

科學教育的系統觀

趙金祁

國立臺灣師範大學 科學教育研究所

摘要

本文試圖從鉅觀觀點，綜合系統理論與科學教育兩方面的學術觀點，推介科學教育的機體理念。文中曾對與系統論、仿生論、科學涵意、科學教育系統等有關之課題，提出淺顯而周詳的說明與討論。總結說來，科學的發展有可能對人生形成正負兩方面的效應，而唯有科學教育朝向正確的目標推動，才可發揚光大且避免人性弱點中因科學的突飛猛進卻帶給人類莫之能禦的負面影響。

壹、前言

一九五七年以來，科學教育由於美國的倡導與透過國際關係大力推動，驟然間轉變成大眾關注的一門學科；一時之間，盛況空前，為世界多數國家重點教育政策的一環，各國都投入龐大的發展資金，以求取由科學衍生的高度利益。歷經半世紀以來的演變，縱然科學教育這一名詞，猶列為學術體系中的一科，不過也迭經起伏，甚至在美國某些大學中，有將其由自成體系的獨立學術部門回歸、兼併而還原成教育學科的一部分，例如俄亥俄州立大學將其改隸在教育課程學系中，即可見一斑。這種趨勢，反映出投向、重視、偏好科學教育的學術人士，日益減少，而學科本身的重要性，在人類心目中亦逐漸減退。在台灣亦復如此，行政院國家科學委員會的科學教育發展處的存廢雜音，亦時有所聞。

從系統論觀點來看，此種結果是否代表科學教育的退化與一般教育系統的進化？值得科教從業人員反省，尤其對科學教育的開

放性、目的性、自組織性等攸關其存在機會的特性所以反映降溫的原因，應予檢討。

筆者乃不揣冒昧，就學科施展活力與延續存在的要求，必須擴充的範疇與觸及的問題，闡明系統論中科學教育的地位，包括對其本質、目的、內容、方法、過程、功能等種種分析，從而指出科學教育應朝向綜合、跨科思維發展，並認定有其自成體系與繼續成長的理由與途徑。謹以此提供科學教育同仁參考與檢視，並請不吝指教。

貳、系統理論

1、系統的理念與定義

系統論也稱為系統科學，具有分析活力型集合個體的功能；早期，是由一切事物皆可還原為理化現象的堅信者，在摻雜生物學觀點後，所引伸而成的集合理論。一九六八年，貝塔朗菲所寫的一本“一般系統論”，可說是現代系統理論的濫觴（Bertalanffy，1973）。貝氏是美籍奧地利人，從事生物研究，由理論生物學中的機體論（Organicism）著手推論，於一九六八年完成其著作，並於

死後，即一九七三年在紐約出版。這是一門跨越機械論與活力論的學說，嚐試解釋有機與無機而具活力型集合體的成長、演化、突變、信息傳遞、行為控制、耗散結構等生命或活力問題，進一步也涉及人類個體與其外界系統間的種種價值關係。

一般說來，系統既定義為有機或無機而具活力型諸般次系統或要素的集合，故集合體中的事物必須相互關聯，在某種程度上各具共通成分。換言之，系統論集合體中的次系統或要素必須透過相互的關聯，才組成系統整體；而系統整體涵蓋的事物共同體卻可反應原本不屬各獨立次系統或要素應具有的性質與功能，此即系統整體的完形特徵，屬系統論重要基本特性原則之一。例如，蒸汽火車機車的各次系統或要素，包括水、火、煤塊、鍋爐在內，並無奔馳能力，然經集成機車頭，卻有帶動車廂行駛千萬里的功能，即完形特徵的表現，也反映系統中高低溫蒸汽的有序性與無序性的轉移。

其實，不屬有機體而具有類似有機體活力的系統，並不可能反映有機系統的全部特性原則，如演化、突變等；也就是說，蒸汽火車機車中，就不可能找到與演化、突變等完全相對應的特性行為，可見一斑。

2、系統的仿生理念

對人類生命淵源的解釋，一般有兩種說法：即創世說與演化論。在人本主義的立場上，暫且擱下創世說中的神祇的威權，茲對生命系統的演化過程描述如下：

根據人智現有的假說與估計，大約兩億年前，宇宙曾發生一次大爆炸，經過一百

五十億年的冷卻，地球逐漸形成；也就是說，地球的年齡約為五十億年。在地球約二十億歲時，大陸與海洋已分別形成，而環境中充滿著氫、氮、碳、氫、氧、氖等元素，部分溶解在水的成份內。原始海洋亦復如此，更因岩石含有鈉、鉀、鈣、鐵、碳等及其他化合物的溶入，故進一步衍生種種其他物質。

