

科技部補助專題研究計畫成果報告 期末報告

數學運算能力個人差異的基礎之研究—記憶更新能力對運算能力的影響

計畫類別：個別型計畫
計畫編號：MOST 102-2511-S-004-001-
執行期間：102年08月01日至103年10月31日
執行單位：國立政治大學心理學系

計畫主持人：顏乃欣

計畫參與人員：碩士級-專任助理人員：楊宗翰
碩士班研究生-兼任助理人員：何華府

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：

1. 公開資訊：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢
2. 「本研究」是否已有嚴重損及公共利益之發現：否
3. 「本報告」是否建議提供政府單位施政參考：否

中華民國 104 年 01 月 30 日

中文摘要：個人數學計算能力的優劣，除影響其數學成就外，也會影響未來生涯職場的選擇與收入(Butterworth, 2010；Gross, Hudson, & Price, 2009)。過去研究發現一般性領域能力，如工作記憶中的記憶更新能力，會影響運算能力的表現。本計畫即針對原有記憶更新作業，設計了三種不同內容的記憶更新作業進行施測，以確認是甚麼成分對心算乘法有所幫助。結果顯示，原始記憶更新與空間記憶更新能力，兩者皆對心算乘法有顯著相關，特別是針對越困難的乘法題目。因此，本研究支持工作記憶能力，特別是運算式處理，對個人計算能力扮演了重要角色。

中文關鍵詞：一般性領域能力、計算能力、工作記憶能力、記憶更新能力、心算乘法

英文摘要：The calculating ability of individual not only inserts effects into mathematical attainment, but also influences the career choices and incomes in the future (Butterworth, 2010；Gross et al., 2009). Previous researches found the domain-general ability, e.g. the memory updating ability of working memory, could affect calculating performances. Thus in this study, we modified memory updating task employed in our previous study into three kinds of new memory updating tasks with different content to confirm which component is much more critical to mental multiplication. The results showed significant correlations between both original and spatial memory updating abilities to mental multiplication, especially the more difficult multiplication problems. Our findings supported the working memory capacity, especially the operational processing, plays a critical role in calculating ability.

英文關鍵詞：Calculating ability, domain-general ability, memory updating ability, working memory, mental multiplication

中文摘要

個人數學計算能力的優劣，除影響其數學成就外，也會影響未來生涯職場的選擇與收入(Butterworth, 2010; Gross, Hudson, & Price, 2009)。過去研究發現一般性領域能力，如工作記憶中的記憶更新能力，會影響運算能力的表現。本計畫即針對原有記憶更新作業，設計了三種不同內容的記憶更新作業進行施測，以確認是甚麼成分對心算乘法有所幫助。結果顯示，原始記憶更新與空間記憶更新能力，兩者皆對心算乘法有顯著相關，特別是針對越困難的乘法題目。因此，本研究支持工作記憶能力，特別是運算式處理，對個人計算能力扮演了重要角色。

關鍵詞：一般性領域能力、計算能力、工作記憶能力、記憶更新能力、心算乘法

Abstract

The calculating ability of individual not only inserts effects into mathematical attainment, but also influences the career choices and incomes in the future (Butterworth, 2010; Gross et al., 2009). Previous researches found the domain-general ability, e.g. the memory updating ability of working memory, could affect calculating performances. Thus in this study, we modified memory updating task employed in our previous study into three kinds of new memory updating tasks with different content to confirm which component is much more critical to mental multiplication. The results showed significant correlations between both original and spatial memory updating abilities to mental multiplication, especially the more difficult multiplication problems. Our findings supported the working memory capacity, especially the operational processing, plays a critical role in calculating ability.

Keywords: Calculating ability, domain-general ability, memory updating ability, working memory, mental multiplication

壹、前言與研究目的

在過去，數學家高斯即指出「數學為科學之母」。現今，亦有研究者Sadler and Tai (2007)的研究發現，高中時數學科的學習成就，會全面性地影響大學所有學科的學習表現；但數學以外科目的學習成果，只會影響該科在大學時的學習成效，對於其他科目的影響較小。以上結果說明，「數學」(Mathematics)的確是一切科學研究的基礎；而良好的數學基礎，則建立在個人基本運算能力上(Kruteskii, 1976)。Kruteskii (1976)研究數學資優的兒童個案，利用因素分析法找出影響數學成就的因素，結果發現運算能力是影響數學成就的一個重要因素。美國國家研究院數學學習研究委員會(National Research Council & Mathematics Learning Study Committee, 2001)的研究報告也指出，培養良好的運算能力方能成就良好的數學能力。另外，基本運算能力不只對個人數學成就有影響，也影響了整體生涯職場的選擇與收入。低運算能力不僅對個人造成損失，也對國家整體人力成本造成傷害(Butterworth, 2010; Gross et al., 2009)。Gross et al. (2009)認為在國家教育上必須全面加強學生的基本運算能力，在學習算數的關鍵年紀讓學生精熟計算能力，以避免付出更大的代價。

以上許多國家級的報告與著名學者的研究，都顯示出基本運算能力和數學成就間的必然關係。如果能在教育階段培養良好的基本運算能力，對之後複雜的數學解題能力以及相關科學知識的理解與學習都將有所幫助。有鑒於數學能力和我們日常生活息息相關，本計畫希延續我們在之前研究計畫(國科會計畫之「基本數學運算能力高低者的乘法運算策略選擇與大腦認知負荷之研究」(NSC 99-2511-S-004-001-MY3)內的發現，繼續探討影響數學計算能力的認知成分。過去研究顯示人們學習運算時需要一些基本能力支持，許多研究者正努力地瞭解哪些基本能力是進行數學運算時的必須。有些研究認為工作記憶與執行功能的一般認知能力是必要的；也有研究指出特殊領域能力的重要性，像是處理大數目的概數感(number sense)、群數(numerosity of a set)，以及執行運算時的數字表徵。然而，哪些能力扮演了重要的角色仍持續爭議中(Butterworth, 2010)。在深究一般認知能力(如工作記憶)或特殊領域能力(如概數感)，與數學運算能力的關係上，我們發現工作記憶能力相對於概數感能力，更能有效預測學生的數學運算能力與成就；且學生在各種工作記憶作業的表現中，尤以記憶更新作業的表現最為顯著相關(Han et al., under review)。本計畫將根據這樣的發現進行進一步探究，探討記憶更新能力的成分與數學運算能力間之關係。

因此，本研究之目的，即在於延續前述研究的發現，繼續探討工作記憶能力與數學計算能力間的關聯，並將側重記憶更新能力的成分對於心算乘法表現的影響。

貳、文獻探討

甚麼樣的認知能力是良好運算能力的關鍵，這個議題一直廣受研究者注意。兩種能力經常被討論，其一是一般性領域能力(domain-general capacity)，例如工作記憶(Baddeley & Hitch, 1977)。其二是特殊性領域能力(domain-specific capacity)，例如計算或區辨群數(sets of objects) (Butterworth, 2010; Geary et al., 2009; Halberda, Mazocco, & Feigenson, 2008)或是概數感(number sense)。本計畫主要針對工作記憶能力、概數處理，與運算能力回顧相關文獻，試圖探討一般性及特殊性領域能力，與數學運算能力間的關聯；並加入我們在先前國科會研究計畫中的發現(已投稿審查中)，以支持個人一般性領域認知能力(domain-general capacity)-工作記憶能力，在運算能力中扮演的角色。

工作記憶

起源

工作記憶(working memory)被認為是個人一般性領域認知能力(domain-general capacity)，負責廣泛學習不同的議題(Baddeley & Hitch, 1977)，最早由Miller、Galanter和Pribram等人提出。這個名詞之所以提出，主要是從1970年代開始，學者們發現以儲存資料為主要功能的短期記憶，尚不足以解釋大腦在此方面的功能，因此提出了工作記憶這個概念，並據此發展工作記憶的理論。早期的心理學研究裡，學者通常將記憶分為短期記憶以及長期記憶，但從短期記憶概念演變而來的工作記憶，比短期記憶扮演了更積極功能導向的角色，它可以儲存並同時處理訊息(Baddeley & Hitch, 1977)。因此，工作記憶在認知的過程中，即被定義為一個可以同時儲存與處理資訊的系統(Repovš & Baddeley, 2006)。

成分

Baddeley (1986)提出了目前最廣被接受的工作記憶模型，這個模型包含了四個部分：中央執行系統 (central executive system)、視覺空間模板 (visuo-spatial sketchpad)、語音迴路 (phonological loop)，與事件緩衝器 (episodic buffer)，據此進一步來探討工作記憶的內部運作過程。

中央處理系統 中央處理系統是最重要，但也是目前人們所知最少的部分。一開始中央處理系統看起來像是單純的指揮中心，但研究顯示，它實際上包含了不同、而且可能可以分割的決策功能。在工作記憶的作業中，中央處理系統在有任何資訊需要被提取或使用時就會活化，單純的顯示與維持資訊可能可以獨立於中央處理系統之外。另外，中央處理系統最重要的工作，是注意力集中範圍的選擇與維持，使個體可以在當前的作業與其他需注意的元素中切換(Baddeley, 1986, 2010; Baddeley & Hitch, 1977)，幫助較複雜的認知過程，如理解、推

