

科學探究活動中國小五年級學童 科學解釋能力及實務認識論之研究

*吳佳蓮 **吳心楷

*屏東縣中正國小, 89b1020@homecoming.nhlue.edu.tw

**國立台灣師範大學科學教育研究所, hkwu@ntnu.edu.tw

摘要

本研究目的是要探討國小五年級學生在科學探究活動中，科學解釋能力的成長情形，分析學生在科學探究活動中所呈現的實務認識論，進而討論學生在進行探究活動中學生所持有的實務認識論和解釋能力間的關係。實務認識論是指學生在探究活動中建構自己的科學知識時所應用的認識論想法。資料分析結果顯示，在經過探究活動後，學生產生解釋的推理過程的能力成長趨勢最為明顯，指出變數間關係的能力為次之，提出證據支持主張的能力成長趨勢為最小。在學生的實務認識論方面，二十三位焦點學生中，只有九位學生所持有的實務認識論為實證主義的認識論，其他學生的實務認識論皆是同時混合實證與建構主義的認識論。在科學解釋能力與認識論的關係方面，學生的實務認識論若為混合認識論則指出變數間的關係、產生解釋的推理過程的能力和提出證據支持主張的進步較實證主義觀點的學生為大。另外，根據教室活動的分析發現學生指出變數間的關係、產生解釋的推理過程和提出證據支持主張的能力和他們所呈現的實務認識論有相關性。

關鍵字：科學探究、科學解釋、認識論

近年來，探究學習已漸受到國內外科學教育學者的重視（AAAS, 1989）。在國民教育九年一貫課程綱要「自然與生活科技」學習領域中提及，教師應「以學生活動為主體、引導學生做科學探究」。而探究學習的目標，除了增進學生對於科學概念的理解之外，亦在幫助學生培養必要的探究能力，以及幫助學生知道科學知識是如何的形成的（NRC, 2000）。本研究即聚焦在學生的探究能力以及其對科學本質的瞭解做分析，目的是要探討國小五年級學生在科學探究活動中，科學解釋能力的成長情形，分析學生所呈現的實務認識論（practical epistemology），進而討論學生在進行探究活動中學生所持有的實務認識論和解釋能力間的關係。

文獻探討

科學探究活動是最接近真實的科學研究，亦是學生發展知識和理解科學想法的活動（NRC, 2000），讓學生在科學內容所構成的情境中學習做探究（doing inquiry），過程包括：構思問題、形成假設、設計並執行實驗、用公式表示及修訂解釋、溝通並為主張作辯護（Krajcik et al., 1998）。在科學探究活動中，科學解釋的建構是很重要的一環，其是指對自然世界中發生的事件或現象如何及為何發生做出說明（Chin & Brown, 2000）。

科學解釋是科學探究中知識的產物，內容包括主張、證據、及推理三部分，它能夠反映出科學知識發展的價值和信念(Driver, Newton, & Osborne, 2000; Sandoval, 2003; Kuhn & Reiser, 2004)，亦能夠協助學生了解現象，並且進入探究的過程(Kuhn & Reiser, 2004)，因此產生科學解釋的能力是學生在探究學習中所不可或缺的。

學習者若欲建構一個好的科學解釋至少需具備指出變數間關係的能力、產生解釋的推理過程的能力、以及提出證據支持主張的能力。然而，由於科學解釋的建構是屬於較高階的能力，其需經過詮釋資料及推理的過程，建立出因果機制，及將證據和邏輯主張做連結，才有可能建構出好的解釋，因此，有很多研究皆顯示學生建構科學解釋過程中，仍會發生許多困難(McNeill *et al.*, 2005)。例如：Kuhn *et al.* (1988) 探討學生正確使用證據以考驗理解解釋的能力，他們發現年紀較小的學生對於證據的區別有困難，且學生的先備知識會影響他們對於證據的詮釋。Krajcik *et al.* (1998) 亦指出學生無法發展邏輯的論點來支持他們的主張，只會呈現統計的資料和結論，但卻無法將兩者作連結。因此，在本研究中主要是針對學生建構科學解釋時所需的三種能力：指出變數間關係的能力、產生解釋的推理過程的能力、以及提出證據支持主張的能力作探討。

