

國小四年級學生在問題解決歷程中 解題策略與概念之探究

張美玉* 周欣萍**

本研究探討國小學童水的三態相關解題策略與概念。採質的研究法，主要運用放聲式思考晤談，並輔以問卷、教學錄影帶、活動記錄單等方式。研究對象為 201 位國小四年級學童，經由前測問卷與晤談兩方式，篩選出具有水的三態另有概念的學童共 28 人，進行問題解決教學活動，教學後再進行一對一晤談，以了解學童解題時所運用的概念類型，以及解題的策略。研究結果顯示：

- 一、學童的解題概念類型，是由低層次到高層次分佈，依序為：具體概念層次、半抽象概念層次、抽象概念層次。
- 二、學童的解題概念發展型態可歸納為：(1)以較高層次的概念來發展解題思考，並且概念呈現穩定的狀態。(2)在同儕互動下，原先使用較低概念層次的學童，改變為使用較高層次的概念。(3)教學後單獨解題時，因為缺乏小組互動的機會，兒童有可能重新使用較低層次的概念。
- 三、在解題策略方面可歸納如下：(1)教學前具有相同概念並不代表會有相同的解題策略形式。(2)學童所思考的概念會影響其解題策略形式。

關鍵字：問題解決、概念發展、水的三態變化

* 作者現職：國立新竹教育大學教育系教授

**作者現職：桃園縣立大勇國民小學教師

壹、緒論

培養學生發現問題與解決問題的能力是世界各國教育學者強調的教育目標 (Chang & Weng, 2002)，例如：在澳洲的關鍵能力教育 (羊憶蓉、成露茜，1997)、或是美國為改革中、小學科學教育所發展的 2061 計畫 (AAAS, 1993) 裡都可找到這個教育目標。為了順應二十一世紀科學教育的變遷與提昇國家競爭力，臺灣教育部於 2000 年 9 月公布的九年一貫課程改革中，也將問題解決的能力列為國民中、小學自然與生活科技領域課程主要教育目標之一 (教育部，2003)。

為培養學生解決問題能力，在教學環境中就必須提供能讓兒童察覺問題以及解決問題的情境。這種「以問題為出發點」的科學教育，可以讓學生在解題思考的歷程裡，嘗試運用種種不同類型的概念與策略，進而學習到豐富的科學知識，以及知道如何運用這些知識 (Gagné & Medsker, 1996; Schoenfeld, 1989)。

目前在國小自然領域的教學活動中，除了是以提出「待解決之問題」作為活動起始外，大部分是以「實驗活動」讓學生由操作實驗過程中獲得概念，這種實驗活動的問題解決，和一般的問題解決歷程一樣，時常會出現多元的策略與思考方式。

許多研究解題策略的文獻都提出類似的看法：個體的知識背景及經驗不同所造成的差異，會影響其解題策略的取捨與呈現 (Barba, 1990; Anderson & Freeman, 1995; Dhillon & Hewson, 1998)。此外，解題者在解題時不一定只使用一個解題策略，而是會隨時地整合 (combination) 以及應用策略 (Dhillon & Hewson, 1998)。

目前探討問題解決策略的文獻多是以專業領域的經驗、身分成就的有無來區分出專家與生手問題解決策略的不同 (Tudor, 1992; Hardiman, Dufresne, & Mestre, 1989; De Raadt, 2007)。然而這種專家或生手的區分方式也有不完善之處，Smith (1992) 發現有些生手仍然會使用與專家相同的解題策略，而專家若是疏於練習，成功的機會會減少。本研究則是以解題者的思考概念類型與策略形式來區分出數個群組，以探究學生的解題思維情形。

水與我們的生活與生命息息相關，所以水這個主題是學校科學教育的主要教材。從目前文獻可知學童對於水三態概念有以下幾個問題：(1)雖然已學習過該單元，仍然會有迷思概念。(2)兒童對抽象事物的理解較為困難，因此對於液體到氣體間狀態變化的觀念，容易產生迷思概念。(3)學童雖能運用水三態的科學術語，但常常只是表面的認識，無法與具體的科學現象聯結。(4)每個兒童水

三態概念發展的階段不完全相同 (Osborn & Cosgrove, 1983; Bar, 1989; Bar & Travis, 1991; Bar & Galili, 1994; Johnson, 1998; Paik, Kim, Cho, & Paik, 2004)。

本研究藉助文獻資料，以水的三態變化做為學生學習題材，進一步探討學童的解題策略。根據台灣九年一貫課程，「水的三態」教材是安排在國小三或四年級實施。因考慮到研究樣本的表達能力，本研究的研究對象以四年級學童為主。本研究的主要目的在探討國小四年級兒童在「水的三態」問題解決歷程中所用到的概念類型以及所使用的解題策略形式，其次探討國小四年級學童解題的概念發展情形。

貳、文獻探討

一、問題解決歷程與解題策略

有關問題解決，Krulik 和 Rudnick (1980) 是以「尋求未知問題的解答」的角度來定義問題解決，認為問題解決是在問題的情境裡，個體以原已具備的舊經驗或是原有的知識技能來從事解答的歷程。

有些學者 (Gagné & Medsker, 1996; Schoenfeld, 1989) 則認為在科學領域裡，問題解決是發生在當時沒有立即性解答的未知情境裡，是屬於一種複雜、高層次的認知活動，學生需要將自己的舊經驗或知識概念，進行各種方式的整合、協調，以產出個體覺得適合的答案之一連串動態歷程。

Gagné (1985) 提出成功的問題解決學習有內在、外在兩個條件。解題學習的內在條件屬於個體本身心智能力的條件，外在條件則是屬於外在輔助性學習的安排。

另外，楊瑞智 (1994) 曾經以數學解題過程為研究題材，將問題解決過程分為三種類型：問題表徵系統的轉換型、成分型、階段型。問題表徵系統的轉換型是將解題視為從問題表徵的建立，進而變換 (transformation) 或轉換 (translation) 此問題的表徵；成分型則是描述在解題過程中所包含的能力或行為；階段型則是以時間的先後順序，來看解題過程中發生的各個階段。本研究就是從問題解決過程中時間的先後順序 (階段型) 來觀察學生從一問題表徵的建立，到變換或轉換此一問題表徵 (轉換型) 所使用的能力或行為 (成分型)。

研究者整理階段型問題解決歷程的相關文獻 (朱敬先, 1997; 羅素貞, 1996; 岳修平譯, 1998; D'Zurilla & Goldfried, 1971; Anderson & Freeman, 1995; Sternberg, 1996)，發現雖然解題步驟略有不同，然而解題歷程則大致相類似。

這些普遍性的解題歷程大致可歸類為「解題起始」、「發展解題策略」、「決定與執行策略」、「評估策略的結果」等四階段。

第一階段：「解題起始階段」

解題者若在開始即能正確的辨認問題的起始狀態或表徵，則會讓接下來所發展的問題空間裡的可能解題途徑較精確，解題者也可經由一連串的操作而逐漸縮小問題空間的範圍，而獲致解答。若是解題者開始所形成的問題表徵就不正確，則所形成的問題空間可能過於巨大，或是未將正確的解題路徑含括在內，以致搜尋正確解答的可能性極微，或是根本不可能解題成功（羅素貞，1996）。