由實驗證明，將水蒸汽、氫、甲烷、氨等經放電效應作用，可產生氨基酸等。這些成品再經宇宙間的聲、光、電、化作用，乃組成蛋白質、核酸脂類、糖類等分子，也就是在不同過程下，生成RNA及由磷-糖-基組成的DNA。目前可約略估定，距今約三、四十億年時，由猶未明晰的過程，尚無細胞結構的原始生命體在地球的原始海洋中誕生；而生命系統即由原始生命體，經原始細胞的出現過程而發生，並在二、三百萬年前，演化成人類的始祖。當然，今人對當時的化學演化、生物大分子演化、原始生命誕生、生物演化等機制，尚未完全明瞭，因此，以上迄今還是一個假說性的說明。

這一條人生之路，當然是非常長遠的物競天擇過程，即使有些問題尚不得而知，然競爭要求下的適者生存而不適者被淘汰的道理，始終不變；因此，人類的生命系統，確實是數千萬年千錘百煉下的精緻成品。

假如捨棄人本的想法，改由創世說推想，因著宇宙造物主標榜著以萬物之靈的意念創造人類，故其生命系統，也是出類拔萃的結果，精緻無與倫比，有令人加以仿照而創造新系統的想法。

仿生學與控制學具一體兩面的特性，皆

是運用生命系統的模型，而前者賴以啟迪新思維，引發創造新系統中的新行為活動，至於後者在於了解創新系統新行為的所以發生。例如，一九六一年發明的神經晶體就是仿動物的神經軸突（Nerve axon），可見一般。

他如：皮亞傑（Piaget, J.）仿照人身器官機能，首創基模的同化、適應、平衡等過程，奠定發生認知的建構理論；貝塔朗菲也由此途徑，創言一般系統論，各在學術上獨樹一幟。本文也在這基礎上，針對業有相當歷史的科學教育這一學科，透過其系統中內在的不同要素或次系統理念，檢視科學教育思維、判斷、解說等在其成長過程中的週延性、妥適性、以確立其在外在環境下孕生、成長、茁壯時應有的最終目標與應包羅的重點內容。

現世科學快速成長，科學教育能否發揮準確的導向作用，十分重要；否則，由於世間充斥著包括應用科學家與科學支配者兩方面人士的科學鉅子，傲視萬物且為眼前利益而目空一切，結果對宇宙間人類文明的永續經營，究將形成何種影響？不得而知。因此，科學教育就其學術的自組織特性原則而言，在科學知識經少數當權者一味傾向科學主義方向誇大與偏頗濫用中，究應如何調適其內容與目標，而扮演其在世事發展中的校正性與彌補性關鍵角色，確屬科教同人為維護科學教育的永續經營而必須加以三思的課題。

3、系統的特性原則

一般系統論是介乎具體科學與抽象哲學間的一種理論，討論適用於一切有機與無機

而具活力型系統的普遍原理；也就是說，是將各種系統共同具有的生存問題抽離出來，以系統為中心，將這些問題形成的概念、方法、特性、效果等基本原則，全盤加以闡述與分析。

最後發現，所有系統大致都能反映八種基本特性原則，即整體性、層次性、開放性、目的性、穩定性、突變性、自組織性、和相似性，茲一一介紹如下（魏宏森、曾國屏，1995）：

貝塔朗菲引用亞里士多德的名言：“部分的總和不等於整體”，表示系統勿論其屬有機或無機體，都屬各要素相互作用而連貫的整體，意指在性質、形態、功能、行為上，整體系統不等於其組成要素各種屬性相加之總和，具格式塔型完形特徵；如前述蒸汽火車的動力機車，縱屬無機系統，然仍體現著整體性原則。

有機系統的這一現象，更為凸顯；甚多生命體系的所以表現的整體特性各不相同，並非肇因於其組成要素或成分不同，主要的差別原因，也可能是各別有機整體的相同要素在結合時，因採用不同方式而形成。總之，各系統概念之成立，必須強調整體性原則。在系統演化或轉變成其他的系統時，勢必帶來新的整體特性，各不相同。

