

國中學生之質量守恒，重量守恒， 外體積觀念與比例等 推理能力發展之抽樣調查初步報告

黃湘武
國立高雄師範學院物理系

一、前言

由於九年國教的實施，此種有教無類的新政策使得學校中學生的素質結構起了巨大的變化。我們亦已相當明確看出傳統的科學教育教材教法已不能適應現在國中的新形勢。而在政府推動的科學教育改革工作中，新教材難易度的取捨，或是教學模式的選擇就是其中最困難的決定。我們基於此一認識，因此根據皮亞傑的理論基礎，針對我國國中學生之推理能力發展作了部份抽樣調查，期望以此作為有關人士設計改進教材教法之參考。

根據皮亞傑的理論 (Piaget, 1969) 兒童的認知能力發展係依照感官動作期，前操作期，具體操作期，與形式操作期四個主要階層循序發展而來。因此皮亞傑認為兒童的學習能力有一定之成長順序，教材與教法在不同時期應有不同之安排與特性。皮亞傑又認為每一孩童的認知成長快慢可有不同，但此四個時期的發展順序則永恒不變。而影響認知成長快慢的因素可歸納有四類，即生理成熟 (maturation)、物理經驗 (physical experience)、社會交流 (social transmission) 與自我協調 (self-regulation)。因此皮亞傑認為認知成長是一種多方面影響的整體結果，而兒童生活的社會條件與文化背景是主要的決定因素。

我們的測驗對象包括高雄市的高雄師院附屬中學、臺南縣七股鄉昭明代用國中、臺東縣蘭嶼鄉蘭嶼國中三所學校的國中學生。我們的測驗項目包含有代表具體操作期之質量守恒與重量守恒能力，代表形式操作期的比例推理與外體積觀念 (排水體積)。以測驗方式而言，比例推理為採用筆試，其餘三項皆為面試。

本文祇為初步之主要結果，詳細分析報告將在整理後再另行發表。

二、本文

在我們的測驗中，質量守恒與重量守恒係採用皮亞傑的標準面試方式，主要工具係文具店中購得之原子泥兩塊。其質量守恒測驗步驟包括：

- (1) 要求學生判斷兩個球是不是含原子泥一樣多？

(2) 學生如不同意，可讓他自行調整直到他認為滿意為止。

(3) 將此兩相同圓球置放於學生面前桌上。

(4) 測驗者當學生面前用手將其中一圓球壓扁。

(5) 問學生：現在是不是仍然含有一樣多的原子泥？

(註：不可讓學生拿起泥球)

(6) 再問學生：為什麼？

評量標準分為二等級：

(1) 正確回答與解釋者列為 β 級。

(2) 回答與解釋錯誤者列為無守恒能力 α 級。

重量守恒測驗與質量守恒者相似：

(1) 要求學生用兩手秤二泥球。

(2) 問學生兩球是否一樣重。

(3) 學生如不同意一樣重，可讓他自行調整，直到他自己滿意為止。

(4) 將此兩圓球置於學生面前桌上。

(5) 測驗者當著學生面前將其中一球壓扁。

(6) 問學生：現在是不是仍然一樣重量（不可讓學生拿起泥球）？

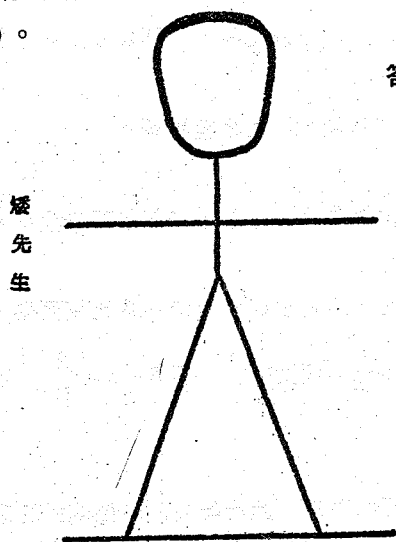
(7) 再問學生：為什麼？

評量標準祇分為二等級，即

(1) 正確回答與解釋者列為俱有守恒能力C級。

(2) 回答或解釋錯誤者列為無守恒能力N級。

比例測驗係採用R. Karplus等（Karplus, 1977）所設計之“高先生——矮先生”筆試模式（見附件）。



答案卷

高先生應有幾個迴紋針高？

答：_____

為什麼？請解釋理由：_____

矮先生有幾個迴紋針高？

測量答果（答）：_____

此試題之特點係俱有一般筆試之能大量取樣，但同時也能提供受測者實際操作之機會，以達到完全瞭解題意之目的，並且也要求學生在試卷上作簡單之解釋以作為評量之根據。測驗之主要過程包括：

