

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

代數數位內容之激發式動態表徵及展演原則之研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 99-2511-S-009-008-
執行期間：99年08月01日至100年10月31日
執行單位：國立交通大學通識教育中心

計畫主持人：陳明璋

計畫參與人員：碩士級-專任助理人員：廖子慧
碩士班研究生-兼任助理人員：廖真瑜
碩士班研究生-兼任助理人員：吳嘉惠

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

公開資訊：本計畫可公開查詢

中華民國 101 年 02 月 20 日

中文摘要：上一年度的計畫中我們針對「二元一次聯立方程式文字題列式」及「解二元一次聯立方程式」的數位教材設計與展演提出「代數教材設計原則」—教學內容結構化、教材呈現區塊化、建立訊息關聯、口語簡化解說及圖像化，運用於補救教學上，實驗結果有相當的成效；本年度的計畫著重在視覺搜尋與注意力引導，提出「溝通性」及「同步性」的概念簡化繁複理論；並設計量表初探溝通性、同步性、困難度、信心等指標與學習成效之間的關係；實驗依舊分為兩個部分，結果顯示，在學習成效方面，不論是在代數文字題的「列式」或「解題」上，對於中低學習成就、或未學過的學生都有顯著性效果。列式部分的實驗發現對於高學習成就的學生或學過的學生並沒有專家反效。

本計畫發現「視覺搜尋」在代數解聯立方程式(單一表徵)及代數列式(多元表徵)教學設計及展演過程，能對表徵之間的轉換(Conversion)及處理(treatment)有很大的影響。教學元素的連結有視覺連結上的協助，能引導學習者對於訊息的選取、組織及整合，降低不必要的資源消耗，挹注在高階的認知處理上，能有效地增進學習、降低認知負荷。

中文關鍵詞：視覺搜尋、注意力引導、激發是動態呈現、SBS、元素互動性、激發式動態呈現

英文摘要：The purpose of the project is focused on how the visual guiding materials can have effect on both students' performance and their cognitive load, and a pilot study on relationship among communication, and synchronization, and difficulty, and confidence, and learning results. Our experiment is divided into 'listing mathematical equations' and 'solving the listed equations' groups. Both groups show that the leaning performances of students with low or middle learning achievements or with novice knowledge have significant difference. The experiment in 'solving the listed equations' finds that there is no expert reversal effect for those students with higher learning achievements. The project finds that with the help of visual guiding, the cognitive loading for selecting, organizing information can be reduced, and the cognitive resources can be facilitated to the

integration for the conversion among representations and the treatments in a single representation, and so reduce cognitive loading and improve the leaning. The visual guiding has great affects on the leaning. Nevertheless, there are still problems for the pilot study of the rating scales of cognitive load, and thus future studies are needed.

英文關鍵詞： visual search, attention guiding, SBS, isolate-interacting elements, trigger-base animation

彈性指標激發注意力導引學習之研究

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC 99-2511-S-009-008

執行期間：2010年8月1日至2011年10月31日

執行機構及系所：國立交通大學通識教育中心

計畫主持人：陳明璋

共同主持人：曾建銘

計畫參與人員：廖真瑜、吳嘉惠、廖子慧

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：精簡報告

本計畫除繳交成果報告外，另須繳交以下出國心得報告：

赴國外出差或研習心得報告

赴大陸地區出差或研習心得報告

出席國際學術會議心得報告

國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權，一年二年後可公開查詢

摘要

本計畫著重在視覺引導在數位教材設計的影響，及溝通性、同步性、困難度、信心等指標與學習成效之間關係的初探；實驗分為兩個部分，結果顯示，不論是「在二元一次聯立方程式文字題列式」或「解二元一次聯立方程式」上，對於中低學習成就、或未學過的學生在學習成效方面都有顯著性效果。「在二元一次聯立方程式文字題列式」的實驗發現對於高學習成就的學生或學過的學生並沒有專家反效。

本計畫發現「視覺搜尋」在代數解聯立方程式(單一表徵)及代數列式(多元表徵)教學設計及展演過程，能對表徵之間的轉換(conversion) 及處理(treatment)有很大的影響。也就是，教學元素的連結若有視覺連結上的協助，能引導學習者處理訊息的選取、組織及整合，降低不必要的資源消耗，挹注在高階的認知處理上，能有效地增進學習、降低認知負荷。

然而對於認知負荷量表的設計，仍有待更進一步的研究。

關鍵詞：視覺搜尋、注意力引導、激發式動態呈現、SBS、元素互動性、激發式動態呈現

Abstract

The purpose of the project is focused on how the visual guiding materials can have effect on both students' performance and their cognitive load, and a pilot study on relationship among communication, and synchronization, and difficulty, and confidence, and learning results.

Our experiment is divided into “listing mathematical equations” and “solving the listed equations” groups. Both groups show that the leaning performances of students with low or middle learning achievements or with novice knowledge have significant difference. The experiment in “solving the listed equations” finds that there is no expert reversal effect for those students with higher learning achievements.

The project finds that with the help of visual guiding, the cognitive loading for selecting, organizing information can be reduced, and the cognitive resources can be facilitated to the integration for the conversion among representations and the treatments in a single representation, and so reduce cognitive loading and improve the leaning. The visual guiding has great affects on the leaning.

Nevertheless, there are still problems for the pilot study of the rating scales of cognitive load, and thus future studies are needed.

Keyword: visual search, attention guiding, SBS, isolate-interacting elements, trigger-based animation

壹、前言

多媒體環境往往提供了大量且過動的訊息，由於人類有限的工作記憶、有限的通道，以至於在選取(selection)與組織(organization)時耗用了過多的認知資源，降低了學習的有效性。在教學的過程中，如何安排訊息以降低學習者選取與組織的認知負荷，挹注於認知整合(integration)，是認知與數位教學的核心問題。我們回顧一下以教師授課為導向的數位教學環境，教師、學生及畫面是教學的三個主要元素，教師控制畫面上視覺訊息的呈現，運用口語引導、解釋、與全班同學互動。學生則同時接受口語及畫面訊息，在萃取畫面及口語訊息之後，才能開始進行思維，如此的動作，在學習的過程不斷重複；學生為萃取訊息往往造成分散注意力。如何降低注意力在萃取訊息上的負荷，挹注於基模(schema)的運作上，我們以「溝通性」及「同步性」綜合概括理論。所謂溝通性就是在教學過程，師生都可以很容易的在畫面上找到相關的訊息，是視覺搜尋的考量。所謂同步性就是讓學生有足夠的時間處理訊息、感受訊息、進行思考，是基模(schema)運作的考量。

認知負荷理論的學者 Sweller(2010)以分離元素相互作用效應(isolated-interactive elements effect)的概念將具高度關係的(high element interactivity)的教材，所產生的過量的認知負荷降低；而媒體學習認知理論者 Mayer(2001)提出分段原則(segmenting principle)來分隔連續呈現的媒體訊息。前者以比較抽象的概念，來闡述元素之間的交互關係，比較能夠適用於不同的媒體呈現；而 4C/ID 也強調小單位且及時訊息有助於學習。不過認知負荷理論學者發現(Kalyuga, 1998, 2003)，若教材過度的分割處理往往會發生專家反效(Expertise reversal effect)，其中的原因之一是切割過細對具備高度專技能力的學生而言會產生冗餘效應(Redundant Effect)。

這些學者所指的元素交互作用(elements interactivity)是知識的元素(element)；由於在學習的過程，學生必須不斷重複瀏覽內容，本研究認為元素交互作用需要兼顧展演歷程視覺上元素之間的交互關係。本研究著重在透過數位教材的編排，清楚的呈現訊息之間的關係，降低不必要的搜尋與組合，讓相關訊息之間的關聯可以清楚的萃取。

貳、研究目的

本計畫的對象是具有高度交互作用(high element interactivity)的代數二元一次聯立方程式文字題列式及解二元一次聯立方程式，結合認知心理學、認知負荷理論、媒體學習認知理論和多元表徵等理論，運用 AMA 等軟體，發展數位教材設計與展演的不同模式。

當學習者面對運用多元表徵所呈現的數位訊息時，(Duval, 2006)學習的過程必須要能夠掌握表徵間的訊息轉換(conversion)、表徵內及表徵間的訊息處理(treatment)。考量人類對陌生的訊息處理，是隨機組合及檢驗的特性(Sweller 2003, 2004; Sweller and Sweller, 2006)，本研究對數位內容的呈現採以下策略：妥適的掌握訊息安排；避免過多的視覺搜尋、工作記憶超負荷，及造成注意力分散。瀏覽時，能快速發現相關訊息，深入探索訊息間的相關性，提供 Schema 的運作。

