

科學發現與知識成長： 我們能從科學哲學當中學到什麼？⁽¹⁾

詹志禹

政治大學教育系

本文的主要目的在依循科學哲學發展的歷史脈絡，以各派科學哲學的觀點分析「科學發現」與「知識成長」的歷程。經過重新檢視歸納法、邏輯實證論、波普的觀點、孔恩的貢獻、費若本的啟示、圖爾明的模式、以及夏皮爾的論述之後，我們可以得到下列結論：1.歸納法在本質上是一種「假設--驗證」的問題解決歷程；2.不要期待透過簡單、機械性、神秘的、意外的歷程，就能有重要的科學發現；3.科學發現必須以科學創造為前提，沒有創造就沒有發現；4.科學發現雖無邏輯可循，卻有理由可循，是一個理性的歷程；5.典範會幫助創造，也會抑制創造，必須了解典範、尋找異例、偵知錯誤、容忍危機、挑戰典範，才能創造新典範；6.創造思考與批判思考之間、擴散思考與聚斂思考之間、或變異與選擇之間的循環回饋歷程，是知識成長的基本歷程。作者並針對每一條結論提出其在學習、教學或學術研究上的含意。

關鍵詞：科學發現、知識成長、科學哲學、創造思考、批判思考、歸納法、實證論、否證論、典範、演化論、自我組織

談到創造，一般人容易想到藝術創作和科技產品的發明，可是不容易想到「科學發現」，因為，「科學發現」一詞暗含天真實在論（naïve realism），也就是不知不覺地假定：科學原理、原則都是外在的，躺在某處（out there）等待被發現；換句話說，科學家在「科學發現」中的認識歷程似乎是一個被動、接收的歷程，需要客觀、敏銳的觀察力，但並不需要創造力。事實真的如此嗎？科學知識的成長歷程只是客觀「科學發現」的累積歷

程嗎？或是有其它的機制？科學哲學家對科學思考、科學方法、科學事業或科學活動的分析，可以提供我們對這些問題較深入的看法。

歸納與創造：傳統歸納論

從傳統的哲學觀點來看，科學思考的方法大致不脫「演繹」與「歸納」兩大類。演繹法以亞里士多德的三段論法為代表，仰賴形式邏輯的規則，從「給定」的大前題與小前題推導出結論；由於前題是「給定的」，而且由於推論歷程是「從一般到特殊」，具「聚斂」的特性，故不被認為是一種創造思考的歷程。相反地，歸納法的推論歷程是「從特殊到一般」，其結論的範圍得以超越前題，具有「擴散」的特性，故常被認為是一種「科學發現」的思考歷程，或「科學創造」的思考歷程。然而，真的是如此嗎？這裡面需要一個更仔細的考察。

所謂歸納法就是：從單稱命題推論出全稱命題；最簡單的方式就是「列舉法」，先列舉出若干例子（例如「我所觀察到的十隻天鵝都是白色的」），再據以推導出普遍規則（例如「所有天鵝都是白色的」）。由於此法據有擴展知識的功能，所以遠在希臘時代，亞里士多德就非常重視歸納法；不過直到近代，培根才對歸納法進行系統化的研究，奠定所謂現代科學方法的基礎。

培根提出所謂的「三表法」，其思考歷程，茲舉例說明於表1中（張巨青，吳寅華，1994：38-39）。本文對表1的興趣不在於其內容，而在於所謂「歸納法」的性質。從檢視表1我們可以發現，培根所謂的「歸納法」包括下列四大步驟：

1. 提出問題。
2. 系統性地蒐集資料；包括現象的相似性、相異性及共變關係。
3. 推論：提出各種假設，將假設轉化成問題的形式，再根據所蒐集到的資料尋找反例，逐步刪除不符資料的假設。
4. 結論：保留最具普遍性而未被刪除的假設。

很明顯的，培根所謂的歸納法，其實是「假設--驗證」的方法，必須先由思考者主動建構或創造一個假設，再比對假設與現象資料之間的一致性，在此情況之下，我們可以問：「這些假設從那裏來？」通常思考者必須根據背景知識（包括理論、模式、前人的經驗或自己的專業直覺等），才可能建

構一個有希望的假設，如果思考者毫無知識基礎，憑著空白的心靈，望著蒐集到的豐富資料，希望「資料會說話」，希望能自然「歸納」出一些規律或表1 以例子說明培根的「三表法」

問題：「熱」是什麼？

資料：

1. 具有表

- (1) 太陽光具有熱
- (2) 火焰具有熱
- (3) 摩擦生熱
- (4) ……

2. 差異表

- (1) 月光和陽光一樣來自天上卻沒有熱
- (2) 磷火和火焰相似卻沒有熱
- (3) ……

3. 程度表

- (1) 越靠近火焰時愈熱
- (2) 摩擦愈快時愈熱
- (3) ……

推論：

- 1.熱只是天上的現象嗎？不是的，月光不熱。
- 2.熱只是地上的現象嗎？不是的，太陽光有熱。
- 3.熱是來自物體內部某一種熱的元素嗎？不是的，摩擦也能生熱。
- 4.……。

結論：熱是一種物體內部的分子運動。

資料來源：修改自張巨青、吳寅華（1994），頁38-39。

法則，這是不可能的。歸納思考在本質上是一種「假設--驗證」的推理歷程，是一個不折不扣的演繹推理歷程，它的推理能量與效力來自於有基礎、有創意的假設與嚴密的演繹邏輯，所以，許多人稱近代自然科學為「培根科學」，其實是一個錯誤的印象與歸因，因為，更確切的說，近代科學革命的

發生是與柏拉圖的理性主義融合在一起的 (Shapere, 1984: 63)。

米爾 (J. S. Mill) 將培根的「三表法」加以發展，形成所謂的「推求因果聯繫五法」，茲將其推理型態舉例說明於表2中 (詹志禹, 1993)。從表2可知，米爾的「五法」基本上是：先假定一組複雜的因果關係 (但並不考慮因子之間的交互作用)，再利用共變的線索或某些已知的關係來排除當中的干擾因子以肯定剩下的特定因果關係。此種推理方法的核心仍然是「假設--驗證」的思考歷程，因此，我們仍然可以問：「這些假設從那裏來？」若缺乏良好的背景知識，推理者能提出有創意而且成功機率頗高的假設嗎？

