內部條件，加以配合而完成全部程序。

總之，科學教育的心理基礎，其運作方式隨時代而改變，將來大有轉向以信息流解釋心理現象的微觀處理方式。目前神經元的激發，已可由中子相機 ( PET ) 攝錄，可見大腦意識的視覺示意圖已屬可能，因此心理活動的信息理論前景，誠大有可為。

(五) 從信息流授受與人智思維完形模型反思學習活動

二十世紀六十年代，從事神經科學研究的格拉尼 ( Granit, R .A. ) 華爾特 ( Wald, G ) 及哈特林 ( Hartlin, H. K. ) 因分析人體視覺器官暴露在外界的明亮光線刺激下，引發腦波電場的應變而一舉成名，獲得一九六七年的諾貝爾獎。科學家以腦電圖學的儀器，探測心理學上人類心智感覺過程，也逐漸步入

可期其發展的境地；難怪邇來容或可聽到鉅觀的學習心理，或可由微觀觀點加以確認的顛覆性雜音，不脛而走。

其實，一九六九年拉斯洛出版的“系統，結構與經驗”一書，即在一般系統論、系統分析信息論、控制論、神經科學等的基礎上，運用生物與人工系統控制等相關原理，透過心智現象與信息流間關係的逐漸明朗，首創一個介於科學與哲學間的工作假說，指出一條或可邁向人智科學原理探討的新途徑（Laszlo, 1969）。茲將其基本理念，擇其犖犖大端，介紹於下。

拉氏將前述刺激反應連結模式 S-R，改由線性關係 P-C-R 代表。式中 P 為發生在感覺傳感器中代表輸入的事件；C 為大腦神經系統與網狀區域所發生的事件，代表連接輸入與輸出的控制—密碼過程；而 R 代表感覺器官的反應，也就是系統的輸出。若為眼睛接受外界環境的某種輸入，則眼瞼的睜開或闔上的事件，相當於針對編碼後的感覺之整體反應。拉氏並以  $E_1$  代表外界環境，對眼睛來說，意指入射光束，而  $E_2$  為眼睛睜闔後所接受的新光束。此處尤須說明感覺傳感器具有選擇環境中不同信息的功能，如眼睛之與光乃經選定可予接受的輸入。至此，這個關係式，可改寫成：

$$E_1 \quad P \quad C \quad R \quad E_2$$

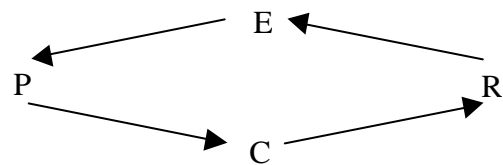
以為全部系統之整體表示。

進一步，為了表示系統的具有自穩定特性， $E_1$  及  $E_2$  可暫由 E 籠統代表之。當然，有關 P—C—R 所處環境中的事件，對眼睛來說，應是光束，暫時亦認定其具不變特性。

但在實際情況中，隨著時間的改變，E 亦變異不居，準確說來當然應分別以  $E_1$  及  $E_2$  代表。例如縱在眼睛睜闔之瞬息間，光束即可能已有所改變，逼使系統反應其所謂的適應性與自組織性功能。換句話說，由於  $E_2$  是 E 所發出與第一個  $E_1$  不同的光束，在必需反應對環境變化有意識的經驗理解，適應功能促使存在 C 內與  $E_1$  相匹配的編入密碼必須進化，俾與  $E_2$  匹配，此整體的自組織功能亦可使信息流得以繼續而維持穩定反饋迴路。

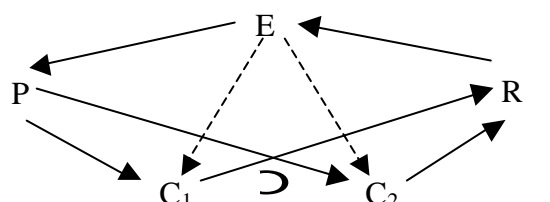
對下圖所示的拉氏自體平衡反饋迴路來說，拉氏先前所舉的例子中，E 為外來的噪音，而傳感器選擇對自己有意識的聲響信息，加以輸入，而其他未經選定的剩餘噪音，則留在外界的環境中。