二元一次聯立方程式文字題列式所使用的表徵包含文字表徵、代數表徵及圖像表徵；解二元一次聯立方程式的解題過程唯一的表徵是代數。

二元一次聯立方程式文字題列式的特點是用語文的型態來敘述數學情境問題，在許多研究中發現，能否成功解決文字題的原因除了語意較複雜外，也可能是因為教材編排方式不佳所致，因此本研究希望了解授課時不同表徵模式之教材對於學生解文字題之影響。研究目的分別探討以「串流式教材」、「代數教材設計原則」、「動態圖像表徵」及「代數教材設計原則輔以動態圖像表徵」所設計之教材，運用於常態編班教學下，對學生的學習成就表現之影響、對學生的認知

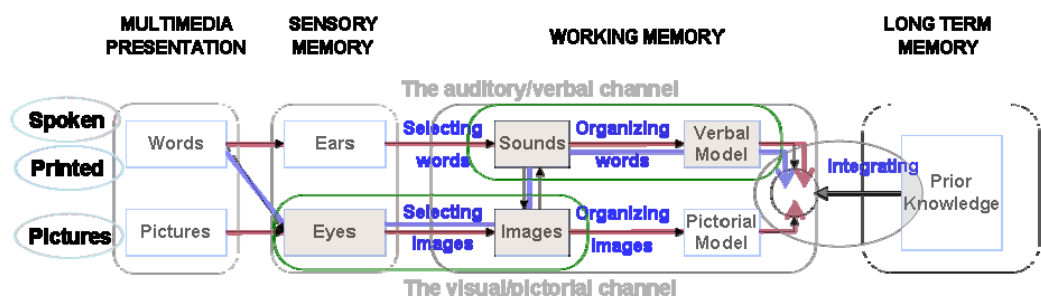
負荷之影響、學生的學習成就表現與認知負荷之間是否存在相關、是否會產生專業知識反轉效應。

解二元一次聯立方程式是單一表徵，缺乏圖像輔助，也無視覺情境，鮮能與生活體驗連結，過程著重代數式前後的關係；由於代數式長短不一，前後式之間對應關係之萃取，耗用較多的注意力，且受限於工作記憶的容量限制，所能同時處理的相關訊息量受到限制，且上下行相關訊息在視覺上不易分割處理，更不易同時瀏覽多行間相關訊息；如要理解必須不斷地在上、下式子間進行瀏覽比對 (Duval, 2006)；在學習過程中，學習者不易了解運算的內容與目的，常常淪為制式化演算或死記硬背。

此一部份以激發式動態呈現教學為基底，配合適性指標，聚焦於注意力引導，結合多媒體學習與認知負荷理論的觀點，並利用三項代數教材設計原則—教學內容結構化、教材呈現區塊化和建立訊息關聯為主軸，選擇七年級數學二元一次聯立方程式單元為教材設計主題，將上述的視覺引導教材示例教學設計運用於常態編班教學上。爰謝東育(2009)、曾椿惠(2010)和葉子榕(2010)之研究證實代數教材設計原則對於補救教學有明顯助益，而在常態編班教學上是否能兼顧全班學生的學習？而對於不同先備知識學生、不同學習成就的學生又會產生什麼影響？本研究的目的為探討以不同的視覺引導教材設計於示例教學上，學生的學習成就表現、學生的認知負荷量差異。

參、文獻探討

Sweller (1994)開創的認知負荷(Cognitive Load Theory)，此一理論有四個假設：1.工作記憶(Working Memory)容量有限，2.長期記憶(Long Term Memory)容量無限，3.知識與技能以基模(Schema)型態儲存於長期記憶，4.自動化運作是基模建構的重要過程；這四種假設為訊息進入工作記憶之後的認知論述鋪路。認知負荷以元素交互作用(Elements interactivity)為基礎，論述三種認知負荷內在認知負荷(Intrinsic cognitive load)，外在認知負荷(Extraneous cognitive load) 以及增生(相關)認知負荷(Germane cognitive)是如何作用的(Sweller, 1994, 2010)，並說明認知負荷的各種效應。同時類比人類的認知架構(Human cognitive architecture)與大自然訊息處理系統(Nature Information Processing System) (Sweller 2003, 2004; Sweller and Sweller, 2006)，提出五個基因演化的假說，來支持其理論的基礎。



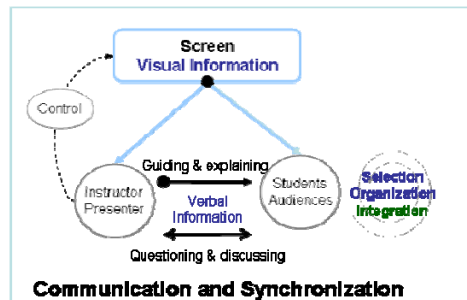
(Richard E. Mayer, 2001)

Mayer 的媒體學習認知理論(Cognitive Theory of Multimedia Learning)，其基本的假設陳述了雙通道有效性及侷限性、有限的工作記憶以及人類有主動處理訊息的特質。說明人類處理多媒體訊息的脆弱一面，訊息在進入感官之前必須要經過妥善的處理，呈現的過程必須考慮認知歷程可能面臨的問題，以提升認知，並提出許多設計的原則來改善多媒體教學的有效性。

兩大學說都強調有限工作記憶及主動處理訊息，主動處理就是人類將傳遞至工作記憶中的訊息，如果是陌生的訊息，將產生隨機組合的作用，然後檢驗是否有意義；如果無，就重新組合；直到有意義為止，有意義的組合，就會被當作優先處理的對象(Sweller, 2003, 2004; Sweller and Sweller, 2006)；因此，有限的工作記憶容量，可確保對外來的刺激，可以在比較短的時間，有所反應。有限工作記憶容量及主動處理訊息是人類演化過程的一個微妙，是相互依存的；又由於主動處理訊息的特性，我們可以運用訊息呈現的位置、順序、形式或視覺(聽覺)刺激的強弱來產生訊息處理的先後；也就是說主動處理的

隨機性是可以被引導、掌握的。

2009 年起是認知負荷及媒體學習認知理論的大重整；Mayer (2009)結合 Sweller 的認知負荷理論，將其理論彙整為三大類十二條原則，其中三大類為 Extraneous processing、Essential Processing 和 Generative processing 對比認知負荷理論的 Extraneous cognitive load、Intrinsic cognitive load 及 Germane cognitive load。而 Sweller (2010) 再度以 elements interactivity 的概念，詮釋所有的基本理念，澄清模糊之處。兩理論的學者都一再的強調其理論可以運用於教與學，然而在多媒體動態環境下，教學時，教師成為媒體的一環，訊息透過畫面及口語，傳遞於師生之間，在空間及時間上，顯得更為複雜。van Merriënboer & Kirschner (2007) 指出當面臨複雜學習 (Complex learning) 時，這兩大學說就顯的有所不足，提出 Four-Components Instructional Design (4C/ID) model 來解決問題。



溝通性(Communication)及同步性(Synchronization)

教師、學生及畫面是教學的三個主要元素，教師控制畫面上視覺訊息的呈現，同時運用口語引導、解釋；學習者則同時接受兩種訊息，在完成選取與組織之後才可以開始進行思維，如此的動作，在學習的過程重複的運作，如何降低外在認知負荷，把注於整合式學者們提出了許多的理論與方法。本研究綜合認知負荷及多媒體學習認知理論各項效應及原則，我們以溝通性、同步性概括。溝通性就是在引導、講解、問題、討論、閱讀及思考的過程，可以很容易的在畫面上找到相關的訊息，屬空間因素。同步性就是學習者有足夠的時間處理教師所傳遞的訊息，能感受訊息，進行思考，屬時間因素。

Mayer 在多媒體學習認知理論裡將連貫原則 (Coherence Principle)、信號原則 (Signaling Principle)、累贅原則 (Redundancy Principle)、空間接近原則 (Spatial Contiguity Principle)、時間接近原則 (Temporal Contiguity Principle) 等歸納為外在處理 (Extraneous processing)，這些原則的目的不外乎建立訊息之間的關聯，減少建立訊息間關聯所需的負荷；Sweller 在認知負荷理論中也以外在認知負荷 (Extraneous cognitive load) 來闡述教材設計教材呈現的方式不同，造成不同程度的負荷，藉由資料的呈現與組織，可以控制外在認知負荷；相關的有 Split Attention Effect、Redundancy Effect，相關的有 Expertise Reversal Effect、Guidance Fading Effect、Isolated-interacting Elements Effect 等；綜合這兩家理論，為簡單陳述，我將這些影響眼睛搜尋，以致於影響注意力的問題用溝通性來概括。

