

# 知識結構的測量： 徑路搜尋法與概念構圖法的比較\*

宋德忠

林世華

陳淑芬

張國恩

國立台灣師範大學  
教育心理與輔導學系國立台灣師範大學  
教育心理與輔導學系台北市  
育達商職國立台灣師範大學  
資訊教育學系

徑路搜尋法 (Pathfinder) 是近年來應用十分廣泛的知識結構測量方法，概念構圖法 (concept mapping) 則是理論基礎十分完備的教學和評量策略。本研究嘗試將概念構圖法中「引出知識」和「表徵知識結構」的步驟、徑路搜尋法中的知識結構評量算則 (C指數) 以及 Novak & Gowin (1984) 的概念構圖計分法等加以結合，設計出概念構圖相似指數 (CMC) 及 Novak-Gowin 指數 (N-G)。本研究以 153 名大學生為對象，以教育心理學的「學習理論」為材料，評估概念構圖法的兩個知識結構指數 CMC 及 N-G，和徑路搜尋法的兩個知識結構指數 PFC 及 PRX，對學習成就的預測效果、對不同成就學生的區別效果、與各指數的重疊與獨立性。結果有以下的發現：1. 以徑路搜尋法求得的知識結構指數對學習成就的解釋量，PFC 為 36%，PRX 為 16%；以概念構圖法求得的兩個指數對學習成就的解釋量，CMC 為 36%，N-G 為 23%。兩種測量方法所提供的知識結構指數具有可接受的預測效度。2. 應用四種知識結構指數，PFC、PRX、CMC 及 N-G 來區別不同學習成就的學生時，PRX 並沒有顯著的區別力。但 PFC、CMC 及 N-G 等三種指數可以有效地區別不同學習成就的學生，準確性達 80%。3. 藉由不同的引出知識、表徵知識結構和評量知識結構等步驟求出的 PFC、CMC 和 N-G 指數，彼此間具有中度的相關。以淨相關分析排除某一指數的影響效果後，其他兩種指數仍能維持與學習成就的顯著相關。可見以不同方法求得的知識結構指數彼此有其獨立的成份存在，未必為其他指數的成份所能涵括。

關鍵詞：知識結構測量、徑路搜尋、概念構圖

## 緒 論

由於認知及教學心理學蓬勃發展，學習理論、教學策略及評量方法等在近年來都有新的

\*本研究之經費獲國科會補助 (NSC87-2511-S-003-042)；Pathfinder 相關資料的分析承蒙屏東科技大學江淑卿教授協助；論文初稿承蒙兩位審查者提供寶貴修正意見，謹此一併致謝。



觀念或作法 (Glaser & Bassok, 1989; Snow & Swanson, 1992)。不同學習理論或教學策略對於學習成果所側重的面相 (facet) 未必相同，為因應不同面相的學習成果的測量，「認知測量」 (cognitive assessment) 乃在近年來受到更多的重視 (Royer, Cisero, & Carlo, 1993; Nichols, Chipman, & Brennan, 1995)。Royer 等人認為認知測量大致可以區分為六個向度，分別為：知識組織與結構，問題表徵的深度，心智模型的性質，解決問題的效率，認知技能自動化的程度，以及後設認知知識等。其中，知識組織與結構的測量，早在認知心理學發軔之初，即受到學者的注意 (Shepard, 1962)，近年來由於新的技術不斷發展，更使得此一主題的研究方興未艾。然而在探討知識結構測量時，不同研究者在理論、技術與歷程上各有其著重之處，因此造成知識測量在實施時各有其優缺點存在 (Goldsmith, Johnson, & Acton, 1991; Ruiz-Primo & Shavelson, 1996)，本研究的目的即在於探討以「徑路搜尋法」 (Pathfinder, Goldsmith et al., 1991) 及「概念構圖法」 (concept mapping, Novak & Gowin, 1984; 余民寧, 1997; 宋德忠, 陳淑芬和張國恩, 1998) 兩種取向在知識結構測量上的有效性。

## 文獻探討

### 一、知識結構的意涵及其測量

人類的知識與技能習得後，在腦中是以何種方式儲存的？各種概念之間的關係又是如何？此種關於「知識表徵」 (knowledge representation) 的問題，向來是認知心理學家們所關心的，而由於理論不斷地演變，傳統「訊息處理論」與近年來「平行分佈處理論」 (parallel distributed processing, Rumelhart & McClelland, 1986; 宋德忠、林清山, 1997) 對知識表徵的看法有十分大的差異。基本上，在探討知識結構測量時，主要沿襲訊息處理論對知識表徵的看法。例如 Collins 與 Loftus (1975) 提出「激發蔓延」 (activation spreading) 模式，認為在人類的長期記憶中，是以概念節點 (concept node) 及其交互連結所構成的語意網路 (semantic network)，來代表個體的認知結構。Anderson (1983, 1995) 則提出 ACT 理論，認為人類知識可以分為「陳述性知識」及「程序性知識」，陳述性知識可以用概念節點及關係詞所形成的「命題」 (proposition) 及命題所構成的語意網路加以表示，而程序性知識的表徵方式則為「生成規則」 (production rules)。有的學者認為知識結構是靜態的，較偏向 Anderson 所稱的「陳述性知識」 (Royer et al., 1993)。雖然不同的學者對於人類知識表徵的方式有不同的解釋，但大抵上有一個共識，即特定知識領域內，概念與概念之間，都具有某種交互連結的關係，因而形成一種組織上的特性，此種概念與概念間的組織特性，可稱之為知識結構 (knowledge structure)。從知識結構的組織特性中，可以看出不同的專技程度 (expertise)，例如專家在某特定領域的知識結構可能比一個生手更為一貫 (coherent)，更為抽象 (abstract) (Chi, Glaser, & Rees, 1982)。由於知識結構的特性可以反應出不同的專技程度或學習狀態，因此如何了解或評量個體的知識結構，乃成為頗值得探討的問題。

Goldsmith, Johnson, & Acton (1991) 認為測量知識結構有三個步驟，分別為「引出知識」 (knowledge elicitation)、「表徵知識結構」 (knowledge representation)、以及「評量知識結構」 (evaluation of knowledge representation)。

「引出知識」乃指以某種方法讓個體表現出對某些概念，以及對概念間關係的了解情形。常用以引出知識的方法有「語詞聯想法」 (words association)，指要求受試者針對某些刺激

說出他所聯想到的概念 (Chi, Glaser, & Rees, 1982)；「卡片分類法」(sorting)，要求受試者將寫在卡片上的概念加以分類；或是「接近性判斷法」(similarity judgement)，要求受試者直接就兩兩配對的概念，判斷其語意接近的情形 (Shepard & Chipman, 1970; Goldsmith et al., 1991)。上述各種知識引出方法，其目的大致上是為了解每個概念配對之間的接近程度，或取得其接近性資料 (proximity data)，以作進一步的分析。「表徵知識結構」乃指將被引出的知識以某種表徵方法找出其結構。學者們曾使用「多向度量尺法」(multidimensional scaling, MDS) 來處理接近性的資料以產生空間的構形，進而找出概念間的結構關係 (Shepard & Chipman, 1970)。Tversky & Hutchinson (1986) 則認為，使用「增生樹狀圖」(additive tree) 更能代表知識的空間構形。Goldsmith 等人 (Goldsmith et al., 1991; Acton, Johnson, & Goldsmith, 1994) 則發展出「徑路搜尋法」(Pathfinder)，用以轉換概念間的接近性資料，找出知識結構。

至於「評量知識結構」則是將經轉化後的知識表徵和某種「標準」加以比較，進而了解某個知識結構與該標準的差異有多大。建立「標準」的來源可能為專家的知識結構，或者特定知識領域的內容。而比較兩個知識結構時所使用的算則 (algorithms) 也是許多學者所關心的，例如採用 MDS 法來比較兩種結構間的相近性時，乃是求出兩個結構之內，不同概念配對間的歐幾里得距離 (Euclidean distance)，然後再求得兩個結構之間的概念距離之相關係數，該相關係數的大小即代表兩個知識結構接近的程度。Goldsmith 等人 (1991) 則依據集合理論 (set theory) 設計出「相似性指數」(closeness index，簡稱 C 指數) 以作為評量兩個知識結構差異的指標。Novak 與 Gowin (1984) 則依據概念構圖的原理，設計出概念圖比對時的計分標準，以比較兩個概念結構圖的異同，作為評量知識結構的依據。

