

# 科學理論形成與精煉過程對科學學習的意涵

丁信中\* 洪振方\* 楊芳瑩\*\*

\* 國立高雄師範大學 科學教育研究所

\*\* 國立臺灣師範大學 地球科學系

## 摘要

本文主旨在於以 Toulmin(1969)的論證模式對「古海荒漠」理論的發展進行分析，並以分析結果探討理論形成的論證結構對科學學習的啟發。從分析「古海荒漠」理論形成的過程，我們看到：在科學理論形成的醞釀時期，不同專業領域背景的科學家對初始現象給予不同的意義與詮釋。造成差異詮釋的主因在於，科學家們基於不同的背後支持理論，所引用的論據對現象所提供的解讀便有所不同，如：對於石膏礫石層的現象，許靖華以地質學的背景提出地中海乾化假說及雷恩基於地球物理學的角度提出鹽海假說。在此差異詮釋下，理論最終可以形成的主因在於，科學家們在彼此假說的衝突點上各自進行理論承諾的預測，再經由證據來判斷何者假說的可解釋性較佳。本文以四個向度來呈現理論發展之分析：(1)假說的形成；(2)對立面的重要性；(3)理論承諾；(4)理論的精煉。據此，探討理論形成與精煉過程對科學學習的意涵。

關鍵字：科學史、科學哲學、科學學習

隨著科學教育界對於建構主義的重視，近年來科學教育的方向已逐漸將建構知識的主體回歸到學生身上，以期讓學生有更多的時間與機會去面對問題與解決問題。科學學習的目標也就不再僅止於科學知識與科學概念的記憶，更在於強調科學探索能力與問題解決能力的養成。然而，如何讓學生習得科學探索的能力呢？要達成這個目標，不單只在於訓練學生形式邏輯與推理的能力，更重要的是培育學生如何利用這些高層次思考能力來解決問題。思考的操弄往往是依附於情境，有所對象、有所時空的關係，學生除了必須主動參與知識的建構外，更應該學習如何不斷與情境脈絡經由互動來創造意義。因此，透過在科學情境中的認知見習，將有助於學生科學學習的成效，科學

史正提供學生此一認知見習的機會。

多位學者(許良榮、李田英, 1995；洪振方, 1997；Matthews, 1994；Roach & Wandersee, 1995)的研究指出，科學史在科學教學中具備許多的功能，透過科學史融入教學，不僅能夠澄清學生的先前概念，進而建立有效的科學概念之外，同時能讓學生“見習”科學家的思考與探索問題的歷程，並藉此來激發學生批判思考的能力，以及增進對科學本質的認識。因而，本文嘗試分析科學史中科學理論形成與精煉的過程，來探討科學家在科學探索的過程中，如何有效地運用高層次思考能力，在發現問題過程中如何面對所遭遇的認知衝突，以及在解決問題過程中所面臨的困難等，期望藉由這些分析所得的建議，

可以豐富科學學習的意涵，並且提供學生認知見習過程的參考與反思，藉以幫助教師的教與學生的學。

### 壹、科學理論的形成與精煉：當代科學史、哲觀

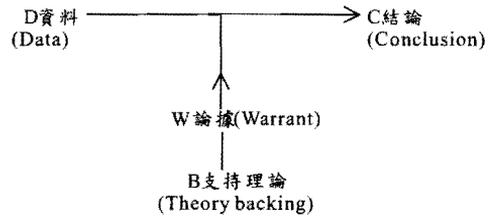
關於科學理論的形成與精煉，科學哲學對科學發展的圖示提供了許多脈絡。Popper (1968)於「猜想—反駁方法論」(Methodology of Conjectures and Refutations)，提到科學知識的增長是對現有理論的不斷證偽(falsification)，推翻舊有理論而得到發展，如圖一所示。

$$P_1 \rightarrow TT \rightarrow EE \rightarrow P_2$$

圖一、Popper 的猜想—反駁方法論

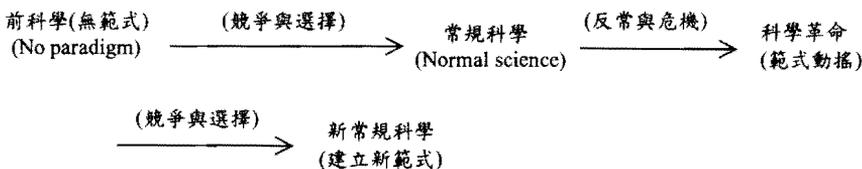
$P_1$  是問題，包含觀察與理論、理論與理論之間的矛盾。為了解決  $P_1$ ，就提出試探性理論 TT(tentative theory)。試探性理論實踐檢驗，排除錯誤 EE(elimination of error)。試探性理論往往同時有好幾個，這就要通過排除錯誤來做選擇，但理論終究要被證偽，被證偽之後，又產生了新問題，這就是  $P_2$ 。為了解決新問題，又提出 TT，又通過 EE，又出現新問題，依此循環。另外，Kuhn(1970)的科學發展的理論則與 Popper 不同，稱作「科學革命論」(Theory of Scientific Revolutions)，如圖二所示。

