

聽覺障礙兒童在 LOGO 程式語言的平面幾何圖形解題表現 之相關影響因素分析

黃佩芬

黃桂君

台北市麗山國小

高雄師範大學

摘要

本研究透過 LOGO 程式語言的教學，探討聽障兒童平面幾何圖形解題表現的相關影響因素。針對五名國小高年級的聽障兒童進行為期十週，每週兩次的 LOGO 程式語言課程。採用質性研究的方式，將兒童解題時的電腦螢幕錄影資料進行原案分析，並蒐集教學過程中的晤談資料、觀察札記及兒童的學習單做為研究分析時三角校正之依據。研究結果主要發現如下：

- 一、LOGO 操作介面能避免語文因素對聽障兒童的負面影響。豐富的視覺回饋及挑戰性，能激發兒童主動學習的意願。而同儕間能透過經驗分享、模仿學習及互相指導、討論的互動方式激盪更多的想法。
- 二、影響兒童解題表現的因素包括，先備知識是否充足並類化至新情境、是否能適當的使用解題策略、是否過分依賴視覺線索、對於重複句法的使用是否正確及是否妥善紀錄指令並隨時驗證。

關鍵字：聽覺障礙、Logo 程式語言、平面幾何、問題解決

通訊作者：黃桂君

Email：t2676@nknucc.nknu.edu.tw

壹、緒論

語言是兒童心智活動的工具，除了能促進認知結構的發展，更扮演計畫及調節的主要角色，兼具有建立表徵及進行溝通的功能。而聽障兒童受限於聽力損失不只影響「語言表徵」的使用，缺乏聽覺管道所造成生活經驗的不足，也會影響「真實情境表徵」與其他數學表徵間的連結，因此語言發展的不利使得聽障兒童缺乏基本的學業技巧，致使其在學校學習產生困難（Martin, Craft., & Zhang, 2001）。聽障兒童即使完成了中學課程，也因缺乏理解數學概念所需的符號工具，無法達到高等教育中以數學思考為基礎的科學之學業標準（Villani, Doublestein, & Martin, 2005）。

若由數學解題歷程來檢驗聽障學生的學習表現，許多聽障兒童缺乏自我監控的能力（陳明媚，2002）。且未發展出良好的後設認知技巧，在解題時難以有條理地計劃解題行為，常常只利用題目中的部份線索列式，而忽略或看不懂其他的線索（張蓓莉，2006；Hyde, Zevenbergen., & Powers, 2003）。許多實證性研究均建議，利用視覺導向的輔助工具，透過具體、半具體的操作，可降低聽力受損的限制（Villani, Doublestein, & Martin, 2005）。因此，強調多感官的電腦輔助教學，便成為學習的另一項選擇。

根據 Beaver（1989）的研究顯示，在電腦輔助教學課程中，程式設計只佔 14%，而使用輔助教學軟體則佔了 84%。然而，程式設計語言教學可以有效地減少形式障礙，即時回饋（即時正強化）、視覺、模組和基於文本和物件導向的程式設計，在電腦程式設計教學中，對具有吸引力和趣味性（Jancheski, 2017）。同時，程式設計更能使學生能夠準確地理解關鍵的數學概念，有助於促進討論正式的計算程序與理解直觀問題解決之間的關係（Feurzeig, Papert., & Lawler, 2010），此係發展高階思維的重要能力，並在如記憶、理解至應用、分析、綜合、評鑑之教育層次的橫向整合具有價值性（Fessakis, Gouli., & Mavroudi, 2013）。

其中，LOGO程式語言起源於1960年代末，由美國麻省理工學院Seymour Papert教授依據Piaget的「認知心理學」及「人工智慧論」所發展，是專門為兒童所設計的電腦語言。不同於其他只針對單一學科知識技能進行反覆練習之知識導向電腦輔助教材，LOGO能提供不同水準的幾何經驗，僅用一些簡單的命令和少量的指示，兒童就能探測、應用和創造出無線多的幾何圖形式樣。在繪製特殊圖形的過程，兒童必須針對問題進行分析並透過指令的執行來完成目標，能有效發展兒童解決問題策略與正向學習態度（陳廣平、劉兆香譯，2003）。

在LOGO環境中的「海龜繪圖」是想建立一個主動積極學習環境，兒童必須透過代表海龜（Turtle）的三角形指標來繪製圖形、編寫程式語言，故能透過實際操作、嘗試錯誤的過程來獲得知識，解決數學或幾何問題，並在不斷的自我修正中成長（Clements et al., 1997; Papert, 1993）。Gillespie和Beisser（2001）的研究指出，Logo同樣適用於幼兒的程式設計教學，

因其具有年齡適當、適用於個人，以及社會文化適當之特性，並得到Erikson、Gardner 和 Vygotsky 等人的心理學理論的支持，這些在相關研究中均已得到証實。（例如：林裕雲，2002；李昀龍，2006；張秉翰，2011；黃文聖，2001；顏晴榮、呂玉琴、許宏彰，2006；劉淑芬，2007；Fessakis, Gouli., & Mavroudi, 2013；Feurzeig, Papert., & Lawler, 2010；Lowenthal, Marcourt, & Solimando, 1998）。

Khasawneh (2009) 的研究顯示，Logo程式設計表現與學校數學成績間相關極低。兒童大多數的迷思概念是由於幾何方面而不是Logo程式語言，這些迷思概念多集中在旋轉角度、完全旋轉角度和正多邊形的角度上。因此，建議在不同的情境下脈絡進行LOGO程式教學，以強化學生學習並開發解決問題的能力。LOGO程式語言正向且立即性的回饋，讓許多學習動機低落的兒童也能在LOGO的環境中勇於探索。針對學業低成就兒童所進行的研究發現，多數的兒童都能夠操作簡單的物件及指令，也能使用自定程序的步驟來提高工作效率（Papert, 1993）；同時，兒童能處理複雜的圖形及基本的代數問題，在活動過程中更能體驗數學本質及發展代數能力的重要概念（Harries, 2001）。以智能障礙兒童為對象所進行的研究，則發現兒童較少使用自定程序的策略解決問題，所以在改變海龜方向時，常會使用較複雜的步驟，然而，透過LOGO的教學活動能提供智能障礙兒童多元化之解題方式並使用不同的解題策略（Lowenthal, Marcourt, & Solimand, 1998）。

聽障者常有口語及文字書寫能力不足的現象，這些問題更影響各科的學業成就。大多數聽障兒童在數學學習及問題解決上的挫敗經驗是來自於「文字應用題」而閱讀理解能力是影響聽障兒童的問題解決的重要因素（Mousley & Kelly, 1998）。聽障兒童之語文能力確為學業成就低落的主要原因，但在課程內過分強調語言教學，無形中減低了教授其他知識領域的空間（Kidd & Madsen, 1993）。相對於大多數透過書面文字（written）進行的活動，使用電腦語言的經驗更是具互動性（Bull, Lough, & Cochran, 1993）。在LOGO的環境中，文字只是一個控制電腦的媒介，其簡單易懂的文字及操作介面，更易於聽障兒童所使用。科技的取得能提供聽障兒童許多視覺資源，因此，如何以其視覺優勢來促進高層次認知能力，更應受到重視。（Harkins, Loeterman, Lam, & Korres, 1996）。

幾何的空間思考更是高層次數學的創造思考，所不可或缺的。其表徵方式能幫助學生了解面積和分數的概念，增加繪製直方圖和散佈圖的能力，並與代數學習產生連結（Clements & Bettista, 1992）；因此，幾何教學活動絕不只是侷限於對圖像表徵的認識與操弄，應該由兒童的生活經驗中進行尚導，透過對熟悉物形的分析，運用到空間推理能力及抽象思考，了解幾何的性質及組成要素並進行解題。同時，Pardamean., Evelin., & Honni (2011) 研究也指出，Logo實驗組和對照組在創造力方面存在顯著差異，特別是在靈活性、獨創性和圖形解決問題的技巧方面，而Tsuei (2020) 的研究也有類似的發現。

聽障兒童在了解及內化幾何概念方面具有困難（張蓓莉，2003），LOGO提供的圖像操作環境，適足以使聽障兒童藉由優勢能力進行學習。以聽障兒童為對象所進行LOGO程式語言的教學研究發現，兒童在LOGO環境中主動探索、解決問題，進行工作時，能讓互動的機會增加，當彼此意見產生衝突時能夠經由提案討論的方式解決，並且能夠分享及尊重對方的觀點（Ling, 1995 ; Stone, 1983）。而在一般兒童的研究中也同樣的發現LOGO增進同儕合作學習的正向經驗。（例如：李昀龍，2006；張秉翰，2011；劉淑芬，2007；顏晴榮等人，2006；Khasawneh, 2009； Lowenthal, 1998； Pardamean, 2011；Tsuei, 2020）。而LOGO的指令簡單，兒童只需利用了「前進」、「右轉 30 度」、「左轉 30 度」等指令，就能在螢幕上畫出許多圖形，例如：矩形、三角形，有些聽障兒童甚至學會了使用變數（variables）撰寫程式，增加了兒童解題的趣味性及成就感。重度聽覺障礙兒童能在LOGO的環境中創造屬於自己的問題，並利用LOGO設計程式加以解決（Stone, 1983）。此外，LOGO的語言也適合學前的聽障兒童使用，能提升聽障兒童空間視覺化的發展，協助其跨越思考與語言、抽象與具體間的鴻溝（Grant & Semmes, 1983）。

由此可知，聽障兒童的解題能力雖然不如普通兒童，但卻是可以透過適當的教導而提升，由於電腦科技所提供的視覺管道能免除語文能力對其他學科領域及 認知功能的影響，更是學習幾何概念的最佳工具。由於國內LOGO的教學研究多是針對一般兒童或是資優兒童所進行，缺乏以聽障兒童為對象的相關研究。因此研究者擬由LOGO的學習環境中，對聽障兒童進行其解題歷程的分析。據此，本研究之目的有二：

