

工作記憶力、後設認知能力對於國小高年級一般兒童與注意力缺陷過動症兒童之數常識發展的徑路結構分析

李茂能¹ 楊德清^{2,*}

¹國立嘉義大學 教育學系

²國立嘉義大學 數理教育研究所

摘要

本文旨在探究一般學生與注意力缺陷過動症(ADHD)學童的「工作記憶力」、「後設認知能力」與「數常識發展」間之徑路結構關係。調查研究樣本取自雲嘉南地區705位國小高年級學生。利用SPSS與Amos進行資料分析,獲得以下重要結論:一、在「數常識」表現上,一般兒童比單純注意力缺陷(ADD)兒童與混合型ADHD兒童優異,ADD與ADHD兒童表現並無顯著差異。不過,從兩組之平均數差異看來,ADHD兒童(具有雙重障礙)要比ADD兒童落後許多,未達到.050之顯著水準可能係因樣本過小所致。二、工作記憶對於數常識無直接的顯著影響力,但可透過後設認知間接顯著影響數常識之發展;工作記憶與後設認知也具有密切關係,因此工作記憶的強化將有助於後設認知能力的發展。三、後設認知對於數常識能力具有顯著的直接影響力,直接增強學生的後設認知能力,將能改善數常識能力。四、後設認知能力、工作記憶與「數常識表現」間之完全中介效果徑路模式,可適用於一般兒童與ADHD兒童。五、工作記憶與後設認知等能力是數常識發展的先備知能,知能上的缺陷會導致數常識學習的障礙。因此,數常識教學成效的提升,有賴教師對這些前導知能的訓練。

關鍵詞: 工作記憶、注意力缺陷過動症、後設認知、徑路結構分析、數常識

壹、序論

一般而言,「數學」是學生在各級學校最容易出現學習障礙的學科之一,根據研究顯示:學生早期數常識(number sense)的發展可以有效預測日後的數學成就(Jordan, Glutting, & Ramineni, 2010; Jordan, Glutting, Ramineni, & Watkins, 2010)。Robinson,

Menchetti與Torgensen (2002)也指出學生要有創造性與彈性的解決策略,端賴堅強的數常識能力。數常識又稱為數感,係指學生在解決數學問題時,能夠靈活地思考與彈性地運用數字之能力,也是有效解決問題的策略。因此,數常識能力薄弱不僅會影響日後數學的學習,且將影響學童有效的解題策略,

*通訊作者:楊德清

(投稿日期:民國104年4月18日,修訂日期:民國104年6月29日,接受日期:民國104年7月28日)

進而導致數學學習障礙(黃仕奇、楊德清, 2014; Dyson, Jordan, & Glutting, 2013; Jordan, Kaplan, Locuniak, & Ramineni, 2007)。所以, 教師若能找出學童在數常識發展上出現障礙的因素及其因應策略, 將能有效改善學生的靈活思考及解題能力, 其數學成就也能因之而提升。

影響數常識發展的因素很多, 其中「注意力」是各類學童學習知能的關鍵因素, 如果注意力發展的成熟度未能滿足其學習的需求, 便可能導致兒童的學習表現不佳(林宜親等, 2011)。林健禾(2009)、Gremillion與Martel (2012)的研究發現: 注意力缺陷與數學能力具有顯著的負相關; 因而對於注意力短暫、容易分心與過動的注意力缺陷過動症(Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder, ADHD)兒童, 可能因無法聚焦於最有關聯性的資訊上而會產生粗心、學習遲緩的情形, 尤其解題過程涉及多重步驟、多重資訊、多重運算時。因而, 一般兒童與ADHD兒童在數常識發展上的差異性, 乃是本研究欲探討的主要問題。

此外, 有效的「工作記憶」能加快數學的解題速度(林宜親等, 2011), 而工作記憶缺陷則是造成學生數學學習障礙的原因之一(李亞惠, 2003; 李後昆, 2006; 林健禾, 2009; 蔣大偉, 2001; Geary, 2005), 尤其ADHD兒童常因分心無法專注與持續注意力不足, 造成目標資訊記得少而不相關的資訊卻記得很多(Lucangeli & Cabrele, 2006), 導致不相關資訊充斥著工作記憶空間而無更多的空間去處理真正的數學問題。Crosbie, Perusse, Barr與Schachar (2008)的研究, 發現工作記憶缺陷可能是ADHD患者之病態基因的生物標記(endophenotype), 這似乎是注意力缺陷與過動的後遺症。Mayes, Calhoun與Crowell (2000)、

Mayes與Calhoun (2006)的研究, 發現約有四分之一的算術學習障礙者為ADHD學童, 但有關其影響因素的研究, 國內外並不多見。近年來, 有些研究者更發現, 學童「後設認知能力」與「數常識」之各組成分間均具有顯著正相關(李後昆, 2006; 黃杰、李清, 2012; 黃莉雯, 2005; 劉逸書, 2009)。而新加坡教育部從1990年代起, 後設認知的能力已列入數學課綱, 它與態度、技巧、概念與過程並列為數學問題解決的關鍵要素(Curriculum Planning and Development Division, Ministry of Education, 2012), 足見後設認知在數學教育上的重要性。

綜上所述, 注意力、工作記憶力、後設認知能力皆會影響數常識之發展, 但目前的相關研究均僅在探究雙變項間的相關或直接效果, 而忽略了間接效果與相關的前導變項。本研究乃針對一般兒童與ADHD學童的「工作記憶力」、「後設認知能力」與「數常識」間之多變項認知結構關係進行探索與分析, 以找出學童學習數常識的直接與間接影響因素, 並且考驗一般學生與ADHD學生之徑路結構模式之等同性。因此, 本研究採用SEM探究所提議之理論模式的適配性, 以利同時分析數常識的直接與間接效果。

根據前述之研究目的, 本研究提出以下三個研究問題:

- 一、一般兒童與ADHD兒童在「數常識」上表現的差異性為何?
- 二、工作記憶力、後設認知能力是否能有效預測一般兒童與ADHD兒童之「數常識」能力? 其直接與間接效果為何?
- 三、工作記憶力、後設認知能力與「數常識」間SEM之結構模式, 在一般兒童與ADHD兒童上均適配嗎?

根據前述的研究結果，找出一般兒童與ADHD兒童在數常識上學習障礙之直接與間接影響因素，進而提出改善數常識教學與學習效能的因應對策。

貳、相關文獻探討

本節旨在定義ADHD與ADHD分類方法及探索一般兒童與ADHD兒童的工作記憶力、後設認知能力與「數常識」(number sense)間之認知結構關聯性或方向性，據以提出本研究的研究假設與其相關的SEM理論模式。

一、ADHD之定義與分類

ADHD的兒童常出現以下之症狀：習慣性不專心、過動與衝動(商志雍、高淑芬，2010；黃惠玲，2008，2009；劉昱志等，2006；American Psychiatric Association, 2000)。習慣性不專心係注意力(attention)出了問題，注意力係選擇性處理資訊的能力。根據Posner與Boies (1971)對於注意力的定義，注意力含有三要素：警覺度(alerting)、選擇力(orienting)與執行控制(executive control)或稱為持續度(maintaining)。個體的「警覺系統」會監控感覺環境，查看是否有不尋常的地方，如果有會啟動第二個「導向系統」，而使得個體在眾多感覺的刺激環境中，選擇需要注意的特定刺激或訊息，接著個體的「執行控制系統」，會要求個體持續聚焦或解決衝突。

注意力缺陷過動症主要症狀在早期即發生，症狀具有情境變異性與病程相當漫長(吳佑佑，2010)。但不是每一位過動兒都有以上所有症狀：有些以注意力不足為主，有些以過動與衝動為主，有些則同時合併以上三種特性。

至於ADHD學生分類的判斷標準，過去常用的是效標參照法與常模參照法，以中文ADHD教師評定量表為例(SNAP-IV)，簡介如下。

(一)效標參照法

在9題有關注意力缺損症狀中，出現大於或等於6題，且症狀持續出現至少6個月，以致足以造成適應不良或學習障礙，才稱為注意力不集中(ADD兒童)。在9題有關過動／衝動症狀中，出現大於或等於6題，且症狀持續出現至少6個月，致足以達到適應不良且造成與其應有的發展程度不相符合，才稱為過動及衝動(HD兒童)(林志堅、侯伯勳，2015)。學生出現符合上述任何一種症狀(注意力缺陷或過動／衝動症)，或兩種症狀皆存在(ADHD)，本研究中皆統稱為ADHD兒童；如果沒有出現上述任何一種症狀者即視為一般兒童。

(二)常模參照法

將注意力缺陷與過動分量表之原始分數轉換成百分等級，如果受試者的PR值大於75可視為輕度ADHD，如果受試者的PR值大於85可視為中度ADHD，如果受試者的PR值大於95可視為重度ADHD。

二、一般兒童與ADHD兒童在數學能力上之差異性

許多的研究顯示注意力缺陷與數學能力間亦具有顯著的負相關。例如：林健禾(2009)針對78位中年級ADHD學童的研究，發現注意力缺陷與數學能力具有顯著的負相關($r = -.25, p < .050$)；Gremillion與Martel (2012)的研究，發現注意力缺陷與Wechsler個別化成就測驗(WIAT)的數學成績間具有顯著的負相關($r = -.22, p < .001, N = 546$)，而ADHD嚴重程度與

Wechsler個別化成就測驗(WIAT)的數學成績間亦具有顯著的負相關($r = -.27, p < .001, N = 546$)。Zentall, Smith, Lee與Wieczorek (1994)針對121位一般兒童與107位ADHD兒童進行數學表現的比較，發現ADHD兒童在問題解決能力、概念理解與計算能力上均比一般兒童差。Marshall, Schafer, O'Donnell, Elliot與Handwerk (1999)針對20位注意力缺陷的學生所作的研究，發現學童的算術計算能力比字母辨識能力與閱讀理解能力遜色(t 值分別為3.95, 4.50, p 值均小於.010)。ADHD兒童在問題解決能力、概念理解與計算能力不佳，可能係因ADHD兒童在警覺度與執行控制上的缺陷所致(Swanson et al., 1998)。也可能係因ADHD兒童易於分心、粗心與過動，導致學習上不易專注、無法有效記取有用資訊與注意力不易持續，最後導致數學學習成果的低落。

綜上所述，注意力缺陷與數學能力間雖具有顯著的負相關，但重要的干擾變項值得進一步探究之，以利窺見問題的全貌，真正找出學習數常識的先備知能。以下將針對相關的重要干擾變項：工作記憶與後設認知，逐一探討他們與數常識兩變項間之關係。

三、工作記憶力與數常識間之關係

工作記憶(working memory)是維持資訊在備用狀態的能力，它用來編碼(encoding)與儲存語文、空間及視覺等資訊，進而能運用這些儲存的資訊或更新它，其中編碼與運用與注意力關係最密切(Fougnie, 2008)。工作記憶的容量是有限的，常被用來處理與保留相關資訊，其保留的時間亦相當短暫；很像電腦的RAM，不可以同時開啟太多應用程式。Geary (1994)就發現工作記憶差的一年級兒童，常會使用數手指頭(finger counting)解決數學問題。不過，工作記憶力具有執行短期

