

科學理論與實驗的動力學

Cognition and Evaluation

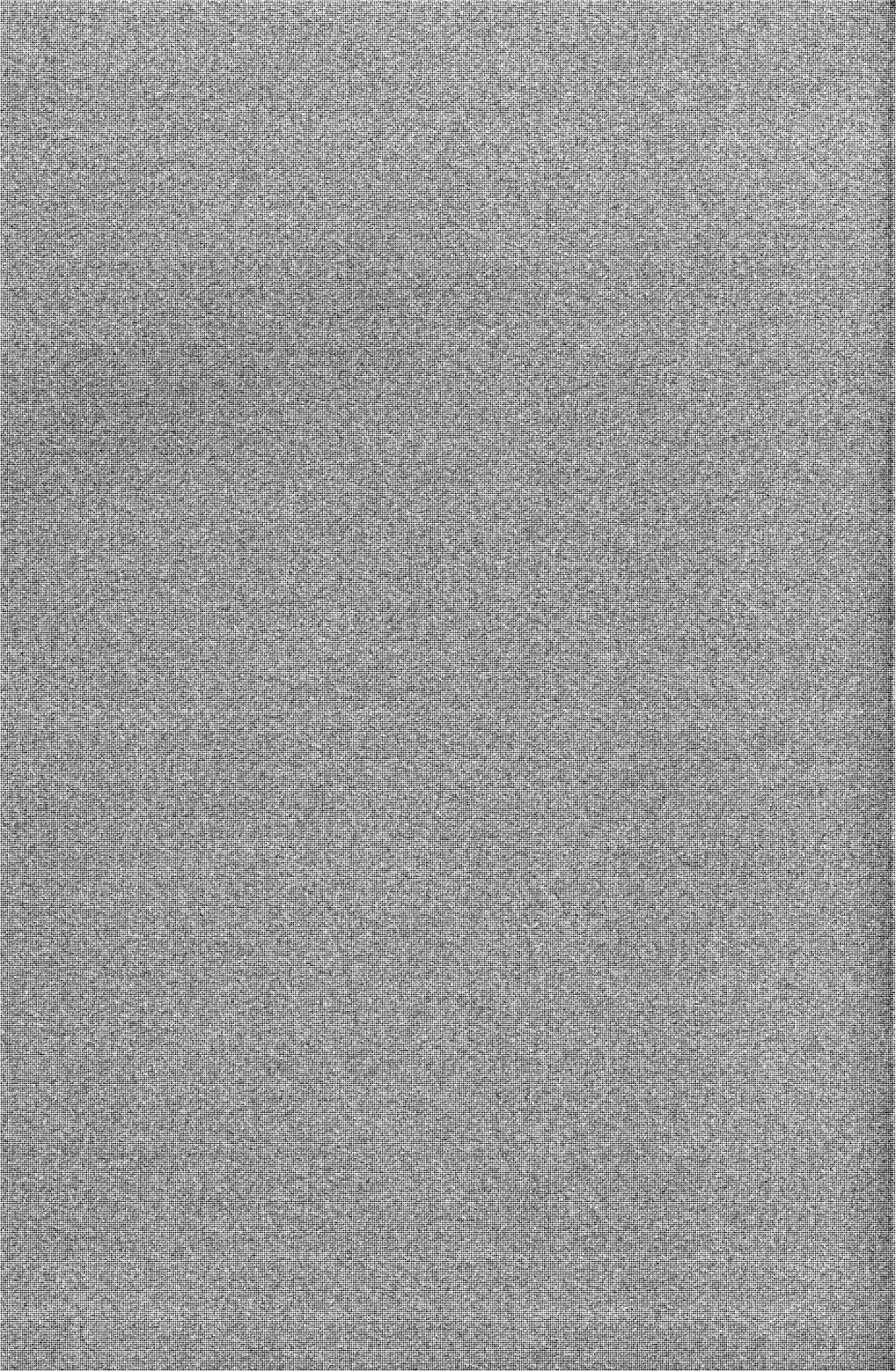
A Dynamics of
Scientific Theories and
Experiments

認知 與評價

上

陳瑞麟◎著





科學理論與實驗的動力學

Cognition and Evaluation

A Dynamics of
Scientific Theories and
Experiments

陳瑞麟◎著

認知 與評價

上

序

科學哲學的價值

本書起於 2002 年起我開始涉足科學實驗的哲學問題。其時我剛完成第一本專書《科學理論版本的結構與發展》的初稿（後來於 2004 年在臺大出版中心出版，實際出版時間約是 2005 年初），該書以理論為探討對象，提出「理論版本」與「理論版本家族」這一對概念，並整合模型哲學家對於「理論做為模型」的觀點，論證在歷史上科學理論呈現家族分枝式的發展過程。可是，要更完整地理解科學，不能不考察實驗；何況國際科學哲學界與科技與社會學界自 1980 年代以來也有移向實作（實驗是一個重心）的趨勢。因此，不管就我個人思想的發展走向，或者就國際學界的潮流趨勢，研究科學實驗就成了順理成章、勢在必行之路了。

由於我從博士論文以來，即接受模型既做為科學研究的工具，又做為科學研究對象的觀點，模型是可以具體構思的東西，可以作內在結構的分析，也可以用概念架構來呈現，因此透過模型來銜接實驗、來探測實驗的結構與發展，是從我的思想理路中自然衍生的方向——其成果就是這本專著。

身為科學哲學的研究者，我們的行業常常引起好奇：什麼是科學哲學？為什麼會有合併性質迥異的科學與哲學這樣的東西？

究竟它是科學、還是哲學？當然更不必說科學實驗的哲學了。科學實驗是需要動手去做，這是多麼具體的行為！哲學卻是坐在扶手椅上，純粹思辨或想像的內心呢喃，實驗和哲學兩者如何被連結起來？我必須坦承，在相當的程度上，我是「紙上談兵」，我無能力動手去做實驗——可是，科學實驗哲學或實驗之科學哲學的重點是歷史與哲學，挖掘的是實驗在歷史扮演的角色以及其哲學意義，而不是實驗方法或技能的介紹。我問的是，科學實驗究竟在科學研究（理論建構、模塑、發現、發展、印證等）上居於什麼位置？我探討的是歷史上的著名實驗：它們曾經扮演的角色、它們與理論的關係、它們如何發展演變，而不是一般性的實驗程序和方法。這不是一本教導如何做實驗的實驗手冊。

為了達成目標，我採用「科學史與科學哲學」的標準方法，透過實驗歷史的重建與分析，來回答我想探討的哲學問題。然而，與那些經典科學哲學家如孔恩、拉卡托斯、費耶阿本、勞丹、傅柯、甚至哈金不同的是，我引入 1980 年代後的模型與結構的分析方法，我企圖透過模型來連結和整合理論與實驗。進而，由於我的前本專著對於理論的發展仍不完全，留下一些問題未能回答：例如「理論版本家族」如何指認？如何說明科學革命？理論版本與家族發展的動力又是什麼？在這本專著中，我一併提出了完整的答案（第四、五、六章）。

誠如孔恩所言，歷史可以教我們很多東西；我想補充，哲學分析可以教我們深入東西的本質，這也迴響了拉卡托斯的名言：「沒有科學史的科學哲學是空洞的；沒有科學哲學的科學史是盲目的。」它們提醒了我科哲應該要貢獻什麼的理想，因此我希望本書可以達到下列幾個目標：

- (1) 展示科學理論與實驗的歷史存在某種模式，據以重建科學理論與實驗的發展史。
- (2) 建構一個說明理論與實驗發展的動力模型。
- (3) 提煉與精煉科學家推動理論與實驗發展的思考模式。
- (4) 提出「哲學性科學思考方法」。
- (5) 爭論認知與評價總是優先於利益，但仍為利益的角色留下位置。

它們同時涵蓋了歷史、方法論與思考推理、知識論與評價諸面向。

科學哲學的傳統被認為是「科學方法學與知識論」：探討科學方法是什麼、科學知識是什麼等課題（它們也被用來指認「科學是什麼」）。早期的邏輯經驗論和否證論因此提出科學方法以做為劃界判準，用來規範地定義科學（究竟應該怎麼做才算是科學的）——這被稱作規範方法論。而且哲學與科學之間有一條截然分明的分界：科學是經驗內容的研究，哲學要做為科學的基礎，必須是先驗的規範與邏輯分析。可是，早期的規範方法學為人詬病之處在於：哲學家常使用簡單的、非實際發生在科學研究上的例子作邏輯語意分析，其結果究竟能否應用到複雜的、實際的科學理論、方法和推理上則不得而知。1960年代後孔恩帶起的歷史取向，則探討實際（然）上的科學家究竟是怎麼做科學的，實際的科學歷史演變又是什麼模樣，結果發現歷史上那些推動科學進展的大科學家，屢屢違反早期哲學家的方法學規範。那麼究竟是那些大科學家骨子裡不完全是科學的？還是哲學方法學家的規範標準太僵硬了？

從歷史經驗的研究去追尋或重建科學依其本性而自然發展的

「邏輯」（規律、條理或韻律），就被稱作「自然主義」，它不再企圖妄想去「定義科學的規範性本質」或者建立方法學原理來「指導」科學家該怎麼做才是科學的，科學的人文社會研究者現在反而被勸告要「如何追隨科學家與工程師」，哲學本身——包括方法學、知識論，甚至形上學都應該被「自然化」。

幾年前，我較傾向一種徹底的自然主義，但是慢慢地，我隱然感到這樣的立場可能使哲學失去其部分自主性、前鋒性，也可能失去對科學的導向性。我期待哲學能引導科學研究的方向，指出思考的新可能性。我追求一種哲學，不僅在典範危機階段也在常態科學時期，都能推動科學的發展，甚至催生新的研究領域，而不僅僅是追隨科學已發生的歷史。儘管所謂「科學的實際歷史」都不會是事實自身的呈現，而是要經過一種重建（或詮釋）的工夫（大概沒有所謂純粹事實的歷史這回事），對科學歷史案例的細緻描述和重建，也有可能啟迪今日的科學家（歷史總是能帶給人們啟示與教訓）。問題是：不是所有的科學家都是大科學家，也不是大科學家就能清楚地意識到他們做科學的每一個突破、每一次推理、每個評價的意義、每個選擇或決定的原因——這一切都不是挖掘歷史細節能帶來的，而是必須以哲學思考來整合資料並賦予資料意義。如果歷史或今日重要的科學案例可以被分析、被重建、被塑造為一個模型，它就可以做為一個「範例」或「典範」，被參考、被類推、被引伸而產生規範性（建議性、推薦性）的作用——它不僅可向新生代科學家推薦一個思考可以遵循的模式，也可向科學史家、社會科學家、科技與社會學家，甚至人文學家和其它領域的哲學家推薦。這是我理想的科學哲學——它可以既深遠又廣泛地與所有學門對話，又能產生啟迪的功效。雖然我不知道我離這個理想還有多遙遠。

然而，社會總有一種不假思索的懷疑：科學哲學究竟與科學何關？即使科學哲學能使那些哲學、社會科學、人文學者受益，但是學習科學哲學能帶給自然科學家或科學學徒什麼好處？很多人經常直覺地認為，即使奠基於大量歷史材料分析上的科學哲學（科學史與科學哲學傳統），其內容仍然無助於將要投入尖端研究的自然或理工科學家。可是，我們應該更仔細地分析這種「科哲無益（用）論」的說法：其一是，在一位科學家的養成過程中，他從無機會去深入接觸或閱讀科學哲學的導讀和專著（因為科學界內部基於某些歷史因素不提供此類課程，也不提倡、不鼓勵新生代去接觸），如此，科學家當然不可能認為科學哲學的學習對他的研究有任何益處。其二是，確實不少科學學徒接觸了也閱讀了科學哲學的著作，然後在日後研究中真的感受不到任何幫助。只有第二種情況，我們才能說科哲大概無關於尖端的科學研究。

我個人並不認為第二種情況會出現，因為科學歷史有許多案例證明科哲思考與科學研究密切相關。但是基於科學實驗之哲學的研究者，我認為這是一個可以用教學實驗來檢驗的課題，例如在自然科學的研究所課程中，聘請科學哲學專業學者來開設同樣尖端的科學哲學專業課程（而非僅是導論課程，當然，修課者必須先有科哲導論課程的先備基礎，但它需要很長的時間來追蹤）。遺憾的是，目前看不出臺灣是否有理工科系有一丁點意願，即使有理工科的學系願意接受這種實驗，它目前仍不可行，因為國內根本沒有多少合格的科學哲學家，既可以跟上當前科學哲學的專業發展，又可以跟得上較新的科學研究。要從事實驗來印證假說（這不是一個盲目的實驗，而是有其歷史的證據），必須先發展科學哲學，接受科學哲學加上科技哲學為自然科學和工

程科學學術的一部分，並培養更多專業人才——這也是我對國內學術界的呼籲。

在一些偶然的機會中，我與（自然）科學家、科學史家或科技社會學家意見分歧時，常常聽到這類回應：「你是從哲學觀點來看，和我們的科學、或歷史、或社會學的觀點不同。」有時我雖然附和，但是骨子裡並不同意，因為並不存在所謂的「哲學觀點」、「科學觀點」、「歷史觀點」或「社會學觀點」等。我同意我們來自不同的領域傳統，但是每一個領域、學門、傳統都不存在一個單一或統一的觀點。如果我們討論的是同一個對象、同一組材料，我們的觀點不同，也許是因為我的觀點源於哲學的傳統，你的觀點基於科學實作或是歷史研究的訓練，但是並非我的觀點就不是科學的，你的觀點就不是哲學的；而是我和你的觀點是不同的**哲學**觀點（例如不同的方法論、知識論、實作理論、史觀，甚至形上學）。例如，生物學哲學家可能分析達爾文的《物種起源》如何得到天擇演化論的推理模式，或者天擇是否有層次可言，得到和生物學家或者生物史家不同的結論，但是這並不代表他的結論就不是科學的。（依據《物種起源》或其它科學文獻來分析能說不是科學嗎？）換言之，哲學和科學是一個連續體，當一個人的問題越傾向反省經驗知識的本質與方法的基本原理，或追問究竟是什麼、世界存在什麼基本事物時，他就越接近哲學；當他的問題越傾向去說明事情為什麼會發生、如何發生、發生經過是什麼時，他就較接近科學或歷史。毫無疑問，科學家能夠、而且常常進入哲學的領域、從事哲學思索，他們應該要有哲學的訓練——這正是我一直在強調的觀點。當然，這絕不代表我要用思辨來取代經驗與實作調查。回想十七世紀的大科學家們，他們稱自己的工作為「自然哲學」或是「實驗哲學」，我們應該復興

這段輝煌歷史的精神。

接著交代本書的來源。

本書部分是修改自過去已發表的論文，一些是新寫、但已在會議中發表並得到一些意見回饋。各章來源如下：

第一章全新寫作。第二章以 2005 年〈科學現象的觀察與建構〉（《東吳哲學學報》第 11 期）一文為基礎修改而來的，內容變動不大。第三章由英文論文（Chen, R.-L. [2004a], “Testing through Realizable Models,” *NTU Philosophical Review*《臺大哲學論評》第 27 期）部分節次譯回中文修改而來，但本章可算是全新的寫作，特別強調「實驗」，也增加了「不足決定論」的討論。

第四章專為本書全新寫作，主要在於回答前作遺留的問題，並將「理論」的發展與變遷的動力學（如何用理論版本家族來說明科學革命的現象）發展完整。第陸節來自陳瑞麟和薛甯中（2009）合著論文的一部分，即〈概念變遷：斷裂或連續？〉，收於陳瑞麟主編，《分析的技藝——林正弘教授七十祝壽論文集》（臺北：學富出版社）。第五章專為本書全新寫作（部分內容改寫自《科學哲學：理論與歷史》一書的第八章），討論與批判「科技與社會」的開山理論「科學知識的社會學」理論家族（包含對科學理論與實驗的討論），目的在於和臺灣的科技與社會社群對話。第六章也是全新寫作，與科技與社會的另一大理論「行為者網絡理論」對話，並爭論認知與評價的優先性，但其內容第參、肆節改寫自陳瑞麟（2007），〈科學哲學在「科技與社會」中的角色與挑戰〉，《臺灣社會研究季刊》68：一文部分節次；第伍節來自陳瑞麟（2005），〈論科學評價與其在科技政策中的涵意〉，《臺灣科技法律與政策論叢》第 2 卷第 4 期。

第七章有一個較長的發展歷史。它的主要內容最初以〈赫茲的陰極射線實驗被複製了嗎？——關於實驗的複製與傳遞之問題及其解決〉，於2004年3月27日發表於「第七屆科學史研討會」（中華民國科技史學會舉辦）。蒙與會者傅大為、陳恆安教授等提供寶貴意見。後又改寫成英文論文 *The Structure of Experimentation and the Replication Degree: Reconsidering the replication of Hertz's cathode ray experiment*，於2005年9月發表於第六屆東亞 STS 會議（由中國瀋陽東北大學科學與技術哲學研究中心主辦），蒙與會者韓國學者洪性旭（Sungook Hong）、姜波等提供評論。後來我再度修改內容，並由 Sam Gilbert 修飾英文修辭，Gilbert 也對英文版的內容提供許多寶貴的意見，最後我參酌 Gilbert 的意見後，精煉了許多概念並修改定稿。我於2006年4月於中正大學哲學系發表英文版本定稿的演說，蒙與會者中正大學哲學系師生提供踴躍意見和評論（尤其是參與會議的心理系教授龔充文、哲學系王文方、許漢、謝世民、吳秀瑾等教授，不及備載）；之後我又於2006年6月「自然化的知識論與科學哲學」國際會議（東吳大學哲學系舉辦）上發表該篇英文論文，蒙與會者 Ronald Giere 教授、Joseph Rouse 教授、苑舉正教授提供寶貴意見。Rouse 教授更在會後以 email 寫作較長評論寄給筆者；Giere 教授除了對本文給予支持性的總評外，甚至還幫筆者修飾了一些英文字彙，並提供許多細節的意見和評論。我已參考諸人的意見不斷地修飾與精煉本文，因此在此特別感謝所有對此文提供意見的朋友。本章的英文版（內容大致相同）已發表於 Mi, Chiengkuo Michael & Ruey-Lin Chen (2007), eds., *Naturalizing Epistemology and Philosophy of Science*. Amsterdam: Rodopi Press. Philosophical Studies Series, Vol. 7, edited by Ernest Sosa。第八章為國科會計畫「科學實驗與可落實模型（2/2）」的

報告修改而來。該論文曾就一些物理問題請教臺大物理系林敏聰教授，並於 2005 年 2 月 25-26 日發表於中正大學舉行的「國科會哲學學門 86-92 年研究成果發表會」，蒙與會者林正弘、吳瑞媛、王榮麟、苑舉正等教授提出問題與意見。

第九章前柒節以〈孟德爾究竟發現了什麼？一個實驗發現的典型模式〉為名發表於《科技、醫療與社會》期刊第 9 期（2009 年 10 月），頁 123-172。現在配合本書主題，調動節次，並作一些微小的文字修飾，並增加「科學發現的社會學模式」一節成為本章。本章於 2011 年改寫擴大成英文版 *Experimental Discovery, Data Models, and Mechanisms in Biology: An Example from Mendel's Work*，增加二十世紀初 Griffith 的細菌注射實驗和十九世紀末 Driesch 的海膽胚胎實驗以做為對比，並引入機制（mechanism）概念，在國際審查後收於 Chao, Hsian-Ke, Szu-Ting Chen, and Roberta Millstein 共同編輯的專書 *Mechanism and Causality in the Philosophy of Biology and Economics*，預定於 2012 年底由 Springer 出版。

第十章的理論係基於〈科學實驗的輻射發展〉一文（《歐美研究》第 37 卷第 4 期，頁 535-591）。該文以輻射模式重建了早期電學實驗的發展。當時我尚未將結構相似性的概念發展完全，並受到蓋利森的理論、實驗和工具三種傳統的影響。然而，在本書中，我企圖擺脫那種模式，沿著我自己的結構程度比較來思考實驗的發展模式，因此作了理論的精煉，也縮節原文中較繁瑣的歷史細節，只討論該文中起電機和萊頓瓶的部分。讀者若欲瞭解近代電學的實驗發展，可參看《歐美研究》該文。第十一和十二章的前身為〈古典遺傳學的實驗動力學〉，曾於 2010 年「中正哲學跨領域講座」和臺灣哲學學會中發表，承蒙楊倍昌、陳恆安、

賴伯琦、林正弘等教授和其他與會者惠賜寶貴意見。後來在本書書稿中，拆成兩章，一方面承接第九章的內容，另一方面延伸第十章的理論架構，把一個實驗動力學的模型發展完成。

最後，本書值得一提的特色是同時分析物理學實驗和生物學實驗，而且企圖發展同一個動力模型來交代兩者的結構與發展。本書回應了當前科哲從專業分化走向整合的新趨勢。因為，國際科哲界的現況是分化當家，「特殊科學的哲學」大行其道。從二十世紀科哲的歷史可知，早期科哲分析主要以物理學理論為分析的案例，並有強烈的「統一科學」傾向，把物理化學的案例分析完了，科學就被理解了。即使有生物學、心理學、社會科學等研究，其內容都是在展現這些學科應如何向物理學看齊（如何或應該被化約到物理學上）。1960年代的歷史取向也不例外。慢慢地，1970年代的科哲開始擴張到生物學理論，爭論它們與物理理論性質迥異，繼而心理學、認知科學和神經科學、經濟學和社會科學一一成為分析的案例，其特性慢慢被揭示，不可化約到物理理論上逐步地被證明。科學哲學開始分化成物理學哲學、生物學哲學、心理學哲學、社會科學哲學。然而，這些特殊科學的哲學都是以理論為主。1980年代開始重視實驗，但也先以物理學實驗為案例，直到二十一世紀後，生物學哲學家才開始分析生物學實驗。

專業化與分化的結果，使得當代科學哲學家必須學習最新的科學知識，但是也導致物理學哲學家、生物學哲學家、認知與神經科學哲學家、經濟學哲學家、社會科學哲學家越來越專業，越來越像科學家，無法再單單根據自己的專業去推論「科學應該如何如何」，彼此間也難以再討論共同的科學方法，共同的發展歷史等等。科學由早期邏輯經驗論的「統一科學」帝國，瓦解成各

據一地、自主統治的諸侯王國，科學不統一理所當然。然而，理論內容與方法上的不統一並不意味諸學科之間都是孤島，不相往來，也不意味沒有跨領域的現象，更不代表科學哲學家不會互相學習。現在，不同領域的物理學哲學家、生物學哲學家、經濟學哲學家又感到有必要重新聚在一起，互相討論與理解彼此的差異，理解這科學不統一之中，又有什麼樣的可資合作、相互借鏡的相通與跨越之處。這個新趨勢，筆者正參與其間，例如從2008年起，與清華大學經濟系的趙相科、哲學所的陳思廷、還有臺灣大學哲學系的王榮麟，我們已經合作舉辦了兩次「生物學哲學與經濟學哲學國際會議」，我個人則在2012年5月間參與在巴黎舉辦的 *Individuals across sciences* 會議，它可能是特別設計讓國際上專業的物理學哲學家 and 生物學哲學家共聚一堂對話的先驅性會議。總之，我期待這些新的發展能預告臺灣未來更多科哲專著的方向。

陳瑞麟

於中正大學哲學系



致謝

本書能夠出版，首先要感謝兩位匿名評審人，他們提供了許多評論、疑問和建議，幫助本書修訂許多錯誤和缺失。其次，要感謝哲學叢書主編林正弘教授，主持此一專書出版園地，提升國內專書出版的學術信譽。

感謝國內外許多學術師長朋友，他們在我的觀念、思想和理論的形成過程中，分別有大大小小各種不同程度的貢獻。國內有王文方、王文基、王榮麟、王秀雲、米建國、李尚仁、何建志、邱文聰、吳瑞媛、吳秀瑾、林正弘、林文源、林宜平、林崇熙、林敏聰、林陳涌、邱文聰、苑舉正、祝平一、祝平次、徐光台、許漢、陳信行、陳思廷、陳恆安、黃之棟、郭文華、傅大為、張忠宏、楊倍昌、雷祥麟、趙相科、鄭凱元、謝世民、賴伯琦、盧孳豔、戴東源、James Myers、Joel Stoker；國外有 Jean-Sébastien Bolduc（法國）、Lindley Darden（美國）、Ronald Giere（美國）、Sam Gilbert（美國）、Alexandre Guay（法國）、Ian Hacking（加拿大）、Alan Love（美國）、Danielle Macbeth（美國）、Roberta Millstein（美國）、C. Kenneth Waters（美國）、Mary Morgan（英國）、Thomas Pradeu（法國）、Jack Powers（美國）、Alexander Rosenberg（美國）、Joseph Rouse（美國）、洪性旭（韓國）、姜波（中國）。當然，還有其他對於我的觀念形成有所貢獻的所有學界朋友，不及備載，在此我一併表達謝意。其中，我必須再特別一提傅大為教授。自從我的博士論文以來，他總是不吝花時間

閱讀我的作品，並提出許多評論、質疑、建議，促使我作更多閱讀和更深入的思考，我們私下也常常透過 email 長篇辯論，他是除了授業恩師林正弘教授外、對我影響最深遠的一位良師益友。

在感謝名單內的還有歷來至 2011 年為止所有國科會計畫的助理：王尚文、鄧謙彬、蔡佩青、張樂霖、林益光、呂柏駒、熊立宇、謝承儒、葉筱凡、邱獻儀、鄭凱元、薛甯中、林窈如、陳宜珊、鍾容濠、劉吉宴，所有課程助教、所有指導的同學、所有修過我課程的同學——包括東吳大學哲學系所、陽明大學護理所博士班、交通大學通識課程、中正大學哲學系所等等——他們分別以各種不同的方式，幫助了我的思想成形與成長。

我還必須感謝國科會的長期資助，本書是 96 學年度國科會補助專書寫作計畫「干預自然：科學實踐的哲學」(NSC96-2420-H-194-002-MY2, 2007-2009 年)的具體成果。可是，它的成書時間，一共貫穿了五個計畫補助，從 2002 年到 2012 年，其中有兩個計畫的成果是本書內容的一部分，它們是 91 學年度國科會兩年期專題研究計畫「科學實驗與可落實模型」(NSC 91-2411-H-031-004; NSC 92-2411-H-031-001, 2002-2004 年)，以及 93 學年度國科會三年期專題研究計畫「科學變遷是怎麼進行的？」(NSC93-2411-H-031-005, NSC94-2411-H-031-002, NSC95-2411-H-194-035, 2004-2007 年)。

最後，我要感謝臺大出版中心的編輯和其他文字編輯親切、認真與熱誠地協助本書的出版，沒有他們的辛勞，本書不可能以這樣的面目問世。可是，錯誤或許在所難免，那完全是我的責任。如果讀者發現什麼不對之處，祈請能不吝賜教。

目 錄

上冊

序 科學哲學的價值	iii
致謝	xv
導論 模塑、實驗行為與理論化	1
壹、實驗與新實驗主義	5
貳、模型的媒介角色與關鍵地位	13
參、結構相似程度的思考	18
肆、實驗與理論的發展動力：問題、論點和方法	22
伍、認知評價、發展動力與結構相似度	31
陸、模型與模塑的反身應用	41
柒、本書的課題與論點：各章介紹	46
第一部分 模型與理論	
第一章 從理論到現象：模型間的配合	57
壹、理論的具體化	57
貳、原理模型、具體化模型和資料模型間的相互配合	64
參、結構相似程度的比較	72
肆、模型哲學的家族系譜	76
伍、模型階層與模型間的配合	78
陸、理論與模型的關係：依賴或獨立？	87
柒、理論、模型與世界	94

第二章 從觀察到理論：經驗模型的媒介	97
壹、哈金論觀察	99
貳、韓森論觀察	104
參、觀察和理論	107
肆、古汀論電磁現象的實驗建構與觀察	111
伍、觀察背負理論的再檢討	124
陸、科學現象的觀察與落實	129
柒、從觀察到實驗	134
第三章 理論的檢驗與局部決定	137
壹、透過具體化模型和實驗模型來檢驗理論	141
貳、檢驗理論的模式	146
參、牛頓力學理論版本的印證簡史	150
肆、牛頓版本的檢驗歷史之分析	162
伍、印證、否證與局部決定論	164
陸、杜恩的不足決定論	165
柒、不足決定論的爭議評述	170
捌、模型哲學家對不足決定論的處理	176
玖、局部決定與不足決定	180
第四章 理論與模型的發展動力	183
壹、認知評價可以為科學變遷提供因果說明嗎？	184
貳、認知評價與因果機制：一個行為人基礎的動力模型	192
參、從天文學革命到力學革命	197
肆、理論潛能與認知評價	203
伍、社會資源與社會拘束	210
陸、經驗模型與經驗拘束	217

柒、理論版本的範疇架構與經驗框架的比較	231
第五章 理論與實驗的利益說明為什麼錯？	233
壹、強方案與科學知識的社會學	237
貳、生活形式與科學實作	247
參、對稱原則與利益說明的麻煩	254
肆、歷史敘事與修辭技術	262
伍、為什麼訴諸於認知評價的因果說明更好？	277
陸、重新說明霍布斯與波以爾的競爭	284
第六章 認知與價值的優先性	291
壹、行為者網絡理論	292
貳、行為者網絡的非歷史性和外在性	305
參、再探事實與價值的二分法	313
肆、理論版本家族發展模型的規範性應用	323
伍、認知價值與社會價值	328
陸、科學行為者做為評價者	339

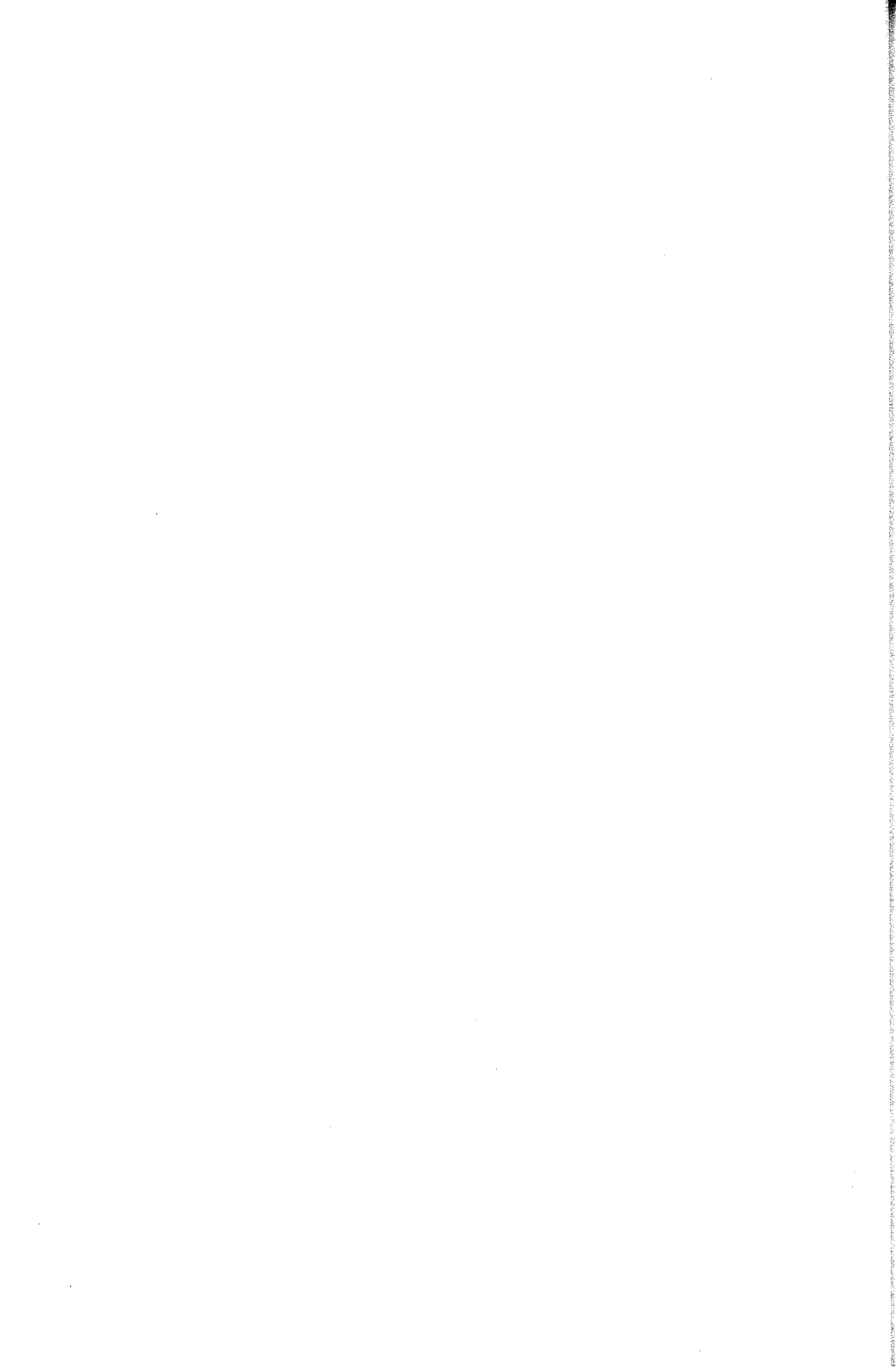
下冊

第二部分 實驗

第七章 實驗的複製（一）：如何判斷實驗被複製了？	345
壹、複製赫茲的陰極射線實驗	348
貳、瑞德論實驗的重做與可重做性	352
參、實驗的結構與複製程度	356

肆、陰極射線實驗的複製歷史	368
伍、複製的程度性評估	383
第八章 實驗的複製（二）：歸納、推論與傳遞的問題	385
壹、複製實驗與歸納問題	385
貳、柯林斯論實驗的複製與歸納問題的社會學解決	390
參、歸納推理的再考察	403
肆、投射論的解決	407
伍、競爭性實驗的推論	409
陸、默會知識能充分地說明實驗的傳遞嗎？	413
柒、實驗複製和工具複製	415
捌、從實驗的複製到實驗發現	416
第九章 實驗發現	419
壹、科學發現與實驗發現	419
貳、孟德爾案例的挑戰	421
參、古典遺傳學的兩種歷史	424
肆、一個實驗發現的典型模式	447
伍、實驗發現的核心特徵	451
陸、科學發現的社會學模型	455
柒、孟德爾的實驗發現	460
第十章 科學實驗的發展（一）：一個輻射模型	463
壹、實驗如何發展？	463
貳、蓋利森與任伯格的實驗發展模型	465
參、科學實驗的輻射發展模型	471
肆、近代電學工具的實驗	484

伍、實驗對象、工具與行為	501
第十一章 科學實驗的發展（二）：實驗與理論的交織演變	503
壹、古典遺傳學如何從實驗中誕生？	503
貳、孟德爾主義的誕生和發展	523
參、古典遺傳學的實驗與理論版本的發展	539
肆、理論和實驗發展的三種典型樣式	542
第十二章 科學實驗的發展（三）：一個行為人基礎的動力學	545
壹、實驗者的基本目的	547
貳、達頓的理論變遷的策略方法論	554
參、落實背景觀念如何推動實驗發展	564
肆、異例的解決如何推動古典遺傳學實驗與理論建構	567
伍、實驗的行為人基礎的動力模型	581
結論 一個整合的科史哲理論	585
參考文獻	597
人名索引	625
專有名詞索引	633



導論

模塑、實驗行為與理論化

科學是知識，也是活動和行為（action）。¹ 傳統上，科學哲學家習慣將焦點放在知識，考察科學知識的本性、結構與發展等，即使涉及觀察、測量與實驗，也是著眼於觀察、測量或實驗知識。然而，知識是行為的產品，理解知識的本性、內在結構與發展，只是掌握科學整體的一部分，還有另外一塊龐大的部分——產生這些產品的行為——仍然未被觸及。

在知識論傳統中，知識通常被理解成命題式的語言表達或信念——「知識」被定義為「證成的真信念」（justified true belief）——真（truth）是知識的必要條件，知識必定表達自然的實在。如此一來，只有表徵自然真實規律性的自然定律（natural

1 action 在社會學和科技與社會研究界慣譯成「行動」，「行為」則用來譯 behavior。但是這個譯法不合我自己對於這兩對中、英文語詞的意義之理解，也不符合倫理學和法律學的譯法，因為倫理學與法律常說要規範一個人的行為——與人的意圖有關。英文 action 與意圖（intention）有關，亦即有意圖去做出某事，必定朝向一個目標，這符合中文「為」字的意義：有意圖產生一個結果，因此更好的譯詞是「行為」。行動的「動」字並沒有意圖與目標的含義，其實更適用來譯英文的 behavior，但是舊譯已深入人心，因為 behaviorism 被譯成行為主義，從而無意圖的面部表情，例如不自主的眨眼也被說成是「行為」，但眨眼並非有意圖的，眨眼只是面部肌肉「動作」，它並不是 action。由這些考量可以看出以「行為」來譯 action 才是更恰當的譯法。

law)，才有資格被稱作科學知識。這種科學知識觀（論）也把科學中大量使用的假設（hypothesis）、模型（model）、工具（instrument）、技能（skill；有時被稱作「實作知識」〔practical knowledge〕）、圖形（diagram）、表格（table）、框架（schema）等等排除在知識的範圍之外，使得上述事物得不到哲學家的關注，對於它們在科學中扮演的角色缺乏應有的分析和說明。

1980年代後，情況開始有所轉變。首先是模型開始受到重視，甚且在二十一世紀成為科學哲學的主流。其次，實驗（experiment）也得到強調——儘管不像模型那樣紅熱。模型、實驗、兩者的關係以及模型、實驗與理論三者的關係，乃是本書的主題。在討論模型、實驗與理論的哲學與歷史課題之前，讓我們先作一番概念架構的建立與概念澄清的工作。

本書主張科學知識是科學行為的好產品。一個科學行為的基本架構是「科學家在某一個目標之下，使用某些特定方法或工具（模型、實驗、推理、圖表等等），以從事科學行為，並得到某些結果（包括發現、定律、理論、假說、模型、證據、實驗、圖表、概念、儀器的現象等等）——其中只有某些符合資格的結果才會被稱為科學知識」。模型和實驗既屬於科學架構中的方法範疇，又屬於結果範疇。如果模型和實驗做為方法、被使用以便產生某些結果，使用模型的行為又稱作模塑或模釋（modeling），使用或執行實驗的行為（含過程）則是實驗行為（experimenting）。如果從結果的角度來看模型和實驗，那麼必有造成這些結果的行為：模塑和實驗行為。

模塑是一位行為人使用某個模型去表達、模仿、模擬，或說明某個被模塑的對象（現象、資料、概念、理論等等），進而模

塑總是揭示或表徵被模塑對象的某個結構或部分結構。亦即一個模型總是表徵一個特定結構，我們建構一個模型也同時建議一個結構，因此，有時「模型」和「結構」被用為可互換的詞彙。如果我們使用一個模型來模塑 A 對象時，我們執行一次模塑；使用同一個模型來模塑不同於 A 對象的 B 對象時，我們作了另一個模塑。這即是說，我們可以使用相同的模型來從事不同的模塑。問題是，怎麼樣才算是模塑了一對象，使得該模型因此有資格做為一個模型？模型又在科學中扮演什麼樣的角色？它與理論和實驗的關係又為何？

實驗與實驗行為的差異與模型和模塑的差異略有不同。實驗行為是一位行為人（實驗者）使用某個工具和對象，去從事某種操作，以產生某種結果（資料）。執行一個實驗行為的整個過程，即是實驗。換言之，實驗不過是實驗行為的名詞化。可是，如果我們使用相同的工具和對象，在一個特定時空下來從事一次實驗行為，在另一個特定時空又重做一次實驗行為，這兩次實驗行為是不是屬於同一實驗？還是兩個不同的實驗？如果有略微不同的工具和對象時，並產生相同的結果時，是否也是相同的實驗？或者該算作不同的實驗？這個初步的分析引入了實驗的指認與複製問題。

實驗是有組織地安排工具和對象，從開始到完成有一定的步驟和程序，因此它需要設計。科學家如何設計實驗？首先，他們得在腦中構思一個藍圖，再實際去做出它，這個藍圖就是模型。如此，實驗與模型的詳細關係是什麼？一般認為實驗是用來檢驗理論，可是實驗只是產生一些資料，如何由資料來檢驗理論？這涉及實驗推論（experimental inference）的邏輯：實驗推論有什麼樣的邏輯？實驗並不是只有檢驗理論的功能，在科學史上，常

有科學家在完成實驗時得到重大發現——可稱為「實驗發現」(experimental discoveries)。問題是，具備什麼樣的條件才能算是一個實驗發現？科學史上，也常見一種現象，有一系列使用同類工具、針對同類現象和對象的實驗被執行，造成實驗的發展(development)和演變(evolution)，這種發展和演變是否也有秩序可尋求？是此秩序追隨理論的變動而變(因為實驗只為檢驗理論)，還是它可以獨立於理論而被發現？

理論仍然是科學知識的核心，理論使我們得以簡單有效的管道來掌握複雜多變的大千世界。然而，一方面，理論必須透過模型來模塑現象，才能進一步說明它；另一方面，科學家也可以從觀察或實驗結果中建構模型，再加以抽象成為理論原理(theoretical principles)，或者提出假設來說明模型。我們稱這樣雙向過程為「理論化」(theorizing)。科學家從事理論化的活動也是一種行為、一種實作(practice)。理論如何透過模型來說明現象？科學家又如何從觀察與實驗結構中建構模型，再建構理論？一個理論被提出、被建構之後，又要如何檢驗以保證它是可靠的？檢驗理論的結果可以決定性地證實它或否證它嗎？還是說，檢驗理論的目的是為了修正它，改良它對各種現象的模塑，使理論更趨於成熟？在科學史上，一個經過不斷修正、千錘百煉的理論為什麼仍然會被拋棄？為什麼會有全新的理論來取代一個一度支配的舊理論？其過程是什麼？其原因又是什麼？這些是理論的發展、演變與變遷(change)的問題。

以下讓我們開始一個漫長的解題旅程。

壹、實驗與新實驗主義

「實驗」這觀念的起源很早，十六世紀末、十七世紀初的方法學家和大科學家普遍使用「實驗哲學」(experimental philosophy)這樣的用詞，例如吉伯特(William Gilbert, 1540-1603)、培根(Francis Bacon, 1561-1626)、伽利略(Galileo Galilei, 1564-1642)、波以爾(Robert Boyle, 1627-1691)、牛頓(Isaac Newton, 1642-1727)等人。實驗哲學也可以說是「實驗的自然哲學」，而自然哲學在十七世紀就相當於科學(或者說哲學與科學融為一體)，因此，十七世紀的實驗哲學也可以說就是「實驗科學」。這意謂著實驗哲學不僅有科學實作的面向，也蘊涵一套科學哲學(方法學和知識論等)。可是，在日後哲學的發展中，特別是經過十八、十九世紀的英國經驗主義之詮釋，以及二十世紀的邏輯經驗論(logical empiricism)，實驗哲學似乎與經驗主義劃上等號，科學革命的巨人們，被認為示範了經驗主義的歸納方法，例如牛頓似乎提供了證言，他在《自然哲學的數學原理》(*Mathematical Principles of Natural Philosophy*)中羅列四條「哲學推理的規則」，其第四條說：

