

科學探究活動中的科學推理

吳百興* 張耀云 吳心楷

國立臺灣師範大學科學教育研究所

*695450153@ntnu.edu.tw

(投稿日期：2009.11.19；修正日期：2010.1.6；接受日期：2010.1.26)

摘要

本文旨在回顧探究活動與科學推理相關文章，分析科學推理在探究活動過程中所扮演的角色，期能重新檢視探究活動過程裡學習者學習科學的情形。透過文獻的回顧，統整學習者在探究過程的各個階段中常見的挑戰與困難，例如：學習者無法提出探究問題、沒有適當地控制變因、無法由數據中推論出變因間的關係、無法由證據發展合乎邏輯的論證等，以致影響探究過程中對科學概念理解的建構，並嘗試針對這些困難整理出科學推理過程中常用的策略，包括：提出以理論導向的假說、控制變因的策略、證據導向的評估策略與整合證據與理論四個策略，以作為師生在科學探究活動中教學與學習的參考。

關鍵字：科學探究、科學推理

壹、前言

科學家在進行科學研究時，往往會使用不同的科學探究方法探索自然界的事物現象，並根據探究所得的各式證據提出解釋。課室裡的探究活動受限於學習者的認知發展，其任務的難易度無法全然與科學家真正在進行的科學探究活動相比，但學習者仍可使用與科學家工作相似的探究活動 (National Research Council [NRC], 2000)。透過發現問題、提出假說與設計實驗等一連串探究的歷程，藉由類似科學家的思考過程學習科學知識，對生活周遭的事物現象進行探索，據此培養對科學概念的理解。故此，近來各國學者多提倡以證據導向的探究課程做為教育改革的重要依據，因為以學習者為中心進行問題導向之探究活動，不僅可以讓學習者透過科學探究的經驗，培養科學過程相關的能力；亦可讓學習者在真實的科學活動中，模擬科學家建構與理解科學知識的歷程 (劉宏文、張惠博, 2001; Zimmerman, 2007)。

雖然，科學探究活動對科學學習多有助益，但已有許多研究指出學習者在探究活動中，會遭遇一些困難。例如：學習者無法清楚表達想法與提問 (Krajcik et al., 1998)、無法由數據找出變因間的關係，進而影響數據分析的結果 (Jeong, Songer, & Lee, 2007)，或是無法將實驗所獲得的科學概念應用於日常生活中 (Germann & Aram, 1998)。在探究活動中，學習者雖然可以透過資料搜集步驟找到許多證據，但多數學習者無法評斷這些證據中何者與現象有關；也無法由證據進行有效的推論，以形成具體解釋去回答探究問題 (Germann & Aram, 1998; Germann, Aram, & Burke, 1998; Kuhn, 1989)。針對學生在科學過程中所遇到的挑戰，科學推理的文獻已有些著墨 (Duschl, Schweingruber, & Shouse, 2007)，例如：Klahr 與 Dunbar (1988) 描述學習者產生證據過程中可能的障礙，Schauble (1990) 歸納學習者在進行科學實驗中所使用的無效策略。因此科學推理文獻的爬梳，可能有助於思考如何協助學習者有效進行探究學習，但在國內外研究中，都少見對科學探究和推理文獻的重要結果進行有系統的比較與分析。

有鑑於此，本文將整理科學推理的文獻，思考科學推理在探究活動中所扮演的角色，並重新檢視探究活動過程裡學習者學習科學的情形，期能從科學推理與探究的文獻整理中，提出探究困難的解決之道，以作為科學教學的參考。

貳、理論背景及文獻探討

長久以來，許多科學教育學者已針對探究活動或科學推理進行研究，也提出不少的主張及發現。為說明探究活動與科學推理的特色，以下將針對兩者的定義及內涵進行深入探討。

一、科學探究活動

美國《國家科學教育標準》(National Science Education Standards [NSES]) 認為「科學探究」指的是科學家們探索自然世界，並基於自身研究所得證據形成解釋的活動；另一方面，學習者也可以透過如同科學家了解自然世界的過程，發展對科學概念的理解 (NRC, 2000)。所以美國《國家科學教育標準》指出，學習者使用探究來學習科學，即代表學習者投入與科學家所為相似的活動與思考過程。《國家科學教育標準》將探究定義為「一個多面向的活動，涉及進行觀察；提出問題；檢視書本及其他來源以確認已知的資訊；計畫科學調查 (investigations)；藉由實驗證據 (experimental evidence) 來驗證已知的資訊；使用工具以整合、分析並解釋數據；提出答案、解釋及做出預測，並與他人溝通實驗結果」(NRC, 1996, p. 23)。根據此定義，有些學者進一步提出探究模式與階段，例如：White 與 Frederiksen (1998) 的探究環，以及 Krajcik 等人 (1998) 所強調的科學調查網絡，表 1 即為此兩者與《探究與國家科學標準》之比較。

表 1 不同模式探究活動的比較

探究模式	階 段	特 色
探究環 (inquiry cycle)	提出問題、做出預測、進行實驗、建立模式與應用	White 與 Frederiksen (1998) 認為五個事件構成一個循環，學習者在進入下一個循環前，應該進行反思，檢視此一循環所得的知識以及進行的過程是否有所不足。
科學調查網絡 (investigation web)	提出問題、設計調查活動並計畫步驟、架構實驗裝置並執行調查活動、分析數據及形成結論、合作學習與呈現發現成果	Krajcik 等人 (1998) 認為探究的歷程並不是單向的線性關係，而是構成複雜的雙向網絡關係。學習者在進行探究活動時，會反覆地來回修正各個階段，直到問題解決或找到最佳的答案為止。
《探究與國家科學標準》之探究階段	提出問題、進行實驗以獲得證據、形成解釋、評估解釋、傳遞解釋	NRC (2000) 強調在學習情境下對提出問題、獲得證據與形成解釋等探究能力的培養。