理、計畫和解決問題等等(Wickelgren, 1997)。對於中央處理系統的研究貢獻直到近年才引起注意，使得更多學者投入相關研究，但關於工作記憶的本質仍持續爭議中(Schmiedek, Hildebrandt, Lövdén, Wilhelm, & Lindenberger, 2009)。到目前為止的研究結果雖被認為初步，但對認知相關領域的探討已經非常有幫助。至少大部分學者同意較好的工作記憶能力測量作業，必須是個複雜的廣度作業 (complex span task)，通常這樣的作業包含一個需要短期記憶廣度的認知需求作業，並結合一個與記憶廣度較為無關的運作的作業，像是n-back、記憶更新或 α 廣度作業。

語音迴路 語音迴路是工作記憶中最先被研究的部分，也是目前人們在工作記憶模型之所知最多的部分(Repovš & Bresjanac, 2006)。語音迴路的模型足以解釋跟語音相關的工作記憶的運作，通過時間的考驗仍屹立不搖。語音迴路由語音記憶庫 (phonological store) 與複誦發音程序 (articulatory rehearsal process) 所構成。語音記憶庫可以短暫保存語音的資料，經由複誦發音程序被激發，並進入長期記憶(Logie, Gilhooly, & Wynn, 1994; Smith & Jonides, 1997)。但反過來說，複誦發音程序並不一定要被使用，才能使資訊被儲存到長期記憶。語音迴路有一些特點，以下分述：(1) 語音記憶的容量有限：語音記憶的容量即是在短期語音記憶裡，可乘載的資訊量是有限的。其容量可以用請受試者複述一串數字的方式測得，一般人平均在五位數到八位數之間(Brener, 1940)。(2) 受到近似音的記憶影響：相近似的聲音會影響語音記憶的效果，如V, B 等，但不同的音配上相似的涵義，則對語音記憶不造成顯著影響(Baddeley, 1966)。(3) 會受到不相干聲音的干擾：如果受試者同時會聽到不相干的聲音，則可記憶單位有顯著的減少。(4) 長字效應：短期記憶會因為對應詞彙的長度增加而逐漸減少。(5) 發音時的記憶抑制：當受試者被要求反覆說一個與實驗不相干的字詞時，複誦發音程序的功能即不能運作。

視覺空間模板 視覺空間模板同時負責視覺與空間兩種不同的資訊來源，可以分為兩個次系統：視覺訊息系統 (visual informational subsystem) 與空間訊息系統 (spatial informational subsystem)。前者處理與形狀或顏色等相關的資訊，後者處理有關空間、空間移動等的訊息。而神經影像研究也進一步證實了兩個次系統的說法，因為視覺與空間工作記憶的運作，由影像中看得出來是屬於兩個不同的大腦運作區域。視覺與空間兩者有獨立的儲存空間、表示方法以及運作方式。兩個次系統都與視覺上注意力有密切關係。視覺的工作記憶與視覺感知、視覺想像有關。而空間的工作記憶與注意集中、行動有關。視覺空間模板與長期記憶間的連結可能是雙向的，因為語音迴路與長期記憶間已證實有雙向影響(Baddeley, Chincotta, & Adlam, 2001)。

事件緩衝器 事件緩衝器是整個工作記憶模型裡最晚被提出的部分

(Baddeley, 2000)。事件緩衝器與中央處理系統比起來，在本質上較接近儲存系統，而非執行系統。其主要功能是整合來自語音迴路、視覺空間模板及長期記憶的資訊。在接觸到新的資訊時，事件緩衝器會藉由從長期記憶可提取的資料，來詮釋現在所覺察的現象，因而它有整理零碎資訊成為較完整的一個單位，以加快工作記憶處理資訊的速度之效果。但目前對事件緩衝器的了解仍非常少，並不能確定它如何結合來自不同來源的資訊，也不知道它如何與語音迴路、視覺空間模板互動。未來的相關研究勢必會比語音迴路與視覺空間模板來得複雜，因為要測出事件緩衝器運作的分界，需要綜合能力的測驗。

除此之外，近年更認為注意力(attention)在工作記憶中扮演了重要的角色，注意力的集中程度直接地影響語音、視覺等的活化程度(Baddeley, 2010)。此亦是與過去的短期記憶不同之處：工作記憶不僅是短暫地儲存訊息，還可同時處理與轉換訊息，以利大腦思考系統的快速運作與有效率的處理資料。其中包含了控制、調節、主動保留注意力焦點內的事物相關訊息等等運作功能。綜上所述，工作記憶的觀點逐漸在發展與修正，已將早期記憶系統的概念大為改變。因此，現在研究學者的實驗方向不只著重於記憶儲存，更重視運作及處理的功能。

測量

由於工作記憶為一同時處理與儲存資訊的系統，因此在測量其容量時，會使用雙作業廣度測驗 (dual-task span test)，也就是需要一個同時運用處理與儲存這兩種能力的測驗。一般而言，工作記憶被公認有其容量限制，並因此造成個人差異。以 Conway 等人的理論來說，容量即表現於在注意力範圍中，有多少資訊被成功的記憶下來。也就是能由記憶中活化資訊，保持對資訊的注意力，以及忽略與主題焦點無關的干擾訊息。目前被廣為接受的一般容量假說(Turner & Engle, 1989)，修正了以前的作業特定性假說(Daneman & Carpenter, 1980, 1983)，其差異為後者假設當工作記憶與要處理的內容是同一個類型時，工作記憶容量跟表現出來的結果才會有關連。一般容量假說指的則是工作記憶對於任何類型的工作，都與其有某種程度的關聯。工作記憶容量大指的也不是儲存的空間較大，而是指因為注意力能集中在焦點資訊上，並加以處理，而有較好的認知結果。從這裡可以得知，如果受試者必須自行調控認知與注意力的集中位置與程度，則受試者的工作記憶容量不同就會造成不同的結果。如果認知與注意力的集中位置與程度不需要被受試者自行操控，則不會造成影響。換句話說，也就是不受工作記憶的影響。

功能

近代對於工作記憶的看法，則認為工作記憶至少有三種功能：儲存與轉換，監督，以及協調(Oberauer, Lange, & Engle, 2004; Oberauer, Schulze, Wilhelm, & Süß, 2005)。其中，儲存與轉換是指保持在相關聯的長期記憶中隨時可被提取，

並同時進行認知作業。監督則是指中央執行系統，主要功能在於過濾與忽略不相關的訊息，並使個體能集中注意力處理正在進行的作業。協調指的是協調來自不同部分的資訊，如語音迴路與視覺空間模板，並安排處理程序，使複雜的新訊息彼此能結合成一個相關的整體結構。這樣的協調系統容量是有限的，並且可以決定要分割或保留收到的訊息。在這些功能中，監督與協調的作用在整個工作記憶系統中，是屬於注意力調控的部分，而非記憶的功能。也就是在受到干擾的狀況下，能適當地選擇將注意力調配在目標訊息上，進而使個體的處理效率提高。因此，如同前述，工作記憶也代表了一個個體能夠集中注意力在新資訊上的能力，進而處理與儲存。Oberauer等人將工作記憶大致分為口語、數字和空間圖形幾個方向，因為個體在處理外來資訊時，也是將其區分成口語、數字和空間圖形。而個體處理外在資訊時應用的個人智力，即與工作記憶有密切關係。因此將這樣的分類對應到工作記憶有其合理性。進一步地，將這些類型的作業細分，分成三種功能（儲存與轉換，監督，協調）與三種資料類型（口語，數字，空間與圖形）。這樣詳細地將作業分類，有助於後來研究者能依不同的功能、內容及研究需要選取不同的作業加以組合，並研究其關聯。目前尚待突破的則是如何區辨個體是否只使用分類中的單一認知功能來進行作業？較可能的情況是每項認知功能都在某個面向上協助作業，而使作業測量出來的結果有功能的重疊現象。但目前普遍認為，測量工作記憶能力使用雙作業典範或複雜廣度作業是比較好的選擇。

工作記憶能力與數學運算間的關係

工作記憶對於人類認知功能非常重要，舉凡計算、閱讀、決策和學習新事物等都受其影響。中央執行系統就被證實與學習新的字彙(Henry, 2001)、理解語言(Swanson & Ashbaker, 2000)，也與數學計算能力有關(Bull, Espy, & Wiebe, 2008; Bull & Scerif, 2001)。因此，工作記憶也被發現對學業成就有密切的關係，是預測學業成就的一個重要指標(Hitch, Towse, & Hutton, 2001)。Gathercole and Pickering (2000)的研究亦顯示出同樣的結果，發現工作記憶表現與英國小一學生的國家課程測驗成績有一致的結果。近年來，工作記憶也被認為跟智力表現有直接關係，而備受重視(Schatz, Kramer, Ablin, & Matthey, 2000)。

