

# 問題解決在科學學習成就評量上的應用

楊坤原  
中原大學 教育學程組

**摘要：**問題解決(解題)能力的培養是科學教學主要的目標之一。解題的過程涉及敘述性知識與程序性知識的使用，藉由解題不但可幫助科學教師得知學生組織與運用知識的情形，亦能促進學生主動建構知識與思考，故以之作爲一種科學學習成就評量的方式應頗爲合適。

本文旨在探討以問題解決作爲科學學習成就評量的可行性。全文共分六個部份。緒論部份說明教學與評量的關係，並由認知心理學與建構論的觀點指出以解題作爲科學學習成就評量的適切性。第二部份主要在分析解題的本質及其與知識的關係。第三部份介紹解題策略與解題歷程。第四部份列舉專家與生手在科學解題表現上的差異。第五部份敘述科學解題研究的發現對科學學習成就評量的意涵。結語部份則爲教學、學習與評量(解題)的關係與未來發展作一綜合討論。

**關鍵詞：**問題解決；解題策略；科學學習成就評量；中學。

## 壹、緒論

學習成就評量在整個教學過程中扮演十分重要的角色。根據 Glaser(1962)所提之「一般的教學模式」(General Model of Instruction, GMI)，在教學過程之初，教師可透過評量以測知學習者的先備知識、性向、學習動機、認知發展情形等各項起點行爲，作爲決定教學目標、選擇合適之教學策略的依據。而在經過教學歷程之後，教師又必須藉由評量來驗收學生的學習成就，並由此結果所得的回饋，來檢討教學目標與教學活動的適切性與有效性，作爲日後改進教學參考。此外，許多學者(Linn & Gronlund, 1995; 郭生玉, 1991; 陳英豪、吳裕益, 1997) 也指出，評量可於教學前、中、後實施，且在教學、行政與輔導等方面，各具不同之功能。由此可見，評量與教學的成敗密切相關。

誠如 Glaser(1962)所主張之教學模式，評量的內容與方式必須與教學或課程目標相互配合，方能提供教師正確的回饋，有助於教學的改進。由於當前科學教育強調以培養具備基本科學素養的國民爲主要目標(American Association for the Advance of Science (AAAS), 1989)，因此，如何使學生具備科學概念與科學過程技能、了解科學方法的本質與科學的特

性及具有終生學習科學的能力等項，遂成為國內、外科學課程設計的理念或目標(AAAS, 1989; Uno & Bybee, 1994; 教育部中等教育司, 1997a, b)。據此，若學習成就評量欲能有效反映出上述目標，則評量的方式就必須在傳統之客觀測驗的試題型式上有所調整以爲因應。許多學者均指出(Welch, 1995; Herman, 1997; Chiappetta, Koballa, Jr., & Collette, 1998)，以往常用於評量學生之學習成果的紙筆測驗，由於多偏重選擇題的型式，故教師均無法得知學生到底學會多少知識內容與技能。因此，選擇符合科學教學目標之合適的評量方式，以作爲衡量教學、學習與課程實施效果之指標，實有其必要。

在晚近科學教育界所支持之認知心理學與建構論(Constructivism)的學習觀點中均一致強調，學習者的知識是其主動建構的結果；唯有能夠應用所習得的科學知識和方法進行探究並重組新、舊知識，方能達成有意義的學習(Meaningful learning)，建立屬於學習者自己的知識架構(Glynn, Yeany, & Britton, 1991)。在 Gagne(1985)所列舉的五項學習結果中，「問題解決」(Problem solving, 簡稱「解題」)是心智技能(Intellectual skills)中最爲複雜的一項，其表現乃牽涉所習得的概念與原理(敘述性知識, Declarative knowledge)及其運用(程序性知識, Procedural knowledge)。VanLehn(1989)也指出，學生透過解決問題的歷程，可同時經歷知識的應用、科學方法的練習、證據的搜尋與評鑑等經驗，並有助於學習經驗的遷移。Benton 和 Kiewra(1987)則強調近來許多學者所提倡之認知取向的評量所涵蓋的內容，亦多與進行解題所涉及的知能有關。鑑於具備基本科學素養所需的各項能力實與完成解題所需者相近，故以解題來評量學生的學習成果，不但符合科學教育目標，又能彌補傳統測驗的不足，確爲值得考慮採行的作法之一(Benton & Kiewra, 1987; Shavelson, Carey, & Webb, 1990)。

## 貳、問題解決的本質及其與知識的關係

解題是人類每天生活的重心，透過各類問題的解決，人類才得以適應環境(Siegler, 1991)。如果以訊息處理(Information processing)的認知心理學觀點來詮釋人類智力的表現，則解題能力可算是智力中很重要的一種成分(Holyoak, 1990)。解題和科學過程技能有密切的關係(Holyoak, 1990)，是一種涉及以現有知識之組合爲基礎的創造性活動(Gagne, 1985)，也是一種高層技能的表現(Champagne, 1988; Resnick, 1992)。從當前的科學哲學觀所強調之科學理論發展的歷程所涉及的活動來看，解題可說是促使科學理論發展的動力(Stewart & Hafner, 1991)。就教育的層面來說，解題可提供學生作爲其重建知識內容與檢驗學習成果的方法，而如何培養解題技能亦被列爲現今科學教學的一個重要的目標(Champagne, 1988; Helgeson, 1994)。故發展學生的解題能力，使之能因應快速發展的知識與未來的生活，實爲科學教育最重要的任務(Smith & Good, 1984)。

