

# 問題解決能力的教育

## I. 問題的設計及其對學習的影響

許榮富

國立臺灣師範大學物理系

黃德亮

天主教私立光仁高級中學

### 摘 要

在一九八〇年科學知識爆炸的時代中，老師已經不能再讓學生學習所有累積的知識，並且今日問題的答案未必能適用於明日的問題，因此「問題解決能力」的教育變成了一項非常重要的理念。又由於升學壓力以及其他不正常教學的問題，對國內而言，“問題解決能力”的教育更是刻不容緩。但因目前國內老師對這方面的認識較少，因此本文盡量試以最簡單、淺顯的例子說明，也以最容易接受和做到的策略，提供給大家參考。本文內容重點分為六部分：

- 一、目前問題的基本認識。
- 二、提供有效、容易接受和做到的「解決問題能力」策略。
- 三、列舉具有連貫性、簡單和淺顯的例子來說明。
- 四、對測驗與評鑑的建議。
- 五、專家對此方面的看法。
- 六、建議。

希望借本文能引起國內有關人士對問題解決能力教育的重視，並瞭解其重要性。也希望它能帶給老師們重大的改變共識和一些幫助，且能共同努力，為我國科學教育紮根。

## 前 言

自然學科中，尤其是物理和化學，學生對其有關數量或半數量的問題常感到困難且畏懼。甚至老師也會常抱怨對同一有關數量的計算題，說明了很多遍，學生尚很難接受。由於這個緣故，因此造成了學生對物理、化學的學習缺乏了興趣。爲了要提高學生的濃厚學習興趣和達到教學目標，因此不得不先瞭解他們感到困難和不易接受的原因。當然數學的運算能力很差，會造成前面的結果，但這絕對不是單一或者主要的原因。若只是數學能力較差而造成後果，那問題還較易解決，只要好好加強數學運算能力就好了。經研究分析其造成的原因，大約可歸納成下列四項：

- (1) 欠缺正式的推理能力。
- (2) 對敘述性的題目無法或不願意把它結構成一合適的物理圖案。
- (3) 錯誤的觀念，如：認爲任何問題都有一公式或一定的程序（例如 factor-label method），只要把數據塞入就能解決問題。
- (4) 由於過去對數量問題有困難或挫折的經驗而造成憂慮或恐懼。

近年來，自然學科甚至別的學科都已漸漸對教「解決問題的技能」進行研究。只要我們能在幫助我們學生發展解決問題技能上多費點心，他們將會對所學的有更深一層的瞭解。他們也將會對有關數量問題科目的困難大大減少。同時，他們對抽象推理和問題解決的學習大部分也都能應用於日常生活中。

決定一個學生對問題解決能力是否有顯著增加的主要因素，當然是學生自己的努力。但從另一角度看，老師的教學會很深的影響到他們努力的多少和方向。我們老師必須時常提供一些只有學生肯努力推理就能成功的問題，來支持那些迫切學習學生的信心。只要能繼續如此做，就可能很強地激起學生努力向前。剛開始時，我們要帶學生先處理那些牽涉到最少最簡單的原理，最簡易的計算過程和最少數學複雜性的問題。最後再處理較複雜的問題。我們常發現很多學生懷疑自己沒有解決問題的能力，這些都是過去困難和痛苦經驗而造成的。很多老師都希望帶學生處理難題，並且也以爲會處理難題，一定就會處理簡單的問題。我們要知道一切問題基礎都是由簡單的觀念慢慢建立起來，對問題的興趣也是由簡單以螺旋式進入佳境。我們也必須重複的強調，對學生而言，第一眼看到一問題時就知道解決方法，這並不是我們所期望的。倒不如對他們說，問題是可被接受的作法來得妥切。但對一特別的問題，在有明顯獲得解決之前，都必須經過多次嘗試研究。我們必須幫助學生瞭解問題的解決不僅是應用死的源準過程。在課堂上講

