

# 科學教育與 邏輯推理

國立中山大學

趙金祁

## 一、前言

自二十世紀六十年代，全世界推行科學教育改革運動以來，無容諱言，大家無不將科學視為人類推探或「致知」自然現象的結晶，並將探討過程列為科學課程教學重點之一。舉凡課程編撰均以實驗為中心，讓學生實際扮演小科學家的角色，從事新穎的科學學習活動，無不以激勵學生的探討為主。

杜威在教育科學資源一書中，曾揭示：「科學之優異，在於其探討方式之週詳與系統化，對一切事物之了解，能作最新與最敏捷的反應，進而自臻精深與淵博的境地。」<sup>(1)</sup>由此可知，探討是科學的基礎，當不容有所置喙。一九六七年夏佛爾（Robert J. Schaefer）更著述專書，呼籲各級學校都應發展成學識的探討中心，對探討的倚重，可見一斑<sup>(2)</sup>。

由於邏輯學是探討過程的理論基礎，其功能為歸結證據，排除不合適的假設，進而導致真知實學；因此，從事科學教育的工作者，都應對如何運用邏輯推理，有所了解，才有望正確診斷學

生的學習困難，俾增進科學教學的效果。

瑞士發展心理學家皮亞傑，積數十年之研究經驗，對人們在科學認知中的邏輯思維特性，具有獨到的見解與不世的成就。當初，科學教育界的種種改革措施，所以諸多引用皮亞傑理論，即種因於此。時至今日，科教界對皮亞傑的見解、理論猶推崇備至，顯見科學教育與邏輯推理，關係密切，不容有所偏頗。

## 二、皮亞傑的認知階段

衆所週知，皮亞傑將人生的認知階段區分為感覺反應期、前操作期、具體操作期、以及形式操作期等四個階段。皮亞傑認定人生在前兩時期中，並無邏輯思考能力，惟有成熟程度擴及後兩時期時，才能表徵邏輯運作的行為能力。

在人生的感覺反應及前操作兩時期內，即幼兒出生以迄七歲左右，人類由最初對身體的投射反應，歷經種種內向化的變遷，初步獲得以語文或符號與週圍環境相作用的能力；其行為亦顯見經由實體的刺激反應，逐漸進化，演變成對抽象觀念，形成思索反應。不過，因著人在此兩時期內，遭受自我中心觀念等強烈的抑制作用，尚無法完全展露邏輯上的推理特性。一般說來，惟有在抑制效能，隨著成熟程度而降低時，人類推理上的種種運作過程，才能更為彰著。

根據皮亞傑的理論，人們能逐漸領悟與有效行使邏輯推理應在七歲左右，即自具體操作期開始。處在此一時期，思想行為不再全部限制在自我感官的範圍內；譬如，對具體問題，已可由問題內蘊藏的邏輯構架，遂行思索，而加以解決。此外，此時已能設身處地，為人著想，故而此一階段使用的語言，往往增加甚多會話與社交方面的詞彙。也就是說，面對環境的知覺感受，亦不再受制於過份狹窄的範圍內，進而能兼顧多方面

，即自不同的觀察角度，獲取經驗，為推理運作的實踐，奠定良好基礎。

皮亞傑亦指出在假設情況下的問題，亦即全憑思索引發的問題，則必須等待形式操作期開始，才能解決。處在形式操作期時已有可能不再從具體事物出發，而由思維上的假設開始，經邏輯推理來處理問題。因此，科學教育上，要求學生進行複雜理念，惟有在此時期，才能圓滿達成。換言之，就以認知發展而言，形式操作期可以說是成就最高的階段，通常涵蓋十一歲至十五歲的一段年齡範圍。

### 三、邏輯操作的抑制因素

根據皮亞傑的分析，在具體操作期以前的人們認知行為，無不受到感官活動的強烈影響。此時，縱然具有以符號代表實物等某種程度上的內向化能力，但仍以感官的感受為思路上的依歸。

事實上，感覺反應與前操作兩時期內的認知特性，所以不能遂行完整的邏輯推理，可歸結到四大因素，即自我中心、認知轉移困難、過份專心、以及失却可逆彈性。

在自我中心的影響下，人類不可能設身處地，由他人的觀點了解與分析自己的問題。此時的想法，一般都顯見極為幼稚，認定任何他人必與自己一般思索，也認定同一時間內他人所考慮者必與自己相仿，屬同一對象。因此，此階段，既不可能推理，當然更不可能反省；萬一遇到外界的證據與自己的想法不同時，輒歸咎證據的謬誤而自以為是，遑論客觀分析與探討。大致說來，要到七歲以後，才有脫離自我中心的趨勢而開始去適應社會的壓力，即在遭遇自己與他人不斷矛盾時，考慮應否對自己的想法，重新加以驗證的問題。因此，自我中心不僅抑制邏輯推理，在皮亞傑的同化與適應原理上，更是抑制適應作用的主要因素之一。

