

探究情境中國小學童科學解釋能力成長之研究

謝州恩

吳心楷

臺北縣永平國小

國立臺灣師範大學科學教育研究所

摘要

有鑒於國小學童科學解釋能力之不足，研究者參考科教文獻改編課本的活動內容，設計一系列探究導向學習（inquiry-based learning）活動。本研究目的在探討國小六年級學童在探究活動中其科學解釋能力的成長。根據文獻，本研究將科學解釋能力細分為核心能力與相關能力兩部分。核心能力是：「指出因果關係」、「運用推理能力」與「使用證據」；相關能力有：「解釋提出主張」、「運用圖表協助解釋」、「語文傳達解釋能力」與「學生評鑑解釋」。本研究從前後測、錄影、問卷、訪談、學生成品等方面蒐集資料，以質性和量化方法來分析學童的科學解釋能力的成長。資料經信度分析與三角校正歸納後，本研究發現學生科學解釋核心能力以指出因果關係成長最多（其中量化前後測成長結果 $t = -4.824$ ， $p < .01$ ），其次是運用推理能力，最後是使用證據能力；相關能力亦有不等的成長，其中以學生解釋提出主張成長最快。本研究亦發現不同的探究階段，有助於不同解釋能力的成長。最後，本研究提出以科學解釋能力應受重視及早訓練等為建議，供未來相關研究之參考。

關鍵詞：探究學習、科學解釋、科學解釋能力。

壹、背景

許多學生接受的科學往往偏向知識的記憶，忽略其背後的起源、意義與實證的部份，大多數的學生對科學的認識不合於目前以探究為基礎的科學學習。只有少數學生視科學為建構的過程，多數人卻認為科學是世界上事實的累積（Carey & Smith, 1993；Driver, Leach, Millar, & Scott, 1996；Lederman, 1992；Linn & Songer, 1993）。Pallrand（1996）認為：解釋是科學教育的中心，學生展現對現象的瞭解，以提供老師瞭解學生知識的組織，並瞭解學生的想法。所以，解釋自然科學現象的能力是一種過程技能，它可以提供教師與研究者進一步瞭解學生的概念與想法。但是 Driver、Guesue 和

Tiberghien（1985）認為兒童的解釋較狹隘，大多都不會運用科學證據做有力的解釋。這也正說明瞭時下學童對科學知識概念的一知半解，更不瞭解上自然課時，老師為何需要對三、兩句的科學知識，如此大費周章的帶領學生實驗。所以，本研究以增進學生科學解釋能力為目標，使學生未來能利用這種能力，增進自己對概念的理解。

有鑒於科學解釋對科學理論的重要性，透過科學定理來解釋自然現象，是科學教學的重要目標（Sandoval, 2003）。但是，學童的解釋往往還無法很科學（Solomon, 1986），也就是學童的解釋往往仍是基於自己的假設與想像去

描述，是不經證據證明的。科學解釋本身在自然界中是一種形式上的運作（Bass & Maddux, 1982），較為抽象，也因此大多數的科學教育學者將解釋能力視為統整的過程技能，待學童逐漸進入形式運思期時才發展。但是 Bass 和 Maddux 不建議科學解釋的教學延到學生能展現形式推理能力時才導，因為在他們的研究中發現學生在具體操作時，也能產生複雜的科學解釋，所以他們建議學生在具體操作時期有關科學解釋的教學，教師要能使學生聚焦在單一原理的因果關係與簡單的連續推斷，進而使學生能一步接著一步的跟著邏輯解釋。

因此本研究的目的，是希望學童能在探究情境中，透過教師的各種引導，來增進科學解釋能力，包含：指出因果關係能力、運用推理能力、證據使用與圖表運用、語文傳達等。期待學生能在科學解釋的各種能力成長後，較不會流於知識的盲從與武斷。本研究主要的研究問題有二：

- 一、探究情境下學童的科學解釋能力（如：使用證據、指出因果關係、評鑑解釋等能力）的成長歷程是怎樣的情形？
- 二、科學探究過程與學生科學解釋能力的成長有何關聯？

貳、文獻探討

由於本研究是要學生在探究情境中來提升學生科學解釋能力，所以下面會針對探究學習與科學解釋做探討。然而根據文獻，學生在科學解釋時有若干困難存在，也在此一併提出，供本研究後面結論與討論時探討。

一、探究學習

探究在科學教育中至少有超過一百年以上的歷史，在 1900 年之前，大多數的教育學者將科學視為知識體系，並直接灌輸給學生。直到 1909 年杜威認為科學應該不是這樣灌輸給學生大量的知識，而忽略了學生思考的方法與態度，所以，應加強學生過程與方法的學習。

之後，Bruner 於 1966 所提出的學習理論對探究式教學影響極大，他曾說：「教學的理論要考慮一個事實，即課程不僅反映求知者的天性和獲得知識的過程，而且要填補教材與教法的差距。教導兒童不是要使他付予於心靈的結果，而是教他參與過程，以獲取知識。我們教導一個學科不在增加那學科的知識，而在使兒

童像數學家、歷史學加一樣去思考，以參與獲得知識的過程。求知識的過程而非成果。因此在教學中，兒童扮演的角色不僅為知識的接受者，而應該是主動的探究者。」（引自楊榮祥，1988）

在本研究中，探究被視為是學習科學以及瞭解自然與物質世界現象的一種方式（Suchman, 1968；National Research Council [NRC], 2000）。在探究學習的情境中，學生為主動的參與者及科學調查活動的設計者，而教師、教材及學習工具等資源，為重要的學習支持，以協助學生能持續完成探究活動。

國內外已有學者比較探究教學法與講述法等傳統教學法之間的差異。熊召弟和王美芬（1995）以及毛松霖（1997）皆指出傳統教學之講述教學法多以教師為中心，並以灌輸的方式，教學重點偏重記憶，雖然能使學生獲得現成的知識，但這些知識多只能儲存於短暫的記憶中，這種傳統教學方法的結果和科學教育目標相去甚遠，無法運用在日常生活中，當面臨

自然界的問題時，仍不能充分理解，亦較缺乏判斷、推理解釋能力。若能有探究能力的技能（如：觀察、推理、預測等），就能從觀察中獲得較多資料。

毛松霖（1997）進一步比較學生在傳統式教學和探究式教學環境中，學習成果上的差異。結果顯示，在過程技能中、低分群的學生群中，顯示出實驗組（探究式教學）優於控制組（講述式教學），但在過程技能高分群的學生，兩組學習態度測驗無顯著差異。經晤談後發現實驗組解釋資料能力亦優於控制組，特別在過程技能分群的學生，顯示出實驗組優於控制組。

Mattheis 和 Nakayama（1988）研究指出探究式教學法，可以提高學習表現，並可以增進學生實驗技能、繪圖及解釋資料的能力。此外，許多研究也顯示探究式教學法比傳統的教學法更能提升學生的科學過程技能，其中包含了學生科學解釋能力之提升（Gabel, Ruba & Franz, 1977；Tobin & Capie, 1982；Basaga, Geban, & Tekkaya, 1994）。

但是做為探究學習的生手，大多數的中小學學生，無法在缺乏教師輔助下，立刻進行獨立的探究活動（Krajcik, Czerniak, Berger, 1998；NRC, 2000）。因此，依照教師介入的程度，由低到高，探究教學可分為開放式探究（open or full inquiry）、並行探究（coupled inquiry）、引導探究（guided inquiry）、結構探究（structured inquiry）四個類型（Lisa, 2002）。針對本研究，由於學生先前沒有進行探究活動的經驗，學生的探究活動將以教師引導探究（guided inquiry）為主體，希望能使學生漸漸走向並行或開放探究的架構。在引導探究環境中，老師協助學生發展探究，通常由老師選擇研究的問題，而非由學生提出。在各個探究步驟中，教師協助學生設計實驗及收集資料。各

組同學間，彼此也會互相協助引導。當學生遇到探索的困難時，教師應予以協助，提供學生可行的方案，使學生能由教師引導，逐漸走向開放式探究。

另外，探究的步驟也是本研究關切的部份，而從文獻中知道 Krajcik、Czerniak 和 Berger（1998）曾將探究過程分成以下七個階段：

- （一）起始：從觀察、操作或玩東西來思考，學生應想想看發現了麼？
- （二）提出問題並精緻問題：讓學生思考並預測、學生可能會發生什麼情形？
- （三）計畫與設計來解決問題：透過計畫與設計來解決問題，要反思這樣的設計能回應問題嗎？
- （四）進行實驗工作：學生將儀器整合並蒐集資料，反思工作有對應到當初的問題嗎？
- （五）使資料有意義：分析、轉換資料、推理、下結論，思考所得到的結果有沒有回應到當初的問題？
- （六）尋找資訊：學生詢問其他人、有目的找書看、評估這樣的資訊是不是能回答問題？
- （七）分享想法：學生提出觀點和他人分享，可能會得到他人的回饋，並要聆聽他人的觀點，並思考如何融入他人的觀點。

其中學生分享想法，即學生科學解釋的部分。本研究將參考上述探究階段，綜合其他文獻與本研究需求，略作調整，供編碼與分析。

所以，綜合與探究步驟相關之文獻（Kempa & Ward, 1975；Krajcik, Blumenfeld, Marx, Bass, Fredricks & Soloway, 1998；Krajcik et al., 1998；楊榮祥, 1978），並針對本研究的學生科學解釋能力成長需求，本研究的探究過程包含以下幾個步驟：（1）提出或討論科學調查主題

或問題，(2) 設計科學調查活動，(3) 進行活動，(4) 資料分析與討論，(5) 搜尋資訊，(6) 產生成品，(7) 分享與溝通。與過去強調線性過程的科學方法 (scientific method) 不同，探究的各個步驟沒有特定的順序性 (Krajcik et al., 1998; 歐用生, 1989a, 1989b, 1989c)，學生有可能在資料分析之後，決定重新設計調查活動；搜尋資訊也可能與主題的討論同時進行。

探究的目標和成品，多是為解釋自然與物質世界的現象，因此在探究的過程中，建構科學解釋，是非常重要的一環。根據 NRC (2000)，探究學習的特性包括：

- (一) 學生提出或討論科學調查的問題：學生有機會提出有興趣的、可被回答的研究問題，並試著透過觀察、實驗、收集並使用資料等方法來解釋科學現象。
- (二) 學生能提供並收集證據：科學和其他方法所不同的是能提供許多實證的證據，作為解釋自然世界的基礎。精確的證據收集是經由檢視儀器、重複觀測、或收集相同現象中的不同資料。
- (三) 學生從證據中形成解釋來回答問題：科學解釋是基於推理 (reason) 而來，科學解釋要提供原因給結果，並建立證據和邏輯論證的關係。
- (四) 學生能評鑑自己和他人的解釋 (alternative explanations)：學生在解釋過程中應評鑑解釋，並可能會排除另有解釋、修正解釋。
- (五) 學生能溝通與闡明所提出的解釋：學生在溝通解釋的過程中，需要清楚的描述問題、程式、證據、提出解釋並檢視其他可能的解釋。分享解釋能使學生彼此發問，並幫助學生利用證據來強化論點，建立科學知識與解釋間的關聯。

由以上五項特點可知，科學解釋在探究學

習中扮演舉足輕重的角色。科學學習的目的不只在於接受目前已知的科學解釋，更重要是經由探究過程形成科學解釋。培養學生建構科學解釋的能力 (abilities to construct scientific explanations)，成為本研究的主要目的。而且根據探究的五項特色，建構科學解釋的能力不是單一技能，還包括使用證據、評鑑解釋、以及溝通解釋等，因此下面將基於科學解釋的定義和文獻，訂出數個科學解釋能力，做為本研究的研究焦點。

二、科學解釋能力

科學教育學者常將科學解釋作為評鑑學生概念的工具，卻少有人研究科學解釋的本質。從哲學家、物理學家、科學教育學者的觀點來看科學解釋是分歧的。哲學家的科學解釋，是充滿了邏輯結構的，物理學家將科學解釋視為科學知識產生過程中的遊戲規則，而科學教育學者則站在較寬鬆的哲學家的定義上，研究學生的科學解釋本質部分 (Edgington, 1997)。