在實驗哲學中，就算有人能想像出準確或非常接近真實的、難以抗拒的假說時，我們也要考察那些命題——由現象的一般歸納而推出的命題——如果有更多現象出現時，要不是該命題更準確，就是該現象成為例外〔筆者按：即反例之意〕。我們必須遵守這條規則：不能用假說來規避歸納論證。(Newton 1962[1682])

牛頓力學的重力定律，還有其他科學革命的巨人如伽利略的自由落體定律、克普勒(Johannes Kepler, 1571-1630)的行星三大定律、波以爾的氣體體積溫度定律，因此也被詮釋成是由經驗現象的歸納推論而得到自然定律——實驗哲學中的實驗消失了，

被經驗取代。

即使從十八世紀以來的經驗主義之高峰——邏輯經驗論——在 1960 年代開始衰亡，科學哲學仍然沒有看到實驗的角色與獨立性。波柏（Karl Popper, 1902-1994）的否證論把科學看成一個不斷地進行推測與駁斥的歷程，亦即提出理論假說，再以實驗來檢驗並否證理論。如此一來，實驗的唯一目的與功能似乎只在於檢驗理論，得先有理論的提出，才有實驗的設計，實驗雖然沒有消失，但是依賴、附屬於理論。況且波柏只是提到實驗的角色，從來也沒有分析過實驗。孔恩（Thomas S. Kuhn, 1922-1996）在 1962 年出版的《科學革命的結構》（*The Structure of Scientific Revolutions*）為科哲指出一個截然不同的方向，在他的筆下，實驗成為常態科學活動中重要的一部分，而且實驗的目的不再唯獨是檢驗理論，還有改進事實的精確度、探測自然常數等方向。進一步，孔恩也強調實驗產生的異常現象（例如萊頓瓶、氧氣、X 光等）是重大科學發現的序曲。然而，孔恩主張常態科學活動是在典範（paradigm）的指導甚至支配之下，並用典範變遷來刻劃科學革命，異常現象也必須被新典範消化後才得以構成科學發現，又典範是像哥白尼天文理論、牛頓力學、化學元素論、相對論等一類的「大理論」，結果使得實驗仍然無法擺脫理論附庸的地位。

哈金（Ian Hacking）在 1983 年《表徵與干預》（*Representing and Intervening*）一書說出「實驗（整體）自有其生命」（Experimentation has a life of its own）這句名言，² 扭轉了長久以

2 這句話又改寫自納格爾（Ernest Nagel, 1901-1985）在 1961 年的《科學的結構》（*The Structure of Science*）一書中說實驗定律（experimental laws）「自有其生命」一語（Nagel 1961: 87）。

來科學史家與科學哲學家只關注於理論的傾向。哈金重新活化實驗的生命，不僅產生許多有關科學實驗的新議題，也催生許多關於科學實驗的歷史與哲學考察：例如實驗不是理論附庸（Galison 1987, 1998）、觀察技能與實驗建構現象（Gooding 1990）、複製實驗（Collins 1985）、科學不統一（Galison & Stump 1996）等。更進一步，實驗在某些學者眼中似乎變成科學活動的主角之一，產生一個逆轉整個西方哲學傳統偏重的表徵主義（representationism）的新觀點。表徵主義主張，科學的本質是如實地鏡映、再現（表徵）經驗秩序或自然實在，亦即發現自然定律或理論，可以忠實而毫不扭曲地把自然的本來面貌再呈現（re-presentation）。然而，新觀點卻認為科學並不是如實地再呈現一個客觀的自然，科學實驗是科學中重要的一部分，而實驗是干預自然，自然在實驗之下不再是「自然而然」。又實驗是一種行為，因此科學主要是行為，它會干預和改變自然。如此，這個新觀點重視「科學實踐（作）」（scientific practice）的概念，它不僅把焦點放在科學家的實踐活動上，進一步標榜「科學做為實踐」（Pickering 1992, 1995），甚至認為理論認知也不過是論述實踐（discursive practice; Rouse 1996）——亦即，把科學看成是做（doing），而非認知（knowing）；是干預（操縱、控制、改造和建構）世界（intervening the world），而非表徵世界（representing the world）。讓我們把抱持此一觀點的種種相似立場統稱為「實踐主義」。³ 科學的實踐主義者多半以案例研究的方式來切入科學的實驗活動，考察科學家如何執行、如何結束同一個或同一類的科學

3 由「實踐」字根衍生的「主義」英文字原本應是 pragmatism，可是這個字已慣於指稱「實效主義」或「實用主義」。本文想表達的「實踐（作）主義」英文沒有對應的字，或許勉強可以根據構詞原則而寫作 practicalism，這並不是通用的英文字，但可以恰當地配合此處需求。

實驗，在整個過程中，有哪些社會因素與力量的介入，又有哪些社會資源上的限制。

實驗得到更多聚焦的，與其說是在科學哲學，毋寧說是在新興的「科學之學」(science studies, 縮寫為 SS, 一般譯為「科學研究」)⁴、「科技之學」(science and technology studies, 縮寫為 S&TS, 或譯「科技研究」)或「科技與社會」(science, technology and society, 縮寫為 ST&S)等新學科。可是，這些新興學科的種種理論預設的方法論、知識論和形上學等哲學立場並不為多數科學哲學家接受，本書也反對其利益基礎說明(interest-based explanation)的核心論點(參看第五、六章討論)。那麼，科學哲學要如何基於它的傳統與立場來切入科學實驗呢？

二十世紀末的科學之分析哲學家仍然熱中於實在論與反實在論的辯論，⁵並重新喚醒一度被實證論壓抑的形上學衝動，投入物理學與生物學中的存有論思辨。科學實驗的哲學(philosophy of scientific experimentation)仍然是有待開墾的沃饒之地，缺少哲學家的關愛。這種實情是否也反映出科學哲學家比較難以、或者傾向避開從事科學實驗的分析？如果是，為什麼呢？一個可能的理由是分析的科學哲學家慣於以邏輯和語言分析為工具(例如

4 臺灣一向把 science studies 譯成「科學研究」或「科技研究」(納入 S&TS)，不過這個譯詞很容易被圈外人誤解為 scientific researches (科學性的研究)。「科學研究」其實在研究科學活動，而不是像自然科學一般去研究物質、自然或機器，它已發展成一門學科。中國學者慣譯成「科學學」較不會搞混，但聽起來有點驚扭，所以我譯成「科學之學」。

5 有趣的是，哈金曾說，他是利用 1980 年代熱門的實在論與反實在論的爭論來呼籲科學哲學家重視實驗(Hacking 2008, 2009；中文討論看陳瑞麟 2010b,〈實驗實在論與落實〉)，可是，「科學之學」熱烈地迴響了哈金的召喚，而科學哲學本身卻沒有很熱烈。

把觀察的分析化約成「觀察語言」的分析)，在這些工具中，他們不易找到有用的概念，以分析充滿物質、工具、技能、儀器和行為的科學實驗。儘管如此，科學哲學的新實驗主義（New Experimentalism）仍然誕生了。

模型與實驗哲學家馬攸（Deborah G. Mayo）在她的《錯誤與實驗知識的增長》（*Error and Growth of Experimental Knowledge*）討論新實驗主義（Mayo 1996: 58），被她列為新實驗主義者的有科學史家兼哲學家阿克曼（Robert Ackermann）、卡特萊特（Nancy Cartwright）、弗蘭克林（Allan Franklin）、蓋利森（Peter Galison）、吉爾瑞（Ronald Giere）、哈金。從這份名單中，我們可以看到這些新實驗主義者多半採取歷史取向，或者同時兼具模型基礎取向（model-based approach）的方法（包括馬攸自己），這也透露這兩種取向才是分析科學實驗的有用管道——特別是「模型基礎取向」連結了「模型」和「實驗」兩大主題。進一步透過模型，實驗可以密切地連結到理論，但仍然保有它的自主性——這正是本書要論證的。

我們可以在馬攸的名單上補入科學史家布赫瓦（Jud Buchwald）、古汀（David Gooding），科學社會史學家謝平（Steven Shapin）和夏佛（Simon Schaffer）、科技與社會學家柯林斯（Harry Collins）和拉圖（Bruno Latour），科學哲學家勞斯（Joseph Rouse）、瑞德（Hans Radder）、任伯格（Hans Joerg Rheinberger）以及馬攸自己，這份新名單構成了本書探討科學實驗的哲學的主要對話對象。新實驗主義究竟有什麼主張？

馬攸統整新實驗主義的三個核心論點（Mayo 1996: 60-63）。

(M1) **關注實驗以恢復觀察做為客觀基礎的角色**：從孔恩以來，典範支配、觀察背負理論、科學革命、不可共量性等論證，導致科學的社會學研究強調利益（interests）與協商談判（negotiation）在建構與解釋資料中的角色。可是，新實驗主義者試圖恢復經驗資料做為科學的客觀限制與仲裁者的角色。然而這並不是回到老式的印證理論和歸納邏輯中。新實驗主義者發展一套完全不同的說法。

(M2) **實驗自有其生命**：對於這句哈金的名言，馬攸主張有三個讀法。第一個是主題假設（topic hypotheses），關心實驗的目標。實驗並不唯獨為了檢驗理論，還有其它功能。究竟實驗室的實驗家目標何在？乃是新實驗主義者企圖揭示的。第二個讀法是實驗資料的保證可以獨立於理論。那麼實驗保證的基礎何在？一些人如蓋利森強調工具的確定知識，一些人如卡特萊特和哈金強調實驗活動如操縱（manipulation）的比重。第三個讀法則是實驗知識的維繫，亦即實驗知識的增長與連續性。一些人如蓋利森強調實驗知識不會隨著科學革命或理論變遷而變動；一些人如哈金或吉爾瑞則強調一些被掌握良好的實驗物項（experimental entity）或歷程可以被用來研究其它對象和歷程——這是一種實驗知識的增長。

(M3) **實驗家究竟發現了什麼**：對於誤差的位置區隔之強調。新實驗主義者特別關切科學家如何獲取與模釋資料，以及從資料中學習等活動的模式，例如檢核工具、排除外在因素、得到準確估計、區分真實效應和人為效應。這可以一言以蔽之，實驗科學家如何估計、區分與排除各種誤差。

馬攸呈現這三個新實驗主義的一般論題，也是本書的關切重點，但是取向與分析方式則大不相同。因為馬攸對這三項論題的

解釋，深深受到她的關懷重心與核心論點「錯誤（或誤差）在實驗知識中成長的關鍵角色」的主導，換言之，她傾向於把新實驗主義者的工作看成是她自己觀點的先驅，她的著作則是一項總結性或集大成的成果。本書的關鍵概念則是「實驗行為的結構」（the structure of experimenting）和「實驗模型」（experimental model），前者根據行為的一般目的—手段（end-means）模型而建立的基本結構，主張實驗行為的目的總是在落實背景觀念（realizing background ideas），為了達成目的，實驗者設計實驗模型為手段，並付諸實踐，具體落實，而產生一定的實驗結果。實驗模型是實驗行為的手段，由問題、對象、裝置、操作、控制、資料蒐集和結果預測七個項目構成的（參看第七章的詳細討論）。本書對如何去理解、模釋或說明實驗行為的結構和發展深感興趣。換言之，本書關心的不是實驗知識的成長，而是做為科學實作的實驗行為本身的結構、實驗本身與實驗結果的可靠性與保證，以及實驗行為與系列實驗的發展、傳遞與演變。基於這個方向上的根本差異，讓我們重新敘述本書主張的「實驗哲學」的基本論題：

(S1) 實驗資料對於競爭理論的仲裁是局部決定的，其客觀性是程度性的，依賴於生產實驗資料的實驗之具體化程度（degrees of concretization）。本書第一、三章論證這個論題。

(S2) 實驗可以有其自己的生命。有以下三個次論題：

(S2.1) 實驗的功能與目標不只是檢驗理論，還有如檢驗其它實驗（第七、八章）、發現新現象（第九章）、探測實驗工具或裝備的潛能（第十章）、發現新現象增加理論能解釋的新結果（第十一章）。這相當於馬攸的第一種讀法。

(S2.2) **實驗的觀察與解釋對於理論的相對獨立性**。本書主張，對於實驗資料的觀察與解釋，是程度性地獨立於高層抽象的理論，但依賴於低層具體化的模型（第二、三章）。這相當於馬攸的第二種讀法。

(S2.3) **實驗不是理論的附庸**，我們可以針對某個主題或對象的實驗與實驗行為而建立一個實驗的發展歷史，例如一些科學研究領域電學、熱學、磁學、古典遺傳學等等主要是由實驗的發展而建立起來的。進一步，實驗本身的發展模式和動力也可能與理論的發展模式與動力不同。換言之，我們可以建立「實驗發展的動力模型」（第十二章）。可是，這並不代表在這些領域中的實驗與理論無關或者與理論沒有互動。相反地，實驗歷史與理論歷史仍然有難分難解的關係（第十一章、結論）。這個次論題是馬攸沒有提到的「第四種讀法」，因為本書重視「實驗行為」而非馬攸強調的「實驗知識」。

(S3) **實驗也需要檢驗**，亦即實驗之檢驗（tests of experiments），檢驗一個實驗的方法是重做（reproducing）。換言之，複製一個實驗並考察其結果。可是，並非所有的複製實驗都有檢驗力，瑣碎複製（trivial replication）無法否證原初的實驗結果，有效複製（valid replication）才具有否證力，有效複製則是程度性的，而複製程度即是實驗結構的相似程度（degrees of similarity）（第七章）。

(S4) **實驗推論的模式並不是傳統的歸納（induction）或歸納推論（inductive inference），而是一種投射（projection）或投射推論（projective inference）**，後者在實驗之檢驗與理論之檢驗中的角色取代了前者（第八章）。

(S5) 實驗發現是重要的科學發現類型，實驗發現的確認獨立於理論，但依賴於一個經驗模型的建構（第九章）。

(S6) 實驗是透過模型而與理論和資料連結。也就是說，模型是理論與實驗的中介，也是實驗與資料的中介。這個論題貫穿全書，揭示模型的關鍵角色。

貳、模型的媒介角色與關鍵地位

自 1980 年代以來，科學哲學界對模型的興趣有爆炸性的增長。一開始，科學哲學家感興趣的是理論，早在 1960 年代即有語意觀點（semantic view）出現，主張理論的核心是其語意結構（semantic structure）——即模型。語意觀點的哲學家宣稱「理論即模型」（theory as model），可是，模型又是什麼？哲學家最早提議的是抽象的邏輯模型，後來逐漸朝向心靈模型、認知模型的方向分析，重視概念、類比、圖像、甚至實體的模型，使得模型本身成為探討焦點，模型與理論、模型與實驗、模型與推理、模型的本質等，紛紛納入科哲的議程。

如果我們追根溯源，模型其實起於古希臘——亦即希臘天文學家所謂的假設。例如托勒密（Claudius Ptolemy, 90-168）在其天文學中用來說明行星運動不規則表象（irregular appearance）的「偏心圓假設」（the hypothesis of eccentric circle）和「副輪—主輪假設」（the hypothesis of epicycle and deferent）。托勒密是這麼說的：

但這不規則表面的原因至多可以只由兩個基本簡單的假設來交代。……在偏心圓的假設中，如果我們認知星體在偏心圓 ABCD 上規律地運動……在副輪的假設中，我們認

知直徑 AEC 的圓 ABCD 有一個副輪 FGHK，星體在副輪上運動……（Ptolemy 1952, Book III, ch. 3: 87）

同時伴隨著兩個幾何圖形（見下圖 0-1）。這裡，「假設」一詞指稱的東西即是模型，而兩個幾何圖形也即是兩個圖形模型（diagrammatic model）。

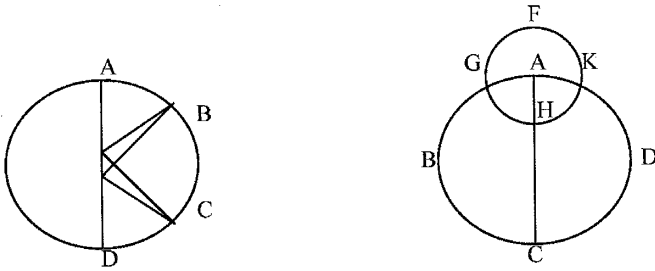


圖 0-1 托勒密天文學的偏心圓模型和副輪—主輪模型（根據原圖重繪）

「模型」的概念甚至可以回溯到柏拉圖的「理型」（ideal type），因為這兩個概念有很多相似的意含，例如都指稱理抽象和理想化的對象，都具有「模範」和「典型」的意義，都是被模仿的對象或來源，都提供具體實例的參考標準。不同之處在於理型似乎沒有內在結構，但模型總是表徵結構；理型是抽象存有物，但模型是心靈存有物、是認知的產品；此外，模型的一個基本重要的功能是媒介或中介（mediation），理型大概沒有這種功能。理型在邏輯與數學中似乎無所不在，模型則滲透在經驗科學各處。

模型確實無所不在。經驗、觀察與實驗也和模型密切相關。目前廣被國內外抱持模型觀點的科哲學者接受的基本論點是「模型做為媒介者」（models as mediators），亦即模型是理論和觀察經驗或現象、理論和實驗、實驗和資料（data）之間的媒介者

(Cartwright [1983]、Giere [1988, 1999]、Mayo [1996]、Morgan & Morisson [1999]、Magnani & Nersessian [2002]、陳瑞麟 [1999, 2004, 2005, Chen, R.-L. 2004]、趙相科 [Chao 2009]、陳思廷 [2009])。如此，對模型論者而言，科學哲學核心問題即是：模型如何做為媒介者？它可以被更具體地表達成下列問題：(1) 模型如何媒介理論與現象？或者，模型和理論的關係是什麼？模型和現象的關係又是什麼？(2) 這個媒介作用是單向或雙向的？或者說，媒介一定是從理論到現象嗎？還是也可以從觀察、經驗和現象到理論？(3) 理論如何透過模型而被檢驗？或者，模型和實驗有什麼關係？在模型的中介下，理論可以被驗證或否證嗎？理論如何被驗證或否證？理論可以因此被說是被證明為真或證明為假嗎？本書的第一、二、三章分別處理這三個問題。

在《科學理論版本的結構與發展》(陳瑞麟 2004)一書中，我抱持「理論做為模型」的觀點。一個理論包含一個模型家族 (a family of models)、甚至模型族群 (a population of models)，這個家族或族群有其內在結構性，表現在 (a) 階層性 (hierarchy)：有較高層抽象的原理模型，也有較低層具體的可落實模型 (realizable models, 本書改稱具體化模型 [concretized models])。每個模型其實是一個模型種類，每個種類之下都可以再區分出次種 (sub-kinds)。(b) 種類的原型結構 (prototypical structure)：每個種類內部有些成員比其它成員更典型 (原型性)、有中心一周邊的等級性、成員之間是家族相似的、種類與種類之間有模糊邊界。(c) 模型的媒介性：高層抽象的原理模型要透過低層具體化的模型才能接觸、模釋或說明現象。本書並沒有改變這個基本觀點，但有如下的補充論述。

當我們說「理論做為模型」，並不意味「所有模型都是理論的」，這一點顯而易見，因為除了理論模型（theoretical models）外，還有很多非理論的模型：經驗模型（empirical models）、資料模型（models of data）、實驗模型（experimental models）等——分析與徵定這些模型正是本書的主題。進一步，各種模型都扮演著媒介的角色。讓我們作初步說明。

（1）經驗模型：在觀察指認與作觀察判斷的同時，科學家必定總是建立一個經驗模型。經驗模型模釋經驗，科學家必定以系統、模型化的方式來組織他的感官刺激之後才能作觀察判斷。換言之，本書將論證，觀察經驗不是傳統上的感覺資料（sense data）、不是所與（the given），觀察經驗預設（背負）經驗模型，被鑲嵌在一個概念框架之中。第二章詳細論證相關的觀點。

（2）資料模型：本書並沒有特別討論資料模型，其中的「資料」指由實驗工具或調查方法產生的質性記錄或量性數據——它們在沒有被整理或連結之前為粗資料（raw data）。粗資料很難產生什麼理論或經驗意義，因此需要被整理和連結——即模型化。在廣義上，資料模型也就是經驗模型；在狹義上，我們特別用資料模型來表達由實驗操作所產生的整合資料。換言之，粗資料只有在被整合成資料模型時，才能與具體化模型作比較。第一章有簡短討論。

（3）實驗模型：實驗模型是執行一個實驗時所建立的模型，它也是操作實驗工具以產生資料的模型。實驗模型總是要包含工具和裝備、操作與資料蒐集等。它可以根據一個具體化模型來設計。詳細分析看第七章。

（4）理論模型：已知理論做為模型，所以理論都是理論模

型，或者稱作「理論中模型」(models in theories)。重點是，我們如何區分理論模型與經驗模型？兩者之間是否有一截然分明的界線？首先，基於原型理論式的思考，我們並不企圖在理論和經驗（或觀察）之間劃出一條清楚的界線。不過，我們大致可以從模型的建構來源來判定一個模型究竟是理論的、經驗的、資料的或實驗的？換言之，如果一個模型是從高層抽象的理論原理引導出來的，那麼它屬於理論模型；如果一個模型是從觀察中被建構，那麼它是經驗模型。可是，前一個判準似乎是套套邏輯，因為它預設我們已經知道什麼是「理論原理」。當然，因為理論與經驗的區分只能是實用性的 (pragmatic)，亦即我們頂多只能提出一個實用判準：一個模型是理論的，在於它包含了假設性的概念 (hypothetical concepts)。

(5) **具體化模型**：可直接與經驗模型、資料模型作比較的模型，也被用來設計實驗模型。具體化模型可以是理論的，也可以是非理論的。理論性的具體化模型是從理論原理中導出或建構的模型；非理論的具體化模型則可能是從經驗模型中進一步抽象而得，或者組合好幾個異質模型而成（又稱複合具體化模型）。參看第一、三章的詳論。

(6) **模型之間的比較都是結構相似性 (structural similarity) 的比較**：傳統上所謂經驗、資料、實驗檢驗、印證 (confirmation) 或否認證 (disconfirmation)，在本書中將全面以模型間的比較來重新定義。亦即理論的檢驗、印證或否認證，要由經驗模型、資料模型、實驗模型與具體化模型或理論模型之間的結構相似性來判定。然而，結構相似性是程度性的，因此沒有絕對的印證，只有程度性的印證。印證程度 (degrees of confirmation) 原本即是邏輯經驗論裡的核心概念，以機率與統

計的方法來定義。本書所謂的「印證程度」則依賴於「結構相似程度」的判定。傳統上，否證沒有程度可言（特別是波柏的「證明為假」〔falsification〕），一個否證例即足以證明一假設為假。可是如果檢驗要依賴於結構相似程度的判定，那麼否證也將有程度性。第八章發展這個概念。

上述帶領我們進入本書的核心思考方式：結構相似程度的思考。

參、結構相似程度的思考

程度性的概念（conception of degree）或程度性的思考（thinking in degree）並不稀奇。眾所周知，邏輯經驗論主張「印證程度」，亦即一個陳述的印證程度越高表示其成立的機率也越高，而其成立的機率又可由印證例和否證例的統計來計算。波柏則有認可程度（degrees of corroboration）的概念，通過檢驗而被認可的不同假說可能有不同的認可程度，其等值於假說的「可否證度」（degrees of falsifiability），波柏又宣稱一個陳述的認可程度與其成立的機率成反比，剛好與印證程度相反（Popper 1959: 265-269）。不管如何，兩者的程度都建立在機率或統計的計算或判定上。機率和統計是處理大量個例（群體）的計算法，它想調查或計算在一個群體中，出現某一個特徵的數目與全體數目的比例。如此一來，針對被調查的特徵，每個個體只有兩種可能：要嘛有該特徵，要嘛沒有，沒有第三種可能。

本書的「程度性思考」是非統計與非機率的，因為調查的對象不是擁有大量個體的群體，我們企圖考察的是兩個系統或個體之間的相似程度（相似度）。相似性有程度可言嗎？一些人或許

會根本質疑這個概念，因為相似性似乎是不可分析、不可比較的。不過，分類的原型理論已經揭示任何一個種類內部都有「等級性」（即「程度性」，同一個英文字 degree）：有些成員之間的相似性比其它成員間的相似性更高，這就是相似度。然而，分類原型理論的相似等級與本書的相似程度在概念與測量方式上仍有根本差異，因為前者仍然是使用機率、統計測量法的概念。在分類的原型理論看來，麻雀與燕子的相似程度高於麻雀與鴨子的相似程度，是由於有前兩者之間的相似性聯想多於後兩者。⁶ 也就是說，分類原型理論測量的是群體的相似性認知——是一種主體際間的對於相似的認知判斷程度——它其實是「相似性認知的程度」。本書發展的相似程度則由客體的結構之間的比較來測量——即結構相似程度或結構相似度（degrees of structural similarity）。現在問題是：我們有可能進行結構相似度的比較和測量嗎？

事實上，在日常生活中，我們經常在進行相似度的比較。例如我們會說兒子比較像媽媽，女兒比較像爸爸。或者媒體經常有明星臉的相似度比較，某人的臉像某明星的相似度是 90%，另一人是 85% 等等。問題是，這種比較似乎純然是主觀的感覺，所謂百分比的數字也是任意的，並非基於任何客觀的基準。因此，有人會下結論說相似性無法客觀比較，只能訴諸於主觀的感覺。本書企圖發展一種相似程度的測量法來克服這個難題，使得

6 參看陳瑞麟（2012），〈維根斯坦與科學知識的社會學〉一文對於分類原型理論的介紹、分析與詮釋，同時比較分類原型理論和愛丁堡學派（Edinburgh school）的「科學知識的社會學」（sociology of scientific knowledge），因為兩者都受到維根斯坦哲學的影響，故都可稱作「維根斯坦科學」（Wittgensteinian sciences），但兩者有不同的思路。

客體間的相似性可以被「較客觀地比較」——當然，「客觀性」亦有程度性。我們測量的是結構相似度，方法是找出兩個待比較的個體之共同或相似結構，再把此共同結構分析成互相對應的局部，再透過對應局部之間的相似性之比較，指派相似值（values of similarity），例如二值的相似或不相似（dissimilarity），或者三值的整體相似（whole similarity）、局部相似（partial similarity）和不相似，然後再把所有局部的相似值加總或權重換算，而得出整體的結構相似度。這個方法在第一章和第七章中被詳細發展。

本書的方法其實相似於影像的數位處理法。以常用的數位相機為例，如何以數位的方式來處理連續、漸層性的色彩與畫面？數位處理法其實是針對一個原始畫面的數位複製。複製的方式是把整體畫面切割成許多面積相等的單位（畫素），複製的畫面和原始畫面有相同數目的單位，每個相對位置相同的單位一一對應。由於數位處理，在複製畫面上的每個單位只能著上單一色塊，這個色塊相似於原始畫面中的對應單位。然而因為單位很小，不同色彩的大量畫素單位聚集之後，就可以使複製畫面在視覺上產生連續、漸層甚至暈染式的顏色效果，使其極相似於原始畫面，從而產生一張數位照片。

結構相似度是本書的核心概念，是模型之間的配合程度（degrees of fit）之測量指標。配合是專用來測量模型間的總體關係的指標，它又由結構的對應（structural correspondence）來定義：亦即，兩個結構之間的構成元素、元素關係、結構局部與整體結構之間的對應。進而「對應」又由相似關係來定義：亦即，兩個系統如果有任一組相似關係存在，即構成一個對應。如此模型的配合即是兩個不同系統之間相似的構成元素、元素關係、結構局部與整體結構之間的對應。不同性質和數目的對應代

表了不同的對應程度——即是不同的配合程度。不等的對應就相當於不同程度的結構相似性。因此，就質而言，如果兩個模型是同構的（isomorphic）——結構的完全對應——代表「完全配合」；如果只有一定的結構相似性則代表「局部配合」。就量而言，兩個模型間的結構相似度就等值於其配合程度。

模型的具體化程度和落實程度的比較，依賴於結構相似度的測量。如果印證與否證是理論導出的具體化模型與經驗或資料模型之間的比較，那麼印證程度和否證程度是由結構相似度來判定。還有實驗之間的複製程度（degrees of replication）也是依賴於結構相似度的判定。這裡我們可以看到結構相似度思考貫穿全書，是其它程度性概念的基石。以下讓我們對幾個程度性的概念作個簡單介紹。

具體化程度和抽象程度（degrees of abstraction）是模型靠近（或遠離）具體現象的衡量。一個模型與現象資料或資料模型之間有更大的結構相似度，就意謂具體化程度更大。反之則抽象程度較大。兩者適成反比。

實現程度（degrees of actualization）是衡量一個理論或實驗被具體化的潛能。如果 A 理論比 B 理論能建構出具體化程度更大的具體化模型時；或者 A 實驗比 B 實驗的實驗模型之具體化程度更高時；或者 A 理論比 B 理論能建構出更多相同具體化程度的具體化模型時；或者 A 實驗比 B 實驗的實驗模型之具體化程度更高時，A 的實現程度比 B 更大。

印證程度（degrees of confirmation）是衡量一個判斷或斷言與被斷言的現象之間的正確程度。已知斷言都要透過模型的媒介，因此斷言的印證程度與模型的具體化程度成正比。而印證是

指一個斷言蘊涵的最大具體化模型與現象模型間有極大化的結構相似度（參看第三章）。

否證程度或被否證程度（degrees of disconfirmation）或是衡量一個判斷或斷言與被斷言的現象之間的不正確程度。否證並不是與印證程度成反比，而是有其獨立性。如果 A 斷言蘊涵的最大具體化模型比 B 斷言蘊涵的最大具體化模型，與現象模型之間的不相似度更大時，A 斷言的（被）否證程度就大於 B 斷言。

必須一提的是，印證與否證程度不只能用於斷言，也可用於實驗。我們可以說一個實驗印證或否證了另一個實驗。這種實驗的印證或否證則決定於實驗的複製程度（參看第七章）。因此，**複製程度**是指一個實驗複製另一個實驗的結構之程度，它與兩個實驗模型之間的結構相似性成正比。

肆、實驗與理論的發展動力：問題、論點和方法

從模型基礎的取向切入，本書回答許多科學哲學的傳統問題：理論如何說明現象？觀察與理論的關係為何？實驗如何檢驗理論？實驗可能產生決定性的印證或否證嗎？這些問題是從邏輯經驗論和波柏否證論這邏輯分析傳統，到孔恩、拉卡托斯（Imre Lakatos, 1922-1974）、勞丹（Larry Laudan）、胡爾（David Hull）等科史哲傳統（History and Philosophy of Science，下文縮寫成 HPS）持續不斷追問的核心課題。本書也追問模型與實驗的哲學家帶起的新問題，這是繼科史哲傳統之後，自 1990 年代以來的**新發展**，可稱為「後科史哲」（post-HPS）的新階段。就採取模型取向與探討實驗課題而言，本書參與了 post-HPS 的新發展，可是，本書探討的問題和處理歷史資料的方法仍然繼承 HPS 傳

統，亦即透過科學家已出版的文本（論文、著作和實驗報告），佐以科學史家的科學史著，加上科學史家和哲學家的案例研究，來重建一個歷史案例的經過——文本分析與重建的方法。因此就歷史分類而言，本書重建的是實驗的行為、認知與評價歷史，而不是科學與社會文化史。

1980年代新興的科學之學（SS）或科學的社會研究（Social Studies of Science, SSS），標榜研究歷程中的科學（science in process）、活動中的科學（science in action）、建構中的科學（science in making）。其主流觀點有源於英國愛丁堡學派（Edinburgh school）的科學知識的社會學（sociology of scientific knowledge, SSK），以及其領導的社會建構論（social constructivism）和法國的行為者網絡理論（actor network theory, ANT）。他們一致主張科學總是社會活動或準社會性的網絡活動之產物，有其誕生、發展、成熟到衰亡的過程，有變遷、更迭和取代的種種現象，因此研究者想調查一套知識經歷的完整過程，他們對一套知識（理論和實驗的）如何誕生、如何被接受為真正的知識尤感興趣。他們相信一套知識在問世之前所經歷的社會過程，對知識本身的形貌有關鍵的影響。例如一個知識系統中的重要觀念、概念、方法、價值、實驗操作、工具設計等，都是受到過程中的各種社會因素的形塑（shaping），形塑歷程體現在科學家與社群、還有更廣大社會的協商談判活動，直到它們有固定的形貌和內容後，才會進入知識競技場，這樣的經過一般被稱作「穩定化」（stabilizing）。穩定化的知識對於後來的研究者更具有約定俗成或成規（convention）的地位，我們可以把這類觀點背後的哲學立場稱作「知識論的集體主義」（epistemological collectivism）。

知識論的集體主義者認為科學家已出版的文本、著作，被寫入教科書內的科學知識，是誕生後、甚至發展成熟後的產物，使知識變成如此形貌的是問世前、成熟前形塑與穩定化它們的社會因素。基於他們的基本觀點，在被調查的案例上，他們要不是追蹤歷史上科學家生活時代的社會文化狀況、人際關係、科學外（實驗室外）的活動參與（因此他們重視科學的社會文化史）；就是採用人類學家的田野調查方法，進入科學實作的現場（實驗室），觀察科學家作研究的實況、記錄他們的對話、分析他們的實驗筆記、訪談當事人等等。

SS 的主流觀點與本書繼承的 HPS 傳統，對於歷史案例採取相當不同的方法學觀點和取向，從很多方面看，兩種取向是互補的。讓我們以生物學學科來類比。經過長期發展，生物學的研究大致有自然史（natural history）和系統分類學（systematics），採取種種生物樣本並描述它們的特徵，再加以分門別類、指認變異（物種內變異與物種外變異）；演化學家（evolutionists）則研究生物的現存特徵如何產生和形成、物種又如何演變（化）、其演化的原因是什麼，遺傳學家研究個體如何從其親代和祖先繼承了種種特徵，又如何會產生不一樣的特徵（變異）；形態學（morphology）與解剖學（anatomy）研究生物體內在和外在的形態、特徵和結構；細胞學（cytology）研究組構生物個體的基本單元；發育學與胚胎學（embryology）則研究個體如何從精卵、胚胎發育成成熟個體，整個過程經歷什麼樣的階段性發育；生態學（ecology）研究生物群體、物種和多物種與環境的關係和互動，如此等等。⁷

7 當然，還有其它如動物學、植物學、微生物學、生理學、病理學、免疫學、動物行為學等學科，但與我們的類比目的較不相關，故略而不提。

如同自然史／分類學家和演化學家研究成熟生物個體的特徵、分類、變異和演化等，HPS 的方法學取向也是研究成熟後的科學知識與實作之特徵（與世界的關係）、分類（類型區分）、變異（異例）、發展與變遷。SS 的主流觀點則宣稱要打開科技的黑箱（black box），研究知識與實作誕生到成熟的過程，猶如胚胎與發育學家企圖揭露發育之謎，把生物個體的發育歷程透明化；又如生態學家研究生物與環境的互動一般，SS 學家企圖揭示知識與實作和社會環境的關係和互動。不過，SS 和 HPS 似乎有一個關於演化的交集，兩者均重視不同類型的科學知識與實作的發展和演變，並企圖去說明演變的動力。HPS 傳統的科哲家（如孔恩〔Kuhn 1989〕和胡爾〔Hull 1988〕）甚至直接套用達爾文演化論到科學變遷上，強調新理論的產生猶如新物種的「種化歷程」；而 SS 學家則看到了達爾文提出自然環境選擇（天擇）做為演化的動力，猶如社會環境因素對於知識與實作變遷的決定力量。⁸

在這個類比架構下，SS、HPS 和編史學（historiography）似乎有一個完美的分工：傳統編史學蒐集與描述科學史資料，類似自然史和分類學家所為；HPS 傳統的哲學家 and 史學家，則從事科學變化的描述和說明，類似分類學家和演化學家。科史哲學家很少研究「科學理論與實驗的發育」——這是 SS 學家以及 SS 傾向的科學史家獨擅勝場之處。

可是，仍然存在類比不到的地方。第一個重要的不相似是 SS 認為社會環境強烈、甚至必然影響或決定科學知識與實作的

8 這也難怪 STS 理論家常常使用演化論的類比和語言，例如拉圖（2004）；又如提出技術的社會建構論（Social Constructivism of Technology, SCOT）的 Bijker and Pinch (1984)，臺灣討論和介紹可參看張國暉（2011）。

成熟形貌，使用生物學比喻，即生態會影響甚至決定生物個體的整個發育過程——但生物胚胎發育學和生態學似乎距離遙遠，沒有這樣的直接關連。當然，這個不相似可能不代表什麼，因為科學畢竟不是生物。然而，它卻可能指示本書的立場與 SS 的差異、甚至對立。第二個重要差異是：本書針對科學建立足以對應到解剖學、細胞學和遺傳學的後設分析，主張科學的內在結構在科學的演化上扮演一個重要的角色；SS 似乎沒有這樣的對應。這一點將顯示本書理論與 SS 主流觀點的差異。

我同意 SS 的主流觀點對於 HPS 傳統極具啟發性，對於知識系統誕生或成熟之前的穩定化研究也極具價值，SS 學家採用的案例研究方法（社會文化的歷史分析或田野調查）有相當的適切性。但是，我不同意社會因素和環境直接形塑成熟科學知識與實作的整體形貌（shape），正如巨觀生態不能直接影響常態發育（雖然可能造成異常發育）；我也不同意社會因素（特別是利益）和環境是不同類型的成熟科學知識與實作變遷的主要動力。在本書中，我想發展和論證的是：成熟科學知識與實作的形貌，是被其內在結構形塑的；科學家對於知識與實作的內在結構之認知評價（cognitive evaluation）或認知判斷（cognitive judgment）是關鍵因素；再者，不同類型的成熟知識和實作的變遷，也可以透過知識與實作的內在結構之局部性的變遷來解釋，其主要的動力仍然是科學家的認知評價。

再次使用生物學的類比，本書對於 HPS 的方法學立場，在自然史／分類學和演化學的角色外，加入了遺傳學、形態學、解剖學與細胞學的成分：本書研究科學知識與實作的構成「細胞」——模型——的關鍵地位，「解剖」科學知識與實作的內在結構和形態——模型與理論的組織與結構、實驗與實驗行為的結構，

考察新的知識與實作的形貌如何傳承自其親代的內在組成和結構（但不必涉及遺傳密碼或基因的層次）——這些正是本書與 SS 主流方法學立場的最大差異之處。

讀者須知，我並沒有說成熟知識和實作在其誕生和發育的過程中，沒有受到社會因素的影響；我也沒有說，成熟知識和實作的發展、變遷與取代過程，社會因素和環境完全是無關的。我宣稱的是，科學家的認知評價是關鍵因素和主要動力，但我並沒有說社會環境因素不可能影響科學家的認知評價。我的真正主張是：只有透過對科學家的認知評價之影響，社會環境因素才能進入，進而影響與形塑成熟科學知識與實作的形貌。但是，在此之前，我們有必要先發展一個動力模型，說明科學家如何根據科學知識與實作的內在結構作出判斷，形塑了成熟科學知識和實作的形貌，也主導了它們的變遷——這是認知與價值的優先性。

能夠作認知評價的科學家是一個目標導向（goal-directed）的行為人（agent），因此本書發展的模型是一個行為人基礎的動力模型（an agent-based dynamic model），用來說明成熟知識與實作的形貌、發展和變遷。這樣的行為人基礎是否預設一個方法學的個人主義（methodological individualism）？因而對立於 SS 中的主流觀點知識論的集體主義？是否存在一個爭議點：個人判斷與群體共識（consensus），哪個優先？針對這個疑問，本書主張的是「從個人到群體的連續光譜」（a continuous spectrum from individual to group）：個人的認知價值判斷（他可能創造價值）可能推廣成為群體判斷的依據，⁹ 反過來說，群體的共識也可能

9 科學史上著名的例子是大科學家對於價值標準的塑造，例如牛頓、達爾文、愛因斯坦、玻爾等人。關於牛頓的例子，可參看拉卡托斯（Lakatos 1978）。雷祥麟（2010b）也討論臺灣醫學科學家杜聰明的「創造價值」。

左右個人的判斷。在個人與群體或社群之間，存在許許多多大小不等的科學家團隊（teams），它們可能展現一個單一共識，但這仍然是認知評價的產物，因為在這個共識中，團隊中的每個個人認知判斷的理由可能有相當的差異，他們之所以能提出單一共識，是因為行為人總是在目標導向之下，擱置差異，求取一致。也就是說，行為人基礎的動力模型並不是個人主義，因為行為人未必只能限於個人——雖然個人確實是基石。這個觀點讓我們可以將行為人擴張到二十世紀之後科學界普遍的團隊研究，進一步說明見下文。更多的討論和具體案例見第四、五、六章。

根據上述的討論，我們可以設定本書與 SS 主流觀點共同的問題如下：

（1）成熟的理論與實驗，有什麼基本組構成分？有什麼基本組織？有什麼顯著特徵？彼此間又有什麼重要差異？它們如何在時間中變動？

（2）成熟的理論和實驗，是從其先行者的內在結構中繼承了基本特徵？還是在誕生的過程中受到來自社會的外在因素之形塑？

（3）理論和實驗在誕生和發展成熟之前，經歷什麼樣的過程？

針對第一個問題，SS 的主流觀點傾向提議一個巨大（巨觀）的單位，例如典範或概念架構（conceptual fabric）、生活形式（form of life）、人與非人的同盟網絡等，理論和實驗只是巨大單位的一部分，因此 SS 努力辨識這個巨觀單位的特徵和差異，理論和實驗本身的成分、結構和特徵，便視而不見。本書考察的

是個人化的理論版本（theory version，見 Chen, R.-L. 2000；陳瑞麟 2004）與一位科學家到另一位科學家的系列實驗（陳瑞麟 2007a, Chen, R. L. 2007），企圖追蹤它們的發展和變遷。兩者都是一種微觀單位，因此它們的變遷就是一種微變遷（micro-changes）。由於本書主張理論版本和實驗的發展變遷源於其內在結構，因此，對於它們的組構成分、基本組織和特徵，必得有詳細的考察和分析。

針對第二個問題，SS 的主流觀點認為社會環境直接形塑成熟理論和實驗的形貌，事實上社會環境也就是它們鑲嵌的巨觀單位，兩者的形貌一起被共同形塑（共同建構）。本書主張理論版本和個別實驗是從「親代」的內在結構中傳承了組構成分、基本組織和特徵，但「子代」總是會產生變異（variance）。這種論點帶來更多子問題：如何辨識一個理論版本和一個實驗的親代是什麼？理論版本和一個實驗又如何從其「親代」傳承了既相似又有異的內在結構？造成這傳承的動力又是什麼？本書主張，第一個子問題要透過文本分析和重建來回答，第二個子問題的答案要分析理論版本和實驗的內在結構，對第三個子問題的回答則是科學家的認知評價與判斷。