- 一、瞭解聽障兒童在LOGO程式語言中的學習情形。
- 二、分析聽障兒童以LOGO平面幾何圖形解題表現的相關影響因素。

貳、研究方法

一、研究參與者

本研究參與者為某啟聰學校國小部高年級兒童，根據選取原則（1）能以口語或手語進行溝通，能透過對話陳述解題時的想，且未伴隨其他障礙者；（2）未曾接受過LOGO程式語言教學者；（3）研究參與者魏氏兒童智力量表（WISC-III）作業智商介於89-106，屬智力正常範圍，聽覺障礙學生數學能力測驗（林寶貴、李如鵬、黃玉枝，2009）之百分等級介於9-47，能力屬低下至中等程度。經各班級導師推薦，本研究的五位研究參與者，其基本資料如下：

表 1 研究參與者能力摘要表

研究參與者代號	性別	就讀年級	聽損程度	溝通方式	魏氏兒童智力量表作業智商	瑞文氏圖形推理測驗(PR)		聽覺障礙學生數學能力測驗 (PR)	校內數學分組
						一般生年齡常模	聽障生年級常模		
						SB1	男	六年級	重度
SG2	女	六年級	中度	口語	106	53	85	47	A
SG3	女	五年級	重度	口語	90	18	30	44	A
SG4	女	五年級	重度	手語、讀唇	105	77	76	11	B
SG5	女	五年級	重度	手語	105	33	71	9	B

二、研究場域

(一)研究者

研究者為高雄師範大學特殊教育碩士，對於LOGO程式語言課程，具有一年以上的教學經驗。研究者擔任研究學校國小部導師、負責國語及溝通訓練課程兼電腦課及資訊社團教學，具教育部「手語研習」高級班檢定證書，長期與研究樣本相處，能熟悉校內聽障兒童的溝通模式。

研究者的角色並非為完全觀察者（complete observer），而是兼任課程設計及教師助理。研究者依據課程內容設計活動並準備教學簡報、教案、教具及學習單，並在上課前就與教學者進行討論。在教學過程，研究者則觀察研究參與者的解題活動，並適時的予以指導。當聽障兒童出現特殊的表現時，研究者便進行個別晤談，以了解其內在想法。

(二)教學者

由該校熟悉LOGO課程的陳老師擔任教學。陳老師畢業於省立台南師專普通科數學組，任教於本校達十二年。期間又獲得台南大學資訊教育所碩士學位，具有豐富的資訊教學經驗及良好的手語溝通能力。

(三)教學情境

本研究於電腦教室進行教學。教室內共有教師電腦一台，學生電腦十二台，教室正上方設置有教材呈現之用的單槍投影機。兩台錄影機分別由教室前方、後方進行攝影。研究參與者在解題的過程中，被允許自由走動，或與其它同儕進行想法的交流。

三、LOGO程式語言學習課程

(一)課程架構與內容

本課程進行為期十週，每週兩次的LOGO程式語言課程。研究所使用的LOGO軟體是由劉敬

洲所撰寫的「葛拉堡中文小海龜2002標準版」軟體，主要的教學課程係參考劉老師所設計的「葛拉堡中文小海龜網站」及陳勝利(1994)所編製的「小海龜電腦繪圖-中文LOGO語言實務手冊」。研究者依據先前的教學經驗，採螺旋課程的理念設計「LOGO電腦程式語言學習課程」，共有十三個單元。主題一為「基本指令操作」共兩單元，結束後進行教學前測。主題二為「教學活動」共十一個單元，結束後進行教學後測。

每一次課程均設計有「LOGO程式語言」學習單，列有主要問題和一題延伸題，讓兒童紀錄思考過程，俾利研究者驗證兒童在討論活動結束後對所學概念的應用，並依其作答情形與晤談資料相互檢驗以分析研究結果。

(二)「LOGO程式語言學習課程」前測與後測試題

研究者擬藉由研究參與者在試題的表現，分析其學習「LOGO 程式語言學習課程」之呈現之錯誤類型，故作答結果不予計分，而是將研究參與者在螢幕上的操作步驟錄影存檔，作為原案分析的資料。

前後測題目是由「LOGO 程式語言學習課程」中挑選六個單元，每個單元設計兩個解題步驟相近圖形，讓研究參與者進行圖形仿做。試題與校內電腦教師、數學科教師討論後選定之。

(三)教學程序

研究者會事先依據活動流程設計教學簡報，透過視覺引導，協助聽障學生理解教材內容。主要教學程序分別為(1).教師佈題；(2)學生個別解題活動；(3).綜合討論活動，並進行提問。

四、資料蒐集與分析

研究者觀察札記包含教學活動、學生的解題活動、研究者的省思三部份，並以研究參與者的「LOGO程式語言學習課程學習單」為佐証資料。

本研究之資料編碼，(1)以S代表學生，B代表男生，G代表女生，例如：SB1指編號1的男學生，SG2指編號2的女學生；(2)以T代表教師，M代表該員為男性，F代表該員為女性。故TM為本研究之教學者男性，TF為研究者女性。

教學過程採用電腦軟體Anicam，紀錄每位研究參與者在電腦螢幕上的解題步驟，並將其轉譯為可供分析之原案。研究參與者SG2與SG3主要以口語，SB1、SG4與SG5則是以手語為主要的溝通管道，晤談的資料採錄影的方式蒐集。

電腦螢幕的錄影資料為本研究主要的分析文件，以質性分析軟體Atlas.ti進行分析。同時，將螢幕錄影的原案與同儕或師生對話轉錄成的逐字稿、觀察札記、學習單做對應，作為研究分析之三角校正依據，以求達到良好之信賴度。

參、研究結果與討論

一、兒童在 LOGO 環境中的學習情形

本研究應用於聽障兒童的教學中，則發現 LOGO 的語言特性能協助兒童跨越語言的限制，激發他們主動探索知識、解決問題的能力。以下針對五個研究個案在 LOGO 環境中的學習情形進行探討，主要分為「主動學習」、「同儕互動」兩個部份加以說明。

(一)主動學習

1. 豐富的視覺回饋

LOGO 具有強大的繪圖功能，能創造色彩豐富的幾何圖形。是兒童先前學習未曾接觸的新奇經驗。

(此時，其他學生都專注在看 SG5 的操作，沒有人注意到前面的黑板。)

SG4：[大聲尖叫]哇！[馬上用雙手握住 SG5 的頭，轉向黑板]

SG5：[看到 TM 的作品，露出非常驚奇的表情，一邊笑一邊大叫]你作弊。

接下來 SG3、SB1、SG2 也立刻跟著轉過去看黑板。

SG2：[大聲尖叫]啊………，我看看。

SG4：拜託你把指令給我，寫下來，拜託。[一邊說，一邊跑向黑板，然後整個人撲到投影布幕上作出攀爬的動作]

(大家都被 SG4 的舉動逗得很開心。)

TM：你們回去想一想啊！

(大家立刻回到座位上，想辦法嘗試。)

教學過程觀察札記(二) - 6:78 (208:217)

2. 成就感的獲得

LOGO 的學習情境中不只具有趣味性及豐富的視覺刺激，更重要的是，解題的過程就是一種自我挑戰、自我成長的體驗。

SG4：啊！[忽然大叫，舉起右手]

TF：[轉過去看她的螢幕，很開心的拉著她舉起的手]啊！成功了。

TM：[走過來看]

TF：左右轉的問題解決了。

TM：[拍手鼓勵]哇！

SG4：[很開心的為自己拍拍手，然後轉向鄰座的 SG5]你看。

SG5：(看了一眼，然後自己繼續針對剛剛 TM 給的意見再作修改)

教學過程觀察札記(二). - 6:44 (190:206)

SG4 原先常因為混淆「左轉」、「右轉」的指令，導致解題失敗，雖然今天的活動中，其他兒童都一直變換指令嘗試繪製許多豐富的圖形，但他仍然試著一筆一畫的完成了其他人早就已經學會的「正方形」。當時大家的目光都聚集在 SG5 畫出來的「星星」，因此並不覺得「正方形」是一個多麼特別的作品，而未給予較多的回應。但 SG4 並不以為意，對於自己的進步感到很開心，接下來又繼續的挑戰正六邊形、正十二邊形的解題方法。

1. 維持好奇心

在探索的過程中，兒童一旦發現了新的指令功能或方法，總是迫不及待的想要動手驗證。有時候還會出現不專心聽講的狀況。

TM：要不要我先做一次給你們看？

SG4、SG5：不要[自己動手操作]

TM：我先做一次啦！

為了避免學生誤解自己的意思，TM 還是決定先示範一次。SG4 與 SG5 雖然一邊聽講，但是手一邊操作滑鼠。

教學過程觀察札記- [TF-05/11/08]

尤其是討論活動結束後，原本苦思不得其解的問題獲得解答，即使已經到了下課時間，學生都還不願意關機，希望老師再給一點時間，想要把剛剛所發現的程序再試試看。

(學生專注的嘗試剛剛發現的「重複」指令，下課鐘響…)

TM：下課了喔！

SG5：等一下。

大家還是繼續操作。

SG3：[趴在地板上把老師的指令抄下來]

TM：[走近學生]好了，現在都關機，等一下要上課了。

SG2：[很不情願]啊…[嘟起嘴看著TM]

TM：你們回去可以再想。

SG5：TM，你看我的。

TM：[走過去看]哇!好漂亮喔!