探究學習的另一目標，是增進學生對於科學探究過程及科學知識的本質有更深的瞭解(Moss, Abrams, & Robb, 1998, 2001)。然而，過去研究顯示即使學生所從事的探究實務已和科學實務很相近，但是學生所表現出的認識論信念卻沒有改變，仍是接近實證主義的認識論信念(Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Meichtry, 1992; Sandoval & Millwood, 2003)。Sandoval (2005) 認為可能是因為在這些研究中所檢驗的是學生對於專業科學的信念和想法，而非學生在學習科學時，或是在實際從事科學實務時所持的認識論。

Sandoval (2005) 將學生的認識論區分為形式認識論(formal epistemology)和實務認識論兩部分來解釋。所謂的形式認識論是指一些學生對於專業科學中科學知識的想法；而過去研究依賴問卷方式所測得多是學生的形式認識論。實務認識論是指學生在探究中建構自己的科學知識時所應用的認識論想法，也就是指學生在學校科學中對於他們自己的知識和知識產物的想法。Hogan (2000) 也指出學生對於專業科學的看法和對自己科學知識的觀點可能會對科學的學習有不同程度的影響，因此將學生的科學本質分成兩類，一類稱為科學本質的遠端知識(distal knowledge of the nature of science)，是指學生對於專業科學社群的實務、成品、規則等的知識；另一類為科學本質的近側知識(proximal knowledge of the nature of science)，指的學生對於自己在建構科學知識的實務及形成科學知識的本質的知識，相當於Sandoval (2005) 的實務認識論。Hogan 認為科學本質的近側知識對於學生學習的影響大於科學本質的遠端知識，但是目前有關實務認識論的研究幾乎是沒有。為進一步了解探究活動、解釋能力、以及實務認識論間的關係，本研究針對下列問題進行研究：

1. 學生經過探究課程後科學解釋能力的成長情形為何？
2. 在探究情境下學生所呈現的實務認識論為何？
3. 在探究情境下，學生科學解釋能力和實務認識論的關係為何？

研究方法

本研究之對象為兩班共 69 名五年級學生，探究課程共計五週，有十個活動。在課程進行前後，每位學生皆填寫科學解釋能力測驗。十個探究活動內容都以教室觀察錄影帶及錄音方式紀錄，並收集田野筆記及學生作品。從兩班中各選擇兩組，共二十三位學生為焦點學生（12 名女生，11 名男生），在課程進行前後，進行焦點學生的晤談。晤談問題涵蓋解釋能力及實務認識論（例：當你的實驗結果和你所預期的結果不同時，你會怎麼辦？）。以下詳述各項資料之分析方法。

科學解釋能力評量前後測驗結果的比較：研究者先將學生的答案分類，分成學生的解釋提出主張、使用證據支持主張、產生解釋的推理過程三項作分析，訂定出評分標準，以 SPSS12.0 視窗版進行統計分析，以成對樣本 *t* 檢定比較學生在前、後測各個科學解釋能力的成長變化。

科學解釋能力前後晤談：先將錄影帶轉錄成文字資料，把資料依據科學解釋能力編碼，再將學生的各項科學解釋能力為階層一到階層四，最後整合學生在教室觀察、田野筆記及科學解釋能力評量的表現。表一為編碼舉例及說明。

表一 科學解釋能力晤談之編碼：指出變數間關係

階層	說明	舉例
4	主動且明確的指出變數間的關係	學生能主動地根據圖表，明確說出豆子大小、曬太陽時間兩個變數和植物生長高度間的關係
3	能指出變數間的關係	學生在晤談者的提示下，能根據圖表說出豆子大小、曬太陽時間兩個變數和植物生長高度間的關係
2	只能指出部分變數間的關係	學生能根據圖表，說出豆子大小或曬太陽時間其中一個變數間的關係，和植物生長高度間的關係
1	無法指出變數間的關係	學生無法根據圖表說出變數間的關係，或是只能根據直覺或生活經驗，而非圖表說出變數間的關係