當然，各要素之能量與質量總和，在相同外界環境下組成系統前後，應屬一致，故系統組成前後之總和性質之不同，不包括質、能兩項，應予說明。

關於層次性的原則，係指任何系統，由於組成要素的種種差異，包括其結合形式、

組態或規模等的差異，從而使系統組織在地位、空間、作用、功能等任一方面，表現層級的概念，反映其各別程度的層次。例如，就物質系統大小區分，就有原子、分子、星辰、總星系、宇宙等不同層次。嚴格說來，由於知識的不斷成長與深入分析，這類層次還可續予劃分，以迄中子、電子、及其他三百多種基本粒子的層級，大有無盡頭區分的可能。

一般說來，系統的能否續存，與其對外界環境的開放性，大有關聯。不開放而封閉的系統，對外界孤立，注定必趨向消失其整體性上的開發功能，以至淪為其他系統的下層次要素。其實，開放性可區分為兩大部分，其一為系統的公開性，其次為系統的吸收性，兩者合而為一，乃能如江河的對外開放，接納百川，充實內容，自成自強不息的廣大流域。

目的性的屬性應是系統發展、變化、成長所反映出來的一個特性。康德認為目的可分內在與外在兩種，前者意指存在目的動因，後者意指獲致有效結果的目的動因。系統論成長中的目的性原則，偏重後者，含有考量系統發展的結果，能否有效達成目的的意涵。顯然，這與開放性關聯甚密，即開放系統的行為，以達成其成長過程中，能獲致深遠意義的結果為目的。也就是說，合於目的的行為系統，必定是開放系統；反之，則並不盡然；故而，目的性具有系統實踐其開放特性的指導作用。

系統的穩定是指外界環境作用下，系統具有一定的穩定力量。譬如，處於室溫下的

一盆水，必定自我調節，保持原有的有序狀態，即環境與水盆中的水分子，必定掌握具有一定能力的因素，包括水分子的溫度或動能，維持平衡狀態。也就是說，在同一時段內，水面逸出的水分子必與水面納入的水分子數量相等，才能穩定而保有原來的有序狀態，維持原有的結構與功能；否則，必然增益或逸散，以致盆內水面升高或下降，破壞水系統的穩定特性原則。由此可知，世界上的事物是變動不居的，變動是絕對的而靜止是相對的，祇有相對靜止，如盆水內的水分子，同時逸出與納入，才能體現其穩定性。事實上，一個系統的能作為系統而存在，進而為廣大群眾所認知與接受，就必須在一定範圍內是穩定的，譬如，一般系統都是處在相對靜止的某種穩定狀態下，趨向其外在的最終目標。

突變性的原則是指系統從某種穩定狀態轉變為另一種穩定狀態，也屬系統發展變化中的另一特色。自然界除掉山崩地裂、火山爆發等是突變情況外，在人智領域中，有建構而無結構的頓悟，應屬心理上格式塔型的完形轉換，即是突變的一例。譬如，在芸芸眾生中，突然遇到想見的親人，即認知模式下的突變結果。

系統的自組織性原則是指開放系統與外界環境兩者間非線性交互作用下，系統本身某些因素偏離穩定狀態，而形成另一種人事物間的顯著關係，蛻變成另一種新的有序狀態。譬如，大型公寓內的住戶，人際關係淡薄；若令其遷至郊區獨立家屋居住，社群特性大致雖仍保持原有工作、謀生等特質，然

而人際的呼應關係，必有所增益，合群特質之這樣改變就反映自組織特性，油然而生，表露無遺。原則上說來，自組織特性是系統在不同外界環境下演化時，必然產生的機制，以遂適應的目的。

最後談到相似性原則，當然，這也是一般系統特徵之一。各別的系统自有其獨特的人、事、物組合而成，其組合關係亦體現著不同的結構、功能、存在方式、演化過程。但在各別系統眾多的相異性中，仍應透露著某種同構與同態的相似特徵。若各別系統，僅具相異性而無相似性，則無從抽離出某些原則而底定系統的理論基礎。因此，相似性可說是系統理論能夠成形的緣故，也是根本的依據。