SG2：TM，好了，我弄好了。

(其他人繼續操作，並沒有準備關機的動作。)

TM：好了，關機了喔！

(TF 走到每個學生，示意要他們停筆，學生才開始準備關機。)教學過程觀察札記- 6:50 (251:264)

(二)同儕互動

Ling (1995) 與 Clements (1985) 的研究都指出，LOGO 能有效增進兒童間的互動機會。本

研究確能透過同儕分享激盪出更多的想法，但有時候仍會出現競爭的心態。

1. 同儕間的正向互動

(1) 模仿學習

每當完成特殊的作品或是有新發現的時候，研究參與者都會很開心的跟其他人分享。由圖 1 及觀察札記內容可以了解，SG5 無意間發現只要調整前進步長，就可以完成美麗的圖形，因此立刻與鄰座的 SG4 及其他同學分享。觀賞完別人的作法，研究參與者們多會迫不及待的動手嘗試。

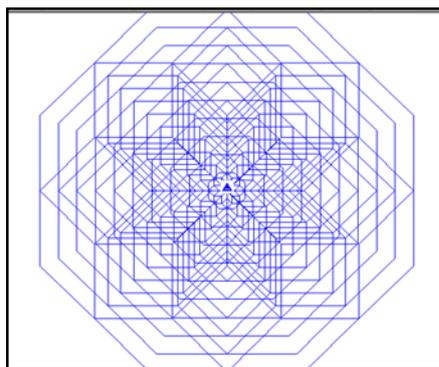


圖 1 SG5 所繪製的雪花

SG5 在執行程序時，因為忘了清除上一個圖案造成兩個圖形重疊(圖)。於是試著修改程序中的前進步數指令，由「90」、「80」、「70」依序遞減到「10」，完成圖 4-1 隨即與 SG4 分享。

教學過程觀察札記- 3:440(1130:1130)

(2) 激盪新想法

「模仿他人的指令」只是學習的開端，接下來研究參與者就會嘗試修改指令，企圖變換出更多豐富的圖形。

例一、使用不同的功能鍵

以圖 2 及以下的觀察札記為例，左圖的「圓」是 SB1 看完 SG3 所做的延伸題後發表的想法，而右圖的「愛心」則是 SG5 針對 SB1 作法略加調整後的成品。

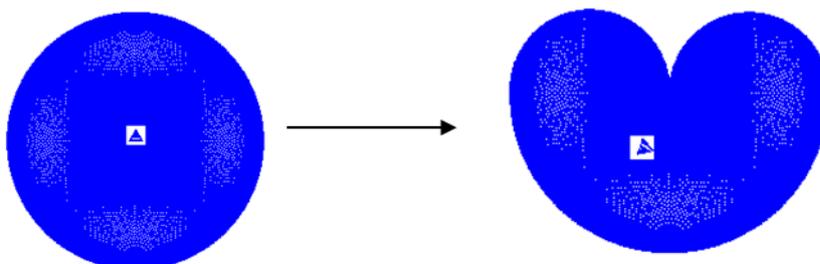


圖 2 利用「終止程式」所完成的圖形

SB1 一直在旁邊要老師增加重複次數為「360」，做出更複雜的題目……修改重複次數為 36 次，當「重複 360 [重複 360 [前進 1 右轉 1] 右轉 1]」的程式跑完一次的時候，學生央求再播一次給他們看，第二次執行到一半，SG5 突然跑出來按住 [終止程式] 的按鍵，就變成愛心了！

教學過程觀察札記 - 3:441(1086:1094)

例二、修改指令變化圖形

圖 3 是 SG5 用「前進 50 右轉 50」和「前進 50 左轉 50」的指令畫出來的圖形，再跟其他人一起分享。SG2 便嘗試將 SG5 的指令，改成「後退 50 左轉 50」，又改變「前進() 右轉()」的步數及角度，完成圖 4。

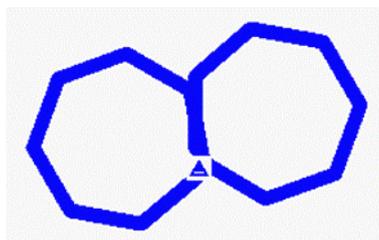


圖 3 SG3 的作品

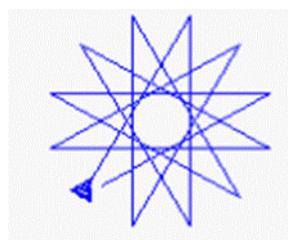


圖 4 SG2 的作品

(3)同儕指導

五位研究參與者在解題過程中如果遭遇困難時就會開始向同儕尋求援助，或者一起討論解答方式。已經完成解題者也會主動關心其他人的解題進度。

SB1：[轉向SG5]這個要怎麼辦，圖形好小？

SG5：你是要讓圖形變小，還是要跟我的一樣[指自己螢幕上的作品]？

SB1：要跟你的一樣。

SG5：[幫SB1調整指令]。

教學過程觀察札記(二) - 6:77 (220:240)

2. 負面互動方式

有時同儕之間會出現競爭的心態，想要比別人更早完成解題，這時研究參與者就不願意跟其他人分享自己的想法，有時候連鄰座同學稍微靠近，都會用手遮住自己的螢幕，最常出現的情形是認為別人有「作弊」的嫌疑。

SG5 拿出講義夾放在螢幕旁邊，研究者上前詢問為什麼要把講義夾放在這裡，她指著鄰座的 SB1 說：「他作弊」，SB1 見狀也不甘示弱的調整自己的螢幕

教學觀察札記(二) 6:15(482:485)

當課堂中出現競爭的氣氛，同儕間就不再互相指導而專注於自己的解題活動中，能力較差的研究參與者在屢次挫敗卻又沒有協助的情形下，有時就會出現情緒低落的情形。

SG4因為左右的概念不清楚，以致於一直無法完成四邊形，看到別人都解題成功以後，她就哭了。

教學過程觀察札記. - 3:15(51:51)

(三)被同儕的錯誤概念引導

在討論活動中，教師會帶領研究參與者針對圖形的組成元素進行分析，並個別分享自己的解題方式，相互觀摩。但研究者發現，有時研究參與者剛剛使用的解題方法是正確的，也會受到他人意見所影響，改變自己的想法。

以圖 5「蟲洞」為例，研究者所設計的「蟲洞」是由五個圓所組成，小海龜每畫完一個圓就必須右轉或左轉 20 度，繼續完成下一個圓。但觀察研究參與者操作過程都沒有掌握「右轉 20」或「左轉 20」的概念。

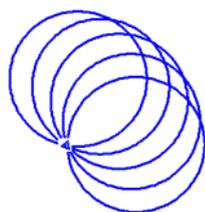


圖 5 蟲洞

TM：來，這是一個圓，那我們再做一個。

TM：奇怪，怎麼還是只有一個？

SG4：再做一次。

TM：還要再一次嗎？[再執行一次程序]

SG3：一樣啊！

SG5：要右轉。

TM：要轉喔？那要轉多少度？往上轉還是往下轉？

教學過程觀察札記(二) - 6:82(545:552)

剛剛的對話中，SG5 已經說出正確答案，但接下來的對話發現 SG3 卻仍然認為要完成「蟲洞」必須先畫完第一個圓，再畫第二個圓時要將前進和轉彎的數字加大，才不會有重疊的現象，其他研究參與者也紛紛加入討論。

SG3：老師，我覺得是要「前進 3 右轉 3」。

TM：那我們來試試看[執行「前進 3 右轉 3」的指令]。

TM：不對啊！那是我們前進的步數不夠嗎？

SG3：老師，我說的不是這樣，我說的是上面一樣，下面的前進 3。

TM：喔！你是說上面[第一個圓]的指令一樣，下面[第二個圓]的右轉角度改成 3。

SG3：對，前進也要 3，兩個 3。

TM：[依照學生說法執程序]嗯，不對啊。

SG4：再加，加到 6。

SB1：改用前進 6 右轉 6。

SG5：加到 4。

TM：[依照學生說法執程序]好，那我們來看加到 6 有沒有出現兩個圓。

SG5、SB1：用 10。

SG3：用 8

教學過程觀察札記(二) - 6:83 (553:566)

對應研究參與者實作的錄影資料與討論，發現 SG5 原本沒有出現這樣的錯誤概念，但聽完 SG3 的想法後，反而跟著思考第二個圓的指令要增加多少步長及轉彎角度才能畫出蟲洞。據觀察，聽障兒童在日常活動中也常出現類似情形，是否因為個體內在概念的不完整，所以容易在與他人互動的過程中產生改變。而這樣的情形是受到手語溝通方式所影響或是在一般兒童的學習過程也會出現，則需要再進一步釐清。

大致而言，LOGO提供了一個積極且促進同儕合作的學習環境，豐富的視覺回饋能激發聽障兒童主動探索知識、解決問題的能力。這樣的研究結果不僅符合Papert (1980)的設計理念，更與黃文聖(2001)、Clements等人(1992)針對一般兒童 Grant與Semmes(1983) Ling(1995)及Stone(1983)等人針對聽障兒童所進行的研究結果相符，更進一步的說明了LOGO的適用性涵蓋各種能力層次的兒童，對於聽障兒童而言，更能作為增進同儕合作、提升解題能力的工具。

二、影響平面幾何圖形解題表現的相關因素

解題過程中，個體是否對相關主題具有豐富的背景知識、積極正向的解題態度、良好的解題技巧、能適當的應用輔助工具等，都會影響兒童的解題成效。

(一)兒童先備知識

1. 內在知識與題目難度

在LOGO情境中，聽障兒童的解題表現最常受個人內在知識和題目難度所影響，而分析問題的次要目標是其最常表現的解題策略之一。

以圖 6 為例，該圖形由五個旋轉角度是「72」的正五邊形組成。只有 SG3 以一筆一畫的方式解題，其餘都是直接使用重覆指令撰寫程式。

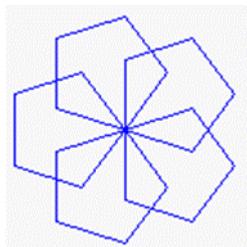


圖 6 「活動十.小海龜的花園(I)」目標圖形

SG3 雖然察覺圖形由五個正五邊形組成，但卻不知正五邊形的內角，因此必須依序完成以下三個次要目標，才能求出解題。

(1) 撰寫指令繪製正五邊形

a. 遭遇障礙：不知道正五邊形的內角角度。b. 找尋線索：執行「前進 50 右轉 A」，依據圖形訊息重複嘗試可能的角度（圖 7-1）。c. 調整程序：修改角度為「72 度」，完成正五邊形（圖 7-2）。

(2) 找出相鄰兩正五邊形之間的旋轉角度量

a. 遭遇障礙：不知相鄰兩個正五邊形的旋轉角度量。b. 找尋線索：猜測可能的旋轉量，然後逐一嘗試。c. 調整程序：針對圖形訊息修改旋轉角度量為 30、50、62，直到找出正確旋轉角度量為 72。

