

科學教育的心理學基礎（上）

林清山

國立台灣師範大學

最近十幾年來，中小學科學教育有驚人的進步和發展。當代的心理學家之中，S-R 心理學家斯肯納（B.F.Skinner）和蓋聶（R.M.Gagné），以及認知論心理學家布魯納（J.S.Bruner）、奧斯貝（D.P.Ausubel）、和皮亞傑（J.Piaget）等人，對此項發展均有直接或間接的影響。幾個有名的中小學科學課程，例如 SCIS, AAAS, ESS, 和 ISCS, 都是以他們的心理學理論為重要根據而設計成功的。在本文裏，筆者首先要利用皮亞傑的發展理論，來說明國民中學階段學生的認知發展情形在國民中學科學教育方面所具有的意義，然後再從蓋聶、布魯納、和奧斯貝等人的學習理論著手，說明心理學家們對科學教育的看法。

一、從皮亞傑的認知發展理論談 國中科學課程的心理學基礎

國民中學階段的學生（大約為 12 歲至 15 歲）大部分都已經由兒童時期進入青少年時期。這時期的學生不管在生理方面或在心理方面都顯示與兒童時期有所不同。瞭解這一階段學生的發展特性，對設計一個較理想的國民中學科學課程將有很大的幫助。

一般說來，有較多的心理學家相信教師應隨時隨地瞭解學生的智力發展情形，並配合學生不同階段的智力發展來進行教學，效果纔會最好。如果學生的智力發展還沒達到某一發展階段，就

想要設法加速其發展，或在他們的認知結構尚無法處理抽象的科學概念時，就硬要他們學習這些抽象的科學理論，則不但不能達成這個預期的目標，而且反而可能因揠苗助長而扼殺他們的學習興趣。持這種看法的心理學家，可以瑞士的心理學家皮亞傑（圖一）為代表。皮亞傑並不否認教師可以設法使學生較快達到某一發展程度，但他不相信此一加速發展能夠超越學生本身的發展速度之上。換言之，如果學生的智力發展未達可以學習某一科學概念之前，教師就教以該項概念，則學生不可能真正了解該概念本身；學生所了解的只不過是文字表面上的意義罷了。要真正了解此項概念，則非等到學生的智力發展已達到適當的階段不可。因此，科學課程的安排與設計，必須考慮到學生的認知發展已達到什麼階段和有何特點或限制，方能收到事半功倍之效。

在未說明皮亞傑的認知發展階段的劃分之前，須先說明他的認知發展（智力發展或邏輯思考能力發展）的理論（參看圖二的摘要）。依照皮亞傑的看法，智力結構的基本單位是「基模」（schema）。隨著兒童的發展，基模就產生有系統的改變。因之，兒童的智力不管在量方面或質方面均不是一出生就固定不變的。智力有兩種主要功能，亦即「組織」（organization）和「適應」（adaptation）。智力結構愈簡陋，所能發揮的智力功能也就愈缺乏效率。例如，小嬰孩最初看到一個小玩具，眼睛看到它，但雙手却抓不到它。顯然的，他的眼睛和手並配合不起來。這

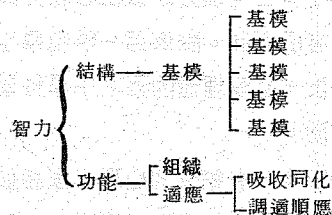


圖一 皮亞傑 (1896 -) 瑞士心理學家。早年曾在 Neuchâtel 大學主修生物學。公元 1920 年，他的興趣轉移到心理學方面，曾在巴黎做過智力測驗標準化的工作。翌年返回瑞士，在日內瓦盧梭研究所主持研究，用現象學的方法來研究兒童的認知發展等問題，以探討兒童獲得知識的心理歷程。

是管看的基模和管抓的基模並不能合作之故。嬰兒稍大之後，「組織」的功能發生作用，眼看和手抓兩個個別的歷程便統整在一起，使嬰兒在看到小玩具之同時也能用手抓到它。智力的另一功能是「適應」，也就是與環境發生交互作用。適應又分「吸收同化」(assimilation)和「調適順應」(accommodation)。如果兒童能夠利用外界的某些事物，並將其刺激組型予以改變(例如能了解教師所提供的科學教材的意義且能改用自己的話表達出來)，則他便能夠將它吸收而同化為智力結構的一部分，使原來的基模變得更複雜更高級，也更有能力吸收和同化外界的事物。這與小嬰兒可以吸取牛奶使之變為身體的一部分，使身體變得更為健壯是一樣道理。但是，如果外在的環境中出現任何一種無法納入現有認知結構之新經驗或事物時，(例如無法吸收或了解教師所教的科學概念)，則兒童必須改變本身的反應方式或調整原有的認知結構，以順應外界的新情境，就好比嬰兒無法消化花生米時，必須等待