實務認識論前後晤談：首先將錄影帶轉錄成的文字資料分類編碼，並給予各個編碼定義，而編碼的名稱主要是取自學生晤談中的回答（Corbin, & Strauss, 1998）。實務認識論的編碼主要分為：科學實驗與學校實驗之異同、實驗誤差的來源、改進實驗的方法、決定實驗結果正確性的標準、實驗與假說不同時所採取的行動、實驗的方法、支持主張的證據幾大類，評分者同意度為 89.6%。

教室錄影：首先將教室活動中和科學解釋以及學生實務認識論有關的師生對話和小組對話內容轉譯成的文字資料之後，再將師生及學生小組對話內容依活動區分成小節（episode）。每小節的編碼主要分為科學解釋能力及實務認識論兩大部分，兩部分的編碼分析方式皆與前述的晤談分析方式相同，以瞭解學生科學解釋能力的成長及學生的實務認識論，並且可以深入探討兩者間的關係為何。

研究結果

科學解釋能力之成長

本研究針對學生的三項科學解釋能力：指出變數間的關係、產生解釋的推理過程、提出證據支持主張進行探討。學生在經過本探究活動後，其科學解釋能力的成長情形

為：指出變數間關係以及產生解釋的推理過程的能力成長趨勢較為明顯（圖1、圖2），提出證據支持主張的能力成長趨勢為最小。此外，本結果亦發現學生的科學解釋能力會受到學生先備知識的影響，對於涉及學生有學過的概念的解釋能力問題，進步分數較多。

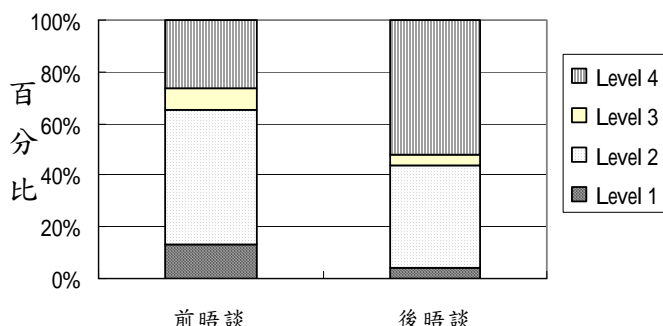


圖 1 指出變數間關係能力之編碼圖

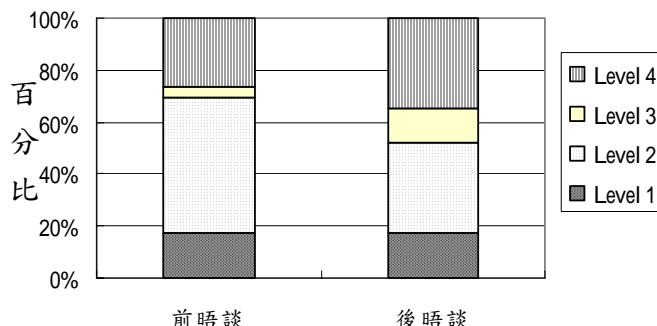


圖 2 產生解釋的推理過程能力之編碼圖

實務認識論

本研究將學生的實務認識論分為科學知識的本質及科學探究本質兩個向度詳述如下：

1、科學知識的本質

- (1) 科學問題的類型：學生所認為的科學問題可分為「可觀察到的問題」，約有22%，而次為「有關事物如何運作的問題」，也就是「如何(how)」的問題，佔11%，第三為「解釋性的問題」約佔8%。其中「解釋性的問題」及「有關事物如何運作的問題」這兩類是屬於較好的科學問題。於後晤談中這兩類較好的科學問題的比例有增加。
- (2) 什麼是科學：學生所認為「什麼是科學」主要可被分為科學是發明東西、做實驗、幫助人類、作研究。其中學生認為科學是發明東西的比例約 22%為最高，次之為做實驗，約為 15%，而認為科學是作研究的學生則約為 11%。
- (3) 科學家在做什麼：學生所認為的「科學家在做什麼」主要可以被分為科學家在「做實驗」、「發明東西」、「研究」。其中學生認為科學家是在作研究的比例最高約為 33%，次之為科學家在做實驗，所佔比例約為 26%，再次之則為科學家是在發明東西，所佔比例約為 17%。
- (4) 科學知識的本質：學生所認為的科學知識的本質主要可以被分為科學知識是「從實驗結果中得到的結果」、「科學家研究的知識」、「教科書或教師教的知識」。其中學生認為科學知識是從實驗所得結果比例最多，約有 31%；而認為科學家做出的實驗結果或研究的東西和知識是科學知識的學生為次之，約有 18%。

