

國立交通大學

理學院碩士在職專班網路學習組

碩士論文

探討不同類型多媒體教材對低工作記憶能力者

之學習成效

—以國中數學『式子的化簡』為例

The Learning Achievement of Different Multimedia Courseware on
Low Working Memory Learners -
The Example of “Polynomial Operations”

研究生：張哲維

指導教授：陳登吉 教授

中華民國九十八年六月

探討不同類型多媒體教材對低工作記憶能力者之學習成效
—以國中數學『式子的化簡』為例

The Learning Achievement of Different Multimedia Courseware on Low
Working Memory Learners -
The Example of “Polynomial Operations”

研究生：張哲維
指導教授：陳登吉 博士

Student : Che-Wei Chang
Advisor : Dr. Deng-Jyi Chen

國立交通大學
理學院網路學習碩士在職專班

碩士論文

A Thesis

Submitted to Degree Program of E-Learning

Collage of Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Degree Program of E-Learning

June 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年六月

探討不同類型多媒體教材對低工作記憶能力者之學習成效
—以國中數學『式子的化簡』為例

學生：張哲維

指導教授：陳登吉 教授

國立交通大學理學院網路學習碩士在職專班

摘 要

使用多媒體融入教學是現今國內重要的教學趨勢，其學習成效也獲得多數研究肯定，但不同能力的學習者，須搭配適合的多媒體教材才能事半功倍；而好的代數運算能力可對數學及其他科學研究產生關鍵性的影響，且低工作記憶能力對學習成就的預測性是不可否認的。因此，本研究依據國中數學「式子的化簡」單元，設計、製作三種類型的多媒體教材，並藉此探討不同類型的多媒體教材對低工作記憶能力者在學習成效上的影響。

本研究自 227 位七年級的學生中，以工作記憶測驗篩選出 59 人並分成「低聲韻迴路能力」、「低視覺空間能力」及「低中央控制能力」三組。接著分別對三組學生施以具體、半具體與抽象三種不同類型的多媒體教材，並以統計方法找出何種類型的多媒體教材對各組學生的學習成效幫助最大。

研究結果如下：

- 一、具體教材及半具體教材可有效提升「低聲韻迴路能力」學生學習「式子的化簡」的學習成效。
- 二、具體教材可有效提升「低視覺空間能力」學生學習「式子的化簡」的學習成效。
- 三、三種多媒體教材均無法有效提升「低中央控制能力」學生學習「式子的化簡」的學習成效。

關鍵字：多媒體教材、工作記憶、學習成效

The Learning Achievement of Different Multimedia Courseware on Low Working Memory Learners - The Example of “Polynomial Operations”

Student : Che-Wei Chang

Advisor : Dr. Deng-Jyi Chen

Degree Program of E-Learning
College of Science
National Chiao Tung University

Abstract

Using multimedia in teaching is a significant trend in Taiwan, and the learning achievement it creates is confirmed by most researches. But learners with different competence should use suitable multimedia courseware to enhance the effects. A good algebra calculating competence has critical impacts on mathematics and other scientific researches, and the predictability of working memory to working memory is undeniable. Thus, take the unit of “Polynomial Operations in Junior High School Mathematics” course as the example, the study aims to explore the impacts of different multimedia courseware on learning achievement of low working memory learners.

Using “Working Memory Task”, the study selects 59 students out of 227 the 7th graders and divides them into three groups, which are low phonological loop, low visual-spatial sketchpad, and low central executive. And then the three groups are taught with three kinds of multimedia courseware, which are concrete materials, semi-concrete materials, and abstract materials, to explore which one is the most effective to different groups.

Research findings are as follows :

1. Concrete materials and semi-concrete materials can effectively enhance the learning achievement of low phonological loop students.
2. Concrete materials can effectively enhance the learning achievement of low visual-spatial sketchpad students.
3. The three multimedia courseware cannot enhance the learning achievement of low central executive students.

Keywords : Multimedia Courseware, Working Memory, Learning Achievement



誌 謝

本論文能順利完成，一定要先感謝我的指導教授陳登吉教授以及孔崇旭博士的辛勞。進入陳老師的實驗室後，透過一次次的討論，讓我能掌握學習的要點，不致於走許多冤枉路，在二年級期時，陳老師還因身體因素住院開刀，在此對陳教授時間及精神上的付出，致上最衷心的謝意。在陳老師住院期間，台中教育大學的孔崇旭博士每個星期特別從台中上來，和我們討論論文的方向及做法，讓我們不致於茫然無措，在此要對孔博士的辛勞致上崇高的謝意。

也要謝謝同研究室的同學，包含鈺群、郁雯、俊呈、詩欽、秉文，特別是孫秉文同學，讓我時時都有可以請益、討論的對象，在研究所二年學習的路上，不致感到孤單與徬徨，還有曾經指導我的同事文彥。

最後，感謝我的父親、母親、岳父、岳母及老婆巧萍在背後的大力協助，讓我的女兒柳丁妹、兒子小豆子快樂的成長，使我能專心完成論文，也才能有今天的我，謝謝。



目 錄

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	II
誌 謝.....	IV
目 錄.....	V
表目錄.....	VII
圖目錄.....	VIII
一、緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的與問題.....	2
1.3 名詞解釋.....	3
1.3.1 工作記憶 (Working Memory).....	3
1.3.2 多媒體教材 (Multimedia Courseware).....	3
1.3.3 學習成效 (Learning Achievement).....	3
1.4 研究範圍與限制.....	4
二、文獻探討.....	5
2.1 多媒體學習理論與相關文獻.....	5
2.1.1 多媒體的定義.....	5
2.1.2 多媒體學習認知理論.....	6
2.1.3 多媒體學習認知理論的教材設計原則.....	9
2.1.4 多媒體教材與數學學習成效.....	13
2.2 文字符號的概念及其相關研究.....	17
2.2.1 文字符號的發展.....	17
2.2.2 文字符號概念的層次.....	18
2.2.3 文字符號學習困難的相關研究.....	21
2.3 工作記憶及其相關研究.....	22
2.3.1 工作記憶的理論基礎.....	22
2.3.2 工作記憶與數學學習能力.....	25
三、研究架構與方法.....	27
3.1 研究流程.....	27
3.2 實驗設計.....	28

3.3 研究對象與取樣方法	31
3.3.1 研究對象	31
3.3.2 取樣方法	31
3.3.3 實驗設計分組細格	32
3.4 研究工具	33
3.4.1 工作記憶測驗	33
3.4.2 數學科成就測驗	35
3.4.3 多媒體教材製作工具	36
3.5 資料處理	39
四、結果與討論	41
4.1 多媒體教材對「低聲韻迴路能力」學生在學習成效上的差異	41
4.2 多媒體教材對「低視覺空間能力」學生在學習成效上的差異	43
4.3 多媒體教材對「低中央控制能力」學生在學習成效上的差異	45
4.4 結果摘要	46
五、結論與建議	48
5.1 結論	48
5.2 未來發展方向	49
參考文獻	50
附錄一：語文工作記憶施測說明及指導語	56
附錄二：視空間工作記憶施測說明及指導語	58
附錄三：數數工作記憶施測說明及指導語	61
附錄四：數學科成就測驗試卷	63
附錄五：加法與減法後測試卷	64
附錄六：乘法與除法後測試卷	65
附錄七：具體教材畫面	66
附錄八：半具體教材畫面	69
附錄九：抽象教材畫面	72

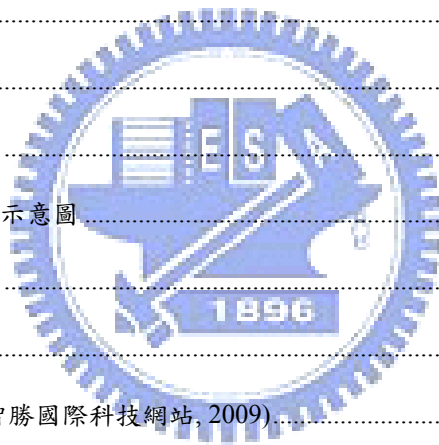


表目錄

表 1	多媒體教材對數學學習成效的影響之相關研究（一般學生）	14
表 2	多媒體教材對數學學習成效的影響之相關研究（低成就學生）	16
表 3	文字符號概念的使用層次	19
表 4	英國學生對文字符號概念了解的層次	19
表 5	國內學生對文字符號概念理解的層次	20
表 6	文字符號學習困難之相關文獻	21
表 7	實驗設計分組細格表	32
表 8	專家學、經歷及年資表	36
表 9	試題預試之統計表	36
表 10	「低聲韻迴路能力」學生的同質性檢定	41
表 11	「低聲韻迴路能力」之單因子共變數分析摘要表	42
表 12	「低聲韻迴路能力」之成對比較	42
表 13	「低視覺空間能力」學生的同質性檢定	43
表 14	「低視覺空間能力」之單因子共變數分析摘要表	44
表 15	「低視覺空間能力」之成對比較	44
表 16	「低中央控制能力」學生的同質性檢定	45
表 17	「低中央控制能力」之單因子共變數分析摘要表	45
表 18	研究結果摘要表	47

圖目錄

圖 1	多媒體學習的認知模型 (MAYER, 2001)	6
圖 2	書寫的視覺文字、語言文字及圖像於雙通道中的運作示意圖	7
圖 3	教材設計的雙通道呈現.....	9
圖 4	文字與圖像相關位置圖.....	10
圖 5	連貫原則教材示意圖.....	11
圖 6	控制按鈕示意圖.....	12
圖 7	適時提供信號以引導注意力.....	12
圖 8	工作記憶模型 (BADDELEY, 2000)	23
圖 9	研究步驟及流程.....	27
圖 10	研究架構.....	28
圖 11	三種多媒體教材類型	30
圖 12	低工作記憶能力取樣示意圖.....	32
圖 13	視空間工作記憶測驗.....	34
圖 14	數數工作記憶測驗.....	35
圖 15	編輯手的教學理念(智勝國際科技網站, 2009).....	36
圖 16	編輯手操作說明.....	39



一、緒論

1.1 研究背景與動機

自 90 年代起，電腦軟、硬體技術發展快速，而「多媒體教材」亦隨之蓬勃發展；各式具有豐富數位聲光效果及生動互動功能的「多媒體教材」較「傳統教材」更能激發學生自的學習潛能並提高學習者在學習上的動機（Wang, 2002；Busch, 2003；劉晏企, 2004；蘇聖文, 2007），且以多媒體輔助教學能有效提升低成就者的學習成效（Sinclair, Renshaw & Taylor, 2004；Olkun, 2005；Koirala, 2005；溫安榮, 2007；潘慧萍, 2007；Tabach, Arcavi & Hershkowitz, 2008）。教育部更乘著這股風潮，大力推動學習環境、教材及教學的 E 化，希望藉由科技的便利，運用資訊融入教學，為學習帶來更好的成效。

而「數學」是科學之母，科學知識的累積，常需以數學理論為其建構根本，數學的學習不僅能提升個人推理及邏輯思考能力，同時數學的學習更能協助人們解決日常生活所遭遇的問題。在眾多數學概念中，Herscovic & Kieran（1980）認為代數的學習是學生從具體運思到形式運思的一個重要階段。Linchevski（1995）認為這是學生學習數學的一個關鍵點，是學生往後學習更高深的數學之基礎。國內學者：郭汾派、林光賢與林福來（1989）也認為培養好的代數運算能力，不僅可以對數學及其他科學研究帶來莫大的助益，也是形成數學抽象化與形式化的重要步驟之一。依據教育部（2008）公布之「國民中小學課程綱要」，代數課程在數學領域中佔了相當高的比例，而國內探討代數迷思及學習成效的研究不勝枚舉（袁媛, 1993；林敏雪, 1997；戴文賓, 1998；陳慧珍, 2001；張國樑, 2004；鄭智元, 2006；陳巧莉, 2007；洪意琇, 2008），顯示代數概念是重要卻又不易理解的。探究其根本，不難發現問題早發生在學生學習代數之始，也就是「文字符號的四則運算」時就已產生（郭汾派、林光賢、林福來, 1989）。因而，本研究選擇國

中七年級數學「式子的化簡」這個單元，希望能從問題的源頭，協助學生克服學習上的迷思。

當學生學業成績表現不理想時，許多家長和老師常將其表現不佳的原因歸咎於孩子懶惰、不認真。然而，國內外的研究者估計大約有 6 % 的國中、小學生有嚴重的數學學習困難情形 (Fleischner & Marzola, 1988)，學業成績的表現，並非只侷限在孩子的學習態度上。近年來，工作記憶的相關研究發現，不僅可用工作記憶容量高低來預測學生未來數學及閱讀的學習表現 (Hitch & McAuley, 1991; Lehto, 1995; 李東霖, 2001; 李亞惠, 2002)，有些研究甚至指出：可以用工作記憶來作為篩選數學、閱讀障礙及學習困難的學生的依據 (Siegel & Ryan, 1989; Hitch & McAuley, 1991; 蔡佳錚, 1997; 李東霖, 2001; 李亞惠, 2002)。但國內外探討「工作記憶」與「多媒體教材」的研究，其主題多與閱讀及語文的學習成效相關 (Montgomery & Evans, 2009; Steinbrink & Klatt, 2008)，缺少以數學學習成效為主軸的文獻。

綜合上述，使用多媒體融入教學是現今國內重要的教學趨勢，其學習成效也獲得多數研究肯定，但不同能力的學習者，須搭配適合的多媒體教材才能事半功倍；低工作記憶能力對學習成就的預測性是不可否認的，但何種類型的多媒體教材對低工作記憶能力者在學習成效上的幫助最大，卻沒有相關文獻可以佐證。因此，本研究採用現今國中、小數學課程中常用的表徵型態（具體、半具體及抽象），自行設計多媒體教材，期望能對低工作記憶能力者的學習提供一些幫助及參考價值。

1.2 研究目的與問題

綜合上述之研究背景與動機，茲將本研究的目的陳述如下：針對康軒版國中七年級數學「式子的化簡」單元來設計三種類型（具體、半具體、抽象）的多媒體教材，並探

討「不同類型的多媒體教材」對「低工作記憶能力者」在學習成效上的影響。

依據研究目的，本研究欲探討的問題如下：

1. 何種多媒體教材較適合提升「低聲韻迴路能力」的學生之學習成效？
2. 何種多媒體教材較適合提升「低視覺空間能力」的學生之學習成效？
3. 何種多媒體教材較適合提升「低中央控制能力」的學生之學習成效？

1.3 名詞解釋

1.3.1 工作記憶 (Working Memory)

本研究中所測量之工作記憶是指受試者在「語文工作記憶測驗」、「視空間工作記憶測驗」、「數數工作記憶測驗」的得分。



1.3.2 多媒體教材 (Multimedia Courseware)

多媒體教材泛指利用電腦軟體將文字、圖像、圖形、音訊、動畫和視訊等多媒體素材做編輯、儲存、整合，並使用電腦作為呈現工具的學習教材（劉耘安, 2007）。本研究中的多媒體教材指的是依據康軒版國中七年級數學「式子的化簡」（Polynomial Operations）單元，透過「智勝國際科技股份有限公司」所開發的「編輯手 6.0」（智勝國際科技網站, 2009）重新設計編輯之具體、半具體及抽象三種教材。

1.3.3 學習成效 (Learning Achievement)

學習成效係指學生在學科學習之後所做的測驗之成果表現。本研究中的學習成效指的是受試者在接受研究者所設計之多媒體教材課程—「式子的化簡」後，於成就測驗

(achievement test) 中所得到的分數，分數越高代表學習成效越大。

1.4 研究範圍與限制

本研究僅以新竹市某國中的七年級學生為研究樣本，針對康軒版國中七年級數學「式子的化簡」單元內容設計多媒體教材，故所得的研究結果只能推論到相同地區或類似樣本，至於本研究是否可以推論到其他地區、年級或單元，應特別謹慎考慮。



二、文獻探討

本章將依序針對多媒體學習理論、文字符號的概念及工作記憶理論等三個和本研究有重大相關的議題進行分析探討。

2.1 多媒體學習理論與相關文獻

2.1.1 多媒體的定義

Mayer (2001) 將多媒體定義為利用文字 (words) 與圖片 (pictures) 的一種組合型式。在此, 「文字」指的是教材以語言文字的型態 (verbal form) 呈現, 包含口語表達的文字 (spoken words) 與書寫的視覺文字 (printed words)。「圖片」指的是教材以圖像的型態 (pictorial form) 呈現, 包括靜態圖片 (插圖、座標圖、圖解、照片、地圖) 及動態圖片 (動畫、影片) 兩種。

美國教育訓練發展協會 (Association of Training and Development, ASTD) (2006) 定義多媒體為: 包含互動性文字、聲音、色彩、圖片, 從一張簡單的投影片到複雜的互動模擬都算是多媒體。

教育部九年一貫資源 (2001) 也提出組成多媒體的四個基本要件:

1. 必須要有電腦來做整體控制協調, 利用輸入與輸出的設備, 讓我們看到或聽到這些文字、圖形、影像與聲音等資訊。
2. 各個媒體資料之間要有連結關係。
3. 需要使用多媒體瀏覽的工具, 讓我們可隨意查看或聽到這些有連結關係的資訊。