以後胃腸發育完全方能吃花生米一樣。由此可見，吸收同化是改變外界刺激使納入認知結構，而調適順應乃是改變認知結構本身以順應外界的刺激。

依照皮亞傑的看法，兒童隨著年齡的增加，其認知結構就不斷的改變。當外界的客觀世界與兒童內在的認知結構不一致時，便失去平衡狀態(equilibrium)。此時兒童必須重新加以吸收同化或調適順應，使其恢復平衡。但是因為平衡狀態常因新環境的出現而又遭破壞，必須重新吸收或調適順應，擴大並組織為另一新的認知結構



圖二 智力的結構與功能的關係(採自Phillips, 1969, P.10)

，使平衡狀態又得以恢復。這種將認知結構由一種狀態改變或重組為另一種狀態，以恢復平衡狀態之過程，便叫做「平衡化」(equilibration)，也是皮亞傑所謂的兒童認知發展的過程。假使你用一個U形磁鐵把桌子上的一張鈔票吸起來，問兒童為什麼磁鐵會吸鈔票，則大部分兒童會認為鈔票下面貼迴紋針。把鈔票翻過來一看，竟沒有迴紋針之類的鐵片時，他的認知結構便失去平衡。此後，兒童便會想要解答此一疑問，他開始考驗各種假設，甚至懷疑那U形物可能不是磁鐵。最後，當他發現原來鈔票上貼了兩小片看不見的透明磁帶時，他的認知結構便恢復平衡狀態，其認知結構也變得較前更為複雜。

皮亞傑常常從認識論(epistemology)的立場探討知識的發展的問題。在這方面，我們必須了解他所謂的「操作」(operation)的概念。知識並不是將外在世界依樣抄錄；要知道某一物體或某一事件，並不是只看著它，在內心裏形成它的影像而已。要知道某一物體，必須對它有所動作；要改變它，轉換它，還要了解轉換的過程，並了解它是如何構造而成的。因之，操作是知識的首要條件；它是改變客體或對客體施予動作的內在化心理歷程。例如，把物體加以分類，構成不同類別，把物體排成次序，以構成系列均是。換言之，操作乃是一聯串改變客體的內在化動作(interiorized action)，使我們可以因而了解這些轉換的真正結構。不過，皮亞傑所謂的「操作」，除了是一種內在化動作而外，還必須是可顛倒進行的行動(reversible action)，亦即可以相反兩方向發生的。例如，加在一起後可以再減掉，合在一起後可以再分開。

知道皮亞傑有關認知發展之理論後，我們可以來討論皮亞傑對兒童認知發展的階段的看法。根據皮亞傑的看法，兒童自嬰兒時代到長大成人，其認知發展的過程可分為下列四個階段：

(一)感覺動作期(Sensorimotor stage)：這是指出生到一歲半左右，還不會說話以前的一段時期。在這一時期裡，嬰兒必須透過將感覺和動

作加以組織和協調來認識其周圍的世界。所以感官和動作之間的協調與合作(例如手眼合作)，對其智力發展具有很大的重要性。在最初的幾個月裏，嬰孩不能辨別主體和客體，所以嘴巴咬痛自己的腳趾而不知道是自己的。他還沒有「物體恆在」的觀念(認知結構中尚無物體恆在基模)，物體跑出視線之外，便以為它不復存在。例如，把皮球藏在棉被底下，他就以為沒有了，不再去找它。基模與基模之間的組織，仍未完全協調，所以眼睛看著小玩具，雙手却抓不到。到了這時期的後半段，嬰兒便漸漸能分辨主體和客體，東西消失就會嘗試去尋找，而且眼睛看到東西便能伸手拿到它。除了物體恆在的觀念之外，嬰兒也形成簡單的時間觀念和空間觀念，而這些認知結構之形成，為此後各階段的認知結構發展不可或缺的基础。

(二)前操作期(Pre-operational stage)：這是指一歲半至七、八歲這段時期的認知發展而言。兒童開始能運用語言，故已開始能夠進行「思考」或表徵作用(representation)。惟此時期的思考或表徵作用，只不過是把感覺動作期所形成的認知結構重新予以改組而已，還不具有皮亞傑所說內在化的可逆操作之性質。在這一時期前半段裏，兒童的思考顯得相當自我中心(ego-centric)，亦即不容易站在別人的立場來思考。例如，在兒童面前的桌上用泥土造一座向右邊傾斜的假山，問兒童「從老師這邊看過去，這假山斜向那一邊」時，兒童常認為對面的老師所看到的假山和他所看到的假山一樣是斜向右邊的。在四至七、八歲這段時間裏，兒童的「思考」顯示極易受到當時的「知覺作用」(perception)所影響，因之時常自相矛盾而不知，但仍然不致引起思考方面的衝突。這種憑直覺(intuition)來判斷的結果，常常完全錯誤，但兒童却仍然自以為是。譬如，對成人而言，當一物體的形狀改變或劃分為幾個部份時，知道其質量仍然保持不變，重量也保持不變；同一份量的液體倒在不同形狀的容器時，其容積也保持不變。然而，這時

