

## 建構主義與科學教育進步 \*

徐光台

國立清華大學通識教育中心 / 歷史研究所

### 摘要

在當代科學教育理論中，崛起了一個相當特別的學說——建構主義。此一新「典範」強調人是建構知識的主體，無論在教、學、課程、哲學基礎等方面，它都對傳統科學教育「典範」，產生了相當大的衝擊。本文擬從多義的建構主義出發，通過皮亞傑對兒童科學概念的研究，及其對孔恩省思科學進步的影響，進而省思科學教育的進步。相對於傳統科學教育「典範」，建構主義肯定兒童具有主動建構的能力，較合於科學教育的內在目的。它提供了兒童中心的觀點來看學童科學概念的發展，積極面對兒童迷思概念與現代科學概念間不合的問題。在實施科學教育方面，它有助於師生關係的發展與民主價值的推展。

關鍵詞：建構主義、皮亞傑、孔恩、科學進步、科學教育  
進步

---

投稿日期：民國八十八年二月九日；接受刊登日期：民國八十八年五月二十五日。

責任校對：陳薇萍

\* 本文初稿「試論科學教育中建構主義的幾個問題」在中央研究院歐美研究所主辦的「第三屆當代教育哲學學術研討會」(民國 87 年 10 月 17 日)中發表，大幅修訂後更改為目前的名稱。作者非常感謝兩位匿名評審人提供的寶貴意見。

## 壹、前言

建構主義 (constructivism) 是二十世紀後半崛起於歐美學術界的一種與科學教育有關的運動。它和傳統的科學教育間的衝突，形成托賓 (K. Tobin) 所稱的「典範的爭戰」(paradigm war) (Tobin, 1993: ix)。

以客觀主義 (objectivism) 為基礎所形成的傳統科學教育「典範」，假設了在吾人以外，存在著一個獨立的與客觀的世界。科學家努力的目標在發現這個客觀世界的客觀真理。在追求發現客觀真理的目標下，科學教育中擬定的教材、教法、學習，以及進行的教育研究與教育改革，都為培育未來的科學家所進行的。如果傳統科學教育「典範」係站在成人或施教者的觀點，將教科書中邏輯組織的科學知識單向地輸向學生 (Hawkins, 1994: 9)，建構主義在科學教育上形成一種新的「典範」，係立足於學習者的立場，強調人是建構知識的主體，以既有的先前知識為基礎來建構新知識。在認識論上，建構主義主張即使有外在世界存在，吾人所認識的，並不是被發現的客觀真理，而是吾人建構出來的或形成的知識。

本文的主旨不在解決上述兩種「典範」間的爭議，而擬從二者競爭的觀點，來看建構主義與科學教育進步的問題。在進行上，筆者將先從多義的建構主義出發，再將焦點落在皮亞傑 (Jean Piaget, 1896-1980) 兒童研究，從他對兒童科學迷思概念的探討歷史的背景，來看建構主義的崛起成為一種科學教育理論。由於科學知識的進步，以及愈來愈多的科學成就被編入科學教科書中，使得科學教育這條線愈拉愈長，吾人在探討科學教育進步的問題之前，將從孔恩 (Thomas S. Kuhn, 1922-1996) 《科學革命的結構》(*The Structure of Scientific Revolutions*) 一書，來分析他對科學進步的省思，認為科學家造成革命性的科學進步。隨後，尋求皮亞傑兒童研究與孔恩

對科學家發展科學的見解間的連繫，最後，從兩種「典範」競爭的觀點，來省思科學教育的進步。

## 貳、多樣的建構主義

在論介科學教育中的哲學與建構主義 (“Introductory Comments on Philosophy and Constructivism in Science Education”) 一文中，麥修 (M. Matthews) 站在學科取向的觀點，區分三種建構主義：源自兒童學習理論方面的教育建構主義 (educational constructivism)、科學哲學方面的建構主義、科學社會學方面的建構主義 (Matthews, 1997)。由於建構主義是一種異質運動 (constructivism is a heterogenous movement) (Matthews, 1994, p. 139)，科學教育理論的建構主義與其他的建構主義間存在著糾結的關係，因此，吾人有必要先了解多樣的建構主義。

對於多樣的建構主義，學者們依照不同的判準，而有不一樣的分類。譬如，古德 (R. Good) 等曾列舉了十五個用來修飾建構主義的字 (Good, *et al.*, 1993, p. 74)。在認識論的混亂與多種形式的建構主義 (“Epistemological Anarchy and the Many Forms of Constructivism”) 一文中，基朗 (D. Geelan) 從認識論的觀點，將建構主義區分為個人的建構主義 (personal constructivism)、基進的建構主義 (radical constructivism)、社會的建構主義 (social constructivism)、社會的建構論 (social constructionism)、批判的建構主義 (critical constructivism)、脈絡的建構主義 (contextual constructivism) 等六種形式 (Geelan, 1997)。<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 建構主義在發展中也產生了某些變異 (some varieties of constructivism)：語言的觀念論 (linguistic idealism)、經驗主義者或理性主義者的建構主義 (empiricist or rationalist 'constructivism') 等 (Bickhard, 1997, p. 34-38)。此外，基朗指出，他並未窮盡各式各樣的建構主義 (Geelan, 1997, p. 15)。

個人的建構主義主張知識是個體為適應環境而產生的，它是主動建構的，是個體的與適應的，而非客觀的。基進的建構主義係從個人的建構主義分出的一支。葛拉斯費 (E. von Glasersfeld) 將前述的個人的建構主義被歸為顯而易見的建構主義 (trivial constructivism)，在此之外，他提出基進的建構主義，主張知識的建構不在告訴我們任何有關“外在世界”是實在的，而只是透過經驗的意義化來達到存活的目的 (Glaserfeld, 1993; Geelan, 1997)。

社會的建構主義認為在個人的知識建構以外，不應忽略了社會因素的重要性。共識的社會效果與他人的贊同都修正個人持有的科學概念 (Solomon, 1987; Geelan, 1997)。以葛耿 (K. Gergen) 為代表的社會的建構論者 (social constructionist)，認為知識既不起於或留存於個人，也不存在於自然世界，而在於社會之內。一切知識係透過語言使用與意義生成兩種社會性的共識歷程而構成的 (Gergen, 1995; Geelan, 1997)。批判的建構主義認為，在教與學都屬於社會建構的歷程中，為技術理性所掌控的學校，教師應結合教改團體，經由溝通的行動與解放的興趣來改革既有結構，達成社會重建 (Geelan, 1997)。脈絡的建構主義主張，社會對個人知識建構的影響，主要來自文化。在文化脈絡中，學生發展與組織其概念，並使其科學見解獲得意義 (Cobern, 1993; Geelan, 1997)。

面對多樣的建構主義，學者們也提出不同的理解架構。基朗試圖採取一個二元向度的模型：個人的與社會的學習，客觀的與相對的科學本質的見解，來將這些多樣的建構主義在認識論上產生的混亂納入某種秩序中。菲力普斯 (D. Phillips) 在為多面的建構主義找出三個比較的軸向時，先處理什麼是被建構的問題。整體而言，人類的知識，包括吾人學習的各種知識體，如物理學、生物學、社會學與哲學等，吾人研究的方法與判準，都是歷經世代人類建構的內容，都是被建構的。甚至個別學習者或認知者的認知結構，都是被