本文以分析科學教育的系統觀為目的，當然是在系統理論中的相似性原則或其他特性原則的基礎上，研究科教系統發展迄今的重大起落與內涵成就，以了解科學教育學科，相對於其他學科系統，尚存有何種猶待加強的空間，加以匡正，俾力臻上游，成為師資培養中主流之一。否則，難免退化甚或喪失其功能而似美國俄亥俄州立大學一樣，淪為教育課程下的雛型支流，終至完全為教育、課程等學門所吸收，變成其次系統或要素之一。

參、科學的涵意

1、科學的定位與目的

科學是系統之學，反之，則並無必然性；此種思維結果，應屬大眾皆能接受的想法。檢視科學在形成、成長、運行、發展、茁壯

等過程中，所以能自組織性地演變成學術領域中今天顯學的地位，自有其與眾不同突出的理由。

自第二次世界大戰以來，科學快速成長，主要在於其確能符合人類需求，具有為人世間帶來福祉、創造文明的生產力功能。因此，越過技術工藝的層面，直接將科學視為有效增進人類財富、鞏固國家威權之工具而加以倡導、經營與管理者，相信必大有人在，絕非少數。當前，世界各國，戮力推動科學發展，或多或少都有利用科學，達成特定目的之意圖；因此，科學的工具性與企業性外在目的乃逐漸成形，尤遇史潑尼克衛星的升空，更衝高其成長速度，而為多數擷取利益的當權者，毫不諱言的加以採納，甚至，引為整個科學發展策略的方針。

不過，回溯科學在歷史上的發展，文藝復興所以帶動科學大力成長，藉助經院學術的蓬勃推展，確屬不可磨滅的史實。當時的科學晉進尚無轉化成技術、贏得立即利益之誘因，因此人類興趣之所好、滿足好奇心與解惑慾念，不失為解開宇宙奧秘而發展科學的主要原因。至今，如邁凱與撒爾兩人所著“科學遊戲”一書所述，將其視為專業生命共同體的猜謎與遊戲活動(McCain and Segel, 1969)；此說仍為當前有識之士所稱道，將科學界定為提升好奇心與滿足求知慾態度的憑藉。

自古以來，早期哲人智者的將愛智與求真視為科學學術、自然哲學的一體兩面；早先的人類孜孜不倦於科學研究，其純樸與率直地求取真理的真誠心意，毫無貪婪財物與

權勢的俗念摻雜，值得世風丕變下的今人，大加崇揚。因此，將科學定位在為達成愛智求真的學識活動目標，包括內在與外在兩方面，相信才是正途，也是功能與目的上與工業、技術等學科不相混淆的不二法門。縱然科學的規模日益龐大，必須採用企業化經營手段，但仍不應以企業管理的牟利工具視之，才是準確、合理的看法。

作者循返璞歸真的途徑界定科學，絕非拘泥於刻薄今人而獨厚古人的心態。其實，將科學定義為公有的愛智求真學術資源，卻是挽救人類心智發展中，不再遭遇另一次劫數的必要作法。目前，世界上是否仍有集團試圖憑藉其雄厚的科技實力，運用種種托詞，蠱惑群眾，共同搶佔科技與資源的制高點，且不循正道，偏極地維護其優渥的既得生活水準？確屬令人有所顧慮的大問題。又是否可能在世人歷經六大集體人性毀滅事件後，再引發一場人間劫難？（趙金祁，民 86）誠屬亟待反思的課題。

也許，有人會感到上述問題是過於杞憂的觀點，管見希望如確能如此，則屬夢寐以求的佳事。不過，歷來教育上曾否以訛傳訛，將科學取代技術地位，加以標榜？且直接與工業技術的目的掛勾？這些問題，實有導正的必要，以避免有心人士的誤導，藉科學的壟斷，達到私慾的得逞。

2、科學的認識成分

眾所週知，自然科學由思維孳生，而思維落實於認識。然因自然科學知識之發生每由外而及內，由他以至我，故歷史上，對科學認識論的研究，其肇始反遠在科學知識的

雛型在外界條件催化下而有所成長之後，距今僅祇四、五百年的時間。

認識論之與科學，對科學知識何以成立？科學定律的何所張本？何所依據？等思維課題，皆有鞭辟入裡的深入分析與了解。對科學從業人員而言，雖熟諳科學本體知識，然甚少考慮此類課題的因應措施，其實際操作科學研究中，卻經常加以運用而不自知。