(3) 撰寫正確的程序

a. 遭遇障礙：不知道如何撰寫正確的程式，以完成五瓣花？b. 找尋線索：雖然角度正確，但因為重複句法錯誤，所以只出現兩個正五邊形（圖 7-3）。c. 調整程序：未察覺程式中的句法錯誤，只是一直修改重複次數，因此失敗。

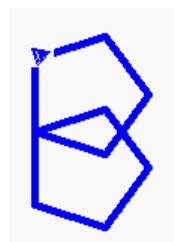
由圖 7 可知，SG3 雖然正確完成正五邊形，但卻無法完成第三個次要問題「撰寫正確的程式」，而只完成了圖 7-3 的半成品。而其他研究參與者也都曾出現類似的情形。因此，教學者可分析兒童在次要問題的解題表現，以快速掌握學習的困難。



(1)



(2)



(3)

圖 7 SG3 的解題順序

2. 知識類化的能力

聽障兒童必須具備有良好的「問題解決」能力，能在新情境中應用舊有經驗或知識。如果擁有的知識缺乏完整性，則無法在新的問題情境中發揮效用。

例一、「後測第四題」

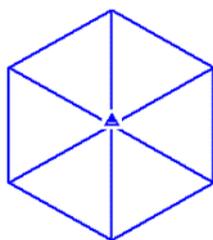
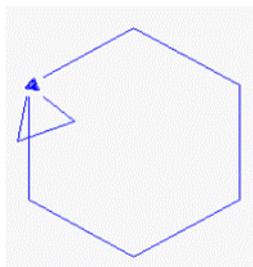
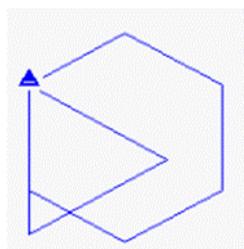


圖 8 後測第四題目標圖形

SG2 與 SG4 均能正確是先繪製正六邊形的外框，但 SG4 完成邊長是「100」正六邊形後，接下來卻用邊長「50」來繪製內部的三角形(圖 9-1)；而 SG2 則先以「70」作為正六邊形的邊長，但卻再將三角形的邊長設定為「100」，造成圖 9-2 中的三角形邊長遠遠大於正六邊形。



(1)

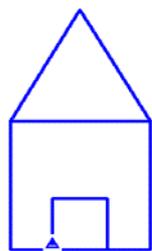


(2)

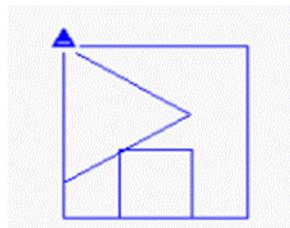
圖 9 SG4 及 SG2 在後測第四題的錯誤類型

五位研究參與者在其他單獨繪製正三角形或相關延伸題，都能掌握正三角形「三邊等長」的原則。然而，在後測第四題，SG2 與 SG4 卻無法將「正三角形邊等長」的知識類化成「正六邊形與正三角形有一邊完全重疊，則兩個圖形的邊長相等」的情境。

例二、「活動十二.小海龜蓋房子」



(1)



(2)

圖 10 活動十二的目標圖形(1)及 SG2 的錯誤類型(2)

為繪製圖 10-1 的圖形，SG2 分別以邊長「40」和邊長「100」完成兩個大小的正方形；但在「正三角形」部分卻產生了錯誤。雖然，SG2 在先前「活動五.小海龜畫三角形」，能迅速以「重複 3 [前進 100 右轉 120]」完成解題（圖 11）。然而新情境則必須在「屋頂」畫出不同方向的「三角形」，但 SG2 卻仍然套用先前三角形的舊程式而導致圖 10-2 的錯誤。五位研究參與者都能依據目標條件調整方向、長度及位置調整矩形的程式，但對於矩形包含三角形的題目，則均曾出現上述的困難。

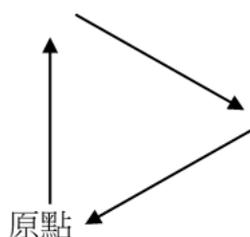


圖 11 SG2 繪製三角形的方向

但若個體舊有的知識概念完整，則能隨問題情境類化調整。以 SG4 作答圖 12 為例，「原本正方形的程式只要重複四次，但 SG4 用五次，研究者誤以為她觀念錯誤，指導後她仍堅持使用重覆五次，她表示，重複五次，小海龜會跑到屋頂的起點，就可以直接畫出三角形了，如果重複四次，小海龜只會留在底端，就必須要再前進一次！」（教學.- 3:409_1060:1060）

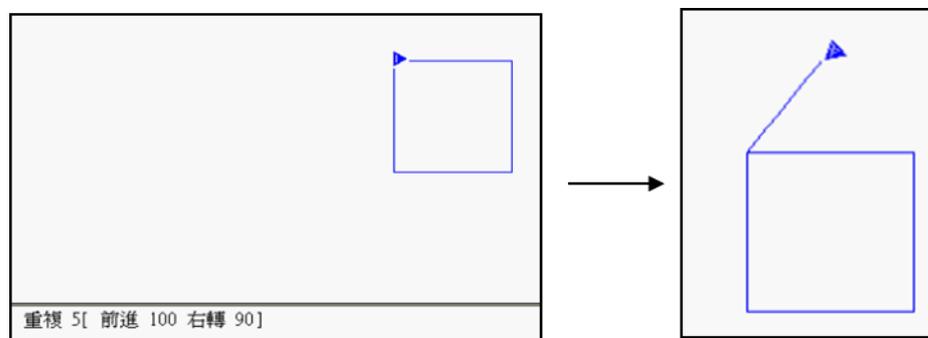


圖 12 SG4 繪製房子的步驟

SG2與SG4在解題歷程上的差異，明顯反應出文獻中專家與生手在知識結構、問題表徵、策略應用及解題效率等差異。而本研究中 SG2 由於所具有的「三角形」概念是鬆散且不完全的，當圖形的方向產生改變，SG2 並未區辨問題的主要特徵，提取正確的訊息，因此不斷嘗試錯誤。相較之下，SG4 所擁有「正四邊形」充足且具有結構的概念，因此能自動化的提取訊息，及運用適當的策略修正重複次數。這樣具有較高效率的解題方式，正是學校教育所預期兒童在課堂及實際生活中所擁有的專家能力，也與文獻所稱「專家特性」相符。

3. 「內角」與「外角」的概念混淆

上述二例，除了呈現知識類化能力對解題的影響，同時也說明「內角」與「外角」的概念混淆也是影響因素之一。使用LOGO繪製圖形時，小海龜要繪製一個60度的角必須旋轉120度，這涉及到「內角」與「外角」的關係。在教學活動中，研究者雖然透過測量三角形角度與執行指令，讓其察覺旋轉角度量與完成的角度間的差異，但研究參與者依然不易理解「內角」與「外角」等數學名詞，此與Gregory (1998)所言，聽障兒童較難以理解抽象數學的語彙之情形相符。

雖然不使用數學名詞，聽障兒童仍然能在感覺動作中建立基模，但卻讓以文字或符號為中介的高層數學知識，停留在未組織的鬆散狀態，無法形成緊密的認知結構。本研究研究參與者在解題活動中，雖能以視覺估測小海龜的旋轉角度，卻難以發現「外角」與「內角」之間的關係。不完整的角度觀念，致使面對新的問題時，無法產生較佳的類化。

然而，教師也不宜在聽障兒童未具有豐富之具體操作經驗時，就直接教導數學名詞，而應該依循認知發展的順序，由「具體操作」逐漸到「抽象思考」，經由實際操弄建立幾何概念。而本研究研究參與者由於不會使用餘角或補角的概念直接計算角度，反而能透過反覆調整指令以建立「角度估測」的能力，對於空間概念的學習、幾何圖形的描述及分類都是有相當大的助益。

(二)解題策略

當兒童無法以現有知識解決問題，就必須採用所謂「解題策略」技巧或方法來達成目標，以下即針對研究參與者最常出現的策略逐一說明。

1. 猜測答案

猜測答案是使用頻率最高的策略，五位研究參與者在教學初期尚在探索系統指令的功能以及幾何圖形的基本概念，面對未知的角度量都是先估測可能的答案，再透過視覺回饋慢慢縮小答案可能的範圍。

以「活動七.正八邊形」為例，SB1以視覺估測執行「左轉 40」後作出圖13-1，由圖形的缺口判斷左轉的角度量不夠，但修正角度的幅度太大，反而造成圖13-2中好幾個邊產生重疊的現象。SB1反覆測試，先估量角度「40」，發現錯誤後依次修改角度為「70」、「100」、「80」、「59」、「60」、「69」、「43」、「32」、「41」、「43」、「50」、「48」、「47」、「46」、「45」才找出正確答案(教學 - 3:188_551:551)。

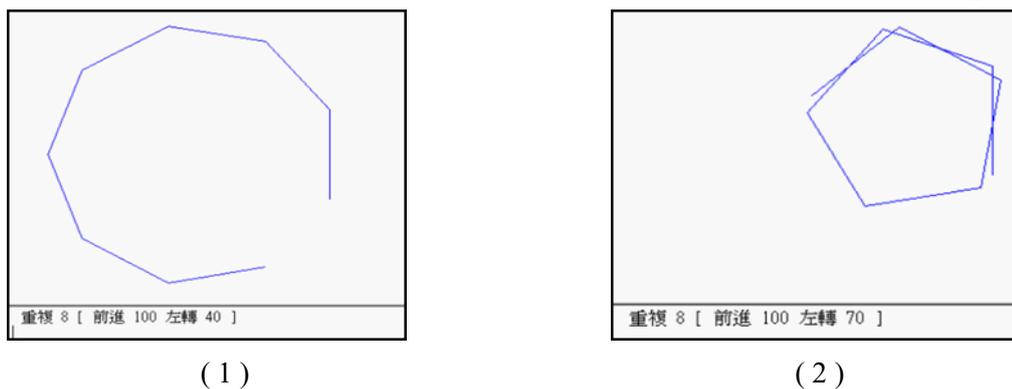


圖 13 SB1 繪製正八邊形的錯誤類型

SG5也有同樣的情形，「...幾次錯誤嘗試之後，SG5保留原來的重複程序，單獨比較小海龜執行『左轉 10』和『左轉 50』的情形，再修改上方程序內的轉彎角度為『50』。但執行後的圖 14 還是有線段重疊的情形，因此修正指令為『左轉 45』先觀察小海龜轉彎後的位置，才修改上方程序為『重複 8 [前進100 左轉45]』成功畫出正六邊形」(教學- 3:205_580:580)