解範例時，常用一種方式說：「我們這樣做、這樣做……就可得到答案！」很多學生照著老師的範例方式去處理問題，但是不能體會到真正解決問題所應用的潛在邏輯觀念。最後甚至解決類似的問題他自己都感到困難，怎還能解決更高層次的問題呢？綜合以上，再加上專家 Gilbert 所說的：「我們必須對學生陳列出解決問題的推理程序。」這些話，可瞭解這個主題對目前教學潛在問題的重要性，且在這裏談到的切當性。

## 問題解決方法的步驟

下面將介紹非常有用的一般性問題解決方法，分為四步驟：

### 步驟一 對牽涉到的物理情況建立一清楚的藍圖：

- (1) 在使用公式或方程式來獲得答案前，學生必須先考慮問題中的用語精確意義和特殊的物理情況。因此老師對這方面須選擇應用適當選的樣本問題，強調那些粗略的草圖和圖表有相當的用途，好讓學生同意和感受到這些對問題的解決上是非常重要的。
- (2) 在可能的情況下，對問題作初步定性的預料或估計，將會對建立一清楚的物理情況藍圖，對解決那問題所設計的方法和檢查最後數據答案等都有很大的幫助。我們必須訓練學生在處理問題中的用語和物理情況建立了藍圖，這樣做也就是等於對問題有了初步瞭解。我們的學生常有的毛病就是沒有弄懂題目就開始解題，這是很危險的作法。

### 步驟二 決定解法問題的方法

我們強調(1)決定一適合的方法是解決問題最困難的一件事。(2)在尚未作任何計算前先訂立一多功能的計算過程表作為引導，這是非常有用的。

對一般已有解決問題的策略介紹給學生，是一件非常有價值的事。這些策略大致上來說可由下列問題引發：

1. 問題中的數量與那些物理定律和數學方程式有關？體認物理數量間的數學關係是促成學生解決問題技能進步的好方法。但不是只用來求某一個數量而已。
2. 我能否確定那些要用的物理原理和數學式會適合問題的特殊條件？一般學生錯誤的做法是僅記憶式子，(例如  $F = ma$ ) 並沒有把式子與特殊情況相結合。很多學生無法確定要用那些必須應用一組特殊的條件，且涉及物理量數的數學關係式。
3. 我有多少個未知量數，有多少個未知量與已知量的關係？我們時常發現學生會以

不足夠的資料解題。當一個學生在開始分析問題時，如果就能確定有沒有足夠的數量和關係式子來決定問題的解決，那不就可避免以上所患的錯誤了嗎？這種分析的形式是常被建議作為解題的方式。

4. 我能不能把問題分成數個簡單步驟？尤其當學生面臨更困難的問題時，能把複雜的問題分成數個簡單部分的能力，是非常重要的。
5. 若是我要獲得某一量數的值，我必須要知道什麼？此策略有時應用反方向解題方式，其方法是問相反方向的問題。但學生必須瞭解對有些問題而言，只有一種方法是適合的，對某些問題而言，則必須結合數種方法才能達到解題的方法。
6. 我能作那些合理的物理估計？學生必須知道很多物理問題沒有數學的準確性是無法解的。他們必須認識所作的估計必須是合理和有效的。

### 步驟三 代數的使用和算術的運算：

- (1) 先考慮概略性的數學關係式，然後再代入適合的量數。
- (2) 正確的使用單位，對解題是很有價值的。
- (3) 必須能正確地標示各量數。（用符號區別二個或更多的同類量數）
- (4) 常作特殊運算步驟前必須先寫出要被決定量數值的名稱或符號。
- (5) 當以“X”代表某量數時，必須明確寫出其所代表的量數。
- (6) 正確地完成運算結果是非常重要的。