雖然表 1 呈現的三種探究模式，內容不盡相同，但其中仍有許多重疊、相似之處，綜合這些探究模式疊合程度較高的部分，可將探究活動整理出主要四個階段：提出問題，設計與執行調查活動或實驗，分析、整理數據，以及形成解釋、回答問題。惟此處雖稱為階段，但如 Krajcik 等人 (1998) 所主張的，各階段之間並無明顯的階層或線性順序的關係，為複雜的雙向網絡關係，而非單一線性關係。

(一) 提出問題

此一階段指學習者嘗試提出或形成可被回答的、科學取向的問題 (scientifically oriented questions)。科學取向問題是以自然世界的物體、生物和現象為中心的問題，大致包括兩類，一是存在性的問題 (existence question)，

多在探討事物的起源 (origin) ，主要是「為什麼」的問題，例如：「為什麼蘋果朝地面掉落？」「為什麼彩虹有七個顏色？」；另一類是因果及功能性的問題 (causal/ functional question) ，多在探討事物的機制，主要是「如何」的問題，例如：「陽光如何幫助植物生長？」「鐘乳石是如何形成的？」(NRC, 2000) 。此外，也有研究者依據提出問題種類的不同，將問題分為描述型問題 (descriptive question) 、關係型問題 (relational question) 、因果問題 (cause and effect question) 三類 (Krajcik, Czerniak, & Berger, 2003) 。描述型問題主要是描述事物的現象或過程，例如：「水從植物根部運送到葉片的路徑是什麼？」、「什麼樣的垃圾分解得最快？」；關係型問題是在探討兩個或多個變因間的關係，例如：「酸雨如何影響建材？」；而因果問題的目的則是在探討造成某一結果的原因為何，例如：「讓植物體內的水分由根部上升至葉片的原因是什麼？」。

學習者欲探究的科學取向問題可以是學習者自行提出的，也可以來自師長、教材或其他來源。在教室探究活動中，這些問題應涉及重要的科學概念，與學習者日常生活息息相關，並可以刺激學習者學習和探究的意願，繼而可以產生更多的新問題。此階段與美國生物科學課程研究機構 (Biological Science Curriculum Study [BSCS]) 所提出之五 E 教學環中投入階段 (engagement) 相近，都強調與學習者先前經驗產生聯結，能激起好奇心與探究的動機。同時，這些問題也要符合學習者的能力發展與可運用的資源，換句話說，必須是學習者能夠應用資源來回答的問題。

當學習者透過初步的觀察或思考後，對於想了解的事件或現象提出相關問題，經過初步問題的澄清，來聚焦或更進一步精緻化問題。同時，Krajcik 等人 (2003) 指出在此階段中，學習者可針對問題做出預測或形成假說，假說為可供檢驗的陳述，說明自變項如何或是否影響依變項。因此學習者可依其先前經驗與知識來預測變項之間的關係，並根據可能影響的變因提出可檢驗的假說，以進行後續的探究活動。而教師在此階段扮演著引導者的角色，協助學習者選擇、修正以及形成問題，必要時亦可由教師提供最初的探究問題，藉以喚起先前知識與經驗，並融入必要的概念知識內容，以進行下一階段的科學調查活動 (顏弘志，2004；Bybee et al., 2006) 。

(二) 設計與執行調查活動或實驗

學習者依據所提出的探究問題，並基於自己的先備知識 (Bybee et al., 2006) ，或藉由師長的引導來設計調查活動以回答探究問題 (Krajcik et al.,

2003)。Krajcik 等人 (1998) 認為學習者設計的調查活動或實驗必須滿足以下的要求：1.調查活動或實驗需針對欲探究的問題；2.需考慮調查活動或實驗的可行性 (feasibility) 以及過程 (procedure)，例如：實驗材料的選擇、用量或數量為何？如何運用感官或儀器進行觀察？調查時間長短、多久觀測一次等等；3.需嚴格控制變因及調查環境；4.需不時反思調查活動或實驗的進行方向是否與原計畫一致。除上述要求外，在設計調查活動或實驗時，學習者尚須注意工作的分配與工作實行的監督機制。

調查活動進行的場所可以是天然的環境 (natural setting)，如：森林和海洋；也可以是人為營造的情境 (contrived setting)，如：實驗室或數位平台上經設計過的探究情境 (NRC, 2000)。探究問題的程度可深可淺，依學習者執行探究活動的能力高低及學習目標的不同，教師可提供不同程度的幫助。在結構式探究活動 (structured inquiry) 中，調查活動的器材、研究方法乃至於工作分配均可由教師提供；而在引導式探究活動 (guided inquiry) 及開放式探究活動 (open inquiry) 中，教師可提供調查活動所需的器材，但不提供完整的研究流程，學習者必須自行發展可行的研究方法以回答探究問題。

此外，美國《國家科學教育標準》更明確指出在設計與執行調查活動時，學習者應發展必要的探究能力來確認及檢驗其問題所包含之變因關係，透過有系統的觀察、精確的測量與控制變因等方法的使用，來搜集相關的數據資料，並從中形成對於探究問題的解釋 (NRC, 1996, 2000)。

(三) 分析、整理證據

科學與其他方法不同之處，在於科學是藉由實徵證據 (empirical evidence) 來探索自然世界如何運行，科學家從觀察與測量中得到證據，而證據的正確性可藉由重複的觀察與測量，或搜集相同現象中的不同資料來驗證 (NRC, 1996)。美國《國家科學教育標準》強調「基於神話、個人信念、宗教價值、迷信或權威而產生有關自然世界如何改變的解釋，若沒有證據的支持，這些解釋均不能視為具科學性」(NRC, 1996, p. 201)，可見搜集數據與尋求證據在科學探究過程中十分重要。在此階段中，學習者應精確且適當地記錄觀察、測量的結果與現象，並用圖、表等不同表徵對這些數據資料加以分析、統整。但是此一階段並不僅止於「搜集數據」，還包括「判斷數據」，學習者必須分辨哪些數據能構成「證據」，而何者可視為證據，則與探究問題和調查活動的設計有關。