## 二、徑路搜尋法在知識結構測量上的應用

Goldsmith 等學者 (Acton, Johnson, & Goldsmith, 1994; Goldsmith et al., 1991; Johnson, Goldsmith, & Teague, 1994) 有系統地探討徑路搜尋法運用於知識結構測量的可行性。Goldsmith 等人 (1991) 運用 Schvaneveldt 等人 (Schvaneveldt, Durso, & Dearholt, 1989; Schvaneveldt, 1990) 所研發的 Pathfinder 相關軟體，將經由評定量尺所得的概念相近性矩陣，加以轉換成知識結構圖，然後透過專家與生手之結構圖的比較，可以得到三種數值，分別為「圖形的理論距離指數」(graphical theoretical distance, GTD)，指以兩個知識結構圖各概念節點與概念節點之間的距離（以相距節點的數目多少來計算）所求得的相關係數；「相似性指數」(closeness index, PFC)，指以集合理論 (set theory) 計算出兩個知識結構圖各節點共有的鄰近節點 (neighborhood) 之相似程度；「接近性指數」(proximity index, PRX)，指直接用評定量尺法所獲得的概念間接近性資料矩陣 (proximity data matrix) 求得的相關係數（關於以上各指數的詳細計算方法，請參考 Goldsmith et al., 1991；江淑卿，1996；宋德忠等，1998）。

Goldsmith 等人 (1991) 以 40 名大學生為受試者，以心理學研究法的 30 個主要概念為內容，探討由 Pathfinder 及 MDS 所引出的知識結構指數，對於大學生在心理學研究法之期末成績的預測效果。研究結果發現，PFC 指數較 GTD、PRX 及 MDS 等指數有更好的預測力，而且在以淨相關分析時，當 PFC 的效果控制後，GTD 及 PRX 與學期成績的相關均未達顯著，顯示 PFC 包含了 PRX 及 GTD 兩種指數的若干內涵。

由於學生或生手的知識結構分數是經由與專家知識結構比對後而獲得的，因此專家知<sup>9</sup>

結構圖的建立格外重要。Acton, Johnson, & Goldsmith (1994)即特別探討以不同專家知識結構作為生手知識結構的參照標準時，是否會對知識結構的得分及其預測力產生不同的影響。該研究以 61 名大學生為受試，以 24 個電腦程式設計的概念為內容，探討以一名教師的知識結構、六名專家的個別知識結構、六名專家的平均知識結構以及六名高成就學生的平均知識結構作為比對的標準時，所獲得的學生知識結構指數對其學習成就的預測力。研究結果發現，以各專家知識結構計算而得 PFC 指數，專家間的預測力並無顯著差別；但以平均的專家或高成就學生的平均知識結構計算而得的 PFC 指數，較以個別專家或個別學生的知識結構計算而得的 PFC 指數預測力高。

Gomez 等人 (Gomez, Hadfield, & Houser, 1996) 擴充以往 Goldsmith 等人 (1991) 以學科考試成績為效標的研究，探討以 Pathfinder 法作為評量工具時，所測得的「準教師」之數學科內容知識結構及教學知識 (pedagogical knowledge) 結構，對於其「學科學習成績」以及「試教成績」的預測效果。該研究以 53 名修習小學數學教材教法的學生和四名數學專家為研究對象，並以小學數學的 26 個數學概念作為核心概念。研究結果發現以 Pathfinder 求出的知識結構指數可以有效地預測考試成績及教案編寫成績。此外，研究者挑選出知識結構指數最高以及最低的學生各 7 名，作為試教的研究對象。該 14 名學生必須以同學為對象，進行幾個重要主題的教學。結果發現，若將試教成績分成「運算」、「教具運用」、「解釋」及「舉實例」等四項，知識結構指數與「解釋」有明顯的相關，與其他三項則沒有顯著相關。此外，經過淨相關的分析後，知識結構指數在排除「傳統測驗」及「教案寫作」兩項分數的影響之後，仍與「解釋」的成績有明顯的相關。Gomez 等人因此認為知識結構指數中已包含了某些特性，對於試教成績有獨特的解釋力，但卻不是傳統測驗所具有的。特別是傳統測驗著重的是「事實性」的知識，因此無法掌握住概念與概念之間的「關係」，亦即，知識結構圖對於學生整體的概念所構成的心智模型 (mental models) 有較好的掌握。

Johnson, Goldsmith, & Teague (1994) 則探討在知識結構圖的比較時，是以整體結構還是部份結構為比較單位，獲得知識結構指數較具預測力。所謂整體結構乃指以各節點與其他所有相關連的節點作為比較單位（如 A 節點與 B、D、E、F 節點相連，則比較 A、B、D、E、F 形成的結構），而部份結構則指以各節點與其他相關節點之最接近的若干各節點作為比較單位（如僅比較 A、B、D 形成的結構，E、F 則視為鎖碎連結不予重視）。研究者以數學科的重要概念為內容，以大學生為對象，並以其大學入學考試之數學成績為效標，結果發現整體結構比部份結構更能預測入學考試的數學成績。

除上述探討徑路搜尋法的預測效度之相關研究外，Gonzalvo, Canas, & Bajo (1994) 則探討徑路搜尋法應用於測量知識結構改變的可行性。該研究以 72 位大學生為對象，以心理學史的 32 個重要概念為內容，探討學習心理學史前後，受試者在 PFC、GTD 及 MDS 等三個指標上的差異。受試者在學習心理學史之前先對 32 個概念作相似性的評定，並且對各概念作定義性的敘述，以作為前測。經兩個月的學習後，進行與前測相同的後測。實驗結果發現，受試在學習心理學史後的概念改變，明顯地反映在 PFC、GTD 及 MDS 指數的變化上。此外，三種知識結構指數皆對心理學史的學習成績具有顯著的預測力。

江淑卿 (1996) 以小學六年級學生為對象，探討以徑路搜尋法作為小學生科學知識結構的預測效果。結果發現，PFC、GTD 及 PRX 對於小學生的科學文章理解及自然科學期成績有良好的預測效果，且 PFC 在其它兩個指數的影響力排除後仍能有效預測文章理解及學期成績。而當以概念構圖作為教學策略後，學生在知識結構上的改變也可以明顯地在 PFC、



GTD 及 PRX 等指數上反映出來。

### 三、概念構圖法在知識結構測量的應用

所謂的概念圖是由命題 (proposition) 所組成，每一個命題包括兩個概念節點 (concept node) 及概念間的連結語 (relation link)。概念在概念圖中以階層 (hierarchy) 的方式呈現，一般性、概括性的概念排在上層，較特定、具體的概念則排在下層，而最下層往往是最具體的範例。此外，概念叢集 (cluster) 與概念叢集之間可透過「橫向連結」(cross link) 加以連結。由於橫向連結象徵既有概念群之間的新變化，因此可代表概念上的創新或者觀念的新詮釋 (黃台珠, 1994; 1995)。利用概念節點及連詞語可以建構出命題，命題之間則可以結合成特定領域的知識結構。因此，由學習者建構出來的概念圖，可以視為他對某專業領域知識的結構，由該知識結構自然可以看出其理解程度以及是否存有錯誤概念。由於傳統選擇題測驗在評量學習成就上常被批評流於瑣碎，無法測得學習者完整的知識狀態 (Frederiksen & White, 1990)，而概念構圖法強調學習者將其所具備知識以具結構性、組織性、完整性的方式表達出來，可直接就其知識的組織與結構情形，了解其學習狀態。因此，有愈來愈多的學者嘗試以概念構圖法作為新的評量方式 (Anderson & Chiu, 1989; Beyerbach & Smith, 1990; Herl, Baker, & Niemi, 1996; Markham, Mintzes, & Jones, 1994; Novak, 1990; 1991; Novak & Gowin, 1984; 余民寧, 陳嘉成和潘雅芳, 1996; 宋德忠等, 1998; 邱上真, 1989)。

