

以序列性 POE 探究學生的科學解釋能力： 以「大氣壓力與表面張力」為例

許良榮

國立臺中教育大學科學應用與推廣系教授

羅佩娟

臺中市賴厝國小教師

壹、緒論

「科學探究」是科學教育重要的教學目標之一，美國的《National Science Education Standards》(NRC, 1996) 即建議應教導學生「評估證據與考量邏輯以決定最佳的解釋 (p.175)」。

雖然文獻中針對學生「科學解釋」的能力進行探究的研究並不多，但是可以發現學生的科學解釋能力有待提升。例如 Sandoval & Reiser (2002) 發現學生在「設計實驗」與「結果解釋」有很大的困難，而其困難經常是由於學生對實驗活動的瞭解不足，以及綜合判斷能力有待加強。姜滿 (1993) 的研究則發現國小學生在科學解釋的問題包括了：前後矛盾、不連貫、非邏輯的推理...等等。謝州恩 (2004) 的研究則指出學生的科學解釋困難，包括：(一) 科學術語的運用有困難；(二) 較不會使用證據；(三) 過程或機制的描述不清楚...等等。由此顯示學生的科學解釋能力，是值得科教學者重視的一環。

探究學生的科學解釋能力，POE 是值得努力的研究方法之一。根據 Bruce (2000) 的研究顯示，POE 策略有助於教學者思考的方向包括：因為書寫 POE 活動單需要時間，因此 POE 策略可協助學生們慢下腳步去思考他們正在做什麼？想什麼？POE 可以呈現學生整體學習活動的歷程紀錄，以做為進一步研究或形成性評量的基礎。由此顯示 POE 策略的目的不僅在於評估學生的理解內涵及原有概念，同時也具有深入探索學生如何進行自然現象的解釋與說明之價值。

本研究發展「序列性 POE (Sequential Predict-Observe-Explain; S-POE)」，設計前後具有相關連；與「大氣壓力、表面張力」有關的五個 POE 實驗，讓學生進行預測、觀察與解釋，企圖以此探討學生對於自然現象之科學解釋能力以及解釋一致性的特徵，並進一步探討「先備知識」與「科學解釋能力」的關連性。研究問題包括：(1) 理工與非理工背景學生在「大氣壓力、表面張力」之先備知識為何？(2) 理工與非理工背景學生之「科學解釋能力」為何？(3) 理工與非理工背景學生之「解釋一致性」為何？

貳、文獻探討

一、「科學過程技能」與「科學解釋」

科學過程技能最早是由美國科學促進協會 (American Association for the Advancement of Science, 簡稱 AAAS) 提出，其中「**解釋資料**」之意涵為：組織資料並提出結論，能對觀察所得給予合理的解釋，狹義而言，是指能夠對採用特殊方式和技術傳達的資料，做口語化說明的能力。例如：根據圖表，解釋氣體體積，隨溫度的改變而變化 (AAAS, 1989)。

過程技能在教學上值得重視，尤其是學生的學習需要我們的投入與關心。張俊彥和翁玉華 (2000) 研究我國高中生的問題解決能力與科學過程技能之相關性，結果發現；問題解決高、低能力不同者，在「科學過程技能總分」或「解釋資料」等，高能力者皆顯著優於低能力者。而 Kirschner (1992) 指出強調科學過程技能的教學，基本上存在的問題是容易混淆「做科學」(doing science) 與「學科學」(learning science)。「做科學」強調的是科學過程技能的學習，例如觀察、分類、測量...等等，「學科學」是指科學理論或概念的學習，強調的是科學知識的建構歷程，這是兩種不同層面的學習。而 Kirschner (1992) 認為應用過程技能為教學方法，並且又以此為學習科學的主要路徑基本上的問題是：不當地假設了科學家的探討方法或驗證一個新概念的路徑 (做科學)，與學生學習科學概念 (學科學) 是相同的。簡而言之，「教導過程技能」是一回事，以「過程技能」為手段幫助學生學習科學又是另一回事，不能互相混淆。

