科學教育學刊
2002, 第十卷第二期, 135-156

Chinese Journal of Science Education
2002, 10(2), 135-156

# 高一學生地球科學問題解決能力與其先備知識及推理能力關係的初探研究

吳佳玲[1]　張俊彥[2]
[1]彰化縣立陽明國中
[2]（通訊作者）國立台灣師範大學 地球科學系（所）

（投稿日期：民國90年7月9日，修訂日期：91年1月31日，接受日期：91年3月19日）

**摘要：**本研究之目的在編製地球科學「問題解決能力測驗」及「先備知識測驗」等量表，並藉此兩工具及現有之推理能力相關測驗，探究目前高中學生之問題解決能力與其先備知識及推理能力間的關係。研究者依據「創造性問題解決」的模式，設計以地球科學為學科背景脈絡的「問題解決能力測驗」，其中包含「發散性思考」與「收斂性思考」兩向度。此外，亦針對此「問題解決能力測驗」所需之先備知識而編製對應之「先備知識測驗」，其中並包含「學生對問題解決能力測驗」喜歡程度之 1 題單選題。本研究以台灣東部某國立高中一年級學生為研究對象，有效樣本共 260 人。研究設計採用相關研究法及半結構式的晤談。量的資料分析主要採皮爾遜積差相關及多元逐步迴歸分析法，質性資料則經由編碼與三角校正後進行分析，以進一步了解學生對「問題解決能力測驗」及「先備知識測驗」的看法與觀感。研究結果如下：一、研究工具之「問題解決能力測驗」總分與「發散思考」（$r$＝.814，$p$<.001）及「收斂思考」向度（$r$＝.898，$p$<.001）均有高度相關，且評分者信度達.813　.965。「先備知識測驗」之信度 $KR_{20}$ 介於 .60 至 .63 之間；二、學生問題解決能力與其先備知識（$r$＝.482，$p$<.01）及推理能力（$r$＝.435，$p$<.01）間均接近顯著之中度正相關及大的效果量（effect size），且「先備知識」、「推理能力」及「對問題解決的態度」對「問題解決能力」有顯著的預測力（解釋率達 $R^2$＝.343），而「先備知識」與「推理能力」對「發散思考」和「收斂思考」亦有顯著的預測力（解釋率達 $R^2$＝.172　.332），接近或具有大的效果量；三、推理能力與「發散思考」間有大的效果量的關係，而先備知識與「收斂思考」間亦有接近大的效果量的關係；四、晤談後發現學生認為「先備知識測驗」須仰賴「知識」、「態度」、和「經驗」的多寡，而「問題解決能力測驗」則須「知識」、「態度」、「思考」、與「經驗」的完備，其結果與量的分析頗為一致。據此，我們認為高中學生先備知識及推理能力的增強，應有助於提升他們在地球科學上的問題解決能力。尤其在「發散思考」上更應著重在「推理能力」的培養，而「收斂思考」應更強調「先備知識」的建立。

**關鍵詞：**中等教育、先備知識、地球科學、推理能力、問題解決。

# 緒　論

「給他們魚吃，不如教他們釣魚」，此口號早在數十年前便已是科學教育的努力方向。所謂教他們釣魚，便是教學生一些可用來有效學習科學知識和解決問題的方法。近年來，國內外許多科學課程的改革風潮中，都強調要培養學生問題解決的能力，如美國 Project 2061 之 *Benchmarks for Science Literacy*（American Association for the Advancement of Science, [AAAS], 1994），以及我國正研擬的九年一貫「自然與生活科技」課程綱要（教育部, 2001），都把問題解決當作課程目標之一（p. 5）。

此外，評量的主要目的在於瞭解學生學習狀況，以做為改進教學及促進學習的參考（教育部, 2001）。教學與評量兩者是密不可分且相輔相成的，因此在課程與教學的改革中，評量的變革也是一個重要的趨勢。「培養獨立思考、解決問題的能力，並激發創造潛能」為目前九年一貫的科學課程目標之一，其教學評量之實施要點中指出「教學評量不宜侷限於同一種方式」。在我們希望教師能夠教導學生擁有問題解決能力的同時，評量的方式就不能只侷限在傳統的選擇題形態之紙筆測驗，必須發展更適合的評量工具。此外，對學生的問題解決能力亦須有更深一層的認識，才能使問題解決的教學設計更符合學生的需要，以期有效地提高他們的問題解決能力。

# 研究目的

本研究的目的主要在編製地球科學「問題解決能力測驗」（包含發散思考能力和收斂思考能力等兩向度）與「先備知識測驗」等兩工具，並運用現有之「推理能力測驗」，來探討目前高中學生之問題解決能力與其先備知識和推理能力的關係，也藉由晤談進一步了解學生對「問題解決能力測驗」及「先備知識測驗」的看法與觀感。期望藉研究結果提供教師發展問題解決課程與教學和培養學生問題解決能力之參考。

# 理論基礎

## 一、問題解決（problem solving）的定義

問題解決是一種過程，而問題解決的活動源起自人與環境的互動。許多學者試著對於問題解決下定義，如 Gagne（1970）認為問題解決可視為一種過程，結合且運用先前所學的規則去解決新奇的情境，並且在過程中產生新的學習。而 Gage（1986）則提出問題解決是一種過程，當學習者無法使用先前的經驗去解決新面臨的情況且在遭遇問題時，學習者會回憶已學習過的經驗，而嘗試去發現解答。當他無法成功解決問題時再嘗試連結，如果獲得成功的連結則變成高層次思考，可再進一步運用於相似的問題形式上。學習者是否能成功地解決問題須仰賴其回憶相關規則的能力、口語知識的廣博和認知策略的活用。

Fisher（1990）認為問題解決是應用性的思考，其與批判思考和創造思考三者並立。批判思考屬於分析性質，而創造思考則偏重發散歧異性，兩者均為探究性質的思考，且為完成問題解決所必須（如圖 1）。

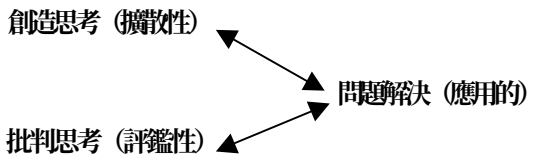



圖 1：問題解決與創造思考、批判思考之關係（引自張玉成, 1993）

張俊彥和翁玉華（2000）則定義問題解決為個人運用先前知識、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，知識和思考能力的運用應須充分的表現於「問題解決」的過程中。

本研究之所以採用創造性問題解決模式，是因為我們認為創造性問題解決模式較能包含問題解決之共同要素。此外，創造性問題解決模式為增進問題解決歷程的思考周密性，較其他問題解決歷程更強調發散性思考與收斂性思考的應用，這也是本研究採用創造性問題解決模式作為評量問題解決能力之理論基礎的原因。所以本研究認為問題解決雖然是一種過程，但其結果彰顯於外的便是一種能力，這種問題解決能力應同時涵蓋發散思考能力以及收斂思考能力，缺一不可。

## 二、創造性問題解決模式（CPS）

創造性問題解決原文 Creative Problem Solving，簡稱 CPS，為分階段的解題模式。CPS 最初啟蒙於 Wallace，發展肇始於 Osborn 和 Parnes，而後由 Treffinger、Isaksen 和 Dorval 等人予以持續發展。