目前以概念構圖對學生知識進行評量，亦與徑路搜尋法類似，可分為結構比較與結構變化兩個方向。結構比較是將學生的概念圖與專家 (教師) 的概念圖相比較，找出異同，進行診斷，或根據學生對概念間關係描述的正確性、概念間的階層性及組織性加以給分。此一取向與 Goldsmith 等人 (1991) 所持的觀念相近，均假定學科知識本身有一潛在結構，學生進行概念構圖時，即表達他們對此一結構的掌握情形，因而可藉概念圖進行評量與診斷。Diekhoff & Diekhoff (1982) 即曾以概念構圖來診斷大學生學習生物課程的錯誤概念，而 Novak & Gowin (1984) 則制定出以概念構圖法進行評量時的評分原則，依據學生與專家在命題、階層、橫向連結及舉例部份的得分，來判斷兩個概念圖間一致程度的高低。余民寧、陳嘉成和潘雅芳 (1996) 以 Novak & Gowin (1984) 的計分標準為藍圖，探討概念構圖得分對於學生在「心理測驗」學習成就上的預測能力，結果發現概念構圖的評分成績對於學習成就有 26.8% 的解釋力。邱上真 (1989) 修改 Novak & Gowin 的計分方式，以生物科「綠色植物葉子的結構與功能」為學習教材，考驗不同能力的學生應用概念構圖的學習成效以及概念圖作為評量工具的適切性。研究結果顯示，概念構圖評量可以敏感地分辨教學方式、考試方式與智力水準不同所造成的差異。Herl, Baker, & Niemi (1996) 認為，目前有不少以概念構圖為評量工具的作法，但其缺點在於缺乏適當的專家模型，以及較好的計分法則，使得在生手與專家的結果之比較上，顯得太過僵化。當前重要的問題之一即在於建立概念圖的語義內容之計分標準。該研究以 301 名高二學生為對象，以美國歷史科的「大蕭條」為內容，探討超媒體式概念構圖在測量學生知識結構的效果。學生要進行五種作業，一為自 17 個概念及 10 個連結語中，建立概念圖，二為問答題的考試，三為自 17 個概念中取 10 個概念作接近性評量，四為先前知識測量 (問答題考試)，五為對於大蕭條文獻的閱讀理解評量。有關概念圖的評量方法分為兩個部份：一為連結語的評量，採用嚴格或類別評量，前者為學生使用的連結語須與專家所用相同，才能得分；後者為學生使用之連結語若與專家使用者屬同一類，如

為「是…部份」與「屬於…」，可視為同一類而給分。概念圖的第二個評量方式為「知識結構」，採用 Goldsmith 等人所採用的 C 指數。研究結果發現：1. 專家比學生在語意內容及語意結構上得分明顯較高。2. 若學生在相似評定作業表現較好，則他們在概念圖上也會建構出較為正確的語意結構。3. 語意內容知識與語意結構知識有很高的相關 (.84)。4. 學生在概念圖之語意內容與語意結構得分，均與認知結構有顯著相關，顯見以概念構圖作為評量方式，可以測量到認知結構的不同面向，此點可由線性結構模式中兩作業的分數與認知結構均有明顯相關而得知。有鑑於傳統紙筆式概念構圖系統的限制，以及為加強概念構圖應用於學習和評量的效果，張國恩、陳世旺和宋德忠 (1997) 乃發展「電腦化概念構圖系統」，同時納入 Goldsmith 等的 C 指數和 Novak & Gowin 的概念圖計分法作為設計評量和回饋模組的參考。Chang, Chen, & Sung (1998) 以國一學生為研究對象，以生物科的「協調」及「生殖」為內容，比較不同的概念構圖版本（自行構圖與提供架構），以及紙筆式概念構圖三種方式，對學生的生物學習輔助效果。結果發現，電腦化提供架構概念構圖方式對生物科的輔助學習效果優於電腦化自行構圖方式以及紙筆式的自行構圖方式，而電腦化的自行構圖方式與紙筆式的自行構圖方式在輔助的效果上則沒有差別。宋德忠等 (1998) 以大學生為對象，以教育心理學的「學習」為內容，探討概念構圖系統應用於學習成果評量的效果。結果發現，採用 Goldsmith 等人 (1991) 的 C 指數作為知識結構的評量指標時，對學習成績的預測力要優於採用 Novak & Gowin (1984) 的概念圖評分指標（N-G 指數）。在該研究中也發現，雖然 C 指數與 N-G 指數皆對學習成就具有某種程度的解釋力，但兩者的解釋力似乎有過低的現象，而此現象也與 Herl 等人 (1996) 的研究發現相近似。

概念構圖應用在評量知識結構的變化，則是受到建構主義的影響，認為學習是知識建構的歷程，而構圖的改變，正可反應知識結構改變與建構的歷程。採用此一取向的研究者較不著重於學生概念圖與專家概念圖的比較。他們較強調學生個別構圖的歷程，希望藉由此歷程讓學生察覺到自身知識改變的特性，進而察覺與修正自身的潛在知識結構。Beyerbach & Smith (1990) 即應用概念構圖作為評量職前教師省察自身教學知識變化的情形。他們以 7 位職前教師為對象，探討他們在一年內對「有效的教學」此一科目的概念變化情形，以及這些教師透過此一過程對知識結構變化的察覺。其結果發現，透過不同時間的概念圖比較，學生的確較能反省自己的學習歷程，並將此學習歷程轉移到教學的情境中。此外，Beyerbach (1988) 發現，隨著教學時間的進展，學生的概念圖愈來愈分化、階層化，與教師概念圖的相似性愈來愈高，而同學之間概念相似處也愈來愈多。但即使如此，學生間個別概念圖所展現的獨特性仍非常值得重視。

#### 四、本研究的目的

綜合上述文獻探討可知，以徑路搜尋法或概念構圖法作為知識結構測量的方法，雖然在實施程序和理論基礎上有所不同，但皆獲得不少支持。然而，該兩種方法在應用上卻有若干值得注意之處：

(一) 徑路搜尋法在引出知識的步驟上，採用評定量尺法，由受試者就概念配對進行相似性的評定。此種方式有兩個重要缺點，一為不論專家或生手在評定概念時，都可能遇到概念間「相對近似」而難以判斷的問題。例如，在心理學的「學習理論」中，「增強」和「消弱」的概念內涵是相對（甚至相反）的，但兩者卻同屬於「行為主義」的主要概念之下。因此，「增強」與「消弱」的相近性，較之「增強」與人本學派的「自我實現」，何者較接近？同

樣的，在心理測驗中「信度」與「效度」的概念有很大的不同，卻同屬於「測驗標準化」的重要概念，在相似性的評定上，是很接近，還是完全不相同？此外，由於評定量尺必須對所有可能的概念配對進行比較（例如 20 個概念須進行 190 次的比較），對於受試者來說是極大的負擔。採用概念構圖的知識引出方法，可以避免上述兩個問題，亦即受試者可以直接表示出在不同主要概念之下的兩個次要相對概念，因而避免相似性判斷時「相對接近」的問題。此外，概念構圖直接由受試者就相關的概念表達出關係，而毋須進行所有概念的比較，因此所需花費的時間和精力也較為節省。因此，以繪製概念圖來取代相近性判斷，作為引出知識和表徵知識結構的方法，是否可行，尚有待探討。

(二)在表徵知識結構上，徑路搜尋法運用特定的算則將相近性資料轉換成知識結構圖，Gomez 等 (1994) 認為此概念間所形成的「構形」(configuration) 較傳統測驗更能掌握學習者的心智模型，因此更能代表學習者的知識狀態。但 Gomez 等亦承認，以徑路搜尋法所形成的知識結構圖，概念與概念之間只是「數值」關係，而不是語意關係。因此，在兩概念間即使有關連，但所蘊含的意義卻不易掌握，甚至專家與生手或許對同樣的兩個概念表達有相似的關係強度，但兩者所認定的關係卻大相逕庭。由此可見，以徑路搜尋法所形成的概念圖，由於缺乏概念間的「名稱」(label)，其掌握知識結構中各概念間關係的有效性，或對學習成果的預測力，較之十分重視連結關係的概念構圖，何者較佳？尚待探討。

(三)除了概念間的關係之外，以徑路搜尋法取得的知識結構圖在知識結構的層級上表現也不甚明確，各知識層級代表的概念層次是否會影響知識結構的預測力也頗值得注意。Novak & Gowin (1984) 曾提出同時考慮概念間的關係，概念結構的層級，以及階層之間的橫向連結的計分方法，此種同時考慮知識結構內的概念與階層之關係的計分法則，是否較以集合理論為基礎的計分方法更具預測力？與其他指數相互涵括的情形又是如何？亦值得進一步探討。綜上所述，本研究的目的是在於嘗試結合概念構圖法中引出知識及表徵知識結構的步驟和徑路搜尋法中的知識結構評量算則（C 指數），並應用 Novak & Gowin (1984) 的概念構圖計分法，作為設計電腦化概念構圖的評量與回饋方式。此外亦取得藉由徑路搜尋法求得的相似指數 (PFC) 及接近指數 (PRX)；以及藉由概念構圖法求得概念構圖 C 指數 (CMC) 和 Novak-Gowin 分數 (N-G)，以考驗各指數對於學習成就的預測力和區辨力，以及各指數的成分之間相互重疊或獨立情形如何，以作為未來設計評量系統的進一步參考。

