

從認知發展探討中學科學的教學

——以生物學為例——

王文科

壹、前言

依皮亞傑的說法，國中學生應位於形式運思（formal operation）的階段；因就其認知發展理論而言，形式運思期青少年的起迄年齡為十一歲至十五歲。但依據數位美國學者（註一）以及至少一位英國學者的研究（註二）均一致指出，皮亞傑所指達到形式運思期的常模，以美國及英國的母群體衡量，或許不盡符合，當然這要歸因於皮亞傑建立常模的樣本，乃取自「日內瓦較佳水準的學校」（註三）所致，儘管有差距，但若把英、美的研究結果與其他非工業化國家甚至與那些「西方國家低社經地位階級的子弟」相較，其與皮亞傑的研究之差異並不算大。（註四）

從英美學者的每項研究中，可以發現皮亞傑提出達到形式運思期的年齡，似乎太小，十一至十五歲間的青少年有許多是無法達到形式運思層次的。以 E. F. Karpus 與 R. W. Petersoff 的報告為例，十至十二年級修讀大學預備課程的學生祇有百分之十五採用形式運思；以成人樣本的研究中，所占的百分比，也不見得較高。（註五）另 J. W. Mckinnon 與 J. W. Renner 使用不同的測驗，以大一新生當樣本，發現「差不多有百分之七十五的樣本完全或部分運用具體運思，從事思考」，亦即約僅有四分之

一的受試者的思考方式，可以歸入可信賴的「形式」程度。（註六）

有鑒於此，欲探討國中學生的教學示例時，似不宜以形式運思為重點，宜由為具體運思兒童作預備，以協助他們躋於形式運思的階段。

貳、阮納等人的貢獻

阮納（John W. Renner）自一九六二年以來，即在美國奧克拉荷馬大學（University of Oklahoma）擔任科學教育教授之職。從幼稚園至物理的碩士學位學生，幾乎都成了他教授科學的對象；他擔任美國國家科學教師協會（National Science Teachers Association）副執行秘書之職，並負責科學課程改良研究（the Science Curriculum Improvement Study）實地試驗與研究中心的工作。由於科學課程改良研究獲得的經驗，使阮納相信，皮亞傑模式在課程發展與教學方法論方面，有重要性。過去十年間，阮納的研究，集中於測量學生的智力層次，以及設計提升學生智力發展的課程，並以利用皮亞傑的理論運用於教學的觀點，寫了四本大學用書。為了簡化起見，下列的討論祇以阮納為代表，而將其參與的同事姓名省略，其中包括史大福（Don G. Stafford）在內，史大福與阮納共同合著了一本在本文引用最多的書（Teaching Science in the Secondary Schools, Harper & Row, 1972）。

阮納及其助理見到學校廣泛使用「探究」方法（“inquiry” method）感到欣慰。至少在他們演示的一項研究指出，探究活動用於閱讀、數學、及社會研究上，有實際的效應。（註七）甚至在該項研

究中，其效應並非探究方案直接在閱讀、數學與社會研究上產生的，它們祇是四年為期的「科學」計畫方案附屬的效應。

奧克拉荷馬小組選擇了科學計畫方案，部分理由在於他們自己的背景，涉及各種科學的知識，此外，也有另一個原因，即科學本身乃是一種探究的方法（和系統的知識），且能提供一個屬於它的完整的測驗模型。下列兩個部分，一在概覽該模型，另一在描述該模型在特定教育問題上的應用。

叁、探究法的性質

阮納提出各種科學探究的概念，且彼此密切相關。（註八）在此所要分析的一個概念，涉及「探索、發明與發現」（*exploration, invention and discovery*）的觀念，並以鑾琴（*Wilhelm Konrad Röntgen*）的著作為例說明。（註九）一八九五年十一月八日，鑾琴準備複製陰極放射線（*cathode rays*）效應的某些實驗（即由部分空的曲管中傳出的陰極放射線）。當他持著放射線路時，欲觀察在若干物質中引發的冷光；從較早的著作中，他獲知放射線在空中游動約只五公分。為了協助操作，在幾張紙上放置薄薄的塗料；為了觀察冷光的最佳優點，他使用紙板覆蓋光在曲管中可能外洩的部分。他操作試管時，關掉實驗的燈光，以決定覆蓋部分光的貫穿性如何，當見到其實驗檯的遠處有一道模糊但無誤的亮光時，深感訝異。這道亮光出自他以冷光材料所塗的一張紙。

此地，他認知結構促使他期待的與他實際觀察得到的二者之間，呈現不一致的現象。他以前探索的與他人探索的，使他相信：(1) 曲管放射出陰極放射線，且只有陰極放射線；(2) 陰極放射線的游動，在空

中至遠不會超越五公分。他以各種方式，進一步地探索，檢核他的觀察。當該設置關上，亮光不見；當再度打開，亮光重現。甚至他把塗料的紙移到隔壁房間，關上房門，並弄暗了房間。當試管運作時，該紙依舊發出亮光。