4. 必須提供我們編輯與處理媒體資訊的方法，以利蒐集和傳遞。

綜合上述的說法，多媒體可以說是結合多種媒體，如：文字、圖形、聲音、動畫、影像等特殊效果的多種媒體，用電腦相整合在一起的系統。

2.1.2 多媒體學習認知理論

多媒體學習認知理論 (Cognitive Theory of Multimedia Learning, CTML) 是由 Mayer (2001) 所提出。此理論結合 Paivio (1986) 的雙碼理論 (Dual Coding Theory)、Sweller (1998) 的認知負荷理論 (Cognitive Load Theory) 以及 Baddeley (1992) 的工作記憶模型 (working memory model)，來描述學習者在進行多媒體學習時的訊息處理過程。

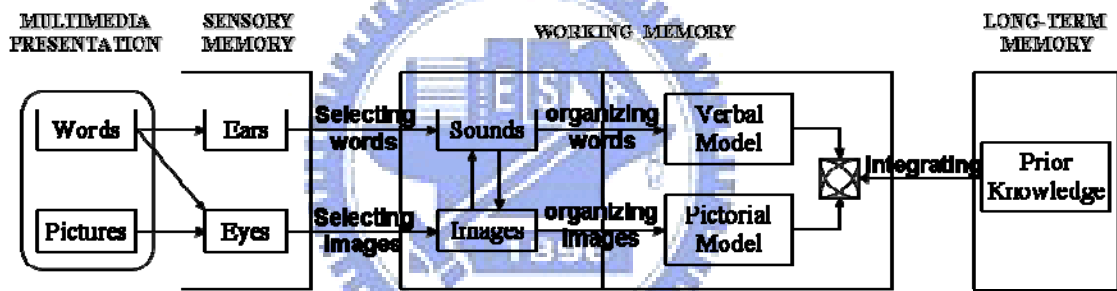


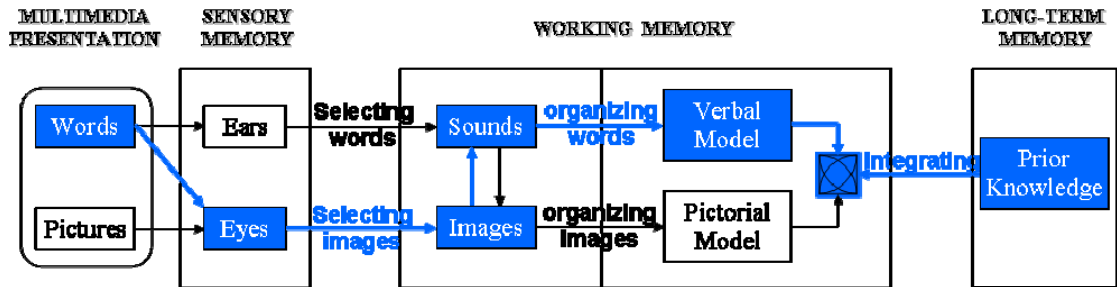
圖 1 多媒體學習的認知模型 (Mayer, 2001)

其理論模型如圖 1 所示，它建立在三個基本假設上：

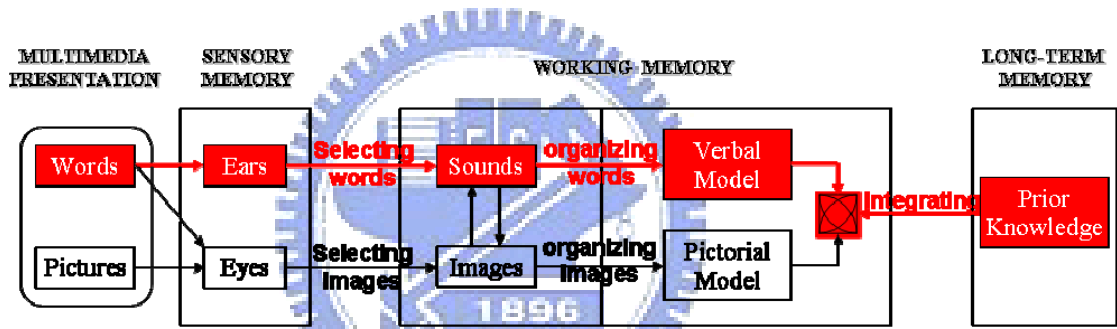
1. 雙通道假設 (Dual Channel)：

此假設是由「感官形式」來區別訊息該進入何種通道。Mayer (2001) 認為人類擁有兩個分開的通道來處理外來的視覺訊息 (visual information) 和語文訊息 (auditory information)。意即當訊息以書寫的視覺文字 (printed words) 或圖像的型態 (pictorial form) 呈現時，就進入感官記憶中的視覺通道，如圖 2 (A)、圖 2 (B) 所示；當訊息以語音文字的型態 (verbal form) 呈現時，就進入感官記憶中的聽覺通道，如

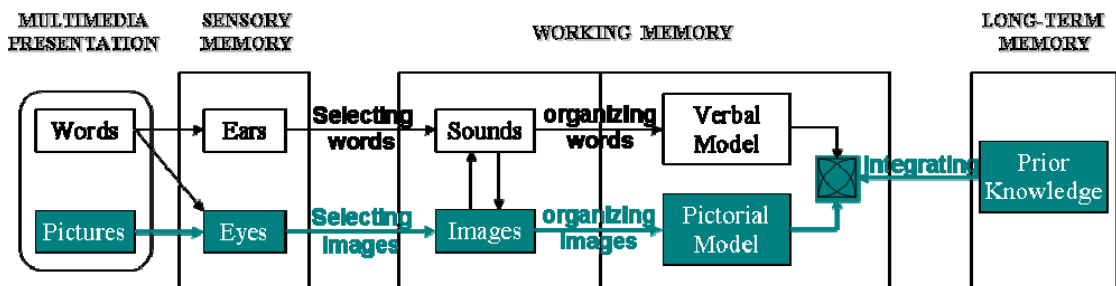
圖 2 (C) 所示。



(A) 書寫的視覺文字



(B) 語音文字



(C) 圖像

圖 2 書寫的視覺文字、語言文字及圖像於雙通道中的運作示意圖

2. 有限容量假設 (Limited Capacity) :

有限容量假設指的是在視覺通道或聽覺通道中一次所能處理的訊息量是有限的 (Baddeley, 1992)。最為大家所接受的是 Miller (1956) 及 Simon (1974) 的記憶序列測驗 (memory span test)，依序的呈現數字或每秒呈現一張圖像，並要求受試者重覆訴說出現過數字或圖像，這種測驗顯示人類大約僅能記住 7 ± 2 個元素。

3. 主動處理假設 (Active Processing) :

主動處理假設認為學習者會主動從事認知處理並建構以過往經驗為基礎的一致且連貫的心智表徵 (Mental representation) (Mayer, 2001)。一個有效的主動處理訊息過程包含選擇相關訊息、組織已選擇的訊息及整合前述訊息和先備知識。亦即一個有效的處理，主要為將接收的訊息整合之前的先備知識，形成一個新的知識回存到長期記憶區 (long-term memory)，以基模 (Schema) 的形式儲存。

本研究中教材的設計依循這三個基本假設：教材呈現上使用了動畫 (圖片)，並輔以旁白說明 (文字)，因此能滿足雙通道假設，如圖 3 所示。再者，考量到學生在學習上的有限容量限制，因此每個步驟都由學習者自行掌控進度，適合的時候才進行下一步。此外，在教材設計上，也搭配一些吸引注意力的效果，以增強學生主動學習的動機，並且每個主題均搭配至少一個練習題，讓學生能夠進行基模的建立。

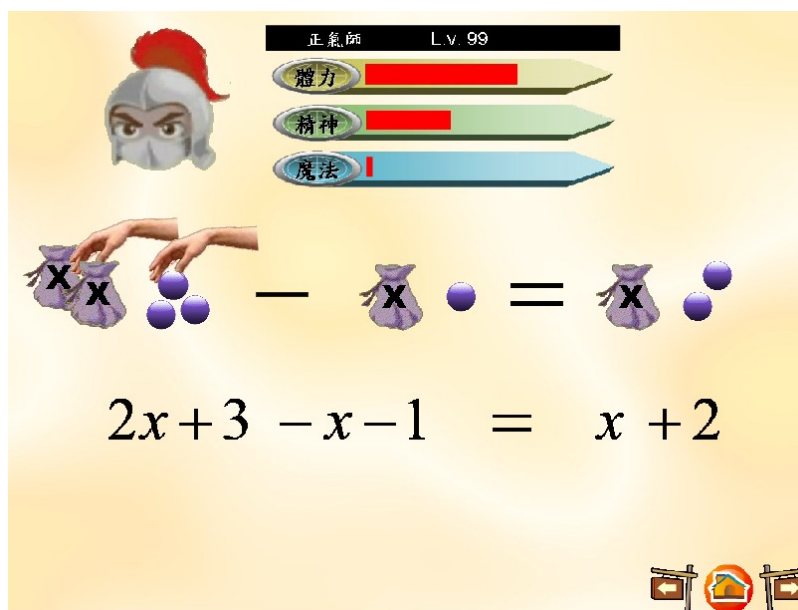


圖 3 教材設計的雙通道呈現

2.1.3 多媒體學習認知理論的教材設計原則

欲探討學生的學習成效，必須先了解學生的認知過程；而利用多媒體教材協助學生學習，更應該知道如何設計好的多媒體教材。Mayer (2001) 以多媒體學習認知理論為基礎、降低外在認知負荷為目的，設計許多相關實驗，並依據實驗結果整理出七項多媒體教材設計的原則。不過，隨著多媒體學習與教材的研究日益廣泛，Mayer (2005) 於「The Cambridge Handbook of Multimedia Learning」一書中，再次歸納出三項教材設計原則，前後共計十項，希冀能對從事多媒體學習認知理論相關研究的先進及電腦多媒體教材實務設計者有所幫助。接下來，我們將說明這十項原則，並列出與本研究相關之處：

1. 多媒體原則 (Multimedia Principle)：

多媒體原則指的是學生從文字及圖像學習的學習效果比僅由單獨文字學習的學習效果好。

2. 空間接近原則 (Spatial Contiguity Principle)：

空間接近原則指的是當利用電腦螢幕或紙本學習時，如果文字及圖像呈現的彼此位置較近時，學生的學習成效較好；而兩者彼此位置較遠時，學生的學習成效較差。本研究所設計的多媒體教材，相關的文字與圖像彼此位置均十分接近，以提高認知資源的使用效率，如圖 4 所示。



圖 4 文字與圖像相關位置圖

3. 時間接近原則 (Temporal Contiguity Principle) :

時間接近原則指的是學生利用多媒體教材學習時，相對應的文字與圖像同時呈現時，其學習成效比較好；相對應的文字與圖像分離呈現時，其學習成就比較差。本研究所設計的多媒體教材中，相對應的口語解說及圖像均同時呈現，以提高學習者整合這兩種心智表徵的機會。

4. 連貫原則 (Coherence Principle) :

連貫 (coherence) 指的是訊息中元素之間的結構關係；連貫效應 (coherence effect) 則是指當無關的資料或訊息 (material) 被排除時，學習者的學習成效優於當無關的資料或訊息 (material) 被納入時的學習成效。本研究所設計的多媒體教材，僅出現必要的文字及圖像，並刪除不相關的物件，使得學習者集中注意力並提升認知資源的

效率，如圖 5 所示。

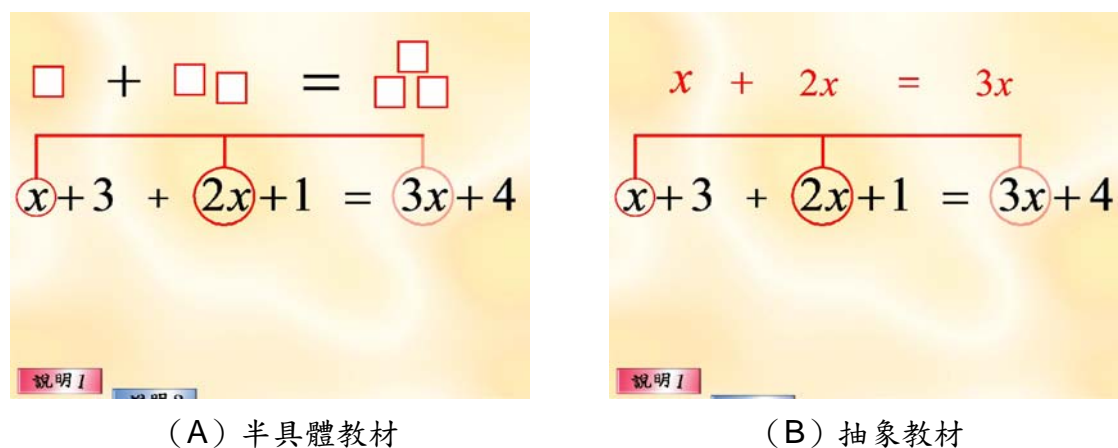


圖 5 連貫原則教材示意圖

5. 形式原則 (Modality Principle) :

形式原則指的是在多媒體教材中，文字以口語表達的方式呈現比用視覺文字有較好的學習效果。本研究所設計的多媒體教材中，除了重點提示的部分有使用視覺文字，其餘均以口語表達的方式呈現文字。

6. 重覆原則 (Redundancy Principle) :

重覆原則指的是學習者從具有「動畫與口語表達的文字」的教材比具有「動畫、口語表達的文字加上字幕」的教材能得到更好的學習效果。但是，重覆原則在第二語言學習的多媒體環境中並不適用，因為提供視覺文字給學習者，反而可以提高學習第二語言的學習成效。本研究所設計的多媒體教材，均以口語表達的方式呈現文字，並無使用字幕。

7. 互動原則 (Interactivity Principle) :

互動原則是指如果學習者可以自行控制教材呈現的步調，其學習效果會比較好。本研究所設計的多媒體教材中，每個頁面均安排「上一頁」、「下一頁」及「回首頁」

三個按鈕，由學習者自行決定何時要跳下一個畫面，如圖 6 所示。



圖 6 控制按鈕示意圖

8. 信號原則 (Signaling Principle) :

信號原則指的是在多媒體教材中，如果有一些提示可以引導注意力，學生的學習成效比不含這些提示的教材好。本研究所設計的多媒體教材，均適時提供信號以引導學習者將注意力投注在正確的位置，如圖 7 所示。

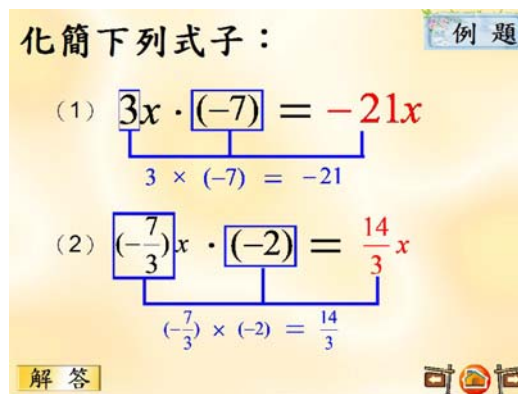


圖 7 適時提供信號以引導注意力

9. 個別差異原則 (Individual Difference Principle) :

個別差異原則指的是使用多媒體教材進行教學時，對於低知識 (low-knowledge) 及

高空間感 (high-spatial) 的學習者成效較好；對於高知識 (high-knowledge) 及低空間感 (low-spatial) 的學習者成效較差。

10. 個人化原則 (Personalization Principle)：

個人化原則是指在教學時採用對話的方式 (conversational style) 會比採用正式的方式 (formal style) 得到更好的學習效果。

2.1.4 多媒體教材與數學學習成效

長久以來，如何讓學生有效率的學習，一直是教育界不斷努力的目標。為了落實這個目標，教育工作者更是從學習環境、教材設計、教學模式、同儕互動等不同向度進行思考、設計與實驗 (Koirala, 2005；劉晏企, 2004；潘慧萍, 2007)。而利用互動式多媒體及網路科技突破時空的限制，將系統化的教材透過網際網路提供學習者個別化 (individualized) 的教學環境，已成為一種趨勢。以下便分兩個部分探討多媒體教材與數學學習成效的相關文獻。第一部分為多媒體教材對一般學生數學學習成效之相關研究，第二部分為多媒體教材對低成就學生數學學習成效之相關研究。

1. 多媒體與一般學生之數學學習成效

隨著資訊科技的發達、教育部提倡中小學教師資訊融入教學，近年來教師及相關人員藉著多媒體教材進行數位教學的趨勢愈來愈普及，也有愈來愈多探討多媒體教材融入教學與學習成效的文獻產生。其中，對學習者提供適性化的多媒體教材可有效提升數學學習成效 (李淑娟, 2005；蘇聖文, 2007)，且高空間能力的學生優於低空間能力的學生 (凌久原, 2006；Hannafin, Truxaw, Vermillion & Liu, 2008)。以下即整理和多媒體教材及數學學習成效相關之文獻加以探討，如表 1 所示。

