

國立臺灣師範大學教育心理與輔導學系  
教育心理學報，民95，38卷，1期，1—17頁

# 國小數學創造力診斷與認知歷程工具研發\*

陳 李 綢

國立台灣師範大學  
教育心理輔導學系

本研究主要在探討國小高年級數學創造力診斷與認知歷程分析，並研發適合國小高年級生使用的診斷工具。本研究以國小五、六年級學生為研究對象，根據史騰柏格的創造三面模式理論及國小高年級數學教材編製「國小高年級學生數學創造力診斷與認知歷程分析工具」；其中包括：『算術與邏輯字量表』、『自動化解題行為量表』、『圖形推理量表』、『概念映射量表』、『後設認知成份量表』以及『創造性行為量表』等工具，以此工具分析診斷國內國小高年級學生數學創造力，並找出具代表性的數學創造力診斷指標。研究結果顯示：1. 本研究編製的「國小高年級學生數學創造力診斷與認知歷程分析工具」係為一套有效且可靠的數學創造力及數學解題歷程的衡量指標。2. 本研究編製之工具成分包括創新力、領悟力、自動化能力、推理能力與後設認知能力。3. 後設認知場地獨立與創造性行為高低學生，國小高年級學生數學創造力，如領悟力、創新力、自動化能力及後設認知能力都有顯著差異。4. 數學能力與數學創造力有密切關係，而兩者共同的成分是數學解題所具備的後設認知能力、自動化能力、創新力與推理能力。

**關鍵詞：**數學創造力、認知成分、領悟力、自動化、創新力、類比推理、後設認知、數學解題

我國中小學的數學課程標準中，強調教材中應選擇適當的題材，解題活動的設計，使學習者體驗到解題的認知過程，以養成學習者在日常生活中，善用數學知識和方法解決問題的習慣。但是目前教育中重視學習成果，重視數學成績的前提下，使得學生學習數學因成績低落或無法符合父母師長期望下，造成許多挫折及自信心喪失，最後對數學教育感到厭惡而逃避數學學習。

數學教育中，因教材的設計及各階段數學概念的銜接出現斷層，小學一、二年級數學概念較簡單及生活化，三、四年級數學學習重視技能培養及解題技巧的執行，數學材料偏向抽象概念呈現，到五、六年級數學教育重視較多抽象數學概念訓練及解題技巧的應用，到國中數學教育逐漸進入抽象形式訓練。從國小低年級到中年級數學教材銜接缺乏具體運作的學習，從中年級到高年級數學教材增加抽象概念及解題技巧的培養，許多高年級小學生因數學教材概念層次的加深，無法獲得有效的數學學習，對自己學習表現感到挫敗而喪失學習動機；又因建構式數學教育推展缺乏足夠的思考空間，建構數學教材無法讓學生獲得真正概念，導致國小學生數學學習低落。因此，如何幫助教師瞭解學生的數

\* 本研究經費獲國科會補助（計畫編號：NSC89-2519-S-003-018）

學認知能力，提供具體有效的教學策略與學習模組，將是值得重視的問題。

Torrance & Goff (1989) 認為創造力是「學習如何學習」能力，是個人學習中因應環境變遷能力。Holmes (1995) 提出數學創造力與問題解決歷程有密切的關係，數學本身就是問題解決的歷程。現行的中小學數學教育，仍以習得數學知識為主要目的，因考試引導教學現象，數學教材只提供最後結果的呈現，而非促進學生思考推理解題等能力，中小學生的數學學習，只求得分高低，而非真正想獲得數學概念及解題技巧，更不想去思考或激發數學創造力與潛力。因此想要激發學生數學創造力與解題能力，可能需從數學教材與教法上做修正，讓學生對數學學習視為樂趣，願意思考數學問題且推理各種解題方法，才能激發學生數學創造力。本研究者（民 73）用布魯納螺旋式課程理念與教育歷程的架構，研究以具體符合學生認知的教材與方法增進學生數學學習概念獲得，確實有其實徵性效果。因此研究者希望透過小學生數學認知歷程的探討，診斷學生數學思考與解題能力，了解學生的數學思考歷程，並激發學習樂趣，開發數學創造力。如何提升學生數學創造力，獲得有效數學概念與解題能力，以提升小學生的數學成就動機成為數學教育的重要課題。

本研究主要依據國小數學課程教材及國小高年級學生在數學解題歷程的認知分析，發展出一套具體可行的整合型數學創造歷程診斷工具模組，作為評估國小高年級學生在數學解題歷程創造力及找出數學創造力訓練的核心課程與數學創造的認知成份。因此本研究目的的如下：

- 一、探討國小高年級學生數學創造力發展歷程，編製數學創造力歷程診斷工具。
- 二、評估國小高年級學生數學創造力歷程診斷工具的適用性及有效性。
- 三、分析國小高年級學生在數學創造力的成分與歷程。
- 四、探討國小高年級學生數學創造力與數學成就的關係，以驗證本研究架構模式。

## 研究方法

### 一、研究對象：

本研究對象以國小高年級（五、六年級）學生，為主要受試者。抽取樣本為國小五、六年級共 525 位學生，分別進行五種量表之施測，共完成 2,270 份量表的測驗，另由學校導師針對施測學生進創造性行為之觀察與評估。

### 二、研究工具：

#### （一）自編國小高年級學生數學創造力診斷與認知歷程分析工具

##### 1. 編製依據

Sternberg 在「創造的三面模式」指出推理的過程可包括：編碼、推論、計畫、應用、辯證及回饋等六部份。並指出創造力的指標，包含領悟力、自動化能力、創新力、後設認知能力四種指標。其中，領悟力、自動化能力、創新力是評量在數學解題歷程中的創造力；後設認知是評量數學解題能力及解題的思考模式（Sternberg, 1988）。

Das, Naglieri, & Kirby (1994) 認為個人推理時，在輸入訊息方面，是根據先前知識編碼、解碼，這種處理訊息的過程可自動化，亦可受意識控制；編碼、解碼是從最簡單至複雜，越複雜的編碼與解碼過程，越需要更多的先前知識支援與更多的意識控制。

Sternberg (1984, 1988) 強調人的智力具有一體三面的功能，包括環境型、經驗型以及組合型智力。透過三種智力的運作，他認為創造力的建構成分，也包括三種模式。創造力是個人創造性的應用智力、認知型態及人格特質三種成份彼此交互作用，構成更複雜的關聯。其中，經驗型智力即為個人

面對新環境時，如何應用舊經驗與新情境結合，且能習慣性或自動化表現適當行為，轉移舊有經驗，去應付新問題，強調個人內在經驗與外在環境的互動關係，包括創新力、領悟力以及自動化能力，與數學解題歷程中遭遇問題下所使用的的能力相同，因此，本研究將數學創造力界定為經驗型智力。因此本研究所發展的分析診斷工具，是以 Sternberg 的創造力三面模式為基礎，建構創造力的測量指標與內涵。並運用陳李綢（民 80）多重智力量表的編製方法，採用概念投射的方式來測量創新力；自動化能力則採用字母比對、視覺搜索以及符號替代方式來測量。測量領悟力的方式則由選擇性編碼、選擇性組合、以及選擇性比較三方面來測量。再參考目前國小五、六年級數學教材，以完成編製本研究之「國小高年級學生數學創造力診斷與認知歷程分析工具」。