其中 Parnes 的五階段為世人所熟知，一般稱此為 Osborn-Parnes 的 CPS（Osborn-Parnes traditions of CPS），表示兩個人對 CPS 的誕生都有貢獻。這種分段解題模式，通常用來解決開放性問題，解題步驟包含有發現事實、發現問題、提出想法、尋求解答、尋求接納等五個階段（Parnes, 1987）。其最大特色是在解題過程中，每一個階段都先有發散性思考，再有收斂性思考。

## 三、問題解決之相關變項的研究

楊坤原（1999）認為問題解決和科學過程技能有密切的關係，是一種涉及以現有知識之組合為基礎的創造性活動，也是一種高層次技能的表現。而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，問題解決很難成功。

張俊彥和翁玉華（2000）的研究結果發現我國高一學生問題解決的能力與其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。

Niedelman（1990）則提出學科先備知識及過程技能是問題解決的兩個思考技能。Smith（1991）綜合許多研究者的研究，將問題解決相關因素分為內在因素及外在因素：

1. 內在因素：問題脈絡(problem context)、問題結構（problem structure）、社會因素（social factors）。
2. 外在因素：情感(affect)、經驗(experience)、學科知識(domain-specific knowledge)、一般性問題解決知識（general problem-solving knowledge）、問題解決者的知識必須適當、有組織、易取得、具整合及正確性(the problem solver's knowledge mustbe adequate, organized, accessible, integrated, and accurate)、其他個人特質 (other personalcharacteristics)等。

此外，Jonassen（2000）相信問題解決能力應包含問題的本質（nature of problem）、問題表徵（representation）、及問題解決者在調解問題過程中的個別差異（individual differences）。

由文獻中可了解問題解決能力應涉及問題解決者的先備知識和推理能力，但多為理論性的探討或假設，相關的實徵研究卻較少，尤其是在地球科學學科情境脈絡（context）下的相關研究更是鳳毛麟角。因此本研究希望進一步了解學生的地球科學問題解決能力與其先備知識和推理能力之關係。亦期藉由本研究幫助我

們了解影響問題解決的相關重要因素，以補科學教育在此方面研究的不足。再者，更可藉此提供科學教師未來發展問題解決課程和培養學生問題解決能力之參考。

# 研究方法

## 一、研究對象

參與本研究的對象為台灣東部某國立高中一年級學生。該校為獨立招生且男女分班之鄉鎮型學校。共有六個班級參與此研究，經整理後獲得之有效樣本 260 人（其中男生 136 人，女生 124 人）。研究班級是透過相識學校的地球科學教師，在可配合的情形下進行研究，屬便利樣本性質。

## 二、研究設計

本研究主要採用相關研究法（Borg & Gall, 1989），並輔以半結構式的晤談方式（semi-structural interview）來探討學生問題解決能力與其先備知識及推理能力的關係。

## 三、研究流程

本研究之研究流程分為以下三階段進行：

(一)準備預試階段：

準備預試階段執行期間為 89 年 1 月至 89 年 11 月，主要為多方面蒐集國內外有關問題解決和評量工具的研究與文獻，並且發展國內適用的研究工具，期間共進行三次試驗性研究（pilot studies），藉此修正題目及訂定評分標準。

(二)正式施測階段：

正式施測階段之執行期間為 89 年 12 月至 90 年 1 月，主要工作內容為選定研究對象進行評量測驗，正式施測流程分兩階段進行，第一階段進行「問題解決能力測驗」施測，第二階段進行「先備知識測驗」施測，兩測驗連同說明與收發題本，在同一節課中完成，而所有測驗亦都於 1 週內完成，之後整理出有效樣本進行資料分析，以選定晤談對象進行晤談。晤談對象共 9 人，晤談過程中全程錄音，並將其轉為文字稿後進行編碼的工作。

(三)結果分析階段：

此階段主要為完成「資料分析」和「撰寫論文」兩項工作，執行期間為 90 年 2 月至 90 年 5 月。初步分析東部、北部、南部四所高中正式施測的研究結果，顯示各區學生在「問題解決能力測驗」及「先備知識測驗」的表現有些許差異，而學生的個人背景資料差異亦相當大。鑑於不同學校地區研究樣本數、接受晤談學生人數等因素之綜合考量，選定東部某國立高中作為本篇論文之主要資料來源。將正式研究所蒐集的資料，以SPSS 8.0 (Statistical Package for the Social Sciences)統計軟體進行量化的分析，質性的晤談資料則先將所有資料轉為文字稿並將其編碼（coding），且以三角校正的方式進行信度的確認，最後提出研究結論與建議。

## 四、研究工具

本研究用於收集量化與質性資料的工具，主要有「問題解決能力測驗」、「先備知識測驗」、「推理能力測驗」、以及「半結構式晤談工具」：

(一)「問題解決能力測驗」

「問題解決能力測驗」採紙筆作答的測驗方式，根據 Parnes 的 CPS 模式，解題過程中強調「發散性思考」與「收斂性思考」，且在地球科學的情境脈絡下，設計「太空之旅」及「設計雨量筒」兩個測驗單元。

其中主題一「太空之旅」，情境為前往預訂的月球基地中途發生意外，必須徒步一天並搶救一些物品才能順利到達月球基地。題目內容包含發散思考向度，此部分主要希望學生能

表1：「問題解決能力測驗」之三次預試時間、樣本及目的

| 預試 | 時間 | 樣本 | 目　的 |
|---|---|---|---|
| 一 | 89/06 | 台北縣<br>6班/約300人 | 修正題目及訂定評分標準<br>估計學生作答所需時間 |
| 二 | 89/08 | 彰化縣<br>6班/276人 | 再次修訂題目與評分標準<br>同時建立評分者信度<br>進行第一階段的專家效度審查 |
| 三 | 89/10 | 台北縣<br>4班/175人 | 預試正式施測的完整流程<br>進行研究結果的初步分析<br>進行第二階段的專家效度審查<br>再次確立評分者信度<br>完成「問題解決能力測驗」工具的開發 |

多運用其在月球環境的先備知識，思考【可能會面臨的困難或危險】。而【確定搶救物品】部分則為收斂思考向度，主要希望學生能根據其發散思考向度中所得的結果，加以整理歸納需要搶救的物品，並列出最迫切需要的物品。發散思考及收斂思考向度各50分，總分100分（附錄一）。

主題二「設計雨量筒」則參考自程上修(2000)「製造雨量筒」的教學活動，此活動目的在讓學生考慮雨量筒設計時須注意的重點，包括雨量的測量方式、雨量筒的形狀、週邊裝置等。發散思考及收斂思考亦各佔50分，總分100分。

「問題解決能力測驗」包含：施測指導說明、問題解決能力測驗之評分標準、評分單與學生作答本等共四部分。本測驗工具開發過程中，曾於89年9月與11月分別進行兩次專家審查（每份試題分別經七位專家審查，這些專家包括來自台灣大學、中央大學、淡江大學、以及台灣師範大學的天文或氣象相關科系共十位教授以及兩位高中地球科學老師【這兩位老師同時擔任這兩份試題的審查工作】），並按照專家的意見加以修改。此外，「問題解決能力測驗」於89年6月至10月間共進行了三次預試（pilot tests），其時間、樣本及目的整理如表1。

