

皮亞傑認知心理學與科學教育

國立高雄師範學院物理系 黃湘武

引言

皮亞傑先生逝世了。這位自稱為認識論者(epistemologist)的瑞士學者,在他 84 個生命年頭中,近 60 年對於認知發展心理學的卓越成就,可藉哈佛大學心理學家 Jerome Kagan 的評語為代表:“ He was the most influential development theorist of this century, if not of all time.”。他的研究成果,顯然是增進人類了解自己的重要知識寶庫,在教育上的應用將有其重要價值。他的理論與測驗技術,在世界各地都有學者專家在重複驗證並熱烈討論,在可預見的將來,這些發現與理論相信會被廣泛地應用於學校教學中。

由於皮亞傑理論體系中,特別強調數理邏輯能力之發展,因此他的學說在科學教育的應用上,佔有特別的地位,例如英國的 Science 5/13 與美國的 SCIS,就是以皮亞傑認知理論為基礎的兩個中小學科學課程的典型。正當皮亞傑先生逝世消息傳來之際,我們對於他的理論在科學教育上的最新發展,與應用上更深一層的了解,應具有特別之意義。

認知理論與學習原理

皮亞傑的重要創見之一是將認知心理學的理

論歸納於生物學理論基礎之內(Piaget, 1971a, 1971b)。他認為認知就是一種生物適應活動(adaptation),它包含同化(assimilation)與調整(accommodation)兩種互補的過程。在認知過程中,我們根據先前的經驗,或已有的認知結構系統,對外界的事物加以主觀的解釋,或選擇性的認知,這就是認知同化。但是因為我們所接觸的外界事物,不可能有任何兩次完全相同,故在同化過程中,舊有的觀念必須同時作適當的修改,以符合新的情況,這就是認知調整。皮亞傑的此一基本假設具有下列重要意義:

(1)認知的行為是一種生物自發本能,當生物體在環境中感覺到心理的不平衡與需要時,他會主動設法了解與組合事物的關係。

(2)在認知過程中,人與環境具有同等的地位,它們之間是一種交互作用(interaction)的關係。在適應過程中,外界事物被解釋與處理,然後同化於個人舊有的經驗中,但個人亦同時調整舊有經驗以配合新事物的特性(Ginsburg & Oppen, pp.216-218)。

(3)人在認知過程中,並不祇是被動地接受外界的事實,而是主動反應,或是實際或想像操縱它的變化。而同化的意義,就是將我們的反應或動作之間的關係,統合於舊有的認知系統中,而賦以一定的意義。因此皮亞傑認為知識的本質是

動作 (action)，他說：“To know an object is to act on it. To know is to modify, to transform the object, and to understand the process of this transformation and as a consequence to understand the way the object is constructed.” (Piaget, 1964)

(4)在認知的過程中，皮亞傑強調“嘗試錯誤 (Trial-and-error)”的必要性 (Piaget, 1971a, pp.93-99)。他認為一個完整的認知過程，應該包含三項步驟，即(i)了解問題的需要，(ii)建立解釋的假設，(iii)進行試驗以證實或修改假設。但皮亞傑此處所強調的，是一種有系統的嘗試步驟，一種逐漸改進舊有經驗的同化過程。他的此項觀念，實際上係源自“同化——調整”的基本觀念，即任何同化行為，必同時附帶有調整行為，而嘗試是實現調整的要件，因此也是實現同化的要件。

(5)認知的行為雖是一天賦不變的本能，但認知的能力，則可因不斷的適應過程而改進，而兒童期的主要意義與價值，即在於提供認知成長的適當機會。

教育的意義，就是要幫助年青的一代，如何適應於現在或未來的社會，因此教育如要有效果，則我們所採用的教學方式，必不可違背這些自然的學習行為原則。心理學在教育上的重要價值，就在於為教育措施提供基本理論基礎，而期望能因而提昇教育工作的科學性。顯然地，皮亞傑的認知理論為本世紀初杜威 (J.Dewey) 所代表的進步教育學派 (progressive education) 提供了重要的心理學基礎 (Kohlberg & Mayer)。杜威的著名銘言“由做中學習 (learning by doing)”與皮亞傑的“知識本質是動作”確是不謀而合。作為一位優秀的科學教師，如何確實體認與運用這些原則，應是他的最重要的追