### 步驟四 證實答案是合理的：

學生必須能確定答案無論在大小與單位兩方面都是合理的，且他們對初步的性質推理和最後數字答案也是應該互相一致的。

## 範例說明及性質問題

這裏所列舉的問題都是不足資料來獲得一數量的答案，而只需要學生寫出一適當解釋的性質答案。

例如：考慮下列涉及密度觀念的兩問題：

問題一：20°C時水的密度比酒精小。若20°C時某容器恰可裝40 g的酒精，問此容器是否在20°C時裝40 g的水呢？試作適當的解釋。

問題二：甲乙兩物質中，甲的密度大於乙。若甲、乙的質量相同，則何者的體積較大？試作適當的解釋。

問題二比問題一要來得抽象。

由此可知性質問題由於不足的數字資料，而對學生獲得某種問題解決技能有重大價值。包括：

- (1) 可強迫學生對問題的物理性質內容多加思考。
- (2) 可助學生瞭解應用合適的圖案表示的價值。
- (3) 能幫助學生在表示物理量數間關係式子中，瞭解和應用重要原理。

很多學生在面臨到要對問題作適當解釋時，例如他們在問題二中，就會應用密度公式， $\text{密度} = \text{質量} / \text{體積}$ 。作概括和正確的解釋。在這裏學生在數學關係式與物理內容作了一很重要的連結。同時也可推知，學生也會利用他們在性質問題中所學的東西，應用到那些需要獲得一數字答案的數量問題中。

**另一形式的問題：**它們與性質問題有相同的教學利益。此類問題：

- (a) 在具體的物理情況下，介紹一物理原理。
- (b) 需要少量的數量處理。

下面的例子是介紹能量守恒原理。

問題三：一克  $0^{\circ}\text{C}$  的冰溶化時須吸熱 80 卡。這個能量可由不同的方法提供。然後直接變成熱能。此實驗是把一克  $0^{\circ}\text{C}$  的冰由高處掉入盛有  $0^{\circ}\text{C}$  水的桶中。當冰打到水後就停止，此時水的溫度仍保持  $0^{\circ}\text{C}$ 。但冰的質量卻只剩 0.999 克。若氣溫也為  $0^{\circ}\text{C}$ ，則可知掉下過程中冰並沒溶化。問：

- a. 冰溶掉多少？要多少能量才能把它溶掉？
- b. 溶化冰的能量由何處來？
- c. 利用能量守恒原理，計算出冰打到水面前那一瞬間的動能和決定冰由原處落到水面所產生位能的變化量。

在問題三中雖然很辛苦的詳述，但可使問題具體和明瞭，且明確鼓勵學生去擬一物理情況的草圖。雖然其中需要數量運算而獲得答案的很少，但學生對物理情況必須作相當的思考。此形式問題也可帶動學生對物理情況詳加思考。問題三是對初步的物理課程訓練是很有用的，它也可以增加他們對物理內容細心思考能力。它對問題解決技能的增進是很有幫助。

**相關的題目：**下面討論的題目是介紹一位老師如何才能應用自己細心設計一組涉及物理量數之間簡單關係的連續性題目來幫助學生增加問題解決技能，同時也可增加他們對那些關係的瞭解。這類的相關性的題目，都必須漸漸沿著兩個方向發展。

(a) 由簡單與具體的物理觀念到更複雜和抽象的。

(b) 由簡單的數學運算到更複雜的。

下面的例子是應用單純物質的熱量 $Q$ ，其比熱 $C$ （假定溫度對它無關），質量 $m$ ，和溫度的改變 $\Delta T$ 間的關係。這些量數之間關係： $Q = C \times m \times \Delta T$ 。

式中所敘述的物理情況是簡單和具體的，若應用較難的情況時，它將會用來介紹很多常用的問題解決策略。

問題(一)：在 $25^{\circ}\text{C}$ 的甲、乙兩金塊。甲的質量比乙大。若它們吸收熱量而使溫度都達到 $30^{\circ}\text{C}$ 。那塊金吸收較多熱量呢？試作適當的解釋。