在認知轉移方面，七歲以前往往過份專注轉移中的瑣碎過程與步驟，而忽略整體上的狀態改變與前後關係。也就是說，祇注意原有知覺事件至另一知覺事件間的改變，却無法推理或了解始末或因果間的潛在關係。

至於第三個有關過份專心的抑制因素是指當人在接受感官上的刺激時，因全心全意關注，而無法兼顧同時併存的其他因素。因此，在反應上祇能顯示平凡的直接運作，杜絕了較複雜的邏輯推理等方面的可能性。

在感覺反應期及前操作期所呈現的不可逆特性是，根深蒂固且係相當顯明的表徵；因此，在反應可逆問題時，此時的人生難免顯露緩慢、固執、刻板、且惟知覺感受為馬首是瞻。皮亞傑的實驗，更測知此一階段，往往未循原有思索路線，藉可逆途徑，返回思索起點的能力。

以上是增長邏輯推理的四大阻撓因素，屬人類邁向推理必須逐項加以克服的重點。從事科學教育者，尤應明瞭其功能，在教學上設法加以彌補，以增進邏輯推理的能力。因此，研究如何透過有效的教育力量，縮短此類因素的延續時間，確係當務之急；且因其與文化背景，生活環境等關係密切，科教研究更應特別注意及此，以便在基礎上，獲致有效改善的經驗。

### 四、具體操作期的邏輯運作

一般說來，處在具體操作期約七歲到十一歲的青少年，已具備在具體問題上施展邏輯推理的能力。此時，守恒問題的解決，已逐漸不再發生困難，且在想法與感覺兩者的結果矛盾時，亦能斷然下定決心，以邏輯判斷取代感覺判斷。也就是說，此時的青少年，開始不受知覺感受的桎梏，不再以感覺為惟一專注的對象，并能遂行認知上的整體性轉移以及思索過程中的可逆性運作。

。此外，由於自我中心屏蔽的祛除，與人合作與適應社會等有利條件，顯見成長。至此，青少年可自他人的觀點檢核自己的推斷結果，並可反省與忖度他人對自己意見所持的信賴程度。

根據皮亞傑的實驗，具體操作期最習見的推理運作共有三種，即可逆思考、順序排列、以及特性區分等行為。

在可逆思考中，青少年有能力認定自上至下排在圓筒中的A B C三枚同樣的異色小球，在圓筒顛倒時，其程序應可推定為C B A。皮亞傑認為在這一成熟程度的青少年，能順應正反兩方向進行內向性的思考，並具有準確表達此種推演結果的能力。

在順序排列實驗中，青少年能根據分別覺察之各部分物體大小，經內向化思索中的比較過程，將全部物體排定大小次序。換言之，若青少年分兩次觀察物體A, B及物體B, C之長短；結果，縱令總結判斷時，A物體已予隱藏，但青少年仍有能力憑藉推理過程，斷定以下關係，即：

因 $A < B$ ， $B < C$ ，故 $A < C$ 。

當然，青少年順序排列能力的成長亦有其一定途徑，一般說來，七歲左右可排定長度關係，九歲左右有能力排定重量關係，十二歲左右才有排定體積關係的能力。

在特性區分方面，處在具體操作期的青少年能合併考慮兩種區分特性的共同效果。皮亞傑實驗發現，在十八顆棕色木球與兩顆白色木球相加時，此時的青少年可對合併後的球體特性，在數量上分別準確反應，即木球數 $>$ 棕色球數 $>$ 白色球數；反之亦然，即由合併的球體中，減去一部分，亦能依據球體的特性，各別加以反應。

皮亞傑也認為具體操作期的青少年，在不同認知能力上，都有平行成長的趨向。譬如，因果關係，時間與速率，以及對話與交談等都顯示齊頭平進的成長情況。

## 五、形式操作期的邏輯運作

形式操作期的青少年，無論在蒐集數據、探討原理、與創設理論上，都比以前各時期更為成熟。由此可知，此時遂行的邏輯運作，亦更為精深，常見者可包括：組合排列、複合言詞反應、假設狀態推理、比例領悟、以及單擺運動中的守恒觀念等。