米爾對他的「五法」深具信心，認為一般人學會了這套方法，就可以用它們來發現因果關係，就像有了顯微鏡就可以用它們來發現細菌一樣。

在此意義之下，科學的發現並不是能力的問題，而是工具的問題，任何人只要有適當的工具或方法，從事於科學發現並不困難。更深切地說，科學發現並無藝術的成份，也不需要天才，因為只要套入一個機械性的歷程，任何人 (或甚至一台機器) 都可以成為科學家。

但正如以上分析所指出的，歸納法在本質上是一個「假設--驗證」的歷程，缺乏知識基礎與創造力者，無法提出假設，因此，科學發現並非如米爾所想像的那麼簡單、那麼程序化、那麼機械化，連邏輯實證論 (logical positivism) 的代表人物卡納普 (R. Carnap) 都不得不下出結論說，「不可能製造出一種歸納機器…如果裝入一份觀察報告，將能夠輸出一種合適的假說…。」(轉引自張巨青、吳寅華, 1994: 41)。

非理性與創造：邏輯實證論

本世紀之初，邏輯實證論承襲了古典歸納主義的想法，但只保留了歸納法的「驗證」或「辯護」(justification) 功能，卻放棄了歸納法的「發現」功能。萊亨巴哈 (Reichenbach, 1938) 嚴格區分所謂「發現之脈絡」(context of discovery) 與「辯護之脈絡」(context of justification)，認為前者涉及科學理論之生產或發現歷程，是一個未知的心理歷程，是心理學應該研究的事，卻不是知識論 (或科學哲學) 應該研究的事；知識論只應該關心「辯護之脈絡」，只能研究「如何從理論推導假設」、「如何驗證假設」、「如何辯護理

論」等等問題，不必問「科學理論的來源」。萊亨巴哈此一主張受到大部份邏輯實證論者的讚同與遵守。

表2 米爾的「推求因果聯繫五法」

說明：不同的英文大寫字母代表各種「因」，小寫字母代表各種「果」，「→」符號代表「導致」。

一致法

ABC→xyz
<u>ADE→xtu</u>
因此，A →x

差異法

ABC→xyz
<u>BC→ yz</u>
因此，A →x

聯合法

	且	
ABC→xyz		ABC→xyz
<u>ADE→xtu</u>		<u>BC→yz</u>
因此，		A →x

殘餘法

	ABC→xyz
已知	B →y
<u>已知</u>	<u>C →z</u>
因此	A →x

共變法

		或	
ABC→xyz		ABC→xyz	
A增加→x增加		A減少→x增加	
<u>A減少→x減少</u>		<u>A增加→x減少</u>	
因此，		A →x	

邏輯實證論者將「發現之脈絡」束之高閣，存而不論之後，科學發現的歷程逐漸蒙上一層神祕的色彩。社會上（甚至學界）在解釋一個科學家如何

發現一個科學理論或科學知識時，經常歸因於科學家靈光一閃的意念、神秘的直覺、夢境的啓示、幸運的意外或非理性的因素。在這種神秘主義的籠罩之下，我們對於提出偉大發現的科學家，只能驚歎他（她）的天才，羨慕他（她）的運氣，或困惑於他（她）的直覺，卻無法學習他（她）的「發現歷程」，因為科學發現無脈絡可循、無邏輯可循。此一看法剛好墮入與米爾對立的另一個極端，從機械性觀點轉入神秘主義。

邏輯實證論者不談科學理論的來源，只談科學理論的驗證，而在談驗證歷程時，也很少談到科學創意，因為，1.當科學家從理論推導出假設時，是一個分析的、演繹的、邏輯的、聚斂的思考歷程，並不需要創意；2.當科學家從自然現象觀察「事實」時，是一個立即的、外塑的、被動的、接受的感官知覺歷程，也不需要創意；3.「概率歸納法」是用來計算科學理論被確證（confirmation）的程度，不是用來發現理論。所以，大致而言，驗證歷程不涉及創造。

雖然科學發現或科學創造的歷程並非是機械的，也無邏輯可循，但是不是就等於說這些歷程是神秘的？是非理性的？換句話說，要有邏輯規則可循的歷程才算是理性的歷程嗎？直覺一定是非理性的嗎？這些都是值得我們再進一步深思的問題。此外，科學家在驗證理論時，真的不涉及創造性思考嗎？當科學哲學家對驗證歷程有不同模型時，對此問題的答案自然就不同了。

批判與創造：波普的觀點

波普（K. Popper）關於科學驗證方法的觀點，雖然徹底放棄了歸納論（inductivism）與辯護論（justificationism），而形成了與邏輯實證論對立的否證論（falsificationism），但是在關於科學發現歷程的觀點方面，卻似乎承襲了邏輯實證論的看法。波普不但承認沒有邏輯方法可以用來創造新觀念，而且認為「每一個發現都包含『一個非理性因素』，或『一個創造性的直覺』」（Popper, 1934, in 1985 edition: 134）。

波普並不關心「知識的來源」這個問題，他認為知識的來源有無限多種（Popper, 1960/1985），包括天生的、文化的、傳統的、直覺的、想像的、讀書來的、觀察來的等等，每一個來源都不俱權威性（包括所謂「觀察結

果」或「事實」也不俱權威性，因為波普認為所有的觀察結果都必然涉及理論上的解釋），因此，所有的知識在本質上都是一種猜想（conjectures）或一種假設，都必須受到考驗或批判，然後從嘗試錯誤、淘汰錯誤的歷程中得到成長，所以，波普提出「大膽猜想，自由批判」的口號。

在此觀點之下，創造性思考與批判性思考的關係異常密切，因為批判性思考愈強的人，愈能發現既有知識的錯誤，愈能尋求適當的方向去解決問題，也愈有動機去突破既有的嘗試範圍而創造嶄新的猜想，波普稱這種突破嘗試範圍的創造力為「批判性的想像」（critical imagination）（Popper, 1976: 47）。他說：「『創造性』或『創新性』思考的要素似乎結合了對某些問題的強烈興趣（因而願意一再嘗試）與高度的批判性思考（因而能夠挑戰前題）。」（Popper, 1976: 48）