二、科學解釋一致性

學生如何解釋自然現象與其具備的科學概念有密切的關係，因為進行「解釋說明」必須運用心智中既存的科學知識或概念，將相關的概念進行合理的組織之後，提出最合理的解釋。因此，如果先備知識（既有概念）不足，則難以期望能提出合理、合邏輯的科學解釋。文獻中有些學者以「科學解釋」的角度說明學生概念的不穩定性或變動性，例如 Nakhleh & Samarapungavan（1999）研究學生對於物質的信念，發現學生缺乏真正的說明架構（true explanatory frameworks）。diSessa（1988）則認為兒童沒有一貫性的理論（coherent theory），而是比較鬆散的、非系統性的，也沒有特定的原則去判斷所謂的「解釋一致性」。

Thagard（1992）在《Conceptual Revolutions》一書中，指出「解釋一致性（explanatory coherence）」是概念革命最主要的機制，例如氧化說取代燃素說，即是因為氧化說有較大的解釋一致性。Thagard（1992）進一步討論兒童與科學家的概念改變之異同性，認為並沒有理由懷疑科學家與兒童在「概念產生」以及「獲得新的概念」等的機制是否不一樣，比較值得考慮的是兒童跟科學家，針對理論（或概念）對於現象或資料的「解釋一致性」的評估是不是一樣。Thagard（1992）最後建議科學教育應進行的研究之一，即是「探究解釋一致性在兒童的信念修正（belief revision）及拋棄舊概念系統的角色（p.261）」，以及「確定是否可以教導學生對於解釋一致性有較高的敏感度，而提高此種敏感度是否能導致學生更能夠學習新的科學理論？（p.261）」。Sandoval（2002）也提出學生的科學解釋的標準，包括了「原因的一致性」以及「證據的支持」。由此觀之，學生是否能達成「解釋的一致性」是相當值得我們關注的研究問題之一。

三、POE 的特徵與功能

POE 基本的程序是先設計某一情境讓學生進行預測將會有何結果或現象發生，在學生寫下自己的預測以及理由之後，再實際操作讓學生觀察有何現象發生？觀察之後寫下觀察結果，如果與自己的預測不一樣，請學生說明（explanation）原因或理由。此歷程具有認知衝突（cognitive conflict）的特色。

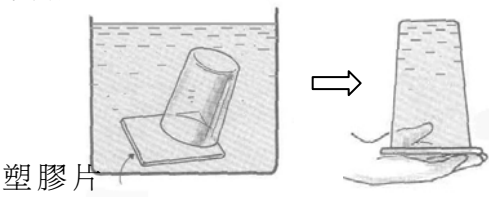
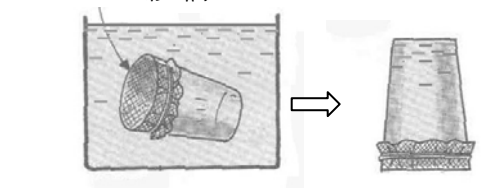
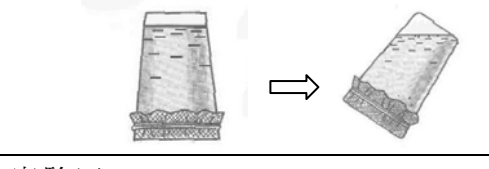
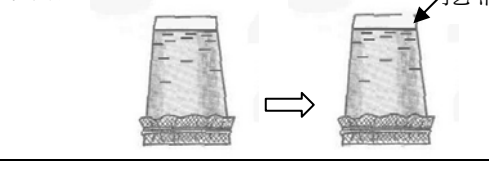
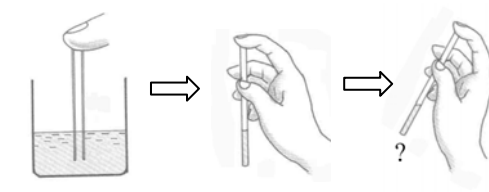
國內外學者在近二十年來已有上百篇與 POE 相關的研究文獻，各項實徵性研究的樣本範圍涵括從幼稚園到大學生，研究的層面涉及課程、教學、評量、概念診斷、師資培育等各個項度，同時許多 POE 教學設計也尋求與資訊科技相結合，不僅符合時代的需求也能協助更多的學生運用 POE 策略進行有意義的學習。例如 Liew & Treagust (1998) 綜合採用 POE、個別晤談以及班級討論，以診斷 11 年級學生包括水的膨脹、鹽的溶解度以及燈泡的功率與電阻等概念，研究結果顯示 POE 除了能有效掌握學生的概念理解，也適合做為教學活動之設計。而許良榮和蔣盈姿 (2005) 以 POE 策略探究小學至高中學生對於物質之可燃性的另有概念，研究結果除了發現學生普遍持有的另有概念之外，也發現學生缺乏科學解釋的能力。綜合以上所述，POE 策略的目的不僅在於評估學生的理解內涵及原有概念，同時也具有深入探索學生如何進行自然現象的解釋與說明之價值。

