

科學精神與科學教育

國立中山大學 趙金祁

前 言

自從科學教育月刊第三十八期發表拙著「三民主義的科學教育」以來，曾獲讀者來信詢及文中所述科學成份的依據，筆者乃借行政院國家科學委員會在國立高雄師範學院，舉辦七十年度科學教育專題研討會的機會，提出「科學精神與科學教育」一文，藉以對科學成份的淵源有所陳述。同時為求完整起見，特從頭由科學發展史上的特徵，經由科學知識發展理論，魏依曼與昆恩統整典範學說，以迄科學精神與科學教育趨向，做一全盤介紹，祈先進同仁多多批評與指正。

壹、科學發展史上的特徵⁽¹⁾⁽²⁾

西方科學的發展，一般都溯自尼羅河兩岸與底格里斯及幼發拉底兩河流域入手了解，中間經過古希臘黃金時代、羅馬文化、中世紀教會遏止時期與阿拉伯的沿續活動、文藝復興的轉捩時期、以迄十七世紀以來自然科學思潮瀰漫的歐洲，與二十世紀大半紀美國的一脈相承及發揚光大，遂形成今天科學上日新月異的輝煌成就。

從上述的科學簡史當不難發現，尼羅河與底格里斯及幼發拉底兩河的民族習性，偏向實用而輕理想，以故所發展之科學如幾何學，便專注以解決尼羅河等洪水泛濫，湮沒疆界的問題為目的

，而鮮有理論上的推演。再如埃及之醫學，可遠溯至紀元前四千餘年，其發軔的原因不外乎醫學是一門切於實用的科學，以解決人類本身的實際生活問題為鵠的。巴比倫尼亞之對天體精密觀測，其研究動機亦顯然反映當時計時需要，以獲致日曆通書為主。他如槓桿、轆轤、日晷等之發明，無不著眼於實際問題與應用上，顯見需要與實用為此一時期科學發展的主導因素。

希臘民族在科學思潮中，以其特異之智慧力圖變中求常，分從「實體」與「發生」的鑽研，去研究自然現象。早期大學問家泰利氏 (Thales) 的改變埃及的實用幾何為抽象的線與角，以及分析萬物的來源成水的衍生物；畢達哥拉斯 (Pythagoras) 之認定簡單數字關係統率一切自然現象；路西帕斯 (Leucippus) 與德謨克利多斯 (Democritus) 的以原子論解析萬物構造與生成；柏拉圖 (Plato) 為點與線創下定義；亞里斯多德 (Aristotle) 在科學上的兼顧個別事物探討與總括原理的建立等，在在都顯示這一段時間的科學發展，由探討「實體」與「發生」開始，而以「實體發生」為歸結，使理論的推理成為當時崇尚的研究模式。

羅馬帝國的文化雖受希臘科學與哲學的影響，但因羅馬人夙好實用，且受維屈維亞 (Vitruvius) 的左右，提升應用科學而抑壓科學理論的

重要性。綜觀維氏的建築學，涵蓋至為廣博，然崇尚實學而忽略抽象推理，至為彰顯。尤其羅馬帝國為符合統治國家的需要，有關橋樑、舟船、軍用道路、公共建築、組織法典、法律規定等之實用科學，尤多發展，並對埃及與巴比倫尼亞所知的物質元素與阿基米得比重原理等，特別發生興趣。在哲學方面，羅馬亦重視實用哲學，包括著名的塞納卡（Seneca）與魯克勒修斯（Lucretius），都具有關心道德的實踐而輕理論探討之傾向。

中世紀耶教思想傳播以後，科學發展乃蒙受壓力，以天文學為例，因神學家要求各種學說必需配合教會對人在宇宙中地位的說法，崇尚亞里斯多德天文說，而使畢達哥拉斯所揭示之地動理論埋沒多年，天文學的發展也因此延緩了一千餘年。所幸，賴阿拉伯人在征服亞歷山大里亞之後，保存了古代科學文明之主流，掌握住科學發展的淵源，方免於在歷史上完全呈現空白。