波普的這些想法與部份研究創造思考的心理學家似乎不符。有些心理學家（特別是提倡腦力激盪法的學者）傾向於假設「批判性或評價性思考會抑制創造性思考」，因而主張在進行創造性思考時，最好避免評價或批判，而將評價或批判留待創意全部完成之後再來進行。究竟創造思考與批判思考之間是一個助發的關係或一個抑制的關係？波普至少是認定兩者相容，或甚至認為批判思考能提供動機給創造思考，帶來創造性突破，但是孔恩（Kuhn, 1991）則認為兩者之間有一個必要的緊張關係（essential tension）。兩者對於知識成長的必要性應無疑義，但是兩者之間的關係如何糾葛，則是值得我們進一步探究的問題。

典範與創造：孔恩的貢獻

解謎與創造

從孔恩（Kuhn, 1970）的模式來分析，在某個典範（paradigms）之下工作的科學家是否需要創造力？這是一個極有趣、也極具挑戰性的問題，因為，典範對科學家的幫助確實很大，但束縛也很強，如果科學家在典範之下所從事的解謎（puzzle-solving）工作仍具有創造性，那麼這種創造性也是來自高度的演繹思考、系統的知識基礎、與非批判性的思考態度，這些來源與

前三節所談的來源大相逕庭；如果科學家的解謎工作不具創造性，那麼，幾乎所有處於常態科學（normal science）時期的科學家就都不需要創造力了。

依照孔恩的描述，常態科學時期的科學家主要做下列三大工作：1.對典範所定的事實範圍與精確度加以擴大或提昇；2.將典範所導出的預測和事實做比較；3.將典範明確化，例如：澄清模糊概念、決定宇宙常數、決定數量公式、以及探索新的應用情境（領域）等等。由於這些工作都是在典範的引導之下進行，所以帶有「削足適履」的味道，也就是孔恩所說的「強迫自然進入典範所提供的一個既已成形且相當不俱彈性的箱子。」（Kuhn, 1970：24）。這種工作的創造性似乎相當有限。

孔恩肯定常態科學下解題工作的重要性與必要性，但他認為這些工作的目標不在創新理論，也不在發現新事實，只是在解謎。解謎遊戲（例如拼圖遊戲、拼字遊戲、解謎語以及下棋等等）的特徵是：1.規則與限制都很清楚（雖然在應用時可能是內隱的）；2.通常會有一個解；3.玩遊戲的人很少會去改變遊戲規則。因此，找不到解答的人不會懷疑遊戲規則，而是懷疑自己的解謎能力。從認知心理學的觀點來看，在任何一個科學典範之下，科學家所要解決的問題大多是所謂「結構良好的問題」（well-structured problems），其目標、條件限制、以及解決策略都相當清楚，其解題歷程當中，主要仰賴的是知識庫與計算分析能力，而非創造力；問題結構愈清楚，解題空間愈有限，就愈不需要創造力，此時，電腦勝過人腦的機率就大增（正如電腦「深藍」與西洋棋王的例子）。筆者認為，這種解謎工作的創造性也許不高，但也可能不是完全沒有，因為，正如孔恩所言，科學家會很關心他（她）所解的謎是否解得很漂亮，或他（她）所解的謎是否沒有前人解決過，所以，筆者猜測，解謎並不完全仰賴直線式的演繹邏輯思考，它需要一些整體性思考（wholistic thinking）與一些啟發性思考（heuristic thinking），科學家需要同時掌握許多變數之間的複雜關係，其中包括互相助發、互相牽制、互相平衡、與互相矛盾等等關係，這就是若干創造性的來源。

那麼，典範是不是只會阻礙創新與發現呢？結論是雙面且略帶矛盾的：典範會壓抑創新與發現，但同時也提供創新與發現的機會。就前者而言，如果典範對科學家來講是一個很好用的工具，科學家就會強烈倚賴典範，導致典範束縛科學家的視野並限制科學家嘗試解題的範圍；此外，科學家根據典

範推導出預測，如果此一預期心理太強烈，科學家就會對很多不符預期的異常現象視而不見，以致壓抑了創新與發現。就後者而言，正因為科學家有了典範做常態背景，所以才可能知道什麼是異常現象；也正因為有了預期，所以才可能知覺到不符預期的現象或事件；換句話說，先有「常態」才可能有「異常」，先有「預期」才可能有「不符預期」；有典範和預期的人才有可能看出異常，沒有典範和預期的人根本看不出異常；而只有看得出異常，才可能提供科學家追求創新與發現的動機。

發現與創造

發現與創造有何不同？從實證論的觀點來看，「理論」的創新與「新事實」的發現是兩件獨立的事情，因為理論是科學家創造出來的產物，而新事實是自然現象呈現給科學家心靈的結果。從孔恩的觀點來看，理論的創新與新事實的發現是糾葛在一起、難以區分的歷程，是一而二、二而一的歷程，因為，「事實」是「理論」解釋現象的結果；如果沒有新理論，則不可能有新事實，只可能有令科學家感到困擾卻無法解釋的異常現象，此時，「發現異常現象」並不等於「發現新事實」，因此，科學史上經常發生有關「誰是發現者」與「什麼時候發現」等爭論。舉例而言，氧氣是什麼時候由什麼人發現的？孔恩指出了幾個爭論點：第一，普利斯特里（J. Priestley）在1774年加熱硃砂得到了一種氣體，現在我們知道那就是氧氣，但當時他認為那是已知的「笑氣」（ N_2O ），請問：我們能將氧氣的發現歸功於普氏並定於1774年嗎？第二，普氏在1775年繼續對他的「笑氣」做了一些實驗，並確定這種氣體是一種燃素（phlogiston）含量較低的普通空氣，請問：我們能將氧氣的發現定於1775年嗎？第三，拉瓦錫（Lavoisier）在1775年也加熱硃砂並得到了一種氣體，他認為那是更純淨、更適合於呼吸的空氣，請問：我們能將氧氣的發現歸功於拉氏並定於1775年嗎？第四，拉氏繼續對他的「純淨空氣」做了一些實驗，並在1777年確定：這種氣體不是一種燃素含量較低的普通空氣，而是空氣的兩種主要成份之一；請問：我們能將氧氣的發現定於1777年嗎？第五，雖然在1780年代之後，氧氣已成為標準的化學物質，但拉瓦錫到死亡為止（1794）仍然堅持：氧氣是酸素與熱質的化合物；化學界要到1810