期的兒童却沒有這種「保留」(conservation)的概念。這是因為這時期兒童的認知結構較成人的為簡陋，所能發揮的認知功能也較有限之故。例如，在四歲以前的兒童面前排一列十個的紅色鈕扣，和一列十個的綠色鈕扣；如果紅色鈕扣排得散開些，綠色鈕扣排靠緊一些，則兒童常會說紅色鈕扣比較多。問他為什麼紅色的比較多，則答案常是「因為紅色的一列鈕扣比較長」。如果要求他數數看，他會數出紅色的有十個，綠色的有十個。再問他那一種鈕扣比較多，則一部分兒童仍然會說紅色的比較多。這一現象說明兒童嘴巴會數十，但腦海裏根本沒有十的概念，或數量保留概念。他們的判斷顯然是受到視覺的直接影響。在觀察兒童是否有「質量保留概念」的一個實驗裏，皮亞傑將質量大小相等的兩個球狀膠泥之中的一個，當著兒童面前捏成香腸的形狀；問五歲以前的兒童那一個膠泥比較多時，兒童會說香腸形的膠泥比較多。如果將香腸形的膠泥繼續搓得很長但很細，則又會說香腸形的膠泥比較少。同是甲物體，又比乙物體為多，又比乙物體為少，兒童却不感到有什麼矛盾。這是因為此時期的兒童還不會可逆性操作之故。換言之，他還不知道如果把香腸狀膠泥再捏成球形，則兩個膠泥就一樣多。依照皮亞傑的看法，兒童如果不會可逆性操作，便不可能懂得質量保留概念。同樣的，此時期的兒童也還沒有「容量保留概念」。假定在七歲以前的兒童面前，放完全相等的甲乙兩個杯子，各倒進一樣多的水。將其中甲杯內的水倒入另外一個較甲乙杯為高而細的丙杯內，則一般七歲以前的兒童會說丙杯內的水要比乙杯內的水為多。顯然的，兒童只看到水在杯內的高度，而無法同時考慮到高度與杯子的直徑可以相互抵補。這是認知結構之發展程度，還不足以使兒童進行可逆性操作之故。科學課的教師應知道這一時期的兒童當然還不能同時協調兩個或兩個以上的變因，也不容易同時注意到物體的很多不同的屬性。

(三) 具體操作期(Stage of concrete operations)：這是指七、八歲至十一、二歲這段時

間的認知發展而言。此時期的兒童開始可以進行「操作」了。但是因為他們只可以操作具體的客體，不能操作用語文表示的抽象的假設，所以皮亞傑將這一時期叫做「具體操作期」。大體上說，此時期的兒童可進行有關類別、次序、數字、時空關係等的操作，也可以學習最基本最簡單的邏輯概念、數學、甚或物理。例如，他們可以根據沙紙的粗細，排出次序；可以根據貝殼的花紋、大小、顏色、形狀、硬度或厚度等不同屬性，分出不同的類群(groups)來。惟此項思考活動必須透過具體的實物或教具的幫助，兒童方能真正了解。這就是為什麼進行科學教學時，需要為兒童準備適當的科學教具的原因所在。假使教師問兒童「一個蘋果切三刀(東西方向切一刀，南北方向切一刀，水平方向再切一刀)，白色的面一共有多少面」時，兒童很難憑空想像而能正確回答這個問題。但是，如果拿一個蘋果，讓兒童一邊切一邊數，則兒童也可以了解為什麼白色的面一共有24面。具體操作期的兒童由於漸漸能夠進行可逆性操作，所以也逐漸發展出數量、質量、長度、面積、重量、甚或容量保留概念來。例如，在質量保留概念的實驗裏，兒童能說出香腸狀的膠泥還是跟球狀的膠泥一樣多，而且能夠指出，如果再把香腸狀膠泥捏成球形，兩個膠泥將仍會一樣大。又如，此時期的兒童使用天平時，如果天平兩端失去平衡，會在較輕的一端加上砝碼，或從較重的一端減去砝碼，使兩端平衡起來。前操作時的兒童則不然，他們往往只會在較輕的一端加上砝碼(左邊較輕就加在左邊，右邊較輕就加在右邊)，直到兩邊平衡為止。由此可見，具體操作期的兒童確比以前不易只憑直覺來判斷事物。然而，此時期的兒童在進行科學實驗時，還不太會控制變因。例如，在實驗擺的長度之變化對擺的擺動快慢的影響時，他們還不會控制「角度」和「重量」使之恆定，只改變「長度」，以觀察長度的變化對擺的擺動快慢之影響，而往往同時既改變長度又改變重量。因此，在對這一段時期的兒童進行科學教學時，應為他們提供

