以序列性 POE 探究學生的科學解釋能力

許良榮
國立台中教育大學 科學應用與推廣系
e-mail: stevehsu@ms3.ntcu.edu.tw

摘　要

本研究以自行研發有關表面張力、大氣壓力的「序列性 POE（Sequential Predict-Observe-Explain; S-POE）」探討學生對於自然現象之解釋說明能力以及「解釋一致性（explanatory coherence)」的特徵。研究對象為教育大學具理工背景的大二學生共 29 名。研究設計了四個涵蓋「大氣壓力」與「表面張力」科學概念的 S-POE 實驗，由學生進行預測與解釋。研究結果顯示只有 13 人（44.8%）能解釋基本的「大氣壓力」現象，而只有 9 位（31.0%）學生能以「表面張力」解釋相關實驗現象，顯示學生除了缺乏「解釋一致性」的科學要求，也呈現情境相依（context dependence）的現象。值得我們思考如何在教學上提高學生的科學解釋能力。

關鍵詞：序列性 POE、科學解釋、大氣壓力、表面張力

一、研究背景與動機

在 1992 年公佈的第二次國際數理教育評鑑（International Assessment for Education Progress； IAEP）結果中，我國無論是 13 歲級或 9 歲級學生的數學及科學的筆試成績，在所有參與的 20 個國家之中都是名列前矛，僅次於韓國。但是參與此 IAEP 研究的師大教授楊榮祥（民 83）指出，雖然整體成績名列前矛，但有些現象值得憂慮。例如我國的學生似乎只重視知識的記憶而缺乏科學方法的訓練，有不少學生不會區別觀察和推論，自創方法以及實作方式解決問題的能力差。對照教育部於九十年訂定國民中小學九年一貫課程暫行綱要自然與生活科技學習領域，課程目標包括使學生能夠建立（1）科學知識與***過程技能***（2）透過***科學方式探討與辨正，養成科學思考與科學處理能力***（3）認識知識建立的本質，與養成***提證據、講道理的***處事態度。由 IAEP 的評鑑結果，顯示要達成上述的目標仍然有一段的距離需要教師、科教學者的共同努力。

「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）」。但是文獻中針對學生「科學解釋」的能力進行探究的研究相當少，有待科學教育學者共同努力。

研究者在師範院校（教育大學）任教近二十年的經驗中，常發現學生對於基本的科學語詞或自然現象，缺乏「科學解釋」的能力，例如「何謂凡得瓦爾力？為何會有凡得

瓦爾力？」;「何謂"分子"？」。而在教授「國小自然科實驗研究」中，也發現學生雖然瞭解所謂的「折射率」、「不同色光的折射率不一樣」，但是對於透過三菱鏡（二次折射）與水、鏡（二次折射一次反射）所形成的彩虹顏色順序，為何會不一樣？學生常無法提出合理的、合邏輯的解釋，因此引發研究者思考如何探索學生的「科學解釋」能力之動機。

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」有關的四個 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（explanatory coherence)」的特徵。選擇「大氣壓力、表面張力」做為本研究「序列性 POE」的主題之動機是；研究者在教授「國小自然科實驗研究」中曾經要求學生解釋「沙網蓋住裝了水的杯子的瓶口後，倒置杯子，為何杯子中的水不會流出來」，結果發現學生的解釋不僅混淆表面張力的意義與作用，對於大氣壓力的角色與本質也不清楚，更重要的是提出的解釋經常流於片段、缺乏邏輯關連性。因此引發研究者設計「序列性 POE」，以科學性研究深入了解學生的科學解釋之特徵。

本研究之目的在以「序列性 POE」探討教育大學學生對於自然現象的科學解釋能力，研究問題包括：(一)、教育大學學生對於與「大氣壓力、表面張力」有關的自然現象的科學解釋能力為何？(二)、教育大學學生對於與「大氣壓力、表面張力」有關的自然現象，「解釋一致性」的特徵為何？

二、文獻探討

(一)、「科學概念」與「科學解釋」

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，提出被認為最合理的解釋。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「解釋一貫性」。

Thagard（1992）在<Conceptual Revolutions>一書中，指出不同科學理論有不同層面的「解釋一致性」，而「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，認為並沒有理由去懷疑科學家與兒童在「概念產生」以及「獲得新的概念」等的機制是否真的不一樣，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）」。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。