## 方 法

**受試者：**本研究的受試者為 153 名台灣師範大學大學部的學生，男生 67 名，女生 86 名。他們係因修習「教育心理學」課程，應課程要求而參加本研究。

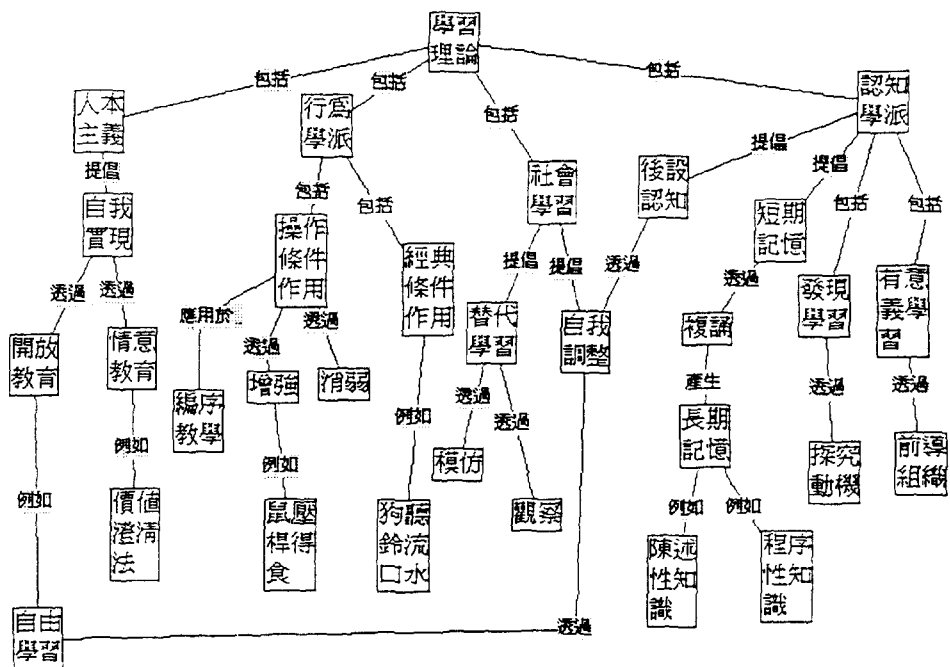
**研究工具：**(一)徑路搜尋法評量工具 (KNOT)：本研究藉由徑路搜尋法來測量學生知識結構的工具為 Schvaneveldt (1994) 所發展的 KNOT 軟體第 4.2 版。該軟體可由受試者直接在螢幕上輸入概念間的接近性評定資料，或者經由紙筆評定後再輸入。輸入的概念接近性資料矩陣可以轉換成概念結構圖，再與專家結構圖（製作方式與學生圖相同）加以比較，求得 PFC、PRX 及 GTD 等知識結構指數。有關 KNOT 軟體轉換相似性資料矩陣為結構圖，以及結構圖之間的比較方法之詳細說明，請參考 Schvaneveldt (1990) 或江淑卿 (1996)。(二)概念構圖系統：本研究用以評量概念圖的工具為張國恩等 (Chang, Chen, & Sung, 1998；宋德忠等，1998) 所設計的「電腦化概念構圖學習系統」(Concept mapping based learn-

ing system)。原系統設計之目的為提供學生以概念構圖為基礎之學習策略與學習環境，並分為「自行構圖」和「提供架構」兩種不同功能的版本，兩種版本對於概念構圖的過程和結果提供不同的回饋與評量方法。本研究使用「自行構圖」版本，學生在系統上對某主題的相關概念和連結語進行構圖後，系統可將學生圖與專家圖進行比對，而獲得以集合理論計算所得的概念構圖 C 指數 (CMC)，以及以 Novak & Gowin (1984) 之概念構圖計分法計算所得的 N-G 指數 (N-G)。有關該系統的架構、功能以及兩種指數的計算方法說明，請參考 Chang 等 (1998) 或宋德忠等 (1998)。

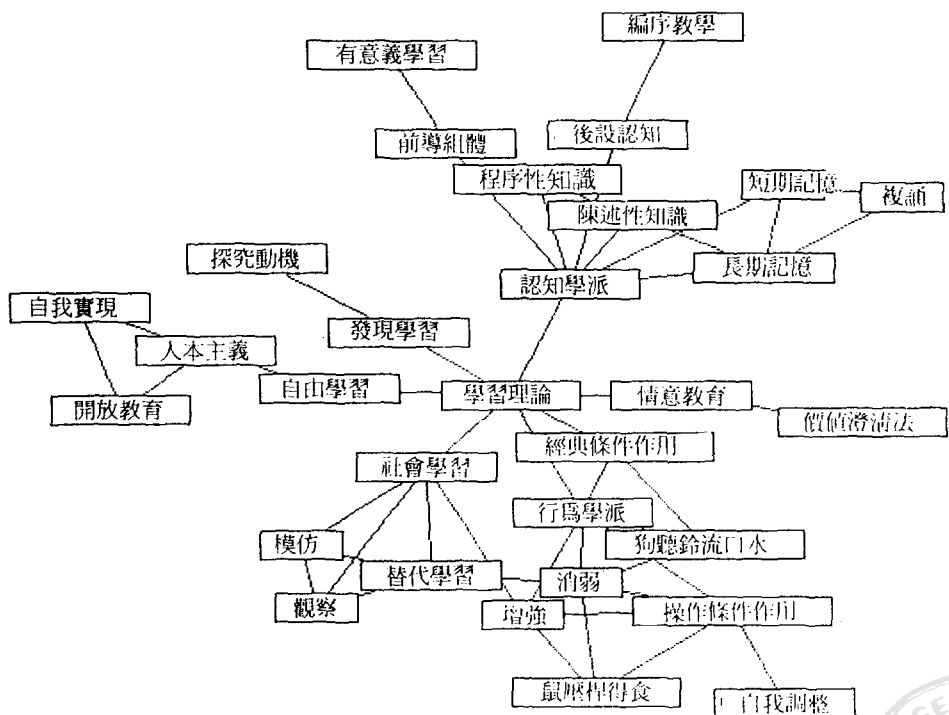
**研究材料：**本研究所使用的實驗材料取自「教育心理學」內容中有關「學習理論」（包含行為學派、認知學派及人本主義）的三十一個概念及六個連結語（如表一）。此三十一個概念為研究者參酌國內外各主要教育心理學教科書中的「學習」單元內容後挑選而得，以作為學生建構概念圖的材料。概念及連結語挑選完畢後，即置入概念構圖系統中形成概念及連結語列表。再由研究者及兩位教育心理學教師分別製作概念圖，並將三個概念圖中的異同部份加以討論、修改，最後形成專家概念圖（如圖一 a）。為取得此 31 個概念的接近性資料矩陣供 KNOT 軟體分析之用，研究者將此 31 個概念排列在 A3 紙上，形成一  $31 \times 31$  的矩陣，受試者對直行與橫列上的概念作比較後，直接在相對應的細格填入 1 至 5 的數字，其中 1 代表他（她）覺得兩個概念的意義內涵差異非常大，5 代表他（她）覺得兩個概念的意義內涵非常接近。此外為符合 Goldsmith 等 (1991) 建議的非連續比較，即某一概念與其他 30 個不連續作比較，乃將受試者應填入的 465 個細格 ( $C_2^3 = 465$ ) 以隨機的方式分成八個區域，受試者依據指定的區域順序進行概念間的比較。該概念配對矩陣由研究者及兩位教育心理學的教師分別進行接近性的評定，再經由 KNOT 加以轉換成三個個別專家及一個共同專家的知識結構圖。其中共同專家的知識結構圖（如圖一 b）乃是將三位個別專家的評定量尺加以平均，然後轉換成結構圖而得 (Acton, Johnson, & Goldsmith, 1994)。

**實施程序：**(一)接近性評定作業：受試者在學習理論課程結束後一週，以班級為單位進行 31 個學習概念的接近性評定。完成所有 465 個概念配對的評定約需 50-70 分鐘。接近性資料取得後，由研究者輸入電腦，以 KNOT 軟體轉換成知識結構圖，並與三個個別專家及一個共同專家圖相比對，求出每一受試的 PFC 和 PRX 指數。(二)概念構圖施測：受試者於接近性評定作業完成後，進行電腦化概念構圖的施測。施測由研究者主持，採團體方式進行，每次約 15-25 人，共分七次完成。在受試進行前，由研究者對概念圖的意義、作法及系統相關功能的使用方式，進行約 20 分鐘的講解與練習，然後由受試者開始自行構圖。在受試自行構圖中，原系統有關回饋與評量的功能暫時關閉。全部施測時間約 45-60 分鐘。研究者於施測完成後，將專家概念圖與每一受試的概念圖進行比對，以求得 N-G 分數及 CMC 指數。(三)效標分數的取得：本研究以受試者的教育心理學期末成績作為效標分數。期末考成績乃由受試者在此學期的一次期中考成績、一次期末考成績、一次口頭報告成績及兩次家庭作業成績所組合而成，主要內容包涵認知發展、社會發展及學習理論。其中學習理論內容約佔課程內容的 3/5。