根據 Kuhn 與 Popper 的觀點，我們得知了科學知識的暫時性、新的科學理論必須具備更大的解釋力與合理性等。然而，文獻上缺乏關於科學家在理論競爭過程中如何進行論證的動態過程與內涵。科學家如何對探究中的現象進行覺察與論證，更進而產生理論呢？在論證邏輯結構的研究上，Toulmin(1969)提出「D-W-C」的論證模式，如圖三所示。



圖三、D-W-C 論證結構(Toulmin, 1969)

在此一模式中，D 表示從外在現象中所蒐集到的數據或資料(Data)，W 為作推論時的佐證依據—「證據」(Warrant)，C 則表經由推論而得出的結論(Conclusion)。Toulmin 依此模式進一步指出：「一個論證的有效與否，有很大的程度取決於證據背後的支持理論 B(Theory backing)」。由 Toulmin 的論證模式可以了解，對同一現象造成差異詮釋的主因，在於不同個體背後支持理論的不同，與其因此而引用的證據、對現象的看法也就有所不同。在科學史中，不乏有如此的例子，例如：熱學史中由於對熱所持看法的不同，



圖二、Kuhn 的科學革命論

產生不同的兩大學派—熱質學與運動說(陳育瑛、洪振方, 1998)等。因此本文嘗試以 Toulmin 所提出的論證模式, 以科學史—“古海荒漠”事件為對象, 分析科學家們對於理論形成過程所提出的論證。探討這些論證如何因科學家各自理論背景不同而有所差異, 進而產生假說的競爭, 以及科學家們如何解決這些差異性, 終而在社群間產生共識。

## 貳、“古海荒漠”介紹

許靖華(1993)所撰寫之“古海荒漠”一書, 對於該理論的形成環境、初始假說形成的過程、不同假說間的競爭、理論形成後的精煉等皆有詳細的敘述; 以此書來作為本文之地球科學史分析的素材, 也在於此理論的史料具備相當的完整性、理論的提出過程曾引發科學家們極大的爭辯, 並且此理論也是近代地質事件中重大成就之一。古海荒漠的探險肇始於為檢測板塊學說是否為真的深海鑽探航次。因為隨著近代地質革命的發展, 地槽發育的舊觀念已經為板塊構造的新理論所取代。由於地中海在板塊學說與地槽學說中均佔有一定的地位, 所以地中海的深海鑽探研究, 對於澄清這些矛盾將會有些助益。1970 年聯合海洋機構地球深部採集計劃(JOIDES, Joint Oceanographic Institutions Deep Earth Sampling, 美國深海鑽探計劃的執行單位)便計劃了這次深海鑽探研究, 而此次的探險活動, 本為驗證板塊學說的論點, 但無意中卻發現了地中海曾經一度是荒漠的證據。下面就何謂古海荒漠理論, 進行概略性的簡介(整理自許靖華, 1993):

經由板塊學說而解釋的陸地分布與大陸漂移現象, 在二千萬年前, 古地中海位處於聯通印度洋和大西洋的寬闊海路。大約在一千五百萬年前, 隨著非洲板塊和歐亞大陸板塊的碰撞, 以及因而在中東地區所引發的造山運動, 古地中海與印度洋的海路聯繫漸漸地中斷。此時, 古地中海與大西洋聯繫的通道, 也僅僅遺留下兩條狹窄的海峽—西班牙南部的貝蒂克(Betic)海峽和北非的里菲(Riphan)海峽。地球科學家們根據在地中海所鑽得深海岩心的多項分析資料發現, 在上述期間古地中海環境逐步地惡化—海水流動漸趨停滯, 隨著兩條海峽最後的封閉, 古地中海漸漸成為一個內陸海, 並且成為巨大的鹽湖。鹽湖不斷涸竭的結果, 不僅使得鹽度越來越高, 終而導致這個位於海平面以下三千公尺的中新世「死谷」上的動植物蕩然無存, 並且在此死谷留下令科學家一度費解的謎題—M 層(後來的研究發現, 此為蒸發鹽層)。在地中海成為鹽湖而後不斷涸竭的時期, 直布羅陀海峽已成一道長堤, 橫亘在乾涸的地中海與大西洋之間, 阻止了大西洋海水的侵入。直到距今約五百萬年前的上新世初葉, 這道長堤決口, 大西洋海水才得以再度進入地中海。

## 參、古海荒漠理論的形成與精煉

### 一、古海荒漠理論形成的背景

在 1970 年的此次深海鑽探研究計劃之前, 相關地中海的背景知識與研究主要來自於地球物理學家的深海震測剖面資料。科學家們發現地中海底下存在一奇怪的岩層, 能

把發射的聲波信號統統反射回來，而將此岩層稱為M層(M-layer)\*<sup>1</sup>。在地中海的各處海盆都可以看到這道M反射層(M-reflector)\*<sup>2</sup>，其型態與地中海的海底地形的分布非常相似，並且發現在M層下還有一層沉積層。因此當時地球物理學家們深信，M層應該是在地中海為深海盆地時已經形成，同時推測構成M層的沉積物必定是深海沉積物。