建構的 (constructed) (Phillips, 1995, p. 5)。換言之，廣義精神的範疇中的觀念、經驗、信念、語言，以及學生具有的知識、教師教科書、學生學科學、課程等，也都是被建構的 (Nola, 1997, p. 57)。

首先，相對於客觀存在的外在實在而言，菲力普斯認為建構主義者主張一切人類的知識都是建構的，不論是個人的認知活動或是涉及社會因素的公共學科。其次，建構主義者常用發現 / 形成的架構，來區別古典認識論假設的外在實在與建構主義所談的被建構的。前者預設客觀實在的存在，這些外物是吾人知識的來源，因果上，它促使吾人去發現有關它的知識。因此，自然為指導者 (nature as the instructor)，知識是被發現的 (discovered)。建構主義則主張被建構的知識，不論是個人的認知活動或是涉及社會因素的公共學科，是個別認知者心智能力創造的，或是受社會政治因素影響下一群互動的認知者所形成的。因此，人類是創造者 (humans as the creator)，知識是被造出來的 (made)。第三、傳統認識論中，認識者係以旁觀者發現客體的知識；建構主義者則以參與者身份主動地形成對其有意義的知識 (Phillips, 1995, p. 7ff)。

質言之，相對於傳統的認識論，主張個人採取旁觀者的身份，以外在世界為中心的 (exogenic) 認識方式，來發現客觀實在事物的知識，建構主義在認識論方面產生了一種「典範」的遷移，主張個人採取參與者的身份，以心靈為中心 (endogenic) 的認識方式，來形成個人的或公共學科的知識。

### 參、皮亞傑與科學教育中建構主義

當建構主義在認識論方面造成的「典範」遷移之後，雖有一些從當代的觀點來探討建構主義的先驅者之作品，<sup>2</sup> 不過，回過來分

---

<sup>2</sup> 例如，Hawkins 將柏拉圖、康德、皮爾斯、詹姆士、杜威等列入建構主義的先驅人

析科學教育中建構主義源起的問題背景，特別是它與二十世紀反思兒童對自然世界的認知活動與科學家形成科學理論的認識活動中，歷史性扮演了不可或缺的角色時，建構主義之所以會在科學教育中崛起與發展，皮亞傑的認識論的建構主義 (epistemological constructivism) 常被認為是最主要的來源。

從思想史的觀點來看，皮亞傑的認識論的建構主義受到達爾文 (Charles Darwin, 1809-1882) 演化論在生物學方面的影響。在 1859 年出版的《物種源始》(*On the Origin of Species*) 總結中，達爾文提到此書將對人的起源與心理學方面產生影響。<sup>3</sup> 十二年後出版的《人類傳衍》(*Descent of Man*) 中，達爾文處理人類起源與心智演化問題。如果人類是由他種動物演化而來，人類心智與動物心智間只是程度的差異。人類為求繁衍必須在自然中求生存，達爾文認為智力雖有助於人類拓展生存活動，它只是人類在演化過程中先行直立，能夠運用雙手生產工具後的副產品。因此，在人類的演化過程中，智力的功能在幫人們適應環境，使有機體得以存活與繁衍。

另一位影響皮亞傑兒童研究的人物就是盧梭 (J. -J. Rousseau, 1712-1778)。從 1921 年開始，皮亞傑曾在日內瓦盧梭兒童教育研究中心長期任職。無疑地，盧梭倡導的兒童中心的教育思想對皮亞傑以兒童為中心的研究有很大的影響。

原先接受生物學訓練與對哲學深具興趣的皮亞傑，在 1920 年擔任西蒙 (T. Simon, 1873-1961) 助手時，曾以成人為對象發展出來的推理測驗來對兒童進行測試。在當時還不明瞭兒童智力發展與成人不同的情況下，皮亞傑卻注意到兒童答案反映出兩點有趣的現

---

物(Hawkins, 1994, p. 9-11), Nola 在介紹建構主義的哲學起源時，提到蘇格拉底、柏拉圖、維科、康德等人(Nola, 1997)。

<sup>3</sup> 「我預見未來更重要的廣闊領域將開放。心理學將建立在一個穩固的基礎上，也將由此照亮了人類的起源及其歷史。」(Darwin, 1859, p. 488)

象：一、相同年齡的兒童出現同樣的錯誤；二、隨著年齡的增長，兒童所犯的錯誤相應地也隨之變化。皮亞傑認為這些答案與兒童認識的成長有關，而開始研究兒童認識是如何形成或發展的。因此，在認識的問題上，他不像理性主義與經驗主義等傳統的認識論，重視的是知識的本質，與吾人如何證驗知識等問題，皮亞傑從生物取向，提出發生認識論 (genetic epistemology)，主張兒童對外實在的認識是發生的或歷史的 (ontogenetic or historical)，也就是在成長中或歷史中建構的。

不同於經驗主義將認知者看成只是被動地獲取知識，以不具結構的發生來記錄實在；也不同於理性主義賦與認知者結構，卻不涉及發生過程；皮亞傑吸取了康德學派的以先驗形式加諸經驗內容的建構經驗的方式，進一步以生物與心理歷程的發展，來處理康德學派的時間、空間、因果等先驗形式或結構的發展，而提出的發生認識論 (Kitchener, 1986, ch. 3)。

皮亞傑的發生認識論有三個要點：首先，生物是一個有機體 (organism)。在有機體與環境的互動中，個體為了不斷地適應環境的變化，一方面，形成內在的結構來同化 (assimilate) 外界的訊息，兒童的基模 (schema) 是對應於生物適應方式的心理結構，隨時要將所遭遇的外界訊息納入他可用的基模中；另一方面，環境的變化也會促使個體改變內在結構來調適 (accommodate) 外在環境。因此，知識的根本性質在適應 (adaption)，這是第二個特性。在同化時，心理結構處在平衡 (equilibrium) 情況，也就是保持結構的穩定狀態，來接受與適應外境。反之，當兒童既有的基模不能同化外來刺激時，就產生了不平衡的情形。為了將它們納入，兒童被迫改變他們的基模，發展出進一步的結構來達成平衡。調適就是這種轉換基模的過程。質言之，個體的心理結構在同化與調適過程中，維持其繼續不斷的平衡。平衡是他認識論中建構論的第三個特

性。

依此，知識的完成既不在客體，也不在主體，而是認識主體與環境交互作用時逐漸建構的結果。從皮亞傑進行認知結構的發展研究來看，在他探討人類智力發展的一般類型中，一端是出生的嬰兒，另一端則以偉大科學家的著作中展現的認知結構與科學理論為範例，企圖通過對不同年齡層的兒童的邏輯、科學概念發展（也包括語言、道德等發展）進行廣泛的研究，找出人類的智力或認知結構如何從出生至像極端成熟的科學家的發展類型。皮亞傑認為，這種認知結構係遵循著一種階段性的系列發生，依年齡來區分，從出生到兩歲屬於感覺動作期（*sensory-motor level*），兩歲到七歲為前運作期（*pre-operational level*），七歲至十一歲屬於具體運作期（*concrete operation level*），十一歲至十五歲為對個人所建構的知識能進行反思（*reflective abstraction*）的形式運作期（*formal operation level*）（Piaget, 1972, ch. 1）。

