

科學教育的心理學基礎(下)



林清山

國立臺灣師範大學

圖六 布魯納(1915—)美國認知心理學家。早年在Duke大學修法律。後來興趣轉變到心理學。1941年在哈佛大學得心理學博士學位。1952年，任哈佛大學心理學教授。現在是該大學「認知研究中心」主任。1963年美國心理學會頒給他「榮譽科學貢獻獎」。1965和1966年，曾任該學會會長。其著作和理論對實際教育有甚大影響。

subject can be taught effectively in some intellectually honest form to any child at any stage of development.)(p.33)。這一個假設不是說任何發展階段的任何兒童都可學會任何科目。他的意思是說：我們可以選取任何教材，重新用兒童可以瞭解的話予以改編，使它與兒童認知功能的水準相配合，則兒童也能學會這些教材所含的基本概念。在布魯納看起來，學生要能真正了解學科教材的「結構」，亦即，教材所含的基本概念，或教材與教材之間的關係，纔算真正產生了學習。例如，教師在黑板上畫磁鐵、鼻子、紙張、香水、樹葉、鐵片、和鉛筆等七樣東西。學生看了之後，如果說不出它們之間有什麼關係存在，就表示學生不能發現它們之間的結構。如果他們可以發現這些東西之間的關係，而說「鼻子聞香水，香水是樹葉做的；磁鐵可以吸鐵片；鉛筆可以在紙張上寫字」或其他具有描述事物交互作用的話，我們就知道他了解或發現這幾樣東西的結構。這時候，這幾樣東西對這位學生而言，不再是彼此無關或零散的個別刺激。其次，再舉一個科學教學方面的例子來說明布魯納所謂「結構」的意義。讓學生分別在室外陽光下的花盆內栽種植物，和在室內靠近窗口的花

〔二〕布魯納的學習理論

布魯納(圖六)是美國哈佛大學的心理學教授，為典型的認知心理學家。他的理論在很多方面顯示十分接近皮亞傑。他強調「結構」(structure)的重要性，認為教材的結構與學生的認知結構要互相配合。他提倡的「發現教學法」很類似我們所熟知的啟發式教學法，鼓勵學生去直覺思考、比較、對照，甚至運用策略，以發現教材所含重要概念，亦即結構。

(一)「結構」與「發現教學」：布魯納在「教育的過程」(The Process of Education, 1960)一書中，提出一個很出名的假設，謂：「任何一門學科都可利用某種心智上真實的方式，有效的教給任何發展階段的任何兒童」(…… any

盆內栽種同樣的植物 請學生每日留意觀察這兩種環境下所栽種的植物在什麼方面有顯著不同。假定學生終於能夠看出不同，並說出栽種在室內窗口附近的植物的枝幹上部和葉片是彎向室外方向的，而且並不彎向相反的方向，但是栽種在室外陽光下的植物則均無此現象。又假定學生還更進一步推論說，植物有朝陽光方向生長的趨向，則我們就可知道學生發現了「向性」(tropism)的現象(在這裏是指植物的「向光性」)。教師還可以幫助學生了解和發現其他簡單有機體也有類似這種依某固定標準而調整其運動方向的現象，例如它們喜歡朝向某種亮度、某種濃度的鹽分、或某種度數的溫度等。一旦學生能夠發現有機體之外部刺激與其移位或運動之間的這種基本關係(亦即結構)，他便有能力了解其他各種新的類似資料。例如，蝗蟲喜歡飛向某種溫度的空氣中，構成蝗蟲群；不同種的昆蟲各有其喜愛的氧氣密度，故不同高度山坡上有不同昆蟲，且能避免異種交配等等，都可利用向性的概念來了解。在這一個例子裡，學生如能把握住向性的大概念，就是瞭解了這些教材的「結構」。故所謂瞭解結構是使教材內容之間，或使教材與其他許多事物之間發生有意義的關聯。惟有在學生能夠把握住或發現此一結構之時，學生纔真正產生了學習。