自我發現和豐富而有變化的經驗之機會。惟此種經驗且必須是具體的，兒童可以實際參與活動的，和動手去做的纔好。

(四) 形式操作期 (Stage of formal operations)：這是指十一、二歲至十四、五歲這一段時期的認知發展。就我國國民中學的學生來說，大部分已經進入這個時期了。自這一時期開始，學生不但可以操作物體（如類別、次序、數字、時空關係等的操作），而且可以操作語文形式的抽象假設（如命題邏輯的操作）。所以皮亞傑稱之為「假設－演繹操作 (hypothetic-deductive operation) 或「形式操作」。換言之，學生的思考活動開始可以擺脫知覺的拘束，而能夠從事類似成人的抽象思考和概念化的活動。他們已經能夠不靠外在的即時的具體刺激，而只運用符號或語言，便能夠進行有系統的和純粹抽象的邏輯思考。其中最重要的特點便是(1)可以像成人一樣進行「反省思考」(reflexive thinking)，亦即，在內心裡面回頭思考其所思考過的事物，並予以評鑑。例如，回頭思考自己所做過的科學實驗，評論其缺點，並想法改進此一實驗。(2)可以根據假設進行演繹推理：例如，在未實際着手實驗之前，先提出假設謂「如果……就可能……」，然後纔進行實驗以支持、修改、或推翻其所提假設。(3)可以進行控制變因的實驗：例如，可以把「長度」這一變因先單獨分離出來，把「角度」和「重量」等變因加以恆定，以觀察長度的變化對鐘擺擺動速度之影響，然後再輪流把「角度」或「重量」單獨分離出來，以觀察影響擺動速度的情形。(4)能夠在內心裡有系統的想出所有可能的不同組合 (combinations)：例如，在利用電錶的兩根試棒探測電路上 9 個接點之間有那幾對接點之間通電或不通電時，已能利用組合的原理來處理。(5)能夠進行命題操作 (propositional operations)：例如探討影響豆子生長的變因時，可以把連言概念（溫度和光？）、選言概念（溫度或光？）、否定概念（不是溫度也不是光？）、以及隱含概念（不是溫度和光，是水嗎？）等

不同命題加以組合，以探討影響的情形。總而言之，進入形式操作期的國中學生，已能運用語言符號進行抽象思考、邏輯思考、和分析綜合，甚至利用抽象的假設來探究 (inquiry) 和解決問題 (problem solving)。此時的學生的認知發展，較諸具體操作期的兒童的認知發展為更向前邁進一步。在具體操作期裏，兒童很難了解下列之類的問題，但是形式操作期的學生則漸漸可以瞭解了。例如，在玻璃杯的水中放入冰塊，然後用酒精燈在杯底下加熱，只要冰塊還沒有全部溶解，杯中的冰水混合物一直保持 0°C 。具體操作期的兒童倘若使用溫度計來測量，也可了解這個事實。但是如果問他們「把這杯冰水混合物拿到北極，水還沒結冰之前，這杯冰水混合物的溫度是多少」時，他們的回答通常是「零下 20° 度！」，因為北極太冷了。教師如果告訴他們「這時這杯冰水混合物仍應為 0°C 」時，他們將十分困惑，無法了解或吸收同化。由於認知方面失去平衡狀態，他們必須改變認知結構或基模，使能調適順應這些新的訊息。當新的認知結構建立，兒童能夠了解或吸收這種概念時，他們就可能已進入形式操作期了。

從上述各認知階段的發展看起來，兒童隨著年齡的增進，由完全主觀而變為客觀，由受動作和知覺影響而變為受理念影響，由只能具體思考而變得可以抽象思考，由思維呆板而變為富有彈性，而且，由無批評性而變為可以自我批評；其認知發展終於漸漸接近成人的標準。

惟上述皮亞傑之認知發展階段的分期只是平均的趨勢，所以並不是說所有國中學生只要年齡在十二至十五歲，便都能夠形式操作。事實上，有不少學生的認知發展仍停留在具體操作期甚或前操作期，所以學習較深的抽象科學概念或過程技能時，仍將遭遇到很大的困難。還有，當我們說國中學生可以抽象思考時，只是說我們可以為他們提供抽象思考的學習機會，並不是說讓他們具體操作已不重要。學習抽象科學概念，如能透過具體操作的歷程，當然要比只有抽象思考時為

容易學會。ISCS在編製時，曾特別注意到這一點。所以，該課程之前部分都是一些學生能夠做的具體活動，然後纔慢慢出現困難的教材。這是為什麼它的編製者們曾經說「從科學家的眼光看科學，從學習理論專家的眼光看學生」的緣故。

二、從學習心理學家的理論談國 中科學課程的心理基礎

其次，我們再從學習心理學的立場來討論國中科學課程之心理基礎。在學習心理學的領域裏，一向有許多學派和不同觀點之間的爭論；各種說法均有其長處和短處。就學習的目的而言，學生所學到的到底是「成果」(products)或是「過程」(processes)呢？就學習方法而言，學生所用的到底是「接受學習」(reception)還是「發現學習」(discovery)呢？在學生的學習歷程中，教師到底應該為學生提供什麼程度和什麼種類的指導呢？這些爭論在所謂“新”科學課程出現之後，和在改進科學教學方法的需要之下，再度為人們所重視。