文藝復興是科學發展的轉捩點，也是今日科學成就發軔的時間。科學活動經由哥白尼（Copernicus）、吉爾伯（William Gilbert）、泰古（Tycho Brahe）、克普勒（Kepler）、伽利略（Galileo）、笛卡兒（Descartes）、牛頓（Newton）、達爾文（Darwin）等一脈相傳，以迄於今，獲致人類文化上的輝煌成就。文藝復興前後的科學特徵，大別為羅吉·培根（Roger Bacon）與法郎西·培根（Francis Bacon）強調的經驗及分類，吉爾伯、伽利略與笛卡兒的講求方法，泰古與克普勒的專注計量，最後並出現大學及皇家學會等組織，首創科學家之間的合作，以及哥本哈根與二次大戰中芝加哥的物理學家群聚研究造成革命性研究成果等。目前，科學活動大為活躍，科學成就具有一日千里，無可限量之勢。

貳、科學發展理論

我們都知道，知識論是一門在科學發展成雛型後創立的學說，其主旨在於研究科學等知識成長的道理。由以上史實可知，科學發展既屬一種成長中的人類文化知識，當然應有其特定軌跡，可資知識論者探討。

從知識論的思維觀點來說，一般學科都可區分為形式的、實在的與價值的。形式的與實在的學問都注重人類思維與意志，但形式的學科如數學理論，縱無事實參證，亦可由其本源上創設的假定，不斷推演，建立系統。也就是說，可不必顧慮思維對象的實際現象，祇要構思過程嚴密，即屬妥切而自成一家之說。反之，實在的學科專家固然也以思維與創造為主，然將思維的對象看成思維以外獨立存在的實體，而且將思維所創設的結果看成實體的屬性，如物理學上物體之具有慣性，即屬這樣運思的結果。至於價值的學科，則在思維與研究之外，更以研究對象的價值為主，考慮主觀評量價值的所存條件與客觀受評對象的現存條件。⁽³⁾

由於科學發展史實的成因極為複雜，故僅從外在條件的是否存在，或內在創造潛能的是否蘊成，來探討科學發展的成因與途徑，其所得並不一定準確，甚或形成偏頗的結論。但早期的科學知識論者，仍對照科學發展特徵，分由邏輯、心理、環境等觀點，說明科學成長的道理。也就是說，一部份以個別科學從業人員為重心，分析其對科學提供貢獻時的構思心態與活力；另一部份則視科學從業人員為人類構成的一員，將重心移至探討環境條件對其形成科學貢獻的影響。早期知識論者，就由此兩方面的結果，歸納出科學成長的理論。因此之故，一般都將科學的成長劃分為內在論與外在論兩大主流。

內在論學者專家不考慮外在需要，而強調科

學觀念本身的變遷與批評創造的特質。且由於文藝復興時期的意大利，聚集衆多出類拔萃的科學家：二次大戰前後，美國物理天才群等事實的啓示，認定研究成員貢獻其心力可促成突破式科學成長，故而主張天才是科學發展的重要因素，可突破現狀而開拓科學上的新時代。不過，也有內在論者重視科學成長必經經驗累積的過程，引用哥白尼係受中古世紀晚期動力理論的影響而建立自己的新看法，牛頓之修正伽利略對引力的假設，以及愛因斯坦擴大牛頓觀點等實例，認定科學概念改變是漸進的，具有演化特徵。

科學發展外在論者却從社會環境與政經需要等著手考慮，認定科學的起源既在於解決現實生活條件中的問題，就不能脫離實用價值。因此，相信科學家必定受到當代大眾價值觀的左右，才引發創造潛力，促成科學上的改進與成長。例如牛頓時代航海上的問題，影響牛頓提出古典力學，以及西方近代重商主義塑造成擴張與不易自滿的社會，引起科學突飛猛進等，即為有力佐證。

總之，早期的科學發展理論，分別以突破、漸進、社會環境與政經需要等觀點著手分析，各持一見之得，可謂衆說紛云，莫衷一是。⁽⁴⁾⁽⁵⁾

叁、魏依曼 (Wertheimer) ⁽⁶⁾ 與昆恩

(Kuhn) 統整典範學說

魏依曼是整體 (Gestalt) 心理學的鼻祖，強調全體不等於部份之總和，認定科學必需從統整層面加以了解，即所謂「上層」之理解，以透徹明瞭各部份現象的行為特性。昆恩承受了整體心理學的影響，由統整觀點分析科學發展，列出四大循環過程：即傳統性的模式規範 (Tradition-bound) 過程，存疑性的傳統紊亂 (Tradition-subverting) 過程，創造性的傳統逸散 (Tradition-shattering) 過程與求實性的專業植基 (Professional-commitment) 過程