拉氏自體平衡反饋迴路示意圖為：



這種特殊的自體平衡的控制過程，是為了達成編入與神經系統一致的匹配密碼，並可藉 C 連結 P 與 R，使其中的 R 回到所需的 E 狀態。

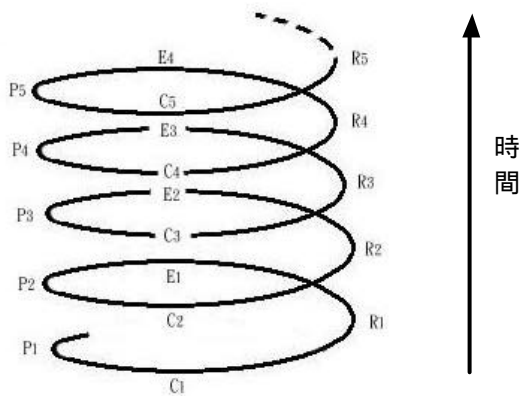
在 E 由  $E_1$  瞬間變成  $E_2$  時，對應的 C 改為  $C_1$  及  $C_2$  以維匹配，並可使 R 回到 E。圖示亦經改變，如下所示。



圖中的 E 為探索適應自組活動，而帶箭



矢的點線 ----> 為外界改變中對控制——編碼取代 C 的不同繪入 ( Mapping )  $C_1$  及  $C_2$ 。且因上述兩圖所示的反饋迴路或系統具二維性質，可由下圖表示：

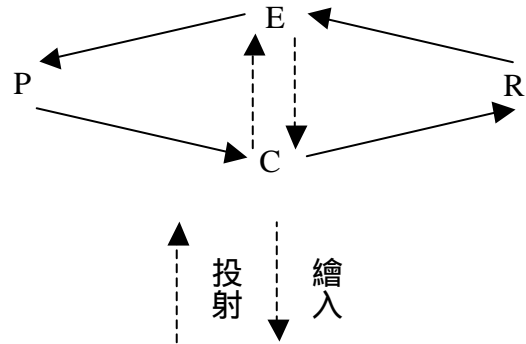


上述解說，說明動物體任一部件的永續性靜態平衡之得以維持。例如，若為皮膚外皮，則表面始終藉反饋迴路，對外界環境逸出或納入等量熱量，而維持平衡。遇過熱時，透過改變的匹配密碼而發出輸出，帶來排汗功能，完成減溫，而依舊處在平衡狀態下，此即系統的自穩功能作用所致。

縱上所述，可知適應活動旨在進化適應以前所存在的輸入密碼，而系統本身除具備前述種種特性外，基本上是具有適應性自組織功能與平衡性自穩功能，主要也是靠這兩種特性，在外在環境下，經密碼進化而交替運作，以維系統的生存。此外，環境 E 與控制編碼 C 之間，除已介紹 E 向 C 的繪入功能，亦同時存在由 C 到 E 的投射 ( Projecting ) 功能。也就是說，帶箭矢的點線可以正反雙向，間或是由 E 向 C 的繪入，抑或是也可以解釋由 C 向 E 的投射等兩種不同功能，如圖

所示。

就思維結構來說，在意識下對環境投射，意指意見之表示；而繪入則表示環境之印入腦海，屬兩種恰巧相反猶如說與聽的功用。



拉氏認為，動物的反饋迴路，因物種的不同，而分成三種不同情況：即屬生理活動範圍，由生理密碼主控的自體平衡性反饋  $L_0$ ；其次，由感覺密碼主控感知—認識行動範圍的智力性感覺傳遞反饋  $L_1$ ；再次，是涉及文化活動範圍的超知覺反饋  $L_2$ 。而  $L_2$  涉及宗教、審美、與科學等三方面的編碼。顯見，不同物種的動物，從由噪音組成的環境中，所選取的有意義聲效信息，其範圍卻並不相同。有能力選取  $L_2$  者，當然能因應  $L_1$  及  $L_0$  的反饋，依此類推， $L_1$  者包羅  $L_0$ ，而  $L_0$  者就只專注生理信息而已。質言之，如前述原始海洋中的原始生命體，恰似胎兒之與母體子宮，與外界環境隔絕，而在自體環境內孕育原始生命或胎兒，主控其迴路運作者為生理密碼；至於出生的胎兒或一般動物，生命的維繫必受制於環境，而環境常變演不居，故必須啟動並通過感覺密碼，予以適應與匹

配；再次，對萬物之靈的人類來說，則必須文化方面的超知覺密碼，加以貫穿。

在子宮內胎兒的感覺傳感器，在周遭環境中，只能選取饑餓等原始刺激，引發編碼，而對環境作吸入營養的反應，維持生存平衡；同理，對於森林中的動物，有隨遇而安的能力，從不同環境選取不同刺激，在饑餓狀態下，即依據進化的感覺編碼，而從變動環境中，進食不同類型的各種食物；再次，就人類而言就與眾不同，能對環境中不同文化背景，透過控制、編碼，反應不同結果，如回教與佛教之不同肉食習慣，即屬大相逕庭的兩種宗教的不同反應。

