

流程圖應用於組合操作之 面試測驗的研究

杜鴻模

國立高雄師範學院物理系

本研究以流程圖的概念應用於皮亞傑面試測驗。將皮亞傑的組合推理面試研製成組合推理面試流程圖，並以流程分析來研判認知層次。本研究以流程圖及 11 個流程分析實例編成訓練手冊。以此面試訓練手冊訓練高雄師範學院物理系三年級的 16 位學生，並做了 4 次面試實習。本研究發現，此面試訓練手冊對受訓科學教師執行面試之能力的提升有直線趨向的趨勢。有 75% 的受訓科學教師，於第二次面試實習時，即能正確地執行面試測驗。故，以流程圖及流程分析做為學習面試的基礎，使受訓的科學教師能迅速，且正確地把握住面試的程序，蒐集所要的資料，明確地判斷受試者的認知層次。

一、前言

本世紀以來，科學日新月異。每一個國家的興盛與否，在於其科技產品是否不斷的更新，其科學研究是否取得獨立自主的地位，而科學教育的成功與否，便決定了科學發展成敗的關鍵。近年來，各國研究科學教育的學者，皆相當重視皮亞傑的認知發展理論。有關皮亞傑認知理論的科學教育論者，有日漸增多的趨勢。勞森（Lawson, 1975）

研究了科學課程與認知層次的關係。他發現，具體操作的學生只能了解具體操作的概念，形式操作的學生才能了解形式操作的概念。因此，當學生的認知結構尚無法處理抽象的科學概念時，就要他們學習一些抽象的科學理論，則不但不能達成預期的目標，反而可能扼殺學生學習的興趣（林清山，民國65年）。教師若要有效地幫助學生學習科學課程，則設法瞭解學生們的認知發展是必要的（Calson, 1967）。美國加州大學的柏克萊校區已將認識學生推理模式當成科學教師訓練課程的一部份，使每一位科學教師具備鑑定學生認知發展程度的能力（Karplus, 1978）。因組合操作是命題邏輯的基礎，而命題邏輯又是形式操作的重要特徵。故科學教師有需要認識學生的組合操作能力，這是瞭解學生思考能力概況的基本方式之一。

訓練科學教師執行組合操作面試之方式，通常是以研讀皮亞傑所發表的著作（Inhelder & Piaget, 1958），從書中揣摩皮亞傑的問話方式，及如何判定認知層次，以此做為自己執行面試測驗的依據。Karplus等人製作了組合操作面試的影片以輔助學習（Davidson Films, 1976）。然而，這樣的訓練方式有許多的缺點，受訓的科學教師不容易完全把握面試的重點，且容易產生誤解。有時，學生以特殊的方式操作，使得教師不知所措，以至於誤判了學生的認知層次。科學教師執行面試時所可能發生的困難大致上有下列幾項：

1. 教師應問些什麼問題，才能收集到所要的資料。
2. 當受試學生的實驗操作內容較特別，教師不能由其中獲得有關鑑別認知層次的資料，教師應如何引導受試學生的實驗操作，使之能由其中獲得所要的資料。
3. 受試學生已做了一些實驗操作之後，教師應再問些什麼問題，才算收集到完整的資料。
4. 面試應進行到什麼時候才終止。

訓練教材必須能解決上述之問題，科學教師受訓之後，他才具備執行組合操作面試的能力。

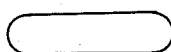
二、研究目的

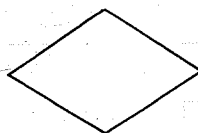
本研究的目的在於改善皮亞傑的組合操作面試技術。使科學教師對此一推理能力測驗有清晰的整體概念，在執行面試時能很快地，且準確地把握住受試學生的操作特徵，正確地研判學生的認知能力。

三、面試訓練手冊之設計

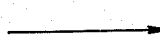
1. 流程圖之設計

因皮亞傑的認知理論存在著階層的關係，且每一階層的認知皆有其特徵存在。在執行皮亞傑面試測驗時，不外乎藉著問話及實驗操作等，觀察受試學生推理模式的特徵，且研判受試學生最好的推理模式是屬於那一個認知層次。依這樣的特點，本研究以流程的概念設計組合推理面試測驗過程之流程圖。流程圖中之符號所代表的意義如下：