此階段的青少年，在組合排列的實驗裡，除能在兩種以上的物體中，選取兩者，加以成對組合外，進而亦能完成三者組合；依此類推，以迄進行各種可能組合。

對複合言詞，如甲較乙白哲與甲較丙黧黑等命題，具體操作期青少年尚無能力斷定何者最黑？然而，處在形式操作期的青少年，對此類複合言詞，已可正確反應。此外，在具體操作期中，前述由知覺感受引發而完成之順序排列問題，此時亦可改由言詞的傳達，完成全部系列的邏輯排列。

形式操作期的青少年，亦有能力在假設狀態下進行推理。換言之，此時的青少年已了然可由假設斷定結論；也就是說，縱無事實之支持，亦能憑空推論。譬如，對「假設煤是白色，則煤棧有何景色？」等問題，具體操作期青少年必以煤炭並非白色為由，拒絕回答問題。至於形式操作期的青少年，則能接受此一假設，進而運用邏輯，推斷結論。也就是說，形式操作期的青少年已能由事實內涵中，分離出假設論據，而單獨對襯托在事實背景裡的此一論據，進行邏輯推理。因此，煤炭事實上是否白色，在推論時先予單獨假設成立，然後根據現有背景資料，而推斷煤棧為一片白色。

在比例的推論中，十歲左右的兒童，絕不可能由思索過程達成天平兩側不同位置上重量的平衡。假如強令其完成，祇有放棄推理改以試誤方

式，逐步逼近平衡。也就是說，祇能在一側增減重量，同時改變懸掛另一側重量至支點間的距離，以求取平衡問題的解決；反之亦然。根據皮亞傑的說法，經由比例的概念求解此類平衡問題，祇有十三歲以上的青少年才有可能，即形式操作期的青少年，才可領悟比例的特性，而憑藉推理獲致正確的結果。

至於單擺運動中速率守恒的問題，形式操作期的青少年不再像具體操作期，認定重量的改變為其主要原因，並可正確體認擺長對速率的影響。由此可知，面對此一問題時，具體操作期的青少年，在分離擺長與重量等兩種變因上，有其困難，勢須等待屆滿形式操作期的年齡，才能解決此類問題。

換言之，在形式操作期的青少年已有能力解決，包括解釋過去、說明現在、甚或預估將來的種種可能問題。此外，對假設或言詞命題，亦能正確反應而無何困難。顯然，此時的推理，不再局限在問題內容中，也可超越事實而在思維中憑藉邏輯過程完成之。

## 六、符號與圖案間的邏輯運作

自然科學的理論體系，基礎上是對應著外界事物而建立在心智上的抽象化推理概念。因此，經由代表事物的圖案，要求具體操作期學生提出相應的概念符號，不僅對學生基本邏輯運思，極具助益，且可藉以明瞭學生邏輯運作的實況及困難之處，以為調整教學措施之依據。

茲列舉具體操作期青少年七種思維符號與圖案的範例與練習用題，以供有關人士分析學生內在基本邏輯運作之參考。至於適用形式操作期青少年的推理模式，因係形式邏輯原理闡明的範圍，專用參考資料，至為普遍，本文不予贅言。

在以下諸範例與練習題中，「 $\rightarrow$ 」及「 $\nrightarrow$ 」

分別代表正是及不是左側所示符號的實例；「\*」代表必須填入與上一答案不同之另一答案；「？」代表此處應填入適當答案；「-」，「 $\cdot$ 」，及「 $\vee$ 」分別為否定，連合，及選擇運作等之傳統習用符號；「 $\phi$ 」代表零或虛無的意思。

### 第一類：基礎單元

例題：

$$S \rightarrow \text{☉}$$

問題：

$$H \rightarrow ? ; T \rightarrow ?$$

答案：

$$\text{☉} \quad \text{☉}$$

例題：

$$H \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{☉} \quad \text{☉} \\ \text{☉} \quad \text{☉} \\ \text{☉} \quad \text{☉} \end{array} \right.$$

