

科學教育的心智遠景—新的顛覆活力

趙金祁

國立臺灣師範大學 科學教育研究所

摘要

作者認為，科學教育歷來對典範理念、發生認識論、與訊息流原理，頗多著墨；因此，呼籲對關聯此三者之認知科學，不容有所忽視。心智研究是認知科學的重點，故作者先闡明其現象中之知覺感受、理性思維、記憶、創造等“運算”情況，進而根據 ACT*原理，說明心智中科學概念革命之必定伴隨相關命題的變遷。因此，聯結主義系統中，代表大腦的節點網路間活化模式，亦勢必因而有所變化。最後，作者介紹薩卡德的「概念革命」一書，以說明活化模式變遷下，量化命題改變數據之計算方式，以表明其對判定科學概念確經革命與否的標誌功能。

壹、前言

自從前蘇聯政府發射人世間第一顆人造衛星以來，科學教育由於美國的倡導及其透過國際組織大力推動，驟然間轉變成大眾關注的一門學科，儼然是世界各國當時的一門顯學。

根據系統論的觀點，由於科學教育是將科學與教育兩個子系統，納在同一系統內的另外一門學科，故兩者間勢必從無組織的基元性，向有層次結構的組織性、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。更因科學涉及分門別類的學科特徵，如科學共同體生態、技術改進、生產力發展、社會資源分配、國勢強弱等，而教育牽扯更廣，與學生習性、家庭環境、社會條件、師資特徵、國計民生、社會利益、人性本質等皆有所關聯，故經由各該相關

因素間之整合，結果必更不單純，且在衍生複雜課題的質與量兩方面的頻幅上，也呈現非線性成長的趨勢。

對此，作者曾在「科學教育的系統觀」一文中，有關科學教育整體目標、科學本體知識、科學方法過程、學術態度、認知信念、相關共同體互動形態、政經發展、人間人為浩劫迭興等屬於整合體執行上應予注意之犖犖大端，提出個人粗淺的看法，求教海內外學者專家（趙金祁，民 91）。

管見認為這是值得科學教育從業人員有所深思的重點，也惟有洞察學科統合下的結果，才有可能了解推動科學教育時遭遇的可能問題與其利弊得失；如此，再經擇優謹慎執行各項措施，才有主導功能，裨益學科本身以及社會大眾的發展。否則，出諸急功近利蠱惑下，習俗上人云亦云的科學教育推動方式，恆以解決枝節問題為滿足，其實施後果，縱不能完全預估，

然極有可能適得其反，形成科學發展的負面效應。

系統論曾揭示，有生命特徵的學科，必需具備開放的特性原則，以擷取滋養，藉以獲致學科發展的條件。若慮不及此，則結果不僅失去其獨特學科的功能，亦且陷入可能回歸學術上更具悠久發展歷史，且內容上涵蓋更為廣袤的教學技能、課程設計、測驗評量等一般教育學門的範圍內。

一九九二年，薩卡德曾在其「概念革命」一書中，落實認知科學中模擬人體大腦為聯結主義網路的節點假說，求得學習者的概念革命前後，不同種類相關命題間的關係數據，獲得其概念改變中思維變演的數字參證基礎，值得科教同仁注意及此（邱美虹等，民 92，orig. ed.：Thagard's “Conceptual Revolution”）。

為避免科學教育失去發展潛能，本文乃就其統整組合與永續經營要求下，面對當前認知方面的新作為，提出個人的瞻望與看法以求教海內外方家學者，請予指正。

由於神經科學研究群中，不無將認知科學當前的研發視為對傳統心理學的一項顛覆性挑戰，故本文如上命名，雖較為突兀，然應不難理解，特予注釋。

貳、科學教育改革初期突顯的事蹟

自二十世紀下半葉起，以美國為首的科學教育改革運動一開始就在人才、課程教材、師資、學習方式、評量測驗等課題上，著力甚深。當時，不少科學專業人士

亦踴躍參與；顯見，科學教育亟待改進之目標，至為明確，乃能薈萃各方人才貢獻其力量並提出各自領域內的改革灼見，誠美國科學教育史上少見的盛況。

其實，美國十人委員會早經提出呼籲要求全面加強科學教育工作的推動，至二次世界大戰結束更發現科學專業人才大量不足，修習科學學門的中學生人數，亦未見佔有優勢（Duschl，1990；De Boer，1991）；在適逢國際上太空競賽失利時，有關單位乃擇定中學科學課程教材，著手改善，可予理解。同時，布魯納（J. Bruner）更提出任何學科祇要翻譯成學生能懂的話，即可向任何學生傳習等涉及學習心理層面的見解；因此，高年級科目改在低班級施教的「水向下流」式課程處理，一時亦能為大眾接受。