（一）科學認識系統

茲為解答上述三項問題，首先討論建立科學知識的方法過程，以及科學方法過程所以存在的本質性問題；其次，也闡明科學知識經抽離其實質內容後，遺留下的概念結構。

（a）認識科學的方法過程系統

為了解認識科學的種種方法，自應由涉及科學活動的相關人、事、物間的互動中，析出認知時所習用的諸般過程與步驟。管見認為，上世紀美國自然科學促進會（AAAS）編製的SAPA教材，已列出幾可全面涵蓋的主要重點內容。茲經作者重新整理與酌予增添，大致可臚列如下：即觀察、時空辨識、測量、信息交流、數字運算、邏輯研判、預測推理、操作型界定、設定假說、資料運用、圖示說明、控制變因、設計實驗、理想化試驗、數據蒐集、分析統計、理論修正、報告撰寫等十八種方法過程，經常在科學研究中廣為運用。

當然，人類思潮演變基礎上也反映鳴放中的科學哲學思維宗派所倚重與探索的方法過程，因此，分析各科學哲學學派，不難發現以下重點：包括歸納運作、整體推敲、思

潮啟迪、宗派釋示等各方面在內，為數亦復不少。茲列舉其所倚重方法過程之犖犖大端如下：即存疑、辯證、隱喻、批判、臆測、否證、直觀思辯、抽象理解、類比推斷、模型建構、歷史斷論、歸納演繹、歸約類推、因果分析、公理假設、經驗實證、綜合體認、建構論證、逐步趨同等重點。

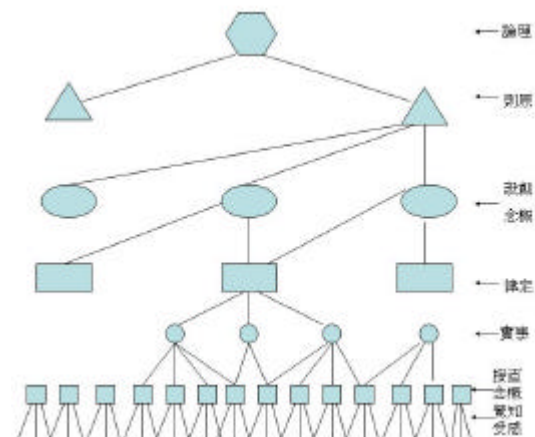
綜觀以上兩類認知方法、過程、步驟，前者主要是科學本體知識學習、研究、發展時所習用，側重科學經驗與驗證的處理原則；而後者則為科學本質分析研究所倚重的途徑，包攝哲學上的意義。在研究發展科學知識要求下，往往亦兼容並蓄地運用兩方面的方法步驟，例如愛因斯坦當年就在公理假設與數理邏輯研判中，創言相對論，迄今呈現著科學與近似哲學兩棲的面貌。也就是說，科學上的部分成就，可能是科學家在堅信公理的前提下，進行探討、求解問題的結果，其間除運用發展科學的驗證方法外，亦納入不可能實證的公理假說過程；由此可見，上述兩類方法過程，對認識科學，皆至為重要；尤其，就科學教育系統開放性所反映應予吸收的部分來說，更屬必須傳習且不可或缺的重點內容。

(b) 科學本體知識系統

人類智慧中所建構的科學本體知識，皆由科學概念所構成，乃不爭的事實；而科學概念又是人類經觀察外界環境，再經不同的過程方法歷練而在腦海繪入的印象成品。有時，概念常與觀念相混淆；其實，概念當然可以說是觀念，不過必須是在符合邏輯推理下納入個人的概念系統中。因此，觀念之與

概念，其差別在於其與人智中的概念系統間之關係，是否曾經邏輯考驗。

就科學知識本體的內容來說，任何領域的知識體系，必然包括形式上的概念結構以及實體上的知覺感受之描述、印象記載、關係說明，並以原理原則，相互貫穿，間或亦呈現數學關係式。若從科學知識中，抽離實體部分，則就祇遺留下概念結構。如圖所示，即薛華脫的概念結構示意圖，由七個層次的概念所組成。圖中包括知覺感受、直接概念、事實概念、定律概念、創設概念、原則概念以及理論概念（趙金祁，民 64）。



誠然，圖示的七大層次，可經分析一般科學知識體系，再抽離其實質內容後，赫然發現，但是兩者的命名其概念，或許有所出入。此一事實，係因甚多科學知識早已建立並予命名，而概念結構圖是上世紀中才為薛華脫研究發現，兩者使用的名辭，未經配合，而有所參差，應可理解。