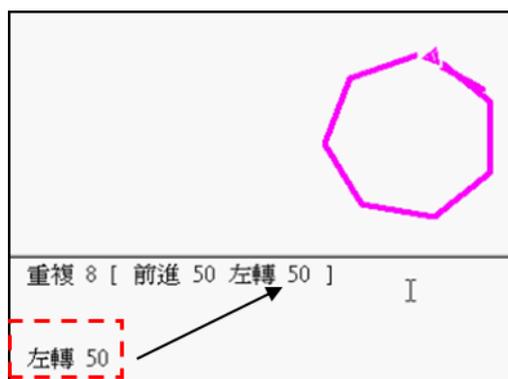


圖14 SG5繪製正六邊形的過程

2. 固定累加量

在前測中，研究參與者多依賴視覺估測線段長短或角度，除了 SG2 以外，少有事先計畫長度，或是在操作系統時同時紀錄指令，造成忘記已使用過的指令，或線段不等長的錯誤，尤其在估測角度，錯誤更嚴重。以圖 15 為例，SG3 畫完左邊的射線後，讓游標回到視覺上最接近水平狀態的方向再繼續前進，但因為些微的角度差距，讓底部的線段呈現下傾。



圖15 SG3前測第三題作品

多次的失敗經驗後，五位研究參與者都在未經教導下開始使用固定的角度量、長度量，並且儘量使用「10」、「20」等個位數為「0」的數字作為累加量，以避免些微的角度差距造成解題失敗。

例一、前測第三題-SB1 的作法

「有了先前的經驗(圖 16-1)，這一次畫三條射線時，SB1 先畫出中間的線段後，「右轉 30」，然後再回到中間，再往另一邊轉 30 度，這樣就不會忘記剛剛轉了幾度，又轉不回水平線段上。幾經重複，很快的就完成圖形(圖 16-2)」(前測- 4:11_35:35)。



(1) 未固定累加量的作品



(2) 固定累加量的作品

圖 16 SB1 的解題過程

例二、「前測第六題」-SG5的作法

「SG5解題之前先在指令區寫上『前進 後退 右轉』，然後接下來的解題，就以這幾個指令重複的執行為主，角度大多以10、50、80度，而長度則多以步長 50 或是 10 為累加基準」(前測- 4:73_397:397)

3. 簡化指令

許多圖形都可以用重複指令來完成，但常會讓嘗試過程中的圖形變得更為複雜。因此，SG3、SG5選擇簡化指令解題。

例一、「活動六.小海龜爬樓梯」-SG3的作法

目標圖形17-1是由五個「┌」所組成，而SG3撰寫「重複 5[右轉 90 前進 30 右轉 90 前進 30 左轉 90 前進 30]」的程式完成圖17-2。為了檢視程序的錯誤，SG3將 []內的指令獨立出來，逐次執行，就發現圖17-3的錯誤。



(1) 目標圖形



(2) 錯誤嘗試

簡化指令



(3) 找出錯誤的指令

圖 17 SG3 的解題過程

例二、「活動十.小海龜的花園」- SG5 的作法

SG5繪製圖形13-1時直接使用重覆指令撰寫程式，不斷的修改指令但都沒辦法完成解題，在執行「重覆 5[前進 50 右轉 45]右轉45」後完成圖18-2，為了找出錯誤，SG5修改重複次數為1，執行程式後找出最小的重複元素（圖18-3），才發現角度錯誤。

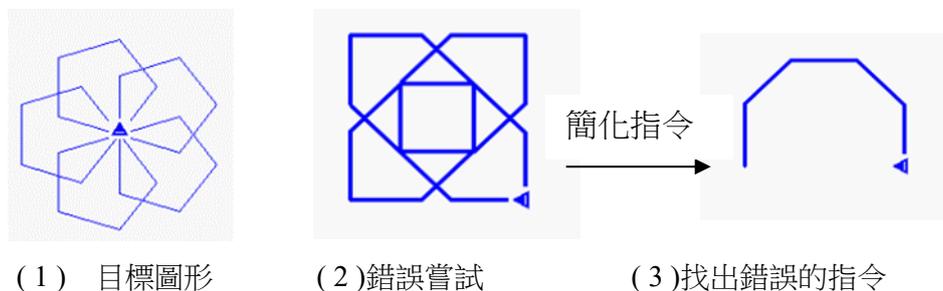


圖 18 SG5 的解題過程

4. 使用刪去法

當視覺估測和乘除的計算輔助無法找出正確角度時，研究參與者會以類似紀錄表的方式解題。以圖 19 為例，SG5 撰寫了「重覆 6[右轉 A 前進 100]」程序要繪製外部正六邊形，但嘗試了「45」、「16」、「73」、「70」等角度都失敗，因此由「10」開始依次嘗試「20」、「30」、「40」、「50」等角度，測試完就加以紀錄然後刪去，直到測試到角度「60」才完成正六邊形。

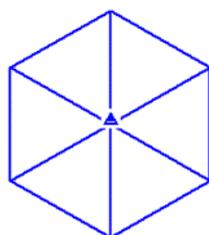


圖 19 後測第四題的目標圖形

接著，SG5 開始畫中間射線，重複執行「右轉 10」的指令企圖讓小海龜轉至視覺上最接近的方向，但些微的誤差造成圖 20-1 的錯誤。為此，他在紙上寫下「1、2、3...17、18、19」，每執行一次「右轉 10」，刪去相對應的數字，直到第 12 個「右轉 10」才正確畫出圖 20-2。SG5 較常使用類似方式，其他研究參與者雖也使用此方法，但多事先估測得某數量再選擇性的執行可能的答案。

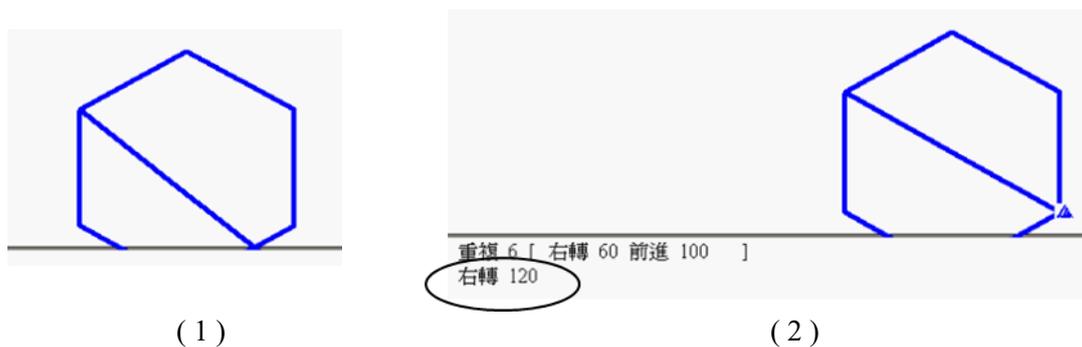


圖 20 SG5 在後測第四題的解題過程

5. 運用四則計算

教學者在討論時間傳達正確的幾何知識，以增進研究參與者的解題能力。以「活動七.正八邊形」例，教師引導多邊形指令為：「重複 A [前進 100 右轉 B]」，且 $A \times B = 360$ ，即重複次數和轉彎角度相乘等於 360。

TM：這邊如果把這兩個數字[6、60]相乘是多少呢？

SG2：[不假思索回答，而且一直重複說了好幾次]360。

SG3：[立刻動筆在計算紙上計算]

TM：這邊如果把這兩個數字[8、45]相乘是多少呢？

SG2：一樣，360。

SG3：[想了一下]360

TM：(繼續歸納其他多邊形)，那這裡呢？

SG2、SG3：[不假思索]一樣，360。

SG5：[跟旁邊的 SG4 說]這個沒教過

TM：這裡也是嗎？奇怪，答案都一樣！

SG4：[驚訝]全部都一樣啊！ (教學 2 - 6:80_463:478)

上述原案可發現，SG2 已發現多邊圖形角度總和的組成規則，而 SG4、SG5 則因缺乏除法計算能力，未參與討論，而對於「 $A \times B$ 」後的答案都等於「360」感到驚訝。經過幾次示範，研究參與者便逐漸發展出利用四則運算的輔助策略。

「...SB1 很快的就利用重覆程序做出「花瓣」。接著，要他做正八邊形的花朵，他在紙上計算 $360 \div 8 = 45$ ，然後做出正八邊形以及其他延伸題」(教學 - 3:349_949:950)。

「...接下來，SB1 撰寫變換三角形屋頂的指令，先逐一嘗試左轉角為「50」、「60」、「70」、「72」、「20」、「52」、「66」、「49」、「55」、「60」、「120」、「30」，但都失敗.....，SB1 忽然跑到白板前，寫下直式「 $360 \div 3 = 120$ 」，然後跑回去操作」(教學- 3:392_1035:1035)。

不同於以往學習四則運算只在應付課堂考試，欠缺「功能性」。經由討論活動，研究參與者得以發展出以四則運算解題的策略。但「研究參與者在紙上計算轉彎角度或步長，卻出現計算錯誤的情形，如： $360 \div 8 = 40$ 」。(教學- 3:325_906:906)

本研究發現，聽障兒童可以透過嘗試錯誤、自我探索或教師引導，發展出不同的解題策略，而又依據個人認知能力、題目難度及解題方式的差異，偏好使用不同的策略。

(三)視覺線索

豐富的視覺回饋是 LOGO 程式語言的特色，但有些圖的難度較高，只依循視覺線索難以達到目標，需要其他的策略輔助。

1. 視覺上難以察覺細微的角度差異

研究參與者最常依靠視覺回饋一筆一畫的完成圖形，如果沒有紀錄旋轉角度或前進步長，或事先設定線段長度角度，會提高解題的失敗率。圖 21 的例子可發現即使些微角度、長度的差距，都會造成線段分歧的錯誤。「SG3 將小海龜移回旗竿時，沒有掌握正確步數，小海龜雖然看似在旗竿上，但由圖 21-1 可知，小海龜已經偏離以原點為中心所畫的線段，轉彎、前進指令雖然都正確，但最後線段明顯分歧(圖 21-3)」(教學- 3:292_832:833)。

