

科學的方法：觀察與實驗

林崇安
中央大學太空所

一、前言

●總綱：科學哲學是以「科學方法」對各種「存在」追根究底，以增加智慧、減除疑惑的一門學問。此中，「科學方法」有其歷史的演變：演繹法和歸納法 / 必然的因果律和蓋然的因果律 / 儀器和推理。科學的方法不外是為了正確地認識「存在」。從一般科學家的眼光來看，科學中最核心的方法是：(1) 觀察與實驗；(2) 猜想與假說；(3) 檢驗。此中，由於觀察與實驗能力的提升，人類越來越能看清自己在宇宙中所佔的位置。

【背景】

- (1) 古典科學哲學時期，有哥白尼的「日心說」對抗傳統教會的「地心說」，有培根的經驗論（歸納法）與笛卡兒的理性論（演繹法）的對立。有伽利略的落體實驗、克卜勒的行星定律、牛頓的古典力學，以及康德的「先天的綜合判斷」，展現宏觀世界所遵循的「必然因果律」的一面。接著，有孔德（1798-1857）和馬赫開啟了實證論。
- (2) 近代物質科學哲學時期，在科學儀器的改良和數理推理的提升下，對自然界的探索有新的觀測結果和新的理論出現，此中，普朗克的量子論、愛因斯坦的光量子理論、德布格利的波粒雙象性、海森堡的測不準原理、薛丁格的波動力學等，展現微觀世界所遵循的「或然因果律」的一面。

【科學哲學】

- (1) 追隨在科學的成果之後，科學哲學家提出新的哲學系統，此中，羅素、維根斯坦的邏輯原子論，石里克的邏輯實證論，強調可以用實驗證實的才是科學，演變出萊興巴哈、卡納普、韓佩爾的邏輯經驗論。另立門戶的是波普提出否證論，強調可以證偽的才是科學；庫恩提出科學革命和典範，認為科學的發展是一個歷史的過程，不是簡單的證實、證偽的問題。拉卡托斯的科學研究綱領方法論，指出理論有內核和外圍，可以修改外圍的一些輔助假設和邊界條件後，讓這個理論符合實驗結果而繼續保留下來。費耶洛本提出「皆可模式」，打破傳統方法論的約束，認為什麼都可以。
- (2) 古代哲學和古典科學哲學，想追尋現象的確定性，有理性論、經驗論的出現，分別走向純主觀或純客觀的極端認識論，最後形成了懷疑論。近代物質科學哲學依據實驗事實已釐清現象本身的不確定性（測不準），知道現象是脫離不了觀測者的影響，不走極端，形成非純主觀、非純客觀的認識論，可以稱之為雙象觀。所以，歷代共有這三種認識論：純主觀、純客觀、雙象觀。二十一世紀將深入心物科學的領域而有近代心物科學哲學，對宇宙人生將有更深廣的視野。

二、觀察與實驗

科學的方法離不開發現，發現的源頭主要來自觀察和實驗，門德列夫(1834~1907)說：

「科學的原理起源於實驗的世界和觀察的領域。」

(一) 觀察

- (1) 以感官或儀器，有計畫地考察對象。

物理科學的觀察結果，要以數值及單位表示出來，以便具體溝通。生物科學，也常採用「歷史敘述」的方法，以「比較」和「觀察」為依據。

(2) 麥爾說：

1『歷史敘述』在宇宙演化學、地質學、古生物學、種系發生史、生物地理學和演化生物學中都占有重要位置，這些領域的共同特點是它們都充滿了獨特的現象。在解釋獨特事件時，歷史敘述不僅可行，同時也是唯一符合科學和哲學的方法。

2 希臘到現代所有的哲學家及科學家，在找尋自然界的秩序時，都會採用兩種主要方法，第一是追查規律現象背後的定律，第二則是找尋「關係」，…在此所說的關係是自然界中「共同的特質」。

