

案例式推理與科學教學

蕭碧茹 洪振方

國立高雄師範大學 科學教育研究所

(投稿日期：89年3月9日 接受刊登日期：89年5月16日)

摘要：案例式推理最初的發展是為了提高電腦的認知方法，當使用者面臨新的問題情境時，可以從原先儲存在電腦資料庫的案例資料中提取相稱於先前問題的案例情境，提供新問題的解決辦法。晚近，認知心理學家建議案例式推理的理念可以應用到教學領域。筆者認為案例式推理的模式有助於設計問題解決的教學活動，每一個問題都有其脈絡，也就是一個案例情境，學生從問題的案例情境更能認識與學習如何進行探究、思考、推理、詮釋和判斷，以及在最後獲得問題的解決。學習者在新的問題案例情境中，便能以類比推理的方式，藉由上述解題歷程的案例來思考如何解決新的問題。本文主要的重點，除了在探討案例式推理對科學教學所能提供的重要洞見與可行性外，筆者建議以教師的教學案例為基礎建立案例式推理網路系統，形成案例式推理教學的網路資料庫與討論群，經由對教學案例的分享、討論、與類比推理，以促進教師教學專業知能的成長。

關鍵字：科學教學、問題解決、案例式推理

壹、緒論

近年來，許多研究學者以認知心理學的觀點探究學生的學習，提到學生的學習可視為概念的改變，強調學生在學習過程中扮演積極主動的角色（郭重吉，1988；邱美虹，1996；洪振方，1996）。但是，由於目前國內的課程仍須面臨升學的壓力，因此許多學校的教學重心普遍以教師講授教科書內容為主，採考試引導教學，在評量方面尤其強調紙筆測驗成績的表現，造成學生對學科知識的學習整體上偏重在背誦和記憶。令人擔憂的是，學生對問題解決的能力顯得相當薄弱，甚至有多數學生反應在

課堂上所學的學科知識與生活相關不大，他們認為學習的最主要目的在應付考試而已。此外，在學習方面，學生大多扮演被動的學習角色，即使在實驗教室，學生也只是依照實驗手冊進行食譜式的實驗，進行第二次的驗證工作。這樣的教學情境或許讓教師很有效率地掌控教學時間，但是卻缺乏讓學生自我思考與主動探究的機會，因此，學生的學習感受與學習的意義往往被嚴重忽略了。

根據教育部（1998）公布的「國民教育階段課程總綱綱要」，二十一世紀的課程以培養學生基本能力為導向，而所謂的「基本能力」在於培養學生具有「了解自我與發展潛能，欣

賞、表現與創新，生涯規劃與終身學習，表達、溝通與分享，尊重、關懷與團隊合作，文化學習與國際理解，規劃、組織與實踐，運用科技與資訊，主動探索與研究，獨立思考與解決問題」等十大能力。學校教育的目的在於培養學生帶得走的基本能力，而不是給他背不動的書包（林清江，1998）。教師在教學上所關注的重點不是在於教給學生多少的學科知識，而是如何讓學生習得帶得走的能力，也就是當他面對問題時所能應用的思考和解決能力。然而，這並不表示全然漠視學科知識的重要性，因為學科知識是培養問題解決能力的重要素材。因此，九年一貫課程的成功與否，主要關鍵在教師的課程設計和教學能力。

鑑於未來的課程設計應該以學生為主體，以生活經驗為重，來培養學生的思考與問題解決能力，因此筆者以此為教學理念，引介案例式推理（case-based reasoning，簡稱 CBR），並且發展案例式推理教學模式，讓學生從問題的案例情境中認識與學習如何進行探究問題與解決問題。另一方面，教師可以從案例式推理教學過程中瞭解學生的學習困難所在；在評量方面，紙筆測驗與案例式推理教學模式所擬定的評量方式不同，紙筆測驗方式反映學生有哪些學科知識尚未熟習；相較之下，案例式推理教學模式的評量方式屬於實作評量，從學生所設計的實驗活動評定學習成效，所欲測知的是學生能活學活用的“真知識”，這些並非紙筆測驗所能描述。簡言之，由案例式推理教學模式所提供的教學回饋可以激發教師教學省思，有助於教師重新調整自己的教學方式，使教學更合適於學生的學習型態，形成一種互動成長的關係。

貳、案例式推理及其在教育上的應用

在 1970 年代，電腦科學家認為人們的知識和經驗可以根據條件－行動（condition-action）的配對形式，（例如 if A then B 的陳述），以邏輯規則來呈現。於是，他們致力於人工智

慧的發展，採用邏輯規則的方式設計專家程式，即法則式推理（rule-based reasoning），試圖模擬人們面對問題如何作出決定的推理過程。法則式推理運用大量的“if A then B”的形式規則，串連成各種的組合來解決問題，這種以規則為推理基礎的系統很難設計，必須晤談該領域的專家，然後將他們的專家知識轉換成一系列的邏輯規則。其最大的缺點是，當新的情境出現，這些系統必須有許多的調整和適應。換言之，有太多的情況不符合這些規則。直到 1980 年代，電腦科學家 Roger Schank 為为了提高電腦的認知方法，在耶魯大學的人工智慧研究室發展出案例式推理系統的理論（Radosevich, 1998），以案例做為專家系統的推理基礎，取代了原先法則式推理系統的方式。

一、何謂案例式推理

案例式推理的基本原理是建立在人的認知觀點上，認為人的經驗係以案例的形式儲存在腦海中（Riesbeck & Schank, 1989），而當我們遭遇待解決的新問題時，就可以利用原先所建立的案例資料庫診斷找出符合新問題的特徵，並加以類比而轉換成解決新問題的思路與方法（Watson, 1997）。因此，根據案例式推理的原理，在系統中儲存案例的訊息，當操作者面臨新問題時，可以從案例資料庫中提取相似的案例，經過分析與修改之後可以用來解決目前的新問題。

案例式推理替代了法則式推理，Riesbeck 和 Schank（1989）以人們解決問題的方式作為比喻，說明案例式推理和法則式推理兩者之間的差異：假定我們把滑輪組交給一位修習物理課程的學生和一位在船上負責卸貨的工頭，然後詢問他們如何利用這個滑輪來抬起重量。學生很可能會以法則式推理來解決問題，應用力、動量等等的公式；工頭大概會利用案例式推理，以他在生活上所利用的滑輪來說明。該學生可能需要幾分鐘的時間解題，或許會有錯誤，但是最後可能會產生精確的答案，而且幾乎能夠處理任何問題。另一方面，工頭也許能

夠立即地給出近似的答案，但是並不是精確的回答，而且對特殊的滑輪裝置或許也會產生問題。因此，法則式推理系統顯然具有規則的變通性，而且能用邏輯的方式產生最理想的答案，但是，處理上比較慢，並且存在錯誤的可能性。案例式推理系統則受到已知情境的限制，並且所產生的是近似的答案，但是在處理速度上比較快，而值得注意的是案例式推理系統是基於實際的經驗提供問題解決的線索。

案例式推理主要有兩個優於法則式推理的優點：第一，案例式推理所提供的專家知識是過去經驗的累積，而不是一套規則程序；因此，案例式推理有利於促進知識的遷移和解釋。第二，很多真實世界領域是如此複雜，若要以法則的方式涵蓋十分詳細的敘述，這是不可能的；案例式推理對問題的解決較能切乎實際。

傳統的電腦系統係採用法則式專家系統，把法則當作推理基礎，但事實上，以法則作為推理基礎的方式只適用於邏輯性情境，然而，一般自然情境的變因很多，情境脈絡相當複雜，因此採用法則式推理方式並不完善，而且獲取知識的過程相當費時，這也是以法則作為推理基礎的方法所遭遇到的主要瓶頸。相較之下，當案例式推理系統面臨新的問題情境時，推論者可以從電腦中提取相關問題解決的案例來參考，用來解決目前的新問題（Grupe, 1993）。案例式推理係以類比的方式搜尋，所以速度快，更重要的是案例提供了真實的問題

解決情境，而且提供了解決問題的思路與方法。案例式推理的內容主要包括四個部分：提取(retrieve)、重新使用(reuse)、修訂(revise)、和保留(retain)。基本上，案例式推理系統從案例資料庫提取合適的解決辦法，並且加以改寫或修訂，當所面臨的新問題獲得圓滿的解決，案例式推理系統也會將這些新問題和解決辦法儲存到它的“案例資料庫”，以提供後來的使用者參考。