年代之後才放棄「酸素說」，到1860年代之後才放棄「熱質說」，請問：我們能將氧氣的發現歸功於拉氏嗎？這些問題之難以回答，正足以說明「新事實」的發現與「新理論」的創造是如何密切糾葛在一起：有些人掌握了一些現象，但以舊理論解釋之，這算「發現新事實」嗎？有些人掌握了一些異常現象，但不知如何解釋之，這算「發現新事實」嗎？有些人掌握了一些異常現象，但以錯誤理論解釋之，這算「發現新事實」嗎？因此，「發現新事實」的歷程可能相當冗長，它是透過「異常現象」與「理論發展」之間的交互作用生產出來的；當新理論的發展逐漸擴大、成熟、並自成一系統時，無非就是一個新典範的誕生，所以，「新事實」往往預設了「新典範」。從這一個觀點來看，典範更新時，科學家才可能發現新事實。

總而言之，「科學發現」蘊含兩層意思：1. 發現新現象，但新現象的意義並不清楚；此種發現的歷程有可能是被動的或意外的，它也不等於科學知識的發現或創新，它有可能構成科學家的挑戰，刺激科學家產生動機去尋求新知識或新理論，但也有可能對科學知識的進展毫無幫助。2. 發現新事實，但事實是有意義的；事實並非自己會說話，「發現新事實」並非「翻開表面，讓隱藏的事實或結構呈現在我們的眼前」，而是「構造新的理論來解釋一些新現象或一些原本難以解釋的現象」，或是「用新的理論與角度重新詮釋舊現象」，這是一個主動詮釋現象的歷程，不是一個被動接受事實呈現的歷程。

危機與創造

在典範之下工作，需要創造力；若要更新典範，那就更需要創造力了。那麼，科學家如何創造理論、更新典範呢？在這一方面，孔恩談了許多促使典範更新的領域狀態、社會條件、及動機因素，但卻沒有提及任何涉及認知層面的創造性思考歷程，因為他認為這是一個不可知的個人發明歷程（Kuhn, 1970: 90），不過，他認為新典範的創造者通常是年輕人或是領域中的新人，因為這些人較不受典範的束縛，較能以新角度或新方式來看問題與資料，至於領域中的資深科學家則常固守舊典範，終身不渝。由此可推知他認為：科學家對某一典範的信仰愈深或思考方式愈習慣，則愈不容易創造

競爭性或替代性的新典範。

從上述觀點來看，在一個領域當中，舊典範的存在似乎不利於新典範的出現，那麼，一個既有的典範如何可能產生新典範呢？其可能性孕育於「危機」(crisis)。危機的形成是一個長久而漸變的歷程，包括：

1. 舊典範之下的某個謎題很頑固，解謎活動出現深刻的失敗，謎題變成異例(counter instance)或反常(anomaly)。

2. 通常每一個典範自始至終都會碰到一些反常，但異例或反常會愈來愈多，當中有一些被忽視，有一些被正視，有一些不重要，有一些很重要，而且，一個領域當中只有越頂尖的科學家，才越能分辨重要或不重要的反常。

3. 當反常累積到一定的程度，或重要的反常威脅到典範的基礎時，典範便出現了危機，此時，不同版本的理論不斷被提出來，嘗試想要解決這些反常問題，以挽救典範。

4. 理論的版本增多，使典範發展成太複雜而矛盾的系統，進一步加重了典範的危機程度，危機鬆動了典範的規則與控制力。

5. 終於有新典範被提出來。

在此歷程當中，一個有創造力的科學家必須具有：(1) 辨認反常的智慧，(2) 檢查每一個他(她)所注意到的反常的耐性，以及(3) 容忍危機的能力--如果他不能容忍危機，可能就要改行不當科學家了。換句話說，危機考驗科學家，提供科學家反省典範的機會，並促使部份科學家創造新典範，所以，危機就是轉機。

小結

孔恩認為，在常態科學時期，科學家的思考方式偏向聚斂思維(convergent thinking)，在典範更新時期，科學家的思考方式偏向發散思維(divergent thinking)。聚斂思維具有保守性，傾向維護傳統、追求共識；發散思維具有開放性，傾向破壞傳統、追求多元的新方向。然而，「只有堅固紮根於當代科學傳統的研究，才有可能打破傳統並開創新傳統」(Kuhn, 1991: 140)，所以，優秀的科學家在性格上既需要固執、保守，也需要彈性、開放；在能力上既需要聚斂思維，也需要發散思維，孔恩稱這種矛盾為

「必要的緊張關係」(essential tension)。

筆者認為，我們似乎也可以用皮亞傑 (Piaget) 的觀念來理解孔恩的模式。在常態科學時期，科學家的思考是一種同化 (assimilation) 的歷程，在遭遇反常及陷入危機的時期，科學家的思考則陷入認知衝突 (cognitive conflict) 狀態，在科學革命時期，科學家的思考則需要一種調適 (accommodation) 的歷程。由此看來，科學知識的成長歷程與個人知識的發展歷程，在本質上似乎是相同的歷程。

多元與創造：費若本的啓示

孔恩強調聚斂思維與發散思維之間要維持一種必要的張力，費若本 (Feyerabend, 1970) 則完全強調發散思維。費若本是一個在知識上徹底追求自由、多元、相對、甚至非理性的人，他認為，所謂的常態科學或典範都太獨裁、太霸道、或太具支配性，根本有害於科學的發展。他追求的是理論的多元論 (theoretical pluralism)，換句話說，他認為科學理論愈多愈好，科學理論的增生是加速科學革命的好方法，科學理論的統一則禁錮了科學家的創造性。為了追求理論的多元化，任何觀念來源皆可作為科學家的創意來源，包括專家創意、狂人奇想、文化偏見、甚至宗教神話等等，皆可以被科學家所採用。

費若本不只是主張理論的多元論，他也主張方法的多元論。他批判了歸納法、否証論、與典範轉移等觀點，他反對以任何單一的方法作為科學方法，他主張「怎麼都行」(anything goes)，任何方法皆可為科學方法，尤其是在衛護新思想的階段，包括宣傳、感動、特殊假設等等「非理性」手段，皆可被倚賴使用。在費若本的概念世界裡，「理性」被視為一元的、規範的、論證的，「非理性」則被視為多元的、自由的、啓發的，所以他在科學方法中公然提倡非理性方法，並且否認「科學」與「非科學」有任何明顯的界限。

費若本自稱他的知識理論為「無政府理論」(anarchistic theory) (Feyerabend, 1970)，相當傳神。他對「理性」的定位與理解相當傳統，他持極端相對主義 (relativism) 的立場，走入極端主觀唯心論的陷阱，使得知