皮亞傑研究成長中兒童的認知結構與世界概念，清楚地反映出不同階段的兒童具有的科學概念，與教科書中展現的現代科學概念不同。在迷思概念（*misconception*）是兒童本身理解與發展出來的方面，皮亞傑提供了豐富的起始性與原創性的研究，這使他成為以兒童中心方式來探討兒童科學教育的先驅者。在皮亞傑認識論的建構主義中，學生迷思概念不但揭露了兒童科學概念或學生迷思概念不同於教科書中傳授的概念，也就是學生既有的知識基礎與現代科學概念間的差距，二者間根本的差別在於前者是認識主體歷史發展中所理解與建構的，後者則是偉大科學家成就的改寫。當日後更多的研究，發現學生或兒童儘管接受學校傳授的官方科學後，卻仍然依照他們發展出來的另類架構，來解說他們個人對自然事件的經驗，並將其意義化。換言之，在學生或兒童科學與學校或官方科學的遭遇中，學生或兒童仍然持續著他們發展出來的迷思概念，使得



迷思概念的問題處在科學教育的教育哲學之核心 (Driver & Easley, 1978, p. 61, 67-68)。

## 肆、科學進步

站在二十世紀末回顧人類的歷史發展，不難發現：從十六世紀「科學革命」以降，整體而言，人類的確處在一個科學知識快速進步的時代。不但在知識的內容上有如滾雪球般不斷地在增長，在理論方面，當迷思概念的問題處在科學教育的教育哲學之核心時，科學進步使得從兒童迷思概念轉換到當前科學概念的路，變得愈來愈長。換言之，科學進步拉大了學生迷思概念與教科書中的科學概念間的差距，因而引發了在有限的義務教育或專業教育年限中，從事科學教學裡學生科學概念改變的問題。由於科學進步引發了科學教育的問題，讓我們先對科學進步加以省思。

在二十世紀中葉開始反思科學知識是直線進步的發展以前，從古希臘開始的西方科學知識的發展，係以外在世界為中心的 (exo-genic) 認識方式，來發現事物的知識，而形成各門的公共學科。在基督教義為文化主導的時代裡，人們相信世界是造物主創造的，自然哲學家們努力去發現造物主在自然中創造的客觀普遍的律則，以榮耀造物主。十九世紀初，孔德 (Auguste Comte, 1798-1857) 從人類心靈發展的整體歷史來看人們探討自然知識的方法與階段，而提倡實證哲學。他認為人類的心靈曾運用三種方法加諸於現象之上，而產生三種一般概念系統。首先是神學階段，人類心靈運用神學方法去探究事物，以獲得現象的第一因或最終因為目的。其次是形上學階段，以內在於自然的抽象實體來取代超自然主體。實證科學階段的人類了解到人不可能獲致最終真理，不再追尋現象的最終因，轉而透過觀察、實驗與推理等實證方法，去發現存在於現象間

的法則。質言之，由於這三種一般概念系統形成三個不同且具向上性質或前進性質的階段，實證哲學居於人類思想發展的最高階段(Comte, 1970)。

在實證哲學擅揚的時代，它對於科學是如何進步的看法，成為科學家們對科學進步看法的依據。依據實證哲學，自然科學知識的進步是偉大科學家運用實證方法產生的成就，在時間歷程中逐漸累積而成的。這種直線累積的進步觀雖然有些素樸，不過，直到二十世紀後半，科學哲學家提出不同的看法以前，它卻是科學家們廣為接受的科學發展見解，並具體地展現在科學教科書中，用來訓練未來的科學家。

1962年，孔恩出版了《科學革命的結構》一書，在個人身受實證哲學影響的科學教育的經驗中，表達出他對科學發展是直線累積進步的省思(Kuhn, 1970; 徐光台, 1997)。孔恩從1939年進入哈佛大學物理系，隨後在原校繼續攻讀碩士，接著在1949年以單鍵金屬聚合能量和原子量子缺失的關係(“The Cohesive Energy of Monovalent Metals as a Function of Their Atomic Quantum Defects”)論文獲博士學位，他接受的就是這種物理方面專業教育的訓練。可是，當1947年孔恩應哈佛大學校長康南特之邀，為大學部非主修科學的學生講授「十七世紀的力學史」通識教育課程時，在找尋伽利略與牛頓的先驅者對力學問題的看法時，他接觸到亞里斯多德物理學。身為一名物理專業人才的受教者，孔恩最初以牛頓力學的看法來閱讀亞里斯多德物理學著作，也就是用後來較成熟的科學去了解更早的科學，令他遭遇到相當大的困惑。後來他從皮亞傑的兒童研究中，學得解讀亞里斯多德物理學的方式，轉而幫助他了解過去的許多科學作品。這個轉變使他以科學史為科學哲學的思考素材，探討科學發展或科學變遷的問題，提出一個與過去直線累積的進步觀不同的說法，認為偉大科學家造成科學知識的進步，不全是逐漸

緩慢的改變，而是一種革命性的結構轉變 (Kuhn, 1970; 徐光台, 1998)。

孔恩認為，科學的發展在遵循當時專業性研究所接受為最高指導原則的「典範」(paradigm)，去解決疑難或問題，也就是進行「常態科學」(normal science) 的研究活動。當科學發展在遇到「異例」時，科學家們開始對常態科學所遵循的典範抱著不滿的態度，「常態科學」的研究則過渡到「非常科學」(extraordinary science) 時期，形成科學發展的危機。最後出現一位採取新方式來看世界的科學家，提出一個新世界觀，逐漸為科學家們組成的科學社群 (scientific community) 所接受，而形成一個新的典範。依此，孔恩所提出的「科學革命史觀」，科學的發展是新世界觀革命性地取代了舊世界觀，因而科學發展是一個不連續的發展歷程。

如果回到歷史中去看，在十九世紀初，或更早以前，在科學發展尚未愈來愈依賴教科書時，亞里斯多德 (Aristotle, 384-322 B.C.) 的《物理學》(Physics)、托勒密 (Ptolemy, ca.100-ca.170) 的《天文學大成》(Almagest)、牛頓 (Isaac Newton, 1642-1727) 的《自然哲學的數學原理》(Philosophiae Naturalis Principia Mathematica) 與《光學》(Opticks)、富蘭克林 (Benjamin Franklin, 1706-1790) 的《電學的實驗與觀察》(Experiments and Observations on Electricity)、拉瓦錫 (A. -L. Lavoisier, 1743-1794) 的《化學基礎論》(Traité élémentaire de chimie)、萊爾 (Charles Lyell, 1797-1875) 的《地質學原理》(Principles of Geology) 等作品，曾經既是科學成就具體的展現，也為後繼的研究者循其成就解決問題時，須要參考閱讀的科學經典之作 (Kuhn, 1970, p. 10)。然而，為什麼吾人看不到科學革命呢？孔恩以其接觸到過去偉大科學家作品的覺醒經驗，發現常態科學的科學教育，使得教育者可以將一套讓我們深信不疑的科學見解，含藏在科學教科書裡，掩飾了科學結構歷史演進中的科學革