在資料庫中累積了許多問題解決的經驗，案例是以名字或數字來作識別，在特定的脈絡下，案例是包含很多事實(facts)和關聯性(relationships)的複合體。隨著案例總數的增加，案例資料庫也變得更豐富，更能提供多樣性案例給問題解決者參考。案例式推理過程的步驟是明確地，各步驟的內容整理如表一(Grupe, 1993)。

案例推理系統的有效性不僅在於擁有和提取相關案例，而且在於能評估和決定如何將這些案例適用於新的情境(Leake, Kinley & Wilson, 1997)。從獲取知識的觀點來看，案例資料庫的多樣性涵蓋他人所提供的案例，蒐集了許多專家解決問題的案例情境參考，匯集了眾人的智慧(Grupe, 1993)。案例式推理系統能幫助使用者成為更有效率的問題解決者。案例所描述的是一個問題情境，提供問題解答的嘗試，以及一種努力的成果。案例資料庫累積了許多問題解決的經驗，隨著案例數目和多樣性的增加，案例式推理系統的資料庫不斷地

表一 案例式推理過程的步驟及其內容

步驟	內容
1. 情境評估	首先，對目前的情境或問題進行評估，瞭解手邊有哪些資料可以用來描述當前的情況。
2. 案例搜尋	評估情境之後，檢視手邊所能獲得的資料（或許是不完整的資料），或是回憶以前的舊案例，對目前情況所能提供的解決辦法。
3. 案例提取	在所有可能有用的案例之中，哪一案例最能提供援助？該案例對於所面臨的問題提出哪些相關資訊？選出最有利於解決新問題的案例，參考過去的解決辦法來尋求目前所面臨問題的可能解答。
4. 案例評價	最適切的案例是否能提供令人滿意的解決辦法？如果所提取的案例愈有幫助，則新的問題愈容易獲得解決。
5. 資料庫的維持	如果在案例資料庫中沒有任何案例可以令人滿意地解決這個問題，這時必須採用其他的方式來尋求解答。例如，可以向專家詢問解答，或者搭配法則資料庫來穩固或修補案例。一旦令人滿意的解決辦法發展出來後，新的案例或修改過的案例就會被儲存到案例資料庫。

被豐富著，愈有助於我們處理新的問題情境。因此，案例式推理系統在實際的應用上有其價值。

二、案例式推理在教育上的應用

Kolodner (1997) 認為案例式推理是一種合理的認知模型，並且建議案例式推理可以應用到教育哲學、教學實踐、和教學軟體設計方面。因此，她帶領 EduTech 研究協會的研究群和學校教師共同合作，試圖以案例式推理為設計理念來進行科學教學的活動，他們所採取的教學取向稱作“設計中學習 (learning by design)”，教師要注意教材的安排，並且提供學生相關的電腦軟體以及如何從案例圖書館系統搜尋資料的方式，然後由教師提出問題情境要求學生以設計活動的方式解決問題，讓學生從活動設計中獲得學習 (Gertzman & Kolodner, 1996; Kolodner et al., 1996; Naraynan et al., 1995)。例如，在營養單元方面，學生提出徒步旅行計畫，在阿帕拉契山脈的小徑上進行兩星期的徒步旅行。在活動進行之前，他們必須先仔細評估在行程中可能遭遇的種種問題，例如體力消耗、營養補給等問題，他們從資訊網路上搜尋其他徒步旅行者的經驗和建議，並且參考教師所提供的相關電腦模擬軟體，教師則從旁協助學生進行討論，促使學生作出適當地反省，最後擬定周延的旅行計畫。

Kolodner 認為學生從資訊網路或模擬軟體所搜尋的案例，不但有助於學生構思計畫，也讓學生學習如何進行資料搜尋。根據她的研究發現，學生從這些活動所獲得的學習，比他們在一般傳統教室所學到的更多。教師在使用案例式推理教學後抱持肯定的態度，他們希望教會更多學生透過這種方式來學習。

「案例式推理 (case-based reasoning)」並不是一個新名詞，但是，由於應用領域的不同會有所差異。這種情形就像「類比」在不同領域發揮不同角色的功能，在電機工程領域，類比應用在電子產品的設計研發，例如類比電路、類比電壓、類比式電話…等；但是，在教育領域，類比應用在教學和學習兩方面，目前

已有不少相關研究肯定類比教學策略及模式的有效性。同樣地，「案例式推理」目前仍然著重在人工智慧的發展，例如 CAI 電腦輔助教學軟體的研發，設計者根據案例式推理的基本原理透過電腦程式語言將案例建立在資料庫中，以提供教師作為教學資源。但是，從相關文獻中並未發現有學者提出「案例式推理模式」應用在教學領域，然而，學筆者認為「案例式推理」的理念不只可以應用在設計教學軟體方面，「案例式推理」也可以是一種問題解決的方式。因此，筆者根據「案例式推理」的相關理論，試圖進一步提出「案例式推理模式」，並且說明這個模式如何應用在科學教學方面。下一節的內容，筆者將綜合其他學者對「案例式推理」的觀點，進而提出一套適用在科學教學的「案例式推理模式」。

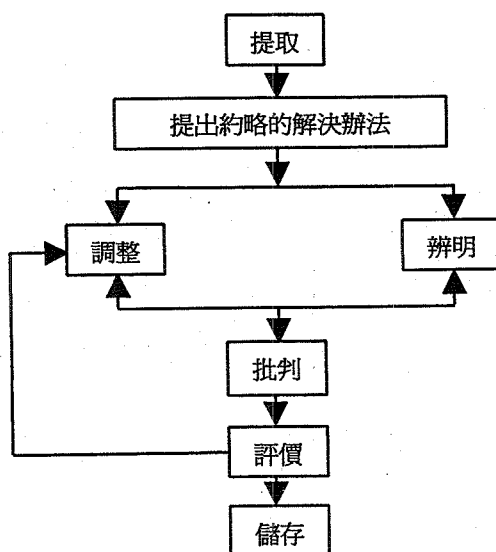
參、案例式推理模式

Kolodner(1992)提出案例式推理的循環歷程，如圖一，包括提取 (retrieve)、提出約略的解決辦法 (propose ballpark solution)、調整 (adapt) 或辨明 (justify)、批判 (criticize)、評價 (evaluate)、儲存 (store)。當個人遭遇到待解決的新問題時，他會去回想在他腦海中 (記憶資料庫) 相關的案例事件，然後從記憶中提取舊的案例情境。再參酌舊案例所獲得的解決辦法，選擇合適的解決方案進行推論，辨明舊案例所提供的解決方案是否能解決新的問題，或者必須將舊案例的解決方案加以修改、調適之後，才適合推論到新案例情境的問題解決。

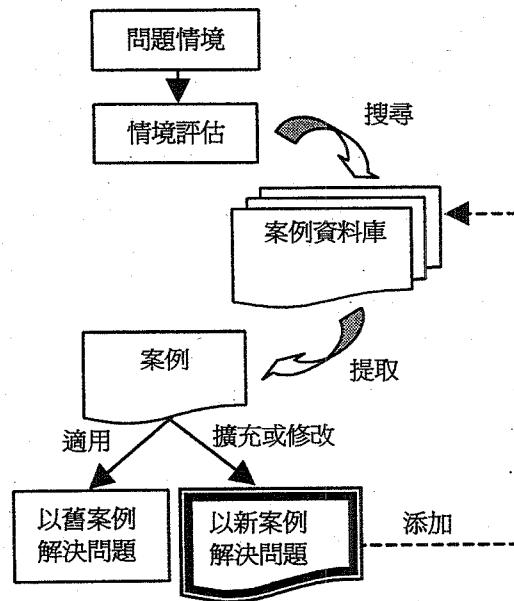
從 Kolodner 的案例式推理的歷程，我們更清楚地瞭解到案例式推理利用案例情境相似，幫助學習者根據類比情境進行推理遷移。顯然，案例式推理其實也是以類比的方式處理新的問題。根據相關的文獻發現，當人們在作類比時很自然地使用自己所擁有的經驗為基礎進行推理 (e.g., Klein, Whitaker, & King, 1988; Kochen, 1983; Read & Cesa, 1990; Ross, 1986, 1989; Kolodner, 1997)，並且類比過程所強調的

