

# 我國高一學生的問題解決能力 與其科學過程技能之相關性研究

張俊彥<sup>1</sup> 翁玉華<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 國立台灣師範大學 地球科學系

<sup>2</sup> 台北市立西松高中

摘要：本研究的目的是探究目前我國高中生的問題解決能力以及其與科學過程技能之相關性。研究對象為就讀於台北縣市四所高中之 153 位高一學生。本研究採用相關研究法的實驗設計(correlation design)來試著了解學生之問題解決能力與其科學過程技能之間的相關性；並輔以半結構式(semi-structural)的晤談方式，來深入探究高一學生問題解決能力的特質。「問題解決能力測驗」、「科學過程技能測驗」、與「腳印化石晤談工具」等三項為本研究使用之評量工具。量的分析方式為皮爾遜積差相關及 T 考驗，而質的分析方面則引用 Flander's system 的分析模式。量化研究結果發現：高一學生之問題解決能力與其科學過程技能的表現達顯著之中度相關( $r = 0.35 \sim 0.57, p < .01$ )，且高、低問題解決能力不同者在解釋資料、觀察、及形成假設等科學過程技能表現上皆有顯著的差異( $p < .01$ )。質性數據分析結果亦顯示：問題解決高、低能力不同者在「問題解決的思考流程」上有顯著的不同。據此，研究者建議科學的教學應融入問題解決活動與科學過程技能的運用，使學生藉由探究活動的過程，提昇他們的問題解決能力。

關鍵詞：中等教育、問題解決能力、科學過程技能。

## 緒 言

### 一、研究背景

長久以來「問題解決」一直是科學教育研究中最受重視的領域之一。「問題解決」的研究不但提供我們許多有關科學學習及教學的重要訊息；同時更可藉以幫助改進教學的策略。

培養並提昇學生的問題解決能力一直是國內外科學教育的一個重要目標（教育部，1995；American Association for the Advancement of Science, [AAAS], 1993；Champagne & Klopfer, 1977, 1981；Omasta & Lunetta, 1988；Slack & Stewart, 1990）。而美國的 Project 2061 之 *Benchmarks for Scientific Literacy* 中更明白強調使學生成為好的問題解決者是學校教育的一個主要目的；而且認為有效的問題解決的能力應

包括必要的知識、技能和態度 (AAAS, 1993, p.282)。

近年來國內外許多有關 Science-Technology-Society(STS)的研究，都重視培養學生處理及解決問題的能力 (如 Yager & Tamir, 1994)，來提昇他們的高層次思考能力，使學生具有處理日常生活問題的能力。我國高級中學基礎地球科學課程標準亦將「提昇學生解決問題之能力」列為總目標之一 (教育部, 1995, p.213)。由此看來，多數科學教育學者和科學教師皆強調教學應培育學生成為一個獨立思考及問題解決者；但是，我們對目前學生的問題解決能力的了解卻相當有限，因此在發展問題解決的教學課程前，應該先針對學生的問題解決能力與特質有一初步的了解，才能使問題解決的教學設計符合學生的特性，並能有效提昇其能力。

## 二、理論基礎

根據 Kahey (1993)對「問題」的定義，他認為一個問題必須包括兩個要素：(一)目標；(二)這目標是解題者所無法達到的；亦即此目標可能因各種理由，如缺乏資源、缺乏訊息等因素而被阻礙。本研究中所界定的問題除了符合上述定義外，同時界定為「未定答案的問題」(open-ended problem)，此類問題沒有固定答案，在思考上有較大彈性與空間。而本研究的「問題解決」則定義為：個人運用先備知識、技能和理解能力去滿足新情境的需要，並重組他所擁有的資訊，發展出新的方法，以獲得解答的過程。在此情境之下，知識與思考能力的運用便充分地表現於「問題解決」的過程中。

從產生問題直到解決問題的過程，涉及複雜的心理歷程。許多問題解決研究者都曾嘗試了解人類是如何進行解決問題，進而提出不同的問題解決的思考模式或策略。Greenfield (1987)歸納整理過去問題解決研究提出相關規

則和策略：

- (一)問題解決的一般規則：全盤了解狀況、暫緩判斷、應用思考模式或策略、提出問題、抱持懷疑態度。
- (二)問題解決步驟：界定問題 分析問題 搜集資料 提出解決方案 嘗試解決 檢討。
- (三)問題解決過程：1.準備階段：辨別相關與無關資訊 分析問題 組織歸納現有資料；2.執行階段：找出與問題有關事實 排序事實的重要性 克服問題 考驗對立假設 推論 由果溯因。

歸納以上有關問題解決的規則、策略，可發現下列六項步驟為問題解決歷程的共同要素。其中包括「發現困境、搜集相關事實、確定真正應解決之問題、發現解決問題的想法、選擇最佳解答、發展能被接受之解決計畫」等步驟。以此對照 Parnes (1977)所提出的「創造性問題解決模式」(Creative Problem Solving, CPS)的解題歷程「發現事實 發現問題 提出想法 尋求解答 尋求接受」，我們認為「創造性問題解決模式」的解題步驟不但清楚完整，更能包含問題解決所需之共同要素。再者，「創造性問題解決模式」為了增強問題解決歷程中思考的周密性，較其它相關的問題解決歷程更強調「發散性思考」(Divergent thinking)與「收斂性思考」(Convergent thinking)的應用 (圖 1)。因此，本研究以創造性問題解決之理論基礎，作為評量學生問題解決能力的標準。

由於問題解決涉及複雜歷程與認知能力，因此有關問題解決的相關研究也就應運而生。如認知心理學家深入探討專家與生手在問題解決能力或表徵上的差異 (Chi, Feltovich & Glaser, 1981)，其主要發現：(一)生手依表面特徵，專家則以問題基本的物理原則和理論來分類。(二)生手分類依事實或概念，專家以科學原則。(三)專家有較多解決途徑。另外在問題

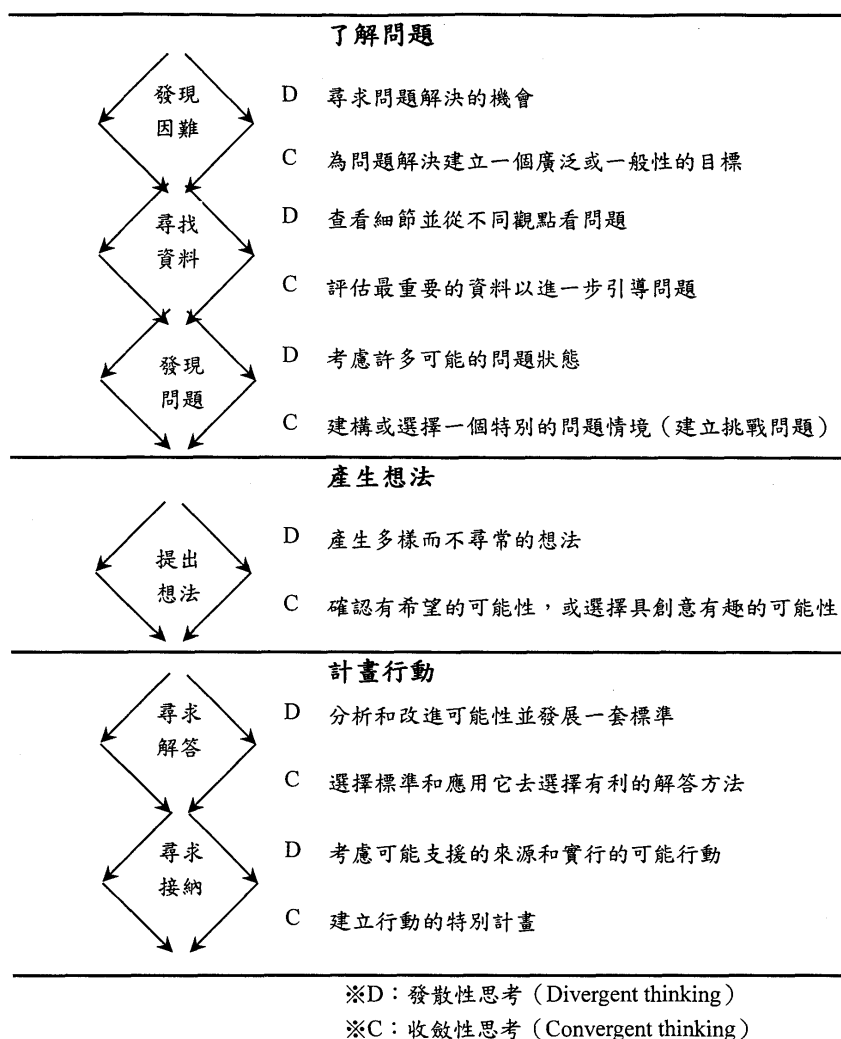


圖 1：創造性問題解決模式  
(改自：Treffinger & Isaksen, 1992)