正式施測結果，主題一「太空之旅」總分與「發散思考」部分有高度相關（$r$=.911，$p$<.001），與「收斂思考」部分亦有高度相關（$r$=.944，$p$<.001）。在評分者信度方面，與5位偕同研究者獨立分別批改相同44份「太空之旅」試卷，得評分者信度範圍約在.905 .965，在發散思考與收斂思考的評分者信度亦高達.806 .931及.917 .960。

學生在主題二「設計雨量筒」的表現呈常態分佈（$p$<.200），且總分與「發散思考」部分有高度相關（$r$=.834，$p$<.001），與「收斂思考」部分亦有高度相關（$r$=.832，$p$<.001）。在評分者信度方面，與5位偕同研究者獨立分別批改相同之47份「設計雨量筒」試卷，得評分者信度約.813 .901；在發散思考與收斂思考的評分者信度亦分別有.721 .923及.751 .886。

將「太空之旅」與「設計雨量筒」的問題解決能力測驗分數結果合併在一起分析，發現學生在「問題解決能力測驗」總分與「發散思考」部分及「收斂思考」部分間均有高度相關。其中與「發散思考」部分相關達 $r$=.814，$p$<.001，與「收斂思考」部分相關達r=.898，$p$<.001。

(二)「先備知識測驗」

「先備知識測驗」採用畫卡方式，此測驗題目包括針對「問題解決能力測驗」所需要的基本概念而設計的「先備知識測驗」(共有 20 題單選題)，以及用以瞭解學生對「問題解決能力測驗」的喜歡程度所設計之單選題 1 題，為李克氏五分量表（Likert-type）型式。

主題一「太空之旅」，題目設計參考高中地球科學課本（毛松霖主編, 2000)、天文觀星圖鑑 (陳心維譯, 1999)、牛頓科學學習百科 (牛頓出版社, 1989）與 Foundations of Astronomy（Seeds, 1990）等書，題目內容包括月球的基本性質、月球表面環境以及月球與地球之環境差異等。

例題：

在月球上當你想要通過月海時，下列哪一種方式較有可能通過月海？

(A）使用自動充氣救生艇 (B）直接行走

(C）游泳 (D）潛水

主題二「設計雨量筒」，題目設計參考自氣象測報手冊（中央氣象局編, 1972)，題目內容包括雨量的測量方式、雨量筒的形狀和週邊裝置等。

例題：

下列關於雨量筒擺設時機的敘述何者正確？

(A）出大太陽時應將雨量筒移到室內

(B）為避免風雨應將雨量筒放置在屋簷旁

(C）下雨時才將雨量筒擺出室外

(D）無論晴雨一律擺設在室外

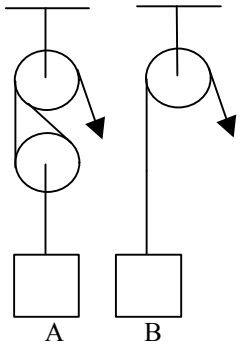
本測驗工具開發過程中，除了反覆的討論與修訂外，並於 89 年 9 月與 11 月與「問題解決能力測驗」同時進行兩次專家審查和兩次預試。正式施測結果，得「太空之旅」$KR_{20}$ = .60 ($n$ = 133)，「設計雨量筒」$KR_{20}$ = .63 ($n$ = 127)，信度雖然不甚高，但Hatcher 和 Stepanski (1994) 認為社會科學中的評量工具之的信度值若達.55，即為可接受的水準。即便如此，本測驗仍有一些改善的空間，留待後續研究的努力。

(三)推理能力

本研究採中國測驗學會簡茂發等八人所編製及修訂之「高一性向測驗」(簡茂發、吳鐵雄、吳清基、劉奕權、邱美玉、王俊明、潘慧玲和何榮桂, 1993)。其內容包括語文詞義測驗、數學能力測驗、語文推理測驗、機械推理、空間關係等五個向度。其中機械推理部分與自然科學的推理能力最為相關，此份測驗共有 40 題，每一題都包括一幅圖畫及相關的問題。每題都有三個答案，請學生從其中選出最適當的答案來（見例題)。因此本研究所謂推理能力乃指其中的「機械推理」部分，其成績則由施測學校之輔導室提供。此「機械推理」部分測驗的重測信度為.60 ($n$ = 204)、$KR_{20}$ = .76 ($n$ = 428)、$KR_{21}$ = .70 ($n$ = 428)。效度的部分亦已充分建立，效標研究的細節請參看簡茂發等人（1993）的研究。

例題：

那個滑輪比較省力？（若一樣，則選C）




(四)晤談工具

此半結構式的晤談工具，主要為了解學生對「問題解決能力測驗」與「先備知識測驗」的看法而設計，包括學生對「問題解決能力測驗」與「先備知識測驗」的觀感，以及影響其

在「問題解決能力測驗」及「先備知識測驗」表現的因素。並且在正式晤談前，於第三次預試期間，先進行其他 5 位學生的前置晤談，以對問題內容和晤談技巧做適度修正。

## 五、資料分析

### (一)量的分析

本研究所使用量的統計方法主要有描述性統計、皮爾遜積差相關(Pearson product-moment correlation)、及多元迴歸之逐步分析法(stepwise multiple regression)：

1. 描述性統計：除了針對學生的「先備知識測驗」進行描述性分析外，並分析「問題解決能力測驗」之測驗結果，瞭解學生在問題解決的整體表現，以及其在「發散思考」與「收斂思考」兩部分的表現。
2. 皮爾遜積差相關：進行評分者信度檢定，「問題解決能力測驗」與「發散思考」及「收斂思考」之相關分析，探究「問題解決能力」與「先備知識」及「推理能力」的相關性。
3. 多元迴歸分析：嘗試分析學生「先備知識」、「推理能力」及其「對問題解決的態度」對其「問題解決能力」之預測力。根據林清山（1995）所著之「心理與教育統計學」，試探性研究較適合使用迴歸分析之「逐步分析法」。

根據林清山（1995）所著之「心理與教育統計學」，採用單因子變異數分析方法需符合之基本假定有常態性及變異數同質性，而多元迴歸之逐步分析法之基本假定包括常態性分布與獨立性檢定，本研究的統計分析均先進行基本假定的考驗。此外，Cohen（1994）亦指出教育上經常使用的顯著考驗方法（significance tests）應特別注意其可能的限制與缺失，並建議除了呈現統計上的顯著性外，更應盡可能地呈現研究結果在實際上的效果量大小（Effect Size, ES）。

值得注意的是，本研究在皮爾遜積差相關與迴歸分析法中選擇採用 Cohen's effect size index **r** (Cohen, 1988, p.77)，而 Glass, McGaw, 和 Smith (1981)、Glass 和 Hopkins (1996, p. 449) 所界定的 effect size 乃特指「組間平均值差異量」的大小(the difference between the mean of experimental and control groups)，這個部分僅相當於 Cohen's effect size index **d** (1988, p.20)。Cohen (1988)認為當牽涉到兩種變數間的線性相關程度時，使用 $r^2$ (proportion of variance) 或是 effect size index **r** (Cohen, 1988, p.77)不但清楚明瞭，也提供了更寶貴訊息。Nix 和 Barnette（1998）亦整理了各種統計方法應呈現之 Effect Size，他們認為皮爾遜積差相關與迴歸分析法最好以解釋率（$r^2$ or $R^2$）來表示。Cohen（1988）更進一步指出行為科學中的變數因子複雜且常有雜訊（noise）存在，故不同量表分數間的相關性通常很少達到 0.6，因此將相關係數 0.1 定義為小的效果量，0.3 為中度效果量，0.5 則為大的效果量（p. 78-83）。