：表示開始或終止

：表示選擇或判斷

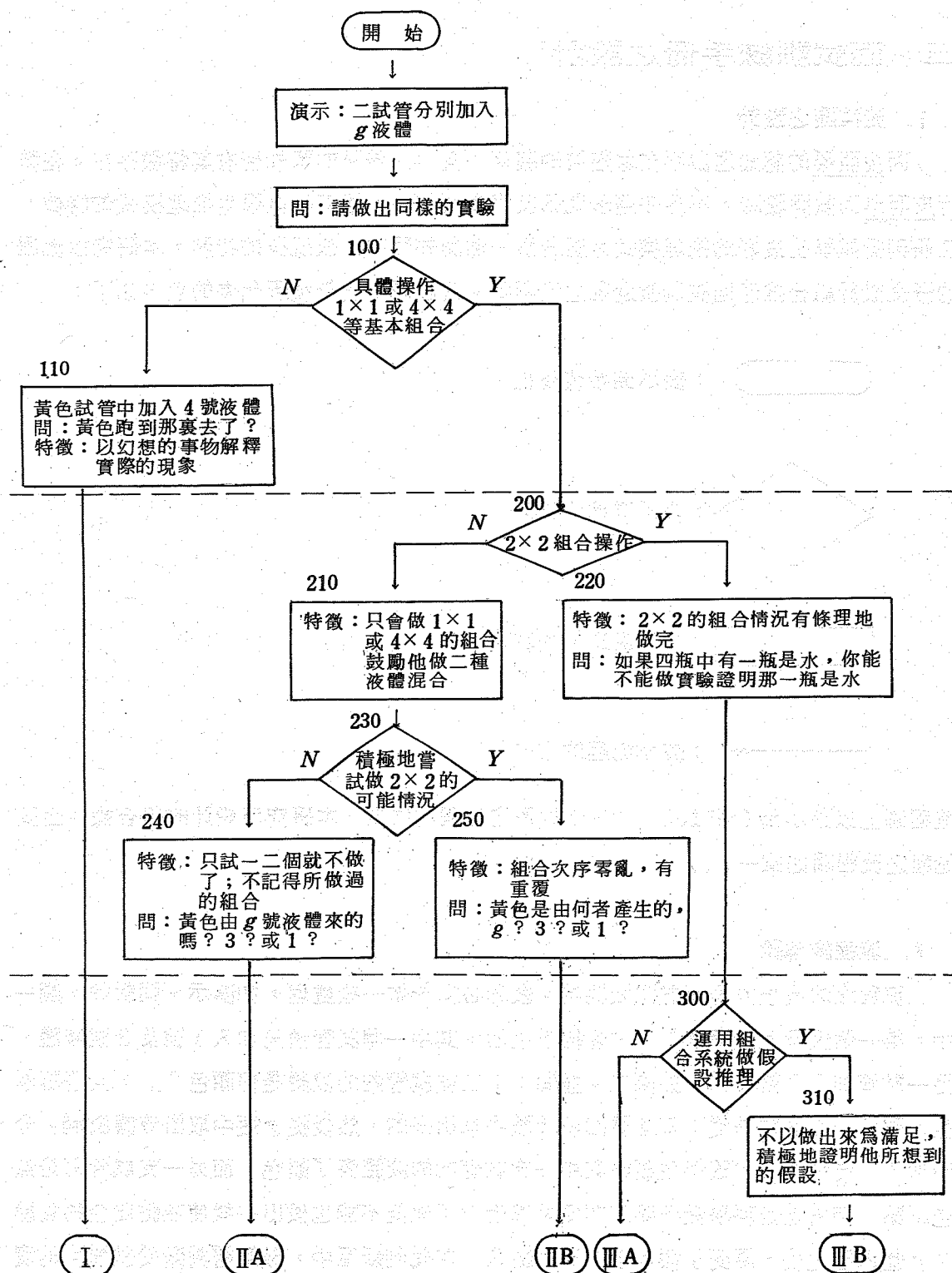
：表示處理的內容

：表示流程的方向

流程圖上以指示碼（如 100、200）以標定流程的位置。本研究所設計的組合操作面試過程之流程圖如圖一。

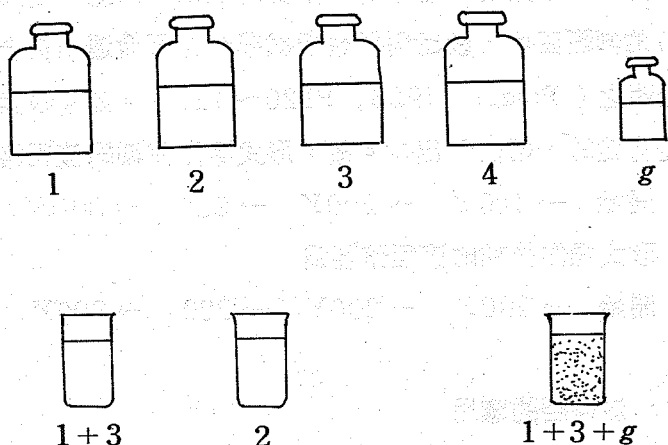
2. 流程圖解說

流程圖的最上方是面試測驗開始。教師必須先做一些處理，如演示、問話等。圖一中，第一個處理是教師將二個試管給學生看。其中一個試管預先加入 1 號及 3 號液體，另一試管加入 2 號液體，如圖二。並問：「二支試管內的液體是何顏色？」，且告訴學生，試管內的液體是從 1 至 4 號四瓶液體中拿出來的，然後從 *g* 瓶中取出液體數滴，分別加入二支試管內，讓學生觀察其中一支試管內的液體變了顏色，而另一支試管仍是無色。第二個處理是科學教師隨即問受試學生：「你能不能也做出一樣使液體變色的實驗？」此處理之後，便到了標號 100 的判斷區。在此判斷區中，教師需判斷受試學生的實驗操作是否呈現具體操作的特徵——即做 1 對 1 或四種全取的對應組合。如果判斷的結



圖一 面試組合操作之流程圖

果是否定的，則由 N (no)出口，到標號110的處理區。此處理是爲了慎重起見，再次考驗受試學生是否呈現前操作期的特徵——即用幻想的事物與實際現象連合，例如顏色不見的原因是「飛走了」或「沉到下面去」(Piaget, 1958, P.110~111)。如果答案是肯定的，則可認定受試學生屬於認知階層 I。故階層 I 的流程路徑爲



圖二

開始 $\rightarrow$ 100 N $\rightarrow$ 110 $\rightarrow$ I