針對第三個問題，SS 的主流觀點透過社會文化史或田野調查，觀察成熟知識與實作如何被鑲嵌在巨觀單位中，如何在社會或網絡的協商談判中被形塑，其穩定化的經過又是如何。本書則追蹤從一個理論版本到後繼的理論版本、一個實驗到後繼實驗是如何透過其內在結構來傳衍？如何發展成一個家族？因為，如果成熟理論和實驗的形貌，是傳承自親代的內在結構，那麼從親代到子代的傳承與變化的追究就是必要的。本書也試圖對親代版本到子代版本、原型實驗到傳衍實驗的發展過程作出形態區分與階

段性區分，再次借用發育生物學的隱喻，本書企圖辨識理論版本與實驗的胚形（embryonic type）、雛形（pre-prototype）、原型（prototype）、成熟型（mature type）等，而且探討從一個到下一個階段之間，科學家的認知評價是如何運作的。這個觀點也產生一個新問題：社會因素與環境在子代理論版本和實驗對親代的繼承與生成之時，是否有任何影響與作用？我的答案是肯定的，但是，社會因素與環境必須透過科學家的認知評價與判斷，才能影響子代理論與實驗對親代的繼承，進而影響其誕生時的形貌。

科學家的認知評價是科學與社會研究的一個失落環節（missing link）。

本書設定的任務是發展一個說明理論版本和實驗的形貌、發展、傳承與微觀演變的「行為人基礎的動力模型」，暫時擱置社會因素和環境如何透過科學家的認知評價影響成熟知識與實驗的發育——這必須要另一本書才能提供完整答案。但本書論證「行為人基礎的動力模型」是優先的，只有先研究成熟知識與實作的構成、組織和結構，才能辨識它們的形貌以及變異，有了形貌與變異的清楚圖像，才能進一步追究形貌與變異的來源和起因，也才能進一步考察外在環境的影響。

再次使用生物學發展的歷史來類比：今日生物學次學科的發展次序大致是自然史家、分類學家、形態與解剖學家研究成熟個體的特徵、形態、結構、分類與變異之後，演化學家在十九世紀步上科學舞臺，探討物種的演變與起源，變異成為關鍵之後，才進一步追究變異的來源和起因——包括遺傳和發育兩個面向。因此，十九世紀下半葉胚胎學與遺傳學才登場。即使在研究生物的發育過程中，形態學與解剖學研究仍然不可或缺，因為它們不僅

研究成熟生物個體的外在形態、內在組織和結構，也研究成熟個體在胚胎和幼體時期的形態、組織和結構。如果生物學歷史的類比恰當的話，沒有相應於生物學上的形態、解剖與遺傳學研究，就無法對科學知識和實作從孕育到誕生、從誕生到成體的發育過程，提供一個完整的圖像。

讀者可以看到，筆者支持科學（技）與社會研究，但是針對科學發展與變遷的動力問題而言，本書反對當前 SS 的主流觀點和取向——特別是利益基礎的說明，因為它缺乏上文指出的兩個必要的要素：相應於生物學上的形態、解剖、細胞與遺傳學的研究取向，以及認知評價的核心角色。

伍、認知評價、發展動力與結構相似度

什麼是認知評價？使用一些價值標準來評量科學理論與實作，並作出好壞程度的判斷。被用做為評價標準的就稱作「認知價值」(cognitive value)。本書將討論二組認知評價：概念性評價 (conceptual evaluation)、經驗性評價 (empirical evaluation) 和實作性評價 (practical evaluation) 是一組，¹⁰ 模型評價 (evaluation of models) 和實驗評價 (evaluation of experiments)

10 這個區分可能會令讀者聯想到「質性評價」(qualitative evaluation) 和「量性評價」(quantitative evaluation) 的區分，不過並非如此。本書所討論的各種類型的評價都是質性評價。量性評價必須將評價標準量化，並調查取得經驗數據之後，才能進行評價，因此它頂多只是經驗評價的一部分，而且必須先將評價標準量化，評價標準都是「質性的」，所以量性評價終究源於質性評價。當然，一些「經驗評價」需要參考量化測量、取得數據，例如準確性和精確性的評價；而且量化可以幫助評價擺脫純直覺，達到更客觀的程度。但並非所有的經驗評價都要需要量化數據，例如評價一個理論對於經驗現象的說明力或經驗適當性，並不需要量化數據。

是第二組。前一組由評價者作評價的基本形態來區分；後一組是由被評價的對象來區分，前一組可以是後一組評價的一部分。以上讓我們依序說明：

概念性評價：評價者在概念上對被評價的對象作出判斷，例如判斷一個理論或理論模型在概念上是一致的（consistent）、具啟發性的（heuristic）、簡潔的（simple）。一致性、啟發性和簡潔性即是概念性的認知價值。科學家常常先設定一些基本原理，再對一理論是否一致或違反這些基本原理作出判斷，這也是一種概念評價。

經驗性評價：評價者在經驗上對被評價的對象作出判斷，例如判斷一個理論在經驗說明和預測上是準確的、可以十分有力地說明一個現象、可以說明十分廣泛的現象、可以產生許多新奇的預測等等，被用來作上述評價的是**經驗性的認知價值**，如準確性（accuracy）、說明力（explanatory power）、廣泛性（breadth or scope）、預測力（predictive power）。評價者當然也可以評價一個經驗模型是可靠的（reliable）、重要的（important）、值得探討的（inquiry-worthy）。

實作評價：評價者在實作上對被評價的對象作出判斷，例如判斷一個模釋或實驗被執行得十分完整、它的設計十分創新、它的落實結果十分豐富等。那麼，完整性（completion）、創新性（innovation）、豐富性（fruitfulness）乃是實作性的認知價值。

注意，我們並不企圖在上述三種評價和認知價值之間劃出截然分明的界線；我們所討論的認知價值也沒有窮盡一切。而且在舉例說明中，我們也已經討論了模型評價（包含理論評價）和實驗評價，以下讓我們進一步說明第二組評價的更多特色：

模型評價：評價者可以應用上述各種認知價值，對模型（包括理論模型、經驗模型、實驗模型等）作出概念上和經驗上的評價。由於理論和理論模型需要被檢驗，檢驗需要設計實驗並加以落實，可能有的理論易於建構具體化模型、設計實驗並被落實，有的理論則相當困難；同樣地，有的實驗模型易於成功（易於落實），有的則否。如此我們有可落實性（realizability）的價值標準。

實驗評價：如前所述，實驗的目標在於落實背景觀念（有時是某個理論），因此可落實性也是具體實驗的一個評價標準（但當然不能用來評價思想實驗）；再者，一個好實驗可以不斷地重做，都能產生相同的結果，這時我們稱此實驗具有穩定性（stability）；有時一個實驗被用來檢驗其它受懷疑的實驗，則它必須在相當程度上複製它又必須改良它，以便產生有效的檢驗力，這時我們稱此實驗具有有效的可複製性（valid replicability）；所有的實驗都在一個特定的脈絡下被執行，它是否能適用於截然不同的脈絡？具有跨越脈絡能力的實驗即具有可投射性（projectability）或跨脈絡性（cross-contextuality）；如果一個實驗能啟發更多相系列實驗的執行，則此實驗具有啟發性或可傳衍性；如果一個實驗結果能產生重大發現，則此實驗具有的豐富性，如此等等。本書第六、七、八、九章企圖揭示上述各種實驗評價的價值標準，運作在實驗的檢驗、複製、發現、傳衍之中。

認知評價如何運做為科學（理論與實驗）發展與變遷的動力？

科學是人類的認知行為與產品，科學之所以不斷地發展與變

遷，是因為科學家不斷地面對新問題，企圖應用既有理論來解決問題時遭到困難，使得觀念與理論不斷地被檢驗、修正、改良、精煉，也使得實驗被檢驗、複製、改良、發掘其潛能等。這些工作都必須要有行為人——即科學家——的投入。一位面對新問題的科學家，在從事解題之時，他總是得回顧大量既成的理論、模型和實驗，他必須事先判斷哪個觀念、理論、模型或實驗最能幫助他解題，再根據判斷來選擇觀念或理論，形成背景假定，然後著手建立具體化模型、設計實驗、具體落實、蒐集資料、計算、評估、修正等，然後有新的觀念、理論和實驗產品誕生。可以看到，關鍵在於他的判斷和選擇，也就是他的認知評價。

長久以來，邏輯經驗論和否證論區分發現的脈絡（context of discovery）和證成的脈絡（context of justification），前者涵蓋科學假說和理論的形成、推理、建構、發展等過程，它是非理性的、變化多端、難以找出秩序，不是哲學和邏輯可以處理的，因此是歷史學家、心理學家和社會學家的轄域；後者意指科學假說和理論是否能得到經驗的支持和證成，它是邏輯的，是科學哲學（規範方法學）的專擅之地。這個區分往往被視為平行於哲學傳統所謂的「實然」（is）和「應然」（should）、「事實」（fact）和「價值」（value）、「客體性」（objectivity）和「主體性」（subjectivity）的二分法。¹¹ 因此，證成即是、或蘊涵評價，而

11 這一系列二分法受到 STS 學家拉圖（Bruno Latour 1993, 2000, 2004）的強烈批判，他曾說：「這（主客二元架構）是這麼地源遠流長，以致轉化成常識。儘管如此，它全然錯了，而且我已花了生涯中很長的一段時間來證明。」（Latour 2000: 3）臺灣也有陳瑞麟（2007）〈科學哲學在「科技與社會」中的角色和挑戰〉一文討論「實然」與「應然」的二分法。在該文中，我主張，這個二分法在邏輯上成立，但在實踐上緊密相關，持續互動，無法截然區隔，這個觀點被應用到本書中。

且評價被化約到經驗證成（說明、演繹出經驗的能力，邏輯經驗論的主張）或理論證成（理論蘊涵豐富的預測內容，波柏的主張）上。如此一來，評價被認為無關於發現脈絡。孔恩的《科學革命的結構》跨越了發現脈絡和證成脈絡的截然區隔，但是他隱然使發現脈絡凌駕於證成脈絡之上，他主張研究者應該發現科學歷史的實際變遷，而不是去尋求一個規範方法論（normative methodology）的取向，被稱作自然（本性）主義（naturalism）（陳瑞麟 2003d）。

SS 的主流觀點極化孔恩的自然主義路線，主張我們只能對科學的發展和變遷提出因果說明，而且要以非經驗、非認知、非規範、純工具理性的社會因素來說明科學，既因為「自然主義的因果」不能是規範和認知性的，也因為科學是社會的產物，如此完全消除了經驗、認知和評價的角色。

孔恩後來思考了價值判斷（即認知評價）在理論選擇中的角色（Kuhn 1977b，參看第四章討論），但他還是沒有明顯主張認知評價做為理論變遷中的原因。因為典範或分類架構的變遷是集體性的、巨觀的，微觀的個人認知評價似乎起不了決定性的作用。勞丹（Larry Laudan 1984）延續孔恩對價值判斷的思考，提出逐漸變遷的「科學理性網狀模型」（reticulated model of scientific rationality），主張科學目標、理論和方法論構成一個三元網狀結構，彼此逐步地互相修正配合，導致科學家形成共識，產生革命變遷。勞丹稱此觀點為規範自然論（normative naturalism），企圖跨越自然主義與規範方法論的截然區隔。更早之前他也企圖提出「接受的脈絡」（context of acceptance）和「追求的脈絡」（context of pursuit）來取代發現與證成的二分法（對於勞丹理論的介紹，看陳瑞麟 2010a）。但是勞丹的路線並沒有

廣為傳佈，¹² 一來可能因為他並沒有很積極地從事案例研究，為他的變遷模型提供歷史佐證；二來可能因為他的「理性模型」不能為更寬廣的社會環境和因素在科學變遷中的角色留下空間；三來，認知評價或價值判斷似乎是很個人的事，因此很難證明個人評價在巨觀的單位（研究傳統）變遷中的角色和決定性；也很難證明巨觀單位下的科學家群體都是使用同一組認知價值來作判斷並達成共識。

本書繼承孔恩、勞丹對於認知評價在科學發展與變遷中的關鍵角色，而且進一步明白地把認知評價引入因果說明中。為了避開勞丹的困境，本書提議的模型有下列幾點不同：

首先，我們主張研究科學活動有多向度（dimensions）：**發現、結構、發展（發育或發生）、變遷、社會環境、規範**等向度，同時存在於各種科學案例的脈絡中，各向度彼此互相關連，並不存在什麼截然區分的脈絡，可以對應到「事實和價值」或「客體和主體」的二分法。在科學活動中，主體（行為人）的價值判斷，可以產生或建構客觀（體）事實；客體事實（經驗）限制、拘束（constraint）了主體的價值判斷；兩者緊密相關、循環互動。

12 不過，勞丹科哲的許多面向都有局部的繼承者，在臺灣有傅大為早期繼承其「解題分析」的取向（Fu 1986），但反對他的「一般理性」的立場，主張局部的策略理性。「解題分析」取向其實可以回溯到孔恩的「解謎」，因此傅大為也許不認為他繼承勞丹的取向，又他在 1990 年代後完全轉向 SS 和 STS 的觀點和取向。戴東源（2005）則繼承勞丹對於價值判斷在理論選擇中的角色和立場，但戴東源還沒有發展一個完全的科學變遷理論。在英美，有馬攸繼承「規範自然論」的立場，並應用到科學實驗的分析上，但馬攸並沒有發展任何關於實驗變遷的理論。

其次，本書的模型主張透過行為人的認知評價所產生的微觀變遷，連續地發展才導致巨觀變遷。亦即科學家為了某個目的（解決某個問題），針對先行理論或實驗的內在結構，經過認知評價，決定要繼承、修改或拋棄某些部分，以便落實目的，結果產生新的理論版本、新的傳衍實驗，這種過程即是我們不斷提及的發展——相應於生物學上的發生。¹³ 由於不斷有新的科學家加入、各種不同的目的、新的問題，使得新的理論版本、新的傳衍實驗不斷地增生，構成一個理論版本家族或實驗家族。可是，經過長期的發展，偏遠世代的理論版本或實驗，有可能成為一個新家族的「祖先」。也就是，某個科學領域將從一個家族過渡到另一個家族，這樣的過程也就是科哲傳統上所言的「變遷」——本書把它刻劃成「巨觀變遷」。從這裡也可以看到結構、發展和變遷這三個向度的密不可分。

第三，傳統上，發展被當成是發現的一部分，亦即理論的孕育、提出和建立整個過程（又可稱作建構過程），被當成是一種科學發現。但是，本書主張發展和發現是兩個不同的向度：發現應該用來指稱揭露過去不為人知的新現象、新元目、新結構或新機制；理論和實驗則是被設想、被設計、被建構的，它們可以用為發現的工具，但它們不是被發現的——這一點從模型取向觀之更為明確（更多討論看第九章）。理論與實驗的發展可以產生大發現，反過來說，發現也可以導致理論與實驗的發展。

13 生物學又區分成「個體發生」(ontogenesis)和「種系發生」(polygenesis)，前者是指生物個體如何從親代的某一微小、不可見的部分到長成一個獨立的成體，一般又稱作「發育」，在英文裡和「發展」共享同一個字 development。後者指一個物種如何演變成另一個物種。可是，科學理論和實驗無法作出這樣嚴格的區分，因為從一個理論版本到下一個理論版本、一個原型實驗到其傳衍實驗，也可以說是某一個理論或實驗（在抽象意義下）的發育。

第四，本書提議的動力模型，企圖發現科學（理論、模型與實驗）發展與變遷的因果機制（causal mechanism），並非主張認知評價為單一原因，本書提議的因果機制，包括「能力」（ability）或「技能」（skill）和「潛能」（capacity）、「動機」（motive）、「資源」（resources）和「拘束」（constraint）四個相關的概念。更精確地說，本書建構的動力模型，將包合理論化技能（theorizing skill）與實作技能（practice skill），以及技能的產品潛能、認知評價做為動機、物質或經驗拘束（material or empirical constraints）與社會資源和拘束（social resources and constraints），它們都運作為原因（因果機制）的一部分，對理論與實驗的發展和變遷產生效果（make effects）。這也是一個認知—社會機制（cognitive-social mechanism），因為它既包括認知因素又包括社會因素。其詳細發展看第四章。

這個動力模型以行為人的認知評價為核心，能夠說明共識如何形成嗎？這是對孔恩、勞丹和社會建構論而言都是必須面對的核心問題。然而本書強調內部差異的「家族」觀念來取代共識性的大單位（典範、研究傳統、社群共同體、生活形式、同盟網絡），主張長期連續的微變遷導致巨觀性的家族變遷。在這樣的觀點下，共識形成已不再是迫切需要說明的現象了。科學家個人差異極大的認知評價可以做為原因之一，用來說明理論家族如何建立和發展。

儘管如此，人們仍然可以繼續質疑：二十世紀後的科學研究幾乎全部是由團隊來執行，一個科學團隊如果各自應用不同的認知價值、而且對認知價值有不同的詮釋，他們如何形成共識性的認知判斷？這似乎是認知評價做為說明原因的一個困難。也因此SS的主流觀點主張以非認知的權威、協商和利益來說明共識的

形成。可是非認知的因素也有它們的困難：我們總是可以進一步問，權威為什麼會被承認為權威？難道不是因為他有被判斷為好的認知產品？若是如此，還是必須回到認知判斷。科學團隊的協商固然常見，但協商也不一定產生共識，什麼條件讓協商能產生共識？認知判斷也是一個可能的原因。SS 主流觀點訴諸於共同利益——但共同利益很難說明一個剛誕生的新理論往往要面對能夠提供更大利益的既成理論，為什麼沒有利益的新理論能生存下來？甚至擊敗「既得利益的舊理論」？詳細討論看第五章。

初步分析一個科學研究團隊，我們可以看到幾個要素：它仍然有一位主導人或計畫總主持人，他會規劃和設計整個研究過程，並為結果負責。在研究過程中，這個團隊的成員會持續緊密地交換意見、求取共識，因為這是團隊的目標。但這是一種個人與個人之間的意見交換，即使最後的交換結果形成一個單一共識，也不代表集體利益或權威在決定，事實上，最後的決定仍然依賴個人——個人在不同的和多種認知價值下權衡輕重、作判斷，最後決定拋棄不重要的差異，保留重要的同意，結果形成共識。這個過程是 SS 特別強調的協商，共識形成則被理解成約定或成規。但是，要注意每一個交換環節之中，個人的認知判斷總是於其間發生作用，特別是個人對於認知價值的輕重之權衡。強調這一點，讓我們可以透過價值的分析和研究來影響或干預科學家的認知評價——這也是本書提出結構相似度和程度性思考的用意。

「拋棄不重要的差異，保留重要的同意，結果形成共識」這個結果為什麼能達成？這個問題似乎仍然是神祕的。本書提出模型做為媒介者、程度性思考與結構相似度等主張，目的正是為了提供科學家認知評價的「參考座標」，也可以用來模塑過去科學

家的認知評價，讓看似主觀抽象的認知評價更為客觀具體。

首先，透過模型的中介，評價理論與實驗的認知價值可以更明確、更具體，例如一個好理論應該「簡潔、廣泛、可落實」，意指科學家可以從一個變量少、關係和函數簡單（簡潔）的高層原理模型中，建構許多具體化的模型來說明廣泛的現象（參看第一章）。一個好實驗應該要「穩定、可投射、具啟發性」意謂它的實驗模型可以重複被落實並產生相同的結果，可以被應用到不同的脈絡，可以啟發新的實驗之執行（參看第八、十章）。

其次，程度性思考要求科學家把各種認知價值都理解成程度性的，而且透過中介模型的結構相似性之比較來衡量。如此一來，各種認知判斷都是程度性的、比較性的，這可以說明科學團隊內既存在異議又能達成共識的現象，因為程度性的思考提供一個彈性空間，讓科學家可以在不同的評價和判斷程度上達成共識。

第三，結構相似度是模型（概念框架）與經驗（資料模型）之間的結構性比較，連結了「概念性評價」和「經驗性評價」，也提供「實作性評價」一個參考指標，因為各種認知價值的高程度滿足，就在於中介模型是否能產生與資料模型的高結構相似度。例如由理論（原理模型）而建構的各個具體化模型與被說明現象之間的結構相似度越高，代表理論的說明力越高；如果一個理論可以建構越多的具體化模型來對應到更多的現象，代表它越廣泛；如果一個理論可以產生越多具體化模型，表徵未被觀察和發現到的現象，代表它的預測力越大。

使用認知價值來評價理論、模型和實作，無法一勞永逸地解決科學判斷的不確定性問題，本書發展的結構相似度也無法像傳

統的規範方法論一般提供一個機械性的判定程序——但那正是規範方法論失敗的原因：太硬性的判定規則，無法適用於多元多樣的科學，也很難說明實際歷史上多元多樣的科學實作。「結構相似度」的觀念和「程度性思考」正是為了避免傳統規範方法論的困難而發展出來的；同時也企圖避開社會建構論訴諸於權威、利益、協商和成規的缺失。因此，相對於上述兩個取向，它有如下優點：第一，避免傳統規範方法論訴諸於「方法學規則」時可能面臨「遵循規則」的困難；第二，沒有對「科學性」劃出截然分明的邊界，不把認知評價當成科學性的劃界判準；¹⁴ 第三，反對硬性、單一的方法學規則做為科學判斷的機械性程序——因為如此一來將失去科學判斷的彈性；第四，不把利益視為科學變遷的唯一說明，也沒有訴諸於共識成規來說明科學變遷，如此可以避開利益說明的許多問題；第五，為群體內的異議保留更大的空間，也可以容許科學家個人對群體、傳統和權威的批判性。

陸、模型與模塑的反身應用

從二十世紀到今天，科學哲學經歷三個發展階段，分別有不同的強調重心（陳瑞麟 2010a）。邏輯實證論和波柏的否證論是邏輯分析傳統，目標在於提出「規範方法論」，以做為科學與非科學的劃界判準。孔恩催生的科史哲傳統，從科學史的實際發展論證之前規範性科哲漠視科學的實際狀況，此後以研究科學家的

14 科學評價的問題與科學劃界的問題是兩回事，但是邏輯經驗論、波柏和拉卡托斯的規範方法論混淆了兩者的差異，把它們視為同一，這也是傳統規範方法論的一個缺陷。參看陳瑞麟（2005b）的討論，在該文中，我認為把劃界標準同時用來評價不同範疇（即科學和非科學）內的理論（例如牛頓力學和占星學），乃是犯了範疇謬誤。

實際活動和判斷的自然（本性）主義成為科哲主流（Giere 1985）。由 HPS 發展而來的 SS，也繼承自然主義取向，強調要更加深入科學的社會本性（social nature）。規範方法論和自然主義似乎反映了「應然」和「實然」的二分對立。

在規範方法論傳統和自然主義的二分對立下，讀者可能會問：本書所謂結構相似度的比較方法，真的是現在與歷史上的科學家實際使用的方法嗎？還是它其實是一個規範性的科學思考方式？當然，我們沒有科學文本或歷史的證據顯示科學家確實使用所謂「結構相似性」或「程度性思考」的方式，因此我們不能宣稱這是實際的科學方法。那麼，我們為何使用這個思考方法來分析科學史的各種案例呢？

本書一方面考察科學的實際（然）發展，主張科學家的規範活動（認知評價）是科學實際發展的主要原因和動力，這是延續自然主義的基調；但是，本書也具有規範性的企圖——想建議科學家應該怎麼作評價和判斷——表現在「結構相似度」的思考上。可是，這個規範性企圖已不再是早期那種劃界的規範方法論，提出一個區分科學和非科學的判準不是本書的目標。我們所做的是**推薦或建議一個科學思考的方式或策略**，即**結構相似度的思考方式**，我相信它同時具有科學實作、科學判斷、科學教育、科哲思考，甚至哲學思考的多重價值。推薦這樣一個思考方式預設的條件性問題是：**如果你想要你的認知和評價判斷有經驗上的基礎，在實際上行得通，想要它具有更大的客觀程度和可靠程度，又想擁有彈性以適用於各種變動的情境和脈絡，可以跨越脈絡和情境而有效，不想要你的判斷完全流於偶然或視情況而定（contingent），則你應該考慮使用本書推薦的方法。這是一個條件性的規範，一種工具理性（instrumental rationality）的策略。**

本書確實企圖賦予「結構相似度的比較方法」一個規範性的意義：這是一個我們想向科學家、科學教育家、科學哲學家、科學史家、科技與社會研究學家、一般哲學家，甚至所有能作理性思考的人推薦的一套「科學哲學性的思考方式」(a way of scientific/philosophical thinking)。可是，這套思考方式與它擁有的規範性並不是邏輯經驗論、波柏、拉卡托斯、一些科學實在論者主張的「一般科學方法」或「單一科學理性」，它並不是做為區分科學和非科學的規範性判準，也不是一個強制性的科學研究規則。它是一套認知模式，一套蘊涵在各種科學探究中、隱而未顯的科學認知與判斷樣式 (a pattern of scientific cognition and judgment)。我們在許多科學案例中成功地找出了這個樣式，或者說，本書成功地展示了這套樣式隱藏於許多科學案例中。因此可以說，它是一套蘊涵在人類的科學認知歷程中的隱藏秩序，過去並未明白地被揭示出來。我們也可以說，本書建構了一個科學思考、認知與判斷的模型，它成功地配合許多實際的科學案例——我們使用這套認知模型來模釋實際案例中的科學認知。這是把「模型觀點」反身地應用，能更貼切地說明本書發展的這套「結構相似度之比較」的認知模式。

這是否意謂模型的使用有其規範性的含義？事實上，模型有抽象與理想化兩個特性，它們使得模型似乎同時兼具描述 (description) 與規範 (prescription) 兩種意含。因為模型可以由實際現象抽象而得，因此似乎是抽象地描述了實際現象；然而模型的理想化特徵似乎又具有規範性的涵意，它告訴我們應該怎麼看待現象的運作。可以說「模型」兼具描述與規範兩種意含，但也可以說「模型」這個概念既非描述、也非規範，而是代表了第三種獨立的意含：「模狀」、「模塑」或「模釋」，亦即「在理想

和抽象狀態下，被模塑的事物將會（would）有模型表徵的結構或運作」，以及「一個模型總是有可能被物質落實或具體化」。因為在這個意含下，模型並不是在描述現象實際上如何發生或變動，也不是在告訴我們「現象應該（should）會如何發生」——現象的發生沒有「應不應該」的問題，只有將或不將的可能性。

把「模塑」的概念反身地應用到科學哲學本身時，可以使我們跳出或調和規範方法論和自然主義之間的兩極對立。規範方法論企圖提出一套所謂的科學方法（規則）和評價標準，告訴大家（含科學家）「應該要遵守這套規則和標準，所為的成果才是科學」。自然主義則反之。自然主義者認為科學哲學只能發現科學家實際上如何作科學與科學判斷，描述他們的科學實作、實際推理、理論建構和實際評價與選擇的歷程。那麼，本書提出的乃是「科學模塑、實驗與理論的結構與發展動力」的一套後設模型（meta-models）。我們從歷史上科學家的實作中抽取出一個抽象的結構，我們也主張這個結構是一個理想，我們推薦科學家、哲學家、一般人使用這套模型來看待科學，而且它具有在未來被細節化、具體化、因而被落實的潛能，因此具有干預科學未來發展的潛能。總而言之，本書的理論既是採取自然主義取向、但也是一個規範方法論；然而也可以說，本書的理論並非傳統的規範方法論，也非 1980 年代的自然主義。科哲讀者會問：那麼，是勞丹的「規範自然論」嗎？

勞丹的規範自然論主張對於科學理論的評價，應該由科學家實際設定的目的來決定，這也是一種工具論（instrumentalism）。本書則一再地顯示，我們可以從科學家的實際實驗實作、思考或推理中，抽取出來書揭示的「實作、思考與推理模型」；或者說我們建構的實驗實作、思考與推理模型——以程度性思考為核心

——可以十分密切地配合歷史的實際案例。因此最好的標籤是「模型主義」(modelism)。如果一定要使用自然主義、規範等標籤，我傾向稱之為「自然主義的規範方法論」(naturalistic normative methodology)。

規範的自然論和自然主義的規範方法論都是一種特別的工具論，即認知工具論(cognitive or epistemic instrumentalism)，它既非傳統的先驗規範方法論，也不等於一般、廣義的工具論可稱作「利益工具論」(interest instrumentalism)——蘊涵在所有利害考量的行為中。在利害考量之下，人們會根據有利於達成自己目標的考量來選擇或尋求自己的工具、方法和策略。雖然科學並沒有一個內在、根本或先驗的特定目的(例如說明經驗現象、或追求真理、或準確預測、或解決知識問題、或控制自然等等)：沒有所有科學家都一致追求的共同目的、也不是其它目標都可以被化約到該目的上、更不是其它目標都指向該終極目的。然而，即使科學沒有單一特定的目的，本書堅持科學家實際設定的各種多樣的目的仍然是種類的(generic)，即認知的。因為拉丁文的「科學」(*scientia*)一詞源於希臘文的「知識」或「認識」(*episteme*)，科學家的目的必定屬於「認知種類」的目的，科學實作的目的也指向獲取知識。因此，認知工具論是不同的工具或方法可以被設計來實現不同的認知目的，例如更精確的知識、更具說明力、預測力、控制力、可落實性、廣泛、實用、完整、一致、簡潔的知識——一種具有特定性質或德性(virtues)的知識、有價值的知識(valuable knowledge)。如此，認知目的也就是各種認知價值。科學並不追求瑣碎、日常閒談、人際是非、片段破碎、張家長李家短一類的知識；科學也不追求各種更寬廣的人類目的、非認知的目的，例如政治權力、宗教救贖、藝術美

感、社會福利、道德價值等。雖然科學追求的知識成果可能有助於各種非認知的目的，而非認知的目的也可能影響科學認知的評價或甚至認知價值本身，但是密切相關和互動並不等於相等，我們不能把科學和政治、宗教、藝術、道德和社會福利工作劃上等號，誠然科學與政治、宗教、藝術、道德和社福工作有相似或共同的特徵——例如它們都會受利害考量的影響，但是我們也不能只考慮它們的共同點，而不考慮它們的差異處。總之，認知工具論不是利益工具論。

柒、本書的課題與論點：各章介紹

本書企圖建構一個科學理論與實驗發展與演變的動力模型、一個科學哲學與科學史的理論。它可以被總結成下列主張：(1) 科學理論和實驗的發展共享一個人類家族似的發展樣式，即透過對先行者（親代）結構局部的修改而產生彼此間具有家族相似和歧異的後繼者（子代）。(2) 此發展樣式的原因和動力是科學家對先行理論與實驗作認知評價後、局部修改其內在結構、再發展自己的新版本而造成的。(3) 模型媒介於理論和實驗之間，必須透過模型來分析理論和實驗的內在結構；(4) 理論、模型、實驗與世界兩兩之間的關係，可以透過結構相似程度的比較來進行認知判斷；其比較方法是分析理論、模型和實驗的結構成為組成局部，再比較先行者與後繼者的對應局部的相似性來作判斷；此方法為認知評價提供一個較客觀的參考架構。(5) 科學活動有發現、結構、發展（發育或發生）、變遷、社會環境、規範等多元向度，彼此在不同的脈絡中互相關連，但不能被化約到發現脈絡和證成脈絡的二分架構上。(6) 我們可以**推薦**新的認知評價來引導科學未來的發展。原因和動力的實然與認知評價的應然不斷地

循環互動。

全書的內容在於充分地發展與證明上述命題。

第一章處理一個成熟而完整的科學理論——例如古典力學——如何透過模型來說明實際的現象。本章將以具體理論實例來精煉結構相似度的概念，並提出結構相似度的比較標準。我以兩個古典力學的經典實驗為案例，展示模型（具體化模型）如何把理論（抽象模型）連結到現象上。隨後則定位本書的理論在「模型科哲家族」中的位置，並比較我的版本和其它模型哲學版本之間的同異。比較的基準是下列四個問題：理論如何透過模型而連結到現象上？理論模型與資料模型之間如何配合？中層的模型依賴於理論或可獨立於理論？在理論即模型的觀點下，是否存在有獨立於理論的模型？在模型觀點下，理論如何被檢驗（驗證或否證）？理論能被證明為真或證明為假嗎？不同的模型哲學家對這四個問題有不同的答案，因此形成不同派別或家族。

第二章討論觀察與理論的關係，顯示模型對於理論與現象的媒介並不是單向的，也可以反過來從經驗現象到理論——亦即先從經驗觀察中建立經驗模型，再進行抽象而建構理論模型或建立假設。結果，同一個經驗模型，有可能對應到兩個不同、甚至不相容的高層抽象之理論模型。可是，這不代表回到傳統的「觀察中立於理論」的觀點，而是建議觀察與理論之間有更複雜的關係。我以電磁學為案例，透過古汀的工作，呈現導線產生圓周磁作用的經驗模型，如何從電磁學家的實驗程序中被建構出來。我爭論所謂觀察背負理論的學說（theory-ladenness of observation）必須被弱化解釋：觀察確實預設某個經驗模型，但未必背負高層抽象的理論（模型）。我建議一個以模型為中介的觀察與理論的

互動論 (an interactive theory of observation and theories)：(1) 觀察是個目標導向的行為；(2) 觀察依賴於經驗模型；(3) 觀察預設的經驗模型可能發展出不同的高層理論；(4) 觀察的行為歷程是觀察者投射出一個經驗模型做為目標，此目標引導觀察者賦予感官訊息秩序，並作指認與判斷；(5) 某些科學現象是實驗行為的建構。

第三章探討「理論如何被檢驗」這個科哲傳統的核心問題，把焦點放在由實驗提供的經驗證據如何檢驗理論之上。由於本書是透過模型來刻劃理論和實驗，亦即模型中介於理論和實驗之間，並透過結構相似度來測量模型與模型之間的配合，那麼理論如何被實驗提供的證據檢驗呢？我論證理論必須透過具體化模型才能設計實驗模型，並連結到經驗現象上，由於理論模型的高度抽象，即使一個具體化模型與資料有令人滿意的配合，也無法推出理論模型已完全得到印證，科學家總是可以懷疑理論模型是否能配合其它資料或現象；另一方面，一些理論可以導出許多得到印證的具體化模型，使得科學家對該理論有十足信心，即使遇到反例，也不會認為理論已被否證。這種既受懷疑又無法被否證的情況，我稱為「理論的局部決定」(partial determination of theory)，本章也討論這個論點與傳統的「不足決定論」(the underdetermination thesis) 之同異。在分析「不足決定論」幾種版本以及宣稱可以擊敗不足決定論的論證之後，我作出結論：局部決定論相當於杜恩版的不足決定論，而且不會被所謂的反不足決定論所擊敗。

第四章的主題是理論與模型的發展動力。如果理論總是包含一個模型族群，模型是理論的基本構成元素，則探討理論的發展要透過考察模型的發展來進行。前三章顯示模型的發展有一個共

享的模式：建構模型來與資料和現象作比較、修正可用模型、拋棄舊模型、建構新模型。問題是：科學家如何決定要作修正、拋棄或建構新模型？答案是科學家對模型的認知評價。如果修正、拋棄和新建構代表了模型發展的軌跡，則科學家的認知評價就是模型發展的原因或動力。如果模型的發展代表理論的發展，**科學家的認知評價也就是理論發展的關鍵動力**，它可以說明為什麼模型和理論會有那樣的發展軌跡。雖然認知評價是關鍵的原因，卻不是唯一的原因，科學發展還有其它因素：理論與模釋的技能（由理論與模型潛能來代表）、經驗拘束、社會資源與社會拘束，一起構成一個因果機制，推動理論與模型沿著一定軌跡而發展。本章以十六到十七世紀的近代古典科學革命為例，展示本章的動力模型可以密切地配合這段歷史。

第五章從理論和模型轉入實驗。主要內容在於批判科學知識與實驗的社會學——今天 SS 的主流理論，它的哲學立場一般稱作「社會建構論」。社會建構論將孔恩的科學變遷理論往社會的方向推進一步，針對科學發展的動力，提出一個以社會利益（social interests）為核心因素的因果說明。聚焦在理論知識上的布洛爾（David Bloor）和巴恩斯（Barry Barnes）的強方案（strong program）以及聚焦在實驗上的謝平和夏佛的《巨怪和空氣泵浦：霍布斯、波以爾與實驗生活》（*Leviathan and Air Pump: Hobbes, Boyle and Experimental Life*）是本章的標靶。本章指出強方案的理論架構有三大困難：（1）interest 概念的含糊和歧義；（2）強方案反身應用的困難；（3）事實是經驗拘束，其建構來自經驗的結構，不能被理解為成規。針對《巨怪和空氣泵浦》一書，我爭論作者為了將波以爾和霍布斯的爭議強塞入強方案的理論框架內，動用一套修辭技術，但是其敘事上有許多內在

矛盾和漏洞。我也指出《巨怪和空氣泵浦》對於實驗複製的分析同樣問題重重。最後為了證明強方案的錯誤方向，我把第四章提出的理論發展之動力模型擴張到實作（包括理論化、模塑和實驗）上，並據此為波以爾、霍布斯加上惠更斯的競爭提出一個新敘事。

第六章爭論「認知與價值」範疇在說明事實的形成與科學的發展上，相對於「利益、成規、權力、同盟、網絡」等社會範疇而言，具有優先性。這不是如傳統科哲般排除後一組範疇在說明科學發展上的因果效力，而是認知與價值具有核心、主導、內在的地位，透過認知與價值的中介，社會因素才能對事實的形成與科學的發展，產生因果影響。本書接受「認知」、「社會」、「事實」、「價值」、「真實」、「理想」、「描述」、「規範」、「客體」、「主體」這些傳統基本範疇的區分，但主張它們彼此間並不是截然分明的，我們總是可以模型來媒介其間，構成程度性、光譜性的連續範疇。在連續之間，我們仍然可以用明確的典型或原型來區分兩者，而且兩個不同的範疇原型之間以某種複雜的方式或機制彼此互動。行為者網絡理論是一個企圖消除（eliminate）上述一系列二分法、並提出「行為者網絡」來取代它們的 STS 理論，本章爭論這個理論可以適用於很多領域，但就是不適用於科學。本章評論指出研究建構中的科學（science in making）無法不涉及已建構的科學（ready science），並繼續論證事實與價值的互動論，探討「認知價值」與「社會價值」的區分，爭論認知價值的核心理性，並得到科學行為者必定是評價者的結論。

第七章針對實驗複製的問題。實驗必須具有可複製性（replicability）似乎是科學家的一個共識，也是邏輯經驗論和否證論的共同主張：一個實驗結果，在原則上，要由不同的人、在

不同的地區、不同的實驗條件，才具驗證理論的價值。問題是如何理解實驗的可複製性？這個問題又可拆成：什麼樣才算是複製了一個實驗？是執行一個一模一樣的實驗嗎？如果工具和操作過程不一樣，還能說是複製嗎？基於結構相似度的思考方式，我主張我們可以透過實驗模型的分析來比較其結構相似度，透過對應成分的相似性之比較，再綜合得到整體結構的相似度。本章先以工具－目的的關係來分析實驗行為的基本結構，包括背景觀念、實驗模型和物質落實，繼而分析實驗模型的內在結構，得到實驗模型是由問題、對象、裝備、控制、運作、收集和預測這七個項目構成的。比較原初實驗模型和複製實驗模型各個成分項目間的相似性，可以得到兩個實驗模型的結構相似度。這相似度就是複製者對於原版的複製程度。最後，本章使用這些觀念來考察陰極射線（cathode rays）實驗複製的案例。

第八章延續第七章討論實驗複製的進一步問題，包含實驗的檢驗、推論與傳遞。本章以傳統的歸納問題開場，把歸納問題連結到實驗的複製問題上。科學哲學的歸納問題是指「普遍定律不能使用經驗歸納來證成？」波柏主張使用「假設一個通則再加以檢驗」的方法學規則來解決這個問題，可是波柏的答案預設了實驗的可複製性和檢驗實驗的需求，那麼要如何複製一個實驗以便檢驗它？科學家要如何根據一個實驗與它的複製實驗之結果來從事理論的檢驗？換言之，科學家要如何作實驗推論？我爭論科學家不是使用歸納法來作實驗推論，也不是用歸納法來證成一個普遍定律，科學家其實是用投射推論來推出一個跨脈絡的通則（cross-contextual generalization）。科技與社會學家柯林斯曾對於實驗複製問題及「實驗者的無限後退」（experimenter's infinite regress）問題提出一個「社會學解決」，並應用默會知識（tacit

knowledge) 和權威來說明實驗的學習與傳遞，我再次論證社會學解決反而會製造出更多問題。

第九章探討實驗發現做為一種科學發現。什麼是實驗發現？如何確認一個由實驗而來的發現是真正的發現？實驗發現（或科學發現）的資格是什麼？理論在實驗發現中的角色又是什麼？本章先簡介「證據主義」(evidentialism) 和「典範論」(paradigm theory) 兩種科學發現觀，然後指出被尊為古典遺傳學創始人的孟德爾 (Gregor Mendel, 1822-1884) 的豌豆實驗對兩個立場都構成挑戰。一些科學史家主張孟德爾並未發現所謂的孟德爾遺傳定律，我接受這個觀點。如此就產生了「孟德爾遺傳定律是誰發現的？為什麼還會有孟德爾定律再發現的說法？孟德爾本人究竟發現了什麼？他對科學的貢獻何在？」這些歷史問題。第九章回答後兩個問題，第十一章回答前兩個問題。這些歷史問題的回答，依賴於科學發現的哲學問題之回答。所以，本章提出一個「模型基礎的實驗發現」觀點，同時解決實驗發現的科哲問題，以便回答上述歷史問題，合理地交代孟德爾的實驗在古典遺傳學的歷史位置。本章也展示了孟德爾的發現故事，體現了一個實驗發現的典型，並企圖界定實驗發現的重要特徵或本質。

第十章的目的在於發掘科學實驗發展的秩序或樣式，並提出一個輻射模型 (radial model) 來描述。我首先評論兩位科學史家蓋利森和任伯格的實驗發展模型，分辨他們更關心實驗對象與工具的演變，與本書重視的實驗行為為焦點不同。本書認為如同理論發展一般，實驗行為的發展也必須透過其結構的分析來追蹤與發掘。既然第七章已提出實驗行為的結構和實驗模型的觀念，本章便據以建立一個追蹤實驗發展軌跡或路徑的運動學 (kinematics)。透過界定原型實驗與衍生實驗的概念，再根據實

驗的結構來考察兩者間的傳衍關係，繼而辨識八種基本傳衍關係。不同的傳衍關係代表了不同的發展路徑，其間更存在許許多多的變異，原型實驗與衍生實驗間不同的傳衍關係與變異，使得科學實驗的發展呈現出輻射狀——即「實驗發展的輻射模型」。我展示此模型能適切地說明十八世紀近代電學實驗的歷史，特別聚焦在兩個近代電學工具——起電機（electric machine）與萊頓瓶（Leiden jar）——的實驗發展，並考察這些實驗如何催生富蘭克林的電流體理論。

第十一章同時是第九章與第十章的續集。在理論架構的面向上，把第十章提出的輻射發展模型，應用到第九章的古典遺傳學案例。但是，我進一步把輻射模型與理論版本的家族發展模型加以整合，形成一個理論與實驗交織發展的整合圖像。我也著力顯示育種遺傳實驗如何建構古典遺傳學這個學科領域——它被展現在古典遺傳學的實驗、經驗模型的建立、理論假設的提出與競爭、異例產生、新實驗的設計與執行、新版本的提出，如此等等。在歷史的部分，本章也解決第九章遺留的兩個問題：孟德爾遺傳定律是誰發現的、該如何理解孟德爾遺傳定律的「再發現」。本章最後指認出三種理論與實驗的發展樣式：理論主導、實驗主導、理論與實驗的交織發展。