解決策略方面，則可歸納兩者在運用方法、構思方向、後設認知、推理與效率等方面有不同的表現 (Diane, 1986)。因此對於專家與生手在解決專業知識問題上的差異情形，專業領域的思考技能可能是造成差異的原因之一，而我們也相信「知識」應在問題解決的過程中佔有舉足輕重的地位。

根據 Ausubel (1968) 的理論，當新資訊與學習者的知識結構中相關概念產生聯結時就是

有意義的學習。好的問題解決需要適當的過去經驗、已充分特徵化的概念以及形成高層次概念的能力，能力愈強使它們可應用於愈廣泛的問題。許多研究 (Thorsland, 1971; Wesney, 1978) 顯示了在科學教育上問題解決能力與先備知識的關係密切。亦即要成為專業領域中有效率的問題解決者需具備有豐富的領域知識庫和良好的解決問題策略，而此能力是藉由許多解題經驗發展出來的。但是必須了解的是，並非增進

專業領域知識即能提昇個人一般性 (general) 問題解決與思考的能力，因問題解決涉及的認知能力複雜，非由單一的因素可解釋，尤其只是增進知識的記憶量卻無法保證提昇解決問題的能力。因此應用在教學上，也就是學生需要的不只是事實性的資訊。若我們期盼學生在未來社會生活上能成為有效率的問題解決者，除了基本知識外，增進學生的認知與問題解決的能力也是教學的最重要目標 (教育部, 1995)。

關於 CPS 的實徵研究中，我們發現國內外 CPS 的相關研究，似乎都是以探討 CPS 與創造力的相關影響為多。我們認為創造力之於科學領域上問題解決的表現應不是唯一的決定性影響因素。既然問題解決是屬於高層次的思考能力，因此問題解決的思考活動中除了創造力外，必然涉及其他的相關認知與思考能力。Gage (1986) 也認為問題解決可視為填補認知結構的空隙、形成高層次的概念或發現高層次的規則。若是如此，問題解決能力應有更多因素值得再深入探討的。例如，其與科學過程技能之關係。如 Mattheis 和 Nakayama (1988) 的研究便是透過問題解決的過程發展學生的科學過程技能。他們認為在中學階段，統整性科學過程技能 (如：確認實驗問題、確認變因、形成假設、設計實驗等等) 的訓練是很好的科學活動。而這些過程技能呈現了科學上問題解決過程所需要的理性和邏輯思考技能。另外，Holley (1996) 也提出利用問題解決和創造性 / 批判性思考技能來幫助學生發展基本科學過程技能 - 觀察、預測和設計實驗，也就是以問題解決為情境，讓學生在嘗試解決的過程中運用相關的科學技能，並進一步達到學習科學過程技能的目的。而這些研究似乎都缺乏了利用實徵數據來驗證：問題解決與科學過程技能之間的相關性。

為何特別強調問題解決與科學過程技能的可能相關呢？問題解決過程中對於面臨的現象

可能是不熟悉或部分熟悉，因此須透過其他的資訊或進一步的觀察才能有嘗試解決的動機與可能性，而此問題解決過程與科學過程技能息息相關。我們可從「問題解決的表徵系統」方面來加以了解。由表 1 中可看出問題解決之表徵系統 - 口語、圖象和實驗導向等，其涉及理解、表達、感官的敏感性或推理、設計或操作等，其實都應與科學過程技能有密不可分的關係。

本文之作者 (Chang) 近年來的研究結果顯示，應用「問題解決」或強調科學過程技能的「探究式」教學策略，對增進學生的地球科學學習成就、對科學的態度、或修正他們的另有架構皆有顯著的成效 (Chang & Barufaldi, 1999; Chang & Mao, 1999)。而歷年來，許多科學教育研究結果也同樣顯示：以「問題解決」為基礎的教學方法的確可顯著地增進學生的學習成就、科學態度、或學習興趣；特別是在他們高層次的思考能力 (Chiappetta & Russell, 1982; Geban, Askar, & Ozkan, 1992; Henkel, 1968; Mulopo & Fowler, 1987; Russell & Chiappetta, 1981; Saunders & Shepardson, 1987)。然而文獻

表 1：問題解決各階段之表徵系統

問題解決步驟	表徵系統
準備	口語 圖象
實行	口語 圖象 方法學 寫作 實驗導向 (操作)
評估	口語 圖象 定理導向 寫作 實驗導向 經濟層面

(改自 Bowen and Bodner, 1991)

之中對於學生的問題解決能力和科學過程技能的探討卻少有著墨。由以上的討論可了解，欲深入了解學生的問題解決能力也許可從其他相關的能力探討起，因此有必要對可能影響問題解決的因素或相關的認知能力做進一步的探討，對於將來有效提昇問題解決能力的教學，能夠提供更具體的建議與做法。

### 三、研究目的

本研究的目的是探究目前高一學生的問題解決能力與科學過程技能之關係；並利用晤談方式，來深入探究高中生問題解決能力的特質，以期作為教師發展問題解決教學模組和培養學生問題解決能力之依據。

## 研究方法

### 一、研究對象

本研究實施的對象為我國之高一學生。因高中學校有聯招志願之差異，為避免學生同質性過高，而無法真實了解一般高中學生的能力，因此選擇在北部聯招志願中分佈為高、中、低的學校，這四所學校於民國八十五年時，在北聯成績排行中約分居第 2、5、7、10 名且所在地區分布於台北縣市，屬城鎮型學校。共有四個班級（其中男生 75 人，女生 120 人）參與此研究，經整理後獲得有效樣本 153 人，受測學校均為常態分班。

### 二、研究工具

本研究之工具用於收集量化與質性的資料，主要分為「問題解決能力測驗」、「科學過程技能測驗」與「腳印化石晤談工具」等三項評量工具：

- (一)「問題解決能力測驗」（附錄一）：以創造性問題解決為理論基礎（Parnes,

1977），題目型式以四階段的問題解決歷程為主軸 - 發現事實(fact-finding, ff)、發現問題(problem-finding, pf)、提出想法(idea-finding, if)、與尋求解答(solution-finding, sf)。在各階段中為符合創造性問題解決解決之特色 - 發散性思考與收斂性思考，因此在各階段開始以鼓勵學生多想多寫，再以收斂方式整合或評估該階段的結果以做為階段的結束。本研究在問題解決各階段的界定與評分基準如下：1.「發現事實」階段著重學生針對待解問題提出相關事實的流暢性與變通性；2.「發現問題」階段則強調學生針對上述事實提出相關待答問題的流暢性與嚴謹性；3.「提出想法」階段鼓勵學生多提出與此問題有關的解決方法或想法，故此階段以想法之流暢性和創造性作為評分依據；4.「尋求解答階段」則重視學生提出解決方法或策略的嚴謹性和可行性。詳細之評分基準臚列於附錄二中。本研究共修正或研發二個主題的測驗，一為生態與經濟開發的兩難問題，另一為台灣的水資源問題。評分者信度達 0.96，且經由本研究施測結果主題一、二得到內部一致性之 Cronbach's 信度為 71。

- (二)「科學過程技能測驗 - 觀察、解釋資料及形成假設測驗」（附錄三）：1.「觀察」與「形成假設」測驗之理念 - 提供一些曾發生過的自然現象，引導學生藉由「觀察」比較或發現其變化，進一步由觀察中形成假設。問題中不涉及艱深的科學概念術語；同時最高層次之「形成假設」，是學生由觀察中自行提出自變因與依變因，並作進一步的驗證。2.「解釋資料」測驗之理