科學解釋扮演了科學家們想要瞭解世界的主要角色 (Ohlsson, 1992)。現象的解釋與描述 (description) 的本質不同，所謂「解釋」是對事件、現象的分析說明，使人有解惑及瞭解事件的真相及現象發現的內部機制的功能 (Solomon, 1986; 黃達三, 1998)。科學解釋 (scientific explanation) 是通過描寫一個事物的結構和過程是什麼，而使某物成為可理解的，和 (或) 表明一個事物如何完成它的活動 (Hempel, 1966; 段德智、尹大貽、金常政, 1999)。科學解釋的基礎包括：(1) 用歸納-演繹方法 (inductive-deductive methods) 從事 (經驗觀察) 形成概括化 (generalization) (理論)。(2) 把這些事實與這種前後一致的和系統的概括化體系聯繫起來，也和已經累積和以為人們所接受 (已被肯定、已得到證實) 有關的事實

連結起來。(3) 引出對概括化體系論這些事實可能具有的邏輯和經驗的含義和系統。(4) 建構一種對這些事實和概括化的辯解 (justification)、認證 (confirmation)、驗證 (verification)。(5) 表明這種事實是可以在數量上被計算 (被推演) 的, 或從這種概括化體系測到的。

由上述的定義可知, 科學解釋重視可測得的證據, 需要建立現象與內部機制間的關係 (如: 兩變數間的因果關係), 並包含概括化的過程。解釋的產生有賴於推理以及認知能力的使用。Sandoval 和 Reiser (2004) 提出以解釋為導向、適於高中生的探究活動, 強調學生在探究活動中習得科學解釋的能力, 其評量標準如下:

- (一) 解釋的完整與清晰: 科學的解釋是因果解釋, 它是關於一件事如何影響另一件事的故事, 學生必須解釋事情是為何與如何發生的。
- (二) 使用資料: 科學解釋是科學的, 因為它是植基於資料的解釋。評等級時, 是基

於學生如何將資料用來支持解釋。

- (三) 將另有解釋排除: 學生至少要寫出兩種解釋, 並說明如何考慮其他解釋或拒絕其他解釋的理由。
- (四) 說明解釋的限制: 任何的解釋不論多徹底, 仍然無法說明所有已獲得的資料, 或會被錯誤資料而削弱, 所以學生要負責說明每個解釋的限制。

因此, 學生在做科學解釋時, 必須要將過程及因果關係說明清楚, 並適當運用證據。本研究綜合 Chen, F. C.、Jiang, H. M.、Lin, H. L. 和 Wang, H. R. (2001)、King (1994)、NRC (2000)、以及 Sandoval (2003) 等人的研究, 並考量本研究的六年級學童心智年齡與經驗, 訂定出的科學解釋核心以及相關能力 (見表一)。核心部分為: 指出因果關係、運用推理能力、使用證據。相關能力為: 解釋提出主張、運用圖表協助解釋、語文傳達解釋能力、評鑑解釋。將這兩部分在本研究中統稱為科學解釋能力, 供設計活動與編碼分析之參考。

表一 科學解釋能力與文獻對照表

科學解釋能力	相關文獻	文獻提出的要點
核心能力		
指出因果關係 identifying causal relationships	Krajcik et al. (1998) NRC (2000) Sandoval & Reiser (2004)	是探究各階段中分析的問題 探究的特色細目之一 學生解釋自評與互評之標準
運用推理能力 describing a reasoning process	Zuzovsky & Tamir (1999) NRC (2000)	是不同科學解釋類型之特色 探究的特色細目之一
使用證據 using data as evidence	Krajcik et al. (1998) Chen et al. (2001) Sandoval & Reiser (2004) NRC (2000)	是探究各階段中分析的問題 學生解釋缺乏使用證據能力 學生解釋自評與互評之標準 探究的特色細目之一
相關能力		
解釋提出主張 making a claim	Krajcik et al. (1998) NRC (2000)	是探究各階段中分析的問題 探究的特色細目之一

(表一 續)

運用圖表協助解釋 using graphs to support explanations	Wavering (1989) Krajcik et al. (1998) NRC (2000)	解釋應包含圖形的表徵 是探究各階段中分析的問題 探究的特色細目之一
語文傳達解釋能力 using precise and detailed language to explanation	NRC (2000)	探究的特色細目之一
評鑑解釋 evaluating the quality of an explanation	NRC (2000) Sandoval & Reiser (2004)	探究的特色細目之一 學生解釋自評與互評之標準

三、學生科學解釋的難處

產生一個完整的科學解釋是不容易的，目前已知學生在科學解釋能力的難處有：

- (一) 指出因果關係：未指出因果關係、不完整的解釋（姜滿，1993）。
- (二) 運用推理能力：缺乏推理機制，使用非邏輯的推理。（姜滿，1993；Sandoval & Reiser，2004）。
- (三) 使用證據：缺乏證據、實驗數據與理論相違（Solomon, 1995）。
- (四) 解釋提出主張：解釋時並未提出主張、主張與解釋內容相違（姜滿，1993）。
- (五) 運用圖表協助解釋：課本無法提供圖表轉換之過程學習；有些圖表與符號會造成學童學習的困擾（Wavering，1989；Bowen & Roth，2002）。
- (六) 語文傳達解釋能力：在口語傳達時，可能隱含錯誤，造成誤解，或缺乏完整、

清楚的敘述（毛松霖，1987；李暉、郭重吉，1998）。

- (七) 評鑑解釋：對評鑑本身的意義與科學解釋各項瞭解有限（Sandoval & Reiser，2004）。

從上面文獻知道，學生在探究的情境中較容易提升學生各項科學技能，其中本研究希望使學生逐漸走向較開放的探究學習，進而增強學生在探究活動中的科學解釋能力。經各方文獻整理發現，學生的科學解釋能力可分為核心部分與相關能力部分。其中核心部份包含：指出因果關係、運用推理能力、使用證據。相關能力為：解釋提出主張、運用圖表協助解釋、語文傳達解釋能力、評鑑解釋。最後，經由各方所蒐集得到的文獻整理後知道，學生在科學解釋的難處有以上數點，供本研究或未來研究探討。

參、研究方法

本研究改編學生自然科學課本的內容，使活動具有探究的特性。經由教師在活動中的引導，使學生能導向科學解釋能力的成長。研究

者經由多方來蒐集資料，如：科學解釋前後測、教室錄影、問卷、訪談、學生成品、學習單等，將前後測分量化與質性的方法分析，其他資料

則主要以質性方法分析。

一、研究對象與情境

研究者所進行研究之學校在臺北縣某市區，屬於住商混合社區，是大規模之學校，全校班級數有 100 班，學生人數三千四百多人。創校 11 年，學校硬體設備新穎充足，惟校地較狹小，學生活動空間較少，教學時也較容易彼此受到干擾。

本研究之個案教師，曾任教一、三、四、六年級自然科，其中六年級自然科是第三年教學。第一年任教六年級的課程版本是牛頓版，第二年教學課程版本是康軒版，第三年教學課程版本又是牛頓版，所以對六年級自然科教學相當熟悉。

研究者即是本研究的個案教師，在教學的同時，進行研究。教師作為研究者有幾個假設（Keating, Greenberg, Baldwin, & Thousand, 1998）：（1）在職教師對學生和教室狀況最瞭解；（2）在職教師有解決問題的心胸，並歡迎有效的教學改變；（3）容易在該班或學校收集各種資料。教師與研究者兩個角色時常需要協調與反思，才不會使研究有所偏袒或偏見。所以教師在這過程中，要能清楚自己的研究方向，或者透過訓練來達到研究的目的。

研究者希望有較多學生投入本研究，以求取本研究較高的可信度與內部比對，所以尋找風格差異較大的兩個班級，其相關背景敘述如下：

六年一班：全班共 28 位學生，男女生各 14 人，分成 5 組，由該班導師指定座位，只有第 3 組 4 人，其他 4 組 6 人，每組男女生人數不均。班級氣氛較為安靜，學生上課時較少發言，因為導師會於下課後，管教不守秩序的學生。其中班上有一名學童是視障，用望遠鏡與放大的自然課本上課。

六年二班：全班共 30 位學生，男女生各 15 人，分成 5 組，每組都是 6 人，由該班導師指定座位。每組都是男女生各 3 人，而且是男女生交錯的位置關係。班級學生受導師班級經營影響，較活潑善於言談，平時上課氣氛融洽，學生善於發問，師生互動頻繁。

個案學生：研究者從兩班中選擇學習成就高、中、低的學生，兩班各六人成一組，在該班都是第五組，作為個案小組，這些學生相較於班上其他學生除探究活動有較完整的錄影外，將額外接受問卷與訪談的前、中、後測。

二、活動設計

以學生的學習情況來說，要能自行產生科學解釋對國小學生而言，似乎並非短時間內即可做到，因此本研究之活動以引導探究（guided-inquiry）之模式來設計課程。本研究編改六年級上學期自然科牛頓版教科書，研究範圍為六個探究學習活動，共涵蓋兩個教學單元：第三單元物體的運動（活動一、二、三）、第四單元電的使用與安全（活動四、五、六）。兩個單元教學前後共約需將近兩個月。採用這兩個單元的教學原因是由於這兩個單元相較於其他單元的有較多學生實作的部份，學生有較多機會參與學習。其中的活動二與活動六這兩個主要探究活動一開始就需要學生針對活動目的作假設，在實作的過程中包含了較多變數，可以讓學生得到較多實驗設計的機會，並且要求學生以數據作為證明，符合文獻中所提的科學解釋的標準。表二簡介六個活動內容、探究的過程、與科學解釋的關係。

由於活動一、活動二與活動六涵蓋了較多的探究學習步驟（詳見表二），研究資料最為豐富，而且學生科學解釋的成果較能直接呈現，所以本研究結果將針對這些活動的質性資料來分析與探討。至於活動三、四、五可視為學生

學習科學解釋能力的過程，學生科學解釋能力的訓練較為片段，因此這三個活動的質性資料做為了解整個學習歷程的參考，並不併入詳細編碼的資料庫。

三、資料蒐集

本研究多方蒐集資料，包括科學解釋能力前後測、教室錄影、個案小組學生問卷、個案小組學生訪談錄影、學生成品、以及學習單。「科學解釋能力前後測」為參考國內學者對中小學解釋能力編訂的試題（林俊華，1986），與自行發展的科學解釋試題，經專家效度檢核與試測修正後，共十九題，舉例如下：

7. () 有人說：「身高高的人體重通常會比較重。」你會選擇下列哪一個說法作為證據？
- ①小名 150 公分 42 公斤，曉華 155 公分 48 公斤。
 - ②曉華看起來比小名高又壯。
 - ③曉華 155 公分，43 公斤，小名 150 公分，44 公斤。
 - ④小名 153 公分 42 公斤，曉華 153 公分，46 公斤。

「教室錄影」為錄影班級各組學生的科學解釋內容、個案小組互動情形與其他教室活動，將之分段轉譯後編碼分析。「個案小組學生

問卷」的使用是有鑒於科學解釋屬於較高層次能力，不能僅以選擇題方式加以測出，最好用較開放的試題，由學生根據所給予之情境，充分將其能力呈現出來，再分析之（毛松霖，1990）。故編製半結構式問卷，分前、中、後三次測驗。分別於活動前填寫問卷、活動三後填寫問卷、活動六後填寫問卷。本研究希望學生的成長應不會侷限於某一學科，所以個案學生在填寫問卷的內容概念包含了物理、化學生物與地科的範圍，以求取問卷對學生科學解釋成長的效度。

「個案小組學生訪談錄影」是以半結構訪談模式，分前、中、後三次，分別於教學前訪談錄影、活動三後訪談錄影、活動六後訪談錄影。研究者準備若干道具，由學生自己當場來探索解釋。學生因心智年齡、知識、技能不夠成熟，研究者會提供部分引導，使學生較能接續解釋的相關內容。但當研究者引導無效，學生重覆提出類似無法解釋或無法繼續解釋的情形時，就停止該學生的訪談。「學生成品」包含兩班共十組學生，於活動二與活動六解釋活動時製作的海報，可以讓學生對整個活動與科學解釋能有更清楚的架構，而研究者將對海報中各項目分析學生的使用情形。「學習單」學習單可供研究者瞭解學生在活動二與活動六的評鑑狀況。學習單下方有學生自評與互評的部分可供分析。