識與偏見難以區分，使得科學失去任何客觀、理性的可能，此一立場遭受許多批評（請參閱 Suppe，1977：170-180）。不過，他對於「多元」的追求，以及「多元」對於創造力的重要性，似乎是應受肯定的一部份。從演化論的觀點來看，「多元」增加變異，而「變異與選擇」（variation and selection）的歷程則是科學知識演化的基本歷程，只是費若本忽視「選擇」歷程，所以走入無政府和反理性的立場。

演化與創造：圖爾明的模式

圖爾明（Toulmin，1972）對科學事業或科學活動進行生態分析，從生物學、演化論的觀點來看待科學知識的成長與改變。在他的觀點之下，科學不是一個靜態的事業，科學裡的研究興趣、前提、理論、概念、語言意義、專有名詞以及其它表徵工具，時時刻刻都在動態演化當中，所以，科學概念的多樣性是科學史的特徵，科學研究的適切性必然隨時間而演變。如此承認概念的相對性，是否會墮入概念的相對主義？圖爾明努力發展一個關於概念演變的模式，企圖說明概念的相對性，同時又企圖避開相對主義，他的基本想法如下：理性並不是一種概念系統或邏輯系統的特質，而是一種人類集體活動的特質，更具體地說，是人類在某一種事業活動當中對概念或概念系統進行批判、評價、選擇與改變的程序的特質。因此，理性不是一種靜態結構的特質，而是一種動態歷程的特質，這種歷程在本質上是一種演化的歷程；而科學的客觀性並不是植基於實證論者所說的實證基礎，而是植基於下列歷程：概念的選擇與判斷是經過批判所形成的理性猜測（rational bets）。此一觀點與波普頗為相近。

那麼，更具體而言，演化的歷程又是如何呢？圖爾明採取達爾文的「變異與選擇」觀點，認為學門（discipline）會生產新奇、變異的概念，但只有部份概念受到學門社群的選擇而保留下來，所以整體而言，由概念所組成的基因庫會變化，卻又具有連續性（不像孔恩所描述的典範轉移）。他將學門類比於生物演化中的「物種」（species），學門包括兩部份：一群概念所形成的基因庫（含觀念、方法、基本目標等），以及一群人所形成的專業社群。學門中的創意是否能得到生存，取決於兩種機制：「理由」與「原因」

(reasons and causes)。「理由」來自於學門發展的內在歷史，經常涉及預測力、一致性、精確度、解釋範圍、解題能力、可理解性以及學門基本目標等方面的考量，學門根據內在理由對不同的概念進行比較、評估與選擇，就構成了理性的歷程。「原因」則來自於學門之外的歷史發展，它包括各種政治與社會因素（例如人情、關係、輩份、官位、私人利益、私人恩怨、政治立場、權力分配、種族歧視、性別歧視等外在因素），它有時會壓制理性歷程，成為塑造學門內涵的重要因素。圖爾明認為「理由」與「原因」兩種機制聯合影響學門的發展，內在理由的影響愈大，學門愈理性化；外在原因的影響愈大，學門愈反理性。本文將其概念以數學公式簡化表達如下：理性 = 理由 ÷ 原因。

根據 Suppe (1977) 的評論，圖爾明的模式富有洞察力、啓示性而且令人興奮，但仍有下列不足之處：1.對於「好的推理」(good reasoning) 的說明不足；2.對於「如何測量不同創意之間的適應度 (fitness)」也未說明；3.對於「科學家或學門在製造概念變異時理性所扮演的角色」也幾乎未著墨；4.倚賴「基因突變與重組」的模式來描述科學概念的變異或創新，似不足以說明科學知識的成長、成功與高度適應。圖爾明往後的著作並未補足這些方面（他的 *Human Understanding* 一書第二卷似未出版），但本文認為他的演化論模式呼應了 Campbell (1960/1974) 以及 Cizko (1998) 等人對於創造力的知識演化論觀點，也呼應了 Csikszentmihalyi (1999) 等人對於創造力的系統理論觀點，同時並呼應了 von Glasersfeld (1995) 等人對於知識的根本建構論觀點。我們從圖爾明的模式可以推知：1.科學知識的成長歷程在本質上是一個演化的歷程，具有變異性，也具有連續性；2.科學創意在演化歷程當中扮演「變異」的角色，但變異的來源仍有待探究；3.科學社群在演化歷程當中扮演「選擇」的角色，但理性的選擇才可能促進知識的成長；4.科學知識的「成功」只是「適應良好」，不是「達成本體性的真實」。

領域與創造：夏皮爾的論述

不管在哪一個歷史階段，人類都有一些相當成功、在當時找不到任何一個具體理由加以懷疑的信念；以此信念為基礎，人類進一步建構出其它相關

聯的信念，其中也有一部份證明相當成功、不受懷疑；這些成功而不受懷疑的信念之間具有某種關聯性，逐漸形成一種組織或系統，也就是形成一個研究場域（area/field）；研究場域繼續發展，逐漸形成兩個部份，第一個部份稱為領域（domain），是一組待研究的訊息，第二個部份稱為背景訊息（background information），是一組成功的、不受懷疑的、與該領域有關聯的信念，這些信念就成為科學研究當中各種判斷與決策的理由。

在上述模式裡，科學發展是一個拔靴自助（bootstrapping）的歷程，所以，科學的所有層面在原則上都是可以修正的，包括最原初的信念、觀察的事物、事實、理論、方法、標準、以及對概念的界定等等，都是可以修正的，只要有理由，而理由本身也是可以修正的，只要有其它理由--這並無循環邏輯的味道，因為，理由的發展也是一種拔靴自助的歷程，換句話說，科學家通常都是先假設某些背景信念可以被當作理由，再以這些理由為基礎來發展新的理解、新的觀察型態、新的發現、與新的關係等等，然後使用此一新發展的觀念系統回頭對原初的理由進行批判性的考驗、評估、與修正--這是一種藉由反饋（feedback）歷程所產生的自助自長、自我組織（self-organizing）的歷程，這種歷程相當精妙，因為它使得科學發展好像是有自己的生命。