(二)、POE 的特色與相關研究

POE 基本的程序是設計某一情境讓學生進行「預測」會有何結果或現象發生（例如預測輕重不同的物體，何者先著地？），要求學生寫下自己的預測以及理由之後，接著實際操作讓學生「觀察」有何現象發生？觀察之後寫下自己的觀察結果，如果與預測的不一樣，請學生「說明」原因或理由。此歷程具有認知衝突(cognitive conflict)的特色，即設計的情境是學生常具有的迷思概念（觀察到的現象與預測的不一樣），進而探索學生如何解釋自己的觀點與現象之間的差異。White & Gunstone(1992)舉出數個在力學概念、熱學概念以及 Piaget 的體積保留概念都屬於 POE 型式的研究工具，能夠有效而深入探索學生的迷思概念。

在許多 POE 活動的經驗中，學生經常以日常生活的經驗去支持他們的理由，或者應用跟科學原理相異的觀念去解釋自然界的現象，因此運用 POE 策略能有效的鼓勵學生應用自己原有的知識進行推理及解釋，也能探測出在真實情境中學生運用其原有概念及認知結構的情形。筆者在參與國科會推動的「科學概念學習」整合型計畫的過程（89～94 年度），曾經採用 POE 策略探索學生的迷思概念，研究結果也發表於《科學教育學刊》、《科學教育研究與發展季刊》以及 NARST 國際學術研討會（許良榮、劉政華，民國 93；許良榮、蔣盈姿，民國 94，Hsu, 2004）。但是這些研究以及文獻中學者所採用的 POE 都是單一實驗或是無關連性的多次 POE，且主要集中於迷思概念之探索（例如：李家銘，民 90；葉淑華、江新合，民 91；Gunstone & White，1981；Methembu，2001），或是當為教學策略（例如：葉辰楨，民 89；張宗義，民 92；Searle & Gustone，1990；Liew & Treagust，1995；Kearney，Treagust，Yeo & Zadnik，2001）。

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 Palmer(1995)研究以 POE 技術釐清小學生的科學知識以及探究對於科學概念的理解，研究結果顯示，學生熱衷於(enthusiastically)此種技術，POE 是一種適合於使教師了解學生概念的技術。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，該研究顯示 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。除了診斷學生的迷思概念，POE 也是設計概念改變教學策略值得參考的設計，Searle & Gunstone(1990)在為期十二週的教學研究，探討以 POE 為教學策略對於學生在力學的概念改變，研究結果顯示雖然要達成長期性(long-lasting)的概念改變是困難的，不過 POE 的教學策略達成了某些成效。而李家銘(民 90)探討 6 位國三個案學生在 POE 教學活動中的電學概念發展情形，由研究結果發現個案學生經過 POE 教學後，在十二個認知概念和七個技能概念中，有明顯的進步。顯示 POE 是一具有潛在價值的教學策略之一。

三、研究設計

針對研究目的，研究者設計了四個涵蓋「大氣壓力」與「表面張力」科學概念的 S-POE 實驗（如表 1）。除了第一題，其他三題都是先讓學生「預測」實驗結果，並寫出預測的理由之後，再給予實際實驗結果，並要求「說明」實驗結果的原因。表 1 所示的 S-POE 設計原則為：

（一）、S-POE 中所涵括的實驗，必須具有相互關連性，其現象的解釋涵蓋相同的科學概念。

（二）、所有實驗所涵蓋的科學概念，總計以不超過三個為原則，以達到探求學生之「科學解釋能力」的目標。因為涵蓋的科學概念過多，將不容易歸納、推理學生的前後之解釋的一致性。

（三）、每個後續實驗，只改變前一個實驗的一個變因，以達能深入探討學生對於單一變因的科學解釋能力。

（四）、在學生完成一個實驗（POE）的說明之後，必須明確讓學生知曉每一個 POE 的實際「實驗結果」，以避免學生對後續實驗落入單純的「猜測」，而失去探究學生之「解釋一致性」的目的。