### (二)質的分析

將學生晤談的口語資料，轉譯成文字稿並加以編碼。主要將編碼分成「對問題解決能力測驗的感覺」、「對先備知識測驗的感覺」、「影響問題解決能力測驗的因素」和「影響先備知識測驗的因素」等 4 項，並經多位研究者做三角校正，將受試學生提出的想法加以歸納。

# 研究結果

## 一、問題解決、先備知識、推理能力之評量結果

由描述性統計可知（表 2）學生在「太空之旅」（M＝81.02，SD＝18.34）與「設計雨量筒」（M＝64.87，SD＝18.38）兩主題之總

表2：問題解決能力測驗各項之平均分數

| 主題/階段 | | 發散 | 收斂 | 全部總分 |
|---|---|---|---|---|
| 總分 | | 50 | 50 | 100 |
| 太空之旅 (133 人) | M (SD) | 37.65 (11.04) | 43.37 (11.04) | 81.02 (18.34) |
| 設計雨量筒 (127 人) | M (SD) | 36.28 (08.70) | 28.59 (11.04) | 64.87 (18.38) |
| 全部 (260 人) | M (SD) | 36.98 (9.97) | 36.15 (13.27) | 73.13 (20.03) |

表3：先備知識測驗之平均分數

| 先備知識 | 太空之旅 | 設計雨量筒 | 全部 |
|---|---|---|---|
| 人　數 | 133 | 127 | 260 |
| 總　分 | 100 | 100 | 100 |
| 平　均 | 72.59 | 55.20 | 64.10 |
| (標準差) | (12.27) | (15.68) | (16.50) |

表4：推理能力之平均分數

| | 人數 | 總分 | 平均 | 標準差 |
|---|---|---|---|---|
| 推理能力 | 260 人 | 40 | 21.92 | 5.07 |

平均分數不盡相同，其中發散性思考部分表現非常相似，主要差異在收斂性思考部分，可能是兩套題目在收斂性思考部分之難易度不同所導致，從學生的作答情形，亦發現學生在「太空之旅」的收斂性思考部分作答較「設計雨量筒」更為踴躍。

「先備知識測驗」結果之描述性統計則如表 3 所示，學生在「太空之旅」(M＝72.59，SD＝12.27) 與「設計雨量筒」(M＝55.20，SD＝15.68) 兩主題之總分表現仍有些微差異存在，可能是兩主題題目難度並不完全相同所導致。

「推理能力」測驗結果之描述性統計則如表 4 所示，由描述性統計可知，學生「推理能力」之平均值為 21.92 (SD＝5.07)。

## 二、問題解決能力與先備知識及推理能力之相關分析

由經驗與 pilot test 發現學生若作答兩份類似「問題解決能力測驗」的開放性試題，容易顯現疲憊及反彈，且地球科學的領域甚廣，其中天文及氣象部分須運用較多的高層次思考，較適合將其運用在「問題解決能力測驗」的開發，因此在研究設計上為使學生有認真作答的情緒，每一位學生僅作答「太空之旅」或「設計雨量筒」其中一套測驗，並且在測

表5：問題解決能力與先備知識和推理能力之相關

| ($n$=260) | 問題解決階段 | | |
|---|---|---|---|
| | 發散 | 收斂 | 總分 |
| 先備知識 | .293** | .507** | .482** |
| 推理能力 | .331** | .408** | .435** |

** $p$<.01

表6：問題解決能力與先備知識、推理能力、及「對問題解決的態度」之相關

| ($n$=260) | 問題解決 | 先備知識 | 推理能力 | 態度 |
|---|---|---|---|---|
| 問題解決 | 1.000** | .482** | .435** | .231** |
| 先備知識 | | 1.000** | .288** | .125** |
| 推理能力 | | | 1.000** | .197** |
| 態度 | | | | 1.000** |

** $p$<.01

驗工具的設計上使用同樣的問題解決架構，期望能在兼顧學生的作答反應與題目範圍的完整性下進行研究。故本研究以兩個問題解決能力測驗之總分代表問題解決能力，而以個人先備知識之總分代表學生的先備知識，進行分析討論。因此，本研究結果的推論範圍是以創造性問題解決理論為架構之「地球科學問題解決能力」為主，不宜將天文與氣象兩個主題的問題解決能力分開來作探討與延伸。

經由皮爾遜積差相關將學生在「問題解決能力測驗」之「發散思考」、「收斂思考」和總分的表現與其「先備知識測驗」總分和「推理能力」進行相關分析（表5），發現：

(一)「問題解決能力測驗」總分與「先備知識」($r$=.482)及「推理能力」($r$=.435)，除了相關係數達到顯著水準之外，亦非常接近大的效果量。

(二)「問題解決能力測驗」之發散思考與「先備知識」（$r$=.293）及「推理能力」（$r$=.331），除了相關係數達到顯著水準之外，亦有中度的效果量。

(三)「問題解決能力測驗」之收斂思考與「先備知識」（$r$=.507）及「推理能力」（$r$=.408），除了相關係數達到顯著水準之外，亦非常接近或達到大的效果量。

## 三、「先備知識」、「推理能力」及「問題解決態度」預測「問題解決能力」的多元迴歸分析

由上述的分析結果，可發現學生的「問題解決能力」與其「先備知識」及「推理能力」之間有顯著的相關，故研究者想進一步了解學生的先備知識及推理能力對其問題解決能力的預測力。雖然「對問題解決的態度」部分的分析僅來自學生在「先備知識測驗」其中一題的反應，但應仍可約略看出一些端倪，而更深入的探討則留待後續研究的努力。

在進入迴歸分析之前，首先必須確定「問

表 7：「問題解決能力」迴歸分析結果

| Model | *R* | *R square* | *F* | *p* |
|---|---|---|---|---|
| 1 | .482 | .232 | 78.062** | .000 |
| 2 | .573 | .328 | 62.740** | .000 |
| 3 | .589 | .343 | 44.546** | .000 |

| Model | | 未標準化 | | 標準化 | *t* | *p* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *B* | *SE* | *Beta* | | |
| 1 | Constant | 35.638 | 4.381 | | 8.134** | .000 |
| | 先備知識 | .585 | .066 | .482 | 8.835** | .000 |
| 2 | Constant | 14.885 | 5.350 | | 2.782* | .006 |
| | 先備知識 | .472 | .065 | .389 | 7.284** | .000 |
| | 推理能力 | 1.277 | .211 | .323 | 6.053** | .000 |
| 3 | Constant | 9.006 | 5.835 | | 1.543 | .124 |
| | 先備知識 | .461 | .064 | .380 | 7.158** | .000 |
| | 推理能力 | 1.191 | .212 | .301 | 5.613** | .000 |
| | 態　　度 | 2.832 | 1.175 | .125 | 2.410* | .017 |