激發式動態呈現

多媒體環境往往提供了大量且過動的訊息，由於人類有限的工作記憶、有限的通道，以至於在選取與組織時耗用了過多的認知資源，降低了學習的有效性。怎樣的環境才能適時、適量的掌握相關訊息 (relevant information) 的呈現？我們發展了激發式動態呈現 (Trigger-based Animation, TA) 來解決問題，其定義及特性如下：

1. 運用一個物件當激發器 (trigger) 控制一連串的出現、突顯、消失及動畫，
2. 一個訊息(元素)可以被一個以上的觸發器控制；
3. 訊息(元素)可以由展演者以預定的、或隨意的順序及速度呈現。

由上面的敘述可以知道，激發式動態呈現可以掌握訊息傳遞的順序，突顯主要訊息、弱化不必要的訊息，建立訊息之間的關係，避免主動處理可能耗用的資源及無效的組合。也就是激發式動態呈現可以用來適時掌握相關訊息(relevant information)的呈現，如 4C/ID 中所提教學過程的即時訊息。在此基礎上，結合適性指標，可以用來提升訊息之感受強度，突現訊息、建立訊息之間的關聯。

林煜庭(2009)從視覺認知科學(visual cognition theory)、認知神經科學(cognitive neuroscience)及資訊視覺化(information visualization)等領域找尋眾多支持適性指標有效性之相關理論，並從中歸納出適性指標具有形狀(form)、顏色(color)、深度(depth)及運動(motion)等方面的視覺特徵。這些特徵使得適性指標得以不須被學習或練習，就能在前注意力處理歷程以自動化的方式運作，幾乎不需耗費注意力資源，吸引學習者的注意力至關鍵的教學訊息上，使之夠得到更多的資源來進行更進一步的認知處理，進而產生學習。適性指標與信號原則(signaling principle)不同之處在於適性指標具有運動特徵的效果，尤其是突然出現的新物件以及突然發生的新運動。上述兩個運動特徵已經被證實是由刺激物引發並且是以由下而上的方式吸引注意力。

廖子慧、陳明璋(2010)進一步利用眼動追蹤系統為工具，以質性研究方式探究適性指標在學習過程上的作用，結果顯示適性指標對於學習者眼球運動的導引確實有一定的作用，其能吸引學習者的視線、幫助學習者對重要訊息的聚焦；而在需要同時比對多個訊息以發現關聯時，適性指標能幫助學習者對訊息的定位。李鈴茹(2009)同樣以眼動追蹤系統為工具，探究適性指標加上口語化解說教學設計的作用。結果顯示，學習者能夠跟從視覺和聽覺的引導，在適性指標區得到較多的注意和處理，證實適性指標具有「引導注意力」的作用，其有助於減少視覺搜尋、提升學習過程的記憶表現、減低認知的負荷，並提升學習的瞭解程度。在口語解說方面，由於一般的解說方式，學習者會耗費較多的時間和資源於處理編碼和搜尋編碼所代表的物件，可能造成工作記憶處理超過負荷及注意力的分散，若是以口語化的解說方式，則有助於減少編碼的負面作用。此外，李鈴茹亦指出，視覺的引導(適性指標)對於眼球移動的作用，比聽覺引導(解說方式)的影響要大得多，因此教材設計者需格外重視視覺設計的呈現狀況；尤其重要的是不同表徵間的眼動的速度、停留的時間是相互影響的。

認知負荷理論的學者 Sweller(2010)分離元素相互作用效應(isolated-interactive elements effect)的概念將具高度關係的(high element interactivity)的教材，所產生的過量的認知負荷降低；而媒體學習認知理論者 Mayer(2001)提出分段原則(segmenting principle)來分隔連續呈現的媒體訊息。前者以比較抽象的概念，來闡述元素之間的交互關係，比較能夠適用於不同的媒體呈現；而 4C/ID 也強調小單位且及時訊息有助於學習。不過認知負荷理論學者發現(Kalyuga, 1998, 2003)若教材過度的分割處理往往會發生專家反效(Expertise reversal effect)，其中的原因之一是切割過細對具備高度專技能的學生而言會產生冗餘效應(Redundant Effect)。

過去學者所指的元素交互作用(elements interactivity)是知識的元素(element)；本研究認為元素交互作用需要兼顧知識結構、視覺化、及展演，因此提出 SBS 概念。所謂 SBS 就是步驟化(Stepwise)、區塊化(Block)及結構化(Structure)；在數位教材設過程，為詳細的掌握訊息傳遞過程元素的交互作用，運用 AMA 系統所研發的一套激發式動態教材設計與展演的的方法；教材的設計，剛開始以頁為單位，每頁一步驟，每頁註記每頁的教學目標、教師口語及時機、需要的操作以及學生可能的反應；此一階段所設計的教

材可以用來詳細的評析教學設計，提供教師教學指引，和教學成效的後設分析；第二階段為區塊化，衡量教學的對象或教學的目的，運用激發式動態呈現將相關的步驟匯集成一頁是為區塊化，區塊有其區域的個別性，區塊中訊息之間的交互作用必須是清楚明確；區塊中的訊息呈現可以採用循序的或適性的，端看訊息的特性及教學當下的狀況；最後再將區塊間交互作用以結構的方式建立關聯，如此教學的過程方能掌握訊息在不同層次的交互作用。教學過程我們運用 凸顯、指標、層次化、定位、關聯、輔助、對照、及按鈕等來強化或降低必要訊息在視覺上的刺激，提升溝通性；運用概括性、累積性、重整性、關前顧後、互動性、引導性及探索性等來提升同步性。

度量認知負荷

認知負荷理論以元素交互作用(element interactivity) 來描述訊息元素間的關係；其關係有個別元素間的微觀關係、個別元素結合而成的區域關係、由區域關係結合而成的結構關係；學習時，由於工作記憶的限制、及通道之不足以及學習者的特質，元素(elements)之間的交互(interactivity)產生認知負荷。認知負荷被認為是多維度的，度量上相當的困難(Paas, 1992)，度量認知負荷的方式有 Rating scale techniques, Physiological techniques 和 Task-and performance-based techniques；Rating scale techniques 是一種主觀度量 (subjective measurement)，學習者度量自我感受(self-report)。Paas(1992)是使用此一技術來度量 mental load 及 mental effort，其他度量的指標有 motivation、difficulty、confidence, etc.;由於認知負荷分為內在認知負荷、外在認知負荷、和增生認知負荷；主觀度量被認為只能度量整體的負荷(Paas, Renkle, & Sweller, 2003)，無法分別度量個別的負荷。

本計畫擬透過溝通性(Communication)及同步性(Synchronization)度量(外在)認知負荷(extraneous cognitive load)等，探討與 intrinsic cognitive load、germane cognitive load、mental load、mental effect、difficulty、confidence、motivation 及 achievement 相關性等議題。

多元表徵

在數學學習上，表徵是一種數學概念的呈現方式，為表達、溝通的工具，能使學生將數學概念內化，利用表徵所呈現的數學語言來理解數學概念，進而提升為抽象思考層次。Lesh、Post 和 Behr (1987)以數學學習和解題的角度，將表徵系統分為真實情境(real scripts)、具體操作物(manipulative models)、圖像(static pictures)、語言(spoken language)及符號(written symbols)等五種形式。這些表徵方式是心智過程模式化所使用的符號系統，能將內心的概念及運思過程轉為看得見的具體外在表現事物。不同的表徵形式具有其呈現上的特性，而大多的數學概念需透過多重表徵來呈現與連結，因此在教學上僅用單一表徵的學習並不恰當，因為在解題時不同的表徵結構會彼此關聯，單一表徵必須切換到其他表徵上(Noss & Hoyles,1996)。「數學表徵的使用」及「表徵與表徵間的轉換能力」代表學生對數學概念的掌握情形(Lesh et al., 1987)。

主持人在「教材設計與解說方式對於學習表現和眼動影響之研究」的研究發現表徵之間的溝通性會互相影響，實驗中我們運用適性指標改善「幾何圖像區」的訊息呈現，結果由眼動追蹤的資料發現，其他「文字區」與「計算式區」的眼動狀況也跟著大幅的改善，和沒有改善的對照組相比有非常顯著的差異，effect size 達 large，甚至 super large；同時，成就測驗也有相同的效果。這顯示學習過程，溝通性提升表徵間的連結，提升了表徵之間的轉換成效。