問題(二)：金的比熱是 $3.1 \times 10^{-2}$ 卡/克度 $C$ 。一塊金由於失去18卡的熱量而使溫度由 $37^{\circ}\text{C}$ 降至 $25^{\circ}\text{C}$ 。

a. 此塊金的質量是大於、等於或小於一克？

b. 計算出金塊的質量。

問題(一)、(二)都涉及質量與熱量之間關係。呈現這種同樣相關觀念的成對題目，常常是相當有用的。問題(一)中雖然有數量，但卻是一性質的問題。問題(二)分成兩部分，a. 為性質部分，b. 要求的是數字答案——數量部分。我們常發覺到，學生對數量的問題，常喜歡尋找式子，然後不經思考地把數字代入獲得答案。例如(一)、(二)形式的成對問題，可幫助學生以先詳細思考性質部分，並對答案作一性質的預估，然後再處理數字的運算的方法，代替過去不正當（不加思考，只代公式）的方法。當學生獲得一正確的解題方法，他將會更具信心。以後問題中就是沒性質部分，他們也會詳加思考，然後再進行數字運算。

問題(三)：鋁的比熱為 $0.21$ 卡/克度 $C$ ，鈣的比熱為 $0.15$ 卡/克度 $C$ 。當給 $35^{\circ}\text{C}$ 的 $20.0$ 克鋁和 $25.0$ 克鈣同樣的熱量時，問何者的末溫較高？試作合適的解釋。

此性質問題要比問題(一)來得更易誤解。此題目的繁雜足夠讓學生瞭解在解題前先擬畫一適當的草圖的價值。此問題同時需要學生對公式(1)能作更深的思考。尤其讓他們確認 $Q$ 與 $\Delta T$ 間的關係是要依質量與比熱而定。問題(三)還有一優點，就是它沒有充分足夠的資料，讓學生獲得溫度的數字答案。這樣可避免學生再用以代公式而直接求答案的方法，而能以思考方式獲得答案。還有一點很重要的就是學生往往由於用不正當的方法解太多數量問題，而當題目數據條件不夠下，依然無警覺地解出答案。由於問題(三)並不需求數字答案，因此可訓練他們對這方面的警覺性。

問題(四)：質量10克，溫度 $27^{\circ}\text{C}$ 的水吸收熱量10卡。質量10克，溫度 $25^{\circ}\text{C}$ 的水吸收熱量20卡。那杯水的末溫較高？試作合適的解釋。(水的比熱 $1.00$ 卡/克度 $\text{C}$ )。

問題(四)是另一增進學生問題解決技能的方法。現今很多的學生不能瞭解他們必須詳讀題目，並且瞭解在問題和數學關係式中每一項的正確意義的重要性。他們時常無法區別量值與量值的變化量，而造成普遍的錯誤。例如：學生時常把末溫 $T_r$ 與溫度變化量 $\Delta T$ 混淆。問題(四)是針對學生這種普遍的錯誤和讓他們瞭解在問題和數學關係式中每一項正確意義的重要性而設計的。同時它還有另一重要的優點，那就是介紹不加以思考而作比例推理態度的危險性。很多學生都認為許多的問題都可用簡單的比例推理就可解得。上例中，學生認為兩個樣本的質量都相同，因此吸熱愈多，其末溫也必然會愈高。

問題(五)：50克的鐵和50克的水相混後，其初溫為 $25^{\circ}\text{C}$ 。當它們吸收了六百零五卡的熱量時，則鐵的末溫為多少？(鐵的比熱 $0.11$ 卡/克度 $\text{C}$ )。

很多初學者或許會發現此問題相當難。如果能把它寫成下面的多步驟的形式，那就會好多了。50克的鐵和50克的水相混合後，其初溫為 $25^{\circ}\text{C}$ 。且吸收六百零五卡的熱量。鐵的比熱 $0.11$ 卡/克度 $\text{C}$ 。