布魯納主張在實際教學情境中，教師應設法安排有利於學生發現各種「結構」之情境，而且必須讓學生自己去「發現」這些有價值的結構。他不贊成教師像蓋聶所說的那樣，或像斯肯納所提倡的編序教學法那樣，把教材以最後形式完全呈現在學生面前，讓學生按照指示一步一步的學習，一點一滴的累積和接受。相反的，他鼓勵學生自己去操作、探究(inquiry)，對照比較，尋找矛盾，甚至運用直覺思考(intuitive thinking)、跳步、捷徑和策略(strategy)，以發現所隱含的重要結構。這是他有名的「發現教學法」。只有經由學生主動的參加探索、思考、對照比較，學生纔有機會發現，其認知結構纔能不

斷的改變。例如，布魯納在發現教學法中，常常使用的一種技巧是這樣的：教兒童某件事，直到他知道了為止。忽然的，教師呈現給兒童一些與他所知道的現象相矛盾的事例，使兒童的認知功能失去平衡。此時，兒童只有經由發現，使認知結構重新改組，方能恢復平衡狀態。因此，如果我們說斯肯納較重視「經由制約而學習」(learning by conditioning)，皮亞傑較重視「經由平衡化而學習」(learning by equilibration)，則布魯納係最重視「經由發現而學習」(learning by discovery)。

由於布魯納重視「結構」，而且曾假設只要合乎兒童的認知結構，兒童也可以了解任何學科的基本概念，乃有所謂「學科結構中心課程」(discipline-centered curriculum)的興起。

依照布魯納的看法，利用發現教學法，使學生了解結構、或基本原理原則，至少有下列幾個優點：(1)可以使學生更容易理解教材內容而產生有意義學習，且有利於增進高級的心理歷程。例如，倘使 $F = m \cdot a$ 這條公式是學生自己從實驗中推理出來的，則遠比硬將它死背起來為有意義得多。(2)可以幫助記憶：心理學已經證明，材料的各項細節如果不納入有良好結構的組型中，便會很快遺忘。科學家並不是把所有在不同引力區域裡的所有落體，和在不同時間之內所經過的距離一一背誦起來，而是在必要時，利用 $S = \frac{1}{2}gt^2$ 來幫助記憶。(3)可產生最大的學習遷移(transfer of learning)：學生在了解更概括化的普遍原理原則和模式(model)之後，就能有助於用來處理其所面臨的類似之新情境，如上面所舉「向性」的例子便是。(4)可使學生有機會「學習如何學習」(learn to learn)：學習如何組織、遷移、假設、或運用策略可有助於發現學習。換言之，發現之方法可經由練習發現而獲得；發現的方法本身也須加以訓練。平時沒機會練習發現的學生，將無法像科學家那樣發現什麼。因此，「學習如何學習」本身要比「發現什麼」為來得重要。可見，布魯納強調學生所要學習的不是成

果，而是「過程」。所以，他在「邁向教學理論」(Toward a Theory of Instruction) 一書中，說：「……課程不只反映知識（特定的學得能力）本身的性質，而且反映學習者以及獲得知識之過程的性質。……我們教一個科目，並不是希望學生成為該科目的一個活圖書館，……而是要他們參與獲得知識的過程。求知是一種過程，而不是成果。」(P. 72)

(二) 教學理論：在「邁向教學理論」一書中，布魯納也主張我們應時時考慮學生如何學習，和考慮怎樣協助他們學習方能最為有效，亦即怎樣纔能發揮他們的最大潛能。他認為要能達到這種目的，則教學理論必須具備下列四個特色。

1. 要指出提供學生何種經驗纔能使學生產生願意學習和解決問題之「傾向」(predispositions)：例如，要如何安排環境，纔最容易激起學生因好奇而想要探索，如何纔能維持他們這種探索的興趣，和如何使這種探索活動導向正確的目標。這顯然是屬於如何引起學習動機的問題。布魯納相信兒童具有學習的「內在動機」(intrinsic motives)，亦即兒童能夠為學習而學習；學習成功或學習之本身就是一種酬賞，不是為獲得外來的獎賞而學習。因之，教師必須善為運用這種傾向。假定教師所提供的環境和經驗過份明確，根本就不能夠引起學生探索的動機。但是，如果過份不明確以致引起混亂和憂慮，則反足以減低探索的興趣。故，諸如此類的動機因素、文化因素、和學生個人之因素，均須予以重視。