- (1) 發給每位學生一份答案卷及七根迴紋針。
- (2) 在黑板上展示“高先生”之圖形，銅板樣品一個，及“高先生有六個銅板高”與“矮先生有四個銅板高”之紙條說明（但不許學生上臺測量高先生的高度）。
- (3) 主試者高聲告訴學生：“答案卷上的矮先生有四個銅板高，黑板上的高先生有六個銅板高”。
- (4) 要求學生用迴紋針測量答案卷上矮先生的高度並寫下答案（標準答案為六個迴紋針）。
- (5) 要求學生推測黑板上高先生應有幾個迴紋針高，並將答案及解釋寫在答案卷上（標準答案九個迴紋針）。
- (6) 主試者巡視各學生以確定皆能作正確之量度及瞭解題意，並給充分時間作答。

評量標準係依據學生的答案與解釋將比例推理之發展區分為四個階段。

階段 I (Intuitive, 猜測式)：學生的解釋未能根據已知資料，或是隨便亂用資料，如：

- (1) 8 — 因為他沒天都運動可以時身高增加，如玩跳繩、游泳等等。
- (2) 12 — 因為矮先生差高先生的身高有一倍，所以高先生有 12 個迴紋針高。
- (3) 6 — 因為這矮先生是一個矮小的先生，所以他只有六個迴紋針高，如果他還能長的高，像高先生那樣高的話，就會實他最高的長度。
- (4) 7 — 高先生為什麼長的很高因為他長的比矮先生高，矮先生為什麼長的很矮因為他吃的飯很少營養不良所以他長的很矮。
- (5) 10 — 因為身高是由腳底一直量到頭頂，而在這之間用迴紋針量測知，矮先生有六個迴紋針，高先生的身高大約有十個迴紋針。

階段 A (Additive, 加法)：解釋係依據高先生與矮先生的差或是銅板數與迴紋針數的差，因此以加法來處理問題，如：

- (1) 8 — 因為高先生和矮先生用銅板量差兩個所以用迴紋針量大概也相差兩個。
- (2) 8 — 因為矮先生和高先生怎樣多相差 2 個，成等比。
- (3) 8 — 第一次矮先生有四個，高先生有六個迴紋針所以矮先生加兩個迴紋針，高先生要加兩個迴紋針然後矮先生 6 個迴紋針，高先生 8 個迴紋針。

階段 Tr (Transitional)：解釋顯示有部份的比例推理，或是根據圖形作具體比較而得，如：

- (1) 9 — 因為高先生比矮先生多了兩個銅板高，而矮先生有 6 個迴紋針，而 $6 \div 4 = \frac{2}{3}$ ，而高先生就是高了 $\frac{4}{3}$ ，所以大概是 9 個迴紋針高。
- (2) 9 — 將圖上的矮先生分為四等分，也就等於四個銅板的高度，此時等於六個迴紋針的高度，依此法將兩個銅板的高度加在矮先生的高度，經測量為九個迴紋針的高度。
- (3) 10 — 因為矮先生的高用銅板量是四個而迴紋針是六個高先生的銅板是六個矮先生的銅板是兩

個，一個銅板量等於兩個迴紋針所以是 10 個。

- (4) 7 — 因為矮先生本來有 4 個銅板高，但用迴紋針測量確是 6 個迴紋針高也就是等於多了 $\frac{1}{2}$ ，故高先生等於 7 個矮先生等於 6 個。