根據 Eysenck 和 Keane(1990)的分析，解題在教育上的重要性早已深獲杜威(John Dewey,1859-1952)重視並加以提倡。關於解題研究的歷史，也經歷了從皮亞傑學派、完形心理(Gestal)學派、行為學派直到現今的訊息處理心理學派等的發展與演替。而自 1972 年 Newell 和 Simon《人類的解題》(Human Problem Solving) (Newell & Simon, 1972)一書出版後，解題研究的內容便由以往的領域一般性(Domain general)開始進入領域專門性(Domain specific)的範疇。迄今，由於在物理、數學、社會科學等領域之許多專家與生手的解題表現之研究發現，已使得研究者對解題的過程逐漸有了較為清楚的了解(Smith, 1991)。

### 一、「問題」的意義與組成

「問題」在解題研究中最常見的定義是指目標和現況之間有差異，而不能立即獲得解答的狀態(Newell & Simon, 1972; Palumbo & Vargas, 1988; Hayes, 1989; Gagne, Yekovich, & Yekovich, 1993)。Smith(1991)認為，「問題」就是一個需要分析和推理才能獲得目標(解答)的作業。一個問題的解決有賴於對該問題領域的知識有真正的了解為基礎，而不是僅靠知覺的辨識、回憶訊息、模仿或應用算則(Algorithm)就能成事。一個作業是否成為問題，其實並非由作業本身的困難度或複雜度來決定，而是視解題者之能力來決定之。Glass 和 Holyoak(1986)及 Frank、Baker 和 Herron(1987)均指出，問題和練習(Exercise)的不同在於練習只需涉及算則的確認和使用，但只使用算則對問題的解決而言是不夠的。Bodner(1987)也提到，如果學習者遇到的疑難可以立即知道解法，則該疑難就只能算是練習而非問題。至於如何才算是一個問題，則需視問題與解題者之間的交互作用而定(Bodner, 1987)。

問題是由「問題空間」(Problem space)所組成。根據 Newell 和 Simon(1972)的定義，問題空間包括初始狀態(Initial state)、目標狀態(Goal state)與中間狀態(Intermediate state)。許多學者(Chi & Glaser, 1985; Glass & Holyoak, 1986; Hayes, 1989; Mayer, 1992)則認為問題空間是由初始狀態、目標狀態、操作子(Operators)與一些限制的條件(Constraints)所組成。問題空間是解題者對組成問題的事實、概念或概念關係(此即「作業環境」, Task environment)之心智表徵，也就是解題者在解題時搜尋解法的空間(Newell & Simon, 1972; Chi & Glaser, 1985)。

透過對問題的初始狀態及目標狀態的明確性與否的考量，有些學者(Chi & Glaser, 1985; Voss & Post, 1988)將問題分為「界定明確」(Well-defined)與「界定模糊」(Ill-defined)兩大類。界定明確的問題其解題所需的訊息可由問題衍生而得，而且可以明確地得知問題的目標之達成與否；而界定模糊的問題則否(Chi & Glaser, 1985)。Voss 和 Post(1988)也指出，界定模糊的問題沒有所謂正確的答案、沒有明確的解題規則、也不知如何才算解決。一個問題究

竟是屬於界定明確或界定模糊，必須由解題者的角度來判斷(Voss & Post, 1988)。而用以解決這兩種問題所涉及的步驟與所需具備的領域一般性知識則無太大的差異(Gick, 1986)。

## 二、解題的本質

解題究竟是怎樣的一種認知活動?一般而言，解題的本質可從如下各個層面來加以詮釋：

### (一)解題是一種學習的過程

Gagne(1985)指出，解題就是學習者將先前所習得的原理原則(Principles)加以組合，以完成問題的解決的過程。Gagne(1985)將解題歸為高階的學習層次，解題者必須兼具敘述性與程序性知識方能解題。當學習者運用知識與技能而解決了問題時，他們同時也就學到了新的知識。因此，解題其實就是學習者主動建構知識的學習歷程(Gagne, 1985; Yore & Russow, 1989)。

### (二)解題是一種思考的過程

有些研究者(Kuhn, Amsel, & O'Loughlin, 1988; Eysenck & Keane, 1990)認為，解題是一種生產性思考(Productive thinking)、創造性思考或科學思考。這些學者所謂的思考，係指訊息處理的過程，亦即涉及訊息的檢索、提取、了解和建構的過程。解題者在解題時，必須將現有的知識結構加以重建，始能滿足每個問題情境的要求，獲得解答。