## 2. 國小高年級學生數學創造力診斷與認知歷程分析工具內容架構

共包括『算術與邏輯字量表』、『自動解題行為量表』、『圖形推理量表』、『概念映射量表』、『後設認知份量表』及『創造性行為量表』等六種工具。

每種數學工具的編製參考國小高年級數學教材大綱編製而成，各種工具涵蓋的數學內容如下：

表 1 數學創造力歷程量表內容架構

	問題表徵	問題轉譯	計畫	執行
分量表名稱	算術與邏輯字量表	字元比對量表	概念投射量表	後設認知分量表
創造力指標	領悟力	自動化能力	創新力	後設認知
分量表 設計原則	選擇性編碼	數學符號比對	概念投射	理解問題
	解碼	視覺搜索		數學解題方法
	比較組合	符號替代	推理	自我檢核
	邏輯	圖形類比		理解、計算、方法、 自我檢核、驗證
		圖形推理		
量表名稱	單元			
算術與邏輯字量表	因數、倍數、分數、十進數、概算、小數的乘法、小數的除法、分數的乘法、分數的除法、分數的乘法、分數的除法、整數、小數與分數、基準量和比較量、母子和、母子差、成正比、成反比、簡單的機率。			
字元比對量表	三角形、四邊形、正多邊形、對稱、角柱與角錐、圓柱與圓錐。			
概念投射量表	位置的表示、時間的畫計、平均、時間的計算。			
後設認知份量表	分數的加減、平行四邊形的面積、三角形和梯形的面積、直方圖、百分率、體積和容積、速率、分數四則解題、比和比值、柱體的體積、縮圖和比例尺、柱體表面積。			

## 三、研究程序：

本研究程序如下：

### 1. 國小高年級學生 造力診斷與認知歷程分析工具編製

- (1) 收集國小五、六年級數學課程標準及內容，統整其學習題材及分析應獲得之數學概念，根據各個題材概念，設計適合的測驗問題及使用的材質。
- (2) 設計測驗工具：設計各個題材概念中關於所需的算數邏輯推理能力、自動化解題能力、圖形推理能力、概念映射能力、後設認知能力之測驗工具。
- (3) 本研究以臺北市秀朗、國語實小等 9 所國小五一六年級學生共 54 人為預試對象，進行第一次預試。第一次預試資料整理及題目分析；以評估測驗試題的鑑別力，檢選鑑別力高之題目，

並修正不合適題目。本研究又以臺北市大湖國小、東湖國小五年級學生共 120 人為對象進行第二次預試。第二次預試資料整理、分析及正式訂題，量表編擬完成後，則以臺北市師院附設實驗小學、臺北市民權國小、臺北縣北新國小以及網溪國小五年級學生為測試對象，建立常模。

#### (4) 信度與效度建立

以臺北市吉林國小、臺北市景興國小五年級 120 人為對象，求其庫李信度以及和上學期學生的數學學期成績的相關。並且商請相關專家審核試題內容，求得量表的內容效度。另外，算術與邏輯字量表和後設成分量表兩分量表均包含敘述性答案，因此，擬將預試問卷隨機抽取 50 份，由不同評分者加以審核，以求得量表的評分者間信度。

2. 利用所設計的「國小高年級學生數學創造力診斷與認知歷程分析工具」，評估高年級學生其「發展性常模」，並找出其核心課程及數學創造力。
3. 採用團體施測方式，隨機抽取國內國小五、六年級學生為對象，分別以『算術與邏輯字量表』、『自動化解題行為量表』、『圖形推理量表』、『概念映射量表』、『後設認知成份量表』等量表進行施測，共完成 2,270 份量表。
4. 針對研究對象，經事先與級任老師溝通『創造性行為量表』評分模型，部份受試者由級任老師依學生日常課堂上表現進行創造行為評估，以完成『創造性行為量表』，並與「國小高年級學生數學創造力診斷與認知歷程分析工具」施測結果作比較分析，以進行相關分析。
5. 將以上分析結果與『算術與邏輯字量表』、『自動化解題行為量表』、『圖形推理量表』、『概念映射量表』、『後設認知成份量表』等各量表施測結果作比較分析以確認各量表對國小高年級學生數學創造力之鑑別能力。
6. 分析小學生數學創造力與數學成就的歷程與關係，以三角檢核分析探討小學生的解題歷程與相關因素關係。

#### 四、研究架構

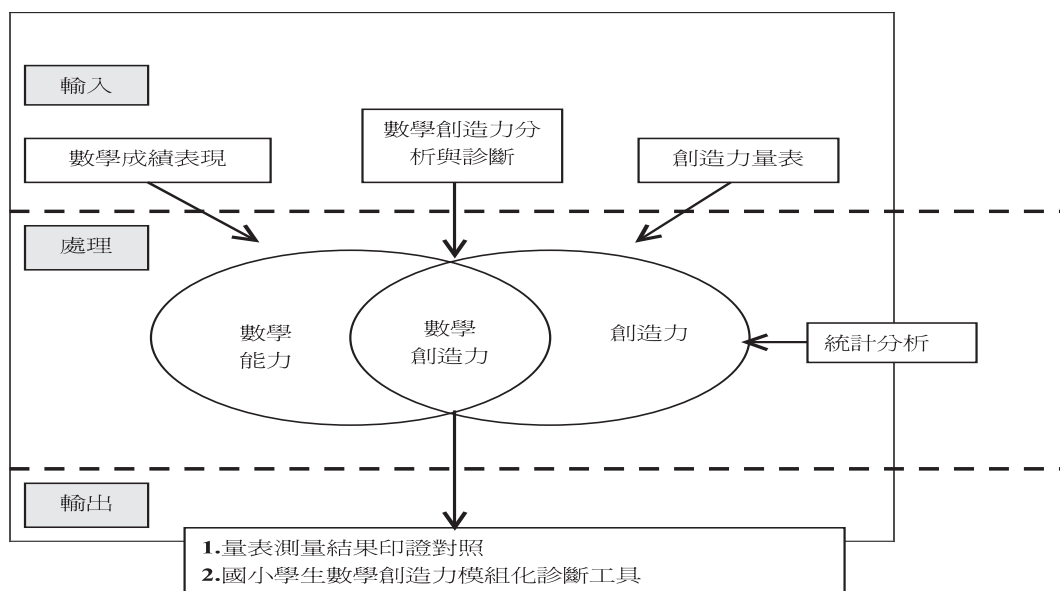


圖 1 研究架構

## 一、國小高年級學生數學創造力診斷與認知歷程工具編製

本研究根據以上研究方法，發展出一套國小高年級學生核心課程「國小高年級學生數學創造力診斷與認知歷程分析工具」。本研究發展之六種量表，即『創造性行為量表』、『算術與邏輯字量表』、『自動化解題行為量表』、『圖形推理量表』、『概念映射量表』、『後設認知成份量表』。正式施測結果及受試人數如表 2 所示，本研究曾經就性別年級比較各種量表分數差異性，男女生及年級間平均數並無明顯差異，故在常模建立未列入性別年級的考量。