表 1 多媒體教材對數學學習成效的影響之相關研究（一般學生）

研究者	研究對象	研究結果
Sinclair, Renshaw & Taylor (2004)	3 個班的 九年級學生	若具備熟練的先備技能，則電腦輔助教學能提升記憶及高層次思考的能力
Olkun (2005)	279 位國小 四、五年級學生	在平面拼圖問題，利用電腦和具體教具，對學生的學習均有正面的影響，尤其是在空間問題類型
Koirala (2005)	23 位九年級學生	使用「MathMagic」軟體學習代數知識及技巧的學生，其學習成效明顯優於實施「傳統講述教學」的學生
Hannafin, Truxaw, Vermillion & Liu (2008)	66 位國小 六年級學生	高空間感的學生使用「GSP」軟體學習幾何知識，其學習成效優於低空間感的學生
Tabach, Arcavi & Hershkowitz (2008)	52 位七年級學生	在學習代數符號的課程中，完全使用電腦教學的學生其學習成效優於部分時間使用電腦教學的學生
陳慧佳 (2004)	12 位國小 六年級學生	網路即時互動系統教學方式，能提昇國小六年級學生學習等值分數單元的學習成效，尤其在「擴分概念」、「約分概念」、「通分概念」等方面，有較顯著提昇的學習成效；且就不同數學程度學生的學習成效來看，本教學方式，明顯地有助於低分組學生學習等值分數。
劉晏企 (2004)	64 位國小 四年級學生	本研究發展出一個資訊科技 GSP 融入 Van Hiele 之五階段教學模式，此模式不僅能提昇教師教學方法的多樣性，同時也能提高學生的學習興趣。
郭昭慧 (2004)	80 位七年級學生	使用電腦輔助教學的實驗組學生，其數學學習成就的改變顯著優於控制組

李淑娟 (2005)	137 位國小 五年級學生	電腦適性化測驗，確實能達成節省試題、縮短施測時間的功效。且學生的學習成效達到顯著差異。
凌久原 (2006)	73 位八年級學生	在數學學習成就方面，高視覺化能力的學生明顯適合於動態多重表徵的學習環境；在數學學習態度方面，低視覺化能力學生明顯適合於靜態多重表徵組的學習環境
蘇聖文 (2007)	72 位九年級學生	實施「GSP 電腦輔助教學」低、中分群的學生在學習成效、時效及態度均明顯優於實施「傳統講述教學」低、中分群的學生
陳啟能 (2007)	66 位國小 四年級學生	研究結果發現使用多媒體數學線上教學之實驗組在分數單元之數學學習成就測驗成績明顯優於一般傳統教學；大多數的學生對多媒體數學線上教學的環境有正向的看法。
溫安榮 (2007)	65 位高中 二年級學生	高、中分群學生在圓錐曲線的學習成就上，「GSP 融入式教學」優於傳統聽講式教學，而中分群學生達顯著差異。
潘毅芳 (2007)	33 位國小 六年級學生	在接受多媒體融入教學後，整體表現有明顯進步，特別是在「速度先備知識」、「二維分析／關係概念」、「二維分析／單位化聚」及「應用問題」向度，但「應用問題」仍有很大的進步空間。
潘慧萍 (2007)	60 位國小 一年級學生	資訊融入國小數學教學對學生加減法文字題的學習成效方面，實驗組（採用資訊融入）的整體學習成效優於對照組（一般教學法）。

綜合上述文獻，多媒體教材較能激發學習者的自我學習潛能與提高在數學學習上的動機，並對數學學習成效有正面的影響。

2. 多媒體與低成就學生之數學學習成效

不可否認的，低成就學生可以說是教室學習情境中的弱勢團體，他們是最容易被忽視的一群，原因在於低成就學生，既不像高成就學生不需特別輔導，也不像學習障礙的學生有特教老師隨時在旁提供協助，但卻又亟需教師額外的指導。因此，研究者

針對多媒體教材對低成就學生在數學學習成效的影響之相關研究加以探討，如表 2 所示。

表 2 多媒體教材對數學學習成效的影響之相關研究（低成就學生）

研究者	研究對象	研究結果
何政謀 (2004)	3 位八年級 低數學成就學生	經由電腦輔助教學，以 GSP 軟體設計動態情境課程，對三位數學學習低成就的學生，進行補救教學，研究結果發現學生數學學習態度有正向的改變。
許錦芳 (2005)	3 位七年級 資源班學生	資訊融入數學的教學策略確實能有效提升低成就者的學習態度，且能達成大部分的學習目標。
姚文仁 (2006)	30 位八年級學生	相對於「傳統講述教學法」來說，以「GSP 電腦輔助教學法」來進行三角形相關概念之補救教學，對低分群學生在數學學習成就及時效上的影響，是較具正面影響力的。
李春生 (2006)	69 位八年級學生	針對「三角形的全等」課程方面，中分群與低分群學生在接受「GSP 電腦輔助教學」與「傳統講述式教學」兩種不同的教學方式之後，在數學學習成就上，有顯著的差異。
謝萬權 (2006)	3 位九年級 資源班學生	電腦融入數學科幾何圖形教學對學生的學習具有成效，尤其對圓形的幾何性質最有效。
黃學仁 (2007)	11 位國小五年級 原住民學生	利用高互動即時回饋系統（Instance Response System）及激發式動態呈現教學設計（Trigger-based Animated Instructional Design）對原住民學生進行數學補救教學，結果顯示在分數數字常識的學習成效上有明顯的提升。
陳育萱 (2007)	3 位國中 輕度智障學生	經電腦輔助教學後，三位受試者在乘法應用題等分組型、乘法比較型、矩形面積型、直積型四種題型的解題表現上，均較教學前有明顯的進步，且在撤除教學一週後，成效仍可持續維持。

劉耀聰 (2007)	96 位國小 四年級學生	對數學低成就的學生來說，「數位遊戲軟體融入補救教學法」成效優於「傳統講授補救教學法」。且能降低學生的數學焦慮、增進數學的信心。
鄭清祥 (2007)	54 位國小 六年級學生	具體物與圖像操作教學策略和資訊融入教學策略這兩種利用表徵教學的方法，在促進數學低成就學生分數概念學習上，較一般講述教學只用口頭上的講解更有顯著的成效。
賴緯濤 (2008)	28 位國小六年級 低數學成就學生	數學科學習低成就學生經過整數四則計算練習網站練習後，在「整數四則計算」學習有顯著的立即成效及保留成效。
蕭信雄 (2008)	33 位國小三年級 低數學成就學生	學生參與電腦輔助學習線上教材活動後，在解答「開放式加減算式填充題」時的「運算列式能力」及「計算能力」有顯著性的提昇。

綜合上述研究結果可知，多媒體教材對低成就學生的學習成效有相當不錯的效果，並且學生對於以多媒體融入教學的方式，多抱持正面肯定的態度。不過，研究者在整理相關文獻的過程中發現，目前利用多媒體教材對國中數學科低成就學生進行教學的研究不少，但探討多媒體教材類型與低數學成就學生的研究卻甚為少見。若能對這類學生提供更多關懷及學習上的協助，相信不僅能增加其學習信心及提昇學業表現，進而對整體教育素質的提升也會有所助益。

2.2 文字符號的概念及其相關研究

2.2.1 文字符號的發展

文字符號能夠把複雜的文字及數字關係準確地表達出來。但建立這套完善的代數符號系統，並非一朝一夕的事情，以下我們便來探討文字符號發展的過程，而代數的發展分為三大階段：

1. 文辭代數階段 (rhetorical algebra)

文辭代數階段指的是希臘數學家 Diophantus (250 A.D.) 提出文字符號代表未知量以前。由於沒有完備的文字符號，人們只能以口語化的文字敘述來描述解決日常生活上問題的過程，並沒有使用符號或記號 (sign) 來表示未知數。

2. 簡單代數階段 (syncopated algebra)

簡單代數階段指的是希臘數學家 Diophantus (250 A.D.) 提出文字符號代表未知量以後。這個階段也是用文字敘述演算的過程，只是在過程中運用一些相應文字的字首，以代表重覆出現的事物，但與現今的代數仍有一段差距。

3. 符號代數階段 (symbolized algebra)

符號代數階段始於義大利數學家 Vieta (Francois Vieta, 1540 ~ 1603) 創立了符號法則之後。他開啟了符號代數的新時代，至此之後，數學家開始有系統、有意識的使用符號，同時也體驗到符號的作用，並使用符號當成處理數字關係的工具。

綜合上述，文字符號系統歷經長久歷史的演變，雖然過程中許多民族發展出自己特有的文字符號，但在許多數學家的努力和改良之後，才使得文字符號系統成為現今世界的共通語言。

2.2.2 文字符號概念的層次

文字符號在數學的學習中是一個基礎的概念，很多的數學知識都以此為基礎。所以，探討學生在學習數學時的文字符號概念，是過去許多學者一直不遺餘力的，其中 Collis (1975) 對文字符號概念的分類最常被廣泛的引用。他從學生的觀點出發，將文字符號的概念分成六種不同的使用層次，如表 3 所示：

表 3 文字符號概念的使用層次

層次		文字符號概念的使用層次
1	文字符號為可算出的值 (letter evaluated)	文字符號是一個被設定的數，可以直接求出文字符號所代表的數值
2	文字符號可忽略不用 (letter ignored)	文字符號雖然出現在題目中，但在解題過程中可不加以考慮
3	文字符號當作物體 (letter as object)	文字符號為某一代表物的簡寫或標記 (label)
4	文字符號當作特定的未知數 (letter as special unknown)	不要求出文字符號的值，可以直接加以運算
5	文字符號當作一般化的數字 (letter as generalized number)	文字符號可代表超過一個以上的數值，非單一數值
6	文字符號當作變數 (letter as variable)	文字符號可代表一未定的數值

由上述可知，學習者要真正瞭解文字符號的意義有其一定的程序。

Küchermann (1978) 在 CSMS (Concepts in Secondary Mathematics and Science) 計畫中，根據 Collis 的六種使用層次，對 3000 名年約 13~15 歲的英國學生進行分析，並將學生對文字符號概念的了解分成四個層次，如表 4 所示。

表 4 英國學生對文字符號概念了解的層次

層次	學生對文字符號概念的了解
I	學生能將文字符號當成可計算的值，或視其為一物體來解只有數字或單一文字符號的運算的題目
II	學生能將文字符號當成可計算的值，不使用或視其為一物體來解二個文字符號的運算的題目

III	學生能將文字符號當特定未知數使用，但只能解決結構簡單的題目。
IV	學生能將文字符號當特定未知數、變數或一般數使用，解決結構複雜有干擾性的題目

而分析的結果發現 13 歲、14 歲及 15 歲的學生，達到層次 III 只有 17%、34% 及 40%；達到層次 IV 的百分比分別只有 2%、6% 及 9%。

而國內也有類似的研究，郭汾派、林光賢和林福來（1989）參考 Küchernann 所設計的題目，並配合國情做修改，對台灣地區的國中一、二、三年級共 2863 位學生進行分析，同樣也將學生對文字符號概念的理解分成四個層次，如表 5 所示。

表 5 國內學生對文字符號概念理解的層次

層次	學生對文字符號概念的了解
I	為單一文字符號或數字之運算
II	為兩個文字符號的運算
III	為三個文字的關係式或數字與符號的混合運算
IV	為文字符號當做一般數或變數使用

而分析的結果發現，國一、國二、國三的學生能達到層次 III 的學生僅有 3.4%、31%、43%，而達到層次 IV 的學生更分別只有 0.5%、6.1%、13.1%。

由 Küchernann（1978）及郭汾派等人（1989）的兩個大型調查報告中不難發現，國中學生在代數方面的學習效果不佳，且對文字符號概念的學習感到困難的。但代數概念是學生學習數學的一個關鍵點，亦是學生往後學習更高深的數學之基礎（Linchevski, 1995），因此，探討學生學習文字符號概念的研究便顯得刻不容緩。

2.2.3 文字符號學習困難的相關研究

我們常稱國小的數學課程為算術，國中的數學課程為代數，算術與代數之間息息相關卻又存在許多不同之處，所以，學生從「算術」跨越到「代數」是需要橋樑來聯繫的，否則學生在學習上就會發生許多障礙與錯誤。許多研究試著找出學習文字符號的迷思（袁媛, 1993；戴文賓, 1998；鄭智元, 2006），並提出解決方式（張國樑, 2004；洪意琇, 2007）。以下即整理和文字符號學習困難之相關文獻加以探討，如表 6 所示。

表 6 文字符號學習困難之相關文獻

研究者	研究對象	研究結果
袁媛 (1993)	國中七年級學生	學生對文字符號「當作一般化的數字」及「當作變數」這兩類概念，感到相當的困難
林敏雪 (1997)	國中八年級學生	題意中數量關係的理解是表徵的首要步驟，而以文字表示未知的數量關係更是直接影響到方程式的正確與否
戴文賓 (1998)	國中七年級學生	學生的迷思概念之一是無法同時對照文字數的代數表徵與圖形表徵，亦即學生徒具程序性的知識，但缺乏概念性的理解
陳慧珍 (2001)	國中七年級學生	學生對於「文字符號可當作一般化的數字」及「文字符號可當作變數」之概念理解均深感困難
張國樑 (2004)	國小六年級學生	成功的解題者較常進行驗證階段，失敗的解題者較少經歷驗證階段。且低數學能力者，缺乏數學資源，使得解題時無法從各種不同的解題路徑切入

鄭智元 (2006)	國小六年級學生	學生在以文字符號表徵並解決未知數方面，有「用分數表示兩個整數相除的結果」、「不清楚等式或題意」、以及「不清楚運算符號」的困難
陳巧莉 (2007)	國中八年級學生	學生在改變類與分配類列式答對率只有約 30%。且無論哪一類型的列式，當問題中含有數學詞彙或敘述，如速率、二位數等，學生的答對率較低
洪意琇 (2008)	國中八年級 數學學習障礙學生	學習障礙學生在接受後設認知策略教學後，其代數文字題測驗的整體得分有立即效果、維持效果及階層間功能關係

綜合上述研究結果可知，國內探討文字符號迷思及學習成效的研究眾多，且結果顯示文字符號概念是不易理解的。



2.3 工作記憶及其相關研究

2.3.1 工作記憶的理論基礎

「工作記憶」(working memory)是指個體在認知過程中，同時對訊息「短暫儲存」(short term storage)和「運作處理」(processing)的能力 (Baddeley, 1986, 1992, 1998)。在訊息處理的歷程中，其扮演的角色大致是「暫時保留訊息」與「訊息的初步處理」。因此，對於工作記憶的假設便不同於過去只有一元系統的短期記憶 (short-term memory)，而是由數個子系統 (components) 所組成，不但測量立即性回憶 (immediate recall)，同時更強調工作記憶在不同認知作業如學習、推理與理解中所扮演的功能性角色 (Baddeley, 1996)。

工作記憶模型 (working memory model) 最早由 Baddeley & Hitch (1974) 所提出 (如圖 8 所示)。他們認為工作記憶主要由中央控制部門 (central executive)、聲韻迴路部門 (phonological loop)、及視覺空間畫版 (visual-spatial sketchpad) 等三種成分 (components) 所組成。其中, 中央控制部門為一個控制注意力機制 (attentional controller) 和兩個輔助的系統 (subsidiary slave systems) (Baddeley, 1996), 按照訊息的性質將其分配給儲存系統 (聲韻迴路部門及視覺空間畫版)。聲韻迴路部門專門負責聲韻短期儲存和聲韻控制過程, 視覺空間畫版的功能與聲韻迴路部門類似, 但專職視覺與空間影像的材料。

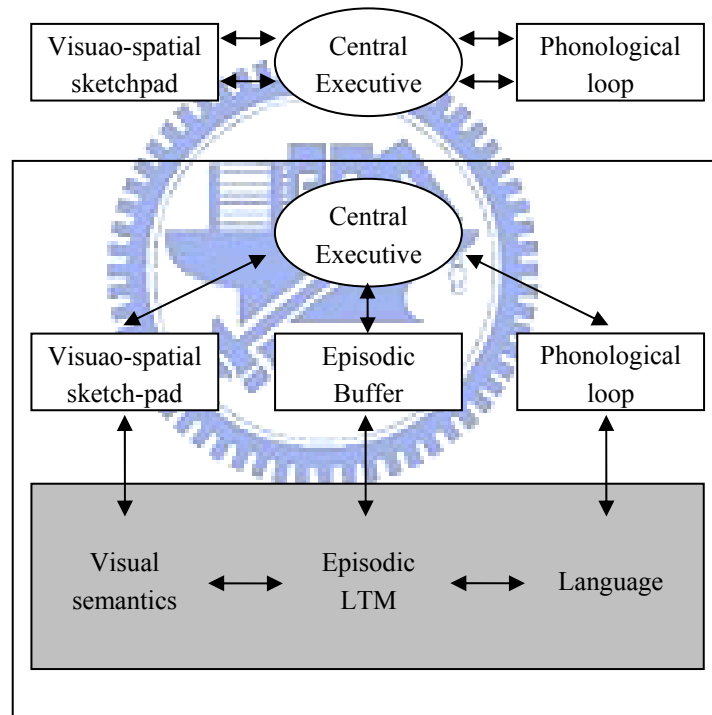


圖 8 工作記憶模型 (Baddeley, 2000)

(1) 中央控制部門

在工作記憶模型中, 中央控制部門是最重要的成分, 是工作記憶的控制中心, 主要負責各輔助系統的協調、訊息處理過程的控制及注意力的運作, 例如同步性儲存 (simultaneous storage)、控制工作記憶中資訊的流動 (manipulation of material)、提

取長期記憶中的知識、動作的控制、計畫執行同時進行的多項認知活動等（Baddeley & Hitch, 1974；Baddeley, 1986；Baddeley, 1996），因此與較高層次的認知過程，如理解、推理、計畫、決策等有密切的關係（Wickelgren, 1997）。