第二階段：「發展解題策略階段」

在解題者了解、詮釋問題之後，所形成的問題空間裡就會產生數個可能的解決途徑；也有可能因為解題者所擁有的問題類型的知識不足，導致可能解題的路徑不明確（D'Zurilla & Goldfried, 1971）。

第三階段：「決定與執行策略階段」

Anderson 和 Freeman（1995）曾提出解題者所具有的知識會影響對解題策略的取捨。從 D'Zurilla 和 Goldfried（1971）、Sternberg（1996）與朱敬先（1997）提出的解題模式裡，也可找到符合此論點的步驟。D'Zurilla 和 Goldfried（1971）認為解題者在上一步驟產生可能的解決途徑之後，會衡量、評估所有的解題方案，找出最好的方法。Sternberg（1996）則提出解題者會以自己的方式來組織訊息。從這些學者的觀點可看出解題所用的知識和方式是由解題者的先前知識來決定的。

第四階段：「評估策略的結果階段」

上述有關問題解決歷程的文獻皆提出解題者在決定或執行解題策略的步驟之後，會進行評估或回顧執行結果，若是評估認為答案適當，則整個解題過程便終止。D'Zurilla 和 Goldfried（1971）認為評估的功用在於自我修正。Sternberg（1996）則是認為解題者在解題全程都會自我檢查。

Larkin（1985）認為在問題出現後，解題者必須先以其所具備的知識對問題加以表徵，形成對問題之初步的了解。此種表徵即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，並且也包含對問題的「知覺」（perception）與「分類」（categorization）。此外，在解題進行中，解題者必須視問題狀態的變化，隨時修正對問題狀態的表徵，選擇合適的解題策略以克服障礙，完成目標。因此，解題的策略包含了問題表徵與分類、專業領域知識

結構、解題策略的計劃選用、自我監控四方面。

Glass 和 Holyoak (1986)、Gick (1986)、Gagné 等人 (岳修平譯, 1998) 等學者曾將解題的策略區分為兩大類：一般性領域的解題策略以及專門性領域的策略。一般性領域的解題策略 (Domain-general strategies)：屬於我們使用的一般方法 (general methods) 或取向 (approaches)。專門性領域的策略 (Domain-specific strategies)：是一種在特殊領域中才能被有效使用的策略知識，也可以說是學科專家所具有之專門性知識。

Gagné 等人 (岳修平譯, 1998) 認為：在解題的過程中，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，選擇合適的一般性領域和專門性領域的解題策略以克服障礙，達成目標。

由於本研究探討水三態變化的解題策略為小學階段，又由於此階段的學生或是教材內容只出現一般性領域的解題策略。本研究以解題過程中所涵括的概念是不是屬於問題的概念領域、以及有沒有經過推理程序來作為分析解題策略的依據；並以解題概念的具體到抽象層次來作為分析概念的依據。

二、概念的形成與學習

概念是人類思考的基本單位，也會隨著個人的成長與學習而有所改變。Piaget (1963) 認為兒童知識的獲得是他們主動用一些基本行為模式對環境中的事物做反應，這些以身體感官作為基礎的行為模式稱為基模 (schema)，也可以說是個體用來了解環境的認知結構 (cognitive structure)。

根據 Piaget (1963) 的觀點，概念的形成可說是學習者以舊經驗為基礎，主動接受外來訊息或是刺激，再統整於原有知識或先前概念而建構發展出來的結構。

Ausubel (1977) 是以新舊概念的結合來作為學習的立論基礎。他將概念 (concept) 視為一個層次性的結構，位於認知上層結構的為「要領概念」(superordinate concept)，代表個人對事物的整體認識；位於認知結構下層者為「附屬概念」(subordinate concept)，代表個人對事物特徵的細部記憶。當學生學習新概念時，首先會以既有的「要領概念」去核對新概念，接著將新概念納入、同化為自己的知識 (張春興, 2001)。另外，Ausubel (1977) 認為有意義的學習是新知識與已有的概念產生適當的連結。

三、科學概念與解題策略的評量方法

有關學生概念學習及解決問題學習的評量策略有很多，除了傳統的紙筆評

量外，尚有其他另類評量的策略，例如：Saulsberry (2008) 利用概念構圖的評量策略來增強學生問題解決能力，Cooper、Cox、Nammouz、Case 和 Stevens (2008) 利用學生合作建構答案及自我解釋的表現評量學生邏輯思考能力和性別的關係，有些則利用電腦的幫助評估學生解決問題的能力 (Nirmalakhandan, 2007; Sanger, Campbell, Felker, & Spencer, 2007; Feldman, Barnett, Link, Coleman, Lowe, & O'Rourke, 2006)。而，有關解題概念與策略的評量方法最常被採用的有放聲思考晤談法以及問卷法 (郭重吉，1990；楊瑞智，1994；王文科，1991；Williamson, Kyungmoon, Huffman, & Noh, 2005)：

(一)放聲思考晤談法 (thinking aloud technique)

能反映受試者自發性解題思考歷程。可以瞭解個體所具有的內在知識與訊息、態度與信念、價值與偏好、以及過去的行為與經驗 (王文科，1995)。

(二)問卷法

傳統的問卷法，包括封閉式的問卷以及開放式的問卷兩種，這兩種方法各有優缺點。Treagust (1995) 另提出一種折衷式的問卷法稱為二階段式測驗工具 (Two-tiered Test)，第一階段題型為選擇題，由學生選擇一個答案，隨後第二階段詢問學生選擇此答案的理由；第二階段為開放式的問答題，可以根據學生的填答說明了解學生對概念的真正想法，因此此種問卷不僅能檢驗答案是否正確，也可區分出學生各種不同的既有概念 (Treagust, 1995) 以及各種不同的解題思考型態。本研究評量學生科學概念與解題策略的方法，即為放聲思考晤談與兩段式問卷調查法。

四、與本研究相關實徵性研究

(一)解題策略之實徵性文獻

認知學家在探討解題策略時，最常使用專家－生手模式 (expert-novice paradigm) 來研究領域之專業知能。Chi (1981) 曾以物理問題為題材探討專家與生手的分類與表徵情形。研究結果顯示專家與生手在開始問題表徵時，皆能將問題分類成組，但專家是以抽象化、深層次的物理原則為取向來解決一個問題的表徵，其問題表徵含有較多的基本原則。而「生手」則是根據問題表面的文字特性來做問題分類及建構問題表徵，因此會流於表面描述、瑣碎、較膚淺和使用具體的名稱來表示。

Smith (1992) 曾經請受試者圈出問題關鍵字，以探討受試者在解題時的問題分類能力。研究結果發現：關鍵字可以清楚地反應問題分類應用的本質；並且生手在確認出關鍵字時較為困難。

Dhillon 和 Hewson (1998) 以放聲思考、紙筆測驗、觀察訪談各種專家與學生對於循環動力物理問題的解題策略研究中，提出解題所用的知識和方式是由解題者的先前知識來掌控。楊坤原和鄭湧涇 (1997) 以 396 位高一學生在「遺傳學學習成就測驗」的評測結果，再從中選出高、低分組代表樣本進行「遺傳學解題測驗」訪談，結果發現高分組會主動找證據檢驗以決定答案之正誤，低分組則未有驗證的過程。並且高分組學生會在完成解題後，又主動地再對解題的步驟及推算過程進行較為仔細的檢查。