念 - 能描述資訊中 (圖表及其它資料) 所含之意義、歸納說明資料之深一層意義、運用數學方法粹取資訊、運用相關科學概念以解釋其間之意義。此份測驗是由研究者共同研發, 由師大數位教授與二位資深高中地球科學教師進行專家效度以完成定稿, 其中包含選擇題與問答題共 18 題。經本研究施測結果得到內部一致性信度之 Cronbach's  $\alpha$  約為.73~.90。

- (三)「腳印化石晤談工具」: 參考 *Investigating the Earth - Laboratory Manual* (Earth Science Curriculum Project, [ESCP], 1964), 這是一個根據觀察兩組腳印化石, 來試著解決如何「估計體重」之問題, 在晤談進行中先讓受試者比較異同和推理判斷, 使之逐漸進入情況而引入主要問題解決的活動。

### 三、研究設計與資料分析

本研究主要採用相關研究法(correlation method)的實驗設計並輔以半結構式(semi-structural)晤談。在資料分析方面:

#### (一)量的分析

- 1.描述性統計 - 分析「問題解決能力測驗」結果, 了解學生在問題解決各階段的表現。
- 2.皮爾遜積差相關分析(Pearson product-moment correlation) - 進行學生的「問題解決能力」與「科學過程技能」之相關分析。
- 3.T 考驗 - 比較問題解決能力高、低的學生在科學過程技能之「解釋資料」、「觀察」、「形成假設」之科學過程技能表現是否有顯著差異。

#### (二)質的分析

將口語資料轉錄成文字, 並進行編碼工

作, 其分析方法主要為: 解題流程分析 - 以 Flander's system (Borich, 1994)教室觀察模式為參考, 探討高低問題解決能力之解題流程的交互關係模式是否有差異。

### 四、研究流程

本研究之流程如圖 2 所示可分為以下三階段:

#### (一)準備預試階段

從「蒐集文獻」至「發展研究工具」階段, 主要在於多方蒐集問題解決、科學過程技能之相關文獻並確定問題解決的模式與觀察、形成假設的評量測驗之架構, 於 86 年 9 月至 11 月進行評量測驗之二次預測, 再經由討論、修正以定案。

#### (二)實行階段

從「選定研究對象」至「進行晤談」的過程, 正式施測的程序是: 首先進行「科學過程技能」與「問題解決能力」評量測驗, 共 4 節課, 在 3 週內完成。以上述成績(「問題解決能力測驗」)大於平均值一個標準差者定為高能力學生(29 人), 小於平均值一個標準差者為低能力學生(28 人), 再分別從高低能力的學生群中隨機挑選 6 人共 12 人進行晤談。晤談過程中的所有回答皆以口語表達, 採全程錄音, 每位受試者完成晤談時間約為 30 分鐘至 50 分鐘。

#### (三)結果分析階段

從「資料分析」開始至完成研究結果, 將資料收集完畢, 進行紙筆測驗評分與晤談資料轉錄, 經由結果分析, 最後提出結論。

## 研究結果

### 一、問題解決與科學過程技能之相關性

由問題解決能力與科學過程技能之相關分析中, 得知問題解決與三項科學過程技能總分

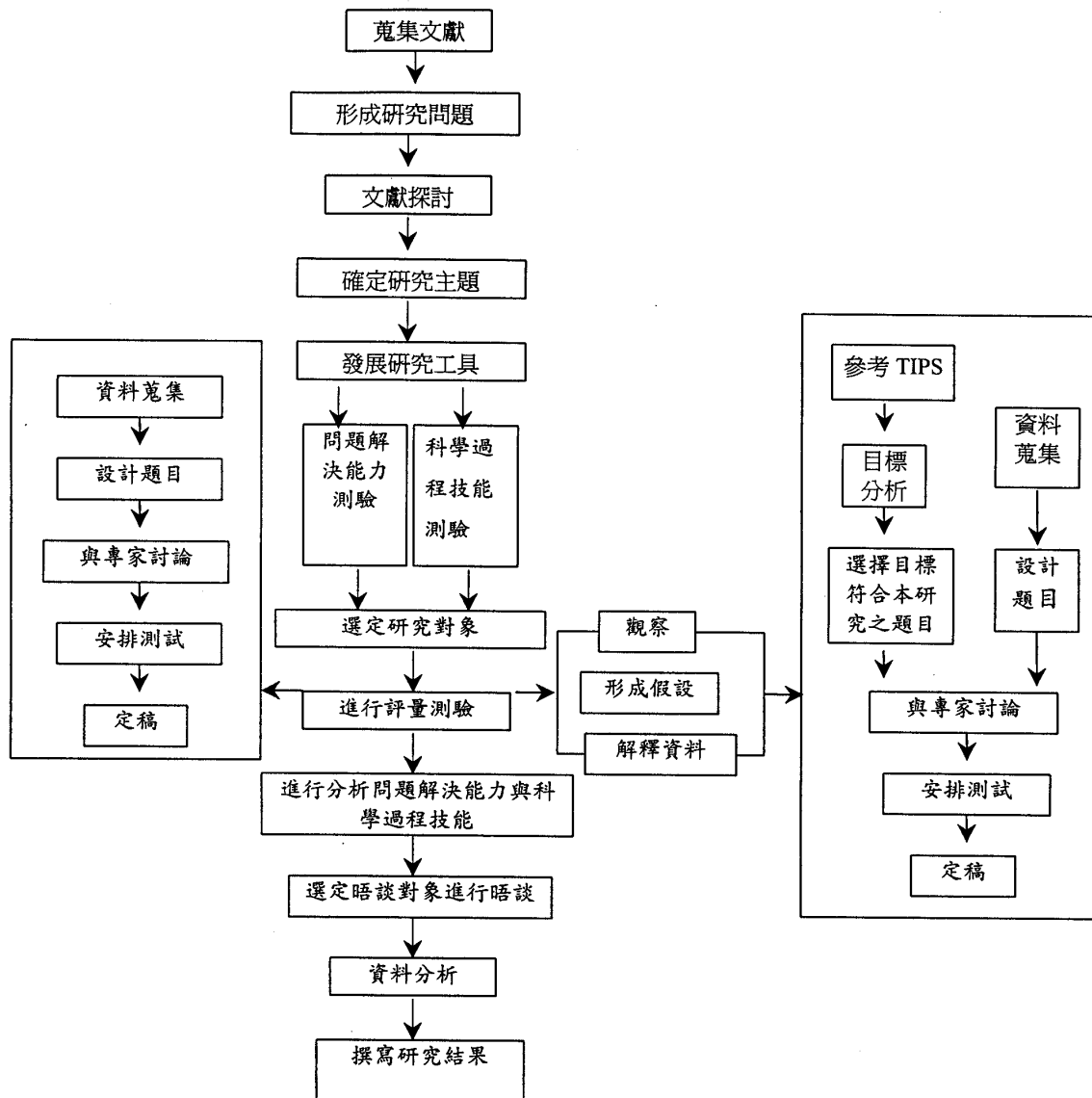


圖 2：研究流程圖

達中度相關( $r = 0.57, p < .01$ )。其中以「觀察」( $r = 0.55, p < .01$ )、「形成假設」( $r = 0.56, p < .01$ )與問題解決能力的相關較高，參見表 2。由表 2 中我們亦發現，科學過程技能與各階段問題解決的能力皆達低度至中度的相關性( $r = 0.22 \sim 0.54$ )，而本研究所界定之問題解決各階段能力與科學過程技能中之觀察與形成假設之能力的相關度( $r = 0.32 \sim 0.54$ )

遠較它們與解釋資料能力的相關度要高出許多( $r = 0.22 \sim 0.31$ )。問題解決高、低能力不同者，無論在「科學過程技能總分」( $t = 6.57, p < .01$ )或「解釋資料」( $t = 3.24, p < .01$ )、「觀察」( $t = 5.54, p < .01$ )和「形成假設」( $t = 4.94, p < .01$ )等三項，高能力者皆顯著地優於低能力者，參見表 3。

表 2：問題解決能力與科學過程技能之相關性

科學過程技能	問題解決歷程				
	發現事實	發現問題	提出想法	尋求解答	全部總分
解釋資料	.24	.22	.30*	.31*	.35**
觀察	.45**	.34*	.50**	.48**	.55**
形成假設	.40*	.32*	.52**	.54**	.56**
全部總分	.45**	.33	.52**	.60**	.57**