不過，參預科教改革的專家學者，對行為學派以白老鼠、鴿子等在實驗中的外顯行為，類比人類的學習過程，頗難苟同；尤其從事科學專業之專家，習性上比較務實，對此更不以為然；因此，皮亞傑（J. Piaget）以其子女為臨床研究對象的發展心理觀點，乃廣受大眾歡迎。進而，皮氏將生物學、認識論、邏輯觀念等的重點內涵連結在一起，創立發生認識的理論體系，以揭示認識增長的運行機制；同時，亦賦予概念結構或基模深一層意義，而提出認知上的建構理論。

正當科學教育改革之初，學術界圖書館學同時亦風行一時，美國教育研究資訊中心（ERIC）乃應運而成立，科教研究團

體亦在俄亥俄州哥倫布市設立 ERIC 的科教資訊交流單位，處理來自包括世界各國在內大量湧入的科教資訊材料。當時，郝禾(R. W. Howe)、海格遜(S. L. Helgeson)、與勃勞賽(P. E. Blosser)等三人根據基礎訊息、資訊理論擬訂章則、建立制度、執行計劃，為科學教育保留完整的檢索、研究、發展資料，居功厥偉(Abraham, 1978)。

布魯納是心理學家，但在 1960 年出版的「教育過程」一書中，卻涉及認識論問題，指出科學本體知識中具單一性與層次性自然科學概念結構的重要性。一九六二年，孔恩(T. S. Kuhn)在「科學革命的結構」一書中，也認定自然科學發展中，居於一尊地位的典範隨科學發展而不斷更迭，賦予科學領域中的自然科學，顯然與無典範制約的社會科學，截然不同的本體意義。同一時期內，柯奈(J. B. Conant)在哈佛大學校長任內，大力鼓吹與倡導科學教育應重視科學史研究，並說明科學教育在學科本體知識外，更應考慮科學方法與科學精神的傳習，率直指出僅祇瞭解科學知識並不同透徹理解科學全部內涵的具哲學意義的觀點。

綜合以上分析，可知當時科學教育標誌的努力目標，至為明確，且可形成大眾共識，具有號召不同領域人才參與的誘因。在傳習科學知識上，及時提出推廣三合一的科學素養教學之議，即包括概念、方法、態度等三方面的教材內容。除此之外，當時已體會自然科學與社會科學不同之處，即瞭解各領域中典範的獨特性，進

而強調層次結構在科學教學上的重要性。尤有甚者，莫過於其能掌握時勢，處理資料上及時引進訊息理念的運用，教學上改採符合認知科學發展節奏的皮氏發生認識理念。當時的科學教育圈，生機盎然，確能掌握契機、選定目標、多方衝刺，發揮新興學科的特徵，誠難能可貴。

固然，科教改革之初，美國經歷的特殊事蹟不勝枚舉，例如，企圖推出全國性中學以下理科教材，甚至擴及世界各地，也標榜其為世界性人才融爐，吸納各國才俊之士等；然而，作者於此僅選擇與本文主旨關係較為密切者，作如上之臚述。

參、人智與認知科學

人智是人類的心智或人類的智力，心智的英譯名詞是「MIND」，也可解釋為精神，在英文裡神聖的精神就是上帝的同義詞。人類既認定心智是屬於精神層面的，而包括大腦在內的人體卻是實體的事物，故在文藝復興以前心智具有單面向控制人體或大腦的功能，反之則否；直至笛卡爾之後，才認定兩者是雙向互為因果，具有相互作用的能力(Fetzer, 1991)。

具體說來，人類外顯的知覺感受、記憶、動機、語言、理性、辨識、夢幻、創造等心理行為，基本上都是意識經驗下大腦與周遭環境經訊息的居間傳遞而反應的結果。這些行為能力的總稱就是人類的心智或人智，故就訊息流原理來說，人智是人類成長性的訊息湧現，而大腦是有機體

訊息派送與承載的工具，兩者唇齒相依，密不可分。

就史實分析，學術上以科學方法研究心智問題的認知科學，始自電腦科學、控制論、系統論、訊息理論等的有效發展，為時僅祇不到半個世紀，故認知的嚴格界定，言人人殊，迄無定論。

人類的第一台電腦是一九四一年由德國楚斯（Zuse）用繼電器發展而成，型號為 Z-3。當時因在二次大戰時間，故並未公開。嗣後，在一九四四年哈佛大學的阿爾根（Alkan）以類似的原理製造 Mark-1 自動程序控制計算機（張文彥，1990）。在這基礎上，一九四八年希刻遜（Hixon）基金會在加州理工學院資助召開的「行為的大腦機制」研討會上，主題講演人著名數學家范·紐曼（J. Von Neumann）就指出人腦應與電腦類比，加以解釋。也就是說，認知科學研究的心智應由具體可以邏輯操作的電腦學識入手，相互對照研究，方為正辦。以當時的電腦科學與其周邊的科際學術，尚屬萌芽或開發階段，故紐氏的這番言論，予人猶有科幻的感覺（Gardner, 1985）。直至二十世紀 60 年代結束之際，有關電腦研究已有具體的相當基礎，與其跨科的周邊學說，亦同時獲得相當成就，紐氏的話才逐漸明朗。