Hammouri (2003) 在探討大學生的問題解決策略，以及了解每一個整體策略與分析策略的認知進展與後設認知進展的研究裡，提出成功的問題解決者會有意識和無意識地使用自我提問 (self-questioning) 和自我監控 (self-monitoring) 的能力。自我提問讓學生在執行前能夠確認問題與指引問題解決策略，並為系統性分析問題訊息促進內在的對話，並調整認知策略的執行；自我監控則能促進適當使用特定的策略，並讓學生能監控概括的表現並檢查認知研究的結果 (Hammouri, 2003)。Gaigher、Rogan 和 Braun (2007) 探討結構化問題解決策略對學生概念理解的發展，發展學生透過結構化問題解決策略的教學，能有較佳的物理概念理解。

綜合以上可知，解題者在面臨問題時，會先以自己的既有知識或概念來搜尋問題的特徵，並且辨識問題。當解題者的概念層次越高，就越能察覺到問題的深層知識結構，並且能運用抽象的原理原則或是領域知識來發展解題策略，並且在設想策略時，能夠分析、評估各種解題方法成功的可能性；反之，若是概念層次稍低的解題者，其概念知識結構因為較零碎不整，因此只能理解問題的表面特徵，且無法發展出適當的解題策略。

(二) 水的三態變化相關實徵性研究

水的三態變化有具體可觀察到的歷程，例如：從固體的冰塊融化成液體的水，或是水凝結成冰塊；也有無法觀察到需要抽象思考的歷程，例如：水的蒸發或是凝結。以下依照水的三態變化中所涉及：熔化與凝固、蒸發與凝結概念，分別整理相關研究文獻的結果如下：

1. 熔化與凝固概念的相關研究

張凱綸 (2001) 在探討國小四、五、六年級學童對「水的三態變化」概念的理解程度與認知結構，發現國小學童大多對「水固態、液態的轉變」較具有正確科學概念。

Osborn 和 Cosgrove (1983) 以事件訪談法調查 8-17 歲兒童對於冰溶解、

水煮沸、凝結、蒸發等概念。發現：兒童對於「冰塊熔化」的看法，大都認為是「冰塊熔化變成水了」。也有部分兒童認為熔化是因「冰塊已到達熔化的溫度之上」。從這裡可看出兒童對於熔化的想法，大致可分為具體經驗層次或是溫度不同的半抽象理解層次兩大類。

另一群研究者 Paik、Kim、Cho 和 Paik (2004) 以韓國 K-8 年級的兒童做為研究對象，發現兒童對於熔化的認知，除了具有 Osborn 和 Cosgrove (1983) 所提的「觀察到的具體經驗」、「溫度不同的理解」之外，介於這兩大分類之間，還可以再有「只有提到熱但沒有提到溫度的概念」這一類。

從以上的文獻顯示兒童對於熔化的概念認知，可分出四種不同的理解層次：(1)能夠依據自己的經驗察覺到條件。(2)只有提到熱，但沒有提到溫度的概念（這是感官的熱）。(3)有提到溫度或是零度。(4)提到熱水的熱或是空氣的熱傳給冰塊（這是熱能的熱）。

Paik 等人 (2004) 對於凝固的研究結果，提出了四種清楚易於分辨的不同型態的概念理解，並且可以看出兒童對於凝固的認知是由具體經驗到抽象理解。由於研究者認為 Paik 等人 (2004) 提出的第四種型態「提到冰點」與第三種型態「有提到零度」，意義過於相近，不易區分。且對於我國國小的課程內容而言，也尚未將冰點納入課程範圍之內，所以研究者將 Paik 等人 (2004) 整理的研究結果修改之後，整理有關凝固的概念認知如下：(1)能夠依據自己的經驗察覺到條件。(2)有提到溫度。(3)有提到零度（攝氏）或是冰點可以結冰。

2.蒸發和凝結概念的相關研究

由於蒸發是涉及液體到氣體間狀態變化的觀念，而且蒸發成氣體，不易察覺，所以兒童對蒸發這種抽象概念的理解會感到困難。

根據 Bar (1989)、Bar 和 Galili (1994)、Paik 等人 (2004) 的研究，兒童對於蒸發的認知是先由「察覺水變少的現象」的感官直覺經驗開始的，並且能觀察到水變少的現象，但只能以水消失不見或是滲入地板來做為水變少的解釋，他們還未有水狀態改變的概念。具有更高一層次概念的兒童則是能察覺水蒸發的條件是加熱，但還未有液態轉為氣態的認知，他們會認為水經過加熱後，會轉變為看得見的小水滴，例如雲、煙霧。有蒸發抽象層次概念的兒童，則是可以理解水從液態到氣態的狀態改變；或是以水分子移動的觀念來解釋從液態到氣態的狀態改變。

根據上述相關文獻，研究者將蒸發概念型態整理如下：(1)察覺水變少的現象，但不了解狀態的改變。(2)知道熱或溫度能夠加速蒸發的速度，但不知道從

液態到氣態的狀態改變。(3)能夠理解從液態到氣態的狀態改變；或是以水分子移動的觀念來解釋從液態到氣態的狀態改變。

張凱綸(2001)、黃嘉明(2004)的研究中,皆提出國小學童對於凝結的概念理解最容易有迷思概念。Johnson(1998)認為學童要先有水煮沸轉成氣態的蒸發概念,才会有空氣中存有水的凝結概念。但是 Paik 等人(2004)的研究,則與 Johnson 的發現不同,他們認為大部分持有「水煮沸從液態到氣態」概念的學生,很少的學生會有凝結的概念。另外 Osborn 和 Cosgrove(1983)則是提出學童若是認為水煮沸後的蒸氣會回復成水,他們會認為回復回來的水與原先在水壺裡的水不一樣。研究者從以上推論,學童必須具有蒸發概念,才能進一步去理解凝結概念。

本研究根據 Paik 等人(2004)以及 Osborn 和 Cosgrove(1983)的研究,將凝結概念型態整理如下做為研究分析的依據:(1)具有水的保留概念推理,但無狀態改變的概念。(2)認為是暖空氣、煙或霧造成凝結,不知道空氣中的水蒸氣會遇冷凝結。(3)能夠知道空氣中的水蒸氣變為液體的狀態改變。

叁、研究方法

本研究在探討學童在「水三態變化」之問題解決過程中的解題策略與相關知識概念。先以二段式問卷找出水三態變化疑似具有另有概念的學生,讓學童進行教學前放聲思考式晤談,然後將學生分組進行問題解決教學活動。在教學活動完成後,立即進行放聲思考式晤談,以分析學生的解題策略與概念型態。在問卷分析、晤談進行時間,也會將訪談內容與相關文件進行分析,以了解學生概念發展的脈絡。