（2）聲韻迴路部門

聲韻迴路部門包含了兩個次級系統，一為「聲韻儲存」（phonological store）和另一為「內隱複誦」（subvocal rehearsal）。「聲韻儲存」可以保留語言或聽覺訊息的記憶一到兩秒。而「內隱複誦」具有兩個功能，其一是可以將視覺訊息轉換成聲韻編碼並儲存在「聲韻儲存」中，其二是它可以在藉由覆誦更新（refresh）逐漸衰退的聲韻訊息，避免訊息在未儲存前消失。

聲韻迴路部門主要負責語文訊息的短暫儲存，而語文及閱讀領域又廣受學者關注。因此，國外有關聲韻迴路部門的研究相當多，和聲韻迴路部門相關的基本研究分別為語音相似性效果（The phonological similarity effect）（Conrad, 1964）、咬音抑制效果（Articulatory suppression）（Murray, 1968）、無關口語效果（Irrelevant speech）（Colle & Welsh, 1976）與字長效果（Word length effect）（Baddeley, Thomson & Bachanan, 1975），這些發現支持了語音迴路系統的存在與特徵。

（3）視覺空間畫版

視覺空間畫版可短暫儲存視覺空間訊息。許多理論都贊同視覺空間模板可以區分為兩個獨立的次級系統：「視覺儲存」（visual storage）與「空間複誦機制」（spatial rehearsal mechanism）。「視覺儲存」主要負責短暫儲存視覺的物體與情境，例如形狀、顏色；「空間複誦機制」負責空間訊息的認知控制（Baddeley, 1992）。Smith & Jodines（1997）進行神經影像學的研究，發現視覺及空間工作記憶的運作各屬於不同的大腦區域，使得視覺空間畫版包含兩個獨立子系統的說法更進一步得到證實。

2.3.2 工作記憶與數學學習能力

許多研究學習障礙的學者依據 Baddeley & Hitch (1974) 的工作記憶多重模式理論探討工作記憶與學習障礙之間的關係，下面將針對工作記憶與數學學習能力的相關研究作說明。

Siegel 和 Ryan (1989) 使用兩個工作記憶測驗來比較正常兒童、閱讀障礙兒童、數學障礙兒童以及注意力缺失 (attentional deficit disorder, ADD) 兒童的表現。其語文工作記憶測驗為 Daneman & Caperter (1980) 所發展；數數工作記憶測驗則改編自 Case 等人 (1982) 所發展的測驗。研究結果顯示閱讀障礙兒童在這兩項工作記憶測驗上的得分均偏低，研究者認為因為這兩項工作記憶測驗都必須透過語文訊息的處理，因而造成上述結果；而數學學習障礙兒童則在語文工作記憶測驗中表現良好，數數工作記憶測驗上卻表現不佳。因此，Siegel 和 Ryan 認為缺乏與數字相關的工作記憶處理能力是造成數學學習障礙的重要原因，並建議可以藉由兒童在工作記憶測驗中的表現作為學習障礙的分類依據。

依據 Siegel & Ryan (1989) 的研究結果，Hitch & McAuley (1991) 進一步探討數學學習障礙兒童是否僅對與數字相關訊息的處理產生困擾。因此，針對『視覺 (visual) 通道或聽覺 (auditory) 通道』與『數字刺激或文字刺激』設計四種不同的工作記憶測驗：

1. 視覺數數記憶廣度測驗 (visual counting span task)
2. 聽覺數數記憶廣度測驗 (auditory counting span task)
3. 視覺比較記憶廣度測驗 (visual comparison span task)
4. 聽覺比較記憶廣度測驗 (auditory comparison span task)

並以比較記憶廣度來代替 Siegel & Ryan (1989) 所使用之較複雜的理解技能。其研究結

果顯示數學學習障礙兒童只有在前兩項測驗中才會表現不佳；而在後兩項測驗中則沒有困難，此結果支持 Siegel & Ryan 的看法，即數學學習障礙兒童只會在與數學有關的工作記憶測驗中表現不良，而工作記憶能力與數學學習能力有高相關性。

Lehto (1995) 針對 15 至 16 歲的學生進行工作記憶與學業成就之研究，結果指出在校數學成績與工作記憶中之中央控制部門有顯著的相關。亦即中央控制部門的能力較強則在校數學成績也較好。

李東霖 (2001) 擇取 138 位國小三年級學生，以數字運作、數的比較、空間追蹤及方位記憶等四項工作記憶測驗，探討其數學學習與工作記憶之關係，結果發現工作記憶測驗能有效鑑別出數學學習不利學生的正確率約為 97%。

李亞惠 (2002) 亦針對 140 位國小三年級的學童，以數字倒背、○×遊戲、符號加法及數字記憶等四項工作記憶測驗，探討數學學習困難學生與普通學生在工作記憶上的差異。結果發現：隨著記憶廣度的增加，數學學習困難學生得分的下降趨勢較普通學生更明顯，可見數學學習困難學生的工作記憶能力明顯不足。

陳以青 (2003) 針對國小一至六年級的學生，以數數工作記憶、視空間工作記憶等兩項工作記憶測驗，探討學習障礙兒童與工作記憶表現之關係。結果發現工作記憶可以有效區分一般學生與不同類型的學習障礙學生。閱讀障礙學生在語文工作記憶缺損，數學學習障礙學生在視空間訊息處理缺損的表現與 Siegel & Ryan (1989) 的結論一致。

綜合上述國內外研究可知，工作記憶可能具有領域特定性 (domain-specific)，亦即數學學習障礙者在語文相關的工作記憶測驗表現正常，但在數學相關之工作記憶測驗表現不佳。換句話說，我們可以藉由工作記憶測驗表現之優劣，區辨數學學習能力。

三、研究架構與方法

本章將說明研究中的研究架構及方法，包含研究流程、實驗設計、研究對象與取樣方法、研究工具、資料處理。

3.1 研究流程

本研究的步驟主要分成三大階段：準備階段（包含擬定目標、蒐集文獻、編製多媒體教材及成就測驗）、實驗階段及資料整理階段（包含資料處理及分析、撰寫論文）。

詳細流程如圖 9 所示：

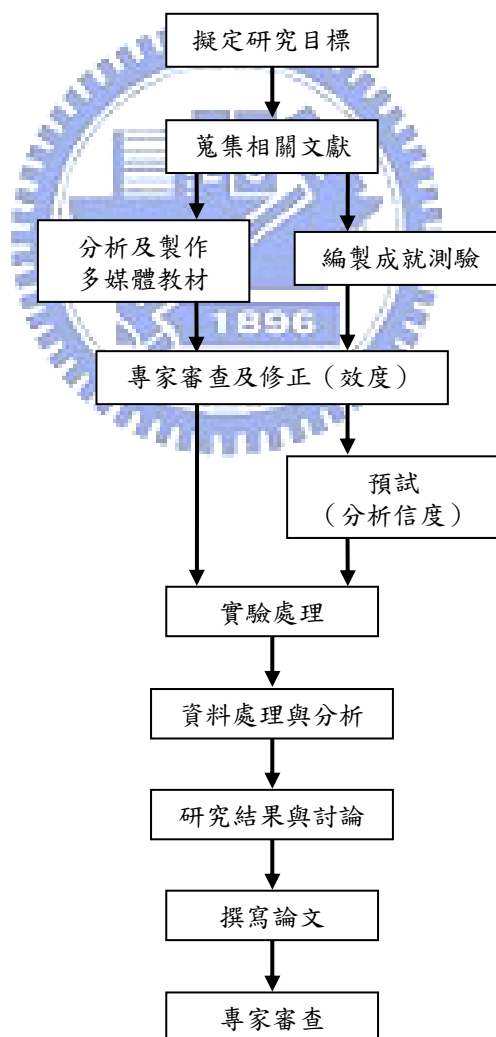


圖 9 研究步驟及流程

3.2 實驗設計

本實驗採準實驗研究法（quasi-experimental method），針對研究對象的工作記憶能力與數學學習成效加以分析。因此，依據研究目的，並參考相關文獻提出研究架構。其中，控制變項（control variable）為授課時數及授課內容；自變項（independent variable）為工作記憶能力與多媒體教材類型；依變項（dependent variable）為數學學習成就，各變項之間的關係如圖 10 所示。

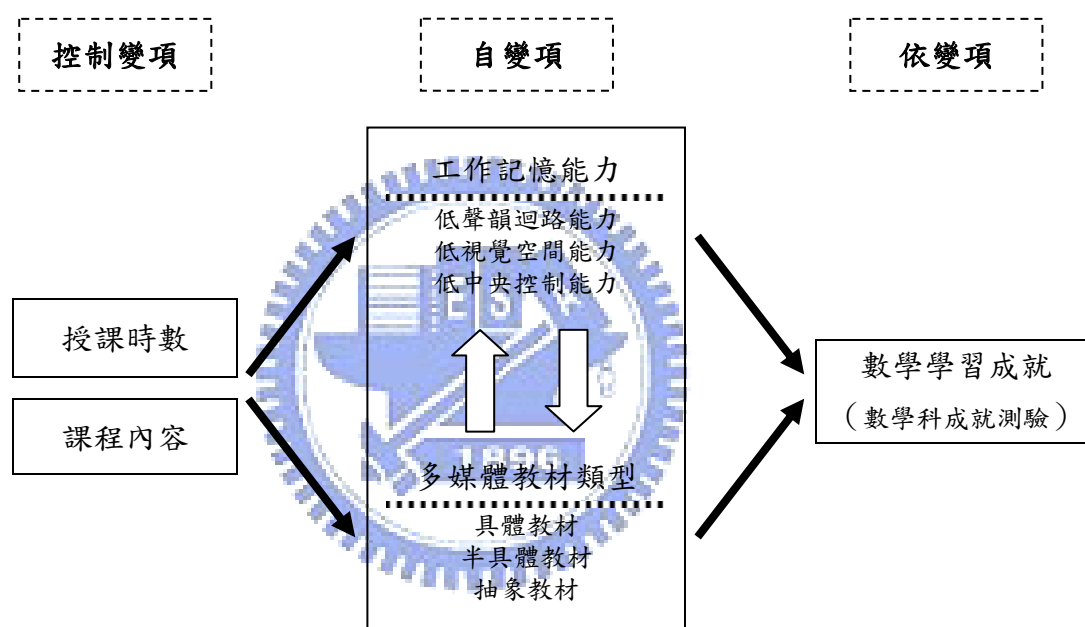


圖 10 研究架構

接著便針對研究架構中自變項、依變項及控制變項加以說明：

1. 自變項：

(1) 工作記憶能力：

本研究依據工作記憶模型（Baddeley & Hitch, 1974）將樣本以「工作記憶測驗」分成低聲韻迴路能力（low phonological loop）、低視覺空間能力（low

visual-spatial sketchpad) 及低中央控制能力 (low central executive) 三組。

(2) 多媒體教材類型：

本研究依循多媒體學習認知理論的三個基本假設：雙通道假設、有限容量假設及主動處理假設，設計、製作多媒體教材，並依據解說媒介的不同，分為具體教材、半具體教材、抽象教材三種類型，如圖 11 所示。

①具體教材：以國小三、四年級課本所使用的具體實物做為解說媒介（如附錄七）。

②半具體教材：以國小五、六年級課本所使用的圖像「□」做為解說媒介（如附錄八）。

③抽象教材：以國中課本所使用的文字符號「 x 」做為解說媒介（如附錄九）。



(A) 具體教材

□ 一個為 X □□□□□ 一組為 5X

□□□□□ = □□□□□

□□□□□ = □□□□□

$$2 \times 5x = 10x$$

說明 1 說明 2

正氣師 L.v. 99

體力

精神

魔法

□□ ○○ - □○ = □○○

$$2x + 3 - x - 1 = x + 2$$

(B) 半具體教材

乘法與除法

2 · 10 = 10 + 10

2 × 5x = 10x

5x + 5x

正氣師 L.v. 99

體力

精神

魔法

$$2x + 3 - x - 1 = x + 2$$

(C) 抽象教材

圖 11 三種多媒體教材類型

2. 依變項：

本研究中的依變項為學生的「數學學習成就」。即受測學生在接受多媒體教材的課程後，於「數學科成就測驗」中所得到的分數。

3. 控制變項：

為降低自變項以外之因素對依變項所造成的影響，本研究將各組的授課時數及課程內容均控制為一致。

(1) 課程內容：皆以康軒版之國中七年級數學「式子的化簡」單元作為多媒體教材設計的依據。

(2) 授課時數：皆為三節課（分三次上課、每次一節課）。

3.3 研究對象與取樣方法

3.3.1 研究對象

本實驗的研究對象均來自新竹市一所公立國中。該校以「國民中學智力測驗第三種」（路君約, 1991）測驗成績為依據，進行 S 型常態男女混合編班，在此編班方式下智商較為接近常態分配。此外，由於 S 型編班之男生與女生編班起點為亂數產生，所以各個班級本身即是隨機起點的系統性抽樣，並且由於順序由智力測驗結果而定，所以智商分數由高而低在各班分佈的狀況大致相同，因此也符合分層隨機抽樣（stratified random sampling）的精神。

本研究的預試對象為該校 3 個班的九年級學生共計 101 人，其中男生 53 人、女生為 48 人。預試的結果用於「數學科成就測驗」試題之修正，以及考驗「數學科成就測驗」之信度。

本研究的研究對象為該校 6 個班的七年級學生共計 227 人，其中男生 116 人、女生為 111 人。學生已經學過整數（包含正、負數）的四則運算、分數的四則運算及以文字符號代表數等與「式子的化簡」相關的概念。

3.3.2 取樣方法

在正式實驗之前，自研究對象中以「工作記憶測驗」篩選出低聲韻迴路能力、低視覺空間能力及低中央控制能力三組樣本。

國內用於鑑定中小學疑似學習障礙學生常用的測驗量表：「國民中小學學習行為特

徵檢核表」(孟瑛如、陳麗如, 2001)、「中文年級認字量表」(黃秀霜, 2001)、「閱讀理解困難篩選測驗」(柯華葳, 1999)、「基礎數學概念評量」(柯華葳, 2000), 其切截分數多訂在平均數(mean)以下 1.5 個標準差(standard deviation)與平均數(mean)以下 2 個標準差(standard deviation)之間。因此, 本研究將各「工作記憶測驗」中, 成績落於平均數以下 0.5 至 1.5 個標準差之內的學生定義為「低工作記憶能力」, 如圖 12 所示。並於取樣時, 將雙重及三重能力低的學生剔除, 僅選取單一能力低的學生。

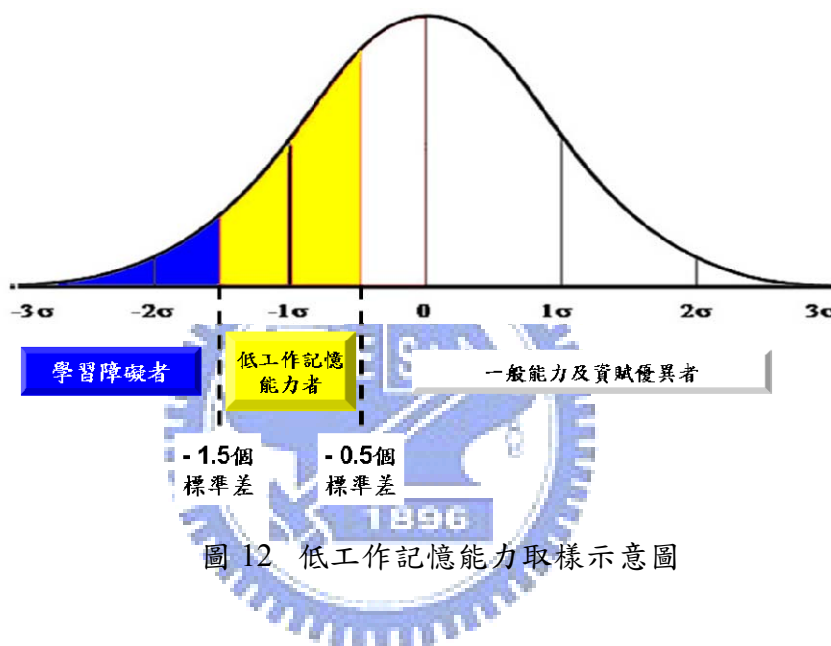


圖 12 低工作記憶能力取樣示意圖

3.3.3 實驗設計分組細格

依據上述取樣的方式, 本研究的實驗設計分組細格如表 7 所示:

表 7 實驗設計分組細格表

		工作記憶能力			
		低聲韻迴路能力	低視覺空間能力	低中央控制能力	合計
多媒體教材 類型	具體	6	7	7	20
	半具體	6	7	7	20
	抽象	6	7	6	19
	合計	18	21	20	59

3.4 研究工具

3.4.1 工作記憶測驗

(1) 語文工作記憶測驗

本測驗由曾世杰（1999）依據 Baddeley（1986）工作記憶的定義編製而成，適用對象為小學生及國中七年級學生。對同一群兒童連續施測三年，隔一年和隔兩年的再測信度（test-retest reliability）.6514 至 .8217 不等。測驗對於閱讀理解、認字、國語文成就測驗中的理解能力有高相關。

測驗以口語方式進行施測，一共十八道題目，測驗方式概述如下：主試者以每二秒一個詞的速度念出『請依照原來的順序寫出以下硬硬的東西。蛋糕、石頭、毛巾、玻璃。』受試者便依序在空格中填入『石頭、玻璃』，直到所有題目結束為止（如附錄一）。