重點，在於辨認兩個不同概念之間一對一的映射關係 (Glynn, 1991)。類比教學模式有很多種，例如：一般類比教學模式 (the General Model of Analogy Teaching, 簡稱 GMAT 模式)、類比教學模式 (Teaching with Analogies Model, 簡稱 TWA 模式)、橋樑類比模式、多重類比模式...以及 CBR 模式。然而，只有 CBR 模式強調「案例」情境的類比思考，而其他類比模式大多強調一對一的「概念」映射關係，這是「案例式推理模式」與「一般類比教學模式」的區隔之處。由此可知，案例式推理融合了類比與案例情境的特質，強調學習者對經驗情境的提取、推理、轉化到新的案例情境，最後獲得問題解決。Ross (1986,1989) 的研究指出，人類學習新知識時，常常追溯先前解決過的問題，以喚起他們如何進行解題工作的記憶。他認為生手往往沒有適當地將他們解題的經驗編碼，因而造成後來提取的困難。這些研究證實人們在作推理時，會自然地使用類似的情境來解決問題。然而每個人處理問題的方式不同，別人的經驗也未必適用，是以，案例式推理，係以引發個人的相關案例經驗為主，再輔以參考別人所提供的案例經驗。因此案例式推理不僅符合建構主義有意義的學習取向，並且也是一種很有效率的學習方式。再者，案例式推理所運用的推理思考雖然也是以類比的方式進行，但

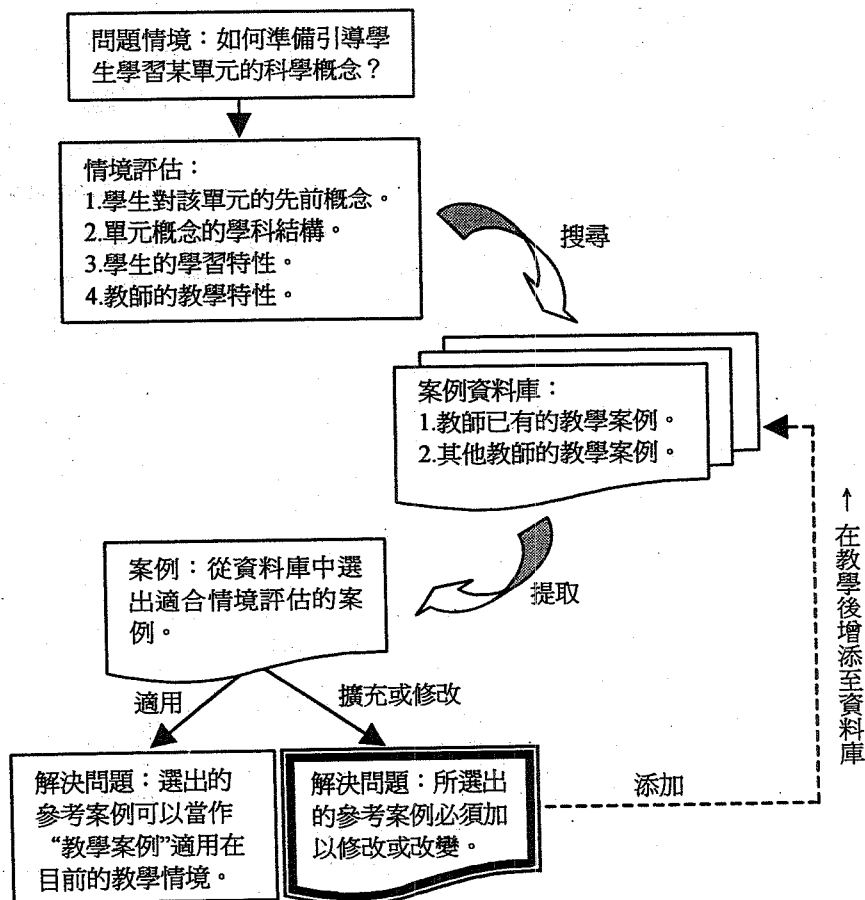
其重點並不是在強調科學概念與類比概念之間一對一的映射關係，而是以案例情境為推理基礎，由教師衡量學生的學習需求和所欲教授的知識表徵，然後以案例設計的方式呈現教材。如此，可讓學生從問題的案例情境著手，更能認識與學習如何進行探究、思考、推理、詮釋和判斷，以及在最後獲得問題的解決。那麼如何運用案例式推理於實際教學呢？Grupe(1993) 雖然提及案例式推理過程的步驟，但是並未提出整體性的系統模式，而 Kolodner(1992) 雖然已經提出案例式推理的歷程，但是關於如何運用該流程來解決新的問題並未說明，因此，筆者結合 Grupe 提及的案例式推理特點和 Kolodner 提及的案例式推理歷程，提出案例式推理模式 (如圖二)。根據圖二所示，當個體遭遇到一個待解決的新問題時，首先，他應該確認所面臨的問題情境；其次，針對該情境加以評估，瞭解問題的脈絡情境；再者，運用案例式推理思考從記憶中或其他資料庫中搜尋並提取出最適切的案例情境；最後，倘若舊的案例情境所提供的解決辦法能適用在新的問題情境，則問題就可以獲得解決，假使舊的案例情境所提供的解決辦法並不能圓滿解決新的問題，這時必須根據新、舊情境的不同作擴充或修改，以獲得新的解決辦法。



圖一 案例推理的歷程 (Kolodner, 1992)



圖二 案例式推理模式



圖三 案例式推理模式在教學設計上的應用

事實上，我們在日常生活中經常利用案例式推理思考解決生活上所遇到的問題，只是

專家和生手的差別，能善用案例式推理思考的人在面對問題時，搜尋的能力較強，能對情境

做出適當的評估以提取適切的參考案例，因此成爲解決問題的專家；而生手則是因爲缺乏案例式推理的能力所致。筆者認爲未來的課程導向，教師應該具有案例式推理的能力，以設計符合案例式推理的教學活動，讓學生在學校就能培育案例式推理能力，因此筆者首先建議，教師應具有案例式推理模式的思考能力來設計教學活動。教師在教學設計方面所運用的教學思考（如圖三）。由圖三顯示，教師首先必須確認教學目標，瞭解他所欲教授學生的單元概念。其次是評估目前的教學情境，考量學生、教材和教師等向度，包括瞭解學生對該單元的先前概念、單元概念的學科結構、學生的學習特性、以及教師的教學特性。然後，再根據問題情境所作的評估條件搜尋案例資料庫，從教師教師已有的教學案例或其他教師的教學案例中提取相關的參考案例，如果選出的參考案例完全符合教師目前的教學情境，那麼此案例就可以當作本單元的教學案例，教師也可以斟酌當時情況將此參考案例加以擴充或修改，最後擬出完善的案例進行教學。此外，整個教學過程提供了最新的回饋給教師作爲反省，如此不斷地精鍊教師的教學案例，有助於提升該教師的教學經驗。

肆、以科學史作為案例式推理的案例啓發學生的科學思考

其次，筆者建議教師應該具有設計案例式推理教材的能力。在此，將以科學史作爲案例式推理的“案例”來說明如何設計案例式推理教材以啓發學生的科學思考。

Conant (1951) 首先主張透過科學史的案例研究可以讓學生了解科學的進展過程、科學所牽涉的面向，以及科學如何融入社會脈絡。Oldroyd (1977) 認爲學生由科學史可以了解科學家面對問題時的思考或實驗探究的歷程，有助於學生領悟解決問題的方法，而且適當的科學史例子，有助於學生領悟科學家創造的過程。洪振方 (1997) 也指出啓迪學生心智的最

好方法，就是讓他重新走過一次心智發展的足跡。因此，在教學上可以安排以歷史爲背景，而且以科學思想發展史爲認知見習題材，這類的教學將有助於培養學生具有科學家解決問題的深思方法與創造過程。

教師亦可以採案例研究的方式，針對各種科學思考能力從科學史上找出最具代表性的科學家，從案例分析中得到一些有益的啓示，例如科學家的直觀思考、類比思考、批判思考、探究思考、創造思考…等等。然而這些啓示並不是抽離脈絡地給學生，而是透過豐富的歷史脈絡與生動的情景引導學生自己去體會，自己去獲取教益。因此，具體深入地剖析若干科學發現的“案例”，詳細了解若干科學大師們科學創造的思路，讓學生從案例中得到一些啓發與穎悟，進而讓學生在案例中得到的啓發與穎悟來解決日常生活中相似的問題，這是案例式推理應用於教學的一個重點。以下以 Cavendish 和 Coulomb 發現電力遵循平方反比定律的過程，來探討如何在教學中以科學史作爲案例式推理的案例，以啓發學生的科學思考。

