

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

線上認知診斷評量模式之研究：以國小 數學科低成就學生為對象 (1/2) (2/2)

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC-90-2614-S-004-011 (1/2)

NSC-91-2521-S-004-011 (2/2)

執行期限：90年8月1日至92年7月31日

個別型計畫：計畫主持人：余民寧

研究助理：陳新豐、林曉芳、邵俊豪、洪慧芸、
游森期、陳嘉甄、李仁豪、陳家興

整合型計畫：總計畫主持人：

子計畫主持人：

註：整合型計畫總報告與子計畫成果報告請分開編印各成一冊，
彙整一起繳送國科會。

處理方式：可立即對外提供參考

(請打)一年後可對外提供參考

兩年後可對外提供參考

(必要時，本會得展延發表時間)

執行單位：國立政治大學教育學系

中華民國九十二年十月三十一日

謝詞

本研究之可以順利完成，本案研究主持人要特別感謝國科會補助研究經費（補助編號：NSC-90-2614-S-004-011(1/2)和 NSC-91-2521-S-004-011(2/2)）；若沒有國科會的大力補助研究經費的話，則本案研究主持人便沒有機會去探索另類評量的研究構想，更無法將這種改良式的紙筆測驗評量方式，落實在線上認知診斷評量上。

其次，本案研究主持人要感謝參與本計畫的所有研究助理們：陳新豐、林曉芳、邵俊豪、洪慧芸、游森期、陳嘉甄、李仁豪、陳家興等人；若沒有他們等人費心地協助發展測驗、架設網站、設計網頁、發函學校上網施測、整理施測資料、設計執行程式、和進行統計分析的話，則本研究大概也會遜色不少。

再其次，本案研究主持人要感謝台北市眾多熱心參與之小學教師和六年級學生，若沒有他們費心上網填寫測驗卷的話，則本案也就沒有實徵資料來驗證構想是否可行了。

最後，本案研究主持人還要感謝國立政治大學校本部及教育學系的行政同仁，在本案執行期間所提供的行政協助與支援；更要感謝家人全心全意的支持，讓本案研究主持人能夠專心研究和撰寫報告。故，本案研究主持人願以此份成就與家人分享，同時並感激所有協助過本案研究主持人的人。

摘要

本研究的目的，旨在發展一套線上認知診斷評量模式，用來幫助診斷國小數學科低成就學生的知識結構，並發現學習缺陷所在，以謀求適當的補救教學措施，進而達到改進教學評量的成效，並落實教育改革的目的。

本研究根據文獻評閱結果，設計一種用來評量知識結構的本土化工具，並以國小數學科低成就學生為研究對象，發展出一套具有認知診斷評量功能的線上測驗系統，作為幫助國小教師改善數學科教學評量的輔助工具。本研究過程中，先從建立認知診斷評量的題庫著手，經由題庫建置與信效度分析後，設計適用的軟體程式，經測試可行後，再上網轉成線上測驗系統，以完成本研究目的。

最後，本研究成果獲得下列的結論，本研究所發展的：(1) 知識結構診斷評量程式是一個有用的研究工具；(2) 認知診斷評量模式是一個改良式的教學評量模式；(3) 線上認知診斷評量模式是一個有潛力的教學評量輔助工具。同時，本研究亦提出對各學科領域知識結構評量的教學評量應用、作為實施補救教學的依據、編擬補救教材的參考、研究學習成就差異的工具等實務性建議，以及針對未來後續研究的建議。

關鍵詞：認知診斷評量、線上測驗、數學低成就

ABSTRACT

The purpose of this study is to build a model about an on-line testing system doing the cognitively diagnostic assessment. This system will help diagnose knowledge-structures of elementary students who have low-achievement in mathematics. It also will help find learning deficits and depict that which remedial instructions might help. And this help will improve effectiveness of instructional assessment and achieve the goals of nationwide educational reform.

According to literature review, this study designs a program for running diagnoses of knowledge-structures of elementary students who have low-achievement in mathematics. And also, it will help develop an on-line testing system doing the cognitively diagnostic assessment that might be a big improvement for teachers' instructional assessment nationwide. On the process of this study, it begins with the development of an item bank, followed by calibration and validation of such a bank, program designing and testing, and putting it on internet for the on-line testing system, to achieve the research goals.

The conclusions of this study are as follows: (1) The knowledge structures diagnostic assessment program (**KSDAP**) is an useful research tool. (2) The cognitively diagnostic assessment model is an improved model of instructional assessment. (3) The on-line cognitively diagnostic assessment model is a potential tool for instructional assessment. In the meantime, several suggestions for various applications on other subject domains, remedial instructions, construction of instructional materials, and study on differential achievements, are also proposed. Finally, suggestions for future researches are proposed, too.

Key words : cognitively diagnostic assessment, on-line testing, low-achievement in mathematics

目錄

謝詞.....	2
中文摘要.....	3
英文摘要.....	4
目錄.....	5
表圖目次.....	6
第一章 緒論.....	7
第一節 研究背景與動機	7
第二節 研究目的與問題.....	8
第三節 研究範圍與限制.....	8
第四節 重要名詞詮釋.....	8
第二章 文獻探討.....	10
第一節 知識的習得.....	10
第二節 知識誘發與表徵	11
第三節 知識結構（或結構化知識）.....	15
第四節 知識結構評量.....	22
第五節 路徑搜尋法.....	28
第六節 認知診斷評量.....	37
第七節 數學概念評量.....	39
第三章 研究方法.....	43
第一節 研究問題.....	43
第二節 研究樣本.....	43
第三節 研究工具與研究程序.....	43
第四節 程式設計與資料分析.....	45
第四章 結果與討論.....	46
第一節 知識結構診斷評量程式.....	46
第二節 數學科認知診斷測驗.....	55
第三節 認知診斷評量模式.....	56
第四節 線上認知診斷評量模式系統原型.....	62
第五章 結論與建議.....	64
第一節 結論.....	64
第二節 建議.....	64
參考書目.....	67
附錄.....	89

表圖目次

表目次

表 1	不同知識結構表徵方法之比較分析.....	33
表 2	網路一與網路二之節點距離值(假設資料值).....	34
表 3	網路一與網路二之的 PRX 指數的相關計算值.....	34
表 4	自表 2 中所擷取的部分節點值.....	35
表 5	網路 1 與網路 2 的圖形理論距離.....	36
表 6	PFC 試算數值.....	36

圖目次

圖 1	原始資料轉換為節點與鍊結線示例.....	31
圖 2	保留最短路徑圖示	33
圖 3	網路 1(僅取節點 A 部分)與網路 2(僅取節點 A 部分)的 PFNET 圖.....	35
圖 4	甲卷『數與計算』標準答案的知識結構圖.....	57
圖 5	低成就學生 (ID : 11096) 在甲卷作答的知識結構診斷圖.....	58
圖 6	低成就學生 (ID : 10877) 在甲卷作答的知識結構診斷圖.....	58
圖 7	低成就學生 (ID : 10954) 在甲卷作答的知識結構診斷圖.....	59
圖 8	低成就學生 (ID : 10256) 在甲卷作答的知識結構診斷圖.....	59
圖 9	低成就學生 (ID : 11012) 在甲卷作答的知識結構診斷圖.....	60
圖 10	低成就學生 (ID : 11170) 在甲卷作答的知識結構診斷圖.....	60
圖 11	低成就學生 (ID : 11129) 在甲卷作答的知識結構診斷圖.....	61
圖 12	高成就學生 (ID : 11104) 在甲卷作答的知識結構診斷圖.....	61

第一章 緒論

本章的目的，旨在說明本研究的緣起與動機目的、研究問題、研究範圍和限制、以及重要名詞的詮釋。茲分成四節陳述於后。

第一節 研究背景與動機

本研究之緣起，係廣續前一專題研究案(計畫編號: NSC 88-2614-S-004-001)的結果和筆者等人的數篇論文心得(余民寧, 民 91b; 余民寧、林曉芳、蔡佳燕, 民 90; 余民寧、陳嘉成, 民 87, 民 90; 林曉芳、余民寧, 民 90)。由這些文獻中發現，認知診斷評量(cognitively diagnostic assessment)可能是一種評量的未來發展趨勢，它不僅比傳統的總結性評量(summative evaluation)以單一總分來表示學生的成就更具預測效力，同時，它可以利用圖形表徵(map representation)方式來表達學生的知識結構，讓學生“看得見”自己的知識結構和可能存在的缺失，進而幫助學生找出缺失，對症下藥謀求補救措施。所以，它可以是一種(或一套)具有發展潛力的評量工具(或方法)。

其次，隨著電腦化測驗(computerized testing)及網際網路(internet)的運用日益受到重視，且為因應即將實施的國中升高中之「學科基本能力測驗」，各大公私立機構均各自研發供練習用的電腦化模擬測驗，且透過網際網路的線上(on-line)強大作答功能，正如火如荼地展開。這股發展趨勢告訴我們一項訊息：結合電腦、網路、及測驗評量等領域的知識，正可以科技整合出一個新領域，即「線上電腦化適性測驗」(on-line computerized adaptive testing)它的功用即是透過網際網路的線上作答功能，提供電腦化適性測驗的服務，以達到大規模、即時化、且個別化進行的「因材施教」目標。這種發展趨勢若達成熟時，將可以幫助各級學校教師作為輔助教學評量的工具，改善測驗評量的效能，間接提升教學品質。

因此，考量未來的發展趨勢與需求，本研究企圖結合上述這兩種發展趨勢為一體，擬發展出一種「線上認知診斷評量模式系統原型」(on-line prototype of

cognitively diagnostic assessment model system, 簡稱 OPCDAMS), 作為線上即時診斷學生認知學習成果的一種輔助工具, 並提供診斷結果的建議, 以幫助教師改善教學品質, 並提高教學評量的效能。由於, 目前並無這方面的中文化軟體或工具可資使用, 所以, 本研究企圖發展出一套線上認知診斷評量模式系統原型, 初步選定以國小數學科低成就學生為研究對象, 理由是: 通常, 高成就學生的作答比較容易接近教師期望的結果 (即完全答對或大部分答對), 其知識結構與參照的標準結構將會十分相近; 而低成就學生的作答比較偏離教師期望的結果, 其知識結構與參照的標準結構將會差距甚遠, 故可以顯現出其缺陷所在。待原型發展確立後, 其實亦可以適用全體的學生 (含高成就學生), 同時, 還可以應用推廣到其他學科領域, 以作為一種協助教師執行教學評量的普遍化工具。

第二節 研究目的

茲根據前述的動機目的與重要文獻評閱結果, 再加上筆者近年來的研究心得與認知, 擬定下列本研究案的核心目的。茲分別條述如下:

1. 建立整個認知診斷評量的模式。
2. 發展一套線上認知診斷評量模式系統原型。
3. 探索該系統原型的應用可行性。

第三節 研究範圍與限制

本研究由於時間、資源、及人力限制的關係, 所研擬探討的對象暫以國民小學生為範圍, 研究題材暫訂為數學科, 因此, 本研究結果的推論不可過渡推論到其他教育層級的學生和其他學科, 或許, 本研究的後續追蹤研究可以擴大推論和應用的範圍, 但目前仍只能侷限在國小學生的數學科為範圍。

第四節 重要名詞詮釋

茲針對本研究常見的重要名詞，進行解釋或下操作型定義如后。

一、 認知診斷評量

認知診斷評量是一種以認知取向的新式教育評量方法，其理論基礎是基於有意義的學習及認知建構過程等心理學理論背景，利用統計分析模式與量尺化等技術，進而針對學生的學習成就進行研究，以期診斷或推論出學生在學科成就表現的認知（或知識）結構和解題過程，而所建構的一種新式評量方法，其對瞭解學生的學習情形及協助教師進行教學規劃等方面，具有極大的實用價值與效益。

二、 線上測驗

將傳統的紙筆測驗，以電子檔的資料呈現方式，在網際網路上呈現、傳遞、展示、即時施測、和即時評分，以達到快速、經濟、有效率、省資源、與個別化實施的測驗方式，均可通稱為線上測驗。

三、 數學低成就

指數學科學習成就偏低者而言。本研究所指稱的數學低成就者，是指在本研究所研發的線上測驗試卷上，得分在倒數百分之五以內者而言。這些數學低成就者，將被特別挑選出來作為本研究的分析對象。

第二章 文獻探討

本章的目的，旨在針對本研究所擬探討範圍之相關文獻，進行系統的評閱與整理，以作為本研究之學理基礎。

第一節 知識的習得

「知識」一直是許多專家學者所欲探討的主題，自古希臘柏拉圖、亞里斯多德時代以來，哲學家便對知識的來源及相關議題提出了許多看法，「知識論」(epistemology)因而成為哲學史上一個很重要的主題。自歐洲文藝復興運動開始，對知識論的探討便逐漸衍生出兩個主要的傳統，其一是理性主義，其二是經驗主義。對於知識的習得，理性主義學派的學者認為知識有其先驗的形式，強調理性思維是獲得真實知識的依據，注重演繹推理所獲得的邏輯性知識，以康德(Kant)、笛卡兒(Descartes)等人為代表；而經驗主義學派的學者則認為知識是靠後天感官經驗累積的，感官經驗是一切知識的來源，強調透過經驗及實驗歸納所獲得的知識，以洛克(Locke)、培根(Bacon)等人為代表。這兩種對知識習得的傳統派別影響了後來心理學乃至認知心理學及教育心理學的發展。

哲學家 Ryle (1949) 採用哲學思辨的方法，將知識種類區分為兩類：『知其然』(knowing that) 與 『知其所以然』(knowing how)。認知心理學家根據上述 Ryle 的看法，將知識區分為『陳述性知識』(declarative knowledge) 及『程序性知識』(procedural knowledge) 兩類。所謂陳述性知識是指關於事實、想法、物體或事件的知識，例如「正方形有幾個邊？」它是一種知其然的知識，能知其然就能對所知的事物作定義或描述。所謂程序性知識是指瞭解事情要如何做的知識，它包括動作技能、認知技能與認知策略的知識，例如「正方形的邊長為 25 公分，則正方形的面積為多少平方公分？」，它是一種知其所以然的知識，能知其所以然就能採取行動解決問題，所以問題解決與擬訂計畫都是含有程序性知識的一種活動。程序性知識使基模相互關連，而成為心理運作的表徵模式。相對而言，陳述性知識則為程序性知識提供心理運作的基礎。

陳述性知識的特徵是在需要時可將記得的知識陳述出來，所陳述出來的事實性資料即為陳述性知識；程序性知識的特徵是需按一定程序學習，在學習後記憶

檢索的初期，必須受意識的支配，到了精熟階段，記憶的檢索會轉成自動化的歷程（張春興，民 82）。

陳述性知識與程序性知識除本質上的差異外，Gagn'e, Yekovich, & Yekovich (1993) 認為就功能、動（靜）態特質、習得速度與修正速度等方面，兩種知識都有明顯的不同。在功能方面，陳述性知識著重在引發相關想法的產生，以利反思（reflection）的進行；而程序性知識則強調在清楚的情境下，快速的展現一連串的行動。在動（靜）態特質方面，陳述性知識是對事物本身的理解，所以較偏靜態性知識；程序性知識是完成某事件所需各個步驟的知識，故較偏動態性知識。在習得速度方面，屬於事實或想法的陳述性知識，可以比較快獲得；屬於動作技能或認知技能的程序性知識，通常需要多次練習，才能達到自動化的程度，所以習得較慢。在修正速度方面，若欲修正已獲得的陳述性知識比較容易修改；而程序性知識一旦達到自動化程度後，就不易修正。

陳述性知識與程序性知識是屬於兩種不同性質的知識類型，這兩種知識在人類的認知歷程中，是如何被儲存和提取的，一直是認知心理學家亟欲瞭解的，這也就是認知心理學與教育心理學非常重要的研究主題——「知識表徵」（knowledge representation）。

第二節 知識誘發與表徵

幾乎所有的認知心理學家都強調在人類大腦的知識是以有組織、具結構性的，而非雜亂無章的方式來表徵儲存外界訊息。所謂「知識表徵」是指個體將各種知識轉換成可處理的訊息，此種轉換過程，即是知識表徵的歷程，它涉及了以概念代替實物的歷程，以及心理活動過程中產生的各種內在心像（余民寧，民 86）。對於這些知識表徵的探索工作，即是知識誘發的技術所欲探究的，所謂「知識誘發」乃指利用某種方法讓個體表現出對某些知識的概念及概念間關係的瞭解情形，簡單的說，知識的誘發指的即是收集人類相關知識訊息來源的過程。

Shanon(1993)分析表徵具有以下特質，1.表徵是以符號為媒介，以取替實體的歷程，具符號的特質(symbolic)；2.表徵由決定的典型編碼(determinate canonical code)來替代實體，每個典型編碼表徵一特定實體；3.典型編碼會依某種規則而呈現，為一結構化的(structure)符號系統；4.表徵具有靜態性(static)，但也會受到學

習或遺忘等因素影響；5.表徵具抽象性(abstract)。

雖然認知心理學家都認為大腦的知識表徵的過程及產物是有系統及組織的，但是認知心理學家對表徵大腦知識結構的方式仍有爭議，主要有兩個派別，其一為序列符號模式(serial symbolic models)，另一為平行分配處理模式(parallel distributed processing models)。序列符號模式主要是以電腦為參考依據，它假設人類的訊息處理歷程就如同電腦一樣，對於訊息的處理方式是採逐步的序列處理方式，由中央處理系統(central processing unit)來負責指揮所有的執行單位。而平行分配處理模式主要是以人腦為依據，它假設人類的訊息處理歷程就如同人類腦細胞的運作方式一樣，對於訊息處理方式是採同步的平行處理方式，由許多被激發的處理單位來共同負責。以下就這兩派別的主張，分析比較如下：

一、序列符號模式的知識表徵

早期的序列符號模式對於知識表徵究竟是以命題式表徵(propositional representation)的方式或類比式表徵(analogical representation)的方式，產生了許多爭端(Anderson & Bower, 1973 ; Pylyshyn, 1973)。為了解決此種爭端，Paivio (1971, 1986)提出雙代碼理論(dual-coding theory)，他認為影像(image)與語言(verbal)的心理表徵可視為兩種不同的代碼，而這些代碼可以將訊息組織成知識，以利知識的儲存與提取。影像是屬於類比代碼(analogue code)，它能表徵環境中的物理刺激，通常是以知覺為基礎的表徵方式，例如我們能根據手錶上時針與分針的位置，而表徵成正確的時刻；語言則是屬於符號代碼(symbolic code)，符號是可以任意被指定的，它通常不需保留概念的知覺訊息，是以抽象意義為基礎的表徵方式，例如我們能依據電子錶的數字，而表徵成正確的時刻。

近年來，對於知識表徵系統類型的研究，通常是根據陳述性知識與程序性知識的差異，而將知識表徵類型區分為屬於陳述性知識表徵的『命題式表徵』與『類比式表徵』，以及屬於程序性知識表徵的『程序式表徵』等三種類型(Rumelhart & Norman, 1985)。McNamara (1994)將知識表徵區分為屬於陳述性的類比式表徵與符號表徵，以及屬於程序性的程序式表徵。類比式表徵主要是關於知覺方面的，例如：視覺、聽覺、味覺、...等；符號式表徵主要是指命題式表徵方面；程序式表徵主要是指生產法則(production)。雖然知識表徵系統可區分為三種

不同類型，但這三種知識表徵類型並非完全獨立的，在知識表徵的過程中，這三種表徵系統是需要相互協調，才能順利完成表徵任務的。

茲就命題式表徵、類比式表徵與程序式表徵等三種不同知識表徵類型的內涵，分析如下：

1. 命題式表徵

命題式表徵系統假設知識是由一組不連續的符號所表徵，因此，每個概念將會以形式的陳述（formal statements）方式表徵（Rumelhart & Norman, 1988）。Quillian（1968）則主張這些不連續的符號是以樹狀圖或網路圖的方式被組織起來的。

「命題」這個用語主要是來自邏輯學和語言學（logic and linguistics），命題通常是知識的最小單位，它大致等同於一個想法（idea），命題的功能是顯現出概念間所具有的特殊關係（Anderson, 1990）。根據 Kintsch（1974）的看法，一個命題總是包含兩個元素：一個關係（relation），一個或多個論點（arguments）。論點指的是命題的主題，所以它們常是以名詞或代名詞來表現；而命題的關係則是用來限定（constrains）這些主題，所以關係常是以動詞、形容詞或副詞來表達（岳修平譯，民 87）。

2. 類比式表徵

相較於命題式表徵強調以意義基礎的表徵方式，有些認知心理學家則強調以知覺為主的類比式表徵（Kosslyn, 1980；Shepard & Cooper, 1982），他們認為命題式表徵是一種不連續的抽象表徵方式，通常不需要保留概念的知覺訊息，而類比式表徵是一種連續的知覺表徵方式，通常會保留概念的知覺訊息，所以，類比式的表徵效果並無法完全由命題式表徵來取代。

類比式表徵系統假設知識是由心像（mental image）的形式所表徵，因此，在表徵的過程中，通常會保留概念的知覺結構（perceptual structure），亦即盡可能的表徵出概念的物理特徵，以符合真實的表徵世界。例如當被問到：「你家裡有幾扇窗戶？」時，你的腦海可能會很快浮現出你家裡的畫面，你可能會根據這個類似真實情境的畫面，去算出你家裡的窗戶數量，而這個類似真實情境的畫面，就是所謂的心像。你在回答這個問題的過程中，便是採用了類比式表徵來解決問題的。

3.程序式表徵

程序性知識是指瞭解事情要如何做的知識，而程序式表徵系統主要是用來說明程序性知識是如何被表徵的。一個生產法則即是一個「條件—行動」（condition-action rule），這個條件—行動規則說明了在滿足特定的條件後，才會導致特定的行動產生。這個生產法則的概念主要來自於對人工智慧（artificial intelligence，簡稱 AI）的研究，為了讓電腦能有效的模擬人腦的認知表現，人工智慧的研究者（Anderson, 1983；Newell & Simon, 1972）就以生產法則來協助電腦正確的完成任務。

一個生產法則通常包括兩個部分，其一是「若」的部分，而另一個是「則」的部分（if...then...）。「若」的部分指出某些行動被執行時所必須存在的條件；「則」的部分則指出當所有條件都被滿足時，哪些行動將會執行。例如若「求長為 16 公分，寬為 12 公分的長方形面積」，則「將長乘以寬即得到長方形面積」。

二、平行分配處理模式的知識表徵

序列符號模式的知識表徵，不論是命題式表徵、類比式表徵或程序式表徵，都主張知識的表徵方式是採逐步的序列處理方式，並且經處理過的知識，會分別儲存於特定的記憶結構。對於這樣的主張，平行分配處理模式並不認同，平行分配處理模式，又稱為連結模式（connectionism model），它主張知識的表徵方式是採同步的平行處理方式，經處理過的知識，是被儲存在許多類似腦細胞的處理單位。

平行分配處理模式主張所有類型的知識都會被表徵成神經網路（neural network），然而平行分配處理模式所主張的神經網路與命題式表徵的命題網路是有所不同的。命題式表徵的命題網路是由節點所組成的，每個節點即代表一個概念，節點與節點間的連結線，即代表概念之間的關係；而平行分配處理模式所主張的神經網路是由類似神經細胞的處理單位所組成的，每個處理單位並不是代表一個概念，知識是分散儲存於許多的處理單位，而不是儲存於單一節點，知識的表徵是由藉由辨認連結的型態（pattern of connection）來進行（Sternberg, 1996）。

平行分配處理模式發展至今，雖然已獲得一些重要的研究成果，但仍有許多

難題需要克服，例如平行分配處理模式主張知識並不是被儲存在特定的記憶區，而是由一大群基本單位的激發型態所形成的，因此，若採用平行分配處理的觀點，並不容易對知識進行任何的分析探討，因為平行分配處理模式並沒有提供分析知識的任何工具（Ohlsson, 1988）。

第三節 知識結構（或結構化知識）

人類的大腦如何將經由表徵歷程所獲得的知識，組織成清楚顯示各概念之間連結關係的知識結構，是知識結構理論探究的重點。關於知識結構的理論，Morton & Bekerian（1986）主張將其分成『語意網路理論』與『基模理論』兩種，其中語意網路理論較強調知識在大腦記憶中的組織方式，而基模理論則較重視知識在大腦記憶中的運作歷程。語意網路理論主張人類的知識是由概念節點與概念節點的連結關係所形成的結構化網路，因此，節點間的連結關係，以及概念節點如何促使網路的活化，是語意網路理論探討的重心；基模理論主張人類以抽象的知識結構來表徵過去的行動或經驗，因此，訊息的儲存與提取、行動程序的組織、目標的設定等方面，才是基模理論關注的焦點。茲進一步分析比較於下：

一、語意網路理論（semantic network theory）

語意網路是一種關於知識如何被表徵的理論，語意網路理論主張知識可透過有指示性與標記性的圖形結構（directed, labeled graph structure）來表徵，而圖形結構是由相互連結的節點所構成，節點代表所表徵的概念，節點與節點間的聯結線代表概念間的關係。

Quillain（1968）從探討長期記憶表徵方式的研究中，首先提出了語意網路的主張。自從 Quillain（1968）提出語意網路主張後，就陸續有學者提出一些語意網路的模式，邱上真（民 78）綜合 Rumelhart & Norman（1985）的看法，認為語意網路會受重視的原因，主要具有下列幾項特徵：

1. 統整性（integration）：語意網路能將凡具有密切相關的概念聚集在一起，而且關係越密切，物理距離可能就越近，或相互間的聯結線可能就越多。
2. 精簡性（parsimony）：同一概念盡可能只用一個節點表示。
3. 抽象性（abstraction）：語意網路用語意來表徵知識而非用句子中的每一

個字。

4.多樣性 (versatility)：影像或動作可用一系列的命題來表徵。

5.可加性 (addibility)：新的命題可隨時加入已存在的語意網路中。

6.可視性 (visibility)：語意網路能以平面圖的方式表徵知識，可使人對知識結構一目了然，具有視覺效果。

7.自足性 (self-sufficiency)：每一個語意網路都可以充分表達某一群概念間的關係。

8.直觀性 (intuitivity)：語意網路儘管用命題作為知識結構的最小單位，但它仍然盡可能地配合人類使用語言的一些自然習慣。

茲就幾個主要的語意網路模式分析如下：

(一) Collins 和 Quillian (1969) 可教的語言理解者模式 (teachable language comprehender, 簡稱 TLC)

1.TLC 模式的理論

這個模式是模擬電腦程式的記憶組織，主要是用電腦來模擬人類的語文理解。TLC 模式假定每個節點有兩種聯結 (Best, 1992)，首先，每一節點與某些節點有高階聯結，可決定類別的隸屬關係，此聯結顯示「是」的關係，例如魚「是」一種動物；其次，每個節點除了顯示隸屬關係的聯結外，還有其他顯示該節點特質的聯結，此聯結顯示「有」的關係，例如魚「有」鱗。

TLC 主張語意知識是以階層狀的網路結構來表徵的，並且遵循認知精簡原則 (cognitive economy)，亦即屬於多數概念所共有的特徵，只會出現在最高階的節點中，例如「金絲雀」和「鴛鴦」都會呼吸，但呼吸的特徵只出現在最高階的「動物」層次上。當某概念具有與多數概念共有的特徵相異時，則需將其獨特的特徵呈現在該概念的特徵屬性上。例如大多數的鳥類會飛，而鴛鴦不會飛，所以就在鴛鴦的特徵屬性上表徵出鴛鴦不會飛的特質。

在 TLC 的模式中，欲搜尋概念是否具有該屬性時，可根據下列三個步驟 (Rumelhart & Norman, 1988)：

(1) 搜尋概念的屬性時，首先尋找概念本身所具有的屬性。

(2) 若無法在概念本身的屬性中找到，則沿著概念的階層關係往上一層，從高階概念的屬性中尋找是否具有該屬性。

(3) 重複步驟 2，繼續往上一層的高階概念去尋找，直到確定找到或確定不具有該屬性為止。

2. TLC 模式的評價

TLC 模式雖然能解釋某些實驗結果，卻也遭遇了一些困難：

(1) 無法解釋典型效果 (typicality effect)。例如「知更鳥」比「鴛鴦」更像一隻典型的鳥，根據 TLC 的理論，「知更鳥」與「鴛鴦」同屬於一個階層的，但實際的結果是，「知更鳥是鳥？」提取的時間，少於「鴛鴦是鳥？」的提取時間 (Smith, Shoben, & Rips, 1974)。

(2) 無法說明某些逆轉效果 (reversal effect)。例如「動物」是「哺乳動物」的高階概念，根據 TLC 模式提取「貓是一種哺乳動物？」，應該少於「貓是一種動物？」的時間，但實驗結果卻相反 (Rips, Shoben, & Smith, 1973)。

綜合上述探討可知，TLC 模式雖然能清楚的解釋訊息是如何被提取的，同時它呈現出知識結構是相當具有結構化的特質，然因其知識結構為單一的階層網路，有失之簡化的缺失。

(二) Collins 和 Loftus 的擴散激發模式 (spreading activation model)

1. 擴散激發模式的理論

由於 TLC 模式有過度簡化的缺失，所以 Collins 和 Loftus (1975) 針對 TLC 的缺點作了修正，提出了擴散激發模式。擴散激發模式不用階層組織的形式表徵概念的階層關係，而改以非階層的網路語意距離來表徵各概念間的關係。