此次地中海深海鑽探計劃的目的，除了在於檢測板塊學說之外，另一目的也在於解決M層之謎，在此之前，並沒有計劃在地中海對M層進行鑽探調查。然而在此航次的開始就遇到了令科學家不解與困擾的現象——鑽到石膏礫石層。此一發現引發了以許靖華與雷恩為主的兩派學者的不同詮釋，隨著航次所得的資料越來越多，逐步邁向科學解謎之途。

(一)石膏與石膏質礫石層所引出的議題：

- 1.(1)地質學的意義：石膏是一種鈣的硫酸鹽，也是海水蒸發後的礦物，主要常見於乾旱海岸區的泥質沉積物。
- (2)地球物理界的看法：無法判定，但認定其為深海沉積物，而引用理論化學家施馬次(Schmalz)在鹹海發現硫酸鹽「鹹水囊」的說法(許靖華，1993)。
- 2.所形成的對應問題：為何在深海的岩心中發現，而且又在礫石層中？
- 3.所形成的對應假說：(1)是否為濁流(turbidity current)\*<sup>3</sup>沉積？如果是的話，應該可以發現相關濁流的岩性組成，可是卻沒發現。(2)是否為鹹海？然而，卻發現了大洋玄武岩、變硬的大洋軟泥、及獨特生長在濱海相的生物

化石。

A.難道地中海真的一度與大西洋隔絕，並曾經是一片沙漠？

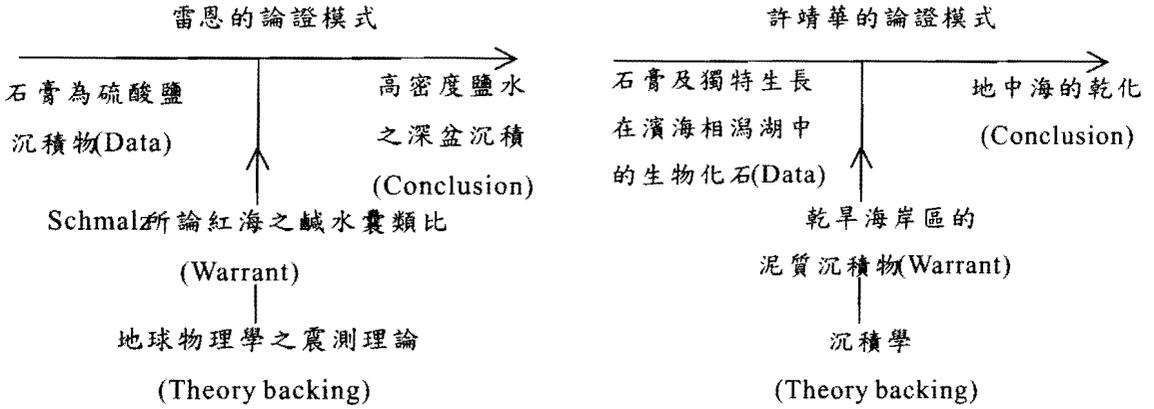
B.或地中海過去是個鹹海？

(二)荒漠(許靖華-地質學家)與鹹海(雷恩-地球物理學家)的論戰

憑著地質學的專業素養，許靖華推測是地中海的乾化導致了石膏的產生；然而雷恩則以當時地球物理學界的認知，深信蒸發岩是在充滿高密度鹽水的深海盆地中沉積下來。同一時期，理論化學家施馬次(Schmalz)對紅海的研究指出(許靖華，1993)，在紅海底部發現可沉澱出硫酸鹽的「鹹水囊」；由於鹹水囊的密度大過正常的海水密度，所以形成後會往下沉。雷恩(Ryan, B.)為了說服同儕接受其立論，便類比此一解釋：如果地中海的海水一旦受阻而不能流返大西洋時，地中海就會因持續蒸發而變成鹹水池，產生可沉澱出硫酸鹽的「鹹水囊」。但許靖華更相信，石膏礫石層的存在，正表明了地中海的蒸發岩是從沙漠鹽沼或淺鹹水湖中沉澱下來，而不是來源自深海。然而當時的航次還沒有鑽到真正的蒸發鹽層，只得到一些侵蝕碎屑，還不足以分曉誰的假說合理，需要更多的證據才可為彼此的假說提供判決。隨著後來採集的航點越多，假說競爭的結果也漸趨明朗，詳見下段分析。綜觀兩個人對於石膏意義的詮釋，則可以由圖四來作表示。