求目標之一。

認知結構階層理論與學習能力

根據皮亞傑的認知理論，人因心理上的適應需要，而不斷改進其認知能力，及組合其認知行為之現象，而形成各階段之不同認知結構。認知結構之內涵，可經由觀察與分析各種特定情況下，兒童的行為表現或推理方式，來判定之。而皮亞傑在過去六十餘年的重要研究成果，即在於確定兒童成長過程中，認知結構之發展情形與特性。皮亞傑將認知發展劃分為四個主要階層 (Piaget & Inhelder, 1969)；即感官動作時期 (sensory-motor period)，前操作期 (preoperational period)，具體操作期 (concrete operations period)，以及形式操作期 (formal operations period)。

感官動作期，係自嬰兒出生至大約二歲的期間。此時期之嬰兒缺少符號機能 (symbolic function)，沒有語言能力，祇能利用感官或動作與外界發生交互作用。此時期之重要目的，在發展皮亞傑所謂的實用智慧 (practical intelligence)，以作為未來思想邏輯的結構基礎。例如動作邏輯的建立，其中包括動作基模 (schemes) 的分類、對應與組合等。又如物體守恒觀念 (conservation of objects) 的完成，也就是了解到任何物體的獨立存在性。在空間觀念方面，逐漸體會到物體或本身位置的移動符合位移群 (group of displacements) 的性質。

前操作期的年齡，係大約自二歲至七歲。這是語言、符號機能，或是內在思想的開始期間。此時期的重要發展，係將感官動作期所建立之實用智慧內化，或重新組合為思想的形式，因此此時期的思想組織並不成熟，而具有不可逆性 (irreversibility) 的缺點。例如他不能夠依照

大小順序排列一組物品 (ordering)，因為他不能夠想像一物體 B 小於 A 物體而又可同時大於 C 物體。此時期之兒童可能承認人是動物的一種，但是他也許會認為世界上的人要比動物多，因為他不能同時想像動物也可以是其他的東西，因此他沒有分類 (classification) 的能力。又如將一杯飲料倒入另一個不同形狀的杯子中，他會認為是變多了或少了，而不能想像將飲料倒回去會恢復原狀，因此他缺乏量的守恒觀念 (conservation of quantity)。

當兒童到達約七歲時即進入具體操作期。此時若干在感官動作期的實際動作邏輯，或實用觀念，都可以成功地內化，為可逆性的思想操作 (operation) 或思想轉換 (transformation)。在到達約十一歲的時候，兒童已可以有能力組合這些思想操作，而形成各種思想邏輯結構，如守恒、序列、分類等觀念。但是此時期的思想仍有缺點，他不能超越現實，他祇能針對眼前具體的事物進行思想操作。

當兒童運用具體操作思想到達一定程度之後，他逐漸地感覺到具體操作思想的有限性，因此，他開始嘗試形式化的推理，他運用已知事實，或是假設某種可能的結果，而作再進一步的思想操作。因此當兒童在差不多十一歲之後，他開始具有假設與歸納的形式操作思想。這些形式操作思想的組合，使他因而具備科學的驗證能力與態度。例如他會進行組合分析 (combinatorial analysis)，變因控制 (control of variables)，具有比例與機率的觀念等。

皮亞傑認為上述認知結構的發展，具有層次順序的不變性，如果一認知結構 A 是先於認知結構 B 的出現，則任何孩童都是先有結構 A 後有結構 B。但是階層的出現時間則可因人而異，此與文化背景，教育與經驗有關。認知結構的成長，又係由重疊組合而來，後期的結構並不丟棄，而