擴散激發模式有兩個假設 (Best, 1992)。首先，兩個概念間的關聯程度端賴聯結線段的長度，聯結線段越短，表示兩概念的連結關係越緊密；其次，概念間的聯結，並非每個都具有隸屬性的關係，有些是屬於同階的關係。

擴散激發模式主張命題的表徵方式，猶如腦神經細胞的分佈情形，一旦一個概念被激發後，它會沿著與此概念聯結的聯結線段，激發其他的概念，而越近的聯結，激發的速度越快。而激發強度的大小、激發時間的長短、概念之間的距離長度、被激發的概念是否為核心概念等因素，都會影響概念是否被激發。例如最初被激發的是不尋常、冷僻的概念，便不會擴散到很多概念；如果被激發的是錯綜交織的網路核心概念，那麼就會有許多相連的概念被激發 (黃秀瑄 林瑞欽譯，民 80)。

2.擴散激發模式的評價

擴散激發模式雖然可以解釋 TLC 所無法解釋的實驗效果,但是 Smith(1978) 認為因為擴散激發模式是為了修正 TLC 模式而產生的,所以本身並無法提出許多清楚的實驗預測結果 (clear-out predictions) 。

綜合上述的探討可知,擴散激發模式認為訊息一旦被激發,便會順著聯結的網路向四面八方擴散開來,如此的訊息提取可以較快速,並且可避免因單一階層網路所可能導致的錯誤解釋。擴散激發模式採用類似網路神經的知識組織方式,影響著往後測量知識結構的方法,例如路徑搜尋法即是深受擴散激發模式的影響。

(三) Anderson 思考的適應性控制 (adaptive control of thought)

1.ACT 模式的理論

Anderson 提出 ACT 的目標是要發展一個長期記憶的理論,這個理論用來解釋關於記憶、推理、語言理解與獲得等認知結構與認知歷程的全貌。ACT 主張知識是以命題網路的形式被表徵在記憶結構中,命題網路中的節點代表命題,而聯結線則代表命題之間的關係。

ACT 有七項的基本假定,其中前五項是關於陳述性知識的假定,而後兩項則是關於程序性知識的假定 (Howard, 1983) :

(1) 陳述性知識的假定 :

- (A) 強度假定: 每個聯結有特定的聯結強度,新形成的聯結強度較低,但每次被使用後就會不斷增強。
- (B) 促動假定: 在任何情況下,長期記憶中的節點只有小部分處在激發狀態,其他節點則處於不激發狀態。
- (C) 促動擴散假定: 被激發的節點會擴散到相互聯結的被動節點。兩個節點間的聯結越強,就越可能擴散到聯結的節點。擴散是有能量限制的,同時有越多節點被激發,就越少會擴散到其他節點。
- (D) 漸弱假定: 激發會定期地在整個網路中逐漸減弱。
- (E) 促動列假定: 最多有十個節點在激發列 (active list) 中,激發列就是 ACT 理論中工作記憶。在激發列的節點不會被減弱,只要它們在激發列中,就處於活動狀態中。

(2) 程序性知識的假定：

(F) 強度假定：每個生產法則有某些聯結強度，每次生產法則被執行後，生產法則的強度就會增加。

(G) 選擇假定：所有生產法則的條件會與被促動的記憶相比較，看看是否有條件相符的生產法則。強度較強的生產法則的速度較快，一旦某個生產法則的條件符合的話，該生產法則就會被執行。

ACT 主張永久記憶的主成分是以命題形式進行儲存的工作，此模式包括陳述性記憶 (declarative memory)、生產法則記憶 (production memory) 與工作記憶 (working memory) 三個部分。

陳述性記憶是屬於儲存知識結構的長期記憶區，它與工作記憶進行訊息的儲存和提取的工作；生產法則記憶是屬於負責關於程序性知識的記憶區，它與工作記憶進行生產法則的比對和執行的工作，同時生產法則記憶本身會進行應用的工作，以擴增生產法則的應用情境。工作記憶是屬於當下正在處理訊息的記憶區，他必須針對外在世界所提供的訊息，進行編碼的工作，同時需立即對該訊息做出回應的表現行為。

當外在的訊息經編碼後送至工作記憶區，相關的訊息一旦在命題網路中被激發後，就會從陳述性記憶區提取到工作記憶區，而工作記憶區所處理的訊息，也會被送至陳述性記憶區儲存；透過型態比對 (pattern matching) 的過程，選擇適當的生產法則，當滿足特定的條件後，生產法則就會被執行，生產法則透過學習懂得將舊經驗遷移應用至新的情境。最後，訊息經過工作記憶區的處理後，會對外在環境表現出實際的行動。

2. ACT 模式的評價

整體而言，ACT 理論是一個整合陳述性知識與程序性知識的命題網路模式，它對訊息的處理歷程與知識結構的形成方式，都能清楚的解釋說明，是一個較完整的語意網路理論，它對知識結構的評量有著重大的影響力。

綜合上述的探討可知，TLC 模式、擴散激發模式與 ACT 模式等都是屬於語意網路的知識結構類型，其中，TLC 模式與擴散激發模式等兩種語意網路模式都主張「概念」是知識的基本單位，並且比較偏重對陳述性知識的表徵，而 ACT 模式主張「命題」是知識的基本單位，ACT 模式則同時能表徵陳述性知識與程

序性知識。

二、基模理論 (schema theory)

所謂的基模是指有組織的知識結構，它是存在記憶裡用來表徵一般概念 (generic concept) 的資料結構，基模可用來表徵物體、情境、事件、連續的事件 (sequences of events)、行動與連續的行動等知識 (Rumelhart & Ortony, 1977)，與基模概念相似的有 Minsky (1975) 所提出的「架構」 (frame)，以及 Schank & Abelson (1977) 所提出的「劇本」 (script)。

基模理論是一種關於知識的理論，這種理論主要是在探討知識如何被表徵，以及表徵如何促使知識在特定方面的使用。基模理論主張所有的知識都是被包裝 (packaged) 成單位 (units)，這些單位就是所謂的基模群 (schemata)，這些基模群是一種抽象的知識結構，它會引導個體如何使用知識。

心理學家對基模的研究，大致是從 Bartlett (1932) 對記憶扭曲的研究開始，他發現當要求受試者回憶先前提供的文章內容時，受試者會傾向省略文章裡的某些情節，而自己加入某些文章所沒有的情節，以使閱讀的文章能與自己已有的故事基模相符。其後，Piaget 認為基模是有組織的思考模式，用來解釋人類如何透過經驗適應生活環境，例如嬰兒會採用動作基模來探索外在的世界。

Rumelhart (1980) 認為基模是認知的基石 (building blocks)，它是訊息處理過程所依賴的基本元素，包括在轉譯外在的感覺資料時，在提取訊息時，在組織行動時，在決定目標與次目標時，在分配資源時，都會應用到基模的概念。

Marshall (1987) 則認為基模是包含人類如何與環境互動的訊息的一種知識結構，它可用來說明人類如何知覺外在的環境，以及在該情境下，會採取何種行動來因應。而人類在知覺外在環境與做出反應行動時，同時需要使用到陳述性知識與程序性知識，因此，Marshall (1987) 主張基模知識是陳述性知識與程序性知識的綜合體。

Rumelhart & Norman (1988) 綜合對基模的相關研究，提出基模具有五點特徵：

1. 基模是有變項的：任何基模都具有不可改變的部分與可以改變的部分，例如「人」的基模，有不可改變的部分，如：「一個人有雙手及雙腳」，以及可以

改變的部分，如：「人有黑種人、白種人、黃種人」等。

2.一個基模可以包含子基模：例如「手」的基模可以包括「手指」和「手臂」兩個子基模，而「手指」的基模又可以包括「大拇指」、「食指」、「中指」、「無名指」和「小指」等子基模。

3.基模可以表示任何層次的知識：基模不僅可以表示大範圍的知識，例如文化知識，也可以表示小範圍的知識，例如某個字的意義。

4.基模代表的是知識，而不是代表定義：基模代表的是個人對於外在世界所產生的經驗，而不是對於這些經驗給予定義。

5.基模會主動的進行辨認的工作：基模會主動對新的訊息進行辨認的工作，從辨認的過程中，選取最適合的基模來處理新的訊息。

由上述基模所具有的五點特徵可知，當個體遭遇外在環境的各種訊息時，個體本身所擁有的基模會主動的對各種訊息進行辨認的工作，然後較能符合外在訊息的基模就會被活化，而被活化的基模在處理外在訊息時，會先存在一些預設值（default value），這些預設值可以協助個體快速的瞭解外在訊息的意義。

基模不但可以表徵靜態的概念知識外，也能表徵動態的行動事件，例如：當被要求說明什麼是「房子」時，你可能會有「房子是一種建築物」、「房子裡有房間」、「房子是由木材、磚塊或石頭所建造的」、「房子是當作人類的住處」、...等的想法，由這些想法你就可以產生對「房子」的部分基模，有了房子的部分基模後，你就可以很快讓別人瞭解房子的概念（Anderson, 1990）。

基模除了可以表徵像「房子」這樣靜態的概念外，也可以用來表徵動態的行動事件。例如 Schank & Abelson (1977) 所提出的劇本理論，即是一套具有行動計畫的基模。Schank & Abelson (1977) 曾以「餐廳」劇本，用來說明個體對餐廳所具有的知識表徵。一個餐廳劇本通常包括配備、角色、登場的情境、用餐的場景與結果等部分。配備的部分有桌子、菜單、食物、帳單、錢、小費等；角色的部分有顧客、侍者、廚師、收銀員、店主等；登場的情境是因為顧客擁有錢，並且處於飢餓的狀態；最後的結果是顧客付了錢用餐後，就不再飢餓，店主得到金錢的報酬，顧客和店主都皆大歡喜。至於用餐的場景部分，則是屬於動態的行動事件，通常包括四個場景：首先是顧客進入餐廳的場景，然後是點菜的場景，接著是開始用餐的場景，最後是顧客離開餐廳的場景。每個場景都包括了一些依序的行動，將這些行動串連起來，就是顧客上餐廳用餐的基模知識。

第四節 知識結構評量

目前教育心理學家已發展出許多種評量知識結構的方法，而 Koubek & Mountjoy(1991)、Goldsmith, Johnson, & Acton(1991)與 Jonassen, Beissner, Yacci (1993) 等人曾對這些評量知識結構的方法，加以分門別類。

Koubek & Mountjoy (1991) 將知識結構的評量方法，根據評量方法的差異而區分成三類：口語報告(verbal reports)、集群方法(clustering methodologies)、與量尺方法 (scaling methodologies)。口語報告包括晤談、問卷、放聲思考、... 等方法；量尺方法包括多向度量尺、路徑搜尋法、... 等方法。

Goldsmith, Johnson, & Acton (1991) 與 Jonassen, Beissner, Yacci (1993) 對於知識結構評量方法的分類，是根據評量的實施程序而分類的。他們都主張知識的評量包括三個主要步驟：知識結構的誘發 (elicitation)、知識結構的表徵與個人知識結構表徵的評價。茲分別說明如下：

1. 「知識結構的誘發」著重於評量個人是否清楚瞭解概念間所具備的關係，此步驟可採用的評量方法包括字義聯想法、卡片分類法、相似性評定法、晤談法、... 等。

2. 「知識結構的表徵」是將「知識結構的誘發」步驟所引出的知識，經由量尺化的程序，表徵成結構性的知識組織，常用的評量方式有集群分析、多向度量尺與徑路搜尋法、... 等。

3. 「個人知識結構表徵的評價」則是將個人所誘發出的知識結構表徵與參照者的知識結構表徵相互比較，以瞭解個人的知識結構表徵與參照者的知識結構表徵的相關程度，參照者的知識結構表徵通常是以專家的知識結構表徵為代表。

以下分別詳細介紹知識結構評量的三個步驟：

一、知識結構的誘發

目前，通用的誘發知識結構的方法，主要有下列幾種：

(一) 「字詞相似性聯想法」(word association proximities)

字詞相似性聯想法是基於長期記憶理論，研究發現長期記憶中相關聯的概念有其語意相似性 (semantic proximity) 的特性。語意相似性是假設相似的概念，

其關連性較強、較容易形成配對。而字詞相似性聯想法的主要目的，即在抽譯出知識結構，亦即透過回憶所檢索出的訊息，抽譯出學習者於長期記憶中對該主題概念的相關結構。字詞相似性聯想法所得的資料可轉成距離矩陣，用以描述概念間的語意差異。

字詞相似性聯想法的應用，主要有二種方法：

1.自由聯想法：給予一個字詞，要求學生在一定時間內，盡可能舉出所能聯想到的相關字詞。

2.控制聯想法：要求學生所舉出的字詞須限定在相關的領域（例如：舉出和刺激字詞有關的「物理概念」），且須排出相關性的次序。

字詞聯想法的實施程序，為先確定所要評量的學科領域，其次就該學科領域中的主要知識概念，選擇幾個最為重要的刺激字，請受試者在特定的時間內（通常是一分鐘到一分半鐘之間），以該學科領域的知識為範圍，盡可能的寫出與該刺激字相關聯的概念。

字詞聯想法的優點為實施容易且方便，受試者能主動提出與刺激字相關聯的概念，可較客觀的誘發出受試者的知識結構；其缺點為在短暫的時間內，受試者對刺激字所誘發出的關聯概念，可能只憑受試者對該概念的表面印象，而無法確定該概念與刺激字是否真的有很高的關聯性。

Gesslin & Shavelson (1975) 曾以字詞聯想法探討中學生學習機率的認知結構，結果顯示字詞聯想法可以有效的評量出中學生數學的知識結構。

（二）「卡片分類法」（card sorting）

卡片分類法指的是呈現一系列與主題相關的卡片，每一個卡片上面註明一個概念，然後根據意義相似性把概念分類，最後給予各個類別訂一個類別標籤或分類標題，概念間關係的準則可透過該類別的標籤或標題加以傳達。卡片分類法根據意義的相似性或其他意義效標，例如概念的內涵、功能、特質、...等而作分類。Miller (1969) 研究發現，卡片分類技術對於以階層結構組織而成的概念而言，是定義概念間關係距離的有效工具。

卡片分類的優點為實施容易，因為卡片分類方法簡單易懂，受試者可以很快瞭解如何進行評量；但其限制，則為每個概念只能隸屬於一個類別，但概念常具有多樣的意義，因此，往往無法彰顯概念的完整意義。

Stein, Baxter, & Leinhardt (1990) 以卡片分類法探究數學教師關於函數的知識結構，結果發現數學老師的教學內容，與其所具有的知識結構相符合，同時也顯示卡片分類法能有效的評量知識結構。

(三) 「相似性評定法」 (similarity ratings)

相似性評定法指的是讓學生對兩兩配對的概念，以固定量尺評定概念間的相似度或關係強度，其為評估個體認知結構中，概念相似性的最直接方法。相似性評定法基於概念間相似性比較理論，利用空間比喻來描述認知架構，而較相關的概念在幾何空間中的位置較接近。相似性評定法所得的評定資料，可以轉換成相似性距離矩陣。一般相似性評定法應用在「多向度量尺法」(multidimensional scaling)、「路徑搜尋網路分析法」(pathfinder network analysis)、「集群分析法」(cluster analysis)等評量方法上。

相似性評定法所採用的量尺技術，許多調查研究指出心理量尺技術，如集群分析、多向度量尺、網路量尺技術(network scaling technique)等，常被用來作為誘發領域知識的技術，而且一般認為這些技術較傳統的知識誘發方法更具體、更有效(Cooke & McDonald, 1987)。

宋德忠、林世華、陳淑芬、張國恩(民 87)以相似性評定法與路徑搜尋法評量大學生對於學習理論的知識結構，研究結果顯示徑路搜尋法所提供的知識結構(PFC 指數)，對學習成就有不錯的預測力。

(四) 晤談法

晤談法是施測者提出問題由受試者來回答，受試者在回答的過程中，要將腦中所有想到的事情大聲的說出來，當受試者陷入沈思而未能說話時，施測者應提醒受試者說出正在想的事情，研究者即根據受試者回答的內容，分析其知識結構。整個晤談的過程可透過錄影或錄音的方式，以便提供研究者分析資料時的參考。

晤談法的基本假定是透過受試者將本身的知識結構以口述的方式表達出來，研究者對於口述的內容分析，可以瞭解其知識的原貌。晤談法的優點是透過晤談的方式，受試者可以清楚完整的表達其想法，可較深入的瞭解受試者的知識結構，但其缺點則為對於知識結構的分析，牽涉到研究者主觀的判斷。

White (1985) 認為晤談法是描述知識結構最微妙(subtle)的方法，它可以

提供許多關於人類如何儲存和回憶知識的洞察力 (insight)。Leinhardt & Smith (1985) 曾以晤談法研究數學教學過程中所需的專家知識，研究結果顯示晤談法可以較深入的分析教學者的教學知識。

從以上的文獻探討可以發現，知識結構誘發技術有許多種，但其中最為具體、有效的方式是相似性評定法所採用的量尺技術。量尺技術在認知心理學中經常被用來研究記憶中的知識概念組織。

二、知識結構的表徵

「知識表徵」(knowledge representation) 是指針對被誘發的知識，以某種表徵方式找出其結構而言。誘發的技術通常和詮釋 (interpreting) 或摘要資料的方法結合在一起，而詮釋或摘要資料的內容往往是量化的或統計學上的表徵方式。詮釋過程所輸出的結果(例如：方格 (grids) 網路 (networks) 集群 (clusters) 等) 被視為中介表徵 (mediating representation)。此一中介表徵用來表示個體所習得的知識，在誘發的知識中，資料聚合的愈好，則表示其專家模式愈佳 (Cooke, 1994)。以下將介紹三種較常使用的知識結構表徵方法：

(一) 集群分析法

集群分析主要是將知識誘發步驟所取得的接近性矩陣 (proximity matrix)，輸入統計軟體進行統計分析，集群分析會從相似性或不相似性的資料中，抽取出資料中的潛在結構，最後以樹狀圖 (dendrogram) 的形式表徵出受試者的知識結構，樹狀圖上的分支線段代表概念，而相連的分支線段代表隸屬於同一個集群。

集群分析的基本假定，認為知識是以層級組織的方式儲存於長期記憶中，概念間的關係越密切的，就會聚集於相同層級的組織結構中。集群分析的優點為樹狀圖的表徵方式，可透過視覺的觀察，很清楚的知曉概念之間的隸屬關係；但其限制則為要將樹狀圖區分為幾個集群數，目前尚未有公認的理想方法 (林邦傑，民 70)。

(二) 多向度量尺法

多向度量尺法主要是將知識誘發步驟所取得的接近性矩陣 (proximity matrix)，輸入統計軟體進行統計分析，多向度量尺法會從相似性或不相似性的資料中，抽取出資料中的潛在結構，最後以座標圖的形式表徵出受試者的知識結構，座標圖上的座標點代表概念，而座標的向度代表區隔概念的依據標準。

多向度量尺法的基本假定，認為概念間的關聯程度可用座標圖的幾何距離表徵出來，座標圖的幾何距離越短，即表示概念間的關係越密切。而概念之間的關聯性，可從許多不同的向度來衡量。

多向度量尺法的優點為座標圖的表徵方式，可透過視覺的觀察，很清楚的瞭解概念之間的關聯性；但其缺點則為每個向度代表的意義，不容易客觀的評判出來，若超過兩個以上的向度，則更不容易解釋向度的意義。

（三）路徑搜尋法

路徑搜尋法也是需要將知識誘發步驟所取得的接近性矩陣輸入 KNOT 軟體程式來進行統計分析，路徑搜尋法會從相似性或不相似性的資料中，抽取出資料中的潛在結構，最後以 PFnets 網路圖的形式表徵出受試者的知識結構，PFnets 網路圖上的節點代表概念，而相連的節點代表概念間的關聯性較高。

路徑搜尋法的基本假定，認為概念間的關聯程度，可由 PFnets 網路圖中概念之間是否存在聯結線表徵出來。若概念之間有聯結線的存在，即表示概念間的關係越密切；若概念之間缺乏聯結線，則表示概念間的關係越疏遠，然而要特別注意的是 PFnets 網路圖中節點間聯結線的長短，並不代表聯結關係的強度。

路徑搜尋法的優點為 PFnets 網路圖的表徵方式，類似 Collins & Loftus(1975) 提出擴散激發模式的語意網路形式，很容易由概念之間是否有聯結線，而瞭解概念之間的關聯性；但其限制則為路徑搜尋法需要有特定的 KNOT 軟體程式才能進行評量。

江淑卿（民 86）曾將上述集群分析、多向度量尺、路徑搜尋法三種知識結構表徵的方法之相似及相異程度列表說明如下：

表 1 不同知識結構表徵方法之比較分析

量尺化方法	三者共同點	研究重點	限制	空間呈現	適用資料
路徑搜尋法	1. 引發知識係透過概念間相似性判斷獲得接近性矩陣。 2. 將知識結構量尺化 3. 無法確實瞭解相似性	掌握結構中最重要的關係,瞭解概念之間的位 置。	聯結沒有命名,以聯結長度表示相關程度,是需要予以聯結命名。	以節點和聯結呈現二向度的網狀或階層圖。	1. 適用階層性和非階層結構。 2. 適用次序和比率資料。 3. 適用對稱和非對稱關係。
多向度量尺法	判斷所代表的因素。	掌握結構整體概念關係	需主觀解釋向度的意義	二向度以上的空間結構呈現	適用次序和比率資料。
集群分析法		掌握結構概念類別。	需主觀決定集群階層的分割點	樹狀階層結構呈現	適用處理階層結構,不適合非階層結構。

三、知識結構的評價

個別知識結構表徵的評價,主要是將個人透過知識結構表徵的步驟所得到的知識結構,與參照者的知識結構相互比較,以瞭解個人的知識結構與參照者知識結構的異同點,而參照者知識結構通常都是以專家的知識結構為代表。

透過集群分析對個別知識結構與參照者知識結構的比較,從集群分析所獲得的樹狀圖,可以瞭解個人的知識結構與參照者知識結構所產生的集群數目是否相同,以及每個集群所包含的概念是否相同。

透過多向度量尺法對個別知識結構與參照者知識結構的比較,所獲得的座標圖,可以瞭解個人的知識結構與參照者知識結構所產生的座標點是否在相同的位置,以及每個向度所代表的意義是否相同。

而透過路徑搜尋法對個別知識結構與參照者知識結構的比較,所獲得的 PFnets 網路圖,可以瞭解個人的知識結構與參照者知識結構所產生的 PFnets 網路圖是否相似,以及概念間的聯結線是否相同。另外,路徑搜尋法可以透過接近性指數 (proximity index, 簡稱 PRX)、圖形理論距離指數 (graphical theoretical distance, 簡稱 GTD) 與相似性指數 (closeness index, 簡稱 PFC) 等三個量化的

指數值來比較兩個知識結構圖之間的相似程度，這三個指數值的值域範圍都在 0 與 1 之間，指數值越接近 1，即顯示個人知識結構與參照者知識結構越接近。

綜合上述的分析可知，知識結構的評量方法主要包括：知識結構的誘發、知識結構的表徵、與知識結構表徵的評價等三個步驟的評量程序，透過知識結構的誘發，可以顯現受試者所具有的知識結構為何；透過知識結構的表徵，可以用圖表的方式表徵出受試者的知識結構；透過個別知識結構表徵的評價，可以比較受試者與參照者之間知識結構的異同點。

第五節 路徑搜尋法

路徑搜尋網路係美國新墨西哥州立大學計算實驗研究室的領導人 Schvaneveldt 率領研究小組，根據網路模式和圖形理論，研究發展出路徑搜尋量尺化算則（pathfinder scaling algorithm），算則運算時要設定兩個參數 r 和 q 的數值，用來建構和分析知識結構，並設計知識網路組織工具（knowledge network organizing tool，簡稱 KNOT），用來作為協助評量知識結構的工具（江淑卿、郭生玉，民 86）。

一、路徑搜尋法的圖形理論基礎

路徑搜尋法是以圖形理論為主要的理論依據，因此，本部分先介紹圖形理論的基本觀念，再探討路徑搜尋法的圖形理論基礎。

（一）圖形理論的基本觀念

圖形理論是數學知識的一個分支，主要是探討節點與聯結線段所構成的圖形結構的知識，關於圖形理論的基本觀念如下：

1. 頂點（vertices）或節點（nodes）：構成圖形的點稱為圖形的頂點或節點。
2. 邊（edges）或弧形（arc）或聯結鍊（links）：圖形中聯結節點之間的線段稱為邊或弧形或聯結鍊。
3. 路徑（path）：圖形中聯結各節點的路線（route），如果沒有重複經過某個節點兩次，則這個路線稱為路徑。
4. 循環（cycle）：若某個路線的起點與終點是同一個節點時，則這個路線稱為循環。

5.連結圖形 (connected graph) : 圖形中每個節點可藉由其它節點的聯結, 使得有路線可讓任何兩個節點相互聯結起來, 則這個圖形稱為一個連結圖形。

6.樹圖 (tree) : 沒有循環的連結圖形稱為樹圖。

7.完整圖形 (complete graph) : 若每個節點之間都有直接的聯結鍊, 則此圖形稱為完整圖形。

8.有方向的圖形 (directed graph) : 有方向的圖形是指圖形的聯結鍊具有方向性, 通常以箭頭來表示方向, 因此節點間的配對關係必須考慮先後的關係, 例如 (a, b) 與 (b, a) 代表不同的意義。有方向的圖形, 其聯結鍊通常稱為『弧形』。

9.無方向的圖形 (undirected graph) : 無方向的圖形是指圖形的聯結鍊沒有方向性, 通常直接以線段的形式來表示, 因此節點間的配對關係不用考慮先後的關係, 例如 (a, b) 與 (b, a) 代表相同的意義。無方向的圖形, 其聯結鍊通常稱為『邊』。

10.多餘的 (redundant) 邊: 假如刪除某個邊並不會影響路徑的距離時, 則此邊就稱為多餘的邊。

當圖形的聯結鍊以正實數的權重表示時, 則圖形就變成了網路的形式, 網路的節點 i 與節點 j 之間聯結鍊的權重通常以 W_{ij} 表示, 一個圖形可以視為所有聯結鍊的權重皆為 1 的網路。一條路徑的權重等於此路徑所有聯結鍊的權重總和, 而圖形中兩節點間的距離, 是以兩節點之間的所有可能路徑, 取其權重最小的值, 作為兩節點之間的距離。

一個網路 (圖形) 可以表示成 $n \times n$ 階的網路相鄰矩陣 A (network adjacency matrix A), 若網路的節點 i 與節點 j 之間有聯結鍊的存在, 且 $i \neq j$ 時, 則元素 $a_{ij} = 1$, 否則 $a_{ij} = \infty$, 但節點自身的聯結則為 0, 亦即 $a_{ii} = 0$

判斷網路節點之間是否有聯結鍊的存在, 可用 $n \times n$ 階的距離矩陣 D (distance matrix D) 來表示, 若節點 i 與節點 j 之間有聯結鍊的存在, 則元素的值為 d_{ij} , d_{ij} 是節點 i 與節點 j 的最小距離, 若節點 i 與節點 j 之間沒有聯結鍊, 則 $d_{ij} = \infty$ 。距離矩陣不必然是一個對稱的矩陣, 但距離矩陣若是一個對稱矩陣, 則該圖形就是屬於無方向的圖形 (Schvaneveldt, 1990)。

(二) 路徑搜尋法的圖形理論基礎

路徑搜尋法是以圖形理論為其設計的理论依據, 茲將路徑搜尋法所用到圖形

理論相關定理，說明如下（Hutchinson, 1989）：

一個距離矩陣 D 如果可成為某個網路的距離矩陣時，則這個距離矩陣 D 稱為當成網路是可行的（realizable），其滿足的條件為：

定理 1：一個 $n \times n$ 階的距離矩陣 D 可當成網路時，若且惟若（if and only if）：

- (a) 自身： $d_{ij} = 0$ ；
- (b) 正數： $d_{ij} > 0, i \neq j$
- (c) 三角形不等式： $d_{ij} \leq d_{ik} + d_{kj}$

路徑搜尋法將定理 1 應用到 PFNET 網路上，並改以下列的形式（Schvaneveldt, Dearholt, & Durso, 1988）：

令 $1 < r < \infty$ ，且 $n \times n$ 階的距離矩陣 D 可當成網路時，若且惟若（if and only if）：

- (a) 自身： $d_{ij} = 0$ ；
- (b) 正數： $d_{ij} > 0, i \neq j$
- (c) 以 r 為單位的不等式： $d_{ij} \leq (d_{ik}^r + d_{kj}^r)^{1/r}, r > 1$

一個網路若沒有包含多餘的邊，則該網路稱為不可刪減的網路（irreducible network），一個符合定理 1 的距離矩陣 D ，若其邊為不可刪減的邊，則需滿足的條件為：

定理 2：距離矩陣 D 的 d_{ij} 邊為不可刪減的邊，若且惟若：

$$d_{ij} < \min (d_{ik} + d_{kj}), i \neq j, k \neq i, k \neq j$$

由定理 2 可知，若節點 i 與節點 j 之間的直接距離小於所有透過其他節點所得到的間接距離時，則必須保留節點 i 與節點 j 之間的聯結鍊。由定理 2 可以得到一個推論，即為：

推論 1：距離矩陣 D 的 d_{ij} 邊為不可刪減的邊，若且惟若：

$$d_{ij} = \min[\max (d_{ik}, d_{kj})], i \neq j, k \neq i, k \neq j$$

由推論 1 可知，節點 i 與節點 j 之間的直接距離小於或等於所有透過其他節點所得到的間接距離時，則必須保留節點 i 與節點 j 之間的聯結鍊。

路徑搜尋法將推論 1 應用到 PFNET 網路上，並改為求節點 i 與節點 j 之間的直接距離 d_{ij} ：

$$d_{ij} = \min (W (P_{ij1}), W (P_{ij2}), \dots, W (P_{ijm}))$$

$W (P_{ijm})$ 代表節點 i 與節點 j 之間第 m 條路徑的權重值，上述等式的意義

為節點 i 與節點 j 之間的直接距離 d_{ij} 等於取連結節點 i 與節點 j 之間所有可能的 m 條路徑中，最小的路徑權重值當成是節點 i 與節點 j 之間的距離。

上述圖形理論的 2 個定理與 1 個推論，便構成了路徑搜尋法相當重要的理論依據。

二、路徑搜尋法(PathFinder)的基本概念

路徑搜尋法會先將一個上三角(或下三角)的原始資料矩陣轉換為路徑圖(原文稱 PFNET)，在一個路徑圖中包含以下元素：

1.節點：在一個路徑圖中會有 n 個節點，每個節點代表一個概念，可以 $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$ 表示之。

2.連結鍊與權重：連結鍊連結節點與節點，每條連結鍊會有一權重值，該權重值表示節點與節點之間的關聯性。連結節點 i 與節點 j 的連結鍊以 e_{ij} 表示；而權重值以 w_{ij} 表示。

3.路徑：節點與節點之間的路徑，代表從某節點到另一節點所經過的路線，如從節點 a 到節點 e ，中間經過節點 b 、節點 c 、與節點 d ，則從節點 a 到節點 e 之間的路徑就可以用 P_{abcde} 或 P_{ae} 表示。

4.節點 a 與節點 e 之間的路徑通常以 $W(P_{ae})$ 表示。

以上的繪圖概念可以從下面的例子來看，原始資料矩陣如下圖左，根據原始資料矩陣繪出的節點如下圖右：

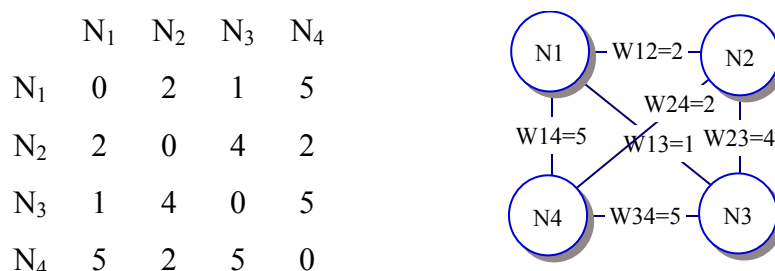


圖 1 原始資料轉換為節點與鍊結線示例

(上圖資料的引用，改編自：Dearholt & Schvaneveldt (1990), Properties of pathfinder networks. In R. W. Schvaneveldt (Ed.), *Pathfinder associative networks: Studies in knowledge organization* (pp. 1-30). Norwood, NJ: Ablex.)