的決策或長期計畫的能力，常用來暫時儲存解決問題時相關之概念、事實與過程，也是短期記憶與長期記憶的交會處(Kathy, 2009)。

工作記憶力可說是語音或視覺資訊暫時儲存的場所，以利資訊的處理與運用(Martinussen & Tannock, 2006; Swanson & Beebe-Frankenberger, 2004)。Baddeley (2007)亦提出改良式的短期記憶力理論模式，該工作記憶力理論模式含有一個中央監控系統(central executive)，其下含有兩個短期記憶力子系統：語音迴路(phonological loop)、視覺空間素描板(visuo-spatial sketchpad)。中央監控系統係注意力控制者，具有監督、處理與協調功能，包含資訊的組織、推理、長期記憶的提取與注意力的分派；而簡單的認知工作，則交由工作記憶中所隸屬的次系統自行處理。子系統的語音迴路是語言資訊的認知處理系統，它包含兩部分：一是帶有聽覺記憶線索(容易遺忘)的短期語音記憶力，二是可以叫醒記憶痕跡的發音複誦成分。子系統的視覺空間素描板系統，係用以說明個體如何儲存暫時所看到的資訊，或如何處理這些時空及視覺資訊；例如，記憶空間中物件的形狀、顏色與位置。此視覺素描板主要包含視覺、空間與運動等三個非語言成分。具有工作記憶缺陷的學童在完成一項任務當中，可能時常會忘記部分的工作內容。Alderson, Rapport, Hudec, Sarver與Kofler (2010)針對27位學習缺陷學生(其中14位為ADHD患者)的研究，發現ADHD學生在工作記憶上皆有缺陷，尤以中央監控能力上最弱($r = -.85, p < .010$)，其次為視覺空間素描版($r = -.62, p < .010$)與語音迴路($r = -.50, p < .010$)的能力。Martinussen與Tannock (2006)的研究也發現ADHD兒童的工作記憶缺陷，會阻礙語文或非語文資訊的有效運作，跟注意力的缺陷有

密切關係。在數學解題過程中，有些學童可能無法專心，迷失解題方向，記憶力短而無法跟上說明，或忘記基本解題方法。這類注意力短暫的小孩可能需要一再學習與一再練習(Kathy, 2009)，以彌補其注意力不集中、資源分配不善與專注力不足的缺陷。

Gathercole、李玉琇與王馨敏(2011)具體指出，學校教師如何辨識兒童是否具有工作記憶上的問題。他們指出以下四種工作記憶的缺陷現象：(一)不完整的回憶、(二)無法遵循指導語、(三)經常產生順序上的錯誤、與(四)完全放棄應該完成的作業或活動。值得慶幸的是，工作記憶的容量，可以經由工作記憶的刺激與訓練而獲得逐步的擴大(陳湘淳、李玉琇，2005)。瑞典斯德哥爾摩腦研究院的認知神經科學教授Torkel Klingberg的研究也證明工作記憶能力可以通過訓練加以提高。他進而創立了認知醫學(Cogmed)生技公司，開發出的一套實用電腦訓練軟體，也證實可以有效改善ADHD者的工作記憶能量(Sinha, 2005／蔡宛玲譯，2005；Walker, 2013)，進而改善數學成就。

有關工作記憶力與數常識之關係的相關文獻甚為少見，僅有李後昆(2006)對於國小數學低成就學童工作記憶、數學概念、後設認知與問題表徵之相關研究，該研究發現，就一般學生來說，工作記憶高低分組的學生在數學問題表徵能力上具有顯著差異($F = 36.14$, $df = 44$, $p < .050$)，經轉換成相關係數為 .67 (使用Rosenthal, 1984公式)；但就數學低成就學生來說，工作記憶高低分組的學生在數學問題表徵能力上並未具有顯著差異($F = 1.09$, $df = 21$, $p > .050$)。

不過，工作記憶力與數學能力間的相關研究則較多，最近的研究發現工作記憶力缺陷與數學學習困難具有密切關係，尤其在算

術、演算邏輯與問題解決上。例如，蔣大偉(2001)的研究發現，數數工作記憶與數學成績具有顯著相關($r = .45$, $p < .010$, $N = 37$)；黃靖淑(2002)對於國小中高年級學生數常識發展概況之探討，發現工作記憶與數學能力間具有顯著的相關($r = .63$, $N = 76$, $p < .010$)；洪小婷(2008)的研究也發現，二年級工作記憶薄弱學生，在數學觀念的理解上會產生較多的困難；林健禾(2009)研究「注意力與過動特徵與數學學業表現的關係：以工作記憶為中介的模式」，發現工作記憶總分與數學能力間具有顯著的相關($r = .46$, $p < .050$, $N = 78$)；Swanson與Beebe-Frankenberger (2004)的研究就發現工作記憶力缺陷會導致數學文字題的解題出現障礙；Gremillion與Martel (2012)的研究發現，工作記憶力(DSB)與WIAT數學成績的相關為 .44 ($p < .001$, $N = 355$)。至於ADHD學童而言，他們的工作記憶力可能更弱，而導致語言或非語言資訊的操控困難(Martinussen & Tannock, 2006)。據此，推導出本研究的研究假設一(H1)：工作記憶力對於數常識能力具有正面影響效果。

四、工作記憶力與後設認知間之關係

後設認知(meta-cognition)之內容包含知識與管理技巧，當中知識(knowledge)的部分包含陳述性(declaration)，過程性(procedure)，與策略性(strategy)或條件性(condition)等知識。知識部分通常係存放在長期記憶系統中，管理技巧部分則在工作記憶系統中運作，因此後設認知涉及知識的記憶歷程與記憶能力。陳述性的知識屬於What的事實知識(以說或寫加以表達)，過程性的知識屬於How的步驟知識，策略性的知識屬於Why或When的條件知識(Desoete, Roeyers,

& Buysse, 2001)。光憑陳述性的知識(事實與概念)不足以獲致較佳表現與成就，尚需有運用這些事實與概念的過程性知識及統合的策略性等知識，才能針對不同難題評鑑各種策略後，選擇適當的策略以順利解決新的難題(Metallidou, 2009)。至於後設認知之管控(metacognitive control)部分，則包含注意力支援、現存的認知策略與難題分解之洞察力，旨在調控或改善解決問題的技術與策略(Desoete, 2008; Hollingworth & McLoughlin, 2001)。這些解決問題的技術包含預測(prediction)、計畫(planning)、監控(monitors)與評鑑(evaluation) (Desoete et al.)。由此觀之，後設認知乃是一種高階的認知能力，端賴較佳的工作記憶能力始能成功完成上述這些較複雜的資訊處理。不少的研究(例如：Ackerman, Beier, & Boyle, 2005; Conway, Cowan, Bunting, Theriault, & Minkoff, 2002; Kane et al., 2004)就發現工作記憶可以有效預測到流體智力(fluid intelligence)，而流體智力係歸納推理與解決新問題的能力，乃是數學學習的關鍵知能。

因此，就數學解題而言，後設認知缺陷將使得學生無法覺察錯誤、無法及時糾正錯誤、無法判斷數學問題的難易、無法產生適當的解題策略與無法適時調整解題策略，這些缺陷常起因於個體的工作記憶能力薄弱所致，因為工作記憶的能量大，個體的後設認知的操控空間也較靈活，解決問題得效率也會更迅速。國內外的直接相關文獻並不多見，只有Swanson與Trahan (1996)認為「後設認知能力」係工作記憶力與理解能力關係的重要中介變項；Fernandez-Duque, Baird與Posner (2000)認為工作記憶與後設認知的調控與知識具有密切關係；Panaoura與Panaoura (2006)的實徵研究發現，數學表現及後設認知、處理效能、工作記憶間具有密切關係；

許家驊(2010)的調查研究，也發現解題運作記憶(即工作記憶)、自我調節表現與解題能力具有顯著正相關；Walker (2013)的實驗研究也發現，經過8週工作記憶的訓練(透過CogMed)與後設認知的個別教導能夠改善13及14歲學生的數學成就；就閱讀理解能力而言，Alexander (1993)的實徵研究，發現工作記憶與後設認知的相關為 .71；另外，Swanson與Trahan (1996)的研究發現，閱讀障礙者的後設認知對於工作記憶與閱讀理解能力間的關係，具有中介效能。據此，推導出本研究的研究假設二(H2)：工作記憶對於後設認知能力具有正向影響效果。

五、後設認知與數常識間之關係

Kalchman, Mos與Case (2001)認為擁有良好數常識的學習特徵應包含：(一)估算以及判斷數量的流暢性，(二)認知不合理結果的能力，(三)心算能力的靈活度，(四)在不同表徵之間轉譯的能力，(五)使用最合理的表徵(陳需頤，2010)。例如：請不用紙與筆，計算「 16×3.75 」，一個具有良好數常識的學生，應該很快就會靈活利用如： $16 \times \frac{15}{4} = 60$ 、 $8 \times 2 \times 3.75 = 8 \times 7.5 = 4 \times 15 = 60$ 等等解法，正確而快速的解出答案來。此一心算題目涉及後設認知的知識與管理技巧，學生需有覺察乘數與被乘數間的可能分解關係，並能監控、評鑑有無最佳的解法，這些認知能力反映出學生是否能靈活地思考與彈性地運用數字解決問題。過去的研究就發現後設認知乃是解決問題的重要影響因素(Goos, 1993; Schoenfeld, 1992)。

數常識與後設認知均是一種更高層次的思考統整能力，兩者關係密切(許清陽，2005；黃莉雯，2005；魏麗敏，1995)。後

設認知與數常識間關係之研究，國內外的文獻亦不多見，只有李後昆(2006)、劉逸書(2009)、黃杰與李清(2012)、黃莉雯的準實驗與調查研究。針對國小六年級學童後設認知與數感能力相關性之研究發現，整體而言，後設認知與數常識間僅具有顯著的低相關($N = 950$)：後設認知之「目標設定」、「自我監控」、「自我評鑑」、「自我修正」與數感之瞭解數字的意義和關係、辨認數字大小、瞭解運算對數字的意義和影響、發展計算策略與判斷答案合理性、以多重方式表徵數字等變項間的相關，依序分別介於 .15 ~ .21、.09 ~ .26、.11 ~ .19、.13 ~ .23 (黃莉雯)。

李後昆(2006)對於國小數學低成就學童工作記憶、數學概念、後設認知與問題表徵之相關研究，發現不管是一般學生或是低成就學生，其後設認知高分組的數學問題表徵能力均顯著優於後設認知低分組($F = 16.23, p < .050, df = 119$)；經轉換成相關係數為 .35 (使