如果 100 的判斷結果是肯定的，則由 Y (yes) 出口，到標號 200 的判斷區。在此區域中，教師需進一步地判斷，受試學生是否具有形式期的組合操作能力。如果答案是否定的，則由 N 出口，到 210 的處理區。此時，教師所面對的學生也許只會單獨從一瓶中拿出液體，他不知道可以將二種或二種以上的液體混合。這時，教師需幫助受試學生，使他知道可以做二種以上的組合，並鼓勵他做 2×2 的組合操作實驗。接下去便是 230 的判斷區，教師需判斷受試學生是屬於具體操作前期 (II A) 或是具體操作後期 (II B)。如果受試學生顯出缺乏積極嘗試實驗的意願，則由 N 出口，到 240 的處理區，觀察他是否呈現其他具體操作的特徵。如受試學生可能認爲顏色是由某一液體所產生的；他所做的實驗是無意識的組合；他不記得自己做了那些實驗等 (Piaget, 1958, P.112~113)。故具體操作前期的流程路徑爲

開始 $\rightarrow$ 100 Y $\rightarrow$ 200 N $\rightarrow$ 210 $\rightarrow$ 230 N $\rightarrow$ 240 $\rightarrow$ II A

如果 230 的判斷結果是肯定的，則由 Y 出口，到 250 的處理區，繼續觀察學生是否有其他具體操作的特徵。如學生雖盡力地嘗試各種組合，但有重覆現象，或實驗操作沒有系統 (Piaget, 1958, P.114~115)。故具體操作後期的流程路徑爲

開始 $\rightarrow$ 100 Y $\rightarrow$ 200 N $\rightarrow$ 210 $\rightarrow$ 230 Y $\rightarrow$ 250 $\rightarrow$ II B