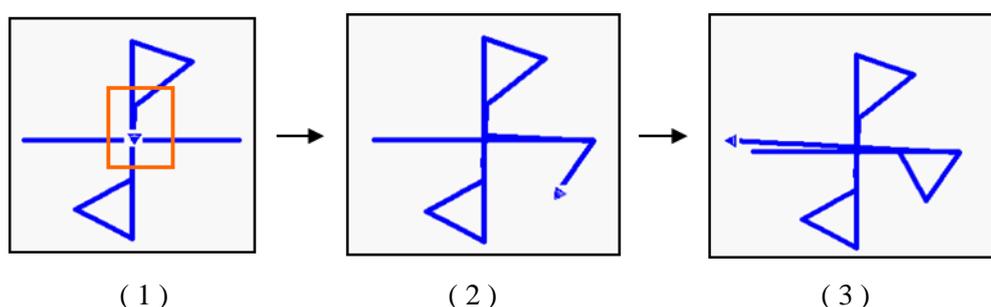


圖 21 SG3 繪製「活動九.旋轉風車」的過程

2. 游標影響視覺判斷

透過指令可以移動代表小海龜的三角形游標並留下軌跡，兒童可觀察游標的方向以修正轉彎角度。三角形游標除可提示方向，研究參與者甚至會將自己融入海龜的身分，轉動身體、頭來想像接下來轉彎或前進的方向，讓解題情境變得更具體。但三角形游標有時候會讓兒童產生視覺上的誤差。

例一、「活動七.正多邊形」

SG2繪製正五邊形時，編寫「前進 100 右轉 72」得到正確的圖形，但因為沒有將小海龜隱藏，所以誤認小海龜旁邊的缺口是指令錯誤造成。他修改將正五邊形底部的長度為「120」，其他邊長則仍為「100」，造成圖 22-2 之中，正五邊形底部線段突出。



圖 22 SG2 繪製正五邊形的錯誤

例二、「活動十.六爪怪物」

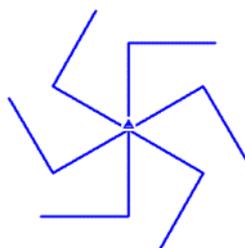


圖23 「活動十.六爪怪物」的目標圖形

圖23是由六個「┐」所組成的圖形，每個「┐」都是由兩個等長的邊以及一個直角所組成。但在圖19中，上下┐交接的中心線上，因為三角形游標會佔據一部分的線段，所以在視覺上會覺得好像兩個線段但是不等長的。「因此SG4在執行「前進50」後，又多執行「後退10」，使原本均分的線段變得不等長。而SG3也有同樣的情形」(教學- 3:322_901:901)。

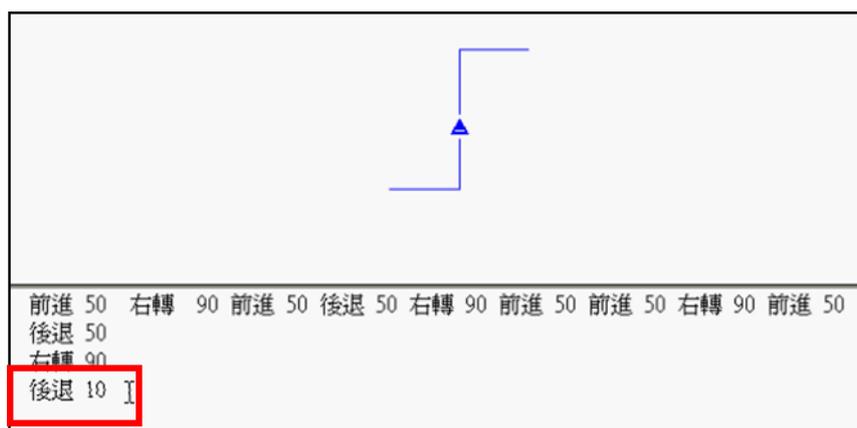


圖24 SG4在活動十的錯誤類型

根據觀察，即使研究參與者在指令區已明確紀錄小海龜前進步數，但仍傾向相信視覺所見，雖經教學介入逐漸建立圖像與程式間的連結，但仍無法完全脫離視覺影響。研究者據此推論五位研究參與者無法完全脫離圖像表徵的認知階段，故「視覺取向」在解題過程中極為明顯。

3. 特殊的解題線索

過度依賴圖形外在表徵來修正解題，會讓研究參與者產生一些特殊的思維方式。以 SG3 在「活動十一.小海龜的花園」表現為例。圖 25 的五瓣花是小海龜在同一個旋轉中心依序右轉 72 度後畫出的五個正五邊形。SG3 完成五瓣花之後，接下來必須從旋轉中尚執行「提筆」指令，往下離開花瓣的區域再執行「下筆」的指令畫出莖、葉子。

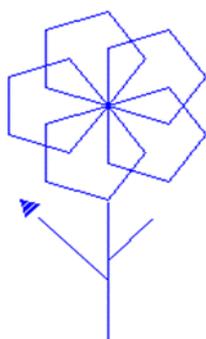


圖 25 活動十一的目標圖形

但SG3並未使用上述的方法，而是「由旋轉中心往下走，再將筆色換成跟背景色一樣的白色。花瓣中方框內就看不到小海龜移動的筆跡（圖26）。但因為變換筆色的同時也將游標隱藏了，無法判斷前進步長是否適當，因此原本應該接合的地方產生一大段的空白」（教學-3:375_1003:1004）。

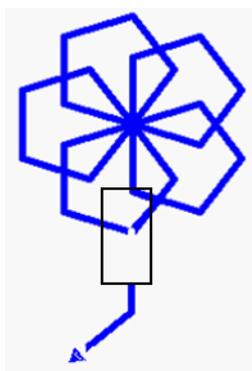


圖26 特殊的解題線索-SG3的作法

同樣的方式也出現在 SG4、SG5 的操作原案中，SG4 還成功的完成作品。雖然這樣的方式悖離原來的教學目標「使用提筆與下筆的功能」，但在最後的討論活動中，透過解題方式分享，研究參與者能明瞭解決問題並非僅單一的方式，而是取決於個體對問題的解讀及能力。

在本研究中，LOGO的操作經驗雖然使得聽障兒童的解題歷程產生正向的改變，但在分析圖形的幾何特性時，依舊會受到相鄰線段或圖形疊合的干擾，可見「視覺線索」仍然是影響普通兒童或聽障兒童平面幾何圖形訊息判斷的重要因素。而聽障兒童由於幾何認知發展未臻成熟，

且圖像與概念間未能穩固連結，因此解題時更容易傾向以視覺直觀方式思考。

(四)重複語法

五位研究參與者均可使用「一筆一畫」的基本方式完成解題。在教學初期，應用重覆指令所變化出的圖形讓其感到非常新奇，而且均能正確分析圖形找出重複的元素，然而卻無法撰寫正確重複語法的指令。因此，研究者將視覺分析與解題方式的表現區分為下列五個層次（請見表2）：

層次I：圖形的分析缺乏結構，只以一筆一畫的基本方式撰寫指令。這是教學初期最常出現的類型，在後測時，全體研究參與者都未出現此一類型。

層次II：對圖形分析缺乏結構，撰寫的重複語法錯誤。這是教導重複指令的過程中，SG3、SG4最常出現的類型。

層次III：能結構化的分析圖形元素，但不了解重複語法的功能，只能採一筆一畫的基本方式撰寫指令。這是SG3、SG4及SG5在接受教學之後最常使用的類型。

層次IV：能結構化的分析圖形元素，但無法掌握重複語法的功能，所撰寫的語法多是錯誤的。後測時，SG5常因此而放棄使用較具結構化的解題方式，改採一筆一畫的方式完成作答；而SB1與SG2雖然能精確的掌握圖形元素，但所撰寫的指令，常出現有部分語法錯誤或重複次數太多的情形。

層次V：能結構化的分析圖形元素，並掌握重複語法的功能，以精簡的指令完成解題。以SB1與SG2 出現這樣類型的機率較高。

表2 聽障兒童對圖形的視覺分析與解題方式

視覺分析	解題方式	重覆指令	
	一筆一畫	語法錯誤	語法正確
對圖形的分析缺乏結構	I	II	
結構化的分析圖形	III	IV	V

經過LOGO課程的介入，五位研究參與者多能對圖形進行良好的結構分析，脫離層次I、層次II。但在撰寫重複指令時，卻經常出現語法錯誤，因此改採層次III一筆一畫解題，或是停留在層次IV，較少出現層次V的解題表現。歸納其語法錯誤的主要原因如下：

1. 對語言規則的不了解

重複指令必須配合 [] 一起使用，例如，圖27-1 的正確語法是「重複 5 [重複5 [前進 50 右轉 72] 右轉 72] 」，而 SG4 所撰寫的程式中，第一個「重複 5」能記得要加上 []，但到了第二個「重複 5」就忘記加上 []。此外， [] 內所撰寫的指令也常常無法與圖

形元素作正確對應。

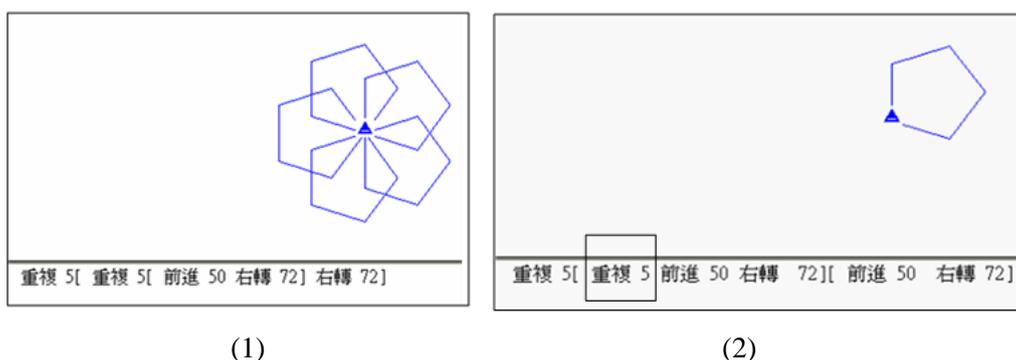


圖27 正確語法(1)及SG4所撰寫的錯誤語法(2)