1687 年，Newton 用數學方法證明：如果萬有引力遵循平方反比定律，則均勻的物質球殼對殼內任何一點並無作用。十八世紀中葉，科學家嘗試從 Newton 萬有引力的規律推測電力的性質。根據 Newton 的萬有引力定律，兩質點之間的萬有引力與兩質點的距離平方成反比，當時有很多科學家猜測電荷之間的作用力與電荷間的距離平方成反比。在 1755 年，Franklin 的空罐實驗發現罐中的木球不帶電，但是，當時他並不知道如何解說這個實驗現象，於是他寫信求教於 Priestley。之後，在 1759 年，Aepinus 對電力作研究，他在書中假設電荷之間的作用力會隨著兩帶電物體之間距離減少而增大電力的作用，然而他並沒有進一步找出它們之間的數量關係，因此只是他的猜測而已。Priestley 則在 1766 年重複 Franklin 的空罐實驗，並且在 1767 年的《電學歷史和現狀及其原始實驗》一書中提出推論：電力與萬有引力均遵循同一定律，也就是距離平方反比的物

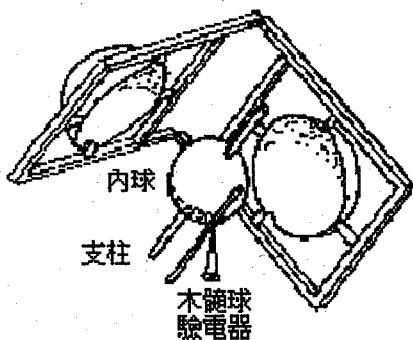
理特性。

可惜，Priestley 並沒有再深入以實驗論證，而且推論本身並不能就此證明電荷間所遵循的電力規則，因此他的說法並沒有受到科學界普遍地重視，人們對於電力是否遵循距離平方反比的物理特性依然停留在猜測階段。直到 1773 年，Cavendish 巧妙地設計同心金屬殼的實驗裝置（如圖四所示），外球殼是兩個同心金屬半球，合攏正好與內球同心。他利用一條導線連結內外球，當外球帶電後，取走導線，結果由木髓球驗電器發現外球雖然帶電，但是內球幾乎不帶任何電量，間接驗證電力遵循平方反比定律。另一個代表人物是 1785 年 Coulomb 所設計的扭秤實驗（如圖五所示），他讓兩個小球帶有相異的電性，利用兩球之間的排斥力對銅線造成扭轉現象，在排斥力與扭力達成平衡後，記錄兩帶電球的電力大小和偏離的距離，直接驗證電力遵循平方反比定律。雖然 Cavendish 的實驗比 Coulomb 的實驗早了十年以上，誤差也比較小，可惜他當時並沒有將研究結果及時發表出來，因此他對科學的發展並沒有推動作用。

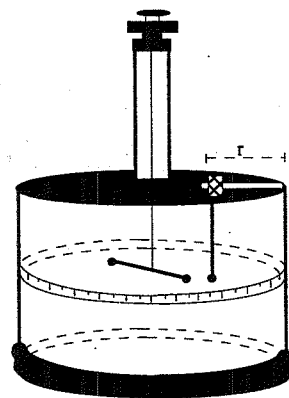
儘管如此，筆者認為這些科學家如何找

出電力規則的思考歷程值得深入探究，由上述科學家對電力規則的猜測顯然來自萬有引力定律的類比，這個論點我們可以從 Cavendish 和 Coulomb 的實驗比較獲得更多瞭解（如表二所示）。

Cavendish 的實驗並不是直接測量兩帶電體之間的電力關係，而是推論自 Newton 的論證“球殼內任一點不受球殼引力的作用”，推論到如果電力遵循這種特性，即，球殼內任一點不受球殼“電力”的作用，那麼就能證實電力遵循平方反比定律，Cavendish 的實驗就是利用這種方式，顯然，在 Cavendish 心中早就有電力遵循平方反比定律的預測。在 Coulomb 的實驗方面，雖然他是直接測量電荷之間的作用力與距離的關係，但是由於精確度有限，其實驗結果並不是剛好呈現平方反比的函數關係。如果以平方反比的概念表示，Coulomb 的指數偏差約 0.04，如果 Coulomb 不是先有平方反比的概念，他為何不以 $F \propto 1/r^{2.04}$ 或 $F \propto 1/r^{1.96}$ 來表示？顯然，Coulomb 事先對電力的推測應該也是抱持平方反比的思想架構（郭奕玲和沈慧君，1994，p.168）。



圖四 Cavendish 的空心金屬球實驗



圖五 Coulomb 的扭秤實驗

表二 Cavendish 和 Coulomb 的實驗比較

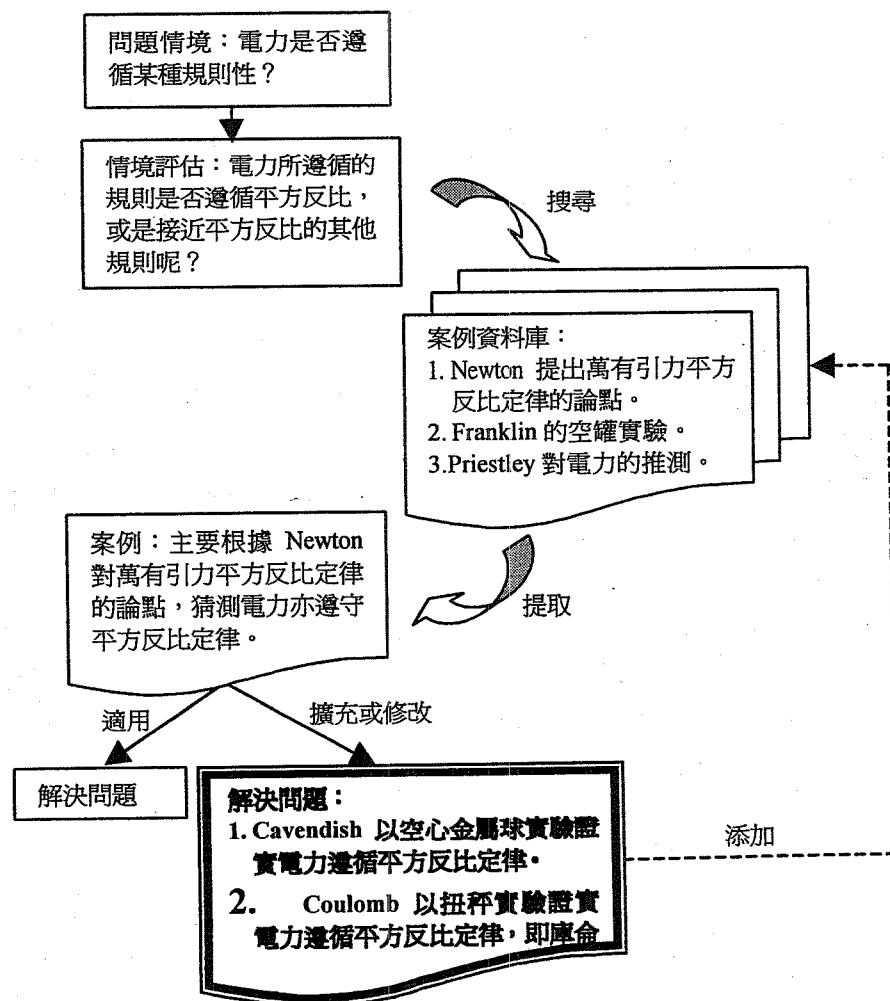
實驗者	實驗裝置	電力 F 的指數偏差 δ
1773 年 Cavendish	同心金屬球裝置 (間接驗證)	$\delta=0.02$
1784 年 Coulomb	扭秤實驗 (直接驗證)	$\delta=0.04$

假如之前沒有 Newton 以數學方法證明“均勻的物質球殼對殼內任何一點並無作用”這個重要的論證，單憑盲目的實驗操作，電力遵循距離平方反比的發現可能如大海撈針般的困難。由於，Cavendish 和 Coulomb 都能掌握 Newton 所提的論點，甚至參考其他科學家所思考的案例情境，例如 Franklin 的空罐實驗和 Priestley 的推論，確認心中對電力遵循距離平方反比的信念，最後終於設計出檢驗電力是否遵循平方反比定律的實驗方法。他們解決電力問題所用的思考過程，可用案例式推理來說明，如圖六所示。