認知科學旨在研究人類、其他動物、甚或機器的心智本質。初期，基於電腦程式之與認知理念，至為切近，因此集中在訊息處理概念而以心智表象主義的方式，進行研究。晚近，除電腦程式外，聯結主

義的想法加採可以處理程式而較比貼切的類似大腦神經元網路，也就是說，依循相互連接的處理單元，繼續研究發展。這是一門涉及哲學、電腦科學、控制論、系統論、心理學、神經科學、語意學、人類學等領域的學說，其將來想必方興未艾，值得加以重視。

大致上說來，心智是在意識經驗下遂行，而意識卻是一個不能完全擺脫形上說法的體識。這是一種經驗或感受包括自我在內的環境之能力，並經想像獲致足以代表現場實況或可能事態的外形，也就是個人對其身心活動，透過內省等類似可感知覺的反省，結果獲致自我認識。這種說法不免直接衝撞科學上客觀性的要求，例如，提出主觀的特許理解方法是否有能力檢測自己的身心內涵？又如何適當地與忠誠地加以表達？故而，意識的了解不無仍保留著以哲學方式研究心理功能的印象。更何況，意識可區別為認知與感性兩部分，認知意識涉及理性思維，尚有途徑加以部分規範，而涉及感性意識的感性部分，則難予掌握，有待將來加以解決。準此，意識在心理上的討論，雖很早就是關注的重點之一，然在行為學派盛行的一段時間，卻大為沉潛，而今又因學術上心智研究與認知科學的凸出發展而重新引起大眾的興趣。由此分析，可知認知科學猶待解決的難題，亦復不少，冀期將來加以克服。

心智的遵循科學方法研究，必須使有機體運作心智的整體環節，都能通過控制

論的機制，將其輸入經過特定規則核對確屬配合，而在迴路中經逐步完成的次目標，最後達成最終目標，即另一種型態冀期中的輸出，至於所謂特定規則，其作用情況與電腦中使用語言的文法相似，使各別指令匯集而獲致可加辨識的意義，並藉以經檢索而獲取記憶，進而將其合併在輸入訊息中運行，最後達成在迴路中輸出另一種型態的結果，即完成符號計算，善盡其在輸入出之間扮演的計算工作。

綜上所述，人類對心智的理解，已由遙不可及的神秘想像轉向實在的科學解釋，然因意識尚含有似華萊利形容其可予統轄，而不能管理的模稜成份(Valery, 1970)，使其在心智與行為中間的變換控制機制，部份祇有接受哲學羈絆而以假說啣接或逕予擱置；故而，1969 年拉斯洛攙和辯證論而屬原始科學的工作假說，尚可參考，容作者在下文適當部位，再予引用(Laszlo, 1969)。

肆、行為外顯與心理解說

笛卡爾指出，人智與人體呈現二元的特性，彼此影響與作用；上一節先從認知科學討論，揣測其與人智的關係。本節則從人體外顯的行為，檢視心理學對其所作的種種解釋，以評估兩者的研發走向以及彼此整合應遵循的原則。

人類的研究心理，歷史悠久，公元前四、五百年希臘先賢已涉獵及此；不過，心理學的現代化，卻是自一百多年前才開

始的事。心理學人士在 1979 年，才召開新心理學的百週年慶祝會，可見一斑。

現代心理學經歷經驗主義與實驗手段的淬礪，馮德(W. Wundt)才提出結構主義的觀點，即自個體本身的自覺經驗入手，分析與探討內在意識的各項元素，且除涉及感知與思維兩方面的認知意識之外，也推敲感性方面，包括喜、怒、哀、懼、愛、惡、慾等七種往往引發失衡現象的意識經驗；然猶似前述，感性方面的解驛，迄今尚無共識；然而，人類既已知悉情緒的感性意境，都能引發人體生理上與生化上的異常變化，則勢必確認其為身心兩方面的重要課題，終將必須嚴肅面對。

美國結構主義心理理論，風行不久，即因進化論與實證觀點的強勁影響，乃改由行為心理取代其在心理學術中的主流地位。影響所及，難以捉摸的意識以及失諸主觀的內省法手段，改由行為表現以觀察、實驗的手段所取代。行為心理學亦重視可予測錄的制約作用以及強調鼓勵功能的增強原理。總之，當時的行為心理學，適應時勢，使其自十九世紀中葉起，大行其道，盛極一時，使內省、思維的層次結構、意識等不能直接外顯而加觀察的心理現象，遭受莫大的壓抑，暫時偃旗息鼓。