第十二章繼續前章的討論，企圖提出一個實驗發展的動力模型，一方面將第五章發展的理論與實作之認知社會因果機制應用到實驗上——這也是一個實驗發展的行為人基礎的動力模型；另一方面指認實驗特有的行為動機和目的：落實背景觀念與解決實驗異例。兩者都是造成重做實驗、衍生實驗與實驗播散的實驗者（行為人）基本目的，也就是推動實驗發展的動力因素。我們也展示本章提議的動力模型，相當高程度地配合古典遺傳學主要的

實驗發展。

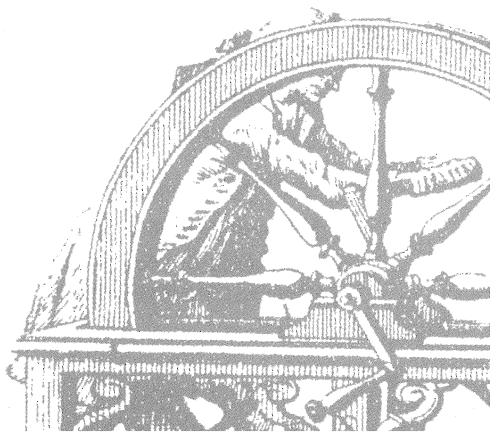
最後，本書的結論將建議一個整合科學模型、理論與實驗的科史哲理論，並延伸到更廣泛的信念與行為的課題上。

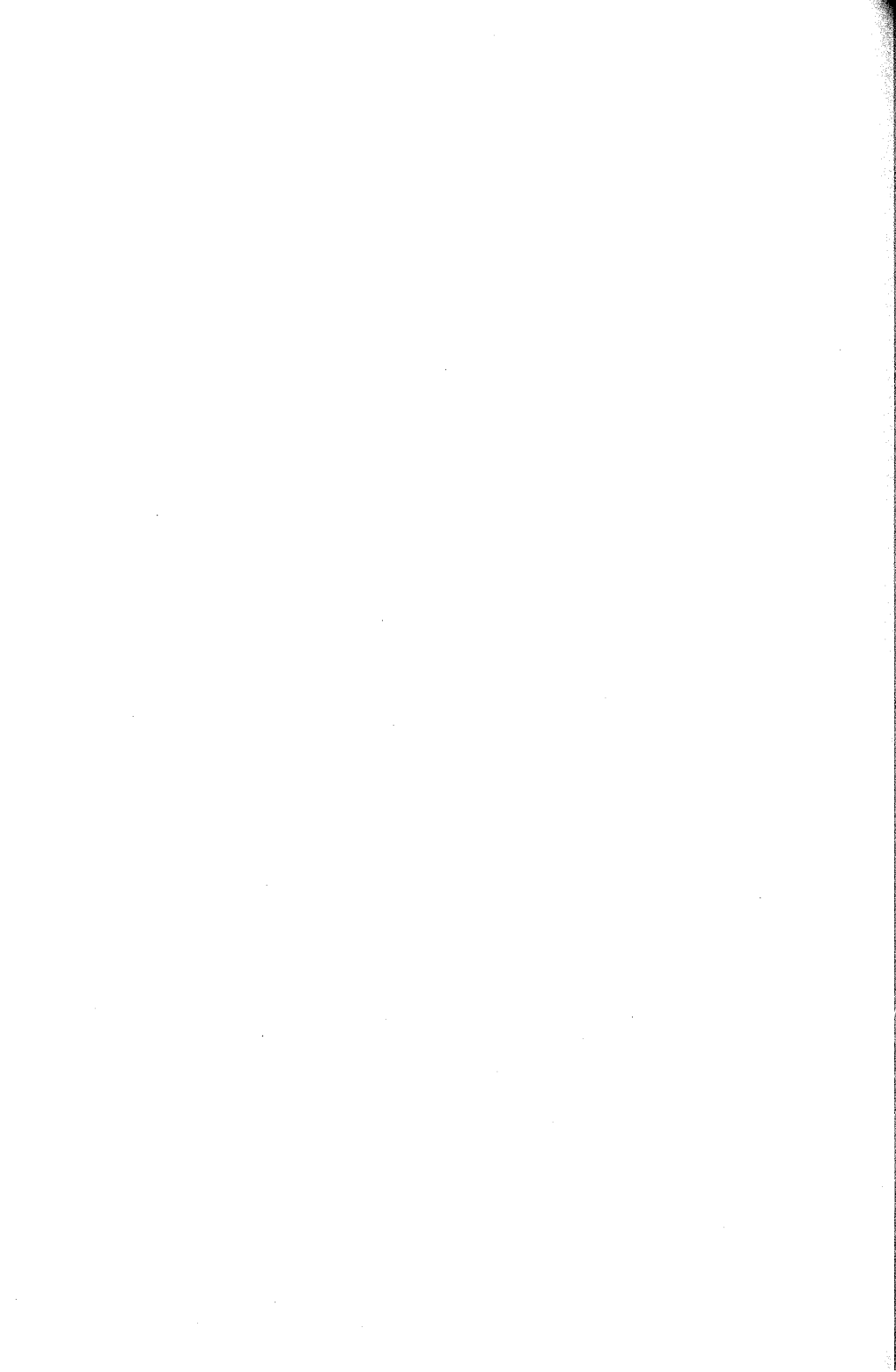
Cognition and Evaluation

A Dynamics of
Scientific Theories and
Experiments

第一部分

模型與理論





第一章

從理論到現象

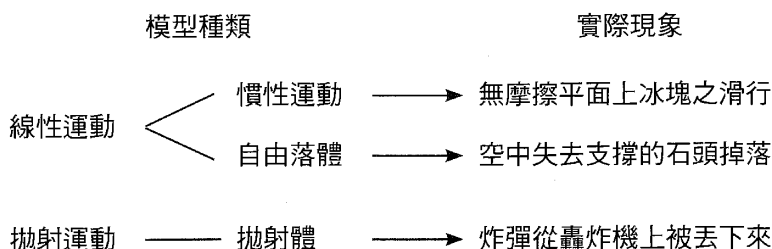
模型間的配合

壹、理論的具體化

一個像古典力學這種完整的科學理論，其說明現象的方式是建構一個模型家族的家族或模型族群。所有科學理論都有它的主題——某種現象——例如「運動」是古典力學的主題。古典力學對運動現象的說明，就是透過模型族群對運動現象的模釋。更進一步地說，古典力學理論是這樣一種理論：它對於運動現象具有「理論優勢」(theory-dominant)的特性——亦即，我們是將力學模型的分類套用在現象的分類上。¹ 當我們談論實際現象領域中的運動時，我們必定意指某種物體或物體系統的運動。然而，運動中的物體之種類是無限的，運動的類型也是無限的。我們不可能針對每一個物體所產生的每一個運動都提出一個特別的說明。科學家總是企圖去找出隱藏在多元且複雜的現象背後之秩序，他們由設計單一模型或者發明一個包括模型族群的理論來達成這個目標。這個模型族群蘊涵了一個樹狀的分類層級秩序；進

1 韓森 (N. R. Hanson) 有類似的評論：「……但有時物理學家所關切的動力學系統，其內部沒有任何東西能否證定律，因為定律決定了系統所能應用的現象之類型。」(Hanson 1965: 103) 差異只在於韓森不是從模型觀點來作出他的評論。

一步來說，這秩序可以被視為模釋了科學家想追求的實際現象之秩序。透過此一層級秩序，可以知道究竟在現象王國中，有多少種類的運動。我們也能由此而指認或確認某一定種類的運動。通常我們以為一個實際運動種類的名稱，其實是某個理論內的某個模型種類之名稱，例如我們有時會說這個彈簧正在進行諧振運動（harmonic motion）、地球正在進行繞太陽的循環運動（circular motion）等等，其中的諧振運動、循環運動都是模型種類而非實際運動種類的名稱。換句話說，一個實際現象的樹狀分類，是參考模釋它的模型之樹狀分類，才能被建立起來。如下例所示。



在這個架構中，線性運動和拋射運動又都屬於受力運動，受力運動是一個龐大的種類，由牛頓第二運動定律來說明。這意味著，第二運動定律包含了一個龐大的模型族群，以說明所有受力運動這個龐大的現象種類，正如「生命」的抽象定義可以描述生命之下的龐大生物分類系統。可是，任何一個種類也都可以被當成一個個體來看待，因此我們也可以說牛頓第二運動定律描述了一個高度抽象的模型，它是許多模型種類的抽象、也是典型或代表。傳統上，牛頓第二運動定律本身 $F=ma$ 被視為「(力學)原理」，所以我們也稱牛頓第二運動定律對應的抽象模型是原理模型 (principal models)。而牛頓力學理論就是由牛頓三大運動定律 (語言表述)，與其描述的所有模型族群一起構成的。顯然牛

頓力學理論是一個多階層的理论系統，每一階層由幾個模型種類或家族構成的，每個模型種類或家族又都可被視為一個個體，代表一個抽象的模型，但其抽象程度沒有原理那麼高。每個抽象的模型又可由一個定理來描述。這些定理是可由第二運動定律導出的次定理。所有屬於牛頓力學理論的模型，都是理論中的模型（models in theories）。一個理論也就是透過理論中的模型之媒介，才能說明實際現象。

古典力學理論如何說明像月球環繞地球轉動或小孩手上被繩子綁住而迴旋的石頭這類實際現象呢？透過建立循環運動這種具體化模型（concretized model）來模釋它們。該怎麼做呢？首先，石頭必須被視為一個擁有質量、卻不占空間的單純質量點（mass-point），也就是說，它的種種其它特徵如形狀、體積、大小、硬度都必須被忽略。其次，連結石頭和固定點的繩子必須被視為一個非具體的連結，沿著緊繃的繩子方向，有一個向心力指向做為圓心的固定點；第三，從固定點到石頭的繩長，必須被處理為質點所運轉的圓周軌道之半徑。如此，一個綁在繩上迴旋的石頭之模型，就是一個想像的質點，以一定速度繞著有一定半徑的幾何圓形。因為這模型的成分是想像或抽象的，所以，我們可以很恰當地說模型是一個物件的抽象系統或者稱作抽象物件的系統。而在抽象物件系統和實際的運動現象之間存在一個模釋關係（modeling relation）。這個模釋關係，也是一種結構相似關係或結構相似性。

結構相似關係是兩個基本對應：第一個對應是一個抽象物件系統中的變量（variables；即質點、向心力、圓周軌道、質點速度、週期等）和實際系統中的局部或性質（如石頭、繩子張力、石頭在空中迴旋經過的路徑、石頭速度、繞一圈所花費的時間

等)之間的對應；第二個對應是「變量關係或函數」和「局部或性質間的關係或共變關係(covariance)²」的對應。一般而言，在實際的物件系統中，局部和性質在理論上是難以計數的，因為我們總是可以無限分割局部，並且以無限種角度來觀察它們，以獲得無數種性質。可是，並非所有的局部或性質都有可能加以實際測量，那種可以被測量的局部或性質，我們稱作可測量的量(measurable quantities)，簡稱可測量。一個好的或有力的理論，可以增加一個實際系統的可測量，這等於是說理論本身的變量數目也要增加，才能產生對應和結構相似性。但是一個好的或有力的理論，也必須要夠普遍才能說明廣泛的現象，換言之，它的變量又不能太多，否則很難建立周全的變量關係或函數，也無法應用到其它系統上。在科學史上，科學家尋求一種理論，它的變量少、關係和函數簡單(所以簡潔又普遍)，但它又可以被具體化(concretized)，以增加變量來對應系統增加的可測量。

如同上述一個高度抽象的理論，描述一個高度抽象的模型，它本身也可以和實際的物件系統有所對應，亦即有一個結構相似性。可是，如果該理論要對實際現象產生一個好的處理(說明和計算)，它必須被具體化，也就是建立更具體的模型。更具體的模型與實際物件系統之間，有更多對應，也就是更大的結構相似性，這蘊涵了結構相似度的觀念。例如牛頓第二運動定律 $F=ma$ 也可以抽象地模釋一個綁在繩上的石頭，繞著繩子一端的固定點而迴旋。可是，描述高度抽象模型的第二運動定律，與具體石頭系統之間的結構相似性就只能產生四項對應：F 對應到石頭的受

2 共變關係(或單純作「共變」)可以說是一種動態關係，亦即兩個性質有某種關連，當其中之一產生改變時，另一會隨之而變動，而且改變的程度有一個固定的模式——這個模式可以用數學函數來表達。

力合力、 m 對應到石頭的質量、 a 對應到石頭的加速度、 $F=ma$ 的相等關係對應到石頭的受力合力等於石頭質量和其加速度的乘積。然而，石頭的受力合力如何計算？其加速度又如何測量和計算（我們只能測量其在軌道上的速率）？相等關係如何建立？單單第二運動定律這個公式本身，無法套用到迴旋石頭系統中，以形成任何可計算的答案。

如果我們考慮石頭的迴旋，類似在圓周軌道直徑兩端來回的運動，石頭在直徑兩端分別受到方向相反的最大拉力，石頭本身又有一沿切線方向運動的速度，在圓周上的每一點，石頭受到的水平方向拉力則是繩子張力的分量，如圖 1-1 所示。那麼，就可以發現石頭的圓周運動與往復運動的幾個相關公式 $F_x=T\cos\theta$ 、 $V_x=V\sin\theta$ 、 $a_x=V\sin\theta/t$ 所描述的抽象模型有更大的結構相似性。其中， T 指繩子的張力、 F_x 指 T 在水平方向上的分力； V_x 、 a_x 分別指旋轉質點在 x 軸上的分量（分速度、分加速度）。如此我們至少可把 $F_x=ma_x$ 這個公式套用到迴旋石頭的系統上，計算出石頭在圓周軌道上每一點的 x 軸向分力等於質量乘上 x 軸上的加速度。這時，這個模型的應用，可以大幅增加實際系統的可測量。

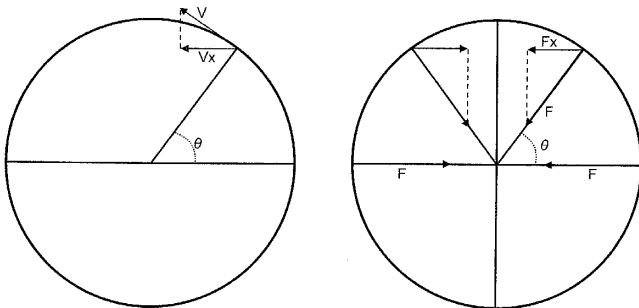


圖 1-1 左圖是迴旋石頭的抽象幾何模型；右圖使用抽象幾何模型來分析往復運動。

現在讓我們稱高度抽象的理論模型 $F=ma$ 和迴旋石頭系統之間的結構相似度為 $S1$ ；往復運動模型與迴旋石頭系統間的結構相似度為 $S2$ 。則我們可以使用下列技術來比較 $S1$ 與 $S2$ 的程度高低。

(S1)

$F=ma$	迴旋石頭系統
F	受力合力
m	石頭質量
V	石頭在圓周上的速率
a	石頭在圓周上的加速度(無法建立與計算)
t	花費時間間隔
$F=ma$	無(無法建立與計算)

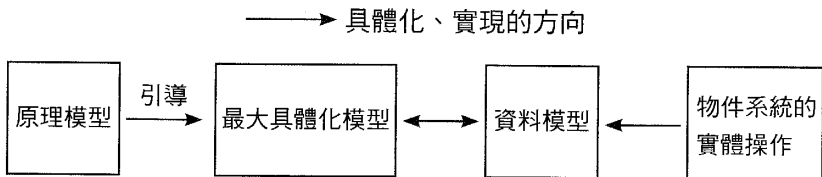
(S2)

往復運動	迴旋石頭系統
F	繩子張力
m	石頭質量
V	石頭在圓周上的速率
a	石頭在圓周上的加速度
t	花費時間間隔
F_x	繩子在 x 軸向上的分力
V_x	石頭在 x 軸向上的分速度
a_x	石頭在 x 軸向上的分加速度
$F_x=ma_x$	可計算分力、質量與分加速度的乘積

顯然，往復運動模型對於迴旋石頭系統作了更詳細的分析，產生更多變量與更多可測量與兩者間的對應，以及變量關係與性質關係間的對應。這表示它們的結構相似度要高於第二運動定律這抽象模型與迴旋石頭系統的結構相似度。往復運動模型乃是以

第二運動定律為基礎而建構或演繹出來的，也是把第二運動定律的抽象性予以逐步具體化（gradual concretization）。

如果逐步地具體化一個理論，使得該理論模型與具體的物件系統間達到最大結構相似度（maximized degree of structural similarity）或最大配合度（maximized degree of fitness）時，我們稱這模型為最大具體化模型（maximally concretized model）。一個最大具體化模型可以將被模釋的系統之可測量極大化，並使得模型的每個變量，都能對應到具體的物件系統所有相關的可測量——這些可測量構成一個物件系統的資料模型，而且最大具體化模型中的每個變量間的關係與函數，都能對應到資料模型的每個可測量的關係和共變，這時此最大具體化模型準同構於（be quasi-isomorphic to）該資料模型。我們也說該最大具體化模型被實現（actualized）了，描述它的定理與它所隸屬的理論有一個實現例（actualizing instance）。進一步說，如果物件系統的可測量之測得數值，代入最大具體化模型中的變量關係和函數（由「定理」來表達時），可以滿足該定理（通常是一個等式），則此時此最大具體化模型被印證（confirmed）了。實現與印證的差別在於：實現考慮的是結構性的對應，而印證則考慮量的吻合。如下所示：



如同前述，一個理論或理論版本有一個分類的模型族群以及一個相應的分類定理系統，就有高層與低層模型與定理。描述

高層模型家族的高層定理，乃是透過描述低層模型種類的低層定理，才能更恰當地量化實際世界。低層定理則藉由其對應的具體化模型之媒介，才能對實際現象給出一個具體的說明。這也等於說，高層的理论原理和理論模型需要透過具體化模型的媒介，才能觸及實際現象。舉例言之，屬於高層模型的線性運動，必須被再分類成低層模型，諸如沿直線的慣性運動、自由落體運動、拋物線運動等，藉此線性運動才能說明實際現象。如果這些低層模型與它們所說明的現象之資料模型間，有一個最大的結構相似性，則我們說這個理論部分實現（partially actualized）了。如果該理論的其它低層模型沒有產生與所待說明的現象之間的最大結構相似性時，則我們說該理論在該現象並未被實現，雖然前者仍然有可能粗略地說明後者。除非線性運動的軌道和受力情況已經被決定，比如說不受力質點的水平移動、自由落體的垂直掉落、投擲物體的拋物線等等，否則我們無法產生這些實際物件系統的最大具體化模型。然而一旦這些條件滿足了，也就等於是將高層模型加以具體化。可以說，根據邏輯秩序，一個高層模型可以對具體物件有更為抽象的模釋，但它本身並未被實現。換言之，如果一個高層的理论模型可以產生某個現象系統的最大具體化模型時，我們才會說此理論模型在該現象上被實現了。實現因此由最大具體化模型的出現來定義。

貳、原理模型、具體化模型和資料模型間的相互配合

以圓周循環運動來說明綁在繩上迴旋的石頭，可以說是單純由第二運動定律導出的模型來說明具體現象。因為描述圓周循環運動的定理，乃是第二運動定律的子定理。可是，很多自然現象或運動十分複雜，為了模釋它們，我們建構的具體化模型，並不

是直接從原理模型導出，而是必須將兩個以上的模型加以組合，如此得到的結果並不是高層模型的直接具體化，因此我們稱之為複合具體化模型（compositely concretized model）。大部分的科學實驗所應用的實驗模型，預設了一個複合具體化模型。再者，描述複合具體化模型的定理，也不是直接從原理來導出，而是必須經過定理的合成。十八世紀英國科學家阿特武德（George Atwood, 1745-1807）設計的阿特武德機（Atwood's machine）是一個好例子。³

一個單滑輪的阿特武德機本身是一個實驗模型，可以具體地進行實驗。它由兩個不同質量的物體 m 和 M ，分別懸吊在一條理想繩子兩端，繩子繞過一個無摩擦的滑輪（阿特武德機模型，見圖 1-2，其實體參看圖 1-3）。當兩個物體的支撐被移除時，由於所受重力之差距，較大質量的物體將會落下，同時把另一物體向上拉。說明阿特武德機運作的理論模型則是由一個旋轉運動（滑輪）、一個受到繩子向上拉力的下降運動（較大質量的物體 M ，這不是自由落體運動），以及沿直線的上升運動（較小質量的物體 m ）共同組成的。描述此模型的定理或公式也是一個定理的複合，因為大質量物體 M 和小質量物體 m 由繩子連接，形成一個物體系統，因此必須同時考慮這整個物體系統的總受力合力，即 $F=Mg-mg$ （ g 是重力加速度），如此整個系統的加速度 a_s 、受力合力和系統質量 $M+m$ ，有一個等式關係 $F=(M+m)a_s$ ，代換後可計算出系統加速度。

3 阿特武德將他的實驗發表在 *A Treatise on the Rectilinear Motion and Rotation of Bodies, with a Description of Original Experiments Relative to the Subject* (Atwood 1784)，參看 Greenslade (1985)。Hanson (1965: 99-104) 對阿特武德機是否驗證了牛頓第二運動定律，作了頗詳盡的討論。

$$a_s = g(M-m)/(M+m)$$

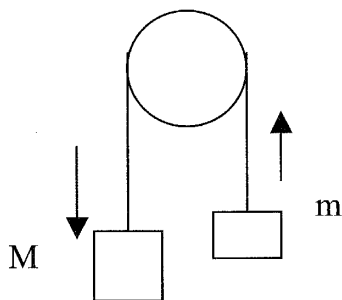


圖 1-2 阿特武德機的具體化模型簡圖

這個所謂阿特武德機的「理論模型」，其實就是牛頓力學原理（第二運動定律）的具體化模型，傳統上，阿特武德機被認為是一個驗證牛頓第二運動定律的實驗，科學家關心的只是物體的加速度和質量等關係是否吻合牛頓第二運動定律的計算。因此，單此考慮兩物體的上升下降運動時，阿特武德機模型被認為是由原理「導出」的模型，因為它的每個相關變量，都可以在原理模型中找到對應。可是，阿特武德機模型與牛頓力學的原理模型之間，仍然只是結構相似性而已，因為阿特武德機的滑輪運動，不能由牛頓力學原理來直接處理，而是原理必須再導出圓周運動模型之後，才能對應到。如下所示：

牛頓力學原理模型	阿特武德機模型
F	F (Mg, mg, Mg-mg)
m	M, m
a	g, a_s
F=ma	$Mg-mg=(M+m)a_s$
?	滑輪圓周運動模型

即使考慮滑輪運動的阿特武德機模型，比之於阿特武德機的實體模型（如圖 1-3），仍然具有相當的抽象性。因為阿特武德機的實體模型，不是只有實驗主體，還包括了計時裝置（擁有擺錘）與尺規——它們是用來輸出資料的裝置。這些裝置的運作也有其模型，它們並沒有被納入阿特武德機的理论模型內。

換言之，阿特武德機的理论模型和阿特武德機的實體模型（可以產生一個資料模型），同樣也只是結構相似性而已。另一方面，阿特武德機的資料模型，其實是被阿特武德機的理论模型所支配了，因為科學家認為阿特武德機的目的是在驗證牛頓第二

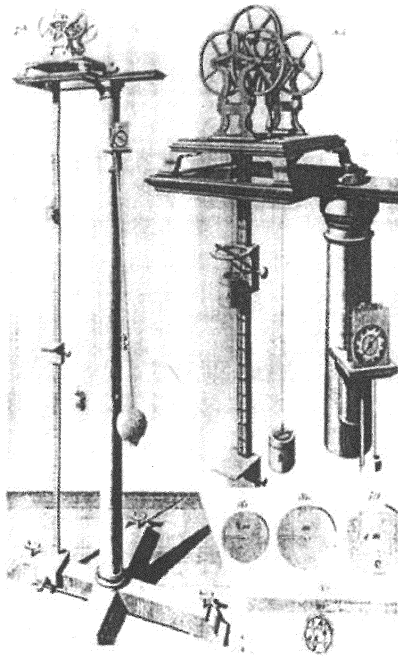


圖 1-3 阿特武德機原型實體圖
（來源：Atwood 1784）

運動定律，故只需產生相關的測量資料即可，換言之，只需進行 M 、 m 、 g 、 t 這幾個量的測量。至於滑輪的運動狀況，與目的無關，因此不被納入理論模型內。一般而言，滑輪被假想是無摩擦力的理想滑輪，才能使阿特武德機的公式計算較為容易。可是，事實上，滑輪與繞過滑輪的繩子之間的摩擦力，可能會影響計算的數字。因此，阿特武德機的實際資料模型，總是無法省略摩擦力，其理論模型與資料模型之比較如下表：

阿特武德機

理論模型	資料模型
M	M
m	m
g	g
a_s	a_s ($a_s = V_s/t$, $V_s = s/t$)
	t (運動 S 花費的時間)
	S (上升下降距離)
圓周運動	滑輪運動 (不考慮)
	摩擦 (不測量)
$a_s = g(M-m)/(M+m)$	實測值的計算

比較從牛頓力學原理模型，到具體化的阿特武德機理論模型，再到其資料模型，我們可以看到「具體化」的進行方式，也可以明白看到諸模型間的結構相似性。

卡文迪士 (Henry Cavendish, 1731-1810) 的轉矩天平 (Cavendish's torsion balance) 預設另一類型的複合具體化模型，它是牛頓力學模型與幾何光學模型的組合。轉矩天平據說被設計來測量地球的質量 (要先測出萬有引力常數)，或者被說是要檢驗萬有引力定律。因此它所相關的理論原理就是牛頓萬有引力定

律。其原型見圖 1-4：

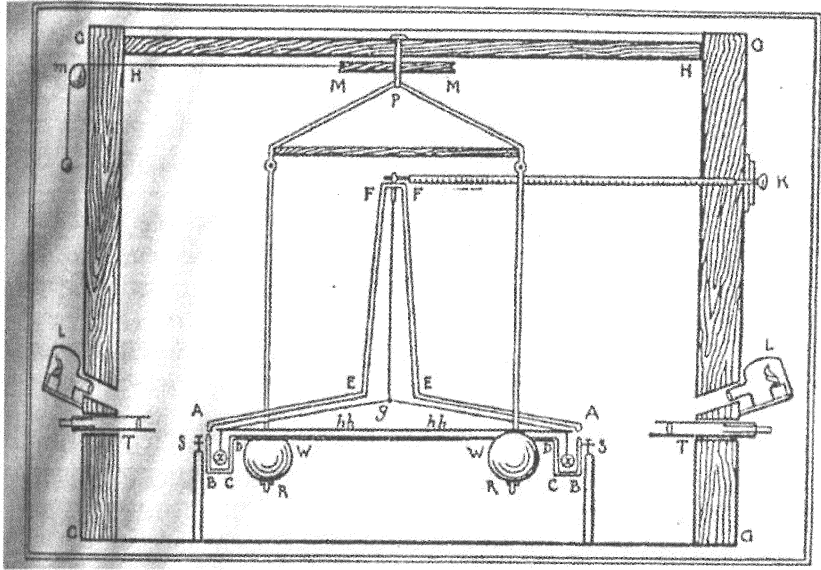


圖 1-4 卡文迪士轉矩天平原型平面結構圖
(來源：Cavendish 轉引自 Wolf 1999[1938]: 113)

轉矩天平的構造是：一根幾近無重的細桿，兩端是質量同為 m 的金屬球體，細桿中段由一條石英纖維懸垂起來，桿上附有一面反射鏡。置放兩個質量 M 的大金屬球體在質量 m 的小金屬球附近的固定位置上。如果萬有引力存在，則大金屬球將吸引小金屬球，造成細桿的轉動。然後置一個固定光源放射光線照射反射鏡，當細桿小幅轉動時，將帶動反射鏡轉動造成光線反射角度的變動。透過望遠鏡觀察反射光線的角度變動，就可以顯示小金屬球是否受到大金屬球的吸引。其結構簡圖見圖 1-5：

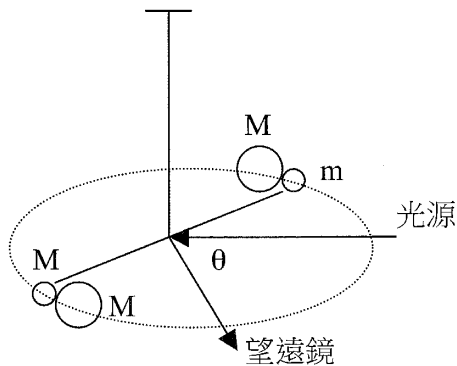


圖 1-5 卡文迪士轉矩天平的示意圖

分析轉矩天平的實體，我們會發現它的運作包含一個非常小距離的線性運動、一個槓桿作非常小角度的旋轉運動，以及由光反射角度來偵測是否鏡子旋轉的光反射現象。如此一來，雖然轉矩天平運作的理論模型主要是牛頓重力定律描述的模型，但這個模型仍然必須被具體化才能配合轉矩天平的實體操作。這個具體化的模型組合了重力定律模型、槓桿繞著圓心支點旋轉的模型、光反射角度的幾何光學模型。然而，重點在於是否槓桿兩端的小球移動造成了槓桿旋轉？如果槓桿旋轉，則表示小球有移動，如果沒有旋轉，則表示小球沒有移動。而槓桿究竟有沒有旋轉，要看鏡子對光的反射之角度偏移來判斷。因此，反射光線的角度偏移只是一個輔助模型，幫助我們觀察到鏡子的旋轉，以及透過偏轉角度大小來計算小球移動的距離，進而計算萬有引力的相關量。總之，轉矩天平的具體化模型和實體提供的資料模型之間的結構相似性，可以被展示如下：

具體化模型	資料模型
M	大鉛球質量
m	小鉛球質量
U (萬有引力)	兩鉛球間的引力
$U = Km$	引力與小鉛球質量成正比 (大鉛球固定)
$K (=GM/r^2)$	可計算
G (萬有引力常數)	可計算
r (M 與 m 的距離)	小鉛球與大鉛球的距離
l (槓桿半徑)	槓桿半長
θ (槓桿偏轉角度)	槓桿偏轉角度
$r = 2\pi l\theta$	可計算
	石英線扭力
	光源投射光
	光反射 (望遠鏡接收)
	尺規 (反射角度測量標準)

這表示在幾何光學模型的部分，光學模型被濃縮在 θ 這個變量和 $r=2\pi l\theta$ 這個等式關係上，像石英線扭力、光源投射光線、光反射、尺規等，在光學模型中沒有變量來對應。

阿特武德機和轉矩天平都是用來實驗的工具實體。如果我們檢視具體化模型與實驗裝備實體，例如圖 1-2 與圖 1-3，我們可以發現兩者的「結構」在直觀上畢竟仍有差距，在阿特武德機的實體中，測量物體下落速度和加速度的裝置是必要的零件——即是資料測量系統，但具體化模型則沒有納入這個次系統。如何從具體化模型到實驗實體呢？科學家必須先確立這個實驗的目的何在？要實驗什麼對象？要使用什麼樣的工具實體？要如何操作工

具？要如何蒐集工具與實驗對象互動產生的資料？這些問題都是在實驗之前必須先發問的，這意味著，我們需要一個銜接具體化模型和實驗實體的中介——實驗模型。實驗模型引導我們去設計實驗工具、操作工具和實質地從事實驗。換言之，圖 1-2 只是圖像式的具體化模型，而圖 1-3 則是實驗工具的體現。同樣地，圖 1-4 是轉矩天平的結構圖，而圖 1-5 是轉矩天平的實驗工具圖，但它們都圖像性地表徵了轉矩天平的實體，是轉矩天平實驗模型的一部分。關於「實驗模型」的概念，讓我們留待第七章作進一步的分析。

參、結構相似程度的比較

前兩節我們已經利用幾個牛頓力學理論的具體案例如迴旋石頭、阿特武德機、轉矩天平，詳細展示了理論如何透過具體化模型的媒介，而建立起和資料模型之間的配合關係。我們也展示所有的配合都是程度性的，亦即是一種結構相似度。我們進一步展示結構相似度的比較的可能性：簡單地比較相關變量與關係和函數之間的對應數量，或者相關變量、函數與相關可測量和計算之間的對應數量。例如從牛頓力學原理模型到阿特武德機模型的結構相似度，小於阿特武德機模型與其實體間的結構相似性。我們也說這是一個牛頓力學原理的具體化，展現了牛頓力學理論的具體化程度——這個具體化程度又由阿特武德機模型與阿特武德機實體間的結構相似度來衡量。

因此，結構相似度的一種比較方法是簡單數量比較法：

(SMI) 首先，兩個模型之間的結構相似程度 SS 是兩個模型之間的每個變量、關係與函數之間的對應數量 $N(SS)$ 。進

一步兩個不同的結構相似性程度 SS 和 SS' 之比較是：看兩個結構相似程度的對應數量 $N(SS)$ 與 $N(SS')$ 哪個比較大。亦即，如果 $N(SS') > N(SS)$ ，則 $SS' > SS$ 。

可是，簡單數量比較法並沒有考慮對應項之間「質的相似性判斷」，亦即它預設每一組對應項之間都是均等的相似性，但並非每個案例都是如此。有些科學模型之間雖然有大的對應數目，但是也許每一組對應項之間的相似性，小於其它模型之間的對應項之相似性。也就是說，如果我們進一步考慮成分對應項的相似性程度時，我們對於模型的結構相似程度之比較就會更複雜。

先抽象地說，假設模型 A 與模型 B 的結構有四組對應項，而模型 A 與模型 C 的結構有五組對應項，可是 AB 的四組對應項的相似性都遠大於 AC 組的對應項，那麼 $SS(AB)$ ；即 AB 的結構相似程度) 和 $SS(AC)$ ；即 AC 的結構相似程度) 之比較，就不能單看數量來決定。如下圖所示：

模型 A	模型 B		模型 A	模型 C
A1 (相似)	B1		A1 (相似)	C1
A2 (相似)	B2	>	A2 (對應但不相似)	C2
A3 (相似)	B3	>	A3 (對應但不相似)	C3
A4 (相似)	B4	>	A4 (對應但不相似)	C4
A5 無對應		<	A5 (相似)	C5

那麼， $SS(AB)$ 一定小於 $SS(AC)$ 嗎？也許科學家會判斷 $SS(AB)$ 大於 $SS(AC)$ ？重點在於我們如何衡量每一組對應項之間的相似程度？初步看來，我們可以考察每一組對應項之間是否相似或不相似，並把所有的相似對應數目，減去不相似的對應數目，以之來比較結構相似程度。如此一來，上述的想像案

例中，確實 $SS(AB) > SS(AC)$ 。現在讓我們以波動理論來作一個例示。

波動理論可以應用到許多現象上：繩子的上下振動（繩波）、漣漪（水波）、海浪、光（光波）等。這些現象的應用似乎均有相同數量的對應項，可是我們會認為繩波和水波的結構相似性，要大於光與波動理論的結構相似性。因為光與波動理論的結構相似性其實並不是十分高，所以才會有光的發射理論（the emission theory of light）來與光的波動理論競爭，然而繩波與水波就似乎不得使用波動理論來說明，因為它們有極高的結構相似程度。為什麼會這樣呢？要如何說明這種科學實作的情況呢？

讓我們直接列出波動理論與繩子上下振動之間的結構對應，以及波動理論與光現象的結構對應，然後作每一組對應項的相似性判斷。

波動理論	繩子上下振動	光現象
波源 (相似)	繩端上下振動	(不相似) 光源，觀察不到振動
波形 (相似)	谷形、可觀察	(不相似) 不可觀察
波長 λ (相似)	波長可觀察測量	(不相似) 不可觀察
波速 v (相似)	波速可測量	(相似) 光速可測量
振幅 a (相似)	振幅可觀察測量	(不相似) 明、暗（光強度）
頻率 λ (相似)	頻率可測量	(不相似) 色彩
$v = \lambda f$ (相似)	可計算	(相似) 套用公式可計算
直線前進		(相似) 直線前進

顯然，在考察波動理論的基本變量與關係時，光現象與波動理論的結構相似性，遠遠小於繩子上下振動與波動理論的高度結構相似性——當然，這是因為波動理論其實是分析繩子上下振動

的現象而建立起來的。為什麼光現象也可以用發射理論（質點〔彈子球〕力學模型）來說明，並在十七世紀末時成為波動理論的強硬對手，並在十八世紀初占上風，可以從下列的結構相似程度的比較來展示。

質點力學模型		光現象
粒子發射源	（相似）	光源發射光束
粒子	（不相似）	光粒子不可觀察（假想有光粒子）
粒子速度	（相似）	光速，可測量
發射粒子數	（相似）	光強度（明暗）
？	（不相似）	色彩
直線前進	（相似）	直線前進
單位面積粒子數 隨距離而減少	（相似）	光強度隨發射距離而減弱

如上表分析，光現象與質點粒子模型的結構相似程度，顯然大於光現象與波動理論的結構相似程度，因為前一組的「相似值」多於後一組。可是為什麼十九世紀後光的波動理論重新占上風？因為光的干涉、繞射現象被發現或強調，而波動理論提供的干涉與繞射模型（波動理論的具體化模型）更能恰當對應到光的干涉與繞射現象。發射說的質點粒子模型在這些新現象上則難以被具體化，因此波動理論在十九世紀占了上風。

現在，我們有第二種結構相似程度的比較方法「局部相似性加總比較法」：

（SM2）判斷兩個模型之間的每一對應項為（觀察）相似或不相似，或者說，為每一組對應項指派相似或不相似的值。如此，兩組模型間的結構相似度 $SS(AB)$ 與 SS

(AC) 之比較，將由每一組的對應項之相似值加總來比較。例如，設 $SS(AB)$ 有 N 個相似值，而 $SS(AC)$ 有 N' 個相似值，若 $N > N'$ ，則 $SS(AB) > SS(AC)$ 。

可是，對應項之間一定只有相似和不相似兩種指派嗎？既然相似性總是有程度的，理論上，相似程度不會只有兩值，而可以有許多值。當然，我們可以為對應項間的相似程度建立多值指派，不過為了不使指派架構複雜到難以工作，我們應該建立一個簡單又可行的架構，或許一個三元相似值的架構是最好的。此三元相似值可作整體相似 (whole similarity)、局部相似 (partial similarity) 和不相似 (dissimilarity)，再由整體相似、局部相似之指派的數量來作結構相似程度的判斷。這背後的思考方式是把一個系統分析成局部單元，再比較每個局部單元的相似程度，最後再把它們組合起來構成一個「總合結構相似程度」，如此可以進行比較。有關這個比較方式的進一步發展，參看第七章。

肆、模型哲學的家族系譜

經過五十多年的發展，模型基礎的取向 (model-based approach) 已經取代語言邏輯分析的取向而成為科學哲學的主流。這不只是因為科哲觀點、潮流本身的變遷，也因為各種科學 (天文學、物理、化學、生物、經濟學等) 確實大量使用模型，1980 年代後的科學研究大量使用或甚至依賴於電腦模擬 (simulation)。模型不僅是科學研究的工具，也是其對象；它是中心，甚至是基礎。由於內部外部兩股趨勢的衝激摩盪，科學哲學的模型取向也發展成一個龐大的理論家族，甚至可以區分出不同的支系 (lineage)，我的觀點是這個大家族的一份子，也可能隸屬於其中某個支系。然而我的模型理論版本有多麼特別？相對

於其它版本又有什麼新意？如果我的版本屬於某個支系，它當然有它的繼承、它的親代版本，那麼它的理論母親是哪個版本？換言之，它在這大家族中的族譜位置是在什麼地方？要回答這個問題，我們必須先勾勒模型理論家族的簡系譜。

大致說來，我把模型取向的理論家族區分成三個支系：(1) 沙普斯支系，標準的邏輯語意理論，主要成員有史尼德 (Joseph Sneed)、史泰格謬勒 (Wolfgang Stegmüller)、范弗拉森 (Bas van Fraassen)、薩普 (Fredrick Suppe) 等哲學家，他們的工作主要是處理科學理論，一向被標籤為理論的語意觀點，這個支系我已經有所討論 (陳瑞麟 2004)；在實驗方面，則有馬攸繼承沙普斯的模型階層架構，並發展一個以統計學方法為基礎的實驗模型理論。(2) 卡特萊特支系或 LSE 學派：以卡特萊特和經濟史與經濟哲學家摩根 (Mary S. Morgan) 為首，包括英國倫敦政治經濟學院 (London School of Economics, LSE)、荷蘭阿姆斯特丹大學 (University of Amsterdam) 和德國柏林大學 (Berlin University) 的學者等。⁴ 讓我們簡稱他們為 LSE 學派或支系。這一支系強調「因果」的概念，重視因果模型，他們的理論有時又被稱為「因果的結構主義」(causal structuralism)；⁵ (3) 吉爾瑞支系或認知模型觀點：吉爾瑞的模型理論可以構成一個支系的原因在於他引用了認知科學的經驗研究來處理模型，從而把認知成分引入模型的概念內。這個支系可以上溯到赫絲 (Mary Hesse

4 這三所大學的科哲學者曾有一個共同的計畫，稱作 LSE/Amsterdam/Berlin project，其成果即《模型即媒介者》(Models as Mediators, 1999) 這本書。

5 臺灣的經濟學哲學家趙相科出身自荷蘭阿姆斯特丹大學，就是摩根的學生；而另一位經濟學哲學家陳思廷，則出身英國 LSE，就是卡特萊特的學生。他們的觀點和工作也大致是屬於 LSE 支系，只不過趙相科自言他也深受沙普斯的影響。

1966)，另一位著名哲學家是奈瑟姍（Nancy Nersessian 1984）。吉爾瑞主張理論包含一個模型家族或族群，模型雖然是抽象的，但也有其認知、圖像性的成分，理論內的模型不是同質性的邏輯模型，模型和模型之間只是家族相似的。因此我一向稱吉爾瑞的理論版本為認知模型觀點（陳瑞麟 2004），或可稱為模型觀點的認知版本。我的版本繼承吉爾瑞的理論甚多，因此自我定位為屬於吉爾瑞支系。

我的其它著作已介紹了第一和第三個支系，因此不再詳細分析模型理論家族的各個支系與其間的細節差異。本章的目的在於辨認本書所發展的模型理論版本——特別是前三章的論述內容——在這個家族中的位置，上述三個支系的簡介提供了一個初步的座標系與定位。可是，儘管我已自我定在吉爾瑞支系，並不代表我的版本與吉爾瑞的版本沒有差異，也不代表我的版本與其它支系的版本沒有相似之處。所有理論版本的親代都不是只有一個，其祖源也不是單線，每個理論版本都混著許多不同的概念和理論來源。

我以下列四個問題來比較本章的觀點和其他模型哲學家的觀點之同異：（1）理論如何透過模型而連結到現象上？（2）理論模型與資料模型之間如何配合？（3）中層的模型依賴於理論或可獨立於理論？在理論即模型的觀點下，是否存在有獨立於理論的模型？（4）在模型觀點下，理論如何被檢驗（驗證或否證）？理論能被證明為真或證明為假嗎？