表 2 各種量表的總分平均數及標準差

量表	測驗能力	N	平均數	標準差	總分
創造性行為量表	創造性	145	107.82	26.98	175
算術邏輯字量表	領悟力	346	17.52	6.45	30
自動化解題量表	自動化能力	411	28.35	4.48	40
第一類型	符號比對	411	7.54	1.79	10
第二類型	序列視覺搜索	411	6.16	1.42	7
第三類型	並列視覺搜索	411	1.83	1.14	3
第四類型	圖形辨識	411	12.82	4.29	20
圖形推理量表	推理能力	389	6.73	2.39	10
概念映射量表	創新力	381	57.00	24.95	120
後設認知成份量表	後設認知	391	36.71	35.29	100
第一類型	問題表徵	391	13.24	6.60	20
第二類型	解題技巧	391	7.60	4.84	20
第三類型	瞭解關係	391	5.90	4.18	20
第四類型	方法應用	391	5.74	4.64	20
第五類型	自我檢核	391	4.23	3.17	20

## 二、國小高年級學生數學創造力診斷與認知歷程工具信度與效度分析

### (一) 信度分析

本研究以台北國語實小五年級四個班級學生為樣本進行信度分析，分別由各班導師及二位師大教育心理與輔導系學生（已事先舉辦訓練課程，通過本量表施測及評分訓練），三人分別評量學生在開放式量表的分數。求得『算術與邏輯字量表』、『自動化解題量表』、『圖形推理量表』、『概念映射量表』與『後設認知成份量表』的評分者間信度皆為 $r=.95$ 以上，顯示評分者間信度達顯著水準，表示三人評分具一致性。本研究以 145 名學生相隔兩週進行重測五種量表，重測信度範圍為 $r=.87$ 至 $.91$ ，達顯著相關。由此說明本研究工具的穩定性與一致性。

### (二) 數學創造力量表的內部一致性分析

故本研究將受試的『算術與邏輯字量表』、『自動化解題行為量表』、『圖形推理量表』、『概念映射量表』、『後設認知成份量表』等五種量表與創造性行為表現進行多元相關分析。

## 1. 各量表的多元相關分析

表 3 各量表分數之多元相關分析 (N=145)

量表	算術與邏輯 字量表	自動化解題 量表	圖形推理 量表	概念映射 量表	後設認知成份 量表
算術與邏輯字量表 (領悟力)	1				
自動化解題量表 (自動化能力)	.535**	1			
圖形推理量表 (推理類比能力)	.293**	.329**	1		
概念映射量表 (創新力)	.466**	.464**	.397**	1	
後設認知成份量表 (後設認知能力)	.425**	.309**	.323**	.482**	1

\*\* $p < 0.01$ 

從表 3 中可知：領悟力—自動化能力、領悟力—圖形推理力、領悟力—創新力、領悟力—後設認知能力、自動化能力—圖形推理能力、自動化能力—創新力、自動化能力—後設認知能力、圖形推理—創新力、圖形推理—後設認知能力與創新力—後設認知能力等十組相關  $r$  值皆達  $p < .01$  顯著水準，可見得本測驗設計之量表間有顯著的內部一致性。

## 2. 各量表內部相關

## (1) 自動化能力中測量四種能力與自動化能力關係

從表 4 中可看出：符號比對—自動化能力、序列視覺搜索—自動化能力、並列視覺搜索—自動化能力與圖形辨識（場地獨立性）—自動化能力，各分項能力與自動化能力（總分）之  $r$  值皆達  $p < .01$  之顯著水準，可見得自動化力量表內部一致性高。

表 4 量表與量表各項能力之間關係

	算術與 邏輯字 量表	自動化 解題行 為量表	符號比 對能力	序列視 覺搜索 能力	並列視 覺搜索 能力	圖形辨 識能力	圖形推 理量表	概念映 射量表	後設認 知成份
算術與邏輯字量表	1.0								
自動化解題行為 量表	.535**	1.0							
符號比對能力	.411**	.617**	1.0						
序列視覺搜索能力	.407**	.619**	.470**	1.0					
並列視覺搜索能力	.356**	.484**	.161	.321**	1.0				
圖形辨識能力	.414**	.911**	.353**	.351**	.298**	1.0			
圖形推理量表	.293**	.329**	.205*	.287**	.119	.285**	1.0		
概念映射量表	.466**	.464**	.274**	.274**	.251**	.426**	.397*	1.0	
後設認知成份	.425**	.309**	.235**	.169	.212*	.258**	.323**	.482**	1.0

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$

(2) 領悟力與後設認知力量表各項能力之關係

領悟力—問題表徵能力、領悟力—解題技巧、領悟力—瞭解關係能力、領悟力—方法應用能力與領悟力—自我檢核能力之相關係數皆達顯著相關。

(3) 自動化能力與後設認知力量表各項能力之關係

自動化能力—問題表徵能力、自動化能力—解題技巧、自動化能力—瞭解關係能力、自動化能力—方法應用能力、與自動化能力—自我檢核能力各組之相關係數皆達顯著相關。

(4) 圖形推理能力與自動化能力中各能力之間關係

除圖形推理能力—並列視覺搜索能力之間關係不顯著外，而圖形推理能力—符號比對能力、圖形推理能力—序列視覺搜索能力、圖形推理能力—並列視覺搜索能力與圖形推理能力—場地獨立性各組皆達顯著相關。

(5) 圖形推理能力與後設認知能力之關係

圖形推理能力—問題表徵能力、圖形推理能力—解題技巧、圖形推理能力—瞭解關係能力、圖形推理能力—方法應用能力與圖形推理能力—自我檢核能力皆達顯著相關。

可見圖形推理能力與五種後設認知能力皆有關連性。

(6) 創新力與自動化能力中各能力關係

創新力—符號比對能力、創新力—序列視覺搜索能力、創新力—並列視覺搜索能力與創新力—場地獨立性，各組間相關皆達顯著水準。可見創新力與自動化能力之間有關連性。

(7) 創新力與後設認知中各種能力關係

創新力—問題表徵能力、創新力—解題技巧、創新力—瞭解關係能力、創新力—方法應用能力與創新力—自我檢核能力，各組皆達顯著相關。由此說明創新力與後設認知各能力之間相關性高。