上圖僅是將節點間的關聯以圖形方式表達而已，若欲轉換為 PFNET 圖，並計算得到 PFNET 圖，還必須經過以下的程序：

1. 參數值設定：路徑搜尋法中有二個重要參數，即 r 及 q 。

(1) 參數值 r 的設定範圍是 $1 \leq r < \infty$ ，用以決定路徑的長度(lengths)。當 r 設定為無限大時，適合用來處理次序性量數；當 r 不為無限大時，則適合用以處理比率量數。R 參數將與權重值的計算有關。

(2) 參數 q 可限制網路的鍊結數目，即可以決定最大數量的鍊結。當搜尋兩個節點間不同的路徑， q 參數用來設定最大數量的搜尋節點。參數 q 的設定範圍為 2 到 $n-1$ ， n 為節點數量。當 $q=n-1$ 時表示能探索所有不同的路徑，若配合參數 $r=$ 無限大， $q = n-1$ 時，可以產生最少鍊結的網路，稱為『最小值的網路』（引自江淑卿，民 86，頁 54-56）。

2. 網路權重值的計算方法：

r 參數是採用 Minkowski 量尺來計算，用以測量多元空間 (multidimensional space) 的距離。

如果向度為 $i(i=1,2,3,\dots,n)$ ， X_{ai} 表示在向度 $i(i=1,2,3,\dots,n)$ 到向度 n 所構成的多元空間的座標點 a 的數值； X_{bi} 表示在向度 $i(i=1,2,3,\dots,n)$ 到向度 n 所構成的多元空間的座標點 b 的數值，則座標點 a 到座標點 b 之間的距離，可用以下公式來計算，

$$d_{ab(r)} = \left(\sum_{i=1}^n |X_{ai} - X_{bi}|^r \right)^{\frac{1}{r}}, \quad 1 \leq r < \infty \quad (\text{公式 1})$$

當 $r=1$ 時，即是直線距離和；當 $r=2$ 時，即是歐基里德距離。

以 (公式 1) 的距離概念應用於 PFNET 網路權重值的計算，整個網路的路徑權重值來自於其個別路徑的權重值。公式可以改寫如下：

$$W(P) = \left(\sum_{i=1}^K W_i^r \right)^{\frac{1}{r}} \quad (\text{公式 2})$$

當 $r=1$ 時，網路路徑的權重值等於每條鍊結權重的總和。亦即是：

$$W(P) = W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_k$$

以如果以圖 1 為例來計算，設定 $r=1$ (連續性資料數值) 時，則

$$\begin{aligned} W(P) &= (W_{14} + W_{12} + W_{13}) + (W_{23} + W_{24}) + (W_{34}) \\ &= (1 + 2 + 5) + (2 + 4) + (5) \\ &= 19 \end{aligned}$$

3. 滿足三角不等式：一個網路中若有 q 個三個角形，則僅存路徑 m 個聯結，

且 $m \leq q$ ，這些聯結必須滿足三角形不等式。如 W_{ae} 是節點 N_a 到節點 N_e 的權重，其中經過 N_b ， N_c ，與 N_d 。則必須遵守以下公式：

$$W_{ae} \leq (w_{ab}^r + w_{bc}^r + \dots + w_{de}^r)^{\frac{1}{r}} \quad (\text{公式 3})$$

在一個有 n 個節點的圖形中，如果沒有循環時，最多會有 $n-1$ 個邊，將 q 參數設為 $(n-1)$ ，可以避免違反三角不等式公式。

4. 選取路徑中的最小權重值：節點 N_a 與其本身 N_a 的距離值為 0，而節點 N_i 與節點 N_j 的最短距離為：

$$d_{ij} = \text{MIN}(W(P_{ij1}), W(P_{ij2}), \dots, W(P_{ijm})) \quad (\text{公式 4})$$

以圖 1 為例， d_{13} 最小的路徑權重值為：

$$\begin{aligned} d_{13} &= \text{MIN}(W(P_{123}), W(P_{13}), W(P_{1243}), W(P_{143}), W(P_{1423})) \\ &= \text{MIN}((2+3), 1, (2+2+5), (5+5), (5+1+4)) \\ &= \text{MIN}(5, 1, 9, 10, 10) \\ &= 1 \end{aligned}$$

5. 選擇最短路徑，並僅保留該最短路徑：承前述例子， d_{13} 最小的路徑權重值為 1，為 $W(P_{13})$ 。即決定保留最小路徑 e_{13} ，並刪除其它路徑。

運用前述第 5 項原則，只保留所有節點間的最小路徑，可以將圖 1 改繪如下所示：

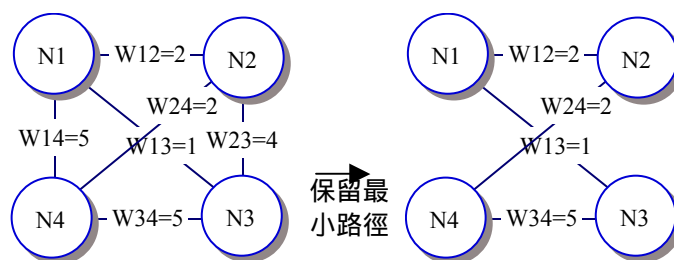


圖 2 保留最小路徑圖示

(上圖資料的引用，改編自：Dearholt & Schvaneveldt (1990), Properties of pathfinder networks. In R. W. Schvaneveldt (Ed.), *Pathfinder associative networks: Studies in knowledge organization* (pp. 1-30). Norwood, NJ: Ablex.)

三、路徑搜尋法的各項評估指數

本研究所採用的資料分析方法，是由新墨西哥州立大學的 Schvaneveldt 及其同事所共同發展出來的路徑搜尋法(PathFinder)及 KNOT 軟體 4.2 版 路徑搜尋

法以圖形表徵知識結構，同時並以圖形理論距離指數(Graph-theoretic distance index, 簡稱 GTD 指數)、相似性指數 (Closeness index, PFC, 簡稱 C 指數)、及接近性指數(Proximity index, 簡稱 PRX 指數)三個參數, 作為量化數值的評估依據。其計算原理如下所示(以下公式及試算資料均取自於 Goldsmith et al., 1991)：

(一)接近性指數(Proximity Index, PRX)

PRX 指數直接用兩個接近性資料矩陣(數值愈大表示兩兩概念的關係愈密切的資料矩陣), 以其相互對應的元素數值, 求得的積差相關係數。PRX 指數的數值介於-1 至 1 之間, 數值愈大, 則表示二個網路愈接近。可用以下假設例子說明之：

表 2 網路一與網路二之節點距離值(假設資料值)

節點	節 點						
	A	B	C	D	E	F	G
網路一	—						
A	-	1	1	2	2	2	2
B		-	2	1	1	3	3
C			-	3	3	1	1
D				-	2	4	4
E					-	4	4
F						-	2
G							-
網路二	—						
A	-	1	2	1	1	3	3
B		-	1	2	2	2	2
C			-	3	3	1	1
D				-	2	4	4
E					-	4	4
F						-	2
G							-

PRX 指數的計算方式, 是將二矩陣中相對應位置的數值求積差相關, 上述二矩陣可分別看成二數列, 數列一及數列二如下：

表 3 網路一與網路二之的 PRX 指數的相關計算值

	X _{ab}	X _{ac}	X _{ad}	X _{ae}	X _{af}	X _{ag}	X _{bc}	X _{bd}	X _{be}	X _{bf}	X _{bg}	X _{cd}	X _{ce}	X _{cf}	X _{cg}	X _{de}	X _{df}	X _{dg}	X _{ef}	X _{eg}	X _{fg}
一	1	1	2	2	2	2	2	1	1	3	3	3	3	1	1	2	4	4	4	4	2

二	1	2	1	1	3	3	1	2	2	2	2	3	3	1	1	2	4	4	4	4	2
$r_{12} = 0.79$																					

利用皮爾遜積差相關公式，計算數列一及數列二，可得到 $r=0.79$ 。 $r=0.79$ 即為 PRX 指數的數值。

(二) 圖形理論距離指數(Graph-Theoretic Distance Index, GTD)

GTD(graphical theoretical distance, 圖形理論距離指數)是兩個知識結構圖各概念節點之間的距離(以相距節點的數目多少來計算)，所求得的相关係數。GTD 指數值介於 0 至 1 之間，數值愈大，則表示二個網路愈接近。其作法如下：

1.將原始資料依據前一部分「一、路徑搜尋法(PathFinder)的基本概念」所敘述的方法，將原始資料值轉換為路徑圖(PFNET 圖)。自表 2 中僅取節點 A 與其它節點的鍊結為例，繪出網路一(節點 A 部分)與網路二(節點 A 部分)的路徑圖如下圖 3 所示(註：鍊結線段長短與權重值無關，權重值須參考原始資料表)：

表 4 自表 2 中所擷取的部分節點值

節點	節 點						
	A	B	C	D	E	F	G
網 路 一	-	1	1	2	2	2	2
網 路 二	-	1	2	1	1	3	3

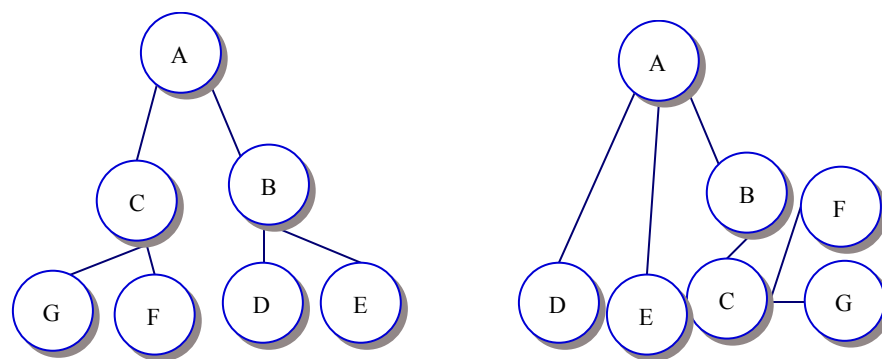


圖 3 網路 1(僅取節點 A 部分)與網路 2(僅取節點 A 部分)的 PFNET 圖

(上圖資料改編引自：Goldsmith & Davenport (1990). Assessing structure similarity of graphs. In R. W. Schvaneveldt (Ed.), *Pathfinder associative networks: Studies in knowledge organization* (pp. 75-87). Norwood, NJ: Ablex.)

2.計算圖形理論距離：圖形理論距離是以節點的鍊結數目來當成距離的計算

值，如圖 3 中的網路 1，節點 A 至節點 D，必須經由 A-C-D 的路徑，共須 2 條鍊結線段，因此 A-D 的圖形理論距離為 2。依此可以得到二網路的圖形理論距離如下：

表 5 網路 1 與網路 2 的圖形理論距離

	節點間的圖形理論距離					
	A-B	A-C	A-D	A-E	A-F	A-G
網路一	1	1	2	2	2	2
網路二	1	2	1	1	3	3

3. 計算二個網路圖形理論距離的積差相關數值，以表 5 為例，可得到 $r=0.26$ ，即為其 GTD 指數的數值。

(三) 相似性指數 (Closeness Index, PFC)

PFC 指數，則是利用集合理論(set theory)計算二知識結構圖各節點共有的鄰近節點(neighborhood)間的相似程度。該指數的值域，介於 0 至 1 之間，數值愈大，則表示該二個網路愈接近。其計算公式如下所示：

$$PFC(A,B) = \frac{1}{n} \sum_{i \in I} \frac{|A_i \cap B_i|}{|A_i \cup B_i|} \quad (\text{公式 5})$$

可用例子說明 (公式 5) 如下：

1. 以圖 3 為例，在網路 1 中，與節點 A 相聯結的結點為：B, C
2. 在網路 2 中，與節點 A 相聯結的結點為：B, D, E
3. 計算網路節點交集與聯集的比值

$$\frac{\text{二網路中與 A 點直接聯結的交集數}}{\text{二網路中與 A 點直接聯結的聯集數}} = \frac{\{B\}}{\{B,C,D,E\}} = \frac{1}{4} = 0.25$$

4. 依此計算方式，可以分別計算出每個節點的比值，因此，圖 3 中二個網路的 PFC 指數便可以如表 6 所示的計算過程得知，亦即得到圖 3 的網路 1 與網路 2 的 PFC 指數數值為 0.43。

表 6 PFC 試算數值

	各節點的 PFC 值						
	A	B	C	D	E	F	G
交集與聯集比值	1/4	1/4	2/4	0/2	0/2	1/1	1/1

	=0.25	=0.25	=0.5	=0	=0	=1	=1
PFC(所有比值的平均數)	$(0.25+0.25+0.5+0+0+1+1) / 7 = 0.43$						

對於前述三個量化指數的預測力，迄今並未有統一見解，不同的研究所得結果不一。如 Cook(1992)以 54 位修習心理學的大學生為對象，測量其知識結構，以判斷時間為依變項，結果顯示 GTD 指數最具預測力；蔡佳燕(民 89)以 74 個國小六年級學生為研究對象，探討數學知識結構與其數學學業成就的關係，發現 PRX 指數的預測力高於其它二指數；而江淑卿(民 86)以 266 個國小六年級學生及 12 位國小自然科教師為研究對象，探討學生自然科知識結構與科學文章理解能力的相關性，則發現 GTD 指數及 PFC 指數的預測力高於 PRX 指數。雖然對於三指數預測力的研究結果不一，但這些研究結論都提出，路徑搜尋法在以生手與專家對照的基礎下，能夠協助研究者了解受試者的知識結構。

第六節 認知診斷評量

施淑娟(民 86)及 Sternberg(1991)等指出未來測驗的發展應是結合認知心理學、心理計量學、及教學等三方面的理論知識，使得測驗所得的結果，能提供有關訊息處理的診斷訊息。Stiggins(1991)指出，由於近年來對「幫助學生在教育過程中獲得成功經驗」及要求評量應真正評鑑學生的學習情形和直接指引教學等方面的強調，因此，診斷評量成為當前教育評量主要的發展趨勢。診斷評量的發展可以引導特定的教學決策，亦可以顯示出教師利用考試題目或作業來瞭解教學目標是否達到的重要訊息。當代診斷評量的發展，結合了認知科學和心理計量學的理论而形成「認知診斷評量」(cognitively diagnostic assessment, 簡稱 CDA)，此為認知取向教育評量的主要發展趨勢。

以下分別探討認知診斷評量的意義、特徵、應用、與傳統評量的區別等主題(Nichols, 1994)。

一、認知診斷評量的意義

認知診斷評量是基於學習心理學的理论、對學習成就的研究、及統計分析模式等基礎，所建構而成的一個新的評量方法，其評量方向主要是表現在對學科成就表現的認知結構和解題過程等方面的推論。

二、 認知診斷評量的特徵

茲將認知診斷評量的特徵列點分述如下：

1. 認知診斷評量所用的測驗是應用明確、客觀的假設來建構測驗的內容和計分方式。客觀的假設基於心理學理論，描述了受試者在施測過程中，應用了哪些知識結構、如何發展其知識結構、及專家-生手間知識結構的差異等問題。

2. 認知診斷評量的模式，在於判定個體在試題或作業的反應過程中如何作認知推論。

3. 認知診斷評量利用統計模式的計分方式，企圖對學習者的學習過程和知識結構造成影響。例如：在策略應用方面，利用規則空間模式（rule space model）或是知識結構組織方面利用 Pathfinder 算則等。

三、 認知診斷評量的應用

由於認知診斷評量提供教育相關人員關於學生在問題解決時所使用的策略、學生在該學科中所理解的原理原則、及概念間的關係。因此，認知診斷評量在教育上的應用，主要貢獻在讓教育人員和政策決定者，可以引用經由評量所得關於學生的教學需求和教學方案設計效用等方面的結論，以使用來進行課程規劃和補救教學等。

四、 認知診斷評量與傳統評量的區別

認知診斷評量與傳統評量方式的區別，主要有下列幾點（余民寧，民 84；Nichols，1994）：

1. 認知診斷評量基於學生個別差異及調適教學方案為出發點。

2. 認知診斷評量目的在推論受試者在測驗中表現的認知結構和解題程序。

3. 認知診斷評量結果的解釋，與描述受試者在該學科領域所表現的心理模式有關。

4. 認知診斷評量和傳統評量方法的主要區別在於，邏輯分類學（logical taxonomies）的應用、內容說明（content specifications）的方式、及統計方法的運用等方面的差異。

當前認知取向教育評量的主要發展取向為「認知診斷評量」，而認知診斷評量的發展，是因應當前強調「有意義的學習」及「認知建構」過程等心理學理論背景，並結合心理計量學的發展，所形成的新式評量取向。其對瞭解學生的學

習情形及協助教師教學規劃等方面，有極大的應用效益。

第七節 數學概念評量

數學知識的基本要素是概念，兒童如何形成概念是數學學習的重要課題(劉秋木，民 85)。然而，許多教育心理學家(林清山，民 86；鄭昭明，民 82)指出學生會以某種「先入概念」(preexisting concepts)來處理對物理學或任何科學的學習和思考，亦即學生會帶著某些相關的先入概念(或錯誤概念)進入學習情境，這些錯誤的概念常常會使學生抗拒學校所教的觀念，若未能及時發現加以修正改進，將使學生在數學學習過程中無法進行正確的認知聯結，甚至無法進行正確的數學解題，而嚴重影響學生的學習成效與學習動機(朱瑞珠，民 87)。

面對此一阻礙數學學習的問題，傳統的紙筆評量並無法診斷出潛藏在解題心理運作歷程中的錯誤概念，以提供適當的補救教學。相對地，知識結構的評量卻可以找出學生在解題歷程中的知識結構，透過與「專家」的知識結構相比較，可以找出其錯誤的概念類型，便於進行補救教學措施。

數學這門學問是一切科學學習的基礎，唯有當正確的擷取概念意義時，數學的學習方能繼續延伸，並能應用於各個科學領域中。目前國內的國中數學科教材中，偏重在數學抽象符號的學習，而在這種抽象數學符號的教學中，學生的抽象思考能力必須也要有相當程度的發展才行，否則，在教師的教學無法配合學生的認知結構時，將造成學生的學習困難，學生的數學低成就現象就會發生。Hodson(1988)指出，學生本身必須先要有某些概念，而後才能繼續引發出其他概念，即當學生的認知結構一直無法自我建構出某種程度的抽象概念時，則對於數學代數概念抽象思考的學習將無法獲得有意義的學習。

Riley, Greeno, & Heller (1983) 認為解數學應用問題需有三種概念知識：(一)問題基模(problem schemata)：用來理解題意、表徵問題情境；(二)行動基模(action schemata)：用來表徵問題解決所需的行動；(三)策略知識(strategic knowledge)：規畫解題途徑(李盛祖，民 86)。

Kintsch & Greeno (1985) 認為解題的內涵為(一)知識結構：1.命題架構：將文字轉譯成命題；2.集合基模：表徵集合的性質及其集合間的關係；3.計算與算術運作：表徵計數與算數的一般形式；(二)策略結構：1.建構集合；2.遷移

策略；3.區分集合策略；4.總集合策略（翁嘉英，民 77）。

數學文字題的特點是用語言文字來敘述數學問題（張景媛，民 83）。在解代數題的過程中，首要工作就是必須先將問題轉譯，亦即是將問題中的每一個句子轉譯成某種內在表徵（internal representation）（林清山，民 86），在這轉譯的過程裡，學生所具備的語言知識及事實知識是相當重要的，透過語意的瞭解，學生才能正確無誤的知道題目的意義及其目的，這也就是一般數學學者們認為，要學好代數問題的解題，就必須要具備相當程度的語文理解程度之原因。

其次，在瞭解每一句語詞的涵義之後，就必須要能將每一個陳述句整合而成一連貫有序的問題表徵，這種問題整合歷程則必須仰賴基模知識的使用。問題整合之後，接下來就必須作解題計畫及監控，解題計畫歷程需要用到捷思法（heuristics）知識，即策略性知識的使用（林清山，民 86），運用策略知識將解題計畫及問題監控歷程轉換為以代數算式形式呈現。

最後，欲正確執行算術與代數程序運算式，則必須根據程序性知識的運用，透過動態的程序性運作，完成解題的任務。所謂程序性的知識，即指如何執行不同認知行為的知識（how to perform various cognitive activities），是一種動態的特質，但又必須配合陳述性知識的運用，程序性知識的執行過程中，有賴於長期記憶中陳述性知識的配合，方能達到解題的活動（邱美虹，民 85）。

數學解題技巧及方法程序的有效應用，必須仰賴概念的理解力，透過「概念」可以幫助學生理解數學的方法、程序，促進學生作思考，概念的知識不僅能幫助學生瞭解隱藏在數學方法程序中的意義，更有助於決定那些方法適合被應用於新的情況中（馮莉雅，民 86）。所有的數學，都是在形成問題及解題歷程中所創造出來的（周台傑、蔡宗玫，民 86；Kilpatrick,1985）。

底下茲分別評述相關的研究文獻如下：

一、以語意網路理論為依據來評量數學概念

語意網路是一種關於知識如何被表徵的理論，語意網路理論主張知識可透過有指示性與標記性的圖形結構（directed, labeled graph structure）來表徵，而圖形結構是由相互連結的節點所構成，節點代表所表徵的概念，節點與節點間的聯結線代表概念間的關係。

在以往學者提出的幾個主要的語意網路模式中，包括 Collins 和 Quillian

(1969)提出的「可教的語言理解者模式」(teachable language comprehender, 簡稱 TLC)、Collins 和 Loftus 的「擴散激發模式」(spreading activation model)、Anderson「思考的適應性控制」(adaptive control of thought)等。其中以 Collins 和 Loftus 的擴散激發模式採用類似網路神經的知識組織方式,影響著往後測量知識結構的方法,例如徑路搜尋法即是深受擴散激發模式的影響。

林曉芳(民 88)嘗試運用網路圖的概念來呈現國中學生潛在的數學代數知識結構表徵,讓教學者能清楚的看出學生對代數概念知識學習的理解程度與知識表徵模式,期能對學生的數學學習成果作有意義的評量,並將評量結果作有效的解釋,故透過路徑搜尋網路分析,利用知識網路組織工具(KNOT)程式,計算出每個學生在代數概念學習表現上的圖解理論距離指數(GTD)、相似性指數(PFC 指數或 C 指數)及接近性指數,並繪製出路徑搜尋網路圖,藉由代數概念結構圖的呈現,可使教學者明白獲知學生的學習情況,瞭解學生的學習困難所在。

蔡佳燕(民 89)以路徑搜尋網路分析來評量國小學生的數學知識結構,研究發現不同的國小學生在路徑搜尋網路圖解、相似性指數、圖解理論距離指數、接近性指數等的評量結果均不相同,顯示個體之間對數學知識的心理建構歷程與結果之間,具有個別差異存在。

涂金堂(民 90)以路徑搜尋網路分析為工具,研究國小學生數學文字題的知識結構時發現,當學生採用深層結構作為建構數學文字題問題結構的依據時,就能產生豐富的解題基模知識,協助解題者進行正確的問題表徵,因此,數學文字題問題結構與數學解題的成功與否有關。

二、以基模理論為依據來評量數學概念

基模理論已被廣泛應用在記憶、閱讀理解、數學解題、推理、問題解決、...等認知活動的研究中。茲以基模理論應用在數學解題方面的研究成果敘述如下：

Hayes(1989)認為當解題者遭遇一道數學問題時,通常會從記憶中搜尋以前的解題經驗,是否做過與其相似的問題,而這些相似問題的組合,就形成了問題基模(problem schema)。所謂問題基模是指關於某種特定問題類型的特徵,所形成的訊息集組(package of information),例如一個關於三角函數的問題基模,可能包括下面幾種訊息：

1. 起始狀態需提供直角三角形任意兩個邊的長度。
2. 解題目標是要找出直角三角形的第三個邊長。
3. 計算時的運算式會包括畢氏定理的應用。

上述的這三種訊息就構成了關於三角函數的問題基模，當解題者具備三角函數的問題基模時，就能從上述的三種訊息去思考相似問題的解題經驗，從中找出適當的解題方向。

Hayes (1989) 認為解題者擁有越多的問題基模，就越能成功的解決問題，因為問題基模會引導解題者去注意題目中的重要訊息，協助解題者進行問題表徵，以及幫助解題者如何尋找解題方向。

Marshall (1995) 主張應用基模理論在評量數學文字題的解題時，可分成四種知識類型：

(1) 確認的知識 (identification knowledge)

確認的知識主要是對問題類型的辨識，此類的知識是幫助解題者在閱讀題目後，能根據題目所顯示的各種特徵，瞭解問題屬於何種類型。

(2) 精緻的知識 (elaboration knowledge)

精緻的知識主要是幫助解題者對題目能建構適當的內在表徵，一旦解題者產生了正確的內在表徵，就可以順暢地計畫解題的步驟。

(3) 計畫的知識 (planning knowledge)

計畫的知識主要是規劃解題的方向，解題者必須綜合已知與未知的資料，設定解題的主要目標與次要目標。

(4) 執行的知識 (execution knowledge)

執行的知識主要是執行已確定的解題步驟，透過運算的程序，達成主要目標與次要目標的要求。

上述四種知識類型是評量數學文字題所需的基模知識，每種基模知識並非單獨運作，而是會相互影響，解題若能妥善運用這四種基模知識，就能成功的解出正確答案。

第三章 研究方法

根據前兩章之研究動機目的與文獻探討的說明，本章的目的旨在陳述本研究擬採用之研究樣本、研究工具、研究程序、程式設計、及資料處理分析方法等方法，茲分述如次。

第一節 研究問題

茲根據研究目的與前章文獻評閱心得，本研究擬提出下列待答的問題：

- 1.發展一套中文化的知識結構診斷評量程式。
- 2.發展線上施測用的數學科認知診斷綜合測驗試題。
- 3.建立整個認知診斷評量的模式。
- 4.架設並測試線上認知診斷評量模式系統原型。

第二節 研究樣本

根據前節所述的研究問題，本研究擬採用的研究樣本如下：

一、預試樣本

本研究的預試樣本，係以台北市 12 個行政區為抽樣範圍，自每個行政區中以隨機抽樣方式抽取公立國民小學三所，再以隨機抽樣方式自所抽取的學校中抽取一班六年級學生為樣本，共計抽取三十六班 1024 名學生為本研究的有效樣本。本預試工作，係在民國 91 年 1 月底之前，完成所有的書面施測與篩選試題的工作。

二、正式樣本

本研究的正式樣本，係待三卷複本測驗建立並上網之後，於民國 91 年 5 月 25 日至 91 年 6 月 7 日之間，向台北市 12 個行政區共 150 所國民小學公布線上施測的時程表，所收集到完成三份試卷測試資料的樣本，共計有效樣本數 313 人。後續的資料分析工作，係以該有效樣本數作為分析的依據。