2. 要指出怎樣纔能使「教材的結構」最適合於學生的「認知結構」：教材的結構應與學生的認知結構及能力相配合。要做到這一點，必須了解兒童的認知發展。布魯納受到皮亞傑的影響，認為：在「動作表徵期」(enactive representation) 的學生常經由他們的「動作」(action) 來了解外界的事物；「影像表徵期」(iconic representation) 的學生可以憑眼睛所看到的「影像」(imagery) 來了解外界；至「符號表徵期」

(symbolic representation) 的學生方能憑「語言」或「符號」來了解事物。因此，教師須視不同年齡、背景和類型的學生來呈現適當的教材。同時，必須注意到如何呈現教材本身的結構，方能使學生的學習既經濟且有效。這是布魯納 (1960) 提倡「螺旋式課程」(spiral curriculum) 的基本理由。依據布魯納的看法，課程應以社會所重視的論題、原理原則、和價值為中心來編製。如果他的假設「任何一門學科都可利用某種心智上真實的方式，有效的教給任何發展階段的任何兒童」是真的話，這些教材應被改編為合理的形式，和適合於上述認知發展階段之兒童的思考方式，儘可能及早教給兒童，無須憑空等待成熟的來臨。

3. 要能指出學生所要學習的教材須依什麼「順序」(sequences) 來呈現：例如要介紹當代的物理學理論時，要先呈現具體的教具，以引發學生對有關規則之疑問，或要先介紹現成的數學符號使學生較易利用它們來代表以後他們將遭遇到的規則呢？如果學生的認知發展正如上所述係由動作表徵期，經影像表徵期，而至符號表徵期，則呈現教材的次序，自然而然就須配合這樣的認知發展次序。當然，這並不能一概而論，還要視用來判斷學習效果的標準是什麼而定，例如，是根據學習速度、記憶量、學習遷移程序、或根據什麼而定。

4. 要能指出在教與學的過程中，呈現「獎賞與懲罰」的性質及步調：在教學的過程中，顯然有一個最適當的時機，可使學生由依賴外來的獎賞 (extrinsic rewards, 例如教師的誇獎) 轉變而為只依賴存在於學習活動或解決問題本身之中的內在獎賞 (例如解決了問題時感到愉快、有趣而滿足)；或可使學生由依賴立即增強 (immediate rewards) 轉變而為可以依賴延宕獎賞 (delayed rewards)。此一轉變的時期到底應在學習的較早期或較晚期呢？這是值得研究的一點。

總之，布魯納認為在編寫教科書、教學計劃

、教學單元、甚至課程計劃時，我們均須考慮到學習傾向、結構、次序、和增強方式等重要因素。

布魯納的這些認知觀點的心理學理論，自從1960年發表「教育的過程」一書之後，引起極大的衝擊，對中小學科學教育實際應用有著很大的貢獻。

〔三〕奧斯貝的學習理論

奧斯貝是美國紐約市立大學的教授，也是一位認知心理學家。在他所著的教育心理學以及有關科學教育的論著中，他一再強調「有意義學習」(meaningful learning)，但卻強烈反對發現學習的理論，並主張學生所學習的應該是「成果」，而不是過程。

(一) 學習的兩個向度 (Two dimensions of learning)：奧斯貝認為不管在校內或在校外，學生所學習到的絕大部分知能是經由「接受」而來的，不是由發現而來的。就呈現學科教材而言，讓學生自己去發現，不但太浪費時間，而且學習效率很差。所以，他認為為使學生接受有系統而且精選的科學教材，要比使學生學習探究方法，來得更為重要。換言之，呈現教材結構完整而有系統的科學知識及概念，纔是科學教育的任務。惟，科學內容之學習，不管方法怎樣，對學生而言，必須具有意義纔可。

要了解奧斯貝的這種看法，必須先看圖七所示奧斯貝的學習二向度的理論。由圖七可以看出，「接受學習」和「發現學習」是一個連續體（第一個向度）的兩個極端，而「機械式學習」(rote learning) 和「有意義學習」又是另一個連續體（第二個向度）的兩個極端。第一向度的接受學習是指學生須從外面「接受」所要學習的教材而言，而發現學習是指學生須自行「發現」所要學習的觀念而言。決定一種學習是為接受學習、發現學習、或二者的混合，端視呈現給學生之教材的最後形式之總量為多少而定。在接受學習裏，不管機械式學習或有意義學習，要把全部