以幾個較有名的新科學課程來說：SCIS較重視獲得成果，因為它強調幫助學生在科學學習活動中獲得重要的「科學概念」，例如交互作用(interaction)等。AAAS重視於獲得過程，因為它強調學生須在科學學習活動中學到各種「科學過程」或技能，例如，分類和形成假設等。而ISCS則成果和過程二者兩重，例如，學生在學習「物質的組織」的時候，他必須同時學習如何建立「科學模式」(scientific models)。

在學生的學習方法方面，布魯納強調讓學生自己去獨立發現(independent discovery)，因為教師如果以他的權威來直接灌輸重要的科學概念或原理原則，學生並不能真正產生瞭解。所以，教師在其教學活動中所提供的指導的應儘量減到最低程度。ESS在這方面也受到布魯納的影響。該課程並不直接灌輸科學知識和事實讓兒童來被動接受，故安排許多不同主題的單元活動

，讓兒童自己去發現和自己解決問題。SCIS也強調發現學習的重要性，但卻主張應配合皮亞傑認知理論所描述的發展階段，引導學生去發現，便是它所標榜的「指導發現」(guided discovery)。另一方面，奧斯貝則認為完全由兒童來獨立發現縱使有可能，也仍不如給兒童適切的指導和幫助來得有效；讓學生完全無助的去發現，將浪費學生的精力和時間，誠為不智之舉。蓋聶和奧斯貝一樣，強調學生所獲得的，主要係靠教師的引導並由學生來接受。因之，教師應依照事先詳細計劃好的教學過程，由易而難，由下而上，一步一步引導學生達到預期的教學目標。AAAS便是根據這種觀點設計而成的。

總之，如果利用魏樂可(M. C. Wittrock)的分法，則從那種把學生所要學習的內容全部以最後形式呈現給學生接受的「註釋式教學」(expository teaching)到那種完全由學生自己摸索自己發現的「無指導發現」(unguided discovery)的兩個極端之間，可有不同的分法，亦即，教師指導學生的多少程度不盡相同。為便於記憶起見，我們可以利用舒爾曼(L. S. Shulman)的2×2矩陣將上述各點加以摘要表示在圖三裡面。由圖三可以看出，就教學目的而言，奧斯貝

	成果	過程
接受	奧斯貝	蓋聶
發現		布魯納

圖三 三位心理學家的主要觀點。

注重使學生獲得科學事實，科學概念和教材內容；蓋聶和布魯納則主張使學生學得科學過程。就學習方法而言，奧斯貝和蓋聶重視接受學習，而布魯納則強調發現學習。下面我們要將這幾位對科學教育有直接或間接貢獻的心理學家的學習理論加以詳細的介紹。

〔一〕蓋聶的學習理論

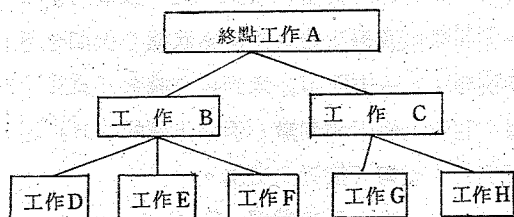
蓋聶曾任美國加州大學和佛羅里達州立大學教授。在蓋聶、布魯納和奧斯貝三位之中，蓋聶

可算是最接近行為學派的一位心理學家了。他的主張較接近提倡操作制約學習 (operant conditioning) 和編序教學 (programmed instruction) 的斯肯納，但與前述皮亞傑以及下面將提到的布魯納觀點則有很大的不同。蓋聶受過新行為學派傳統的嚴格訓練，並曾在美國空軍裡當過軍中心理學家。他的學習理論可說是融合了新行為學派的觀點和二次世界大戰期間軍中用以訓練航空人員的「工作分析」(task analysis) 模式之結果。

(一) 學習階層：蓋聶不相信兒童之所以不能學習某一種教材內容是因為其成熟程度不夠的緣故。他認為學習如果受成熟因素之影響，也只不過是限於人生最早期的一段時期罷了。這段時期之後，倘兒童學會了某一教材的基礎知能，便能夠學會該一新的教材。這是因為他相信任何學習均有一種最合理的次序；假定前一學習為後一學習之先決條件 (prerequisite)，則如果前一學習已經成功便可以成功的學會後一學習。兒童之所以學不會某一種教材，乃是他未具備學會此一教材之基礎能力或先決條件，而不是成熟不夠所致。所以，蓋聶強調在教學之前，教師應先確定好教學目標，問自己「你希望學生在學習活動結束之後能夠做些什麼？」，亦即要用具體的「行為目標」(behavioral objectives) 之方式把教學目標表達出來。然後接著進行「工作分析」，問自己「為了使能夠做這些，學生須先會做那一些？」或「為了使能夠表現這一個終點行為 (terminal behavior)，學生須能夠表現什麼起點行為 (entering behaviors)？」利用這種步驟將教材詳細加以工作分析之後，便可以得到如圖四所示的「學習階層」(hierarchy of learning) 簡圖。由圖四可以看出，工作分析的結果顯示：學生如要能做終點工作 A，亦即能表現行為目標所預期的行為，他必須先能做工作 B 和工作 C；要能做工作 B，他必須先能做工作 D、E 和 F；要能做工作 C，他必須先能做工作 G 和工作 H。可見工作分析的步驟係自上而下依次分析