用Rosenthal, 1984公式)。劉逸書(2009)在後設認知策略發展國小五年級學童數感能力的實驗中發現，以後設認知進行數感教學，其教學成效比控制組為佳($t = 2.15, p < .036, df = 55$)；經轉換成相關係數為 .28。黃杰與李清(2012)的後設認知與數常識關係的調查研究，也發現6年級生的後設認知與數常識具有顯著正相關($r = .226, p = .004, N = 240$)。據此，推導出本研究的研究假設三(H3)：後設認知對於數常識能力具有正面的影響效果。

根據前述之各主要研究變項間關聯性之探討，可以呼應楊憲明(2006)的論述：許多研究結果均顯示注意力、工作記憶與後設認知對學習成就有顯著的影響力。過去的研究均未針對重要的中介變項進行深入分析，本研究乃運用SEM模式同時探究相關變項間的中介效果，以獲致更周延與實用的研究結果。綜合上述相關文獻與推導假設，本研究提出圖1之SEM理論模式。由圖1知，該理論

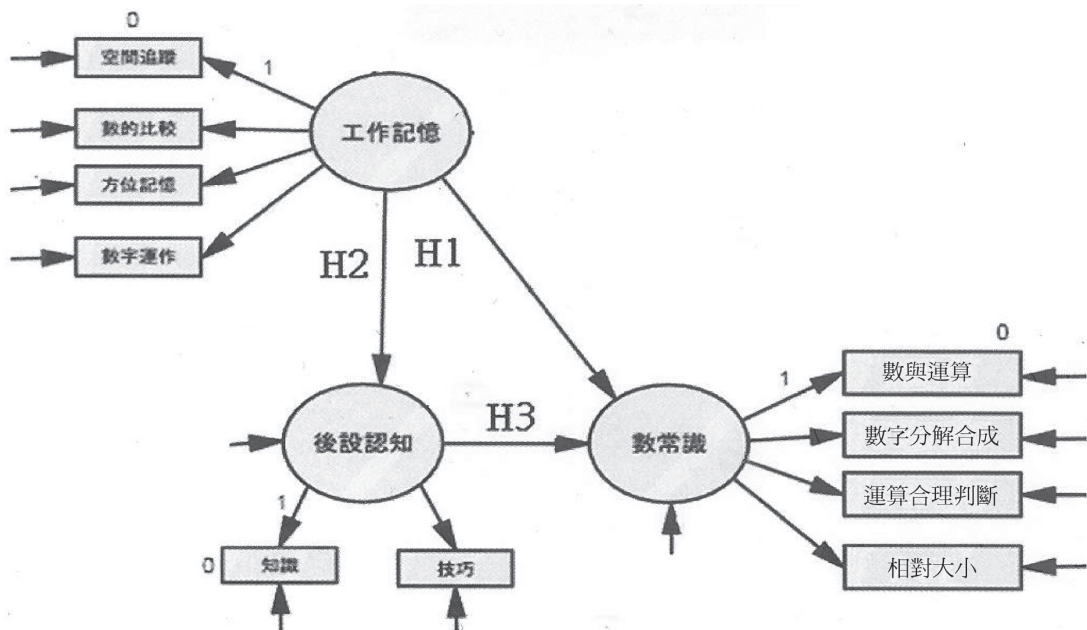


圖1：後設認知能力、工作記憶力對「數常識」預測力分析的理論模式

模式包含三個相關構念，其中工作記憶包含四個分測驗：空間追蹤、方位記憶、數的比較與數字運作；後設認知包含兩個分測驗：知識與技巧；數常識包含四個分測驗：數與運算、數字分解與合成、運算合理判斷、與相對大小。另外，各結構徑路上的H1～H3標籤，分別代表研究假設一至三的考驗對象。

根據圖1的理論模式，除了可以考驗前述三個研究假設之變項間的直接效果(例如：工作記憶對於數常識的效果、工作記憶對於後設認知的效果、後設認知對於數常識的效果)之外，尚可考驗以下變項間的間接效果。研究假設四(H4)：後設認知在工作記憶力與數常識間具有間接的影響效果。

參、研究方法

一、研究對象與過程

因為國小高年級的數學知能乃是奠定國中數學學習的關鍵基礎，研究對象特選定國民小學5、6年級。本研究採用調查研究法，以學校為抽樣單位，樣本取自雲嘉南地區12所國民小學高年級，共24班705位學生，為使樣本具有代表性，抽樣時儘可能採取城鄉、男女分層隨機取樣。因而聘請了24位級任導師，協助後設認知能力量表與ADHD教師評定量表之施測，督導學生進行電腦化線上數常識測驗及電腦化工作記憶評定量表之工作。在ADHD評定之前，並發文召集所有參與研究的級任導師進行施測前講習，講習中特別強調(一)ADHD每一症狀的評估要持續6個月以上且出現在一個情境以上，(二)測驗結果的絕對保密不外洩，以確保本測驗實施的一致性、公正性與保密性。

二、研究工具

(一) ADHD 教師評定量表

本量表採用劉昱志等(2006)修訂Swanson, Nolan與Pelham, Version IV (SNAP-IV)量表之中文版，該量表適用於國中、小學生。ADHD教師評定量表包含兩個分量表：分心量表與過動／衝動量表。SNAP-IV分心量表係ADHD量表中之一部分(共9題)，旨在測量學童之注意力缺陷程度。教師版SNAP-IV的重測信度在分心量表與過動量表上分別為.84與.75；其內部一致信度在分心量表與過動量表上均為.94；而其與中文版教師用兒童活動量表的同時效度在分心量表與過動量表上分別為.80與.66。該量表的計分係依症狀之嚴重程度評定之，「0」表示完全沒有、「1」表示有一點、「2」表示還算不少、「3」表示非常的多。在本研究中，為了提高分數之離散量，在本研究中該量表更用四點量尺：1分表示從未出現ADHD症狀，2分表示很少出現ADHD症狀，3分表示有時出現ADHD症狀，4分表示經常出現ADHD症狀。因此，各分量表的最低總分為9分，最高總分為36分，分數愈高表示ADHD症狀愈嚴重。根據Posner與Boies (1971)對於注意力的定義，分心量表的題目內容依因素分析結果，歸類為三種注意力：警覺度、選擇力與持續度(或稱為執行控制)的注意力；至於過動／衝動量表(共9題)，旨在測量學童之過動／衝動程度。ADHD教師評定量表，係由熟悉學生半年以上的級任導師協助個別評定之，旨在初步區辨一般兒童與ADHD學童以進行學術研究，並不作為醫療用。

(二) 數常識測驗

數常識測驗係電腦化之線上測驗(楊德清、李茂能，2007)，由級任老師指導學生自

行上網進行電腦化個別測驗。本測驗共有32題，量表編製的內涵係依數常識四大要素：

- 1.比較數字大小：具備直接比較數字，如整數、分數或小數，之大小關係的能力，例如：知道3702大於3099、能夠直接判斷0.62大於0.6199、或者是能夠使用彈性的策略以比較 $5/11$ 與 $7/13$ 的大小、
- 2.數字分解與合成：能夠靈活的運用分解、合成的策略以解決問題。例如：求 $23 + 999 + 77 + 1$ 時知道先合成 $23 + 77$ 與 $999 + 1$ ，然後快速求得答案、
- 3.運算結果合理性之判斷：能透過估計或心算的策略以判斷答案的合理性。例如：教室的地板到天花板的高度大約是多少？下列哪一個選項是合理的：(1) 300公分 (2) 300毫米 (3) 300公尺 (4) 無法判斷、與
- 4.理解數字運算基本意義：能夠瞭解數字系統（包括整數、分數與小數）的意義，整數、小數位值的概念與分數的意義，以及瞭解整數、小數與分數之間的關係。例如：知道 $0.25 = 1/4 = 25/100$ 等。

數常識測驗的每個分測驗各含8題選擇題，其計分方式採計答案的正確性與原因的正確性，以減輕猜測的測量誤差；學童之測驗分數愈高，其數常識愈佳。本測驗之難易度介於.26 ~ .67；鑑別度介於.48 ~ .80。

(三)工作記憶評定量表

本量表係直接採用李東霖、洪碧霞、邱上真與李岳勳(2004)之電腦化測驗，亦由級任老師指導學生自行上網進行電腦化個別測驗。本電腦化測驗包含空間追蹤、方位記憶、數的比較與數字運作，共有52題，適合於國小中、高年級學生使用；其中空間追蹤、方位記憶大都與視覺空間素描板有關；數的比較與數字運作與語音迴路有關。該測驗的編製係根據Baddeley (2000)的工作記憶結構進行設計。各工作記憶分測驗的內部一

致性信度介於.66 ~ .89之間，而各工作記憶分測驗與系列數學能力測驗的相關介於.40 ~ .61之間。各分測驗內题目的計分均採答對者得1分，否則為0分。本測驗分數愈高，其工作記憶能力愈佳。

(四)後設認知能力量表

本量表內含知識與技巧兩個分測驗，每個分測驗均含9小題，每題最高分數為4分；本測驗分數愈高，其後設認知能力愈佳。技巧分測驗係研究者參考Magno (2009)後設認知評定量表擬題，知識部分則為研究者自編。本測驗經因素分析，證實題目內容分別代表後設認知能力的知識與技巧兩大部分，建構信度尚佳。後設認知能力的技巧包含預測、計畫、監控、評鑑；而後設認知能力的知識包含陳述性(declaration)、過程性(procedure)、與策略性(strategy)或條件性(condition)、正確答案等，除監控技巧包含兩小題之外，其餘每一要素均有一道題目加以檢測。為強化本量表之內容效度，本量表內涵曾委請相關數學教育領域專家進行實質內涵之審核。後設認知能力量表請級任教師進行團體班級施測，測驗時間約需20分鐘。

三、研究工具的信、效度分析

表1中呈現本研究四個研究工具的名稱、各量表包含之面與與其因素負荷量，並報告了各量表的信、效度資料。

表1中建構信度及變異量抽取%，旨在反應測量指標可以測到或代表潛在構念的程度，它們也是聚斂效度的指標。理想上，Cronbach's α 、建構信度最好大於.70，變異量抽取%最好大於.50。爰此，除了後設認知全量表的建構信度.56，未達效度理想標準(可能係因知識與技巧的相關較小所致，顯示出單

表1：本研究四個研究工具之信、效度分析及因素負荷量摘要表(N = 705)

量表名稱	Cronbach's α	建構信度	變異量抽取%	標準化因素負荷量
注意力缺陷	.97	.97	.90	
持續度				.98
警覺度				.94
選擇力				.93
工作記憶	.78	.78	.47	
空間追蹤				.61
數的比較				.72
方位記憶				.70
數字運作				.71
數常識	.90	.90	.69	
數與運算				.82
數字分解合成				.84
運算合理判斷				.81
相對大小				.84
後設認知	.86	.56	.39	
知識				.67
技巧				.57

向度的假設較薄弱，有待未來命題品質之改善)之外，其餘各量表的信效度均符合信、效度理想標準。另外，根據Comrey與Lee (1992)的建議，題目或分量表的因素負荷量在 .55 ~ .63之間為良好，在 .63 ~ .71之間為非常好，在 .71以上為極優。本研究之各分量表之因素負荷量皆符合Comrey與Lee的良好標準。