(2) 視空間工作記憶測驗

本測驗由陳以青（2003）依據蔣大偉（2000）的『視空間工作記憶測驗』改編成電腦程式，於電腦上施測，如此可以更加嚴謹的控制實驗情境，其三個月後的再測信度（test-retest reliability）為 .64。測驗的原型來自 Swanson（1992）所發展工作記憶測驗群（working memory battery）中的一個：名為視覺矩陣（visual matrix）的視空間工作記憶測驗。該測驗的目的在測量受試者對於矩陣中視覺順序（visual sequences）的記憶能力。

施測方式概述如下：每張圖片上繪有 3x3 個方格的矩陣圖形，其中只有一格是塗黑的，如圖 13 所示。學生必須記住每一次黑格的出現位置，一開始有兩張圖片依次呈現，每一張圖片刺激呈現 5 秒後自動跳下一張圖片刺激，等全部圖片

呈現完之後，螢幕上呈現另外一張上面隨機繪有一格黑格的圖片，此時學生必須使用滑鼠在螢幕上點選判斷該張圖片中黑格的位置是否曾經出現過。最後螢幕再給學生另一張大小相同，空白的 3x3 方格矩陣圖片，請學生使用滑鼠在螢幕上作答，要求其將所有曾出現過的黑格位置點選出來。若同樣難度的圖片連續兩次嘗試皆失敗，則終止施測，並以學生所能做對的最高難度做為其視空間工作記憶測驗之分數（如附錄二）。



圖 13 視空間工作記憶測驗

(3) 數數工作記憶測驗

本測驗同樣由陳以青（2003）依據蔣大偉（2000）的『數數工作記憶測驗』改編成電腦程式，於電腦上施測，其三個月後的再測信度（test-retest reliability）為 .74。測驗的原型為 Case 等人（1982）所發展而廣為其他研究者所用的數數記憶廣度測驗（counting span task）。

施測方式概述如下：每張圖片上分別有 1 到 10 點不等的藍圓點與黃圓點，如圖 14 所示。學生所要做的是數出『指定』顏色圓點的數目。一開始有兩張圖片

依次呈現，每一張圖片刺激呈現 5 秒後自動跳下一張圖片刺激，因此學生必須數兩次，並且記憶每一次計算的結果，最後再全部回憶出來，並使用滑鼠直接在螢幕上點選答案，若答對則進行下一個難度（圖片數加 1）；若答錯，則電腦呈現難度相同的第二組圖片，讓學生再做一次。若同樣難度的圖片連續兩次嘗試皆失敗，則終止施測，並以學生所能答對的最高難度做為其數數工作記憶測驗之分數（如附錄三）。

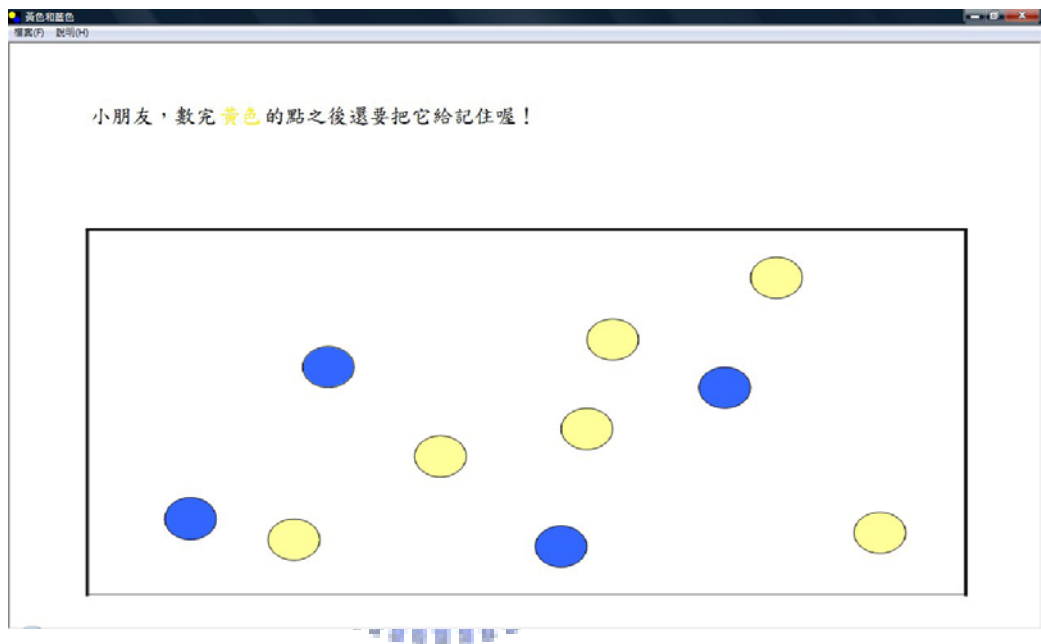


圖 14 數數工作記憶測驗

3.4.2 數學科成就測驗

配合研究目的，研究者依據康軒版國中七年級數學「式子的化簡」教材內容所屬之能力指標編定一份數學科成就測驗（如附錄四）。測驗題目編定後，依照三位專家（如表 8）的建議做細部的調整與修正，故有基本的專家效度。

表 8 專家學、經歷及年資表

	學經歷	年資
A 專家	台灣師範大學數學系	12 年
B 專家	台灣師範大學數學系	10 年
C 專家	台灣師範大學數學系	15 年

接著找了 3 個九年級的班級做試題預試，在回收的 101 份試卷中，內部一致性信度 Cronbach's α 值為 .896，顯示有良好的信度，如表 9 所示。

表 9 試題預試之統計表

Cronbach's Alpha 值	以標準化項目為準的 Cronbach's Alpha 值	項目的個數
.896	.902	15

3.4.3 多媒體教材製作工具

本研究所製作的多媒體教材，使用由智勝國際科技的編輯手 6.0 軟體為教材製作工具。其理念如圖 15 所示（智勝國際科技網站, 2009）：

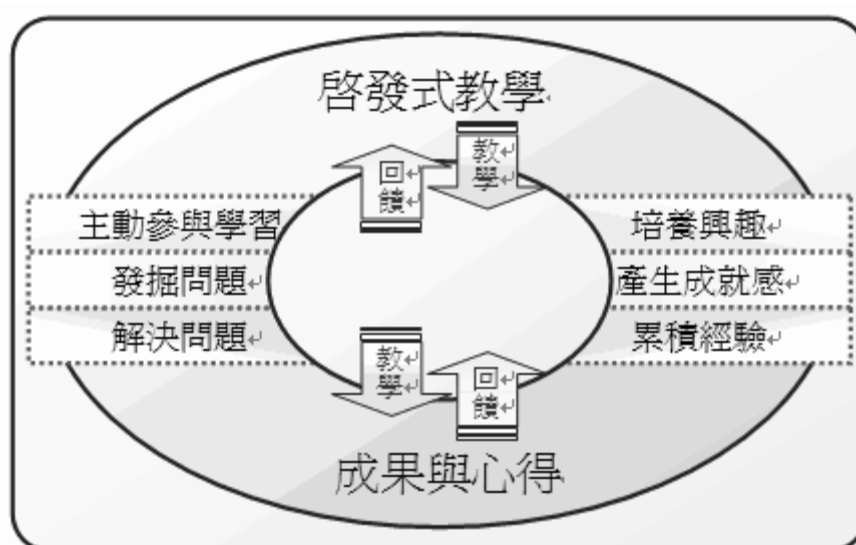
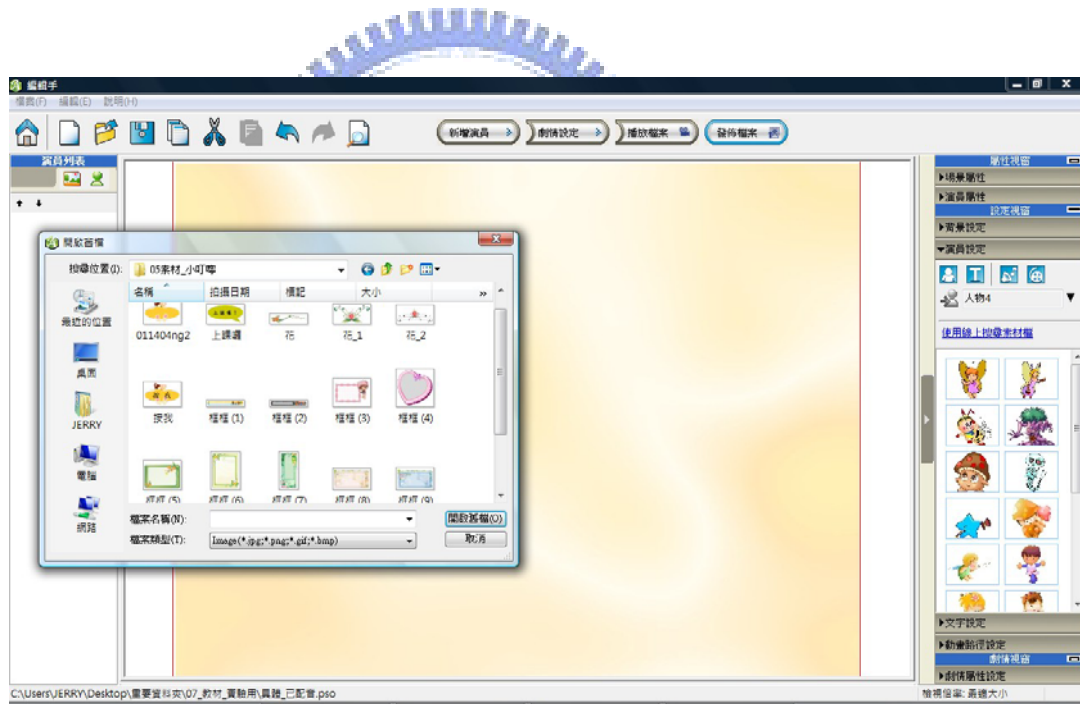


圖 15 編輯手的教學理念(智勝國際科技網站, 2009)

並具有下列特點：

1. 平易近人的使用介面：

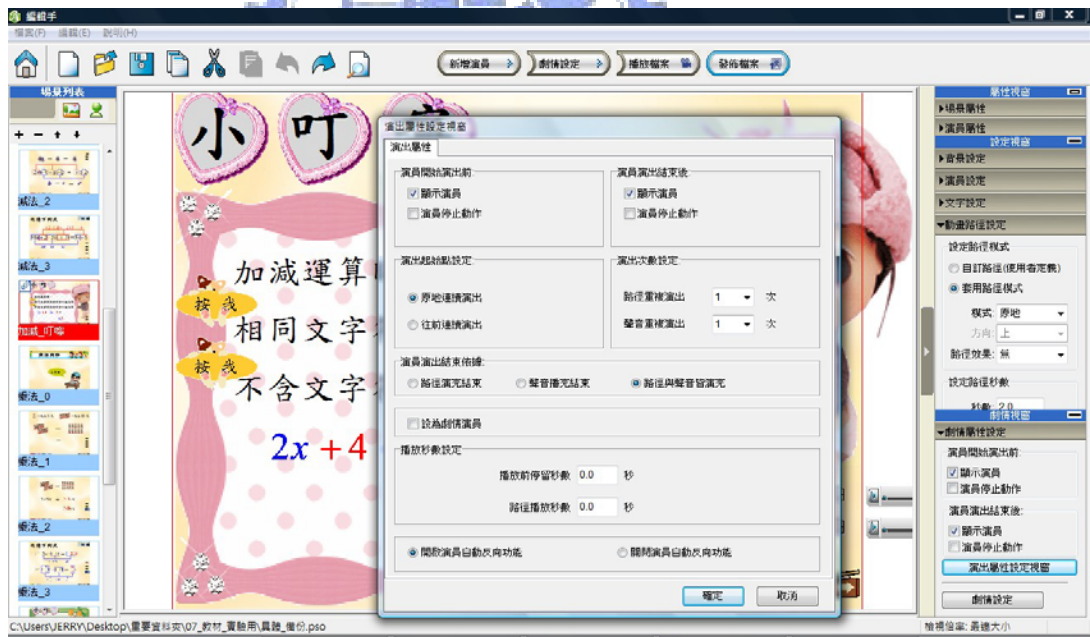
製作多媒體教材往往令人感到卻步的理由在於，坊間的軟體都須擁有強大的電腦知識與概念，才有辦法設計出令學生感興趣的教材。不過，編輯手 6.0 無論在「文字排版」、「設定演員特效」、「套用路徑動畫」、「活化聲音表情」等項目，都只須操作滑鼠以拖拉的方式即可完成（如圖 16 所示），使用者不需使用高深的程式設計語言，只要有基本的概念就可以完成精美又富教育意涵的多媒體教材。



(A) 以滑鼠點選新增演員



(B) 以滑鼠點選幫演員配音



(C) 以滑鼠點選設定演出屬性



(D) 以滑鼠拖拉演員設定互動劇情

圖 16 編輯手操作說明

2. 與 Web2.0 學習平台無縫式 (seamless) 整合：

以編輯手 6.0 製作完成的教材為 Flash 網頁播放檔，瀏覽端只需安裝常見的 Flash Player 即可觀看。且其播放效果，不僅與編輯時一致，更做到了串流播放的效果，檔案再大也可順暢播放。

3.5 資料處理

在資料的分析上，本研究採取量化 (quantity) 統計分析與質化 (quality) 的描述。

一、量化統計分析，包括：

1. 基本統計 (Frequency distribution)：

以次數 (number)、平均數 (mean)、標準差 (standard deviation)、分數範圍

等基本統計，來描述學生在接受多媒體教材後於各測驗中得分的情況，作為進一步資料分析的基礎。

2. 單因子共變數分析 (one - way ANCOVA)：

本研究將學生依其工作記憶能力的不同分為三組，以「上學期三次月考數學平均成績」為共變項、「多媒體教材類型」為自變項、「數學科成就測驗得分」為依變項，進行單因子共變數分析，檢定各組學生得分的差異情形。



四、結果與討論

本章將針對受測學生在教學實驗後，所獲得之數據加以分析。內容共分為四個小節，前三節為研究問題的檢定，第四節為結果摘要。

4.1 多媒體教材對「低聲韻迴路能力」學生在學習成效上的差異

本節所探討的問題為：「何種多媒體教材較適合提升低聲韻迴路能力的學生之學習成效？」。以下針對同質性檢定、單因子共變數分析及成對比較進行結果說明：

1. 同質性檢定的結果：

在進行單因子共變數分析之前，先進行變異數同質性檢定。其結果顯示 $F = .817$, $P = .461 > .05$ ，未達顯著水準，如表 10 所示。亦即不論學生使用何種類型的多媒體教材皆符合同質性假設。

表 10 「低聲韻迴路能力」學生的同質性檢定

誤差變異量的 Levene 檢定等式			
F 檢定	分子自由度	分母自由度	顯著性
.817	2	15	.461

檢定各組別中依變數誤差變異量的虛無假設是相等的。

2. 單因子共變數分析的結果：

由表 11 我們可以看到 $F = 4.755$, $P = .027 < .05$ ，有顯著的差異存在。換句話說：使用不同類型的多媒體教材，的確會對「低聲韻迴路能力」學生的學習成效

造成影響，且平均得分由高到低依序為具體教材 > 半具體教材 > 抽象教材。

表 11 「低聲韻迴路能力」之單因子共變數分析摘要表

教材類型	人數	平均數	標準差	F 檢定	顯著性
具體	6	61.050	3.800	4.755	.027 **
半具體	6	58.919	3.904		
抽象	6	45.365	3.886		

**P < .05

3. 成對比較的結果：

接著，將不同類型的教材兩兩配對進行成對比較，目的在於找出哪一種類型的多媒體教材會對「低聲韻迴路能力」學生的學習成效產生顯著差異，如表 12 所示。我們可以看到：具體教材與半具體教材之間平均數差異僅為 2.131，未達顯著水準（ $P = .702 > .05$ ）；具體教材與抽象教材之間平均數差異為 15.685，已達顯著水準（ $P = .012 < .05$ ）；半具體教材與抽象教材之間平均數差異為 13.554，亦達顯著水準（ $P = .031 < .05$ ）。

表 12 「低聲韻迴路能力」之成對比較

教材類型		平均數差異	標準差	顯著性	差異的 95% 信賴區間	
					下限	上限
具體	半具體	2.131	5.461	.702	-9.581	13.844
	抽象	15.685**	5.423	.012	4.054	27.317
半具體	具體	-2.131	5.461	.702	-13.844	9.581
	抽象	13.554**	5.641	.031	1.455	25.653
抽象	具體	-15.685**	5.423	.012	-27.317	-4.054
	半具體	-13.554**	5.641	.031	-25.653	-1.455

**P < .05

根據上述表格，具體、半具體教材會對「低聲韻迴路能力」學生的學習成效產生顯著差異，而抽象教材並不會對「低聲韻迴路能力」學生的學習成效產生顯著差異。換句

話說，具體、半具體教材可有效提升「低聲韻迴路能力」學生學習「式子的化簡」的學習成效。

4.2 多媒體教材對「低視覺空間能力」學生在學習成效上的差異

本節所探討的問題為：「何種多媒體教材較適合提升低視覺空間能力的學生之學習成效？」。以下針對同質性檢定、單因子共變數分析及成對比較進行結果說明：

1. 同質性檢定的結果：

在進行單因子共變數分析之前，先進行變異數同質性檢定。其結果顯示 $F = .297$, $P = .746 > .05$ ，未達顯著水準，如表 13 所示。亦即不論學生使用何種類型的多媒體教材皆符合同質性假設。