肆、研究方法

依據學習者在代數學習上的困難，將代數文字題分成「列式」及「解題」兩個部分來做實驗以驗證「代數教材設計原則」對學習成效及認知負荷的影響，實驗教材在設計原則的運用上僅聚焦於視覺訊息安排的部分。本研究採準實驗研究法探討不同的視覺引導教材對於學生學習成就與認知負荷的影響。研究分為兩個部份：第一部份是二元一次聯立方程式文字題列式，第二部份是代數表徵及圖像表徵，分別陳述如下：

第一部份：二元一次聯立方程式文字題列式

一、 研究對象

本研究的研究對象係依便利抽樣方式，從臺中市某國中一年級中取樣四班，依據上學期三階段數學成就評量測驗分數平均為取樣標準，其中兩班為實驗組($n=62$)，兩班為對照組($n=63$)。利用獨立樣本 t 檢定來考驗兩組上學期階段性評量成績，結果未達顯著，兩組程度可視為相同；另施以前測，以獨立樣本 t 檢定來考驗兩組前測總分，結果未達顯著，同樣兩組程度可視為相同。

二、 實驗設計

實驗之教材為以PowerPoint 2003 簡報軟體及AMA外掛增益集為作業平台進行設計。教材設計方式，如表 1。兩組間除了教材元素在簡報畫面安排的相對位置不同，舉凡內容文字、口語引導、講述時間與滑鼠操作方式等皆屬控制變項，兩組皆相同。

表 1 教材設計比較表

	實驗組	對照組
適性指標	✓	✓
代數教材設計原則	✓	×

本研究工具共分成：前測試卷、學習單、階段學習成就測驗卷及認知負荷量表四大類。前測試卷和階段學習成就測驗卷，除具專家效度，經預試亦獲得良好信度，且難度與鑑別度皆適中。認知負荷量表立基相關認知負荷測量文獻，暨參酌眾研究中所用認知負荷量表，加入多媒體學習理論和認知負荷理論的觀點而擬定。本研究編製之認知負荷量表問卷，如表 2。

表 2 認知負荷量表

感受問題	感受程度							
	非常不同意	不同意	有點不同意	普通	還算同意	同意	非常同意	
1. 在學習之前，我認為「代入消去法」在學習上是容易的...	1	2	3	4	5	6	7	
2. 在學習過程中，我實際上用了很少心力.....	1	2	3	4	5	6	7	
3. 聽完老師講解後，我覺得「代入消去法」的難易度是簡單的	1	2	3	4	5	6	7	
4. 在老師的引導、講解過程中，找到相關訊息是容易的.....	1	2	3	4	5	6	7	
5. 在老師的引導、講解過程中，我有足夠的時間思考.....	1	2	3	4	5	6	7	
6. 在這堂課的學習過程中，我覺得是順暢的.....	1	2	3	4	5	6	7	
7. 這堂課的學習過程中，我覺得沒有壓力.....	1	2	3	4	5	6	7	
8. 上這堂課後我覺得我對學好「代入消去法」有信心.....	1	2	3	4	5	6	7	
9. 這堂課的學習過程中，我覺得有成就感.....	1	2	3	4	5	6	7	
10. 我覺得學習過程中，必須同時處理很多訊息.....	1	2	3	4	5	6	7	

本實驗主要分為代入消去法和加減消去法兩階段進行教學，實驗流程如表 3。

表 3
教學實驗總流程表

階段別	步驟	內容	時間
前置	I	前測	15 分鐘
第一階段	I	課程教材教學（代入消去法）	45 分鐘
	II	階段學習成就轉化測驗（後測）	20 分鐘
	III	認知負荷量表	5 分鐘
第二階段	I	課程教材教學（加減消去法）	45 分鐘
	II	階段學習成就轉化測驗（後測）	30 分鐘
	III	認知負荷量表	5 分鐘

第二部份：解二元一次聯立方程式

一、 研究對象

本研究之研究對象依便利抽樣方式，從研究者任教之新竹市某常態編班國中七年級中取樣四個班級，其中實驗組 3 為研究者原任教班級，因此為求減低新奇效應，研究者於實驗前至其他組別代課三節。四個班級分別以「上學期三次定期評量總成績」及「前測成績」為依據取樣，進行變異數分析(ANOVA)確定(1)整體學生立足點一致，(2)各組未學過學生與各組已學過學生立足點一致，(3)各組不同學習成就之學生立足點一致。

二、 實驗設計

本實驗教材設計範圍為七年級第二學期二元一次聯立方程式文字題列式，以PowerPoint 2003 簡報軟體及AMA外掛增益集為作業平台來設計，在激發式動態呈現的環境下展演，融合適性指標，進行教學。對照組、實驗組 1、實驗組 2 及實驗組 3 設計分別如表 4。

表 4
分組教材設計內容摘要表

	對照組	實驗組 1	實驗組 2	實驗組 3
代數教材設計原則	X	O	X	O
動態圖像表徵	X	X	O	O

- (1) 對照組：以傳統教科書串流式版面配置方式呈現。
- (2) 實驗組 1：依代數教材設計原則來呈現教材內容。
- (3) 實驗組 2：以動態圖像表徵來呈現教材內容。
- (4) 實驗組 3：依代數教材設計原則輔以動態圖像表徵來呈現教材內容。

本研究之實施步驟、實驗內容與時間分配如下表 5。

表 5
教學實驗總流程表

步驟	內容	時間
A	前測	20 分鐘
B	課程教材教學	60 分鐘
C	學習成就測驗（後測）	20 分鐘
D	認知負荷量表問卷	5 分鐘

實驗工具包括實驗教材四組、前測試卷、學習成就測驗(後測試卷)及認知負荷量表。在實驗教材部分除實驗組 2 為自製教材外，其餘皆依據葉子榕(2010)所製作之教材進行修改。在前測及後測試卷部

分，透過雙向細目表以檢核其內容效度；敦請指導教授及三位教學年資 6 至 10 年之數學科教師審閱後提供編修上之建議，並加以修正而成故具有專家效度；經預試後 α 係數值為 .925，表示此份試卷之內部一致性信度非常好；此外亦分析試題難度，除第九題偏難外，其餘各題之難度皆適中，經與指導教授討論後，因為該題題型特殊，較可避免學生以記憶方式作答，故於不影響整體難易度之情形下，仍決定保留該題；分析試題鑑別度，本研究除第九題鑑別度尚可外，其於各題鑑別度皆非常優良，故保留所有題目。在認知負荷量表部分，以李克特氏量表採七點尺度測量（非常不同意—非常同意），量表的編擬乃經由研究室團隊共同討論，進行題目編纂、增減、措辭修改及順序調整等修正，因此具備專家效度。

伍、結果與討論

第一部份

一、綜合學習成就表現及認知負荷

為以簡便之方式統整研究結果於下表 6 中，以下將以「傳」代表「對照組-串流式教材組」、「代」代表「實驗組 1-代數教材設計原則組」、「圖」代表「實驗組 2-圖像組」及「代+圖」代表「實驗組 3-代數教材設計原則輔以動態圖像表徵組」。在後測成績方面，以「 $a > b$ 」表示 a 之後測成績顯著優於 b；在認知負荷方面，以「 $a < b$ 」表示 a 於該面向之負荷量顯著大於 b；空白處則代表各組皆未達顯著。

表 6
階段學習成就及認知負荷研究結果摘要表

階段學習成就研究結果摘要表						
面向	全體	未學過	已學過	低成就	中成就	高成就
後測成績	代+圖>圖	代+圖>圖		代+圖>傳 代+圖>代	代+圖>傳 代+圖>圖	
認知負荷研究結果摘要表						
面向	全體	未學過	已學過	低成就	中成就	高成就
心智負荷			圖<傳 圖<代			圖<傳
心智努力						
困難度	代+圖<代	代+圖<代				
搜尋 相關訊息	代+圖<代 代+圖<圖 代<傳 代<圖	代+圖<圖 傳<圖 代<圖	代+圖<傳 圖<傳 代<傳	代<圖	代+圖<圖 代<圖	
充分時間 思考	代+圖<傳	代+圖<傳		代+圖<代		代+圖<代 代+圖<圖 傳<圖
順暢度						
壓力					代<代+圖	
信心	代+圖<圖	代+圖<圖 傳<圖		代+圖<代 傳<代		代+圖<圖
成就感	代+圖<圖		代+圖<傳			
同時 處理訊息	代<代+圖					

由表 6 研究結果摘要表，可知分別將「串流式教材」、「代數教材設計原則」、「動態圖像表徵」及「代數教材設計原則輔以動態圖像表徵」運用在常態編班之教材設計上，並以適性指標引導學生進行學習：