第三節 研究工具與研究程序

本節的目的，旨在說明本研究所使用之研究工具與所進行之研究程序如后。

一、研究工具

茲根據成就測驗的編製原理(余民寧, 民 91a)及數學教育的相關研究文獻, 聘請二所國民小學(政大實小及萬興國小)擔任三至六年級數學科教學的資深教師各一名(共計八名), 根據現行小學數學科三至六年級課程(非九年一貫課程)範圍進行命題, 每人各命 40 道試題, 共計 320 題, 命題的重點是放在三至六年級學生都學過的基本概念, 並且指明每一道試題各在測量哪些概念目標名稱, 並將該等概念名稱列表陳現, 因此, 每一道試題應該都是用來測量基本能力的題目, 沒有任何艱深、刁難的試題, 凡經過正常教學與學習的學生, 應該都會作答且答對。

接著, 本研究透過預試工作的步驟, 篩選出 120 題的試題, 該試題係用來區別或診斷國小六年級(含)以下學生在數學科學習上所達成之不同學力程度的成就差異為目的, 而彙編的「數學科認知診斷成就測驗」, 共計有甲、乙、丙三份內容相同的複本測驗(parallel tests), 每份測驗各有 40 題單選的選擇題試題, 內容範圍均包括三至六年級的數學課程。經內部一致性信度分析結果顯示, 本數學科認知診斷成就測驗三卷的平均試題難度約介於 .343 ~ .979 之間、鑑別度約介於 .258 ~ .685 之間、 α 信度係數約介於 .8423 ~ .8988、複本(以三卷間互為複本)信度約介於 .8365 ~ .8921、效標(以學期數學科成績為效標)關聯效度約介於 .7360 ~ .8564。由此三卷測驗的信效度可知, 它們足堪作為本研究線上施測用之工具。

接著, 本研究小組成員將這三份測驗, 復根據九年一貫課程標準中國小數學課程的規劃, 打散重新組合成三卷: 『數與計算』、『量與實測』、和『綜合測驗』等, 題數各為 40 題, 並將此重新組合後的試卷內容, 公布在網站上(網址暫訂為: <http://e-testing.nccu.edu.tw/>), 以供後續受試學生上網施測, 該三份測驗卷的試題內容陳列在附錄裡。

為配合本研究所發展軟體程式的輸入格式, 同時將原始命題時所提供的試題概念表、概念名稱表、及各卷的標準答案表, 一併陳列於附錄中。

二、研究程序

茲敘述本研究使用正式樣本的實施步驟如下:

1.本研究發函全台北市 12 個行政區共 150 所國民小學（市立 138 所、私立 10 所、國立 2 所），鼓勵其六年級學生踴躍上網接受測試，測驗時間為民國 91 年 5 月 25 日至 91 年 6 月 7 日止，二十四小時全天開放施測。在施測過程的設計中，每一受試學生均可接受三份複本測驗，以收集供後續分析使用之資料。本研究保守預估，至少可以獲得 300 名以上有效樣本的作答資料。

2.資料蒐集後，隨即進行各項試題分析工作，除建立各項指標外，尚進一步檢驗該試題的信度與效度指標，並進行其他統計分析及本研究所研發程式的分析。

3.同時進行的工作，則是設計本研究所需的「**知識結構診斷評量程式**」。

4.之後，在程式完成後，以各份複本測驗施測完畢後被歸類成「低成就組」學生的作答資料，拿來進行「**知識結構診斷評量程式**」的測試和驗證，以檢驗本程式是否正確可用。

5.根據研究發現，撰寫研究報告結案。

第四節 程式設計與資料分析

本研究參考 Schvaneveldt (1990, 1994) 所述的演算法過程，除原有的三大指數（即 PRX 指數、GTD 指數、PFC 指數）和繪圖功能外，再針對本研究所需的目的，增加另外三項指數（即顯示正確連結的 Match 指數、過渡連結的 Over 指數、和缺失連結的 Miss 指數）及重新更改知識結構圖的呈現方式，一併設計成「**知識結構診斷評量程式**」（Knowledge Structure Diagnostic Assessment Program, 簡稱 KSDAP）。

本研究所擬採用的評量方法名為「**認知診斷評量法**」，是以路徑搜尋法的方法學理論為基礎，基本上以統計學上的圖解理論（graph theory），結合測驗評量的理論、與數學形式來作心理現象表徵的一種方法。其詳細步驟與程式執行結果的範例，將呈現在第四章裡。

待程式設計完成後，即以正式樣本的實際作答資料進行相關研究，以測試並檢定本研究所研提的認知診斷評量模式原型的有效性，並將測試結果與報告呈現於第四章裡。

第四章 結果與討論

本章的目的，旨在呈現研究的分析結果，並針對這些結果進行討論，以期能夠回答第三章所提出的待答問題。茲分成四節陳述於后。

第一節 知識結構診斷評量程式

由於提出路徑搜尋法算則的 Schvaneveldt(1990, 1994)教授所研發的 KNOT 程式，原屬 DOS 作業系統下的運算工具，由於使用者稀少等種種緣故，原創者已不再持續發展，故，該程式從發展至今，一直未能有 WINDOWS 作業系統下的版本出現，且由於原程式當初使用早期的程式語言軟體所設計的，會與微軟系統下的滑鼠驅動程式 (Mouse driver) 相衝突，故一直無法在 WINDOWS 95 等級以後的個人電腦上執行，僅能在 PC 486-DX166 等級之前的個人電腦上執行，使用非常不便，造成研發工作上的一大遺憾。故，本研究才會因應本身的需求，企圖去改良 KNOT 程式，使其能在 WINDOWS 作業系統下執行，所以才會有本程式『**知識結構診斷評量程式**』（ Knowledge Structure Diagnostic Assessment Program, 簡稱 **KSDAP** ）之研發設計。

本程式是根據第二章第五節的文獻評閱當基礎，再加入研究主持人所提三項指數：即完全精確聯結的 Match 指數、過渡聯結的 Over 指數、和缺失聯結的 Miss 指數等，以用來協助診斷受試者的作答組型 (response pattern) 的結果，並作為本研究的運算工具。

本程式目前所開發的版本應該屬於測試版，尚待後續使用者的大量使用與測試後，若有運算上的問題，回饋給本研究主持人，再經修改與測試後，方能正式公布發表。茲將該程式的使用說明，簡單陳述於下：

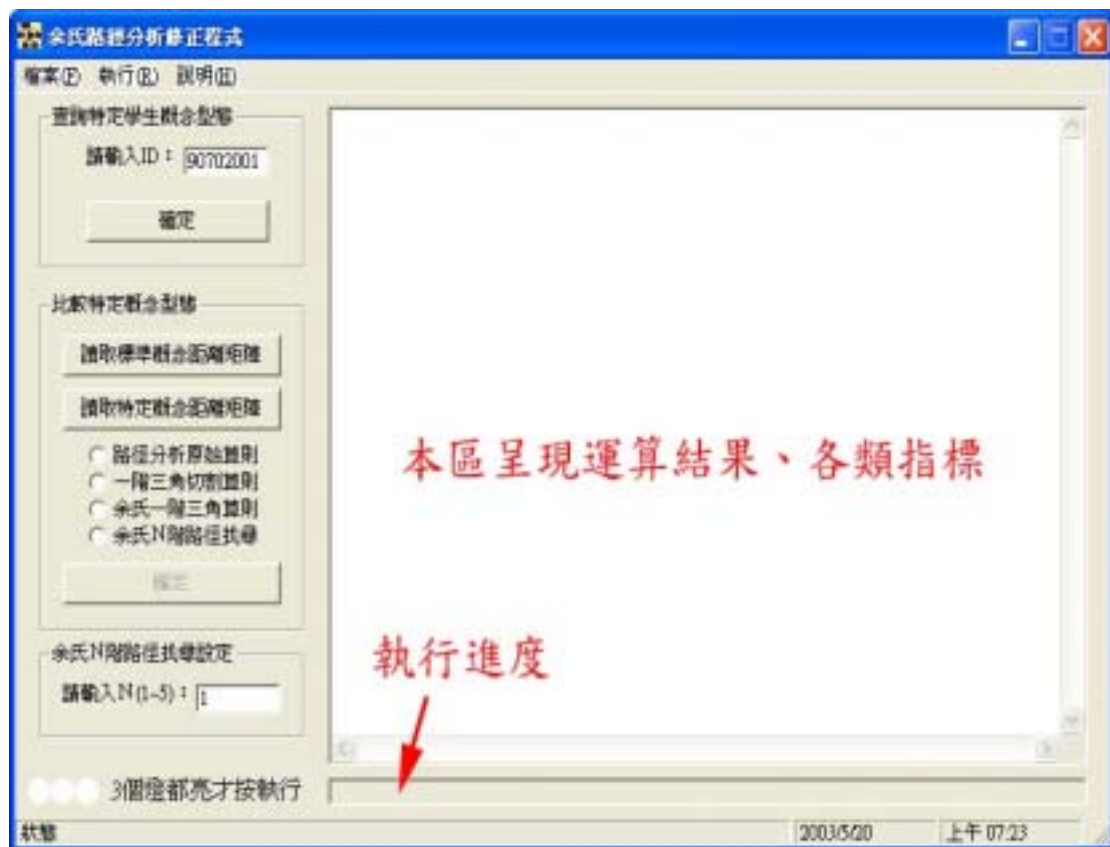
『知識結構診斷評量程式』使用說明

由於 DOS 版本的 PCKNOT 該開發小組已不再推出新的版本，但研究需求仍然存在，故本程式嘗試將 PCKNOT 內隱含的演算法在 WINDOWS 介面下重現，並盡量加入一些親善的功能與介面，以替代 DOS 下繁複的輸入方式。

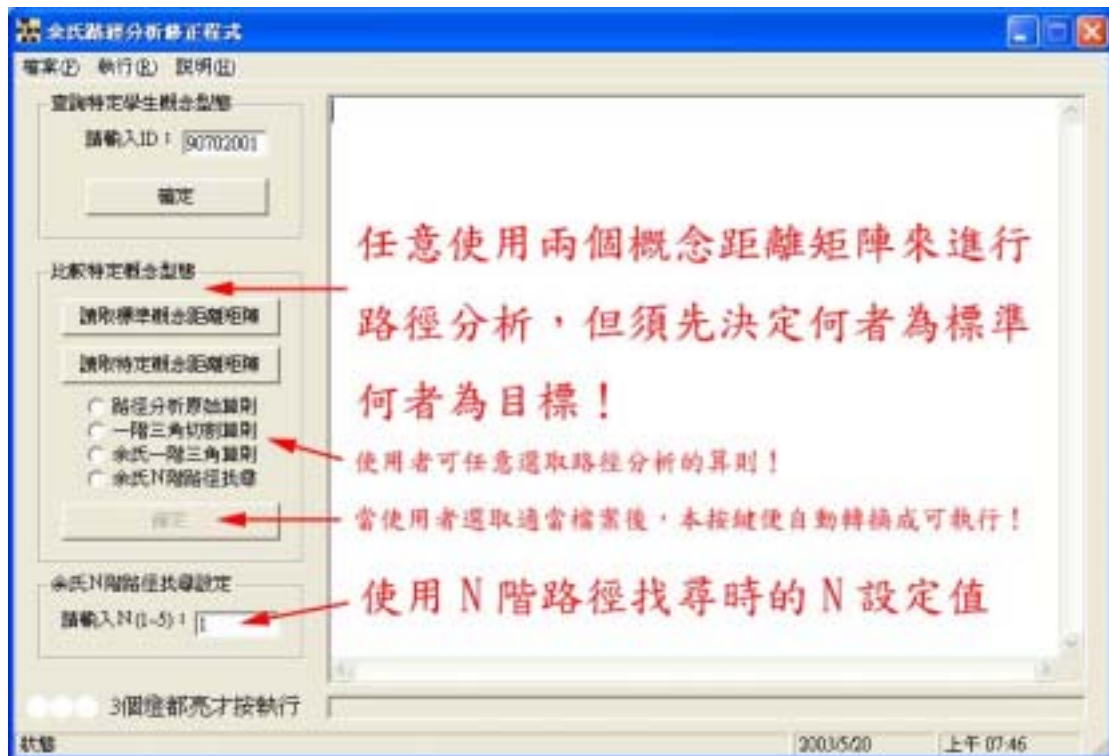
程式使用說明

底下將介紹程式的主體、功能以及限制，但由於本程式尚未詳盡，以致於有些小地方若使用者忽略的話，將導致程式執行無效，若使用者在執行過程中，發現任何問題歡迎回報。

主畫面



本程式的主畫面由三大部分所構成，在選項表單中主要是「檔案」與「執行」功能，而在主程式表單中則分為「查詢特定學生概念型態」、「比較特定概念型態」以及「余氏N階路徑找尋設定」三區，再加上結果的「螢幕呈現區」此三部分。



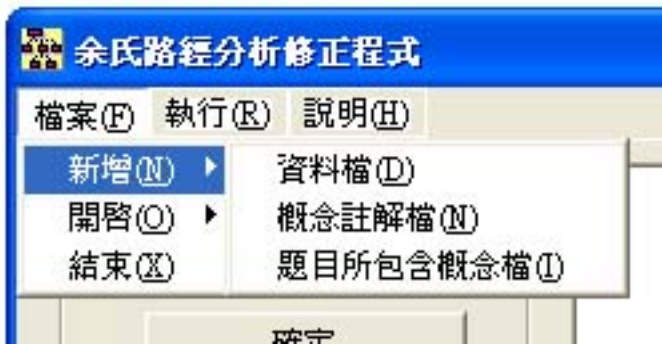
本程式新增「比較特定概念型態」，讓使用者能自由的比對任兩位受試者在某次測驗中的概念連結型態之差異。

安裝後所包含的檔案與目錄



若使用者欲自行使用文字編輯器編輯檔案，請將編輯好的檔案放到適當的目錄下，因為程式在讀取檔案會自動到預設的目錄下讀取。

三種必須檔案



由左圖使用者可以看到本程式所需要的三種必須檔案「資料檔」、「概念註解檔」以及「題目所包含概念檔」三種。

「資料檔」即是某次測驗的全班答題資料。

「概念註解檔」即是因為本程式在呈現概念連結型態時，使用編號來代替，故需要使用者輸入「編號」所對應的「概念註解」。

「題目所包含概念檔」即是出題者判定某題題目所應測得之概念為何？此時需與概念註解檔的編號相符合。

新增三種必須檔案

基本資料表單

學生ID	作答區	作答區	作答區	作答區	作答區	作答區	作答區	作答區
90702001	abcde	abcde	abcde	abcde	abcde	abcde	abcde	abcde
90702002	abcdd	abcdd	abcdd	abcdd	abcdd	abcdd	abcdd	abcdd
90702003	abccc	abccc	abccc	abccc	abccc	abccc	abccc	abccc
90702004	abbbb	abbbb	abbbb	abbbb	abbbb	abbbb	abbbb	abbbb
90702005	aaaaa	aaaaa	aaaaa	aaaaa	aaaaa	aaaaa	aaaaa	aaaaa
90702006	aedbc	bdeca	dedca	decad	dcbde	decba	decdb	edcad
90702007	bbdec	deacb	bdcea	aedcd	edaaa	decdb	edcda	edbcd
90702008	bbdec	adeca	aedda	aedcd	bcded	bbcde	edcda	eedcd
90702009	bbdec	adeda	adecb	edbcd	bbddc	eedec	edcaa	adecd
90702010	abxed	ab bd	edacd	edcda	edbcd	edcde	edcda	edddd

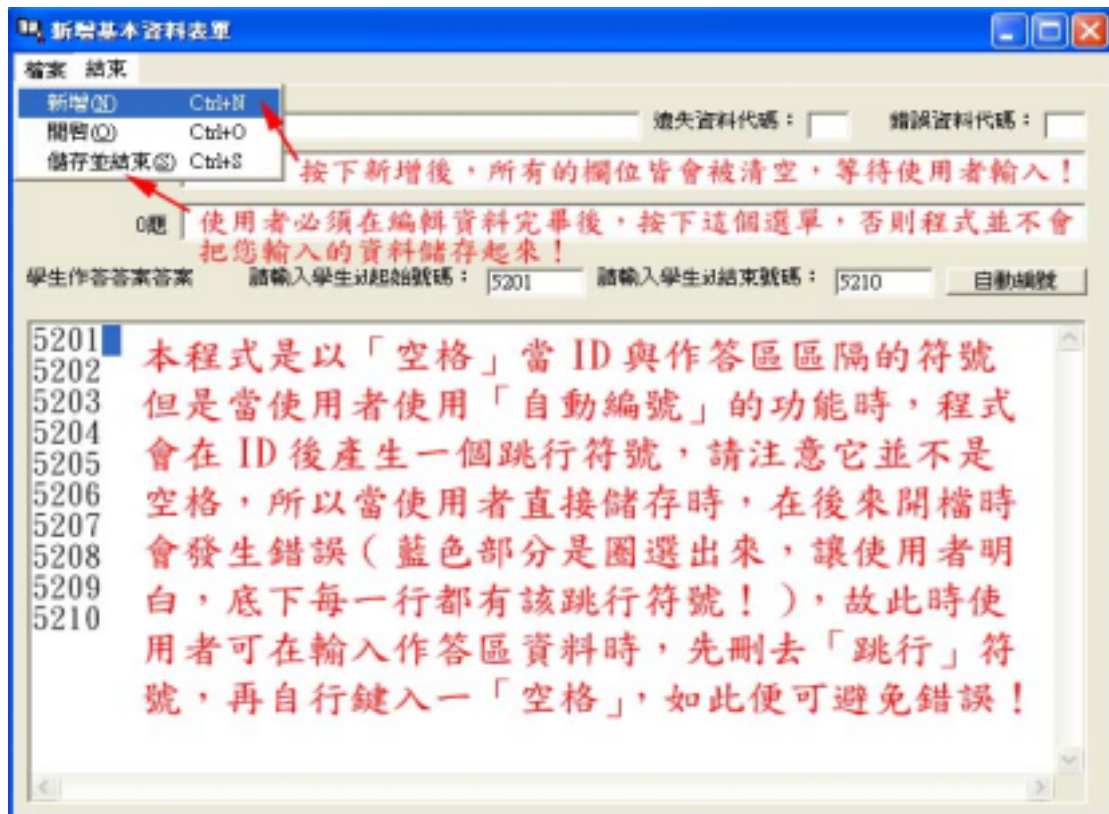
← 程式會自動顯示使用者輸入正確答案的題數！

請輸入學生id起始號碼：90702001 請輸入學生id結束號碼：90702010 自動編號

以空格區隔 ID 與作答區

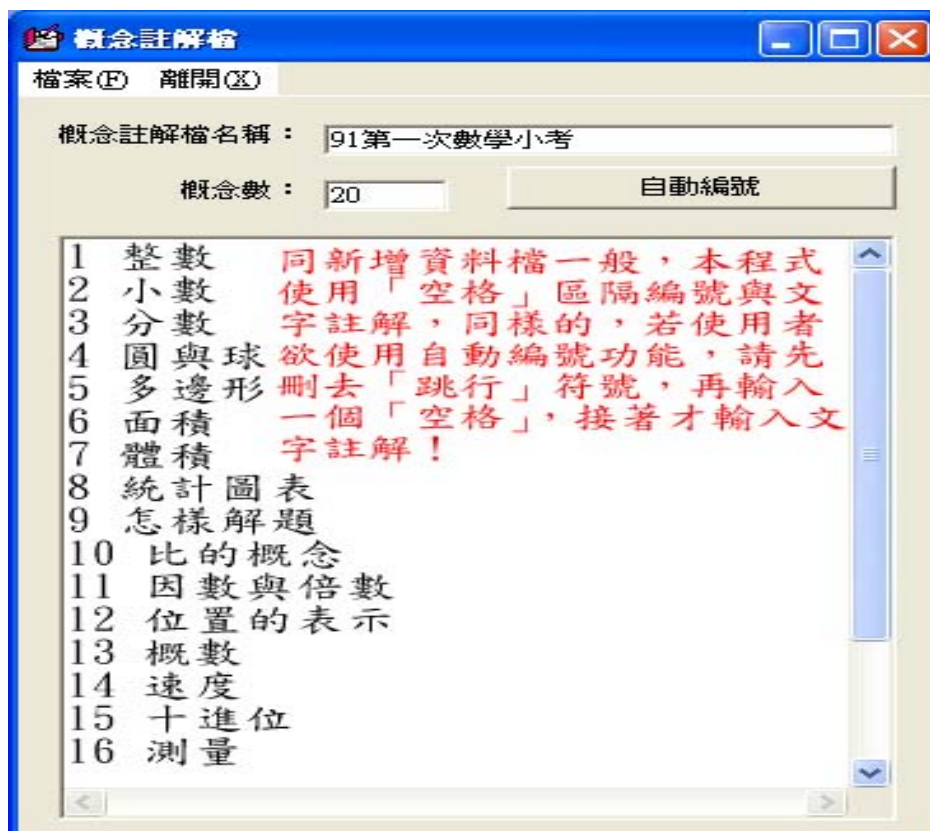
作答區每五題加入一空格，原意是讓使用者在輸入時，容易發覺到輸入是否正確！

↑ 這是幫助使用者編號，但使用上需留意一些限制！



Note：請使用者注意程式所需的資料輸入格式，例如「空格」、「跳行」以及其他限制。

概念註解表單



項目所包含概念表單

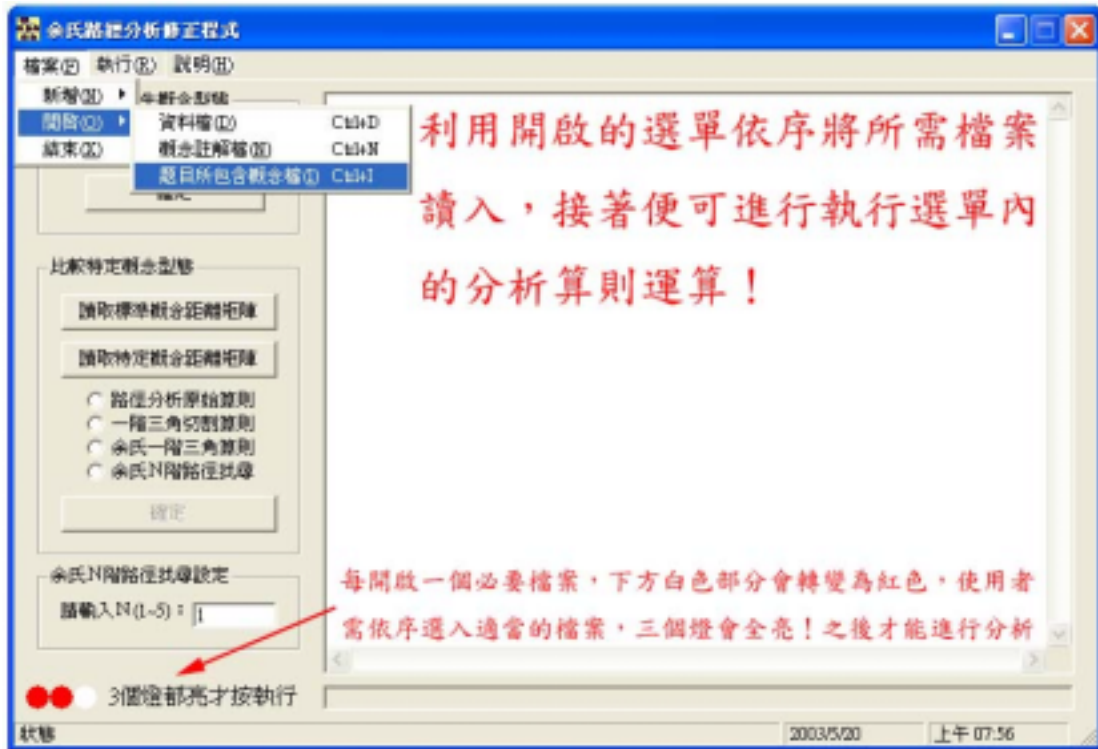
項目所包含概念檔： 91第一次數學小考 請輸入題數： 40 自動編號

1	1, 9,	如同上述兩個必要檔案一般，本程式也是以「空格」區隔開編號與資料區，相同的若使用者欲使用自動編號功能，仍須留意「跳行」符號的問題！
2	1, 9,	
3	2, 3, 19,	
4	1, 3, 9,	本檔案的輸入跟上述兩個檔案不同的是－資料區以「逗號」為單位的計數指標，所以使用者不難發現範例中，每一行都是以「逗號」作結尾，例如第一行包含「兩個」概念，故在資料輸入區內也有「兩個」逗號！
5	1, 3, 9,	
6	1, 3,	NOTE ! 本程式並沒有設計防呆裝置，若使用者此時輸入的概念代碼與「概念註解檔」內的代碼不同並不會被偵測出來！而在讀檔與執行分析時，會發生錯誤！請使用者留意！
7	1, 19,	
8	1, 20,	另外！使用者請勿在這三類必須檔案的最後輸入一空白行，這會導致程式讀檔時發生錯誤！（人數、題數與概念數在各檔內不相互符合）
9	1, 9, 16,	
10	1, 9, 11, 16,	
11	1, 19,	
12	1, 11, 15,	
13	1, 9,	
14	1, 2,	
15	1,	
16	1,	
17	1, 2,	
18	1, 3, 9,	
19	1, 9,	
20	3,	
21	1, 11,	
22	3,	
23	3,	

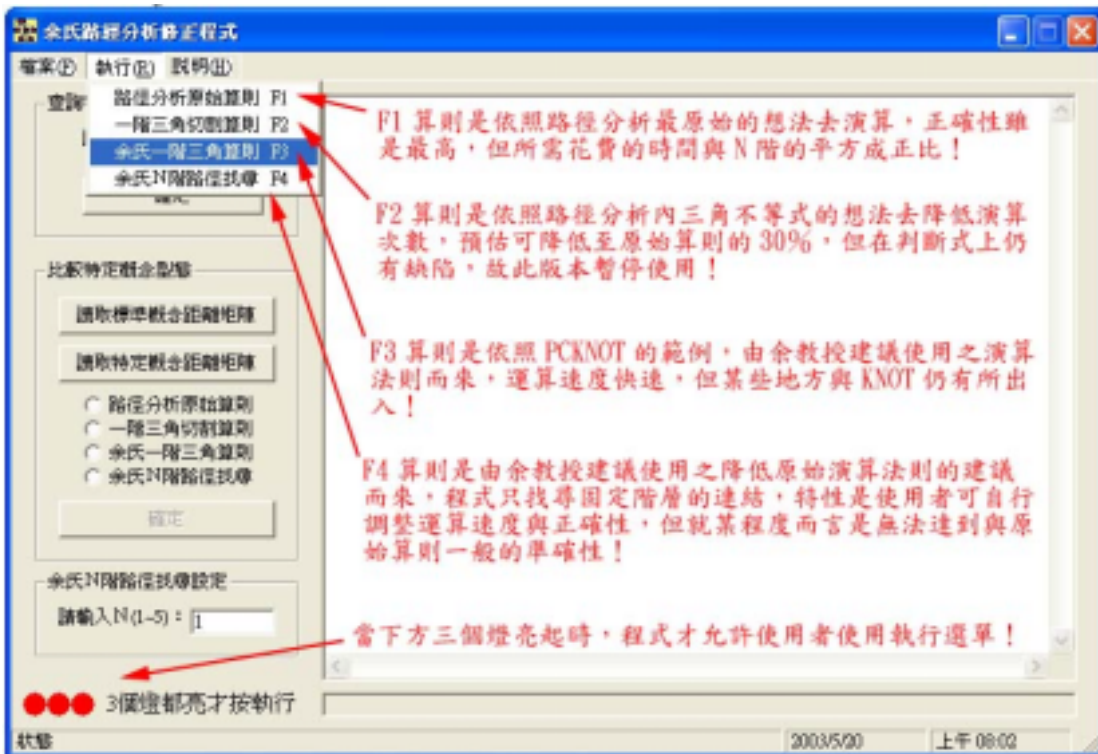
Note：再次提醒使用者注意程式所需的資料輸入格式，例如「空格」、「跳行」以及其他限制。另外，請注意不要在最後一筆資料後按下「enter」鍵，因為這會使程式讀到空的一筆資料，進而使程式發生錯誤。