表二 活動內容、探究過程、與科學解釋能力

活動內容	學習目標	探究過程	科學解釋能力
活動 1 誰跑的快			
◆經教師引導後，學生先假設跑步速度與那些變數有關	學生能夠引用數據來解釋兩個變數的關係	◆討論科學調查主題	提出主張解釋提出主張、指出因果關係、
◆教師請學生善用測得的數據上臺解釋		◆分享與溝通	運用推理能力、使用證據

(表二 續)

活動 2 滾乒乓球大賽			
◆教師用手推乒乓球引導學生思考要利用工具滾球較準確	學生能夠提出假設、設計活動、圖表傳達、解釋變數間的關係，並練習自評與互評解釋能力	◆引起動機	指出因果關係、運用推理能力、解釋提出主張、使用證據、運用圖表協助解釋、學生評鑑解釋、語文傳達解釋能力
◆教師請學生選擇工具並假設怎樣讓球跑的快		◆討論科學調查主題	
◆教師引導討論如何測量球滾的快慢		◆設計科學調查活動	
◆教師指導學生畫出待會要用的表格、圖形		◆搜尋資訊	
◆活動中，教師要學生發現問題，再深入活動或找資料研究		◆資料分析與討論	
◆教師指導學生將獲得的數據轉成圖		◆產生成品	
◆教師指導、協助學生製作活動海報		◆分享與溝通	
◆教師請學生上臺解釋			
◆教師指導台下同學自評與互評			
活動 3 方向的變化			
◆請學生運用箭號解釋兩個球碰撞前後的運動方向	學生觀察碰撞現象，並透過箭號這個符號的使用，來傳達與解釋現象	◆分享與溝通	指出因果關係
活動 4 認識電動機			
◆教師請學生尋找磁鐵和漆包線軸的關係	學生了解電動機的元件並解釋其功能	◆進行活動	指出因果關係、運用推理能力、使用證據
◆教師請學生上臺操作與解釋上述關係		◆分享與溝通	
活動 5 電動機的組裝			
◆教師請學生尋找線圈不會轉動的原因	學生利用動手操作組裝，發現困難，並解釋自己的發現	◆進行活動	提出因果關係、運用推理
◆利用實作，學生經教師引導後，學習解釋上述原因與如何排除		◆分享與溝通	
活動 6 電動機轉速大賽			
◆教師用不同轉速的電動機引導學生動機	學生產生主張、設計活動、圖表傳達、解釋變數間的關係，並能自評與互評解釋能力	◆討論科學調查主題	指出因果關係、運用推理能力、解釋提出主張、使用證據、運用圖表協助解釋、學生評鑑解釋、語文傳達解釋能力
◆教師引導各組討論怎樣讓電動機轉速加快		◆設計科學調查活動	
◆教師協助學生思考怎樣使用工具來測量電動機轉速		◆搜尋資訊	
◆教師提醒學生畫出待會要用的表格、圖形		◆資料分析與討論	
◆教師提醒學生要在活動中發現問題，再深入活動或找資料研究		◆產生成品	
◆教師提醒學生將獲得的數據轉成圖		◆分享與溝通	
◆教師提醒學生製作活動海報			
◆教師請學生上臺解釋			
◆教師請台下同學自評與互評			

下表（表三）包含了本研究所蒐集到的各方資料來源、形式與範圍。

表三 各種資料蒐集形式與範圍表

資料來源	形式	範圍
教室錄影	每個活動錄影，共 12 個活動	兩班各錄影約 490 分鐘
個案小組學生問卷	B4 問卷，每人每次一張	兩班共 12 人，共 36 份
個案小組學生訪談	每人和研究者一對一操作與對談	兩班共 12 人，錄影 36 段
學習成品	全開海報，一班 5 張（5 組）	兩班各 5 組，共 10 張
學習單	B4 大小，一班 5 張（5 組）	兩班各 5 組，共 10 張
科學解釋能力前後測	A4 試題 4 張，兩班每人 1 份	兩班共 58 人，回收 112 份

四、資料分析

根據各項資料的性質，發展了不同的分析方法來回答本研究的研究問題。「科學解釋能力前後測」的題目，前十四題分析以量化方式呈現，分析各科學解釋能力的成長。後五題以質性方法分析，分成學生的解釋提出主張、使用證據、運用推理能力三項作分析，比較前、後測學生的成長。「問卷」的問題使用相同的質性方法分析。

「教室錄影」的資料是本研究最重要的部分，研究者將資料先轉譯，轉譯後匯入資料庫，利用編碼軟體 NUDIST (QSR, 1997) 將資料作第一層的分類性的編碼。這一層的編碼內容為探究學習的七個步驟以及所表現出來的各項解釋能力。以下為學生使用數據為證據的例子：

...

S：結果是這個支架比較低的時候，兩公分，漆包線轉了六十圈，支架二點三公分的時候轉了五十圈…（另一位同學提醒她把一二三次的數據講完）。

S：量三次，支架比較低的時候，兩公分，第一次量六十圈，第二次量四十五圈，第三次量五十圈。支架二點三公分的時候，第一次五十圈，第二次四

十三圈，第三次四十二圈。然後接下來比較高，二點七公分，第一次四十圈，第二次三十九圈，第三次三十六圈。（NU263）

接著再從資料中針對本研究的研究問題做第二層的編碼。第二層的編碼為深入地探討學生科學解釋能力的高低，因為能力成長歷程是本研究的核心。表四為「指出因果關係」能力之高中低的範例。「個案小組學生訪談」在內容轉譯之後，亦以相同編碼方法分析學生解釋能力。利用 NUDIST 可以較容易且完整的歸納、編碼、以及整合錄影及晤談資料並尋找兩項或多項編碼間關連與交錯部分。

「學生作品」為兩次探究活動中的海報，我們就海報內容與學生科學解釋能力各項來比對學生使用情形，並分析海報的圖文傳達效果，進而與先前相關的結果討論。「學習單」中有學生自評與互評解釋的內容。為分析學生評鑑解釋的能力，研究者將學生自評與互評的結果與研究者給予的評鑑做比對，如果越相近，代表學生越接近專家的看法。分析時，將數據透過計算評分者信度公式轉換（郭生玉，2001），尋求學生與研究者間的一致性係數。

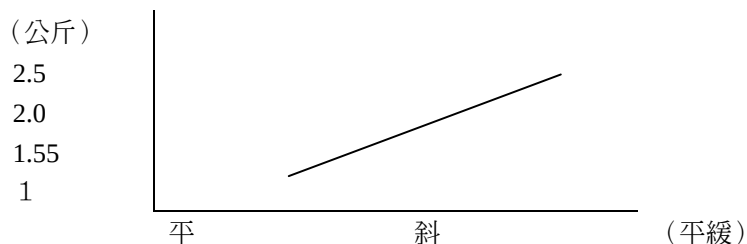
另外，就本研究的設計有關信效度的部分：前後測、問卷與訪談，經其他非研究班級

學生試測，進行修改，再請一位同校自然科教師（並為數理教育碩士）為本研究作科學解釋前後測的專家效度。而質性資料部分共邀請三位研究者，協助作錄影資料編碼的信度分析，

編碼者信度為 86%。根據不同資料來源所得的結果，本研究進行信度的三角校正（Erickson, 1986）。

表四 科學解釋能力第二層編碼

編碼	無	說明	學生未指出因果關係
項目	未指出因果關係		
舉例	T：這是快的還是慢的？ （學生想了一下，繼續圈出證據） S：慢的。 T：體重是輕的還是重的？ S：重的。 T：找到了。 （學生匆匆下來，並未提出因果關係）（NU114）		
編碼	低	說明	學生未提出推理或運用證據，直接指出兩個變數的因果關係。
項目	未運用推理與證據指出因果關係		
舉例	越斜的斜面，彈珠滾的越快。 （小瑩在問卷前測第二題的第二小題，只寫了上面這樣一行，並未引用證據或推理）（TE114）		
編碼	中	說明	學生提出證據，或以推理來指出兩變數間的因果關係。（證據或推理只出現一種）
項目	從推理或證據指出因果關係		
舉例	... S：活動結果就是這兩個圖表。（未從表中引用證據） S：為什麼這個圖形會看起來往下掉，是因為它滾的速度越快，時間越少。那如果滾的速度越慢，時間越多。 S：結論，從上面我們知道斜面越斜，所用的秒數越少，速度越快。滾的越慢，時間要越多。 （學生只有運用推理，並未引用證據來強化因果關係）（NU123）		
編碼	高	說明	學生從數據資料與推理指出兩變數間的因果關係
項目	從推理與證據指出因果關係		
舉例	... （做完測量，得到數據後，小豪走到黑板畫圖）		



小豪：斜度比較平緩的，我用了 1.5 公斤的力，斜度比較斜的，我用了 2 公斤的力。由此可知，斜度平的比斜度斜的省力。（小豪提出數據與簡易的推理來指出兩變數間的因果關係）（IN233）

肆、研究結果

本研究之目的是要分析探討學生的科學解釋能力成長。所以，將學生科學解釋能力結果分為三個部分：前後測的部分，分別用量化與質性方法分析學生的成長。第二部分將呈現與分析學生科學解釋核心部分的成長。第三部分是呈現與分析學生科學解釋相關能力的成長。

一、學生科學解釋前後測結果

整體而言，學生在前後測的表現達到顯著差異，可見探究學習活動對學生解釋能力的培養是有助益的。在分項解釋能力的表現中，除了「評鑑解釋」的能力未能顯著成長，其餘五項能力在前後測的表現都達到顯著差異（見表五），可見學生仍不善於評鑑他人所提出解釋的

品質。與 Krajcik et al. (1998)的發現類似，評鑑（evaluating）和批判（critiquing）的能力不易在短時間見到顯著進步，此能力的培養須仰賴更多的教學介入。

表六是利用 effect size 比較六項能力的成長高低。在經過六個探究活動之後，學生似乎已漸培養出運用推理的能力，而不再過份依賴直覺思考科學問題。在比較後測成績也發現，大多數學生已能透過數據的分析比較，提出主張（claim）並指出因果關係。在第二及第三的質性資料部分，將進一步呈現學生解釋能力的表現。

表五 生科學解釋能力前後測結果

科學解釋能力 (N=56)	前測 平均	後測 平均	前測 S.D.	後測 S.D.	t 值	顯著性	Effect size
指出因果關係	0.530	0.726	0.5006	0.447	-4.824	0.000**	0.39
運用推理能力	0.184	0.440	0.389	0.499	-6.895	0.000**	0.67
使用證據	0.512	0.655	0.496	0.497	-4.178	0.000**	0.30
解釋提出主張	0.625	0.821	0.489	0.387	-3.04	0.004**	0.40
運用圖表協助解釋	0.331	0.482	0.473	0.502	-3.068	0.003**	0.32
評鑑解釋	0.429	0.5	0.499	0.505	-0.85	0.399	0.14

表六 科學解釋能力前後測成長表

Effect size	高成長>0.35	0.35>中成長>0.2	0.2>低成長
科學解釋 相關能力	指出因果關係 運用推理能力 解釋提出主張	使用證據 運用圖表協助解釋	評鑑解釋