是包容了先期的結構內涵，故前期的結構形成是後期結構的基石 (Piaget & Inhelder, pp. 153)。

以上發現在教學上的價值似乎很明顯，因為任何學習活動，也就是一種同化過程 (Piaget, 1964)，教材的邏輯結構必須配合學習者的認知結構。從廣義的學習效果來說，合適的教材可以幫助兒童認知能力的發展，從狹義的學習效果來說，則經過同化而獲得的知識才能持久與活用 (Piaget, 1964)。因此幼稚教育的重點，應在提供感官動作教材，以幫助幼兒動作智慧的內化，小學教材則應確實提供具體操作之機會，以建立具體操作思想的能力，與保障學習效果，而中學教育，則應慎重區別抽象知識與具體知識的教材內容，以配合學習者的認知能力。舉例言之，如萬有引力定律的學習，需要應用比例的觀念，對單擺性質的了解，需要變因控制來驗證，這些都是形式操作期的能力。又如溫度的觀念，如由溫度計的使用來學習，則只為一種對應觀念而為具體操作能力。但溫度也可解釋為氣體分子之動能，則此時需應用到假設歸納的能力，而又屬於形式操作。

由於認知結構階層的存在，與學習能力的不可分關係，作為一位成功的教師，必須要有能力個別檢定學生的認知發展，以及分析教材內容的邏輯結構，也就是說他需要有相當水準的心理學訓練，與本科知識結構的深入了解。

自我協調與教學

為要解釋認知結構改變的原因，皮亞傑又引進了另一個主要生物學觀念。即自我協調 (self-regulation) 或是平衡 (equilibration) 過程 (e.g. Flavell, pp. 237-249)。自我協調與適應過程具有密切關係；簡言之，自我協調是一種內在的回饋 (feed-back) 機能，當舊有

的觀念，不能滿意地解釋外在事物現象時，我們會重新調整或組合舊有的觀念。

由此引申，吾人的學習過程，係一種主動的重複組合過程，是一種經由矛盾的體驗，而尋求內在和諧的過程（Flavell, pp.374-379）。因此在教學過程中，提供自我協調的機會非常重要（Karplus & *et al.*, modules 8 & 9.），而其主要原則有二：一為指定學生一特定任務或題目，並允許適當時間使自行探究或處理；二為設法引學生注意到本身推理或結果的矛盾。提供自由探究的目的在促使學生引用本身的觀念來處理問題，以便能有機會使用，並表露其原有觀念的缺點。只要能引起學生注意到本身推理的矛盾，則可引發其自我協調的動機。

在技術上說，引起學習認知衝突的方式可分為兩類：第一，我們可在活動的過程中，預先設計學生可能自行發現的機會，例如在習題中，要求學生採用不同的解法與比較結果，或是在實驗活動中，要求學生作某種推論，再以實驗去證實。第二，盡量運用討論的方式，我們可要求學生相互比較實驗或作業的結果，並交換意見，教師更可在適當時機，提供不同的觀點，或是引導學生注意其它的事實或可能。

以上技術的應用，教師需要對學生原有可能的知識體認，或觀念有充分的了解，以及什麼是適當的活動安排，可以在適當的時機促成認知的衝突與重組，這又是心理學知識的主要領域。

科學發展史料之教學應用

任何人都會同意研究科學發展史的重要性。它的目的不祇是在確定什麼東西是什麼人發明的，或是什麼時候發生的，更重要的是希望經由一先後連貫的分析，而能尋找出科學演進的基本法則，或是科學活動的本質，以作為人類繼續前進的指標。而從教育的觀點來看，最明顯的意義，

就是可以提示我們實施科學教育應有的重點；如科學方法、科學態度等。

但是科學發展史在教育上的價值，可有更進一步的意義。它的理由也還是基於皮亞傑的研究與發現，他說（Piaget, 1970a, pp.13）：“The fundamental hypothesis of genetic epistemology is that there is a parallelism between the progress made in the logical and rational organization of knowledge and the corresponding formative psychological process.”。什麼是科學的進展（progress of logical and rational organization of knowledge）與認知發展（formative psychological process）的相似性（parallelism）？皮亞傑所指的，顯然是包括兩者發展的法則（Flavell, pp.239, footnote）與某些相同物理觀念的出現（Piaget, 1972）。