接著又作了多次觀察（由於不一致性，他把自己關閉在實驗室達數日之久），但是單憑觀察無法解決該種不一致性。就此而言，需要的乃是「發明」（invention）。若陰極放射線在空中游動僅有五公分，若從曲管中放出的陰極放射線超出範圍，仍有冷光物質呈現，那麼必然有另一放射線由管中出來。樂琴於是發明了愛克斯射線（X-ray）。

探索、發明與發現（discovery）並不形成一系列各自分開的活動，因為探索在發明之前及之後發生，所以發明在時間上是伸展的，而這二者或許是同時發生的。另一方面，一旦有了發明，它可做為探索的焦點，而產生發現。樂琴及他人對愛克斯射線有了許多的發現，例如，他發現愛克斯射線易於穿透各種不同的物質，如木頭與肌肉，它們可部分穿透入骨中，但在鉛中就完全無法穿透了。醫療人員不久後發現愛克斯射線對於他們的專業有積極的貢獻，同時最近他們更發現愛克斯射線暴露太多有著危險性。

肆、探究是一種教育的歷程

在上述所舉的例子中，我們易於認為樂琴是對他的知識領域有所貢獻的一個科學家，但若認為他是一位科學的研究者，運用探究法使其認知結構益加精確，恰如其份。主張運用探究方式於教育的人士主

張，「任何」學生的重組歷程，本質上是相同的。即智力的發展涉及探索、發明與發現相同的歷程，而不論其產物如何，或是否對整個的知識系統有重要的增加。因此，探究對學生而言就如同對科學家而言，是相同的。現在即將揭示的是與該規則不同的一些變異情形，但就一般而論，學生應邀在科學領域內「執行」，而「學習」科學，本質上與科學家採相同的作法。

試以某中學生物課分派的任務為例（註十），題目是分類：

若要把有機體分類，必須先蒐集可供分類的有機體。學生須至有機體的自然棲息地蒐集，他們正在「探索」有機體及其棲息地二者。在該例子中，有機體是昆蟲；抓回成百隻昆蟲在實驗室。

在那把整個集合（昆蟲）分類成爲子集合。學生的任務與皮亞傑的分類測驗很類似，受試者應要求「把在某方面類似的那些放置在一起。」由於首次分類而得的子集合，雖然在某一方面相似而在其他各方面有別，是必須再細加分類，結果得到一種指認昆蟲的階層系統，那個系統是一種「發明」。

發明的不僅是那個特殊的分類系統，分類觀念本身也是如此。學生一旦習得那種觀念，他們著手「發現」該觀念所能做的是什麼：在當前地理區域中的植物與其他動物同化於其中，且其結構須作調整，以迎合新的條件。伴隨而來的討論，是檢核適應的功能特性，以及演化「目標」的觀念。

此地的教學目標含有認知的與非認知的二者。就認知的目標而言，基本的目標在於理解分類的發展，即依有機體演化的相互關係而予以分類；其它認知的利益，在於獲致知識的形式以及解決問題的策略，那是導源於「處理、觀察、測量，以及一般要認知用來形成這種分類的有機體的歷程……」（註十一）而非認知的利益，爲源自於那些相同的活動的自律與信心。

在這當中的一切，教師最重要的功能是，引發研究，並促使它繼續進行。（註十二）他最先須確定學生「喜歡」研究的教材是什麼，或者他可進一步決定他們「必須」研習的是什麼。這兩種方式中的任一種，期望獲致知識被視為每個學生的一種建構，而不是得自教師的饋贈。

依照阮納的說法，教師的職責在於協助學生利用適當的材料、附帶的「線索與暗示」以及時間。（註十三）以生物學為例，在其棲息地的有機體構成主要的材料資源，是以分類的活動需花時間。（花在某主題的時間「量」係由「繼續進行的是什麼以及其教育價值如何」（註十四）而不是由教材綱要或教科書所決定。「線索與暗示」的事情，須要慎思熟慮。

從探討卡麥（C. Kamii）的著作中，（註十五）你或可憶起，當兒童遭遇問題時，了解其自主性乃是有關的，甚至得自成人的複雜線索，他學會以肯定或否定的方式予以解釋，結果經常是猜測的成分多於思考。

當阮納說，一個中學教師宜提供「線索與暗示」（「暗示」可能是較佳的名詞）時，他心中所想的「不」是那種線索。由於不常常增強正確的反應，因而鼓勵猜測；由於暗示常建議其他的可能性，因而鼓勵思考。洩露答案，無異於剝奪了學生自己去發現、尋找或發明答案的機會；然而學生可能有時候「陷於無望的進退維谷狀態，」（註十六）要不是迫切需求的若干進步，否則他們的動機將會減弱。讓他們再度保持進展，乃是教師的責任。

那並不意味著要防止學生發生錯誤；他們就像較年幼的兒童一樣，應受到鼓勵，遵循著對「他們」來說，似乎最符合邏輯的研究計畫。此種計畫經常被證明是有效果的；但要是並非如此，