人類的思維結構，具有高層次完形特性的反饋或迴路，故而處在傳遞一方的思維結構，可對環境經由不同編碼投射不同信息與密碼，而處在承受一方的思維結構，可由環境繪入不同密碼與信息。尤其，匹配輸入信息的密碼本身可因環境變動而進化，乃使具投射與繪入形態的教與學以及具有進化形態的學習或進步，皆可由拉氏工作假說，一一予以說明。

其實，機體式信息轉換機能，發展潛力不可限量，在完形思維結構中，進一步亦包括語言、記憶、創造、神經網狀區形成各種機能的研究與發展，大有涵蓋人智與大腦等的全部機能趨勢。而今，更界定人智為信息成長性湧現能力而大腦為有機體信息派送與承載工具；顯見，信息流理念縱不能對心理解說，由此完成顛覆性的目標，然其爆發性說服力，卻屬科教界值得加以重視，不容輕忽。

### 3、科學教育的功能

#### (一)晚近科技大幅成長後果

如前所述，科學在公元前六、七百年，經古希臘發軔；前後的三百年，人才輩出，如泰利斯（Thales），被後人譽為科學之父。在公元前三百年左右，政治變遷，逐漸進入羅馬時代，科學文化中心亦移往亞歷山大城。至羅馬時代後期，科學已見衰退，大不如前。

自此之後，相隔近千年科學乏善可陳；至紀元十四的世紀，文藝復興在意大利興起，且逐漸蔓延至整個歐洲。此時的科學可說再顯生機，如波蘭的哥白尼提出日心說，義大利的伽利略倡導科學實驗、德國的刻卜勒推定三大定律，法國的笛卡爾完成解析幾何等。

其後，在十七世紀，科學發展重心轉移至英國。早期，著名學者弗蘭西斯·培根（Bacon, Francis）提出觀察、實驗、經驗、歸納、總結、分析等科學方法，可說是實驗科學的始祖，後有牛頓的運動三定律。自此段時間開始，科學家與哲學家漸行漸遠，反有與工藝技術靠攏的趨勢。

十八世紀五十年代左右，德國急起直追。早期先有大哲學家康德突破牛頓僵化的自然觀，提出天體是由星雲演化而來的假說。其後，自一八三〇年起，科學大見進展，有高斯（Gauss）的數學方面成就，李比奇（Liebig）的化學等各方面的貢獻。此時，科學之風在歐洲各地高漲，十九世紀是科學世紀，也是歐洲科學大有斬獲之際。譬如：完整的古典電磁學理論體系經庫倫、安培、歐

姆、法拉第等分別耕耘，最後促成麥克斯韋爾出版電磁學通論。在此以前的一、二世紀內，科學理論在應用上，亦大為凸顯。繼牛頓之機械力學，法國首創蒸汽機，此一技術並續在英國，大行其道。另外，李比奇化學理念發展德國成化工經濟大國；電磁理論也高度衍生電力技術與電化產業革命。十七、八世紀起，科學與技術已混雜在一起，並駕齊驅發展。

一八四八年至一八四九年，發生在歐洲的自由主義與民族主義攜手共創政治革命實驗的失敗，觸發歐洲移民大批遷移美國，科學技術亦移向新大陸。美國自一九三〇年起，很快就轉變成科技大國，其實，美國很多科技成果取自歐洲，如電磁學革命源自歐洲，然電力技術成果，卻在美國發揮其功能。

十九世紀末及二十世紀初，物理學革命亦在美國有效開展，並將自然科學推入一個嶄新的歷史階段。現代科技以原子能，電子計算機，太空技術為標誌，而近代物理學在一百年左右的時間完成相對論，量子論等，並衍生包括量子物理，原子物理，核物理，半導體理論，量子化學，量子生物等學科。這些都是現代新興技術的開發基礎；反之，現代新興技術也催化了科學理論的大幅成長。尤其，第二次世界大戰後五十年內，技術方面的進展，先後發生以下幾個階段：如 1945-1956 年的核能運作、1957-1965 年的人造衛星競爭、1966-1975 DNA 重組實驗成功，1976-1985 年微處理機廣泛使用。嚴格說來，自 1973 年第一台微處理機問世，為