由於調查活動的目的是形成對探究問題的解釋，學習者應優先考慮可用以發展解釋之數據，並加以搜集、分析、統整，將之轉化為用以支持解釋的證據。除了透過實驗，收集第一手的數據資料之外，學習者亦可自教師、教學軟體、網路或是其他資源中獲得數據 (Edelson, 2001)。但即便是在直接取得數據的情境下，學習者仍須針對數據加以整理，判斷何者為有意義的、有助於形成解釋的數據，因此「學習者被給予數據」的情況亦可含括於產生證據的探究階段。在此階段中，教師扮演的角色包括：引導學習者辨別數據與誤差，以及指導學習者該如何搜集、分析、整理數據。

(四) 形成解釋、回答問題

此階段強調學習者使用調查活動所整理出來的證據形成解釋，以回答所提出的探究問題。雖然與前一探究階段類似，皆涉及證據的使用，但此一階段著重在「由證據形成解釋」的過程，而非對證據的判斷和分類，學習者能根據證據來形成解釋，並明白解釋與證據的不同。所謂解釋，指的是藉由連結先備知識和調查活動所得數據，找出未知事物或現象的成因或關係 (NRC, 2000)。換句話說，就是以先備知識為基礎結合數據，進而產生新的理解或概念，更重要的是能夠回答原先提出的探究問題。科學建立在推理的基礎之上，因此科學解釋須說明原因與結果，並建立證據和邏輯論證的關係，而且論證的產物要和調查活動所得的證據一致 (NRC, 2000)。

由證據形成解釋的過程，須使用許多認知過程技能，例如：分類、分析、詮釋及預測等等，另外，解釋必須是合邏輯、令人信服的，且是基於對所獲證據的詮釋而形成，因此解釋的產生也需要推理能力 (Wu & Hsieh, 2006)。形成科學解釋為探究活動的重要特性之一 (NRC, 2000)，為了形成解釋，學習者必須透過資料的詮釋來重新組織過去所學的知識，並將之形成具體清楚的陳述，來說明科學現象如何或為何發生。因此，對學習者而言，形成解釋不僅能幫助他們了解現象，還可以引導他們進入科學探究的過程。根據 Wu 與 Hsieh (2006) 的歸納，科學解釋應滿足以下四個條件：1. 可以明確指出變因間的因果關係，且所呈現的因果關係具一致性；2. 能清楚地對探究問題作描述或結論；3. 具有連接因果關係與描述現象之間的邏輯論證；4. 能使用科學數據為證據，形成具邏輯性的主張，且證據與主張間具一致性。教師在此探究階段中所扮演的角色，便是協助學生了解證據與解釋間的複雜關係，並設計適當活動以培養學習者相關的解釋能力。

由以上四階段可知，科學探究係指學習者在真實生活中，面臨一些議題或現象時，依其過去對該現象學習過的知識與經驗，提出問題、進行實驗、收集證據並形成解釋的過程 (Krajcik et al., 1998)。學習者通常先依據有興趣的議題，形成問題及假說，在設計調查活動後，透過變因的操控獲得實驗數據，並使用相關的圖表對這些數據分析、統整，判斷這些數據是否能構成「證據」。過程中有可能因為實驗設備等限制，而須修改假說或改變調查活動的設計，因此探究各階段並非依循線性的順序。最後可由實驗所得的證據形成解釋，回答原先所關心的議題，並將自此探究過程中習得的知識和想法與他人溝通，或是應用於另一情境 (Krajcik et al., 2003)。

二、何謂科學推理

科學推理與科學探究相似之處在於兩者皆專注於科學的過程，但由於科學推理文獻中多以發展心理學與教育心理學所關心的議題為主軸，分析的重點在於一般領域 (domain-general) 且知識薄弱 (knowledge-lean) 的科學方法及問題解決的過程，強調非特定領域的策略使用而忽略概念知識在推理過程的重要性 (Duschl et al., 2007)。雖然如此，科學推理的相關研究對科學過程提出了不同的模式和分析，並發展出許多重要結果，可與科學探究過程呼應，並可做為科學教學與學習的參考依據。

科學推理是應用科學方法、原則去進行合理推論或是解決問題的歷程，強調透過產生、測試與修改假說等技巧的運用，讓學習者可以獲得知識並反思其改變 (Zimmerman, 2007)。例如在 Klahr 與 Dunbar 所提出的雙重搜尋模式 (Scientific Discovery as Dual Search [SDDS]) 中，是將科學推理視為假說空間(形成假說的階段)和實驗空間(檢驗假說與評估證據的階段)之間的探索，以尋求科學問題的可能解釋，並藉此模式來說明推理過程中，背景知識與實際行為交互影響的複雜性。由此可知，科學推理的特徵即是透過於周遭環境的常規、實務、工具與標準之下，進行實驗來產生證據並依據推理歸納的原則，透過從證據中建構與修改其假說的過程，以獲得科學知識。

綜觀過去科學推理的相關研究，可以發現學者們對於科學推理的過程有不一的主張，有學者認為應著重假說的形成與檢驗(如：Klahr & Dunbar, 1988)，部分學者強調實驗的操作(如：Schauble, 1996)，亦有認為證據的評估才是推

理過程中最重要的步驟（如：Kuhn, 1989），此外還有學者認為科學推理應該首重於影響因素與發生事件之間因果機制的判斷（如：Koslowski, 1996）。以下將綜合各學者的研究，對科學推理的過程進行完整的探討。

（一）建立假說

Klahr 與 Dunbar (1988) 認為學習者在進行科學推理時，往往需要應用形成假說、設計實驗等策略來解決問題；於此同時，這些策略的選擇與使用亦受其知識系統所影響。根據雙重搜尋模式 (SDDS)，Klahr 與 Dunbar (1988) 認為學習者在進行推理時，面對所遭遇的問題，會從知識架構中尋找是否有先前知識的支持或是相似情境的經驗，再從這些過去的知識或經驗中尋找可能的假說，以進行下個階段的假說檢驗。因此，就 Klahr 等人而言，推理過程中建立假說的階段，與學習者所持有的知識體系之間，關係是非常緊密的 (Klahr, 2000; Klahr & Carver, 1995)。