如果 200 的判斷是肯定的，即受試學生能做出 2×2 的組合操作，則教師需做 220

的處理。在這個處理中，教師可以問：「你能不能告訴我，每一瓶藥水對變色有何作用？」或問：「如果四瓶中有一瓶裝的是水，你能不能做實驗，證明那一瓶是水？」在300的判斷區中，教師需觀察受試學生是否會運用組合系統做假設推理，且積極地做實驗證明之（Piaget, 1958, P120~121）。如果答案是否定的，則由N出口。如果答案是肯定的，則由Y出口。故，形式操作前期的流程路徑為

開始 → 100Y → 200Y → 220 → 300N → III A

形式操作後期的流程路徑為

開始 → 100Y → 200Y → 220 → 300Y → IV B

3. 流程圖的應用

圖一之流程圖規劃了組合操作的所有認知結構。在實際面試測驗時，只要使用此流程關係便可清晰地鑑別受試學生的認知層次。為了使受訓教師充分瞭解流程圖的應用，本研究以流程路徑分析了11個面試實例（Piaget, 1958）其中包括一個I，四個II A，三個II B，二個III A，及一個III B。將這些面試實例分析後，舉一例說明之，供受訓教師參考。

例：

$4 \times g, 1 \times g, 3 \times g, 2 \times g$ ——— 100Y

試不出來

（你能不能試試二種混合？）

$4 \times 1 \times g$ 沒有呀！ ——— 200N

（再試試） ——— 210

$3 \times 1 \times g$ 有了

（如果再加進2，會不會也是黃色？）

沒試 ——— 230N

（你想是什麼原因產生黃色的？是1號液體嗎？）

不是

（是g液體嗎？）

是的 ——— 240

——— II A

此例中，學生先做了4種組合， $4 \times g$ ， $1 \times g$ ， $3 \times g$ ， $2 \times g$ 。這些是基本組合，故可知學生已有了具體操作，與圖一對照，此學生通過了流程圖中的100Y，故在記錄紙的右邊標上指示碼100Y。學生做了上述操作之後，就覺得試不出來，經提示之後，他只做了一個2種液的混合， $4 \times 1 \times g$ 。此顯示該學生不會 2×2 的組合。因此在記錄紙右邊標上200N。教師再鼓勵他做，此即是流程圖中的210處理區，學生的反應仍然只做一個嘗試，雖然碰巧試出來了，但缺乏再做實驗的意願。故在記錄紙上標上指示碼230N。爲了慎重起見，再問他產生黃色的原因，以驗證學生是否呈現具體操作前期的特徵。學生的回答正如所料，故在記錄紙上標上240，因此判斷該生是IIA的認知階層。

四、訓練手冊之使用實驗

1. 工具及對象

本研究以設計的流程圖及11個範例編成面試訓練手冊。將這些教材發給受訓的16位師範學院物理系三年級學生，並做一個小時的講解及討論。隨後分別於72年5月23日、5月30日、6月6日及6月13日實施面試實習。每一位受訓人員每次面試二位師院附中的學生。本研究要求每一位受訓人員需依照範例的方式詳細記錄，包括問話、學生的實驗操作及標出流程路徑。每一次面試實習之後，負責訓練的老師與受訓的學員討論執行面試時所遭遇的困難。

2. 評量標準

本文前言所述測試者的困惑，本研究期望所設計的教材對他們有所幫助。故本研究的評量標準有二：

(1) 測試者問的問題是否合適，使得受試者所做的操作足以顯示認知特徵，因而判斷該操作在認知流程圖中的位置。

(2) 測試者所得的資料是否完整，足以做爲鑑定學生的認知層次。如具體操作前期(IIA)或具體操作後期(II B)等。

由面試記錄紙上所記載的內容，包括測試者的問話、受測者的操作及標定的流程指示碼，即可判斷受訓者是否達成這二項要求。若學生操作的內容可以被正確地標定流程碼，則給1分，若能正確地判斷受測者的最終認知階層，則給2分。受訓者每次測試二個學生。故最高可得4分，若得3分即表示及格。

3. 實驗結果

16位學生四次面試的結果如表一。成功地執行面試測驗之受訓人員之人數分配表如圖三所示。圖中顯示第二次面試練習時即有 $\frac{3}{4}$ 的受訓人員能成功地執行組合面試。