一、研究對象

本研究以桃園縣某仁類國小四年級的 201 位學生為二段式問卷施測的對象。此國小共有 70 班,四年級學生 11 班,每班學生均為常態編班,男女生各半,抽取其中 9 班,共 201 位學生為施測對象。問卷施測結果分析後,找出答案中,疑似具有另有概念的學生,進行教學前放聲式思考晤談,經過晤談內容的分析之後,依照「水的三態變化」四個子概念為單位,分別找出具有另有概念以及表達流利的學童各 7 人,接著再進行問題解決教學活動。“另有概念”有些人稱“迷思概念”,是指有些學童具有和科學家看法不同的概念。選擇表達流利的學童的主要考量是因為本研究擬尋找學童持某種另有概念的理由或先前概念,如果學童只會說不知道,或笑一笑,伸出舌頭而已,那麼要了解學生概念

發展的脈絡，可能會有困難。而篩選表達流利的學生，是由任教該班學生國語和數學至少一年的級任老師擔任。最後，本研究四個子概念有迷思概念的研究對象合計有 28 人。

二、研究工具與研究進行方式

本研究的研究工具含二階段式測驗的前測，這個工具是用來篩選具有迷思概念的學生。

(一)二階段測驗

本研究所使用的二階段式測驗 (Two-tiered Type Test)，是在第一階段先以選擇題診斷學童對科學概念之理解，接著第二階段要求學生說明所以選此答案的理由，主要目的在了解學生對概念的真正想法 (Treagust, 1995)。二階段測驗舉例說明如附件一，此測驗的主要內容為「水三態變化」，是根據目前中年級自然與生活科技領域教材編制的。編制後，商請三位國小自然科教師來進行檢驗試題是否恰當，協助本研究進行效度考驗。

經過專家效度考驗、修改題目措辭與內容後，接著將第一部分選擇題對桃園縣樂樂國小四年一班學童共 32 人進行第一次預試，並再第一次預試日後過三週再以同一班學生 32 人進行第二次預試。第一部分選擇題在兩次預試分數資料的 Pearson 積差相關係數為 .400，p 值為 .023，並已達到 .05 顯著水準。以重測信度而言，積差相關係數值 .400 稍嫌偏低，但是本問卷的第一部分選擇題僅是作為了解學童所選擇的概念是否正確，第二部分問答題的部份，才是研究者真正要了解學童想法的工具，所以在本研究問卷第一部分選擇題的信度係數偏低，仍是可以用來施測的。

(二)晤談大綱

本研究針對凝結、蒸發、融化、凝固等四概念的問卷題目、以及本研究的晤談大綱，分別在問題解決教學活動前、後對 28 位學生進行深入晤談，以瞭解具有不同迷思概念型態的學生，在問題解決活動過程中，所使用的策略與概念發展情形。例如：子概念：融化訪談大綱如附件二。晤談大綱與二階段測驗目的及形式都不同，二階段式測驗在篩選學童是否具有迷思概念，晤談是為了問題解決教學活動前及教學活動後，要了解學童所使用的策略以及概念發展而設計的。

在受試者完成放聲式思考訪談之後，錄影帶與錄音資料以逐字稿的方式記錄。接著以自然科學問題解決五階段歷程作為內容分析的參考架構，進一步從各階段的解題特質歸納出相關的解題策略與知識概念。

(三)問題解決教學活動

本教學活動是依據自然科學問題解決模式而設計的，其教學程序如下：(1)確定問題；(2)提出假設；(3)形成解題方法；(4)設計實驗；(5)解釋、說明結果。

教學活動設計是以學生為中心，為了避免造成誤差，由同一位教師以相同的引導方式進行，學生需要常常與小組同學討論與互動。教學活動內容主要以凝結、蒸發、融化、凝固四個概念的活動進行教學。每一概念的教學活動時間為四節課，每節課進行時間為 40 分鐘；四概念的教學時間總計 16 節 640 分鐘。

(四)資料分析方法

當學童的放聲思考晤談錄影以及錄音資料，轉為逐字稿之後，隨即進行資料的編碼與分析，並以每一個「問題解決階段」作為分析單位，來探究學童的解題歷程、問題解決的策略與概念。編碼與分析步驟如下：(1)逐字稿資料每頁的首頁上端編寫代號與頁數，以作為分析資料時的對照檢核。例如：晤談資料的編寫順序為晤談概念、晤談時段、學生代號、頁數，例如：「結前 0101」表示是凝結概念一號同學在教學前的放聲思考晤談逐字稿第一頁。(2)閱讀逐字稿內容，以每一個「問題解決階段」作為分析單位，來進行標明與註記解題歷程的代號。問題解決階段的代號，是參考問題解決歷程文獻（陳文典，1996；王美芬、熊召弟，1995）探討所歸納出的五個階段來訂立。

編碼分析後，研究者邀請兩位國小自然科教學經驗豐富的老師，對所有質性資料進行檢視，直到確定沒有忽略資料中的任何重要概念。

文件資料的收集內容，包括學生平日的各種考卷、實驗記錄表、相關學習單等資料。本研究所蒐集的原始資料，以質性資料為主，故皆經過「三角校對」（investigator triangulation）檢定的方式，將已編碼的不同來源資料，按照相關的類別，做忠實的描述與詮釋。

肆、研究結果與討論

研究者依據水的三態變化四個概念中，每一個概念七位受試學生在教學前、後的訪談錄音資料、教學錄音、和錄影資料、以及作業單內容，全部分析後，依融化、蒸發、凝固、凝結等四概念的順序，分別從解題之概念、解題概念的發展情形、解題策略類型等三個方向來探究。

一、熔化解題歷程中的概念與解決策略

(一) 熔化解題之概念

研究者依據 Osborn 和 Cosgrove (1983) 與 Paik 等人 (2004) 的研究發現，以及研究小組根據學童解題的敘述，歸納出學童所提出的三種熔化概念類型為：「感官直覺的熱」、「溫度」、「熱傳導」，分別以代號 A、B1、B2 表示。描繪出「熔化解題概念發展與策略關係圖」(如圖 1)。在圖內部的左邊縱列由下往上依序是表示解題者的三種概念層次：具體層次、半抽象層次概念、抽象層次概念。橫列顯示該類型學生在教學前、中、後的概念發展變化，以英文字母 A、B、C、D 等代號代表學童的主要概念，並以→、↗、↘、↖等符號代表學童概念發展的方向與層次性。以下概念類型是根據學童使用具體層次概念、半抽象層次概念或抽象層次概念來區分。

使用「感官直覺的熱」概念(A)，來解題的學童所認為的熱，是與冷的相反，而且是自己感覺過的經驗，但是還無法進一步說明熱和溫度的概念，因此從概念的層次來看，只是自己的具體經驗。使用「溫度」(B1)與「熱傳導」(B2)概念，來解題的學童則是依據自己的經驗，再進一步解釋；冰塊是因為在溫度高的地方，或是熱的傳遞而造成熔化的，由於此二概念還未能描述出吸熱的科學想法，所以研究者將此二概念列為半抽象層次。