圖一 (a) 三位專家的共同概念圖



圖一 (b) 三位專家的共同知識結構圖

表一 本研究所使用有關學習的三十一個主要概念及連結語

概 念	連結語
操作條件作用 複誦 編序教學 學習理論 行為學派 價值澄清法 狗聽鈴流口水 長期記憶 社會學習 觀察 替代學習 情意教學 模仿 人本主義 有意義學習 自由學習 鼠壓桿得食 探究動機 開放教育 認知學派 經典條件作用 短期記憶 程序性知識 消弱 自我實現 後設認知 發現學習 增強 陳述性知識 前導組體 自我調整	包括 透過 應用於… 提倡 產生 儲存於…

結果與討論

本研究透過徑路搜尋法取得受試者的徑路圖相似指數 (PFC) 及接近指數 (PRX)；並藉由概念構圖法取得概念圖相似指數 (CMC) 及 N-G 指數，該四種知識結構指數和受試者在教育心理學的期末成績之平均數和標準差，如表二所示。表二的中高分組與中低分組學生的區分是依據全體學生在教育心理學的的期末成績之平均數，高於平均數以上者為中高分組，低於平均數以下者為中低分組。

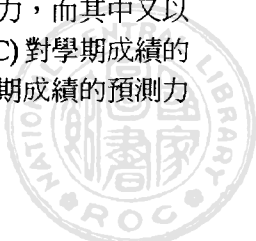
表二 受試者的CMC、N-G、PFC及PRX等四類知識結構指數與其教育心理學期末成績的平均數和標準差\*

各成績		期末成績	CMC	N-G	PFC1	PFC2	PFC3	PFC4	PRX1	PRX2	PRX3	PRX4
受試者												
中高分組	M	88.40	24.20	21.28	0.36	0.37	0.35	0.36	0.26	0.27	0.28	0.25
	n=98	SD	2.88	5.28	5.11	0.078	0.069	0.069	0.076	0.086	0.077	0.095
中低分組	M	72.75	17.30	15.35	0.26	0.27	0.26	0.07	0.20	0.22	0.23	0.19
	n=55	SD	8.17	5.53	5.99	0.086	0.095	0.087	0.087	0.062	0.061	0.055
合 計	M	82.77	21.72	19.14	0.32	0.34	0.33	0.33	0.24	0.25	0.25	0.23
	n=153	SD	9.26	6.30	6.13	0.095	0.092	0.089	0.093	0.083	0.075	0.088

\*CMC：由概念構圖所獲得的相似指數；N-G：由概念圖所獲得的 Novak-Gowin指數；PFC1：與三位專家的共同結構圖比對所得的徑路搜尋相似指數 (PFC)；PFC2 至 PFC4：分別為與第一位至第三位專家的知識結構比對之後所得的 PFC；PRX1：與三位專家的平均評定值之相關；PRX2 至 PRX4：分別為與第一位至第三位專家的評定接近值之相關。

一、知識結構指數對於學習成就的預測效果

本研究的目的一為比較不同的知識結構指數對於學習成就的預測效果。各知識結構指數與學生的期末成績之相關矩陣如表三所示。由表三可知，四類結構指數均與學期成績有顯著的相關（P 均小於 .05），可見四類指數均對學期成績有顯著的預測力，而其中又以徑路搜尋法所取得的相似指數 (PFC) 及概念構圖法所獲得的相似指數 (CMC) 對學期成績的預測力最高（R<sup>2</sup>均在 .36 以上）；以概念構圖比對所獲得的 N-G 指數對學期成績的預測力





居次 ( $R^2 = .23$ )；以徑路搜尋法之概念間相似性評定所獲得的 PRX 指數對於學期成績的預測力最低 ( $R^2 = .16$ )。由表三亦可看出，以群體專家概念圖作為評量學生概念圖的參照標準時，其預測效度未必高於個別專家，例如 PFC1（依共同專家概念圖求得）與學期成績的相關為 .61，未高於 PFC2（依第二位專家概念圖）與學期成績的相關 (.65)。

表三 各知識結構指數與期末成績之間的相關係數矩陣 \*

	學期成績	CMC	N-G	PFC1	PFC2	PFC3	PFC4	PRX1	PRX2	PRX3	PRX4
學期成績	—										
CMC	.62	—									
N-G	.48	.46	—								
PFC1	.61	.59	.48	—							
PFC2	.65	.60	.47	.92	—						
PFC3	.62	.61	.48	.95	.94	—					
PFC4	.62	.60	.44	.95	.94	.96	—				
PRX1	.39	.46	.28	.55	.52	.57	.57	—			
PRX2	.41	.46	.17	.44	.49	.49	.51	.85	—		
PRX3	.41	.49	.28	.55	.54	.60	.58	.93	.88	—	
PRX4	.40	.42	.19	.44	.44	.46	.50	.88	.91	.91	—

\*各相關係數除 N-G 與 PRX2，PRX4 未達顯著水準外，餘皆達 .05 的顯著水準

整體而言，本研究發現藉由徑路搜尋法所求得的 C 指數，以及藉由概念構圖法所求得的 CMC 指數及 N-G 指數，對於學生的學習成就皆有不錯的預測能力。此項發現與 Goldsmith 等人 (1991) 採用徑路搜尋法預測心理學研究法的學習或 Johnson 等人 (1994) 預測數學科的學習有近似的發現，也與 Herl 等人 (1996) 運用概念構圖法測量歷史科知識，或余民寧等 (1996) 以紙筆式概念圖測量「心理測驗」內容知識的效果相接近。值得注意的是，本研究嘗試以概念構圖的知識引出方式來取代徑路搜尋的評定量尺方式，所求出的 CMC 及 PFC 兩種指數有中上的相關，且具有相近的預測力。此亦支持以概念構圖的知識引出方式結合徑路搜尋的計分法則，為一可行的方法。

## 二、知識結構指數的區別效果

為探討各項知識結構指數對於不同學習成就學生的區別效果，本研究將 153 名學生依其教育心理學期末成績分成中高成就組（成績在平均數以上）及中低成就組（成績在平均數以下），兩組學生的期末成績差異達顯著水準 ( $t = 17.20$ ,  $P < .01$ )。將兩組學生的十項知識結構指數進行 Hotelling  $T^2$  檢定，結果發現兩組學生的十項知識結構整體差異達顯著 ( $\Lambda = .61$ ,  $P < .01$ )，每一分項差異亦達顯著 ( $P$  均小於 .01)。進一步以由共同專家圖所求得的四項知識結構指數 CMC、N-G、PFC1 及 PRX1 等，對兩組受試進行逐步區別分析的考驗，結果如表四至表六。

在表四中，輸入的四個區別變項，只有 CMC、PFC1 及 N-G 等三個指數被納入區別函數之中，而 PRX1 則因在前三個函數進入之後，其區別力過小 ( $F = .067$ ，小於輸入標準

$F=3.84$  ) 而未被納入區別函數內。以 PFC1, CMC 及 N-G 等三個指數作為區別變項, 可以有效區別中高分組與中低分組的學生, 且抽出的區別函數達到 .01 的顯著水準。

由表五之標準化區別函數 (標準化 B) 可看出, 三個變項中以 CMC 及 PFC1 對形成區別分數之加權值較高, 分別為 .473 及 .465, 可見此兩變項具有較強之區別力。再由表五中的結構相關 (structure coefficients) 可以看出, 區別分數 (由三種變項依原始分數或標準化之不同加權值加權組合而成) 與各變項中之結構相關介於 .67~.79 之間, 表示抽出的區別函數對以上三個變項總變異的解釋量介於 44% 至 64% 之間。表中之「形心」(centroids) 則表示區別分數之平均數, 中高分之形心數值為 .588, 中低分組為 -1.048, 依此數值作為區別兩組的標準。再由表六則可知, 本區別函數之分類結果在 98 名中高分學生中, 有 85 名被正確的預測屬於中高分組; 在 55 名中低分學生中, 有 38 名被正確的預測為中低分組, 總命中率達 80.4%。