二、學生科學解釋核心能力成長結果

在此部分的資料來源以教室錄影（資料內容涵蓋兩班共十組同學）為主，並整合個案學生（資料內容涵蓋兩班共兩組十二位同學）的

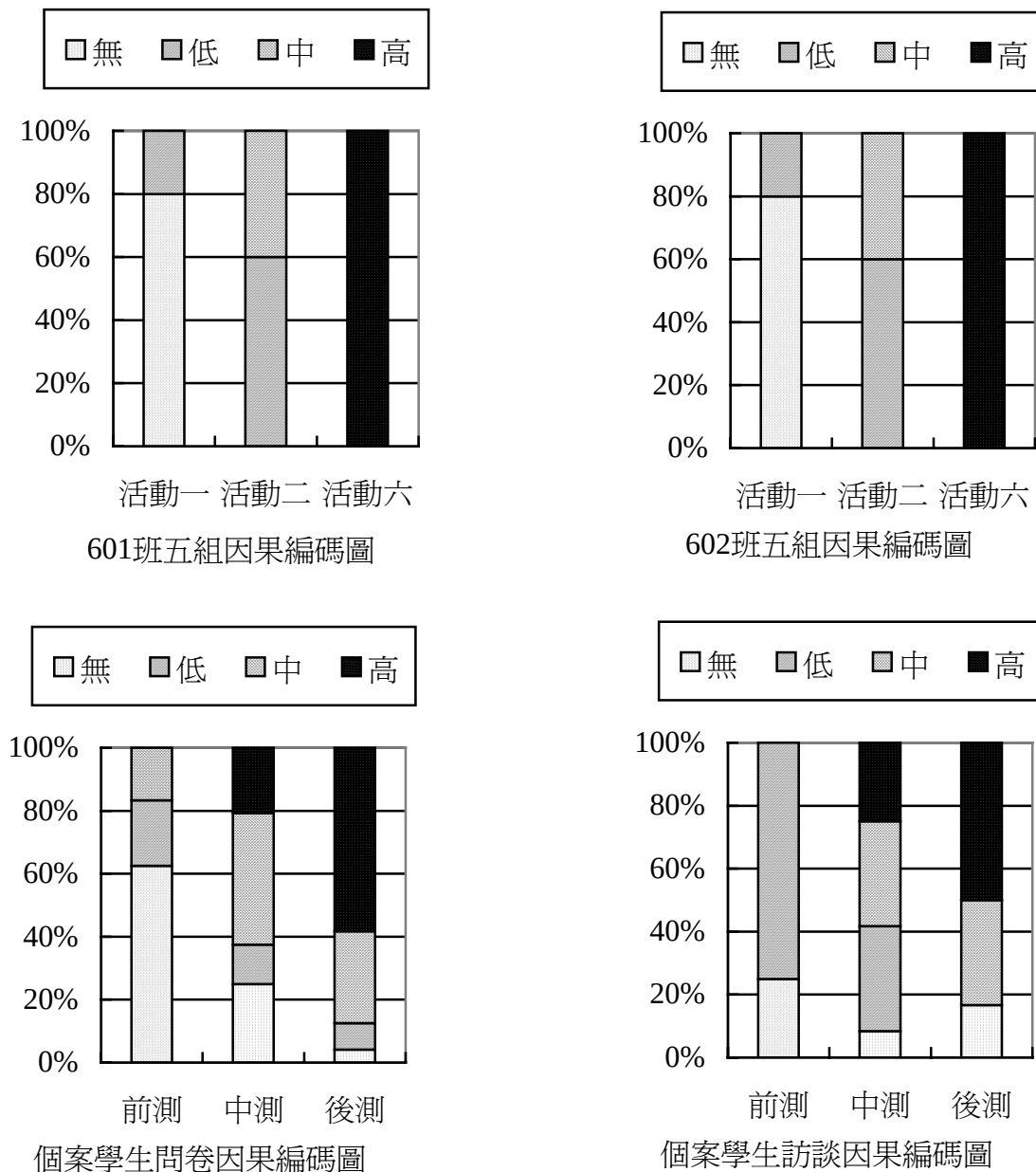
問卷與訪談的前、中、後結果做分析與比較。整體而言，質性資料分析結果與前後測結果的趨勢一致。學生在教室、問卷及訪談的表現中，以指出因果關係的能力進步幅度最大，在使用證據及運用推理的表現進步幅度稍慢。以下分

別呈現三項核心能力的資料分析結果。

(一) 指出因果關係

學生指出因果關係的能力，大致可分為無、低、中、高能力四類（詳見表四）。分別將全班的小組（班級錄影）和個案學生（問卷及晤談）的表現編碼、整合後，結果見圖一。以

601 班為例，圖一顯示在活動一時，僅有一組學生（20%）指出因果關係，而且屬能力較低的表現，但到了活動六，五組學生都能正確的指出因果關係，並搭配圖表指出變數間的複雜關係。602 班個案學生組的表現亦有相同的趨勢。



圖一 學生指出因果關係能力變化圖

圖一並顯示在三個學習活動中，學生透過小組合作中所呈現的進步，比學生在個別填答問卷和接受晤談時的表現更顯著。例如在活動六時，教室錄影顯示兩班共十組都能順利達到指出因果關係的高能力，但在問卷和晤談中，並不是每位學生都能顯出高能力。此結果顯示，在合作學習的活動中，小組整體所表現出來的集合理解及能力（collective understanding）通常高於個人理解（Forman & Larreamendy-Joerns, 1995；Lumpe & Staver, 1995）。相比於教室活動中具備同儕支援、海報和學習單的輔助，學生在晤談及問卷時僅有教師有限的提示，這可能造成顯示學生能力在不

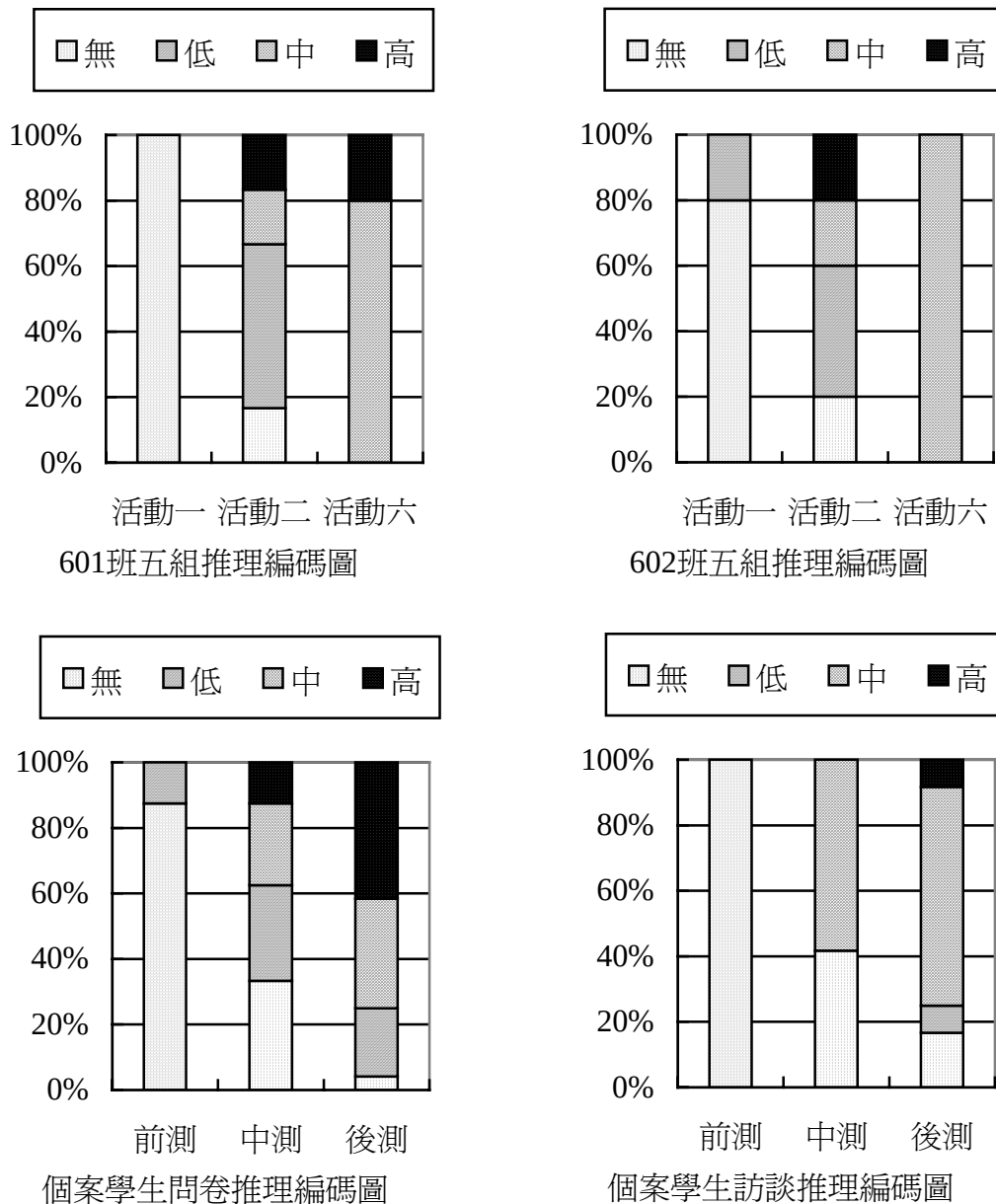
同情境下所呈現的能力差異。

（二）運用推理能力

在活動過程中，學生運用推理的能力可分為四類（見表七）。部分學生在解釋中直接提出結果，未說明推理的過程，亦未提出證據或是「為什麼」，這類的解釋過程必歸為無運用推理能力。低能力的學生多是直接描述圖表的結果，而未說明該結果是如何推理而得。中高能力的學生的解釋通常涉及較多科學推理的過程，並包含適當的證據。表七中的學生表現為典型的範例。

表七 運用推理能力表

編碼	無	說明	學生並未在科學解釋的過程中說出推理過程。
項目	未提出推理過程		
舉例	越斜的斜面，彈珠滾的越快。 （小瑩在問卷前測的第二題的第二小題，只寫了上面這樣一行，並未引用證據或推理）（TE114）		
編碼	低	說明	學生未從數據或圖表提出證據來作推理。
項目	未利用證據提出教簡易的推理過程		
舉例	... S：活動結果就是這兩個圖表。 S：為什麼這個圖形會看起來往下掉，是因為它滾的速度越快，時間越少。那如果滾的速度越慢，時間越多。 S：結論，從上面我們知道斜面越斜，所用的秒數越少，速度越快。滾的越慢，時間要越多。 （學生只有運用推理，並未引用證據來強化因果關係）（NU123）		
編碼	中	說明	學生能利用證據提出簡單的推理過程。
項目	能利用證據提出簡易的推理		
舉例	... S：然後，我還發現支架越低 2 公分時，轉了 60 圈，支架 2.7 公分時，轉了 40 圈，所以我們可以從數據中知道，支架越低，漆包線圈轉的越快。另外，我們有去訪問尤老師（六年級自然老師）和周老師（自然老師），她們也都認為支架越低會越轉越快。 S：結論就是支架越高，轉的越慢，和我們假設一樣。（NU263）		
編碼	高	說明	學生能使用證據做出較豐富的推理過程。
項目	利用證據提出較豐富的推理。		
舉例	（以下是小怡在問卷後測第三題的推理與分析） 兩顆藥時，病人在第一周疼痛從 8 減少到 5，第二週從 5 減到 2，都是-3。而服一顆乙藥時，病人從疼痛 12 次減少到 9 次，再從 9 次減少到 5 次，分別是-3 與-4，所以乙藥一顆比兩顆效果好。（TE236）		



圖二 學生運用推理能力變化圖

圖二進一步顯示一班學生推理成長較二班稍早，成果較二班略好。而且在活動六時，兩班學生的表現集中在中度推理能力的運用，可見要能有較長的推理對小學六年級的學生是不容易的。整體而言，大多數的小組都未能細心的說出較仔細的推理過程，其中二班第二組在活動六還有倒退現象，倒退現象的來源有可能

是因為活動六涉及較複雜的資料和探究過程。相比之下，一班第三組相對於他組有較好的推理解釋過程。

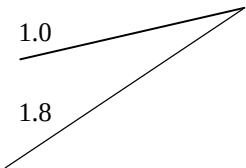
在前中後測的個案學生表現顯示，學生運用推理能力在中測與後測部分成長趨勢較慢，而且訪談比問卷更慢，這和前述因果關係的能力成長趨勢一樣。即使到後測，還有部分組別