四、資料處理

本研究取得資料，變項如有遺漏值將以該變項的平均數填補之，再利用SPSS & AMOS等統計軟體進行完整資料之統計分析。另外，因為模式導向的混合模式分析法(latent trait + latent class)可以獲得更正確的潛在類別之歸類(non-observed grouping)，且可提供個案被分派到各組之機率，乃利用Amos Bayesian SEM中的混合模式分析法，以辨認疑似ADHD的學童，並據此進行後續的SEM

等同模式的分析。ADHD學生的判斷標準，過去常用的是效標參照法與常模參照法(鑑定標準請參考文獻探討第一節)，其中效標參照法較主觀，而常模參照法係源自於大樣本的實徵參照。本研究則試圖利用適合於較小樣本的混合模式分析法，進行區域性一般學童與ADHD學童之分類工作，以降低診斷工具誤判一般兒童為ADHD兒童的機率。根據過去ADHD的普及率(劉昱志等，2006；Montiel, Peña, Montiel-Barbero, & Polanczyk, 2008)，將ADHD與一般兒童分類的Dirichlet Prior機率設定為1：10，以提高判斷之準確率。進行混合模式分析之前，為提高分組之正確率、效率與避免分組辨識錯亂(label switching)，本研究乃事先根據身分類別已能確定(醫生確認者35位，其中8位為混合型，27位為注意力缺陷者)或一般兒童身分類別較能確定者(根據測驗分數選定150位)作為訓練資料點(training data)。

經過AMOS混合模式分析，可以獲得三個有效潛在類別：一般兒童、單純注意力缺陷兒童(ADD)與ADHD兒童，其Posterior predictive $p = .500$ ，Muthen's Entropy = .92，顯示歸類的穩定性佳。不過，在本研究中，因為單純注意力缺陷兒童數過少，乃將ADD兒童與ADHD兒童皆歸類為ADHD兒童(其Posterior predictive $p = .420$ ，Muthen's Entropy = .92，顯示歸類為兩組，其穩定性與三組相似)，進行一般兒童與ADHD兒童的結構模式恆等性分析。後面的資料分析亦支持兩組的合併，因為ADD與ADHD兒童在數常識各分量表上的表現，均無顯著差異。

肆、研究結果與討論

一、一般兒童與ADHD兒童在四個潛在變項實得總分上的差異性分析

本研究樣本經診斷分類後並未出現過動／衝動(HD)兒童，可能係因HD兒童通常多會伴隨注意力缺陷所致，因此表2中無HD兒童的相關描述統計。

由表2的平均數知，ADD兒童與ADHD兒童在數常識各分量表上的分數，均比一般

兒童落後。經變異數分析結果亦發現，三組兒童在數常識各分量表(數與運算、數字分解合成、運算合理判斷、相對大小)上的分數，均達 .050之顯著水準(F 值依序為7.47、5.75、8.72、5.99， p 值依序為 .001、.003、 $< .001$ 、.003)。表3係三組兒童在數常識各分量表上，事後組間平均數差異的比較。

由表3的組間平均數差異比較結果發現，(一)ADD與ADHD兒童在數常識各分量表上的表現均無顯著差異(p 值分別為 .470、.360、.190、.818)，不過，從兩組之平均數差異看來，ADHD兒童要比ADD兒童落後許多，未達到 .050之顯著水準可能係因樣本過小所致，(二)一般兒童在數常識各分量表上的表現均顯著優於ADHD兒童(p 值分別為 .020、.020、 $< .010$ 、.050)，(三)除了數字分解合成之外($p = .090$)，一般兒童在數常識各分量表上的表現均顯著優於ADD兒童(p 值均小於 .050)。由此觀之，注意力缺陷對於學習數常識可能是不利的因素，而過動症狀可能更是雪上加霜。注意力短暫與衝動性可能是ADHD兒童學習數學的障礙，可能因為ADHD兒童作答時經常不假思考而快速作答、也無法有效分辨與工作不相關的語言或

表2：一般兒童與ADHD兒童在數常識分量表上之描述統計摘要

組別		數與運算	數字分解合成	運算合理判斷	相對大小
一般組 ($N = 639$)	Mean	7.09	7.55	7.51	6.72
	SD	4.09	4.63	3.75	3.76
ADHD* ($N = 11$)	Mean	3.64	3.82	3.82	4.00
	SD	4.08	3.40	3.55	3.77
ADD** ($N = 55$)	Mean	5.53	6.16	6.09	5.36
	SD	3.22	4.10	3.44	3.47
Total ($N = 705$)	Mean	6.91	7.39	7.34	6.57
	SD	4.07	4.60	3.76	3.76

註：*表示學童同時出現注意力缺陷與過動症狀者。

**表示單純注意力缺陷者。

表3：一般兒童與ADHD兒童在數常識分量表上之事後比較考驗摘要表

依變項	組別I	組別J	平均數差異(I - J)	p值
數與運算	一般組	ADHD	3.45	.020
	一般組	ADD	1.56	.020
	ADHD	ADD	-1.89	.470
數字分解合成	一般組	ADHD	3.74	.020
	一般組	ADD	1.39	.090
	ADHD	ADD	-2.35	.360
運算合理判斷	一般組	ADHD	3.69	< .010
	一般組	ADD	1.42	.020
	ADHD	ADD	-2.27	.190
相對大小	一般組	ADHD	2.72	.050
	一般組	ADD	1.36	.030
	ADHD	ADD	-1.36	.810

註：本表採Bonferroni法校正 α ，進行事後組間平均數差異比較， $\alpha = .05$

視覺資訊，導致作答經常出現粗心的錯誤(如忽略正負號)。

二、一般兒童與ADHD學童測量模式與結構模式恆等性分析

表4係完整SEM理論模式中各觀察變項的平均數、標準差與各觀察變項間的相關矩陣。警覺度、選擇力與持續度係三種注意力的指標，他們之間具有高度相關(.88 ~ .92)；數常識的四大要素間具有中高度相關(.66 ~ .71)；後設認知能力的兩個指標間具有低度相關(.38)；工作記憶測驗的分測驗：空間追蹤、方位記憶、數的比較與數字運作間則具有中度相關(.34 ~ .52)。

由表4知，注意力缺陷各分測驗分數均與數常識、工作記憶及後設認知等各分量表之分數呈現負相關(-.21 ~ -.33)；意謂著注意力、工作記憶及後設認知等缺陷，可能是學生學習數常識的重要因素之一。

為了降低潛在特質意義在解釋上的混淆(interpretational confounding)與測量模式的

界定錯誤(misspecification of the measurement model)，根據Anderson與Gerbing (1988)的兩階段SEM考驗建議，進行結構模式考驗之前需先進行測量模式的考驗。圖2係Amos之測量模式的適配度考驗結果，由三個潛在構念間之關係(.52 ~ .75)，顯示三者間具有密切關連性；亦即工作記憶及後設認知的好壞與數常識的能力具有密切相關。

根據圖2，測量模式適配度的考驗結果為： $N = 705$, $\chi^2 = 57.802$, $df = 32$, $p = .003$, $\chi^2/df = 1.806$, $NFI = .981$, $CFI = .991$, $TLI = .988$, $PCFI = .705$, $RMSEA = .034$ ，除 p 值外(N 較大時可以不考慮)，其餘的適配度指標均反映提議模式的適配度可以接受。此外，表5的區辨效度與聚斂效度分析，係根據圖2中各個構念內的因素負荷量與構念間相關係數，所估計出來的個別構念的平均變異量抽取%(AVE，可反映聚斂效度)與構念間的共享變異量。根據Fornell與Larcker (1981)的建議，AVE最好大於.50；而個別構念所抽取的變異量應大於他們所共享的變異量($AVE > \text{標準化結構係數}^2$ ，可反映區辨效度)。

表4：各測量指標間之相關係數矩陣 (N = 705)

	持續度 1	選擇力 2	警覺度 3	相對大小 4	運算合理 判斷 5	數字分解 合成 6	數與運算 7	知識 8	技巧 9	空間追蹤 10	數的比較 11	方位記憶 12	數字運作 13
1	1												
2	.91	1											
3	.92	.88	1										
4	-.21	-.23	-.19	1									
5	-.23	-.26	-.23	.68	1								
6	-.21	-.23	-.21	.71	.70	1							
7	-.22	-.24	-.22	.70	.66	.66	1						
8	-.21	-.27	-.26	.45	.38	.42	.42	1					
9	-.25	-.26	-.25	.35	.33	.41	.36	.38	1				
10	-.33	-.33	-.29	.29	.28	.31	.28	.25	.22	1			
11	-.25	-.25	-.24	.26	.31	.26	.30	.28	.22	.44	1		
12	-.22	-.24	-.22	.30	.32	.28	.29	.27	.19	.41	.52	1	
13	-.26	-.27	-.23	.31	.35	.32	.35	.37	.25	.34	.51	.52	1
平均數	5.25	5.43	5.63	6.57	7.34	7.39	6.91	15.49	29.23	13.07	8.42	9.43	6.47
標準差	2.48	2.41	2.53	3.76	3.76	4.60	4.07	11.67	7.20	4.28	1.79	3.31	2.78

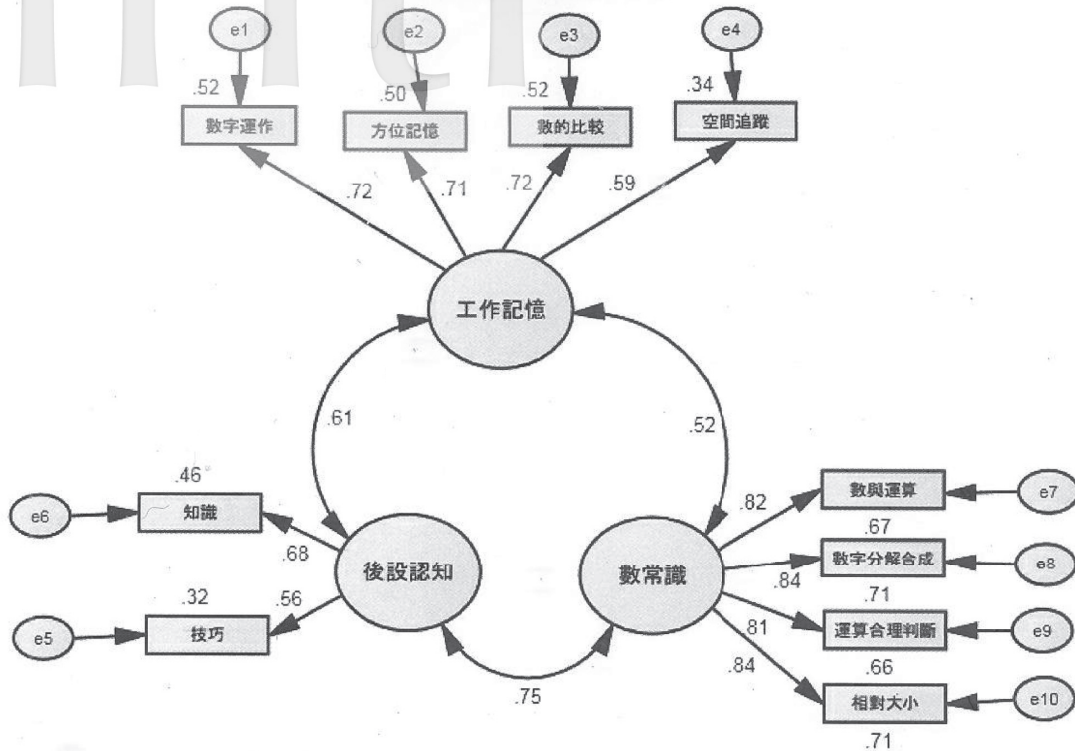


圖2：測量模式的適配度考驗

表5：區辨效度與聚斂效度的分析摘要表

	工作記憶	後設認知	數常識
工作記憶	.472		
後設認知	.610 ² /(.517 ~ .703)	.388	
數常識	.522 ² /(.452 ~ .592)	.757 ² /(.680 ~ .834)	.685