另一派值得一提的是格式塔(Gestalt)心理學，亦稱為完形心理學。基本上，格式塔認定心理現象可區分成一組組相似的、聚合的、連續的、不可分的整體，並採納部分的總和不等於整體這一與生命體性質極為雷同的思維理念。因此，格式塔

心理學既不同意將意識分析成心理元素的結構論，也不贊同以行為分析為主的行為學派。也就是說，完形心理不僅指出事物有其完形的一面，更強調人性必需完整發展，以補足對事物的解釋有欠完整的缺失。這是既非鉅觀、亦非微觀的一門中觀（Mesocosmic）學說。

認知心理學是以認知行為作為研究主題的學科，屬於認知科學的一部分；並隨著二十世紀六、七十年代發生認識論與認知科學的發展而成長，認知科學除廣受學術人士重視外，更將狹義的訊息處理心理問題大幅擴充，即以訊息的接受、貯存、運算、與處理等視為基幹，了解心理行為的過去來由與將來演變可能的後果（Gagne, 1985）。

由上述種種敘述，顯見認知以外每一時代的當令心理學研究的對象，不外人類身心內在世界中的整體思維結構以及身驅本體對外表露的行為活動及其功能等兩大類型，卻對參與實際活動的大腦及其錯綜複雜的內涵，極少置喙，寧非一大諷刺。因此，祇有讓涵蓋認知心理學的認知科學，在系統原理的機體理論牽引下，解釋清楚模擬人類大腦的模型結構及其功能，才有望將認知推理的輸入內涵，經訊息觀點了解其歷經感知、貯存、檢索、運算、與處理等過程之所以形成意願中的外顯行為的道理。因此，這是一門具鉅觀視野，又能反映微觀分析意涵的建構學術，縱令目前尚在發展中，卻是一門值得加以注意的學科。更何況電腦與認知的心智模式，

最大的共通點是經由訊息傳播而完成建構式運算或思維。認知科學是一門新興的原始科學學科，相信將來的研究發展，必可大放異彩。

但是，由於認知科學的界定尚在肇始的階段，為避免可能發生過於偏離主旨，一般認定在其研究中必須遵守以下四點原則，不允逾越：

第一、不宜僅依賴生物及神經科學來處理心智問題，尤不宜強調其受到社會及文化因素的有關影響。

第二、心智研究肇始自電腦，而電腦知識依賴訊息流理論而發展，故不僅應從狹義上加以了解，更應擴大其定義範圍，例如作者曾在前文指出，心智可定義為訊息流中的成長性湧現，而大腦跟載波電流之線路相似，是有機體訊息派送與承載的工具。

第三、值此認知科學研究伊始，暫時不考慮需感性、無理性等的意識經驗，祇有在確實掌握認知的常態活動，才有擴及失衡意識的可能。

第四、認知科學植基於哲學、電腦科學、心理學、控制論、系統論、人工智慧、語意學、人類學等學科，是研究人類外顯行為的跨科學門，必須兼顧微觀與鉅觀兩方面的重點。

由本節以及上一節的分析，可知無論從心智或行為任一方面著手探討或回溯其發展過程，最後都應歸結至認知科學的解釋，才有望透徹了解兩者的意涵；因此，

認知科學研究的迫切性與重要性，可見一斑。

伍、大腦與電腦模型

歷史上，達爾文將人類看成動物，笛卡爾又將動物譬喻成機器，而法國醫生邁德利(J. O. de La Mettrie) 在一七九七年發表的「人—這部機器」一書中，指出以上兩前提的結論，即人是自供動力的機器。邁氏曾指出，人智的思想不過是電流、運動能力，與迄不可測其奧秘的組合體共同運作的結果。此種看法由於系統論所遵循的機體理念，即活力論與機械論合而為一思維看法的逐漸為人注意，使嚴格要求以科學方法處理人智的原則，可予信賴，值得一試；以下即由聯結主義網路入手，討論人腦的人智問題。

認知科學之大腦聯結主義模型與人工智慧模式相較，發現人工智慧將大腦看成相互聯結神經元網路，而聯結主義模型則由相互聯結的處理單元或節點組成，而每一處理單元是根據感官輸入器或其他處理單元兩者所接受之訊息轉致的不同輸入而對應外顯各不相同的行為；當然，前述訊息流原理控制人工智慧與聯結主義模型各別輸入出訊息或行為活動，基本立論還是相同。

相對於大腦之神經元，在聯結主義系統中具有三種處理單元的功能，即輸入單元，其刺激源導自外界之與系統本身接觸；次為輸出單元，其活動結果啟動向外

輸出；再則，為特種變異所需之掩蔽單元，其輸入出皆在系統中進行。處理單元間的連接可以單向或雙向完成，即可是激發器也可抑制器，視扮演激發或抑制其他處理單元活化性質而異。每一聯結系統之訓練層面活動，在於矯正掩蔽單元的活化閾值，即改變系統輸入出間的連接強度。至於電腦部份，則眾所週知係由反映正反雙穩態電路之二極體完成運算，不再贅言。