(二) 科學與社會文化影響

科學之與社會，彼此強烈影響，本節專注討論影響科學發展的社會文化機制。由孔

德所說，人類思想發展可分成三個階段，即神學、形上學與實證論。由於早期的人類文化，以神學為主，科學是在神秘主義的指引下，求取解開自然奧秘；而後哲學思維日益興盛，科學乃在當時形而上學的名義下，逐漸發展，形成一長段時間科學與哲學混雜不分；晚近，科學脫穎而出，快速成長，形成實證科學與建構實在論等，大行其道。

由上述演變過程，不難發現人類歷史中，真正操盤科學成長的文化因素，猶如前述，在於社會部分有才學之士偏愛愛智求真行為的實踐。縱然現代科學的突飛猛進，重商牟利、經濟成長、福祉提振，戰爭挑釁、霸權擴張等都發揮了一定的催化效果，然而，在社會因應強烈物質慾與支配慾滿足需求壓力下，採摳苗助長方式、勉強芸芸眾生，期盼其全部參預科學行列，而加速國力提振，誠屬一九五七年後，早期科教改革運動，未經週延設計、精緻繆綢的一段迷思活動的延伸。結果可能適得其反，除助長大科學主義盛行，並給社會掀起一股貪婪、墮落、自大與擴權歪風、歷久不衰外，是否確實改善人類生存條件，大有疑問。

早在一九六七年，戴利克就呼籲社會大眾之對待科學，應抱持求取、服膺、忠於真理的態度，以掃除貧瘠、無知、疾病、戰亂等種種人間疾苦（Diederich,1967）。戴氏的忠告，似乎已是今日社會當務之急，科學教育共同體除應考慮科教學術上之求全外，更在因應系統論開放特性原則的要求下，似宜對此課題亦加以正視，開發成其重點內容之一，潛心探究，力求解決之道。

科學發展的另一社會文化因素是科學社群與非科學社群間所持觀點的契合問題。一九五九年，史諾是第一位以兩種文化的名義觸及類此問題的人士，不過，當初的對象主要僅涉及學校與學術圈的範圍，繼而擴及貧富懸殊與南北對立的問題（Snow,1959）。其實，對照二〇〇一年九一一事件，有人也認為這是族群與族群間，甚或文明與文明間的衝突問題。根據二〇〇一年十二月二十一日中國時報記載，認為九一一事件是美國哈佛大學杭廷頓早在一九九三年及一九九六年發表有關文明衝突兩篇大作所預見的事件，涉及世界文明的爭端。同一時期內，同年十月十七日中國時報亦刊出美國哥倫比亞大學黎巴嫩籍講座教授薩伊德的文章，認為用文明衝突說明這一件事，並不實在，卻應是恐怖份子運用熟練的科技，基於自己族群的參與現代化無能的理由，而犯下的滔天大罪，不容浮光掠影，另有企圖地草率歸結為由文明間的衝突，加以論斷。顯見，猶似莊子養生主篇所載：“為善無近名，為惡無近刑”，主觀的標竿，不允任其誇大成為世界準則，因其誠屬一己的種族或國家偏見。

因此，首先吾人應將科學社群與非科學社群擴及國族的範圍，而科學與非科學的界限亦看成科學高度發展與低度開發的層面；設若有人故意混淆科學與技術界線，造成獨占科學成就的事實，並任令其引發的族群衝突因素，不予妥善解決，則正像民國八十六年拙著“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”一文所述，可能形成人類的第七次浩劫。當時，作

者亦指出欲面對類此衝突，舉世各國端正科學教育，並全民摒除大科學主義思想，應屬正辦。

科學發展的第三個社會因素是由科學社群自身所引發；人類是結社的動物，科學專業人士縱使比較獨立自主，然因從事的工作具有公有特性，在雷同專業間較易集結而在特種課題探討上，形成科學命運共同體。庫恩（Kuhn, T. S.）的“科學革命結構”一書中，曾對此有所描述，並指出引領同業間科學發展方向的科學典範，多在當代科學命運共同體內醞釀而成。根據一九九五年英國百科全書所載，法國麥爾賽那（Mersenne, Marin）平生在科學專業同仁間，無分彼此，經常推動互通有無，交換科學資訊的活動，更足資證明科學命運共同體的緊密關係，早已確實存在。