3. 後設認知能力中的五種能力與後設認知能力關係

表 5 中顯示，問題表徵能力—後設認知能力、解題技巧—後設認知能力、瞭解關係—後設認知能力、方法應用—後設認知能力與自我檢核—後設認知能力，後設認知中五種分項能力與後設認知能力間皆具有顯著相關 ( $p < 0.01$ )，可見得後設認知測驗量表內容效度高。

表 5 後設認知內部一致性與其他能力多元相關

量表	能力	自動化 解題量 表	概念映 射量表	後設認 知成分 量表	問題表 徵能力	解題技 巧能力	瞭解關 係能力	方法應 用能力	自我檢 核能力	創造性 行為量 表
自動化解題量表	圖形辨識	1.00								
概念映射量表	創新力	0.404**	1.00							
後設認知分量表	後設認知能力	0.410**	0.503**	1.00						
第一類型	問題表徵能力	0.201*	0.304**	0.756**	1.00					
第二類型	解題技巧能力	0.428**	0.465**	0.823**	0.309**	1.00				
第三類型	瞭解關係能力	0.280**	0.391**	0.624**	0.284**	0.557**	1.00			
第四類型	方法應用能力	0.306**	0.305**	0.605**	0.288**	0.493**	0.301**	1.00		
第五類型	自我檢核能力	0.220**	0.316**	0.560**	0.283**	0.398**	0.447**	0.443**	1.00	
創造性行為	創造性	0.330**	0.319**	0.425**	0.294**	0.351**	0.232**	0.336**	0.295**	1.00

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$

### 三、國小高年級學生數學創造力診斷與認知歷程分析

本研究為進一步探討本研究工具的有效性，並探討數學創造力歷程與成分架構，本研究以後設認知、認知型態及創造行為為外在效度，分析國小高年級學生數學創造力歷程與成分。

#### (一) 後設認知能力與數學創造力診斷各量表比較

將後設認知成份量表得分最高之前 30 名學生與最低分之 30 名學生，分成後設認知能力高分組與低分組，比較二組學生之各量表分數之差異。由表 6 資料分析得知，高低後設認知能力組別之受試者在各種量表的施測表現，除了序列視覺搜索及創造型行為兩項分數無明顯差異外，其他各項分數都有顯著高低之差異，顯示本研究後設認知成份量表對於國小高年級學生之數學解題能力之鑑別力高。

表 6 高低後設認知組別之各量表分數比較

量表	測驗能力	高分組 (N=30)		低分組 (N=30)		t 值
		平均數	標準差	平均數	標準差	
算術邏輯字量表	領悟力	20.30	5.25	12.60	6.90	4.87**
自動化解題量表	自動化能力	34.27	3.56	30	6.64	3.10**
第一類型	符號比對	8.267	1.05	7.47	1.33	2.58**
第二類型	序列視覺搜索	6.43	0.90	6.07	1.39	1.22
第三類型	並列視覺搜索	2.03	1.13	1.20	1.21	2.75**
第四類型	圖形辨識	17.53	2.69	15.27	4.98	2.19**
圖形推理量表	推理能力	7.83	2.93	5.43	2.87	3.21**
概念映射量表	創新力	70.30	22.16	43.10	23.58	4.60**
後設認知成份量表	後設認知	59.93	7.91	11.70	5.26	27.81**
第一類型	問題表徵	17.10	2.70	4.43	3.30	16.29**
第二類型	解題技巧	13.93	2.49	3.70	2.56	15.69**
第三類型	瞭解關係	10.33	2.76	2.10	2.41	12.31**
第四類型	方法應用	11.07	3.31	1.27	2.00	13.88**
第五類型	自我檢核	7.50	2.30	0.20	0.48	17.01**
創造性行為量表	創造性	112.97	29.85	104.20	18.64	1.36

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$

#### (二) 場地獨立者與場地依賴者與數學創造力診斷各量分數比較

將自動化解題量表中圖形辨識題型之施測結果，依該項得分圖形辨識能力 16 分以上者為場地獨立組，16 分以下則為場地依賴組，比較二組學生之各量表分數差異。由表 7 資料分析顯示，兩組受試者除在系列視覺搜索及問題表徵兩項分數無差異外，其他各項分數都達顯著差異；本研究之自動化解題量表之圖形辨識題型，對於國小高年級學生之數學解題能力與創造性行為表現皆具高度鑑別力。換言之，場地獨立能力對創造力歷程有影響力。



表 7 場地獨立性高低組別之各量表分數比較

量表	測驗能力	場地獨立組 (N=81)		場地依賴組 (N=64)		t 值
		平均數	標準差	平均數	標準差	
算術邏輯字量表	領悟力	18.16	5.82	14.13	7.73	3.59**
自動化解題量表	自動化能力	35.63	2.21	26.59	7.27	10.60**
第一類型	符號比對	8.27	1.25	7.20	1.95	4.01**
第二類型	序列視覺搜索	6.28	0.99	6.00	1.74	1.24
第三類型	並列視覺搜索	1.86	1.13	1.36	1.13	2.67**
第四類型	圖形辨識	19.21	1.15	12.03	4.59	13.56**
圖形推理量表	推理能力	6.78	3.11	5.77	2.65	2.08**
概念映射量表	創新力	64.46	22.34	49.25	24.34	3.91**
後設認知成份量表	後設認知	38.68	17.83	31.08	17.18	2.59**
第一類型	問題表徵	12.33	5.64	11.11	6.41	1.22
第二類型	解題技巧	8.54	4.63	6.67	3.99	2.57**
第三類型	瞭解關係	7.19	4.04	5.72	4.06	2.17**
第四類型	方法應用	6.63	4.30	4.52	3.95	3.04**
第五類型	自我檢核	4.16	3.35	3.06	3.22	1.99**
創造性行為量表	創造性	111.86	26.01	102.70	27.52	2.05**

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ 

## (三) 高低創造力行為表現與數學創造力診斷各分量表分數比較

將創造性行為量表得分最高 25% 學生與最低分 25% 名學生，分高創造行為表現組與低創造行為表現組，比較二組學生之各量表分數之差異。表 8 資料分析結果得知，在數學解題歷程中，以自動化反應、場地獨立性、及後設認知能力中的自我檢核能力受創造力高低的影響較大，即自動化能力、場地獨立性及自我檢核能力（解題監控能力）較能代表數學創造力。

表 8 高低創造行為表現組之各量表分數比較

量表	測驗能力	高創造 (N=30)		低創造 (N=30)		t 值
		平均數	標準差	平均數	標準差	
算術邏輯字量表	領悟力	17.43	8.10	14.33	8.38	1.46
自動化解題量表	自動化能力	32.70	6.00	28.70	8.46	2.11**
第一類型	符號比對	7.87	1.48	7.33	1.92	1.21
第二類型	序列視覺搜索	6.07	1.34	5.90	1.90	0.39
第三類型	並列視覺搜索	1.93	1.14	1.53	1.10	1.38
第四類型	圖形辨識	16.83	3.96	13.93	5.71	2.28**
圖形推理量表	推理能力	6.60	2.43	6.77	2.91	-0.24
概念映射量表	創新力	62.77	24.35	50.97	29.14	1.70
後設認知成份量表	後設認知	38.17	16.78	33.90	17.86	0.95
第一類型	問題表徵	12.97	5.85	11.90	6.20	0.69
第二類型	解題技巧	7.70	4.29	7.33	4.48	0.32
第三類型	瞭解關係	6.47	4.36	7.17	4.79	-0.59
第四類型	方法應用	6.30	4.43	4.50	4.19	1.62
第五類型	自我檢核	4.73	3.53	3.00	3.11	2.02**
創造性行為量表	創造性	145.93	12.84	70.73	12.19	23.27**