伍、模型階層與模型間的配合

理論是透過一模型階層（hierarchy of models）而連結到（說

明或配合)現象,而且高層抽象的理論是透過一種具體化或去理想化的操作,亦即建立較低層的、較具體的、較接近實際的模型,才能配合經驗、現象或資料。這個論點乃是LSE支系與吉爾瑞支系的共同主張。進一步地說,「理論如何與經驗資料配合」這個問題,模型理論家之間就有相當的分歧,而且往往與「實在論和反實在論」的爭議連結。讓我們先從第二個問題談起。

范弗拉森(van Fraassen 1980)對該問題的答案是理論結構和表象結構之間為一同構關係(isomorphism),但經驗證據永遠只能給與理論一個經驗適當性(empirical adequacy)的支持,而無法達到真或逼真的程度。這是一個反實在論的主張,范弗拉森又稱自己的立場為「建構經驗論」(constructive empiricism)。吉爾瑞(Giere 1988)則主張模型和真實現象間只是相似關係,而且這相似關係被一個理論假說(theoretical hypothesis)所斷言,如此一來,吉爾瑞主張我們無法斷定理論是否為真。科學印證實在毋需使用真這個概念。⁶但是,吉爾瑞主張實驗可以保證某些理論存有物的實在性(類似哈金和卡特萊特的看法),他早期曾提出「建構實在論」(constructive realism, 1985)的標籤,後來則改稱「科學觀點論」(scientific perspectivism, 2006)。卡特萊特的主張儘管也是模型觀點,但她的論述主要使用傳統的「定律」和「函數」語言,她主張理論定律被具體化成果模型,再由透過因果模型中的變因控制來考察模型與現象之間是否配合。嚴格說來,她並沒有發展類似「資料模型」的觀念,因此也沒有「模型與模型的配合」之理論。在實在論與反實在論的爭論場域中,

6 2006年吉爾瑞來臺灣參與「自然主義知識論和科學哲學」國際會議與工作坊,在討論時他作了如此主張,與會的知識論學家 Ernest Sosa 和 Hilary Kornblith 則反對,現場引發相當熱烈的爭議與討論。

我們可以說吉爾瑞和卡特萊特的立場都是一種介於實在論與反實在論之間的半實在論 (semi-realism)。

回到第一個問題，本書第一章對於「理論如何透過模型而媒介現象」的討論，主要繼承自吉爾瑞，當然也與卡特萊特的理論十分相像，進而該章討論「複合模型」這個概念，卡特萊特在近三十年前已作了初步討論 (Cartwright 1983: ch. 8)，但本文則對複合模型作了更詳細的展示。由於卡特萊特的理論在國內已有清晰和統整的介紹 (陳思廷 2009)，我將參考該文來簡介卡特萊特的哲學 (特別只著重在涉及模型的部分)，再進行本書觀點與卡特萊特理論的差異比較。

在《物理定律如何說謊》(*How the Laws of Physics Lie*, 1983)一書中，卡特萊特從「理論定律」(theoretical law)和「現象定律」(phenomenal laws)的傳統區分開始，前者約莫相當於高層的理論模型，後者則與因果模型密切相關，卡特萊特認為這個區分區隔了實在論與反實在論。亦即實在論支持理論定律為真，而反實在論則拒絕具有說明力的理論定律可以為真——如果要求理論定律要能導出事實的話，沒有理論定律能滿足這個要求，因此理論定律必定被判定為假 (說謊)。⁷ 但是，假的理論定律如何可能說明現象呢？邏輯經驗論傳統主張說明的涵蓋律模式，亦即從理論定律中演繹出現象律，再從現象律演繹出個別現象，此即為說明。但卡特萊特提出「說明的擬像交代」(a simulacrum account of explanation)，主張「說明一個現象」是「建構一個模型以使現象配合理論」，一個模型是一個虛構，被

7 後來在 1999 年的著作《斑駁的世界》(*The Dappled World*)一書中，卡特萊特認為她過去誤以為自己是反實在論，但其實她是反基礎論 (anti-fundamentalism)。

歸屬給模型中的對象之性質有一些是真、有一些則是為了方便計算而設立的（Cartwright 1983: 153），這意味著模型裡的對象或物體是一種擬像，它們不具真實物體的專有性質，而且只有針對模型內的物體，理論定律才為真。相對於真實的物體和現象而言，理論定律即不可能為真。換言之，理論定律總是要透過模型才能說明現象。用來擬仿真實對象或現象的模型可初分成兩種，一種是極簡模型（minimal model），另一種是複合模型（composite model），用來擬仿複雜的現象。

可是，說明還有另一種活動：指出現象的原因。這也是哲學家所謂的「因果說明」（causal explanation）。卡特萊特認為指出原因的說明也可以用建構因果模型（causal model）來交代，她進一步提出「原因即儲能」（causes as capacities）的觀點。所謂「儲能」是指自然界中的存有物天生具有的因果能力（causal power）或秉性（dispositions）。例如當我們說「水可以讓球浮起」即是指水這個存有物可具有導致、造成（cause）水浮起的儲能、能力或秉性。可是，這個能力往往被環境阻礙，因此像「水的浮力導致球浮起」這樣因果或儲能宣稱，總是要加上但書條款（*ceteris paribus* clause）才能為真，亦即「在假設其它情況均相同或不變的情況下，水的浮力導致球浮起」。因此，要檢驗一個因果宣稱是否為真，要考察究竟有沒有什麼干擾變因導致該因果宣稱的事態沒有發生。如果可以找到干擾因素，把干擾因素與原先的儲能一併考量，可以構成一個因果結構（causal structure）——因果模型——用來說明不同環境之下的種種現象（Cartwright 1989；陳思廷 2009）。

卡特萊特的理論與我的理論有下列幾點重要的差異：（1）不像卡特萊特著重在因果模型，我則強調一個模型的概念架構，以

及模型與被模釋對象的系統性；因此，(2) 我討論模型與模型之間的配合，乃是由系統與系統之間的結構性對應來表現，如同前述，卡特萊特並沒有發展模型與模型配合的理論，她的焦點在於是否能成功地干預一個因果結構中的變因，來保證該因果模型的確可以說明一個因果事件；(3) 我精煉模型間的結構相似性、結構相似程度和比較方法，是吉爾瑞觀點的進一步發展；這似乎也代表了吉爾瑞支系與卡特萊特支系的差別；(4) 我用來呈現「模型」的方式和技術，與赫絲的類比模型有理論上的淵源，赫絲的類比模型概念其實也是吉爾瑞「相似性」概念的源頭。最後，(5) 在實在論與反實在論的爭議上，我將使用「落實」(realization) 這個觀念來介入這個爭論場域，它不同於吉爾瑞、卡特萊特、哈金等人偏「元項實在論」(entity realism) 的說法(參看陳瑞麟 2010b)，但這不是本書的重點。

我認為，發展「結構相似程度」的概念與比較方法，乃是本書對於科哲模型理論的貢獻之一，也是我的版本與其它模型理論版本的重大差異之一。誠然這個觀點繼承自吉爾瑞的「相似性」觀點，但是仍有相當的差異。吉爾瑞的「相似性」比較偏向圖像性的相似性，而本文則發展一個「(概念)結構相似程度」的觀念和比較方法。

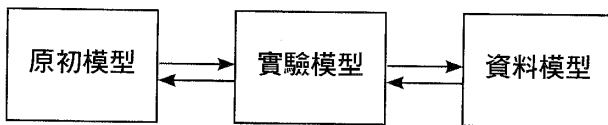
到目前為止，我只是比較我的版本與卡特萊特和吉爾瑞的版本。沙普斯一系卻有一個十分細緻的模型階層和配合理論。

薩普(Suppe 1989: 133-146)提議一個詳細且複雜的配合理論。他把印證問題視為理論和現象的關係問題之一部分；而且把一個理論的印證定義為理論應用到相關現象上。因而答案包含了實驗裝備、工具、收集資料的過程、測量等項目。在將理論應用

到現象時，科學家必須發展一個實驗的理論，它將包括「如果其它條件都相等的條款」(ceteris paribus conditions)、實驗設計理論 (theory of experiment design) 與資料理論 (theory of data)。在這樣的配合理論下，我們仍然可以斷定理論為真。由於我已討論過薩普 (陳瑞麟 2004b)，本文不再重複。

薩普的模型階層和配合理論其實是沿用更早之前沙普斯 (Suppes 1962, 1969) 提出的完整架構，但薩普著重於把該架構應用到物理學的數學方法上，與沙普斯本人的統計取向不同。統計取向的模型理論由馬攸作了最詳盡的發展。因此我們也有必要介紹和比較馬攸的「模型階層」和「配合理論」。

馬攸的《錯誤與實驗知識的增長》一書企圖建立以「錯誤統計」(error statistics) 為基礎的實驗方法論和實驗知識論。簡單地說，就是透過實驗的錯誤統計，來判斷一個實驗是否可靠或能成立，並從其中獲得實驗知識。要達到這個目標，必須建立考察實驗的基本結構以及實驗如何運作等課題，如我們已知，馬攸是透過沙普斯的模型階層架構來揭示實驗探究的基本結構——它表現為一個「實驗探究的模型階層」。這個基本架構包含原初模型 (primary model)、實驗模型和資料模型三類。可以圖示如下：



其中，兩個箭頭代表雙向的關係。除了三類模型之外，一個實驗探究還要包括另三項元素：實驗設計、資料生成 (data generation) 和但書條款。

根據這個架構，一個實驗探究大致上是這樣被建立的：在一個已存在某個理論的情境中，實驗者首先要細分局部假設，然後建立原初問題；繼而尋求如何以實驗來回答這原初問題，如何以實驗來獲取資料以檢驗局部假設；當實驗執行後，實驗者也必須面對如何處理粗資料並使用處理的結果來回答原初問題。在這整個過程中，實驗者必須設計實驗、保證實驗可以產生資料，並且控制可能的干擾因素。如此看來，模型是用來回答問題的，但要保證問題能被回答，還需要另三項元素，它們每一個有屬於自己的理論，即實驗設計理論、資料生成理論和「控制變因與干擾因素的理論」。

顯然，對馬攸來說，模型的建構是為了回答相關問題的，因此她以呈現問題的方式來表達三類模型，並畫成一個表格(Mayo 1996: 130)：

原初模型	如何把一個實質探究細分成一個或多個局部問題，可以被可靠地探測？
實驗模型	(1) 如何把原初問題相關到手頭上的特別實驗類型的正規問題 (canonical question) ？ (2) 如何把資料相關到這些實驗問題？
資料模型	(1) 如何生成和模釋資料以致可把它們放入正規形式內？ (2) 如何檢查是否實際資料生成滿足了實驗模型的各種假定？

因此，實驗的模型階層就是在企圖回答這些問題中被建立起來，如果回答這些問題中產生了錯誤或誤差，科學家就會修改模型，因此實驗正是一種透過錯誤來學習的探究模式。既然在實驗

模型階層的建立中有許多問題，錯誤也有不同的類型，馬攸先粗略地區分成四種標準類型：(a) 把人為結果錯認為真實結果；把偶然效果錯認為真實關連或規律性；(b) 關於一參數的量或值的錯誤；(c) 關於因果因素的錯誤；(d) 關於實驗資料假定的錯誤 (Mayo 1996: 18)。b、c、d 三種類型的錯誤主要是相對於有待檢驗的假說而建立，a 則與實驗的設計、控制和資料生成有密切關係。除此之外，在實驗過程中，由於實驗的模型階層，每一層次的模型會出現其特別的錯誤。馬攸最後以一個詳細的表 1-1 來總結實驗探究的模型階層，我們也可以說這個表呈現了實驗的程序和錯誤的指認方法。

表1-1 實驗探究的模型階層

原初模型

細分探究為可由檢驗假設的正規模型，以及估計等式與理論中的參數值來回答的問題。

把檢驗和估計的程序應用到資料模型上來檢驗假設。

典型的錯誤：假說是假的，有下列情況：估計值與實驗值差距極大、差距超出可容許的誤差範圍、模型或等式不正確，假說無法解決問題。

實驗模型

細分問題成實驗假說的檢驗，選擇相關正規錯誤模型以執行原初檢驗。

特定實驗：實驗模型、樣本大小、實驗變項和檢驗統計的選擇。

特定分析方法以便回答實驗問題：檢驗或估計程序的抉擇、配合的測量、檢驗特徵值如顯著性層次

特定化的錯誤 (specification errors)：實驗的特定無法提供原初假說的嚴格檢驗、不能評估錯誤機率。

資料模型

把粗資料納入正規形式，以便應用分析方法並執行假設檢驗。

檢驗實驗模型的假定對實際資料是否能成立（再模塑資料，執行獨立性和實驗控制的統計檢驗），檢驗穩固性（robustness）。

典型的錯誤：實驗假定違反資料。

實驗設計：透過紙本或電腦模擬或操控以引入統計考量。

資料生成：應用系統性的程序以產生滿足資料模型之假定的資料，例如隨機控制。

但書條件：確保外在因素的適當控制，或估計它們的影響以把它們在分析中排除。

在這個表格與沙普斯的原初架構中，都提到了「配合」這個概念，這也是指理論（原初）模型與資料的配合。那麼究竟要滿足什麼條件下才算是（好）配合呢？馬攸其實發展了一個檢驗的方法學，主張理論應該要通過嚴格檢驗，這個概念又依賴於配合，進一步，配合則由誤差統計學來定義或測量——也就是「差距測量」（distance measurement）。馬攸定義「標準化差距」（standardized distance）為：

$$D^* = (X_n - \mu) / X_n \text{ 的標準差 (standard deviation)}$$

其中 X_n 是樣本平均值（即 n 個隨機獨立變項的算術平均值）， μ 是母體平均值，標準差變異數（variance）的平方根，變異數則是每個樣本的實際值減去樣本平均值的平方之總和。

現在，讓我對馬攸版本的模型階層與配合理論作幾點簡單的評論和比較。第一，顯然馬攸的模型階層以實驗模型和資料模型為中心，她並沒有對高層理論模型如何透過低層的模型而關連到現象提出任何說法，當然她的著作目的並不在於此。第二，馬攸

的「實驗模型」的概念是為能夠以統計學來處理的實驗結果而建立的，特別指能夠產生以統計學來處理資料的實驗，這一點跟本書的「實驗模型」著重在實驗工具與實驗對象互動的結構大不相同（關於本書的「實驗模型」概念的詳細發展，參看第七章）。第三，馬攸的「配合」觀念和「配合理論」整個地鑲嵌在統計學的方法和概念之下。這一點也和我的版本由概念架構的「結構相似程度」來定義配合有大異其趣。第四，馬攸的實驗探究架構顯然無法用來分析二十世紀之前的科學實驗，因為馬攸依賴的乃曼—皮爾生統計學（Neyman-Pearson statistics）是二十世紀後才發展出來的。第五，總地說來，我所發展的「模型階層」與「配合理論」和馬攸的版本是針對完全不同的領域的模型而建構的，兩個版本間不是競爭或修正的關係，而是互補的關係。

陸、理論與模型的關係：依賴或獨立？

科學哲學的模型理論一開始是「科學理論的模型觀點」，重心仍在於理論。可是，隨著模型觀點的擴展，模型慢慢變成討論的重心，特別是模型與測量、資料處理、實驗等非理論性的科學活動，都有密切的相關性，哲學家們開始懷疑，模型一定要依附於理論來討論嗎？模型是否有其獨立於理論的自主性呢？

從 1990 年代起，人們往往把吉爾瑞和卡特萊特與哈金相提並論。⁸ 哈金以其幫助「實驗擺脫理論和語言附庸的角色」之觀

8 卡特萊特和哈金因為主張「元項實在論」而被相提並論。吉爾瑞和哈金在德國科學哲學界被相提並論，卡爾斯陸大學（University of Karlsruhe）的連克（Hans Lenk 2004）發表在《臺大哲學論評》一篇〈朝向技術主義的科學哲學和方法論〉（Towards a Technological Methodology and Philosophy of Science）的主題即是評論吉爾瑞和哈金的觀點，連克把吉爾瑞的術語「建構實在論」（constructive

點而著稱，他雖然提到模型，但他其實沒有如同模型主義者一般地討論模型的角色，他的科哲則仍屬孔恩、拉卡托斯一系的歷史取向，並因深受法國思想家傅柯（Michel Foucault, 1926-1984）的影響，對「現存事物如何可能」的問題提供一個歷史說明深感興趣。⁹ 哈金、吉爾瑞與卡特萊特相提並論，可能在於他們對於「實在」的看法不謀而合。在理論、模型、現象、實驗、實在等各種科學主題的論點上，卡特萊特早期的理論與吉爾瑞的理論實在像孿生子。¹⁰ 可是，1990年代起，LSE 學派開始批判吉爾瑞。因為 LSE 學派試圖爭論「模型（相對於理論）的自主性和獨立性」，強調模型做為理論和現象的媒介者之角色。但這個觀點和吉爾瑞的說法有何差別？

在其晚近的著作（Giere 1995, 1999a, 1999b, 2006）中，吉爾瑞雖然使用稍微不同的語言，但基本上仍維持他在 1988 年著作的基本觀點（中文討論看陳瑞麟 2004）。吉爾瑞現在論述一個科學理論包含原理、表徵模型（representational models）和假說與

realism) 當成兩人學說的共同標籤，他說：「像哈金和吉爾瑞的建構實在論，在處理形式的理論元項如電子和光子時，看到了它們的實在性之證明以及發展和捕獲新模型的誘惑。」（Lenk 2004: 50）

9 哈金自言：「傅柯實在改變了我作哲學的方式。」（Hacking 2008: 271）。

10 吉爾瑞與卡特萊特因兩人在 1980 年代時的模型觀點之相近，而屢屢被相提並論。卡特萊特評論吉爾瑞說：「……好的科學理論已經包含其論域中的系統之規律行為的表徵，即使被預測的行為大多不是出現的行為。這是吉爾瑞堅持的立場，而它很接近我在《物理定律如何說謊》一書中的立場。」（Cartwright 1999a: 251）吉爾瑞則在其〈模型、形上學和方法學〉（Models, Metaphysics, and Methodology）一文中評論卡特萊特說：「這篇論文是我第一次企圖公開評論卡特萊特的科學哲學。更早之前我一直沒有做這件事是由於我們觀點間的巨大相似性與我們關懷課題的重疊。」（Giere 2008a: 123，網路版可由吉爾瑞網頁 <http://www.tc.umn.edu/~giere/> 下載。）當然，卡特萊特和吉爾瑞在評論彼此的文章中，也分別區別兩人觀點的差異，質疑對方並為自己辯護。

通則 (hypotheses and generalizations)。原理的例子是牛頓力學中的三大運動定律、古典電磁學定律、熱力學原理、相對論原理、天擇原理等等。這些原理並不是經驗通則，不是傳統理解的自然律 (laws of nature)，而是高度抽象元項 (abstract entities) 的定義，這些抽象元項即是模型。它們在兩個意義上是抽象的：首先它們並沒有被落實在物質上 (physically realized)；其次是它們無法完全被界定 (full specified)，亦即它們指稱抽象的性質、關係和函項，而不是真實系統的性質和量。由原理，科學家可以導出表徵模型，表徵模型比起原理模型更特別，它們仍然是抽象的，但只有第一個意義上的抽象。顧名思義，表徵模型表徵現象或資料，可是，表徵的方式是考察表徵模型與資料模型的 (結構) 配合性或相似性，理論模型並不是和散漫無序的經驗資料作比較，而是和資料模型作比較。「假說或通則」是語言元項，斷言表徵模型與資料模型之間的配合性。¹¹ 這個理論與世界的基本架構如下：

理論原理 → 表徵模型 → 假說與通則 ← 資料模型 ← 世界的資料

LSE 學派的批判，對準吉爾瑞 1988 年的《說明科學》(Explaining Science) 一書，特別是針對單擺此一案例的分析，以下主要綜合摩里生 (Morrison 1999)、蘇亞雷 (Suárez 1999)

11 這個「配合性」或「相似性」並不是一個表徵模型與資料模型之間的二元、客體的關係。吉爾瑞強調使用模型來表徵世界是一個三元關係，即「行為人」(agent)、「表徵 (模型)」和「被表徵的對象 (資料模型、世界)」，行為人是在一定的目的和興趣下使用模型來表徵。因此，我們要考察表徵模型的配合程度或相似程度時，就必須考察行為人的目的。吉爾瑞之前並沒有明白地揭示這個三元關係，因而受到蘇亞雷 (Suárez 2003) 的批判，之後吉爾瑞開始強調他同意蘇亞雷關於表徵是三元關係的觀點 (Giere 2006)。

和卡特萊特 (Cartwright 1999) 三篇論文。LSE 學派認為吉爾瑞的觀點掩蓋了在全數科學研究中，模型獨立、至少局部獨立於理論，以及模型做為自主行為者 (autonomous agent) 的事實。他們同意吉爾瑞主張科學家會使用理論來定義 (理論) 模型，亦即模型對理論具有建構的依賴性 (dependency in construction)，但是他們認為 (1) 吉爾瑞分析如何使理論模型配合世界的方式，使得模型完全依賴於理論，然而即使是理論模型，也有相對於理論的局部功能獨立性 (functional independency)。¹² (2) 有另一種徹底獨立於理論的媒介模型 (mediating model) 或現象模型 (phenomenological model)，它們的建構和功能完全不依賴理論。¹³ (3) 吉爾瑞對於模型與世界的交代，使理論完全是自足的，使模型失去它的「媒介」作用。¹⁴ 在案例分析上，LSE 學派

-
- 12 他們認為，吉爾瑞針對「如何使模型配合現象」的分析方式，大致為一種「去理想化」(de-idealization) 或「定製化」(customizing) 的方式如下。一開始，牛頓第二運動定律是 $F=ma$ ，當它用在簡諧運動系 (harmonic oscillator) 時，描述它的公式從運動定律導出為 $F=-kx$ ，進一步單擺的運動可以使用簡諧運動來逼近 (只限定單擺的振幅在一定角度範圍內)，如此可以再導出 $F=-(mg/l)x$ (m 是擺錘質量、 g 是重力加速度、 l 是擺長)。可是，通常單擺會受到一些空氣摩擦力的阻泥作用，但科學家再次可以引入代表阻泥作用的符號，如此一個描述阻泥諧振運動系的公式 (定義一個阻泥諧振運動模型) 就變成 $F=-(mg/l)x+bv$ ，它越來越趨近真實的單擺系統。可是，在 LSE 學派看來，這種方式完全依賴於理論的修正，忽略了科學家也可能從真實的單擺著手，可以透過裝置的精緻化，反過來測量準確的重力加速度——在這個意義上，模型有其功能上的獨立性。
- 13 以上兩點為摩里生的論點。也同為蘇亞雷和卡特萊特接受。卡特萊特的批判較溫和，她著重在比較吉爾瑞與她自己觀點的同異。卡特萊特也區分解釋模型 (interpretative model) 和表徵模型，解釋模型確實從定律或原理中導出，相當於吉爾瑞所謂的「理論中的模型」。表徵模型則相當於摩里生的「現象模型」和蘇亞雷的「媒介模型」。吉爾瑞則認為卡特萊特所謂的「解釋模型」和「表徵模型」同屬他所謂的「表徵性的模型」。
- 14 這一點特別是蘇亞雷的批評。他認為吉爾瑞的「理想化」和「去理想化」的

分別使用流體力學中對邊界層流現象（boundary layer）的模型建構，二十世紀電磁學對超導性（superconductivity）的模型建構，以及量子力學模型的建構等案例來展示「（媒介）模型如何媒介理論和世界」以及「（媒介）模型如何表徵世界」。

吉爾瑞對於 LSE 學派的批判主要有兩點回應。一個是退讓性的回應，把他所建立的圖像，關於理論、模型與世界的三元關係，限縮於成熟理論如牛頓力學、量子力學等等。他承認很多科學會使用來自不同學科的原理，或者完全沒有使用任何原理，在這些情況中，原理與模型之間沒有緊密的連結（Giere 2006: 127-128, fn. 5）。另一個回應是反過來質疑 LSE 學派很少談「模型是什麼」，而且幾乎沒有談「理論是什麼」的課題，這使得他們似乎回到了傳統的句法觀點。吉爾瑞說：「他們給人一種回歸理論做為敘述集合的傳統觀點之印象。他們似乎理所當然地認為模型一向是相當不精確和過度簡單、而理論則不是。他們甚至建議模型被精練後，可以變成理論。這似乎蘊涵模型也是語言元項。因為不是敘述的東西如何能變成敘述？」（Giere 1999b: 53-54）

我同意 LSE 學派強調與凸顯獨立於理論的媒介模型在科學上的廣泛與重要（如同第二章將展示）。我同意即使理論中的模

析方式使得「模型在理論中的應用變得浮濫。理論在生成問題情境中的真實表徵時，必須被看成完全自足的。如果這理想化的交代為真，模型就不能在理論和世界之間扮演媒介的角色：在滿足理想化交代的科學理論之應用上，沒有媒介模型的工作可言。」（Suárez 1999: 181）換言之，吉爾瑞的觀點完全失去「模型即媒介者」的基本意義。所以蘇亞雷使用「媒介模型」一詞而非摩里生的「現象模型」，他認為摩里生指認了媒介模型的三個特徵：（1）它不是從理論導出；（2）現象論模型也不是語意觀點意義下的資料模型；（3）媒介模型可以取代物理系統以做為科學探究的核心對象。這三個特徵完全沒有出現在吉爾瑞對模型的分析中。

型也有功能上的局部獨立性，如同第三章討論科學家可以把具體化模型當成藍圖，透過建構和精煉物件系統的方式，使得該物件系統得以配合該模型。可是，這和吉爾瑞的模型交代並沒有衝突，甚且我也同意吉爾瑞的兩點回應。我認為 LSE 學派的確沒有清楚地交代理論和模型的存有地位 (ontological status)，而且 LSE 學派確實有回到「理論只是語言元項」的傾向。可以說，我企圖為吉爾瑞的模型觀點辯護，同時也納入「模型獨立性和自主性」的論點。我希望提出一個整合交代，有如下論點：(a) 理論既包含「原理、定律、定理、公式、假說」等語言陳述 (theoretically linguistic statements)，也包含它們所描述和定義的不同抽象程度的模型——它們是「理論中的模型」(models in theories)。理論的語言陳述需要模型才能連結世界，這是理論的模型觀點。但並非所有的模型都是「理論中的模型」，也並非所有模型都是由理論陳述來定義和導出。我們的確有獨立於理論的現象模型、資料模型、經驗模型和實驗模型等等。(b) 理論的語言陳述是語言元項 (linguistic entities)，模型是抽象系統元項 (abstract system entities)，語言元項必須透過模型才能連結世界，因為「原理、定律、假說」這些語言元項，都不是直接描述經驗或現象。它們描述的是抽象元項的模型，透過模型的媒介，它們才能對經驗現象下判斷。因此就算要依賴於理論的「理論中的模型」也不會如蘇亞雷所言般失去它們的媒介功能。(c)「理論中的模型」可以粗分兩大類型「原理(或理論)模型」(principle or theoretical model) 和「具體化模型」，前者是「原理、定律、定理、公式」等定義的抽象系統，後者雖也是抽象的，但它是在科學實作中直接與資料模型作比較的模型。(d) 具體化模型與資料模型之間的關係是相似性或配合性。相似性和配合性都有程度可言，即在不同的案例中，不同的經驗模型與其對

應的資料模型之間，有不同的相似程度或配合程度。¹⁵ 同樣地，原理模型之間的關係也不是邏輯上的導出，而也是「配合」關係，有配合程度可言。這個觀點是我和吉爾瑞觀點的不同之處。¹⁶ (e) 我將進一步使用結構相似程度來刻劃配合程度，並發展一個結構相似度的比較架構。(f) 科學模型 (scientific models) 又可以區分成「理論中的模型」和「無理論的模型」(theory-free models)，前者指其要不是原理模型本身，就是其建構要依賴高層原理、定律的模型；後者指其建構不依賴於任何原理、定律或公式的模型，亦即 LSE 學派所謂的媒介模型、現象模型等，它們可以從經驗或實驗中抽取出來，因此稱作「經驗模型」，然而它們是「無理論的經驗模型」。科學家也可能透過它們來建構高層的原理模型，它們也可能配合兩個以上的原理模型。

我相信本章已經展示了 a、b、c、d、e 五點，a 與 f 將在第二章證明。如此，模型依賴於理論嗎？或者獨立於理論？答案要看我們談論的是什麼模型。

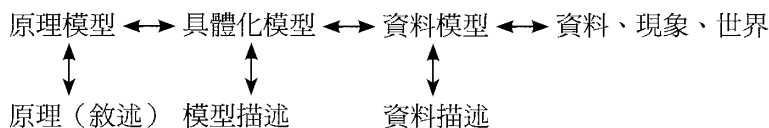
15 我在 2004 年主張可落實模型與現象之間是一種「準同構」(quasi-isomorphism) 的關係。但從 2007 年起，我開始以相似性程度的觀念來理解實驗模型與實驗模型之間的比較，現在我打算把類似架構應用到模型與現象上 (Chen, R.-L. 2007)。本書即是這個新方向的發展。

16 我在 2004 年的作品，對於原理模型和可落實模型的看法，基本上是繼承自吉爾瑞，但由我自己來自「分類」的觀點。亦即可落實模型是原理模型中的任一參項，再加以分類得來的。例如「力」的參數可以分成「重力」、「恢復力」、「向心力」、「摩擦力」等等。當然我仍視兩者的關係為邏輯導出 (陳瑞麟 2004、Chen, R.-L. 2004)。不過，2005 年開始，我已經改變我的看法，亦即可落實模型與原理模型之間不是一一對應的關係，一個可落實模型可能對應兩個以上不同的原理模型。

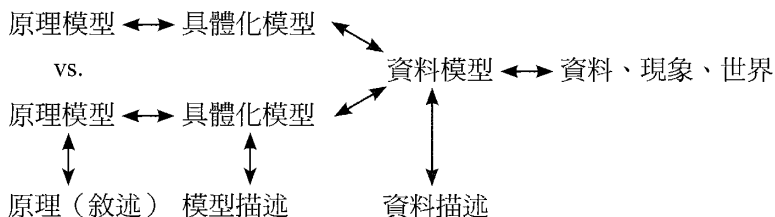
柒、理論、模型與世界

希望上文已經成功地定位我的理論版本在科哲模型理論大家族中的位置。在模型階層上，我區分了原理模型、具體化模型、實驗模型、資料模型、經驗模型等，我主張所有的模型間的關係都是配合程度，都可以透過概念結構相似程度來衡量。由上述論點，讓我再以四個基本架構來圖示理論、模型、實驗和世界的關係。

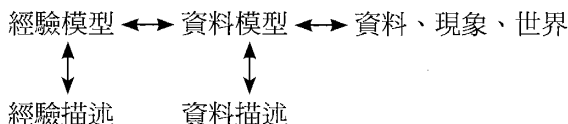
一、單理論架構



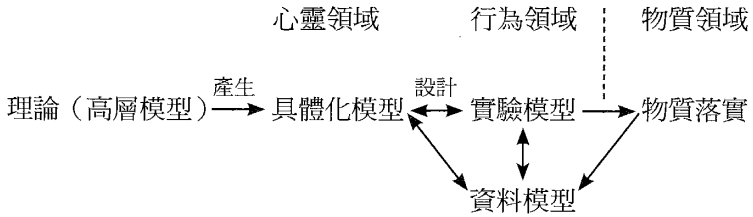
二、互相競爭的理論之模型架構



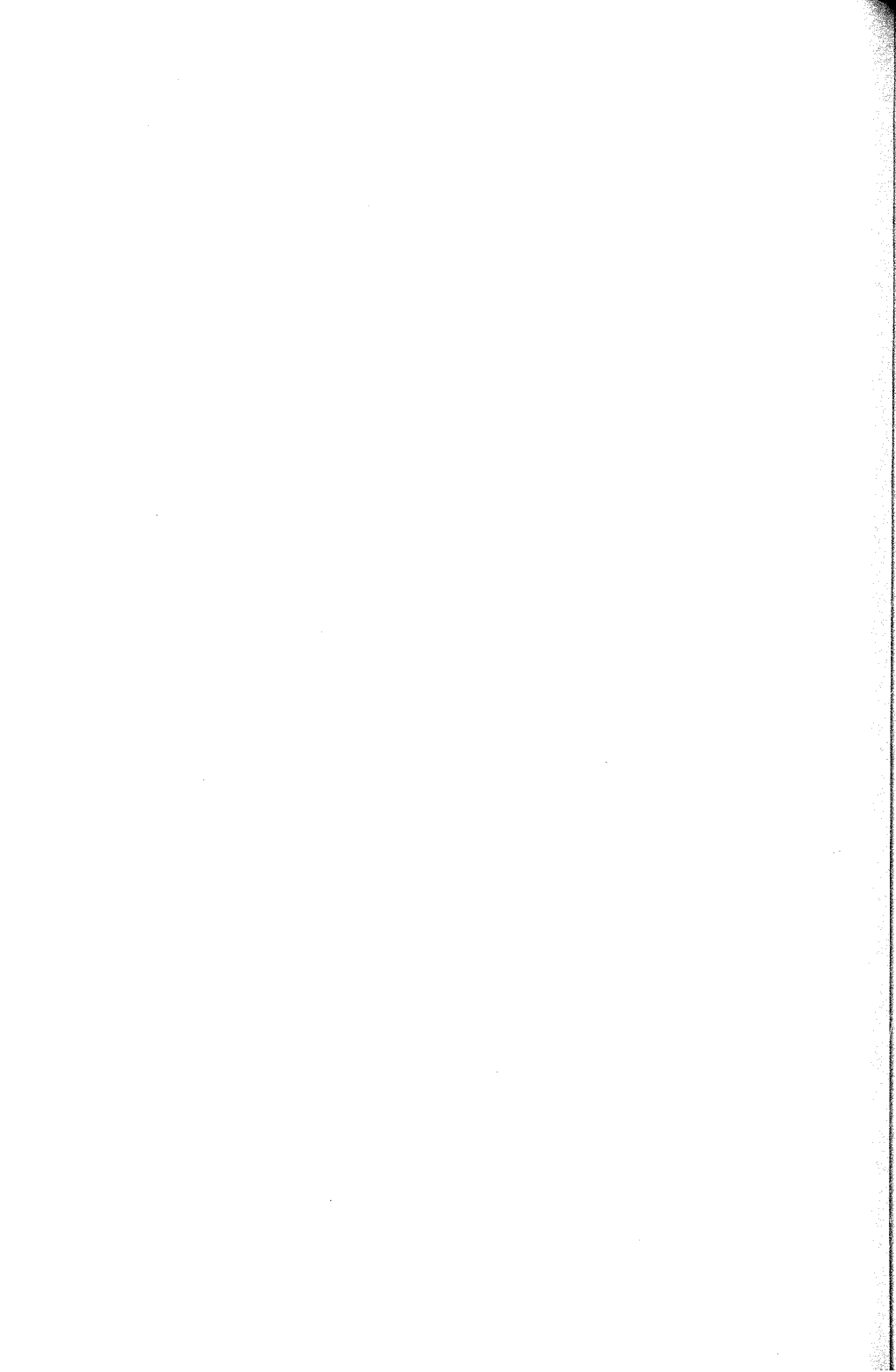
三、無理論的經驗模型架構



四、理論、實驗、資料和世界的架構



在這些架構中，凡是以雙箭頭表示者，均屬雙向的配合關係。單箭頭主要表示產生的關係。



第二章

從觀察到理論

經驗模型的媒介

傳統上，觀察被視為人類的感官被動地接受外界的感覺訊息並作判斷。既然外界的感覺訊息已經將它們自己呈現在感官上，人們的判斷因此也是「被動的」、只是一種反映感官訊息（現象）的心靈行為，再以語言表達出來。因此重點在於人們對於感官知覺或經驗的語言表達——一個以觀察語句來再現感官經驗的觀察報告。

在二十世紀初語言轉向潮流的影響下，科學哲學對於觀察的討論，就因此著重在觀察報告、觀察語句的邏輯結構之分析，觀察語句如何驗證理論假設，以及一個理論定律如何能演繹出觀察語句——因為這代表了一個理論可以說明該觀察語句描述的經驗現象。二十世紀前半葉的科學哲學，進一步討論如果有兩個理論都可以說明同一個現象，要如何判斷誰真誰假？什麼可以做為人們判斷的依據？科學哲學家認為是表達觀察經驗的觀察語句。如果觀察語句要負擔仲裁敵對理論的責任，那麼觀察語句就必須徹底中立才成。換言之，觀察語句絕不能有任何理論的成分，否則無法完成它的任務——這就形成一個「觀察（語言）中立於理論（語言）」的學說。

1960年代後，科學哲學興起從科學史的案例進行分析的歷

史取向。這個新潮流的科學哲學家也應用當時最新的知覺心理學理論——完形心理學（Gestalt psychology）——來分析科學的知覺與觀察，科學哲學家發現人類（含科學家）的知覺，好像被某種「先入之見」強烈地左右。他們主張觀察重點在於對「觀察到什麼」的判斷，而這個判斷總是預設了觀察主體已有的知識或理論，韓森（Norwood R. Hanson, 1924-1967）在 1958 年便提出觀察背負理論（theory-ladenness of observation）的學說。

「觀察中立於理論」與「觀察背負理論」截然對立，形成科學哲學中的一大爭議點。在這兩個極端之間，有沒有第三條路？有。本章提供的答案正是第三條路。可是，前一章我們已經展示從理論到現象需要模型的媒介，我們也論及古典力學對運動現象的「理論優勢」的情況，這意味著觀察背負理論才是正確的嗎？不然。這一點涉及我們對理論的解釋和理解，也涉及對觀察的基本性質之理解。觀察是感知現象的行為，其與理論之間的關係當然需要模型的媒介。換言之，所有的觀察都預設（背負）一個模型。因此，如果模型是理論中的模型，那麼的確觀察背負理論。可是，並非所有的模型都是理論中的模型，科學上也存在大量的獨立於理論的模型，如果觀察背負的是這種模型，那麼觀察並沒有背負理論！進而，如果觀察背負獨立於理論的模型不是來自理論的引導和建構，它們又是怎麼產生的？它們其實正是由觀察而產生的。在觀察與作觀察判斷的同時，科學家也建立了一個經驗模型（empirical model）。經驗模型模釋經驗。換言之，科學家的經驗總也是以系統、模型的型態而出現。

總之，科學家的觀察從來不是破碎、片段、孤立的現象感知，科學家總是以一個整體、系統、概念架構的方式（即模型）來感知現象並作觀察判斷；反過來說，科學家在觀察和作判斷

時，總是同時建立一個整體、系統性的概念架構——經驗模型，它們也需要被理論（更高層的理论模型）加以說明。進而總是同時可以有兩個以上的高層理論模型說明同一個經驗模型——這也就是傳統上所謂，兩個對立的理論可以被同一組現象驗證。上述有關觀察和理論的諸多科學研究的實情，本章將使用模型的概念來重新處理。

哈金是第一位企圖超越觀察中立理論和觀察背負理論這兩極對立的科學哲學家，他提出一個討論觀察與實驗的新方向。在討論筆者的觀點之前，有必要以哈金的觀點為討論觀察與理論關係的起點。

壹、哈金論觀察

化學哲學的基礎是觀察、實驗與類比。透過觀察，事實可以清晰詳盡地銘印在心靈中。經由類比，相似的事實產生關連。透過實驗，我們發現了新事實。在知識的進展中，觀察經由類比的指導而導向實驗，類比由實驗來印證，就變成科學真理。

Humphry Davy (1778-1829),
Elements of Chemical Philosophy, 1812: 2-3

在一切研究中，培根賦予實驗極大的價值。但是他一點也不理解它們的意義。他認為實驗是一種自動機制，一旦使它運作，就會產生結果。但是，在科學中，所有的研究都是演繹的或是先驗的。實驗就像計算一樣，只是思想的助力：如果實驗要有意義的話，思想必定總是且必然先於實驗。就「經驗」的通俗意義而言，所謂探索的經驗模式並不存在。沒有理論（亦即觀念）在先的實驗，與科學研究的關係，就好像小孩子發出嘎嘎聲與音樂的關係一樣。

Justus von Liebig (1803-1873),
*Über Francis Bacon von Verulam und
die Methode der Naturforschung*, 1863: 49

這兩段是十九世紀兩位化學家對觀察、實驗和理論的觀點，代表了一個長久以來的對立：觀察和理論，哪個在先？

二十世紀早期的邏輯經驗論，給我們一幅觀察在科學中扮演優先角色的形象：觀察是科學研究的起點、觀察和理論截然二分、觀察與「實驗中的觀察」乃是驗證和否證一個假說或理論的「判官」。這幅形象從波柏的否證論開始被打破，至韓森和孔恩之後，理論優先而且觀察背負理論的科學形象，成為二十世紀下半葉的主流觀點。費耶阿本 (Paul Feyerabend, 1924-1994) 甚至有「觀察陳述全然是理論的」的說法。¹ 哈金的《表徵和干預》一書企圖扭轉「理論優先」和「理論支配」的主流，但他並沒有回到實證傳統，而是試圖提供一幅觀察與實驗的新形象：(a) 觀察是技能 (skill)、是實踐，具有獨立性，不是必然要依賴理論的語言或文字報告 (verbal report)；(b) 實驗的主要目的和功能，不在於檢驗理論，而是在於創造新現象。實驗不是理論的附庸，實驗自有其生命。

1 相關的原文為“Observation statements are not just theory-laden (the view of Toulmin, Hanson and Kuhn) but fully theoretical...” (Feyerabend 1988: 229) 更精確地說，費耶阿本主張，觀察是「感官和理性」（伽利略的用語）、「知覺與概念」、「現象與陳述」緊密地結合而無法分離。觀察或知覺某一物體需要能指認出它是什麼，而指認則有賴於預先的概念架構。進一步，對這個物體進行觀察描述的語言，依賴於一個「自然解釋」（natural interpretation）。例如，中世紀天文學家觀察到「地球靜止」，這個描述預設了亞里斯多德的整個宇宙結構，透過語言學習使得觀察者認為自己在作一個沒有預設理論的觀察描述。其實，亞氏的理論解釋卻鑲嵌在這套觀察語言中 (Feyerabend 1988, chs. 5-6)，中文可參看陳瑞麟 (2010a) 第五章。

哈金的觀點被晚近的許多科學史家、心理學家、哲學家所追隨，如古汀、查默斯（Alan Chalmers）、蓋利森等，他們也不約而同地批判觀察背負理論的學說。本文將論證，他們的批判並不能成功，「觀察是一行為、實踐、技能」的觀點，以及「科學現象乃是實驗的建構」，與觀察背負理論的學說並非不相容，反而支持了它——但是我們有必要重新理解和詮釋觀察背負理論中的「觀察」和「理論」兩個概念。結合一個弱化的觀察背負理論學說與哈金和古汀對於觀察的新觀點，筆者爭論有四個關於觀察與相關的實驗之論點是可以成立的：（1）觀察是目標導向的行為。（2）觀察背負著小範圍的概念架構，此概念架構可以被界定在經驗模型上。（3）從觀察現象（預設了經驗模型），可以逆推更高層次的概念架構。（4）很多科學現象是出於實驗者和實驗程序的建構，「建構」一詞沿用哈金和古汀的意義，意指透過實驗工具的安排和實驗者的行為程序，而創造出原本不存在於自然界的現象——可是，哈金和古汀都沒有談到，這創造並非任意安排或任意程序都行，只有正確的安排和程序才有可能創造現象，這是一種自然的拘束（*natural constraints*），建構並不是約定或協商的產物。自然的拘束也是經驗拘束，這個概念見第四章。