- (一)對於整體學生的學習成就表現有顯著差異。
- (二)對於未學過學生的學習成就表現有顯著差異。

- (三)對於已學過學生的學習成就表現無顯著差異。
- (四)對於低數學學習成就學生其學習成就表現有顯著差異。
- (五)對於中數學學習成就學生其學習成就表現有顯著差異。
- (六)對於高數學學習成就學生其學習成就表現沒有顯著差異。

二、學習成就表現及認知負荷相關性統整

為以簡便之方式統整研究結果於下表 7 中，以下將以「對」代表「對照組」、「1」代表「實驗組 1」、「2」代表「實驗組 2」、「3」代表「實驗組 3」、藍色「O」代表高度負相關、藍色「△」代表中度負相關、紅色「O」代表高度正相關、紅色「△」代表中度正相關。

表 7

學習成就表現及認知負荷相關性分析表

檢定變項	後測				心智負荷				心智努力				困難度				搜尋相關訊息			
	對	1	2	3	對	1	2	3	對	1	2	3	對	1	2	3	對	1	2	3
心智負荷			△																	
心智努力							△	△												
困難度	○	△		△			△	△			△									
搜尋相關訊息	△	△	△	△			△						△			△				
充分時間思考	△	○				△							△	△		△				
順暢度	△	△	△	△		△	△	△			△		△	△	△	△	△		△	△
壓力	△	△						△				△	△	△		△				△
信心	△	○	△			△	△	△					△	○	△	○			△	△
成就感		△											△			△	△	△		
同時處理訊息	△				△															△

檢定變項	充分時間思考				順暢度				壓力				信心				成就感			
	對	1	2	3	對	1	2	3	對	1	2	3	對	1	2	3	對	1	2	3
心智負荷																				
心智努力																				
困難度																				
搜尋相關訊息																				
充分時間思考																				
順暢度		○	△	△																
壓力	△	△	△	△	△	△	△	△												
信心	△	△		△		△		△		△		△								
成就感	△			△	△	△		△				△		△		△				
同時處理訊息					△		△							△	△					

- (一)「串流式教材組」之學生其學習成就與認知負荷量之間存在相關。

在串流式教材組中學生的後測成績與困難度之認知負荷量成高度負相關，也就是聽完老師講解後，愈感覺本單元是容易的人，其後測成績愈高。

(二)「代數教材設計原則組」之學生其學習成就與認知負荷量之間存在相關。

代數教材設計原則組學生的後測成績與充分時間思考及信心度成高度負相關;「困難度」負荷與「信心度」負荷呈高度正相關;此外,「充分時間思考」負荷與「順暢度」呈高度正相關。

(三)「動態圖像表徵組」學生其學習成就與認知負荷量之間存在相關,但未達高度相關。

(四)「代數教材設計原則輔以動態圖像表徵組」之學生其學習成就與認知負荷量之間存在相關。

代數教材設計原則輔以動態圖像表徵組學生的「困難度」負荷與「信心」負荷成高度正相關。

第二部份

學習成就測驗與認知負荷量的獨立 t 檢定及分析結果摘要如表 8、表 9、表 10、表 11。

表 8

學習成就測驗成績獨立樣本 t 檢定摘要表

變項	實驗組			對照組			t	p	Cohen's d
	M	SD	n	M	SD	n			
整體 代入消去	15.10	6.41	60	11.63	8.69	59	2.48	.015*	0.48
整體 加減消去	24.25	8.33	61	20.40	11.61	62	2.11	.037*	0.38
未學過 代入消去	12.56	7.50	27	07.85	08.65	26	2.12	.039*	0.58
未學過 加減消去	21.11	9.69	28	13.41	11.62	29	2.71	.009**	0.72
已學過 代入消去	17.16	4.55	32	14.61	07.59	33	1.65	.105	0.42
已學過 加減消去	27.19	5.78	32	26.55	7.45	33	0.39	.700	0.10
高成就 代入消去	19.27	1.28	15	16.47	06.59	19	1.81	.086	0.59
高成就 加減消去	29.47	0.99	15	29.11	02.49	18	0.52	.608	0.19
中成就 代入消去	15.53	6.18	32	14.70	06.78	23	0.48	.637	0.13
中成就 加減消去	24.27	8.12	33	24.50	09.10	24	-0.10	.921	-0.03
低成就 代入消去	09.23	6.47	13	02.06	04.78	17	3.50	.002**	1.26
低成就 加減消去	18.15	9.76	13	07.65	07.92	20	3.40	.002**	1.18

* $p < .05$. ** $p < .01$.

學習成就部份,以整體看來,實驗組優於對照組且達顯著差異,為此可說明代數教材設計原則是適合常態編班教學,能顧及全體學生的。如以是否學過分群,未學過之學生實驗組優於對照組,並達顯著差異,代表對於未學過之學生,代數教材設計原則使得學習者產生較好的學習。若以學生的學習成就區分析,代數教材設計原則在低成就學生身上產生差異,此項再次印證謝東育(2009)、曾椿惠(2010)和葉子榕(2010)等之研究結論。

表 9

認知負荷獨立樣本 t 檢定摘要表(僅就有顯著差異部份呈現)

變項	實驗組			對照組			t	p
	M	SD	n	M	SD	n		
已學過 代入消去 困難度	1.97	1.18	32	2.73	1.44	33	-2.32	.024*
已學過 代入消去 信心負荷	1.94	1.08	32	2.70	1.76	33	-2.11	.040*
已學過 加減消去 困難度	2.25	1.30	32	3.09	1.53	33	-2.40	.019*
高成就 代入消去 搜尋相關訊息	1.80	0.68	15	2.53	1.22	19	-2.20	.036*
高成就 加減消去 成就感負荷	2.20	1.21	15	3.21	1.40	19	-2.22	.034*
低成就 代入消去 成就感負荷	3.46	1.45	13	4.59	1.12	17	-2.40	.023*

* $p < .05$. ** $p < .01$.

在認知負荷部份,低先備知識或低學習成就學生幾乎都無顯著差異產生,反倒是高先備知識和高學習成就的學生在部份面向產生了顯著差異,推測如學習者已具備先備知識或有較好的組織理解能力,當訊息呈現時,學習者會主動去處理感官所獲取的訊息,且與先備知識匹配、組織與整合而重新

建立基模，其間產生了顯著差異，代表實驗組在接受運用代數教材設計原則的視覺引導教材後，更能掌握消去法的概念與運算過程，進而降低負荷。因此研究者認為代數教材設計原則的確能達到管理教材本質，減低教材的內在認知負荷。

表 10

學習成就分析結果摘要表

研究假設	結論
假設 1-1：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於整體學生的學習成就表現有顯著差異。	1. 有顯著差異，實驗組表現優於對照組。
假設 1-2：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於未學過或已學過學生的學習成就表現有顯著差異。	1. 未學過學生有顯著差異，實驗組表現優於對照組。 2. 已學過學生無顯著差異
假設 1-3：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於不同學習成就學生的學習成就表現有顯著差異。	1. 高成就學生無顯著差異 2. 中成就學生無顯著差異 3. 低成就學生有顯著差異，實驗組表現優於對照組。

表 11

認知負荷量分析結果摘要表

研究假設	結論
假設 2-1：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於整體學生的認知負荷有顯著差異。	1. 無顯著差異
假設 2-2：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於未學過學生或已學過學生的認知負荷有顯著差異。	1. 未學過學生無顯著差異 2. 已學過學生部分有顯著差異 代入消去：困難度、信心 加減消去：困難度
假設 2-3：以不同的視覺引導教學設計於示例教學上，對於不同學習成就學生的認知負荷有顯著差異。	1. 高成就學生部分有顯著差異 2. 中成就學生無顯著差異 3. 低成就學生部分有顯著差異

伍、結論

第一部份：

結果顯示分別將「串流式教材」、「代數教材設計原則」、「動態圖像表徵」及「代數教材設計原則輔以動態圖像表徵」運用在常態編班之教材設計上，並以適性指標引導學生進行學習：

實驗結果：(1)將結合代數教材設計原則及動態圖像之教學設計教材運用於常態編班中整體學生、未學過之學生及中學習成就、低學習成就學生之教學，能有效提升其學習成效，並降低認知負荷；(2)代數教材設計原則能降低學生在搜尋相關訊息之認知負荷；(3)動態圖像表徵有助於低學習成就學生理解題意，進而正確的將文字表徵轉化為代數表徵；(4)將僅有動態圖像表徵而未具代數教材設計原則之教材設計運用於常態編班中整體學生、未學過學生及中學習成就、高學習成就學生之教學，其學習成效表現不佳且認知負荷較高；(5)在實驗教材中皆未產生專業知識反轉效應。