科學的發展包含了漸進的新發現、觀念的精確化、關係的組織化、以及領域界線的清晰化--逐步釐清研究對象，並將相關聯的訊息與無關的訊息區分開來--這也就是逐步區分科學與非科學。在此發展歷程當中，科學愈變愈自主，也愈變愈自足，它變得能夠描述自己的研究領域、澄清相關的背景訊息、形成自己的研究問題、明列自己的研究方法、推論系列的可能解答、並建立評估答案的標準，這一切都只考慮領域的訊息以及與該領域相關的背景信念，所以，這一切推理都是自給自足的，只仰賴科學自身的發展，不仰賴任何獨立於科學的外在基礎與規範，這一個歷程，夏皮爾稱之為「內化」（internalization）。在夏皮爾看起來，內化的考量就是一種科學思考，任何一個科學領域的研究愈只考慮內在的理由，它的理性程度就愈高。

在此觀念之下，夏皮爾認為「研究方法」與應用此方法所獲得的「研究結果」之間是一個互動或互相助長的關係，兩者皆內在於領域，隨著領域的發展而交互作用，研究方法並不比科學高一個層次在那裡指揮與規範科學家

該怎麼做研究，事實上，科學研究的結果也會影響科學方法及方法論的發展，方法及方法論的更新乃是由科學研究成果的回饋作用所促成（見圖1）。

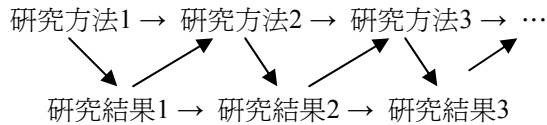


圖1 研究方法與研究結果的交互助長歷程

隨著科學的發展，科學語言的意義或內涵也不斷的改變，夏皮爾舉「電子」這一個詞的意義演變為例子，他說，1894年史通尼（Stoney）引進「電子」這個詞時，指的是電荷的分離單位，這是當時對法拉第（Faraday）的電解實驗的適當解釋；後來科學家發現，電荷總是與一個物質性的粒子相關連，所以「電子」這個詞就被用來指粒子而非電荷，此一轉移是合理的，因為，拉瓦錫（Lavoisier）以及牛頓之後的科學家大都同意，質量是一個實體的基本性質，所有其它性質只是被實體所擁有（或負載）而非必要，所以，物質的質量才是關心的焦點，它只是恰巧攜帶了一個不可分割的電荷單位。

量子論出現之後，「電子」的概念又有了巨大的轉變，因為，量子論將「粒子」的概念看成一個受實驗型態影響的相對概念，而量子電力學則進一步模糊了「粒子」與「場」（field）的區分，此時，分派量子數值給「粒子」，並未賦予質量特殊的地位，所以，「粒子」的概念有了很大的轉變，當然，「電子」的概念也隨之有了巨大的轉變.....。夏皮爾強調，所有的科學概念都像「電子」這一個概念一樣，隨著科學的發展而逐漸改變，但每一個改變都是有理由的，所以概念之間具有連續性，而理由與理由之間則連結成一個「推理鍊」（chain-of-reasoning）。

在此觀念之下，夏皮爾認為科學發現雖然沒有邏輯可言，但有理由可尋。他認為，科學發展是理性的，這並不是說有一種「發現的邏輯」（logic of discovery）可以保證某個研究路線最終將會得到一個答案，而是說，科學創意的引進通常都是有理由可尋的，科學發展不是一個非理性的歷程。

結論及其教育上的含意

關於科學發現與知識成長，我們究竟能從科學哲學當中學到什麼？回顧了上述各家科學哲學觀點的歷史演變，我們大致上可以得到如下的結論及其教育上的含意。

歸納法在本質上是一種「假設--驗證」的問題解決歷程

科學研究歷程當中，許多被稱為「歸納法」的思考歷程，其實是一種「假設--驗證」的問題解決歷程。歸納法如果有用，是因為它的問題解決歷程暗合演化論，也就是說，提出各種假設是在生產變異，而驗證假設則是對理論或假設進行批判與選擇。此一歷程不只是發生在科學探究的歷程當中，也發生在警察辦案、偵探追兇的歷程當中，甚至發生在每一個人從小到大的知識成長、學習歷程當中。

無範圍的盲目變異，其解題效率必然很差。利用背景知識（含先天與後天智慧、內隱與外顯知識）縮小問題空間，創造多樣化的假設，評估假設的合理性，才可能提高假設的成功機率。所以，提出假設的能力以及假設的成功機率，受到背景知識的強烈影響。

有些教師採用「純發現式的教學法」，卻發現學生無法達成學習目標，原因就在於學生所擁有的背景知識不足；教師不要期望學生在背景知識不足的情況之下，做做觀察或蒐集一些事實，就能「歸納」出重要的科學知識；教師應該有比較精細的規劃，先引導學生建構必要的背景知識，才能使「發現式教學法」產生效用。背景知識的充足與否，不決定於學習者年齡，而決定於問題與領域。有些問題與領域，學習者單憑遺傳下來的能力即可提出良好的假設；有些問題與領域，學習者縱使浸淫數十年，背景知識仍嫌不足，所以，有些研究生在寫論文時，會面對自己所蒐集的大量資料，卻坐困愁城，「歸納」不出任何發現與結論，此時，儘快補足理論基礎才是正途。

不要期待透過簡單、機械性的歷程能有重要的科學發現

無論是一套固定的思考方式（如米爾的「推求因果聯繫五法」）、一套制

式的分析方法（如社會科學常用的統計分析方法）、一套標準化的分析工具（如電腦套裝軟體程式）、或一種規格化的觀察工具（如顯微鏡），都可能對科學研究有所幫助，但絕對不是充分條件。不是顯微鏡的倍數越高就越能有偉大的發現，也不是統計方法用得越多、越複雜，就越能有重要的發現。真理不是躺在某處等待被發現，真理是人與環境不斷重新對話的結果，是人在環境潛能限制之下不斷重新詮釋環境的結果，是認知主體的創造力與認知客體的潛能進行複雜交互作用的結果，所以，缺乏創造力的機械性歷程不可能產生重要的「科學發現」。目前科學教育界所強調的「過程技能」導向的教學，以及社會科學界所強調的「實證與量化」導向的研究生培訓，都應該避免掉入簡化、機械化、制式化的陷阱以及「天真實在論」的假定。

