「科學的思考」九堂課：學校不教的科學

作者：戶田山和久
出版社：游擊文化
出版日期：2017 年 10 月 2 日

文／白榮銓

1902 年，法國著名的數學家暨理論科學家潘卡瑞（Henri Poincaré, 1854-1912）出書《Science and Hypothesis》（科學與假說），內容提到 “Science is built up of facts, as a house is built of stones; but an accumulation of facts is no more a science than a heap of stones is a house.”（科學是事實組成的，正如房屋是石頭堆砌的；但是一堆事實不是科學，就像一堆石頭不是房屋）。科學的內容不僅是事實而已，若要探索事實的真相，還涉及假說（hypothesis）、理論（theory）、推論（inference）、驗證（verification）與否證（falsification）等概念。到底理論與事實怎樣不同？假說要怎樣提出？假說要怎樣驗證？

本書作者戶田山和久（Todayama Kazuhisa, 1958-），東京大學大學院人文科學研究科修畢，著有多本科學哲學書籍，目前擔任名古屋大學大學院情報學研究科教授、日本科學哲學學會會長。本書分兩部分：第一部「基礎篇」，內容包含：理論和假說、驗證和否證等教科書沒有解釋的「討論科學的概念」；第二部「應用與實踐篇」，內容討論核電事故等科學技術帶來的風險，並探討公民應該如何恰當判斷，以及正確評估科學技術的現況。

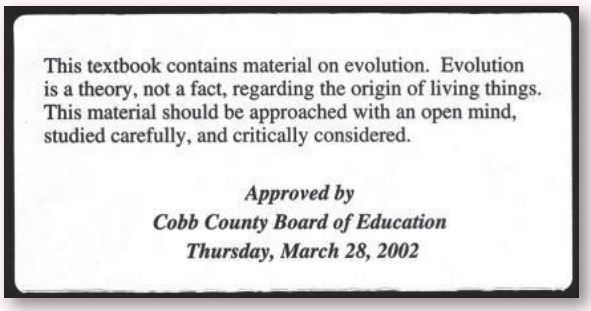
理論與事實怎樣不同

事實的特徵是已經證明的、不能否認的及已經發生的事情。至於理論是否受到支持或成立，將可能隨著時間推移而改變。「神創論者」（creationist）普遍相信人類、生物、地球及宇宙，是由超自然力量或超自然的生物創造，通常為神、上帝或造物主，不同宗教典籍及民族都有「神創論」（creationism），例如基督教「基本教義派」（fundamentalist）可視為神創論者之一，許多神創論者對於達爾文（Charles Darwin, 1809-1882）的演化論（theory of evo-

lution），都抱著懷疑的態度。1925 年，美國田納西州（State of Tennessee）頒布法令，禁止在課堂上講授演化論；1968 年，這條法律才被美國最高法院判決違憲而取消。

1999 年，堪薩斯州教育委員會（Kansas State Board of Education）投票決定，將該州科學課程的演化論刪除。2002 年，美國喬治亞州（State of Georgia）柯布郡（Cobb County）學區內的數千位家長抗議「生物教科書只有提到演化論，卻未公平地提及有關生命開始的神創論」。因此，該州的科學教科書，只要內容提及生物演化，就必須在書本封面或封底的內頁，黏貼一份聲明（圖 1），內容為：“This textbook contains material on evolution. Evolution is a theory, not a fact, regarding the origin of living things. This material should be approached with an open mind, studied carefully and critically considered.”（本教科書涵蓋演化論教材，演化是關於生物起源的理論，而不是事實。應以開放的心胸，仔細研究與批判思考此教材）。

此舉引發學區內多位家長以及美國公民自由聯盟（American Civil Liberties Union）的強烈抗議，於 2004 年 11 月，至法院提告。他們認為神創論貼紙，違反了憲法


This textbook contains material on evolution. Evolution is a theory, not a fact, regarding the origin of living things. This material should be approached with an open mind, studied carefully, and critically considered.