。⁽⁷⁾

由於昆恩的分析科學發展過程，大多以傳統 (Tradition) 一詞為中心，自然凝結成典範 (Paradigm) 學說；認為科學歷程中，一切活動經常受到共同認定的概念結構與方法過程的影響，而一般科學家即依循此一概念與方法系統所形成的典範從事專業研究。證諸著名物理學家愛森堡 (Heisenberg) 的「科學中的傳統性」一文，所提類似之看法，顯見典範學說至少在目前，應屬科學成長理論中的翹楚。⁽⁸⁾

昆恩原來主修物理學，嗣專攻科學發展史。有鑒於歷史上科學事蹟的發生，無法全部以邏輯推理加以連貫與預估，昆恩便致力研究科學知識成長中的動態過程，認定自然科學社會，在概念與方法的描述、運用與研究上，習於共同遵守當時代公認的科學典範，並在典範制定的成規中，從事「常態科學」 (Normal science) 活動，以發掘典範揭示下諸般科學事實的意義，提昇典範本身對這些事實的解釋能力與預測本領。昆恩認為每一時代的大多數科學家，皆在典範要求下，中軌蹈矩地從事求解、求知活動，致力發揚典範所涵蓋的領域，並闡明典範所揭示的意義。

不過，科學社會中的個別科學家在觀察科學現象時，常由早經解釋的事實，間接加以探討與理解。因此，縱屬觀察同一現象，然對同一現象中種種構成元素與元素間相關關係的解釋，常因個別科學家理解上的不盡相同，勢必形成不同的觀點。故而，昆恩相信科學典範之於科學家，除有助於科學家引導其研究活動外，同時也具有啓發科學家嘗試新問題的作用，即所謂「異例」 (Anomaly) 與「科學發現」 (Scientific discoveries) 便是。

在衆多的科學異例與新發現催動下，科學社會常形成典範構架上的危機 (Crisis) 而改採多元性的「非常科學」 (Extraordinary science

活動。歷史上每當此一階段出現，自然而然地會孕育少數科學家提出新臆測理論，祇要新理論較舊理論對科學事實更具說服力，且為科學界普遍接受，則就有取代舊典範而逐漸建立新典範的可能。此時，可能變成新典範的種種科學事實，經科學家進一步專業化地研究與證明，就成為奠定新典範的基礎，變成科學界發揚與闡明的新目標。

昆恩認為科學從業人員在剛接觸科學發展典範時，常發現大部份研究中的觀察與實驗結果，跟現存典範至為吻合，故初期必十分滿意典範所引領的研究方向。進一步，科學家必須創設精密新儀器，制定成套科學術語與技術，精煉其概念系統，力圖逐漸超越習用原型，求取其自我特徵。這種專業常態活動過程，通常具有雙重效果，一方面可反映常態科學活動的特性，因為祇有在典範指導下的活動，才能在當代特定領域內獲致詳盡的資料與精確的數據印證；另一方面却又限制了科學專業人士的興趣與眼界，形成典範可能改變時的重大阻力。不過，在科學領域裏，詳盡的資料與精確的印證，本質上就伴隨著超越其預期解釋效用的特性。我們經常發現，專為特定效果設計的特種器材，極有可能提供導致創新概念的異常實驗結果。而且，這種異常結果也祇有早經熟練特定典範效果的科學家，才有可能通過其新設器材的操作與推理思考，加以體驗，從而滋生新構想、新理論。也就是說，對典範訓練有素的專家，對異例最為敏感，也最有可能蘊釀典範更新的機會。當然，典範本身不會輕易更迭，對抗典範更新的阻力，必促使異例本身歷經已存知識體系各方面的種種考驗，惟有在考驗成功時，才可能逐漸形成新典範。近代科學發現常在不同實驗室同時發生，就是一個具體的例子，說明常態科學活動的傳統本質以及傳統活動具有導致典範更新的實際效用。科學上這種典範建立與革新