在細分工作記憶與個人運算能力的關係上，Iuculano, Moro, and Butterworth (2011)已整理出其成分與數學運算間的關係。像是語音迴路被認為與解決單一數字的加法有關(Hecht, 2002; Seyler, Kirk, & Ashcraft, 2003)。視覺空間模板則與視覺呈現的問題有關(Logie et al., 1994)。中央處理系統則被認為在計算上扮演重要的角色，藉由更新像是進位退位等運算，負責及時儲存與處理最後的結果(Baddeley, 2003)。在生理資料的證據上，Lee and Kang (2002)利用雙作業抑制語音或視覺空間處理，以探究計算功能與工作記憶的關係，發現乘法的表現與語音迴路有比較高的關連，減法則與視覺空間模版有關。這樣的結

果與所有的算術是一件事 (the arithmetic is done on a unitary) 的看法相衝突，反而比較支持人類數字認知上的三重編碼或模組處理模型 (modular processing models) 的假設。這些假設中，在輸入及輸出的模式、及計算方式上的數字表徵是特殊的。這些在行為表現上顯現的分離現象，顯示計算的神經基礎是異質的 (hetero-generous)。Montojo and Courtney (2008) 利用數學運算的記憶更新作業來探討工作記憶中刺激特殊資訊的維持與反應之間的關係，利用 fMRI 測試是否數字的更新與數學運作的更新，在工作記憶中依賴相同的神經系統。其研究結果顯示在數字更新與運作更新時，大腦活化情形偏好在共同網路的前額葉部份，而數字更新則偏好在頂葉，顯示數字與規則皆在工作記憶中被維持，但它們是不同的資訊，且分開被控制。這些發現即為研究者認為工作記憶是個人進行運算的研究實證，且不同的腦區能專司負責不同的計算功能。

數學領域相關的認知能力-數感與概數系統

數感 (number sense) 屬於特殊領域性 (domain-specific) 認知能力，被認為是基本的對於數 (量) 的直觀，是一個不需要口語計數，對於視覺或語音等項目之近似數量的估計能力。目前越來越多的研究發現，人類具有內在的數感，可以處理近似值的運算。這種對於數的近似值估計能力不只在成人上發現，在嬰兒、小孩，甚至非人類的動物 (哺乳類及禽類) 也具有這樣的能力，這些能力包括數的近似值、抽象表徵。因此許多研究假設，生物存在一個內建的概數系統

(approximate numerosity system, ANS)，用來提供生物感知數 (量) 的近似值 (Lemer, Dehaene, Spelke, & Cohen, 2003)，來處理日常生活中不需要細數、也不很精確的估算；並認為此一假設的生理基礎，支援數 (numerosities) 的比較與操作 (Barth, Kanwisher, & Spelke, 2003; Barth et al., 2006; Pica, Lemer, Izard, & Dehaene, 2004)。

當成人與孩童比較或相加符號數字時，他們的近似值表徵似乎會活化 (Gilmore, McCarthy, & Spelke, 2007)。有一些研究也發現孩童概數能力與數學成就有關，幼稚園時期的早期概數能力可以預測其未來的數學成就，而有運算功能缺失的孩童也常見概數能力的不足 (Halberda et al., 2008)。因此有研究者提出計算障礙是所謂「概數系統和正規的數學符號」之間不連結造成的，並認為概數系統與正式符號數學之間的不連結，是造成數學障礙或失算症的主因 (Gilmore, Attridge, De Smedt, & Inglis, 2014)。但不是所有的研究都呈現這樣的結果，有些運算能力不足的孩童與控制組的孩童在相關的 ANS 作業上沒有什麼差異 (Iuculano et al., 2011)。Rousselle and Noël (2007) 則主張失算症是在概數系統中的概數表徵與使用在正式數學中的符號不連結的結果，因為他們發現被認為是失算症的孩童，能夠在非符號比較作業中表現良好 (像是，「藍點或紅點誰比較多」的作業)，但是卻無法成功處理使用符號的相同任務。

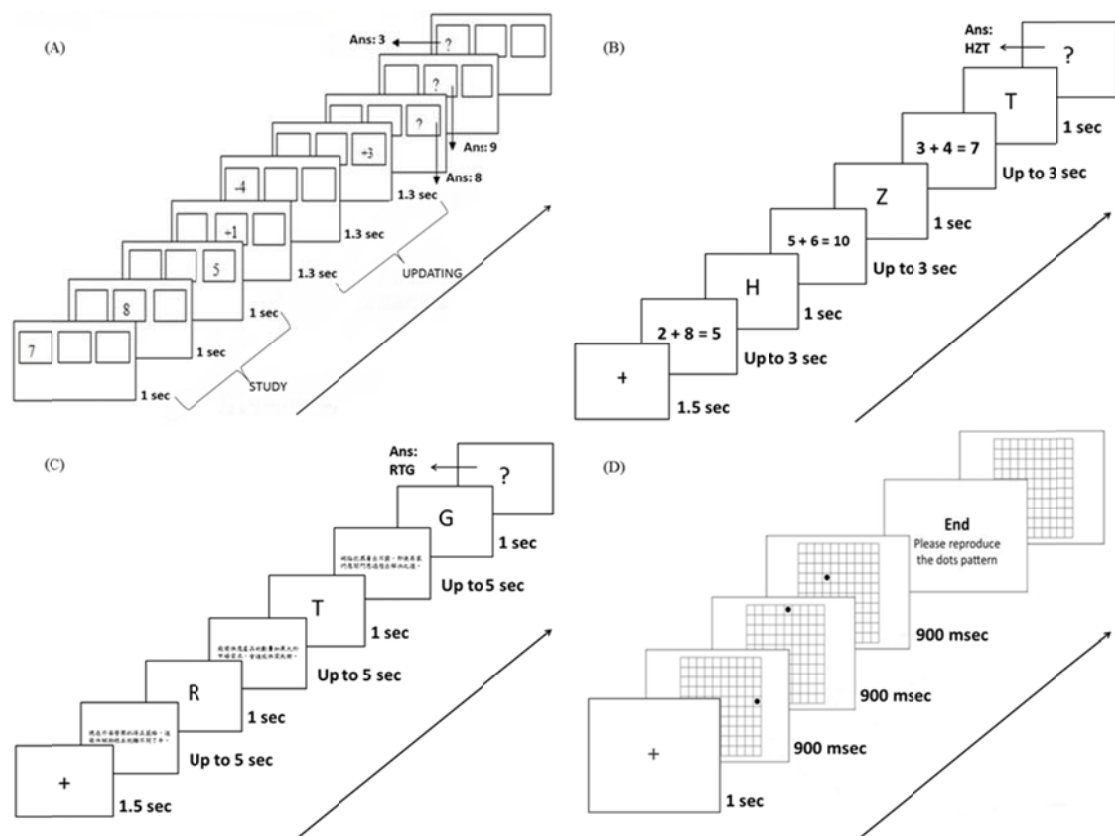
一般性與特殊性領域認知能力，與數學運算能力間的關係

由於工作記憶與概數能力，兩者皆被發現對數學運算能力有所支持。為了探討這兩種不同領域能力，何者對於運算能力有較顯著的影響？我們在上一個研究計畫（國科會計畫之「基本數學運算能力高低者的乘法運算策略選擇與大腦認知負荷之研究」（NSC 99- 2511-S-004 -001-MY3）中針對這個主題進行了初探。在實驗中，我們選用了一套工作記憶組合(Lewandowsky, Oberauer, Yang, & Ecker, 2010)作為工作記憶能力測量的指標，概數判斷作業(numerical discrimination task)作為概數處理能力測量，心算乘法題目則選作為個人數學計算能力的指標。實驗參與者皆為 18 歲以上的大學生與研究生。

工作記憶測量

工作記憶組合中有四個作業，包括記憶更新作業(memory updating task, MU)、運算廣度作業(operation span task, OS)、句子廣度作業(sentence span task, SS)，與空間短期記憶作業(spatial short-term memory task, SSTM)(如圖一)。在記憶更新作業中，每個嘗試次開始時，螢幕上會呈現 3-5 個不等的方框，方框中會依序呈現數字，例如「7」、「8」；數字呈現完畢後，則會依序呈現算式，例如「+1」、「-4」。參與者須將算式與先前該方框出現過的數字結合進行運算，然後在方框出現「？」的時候用鍵盤輸入運算結果，將結果填入欄位中。本作業作答時間不限，但作答後，不能修改答案，作答完畢後繼續下一個嘗試次，直到本作業結束(見圖一 A)。在運算廣度作業中，每個嘗試次開始時，螢幕上會呈現一道簡單數學算式，例如「 $2+8=5$ 」，參與者須判斷這個數學算式是否正確，並按鍵作反應。算式只會在螢幕上呈現 3 秒鐘，參與者必須在這段時間內儘快作答。然而不管有無作答，3 秒鐘後數學算式就會消失。算式消失後，螢幕會呈現一個英文字母，例如「H」，參與者必須記住這個字母。這樣的過程會重複 4 到 8 次，接著螢幕中會出現「？」，參與者必須把之前呈現的英文字母用鍵盤依序回答出來。作答時間不限，但作答後，不能修改答案，作答完畢後繼續下一個嘗試次，直到本作業結束(見圖一 B)。在句子廣度作業中，每個嘗試次開始時，螢幕上會呈現一個中文描述句，例如「現在在外面警察抓得正嚴格，這幾件贓物根本就離不開了手」，參與者須判斷這個句意是否正確，並按鍵作反應。算式只會在螢幕上呈現 5 秒鐘，參與者必須在這段時間內儘快作答。然而不管有無作答，5 秒鐘後這個句子就會消失。算式消失後，螢幕會呈現一個英文字母，例如「R」，參與者必須記住這個字母。這樣的過程會重複 3 到 7 次，接著螢幕中會出現「？」，參與者必須把之前呈現的英文字母用鍵盤依序回答出來。作答時間不限，但作答後，不能修改答案，作答完畢後繼續下一個嘗試次，直到本作業結束(見圖一 C)。在空間短期記憶作業中，每個嘗試次開始時，螢幕上會呈現一個 10x10 的棋盤式矩陣。接著每次會出現 1 個黑點在棋盤中的某個位置，每個點呈現約一秒鐘後消失。每個嘗試次內出現的黑點總數為 2 到 6 個不等。參與者必須作的就是儘可能地記