時不久，已完成今日的奔騰第四代具有每秒二十八億次處理能力的處理器。

近百年時間內，科學與技術在相輔相成下，大幅成長，以其與曾經前後一百來年，即 1679 至 1780 年，才由巴賓（Papin, Danis）發明初級蒸汽機模型而迄正式大量使用，顯見在現今世界中，科學與技術都呈指數倍成長，速度大見超前。

綜上所述，人類自古希臘時代發生人世間第一次科學高峰成就；依此類推，義大利文藝復興引發第二次，英國達成第三次，整個歐洲發展出第四次，而美國迄今造成第五次科學高峰成就。此外，自英國牛頓的成就起，人世間的技術亦首見大幅創新，即隨著第三次科學成就伴生第一次蒸汽機等技術革命；整個歐洲的科學第四次高峰，同時伴生德國的化工與歐洲的電力技術等第二次技術革命，而美國第五次科學高峰就引發自飛機，電視機，原子彈，晶體管，集體電路，雷射裝置，信息流機件，以至電算機等第三次技術革命的成果。

根據常識判斷，相信技術的重大進展大致伴隨科學高峰而來。不過，在古希臘以迄文藝復興一段時間，卻並非如此，卻由並未見重大禁得起嚴格標準考驗的科學發展之中國，憑藉其農工與技術成就，在世界上展現其空前的生產力盛況。如前所述，中國的片段性、個別性的早期科學，因欠缺公有特性，自難成為系統之學；再加傳子不傳女習慣，使個別成就亦復逸散，縱有留傳，亦語焉不詳。因此在科學早期發展時代，尚有指南針，

火藥，印刷術，紙張等科學或技術方面的發明，傳播於世，或在生產力上運用，故在第七至第十四世紀間，形成唐，宋兩代的富庶盛景；其後，卻逐漸落伍而一蹶不振，以迄清末民初時期。

由此可見，世間實質上造成財富鼎盛，國力充沛的原因，大都是拜技術革命所賜；近世，美國崇尚實用主義，發展技術的結果，即屬一例；不過，美國教育或行政系統中的研究系所或機構，同時亦大力推動純粹基礎科學研究的事實，相信即是這一結果的根本源頭。自古希臘以來，如前所述，世界上共發生五次科學高峰，然形成的技術革命共只三次，顯見古希臘以迄十六世紀，科學並未達到可促成技術革命的臨界點，故未發生技術革命。期間，我國卻在欠缺科學基礎下，達成農業技術的鼎盛結果；相信，此乃全民努力下，歷史上的偶發事件，不應該冀期其再次發生。因此，猶如前述，在培養全社會人文科技平衡素養外，我國科學教育亦應重視專精科學研究人才的養成，並將其視為科教系統的重要子系統；惟有兩方面的兼顧，才是科學教育全功能的落實，也就是保障技術創新的不二法門。

從科學正面效果分析，科學發展促成技術革命，而技術革命進而有可能提振生產力，裨益國計民生。不過，從負面分析，如前所述，人智發展史中，亦經歷六次災難，即十一世紀起的十字軍東征、十八世紀前後不落日英國的發展殖民政政策、二十世紀初奧國王子斐迪南遇刺觸發的第一次世界大戰、二十世紀前期第二次世界大戰中的德國納粹

與日本大和魂軍閥，以及二十世紀中期與美國競爭的前蘇聯極權統治，前後共計六次之多。若將十字軍東征剔除在外，則上述後面五次的發生時間，幾乎都與技術革命時間相對應。縱不能歸咎技術創新帶來這些災難，然其助長人類災難的兇險，應不容否認，值得世人深思，“滿招損、謙受益、時乃天道”的道理，而如何端正科學教育反映生存功能的外在目標而力避人間劫數，誠屬必要。

## (二)理想與現實以及理性與感性

世界上的全體人類，可視為同屬一個系統，而人類可因其對大自然表現的共相或殊相行為，區分為不同子系統。美國哲學家比爾斯曾指出，人類可區分成三種類型：第一種類型的人專注感覺品質提昇，具藝文，梵行，哲理等氣質；第二種是崇尚現實的人，一般都專注企劃型事業，以追求掌控處理實務的權力為目的；第三種是棄置萬物而重視理性追求的人，即偏好格物認知，致力人生實踐中對事物的理性與規律性的追根與究底（Peirce,轉載文）。對第一種人來說，大自然是一幅完美的畫，猶待有人加以描繪；對第二種人來說，則是一種機會，有待加以開發或利用；而第三種人則認為人生的價值在合理化探究大自然的運作規律，以求揭開大自然的奧秘。