問題：

$$H \rightarrow \text{☉} \quad \text{☉} ?$$

$$? \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{☉} \quad \text{☉} \end{array} \right.$$

$$* ? \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{☉} \quad \text{☉} \end{array} \right.$$

$$? \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{☉} \quad \text{☉} \quad \text{☉} \end{array} \right.$$

$$* ? \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{☉} \quad \text{☉} \quad \text{☉} \end{array} \right.$$

$$? \rightarrow \text{☉}$$

$$? \rightarrow \text{☉} \quad \text{☉}$$

$$? \rightarrow \text{☉} \quad \text{☉} \quad \text{☉}$$

答案：

$$\text{☉}$$

A

H

T

S

A

A

A

例題：

$$T \nrightarrow \text{☉}$$

問題：

$$T \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} ? \quad \text{☉} \\ ? \quad \text{☉} \quad \text{☉} \\ ? \quad \text{☉} \quad \text{☉} \\ ? \quad \text{☉} \quad \text{☉} \quad \text{☉} \end{array} \right.$$

$$A \rightarrow ?$$

$$A \nrightarrow \left\{ \begin{array}{l} ? \\ ? \quad * \\ ? \quad * \end{array} \right.$$

答案：

$$\rightarrow$$

$$\rightarrow$$

$$\nrightarrow$$

$$\rightarrow$$

$$\text{☉}$$

$$\text{☉}$$

$$\text{☉}$$

$$\text{☉}$$

$? \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \odot \\ \ominus \end{array} \right.$   
 $? \neq \left\{ \begin{array}{l} \odot \\ \ominus \end{array} \right.$   
 $? \neq \odot \quad \square$   
 (訂正以下關係)  $H \rightarrow \odot$

(第一種方式)?  
 (第二種方式)?

$? \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \odot \\ \ominus \end{array} \right.$   
 $* ? \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \odot \\ \ominus \end{array} \right.$   
 $? \neq \left\{ \begin{array}{l} \odot \\ \ominus \end{array} \right.$   
 $* ? \neq \left\{ \begin{array}{l} \odot \\ \ominus \end{array} \right.$

第二類：否定運作

例題：

$A \rightarrow \odot$   
 $\bar{A} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \ominus \\ \square \\ \odot \end{array} \right.$

問題：

$? \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \odot \\ \ominus \end{array} \right.$   
 $* ? \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \odot \\ \ominus \end{array} \right.$   
 $* ? \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \odot \\ \ominus \end{array} \right.$   
 $* ? \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \odot \\ \ominus \end{array} \right.$   
 $H \rightarrow ?$   
 $\left\{ \begin{array}{l} \neq ? \\ H \neq ? * \\ \neq ? * \end{array} \right.$   
 $\bar{H} \rightarrow ? ?$  (兩件物體)  
 $\bar{H} ? \odot \ominus \square$   
 $? \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \odot \\ \ominus \end{array} \right.$   
 $* ? \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \odot \\ \ominus \end{array} \right.$   
 $* ? \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \odot \\ \ominus \end{array} \right.$   
 $* ? \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \odot \\ \ominus \end{array} \right.$   
 $\bar{A} \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow ? \\ \neq ? \end{array} \right.$   
 $\bar{S} \neq ? ?$   
 $\bar{H} \neq ?$

$S$   
 $T$  或  $H$  或  $A$   
 $T$  或  $A$   
 $H \neq \odot$   
 $H \rightarrow \odot \square$   
 $A$   
 $T$   
 $S$   
 $H$

答案：

$A$   
 $\bar{H}$   
 $\bar{T}$   
 $\bar{S}$   
 $\square$   
 $\ominus$   
 $\odot$   
 $\odot$   
 $\odot \ominus$   
 $\neq$   
 $S$   
 $\bar{T}$   
 $\bar{H}$   
 $\bar{A}$   
 $\square$  或  $\ominus$  或  $\odot$   
 $\odot$   
 $\odot \square$  或  $\odot \ominus$   
 $\square$  或  $\odot \ominus$

$\bar{?} \neq \ominus$   
 $\bar{?} \neq \odot \square$

第三類：連合運作

例題：

$T \cdot H \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \ominus \square \\ \rightarrow \square \ominus \\ \neq \ominus \\ \neq \square \end{array} \right.$

問題：

$S \cdot A \rightarrow ?$   
 $A \cdot S \rightarrow ?$   
 $A \cdot S \rightarrow ? *$

$? \cdot ? \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{(兩個符號)} \\ ? \rightarrow \text{(一個符號)} \\ * ? \rightarrow \text{(以下皆一個符號)} \end{array} \right.$

$* ? \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \odot \square \\ \odot \ominus \end{array} \right.$   
 $* ? \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \odot \square \\ \odot \ominus \end{array} \right.$   
 $* ? \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \odot \square \\ \odot \ominus \end{array} \right.$   
 $T \cdot H ?$   
 $\bar{S} ?$   
 $\bar{A} ?$

$H \cdot A \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow ? \\ \neq ? ? \\ \neq ? ? * \\ \neq ? ? * \end{array} \right.$   
 $T \cdot S ? \square \odot$   
 $H \cdot T ? \square \odot$   
 $H ? \ominus \square$   
 $H \cdot T ? \square$

(修正此關係)  $S \cdot T \rightarrow \odot$

(第一種方式)?