下這些點的位置。最後螢幕會出現「Please reproduce the dot pattern」字樣，表示黑點已經呈現完畢，螢幕會出現相同的但空白的棋盤，請參與者使用滑鼠在棋盤上點出黑點們出現過的位置。此作業可以更改答案。參與者作答出所有黑點後，螢幕會呈現「Next」；按下「Next」後，則進行下一個嘗試次。作答時不需依照呈現的順序回答，也不限時間，只要將所有點的位置正確回憶出來即可；如果參與者無法精確的回憶出點所出現的位置，則盡可能的描繪出點與點之間的正確關聯性，直到本作業結束(見圖一 D)。



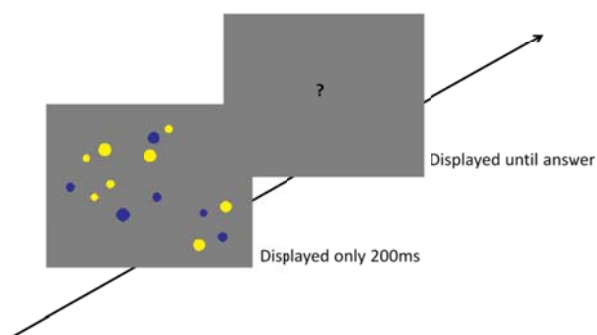
圖一

四個工作記憶作業的實驗流程圖。(A)記憶更新作業(memory updating task, MU)。(B)運算廣度作業(operation span task, OS)。(C)空間短期記憶作業(spatial short-term memory task, SSTM)。(D)句子廣度作業(sentence span task, SS)。

概數判斷測量

在概數判斷作業中，刺激材料為分布在螢幕上不同地方的黃點與藍點(見圖二)。半數的題目中是黃點比較多，另一半則是藍點比較多。黃點與藍點數目的比例分別為2 (2:1)、1.33 (4:3)、1.2 (6:5) 及1.14 (8:7)。全部的題目中，有一半我們控制黃點與藍點呈現的區域相同 (area controlled: 全部黃點的像

素大小與全部藍點的像素大小相同)，另一半的題目則控制黃點與藍點的點尺寸相同 (dot-size controlled: 黃點與藍點的平均尺寸相同)。在實驗中，每個嘗試次由螢幕上呈現十字凝視點作為開始。十字出現後，刺激立刻呈現在螢幕上200毫秒；接著刺激消失，螢幕中間出現問號，此時參與者要按鍵回答，剛剛出現的刺激中，哪一個顏色的點比較多？為了避免參與者慣性按左鍵或右鍵造成偏誤，其中半數的參與者在黃點多的時候按左鍵 (N鍵)，藍點多時按右鍵 (M鍵)；半數的參與者則是藍點多的時候按左鍵 (N鍵)，黃點多時按右鍵 (M鍵)。實驗流程見圖二。



圖二
概數判斷作業的實驗流程圖。

數學計算能力測量

本測量選擇的為乘法題目，並以心算形式要求參與者作答。題目的種類依照操弄的題目難度 (四種) 及數字負荷程度 (兩種) 而可細分成八類。每一類各有 10 題，因此共有 80 題。題目難度包含兩位數字乘以一位數字 (2x1)、三位數字乘以一位數字 (3x1)、四位數字乘以一位數字 (4x1)，及兩位數字乘以兩位數字 (2x2)。這四種題型的難度依前述順序遞增，因此共有四種難度的區別。數字負荷程度，則依據 (Rosenberg-Lee, Lovett, & Anderson, 2009) 研究中提出之策略分成簡單題 (較低數字負荷題型) 與困難題 (較高數字負荷題型)。為了避免數字重複產生促發效果，題目中的數字皆不重複；此外，題目中的數字不包括 1 或 0，另，並且被乘數不包含 5。

題目的類型舉例如下，依難度分，二乘一 (35x4)、三乘一 (356x4)、四乘一 (3567x4)，及二乘二 (35x67)。題目的數字負荷程度範例 (見圖三)，依據 (Rosenberg-Lee et al., 2009) 的研究，以學校策略的方式計算時的數字最大負

荷來篩選題目。同一類型的題目之最大負荷值相同。以 3456 乘以 2 為例，若以學校策略（藍色方框）來計算，整個心算過程的數字負荷依序為

2-→4-→5-→3-→4-→6-→3-→4-→7-→4-→3-→2-→1，其中最大數字心智負荷為 7。

在本實驗中，刺激材料的數字負荷之最大負荷分別為，二乘一簡單題之數字負荷順序為2-→3-→4>2，最大數字負荷為4；二乘一難題之數字負荷順序為2-→4-→5-→3，最大數字負荷為5；三乘一簡題之數字負荷順序為2-→3-→4-→2-→3-→5-→3，最大數字負荷為5；三乘一難題之數字負荷順序為，最大數字負荷為7；四乘一簡題之數字負荷順序為2-→4-→5-→3-→4-→6-→3-→4-→7-→4，最大數字負荷為7；四乘一難題之數字負荷順序為2-→4-→5-→3-→5-→7-→4-→6-→9-→5，最大數字負荷為9；二乘二簡題之數字負荷順序為2-→3-→4-→2-→4-→5-→3-→4-→6-→4，最大數字負荷為6；二乘二難題之數字負荷順序為2-→4-→5-→3-→5-→6-→3-→5-→7-→4，最大數字負荷為7。

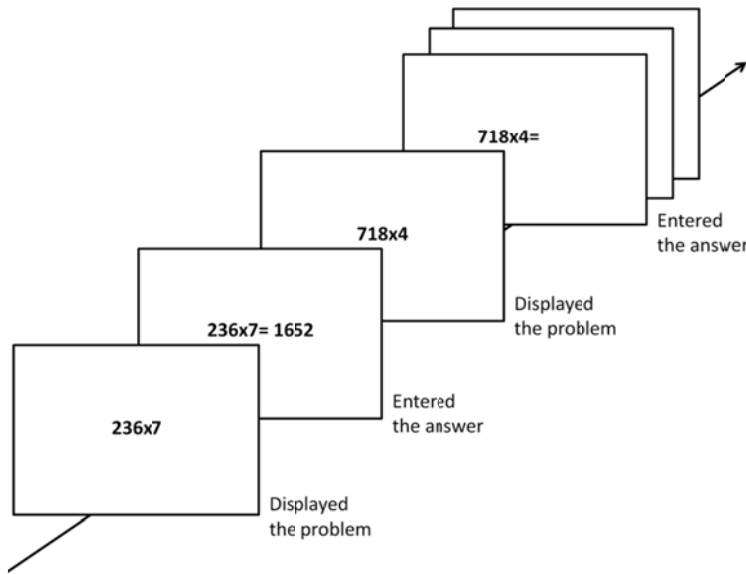
本作業總共包含 80 個題目，每 20 題有一個休息，參與者依序作答，直到本作業結束，實驗流程見圖四(圖四)。

Example Problem Solved by the Expert and School Strategies		
	34,826 × 7	
	Expert	School
	7 × 3 = 21	7 × 6 = 42
	7 × 4 = 28	7 × 2 = 14
	21 × 10 = 210	14 × 10 = 140
"→" method: working through the multiplicand from left to right	210 + 28 = 238	140 + 42 = 182
	Press 2	7 × 8 = 56
	7 × 8 = 56	56 × 100 = 5,600
	38 × 10 = 380	5,600 + 182 = 5,782
	380 + 56 = 436	7 × 4 = 28
	Press 4	28 × 1,000 = 28,000
	7 × 2 = 14	28,000 + 5,782 = 33,782
	36 × 10 = 360	7 × 3 = 21
	360 + 14 = 374	21 × 10,000 = 210,000
	Press 3	210,000 + 33,782 = 243,782
	7 × 6 = 42	Press 2
	74 × 10 = 740	Press 4
	740 + 42 = 782	Press 3
	Press 7	Press 7
	Press 8	Press 8
Press 2	Press 2	
Press ENTER	Press ENTER	

Note—Keypresses indicated in boldface.