階段 R (Ratio); 解釋係根據比例方法，由高先生與矮先生的大小，或是迴紋針與銅板關係而得。如：

- (1) 9 — 因為矮先生有四個銅板高，用迴紋針量矮先生一共有 6 個，利用 $6 \div 4 = 1.5 \rightarrow$ 每一個銅板高等於 1.5 個迴紋針高，又因高先生有 6 個銅板高，所以 $1.5 \times 6 = 9$ 個迴紋針高。
- (2) 9 — 因為一個銅板有一個半的迴紋針，所以高先生多矮先生三個，高先生就有九個迴紋針高。
- (3) 9 — 因為矮先生有四個銅板高，6 個迴紋針高現在假設高先生有 x 個迴紋針高，將它們寫成比例式 $\frac{6}{4} = \frac{x}{6}$ ， $x = 9$ 所以高先生有 9 個迴紋針。
- (4) 9 — 因為高先生有六個銅板高，矮先生有 4 個銅板高，所以高先生的高度等於矮先生高度的 $\frac{6}{4}$ 倍，又因矮先生有 6 個迴紋針高，因此高先生有 $\frac{6}{4} \times 6 = 9$ 個迴紋針高。
- (5) 9 — 因為矮先生 4 高先生 6，他們的比例是 2 : 3，矮先生擴大了 2 高先生比列他們原來比列是 4 : 6 約分等於 2 : 3， $4 + 2 = 6$ ， $6 + 3 = 9$ 所以高先生有 9 個。

外體積守恒測量亦係採用 Karplus 與 Lavetelli 所改良的面試方法 (Renner, pp.68 ~ 69 phillips, pp.361 ~ 369)。此法雖與 Piaget 原始方式不盡相同，但我們相信其所測量之兒童推理內涵應為相同，而且其面試過程亦較為簡便及易於控制情況。本測驗之工具主要為二個同體積但不同重量之金屬圓柱體二個 (連有細線以便操作)，另外並預備有二個 500 C.C. 之實驗用量筒內盛約三分之二高之等量自來水。在我們的情形，圓柱體之一為鋁製約為 210 gm，另一為銅製約重 650 gm。兩者高度皆約為 10 cm，底面積為 7.5 cm²。其面試步驟包括：

- (1) 把兩個圓柱體交給學生，要求他比一比兩圓柱體的高度與直徑，讓他知道兩個圓柱體大小相同。再要他用雙手秤一秤，讓他知道那一個重，那一個輕。
- (2) 要求學生將面前量筒中之水調整至一樣的高度。
- (3) 問學生：如果將兩個圓柱體分別放入兩量筒中，水面會如何？水面是不是會升高一樣？
- (4) 無論答對與否，再問學生：為什麼？
- (5) 如果解釋錯誤，測驗者拿住細線，分別將兩圓柱體慢慢放入兩量筒中，再問學生：水面是否升高一樣？為什麼？

評量標準依序為：

- (1) 預測錯誤與解釋錯誤列為 E 階段無外體積守恒能力。
- (2) 預測錯誤但經實驗後，再解釋正確列為 F 階段轉換時期。
- (3) 預測正確及解釋正確列為 G 階段有完全外體積守恒能力。

三、結 論

根據以上之測驗，對於我國國中學生之推理能力發展有如下之重要發現：

- (1) 俱有極大之個別差異；而非如皮亞傑早期研究結果之認為十一歲至十五歲兒童多已進入形式操作階段。我們的結果顯示有相當數量之國中學生仍然停留在前操作期與具體操作期，其確實情形可由下列之統計瞭解之：

質 量 守 恒		α (%)	β (%)	合計 (人)
	附 中	6(10.5)	51(89.5)	57
	昭 明	21(17.8)	97(82.2)	118
	蘭 中	38(33.3)	76(66.7)	114
	合計 (人)	65	224	(289)

$$\chi^2 = 13.8, df = 2, p < 0.001$$

重 量 守 恒		N (%)	C (%)	合計 (人)
	附 中	11(19.3)	46(80.7)	57
	昭 明	22(19.3)	92(80.7)	114
	蘭 中	51(44.3)	64(55.7)	115
	合計 (人)	84	202	(286)