參、研究方法與設計

一、研究設計

本研究以「大氣壓力」、「表面張力」為主題，設計了五個 POE 實驗（如表 1），由於具有連續性，每個 POE 之間只變化一個變因，因此稱之為序列性-POE（S-POE）。

表 1 S-POE 實驗設計

	實驗一	實驗二	實驗三	實驗四	實驗五
內容	與大氣壓力有關的簡易實驗	改變變因：塑膠片改為紗網	改變變因：傾斜角度	改變變因：非封閉空間	改變變因：瓶子換為吸管
目的	了解學生的大氣壓力之基本解釋能力	了解學生對於改變變因後，如何預測、解釋，並探討學生之解釋說明的一致性為何？			
S-POE 實驗設計			問題		
實驗一	 塑膠片		將杯子放入水中，再以薄的塑膠片壓在杯口，一起將杯子拿出水面。將手移開後，塑膠片不會掉下來，而且杯子中的水也不會流出來。為什麼？ 科學解釋：大氣壓力支撐了塑膠片與水的重量。		
實驗二	 紗網		同實驗一的實驗過程，但是將塑膠片換成紗網（玻璃窗用的）蓋住杯口，杯子中的水會不會流出來？為什麼？（水不會流出來） 科學解釋：水的表面張力使紗網的作用如同上一題的塑膠片，避免空氣進入杯子。		
實驗三			接續實驗二，如果將杯子略為傾斜，杯子中的水會不會流出來？為什麼？（水會流出來） 科學解釋：傾斜後，表面張力因水壓的差異而被破壞（右側底部壓力較大）。		
實驗四	 挖洞		如同實驗二，但是將杯子挖個洞，杯子中的水會不會流出來？為什麼？（水會流出來） 科學解釋：杯子內外之大氣壓力平衡，表面張力不足以支撐水的重量。		
實驗五			吸管插入裝水的杯子，再以食指按住吸管上方後，拿出來並傾斜，吸管中的水會不會流出來？為什麼？（水不會流出來） 科學解釋：吸管口徑小，水的表面張力可以避免空氣進入，大氣壓力支撐了水的重量。		

二、研究方法與樣本

研究架構如圖 1 所示。第一階段進行個別晤談，目的在挖掘學生對於本研究設計之 S-POE 的實驗結果的預測與解釋的能力為何？並蒐集歸納理工背景與非理工背景學生之科學解釋的問題或模式，做為第二階段設計問卷之基礎。研究樣本以立意取樣方式抽取教育大學理工背景、非理工背景學生各二十人，合計四十人。