下來的。惟，教師在實際教學時，則自學習階層的底層出發，自下而上，一步一步引導學生循序學習，以達到預期的目標。當底層的這些先決條件都具備，或附屬工作 (subordinate task) 都能做時，便可以表現終點行為了。依照蓋聶的看法，如果學生能夠表現行為目標所預期的終點行為，便說他已經獲得某種「學得的能力」(learned capability)。因之，學生能否表現某一終點行為乃是表示他是否具有該一學得能力的指標。

由上可知，蓋聶顯然係主張教師必須詳細計劃每一單元的教學順序，使學生在教師引導下依次學習，所以他是提倡「指導的學習」(guided learning) 之代表人物。他所以堅信必須使學生自學習階層的底層出發，自下而上，一步一步循序漸進的學習，乃是因為他相信學生獲得較低層次之學得的能力之後，便可產生「垂直遷移」(vertical transfer)，使獲得較高層次之學得的能力變得較為容易之故。這事實上是編序教學法的基本精神，也是科學課程 AAAS 的主要理論根據；ISCS 也十分重視蓋聶的這一個理論。



圖四 學習階層。

(二) 學習的八種基本類型：蓋聶在「學習的條件」(The Conditions of Learning, 1965, 1970) 一書中，把各主要心理學派的理論加以綜合，歸納成八種基本的學習類型。這八種類型的學習本身也有難易次序存在，亦即前幾種類型的學習為後幾種類型的學習之先決條件，故它們之間也構成一個自下而上的學習階層。了解這八大類型學習之性質以及它們之間的學習階層的關係，對安排科學課程的內容將有很大的幫助。這八

種學習類型的名稱、性質、和產生該類學習的內外條件可簡述如下：

1. 訊號學習 (signal learning)：蓋聶所謂的訊號學習事實上是指巴夫洛夫 (I. Pavlov) 所提倡的古典制約學習 (classical conditioning)，是學習的最基本形式。在巴夫洛夫的實驗裏，狗聽到鈴聲本來並不會分泌唾液，只有吃到食物時纔會。可是如果每當鈴聲響了之後 0.5 秒就呈現食物，如此反覆練習好多次。最後，只要鈴聲響，不必呈現食物，狗就開始流口水。我們就說，狗已經學到聽鈴聲響就流口水。在這例子裏，鈴聲就如同代表「食物將來臨」的訊號一樣，可以引起狗的唾液分泌反應。故，蓋聶稱這類學習為訊號學習，不叫古典制約學習。假定每次在拍節器的滴答聲響後，就往學生的眼睛角膜上吹冷氣，重覆練習幾次之後，學生一聽到滴答聲便會立刻眨起眼來。滴答聲也變為「冷氣快要來了」的訊號，足以引起眼瞼反應。上科學課時，學生每次看到老師在黑板上寫 H_2O 時，便聽到教師說「水」，如此多次練習， H_2O 便成為代表水的符號。在科學課裏，學生常經由訊號學習學到科學方面的專門術語和名詞。這一類型的學習，一方面須顧及學生的內部情緒狀態（例如憂慮或愉快等），一方面須注意到要有機會「重複」練習，和儘量使兩種刺激（例如上例的「 H_2O 」和「水」）能夠「接近」出現。

2. 刺激 - 反應學習 (S-R learning)：這事實上是斯肯納所提倡的「操作制約學習」而言。它與前一類型的學習同為學習的最基本形式，亦即所謂「學習」均意謂「使刺激和反應之間建立新的聯結」。在斯肯納的實驗裏，白老鼠最初看到箱內的短槓桿並不會去壓桿，但是如果白老鼠偶然做了壓桿的反應，箱內便立即有食物出現，其壓桿的行為便得到獎賞或增強 (reinforcement)。如此反覆練習，每次壓桿就有食物吃，則訓練到最後，白老鼠只要被放入箱內便會自動去壓桿。我們說，白老鼠已經學會看到槓桿這一刺激，便做壓桿的反應，或說刺激與反應終於聯

結在一起。由此可見，在某一情境前面，如果每次學生發出某一行為就得到增強，則以後同一情境又出現時，表現該一行為之可能性就更為增加。在上科學課時，我們不難找到刺激 - 反應學習的例子。例如，每次學生動手去打開電路的開關時，電燈就亮起來，他就立刻得到增強；以後他要燈亮時就又会打開開關。每次燒杯中的液體沸騰時，學生如把酒精燈關上，液體就不溢出來，以後相同的情形發生，學生也會做同樣的動作。這一類型之學習的最重要條件便是，每次在所期望的行為出現之後，立刻予以「增強」。如此重複，刺激和反應之間的聯結便越來越牢固。