\*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ 

表 3：問題解決能力高低不同的學生在科學過程技能表現的差異比較

問題解決能力分群	解釋資料 M(SD)	觀察 M(SD)	形成假設 M(SD)	科學過程技能總分 M(SD)
高能力者(29 人)	14.59 (1.43)	14.72 (1.28)	16.59 (2.38)	45.90 (3.68)
低能力者(28 人)	13.00 (2.18)	12.31 (1.97)	13.27 (2.71)	38.14 (5.19)
T 值	3.24**	5.54**	4.94**	6.57**

註：M 代表平均數，SD 代表標準差；\*\*  $p < .01$ 

## 二、問題解決各階段之表現（描述性統計列於表 4）

本研究依 CPS 模式，將問題解決歷程分為 - 「發現事實」、「發現問題」、「提出想法」與「尋求解答」等四階段。根據此理論基礎而發展二個問題解決的測驗活動。從此二個問題解決活動的測驗中發現，受試學生在問題解決活動各階段中以「提出想法」、「尋求解答」二階段的表現較不理想。由於此二階段著重於思考的流暢性、嚴謹性和可行性，可見一般學生在解決問題時，此二方面的思考能力較為不足。

在解題過程中，問題解決低能力者出現的缺失有以下的情況，在「發現事實」方面，低能力學生缺乏對事實的覺察敏銳力，常僅從單

一角度來看事實。也會出現所覺察到的與事實不合，此多是來自自我解釋的結果。

（如：以下為某一學生的作答）

- ff：1.開闢高速公路是否會影響其四周的植物生長。  
2.在高速公路四周若建休息區是否會占去大部分的綠地。  
3.是否會破壞其水土保持。

在「發現問題」方面，所提出的問題焦點很模糊，包含許多無關連的事實，也就是無法選擇、掌握關鍵的問題所在。

pf：有什麼方法可以使水在台灣只有好處沒有壞處？

在「提出想法」方面，針對問題所提出的可能解決想法往往無法呼應焦點問題，即答非所問、或捉不到問題的重心，且只從單一方向



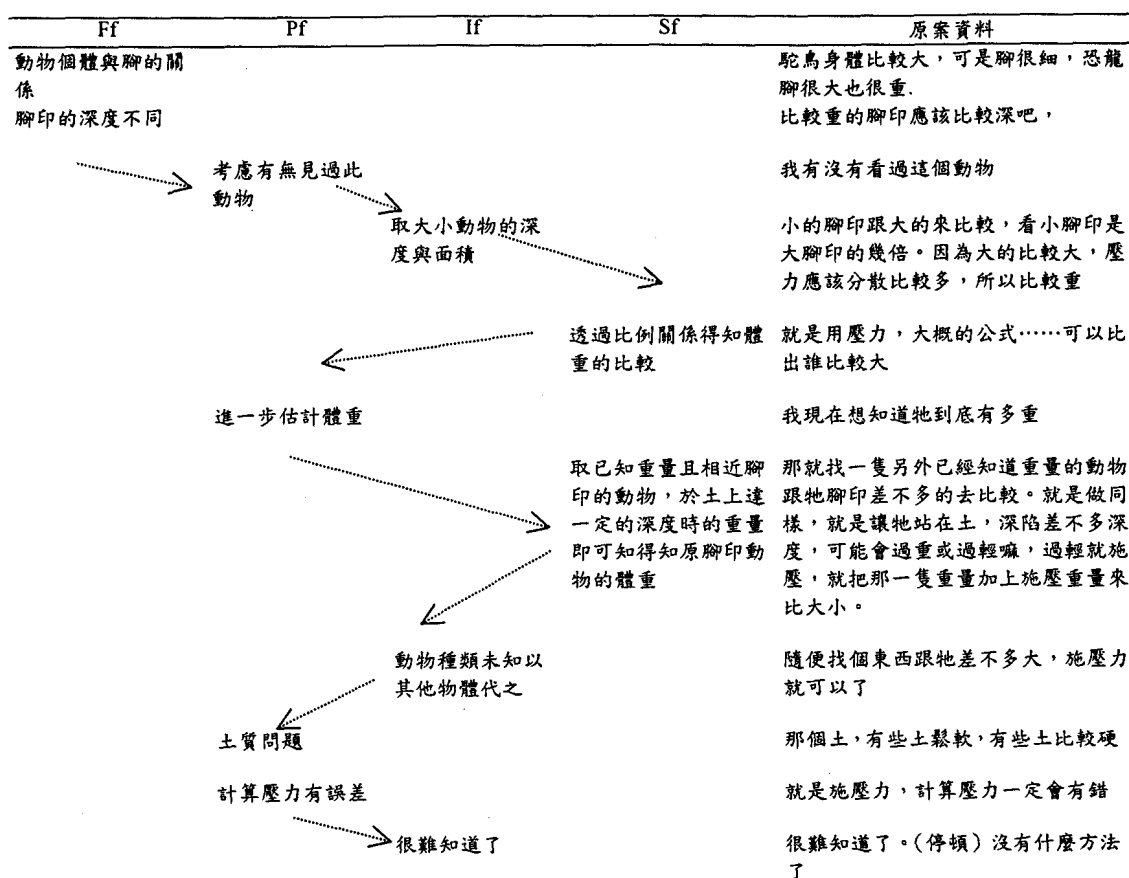


圖 3：問題解決低能力學生之解題流程示例

表 4：問題解決評量測驗各分項之描述性統計

主題/階段	發現事實	發現問題	提出想法	尋求解答	全部總分	平均
總分	(15)	(15)	(15)	(15)	(60)	
問題一	M 9.52	10.59	5.03	5.82	30.95	
	(SD) (2.29)	(2.68)	(2.41)	(3.28)	(6.98)	31.52
問題二	M 8.94	10.76	5.24	7.15	32.09	(6.13)
	(SD) (2.37)	(2.97)	(2.20)	(3.25)	(7.99)	