聯結主義模型亦可遂行平行分配處理過程，即可同時進行各自獨立，而屬多重性質的運算工作。電腦中的平行處理則係透過多重而各自獨立的中央處理單元完成；而大腦卻經由功能獨立之神經組織結構達成。平行運算當然可以處理大量訊息，不過，祇有在同一組織結構具有其他組織結構不必須之某特定訊息時，才能完成，特此敘明。

平行分配處理單元(PDP)專屬聯結主義系統，故亦稱為聯結系統單元。這一稱謂的來源，起自聯結主義系統中的知識是經過分配的，並由網路中跨過多重處理單元記憶不同活化程度模式，藉以代表分配下的各別知識。就學習機制來說，PDP 之表演較為優異，因代表分配知識的活化程度模式，極容易受輸入經驗之激發或抑制而變演，使外顯的行為改變，亦易於促成。

換言之，一般電腦如初期的范·紐曼型，同一時間內祇處理單一一系列的數據、訊息、或知識，而聯結主義大腦模型可平行處理，亦即同時處理兩個或兩個以上系列的訊息。因此，為達成平行處理，奚理

斯 (W. D. Hillis) 系統是將甚多一般性電腦，刻意安排，使同時處理多重序列訊息，但每一台一級機器還保留著其依序列處理的單一本性 (Johnson-Laird, 1988)。

根據分析，凡運用大腦模型，核對一串約七、八個數字中，是否確屬重複出現某一特定數字時，經單一序列處理之實驗發現，每次核對需時約二十五分之一秒。但在人智中，可能因必須同時進行活化程度閾值之調整，因此，可於此類比估定長串數字中，可以出現某一特定數字的具體確證程度 (Strength of Evidence)，以至可能延長或縮短估定是否出現的時間。又如上所述，聯結主義大腦模型的記憶特性，業經解釋成節點網路中活化模式的記憶，故扮演著符意學中大型訊息的符號功能。這一功能除記憶知識、數據等訊息外，亦包括活動中涉及之內在或外在狀態，即符意學中的解意，例如相似性、因果關係、或習慣成自然等等因素，而獲致影像內涵。可能就是這些影像之形成與影響，造成估定是否重複出現某一特定數字所需時間之延長或縮短。平行分配處理的解釋方式不少，眾說紛紜，莫衷一是，猶待進一步證明。

人智在意識狀態下思維時，思維究竟何所指？為答覆此一問題，作者試問讀者是否討厭身旁的夥伴？也許，讀者答以確實討厭他、或者揮手飽以老拳、或者向其瞪眼、抑或續持緘默。顯見，這些答案中前者是語言、後者是沉默語言、而中間兩者皆為肢體或姿態語言。由此可見，思想

可以不同符號，循共識的規則排序，代表其意義。如前所述，人智的理性語言中，必令使用的符號遵守語法或規則的指引，完成其意義的呈現；在電腦中則依賴規則達成指令之傳達；同理，人腦模型中如前述的連接，是透過輸入訊息匹配製作規則，才能經由矯正發生節點間激發或抑制的活化作用，而在意識中凸顯或遺棄代表某一意義的認知行為。可能，這就是學習進步或退步的一種標誌。

此外，學習也可解釋為模型中，新輸入訊息與記憶中原有訊息併合運算而呈現的進步性湧現；因此，也是以新舊訊息為主體，遵循製作規則或系統而進行新一輪的製作或執行程式；至於規則本身，又可為適應新輸入訊息，猶似拉斯洛所述，經自組織與自穩定過程而變遷或演化。這也可能是學習進步與否的另一種標誌。

參照目前的估計，每一神經元具備約 10 的三次方數量級的連接數，若乘以大腦中約 10 的十二次方數量級的神經元，則連接狀態約達 10 的十五次方數量級之譜，另增平行分配處理的可能發生，可知大腦運算量，為數至大且鉅 (Fetzer, 1991)。人腦功率之大，由此可見。

陸、模型系統運算設計

茲為進一步說明電腦、知覺感受、認知等系統設計情況，特轉載以下三個示意圖，另附拉斯洛工作假說環路圖，以資參考。

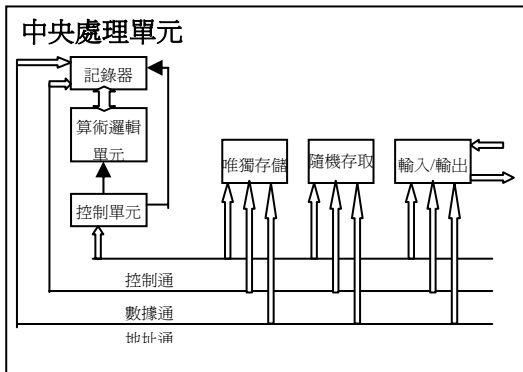


圖 1 電腦系統設計示意圖 (Johnson-Laird, 1988)