圖三

計算乘法心算題的兩種策略(專家與學校教法)與其心智負荷計算。



圖四
心算乘法作業的實驗流程圖。

綜上所述，研究中參與者進行的作業總共有三種(包括六個作業)，分別是心算乘法作業、概數判斷作業，以及四個工作記憶作業。其中一半參與者接受作業的順序為：乘法心算作業→概數判斷作業→工作記憶作業；另外一半參與者接受的順序則為：工作記憶作業→概數判斷作業→乘法心算作業。

一共有48位政治大學部與研究所學生參與本實驗，最後僅分析45位參與者的資料(其中一位參與者在心算乘法題目上的正確率過低，80題中僅有26題正確，因此不納入最後分析；另有兩位參與者在概數判斷作業上其正確率方向與他人完全相反，在容易判斷之題型反而正確率較低，因此不納入最後分析)。透過相關考驗，我們發現45位參與者，在工作記憶作業中的記憶更新作業與運算廣度作業上，兩者正確率皆與心算乘法的正確率(r 值依序為.618**與.318*)及反應時間(r 值依序為-.569**與-.561*)有顯著相關(all $ps < .05$)，但在概數判斷作業的正確率只與心算乘法的反應時間有顯著相關($r = -.444*$, $p < .01$)。根據文獻回顧，由於記憶更新作業被認為與工作記憶中的中央處理功能(central executive function)有高度關聯，以此結果推測，工作記憶中的中央處理功能極有可能與乘法心算所需的心智歷程有密切關係。因此我們的研究結果，支持一般性領域能力-工作記憶，特別是記憶更新能力，因其與心算乘法的正確率間有顯著較高的相關，對於個人運算能力有較大的貢獻。然而這樣的結果，也有可能是因為記憶更新與運算廣度作業的材料，都包含了數字與加減運算(如記憶更新作業中:+1、-4等；運算廣度作業中:2+8=5等)的成分，導致這兩者與心算乘法間有顯著正相關。

為了排除這個可能性的解釋，在本計畫我們將以記憶更新能力作為基礎，針

對刺激內容(如是數字與否)及處理(如是單純更新(simple updating)或是運算(calculating)作考驗。除保留了實驗中原有的記憶更新作業(MU)外，我們並根據此作業設計了三個新的、不同刺激與處理的記憶更新作業，試圖在接下來的實驗中區辨是甚麼刺激的內容或處理，造成與心算乘法間有顯著關聯。

叁、研究方法

在本實驗中，我們除保留了原有的記憶更新作業(MU)，並根據此作業設計了三個新的、不同內容的記憶更新作業，以區辨是甚麼樣的刺激內容或處理，對心算乘法有顯著的幫助，因此總共有四種記憶更新作業。這四個記憶更新作業分別為原始記憶更新作業(original memory updating task, MUo)、空間記憶更新作業(spatial memory updating task, MUs)、數字更新作業(numerical memory updating task, MU_n)、與文字更新作業(word memory updating task, MU_w)。原始記憶更新作業的成份仍然包含「數字更新」與「加減運算」，空間記憶更新作業的成份則為「非數字(黑點)的更新」與「空間移動的運算」，數字更新作業的成分單純為「數字更新、沒有運算」，文字更新作業的成分則為「中文字更新、沒有運算」。因此，從刺激內容進行預測，如果我們在上一個研究得到的相關是由於作業們都包含數字成分的關係，我們則預期在本研究中，會在原始記憶更新作業、數字更新作業兩者上皆看到與心算乘法間的顯著相關，儘管這兩者中前者須處理數學計算，後者不用。若從處理面進行預測，如果是運算處理會導致與心算乘法間的顯著相關，則我們預期原始記憶更新作業與空間記憶更新作業，兩者皆會與心算乘法間有顯著關聯，因為這兩者都須進行較複雜的運算處理。

實驗參與者

總共58名政治大學學生參與，有5名學生因在任一實驗作業中的行為正確率低於三個標準差而不列入資料分析，剩下進行資料分析的參與者共為53位，包含17名男性與36名女性，平均年齡21.72歲，標準差為2.78。

實驗流程

參與者在正式進行實驗之前，須填寫實驗同意書與個人基本資料表，確認參與意願。確認無誤後，參與者進入隔音良好的實驗室，由主試者介紹呈現在電腦螢幕中本次的實驗內容與作答方式，參與者表示了解後，即可開始用鍵盤作答。

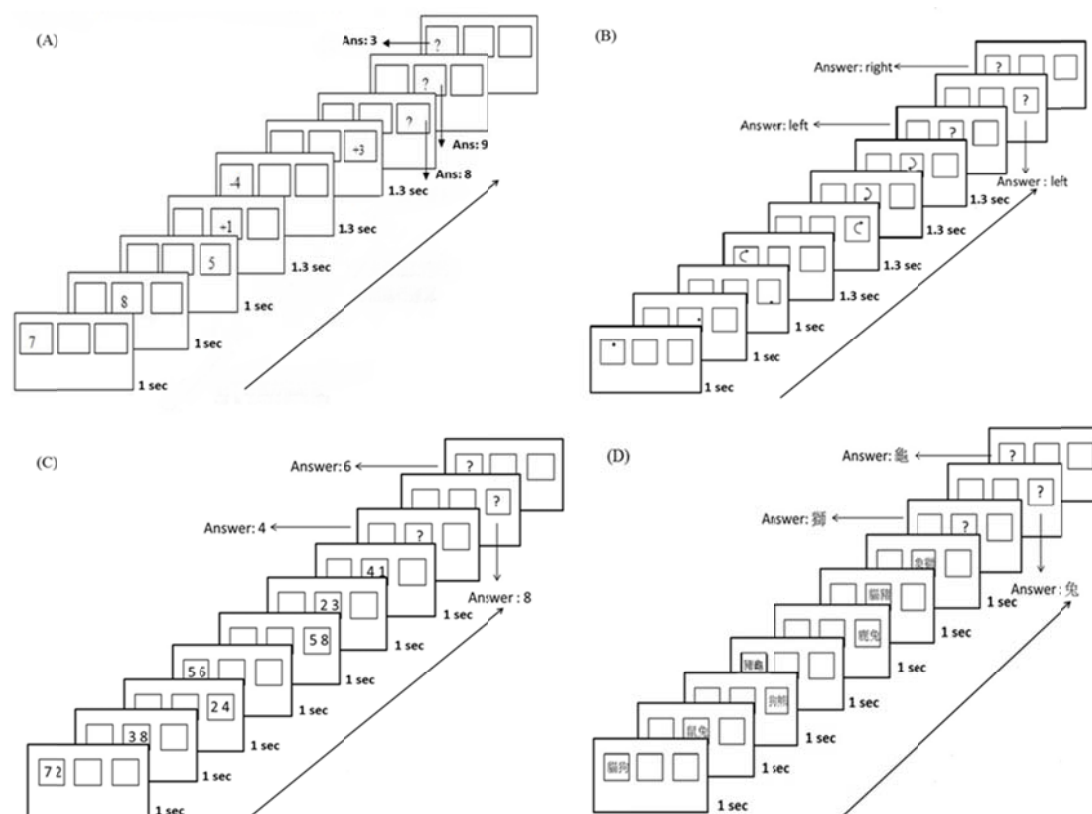
實驗施測的作業分成兩大部分：記憶更新作業與心算乘法作業。記憶更新作業共有4種，分別為原實驗一內所使用的記憶更新作業(original memory updating task, MUo)、我們新設計的空間記憶更新作業(spatial memory updating task, MUs)、數字記憶更新作業(numerical memory updating task, MU_n)以及文字記憶更新作業(word memory updating task, MU_w)。該部份施測完畢後則進行心算乘法作業，直到實驗結束。

實驗全程約一小時，實驗結束後，主試者進行事後告知，及給予參與者115元整作為本次實驗的參與者費。

實驗作業

記憶更新作業

除保留舊有的記憶更新作業(MUo)外，我們修改的三個記憶更新作業如下述(圖五)。



圖五

本研究中四個記憶更新作業的實驗流程圖。(A)原始記憶更新作業(original memory updating task, MUo)。(B)空間記憶更新作業(spatial memory updating task, MUs)。(C)數字記憶更新作業(numerical memory updating task, MUn)。(D)文字記憶更新作業(word memory updating task, MUw)。

空間記憶更新作業(*spatial memory updating task, MUs*) 在本作業裡，每個嘗試次開始時，螢幕上會呈現3-5個不等的方框(set size)，每個方框內依序呈現一個黑點，而黑點可能會出現在框內的上下左右四種方位。黑點呈現完後會出現順時針或逆時針的旋轉箭頭圖案，參與者須先記住一開始出現的黑點位置，並配合提示的旋轉方向進行空間位置旋轉，最後在某方框內出現「？」的時候，