第二部份：

不同的視覺引導教材設計於示例教學上，對學生學習成就表現與認知負荷差異的影響。實驗結果分析得到：1.不同的視覺引導教材設計於示例教學上，對於低先備知識學生（未學過學生）的學習成就有顯著的差異。融合代數教材設計原則的視覺引導教材設計，有助於低先備知識學生的學習成就表現。2.不同的視覺引導教材設計於示例教學上，對於低學習成就學生的學習成就有顯著的差異。融合代數教材設計原則的視覺引導教材設計於示例教學上，有助於低學習成就學生的學習成就表現。3.不同的視覺引導教材設計於示例教學上，對於高先備知識學生（已學過學生）的困難度認知負荷有顯著的差

異。視覺引導教材皆能降低高先備知識學生的困難度認知負荷，而融合代數教材設計原則的教材，能降低更多。

本計畫發現視覺搜尋在代數解聯立方程式(單一表徵)及代數列式(多元表徵)教學設計及展演過程，能對表徵之間的轉換(Conversion) 及處理(treatment)有很大的影響。具備溝通性及同步性的數位教材及展演，教學元素的連結有視覺連結上的協助，能引導學習者對於訊息的選取、組織及整合，協助學習者因應個人的理解需求，降低在選取及組織訊息上不必要的資源消耗，省下更多的資源投入在高階的認知處理上，有效地增進學習。

參考文獻

- Ayres, P. (2006). Impact of Reducing Intrinsic Cognitive Load on Learning in Mathematical Domain. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 287-298.
- Burnken, R., Plass, J. L., & Leutner, D.(2003). Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 53-61.
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2003). *E-Learning and the science of instruction: proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning*. San Francisco, CA: Jossey-Bass/Pfeiffer.
- DeLeeuw, K. E., & Mayer, R. E. (2008). A comparison of three measures of cognitive load: Evidence for separable measures of intrinsic, extraneous, and germane load. *Journal of Educational Psychology*, 100(1), 223-234.
- Duval, R. (1995). *Geometrical pictures: kinds of representation and specific processing*. In R. Sutherland & J. Mason (Eds.), *Exploiting Mental Imagery with computers in Mathematics Education* (pp.142-127). Berlin, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Duval, R. (1998). *Geometry from a cognitive Point of View*. In C. Mammana & V. Villani (Eds.), *Perspectives on the Teaching of Geometry for the 21st Century* (pp.37-52). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Kalyuga, S., Chandler, P. and Sweller, J. (1998). Levels of expertise and instructional design. *Human Factors*, 40, 1-17.
- Kalyuga, S., Chandler, P. and Sweller, J. (2003). The Expertise Reversal Effect, *Educational Psychologist*, 38(1), 23-31
- Lesh, R., Post, T., & Behr, M. (1987). Representations and translations among representations in mathematics learning and problem solving. In C. Janvier (Ed.), *Problems of representation in the teaching and learning of mathematics* (pp. 33-40). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning*. New York: Cambridge University Press. 2ed.
- Muter, P. & Maurutto, P. (1991). Reading and Skimming from computer screen and books: the paperless office revisited. *Behaviour and Information Technology*, 10, 257-266.
- Noss, R., & Hoyles, C. (1996). *Windows on mathematics meanings: learning cultures and computers*. Netherlands: Kluwer Academic.
- Paas, F. (1992). Training strategies for attaining of problem-solving skill in statistics: A cognitive load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 429-434.
- Paas, F., & Van Merriënboer, J. J. G. (1994). Variability of Worked Examples and Transfer of Geometrical Problem-Solving Skills: A Cognitive-Load Approach. *Journal of Educational Psychology*, 86(1), 122.

- Paas, F., Renkle, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1-4.
- Roland Brunken, Jan L. Plass, Detlev Leutner, (2003) Direct Measurement of Cognitive Load in Multimedia Learning, *Educational Psychologist*, Vol. 38, No. 1. (2003), pp. 53-61.
- Roland Brunken, Jan L. Plass, Detlev Leutner, (2003) Direct Measurement of Cognitive Load in Multimedia Learning, *Educational Psychologist*, Vol. 38, No. 1. (2003), pp. 53-61.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty and instructional design. *Learning and Instruction*, 4, 295-312.
- Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. In Ross, B. (ed.), *The Psychology of Learning and Motivation*, 43, 215–266.
- Sweller, J. (2009). *Element interactivity as the basic mechanism of intrinsic, extraneous and germane cognitive load*. Paper presented at the 3rd International Cognitive Load Theory Conference, Heerlen, the Netherlands.
- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22, 123-138.
- Sweller, J., & Sweller, S. (2006). Natural information processing systems. *Evolutionary Psychology*, 4, 434–458.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
- Van Hiele, P. M. (1986). *Structure and insight: A theory of mathematics education*. Orlando, FL: Academic Press.
- Van Merriënboer, J. J. G., & Kirschner, P. A. (2007). *Ten Steps to Complex Learning*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Wierwille, W.W. and Eggemeier, T.F. (1993). Recommendations for mental workload measurement in a test and evaluation environment, *Human Factors*, 35(2), 263-281.
- 吳帝瑩、陳明璋(2009)。激發式動態呈現教學設計之研究-以一個排列組合問題為例。第一屆科技與數學教育學術研討會，464-477。
- 李鈴茹(2009)。教材設計與解說方式對於學習表現和眼動影響之初探-以三角形內角題目為例。國立交通大學理學院碩士在職專班網路學習學程碩士論文。
- 林煜庭(2009)。適性指標：多媒體學習中一種基於視覺認知理論的引導方式。
- 洪榮忠、陳明璋、袁媛(2009)。激發式動態教學設計之教學成效研究。教學科技與媒體，88，34-50。
- 張祐誠、陳明璋、吳慧敏 (2009)。激發式動態呈現的教學設計之研究：教師偏好與學生學習成效。第一屆科技與數學教育學術研討會，437-449。
- 陳明璋(2008)。一個以授課為導向之數位教材設計及展演環境—Activate Mind Attention (AMA)系統。國民教育月刊。
- 曾妙玲、陳明璋(2007)。激發式動態呈現教學設計之研究—觸發模式有/無字幕之比較—以尺規作圖為例。GCCCE 2009，第十三屆全球華人計算機教育應用大會，台灣師範大學。
- 廖子慧、陳明璋(2010)。激發式動態教材設計中適性指標對眼球運動之影響。GCCCE 2010，第十四屆全球華人計算機教育應用大會，新加坡南洋理工大學。
- 謝東育(2010)。激發式動態呈現教學設計之研究—以代數為例。國立交通大學理學院碩士在職專班網路學習學程碩士論文。

- 葉子榕(2010)。激發式動態教學對學習成效與認知負荷影響之研究-以二元一次聯立方程式的應用問題為例。國立交通大學理學院碩士在職專班網路學習學程碩士論文。
- 曾椿惠(2010)。一元一次方程式應用題列式注意力引導在激發式動態教學之研究-以一元一次方程式應用題列為例。國立交通大學理學院碩士在職專班網路學習學程碩士論文。
- 左台益、呂鳳琳、曾世綺、吳慧敏、陳明璋、譚寧君(2011)，以分段方式降低任務複雜度對專家與生手閱讀幾何證明的影響。教育心理學報，2011，43 卷，閱讀專刊，291-314。(TSSCI)
- 曾椿惠，陳明璋(2011)。激發式動態呈現對學習成效與認知負荷影響之研究—以一元一次方程式應用題列式為例。第三屆科技與數學教育學術研討會論文集，P515~P523，4/ 13~4/ 14, 2011，台中教育大學。
- 吳嘉惠(2011)。視覺引導在代數教材設計之探討—以解二元一次聯立方程式為例。國立交通大學理學院碩士在職專班網路學習學程碩士論文。
- 廖真瑜(2011)。多元表徵應用於二元一次聯立方程式文字題列式教學之研究。國立交通大學理學院碩士在職專班網路學習學程碩士論文。

出席國際學術會議心得報告

日期：100 年 12 月 30 日

計畫編號	NSC 99-2511-S-009-008 22-23 November 2010，25 November 2010		
計畫名稱	代數數位內容之激發式動態表徵及展演原則之研究		
出國人員姓名	陳明璋	服務機構及職稱	國立交通大學通識教育中心
會議時間	99 年 11 月 22 日 至 99 年 11 月 25 日	會議地點	香港、澳門
會議名稱	(中文) 2010 第四屆認知負荷研討會 (英文) The 4th International Cognitive Load Theory Conference 2010		
發表論文題目	(中文)教材設計與解說方式對於學習表現和眼動影響之初探-以三角形內角題目為例 (英文) A Study on Effects of Instructional Material Designs and Explaining Ways on Learning Performances and Eye Movements - A Case Study based on the Angle Problems of Triangles		