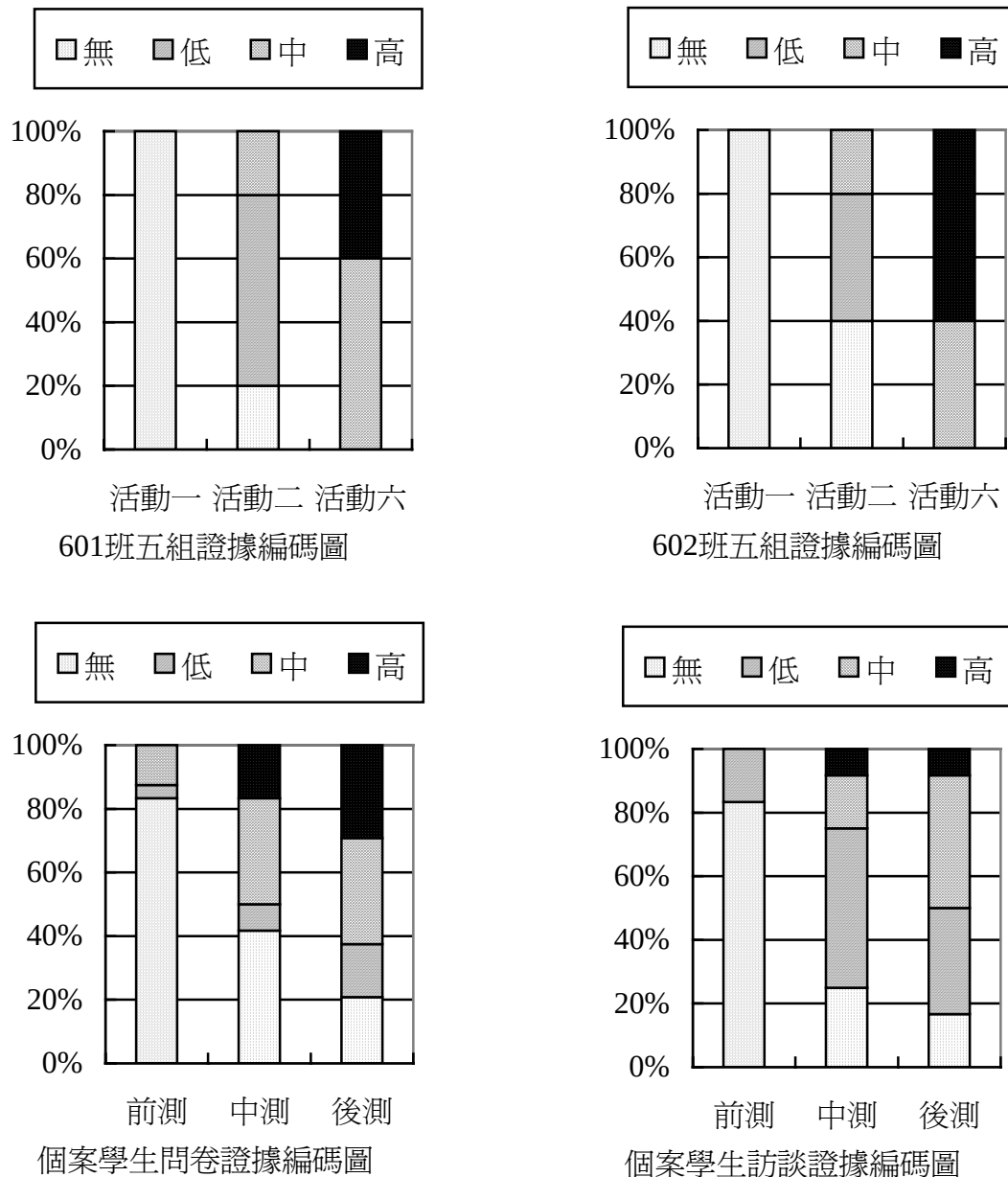
在編碼「無」與「低」的階段，表示學生在運用推理的成長較慢，與教室錄影的結果相近，而且學生科學解釋中的運用推理能力的進展不如提出因果關係的能力。而整體而言，一班的個案學生表現較佳。將學生在問卷的表現和教室錄影或訪談比較，發現學生的推理用寫的（問卷）比用說的（教室錄影、訪談）表現平均而言來的好，可能是因為寫字比說話慢，學生具有較充足的時間想出推理過程。

（三）使用證據

根據教室錄影、問卷與訪談的資料分析，可將學生的使用證據能力分為四類。使用能力被編碼為無或低的表現，是指未提出證據或使用錯誤的證據。而中高能力的表現，是除了學生能提出證據之外，還有有效、清楚的運用或比較；部分學生甚至能從其他方面獲得證據，判斷證據的有效性，以證明小組的假設或主張是正確的（詳如表八）。

表八 使用證據編碼表

編碼	無	說明	學生在科學解釋的過程中，未說出圖或表的資料為證據；或引用錯誤的證據；或需要教師協助來引導學生說出證據。
項目	未能提出證據、錯誤引用證據或需教師引導		
舉例	越斜的斜面，彈珠滾的越快。 （小瑩在問卷前測第二題的第二小題，只寫了上面這樣一行，並未引用證據或推理。）（TE114）		
編碼	低	說明	學生主動說出數據，但未清楚說出引用哪個數據來比對，所以對使用證據而言尚不完整。
項目	主動指出證據但未引用		
舉例	T：你們可不可以把你們畫的圖的趨勢講一下？（因為剛才他們這部分講的比較少） … S：（學生從表開始講，把每個數據唸出來）斜面斜度在 15 度時，秒數分別是… T：這些數字代表什麼意思？ S：代表斜面越陡，秒數越少，速度越快。（NU122）		
編碼	中	說明	學生能將一組證據做有效、清楚而靈活的運用或比較。
項目	清楚且靈活的運用證據		
舉例	小舜：現在書包測的時候只有 1.1 公斤。（老師提示他要慢慢拉） 小舜：剛剛較斜的時候是 1.8 公斤，較平的時候是 1.1 公斤，所以…（走到黑板）  小舜：這是陡的 1.8，平的 1。所以陡的比平的費力。（IN231）		
編碼	高	說明	學生除了自己活動的成果提出作為證據之外，還能從其他方面獲得證據，而且經判斷為有效力的證據，以證明小組的假設或主張是正確的。
項目	學生能靈活且有效地運用兩種以上證據		
舉例	… S：然後，我還發現支架越低 2 公分時，轉了 60 圈，支架 2.7 公分時，轉了 40 圈，所以我們可以從數據中知道，支架越低，漆包線圈轉的越快。另外，我們有去訪問尤老師（六年級自然老師）和周老師（自然老師），她們也都認為支架越低會轉越快。（NU263）		



圖三 學生使用證據能力變化圖

將各項資料分析結果整合後，從圖三的趨勢可知一班學生在使用證據能力略遜於二班，因為二班在活動二與活動六有較多組能達到較高編碼的能力。而且學生剛開始對資料的使用較陌生，幾乎每一組都不會使用證據來解釋。學生使用證據的速度較緩慢，後測時尚有許多學生停在編碼「無」與「低」的程度，教室錄

影和問卷都呈相似趨勢。所以相較於其他兩項核心能力，學生在使用證據的成長介於指出因果關係與運用推理能力之間。

圖三亦呈現個案學生在問卷的使用證據能力成長不快，即使是後測，也仍有許多學生無法使用證據。這與上面教室中小組探究時的結果不同。可能是學生受到海報上數據的提示而

造成影響，也可能是教師或同儕在教室情境中提供有較多的輔助，亦有可能是受問卷題目所涉及的概念影響等因素，尚待研究。

（四）小結

學生科學解釋核心能力包括指出因果關係、運用推理以及使用證據三項能力，從教室錄影、問卷及訪談三方面的資料均能顯示出其能力成長趨勢。而且三項能力相較，指出因果關係似乎對六年級學生來說是最容易培養的能力，而運用推理能力與使用證據的能力還須更長時間才能使多數學生到達高能力。

比較不同資料來源發現，學生在教室錄影中整組的表現，平均優於個人問卷與訪談的結果，而整組的表現往往受到較高成就或較高表達能力同儕的影響（從教室錄影轉譯資料得知），造成教室錄影得到的結果優於學生個人問卷與訪談；訪談則因受限於資料要靠個人獲得，所以平均表現較問卷與教室錄影結果差。

而學生科學解釋的運用推理能力在教室錄影時，剛開始成長較慢，但活動六後有加快的情形。其中前後測、問卷與訪談都顯示成長比使用證據來的快，而從文獻（Sandoval & Reiser, 2004）中，也知道學生的使用證據能力確實是學生科學解釋的弱點，從下一節有關學生成品的運用程度也發現，學生在教室錄影中，有關證據的使用大多較常依賴海報提供的訊息，所以這也是為什麼學生在教室錄影中的證據使用較運用推理表現來的好。所以，整體而言，學生在證據使用能力應該不如運用推理能力。因此科學解釋核心能力的成長速率排序是：指出

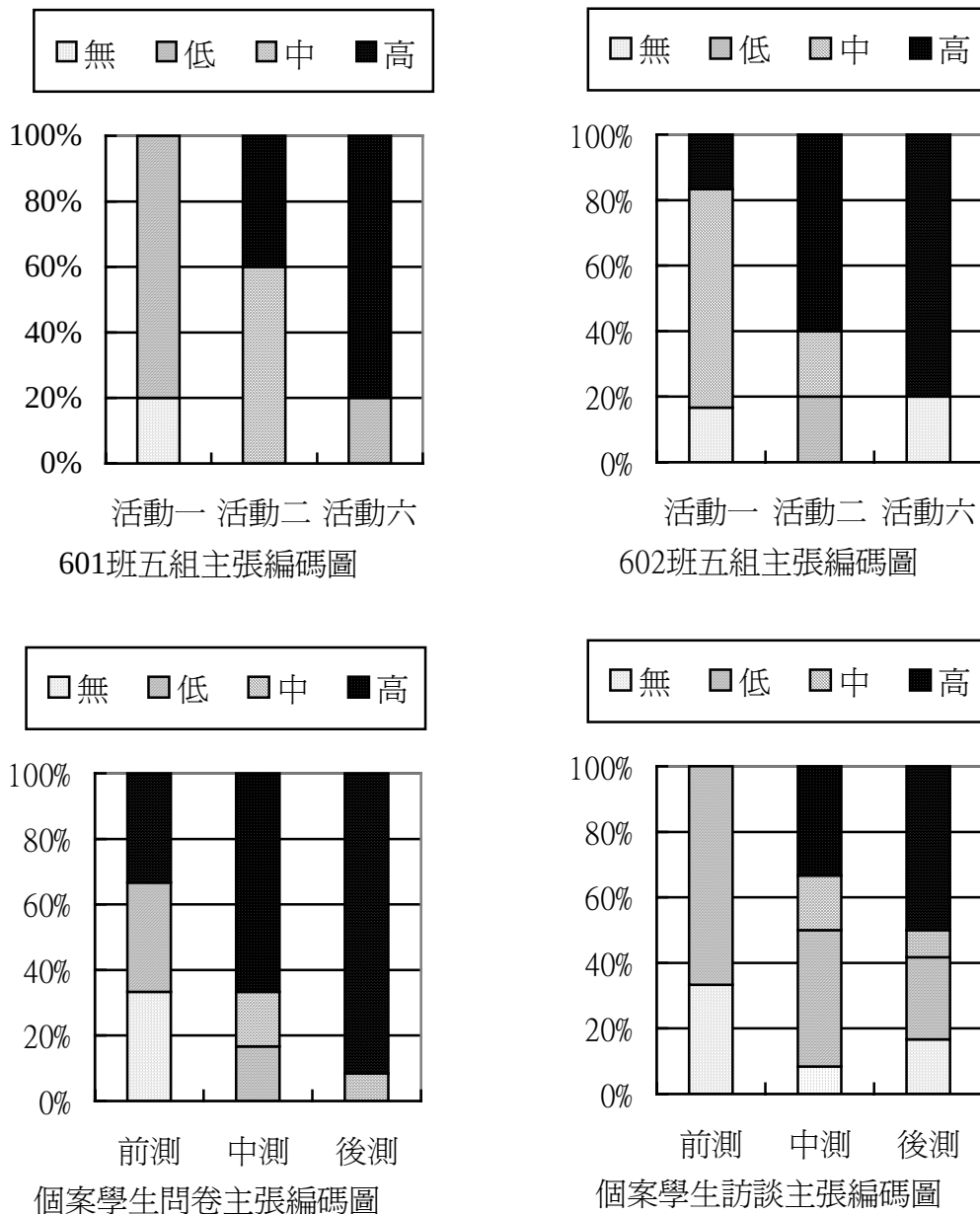
因果關係、運用推理能力、使用證據能力，此結果與量化資料結果相近。

三、學生科學解釋相關能力的成長結果

（一）解釋提出主張

學生在探究活動中會先提出假設，進行探究活動，最後所得的因果關係要和假設作比對，然後在科學解釋時，提出小組的主張（claim）。而在問卷和訪談時，學生必須要根據所提供的數據提出主張，並說明推理的過程。學生的表現被分為四類：無、低、中、高。當學生在科學解釋中未提出主張，或是在解釋中提的主張很模糊或提出與最後結果相反的主張，被編碼為無或低能力的表現。而中能力的學生表現包括提出與結果相符的主張後，未能主動與最後所得因果關係結合，或結果與主張關係不明顯。高能力的學生提出正確主張並能與最後的因果關係結合在一起。