如圖-1 所示，一般的電腦至少涵蓋五個基本部門，即輸入、記憶、算數邏輯、控制、以及輸出等，其運作的重要步驟包括由輸入獲取數據，依照記憶中的程式進行運算，並輸出最後的結果。圖中的中央處理單元包括算術邏輯單元，以完成計算工作為主、控制單元負責將與計算同步的訊息，對外傳遞、以及小型臨時記錄器，其作用在執行程式並繼續處理來自記憶的後續指令等。記錄器之一經命名為程式計數器，具有記錄記憶中每一後續運作指令地址的功能；其他的記錄器分屬一般用的標誌計算成果器與累加器等兩大類。電腦中的短程記憶即由累加器與其他記錄器構成，而他如唯讀存儲與隨機存取等為長程記憶。至於各部分間的交通，則由通路完成，最後也藉以輸出計算結果。由於圖示的運作過程，一般擁有運用電腦經驗者皆耳熟能詳，不再贅言。

於此，作者綜合說明，本文中的運算一詞，其英譯為「COMPUTATION」，然其界定業予擴大，賦予嶄新的意義，即自輸

入以迄輸出，出自輸入訊息經其完成與變演不居的當時瞬間規則的匹配核對，乃遂行接受、儲存、檢索等步驟，且將檢索所得記憶中的原有訊息與輸入訊息合併，造成節點間活化模式的控制作用，獲致具新意義的另一種模式訊息的輸出；這一種輸入出間系統化控制移轉的整體連繫過程，即運算之謂也。

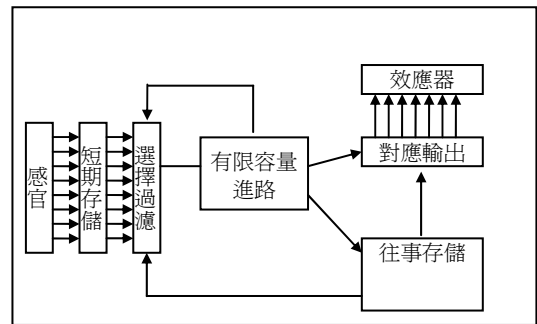


圖 2 知覺感受系統設計示意圖 (Gardner, 1987)

知覺感受系統設計示意圖，如圖-2 所示，說明來自感官的種種輸入訊息，經短程存儲與選擇過濾後，流向有限容量進路，恰似宴會中嘈雜談話，皆經選擇性聽取，而選擇過濾作用係由長程記憶所控制，故在談話中偶然聽到長程記憶中專屬個人的姓氏，則注意力或意識經驗立即轉移而擷取其後續之有關內容。至於與知覺感受對應的外顯行為，一般是經往事存儲記憶的匹配等過程而竟全程運算所達到的輸出。其間，短程存儲的訊息以迄過濾完畢或為獲得之其他輸入取代，歷時極短，僅數秒鐘時間。又圖中亦顯示，輸入訊息

經有限容量進路後，亦可走循環迴路重複流過短程存儲，而延長記憶時間。此種情景可在每一個人臨時取得新電話號碼起，以迄完成撥出該號碼之全程輸出中，必經默默複誦，延長瞬間記憶。

如圖 3 所示，即認知設計示意圖，代表人智認知中各聯結部門配合輸入之訊息運作而達成知覺感受、確認、記憶、推理、問題解決、行為外顯等之全部流程。顯見，恰似符號人工智慧（Symbolic AI），認定經大腦運作的符號，即是人類心智的來源；而更重要的是這些符號的運算，必先匹配並遵照規則，才能在大腦中完成由心智代表的認知過程與行為外顯。認知設計主要內涵包括表示短程記憶之工作記憶、長程陳述記憶、以及亦可反映技術活動的製作記憶。製作記憶主要代表制約行為外顯的關係規則，而且一般「若...則...」形式亦必須遵循與完成。此外，長程記憶還分兩大類，其一為事實、經驗，而其次是技術記憶。

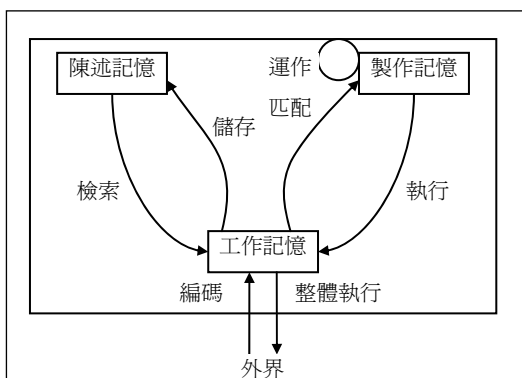


圖 3 認知系統設計示意圖 (Johnson-Laird, 1988)