$$\chi^2 = 20.80, df = 2, p < 0.001$$

比 例 推 理		I (%)	A (%)	Tr (%)	R (%)	合計 (人)
	附 中	46(22.4)	31(15.1)	13(6.3)	115(56.1)	205
	昭 明	58(23.8)	77(31.6)	12(4.9)	97(39.8)	244
	蘭 中	82(67.8)	35(28.9)	2(1.7)	2(1.7)	121
	合計 (人)	186	143	27	214	(570)

$$\chi^2 = 135.28, df = 6, p < 0.001$$

外
體
積
觀
念

	E (%)	F (%)	G (%)	合計 (%)
附中	21(36.8)	13(22.8)	23(40.4)	57
昭明	52(45.6)	33(28.9)	29(25.4)	114
蘭中	56(48.7)	34(29.6)	25(21.7)	115
合計(人)	129	80	77	(286)

$$\chi^2 = 6.95, df = 4, p = 0.15$$

- (2) 顯示有相當之地區性差異；在所有四項推理測驗中，蘭中學生之推理能力皆明顯落後於附中與昭明的學生。若比較附中與昭明兩校，附中學生又較優於昭明國中學生。但此結果可能因七股地區有相當數量之優秀學生越區至外地升學而影響昭明國中學生之整體表現。
- (3) 男性學生有優於女性學生之現象；在每一學校的四項推理能力之性別比較中，皆顯示男生優於女生，且其中附中學生之質量守恒，比例推理，外體積觀念，以及昭明國中學生之比例推理，外體積觀念皆達到性別之差異顯著程度 ($p < 0.05$)。又蘭中學生雖亦有男生優於女生之趨勢，然所有四項推理能力之比較皆未達到顯著程度。吾人因此推測性別差異與社會環境或文化背景有關，而在我國之社會與文化背景中可能存在有不利於女性兒童認知發展之因素。
- (4) 國中學生推理能力發展有趨於緩慢或停滯的現象；我們祇發現附中學生之比例推理能力有隨年級升高而增進之現象，而在其它各項各年級比較中皆未見有年級間之明顯差異。
- (5) 本測驗之推理能力證實與學生學業成績有相當關係；高推理能力學生有較優於低推理能力學生之學業成績表現，這種因推理能力差異而影響學習成就的情形發生於數理科，同時也發生於國文學科。因此我們相信推理能力發展係一相當廣義的學習能力指標，它也可用以指示文科或社會學科的學習能力。
- (6) 在比例推理能力上，附中與昭明國中學生與歐美七國（美、英、德、意、奧、丹、瑞）相同年級學生之比較發現皆有超前之表現，但蘭中學生則顯著落後於其它各國之學生（Karplus, 1977）。

□

參考資料

- (1) Piaget, J. & Inhelder, B., The psychology of the Child, New York: Basic Books, 1969.
- (2) Karplus, R., Karplus, E., Formisano, M., Paulsen, A. C., Survey of Proportional Reasoning and Control of Variables in Seven Countries, Journal of Research in Science Teaching, Vol. 14, No. 5, pp. 411 ~ 417 (1977).
- (3) Renner, J. W., Stafford, D. G., Lawson, A. E., Mckimmon, J. W., Friot, F. E., Kellogg, D. H., Research, Teaching, and Learning with the Piaget Model, University of

Oklahoma, Norman, 1978, pp. 68 ~ 69.

- (4) Phillips, D.G., The Karplus Islands Puzzle, Volume with Metal Cylinders, and Other Problems; Journal of Research in Science Teaching, Vol. 14, No.4, pp. 361 ~ 369, 1977.

視教簡訊：

您需要視聽媒體引起學生學習動機嗎？

您需要視聽媒體補助您的課堂教學嗎？

國立教育資料館爲便利各級學校教師運用視聽媒體，改進教學方法，增進學習效率，於民國六十七年二月，六十九年十二月分別將歷年所蒐集製作之各種視聽教材彙編成視聽教育教材目錄第一輯、第二輯，復於今年五月出版第三輯，凡需該目錄者，請逕函臺北市南海路四十一號，國立教育資料館視聽組索取；或電(02) 331-6620 洽索。