### (三)解題是一種複雜的心智能力

由於解題除了必須具備一般性的解題技能外，還需依賴知識、經驗為基礎，並受到一些個人屬性所影響，故 Sherman(1988)認為解題是一種較難習得的心智能力。由此觀之，解題不但是學習的歷程，也可算是一種學習的成果。

雖然不同的學者對解題的本質之看法的角度互異，但實際上這些觀點彼此相通，相輔相成。解題活動是解題者選擇和使用其知識與策略的過程。就解題者內在的認知歷程來者，知識的選擇和使用主要是涉及基模活化之訊息處理的歷程。透過知識與問題條件的配合，解題者便可決定合適的解題途徑而完成解題。因此，解題可說是學習者以其習得的知識為基礎，經由訊息處理而找出合適的解決途徑之思考過程或能力。

## 三、知識與解題的關係

學生所具備之概念性、程序性與策略性知識是解題的素材，沒有這些知識作基礎，解題很難成功。無論是那一個科學領域之解題研究者都一致強調，結構化的知識(尤其是領域專門性知識)是思考和解題的基礎、是造成專家(Expert)與生手(Novice)在解題表現上有顯著差異的主因、也是決定解題成敗的關鍵(Newell & Simon, 1972; Greeno, 1980; Resnick, 1983;

Chi & Glaser, 1985; Garrett, 1986; Champagne, 1988; Gagne *et al.*, 1993)。此外，知識結構也會影響解題活動的每一個步驟。雖然經驗、問題的複雜性、解題策略、一般性知識、記憶負載(Memory load)與作業特性等因素都會影響解題表現，但知識結構才是學生的解題表現之最主要、最具決定性的因素(Chi & Glaser, 1985; Voss & Post, 1988; Smith, 1991)。

#### (一)知識與問題表徵(Representation)的關係

「表徵」是指解題者利用其知識結構中被活化的知識對欲解之問題所作的詮釋或了解(Larkin, 1985; Chi & Glaser, 1985)。表徵相當於解題者對一個問題所具有的認知結構(Chi, Feltovich, & Glaser, 1981)。解題者是否能了解題意，就在於他能否建立一個相對於問題的內在表徵，以正確地代表問題的結構(Larkin, 1985; Gick, 1986; Greeno, 1987; Hayes, 1989)。表徵的完整性和一致性與解題者之思考的有效性與精確性有密切的關係(Rabinowitz & Glaser, 1986)。解題者必須能從問題中抽取重要訊息，並對之加以重述或重建，才能有效且正確地進行解題(Bodner, 1987; Eysenck & Keane, 1990)。此外，問題的表徵會左右解題者對問題類別所作的分類。問題的表徵一旦形成，便會決定解題者所使用的知識與操作子，進而影響解題的成效(Newell & Simon, 1972; Chi *et al.*, 1981; Larkin, 1985; Glass & Holyoak, 1986)。

由於在適當訊息的提取、辨識與回憶等方面的作用，知識結構將會因為影響問題表徵的品質和形式，而對解題的難易造成很大的差別。如果知識結構的組織不佳，問題表徵將會出現錯誤，而誤導解題者對問題的了解，導致解題失敗(Chi & Ceci, 1987; Siegler, 1991)。

#### (二)知識與問題空間的關係

一些研究指出，解題者的知識與問題中所提供的線索之配合，有助於發展有意義的問題空間，縮小搜尋空間的範圍(Greeno, 1980; Keren, 1984; Gagne *et al.*, 1993)。按照基模理論的觀點，解題者所具有的先備知識(基模)是一有組織的結構，一旦受到來自問題中所呈現的訊息之刺激，而活化了知識結構中相關的基模，則這些基模知識就會幫助解題者以某種方式來搜尋問題空間，發現問題的特徵(Best, 1989)。

#### (三)知識與解題策略的關係

研究顯示，成功的解題者會以組塊(Chunk)為單位來組織其知識。藉著組塊與產生法則(Production rules)相互配合，知識結構可以指引解題者採取適當的解題策略(Chi, Glaser, & Rees, 1982; Hayes, 1989; Holyoak, 1990)。許多研究發現，解題者的知識結構決定其解題策略的安排與使用，造成解題表現的差異(Chi & Glaser, 1985; Gick, 1986; Chi & Ceci, 1987; Winne, 1995)。此外，不少學者也強調領域專門性知識與策略、後設認知知識(Metacognitive knowledge)的交互作用是決定有效解題的要素(Kluwe, 1990; Siegler, 1990)。