二、理論形成與精煉過程

由於深海鑽探航次所規劃航點的鑽探資料漸漸地豐富，這些訊息對於兩對立假說之間的支持與否，也使得假說的合適性漸趨明



圖四、許靖華、雷恩的論證模型

朗，各項證據與依據背景理論所形成的論據與結論，本文以圖五的分析來進行呈現。

隨著越來越多航站岩心資料的取得，大西國的石柱與其週遭軟泥中的獨特有孔蟲化石已開始傾向於支持許靖華的地中海乾化說。M層之下所採得的深海沉積物，雖無法為假說的競爭下判決，但這項證據則支持地中海在中新世末為深度與今日相當的深海盆，豐富了後來證實為真的地中海乾化說；河床沉積物，則支持地中海乾化過程所引發的河流回春作用<sup>\*10</sup>，並提供法國隆河外海峽谷下切現象的可能假說；牛眼沉積結構更為對立假說的競爭立下關鍵性的判決。如果石膏質礫石層是雷恩所提的高密度鹹水湖沉積，依其假說的內涵，航站陸續所採集的岩心資料不會有上述的發現；也只有在地中海曾經乾化的假說下，才得以合理地解釋這些現象。

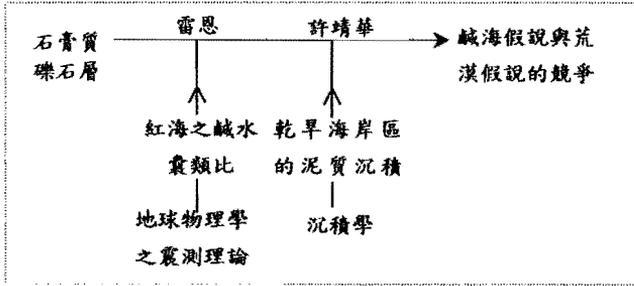
然而，如果地中海乾化說為真，仍必須面臨兩項挑戰，(1)理論內部邏輯的一致性，(2)理論外推的合理性，此目的在於精煉理論。理論內部邏輯的一致性亦即經由理論所

預測的結果在邏輯上必須具備一致性；以地中海乾化說而言，如果其為合理，基於海盆乾化所產生的牛眼沉積構造，(1)為何航站鑽探過程沒有發現碳酸鹽礦物？(2)為何沒有比較容易溶解的鉀鹽與鎂鹽？並且(3)地中海的乾化有沒有地貌上的證據？由於後來的研究與發現解決以上的問題，才使得此一假說得以合乎內部邏輯一致性的判準。此外，如果地中海乾化說為真，造成的現象應該不只存在於地質學的解釋上，古生物學、古植物學、古氣候學等領域的研究應該也可以找到支持海盆乾化說的證據，如此也才能達到理論外推的合理性。此航次結束之後，來自於各學科對於同一地質時間研究之多元證據的支持，如古生物的證據與區域性植被的變化等，紛紛精煉此一說法，地中海乾化說也為其他領域在研究有關地中海時所遭遇令人困擾的謎題，提供了懸缺已久的解答。

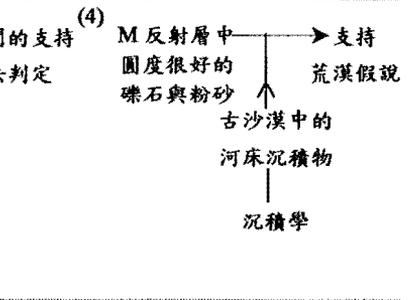
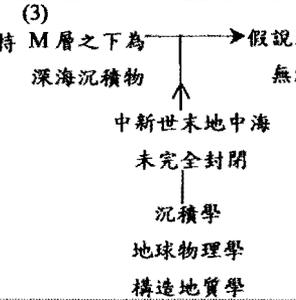
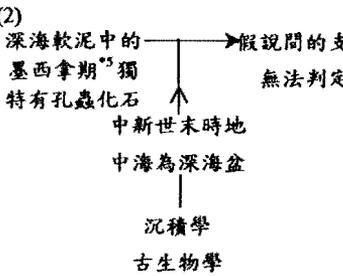
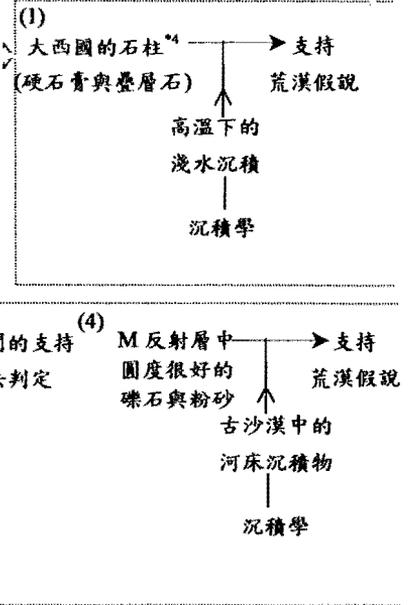
#### 肆、理論形成與精煉過程對科學學習的意涵

經由本文的分析可以發現，現象對於不

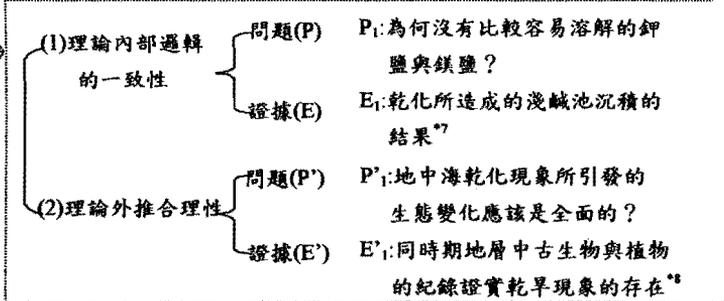
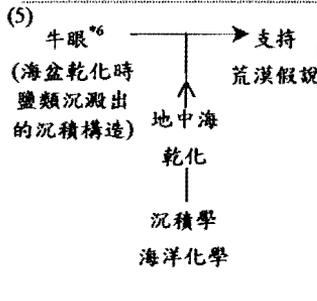
A、假說的形成與提出