爲了考驗訓練手冊對訓練科學教師的效力，本研究亦做了直線趨向分析，如表一。

由表一中發現， z 值爲4.74 ($z_{0.95} = 1.64$)，此值已達到顯著直線趨向水準。

本研究亦分析了本訓練手冊對受訓人員的改變顯著性考驗，如表二。

由表二中發現顯著性改變在第一次與第二次面試之間。

4. 問題討論

在第一次面試實習中，我們發現許多受訓的科學教師對組合系統的判斷有些困擾，以至於不曉得應如何繼續執行面試測驗。本研究將所發現的特例做爲補充參考資料。

特例1：

1 1 1 1

g g g g

2 3 4

2 3

受試學生拿出4支試管，分別加入1，再各加入 g ，然後在其中3支試管中分別加入2、3、4，再由後二支試管中加入2及3。

特例2：

$1 \times g$

$1 \times 2 \times g$

$1 \times 2 \times 3 \times g$

$1 \times 2 \times 3 \times 4 \times g$

上面這二種情況皆可看出受試學生具有組合次序，只是不能確定受試學生是否具有完整的組合系統。因此，教師可在學生做出變色之實驗操作之後，問受試學生：「變色的試管中放了那些液體？」受試學生的回答也許是1、2、3及 g ，再問：「你能不能再試試，四瓶中拿出三種的情況是否還有可能變黃色的？」如此可引導學生做三種的組合。教師便可了解受試學生的組合系統如何，繼續執行面試測驗。

表一：本訓練手冊對受訓測試人員之直線趨向考驗

受訓者	原 始 分 數				等 級 分 數				S
	第一次	第二次	第三次	第四次	第一次	第二次	第三次	第四次	
1	2	4	4	4	1	3	3	3	3
2	0	4	4	3	1	3.5	3.5	2	1
3	2	2	3	4	1.5	1.5	3	4	5
4	0	3	4	4	1	2	3.5	3.5	5
5	3	4	4	4	1	3	3	3	3
6	0	0	0	4	2	2	2	4	3
7	2	4	4	4	1	3	3	3	3
8	0	0	0	0	2.5	2.5	2.5	2.5	0
9	3	3	4	4	1.5	1.5	3.5	3.5	4
10	2	4	4	3	1	3.5	3.5	2	2
11	0	2	1	4	1	3	2	4	4
12	4	3	4	3	3.5	1.5	3.5	1.5	-2
13	1	4	4	4	1	3	3	3	3
14	4	3	4	3	3.5	2.5	3.5	2.5	-2
15	1	3	4	3	1	2.5	4	2.5	3
16	1	3	4	4	1	2	3.5	3.5	5

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{18} k(k-1)(2k+5) = 8.67$$

$$\sum S = 40$$

$$\sigma_{ss}^2 = 16 \times 8.67 = 138.67$$

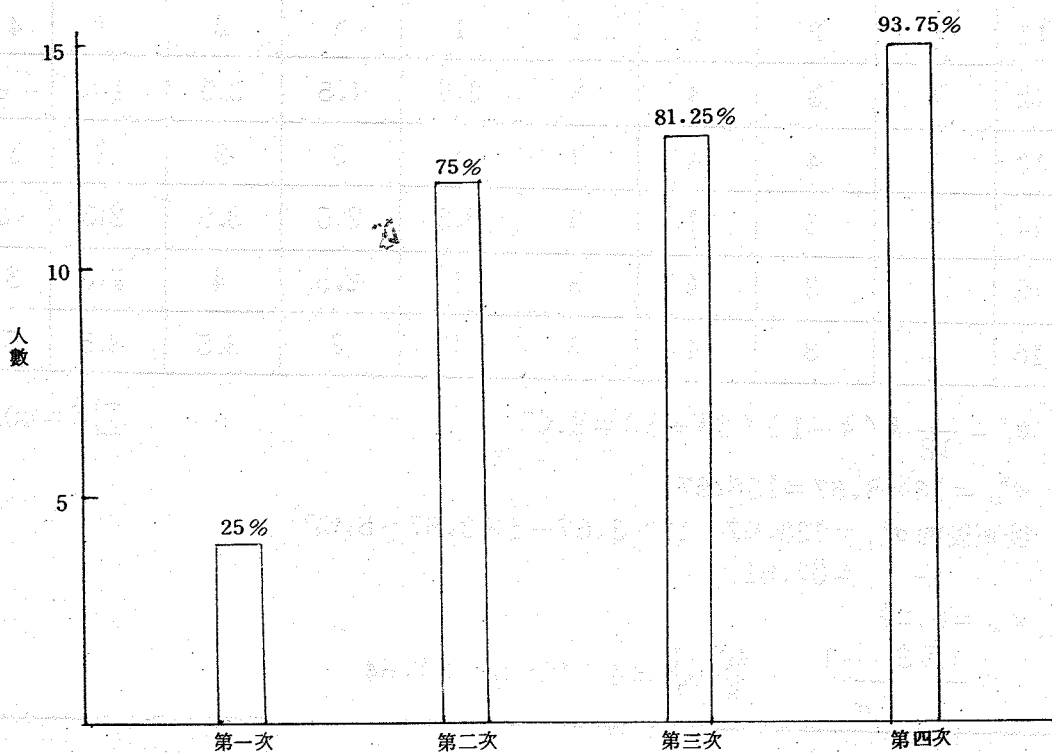
$$\text{校正後的 } \sigma_{ss}^2 = 138.67 - 12 \times 3.67 - 5 \times 3.67 - 8.67 = 67.61$$