不要期待單純透過神秘、意外的歷程能有重要的科學發現

對一個背景知識豐富、準備程度充足的心靈來說，在長久思考一個問題之後，某些夢境的確能帶來某些啓示，某些意外的確能帶來某些頓悟；但對一個缺乏背景知識、專業準備不足的心靈來說，做再多的夢也無助於解題，遇再多的意外也無助於頓悟，因為，讓某些「事實」與「現象」呈現給缺乏相關基模（*schemata*）的心靈，只不過是對牛彈琴。舉例而言，蘋果掉到牛頓的頭上，根本不是牛頓「發現」地心引力的關鍵，牛頓對伽利略與哥白尼的深度了解以及對力學問題的長期思索，才是關鍵。教師不宜強調神秘或意外的「發現」歷程，因為這只會帶來讚嘆或挫折感，卻無助於學生的學習。

科學發現必須以科學創造為前提，沒有創造就沒有發現

「科學發現」並不是撥雲見日，從孔恩的分析我們可以知道：「科學發現」與「科學創造」是如何地糾葛在一起，而難以分別。換句話說，如果沒有概念的創造、理論的創新或典範的更新，「事實」與「現象」不可能有新的意義。所以，科學發現並不是一種立即、確切、戲劇性的單一事件，而是一種緩慢、連續、比想像中更長期的歷程。

當新奇的「事實」與「現象」遇到舊概念、舊理論或舊典範時，只會被

解釋為反常、特例、奇怪或干擾，不會被視為科學發現；反之，當舊有的事實與現象遇到新概念、新理論或新典範時，卻會被認為是新發現。由此可知，概念、理論或典範的創造才是促成科學發現的關鍵；我們若要培養學生敏銳的觀察力，必先培養其敏銳的心靈，而敏銳的心靈來自於豐富的基模、多元的理論、開放的心靈、與創造的動能。

科學發現雖無邏輯可循，卻有理由可循

「科學發現」必須以「科學創造」為前提，因此，不是機械性的歷程，也不是形式邏輯的運算歷程，沒有一種「發現的邏輯」(logic of discovery)可以保證某個研究路線最終將會得到一個答案。「科學發現」雖無邏輯可循，但卻有理由可循，有脈絡可循，因為科學的歷史發展是一個演化的歷程，是一個自助自長、自我組織的歷程，學門社群會根據領域發展史所形成的內在理由對不同的概念進行比較與評估，做出理性的選擇。所有的科學概念都會隨著科學的發展而逐漸改變，但每一個改變都是有理由的，所以概念之間具有連續性，而理由與理由之間也具有關聯性。當然學門社群的判斷與選擇，有時也會受到外在、無關的因素所影響，而做出反理性的決策，造成知識成長的停滯或甚至領域生命的終止。這對各領域的掌門人、守門人、或審查人員而言，是非常值得警惕的事；對中小學各領域的教學來說，則應注意加強：1.科學史的素養，2.科學演化歷程的分析，3.多元觀點的評估比較，4.各種選擇理由的充分說明。若不說明「科學發現」的歷史脈絡與科學社群接納的理由，只會使「科學發現」的事件變得神秘，而其結果變得獨斷。

典範會幫助創造，也會抑制創造

典範（或大型理論）對現象賦予意義，所以，掌握新典範的人，自然能藉由新典範的思考系統，對舊現象賦予新的意義，或做出嶄新的預測，因而產生創造，或「發現新的事實」。新典範不斷地開疆闢土，內涵的豐富性逐漸達到飽和，新典範終於變成了舊典範，創造性就會降低，此時，科學家如果仍然強烈倚賴舊典範，視野就會受到束縛，提問與解題方向都無法突破，

並且對很多不符預期的異常現象視而不見，這就是典範抑制了創造。所以，水能載舟，亦能覆舟。

科學教育不能不授與學生典範，否則學生難以詮釋現象、解釋事實、或提出預測，最多只有零碎片段的概念，卻難以將概念連結成整體。但是，科學教育在幫助學生了解典範之外，也應幫助學生尋找異例、偵知錯誤、容忍危機、挑戰典範，最後才能幫助學生創造新典範。

變異與選擇之間的循環回饋歷程，是知識成長的基本歷程

波普認定創造思考與批判思考兩者相容，或甚至認為批判思考能激勵創造思考，帶來創造性突破；孔恩認為擴散思考與聚斂思考之間應該維持一種必要的緊張關係；但是，費若本只強調多元，強烈主張科學理論的增生與科學方法的多元性。的確，單一、支配性的理論或單一、支配性的方法論，皆不利於知識的成長，因此，社會科學界的「量化取向」與「質化取向」應該共存，可以接受批判，但不應該遭受權力的排擠（任何學門社群之內皆有權力結構與權力位階）。但是，單純強調多元或多樣化，對於知識的成長並不充足，有時甚至造成概念、價值觀與社會的混亂。

從生物演化論的觀點來看，「變異與選擇」兩者皆為演化的必要條件，缺一不可，但是，有些選擇壓力的確會在某些時候對某些變異產生殺傷力（Sober, 1984），所以，創造思考與批判思考之間、擴散思考與聚斂思考之間、或變異與選擇之間可以並存，但也有某種程度的緊張關係。

演化雖然提供成長或進步的可能性，但並不保證成長或進步，所以，單純演化觀點或許不足以說明科學知識的快速成長，此處必須融入自我組織理論以及複雜科學（science of complexity）的觀點，將「變異與選擇」的歷程模擬成「拔靴自助」的循環回饋歷程，才可能說明科學知識的快速成長。

一個好的學習者或一個好的科學家，其大腦之內或心靈之中，必須維持創造思考與批判思考之間、擴散思考與聚斂思考之間、或變異與選擇之間的動態平衡與循環回饋歷程，若缺少當中任何一者，皆不利於知識的成長與創造。一個好的學門，其社群之內或個體之間，也必須維持上述的動態平衡與循環回饋歷程，否則，也不利於知識的成長與創造。