(二) 熔化解題之概念發展型態

研究者把參與熔化解題的七位學童在教學前、中、後的熔化概念的發展情形，以圖 1 表現。因為研究者是從學童所提出的解題方法和解釋，分析出解題的概念與概念層次、有無推理過程、以及學童在教學前、中、後三段時間的解題方法，並歸納出解題策略的形式。七位受試者中，屬於型態一的人數為 5 位 (S1~S5)，型態二為 2 位 (S6、S7)。

型態一的學童是以半抽象概念來進行解題思考，這五位學童在教學前就已具有「高溫導致冰塊熔化」(B1)、或是「熱傳給了冰塊導致熔化」(B2)的想法。在教學中，因為小組的同學開始使用溫度計，測量冰塊在陽光下熔化的溫度，所以原先採取「熱傳給了冰塊導致熔化」想法的學童，開始採用了小組同學的思考角度：溫度，並且在教學後也是以溫度的概念作為熔化的解釋想法。至於原先在教學前與教學中使用「高溫導致熔化」想法的學童，在教學後仍是使用溫度的概念來做解題思考。

教學過程 解題策略		熔化問題的概念發展			非熔化問題的 概念範圍
		教學前	教學中	教學後	
有 推 理 過 程	抽象概念 層次				
	半抽象概 念層次				
無 推 理	具體概念 層次	A (Type 2)			

圖 1 兩種「熔化解題概念發展型態與策略關係圖」

“→”：Type 1 “---→”：Type 2

B1：溫度概念，知道冰塊是受到高溫的影響，導致熔化。（半抽象層次概念）

B2：熱傳導概念，知道是太陽、水的熱傳給了冰塊導致熔化。（半抽象層次概念）

A：感官直覺的熱之概念，看過「冰塊遇到熱變成水」的經驗。（具體層次概念）

型態二的 2 位學童是以具體概念進行解題思考，他們在教學前，使用熔化的具體概念，教學中經過小組討論與實際操作，改用「高溫導致冰塊熔化」的觀點，教學後仍以溫度的概念作為熔化的解釋。這兩種型態的熔化概念發展：具體經驗層次以及溫度的半抽象觀念，與 Osborn 和 Cosgrove (1983) 以及 Paik 等人 (2004) 的發現一致。

(三) 熔化問題的解題策略

根據圖 1 學童的概念發展型態，可歸納出接受熔化概念教學的七位學童所提出的策略，有以下兩種解題形式：

1. 持續推理運用半抽象的熔化概念之策略（型態 1）
2. 開始無推理，後來以半抽象的熔化概念來做推理歸納的策略（型態 2）

二、蒸發解題歷程中的概念與解決策略

(一) 蒸發問題解題之概念

研究者依據 Bar 與 Galili (1994)、Paik 等人 (2004) 的研究發現，歸納出學童所使用的四種概念為：「感官直覺」、「溫度加速蒸發」、「液態到氣態的狀態改變」、「凝固」，代號分別為：A、B、C、D。在本研究結果裡，則是未出現代

號 A：「感官直覺」的概念，因此以下將依 B、C、D 順序做探討。

(二)蒸發的三種概念發展型態

學童在蒸發解題的三種概念發展型態，如圖 2。型態一有四位學童（S9、S11、S12、S14）是以屬於半抽象的蒸發概念來進行解題思考。這些學童在教學前，雖然已經知道「熱或溫度能夠加速蒸發的速度」的想法，但對於水的液態轉換到氣態，則還是不清楚。經過教學中的討論與實際操作「以火加熱水的蒸發」實驗，以及教學後的訪談，這四位學童仍然不能說清楚水蒸發的概念

蒸發解題的型態中，有兩位學童（S8、S13）屬於型態二，他們是以抽象概念來進行解題思考，在教學前就已經知道水蒸發後，是從液態變為氣態，並且經過教學中的討論與實際操作，以及教學後的訪談，仍然是使用水的液態變為氣態的想法來進行解題。因此，型態二的學童，是以高層次的概念來進行解題思考，並且概念呈現穩定的狀態，並沒有輕易改變到低層次的概念。

型態三的學童有一位（S10），在教學前的單獨訪談中，提出自己看過的經驗是水凝固減少的情形和水蒸發變少的情形是一樣的，當研究者進一步追問水凝固會減少的原因時，這一位學童則是提出因為水是遇到冷而結冰的，因此這位學童在教學前所談到的概念是屬於凝固範圍的概念，屬於具體概念層次。但是，用這個概念來解釋水蒸發變少的現象，並不恰當。型態三學童用自己的經驗：水凝固減少的情形來解釋水蒸發變少的情形，這個發現和 Bar（1989）、Bar 和 Galili（1994）、Paik 等人（2004）的研究發現，只是單純的察覺水變少的現象略有不同。

教學過程 解題策略		蒸發問題的概念範圍			非蒸發問題的 概念範圍
		教學前	教學中	教學後	
有 推 理 過 程	抽象概念 層次	(Type 2) C \dashrightarrow C \dashrightarrow C			
	半抽象概 念層次	(Type 1) B \rightarrow B \rightarrow B			
無 推 理	具體概念 層次	(Type 3) D \dashrightarrow D			

圖 2 三種「蒸發解題概念發展型態與策略關係圖」

- “ \rightarrow ”：Type 1 “ \dashrightarrow ”：Type 2 “ \dashrightarrow ”：Type 3
 B：溫度加速蒸發的概念，知道熱或溫度能加速蒸發的速度，但還不知道從液態到氣態的狀態改變。（半抽象層次概念）
 C：液態到氣態的狀態改變的概念，能夠理解從液態到狀態的改變；或是以水分子移動的觀念來理解從液態到氣態的狀態改變。（抽象概念）

接著，這位學童在教學中因為有小組討論與實驗操作，他的想法改成「水變少是液態到氣態的狀態改變」，此為抽象層次的蒸發概念，能說明水是因為碰到熱，變成了看不到的水蒸氣。但在教學後的訪談時，這位學童又回到原先在教學前所談到的凝固具體經驗來解釋。這個現象告訴我們，即使教學過程中，學生親自操作實驗並觀察結果，也能有正確的解釋，但是，也許新建立的概念需要「強化」，才能穩固的取代原有的錯誤概念。

(三)蒸發問題的解題策略

根據此七位學童的概念發展型態，可歸納以下三種解題策略：

- 1.持續推理並運用半抽象的蒸發概念之策略（型態 1）
- 2.持續推理並運用抽象的蒸發概念之策略（型態 2）
- 3.開始無推理，接著以抽象的蒸發概念做推理，最後再以非蒸發概念、而且是無推理的感官經驗來做歸納的策略（型態 3）

三、凝固解題歷程中的概念與解決策略

(一)凝固解題之概念

研究者依據 Paik 等人 (2004) 的研究發現，歸納出本研究對象所呈現出的三種概念類型，代號與概念名稱依序為：A「感官直覺的冷」的概念、B「溫度下降」的概念、C「冰點」的概念。

代號 A：「感官直覺的冷」做凝固解題思考概念的學童，認為只要皮膚感覺冷的程度就可以結冰，並且在經研究者追問後，也無法做出有關溫度的解釋，這種「感官直覺的冷」的概念類型是屬於凝固的具體概念層次。