需先一提的是，本文所討論的觀察並不涉及儀器與工具輔助的觀察。雖然晚近物理學的發展中，儀器與工具幾乎取代了肉眼的觀察。然而在其它許多領域，如動物行為學、地質學、疾病徵狀、視覺表徵、實驗過程的監控與實驗結果的判讀等，非儀器性的觀察仍然扮演重要的角色。何況科哲必須把過去的科學史也納入考量，因此，「肉眼觀察」仍然是一個重要且必要探討的課題。

哈金認為觀察的常識被兩個哲學潮流所扭曲了：一是蒯因

(W. V. O. Quine, 1908-2000) 的語意揚昇 (semantic ascent)，另一是觀察背負理論。前者指我們應該討論觀察敘述而非觀察；後者指所有觀察敘述都背負 (依賴) 理論。哈金要回到我們對觀察的常識，並且為之辯護：(1) 觀察不是觀察報告，而是行為或實作；(2) 觀察是資料的來源，總是自然科學的一部分，但是沒那麼重要；(3) 好的實驗者通常也是好的觀察家——能夠在實驗中看到非比尋常或未曾預期的結果；(4) 值得注意的觀察很少支配後續的工作，實驗取代了粗略的觀察；(5) 觀察是項技能，可以透過訓練與練習來改善；(6) 觀察背負理論並不正確，理論之前有很豐富的觀察敘述；(7) 二十世紀科學的觀察通常要依賴工具的輔助 (Hacking 1983: 167-168)。哈金採取的辯護策略是舉出許多科學史的小插曲，片片段段地駁斥兩個哲學主流觀點，並支持上述的常識。他的辯護風格也相當地散文化，雖不具系統性和嚴謹性，卻頗為精巧敏銳，具影響力而值得討論。

在上述對觀察的七點常識中，本文的目標是針對觀察背負理論這個學說。哈金抱持反對立場，他告訴我們一些不含理論的觀察 (observation without theory)，例如：冰島晶石 (Icelandspar) 的雙重折射和偏振光 (polarized light) 現象、早期光學上的繞射、色散和薄片色彩現象 (Hacking 1983: 155-156)、赫歇爾 (William Herschel, 1738-1822) 發現了輻射熱 (Hacking 1983: 176-178) 等。十七世紀初冰島晶石雙重折射現象已廣為人知，但要一直到十九世紀才由弗瑞內爾 (Augustin Jean Fresnel, 1788-1837) 提出清楚的理論解釋；同樣地，牛頓、虎克等人對繞射、色散和薄片干涉現象的觀察，也是要等到十九世紀，才由楊格 (Thomas Young, 1773-1829) 提出理論說明。哈金的意思很明顯，這些沒有理論的觀察，究竟「背負了什麼理論呢」？

哈金承認，科學家在進行觀察之前當然有先存的信念、期待，而且這是重要正確的，然而他質疑：這些先行的信念和期待可以被稱作「理論」嗎？他是這麼評論原始提議人韓森的論述：

關於語言的事實，支配了《發現的模式》(*Patterns of Discovery*)一書中出現「背負理論的」一詞的段落。它提醒我們：即使在最平常的字眼都有微妙的語言規則，如「受傷」(to wound)這動詞和「傷口」(wound)這名詞。只有某些切傷(cuts)、折傷(injuries)，在相當特別的情境下，才算是傷口。如果外科醫生把一個人腿上的傷痕(gash)稱為傷口，可能意味著他在打架或作戰中受傷(was hurt)。這類涵義總是會出現，然而，在我看來，它們並不值得稱作理論假定。背負理論學說這部分是針對日常語言的一個重要且無可挑剔的論斷。然而這並不意味所有觀察都背負一個科學理論。

韓森也指出只有當我們有理論性的期待時，我們才會注意事物，期待使事物有趣、至少可被感受到的。這是真的，但它和背負理論的學說不同。(Hacking 1983: 171-172)

哈金顯然堅持觀察之先的信念、期待等並不是理論。當費耶阿本主張：所有觀察（包括日常生活觀察）都預設某些理論假定，如在正常環境下看一張棕色的桌子，預設了如下信念：「某些感官印象是真實的」、「我們和物體間的媒介沒有扭曲」、「建立接觸的物理存有物攜帶真實圖像」等等。哈金則批判說：

當然，當我們說及任何東西時，我們都有各種期待、偏見、意見、工作假說和習慣。一些我們表達了出來；一些則是脈絡的涵義，一些可以被心靈敏銳的學生歸諸於說話者。我可以作個假設，在我和書頁之間的空氣沒有扭曲字的形狀，或許我可以研究這個假設。（怎麼做？）但當我

大聲讀，或者訂正這頁時，我只是單純地與感興趣的東西互動，說這是假設就錯了。尤其是不該說它是個理論假設。(Hacking 1983: 176)

哈金的批評似乎有道理，但是他對韓森和費耶阿本的引證重述未免失之過簡。若要恰當地評估哈金的批判是否有效以及他的觀點能否成立，我們至少必須爬梳韓森的原始論述。

貳、韓森論觀察

韓森對觀察的論述相當地「維根斯坦式」，我們可說他把維根斯坦(Ludwig Wittgenstein, 1889-1951)晚期的語言哲學擴張到科學哲學和知覺理論上(Hanson 1965, 1969)。他對「觀察」的研究在相當的程度上是建立在對「看到」(see)、「看成或看做為」(see...as)和「看出」(see...that)的語意分析上。

韓森首先舉出幾個假想的例子：例如，兩位生物學家在觀察阿米巴原蟲，一位看到單細胞生物，另一位則看到非單細胞生物。又如，克普勒和第谷(Tycho Brahe, 1546-1601)在黎明時觀察太陽，一位看到不動的太陽，只因地球轉動才使人看到日出；一位則看到太陽運動升起。為什麼會這樣？經驗論和否證論傳統的標準說明是：他們當然看到相同的東西，他們有相同的觀察，因為他們從相同的資料開始。但是他們對所看到的資料作了不同的解釋(interpretation)。他們以不同的方式來詮釋證據，科哲學家的任務是演示這些資料如何被不同的理論或解釋或理論建構所模塑(Hanson 1965: 4-5)。

如果觀察的對象是視覺心理學中的幾個著名圖形呢？像透明立方體、少女—老婦、無尾熊抱在樹幹、鳥或羚羊等圖形(圖

2-1)，我們由不同的透視點，就會看到不同的東西。

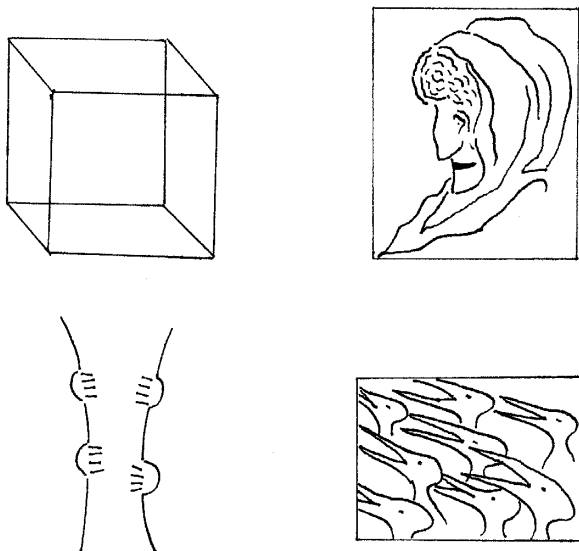


圖 2-1 左上：透明立方體；右上：少女—老婦；左下：無尾熊抱樹幹；右下：鳥或羚羊。

韓森認為，在「看到不同東西」的視覺經驗中，並沒有解釋的存在。我們就只是單純地看到不同的東西。這又要如何說明呢？韓森以為，看到並不只是單純的視覺經驗，還包括視覺經驗的發生方式、視覺元素在視覺經驗中被組織的方式。不同的方式會使我們看到不同的物體。這些方式就是觀察者預先的知識或理論所塑造的。韓森是這麼說的：

看到，在一個意義上是「背負理論」的作為(undertaking)。
對 x 的觀察被 x 的先行知識所形塑。(Hanson 1965: 19)

如果看不同的東西，包括了擁有關於 x 的不同知識和理論。那麼或許他們看相同東西的感覺，也包含了他們共享了關於 x 的知識和理論。(Hanson 1965: 18)

除此之外，「另一個對觀察的影響，依賴於我們慣於表達我們所知的語言和記號。」也就是「看到」、「看成」和「看出」的邏輯和語意連繫。

首先，韓森以為「看到」和「看成」並不同一，因為看到一個 X 射線管並不是把一個玻璃管看成 X 射線管。前者預設了擁有一定種類的知識，後者則意味一個人對 X 射線管的理解方式。換言之，他可能對 X 射線管有錯誤的理解，在此種情況下，他並沒有對 X 射線管的正確知識。當然，「看到 X 射線管」必然蘊涵「把某物看成 X 射線管」；反過來說，「把某物看成 X 射線管」則未必蘊涵「看到 X 射線管」（因為他可能錯認了 X 射線管）。也就是說「把某物看成 X 」是「看到 X 」的必要條件，「看到 X 」則是「把某物看成 X 」的充分條件。² 但是，「看成」總是預設（背負）了先存的知識和假設，因為你會把某物「看成 X 」是因為你已相信或設定它是 X ——這意謂著「看到」也必定預設了先存的知識和假設。

其次，「看到」和「看出」也有明顯的邏輯關連。譬如，克普勒看到黎明的太陽是看出地球在轉動（see that the earth is spinning），把人們帶到朝向不動太陽的那一面上，第谷看到黎明的太陽是看出地球最明亮的衛星在進行周日運動。換言之，看到是有某一定種類的知識，也就是看出眼前的物體發生了什麼、其

2 韓森在這部分並沒有很清楚明白地論證「看到」和「看成」的邏輯關係，此處乃是筆者在韓森的論述基礎上所作的精煉。

它事物造成了什麼？(Hanson 1965: 19-24)然而，一個人可能看到太陽，因而擁有太陽的某些知識，卻未必能看出太陽的其它行為。因此「看出」蘊涵「看到」，「看到」必定是某種「看出」，但無法包含所有的「看出」。如果說，「看出」意指從觀察某事件，則看出也必定預設了一定的知識和假設。最後，韓森以如下的提法來總結「看到」、「看出」和「看成」三者的相互關係：

「看到」一物體 x 是「看出」它以我們知道 x 的確如此行動的方式而行動；如果物體的行為不一致於我們對 x 的預期，我們可能不會把它「看成」x。(Hanson 1965: 22)

對韓森來說，「看到」是圖像和語言的融合 (amalgam)，此融合的黏合劑就是「知識」或「理論」——它們一方面塑造了「看到」的組織方式，一方面蘊涵在表達「觀察」的語言之中。

從這幾段原典引證中，我們可以看到韓森雖然提出了「背負理論的」這樣的術語，但是他對「看到」的心理結構和邏輯語意之討論，「知識」出現得更多。難道對韓森來說，知識等於理論嗎？或許觀察可能只是「背負著」一些片段、沒有系統的知識，而非完整、系統性的理論知識？如此一來，哈金的批判就有其說服力。然而，關鍵在於韓森所謂的「理論」究竟是什麼意義？

參、觀察和理論

在《發現的模式》第四章 (標題為「理論」)，韓森處理了理論化的推論方法和理論本質的問題。他主張：(a) 理論是一種可理解的模式、一種概念整體 (conceptual Gestalt)；(b) 建立科學理論或定律的推論方法既非歸納法、也非假設演繹法，而是逆推法 (retroduction)。(c) 建立理論的歷程如下：科學家由一些經

驗資料出發，透過逆推法，不斷尋求能將經驗資料納入可理解模式的假設，³ 終而建立一個理論。

關於 (a)，韓森是這麼說的：

物理理論提供種種模式 (patterns)，使資料顯得可理解。它們構成一「概念整體」。一個理論不是從觀察現象中被拼湊合成；相反地理論使得我們可把現象看成某種現象，並相關到其它現象。理論把現象納入系統內。理論是「逆向地」(in reverse)——「逆推地」被建立起來。一個理論是在尋求一個前提中得到的一組結論。(Hanson 1965: 90)

現在，問題是這樣的，可理解模式或概念整體是如何被建立起來的？韓森首先討論了兩個傳統說明：歸納法和假設演繹法。歸納法正確地建議了定律是從經驗推論得到的，但是錯誤地以為定律只是資料的總和。假設演繹法則漏失了假設的誕生過程，簡單地把它歸為天才難測的內心世界。兩者都不對。實際上科學理論並不是這樣出現的。科學定律的確以經驗為起點，但並不是資料累積後歸納推出，而是從傳統的教條假設一個一個地嘗試，直到出現能夠說明資料的可理解模型。韓森以克普勒發現行星的橢圓軌道之推論過程為科學史實例，作了極詳盡的分析。

克普勒並不是一開始就能大膽猜測行星軌道是橢圓形的。事

3 「可理解的模式」也意味「可以說明經驗資料」，因此，「逆推法」在後來又被稱作「最佳說明推論」(inference to the best explanation)，為 Gilbert (1965) 首度提出這樣的術語，Lipton (1991) 在詳細發展它。「最佳說明推論」通常被視為實在論的立場，它主張「最佳說明」可以推出真，而不是主張推論總是推出一個「可理解模式」。「可理解模式」的概念和「觀察背負理論」的結合，使得韓森的理論觀有模型論和反實在論的色彩。

實上，他先尋找地球的軌道，並且在「完美圓形」、「等速圓周運動」和「約 360 天繞行太陽一周」三個條件下進行，試圖把諸天體的位置觀測數據整合起來。但是克普勒的研究顯示：如果地球軌道是完美的圓形，則地球無法保持等速（即同等時間內掃過相同角度）。雖然地球的問題未能解決，克普勒還是把焦點轉向火星，同樣在「完美圓形」的條件下工作。克普勒得到一個暫時的結論：火星的軌道也許不是圓形的。即使如此，克普勒仍然不像很多評論者想像般，立刻跳到橢圓軌道，事實上，他還考慮了「卵形軌道」。此時克普勒在「相等時間內掃過相同角度」的假設下工作。因為火星的觀察位置著落在圓形和卵形之間，克普勒終於推出「橢圓軌道」的結論（Hanson 1965: 72-85）。韓森認為這個科學史實例完美地佐證了波爾斯（Charles S. Peirce）所倡議的逆推法。它的推論形式大致如下（Hanson 1965: 86）：

1. 一些驚人的現象 P 被觀察到了。
2. 如 H 為真的話，P 就可順理成章地被說明。
3. 因此，有理由認為 H 為真。

對韓森來說，這裡的 H 是一個可理解的模式，「正如第一章中的視覺現象被一些特別的點或線的鑑識鑄成模型，引發克普勒的問題的大量計算、速度、位置和距離，現在也被整合成一個可理解的幾何模型。」（Hanson 1965: 83）進而，一個逆推推論和知覺判斷乃是相同知識歷程的相反兩面，也就是說，逆推推論是我們從一組觀察資料中**逆向地**建立模式；而知覺判斷則反過來從模式來判斷我們觀察到什麼。在這樣的理解下，從觀察中逆推理論和觀察背負理論就是個一而二、二而一的不斷循環過程。

現在，我們可以看到哈金對觀察背負理論的批評並沒有擊中要害。因為哈金並沒有扣緊韓森的理论觀來批評這項論旨，他所

謂的「理論」和韓森所謂的「理論」是兩個不同的概念。一來，韓森的「理論」並不是哈金所說的「信念」和「期待」，而是在信念和期待底層的背景知識、暫行假說或概念架構。二來，哈金並沒有一個比韓森更明確的「理論」之觀念。哈金也討論了他的「理論觀」，他以法拉第效應（Faraday's effect）的發現為例，主張理論有六個層次（level）：（1）形上學的信念；（2）類比；（3）特別的數學公式；（4）物理模型（physical model）；（5）形式分析；（6）結合另一個理論。⁴ 哈金對這六個理論的層次之討論其實有些簡陋，缺乏系統性，其間的分界線並不明顯，他也沒有嘗試去尋求它們是否可能被統整在一個更基本的概念下。因此，哈金想在這樣的「理論觀」之基礎上來批判「觀察的背負理論」論旨（至少是韓森的），恐怕有稻草人論證的嫌疑。何況，觀察總是背負了「形上學信念」或「類比」（哈金意義下的理論）是相當有可能的。

哈金同意觀察有其先行的信念、觀念、知識、期待等，但是他並沒有系統性地處理他的說法。不過，哈金對觀察是技能與行為，以及現象是被建構的強調，已得到相當的重視與發展。科學的認知哲學／心理學家古汀對觀察、實驗和現象的建構之研究指出，觀察本身是由行動所塑造的，行動則揉合嘗試錯誤和思想上的預先存在的形象或建模的引導，而且被觀察的現象未必是所與（given），而是出於科學家的主動建構。換言之，科學家的腦中

4 哈金並沒有使用這些名詞，他的原文翻譯如下：「1. 由科學統一的信仰所誘導，法拉第對電磁學和光之間必定有關連的思索（speculate）；2. 法拉第對布瑞斯特發現（Brewster's discovery）的類比；3. 艾利（Airy）提供了特置的數學表徵；4. 克爾文（Kelvin）提出物理模型，使用玻璃分子的機械旋轉圖像；5. 馬克士威爾使用對稱論證對新的電磁理論提供形式分析；6. 洛倫茲在電子理論內提供一個物理說明。」（Hacking 1983: 212）

形象與嘗試行動，建構了被觀察的對象。

肆、古汀論電磁現象的實驗建構與觀察

十九世紀的電磁學歷史，是一個分析觀察、實驗和理論之關係的好材料。從初期電流感生磁場這個重大的新發現到下半葉馬克斯威爾的理論統一了電、磁和光，整個過程幾乎交織了所有科學哲學的主題：觀察、行動、實驗、解釋、模型、數學、自然哲學都可以在這段歷史中找到分析的樣本。古汀是一位從認知進路切入科學史的研究者，他的焦點著落在法拉第的長期實驗工作上，以及在這個過程中法拉第如何與其他科學家互動，終而提出了力線和磁場的概念。針對這段歷史的細密分析，古汀(Gooding 1981, 1982, 1990, 1992) (1) 展示了電磁科學家們如何在觀察和實驗的過程中建構或製造 (making)⁵ 具有科學意義的新現象；(2) 思想 (想像、模型、解釋、理論) 和行動 (發現、觀察、實驗) 不是兩個截然二分的範疇，而是交織成一個整體的歷程；行動也不只是私密的 (private)，而是人際的 (interpersonal)，包含了一系列複雜活動的社會歷程 (但是古汀其實並沒有著重在社會歷程上)。

5 我們通常用「建構」來翻譯 construct 和 construction。它們常被用來對立於「自然」或「實在」(reality)，意味著人為的創作製造。當人們說某事物是「建構」的，就好像在說人們製造出一部機器一般地製造出了該事物。因此，如果說「自然現象」和描述它們的理論是「建構」的，就好像在說它們不是「實在的」。既然它們是「建構的」，它們的「真理性」(truth) 就依賴於人們使用的工具和建構的方式，因此建構論似乎蘊涵一種「任意性」，往往也是一種「相對主義」(relativism)。建構論 (constructivism) ——特別是社會建構論 (主張科學理論是在科學家社群中妥協磋商而「創造」出來的) ——往往對立於科學家偏愛的「實在論」。古汀的立場是：有意義的自然現象是科學家建構出來的，但它並不是任意的，也不能導出相對主義；甚至，古汀仍然抱持一種實在論立場。

一、電磁現象的建構

我們在教科書上都學到標準的電流感生磁場的現象：一條長直導線通以電流，將一根自由懸吊的磁針移近導線，我們會發現磁針產生偏移的現象。而且如果我們改變磁針靠近導線的位置，我們會進一步發現磁針偏轉的方向和角度有很大的差異。例如，當磁針在導線的水平方向之左右方時，它是垂直地向上或向下傾斜；當磁針位置在導線正上或正下方時，它則水平地向左或向右偏斜。教科書很快地告訴我們如何判別磁針的偏斜方向：舉起右手，大姆指豎起，其指向和電流流向相同，其餘四指微屈，這四指的指向即是磁場的指向。假設電流由南向北，則右手微屈的四指將指向右方，那麼在導線正上方的磁針必定水平地向右方偏斜（參看圖 2-2）。這個判別方法稱為「右手定則」(right-hand rule)，它也是磁場方向的判別方法，因為在理論上，磁針之所以會偏轉正是由於受到電流感生的磁場（穿透空間的磁力線）所推動。

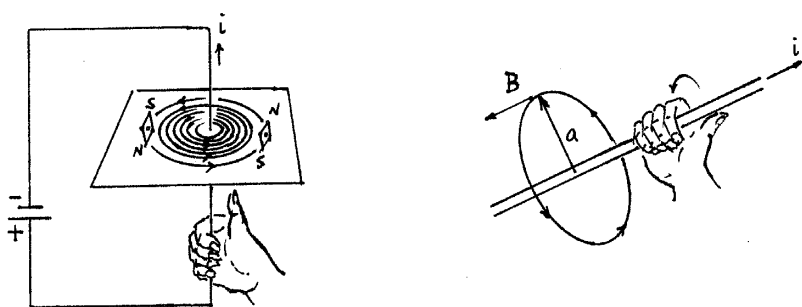


圖 2-2 安培右手定則圖示：左圖顯示垂直於導線的磁力線；右圖顯示以右手握住導線時，姆指朝向電流方向（由正極向負極），其餘四指彎曲的方向為磁場方向。

乍看之下，教科書描述的這個標準現象，相當自然且容易，人人都可以輕易執行且觀察。你移動磁針靠近導線，磁針必然偏向。想像起來，就算沒讀過教科書的人，都有可能發現這種現象，而且多操弄幾次大概就能歸納出磁針偏轉方向的右手定則。直覺上，絲毫不像其它大型實驗一般，需要精密多樣的儀器，繁複的實驗過程，以致在實驗中產生的現象看似人為的建構。然而，這種看法其實是出於「後見之明」(hindsight)。在真實的歷史上，一個新現象的發現之初，常常處在混沌未明的狀態下，不是理所當然地一目瞭然。看起來這般輕而易舉且「自然」的「電流感生磁場」現象，也是科學家費了很大的工夫才建構而成。當然，它是一個新發現，但它之所以能成為穩定規則的可觀察、可實驗現象，成為真正的科學發現，以及成為教科書所描述般的「標準現象」，乃是科學家經過不斷地摸索、學習、操縱、假設、思考、磋商、解釋等活動過程的人為建構。古汀在《實驗和意義的製造》(*Experiment and the Making of Meaning*)一書中向我們展示這種現象的建構歷史。

「電流感生磁性」現象的第一位發現者是歐斯特(Hans C. Oersted, 1777-1851)。1820年夏季，歐斯特看到了通電流的導線會影響附近自由懸吊磁針的運動，因此執行一系列操作，他將導線置放於磁針的上下方，造成磁針東西偏斜(declination)；他也發現將導線置放在和磁針平行的位置時，磁針將上下傾斜(inclination)(參看圖2-3)。他進一步嘗試將導線和電池正負極的連接互相對調，發現磁針的偏斜方向剛好和原來的連接相反。⁶

6 據說歐斯特是個天才，但卻不是個擅長實驗的人，他總是需要助理甚至有靈巧雙手的旁聽生來幫他安排實驗和操作儀器(Whittaker 1989 [1951]: 81)。

歐斯特的發現報告引發歐洲科學界的大迴響，許多科學家紛紛投入這個新現象的研究。

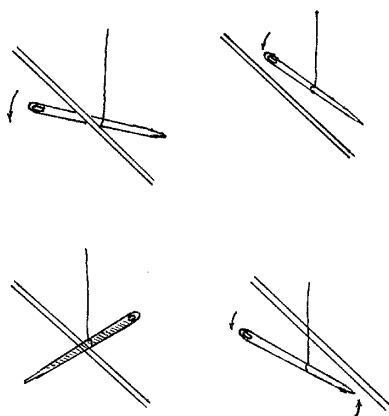


圖 2-3 歐斯特觀察到載流導線對磁針方向的影響。左：導線置於磁針上下方，磁針東西向偏斜。右上：導線置於磁針平行的左右方，磁針上下傾斜。

古汀討論了必歐 (Jean-Baptiste Biot, 1774-1862)、安培 (André-Marie Ampère, 1775-1836)、戴維 (Humphry Davy, 1778-1829)、法拉第 (Michael Faraday, 1791-1867) 這四位科學家的實驗和解釋。

必歐的實驗程序可由圖 2-4 看出。他以一定的順序移動導線置放於磁針的上下左右，其步驟為：從右到左，使線在針上方；再從上往下，線變成在針的左方；再從左到右，使線在針的正下方，然後從下往上，回到原位置……然後觀察磁針的偏轉方向。顯然，他使導線的移動形成一個「圓的輪廓」(circular contour)。必歐這個實驗程序是嶄新的，因為歐斯特並未以這樣的順序來進行他的實驗。歐斯特只觀察到針在不同位置的偏斜方

向有別，但不同位置和偏斜方向有什麼潛在秩序呢？必歐的實驗程序讓秩序浮現了。就在這個實驗的基礎上，科學家產生了磁性環繞導線而穿過空間的圓形形像。

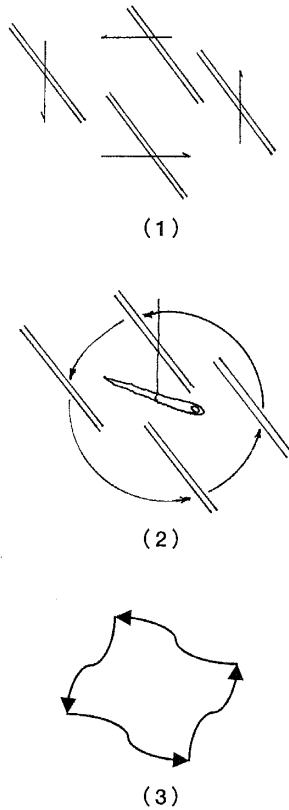


圖 2-4 必歐移動導線的「圓的輪廓」的程序：(1) 四個位置的移動順序，箭頭顯示磁針的運動方向；(2) 實驗者繞著磁針移動導線形成圓的輪廓；(3) 磁針針尖描繪出的路徑。

隨後，必歐嘗試去說明這種現象，也研究磁針偏轉量的問題。他發現作用強度和磁針距導線的距離成反比關係。這讓他想到了平方反比定律，於是他希望以一種一致於拉普拉斯物理學和庫倫定律的方式來說明該反比關係。當然，我們知道這個說明並沒有成功。

另一位電磁學史上作出重大貢獻的科學家安培，也在歐斯特的報告公開不久之後開始進行這方面的實驗，同時努力提出理論來說明。安培很快地顯示兩條平行的導線會因電流流向相同而互相吸引、相反而互相排斥（古汀沒有提到安培這個實驗，此處描述見 Whittaker 1951[1989]: 83）。這個實驗讓安培傾向把歐斯特的磁針偏轉看成在某些位置受導線所吸引；在某些位置則受導線所排斥，並設想理論來說明它們。除了嘗試說明種種實驗現象外，安培還「尋求透過以太震動（etherial vibrations）的理論來統一光學、靜電力學和電磁學」。（Gooding 1990: 44），這個工作是「透過將現象重建成為一種『基礎事實』（fundamental fact）——在電流的假想元素之間的基本吸引和排斥力。」（Gooding 1990: 44）一方面，吸引和排斥現象誘使安培尋求以吸引和排斥的超距作用（action at a distance）的理論概念來解釋這些電磁現象；另一方面，統一各學科的想法顯然為馬克斯威爾的後續工作奠下了基礎。

理論上的理想促使安培去思考和想像磁效應的本性。早期科學家對磁效應的看法是：在磁性物質中存在某種磁流體（magnetic fluid）而造成磁的吸引和排斥力。現在既然電流引發磁效應的現象被發現了，基於「科學統一」的理念，磁流體是不存在的。安培因此設想磁性其實是電流在密閉迴路中以垂直於磁極的方向移動而產生的效應。因此，如果磁鐵是電迴路的複合體（complexes

of electric circuit)，則使用電磁迴路的複合體來模擬磁鐵就有其可能性。基於這些假設，安培開始製作螺旋線圈以模擬磁鐵，他成功地設計一些裝置，能夠產生靜態平衡。雖然安培的工作沒有完全成功，因為他漏失了發現「磁感生電流」現象的機會。但他的理論和實驗工作加上必歐的導線旋轉程序，暗示了日後的電動馬達。

戴維也在 1820 年 10 月間展開他的電磁實驗，當時法拉第是他的助手。戴維首先重複歐斯特的實驗步驟，並且提出自己的觀察報告。在這個報告中，戴維提到了「磁針方向的改變，克服了地磁」。換言之，戴維首次將電線生磁和地磁加以比較，邁向電磁、天然磁鐵和地磁都是同一種磁性的假設。戴維的下一個實驗是磁化感應和磁針方向的關係。他將許多不同方向的普通鋼針固定在一條長直導線上形成一座「針塔」(tower of needles) (圖 2-5)，一段時間後，他發現所有的鋼針都被磁化了，而且置放在導線上方和下方的鋼針，磁極方向剛好相反。

戴維這個實驗一方面將磁化力 (magnetizing power) 的現象引入電導線磁作用中，一方面也悄悄改變實驗程序：由安排磁針的位置來代替移動導線的位置。這個程序上的改變，讓電流感生磁作用是環繞導線的形象越來越鮮明地在實驗操作中浮顯。果然，接著，戴維就安排了一條長直導線穿過一個圓盤，盤面平行於水平面，圓盤上置放六、七根鋼針，形成一個多角形。所有鋼針都被磁化，而且一根針的北極和接續著鄰近針的南極 (如圖 2-5)。

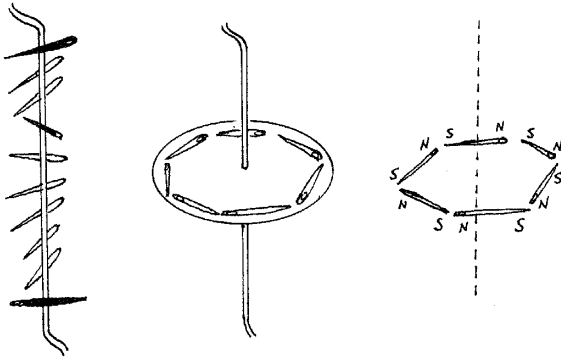


圖 2-5 戴維的針塔和磁化針

戴維和其他科學家如何解釋這些實驗呢？戴維根據直角座標的參考架構而引入了象限（quarters）的觀念，因此他假設「必有四個原極（principal poles）對應到四個象限。」沃勒斯通（William Hyde Wollaston, 1766-1828）則應用了「運轉」（revolution）的觀念解釋說：「這現象可以由假設一種環繞著導線中軸的磁的運轉來加以說明……」（Gooding 1990: 52）然而，古汀認為沃勒斯通心中真正的意向是「運轉的磁」或「磁的運轉」將會帶動導線，也環繞它的中軸而旋轉。這個解釋和法拉第日後精確的「磁曲線」（magnetic curves）⁷不太一樣，反而較接近安培的想法。

法拉第在日後則進一步擴大戴維的實驗，安排許多鋼針，形成好幾個多邊形。從其中可以外推當鋼針距離導線越遠時，磁針的排列形狀會越來越像圓形，就像多邊形的邊線越多越接近圓形

7 根據古汀，戴維已經提及了「曲線」（curve）一詞，但他是指沿著圓盤的曲線安排鋼針，他並沒有用曲線來描述或解釋磁效應。

一般。法拉第以為這個實驗顯示的現象一致於沃勒斯通的「運轉磁」(revolving magnetism)的觀念。但法拉第所想的和沃勒斯通所想的其實並不一樣。一方面，在法拉第的想法中，「磁作用」形成一個運轉的形象，而不是導線本身的運轉；另一方面，法拉第也曾不斷地設計實驗而想去驗證導線是否會被磁力帶動而旋轉，終而發明了第一個電磁旋轉器（電動馬達的前身）。

二、發現、實驗與建構

古汀的研究，涉及了兩個傳統的科哲問題：(1) 怎樣才算是發現一個新現象？(2) 科學家如何理解一個科學的新發現？古汀試圖從歷程的觀點，以 1820 年間的「電流感生磁」的發現歷史為分析材料，來回答這兩個問題。

一般科學史籍均將「電磁感生磁效應的發現者」這個殊榮歸給歐斯特。沒錯，歐斯特的確是第一個注意到載流導線造成磁針偏轉這種現象的科學家，但是，就在歐斯特第一次注意到磁針偏轉這異常現象的那一刻就算是「電流感生磁效應」的發現時刻嗎？發現能簡單地被定義為「首度觀察到新現象」嗎？若是如此，今天記錄的很多科學發現案例的案主都要改變登記了。⁸ 發現者當然不能簡單地定義為「首度觀察者」。就古汀的觀點看來，「電流感生磁效應」的案例告訴我們，**發現**需要讓一個新經驗成為穩定且可重複觀察的現象，並能浮顯某種秩序；而且這個現象要能播散出去，讓其他科學家也能經驗和確認後，才能算是

8 例如哈雷彗星 (Comet Halley) 公認的發現者當然是哈雷。其實在哈雷之前，很多天文觀察家都已觀察且記錄到這顆天體。然而，首度確認過去多次天文記錄是同一星體、確認它是彗星、並計算出它的週期者唯有哈雷。顯然，並不是簡單地「首度觀察」就可以被視為發現。

一個「科學發現」。這種意義下的「發現」包含了反覆觀察和實驗、模塑、表徵、修正、播散、技能的熟習、磋商等活動（agency），也就是一段複雜交織的**想和做的**歷程。古汀企圖提出一個「科學發現的本質」之觀點嗎？我們在第九章會回來討論科學（實驗）發現的問題。

首先，新經驗要如何成為穩定且可重複觀察的現象呢？就電磁感生磁效應這個案例來說，要讓磁針的偏轉成為一個穩定的可觀察現象並不是一件容易之事，進一步要讓磁針偏轉的潛在**秩序**浮現，更需要技能和耐心的操作。「吾人不單是注視和看著，」古汀評論說：「吾人必須做事（act）。展示這種對稱性的程序也需要花一些時間才能精熟。這鼓勵一些觀察者去強調實驗情境的某些層面，透過三度空間中的導線和磁鐵的方向來描述該現象。」⁹（Gooding 1990: 31）精通操作程序之後，科學家才能看到穩定的現象，並且表徵它、對它進行描述、模塑，以及嘗試提出字詞性（理論性）的解釋。

伴隨新現象的公開，如何發現這新現象的技術和操作也必須公開，以便其他科學家能按圖索驥，這就是發現和實驗技術的播

9 將古汀的評論對比於科學史家 Whittaker 的描述將可看出有趣的差異。Whittaker（1989 [1951]: 81-82）描述說：「……他（歐斯特）試著讓導線平行於針，一個顯著偏轉被觀察到，磁和電流的關係被發現了。」顯然，Whittaker 將「觀察」視為只是感官的看，而「發現」則定義在最初看到的那一刻。在兩位中國大陸學者所著的科學史書籍中，歐斯特的行動卻被錯誤地描寫成「他把磁針移到導線下方，正當助手接通電池的一瞬間，他看到磁針有一輕微晃動。這正是奧斯特盼望多年的反應。」（沈慧如和郭奕君 1998: 284）事實上，懸吊的磁針很難保持穩定，更遑論去移動它！因此在早期的發現和實驗中，移動導線是發現的合理步驟（如果當初科學家是移動磁針，他很可能什麼都發現不了）。依古汀的觀點來看，移動導線或移動磁針的行動有可能在後續的實驗中造成不同的發展。

散。由於技術的播散，科學家不僅重複歐斯特已報告的實驗，還嘗試一些新的實驗。然而，一開始有很多自以為是的觀察者，迅速地對這個現象提出解釋，但是他們很難清楚瞭然地掌握它，¹⁰因為他們還不能純熟地掌握如何創造這個新現象的技能，也因此無法對它作出恰當的描述，只能用一些不成熟的解釋來自圓其說。但在熟練了觀察與實驗的技能之後，科學家忘掉當初對它的生澀，開始認為這個現象——載流導線在周遭空間中感生圓形運轉的磁效應——很容易看到且是自明的（self-evident）。古汀指出，這個科學家所謂自明的現象已經不是「未被解釋的（感官）刺激」（un-interpreted stimuli），而是「已被表徵的現象」（represented phenomena; Gooding 1990: 36）。

「已被表徵的現象」意味著某種（空間）秩序（圓形運轉）的浮現，鮮明地呈現在必歐的「圓的輪廓」和戴維－法拉第的圓盤之中。這秩序指示了電流感生磁性的本質是環繞導線的圓形力量嗎？它是自然世界的實在秩序嗎？古汀提醒我們（特別針對必歐的實驗結果）：「這仍然是實驗者的行為。」（Gooding 1990: 39）「（實驗者）在世界中的能動（agency）產生了他觀察到的結構。」（Gooding 1990: 40）換言之，現象秩序的發現包含了科學家的主動建構，而不是科學家被動地等待接受外界訊息。因此，從歐斯特首度操作載流導線移近磁針，從而觀察到磁針偏轉的效應；到必歐和戴維－法拉第的實驗讓「圓形運轉」的秩序顯現，這整段歷程才算是發現了「載流導線在周遭空間中感生圓形運轉的磁效應」之現象。

10 古汀（Gooding 1990: 35）引證了法拉第的回顧：「我發現很多人很難在『什麼東西被做了』這件事上得到一個清楚的觀念，這是因為該現象的多樣性、太多解釋理論、混淆的資料和其它環境。」

從電磁現象的發現和建構的歷史來看，這不是直線式的進展；參與這個發現和建構的科學家們，也不是彼此間毫無異議，齊心協力地共同提出一個偉大的說明理論。歷史顯現給我們的圖像是：他們有互相學習，同意與接受他人的報告，重複他人已做出的實驗的一面；但是，他們也提出南轅北轍的解釋和概念，設計種種新實驗來質疑或反駁別人的理論。¹¹ 最後結果往往是只有很少數（通常是一個）的解釋和理論殘存下來。簡單地說，在整個建構過程中，有科學家一致同意、取得共識的地方，也有差距極大、始終難以妥協的部分。古汀在此作了建模（construal）和解釋（interpretation）的區分。

所謂**建模**是指經驗現象的建構歷程的最初階段——亦即從不熟悉的、直接的經驗刺激到經驗秩序的浮現、精煉與精通的這一階段——在科學家所進行的展示行動中浮現，它是情境的、具體的、屬於使用字詞之前的，並且依賴於行動的脈絡。¹² 這恰對比

-
- 11 著名的例子是法拉第和安培對電磁本質的爭論。安培主張可以用纏繞成許多圈子的螺管線來模擬實心磁鐵，換言之，螺管線圈相當於實心磁鐵；法拉第則不以為然，他認為螺管線所對應的應該是空心銅環才對。兩人便各自公開實驗以證明自己的理論是較正確的（看沈慧如和郭奕君 1998: 307-309）。
- 12 其實，古汀對 construals 的「解釋」有些混亂，例如他在一個地方用了「解釋」來解釋 construal：「建模是解釋不熟悉經驗以及傳達一個人嘗試性的解釋之工具。建模是實踐的、情境的、通常是具體的。」(Construals are a means of interpreting unfamiliar experience..., 1990: 23) 但是，當古汀的目的是在區分「建模」和「解釋」，卻又用後者來說明前者，很容易會造成混淆，人們會簡單地想：建模就是暫時性的解釋。但是，對古汀來說，「解釋」是字詞性、語言性，「建模」卻必定是「在使用字詞之前的」。所以古汀在後文之中也說：「有人可能會想說建模正是經驗的暫時性解釋，可是，『建模』一詞有意指引人去注意它對行動脈絡的依賴（『解釋』這個字在某方面則不能）」(p. 87) 當然，古汀這些對「建模」這個字的字詞解釋有些混淆，卻不妨礙他的歷史展示能清楚地區分「建模」和「解釋」兩者。

於解釋。解釋是語言的、理論的，是以語言和理論構思來賦予現象或表徵進一步的意義。科學家通常會接受其他科學家的建模，亦即對建模形成共識；但他們往往不同意對方對建模的進一步解釋，甚至為之產生爭議。

以電磁現象為例，歐斯特的磁針偏轉、必歐的「圓的輪廓」、載維和法拉第的圓盤都是一種建模，它們是在特意安排的實驗行動中所浮現的現象秩序，在熟練和精通實驗程序後，建模就能在科學家心中產生一定的圖像或模型。科學家互相展示並溝通彼此的建模，他們很少會對對方的建模感到懷疑，甚至在後來還形成一個共識性的建模：「載流導線在周遭空間中感生圓形運轉的磁效應。」顯然，這個建模是由各人先前的實驗行動所產生的現象綜合而成的。科學家們還相信它就是那個**被發現**的自然現象或自然的結構。但其實它是科學家的行動所表徵（建構）的現象。當科學家們試圖對「圓形運轉的磁效應」提出進一步的字詞和理論解釋時，歧異和爭論開始產生。例如，歐斯特以「電衝突」來說明載流導線造成磁針偏轉的效應，但它是一個相當不明確的觀念；必歐想發展磁效應的平方反比定律；安培則著重在磁效應的吸引和排斥作用上；沃勒斯通提出也是有點含混的「運轉磁」觀念；以及最後法拉第設想了「力線」的觀念——想像一不可見的磁曲線環繞著導線軸心旋轉，穿透空間，造成了磁針在不同位置的不同偏轉方向——也就是今天普遍被接受的理論解釋。

從載流導線導致磁針偏向到磁效應的力線解釋，這整個建構意義的歷程可以分成兩個階段：建構圓形運轉的磁效應現象，以及建構該現象的力線解釋。古汀的建模和解釋恰對應這兩個階段；我們可以說建模所建構的是被表徵的現象，而解釋則是對該現象提出理論說明。在區分建模和解釋的基礎上，古汀自認為他

的觀點對立於兩種傳統流行的科哲學說。

首先是觀察的背負理論學說。這個學說主張所有的觀察都免不了背負理論，因此如果觀察者有不同的理論，就有可能把相同的經驗刺激看成完全不同的形像。所以理論（在邏輯上）優先於觀察，主張不同理論的科學家會有不同的觀察，在跨理論之間科學家沒有任何同意的基礎。古汀展示了完全相反的論點：觀察（在邏輯上）先於理論，事實上，科學家是從共同的觀察而發展出不同的理論解釋。現象的建構行動（建模）為科學家提供了一致同意的基礎。如此說來，古汀是回到實證論的傳統嗎？當然也不是。