註釋

- (1) 本研究由國科會補助經費完成（專題研究計畫編號：NSC88-2519-S-004-004-C），並蒙兩位匿名審查者給予極有幫助的建議，特此致謝。

參考文獻

- 張巨青、吳寅華（1994）：《邏輯與歷史--現代科學方法論的嬗變》。台北：淑馨出版社。
- 詹志禹（1993）：〈因果關係與因果推理〉。《國立政治大學學報》（台灣），67期，1-15。
- Campbell, D. T.（1960）. Blind variation and selective retention in creative thought as in other knowledge processes. *Psychological Review*, 67, 380-400.
- Campbell, D. T.（1974）. Evolutionary epistemology. In p. A. Schilpp（Eds.）, *The philosophy of Karl Popper*. La Salle: Open Court.
- Cizko, G. A.（1998）. From blind to creative: In defense of Donald Campbell's selectionist theory of human creativity. *Journal of Creative Behavior*, 32, 192-209.
- Csikszentmihalyi, M.（1999）. Implications of a systems perspective for the study of creativity. In R. J. Sternberg（Ed.）, *Handbook of creativity*（pp. 313-335）. New York: Cambridge University Press.
- Feyerabend, P. K.（1970）. Against method: Outline of an anarchistic theory of knowledge. In Radner, M. & Winokur, S.（Eds.）, *Minnesota studies in the philosophy of science. Vol. IV*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Kuhn, T. S.（1970）. *The structure of scientific revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press. 程樹德、傅大為、王道還、錢永祥（譯）（1994）：《科學革命的結構》。台北：遠流。
- Kuhn, T.（1991）. The essential tension: tradition and innovation in scientific research. In Boyd, R., Gasper, P. & Trout, J. D.（Eds.）, *The philosophy of science*. Cambridge: MIT Press.
- Popper, K. R.（1934）. Scientific method. In Miller, D.（Ed.,1985）, *Popper Selection*,（pp. 133-142）. Princeton, NJ.: Princeton University Press.
- Popper, K. R.（1960）. Knowledge without authority. In Miller, D.（Ed.）, *Popper*

- Selection*, (pp. 46-57). Princeton, NJ.: Princeton University Press.
- Popper, K. R. (1976). *Unended quest: An intellectual autobiography*. La Salle, IL.: Open Court.
- Reichenbach, H. (1938). *Experience and prediction*. Chicago, IL.: University of Chicago Press.
- Shapere, D. (1984). *Reason and the search for knowledge*. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing.
- Sober, E. (1984). *The nature of selection: Evolutionary Theory in philosophical focus*. Cambridge, Mass.: The MIT Press.
- Suppe, F. (1977) (Ed.). *The structure of scientific theories*. Chicago: The University of Illinois.
- Toulmin, S. (1972). *Human understanding, Vol. I*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.

初稿收件：2002年1月17日

二稿收件：2002年7月1日

審查通過：2002年7月15日

責任編輯：邱皓政

作者簡介：

詹志禹 美國奧斯汀德州大學教育心理系博士
政治大學教育系副教授
通訊處：(116) 台北市文山區指南路二段64號
政治大學教育系
電話：(02) 29387612
傳真：(02) 29396823
E-mail：jyjan@nccu.edu.tw

Scientific Discovery and Knowledge Growth : What Can We Learn from Philosophy of Science?

Chih-Yu Chan

*Department of Education
National Chengchi University*

The aim of the current paper was to analyze the process of knowledge growth and scientific discovery by historically reviewing the philosophy of science. After re-assessing inductivism, logical positivism, falsificationism, Kuhn's contribution, Feyerabend's position, Toulmin's model, and Shapere's theory, the following conclusions were derived. First, the so-called "inductive reasoning" is essentially a "hypothesis-testing" process. Second, it should not be expected that important scientific discovery could be achieved simply by mechanistic, mysterious, or accidental process. Third, scientific discovery presupposes scientific creativity. Forth, although there is no logic of scientific discovery, there usually are good reasons for it. In other words, the process of scientific discovery is rational. Fifth, paradigms can facilitate as well as constrain creativity. In order to create new paradigms, learners should be able to understand paradigms, find out counter examples, detect errors, tolerate crisis, and challenge existing paradigms. Sixth, the fundamental process of knowledge growth is basically a dynamic, iterating, bootstrapping, and self-organizing process of creative and critical thinking, i.e., of variation and selection. Some implications of the above conclusions for learning, instruction, and research were also discussed.

Keywords : scientific discovery, knowledge growth, philosophy of science, creative thinking, critical thinking, inductivism, logical positivism, falsificationism, paradigms, evolutionary theory, self-organizing.

新專題構想

現象學心理學：理論與實踐 蔡錚雲、李維倫、龔卓軍 主編

近年來，現象學研究不僅在哲學界已累積初步的成果，心理學界、護理學界、人類學界、生死學界亦積極應用現象學方法進入生活世界，探求不同層次的意向結構與置身處境。同時，這些學科之間的對話與整合，亦愈來愈受重視。這種現象有其本質上的理由。單單以胡塞爾而言，超越現象學與現象學心理學的本質關聯，就一直影響其現象學思考，而海德格的存在分析與詮釋現象學在心理學、精神醫學領域的應用，也如影隨形，從歐洲到美日，變現出不同的實踐面貌。透過這個議題，我們希望以現象學心理學為焦點，針對理論與實踐上的根源與分殊、科學內涵與操作方法、歷史實踐與文化差異問題，進行反思、對話與批判，以期為現象學的發展史增添新頁。(連絡人：龔卓軍，電話：(02) 26215656轉2938，E-mail: martian@mail.tku.edu.tw)

組織行為在臺灣：回顧與展望 鄭伯璜 主編

組織行為學在臺灣的發展雖然不能說與西方同步，但七〇年代末期引進，由行為科學分支出來之後，就持續成長，不管在研究、教學、及應用上，都有長足的進展。研究由移植而創新，教學由定點而普及，應用由囫圇吞棗到去蕪存菁，如今已屆二十多年。發展雖然不能說優異，但也算差強人意，值得針對各類議題進行歷史性的回顧與批判性的檢討，期望在過去的基礎上，指明未來研究、教學、及應用的方向。本專題針對員工忠誠、組織承諾、組織情緒、領導行為、群體與團隊行為、組織決策、組織文化、組織發展、組織衝突、及組織間網絡等相關議題規畫，歡迎學術與實務界人士投稿。來稿將先在2002年11月1至2日於台灣大學心理學研究所與中國心理學會工商心理學組籌辦的學術研討會發表、討論後，再結集於本專題刊出。欲投稿者請將稿件寄至台灣大學心理學研究所工商心理學研究室收。(地址：106台北市羅斯福路四段一號台灣大學心理學系南館308室，連絡人：姜定宇，電話：02-23641841，傳真：02-23659798，E-mail：jian6123@ms15.hinet.net)