註：對角線數值代表個別構念的平均變異量抽取% (AVE)，非對角線部分平方數值代表構念間的決定係數(共享變異量)，非對角線括弧部分代表構念間相關係數的.950信賴區間。

平均變異量抽取比(AVE)係潛在變項可以解釋指標變異量之比率，常作為聚斂效度之評估。由表5的對角線上的AVE數值，除了後設認知(.388)稍嫌不足有待改善之外，其餘構念的聚斂效度大致良好。再由表4的非對角線上的AVE數值觀之，除了後設認知與數常識的AVE小於標準化結構係數²，未達Fornell與Larcker (1981)的標準，但其信賴區間(.680 ~ .834)也未包含1，因此各對構念間的區辨效

度均符合SEM分析的基本要求(以避免發生多元共線性，而發生異常參數估計值)。

綜合前述測量模式的考驗結果、區辨效度與聚斂效度的分析結果、各構念的建構信度與各指標的標準化因素負荷量(參見表1)，可見所提議的測量模式無模式界定錯誤現象，且各個構念的信、效度均在可接納範圍，因而可以繼續進行以下第二階段的

SEM結構模式考驗。圖3與圖4係一般兒童與ADHD兒童之中介因果徑路模式與其相關統計分析結果。該因果徑路模式涉及三個潛在變項：工作記憶、後設認知與數常識；其中後設認知係工作記憶與數常識間之中介變項。因此，本結構徑路模式涵蓋了直接效果與間接效果(工作記憶→後設認知→數常識)之考驗。

比較圖3中一般兒童與圖4中ADHD兒童的結構徑路係數可以發現，就一般兒童而言，工作記憶對於後設認知，後設認知對於數常識均具有顯著正向影響力($\lambda = .60, p < .001$, $\lambda = .70, p < .001$)，工作記憶對於數常識則未具有顯著影響力($\lambda = .10, p = .194$)。換言之，就一般兒童而言，工作記憶愈佳，後設認知能力愈強，後設認知能力愈強，數常識能力愈好，但工作記憶對於數常識影響力則不明顯。但由圖4知，就ADHD學童而言，其工作

記憶對於後設認知，後設認知對於數常識亦均具有顯著正向影響力($\lambda = .45, p = .020$, $\lambda = .58, p = .030$)，工作記憶對於數常識則未具有顯著影響力($\lambda = .09, p = .630$)。由此觀之，一般兒童與ADHD兒童在各相關變項間的結構徑路係數大小與結構組型均相當類似。

為瞭解上述這兩個模式運用在一般兒童與ADHD兒童上，其因素組型、因素負荷量與結構係數是否具有不變性，乃利用Amos的多群組分析，進行兩群體中介效果徑路模式恆等性之考驗，首先進行單樣本基本模式的考驗，接著再進行跨樣本的因素恆等性考驗，並將結果摘要於表6。

根據表6的一般兒童與ADHD兒童的資料可知，兩者的模式適配度相似(TLI、CFI、RMSEA均甚接近)，因此可以進行下一階段的跨樣本統計考驗。此階段要將兩個獨立的

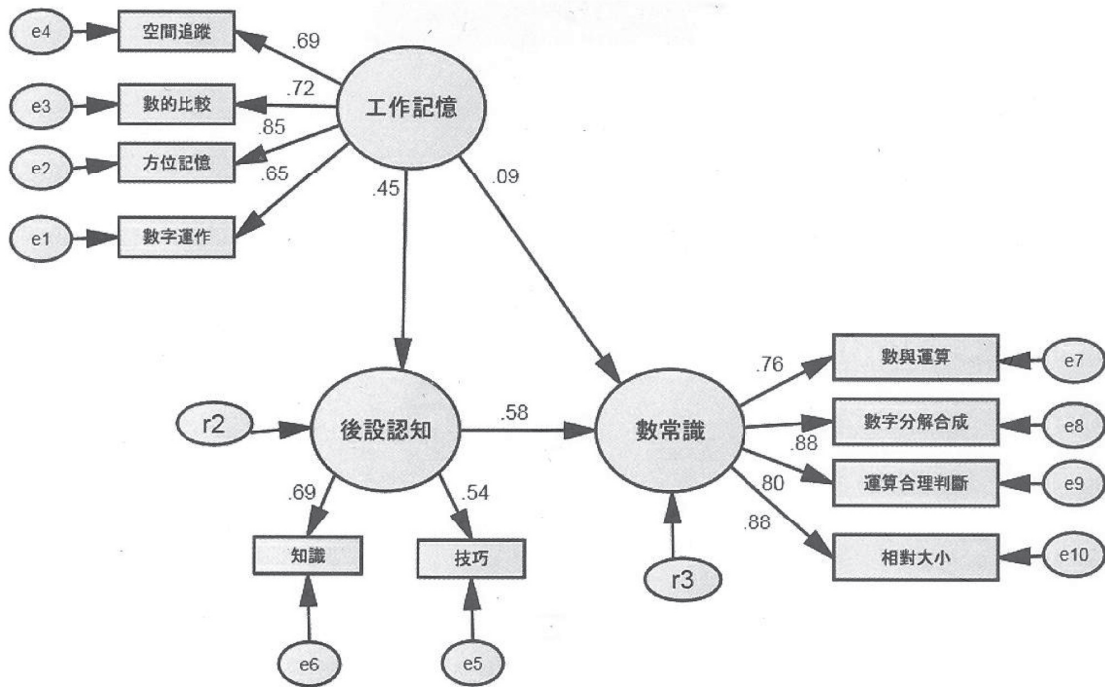


圖3：中介效果徑路模式之分析結果：一般兒童

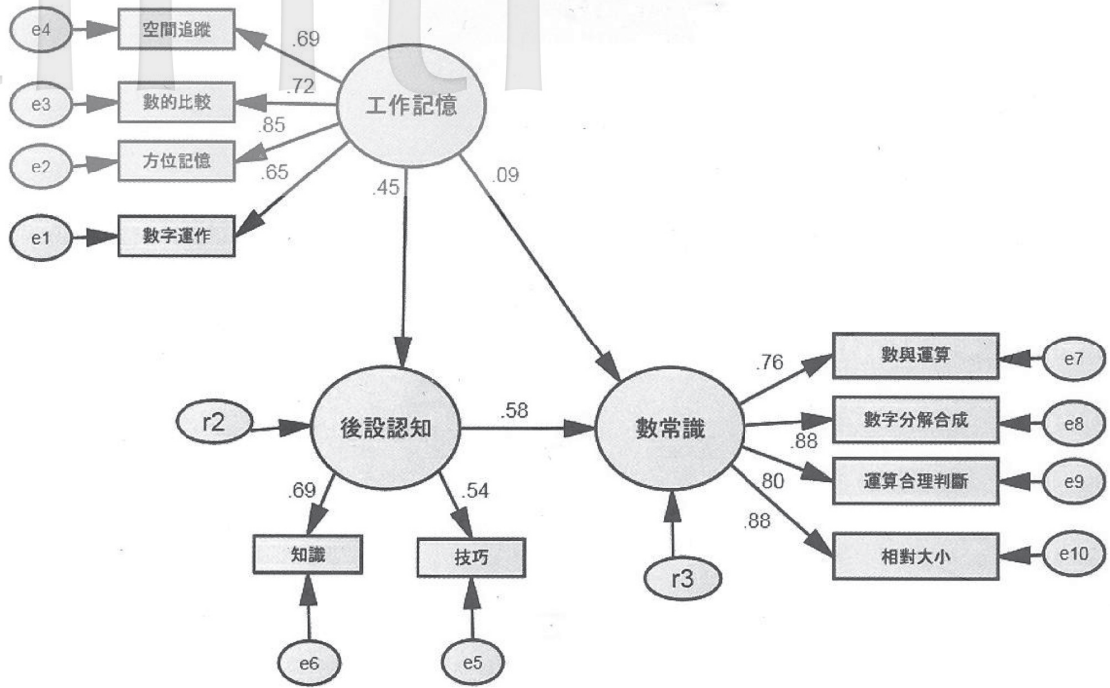


圖4：中介效果徑路模式之分析結果：ADHD兒童

表6：兩群體雙中介效果徑路模式恆等性之適配度考驗($N = 705$)

Proposed Model	$\chi^2(p)$	df	χ^2/df	TLI	CFI	RMSEA	ΔCFI	$\Delta\chi^2$	Δdf	P
一般兒童	47.556	32	1.486	.991	.994	.028	NA	NA	NA	NA
ADHD兒童	42.376	32	1.324	.948	.963	.071	NA	NA	NA	NA
未受限模式 (configural)	90.401 (.017)	64	1.413	.987	.991	.024 (1.000*)	NA	NA	NA	NA
測量恆等性 (equal loadings)	94.178 (.034)	71	1.326	.990	.992	.022 (1.000*)	.001	3.778	7	.805
結構係數恆等性 (equal paths)	100.707 (.021)	74	1.361	.987	.991	.023 (1.000*)	.001	6.529	3	.089

註：*表RMSEA $\leq .05$ 的機率。

SEM模式匯聚於同一個SEM模式之中，以檢驗兩組共變數結構矩陣的相等性。因而，表6中的未受限模式係基線模式，乃反應因素型態不變性(configural invariance)，一般兒童與ADHD兒童在此基線模式上必須適配，否則因為組間之結構不同，進行下一層次更嚴苛的因素負荷量不變性等的考驗將無任何意義。

除 p 值之外(N 較大時可以不考慮)，由表6之統計分析結果知，本研究的未受限模式符合上述基本要求：TLI = .987, CFI = .991, RMSEA = .024 (RMSEA < .050的標準，其機率 $p = 1.000$)，可以繼續進行下一階段組間的恆等性分析。接著，根據階層式隔宿模式間之卡方差異比較結果，可知測量模式具有不變性