(第二種方式)?

$A \cdot H ?$   
 $A ? \left\{ \begin{array}{l} \square \ominus \\ H ? \end{array} \right.$

$\bar{T}$   
 $\bar{S}$  或  $\bar{H}$

答案：

$\odot \square$   
 $\odot \square$   
 $\square \odot$   
 $S \cdot A$   
 $S$   
 $A$   
 $\bar{H}$   
 $\bar{T}$   
 $T$   
 $H$   
 $\neq$   
 $\neq$   
 $\neq$   
 $\square \odot$   
 $\odot \ominus$   
 $\odot \square$   
 $\square \ominus$   
 $\neq$   
 $\neq$   
 $\rightarrow$   
 $\neq$   
 $S \cdot T \neq \odot$   
 $S \cdot T \rightarrow \odot \ominus$   
 $\neq$   
 $\neq$   
 $\rightarrow$

第四類：連合運作中之否定作用

例題：

$$H \cdot \bar{T} \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \text{屋} \odot \\ \rightarrow \text{屋} \ominus \\ \rightarrow \text{屋} \\ \nrightarrow \odot \end{array} \right.$$

問題：

$$\bar{A} \cdot S \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow ?? \\ \rightarrow ?? * \\ \rightarrow ? \\ \nrightarrow ? \end{array} \right.$$

$$T \rightarrow ?$$

$$\bar{T} \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow ? \\ \rightarrow ? * \\ \rightarrow \phi \end{array} \right.$$

$$\bar{H} \cdot T \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow ?? \\ \rightarrow ?? * \\ \rightarrow ? \end{array} \right.$$

$$\bar{H} \cdot T ? \phi$$

$$* \left\{ \begin{array}{l} ? \rightarrow \\ ? \cdot ? \rightarrow \\ ? \cdot ? \rightarrow \\ ? \cdot ? \rightarrow \\ ? \cdot ? \rightarrow \\ ? \cdot ? \rightarrow \\ \bar{T} ? \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \text{屋} \end{array} \right.$$

$$\bar{A} \cdot \bar{S} \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow ? \\ \rightarrow ? * \\ \rightarrow ?? \\ ? \phi \\ ? \ominus \\ ? \ominus \text{屋} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{H} ? \\ H ? \\ \bar{H} \cdot T ? \\ \bar{H} \cdot \bar{T} ? \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \phi \end{array} \right.$$

答案：

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{屋} \odot \\ \odot \ominus \\ \odot \\ \odot \text{或} \text{屋} \text{或} \ominus \\ \odot \\ \odot \\ \text{屋} \\ \text{屋} \end{array} \right.$$

例題

$$\left\{ \begin{array}{l} \odot \odot \\ \odot \ominus \\ \odot \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \nrightarrow \\ H \\ H \cdot \bar{T} \\ H \cdot \bar{A} \text{或} H \cdot \bar{S} \\ \bar{A} \cdot \bar{T} \\ \bar{A} \cdot \bar{S} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \\ \text{屋} \\ \odot \\ \text{屋} \odot \\ \rightarrow \\ \nrightarrow \\ \nrightarrow \\ \rightarrow \\ \nrightarrow \\ \nrightarrow \\ \rightarrow \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} A \cdot H ? \\ ? \rightarrow \\ * ? \rightarrow \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \ominus \text{屋} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} ? \cdot ? \rightarrow \\ ? \cdot ? \rightarrow \\ * ? \cdot ? \rightarrow \\ ? \rightarrow \\ ? \nrightarrow \\ * ? \nrightarrow \\ T \cdot H ? \\ T \cdot A ? \\ T \cdot \bar{A} ? \\ \bar{T} \cdot A ? \\ \bar{T} \cdot \bar{A} ? \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \odot \odot \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} ? \\ \bar{T} \cdot A \rightarrow \\ \nrightarrow \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \phi \\ ? \\ ? \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} ? \phi \\ \rightarrow ? \\ \bar{T} \cdot A ? \\ ? \odot \\ ? \text{屋} \\ ? \ominus \end{array} \right.$$