3. 反應連鎖 (chaining)：上面所提到的是一個刺激引起一個反應的簡單學習。這裏，所謂反應連鎖學習是指須將兩個以上的動作反應加以連接起來的學習，亦即一般所謂的動作技能學習。例如，在使用顯微鏡的學習活動裏，從把細菌玻片樣本來好在顯微鏡載物台上，調整好反射鏡和焦距，到觀察完畢並畫下標本的構造圖為止，有好多個相連接的動作反應。最初學生必須以一個刺激 - 反應為單位，把每一個動作反應學會；然後學習將各個動作反應依次加以連接，直到能順利連成有系統有秩序的動作系列為止。如此，每一動作所產生之內在刺激，亦本體感受刺激 (proprioceptive stimulus) 的本身便足以引發下一個動作反應，無須再靠原來的刺激來引發。此時我們但見學生熟練的表現一連串的外在動作。其他，諸如解剖動物製成樣本，烘細玻璃管拉成滴管等等，都是反應連鎖的例子。要學好這類的學習，必須把各重要的基本單位反應依正確「次序」排列，然後反覆練習，並在所希望的正確反應連鎖出現時，立刻予以「增強」。

4. 語文聯想：這是指將兩個以上的文字、符號或語文單位依適當次序連結起來的學習而言。例如，按照離開太陽距離的遠近，將九大行星的名稱說出來；依波長的長短次序，把不同色光的名稱背出來；或利用化學方程式將製造氧的過程表達出來，均屬這類學習。語文聯想事實上為

語文性質的反應連鎖，常須透過某種「中介歷程」(mediating process)來促進聯想。當教師要求學生背「視神經細胞中的錐狀體(cones)是管色覺和晝光，桿狀體(rods)是管黑白和夜光的反應」時，如果學生先想到錐狀體的英文字是cones，然後想到英文字母順序裏c後面是d，再聯想到daylight，最後便可想起「錐狀體司管對晝光之反應」的話來。這一類型學習之內在條件或外在條件最主要者為：語文聯想內的各個基本語文單位必須是學生以前曾經學習過的，語文單位的呈現須依適當的次序，須提供外來的線索，並在語文聯想次序正確時立刻予以增強。

5. 多重辨別學習(multiple discriminations):這是指學生必須對許多不同的刺激，做不同而適當的辨認反應之學習而言。例如，學生就顆粒大小、形狀、顏色、硬度、粗細等屬性方面觀察幾種不同的結晶體(或礦物)樣本，辨別它們之間的相異點；就樹葉的形狀辨別松、柏、杉的不同；或就色澤、斑點、翅膀結構等辨別各種蝴蝶的差異，都是屬於這類型的學習。這種學習為學生學習分類的基礎能力，學生有無此一能力將影響到有關的概念學習。進行此一類型的學習時，應把所要辨別的各项刺激巧妙的安排，使相異點較為突出，容易對照和比較。學生辨別正確時，隨即予以增強；辨認錯誤，則予以消弱(extinction)。

6. 概念學習(concept learning):這是指學習對一群在外表上彼此不盡相同的刺激之共同屬性做共同的反應而言。例如，「動物」這一概念是把狗、馬、魚、鳥、蛇、螞蟻……等歸成一個類別，然後對其全部的共同特性(會運動、營養、新陳代謝、繁殖……)所做的一種反應。這種概念是從許多具體存在的客體中把其共同屬性抽象化出來的結果。有時，概念是從「定義」，尤其是操作型定義(operational definition)中學習而來的，例如「原子」、「分子」、「中子」、或「離子」等概念便是這樣。概念學習的先決條件是多重辨別；概念學習又將成為下面所

述原理原則學習之先決條件；故在科學教學中，此一類型之學習佔有極重要的地位。惟，因為概念只是抽象的存在於學生的腦海中，並不具體存在於外界，故學習起來相當困難。此類學習如有困難，學生將無法進行「分類」的工作。學生在進行概念學習時，教師應設法安排情境，使學生容易發現各特定類別之內各個別刺激之共同屬性。在某項科學概念的教學之後，教師可呈現另一組新的刺激，以考驗學生是否真正獲得該一概念。例如，利用學生常見的一些花、葉、和莖讓學生分出單子葉植物和雙子葉植物後，教師可再呈現另一組他們不熟悉的花、葉和莖，看學生是否能分出單子葉植物和雙子葉植物來。如能，便表示他可能真正具有單子葉植物和雙子葉植物的概念了。