- (a) 當此混合物吸收六百零五卡的熱量時，此熱量跑到那兒去？
- (b) 為什麼不能由 $605 = 0.11 \times 45 \times (T_r - 25)$ 此式子決定其末溫？
- (c) 鐵與水兩者中，那種物質獲得熱量較多？
- (d) 決定鐵的末溫。
- (e) 決定鐵和水分別所獲得的熱量。
- (f) 你在(e)部分的答案是否與(c)部分的性質分析互相一致。

此種步驟式的問題可使學生看出：

- (1) 設計出一解題的方法，必須在處理數量計算前先思考問題性質部分的價值。
- (2) 不經思考而代數字在公式中的態度。
- (3) 在還沒做數字計算前先做性質的評估，然後再檢查那預估的結果是否與計算結果一致的價值。
- (4) 呈現不同且可分成數部分的問題，對學生在問題解決技能方面的獲得有很大的幫助。

問題(六)：5.0克的鈷標本甲，其初溫為 $25^{\circ}\text{C}$ 當這標本獲得1.6卡的熱量時，溫度升高到 $27.9^{\circ}\text{C}$ 。7.0克的鈷標本乙，其初溫 $25^{\circ}\text{C}$ 若標本B獲得1.2卡的

熱量，則其末溫為多少度C？試作一表寫出要進行的步驟。（在你處理數量計算前）

此問題也顯示了草圖的重要性，也讓學生能對熱量與比熱的區分，同時也瞭解在解題前先選擇一解決問題方法的優點。

這也是一簡單的例子說明了反方向的問題解決方法是非常有效的。以問題(六)為例：

- (a) 標本乙的質量，初溫和供應的熱量都是已知的，由公式(1)要決定乙的溫度的變化，尚需要獲得那些資料？
- (b) 我們必須知道鈷的比熱值。
- (c) 我們怎樣才能獲得鈷的比熱值？
- (d) 利用甲的資料及公式(1)就可獲得。

由剛才的推理就能引導學生得到進步的步驟：

步驟(1)：利用樣本A的資料和公式(1)求得鈷的比熱。

步驟(2)：利用樣本乙的資料與第一步驟獲得的鈷比熱，求樣本乙的溫度變化。

步驟(3)：利用第二步驟的溫度變化與已知的初溫，求得乙的末溫。

問題(七)：把一塊 $98^{\circ}\text{C}$ 的鈷金屬塊放在裝有25克，溫度 $22^{\circ}\text{C}$ 水的塑膠杯中。最後達到一平衡溫度 $23.5^{\circ}\text{C}$ 。鈷的比熱 $0.11$ 卡/克度C。

- (a) 若塑膠杯吸熱不計，則試計算出水所吸的熱量。
- (b) 決定鈷金屬塊的質量。

問題(八)：把質量8.4克，溫度 $95^{\circ}\text{C}$ 的鋁塊置於塑膠杯內 $24^{\circ}\text{C}$ 的水中，最後鋁和水達到一平衡溫度 $26.2^{\circ}\text{C}$ 。鋁的比熱為 $0.21$ 卡/克度C，試求水的質量。

（塑膠杯所吸的熱不計）

問題(七)與問題(八)是一成對的問題。問題(七)是把稍複雜的問題分成兩步驟來處理。當學生碰到同類形問題(八)時，他們就可使用問題(七)的策略來處理。這只是舉例說明而已，平常老師對其他的問題都可以此策略。引導學生，也是有效方法之一。

問題(九)：把質量58克，溫度 $100^{\circ}\text{C}$ 的鐵塊放在裝有水115克，溫度 $25^{\circ}\text{C}$ 的塑膠杯中。鐵的比熱 $0.11$ 卡/克度C。（塑膠杯所吸的熱不計）

- (a) 估計鐵與水的末溫？
- (b) 試求鐵所失去的熱量。

問題(九)中，學生必須把物理定律轉換成數學關係式。然後再解題。同時學生必須掌握Q與 $\Delta T$ 的正確數量。在問題中先讓學生估計其末溫，這種作法在班級討論中是非常有