## 參、解題策略與解題歷程

解題活動的重點在於解題策略的操作，而非只求能獲得答案而已(Palumbo & Vargas, 1988)。以往研究解題的學者曾將解題的過程劃分成若干階段來加以探討，反映出解題者在解題時所從事的內在思考歷程。Polya(1957)指出，解題的過程可分成了解問題、擬定解題計畫、實行解題計畫與回顧並檢核所得之答案等四個階段。Davis(1973)亦曾引述 Wallas(1926)所提的解題之四個時期—準備期(Preparation)、醞釀期(Incubation)、豁然開朗期(Illumination)及確認期(Identification)，而強調解題與科學方法的相似性。Gagne 等(Gagne *et al.*, 1993)則指出，無論那一種類型的問題，在其解決的過程中一定會涉及問題表徵、知識轉變(問題空間的搜尋)及解法評估等認知歷程。Glass 和 Holyoak(1986)所列解題過程的四個主要步驟分別是：形成問題表徵、建立解題計畫、重新形成問題表徵與執行計畫並檢查結果等項。Hayes(1989)則舉出解題的順序依次為發現問題、問題表徵、計畫解題方法、實行解題計畫和評鑑答案。Mayer(1992)將解題過程分為問題表徵與解決問題兩個主要階段。問題表徵包括問題的轉譯(Problem translation)與問題的統整(Problem integration)；解決問題包括解題計畫和監控與執行解題二者。基本上，雖然各學者所劃分的階段及名稱互有差異，但從這些學者所提的看法可以歸納出解題之普遍性的歷程。在問題出現後，解題者首先必須以其所具備的知識先對問題加以表徵，形成對問題之初步的了解，並構思解題的計畫。在解題進行中，解題者必須視問題狀態的變化，隨時修正其對問題狀態的表徵，選擇合適的解題策略以克服障礙，完成目標。在獲得解答之後，解題者尚須對所得的答案做檢核，以確定答案約完整性與正確性。

解題者在經過內在思考形成解題計畫後，便開始採取一系列的策略來解決問題。常見的解題策略可大略分為兩大類：一類是領域一般性的解題策略，另一類則為領域專門性的策略(Glass & Holyoak, 1986; Gick, 1986; Gagne *et al.*, 1993)。領域一般性的解題策略可以應用的層面較廣，與問題內容所涉及的領域無關，但無法有效地用於解決涉及領域專門性知識的問題，因此是一種功能較弱的解題方法。領域專門性的解題策略之使用必須依賴解題者所具備的相關知識，是學科專家所具有之領域專門性知識的表現(Chi & Bjork, 1985; Gagne *et al.*, 1993)。

Gagne 等(Gagne *et al.*, 1993)指出，常見的領域一般性解題策略可分為「向後做」(Working-backward)和「向前做」(Working-forward)兩類。「向後做」的方法主要是採減少問題的取向(Problem reduction approach)，包括：(1)試誤法(Generatetest method)—解題者一次只產生一個可能的答案，而後再測試該答案正確與否，如此重複直到獲得解答為止。這

種方法沒有使用指引達成目標的途徑之知識，因此，搜尋的問題空間很大是較無效率的解題法，只適用於問題空間較小的解題。類似的方法還有所謂「爬山法」(Hill climbing)(Newell & Simon, 1972; Glass & Holyoak, 1986; Hayes, 1989)。(2)手段—目的分析(Means-ends analysis)一解題者必須先確認目標狀態與當前狀態的差別，然後再採取步驟(操作子)以減小兩者之間的差距。如此不斷重複，直到獲得答案為止。解題者使用本法只需注意不同狀態間的差異，並未考慮操作子之的關係，因此，雖有助於解題，但解題者無法從中習得解題的法則(Gick, 1986; Glass & Holyoak, 1986; Hayes, 1989; Holyoak, 1990)。「向前做」是根據當前狀態來決定採行那些操作子進行解題，因此「向前做」必須以知識為基礎，是專家常用的方法(Gagne *et al.*, 1993)。

另一種分類是將解題策略分為捷思法(Heuristics)與算則(Best, 1989)。捷思法是一種經驗法則，沒有固定的步驟，並不能保證能獲得答案(Glass & Holyoak, 1986; Best, 1989)。算則是一種確保可以產生答案的解題策略，有較為固定的步驟，對解決例行性的問題或練習是有用的(Bodner, 1987; Hayes, 1989; Best, 1989; VanLehn, 1989)。然而，一些解題的研究特別強調，學生雖會應用算則解題，但並未真正了解所涉及的科學概念，值得教師們注意(Gabel, Sherwood & Enochs, 1984; Stewart & Hafner, 1994; Niaz, 1995)。

#### 肆、專家與生手之科學解題表現的比較

專家與生手的解題行為的差異可以反映出二者在知識結構、解題策略與認知監控等綜合表現上的不同。然而 Smith 等(Smith & Good, 1984; Smith, 1990, 1991)由其遺傳學解題的研究結果發現有些生手(學生)會使用與專家(有經驗的教師)相同的解題策略，而專家之間組織領域專門性知識的方式也不盡相同，因而認為專家與生手無法截然二分，而將具有不同表現的解題者以成功／不成功來代表。