表四 三種知識結構指數對兩組學習成就學生的區別函數之顯著性考驗

區別函數	特徵值	典型相關	$\Lambda$	$\chi^2$
1	.62	.62	.615*	72.57*

\* $p < .01$

表五 三種知識結構指數對中高分組及中低分組學生的區別分析摘要表

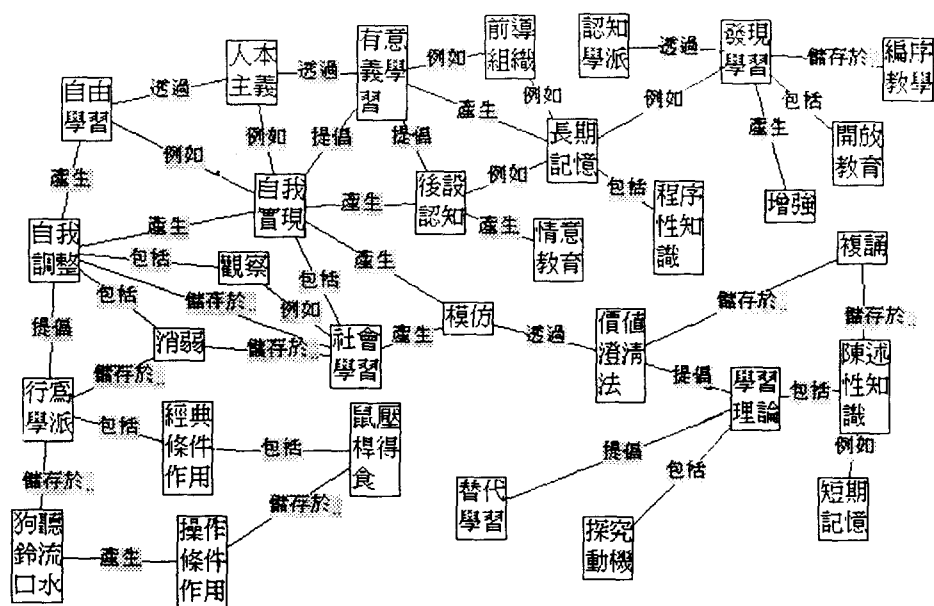
區別函數	變項	加權值 (原始分數)	加權值 (標準化 B)	結構相關係數	組別	形心
1	CMC	.088	.473	.792	中高分組	.588
	N-G	.071	.390	.787		
	PFC1	5.704	.465	.665	中低分組	-1.048
	截距	-5.152				

表六 三種知識結構指數對中高分組及中低分組學生的區別準確性

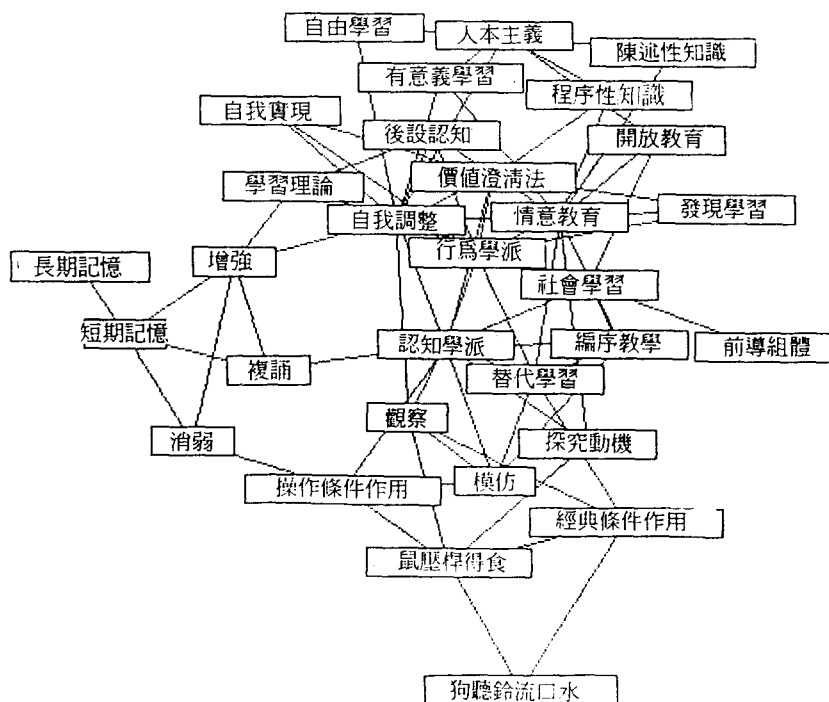
實際組	預測組	中高分組	中低分組
中高分組 (N=98)		85 (86.7%)	13 (13.3%)
中低分組 (N=55)		13 (13.3%)	38 (69.1%)

整體命中率:  $(85+38)/153=80.4\%$

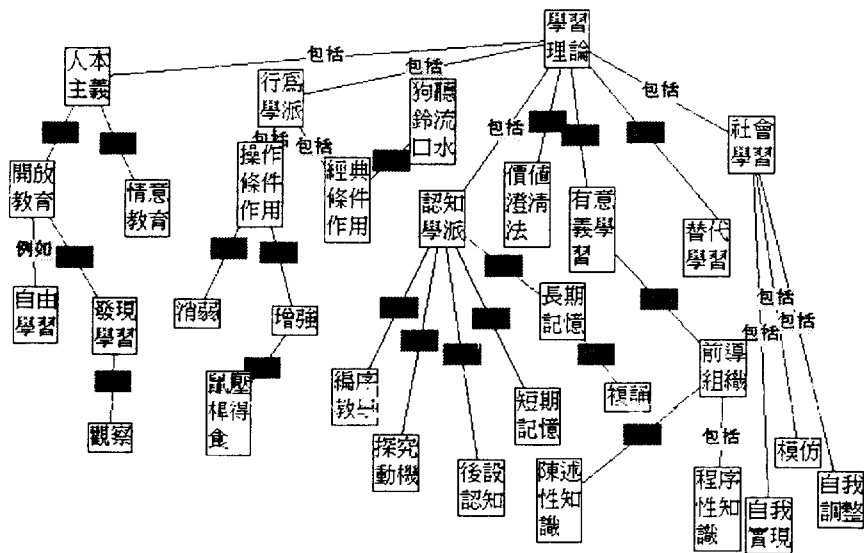




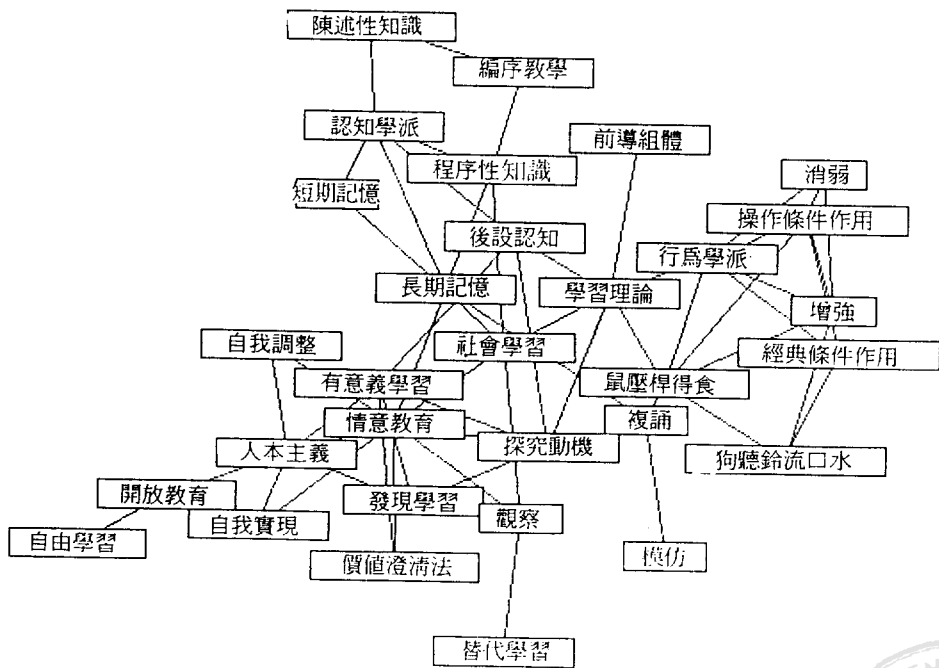
圖二 (a) 低分組學生所繪製的概念圖 (CMC=16, N-G=14)



圖二 (b) 低分組學生的知識結構圖 (PFC=10)