如同上述 Klahr 等人所強調的雙重空間搜尋的推理活動，Kuhn 與其研究團隊 (Kuhn, 1989; Kuhn & Pearsall, 2000) 亦認為推理活動是學習者從先前知識中所持有的初始理論（一種可經實驗過程檢驗的主張），透過實驗設計的調查過程產生證據；接著對所得的證據加以詮釋，並藉由證據支持或反對初始理論，來形成具解釋現象的理論，而此理論有別於上述之初始理論，為實驗結果推導所得之結論。因此，在 Kuhn 等人的架構中，強調科學推理是證據與理論之間一連串的整合過程 (coordination of theory and evidence)。

在 Kuhn 一系列論文裡，調查階段之初所持的「理論」比較接近其他研究者所定義的假說，為可驗證的主張 (Ruffman, Permer, Olson, & Doherty, 1993)。推論階段所得的「理論」指的則是指結論或具解釋力的理論，係比較接近美國《國家科學教育標準》所指的科學解釋 (NRC, 1996)。而 Ruffman 等人 (1993) 亦認為科學推理過程是假說與證據之間的整合，也就是調和學習者的假說與所搜集之證據，以形成能夠說明現象的解釋。

綜合上述文獻，可知當學習者在進行科學推理時，首先會依據現存的知識或經驗對欲探討的現象建立假說（或可驗證的主張），並依據假說進行實驗調查的設計，再透過觀察與實驗結果搜集相關的證據。

（二）設計實驗

科學推理中強調實驗設計最重要的功用在於，透過實驗過程產生觀察結果或數據，並據此支持或反駁先前提出之假說。學習者在真實環境中，所遭遇的

問題通常都是未經設計 (ill-defined) 之複雜情境，為了發現解決問題的答案，必須依據所提出的假說去設定變因或是有系統地結合多個變因進行實驗，以驗證假說 (Klahr & Carver, 1995; Schauble, 1990)。因此，實驗設計需要有系統地控制和操縱變因，以獲得可信的數據，並藉此說明特定變因間的關係確實存在，從而找尋可以支持或反駁假說的證據 (Zimmerman, 2007)。

許多推理的研究均強調實驗設計的重要性，在於透過產生合理的證據，以探討科學現象中所存在的關係為何。例如 Klahr (2000) 所提出之檢驗假說階段，學習者會對提出之假說做初步的預測，並進行實驗以檢驗假說，最後再檢核實驗、觀察所獲結果與所做預測之間是否相符，若二者相符則進入證據評估的階段。Zimmerman (2007) 依據變因的操控將實驗策略進行分類，一為「真實驗」(genuine experiment)，即透過控制變因或進行有計劃的探究以達檢定假說目的；其次是「偽實驗」(pseudo experiment)，即沒有控制變因或是沒有選擇合理變因（控制錯誤的變因），致使無法透過實驗設計獲得有效數據。

因此，為使實驗能夠有效達成檢驗假說之目的，同時確保實驗結果能夠說明該現象與變因之間的因果關係，有效使用控制變因的策略是必要的。Tschirgi (1980) 認為控制變因的技術可分為一次改變一個變因 (vary one thing at a time [VOTAT]) 與保持一個變因不變 (hold one thing at a time [HOTAT]) 兩種策略，透過這兩種控制策略的使用，可以釐清變因與假說之間的關係，從中獲得實驗數據並產生證據。根據 Kuhn 與 Pearsall (2000) 證據可定義為，與假說或理論有關的實徵性觀察 (empirical observations)，而學習者產生證據的能力，攸關其能否利用任務所提供的材料，產生有用的、可詮釋的資訊，包括：操縱所有相關的變因，且針對每項假說進行不同變因組合的比較 (Kuhn, Schauble, & Garcia-Mila, 1992)。

由上述文獻，可以發現學習者為檢驗從過去知識或經驗而建立的假說，會透過實驗設計與變因控制的策略來產生證據。但其所得證據是否合理？是否支持或反對其持有的假說？則需要學習者應用其他評估證據的策略。

(三) 評估證據

在透過實驗產生證據的過程中，學習者在面對所搜集到的證據進行評估時，鮮少立即依據其資料所呈現的結果（支持或反對），而去修改其所持的假說。Schauble (1990) 發現學習者對於預期中應存在的因果關係，會做較多的測試，以確認該關係確實存在（正向測試策略，positive test strategy）；反之，學

習者較少設計實驗去反駁預期存在的因果關係（負向測試策略，negative test strategy），因而影響了實驗的有效性和系統性。除了缺乏系統性的實驗過程之外，部分學習者的實驗會出現測量誤差與數據扭曲的情形 (Schauble, 1996)。由於缺乏確切的原則，來引導學習者決定所得數據與預測間的差距，究竟是來自於測量誤差抑或是變因所產生的效應，學習者必須依賴其對概念知識或因果機制的理解來區辨誤差的存在與否。所以此種誤差的判斷是理論取向 (theory-driven) 的決定，係指學習者是依據假說或先前知識來說明數據是否合理，並無法透過所搜集的數據來進行全然客觀的判斷 (Koslowski, 1996)。換言之，對學習者而言，評估數據的正確性是很困難的，而且通常受到假說的影響。

重複實驗可能可以幫助學習者確認誤差是否存在，但 Schauble (1996) 發現很少研究對象會進行重複實驗；因為即使重複實驗，若前後的實驗數據不同，反而造成部分學習者的困擾。例如 Schauble (1996) 研究中，有幾位參與者認為容器中水量的多少，會影響浮體沒於水中的體積，所以即便是誤差造成兩組不同的數據，也將其視為合理的，且用以支持其錯誤的理論。這項研究亦發現，當數據與理論出現不一致時，學習者會誤讀、錯記或是忽略部分數據，以扭曲數據來符合其理論，此結果與 Kuhn (1989) 的研究發現類似，顯示出理論和數據間的密切關係。