註：M 為平均數，SD 為標準差

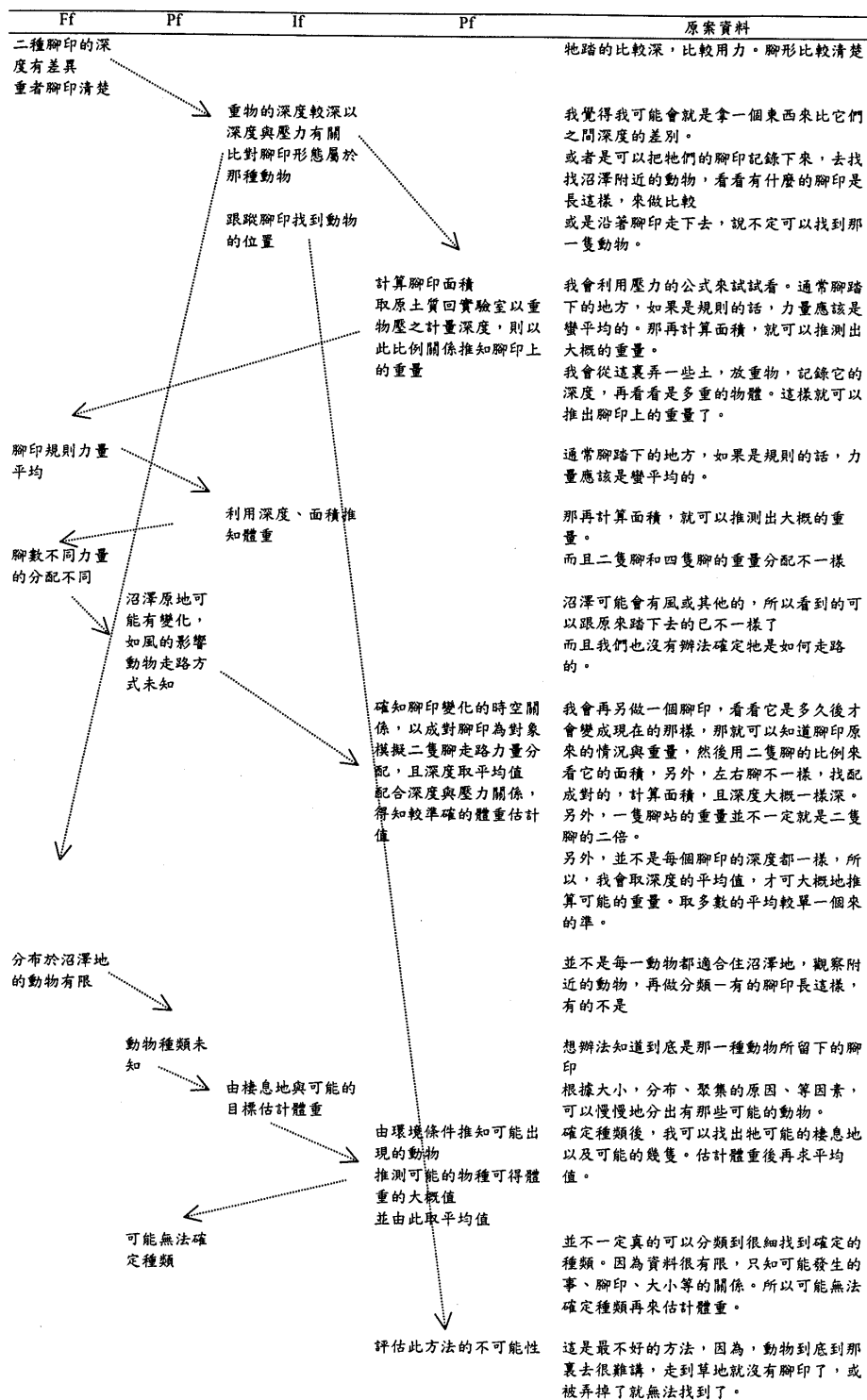


圖 4：問題解決高能力學生之解題流程示例

思考、想法不夠流暢。而遇到難題時，傾向逃避問題、尋求捷徑而忽視了問題的前提條件；或是所提出的想法雖有創意，卻不具可行性。

pf：如何使鹿群保有原來的路徑？

If：請專家設法誘騙鹿群改道

pf：如何使公路不會經過鹿群的遷移路線？

If：把鹿群移至他處或山谷，並以人工方式飼養

在「尋求解答」方面，對想法的詳細解決策略不夠嚴謹，缺乏對整體的概念與架構，僅從表面作描述。

pf：如何使鹿原本的生態環境不被破壞？

sf：減低人類對生態的破壞度，使它們不會生活太困難

### 三、問題解決歷程之晤談分析

根據受試者的口語資料，可將每位學生問題解決的思考過程依 - 發現事實 (fact-finding, ff)、發現問題 (problem-finding, pf)、提出想法 (idea-finding, if)、與尋求解答 (solution-finding, sf) 等四個向度做初步的分析。以下為問題解決低能力與高能力各一位學生受試時之解題流程示例及其原案分析佐證資料之對比，如圖 3 與圖 4。初步比較所有學生的解題流程，可看出高能力者在四階段流程中的轉移較為頻繁、連續，且整體來說解題的流程較完整，並較符合 CPS 問題解決各階段解題的精髓與步驟；而低能力者的解題過程則較簡化且常出現不連續的情況。

有關深入問題解決流程的分析方法，研究者以 Flander's system (Borich, 1994) 教室觀察的分析模式為參考，將問題解決的歷程以編碼紀錄 - 發現事實(f)、發現問題(p)、提出想法(i)與尋求解答(s)，得出每位學生之問題解決的歷程。如：某甲學生的解題歷程為 f-p-i-p-i-s-p 則

以  $f \sim p \sim i \sim p \sim i \sim s \sim p$  中以座標標記方式 (欄, 列) - (f,p) (p,i) (i,p) (p,i) (i,s) (s,p) 分別記次於表格中，如(f,p)則記於 f 欄, p 列之交叉格中。以此方式了解各階段之交互關係，並計算次數於表 5 中。

接著，我們分別統計所有受試學生在各階段的交互關係頻率，為了解高低能力兩群學生在解題流程中交互關係的趨勢，而不只是受試者單獨的表現，因此將個別結果相加，高能力群的結果綜合於表 6 中，低能力群的結果綜合於表 7，次數愈多代表有共同發生的情況愈一致(表格中以“灰影”表之)。

圖 5 與圖 6 總結解題流程的交互關係，由此二圖可看出，高能力者其問題解決歷程之交互關係與 CPS 之歷程模式相當一致；且在解

表 5：舉例 - 各階段交互關係頻率之分析

	f	p	i	S
f				
p	1		1	1
i		2		
s			1	

(表格內為次數)

表 6：高能力 6 人在問題解決相關流程的綜合結果

	發現事實	發現問題	提出想法	尋求解答
發現事實		2	3	5
發現問題	8		3	12
提出想法	5	16		0
尋求解答	2	2	18	

表 7：低能力 6 人在問題解決相關流程的綜合結果

	發現事實	發現問題	提出想法	尋求解答
發現事實		8	2	0
發現問題	7		1	8
提出想法	8	10		0
尋求解答	0	2	10	

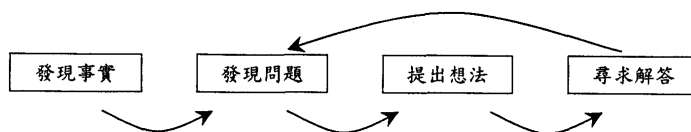


圖 5：高能力者解題流程的交互關係

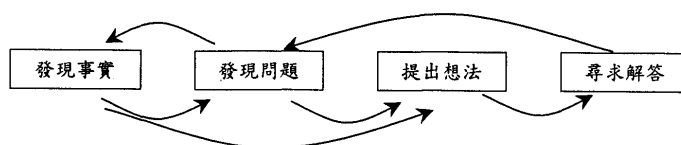


圖 6：低能力者解題流程的交互關係

決問題的最後階段「尋求解答」後，常會再回到「發現問題」的階段，這是一種反省思考的表現。低能力者則與 CPS 歷程模式較不一致；且顯得較為不規則，顯示其解題流程的交互關係較為紛亂。

## 討論與建議

由本研究結果發現學習者解決問題的能力與科學探究之過程技能呈中度相關，而問題解決高、低能力不同者，其科學過程技能之表現亦有顯著的差異。Tobin 和 Capie (1980) 提倡利用科學過程技能來幫助學生在不同的科學領域中解決問題；而 Holley (1996) 在其研究中亦曾試圖以透過問題解決的方式培養學生的科學過程技能，此次研究結果為上述研究提供了相當程度的實徵數據。

一般來說，為了引導出解決問題的基本假設，第一先要比較相似的問題，第二則觀察有知性的推測，且需具備如下兩個條件：(一) 掌握探求對象中的固定型態或體系；(二) 脫離已知型態，藉由脫離已知型態，可誘導出有效的假設。根據以上的看法，可見觀察是形成

假設之基礎，形成假設的過程，確可從紛亂中找出其秩序或關鍵的影響因素。因而「觀察」、「形成假設」與問題解決有密切關係。而本研究亦發現此二項確與問題解決能力相關較高，並且發現問題解決高能力者遠較低能力者在此二方面的表現為佳。研究者在晤談中，亦發現高能力者於問題解決歷程中，運用「形成假設」的情形較多。顯示其能由觀察的訊息中掌握對象，再脫離已知狀態或結合先備知識而引出假設，進一步達到解題的目的。「解釋資料」之科學過程技能與本研究界定之問題解決的相關性較低，這可能與解釋資料之內涵有關，因「解釋資料」要求的是對資料加以整理、分析、研判並解釋的過程，故與本研究界定之問題解決歷程較無直接的關連。

研究者在過去教學經驗中發現大部分的學生學習是被動的而很少問問題，以為是不知從何問或不會發現問題。但在此研究中發現：大部分的學生都能覺察到多方面的事實也能提出關鍵的焦點問題，但卻無法充份的提出想法或思考相當不周密，這二點也似乎就是「發散性思考」與「收斂性思考」的問題關鍵所在，且必然影響解決問題的品質，而 CPS 歷程模式

所強調的思考方式其意便在此。此二階段其實與創造思考、批判思考有相當密切的關係。因在此二階段強調的精神是－解題者能充分發揮思考的“流暢性”(與創造思考有關)、“嚴謹性”與“可行性”(與批判思考有關)。其中“流暢性”即是「創造思考」的要素之一。Presseisen(1986)認為所謂「批判思考」(critical thinking)包含了收斂思考能力與評鑑能力。亦即在解決問題的過程中「是否能覺察對自己或他人主張的缺失之處，並設法改正缺失」這個表現作為其能力之表徵。本研究亦發現高能力者在解題中較易呈現此項能力。