執行路徑分析

開檔



執行



結果

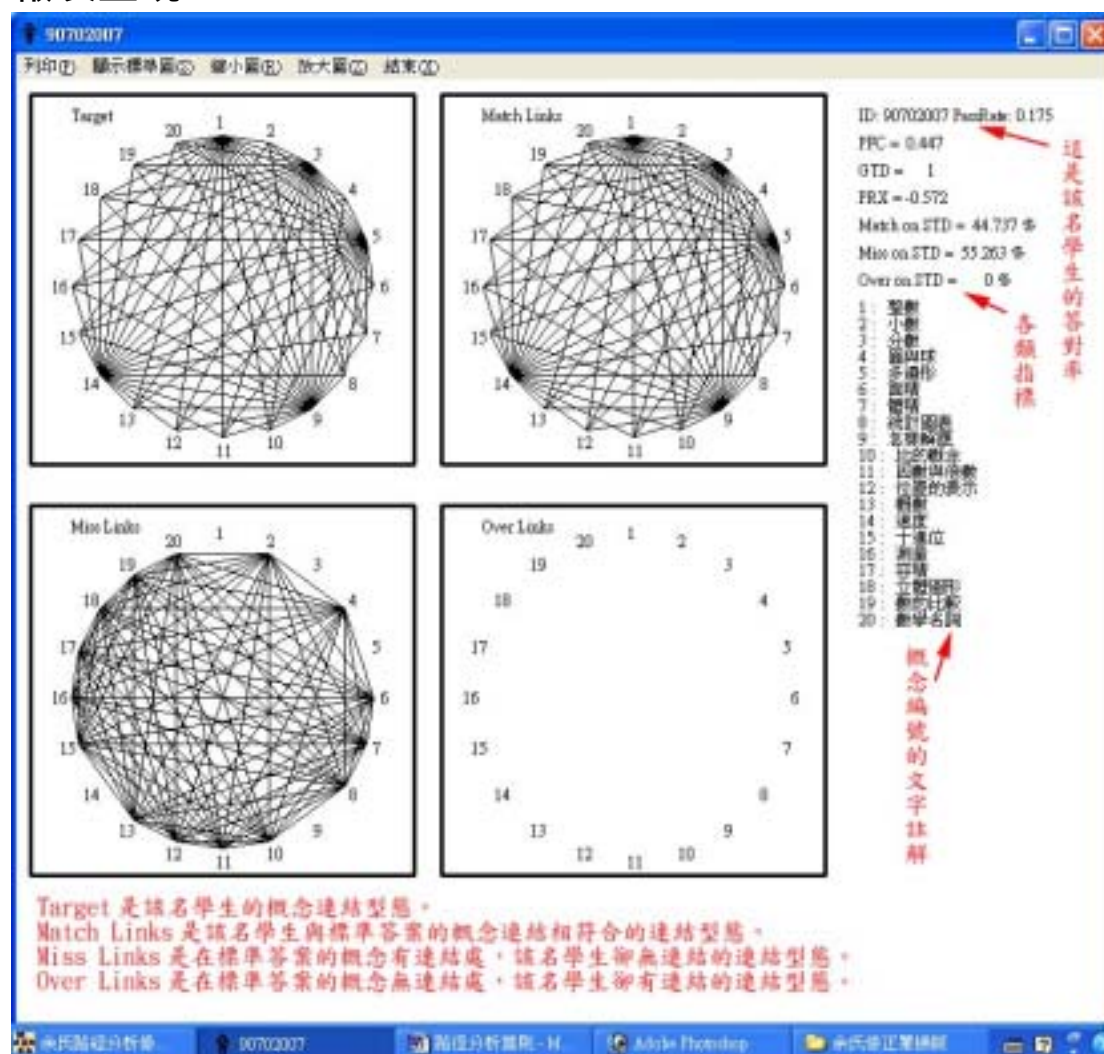
螢幕呈現

這是執行結果的螢幕呈現，程式會自動在 .\output 目錄下造出與使用者讀入的資料檔檔名相同的輸出檔，此外也會造出附加各學生 id 的概念距離矩陣資料檔！
PFC、GTD 與 PRX 為 KNOT 的原始指標，而 Match、Miss 與 Over 則是余教授最新提出的三項新指標（文中會描述），使用者可參照需要的指標再將 ID 輸入到「查詢特定學生概念型態」內，程式將跳出該名學生的概念連結型態！

ID	PFC	GTD	PRX	Match	Miss	Over
90702001	1	1	1	100%	0%	0%
90702002	1	1	0.993	100%	0%	0%
90702003	0.947	1	0.276	94.737%	5.263%	0%
90702004	0.763	1	-0.338	76.316%	23.684%	0%
90702005	0.653	1	-0.565	65.263%	34.737%	0%
90702006	0.853	1	-0.193	85.263%	14.737%	0%
90702007	0.447	1	-0.572	44.737%	55.263%	0%
90702008	0.947	1	8.391	94.737%	5.263%	0%
90702009	0.853	1	-0.172	85.263%	14.737%	0%
90702010	0.853	1	-4.052	85.263%	14.737%	0%

狀態 2003/5/20 上午 09:10

報表呈現



結語

本程式的開發仍屬早期，再加上研發小組的人力、物力有限，功能與演算法皆有可改進之處。故此為第一版，冀望使用者能多多提供建議，以使得此一研究工具能在國內繼續發展下去。

另外，也希望精於演算法的學者能多多提供意見，讓這個研究工具能更有實用性，而非得依靠大型工作站等級電腦才能順利的運作。

研發計畫主持人： 余民寧 教授

研發執行人： 陳家興

意見聯絡方式：02-29393091 ext 89500 陳家興

e-mail：g0752006@m2.cc.nccu.edu.tw

完成日期：2003/5/20

第二節 數學科認知診斷測驗

本研究根據成就測驗的編製原理（余民寧，民 91a）及數學教育的相關研究文獻（參閱第二章第七節所示），進行本研究所需的測驗試題編製工作。

首先，就近聘請二所國民小學（政大實小及萬興國小）擔任三至六年級數學科教學的資深教師各一名（共計八名），請其根據（非九年一貫課程）小學數學科三至六年級課程範圍進行命題，分別就個人專長，編製選擇題型試題各 40 道試題，共計 320 題。此次命題的重點，是放在三至六年級學生都學過的基本概念上，並且請命題教師指明每一道試題各在測量哪些概念目標名稱，並將該等概念名稱列表陳現，因此，每一道試題應該都是用來測量基本能力的題目，沒有任何艱深、刁難的試題，凡經過正常教學與學習的學生，本研究都期望其應該會作答，而且會答對。

其次，本研究透過預試工作的步驟，由本研究小組從中篩選出 120 題重要的試題，該試題係用來區別或診斷國小六年級（含）以下學生在數學科學習上達成不同學力程度的成就差異為目的之用，而彙編成的「數學科認知診斷成就測驗」，共計分成甲、乙、丙三份內容相同的複本測驗（parallel tests），每份測驗各有 40 題單選的選擇題試題，內容範圍均包括三至六年級的數學課程。

接著，以隨機抽樣方式，從台北市 12 個行政區中，每區抽取公立國民小學三所，再以隨機抽樣方式自所抽取的學校中抽取一班六年級學生為樣本，共計抽取三十六班 1024 名學生為本研究樣本，進行試題預試與修訂的工作。經內部一致性信度分析結果顯示，本數學科認知診斷成就測驗三卷的平均試題難度約介於 .343 ~ .979 之間、鑑別度約介於 .258 ~ .685 之間、 α 信度係數約介於 .8423 ~ .8988、複本（以三卷間互為複本）信度約介於 .8365 ~ .8921、效標（以學期數學科成績為效標）關聯效度約介於 .7360 ~ .8564。由此三卷測驗的信 效度可知，它們足堪作為本研究線上施測用之工具。

再接著，本研究小組成員將這三份測驗，復根據九年一貫課程標準中國小數學課程的規劃，打散重新組合成三卷：『數與計算』、『量與實測』、和『綜合測驗』等，題數一樣保持為各 40 題，並將此重新組合後的試卷內容，公布在網站上（網址暫訂為：<http://e-testing.nccu.edu.tw/>），以供後續受試學生上網施測之用，該三份測驗卷的試題內容亦陳列在附錄裡。

為配合本研究所發展軟體程式的輸入格式，同時將原始命題時所提供的試題概念表、概念名稱表、及各卷的標準答案表，一併陳列於附錄中。

第三節 認知診斷評量模式

本研究所擬使用之評量模式的正式實施，是以發公函方式，通知全台北市 12 個行政區共 150 所國民小學（市立 138 所、私立 10 所、國立 2 所），鼓勵其六年級學生踴躍上網接受測試，測驗時間為民國 91 年 5 月 25 日至 91 年 6 月 7 日止，二十四小時全天開放施測。在施測過程的設計中，每一受試學生均可接受三份複本測驗，以收集供後續分析使用之資料。最後，本研究獲得約 313 名有效樣本的作答資料，足供後續的資料分析。

茲配合本研究程式的實施，將本研究所採用的認知診斷評量模式實施程序陳述於后：

一、試題設計與編製

依據一般的成就測驗編製原理，進行命題（基本上，命任何類型的試題均可；但在本研究中，以選擇題型試題為範例），並且，分別指出每道試題各是在測量什麼樣的概念或能力目標，並將該概念名稱一一編號。最後，分別陳列一份『試題概念表』（內容陳述每道試題所預期測量的概念名稱代碼），以及一份『概念名稱表』（內容陳述該測驗所欲測量的所有概念名稱及其代碼）。以本研究使用的資料為例，分別將此三份『數學科認知診斷成就測驗』的試題內容、『試題概念表』、和『概念名稱表』，一併陳列在附錄裡，以供參考。

二、施測及診斷分析

其次，可將上述自編的測驗，拿給一群學生施測，施測完畢，再將每位學生的作答反應組型，建檔記錄下來，使之成為一份『原始作答反應資料檔』（raw response data file），其中，該檔中的每個元素值即是他所選擇的選項代號。接著，即可代入『知識結構診斷評量程式』，執行診斷分析，陳列出整體（即全部受試學生）的分析結果報表。如果需要針對個別學生的資料作分析討論，即可輸入該學生的代號，再執行列印即可。

三、報告陳述與說明

本程式分析結果的報表，是全體受試學生的各項診斷指數訊息（即通過率、PRX 指數、GTD 指數、PFC 指數、Match 指數、Over 指數、和 Miss 指數等）的彙總，僅是一個文字檔的表格資料，代表全部受試學生的概況。若要進一步分析個別受試學生的結果，則需要輸入該學生的代號（通常是身份證字號、學號、或座號等辨識號碼），再按『確定』一次，即可呈現或列印出該生的知識結構診斷圖來，同時在該診斷圖的旁邊會附有該生的各項診斷指數的訊息，即可供診斷、解釋、或說明討論之用。

茲以甲卷『數與計算』為例來說，一群低成就的受試學生的作答結果，經分析後，他們的知識結構診斷圖及各項診斷訊息，分別如圖 4 至圖 12 所示。

圖 4 所示，即為根據此份甲卷『數與計算』測驗的標準答案，所繪製而成的知識結構診斷圖。以圖 4 為基準，其餘低成就學生（即根據其在甲卷測驗上的通過率低於 50% 者）的作答組型所繪製而成的知識結構診斷圖，紛紛與該圖作比較，得出各種診斷訊息指標，如圖 5 至圖 12 所示。

由圖 5 至圖 12 所示可知，通過率愈低者（即愈是低成就者），其與標準答案的知識結構診斷圖相比後，Match 指數愈低，Miss 指數愈高；顯示愈是低成就者，其正確連結數愈少，而缺失連結數愈多，這項發現頗與過去的研究相呼應。而由於甲卷只預計測得七個概念數而已，知識結構的空間比較狹隘，因此，全部受試學生都沒有錯誤連結的訊息出現，故 Over 指數全部告零。