第五類：否定連合命題運作

例題：

$$H \rightarrow \text{屋}, \bar{H} \rightarrow \phi$$

$$H \cdot T \rightarrow \text{屋} \odot$$

$$\bar{H} \cdot \bar{T} \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \phi \\ \nrightarrow \text{屋} \\ \nrightarrow \ominus \odot \end{array} \right.$$

$$H \cdot T \left\{ \begin{array}{l} \nrightarrow \ominus \odot \\ \nrightarrow \text{屋} \odot \\ \nrightarrow \odot \\ \rightarrow \text{屋} \odot \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \\ A \text{或} H \\ \bar{S} \text{或} \bar{T} \\ T \cdot S \text{或} S \cdot T \\ \bar{H} \cdot S \text{或} \bar{H} \cdot \bar{T} \text{或} \bar{A} \cdot S \text{或} \bar{A} \cdot T \\ \bar{H} \cdot \bar{A} \\ T \text{或} S \\ H \text{或} A \\ \bar{T} \text{或} \bar{S} \\ \nrightarrow \\ \nrightarrow \\ \rightarrow \\ \nrightarrow \\ \nrightarrow \\ \nrightarrow \\ \nrightarrow \\ \nrightarrow \\ \nrightarrow \\ \nrightarrow \\ \nrightarrow \\ \nrightarrow \end{array} \right.$$

$$H = T \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \text{○} \text{♀} \\ \rightarrow \text{□} \text{☀} \\ \rightarrow \text{♀} \\ \nrightarrow \text{□} \text{♀} \end{array} \right.$$

問題：

$$\left. \begin{array}{l} A \cdot S ? \\ \bar{A} \cdot \bar{S} ? \\ A = S ? \end{array} \right\} \text{○}$$

$$T \cdot A \nrightarrow ?$$

$$T \cdot A ? \phi$$

$$T = A \left\{ \begin{array}{l} ? \text{□} \\ ? \text{♀} \\ ? \phi \end{array} \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} S \cdot H ? \\ S = H ? \\ \bar{S} \cdot \bar{H} ? \\ \bar{S} ? \\ \bar{H} ? \end{array} \right\} \text{☀}$$

$$\left. \begin{array}{l} S \cdot H ? \\ S = H ? \\ \bar{S} \cdot \bar{H} ? \\ \bar{S} ? \\ \bar{H} ? \end{array} \right\} \text{♀}$$

第六類：選擇運作

例題：

$$\left. \begin{array}{l} T \cdot H \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \text{♀} \text{□} \\ \nrightarrow \text{♀} \\ \nrightarrow \text{□} \text{☀} \\ \nrightarrow \text{○} \text{☀} \end{array} \right. \\ T \vee H \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \text{♀} \text{□} \\ \rightarrow \text{♀} \\ \rightarrow \text{□} \text{☀} \\ \nrightarrow \text{○} \text{☀} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

問題：

答案：

$\nrightarrow$

$\nrightarrow$

$\rightarrow$

任一物體

$\nrightarrow$

$\rightarrow$

$\rightarrow$

$\rightarrow$

$\nrightarrow$

$\rightarrow$

$\nrightarrow$

$\nrightarrow$

$\rightarrow$

$\nrightarrow$

$\rightarrow$

$\rightarrow$

$\rightarrow$

$\rightarrow$

$\rightarrow$

$$\left. \begin{array}{l} S \vee H ? \\ S \cdot H ? \end{array} \right\} \text{☀} \text{○}$$

$$\left. \begin{array}{l} S \cdot A ? \\ S \vee A ? \end{array} \right\} \text{○}$$

$$\left. \begin{array}{l} \bar{H} \cdot S ? \\ \bar{H} \vee S ? \end{array} \right\} \text{☀}$$

$$\left. \begin{array}{l} \bar{H} \cdot S ? \\ \bar{H} \vee S ? \end{array} \right\} \text{□} \text{☀}$$

$$\left. \begin{array}{l} T \cdot \bar{A} ? \\ T \vee \bar{A} ? \end{array} \right\} \phi$$

$$\left. \begin{array}{l} \bar{A} \vee \bar{H} ? \\ \bar{A} \cdot \bar{H} ? \end{array} \right\} \text{♀} \text{☀}$$