關於問題解決高、低能力者在「提出想法」之比較：針對在晤談中對於「估計體重」的問題，高能力所提出的想法多傾向於運用推理、分類的方式，低能力則多以較直接的方式，此明顯不同的傾向或許可以從科學探究過程的角度來思考。舉例來說，當我們想知道一密閉箱子內的東西時，可以有不同的方法解決此問題：(一)直接打開看；(二)詢問已經知道的人；(三)以箱子重量、外觀或搖晃的聲音、感覺等，由其他的訊息根據推理而判斷其內容。雖然經由這些不同的方法皆可能可以達到目的，但是其解決問題過程所涉及的探究技能卻有很大的不同。在真實的科學研究或生活上所面臨待解決的問題是很難利用上述(一)(二)種的方法來解決；而方法(三)之思考活動與探究過程有關，且較能解決困難度高的問題。本研究在晤談的過程中即解題低能力者之解題方法傾向於(一)(二)項；而高能力者則類似於(三)，此一結果反應了問題解決高能力者，運用科學探究的技能較強。

在現今的教學環境中，學生極少有機會能充份地表達其“發散思考”的想法，也無適當準則引導如何做“收斂思考”的判斷。研究者認為 CPS 問題解決教學模式除了在創造力的培養方面有充份的效果外，其所強調的「發散

性思考」與「收斂性思考」正是一般學生所需加強的思考能力，因此建議可充分利用 CPS 教學模式以引導與訓練學生的思考能力。此外，研究者亦建議科學的教學，應多融入類似 CPS 的問題解決活動，使學生藉由活動的過程，培養問題解決的能力與基本的科學過程技能。最後值得注意的是，本研究的可推論範圍(generalizable extent)應為與本研究對象和施測學校類似的學校，欲廣泛的推論與應用，尚待更多後續研究的努力。

## 誌 謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會專題研究計劃補助經費(計劃編號 NSC87-2511-S-003-026)，以及研究小組成員徐靜文、周家祥、汪惠玲的鼎力協助，始得以完成。本文在投稿過程中，復蒙審稿委員提供許多寶貴的意見與建議，均此誌謝。

## 參考文獻

1. 教育部(1995)：高級中學課程標準。台北市：教育部。
2. American Association for the Advancement of Science. (1993). *Benchmarks for Science Literacy*. Washington, DC: AAAS.
3. Ausubel, D. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rindhart & Winston.
4. Borich, G. D. (1990). *Observation skills for effective teaching*. Columbus: Merrill.
5. Bowen, C. W., & Bodner, G. M. (1991). Problem-solving processes used by students in organic synthesis. *International Journal of Science Education*, 13, 143-158.
6. Champagne, A. B., & Klopfer, L. E. (1977). A

- sixty-year perspective on three issues in science education: I whose ideas are dominant? II representation of women III reflective thinking and problem solving. *Science Education*, 61, 431-452.
7. Champagne, A. B., & Klopfer, L. E. (1981). Problem solving as outcome and method in science teaching: Insights from 60 years of experience. *School Science and Mathematics*, 81, 3-8.
  8. Chang, C.-Y., & Barufaldi, J. P. (1999). The use of a problem solving based instructional model in initiating change in students' achievement and alternative frameworks. *International Journal of Science Education*, 21, 373-388.
  9. Chang, C.-Y., & Mao, S.-L. (1999). Comparison of Taiwan science students' outcomes with inquiry-group versus traditional instruction. *The Journal of Educational Research*, 92, 340-346.
  10. Chi, M. T. H., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
  11. Chiappetta, E. L., & Russell, J. M. (1982). The relationship among logical thinking, problem solving instruction, and knowledge and application of earth science subject matter. *Science Education*, 66, 85-93.
  12. Diane, J. S. (1986). Protocol analysis of aptitude differences figural analogy problem representation, American Psychological Association. (ERIC Document Reproduction Services No. ED 283 072).
  13. Earth Science Curriculum Project. (1964). *Investigating the earth – laboratory manual*. Boulder: American Geological Institute.
  14. Gage, B. A. (1986). *An analysis of problem solving processes used in college chemistry quantitative Equilibrium problems*. Unpublished doctoral dissertation, The University of Maryland, College Park, Maryland.
  15. Geban, O., Askar, P., & Ozkan, I. (1992). Effects of computer simulations and problem-solving approaches on high school students. *Journals of Educational Research*, 86, 5-10.
  16. Greenfield, E. (1987). Teaching thinking through problem solving. *New Directions for Teaching and Learning*, 30, 5-22.
  17. Henkel, E. T. (1968). Undergraduate physics instruction and critical thinking ability. *Journal of Research in Science Teaching*, 5, 89-95.
  18. Holley, D. (1996). *Sciencewise: discovering scientific process through problem solving: Book 1*. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 401 151)
  19. Isaksen, S. G., & Parnes, S. J. (1985). Curriculum planning for creative thinking and problem solving. *The Journal for Creative Behavior*, 19, 1-29.
  20. Kahey, H. (1993). *Problem solving: Current issues* (2nd. ed.). Buckingham: Open University Press.
  21. Mattheis, F. E., & Nakayama, G. (1988). Development of the performance of process skills (POPS) test for middle grades students. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 305 252)
  22. Mulopo, M. M., & Fowler, H. S. (1987). Effects of traditional and discovery instruction approaches on learning outcomes for learners of different intellectual development. A study of chemistry students in Zambia. *Journal of Research in Science Teaching*, 24, 217-227.
  23. Omasta, E., & Lunetta, V. N. (1988). Exploring

- functions: a strategy for teaching physics concepts and problem solving. *Science Education*, 72, 625-636.
24. Parnes, S. J. (1977). CPS : The general system. *The Journal of Creative Behavior*, 11, 1-11.
  25. Presseisen, B. Z. (1986, April). *Critical Thinking and Thinking Skills: State of the Art Definitions and Practice in Public Schools*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, CA.
  26. Russell, J. M., & Chiappetta, E. L. (1981). The effects of a problem solving strategy on the achievement of earth science students. *Journal of Research in Science Teaching*, 18, 295-301.
  27. Saunders, W., & Shepardson, D. P. (1987). A comparison of concrete and formal science instruction upon science achievement and reasoning ability of sixth grade students. *Journal of Research in Science Teaching*, 24, 39-51.
  28. Slack, S.J., & Stewart, J. (1990). High school students' problem-solving performance on realistic genetics problems. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 55-67.
  29. Thorsland, M. (1980). The identification and significance of intuition analytical problem solving approaches among college physics students. *Science education*, 58, 245-265.
  30. Tobin, K.G., & Capie, W. (1980). Teaching process skills in the middle school. *School Science and Mathematics*, 80, 590-600.
  31. Torrance, E. P. (1973). *Needed Research on Creativity. A Special Report of the USOE-Sponsored Grant Study: Critical Appraisal of Research in the Personality-Emotions-Motivation Domain*. Fort Worth, TX: Texas Christian University, Institute of Behavioral Research. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 113 640)
  32. Torrance, E. P. (1976). Creativity testing in education. *Creative Child and Adult Quarterly*, 1, 136-48.
  33. Treffinger, D. J., & Isaksen, S. G. (1992). *Creative problem solving – An Introduction*. Center of creative learning Inc.
  34. Wesney, J. (1977). An analysis of the influence of prior cognitive development in physics and in mathematical reasoning on concept attainment in the study of mechanics in introductory college. *Dissertation abstracts international*, 38, 5379.
  35. Yager, R. E., & Tamir, P. (1994). STS approach: Reason, intentions, accomplishments, and outcomes. *Science Education*, 77, 637-658.