價值的。它可幫助學生決定解決問題的方法，同時也可提高學生在計算過程中對錯誤的警覺。

問題(+): 把質量 0.1 克，溫度  $100^{\circ}\text{C}$  的鐵放入質量 10 公斤溫度  $25^{\circ}\text{C}$  的水中。鐵的比熱  $0.11$  卡/克度  $\text{C}$ 。試求鐵失去的熱量。

(a) 假定鐵和水的末溫比  $25^{\circ}\text{C}$  高，但很靠近  $25^{\circ}\text{C}$ 。試解釋為什麼此假定是合理的。

(b) 以(a)部分的假定，計算出鐵失去的熱量。

(c) 以(b)的結果計算出水的溫度變化，然後再驗證假定(a)。

由問題(+ )可知如何利用性質的推理，對問題作簡單的假定，去解困難的問題。同時它也強調了對假定驗證之重要。作簡單的假定，也可幫助學生較易掌握解題的原則。

## 評量的題目與方式影響深遠

評量的題目與評量的方法，對學生在一課程中所學到的內涵有很大且明顯的影響。尤其在升學壓力的情況下，考試已成了機械化。很多學校以及部分老師對考試爲了什麼都搞糊塗了。他們每天給學生考試，爲了是希望他們能應付考試，獲得高分，對於學生將來是否有獨立思考，以及解決問題的能力，都一概不管。在此種行政作風以及教學引導之下，因此，很多學生對數理的問題，總是以爲會代公式就好了，完全沒有融會。雖然考試很多，但卻對學生的解決問題的能力一點都沒幫助，且還養成了壞習慣。在此特別呼籲能多出些性質問題，需要學生做適當的解釋，這樣對發展他們的問題解決技能有很大的幫助。

目前爲了公平以及便於計分，大都採用選擇題。選擇題的缺點是學生能以猜答方式作答。但更重要的一點是學生應用錯誤的推理方法而獲得正確答案，老師與他本人都無法得知，因此在這情況下對這不正確的推理方法等於給予無形的鼓勵。因此建議多考性質問題和開放式問題。若是數量問題，則對只寫答案而沒有過程的，不給予計分，以堵住他們不好的解題行爲。只要老師平常教學多加注意，不是很快就可以把問題改觀了嗎？

## 各專家對性質問題的看法

Resnick (1983)

專家認定了在科學解題過程中對性質瞭解的重要性。他並且指出，教學的重點要放在數理問題情況中的性質觀念上。過早應用公式和方法，對學生獲得所需要的分析和表現之類的技能是沒有幫助的。目前性質分析在自然學科和數學的教學上尚不夠普遍。

#### **RONGOOD (1984)**

專家也指出學習科學的探究——解決問題必須在系統的個別之間建立性質關係。

#### **Gabel, Sherwood (1984) and Enochs**

他們研究發現中學生在化學方面的解題完全依靠數字計數方法。他們依靠數字計數法代替了瞭解觀念。同時也指出要幫助學生克服。「數字計數法模式」是要確認先讓學生對性質觀念瞭解，然後呈現數量部分。同時，對正確觀念的瞭解，必須與正確解出答案同樣的給予鼓勵。

#### **RONGOOD (1984)**

提到在傳統科學教育研究中，有關培根五步驟的研究討論，認為物理或生物系統中單元的關連的性質瞭解是非常重要的。

#### **Genyea (1983)**

也提出對學生呈現經過細心設計、合適且有相關的性質問題，以及提供一般解決問題方法後，都對學生的問題解決能力有很顯著的增加。

由以上專家學者的研究看法和建議，可知性質問題的重要性以及在培養解決問題技能方面的可行性。它或許可增加了大家不少的信心吧！

## **結 語**

總而言之，針對目前數理的問題，提出這些概念和例子供給大家作參考。大家可以試試看，它或許可帶給你們意外的成果。它可協助學生發展問題解決能力——也是學生將來面臨社會最需要的重要技能，它也是目前解決數理教學困難的途徑之一。因此最後建議多呈現那些經過細心設計、合適且有關性的性質問題給學生，來幫助學生從其中獲得解決問題能力。