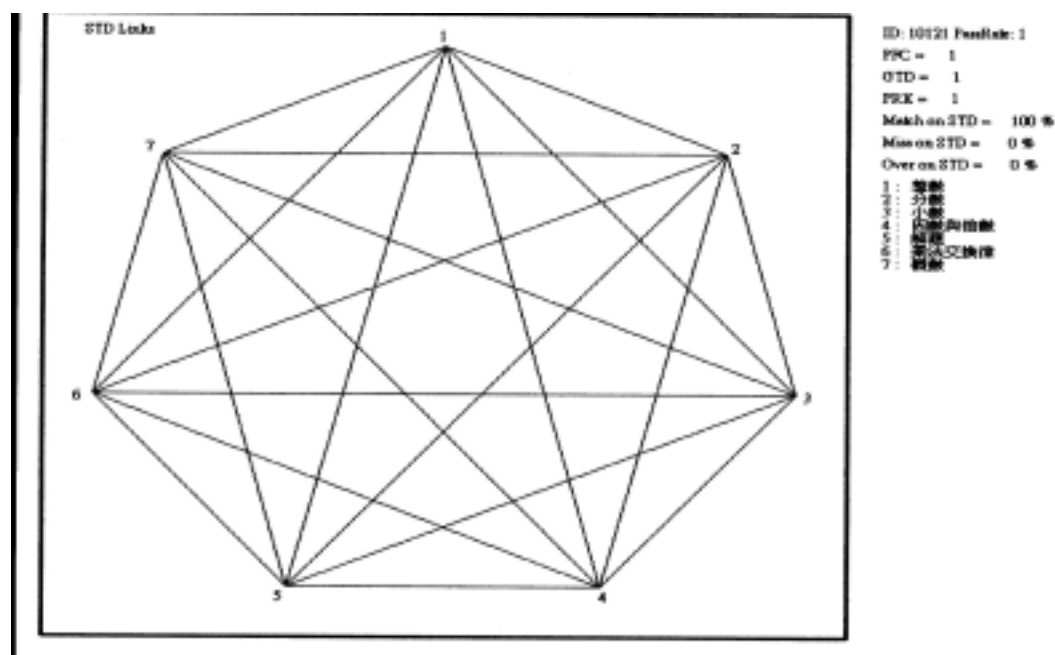


圖 4 甲卷『數與計算』標準答案的知識結構圖

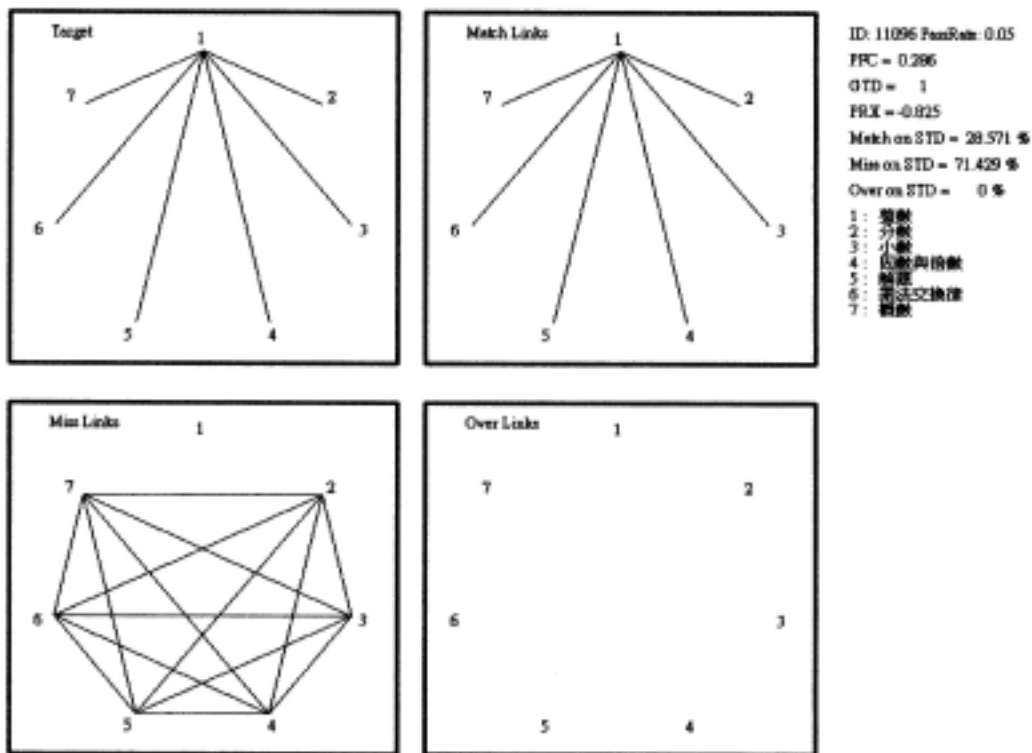


圖 5 低成就學生 (ID : 11096) 在甲卷作答的知識結構診斷圖

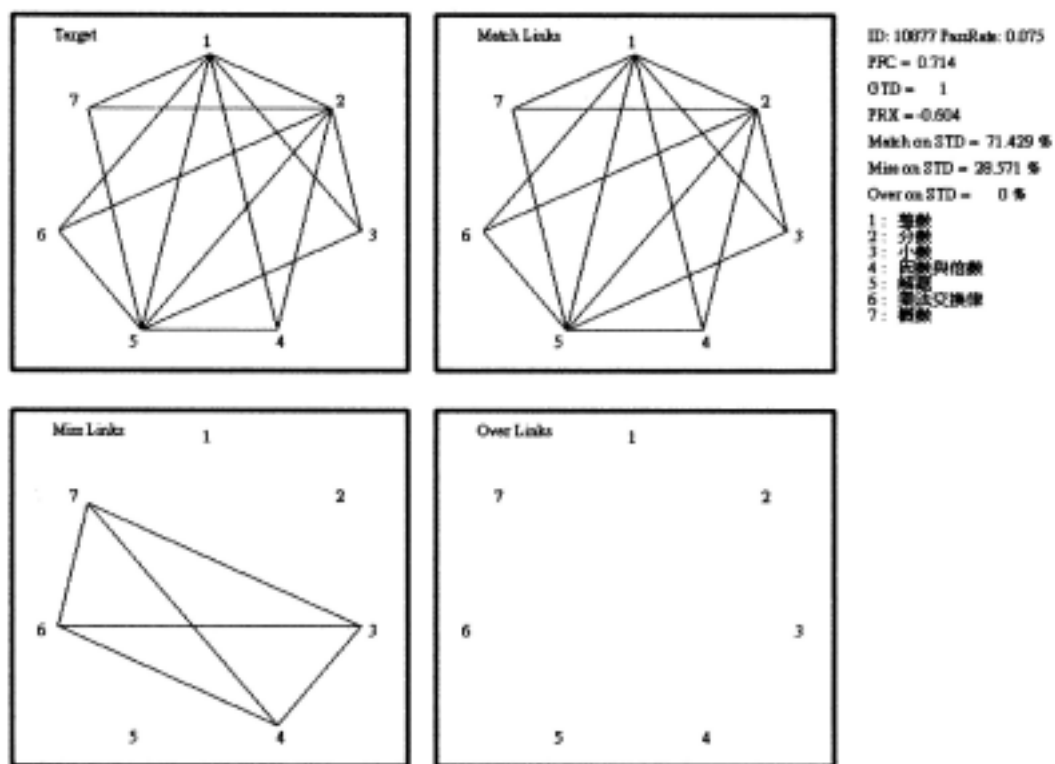


圖 6 低成就學生 (ID : 10877) 在甲卷作答的知識結構診斷圖

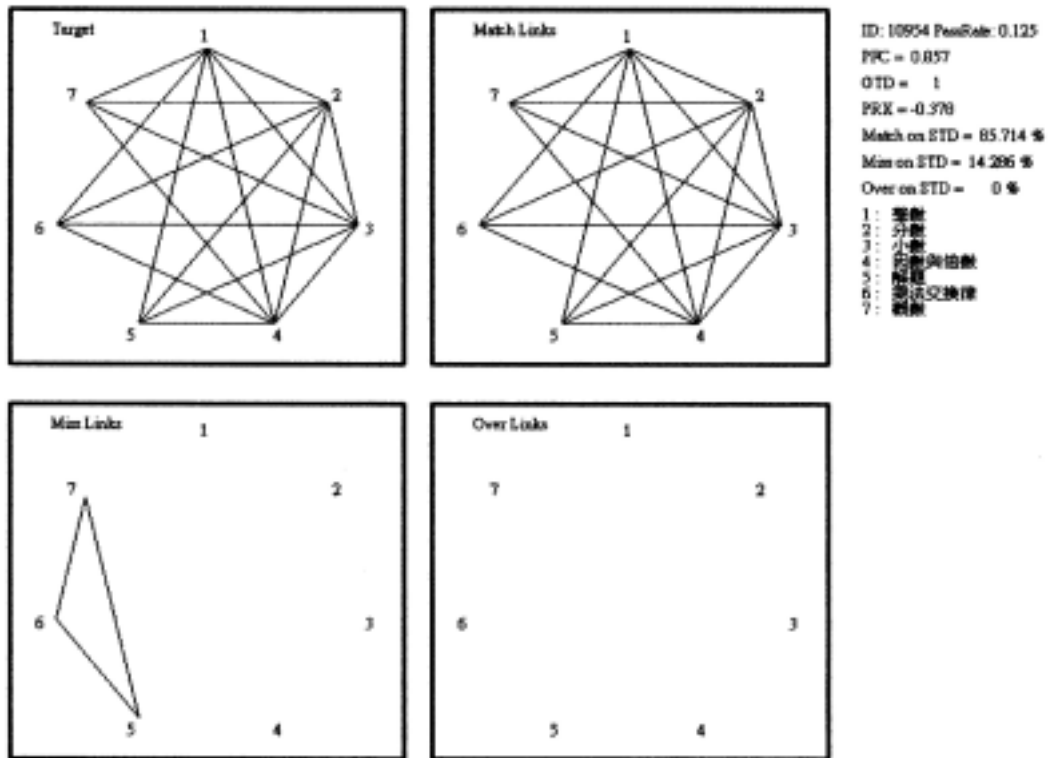


圖 7 低成就學生 (ID : 10954) 在甲卷作答的知識結構診斷圖

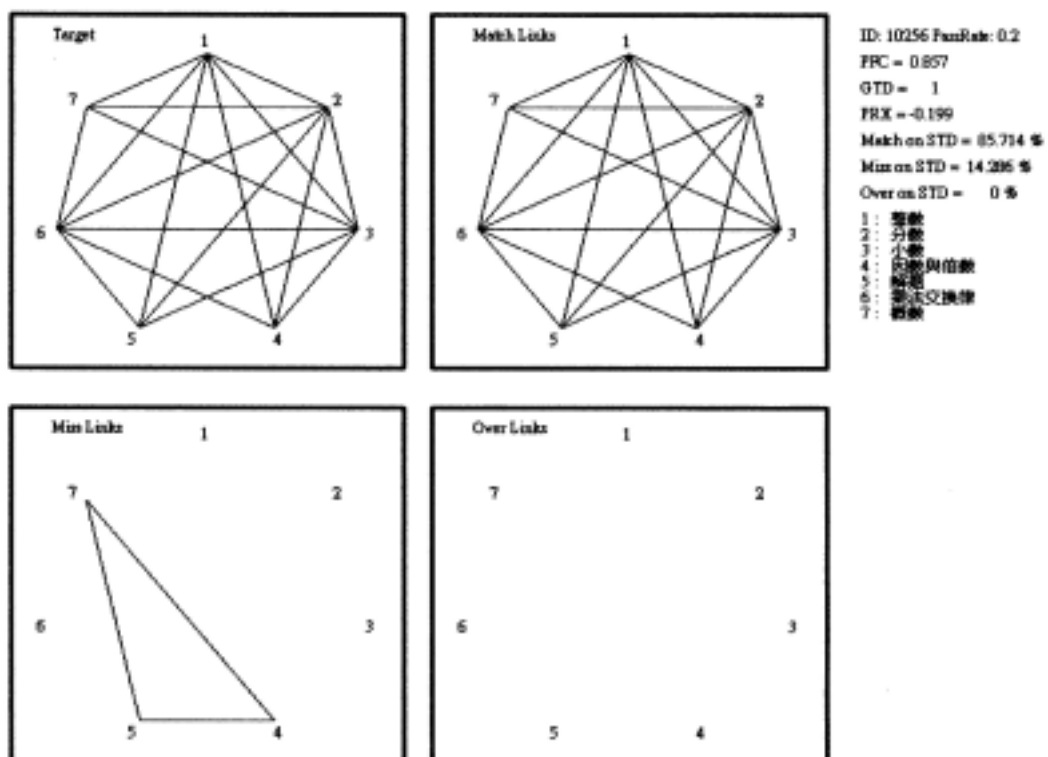


圖 8 低成就學生 (ID : 10256) 在甲卷作答的知識結構診斷圖

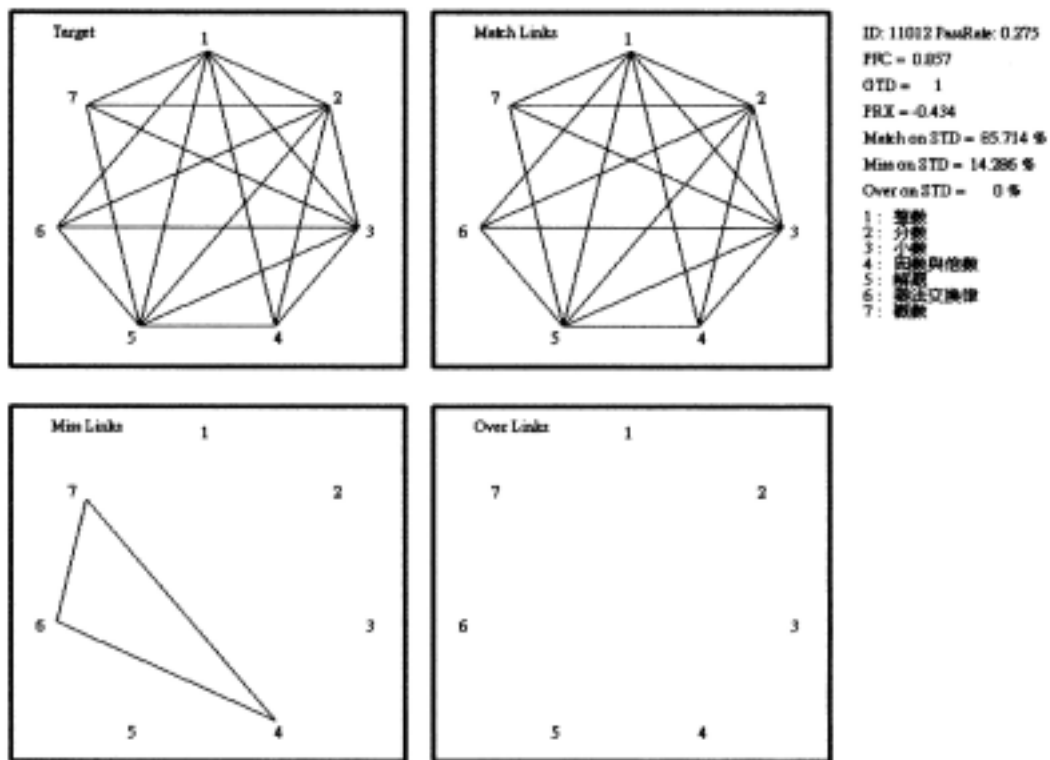


圖 9 低成就學生 (ID : 11012) 在甲卷作答的知識結構診斷圖

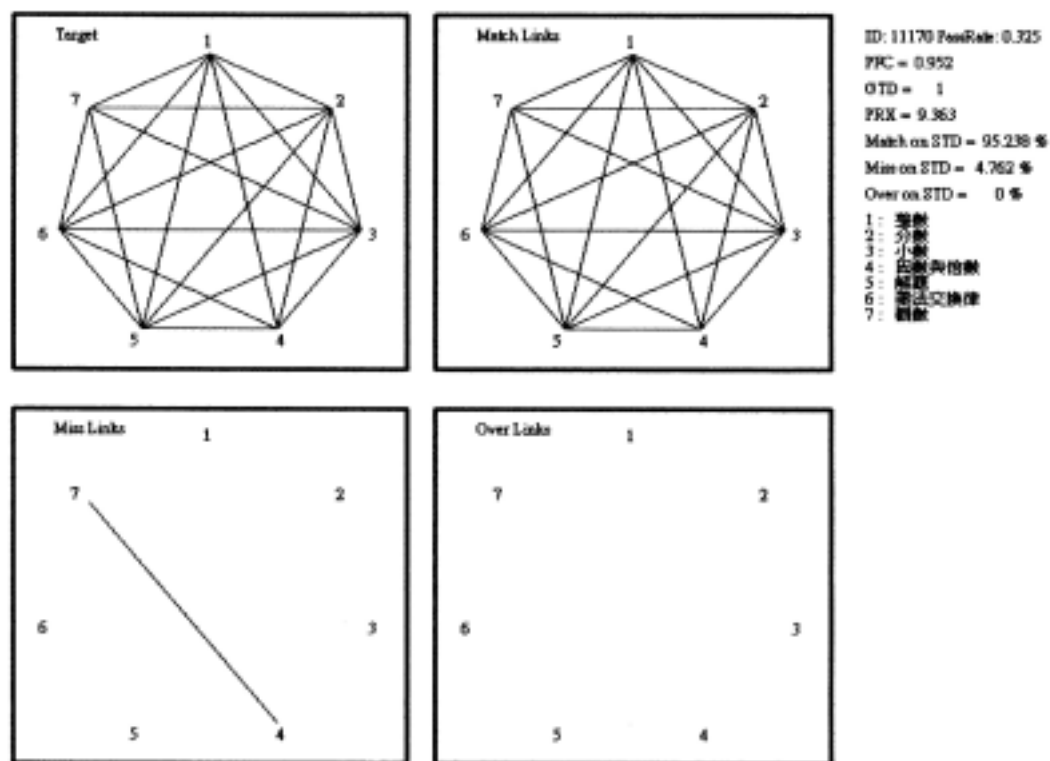


圖 10 低成就學生 (ID : 11170) 在甲卷作答的知識結構診斷圖

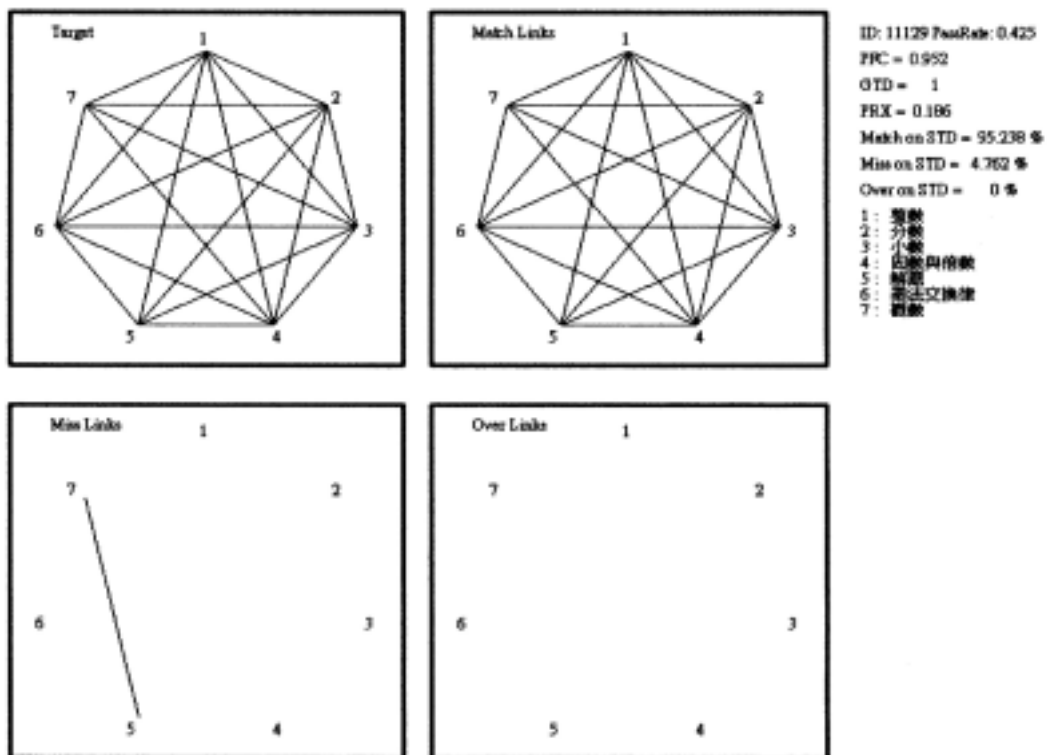


圖 11 低成就學生 (ID : 11129) 在甲卷作答的知識結構診斷圖

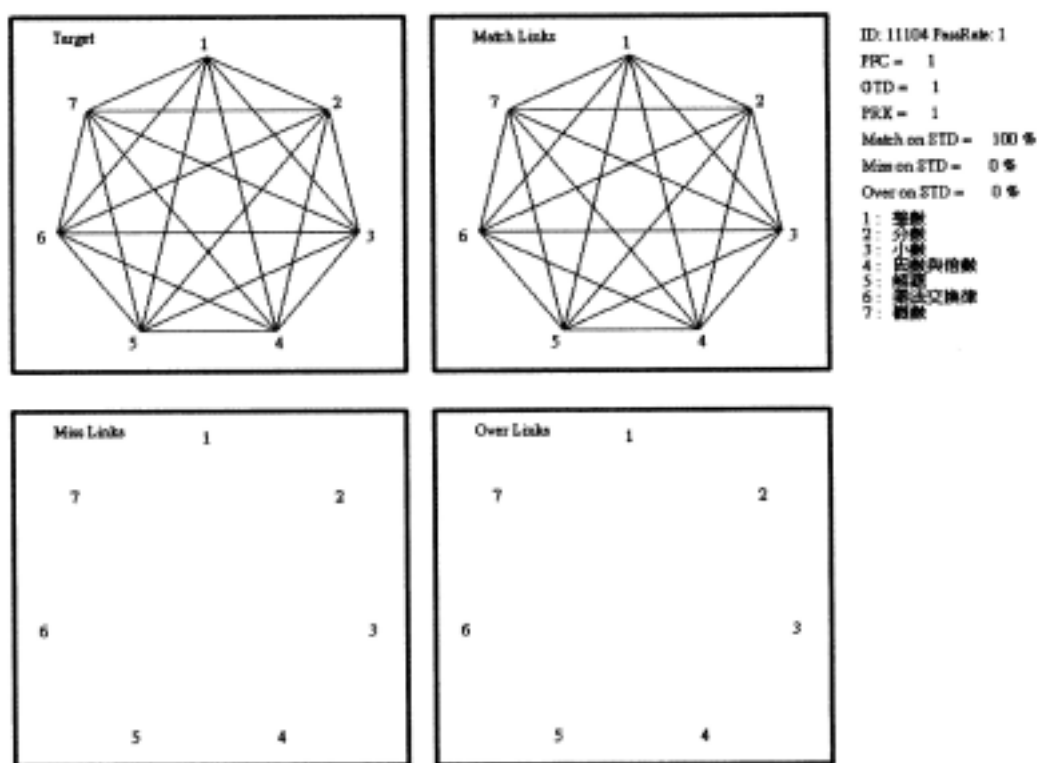


圖 12 高成就學生 (ID : 11104) 在甲卷作答的知識結構診斷圖

第四節 線上認知診斷評量模式系統原型

本節的目的，旨在敘述將上述發展的評量模式掛到網路上，供個別受試學生的施測診斷之用，進而幫助教師或學生本身進行認知診斷的評量分析，以銜接教學與評量間的落差，促進補救教學的落實。由於本研究是在開發一個評量模式的原型，至於後續的應用，只要使用者遵照上述認知診斷評量模式的試題編製與設計方式，發展試題及命題準備工作，並替換成其他學科的不同測驗內容，再登錄上網，即可開放供全國學生使用，達成推廣應用到其他學科的診斷評量價值。

茲分項說明本研究所提認知診斷評量模式的系統原型的建置如後。

一、網站架設

首先，本研究小組先行設計一個網頁，再購置伺服器架設網站，並將網址取名為：<http://e-testing.nccu.edu.tw>。

二、上網連結

接著，將前述發展的數學科認知診斷成就測驗的試題，上網公布，同時，亦修改知識結構診斷評量程式，使其能夠在網路上運算，幾經測試後，才定稿完成建置工作。

三、線上測試

最後，邀請受試者上線接受評量，收集並參考其評量意見和使用者滿意度資料，作為後續修正之參考。茲將個別受試者（本研究案目前僅限國小六年級以下的學生使用）的上線程序，條述於後：

1. 開啟 IE 或 NETSCAPE 等網路瀏覽器。
2. 在網址欄輸入：（<http://>）e-testing.nccu.edu.tw，再按 Enter 鍵。
3. 在畫面上，勾選輸入台北市的行政區名稱、學校名稱、年級、班級、座號或學號，再按 Enter 鍵。
4. 在畫面上，勾選所欲接受的測驗卷名稱，再按 Enter 鍵。即可進入該卷的測試畫面。
5. 接下來，就一一接受螢幕上所呈現試題的測試，每一題僅能勾選一項選擇

代號，不能缺答或空白，一直到答畢 40 題為止，再按作答完畢繳交試卷的鍵。

6.此時，螢幕上即可出現如前一節所述的知識結構診斷圖及各種指數訊息的分析結果。

7.針對螢幕呈現結果，進行解釋和說明。

最後，本認知診斷評量模式系統原型所評量結果的解釋和應用，尚賴教師們後續參與使用後提出建議與評估意見，才能讓該系統發揮應用的價值；同時，亦需要進行後續各種追蹤研究，才能證實和客觀評估該系統的價值性、可行性、與應用推廣性。

第五章 結論與建議

本研究的目的，旨在探索開發一套線上認知診斷評量模式的系統原型。經過第二章的文獻評閱及第四章的結果與討論後，本章擬作成結論，並提出具體建議供教育實務應用的參考，同時，亦提供後續研究之建議。茲分成二節說明如後。

第一節 結論

根據前章研究結果的呈現與討論，本節擬歸納提出本研究的結論如下：

1.知識結構診斷評量程式是一個有用的研究工具。

本研究根據路徑搜尋算則法所設計的知識結構診斷評量程式，經由第四章的舉例示範說明，確實可以當成一種研究工具，幫助研究者進行知識結構的評量與分析、比較專家與生手間的異同、和作為表徵知識結構異同之工具，以促進研究的順利進行。

2.認知診斷評量模式是一個改良式的教學評量模式。

本研究所提出的認知診斷評量模式，經由第四章的舉例示範說明，確實是一個改良式的教學評量模式，可以用來協助教師做教學進展的診斷之用，以期發現學生的學習落差與困難所在，進而修改教學進度及教材或研擬出補救教學措施，來銜接教學與評量之間的落差，促進精熟學習的達成。

3.線上認知診斷評量模式一是個有潛力的教學評量輔助工具。

將認知診斷評量模式的策略應用到網際網路上，若能再加入熱心教師願意分享其測驗試題（或已建置成各科的試題庫）的話，即可透過網路無遠弗屆的傳遞功能，快速將此診斷評量的工具分享與傳遞給全國教師，以協助各科教師教學與診斷評量的進行，提升教學與學習的品質。因此，它是一個具有發展潛力的教學評量輔助工具。

第二節 建議

本研究企圖探索建立一套線上認知診斷評量的系統，經過原型模式的建置與測試之後，茲針對本研究結果的研發心得與後續的追蹤研究，提出以下建議：

一、對教育實務應用的建議

基本上而言，一個原型系統如果能夠測試成功，它將可應用其成果到其他情境或條件下。底下，茲提出本研究對教育實務應用的建議事項：

1. **作為各學科教學評量的應用：**各學科教師只要根據平時的命題，再加註各試題所擬測量的概念或能力目標，並且將該測驗所擬測量的所有概念或能力目標名稱，以及各試題的標準答案，一起輸入電腦或傳送上網，即可套用本原型系統，作為各班級教學評量的輔助工具。或者，經過專案計畫，有系統的建置與發展各科題庫試題，再配合本研究模式，建置線上的評量系統，以供全國教師教學評量使用。

2. **作為實施補救教學的依據：**各學科教師在應用上述建議後，可以獲得學生的 Over 指數和 Miss 指數兩種數據，接著，即可根據知識診斷圖的顯示，再加上平時對學生學習的觀察，深入去探索他在哪些概念或能力目標上的掌握還不夠精熟或需要矯正之處，再據以實施補救教學，以收對症下藥之好處。

3. **作為編擬補救教材的參考：**各學科教師可根據多次或多年使用此評量模式的心得，找出歷年來學生常常犯錯的地方，是否是因為教材設計不當，或者需要自編補救教材，來銜接學生在此常犯錯單元的落差，以促進每位學生的精熟學習。

4. **作為研究學習成就差異的工具：**本評量系統可供研究者針對同一學生在不同學科之表現情形，或不同學生在同一學科學習成就高低之比較，如再配合教育心理學或認知心理學的研究課題，除可聯手一起探究專家與生手間的差異原因外，更可進一步探索專家塑造的歷程，甚至提出縮短專家養成教育年限的方案，加速培養各職場所需的人力資源。

二、對未來研究的建議

至於未來的研究取向，本研究擬提出下列幾點建議，作為後續的追蹤研究：

1. **預測效度的驗證與追蹤：**本研究結果的雛形雖然已提出，但仍需要後續持續驗證它的可行性和應用性，如能建立預測效度指標，以證實本評量模式的預測

潛力，將更能提高本研究的學術貢獻和應用價值。

2. **與電腦化適性測驗結合**：未來可朝與電腦化適性測驗結合的方向繼續研發。就某一學科的題庫建立開始，結合本評量模式與電腦化適性測驗的施測技術，將可更全面性地診斷學生在某一學科的整體知識學習、改變、與進展的演變歷程，進而從中發現有效學習的軌跡，找出學習的有效捷徑（或路徑）。

3. **探索及修正程式演算法**：本系統雛形雖然可用，若不使用簡化算則，執行效率非常低，故，未來亦可朝探索新的路徑搜尋算則著手，或去修正它的演算法，使它更精簡或更符合效率，並探索各種不同演算法的預測效度問題，以確保最佳的演算程序，作為未來系統改版或修正時的主流方法。

4. **繼續探討認知診斷與補救處方箋之間有效性的研究**：利用本模式診斷出學生學習的缺陷所在之後，教師應該能夠開立處方箋（即提出某種有效的補救教學措施或教材教法），並去探索診斷與處方之間的有效性，如果這方面的研究有成，當可建立許多有效版本的補救教材、教法、或其他措施，讓教學、診斷、補救、以到精熟為止的學習歷程，得以順利建置與完成。這對有效改進教學與學習，將有莫大的貢獻與幫助。

參考書目

江淑卿(民86)。知識結構的重要特性之分析暨促進知識結構教學策略之實驗研究。國立台灣師範大學教育與輔導研究所博士論文。

江淑卿、郭生玉(民86)。不同學習過程的概念構圖策略對促進知識結構專家化與理解能力之效果研究。*師大學報：教育類*，42期，1-16頁。

朱瑞珠(民87)。國小二年級學生在數學減法上的認知網路之研究。台北市立師範學院國民教育研究所碩士論文。

李盛祖(民86)。國小數學乘法系列診斷測驗題庫的建立與應用研究。國立台灣師範大學教育心理與輔導研究所碩士論文。

余民寧(民84)。認知診斷測驗的發展趨勢。*教育研究雙月刊*，45期，14—22頁。

余民寧(民86)。有意義的學習----概念構圖之研究。台北：商鼎。

余民寧(民91a)。教育測驗與評量----成就測驗與教學評量(第二版)台北：心理。

余民寧(民91b)。學科知識結構之評量研究----以「教育測驗與評量」學科知識為例。*政大教育與心理研究*，25期(中冊)，341-367頁。

余民寧(民92)。知識結構改變之認知診斷評量研究。*政大教育與心理研究*，26期(中冊)，(審稿中)。

余民寧、林曉芳、蔡佳燕(民90)。國小學生數學知識結構認知診斷評量之研究。*政大教育與心理研究*，24期(下冊)，263-302頁。

余民寧、陳嘉成(民87)。排序理論在概念結構評量上的應用。*政大學報*，76期，17-48頁。

余民寧、陳嘉成(民90)。領域知識結構之評量研究----以「垃圾分類處理」領域知識為例。*政大教育與心理研究*，24期(下冊)，393-420頁。

宋德忠、林世華、陳淑芬、張國恩(民87)。知識結構的測量：徑路搜尋法與概念構圖法的比較。*教育心理學報*，30卷(2期)，123-142頁。

宋德忠、陳淑芬和張國恩(民87)。電腦化概念構圖系統在知識結構測量上的應用。*測驗年刊*，45輯，2期，37-56。

林邦傑(民70)。集群分析及其應用。*教育與心理研究*，4期，31-57頁。

- 林原宏 (民 85)。知識結構分析—徑路搜尋、多向度量尺和集群分析的方法論探討。*測驗統計年刊*, 4 輯, 47-69。
- 林清山 (民 86)。教育心理學：認知取向。台北：遠流。
- 林曉芳 (民 88)。數學低成就國中生在代數概念發展之評量研究。國立政治大學教育學系碩士論文。
- 林曉芳、余民寧 (民 90)。國中生在數學代數概念學習之評量研究。*政大教育與心理研究*, 24 期 (下冊), 303-326 頁。
- 周台傑、蔡宗政 (民 86)。國小數學學習障礙學生應用問題解題之研究。*特殊教育學報*, 12 期, 233-292 頁。
- 邱上真 (民 78)。知識結構的評量：概念構圖技巧的發展與試用。*特殊教育學報*, 4 期, 215-244 頁。
- 邱美虹 (民 85)。學習策略與科學學習。*科學教育月刊*, 191 期, 2-15 頁。
- 岳修平譯 (民 87)。教學心理學—學習的認知基礎。台北：遠流。
- 施淑娟 (民 86)。認知網路評量模式及其實例應用之研究—以「分數的加法」單元為例。國立台中師範學院國民教育研究所碩士論文。
- 涂金堂 (民 90)。知識結構的評量與改變之研究—以國小學生數學文字題為例。國立政治大學教育系博士論文。
- 翁嘉英 (民 77)。國小兒童解數學應用問題的認知歷程。國立台灣大學心理研究所碩士論文。
- 馮莉雅 (民 86)。從認知取向探討數學教學原則與學習策略。*教育資料文摘*, 1 月刊, 118-138 頁。
- 張春興 (民 82)。現代心理學。台北：東華。
- 張景媛 (民 83)。數學文字題錯誤概念分析及學生建構數學概念的研究。*教育心理學報*, 27 期, 175-200 頁。
- 蔡佳燕 (民 89)。國小學生數學學科知識結構評量之研究。國立政治大學教育學系碩士論文。
- 劉秋木 (民 85)。國小數學科教學研究。台北：五南。
- 劉湘川、林原宏 (民 84)。從試題特徵曲線進行認知診斷之理論與應用。*測驗統計年刊*, 3 輯, 1-13。
- 鄭昭明 (民 82)。認知心理學：理論與實際。台北：桂冠。

- Acton, W. H., Johnson, P. J., & Goldsmith, T. E. (1994). Structural knowledge assessment: Comparison of referent structures. *Journal of Educational Psychology*, **86**, 303-311.
- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Anderson, J. R. (1990). *Cognitive psychology and its implications* (3rd ed.). New York: Freeman and Company.
- Anderson, J. R., & Bower, G. H. (1973). *Human associative memory*. New York: Wiley.
- Anderson, O. R. (1974). Research on structure in teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, **11**, 219-230.
- Azzarello, P. J. (1998). Knowledge structures and problem representation for multiple concurrent and potential problems. *Dissertation Abstracts International: Section A: Humanities and Social Sciences*, **58(9A)**, 3412.
- Bajo, M. T., Canas, J. J., Navarro, R., Padilla, F., & et al. (1994). Structural variables in the recall of concrete and abstract words. *Cognitiva*, **6**, 93-105.
- Barab, S. A., et al. (1996). Assessing hypermedia navigation through pathfinder: Prospects and limitations. *Journal of Educational Computing Research*, **15**, 185-205.
- Barba, R. H., & Rubba, P. A. (1992). A comparison of preservice and in-service earth and space science teachers' general mental abilities, content knowledge, and problem-solving skills. *Journal of Research in Science Teaching*, **29**, 1021-1035.
- Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: A study in experimental and social psychology*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Bayman, P., & Mayer, R. E. (1988). Using conceptual models to teach BASIC computer programming. *Journal of Educational Psychology*, **80**, 291-298.
- Beissner, L. L., Jonassen, D. H., & Grabowski, B. L. (1994). Using and selecting graphic techniques to acquire structural knowledge. *Performance Improvement Quarterly*, **7**, 20-38.
- Berg-Cross, G., & Price, M. E. (1989). Acquiring and managing knowledge using a conceptual structures approach: Introduction and framework. *IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics*, **19**, 513-527.
- Berk, R. A. (Ed.) (1986). *Performance assessment: Method and applications*. Baltimore, MD: The Johns Hopkins University Press.

Best, J. B. (1992). *Cognitive Psychology* (3rd ed.). New York: West Publishing Company.

Brachman, R. J., & Levesque, H. J. (1985). *Readings in knowledge representation*. Los Altos, CA: Morgan Kaufman.

Branaghan, R. J. (1990). Pathfinder networks and multidimensional spaces: Relative strengths in representing strong associates. In R. W. Schvaneveldt (Ed.), *Pathfinder associative networks: Studies in knowledge organization* (pp. 111-120). Norwood, NJ: Ablex.

Bransford, J. D. (1979). *Human cognition: Learning, understanding and remembering*. Belmont, CA: Wadsworth.

Braverman, E. P. (1997). Investigating the relationship between trainees' mental models and the transfer of training. *Dissertation Abstracts International, Section B: The Sciences and Engineering, 57(10B)*, 6626.

Britton, B. K., & Tidwell, P. (1995). Cognitive structure testing: A computer system for diagnosis of expert-novice differences. In Nichols, P. D., Chipman, S. F., (Eds.). *Cognitively diagnostic assessment* (pp. 251-278). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Caramazza, A., Hersh, H., & Torgerson, W. S. (1976). Subjective structures and operation in semantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 15*, 103-117.

Carey, S. (1987). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.

Carey, S., & Gelman, R. (Eds.) (1991). *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Carroll, J. D. (1995). "Minimax length links" of a dissimilarity matrix and minimum spanning trees. *Psychometrika, 60*, 371-374.

Champagne, A. B., Klopfer, L. E., Desena, A. T., & Squires, D. A. (1981). Structural representations of students' knowledge before and after science instruction. *Journal of Research in Science Teaching, 18*, 97-111.

Chan, A. S. (1995). A neuropsychological study of the semantic network. *Dissertation Abstracts International, Section B: The Sciences and Engineering, 56(6B)*, 3436.

Chan, A. S., Butters, N., Paulsen, J. S., Salmon, D. P., Swenson, M. R., & Maloney, L. T. (1993). An assessment of the semantic network in patients with Alzheimer's disease. *Journal of Cognitive Neuroscience, 5*, 254-261.

- Chan, A. S., Butters, N., & Salmon, D. P. (1997). The deterioration of semantic networks in patients with Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, *35*, 241-248.
- Chan, A. S., Butters, N., Salmon, D. P., Johnson, S. A., & Paulsen, J. S., & Swenson, M. R. (1995). Comparison of the semantic networks in patients with dementia and amnesia. *Neuropsychology*, *9*, 177-186.
- Chan, A. S., Butters, N., Salmon, D. P., & McGuire, K. A. (1993). Dimensionality and clustering in the semantic networks of patients with Alzheimer's disease. *Psychology and Aging*, *8*, 411-419.
- Chan, A. S., Salmon, D. P., Butters, N., & Johnson, S. A. (1995). Semantic network abnormality predicts rate of cognitive decline in patients with probable Alzheimer's disease. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *1*, 297-303.
- Chan, A. S., Salmon, D. P., & De La Pena, J. (2001). Abnormal semantic network for "animals" but not "tools" in patients with Alzheimer's disease. *Cortex*, *37*, 197-217.
- Chen, C. C. (1997). Using similarity ratings and the Pathfinder algorithm for evaluating students' cognitive structures in Newtonian mechanics. *Dissertation Abstracts International, Section A: Humanities and Social Sciences*, *57(7A)*, 2852.
- Chi, M. T. H., & Koeske, R. D. (1983). Network representation of a child's dinosaur knowledge. *Developmental Psychology*, *19*, 29-39.
- Chi, M., Glaser, R., & Farr, M. (Eds.) (1988). *The nature of expertise*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cifarelli, V. V. (1998). The development of mental representations as a problem solving activity. *Journal of Mathematical Behavior*, *17*, 239-264.
- Clark, M. D., Schwanenflugel, P. J., & Everhart, V. S. (1996). Theory of mind in deaf adults and the organization of verbs of knowing. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, *1*, 179-189.
- Cogliser, C. C., & Schriesheim, C. A. (1994). Development and application of a new approach to testing the bipolarity of semantic differential items. *Educational and Psychological Measurement*, *54*, 594-605.
- Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A Spreading activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, *82*, 407-428.
- Collins, A. M., & Quillian, M. R. (1969). Retrieval time from semantic memory. *Journal of verbal Learning and Verbal Behavior*, *8*, 240-247.

Cooke, N. J. (1990a). Empirically defined semantic relatedness and category judgment time. In R. W. Schvaneveldt (Ed.), *Pathfinder associative networks: Studies in knowledge organization* (pp. 101-110). Norwood, NJ: Ablex.

Cooke, N. J. (1990b). Using pathfinder as a knowledge elicitation tool: Link interpretation. In R. W. Schvaneveldt (Ed.), *Pathfinder associative networks: Studies in knowledge organization* (pp. 227-239). Norwood, NJ: Ablex.

Cooke, N. J. (1992a). Eliciting semantic relations for empirically derived networks. *International Journal of Man Machine Studies*, *37*, 721-750.

Cooke, N. J. (1992b). Predicting judgment time from measures of psychological proximity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *18*, 640-653.

Cooke, N. J. (1993). *An evaluative comparison of techniques for measuring student system knowledge of avionics trouble shooting*. (Final report, Armstrong Laboratory). Las Cruces, NM: New Mexico State University.

Cooke, N. J. (1994). Varieties of knowledge elicitation techniques. *International Journal of Human-Computer Studies*, *41*, 801-849.

Cooke, N. M., Durso, F. T., & Schvaneveldt, R. W. (1986). Recall and measures of memory organization. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *12*, 538-549.

Cooke, N. J., Durso, F. T., & Schvaneveldt, R. W. (1994). Retention of skilled search after nine years. *Human Factors*, *36*, 597-605.

Cooke, N. M., & McDonald, J. E. (1987). The application of psychological scaling techniques to knowledge elicitation for knowledge-based systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, *26*, 533-550.

Cooke, N. J., Neville, K. J., & Rowe, A. L. (1996). Procedural network representations of sequential data. *Human Computer Interaction*, *11*, 29-68.

Cooke, N. J., & Schvaneveldt, R. W. (1988). Effects of computer programming experience on network representations of abstract programming concepts. *International Journal of Man Machine Studies*, *29*, 407-427.

Dearholt, D. W., & Schvaneveldt, R. W. (1990). Properties of pathfinder networks. In R. W. Schvaneveldt (Ed.), *Pathfinder associative networks : Studies in knowledge organization* (pp.1-30). Norwood, NJ: Ablex.

Dearholt, D. W., Schvaneveldt, R. W., & Durso, F. T. (1985). Properties of networks based on proximities. *Memorandum in Computer and Cognitive Science*,

MCCS-85-14, Computing Research Laboratory, New Mexico State University.

Diefenbach, G. J. (2000). The role of trait and state anxiety in semantic network organization of information related to current concerns. *Dissertation Abstracts International, Section B: The Sciences and Engineering, 60(9B)*, 4883.

Diekhoff, G. M. (1983). Testing through relationship judgments. *Journal of Educational Psychology, 75*, 227-233.

Diekhoff, G. M., & Diekhoff, K. B. (1982). Cognitive maps as a tool in communicating structural knowledge. *Educational Technology, 22*, 28-30.

Dorsey, D. W., Campbell, G. E., Forster, L. L., & Miles, D. E. (1999). Assessing knowledge structures: Relations with experience and posttraining performance. *Human Performance, 12*, 31-57.

Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher, 23(7)*, 5-12.

Easley, J. A. (1974). The structural paradigm in protocol analysis. *Journal of Research in Science Teaching, 11*, 281-290.

Ennis, C. D., Cothran, D. J., & Loftus, S. J. (1997). The influence of teachers' educational beliefs on their knowledge organization. *Journal of Research and Development in Education, 30*, 73-86.

Ericsson, K. A., & Smith, J. (Ed.) (1991). *Towards a general theory of expertise*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.

Feltovich, P. J., Ford, K. M., & Hoffman, R. R. (Eds.) (1997). *Expertise in context: Human and machine*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Fenker, R. M. (1975). The organization of conceptual materials: A methodology for measuring ideal and actual cognitive structures. *Instructional Science, 4*, 33-57.

Ferstl, E. C., & Kintsch, W. (1999). Learning from text: Structural knowledge assessment in the study of discourse comprehension. In von Oostendorp, H., & Goldman, S. R. (Eds.), *The construction of mental representations during reading* (pp. 247-277), Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Fife, B. M. (1998). Students' concept patterns revealed by computer analysis of language-constrained science concept maps. *Dissertation Abstracts International, Section A: Humanities and Social Sciences, 58(10A)*, 3878.

Fowler, R. H., & Dearholt, D. W. (1990). Information retrieval using pathfinder networks. In R. W. Schvaneveldt (Ed.), *Pathfinder associative networks: Studies in knowledge organization* (pp. 165-178). Norwood, NJ: Ablex.

Gagne, E. D., Yekovich, C. W., & Yekovich, F. R. (1993). *The cognitive psychology of school learning*. New York: Harper Collins.

Gammack, J. G. (1990). Expert conceptual structure: The stability of Pathfinder representations. In R. W. Schvaneveldt (Ed.), *Pathfinder associative networks: Studies in knowledge organization* (pp. 213-226). Norwood, NJ: Ablex.

Geer, J. H. (1996). Gender differences in the organization of sexual information. *Archives of Sexual Behavior, 25*, 91-107.

Geeslin, W. E., & Shavelson, R. J. (1975a). An exploratory analysis of the representation of a mathematical structure in students' cognitive structures. *American Educational Research Journal, 12*, 21-39.

Geeslin, W. E., & Shavelson, R. J. (1975b). Comparison of content structure and cognitive structure in high school students' learning of probability. *Journal for Research in Mathematics Education, 6*, 109-120.

Geske, J. A. (2001). The structure of introductory statistics knowledge: An investigation exploring students' and experts' cognitive organization using multidimensional scaling and pathfinder analyses. *Dissertation Abstracts International: Section B: The Sciences and Engineering, 62(3B)*, 1638.

Gillan, D. J., Breedin, S. D., & Cooke, N. J. (1992). Network and multidimensional representations of the declarative knowledge of human-computer interface design experts. *International Journal of Man Machine Studies, 36*, 587-615.

Goldsmith, T. E., & Davenport, D. M. (1990). Assessing structural similarity of graphs. In R. W. Schvaneveldt (Ed.), *Pathfinder associative networks: Studies in knowledge organization* (pp. 75-87). Norwood, NJ: Ablex.

Goldsmith, T. E., & Johnson, P. J. (1990). A Structural assessment of classroom learning. In R. W. Schvaneveldt (Ed.), *Pathfinder associative networks: Studies in Knowledge organization* (pp. 241-254). Norwood, NJ: Ablex.

Goldsmith, T. E., Johnson, P. J., & Acton, W. H. (1991). Assessing structural knowledge. *Journal of Educational Psychology, 83*, 88-96.