B、古海荒漠理論形成的過程



C、古海荒漠理論精煉的過程



- P<sub>2</sub>: 地中海的乾化有沒有地貌上的證據?
- E<sub>2</sub>: 法國隆河外海河谷下切等<sup>99</sup>
- P'<sub>2</sub>: 1975年第二次地中海之行 深海鑽探技術的再進步
- E'<sub>2</sub>: 得到地中海早期的完整岩心紀錄(含蒸發岩層岩心)

古海荒漠理論

圖五、古海荒漠理論的形成與精煉

同科學家的意義，會因其背景理論的不同而對現象產生不同的詮釋。由假說的形成到不同假說之間的競爭而至理論的形成與精煉，科學家們除了為自己的假說尋求更多證據的支持之外，在理論形成之後，為求理論的豐

富性與合適性，更不斷地透過問題與預測來精煉理論。據此，以下分成四個向度來探討理論形成與精煉的過程對科學學習的啟發。

一、假說的形成

地中海曾經乾化假說的形成，並非來自

於憑空的猜想。每一個概念都隱含著一整套複雜的認知與期望，通常我們對於事物的觀察並非只來自於「肉眼」的看見，同時伴隨著的是基於相關背景知識與推論的結果。也因此，關於岩心中發現石膏的意義，對於許靖華與雷恩來說就各有不同。許靖華由於地質學的專業素養，解釋石膏礫石層所依據的論點是來自於沉積學的知識，因此對岩心中發現石膏的解釋，傾向於思考石膏在沉積學的意義為何？形成了懷疑地中海是否一度乾化的假說。但對於雷恩呢？雷恩卻基於地球物理學的素養做出不同的判讀，不傾向於地中海一度乾化的說法，而猜想石膏是在類似鹹水囊的沉積環境下所形成，進而推測石膏礫石層是地中海在發生高密度鹽水危機時的深盆沉積。

以本文分析可知，在對現象進行「詮釋」時，觀察者的背後理論扮演著重要的角色，不同的理論與先備知識對於現象的詮釋會產生子然不同的看法，形成的假說也就有所不同。以此來看科學學習，學生在學習科學概念時，常常會有一些錯誤的概念，其主要的�原因可能就是來自於不合適的先備知識，更甚而是關於此一概念所需的先備知識的不足，因而產生偏誤的概念。關於先備知識不足對於學習的影響，多位學者(Walker, 1987; Yekovich, Walker, Ogle, and Thompson, 1990)研究發現，領域知識(domain-specific knowledge)對於學生在進行推論時佔有相當的重要性，領域知識的缺乏會使得學生根本無法做推論；也因而如果學生對於新概念的學習，缺乏所需具備的相關背景知識，在學習上就

會產生困難。

另外，值得注意的是學生並非思考周慮的科學家，學生的錯誤概念可能會來自於不合宜的論證過程(Zeidler, 1997; Chinn & Brewer, 1998)。Blair & Johnson(1987)指出，有效的論證必須滿足：(1)關聯性(relevance)：前提與結論必須有合適的關聯，(2)充分性(sufficiency)：前提是否提供足夠的證據，(3)可接受性(acceptability)：前提是否為真，有充分根據或是可信賴。然而學生在進行科學學習的過程中，常常會違反以上條件，進而產生錯誤的概念以及推論。以最近媒體常常報導的「聖嬰現象」來說，每當有氣候異常時，學生可能就會說是聖嬰現象所引起，而未對兩者之間關聯性的合適性與證據的充分性進行深度探討。

關於學生理論的合適性與否的評判，Samarapungavan(1992)則建議使用以下四項標準來評量學生的理論：(1)解釋的範圍(range of explanation)，比起只能解釋少數的觀察來說，一個理論能解釋較多的觀察是比較令人滿意的；(2)特設性假說(Ad-hocness)，理論並不包含特設性假說，此為不斷地解釋經驗異例的輔助性假說，但是當理論不可被獨立地檢驗時，對理論來說包含特設性假說是更好的；(3)經驗上的合宜(empirical adequacy)，合宜的理論與經驗證據必須具有一致性；(4)邏輯的一致性(logical consistency)，合宜的理論不能存在有邏輯上的不一致或是內部彼此矛盾的命題。

假使學生在形成科學概念的過程並沒有不適切的先備知識，並且推論的過程也沒有

發生上述的錯誤，但是如何可以確定其論點是具備合理性的呢？此一階段只有來自於與他人的對話才可以得到回饋與再反思的機會，尤其來自於對立面的觀點，更有助於學生檢視其論證的合理性。