利用上述分類方式分析學生在教室、問卷及訪談的表現，圖四顯示兩班學生能夠在一系列的探究活動漸漸提出正確的主張，這樣的成長趨勢與指出因果關係能力是相近的。也就是學生在科學解釋時，能逐漸將主張說明清楚，並與因果關係做結合。其中二班學生的解釋中，能提出主張的部分原本就比一班好，甚至比一班早能達到編碼「高」，而最後在活動六學生大多能達到編碼「高」的程度。個案學生在問卷和訪談的表現，也顯示學生在解釋時提出主張的成長。而由於訪談部分牽涉到應用部份，所以表現依然不如問卷或教室錄影好。



圖四 學生提出主張的能力變化圖

(二) 運用圖表協助解釋

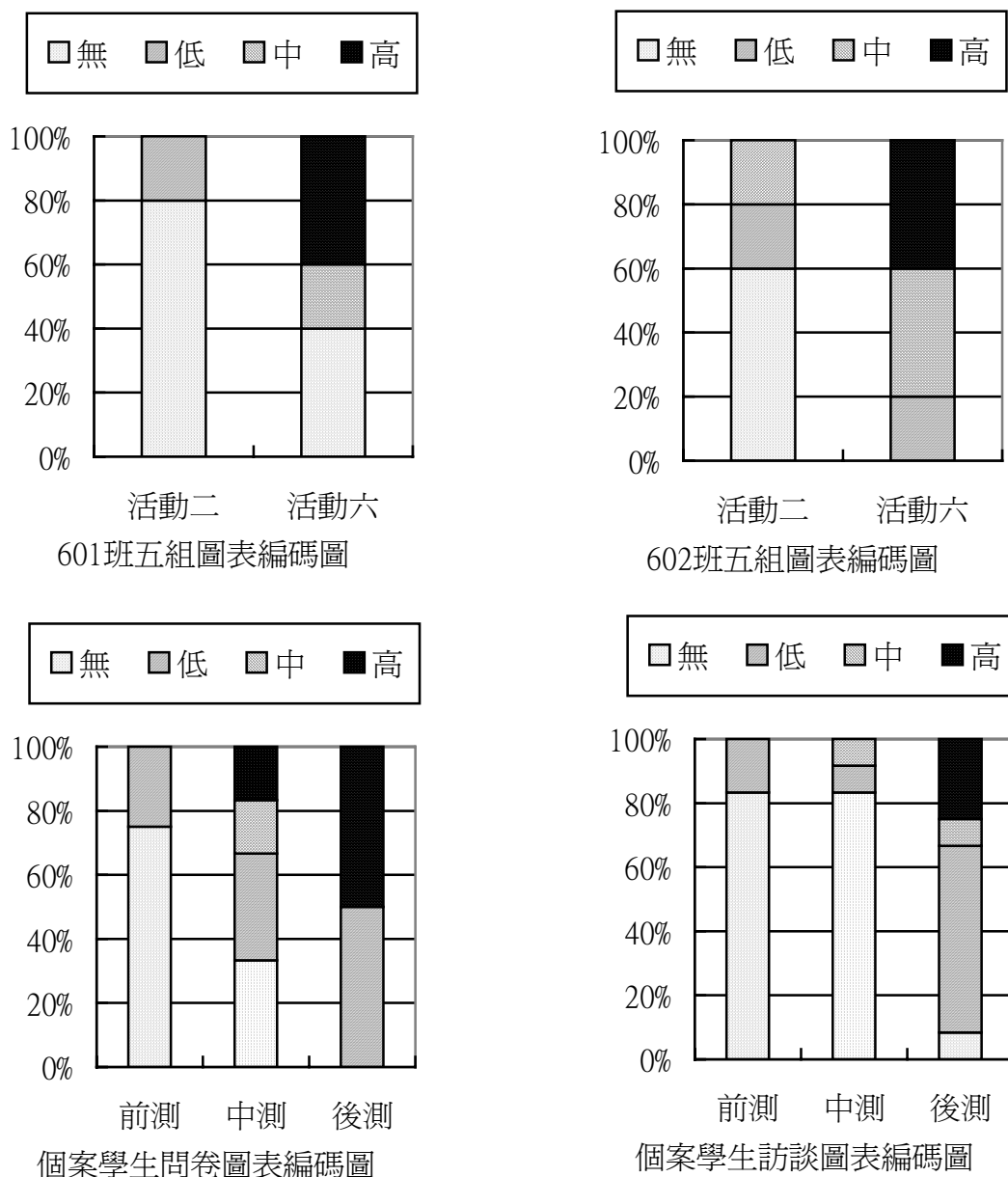
學生在運用圖表解釋時，亦呈現不同的能力表現。部分學生在解釋時，沒有運用圖和表的內容，也就是學生並未主動對自己組所畫的圖表內容做解釋（無）。而一些學生只有主動對圖的趨勢做推理或說明，並未引用表中數據做

解釋（低能力）。或是學生只有主動提出表中數據解釋，未運用圖做解釋（中能力）。高能力學生能主動同時運用圖與表的內容做解釋。

將學生表現編碼後發現，學生在圖表協助解釋的能力成長進展順利（見圖五），大多數的組在活動六時，可見中高能力的表現。因活動一中，學生未繪製圖表，所以僅包含活動二和

六之資料分析結果。在訪談的部分，學生前測到中測時，運用圖表協助解釋的應用較慢，在後測時則呈現較快的趨勢，但整體仍較教室錄影與問卷成長慢。另外，從訪談的資料中發現

一班學生在這部分的應用情形反而較二班好。而各學生也都能有不等的成長，無人倒退的情形。



圖五 學生運用圖表協助解釋能力變化圖

(三) 語文傳達科學解釋

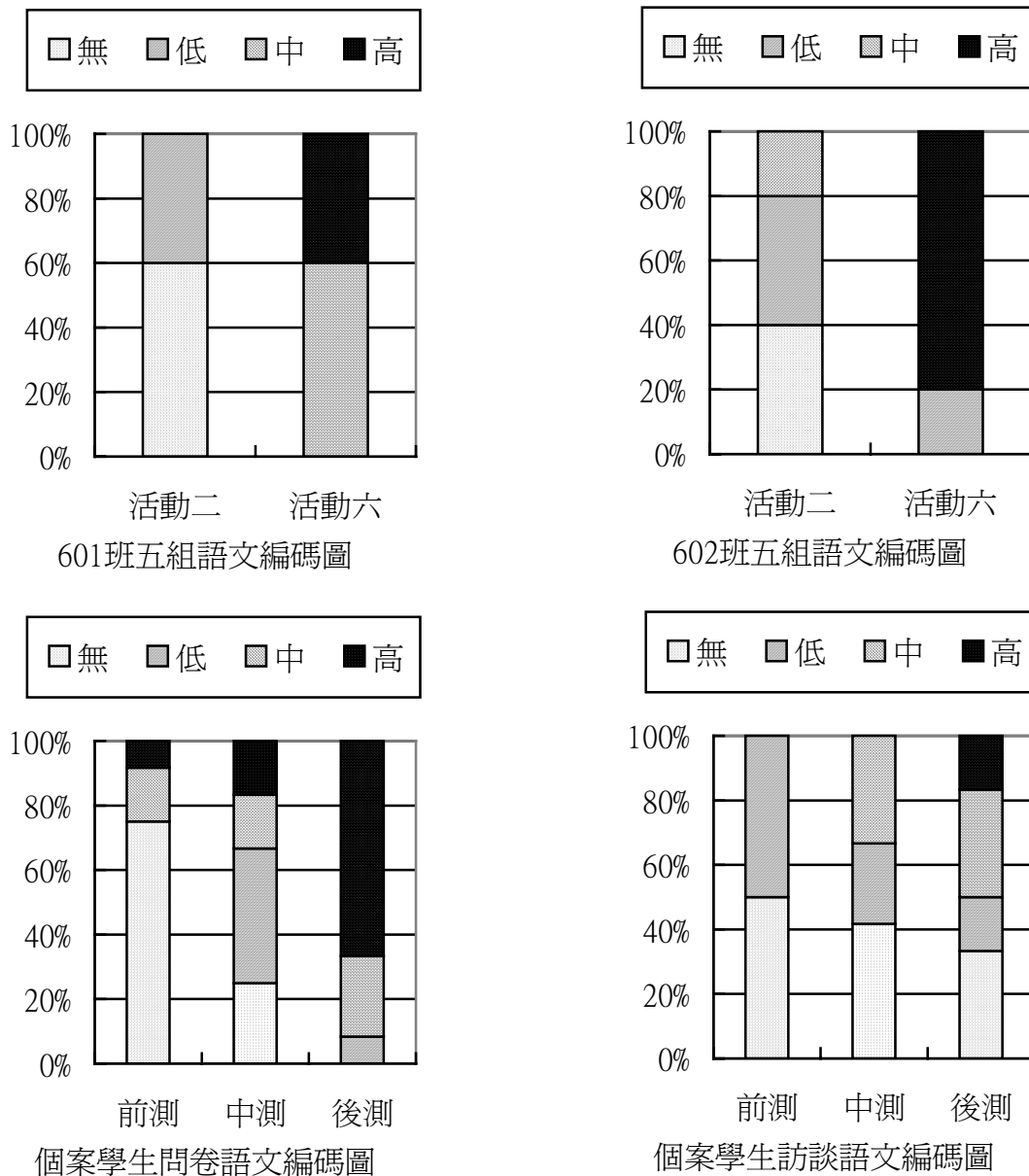
由於科學語言是探究活動中很重要的一

環，因此學生的語文傳達能力亦為科學解釋的相關能力之一。學生能力高低的分類如下：學生寫的內容不足或不通順；或在探究錄影中說

的不清楚、無法繼續、說錯，而常被教師介入或診斷（無）。學生寫的或說的不完整，但是有提到的部分都還算順暢（低）。學生說的或寫的較完整，但是受到語文傳達影響，內容、過程不流暢（中）。學生能用寫的或說的作完整且流暢的解釋傳達（高）。

圖六可以清楚的看到兩班學生的語言傳達在活動二與活動六中，二班均明顯比一班好。

至於成長速度二班也是比一班快，因為在活動六中，一班學生大多在編碼中的程度，而二班學生則多在編碼高的程度。所以，一班學生語言傳達略遜於二班，至於其原因可能與班級風氣活潑與否有關，例如二班學生能夠比較自在地在全班同學面前發表實驗結果，使學生在臺上的語言傳達受到不同程度之影響。



圖六 學生語文傳達科學解釋能力變化圖

問卷的資料分析發現，在前測時，學生集中在編碼「無」，中測時學生集中在編碼「低」，後測時，學生集中在編碼「高」。其成長速度只略遜於解釋提出主張的部分。而從上面訪談的結果知道，訪談的學生成長依然較教室錄影與問卷來相對的低。學生在語文傳達解釋的成長快速，僅次於解釋提出主張的部分。將這訪談的分析圖與前面運用圖表協助解釋的圖比較，可以知道整體而言，語言傳達雖然比較少人達到高能力，但編碼「中」的比例遠勝於圖表協助解釋的部分，也就是科學解釋語文傳達的應用平均較運用圖表部分高。整體而言，可以發現學生的科學解釋相關能力的應用大致是成長的，少部分持平，沒有倒退的情形。