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$

#### (四) 反應時間與數學創造力診斷各量表關係

自動化解題為測量受試者自動化反應能力，故在施測同時，亦記錄受試者於各類型題目所費時間，並與各類型題目得分比較分析，由表 9 資料分析結果顯示，符號比對分數與序列視覺搜索得分、並列視覺搜索得分、自動化分數都有明顯正相關，但是序列視覺搜索時間與並列搜索時間呈負相關，序列視覺搜索時間、並列搜索時間與自動化時間呈正相關，並列視覺搜索時間與並列搜索得分呈負相關，圖形辨識時間與自動化作答時間成顯著正相關，自動化分數與自動化作答時間呈負相關，即作答時間越短（越快），亦即自動化反應時間越快速，得分也越高。

表 9 自動化解題量表各題型時間與得分相關係數 (N=95)

相關係數 (r)	符號比對時間	序列視覺搜索分數	序列視覺搜索時間	並列視覺搜索分數	並列視覺搜索時間	圖形辨識得分	圖形辨識時間	自動化量表得分	自動化量表時間
符號比對得分	-0.08								
序列視覺搜索時間	0.27**	-0.08							
序列視覺搜索得分	-0.03	0.22*	-0.17						
並列視覺搜索時間	0.21*	-0.24*	0.20	-0.45**					
並列視覺搜索得分	-0.09	-0.03	0.01	0.29**	-0.31**				
圖形辨識時間	0.17	-0.10	0.07	-0.08	-0.02	-0.07			
圖形辨識得分	0.20	0.30**	0.02	0.31**	-0.22*	0.24*	-0.29**		
自動化量表時間	0.46**	-0.20	0.40**	-0.29**	0.47**	-0.19	0.82**	-0.27**	1.0
自動化量表得分	0.11	0.49**	-0.03	0.52**	-0.36**	0.42**	-0.27**	0.94**	-0.34**

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$

#### (五) 數學創造解題歷程的三角檢核分析

##### 1. 算數與邏輯字量表解題歷程三角檢核分析

在『算術與邏輯字量表』解題歷程方面，其解題需具備類比推理、比較、敘述表面、訊息摘取、轉譯、四則運算執行等能力，同時需有充足的先備知識及基模充足。由資料分析顯示，本研究之『算術與邏輯字量表』對於類比推理、比較、訊息摘取、轉譯、四則運算執行等能力高度鑑別力。

##### 2. 後設認知成份量表解題歷程三角檢核分析

在『後設認知成份量表』解題歷程方面，主要在測量受試者問題表徵、解題技巧、瞭解關係、方法應用、自我檢核等能力，同時需要充分的基模。

資料分析顯示，整體受試者在問題表徵、解題技巧方面之表現較好，而在方法應用、自我檢核方面則略為偏低。由此說明我國國小高年級數學教育，應加強學生方法應用、自我檢核能力之訓練。另外從資料顯示，高分組學生在問題表徵、解題技巧、瞭解關係、方法應用、自我檢核等能力方面之表現均較低分組學生高，由此說明後設認知成分包括問題表徵、解題技巧、瞭解關係、方法應用、自我檢核等能力，再度驗證後設認知的建構效度。

#### 四、國小高年級學生數學成績、學業成績與「自動化解題」、「概念映射」、「後設認知」與「創造性」等分數的相關

表 10 顯示國小組之數學成績與學業總成績有明顯正相關；數學成績與學業成績、「自動化能力」、「概念映射的創新力」、「後設認知能力」與「創造性行為」之相關皆達顯著相關，學業成績與

創新力無明顯關聯性，但是與「自動化能力」、「創新力」、「後設認知能力」有顯著相關。「自動化能力」、「創新力」、「後設認知能力」三者間皆有顯著相關。由此說明數學成績與數學創造力間有重疊部分，而數學能力與數學創造力間，以數學解題力成爲主要成分，其中後設認知與自動化能力是重要的成分。

表 10 國小組之數學成績、全部成績與「自動化解題」、「概念映射」、「後設認知」與「創造性行爲」之相關 (N=145)

	數學成績	學業總成績	自動化能力	創新力	後設認知能力	創造性行爲
數學成績				1.000		
全部成績	.901**			1.000		
自動化能力	.284*	.203*			1.000	
創新力	.216*	.138	.419**		1.000	
後設認知能力	.361**	.372*	.466**	.475**		1.000
創造性行爲	.305**	.295**	.308**	.256*	.261*	1.000

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$

## 討 論

### 一、國小高年級學生數學創造力診斷與認知歷程工具編製問題

國小高年級學生數學創造力診斷工具的編製是依據 Sternberg 在「創造的三面模式」理論與國小高年級數學教材編製的，從試題編擬預試及項目分析過程相當嚴謹，試題分析經由二次項目分析確定內部一致性合乎選題標準，正式訂題實施後建立常模，由於研究中發現男女生表現無明顯不同，又五年級與六年級生各量表的平均數無明顯差異，因此建立綜合性常模。

從前述的研究結果中可見得國小高年級學生數學創造力診斷工具有穩定的信度，且由任課教師觀察與學生測量表現的一致性頗高，顯示本工具的評分者間信度高。另外就各量表的內部一致性相關來看，『算術與邏輯字量表』、『自動化解題行爲量表』、『圖形推理量表』、『概念映射量表』、『後設認知成份量表』等五份量表都有顯著的內部相關，而且各個量表之間的關聯性密切；由此說明小學高年級的數學創造力診斷可從個人對數學材料的領悟力、自動化能力、圖形推理能力、創新力、類推能力及後設認知能力來分析；也支持 Sternberg 在「三鼎智力模式」理論中，強調經驗型智力代表個人的創造力自動化能力與新奇力的觀念。此項研究結果支持本工具編製的依據理論；也證明本工具具有高的建構效度。