* $p<.05$；** $p<.001$（未通過常態分布檢定）

題解決能力」與「先備知識」、「推理能力」及「對問題解決的態度」有顯著的相關。由表 6 可知「問題解決能力」與「先備知識」（$r=.482$, $p<.01$）、「推理能力」（$r=.435$, $p<.01$）及「對問題解決的態度」（$r=.231$, $p<.01$）均有顯著相關，且分別有中度到大的效果量。而「先備知識」與「推理能力」及「對問題解決的態度」三者彼此間的相關則不如其與「問題解決能力」之相關高，$r=.125$ .288，僅有小的到中度的效果量，代表此三者之間的關係較小。

逐步迴歸分析結果顯示，模式 1 僅投入「先備知識」及常數，其對「問題解決能力」之預測力達 $r=.482$，解釋率 $R^2=.232$，$p<.001$，模式 2 投入「先備知識」與「推理能力」及常數，其對「問題解決能力」之預測力提高為 $r=.573$，$R^2=.328$，$p<.001$，模式 3 包括「先備知識」、「推理能力」與「對問題解決的態度」及常數，對預測「問題解決能力」之解釋率達 $r=.589$，$R^2=.343$，$p<.001$（如表 7）。而「先備知識」、「推理能力」與「對問題解決的態度」對預測「問題解決能力」的貢獻重要性依序為「先備知識」、「推理能力」、「對問題解決的態度」。其中模式 1 已非常接近大的效果量，模式 2 與模式 3 則已有大的效果量。以下便針對三個模式中有大的效果量之模式 2 與模式 3 加以詳細說明。

模式 2 為「先備知識」與「推理能力」及常數對預測「問題解決能力」原始分數之迴歸方程式為：

表8：「發散思考」與先備知識及推理能力之相關

| ($n$=260) | 發散思考 | 先備知識 | 推理能力 | 態度 |
|---|---|---|---|---|
| 發散思考 | 1.000** | .293** | .331** | .217** |
| 先備知識 | | 1.000** | .288** | .125** |
| 推理能力 | | | 1.000** | .197** |
| 態　　度 | | | | 1.000** |

** $p$<.01

表9：「發散思考」迴歸分析結果

| | Model | *r* | *R square* | *F* | *p* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | .331 | .110 | 31.751** | .000 | |
| | 2 | .390 | .152 | 23.102** | .000 | |
| | 3 | .415 | .172 | 17.736** | .000 | |
| | Model | 未標準化 | | 標準化 | *t* | *p* |
| | | *B* | *SE* | *Beta* | | |
| 1 | Constant | 22.703 | 2.600 | | 8.730** | .000 |
| | 推理能力 | .651 | .116 | .331 | 5.635** | .000 |
| 2 | Constant | 17.017 | 2.992 | | 5.687** | .000 |
| | 推理能力 | .529 | .118 | .269 | 4.483** | .000 |
| | 先備知識 | .131 | .036 | .216 | 3.603** | .000 |
| 3 | Constant | 13.653 | 3.262 | | 4.186** | .000 |
| | 推理能力 | .479 | .119 | .244 | 4.044** | .000 |
| | 先備知識 | .124 | .036 | .205 | 3.450** | .001 |
| | 態　　度 | 1.620 | .657 | .114 | 2.468* | .014 |

* $p$<.05；** $p$<.001

「問題解決能力」=14.89+0.47*「先備知識」
+1.28*「推理能力」

模式3的「先備知識」、「推理能力」、「對問題解決的態度」及常數對預測「問題解決能力」原始分數之迴歸方程式為：

「問題解決能力」=9.01+0.46*「先備知識」
+1.19*「推理能力」
+2.83*「對問題解決的態度」

## 四、「先備知識」、「推理能力」及「問題解決態度」預測「發散思考」或「收斂思考」的多元迴歸分析

由發散思考、收斂思考與先備知識、推理能力的相關分析結果，可發現「問題解決能力」中「發散思考」與「推理能力」的相關較其與「先備知識」之相關更高，而「收斂思考」則

表 10：「收斂思考」與先備知識及推理能力之相關

| ($n$=260) | 收斂思考 | 先備知識 | 推理能力 | 態度 |
|---|---|---|---|---|
| 收斂思考 | 1.000** | .507** | .408** | .186** |
| 先備知識 | | 1.000** | .288** | .125** |
| 推理能力 | | | 1.000** | .197** |
| 態　　度 | | | | 1.000** |

** $p$<.01

與「先備知識」間的相關較高（表 5），故研究者想進一步了解先備知識、推理能力及問題解決的態度對問題解決能力中「發散思考」與「收斂思考」兩向度的預測力。多元逐步迴歸分析的結果如下：

(一)「發散思考」

由表 8 可知「發散思考」與「先備知識」（$r$=.293，$p$<.01）、「推理能力」（$r$=.331，$p$<.01）及「對問題解決的態度」（$r$=.217，$p$<.01）均有顯著相關，且分別有中度及大的效果量。而「先備知識」與「推理能力」及「對問題解決的態度」三者彼此間的相關則不如其與「發散思考」之相關高，$r$=.125　.288，僅有小的到中度的效果量，代表此三者之間的相互關係較小。

逐步迴歸分析結果顯示，模式 1 僅投入「推理能力」及常數，其對預測「發散思考」解釋率達 $r$=.331，$R^2$=.110，$p$<.001，模式 2 為「推理能力」與「先備知識」及常數，其對「發散思考」預測力提高為 $r$=.390，$R^2$=.152，$p$<.001，模式 3 包括「推理能力」、「先備知識」與「對問題解決的態度」及常數，對預測「發散思考」之解釋率達 $r$=.415，$R^2$=.172，$p$<.001 (如表 9)。而「先備知識」、「推理能力」與「對問題解決的態度」對預測「發散思考」的貢獻重要性依序為「推理能力」、「先備知識」、「對問題解決的態度」。其中模式 1 屬於中度的效果量，模式 2 與模式 3 則介於中度到大的效果量。

(二)「收斂思考」

由表 10 可知「收斂思考」與「先備知識」（$r$=.507，$p$<.01）及「推理能力」（$r$=.408，$p$<.01）均有顯著相關，且分別有中度到大的效果量。而「收斂思考」與「對問題解決的態度」（$r$=.186，$p$<.01）間之相關則不高，「先備知識」與「推理能力」兩者彼此間的相關亦不如其與「收斂思考」之相關高，$r$=.288，僅有小的到中度的效果量，代表此兩者之間的相互關係較小。

逐步迴歸分析的結果顯示，模式 1 僅投入「先備知識」及常數，其對預測「收斂思考」解釋率已達 $r$=.507，$R^2$=.257，$p$<.001，模式 2 投入「先備知識」與「推理能力」及常數，其對預測「收斂思考」預測力提高為 $r$=.576，$R^2$=.332，$p$<.001 (如表 11)。「先備知識」、「推理能力」與「對問題解決的態度」對預測「問題解決能力」的貢獻重要性依序為「先備知識」、「推理能力」，而「對問題解決的態度」並未被列入迴歸模式中。其中模式 1 與模式 2 均屬於大的效果量。