一、參加會議經過

計畫執行期間參加由台師大數學系左台益教授參與國科會計畫所成立之認知負荷 (Cognitive Load Theory) 讀書會，共同撰寫論文，因此一起前往參加與認知負荷最相關之研討會；會議第一、二天在香港教育學院舉行，第一天左教授等一起經營 symposium，第三天轉到澳門，本人第四天在澳門大學論為發表，論文報告之後，發問踴躍，比別人多好幾個，包括認知負荷理論大師 John Sweller；在會議休息時間，Sweller 過來找我，說我們的研究做得很好，也報告很好；這給我們很大的鼓勵。幾年來的努力，終於有了小小步。

二、與會心得

這次的會議，剛好有一位研究者用同樣的幾何問題探討認知負荷與學習成效之關係；而他們所呈現的數位教材，剛好是我們要改進的不良模式，而他們的報告安排在我們之後，所以就被幾位大老級學者提出糾正。研討會會議期間聽各方學者演講，發現由於他們欠缺一個可以掌握認知負荷的環境，報告的內容顯現學術的研究對於注意力用於

選取組織的不當消耗這一方面的主題，著墨不多，而這一個區塊我們的研究及實務是比較領先的。

今年大會發表的論文數量和往年差不多，但應用領域與層次比較多元，同時有比較多不同國家學者參與。連續參加三次認知負荷研討會，觀察別人的研究，反顧自己的研究，讓我對於 AMA + PowerPoint 這一個數位教材設計與展演的環境，越來越有信心。可惜能投入學術論文發表的能量不足。

三、考察參觀活動(無是項活動者略)

無

四、建議

對於 AMA + PowerPoint 這一個數位教材設計與展演的環境，越來越有信心。可惜投入學術論文發表的能量不足，未來在這一方面應該有更多的投入，否則以目前已經曝光的情形之下，相信國外會有更多的人投入，很快地就失去先機。

五、攜回資料名稱及內容

研討會摘要。

六、其他

無

發表之論文名稱：

A Study on Effects of Instructional Material Designs and Explaining Ways on Learning Performances and Eye Movements - A Case Study based on the Angle Problems of Triangles

Abstract:

When using multimedia in the classroom instructions, the presentation of teaching materials and the teacher's ways of explanation are important factors in learning process. Traditional learning tests can just assess the outcomes after whole teaching process finished. However, Eye-tracker can be used to record the learner's eye movements within the learning process, and hence, whether the learners can notice the target quickly, and the patterns of the point of gaze can be judged. To make use of these, we can examine the effects on visual searching and attention guiding.

This study is based on the subject of triangular angle in geometry class in junior high schools. Three sets of instructional groups are arranged: no adaptive pointer without oral elaboration (group 1), adaptive pointer without oral elaboration (group 2), and adaptive pointer with oral elaboration (group 3), respectively. Participants were seventh grade students (N=28) whose eye movements were measured as viewing the instructional material. Following the instructions, a retention test was used to assess their learning performance. Analysis indicated that instruction with adaptive pointer (group 2, N=10) showing better effects on retention performance, visual searching and attention guiding as well. The results of the situation of adaptive pointer with oral elaboration (group 3, N=9) was similar to group 2, and it could reduce the number of fixations on letter labels in diagrams.

The 4th International Cognitive Load Theory Conference 2010

Program

Venue: The Hong Kong Institute of Education

Date: 22 November 2010 (Monday)

Time	Location	Event	Detail
8:45~9:30		Registration	
9:30~9:45		Opening ceremony	Welcome by Professor Kerry J Kennedy Associate Vice-President (Quality Assurance) Dean, Faculty of Education Studies Chair Professor of Curriculum Studies The Hong Kong Institute of Education
9:45~10:45		Keynote	Prof. Anders Ericsson
10:45~11:00		Break	
11:00~11:20		<u>Theme 1:</u> Worked Examples	<i>Effects of worked examples as a feedback mechanism in mathematics learning</i> Elisapesi Fehoko Manson
11:20~11:40			<i>Effects of online questioning worked example on students' reading comprehension, question quality and cognitive load</i> Huei-min Wu, Ya-ling Lin and Shyh-Chii Tzeng
11:40~12:00			<i>The effect of worked examples when learning English Literature</i> Sun A Kyun
12:00~13:00		Lunch	
13:00~13:20		<u>Theme 2:</u> Mathematical cognition and instruction	<i>Forms and formats of deliberate practice in a high school geometry context</i> Mariya Pachman, John Sweller and Slava Kalyuga
13:20~13:40			<i>Disentangling the effects of maths and test anxiety on arithmetic performance</i> Joey Tang

13:40~14:00			<i>Differences in the modality effect, working memory, and mathematical problem-solving performance after integrating the modality principle and varying levels of task complexity</i> Kristina Mattis
14:00~14:20			<i>Productive failure and students' use of geometric knowledge</i> Sharon Tindall-Ford and Mohan Chinnappan
14:20~14:35	Coffee		
14:35~14:55		<u>Theme 3:</u> Cognitive and language	<i>Using pinyin in learning Chinese language: a cognitive load perspective</i> Chee Lee and Slava Kalyuga
14:55~15:15			<i>Selection and integration help for text-picture comprehension: can less be sometimes more?</i> Simone Herrlinger, Ferdinand Stebner, Maria Opfermann, Annett Schwamborn and Detlev Leutner
15:15~15:35			<i>Chinese children's causal knowledge and text comprehension.</i> Yin-kum Law, Chee Ha Lee and Slava Kalyuga
15:35~15:55			<i>The effect of accent variability on comprehension of foreign-accented English: a cognitive load theory approach</i> Yuan Gao, Renae Low, John Sweller and Putai Jin
15:55~16:10	Coffee		
16:10~16:30		<u>Theme 4:</u> Multimedia learning	<i>Emotional design and cognitive load in multimedia learning</i> Jan L. Plass, Eunjoon Um and Bruce D. Homer
16:30~16:50			<i>The perceptual load of multimedia learning</i> Krista DeLeeuw
16:50~17:10			<i>Fading of representations in multimedia learning: can it really prevent overload?</i> Maria Opfermann, Katharina Scheiter and Peter Gerjets
17:10~17:30			<i>Environmental support hypothesis in designing multimedia training for older adults: is less always more?</i> Mariya Pachman and Fengfeng Ke

17:30~17:50			<i>Managing redundancy effects in mobile technology assisted learning in the physical environments</i> Yi-Chun Lin, Tzu-Chien Liu, Chen-Yi Wang and Yun-Ching Tsai
-------------	--	--	--

Venue: The Hong Kong Institute of Education

Date: 23 November 2010 (Tuesday)

Time	Location	Event	Detail
8:45~9:15			Registration
9:15~10:15		Symposium	Segmentation: Examining its effects on the learning of a complex task 1. Learning Geometry Proof: Will segmentation affect experts and novices differently? 2. Comprehending geometry proof via segmentation: will eighth graders learn differently? 3. The effects of segmentation, structural overview, and practice on comprehending geometry proof Tai-Yih Tso, Feng-Lin Lu, Shyh-Chii Tzeng, Huei-Min Wu, Ming-Jang Chen, & Ning-Chun Tan
10:15~10:30			Coffee
10:30~10:50		<u>Theme 5:</u> Application of Cognitive Load Theory	<i>Managing cognitive load within split attention learning environments</i> Kylie Roodenrys, Shirley Agostinho, Steve Roodenrys and Paul Chandler
10:50~11:10			<i>Scratchpad usage as a automatic index for cognitive load fluctuations</i> Natalie Ruiz
11:10~11:30			<i>On the role of different aspects of motivation for cognitive load theory</i> Steffi Zander and Roland Brunken
11:30~11:50			<i>A cognitive load perspective on self-regulated learning</i> Tamara van Gog, Danny Kostons, Martine Baars and Fred Paas