($\Delta\chi^2 = 3.778$, $\Delta df = 7$, $p = .805$)，而更嚴苛的結構模式亦具有不變性($\Delta\chi^2 = 6.529$, $\Delta df = 3$, $p = .089$)。利用Amos的CR統計考驗結果也發現，所有三個標準化結構徑路係數，在一般兒童與ADHD兒童間並無顯著差異(CR值介於 $-.294 \sim -1.640$ 之間)，而且設限模式與未設限模式之CFI差異值並未大於.010門檻(Cheung & Rensvold, 2002)。因此，一般兒童與ADHD兒童之測量模式與結構模式可視為相同，上述所提議之結構徑路模式在測量模式與結構模式上具有跨群組不變性。上述所提議之結構徑路模式，可以同時適用於一般兒童與ADHD兒童身上。

三、構念間的直接效果與間接效果的考驗

本節的結構模式分析旨在考驗各個構念間的直接效果與間接效果。由於前述徑路模式可以同時適用於一般兒童與ADHD兒童，以下的結構模式分析將以全樣本為分析對象。進行結構模式中各個結構係數的考驗之前，

需將理論模式中三個直接效果參數，加以命名如圖5所示： $b1 \sim b3$ 。接著，可以利用Amos的模式管理視窗建立3個理論模式：Model 1 ~ Model 3，參見表7。Model 1係針對工作記憶對數常識的徑路係數進行限制： $b1 = 0$ ，利用受限模式與未受限模式卡方差異，以考驗此徑路係數存在的必要性。以此類推進行相關徑路參數 $b2 \sim b3$ 之設定，以考驗模式2、模式3。

根據Amos對於SEM常態性假設的考驗結果，發現所有分析的變項的偏態(skewness)指數都小於3，峰度(kurtosis)指數除「數的比較」(為8.087)之外均小於8，但均未達大於20的嚴重程度(Kline, 1998)。因此，分析資料大致符合SEM分析的常態分配基本假設，採用最大概似估法將不會嚴重高估 χ^2 值、且不致低估CFI值與「數的比較」的標準誤。

由表7潛在變項間直接效果考驗的結果知，前述三大直接效果模式的考驗結果，只有工作記憶對於數常識的徑路參數(含網底部分：Model 1)無顯著的直接效果($\lambda = .10$, $\Delta\chi^2 =$

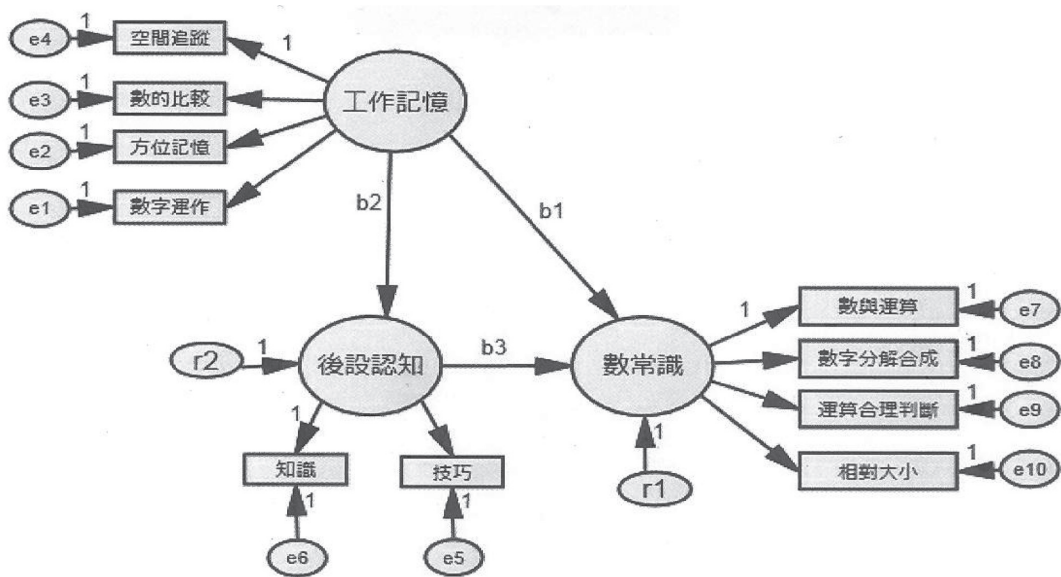


圖5：結構徑路的命名設計

表7：潛在變項間直接效果的考驗

4 Models	χ^2	<i>P</i>	χ^2/df	TLI	CFI	PNFI	RMSEA	PCLOSE	Δdf	$\Delta\chi^2$	<i>p</i>
未受限模式 (<i>df</i> = 32)	57.802	.003	1.806	.988	.991	.697	.034	.975	NA	NA	NA
Model 1 (<i>b</i> ₁ = 0) (<i>df</i> = 33)	59.415	.003	1.800	.988	.991	.719	.034	.977	1	1.613	.204
Model 2 (<i>b</i> ₂ = 0) (<i>df</i> = 33)	182.952	< .001	5.544	.931	.949	.689	.080	< .001	1	125.151	< .001
Model 3 (<i>b</i> ₃ = 0) (<i>df</i> = 33)	165.697	< .001	5.021	.939	.995	.693	.076	< .001	1	107.895	< .001

註：以未受限模式為參照模式，Model 1係工作記憶對數常識的徑路係數進行限制；Model 2係工作記憶對後設認知的徑路係數進行限制；Model 3係後設認知對數常識的徑路係數進行限制。

1.613, $p = .204$ ），因此b₁徑路可以刪除。因此，本研究之H1：工作記憶力對於數常識能力具有正向直接效果之假設不成立，本研究結果與李後昆(2006)工作記憶的高低與問題表徵能力的研究稍有出入，對於數學低成就的學童而言研究結果相似，此議題有待後續再研究。表7三大模式中，以Model 1的絕對與相對適配度較佳(RMSEA為 .034、CFI為 .991、TLI為 .988)，且其精簡程度也最佳(PNFI = .719)。因此，本研究乃選定較精簡的Model 1為最終的理論模式，圖6即為精簡理論模式的標準化分析結果。

由圖6精簡模式的直接效果知，本研究的最終SEM理論模式反映出：工作記憶對於後設認知間及後設認知對於數常識均具有顯著的影響力($\lambda = .64, p < .001, \lambda = .79, p < .001$)，因此工作記憶對於後設認知具有正向直接效果之假設成立(H2)與後設認知對於數常識能力具有正向直接效果之假設成立(H3)。H2與H3的統計考驗結果，都與過去的相關文獻中的發現一致；因而再度確認工作記憶、後設認知與數常識間的關聯性證據。這些直接效果的顯著性考驗結果，係由Amos的報表直接取得。至於後設認知對於工作記憶力與數常識間關係具有間接影響效果的假設成立

(H4) ($\lambda = .64 \times .79 = .51, CI_{.95} = .423 \sim .588, p = .003$)。此間接效果的顯著性考驗，係利用Amos Bootstrapping方法取得(採bias-corrected percentile method)。工作記憶、後設認知、數常識間的顯著直接與間接效果(.79、.51)，乃是本研究的重大發現，驗證了後設認知乃是數常識表現，具有直接與中介的關鍵角色，而且這些關鍵因素的效果值均在Cohen的大效果值以上，顯示了工作記憶、後設認知與數常識間的因果關聯性，不容忽視。

綜上所述，本研究所提假設除了研究假設一之結果外，其餘研究假設二、三的直接效果，則均與過去的研究結果類似；至於研究假設四，有關間接效果的研究發現係首次的重大發現，彌補了過去相關理論的不足。根據研究假設四之結果可推知，工作記憶力對於數常識雖無直接影響力，但可透過後設認知產生顯著的完全中介效果。另外，根據研究假設三：後設認知對於數常識能力具有正向的顯著直接效果($\lambda = .79$)，此結果與國內過去黃莉雯(2005)、李後昆(2006)、劉逸書(2009)、黃杰與李清(2012)等人的低度直接效果的研究結果($r = .20 \sim .30$ 之間)有落差，可能係測量工具的效度不同或樣本特質不同所致，有待後續的調節變項分析。

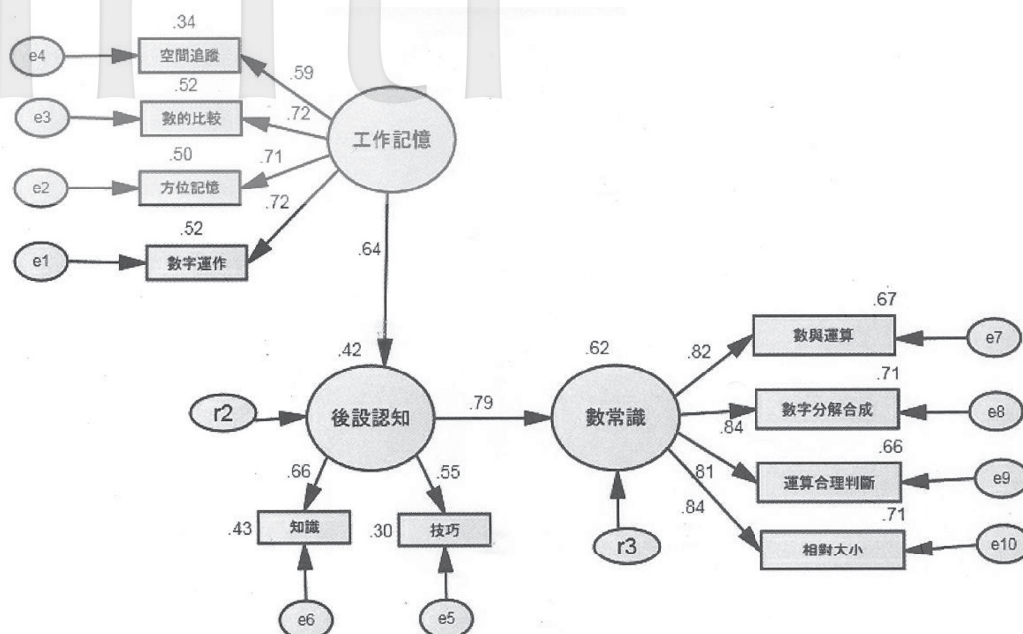


圖6：精簡模式——Model 1的分析結果：標準化係數

四、討論與結論

綜合前述之研究假設考驗結果，本研究所提的工作記憶→後設認知→數常識表現的因果徑路模式與實徵資料吻合度高，此實徵理論模式值得後續的隨機化控制組研究 (randomized control trials) 加以證實。此模式的適配度佳說明了工作記憶與後設認知是兒童數常識表現的關鍵因素，它們之間環環相扣，具有前導或中介關係。一個具有豐富數常識的學生，對於數的性質與結構認知非常敏銳，因而常不用精確的計算就能靈活操弄數的表徵去思考或處理數字及運算問題，並能及時判斷答案的合理性，以進行錯誤的糾正。這些數常識的重要內涵的素養，端賴學生處理資訊的警覺力、選擇力與持續力，才能在學生自己的工作記憶中，進行編碼、儲存相關的語文、空間與視覺等資訊，並更新或運用這些儲備的訊息；有了這些備用狀態的儲備訊息，才能發揮後設認知的控制技