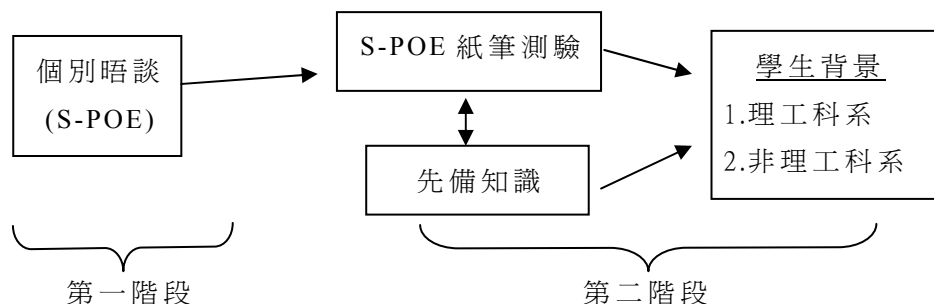


圖 1 研究架構

第二階段為發展紙筆測驗工具，包括表面張力、大氣壓力之「先備知識」，以及「S-POE 測驗（科學解釋）」，目標在探求「先備知識」以及「科學解釋」之間的關連性（以 Person 積差相關進行分析）。並以「先備知識」為共變項，「學科背景」為自變項，以「科學解釋」為依變項，進行單因子共變數分析。以探討去除「先備知識」的影響後，理工背景學生以及非理工背景學生在「科學解釋」是否有差異？研究樣本包括八所教育大學（含台南大學、嘉義大學）共有 837 人（份），剔除部分未填答、勾選多個選項等之無效問卷 143 份，有效問卷為 694 份（82.9%）。其中男生有 318 人（45.82%）、女生有 376 人（54.17%）；理工背景為 384 人（55.33%）、非理工背景 310 人（44.67%）。

三、研究工具

（一）個別晤談

第一階段之研究工具以設計之 S-POE 實驗，訪談學生的預測、觀察與解釋。晤談過程全程錄影、錄音，其中「觀察」程序，是由研究者進行五個實驗的實際操作，由受訪者預測、觀察並解釋。

以序列性 POE 探究學生的科學解釋能力：以「大氣壓力與表面張力」為例

（二）「大氣壓力與表面張力先備知識」評量工具

以「表面張力」以及「大氣壓力」二項科學概念為主，以選擇題方式設計。在研究工具的發展，經過建立雙向細目表專家審查、預測、鑑別度與難度分析、信度分析（Cronbach α 為 .649）與修訂之程序（共計 25 題單選題）。

（三）S-POE 評量問卷

以第一階段的晤談分析結果為基礎，將學生的預測理由與解釋，建立檢核表以交叉比對 S-POE 問卷之選項，查驗每個選項都是來自晤談的學生反應，以確定問卷試題能夠涵蓋學生的可能想法。

試題共有五題實驗試題（如同表 1 之實驗設計），每一題包括的「預測」與「解釋」採用二階段試題（two-tiers）的方式設計，第一層為選擇題（事實選項），有 2 個選項。第二層為理由選題，由學生選擇合乎其想法的理由敘述，二層都答對計分為 1 分。施測時，每個實驗都是先讓學生勾選「預測」實驗結果（水是否會流出來？），再勾選預測的「理由」之後，給予實際實驗結果，最後要求勾選實驗結果的「解釋」。評量問卷發展過程再經過專家審查，以建立專家效度，再經修訂而成為正式的評量工具。

肆、研究結果與討論

一、「大氣壓力及表面張力」先備知識結果分析

本量表滿分為 25 分，施測結果發現全體學生在大氣壓力及表面張力概念的總平均為 13.23 分（SD=3.80），而分布情形偏態 g_1 為 -.04，峰度 g_2 為 -.42，大致呈常態分布。而理工背景學生在 25 題中有 23 題的答對率高於非理工背景學生，理工背景學生平均得分為 14.88（SD=3.52），非理工背景為 11.19（SD=3.09），由表 2 的 T 檢定發現達顯著差異水準（ $T=14.66$ ； $P<.01$ ）。

表 2 不同背景學生先備知識得分 T 考驗摘要表

背景	人數	平均數	標準差	T值	顯著性
理工背景	384	14.88	3.52	14.66	.000
非理工背景	310	11.19	3.09		

雖然理工背景學生的先備知識顯著高於非理工背景，但是換算答對率，理工背景為 59.52%（非理工為 44.76%），答對率皆不到六成，顯示學生的大氣壓力及表面張力之概念知識仍有加強的空間。