由上所述，因此，在教學上教師可以利用科學史案例所蘊藏豐富的案例式推理思考歷程，以案例式推理的教學方式讓學生從教學中見習科學家如何運用科學思考來解決問題。例

如，當學生在電學單元學習關於電力與距離平方成反比時，教師可以先讓學生思考在力學的情形，敘述 Newton 發展萬有引力的故事，然後，讓學生從 Newton 的故事作類比引發案例推理思考，讓學生猜測電荷的關係。在學生稍加思考後，教師再與學生討論在歷史上 Cavendish 和 Coulomb 如何從 Newton 的萬有引力的案例和其他科學家的實驗案例獲得啓示，而以不同的實驗設計驗證電力遵循平方反比定律的猜測。

如何把握科學家的思考以設計成案例式推理的教學呢？在此，筆者建議以認知歷史分析法（Cognitive-Historical Analysis）剖析科學史的案例。認知歷史分析著重在認知層次，試圖以科學史的案例深入地剖析科學探究的認知內涵，其理論基礎可以參考 Tweney（1989）



圖六 Cavendish 和 Coulomb 所運用的案例式推理過程

和 Nersessian (1992) 所提的認知歷史分析法。約略言之，認知歷史分析法係利用廣泛的歷史記錄，例如科學家經由創造、改變、和傳達瞭解等實踐活動所獲得的結果，包括日誌、實驗記事本、信件、實驗設備、圖表……等等，在認知層次上作剖析，有助於瞭解科學家如何善用類比、意象推理、思想實驗、以及批判思考進行科學的探究，而此將使學生更能真切地體會科學家的思考歷程，以及認識科學家的思考模式，認知見習科學家如何在研究上進行探究、推理、判斷、詮釋、與解決問題，因此，如果教師能以認知歷史分析法剖析科學的案例，以安排適切的案例式推理教學情境，應該有助於學生科學思考的培養與發展（蕭碧茹和洪振方，2000）。

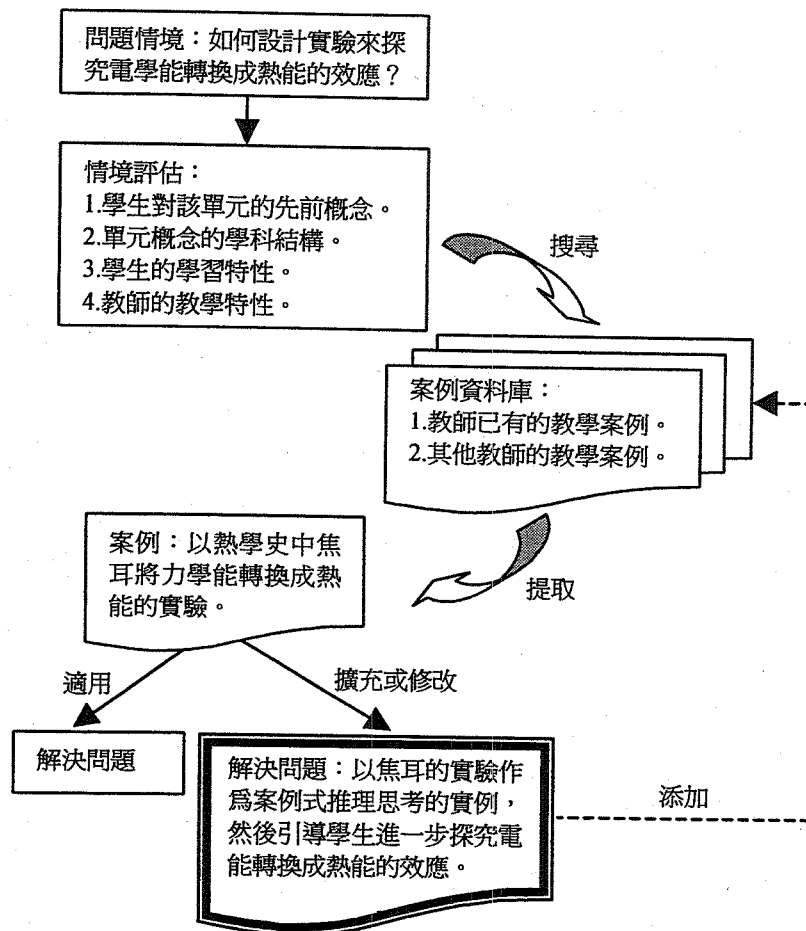
伍、案例式推理教學模式應用在教學上的實例說明

再者，筆者建議教師應具有實踐案例式推理教學的能力。如前一節引用科學史的方式，筆者在此將以熱學單元為例，說明如何運用在科學史上力學能轉換成熱能的焦耳實驗，讓學生作為案例以思考在日常生活裡如何設計實驗來探究從電學能轉換成熱能的效應。此整個教學流程可作為培育教師具備實踐案例式推理教學的能力之參考案例，流程如圖七。根據圖七所示，教師首先應該確認所欲教授的教學目標，分析該單元的問題情境，例如，「如何讓學生以實驗設計的方式來探究電學能轉換成熱能的效應？」目標明確之後，教師必須對目前的教學條件進行評估，考量學生的學習特性及可能具有的先前知識、教師本身的教學特性、以及教材的特性等。然後從案例資料庫中進行搜尋，教師可能會思考以前他曾經在這個單元所用過的教學案例，或者考慮參考其他教師的教學案例，最後決定出他認為最適切的教學案例。假設他最後決定以焦耳實驗的科學史案例作為這個教學單元的教學案例，這時他必

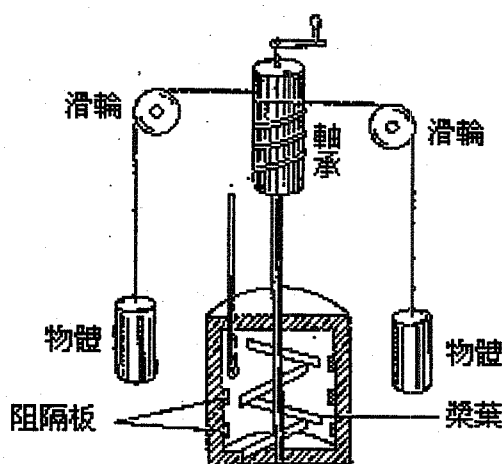
須對學生引述這段科學史的相關內容：

十九世紀以前，人們對‘熱’的認識普遍相信「熱質說」，以為在物體內含有一種沒有重量的流體物質，稱為「熱質」。當兩物體摩擦時會產生熱，這是熱質流體從物體中擠出來。直到十八世紀末期，Rumford 對熱質說提出質疑，他在 1798 年提出熱是由運動產生的觀點。

Joule 出生於英國 (1818~1889)，父親是一位富有的啤酒釀酒商，他對釀酒用的蒸氣機等電器設備感到興趣，甚至一生都投入熱能和機械功的相關研究。在 1840 年，Joule 測量電流通過電阻線所放出的熱量，他發現了電能和熱能轉化的定量關係，在單位時間內導線所產生的熱量正比於電阻值，並且平方正比於電流強度，即“焦耳定律”。1842-1870 年，Joule 根據熱是由運動產生的這個觀點，他做了一連串這類作功生熱的實驗，在 1843 年，Joule 以手搖發電機將電通入線圈，再把線圈置入水中，然後測量熱量與電流的關係，他發現熱量與電流平方成反比。從這個實驗，他發現可以利用機械作功來產生電能，再轉換成熱能。在 1847 年，他在絕熱容器中以槳葉攪動水的實驗設計，精確地測出熱功當量，例如圖八。物體下落時，經過一個滑輪帶動一個附有槳葉的軸承，當槳葉沈入水中，攪動時會使水與容器內固定的阻隔板發生摩擦生熱，而使水溫升高。經過很多次仔細的量度和計算，他發現物體下落時帶動槳葉所做的功，等於水增加溫度所需要的熱。如果物體落下所作的功以“牛頓·公尺”（焦耳）為單位，而 1 公克水升高 1°C 所需的熱量為 1 卡，Joule 確定“力學能與熱能的交換比率”，即 1 卡 = 4.18 焦耳，這個數值稱為“熱功當量”。



圖七 案例式推理模式應用在教學上的實例流程圖



圖八 焦耳的裝置

透過對科學家認知過程的解釋，可以提供學生在教室中的某種‘認知見習’(Hennessey, 1993)。因此，科學史案例的安排非常合適，教師甚至可以採用認知歷史分析法