的循環歷程，就是昆恩學說的基礎，可用以解釋科學之所以日新月異，不斷自我修正與成長的道理。

總之，科學知識包容內在與外在各種條件，依賴時、地、人、物等多方面的因素，以遂行其成長歷程，端無僅藉內在論或外在論等偏頗之見，即可窺視全貌的道理，至為明顯。

肆、科學精神與科學教育

科學精神一詞，意義至為模糊，一般也難以精確定義。根據一九六六年美國全國教育協會教育政策委員會發表的「教育與科學精神」，其中所及的科學精神是指科學教育崇尚的價值觀。⁽⁹⁾郝金氏（David Hawkins）進一步申論其涵義，認為教育政策委員會所列舉的價值觀，不僅是教育工作者為達成最高目標所必需重視的工具性人類意向，還應是促進人類文化所必須的作用過程與永恒德行。⁽¹⁰⁾因此，科學精神原則是科學社會諸般活動所表徵的共同德行，要素上應包羅意念、意願、態度、習性等心智歷程。

美國全國教育協會所提出的主要價值觀共計七點：求知與求懂、不憚詰問、求取數據及其涵意、要求證據、尊重理性推理、慎思前提與考慮後果。對照前述昆恩典範理論，不難發現昆恩的傳統性過程必涵蓋求知、求懂以及求取數據以歸結其潛在的新意義等德性，存疑性過程應可表徵慎思前提與不憚詰問等意向，創造性過程可包羅要求證據與遂行日新又新等歷程，求實性過程必要求考慮後果與尊重理性等實事求是的習性。也就是說，美國全國教育協會政策委員會所揭示應予崇尚的價值觀，縱然分別以每一昆氏過程加以推敲，也可一一對應，無所遺漏。進一步，如由昆氏整體觀點來說明，更顯見這些價值觀是科學家從事每一昆氏過程活動，都需信守不渝，相互交叉運用的美德佳行，屬科學教育不可或缺的教

育目標。反之，若由舊有內在論或外在論等偏頗觀點推論科學精神，則不僅難以涵蓋全盤價值觀，抑且有壟斷與窒塞科學精神的危險。

尤有進者，先總統 蔣公洞燭機先，曾對科學精神提示下列重點：即存疑與創新、確實與明白、精益求精、實事求是、嚴密與徹底、客觀與合理、以及分工與合作。⁽¹⁾將前述七大價值觀與這些重點相比較，顯見美國全國教育協會的科學精神，不無缺失，至少對嚴密與徹底、客觀與合理、以及分工與合作等未明白交待，大力強調。

同理，由昆恩典範理論仔細推敲科學精神，其歸結的重點亦可見美國全國教育協會所提示的價值觀，尚有增補的餘地。譬如：求實與傳統性過程中，屢見不鮮地要求嚴密與徹底的習性；存疑與創造性過程中，顯然要求崇尚客觀與合理的意向；全盤典範理論實踐中必須分工與合作的精神等。

因此，在考慮我國國情下，我國科學教育必須闡揚的科學精神，似乎更宜包羅上述嚴密與徹底、客觀與合理以及分工與合作等三大重點，且為便於陳述，可合併前述價值觀，湊成我國全民科學教育工作中必須養成的十大主要科學精神。

有鑒於科學教育的目標，除培養從事專精研究的科學家外，更重要的在於為全民建立一致採納的科學精神；因此，筆者不憚繁瑣，由科學發展史說明我國應強調的科學精神，以便闡明其在當前科學教育上的重要性。

當然，誠如吳大猷先生為國立台灣師範大學科學教育中心，科學課程改進計畫所揭示的四大依據：國家的近程與遠程目標、文化的傳統與近代特徵、科學的本質與特性成份、以及學生的心理與生理狀態。我國科學教育若僅掌握住科學精神，似乎祇洞察其因素的四分之一，尚無可能整體了解與全盤規劃科教措施。⁽²⁾不過，從一九六九年印第安納大學科教系主任安迪遜 (Hans O.