代號 B：「溫度下降」的概念來解釋凝固想法的學童，可以明確地表示出冷就是代表溫度低，研究者進一步追問「溫度要多低才能讓水結冰」的問題時，這些學童則是回答出「要很低很低」、「零下 100 度」、或是「10 度」等沒有確定出冰點的答案，因此將「溫度下降」概念歸屬於凝固的半抽象層次概念。

另外，以代號 C：「冰點」的概念作為凝固解題想法的學童，可以表示出溫度需要在 0 度，或是 0 度以下的條件下才能讓水結冰，所以「冰點」的概念是屬於凝固抽象層次的概念。

(二)凝固解題之三種概念發展的型態

七位受試學童在凝固解題的概念發展有三種型態，型態一有 3 人 (S16、S18、S21)，型態二有 1 人 (S20)，型態三有 3 人 (S15、S17、S19)，如圖 3。

屬於第一種型態的學童是以凝固的半抽象概念來進行解題思考。這三位學童在教學前、教學中的討論與實際操作，以及教學後的訪談，雖然已經知道「溫度下降造成凝固」，但對於水開始結冰的溫度則是沒有提到正確的冰點 0°C。

第二種概念發展型態的學童是依序使用了「感官直覺的冷」此種無推理的具體經驗，以及「溫度下降」此種有推理過程的半抽象概念，來做為解題的思考。

第三種概念發展型態的學童是使用「溫度下降造成水結成冰塊」這種有推理過程的半抽象概念，與「當溫度在 0°C 時可以讓水結冰」此抽象概念來做為解題的思考。

此三種類型的概念發展與 Paik 等人 (2004) 對於凝固的研究發現大致相同。

教學過程		凝固概念範圍			非凝固概念範圍
解題策略		教學前	教學中	教學後	
有推理過程	抽象概念層次	(Type 3)			
	半抽象概念層次	(Type 1)			
無推理	具體概念層次	(Type 2)			

圖 3 三種「凝固解題概念發展型態與策略關係圖」

代號說明：

“ \longrightarrow ”：Type 1 “ \dashrightarrow ”：Type 2 “ \dashrightarrow ”：Type 3

A：感官直覺的冷的概念，依據自己的經驗察覺到凝固的條件。（具體層次概念）

B：溫度下降的概念，有提到溫度，不知水開始結冰的溫度。（半抽象層次概念）

C：冰點的概念，有提到溫度在 0°C 時可以讓水結冰。（抽象層次概念）

(三)凝固問題的解題策略

研究者根據此七位學童的概念發展類型，可歸納以下三種解題策略：

- 1.持續推理運用半抽象的凝固概念之策略（型態 1）
- 2.開始是無推理，後以半抽象的凝固概念來做推理歸納的策略（型態 2）
- 3.先以半抽象的概念來做推理，再以抽象概念做推理歸納的策略（型態 3）

四、凝結解題歷程中的概念與解決策略

(一)凝結問題解題之概念

研究者依據 Osborn 和 Cosgrove (1983)、Paik 等人 (2004) 的研究發現，歸納出本研究對象所呈現出的三種概念類型，代號與概念名稱依序為：A「感官直覺」的概念、B「煙霧遇冷凝結」的概念、C「氣態到液態的狀態改變」的概念、D「體溫調節排泄」的概念。

(二)凝結解題之概念發展型態

學童在凝結解題有四種概念發展的型態如圖 4。第一種型態的學童有 2 位 (S24、S26)，在圖 4 中可看出學童在教學前、中、後皆是以「煙或霧造成凝結的水滴」此凝結的半抽象概念來進行解題思考。

學童在凝結解題的第二種概念發展的型態有 2 位 (S23、S27)。在圖 4 中可看出學童在教學前、中、後皆是以「空氣中含有看不見的水蒸氣，並且會遇冷凝結成小水滴」此凝結的抽象概念來進行解題思考。

教學過程 解題策略		凝結問題的概念範圍			非凝結問題 的概念範圍
		教學前	教學中	教學後	
有 推 理 過 程	抽象概念 層次	(Type 2) C -----> C -----> C			
	半抽象概 念層次	(Type 1) B -----> B -----> B			
無 推 理	具體概念 層次	(Type 3) A -----> B -----> A			D
		(Type 4) A -----> B -----> D			

圖 4 四種「凝結解題之概念發展與策略關係圖」

代號說明：

“----->”：Type 1 “----->”：Type 2

“----->”：Type 3 “----->”：Type 4

A：感官直覺的凝結概念，無狀態改變的概念。(具體概念層次)

B：煙霧遇冷的凝結概念，不知道空氣中的水蒸氣會遇冷凝結。(半抽象層次概念)

C：氣態到液態的狀態改變概念。(抽象概念)

D：體溫調節排泄的具體概念，把身體出汗的經驗當作凝結。(非凝結概念)

使用第三種概念發展型態的學童也有 2 位 (S22、S28)，這些學童在教學前認為凝結的水滴來自於容器原有的包含物，或是容器外附著的冰等具體概念，經過教學中的討論與實際操作實驗後，學童改以「煙或霧造成凝結的水滴」此半抽象概念來做解題的解釋，而在教學後的訪談時，他們不約而同地又再採用「凝結的水滴來自於容器原有的包含物或是容器外附著的冰氣」的具體概念來做解釋。

由於提出第四種概念發展型態的學童 (S25)，其解題概念從具體概念層次提升至半抽象層次，但在教學後卻錯用了具體層次的非凝結概念，研究者認為是因為教學中的小組問題解決活動促使其改變，但在教學前與教學後獨立解題時，因為沒有小組互動激發思考的機會，所以無法透過討論來判斷自己想法是否周全。

上面有關凝結概念發展的類型與 Johnson (1998)、Paik 等人 (2004) 以及 Osborn 和 Cosgrove (1983) 的研究發現不太一樣。

(三)凝結問題的解題策略

研究者根據圖 4 中，七位學童的概念發展類型，可歸納以下四種解題策略：

- 1.持續推理運用半抽象的凝結概念之策略 (型態 1)
- 2.持續推理運用抽象的凝結概念之策略 (型態 2)
- 3.開始無法推理，接著以半抽象的凝結概念來做推理，最後再以無法推理的凝結感官經驗做歸納的策略 (型態 3)
- 4.開始無推理，接著以半抽象的凝結概念來做推理，最後再以非凝結概念且無推理的感官經驗做歸納的策略 (型態 4)

第三種及第四種解題類型，有相同的地方，就是教學前對問題的推理是錯誤的解釋，在教學過程中，提昇到部分正確的解釋，教學後，又回歸原點。由此看來，概念的改變，如果沒有持續強化或應用新的概念，那麼，這些已改變的概念，只會暫時存在。

伍、結論與建議

一、結論

學童對於水的三態變化相關問題之解題概念各有不同。熔化概念有兩位學童用具體經驗層次來解釋，有五位學童可以使用半抽象概念層次來解釋；蒸發概念，只有一位使用具體概念層次，六位能使用半抽象以上概念層次；凝固概念亦同；而凝結概念只有四位學童使用半抽象層次以上概念，三位使用具體概念層次。換句話說，凝結解題概念對學童學習而言稍為困難。這個發現和張凱綸 (2001) 及黃嘉明 (2004) 的研究發現一致，而且解題概念類型是由低層次的具體概念層次，到半抽象概念層次及抽象概念等較高的層次。具有具體經驗