深入認知的層次探究科學史的內涵，探討科學家在研究過程中所運用的科學思考能力，例如直觀能力、思維方式或是該科學家在研究過程所採取的捷思法(heuristics)等，這將會有助於

學生見習科學家在科學活動中的科學思考與解決問題的過程。

其次，教師以熱學史中 Joule 如何將力學能轉換成熱能的實驗作為案例式推理思考的案例，引導學生探究電學能轉換成熱能的效應。教師以小故事的方式說明焦耳如何設計實驗裝置，將力學能轉換成熱能，而且找出力學能與熱能的交換比率，也就是「熱功當量」。這個實驗的介紹，有助於學生了解「熱」的能量形式及其轉換的科學概念，此時學生所獲得的概念仍屬於學科知識，因為大部分的學生並不會主動地聯想到生活周遭的相關經驗。因此，教師可以透過提問的方式引發學生進一步思考該科學概念與生活經驗的關連性和應用性。例如，教師可以問學生：「聽完老師所講的小故事，你如何以生活上的相關事件為主題推算電能與熱能的關係？」對於教師的提問，學生所想到的問題解決情境不一定相同，因此在這個階段將以學生為活動主角，讓學生自由分組，藉由小組合作的方式進行探究活動，發揮團隊合作的精神，共同面對問題，進而尋求問題的解決。而且透過小組的分享與建議，學生更能體認同一件事可能有不同的觀點，在活動過程中學生更能體會其他不同的思考方式和解決問題的，學習如何傾聽、理解、協商、設計、執行、解釋、辯駁、評判…等。教師在學生的探究活動中擔任諮詢顧問的角色，當學生遇到困難時給予適當地建議、援助和鼓勵。學生的探究活動，如圖九，包括小組討論、擬訂計畫、

精煉設計、以及展現成果等四個階段：

(一) 小組討論：

根據教師的提問方向，學生採分組的方式進行討論，從生活中找尋研究主題，並且設計實驗來驗證假設（創造性思考）。

(二) 計畫初擬：

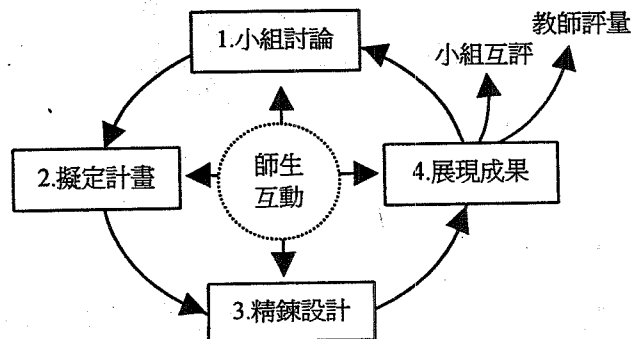
小組成員在充分討論後提出初擬的計畫。這個階段有助學生對實驗的規劃。雖然學生無法像科學家一樣對問題提出多樣性的思考，但是若以小組的方式進行腦力激盪，也可以提出多樣的思考角度。在這個階段，小組必須進行協商，討論如何組織資料、如何組織證據、以及如何呈現設計，最後擬出初步的具體計畫。

(三) 精煉設計：

當我們在面臨一個問題情境時，除了自己的經驗外，另一個重要的資源是來自其他人的經驗或建議。各組之間互相分享和觀摩，並且接受其他各組的批判或建議（批判性思考）。在這個階段，各組可以再精煉各自的研究設計，而且有助小組之間的溝通。

(四) 展現成果：

各組發表或展現研究結果，彼此提供成果分享。最後的呈現方式由各小組決定，方式不拘，可以採口頭的或書面的報告來呈現他們探究的結果，例如實驗操作、上台報告、角色扮演、海報、或看板等多樣方式，讓學生有較多發揮的空間。



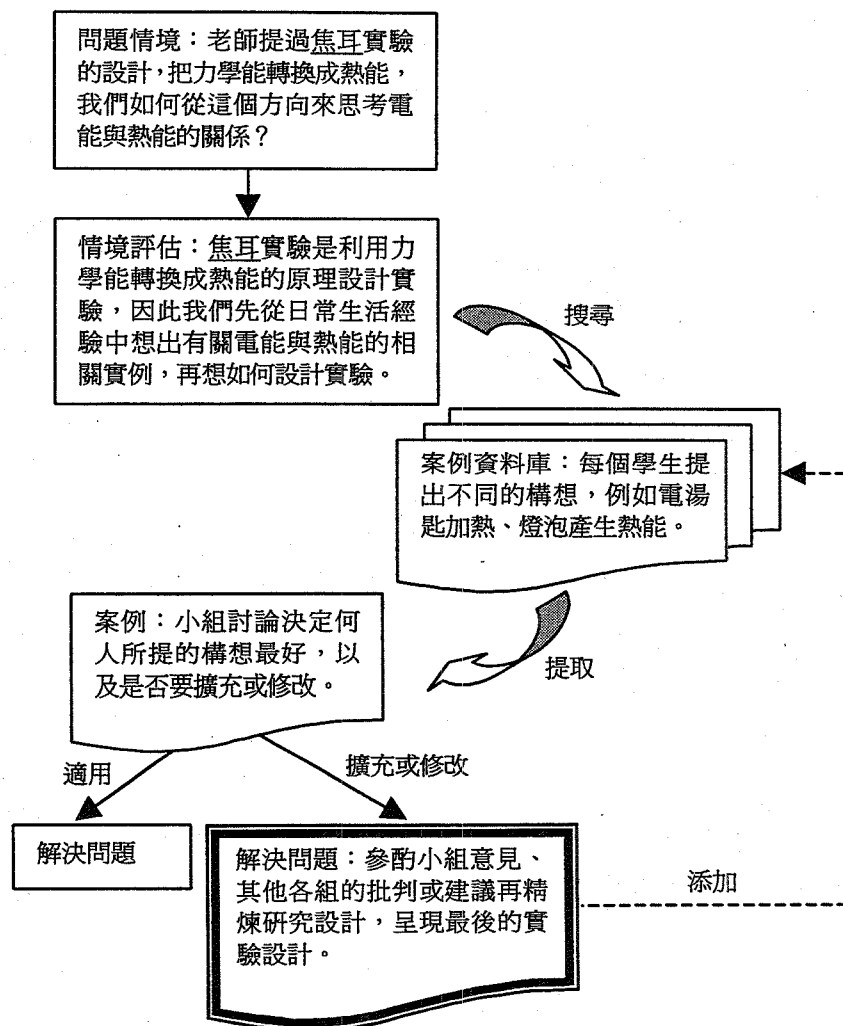
圖九 學生探究活動

在評量方面，教師根據學生的探究過程進行評分，也可以採小組互評的方式，促使學生從互評的過程中，增進學生對彼此的欣賞。更重要的是，這個探究過程讓學生有機會以案例式推理的思考歷程進行活動（如圖十）。

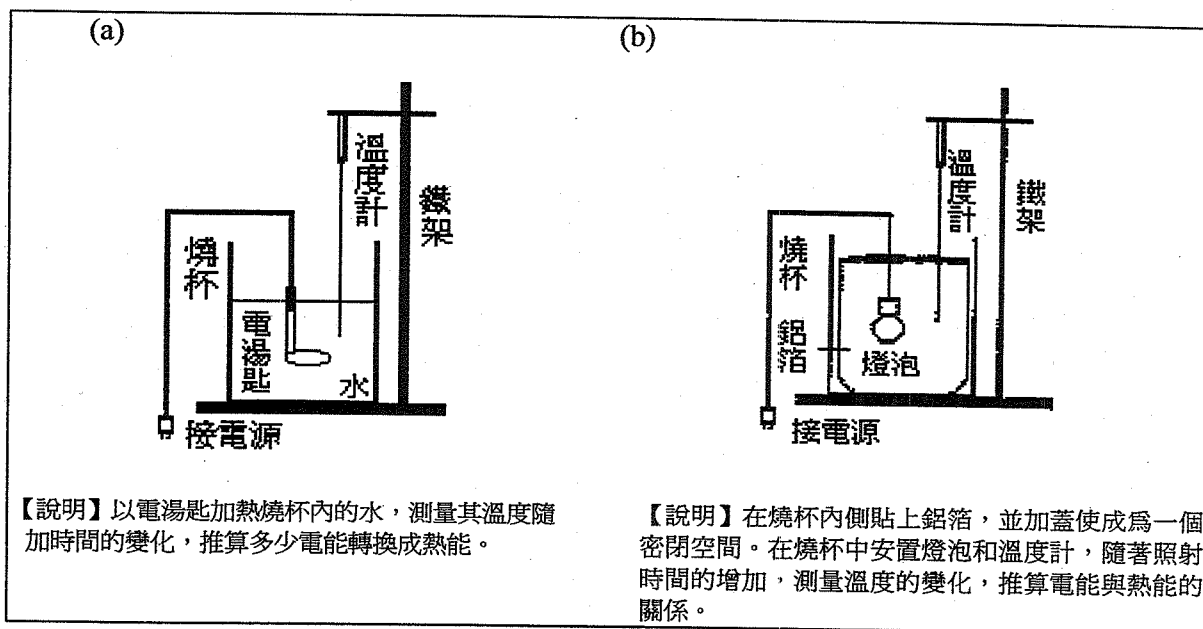
在學生的探究實驗之後，由教師帶領學生比較焦耳的實驗（如圖八）與他們的實驗（學生的研究設計，如圖十一）有何異同之處，然後在相較的過程中引介熱功當量的函數關係式，最後，引導學生模仿焦耳實驗的函數關係，推導出電能與熱能的函數關係，如表三所示。