## 二、對立面的重要性

雷恩對於石膏礫石層的初始看法，從後來證據所得到的結果來看，雖然其所提出的假說並不正確，但是雷恩在理論形成的過程中所扮演的對立面角色，對理論的形成卻有著重大的貢獻。雷恩提出包含石膏起因於深盆或淺盆的沉積環境等問題，這些對立面問題直接挑戰荒漠觀點的邏輯合理性，進而刺激古海荒漠理論內在的結構構建。現今學術研究活動所舉辦的研討會、專業期刊或學位論文發表等，其實也正扮演著對立面的角色，皆藉由通過社群批判的與否，來考驗論文發表者的立論(Driver, *et al.*, 2000)。

簡言之，對立面的重要性也就在於引起「衝突」與「解決」此一衝突，透過解決的過程來達成科學知識的重建。國內學者洪振方(1996)將引發衝突的形式區分為「與他人對話」以及「與自己對話」；前者是「對同一物體或現象之不同認知結構間的衝突」，後者則是「預測—結果的衝突」。依此分類，雷恩與許靖華假說之間的競爭，便是屬於與他人對話的論證。此外，在論證的規準上，Kuhn(1993)提出對話論證(dialogic argument)應該包含：1.敘述理論與為理論辯護，2.呈現另有理論(alternative theories)，3.呈現反駁的論點，4.提供反例；此論證架構亦清楚地指出論證過程中「對立論證」的重要性。

依此來看科學學習的歷程，科學教師所應扮演的角色便是時時站在對立面上，以對立的論點來啟發學生進行反思。教師亦可在教學過程中，就同一事件的論述呈現許多不同的例子，讓學生有機會進行辯同別異，以正、反、合的辨證方式建立合適的科學概念(洪振方, 1996)。例如：在地球科學史上，對於地球之大陸分布模式所提出的陸塊固定論(19世紀)與大陸漂移學說(20世紀初)之間的對立競爭，就是板塊單元教學上不錯的例子。

## 三、理論承諾(theory commitment)

在科學家對新現象的發現做出論述時，這些論述的背後都會有相關的支持理論；意即當面對問題時，科學家都會依據其所受的專業素養來進行探討，如許靖華與雷恩對於石膏礫石層的解釋等，同時科學家的論證過程皆是在理論承諾下進行，不管是分析、推理、歸納、演繹、以及預測等。理論承諾可以分成兩個部分來陳述，一為「是否以支持理論來形成論據」，另一為「論據與支持理論之間的關聯是否有效」；前者包含理論的有無，後者則包含支持理論的選擇與形成論據的邏輯推理過程正確與否。關於理論的有無對論證的影響已在先前論述；理論的選擇則影響到後來對於現象的推論；而論據的判準為何呢，Toulmin 雖未提到，但是我們或許可以利用 Brewer 等人(1998)對於「解釋」(Explanation)的主張，來思考論據的合理條件：經驗的(empirical)、精確的(accuracy)、有範圍的(scope)、一致性(consistency)、簡單性(simplicity)及可信的(plausibility)，並且必須

具備因果的(causal)架構。

關於理論承諾對科學學習之重要性的論述上，Ohlsson(1999)在“為何異例不能觸發學習(Why Anomalies do not Trigger Learning)”一文中提到，學童持有其理論為隱含的(implicit)，並且缺少理論承諾，例如：學童所持有的天真的(naive)衝力理論，與物理學家所持有的牛頓運動定律的方式是不同的。物理學家所持有的牛頓理論，是經過深度自省思考(reflective reasoning)及假說測試等程序，他們能連結及運用相關基本原理，並且能精確知道理論應用的範圍。相對的，學童天真的衝力理論的持有非經過反思，無法合理說明其理論，更無法理解理論的應用。Brewer等人(1998)也提到在解釋上，科學家較非科學家提供比較嚴格的效標，例如：科學家對於價值的精確性要求、有條理的表達、及準確性的實驗等。

學生在學習科學時，一開始往往會有另有概念，老師不必急著去否定他，可以藉由對立面的論證來引發學生產生認知衝突，讓學生自我覺察其概念的不合宜之處。更值得教師注意的應該是了解學生是否能依據他自己的理論進行有效的論證。如果學生在論證的過程都能依據其理論來對現象進行理論承諾的論證，老師應該適時地加以肯定，因為如此的論證過程為科學探究的重要素養之一，比起學生只去強記一個理論而言是更加重要的。

對於學生是否在論證的過程中有所理論承諾，教師可以經由上述所提理論承諾所應具備的要素來加以評量。例如：以白堊紀恐

龍滅絕的地質事件來說，科學家曾先後提出多種假說，包含隕石撞擊、火山噴發、疾病說一植物含有毒素、強烈的酸雨、嚙齒類哺乳類動物以恐龍蛋為食、超新星爆炸說等，甚至有些古生物學家提出恐龍並未滅絕，鳥類就是恐龍的後裔等。教師可以在課程中安排類似的單元，讓學生置身在諸多假說的情境下，從中選擇自己所信服的假說，並且與其他同學進行辯論，利用辯論過程中學生們的對話，教師可以評量學生是否對其理論有所承諾，論據的因果推論是否根據其支持理論而得。如，以選擇隕石撞擊作為恐龍滅絕的支持理論者來說，是否其論據是依據隕石撞擊所引發的現象作為出發點，如滿天的塵雲、撞擊能量的釋放等，而非是基因突變、有毒食物等非撞擊事件的說法，同時對話辯論過程中是否產生不合宜的推理，如恐龍心生恐懼暴斃、恐龍移民到外星球等。