命。因此，在《科學革命的結構》這本省思與探討科學發展或進步的書中，他明白地表示「教科書在許多基本方面誤導了我們。」教科書讓我們認為「科學的發展為一個累積的過程；事實、理論、或方法或單獨或成組地加入日漸成長的科學技術與知識堆棧中。」(孔恩, 1994, p. 44)

當一個科學革命發生後，新典範成為常態科學所依據的典範時，原先在延續舊典範支配下常態科學的科學教科書，在重新改寫以延續新典範主導下的常態科學時，不可避免地會掩飾科學革命的發生。不過，通常教科書會在導論中提供一個簡縮的歷史，只保留對現在仍有貢獻的過去科學成就的部分。因此，只編入那些對當前典範仍有重大貢獻的過去科學成就，使得教科書中呈顯的「結果造成了一種持續的傾向，企圖使科學史看來像是直線發展的或累積性的。」(Kuhn, 1970, p. 137-140)

由於吾人採用教科書做為延續常態科學的主要教學工具，來訓練、培養或產生未來的專業科學家，這種以教科書訓練為主的科學教育，深刻地影響到受這種科學教育的學生對科學發展的看法，使他們在學習幹他那一行的本事時，也說服和教導他們接受科學發展是一個直線累積進步的過程。

## 伍、兒童與科學家

孔恩在科學進步方面的省思與學童科學教育間有何關連呢？乍看之下，似乎無直接關連。但是，個人認為，吾人可在二者間發現深具蘊意的關連。從科學概念發展的理論面來看，身為個人建構主義者的皮亞傑，將研究的重心放在兒童科學概念上，凸顯出兒童有其迷思概念；孔恩是社會建構主義者，強調的則是科學理論在某位科學家革命性地發現後，在科學社群中擴散，為其他科學家接納與

推廣。<sup>4</sup> 從科學教育的實際面來看，二者間的連繫，正如孔恩所指出的，過去許多產生新典範的偉大科學家成就被改寫於科學教科書中，成為學生學習科學的主要工具。因此，教科書將學童與產生新典範的偉大科學家連繫起來。所以，本節將探討皮亞傑的兒童研究與孔恩科學發展間的連繫。

皮亞傑在研究兒童科學概念的發展時，曾借助於科學史與復演說 (recapitulation theory)，認為在兒童或一般學生在科學發展上的發展與偉大的科學家在科學發展上的發展間，存在著一種平行的關係。換言之，個人科學概念的發展重演了過去科學概念的發展。他對發生認識論與人類的科學思想演進間的關連，具有非常深刻的關切。譬如，他和另一位重視認識論的物理學者葛其雅 (Rolando Garcia) 合作，兩人從 1967 年起研究發生認識論在階段間的轉換機制 (transitional mechanism) 與人類的科學思想在歷史期間演進的轉換機制，探討二者間存在著類似的關係。1983 年以法文發表為《發生認識論與科學史》一書，經費德爾 (H. Feider) 翻譯為英文，六年後 *Psychogenesis and the History of Science* 問世。

事實上，皮亞傑所基於的類比，其目的在借用科學史中科學思想概念的發展來探討兒童具有不同的世界觀，及其轉換歷程，並以兒童的世界觀及其轉變歷程來反映兒童認知發展有其結構與轉變歷程。在他早期的作品《兒童的世界表象》(*The Child's Conception of the World*) 與《兒童的物理因果概念》(*The Child's Conception of Physical Causality*) 中，就選擇了古代西方的科學概念，特別是亞里斯多德的物理概念，來說明某些階段兒童物理概念的發展。在《兒童的物理因果概念》與《兒童的運動與速度概念》(*The Child's Conception of Movement and Speed*) 中，透過他對兒童物理概念的

---

<sup>4</sup> 孔恩被視為是社會建構主義運動的先驅者，帶動了科學知識社會學的發展 (Golinski, 1998, p. 13-27)。

研究，也反映出他對兒童智力發展階段的看法（徐光台，1998，p. 232-239; Piaget, 1960; 1965; 1971）。而他真正的興趣在探討人類的智力或認知結構如何從出生發展至像偉大科學家的一般發展階段。質言之，在此一問題上，偉大科學家的著作中展現的認知結構與科學理論是前者發展過程中趨向的極端或「理想類型」。

相對於皮亞傑從借用科學史中包括亞里斯多德在內的科學思想概念的發展，進而探討兒童具有不同的世界觀及其轉換歷程，並以兒童的世界觀及其轉變歷程來反映兒童認知發展有其結構與轉變歷程；孔恩也是從了解亞里斯多德物理概念開始，進而探討科學發展的整體結構。1971年在一場皮亞傑致詞的有關發生認識論的會議中，孔恩發表「物理學發展中的因果概念」一文，指出皮亞傑研究兒童物理概念和古代的科學家所具有的概念非常相似。皮亞傑藉著包括亞里斯多德物理學在內的古代科學家概念，來闡明兒童的物理概念；而對了解科學史有興趣的孔恩，則驕傲地承認，他反過來藉著皮亞傑的兒童研究來了解亞里斯多德物理學。

幾乎是在二十年前的同一時期，我初次發現到科學史的智識興趣和皮亞傑的心理學研究。從那時開始這兩方面在我的內心與工作上有密切的相互影響。透過檢查皮亞傑對兒童提出問題，使我部分地了解到如何對死去的科學家提出問題。我清楚地記得在我與誇黑 [A. Koyré] 初次會晤時，我是如何領悟到此一影響。我告訴他，我是從皮亞傑的兒童研究才了解亞里斯多德的物理學。他認為亞里斯多德的物理學教會他了解皮亞傑的兒童，此一反應更證實了我所知二者間關係的重要。即使在一些吾人有不同看法的領域，例如因果性概念，我也驕於承認皮亞傑對我有難以磨滅的影響。(Kuhn, 1977: 21-22)

孔恩在透過皮亞傑的兒童研究學會解讀亞里斯多德物理學之

後，反過來參考皮亞傑研究兒童所具的不同世界觀及其轉變歷程，與其後的認知結構，以一種逆向的關係，反轉過來將其借用到科學史中科學發展有不同世界觀及其轉變歷程，和其後面的科學發展的結構上去，因而在《科學革命的結構》中，反映出科學的整體發展有結構的轉變（徐光台，1998）。

從皮亞傑與孔恩兩人對「結構發展與轉變」展現了高度的興趣，吾人發現，「發展的歷史性」是他們作品中一個特別值得注意的重點。個人認為，在皮亞傑以兒童為對象，來探討人類智力發展，追尋具有實證傾向的認知發展結構的一般階段裡，他也肯定了兒童是歷史發展中的認知建構主體的特性。當迷思概念的問題處在科學教育的教育哲學之核心時，皮亞傑的兒童研究，使得十八世紀後半盧梭開始倡導兒童中心的教育思想，在兒童學習科學或世界概念的歷史過程中，在確立學童經驗方面，找到一個穩固的著力點。