第一種與第三種人很可能是理想主義的執著者，分別具有感性或理性的特徵；第二種則傾向是現實主義者或投機份子，其人生以取得現實具體成果為尚；就理性或感性而言，第二種人既不完全感性化，也不完全理性化，視週遭環境，見機行事而反映兩種屬

性。以上是專就因應大自然的觀點，分析人類的屬性，其實在真實人生中，大多數人並不表露三種極化的類型特徵，而可能反映出具有融合三者的屬性，而在倚重的程度上有輕重之分。也就是說，一般民眾在性格上比較隨遇而安，祇要在其可予接受的範圍內，往往不求甚解而呈現隨波逐流的特徵。

就旨趣分析，第一類人偏愛藝文、史哲、宗教方面的事物；第二類人可以是商賈、大吏等較比重視自己在社會上的支配權力，既傾向現實，即不堅持理想，並對理性、感性亦無特別的偏執；而第三類人較比傾向科學家、技術等專業人士的生涯，習慣上也愛好探究事物所張本的道理。

比爾斯特別指出，科學家的孜孜不倦於自然現象的研究，是為了撲滅為求解大自然奧秘而在內心引發的熾烈地自我要求與煎熬；實質說來，其所工作的對象應是無實用價值的事物。比氏的觀點與古希臘的智者、大儒所持科學專注求真愛智的目的相同。可見，科學家應扮演出世的理想主義角色，不容社會上，因政治經濟需求而加以虛飾，任意制定科學的目標為追求國富民強而模糊科學發展的真正意義，進一步更有甚者，竟變科學為國家擁有的專利成品。其實，科學家的旨趣在於為大自然以客觀的原理原則描繪一幅合理的結構圖，與第一類中的藝術家一樣持有相同的企圖心。不過，藝術畫作，往往可以一人之力完成，而科學家所繪製的畫，經常出錯或殘缺不全，故呼籲全世界有志人士，一起努力修正或補強，以趨同完美；

因此，在力求完成作品、揭開大自然奧秘的普世要求下，不允許自私祕藏，理論上尤不允賦予現實的價值，而加以專利化處置。

至於理性的意義，吾人可界定其為對週遭環境經周詳慎思，作出合理化、規律化的表達其所得的態度；其效能可將來自外界的所得，無偏無私地加以規律化、準則化概括，而可在有效範圍內將其推廣，以接受外界新的所與。而感性具有反映感覺、私見、偏好、情緒的特性，即將對外界的所得，符號化地安排在自己原有的概括意念中，屬表達得自所與的轉折過程。

此外，由於系統具有完形特性，常反映不同大小或不同組態子系統所闕如的屬性。反之，質或量分別有所改變或擴大的子系統屬性，亦可由於其因應的範圍改變，而無從表露甚或消失原屬其應有的屬性。例如，就大小系統來說，對國族或個人的理性意見，即可能分別是世界或社會層面，一己的感性表現。因此，在世人之相處中，將自己所謂理性的意見，強加他人，誠屬不妥適的舉動，不容用托辭掩飾，而加以歪曲。

當年，清末民初，西方文化東漸，我國在列強高壓下，張之洞提出中體西用之說，此誠屬敝帚自珍的行徑，在今天看來，純粹是感性的表現。管見認為，中學與西學各有所長，西學具有以所欲向前要求的精神，故表露民主、科技、重商、拜金、競爭、排他等方面的屬性；而中學以意欲自為調和並以持中為其基本精神，具有反思、中道、寬厚、與人為善等文化傳承特徵。

面對不同類型的社會大眾，就屬因材施教，也得為不同立場的人群，分別中西學的特質，對其作適當加權配置，以收互補之效。管見認為，對第一種類型及一般大眾，宜強調西體中用，即以西方處事準則為張本，發揚我國有關藝文、哲理與庶政雜務等相關事務；而對第二及第三類社群，則宜強調中體西用，即秉持我國處事準則，宏揚西方有關科技、政經等的文化傳承。舉例來說，對一般群眾，應要求其發揮多數決力量，運用民主、競爭、排他等嚴峻選舉機制，制約商賈、大吏、科技人員，遏止其可能誤用其勢力或知識，而避免其貽禍人間；而在商賈、大吏、科技人員來說，則冀期其襲用反思、中道、寬厚、與人為善等重點內涵，來執行具西方特徵的相關學術理念，而使科學、技術、政務等之執行，為善人間。這種想法也許有待進一步推敲，然針對不同屬性社會大眾，若如張之洞所說，一律以中學為體、西學為用的方式處理，則不僅有背教育原理，且有坐視迂腐，封建制度持續貽害國家發展之可能。