茲根據研究文獻的分析，專家／生手或成功／不成功者的解題表現之差異，可歸納如下：

- (一) 整體而言，專家的解題速度較快、較精確，所犯的錯誤較少，學科知識上的迷思概念也較少(Chi *et al.*, 1982; Chi & Bjork, 1985; VanLehn, 1989; Gagne *et al.*, 1993)。促成這些表現的潛在原因是因為專家的知識結構較好。由於具有較多、較大的知識組塊，使得他們在記憶、檢索、辨識重要線索、理解等方面均較生手為優(Chi *et al.*, 1981; Kempa & Nicholls, 1983)。
- (二) 在問題的表徵與分類方面，專家會根據問題所涉及的學科知識(定理、規則等)來分析問題，建構問題的表徵。然生手則以問題的表面結構(如：問題所附的圖形)或以具體

事物來表徵問題。這種表徵品質的差異使二者在問題的了解上有很大的差異(Chi *et al.*, 1981; Larkin, 1983; Zajchowski, 1993; Helgeson, 1994)。

(三) 在解題之前，專家或成功的解題者會花費較多的時間構思解題計畫，而生手或不成功的解題者則較少建立解題的計畫(Chi *et al.*, 1981; Larkin, 1983; Garrett, 1986; Gagne *et al.*, 1993)。

(四) 專家或成功的解題者因具有明確的程序性知識和概念性知識，並能加以活用，故他們能使用較合適的解題方法，而且所採取的解題策略與生手亦不同。研究發現，專家在其領域範圍中的解題，多採「向前做」的策略(即所謂「知識發展」(Knowledge development)或「基模驅動」(Schema-driven)的策略)，而生手則慣用「向後做」(即「搜尋驅動」(Search-driven)或「資料驅動」(Data-driven))的策略(Chi *et al.*, 1982; Sweller, 1988)。即使有些生手會使用基模驅動的解題方式，但由於其所具的基模較不完整，故其表現仍不如專家(Chi *et al.*, 1981)。此外，專家或成功的解題者在解題過程中會根據知識進行邏輯推理或推論，而生手或不成功的解題者則較少進行推理，或出現錯誤的推理(Chi & Glaser, 1985; Chi & Bjork, 1985)。

(五) 在後設認知方面，專家或成功的解題者其自我監控(Self-monitoring)的技能較好，故在完成解題之後，他們會主動檢查和評鑑答案的正確性與完整性，而生手或解題不成功者則通常並不會如此，他們大都只是重複驗算，但沒有考量完整性(Chi & Bjork, 1985; VanLehn, 1989; Smith, 1991)。

從以上專家／生手(成功／不成功)的解題研究可以明確地顯示出，解題者的知識是所有影響解題的因素中最重要的一個變項。沒有知識作為思考的材料，解題就無法進行。在整個解題歷程中唯有能夠運用知識與解題策略，方為達成解題任務的第一要件。

## 伍、問題解決與科學學習成就評量

假如評量的結果要能在教學與學習上產生實質的意義，一個測驗在設計時，其內容除需符合課程與教學的目標外，往往還要藉助一些相關的研究發現以作為命題的參考(Snow & Lohman, 1989; Linn & Gronlund, 1995)。以當前許多科學教育學者所主張的科學課程與教學之目標而言，其內涵可謂深受訊息處理的認知心理學觀所影響(Calfee, 1981)。根據訊息處理心理學的觀點，科學教學與學習的重心，均在於學習者能建構並活用有組織的敘述性知識與自動化的程序性知識(Snow & Lohman, 1989; Gagne *et al.*, 1993)，因此，若教師欲得知學生有否達成此一學習目標，則唯有所設計的評量之內容能同時測出知識的組織性與自動化程度者，方能奏效。基於此一理念，解題便成為評量科學學習成就最合適的一種方



式(Snow & Lohman, 1989; Niemi, 1997)。

從諸多科學解題中「專家與生手(或成功／不成功解題者)」的研究顯示，藉由專家(或成功者)與生手(或不成功者)在解題過程的表現上的差異，可以衍生出許多頗具價值的教育意涵，由此不但有助於科學教師能更深入瞭解學生學習與運用科學知識的情形，亦可作為據以設計學習成就評量的藍圖，期使評量的結果更真實、更具意義。在累積各科學學科解題的一些研究發現後，可以歸納出下列幾項對科學學習成就評量較具影響力的意涵(Chi *et al.*, 1981; Snow & Lohman, 1989; Smith, 1991; Kindfield, 1991; Hackling, 1994; 楊坤原、鄭湧涇, 1997):