要達成上述的目標，都需要有「比較」為基礎。

3 研究「演化因果」的生物學家，強調種系發生史，主要以「比較」和「觀察」為依據。

4 另一派則由研究「鄰近因果」的生理學家和實驗胚胎學家所組成，著重「實驗」法則。

(二) 實驗

(1) 實驗是一種主動的觀察，在人為控制的條件下，去觀察對象。

實驗是是一種有計畫、有目的，向自然界索取某種預期結果的方法。

有時，人為地干預自然，以達到認識自然的性質或規律。

(2)「思想實驗」：有時，由於具體實驗有其困難，而以思考預設可能的模型，推演在可能的條件下，可能導致的結果。

(3) 模擬實驗：利用計算機模擬複雜的現象。

(4) 實驗的特色：

(a)簡化並純化研究對象。

(b)強化某些條件（如超高溫、超低溫）以得出某些特性。

(c)加速或減緩某些自然過程，以便觀察。（如控制溫度以觀察植物的生長）

(三) 哲學問題：觀察與理論的關係

費曼（R.P.Feynman,1918-1988）說：

「實驗家最勤奮以及花費最多力氣的，就是在那些似乎最可能證明我們的理論是錯誤的地方上。」

問：有沒有純粹或中性的觀察，不借助於理論？

- (1) 培根 (1561)：觀察時，要擺脫概念和理論的束縛。
- (2) 邏輯實證論者：要求不受理論影響的中性觀察，觀察是理論層次的基層，要保持其獨立性。
- (3) 漢森 (H.R.Hanson)：任何觀察的陳述都滲透著理論。
- (4) 波普 (Popper,1902)：觀察總是藉助於理論。
- (5) 庫恩 (Kuhn,1922)：觀察和概念化，事實和事實被理論化，在科學新事物的發現過程中，是不可分地聯繫著。
- (6) 費耶拉本 (P. Feyerabend, 1924-1994) 把「觀察滲透理論」的觀點推向極端，甚至認為「理論決定觀察」。他否認了觀察的客觀性。

問：是否存在中性的、純粹的觀察語言？

「觀察語言」都與特定的科學理論聯繫著，例如：

生活語言—紅色的光。

觀察語言—波長 7000 埃的光。

- (7) 為了觀測的目的，從實驗設計、操作儀器，到「觀察語言」，無一不聯繫到理論。所以，所謂中性的、純粹的觀察，實際上是不存在的。

問：觀察時會不會影響到對象？

- (1) 觀察者的背景知識和理論的不同，對同一觀測的結果，會得出不同的科學理論。
- (2) 古典科學的看法：只要不斷提高儀器的精密度，所測的對象的精確性可以不斷的提高。
- (3) 近代科學的看法：在微觀領域中，測量儀器同所測量的微觀對象作用，使對象受到嚴重的干擾。
- (4) 海森堡 (1901)：我們所觀測到的不是自然本身，而是由我們用來探索問題的方法所揭示的自然。

問：觀察時會影響到對象，那麼，如何得到觀察的「客觀性」呢？

- (1) 宏觀現象受觀察者的影響小，可以忽略此影響時，有其客觀性。
- (2) 微觀現象會受觀察者的影響大，此時只能由統計得到觀察的「客觀性」。
- 實驗的可重複性→由統計得到觀察的相對「客觀性」。
- (3) 自然現象的呈現（如，磁暴、地震）雖是不能重複，但有某程度的規律性→由大量統計的觀察仍可得到相對的「客觀性」。

三、美而有力的實驗

有些科學實驗簡單而美妙，並具有強大的說服力，《物理世界雜誌》曾以問卷調查物理學上最美妙的實驗。結果排行第一的是「電子的雙狹縫干涉實驗」。其他十名內的實驗有：

伽利略落體實驗；
密立根油滴實驗；
牛頓稜鏡色散實驗；
楊氏光干涉實驗；
卡文迪西扭秤實驗；
伽利略斜面滾球實驗；
盧瑟福原子結構實驗；
傅科擺錘實驗等。

【實驗的力與美】

- (1) 電子雙狹縫干涉實驗：讓電子一個一個向雙狹縫射去，以屏上的干涉圖形充分表現出電子的波粒雙象性。
費曼說：「這實驗可以獲得所有學習量子力學的必要知識。」
 - (2) 傅科擺錘實驗：以一個大單擺充分表現出地球的自轉。
- 問：考試算不算是一種觀測或實驗？
- 問：如何觀察自己的身心，並找出身心變化的互動過程？

四、觀察能力的提升

人類知識的增長過程是經過一階階的爬升：【前科學 1】→【科學 1】→【後科學 1=前科學 2】→【科學 2】→【後科學 2=前科學 3】→【科學 3】…這種由「前科學」到「科學」的不斷增智過程，稱之為科學哲學的增智模式，有躍升型和下推型兩種。在增智的過程中，觀察能力的提升，佔有顯著的地位。

【觀測與實驗的要素】

觀測與實驗的要素，不外「儀器」與「相關條件」二項。「儀器」包含儀器的設計、校正，以及所具有的性能等。「相關條件」指正確的儀器操作、正確的觀測環境、正確的資料分析與統計等。儀器一旦製成，客觀的觀察能力（性能）之高低大致已定。「相關條件」則涉及觀測者的使用能力與主觀的判定能力。觀測不出正確的結果時，不一定是儀器的問題，有時是使用者的操作或結果之分析有誤，此與使用者的判定能力有關。譬如，入山採藥時，使用的儀器是人的肉眼，有經驗者能找到特定的藥材，這是因為他有判定的能力。

可將「理論」與「觀測」作一類比：

- [理論]=[定律、原理]+[輔助條件] →得理論結果。
- [觀測]=[儀器（的性能）]+[相關條件] →得觀測結果。
- 實驗時的意外發現，類同於「靈感」的意外出現。

【舉例說明觀察能力的提升】

從肉眼改成用望眼鏡，便是一種觀察能力的提升。
古人只能以肉眼觀看宇宙，自從發明望遠鏡，人們對天空的看法有了改變，也開始增加智慧。

1609 年，伽利略(G.Galilei,1564-1642)利用透鏡的聚光原理製造了折射式光學天文望遠鏡，觀察到太陽黑子、月球上的隕石坑、金星面像以及最靠近木星的八個較大衛星中的四個。