（四）評鑑解釋能力

將各組被評的分數（自評與互評）與研究者分數做評分者信度，經評分者信度公式計算後，將結果整理於表九。其中評分者信度並不能直接認定某個數值以上，就表示學生評鑑與研究者間信度高（如：0.8 以上表示一定信度高），因為裡面的數值會被研究者當初設定的分

數範圍影響大小，所以只能從數字中的相對性尋找學生的評鑑成長情形。另外，值得提醒的是，表九中數據的差，只能表示學生的評鑑解釋在各項成長差異，並不表示學生原本科學解釋能力的成長，如：學生評鑑過程的評分者信度較高，並不表示學生在解釋中的使用證據的能力高。

表九顯示學生在評鑑使用證據與表達能力兩個項目與研究者間的信度較高，可見學生在這兩方面的評鑑能力較強。而學生評鑑科學解釋倒退較多的是主張與圖表部分。其中主張的成長較少，是受到活動二學生的評鑑主張就與研究者的評鑑較接近（表示學生在這部分的評鑑較容易），造成學生在活動六中主張評鑑相對成長較低的原因。

將整個活動六與活動二中的信度比對後，發現有十一個倒退的情形，以主張和圖表的評鑑較多。相較於之前學生科學解釋相關能力的結果，倒退組數是最多的，表示學生的評鑑解釋能力較難成長，與之前量化的結果接近。

表九 學生評鑑解釋結果

能力	班級	601 班					602 班					平均
	被評組	一	二	三	四	五	一	二	三	四	五	
主張	活動二	0.95	0.8	0.85	0.8	0.65	0.85	0.95	0.8	0.85	0.95	0.78
	活動六	0.9	0.45	0.9	0.85	0.95	0.9	0.9	1	0.55	0.9	0.83
圖表	活動二	0.9	0.5	0.3	0.85	0.45	0.65	0.85	0.15	0.75	0.35	0.58
	活動六	0.7	0.8	0.3	0.95	0.7	0.65	0.95	0.5	0.65	0.95	0.72
證據	活動二	0.85	0.6	1	0.6	0.65	0.3	0.15	0.15	0.65	0.75	0.57
	活動六	0.8	0.85	0.9	0.8	0.75	0.85	0.85	0.9	0.9	0.9	0.85
表達	活動二	0.85	0.7	0.3	0.45	0.6	0.9	0.15	0.45	0.8	0.65	0.59
	活動六	0.9	0.9	0.8	0.65	0.75	0.85	0.75	0.6	0.95	0.85	0.8

從學生的評鑑知道學生的評鑑解釋能力還是不足的，也就是學生的評鑑解釋較難成長。

而依 Bloom 的認知領域，認為評鑑是心智中較高階的能力，學生無法在這樣的心智年齡與時

間經驗中成長快速，這或許也是學生無法讓學生評鑑解釋成長較快的原因。

（五）小結

學生在科學解釋相關能力部分，從教室錄影、問卷、及訪談結果可知，學生的能力成長最快的是在解釋提出主張部分；第二是語言傳達部分；第三的是運用圖表的部分；成長最緩的是評鑑解釋的部分。

二班學生在訪談的平均成長高於一班學生，學生可能受到訪談時需要語言與其他多方面的表達較多，而有與問卷部分不同的結果。一班學生在問卷各方面的成長，除運用圖表能力之外，其他方面成長情形比二班多。二班的科學解釋「說」的部分顯然較一班來的好，這和前面的發現相符合。

伍、結論與建議

一、結論

本研究對象是國小六年級學生，經研究者改編課本活動，使之較具探究性，來探討學生的科學解釋能力的成長。研究結果顯示，一系列的探究活動確實有助於學生在解釋能力方面的成長，而且經由不同能力的分析，本研究可進一步指出學生在形成科學解釋過程中，最容易遭遇困難的部分，可供日後研究及探究教學上的參考。針對各項解釋能力，總結以下結論：

- （一）指出因果關係：是學生科學解釋中屬於較容易成長的部分，所以學生的成長迅速。從質性或量化資料中，可以發現指出因果關係與解釋提出主張的成長速度與趨勢很相近，彼此關係密切。可見透過適當的學習活動，對六年級學生而言，指出兩變數間的因果關係並無太大困難。
- （二）運用推理能力：是學生科學解釋中成長次快的部分，與學生的成長趨勢先慢後快，與探究活動中是否有資料分析與討論有關，因為推論總是要在解釋之前（Lipton, 1991），所以學生若能在解釋

前先推論，在解釋時自然能有較好的表現，這在本研究結果也有相同的發現。

- （三）使用證據：是學生科學解釋中，較難成長的部分，與 Sandoval 和 Reiser(2004)認為學生使用證據解釋的能力是較差的，其結果一致。探究其原因，發現與學生對探究中資料蒐集的不信任或不確定性影響。因為學生在活動中，難免會有誤差，即使重新做過，所得的資料數據難免有差異，因為實驗和理論會有差異（Solomon, 1995），造成學生的不確定性；或從他處尋找資料，如網路資料搜尋，學生可能無法確定資料的正確性，所以不敢使用資料佐證自己的主張。但若是經專家（教師）的認可，學生則較能有信心提出證據，這也就是為何教室錄影時，學生使用證據的結果較問卷或訪談好的主要原因。所以，學生若能在幾次教師指引後，逐漸轉向同儕討論並判斷證據的真實性，將有助於學生使用證據。
- （四）解釋提出主張：學生在這部分的成長較快，且與指出因果關係密切，與探究的

提出假設不同，成長也差異大。因為學生在解釋中提出的主張，雖然是基於學生當初在探究中的假設，但經活動後，學生解釋時才提出主張，所以假設與主張差異在此，因而成長也差異大，從本研究前後測量化數據可知。

- (五) 運用圖表協助解釋：學生在這部分的能力成長不快，是受到使用證據和探究中圖表的設計與轉換影響。其中數據的證據多在圖表中，學生在使用證據的同時，也會運用到圖表，而從前面已知學生使用證據成長較低，與學生運用圖表能力相似，而這部分在量化的結果已知。至於是使用證據影響學生運用圖表，或是運用圖表影響學生使用證據，尚待進一步研究。另外，在探究中，學生設計科學調查活動時，其設計圖表能力差，是經由教師以建立模式的方式逐漸教導學生才會使用圖表。所以，當學生剛開始自己製圖表時，會需要教師較多的參與、協助，而學生漸漸熟悉之後，教師的引導將逐漸減少，使學生能逐漸靠自己來產生解釋 (Gobert, 2000)；此外，學生的圖表轉換能力亦須教師較多以建立模式的方式來教導，因為課本或一般非探究教學中，不會請學生練習製作圖表。綜合上述文獻與結果，可知學生在運用圖表的成長較緩的原因。

- (六) 語文傳達科學解釋能力：學生在這部分的成長是屬於較快的部分，受到多次活動的影響，學生在解釋時，能逐漸說的清楚與完整，連帶影響學生寫的部分(問卷)。從兩班比較發現，較活潑的班級，學生較能靈活說出要解釋的內容，而不是將內容重複的說出，也才能符合好的解釋標準 (King, 1994)。另外，較不活

潑的班級學生，在語言表達較不靈活，但在「寫」的傳達方式可能會較好，如：一班在問卷的表現平均較二班好，這也是本研究學生科學解釋相關的成果。

- (七) 評鑑解釋能力：學生的科學解釋中，評鑑解釋能力是最差的，幾乎與探究中形成假設的難度相近。可能受到評鑑是認知中較高階能力的影響 (Bloom, 1956)，或教師引導不足造成學生的評鑑結果不甚理想。至於文獻中，Sandoval 和 Reiser (2004) 研究的學生為何能提出若干自評與互評的標準，不得不注意該研究的研究對象是高中學生，而且是兩年的研究。所以科學解釋的學生評鑑解釋，是需要學生本身有相當的心智成熟與經驗，才能有好的學生評鑑解釋。

二、討論

(一) 科學解釋能力是否可以在國小六年級階段訓練

Bass 和 Maddux (1982) 建議將科學解釋的教學提早，使學生在具體操作期時，能按照教師的教學，先一步一步的跟著簡易的原理做邏輯解釋。本研究對象是國小六年級的學生，已經從具體運思期，準備要進入形式操作期，但學生未曾有過科學解釋能力之訓練，所以教師在教學初期，須對學生若干能力形成時，建立較多模式或以診斷者的角色來教學，然後逐漸轉為引導學生的教學。從研究結果得知學生在各能力均能有所成長，所以可以讓小學六年級學生接受科學解釋之相關訓練，甚至並非一定要等學生進入形式運思期再教學。因為科學解釋能力亦是我國自然科學教學的重要指標之一，故建議教師在教學時，應更加重視科學解釋科學過程技能的提升。使學生能提早體認科

學的本質，提升學生科學素養，不致流於知識的盲從。

（二）本研究的科學解釋能力與文獻中的科學解釋

國內有關科學解釋各方文獻大多著重於探討學生所解釋的概念，如：張綺砮（2002）碩士論文中的科學解釋，主要分析學童概念的科學解釋與其類型，與本研究希望培養學生科學解釋能力的方向較不相同。近幾年來，國外有關科學解釋的本質逐漸受到重視，如：Sandoval 和 Reiser（2004）設計以科學解釋為導向的探究，學生透過電腦程式 Explanation Constructor 提供的概念與技能的鷹架，使學生學習生物相關概念的同時，也能利用證據連結到因果關係或主張，並在這樣的過程中推理。所以，從這樣的學習過程中，學生不但能提升生物方面的概念，也能進一步瞭解科學知識產生的本質。另外，Explanation Constructor 也提供了學生評鑑解釋的部分，使學生能較清楚自己需要加强的地方。所以 Sandoval 和 Reiser 的研究也大致等量的探討學生生物相關的概念、科學解釋能力與學生評鑑解釋的部分。而本研究則較著重於學生科學解釋能力的探討，包含能力應用的部分，也包含一部分的學生評鑑解釋，惟概念部分非本研究討論內容。

將本研究中的科學解釋能力與 SAPA 的十三項過程技能之一的解釋資料過程技能比對，知道解釋資料狹義的是指：「能夠對採特殊方式和技術傳達的資料，做口語化說明的能力。學生必須要再思考期合理性，才能對其推理、預測或假設有在確認的正當理由，所以也能對非預期的實驗結果做合理解釋（引自王美芬、熊召弟，1995）」。因此，解釋資料本身就是統整的科學過程技能，有需要學生推理、運用資料、口語化的說明等，與本研究的科學解釋能力略

有不同。因為本研究的學生科學解釋能力，是針對本研究中的探究情境來設計，也因而使各能力彼此相關，組合而成為一體，所以有若干的能力項目，就與解釋資料不同，如：活動設計說明、評鑑解釋。

（三）學生科學解釋的困難

將本研究的學生科學解釋困難與文獻中的科學解釋困難比對後發現：學生科學術語的運用並未獲得全面提升。學生在科學解釋時，並未時常提到科學較常用的術語，如：控制變因、操縱變因等。學生大多以描述取代科學術語的使用，與李暉、郭重吉（1998）在學生科學對話的發現相近似。而學生未能學習使用科學的術語，較容易造成彼此間的誤會與困擾。以本研究而言，可能是本研究中所涉及的科學概念較不深入，學生還可以用描述來取代科學術語，加上教師並未強調科學術語的使用，所以學生大多未習慣使用較多科學術語使然。

學生科學解釋時，使用證據仍是困難的，與 Sandoval 和 Reiser（2004）的結果相近。再者，學生科學解釋時，對於過程或機制的描述較不清楚（Sandoval & Reiser, 2004）。姜滿（1993）提出的兒童科學解釋十二項特徵，其中屬於在本研究中，學生科學解釋較常犯的錯誤，如：前後矛盾、不連貫；同時有兩種解釋；主題混合資訊；使用了非邏輯的推理；結果與原因混淆等，除了本研究初期，學生在活動一到活動二時曾有發生過前後矛盾的情形之外，學生在活動後期就比較少出現類似的錯誤，可見透過適當的學習活動，學生能修正錯誤。