- (一) 科學教師若能於平常教學時，多設計解題取向的學習活動，便可提供學生主動建構知識、操練解題策略的機會。研究指出(Chi *et al.*, 1981)，專家之所以能在該領域有良好的解題表現，就是因其具有組織良好的領域專門性知識與自動化的解題步驟，而這乃得利於豐富的解題經驗所賜。因此，如果以解題作為科學學習評量的方式，不但可以與教學活動相配合，更能導正學生的學習方式，鼓勵其探究思考的科學精神，促進自我反省或自我評鑑其知識組織，提昇學習遷移的效果。
- (二) 從生手解題的表現中發現，其解題失敗的原因，往往是因其領域專門性知識不足或具有若干迷思概念(Misconceptions)所致(Kindfield, 1991; Smith, 1991)。透過解題歷程，科學教師將可從中發現學生知識的缺乏或迷思之處，以採取補救措施。故以解題來評量科學學習成就，可兼具診斷的功能。此外，教師若能歸納專家解題所使用的知識、策略或步驟，加以適當編排再提供學生作為參考，則可幫助學生從觀摩專家解題的歷程中，發覺自己在這些方面的缺失，並藉以增進其解題的經驗與技能。
- (三) 相較於生手而言，專家解題的全部時間較少，且在解題歷程的品質(包括解題步驟的完整性、正確性、邏輯性等方面，均有較好的表現(Chi *et al.*, 1981; Gagne *et al.*, 1993)。因此，透過解題時間與解題品質的評估，當可更精確地反映出解題者內在知識的組織性和解題步驟的自動化程度。由於傳統的選擇或填充式測驗題型無法從測驗結果中提供這些重要的訊息，故若以解題作為學習成就評量的方式，當可用解題時間、答案的正誤、解題步驟與解題策略等作為評分的準據，對學生的學習結果與思考歷程作質與量的評鑑，如此方能對學習結果作出更正確、完備的解釋，提升成就評量在學生的分類、安置(Placement)、選擇、診斷與輔導等方面的功能。

## 陸、結語

教學、評量與學習三者之間關係密切、相互為用。在教學的前、中、後各階段，教師

均可透過評量來瞭解學生的起點行為、安排教學內容與教學活動、鑑衡學生的學習結果並以此作為改進教學的參考。學生亦可由評量結果知道自己的學習情形，成為日後學習的鼓勵或警惕。因此，評量可說是聯繫教學與學習的橋樑，在整個教學歷程扮演重要角色。

隨著認知心理學的發展，學習成就評量之目的已不僅止於分類學生，而是更強調其在協助學生學習的功能。從晚近許多以認知心理學為基礎的科學解題研究結果，在在都清楚地顯示出，學生的學習成就至少應涵蓋靜態的知識內容和動態的策略使用兩個向度。若從「解題也是一種學習的歷程」的觀點出發(Gagne, 1985; Yore & Russow, 1989)，則當更可確定學生的學習成就可視為知識和策略的綜合表現。因此，如能以解題來評量學習成就，不僅可符合此一要求，尚可改進傳統測驗無法充分表達這些學習結果的缺憾，而評量所得的結果也因更具心理學上的意義，故有較強的構念效度(Construct validity)(Snow & Lohman, 1989)。

鑑於國內、外的科學教育均在認知心理學與建構論的理念下，強調解題的重要性(AAAS, 1989; 教育部中等教育司, 1997a, b)，可見，解題是一種符合科學教育目標的評量方式。尤其，近年來解題的評量或教學活動設計已漸與電腦輔助學習(Computer assisted learning, CAL)的相關科技相結合，相信日後藉助電腦的幫助，當更能發揮解題在教學與學習上的效能，並成為實作評量(Performance assessment)的一種理想的方式。

## 參考文獻

1. 教育部中等教育司. (1997a). 國民中學課程標準. 台北市:正中書局.
2. 教育部中等教育司. (1997b). 高級中學課程標準. 台北市:正中書局.
3. 陳英豪、吳裕益. (1997). 測驗與評量(第三版). 高雄市:復文圖書出版社.
4. 郭生玉. (1991). 心理與教育測驗(第六版). 中和市:精華書局.
5. 楊坤原、鄭湧涇. (1997). 高一學生遺傳學解題表現與解題策略之研究. 科學教育學刊, 5(4), 529-555.
6. American Association for the Advance of Science. (1989). Sci. for all Amer. Washington, DC.
7. Benton, S.L., & Kiewra, K.A. (1987). The assessment of cognitive factors in academic abilities. In R.R. Ronning, J.A. Glover, J.C. Conoley, & J.C. Witt (Eds.), The influence of cognitive psychology on testing. New Jersey: LEA Publishers.
8. Best, J.B. (1989). Cognitive psychology. St. Paul: West Publishing Company.
9. Bodner, G.M. (1987). The role of algorithm in teach. Prob. Solv. J. of Chem. Edu., 64(6), 513.
10. Champagne, A.B. (1988). Definition and assessment of the higher-order cognitive skills. Nat.