由示意圖可知外界進入編碼後的訊息，先經工作記憶，部分即可在此短程記憶中處理而執行，並對外輸出行為，另一部份藉短程記憶的指令，透過製作系統記憶的匹配，併合兩方面長程記憶的原有訊息，加以運算，再回到工作記憶而達到對外執行行為的輸出。整個過程皆遵循安德笙制定之ACT系統（Adaptive Control of Thought System）原理。安式指出所謂遵循製作記憶系統，必須在一般成套原則下完成控制、記憶、理性運思、語言等所有認知能力，以竟輸出之運算全功。一九八三年，安氏再版ACT*系統問世，說明其適用性可涵蓋生物與非生物兩類機體（Anderson, 1983）。

於此，作者再度提示，聯結主義系統中，參與運算的儲存或記憶，是以聯結網路活化程度為基幹；也就是，在類比神經元組合的網路中，跨越過多重處理單元或節點，將其所形成的活化模式，納入記憶，並非一般電腦貯存的數據、知識等訊息的諸般各別項目。

學習既是在獲致新的經驗訊息後，再併入原有訊息的基幹上，從事編製與執行新一輪的程式，故學習的進步，顯見是新程式中形成活化模式的重組或創新，這才保障學習進步的可能發生。更且，製作規則或系統本身亦有可能循演化規律而變演不居。依照拉斯洛的工作假說，如圖 4 所示，人智的受到外在環境中，新經驗訊息的引發，故經由探索適應步驟，必使人智網路中控制—密碼變動而經自組織功能進

一步達到新自穩定狀態（趙金祁，民 91）。由此可見，網路設計中，既有自身即可反映經學習獲致進步的可能，更有拉氏工作假說，可能在長程、短程記憶中發揮其機制，而經演化進而達到進步的助益；兩者功能，同時並進，特於此說明。

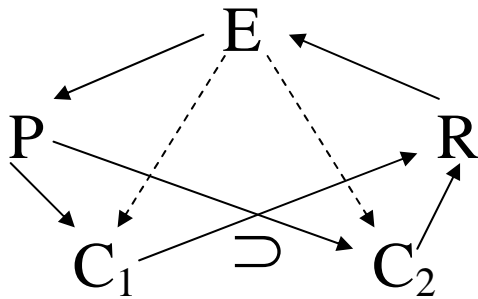


圖 4 拉氏工作假說環路 (Laszlo, 1969)

E=外在環境，由 E_1 變成 E_2 ，圖中經簡化，仍保留為E。

P=感覺傳感器中代表輸入事件。

C=控制—密碼過程，可對應 E_1 及 E_2 由 C_1 改變至 C_2 。

R=系統的新輸出。

⊃ = 探索適應的自組織過程。

柒、結語 - 科學教育應有的反思與應

用實例

猶憶一九八七年，中華民國國立台灣師範大學科學教育研究所，首先推出以傳習科學哲學為主的科學理念科目；隨之，

一九八九年美國佛羅里大 (Florida) 大學也在其校區舉辦首次「歷史、哲學、與科學教學國際研討會」；更早，一九七〇年左右，美國俄亥俄州立大學科學與數學教育研究所指定孔恩「科學革命」一書為所內研究生必讀書籍。但是，科教研究圈在科學哲學主題之研究上，究竟獲得何種啓示？美國國家基金會及我國國家科學委員會科教單位，又支助多少相關之研究方案？不得而知。就成效說來，過去推廣的研究重點，一味守舊、一本萬貫，遵循傳統方式，在教材、教法、資優、人才、創造、行動研究上打轉，幾乎全無自我創新的獨立作法，後效顯然不足。

如前所述，科學教育改革發動之初，縱經提供皮亞傑發生認識論之推廣機會，並廣泛採用訊息處理原則辦理科教資料彙編；然而，歷年來科教圈卻未曾趕上這兩方面研發的步調，努力促使認知科學的成形與其在研究上的應用，而仍守在原有枝節問題上的求解，實為可惜。

首先，科學教育圈縱有開授科學史哲科目的事實，然因缺少有關科學哲學主題研究計劃，以至未曾及時發現自然科學與社會科學不同，具有奉典範為一尊的研究方法特性，即放棄其他近似典範或將其納入當令典範中，加以說明。其次，科學教育亦未注意到認知科學進步甚大，尤其遵照安氏所提出的 ACT* 系統原則，以具控制特徵製作規則為中心支撐的功能，可引領圍繞之隸屬命題，紛紛併發，且可相互連接，而加以計量計算。再次，科教圈亦疏

忽皮亞傑之研究，根本未觸及教育層面，僅屬兒童至成年期間的思維與推理本質的變化推敲。因此，在其臨床研究中與其子女為對象種種對話命題，都是圍繞著孩子邏輯思維結論中心並相互連接的衍生命題。