圖三 (a) 高分組學生所繪製的概念圖 (CMC=36， N-G=25)



圖三 (b) 高分組學生的知識結構圖 (PFC=32)



中高分組學生與中低組學生在學習上的差異，除了可以反映在幾個量化的數值指標上外，亦可以由他們所製作概念圖和知識結構圖中顯現出來。圖二 (a) 及圖二 (b) 分別為一名低成就學生所表現出的概念圖及知識結構圖。在該名學生的概念圖中，可以看到該生對於各概念的意義有許多不清楚或混淆之處，導致其將許多不相關的概念加以串連（例如學習理論 - 價值澄清 - 模仿 - 自我實現 - 社會學習），因此亦無法辯識其概念的階層或從屬關係。在知識結構圖中則可見該生因為在評定接近性時將許多概念評為十分相近，結構圖的連結十分紛雜，導致其概念叢集頗為散亂，且不連貫（例如認知學派 - 替代學習 - 探索動機 - 經典條件作用）。圖三 (a) 及圖三 (b) 分別為一名高成就學生所表現出的概念圖及知識結構圖。在概念圖中可以看到該學生對於「學習理論」的概念有較好的掌握，因此其概念間可以呈現出從屬或附屬等關係，而在知識結構圖中可以看到相關的概念成一叢集，關係的連結也較清晰。本研究以 CMC、N-G、PFC 及 PRX1 四種知識結構指數來區別不同學習成就的學生，結果發現不同成就學生在各種知識結構指數上都有顯著的差異，且以 CMC、N-G 及 PFC1 對不同成就的學生之區別力較高，PRX1 的區別力不顯著。此項發現與江淑卿 (1996) 應用徑路搜尋法區別不同自然科學能力的小學生有相近的發現，也支持 Goldsmith 等人 (1991) 認為 PRX 由於未經結構化轉換，因而較 PFC 不具預測效果的說法。此外，本研究發現結合 CMC、N-G 及 PFC1 等三個指數可以區別不同學習成就的學生，其準確性達 80%，此點亦可支持知識結構測量是認知測量的有效方法之一。

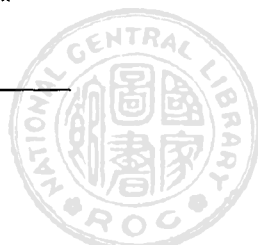
### 三、各知識結構指數之間的關連性與獨立性

由於 PFC 及 PRX 是藉由徑路搜尋法所求得，而 CMC 及 N-G 則是藉由概念構圖法所求得，其中 PFC 和 PRX 在引出知識的方式上相同，但在計算知識結構指數上則完全不同；PFC 和 CMC 在引出知識方法上完全不同，但計算結構指數的方法完全相同；CMC 與 N-G 則在引出知識的方法上相同，但在計算結構指數的方法上有頗大差異。這些指數之間共同或獨立的成份如何？是否某一種指數即可涵括其他指數的內涵？由表三可看出，CMC 與 PFC 指數有中度的相關（ $r$  在 .60 以上）；與 N-G 及 PRX 有中低程度的相關（ $r \approx .48$ ）；PFC 與 N-G 及 PRX 則均是中度相關（ $r$  約在 .45-.55 之間）；PRX 與 N-G 則僅具低的相關（ $r$  約在 .20 左右）。以淨相關分析結果發現（如表七），當 CMC 或 PFC1 兩個指數作為控制變項，其影響力排除後，其他指數與期末成績的相關均有大幅下降的情形，但仍維持在顯著水準，僅有 PRX1 與期末成績的相關變得不顯著，顯示原先 PRX1 與期末成績的關係可能透過 CMC 及 PFC1 而得。以 N-G 或 PRX1 作為控制變項，排除其影響力後，對其他指數與期末成績的相關則沒有明顯的影響。

表七 四種知識結構指數與期末成績的淨相關分析

投入指數 淨相關 控制指數	CMC	N-G	PFC1	PRX1
CMC	—	.28*	.38*	.15
N-G	.52*	—	.50*	.31*
PFC1	.41*	.27*	—	.09
PRX1	.54*	.42*	.51*	—

\*:  $p < .01$



有不少研究者在探討徑路搜尋法的相關知識結構指數時，發現 PFC、GTD 與 PRX 之間有相互涵蓋的現象，特別是 PFC 較 GTD 及 PRX 有更好的預測力，當 PFC 的效果被排除時，其他兩個指數與效標的相關往往變得不顯著（Goldsmith et al., 1991；江淑卿，1996）。本研究發現當控制 PFC 之後，PRX 與期末成績的相關未達顯著，因此與以往的研究相符合。但本研究亦發現，控制 PFC 指數後，CMC 或 N-G 均仍與期末成績有顯著相關；控制 CMC 指數後，亦有相同的效果，亦即 CMC、PFC 及 N-G 等指數雖然與其他指數有某種程度的關連與涵括性，但仍然保持指數本身的獨特性。此點可能亦反映了此三種指數在引出知識、表徵知識結構以及評量知識結構等部份因有各自獨特的程序與方法，所以造成指數本身特有的成份。

## 結論與建議

學生的學習與發展能夠多元化，是教育長久以來期望的目標。然而學習成果的多元化必須配合評量方法和工具的多元化才易克竟全功。知識結構測量正是多元學習成果測量值得發展的方向之一。徑路搜尋法是近年來應用十分廣泛的知識結構測量方法，概念構圖法則是理論基礎十分完備的教學和評量策略。本研究嘗試將概念構圖法中引出知識及表徵知識結構的步驟，以及徑路搜尋法中的知識結構評量算則（C 指數）加以結合，並應用 Novak & Gowin (1984) 的概念構圖計分法，作為設計電腦化概念構圖的評量與回饋模組的依據。經進一步實徵評估概念構圖的兩個知識結構指數 CMC 及 N-G，以及徑路搜尋的兩個知識結構指數 PFC 及 PRX，結果有以下的發現：

一、以徑路搜尋法求得的知識結構指數對學習成就的解釋量，PFC 為 36%，PRX 為 16%；以概念構圖法求得的兩個指數對學習成就的解釋量，CMC 為 36%，N-G 為 23%。兩種測量方法所提供的知識結構指數皆具有可接受的預測效度。

二、以徑路搜尋法和概念構圖法提供的四種指數，PFC，PRX，CMC 及 N-G 來區別不同學習成就的學生時，PRX 並沒有顯著的區別能力。但 PFC，CMC 及 N-G 等三種指數可以有效地區別不同學習成就的學生，且準確性達 80%。

三、藉由不同的引出知識、表徵知識結構和評量知識結構等步驟求出的 PFC、CMC 及 N-G 指數，彼此間具有中度的相關。以淨相關分析排除某一指數的影響效果後，其他兩種指數仍能維持與學習成就的顯著相關。可見以不同方法求得的知識結構指數彼此有其獨立的成份存在，未必為其他指數的成份所能涵括。

後續的研究者若對知識結構測量有興趣，至少可以考慮以下幾個方向：

一、CMC 指數是採用概念構圖的引出知識和表徵知識結構的方法，配合徑路搜尋法的結構圖比對算則而取得。雖然初步的研究結果支持其與 PFC 有顯著的相關，且具可接受的預測和區別效果，但以構圖的方法來表徵知識，尚有若干細節尚待評估。例如學習者繪製的概念圖之連結 (link) 數目的多寡，影響指數變動的情形如何？若在 CMC 中加入命題正確性的得分，是否會影響指數的預測力？N-G 指數的命題正確性修改為關連強度，其預測力的變動情形又是如何？

二、傳統概念圖記分法同時考慮知識結構內概念間的關係、階層形成的正確性及概念叢集間的橫向連結，確實使得評分者對概念圖的內涵較能掌握。但將命題的關係、概念階層及橫向連結等納入電腦化的計分系統中，卻反而降低了預測效果。原因之一可能是提供的關係連結語過少，在應用時不夠彈性，導致命題得分過低。原因之二可能為概念階層的計分無法



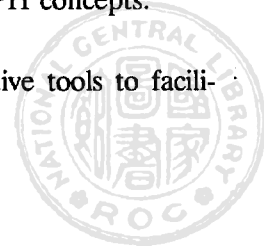
就一整個概念叢集的關係做整體考量，彈性給分。此亦在本研究的 N-G 指數平均值較低，預測力較差反應出來。改進的方法可以考慮 Herl 等 (1996) 將連結語以類別作為比較單位，或是嘗試以模糊 (Fuzzy) 數學或樹狀比對 (tree matching) 等技術來增加整體知識結構比對的彈性 (張國恩，林水成，潘宏明和陳世旺，1998；張國恩，陳世旺和宋德忠，1998)。