學習材料一起呈現給學生，由學生來吸收它們；學生不必自己去發現他們之間的關係。在發現學習裡，所要學習的主要內容則先被隱藏起來，讓學生自動去發現它。惟，即使學生發現了它，學生有時仍然還得去吸收它。

第二向度的學習或許更為重要些。一種學習為機械式學習或有意義學習，要看在學習過程中，學生是否能不以一字一字的方式將所要學習的材料納入他的認知結構而定。如果學生能將知識加以組織，使所要學習的材料與他的認知結構發生某種關係，而且能有彈性的用自己的用語來表達它，就算是有意義的學習。要產生有意義學習必須具備兩個先決條件。第一是學生願意用有意義學習的方式（不是一字一字死記的方法）來學習。第二是學習材料本身要有意義。如果這兩個先決條件都不符合，則學生必須使用死記的方法來學習，無法納入其認知結構之內，就叫做機械式學習。

奧斯貝認為圖七的兩個向度可以構成四種組合：即經由接受而產生的有意義學習，經由發現而產生的有意義學習，經由接受而產生的機械式學習，以及經由發現而產生的機械式學習。可見，即使是使用接受學習也可以產生有意義學習，



圖七 奧斯貝的學習二向度。

而且即使是使用發現式學習也仍然可能產生機械式學習。因此，只要設法使學生能了解或能夠將科學事實和概念與學生的認知結構發生關係，讓學生進行接受學習也未嘗不可。在奧斯貝看起來，並不是所有科學教學均一律必須使用發現教學法才可。設法使教材對學生具有意義纔是唯一最重要的事。

(二) 由上而下的含攝歷程 (subsumption process)：其次，再討論奧斯貝所謂的「含攝歷程」

，對了解他所提倡的有意義學習將有所幫助。前面說過，蓋聶的八大類學習，形成一種自下而上的學習階層。例如，學生須先學習一些科學事實、技能，方能了解科學概念或原理原則，然後方能有能力解決問題。奧斯貝雖然也相信認知結構是有階層性的，但是他却認為其方向是自上而下的。學生必須先知道最高層的科學大概念，然後學習較小的科學概念、定義、性質等，最後纔學習零碎的特殊事物或科學事實。根據他的含攝理論，認知結構是由高度普遍化的概念所組成，在此普遍化概念之下，含蓋有較小的概念和性質更為特定的知識。所以，奧斯貝認為教師在進行科學教學之前，必須設法把在高層次的這種具有較大含攝性的普遍化概念指認出來，並先向學生交代清楚。換言之，教師如果能在教學一種新教材之前，先摘要介紹一些較它為普遍化、抽象、和含蓋性較大的導言性材料，將更能有助於學生的學習。在教學之前，教師所介紹的這些具有定向作用的基本架構（skeleton）或含攝作用的材料，便叫做「導言組織者」（advance organizer）。例如，假定學生讀了導言組織者之後，先知道「加熱使物質膨脹」和「物質膨脹時，其密度變小」，然後纔開始接觸有關液體或氣體的對流的學習材料，則這些學習材料將較易納入學生的認知結構之中。在有意義的學習裏，材料可以被含攝在比它們更高層、周延範圍更廣大的概念系統之中，故不管在學習效果方面，或保持記憶方面，其效果都較好。

依據奧斯貝的看法，導言組織者有兩種類型：「註釋式組織者」（expository organizers）是學生完全陌生的導言性材料，而「比較性組織者」（comparative organizers）則是與學生以前學過的材料有關的導言性材料。不管是那一種類型，這些導言組織者必須是學生可以了解的。因之，即使是使用導言組織者，亦須顧及學生的認知發展纔可以。