（五）、每完成一個 POE 實驗，才進行後續的 POE 實驗，並要求學生不可再修改先前實驗已完成的作答。

設計完成的活動單共四頁，作業（task）分別為：

第一頁--寫出實驗一的解釋；寫出 POE 2 的預測與理由。

第二頁--呈現 POE 2 實際結果；寫出 POE 3 的預測與理由。

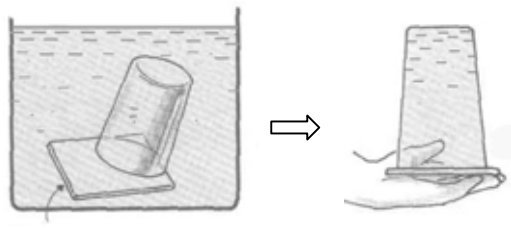
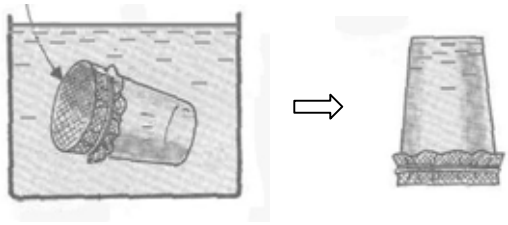
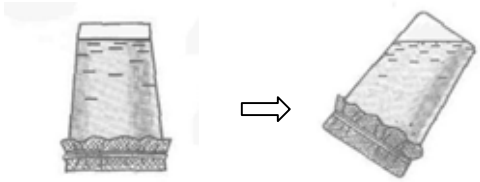
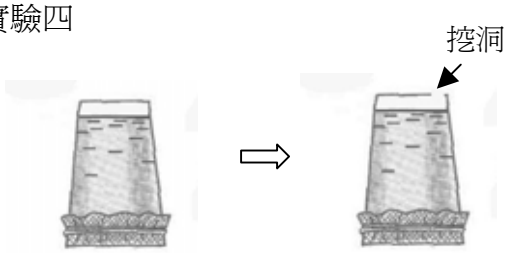
第三頁--呈現 POE 3 實際結果，寫出解釋；POE 4 的預測與理由。

第四頁--呈現 POE 4 實際結果，寫出解釋。

學生完成作業的時間約 40 分鐘。

表 1　S-POE 實驗設計

	實驗一	實驗二	實驗三	實驗四
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
目的	了解學生對於大氣壓力的基本解釋說明能力。	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	科學解釋
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。請解釋為什麼水不會流出來？	空氣無法進入杯子，大氣壓力支撐了塑膠片與水的重量
實驗二 沙網 	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，你認為杯子中的水會不會流出來？請先勾選結果，並解釋原因。（註：杯子中的水不會流出來）	水的表面張力使沙網的作用如上一題的塑膠片，避免空氣進入，大氣壓力支撐了重量
實驗三 	接續實驗二（將紗網蓋住杯口，杯子中的水不會流出來），此時如果將杯子略為傾斜，杯子中的水會不會流出來？請先勾選結果，並解釋原因。（註：水會流出來）	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)，空氣可以進入杯子。
實驗四 挖洞 	在實驗二將紗網蓋住杯口，杯子中的水不會流出來，此時如果將杯子挖個洞，讓空氣可以進入杯子，杯子中的水會不會流出來？請先勾選結果，並解釋原因。	杯子內外之大氣壓力平衡，表面張力不足以支撐水的重量。

四、研究結果與討論

S-POE 設計後施測於自然科學教育系的大二學生，共 29 名。分析結果概述如下：

（一）、在實驗一能夠以「大氣壓力」支撐了塑膠片與水的重量說明實驗結果的只有 13 人（44.8%），顯示學生對此簡易的實驗結果之說明仍有待加強。值得注意的是有 8 位（27.6%）學生的解釋是「因為水的內聚力吸住了塑膠片」，顯示這些學生有誤用科學概念的傾向。

S136: 水因為有蠻大的內聚力，而且在水中用塑膠片壓在杯口時，杯子內水分子排列緊，所以水不會流出來。

S138: 因為水的重量和外界的大氣壓力底消，但是水有內聚力，因此薄的塑膠片可以不掉下來。

（二）、在實驗二，錯誤預測「水會流出來」的達 25 人（86.2%），理由主要為「沙網有孔，水會流出來」。而了解實驗結果是「水不會流出來」之後，有 23 人（79.3%）能提出「表面張力」進行說明解釋，但是其解釋仍不完整。

S140: 水的表面張力使大氣壓力能夠發揮作用。

S114:因為紗網的洞不大，而水的表面張力很大，因此水不會從沙網的洞流出。

另一方面，23 位提出「表面張力」解釋實驗二的現象的學生，對於後續的實驗三，只有 9 位（31.0%）學生能持續考慮「表面張力」的因素解釋實驗現象，顯示缺乏「解釋一致性」，而且正確說明表面張力的平衡被破壞的原因，則只有 2 人（6.9%）。