上述幾個問題的澄清，除了有助於提昇知識結構指數在計量的準確性外，亦對學習者所呈現的結構圖做質的分析和解釋有很大的助益。最後，本研究的研究材料限於教育心理學的學習理論，若將這幾個知識結構指數應用在不同的領域，如歷史或生物等，其效果如何，亦值得進一步探討。

## 參考文獻

- 江淑卿 (1996)，**知識結構的重要特性之分析暨促進知識結構的教學策略**。台灣師範大學心輔所博士論文。
- 余民寧 (1997)，**有意義的學習：概念構圖之研究**。台北：商鼎出版社。
- 余民寧，陳嘉成和潘雅芳 (1996)，**概念構圖法在測驗教學上的應用**。測驗年刊，43 輯，195-221 頁。
- 宋德忠，林清山 (1997)，**分佈表徵記憶與語言間翻譯促發效果**。中華心理學刊，39 卷 1 期，1-19 頁。
- 宋德忠，陳淑芬和張國恩 (1998)，**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 頁。
- 邱上真 (1989)，**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，4，215-254 頁。
- 張國恩，陳世旺和宋德忠 (1997)，**電腦化概念構圖在科學教育的應用 (I)**。國科會研究報告：NSC87-2511-S-003-042。
- 張國恩，陳世旺和宋德忠 (1998)，**電腦化概念構圖在科學教育的應用 (II)**。國科會補助研究計劃：NSC88-2520-S-003-003。執行中。
- 黃台珠 (1994)，**概念圖在國中生物教學上的成效研究 (I)**。國科會研究報告：NSC83-0111-S-017-015。
- 黃台珠 (1995)，**概念圖在國中生物教學上的成效研究 (II)**。國科會研究報告：NSC84-2511-S-017-003。
- 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. (1995). *Cognitive psychology and its implication*. New York: Freeman and company.
- Anderson, T. H., & Huang, Shang-cheng Chiu. (1989). *On using concept maps to assess the comprehension effects of reading expository text*. Technical Report No. 483, University of Illinois at Urbana Champagne.
- Beyerbach, B. A. (1988) Development of a technical vocabulary: Preservice teacher's con-

- cept maps. *Teaching and Teacher Education*, 4, 339-347.
- Beyerbach, B. A., & Smith, J. M. (1990). Using computerized concept mapping program to assess teacher's thinking about effective teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 961-971.
- Chang, K. E., Chen, S. F., & Sung, T.C. (1998). Concept mapping with scaffolding learning and assessment. Paper submitted to *Computers & Education*.
- Chi, M.T.H., Glaser, R., & Rees, E. (1982). Expertise in problem solving. In R. Sternberg (Ed.), *Advance in the psychology of human intelligence*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Collins, A.M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82, 407-428.
- Diekhoff, G. M., & Diekhoff, K. B. (1982). Cognitive maps as a tool in communicating structural knowledge. *Educational Technology*, 22(4), 28-30.
- Frederiksen, J. R., & White, B. T. (1990). *Intelligent tutors as intelligent testers*. In N. Frederiksen, R. Glaser, A. Lesgold, & M. G. Shafto (Eds.) *Diagnostic monitoring of skill and knowledge acquisition*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associations.
- Glaser, R., & Bassok, M. (1989). Learning theory and the study of instruction. *Annual Review of Psychology*, 40, 631-666.
- 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., & Houser, L. D. (1996). Conceptual maps and simulated teaching episodes as indicators of competence in teaching elementary mathematics. *Journal of Educational Psychology*, 88, 572-585.
- Gonzalvo, P., Canas, J. J., & Bajo, M. (1994). Structural representations in knowledge acquisition. *Journal of Educational Psychology*, 86, 601-616.
- Herl, H., Baker, E., & Niemi, D. (1996). Construct validation of an approach to modeling cognitive structure of U.S. history knowledge. *Journal of Educational Research*, 89, 213-230.
- Johnson, P. J., Goldsmith, T. E., & Teague, K. W. (1994). Locus of the predictive advantage in pathfinder based representation of classroom knowledge. *Journal of Educational Psychology*, 86, 617-626.
- Markham, K. M., Mintzes, J. J., & Jones, M. G. (1994). The concept map as a research and evaluation tool: Further evidence of validity. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 91-104.
- Nichols, P.D., Chipman, S.F., & Brennan, R.C. (1995). *Cognitively diagnostic assessment*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Nakhleh, M., & Krajcik, J. S. (1994). Influence of levels of information as presented by different technologies on students' understanding of acid, base, and PH concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 1077-1096.
- Novak, J. D. (1990). Concept maps and Vee diagrams: Two metacognitive tools to facilitate meaningful learning. *Instructional Science*, 19, 29-52.



- Noavk, J. D. (1991). Clarify with concept maps. *Science Teacher*, 45-49.
- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge, London: Cambridge University Press.
- Royer, J. M., Cisero, C.A., & Carlo, M. S. (1993). Techniques and procedures for assessing cognitive skills. *Review of Educational Research*, 63, 201-243.
- Rumelhart, D. E., & McClelland, J. L. (1985). Distributed memory representation. *Journal of Experimental Psychology, General*, 25, 1-75..
- Ruiz-Primo, M.A., & Shavelson, R.J. (1996). Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 569-600.
- Schvaneveldt, R.W., Durso, F. S., & Dearholt, D.W. (1989). Network structures in proximity data. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation*. New York: Academic Press.
- Schvaneveldt, R.W. (1990) (Ed.). *Pathfinder associative networks: Studies in knowledge organization*. Norwood, NJ: Ablex.
- Schvaneveldt, R.W. (1994). *Knowledge network organizing tool (PCKNOT version 4.2)*. Las Cruces, NM: Interlink, Inc.
- Shepard, R.N. (1962). The analysis of proximities: Multidimensional scaling with an unknown distance function. *Psychometrika*, 27, 125-140, 219-246.
- Shepard, R.N., & Chipman, S. (1970). Second-order isomorphism of internal representation: Shapes of states. *Cognitive Psychology*, 1, 1-17.
- Snow, R.E., & Swanson, J. (1992). Instructional psychology: Aptitude, adaptation, and assessment. *Annual Review of Psychology*, 43, 583-626.
- Tversky, A., & Hutchinson, J.W. (1986). Nearest neighbor analysis of psychological space. *Psychological Review*, 93, 3-22.

收稿日期：1998年8月10日

接受登刊日期：1998年9月27日



# **Assessing Structural Knowledge: A Comparison of Pathfinder and Concept Mapping**

Teh-Chung Sung      Shih-Hwa Lin

*Department of Educational Psychology and  
Counseling, Taiwan Normal University  
Taipei, Taiwan, R.O.C.*

Shu-Fen Chen

*Yue-Da Vocational High School  
Taipei, Taiwan, R.O.C.*

Kuo-En Chang

*Department of Information and Computer  
Education, National Taiwan Normal University  
Taipei, Taiwan, R.O.C.*

## **ABSTRACT**

Pathfinder is a widely applied method for structural knowledge assessment. Concept mapping is a theory-based strategy of instruction and evaluation. In this study, we combined the 'knowledge elicitation' and 'knowledge representation' procedures of concept mapping, the knowledge-structure evaluation algorithms of Pathfinder, and the scoring rubrics of concept mapping proposed by Novak & Gowin (1984) to implement two indices for assessing structural knowledge—the concept mapping based closeness index (CMC) and the Novak-Gowin index (N-G). To explore the predictive and discriminant validities of CMC, N-G, the PFC and PRX indices obtained from Pathfinder, and the possible redundancy among them, 153 college students' concept maps and similarity judgement data of 31 concepts from the 'learning theories', and their achievement scores of educational psychology, were collected. The results showed: 1. All the four indices were significantly correlated to the achievement score of educational psychology. The PFC, PRX, CMC, and N-G accounted for 36%, 16%, 36%, and 23% of the variances of the achievement score, respectively. 2. The results of discriminant analysis showed that the PFC, CMC, and N-G indices correctly discriminated 80% of the group memberships of the students of the high- or low achievement groups. Yet the PRX was excluded from the discriminant function. 3. The PFC, CMC, and N-G indices, though elicited and computed through different procedures, correlated significantly with each other. The result of partial correlation showed that when the influence of any index was controlled, the other indices were still correlated significantly with the achievement score. Therefore, though there might be redundant components among those indices, they did remain their own unique components.

**Keywords:** Structural knowledge assessment, Pathfinder, Concept mapping