表 13 「低視覺空間能力」學生的同質性檢定

誤差變異量的 Levene 檢定等式			
F 檢定	分子自由度	分母自由度	顯著性
.297	2	18	.746

檢定各組別中依變數誤差變異量的虛無假設是相等的。

2. 單因子共變數分析的結果：

由表 14 我們可以看到 $F = 4.117$, $P = .035 < .05$ ，有顯著的差異存在。換句話說：使用不同類型的多媒體教材，的確會對「低視覺空間能力」學生的學習成效造成影響，且平均得分由高到低依序為具體教材 > 半具體教材 > 抽象教材。

表 14 「低視覺空間能力」之單因子共變數分析摘要表

教材類型	人數	平均數	標準差	F 檢定	顯著性
具體	7	65.560	4.103	4.117	.035**
半具體	7	55.621	4.132		
抽象	7	49.105	4.078		

**P < .05

3. 成對比較的結果：

接著，將不同類型的教材兩兩配對進行成對比較，目的在於找出哪一種類型的教材會對「低視覺空間能力」學生的學習成效產生顯著差異，如表 15 所示。我們可以看到：具體教材與半具體教材之間平均數差異僅為 9.939，未達顯著水準（ $P = .109 > .05$ ）；具體教材與抽象教材之間平均數差異為 16.455，已達顯著水準（ $P = .011 < .05$ ）；而半具體教材與抽象教材之間平均數差異為 6.517，未達顯著水準（ $P = .279 > .05$ ）。

表 15 「低視覺空間能力」之成對比較

教材類型		平均數差異	標準差	顯著性	差異的 95% 信賴區間	
					下限	上限
具體	半具體	9.939	5.881	.109	-2.469	22.346
	抽象	16.455**	5.767	.011	4.287	28.624
半具體	具體	-9.939	5.881	.109	-22.346	2.469
	抽象	6.517	5.829	.279	-5.782	18.816
抽象	具體	-16.455**	5.767	.011	-28.624	-4.287
	半具體	-6.517	5.829	.279	-18.816	5.782

**P < .05

根據上述表格，只有具體會對「低視覺空間能力」學生的學習成效產生顯著差異，而半具體教材及抽象教材並不會對「低視覺空間能力」學生的學習成效產生顯著差異。換句話說，具體教材可有效提升「低視覺空間能力」學生學習「式子的化簡」的學習成效。

4.3 多媒體教材對「低中央控制能力」學生在學習成效上的差異

本節所探討的問題為：「何種多媒體教材較適合提升低中央控制能力的學生之學習成效？」。以下針對同質性檢定及單因子共變數分析進行結果說明：

1. 同質性檢定的結果：

在進行單因子共變數分析之前，先進行變異數同質性檢定。其結果顯示 $F = .422$, $P = .663 > .05$ ，未達顯著水準，如表 16 所示。亦即不論學生使用何種類型的多媒體教材皆符合同質性假設。

表 16 「低中央控制能力」學生的同質性檢定

誤差變異量的 Levene 檢定等式			
F 檢定	分子自由度	分母自由度	顯著性
.422	2	17	.663

檢定各組別中依變數誤差變異量的虛無假設是相等的。

2. 單因子共變數分析的結果：

由表 17 我們可以看到 $F = 1.312$, $P = .297 < .05$ ，並未達到顯著水準。換句話說：使用何種類型的多媒體教材，並不會對「低中央控制能力」學生的學習成效造成影響。

表 17 「低中央控制能力」之單因子共變數分析摘要表

教材類型	人數	平均數	標準差	F 檢定	顯著性
具體	7	59.427	6.901	1.312	.297
半具體	7	54.511	6.455		
抽象	6	41.572	7.811		

根據上述表格，我們僅能由平均得分看出：具體教材優於半具體教材，而抽象教材最差。換句話說，三種多媒體教材均無法有效提升「低中央控制能力」學生學習「式子的化簡」的學習成效。

4.4 結果摘要

以下將前述三小節數據分析的結果摘要如下，並探討其可能的成因。

1. 多媒體教材對「低聲韻迴路能力」學生在學習成效上的差異

由數據檢定結果得知：「具體教材」及「半具體教材」對「低聲韻迴路能力」的學生在學習成效上有顯著差異，且使用這兩種教材的學生在後測中之得分明顯高於使用「抽象教材」的學生。研究者推論其成因在於：選取樣本時，我們已將雙重及三重能力低的學生剔除，故本組學生的「視覺空間能力」及「中央控制能力」並不差，因此，相較於「抽象教材」，「具體教材」及「半具體教材」可有效提升本組學生學習「式子的化簡」的學習成效，如表 18 所示。

2. 多媒體教材對「低視覺空間能力」學生在學習成效上的差異

由數據檢定結果得知：「具體教材」對「低視覺空間能力」的學生在學習成效上有顯著差異，且使用此種教材的學生在後測中之得分明顯高於使用「半具體教材」及「抽象教材」的學生。研究者推論其成因在於：本組學生的「聲韻迴路能力」及「中央控制能力」並不差，但本研究所探討的多媒體教材以「視覺差異」做為區分的依據，語音解說的部分並無明顯不同。因此，相較於「抽象教材」及「半具體教材」，「具體教材」可有效提升本組學生學習「式子的化簡」的學習成效，如表 18 所示。

3. 多媒體教材對「低中央控制能力」學生在學習成效上的差異

由數據檢定結果得知：三種類型的多媒體教材對「低中央控制能力」的學生在學習成效上均無顯著差異，且本組學生在後測中之得分亦無明顯差異。研究者推論其成因在於：「中央控制部門」的組成及功能較為複雜，同時影響「聲韻迴路部門」及「視覺空間畫版」兩個工作記憶子成分。因此，在學習「式子的化簡」時，三種多媒體教材均無法對本組學生提供學習成效上的助益，如表 18 所示。

表 18 研究結果摘要表

工作記憶能力	是否可有效提升學習成效		
	具體教材	半具體教材	抽象教材
低聲韻迴路能力	○	○	×
低視覺空間能力	○	×	×
低中央控制能力	×	×	×

○：可有效提升學習成效

×：無法有效提升學習成效

五、結論與建議

本章共分為兩節，首先根據前面第四章的研究結果與討論，彙整成為本研究的結論；接著則是探討未來相關研究的可能方向。

5.1 結論

使用多媒體融入教學是現今國內重要的教學趨勢，其學習成效也獲得多數研究肯定，但不同能力的學習者，須搭配適合的多媒體教材才能事半功倍；而好的代數運算能力可對數學及其他科學研究產生關鍵性的影響，且低工作記憶能力對學習成就的預測性是不可否認的。因此，研究者依據國中數學「式子的化簡」單元，設計、製作具體、半具體與抽象三種不同類型的多媒體教材，並以工作記憶測驗篩選出「低聲韻迴路能力」、「低視覺空間能力」及「低中央控制能力」三組學生。藉此探討不同類型的多媒體教材對低工作記憶能力者在學習成效上的影響。以下即將本研究所得到的結果做成結論，分別陳述如後：

1. 多媒體教材對「低聲韻迴路能力」學生在學習成效上的影響

由研究結果得知：「具體教材」及「半具體教材」可有效提升「低聲韻迴路能力」學生學習「式子的化簡」的學習成效。因此，教師對於「低聲韻迴路能力」的學生，若能以「具體物品」及「半具體圖像」作為解說媒介的多媒體教材進行授課，可幫助學生有效學習「式子的化簡」。

2. 多媒體教材對「低視覺空間能力」學生在學習成效上的影響

由研究結果得知：「具體教材」可有效提升「低視覺空間能力」學生學習「式子

的化簡」的學習成效。因此，教師對於「低視覺空間能力」的學生，若能以「具體物品」作為解說媒介的多媒體教材進行授課，可幫助學生有效學習「式子的化簡」。

5.2 未來發展方向

1. 擴展研究地區及人數：

本研究的樣本僅侷限在新竹市某公立國中七年級部分學生，建議未來可以擴展研究地區及人數，就城鄉差距、年級等問題加以探討，增加結果的可推論性。

2. 將教材作縱向及橫向的擴展：

本研究僅就九年一貫數學領域國中七年級之「式子的化簡」為範圍，設計與製作三種不同類型的多媒體教材。建議後續研究者可以針對數學領域作縱向加深（國小、高中課程）和其它概念橫向加廣（數學概念的延伸應用），也可當作其他領域開發設計多媒體教材的參考。

3. 採用多元化的評量方式：

本研究的評量方式均為紙筆測驗，但若能採用多元化的評量方式（如：報告、問卷調查、線上測驗等），相信對於學習成效的檢驗可更為完善。

參考文獻

- ASTD. (2006). <http://www.learningcircuits.org/glossary.html>.
- Baddeley, A. (1992). Working memory. . *Science*, 255, 556–559.
- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 49(1), 5-28.
- Baddeley, A. (1996). The fractionation of working memory (Vol. 93, pp. 13468-13472): National Acad Sciences.
- Baddeley, A. (1998a). Random generation and the executive control of working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 51(4), 819-852.
- Baddeley, A. (1998b). Working memory: Theory and practice: Boston: Allyn and Bacon.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in cognitive sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*: Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D., Thomson, N., & Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 14(6), 575-589.
- Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working memory'in G. Bower (ed.): *The Psychology of Learning and Motivation Vol. 8*: New York: Academic Press.
- Case, R., Kurland, D. M., & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, 33(3), 386–404.
- Colle, H. A., & Welsh, A. (1976). Acoustic Masking in Primary Memory. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 15(1), 17-31.
- Collis, K. F. (1975). The development of formal reasoning (tech. rep.). *Newcastle, NSW, Australia*.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 19(4), 450-466.

- Hannafin, R. D., Truxaw, M. P., Vermillion, J. R., & Liu, Y. (2008). Effects of Spatial Ability and Instructional Program on Geometry Achievement. *Journal of Educational Research, 101*(3), 148-157.
- Herscovics, N., & Kieran, C. (1980). Constructing Meaning for the Concept of Equation. *Mathematics teacher, 73*(8), 572-580.
- Hitch, G. J., & McAuley, E. (1991). Working memory in children with specific arithmetical learning difficulties. *British journal of psychology(1953), 82*(3), 375-386.
- Koirala, H. P. (2005). *The effect of mathmagic on the algebraic knowledge and skills of low-performing high school students.*
- Kuchemann, D. (1978). Children's understanding of numerical variables. *Mathematics in school, 7*(4), 23-26.
- Lehto, J. (1995). Working memory and school achievement in the ninth form. *Educational psychology, 15*(3), 271-281.
- Linchevski, L. (1995). Algebra with numbers and arithmetic with letters: A definition of pre-algebra. *Journal of Mathematical Behavior, 14*(1), 113-120.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*: Cambridge Univ Pr.
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. *The Cambridge handbook of multimedia learning, 31-48.*
- Murray, D. J. (1968). Articulation and acoustic confusability in short-term memory. *Journal of Experimental Psychology, 78*(4 Pt 1), 679-684.
- Olkun, S., Altun, A., & Smith, G. (2005). Computers and 2D geometric learning of Turkish fourth and fifth graders. *British Journal of Educational Technology, 36*(2), 317-326.
- Paivio, A. *Mental representations: A dual coding approach. 1986*: Oxford University Press, Oxford, UK.
- Siegel, L. S., & Ryan, E. B. (1989). The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children. *Child Development, 973-980.*
- Sinclair, K. J., Renshaw, C. E., & Taylor, H. A. (2004). Improving computer-assisted

instruction in teaching higher-order skills. *Computers & Education*, 42(2), 169-180.

Smith, E. E., & Jonides, J. (1997). Working memory: A view from neuroimaging. *Cognitive psychology*, 33(1), 5-42.

Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational psychology review*, 10(3), 251-296.

Tabach, M., Arcavi, A., & Hershkowitz, R. (2008). Transitions among Different Symbolic Generalizations by Algebra Beginners in a Computer Intensive Environment. *Educational Studies in Mathematics*, 69(1), 53-71.

Wickelgren, I. (1997). Getting a grasp on working memory. *Science (New York, NY)*, 275(5306), 1580.

Montgomery, J. W., & Evans, J. L. (2009). Complex Sentence Comprehension and Working Memory in Children With Specific Language Impairment. *Journal of Speech, Language & Hearing Research*, 52(2), 269-288.

Steinbrink, C., & Klatt, M. (2008). Phonological working memory in German children with poor reading and spelling abilities. *Dyslexia (10769242)*, 14(4), 271-290.

毛雪慧 (2004)。國中基本學力測驗與工作記憶。國立中正大學心理學研究所。

何政謀 (2004)。以 gsp 設計之活動進行解二元一次聯立方程式補救教學之研究。國立高雄師範大學數學系。

李亞惠 (2003)。國小三年級數學學習困難學生與普通學生工作記憶之研究。彰化師範大學特殊教育學系在職進修專班。

李東霖 (2001)。國小三年級學生工作記憶與數學學習關係之探討。臺南師範學院國民教育研究所。

李春生 (2005)。高雄市國二學生使用 gsp 電腦輔助教學學習三角形全等成效之研究。國立高雄師範大學數學系。

李淑娟 (2005)。符合 scorm 2004 與試題結構理論之電腦化適性測驗系統及動畫補救教學模組—以國小數學領域五年級能力指標幾何為例。亞洲大學資訊工程學系碩士班。

周台傑、林秀柔（1991）。國小數學障礙兒童鑑定方式之研究。特殊教育學報（6），49-87。

林敏雪（1997）。國中二年級數學方程式表徵及解題困難學生之研究。國立高雄師範大學教育學類。

姚文仁（2006）。國中三角形相關概念 gsp 補救教學之成效研究。高雄師範大學數學系。

洪意琇（2008）。後設認知策略教學對增進國中學學習障礙學生代數文字題解題成效之研究。國立臺北教育大學特殊教育學系碩士班。

凌久原（2006）。動態多重表徵對於國中生幾何單元學習成效之影響。國立成功大學教育研究所。

袁媛（1993）。國中學生的文字符號概念與代數文字題的解題研究。國立高雄師範大學數學教育研究所。

張國樑（2004）。國中生代數文字題之解題歷程分析研究。國立高雄師範大學數學系。

教育部（2001）。教育部學習加油站。檢自：
http://content.edu.tw/junior/computer/ks_mc/one/one.htm

許錦芳（2005）。資訊融入教學對國中資源班學生的數學學習態度與成就之影響。國立交通大學理學院碩士在職專班網路學習學程。

陳以青（2004）。學習障礙兒童在工作記憶表現之探討。國立中正大學心理學研究所。

陳巧莉（2007）。探討國二學生代數文字題列式表現及波利亞表列法的教學成效之研究--以二元一次聯立方程式為例。國立臺灣師範大學科學教育研究所。

郭汾派、林光賢、林福來（1989）。國中生文字符號概念的發展。國科會專題研究報告（編號：NSC 76-0111-S008-03, NSC 77-0111-S003-05A）。

陳育萱（2007）。電腦輔助教學應用於國民中學輕度智能障礙學生乘法應用題解題成效之研究。國立彰化師範大學特殊教育學系所。

郭昭慧（2004）。國中三角幾何 gsp 輔助教學之學習成效研究。義守大學資訊管理學系碩士班。

陳英哲（2006）。運用資訊融入合作學習在解決國小四年級學童分數迷思概念之補救教

學研究。國立嘉義大學教育科技研究所。

陳啟能 (2007)。多媒體數學線上教學之成效研究---以國小四年級分數單元為例。國立彰化師範大學資訊管理學系所。

陳慧佳 (2004)。網路即時互動系統應用在國小數學科教學之個案研究—以等值分數單元為例。屏東師範學院數理教育研究所。

陳慧珍 (2001)。南投縣國一男女生對文字符號概念與代數文字題之解題研究。國立高雄師範大學數學系。

智勝國際科技網站 (2009)。編輯手 soeauthoring6.0。檢自：

<http://www.caidiy.com/soEZAauthoring/index.html>

黃學仁 (2007)。資訊融入原住民五年級學生數學補救教學成效之研究。國立臺北教育大學數學教育研究所。

溫安榮 (2007)。Gsp 融入數學教學對高二學生數學學習成效影響之研究-以「圓錐曲線」單元為例。高雄師範大學數學教學碩士班。

劉晏企 (2004)。動態幾何 gsp 融入國小四年級數學領域三角形與角度單元教學之研究。屏東師範學院數理教育研究所。

劉耀聰 (2007)。數位遊戲軟體應用於國小數學低成就學生補救教學之探討。南華大學資訊管理學研究所。

潘慧萍 (2007)。資訊融入國小一年級加減法文字題教學之研究。國立臺北教育大學數學教育研究所。

潘毅芳 (2007)。多媒體融入國小數學「速度」單元教學模式之探究。國立臺北教育大學教育傳播與科技研究所。

蔡佳錚 (1997)。國小學生工作記憶與數學解題歷程關係之研究。國立台南師範學院國民教育研究所。

鄭清祥 (2007)。不同教學方式對六年級低成就學生分數概念學習之研究。國立屏東教育大學數理教育研究所。

鄭智元 (2006)。國小六年級學生使用代數文字符號之研究。臺北市立教育大學數學資訊教育學系碩士班。

- 蕭信雄（2008）。電腦輔助學習線上教材對提昇國小三年級學童 開放式加減算式填充題學習成效之研究。國立臺南大學教育學系課程與教學碩士班。
- 賴緯濤（2008）。整數四則計算練習網站的設計與應用。國立屏東教育大學數理教育研究所。
- 戴文賓（1998）。國一學生由算術領域轉入代數領域呈現的學習現象與特徵。彰化師範大學科學教育研究所。
- 謝萬欉（2006）。資訊科技融入教學對身心障礙生幾何圖形學習成效之研究---以宜蘭縣文化國中不分類資源班為例。佛光大學資訊學系。
- 蘇春萍（2005）。具體—表徵—抽象教學對不同工作記憶能力的數學學習困難學生 學習未知數計算之研究。國立臺南大學特殊教育學系碩士班。
- 蘇聖文（2007）。國中相似形 gsp 電腦輔助教學之成效研究。高雄師範大學數學系。