#### 四、理論的精煉

古海荒漠理論精煉的證據是來自於多元領域。如果古海荒漠為真，關於此現象的線索應該不只存在於地質學的研究領域之中，後來的發現證明了這個觀念，來自於古生物遷移與滅絕的證據，以及古植物學的植物群落變化紛紛呼應此一理論，增添了古海荒漠理論的合理性與豐富性。

依此對科學學習的啟發是，經過概念精煉的過程才能達到概念的理解與應用，就如同古海荒漠理論的精煉一般，透過精煉的過程不僅豐富了理論的可解釋性，也將理論外推應用到不同的領域中，更進而解決了許多懸宕以久的謎題。換而言之，透過科學概念

精煉的過程，不僅有機會讓學生展現理解的結果，並且可以透過概念應用的過程將科學概念的意義予以豐富化。Lawson (1995)提到概念應用對學生去擴展概念的適用性範圍是需要的。沒有多樣性的應用，概念的意義很可能仍然限制在最初所定義與討論的例子。很多學生可能無法從具體的例子去摘要它，也無法將其普適化到其他的情境中。除此之外，概念應用活動也可以幫助在概念重組方面進行比較慢的學生，或是無法適當的將教師最初的說明連結到他們的經驗中的學生。

以地震概念的學習來說，關於地震名詞的定義為，岩層受力斷裂、錯動所引發的現象(國立編譯館，1999)。據此對地震概念的解釋，學生應該可以了解何謂地震，但是仍存在一個問題—地震可能發生的機制又為何呢？透過如此的問題正可用來精煉地震概念的學習。以國中地球科學來說，將地震單元安排在第二章板塊構造運動中的第二節，高中基礎地球科學雖不同版本安排有所不同，但也是安排在板塊構造章節的前後，因而當學生在學習完此兩個概念—地震與板塊運動之後，便可以解決上述問題並且可將地震的發生機制與板塊構造運動連接在一起。

## 伍、結論

本文利用 Toulmin 的論證模式，分析科學理論—古海荒漠理論的形成與精煉過程，發現科學理論的形成有賴於科學家們依其專業素養對現象提出問題與假說，藉由對立論證、假說預測的過程來對彼此的假說進行辯

護，來自於多元領域的證據除了為競爭假說的優劣提供判準之外，並且也豐富了初始假說的內涵，更加精煉了理論形成之後的合理性與適用性。

依據科學理論形成的論證過程對科學學習的建議，學生在學習科學概念時的錯誤概念，可能是來自於不合適的先備知識，更甚而是先備知識的不足；並且學生的錯誤概念也可能來自於不合宜的論證過程，諸如前提與結論並無關聯、證據並不充分等。在科學學習的過程中，來自於與他人的對話所得的反思機會，尤其是對立面的觀點，更有助於學生檢視其立論的合理與否。科學論證過程中，理論承諾的思維，包含支持理論的有無、支持理論的證據選擇與形成論據的邏輯推理過程合理與否，深深影響著學生科學論證的品質與結果。最後，科學概念的學習必須經歷精煉的過程，才能達到概念的理解與應用；透過科學概念精煉的過程，不僅有機會讓學生展現理解的結果，並且可以豐富科學概念的意義。

在教學策略上，教師可以使用小組合作學習的方式，以科學史或是多元假說競爭的議題為素材，設計正反方的辯論機會，讓學生經由對立面的交互論證來促進自省思辨的能力，以建立有效的科學概念。同時，教師也應該在學生進行論證的過程中，適時地加以引導，幫助學生看到衝突點，讓整個科學論證的過程具備科學探究的精神。