一般學生對科學概念的學習最感到困難的地方，除了抽象的科學概念之外，抽象的運算符號或公式也頗讓學生感到頭疼。倘若能以

案例式推理模式進行教學，透過科學家實驗的介紹、學生的探究活動、以及兩種實驗活動的比較，最後才引介公式的呈現方式，這種課程安排應該更能讓學生瞭解科學概念與公式之間的存在關係。而且，即使學生所提出的實驗設計相當簡單，但是當中所蘊含的學習意義卻是豐富的，有助於激發學生創造的靈感。尤其，在教學過程中，教師以案例式推理教材進行教學，進而讓學生以案例式推理的方式思考設計實驗，學生在活動過程運用類似科學家的思考，例如探究、推理、分析、判斷…等，也使他們更能體驗科學家的工作和生活。最重要的是學生能從案例式推理思考中獲得解題的線索，以順利解決他所面臨的問題。



圖十 學生在探究過程中所運用的案例式推理思考流程



圖十一 實驗裝置圖 (a & b)

表三 焦耳實驗與學生實驗的比較

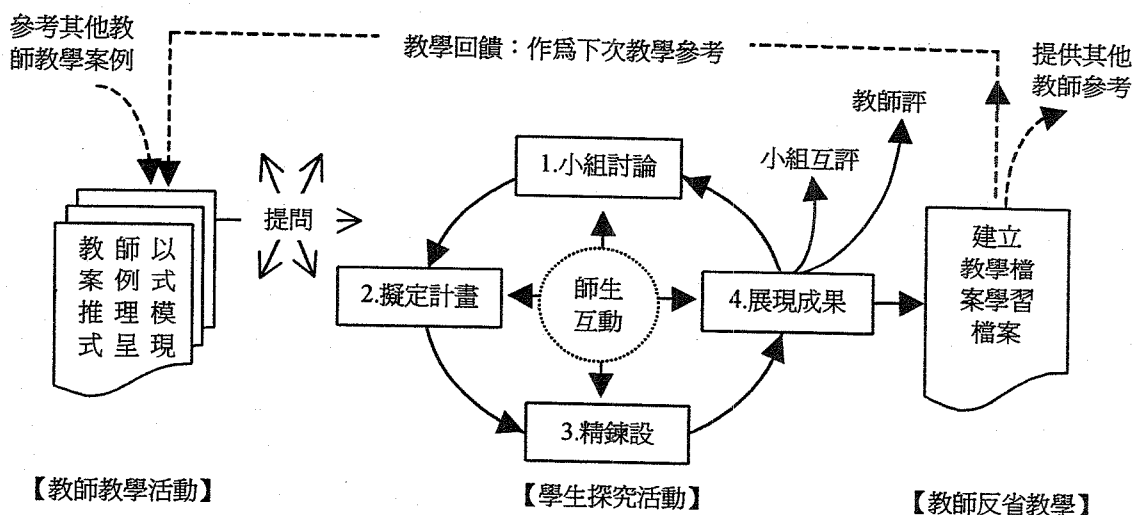
焦耳實驗	學生實驗
物體所作的功 = 水增加溫度所需的熱	所消耗的電能 = 水增加溫度所需的熱
$M \cdot g \cdot h = M \cdot S \cdot \Delta T$ (公式)	$P \cdot t = M \cdot S \cdot \Delta T$ (公式)
(力學能 \rightarrow 熱能)	(電能 \rightarrow 熱能)
M: 質量 g: 重力加速度 h: 高度 S: 比熱 ΔT : 溫度變化	P: 瓦特 t: 時間

案例式推理模式不僅適合高成就群的學生運用來學習，同時也適合低成就群的學生。因爲案例式推理思考模式可以先引導學生以模仿案例的方式來解決問題，然後再漸進地激發學生以創新案例的方式解決問題。資質較差的學生或許一開始只能做到搜尋類似的案例情境，然後以依樣畫葫蘆的方式解決問題。但是，當他們熟悉如何善用案例式思考之後，可以增強搜尋能力，提取出最適切的參考案例，進而分析舊案例所提供的解題線索，重新修改成更符合新情境的解決辦法，甚至跳脫原先舊情境的限制，產生新的創見。

陸、建立學習社群

最後，筆者建議成立案例式推理教學的資料庫和討論群，如上述所討論，教師如何利用案例式推理促進學生學習與思考頗值得進一步探究，此外，教師如何應用案例式推理來進

行科學教學的這個情境又形成其他教師的教學參考，也就是提供其他教師在實際教學上的“案例”，形成重要的教學回饋。當教師利用案例式推理的方式促進學生對案例的思考，事實上，教師如何應用案例來進行科學教學的情境又形成一個案例，可以提供其他教師參考的案例。如此一來，隨著案例的日益增多，形成良性循環的教學回饋，可以提供參考的案例情境愈來愈豐富，有益於教師設計出更適切的案例作爲下一次的教學案例。因此，不僅教師的教學活動以案例式推理教學模式進行，學生的探究活動也是以案例式推理模式解決問題，實際上，整個教學活動其實就是讓教師熟悉案例式推理的教學模式，教學生以案例式推理模式，學會案例式推理模式的運作方式。如此一來，在學生學習方面與教師的教學方面，形成更緊密的良性互動循環（如圖十二所示）。



圖十二 教師教學與學生學習之間所形成的良性互動循環圖

如果我們能結合多位教師的所提供的教學案例，多樣性的案例資料有助於教師對學生的思考和學習情況的掌握和瞭解，這種教學回饋是一種寶貴的教學資源。從學生所設計的案例成果，以及教學案例資料庫不斷地補充和更新，有助於教師了解學生真正的想法，進而掌握學生的學習情況。至於如何結合教師的教學資源和心得分享，筆者認為透過網路形成學習社群是不錯的方法。如今，各式各樣的輔助教學軟體或是硬體設備相當豐富，這些支援設備可以主要還是為了協助學習者達成有效的學習或是支援教師營造更好的教學情境，教師們在真實教學情境中彼此的分享提供了活絡的教學資源。透過網路的方式，把教師在教學上所形成的良性互動循環（案例式推理小循環），連結成一個有系統、有生命力的案例式推理教學網站，形成案例式推理大循環。

因此筆者除了提出案例式推理教學之外，也建議能藉著網路有系統地凝聚不同教師的教學經驗和支援，建立網路學習社群，藉由學習社群提供相互支援或教學分享。在案例式推理教學資源網站上，學習社群各自提供自己所設計的教學故事，在網站上討論區彼此提供諮詢意見和批判，可以參考他人的教學故事，根據自己的實際教學需要調整呈現方式，使能適用於新的教學情境，重新精鍊後再將案例納

入案例資料庫中，逐漸擴充案例式推理系統的多樣性。

柒、結論

未來的課程在教學上所注重的並不是教給學生僵硬的學科知識，而是引領學生如何學校課程中培養出解決生活問題的能力。筆者認為案例式推理值得在科學教學上落實，學生從學習的過程中必須學會如何運用案例式推理思考，從案例式推理的教學環境中學到相關的科學概念，而且他也能習得如何運用案例式推理的方式。這種思考能力就是他帶得走的知識，有助於解決日後在生活上所遭遇的難題。