附錄一：語文工作記憶施測說明及指導語

一、本測驗共有 18 題，為個別測驗，施測時兒童不需任何紙筆工具，主試者手持測驗題目，面對兒童說出指導語，依序唸出題目，並以鉛筆記下兒童的反應。

二、本測驗的任務簡單，一般兒童略經說明均能了解，主試者可利用以下的指導語進行測驗的說明：「等一下我們要做一個簡單的記憶力測驗，我會先做說明，並且唸幾個詞，請你注意聽。等我唸完了，請你把正確的答案說出來。好，讓我們來做一個練習題看看。」

例題：「請依照原來的順序，唸出以下硬硬的東西。蛋糕、石頭、毛巾、玻璃。」通常主試者停止說話，兒童就會開始回憶，若兒童沒有反應，可提示，但不管兒童答對與否，在反應完了之後。主試者可接著說：「這一題要你記得的是摸起來硬硬的東西，所以你要說石頭、玻璃。如果你說成玻璃、石頭，就不對了，因為我剛才唸的順序是石頭先、玻璃後的。如果你答案裡有蛋糕或毛巾，那也不對，因為蛋糕和毛巾是軟的，不是硬的。」例題可反覆說明，直到兒童了解為止。

三、唸出語詞時，以二秒一個詞的速度唸出，以手表或馬表計時。不論年齡，都從第一題做起，連續錯四題，就停止施測。

四、記錄：個案的回答，依順序以 1, 2, 3... 填在每一詞下的空欄裡，以利後續的計分。例如：如果兒童答：「石頭、玻璃。」則記錄如下：

蛋糕、石頭、毛巾、玻璃

___ 1 ___ 2

如果兒童答：「毛巾、石頭、玻璃」則記錄如下：

蛋糕、石頭、毛巾、玻璃

___ 2 1 3

五、在題目的右邊有計分欄，計分同時要求「答案正確」及「順序正確」，兒童的答案正確，且依原來呈現的順序回憶，就在計分欄上註記「1」，若未得分，則註記「0」。

六、基本分數是一分，即使全部題目都答錯了也有基本分數一分。

七、1-16 題，每答對一題，得 0.25 分。17-18 題，每答對一題，得 0.5 分。

計分例題一：

請依照原來的順序唸出會飛的動物

兔子、蝴蝶、蒼蠅、青蛙	計分欄
___ <u>1</u> <u>2</u> ___	<u>1</u>

計分例題二：

請依照原來的順序唸出會飛的動物

兔子、蝴蝶、蒼蠅、青蛙	計分欄
___ <u>2</u> <u>1</u> ___	<u>0</u>

計分例題三：

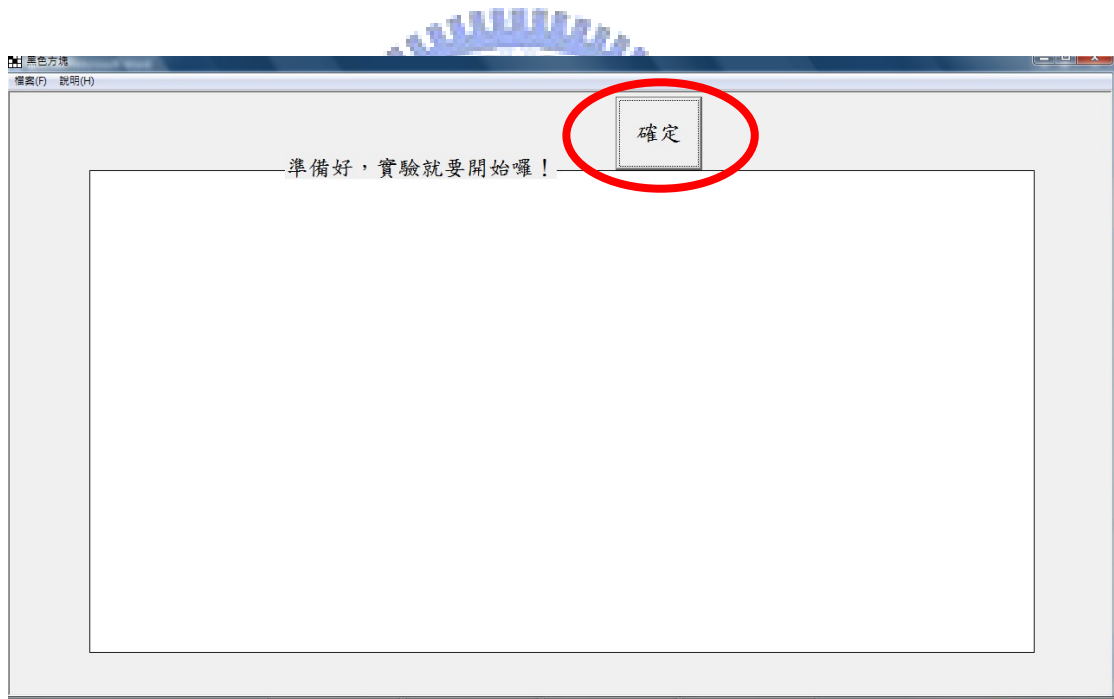
兔子、蝴蝶、蒼蠅、青蛙	計分欄
<u>1</u> <u>2</u> <u>3</u> ___	<u>0</u>

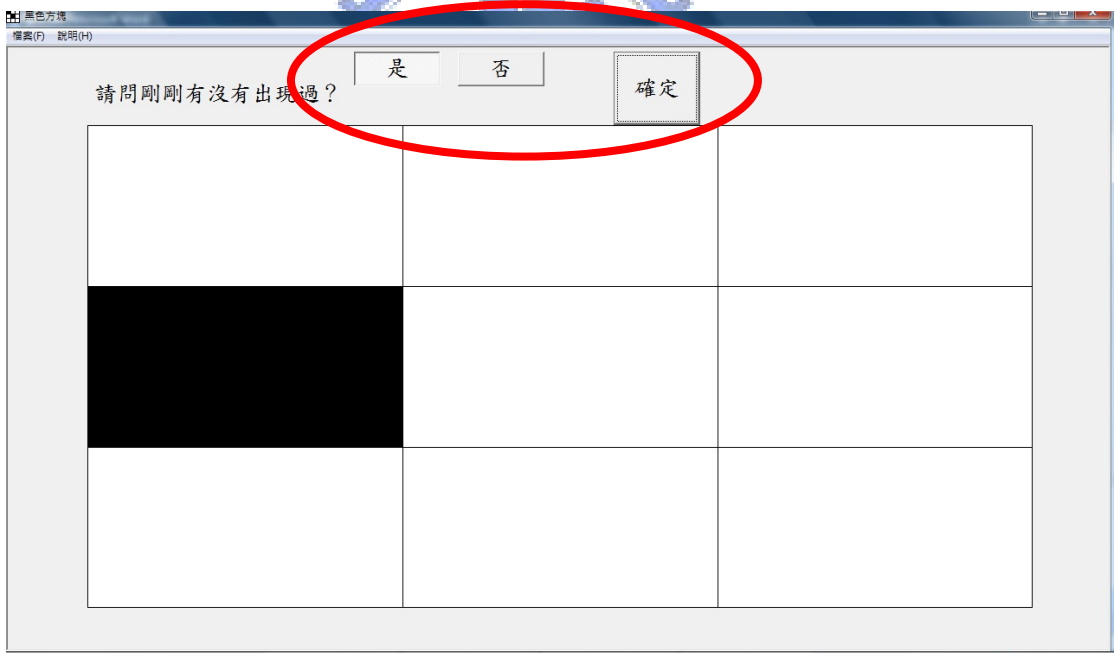
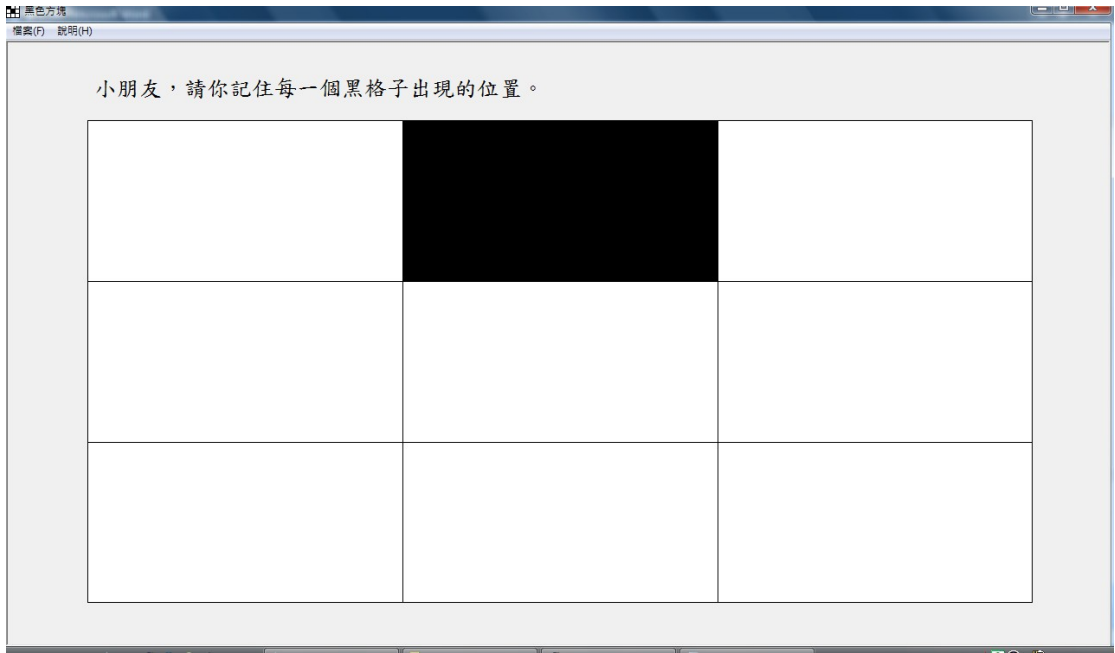
兔子、蝴蝶、蒼蠅、青蛙	
___ <u>1</u> <u>2</u> <u>3</u> ___	<u>0</u>

附錄二：視空間工作記憶施測說明及指導語

各位同學你好，我們今天要請你作一份電腦的評量，這不是考試，這是老師的研究，就像你們作科學研究那樣，這對教學以及以後的同學會很有幫助，所以請你放輕鬆去作答。

待會你會看到一張一張的圖片，每一張圖片都有 9 個方格，其中一個方格是塗黑的，請你記住每一個方格出現的位置，等一下圖片全部看完了以後，請你把剛剛記住的答案用滑鼠點出來，我們先來試一次看看。





黑色方格
檔案(F) 說明(H)

小朋友，剛剛你看到的圖片裡，有哪幾格是被塗黑的呢？請你把它們給勾出來。

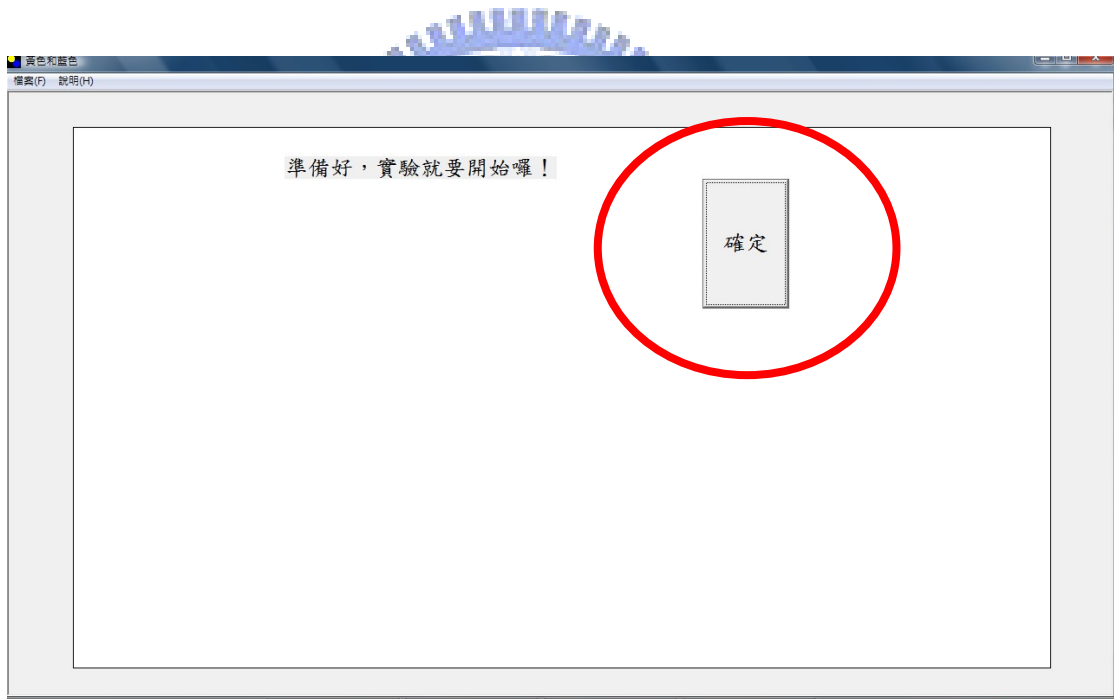
確定

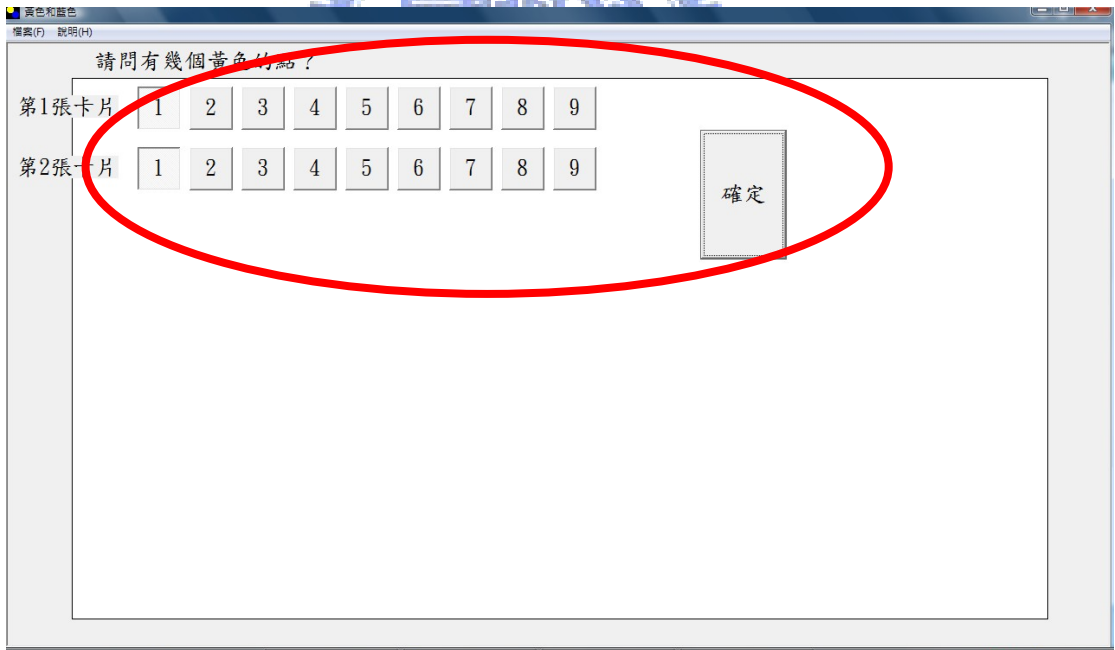
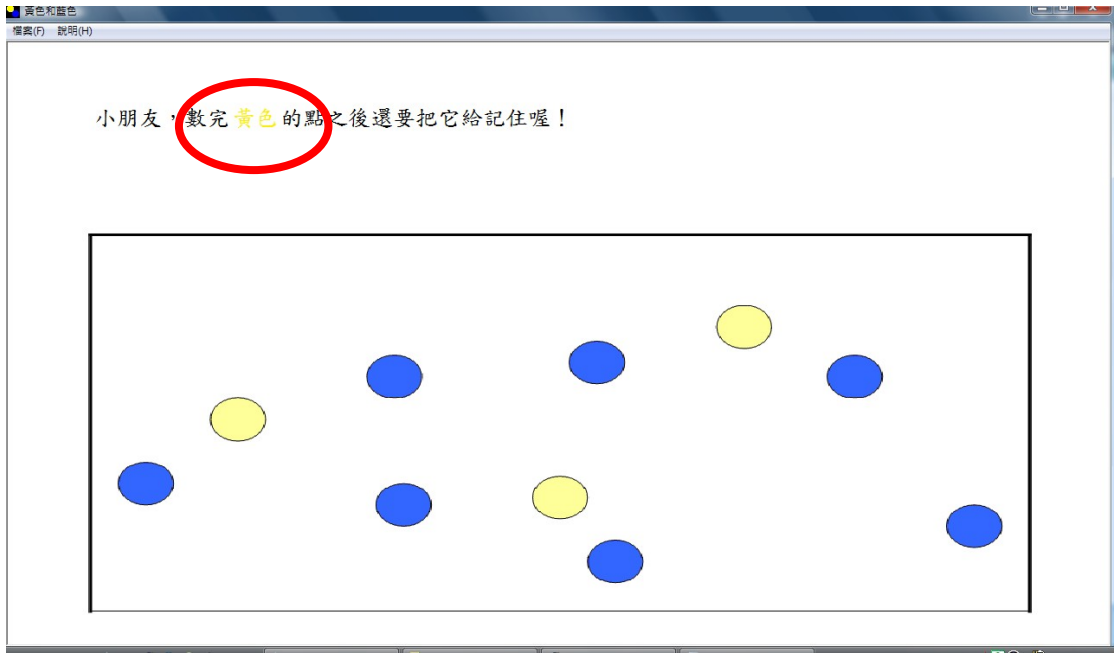