$$\left. \begin{array}{l} \bar{A} \vee \bar{H} ? \\ \bar{A} \cdot \bar{H} ? \end{array} \right\} \text{○} \text{☀}$$

$$\left. \begin{array}{l} \bar{A} \vee \bar{H} ? \\ \bar{A} \cdot \bar{H} ? \end{array} \right\} \begin{array}{l} ? \text{♀} \\ ? \text{○} \\ ? \text{□} \end{array}$$

$$\bar{A} \vee \bar{H} \nrightarrow \text{○} \text{□}$$

$$\left. \begin{array}{l} \bar{A} \cdot \bar{H} ? \\ \bar{A} \cdot \bar{H} ? \end{array} \right\} \begin{array}{l} ? \text{♀} \\ ? \text{○} \\ ? \text{□} \end{array}$$

$$\bar{A} \cdot \bar{H} \nrightarrow \text{○} \text{□}$$

$$\bar{?} \vee \bar{?} \rightarrow \text{□} \text{☀} \text{○}$$

$$\bar{?} \vee \bar{?} \nrightarrow \text{□} \text{☀}$$

$$? \vee ? \nrightarrow \text{□} \text{☀}$$

第七類：否定選擇運作

例題：

$$A = H \rightarrow \text{○}$$

$$A \nrightarrow H \nrightarrow \text{○}$$

$$\bar{A} \cdot \bar{H} \nrightarrow \text{○}$$

$$A \nrightarrow H \rightarrow \text{♀}$$

$$A \nrightarrow H \nrightarrow \text{□}$$

問題：

$$\left. \begin{array}{l} \bar{T} \vee S ? \\ T \vee S ? \end{array} \right\}$$

$\rightarrow$

$\nrightarrow$

$\nrightarrow$

$\rightarrow$

$\rightarrow$

$\rightarrow$

$\nrightarrow$

$\rightarrow$

$\nrightarrow$

$\rightarrow$

$\rightarrow$

$\rightarrow$

$\rightarrow$

$\nrightarrow$

$\rightarrow$

$\rightarrow$

$\rightarrow$

例題

$\rightarrow$

$\nrightarrow$

$\nrightarrow$

例題

$$\bar{T} \vee \bar{H} \text{ 或 } \bar{T} \vee \bar{S} \text{ 或 } \bar{T} \vee \bar{A}$$

$$\bar{H} \vee \bar{S}$$

$$T \vee A$$

答案：

$\nrightarrow$

$\rightarrow$

|                                      |   |  |   |
|--------------------------------------|---|--|---|
| $\bar{T} \vee \bar{S} ?$             | } |  | → |
| $T \vee S ?$                         |   |  |   |
| $T \vee S ?$                         |   |  |   |
| $?$                                  | } |  | → |
| $\bar{?}$                            |   |  |   |
| $? \cdot ?$                          |   |  |   |
| $\bar{?} \cdot ?$                    |   |  |   |
| $? \cdot \bar{?}$                    |   |  |   |
| $\bar{?} \cdot \bar{?}$              |   |  |   |
| $H = ?$                              |   |  |   |
| $? \vee T$                           |   |  |   |
| $\bar{?} \vee A$                     |   |  |   |
| $S \vee ?$                           |   |  |   |
| $? \vee ?$                           |   |  |   |
| $\bar{H} \cdot \bar{T} \nrightarrow$ | } |  | → |
| $H \vee T \nrightarrow$              |   |  |   |
| $\bar{H} \vee \bar{T} \nrightarrow$  | } |  | → |
| $H \nrightarrow T \nrightarrow$      |   |  |   |
| $\bar{H} \cdot \bar{T} \rightarrow$  | } |  | → |
| $H \vee T \rightarrow$               |   |  |   |
| $\bar{H} \cdot \bar{T} ?$            | } |  | → |
| $H \vee T ?$                         |   |  |   |
| $\bar{H} \vee \bar{T} \rightarrow$   | } |  | → |
| $H \nrightarrow T \rightarrow$       |   |  |   |
| $\bar{H} \vee \bar{T} \nrightarrow$  | } |  | → |
| $H \nrightarrow T \nrightarrow$      |   |  |   |

(以上所載個別符號的功用，在區別圖案中顯示之物體，故屬分類性概念符號，並非邏輯中之命題符號，特予註明。)