另一方面，就像皮亞傑取法於偉大科學家的認知結構發展，企圖找出人類的智力如何從出生至像極端成熟的科學家的發展類型，孔恩在《科學革命的結構》這本科學哲學代表作中，似乎也在找尋科學的「結構發展與轉變」。不過，從他指出偉大科學家提出新世界觀，帶動科學理論的變遷或典範的轉換活動，使得科學家的理論建構或新典範在歷史的開顯下呈現開放的狀態。依此，皮亞傑所落入的形式性的臆測，預設偉大科學家的著作中展現的認知結構與科學理論，也就是學童發展過程中趨向的極端或「理想類型」，在這方面，孔恩以偉大科學家的理論建構或新典範的提出，造成科學理論的變遷或典範的轉換的歷史過程的發展，並以歷史實例來充實，而將此一極端轉為開放的狀態。

更重要的是，孔恩指出偉大的科學家是新典範的提出者，其成就被改寫在教科書中，成為學童學習科學的主要工具。如果偉大科學家造成科學知識的進步，不是逐漸緩慢的改變，而是革命性的轉

變，這種科學進步見解的轉變，對科學教育產生的問題，在於皮亞傑指出學童有其迷思概念，這是他們學習科學或世界概念的歷史過程中的經驗基礎。而科學發展經歷不止一次的革命，它們革命的成就又被改寫在教科書中，這樣的科學進步使得兒童從其迷思概念轉換到當前科學概念的路，變得愈來愈長與愈為曲折。換言之，具有迷思概念的兒童或學生，在既有科學概念的基礎上，要發展或轉變為現代科學的概念，學生似乎需要經歷超過一次以上的概念革命轉變。

雖然，皮亞傑用格式塔轉換 (gestalt switch) 來類比兒童認知結構的轉換，孔恩也引用格式塔轉換來類比偉大科學家產生的科學理論或典範的變遷，但是，皮亞傑在處理兒童認知時，建立的有機體為適應環境而建構知識，為達成平衡而調適認知結構，以及他對孔恩處理偉大科學家造成的科學理論變遷的影響，他們的一些概念，例如，調適、異例等，被用在科學教育上，為處理介於學生既有概念與正式教育所教概念間的轉變問題，提供了思考觀念的動力 (Posner, *et al.*, 1982; 郭重吉, 1992, p. 556-561)。以科學革命為實例來研究概念革命的沙加 (Paul Thagard)，在分析物理學、化學、生物學、地質學方面的七個科學革命前後的概念革命後，指出造成科學革命的發現歷程，有受實驗或觀察所驅 (data-driven)，有的為一致性所驅 (coherence-driven)，係以發現新理論方式來取替舊理論；學童則是透過教學來發展新理論和取替舊理論 (Thagard, 1992)。「在科學家與兒童中的概念改變」專章中，曾將皮亞傑提到的個體復演群體的說法，從內容、結構與機制三方面加以分析。他認為兒童不可能經歷過歷史上科學家們的階段；在結構上經歷類似的概念改變或重組，是有可能的；至於兒童認識改變的機制與科學家相似，這是有可能為真的 (Thagard, 1992, p. 259-260)。



## 陸、科學教育的進步

如果處在科學進步時代的孔恩，在《科學革命的結構》中，能夠對與常態科學教育連繫在一起的直線科學進步觀加以省思，主張偉大科學家造成科學知識的進步，不是逐漸緩慢的改變，而是革命性的轉變，為什麼我們不能對科學教育的進步加以省思呢？相應於孔恩這種科學進步見解的典範轉變，建構主義做為科學教育的新典範，也影響到科學教育進步的看法。

雖然從十六世紀「科學革命」以降，人類的確處在一個科學知識快速進步的時代，教育在進步，涉及科學知識教學的科學教育也在進步。從整體的人類歷史來看，人類的科學知識、教育與科學教育都在進步，吾人應如何來看待科學教育進步的問題呢？科學的進步與科學教育的進步有何關係？何謂科學教育的進步？有何稱的上是進步的轉變呢？個人認為，科學教育中的建構主義可帶來以下六點的進步：

首先，在傳統科學教育的外在目的以外，建構主義合於科學教育的內在的目的。科學教育也可以是人性的開展，據筆者所知，到目前為止，似乎很少文章討論科學教育中建構主義的教育目的。

在科學教育方面，從古希臘的柏拉圖學園 (Academy)，亞里斯多德的萊西姆 (Lyceum)，經由中世紀崛起的大學，以及「科學革命」對工業化產生的影響，到十九世紀科學知識在中小學的普及以前，重視的是高等教育方面的科學知識傳遞的教育。十九世紀後半斯賓塞 (Herbert Spencer, 1820-1903) 將科學知識納入人類教育中最有用的知識範圍內，科學知識的普及，逐漸成為官方科學推展的目標。在將科學知識在中小學加以普及的過程中，學校科學在確認其地位的過程中，也曾為大學宰制過。國際間武器競賽、太空科學的競爭，也影響科學課程的改革 (Deboar, 1991)。質言之，從十九

世紀開始注重科學教育在中小學的推廣，以發展科學知識為目標時，傳統上認為科學教育有進步，目的在於能培育更多優秀的科學家來發展科學，以促進科學進步。

可是，借用被歸為建構主義先驅者的杜威 (John Dewey) 的教育目的見解，這種以能培育更多優秀的科學家來發展科學，來促進科學進步為目的的想法與做法，可說是一種外在目的，而不是追求科學教育的本身目的。相對地，借用杜威的教育目的見解，教育過程是一個繼續不斷的重組、重建與轉型的發展或生長過程，科學教育的目的，可說是以兒童科學經驗或概念的成長為目的，才符合科學教育的內在目的 (杜威，1996, ch. 4)。

從科學教育的內在目的來看，今日義務教育使得任何人都可在義務教育階段接受科學教育，提倡的「有教無類」，或許只是一種機會上的提供，雖然結合了傳統上「有教無類」的教育理想，不過，不同於傳統上強調「教育者」偉大教化的「有教無類」的教育理想，而係就科學教育的內在目的來尋求兒童自然知識的成長。只是過去人性的假設多著重普遍性的一面，就像皮亞傑認識發生論中，以偉大科學家的結構為兒童發展結構發展的所趨，事實上，兒童們如果像建構主義所預設的主動建構的主體，他們之中只有極少數會在日趨遠離經驗世界的探究中，成為科學家，遑論大眾成為偉大的科學家。因此，吾人須從人們具有不同的氣質或性情 (temperament) 這個基本事實出發。

研究人們的氣質 (temperament) 與性向的凱西與貝茲 (Keirsey & Bates)，將人們的氣質與性向歸類為四個相對的類型：外向 (Extraversion, 簡稱 E 型) 內向 (Introversion, 簡稱 I 型)、直覺 (Intuition, 簡稱 N 型) 感覺 (Sensation, 簡稱 S 型)、原則導向 (Thinking, 簡稱 T 型) 人際導向 (Feeling, 簡稱 F 型)、判斷 (Judging, 簡稱 J 型) 知覺 (Perceiving, 簡稱 P 型)。其中，外向

的人 (E 型) 喜歡與人接觸，基本上具有社會性；內向的人 (I 型) 基本上以個人心靈所思為處理的界域。直覺強的人 (N 型) 不重現實，而重想像與可能改變的事件；感覺型傾向的人 (S 型) 偏重感覺與眼見的事實，重視發生的事件，透過經驗學習。原則導向的人 (T 型) 會不以人際為考量的基礎，而重原則；人際導向的人 (F 型) 則以人際考量的基礎，情感為重。判斷型的人 (J 型) 會定一個時刻，並準時決斷；知覺型的人 (P 型) 則傾向於開放，等待更多的資料，而不遽下決定。由於在外向 內向的類型中，內向者約為四分之一，同樣的情況也發生在直覺 感覺的類型中，直覺者約為四分之一。另外，在原則導向 人際導向、判斷 知覺兩對類型中，原則導向者與判斷者約為一半。適合成為科學專業研究的人，他的氣質或性情是 INTJ 型，約占六十四分之一，不到年百分之二 (Keirse & Bates, 1973)。