概念層次的學童，是直接以自己皮膚所感覺、或是眼睛所看到的直覺經驗來做為解題的概念與策略，還未能進一步解釋出水的三態變化的概念；具有部份抽象概念層次的學童則是能以自己的想法去解釋水的三態變化的現象與原因，但他們的想法並未完全符合正確的科學概念；已經具有抽象概念層次的學童，則是可以正確解釋出水的三態變化轉換的現象與原因。

在解題概念發展型態的分析方面大致可以歸納成以下三種狀態：(1)以較高層次的概念來進行解題思考，而且概念呈現穩定的狀態，並沒有輕易改變到低層次的概念。(2)在同儕討論與反思的情境下，原先使用較低概念層次的學童，改變為使用較高層次的概念。(3)在教學之後的單獨解題時，因為沒有仔細推想解題結果所涵蓋的原理是否符合問題概念以及缺乏小組互動激發思考的機會，學童亦有可能會重新使用較低層次的概念，或是選用其它非水三態變化的概念。由此可知，概念改變後，新建立的概念，如果沒有持續強化或應用，而內化成穩定的概念，它是可能又變回去的。

在解題策略形式的分析方面，可以歸納如下：(1)學童所思考的概念會影響學童所推理的解題策略形式。當學童使用感官經驗來思考解題時，會表現出具有無法推理的解題策略；若學童是使用半抽象或是抽象的概念來思考解題，就會表現出具有推理歷程的解題策略。(2)當學童使用具體經驗層次的概念來思考解題時，除了會呈現出具有無法推理的解題策略外，也會有出現誤用其它範圍的概念來解題的策略形式，也就是用不恰當的概念來解釋，這些概念本身可能是正確的，但是概念與概念的聯結可能不十分恰當。(3)教學前具有相同概念並不代表會有相同的解題策略形式。依據本研究結果我們發現影響學童解題策略的因素包括思考的概念、小組討論的環境、實驗操作等等。

二、建議

根據以上的結論，研究者對國小自然與生活科技領域教學提出以下建議：

- (一)學童解題的概念發展，常常是由具體經驗到半抽象或抽象概念層次，而具體經驗必須累積到一個相當量時，才能慢慢建立抽象或半抽象概念。因此，教師教學時宜從學生的具體經驗引導至半抽象或抽象概念，以培養學生的推理能力。
- (二)鼓勵學童多討論並且與同學交換意見，以提升概念層次。教師需要營造出能激發學童之間能互相討論的問題情境，讓學童能在一個願意說出自己看法，也願意聽別人觀點的環境下，有反思與澄清概念的機會，並逐步地協助學童將概念層次由感覺經驗的具體層級提升至能進行抽象思考的層級。

- (三)嘗試在不同時間，用不同的資料蒐集方式來了解學童的概念與解題策略。
由於國小學童表達能力尚未成熟，常常無法一次就能完整且清楚的表達出自己的真正想法。因此，教師需要在不同時間，以及參考不同來源的資料，對學童的科學概念反覆檢視，才能了解學童解題概念以及清楚的掌握學童概念發展的脈絡。
- (四)教師應扮演問題解決的引導者，而不是提供解題策略者。在問題解決教學情境中，教師的角色是提供開放性的關鍵問題，以及掌握教學流程。提供開放性的關鍵問題，可以讓學童思考如何應用自己的經驗，以及從同儕提供的想法中，進行反思、修正、擴充、以及提升自己解決問題的能力；掌握教學流程，可以讓兒童的解題歷程依循一個有系統的脈絡，而不致於流於渙散無解的狀況。

致謝

本研究為國科會專題研究計畫所贊助（計畫編號 92-2511-S-134），感謝國科會經費贊助與審查委員的修正意見。

參考文獻

- 王文科（1991）。**教育研究法**。臺北：五南。
- 王文科（1995）。**教育研究法**。臺北：五南。
- 王美芬、熊召弟（1995）。**國民小學自然科教材教法**。臺北：心理。
- 羊憶蓉、成露茜（1997）。關於「關鍵能力」的問答。**社教雙月刊**，78，8-9。
- 朱敬先（1997）。**教育心理學/教學取向**。臺北：五南。
- 岳修平譯（1998）。**教學心理學—學習的認知基礎**（E. D. Gagné、C. W. Yekovich 和 F. R. Yekovich 原著，1993 出版）。臺北：遠流。
- 陳文典（1996）。**解決問題模式的教學**。臺北：板橋國校教師研習會自然組。
- 郭重吉（1990）。學生科學知識認知結構的評估與描述。**彰化師範大學學報**，1，279-320。

專論

- 張春興 (2001)。教育心理學—三化取向的理論與實踐。臺北：東華。
- 張凱綸 (2001)。國小學童對「水的三態變化」概念之研究。屏東師範學院數理教育研究所碩士論文，未出版，屏東。
- 教育部 (2003)。九年一貫課程與教學網站。2004 年 7 月 10 日，取自 <http://teach.eje.edu.tw/9CC/brief/brief1.php>
- 黃嘉明 (2004)。國小學童「水的蒸發、凝結、沸騰」迷思概念及心智模式之探討-以新屋鄉為例。國立新竹師範學院數理教育碩士班自然組碩士論文，未出版，新竹。
- 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。
- 楊瑞智 (1994)。國小五、六年級不同能力學童數學解題的思考過程。國立臺灣師範大學科學教育研究所博士論文，未出版，臺北。
- 羅素貞 (1996)。問題表徵與問題解決。屏東師院學報，9，149-176。
- AAAS. (1993). *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.
- Anderson, J. R., & Freeman, W. H. (1995). *Cognitive psychology and its implications*. New York: W. H. Freeman.
- Ausubel, D. P. (1977). The facilitation of meaning for verbal learning in the classroom. *Educational Psychologist*, 12, 162-178.
- Bar, V. (1989). Children's view about the water cycle. *Science Education*, 73(4), 481-500.
- Bar, V., & Galili, I. (1994). Stages of children's views about evaporation. *International Journal of Science Education*, 16(2), 157-174.
- Bar, V., & Travis, A. S. (1991). Children's views concerning phase changes. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(4), 363-382.
- Barba, R. H. (1990). Problem-solving pointers. *Science Teacher*, 57(7), 32-35.
- Chang, C-Y., & Weng, Y-H. (2002). An exploratory study on students' problem-solving ability in earth science. *International Journal of Science*