## 五、學生對「問題解決能力測驗」及「先備知識測驗」的看法

(一)「問題解決能力測驗」

研究者進一步分析學生認為「問題解決能力測驗」表現好所需具備的條件，經與協同研

表 11：「收斂思考」迴歸分析結果

| Model | *R* | *R square* | *F* | *p* |
|---|---|---|---|---|
| 1 | .507 | .257 | 89.150** | .000 |
| 2 | .576 | .332 | 63.764** | .000 |

| | Model | 未標準化 | | 標準化 | *t* | *p* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *B* | *SE* | *Beta* | | |
| 1 | Constant | 10.025 | 2.857 | | 3.509** | .001 |
| | **先備知識** | .408 | .043 | .507 | 9.442** | .000 |
| 2 | Constant | -2.132 | 3.536 | | -.603 | .547 |
| | **先備知識** | .341 | .043 | .424 | 7.972** | .000 |
| | **推理能力** | .748 | .139 | .286 | 5.365** | .000 |

** $p<.001$

表 12：學生認為「問題解決能力測驗」表現好所需具備的條件

| | 知識 | 態度 | 思考能力 | 經驗 |
|---|---|---|---|---|
| **學生主動提出次數** | 9 | 6 | 18 | 6 |

**究者三角校正分析後，將學生的想法分為「知識」、「態度」、「思考能力」、「經驗」等四大類：**

1. **知識：將學生在晤談中主動提到「課程以前有上過」、「基本的觀念」、「記憶力問題」、「知識要多」、「對月球有了解」、「知道月球有哪些特性」等詞語，歸類為知識部分，例如：**

   S2：因為這課程以前有上過喔，有上過那個雨量筒的測驗。

   S5：基本上，如果對月球有了解，應該就大部分應該都知道吧。

2. **態度：主要包含學生所提到的「認真一點寫」、「用心一點寫」、「比較細心」、「不是很喜歡」等和作答態度相關的用詞，例如：**

   S1：就是態度比較認真一點寫吧，其實大家如果認真寫的話應該也不會寫得很差。

   S2：我想可能是用心就夠吧。

3. **思考：相關的字眼如「跟思考比較有關係」、「聯想力」、「腦筋要動得快」、「在測驗我們思考的能力」、「從多方面去想」…等，將其歸類為思考的部分。例如：**

   S3：我是覺得問題解決能力測驗就是比較思考，跟思考比較有關係，

   S4：嗯，腦筋要動得快，就是要想很多方面，往很多方面去想。

4. **經驗：學生提到非課堂上所學的知識或經驗均屬於此類 如「報紙是一定會看」、「雜誌」、「天下文化」、「常識」、「要有經驗啦」等用字。例如：**

   S1：報紙是一定會看。然後書的話，不一

表 13：學生認為「先備知識測驗」表現好所需具備的條件

| | 知識 | 態度 | 經驗 |
|---|---|---|---|
| 學生主動提出次數 | 7 | 6 | 11 |

定啦，那科學的、人文的都看。

S4：問題？最重要的是，就是，還是要有經驗啦。

經整理學生認為「問題解決能力測驗」表現好所需具備的條件（如表 12），學生認為「問題解決能力測驗」的作答需要相關的先備知識，包括課堂上所學以及課外知識的吸收，以及豐富的思考能力，再加上認真的作答態度。其中，學生的思考能力又須以知識背景為基礎。

(二)「先備知識測驗」

研究者同時分析學生認為「先備知識測驗」表現好所需具備的條件，經與協同研究者三角校正後，將學生的想法分為「知識」、「態度」、「經驗」等三大類：

1.知識：學生會提到「以前學過的」、「基本的觀念」、「知識的程度」、「以前有讀過」等字眼，我們將其歸類為知識的部分，如：

S1：先備知識測驗的話，是那種，就是以前學的吧，然後像那種計算的話，以前有做過還是那種類似的，就是雨量筒在教材裡面也有出現過。

S3：那個先備知識測驗可以，就是看知識，知識的程度，這樣子，

2.態度：將學生提到「態度比較認真一點」、「用心一點寫」、「應付一下」、「用心就夠吧」、「蠻有興趣的」、「開始緊張」等有關態度的用詞歸為一類，例如：

S1：至少基本的觀念跟常識吧，再加上就是用心一點寫，認真一點去想它在講什麼東西。

S2：我想可能是用心就夠吧。

3.經驗：學生提到非課堂上所學的知識或經驗，如看「報紙」、「雜誌」、「天下文化」、「常識」、「有涉獵相關的書」、「對太空有興趣」、「平常的事情要注意到」等字句歸為經驗一類，例如：

S3：我？我，嗯，因為國小的時候對自然科學還蠻有興趣的，就有涉獵相關的書。

S4：看過幾本，對太空有興趣，以前對太空蠻有興趣的，所以就讀過類似這方面的書。就像那種，以前有時後外面都會有太空、類似太空的書，就是會有黑洞、還有星星啊、或者是太陽那類的。這類書。

經整理學生認為「先備知識測驗」表現好所需具備的條件（如表 13），發現學生認為「先備知識測驗」的作答需要相關的先備知識，包括課堂上所學以及課外知識的吸收，而認真的作答態度也很重要，而認為在「問題解決能力測驗」表現好所需具備的條件之「思考」部分則隻字未提。

## 討論與建議

有許多研究（Thorsland & Novak, 1971; Wesney, 1977; Rowell, Gustafson & Guilbert, 1997）曾顯示問題解決與先備知識的關係密切，張俊彥和翁玉華（2000）認為問題解決能力需要以先備知識為基礎，而 Barba（1990）曾探究在地球科學的問題解決上，專家與生手之比較，發現專家運用較多的先備知識，且先

備知識可幫助專家做問題解決的判斷，Coleman 和 Shore（1991）亦發現問題解決能力高者，先備知識亦高，也有許多研究者（Ohanian, 1997; Wagner, 2001; O'Connell, 2000）認為問題解決教學中推理能力是很重要的，並在教學策略中融入推理能力的訓練。王春展（1997）更進一步以解題策略比較專家與生手在問題解決表現的差異，發現專家的類比推理能力較佳，有利於問題解決。

本研究在此則提供了地球科學上問題解決與先備知識及推理能力接近中度相關的實證數據，除了與 Barba（1990）及 Coleman 和 Shore（1991）的發現強調先備知識的建立與推理能力的訓練相呼應外，並認為地球科學上的問題解決能力亦須運用到一般的推理能力。因此，值得應用在地球科學上的問題解決教學中，提供教師在地球科學問題解決教學及教材設計之參考。

多元逐步迴歸分析的結果發現，「先備知識」、「推理能力」及「對問題解決的態度」對「問題解決能力」有顯著的預測力，且其對預測「問題解決能力」貢獻的重要性依序為「先備知識」、「推理能力」、「對問題解決的態度」。本研究對於地球科學領域之問題解決能力的相關變項之探討，至少已發現「先備知識」、「推理能力」與「對問題解決的態度」等主要因素，而從迴歸方程式中，更可發現若學生完全沒有相關先備知識與推理能力，並且不喜歡「問題解決能力測驗」，依然能得到 9.01 分（總分 100 分），表示除了「先備知識」與「推理能力」及「對問題解決的態度」外，「問題解決能力」仍可能涵蓋其他因素，如張俊彥和翁玉華（2000）的研究發現科學過程技能與問題解決能力達中度相關，其中又以科學過程技能中「解釋資料」、「觀察」、「形成假設」之「形成假設」部分與問題解決能力相關最高，由於本研究認為「形成假設」與本研究定義之「推理能力」較為類似，因此以「推理能力」探討之，但可能仍有部分變項並未探討到，若能找出所有的「問題解決能力」相關因素，完成更完整的迴歸方程式，對「問題解決能力」不但會有更深入的了解，亦可更掌握未來有關問題解決教學的重點，此方面應值得後續研究探討之。