Andersen) 所說：「科學教學必須根據價值觀選定一套以探討為骨幹的原則，做為其推行之基礎，以力求發現新事實，改進對事實之量度結果，以及建立容納全盤事實之概念結構，俾利妥適說明宇宙及其可能外緣中之種種現象。」⁽³⁾則不難獲知，科學動態的探討過程是科學教學的重心，而科學史上科學家共有的價值觀或美德，更屬重心中的中堅。

因此，科學精神在科學教育中應與「科學材」同樣重要，彼此難分軒輊。何況，若我國科學教育措施的旨趣是動態的在為學生準備獲取新知的捷徑，則尤宜根據科學精神，加以釐訂。但這些措施在整體規劃中，自應分別輕重緩急，適切配置，逐項加權，以對準國家需要，符合文化特徵與適應學生身心狀況，而有效貫徹科學教育當前的目的。

一伍、結語

總結以上所述，除前述所謂科學成份自可從科學知識論與科學精神中，加以追蹤，恕不贅言外，我們亦不難發現，我國科學教育首需端正方向；無論在目標、要素、與措施上，皆不宜過份偏向實用而忽視純粹科學與學理的探討。也惟有如此，才能突出求知求懂、不憚詰問、尋求數據與其涵義、要求證據、尊重理性、慎思前提、考慮後果、力圖嚴密與徹底、崇尚客觀與合理、以及分工合作等十大精神的重要性。筆者以為，祇要國人都能深體上列科學精神之涵義，且能向社會大眾推廣而為全民所遵行，則不僅我國全民生活型態必更趨健康、完美，且對國家文化、經濟建設等亦必大有裨益。影響所及，必能蔚為反共復國基地一股強有力的力量，有助達成我們當前的使命。 □

附註

- (1) G. Holton and D. H. D. Roller, *Foundations of Modern Physical Science*; Reading, Mass.: Addison - Wesley Publishing Co., 1958.
- (2) Carl G Hempel, *Philosophy of Natural Science*, Englewood Cliffs, N. J.: Prentice - Hall, Inc., 1966.
- (3) 羅鴻詒, 認識論入門, 台灣商務印書館, 民國 58 年。
- (4) S. Toulmin, *The Philosophy of Science*, London: Mutchinson's University Library, 1953.
- (5) J. Bronowski, *The Common Sense of Science*, New York: Alfred A. Knopf Inc., 1975.
- (6) Garvin McCain and Erwin M. Segal, *The Games of Science*; Monterrey, California: Brooks / Cole Publishing Company, 1969.
- (7) Thomas S. Kuhn, *The Structure of the Scientific Revolutions*, Chicago & London: Phoenix Books, 1st Ed. 1962.
- (8) 趙金祁, 科學發展中的傳統因子, 台灣省立台中圖書館, 民國 63 年。
- (9) *Education and the Spirit of Science*; Educational Policies Commission, National Education Association, 1966.
- (10) David Hawkins, "Education and the Spirit of Science: Critique of a Statement", *The Science Teacher*; September, 1966, pp. 18 ~ 20.
- (11) 先總統 蔣公科學思想言論集, 國家安全會議科學發展指導委員會, 民國 67 年。
- (12) 吳大猷, "教育部科學教育指導委員會", 科學教育第 31 期, 民國 69 年 10 月, 第 1 ~ 4 頁。
- (13) Hans O. Andersen, *Readings in Science Education for the Secondary School*; New York, N. Y.: The Macmillan Company, 1969.

科教活動消息

本 社

本中心接受教育部委託辦理「中等學校數學及自然科學教材教法研究教學目標及教學水準意見調查暨教材推廣活動作業計畫」, 曾於去年五月間, 在全省各地舉行分區座談會, 邀請本計畫中教材教法教授, 各課程改進計畫編審小組之研究教授, 以及各國中、高中科學課程教師參加, 藉著面對面之交換意見, 達到觀點與意見能相互溝通的目的。

這項計畫的工作, 本年度仍繼續進行。配合教材之編寫, 再進行意見調查分析, 深入了解各不同層次教學水準之實施問題, 提供具體可行的解決方案。爲了配合這項計畫的進行, 本中心擬於今年四、五月間, 再度舉行分區座談會, 除商請教育部、廳、局等一本初衷大力支援外, 也請全國各科學課程教師鼎力協助, 使本中心各課程改進計畫得以進行得更順利、更完善。 □