自然科學教育中，應及早體會以上三者確可形成莫大一個研究契機，更增以拉氏的演化環路機制之助益，也許，就因此促使加拿大滑鐵盧大學哲學教授薩卡德撰寫「概念革命」一書；薩氏乃綜合以上三者的要件，對可視為科學概念革命判準之種種相關之衍生命題，求得其活化數據，以為革命確曾發生與否的佐證（Thagard, 1992）。

薩氏認為，人智理論必須有可能反應人智活動的增強與人體感知行為上由因應而作為之間的相關關係，即前述人智與人體間關係，也就是所謂活化程度變化的效應。依照聯結主義的看法，大腦模擬神經元的網路，即具有無數可予活化的節點；而節點可經連接與其他節點聯結，並視其活化程度與活化情況而增強或減弱其他節點的水準；這樣的構思，猶似前述人智的潛在活化序列數可以是10乘十五次方的函數代表，故活化狀態所標誌的記憶模式，為數既至為驚人，且模式亦可大為不同。薩氏就依循這樣的思路，經過命題分析，各別連接、量化、特定概念革命事件諸命題論證的網路繪製、以及表示聯結性的連接間活化程度的量化數值，表徵相關命題於概念變移前後間的不同融貫程

度，反映各別學習者對變移概念所持的態度，亦經改變。

基於以上理念，薩氏運用人工智慧慣用的LISP語言中ECHO程式，算出科學概念革命前後，學習者對有關命題抱持的態度改變的量化數值。其間，也運用再生循環函數，除表達各命題的活化程度，也襯托其活化過程，最後並經列表機製作成曲線圖，以呈現革命後概念結構的變遷（邱美虹，民92；薩氏原著中譯本）。

薩氏綜合孔恩學說要義、發生認識論觀點、概念成份間邏輯推算思維、ACT*系統說、電算機技巧，使近似抽象而較具哲學意味的概念革命，賦予至為具體的計量數字，且推廣至學生學習中改變概念的情況，值得科學教育同仁參考。

捌、誌謝

二〇〇三年，筆者承國立台灣師範大學科學教育研究所前任所長邱美虹教授囑咐為以其為首之「概念革命」譯作撰寫導讀，作者自忖才疏學淺，乃寫成引介一篇；此舉提供作者機會，就以概念為典範的革命，所引發對種種相關命題，在態度上可能呈現重大改變的問題，進行深入研究，而成此篇，特此謝忱。在本文撰寫中，國立東華大學電機工程學系所長趙涵捷教授，提供認知科學資訊，國立臺北科技大學進修學院主任李金連教授，國立高雄師範大學科學教育研究所洪振方博士，國立屏東師範學院數理教育研究所莊嘉坤教

授、洪文東教授等貢獻各方面資源，一併致謝。

本文簡陋之處，誠屬難免，祈海內外專家不吝賜教，為禱。

參考文獻：

- 1.吳以義(1996)，“庫恩”，台北：東大圖書公司。
- 2.邱美虹等(民92)，“概念革命”中譯本，台北：洪業文化事業有限公司。
- 3.張文彥(1990)，“自然科學(技術)史”。台北：新學術文教出版中心。
- 4.趙金祁(民91)，“科學教育的系統觀”。科學教育月刊，第249、250期。
- 5.Abraham, M. R. (1978)，“Science Education – Society： A Guide to Introduction and Influence”，OH：ERIC Clearing house for Science, Mathematics, and Environmental Education.
- 6.Anderson, J. R.(1983)，“The Architecture of Cognition”，Mass：Harvard University Press.
- 7.De Boer, G. E. (1991)，“A History of Ideas in Science Education”，N. Y.：Teachers College Press, Columbia University.

- 8.Duschl, R. A. (1990)，“Restructuring Science Education – The Importance of Theories and Their Development”，N. Y.：Teachers College Press, Columbia University.
- 9.Fetzer, J. H. (1991)，“Philosophy and Cognitive Science”，N. Y.：Paragon House.
- 10.Gagne,E.D.(1985)，“The Cognitive Psychology of School Learning”，Canada：Little,Brown and Company Limited.
- 11.Gardner, H. (1987)，“The Mind’s New Science”，N. Y.：Basic Books.
- 12.Johnson-Laird, P. N. (1988)，“The Computer and The Mind – An Introduction to Cognitive Science”，Mass：Harvard University Press.
- 13.Laszlo, E. (1969)，“System, Structure, and Experience”，N. Y.：Gordon and Breach, Science Publishers. Inc.
- 14.Thagard, P. (1992)，“The Conceptual Revolution”，N. J.：Princeton University Press.
- 15.Valery, P.(1970)，“Analects”，London：Routledge and Kegan Paul.