古汀所反對的另一個學說就是實證論傳統的指物學說（ostensive doctrine）。它主張觀察是被動地接受外界訊息，當新現象出現時，科學家指著它（指物）然後給予它名稱，就是觀察到了新現象。¹³ 因此，當歐斯特指著磁針偏向的經驗時，他就發現了電流感生磁效應的現象，後繼科學家就在這個共同發現觀察的基礎上發展說明的理論。古汀則告訴我們，觀察依賴於主動的建構行動。現象是在一個行動的歷程中被建構的，它依賴於科學家熟練與精通產生該現象的行動程序。如果科學家擁有相同的觀察，其實是他們學會了相同的行動程序。

伍、觀察背負理論的再檢討

觀察背負理論學說其實有各種不同的版本，如韓森的完整主

13 這也是使用「指稱的因果理論」（the causal theory of reference），來為實在論辯護的科學實在論者的科學發現觀。本書第九章將稱作「證據主義」（evidentialism）。

張是「觀察背負可理解模式，同時逆推可理解模式，兩者構成循環」；孔恩直接引證了韓森的學說，但是他有自己的「典範」概念，因此他的提法變成「觀察背負著典範」；費耶阿本的版本既有韓森式的觀察與概念整合，但他特別強調觀察陳述，即「觀察語言預設了自然解釋」；麥瑟生和克萊恩（Carl A. Matheson & A. David Kline 1988: 224-226）則提議觀察未必背負著說明它們的高層次的理論，可能只背負較低層次的理論。¹⁴

同樣地，觀察背負理論學說的批判者，也對這個學說與其理論後果有不同的理解或強調，因而產生各種不同的批判方式：如哈金和古汀強調觀察背負理論中理論在觀察之先（時間性和邏輯性的「在先」）的意義，理論則指說明這組觀察資料的語言性解釋。他們強調了觀察的訓練、技能與行動面向。查默斯原則上同意人類知覺的確有其主觀／主體性（subjectivity；即觀察依賴著觀察主體的理論背景、期望、觀點等）的成分，然而他反對科學觀察被建立這樣的學說上，為極端的相對主義鋪路（他的主要例子是費耶阿本）。如同哈金、古汀一樣，查默斯強調觀察做為技能，並主張科學已將觀察的安全性建立在客觀的儀器讀數上，不再依賴於主觀、變動的人類知覺（Chalmers 1990: 42-50）。郭德曼（Alvin Goldman 1999: 239）則認為此學說是「觀察者把理論觀點帶入知覺行為的運作」，它會威脅到科學的真理與客觀性。郭德曼承認觀察會受理論影響，但是他認為科學可以設計觀察方法來避開這個麻煩，例如安排不同形式的觀察；或者以盲目的方

14 麥瑟生和克萊恩的論文主旨是在批判「觀察與理論的二分法」無法成立。只是他們也花了一節討論韓森的「觀察背負理論」學說，並提出背負低層理論這種可能版本。可是，他們並未完全為這個學說背書。

式（如雙盲實驗）來執行實驗（Goldman 1999: 239-241）。¹⁵

西蒙尼（Abner Schimony 1993: 92-114）花了很長的篇幅對韓森的版本作了細膩精彩的討論。他深入地檢查韓森所依據的知覺心理學，補充新近的心理研究、實驗和理論，並以此為基礎來批判韓森觀察背負理論的學說。西蒙尼認為心理學家對人類知覺的運作已有共識，知覺有兩個主要的策略：整合策略（integrative strategy）和分析策略（analytical strategy）。前者指知覺是一個複雜的判定歷程，包括線索的搜尋、暫時的分疇、知覺對象的指認等發生在下意識中的過程。後者則指一種「恆常的密切檢視」，包括有意識地注視線索、與可行的範疇比較、引入新範疇的選擇等（Schimony 1993: 108）。觀察背負理論學說只著重在整合策略，嚴重地忽視了分析策略。這樣的忽視導致兩個缺失：第一，競爭理論的支持者在檢查一個重要實驗結果時，分析策略扮演重要角色；第二，在大多數的整合策略中，蘊涵著轉換成分析策略的潛能（Schimony 1993: 109-110）。

先前我們已簡單討論哈金對韓森的批判有稻草人謬誤的嫌疑。古汀作了建模與解釋的區分，並據以批判觀察背負理論學說，恐怕也犯了和哈金同樣的誤失，因為所謂的背負理論是指「知覺活動是概念與感官訊息的整合」，概念元素（概念架構）是知覺歷程與判定中不可或缺的成分，而不是古汀所區分的理論解釋。至於查默斯和郭德曼的批判，著重在這學說會導致主觀

15 郭德曼的觀點似乎未能掌握「觀察背負理論」學說的核心。因為如果「觀察背負理論」的學說是真的，那麼不管安排什麼樣類型的觀察，每種型式的觀察和對於觀察結果的詮釋，都會受理論的「沾染」。同樣地，在雙盲實驗中，總是會有實驗結果不得不去「觀察」，此實驗與觀察的結果也需要科學家的解讀——概念架構的介入同樣無法避免。

性、相對主義的後果，而科學已發展了避免的方法，這似乎也是漏失焦點的批判。即使部分科學研究可以使用儀器讀數（這應該是測量）和實驗方法來避開先入信念，但是觀察仍是科學活動的重要一環，許多實驗結果仍然需要知覺的判斷與分析，如果這些知覺總免不了預設了概念架構，那麼觀察背負理論的學說就是對的。至於是否有科學儀器或方法能夠避開先入之見（信念而非概念），實在與之無關。當然，哈金、古汀和查默斯都強調觀察是技能、行為，而不只是觀察陳述，但是這個強調能夠否定觀察背負理論的學說嗎？我的看法是：不。相反地，它反而支持了這個學說。讓我們留到下一節討論。

西蒙尼的分析，確實構成了觀察背負理論學說的挑戰——但是，它只挑戰了韓森的版本。如果我們把孔恩的整個科學發展的三部曲模式，結合韓森的版本，就會發現韓森加孔恩的論述足以涵蓋西蒙尼所提出的知覺的兩個策略。

孔恩在討論「革命是世界觀的改變」和「不可共量性」（*immensurability*）時，引證了韓森的「觀察背負理論」的學說。在《科學革命的結構》的脈絡下，似乎變成觀察被典範全面籠罩與支配。不過，我們不能忘掉孔恩也談到了異例、科學發現和危機。異例即異常現象，也就是一個異常知覺。一個異常現象總是相對於某一典範才算是異常的。這顯然告訴我們，即使觀察背負著典範，科學家還是會觀察到異於典範預期的現象。而且孔恩更指出典範的涵蓋面越廣越深，越能偵測到異常現象。在《科學革命的結構》第六章，孔恩引證了「異常撲克牌」實驗，¹⁶類

16 正常撲克牌是紅心、黑桃。實驗心理家採用一副異常撲克牌，有黑心、紅桃的花色。心理學家將這副異常撲克牌迅速曝露給受試者看，要求受試者報出它的

比於科學發現的心理學：即如果沒有對異常現象的持續關注並調整觀念來消融異象，就無法產生科學發現。西蒙尼指出，韓森也引證了「異常撲克牌」實驗，卻沒有提到它的最後結果：在長期間的注視下，大部分受試者都能覺察到它的異常（Schimony 1993: 108）。西蒙尼認為這個結果佐證了知覺的分析策略。由此看來，我們當然也可以說，孔恩在強調「觀察背負理論」學說（即知覺的整合策略）時，並沒有摒除知覺的分析策略，否則偵測到異常現象導致科學發現的情況就不會發生。

儘管如此，孔恩和西蒙尼之間仍然有一個可能的差異：亦即孔恩容許異常現象的偵測與長期關注的分析策略之可能性，但是觀察到異常現象的發現者是否已經事先（至少是同時）改變了他的典範（或概念架構）？孔恩是否會容許一個堅定（甚至頑固）的舊典範支持者也可以觀察到異常現象？西蒙尼會容許，但孔恩並沒有給我們一個明確的答案。詮釋者或許會因為「格式塔轉換」與「不可共量性」而傾向於把他詮釋為：除非觀察者在長期關注異常現象的同時，也產生了一個新典範，否則他無法指認出這是異於舊典範的現象。¹⁷ 如果孔恩是這種「觀察必定要背負著完整典範」的強主張，那麼古汀所提供的電磁現象之建構歷史，就會駁斥這個強版本的學說。

花色和數字。當暴露的時間極短時，大多數受試者都無法看出其異常之處（即紅桃六仍然報黑桃六、或者紅桃五報成紅心五等）。隨著曝露的時間拉長，有越來越多的受試者察覺到不對勁之處。然而，即使曝光時間很長了，仍然有少數受試者感到迷惑。韓森也提到了這個實驗。

17 從孔恩對「發現」的探討來看，他主張典範的變遷才使得一個科學發現成為可能。而發現總是要先觀察到異常現象（見《科學革命的結構》第六章）。因此，我們可以合理地推測孔恩抱持的是一個強的主張。更多討論看第九章。

陸、科學現象的觀察與落實

根據上文的討論，筆者認為下列幾點是可以成立的：(1) 韓森的「觀察背負理論」學說，指的是觀察預設了一個（初步的）概念架構，同時科學家可以透過逆推方法從觀察資料建立理論（一個修正的、更完整的概念架構）。(2) 孔恩對異常現象和科學發現的分析，補充了觀察背負理論的學說，但我們有必要放棄《科學革命的結構》中的「大典範」概念，並提供一個較弱的詮釋。(1) 和 (2) 滿足了知覺的整合策略和分析策略。(3) 哈金、古汀和查默斯強調觀察的行為和技能的面向，其實是韓森和孔恩學說的一種補充。(4) 哈金和古汀強調許多近代科學的被觀察現象，是出於實驗者的行為所建構的。古汀提供了一個詳細的電磁現象之建構歷史。我們主張這個建構觀點其實也佐證了觀察背負理論的學說。讓我們進一步論證如下。

首先，「觀察是行為和技能」的主張並未和觀察背負理論互相衝突，正因為觀察是個目標導向的行為（goal-directed act）。如果觀察者要能進行優良的觀察，他必須接受訓練，使觀察成為一項技能。技能總是為了實現（落實）某個目標，它不是漫不經心隨意地看。進一步地說，一個目標導向的行為由行為目標、行為本身和行為結果構成的。因此觀察做為目標導向的行為，意謂觀察者被要求要看到、看成或看出什麼（目標），亦即他要作指認或判斷：他必須為他接收訊息建立一個秩序、辨識出它是什麼，以及歸入某個範疇內（行為結果）。這些都需要模型與概念架構的引導。觀察做為可訓練的技能，更具有強烈的目標導向性。觀察者被訓練去看到他期望看到的秩序，也就是他已經預先學到的知識、理論、模型與其所蘊涵的「分疇分類的概念架構」。（例如透過顯微鏡觀察的訓練。）因此，觀察做為行為和技

能，並不能駁斥「觀察依賴概念架構」的學說，反而是支持它——正因為觀察是個強烈的目標導向行為，目標總是在行為之先，雖然這個目標並不一定是高層次的理論，但至少必須是一個經驗模型。換言之，第一和第三點並不是互相衝突的論點。

針對第二點，雖然我們已知所謂的「理論」指的是概念架構，但是，概念架構的範圍有多大？這是個重要的問題。確實，所有的理論都蘊涵一個概念架構，但是越高層次、越抽象的理論，其所蘊涵的概念架構越大——大到甚至可能涵蓋自然的所有事物。難道所有的科學觀察都背負了一個龐大的概念架構嗎？這顯然不合理。哈金和古汀已經用歷史案例有力地證實了在理論之先，有很豐富的觀察活動。然而，哈金和古汀所謂的「理論」明顯是指高層次的、較抽象的理論，蘊涵了一個龐大的概念架構。一旦我們把理論理解成「一組模型分類階層體系，包含高層次的抽象理論模型，以及最低層次的具體模型」時，「觀察背負概念架構」就可以被詮釋為一個經驗模型，蘊涵一個小範圍的、接近具體的、有視覺意涵的概念架構。例如，在歐斯特觀察到自由懸吊的磁針偏轉的例子中，他所預設的經驗模型與概念架構是「鐵針可以被磁化、磁化的針會偏轉、此偏轉是出於磁作用、磁作用與磁石吸引鐵屑的作用是同類的、地球也會產生磁作用、電與磁可能有關係」等等，當歐斯特看到載流導線附近的磁針有異狀時，他推測載流導線也會產生磁作用，因此他安排了進一步的實驗。同樣地，其他科學家也有上述的經驗模型與概念架構，他們才會看到磁針被導線所影響，也才會安排放置磁針在導線周遭加以檢視。否則他們可能會尋求其它原因，如感受不到的氣流作用、地磁紊亂、懸線有問題或不明的儀器干擾等。

觀察所預設的經驗模型，可能被一個、甚至兩個以上更高層

模型所說明或解釋，因此從它可以逆推出高層模型。這個可能被逆推出來的高層模型，卻未必是觀察者在觀察之先所預設的，而是進一步思考研究後才能得到——如同韓森分析的克普勒發現橢圓軌道之例。又如古汀展示的電磁實驗家們，後來都在相同的基礎（圓形運轉的磁效應）上，試圖提出種種不同的理論（包括磁的本性）來說明磁針的偏轉。因此，如果一個經驗模型可以配合兩個以上的高層模型，它就中立於高層的理論。正如「圓形運轉的磁效應」這個經驗模型（最後由法拉第的實驗程序所落實），中立於電磁學家日後的種種理論解釋。

為什麼經驗模型不是理論模型？什麼條件使一個經驗模型不是理論的？首先，一個經驗模型必定可以視覺化、圖像化。其次，一個經驗模型是從觀察經驗或實驗結果中抽取出來的，它在建立時，可能完全沒有任何相關理論；雖然它也可能會受到既存理論的影響，但絕不是從理論中導出或建構的。第三，一個經驗模型與它所模釋的經驗現象或資料間具有極大化的配合程度，即資料模型（一個物件系統的行為）每個相關的可測量，經驗模型都有項目與之相對應。¹⁸

18 真實現象的可測量，遠遠多於模型的項目。所以，模型永遠無法與真實現象完全一一對應。可是，科學家只對真實現象的部分可測量感興趣，換言之，科學家將會建立一個「現象模型」或「資料模型」。然而，如果現象的某個可測量的改變，不會影響其它可測量的關係與函數量值，則這個可測量是不相關的，可以被排除在「資料模型」之外。如果每個相關的可測量，即資料模型的各個可測量，說明的模型都有項目與之相對應，它們就達到最大化「配合程度」，這個模型便是「經驗模型」。如果有某個相關的可測量，說明的模型沒有項目與之對應，則此模型可能是高層模型。雖然高層模型可以說明現象，卻不能說它已被落實到現象上。如 $F=ma$ 可以說明一受力的木塊在跑道上滑行的速度；但是它和「受力木塊在跑道上滑行」不能一一對應地配合，因為木塊與跑道的摩擦力（可測量）會大幅改變木塊的速度值。第一章已有很多討論。

如果科學家所受的訓練是由高層模型開始，再演繹出經驗模型來觀察現象，那麼不同高層模型（理論或典範）的科學家，對於同一群現象的觀察，就會預設不同的經驗模型。如在亞氏學派的科學家看來，「彗星與彗星的路徑」只是大氣與火交界處的現象，因為他們所預設的經驗模型是：「地球是宇宙中心，地、水、氣、火構成月下區域，天體在超月區域，以圓形軌道運轉，天體永恆不變。」彗星現象並非永恆不變，因此不能被列為天體。而牛頓學派的科學家則預設一個截然不同的經驗模型：「地球不是宇宙中心，大氣之外沒有火。地球繞太陽轉動，行星以橢圓軌道規律地繞太陽轉動。行星的視覺形象呈現圓盤狀。」彗星現象不如行星那麼規律，其視覺現象也非圓盤狀，故非行星，但仍屬天體。換言之，觀察背負高層的理論也是可能的。¹⁹

最後，針對第四點，我們接受哈金與古汀的一個論點：很多科學現象乃是科學家透過實驗工具的安排與操作而建構的。現象的建構與觀察擁有相似的認知歷程，而且被建構的現象，正是「背負著概念架構（理論）」而被建構出來的，對它們的觀察和確認，也必然背負著概念架構。我們可以將此認知歷程粗略地描繪如下：首先，在觀察的情況中，觀察者投射出一個經驗模型，引導他為感官訊息安排一個秩序，並針對感官訊息作整合性的指認和判斷。如先前所舉的彗星例子，亞氏學派的科學家在其經驗模型的引導下，判斷（歸屬）「彗星現象」不屬於天體，只是大氣與火交界之處的現象。牛頓學派的科學家則在不同的經驗模型下判斷它是另一種天體，以不同於行星的軌道和規律環繞太陽。

19 這個天文學案例的進一步處理，參看第四章。另參看陳瑞麟和薛甯中（2009），〈概念變遷：斷裂或連續？〉，收於陳瑞麟編，《分析的技藝：林正弘教授七十祝壽論文集》。臺北：學富出版社。

其次，在建構的情況中，被投射的經驗模型提供行為程序，引導實驗者依序、按步地落實該模型。如古汀所展示的電磁現象之建構歷史。必歐投射出一個「磁針在導線周遭不同位置的偏斜方向有一個潛在秩序」的經驗模型，指引他依序地（上—左—下—右）移動導線。這樣的圓形移動順序與磁針偏轉方向的觀察，使得必歐落實了「封閉迴路的磁效應」的實驗現象。戴維和法拉第在必歐建構的實驗現象之基礎上，進一步探求此封閉迴路的形狀。最後終於由法拉第連結「圓形輪廓」，從而投射出一個「磁針的偏斜方向是由於磁作用的圓形封閉迴路所造成的」經驗模型，引導他設計落實的實驗方式和程序（越大的圓盤，磁針排列越接近圓形）。最後，我們就觀察到靠近載流導線的磁針被圓周運轉的磁力線偏轉了。

可是，如果被落實的現象與由經驗模型所逆推而來的高層理論有所抵觸，就可能引發科學家質疑經驗模型或者質疑高層理論。如果是前者，科學家可能進一步檢查是否有隱藏的輔助假說，或者使用特置假設（ad hoc hypothesis）來保護高層理論。例如在科學史上有名的高塔落石案例中，主張地動說的哥白尼和伽利略質疑：「因為地球靜止，所以從高塔自由落下的石頭會落在塔邊，而不是後方。」他們分別提出石頭被空氣帶動（哥白尼）和石頭有其慣性的「特置假說」來保住地動說這高層理論。當然，情況也可能是科學家放棄理論。例如必歐觀察到磁針偏轉的效應會隨著與導線的距離增加而減低，這使他聯想到與距離平方成反比定律——因為重力定律和庫侖定律都是如此。他企圖提出磁效應的「平方反比定律」這個高層抽象的理論，卻沒有成功，因為他無法成功由實驗資料來逆推出「平方反比定律」，或者說他所設想的「平方反比定律」（磁效應 K/r^2 ， K 是某未知常

數， r 是距離）無法導出能滿足實際測量的經驗模型，因為他無法成功地建立磁效應和距離平方之間的常數關係。

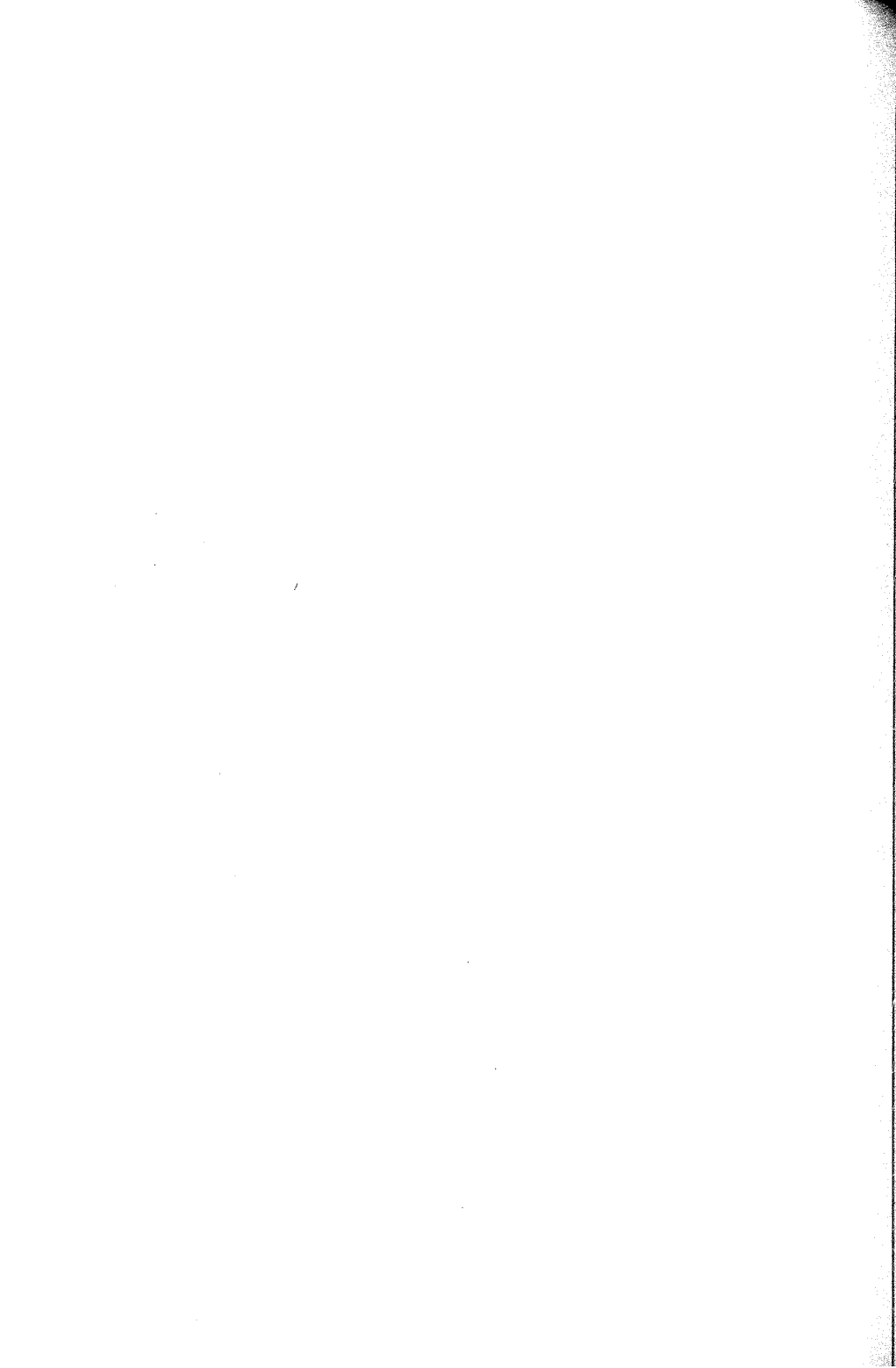
上述的討論隱含了一個觀察背負理論學說的修正版，讓我們稱作的「觀察與理論的互動論」(an interactive theory of observation and theories)——模型是觀察與理論之間的媒介。它有如下內涵：(A) 觀察是個目標導向的行為；(B) 對於被觀察對象的指認或確認，預設了一個經驗模型，其中蘊涵一個先行的分疇分類的概念架構。此點可稱為「觀察依賴於經驗模型」，其中經驗模型相當於古汀所謂的建模。(C) 從觀察預設的經驗模型，有可能發展出不同的高層模型，即不同的高層理論。此意謂著，具有不同的高層理論背景的科學家，仍可能觀察到相同的現象。高層理論相當於古汀所謂的解釋。(D) 觀察的行為歷程：觀察者投射出一個經驗模型（做為目標），此目標引導觀察者賦予感官訊息秩序，並作指認與判斷。一旦此判斷與某已知的高層模型相衝突，觀察者可能檢討該高層模型、也可能檢討經驗模型。(E) 某些科學現象是實驗行為的落實：古汀所謂的現象之建構，更好說是現象的穩定化——經驗模型的落實。亦即，實驗者投射出一個經驗模型，提供秩序與行為程序，引導實驗者依序執行。如果可以完成程序，則為該模型的落實。如果不能完成程序，表示該模型無法落實 (fail to realize)，或說此實驗程序在自然中不正確。在此情況下，實驗者無法建構新現象。

柒、從觀察到實驗

哈金開啟了兩個觀點：(h1) 觀察是種行為和技能；(h2) 許多科學現象是由實驗建構的。古汀發展哈金的觀點，提出：(g) 許多科學現象是實驗者的行為程序所建構的。兩人都主張「理論

未必總是（邏輯上與時間上）先於實驗」。兩人都同樣反對觀察背負理論的學說。後來的哲學家如查默斯、郭德曼和西蒙尼也對「觀察背負理論」的學說有所批評。本文的論證顯示，他們的批評並沒有成功擊敗這個學說。然而，我們需要把觀察背負理論中的理論弱化為概念架構和經驗模型，而且窄化它的範圍。這樣的調整，可以吸納「觀察是目標導向的行為」以及「科學現象是實驗者的行為程序所建構的」的論點，再強調觀察與理論的雙向影響與互動的概念，以做為「觀察背負理論」學說的修正，最終構成一個「觀察與理論的互動論」。觀察與理論的互動論容許觀察可以中立、獨立於高層理論，而不是全然受到理論的支配。這也表示背負不同理論的科學家，當然有可能看到相同的現象，因為他們可以擁有共同的經驗模型。先行一提的是，古汀論電磁現象的建構，涉及科學發現的問題，本書將在第九章深入討論。

晚近的科學觀察，在很大的程度上是實驗結果的觀察，科學家所觀察到的現象，並不是一種會在自然界中自然發生或出現的現象，而是科學家透過實驗工具的安排與實驗程序的設計所創造的現象。傳統上，被觀察到的現象被視為驗證或否證理論的證據，但是，如果實驗與實驗工具需要依賴理論的設計，而現象又是實驗所創造的，那我們要如何以實驗現象來檢驗理論呢？這問題把我們導向「科學理論的實驗檢驗」。



第三章

理論的檢驗與局部決定

為什麼要檢驗科學理論？該如何檢驗科學理論？傳統上，這是科學哲學的核心問題。檢驗科學理論的目的在於判斷該理論的真假或可靠性，只有真或可靠的理論才可以被接受。科學家普遍認為，一個理論是否真或可靠，要經過證據的考驗。這等於說，科學應該以證據來檢驗理論。如此一來，又有一個優先的問題：證據如何獲取？

科學有三種獲取證據的基本方式：觀察、實驗和探查（exploration）。¹ 每一種方式都與理論或背景觀念有糾結難分的關係。「觀察」已在上一章討論，本章的目標是「實驗」。科學理論如何被實驗檢驗？這等於問：實驗如何提供證據以檢驗理論？要回答這個問題必得涉及實驗的分析，但也得優先考察一個已被討論近百年的問題「科學理論能被經驗證據決定嗎？」然而回答這個問題的關鍵在於科學理論的結構，只有透過理論結構的分析，我們才能知道證據是否能夠完全支持或駁斥一個理論。

科學理論的檢驗也被說是印證問題。印證問題關注的是「理

1 「探查」是一種主動搜尋證據的行為，例如尋找恐龍骨骼、尋找古生物骨骼、搜尋外太空生命、搜尋新行星、搜尋新物種等等科學行為。目前科學哲學很少討論這個課題。

論與它所說明的對象」、「理論與實驗」，或者「理論與支持理論的證據」之間的對應、累積或支持關係。對印證的考察有一個著名的歸納主義傳統，包括二十世紀的邏輯經驗論。邏輯經驗論視科學理論是一組相關的普遍命題或述句（通則），例如「所有銅都能導電」。那麼，印證問題可以簡單地描繪如下：如果我們有一個銅樣本，觀察或試驗它的結果能導電，就給予此通則一個證據（a piece of evidence）或印證例（confirming instance）。如果累積（歸納）更多印證例，或者作出精確地統計，就能給予理論支持，使我們得以判斷理論的真假或可靠性。歸納主義影響所及，很多科學家和哲學家相信一個理論應該由觀察證據的歸納或統計來印證，一旦科學理論所預測的某個現象被觀察到時，它就成了該理論的印證例。如果一個理論累積了越多印證例子，它就可得到越高度（高機率）的印證。如果兩個不相容的理論互相競爭時，就看哪一個理論能得到更高機率證據的支持，該理論就應被接受。

歸納主義這個簡單的印證圖像受到很多種批評，大致有六種：（1）**印證與否證的不對稱**：否證論者波柏的批評說，即使累積再多的經驗證據，也無法證實理論為真，然而只要一個反例即足以否證理論（證明理論為假）。（2）**不吻合科學史實**：孔恩、拉卡托斯和費耶阿本等歷史導向的科學哲學家顯示，歷史上科學家並不是以證據的歸納累積來檢驗理論或選擇理論。（3）**證據不足以決定理論（underdetermination of theories by evidence）**：不管從邏輯或從歷史史實來看，經驗證據總是不足以決定一個理論是否能被印證或否證。這個論題也拒絕波柏的否證論。（4）**經驗等值（empirical equivalence）的可能性**：如果一組現象能被一理論 A 說明，即該現象能用來印證理論 A，則原則上，總

是有另一個不相容於 A 的理論 A' 能被建構出來，使得同一組現象也能印證理論 A'。因此，要選擇 A 或 A' 無法單由證據來決定。這是「不足決定論」的較強版本。(5) **理論的語意觀點**：歸納主義的句法式理論觀，漠視了理論與證據之間其實是理論模型與資料模型之間的配合。這種配合不是歸納式的印證 (Suppe 1989: 348-413; van Fraassen 1980: 132-124)。(6) **證據支持力的不等值性**：這是來自歸納主義的後裔貝耶斯主義 (Bayesianism) 的批評。貝耶斯主義者主張不是所有的證據都有相同的證據力。直覺上，如果由於理論的預測而出現的證據，將會給予理論一個更強、更大程度的支持。問題是，我們要如何計算不同證據的證據力？貝耶斯定理提供了計算公式來計算證據與假說之間的相互支持程度。²

本章從模型取向來考察理論的檢驗問題。模型觀點把印證問題理解為「如何使理論結構 (模型) 能配合經驗資料的結構 (模型)？」在這樣的觀點和問題下，理論的印證不再完全是透過觀察證據的歸納和統計來說明，而必須涉及更複雜的結構分析，特別是在理論計算與實驗資料的配合上，理論結構和模型扮演了媒介者的角色。理論如何透過結構和模型來配合資料？前兩章已有詳細的討論。

我的主張是經驗證據無法印證或否證整個理論，也無法判斷理論為真或為假，我們只能得到理論模型和證據模型之間的相似程度。再者，本書透過「理論版本」的概念來理解科學理論，因

2 貝耶斯定理可以表達如下： $pr(h|e) = pr(e|h)pr(h) / pr(e)$ 。即「在給定證據 e 之下，假說 h 為真的機率」等於「假說 h 為真的假設之下，證據 e 為真的機率 ($pr(e|h)$)」乘以「假說在沒有證據的情況下為真的機率 ($pr(h)$)」，再除以「證據為真的機率 ($pr(e)$)」。

此切入點又轉到分析「理論版本的結構」，一個「科學理論版本的結構」體現在分疇和分類的結構與一個模型的階層體系上。因此，科學理論的檢驗問題就變成：有這種結構的理論版本如何被檢驗？又如何被實驗所檢驗？

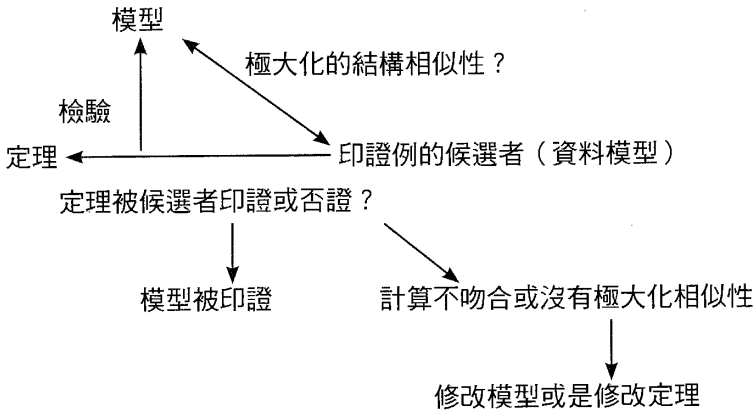
本章的論證將支持一個溫和版的證據不足決定理論，更精確地說是「證據局部決定理論」(partial determination of theories by evidence)。我將展示，不管是在理論的或者歷史的面向上，一個科學理論或理論版本擁有一個分類模型族群，包含高層的理论模型和最低層的經驗模型；而且科學家總是透過經驗模型來檢驗理論。如果科學家使用實驗來獲取證據，科學家會根據具體化模型來設計實驗模型，再將實驗模型加以體現(embodiment)——又稱物質落實(material realization)或實驗落實(experimental realization)。因此，實際被檢驗的理論總是那些具體化模型，而不是高層的模式。何況，實驗模型也是檢驗過程中可加以懷疑的部分。如此一來，檢驗的結果要傳遞到高層次的理論模型，乃是一個複雜的機制。因為如果實驗結果和理論的預測不吻合，就算科學家不質疑具體化模型，他還是可以質疑實驗模型或實驗落實出了問題，結果理論版本不足以被證據否證。反過來說，即使理論版本的一些具體化模型被印證了，但是整個理論版本仍然不可能完全被印證，因為還是有很多其它的具體化模型未被印證，而且實驗模型和實驗落實也不能自我保證完全不可懷疑。最後，我也希望能說明這個歷史現象：如果檢驗科學理論的目的不在於否證它，也不足以印證它，為什麼科學家總是不斷地想檢驗同一個科學理論？

壹、透過具體化模型和實驗模型來檢驗理論

透過模型來檢驗理論，可以用如下方式來描述。科學家要證明某一現象可以支持或反對一個理論，因此是該理論的一個印證例或否證例，他得考察一個理論是否能產生一個針對該現象的最大具體化模型。他的工作同時可以從兩個方向來描述。一來，他得選擇理論中較具體化的模型為基礎，增加或分析模型的變量，以便能對應到該現象中的每個相關的可測量。換言之，他得建立一個最大具體化模型。二來，他得決定該實際現象（一組資料模型）是否可做為最大具體化模型的印證例之候選者（candidate for a confirming instance）。他必須同時考察模型與現象之間的配合，包含質與量兩個面向。在質的面向上，他得進一步考察最大具體化模型的變量關係與函數是否能一一對應於此候選者的所有可測量的關係與共變。如果是，則此資料模型的確是該最大具體化模型的印證例之候選者。接著，他必須進行量上的計算。一方面，不同組的數值或量可以被指派給最大具體化模型中的每個變量，然後它們之間的數學關係由相關的定理來計算與決定，以便獲得一個理論預測值。另一方面，在具體物件系統中的數值資料，例如迴旋石頭系統中，石頭的質量、從石頭到固定點的長度、週期等，可以被實際測量出來，以便印證或否證描述圓周運動的定理。

現在，在理論的檢驗架構中，我們有一個最大具體化模型、一個描述模型的定理、一個實際現象（做為具體化模型的印證例之候選者）。如果定理的計算或計量一致於最大具體化模型的候選者之測量數據與描述，則定理被印證。但如果兩者之間不一致，定理被否證。定理的印證或否證乃是模型本身的檢驗。如果模型的定理被印證，模型也被印證，候選者變成一個印證例；如

果定理被否證，則模型並未被印證；定理或模型應該被校正或修改。讓我們用下列架構來表達模型、定理和印證例的候選者三者之間的關係。



檢驗一個理論版本便是去建立具體化模型，並證明它有印證例或者被假定為印證例的現象並不能配合它。建立具體化模型也就是從理論原則以及高層模型家族中導出低層模型，或者藉由組合幾個低層模型建構出複合模型。倘若一個理論版本中的具體化模型已經建立，初步看來，我們至少有三種模式（modes）可以檢驗這理論版本。

第一，在現象領域中，找出實際的現象做為具體化模型的印證例。

第二，使用實驗工具來干預一個具體化模型的印證例，尋求新現象的產生，再考察該具體化模型能否「消化」新現象。

第三，做出或者製造出實質的物件系統，以做為印證例。

第一個模式可以單由觀察、調查或探查來達成目的；第二和第三個模式必然要訴諸於實驗、工具和技術。第一個檢驗模式的適用案例是傳統天文學理論如哥白尼理論。

透過一系列修正的原子結構模型之創建，乃是第二個檢驗模式的範例。二十世紀初，湯姆生 (J. J. Thompson, 1856-1940) 首先提出一個原子的葡萄乾布丁模型 (plum pudding model)。1911年，拉塞福 (Ernest Rutherford, 1871-1937) 在以 α 射線撞擊金箔的散射實驗 (scattering experiments) 時，發現湯姆生的原模型所無法解釋的異常現象，為了消化這些異常現象，他建議了一個類似於太陽系的新模型，從而也發現了原子核。³ 然而這種模型又產生了關乎其穩定性的新問題。這些問題連同巴耳末光譜 (Balmer's spectrum) 的現象，導致玻爾 (Niels Bohr, 1885-1962) 原子模型的建立。⁴

第三個檢驗模式是「具體化模型的實體化或物質落實」，也就是科學家試圖去製造準同構於模型的具體現象或物件。⁵ 他們

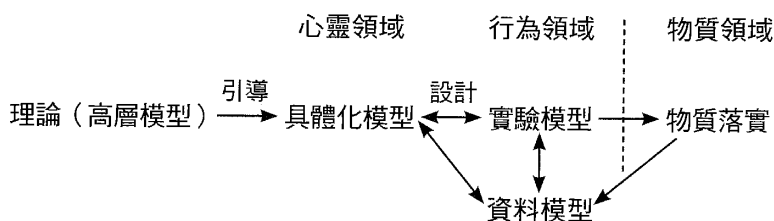
- 3 湯姆生的原子模型像是一個表面上綴滿葡萄乾的布丁；布丁類比於整個原子，而葡萄乾類比電子，換言之，電子均勻地散布在原子表面；但拉塞福和他的學生蓋革 (Hans Geiger) 與馬斯登 (E. Marsden) 以 α 射線撞擊金箔想研究原子的結構。結果他們發現 α 粒子的反射角度都不一樣，有些反射角度將近 180° ，有些則幾乎沒有偏斜地穿過金箔。 α 粒子帶正電，因此反射近乎 180° 意謂了它撞到帶正電的原子核；如果原子是如綴滿葡萄乾的布丁， α 粒子不可能會有這樣反射角度差別極大的情況出現，因此湯姆生的原子模型可能是不正確的 (參看 Brenann 1996, ch. 4)；另參看大學物理教科書 (Lea and Burke 1997: 1119-1125)。
- 4 為了維繫原子的穩定性與說明巴耳末光譜的量子特徵，玻爾把量子 (quantum) 的概念引入電子繞行原子核的軌道。當然，玻爾的模型後來又被薛丁格 (Erwin Schrödinger, 1887-1961) 的量子力學修正了。從湯姆生到玻爾的原子模型，一個理論性的、細節性的介紹，參看一本大學教科書 (Eisberg & Resnik 1985, ch. 4)。
- 5 通常被製造出來的具體物件往往被科學家稱為「實體模型」，稱它為「模型」是

先假想某種人造物件系統可以產生模型模釋的行為，然後根據模型引導而製出實體性的物件，如此一來，模型就扮演了藍圖的功能。如果科學家可以成功地製造出實體，就成為模型的印證例。如果科學家以這具體物件來進行實驗，被用來當成製造藍圖的模型就是一個實驗模型。例如單擺。雖然鐘擺可以被視為單擺的一個類比或相似的例子，但它並不是單擺的對應物件，因為它有許多精密機件。然而，我們還是可以製造單擺的相似個例：把一塊石頭綁在一條細繩上，讓石頭左右擺盪，也可以被說是一個單擺。然而，所有相似或類比例子都無法達到單擺模型所要求的理想程度——準同構（極大化相似度）。換言之，我們測量擺盪石頭的重量和位置數據可能相當不吻合單擺定理的計算。但是科學家可以想辦法製造出一個接近理想的單擺，也就是讓擺線近乎無重量，擺錘的質量均勻，質心在擺線末端，擺動發生在真空狀態之中——如此科學家就製造出單擺的對應物件，與單擺模型準同構——不只是單擺的相似例子而已。

第二和第三種檢驗模式都要依賴實驗模型（詳細討論見第七章）。直觀上，一個實驗模型是實驗設備的圖像，而「實驗模型的物質落實」則是此圖像的實體。例如第一章阿特武德機和轉矩

因為它被認為「模倣」了大自然的結構。科學家製造了實體模型並進行實驗以印證理論就被稱作「模型實驗」(model experiment; Hackmann 1989: 45-48)。哈克曼說：「模型實驗——通常用小尺寸的裝置——從抽象的概念模型中演變而來，以便去展示自然現象的性質或假想的機制。」(Hackmann 1989: 47) 從我們的觀點看，科學理論說明的現象或模型並不見得是大自然中存在的，所以我們強調了科學家的製造，許多實體模型都是從理論模型中製造或發明出來的。換言之，它們根本不是其它東西的「模型」。事實上，科學理論就是在說明這些實體物件的運作。當然，在十八世紀時，的確有許多試圖去製造出複製自然現象（如地震、旋風等）的模型實驗 (Hackmann 1989: 52-55)，今天我們通常稱這種實驗為「模擬」。

天平的實驗模型，其物質落實即是裝備實體。不過要注意模型和其落實都不是靜態的東西，一部靜止且無法作用的機器結構並不能算是一個實驗模型，一部無法運作或沒有運作的裝備或機器，也不是實驗的物質落實。因此，更精確地說，一個實驗模型乃是「實驗裝備的實驗操作或機器的運作」。實驗總是需要人的執行，因此實驗其實是一個行為（實驗操作），實驗模型最終是一個行為的模型，其物質落實乃是「裝備實體的實際運作」。反過來說，一個實驗的物質落實的結構，就是它的實驗模型——是根據理論的具體化模型來設計以做為科學家建構實驗裝備和工具，及進行實際操作的藍圖。我們也可以說，具體化模型提供了實驗設計的背景觀念（background ideas in designing）。從理論（高層模型）經具體化模型和實驗模型，再到實驗的物質落實，其間的關係可表達如下架構：



其中，理論、實驗與落實的關係是具體化模型與實驗模型有最大的結構相似程度，因此也和其物質落實有最大的結構相似程度。實驗模型的物質落實提供一個資料模型，以便和具體化模型作比較。

什麼時候具體化模型和實驗模型能達到準同構，即最大的結構相似程度呢？有兩個方向。如果製造物件系統的技術水準，能將自然環境的變因，控制到接近理想模型所需考慮的少數變因時

(例如可以製造出真空、均勻質量的擺錘、輕到近乎無重又具韌性的擺繩等等)，那麼科學家對準同構的要求就會很高。另一方向是科學家也可能從數學工具著手，發展出更複雜的方程式，可以處理更多變數，如此理論模型的抽象程度就可以降低，或者可再分類成更低層次的模型(例如阻泥單擺這種模型：在非真空中擺盪且遭遇空氣摩擦力的石頭，就可能被視為阻泥單擺的印證例)。⁶