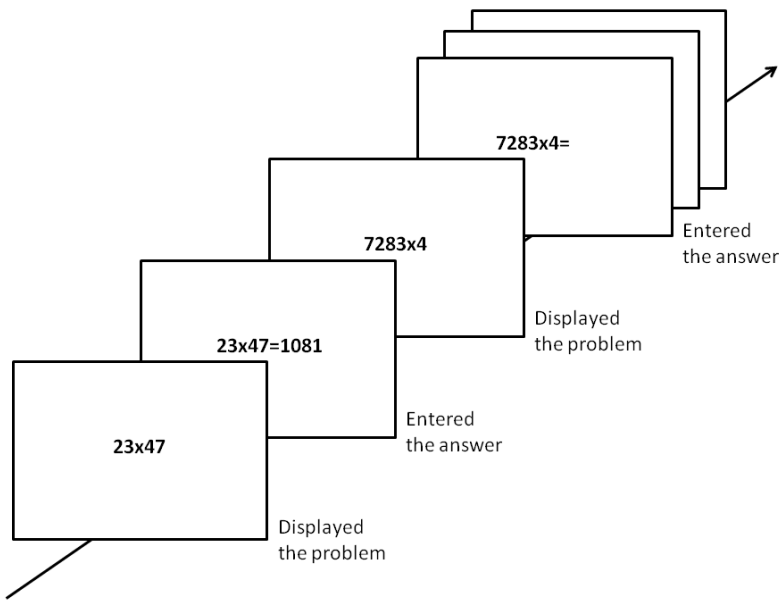
使用數字九宮格鍵盤，以8、2、4、6 分別代表上、下、左、右輸入最後的運算結果。作答時間不限，但作答後不能修改答案，作答完畢後繼續下一個嘗試次。本作業沒有數字或是數學計算的成分涉入(見圖五B)。

數字記憶更新作業(numerical memory updating task, MUn) 在本作業裡，每個嘗試次開始時，螢幕上會呈現3-5個不等的方框，每個方框內依序會同時呈現一對1至9的阿拉伯數字，例如7與2、或是3與8等。參與者需要不斷記住各方框內兩個數字中，較大的那個數字，最後在某方框內出現「？」的時候，使用數字九宮格鍵盤的數字1至9，輸入最後一對在框架內呈現的較大數字值的結果。作答時間不限，但作答後不能修改答案，作答完畢後繼續下一個嘗試次。本作業沒有數學計算的成分涉入(見圖五C)。

文字記憶更新作業(word memory updating task, MUw) 在本作業裡，每個嘗試次開始時，螢幕上會呈現3-5個不等的方框，每個方框內依序會同時呈現兩種動物的中文名稱，例如貓與狗、或是鼠與兔等。參與者需要不斷記住兩種動物中，體型較小的動物名稱。最後在某方框內出現「？」的時候，使用數字九宮格鍵盤，輸入最後一對在框架內呈現的較小動物字的結果。作答時間不限，但作答後不能修改答案，作答完畢後繼續下一個嘗試次。本作業沒有數字或是數學計算的成分涉入(見圖五D)。

心算乘法作業

研究使用的計算作業，一樣相同於我們在先前研究計畫(國科會計畫之「基本數學運算能力高低者的乘法運算策略選擇與大腦認知負荷之研究(NSC 99-2511-S-004-001-MY3)」)所使用的心算乘法作業。由於在上一個研究中我們發現工作記憶能力主要與較困難的心算乘法題目間有顯著相關，所以在本研究中我們決定只選用較困難的4x1與2x2乘法題目、並一樣將這兩種題目分成高低兩種認知負荷類型題作施測，總共有四類的題型。本作業共包含100題，為了避免數字重複產生促發效果，題目中的數字皆不會重複；另外，題目中的數字不包括1或0，乘數與被乘數均不包含數字5。作業共分成4個區段，每區段25題，每次只會有一道乘法題目呈現在螢幕中間，參與者看到題目後開始心算，並以鍵盤輸入答案。25題作完後，會給參與者適當的休息時間。實驗參與者使用數字鍵盤的1, 2, 3與4作回答。數字鍵1的功能是遞加數字(從0增加到9)、數字鍵2的功能是遞減數字(從9減少到0)、數字鍵3的功能是移動位數(如從個位轉移到十位數字作答)，數字鍵4的功能是確認該題答案並送出。實驗流程圖如圖六。



圖六
本研究中心算乘法作業的實驗流程圖。

肆、研究結果

記憶更新作業

四個記憶更新作業的行為正確率的平均數與標準誤分別如下述。原始記憶更新作業：平均數 0.926，標準誤 0.009；空間記憶更新作業：平均數 0.735，標準誤 0.017；數字記憶更新作業：平均數 0.918，標準誤 0.012；文字記憶更新作業：平均數 0.792，標準誤 0.021。單因子變異數分析結果顯示，四個作業在正確率上達顯著差異， $F(3, 156) = 55.260, p < .001$ 。原始記憶更新作業與數字記憶更新作業的正確率，皆顯著高於空間記憶更新作業與文字記憶更新作業，all $ps < .001$ 。

透過相關考驗，我們看到雖然原始記憶更新作業的成分是數字更新跟計算處理，它仍分別跟空間記憶更新作業與文字記憶更新作業有顯著相關， r 值分別為 .466 與 .363， $ps < .01$ 。比較特別的是，同樣處理數字更新的原始記憶更新作業與數字記憶更新作業間，卻無顯著相關， $r = .186, p > .05$ 。見表一。

表一

心算乘法的正確率與四個記憶更新作業間正確率的相關。

記憶更新作業

	原始	空間	數字	文字	
	(MUo)	(MUs)	(MU _n)	(MU _w)	
心算乘法作業					
4x1	低負荷	-.011	.200	-.122	-.102
	高負荷	.379**	.419**	.051	.163
2x2	低負荷	.118	.401**	.120	.299*
	高負荷	.606**	.452**	.272*	.387**
記憶更新作業					
	原始	1	.466**	.186	.363**
	空間		1	.347*	.352**
	數字			1	.530**
	文字				1

Note: * $p < .05$; ** $p < .01$.

心算乘法作業

本作業為一2(乘法題型：4x1與2x2)x2(認知負荷：高與低)完全受試者內設計，我們分析其行為正確率。參與者在各情境內表現的平均分數與標準誤依序如上述，4x1低負荷下：平均數0.933，標準誤0.010；4x1高負荷下：平均數0.893，標準誤0.012；2x2低負荷下：平均數0.881，標準誤0.015；2x2高負荷下：平均數0.648，標準誤0.028。

2x2完全受試者內變異數分析的結果顯示，乘法題型、認知負荷皆有顯著的主要效果，兩者的交互作用亦達顯著， F 值分別為 $F(1, 52) = 70.685$ ， 87.850 ，與 60.941 ，所有 p 值皆小於.001。單純主要效果的考驗顯示，認知負荷的高低，會影響受試者在乘法題型上的表現：在4x1題型下， $F(1, 104) = 4.374$ ， $p = .039$ ；2x2題型下， $F(1, 104) = 148.777$ ， $p < .001$ 。而不同的乘法題型，亦會影響受

試者在高低認知負荷下的表現：在低負荷情境下， $F(1, 104) = 5.705$, $p = .019$ ；高負荷情境下， $F(1, 104) = 129.219$ ， $p < .001$ 。因此，本作業中操弄的兩個因子，皆能有效區分乘法題目的難度。

記憶更新作業與心算乘法間的關係

如同預期，我們發現記憶更新能力與心算乘法間，兩者正確率有顯著的相關，如表一。原始記憶更新作業、空間記憶更新作業、與文字記憶更新作業，三者皆與心算乘法間有顯著正相關，特別是原始記憶更新作業($r = .521$)與空間記憶更新作業($r = .533$)，all $ps < .001$ 。至於處理數字大小比較與更新，但沒有處理數學計算的數字記憶更新作業，只與 2x2 且高負荷題型的心算乘法題目間有顯著正相關($r = .272$, $p < .05$)，但是實驗中採用的四個記憶更新作業，皆與 2x2 且高負荷題型的乘法間有顯著正相關。

進一步地，由於工作記憶作業的設計原則皆包含了「儲存」與「處理」兩個要素，我們在設計四個記憶更新作業時，有將各作業內的刺激呈現的框架量(levels of set sizes, 此階段目的為儲存)與不同更新次數(levels of updating processing, 此階段目的為更新運算結果)的進行次數作統一。我們將四個記憶更新作業在其不同框架量(levels of set sizes)與不同更新次數(levels of updating processing)下的正確率，與心算乘法四種題型間的正確率作相關考驗，如表二。結果發現，原始記憶更新作業對 4x1 與 2x2 題型下、高負荷情境的乘法題目間皆有顯著正相關；空間記憶更新作業則與 4x1 題型下的高負荷題目、2x2 題型下的高低負荷題目間，有顯著正相關。這樣的結果顯示，「運算處理」與心算乘法間有顯著的關聯。至於文字與數字記憶更新作業，兩者與 4x1 及 2x2 的乘法題目間僅有少數顯著相關，顯示這兩種單純數字或文字的記憶更新處理，與較困難的心算乘法題目間並無顯著關聯。