Approved by
Cobb County Board of Education
Thursday, March 28, 2002

圖 1. 柯布郡的生物教科書內頁貼紙（圖片來源：https://anamericanidiot.wordpress.com/2008/12/15/tolerance-is-for-other-people/）

的「政教分離」（separation of church and state）原則；何況天文學、地球科學的某些理論，同樣受到神創論者的懷疑，為何只有演化論的教科書要黏貼聲明。2005 年 1 月，美國喬治亞州（State of Georgia）亞特蘭大（Atlanta）市的聯邦法庭，宣判「柯布郡（Cobb County）公立高中的教科書貼紙，違反憲法必須撕下」。

其實，自 2001 年起，阿拉巴馬州的生物教科書內頁，對於演化論也有類似的聲明貼紙。以該州 2015 年的貼紙為例，前兩段內容為：“This textbook discusses evolution, a controversial theory some scientists present as a scientific explanation for the origin of living things, such as plants, animals and humans. No one was present when life first appeared on earth. Therefore, any statement about life's origins should be considered as theory, not fact.”（本教科書討論的進化論，係有爭議的理論，是有些科學家對於植物、動物和人類等生物起源的科學解釋。當生命首度出現於地球時，沒有人在場。因此，關於生命起源的任何陳述，都應該被視爲理論，而不是事實）。

關於生命起源的理論，除了「神創論」和「進化論」之外，還有「智慧設計論」（intelligent design）。智慧設計論主張：自然界的生物和現象，是具有智慧的創造者所設計和創造。有些學者認為智慧設計論，骨子裡還是神創論。2004 年，美國賓夕凡尼亞州（Pennsylvania）多佛（Dover）鎮的教育委員會決議：學校的生物課程必須講授智慧設計論（網址：https://www.youtube.com/watch?v=AaxWxipAPWg），而且教師在授課前，必須先宣讀一份聲

明，此決定引起許多鎮民和全國科學家的憤慨。

該聲明的內容為：「達爾文的理論是個理論，如果發現新證據的話，必須通過證據的驗證，達爾文的理論不是『事實』。智慧設計論與達爾文的觀點，對於生命起源的見解不同，……不管那個理論是真的，都應該鼓勵學生保持開放的態度」，小布希總統（George W. Bush, 1946-）支持多佛鎮教育委員會的決議，更是引發軒然大波。2005 年，賓夕凡尼亞州的瓊斯法官（John E. Jones, III, 1955-）裁決：智慧設計論屬於宗教思想，在課堂教授，違反了美國憲法「政教分離」的原則。但智慧設計論在美國許多州仍然非常盛行。

智慧設計論者強調「演化論並非事實，只是理論而已」，如果我們請教演化論科學家：「達爾文的演化論是理論嗎？」他們一定會說：「因為稱為演化論，所以當然是理論」。如果再問「達爾文的演化論是事實嗎？」他們會說：「『事實』是什麼意思？是說它百分之百正確，毫無任何疑問，絕對不會被推翻，未來也永遠是真理嗎？如果是這個意思的話，它並不是『事實』」。既然雙方陣營說的話都一樣，為何會造成對立？這是因為雙方在使用「理論」和「事實」這些詞彙時，指涉的意義不同，思考的框架也不同。

對於智慧設計論者而言，「理論」是不確定且含糊，錯誤的可能性很大；而「事實」則是百分之百確定，絕對不會被推翻，未來也永遠不會改變。因此，依照智慧設計論者「非黑即白」的二分法，理論就不是事實或真理。智慧設計論者採取的策略，就是將他們的理論視作科學理論，與演化論擁有相同的地位，應該被列入生物教科書，讓學生自由選擇相信那一個。

但是，科學家通常認為：科學創造的理論，是在百分之百真，與百分之百偽之間的灰色地帶，追求稍微更好的理論，學校教學時間有限，應講授更好的理論。

由上述可知，雖然演化論和智慧設計論都是理論，但是演化論受過更多的測試（testing），並被科學家們廣泛地接受。但是美國某些州的教師、家長和地區的教育委員會，對於演化的事實和理論，各持己見，甚至透過行政或司法的力量，來解決智慧設計論是否列入生物教科書的爭議。其實，科學理論的演進，可謂日新月異，所以所有的理論都可能是模糊及不完備的，科學的目標是不斷發展及改進現有的理論，除了能說明過去及現在的事物是如何運作，還要能預測未來的可能發展。