如果吾人將科學教育的學習者依成長形成一個金字塔般的人群聚合體，底部是義務教育中的科學教育學習者，中間為未來知識傳播者的學習者，頂端則是在未來成為專業科學家 (包括偉大的在內) 的學習者。就好比義務教育階段提供所有學童各類運動的學習，形成一個金字塔形的底部。在獲得機會的學習過程中，個人會因其自身的方式對運動有不同的見解，也因表現的不同而認清自己是否具有運動專長，是否適合往體育專業發展。即使不適合往體育專業發展，也可成為球迷，欣賞專業者的表現。繼續往上發展的學習者，絕大部份成為體育知識與技能的傳播者，最上端才是專業或職業運動選手。類似地，義務教育提倡的科學教育或許只是一種機會上的提供，使得任何人都可在義務教育階段接受科學教育，建構其對世界的理解。至於個人能否從兒童生活經驗世界的科學概念轉變為理解現代科學家所構成的理論，並進而創造新的理論，也可以因表現的不同而認清自己是否具有科學方面的潛力。即使後來自己覺察到

要從兒童生活經驗世界的科學概念轉變為理解現代科學家所構成的理論上有困難，但是，透過建構主義的教學，他也可成為科學發展的欣賞者，而整個人群型成一個金字塔形，中間為未來知識傳播者的學習者，最上端是專業科學家中最傑出的一群。依此，吾人雖為一切兒童提供科學教育的機會，也考慮因氣質之性而發展的科學教育，較符合科學教育的內在目的。

其次，吾人能從成人對受教者施教的觀點，轉換到學習者的觀點，來面對學習科學知識過程中經歷的概念變遷問題，這種兒童中心或學習者中心的科學教育的發展，就是科學教育的一大進步。麥修在《論介科學教育中的哲學與建構主義》一文中提到，如果傳統科學教師與建構主義者教同樣的教材，發現學生科學概念與現代科學概念間不合時，建構主義的教師會說，這是不完美的建構，而傳統的科學教師則認為，這是學生注意力不集中、缺乏適當的準備與不完全的領悟造成的 (Matthews, 1997: 14)。相對於傳統科學教師歸因於學生負面的因素，建構主義者會以面對問題來替代責難，針對學習者的迷思概念與正式教育不合處，積極地進行概念改變的研究與教學。個人認為，這是科學教育史上的一大進步。

第三，傳統上從科學教育的外在目的來看，成人觀點主導下推展的科學教育，在傳統的科學教育者眼中，教學主要的活動是將依照現代科學發展編定學習的內容，也就是將既有科學知識輸入 (transmit) 學生的腦海中。老師多以靜態的眼光來考量學習者與學習內容，視學習者與學習內容是分離的與固定的 (Prawat, 1992, p. 361ff)。科學知識的教學就像傳統教學一樣，重點在學科知識的學習次序，而不在學生具有知識的發展與轉變。相對地，在皮亞傑以兒童對世界的概念及其發展的研究影響下，使兒童科學獲得科學教育界的關注後，科學教育的重心開始移向兒童中心觀點。基於建構主義在認識論方面「典範」的轉移，科學教育中的建構主義偏向以

兒童或學習者為中心的觀點，來面對科學概念改變的問題。

第四，從科學的進步到科學教育的進步是一種認識論上的轉變。相較於直線累積的進步觀，孔恩在《科學革命的結構》中，認為每次科學進步都始自科學革命，而科學革命又出自提出新典範者以一種不同的方式來看世界。類似地，在科學教育進步方面，相較於過去偏向以被動吸納或接受來看兒童認識能力，建構主義者提供了一種新的方式，來看學生在學習自然知識時，不但具有自身經驗的迷思概念，也擁有主動建構知識的能力。

在人類的認識能力方面，古希臘開始強調理性是人所特有的認知能力，士林哲學重視推理與論辯的訓練，及至「科學革命」，身處機械論思想流行的年代，洛克 (John Locke, 1632-1704) 將人類認識能力視為反思的對象，運用分析的方法來探究知識的起源，主張外物在人身留下的感覺，所生的簡單觀念是知識的根本來源，再經由內感官 (的理性) 形成複雜觀念。依此，在接受外物加諸的感覺上，人心的作用有如白版 (tabula rasa)。在自然科學影響下的心理學，當牛頓為自然哲學提出典範性的巨作《自然哲學的數學原理》後，赫爾巴特 (J. F. Herbart, 1776-1841) 將牛頓力學的概念引用到統覺說中，以力的引拒作用來說明新觀念與舊觀念間在意識與潛意識形成的觀念力學的關係 (Leahey, 1992, p. 168-169)。在此一統覺說的心理學基礎上，赫爾巴特試圖將教育學建立成為一門科學，而開啟了教育科學的研究。

二十世紀時，皮亞傑提出認識發展論，認為有機體與環境的互動中，個體為了不斷地適應環境的變化，以內在的結構來同化外界的訊息，也相應於環境的變化，改變內在結構來調適。因此，不同階段的兒童具有不同的認知結構與世界概念，反映出與教科書中展現的現代科學概念不同科學概念。他不再認為兒童只是有待塑造的對象，肯定學生具有科學迷思概念，也具有內在主動建構的能力。

對科學教育而言，此一觀點提供了一種新的方式來看學童科學概念的發展。

第五，從建構主義的觀點來實施科學教育，有助於師生關係的發展。在師生關係方面，科學教育中的建構主義與傳統科學教育有不同的處理方式。傳統科學教育最重要的任務在傳輸科學知識，科學教育中的建構主義會兼及一些看起來與傳輸科學知識不是直接相關的部分。例如，從權威擴散或下放的觀點來看，科學教育中的建構主義也代表著進步。傳統科學教育中，教師經過某種專業訓練以求精通教科書的內容，而成為學校／課堂上科學知識的權威。身為知識權威的代表，教師決定教什麼，將學生視為操作的對象，而不在意學生是否參與。建構主義者的主要任務在使學生主動學習，邀約學生參與對話，增重學生在課堂的角色，下放或擴散傳統科學教師的權威。學生從被操作的對象，轉變為對話關係中的主體 (Gergen, 1995, p. 30ff)。此外，在權威擴散，尊重學生，建立良好對話的情形下，這種建構主義者的教學也活化了師生關係 (Gergen, 1995, p. 33ff)。

第六，在科學與民主方面，科學教育中的建構主義與傳統科學教育也有不同的見解。傳統科學教育似乎將科學視為一個孤立的領域，最重要的任務在傳輸科學知識的內容，訓練科學思考方法；建構主義者的科學教育，透過對話鼓勵學生參與，提出自己的觀點與經驗，表達與說服的過程，這種互動有助民主社會的推動。馬克斯 (John Marks) 曾比較美國、德國與蘇聯的科學發展與政治，他發現：美國的科學社群與一般社會團體共享容忍、個人自由與資訊的自由等類似價值 (Marks, 1983, p. 365-366)。科學教育中建構主義的崛起，顯然與多元民主社會有密切的關係，不過，它反過來會有助於民主社會的推動。科學教育中的建構主義似乎在將這類價值透過科學教育來延續與擴展。