總之，科學教育既為傳習理性思維之學，自應在人類的理性與感性，甚或理想與現實兩者之矛盾中，指出因應之道，以冀期所有社會大眾面對科學發展下的新社會、新形勢，能透過對理性的切實領悟，而發揮其天賦之調適權能，而不致陷入人云亦云之不當參與，成為催生人類劫數之幫兇。

### (三)人文與科技的平衡發展—科學教育的總歸結

人類基於生存需求，自始就對大自然抱著濃厚的興趣、發展科學；嗣因科學的進展

提供文明進步因素，乃促成技術創新，增益人間財富，而使人類生活大見富裕與改善。

一般說來，人類常耽於利樂，故將科學直接與創造財富連接一起，自易為大眾接受。也因這一緣故，科學教育系統曾提倡科學—技術—社會（Science、Technology、and Society, STS）關係，冀期透過技術，以財富為主因，說明其對社會的影響，進一步介紹科學內容。然而，邇來工程技術界，更創言科學—技術—生產力—社會（Science、Technology、Production, and Society, STPS）的關係，將科學與財富間間隔更為加大，間接說明直接與社會財富相關而形成問題的是生產力的成長，而非科學與技術。

如前所述，羅素曾提出科學是文明進步的一個因素，其創造人間利益在於人類文化中包括教育等各項目的並駕齊驅，共同進步，才可達成；否則，將適得其反，造成禍害。此誠利弊得失相循，處理稍有不慎，即有可能促使災禍一併發生的惕厲名言。此外，既然科學與技術及生產力的本質不同，自不應將其關聯成為社會貧富與利弊的直接原因；因此，科學的目的亦應反璞歸真，如前所述，改以愛智求真界定為其目標，才屬合理。同理，科學教育亦應避免襲用科學以前的錯誤界定，放棄以偏頗的國富民強作為終極目標。且為保障科學促成人類文化的進步，勢必要求對一般大眾的科學教育，應循人文科技平衡方式進行，進而藉以便利人類各項文明之與科學並駕齊驅，共同進步。以下將必須實施人文科技平衡教育的原因以及其施行重點，作一簡要介紹。

人類面對大自然，大抵是在實在的心智上，勾勒出種種隱喻，再由隱喻的激發，轉換成心智表徵，納入本源或目的概念，最後才逐漸分門別類，簡併為各別知識系統（Pompa,1990）。

由古希臘已迄文藝復興前後，科學家亦多為哲學家，可知人文科技本來同屬本源型的概念，至十七、八世紀才與共同本源分離。

人文科技知識的人為分離或分割，不過是利便研究過程的手段，真正解釋人生問題的知識，端不能因標籤人為專屬學科名稱而有所偏頗。拙著“三維人文科技通識架構芻議”曾指出，勿論人文或科技組構，皆選自宇宙間現成素材（趙金祁，民 82），而經描述型或典範型思維與編撰（Bruner,1986），組合而成，故具有相通的目的概念。因而，人類接受科學教育除養成科學專才與培養大眾的科學素養，確屬目標之部分重點，進一步亦需就本源設想，謀求人類在面對真理時，人性上締造公平、公正、博愛、和平、和諧環境等涉及人文與社會等知識的研究範圍，故而，科學教育對社會一般大眾推動人文科技平衡的教育，確屬其另外一個不可或缺的部門。

科學教育發軔之際，鮑威爾以倡導者的身分在共同本源的體認上，就有運用科學來檢測真理之議，來消弭世間偏見與憎恨的蔓延，以達成維護社會和諧秩序的目標，即元倫理、審美、科學等三方面問題的解決（Powers,1932）。由此可知，科學教育原來

並不祇是為了直接追求自然律的掌握、能源控制、醫療衛生的改善、民生食品的充分供應而已，同時也具有抑制社會上的巫術、神棍、乩童等迷惑人性邪說，解除外在環境引發人類的內心恐懼，協助人們面對經驗表象時能正確反映具意識傾向的科學態度，以及增強人生因應社經文化價值觀改變的調適能力等的間接目標。對照今日社會，若對大科學主義激進下所帶來的種種偏差現象加以反思，則不難發現，當初科學教育的本源型思維或目的概念，其涵蓋的以上種種重點，不只設想週到，且亦涵蓋人文科技平衡的內容，我們豈能不予正視與省思，並謀求改進之道。