總之，就提倡由上而下的含攝歷程這一點而言，奧斯貝的觀點與布魯納的觀點是相接近的。

然而，奧斯貝却認為這些較具含攝的概念，如果是有意義的，也可由教師來安排環境，由學生去接受，不一定要如布魯納所說的全由學生來自己發現。

以上我們從學生的認知發展和幾位對科學教育有貢獻的心理學家的學習理論，來討論國民中學科學教育的心理基礎。其中可供借鏡的觀點很多。為了使國民中學的科學課程能發揮其培養具有科學素養（scientific literacy）之國民的功能起見，我們應吸收這些心理學家的理論之優點並參酌有關的現成新科學課程，設計出能配合學生認知發展，成果與過程兼顧，接受與發現並重，且可促進學習興趣和培養良好科學態度之國民中學科學課程。

參考資料

- 教育部國民教育司：美國中小學新科學課程編制概觀。中華民國中小學科學課程編製考察團報告，民國62年。
- 張春興、林清山：教育心理學。台北：文景書局，民國63年修正版。
- Anderson, R. D. et al. *Developing Children's Thinking through Science*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1970.
- Ausubel, D. P. Use of advance organizers in the learning and retention of meaningful material, *Journal of Educational Psychology*, 1960, 51, 267-272.
- Ausubel, D. P. A subsumption theory of meaningful verbal learning and retention, *Journal of General Psychology*, 1962, 66, 213-224.
- Ausubel, D. P. Some psychological problems in the objectives and design of an elementary school science program. *Science Education*, 1963, 41, 278-284.

- Ausubel, D. P. Educational Psychology : A Cognitive View. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- Bruner, J. S. The Process of Education. New York: Vintage Books, 1960.
- Bruner, J. S. The act of discovery, Harvard Educational Review, 1961, 31, 21-32.
- Bruner, J. S. Toward a Theory of Instruction, New York: W. W. Norton, 1966.
- Collete, A. T. Science Teaching in the Secondary School. Boston: Allyn and Bacon, 1973.
- Flavell, J. H. The developmental Psychology of Jean Piaget. Princeton, New Jersey: Van Nostrand, 1963.
- Gagné, R. M. The learning requirements for enquiry, Journal of Research in Science Teaching, Vol. 1, December 28, 1962. Issue 2, 1963, pp. 144-153.
- Gagné, R. M. The Conditions of learning (2nd ed). New York: Holt, Rinehart & Winston, 1970.
- Gagné, R. M. Essentials of Learning for Instruction. Illinois: Dryden Press, 1974.
- Piaget, J. Development and learning. Journal of Research in Science Teaching, 1964, 2(3), 176-186.
- Shulman, L. S. Psychological controversies in the teaching of science and mathematics, Science Teacher, 1968, 35(6), 24-38.
- Shulman, L. S. Psychology and mathematics education, Yearbook of the National Society for the Study of Educations. Edward Begle (ed.): Mathematics Education, University of Chicago Press, 1970.
- Stendler, C. B. Piaget's developmental theory of learning and its implications for instruction in science. In Victor, E. & Lerner, M. S. (eds): Readings in Science Education for the Elementary School, New York: Macmillan, 1971, pp. 379-391.
- Wittcook, M. C. Verbal stimuli in concept formation: learning by discovery. Journal of Educational Psychology, 1963, 64, 183-190.
-
- (上接科學素養的教育)
- Historical Materials and High School Science Teaching," *The Science Teacher*, 24: 264-265 (1957)
15. Klopfer, Leopold E., "The Use of Case Histories in Science Teaching," *School Science and Mathematics*, 64: 660-666 (1964).
16. President's Science Advisory Commission, *Scientific Process Universities and the Federal Government*, Washington, D. C.: U.S. Printing Office, p. 80.
17. Pella, Milton O., "Silver Symposia: The Next 25 Years," *The Science Teacher*, 36: 14 (1969).
-
- (上接談現代化的動物園)
- 特區斯密松尼館成立，目前即是該館最受歡迎的節目。
- 二、設立臺灣特有動物之展示園，例如帝雉、山雉、臺灣羌、熊、雲豹、飛鼠、貂鼠、鼬鼠等均為臺灣特有之種類，如能闢地大規模飼養，則一方面可讓觀眾觀賞臺灣特有之動物及了解其習性，另一方面使其繁殖，以便與其他國家交換其特有的動物。此等園內如能再以臺灣原產植物為佈景配合展出，則將更具意義。

參 考 文 獻

- Science News 110 (9): 139
- Science News 110 (7): 106-108