解釋實驗二的結果如同實驗一，必須連結「大氣壓力」的因素，29 位學生有 16 位（55.2%）在解釋的部分完全沒有提及「大氣壓力」。

（三）、以「解釋一致性」的科學性要求而言，由實驗二的實驗結果推論實驗三，除非認識到「杯子傾斜會破壞表面張力的平衡（水的壓力差異造成）」，否則應該預測實驗三「水不會流出來」，但是研究結果發現幾乎沒有學生能具有「解釋一致性」的要求，而呈現情境相依（context dependence）的現象。在實驗三正確預測「水會流出來」的學生達到 23 人（79.3%），但是提及水的表面張力因素的只有 7 人（24.1%），而能寫出正確說明的則只有 4 人（13.8%）。

另一方面，研究發現學生進行解釋時，傾向使用某些科學語詞，例如重力、力、壓力、平衡等，但是缺乏完整的因果關連之解釋，例如以下二例，學生單純的使用「受力」、「壓力」、「不平衡」等語詞，但是並未說明為何受力不相同？水中的壓力為何不平衡？

S123:因為沙網上各點的受力大小各不相同，所以水會流出來。

S118:我覺得這和水中的壓力有關吧！因為壓力不平衡而使得水流出來。

施測過程研究者提醒學生二次：慢慢寫，並注意「解釋要完整」，因此應可去除學生不了解作答之要求的因素。

（四）、在實驗四正確預測「水會流出來」的學生達到 28 人（96.6%），但是能提出「杯子內外的大氣壓力相同，水的表面張力不足以支撐水的重量（或重力影響）」解釋的只有 4 人（13.8%），只提及「大氣壓力」而忽略了實驗二已指明的「表面張力」變因的有 18 人（62.1%），而解釋說明完全錯誤的總計有 11 人（37.9%）。其中有 18 位（62.1%）學生只提及「大氣壓力」相關因素，而且解釋並不完整，「因」與「果」之關連值得

加強。例如：

S128:因為壓力不同，所以水流出來。

S121:因為上下都有洞，空氣產生流動，所以水流出來了。

上述的結果雖然樣本數不多，尚未具代表性，但是顯示出具備理工背景的大二學生，對於基本自然現象的解釋能力的不足。

四、結語

科學教育多年來常被詬病的缺失之一是；學生經常只學到片段的知識，缺乏科學推理、解釋資料的能力，而學術研究如何落實到教學實務層面，或是學術與教學之間的接軌，是科學教育學界必須持續努力的方向之一。

本研究設計的「序列性 POE」不同於文獻中其他研究只採用單一的或無關連性的 POE，應具有某些參考價值。此種設計除了 POE 原本具有的功能，而且以相關連的實驗組成的序列性 POE 能有效深入探討學生如何應用既有知識與概念，更能探索學生如何組織概念以提出科學解釋，希望能引起科學教育界學者的興趣。

本研究以紙筆測驗的方式進行，只能大略了解學生的科學解釋能力之輪廓，尚無法深入探究學生如何應用知識、如何組織證據（實驗結果），或是如何提出論證（argumentation），後續研究將採個別訪談方式，以深入探索學生進行科學解釋的本質與特徵。

致謝：本研究承國科會補助經費，特此致謝（計畫編號：NSC-95-2511-S-142-007-MY2）

參考文獻（精簡）

李家銘（民 90）：**應用 POE 策略在國中低成就學生補救教學之個案研究**。國立高雄師範大學科學教育研究所物理組碩士論文。

許良榮、蔣盈姿（民國 94）：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。

葉辰楨（民 89）：**POE 模式在國一生物科教學之運用**。中華民國第十六屆科學教育學術研討會。台北：中華民國科學教育學會。

Gunstone, R. F., & White, R. T. (1981). Understanding gravity. *Science Education, 65*(3), 291-299.

Hsu, L. R. (2004). *Using the predict-observe-explain strategy to explore students' alternative conceptions of combustibility*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Vancouver.

Liew, C. W., & Treagust, D. F. (1995). 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.

White, R., & Gunstone, R. F. (1992). Prediction-observation-explanation. In White, R., & Gunstone, R., *Probing Understanding* (p44-64). London: The Falmer Press.