假說要怎樣提出

科學的重要功能之一是說明（explanation），說明為什麼會有地震？為什麼會有日食及月食的發生？而假說就是科學的說明，透過不同的觀察與實驗，可能產生不同的假說，當假說經過足夠多的測試，並獲得確認，就可能形成理論。為了提出「適當合理」的假說，用來說明的假說，不僅要符合科學的概念，還須要經過適當的推論。推論可分為演繹推論和非演繹推論，非演繹推論分為：歸納（induction）、投射（projection）、類比（analogy）和逆推（abduction）。

「人體內的白血球、神經細胞、上皮細胞和肝細胞等，都有細胞核，所以人體的所有細胞都有細胞核」，這是從個別的事例推導出普遍性，這種推論稱為「歸納」。「白血球有細胞核、神經細胞有細胞核、上皮細胞有細胞核、肝細胞有細胞核；因此，

紅血球有細胞核」，這是將已調查過個例都具有的性質，賦與其他個例，使其具有相同的性質，這種推論稱為「投射」。「兩個物體之間的引力大小，與距離的平方成反比；那麼兩個電荷之間的吸引力或排斥力大小，與距離的平方成反比」，這是透過比較兩件事物，將已知事物的特點，推衍到未知事物，但兩者不一定有實質上的同源性，這種推論稱為「類比」，也可視為相似點的投射，科學家常使用類比推論，提出新的科學假說。

何謂「逆推」？牛頓的力學完成於17世紀，一百多年後，法國天文學家布瓦（Alexis Bouvard, 1767-1843）應用牛頓力學的理論，計算天王星的運動，天王星是當時天文學家所知，離地球最遠的行星，但計算結果和實際觀察到的天王星軌道不一致。1846年8月，法國數學家暨天文學家勒威耶（Urbain Le Verrier, 1811-1877，圖2），在法國科學院（French Academy）公布計算報告，他推測：天王星的實際運動與計算結果無法相符，是因為天王星的外側，還有一顆未知的行星，影響了它的運行軌道。

同年9月，勒威耶將預測報告，寄給德國柏林天文台（Berlin Observatory）的天文學家伽勒（Johann Galle, 1812-1910）。伽勒和他的學生德瑞斯特（Heinrich d'Arrest, 1822-1875），在收到信的當天晚上，利用勒威耶的預測資料，於柏林天文台（Berlin Observatory）使用天文望遠鏡觀測，只花了半小時，就在預測位置附近，發現一顆新的行星，勒威耶建議命名為「海王星」（Neptune）。推論天王星的外側還有一顆行星存在，稱為「逆推」。

非演繹推論的特徵是「結論的資訊會增加」，這是因為四種型式的推論，都會得到前提（premise）沒提及的事。例如歸納和投射的前提，只提到白血球、神經細胞、上皮細胞和肝細胞，但結論卻提到了人體所有的細胞以及紅血球。類比的前提，只提到物體和物體之間的吸引力（萬有引力），但結論卻提到電荷與電荷之間的吸引力與排斥力（庫倫力）。逆推的前提，只提到天王星的實際運動與理論計算結果，但結論提到了海王星。

非演繹推論的另一項特徵是「推論可以形成假說，但是結論不一定正確」。例如上述歸納例子的結論「人體的所有細胞都有細胞核」、投射例子的結論「紅血球有細胞核」。雖然這兩種推論的前提都正

圖 2. 巴黎天文台的勒威耶雕像（圖片來源：Wikimedia Commons）

確，但結論都錯了，這是因為「成熟的紅血球沒有細胞核」。至於上述「類比」例子的結論剛好是正確的，但是由「類比」所得到的結論，未必都是正確的。

1859 年，擔任巴黎天文台台長的勒威耶，再度發現：水星軌道的計算結果，與理論計算不符，勒威耶按照發現預測海王星的成功經驗，運用逆推，推論水星內側可能還有一顆行星，並以羅馬神話裡的「火神」（Vulcan）為那顆行星命名。但這次推論失敗了，那顆行星並不存在，這是因為牛頓力學預設太陽周圍的空間是平直的，但是依據廣義相對論，因為水星靠近太陽，太陽的質量很大，造成周圍的空間扭曲，故理論計算不符合實際觀測結果，即「逆推」所得到的結論，未必每次都是正確的。