$$\sigma_{ss} = 8.22$$

$$z = \frac{|\sum S| - 1}{\sigma_{ss}} = \frac{40 - 1}{8.22} = 4.74 > z_{0.95} = 1.64$$

表二：訓練手冊對受訓測試人員之改變顯著性考驗。

第二次		第三次		第四次	
N Y		N Y		N Y	
第一次 Y	0 4	第二次 Y	0 12	第三次 Y	0 13
N	4 8	N	3 1	N	1 2
$\chi^2 = \frac{(A-D -1)^2}{A+D}$ $= \frac{7^2}{8}$ $= 6.125^*$		$\chi^2 = \frac{(A-D -1)^2}{A+D}$ $= \frac{0^2}{1}$ $= 0$		$\chi^2 = \frac{(A-D -1)^2}{A+D}$ $= \frac{1^2}{2}$ $= 0.5$	
$\chi_{0.95}^2 = 3.841$					



圖三：四次面試實習中成功地執行面試測驗之人數分配表

五、結 論

形式操作的最重要特徵是命題邏輯的形成，而命題邏輯的形成端賴組合系統的建立。因此，對學生組合操作能力的辨認是科學教師所需具備的能力之一。本研究所提供組合操作的流程圖能幫助科學教師很快地，且正確地把握住各認知階層的組合操作特徵。在執行面試測驗時，科學教師可依據流程圖的順序做為與受訓學生面談的基本架構，從學生的實驗操作研判學生所達到的可能認知層次，並決定如何繼續執行面試工作。

本研究要求科學教師在操作記錄紙上標定受試學生的操作流程，此種要求使科學教師在做完了面試測驗之後即能夠明確地鑑別學生的認知層次。因在記錄紙上除了記錄學生的操作及與學生的對話內容，又標定了流程路徑，故科學教師能夠非常容易地覆檢面試的正確性與否。故本研究所設計的組合面試訓練手冊對科學教師之訓練應是可行，且是具有價值的訓練工具。

參考資料

1. 林清山，科學教育的心理學基礎（上），科學月刊，民國 65 年 9 月。
2. J.S. Carlson "Developmental Psychology and It's Implication for Science Education" *Science Education CT* April, 246-250, 1967.
3. "Formal Reasoning Patterns" Davidson Films. 1976.
4. B. Inhelder & J. Piaget. *The Growth of Logic Thinking from Childhood to Adolescence*, Basic Books, N.Y. 107~122, 1958.
5. R. Karplus, A.E. Lawson, W. Wallman, M. Appel, R. Bernoff, A. Howe, J.J. Rusch and F. Sullivan, *Science Teaching and the Development of Reasoning* Berkeley, University of California, 2nd 1978.
6. A.E. Lawson & J.W. Renner, "Relationship of Science Subject matter and Developmental levels of Learning" *Journal of Research in Science Teaching* 12(4), 347-358, 1975.