Gomez, R. L., Hadfield, O. D., & Housner, L. D. (1996). Conceptual maps and simulated teaching episodes as indicators of competence in teaching elementary mathematics. *Journal of Educational Psychology, 88*, 572-585.

Gomez, R. L., & Housner, L. D. (1992). *Pedagogical knowledge structures in*

prospective teachers. Paper presented at the Annual Meeting of the Southwest Psychological Association, Austin, TX, April 16-18.

Gomez, R. L., & Schvaneveldt, R. W. (1994). What is learned from artificial grammars? Transfer tests of simple association. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *20*, 396-410.

Gomez, R. L., Schvaneveldt, R. W., & Staudenmayer, H. (1996). Assessing beliefs about 'environmental illness/multiple chemical sensitivity.'" *Journal of Health Psychology*, *1*, 107-123.

Gonzalvo, P., Canas, J. J., & Bajo, M. T. (1994). Structural representations in knowledge acquisition. *Journal of Educational Psychology*, *86*, 601-616.

Graef, J., & Spence, I. (1979). Using distance information in the design of large multidimensional scaling experiments. *Psychological Bulletin*, *86*, 60-66.

Hayes, J. R. (1989). *The complete problem solver*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Heimlich, J. E., & Pittelman, S. D. (1986). *Semantic mapping: Classroom applications*. Newark, Delaware: International Reading Association.

Helm, H., & Novak, J. D. (Eds.) (1983). *Proceedings of the International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: Cornell University Press.

Hodson, D. (1988). Toward a philosophically more valid science curriculum. *Science Education*, *72*, 19-40.

Holley, C. D., & Dansereau, D. F. (Eds.) (1984). *Spatial learning strategies: Techniques, applications and related issues*. Orlando, FL: Academic Press.

Howard, D. V. (1983). *Cognitive psychology: memory, language, and thought*. New York: Macmillan.

Hutchinson, J. W. (1989). NETSCAL: A network scaling algorithm for nonsymmetric proximity data. *Psychometrika*, *54*, 25-51.

Janardan, C. G., & Salvendy, G. (1987). A conceptual framework for knowledge elicitation. *International Journal of Man-Machine Studies*, *26*, 521-531.

Johnson, P. E. (1964). Associative meaning of concepts in physics. *Journal of Educational Psychology*, *55*, 84-88.

Johnson, P. E. (1965). Word relatedness and problem solving in high school physics. *Journal of Educational Psychology*, *56*, 217-224.

Johnson, P. E. (1967). Some psychological aspects of subject-matter structure.

Journal of Educational Psychology, **58**, 75-83.

Johnson, P. E. (1969). On the communication of concepts in science. *Journal of Educational Psychology*, **60**, 32-40.

Johnson, P. E., Cox, D. L., & Curran, T. E. (1970). Psychological reality of physical concepts. *Psychonomic Science*, **19**, 245-247.

Johnson, P. E., Curran, T. E., & Cox, D. L. (1971). A model for knowledge of concepts in science. *Journal of Research in Science Teaching*, **8**, 91-95.

Johnson, P. J., & Goldsmith, T. E. (1992). *Structural assessment of knowledge and skill*. Albuquerque, NM: New Mexico University, Department of Psychology.

Johnson, P. J., Goldsmith, T. E., & Teague, K. W. (1994). Locus of the predictive advantage in Pathfinder-based representations of classroom knowledge. *Journal of Educational Psychology*, **86**, 617-626.

Johnson, P. J., Goldsmith, T. E., & Teague, K. W. (1995). Similarity, structure, and knowledge: A representational approach to assessment. In Nichols, P. D., Chipman, S. F., & R. L. Brennan (Eds.). *Cognitively diagnostic assessment* (pp. 221-249). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Jonassen, D. H., Beissner, K., & Yacci, M. (1993). *Structural knowledge: Techniques for representing, conveying, and acquiring structural knowledge*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Jonassen, D. H., & Cole, P. (1993). *Learner-generated vs. instructor-provided analysis of semantic relationships*. Paper presented at the Convention of the Association for Educational Communications and Technology, New Orleans, Louisiana, Jan 13-17.

Jonassen, D. H., & Grabowski, B. L. (1993). *Handbook of individual differences, learning, and instruction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Jonassen, D. H., & Henning, P. (1999). Mental models: knowledge in the head and knowledge in the world. *Educational Technology*, **39**, 37-42.

Jonassen, D. H., & Wang, S. (1993). Acquiring structural knowledge from semantically structured hypertext. *Journal of Computer Based Instruction*, **20**, 1-8.

Kandel, E. R., & Hawkins, R. D. (1992). The biological basis of learning and individuality. *Scientific American*, **267**(3), 78-86.

Kass, H. (1971). Structure in perceived relations among physics concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, **8**, 339-350.

Kilpatrick, J. (1985). A retrospective account of the past 25 years of research on

teaching mathematical problem solving. Paper presented at Silver, E. A. (Ed.), *Teaching and learning mathematical problem solving: Multiple research perspectives*.

Kintsch, W. (1974). *The representation of meaning in memory*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Kintsch, W., & Greeno, J. (1985). Understanding the relative difficulty of verbal arithmetic problems. *Educational Studies in Mathematics*, 4, 306-323.

Kirkland, J. B. (1998). Constructions of response speed and semantic memory organization to animal fluency performance in schizophrenia: A pathfinder network analysis. *Dissertation Abstracts International, Section B: The Sciences and Engineering*, 58(9B), 5124.

Klauer, K. C., & Carroll, J. D. (1989). A mathematical programming approach to fitting general graphs. *Journal of Classification*, 6, 247-270.

Klauer, K. C., & Carroll, J. D. (1991). A comparison of two approaches to fitting directed graphs to nonsymmetric proximity measures. *Journal of Classification*, 8, 251-268.

Klauer, K. C., & Carroll, J. D. (1994). Assessing cognitive structure by means of network models. *European Journal of Psychological Assessment*, 10, 177-191.

Kokoski, T. M., & Housner, L. D. (1994). *Pathfinder analysis of knowledge structures: An exploratory investigation of math and science teacher educators*. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, New Orleans, LA, April 4-8.

Kommers, P. A. M., Jonassen, D. H., & Mayers, J. T. (Eds.) (1992). *Mindtools: Cognitive technologies for modeling knowledge*. Berlin: Springer Verlag.

Koneman, P. A., & Jonassen, D. H. (1994). *Hypertext interface design and structural knowledge acquisition*. Proceedings of selected research and development presentations at the 1994 National Convention of the Association for Educational Communications and Technology.

Kosslyn, S. M. (1980). *Image and mind*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.

Koubek, R. J., & Mountjoy, D. N. (1991). *Toward a model of knowledge structure and a comparative analysis of knowledge structure measurement techniques*. Dayton, OH: Department of Biomedical and Human Factors Engineering,

Wright State University. (ERIC Document Reproduction Service No. ED339-719.)

Kozma, R. B., & Van Roekel, J. (1986). *Learning tool*. Santa Barbara, CA: Intellimation.

Krawchuk, C. A. (1997). Pictorial graphic organizers, navigation, and hypermedia: Converging constructivist and cognitive theories. *Dissertation Abstracts International, Section A: Humanities and Social Sciences*, 57(7A), 2981.

Lederman, N. G., & Latz, M. S. (1995). Knowledge structures in the preservice science teacher: Sources, development, interaction, and relationships to teaching. *Journal of Science Teacher Education*, 6, 1-19.

Leinhardt, G., & Smith, D. A. (1985). Expertise in mathematics instruction: Subject matter knowledge. *Journal of Educational Psychology*, 77, 247-271.

Luger, G. F. (1994). *Cognitive science: The science of intelligent systems*. San Diego, FL: Academic Press.

Manguno Mire, G. M., & Geer, J. H. (1998). Network knowledge organization: Do knowledge structures for sexual and emotional information reflect gender or sexual orientation? *Sex Roles*, 39, 705-729.

Marshall, S. P. (1987). *Schema knowledge structures for representing and understanding arithmetic story problems*. First year technical report. (ED 281716).

Marshall, S. P. (1995). Some suggestions for alternative assessments. In P. D. Nichols, S. F. Chipman, & R. L. Brennan (Eds.), *Cognitively diagnostic assessment* (pp. 431-453). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

McDonald, J. E., Dayton, T., & McDonald, D. H. (1988). Adapting menu layout to tasks. *International Journal of Man-Machine Studies*, 28, 417-435.

McDonald, J. E., Plate, T. A., & Schvaneveldt, R. W. (1990). Using Pathfinder to extract semantic information from text. In R. W. Schvaneveldt (Ed.), *Pathfinder associative networks: Studies in knowledge organization* (pp. 149-164). Norwood, NJ: Ablex.

McDonald, J. E., & Schvaneveldt, R. W. (1988). The application of user knowledge to interface design. In Guindon, R. (Ed.), *Cognitive science and its applications for human-computer interaction* (pp. 289-338). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

McDougall, S. J. P., Curry, M. B., & de Bruijn, O. (2001). The effects of visual information on users' mental models: An evaluation of pathfinder analysis as a measure of icon usability. *International of Journal of Cognitive Ergonomics*, 5,

59-84.

McGaghie, W. C. (1996). *Comparison of knowledge structures with the pathfinder scaling algorithm*. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association. (New, NY, April 8-12) (ERIC ED401282).

McGaghie, W. C., McCrimmon, D. R., & Thompson, J. A. (2000). Medical and veterinary students' structural knowledge of pulmonary physiology concepts. *Academic Medicine, 75*, 362-368.

McNamara, T. P. (1994). Knowledge presentation. In R. J. Sternberg (Ed.), *Thinking and problem solving*. New York: Academic Press.

Mckeithen, K. B., Reitman, J. S., Rueter, H. H., & Hirtle, S. C. (1981). Knowledge organization and skill differences in computer programmers. *Cognitive Psychology, 13*, 307-325.

Metcalfe, J., & Shimamura, A. (Eds.) (1994). *Metacognition*. Cambridge, MA: MIT Press.

Meyer, D. E., & Schvaneveldt, R. W. (1971). Facilitation in recognizing pairs of words: Evidence of a dependence between retrieval operations. *Journal of Experimental Psychology, 90*, 227-234.

Meyer, D. E., & Schvaneveldt, R. W. (1976). Meaning, memory structure, and mental processes. *Science, 192*, 27-33.

Miller, G. A. (1969). A psychological method to investigate verbal concepts. *Journal of Mathematical Psychology, 6*, 169-191.

Minsky, M. (1975). A framework for representation knowledge. In P. Winston (Ed.), *The psychology of computer vision* (pp. 211-277). New York: McGraw-Hill.

Mohammed, S., Klimoski, R., & Rentsch, J. R. (2000). The measurement of team mental models: We have no shared schema. *Organizational Research Methods, 3*, 123-165.

Morton, J., & Berkerian, D. (1986). Three ways of looking at memory. In N. E. Sharkdy (Ed.), *Advances in cognitive science 1*. Chichester: Ellis Horwood.

Murphy, G. L., & Wright, J. C. (1984). Changes in conceptual structure with expertise: Differences between real-world experts and novices. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition, 10*, 144-155.

Naveh-Benjamin, M., McKeachie, W. T., Lin, Y. G., & Tucker, D. G. (1986). Inferring students' cognitive structures and their development using the "ordered tree

technique". *Journal of Educational Psychology*, **78**, 130-140.

Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood cliff, NJ: Prentice-Hall.

Nichols, P. D. (1994). A framework for developing cognitively diagnostic assessment. *Review of Educational Research*, **64**, 575-603.

Nichols, P. D., Chipman, S. F., & Brennan, R. C. (1995). *Cognitively diagnostic assessment*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Novak, J. D. (1987). *Proceedings of the Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: Cornell University Press.

Novak, J. D. (1993) (Ed.). *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: Cornell University Press.

Ober, B. A., Shenaut, G. K. (1999). Well organized conceptual domains in Alzheimer's disease. *Journal of the International Neuropsychological Society*, **5**, 676-684.

Ohlsson, S. (1988). Computer simulation and its impact on educational research and practice. *International Journal of Educational Research*, **12**, 5-34.

Oliver, P., Gapp, K. P. (1998). *Representation and proceeding of spatial expressions*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Oltman, P. K., Stricker, L. J., & Barrows, T. S. (1990). Analyzing test structure by multidimensional scaling. *Journal of Applied Psychology*, **75**, 21-27.

Onorato, L. A. (1990). Representation of problem schemata. In R. W. Schvaneveldt (Ed.), *Pathfinder associative networks: Studies in knowledge organization* (pp. 255-266). Norwood, NJ: Ablex.

Paivio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New York: Holt, Rinehart and Winston.

Paivio, A. (1986). *Mental representations*. Oxford: Oxford University Press.

Partridge, D. (1996). Representation of knowledge. In M. A. Boden, et al. (Ed.), *Artificial intelligence. Handbook of perception and cognition* (2nd ed.) (pp. 55-87). San Diego, CA: Academic Press.

Passmore, G. J. (2000). Concept maps and processes of comprehension: Explicating cognition and metacognition, structural knowledge and procedural knowledge. *Dissertation Abstracts International, Section A: Humanities and Social*

Sciences, **60(9A)**, 3334.

Patel, S. C., Drury, C. G., & Shalin, V. L. (1998). Effectiveness of expert semantic knowledge as a navigational aid within hypertext. *Behaviour and Information Technology*, **17**, 313-324.

Paulsen, J. S., Romero, R., Chan, A., Davis, A. V., Heaton, R. K., & Jeste, D. V. (1996). Impairment of the semantic network in schizophrenia. *Psychiatry Research*, **63**, 109-121.

Pickle, J. M. (1998). Assessing structural knowledge using the lexical decision paradigm. *Dissertation Abstracts International, Section A: Humanities and Social Sciences*, **58(8A)**, 3065.

Pickle, J. M., Tao, L., Lively, M., & Montgomery, T. (1998). Historical and philosophical antecedents of structural knowledge: Implications for assessment. In Sturtevant, E. G., & Dugan, J. (Eds.), *Literacy and community: The twentieth yearbook: A peer reviewed publication of the College Reading Association* (pp. 116-129). Carrollton, GA: College Reading Association.

Pines, A. L., & West, L. H. T. (1986). Conceptual understanding and science learning: An interpretation of research within a sources-of-knowledge framework. *Science Education*, **70**, 583-604.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, **66**, 211-227.

Preece, P. F. W. (1976a). Mapping cognitive structure: A comparison of methods. *Journal of Educational Psychology*, **68**, 1-8.

Preece, P. F. W. (1976b). The concepts of electromagnetism: A study of the internal representation of external structures. *Journal of Research in Science Teaching*, **13**, 517-524.

Preece, P. F. W. (1976c). Associative structure of science concepts. *British Journal of Educational Psychology*, **46**, 174-183.

Putz-Osterloh, W. (1993). Strategies for knowledge acquisition and transfer of knowledge in dynamic tasks. In Strube, G., & Wender, K. F. (1993). *The cognitive psychology of knowledge. Advances in Psychology*, **101**, 331-350. Amsterdam, Netherlands: North Holland/Elsevier Science Publishers.

Pylyshyn, Z. W. (1973). What the mind's eye tells the mind's brain: A critique of mental imagery. *Psychological Bulletin*, **80**, 1-24.

- Quillian, M. R. (1968). Semantic memory. In M. Minsky (Ed.), *Semantic information processing*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Rather, B. C. (1992). Measuring the structure of alcohol expectancies: Multi-dimensional scaling and pathfinder analysis by drinking levels. *Dissertation Abstracts International, Section B: The Sciences and Engineering, 52(7B)*, 3913.
- Reed, S. K. (1996). *Cognition: Theory and application (4th ed.)*. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole.
- Riley, M. S., Greeno, J. G., & Heller, J. I. (1983). Development of children's problem-solving ability in arithmetic. In H. P. Ginsburg (Ed.), *The development of mathematical thinking*. New York: Academic Press.
- Rink, J. E., French, K., Lee, A. M., Solmon, M. A., & Lynn, S. K. (1994). A comparison of pedagogical knowledge structures of preservice students and teacher educators in two institutions. *Journal of Teaching in Physical Education, 13*, 140-162.
- Rips, L. J., Shoben, E. J., & Smith, E. E. (1973). Semantic distance and the verification of semantic relation. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 12*, 1-20.
- Rittle-Johnson, B., & Alibali, M. W. (1999). Conceptual and procedural knowledge of mathematics: Does one lead to the other?. *Journal of Educational Psychology, 91*, 175-189.
- Rohrer-Murphy, L. C. (2000). Validating measures of structural knowledge. *Dissertation Abstracts International, Section B: The Sciences and Engineering, 60(8B)*, 4268.
- Roske-Hofstrand, R. J., & Paap, K. R. (1986). Cognitive networks as a guide to menu organization: An application in the automated cockpit. *Ergonomics, 29*, 1301, 1311.
- Rossano, M. J., & Morrison, T. T. (1996). Learning from maps: General processes and map-structure influences. *Cognition and Instruction, 14*, 109-137.
- Rowe, A. L., Cooke, N. J., Hall, E. P., & Halgren, T. L. (1996). Toward an on-line knowledge assessment methodology: Building on the relationship between knowing and doing. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 2*, 31-47.
- Rubin, D. C. (1990). Directed graphs as memory representations: The case of rhyme. In R. W. Schvaneveldt (Ed.), *Pathfinder associative networks: Studies in knowledge organization* (pp. 121-133). Norwood, NJ: Ablex.

Rumelhart, D. E. (1980). Schemata: The building blocks of cognition. In R. J. Sipro, B. C. Bruce & W. F. Brewer (Eds.), *Theoretical issues in reading comprehension: Perspectives from cognitive psychology, linguistics, artificial intelligence, and education*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Rumelhart, D. E., & Norman, D. A. (1978). Accretion, tuning, and restructuring: Three modes of learning. In J. W. Cotton & R. Klatzky (Eds.), *Semantic factors in cognition* (pp. 37-53). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Rumelhart, D. E., & Norman, D. A. (1985). Representation of knowledge. In A. M. Aitkenhead, & J. M. Slack (Eds.), *Issues in cognitive modeling* (pp. 15-62). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Rumelhart, D. E., & Norman, D. A. (1988). Representation in memory. In R. C. Atkinson, R. J. Herrnstein, G. Lindzey, & R. D. Luce (Eds.), *Steven's handbook of experimental psychology: Vol. 2, Learning and cognition* (2nd ed., pp. 511-587). New York: Wiley.

Rumelhart, D. E., & Ortony, A. (1977). The representation of knowledge in memory. In R. C. Anderson, R. J. Spiro, & W. E. Montague (Eds.), *Schooling and the acquisition of knowledge*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Rye, J. A., & Rubba, P. A. (1996). *An exploratory study of the concept map as a tool to facilitate the externalization of students' understandings about global atmospheric change in the interview setting*. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching (69th, St. Louis, MO, March 31-April 3, 1996). (ERIC ED395780).

Ryle, G. (1949). *The concept of mind*. London: Hutchinson.

Schaeffer, B., & Wallace, R. (1969). Semantic similarity and the comparison of word meanings. *Journal of Experimental Psychology*, *82*, 343-346.

Schaeffer, B., & Wallace, R. (1970). The comparison of word meanings. *Journal of Experimental Psychology*, *86*, 144-152.

Schank, R., & Abelson, R. (1977). *Scripts, plans, goals and understanding*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Schrepp, M. (1999). Extracting knowledge structures from observed data. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, *52*, 213-224.

Schvaneveldt, R. W. (Ed.). (1990). *Pathfinder associative networks: Studies in knowledge organization*. Norwood, NJ: Ablex.

Schvaneveldt, R. W. (1990). Proximities, networks, and schemata. In R. W.

Schvaneveldt (Ed.), *Pathfinder associative networks: Studies in knowledge organization* (pp. 135-148). Norwood, NJ: Ablex.

Schvaneveldt, R. W. (1994). *Knowledge network organizing tool*. (PCKNOT version 4.2) Las Cruces, NM: Interlink Inc.

Schvaneveldt, R. W., Beringer, D. B., & Lamonica, J. A. (2001). Priority and organization of information accessed by pilots in various phases of flight.

International Journal of Aviation Psychology, *11*, 253-280.

Schvaneveldt, R. W., Dearholt, D. W., & Durso, F. T. (1988). Graph theoretic foundations of Pathfinder networks. *Computers and Mathematics with Applications*, *15*, 337-345.

Schvaneveldt, R. W., & Durso, F. T. (1981). *General semantic networks*. Paper presented at the annual meeting of the Psychonomic Society, Philadelphia, PA.

Schvaneveldt, R. W., Durso, F. T., & Dearholt, D. W. (1985). *Pathfinder: Scaling with network structures*. Memorandum in Computer and Cognitive Science, MCCS-85-9, Computing Research Laboratory, New Mexico State University.

Schvaneveldt, R. W., Durso, F. T., & Dearholt, D. W. (1987). *Pathfinder: Networks from proximity data*. Memorandum in Computer and Cognitive Science, MCCS-87-9, Computing Research Laboratory, New Mexico State University.

Schvaneveldt, R. W., Durso, F. T., & Dearholt, D. W. (1989). Network structures in proximity data. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, *24* (pp. 249-284) . New York: Academic Press.

Schvaneveldt, R. W., Durso, F. T., Goldsmith, T. E., Breen, T. J., Cooke, N. M., Tucker, R. G., & DeMaio, J. C. (1985). Measuring the structure of expertise.

International Journal of Man-Machine Studies, *23*, 699-728.

Schvaneveldt, R. W., Durso, F. T., & Mukherji, B. R. (1982). Semantic distance effects in categorization tasks. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *8*, 1-15.

Schvaneveldt, R. W., & Goldsmith, T. (1985). *ACES: Air combat expert simulation*. Memorandum in Computer and Cognitive Science, MCCS-85-34, Computing Research Laboratory, New Mexico State University.

Schvaneveldt, R. W., & Meyer, D. E. (1973). Retrieval and comparison processes in semantic memory. In S. Kornblum (Ed.), *Attention and performance*, *4*, (pp.395-409). New York: Academic Press.

- Selkoe, D. J. (1992). Aging brain, aging mind. *Scientific American*, *267*(3), 134-140, 142.
- Shanon, B. (1993). *The representational and the representational: An essay on cognition and the study of mind*. New York: Harvester Wheatsheaf.
- Shavelson, R. J. (1972). Some aspects of the correspondence between content structure and cognitive structure in physics instruction. *Journal of Educational Psychology*, *63*, 225-234.
- Shavelson, R. J. (1974). Methods for examining representations of a subject-matter structure in a student's memory. *Journal of Research in Science Teaching*, *11*, 231-249.
- Shavelson, R. J., & Geeslin, W. E. (1975). A method for examining subject-matter structure in instructional material. *Journal of Structured Learning*, *4*, 199-218.
- Shavelson, R. J., & Stanton, G. C. (1975). Construct validation: Methodology and application to three measures of cognitive structure. *Journal of Educational Measurement*, *12*, 67-85.
- Shavelson, R.J. (1973). Learning from physics instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, *10*, 101-111.
- Sheehan, J., & Tessmer, M. (1997). *A construct validation of the mental models learning outcome using exploratory factor analysis*. Proceedings of Selected Research and Development Presentations at the 1997 National Convention of the Association for Educational Communications and Technology (19th, Albuquerque, NM, February 14-18, 1997) (ERIC ED409870).
- Shepard, R. N. & Cooper, L. A. (1982). *Mental images and their transformation*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, *57*, 1-22.
- Sireci, S. G., & Geisinger, K. F. (1992). Analyzing test content using cluster analysis and multidimensional scaling. *Applied Psychological Measurement*, *16*, 17-31.
- Sireci, S. G., & Geisinger, K. F. (1995). Using subject-matter experts to assess content representation: An MDS analysis. *Applied Psychological Measurement*, *19*, 241-255.
- Smith, E. E. (1978). Theories of semantic memory. In W. K. Estes (Ed.),

Handbook of learning and cognitive processes. (Vol. 6). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Smith, D. C., & Neale, D. C. (1989). The construction of subject matter knowledge in primary science teaching. *Teaching and Teacher Education*, *5*, 1-20.

Snyder, D. J. (2001). The role of learning strategies in the development of structural knowledge. *Dissertation Abstracts International, Section B: The Sciences and Engineering*, *61(10B)*, 5608.

Stanners, R. F., Brown, L. T., Price, J. M., & Homes, M. (1983). Concept comparisons, essay examinations, and conceptual knowledge. *Journal of Educational Psychology*, *75*, 857-864.

Stein, M. K., Baxter, J. A., & Leinhardt, G. (1990). Subject matter knowledge and elementary instruction: A case from functions and graphing. *American Educational Research Journal*, *27*, 639-663.

Stephan, W. G., Ageyev, V. S., & Stephan, C. W. (1993). Measuring stereotypes: A comparison of methods using Russian and American samples. *Social Psychology Quarterly*, *56*, 54-64.

Sternberg, R. J. (1991). Death, taxes, and bad intelligence tests. *Intelligence*, *15*, 257-269.

Stevens, S. E. (1995). The effect of frame-of-reference rater training on idiosyncratic and normative raters. *Dissertation Abstracts International, Section A: Humanities and Social Sciences*, *56(4A)*, 1295.

Stiggins, R. J. (1991). Facing the challenges of a new era of educational assessment. *Applied Measurement in Education*, *4*, 263-273.

Tank, D. W., & Hopfield, J. J. (1987). Collective computation in neuronlike circuits. *Scientific American*, *257(6)*, 62-70.

Thompson, L. A., Gomez, R. L., & Schvaneveldt, R. W. (2000). The salience of temporal cues in the developing structure of event knowledge. *American Journal of Psychology*, *113*, 591-619.

Thro, M. P. (1978). Relationships between associative and content structure of physics concepts. *Journal of Educational Psychology*, *70*, 971-978.

Trochim, W. M. K. (1993). *The concept system [Computer software]*. Ithaca, NY: Concept Systems.

Valero, P. M., Canet, F., & Sanmartin, J. (1996). A comparison between

pathfinder and hierarchical cluster methods for the analysis of information structure. *Psychologica*, *17*, 323-336.

Valero, P., & Sanmartin, J. (1999). Methods for defining user groups and user-adjusted information structures. *Behavioral and Information Technology*, *18*, 245-259.

Van Roekel, J. (1986/1990). *Learning tool [Computer program]*. Ann Arbor, MI: Arborworks.

Von Minden, A. M. (1996). Cartographies of cognition: Charting concepts of mathematics content and pedagogy. *Dissertation Abstracts International, Section A: Humanities and Social Sciences*, *57(6A)*, 2362.

Von Minden, A. M., Walls, R. T., & Nardi, A. H. (1998). Charting the links between mathematics content and pedagogy concepts: Cartographies of cognition. *Journal of Experimental Education*, *66*, 339-358.

Vortec, O. U., Edwards, M. B., & Manning, C. A. (1994). Sequences of actions for individual and teams of air traffic controllers. *Human Computer Interaction*, *9*, 319-343.

Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1987). Theories of knowledge restructuring in development. *Review of Educational Research*, *57*, 51-67.

Waern, Y. (1972). Structure in similarity matrices: A graphic approach. *Scandinavian Journal of Psychology*, *13*, 5-16.

Wainer, H., & Kaye, K. (1974). Multidimensional scaling of concept learning in an introductory course. *Journal of Educational Psychology*, *66*, 591-598.

Weidner, J. M. O. M. (2001). Cognitive patterns of neuroanatomy concepts: Knowledge organizations that emerge from problem solving versus information gathering. *Dissertation Abstracts International, Section A: Humanities and Social Sciences*, *62(1A)*, 121.

West, L., & Pines, L. (Ed.) (1985). *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando, FL: Academic Press.

Wheatley, G. H. (1991). Constructivist perspectives on science and mathematics learning. *Science Education*, *75(1)*, 9-21.

White, R. T. (1985). Interview protocols and dimensions of cognitive structure. In L. H. T. West & A. L. Pines (Eds.), *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando, FL: Academic Press.

White, R., & Gunstone, R. (1992). *Probing understanding*. London: The Falmer Press.

Wijers, G. A., & Meijers, F. (1996). Careers guidance in the knowledge society. *British Journal of Guidance and Counseling, 24*, 185-198.

Wilson, J. M. (1994). Network representations of knowledge about chemical equilibrium: Variations with achievement. *Journal of Research in Science Teaching, 31*, 1133-1147.

Winitzky, N., & Arends, R. (1991). Translating research into practice: The effects of various forms of training and clinical experience on preservice students' knowledge, skill, and reflectiveness. *Journal of Teacher Education, 42*, 52-65.

Winitzky, N., Kauchak, D., & Kelly, M. (1994). Measuring teachers' structural knowledge. *Teaching and Teacher Education, 10*, 125-139.

Wright, G., & Ayton, P. (1987). Eliciting and modeling expert knowledge. *Decision Support Systems, 3*, 13-26.

Wyman, B. G., & Randel, J. M. (1998). The relation of knowledge organization to performance of a complex cognitive task. *Applied Cognitive Psychology, 12*, 251-264.