為此，由於彼此志趣相投，且共享社會文化，故科學命運共同體，勢必擁有某些共同態度，例如存疑、堅毅、恆心、求解問題信心、力求實驗證明、要求精確、好奇心、開明、謙虛、忠於真理、客觀、不迷信、崇尚批判、追求完整、慎下斷語、重視數據、接受推理結論等從事專業的良性態度。不過，檢討科學系統外的社會大眾，是否確能對此認知與模仿，不無疑竇，也是科學教育同仁努力的重點之一，必須大力加以傳習。

最後，由於人類對習用的方法過程常內向化轉變為自己的態度，以上列舉的項目，可能與前述方法過程不無相似或相同者，應可理解，特予述明。

3、科學系統的特徵

從科學發展過程、科學本質探討與社會對其影響等檢視，不難發現科學系統可反映下列成分或特徵：

（一）事物研究中時空物質與生命 除數學、邏輯等形式科學外，自然科學的研究對象是時、空、物質與生命。人類知識固然突飛猛進，一日千里，但人類對時空物質的實質了解，迄今仍屬有限，生命問題的奧秘，更瞠乎其後，莫測高深。故早期的科學家，常將生命視為機械論說下物質之外的另一種理念，以活力論說明。目前，已有人嘗試將機械論與活力論統一在機體理論下，將來似乎亦有其可能將物質與生命融在同一體系下來解說，其發展究將如何？迄今尚不得而知。

（二）自然率的一致性 科學家一致承認，大自然的千變萬化，必定由一個一致的、有序的和統一的自然率所支配，即事物變演現象的復現性。因此，在相同情境下，必產生相同的現象。儘管有些現象因著某些原因，似乎無由由自然率加以說明，但經排除與修正某些因素後，即加以孤立化與理想化，仍可望在簡化後的情境裡，發掘支配一切的自然率。羅吉·倍根當年對實驗的主張，就是立足在復現性上；反之，迷信則完全不同，無復現性之可言。

（三）因果關係性 目前事物的發生，必與過去屬源頭性的事物相關連；因此，科學能憑藉對事物形成因素的了解，預測未來可能發生的事物，即因果關係。在微觀觀點下，這種因果關係，也常以或然率加以說明，而以或然率預測物質行為的結果，並無必要

否定自然率與因果關係，即始終認定自然率的正確性。

(四)事物的可理解性 科學家堅信宇宙間的一切事物，包括生命在內，皆可由人類的知覺感受、意識運作、方法過程、設備器材、與智慧能力，加以理解。目前所以不能理解所有問題，乃因運用的設備、理論基礎、經驗累積，尚未達完滿的緣故。科學家所以在變移不居的臨時性真理起伏下，繼續孜孜不倦，埋頭研究，即因秉持此種信心；縱有困擾，亦能百折不回，勇往直前。

(五)本體知識的不完整性 人類為求取自然界各個現象發生的原因，勢必不斷創立各種理論，以為描述、說明與預測的張本。不過，由於科學祇能在自然間擷取片段的資料，故呈現的理論往往是臨時性真理。迄今已建立的理論中，還存在甚多假說性或臨時性真理，彌縫其不能說明的空隙，以待將來的求證、修正、補充，而利趨同更完滿的理論。自然科學與邏輯及數學不同，必須面對實質世界之驗證；也就是說，自然科學只能經由不完整的知識過程，不斷發掘問題、解決問題，以逐步逼近或趨同真理。

(六)事物現象的存疑性 如前所述，科學的典範咸由科學命運共同體在其有限認知範圍內形成，盛行一時的任一典範，必有其極限。超出界限，必引起爭議，可能導致新典範的孳生。因此，不難斷定，科學發展的主導因素是無窮的質疑與不斷的探討。準此，科學家所崇尚的大膽假說，小心求證，以獲新知，所必須的前提在於存疑與提問。假若對事物現象毫無疑義，則假說無由而