## \* 附註

\* 1.M層(M-layer)：M反射層之下的沉積層。

- \* 2. M 反射層(M-reflector)：地中海蒸發岩的頂部。
- \* 3. 濁流：陸棚區一些疏鬆的碎屑沉積物沿著陡峭的海底斜坡發生滑塌，形成一股水下泥石流。其組成成分可能有石英、長石等等。
- \* 4. 大西國的石柱(pillar of Atlantis)：是由硬石膏與疊層石所組成，只出現在乾旱的海岸潮汐帶。硬石膏只有在地下的鹽水非常接近地表、且被加熱到攝氏 30 度以上的地方，才能找到這類礦物。疊層石為藍綠藻所構成，可視為淺水地帶發生沉積作用的證據。
- \* 5. 墨西拿期(Messinian)：五百萬年前到六百萬年前，地中海陷入反覆乾旱輪迴的時期。
- \* 6. 在與開闊的海洋保持有限聯繫的深鹹水池中，蒸發岩的分布在地圖上應呈淚珠狀，最易溶解的鹽一亦即最後從鹽水中析出的鹽，應該在距離海洋通道最遠的一端沉澱。但在與海洋完全隔絕的鹽水盆地中，最先沉澱在其周緣的鹽類應該是碳酸鹽—石灰岩或白雲岩；隨著水位降低和鹽水變濃，接著沉澱的是硫酸鹽，最後在鹽湖的中心或凹陷最深部分沉澱的則是岩鹽和其他更容易溶解的鹽類。而此一圈圈慢慢向內沉積，形成有如牛眼形狀般的沉積結構則稱為「牛眼」。
- \* 7. 如果海盆曾乾化過，為什麼在岩心中沒有比較容易溶解的鉀鹽與鎂鹽？地中海鑽探航次後，1972 年西德漢諾威鉀鹽研究所的奎恩(Kuhn, R.)協助分析得到，地中海的鹽是在淺鹹池的狀況下沉澱出來的，而不是在深鹹水湖的背景下，因而找不到鉀

鹽與鎂鹽。

- \* 8. 義大利巴勒摩大學的盧奇里(Ruggieri, G)等人提供動物的證據顯示：地中海在中新世末葉曾經歷過某種劇烈的鹽度變化，那時海洋生物趨於滅絕而為少數可忍耐鹽度劇變的屬種所取代。歐洲的古生物學家同時發現，在中新世末期時，中歐氣候曾趨向乾旱變化。隨著氣候漸趨乾旱，多年生植物滅絕為一年生植物變種所取代…等。
- \* 9. 除了法國隆河外海河谷下切外。蘇聯地質學家在準備建造阿斯旺高壩(Aswan Dam)而進行工程地質鑽探時發現，尼羅河谷下面也有一條又深又窄的槽溝深深地切入堅硬的花崗岩中。利比亞在進行石油探勘時也有類似的發現。。
- \* 10. 回春作用(rejuvenation)：壯年期或老年期的河流，因海平面下降或陸地上升，使侵蝕基準面下降，造成河流又重新自幼年期開始發育。

## 陸、參考文獻

1. 洪振方(1996)：科學知識重建的認知取向與分析。高雄師大學報，7，301-337。
2. 洪振方(1997)：科學史融入教學之探討。高雄師大學報，8，237-250。
3. 陳育瑛、洪振方(1998)：以熱學思想史的動態過程探究科學理論的建構及教學上的啟發。科學教育月刊，209，2-12。
4. 許靖華(1993)：古海荒漠。台北-天下文化出版社。
5. 許良榮、李田英(1995)：科學史在科學教學的角色與功能。科學教育月刊，179，15-

- 27。
6. 國立編譯館(1999)：國民中學地球科學。台北 - 國立編譯館。
  7. Blair, J. A., & Johnson, R. H. (1987). Argumentation as dialectical. *Argumentation*, 1, 41-56.
  8. Brewer, W. F., Chin, C. A., & Samarapungavan, A. (1998). Explanation in scientists and children, *Minds and Machines*, 8, 119-136.
  9. Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1998). An empirical test of a taxonomy of responses to anomalous data in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 623-654.
  10. Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287-312
  11. Kuhn, D. (1993). Science argument: implications for teaching and learning scientific thinking. *Science Education*, 77(3), 319-337.
  12. Kuhn, T. S. (1970). *The structure of scientific revolutions*. 2<sup>nd</sup> ed. Chicago: University of Chicago Press.
  13. Lawson, A. E. (1995). *Science teaching and the development of thinking*. California: Wadsworth Publishing Company Press.
  14. Matthews, M. R. (1994). *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. New York: Routledge.
  15. Ohlsson, S. (1999). Theoretical commitment and implicit knowledge: why anomalies do not trigger learning? *Science & Education*, 8, 559-574.
  16. Popper, K. R. (1968). *Conjectures and refutations: the growth of scientific knowledge*, London: Routledge & Kegan Paul.
  17. Roach, L. E., & Wandersee, J. H. (1995). Putting people back into science: using historical vignettes. *School Science and Mathematics*, 95(7), 365-370.
  18. Samarapungavan, A. (1992). Children judgments in theory choice tasks: scientific rationality in childhood. *Cognition*, 45, 1-32.
  19. Toulmin, S. (1969). *The use of argument*. Cambridge: Cambridge University Press.
  20. Walker, C. H. (1987). Relative importance of domain knowledge and overall aptitude on acquisition of domain-related information. *Cognition and Instruction*, 4, 25-42.
  21. Yekovich, F. R., Walker, C. H., Ogle, L. T., & Thompson, M. A. (1990). *The influence of domain knowledge on inferencing in low-aptitude individuals*. In A. C. Graesser & G. H. Bower (Eds), *the psychology of learning and motivation: advances in research and theory*, vol. 25: Inferences and Text Comprehension. San Diego, CA: Academic Press.
  22. Zeidler, D. L. (1997). The central role of fallacious thinking in science education. *Science Education*, 81, 483-496.