科學教育是全民的一門學科，應在協同的基礎上，串聯包括人文科技在內的各學術體系，擷取其不同重點，併同不同科學內容，針對各別子系統社群，加以推廣；因此，除應具有針對一般民眾系統的目標外，更應對不同子系統，標榜不同的目標。就目標之分析而言，顯見科學教育除應反映本源的特性，更應是科學的、通識的、與專精的。在施行原則上，科學教育應朝向專精的與科學的方向發展，因其功能之一，是在社會可容忍範圍下，培養足夠的專精科學家，專注鑽研大自然的規律的工作；同時，科學教育具本源的及通識的兩種特性，因其所傳習的內容，部分應偏重方法過程與態度信念等屬於個人與他人及與大自然相處中的行事方法、思維方式、行為準則、適應知識、基本信念。其中，本源的部分，應強調全民或一

般群眾科學素養的養成；而通識的部分，則應輔以終身與回流教育的重點，併同加以推廣。

如此，科學教育才有促進文化各項目配合科學一起進步的可能，進而達成創造人類最高利益的目標。

## 伍、結語

科學教育自推動改革運動以來，倏忽已有四十五個年頭；由於科學的深為世界各國所重視，倚為創造國富民強、工商契機、甚或擴充國防力量的手段，故科學教育縱然始終維持其獨立名稱，佔有甚多學術殿堂一席之地，然而卻不能贏得學術界一致共識為正常學科，是否與執行上過於技術化考量，偏離其歷史軌跡上原有的準則與方向有關？不得而知，有待進一步探討。本文乃在科教傳承基礎上，跳脫目前相關當局所長久支持且習見的研究重點，即避開過去四十年來已行之頗有成效的課程、教學、測驗、評量、認知技巧、創造力及資優教育等課題，改就影響科教生存的外在目標、永續經營要件、涉及範圍、認知新發展等層面，加以討論。茲擇其重點，臚列研究重點結果如下，敬祈科教圈同仁，對此多作批評與指正。

為了解科學教育的目標，先就其歷來的定位過程，有所說明。由於科教改革運動，自始就由純粹科學家主導，故對科教的真義，不無偏差的看法；如將其視為科學與教育的線性相加結果，認為對科學的認知程度就是科教成就的關鍵所在，故而不無忽視其專業性，幾乎將科學教育看成科學家的副

業。如前所述，殊不知科學與教育應由非線性、組織性與複雜性的相關關係著眼，而這也符合改革運動以前科教人士言論與實踐上所反應的基本立場；也就是說，唯有從歷史淵源探究，才有可能了解科教的真諦。由此可知，科教應注視的目標範圍，較目前所持有的必更廣袤，幾及週遭所有環境因素；尤不能坐視現社會豐衣足食下，人性的漸趨糜爛頹廢以及自大逞強之世風，日漸膨脹與蔓延。對此，也不能只依賴少數知名學者與宗教領袖，偶發地在報端座談，企圖藉不斷呼籲而挽回歪風。科教人士更應有社會歪風的無限上綱，可能就是第七次人間劫數溫床的危機意識，故而科學教育的目標，自有另起爐灶的必要；如必須延伸杜威所說生活即教育、教育即生活這一互為因果的內在目標，而從其外在目標著手。管見認為科學教育的外在目標應為求取人類因應包括人為環境在內的生存權利；因為人類過去的六大劫難已屬莫大的悲劇，殊無容忍催生第七次劫數之理，而現今既不能仰仗座談會的紀錄在媒體傳播達成摒除歪風的目的，則呼籲改循科學教育的正式教育程序，從國民養成基礎上重振以前科學教育間接企圖維護人類生存權的道德勇氣，否定目前眾多個人生活樂利而自我精神頹廢，不少國家圖謀卻無比亢奮的亂象滋生，以增加人類生存永續經營的可能機率。

欲明白科學教育的永續經營要件，勢必從系統論觀點將科教系統視同無機而具有活力的機體加以分析，即從系統的整體性、層次性、開放性、目的性、穩定性、突變性、



自組織性、相似性等八項原則，逐一檢驗科教運作過程，是否尚有缺失。就現有情況說來，顯見今天的科教已有趨向保守、封閉、萎縮、不求突破、放棄主導權等而以遵循成規為滿足的形勢，難怪國外甚多科教機構，發生陸續回歸教育系統的事實。因此，欲達到科教的能永續經營目的，務必突破現狀，擴大其注意的領域，拓展科教的涉獵範圍，總不能坐視有心的名流學者與高超的僧侶欲以座談的方式，取代解決影響國家大計的科教教育工作，卻萬般無奈的事實，不加聞問。