「先備知識」、「推理能力」對問題解決能力中之「發散思考」、「收斂思考」有顯著的預測力，均有接近或達到高度的解釋力。對「發散思考」預測的貢獻依序為「推理能力」、「先備知識」，對「收斂思考」預測的貢獻則依序為「先備知識」、「推理能力」。兩向度的貢獻次序剛好相反。研究者認為「先備知識」、「推理能力」對問題解決能力中之「發散思考」、「收斂思考」相關甚高，且「發散思考」非常需要「推理能力」來達成，而「收斂思考」則需要較多「先備知識」的基礎來作為判斷的標準。可能的推論是在地球科學之天文與氣象的領域中，問題解決過程之收斂思考部分比發散思考部分更需要「先備知識」的基礎。

學生認為「問題解決能力測驗」表現好所需具備的條件有「知識」、「態度」、「思考能力」與「經驗」等四部分，而「先備知識測驗」要表現好所需具備的條件則為「知識」、「態度」與「經驗」等三部分。從學生的角度，亦可發現「知識」、「態度」與「經驗」對問題解決能力及先備知識的重要性，而問題解決能力更進一步須輔以「思考能力」，即想像力與創造力等。「知識」、「態度」、「思考」與「經驗」為研究者與偕同研究者根據學生晤談資料，經過三角校正所歸納而得，其中若以課堂上的「知識」與課外的「經驗」歸類為其先備知識，「思考」歸類為推理能力，再加上「態度」，從學生的角度來看，相當程度地與本研究在迴歸分析問題解決的相關變項之結果不謀而合。在此，我們除了得到實證的統計分析數據外，從學生的角度去看待問題解決的影響因素亦有一

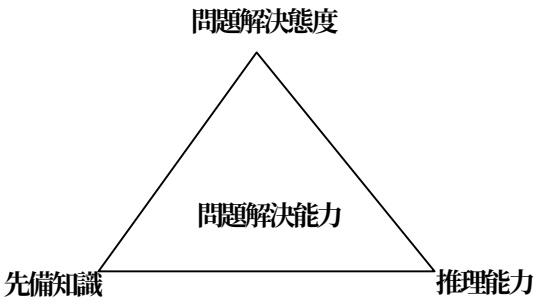



圖 2：「先備知識」、「推理能力」及「問題解決態度」與「問題解決能力」的關係

致的趨勢。學生之「先備知識」、「推理能力」及「對問題解決的態度」三者與「問題解決能力」的關係，可表示如圖 2。

因此，本研究根據研究結果，對於未來在問題解決教學，尤其是地球科學上的問題解決教學，提出以下建議：

(一)「先備知識」、「推理能力」及「問題解決態度」與「問題解決能力」的相關

本研究發現學生在地球科學方面的問題解決能力，與學生的先備知識及推理能力接近中度相關，在迴歸分析中亦發現先備知識、推理能力及對問題解決的態度對問題解決有顯著的預測力。雖然在教改的聲浪中，「使學生有帶得走的能力，而沒有背不動的書包」一直被強調著，研究者建議在我們期望學生能有問題解決能力的同時，教學中仍需重視學生所必須具備的先備知識的建立及推理能力的培養，並保持學生對問題解決的興趣。

(二)「先備知識」、「推理能力」與「發散思考」、「收斂思考」的相關

本研究發現學生「先備知識」與「推理能力」對地球科學方面的問題解決能力中之「發散思考」及「收斂思考」有顯著的預測力，且均有接近或達到高度的解釋力。其中對「發散思考」預測的貢獻力最大的是「推理能力」，對「收斂思考」預測的貢獻力最大的則為「先備知識」，顯示問題解決能力中之「發散思考」可能更需要「推理能力」來達成，而「收斂思考」則較需要「先備知識」為基礎。因此，建議未來在問題解決的教學上，除了強調「先備知識」與「推理能力」外，其中在增進「發散思考」時更應著重在「推理能力」培養，而教導「收斂思考」時則應注重「先備知識」的建立。

最後，本研究結果之推論應基於本研究設計及主客觀因素之限制，例如：本研究對象為東部某國立高中高一的六個班級，因此，研究結果之推論應為類似本研究對象之學校及其學生，並不宜推論至所有高一學生；本研究主題乃針對地球科學的天文與氣象中的兩個主題，且僅探討影響學生在地球科學問題解決能力上的可能因子，因此，研究結果若要推論至其他學科、主題、或是其他相關高層次思考能力時，應特別留意其可推論性。

## 誌　謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會對通訊作者經費的贊助（計畫編號 NSC 89-2511-S-003-144）。研究小組成員徐靜文、蔡宛芸、翁玉華、藍秀茹、蕭建華、與賴麗琴等人的大力相助和積極參與。並感謝台北市立西松高中、國立溪湖高中與國立羅東高中校長、老師與學生的支援與配合，使此研究得以順利完成。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. 中央氣象局編（1972）：氣象測報手冊。台北市：中央氣象局。
2. 毛松霖主編（2000）：高中地球科學課本。

台中市：大同資訊。
3. 王春展（1997）：專家與生手間問題解決能力的差異及其在教學上的啟示。教育研究資訊, **5**, 80-92。
4. 林清山（1995）：心理與教育統計學。台北市：東華書局。
5. 高瀨文志郎、關口直浦、田鍋浩義、西惠三、平瀨志富和安井春雄原著（1989）：牛頓科學學習百科。台北市：牛頓出版社。
6. 張玉成（1993）：思考技巧與教學。台北市：心理出版社。
7. 張俊彥和翁玉華（2000）：我國高一學生的問題解決能力與其科學過程技能之相關研究。科學教育學刊, **8**, 35-56。
8. 教育部（2001）：國民中小學九年一貫課程暫行綱要：自然與生活科技。台北：教育部。
9. 陳心維翻譯，孫維新審定（1999）：天文觀星圖鑑。台北市：貓頭鷹出版社。
10. 程上修（2000）：創造性問題解決教學模式對高一學生學習氣象單元成效分析。台北市：國立台灣師範大學地球科學研究所碩士論文（未出版）。
11. 楊坤原（1999）：問題解決在科學學習成就評量上的應用。科學教育月刊, **216**, 3-16。
12. 簡茂發、吳鐵雄、吳清基、劉奕權、邱美玉、王俊明、潘慧玲和何榮桂（1993）：高一性向測驗編製初步報告。測驗年刊, **40**, 1-14。
13. American Association for the Advancement of Science (1994). *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.
14. Barba, R. H. (1990). *A comparison of expert and novice earth and space science teachers' problem solving abilities*. Unpublished doctoral dissertation, The Pennsylvania State University.
15. Borg, W. R., & Gall, M. D. (1989). *Educational research (5th ed.)*. London: Longman Group Ltd.
16. Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.)*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associate, Inc.
17. Cohen, J. (1994). The earth is round ($p<.05$). *American Psychologist*, *49*, 997-1003.
18. Coleman, E. B., & Shore, B. (1991). Problem-solving processes of high and average performers in physics. *Journal for the Education of the Gifted, 14*, 366-379.
19. Fisher, R. (1990). *Teaching children think*. Oxford: Basil Blackwell.
20. Gage, B. A. (1986). *An analysis of problem solving processes used in college chemistry quantitative equilibrium problem.* Unpublished doctoral dissertation, The University of Maryland.
21. Gagne, R. M. (1970). *The conditions of learning*. London: Holt-Saunders.
22. Glass, G. V., & Hopkins, K. D. (1996). *Statistical methods in education and psychology* (3rd ed.). Needham Heights, MA: Allyn & Bacon.
23. Glass, G. V., McGaw, B., & Smith, W. (1981). *Meta-analysis in social research*. Beverly Hills, CA: Sage.
24. Hatcher, L., & Stepanski, E. J. (1994). *A step-by-step approach to using the SAS system for univariate and multivariate statistics*. Cary, NC: SAS Institute.
25. Jonassen, D. H. (2000). Toward a design theory of problem solving. *Educational Technology Research and Development, 48*, 63-85.
26. Niedelman, M. S. (1990). *An investigation of transfer to mathematics of a problem-solving strategy learned in earth science. Dissertation Abstracts International, 51*(11), 3622.
27. Nix, T. W., & Barnette, J. J. (1998). The data