附錄三：數數工作記憶施測說明及指導語

各位同學你好，我們今天要請你作一份電腦的評量，這不是考試，這是老師的研究，就像你們作科學研究那樣，這對教學以及以後的同學會很有幫助，所以請你放輕鬆去作答。

待會你會看到一張一張的圖片，每一張圖片都有藍色和黃色的圓圈，老師會指定其中一種顏色，請你把老師指定顏色的圓圈數出來，並把它記住，等一下圖片全部看完了以後，請你把剛剛記住的答案打在鍵盤上，我們先來試一次看看。





附錄四：數學科成就測驗試卷

班級： 座號： 姓名：

一、選擇題：（每格 7 分，共 35 分）

- () 1. 下列式子的化簡何者正確？
 (A) $9x - 3 = 6x$ (B) $15x - 14x = x$ (C) $18a \times (-2) = 36a$ (D) $a \times a \times a \times a = 4a$
- () 2. 下列式子的化簡何者錯誤？
 (A) $3x + 6x = 9x$ (B) $2x - 3 = -x$ (C) $-5x - 5x = -10x$ (D) $-x + x = 0$
- () 3. 以下甲、乙、丙、丁四人化簡算式的方式，何者正確？
 (A) 甲： $7x - 5x = 2$
 (B) 乙： $\frac{x-3}{4} - \frac{x+2}{5} = 5(x-3) - 4(x+2) = 5x - 15 - 4x - 8 = x - 23$
 (C) 丙： $(-\frac{4}{7}) \div (-4x) = -\frac{1}{7}x$
 (D) 丁： $5x \times (-\frac{1}{2}) = -2.5x$
- () 4. 小芬的口袋中有百元鈔票 $2x$ 張，五十元硬幣 5 個，十元硬幣 $4x$ 個，一元硬幣 x 個，則小芬的口袋中有多少元？
 (A) $240x + 250$ 元 (B) $250x - 10$ 元 (C) $241x + 25$ 元 (D) $241x + 250$ 元
- () 5. 距今五年前，父親的年齡是兒子年齡的 2 倍。若兒子今年 x 歲，則五年後父子兩人的年齡和為多少？
 (A) $3x + 5$ 歲 (B) $3x - 5$ 歲 (C) $2x + 10$ 歲 (D) $2x + 15$ 歲

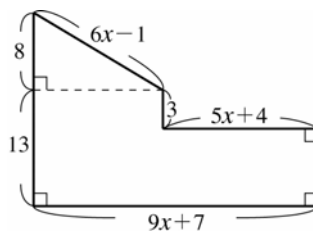
二、填充題：

1. 化簡下列各式。(每格 6 分)

- (1) $6x - (2x - 3) =$ ①。
- (2) $-2(3x - 2) =$ ②。
- (3) $\frac{2}{3}x + (-1) \cdot x =$ ③。
- (4) $(-14x + 8) \div (-4) =$ ④。
- (5) $-2(3x - 2) - 3(3 - 4x) =$ ⑤。
- (6) $2 \cdot (\frac{x}{2} - 3) - 3 \cdot (\frac{2}{3}x - 1) =$ ⑥。
- (7) $x - \{2x - [3x - (4x - 5x)]\} =$ ⑦。
- (8) $\frac{2x-3}{4} - \frac{8-5x}{3} =$ ⑧。

2. 如右圖所示：(8 分，9 分)

- (1) 圖形的周長為 ⑨。(請以 x 表示並化簡)
- (2) 圖形的面積為 ⑩。(請以 x 表示並化簡)



附錄五：加法與減法後測試卷

班級： 座號： 姓名：

化簡下列各式。

(1) $7x+5x=$

(2) $-21y+12y=$

(3) $-3b-(-4b)=$

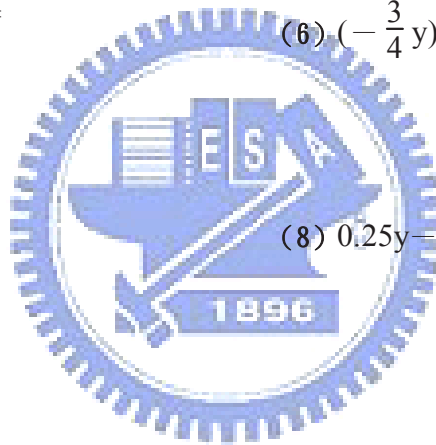
(4) $-3x+(-4x)=$

(5) $(-6x)-(-3x) =$

(6) $(-\frac{3}{4}y)+\frac{3}{5}y=$

(7) $-1\frac{1}{4}x+2\frac{3}{4}x =$

(8) $0.25y-(-0.59y)+(-1.3y)=$



(9) $2x+3x-(-4x)+(-2x)+1=$

(10) $\frac{2}{3}y+\frac{1}{4}-\frac{1}{2}y-\frac{1}{5}=$

附錄六：乘法與除法後測試卷

班級： 座號： 姓名：

化簡下列各式。

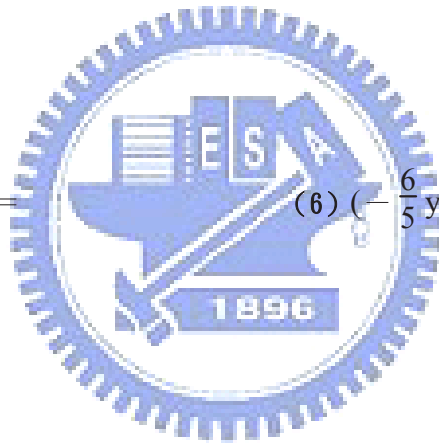
(1) $(-5) \cdot 4y =$

(2) $8x \div \frac{2}{3} =$

(3) $3y \cdot \frac{5}{12} =$

(4) $6y \div (-\frac{3}{5}) =$

(5) $(-\frac{1}{6}) \cdot (-2y) =$



(6) $(-\frac{6}{5}y) \div \frac{2}{5} =$

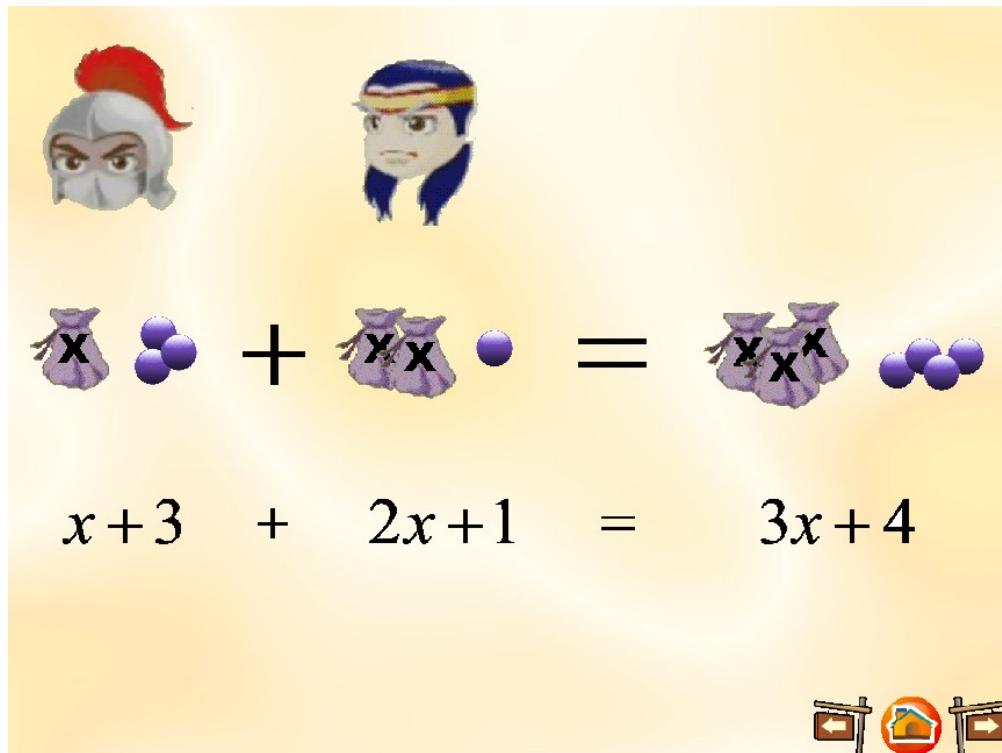
(7) $(-4) \cdot 2x \cdot (-5) =$



(8) $(-\frac{1}{2}x) \div (-2) =$

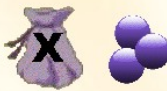




(9) $(-0.35) \cdot (-10y) =$

(10) $4x \cdot (-4) \div \frac{6}{7} =$


附錄七：具體教材畫面

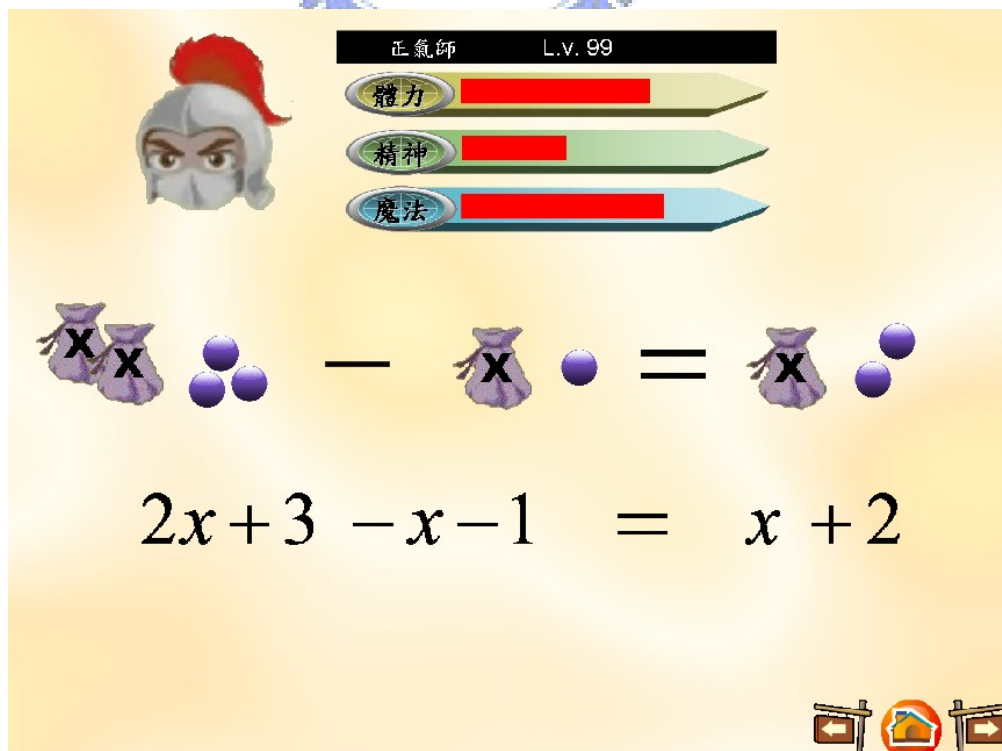






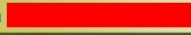







$x + 3 + 2x + 1 = 3x + 4$













正氣師 L.v. 99


體力 

精神 

魔法 

$2x + 3 - x - 1 = x + 2$





一瓶為 X 元



一瓶為 5X 元



=



$$2 \times 5x = 10x$$

說明 1

說明 2



一瓶為 X 元



一瓶為 5X 元



=



$$2 \times 5x = 10x$$

說明 1

說明 2





$$2 \cdot (x + 6) = 2 \cdot x + 2 \times 6$$


$$= 2x + 12$$

說明 1


說明 2




附錄八：半具體教材畫面



$$\square \text{ } \circ \circ \circ + \square \square \circ = \begin{matrix} \square \\ \square \square \end{matrix} \circ \circ \circ$$


$$x+3 + 2x+1 = 3x+4$$




正氣師 L.v. 99

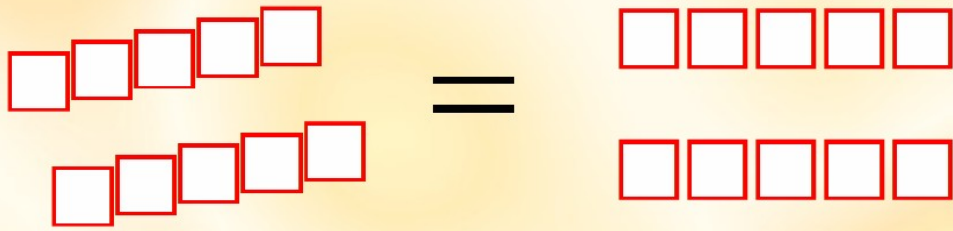
體力	
精神	
魔法	

$$\square \square \circ \circ \circ - \square \circ = \square \circ \circ$$

$$2x+3 - x-1 = x+2$$


□ 一個為 X

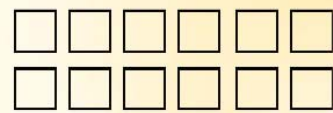
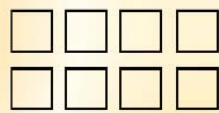
□□□□□ 一組為 5X



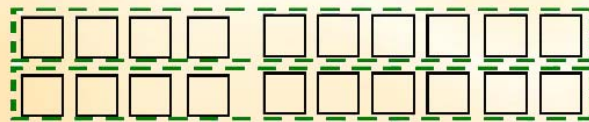
$$2 \times 5x = 10x$$

說明 1

說明 2



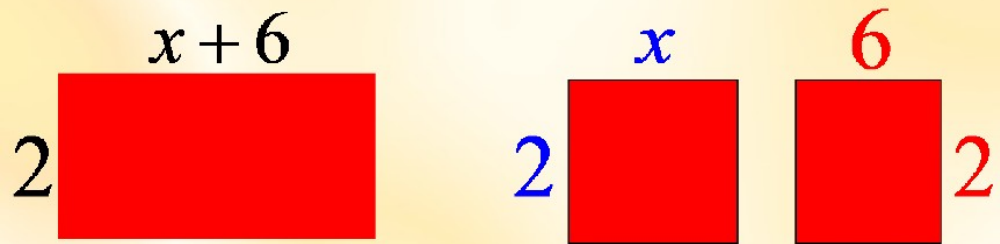
$$2 \cdot (4 + 6) = \underline{2 \times 4} + \underline{2 \times 6}$$



說明 1

說明 2






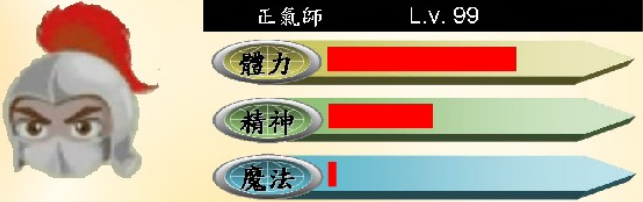

$$\begin{aligned}
 2 \cdot (x + 6) &= 2 \cdot x + 2 \times 6 \\
 &= 2x + 12
 \end{aligned}$$

說明 1

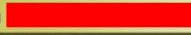
說明 2

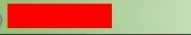



附錄九：抽象教材畫面



$$x + 3 + 2x + 1 = 3x + 4$$


正氣師 L.v. 99

體力 

精神 

魔法 

$$2x + 3 - x - 1 = x + 2$$


乘法與除法



$$2 \cdot 10 = 10 + 10$$

$$2 \times 5x = 10x$$

$$5x + 5x$$



說明 1



$$2 \times 4 + 2 \times 6 = 20$$

$$2 \cdot (4 + 6) = 20$$

$$2 \cdot (4 + 6) = \underline{2 \times 4} + \underline{2 \times 6}$$

說明 1

說明 2



$$\begin{aligned} 2 \cdot (x+6) &= \underbrace{2 \cdot x}_{2 \cdot x} + \boxed{2 \times 6} \\ &= 2x + 12 \end{aligned}$$

說明 1