Chinn 與 Brewer (2001) 提出數據模型的理論 (models of data)，以進一步說明學習者是如何使用理論來評估數據資料。該模型是假設當學習者在評估數據時，會先建構一個認知模型，將所獲得數據整合於理論中去進行詮釋與說明。透過這個模型，學習者可以藉由因果聯結 (causal link)、非因果聯結 (impossible causal link)、歸納聯結 (inductive link)、類比聯結 (analogical link)、對比聯結 (contrastive link) 等五種推論的方式來連接證據與理論；而學習者在評估數據的過程即為評估這些聯結的合理性，並尋找支持其理論的論點。

因此，證據的評估過程涉及證據與理論間的複雜交互關係 (Koslowski, 1996; Kuhn et al., 1992)，學習者可能會針對實驗所累積的證據進行回顧，視其是否可依據當前的假說回答問題並解釋現象，然後對這個假說做出接受、拒絕或保留的決定 (Klahr & Dunbar, 1988)，但也可能為支持其持有的假說而忽略或扭曲證據。這些文獻均顯示，評估證據是否支持理論，以及能夠恰當的使用證據來解釋現象，是科學過程中重要的能力，同時也是科學推理中不可或缺的階段。

(四) 形成結論

在形成結論的階段，學習者根據適當的證據，說明初始假說是否成立，且由所得證據中形成結論，或根據證據來修改結論。學習者提出的結論應包含驗證的內容 (justification)，且驗證應是基於實驗結果的證據取向 (evidence-driven)，而非依據個人的信念或理論。但是 Schauble (1996) 認為學習者透過實驗所形成的結論，是有限制的；實驗結果雖然有助於學習者對因果關係的推論（特定因果關係是否成立），但不保證學習者能夠建構出正確的概念理解（該因果關係為何成立）。換言之，合理的實驗過程能產生較為可信的證據，有利於學習者正確判斷原來預期的假說是否成立，但因果關係背後的機制在實驗中通常是不可見的，學習者不一定能夠使用適當的科學理論來說明該因果關係「為何」存在 (Koslowski, 1996)。例如：學習者可能在實驗中觀察到光照時間與植物生長之間的正確關係，但他不一定能夠應用光合作用的概念說明為什麼光照時間會影響植物生長。Schauble (1996) 強調實驗過程和數據的精確，並不一定引發科學概念的建構，實驗活動不一定能夠引導出科學理論與解釋，解釋或因果機制的正確性通常不是學習者透過實驗能夠說明的。這個論點也顯示科學探究中的調查活動，可能具有的限制；調查活動的結果，並不一定能夠幫忙學生形成概念性或機制性的科學解釋。

除了概念知識之外，學習者對於因果關係本質的認識，也可能會影響其所產生的結論 (Keselman, 2003; Schauble, 1996)。在 Schauble (1996) 的研究中，個案之一相信，在多變因的情境下，不同變因所造成的效應不同，若一變因的影響力較大，它可能會超越其他變因造成的效應，使得其他變因造成的效應可以忽略。此結果與 Keselman (2003) 的發現相似，若學習者缺乏變因效應可以加成的想法，即使實驗策略都合理，最後形成的結論仍可能是錯的。

由上述文獻可知，科學推理研究中所指的實驗能力多為一般領域 (domain-general) 而非特定領域 (domain-specific)，因此多不涉及特定領域的工具或策略的使用，例如化學表徵、數學模型、以及顯微鏡等。一如 Schauble (1996) 所言，以往科學推理的文獻輕估了特定領域知識的重要性，然而科學推理的目標不僅在於歸納推論的形成 (formation of inductive generalizations)，還應包括解釋模型的建構 (construction of explanatory models)，即是對於觀察到的現象，提出假說背後所涉及的概念機制（頁 103）。而且不同的學者依據其主張的差異而有不同的強調重點，例如：Klahr 等人 (Klahr, 2000; Klahr & Carver, 1995; Klahr &

Dunbar, 1988) 與 Kuhn 等人 (Kuhn & Garcia-Mila, 1995; Kuhn & Pearsall, 2000; Kuhn et al., 1992) 認為學習者可以透過推理的過程來修正或增強先前知識，進而形成結論或另有結論，因此他們強調推理過程中知識的獲得；Schauble (1990, 1996) 的研究專注於實驗技能與變因控制的過程來建構解釋模型；Koslowski (1996) 則提出科學推理過程，應著重於證據、現象與因果機制之間的密切關係，而非僅僅強調證據是否支持或反駁假說。因此，科學推理過程中知識建構與科學實驗間的複雜關係，著實是科學探究的相關研究可以深化的主題。

三、小結

透過上述對科學探究與科學推理之文獻歸納，可知兩者在部分過程有其相近之處，例如當學習者在真實生活中，對一些現象產生疑問時，科學探究的研究強調教師可依據學習者的先前知識與經驗，提出可行的問題，並引導他們進行調查活動以回答這些問題；而推理文獻則指出學習者可能採取的推理方式，是由先前知識與經驗中尋找可能的假說，再藉由提出假說以進行實驗。而在實驗調查的階段，無論將之視為推理或探究的階段，都同樣需要透過變因的操控來獲得實驗數據，惟探究研究較強調使用相關的圖表對這些數據分析、統整，判斷這些數據是否能構成「證據」；推理則聚焦於證據的評估，以及理論與證據的整合。在最後的階段，雖然皆是從實驗所獲得的資料形成解釋或結論，然則推理研究更著重於現象中因果關係的確認，以及隨之而來的知識獲得歷程 (Kuhn & Garcia-Mila, 1995)。

除了研究焦點的差異之外，科學探究與推理的文獻在學習任務或活動的設計，亦具有相當大的差別。大多的科學推理研究並不涉及實驗資料或數據的搜集過程 (Schauble 所做的研究為少數例外)，亦不強調推理的問題對於學習者的意義，而直接給予受試者推理所需之數據，來探討受試者對形成假說、使用證據與產生理論的表現為何 (如：Koslowski, Marasia, Chelenza, & Dublin, 2008; Kuhn et al., 1992)。而大多數的科學探究研究，是讓學習投入長時間的學習活動 (數小時至數週)，在活動中強調透過問題的引導，讓學習者經歷從實驗數據搜集到形成證據的過程，進而產生解釋去回答問題 (如：Krajcik et al., 1998)，而探究的問題多半對學習者是有意義的且來自真實生活中。