2、科學探究的本質

- (1) 科學實驗與學校實驗之異同：整體而言，不論前後晤談，約有 65%的學生都認為學校實驗和科學實驗是有差異的。
- (2) 實驗誤差的來源：學生所認為實驗的不準確是因為誤差所造成的，誤差的來源主

要可以分為人為造成的誤差和工具造成的誤差兩種。其中約有 45% 的學生認為實驗的不準確是因為人為誤差所造成的。

- (3) 改進實驗的方法：學生所認為的可以改進實驗的方法主要可分為減少誤差、問老師或其他人、重複實驗。以上三種想法所佔的比例皆約為 19%。
- (4) 決定實驗結果正確性的標準：學生所認為的決定實驗結果正確性的標準主要可分為問老師或其他人、重複實驗、實驗過程錯誤、和他人比較、相信自己。其中學生決定實驗正確與否的標準為問老師或其他人的比例為最高，約為 23%，次之為重複實驗比較實驗結果，和檢查實驗過程是否有誤，兩個皆各為 10%。
- (5) 實驗與假說不同時所採取的行動：學生所認為的實驗與與假說不同時所採取的行動可分為重複實驗、問老師或其他人、及認為實驗過程中錯誤。其中學生認為當實驗和假說不同時會選擇重複做實驗的比例明顯地為最多，約為 56%，次之為問老師或其他人，約為 18%，不到 10% 的學生認為是實驗過程有誤。
- (6) 實驗的方法：學生所認為的實驗方法可分為實驗只有一種方法、有不同種實驗方法兩種。學生認為自己在做實驗時只有一種方法，和學生認為有不同的方法的人數很相近。
- (7) 支持主張的證據：前後晤談中，學生整體的觀點沒有太大的改變，大部分的學生都認為只要作一次實驗就可作為證據用來支持他們所提出的主張。

在焦點學生中只有九位學生所持有的實務認識論為實證主義的認識論，其他學生的實務認識論皆是混合型的認識論，而在學生所持的混合認識論中大部分的想法都偏向於為實證主義的認識論，只有少部分想法屬於建構主義的認識論。在本探究活動中，學生對於「科學問題的類型」、「什麼是科學」的觀點有明顯地改變，而對於「科學問題的類型」的想法有較偏向於建構主義的認識論。

科學解釋與實務認識論的關係

在科學解釋能力與實務認識論方面，本研究發現，學生的實務認識論若為混合認識論在三項解釋能力的進步較實務認識論為實證主義觀點的學生為大（圖 3、圖 4），也就是說，持有不同認識論觀點的學生，在科學解釋能力的進步幅度上是會有差異的。

另外，根據教室活動的分析學生指出變數間的關係、產生解釋的推理過程和提出證據支持主張的能力和他們所呈現的實務認識論有相關性，在教室觀察的資料中，混合認識論的學生在探究活動中所呈現出與科學解釋能力有關的認識論中較多的觀點是偏建構主義認識論，而實證主義認識論的學生所呈現的觀點則是較多偏向於實證主義認識論的觀點，而少部分是偏建構主義認識論的觀點，其可能也是持不同認識論觀點的學生在科學解釋能力進步程度不同原因之一。

結論

本研究結果顯示在經過本探究過程後，學生的科學解釋能力有所成長。本研究亦發現學生在探究活動中呈現的實務認識論和指出變數間關係的能力、產生解釋的推理過程的能力間是有關連的。在焦點學生中只有九位學生所持有的實務認識論為實證主義的認識論，其他學生的實務認識論皆是混合型的認識論，而在學生所持的混合認識論中大