## 附錄一

### 問題解決能力測驗

#### 鹿與路

有一群約三四百隻的鹿群，夏天時居住在山上，冬天時為了避寒及食物便需遷徙到山谷中，由於族群大、路程遙遠，從山上到山谷的遷移過程約持續三星期之久。

然而地方政府為了開發地方使社區能夠更加發展，決定闢建一條新的高速公路來繁榮地方經濟，不巧這條高速公路卻必須穿越這群鹿的遷徙路徑。

然而長久以來，你們的社區居民對鹿群已有一份深厚的感情。可是，你們也知道你們非常需要高速公路，此次政府決定蓋此公路，機會非常難得。因此你們關心的是，此條高速公路要如何興建才能對環境造成最少的傷害？

最後，你們決定要向政府提出一份你們自己的報告來陳述你們的看法與解決之道。

如何解決這個問題呢？

### 問題解決能力測驗

#### 水噹噹

「水」與我們的生活息息相關。但是，對台灣目前的「水」況，你了解多少呢？以下資料是台灣目前水資源的現況，包括水的利用、氣溫、降水與人為開發等情形，這些資訊中隱含了什麼問題？如何解決呢？

#### 水的利用

台灣每年平均大約可以獲得 900 億  $m^3$  的雨量。但是目前我們每年需水量約 190 億  $m^3$ ，因此，若有不足只有藉抽取地下水來補充。經由研究，在自然情況下，雨水滲入土中每年約 45 億  $m^3$ ，若人為抽取超過此量就會造成超抽地下水。

圖 1：雨水的分布比率圖

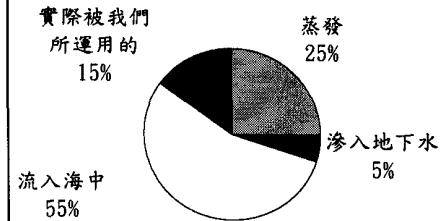


圖 2：地下水的利用情形

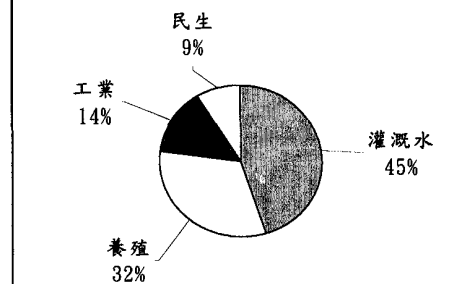


圖 3：三十年來氣溫變化趨勢

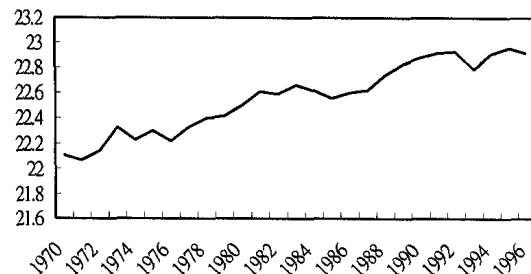


圖 4：北部與南部三十年來雨量趨勢

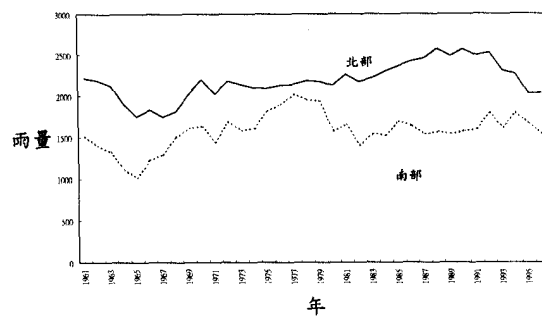
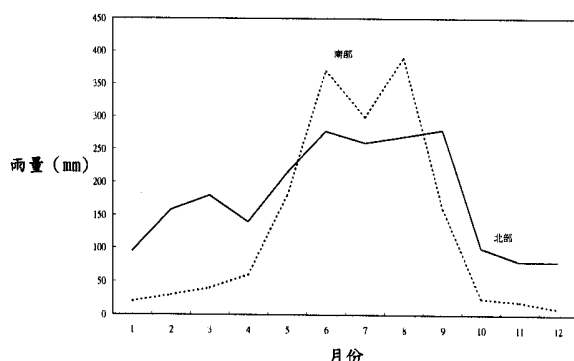




圖 5：三十年來的平均雨量與月份關係圖



### 氣候

分析台灣近 30 年來的氣候資料，顯示在溫度與雨量有些變化。

1. 在氣溫方面，其變化情形如圖 3。
2. 台灣三十年來的雨量趨勢與分布如下圖 4 與 圖 5 所示。

來十分驚人的雨量（約 2000mm）。

### 自然與開發

1. 台灣的地形中，山坡地佔了 3/4，地形陡峭，致使河川短急。在缺乏植被保護，加上河岸地質以疏鬆的沉積岩為多的情況下，含沙量相當高。
2. 集水區及山坡地的過度開發，超限使用，造成表土大量沖蝕，泥沙淤積水庫，影響水庫的有效容量及使用年限。據水資會資料，台灣地區主要水庫的有效容量每年減少約 700 萬  $m^3$ ，相當於一個小型的水庫（如谷關水庫）。

未來，我們需求的水量會因工業發展、民生需要、人口增加而逐年上升。估計，民國 90 年時台灣需水量約為 210 億  $m^3$ 。

如果今天你是個重要的政策決策者，在了解水資源的現況後，深感未來水量供不應求的困境將會嚴重影響人民的生活。

你該怎麼做？如何解決這個難題呢？

## 問題解決活動 - 鹿與路 試卷

### 第一階段：發現事實

1. 仔細看了以上的資料，再思考一下，如果你是當地居民，在考慮開發公路之時，就你已知的情況還想進一步多了解什麼？多想想！儘量多寫！  
(例如，小玲說：汽車排氣會污染空氣，但汽車造成的污染是否會對鹿產生傷害？) 寫完後，再從 中 4 出你覺得較重要的四項。

### 第二階段：發現問題

2. 針對以上你所察覺到較重要的選項中，想想此時你們所面臨的問題有那些？（以問句表之）  
(例如，小玲說：我們應採取什麼措施才能使這條公路的開發儘量不會造成環境的破壞？)
3. 從以上你所面臨的問題中，將有相關的、或你最關心的，整合成一個明確待解決的問題。你們最後迫切需要解決的問題是什麼？  
(提示：嘗試以“如何？”問句表達之！)

“如何使？”

“有什麼方法可以？”

### 第三階段：提出想法

4. 簡略寫下，如何解決你在上述第 3 點所提出的問題？你有那些想法？試著從各方面的角度考慮，儘量地多想想所有可能的辦法！先不判斷好壞，儘量多寫！

寫完後，選出一個你認為最能夠解決上述第 3 點問題的想法（請於 中打勾）

### 第四階段：尋求解答

5. 請說一說理由，為什麼你會選擇這一項，而不選擇其他項？
6. 請針對你認為最能解決問題的想法，進一步寫出具體的做法（如，需要先了解什麼、如何進行、步驟等，愈清楚愈好！），也就是如何將你的想法付諸行動？

## 附錄二

### 「發現事實」之評分原則分析舉例

	問題解決活動一 鹿與路	問題解決活動二 水噹噹
情境	保護鹿群與經濟開發兩難的情況，在此衝突中，需對此情況有全面的了解，才能了解問題的所在。	提供台灣在水量的使用、降水情形、開發等方面的現況，而由這些訊息中發現問題的存在並接受挑戰。
評分基準	1. 評量其思考之流暢性，視其提出“發現事實”之多寡加以計分。 2. 以思考之變通性為考量，視其能從不同角度去察覺問題來評分。（能從下列各角度來答題各加一分）  A. 鹿群的遷移 B. 鹿群的生態 C. 自然環境的破壞 D. 公路對居民的環境與經濟影響 E. 公路的建築	A. 南北水資源的差異 B. 自然條件 C. 居民用水觀念 D. 用水型態，需求問題 E. 人為不當利用

### 「發現問題」之評分原則分析舉例

評分基準	評量其思考之流暢性，視提出“發現問題”多寡之量計分 針對最後所提之焦點問題的嚴謹性加以評估，共分三層次予以給分	
	1. 嚴謹 例：如何使公路順利開發，但又能保護鹿群寧靜的生活和當地自然環境？ 2. 部分嚴謹 例：如何使森林不受到太嚴重的傷害使鹿有完善的生存環境？ 3. 不嚴謹或不清楚 例：如何使鹿群保住其食物來源？	1. 嚴謹 例：有什麼方法能讓多的雨水不流失而繼續儲存以供利用 2. 部分嚴謹 例：如何使用水量做到恰到好處？ 3. 不嚴謹或不清楚 例：如何使台灣不受水的困擾？