圖 3. 布達佩斯 Saint Roch 醫院的賽麥爾維斯紀念碑（圖片來源：Wikimedia Commons）

何謂演繹推論？「所有的魚類都有鰓，鰻魚是魚類；因此，鰻魚有鰓」，這種推論就是「演繹」。它的特徵與非演繹推論剛好相反，演繹是一種「如果前提為真，結論必定為真」的推論，具有「保存真值」（truth-preserving）的特性。另外，演繹推論不會使資訊增加，例如所有的魚類都有鰓、鰻魚是魚類，這兩項資訊已經涵蓋了「鰻魚有鰓」，即演繹推論並未說出任何前提未提及的新鮮事。換句話說，演繹推論得到的結論，只是把前提已經隱含的事情挑出來而已。既然演繹只是把蘊涵於前提的事挑出來，那演繹推論有什麼用途？

1846 年，維也納綜合醫院（Vienna General Hospital）的醫師賽麥爾維斯（Ignaz Semmelweis, 1818-1865 ，圖 3），遇到無法解決的難題：在醫院裡接生的產婦，因罹患產褥熱（puerperal fever）而發高燒死亡；醫院的產房分為兩區，有一區是由醫師接生，另一區則由助產士接生，由醫師接生的這一區產婦死亡率，竟然是助產士接生區的三倍。1847 年，賽麥爾維斯的同事在解剖屍體時，手指不慎被刀劃傷，幾天後發病死亡，遺體經解剖及檢驗後，發現與死於產褥熱的產婦類似。賽麥爾維斯提出假說：「產褥熱的成因，可能是『屍體內某種物質』進入人體所致，助產士沒有接觸屍體，但醫師有。如果屍體內含有的某種物質是原因，那就可以說明因解剖受傷的醫師，為何會得到產褥熱」。這個假說的形成，就是運用非演繹推論的「逆推」。

賽麥爾維斯依據他的假說，進一步提出推論「產褥熱的成因是由於屍體內的物質進入人體，因此，不讓屍體內所含的物質進入人體，就可以防止產褥熱發生」。於是賽麥爾維斯要求醫師在接生之前，必須先洗手消毒，果然和他的推論一樣，醫

師接生區的產褥熱罹患率大幅下降，故賽麥爾維斯被尊稱為「母親們的救星」（savior of mothers）。現在我們都知道答案是細菌造成的感染，只是當時還不知道細菌，而且肉眼根本無法看見。從假說推論，最重要的是將「如果假說是正確的，這也會是正確的」事情挑出來，故賽麥爾維斯使用的是能保存真值的演繹推論。

像這樣，把強項在於說出新穎事物的非演繹推論，以及強項在於能保存真值的演繹推論，兩者巧妙地結合，就能得知新穎而正確的事情，這種方法稱為「假說演繹法」（hypothetical deductive method）。假說演繹法就是先建立假說，再由假說的內容，演繹出可以檢驗真假的預測；如果預測的檢驗結果為真，則假說為真的可能性會增加，但不能說它必然是百分之百真的。

由上述可知，假說的形成有賴於不同的推論，「非演繹推論」會增加資訊量，結論的性質是可能的而非必然的。「演繹推論」是將前提中隱含的資訊，明確說出來的方法，不會增加資訊，但能保存真值。「假說演繹法」是在觀察和分析基礎上，首先提出問題，再透過非演繹推論提出假說，然後根據假說，運用演繹推論對未知事物提出預測，最後以實驗檢驗此預測，這是科學研究中常用的科學方法。

假說要怎樣驗證

人們很難做無限次的觀察或檢驗，更不能以支持假說的檢驗結果，來驗證假說為真，因為「異例」（anomaly）的出現，就可能否證假說。以「找出隱藏在 2、4、6 三個數字背後，教師心中所想的排列規則」遊戲為例，遊戲方法是：學生隨便說出三個自然數，這三個數字要符合教師心中所想的排列規則，如果符合教師的排列規則，教師就說正確；如果不符合，教師就說錯誤，直到學生能正確說出教師心中所想的排列規則。