## 柒、結語

科學教育中的建構主義是西方社會建構下的產物。它不是素樸地與任意地建構，而是在發現兒童的迷思概念，及其抗拒根據傳統認識論來從事的科學教育後，針對概念改變問題，進行研究，提出的理論或形成的「典範」。

科學是人類在歷史文化情境下的創造努力成果，不同文化有不同的科學傳統 (Needham, 1954-; Sarton, 1927-)。如果不同文化有不同的科學傳統，現代科學教育又以西方科學進行為一切人的科學教育，因而產生了西方現代科學與不同文化中各自傳統科學是否可以在科學教育中相容的問題。麥修在「論介科學教育中的哲學與建構主義」一文中，站在評介建構主義的立場，提到一個理論的考慮，認為西方科學只是許多同樣地具有保證性地將經驗意義化的方式之一，因此，義務教育中的科學教育是否要以西方科學為唯一的科學，進行為一切人的科學 (Science for All)，值得再思 (Matthews, 1997, p. 14)。雖然他並未提出繼續的討論，筆者擬就他在《科學史與科學哲學在科學教學中的角色》(Science Teaching: The Role of Philosophy and History of Science) 一書中，曾在不同的兩章中，分論「建構主義與科學教育」和「多元文化的科學教育」(Matthews, 1994)，開展下列四個值得討論的問題。

首先，從面對現代科學的挑戰來看，傳統科學似乎難以被當成現代科學來開展。不過，在當代多元文化的情境中，傳統科學也應被承認 (Matthews, 1994, p. 198)。個人認為，雖然，現代西方科學在技術上證明了它的優越性，但是，與其不同的科學也是某些社會在早期文化努力創造的成果。它們在文化的脈絡上，較合於該社會的生活經驗世界。更何況人們中只有極少數會日趨遠離經驗世界的探究，成為科學家。因此，在科學教育中仍有保留多元文化的科

學教育之必要。吾人或許可在文化史、科學史等與文化意義構成的學科中介紹傳統科學的發展與意義。

其次，西方社會在科學發展過程中，歷經多次概念革命，學童的迷思概念與被納入教科書中科學革命的成就間的距離，明顯地愈拉愈長，有些學科甚至需要超過一次以上的概念改變。這樣的情形，不但造成學童在概念改變上的困難，即使對在同一個西方文化下成長的教師，也是前所未有的挑戰。如果他們未曾經歷過世界觀的轉換或概念革命，他們如何能夠幫助學童經歷世界觀的轉換或概念革命呢？事實上，科學史與科學哲學等科學研究，為這方面補充了大量的題材，通過師資培育課程，有助於加強教師在這方面的認識 (Matthews, 1994)。

第三，由於我國的科學傳統並沒有產生現代科學，也沒有經歷過西方的科學革命，而是將西方科學移植於一個具有傳統科學的社會。中西兩種科學文化的遭遇，也反映在科學教育上。譬如，研究西方現代科學在第三世界科學教育影響的學者指出，將西方科學引入第三世界的教師，不但要在一個外來文化的脈絡中教學科學，還需要知道自身傳統的科學思考與對自然的見解 (Cobern, 1993, p. 56)。中西世界觀的並存，相對於西方科學發展，傳統自然哲學中可能孕育著吾人的科學迷思概念。換言之，在不同文化下發展的不同科學與學童的科學概念發展，若依照皮亞傑的平行主義的預設，學童的迷思概念也會有所差異。教師可能需要了解兒童來自傳統科學中的迷思概念。這方面值得進一步的探討與研究。

第四，相對地，整體而言，缺乏認識論傳統的吾人社會，雖有自身的自然哲學傳統，但是，在明末清初面對耶穌會士引入外來西學的衝擊下，於清末民初轉而擁抱西方科學，百年來的努力多花在引入與理解西方理論。過去數十年來，教育哲學的研究，也多偏於外來教育哲學或理論的引介，科學教育中的建構主義的引介，似乎



也難外於此一趨勢，面臨的仍是學術本土化的問題。

徐光台先生現為國立清華大學通識教育中心與歷史研究所教授。台灣師範大學教育研究所碩士，美國奧克拉荷馬大學科學史系哲學博士。專長學科為西洋科學史、中國科學史、科學史與科學教育。最近著作計有 (1) 儒學與科學：一個科學史觀點的探討，〈清華學報〉，新 26 卷第 4 期 (1996 年 12 月)，頁 369-392；(2) Kuhn《結構》中所談的科學教育——兼論 Siegel 與 Brush 的爭議，〈科學教育學刊〉，第 5 卷第 3 期 (1997 年 9 月)，頁 391-418；(3) 明末西方四元素說的傳入，〈清華學報〉，新 27 卷第 3 期 (1997 年 9 月)，頁 347-380；(4) 利瑪竇《天主實義》中的格物窮理，〈清華學報〉，新 28 卷第 1 期 (1998 年 3 月)，頁 47-73；(5) 皮亞傑對孔恩《結構》之影響，〈歐美研究〉，第 28 卷第 2 期 (1998 年 6 月)，頁 215-264。

## 參考書目

- 孔恩著，程樹德、傅大為等譯，民國 83 年，《科學革命的結構》。  
台北：遠流出版社。
- 杜威著，林玉体譯，民國 85 年，《民主與教育》。台北：師大書苑。
- 徐光台，民國 86 年，Kuhn《結構》中所談的科學教育 兼論 Siegel 與 Brush 間的爭議，《科學教育學刊》，第五卷第三期，頁 391-418。
- \_\_\_\_\_，民國 87 年，皮亞傑對孔恩《結構》的影響，《歐美研究》，第二十八卷第二期，頁 215-264。
- 郭重吉，民國 81 年，從建構主義的觀點探討中小學數理教學的改進，《科學發展月刊》，第二十卷第五期，頁 548-570。
- Aristotle. 1984. *The Complete Works of Aristotle: The Revised Oxford Translation*. 2 vols. Edited by Jonathan Barnes. Princeton: Princeton University Press.
- Bickhard, Mark H. 1997. "Constructivisms and Relativisms: A Shopper's Guide." *Science and Education*, Vol. 6, pp. 29-42.
- Cobern, William W. 1993. "Contextual Constructivism: The Impact of Culture on the Learning and Teaching of Science." Pp. 51-69 in *The Practice of Constructivism in Science Education*, edited by Kenneth Tobin. Washington, D.C.: AAA Press.
- Comte, Auguste. 1970. *Introduction to Positive Philosophy*. Edited with revised translation by Frederick Ferré. Indianapolis and New York: Bobbs-Merrill.
- Darwin, Charles. 1859. *On the Origin of Species*. London: John Murray.
- DeBoer, George E. 1991. *A History of Ideas in Science Education: Implications for Practice*. New York: Teacher College, Columbia University.
- Driver, Rosalind, Edith Guesne, and Andree Tiberghien, eds. 1985.