「……那是最容易被發現的事實，理由在於產生的資料沒有意義，或由於研究本身無法完成剛開始進行的操作計畫。在這兩個情況中的任一個，顯然可看出需要讓成人知悉，予以協助。在這一點上教師需要介入研究，並批判學生達到此點的方法。在此種批判中，學習者本身經常會發現，他們開始研究，即建立在不正確的假定或錯誤的信息之上。若非如此，教師得建議他們對原先的問題，採另一變通的思考方式，最後促使他們重新設計研究，以便於順利完成，並提供他們有用的資料。這並不是說提供學習者答案。這只是一個促使注意的焦點放在被考慮的問題的方法。」（註十七）

在生物學所學的例子當中，樣品一旦聚集在實驗室，學生開始分類時，可能感到困難。如果是如此，該班學生可細分成若干小組，教師建議其中一個小組考慮動物的腳數來區分，建議另一小組以翼數來作分類，向第三小組建議檢查口部而作分類。建議意見的精確性誠然並不重要；因為當他們正在追求一種可能性之時，其他的可能性在「未」作進一步建議的情況下，提供給研究者。暗示的功用，在促使事情有所進展；若學生有信心（且若他們不期待得自教師的答案），便可自己解決問題。

強調「促使事情有所進展」即在於強調行動——或更確切地說，強調經由行動的建構，因為學生是不斷地在建立資訊處理的系統。在生物學所學的例子中，行動伊始，即依他們自然的棲息處所搜集樣品（物理經驗），並繼續地建構分類系統（數理經驗）。藉著考慮每個學生的發展層次，而完成有次序可循的統整結構。如前言所述，阮納及其同僚的研究和其他工作者的研究均指出，大多數進入中學就讀的青少年，祇能算是具體運思的思考者。是以在生物學的例子中，以分類——一種具體的運思——作為核心的活

動，乃是適當的。當學生按各種物理的特徵，分類昆蟲時，即在從事具體的運思。當他們在建立所作分類的理由之時——特別是當他們提出的理由，涉及物理特徵與動物生存的關係，進而涉及進化論時——即在從事形式的思考。又當他們硬將實在界納入抽象模型（分類）時，即開始形式的思考。若這種分析正確，教師須找出方法，防止具體運思的思考者延長參與需用形式運思始可順利完成的任務。較不嚴重的冒險作法是延長形式運思學生參與具體運思的任務。在生物學的例子中，鼓勵具體運思的思考者進行較詳細的分類（具體運思乃為形式思考的基礎），便可完成正確的配對，而那些早已躋於形式運思層次的那些人，把注意力放在分類的理論基礎，及其在昆蟲上所作的應用。是以適度注意學生的發展層次，配予任務，以提供適度的不一致性與認知衝突，便會油然而生動機，根據阮納的經驗，誠然是這麼地做了。

附 註

- 註1. E. D. Dulit, "Adolescent Thinking a La Piaget-The Formal Stages", Journal of Youth and Adolescence, Vol.1, 1972; Elizabeth F. Friot, "The Relationship Between the Inquiry Teaching Approach and Intellectual Development." Ph. D. Dissertation, University of Oklahoma, 1970; E. F. Karplus and R. Karplus, "Intellectual Development Beyond the Elementary School I. : Deductive Logic," pp.398-406 ; Karplus and Peterson, "Intellectual Development Beyond the Elementary School. II : Ratio- A Survey," pp.813-820;

- J. W. Mckinnon and J. W. Renner, "Are Colleges Concerned with Intellectual Development ?" pp,1047-1052 ; R. J. Ross, " Some Empirical Parameters of Formal Thinking, " Journal of Youth and Adolescence, Vol.2, 1973, pp.167-177.
- 註一..K. Lovell and I. B. Butterworth, " Abilities Underlying the Understanding of Proportionality, " Mathematics Teaching, Vol, 37, 1966, pp.5-9.
- 註二..J. Piaget, "Intellectual Evolution from Adolescence to Adulthood, " Human Development, Vol.15, 1972, P.6.
- 註三..Pierre R. Dasen, " Cross-cultural Piagetian Research - A Summary," Journal of Cross-cultural Psychology, Vol. 3, 1972, pp.23-39.
- 註四..Karplus and Peterson, loc. cit.
- 註五..Mckinnon and Renner, loc.cit.
- 註六..J. W. Renner, D. G. Stafford, W. J. Coffia, D. H. Kellogg, and M. C. Weber, "An Evaluation of the Science Curriculum Improvement Study," Science and Mathematics, April 1973, p.313.
- 註七..比較 J. W. Renner and D. G. Stafford, Teaching Science in the Secondary Schools (New York : Harper & Row, 1972), pp.32-34 with pp.106-121.

註九.. Ibid., pp.107-112.

註十.. Ibid., pp.114-116.

註十一.. Ibid., p.116.

註十二.. Ibid., 142ff and 147ff.

註十三.. Ibid., pp.147ff.

註十四.. Ibid., p.149.

註十五.. 王文科著，「認知發展理論與教育——皮亞傑理論的應用」。(台北：五南，民國七十一年)，
頁三九〇—三九二。

註十六.. Renner and Stafford, op. cit., p.149.

註十七.. Ibid., p.150.

(本文主要摘譯自.. John L. Phillips, Jr., The Origins of Intellect : Piaget's Theory (San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1975), pp. 155-161 ; 169-170).