假設「三個由小到大的數字」是教師心中的排列規則，但是當學生猜「1、2、3」、「1、3、4」、「1、4、5」時，老師都說「對」，於是學生猜教師的規則是「第一個數加第二個數，等於第三個數」。學生猜的這些數字，都符合自己的假說，稱為「正面例證」。但如果只反覆地提正面例證問老師，永遠無法猜到數字的排列規則。學生一定要舉出不是正面例證的數字，例如學生猜「1、3、5」，老師也會說「對」，但因為 1 加 3 ，不等於 5 ，這個例子違反了學生原有的假說，此時，學生必須放棄原有假說，提出新假說。

學生提出新假說：「第一、第二和第三個數字，是由小到大排列」，要確認此新假說對不對，不能只提符合新假說的例子，一定要類似「2、7、5」這種與假說不符的例子來問老師，否則找不到正確規則，這種不符合假說的例子，稱為「反面例證」。很多人在玩這個遊戲時，會一直舉符合自己假說的例子，這樣的心理傾向，稱為「確認偏誤」（confirmation bias），即人們選擇性地蒐集能支持自己已有想法或假說的資訊，並忽略那些不能支持自己假說的不利或矛盾資訊。

在這遊戲中，教師腦袋裡的數字排列規則，就像是隱藏於自然界的規律；猜數字的學生，就好像是探索自然規律的科學家。科學家為了猜測自然定律，提出種種假說；而師生之間的問答，就像是科學家從事的實驗，因此，實驗只找符合假說的事例，就無法得知針對自然界定律的假說是否正確。要確認假說是否正確，除了要

調查符合假說的事證（稱為驗證條件），還要調查不符合假說的事證（稱為否證條件）。

例如學生的假說是「這三個數是偶數」時，提出與假說相符的正面例證「4、6、8」或「6、8、10」，這就是驗證條件。如果教師說「對」，則可以知道假說正確性的可能性增加了。反過來說，學生提出與假說不符的反面例證「3、5、8」或「4、6、7」，這就是否證條件，此時，教師也說「對」，學生就會知道「這三個數是偶數」的假說是錯誤的。

1966 年，英國認知心理學家瓦森（Peter Wason, 1924-2003）設計了一個很有名的演繹推理題「四張牌問題」（four-card problem，圖 4）：「桌上有四張牌，牌面分別顯示「3、8、紅色和棕色」，每張牌的一面有數字、另一面有顏色貼紙。為了確認「如果一張牌上的數字是偶數，它的背面貼紙一定是紅色」，你必須翻開那一張或那幾張牌？瓦森的這項研究，不到 10% 的受試者能找到正確解決方案。

題目中的「如果一張牌上的數字是偶數，它的背面一定是紅色貼紙」，可視為假說，解題時，不能只考慮「驗證條件」（一面是偶數，背面是紅色），還必須考慮「否證條件」（一面是偶數，背面不是紅色）。

圖 4. 四張牌問題（圖片來源：Wikimedia Commons）

因此，答案是除了翻開左邊第 2 張牌（數字 8）之外，還要翻開最右一張的棕色紙牌。理由是：若棕色紙牌的背面是偶數，就成為此假說的反面例證；若背面是奇數，並不違背此假說（因為假說並未規定奇數背面的顏色）。

由上述可知，要確認一個假說，一定要明確說出驗證條件與否證條件，如果不明確說出「否證條件」，就可以保護假說，使其不受反面例證的影響。例如偽科學（占星學、血型性格說和心理測驗等）就是採取不明確說出「否證條件」的策略，讓假說可以適用於很多情況，讓人覺得這是為自己量身訂做的性格描述，因而給予高度準確的評價。

綜合上述，科學不只是由事實組成，它的運作同時涵蓋兩類概念：（一）科學的概念：例如物種、演化、行星、細胞、細胞核、產褥熱等科學詞彙；（二）後設科學（meta-science）的概念：例如理論、事實、假說、歸納、演繹、驗證、否證、假說演繹法等用來「討論科學的科學詞彙」。學校的科學教科書，可能較少著墨於後設科學的概念，為了提升孩子對於科學的思考素養，應有必要理解其「運作方式及相互關係」。至於什麼是更好的假說或理論？為什麼實驗必須是控制實驗？什麼是公民的科學素養？這些都有待您進一步的閱讀與思考！

白榮銓
臺中市居仁國中退休教師