以物理學為例，量子理論的出現，是因為古典的牛頓力學，與馬克斯威爾的電磁學不能完美地解釋（或同化）原子光譜、黑體輻射、固體比熱，及光電效應等現象。而促成相對論的發明，主要是因為舊有的時空觀念不能解釋電磁波的傳播現象。然而，科學家放棄了熱流體（caloric theory of heat）的觀念，是因為原有觀念不能解釋磨擦生熱的現象。這些實例，明顯地告訴我們，物理學的發展基本因素，是因為舊有觀念或理論，遭遇了矛盾或危機，而促使新理論的產生。我們知道，新理論的出現，必須以舊理論為基礎以推測新理論的適用範圍，必須大於或包括舊理論的適用範圍，舊理論必須是新理論的近似解答。因此，我們可以說，科學的發展與認知的成長，都遵守相同的法則，它們都是一種適應活動與自我協調過程。現代著名的科學史家如 K.R. Popper 與 T.S. Kuhn 等也都大致確認了這種看法（Harré, pp.72-101. & Kuhn, pp.

52-65)。

皮亞傑又發現(Piaget, 1972)兒童對物理現象的自發性解釋,與科學史上已經放棄的許多觀念相同。例如一位六或八歲的兒童,對天上雲移動原因的解釋,他們會認為雲的後面產生的風,推動了雲往前走。我們知道這也就是亞里斯多德(Aristotle)解釋飛行物體(projectiles)的方式。又如,一位十二歲左右的兒童,對於熱與溫度的觀念,很可能與十八或十九世紀時的熱流體(caloric theory)理論相符合(Erickson, 1979)。對於這些事實我們不難理解,因為科學發展就是許多個人的群體活動成果,而個人的潛意識必然會影響理論的建立。

因此在促進自我協調的教學活動中,我們應該引用科學發展的歷史資料。一方面是歷史上的舊觀念,可以幫助我們猜測學生在進入教室時所具有的知識基礎,而另一方面,這些舊觀念,被遺棄時的歷史背景或因素,可以提供教學活動安排的參考。所以一位成功的科學教師,不祇是要明瞭現代的科學理論與結構,更需要有豐富的科學發展歷史知識。

結論

綜觀我國,由小學至大學各級學校之科學教學情形,可以發現一項事實,那就是學習即為上課聽講,與下課啃書本,如有實驗,也大都依照規定步驟的“食譜式”實驗。在這類形式的教學中,學習者顯係處於被動的地位,他的任務就是接受教師或課本所提供的現成知識體系。但是根據皮亞傑的認知理論與發現,這種方式違反了最基本的心理學原則,有效的學習方法,應該要經過學習者主動的資料組合,適當的自由嘗試,與經過自我協調的過程。

在教學經驗中,我們經常發現或吃驚於在學期終了時,學生所真正獲得的知識與曾經講授的

份量是如何的不成比例。我們也許不應祇是埋怨於目前學生程度的低落,而是應該積極謀求改進之道。由皮亞傑理論的探討非常明確的告訴我們,學校中教學形式的改變是應有的努力方向。□

參考資料

- (1) Erickson, G.L., *Children's Conceptions of Heat and Temperature*, Science Education 63(2), 221-230 (1979).
- (2) Flavell, J., *The Developmental Psychology of Jean Piaget*, D. Van Nostrand Company, 1963.
- (3) Ginsburg, H. & Oppen, S., *Piaget's Theory of Intellectual Development*, Prentice-Hall, Inc., 1969.
- (4) Harr' e, R., *Problems of Scientific Revolution: Progress and Obstacles to Progress in the Sciences*, The Herbert Spencer Lectures 1973, Clarendon Press Oxford, 1975.
- (5) Karplus, R., Lawson, A. E., Wollman, W., Appel, M., Bernoff, R., Howe, A., Rusch, J.J., Sullivan, F., *Science Teaching and the Development of Reasoning*, Lawrence Hall of Science, University, Berkeley, California, 1978.
- (6) Kohlberg, L., & Mayer, R., *Development as the Aim of Education*, Harvard Educational Review, Vol.42, No.4, Nov. 1972, pp.449-496.
- (7) Kuhn, T. S., *The Structure of Scientific Revolutions*, The University of Chicago Press, 1970 (2nd edition).
- (8) Piaget, J., *Cognitive Development in Children: Development and Learning*,