進一步以 Pearson 積差相關分析「先備知識」與「科學解釋能力」之相關性，發現理工背景為 $r = .181$ ，非理工背景 $r = .295$ ，全體 $r = .273$ ，皆達顯著水準（ $P < .01$ ）。由此顯示，「大氣壓力及表面張力」的先備知識和科學解釋能力之相關性具有顯著水準。

二、理工與非理工背景學生之「科學解釋能力」結果分析

為了解不同背景學生在去除先備知識的影響下，科學解釋能力是否有差異，以單因子共變數分析（ANCOVA）分析學生在 S-POE 的施測結果。由表 3 的分析結果顯示；在「預測」部分，不論理工或非理工背景學生，除了第二題（每題對應一個 POE 實驗）答對率低於四成，其他各題的答對率都在 84.8% 以上。而「預測的理由」與「解釋」的答對率則低了許多，大多在五成以下。值得注意的是：理工背景學生在第五題的「解釋」，答對率比非理工背景學生低了 1.5%，頗為令人訝異。而在中學應已學過的第一題，理工背景學生的答對率也只有 40.5%，結果與試探性研究（許良榮，2005）頗為類似，顯示學生的科學解釋能力有待加強。

再由 ANCOVA 分析結果可以發現，理工與非理工背景學生只有在第二題的「預測」與「預測的理由」；以及第一題的「預測」有顯著差異，其他各項（包括各題的「解釋」）皆未達顯著差異，此結果顯示出理工背景學生雖然有較多的科學學習經驗，但是並未反應在科學解釋能力上。

以序列性 POE 探究學生的科學解釋能力：以「大氣壓力與表面張力」為例

表 3 理工背景學生在 S-POE 的答對率分析

題號	預測			預測的理由			解釋		
	理工	非理工	F	理工	非理工	F	理工	非理工	F
一	348 (90.6)	289 (93.2)	-	188 (49.0)	84 (27.1)	**	155 (40.5)	70 (22.6)	-
二	153 (39.8)	79 (25.5)	**	93 (24.2)	43 (13.9)	*	259 (67.4)	176 (56.8)	-
三	340 (88.5)	272 (87.7)	-	188 (49.0)	84 (27.1)	-	155 (40.5)	70 (22.6)	-
四	359 (93.5)	270 (87.1)	-	23 (6.0)	12(3.9)	-	99 (25.8)	28 (9.0)	-
五	342 (89.1)	263 (84.8)	-	185 (48.2)	132 (42.6)	-	190 (49.5)	158 (51.0)	-

註：1.細格數據為人數(百分比)。 2.表中 F 為 ANCOVA 之顯著性，* $P < .05$ ；
** $P < .01$

三、解釋一致性

(一) 預測與理由的矛盾

在五題的「預測」與「預測的理由」中，研究結果發現不少學生在預測時勾選水會流下，但是理由卻是屬於水不會流下的矛盾現象。此種互相矛盾的情形除了猜測式的隨意勾選之外，也顯示生學生無法辨別事實與理由的邏輯銜接關連性。由表 4 的分析，可以發現非理工背景學生選項矛盾的比例，每一題都高於理工背景學生，顯示非理工背景學生較缺乏對於預測與其理由之間的邏輯銜接。而值得注意的是，理工背景學生在第四題選項矛盾的合計達 20.8%，這是否由於不同的自然現象引起學生混淆了現象與解釋的關聯性，是值得再深入探究的問題之一。

表 4 「預測」與「理由」矛盾之分析結果

題號	預測正確		預測不正確		合 計	
	理工	非理工	理工	非理工	理工	非理工
一	12 (3.1)	6 (1.9)	21 (5.5)	36 (11.6)	33 (8.6)	42 (13.5)
二	15 (3.9)	22 (7.1)	18 (4.7)	38 (12.3)	33 (8.6)	60 (19.4)
三	5 (1.3)	6 (1.9)	3 (0.8)	6 (1.9)	8 (2.1)	12 (3.8)
四	71 (18.5)	106 (34.2)	9 (2.3)	14 (4.5)	80 (20.8)	120 (38.7)
五	13 (3.4)	18 (5.8)	6 (1.6)	6 (1.9)	19 (5.0)	24 (7.7)