雖然科學探究與推理的研究存在差異，但本文嘗試提出整合兩者的可能性，例如可在一系列科學探究過程中融入科學推理的階段，讓學習者在學習活動中，依其初始理論提出蘊含假說的探究問題，並據此執行實驗來驗證假說以搜集、分析數據，形成可供其推理的相關證據。故此，究竟科學探究與科學推理之間詳細的相互關係為何，本文在下節中做出詳細說明。

參、克服學習者在探究活動中可能遭遇的困難

為說明科學推理在探究活動中的重要性，本節先探討探究活動中學習者常見的困難，再由推理過程的策略使用，來尋求學習者探究困難的解決之道。

一、探究活動中學習者的困難

美國課程標準 (NRC, 1996, 2000) 與我國中小學九年一貫課程總綱 (教育部, 2000) 均強調，探究活動的課程可以促進學習科學知識，並透過實驗過程中科學方法的使用，來培養學習者對科學學習的正面態度。然而，在一些實徵研究中，卻發現學習者在探究活動的各個階段中，常會遭遇一些困難，而影響其探究過程中的學習成效 (Krajcik et al., 1998)。正因為許多文獻均指出探究活動在科學教育中的重要性，更應該正視學習者所遭遇的這些挑戰。因此，表 2 整理各探究階段學習者常見的困難。

表 2 探究活動中學習者常見的困難

探究階段	學習者的困難
提出問題	提出的問題過於發散，因而無法預測並聚焦實驗結果 (Apedoe, 2008)。 無法確實理解科學辭彙的使用，因而不能清楚表達想法與提問 (Krajcik et al., 1998)。
設計與執行 調查活動或 實驗	缺乏控制變因的能力，導致實驗設計無法有效獲得實驗數據 (Krajcik et al., 1998)。 無法持續維持專注力，使部分學習者只能著重於部分的變因，而無法依據其他變因進行全盤的實驗設計 (Bell, 2002)。
分析、整理 數據	學習者無法由數據找出變因的影響關係，而影響數據分析的結果 (Jeong et al., 2007)。 缺乏經驗去組織數據與檢驗數據，因此無法從數據中獲得實驗結果 (Krajcik et al., 1998)。
形成解釋、 回答問題	無法由證據發展合乎邏輯的論證去支持他們所獲得的主張，導致無法有效推論 (Krajcik et al., 1998)。

綜合表 2 可以發現，學習者在提出問題階段，常會因為無法預測與提出合理的問題而影響探究的結果；在執行實驗的階段，則受制於變因的選擇與控制，而影響其實驗設計；分析整理數據的階段，學習者則往往會無法分辨數據與變因之間的關係，進而影響數據分析的結果；形成解釋的階段，學習者也常有推論上的偏誤。有鑑於此，本文透過科學推理文獻的回顧，試圖提出解決困難的建議。

二、解決探究中的困難

由推理文獻的回顧，可整理出科學推理過程中幾個重要策略的使用，如圖 1 所示。透過這些策略的使用，可能有助於學習者克服在探究過程中可能遭遇到的困難。

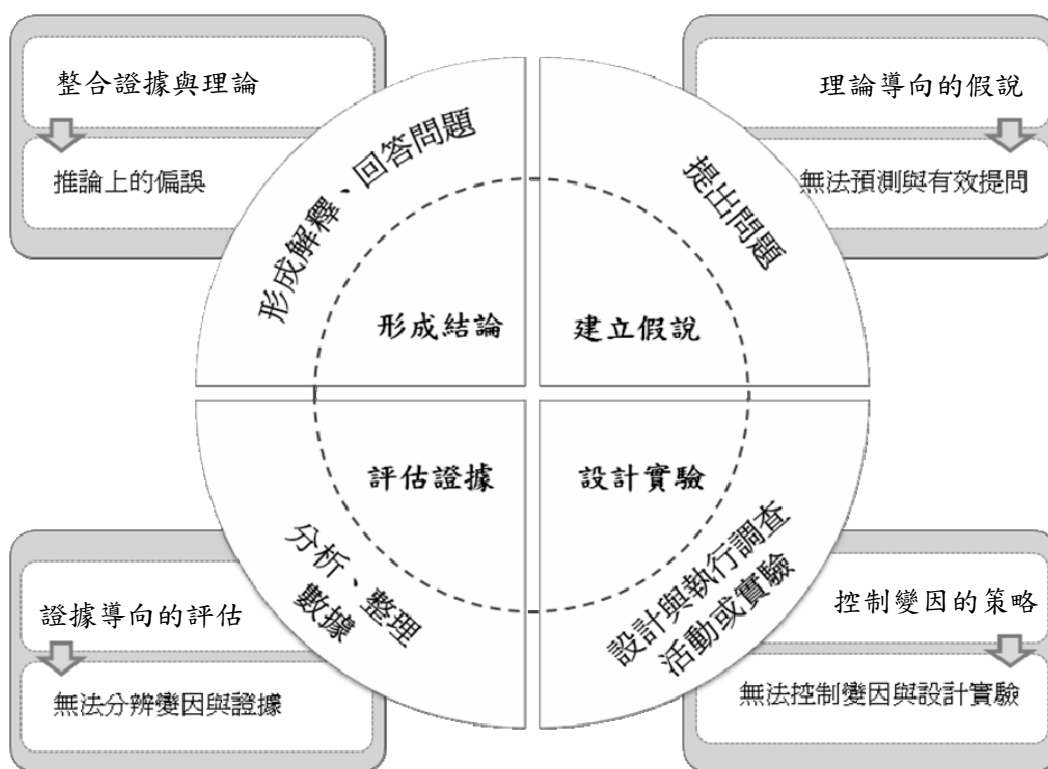


圖 1 推理過程的策略與探究活動的困難之關係圖

圖 1 為推理過程的策略與探究活動的困難之關係圖。內圈為科學推理之過程；外圈為科學探究活動。灰底四邊形為統整探究活動與科學推理後所提出之策略，以幫助學習者克服探究活動中常見的困難。