探究中有關學生科學解釋的困難，與文獻相較發現：學生在探究中要能提出假設較為困難。活動設計與確認變因在探究中也是成長較少的部分，與王以德（1992）的結果相近。至於 Bowen 和 Roth（2002）認為教師在活動中

需要指導學生圖表的轉換，本研究在設計時已經有注意到這個問題，使學生在這部分能成長。

三、建議

（一）教學部分

應儘早提升並重視學生科學解釋能力：建議教師從教科書中的諸多活動來改編，使活動更具探究特性，也不必大費周章的尋找新的活動來訓練學生的能力。讓學生的科學過程技能得以提升，同時也提升了學生的科學解釋能力，使學生的學習自然科學不只是知識而已，而是較具應用特性的科學過程技能，才能使學生適應未來的時代。

小組討論有助於學生科學解釋成長：學生在解釋前若先將數據或資料經與教師或同儕討論後，將不斷澄清自我的想法，透過他人的回應，更可將原本模糊的用語轉成較為精確的甚至科學的術語，讓聽眾聽的較清楚明白。另外，當他人提出與自己不同的見解時，可供學生批判思考；當他人意見學生未曾思考過時，亦可提供學生模仿。

學生應練習自己畫圖表的過程：一般的科學學習較常忽略學生學習繪製圖表的過程，只強調如何將數據轉成圖。其實學生在練習繪製圖表的過程中，更能體會科學如何傳達，與數學如何應用在科學。

（二）研究部分

因為本研究變數間關係複雜，建議做這方面類似研究，應先多尋找相關文獻或試測，考量探究是否一定能讓某些科學解釋能力提升。本研究提供了學生在這樣的探究情境中科學解釋的各項成長情形，未來的研究則未必一定要從探究的觀點，來提升學生的科學解釋能力，或者未來研究者可以訂定新的科學解釋定義，

以不同方式與角度來研究學生的科學解釋部分。

要有好的科學解釋總是要考量的較多（Cobern & Loving, 2000），要能使科學解釋面面俱到，本身就有對各方面都要能完全吻合的困難存在，所以要有好的科學解釋是不容易產生的。本研究屬於國小階段的學生科學解釋，屬於較初級的學生科學解釋，與成人甚至科學家的科學解釋尚有很長遠的距離。因此，要讓學生有完整或更科學的解釋，未來研究者應對學生心智年齡與學習經驗掌握更確實，才能有效幫助學生提升科學解釋能力。

參考文獻

- 王以德（1992）。我國國中學生邏輯思考與科學過程技能的研究。國立彰化師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，彰化。
- 王美芬、熊召弟（1995）。國民小學自然科教材教法。台北：心理出版。
- 毛松霖（1990，12月）。解釋資料與形成假設及認知發展層次間相互關係測試工具之發展研究。載於國立高雄師範大學舉辦之「第五屆科學教育學術研討會」論文彙刊（pp.391-420），高雄。
- 毛松霖（1997，12月）。國中學生地球科學觀測資料之解釋能力與概念形成之教學策略研究。論文發表於行政院國家科學委員會舉辦之「國科會八十六年度科學教育研究專題研究計畫成果討論」會，台北。
- 李暉、郭重吉（1998）。科學對話與學習-國中理化教室中的個案研究。論文發表於國立高雄師範大學舉辦之「中華民國第十四屆科學教育」學術研討會，高雄。
- 段德智、尹大貽、金常政（譯）（1999）。Peter A. Angeles 著。哲學辭典。台北：貓頭鷹。
- 林俊華（1986）。國中生科學過程技能學習成就之調查研究。國立台灣師範大學物理研究所碩士論文，未出版，台北。
- 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。
- 郭生玉（2001）。心理與教育測驗。台北：精華。
- 張綺珩（2002）。兒童的科學解釋與科學解釋類型之研究。國立高雄師範大學科學教育研究所碩士論文，未出版，高雄。
- 黃達三（1998）。國小教師於科學教育的口語解釋研究。科學教育學刊，6（3），285-302。
- 楊榮祥（1978）。運用教學目標系統分類與改進教學。科學教育月刊，3，pp.7-14。
- 楊榮祥（1988）。自然科學教學法專輯。台北：國立台灣師範大學科學教育中心。
- 歐用生（1989a）。教學方法的新趨勢（上）。教與愛，24，7-9。
- 歐用生（1989b）。教學方法的新趨勢（中）。教與愛，25，15-16。
- 歐用生（1989c）。教學方法的新趨勢（下）。教與愛，26。
- Basaga, H., Geban, O., & Tekkaya, C. (1994). The effect of the inquiry teaching method on biochemistry and science process skill achievements. *Biochemical Education*, 22(1), 29-31.
- Bass, J. E., & Maddux, C. D. (1982). Scientific explanations and Piagetian operational levels. *Journal of Research in Science Teaching*, 19(7), 533-541.
- Bloom, B. S., Englehart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., & Krathwohl, D. R. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook 1: Cognitive domain*. New York: Mckay.
- Bowen, G. M., & Roth, W. -M. (2002). Why students may not learn to interpret scientific inscription. *Research in Science Education*, 32, 303-327.
- Carey, S., & Smith, C. (1993). On understanding the nature of science knowledge. *Educational Psychologist*, 28(3), 235-251.
- Chen, F. C., Jiang, H. M., Lin, H. L., & Wang, H. R. (2001, November). A modified framework of LAIN for PBL high school learners: A portfolio-directed web environment for science contests. Paper presented at International Conference on Computers in Education/ International Conference on Computer-Assisted Instruction, Seoul, Korea.
- Coburn, W. W., & Loving, C. C. (2000). *Defining "Science" in a multicultural world: Implications for science education*. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, San Diego, CA.
- Driver, R., Guesue, E., & Tiberghien, A. (1985). Some

- features of children's ideas and their implications for teaching. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.), *Children's Ideas in Science* (pp. 193-201). Milton Keynes, Cambridge, UK: Open University Press.
- Driver, R., Leach, J. Millar, R. & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Milton Keynes, Cambridge, UK: Open University Press.
- Erickson, F. (1986). Qualitative methods in research on teaching. In M. C. Wittroc (Ed.), *Handbook of research on teaching* (3rd ed., pp. 119-161). New York: Macmillan Press.
- Forman, E. A., & Larreamendy-Joerns, J. (1995). Learning in the context of peer collaboration: A pluralistic perspective on goals and expertise. *Cognition and Instruction*, 13(4), 549-564.
- Gabel, D. L., Rubba, P. A., & Franz, J. R. (1977). The effect of early teaching and training experiences on physics achievement, attitudes toward science and science teaching, and process skill proficiency. *Science Education*, 61, 503-511.
- Gobert, J. (2000). A typology of casual models for plate tectonics: Inferential power and barriers to understanding. *International Journal of Science Education*, 22(9), 937-977.
- Hempel, C. (1966). *Philosophy of natural science*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Keating, J., Greenberg, R. D., Baldwin, M., & Thousand, J. (1998). A collaborative action research model for teacher preparation programs. *Journal of Teacher Education*, 49(5), 381-390.
- Kempa, R. F. & Ward, J. E. (1975). The effect of different modes of task orientation on observational attainment in practical Chemistry. *Journal of Research in Science Education*, 1, 68-76.
- King, A. (1994). Guiding knowledge construction in the classroom: Effects of teaching children how to question and how to explain. *American Educational Research Journal*, 31(2), 338-368.
- Krajcik, J. S., Czerniak, C. M. & Berger, C. F. (1998). *Teaching Science in Elementary and Middle School Classrooms*. New York: McGraw-Hill.
- 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. *The Journal of the Learning Sciences*, 7(3 & 4), 313-350.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.
- Linn, M. C., & Songer, N. B. (1993). How do students make sense of science?. *Merrill-Palmer Quarterly*, 39(1), 47-73.
- Lipton, P. (1993). *Inference to the best explanation*. New York: Routledge press.
- Lisa M. -H. (2002). Defining Inquiry. *The Science Teacher*, Feb., 34-37.
- Lumpe, A. T., & Staver, J. R. (1995). Peer collaboration and concept development: Learning about photosynthesis. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(1), 71-98.
- Mattheis, F. E., & Nakayama, G. (1988). *Effects of a laboratory-centered inquiry program on laboratory skills, science process skills, and understanding in middle grades students*. (Eric Document Reproduction Service No. ED307148)
- National Research Council (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Ohlsson, S. (1992). The Cognitive skill theory of articulation: A neglected aspect of science education. *Science Education*, 1, 111-192.
- Pallrand, G. J. (1996). The relationship of assessment to knowledge development of science education. *Phi Delta Kappan*, 78(4), 315-318.
- Qualitative Solutions & Research Pty Lfd. (1997). *Non-numerical Unstructured Data Indexing Searching and Theorizing (NUD*IST)* (Version 4.0) [computer software]. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Sandoval, W. A. (2003). Conceptual and epistemic aspects of students' scientific explanations. *Journal of the Learning Sciences*, 12(1), 5-51.

- Sandoval, W. A., & Reiser, B. J. (2004). Explanation-driven inquiry: Integrating conceptual and epistemic scaffolds for scientific inquiry. *Science Education*, 88, 345-372.
- Solomon, J. (1986). Children's explanations. *Oxford Review of Education*, 12(1), 41-51.
- Solomon, J. (1995). Higher level understanding of the nature of science. *The Nature of Science*. 76(276), 15-22.
- Suchman, J. R. (1968). Learning through inquiry. In R. F. Allen, J. V. Fleckenstein, & P. M. Lyon (Eds), *Inquiry in the social studies* (pp. ??-??). Washington, DC.: NCSS.
- Tobin, K. G., & Capie, W.(1982). Relationships between formal reasoning ability, locus of control, academic engagement and integrated process skill achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 19, 113-121.
- Wavering, M. J. (1989). Logical reasoning necessary to make line graphs. *Journal of Research in Science Teaching*. 26(5), 373-379.

作者簡介

謝州恩，台北縣永平國小，教師

Chou-En Hsieh is a teacher at Yeong-pyng Elementary School, Taipei County, Taiwan. E-mail: joen1201@ms87.url.com.tw

吳心楷，國立臺灣師範大學科學教育研究所，助理教授

Hsin-Kai Wu is an assistant professor of Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University, Taipei city, Taiwan.

收稿日期：93.09.06

修正日期：93.12.08

94.04.18

接受日期：94.04.21

Developing the Skills Sixth Graders Need for Constructing Scientific Explanations in Inquiry-based Learning Environments

Chou-En Hsieh

Hsin-Jai Wu

Yeongpyng Elementary School, Taipei County Graduate Institute of Science Education, NTNU

Abstract

Most elementary school students have difficulty in constructing scientific explanations. To develop students' explanation skills, we designed a series of inquiry-based learning activities and provided substantial scaffolding to engage students in scientific inquiry. The purpose of this study was to understand how sixth graders develop the skills necessary for constructing scientific explanations in such inquiry-based learning environments. Eight skills relevant to students' construction of scientific explanations were identified based on a review of the done research on scientific explanations. These include three core skills—"identifying causal relationships," "describing a reasoning process," and "using data as evidence"—and four related skills: "making a claim," "using graphs to support explanations," "using language to support explanations," and "evaluating the quality of an explanation." Multiple sources of quantitative and qualitative data (e.g., video recordings of learning activities, interviews, questionnaires, and pre/post tests) were collected from two science classes with a total of 58 sixth graders. The statistical results show that overall the students' ability to construct scientific explanations was significantly improved after they did the series of inquiry-based learning activities. Among the three core skills, skill in "identifying a causal relationship" could be most easily developed while skill in "using data as evidence" was the least improved. Growth patterns in the related skills were also varied. Based on the findings, this study provides suggestions for developing students' scientific explanation capacity. Directions for future research are also discussed.

Keywords: Inquiry, Scientific Explanation