目前案例式推理的主要應用仍然在人工智慧方面，大多採案例式電腦軟體的形式提供設計好的教學案例來支援教學。但是，令人遺憾的是，軟體設計者與教師之間對教材組織理念往往會有些差異，況且教師並沒有學會如何利用案例式推理進行教學。因此，案例式電腦軟體所提供的教材真正在教學上的應用空間相當有限。筆者認為要真正落實案例式推理於教學，首先應該讓教師瞭解如何運用案例式推理的能力。當教師能熟悉這種思考方式，可以根據個人的教學特性和學生的學習狀況，把案例式推理的方式結合其他教學法或教學策略，發

展出更適合教學情境的方式。

筆者認為案例式推理的理念不應該侷限在案例式軟體的研發，教師本身應該具有案例式推理思考的能力，才能真正有效地利用案例式軟體教材或者有效地轉化案例式資料庫中所提取的教學案例。教師是最瞭解學生目前學習狀況的人，因此最佳的教材主要應該來自教師在教學上的真實案例，若能有效地凝聚不同教師的教學案例，這將會是最佳的案例式資料庫。因此，在教學方面筆者建議，以教師的教學案例為基礎建立案例式推理教學網路系統，形成案例式推理網路學習社群，吸引具有相同教學理念的教師相互提供資源與教學心得，同時也開放討論空間接受不同意見，在師資培育方面則有助於促進教師專業能力的成長。目前我們所須努力的方向包括培訓教師學會如何抉擇或擬定案例式推理的案例，如何安排適切的教學情境，以及如何教授學生以案例式推理的思考方式解決問題。

捌、參考文獻

- 林清江 (1998)：國民教育九年一貫課程規劃專案報告。
- 教育部編印 (1998)：國民教育階段九年一貫課程總綱綱要。
- 郭重吉 (1998)：從認知觀點探討自然科學的學習，*教育學院學報*，13 期，351-379 頁。
- 郭奕玲、沈慧君 (1994)：*物理通史*，pp.168。台北：凡異出版社。
- 邱美虹 (1996)：學習策略與科學學習，*科學教育月刊*，191 期，2-15 頁。
- 洪振方 (1996)：科學知識重建的認知取向，*高雄師大學報*，7 期，293-328 頁。
- 洪振方 (1997)：科學史融入科學教學之探討，*高雄師大學報*，8 期，233-246 頁。
- 蕭碧茹、洪振方 (2000)：認知歷史分析，投稿中。
- Cary, S., & Smith, C. (1993). On understanding the nature of scientific knowledge. *Educational Psychologist*, 28(3), 235-251.
- Conant, J.B. (1951). *Science and Common Sense*, Yale University Press, New Haven. 中譯本：趙盾譯 (1964)：*科學入門*，香港：今日世界社。
- Gertzman, A., & Kolodner, J.L. (1996). A case study of problem-based learning in a middle school classroom: Lessons learned. In E. Domeshek & D. Edelman (Eds.), *Proceedings of the 1996 International Conference of the Learning Sciences* (pp.91-98). VA: American Association for Computers in Education.
- Grupe, F.H. (1993). Case-based reasoning. <http://www.global.ebscohost.com/ehost/login.html>
- Glynn, S. M. (1991). Explaining science concepts: A teaching with analogies model. In S. Glynn, R. Yeany & B. Britton (Eds.), *The Psychology of Learning Science* (pp.219-240). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Hennessy, S. (1993). 'Situating Cognition and Cognitive Apprenticeship: Implications for Classroom Learning', *Studies in Science Education* 22, 1-41.
- Hennessy, S. (1993). 'Situating Cognition and Cognitive Apprenticeship: Implications for Classroom Learning', *Studies in Science Education* 22, 1-41.
- Klein, G. A., & Calderwood, R. (1988). How do people use analogs to make decisions? In J. Kolodner (Ed.), *Proceedings: Workshop on case-based reasoning* (DARPA). San Mateo, CA: Morgan Kaufmann.
- Kochen, J. (1983). How clinicians recall experiences. *Methods of Information in Medicine*, 22, 83-86.
- Kolodner, J.L. (1992). An Introduction to Case-Based Reasoning. *Artificial intelligence Review*, 6, 3-34.
- Kolodner, J.L., Narayanan, H., & Hmelo, C. (1996). Problem-based learning meets case-based reasoning. In E. Domeshek & D. Edelman (Eds.), *Proceedings of the 1996 International Conference of the Learning Sciences* (pp.188-195). VA: American Association for Computers in

- Education.
19. Kolodner, J.L. (1997). Educational implications of analogy: A view from Case-Based Reasoning. *American Psychologist*, 52, 35-44.
 20. Leake, D., Kinley, A., & Wilson, D. (1997). Learning to Integrate Multiple Knowledge Sources for Case-Based Reasoning. *Proceedings of the Fifteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Morgan Kaufmann, San Francisco.
 21. Oldroyd, D. R. (1977). Teaching the history of chemistry in New South Wales secondary schools. *The Australian Science Teachers Journal*, 23(2), 9-22.
 22. Narayanan, N. H., Hmelo, C.E., Petrushin, V., Newstetter, W. C., Guzdial, M., & Kolodner, J.L. (1995). Computational support for collaborative learning through generative problem solving. In J.L. Schnase (Ed.), *Proceedings of CSCL 95: The First International Conference on Computer Support for Collaborative Learning* (pp.247-254). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
 23. Narayanan, H., & Kolodner, J.L.(1995, November). Case libraries in support of design education: The DESIGNM use experience. In *Proceedings FIE'95 (Frontiers in Education*, pp. 2b2.1.2). Atlanta, GA: IEEE Press.
 24. Nersessian, N.J. (1992). How Do Scientists Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science. In N. G. Ronald (Ed.), *Minnesota Studies in the PHILOSOPHY OF SCIENCE. VOLUME XV*, Cognitive Models of Science. Minnesota :University of Minnesota Press.
 25. Radosevich, L. (1998). AI wises up.
 26. 《<http://www.global.ebscohost.com/ehost/login.html>》 Read, S., & Cesa, I. (1990). This reminds me of the time when Expectation failures in reminding and explanation. *Journal of Experimental Social Psychology*, 26, 1-25.
 27. Riesbeck, C.K. & Schalk, R.C. (1989). Inside Case-Based Reasoning (Hillsdale, IL, Lawrence Erlbaum Associates).
 28. Ross, B.H. (1986). Reminders in learning: Objects and tools. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.) *Similarity, analogy, and thought*. New York: Cambridge University Press.
 29. Ross, B.H.(1989). Some psychological results on case-based reasoning. In K.J. Hammond (Ed.), *Proceedings: Second workshop on case-based reasoning* (DARPA). San Mateo, CA: Morgan Kaufmann.
 30. Tweney, R.D. (1989). A framework for the cognitive psychology of science. *Psychology of science*,p342-366 .
 31. Watson, I. (1997). Applying Cased Reasoning: Techniques for Enterprise Systems. Published by Morgan Kaufman publishers. 《<http://www.ai-cbr.org/book.html>》

Case-Based Reasoning and Science Teaching

Bih-Ruh Shiau and Jeng-Fung Hung

National Kaohsiung Normal University Graduate Institute of Science Education

Abstract

Case-base reasoning is initiated from the intent of enhancing the cognition function of computers. By means of this, when the users encounter new problematic situations, he/she can gather the related situations of the case data kept in the computer so as to sort out the solution for the new issues. Currently, the cognition psychologists suggest that case-based reasoning could be applied to the field of teaching. The writer of this essay believes that the pattern of case-based reasoning might help in designing the teaching activities of problem-solving. Every problem has its own context, namely, the situation of the case. From the case situation of the problem, the students can know and learn more about how to investigate into, think about, reason out, interpret and judge the case, and, finally, solve the problem. The learners may, in the case situation of the new problems, apply the method of analogy and reasoning into the case and consider how to solve the new problem by the aforesaid problem-solving proceeding. In addition to discussing the significant viewpoints and feasibility of the case-based reasoning in science teaching, the writer also suggests to take the teachers' teaching cases as the base for the internet system of case-based reasoning in the hopes of enhancing the professional teaching knowledge of the teachers by forming the internet data base and discussion groups of case-based reasoning teaching and by sharing, discussing, and analogical reasoning the teaching cases.

Key Words: Science teaching, Problem-solving, Case-based reasoning.