2. 無法區辨圖形與指令間的關係

重複語法不但能簡化指令，更能創造更多變化的圖形，這些成功經驗讓研究參與者在新的問題情境中習慣套用舊的重覆指令模組。但研究發現，兒童如果無法理解重複指令與圖形線段變化間的關係而撰寫出錯誤的程式，使用重複指令的解題速度反而更慢。

以圖28為例，SB1、SG2與SG5一開始都是採用重複指令進行解題；SG5在嘗試錯誤後立刻放棄，改採用一筆一畫作答；而SG3與SG4則對重複語法不熟悉，因此開始即採一筆一畫解題。雖然最後五位研究參與者都正確完成圖形，但只使用一筆一畫指令的SG3與SG4的解題速度反而是最快的。

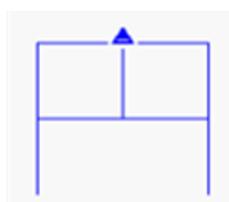


圖28 後測第一題目標圖形

然而，當兒童能對圖形產生結構化的思維後，是否能將圖像表徵轉換為可供解題的程式語言。以圖28的例子來比較第III層次及第IV層次的解題方式，可以發現使用層次III的SG3與SG4在解題速度上雖然比使用層次IV的SB1與SG2更快，但卻因為缺乏使用結構化指令解題的機會，並不利於能力的提升。而SB1與SG2雖然對語法規則不熟練，在問題情境產生改變時會遭遇挫折，但透過操作經驗的累積，能不斷修正原有的認知結構，使其策略趨向精緻化。研究中也發現，當題目難度增加，使用一筆一畫雖然能完成解題，但錯誤的比例會隨著題目難度而增加，解題時間也明顯的多於使用重覆指令解題的兒童。

聽障兒童難以掌握重複語法與普通兒童的研究相符，可見重複指令是聽障兒童與普通兒童在LOGO解題情境共有的難題。普通兒童要由具體的圖像表徵進入抽象的符號表徵，即需要較

長時間的學習，更遑論抽象思考能力較差的聽障兒童。雖然本研究的五位研究參與者在重複句法的表現各有歧異，但LOGO的確提供了一個跨越具體與抽象表徵的學習經驗，對其認知思考的提升有極大助益。

(五)操作技能

1. 前測時的表現

教師要求研究參與者將完成圖形的程序紀錄在學習單上，但在前測時收回的學習單卻往往看不到其解題的完整指令，探究原因有以下兩種情形。

(1)沒有保留指令

五位研究參與者中，SG5的學習單都只記錄短短一行指令，觀察其在前測所有題目的表現，都會先在指令區撰寫「前進 後退 右轉」三個指令，接下來只修改數字。所以最後呈現的程序有時只有「前進 50 後退 10 右轉 90」。研究者每次詢問她：「你只用這三個指令就可以做完嗎？」，SG5都只是笑而不答。此作答方式，讓SG5在解題過程中無法回顧使用過的步長或角度量，因此會出現左右線段不等長或是原本角度沒有均分的錯誤。

(2)所記錄的指令是錯誤的

SB1與SG2都能將完整的指令保留在指令區。但 SB1是將所有的步驟一字不漏的紀錄下來，所以花很多時間抄寫；而SG2如果使用了「右轉 15」但覺得旋轉角度量不足，就會將同一個「右轉 15」的指令再執行一次。然後再將「右轉 15」的指令改寫成「右轉 30」，這樣就不需要重覆抄寫兩次，又可以紀錄下實際執行旋轉角度量。表 3 說明 SG5以外其他四位研究參與者，在前測時處理指令的方式。

表 3 研究參與者處理指令的方式

研究參與者	處理方式	實際操作指令	學習單上的指令
SB1	逐一抄寫	右轉 10 右轉 10 右轉 10	右轉 10 右轉 10
SG3		前進 30 後退 10	右轉 10 前進 30
SG4			後退 10
SG2	累加實際旋轉、前進的數量	右轉 10 右轉 10 右轉 10 前進 30 後退 10	右轉 30 前進 20
	清除互相抵銷的「左轉 N 右轉 N」	左轉 90 右轉 90 右轉 90	右轉 90

SG2的方式節省抄寫的時間，也讓繁複的操作過程變的更簡潔。因此其他研究參與者也開始仿效的這個作法。但執行抄寫指令所完成的圖形常和研究參與者最後的作品有差異。例如，研究者將SG2學習單上的指令重新執行，完成圖29-1，與SG2所呈現的作品圖29-2相差甚遠。

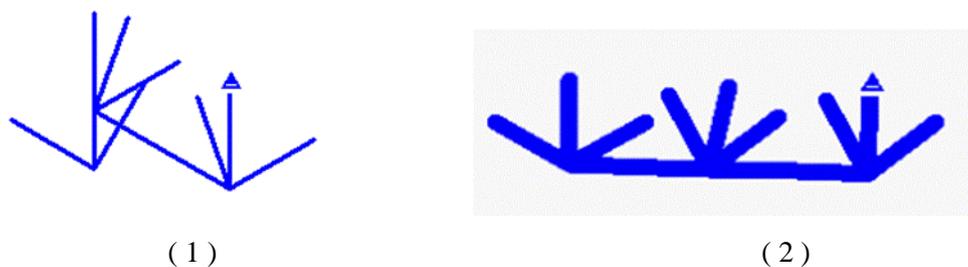


圖 29 依照學習單指令所完成的圖形(1)及 SG2 呈現的作品(2)

為了瞭解圖 29-1 的問題所在，研究者重新分析 SG2 的螢幕錄影資料，發現 SG2 執行「前進 80 後退 80」後，原本要將兩個互相抵消的指令都清除，卻只清除了「後退 80」，因此在最後所呈現的程序多出「前進 80」的指令。其他研究參與者也出現類似的情形，當題目越複雜或是失敗次數增加，錯誤機率越高。上例顯示，指令記錄錯誤致使圖形錯誤要修正時，兒童就會發現指令區內的指令錯誤百出，無法作為參考，必須再逐一檢核或是重新撰寫。

2. 後測時的表現

後測時，研究參與者開始養成隨時驗證指令正確性的習慣。每完成一部分指令，就將它整理成一列並且重新執行，確認無誤後再繼續完成其他部分。例如：「SG3 第一次嘗試時，原本要執行「左轉 90」，但因為將前面的正確指令整理成一列，按下執行鍵時，會連前面已經執行過的指令都一起再執行一次。……所幸當出現錯誤時，因為有紀錄剛才的指令，所以不需要重新來過」（後測 - 5:31_168:168）。

「解題歷程」是一個複雜的心智活動，兒童必須先覺察問題及所給定的條件，才能統整先備經驗與新知識，並透過技能與策略的應用解決情境中的障礙完成目標。在本研究中發現，兒童可以透過嘗試錯誤、自我探索或是在教師的引導下發展出不同的解題策略，而各別間又會因為認知能力、題目難度及解題方式的差異，偏好使用不同的策略，此結果與黃文聖（2001）及 Lowenthal 等人（1998）針對一般兒童所進行的研究雷同，更進一步證明了在 LOGO 環境中聽障兒童能與一般兒童一樣，依據題目難度、複雜性發展出多元的解題方式及不同的解題策略。

本研究結果顯示，聽障兒童透過 LOGO 語言的學習，能將抽象的數學概念以具體的方式呈現，並在操作過程中學會了計畫、分析及解決問題的技能。LOGO 具有正向回饋的特質，因此解題情境中所遭受的失敗經驗並不會帶來挫折感。相反的，聽障兒童會從電腦的回饋中，發展出更有效的解題技巧，此結果與文獻中 Clements 等人（1997）及 Harries（2001）的研究相似。說明了在 LOGO 環境中，兒童所得到的增強並非外在的物質回饋或鼓勵，而是來自內在強烈的解題動機，讓他們在學習過程中願意不斷的嘗試錯誤。

對於聽障兒童而言，語言的困境影響其解題能力的發展。透過原案可知，五位研究參與

者在學習之初，都是以直觀的方式來看待問題表徵，但LOGO以圖像呈現問題，正可配合其視覺管道的優勢能力，透過執行指令立即得到圖像回饋，讓「指令輸入」與「產出圖像」間的緊密連結。在實際操作的挫折讓原有解題的知識架構不斷產生改變，由原本完全的視覺取向轉而探求圖形的關係及規則，並積極驗證自己的想法，這樣的結果也呼應Grant與Semmes（1983）及Stone（1983）之研究發現，並說明了LOGO能提供一個口語以外的邏輯符號系統，協助他們以優勢管道建構知識，透過實際操作連結具體事物與抽象表徵之關係。

肆、結論與建議

一、研究結論

(一)聽障兒童在LOGO環境中的學習情形

1. LOGO能減輕語文對聽障兒童的不利影響，並提供豐富的視覺回饋、引發兒童的學習興趣，而成就感的獲得更能激發兒童主動學習的意願。
2. 同儕間能透過經驗分享、模仿學習及互相指導、討論的互動方式激盪更多新想法，但也會出現競爭的心態或是受到他人錯誤概念影響的情形。
3. 多元的解題方式能滿足兒童的個別差異，觀察兒童的解題方法更能發現個體內在對圖形的思維方式。