- Assoc. for Res. in Sci. Teaching, Research Matter ... To the Science teacher.
11. Chi, M.T.H., & Bjork, R. (1985). Modeling expertise. In Dr. Druckman, & R. Bjork(Eds.), The mind's eye: Understanding human performance. Washington D. C.: National Academic Press.
  12. Chi, M.T.H., & Ceci, S.J. (1987). Content knowledge: Its role, representation, and restructuring in memory development. Adv. in Child Devel. and Beh., 20, 91.
  13. Chi, M.T.H., Feltovich, P.L., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by expert and novices. Cogn. Sci., 5, 121.
  14. Chi, M.T.H., & Glaser, R. (1985). Problem-solving ability. In R. J. Sternberg(Ed.), Human ability. --An information-processing approach. New York: W. H. Freeman and Company.
  15. Chi, M.T.H., Glaser, R., & Rees, E. (1982). Expertise in problem solving. In R.J. Sternberg(Ed.), Advances in the psychology of human intelligence(Vol. 1). New Jersey: LEA Publishers.
  16. Chiappetta, E.L., Koballa, Jr., T.R., & Collette, A.T. (1998). Science instruction in the middle and secondary schools (4<sup>th</sup> ed.). New Jersey: Prentice-Hall Inc.
  17. Davis, G.A. (1973). Psychology of problem solving. New York: Basic Books, Inc., Publishers.
  18. Eysenck, M.W., & Keane, M.T. (1990). Cognitive psychology. Hove: LEA Publishers.
  19. Frank, D.V., Baker, C.A., & Herron, J.D. (1987). Should students always use algorithms to solve problems? J. of Chem. Edu., 64(6), 514.
  20. Gabel, D.L., Sherwood, R.D., & Enochs, L. (1984). Problem solving skills of high school chemistry students. J. of Res. in Sci. Teach., 21(2), 221.
  21. Gagne, R.M. (1985). The conditions of learning(4<sup>th</sup> ed.). New York: Holt, Rinehart and Winston.
  22. Gagne, E.D., Yekovich, C.W., & Yekovich, F.R. (1993). The cognitive psychology of school learning(2<sup>nd</sup> ed.). New York: Harper Collins College Publishers.
  23. Garrett, R. M. (1986). Problem-solving in science education. Stud. in Sci. Edu., 13, 70.
  24. Gick, M.L. (1986). Problem-solving strategies. Edu. Psy., 21(1-2), 99.
  25. Glaser, R. (1962). Psychology and instructional technology. In R. Glaser(Ed.), Train. res. and edu.. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
  26. Glass, A.L., & Holyoak, K.J. (1986). Cognition(2<sup>nd</sup> ed.). Singapore: McGraw-Hill.
  27. Glynn, S. M., Yeany, R. H., & Britton, B. K. (1991). The psy. of learn. Sci. N. J.: LEA Publishers.
  28. Greeno, J.G. (1980). Trends in the history of knowledge for problem-solving. In D.T. Tuma, & F.

- Reif(Eds.), Prob. Solv. and educ.: Issues in teaching and research. N. J.: LEA Publishers.
29. Greeno, J.G. (1987). Generative processes in representations of problems. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 285 738)
30. Hackling, M.W. (1994). Application of genetics knowledge to the solution of pedigree problems. Paper presented at the 25<sup>th</sup> Aust. Sci. Edu. Conf., Holsait Tasmania, July, 1994.
31. Hayes, J.R. (1989). The complete problem solver(2<sup>nd</sup> ed.). New Jersey: LEA Publishers.
32. Helgeson, S.L. (1994). Research on problem solving: Middle school. In D.L. Gabel(Ed.), Handbook of res. on sci. teach. and learn. New York: Macmillan Publishing Co.
33. Holyoak, K.J. (1990). Problem solving. In D.N. Osherson, & E.E. Smith(Eds.), Thinking. Cambridge: The MIT Press.
34. Kempa, R.F., & Nicholls, C.E. (1983). Problem-solving ability and cognitive structure-An exploratory investigation. Eur. J. of Sci. Edu., 5(2), 171.
35. Keren, G. (1984). On the importance of identifying the correct 'problem space'. Cogn, 16, 121.
36. Kindfield, A.C.H. (1991). Understanding a basic biological process: Expert and novice models of meiosis. Paper presented at the annual meeting of Nat. Amer. for Res. in Sci. Teach., Fontana, WI, April, 1991.
37. Kluwe, R.H. (1990). Understanding and problem-solving. In Schneider, & Weinert(Eds.), Interact. among aptitudes, strategies, and knowledge in cogn. Perf. N. Y., Springer-Verlag.
38. Larkin, J.H. (1983). The role of problem representation in physics. In D. Gentner, & A.L. Stevens(Eds.), Mental models. New Jersey: LEA Publishers.
39. Larkin, J.H. (1985). Understanding, problem representation, and skill in physics. In S.F. Chipman, J.W. Segal, & R. Glaser(Eds.), Thinking and learning skills(Vol. 2). N. J.: LEA Pub.
40. Linn, R.L., & Gronlund, N. E. (1995). Measurement and assessment in teaching (7<sup>th</sup> ed.). New Jersey: Prentice-Hall Inc.
41. Mayer, R.E. (1992). Thinking, problem solving, cognition(2<sup>nd</sup> ed.). New York: W. H. Freeman and Company.
42. Newell, A., & Simon, H. A. (1972). Human problem solving. New Jersey: Prentice-Hall.
43. Niaz, M. (1995). Progressive transitions from algorithmic to conceptual understanding in student ability to solve chemistry problems: A Lakatosian interpretation. Sci. Edu., 19(1), 19.
44. Niemi, D. (1997). Cognitive science, expert-novice research, and performance assessment.