(二) 實驗之間解釋的一致性

在只相差一個變因的兩個實驗之間（實驗二 vs. 實驗三、實驗二 vs. 實驗四、實驗三 vs. 實驗五等三組，參見表 1），如果以 A 因素（大氣壓力或表面張力）解釋前一個實驗，則在後續實驗也應由 A 因素進行解釋之。如果前後解釋的因素有變動，代表解釋並不一致。例如學生如果以「表面張力」解釋實驗二，則在實驗三的現象解釋，由於只是傾斜與否的差異，邏輯上也應由「表面張力」是否受影響或改變來進行解釋。如果該學生在實驗三不再考慮表面張力，而只由「大氣壓力」解釋，即為解釋不一致。

解釋上是否具有一致性之人數的統計如表 5 所示，由於並非所有的回答都可歸類為一致或不一致；例如勾選「紗網有孔洞」或「其他」等，因此表 5 之人數總和不是 100%。由表 5 的分析結果顯示，實驗二 vs. 實驗三解釋不一致的百分比約在 10% 左右，其他都在 24.5% 以上，顯示有不少學生在解釋自然現象時，考慮的變因會因情境具有變動性，有時只考慮大氣壓力，有時又只考慮表面張力，缺乏一致性的科學解釋。尤其令人擔憂的是，在實驗二 vs. 實驗四、實驗三 vs. 實驗五，理工背景學生解釋不一致的人數比率高於非理工背景學生，而且人數比率都達 36.7% 以上。理工背景學生接受較多的科學訓練，為何在解釋一致性的表現無法顯現出應有的基本水平，是未來科學教學應仔細思考改進的問題之一。

表 5 解釋一致性人數統計表

	理工		非理工	
	一致	不一致	一致	不一致
實驗二 vs. 實驗三	36 (9.4%)	32 (8.3%)	49 (15.8%)	32 (10.3%)
實驗二 vs. 實驗四	61 (15.9%)	156 (40.6%)	77 (24.8%)	106 (34.2%)
實驗三 vs. 實驗五	5 (1.3%)	141 (36.7%)	10 (3.2%)	76 (24.5%)

四、綜合討論

由研究結果發現八所教育大學學生的先備知識答對率平均為 59.52%（非理工為 44.76%），顯示學生的大氣壓力及表面張力之概念知識仍有加強的空間。在第一階段的晤談發現部分學生能舉出符合「表面張力」的例子，例如水黽能在水面上自由行走；或已裝滿水的杯子中可繼續加水到表面凸起來，但是對於「表面張力」的意涵與作用並不清楚，反映了學生的科學概念似乎只著重在表面意義的學習，因此也難以期望能有恰當的「科學解釋」能力。

另一現象是學生對於相似的科學概念無法區分清楚（例如水壓、重力），在運用科學語詞進行解釋時，不易以合乎邏輯的科學思維，將現象的因與果互相關連起來。例如研究發現理工背景學生傾向於使用科學術語進行解釋，但對其意涵與作用的認識與了解不足，導致無法將其概念持續應用到不同的實驗情境中，呈現出「情境相依」（*situation dependent*）的情形；亦即專注於情境的特徵（例如紗網的洞、傾斜角度等等），而忽略了原理原則的邏輯思考（如傾斜後的變因之間的因果關係）。此現象反映在理工背景學生的先備知識雖然顯著高於非理工背景學生，但是在「解釋不一致」的人數比率卻高於非理工背景學生的結果。

在教學上，如果能提供不同情境，加強相關連的科學概念之區分與澄清，引導學生了解相似的概念在不同情境的適用性，是可以改進的方向之一。如同 Zuzovsky & Tamir（1999）指出學生越熟悉問題中的情境，他們越能預測；並會選擇適切的知識與概念來支持他們的預測。Touger 等人（1995）研究初學物理學之大學生，也發現學生應用概念於基礎力學的解釋是情境相依的。因此在進行教學時，應盡可能地運用具體且實際的脈絡，