綜上研究結果顯示，包含運算處理的原始記憶更新與空間記憶更新能力，兩者皆與心算乘法間有明顯關聯，特別是針對越困難的乘法題目。透過多元迴歸分析，我們發現空間記憶更新($Beta = 0.371$; $p = .005$)與原始記憶更新($Beta = 0.348$; $p = .008$)能力，兩者統計上皆達顯著($F(2, 50) = 15.250$, $p < .001$)，並能解釋心算乘法 35.4%的變異量(調整後的 R^2 為 0.354, 估計標準誤為 0.078)。

表二

心算乘法作頁內四種題型的正確率，與四個記憶更新作業的正確率間的相關。

心算乘法題目的類型與認知負荷量	
4x1	2x2

		低負荷	高負荷	低負荷	高負荷	
原始記憶	儲存 (Storage)	3	.089	.412**	.261	.612**
		4	.055	.295*	.001	.472**
		5	-.203	.275*	.146	.492**
更新作業 (MUo)	處理 (Processing)	2	-.054	.173	-.027	.006
		3	-.015	.243	.144	.352**
		4	.070	.112	-.100	.206
		5	-.014	.430**	.263	.657**
		6	-.071	.213	.047	.455**
空間記憶	儲存 (Storage)	3	.170	.459**	.233	.364**
		4	.092	.290*	.291*	.309*
		5	.228	.283*	.431**	.421**
更新作業 (MUs)	處理 (Processing)	2	.108	.050	.191	.260
		3	.038	.211	.040	.114
		4	.138	.354**	.323*	.256
		5	.285*	.383**	.381**	.480**
		6	.152	.451**	.481**	.519**
數字記憶	儲存 (Storage)	3	-.111	.053	.046	.197
		4	-.075	.061	-.049	.261

更新作業	5	-.097	.037	.275*	.248
(MUn)	2	-.104	.062	.255	.341*
	3	.055	.042	.013	.088
處理	4	-.096	.078	.058	.247
(Processing)	5	-.175	.092	-.024	.266
	6	-.081	-.030	.196	.159
	3	-.040	.048	.102	.151
儲存	4	-.043	.049	.066	.193
(Storage)	5	-.052	.093	.140	.227
文字記憶	2	-.022	.058	.035	.109
更新作業	3	-.033	.126	-.012	.180
(MUw)	4	-.055	.123	.073	.254
處理	5	-.073	.044	.282*	.228
(Processing)	6	-.026	-.050	.098	.127

Note: * $p < .05$; ** $p < .01$.

伍、討論

我們的實驗結果，除複製了之前研究的發現，再度驗證原始記憶更新作業與心算乘法間的相關外，在本計畫中更發現了空間記憶更新作業也與心算乘法表現間有顯著的正相關。特別是空間記憶更新能力，儘管本身沒有數字或是加減運算的成分，在實驗中對於預測乘法的表現仍與原始記憶更新作業對於乘法表現的預測相近。這樣的結果說明了，「運算式(operational)的處理」才是工作記憶中，

對於個人計算能力有幫助的關鍵成份，特別是心算乘法。

另一方面，數字記憶更新作業(MUn)，即便作業內需要實驗參與者針對好幾對數字比較大小並記憶結果，結果卻只跟乘法題目中最困難的2x2、高負荷乘法題型間有顯著關聯。這樣的發現，可以排除我們在前一個計畫結果內，認為原始記憶更新作業與心算乘法間的顯著相關，是由於兩者皆處理了數字成份這個可能的解釋。因為若單純是處理數字造成記憶更新能力與心算乘法間的相關，則本次實驗中的數字記憶更新作業也應與心算乘法間有顯著的高相關存在。結果顯示，單純的刺激內容更新能力，事實上可能對於個人計算能力非扮演最重要的角色。因此，本研究最重要的發現，除了排除「單純數字處理」(simple number processing)是對於計算能力的有效預測指標外，更發現空間處理性的記憶更新能力，可能對於心算乘法的表現有顯著的影響，暗示了運算式處理在工作記憶與個人計算能力中所佔的份量。這樣的結果，可能也支持研究者Oberauer等人對於工作記憶的看法，因為他們認為個體在處理外來資訊時，是將其分成口語、數字和空間圖形等方式進行處理(Oberauer et al., 2004; Oberauer et al., 2005)。日後研究方向之一，亦可探討學齡兒童、青少年或成人智力表現中，空間處理能力越佳者，是否在數學心算能力上的表現也越佳；或研究如何增進大腦處理空間運轉的能力，以促進人類在計算方面的技能。

References

- Baddeley, A. (1966). The influence of acoustic and semantic similarity on long-term memory for word sequences. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 18(4), 302-309.
- Baddeley, A. (1986). Working memory: Clarendon Press, Oxford.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in cognitive sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature reviews neuroscience*, 4(10), 829-839.
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current Biology*, 20(4), R136-R140.
- Baddeley, A., Chincotta, D., & Adlam, A. (2001). Working memory and the control of action: evidence from task switching. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(4), 641.
- Baddeley, A., & Hitch, G. (1977). Commentary on 'working memory'. *G. Bower*.
- Barth, H., Kanwisher, N., & Spelke, E. (2003). The construction of large number representations in adults. *Cognition*, 86(3), 201-221.
- Barth, H., La Mont, K., Lipton, J., Dehaene, S., Kanwisher, N., & Spelke, E. (2006). Non-symbolic arithmetic in adults and young children. *Cognition*, 98(3),

199-222.

- Brener, R. (1940). An experimental investigation of memory span. *Journal of Experimental Psychology*, 26(5), 467.
- Bull, R., Espy, K. A., & Wiebe, S. A. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: Longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Developmental neuropsychology*, 33(3), 205-228.
- Bull, R., & Scerif, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental neuropsychology*, 19(3), 273-293.
- Butterworth, B. (2010). Foundational numerical capacities and the origins of dyscalculia. *Trends in cognitive sciences*, 14(12), 534-541.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 19(4), 450-466.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1983). Individual differences in integrating information between and within sentences. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9(4), 561.
- Gathercole, S. E., & Pickering, S. J. (2000). Assessment of working memory in six-and seven-year-old children. *Journal of Educational Psychology*, 92(2), 377.
- Geary, D. C., Bailey, D. H., Littlefield, A., Wood, P., Hoard, M. K., & Nugent, L. (2009). First-grade predictors of mathematical learning disability: A latent class trajectory analysis. *Cognitive development*, 24(4), 411-429.
- Gilmore, C. K., Attridge, N., De Smedt, B., & Inglis, M. (2014). Measuring the approximate number system in children: Exploring the relationships among different tasks. *Learning and Individual Differences*, 29, 50-58.
- Gilmore, C. K., McCarthy, S. E., & Spelke, E. S. (2007). Symbolic arithmetic knowledge without instruction. *Nature*, 447(7144), 589-591.
- Gross, J., Hudson, C., & Price, D. (2009). The long term costs of numeracy difficulties. *London (UK): Every Child a Chance Trust and KPMG*.
- Halberda, J., Mazocco, M. M., & Feigenson, L. (2008). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature*, 455(7213), 665-668.
- Han, C. C., Yang, T. H., Lin, C. Y., Didino, D., Butterworth, B., & Yen, N. S. (under review). Domain-general and domain-specific predictors of arithmetical attainment
- Hecht, S. A. (2002). Counting on working memory in simple arithmetic when counting is used for problem solving. *Memory & Cognition*, 30(3), 447-455.
- Henry, L. A. (2001). How does the severity of a learning disability affect working

- memory performance? *Memory*, 9(4-6), 233-247.
- Hitch, G. J., Towse, J. N., & Hutton, U. (2001). What limits children's working memory span? Theoretical accounts and applications for scholastic development. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(2), 184.
- Iuculano, T., Moro, R., & Butterworth, B. (2011). Updating working memory and arithmetical attainment in school. *Learning and Individual Differences*, 21(6), 655-661.
- Kruteskii, V. (1976). *The Psychology of Mathematics Ability in School Children* Chicago: University of Chicago Press.
- Lee, K.-M., & Kang, S.-Y. (2002). Arithmetic operation and working memory: Differential suppression in dual tasks. *Cognition*, 83(3), B63-B68.
- Lemer, C., Dehaene, S., Spelke, E., & Cohen, L. (2003). Approximate quantities and exact number words: Dissociable systems. *Neuropsychologia*, 41(14), 1942-1958.
- Lewandowsky, S., Oberauer, K., Yang, L.-X., & Ecker, U. K. (2010). A working memory test battery for MATLAB. *Behavior Research Methods*, 42(2), 571-585.
- Logie, R. H., Gilhooly, K. J., & Wynn, V. (1994). Counting on working memory in arithmetic problem solving. *Memory & Cognition*, 22(4), 395-410.
- Montejo, C. A., & Courtney, S. M. (2008). Differential neural activation for updating rule versus stimulus information in working memory. *Neuron*, 59(1), 173-182.
- Oberauer, K., Lange, E., & Engle, R. W. (2004). Working memory capacity and resistance to interference. *Journal of memory and language*, 51(1), 80-96.
- Oberauer, K., Schulze, R., Wilhelm, O., & Süß, H.-M. (2005). Working memory and intelligence--their correlation and their relation: comment on Ackerman, Beier, and Boyle (2005).
- Pica, P., Lemer, C., Izard, V., & Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science*, 306(5695), 499-503.
- Repovš, G., & Baddeley, A. (2006). The multi-component model of working memory: Explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, 139(1), 5-21.
- Repovš, G., & Bresjanac, M. (2006). Cognitive neuroscience of working memory: A prologue. *Neuroscience*, 139(1), 1-3.
- Rosenberg-Lee, M., Lovett, M. C., & Anderson, J. R. (2009). Neural correlates of arithmetic calculation strategies. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 9(3), 270-285.
- Rousselle, L., & Noël, M.-P. (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: A comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing. *Cognition*, 102(3), 361-395.