1668 年，牛頓(I. Newton ,1642-1727) 建造第一架反射式光學天文望遠鏡，看到了木星的八個較大衛星。

1682 年，荷蘭海更斯繪出第一張土星光環，並確認土星不是三個行星。

- 1721 年，海德利利用反射式望遠鏡發現土星光環中有一帶隙。
- 1782 年，赫瑟爾製造了一座七公尺長，具有 30 公分直徑金屬鏡面的反射式望遠鏡，繪出一張詳細的銀河天體圖。
- 1826 年，弗朗哈佛建造了一座具有直徑 25 公分的透鏡及精巧時控台座的望遠鏡，繪製出天空星群分布的天體圖。
- 1845 年，愛爾蘭的威廉巴森茲利用一座直徑 1.8 公尺，由磨光金屬製成的巨大反射鏡，首度描繪銀河系外的螺旋狀星雲。
- 1897 年，利用位於美國芝加哥的世界最大透鏡折射式望遠鏡（直徑長達 1 公尺），首度證實銀河系是一種螺旋狀星系。
- 透鏡的終結：由於透鏡僅能被支撐於鏡面邊緣，大透鏡會因本身的重量而凹陷，導致影像的扭曲。
- 反射鏡：反射鏡利用磨光的表面反射光線，整個鏡面背面都可支撐，因而減少因鏡體的重量而產生的凹陷。
- 1917 年，G.Hale 建造位於美國加州威爾森山直徑 2.5 公尺的光學反射式望遠鏡天文觀測站。
- 1929 年，哈伯 (E.Hubble) 利用加州光學望遠鏡觀到銀河系外還有其他星系，並由光譜線紅位移現象，發現宇宙正以近乎常數的速率膨脹之中。
- 1949 年，黑勒 (G.Hale) 建造位於加州帕洛瑪 (Palomar) 直徑五公尺的光學反射式望遠鏡天文觀測站，測出仙女座星系離地球二千萬兆公里。
- 1965 年，彭齊亞斯 A.Penzias 和威爾遜 R.Wilson 發現 2.73K 宇宙背景輻射：他們為了改進衛星通訊，建立了高靈敏度的接收天線系統，用於接收人造衛星的回波，所使用的射電望遠鏡是用大喇叭口天線加輻射計製成，並利用液氮致冷的波導管作為參考噪音源，噪音的功率可以用等效的溫度示出。1964 年起開始測量，最後發現天線存在有多餘的噪音，它的等效溫度約為 $3.5 \pm 1\text{K}$ 。1965 年他們又將其修正為 $(3.0 \pm 1.0)\text{K}$ ，並將結果公佈。為此獲得了 1978 年的諾貝爾物理學獎。
- 1977 年，設於亞歷桑那州霍布金斯山的第一座多反面鏡望遠鏡 (MMT) 首次運作。該望遠鏡，其一排六片 1.8 公尺直徑的反射鏡可聚集到相當 4.5 公尺直徑單片反射鏡所聚集之光線。

1989 年，Cosmic microwave Background Explorer (COBE) 升空進入地球軌道。

1990 年 4 月 25 日，哈伯太空望遠鏡 (Hubble Space Telescope) 發射升空，是歐洲太空總署(ESA)與美國太空總署(NASA)合製的最具威力的反射式望遠鏡，主鏡直徑 2.4 米，在距離地表六百公里的軌道上運行，每九十七分鐘繞地一圈，不受大氣層的干擾，解析力 $=0.1''=0.1$ 秒 $=0.1/(60\times 60)$ 度。由於月球與地球的平均距離為 384401 公里，所以哈伯望遠鏡可以分辨出月球表面 186 公尺大小的物體。[註：384401 公里 $\times \tan(0.1'')$ = 0.186 公里]

1998 年，美國兩個研究小組利用第一類超新星 (type I supernova) 的觀測數據發現，遠方的星系都在高速飛離銀河系，而且愈遠的星系飛離速度愈快！這意味著宇宙正在加速膨脹。此前，科學界一直認為宇宙在減速膨脹。

1999 年 7 月 23 日，錢卓拉 X 射線望遠鏡發射升空。

2001 年 Microwave Anisotropy Probe (MAP) 升空。

觀察能力的再提升：

電子感應器與電腦的問世對天文學產生了深遠的影響：電子感應器可感測到最微弱的光學訊號，或偵測許多不同種類的輻射。經過電腦處理後，訊號被整理與加強，這些經由電子儀器觀測到的訊號傳遞了清晰的資訊。數位處理將極細微的差異放大，顯現出原來被地球大氣掩藏，以致肉眼看不到的東西。

五、結語

觀察能力的提升，使我們越來越接近真理，使我們越來越知道人類在宇宙中所佔的位置以及所扮演的角色。觀察和實驗也是檢定真理的最後依據，費曼說：

「要判斷某個想法是否正確，唯一的原則是實驗或觀察。這是僅有的，也是最絕對的依據。」（費曼手札,p232,2005）

從肉眼到天眼

從天眼到佛眼
宇宙拿捏在如來的手掌裡
看到一切皆空
是該歇息的時候了