### 「提出想法」之評分原則分析舉例

評分基準	1. 評量其思考之流暢性，視提出想法多寡之量予以計分。 2. 根據所有受試者之想法，經整理歸納，選出具有創造性、可行性的好答案 7 項，以此做為加分之標準。	
	A. 公路地下化 B. 公路以高架方式 C. 縮短施工時間 D. 隔音牆 E. 施工避開鹿遷移的季節 F. 控制車流量 G. 限制車速	A. 研發水資源重複利用的技術 B. 海水淡化 C. 提高水費 D. 減少養殖業並輔導轉型 E. 限制山坡地的開發 / 水土保持 F. 北水南引 G. 規劃下水道 / 整治河川，嚴禁污水排放

## 「尋求解答」之評分原則分析舉例

評分  
基準

1. 說明抉擇解題策略的理由與依據。並依理由說明的合理性予以評分。
2. 評量解題方案是依嚴謹性與可行性為考量，各分三層次：

## 嚴謹性

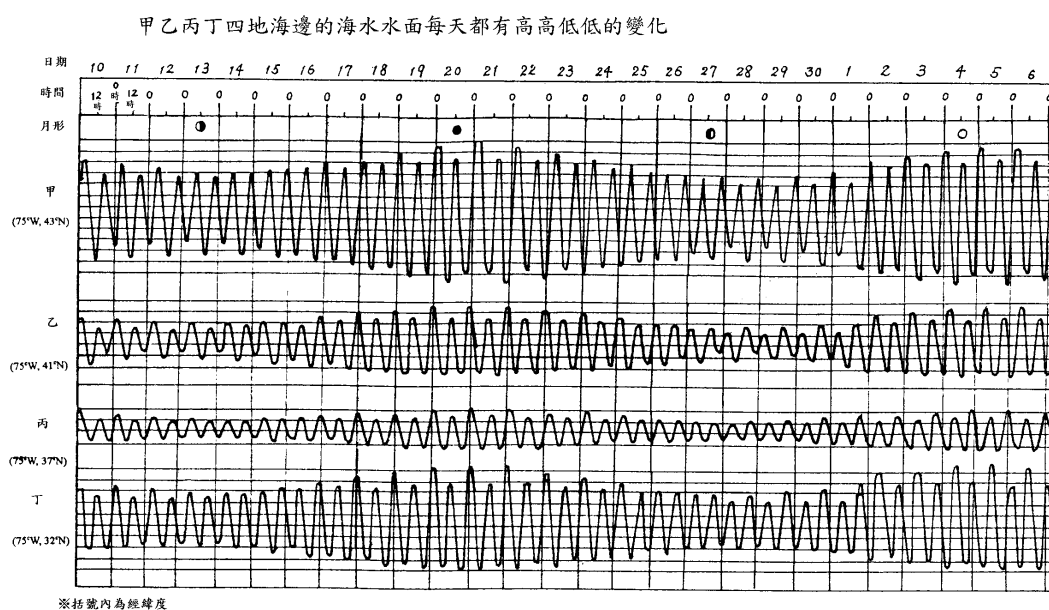
1. 嚴謹
2. 部分嚴謹
3. 不清楚或不嚴謹

## 可行性

1. 可行
2. 部分可行
3. 不清楚或不可行

## 附錄三

## 科學過程技能測驗 - 「觀察」與「形成假設」



配合 各地潮汐變化 之圖，回答下列問題：

## 1. 請觀察甲地的海水面變化：

- (1) 每天的海水面變化有什麼相異的地方？  
(列出至少二點)
- (2) 每天的海水面變化有什麼相同的地方？  
(列出至少二點)

## 2. 比較甲乙丙丁四地的海水面變化，你發現了什麼？有何異同？

- (1) 相異點
- (2) 相同點(列出至少三點)

## 3. 根據上述海水面變化的情形，小華形成以下的假設：

- (1) 小華則認為四地出現滿潮或乾潮的時間

近乎相同是因為甲乙丙丁四地的地理位置很接近。

小華這樣假設的理由是\_\_\_\_\_

- ①相距近，則海水水位高低變化相同。
- ②距離愈近，則漲落潮的時間愈一致。
- ③滿乾潮的時間與當地海水深度有關。
- ④滿乾潮的發生受風力大小影響。

(2)如何驗證小華的假設？\_\_\_\_\_

- ①比較各地區的相近港口，其海水漲落變化情形。

②選定同緯度的相近地區，比較其漲落潮時間。

③比較海水深度相近的港口之潮差大小。

④記錄某地滿乾潮發生時間的週期變化。

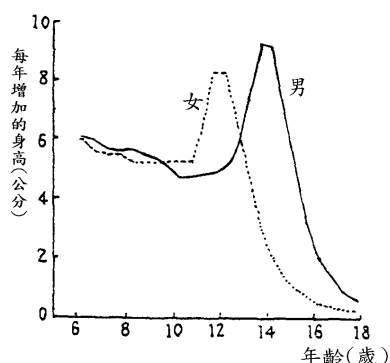
4. 那麼,對於甲乙丙丁四地海水水面變化的情形(根據你所觀察到的異同處)

- (1)你自己有何不同的假設?並說明理由。
- (2)如何驗證你的想法?

### 科學過程技能測驗 - 「解釋資料」

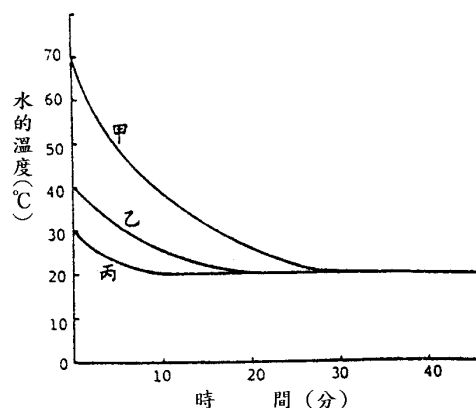
舉例說明如下：

下圖是男孩和女孩在 6 歲至 18 歲，每年身高增加量與歲數的關係圖。



1. 根據圖中資料來判斷，下列敘述中，那一項是正確的？
  - (A)在 13 歲時，男孩和女孩的身高相同
  - (B)男孩在 14 歲時身高最高
  - (C)在 12 歲時，男孩比女孩矮；在 14 歲時男孩比女孩高
  - (D)女孩身高「快速增加」的年紀比男孩要來得早

室內有甲乙丙三杯溫水，它們的溫度隨時間變化的關係如下圖所示：



2. 甲乙丙二杯水的水溫變化有那些共通的趨勢？下列敘述何者正確？
  - ．三者的水溫皆會降溫
  - ．三者皆盛有同量的水
  - ．三者蒸發到乾的時間都一樣長
  - ．三者在 30 分後的溫度皆相同
 (A) 、 (B) 、 (C) 、 (D) 、

## Exploring Interrelationship between Problem-Solving Ability and Science-Process Skills of Tenth-Grade Earth Science Students in Taiwan

Chun-Yen Chang<sup>1</sup> and Yu-Hua Weng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan

<sup>2</sup>Taipei Municipal His Sung Senior High School, Taipei, Taiwan

### Abstract

The purpose of this study was to determine the relationship between tenth-grade students' problem-solving ability and their science-process skills. The sample consisted of 153 tenth-grade students enrolled at four senior high schools in the Taipei area. The investigations employed both quantitative and qualitative methods. The quantitative methods utilized correlation statistics to determine the relationship between these two abilities while the qualitative methods involved semi-structured interviews to explore the relationships in more depth. The Problem-Solving Ability Test (PSAT), Science-Process Skills Test (SPST), and the Footprint Fossil Interviewing Question were used to assess students' respective ability and skills. The Pearson product-moment correlation and t test were used to examine data quantitatively while the Flander's system was employed to analyze qualitative data. Quantitative analyses indicated that a significant correlation existed between students' problem-solving ability and their science-process skills ( $r = 0.35 \sim 0.57$ ,  $p < .01$ ). In addition, significant mean differences were found on the students' skills of data interpretation, observation, and hypothesis formulation between higher-ability and lower-ability problem solvers ( $p < .01$ ). Moreover, the qualitative analyses revealed that higher-ability problem solvers performed better on problem solving processes than lower-ability problem solvers. The results suggest that incorporating problem-solving activities and science-process skills into instruction might be used as a primary vehicle to improve students' problem-solving abilities.

**Key words :** Secondary Education, Problem-Solving Ability, Science-Process Skills