(二)影響解題表現的因素

1. 研究參與者的先備知識會影響個體對題目難度的感受，因此產生不同的次要目標及解題方式。當舊有概念不穩固或受到心向妨礙，無法類化至新的解題情境時，更會影響解題方法的選用及解題的速度和正確性。
2. 現有知識無法完成解題時，研究參與者會經由探索或在教師尚導下使用解題策略，並因應不同問題類型使用猜測答案、簡化指令、在紙上模擬、固定累加量、刪去法、運用四則計算等策略。
3. 視覺線索能提供研究參與者可行的解題方向，但若過分依賴，當圖形出現視覺難以察覺的細微角度差異或受到視覺干擾時，便無法依據指令進行正確的判斷。
4. 重複語法的使用能夠以高度結構化的方式完成解題，但研究參與者如果無法理解語言規則與圖形線段變化間的關係，而一再的套用舊有模組，反而造成解題效率的低落或是解題失敗，因此不能只以成果評論研究參與者表現，而應檢視操作歷程，才能了解其認知層次的發展。
5. 對指令的保留及回顧，是一個評估作品及自我反思的歷程。在解題過程若未能妥善的紀錄指令並時時檢核正確性，則在後續修正圖形指令時，便缺乏可參照的依據，必須重新解題。

二、研究建議

(一)在教學上的建議

1. 「重複」指令的使用是連結具體圖像與抽象符號間的重要管道，也是一般兒童與聽障兒童所共有的學習困難，因此研究者建議應該延長教學時間，讓兒童有充足的時間及空間了解重複指令的意涵，並使用結構化的方式進行抽象推理。

2. 聽障兒童在 LOGO 解題情境中，能經由指導或自我探索的過程，學習使用不同的策略完成目標。顯示若能以視覺優勢能力著手，聽障兒童的數學潛能決不只侷限於四則計算的基本能力。因此在教學上，教師可將解題策略融入數學或資訊科的課程內容，藉以培養聽障兒童數學知識的能力。

3. 在幾何教學的單元中，「角」的相關概念是一般兒童及聽障兒童都亟欲加強的範疇，若能將 LOGO 的教學活動結合具體操作活動。例如，利用量角器、與圓規進行角度測量、仿畫或摺紙的活動，並加強與生活中相關物體、形狀的經驗連結，藉以穩固概念並教導兒童將課本知識類化於生活情境中。此外，聽障兒童的學習優勢在於視覺，教師應多使用實物表徵配合實際操作，發展 LOGO 平面幾何學習教材。

(二)對未來研究的建議

1. 本研究之個案皆為中、重度聽障兒童，但兒童個別的口語表達、語言理解能力具有相當大的差異，因此同儕、師生互動時多以口手語併用。而不同的語言使用方式是否會影響兒童在 LOGO 情境中對圖形的知覺、幾何概念的學習以及解題策略的使用，值得進一步探討。

2. 為深入了解聽障兒童解題能力的發展，除了針對操作的原案資料進行分析仍須晤談資料的輔助。為了避免語言表達所可能造成的錯誤解讀，建議可採用個案研究的方式，透過一對一的晤談及實作引導，將兒童內在能力、學習經驗及解題歷程之間的關係進行深入的剖析。

3. 本研究詳細記錄中重度聽障兒童運用 LOGO 程式環境解題的學習歷程。建議可在未來研究建議中，加入正常聽力兒童在此系統學習歷程之表現作為參照，以比對聽障學童與正常聽力兒童在數學幾何學習的差異，以更深入探討聽覺障礙的認知與學習特質。

伍、參考文獻

- 李昶龍(2006)。**引導合作學習對於國小學童學習 LOGO 程式設計之影響**(未出版之碩士論文)。
台灣師範大學，台北。
- 林裕雲(2002)。**實施電腦 LOGO 程式設計教學對台灣國小學生解題能力之影響—國小六年級學生之個案研究**(未出版之碩士論文)。屏東師範學院，屏東。
- 林寶貴、李如鵬、黃玉枝(2009)：**修訂聽障學生數學能力測驗指導手冊及低、中、高年級題本**。教育部特殊教育小組。
- 陳明媚(2002)。**國小聽覺障礙學生數學文字題解題歷程之研究**(未出版之碩士論文)。台灣師範大學，台北。
- 陳廣平、劉兆香(譯)(2003)。**兒童的數學與科學**。(原作者：C. Charlesworth & K. Lind)。台北：洪葉。
- 黃文聖(2001)。**國小學童在 Logo 學習環境中數學學習與解題之研究**(未出版之碩士論文)。新竹師範學院，新竹。
- 張蓓莉(2003)。**國小階段聽覺障礙學生數學學習資料庫及建構式教學效果之研究**。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告(編號：NSC91-2521-S-003-003)，未出版。
- 張蓓莉(2006)。**啟動建構學習的教學方式對數學低成就聽覺障礙學生二步驟四則運算文字題的教學效果**。**特殊教育研究學刊**，30，75-94。
- 張秉翰(2011)。**國小四年級資優生學習 LOGO 程式設計課程之可行性研究——以「LOGO 打字機」教材為例**(未出版之碩士論文)。屏東教育大學，屏東。
- 劉淑芬(2007)。**同儕配對與親子配對在國小學童學習 Logo 程式設計之個案研究**(未出版之碩士論文)。台灣師範大學，台北。
- 顏晴榮、呂玉琴、許宏彰(2006)。**國小學童在 Logo 程式語言設計思維歷程之研究**(未出版)。行政院國家科學委員會專題研究成果報告。
- Bull, B., Lough, T., & Cochran, P. (1993). LOGO and Exceptional Individuals. In J. D. Indsey, (ED.), *Computers and exceptional individuals* (pp.167-188). Austin, TX: Pro-ed.
- Clements, D. H. & Battista, M. T. (1992). The effects of LOGO on children's conceptualizations of angle and polygons. *Journal for research in mathematics education*, 21(5), 365-371.
- Clements, D. H., Battista, M. T., Sarama, J., Swaminathan, S., & McMillen, S. (1997). Students' development of length concepts in logo-based unit on geometric paths. *Journal for Research in Mathematics Education*, 28(1), 70-95.
- Feurzeig, W., Papert, S. A., & Lawler, B. (2010). Programming-languages as a conceptual framework for teaching mathematics. *Interactive Learning Environments*, 19(5), 487-501.
- Fessakis, G., Gouli, E., & Mavroudi, E. (2013). Problem solving by 5-6 years old kindergarten children

- in a computer programming environment: A case study. *Computers & Education*, 63, 87-97.
- Grant, J. & Semmes, P.(1983).A Rationale for LOGO for hearing impaired preschoolers. *American Annals of the Deaf*, 128(5), 564-569.
- Harkins, J. E., Loeterman, M., Lam,K., & Korres, E.(1996).Instructional technology in schools education deaf and hard of hearing children: A national survey. *American Annals of the Deaf*, 141(2), 59-65
- Harries, T. (2001).Working through complexity : an experience of developing mathematical thinking through the use of logo with low attaining puils. *Support for Learning*,16(1),23-27.
- Hyde,M.,Zevenbergen,R.,&Power,D.(2003).Deaf and hard of hearing students'performance on arithmetic word problems.*American Annals of the Deaf*, 148(1),56-64.
- Jancheski, M. (2017).Improving teaching and learning computer programming in schools through educational software. *Olympiads in Informatics*, 11, 55–75.
- Khasawneh , A. A.(2009). Assessing Logo programming among Jordanian seventh grade students through turtle geometry. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology* , 40(5). 619-639.
- Kidd,D. H., Madsen, A. L., & Lamb, C. E.(1993). Mathematics vocabulary: Performance of residential deaf students. *School Science & Mathematics*, 93(8),148-151.
- Ling, N. (1995). *The effect of cooperative LOGO programming environment on the interaction between hearing impaired students*. Unpublished master's thesis, University of Hong Kong, Hong Kong.
- Lowenthal, F., Marcourt, C., & Solimando, C. (1998). Cognitive strategies observed during problem solving with LOGO. *Journal of computer assisted learning*, 14, 130-139.
- Martin, D. S., Craft, A., & Zhang, N. S. (2001).The impact of cognitive strategy instruction on deaf learners: An international comparative study. *American Annals of The Deaf*, 146(4), 366-379.
- Mousley, K., & Kelly, R. R. (1998). Problem-solving strategies for teaching mathematics to deaf students. *American Annals of the Deaf*, 143(4), 325-336.
- Pardamean,B., Evelin E.,& Honni,H. (2011). The effect of logo programming language for creativity and problem solving. In *Proceedings of the 10th WSEAS international conference on E-Activities* (PP. 151–156).
- Papert, S. (1993). *The children's machine*. New York: Basic Books.
- Stone, P. S. (1983).LOGO: A powerful hearing environment for hearing impaired children. *American Annals of the Deaf*, 128, 648-652.
- Traxler, C. B. (2000). The Stanford achievement test, 9th edition: National norming and performance standards for deaf and hard-of-hearing students. *Journal of deaf Studies and deaf education*, 5(4),337-348.
- Tsuei, M.(2020). *The effects of Logo programming and multimedia software on fifth-grade students' creativity in Taiwan*. Ph.D. thesis, The University of Texas at Austin. Retrieved

Villani, Doublestein, & Martin,(2005) .Sign Language for K-8 Mathematics by 3D Interactive Animation. *Journal of Educational Technology Systems*, 33(3), 241-257.

Wlsh Jr , T. E. (1994). Facilitating LOGO'S potential using teacher-mediated delivery of instruction : A literature review, *Journal of Research on Computing in Education*, 26(3),322-335.

Plane Geometry Problem Solving by Hearing Impaired Children and their Logo Computer Programming Experience

Pei-Fen Huang

Taipei Lishan Elementary School

Kuei-Chun Huang

Kaohsiung Normal University

Abstract

The purpose of this study is to explore the problem-solving process of plane geometry of hearing impaired children in the LOGO program instruction. The study used qualitative research and collected the information and data of computer video tapes, transcribed and edited them into protocols. The main findings of this study were found as follows:

2. LOGO could offer more visual feedback to help hearing-impaired children to bridge the gap of spoken language and inspire students' learning initiative. In the activities, they could share or discuss newfound answer with others and enhance their problem solving ability in the interaction.
3. The relative factors in the problem-solving process included pre-requisite knowledge, problem-solving strategies, visual cues, syntactic-rule and manipulating skill.

Keywords : hearing impairment, plane geometry problem solving, Logo computer programming, problem solving

Corresponding Author : Kuei-Chun Huang

Email : t2676@nknuc.nknu.edu.tw