*Children's Ideas in Science*. Milton Keynes, Philadelphia: Open University Press.

- Driver, Rosalind and Jack Easley. 1978. "Pupils and Paradigms: A Review of Literature Related to Concept Development in Adolescent Science Students." *Studies in Science Education*, Vol. 5, pp. 61-84.
- Fensham, P. J., R. Gunstone, and R. White, eds. 1994. *The Content of Science: A Constructivist Approach to Its Teaching and Learning*. London: Falmer.
- Fosnot, Catherine Twomey, ed. 1996. *Constructivism: Theory, Perspectives, and Practice*. New York: Teacher College, Columbia University.
- Geelan, David R. 1997. "Epistemological Anarchy and the Many Forms of Constructivism." *Science and Education*, Vol. 6, pp. 15-28.
- Gergen, Kenneth J. 1995. "Social Construction and the Educational Process." Pp. 17-39 in *Constructivism in Education*, edited by Leslie P. Steffe and Jerry Gale. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Glaserfeld, Ernst von. 1989. "Cognition, Construction of Knowledge, and Teaching." *Syntheses*, Vol. 80, No. 1, pp. 121-140.
- \_\_\_\_\_. 1993. "Questions and Answers about Radical Constructivism." Pp. 23-38 in *The Practice of Constructivism in Science Education*, edited by Kenneth Tobin. Washington, D.C.: AAAS Press.
- \_\_\_\_\_. 1995. "A Constructivist Approach to Teaching." Pp. 3-15 in *Constructivism in Education*, edited by Leslie P. Steffe and Jerry Gale. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- \_\_\_\_\_. 1996. "Introduction: Aspects of Constructivism." Pp. 3-7 in *Constructivism: Theory, Perspectives, and Practice*, edited by

- Catherine Twomey Fosnot. New York: Teacher College, Columbia University.
- Golinski, Jan. 1998. *Making Natural Knowledge: Constructivism and the History of Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Good, Ronald G., James H. Wandersee, and John St. Julien. 1993. "Cautionary Notes on the Appeal of the New 'Ism' (constructivism) in Science Education." Pp. 71-87 in *The Practice of Constructivism in Science Education*, edited by Kenneth Tobin, Washington, D.C.: AAAS Press.
- Hawkins, David. 1994. "Constructivism: Some History." Pp. 9-13 in *The Content of Science: A Constructivist Approach to Its Teaching and Learning*, edited by P. J. Fensham, R. Gunstone, and R. White. London: Falmer.
- Keirse, David and Marilyn Bates. 1973. *Please Understand Me: Character & Temperament Types*. New York: Prometheus Nemesis.
- Kitchener, Richard F. 1986. *Piaget's Theory of Knowledge: Genetic Epistemology & Scientific Reason*. New Haven: Yale University Press.
- Kuhn, Thomas S. 1970. *The Structure of Scientific Revolutions*. 2nd enlarged edition. Chicago: University of Chicago Press.
- \_\_\_\_\_. 1977. *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. Chicago and London: University of Chicago Press.
- Leahey, Thomas Hardy. 1992. *A History of Psychology: Main Currents in Psychological Thought*. 3rd ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Marks, John. 1983. *Science and the Making of the Modern World*. London: Heinemann.
- Matthews, Michael R. 1994. *Science Teaching: The Role of Philoso-*

- phy and History of Science*. London: Routledge.
- Matthews, Michael R. 1997. "Introductory Comments on Philosophy and Constructivism in Science Education." *Science and Education*, Vol. 6, pp. 5-14.
- Needham, Joseph. 1954. *Science and Civilisation in China*. 7 vols. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nola, Robert. 1997. "Constructivism in Science and Science Education: A Philosophical Critique." *Science and Education*, Vol. 6, pp. 55-83.
- Phillips, D. C. 1995. "The Good, the Bad, and the Ugly: The Many Faces of Constructivism." *Educational Researcher*, Vol. 24, No. 7, pp. 5-12.
- Piaget, Jean. 1960. *The Child's Conception of Physical Causality*. Totowa, N.J.: Littlefield, Adams & Co. Originally published in Paris as *La causalité physique chez l'enfant* by Alcan in 1927. First published in English by Routledge and Kegan Paul, London in 1930.
- \_\_\_\_\_. 1965. *The Child's Conception of the World*. Translated by Joan and Andrew Tomlinson. Totowa, N.J.: Littlefield, Adams & Co. Originally published in Paris as *La représentation du monde chez l'enfant* by Alcan in 1926. First published in English by Routledge and Kegan Paul, London in 1929.
- \_\_\_\_\_. 1971. *The Child's Conception of Movement and Speed*. Translated by G. E. T. Holloway and M. J. Mackenzie. New York: Ballantine Books. Originally published in Paris as *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant* by Presses Universitaires de France in 1946.
- \_\_\_\_\_. 1972. *The Principles of Genetic Epistemology*. Translated by Wolfe Mays. New York: Basic Books.
- Piaget, Jean and Rolando Garcia. 1989. *Psychogenesis and the His-*

- tory of Science*. Translated by Helga Feider. New York: Columbia University Press. Originally published in Paris as *Psychogenèse et histoire des sciences* by Flammarion in 1983.
- Posner, George J., Kenneth A. Strike, Peter W. Hewson, and William A. Gertzo. 1982. "Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change." *Science Education*, Vol. 66, No. 2, pp. 211-227.
- Prawat, Richard S. 1992. "Teachers' Beliefs about Teaching and Learning: A Constructivist Perspective." *American Journal of Education*, Vol. 100, No. 3, pp. 354-395.
- Sarton, George. 1927-1948. *Introduction to the History of Science*. 3 vols. in 5 parts. Baltimore: Williams & Wilkins, Co.
- Solomon, Joan. 1987. "Social Influences on the Construction of Pupil's Understanding of Science." *Studies of Science Education*, Vol. 14, pp. 63-82.
- Steffe, Leslie P. and Jerry Gale, eds. 1995. *Constructivism in Education*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Thagard, Paul. 1992. *Conceptual Revolutions*. Princeton: Princeton University Press.
- Tobin, Kenneth. 1993. "Preface. Constructivism: A Paradigm for the Practice of Science Education." Pp. ix-xvi in *The Practice of Constructivism in Science Education*, edited by Kenneth Tobin. Washington, D.C.: AAAS Press.

## **Constructivism and the Progress of Science Education**

*Kuang-Tai Hsu*

### **Abstract**

In contrast to traditional theories of science education, constructivism emerges as a new “paradigm.” This paper attempts to analyze the influences of constructivism on the progress of science education. Among a variety of constructivisms is that which Jean Piaget initiates to connect his epistemological constructivism with science education in his studies of children’s conceptions of nature, etc. Under Piaget’s influence, Thomas Kuhn reflects on the progress of science in terms of “paradigms,” or the revolutionary achievements of great scientists, in his work, *The Structure of Scientific Revolutions*. Through an analysis of the combined influences of Piaget and Kuhn, the author offers his own reflection on the contributions of constructivism to the progress of science education, particularly in the aspects of educational ends, children-centered points-of-view, teacher-student relationships, and the value of democracy.

**Key Words:** Constructivism, Piaget, Thomas Kuhn, scientific progress, progress of science education