巧：預測、計畫、監控與評鑑，去靈活地思考與彈性地運用數字。緣此，學校教師如能改善或提升兒童在這些相關認知因素上的能力，將可排除他們在數常識發展上的障礙及提升其學習效能。

其次，本研究可以獲致以下主要結論與啟示：

- (一)在「數常識」表現上，一般兒童比ADD兒童與ADHD兒童優異，ADD與ADHD兒童表現並無顯著差異。不過，從兩組之平均數差異看來，ADHD兒童(具有雙重障礙：注意力缺陷與過動)要比ADD兒童落後許多，未達到 .050之顯著水準可能係因樣本過小所致。
- (二)工作記憶對於數常識表現無直接的影響力，但可透過後設認知有效提升學生之數常識；工作記憶與後設認知也具有密切關係，因此工作記憶的強化將有助於後設認知能力的發展。

- (三)後設認知對於數常識能力具有顯著的直接影響力，直接增強學生的後設認知能力，將能改善數常識能力。
- (四)後設認知能力、工作記憶與「數常識表現」間之完全中介效果徑路模式，可適用於一般兒童與ADHD兒童。
- (五)工作記憶與後設認知等能力是數常識發展的先備知能，知能上的缺陷會導致數常識學習的障礙。因此，數常識教學成效的提升，有賴教師對這些前導知能的訓練。

根據以上結論，可提出下列教學因應對策或啟示：學生在解決數學問題時，不管是一般兒童或ADHD兒童要能夠靈活地思考與彈性地運用數字，必須強化其注意力的警覺、選擇與持續力，教導兒童在最佳的警覺狀態時，解決複雜的數學問題，並改善其工作記憶容量與學會覺知、監控、評鑑與調整自己的思維與選用策略，數常識的學習方能事半功倍。

Tamm等(2010)曾進行注意力訓練的實驗，發現可以顯著改善受試者的工作記憶、認知的靈活度與類推性或關係性的推理能力(fluid reasoning)。至於ADHD兒童常因持續注意力的不足與過動症，造成該記的記得很少，不該記的記得很多，且常粗心大意，教師可以透過注意力的系統訓練(黃小玲，2002)或透過後設認知療法改善其時間管理、學習規劃技巧與執行能力(Solanto et al., 2010; Thompson & Thompson, 1998)。而不管是ADHD或一般兒童，近年來許多研究都證實了，工作記憶也能透過訓練獲得顯著改善(陳怡帆，2011；Morrison & Chein, 2011; Melby-Lervåg & Hulme, 2013; Shipstead, Redick, & Engle, 2012)，例如：認知醫學(Cogmed)生技公司，所開發出的「工作記憶」電腦訓練軟體，已證實可以改善學生的工作記憶，進而

提升其數學成就(Walker, 2013)。另外，教師亦可教導有用資訊的篩選及透過資訊科技的引導；例如，使用楊德清與李茂能(2010)所開發的數常識數位學習單元教學。最近，王駿濠等(2012)透過文獻之整合分析，發現有氧適能(aerobic fitness)也能提升工作記憶、執行控制、與認知彈性等能力。因此，適度運動似乎也有利於兒童數常識的學習。

總而言之，學校教師可以循序增加解題內容的多重資訊與步驟、讓學生說出內在思考內容(口語複誦)、從做中學、從遊戲中學、適度運動等，有系統地訓練他們的注意力與工作記憶能力，降低作業的工作記憶負荷量，重複重要資訊，以形塑有利於數常識發展的心智能力。至於後設認知的訓練，教師可以教導學生反思或監控自己的思路歷程、檢查答案的合理性、尋求不同的解題策略，進而能強化自己的思考效能與靈活選擇策略，找出最有效率的解題方法。

伍、研究限制

本研究因ADHD兒童的發生率限制了取樣大小($N = 66$)，導致統計考驗力偏低，其推論性有待後續增大ADHD兒童的樣本，加以驗證。其次，本研究偏重在初步SEM理論模式的發展，而非理論模式之驗證，因果性的解讀有待後續隨機化控制組的研究加以佐證。

誌謝

本研究蒙科技部專題計畫補助，計畫編號NSC 100-2511-S-415-006與MOST 104-2511-S-415-002，特誌申謝；文中所提論點純屬作者個人之意見，並不代表科技部立場。作者衷心感謝總編輯暨審查委員對本文所提供之寶貴意見，使得本文更具可讀性。

參考文獻

1. Gathercole, S. E.、李玉琇、王馨敏(2011)。工作記憶在教室中的運用。應用心理研究，**52**，37-55。
2. Sinha, G. (2005)。訓練大腦注意力：注意力不足過動症兒童應該吃藥？(蔡宛玲譯)。科學人雜誌知識庫，**42**，22。(原作出版於2005年)
3. 王駿濠、張哲千、梁衍明、邱文聲、洪蘭、曾志朗等(2012)。運動對孩童認知功能及學業表現的影響：文獻回顧與展望。教育科學研究期刊，**57**(2)，65-94。
4. 吳佑佑(2010)。兒童期行為問題的認識與處理。查詢日期：2010年12月6日。檢自<http://www.google.com.tw/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCEQFjABahUKEwibwdSgzNjHAhWD5aYKHUc5Bdw&url=http%3A%2F%2F163.30.23.133%2Fclass2%2Finstructionfile%2Fdownloadfile.php%3Fgroupname%3Dt2225%26instructionfilename%3D75.ppt%26instructionfileid%3D75&usg=AFQjCNFwQxC2h6ux6h7x3xbdE794DUefjQ>。
5. 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。未出版之碩士論文，國立彰化師範大學特殊教育研究所，彰化市。
6. 李東霖、洪碧霞、邱上貞、李岳勳(2004，3月)。電腦化數與空間工作記憶測驗效度議題之探討。發表於科技化測驗與能力指標評量國際學術研討會。臺南市：國立臺南師範學院測驗統計研究所。
7. 李後昆(2006)。國小數學低成就學童工作記憶、數學概念、後設認知與問題表徵之相關研究。未出版之碩士論文，國立臺南大學特殊教育學系，臺南市。
8. 林志堅、侯伯勳(2015)。兒童青少年心智疾患簡介——注意力不足過動症。查詢日期：2015年2月1日。檢自<http://www.vghec.gov.tw/GipOpenWeb/wSite/public/Attachment/f1404085629873.pdf>。
9. 林宜親、李冠慧、宋玟欣、柯華蕨、曾志朗、洪蘭等(2011)。以認知神經科學取向探討兒童注意力的發展和學習之關聯。教育心理學報，**42**(3)，517-542。
10. 林健禾(2009)。注意力與過動特徵與數學學業表現的關係：以工作記憶為中介的模式。未出版之碩士論文，國立臺南大學特殊教育學系，臺南市。
11. 洪小婷(2008)。二年級數與空間工作記憶薄弱學生數學問題理解電腦化輔具介入效益的探討。(NSC 96-2815-C-024-013-S)。臺北市：中華民國行政院科技部。
12. 商志雍、高淑芬(2010)。注意力不足過動症：從行為表現型到內在表現型與基因型。臺灣醫學，**14**(4)，395-400。
13. 許家驊(2010)。國小學生運作記憶、自我調節表現與數學解題能力關係之研究。教育研究學報，**44**(2)，1-30。
14. 許清陽(2005)。後設認知理論在國小學童數感展上之運用。教育研究，**13**，139-148。
15. 陳怡帆(2011)。電腦化工作記憶訓練成效評估——以學齡期注意力缺陷過動複合型兒童之訓練為例。未出版之碩士論文，高雄醫學大學心理學研究所，高雄市。

16. 陳湘淳，李玉琇(2005)。記憶策略訓練對工作記憶容量的影響。*教育心理學報*，**37**(1)，41-59。
17. 陳霽頡(2010)。國小四年級學生數常識反應類型共同性錯誤分析與迷思概念成因之探討。未出版之博士論文，國立嘉義大學教育學系，嘉義市。
18. 黃小玲(2002)。注意力不足兒童多向度注意力訓練成效之研究。未出版之碩士論文，臺中師範學院國民教育研究所，臺中市。
19. 黃仕奇、楊德清(2014)。數位動畫對小六學童數常識發展之研究。*科學教育學刊*，**22**(1)，33-55。
20. 黃杰、李清(2012)。數感與後設認知關係的調查研究。*數學教育學報*，**21**(6)，66-81。
21. 黃莉雯(2005)。國小六年級學童後設認知與數感能力相關性之研究。未出版之碩士論文，國立臺南大學應用數學研究所碩士班，臺南市。
22. 黃惠玲(2008)。注意力缺陷過動疾患研究回顧。*應用心理研究*，**40**，197-219。
23. 黃惠玲(2009)。再探注意力缺陷過動疾患研究。*應用心理研究*，**41**，20-26。
24. 黃靖淑(2002)。國小中高年級學生數字感發展概況之探討。未出版之碩士論文，國立臺南大學教育經營與管理所，臺南市。
25. 楊德清、李茂能(2007)。九年一貫國小階段數常識電腦化診斷測驗系統之開發與應用(2/3) (NSC 95-2521-S-415-001)。臺北市：行政院國家科學委員會。
26. 楊德清、李茂能(2010)。開發數位學習活動以幫助國小5、6年級學生發展數字常識之研究(2/3) (NSC 97-2511-S-415-010-MY3)。臺北市：行政院國家科學委員會。
27. 楊憲明(2006)。認知能力、認知歷程與學習成就關係探究。*教育資料與研究*，**73**，25-40。
28. 劉昱志、劉士愷、商志雍、林健禾、杜長齡、高淑芬(2006)。注意力缺陷過動症中文版 Swanson, Nolan, and Pelham Version IV (SNAP-IV) 量表之常模及信效度。*台灣精神醫學*，**20**(4)，290-304。
29. 劉逸書(2009)。以後設認知策略發展國小五年級學童數感能力。未出版之碩士論文，國立臺南大學數學教育學系，臺南市。
30. 蔣大偉(2001)。由工作記憶角度探討數學障礙兒童的表現。未出版之碩士論文，國立中正大學心理學研究所，嘉義縣。
31. 魏麗敏(1995)。後設認知學習理論與策略。*學習輔導*，**38**，66-75。
32. Ackerman, P. L., Beier, M. E., & Boyle, M. O. (2005). Working memory and intelligence: The same or different constructs? *Psychological Bulletin*, **131**(1), 30-60.
33. Alderson, R. M., Rapport, M. D., Hudec, K. L., Sarver, D. E., & Kofler, M. J. (2010). Competing core processes inattention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): Do working memory deficiencies underlie behavioral inhibition deficits? *Journal of Abnormal Child Psychology*, **38**(4), 497-507.