本研究的效度考驗是以場地獨立與依賴、後設認知高低及創造性行爲表現爲外在效標，從研究結果發現場地獨立組與依賴組在視覺系列搜索及問題表徵兩種分數無明顯差異外，其他領悟力、自動化能力、圖形推理能力、創新力、類推能力及後設認知能力等都有顯著的差異，由此支持認知型態與數學領悟、推理、創新及後設認知有密切關聯性。Sternberg (1982) 指出在問題解決上，場地獨立者的人知覺是較富彈性，可以用不同變化的方法去組織知覺的型式。並指出喜歡獨立的作業或計畫的人，喜歡追求自己的興趣和做事的方式，較具有創造力和超越所學知識界線的能力。Sternberg 和 Lubart (1991)、Sternberg (1988b, 1997) 將思考風格可分爲立法、司法和行政三種類型。屬行政型風格者喜好執行他人所制定的程序或想法；屬司法型風格者傾向於評鑑任務或他人所制定的程序；屬立法型風格者喜好沒有結構性的任務，且其在執行任務時較喜歡自己來計劃工作的內容和方法，制定規則的

程序，喜歡以自己的方式做事，較能運用知識和能力於創意上，故此種風格是最有效的創意思考類型。Witkin, Moore, Goodenough, & Cox, (1977) 等研究提出場地獨立型者能以分析的方式來經驗事物，信賴理智與思考，喜好主動學習且較重視內在動機。場地依賴者則傾向於以籠統的方式來經驗事物，較易於服從權威和同儕團體，在學習上較為被動且易受外在的增強所影響。由於場地獨立者所具備的分析能力與在不同情境中轉化問題、主動與積極等特質，故較場地依賴者有利於創造力的發展。(董奇，民 84；Lubart, 1994; Noppe & Gallagher, 1977; Sternberg, 1994; Woodman & Schoenfeldt, 1989) 這些研究結果都顯示場地獨立傾向的個體較具創造力，本研究結果也支持場地獨立與數學創造力有關。

本研究以後設認知為外在效標，研究結果發現後設認知高低組受試在視覺系列搜索及創造性行為兩種分數無明顯差異外，其他領悟力、自動化能力、圖形推理能力、創新力及類推能力等都有顯著的差異，由此支持後設認知與數學領悟、推理、創新及有密切關係。Markman (1985) 認為學生的數學後設認知技能的發展中應包括簡單的邏輯關係、因果關係、時間關係、自我發問、理解監控、評估各種解釋的正確性以及找出矛盾或問題的所在。在數學學習和問題解決的過程，個人會應用後設認知識、經驗及策略來解題。Sternberg (1984) 指出後設認知的執行歷程，包括計畫、監控和評量自己訊息處理的程序；Sternberg 指出後設認知的解題過程包括：(1) 決定問題的性質；(2) 決定與解決作業有關的執行成分；(3) 決定如何有效應用策略結合各執行成分；(4) 選擇一種訊息的心理表徵；(5) 分配資源來解決問題；(6) 監控解決歷程；(7) 注意外在回饋。因此，具有後設認知能力者其解題能力較佳。Costa (1984) 認為後設認知為解題策略的步驟及思考的反映和評估。Schoenfeld (1987) 認為後設認知為認知的反思或思考有關自己的思考，包括在數學解題中可以正確的描述自己的思考能力；能掌握解題的方向，或能利用預定的資料去解題的能力；及對數學所抱持的態度與想法為何？或影響數學解題的因素。因此以上結果支持：後設認知能力高低，個人解題能力與歷程也有差異。具有高後設認知者，經由認知思維從事求知活動時，個人自己不但能明確了解所學知識的性質與內容，而且也能了解如何進一步支配知識，以解決問題。本研究結果也支持後設認知與數學創造力有關。具有高後設認知者比低後設認知者在數學創造歷程中具有較佳的領悟力、類比推理、創新力及自動化能力。

本研究結果也比較創造性行為高低者的各種數學創造力，結果發現創造性行為高低者在圖形辨識、自動化能力及自我檢核能力三項分數有明顯差異。從一些相關的實證(詹秀美，民 79) 研究結果發現中，小學生的創造力表現與其心智技能、知識、思考風格、人格與動機等變項，均呈現不同程度的相關。研究一致指出：「心智技能」比「知識」、「思考風格」、「人格」與「動機」等內在因素，對創造力表現有較大的影響。換言之認知與解題能力相關性較密切，但與創造性行為等人格特質關聯性較低。雖然有些研究有不同看法，如陳昭儀(民 81) 指出，創造歷程、創造動機與創造行為有密不可分的关系。歸納近期有關創造心理方面的研究，經過因素分析及迴歸分析發現：創造歷程中行為及動機具有相關性。但是本研究是以數學創造力與解題能力為變項，創造性行為測量創造思考技能運作時所表現的一切內外行為。本研究結果也支持數學創造力牽涉到智力能力與推理解決問題能力，但是與個人的創造性行為認知與表現相關性不高。

總合以上的效度分析，也再度支持本研究工具的編製符合本研究對數學創造力歷程的架構，本研究編製工具具有高的建構效度。

## 二、數學創造力的成份與認知歷程

本研究發展之『算術與邏輯字量表』、『自動化解題行為量表』、『圖形推理量表』、『概念映射量表』、『後設認知成份量表』等五份量表，各量表皆參考現行國小五、六年級數學課程綱要及國小數學科普遍應用之教材編製而成，同時本研究結果之數據經過統計資料分析，各量表之關係密切，從本研

究中發現數學創造力內容包括在數學解題中的領悟力、自動化能力、圖形推理能力、創新力、類推能力及後設認知能力，尤其在數學創造性行為中的場地獨立性、並列視覺搜索等自動化能力及後設認知能力等，是重要的能力指標。則數學創造力可定義為在數學解題歷程中具備之領悟力、自動化能力、類推能力、創新力及後設認知之能力。具有創造性行為的學生具有較高之場地獨立性、自動化能力以及自我檢核能力，此觀點符合 Sternberg 之三元智力理論，認為創造力是創造性的應用智力、認知型態及人格特質三種成分彼此交互作用，構成更複雜的關連。亦即個人面對新環境時，如何應用舊經驗與新情境結合，且能習慣性或自動化表現適當行為，轉移舊有經驗，去應付新問題，強調個人內在經驗與外在環境的互動關係，包括創新力、領悟力以及自動化能力，與數學解題歷程中遭遇問題下所使用的的能力相同，因此，可將數學創造力定義為 Sternberg 所指之經驗型智力。

根據 Howley、Howley 和 Pendarvis (1986) 的觀點，創造力、訊息處理與問題解決都是屬於心智運作的歷程，三者間有相關重疊處，也各有其獨立性。探究科學或其他領域的創造力之學者，大都將問題解決視為不同程度的創造力表現 (董奇，民 84；張世慧，民 77；楊瑞智，民 83；Isaksen, Puccio, & Treffinger, 1993；Niaz & Lawson, 1985)。訊息處理理論是探討人類的解題歷程，而訊息處理論又以認知解釋創造力的特性，因此，以問題解決來呈現創造力的外在行動歷程，不但具象徵性，並可為日後創造力與解題之相關研究提供一個新的思考方向。根據 (Lubart, 1994) 研究指出，創造性解題與一般性解題在實際執行上有差異；如：(1) 創造性解題歷程與一般性解題的步驟在品質上有差異；(2) 創造性解題與一般性解題在每個解題歷程所花費的時間或執行每個解題行為的次數上應有所不同。創造性解題往往需要花較多時間來定義問題。(3) 創造性解題比一般性解題較會運用特殊之解題策略或技能。創造性解題在特定領域中的處理有別於一般解題的處理。換言之創造性解題與一般性解題過程在處理程序、策略應用、時間的反應都有質與量的差異。