最後希望這一點的小建議，能引起大家對這方面的重視，且結合心力共同努力，細心設計出合適的題目，不同的策略，與有效的教學法，培養學生能以不同的策略，解相同的問題，也能以相同的策略解不同的問題，只要大家有心，針對目前教學的缺陷，努力改進，我們培養出來的學生，將來一定都能有獨立思考以及解決問題的能力。

(對「問題解決能力」的更深一層研究，筆者將會陸續的發表。)

## 參考資料

1. Baird, L. L. Review of Problem-Solving Skills. Educational Testing Service, Princeton, N. J. Mar. 1983.
2. Christine McGuire. Simulation Technique in the Teaching and Testing of Problem Solving Skills. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 13, No. 2, pp. 89~100. 1976.
3. Chi, Michelene T. H. ; and Others. Expertise in Problem Solving. Pittsburgh University., Pa. Learning Research and Development Center. 1981.
4. Dadourian H. M. How To Study, How To Solve. Addison-Wesley Press. INC. Cambridge 42, Mass. 1951.
5. Daniel Gil P'erez and Joaquin Martinez Torregrosa. A model for Problem-Solving in accordance with Scientific Methodology. *European Journal of Science Education*, Vol. 5, No. 4, 447~455, 1983.
6. Dietz M. A. A Test To Measure Problem-Solving Skills in Science of Children in Grade 1, 2 and 3. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 7, No. 4, pp. 341~351. 1970.
7. Frazer M. J. & Sleet R. J. A Study Of Students' Attempts to Solve Chemical Problems. *European Journal of Science Education*. Vol. 6, No. 2, 141~152. 1984.
8. Gabel D. L. Problem-Solving Skills of High School Chemistry Students. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 21, No. 2, pp. 221~233. 1984.
9. Gabel D. L. & Sherwood R. D. Facilitating Problem Solving in High School Chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 20, No. 2, pp. 163~177. 1983.
10. Hale J. P. Problem-Solving Analysis : A Piagetian Study. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 20, No. 1, pp. 77~85. 1983.

11. James S. Two Aspects of Meaningful Problem Solving In Science. *Science Education* 66 (5) : 731~749. 1982.
12. Kramerspals H. The Transformation of Quantitative Problems to Standard Problems in General Chemistry. *European Journal of Science Education*. Vol. 5, No. 3, pp. 275~287. 1983.
13. Martin D. S. Thinking Skills : A Critical New Role in Teacher Education. (ED) Feb. 1983.
14. Ross J.A. & Maynes F. J. Experimental Problem Solving : An Instructional Improvement Field Experiment. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 20, No. 6, pp. 543~556. 1983.
15. RonGood. Scientific Problem Solving By Expert Systems. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 21, No. 3, pp. 331~340. 1984.
16. Seymoar L.A. The Relative Effectiveness of Group and Individual Settings in a Simulated Problem-Solving Game. *Science Education*, 59 (3) : pp. 297~304. 1975.
17. Shaw T. J. The Effect of a Process-Oriented Science Curriculum Upon Problem-Solving Ability. *Science Education*. Vol. 67 (5). pp. 615~623. 1983.
18. Woods D.R. Problem Solving In Practice. Dept. of Chemical Engineering, McMaster University, Hamilton, Ontario. Feb. 1985.
19. Woods D.R. Problem Based Learning. Department of Chemical Engineering, McMaster University, Hamilton, Ontario. Feb. 1985.
20. Woods D.R. What About Problem-Based Learning ? *JCST* September/October 1985.
21. Woods D.R. P S Corner. *JCST* 1984~1985.