由於人類智慧，基本上並無必須由語文表達之本質，故經由上述符號與圖案，完成邏輯推理，對增強聯想、探討、創造等能力，必有莫大裨益。若以Y、B、W代表黃、藍、白三色，則由黃色樹，即可作如下推演： $\rightarrow T \cdot Y, \bar{B}, T : B, T \cdot \bar{B}, \bar{H} \cdot \bar{W}, S \vee Y, \bar{T} \vee Y, T \vee Y$ 等或 $\nrightarrow H \cdot Y, \bar{T}, H \vee \bar{Y}$ 等，足證所言不虛，

確具舉一翻三特殊功能。

## 七、邏輯命題及其轉移

青少年推理能力的發展，更趨成熟，屆臨形式操作期時，其思維過程，如前所述，應由形式邏輯闡明，即前節運作中的實體圖案，可內向化改由思索過程替代，而分類符號，即應改為命題符號。譬如，A不再代表實物中的蘋果，可解釋成A命題為真，而 $\bar{A}$ 則代表A命題為假，依此類推。

在命題運作中的基本轉移共分四種，即同一、否定、相對、關聯等作用，可分別以I (Identity)、N (Negation)、R (Reciprocal)、C (Correlative) 代表。

事實上，同一轉移為虛無轉移，對命題意義，毫無影響。因此， $I(A \vee H) = A \vee H$ ，其作用祇在加強分類與區別的效果。

相反，否定轉移的作用，影響殊大，對命題中每一成分，都有所改變。譬如，經否定轉移後的肯定斷語變成否定斷語，又連合命題經交換變成選擇命題。否定轉移有以下兩種關係： $N(A \vee H) = \bar{A} \cdot \bar{H}$ 及 $N(A \cdot H) = \bar{A} \vee \bar{H}$ 。

相對轉移的作用，在改變正面與反面兩種斷語，但對連合與選擇運作，並無影響。譬如， $R(A \vee H) = \bar{A} \vee \bar{H}$ 等，依此類推。

至於關聯轉移，僅交換連合與選擇運作，對肯定與否定斷語，無何作用，即 $C(A \vee H) = A \cdot H$ 等。

I、N、R、C等轉移亦可聯合使用，如： $NR = C, IN = N, NC = R, IRC = N, NRC = I, NRCN = N$ 等。

若以皮亞傑的蝸牛運動為例，則可對相對轉移，作如下說明。設A代表蝸牛自左向右運動，距離為X， $\bar{A}$ 代表自右向左運動，距離亦為X，

在相對作用下： $R(A \cdot X) = \overline{A \cdot X}$ 。此式中之 $\overline{X}$ ，可以循原有 $X$ ，作一反向距離加以說明，即返回原出發點，誠屬可逆推理特例之一。

由此可知，皮亞傑積大半生經驗，對學生學習科學時之思索過程，多方面提供各種理論及了解與分析的技巧。值此國家科學委員會大力提倡國內科學教育研究工作之際，此類基本技巧的深入研討，確係奠定科教在國內發展的基礎工作，值得多加重視與留意。

## 八、結 語

總之，自然科學是由外界的經驗所引發。科學家面對這些經驗，必透過批判、選擇、理想化等過程，加以整理與運用。此外，科學觀察獲取的結果，既必須經歷公開的證明與大眾的公認，故而科學必「變中求常」，在衆多的經驗中擷取共同的抽象特徵，形成概念，並以因果等關係，加以貫穿，建立理論體系，公諸大眾。更由於理論的建立，植基於邏輯推理工夫，故推理中常用的方法，例如：運用已知或信以為真的知識，推定其他假定為真的知識；再根據假定的知識，蒐

集證據，證實其真假，進而推演至其他事實與原理等，皆應為科學學習者所熟諳之技巧。

由此可知，科學教育與邏輯推理，關係密切，不容分割。皮亞傑對嬰兒、幼童、及青少年的認知發展理論，以及獨到的邏輯分析技巧研究精深，自成一家之言。姑不論皮亞傑當初研究的著眼點為何？但，事實上，今天已成為推展科學教育的南鍼。有鑑於此，作者乃提出以上管見，以為參考。謬誤之處，在所難免，尚祈各界先進多所賜教，以匡不逮。 □

## 參考資料

- (1) Ralph B. Win, John Dewey: Dictionary of Education, Philosophical Library, 1959.
- (2) Robert J. Schaefer, The School as A Center of Inquiry, New York: Harper & Row, 1967.
- (3) Hans G. Furth, Piaget & Knowledge: Theoretical Foundations, N. J.: Englewood Cliffs, 1969.