Leff (1984) 認為人們會在環境中尋求特定的方法及運作過程來解決問題，尤其是「心智策略」的運用；所以要能發揮洞察力、好奇心，運用各種創造策略，結合各種途徑以解決困難。Davis & Rimm (1985) 即認為創造歷程是一種認知的轉換，包括：結合新的想法、新的關聯、新的意義、新的應用方式。Davis (1986) 更提出：創造歷程是一種認知的轉換，創造歷程是創新主意或問題解決的瞬間領悟力。Guilford (1967) 認為創造力與問題解決能力是人類心智中最為複雜的兩種能力。這兩種能力之間有許多相同之處：同樣都必須將已有的知識及經驗重新加以轉換，以產生新的產品或反應。因此數學創造力與數學解題能力關係密切，具有高數學創造力者，領悟力強、自動反應快、具有創新及變通力、能邏輯推理判斷；從數學解題歷程解釋，領悟力強代表學生對數學問題性質具有清楚的基本架構，自動反應快代表數學計算技能 (即程序性知識) 熟練，在問題轉譯階段，能編碼、解碼、組合問題與方法；創新力代表在計畫解題時能邏輯推理；後設認知代表在數學解題歷程中能執行解題計畫及監控解題結果。後設認知也是用來評估數學創造歷程，評量可從對問題性質的瞭解，問題的轉譯，計畫及計畫的執行、監控等四方面來評量。因此本研究對數學創造力的內涵強調數學的創造解題歷程與能力。從研究結果中支持數學創造力代表在數學解題歷程中應具備之領悟力、自動化能力、類推能力、創新力及後設認知之能力。

### 三、數學學習能力與數學創造力的關係

Holmes (1995) 認為數學教學，注重學生對數學概念的理解及活用數學知識解決日常生活的能力。數學學習能力代表學生理解及應用數學知識的能力，透過經驗探究、問題解決和批判思考所獲得知識的能力與成就。國小的數學成績是從數學學習結果評量學生的數學能力表示。因此由此說明數學能力與數學創造力有些重疊部分，數學能力包括對數學教材學習所獲得概念理解與運用，其中包括計算能力、思考能力、推理能力及應用解題能力；而數學創造力是與數學問題解決能力有關。數學創造

力是以數學的解題歷程評估學生的後設認知能力、自動化能力、創新力。

根據 Kajander (1990) 以學術性向測驗 (SAT; Scholastic Aptitude Test) 測量十歲資優學生的抽象思考和擴散思考, 以建立標準的數學能力指標; 但是結果發現數學創造力是一種特殊的創造力, 而非與擴散的思考能力有關連。Kulm (1982) 研究指出: 計算能力與問題的解決能力有關聯性, 問題解決能力與創造力及洞察力發展和創造過程有密切關係。Aiken (1973) 研究智力與數學學習能力關係, 發現智力是影響數學能力的變數之一。但是高創造力者未必是智慧高者, 研究指出創造力與智力有關, 但兩者包含的成分是不同的。創造力是由創造性量表所衡量的, 正如智慧是由智力測驗所衡量的一樣。智力測驗所重視的是文字的, 記憶的、聚斂的、組織的、邏輯的技巧而非分散的、獨創的才能, 具有創造才能者可能在心理計量的智力測驗中無法倍測量出, 但是具有創新力或後設認知能力者可能在典型的智力測驗中仍然被認定是高度智慧者。

Loewenthal Martinez-Pons (1987) 研究類比推理與學業學習的關係, 認為透過類比推理的訓練, 可改善其學業成就。Bitner-Corvin (1983) 亦指出有關推理能力測驗的得分可以有效預測學業成績。Schoenfeld (1985) 更指出推理能力與數學成績息息相關。本研究結果發現數學學業成績與學業總成績間有密切關聯性, 數學成績與數學創造力的後設認知能力、自動化能力、創新力間有明顯相關。由此說明數學能力與數學創造力是不完全相同的內容與成分, 但是數學創造力可能是影響數學能力的重要因素, 換言之從數學創造力工具診斷學生哪種能力的缺陷或潛能, 將會有助於提升學生數學能力。

本研究結果也發現學生的數學成績學業成績與數學創造力的創新力、自動化能力與後設認知有顯著關聯性, 支持上述學者的看法數學創造力與數學能力有密切關係, 兩者重疊的部分是數學解題能力的後設認知能力自動化能力、創新力與類比推理能力等; 而數學能力獨特部分是數學教材知識概念計算能力運作推理能力等; 而數學創造力獨特部分可能包括認知風格如場地獨立性、創造性行為特質等。此項研究結果支持本研究工具架構的建立。總言之, 數學創造力歷程量表的編製有助於診斷學生認知歷程的個別差異, 並針對認知歷程中的缺陷, 進行處方性教學, 以提高學生的數學能力與創造力。

#### 四、後續研究與建議

##### (一) 後續研究

未來研究將向下延伸至國小中年級、低年級學生之數學創造力診斷與認知歷程分析工具的建立, 在後續研究中可針對每一個階段認知歷程的時間變化及歷程性質的變化作進一步探討, 即了解國小各年級學生在『算術與邏輯字量表』、『自動化解題行為量表』、『圖形推理量表』、『概念映射量表』、『後設認知成份量表』等不同量表之測驗成績的變化, 以更清楚了解認知歷程與認知速度之間的關係, 並了解各階段學生領悟力、自動化能力、推理、類比能力、創新力與後設認知能力發展的速度及品質。同時針對受試者認知歷程的缺陷所在, 發展處方教學之教材與量表。

##### (二) 本研究在教育上的意義

本研究發展之「國小高年級學生數學創造力診斷與認知歷程分析工具」, 將數學創造力及數學認知解題歷程作一完整的質化與量化分析, 使國小高年級學生的數學創造力可以具體的被描述, 使數學創造力測驗發展更具積極意義; 也使創造力的定義及應用更廣泛, 使創造力理論及個人、學校及社會結合。數學創造力歷程量表重視認知歷程的探討, 使創造力本質探討可以從更多的認知變項以探討, 使創造力研究領域更廣博更深入。