11:50~13:00		Lunch	
13:00~13:20		<u>Theme 5:</u> Application of Cognitive Load Theory	<i>Cognitive load in simultaneous timing</i> Florian Klapproth
13:20~13:40			<i>The relationship between reading purpose and presentation format for optimized cognitive load</i> Lim Taehyeong
13:40~14:00			<i>A study on cognitive load variation in a series collaborative learning with individual tasks</i> Liming Zhang, Lei Cheok Pong, Ngaihong Chan and Paul Ayres
14:00~14:20			<i>The notion of cognitive load theory in complex assistive technology design</i> Gahangir Hossain
14:20~14:35		Coffee	
14:35~14:55		<u>Theme 6:</u> Cognitive Processes	<i>Evidence for a teachable/learnable general problem solving strategy</i> Amina Youssef, Paul Ayres and John Sweller
14:55~15:15			<i>Chronic pain: the dual-task, split-source paradigm and the influence of instructional design on attention and working memory resources</i> Angela Smith
15:15~15:35			<i>How to measure cognitive load in working memory while learning? An experimental dual-task study of continuous secondary tasks with internalized cues</i> Babette Park and Roland Brunken
15:35~15:55			<i>Instructional strategies for working memory capacity management</i> Fred Paas, John Sweller and Femke Kirschner
15:55~16:10		Break	
16:10~17:00		Poster session	
17:00~17:20		<u>Theme 7:</u> New direction of Cognitive Load Theory	<i>Reducing intrinsic cognitive load: a review of methods to reduce problem complexity</i> Paul Ayres

17:20~17:40			<i>And I still haven't found what I'm looking for? cognitive load theory revisited</i> Peter Gerjets and Katharina Scheiter
17:40~18:00			<i>Future research directions for learner-managed cognitive load</i> Shirley Agostinho and Kylie Roodenrys

Date: 24 November 2010 (Wednesday)

➤ **Free time for travelling in Hong Kong and Macau**

Venue: The University of Macau

Date: 25 November 2010 (Thursday)

Time	Location	Event	Detail
8:45~9:30			Registration
9:30~9:45		Opening ceremony	Welcome by The University of Macau
9:45~10:45		Keynote	Prof. Rolf Zwaan
10:45~11:00			Break
11:00~11:20		<u>Theme 8:</u> Learner-adapted instruction	<i>Pictorial illustrations in intelligent tutoring systems: distraction or productive elicitation of interest?</i> Alexander Renkl, Ulrike Magner, Rolf Schwonke, Vincent Alevén and Octav Popescu
11:20~11:40			<i>The relationships between instructional approach, cognitive load, and help seeking in learning from intelligent tutoring systems</i> Alexander Renkl and Rolf Schwonke
11:40~12:00			Effects of instructional format on individual and collaborative learning efficiency: solving conventional problems versus studying worked examples Femke Kirschner, Fred Paas and Paul A. Kirschner
12:00~12:20			<i>The negative effect of guidance on learning based on primary knowledge</i>

			Franck Tanguy, Jean-Noel Foulin and Andre Tricot
12:20~13:15			Lunch
13:15~13:35		<u>Theme 8:</u> Learner-adapted instruction	<i>The effect of length of auditory instructions on the modality effect: the transitory information effect</i> Wayne Leahy and John Sweller
13:35~13:55			<i>Instruction to gesture and its impact on learning: a cognitive load perspective</i> Lucy Macken and Paul Ginns
13:55~14:15			<i>It all depends on the text: the differential impact of metacognitive instruction on cognitive load</i> Maria Opfermann, Annett Schwamborn and Detlev Leutner
14:15~14:35			<i>A study on effects of instructional material designs and explaining ways on learning performances and eye movements- a case study based on the angle problems of triangles</i> Ling-Ju Li, Mingjang Chen and Chen-Chao Tao
14:35~14:50			Break
14:50~15:10		<u>Theme 8:</u> Learner-adapted instruction	<i>Multi-level Meta-analysis of the personalization principle</i> Paul Ginns, Andrew Martin and Herb Marsh
15:10~15:30			<i>Effect of guidance on learning geometry problem solving</i> Sahar Bokosmaty
15:30~15:50			<i>The expertise reversal effect in prompting focused processing of instructional explanations</i> Julian Roelle and Kirsten Berthold
15:50~16:00			Break
16:00~16:20		<u>Theme 9:</u> Assessment	<i>When to measure cognitive load during learner-generated drawing: online measurement versus overall measurement</i> Annett Schwamborn, Hubertina Thillmann, Maria Opfermann and Detlev Leutner
16:20~16:40			<i>A three way interaction analysis of task complexity in learning measured with use</i>

			<i>of a secondary task and self-reported cognitive load</i> Paul Blayney
16:40~17:00			Rapid dynamic assessment of algebra word problems Mohan Chinnappan and Paul Chandler
17:00~17:15	Break		
17:15~17:35		<u>Theme 9:</u> Assessment	<i>Sensitivity of the cognitive load measures on different task levels</i> Jeeheon Ryu and Minjeong Kim
17:35~17:55			<i>Does learning sequence of different task difficulties matter on subjective cognitive load measures?</i> Jeeheon Ryu and Minjeong Kim
17:55~18:15			Updating cognitive load measurement Hsin I Yung
18:15~18:35		<u>Theme 10:</u> Cognition and Animation	<i>The effects of animation on learning for human movement versus non-human movement based tasks</i> Anna Wong, Nadine Marcus and John Sweller
18:35~18:55			<i>The scrollbar and user-control of animations: some preliminary studies</i> George Hatsidimitris
19:00	Dinner		

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2012/02/13

國科會補助計畫	計畫名稱: 代數數位內容之激發式動態表徵及展演原則之研究
	計畫主持人: 陳明璋
	計畫編號: 99-2511-S-009-008- 學門領域: 數學教育-科學教育理論-數學
無研發成果推廣資料	

99 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：陳明璋		計畫編號：99-2511-S-009-008-					
計畫名稱：代數數位內容之激發式動態表徵及展演原則之研究							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	1	2	20%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	4	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	1	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	4	2	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
博士後研究員		0	0	100%			
專任助理		1	0	100%			
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	3	0	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
博士後研究員		0	0	100%			
專任助理		0	0	100%			

其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)	協助舉辦 2011 認知與數位較學及診斷研討會 擔任 執行籌備委員 帶領 AMA 工作團隊協助
--	--

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	2	提升 AMA PowerPoint 2003 版 開發 AMA PowerPoint 2010 版
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	5	<p>(4) AMA 工作坊 長期培養高國中小種子教師</p> <p>為培養種子教師，多年來，我們在學期中週三下午在通識教育中心舉辦 AMA 種子教師工作坊；今年更進一步的將工作坊分為四區，新北市區、台北市區、桃源區及新竹區；除每月第二週在新竹之外，其他各週分別在各區的種子教師在職的學校輪流聚會分享教材。為方便種子教師調課及請假外出，我們透過學校系統發函各縣市政府教育局(處)。目前種子教師約有五十人左右。近年來通識教育中心在經費上或空間上給予 AMA 工作坊許多的支持。</p> <p>(5) 舉辦高國中小學教師 AMA 研習現 2008~2011 與 國家教育研究院合作舉辦 AMA 數位教材設計教師研習班之十六個班次，每一班次約 50 人。</p> <p>現其他 AMA 工作室承辦研習活動或演講，主題圍繞在激發式動態教學以及結構式複製繪圖法所衍生的內容，邀請單位主要是縣市教師輔導團，三年來約三十~四十多場。</p> <p>2011 十月份開始，屏東縣教師公會舉辦 AMA 研習初階兩班、進階一班，共三個班次。</p>

		(6) 兩岸的交流 A. 新疆省教育廳 將與 國立交通大學合作，培訓 AMA 認知與數位教學種子教師、發展數位教材；相關的細節已經陸續洽談中。
電子報、網站	0	AMA.nctu.edu.tw 沒有計算
計畫成果推廣之參與（閱聽）人數	400	與國家教育研究院合作舉辦 AMA 數位教材設計研習班 五梯次

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本計畫發現「視覺搜尋」在代數解聯立方程式(單一表徵)及代數列式(多元表徵)教學設計及展演過程，能對表徵之間的轉換(Conversion) 及處理(treatment)有很大的影響。教學元素的連結有視覺連結上的協助，能引導學習者對於訊息的選取、組織及整合，協助學習者因應個人的理解需求，降低在選取及組織訊息上不必要的資源消耗，挹注在高階的認知處理上，能有效地增進學習、降低認知負荷。

AMA + 「SBS 教材設計與展演的原則」提供有效開發數位教材、評析教材的環境；「溝通性」及「同步性」簡單易懂，可以用來當作評估數位教材設計與展演的綜合指標。AMA 提供一個簡單易學的數位內容設計及展演的環境，使得訊息的切割、組合與掌握更為容易，數位教材的設計成本大幅降低，因此在教學及研究方面我們可以更深刻的理解及實踐認知與數位教學理論，感受數位教材展演過程訊息的傳遞細微之處，有效的評析認知的歷程。

針對不同的知識結構、不同的視覺化、不同的展演技巧以及不同的教學策略，「視覺搜尋與注意力的引導」在數位教材設計與展演方面的研究與應用有必要進一步、更廣泛研究。