(一) 活化學習者的先前知識與經驗，以幫助其形成合理的探究問題

過去研究中指出部分學習者無法提出可驗證的科學問題及合理的預測，來進行後續的探究活動 (Krajcik et al., 1998)；根據 Klahr 與 Dunbar (1988) 所提出之雙重空間推理模式指出，良善的假說應該從學習者過去的知識與經驗中找尋。因此，透過教學活動或教師運用問題引導，或提供一段具背景知識之故事情境的方式，來活化學習者過去的知識或經驗，從中尋找可行的探究問題及假說 (Kuhn & Pearsall, 2000)。由教師引導學習者將先前經驗轉化為可能的探究問題，並適時透過基準課程 (benchmark lesson) 來促進學習者使用重要的科學辭彙與探究能力。因此，加強學習者在推理過程中形成假說的能力，藉由知識

與經驗的活化，幫助學習者可以做出合理預測並據此提出可行之探究問題，從而解決學習者在提出問題階段可能發生的困境。

（二）強調控制變因的重要性，以協助學習者在探究中進行實驗設計

進行探究調查活動時，學習者面對許多訊息卻常無法全盤考量所有的變因 (Bell, 2002)，或是同時操弄多個變因 (Kuhn & Dean, 2005)，導致無法設計有效的實驗以釐清變因的影響程度。因此，學習者在設計實驗與執行實驗時，若能充分應用推理過程所強調的控制變因策略，也就是「改變一個變因」(VOTAT) 與「維持一個變因」(HOTAT) 的策略，如此一來不僅可以透過比較前後兩次實驗結果的差異，來釐清該變因與假說之間的關係 (Tschirgi, 1980)，更可以藉此排除沒有控制變因與選擇錯誤變因的情形。學習者可透過這些策略的使用，逐一檢驗可能的變因組合，幫助其克服在實驗設計時無法控制變因與只聚焦於單一變因的困難，進而有效且有系統地執行實驗。

（三）強化證據導向的評估策略，來幫助學習者了解變因與數據的關係

縱使順利執行實驗獲得許多實驗數據，仍然有許多的學習者無法分辨實驗數據與變因之間的關係為何 (Jeong et al., 2007)，或是當證據與其預測不一致時，學習者便無從判定其關係 (Schauble, 1990)。透過推理過程裡，證據評估策略中數據模型 (models of data) 之使用，藉由具體的圖形化模式將初始狀態與最終觀察所得結果一起呈現，可以讓學習者去組織與監控自己的想法，並檢視實驗步驟是否合理，引導學習者有系統地使用測試策略，以釐清數據與變因之間的關係 (Chinn & Brewer, 2001; Koslowski, 1996)。

除了訓練學習者數據模型的使用之外，教師也可以鼓勵學習者進行全班或小組內的討論，讓學習者透過對數據的討論與教師適時的引導來訓練分析數據的能力。於探究活動中更可以妥善應用實驗紀錄的謄寫與圖表的製作，來幫助學習者進行數據的分析與組織，以減少因經驗不足而造成無法從數據中歸納出結論的困難 (Schauble, Glaser, Raghavan, & Reiner, 1992)。

（四）整合證據與理論，來幫助學習者在探究中進行合理推論

探究活動中學習者最常見的困難就是無法運用實驗所得證據，進行合理的推論以提出能夠回答探究問題的解釋。因此，教師可以先透過電腦模擬或模型展示的方式，先運用於背景知識需求較少的一般領域 (domain-general) 來設計

探究情境，以訓練學習者整合數據與理論的能力，並藉此增加處理資料的經驗 (Koslowski et al., 2008; Kuhn, 1989)。或在探究過程中由教師示範合理推論的思考過程，進而幫助學習者從所得之證據中發展合乎邏輯的論證 (Krajcik et al., 1998)。透過科學推理過程，可強化學習者形成推論的能力，並幫助其避免推論上的偏誤，以形成合理的解釋或答案。

此外，在學習者本位的探究活動裡，教師仍須以輔助者的角色，適時的透過提問並請學習者分享等策略的使用，以幫助其反思活動中所習得的知識與能力，並能夠充分理解探究活動的任務 (顏弘志, 2004)；還須隨時注意推論的過程，要求學習者仔細檢驗證據後，考量修改假說或預測，再基於探究問題形成可能的結論，必要時要求重複進行實驗，以避免立即跳至結論。

肆、結論

在課程改革的浪潮下，無論是美國國家課程標準或是我國的九年一貫課程，均不再一味強調科學知識的獲得，而是著重於培養學習者「帶得走的能力」(教育部, 2000; NRC, 2000)。在科學教育的課程與相關活動的設計上，強調以探究活動及尋求科學問題解答的歷程，來培養學習者探究能力 (Zimmerman, 2007)。然而不少學者在研究中發現，由於學習者背景知識的不足 (Bell, 2002)、實驗技巧的缺乏 (Krajcik et al., 1998) 以及結果推論的偏誤 (Stoddart, Abrams, Gasper, & Canaday, 2000)，導致學習者在探究活動中科學學習的表現不如預期。

為改善此種情況，本文探究研究與推理文獻的整合，強調藉由活化先前知識、強化證據評估的策略、資料模型的建立以及教師鷹架策略的運用，來解決學習者在探究活動中所發生的困難；進而釐清推理過程於探究活動的角色，強化探究活動中的科學學習，使學習者能夠達到預期的學習目標。

致謝

本文承蒙行政院國家科學委員會專題研究計畫經費補助 (NSC97-2511-003-024-MY3)；以及感謝台灣師範大學科教所林郁芬同學與江韋儀小姐，對本文在論文撰寫過程中提供圖型編繪與文字校閱上的幫助，特此一併致謝。