analysis dilemma: Ban or abandon. A review of null hypothesis significance testing. *Research in the Schools, 5,* 3-14.

28. O'Connell, S. (2000). *Introduction to problem solving: Strategies for the elementary math classroom*. Westport, CT: Heinemann.
29. Ohanian, S. (1997). Math that measures up. *American School Board Journal, 184,* 25-27.
30. Parnes, S. J. (1987). Visioneering-state of the art. *Journal of Creative Behavior, 21,* 283-299.
31. .Rowell, P. M., Gustafson, B. J., & Guilbert, S. M. (1997). Problem-solving through technology: An interpretive dilemma. *Alberta Journal of Educational Research, 43,* 86-98.
32. Seeds, M. A. (1990). *Foundations of astronomy*. Belmont: Wadsworth Publishing Company.
33. Smith, M. U. (Eds.) (1991). *Toward a unified theory of problem solving*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
34. Thorsland, M. N., & Novak, J. D. (1971). The identification and significance of intuitive and analytic problem solving approaches among college physics students. *Science Education, 58,* 245-265.
35. Wagner, E. P. (2001). A study comparing the efficacy of a mole ratio flow chart to dimensional analysis for teaching reaction stoichiometry. *School Science and Mathematics, 101,* 10-22.
36. Wesney, J. (1977). An analysis of influence of prior cognitive development in physics and in mathematical reasoning on concept attainment in the study of mechanics in introductory college physics. *Dissertation Abstracts International*, *38*, 5379.

# 附錄一 「太空之旅」問題解決能力測驗

## 作答說明

1. 本活動為「開放式」作答，請詳細說明並紀錄下你*所有的想法*。
2. 為使你寶貴的想法能正確的紀錄下來，請你在作答前務必仔細閱讀每一問題之敘述。
3. 填寫時間為 *25 分鐘*。
4. 請寫下你的基本資料：

學校＿＿＿＿＿＿班級＿＿＿＿＿＿座號＿＿＿＿＿＿＿＿

性別＿＿＿＿＿＿姓名＿＿＿＿＿＿＿＿



請等候指示，才可翻頁開始填寫！謝謝。

## 太空之旅—Apollo

想像我們現在展開太空之旅，前往預訂的月球基地－Apollo。

不料，發生意外！你和同伴共 3 人搭乘的太空船墜落於月球表面上，太空船已無法操作，而船艙內並無損壞。但是，你們卻離預計到達的月球基地 Apollo 還有一段距離。因此，你們必須徒步走 24 小時的路程才能到達目的地。在你們徒步的全程路途中，都位在月球背對太陽的那一邊。而你們太空船的殘骸中尚有一些物品，你們必須搶救一些物品才能順利到達月球基地 Apollo，抵達月球 Apollo 基地後便安全了。

## 【可能會面臨的困難或危險】

盡量想想在月球上你們可能會面臨哪些困難或危險？把你想到的都列舉出來，並寫出有哪些***月球的性質***是造成困難或危險的理由。

（每一個或一群意思相同之想法得2　4分）

| 面臨的困難或危險（最高25分） | 理由（最高25分） |
|---|---|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

## 【確定搶救物品】

你覺得太空船中可能有哪些物品需要搶救的？請將你所想到的物品一一列在下表中，並註明哪些***月球的性質***是你認為需要的理由。

（每一個或一群意思相同之需要物品得2　4分，每一個理由得4　6分）

| 需要物品（最高20分） | 理由（最高30分） |
|---|---|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

# Exploring the Interrelationship Between Tenth-Graders' Problem-Solving Abilities and Their Prior Knowledge and Reasoning Skills in Earth Science

**Chia-Ling Wu[1] and Chun-Yen Chang[2]**

[1] Yang-Ming Junior High School, Chang-Hua, Taiwan

[2] Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan

**Abstract**

The purpose of this study was to develop the *Problem Solving Ability Test* (PSAT) and a matching *Domain-Specific Knowledge Test* (DSKT) that covers the basic knowledge central to the PSAT, with the aims to investigate the interrelationship between students' problem solving ability (PSA) and their domain-specific knowledge (DSK) as well as reasoning skills (RS) in the area of earth science. The PSAT was constructed based on the Creative Problem Solving (CPS) model, which emphasizes students' divergent-thinking ability (DTA) and convergent-thinking ability (CTA) subscales. The sample consisted of 260 tenth-grade students enrolled at a national senior high school in the eastern region of Taiwan. Quantitative analyses employed Pearson-product-moment correlation and stepwise multiple regression method. Qualitative data were acquired through semi-structured interviewing with coding and triangulation procedures to explore students' perceptions toward the PSAT and DSKT in greater depth. Results are as follows: (a) The overall scores of the PSAT are highly correlated with both the subscales of DTA ( $r$ = .814, $p$ < .001) and CTA ($r$ = .898, $p$ < .001) with an inter-rater reliability ranged from .813 to .965. The reliability of the DSKT ($KR_{20}$) ranged from .60 to .63; (b) A significantly positive correlation existed between students' PSA and their DSK ($r$ = .482, $p$ < .01) and RS ($r$ = .435, $p$ < .01) with medium to large effect sizes. In addition, students' DSK, RS and attitudes toward problem solving (ATPS) significantly predict their performance on the PSAT ($R^2$ = .343). Students' DSK and RS also predict their performance on the DTA and CTA subscales of the PSAT ($R^2$ = .172 .332), approaching large effect sizes; (c) Students' RS are more significantly correlated with their DTA (large effect size) and students' DSK are more significantly correlated with their CTA (toward large effect size); (d) Semi-structured interviews revealed that students' perceived knowledge, attitudes and experiences are essential in scoring high on the DSKT; while students thought that knowledge, attitude, thinking, and experiences were fundamental to better performance on the PSAT. The results of qualitative analyses are generally in line with the findings of quantitative analyses. It is, therefore, suggested that teachers should be able to improve students' problem solving performance through the enhancement of students' domain-specific

knowledge and reasoning skills in earth science classrooms. Moreover, we should emphasize students' reasoning skills in developing divergent-thinking abilities, while stressing domain-specific knowledge in increasing students' convergent-thinking ability.

**Key words**: Secondary Education, Prior Knowledge, Earth Science, Reasoning Skills, Problem Solving.