幫助學生了解科學概念的意義，多給予一些相關的情境，避免只是單純的計算或是解題，並且讓學生進行討論與思考，以澄清自己的想法，進而提升科學解釋的能力。

伍、結論與建議

由研究結果發現：(1)「大氣壓力、表面張力」之先備知識，理工背景高於非理工背景學生，達顯著差異水準 ($P<.01$)；且「先備知識」與「科學解釋能力」達顯著相關 ($P<.01$)。(2)由 ANCOVA 分析結果發現，理工與非理工背景學生在各題的「解釋」皆未達顯著差異，顯示理工背景學生雖然有較多的科學學習經驗，但是並未反應在科學解釋能力上。(3)非理工背景學生在「預測」與「預測的理由」矛盾的人數比率，每一題都高於理工背景學生。但是在實驗二 vs. 實驗四、實驗三 vs. 實驗五，理工背景學生「解釋不一致」的人數比率高於非理工背景學生，而且人數比率都達 36.7% 以上。由以上發現顯示；如何加強學生的科學解釋能力，是未來教學應予重視的課題之一。本研究建議在教學上應多安排讓學生運用科學概念進行現象的解釋，並增加在不同情境中的概念之應用；教師並多鼓勵學生以口語或寫作提出自己的解釋，以期能由「理解」提升至「應用」的層次，進而提高學生的科學解釋能力。

誌謝：本研究承國科會補助研究經費，特此致謝。(NSC 95-2511-S-142-007-MY2)

參考文獻

- 姜滿 (1993)。國小學童地球科學概念之理解。 *台南師院學報*，**26**，193-219。
- 許良榮 (2005)。序列性 POE 之特色與設計。 *國教輔導*，**45**(2)，6-12。
- 許良榮、蔣盈姿 (2005)。以 POE 策略探究中小學生對物質「可燃性」的另有概念。 *科學教育研究與發展季刊*，**38**，17-30。
- 張俊彥、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性研究。 *科學教育學刊*，**8**(1)，35-55。
- 謝州恩 (2004)。探究情境中國小學童科學解釋能力成長之研究。國立台灣師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，台北市。
- Bruce, B. C. (2000). *Benefits of P.O.E.* [On-Line] Available: from <http://www.lis.uiuc.edu/~chip/pubs/inquiry/POE/POEbenefits.shtml>
- diSessa, A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Forman & P. Pufall (Eds.), *Constructivism in the computer age*. (pp. 49-70). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kirschner, P. A. (1992). Epistemology, Practical work and academic skill in science education. *Science and Education*, **1**(3), 273-299.
- Liew, C. W., & Treagust, D. F. (1998). A predict-observe-explain teaching sequence for learning about students' understanding of heat and expansion of liquids. *Austrian Science Teacher Journal*, **41**(1), 68-71.
- Nakhleh, M. B., & Samarapungavan, A. (1999). Elementary school children's beliefs about matter. *Journal of Research in Science Teaching*, **36**(7), 777-805.
- National Research Council (1996). *National science education standards*. Washington, D. C : National Academy Press.
- Sandoval, W. A. (2002). Conceptual and epistemic aspects of students' scientific explanation. *The Journal of Learning Science*, **2**(1), 6-7.

- Sandoval, W. A., & Reiser, B. J. (2002). Explanation-driven inquiry: Integrating conceptual and epistemic supports for scientific inquiry. Unpublished manuscript.
- Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Touger, J. S., Dufresne, R. J., Gerace, W. J., Hardiman, P. T. & Mestre, J. P. (1995). How novice physics students deal with explanation. *International Journal of Science Education*, 17(2), 255-269.
- Zuzovsky, R. & Tamir, P. (1999). Growth patterns in students' ability to supply scientific explanations: findings from the Third International Mathematics and Science Study in Israel. *International Journal of Science Education*, 21(10), 1101-1121.