立，求證更不需要。

(七)處理事物的客觀性與無所偏倚 客觀是指存在心意之外，具有實在與實證的理性意義。這就是說，科學之所以成為科學，係因其具有獨立嚴謹的客觀性，與其個人的情緒、希望、價值、需求無關。任一科學家對事物的立場，絕不涉及私人的成見，往往還進一步鼓勵後起之科學從業人員，再接再厲，在自己提供的論文或資訊基礎上，探討新判斷、發展新器材、驗證新理論。科學社會裡，設計完成的科學儀器，日益更新，即係客觀性要求下的產物，也由於科學崇尚事實摒除成見下求真的影響，因此，在研究發展上，自身必維持中立，卻責成有權利運用科學的政經或威權人士，應對此有所了解，即求真時雖堅持中立，然支配、運用時卻必須力避科學的應用，反而破壞人類賴以生存之生態環境與招致人類浩劫的發生。

(八)科學理論的節儉性 大多數科學家，都深信自然界的基本原理、原則必定極為簡約，認定大自然中林林總總的個別現象，可由簡單的敘述或數學表示式加以貫穿、詮釋與說明。卜帕(Popper, K.R.)從反面指出，容易為科學社會接受的簡單原理、原則，必屬可適應更多經驗證實的學說；當然，也必遭遇更多的反證機會。因此，原理原則的節儉程度直接與反證次數成正比，愈益節儉者，必涵蓋愈形龐雜的範圍，而在科學上，亦愈益強勢。然卜帕更指出，凡屬科學的原理、原則，最後的命運，則必遭否認；但遭否認的科學原理、原則，不必然在科學裡消失。例如，太陽中心說駕乎地球中心說之上，

在不同情境下，也許並無孰真孰妄的想法，因迄今航海的運作常依賴地球中心的觀點。

(九)歸結與數學表示的特性 伽利略認為聖經是上帝的第一部大作，而大自然又是其第二本大作，上帝卻用數學寫成第二本大作。凡人欲閱讀上帝的第二本大作，惟有先了解數學或則具雷同涵意的數理邏輯，才有希望達成願望；縱然，這不過是一句戲言，在當時甚或為多數人接受。時至今日，科學家仍為表達清晰的意思及簡化語文陳述，將科學儘可能歸結到數學公式，其效果與一般語文表達，並無二致。其次，涉及理論上的歸約，布魯納就主張科學的理論結構具題綱挈領的作用，如前所述，將複雜的概念，向上歸結到理論，向下歸結到直接概念；也有將視似不同的現象，歸約到相關的基礎概念上，加以統一說明其涵意。

(十)公有特性 科學應該不是私有而可壟斷的資產，即具有共產的特性，這也是自古以來人類共同耕耘趨同真理的基本義務與權利。由於此一特性，已在前述科學的定位與目的一節內詳敘，於茲不再贅言。不過，中國在過去都沒有公有的科學，尤其男權高漲下，一切成就傳男不傳女，使早年單打獨鬥的科學，仍完成四大發明，縱然此一成果對世界科學成就，不無貢獻，然因沒有公有特性就不能成為真正的科學，使中國授人以沒有科學的話柄。今日，甚多威權，以維護

智慧權為名把持科學，令其不能歸還大眾公有；這就不是真正的科學發展，反而變科學成反映具工具特徵的技術成品。世上第一位諾貝爾獎得主侖琴 (Roentgen, W.C.)，就堅持公有觀點，拒絕將 X 光發現，專售商家。

綜上所述，科學既包羅各方面的意涵，即科學發展目的，科學的兩類方法過程、科學態度、科學概念結構、科學本體知識、科學臨時真理、科學特徵等，因此，科學教育自然應切實掌握上述概括的重點，將其改編為教材，針對具個別差異的教學對象，取捨適當部分，因材施教，以為科學全面發展，奠定基礎。羅素在其“科學觀 力的衝動超越愛的衝動”一書中指出“科學所提供的不是進步，僅為進步的一因素而已。因此，人類各項文明與教育進步，須與科學的進步同驅共進，否則科學不僅無益，反而有害”(羅素，中譯本)。顯見，羅氏首先認為科學研究並無實用上的一般或特定目標，故無所謂文明上的進步；其次，社會各階層應就其崗位透過對科學不同層面或不同意涵上各項進步的了解，配合自己的專長同求進步，才有文明上的正面成就；否則，稍有偏頗，就反而有害世界的文明。也就是說，一味地以灌輸科學本體知識為唯一目的，對社會大眾志趣而言，應只是為少數人所服之務，故科學教育不僅偏頗與失真，似亦有誤導社會大眾使其對科學抱持錯誤看法的過失。

(未完待續)