34. Alexander, J. B. (1993). *The relationship of automaticity, metacognition, and working memory in normal and learning disabled readers*. Unpublished doctoral dissertation, The University of British Columbia, Vancouver, Canada.
35. American Psychiatric Association. (2000). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders DSM-IV-TR* (4th ed.). Washington, DC: Author.
36. Anderson, J. C., & Gerbing, D. W. (1988). Structural equation modeling in practice: A review and recommended two-step approach. *Psychological Bulletin*, 103, 411-423.
37. Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Science*, 4(11), 417-423.
38. Baddeley, A. D. (2007). *Working memory, thought, and action*. New York: Oxford University Press.
39. Cheung, G. W., & Rensvold, R. B. (2002). Evaluating goodness-of-fit indexes for testing measurement invariance. *Structural Equation Modeling*, 9(2), 233-255.
40. Comrey, A. L., & Lee, H. B. (1992). *A first course in factor analysis* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
41. Conway, A. R. A., Cowan, N., Bunting, M. F., Theriault, D. J., & Minkoff, S. R. B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, 30, 163-183.
42. Crosbie, J., Perusse, D., Barr, C. L., & Schachar, R. J. (2008). Validating psychiatric endophenotypes: Inhibitory control and attention deficit hyperactivity disorder. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32(1), 40-55.
43. Curriculum Planning and Development Division, Ministry of Education. (2012). *Primary mathematics teaching and learning syllabus*. Singapore: Ministry of Education.
44. Desoete, A. (2008). Co-morbidity in mathematical learning disabilities: Rule or exception? *The Open Rehabilitation Journal*, 1(1), 15-26.
45. Desoete, A., Roeyers, H., & Buysse, A. (2001). Metacognition and mathematical problem solving in grade 3. *Journal of Learning Disabilities*, 34(5), 435-449.
46. Dyson, N. I., Jordan, N. C., & Glutting, J. (2013). A number sense intervention for low-income kindergartners at risk for mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities*, 46(2), 166-181.
47. Fernandez-Duque, D., Baird, J. A., & Posner, M. I. (2000). Awareness and metacognition. *Consciousness and Cognition*, 9(2), 324-326.
48. Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39-50.
49. Fougny, D. (2008). The relationship between attention and working memory. In N. B. Johansen (Ed.), *New research on short-term memory* (pp. 1-44). New York: Nova Science.

50. Geary, D. C. (1994). *Children's mathematical development: Research and practical applications*. Washington, DC: American Psychological Association.
51. Geary, D. C. (2005). Role of cognitive theory in the study of learning disability in mathematics. *Journal of Learning Disabilities*, 38(4), 305-307.
52. Goos, M. (1993). Metacognitive decisions and their influence on problem solving outcomes. In B. Atweh (Ed.), *Proceedings of the sixteenth annual conference of the mathematics education research group of Australasia* (pp. 311-319). Brisbane, Australia: MERGA.
53. Gremillion, M. L., & Martel, M. M. (2012). Semantic language as a mechanism explaining the association between ADHD symptoms and reading and mathematics underachievement. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 40(8), 1339-1349.
54. Hollingworth, R. W., & McLoughlin, C. (2001). Developing science students' metacognitive problem solving skills online. *Australian Journal of Educational Technology*, 17(1), 50-63.
55. Jordan, N. C., Glutting, J., & Ramineni, C. (2010). The importance of number sense to mathematics achievement in first and third grades. *Learning and Individual Differences*, 20(2), 82-88.
56. Jordan, N. C., Glutting, J., Ramineni, C., & Watkins, M. W. (2010). Validating a number sense screening tool for use in kindergarten and first grade: Prediction of mathematics proficiency in third grade. *School Psychology Review*, 39(2), 181-195.
57. Jordan, N. C., Kaplan, D., Locuniak, M. N., & Ramineni, C. (2007). Predicting first-grade math achievement from developmental number sense trajectories. *Learning Disabilities Research & Practice*, 22(1), 36-46.
58. Kalchman, M., Moss, J., & Case, R. (2001). Psychological models for the development of mathematical understanding: Rational numbers and functions. In S. M. Carvers & D. Klahr (Eds.), *Cognition and instruction: Twenty-five years of progress* (pp. 1-38). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
59. Kane, M. J., Hambrick, D. Z., Tuholski, S. W., Wilhelm, O., Payne, T. W., & Engle, R. W. (2004). The generality of working memory capacity: A latent-variable approach to verbal and visuospatial memory span and reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(2), 189-217.
60. Kathy. (2009, April 30). *Working-memory-weakness-and-strategies*. Retrieved June 2, 2013, from <http://tutorsanywhere.com/blog/working-memory-weakness-and-strategies>
61. Kline, R. B. (1998). *Principles and practices of structural equation modeling*. New York: Guilford.
62. Lucangeli, D., & Cabrele, S. (2006). Mathematical difficulties and ADHD. *Exceptionality*, 14(1), 53-62.
63. Magno, C. (2009). Investigating the effect of school ability on self-efficacy, learning approaches, and metacognition. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 18(2), 233-244.

64. Marshall, R. M., Shafer, V. A., O'Donnell, L., Elliott, J., & Handwerk, M. L. (1999). Arithmetic disabilities and ADD subtypes: Implication for DSM-IV. *Journal of Learning Disabilities*, 32(3), 239-247.
65. Martinussen, R., & Tannock, R. (2006). Working memory impairments in children with attention-deficit hyperactivity disorder with and without comorbid language learning disorders. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 28(7), 1073-1094.
66. Mayes, S. D., & Calhoun, S. L. (2006). Frequency of reading, math and writing disabilities in children with clinical disorders. *Learning and Individual Differences*, 16(2), 145-157.
67. Mayes, S. D., Calhoun, S. L., & Crowell, E. W. (2000). Learning disabilities and ADHD: Overlapping spectrum disorders. *Journal of Learning Disabilities*, 33(5), 417-424.
68. Melby-Lervåg, M., & Hulme, C. (2013). Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Developmental Psychology*, 49(2), 270-291.
69. Metallidou, P. (2009). Pre-service and in-service teachers' metacognitive knowledge about problem-solving strategies. *Teaching and Teacher Education*, 25(1), 76-82.
70. Montiel, C., Peña, J. A., Montiel-Barbero, I., & Polanczyk, G. (2008). Prevalence rates of attention deficit/hyperactivity disorder in a school sample of Venezuelan children. *Child Psychiatry & Human Development*, 39(3), 311-322.
71. Morrison, A. B., & Chein, J. M. (2011). Does working memory training work? The promise and challenges of enhancing cognition by training working memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(1), 46-60.
72. Panaoura, A., & Panaoura, P. (2006). Cognitive and metacognitive performance on mathematics. In J. Novotná, H. Moraová, M. Krátká, & N. Stehliková (Eds.), *Proceedings 30th conference of the international group for the psychology of mathematics education*, vol. 4 (pp. 313-320). Prague, Czech Republic: PME.
73. Posner, M. I., & Boies, S. J. (1971). Components of attention. *Psychological Review*, 78(5), 391-408.
74. Robinson, C. S., Menchetti, B. M., & Torgesen, J. K. (2002). Toward a two-factor theory of one type of mathematics disabilities. *Learning Disabilities Research and Practice*, 17(2), 81-89.
75. Rosenthal, R. (1984). *Meta-analytic procedures for social research*. Newbury Park, CA: Sage.
76. Schoenfeld, A. H. (1992). Learning to think mathematically: Problem solving, metacognition, and sense-making in mathematics. In D. Grouws (Ed.), *Handbook for research on mathematics teaching and learning* (pp. 334-370). New York: Macmillan.
77. Shipstead, Z., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2012). Is working memory training effective? *Psychological Bulletin*, 138(4), 628-654.
78. Solanto, M. V., Marks, D. J., Wasserstein, J., Mitchell, K., Abikoff, H., Alvir, J. M., et al.

- (2010). Efficacy of meta-cognitive therapy for adult ADHD. *American Journal of Psychiatry*, 167(8), 958-968.
79. Swanson, H. L., & Beebe-Frankenberger, M. (2004). The relationship between working memory and mathematical problem solving in children at risk and not at risk for serious math difficulties. *Journal of Educational Psychology*, 96(3), 471-491.
80. Swanson, H. L., & Trahan, M. (1996). Learning disabled and average readers' working memory and comprehension. Does metacognition play a role? *British Journal of Educational Psychology*, 66(3), 333-355.
81. Swanson, J. M., Posner, M. I., Cantwell, D., Wigal, S., Crinella, F., Filipek, P., et al. (1998). Attention-deficit/hyperactivity disorder: Symptom domains, cognitive processes & neural networks. In R. Parasuraman (Ed.), *The attentive brain* (pp. 445-460). Boston, MA: MIT Press.
82. Tamm, L., Hughes, C., Ames, L., Pickering, J., Silver, C. H., Stavinoha, P., et al. (2010). Attention training for school-aged children with ADHD: Results of an open trial. *Journal of Attention Disorders*, 14(1), 86-94.
83. Thompson, L., & Thompson, M. (1998). Neurofeedback combined with training in metacognitive strategies: Effectiveness in students with ADD. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 23(4), 243-263.
84. Walker, E. (2013). *Understanding the role of metacognition and working memory in maths achievement*. Unpublished doctoral dissertation, University of Southampton, Southampton, UK.
85. Zentall, S. S., Smith, Y. N., Lee, Y. B., & Wiecezorek, C. (1994). Mathematical outcomes of attention-deficit hyperactivity disorder. *Journal of Learning Disabilities*, 27(8), 510-519.

The Structural Path Analysis of the Influences from Working Memory, Meta-Cognitive Abilities toward Number Sense Development for 5th- and 6th-Grade Normal Children and ADHD Children of Elementary Schools

Mao-Neng Fred Li¹ and Der-Ching Yang^{2,*}

¹ Department of Education, National Chiayi University

² Graduate Institute of Mathematics and Science Education, National Chiayi University

Abstract

This study aimed to explore and confirm the proposed causal relationship between “working memory,” “meta-cognition” and “number sense development” for normal and ADHD students to determine the main learning disabilities factors affecting student’s number sense development. A total of 705 5th-grade and 6th-grade students were sampled from 12 elementary schools in southern Taiwan. Data were analyzed using SPSS and Amos. Several important findings or conclusions are listed below: 1. The performance of normal children in number sense was better than that of ADHD children. 2. There was no significant direct effect of working memory on the number sense performance, however students’ number sense could be indirectly enhanced through metacognition as a mediating factor. 3. Number sense could be directly strengthened via metacognition. 4. The proposed SEM model for metacognition, working memory capability, and number sense development worked equally well for normal children and those with ADHD. 5. A deficit in working memory and meta-cognition was found to be related to difficulty in developing number sense. The effectiveness of number sense instruction relies on the development of these prerequisite knowledge or skills in working memory and meta-cognition.

Key words: Working Memory, ADHD, Meta-Cognition, Structural Path Analysis, Number Sense

* Corresponding author: Der-Ching Yang