- Education*, 24(5), 441-451.
- Chi, M. T. H. (1981). *Expertise in problem solving* (Report No. 125PGS). Pittsburgh Univ., PA: Learning Research and Development Center. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 215 899)
- Cooper, M. M., Cox, C. T., Jr., Nammouz, M., Case, E., & Stevens, R. (2008). An assessment of the effect of collaborative groups on students' problem-solving strategies and abilities. *Journal of Chemical Education*, 85(6), 866-872.
- De Raadt, M. (2007). A review of Australasian investigations into problem solving and the novice programmer. *Computer Science Education*, 17(3), 201-213.
- Dhillon, A. S., & Hewson, P. W. (1998). Individual differences within problem-solving strategies used in physics. *Science Education*, 82(3), 379-405.
- D'Zurilla, T. J., & Goldfried, M. R. (1971). Problem solving and behavior modification. *Journal of Abnormal Psychology*, 78(1), 112-119.
- Feldman, M. J., Barnett, G. O., Link, D. A., Colemana, M., Lowe, J. A., & O'Rourke, E. J. (2006). Evaluation of the clinical assessment project: A computer-based multimedia tool to assess problem-solving ability in medical students. *Pediatrics*, 118(4), 1380-1387.
- Gagné, E. D. (1985). *The cognitive psychology of learning*. Boston, MA: Little, Brown & Company.
- Gagné, R. M., & Medsker, K. I. (1996). *The conditions of learning: Training applications*. Fort Worth, TX: Harcourt Brace College Publishers.
- Gaigher, E., Rogan, J. M., & Braun, M. W. H. (2007). Exploring the development of conceptual understanding through structures problem-solving in physics. *International Journal of Science Education*, 29(9), 1089-1110.
- Gick, M. L. (1986). Problem-solving strategies. *Educational Psychologist*, 21, 99-120.
- Glass, A. L., & Holyoak, K. J. (1986). *Cognition*. N.Y.: Random House.
- Hammouri, H. A. M. (2003). An investigation of undergraduates' transformational problem solving strategies: Cognitive/metacognitive processes as predictors of

- holistic/analytic strategies. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 28(6), 571-587.
- Hardiman, P. T., Dufresne, R., & Mestre, J. P. (1989). The relation between problem categorization and problem solving among experts and novices. *Memory & Cognition*, 17(5), 627-638.
- Johnson, P. (1998). Children's understanding of changes of state involving the gas state, Part 2: Evaporation and condensation below boiling point. *International Journal of Science Education*, 20(6), 695-709.
- Krulik, S., & Rudnick, J. A. (1980). *Problem solving: A handbook for teachers*. Boston: Allyn & Bacon.
- Larkin, J. H. (1985). Understanding, problem representations, and skill in physics. In S. F. Chipman, J. W. Segal, & R. Glaser (Eds.), *Thinking and learning skills: Research and open questions* (pp. 141-159). N.J.: LEA Pub.
- Nirmalakhandan, N. (2007). Computerized adaptive tutorials to improve and assess problem-solving skills. *Computer & Education*, 49(4), 1321-1329.
- Osborn, R., & Cosgrove, M. M. (1983). Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(9), 825-838.
- Paik, S.-H., Kim, H.-N., Cho, B.-K., & Paik, J.-W. (2004). K-8th grade Korean students' conceptions of 'changes of state' and 'conditions for changes of state'. *International Journal of Science Education*, 26(2), 207-224.
- Piaget, J. (1963). *Origins of intelligence in children*, N.Y.: Free Press.
- Sanger, M. J., Campbell, E., Felker, J., & Spencer, C. (2007). Concept learning versus problem solving: Does particle motion have an effect?. *Journal of Chemical Education*, 84(5), 875-879.
- Saulsberry, D. (2008). Improving problem solving through concept map assessment. *Online Classroom*, December, 2-3.
- Schoenfeld, A. H. (1989). Teaching mathematical thinking and problem solving. In L. B. Resnick & L. E. Klover (Eds.), *Toward the thinking curriculum: Current cognitive research* (pp. 83-103). Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.

- Smith, M. U. (1992). Expertise and the organization of knowledge: Unexpected differences among genetic counselors, faculty, and students on problem categorization tasks. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(2), 179-205.
- Sternberg, R. J. (1996). What should we ask about intelligence? *American Scholar*, 65(2), 205-217.
- Tudor, M. T. (1992). Expert and novice differences in strategies to problem solve an environmental issue. *Contemporary Educational Psychology*, 17, 329-339.
- Treagust, D. F. (1995). Diagnostic assessment of students' science knowledge. In S. M. Glynn & R. Duit (Eds.), *Learning science in the school: Research reforming practice* (pp. 327-346). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum associates, Int.
- Williamson, V. M., Kyungmoon, J., Huffman, D., & Noh, T. (2005). The effects of thinking aloud pair problem solving on high school students' chemistry problem-solving performance and verbal interaction. *Journal of Chemical Education*, 82(10), 1558-1564.

專論

附件一

第一題：

1.媽媽從冰箱裡拿出一些冰塊，放在桌上一段時間後，冰塊會有什麼現象呢？

【 】 1. 冰塊的樣子仍然沒有變。

【 】 2. 冰塊變成小水滴了。

【 】 3. 冰塊慢慢不見了。

【 】 4. 冰塊變成水了。

2.請盡量在解釋說明，你選了這個答案的原因是：

附件二

【子概念：熔化訪談大綱】

一、 確定問題

(1) 在題目裡面，你要幫忙解決的問題是什麼呢？

(2) 你為什麼會這樣想呢？

二、 提出假設

(1) 猜猜看，讓冰塊融化的可能原因是什麼？

(2) 你為什麼會這樣想呢？

三、 形成解題方法

(1) 你所想到的可以使冰塊變成水的方法有哪些呢？

(2) 你為什麼會這樣想呢？

四、 設計實驗

(1) 請從前面你想出的方法裡，選出一個最能成功的方法，說出用這方法要怎麼讓冰塊變成水的作法或步驟？

(2) 這個方法需要注意哪些事情呢？

(3) 你為什麼會這樣想呢？

五、 解釋與說明結果

(1) 當你使用這個最能成功的方法後，可以從哪些特徵確定冰塊已經變成水了？

(2) 你為什麼會這樣想呢？

(3) 你的方法真的可以使冰塊變成水嗎？

(4) 說說看，這個方法為什麼可以使冰塊變成水呢？

Problem Solving Strategies and Conceptions Used by 4th Graders in Elementary School

Mei-Yu Chang* Shin-Ping Chou**

Using mainly the qualitative approach, this study investigated the concepts and strategies used by fourth-graders to solve problems in relation to water state learning. Data collected included clinical interviews with students, questionnaires, video recordings, and students' worksheets. Out of a total of 201 fourth-graders in a primary school, 28 students were selected to participate a problem-solving teaching activity and then a one-to-one interview. The results of the study were as follows: (1) There were three levels of problem-solving conceptions that the students had: the concrete level of conceptions, the half-abstract level of conceptions, and the abstract level of conceptions, (2) The style of conceptual development in problem-solving that the students had was mainly using higher level conceptions to solve problems stably. Furthermore, through peer discussion and reflection during the problem-solving activities, students who used the lower level conceptions previously could use the higher level conceptions. However, after teaching, some students without peer interaction would possibly use the lower level conceptions again, and (3) We also found that students who had similar preconceptions might not apply similar problem-solving strategies. However, the conceptions that students used influenced the strategies the students used in problem-solving.

Keywords: problem-solving, conceptual development, three states of water

* Mei-Yu Chang, Professor, Department of Education, National Hsinchu University of Education

** Shin-Ping Chou, Teacher, Dah-yong elementary school in Taoyuan County