談到科教應涉獵的範圍，似可分兩方面說明，即學術系統內不同學門的層面與科學本體知識涵蓋範圍層面。從諸般學門層面思考，至少應包括如前文所提到科學以外的教育學識、科學史哲、藝文學門、社會科學、應用倫理、認知科學、系統理論等內容。再從科學本體知識範圍層面分析，至少應包羅科學素養三要項，即方法過程、態度信念與知識本體等；當然涉及科學十大特徵的相關學科，最好宜加以擇要研究，以求科教教學的能達得心應手的境地。科學教育是綜合、跨科的一門學問，自當在廣博的基礎上加以深耕，才有自成健全體系的可能。

至於認知新知部分，由於科學教育面對的主體是人類，當然有從心理上了解學習群體的學習動機、準備程度、學習模型、興趣習性、學習環境等之必要。由於處理心理反應的方式，已有逐漸轉向神經科學，甚或信息轉換機制等的可能，科學教育對此的適度關切，確屬必要。

總而言之，固然羅素指出科學不過是進步的因子，以及比爾斯認為科學所研究者應為無用之物，但是科學教育恰巧完全相反，應掌握現實、擷取有關學科之長，協同建立自己紮實而有說服力的理論基礎，藉以解決可能引發人類生存的種種具體問題；科教尤應全力以赴，對全民推動其教育工作，冀期在未雨綢繆下，求得人間浩劫永不發生的保證。

綜觀以上所述，作者雖對有關當局目前所採的專注技術創新而不顧科學健全發展的科學教育政策，保留甚多看法，然因作者持有國家仍需科教培養足夠數量的高級科學專才的理念，故對目前所執行的諸般方案並無全盤否定之意，如資優科學人才之教育計劃等，確信其應屬可予擇優併同繼續執行的重點，特予說明。

## 陸、誌謝

一九九七年，國立高雄師範大學林財庫教授第一次在科學教育學刊第五卷第一期發表其有關係統理論的文章，也許因陳義甚深，其後續諸篇，竟未見該學術性雜誌刊出，筆者不免有所感觸。不過，筆者經由林教授財庫先生大作之啟迪，而著手草撰本文，前後相隔達五年之久，應予註記，並對林教授謹致謝忱。

## 參考文獻

趙金祁（民 63），“科學發展中的傳統因子”，台灣：省立台中圖書館。

- 趙金祁 (民 64), “科學概念之形成與分析”, 中美技術, 第 20 卷, 第一期。
- 趙金祁 (民 82), “三維人文科技通識架構芻議”, 台北: 書銘出版事業有限公司。
- 趙金祁 (民 86), “科學教育與心靈重整—通識化科學教育的必要性及其應達成的目標”, 科學教育月刊, 第 199 期。
- 魏宏森、曾國屏 (1995), “系統論—系統科學哲學”, 北京: 清華大學出版社。
- 羅素, “科學觀—力的衝動超越愛的衝動”, 蔡賓牟、王光煦譯 (民 59), 台北: 商務印書館
- Bertalanffy, C.V.(1973), “General System Theory – Foundations, Development, Applications”, N.Y. : George Braziller, Inc..
- Bruner, J. S. (1986), "Actual Mind, Possible Worlds", Mass.: Harvard University Press.
- Diederich, P. B. (1967), "Components of the Scientific Attitude", The Science Teacher, February.
- Laszlo, E. (1969), "System, Structure, and Experience", N.Y.: Gordon and Breach Science Publishers, Inc..
- McCain, G. and Segel, E. M. (1969), "The Games of Science", California: Wadsworth Publishing Company, Inc..
- Peirce, C. S. (1896), "The Scientific Attitude and Fallibilism", reprinted in "Foundations of Philosophy of Science: Recent Developments", ed. by James H. Fetzer (1993), N. Y.: Paragon House Publishers.
- Pompa, L. (1990), "Human Nature and Historical Knowledge—Hume, Hegel, and Vico", London: Cambridge University Press.
- Powers, S. R. (1932), "Some Criticisms of Current Practices in the Teaching of Science in Elementary and Secondary Schools", Published in the Thirty-first Yearbook of the National Society for the Study of Education, Part I, Ill.: Public School Publishing Company.
- Price, D. de Solla (1963), "Little Science, Big Science", N.Y.: Columbia University Press.
- Snow, C. P. (1959), "The Two Cultures and A Second Look", London: Cambridge University Press.
- United Sates Bureau of the Census (1974), "The Statistical Abstract of the United States".