參考文獻

- 教育部 (2000)。國民中小學九年一貫課程總綱。台北市：教育部。
- 劉宏文、張惠博 (2001)。高中學生進行開放式探究活動之個案研究—問題的形成與解決。《科學教育學刊》，9 (2)，169-196。
- 顏弘志 (2004)。從建構主義看探究教學。《科學教育研究與發展季刊》，36，1-14。
- Apedoe, X. S. (2008). Engaging students in inquiry: Tales from an undergraduate geology laboratory-based course. *Science Education*, 92(4), 631-663.
- Bell, D. (2002). Making science inclusive: Providing effective learning opportunities for children with learning difficulties. *Support for Learning*, 17(4), 156-161.
- Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Scotter, P. V., Powell, J. C., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E instructional model: Origins, effectiveness, and applications*. Colorado Springs, CO: BSCS.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (2001). Models of data: A theory of how people evaluate data. *Cognition and Instruction*, 19(3), 323-393.
- Duschl, R. A., Schweingruber, H. A., & Shouse, A. W. (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. Washington, DC: National Academy Press.
- Edelson, D. C. (2001). Learning-for-use: A framework for the design of technology-supported inquiry activities. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(3), 355-385.
- Germann, P. J., & Aram, R. J. (1998). Student performances on the science processes of recording data, analyzing data, drawing conclusions, and providing evidence. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(7), 773-798.
- Germann, P. J., Aram, R. J., & Burke, G. (1998). Identifying patterns and relationships among the responses of seventh-grade students to the science process skill of designing experiments. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(1), 79-99.
- Jeong, H., Songer, N. B., & Lee, S.-Y. (2007). Evidentiary competence: Sixth graders' understanding for gathering and interpreting evidence in scientific investigations. *Research in Science Education*, 37(1), 75-97.

- Keselman, A. (2003). Supporting inquiry learning by promoting normative understanding of multivariable causality. *Journal of Research in Science Teaching, 40*(9), 898-921.
- Klahr, D. (2000). *Exploring science: The cognition and development of discovery processes*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Klahr, D., & Carver, S. M. (1995). Scientific thinking about scientific thinking. *Monographs of the Society for Research in Child Development, 60*(4), 137-151.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science, 12*, 1-48.
- Koslowski, B. (1996). *Theory and evidence: The development of scientific reasoning*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Koslowski, B., Marasia, J., Chelenza, M., & Dublin, R. (2008). Information becomes evidence when an explanation can incorporate it into a causal framework. *Cognitive Development, 23*(4), 427-487.
- 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., Czerniak, C., & Berger, C. (2003). *Teaching children science in elementary and middle school classrooms: A project-based approach*. New York: McGraw-Hill.
- Kuhn, D. (1989). Children and adults as intuitive scientists. *Psychological Review, 96*(4), 674-689.
- Kuhn, D., & Dean, D. (2005). Is developing scientific thinking all about learning to control variables? *Psychological Science, 16*(11), 866-870.
- Kuhn, D., & Garcia-Mila, M. (1995). Strategies of knowledge acquisition. *Monographs of the Society for Research in Child Development, 60*(4), 1-128.
- Kuhn, D., & Pearsall, S. (2000). Developmental origins of scientific thinking. *Journal of Cognition and Development, 1*(1), 113-129.
- Kuhn, D., Schauble, L., & Garcia-Mila, M. (1992). Cross-domain development of scientific reasoning. *Cognition and Instruction, 9*(4), 285-327.
- National Research Council [NRC]. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.

- National Research Council [NRC]. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy Press.
- Ruffman, T., Permer, J., Olson, D. R., & Doherty, M. (1993). Reflecting on scientific thinking: Children's understanding of the hypothesis-evidence relation. *Child Development, 64*(6), 1617-1636.
- Schauble, L. (1990). Belief revision in children: The role of prior knowledge and strategies for generating evidence. *Journal of Experimental Child Psychology, 49*(1), 31-57.
- Schauble, L. (1996). The development of scientific reasoning in knowledge-rich contexts. *Developmental Psychology, 32*(1), 102-119.
- Schauble, L., Glaser, R., Raghavan, K., & Reiner, M. (1992). The integration of knowledge and experimentation strategies in understanding a physical system. *Applied Cognitive Psychology, 6*(4), 321-343.
- Stoddart, T., Abrams, R., Gasper, E., & Canaday, D. (2000). Concept maps as assessment in science inquiry learning: A report of methodology. *International Journal of Science Education, 22*(12), 1221-1246.
- Tschirgi, J. E. (1980). Sensible reasoning: A hypothesis about hypotheses. *Child Development, 51*(1), 1-10.
- White, B. Y., & Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students. *Cognition and Instruction, 16*(1), 3-118.
- Wu, H. -K., & Hsieh, C. E. (2006). Developing sixth graders' inquiry skills to construct scientific explanations in inquiry-based learning environments. *International Journal of Science Education, 28*(11), 1289-1313.
- Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review, 27*, 172-223.

The Role of Science Reasoning in Inquiry Learning

Pai-Hsing Wu* Yao-Yun Chang Hsin-Kai Wu

Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

*695450153@ntnu.edu.tw

Abstract

Research in science education has often suggested that learners' inquiry abilities and understandings of scientific knowledge would be improved by science inquiry. Therefore, the purposes of this article are to integrate major research findings in science inquiry and science reasoning, analyze the role of reasoning in inquiry activities, and provide suggestions to support inquiry learning. This article involved the literature review, comprised of two sets of research concerning science reasoning and inquiry learning. Results of this article showed learners encounter many challenges and problems when they engage in inquiry activities. For example, many learners are not able to propose an appropriate question for an investigation, to control variables to carry out an experiment, to distinguish relevant evidence from collected data, and to develop a logical argument to support their theory. To conclude, this article suggests four instructional strategies to ease learners' difficulties in inquiry activities: (1) activating learners' prior knowledge and experiences, (2) emphasizing controlling variable strategies, (3) supporting evidence-based evaluation of scientific explanations, (4) helping learners to coordinate evidence and theory.

Keywords: science inquiry, science reasoning