- Theory Into Practice, 36(4),239-246.
45. Palumbo, D.B.,& Vargas, E.A. (1988). Problem solving: A behavioral interpretation. In W.M. Reed,& J.K. Burton(Eds.), Educational computing and problem solving. N.Y.: Haworth Press.
46. Polya, G. (1957). How to solve it(2<sup>nd</sup> ed.). New York: Doubleday.
47. Rabinowitz, M.,& Glaser, R. (1986). Cognitive structure and process in highly competent performance. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 283 335)
48. Resnick, L.B. (1983). Mathematics and science learning: A new conception. Science, 220, 377.
49. Resnick, L.B. (1992). Education and learning to think. In M.K. Pearsall(Ed.), Scope, sequence, and coordination of secondary school science(Vol. 2). Washington, D.C.: The National Science Teachers Association.
50. Shavelson, R.J., Carey, N.B.,& Webb, N.M. (1990). Indicators of science achievement: Options for a powerful policy instrument. Phi Delta Kappan, 71(9), 692.
51. Siegler, R.S. (1985). Encoding and the development of problem solving. In S. F. Chipman, J. W. Segal,& R. Glaser(Eds.), Thinking and learning skills(Vol. 2). New Jersey: LEA Publishers.
52. Siegler, R.S. (1991). Children's thinking(2<sup>nd</sup> ed.). New Jersey: Prentice-Hall Inc.
53. Smith, M.U. (1990). Knowledge structures and the nature of expertise in classical genetics. Cognition and Instruction, 7(4),287-302.
54. Smith, M.U. (1991). Toward a unified theory of problem solving. New Jersey: LEA Publishers.
55. Smith, M.U.,& Good, R. (1984). Problem solving and classical genetics: Successful versus unsuccessful performances. . J. of Res. in Sci. Teach., 21(9), 895.
56. Snow, R.E.,& Lohman, D.F. (1989). Implications of cognitive psychology for educational measurement. In R. L. Linn(Ed.), Educational measurement (3<sup>rd</sup> ed.). New York: Macmillan Publishing Company.
57. Stewart, J., & Hafner, R. (1991). Extending the conception of "problem" in problem-solving research. Sci. Edu., 75(1), 105.
58. Uno, G.E.,& Bybee, R.W. (1994). Understanding the dimensions of biology literacy. BioScience, 44(8), 553.
59. VanLehn, K. (1989). Problem solving and cognitive skill acquisition. In M.I. Posner(Ed.), Foundations of cognitive science. Cambridge: MIT Press.
60. Voss, J.F.,& Post, T.A. (1988). On the solving of ill-structured problems. In M.T. Chi, R.

- Glaser, & M.J. Farr(Eds.), The nature of expertise. New Jersey: LEA Publishers.
61. Welch, W.W. (1995). Student assessment and curriculum evaluation. In B.J. Fraser & H.J. Walberg (Eds.), Improving science education. Chicago: The National Society for the Study of Education.
62. Winne, P.H. (1985). Cognitive processing in the classroom. In T. Husen, & T.N. Postlethwaite(Eds.), The international encyclopedia of educ. (Vol. 2). N. Y.: Pergamon Press.
63. Yore, L.D., & Russow, J.E. (1989). Toward a unified conception of thinking. Paper presented at the Normal Assoc. for Res. in Sci. Teach. Ann. Meet., San Francisco, March 30- April 1, 1989.
64. Zajchowski, T. (1993). Differences in the problem solving of stronger and weaker novice in physics: Knowledge, strategies or knowledge structure? J. of Res. in Sci. Teach., 30(5), 459.

## The application of problem-solving on the assessment of science learning achievement

*Kun-Yuan Yang*

Teacher Education Center  
Chung Yuan Christian University

### ABSTRACT

One of the major purposes of science instruction is to foster students to be a problem solver. The processes of problem-solving involved the using of declarative and procedural knowledge. By means of problem-solving, it could not only help science teachers to know how students organizing and utilizing their knowledge, but promote students constructing knowledge and thinking actively. In view of these advantages, it is a suitable way to assess the achievement of science learning by problem-solving.

The objective of this paper is to inquire the availability of problem-solving as a assessment of science learning achievements. This paper was organized into six sections. The introduction section clarified the relationship between instruction and assessment, and argued that it was appropriate to use problem-solving as a method to assess science learning achievement in terms of cognitive psychology and constructivism. The second section analyzed the nature of problem-solving and the relationship between problem solving and knowledge. The third section introduced the strategies and processes of problem solving. The fourth section listed the differences between the experts and novices on the science problem solving performances. The fifth section described the implications of the results of science problem solving researches. The conclusion section contained both the remark of the relationships among instruction, learning and assessment, and the future development of problem solving

Key words: Problem-solving , Problem-solving strategies , Assessment of science learning achievement, Secondary school