附錄

本附錄陳列本研究所使用之三份自編測驗的試題內容、試題概念表、概念名稱表等附件。

附錄一

甲卷『數與計算』測驗

一、試題內容

數學綜合測驗甲卷（數與計算）

各位小朋友：

本測驗共有 40 題數學問題，旨在測量你的數學科綜合知識，每題只有一個正確答案或較佳的答案，作答時，請將你選擇的答案直接填入括弧中，謝謝你的合作！此外請記得填上校名、姓名、班級、座號喔！

學校：_____國小 班級：六年__班 姓名：_____ 座號：__號

- () 1. 一盒糖果有 10 顆，要買多少盒，才有 150 顆糖？
(1)1500 盒 (2)150 盒 (3)15 盒 (4)10 盒
- () 2. 有四盒香皂，一盒有 12 塊，現重新裝袋，平分成 6 袋，每袋有幾塊香皂？
(1)18 塊 (2)10 塊 (3)8 塊 (4)2 塊
- () 3. 「5 個 0.1」和下列哪一個一樣大？
(1)5 (2) $\frac{5}{10}$ (3) $\frac{1}{10}$ (4) $\frac{1}{5}$
- () 4. 一袋花片有 30 個，小明拿出其中的 $\frac{7}{30}$ 袋，還剩下幾個花片？
(1)7 個 (2)23 個 (3) $\frac{7}{30}$ 個 (4) $\frac{23}{30}$ 個
- () 5. 哥哥有 685 元，弟弟的錢比哥哥多 150 元，兩人共有多少元？
(1)1220 元 (2)685 元 (3)985 元 (4)1520 元
- () 6. 一個蛋糕平分成 8 塊，姊姊吃了其中的 3 塊，共吃了多少個蛋糕？
(1)3 個 (2)8 個 (3) $\frac{1}{8}$ 個 (4) $\frac{3}{8}$ 個
- () 7. 「 15×8 」和「 8×15 」哪一個比較大？
(1) $15 \times 8 > 8 \times 15$ (2) $15 \times 8 < 8 \times 15$ (3) $15 \times 8 = 8 \times 15$ (4)不能比較
- () 8. 「 $8 \times 9 = 72$ 」的式子中，前面的 8 叫做什麼？
(1)被乘數 (2)乘數 (3)積 (4)和
- () 9. 整數的除法裡，如果除數不變，而被除數愈小，商就？
(1)不變 (2)愈大 (3)愈小 (4)不一定
- () 10. 一億是一萬的多少倍？

- (1)10 倍 (2)100 倍 (3)1000 倍 (4)10000 倍
- ()11. 「 $72 \div 6 \div 3$ 」不等於哪一個式子？
 (1) $72 \div (6 \times 3)$ (2) $72 \div (3 \times 6)$ (3) $72 \div (6 \div 3)$ (4) $72 \div 3 \div 6$
- ()12. 在數字“7.34”中，有多少個 0.1？
 (1)4 個 (2)3 個 (3)2 個 (4)1 個
- ()13. $\square \div 80 = 20 \dots 30$ ， \square 是
 (1) $20 \times 80 + 30$ (2) $30 \times 20 + 80$ (3) $30 \times 80 + 20$ (4) $(20 + 30) \times 80$
- ()14. 「 $4850 \div 50$ 」=
 (1)97 (2)98 (3)99 (4)100
- ()15. 「 $21.75 \div 21$ 」計算到小數第二位時，餘數為
 (1)0.012 (2)0.12 (3)1.2 (4)11.2
- ()16. 緞帶全長 5 公尺，姊姊用了 $\frac{3}{5}$ 公尺，妹妹用了 $1\frac{4}{5}$ 公尺，還剩下多少公尺？
 (1) $2\frac{3}{5}$ 公尺 (2) $1\frac{3}{5}$ 公尺 (3) $3\frac{3}{5}$ 公尺 (4) $\frac{3}{5}$ 公尺
- ()17. 「 $90 \div 3 \div 2$ 」=
 (1) $90 \div (3 + 2)$ (2) $90 \div (3 - 2)$ (3) $90 \div (3 \times 2)$ (4) $90 \div (3 \div 2)$
- ()18. 「 $\frac{9}{20} + \frac{11}{20}$ 」等於
 (1) $\frac{19}{20}$ (2) $\frac{18}{20}$ (3) $\frac{15}{20}$ (4)1
- ()19. 下列各數中，哪一個既是 2 的倍數，又是 5 的倍數？
 (1)94580 (2)26302 (3)45675 (4)36914
- ()20. 下列那一數不是 $\frac{12}{36}$ 的等值分數？
 (1) $\frac{1}{3}$ (2) $\frac{24}{72}$ (3) $\frac{6}{18}$ (4) $\frac{4}{9}$
- ()21. 「 $\frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4}$ 」等於
 (1) $\frac{7}{12}$ (2) $\frac{1}{2}$ (3)1 (4) $1\frac{5}{7}$
- ()22. 「 0.16×1.806 」的積等於下列哪一式的積？
 (1) 0.16×18.06 (2) 0.16×1806 (3) 1.6×0.1806 (4) 0.16×180.6
- ()23. 下列算式中，積比被乘數小的是哪一個？
 (1) $\frac{7}{8} \times 1\frac{1}{2}$ (2) $4\frac{1}{5} \times \frac{5}{6}$ (3) $1\frac{3}{4} \times \frac{7}{5}$ (4) $\frac{3}{3} \times \frac{4}{4}$
- ()24. 「 $\frac{4}{5} \div 3\frac{1}{3}$ 」=
 (1) $\frac{6}{25}$ (2)5 (3) $2\frac{2}{3}$ (4)以上答案都不對
- ()25. 想排成每邊 10 個石頭的正方形，需要多少個石頭？

- (1)40 個 (2)38 個 (3)36 個 (4)32 個
- ()26. 「 $\left(1-\frac{3}{7}\times 1\frac{5}{9}\right)\div\frac{1}{3}=?$ 」
- (1) $\frac{1}{3}$ (2) $\frac{2}{3}$ (3) $\frac{1}{9}$ (4)1
- ()27. 「 $3\frac{4}{5}\times 0.55+3\frac{4}{5}\times 0.45$ 」怎樣計算比較簡便？
- (1) $3\frac{4}{5}\times(0.55+0.45)$ (2) $(3\frac{4}{5}\times 0.55)+(3\frac{4}{5}\times 0.45)$
 (3) $3\frac{4}{5}\times(0.55\times 0.45)$ (4) $(3\frac{4}{5}\times 0.45)+(3\frac{4}{5}\times 0.55)$
- ()28.西瓜一個吃去一半的 $\frac{2}{3}$ ，剩下多少？
- (1) $\frac{1}{2}$ (2) $\frac{1}{3}$ (3) $\frac{2}{3}$ (4) $\frac{1}{5}$
- ()29.48 個十加 12 個十是多少？
- (1)50 (2)60 (3)500 (4)600
- ()30.一打鉛筆 12 枝，媽媽買了 5 打，用去 2 打，剩幾枝鉛筆？
- (1)60 枝 (2)36 枝 (3)24 枝 (4)3 枝
- ()31.一架遙控飛機 245 元，哥哥想買 2 架，但是他只帶一百元鈔票，要付幾張才夠？
- (1)3 張 (2)4 張 (3)5 張 (4)6 張
- ()32.一個箱子可放 16 本書，12 個箱子可放幾本書？
- (1) $16\times 12=192$ (2) $16\times 12=180$ (3) $16+12=28$ (4) $16-12=4$
- ()33. $1234\times 46=56764$ ，那麼 $12.34\times 46=$
- (1)567640 (2)5676.4 (3)567.64 (4)56.764
- ()34.養雞場的雞蛋 10 公斤裝成一箱出售。某日產量為 34858 公斤，共有幾箱雞蛋可出售？
- (1)3485 (2)3486 (3)3484 (4)3487 箱
- ()35.杯子一個 8 元，水壺 1 個 120 元，買 5 個杯子和 1 個水壺，共要多少元？
- (1) $120\div 8\div 5$ (2) $8\times 5+120\times 1$ (3) $120\div 5+8\times 1$ (4) $120\times 8\div 5$
- ()36.梨子五個 120 元，買八個要多少元？
- (1)600 元 (2)240 元 (3)150 元 (4)192 元
- ()37.6 個 1、0 個 0.01、2 個 0.1、4 個 0.001 是
- (1)6.204 (2)6.024 (3)6.402 (4)6.24
- ()38.池塘周圍有 8 棵樹，圍成一圈，樹與樹之間各放了一張椅子，若每張椅子都坐三個人，那麼共有多少人？
- (1)16 人 (2)24 人 (3)32 人 (4)40 人
- ()39.計算 $5.08\div 2.4$ 的商是 2.1，那麼餘數是
- (1)0.004 (2)0.04 (3)0.4 (4)4

()40.蘋果 9 個重 4 公斤，3 個重多少公斤？

- (1) $\frac{3}{4}$ (2) $1\frac{1}{3}$ (3) $2\frac{1}{4}$ (4) $6\frac{3}{4}$

二、試題概念表

題	概念代號	題號	概念代號	題號	概念代號	題號	概念代號
1	1,	11	1,6,	21	2,	31	1,5,7,
2	1,	12	3,	22	3,	32	1,
3	2,3,	13	1,	23	2,	33	1,3,4,
4	1,2,	14	1,	24	3,	34	1,5,7,
5	1,5,	15	1,3,	25	1,5,	35	1,5,
6	1,2,	16	2,5,	26	2,	36	1,5,
7	1,6,	17	1,7,	27	2,3,4,	37	3,
8	1,	18	2,	28	1,2,	38	1,5,
9	1,4,	19	4,	29	1,	39	3,
10	1,4,	20	2,	30	1,5,	40	2,5,

三、概念名稱表

概念 編號	概念名稱內容
1	整數
2	分數
3	小數
4	因數與倍數
5	解題
6	乘法交換律
7	概數

四、標準答案表

3322443134321121341413213413423131241222

附錄二

乙卷『量與實測』測驗

一、試題內容

數學綜合測驗乙卷(量與實測)

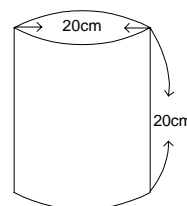
各位小朋友：

本測驗共有 40 題數學問題，旨在測量你的數學科綜合知識，每題只有一個正確答案或較佳的答案，作答時，請將你選擇的答案直接填入括弧中，謝謝你的合作！此外請記得填上校名、姓名、班級、座號喔！

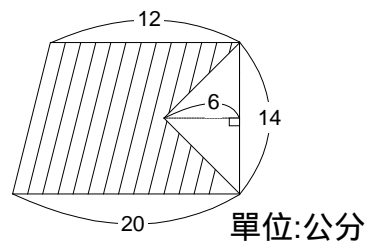
學校：_____國小 班級：六年__班 姓名：_____ 座號：__號

- () 1. 香蕉和蘋果合起來共重 950 公克，只知香蕉重 450 公克，問蘋果有多重？
(1) 500 公克 (2) 950 公克 (3) 450 公克 (4) 1400 公克
- () 2. 小明量報紙的長度，用 15 公分長的尺量了兩次，第三次量得剩下的長是 9 公分，報紙長多少公分？
(1) 24 公分 (2) 30 公分 (3) 39 公分 (4) 48 公分
- () 3. 小傑面對 960 公尺遠的山谷喊叫，6 秒後聽到回音，聲音傳播的秒速約多少？
(1) 640 公尺 (2) 320 公尺 (3) 160 公尺 (4) 80 公尺
- () 4. 容積 6 公升是 20 立方公分的幾倍？
(1) 3000 倍 (2) 300 倍 (3) 30 倍 (4) 3 倍
- () 5. 長方體的長變為 5 倍，寬變為四倍，高變為一半，體積變為原來的多少倍？
(1) 5 倍 (2) 4 倍 (3) 10 倍 (4) 20 倍
- () 6. 小香從昨天下午 10 點睡到今天上午 6 點，她睡了多少小時？
(1) 8 (2) 6 (3) 10 (4) 16
- () 7. 一個正方形紙盒，一個面的面積是 15 平方公分，完成這個紙盒，至少需要多少的紙？(黏貼處面積不計)
(1) 60 平方公分 (2) 90 平方公分 (3) 30 平方公分 (4) 15 平方公分
- () 8. 不能正好剪成二個全等三角形的是？
(1) 正方形 (2) 長方形 (3) 梯形 (4) 平行四邊形
- () 9. 正方體邊長 8 公分，長方體長 9 公分，寬 8 公分，高 7 公分，哪一個體積大？
(1) 正方體大 (2) 長方體大 (3) 一樣大 (4) 不能比較
- () 10. 已知長方體的容積是 720 立方公尺，裡面的長是 8 公尺，寬是 9 公尺，裡面的高是多少公尺？
(1) 7.2 公尺 (2) 10 公尺 (3) 80 公尺 (4) 90 公尺
- () 11. 正方體魚缸一個，裡面每邊長 20 公分，裝了兩條魚，拿掉魚之後水深變為 18 公分，請問每條魚的體積是多少？
(1) 180 立方公分 (2) 300 立方公分
(3) 400 立方公分 (4) 800 立方公分

- () 12. 五年級進行大隊比賽，各班花得時間如下：一班 15 分 13 秒，二班 $15\frac{1}{3}$ 分，三班 15.3 分，四班 903 秒，請問哪一班是優勝？
 (1) 五年一班 (2) 五年二班 (3) 五年三班 (4) 五年四班
- () 13. 下圖是一張平行四邊形的紙，其面積是多少？
 (1) 48 平方公分 (2) 54 平方公分 (3) 72 平方公分 (4) 432 平方公分
- () 14. 大小兩個正方體，小的體積是 10 立方公尺，大的邊長是小的 3 倍，則大正方體的體積是多少？
 (1) 27 立方公尺 (2) 30 立方公尺 (3) 90 立方公尺 (4) 270 立方公尺
- () 15. 想要做一個如右圖的空心圓柱，至少需要多大張的紙？（黏合處不算）
 (1) 628 平方公分 (2) 1256 平方公分
 (3) 6280 平方公分 (4) 400 平方公分



- () 16. 一公斤的棉花和一公斤的鐵，哪一個比較重？
 (1) 棉花 (2) 鐵 (3) 一樣重 (4) 不一定
- () 17. 長方體的長、寬、高都增為原來的 5 倍時，體積是原來的？
 (1) 5 倍 (2) 25 倍 (3) 125 倍 (4) 150 倍
- () 18. 小英和同學約好乘上午 10 時 18 分開的火車，小英到車站要走 25 分，如果想在開車前 18 分到車站，最遲要幾點幾分出門？
 (1) 9 時 43 分 (2) 10 時 (3) 9 時 30 分 (4) 9 時 40 分
- () 19. 邊長 50 公釐的正方形，面積是？
 (1) 2500 公分 (2) 25 平方公分 (3) 25 平方公尺 (4) 2500 公釐
- () 20. 躲避球比賽，五場共用去 2 時 30 分，平均比賽一場用多少時間？
 (1) 30 分 (2) 40 分 (3) 45 分 (4) 50 分
- () 21. 如下圖，斜線部分的面積是多少平方公分？



- (1) 42 (2) 140 (3) 182 (4) 2240
- () 22. 柱體表面積的求法，等於下列哪一式？
 (1) 底面積+側面積 (2) 底面的周長 x 柱體的高
 (3) 底面積 x 2+側面積 (4) 側面積 x 2+底面積
- () 23. 有一正方體，邊長總和是 36 公分，此正方體的體積是多少立方公分？

- (1)9 (2)12 (3)27 (4)144
- ()24. 正方體每邊長增為十倍時，其體積增為幾倍？
 (1)1 倍 (2)10 倍 (3)100 倍 (4)1000 倍
- ()25. 底面積 6 平方公尺，高 4 公尺的三角柱，體積是多少立方公尺？
 (1)12 (2)24 (3)10 (4)36
- ()26. 正方形的邊長是 6 公尺的 $\frac{1}{10}$ 縮圖，面積是多少平方公分？
 (1)3.6 (2)0.36 (3)3600 (4)360000
- ()27. 直角三角型的五倍擴大圖，下列哪一項敘述是對的？
 (1)各角的對應角都擴大五倍
 (2)各對應邊相等
 (3)各對應角相等
 (4)各對應邊的比值不等
- ()28. 圓柱體茶葉筒一個，底面半徑為 5 公分，高 20 公分，求表面積多少平方公分？
 (1)100 (2)785 (3)628 (4)78.5
- ()29. 每邊長 10 公分的正方體木箱一個，表面積是多少平方公分？
 (1)10 (2)100 (3)600 (4)1000
- ()30. 下列哪一個圖形既是線對稱也是點對稱？
 (1)三角形 (2)梯形 (3)圓形 (4)平行四邊形
- ()31. 蘋果 9 個重 4 公斤，3 個重多少公斤？
 (1) $\frac{3}{4}$ (2) $1\frac{1}{3}$ (3) $2\frac{1}{4}$ (4) $6\frac{3}{4}$
- ()32. 蜜餞一包重 $\frac{2}{5}$ 公斤，現有 4 包，平分給 3 人，每人可得多少公斤？
 (1) $\frac{2}{15}$ (2) $\frac{8}{15}$ (3) $1\frac{1}{5}$ (4) $4\frac{4}{5}$
- ()33. 小圓半徑是大圓半徑的一半，則大圓面積是小圓面積的幾倍？
 (1)2 (2)4 (3)6 (4)8
- ()34. 下列哪一個圖形不是平行四邊形的一種？
 (1)正方形 (2)長方形 (3)菱形 (4)梯形
- ()35. 容積 6 公升是 20 立方公分的
 (1)3000 倍 (2)300 倍 (3)30 倍 (4)3 倍
- ()36. 把圓形圖等分成十分，其中 6 分是表示
 (1)600% (2)60% (3)6% (4)0.6%
- ()37. 7 公尺 7 公分 =
 (1)707 公尺 (2)7.7 公尺 (3)7.07 公尺 (4)770 公分
- ()38. 有一座橋，用 1.82 公尺長的木棒去量，剛好量 25 次，這座橋的長度是幾公尺？

- (1)45.5 公尺 (2)50 公尺 (3)35.5 公尺 (4) 50.5 公尺
- ()39.什麼圖形有一雙對邊互相平行？
 (1)正方形 (2)梯形 (3)平行四邊形 (4)以上皆有
- ()40.正方體邊長 8 公分，長方體長 9 公分，寬 8 公分，高 7 公分，哪一個體積大？
 (1)正方體大 (2)長方體大 (3)一樣大 (4)不能比較

二、試題概念表

	概念代號	題號	概念代號	題號	概念代號	題號	概念代號
	4,17,	11	4,5,13,14,	21	6,8,13,	31	1,4,17,
	18,	12	1,2,15,	22	7,12,13,16,	32	1,4,17,
	4,15,18,	13	10,13,	23	5,13,14,16,	33	7,13,19,
	14,	14	5,14,19,	24	5,14,	34	5,8,9,10,
	5,14,18,	15	7,12,13,16,	25	2,11,14,	35	14,
	4,15,	16	17,	26	5,13,19,	36	3,7,
	5,13,16,	17	5,13,14,	27	6,13,19,	37	18,
	5,6,8,10,	18	4,15,	28	6,12,13,16,	38	2,18,
	5,14,	19	5,13,	29	5,16,	39	5,8,10,
	5,13,14,	20	15,	30	6,7,8,10,	40	5,14,

三、概念名稱表

概念編號	概念名稱內容	概念編號	概念名稱內容
1	分數	11	角柱與角錐
2	小數	12	圓柱
3	百分比	13	面積的計算
4	解題	14	體積
5	矩形	15	時間
6	三角形	16	表面積
7	圓形	17	重量
8	梯形	18	長度
9	菱形	19	縮圖和比例尺
10	平行四邊形		

四、標準答案表

1322312312342433334133342332332224223141

附錄三

丙卷『綜合測驗』測驗

一、試題內容

數學綜合測驗丙卷

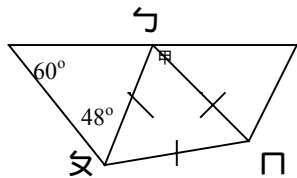
(綜合測驗，圖形與空間，統計圖表，數量關係)

各位小朋友：

本測驗共有 40 題數學問題，旨在測量你的數學科綜合知識，每題只有一個正確答案或較佳的答案，作答時，請將你選擇的答案直接填入括弧中，謝謝你的合作！此外請記得填上校名、姓名、班級、座號喔！

學校：_____ 國小 班級：六年__班 姓名：_____ 座號：__號

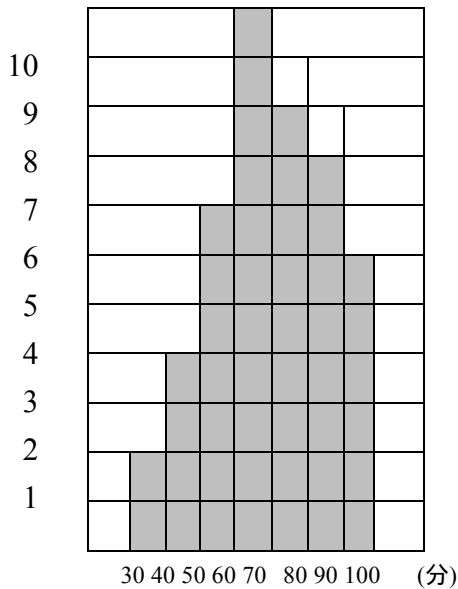
- () 1. 小圓半徑是大圓半徑的一半，則大圓面積是小圓面積的幾倍？
 (2) 2 (2) 4 (3) 6 (4) 8
- () 2. 下列哪個圖形沒有互相平行的邊？
 (1) 菱形 (2) 長方形 (3) 三角形 (4) 梯形
- () 3. 把一個圓形經中心線對折再對折，折出的角度是幾度？
 (1) 90 (2) 120 (3) 160 (4) 180
- () 4. 什麼圖形有一雙對邊互相平行？
 (1) 正方形 (2) 梯形 (3) 平行四邊形 (4) 以上皆有
- () 5. 右圖中，甲角 + 乙角 + 丙角是幾度？
 (2) 90 (2) 120 (3) 150 (4) 180
- () 6. 下圖斜線面積是多少平方公尺？
 (1) 21.5 (2) 78.5 (3) 100 (4) 214
- () 7. 正九邊形的圓心角與每一內角分別是幾度？
 (1) 90、180 (2) 40、360 (3) 140、40 (4) 40、140
- () 8. 如下圖，求出甲角的度數(△為正三角形)



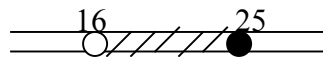
- () 9. 甲圖是乙圖的 $\frac{1}{2}$ 縮圖，那麼乙圖的面積是甲圖的幾倍？
 (1) $\frac{1}{2}$ (2) $\frac{1}{4}$ (3) 2 (4) 4
- () 10. 下列各形體中，那一個沒有互相平行的面？
 (1) 三角錐 (2) 三角柱 (3) 四角柱 (4) 圓柱

- () 11. 十角柱比十角錐多了幾個頂點？
 (1)1 (2)5 (3)9 (4)10
- () 12. 要做一個正方形的燈籠骨架，需要用到幾根一樣長的竹籤？
 (1)4 (2)8 (3)10 (4)12
- () 13. 長方體中相對的面是？
 (1)形狀大小相同，互相垂直 (2)形狀大小相同，互相平行
 (3)形狀大小不同，互相垂直 (4)形狀大小不同，互相平行
- () 14. 下列哪一個圖形不是平行四邊形的一種？
 (1)正方形 (2)長方形 (3)菱形 (4)梯形
- () 15. 下列那一個圖形既是線對稱也是點對稱？
 (1)三角形 (2)梯形 (3)圓形 (4)平行四邊形
- () 16. 下圖中，未滿 60 分的有幾人？
 (1)6 (2)11 (3)13 (4)24

(人)

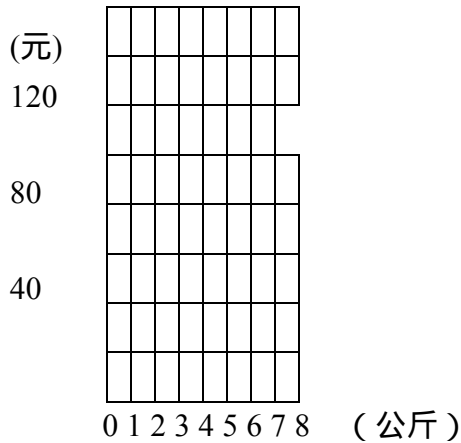


- () 17. 右圖中，所包括的整數有幾個？
 (1)7 (2)8 (3)9 (4)10

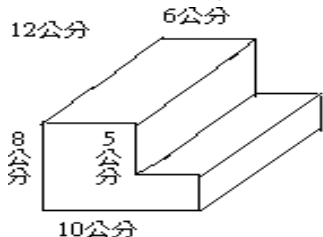


- () 18. 三十幾和四十幾合起來，不可能是下列那一個數？
 (1)88 (2)80 (3)75 (4)70
- () 19. 折線圖上的 0 人到 20 人之間劃成 10 小格，每小格表示？
 (1)1 人 (2)2 人 (3)5 人 (4)10 人
- () 20. 曉芳平時考試前 3 次的平均分數為 88 分，下次要考幾分，平均才能達到 90 分？
 (1)90 (2)92 (3)94 (4)96

- () 21. 下圖中，10 公斤是多少元？
 (2) 180 元 (2) 200 元 (3) 400 元 (4) 無法得知



- () 22. 有甲、乙兩數，甲數是乙數的 $\frac{2}{3}$ (甲、乙都不是 0)，那麼乙數是甲數的幾倍？
 (2) $1\frac{2}{3}$ (2) $1\frac{1}{2}$ (3) $1\frac{1}{3}$ (4) $\frac{3}{5}$
- () 23. 甲繩的長是乙繩的 5 倍，那麼兩繩的差相當於甲繩的幾倍？
 (1) 4 (2) 5 (3) $\frac{1}{5}$ (4) $\frac{4}{5}$
- () 24. 把圓形圖等分成十分，其中的 6 分是表示？
 (1) 600% (2) 60% (3) 6% (4) 0.6%
- () 25. 同時投擲一枚拾圓硬幣和一枚伍圓硬幣，出現的情形共有幾種？
 (1) 2 (2) 3 (3) 4 (4) 6
- () 26. 以下何者的關係成反比？
 (1) 圓形的周長和面積 (2) 哥哥的體重和身高 (3) 面積一定的長度 (4) 長方形的邊長和周長
- () 27. 母子和 $\div (1 + \text{比值}) = ?$
 (1) 母子和 (2) 母子差 (3) 母數 (4) 子數
- () 28. 購買 100 元的東西，另加 5% 的營業稅，應負多少元？
 (1) 50 (2) 105 (3) 150 (4) 500
- () 29. 一件工程，甲三天可完成，乙四天可完成，甲乙兩人工作量的比是多少？
 (1) 3:4 (2) 4:3 (3) 9:16 (4) 16:9
- () 30. 成正比的關係圖中，點與點的連線是？
 (1) 直線 (2) 曲線 (3) 拋物線 (4) 弧線
- () 31. 50 克:1 公斤化成簡單的整數比，應是多少？
 (1) 50:1 (2) 1:50 (3) 1:20 (4) 1:200
- () 32. 參加合唱團男生和女生人數的比是 3:5，女生有 30 人，男生有多少人？
 (1) 15 人 (2) 18 人 (3) 36 人 (4) 50 人

- () 33. 求 $1\frac{3}{5} : \frac{2}{3}$ 的比值是多少？
 (1) $2\frac{2}{5}$ (2) $2\frac{4}{15}$ (3) $1\frac{1}{15}$ (4) $\frac{14}{15}$
- () 34. 甲乙兩數成反比時，下列那一個說明是錯的？
 (1) 甲成為 2 倍，3 倍，乙變為 $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}$
 (2) 甲成為 $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}$ ，乙成為 2 倍，3 倍
 (3) 甲 \times 乙 = 常數
 (4) 關係圖的對應點與對應點的連線是一直線
- () 35. 五角錐有幾個邊？
 (1) 15 (2) 12 (3) 10 (4) 6
- () 36. 正六角柱有幾雙平行的面？
 (1) 1 (2) 2 (3) 3 (4) 4
- () 37. 下列那一個不是 $\frac{12}{36}$ 的等值分數？
 (1) $\frac{1}{3}$ (2) $\frac{24}{72}$ (3) $\frac{6}{18}$ (4) $\frac{4}{9}$
- () 38. 不能正好剪成二個全等三角形的是？
 (1) 正方形 (2) 長方形 (3) 梯形 (4) 平行四邊形
- () 39. 圍成長方體的面是什麼形狀？
 (1) 都是正方形 (2) 都是長方形 (3) 長方形或正方形 (4) 都是梯形
- () 40. 像下圖的臺階，體積是幾立方公分？

 (1) 132 平方公分 (2) 1320 平方公分 (3) 720 平方公分 (4) 960 平方公分

二、試題概念表

題	概念代號	題號	概念代號	題號	概念代號	題號	概念代號
1	1,	11	6,	21	7,	31	9,10,
2	2,	12	6,	22	9,	32	9,
3	3,	13	6,	23	9,	33	9,
4	2,	14	2,	24	3,	34	9,
5	4,	15	2,	25	7,	35	6,
6	1,	16	7,	26	1,2,3,10,	36	6,
7	3,4,	17	8,	27	9,	37	9,
8	4,	18	8,	28	11,	38	2,

9	1,5,	19	7,	29	9,	39	2,
10	2,6,	20	7,	30	9,	40	2,6,

三、概念名稱表

概念 編號	概念名稱內容
1	面積
2	多邊形
3	圓與球
4	角度
5	縮圖和比例尺
6	立體圖形
7	統計
8	概數
9	比的概念
10	重量
11	百分比

四、標準答案表

2314414231342413342422443332213213344333