部分的想法都偏向於為實證主義的認識論；而學生的實務認識論若為混合認識論則在解釋能力的進步幅度較持實證主義認識論觀點的學生大，其表示持有不同認識論觀點的學生，會影響其解釋能力的發展。

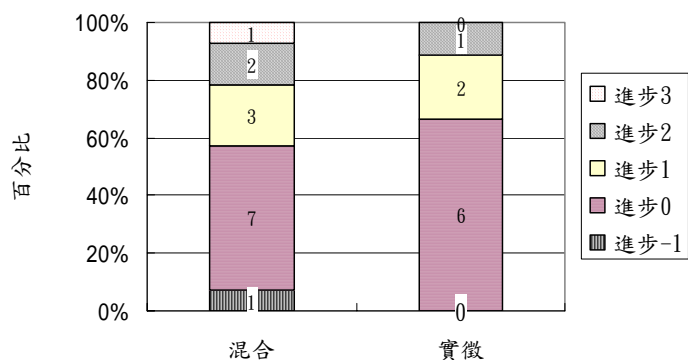


圖3 指出變數間關係之晤談進步情形與實務認識論前晤談間的關係

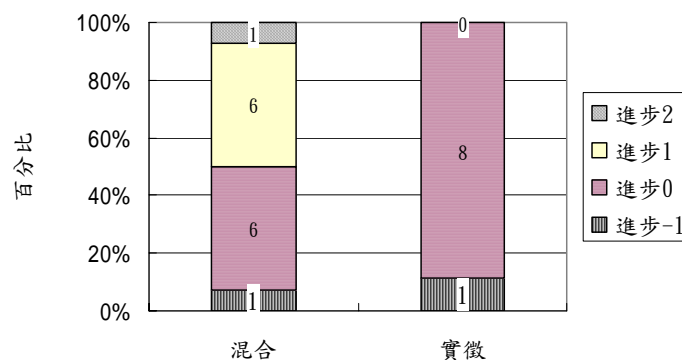


圖4 產生解釋的推理過程之晤談進步情形與實務認識論前晤談間的關係

參考文獻

- American Association for the Advancement of Science. (1989). *Project 2061: Science for all Americans*. Washington, D.C.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84, 287-312.
- Hogan, K. (2000). Exploring a process view of students' knowledge about the nature of science. *Science Education*, 84(1), 51-70.
- Khishfe, R. & Abd-El-Khalick, F. (2002). Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 551-578.
- Krajcik, J. S., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Bass, K. M., Fredricks, J., & Soloway, E. (1998). Inquiry in project-based science classrooms: Initial attempts by middle school students. *Journal of the Learning Sciences*, 7(3&4), 313-350.
- Krajcik, J. S., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Bass, K. M., Fredricks, J., & Soloway, E. (1998). Inquiry in project-based science classrooms: Initial attempts by middle school students. *Journal of the Learning Sciences*, 7(3&4), 313-350.
- Kuhn, D., Amsel, E., & O'Loughlin, M. (1988). *The development of scientific thinking skills*. New York: Academic Press.
- Kuhn, L., & Reiser, B. (2004). *Students constructing and defending evidence-based scientific explanations*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Dallas, TX.

- McNeill, K. L., Lizotte, D. J., & Krajcik, J. (2005). *Identifying teacher practices that support students' explanations in science*. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, Montreal, Canada.
- Moss, D. M., Abrams, E. D., & Robb, J. (2001). Examining student conceptions of the nature of science. *International Journal of Science Education*, 23(8), 771-790.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy of Sciences.
- Sandoval, W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89, 634-656.
- Sandoval, W. A., & Millwood, K. A. (2003). High school students' ideas about theories and theory change after a biological inquiry unit. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(4), 369-392.
- Sandoval, W. A., & Millwood, K. A. (2005). The quality of students' use of evidence in written scientific explanations. *Cognition and Instruction*, 23(1), 23-55
- Songer, N. B., & Ho, P. S. (2005). *Guiding the "explain": A modified learning cycle approach towards evidence on the development of scientific explanations*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Education Research Association, Montreal, Canada.