- Sadler, P. M., & Tai, R. H. (2007). The two high-school pillars supporting college science. *SCIENCE-NEW YORK THEN WASHINGTON-*, 317(5837), 457.
- Schatz, J., Kramer, J. H., Ablin, A., & Matthay, K. K. (2000). Processing speed, working memory, and IQ: a developmental model of cognitive deficits following cranial radiation therapy. *Neuropsychology*, 14(2), 189.
- Schmiedek, F., Hildebrandt, A., Lövdén, M., Wilhelm, O., & Lindenberger, U. (2009). Complex span versus updating tasks of working memory: the gap is not that deep. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(4), 1089.
- Seyler, D. J., Kirk, E. P., & Ashcraft, M. H. (2003). Elementary subtraction. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29(6), 1339.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1997). Working memory: A view from neuroimaging. *Cognitive psychology*, 33(1), 5-42.
- Swanson, H. L., & Ashbaker, M. H. (2000). Working memory, short-term memory, speech rate, word recognition and reading comprehension in learning disabled readers: Does the executive system have a role? *Intelligence*, 28(1), 1-30.
- Turner, M. L., & Engle, R. W. (1989). Is working memory capacity task dependent? *Journal of memory and language*, 28(2), 127-154.
- Wickelgren, I. (1997). Getting the brain's attention. *Science*, 278(5335), 35-37.
- National Research Council, & Mathematics Learning Study Committee. (2001). *Adding It Up: Helping Children Learn Mathematics*. (J. Kilpatrick, J. Swafford, & B. Findell, Eds.). Washington, D.C.: National Academies Press.

出席國際學術會議心得報告

計畫編號	NSC 102-2511-S-004 -001
計畫名稱	數學運算能力個人差異的基礎之研究—記憶更新能力對運算能力的影響
出國人員姓名	顏乃欣
服務機關及職稱	國立政治大學心理系教授
會議時間地點	2013 Sep. 27-29, Lausanne, Switzerland
會議名稱	11 th Annual Meeting of the Society for Neuroeconomics
發表論文題目	1. <i>The neural correlates of hindsight bias in political election and general knowledge events.</i> 2. <i>Effects of avatar and personalization on perceived website closeness and purchase intention: An fMRI study.</i>

一、與會心得摘要

神經經濟學年會為神經經濟領域界之重要學術組織，參與會議的與會者主要為經濟學、神經科學與心理學等相關領域的學者，2013 年的會議議程總共有 3 天，包括了工作坊與正式會議。工作坊的課程，一方面提供神經科學背景知識給社會科學的研究者，另一方面提供經濟學的知識給神經科學的研究者，藉以達到跨領域訓練的目的。今年的大師開講 The Kavli Foundation Plenary Lecture 進入第四年，請到 2002 年經濟學諾貝爾獎得主，Chapman University 的 Vernon Smith 開講，講題為 Adam Smith: From propriety ad sentiments to property and wealth，大師的精闢見解，精彩異常。除了大師風範令人激賞外，今年年會移師歐洲，在風景美麗的瑞士洛桑舉行，大量歐洲學者與研究生前來參與，讓我們得以接觸到更多的歐洲同好。

在會議期間安排了七場神經經濟學相關研討會，包含 Risk, Valuation, Discounting task, Social decision making 等議題。其中一場 Value representation 的討論，特別安排了幾位該領域著名之歐美學者共同討論，包括 Antonio Rangel, Joe Kable, Camillo Padoa-Schioppa, Mathias Pessiglione, Aldo Rustichini，該場次由神經經濟學之父 Paul Glimcher 主持，在其引領下，討論非常精彩。

我今年發表一篇和 Georg Northoff 合作的論文，主要以 fMRI，探討 2012 年總統大選所顯現的後見之明(hindsight bias)的現象。該議題過去尚未有過相關 fMRI 研究，我

們的研究結果由自我(self)的角度解釋其現象，提供了一個新的解釋角度，引發許多學者前來討論。另外，今年在論文交流過程中，亦和一位南加大博士後研究員討論後續進行跨國研究合作，目前正積極推展具體合作計畫。

今年本校資訊管理學系梁定澎講座教授亦一起前往參加本次年會並發表壁報論文。我們還特別參加了今年第一次舉辦的 Consumer Neuroscience 會前會(9/26)，和多位該領域的研究者，如 University of Michigan 的 Carolyn Yoon, INSEAD 的 Hilke Plassmann 進行討論，收穫頗豐。梁定澎老師和我還抽空參訪著名的洛桑管理學院，是一趟相當有價值的旅程。

整體而言，本次會議的收穫豐盛，許多研究者分享目前最新的研究結果，不但可以一窺世界神經經濟學與消費神經科學發展的趨勢，並能激發更多研究構想與合作機會。神經科學跨人文社會科學領域的研究，是國內近年來的發展重點，本校心腦學中心亦在推展「情緒」、「決策」等社會神經科學的議題，更應和世界該領域學者多加互動並持續努力推動這些領域的發展。

二、研究成果

Lin, C. Y., Northoff, G., Lane, T. & Yen, N. S. * (2013, Sep.). *The neural correlates of hindsight bias in political election and general knowledge events*. Poster presented at the 2013 annual meeting of the Society for Neuroeconomics, Lausanne, Switzerland.

Liang, T. P. *, Li, Y. W., Kang, T. C., Yen, N. S., & Hsu, S. M. (2013, Sep.). *Effects of avatar and personalization on perceived website closeness and purchase intention: An fMRI study*. Poster presented at the 2013 Consumer Neuroscience Satellite Symposium, Lausanne, Switzerland .

三、相關聯結

<http://www.neuroeconomics.org/conference>

科技部補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2014/11/02

科技部補助計畫	計畫名稱: 數學運算能力個人差異的基礎之研究—記憶更新能力對運算能力的影響
	計畫主持人: 顏乃欣
	計畫編號: 102-2511-S-004-001- 學門領域: 數學教育
無研發成果推廣資料	

102 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：顏乃欣		計畫編號：102-2511-S-004-001-				計畫名稱：數學運算能力個人差異的基礎之研究—記憶更新能力對運算能力的影響	
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	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	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 （本國籍）	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%		
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	0	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%		

<p>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。)</p>	<p>由於本計畫研究議題，得以和英國倫敦大學(University College London)認知神經科學所及心理學系榮譽教授，亦為英國研究院院士(Fellow of the British Academy)之 Brian Butterworth 教授合作研究，增進國際交流。我們已發表 5 篇國際會議論文，目前正撰寫期刊論文。</p>
--	--

	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	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

科技部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）

本人近幾年致力於處理數學運算能力的基礎認知因素探討，在前一個研究計畫中已發現個人廣泛性能力-工作記憶，對於計算能力有較顯著貢獻。這樣的結果除釐清過去文獻對於一般性與特殊性認知能力對計算能力的爭辯外，我們發現記憶更新能力在心算乘法中可能佔有關鍵角色，更為對此領域的前驅性發現。本計畫我們延續探討記憶更新能力的影響，操弄了更新內容(如數字、中文字、與空間圖形)與處理方式(單純更新或是運算處理)，結果除再度確認了記憶更新能力對心算乘法，特別是對越困難的題目的貢獻外，也發現數字的單純更新本身並非增進計算能力的關鍵，而是運算(operational)處理。此一結果除打破過去普遍認為處理數字本身必為增進計算能力的刻板印象外，更能為台灣的數學教育提供一新的思維。因為在個人成長關鍵期，訓練或促進個人的空間處理等能力，可能更有助於提升個人學習成就、甚至增進整體智力，研究者需嚴肅看待本研究可能推廣的範疇與關鍵年紀。另外，由於本計畫研究議題，得以和英國倫敦大學(University College London)認知神經科學所及心理學系榮譽教授，亦為英國研究院院士(Fellow of the British Academy)之 Brian Butterworth 教授合作研究，增進國際交流。我們已發表 5 篇國際會議論文，目前正撰寫期刊論文。