7. 原理原則學習(rule learning):這是指學習兩個或兩個以上的概念之連鎖，或了解概念與概念之間的關係而言。換言之，要學會某一原理原則，學生必須先學會兩個或兩個以上的概念，並發現它們之間有何關係存在。例如， $F = m \cdot a$ 是個原理原則，它說明了力、質量、和加速度三者之間的關係。要了解此一關係，學生至少要先了解：力、等於、質量、乘、以及加速度等五個概念。又如，「水在攝氏零度時結成冰」也是一個原理原則，要了解此一原則，學生須先了解水、冰、和攝氏零度等基礎概念。故在原理原則之教學時，教師必須先幫助學生去把有關的基礎概念回憶起來。教學結束時，還須要求學生以行為和演示來顯示其是否真正了解該一原理原則。假定學生在觀察「加熱使空氣膨脹」、「加熱使氧氣膨脹」、「加熱使二氧化碳膨脹」之後，學生能夠歸納說「加熱使氣體膨脹」，我們便知道他已能了解「加熱使氣體膨脹」的原理原則了。

8. 問題解決(problem solving):這是指學生於遭遇到新的問題情境時，必須在內心加以思考，把以前學過的兩種以上原理原則加以聯合，產生一種新的能力；使在新情境中所遭遇的難題獲得解決之學習而言。例如，當學生對「月

亮為什麼有圓缺的變化」發生疑問而想加以解決時，如能提出假設，運用策略 (strategy)，並把過去學到的「太陽為發光體，其光線直線進行」、「月球不是發光體，只有太陽照射到的部分會反光」、「月球繞地球旋轉，地球繞太陽旋轉」等原理原則適當的加以運用，終於自己想出解答此一疑難問題的新方法或更高一層的原理原則，那麼他便算解決了問題。此外，諸如根據地球上各地區每年樹木的落葉情形，推算出地球上溫帶的範圍；根據地形、生態環境、和生化的原理原則來解決河流污染的問題等，均屬於此一類型的學習。這類學習，在國中的科學課程中，須加以重視，不可忽略。在進行問題解決之教學時，教師要告訴學生預期達成什麼目的，而且應利用語言協助學生回憶對解決問題有幫助的各種概念和原理原則，纔能有助於問題的解決。

上述八大類型學習之中，以概念、原則、和問題解決三類之學習及使用為最常見於一般學校；至於刺激與反應之連結的學習則較不常見，因為這類的學習主要的是兒童早期已經學過的。根據蓋聶的看法，較常見於學校的這些學習類型成為如圖五所示之學習階層，必須依圖所示順序學習。因之，蓋聶強調教師應在未教學之前，先進行前測 (pre-test)，以決定每一學生未開始學習之前的能力 (起點行為) 係在學習階層的那一個位置。如此，則學生便可以進行獨立學習，亦即，能力低者由學習階層的較低處，能力高者則由學習階層的較高處，依次往上學習。故他主張教師應盡量適應學生的個別差異，進行「個別化」(individualized) 教學。重視個別化學習的 ISCS，在這方面受蓋聶的影響極大。

後來，蓋聶 (1974) 再將學習的類型重新調整如下，使更能適合實際教學上之需要：

1. 語文知識 (verbal information)
2. 心智技能 (intellectual skill)
 - 辨別 (discrimination)
 - 具體概念 (concrete concept)
 - 定義概念 (defined concept)

原理原則 (rule)

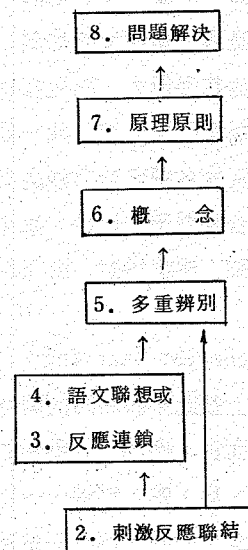
高層次原理原則 (high-order rule)

3. 認知策略 (cognitive strategy)

4. 態度 (attitude)

5. 動作技能 (motor skill)

這種分法顯然已顧及柏隆姆 (B.S.Bloom) 等人對教育目標的分類之觀點。大致上說，語文知識、心智技能、和認知策略 (如啟發性思考和創造) 是屬於「認知方面」的學習；態度是屬於「情意方面」的學習；而動作技能則屬於「技能方面」的學習。這五大類之間並不具有學習階層的性質。但是，第二大類心智技能所屬的幾種小類型之間，則仍然像圖五的分法一樣，具有學習階層上的關係，亦即依次為辨別、具體概念和定義概念、原則原理、以及高層次原理原則 (亦即問題解決)。這種新的分法，為 ISCS 所廣為採用，是為該課程用以敘寫實作目標 (performance objectives) 之根據。



圖五 學習類型及學習階層 (Gagne, 1970, P.66)

除了 ISCS 以外，還有重視「科學過程」的 AAAS，在課程及教材的安排方面也受蓋聶的理論之重大影響。該課程列有八個基本過程和五個統整過程的詳細學習階層圖，是蓋聶的學習理論在科學課程設計方面之實際應用的好例子。