## 參 考 文 獻

- 張世慧 (民 77)：創造性問題解決方案對國小資優班與普通班學生創造性問題解決能力、創造力和問題解決能力之影響。國立臺灣師範大學特殊教育研究所碩士論文。
- 陳李綱 (民 73)：表徵方式與教學策略對國小學生認知發展之成效研究。國立臺灣師範大學教育心理與輔導研究所。
- 陳李綱 (民 80)：多重智力理論模式的驗證與智力的促進。國立臺灣師範大學教育心理與輔導研究所。
- 陳昭儀 (民 81)：創造力的定義及研究。資優教育季刊，46 期，12-17 頁。
- 楊瑞智 (民 83)：國小五、六年級不同能力學童數學解題的思考過程。國立臺灣師範大學科學教育研究所。
- 董奇 (民 84)：兒童創造力發展心理。台北：五南。
- 詹秀美 (民 79)：影響創造力因素。資優教育季刊，34 期，15-20 頁。
- Aiken, L. R. (1973). *Ability and creativity in mathematics. Review of Educational Research*, 43(4), 405-432.
- Bitner-Corvin, B. L. (1983). *Impact study of energy education workshops on the participants and their? peer teachers*. ERIC Document Reproduction Service No. ED 295-798 )
- Costa, J. E. (1984). Physical geomorphology of debris flow. In J. E. Costa & P. J. Fleischer, (Eds.), *Developments and applications of geomorphology*, Berlin, Springer-Verlag, 268-317.
- Das J. P., Naglieri J. A., & Kirby, J. R. (1994). *Assessment of cognitive processes: The PASS theory of intelligence*. Boston: Allyn & Bacon.
- Davis, G. A. (1986). *Creativity is Forever* (2nd ed.). Dubuque, IA: Kendall/Hunt.
- Davis, G. A., & Rimm, S. B. (1985). *Education of the gifted and talented*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Guilford, J. P. (1967). *The nature of human intelligence*. New York: McGraw-Hill.
- Holmes, E. E. (1995). *New directions in elementary school mathematics: Interactive teaching and learning*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Howley, A., Howley, C., & Pendarvis, E. (1986). *Teaching gifted children: Principles and strategies*. Boston: Little, Brown.
- Isaksen, S. G., Puccio, G. J., & Treffinger, D. J. (1993). An ecological approach to creativity research: Profiling for creative problem solving. *Journal of Creative Behavior*, 27, 149-170.
- Kajander, A. (1990). Measuring mathematical aptitude in exploratory computer environments. *Report Review*, 12(4), 254-256.
- Kulm, G. (1982). The development of mathematics problem solving ability in early adolescence. *School Science and Mathematics*, 82(8) 666-672.
- Leff, M. (1984). *The limits of symbolic reform: The new deal and taxation, 1933-1939*. Cambridge, NY: Cambridge University Press.
- Loewenthal, G., & Martinez-Pons, M. (1987). Comparison of three methods for improving verbal analogies solutions. *Forum for reading. Journal of College Reading. Improvement*, 18, 53-61.
- Lubart, T. I. (1994). Creativity. In R. J. Sternberg (Ed.), *The nature of creativity* (pp. 289-332). New York, NY: Cambridge University Press.
- Markman, E. M. (1985). Why super ordinate category terms can be mass nouns. *Cognition*, 19, 311-353.

- Niaz, M., & Lawson, A. E. (1985). Balancing chemical equations: The role of developmental level and mental capacity. *Journal of Research and Science Teaching*, 22(1), 41-51.
- Noppe, L. D., & Gallagher, J. M. (1977). A cognitive style approach to creative thought. *Journal of personality*, 41(1), 85-90.
- Schoenfeld, A. H. (1985). *Mathematics Problem Solving*. New York: Academic Press.
- Schoenfeld, A. H. (1987). *Cognitive science and mathematics education*. New Jersey, NJ: Hillsdale.
- Schoenfeld, A., Ed. (1987). *What's all the fuss about metacognition? Cognitive science and mathematics education*. NJ: Erlbaum.
- Sternberg, R. J. (1988). A three-factor model of creativity. In R. J. Sternberg (Ed.), *The nature of creativity* (pp. 125+147). New York: Cambridge University press.
- Sternberg, R. J. (1994). *Mind in context: Interactionist perspectives on human intelligence*. Cambridge University Press.
- Sternberg, R. J. (1982). A componential approach to intellectual development. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (Vol. 1, pp. 413-463). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Sternberg, R. J. (1984). Toward a triarchic theory of human intelligence. *Behavioral and Brain Science*, 7, 269-316.
- Sternberg, R. J. (1988b). *The triarchic mind: A new theory of human intelligence*. New York: Viking .
- Sternberg, R. J. (1997). A triarchic view of giftedness: Theory and practice. In N. Coleangelo & G. A. Davis (Eds.), *Handbook of Gifted Education*. (PP45-53). Boston, MA: Allyn and Boston.
- Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1991). An investment theory of creativity and its development. *Human Development*, 34, 1-32.
- Torrance, E. P., & Goff, K. (1989). A quiet revolution. *Journal of Creative Behavior*, 23(2), 136-145
- Witkin, HA, Moore, C. A., Goodenough, D. R., & Cox, P. W. (1977). Field-dependent and field-independent cognitive styles and their educational implications. *Reviews of Educational Research*, 47, 1-64.
- Woodman, R. W., & Schoenfeldt, L. F. (1989). Individual differences in creativity: An interactionist perspective. In J. A. Glover, R. R. Ronning, & C. R. Reynolds (Eds.), *Handbook of Creativity* (pp.77). New York: Plenum Press.

收 稿 日 期 : 2005 年 12 月 28 日

一 稿 修 訂 日 期 : 2006 年 05 月 01 日

接 受 刊 登 日 期 : 2006 年 05 月 03 日



Bulletin of Educational Psychology, 2006, 38(1), 1-17

National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

## **Developing Test Tools to Analyze and Diagnose Mathematical Creativity in Elementary Students**

Lee-Chou Chen

The main purpose of this study was to develop a set of test tools to analyze and diagnose mathematical creativity of elementary students. The subjects were 5th and 6th graders from an elementary school. Based on Sternberg's Three-factor Model of Creativity and the mathematical learning materials for elementary students, a test battery of mathematical creativity was developed which included Mathematics and Logical Words Scale, Automatic Mathematical Problem-Solving Scale, Figure Analogical Reasoning Scale, Mathematics Mapping Scale, Meta-Cognitive Ability Scale, and Creativity Behavior Scale. These tools were used to analyze and diagnose the mathematical creativity of elementary students. The findings indicate that : (1) the devised test battery was good in reliability and validity in analyzing and diagnosing the mathematical creativity of elementary students; (2) this battery is comprised of the cognitive components of novelty, insight, automaticity, analogical thinking and meta-cognitive ability; (3) high meta-cognition students and field-independents scored higher than low meta-cognition students and field-dependents, respectively, in all components of mathematical creativity, while high creativity students scored higher than low creativity students in several components of it; and (4) mathematical achievement was closely related to mathematical creativity, due to common components in mathematical problem-solving such as meta-cognitive ability, automaticity, novelty and analogical reasoning.

**KEY WORDS: mathematical creativity, cognitive component, insight, automaticity, novelty, analogical reasoning, meta-cognition, mathematical problem-solving.**