貳、檢驗理論的模式

檢驗一個理論是一件極為複雜的事，因為只能透過它的具體化模型。邏輯地來說，有幾個可能的結果：(1) 如果一個模型家族的所有具體化模型都有印證例，且所有描述它們的定理都得到印證了，那麼這模型家族算是被印證了。(2) 如果有一具體化模型未被印證，則這個模型家族是部分地被印證。要不是該具體化模型需要修改，就是印證例的候選者需要重新檢視。(3) 如果只有少數的具體化模型被印證，那麼這個模型家族以及它對應的原理便成為需要更多考察的難題或謎題。要不是那些未印證的定理必須重新計算，就是印證例的候選者之測量資料應該再檢視。(4) 如果所有定理皆被否證，也因此所有具體化模型都被否證，那麼這模型家族與其對應的原理需要修改或調整，或者印證例的候選者需要被檢視。如果科學家認為自然環境下有太多的隱藏變數，他們可能會試著造出理想系統，以做為印證例的候選者。(5) 如果只有一個具體化模型有印證例，那麼這個模型家族也

6 這情況仍然只是準同構，而不是完全同構，因為阻泥單擺模型的阻泥力必須是穩定的力(它是擺錘速度的函數)，而實際擺盪石頭的環境卻不一定能提供穩定的阻泥力，因為空氣氣流可能不穩定或者石頭的形狀不均勻等等。

是一個謎題。科學家會嘗試印證其它具體化模型，或者是採用（4）的辦法。（6）如果所有具體化模型都沒有印證例的候選者，那麼要不是這個模型家族純粹是個概念模型（例如某些思想實驗），就是所有具體化模型需要重新考察或分類。這六種情況並沒有窮盡所有可能性。在此提供的是一個概括性的描述，下一節有更多歷史考察。總之，在大多數的情況下，一個高層模型家族是個謎題，為「常態科學家」提供很多問題。換言之，理論和模型是科學家研究世界的指引。⁷

一個理論版本至少包含了一個或更多高層模型家族。既然一般的理論版本或多或少包含了幾個高層模型家族，甚至包含了多階層的模型階層系統，理論版本的檢驗比起單一的高層模型更為複雜。但是其基本架構大致不出上述範圍。就純邏輯而不考慮模型結構的配合時，理論版本的所有高層模型家族皆被否證，從而整個理論本身也被否證的確是可能的。但這樣一個理論版本在實際歷史中不太可能被接受，因為它無法用來說明任何現象。會被研究的理論版本至少要能夠推导出某些最大具體化模型來說明某些現象，也只有當理論版本包含具體化模型時，它才有可能吸引科學家來應用它。

現在讓我們舉例討論上述的第六種情況：在真實現象中既找不到模型的印證例，也無法將模型實體化或物質落實。這可能是「預期中可以落實，但目前的技術仍有所不足」，也可能是該模

7 可以比較韓森的說法：「只有透過定律敘述，證據才能相關於系統的低層次假設，而被覺察為印證的或否證的。……但有時物理學家所關切的動力學系統，沒有什麼東西可以否證它的定律，因為它們決定了這系統能夠應用的那些現象類型。……假設沒有另種概念系統可以用來描述和說明現象類型時，那麼科學家將只有一種思考主題的方式。」（Hanson 1965: 103）

型是純粹理想化而預期無法落實的「概念模型」，然而後者並不代表它一定不可能落實。以今天的機械技術來說，科學家在古典力學中所能設想的具體化模型幾乎都可以有印證例。當代物理學則有一些著名的思想實驗是預期中難以落實的純理想化模型。⁸ 例如愛因斯坦 (Albert Einstein, 1879-1955)、波多斯基 (Boris Podolsky, 1896-1966) 和羅森 (Nathan Rosen, 1909-1995) 為了反對量子力學 (quantum mechanics) 中的哥本哈根解釋 (Copenhagen interpretation) 而設想將會導致 EPR 悖謬 (paradox) 的思想實驗⁹ ——在這個實驗中提出了考察量子間互相作用的雙量子模

- 8 許多哲學家均討論了思想實驗。杜恩相當貶抑思想實驗，他以為思想實驗不能產生任何精確的結果，只有很少的證明價值，而且必須小心翼翼地以免出錯 (Duhem 1991: 202)。孔恩則指出思想實驗不是如一般人所認為的：只能用來消除科學家思想上的混淆和矛盾，而不能帶給我們自然的知識；相反地，他認為思想實驗的最大功能在於科學危機時期幫助科學家進行基本概念改革的必要分析工具之一。思想實驗的結果如同科學革命一般，讓科學家改變他們對世界的知識 (Kuhn 1977: 263)。奈瑟姍也同意思想實驗的「概念轉變」功能，但她將焦點放在思想實驗的本質和效力上，她以為思想實驗之所以能既在思想面又在實驗面有其力量，是因為它來自科學家心智中的心智模型——它結構性地類比情境、歷程、物件和事件等等 (Nersessian 1992: 25-35)。古汀則從人類的心智程序 (procedure) 探討思想實驗為何能運作的理由，古汀強調人類實驗技能的一面，以及這種實驗技能「製造意義和表徵」(making meaning and representation) 的關鍵性 (Gooding 1992: 69-72)。
- 9 關於這兩個實驗，參看一些中文科普書籍如《薛汀格的貓》和《玻爾》。在相對論和量子力學中，思想實驗被大量地使用。愛因斯坦是個著名的思想實驗高手，如同米勒 (Arthur Miller) 所言：「在愛因斯坦之前，沒有人能如此有效地將視覺思考和思想實驗組合起來。」(Miller 1987: 113) 當年他和玻爾辯論哥本哈根解釋 (即量子力學的機率解釋) 時，他總是設計思想實驗來試圖駁倒對方，第二論辯時愛因斯坦提出「愛因斯坦光盒」，但為玻爾引用廣義相對論而駁倒 (參看《玻爾》第六章)。「愛因斯坦光盒」也是思想實驗，但有相當圖像化的模型——可以說本身就是一具理想的實驗儀器。玻爾則改良愛因斯坦光盒用來駁倒愛因斯坦 (他的一個學生把玻爾的改良模型製成實體模型)。後來，愛因斯坦再度聯合其他物理學家提出 EPR 悖謬，EPR 悖謬的雙量子模型則更為理論化，被

型，試圖顯示哥本哈根解釋是不完備的。又如被暱稱為「薛汀格的貓」(Schrödinger's Kittens)的「盒中之貓」(cat-in-the-box)思想實驗(可以用圖像來表現)，被用來思考量子力學的機率解釋所引發的「主體－客觀性」問題。假想一個密閉盒子有一毒氣瓶、一隻小貓和一具一次只放射一個電子的理想儀器，電子通過雙狹縫其中之一可以打破毒氣瓶而毒死小貓；但根據機率解釋，電子通過該狹縫的機率只有50%，那麼除非觀察主體親自去觀察密閉盒，否則無法預測小貓是死是活——這是否表示某一客觀狀態必須要有主體介入才能確定？這個思想實驗也是目前技術所無法落實的。

一個思想實驗其實就是理想的實驗模型，一個目前技術無法落實的實驗模型，但並不意味它是「不可落實的」。思想實驗和實驗模型都是一種思想中的實驗(構思那理論和實驗落實的關連)，而不是實際地動手去做、去落實，所以在本質上是認知的，而非實作的——它們能帶給我們科學知識；它們不僅具有概念變遷的功能，也是知識結構之一部分。現在有個問題是：實驗模型究竟屬於理論或實驗？實驗模型雖是心靈中的認知模型，但並不是理論的一部分，而是根據理論的具體化模型所設計出來的。那麼，具體化模型是不是就是理論的？這仍然要看該具體化模型是不是從理論中導出，亦即是不是理論中的模型。如果具體化模型是從原理引導出來的，它是理論的(例如阿特武德機模型)。但是，如果具體化模型是組合幾個模型而被複合地建構出

認為是無法具體實驗的思想實驗。然而在五十年後，1980年代初，巴黎的艾斯布利克(Aspect)已經將此實驗付諸實現，並且論證了愛因斯坦是錯的。參看《薛汀格的貓》，頁30-37。從這些實例中，我們可以看出科學家如何汲汲地將腦中的思想模型付諸落實。

來，那麼它就不是理論的，因為它不是來自某個理論。

具體化模型幾乎同構於資料模型或實驗模型，它中介於理論和資料，這個觀念拉近了理論和實驗的距離，或者填補了理論和實驗之間的鴻溝。一方面理論蘊涵模型，模型本身是可實驗、可操縱（manipulatable）的東西；另一方面，科學知識其實有很大的部分是實驗（或實驗室）的知識——也就是實驗模型和實驗落實後的結果之知識。故理論的具體化模型透過實驗的物質落實而顯示出理論的物質化和實體化；反過來說，一個實驗的落實本身是一種實體化的理論。¹⁰ 現在這個觀點能得到實際科學歷史的支持嗎？讓我們以牛頓力學的印證史為例。

參、牛頓力學理論版本的印證簡史

牛頓的《自然哲學的數學原理》演示了一個深度廣度都前所未見的科學理論版本，它以少量定律優雅完整地說明天體和地面的種種複雜現象，使它成為有史以來最成功的科學理論之一，成為一個經典的科學理論——亦即經典力學的原始版本。牛頓理論版本為何能成功？天文學家哈雷（Edmund Halley, 1656-1742）的支持以及許多知名人物如哲學家洛克（John Locke, 1632-1704）的讚賞，牛頓理論版本傳播的速度、持續和範圍等都是牛頓力學成功的因素。然而，科學畢竟得接受經驗證據的考驗，牛頓本人以及歷來的科學家不斷嘗試檢驗牛頓力學，而且牛頓力學

10 這裡討論的「被製造出的具體物件」往往被科學家視為實體模型而被科學史家納入儀器或裝置（instruments or apparatus）之類別下來進行討論，如法國科學哲學家巴榭拉（Gaston Bachelard）曾形容工具為「物化的理論」（un théorème réifié; Hackmann 1989: 32）。

一再地通過這些實驗的考驗，這才是牛頓理論成功的重要關鍵。在這一節中，我們的目標是考察歷來對牛頓版本的檢驗之嘗試，我們希望能明瞭：科學家們包括牛頓自己是如何去檢驗《原理》中的理論版本？科學家們對這些檢驗的嘗試有什麼看法？在什麼情況下，牛頓的版本可以說被印證了或者被科學家視為印證了？而牛頓版本核心的運動定律和重力定律是否能夠被「否證」？

牛頓版本的模型分類與其低層模型的印證例可以描繪成如下架構：

	具體化模型		印證例
線性運動	慣性運動	↔	伽利略的斜坡實驗
	自由落體	↔	自由掉落的球、石頭等
拋射運動	拋射體	↔	飛行中的子彈、炸彈等
循環運動	圓周運動	↔	繫在繩上旋轉的石頭等
	橢圓運動	↔	月球繞地球、行星繞太陽等
諧振運動	單擺	↔	伽利略的單擺實驗
	振盪	↔	種種彈簧振盪等

在這樹狀分類中，大部分的低層模型種類都有印證例，而且其對應的定理也被印證。這個事實使得牛頓理論版本變成不可駁斥，儘管水星和天王星的軌道（一度）無法配合它們的模型。當然，不可駁斥也不意味牛頓版本已完全被印證了。

整個牛頓版本和擴張的牛頓式版本（Newtonian theory version）的印證大致可分為下列五個階段：（1）牛頓自己對三大運動定律的印證說明；（2）世界系統的說明和彗星軌道的預測。

哈雷彗星回歸是牛頓系統的首度勝利；(3) 第二運動定律的檢驗：阿特武德機的實驗和地位；(4) 萬有引力定律的檢驗：卡文迪士的轉矩天平的實驗和地位；(5) 海王星 (Neptune) 的發現，牛頓系統的再次大勝利。以下我們依序敘述這段牛頓力學的檢驗歷史。

《原理》一書的內容是牛頓以三大運動定律為基本原理，逐步地推演出由重力定律所支配的整個世界系統。牛頓相信三大運動定律和經驗事實吻合，為已印證的真理，而且他將這些定律的印證歸諸於先前科學家的努力。在「公理，或運動定律」的評註 (scholium) 部分，牛頓一開頭即說：

迄今我已闡述的這類原理 (三大定律)，它們已為諸數學家接受，而且由豐富的實驗所證實。由第一和第二運動定律和首二個推論，伽利略發現下落物體 (的距離) 隨著時間平方而變動而且拋射體的運動是沿著拋物線而行進；除了受到空氣的小幅阻礙之外，經驗一致於這兩者 (Newton 1962[1682]: 21)。

緊接著，牛頓解釋自由落體和拋射體的運動如何印證第二運動定律。就自由落體來說，當一物體下落時，受到均勻重力的作用，在一同等的時間間隔內，生成相同的速度，所以力量生成的速度和時間成比例，如此佐證了第二運動定律。¹¹ 在拋射體的情

11 在自由落體的情況中，物體的初速度是零，受均勻重力作用而下落並加速，抵達地面的末速和時間成比例，亦即 $V_0=0$, $V'=at$, a 是加速度，所謂「力量生成的速度和時間成比例」乃是意指力量生成固定的加速度，所以不同的力量將生成不同的加速度，亦即 $F \propto a$ 。如果作用的時間是一定的，則 $F \propto V$ ；受力物體的質量又保持不變，則 $F \propto mV$ ，即 $F \propto P$ ， P 是動量，即受力和動量成正比，由此證明了《原理》上的第二運動定律之原始敘述。

況中，物體受到一拋射方向的力和重力的同時作用，根據力的平行四邊形分析（圖 3-1）：

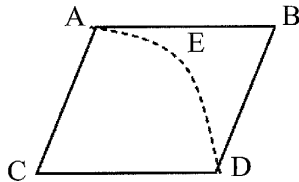


圖 3-1 力的平行四邊形分析圖

AB 代表拋射方向的力量能讓物體在一定時間間隔內經過的距離，AC 代表重力在相同時間間隔內讓物體下落的距離，則物體在此時間間隔內，將沿著拋物線 AED 運動，最後落於 D 點。換言之，物體沿拋物線運動的事實證明了 AB 方向的受力所生成的速度也將和時間成比例，亦即在不同方向的運動同樣遵守第二運動定律。第一定律則在「慣性」的定義當中已經被定義了，當然也可以說第一定律已經被伽利略印證了。至於第三定律，牛頓指出皇家學會成員雷恩（Sir Christopher Wren, 1632-1723）和瓦立思（John Wallis, 1616-1703），還有荷蘭的惠更斯（Christiaan Huygens, 1629-1695）一起建立的「堅硬物體的反射和撞擊規則」即是此定律，它由皇家學會的單擺撞擊實驗所證實（Newton 1962: 22）。以上是牛頓力學的第一階段之印證。

第二階段是重力定律的檢驗。特別是第三冊所展示的理論假說和天體觀測數據的吻合，以及海洋潮汐成因的解答。在天文學中，比較透過理論計算而得的數據和實際觀測所得的數據時，已經不是單純理論階段，而是進入檢驗的階段，所以第三冊的部分計算也具有檢驗重力定律的效果（Berry 1961: 210-246）。《原理》

第三冊並不只是天體現象已知數據的比較，還包括了天體運動的預測。這些預測中最令人興奮也最新奇的莫過於彗星軌道的計算。誠如天文史家貝里（Arthur Berry）所言：「將彗星表面上的任意運動化約到規則上，以及讓它們和行星一樣在重力作用下環繞太陽運行，可以被視為《原理》所擁有的不可勝數的發現中，最驚人的發現之一。」（Berry 1961: 238）

對早期的人類來說，彗星是最不可思議、最令人困惑的天文現象。它拖著尾巴，偶爾在夜空中現身，又忽地隱沒入無際的黑暗中。沒有人知道它是否會再出現，也沒有人能預測下一個彗星何時將再來臨，是否是過去曾現身過的某一顆彗星？亞里斯多德將彗星視為自然事件的徵象（signs），並將它和氣候連結起來，於是彗星成為風暴地震、水澇旱災的徵兆。古代人甚至視彗星為種種人類或歷史事件的預兆，或者視為某種傳遞上帝訊息的天象。彗星一直不被承認為如同恆星和行星一般的天體。

牛頓在《原理》第三冊的「命題 40」中斷言：「彗星以某種圓錐曲線移動，其焦點是太陽的中心，指向太陽的半徑掃過的面積和時間成比例。」如此將彗星納入重力定律作用的天體現象內。緊接著推論：「如果彗星在會回轉的軌道上運行，軌道將是（拉長的）橢圓形……但它們的軌道相當接近拋物線，拋物線可以被用來描述它們而不會產生不可忽視的誤差。」（Newton 1962[1682]: 498）接著在幾個輔助定理中，牛頓展示了拋物線軌道的計算，並應用哈雷在 1680 年觀察的彗星為例來例證他的理論模型。¹²

12 牛頓自己偏愛一顆哈雷 1680 年所觀察到的彗星，它有 575 年的週期。牛頓說：「這顆彗星的觀察從開始到結束，完美地吻合目前所描述的彗星在軌道上的運

牛頓提出了一般彗星理論（模型），並將彗星的運動納入重力定律的作用效力內，預測彗星軌道要不是拉長的橢圓就是拋物線。而哈雷對 1680 至 1682 年間出現的另一顆明亮彗星（即日後的哈雷彗星）進行詳細研究和計算，發現它和 1456、1531、1607 等年度天文觀測記載的彗星軌道十分近似，哈雷因而判斷它們是同一顆，故有週期約七十五到七十六年。既然彗星也有週期，意味它的軌道必是封閉循環的。根據牛頓的理論，哈雷決定它的軌道是拉長的橢圓形，而且預測下一次出現是在 1759 年，所以這顆史上最著名的彗星就被稱為「哈雷彗星」。¹³ 當然，牛頓的理論為哈雷的預測提供了理論基礎，而哈雷預測也等於是在檢驗牛頓理論的彗星模型。1758-1759 年歐洲掀起了搜尋哈雷彗星的熱潮，當它再度被觀測到時，也就直接印證了哈雷的預測，從而印證了牛頓的彗星理論（模型）之正確性。

雖然牛頓相信三大運動定律是描述事實的經驗定律，他也相信前人已印證了它們。然而，牛頓所舉出的例子真的可以被視為印證了運動定律嗎？十八世紀發展古典力學主力的歐洲和法國數

動，正如本書對行星運動的描述與計算吻合行星的軌道運動一般，而且由這個吻合顯然預示了它是出現在各個觀察時間中的同一顆彗星，這顆彗星的軌道被正確地定義了。」(Newton 1962[1682]: 575)

- 13 關於 1680-1681 年出現的彗星是否和先前年代出現的彗星是同一顆，也曾有過相當爭議，因為如果它們是同一顆，但它的週期並不如行星般穩定，這不免讓人懷疑：這些不同年代彗星真是同一顆嗎？若是同一顆，為什麼不能有穩定的週期？是什麼因素在擾動它？它的週期真是七十五或七十六年嗎？在哈雷提出他的預測之後，在十八世初期直到 1759 年之間，也有許多大科學家和天文學家投入哈雷彗星的正確模型之研究，譬如有人就提出雙彗星同軌道模型。哈雷對上述「週期不穩」質疑的解答是「彗星受到大行星如木星、土星的引力之擾動」。1759 年的觀測證明哈雷是對的 (Forbes 1990, Huges 1990, Waff 1990, Schaffer 1990)。

學家和科學家如歐拉 (Leonhard Euler, 1707-1783)、達蘭伯特 (Jean-Baptiste le Rond d'Alembert, 1717-1783)、拉格朗日 (Joseph-Louis Lagrange, 1736-1813)、拉普拉斯 (Pierre-Simon Laplace, 1749-1827) 等人傾向於把運動定律視為一種必然真理 (necessary truth)，力學也被視為「理性力學」(rational mechanics)。¹⁴ 既是必然真理，就代表它不能被經驗否證。因此，十八世紀的力學發展是與幾何、數學而不是與經驗和實驗連結在一起，這個時代很少有什麼重大的力學實驗被設計出來 (Dugas 1988, Truesdell 1968)。特別是力學走向代數形式的系統時，加速度的概念被歐拉引入，在第二運動定律可以重新表述為 $F=ma$ 或 $F=m(d^2x/dt^2)$ 的情況下，這個定律究竟能不能設計一個實驗來直接地印證或否證它？

阿特武德相信牛頓運動定律和重力定律是經驗的，所以他設計阿特武德機。阿特武德機的印證被設想依如下演繹法來進行。假定 $M=50$ 公克， $m=48$ 公克，則 $a_s=980(50-48)/(50+48)=20\text{cm}/\text{sec}^2$ 。阿特武德認為這個結果為牛頓第二運動定律所預測，故它印證了牛頓第二運動定律。阿特武德說：

這三個已被假定為運動原理的物理命題，將力學還原到數學確定性上。它們可以先驗地 (a priori) 演繹出無數運動的性質而且彼此之間嚴格融貫，但它們不只是因為這樣就能成立，還要因為它們和事實的一致才成立。(轉引自 Hanson 1965: 102)

不管如何，阿特武德的舉動一方面雖是為了證明牛頓定律的

14 也可以說，他們把笛卡兒的方法論引入牛頓力學中，使古典力學成為以牛頓的公式系統和理論模型為主、卻有笛卡兒方法論精神的「家族聯姻」。

經驗性；另一方面也表示他其實並不完全確信牛頓理論是已印證的。然而，這部裝置能否印證運動定律？它的真正地位究竟如何？科學家似乎有種種觀點。馬赫認為阿特武德機是一種檢驗自由落體定律的方法或工具（Mach 1961: 178）。另外有人則主張阿特武德機是測量重力加速度的一種裝置。例如韓森引證某位科學家的意見：「假設我們執行了實驗，發現實驗值 a 一致於預測值，它意謂我們證明了牛頓第二運動定律了嗎？這是荒謬的，因為牛頓第二運動定律是定義因而不能被證明……阿特武德機本質上是一種由決定加速度 a 來測量重力加速度的裝置，而不是牛頓第二定律的檢證設備。」（Hanson 1965: 101）這些對阿特武德機的角色和地位之觀點也涉及了第二運動定律本身的地位問題。直到十九世紀末，這個問題仍然是許多科學家、哲學家 and 科學家史爭論不休的議題。根據韓森的討論，有五種看待第二運動定律的方式：（1）視為定義；（2）世界不可能像嚴格的邏輯一般，第二定律在處理許多現象上非常有用，因此心理上不可能認知它不成立；（3）或許第二定律可能為假，但它促成了大量的事實之收集和組織，雖然它是經驗的，但不可能以普通的方式來否證；（4）第二定律總結了大量的經驗、觀察和其它的事實現象之敘述，但它可能被否證；（5）第二定律是個規則或架構、測量力或加速度的技術、建構工具的原則、建構靜力學動力學的約定、控制和思考動力現象的工具。所以，韓森結論：這種種方式都是科學家實際看待第二定律的可能方式，物理學所謂的第二定律「實在是由這個公式（ $F=ma$ ）的不同使用方式所表達的每件事。」（Hanson 1965: 105）其中，（1）、（2）、（5）視第二定律為不可否證；（3）、（4）強調它符合大量的經驗事實。

模型的觀點整合了上述五種看法，第二運動定律無法被阿特

武德機和它的實驗結果直接地印證，因為它是最高層次的原理，從此原理中，一個龐大的模型族群被演繹或建構出來。如第一章的分析，被印證的只是複合具體化模型和描述它的定理，而非第二定律本身。它也是不可否認的，因為即使阿特武德機的實驗結果不合其計算，被否認也只是該複合具體化模型而已。

儘管牛頓的整部《原理》主要在引導出重力定律，並且證明天體、地面落體和海洋潮汐的種種現象都可以用重力定律來說明和預測。而且牛頓也展示了重力定律的計算在天體運行方面和觀測資料有驚人的吻合程度，哈雷彗星的回歸和觀測也被視為牛頓系統的一大勝利。然而，牛頓將重力推廣成萬有引力（universal attraction），不僅巨大的天體，地面的一切物體甚至凡是物質都具有吸引他物的能力，所有物質彼此間都會互相吸引。這就為重力定律的進一步印證留下空間：是否真的所有物質都會互相吸引？如果會，為什麼我們觀測不到？當然，人們相信牛頓理論的正確性，一般物質的質量太小，以致吸引力小到無法感覺甚至無法測量出來。因此，有沒有辦法設計出精密儀器，靈敏到能夠測出實驗室中可用的小質量物體彼此間的互相吸引？

一些科學家把卡文迪士的儀器和實驗當成印證萬有引力普遍存在的實驗，而且萬有引力定律對所有物體也都成立。然而有時轉矩天平被當成測量萬有引力常數（gravitational constant；也就是 $U=GMm/R^2$ 之中 G 的數值）的儀器或工具。那麼，轉矩天平印證了重力定律嗎？仍然沒有。卡文迪士的轉矩天平其實和阿特武德機有近似的角色和地位，雖然不是完全一樣。轉矩天平能印證的是重力造成小球在小距離的線性運動，但它並未印證或落實其它由重力導致的運動，例如圓周運動或長距離的作用。也就是說，它不能為一個普遍的重力模型提供完全的印證，它只是一個

複合具體化模型的印證例而已。再者，如果我們想要透過轉矩天平的實驗來印證重力定律，則我們必先知道重力常數 G 的數值。可是我們根本不知道如何測出或求得重力常數，相反地，我們要依賴轉矩天平來求出重力常數，如同大學物理教科書把轉矩天平看成是求重力常數的公式 (Sears, Zemansky, and Young 1982: 65)。在這種看法下，重力定律是推論的先驗規則，而不是被檢驗的經驗定律。實際上，當初卡文迪士設計此儀器的目的是「為地球秤重」，即求地球的重量，這也是把牛頓的重力定律當成先驗的規則。

重力定律的經驗性格，在科學家眼中，比第二運動定律要濃厚得多。在牛頓之前，它就已經是科學家普遍的猜測，而牛頓首度以完整的方法和模型系統證明這猜測。然而做為經驗假設是否就意味，當有某項經驗證據不符合定律的計算和預測時，重力定律應該被否證？從力學發展的歷史看來，顯然科學家並沒有因為反對證據的出現就放棄重力定律。天王星和水星軌道的異常就是一個佐證。

天王星的軌道是牛頓力學所面臨的重大挑戰（或危機）之一。然而十八世紀末到十九世紀中的天文學家，並沒有因為天王星的異常軌道這個經驗證據而放棄牛頓力學（重力定律），經過鏗而不捨的努力，終於化除危機、解開難題，並直接導致海王星的發現 (Abetti 1952: 214-217, Grosser 1979)。原來的重大危機和難關反而成為牛頓力學再一次的大勝利。海王星的發現無疑也是十九世紀天體力學或重力天文學的重大成就。¹⁵

15 《原理》的巨大成就在天文學開闢了一個新領域，史家稱作重力天文學 (gravitational astronomy) 或天體力學 (celestial mechanics)。有別於傳統的觀

1781年，天文學家赫歇爾（William Herschel）在天空中注意到一顆新星體，赫歇爾最初以為它是彗星，後來終於確定它也是一顆環繞太陽運行的新行星。這顆行星日後被命名為「天王星」（Uranus）。在確定它是一顆新行星後，天文學家開始核對和計算它的軌道，並發現過去已有它出現以及出現位置的記載。¹⁶然而，此時天文學家面臨了一個困難：天王星早期的觀測資料和後來的觀測數據無法一致，觀測資料和理論（重力定律）計算的結果也不吻合。這個困難帶給天文學家很大的挑戰。從1781年到1830年之間近半個世紀，有許多天文學家投入這項艱鉅的工作，試圖整合早期和晚期的觀測資料，以及發現軌道異常的原因，然而都無法成功。隨著天王星觀測資料的累積，問題越來越讓天文學家迷惑，天王星似乎不遵守重力定律的約束，這個行星家族的新成員現在變成牛頓天體世界中的一個搗蛋分子。

究竟天王星軌道異常的原因是什麼？是有其它原因嗎？還是牛頓理論可能是錯的？然而牛頓理論已經獲得如此大的成功，六大行星、衛星、彗星都被重力定律所說明，沒道理這個新行星會

察天文學（observational astronomy）。顧名思義，重力天文學乃是應用牛頓力學的重力定律而進行星體軌道、位置、距離、尺寸等等的計算；觀察天文學則是觀察星體，記載天幕諸星體的位置，並製作成星圖。除了兩者外，十九世紀還因小行星的發現而產生了描述天文學（descriptive astronomy）（Berry 1961: ch. 8）。

16 最早可回溯到和牛頓同時代的觀測天文學家弗蘭斯提（John Flamsteed, 1646-1719，他在牛頓寫作《原理》時，曾提供觀察資料給牛頓）。他在1690年已經觀測到它，其後的天文學記錄中不斷地有它的蹤跡（Grosser 1979）。這裡產生一個有趣的問題：為什麼弗蘭斯提不被視為天王星的發現者？一個可能的答案是，弗蘭斯提只是看到它記錄它，可能把它視為天空中無數恆星中的一個，而沒有意識到它和其它恆星有什麼不同。套用孔恩的典範論，弗蘭斯提並沒有在一種新典範的眼光下把它知覺為一個新的、值得研究的星體。本書第九章討論的實驗發現之概念，也可以應用到觀察發現上。

是個例外。天文學家並沒有失去他們對牛頓力學的信心，當然這也不表示他們從沒想過試圖去修正重力定律。1830年代早期，至少有五種理論假說（模型）被提出來。它們是（1）重提笛卡兒（René Descartes, 1596-1650）的渦漩假說；（2）衛星假說：存在一個未被發現的大質量衛星；（3）災難假說：在1781年時，可能有一顆彗星撞擊天王星，以致它的軌道異常；（4）重力定律在如此遠距之下不適用；（5）新行星假說：在天王星外還有一顆未發現的新行星在干擾它的運動——這個假說建立在牛頓理論是正確的基礎上（Grosser 1979: 46-49）。1840年後，在其它假說紛紛被放棄的情況下，新行星的假說成為牛頓力學的最後救贖。

如果新行星假說是正確的，那麼天文學家勢必面臨如下問題：已知天王星的干擾是由一顆未知的新行星所造成的，那麼如何求得新行星的質量以及它在任何時刻的位置？¹⁷ 計算出它的位置，才能讓天文觀測家「按圖索驥」找到它。在1845年和1846年間，兩位年輕的天文學家，英國人亞當（John Couch Adams, 1819-1892）和法國人列維利爾（Jean Le Verrier）各自獨立地提出預測這顆新行星位置的計算結果。很快地在1846年9月，德國柏林的天文臺發現了海王星！

海王星的發現之後，檢驗牛頓理論版本的不斷勝利進入暫時停頓的狀態。物理學界將注意力轉向電動力學的建立與檢驗，而水星的軌道則一直無法被牛頓理論解決。

17 這個問題還有可以再分成四部分：（1）決定天王星在任何時刻受到的擾動；（2）以已知的、無需再說明的成分來解決這個擾動；（3）建立一個等式，在這等式中，力量和這個假想的干擾行星之質量及元素是相關的；（4）以這等式來求得各相干數據（Grosser 1979: 81）。

肆、牛頓版本的檢驗歷史之分析

牛頓版本的檢驗歷史引發了許多問題：我們應該如何看待牛頓的運動定律與重力定律？既然四個定律在前兩個階段已經被宣稱得到印證了，為什麼科學家還要設計新的實驗來檢驗它們？當牛頓重力定律出現一個明顯的反例，而且數十年不能得到解決時，為什麼沒有降低許多科學家對牛頓理論的信賴？又為什麼許多科學家認為這些定律是非經驗性的——例如做為必然真理或定義？可是，如果牛頓的定律不是經驗性的，為什麼能如此高度吻合經驗資料？

根據前節的論述，牛頓定律不應被界定為經驗定律，也不應被界定為必然真理或定義。它們是高度抽象的模型，包含了一個巨大模型族群。牛頓的三個運動定律，尤其第二定律是牛頓理論版本的原理、最高層模型，重力定律則是個高層模型。從第二定律和重力定律中，我們可以分類出自由落體運動、拋射運動、圓周運動，以及其它類型的運動，以便通抵實際現象。要檢驗這些理論原理，科學家可以尋求簡單具體化模型，或者建構複合具體化模型。一旦找到了具體化模型的印證例之候選者，測得的數據與相關理論吻合，這個具體化模型就被落實、被印證了。自由落體、拋射體、五大行星軌道、彗星軌道、阿特武德機、卡文迪士轉矩天平，以及受到海王星擾動的天王星軌道等，都是這類的印證例。它們皆預設了具體化模型：自由落體的垂直掉落、拋物線上的拋射運動、五大行星的橢圓軌道、彗星在拉長橢圓上的運動、阿特武德機的複合運動、轉矩天平的複合運動、天王星受擾動的運動。能被經驗完全印證的只是這些具體化模型，而不是高層抽象的模型，更不是理論原理。也就是說，所謂定律與經驗資料的高度吻合，事實上是具體化模型的定理與測量資料的配

合，以及最大具體化模型與它們的印證例之間具有極大化的結構相似性。

即使所有具體化模型都落實且被印證了，高層模型家族也只是局部地、而非決定性地被印證。事實上，實際現象較諸具體化模型更為複雜得多，所以大多數的高層抽象模型，甚至不能被局部地印證。科學家必須容忍實際現象和模型間的小誤差，否則他們什麼都印證不了。正因如此，他們常對其他研究者的印證感到不滿足——要不是覺得其它印證的誤差太大，就是覺得實際現象比起已印證的模型要複雜許多。這也是為什麼科學家常致力於設計出不同的實驗，以檢驗似乎已經得到印證的理論原理。相反地，又因為確認了像直線運動與圓周運動一類的高層模型，擁有許多的具體化模型與印證例，科學家傾向對牛頓的四個定律抱持堅定的信念。即使有嚴重的異例出現——比如天王星的異常軌道——科學家（或者至少是牛頓學派的科學家）也不會把它視為重力定律的反例。事實上，被否證的是某個天王星的具體化模型及相關定理——亦即不受擾動的圓周運動，以及其附帶「無其它相干因素的條款」。就算關於天王星的原初模型被否證了，理論版本總是保有修改它的空間，結果像行星運動的一般模型這種高層模型並不因此就被否證——更不必說重力定律本身。所以，牛頓定律有時被視為是必然真理，被當作不可否證的；有時被視為是定義，因為它們包含了最基本的範疇——定義了理論中的基本概念如「力」和「慣性」。

當然，水星近日點的問題一直困擾著科學家們，雖然最後在牛頓系統內無法解決這個問題，但仍不代表牛頓理論完全被否證了。因為有另一個新理論（相對論）被提出來，它能更恰當地劃分現象，讓理論原理演繹出的運動模型能說明那些現象，例如水

星運動模型精確地吻合水星近日點的觀測。但這個新理論脫離了牛頓理論版本的家族，而演變成另一個理論版本家族。

伍、印證、否證與局部決定論

科學理論如何被檢驗？本章的結論是：透過具體化模型。有兩個基本方向：一是比較理論的具體化模型和可觀察的現象；二是製作實驗設備來與具體化模型比較——也就是進行實驗。在第二個方向上，具體化模型成為設計實驗的理念或藍圖，也就是說，我們有必要先設計出一個實驗模型，再將之物質落實。可是，正因為具體化模型與可觀察的現象、實驗模型和實驗實體之間，永遠只能是個準同構關係，使得科學家始終不滿於之前對理論的印證或否證，總是想要重新尋求新的檢驗，也因此使得理論無法被決定性地印證或否證——我認為，這個主張是使用模型觀點來重新論證杜恩原版的證據不足以決定理論的觀點。可是，本文的論證顯然和杜恩的原初論證有相當的差異，這個差異乃是由於杜恩並沒有「理論做為模型階層體系」這樣的理論觀。所有理論不管大小都無法被決定性的印證或否證嗎？

如果理論被理解成要透過模型才能處理現象，那麼理論有可能被極大地具體化來逼近現象，在這種觀點下，具體化模型似乎可以在一定的技術條件下被決定性地印證的。如此一來，是否可推出如果理論的每個具體化模型都被印證，整個理論就可以被印證了？不然。我們再次重申，即使一個具體化模型被決定性地印證，也不代表整個理論可以被決定性地印證，這是我們所謂的局部決定。因為（1）理論的可具體化模型在原則上是無限的，所以一個理論的可具體化模型永遠無法窮盡；而且，（2）每一個具體化模型和現象之間永遠也無法達到真正的同構，頂多只能達到

準同構（最大的結構相似性）；（3）技術永遠也可以被質疑還不夠好，最大具體化模型是否真的被決定性地印證了，永遠存在質疑空間。所以，理論永遠頂多只能被局部地決定，這也是一種「抽象理論或理論的抽象性」和「具體現象或現象的具體性」之間一個永恆的鴻溝。

至於理論的最大具體化模型能否被決定性地否證？這要看我們對「否證」一詞的詮釋。如果「否證」的意義是「需要修改」，那麼即使一個具體化模型被否證，也不會對一個理論有任何傷害，因為可以修改總代表可以捲土重來。如此理論當然「無法被決定性地否證」。如果「否證」意思是波柏式的「證明為假」，那麼模型沒有被證明為假的可能性，因為模型和現象之間的關係只是結構相似的關係，又相似有程度可言，被提出的具體化模型和現象總有起碼的相似性，兩系統間的絕對差異並不存在。如果做為理論局部的具體化模型不可能在這個意義下被否證，那麼理論自然不可能被「證明為假」——甚至這個意義的「否證」概念根本就不能應用到理論上。

局部決定論究竟算不算是杜恩式的不足決定論？讓我們重新回顧杜恩對於不足決定論的原初提法和後來的爭議，重點在於顯示多數討論都是在理論的述句觀點之基本架構下進行——讀者可以把這種討論方式產生的論述和以模型觀點為基礎的討論作一對照和比較。

陸、杜恩的不足決定論

二十世紀早期重要的科學史家兼哲學家杜恩（Pierre Duhem, 1861-1916）和分析哲學家蒯因，在不同的時代提出了相似的觀

點，因此被合稱為「杜恩-蒯因論題」(Duhem-Quine thesis)——又稱「不足決定論題」——即證據始終不足以決定理論被印證或否證。杜恩以物理學的實例來展示；蒯因則透過邏輯語意分析的方法來爭論。他們也不約而同地許諾了某種整體論(holism)的觀點。¹⁸ 可是，杜恩和蒯因的主張其實有強度、甚至性質上的差別。後來，歷史取向的科學哲學家如韓森、孔恩和費耶阿本等人倡議且論證觀察背負理論與不可共量性的學說，雖然其內容不同於杜恩原初的論題，卻不約而同地強化它，有時它們也被認為是更強的、另一種類型的不足決定論。因為如果觀察總是背負(預設)了理論，那麼觀察證據自然就無法被用來支持理論，因此也無法用來裁決敵對理論的真假對錯；如果理論與理論之間是不可共量的，那麼就意味無法以證據來決定兩個理論的真假好壞，否則理論就是「可共量的」。以下本節討論的是杜恩的原版主張和論證。

首先，杜恩的主張被表達成不足決定論，何謂「不足決定」？我把這個詞彙理解成「無法(不足以)得到決定性的結果」，我相信這個詮釋十分配合杜恩的原初論證。進一步地說，杜恩的主張可以再拆成兩個不同的主張，一個針對**理論無法被決定性地印證**；另一個則是針對**理論無法被決定性地否證**。讓我先重述第一個。

「**理論無法被決定性地印證**」蘊涵了決斷實驗(crucial experiment)是不可能的。十七世紀的培根在《新工具》(*Novum*

18 國內的蒯因哲學專家米建國(2004)曾討論分辨杜恩和蒯因的整體論。他稱前者為「印證整體論」(confirmation holism)，後者為「意義整體論」(meaning holism)。當然，這個區分國外學者也曾提出過。

Organum) 一書中最早提出這個概念，意指一個可用以裁決互相競爭的假說誰真誰假的實驗。培根主張如果許多競爭假說所作的預測，都與決斷實驗產生的事實相衝突，則它們都被駁斥，最後如果有一個假說沒有與實驗衝突，該假說就可以成立。可是，物理學史上出現過決斷實驗嗎？

十九世紀初，光學的發射說和波動說互相競爭，光的發射說主張光是由光源發射出的微粒子構成的；波動說則主張光是以太媒介的波動造成的。根據發射說，可推測光在水中的速度比在空氣中還快，根據波動說，可推測光在空氣中比在水中快。兩者恰好互相矛盾。因此似乎可以設計實驗來作決斷。1850年法國物理學家傅柯（Jean Bernard Foucault, 1819-1868）設計了一個實驗裝置，使光分別穿越空氣和水，然後把一個綠色光點和一個無色光點投射在觀察者的面前。如果觀察者看到綠色光點在無色光點左邊，意味光在水中比在空氣中快，則發射說為真；如果情況相反，則波動說為真。結果傅柯觀察到綠色光點在無色光點右邊，爭議結束，波動說為真。傅柯的實驗因此被視為發射說與波動說的決斷實驗。杜恩質疑，真的是這樣嗎？不。

杜恩認為傅柯的實驗不是透過互相矛盾的推論來檢驗兩個假說而已，而是檢驗兩組整體的理論——牛頓的光學和惠更斯的光學。儘管牛頓光學導出的假說與實驗不一致，但是這能證明惠更斯的光學理論就一定真嗎？「我們敢肯定沒有其它假說嗎？」杜恩認為後來的馬克斯威爾（James Clark Maxwell, 1831-1879）很快地提出理論，把光歸入週期性的電磁擾動，在一個電介質內傳播。這既非發射說，也非波動說。杜恩因此論證：兩個互相競爭的理論假設中，有一個抵觸實驗，並不代表另一個理論假設就變成無可爭議的真理。如果科學家想證明這一點，他必須列舉一切

可以說明該群現象的理論假設，但是物理學家從來無法確定是否已經窮盡了一切可想像的假設（Duhem 1991 [1914]: 188-190）。

到目前為止，杜恩的爭論是：針對同一組現象，總是有許多可以說明該組現象的理論假設可以被設想，任何決斷兩個互相競爭而不相容的假說之實驗，永遠無法證明其中之一必為真。主張決斷實驗可以透過否定其一而肯定另一的推論，其實應用了「選言三段論」的推論規則，即

$$\begin{array}{c} P \vee Q \\ \sim P \\ \hline \therefore Q \end{array}$$

這個規則是在「除了 P 和 Q 之外再沒有其它選項」時才能成立，然而物理學家永遠無法確定是否只有 P、Q 兩個假說，也許有 P、Q、R、S……無數可能的假說，那麼儘管否定 P（ $\sim P$ ），也不代表一定能建立 Q 為真。所以「實驗無法決定性地印證理論」。要注意的是，杜恩對於一次實驗檢驗的解讀是：一個檢驗永遠無法是一個決斷性的檢驗。因為即使上述推論可以成立， $\sim P$ 也不代表 P 假說被決定性地否證了，它不過是意味著 P 假說在該次檢驗中，不能吻合經驗的結果。換言之，相對於某一個證據 E，即使 Q 得到 E 的支持而 P 沒有，也不代表 Q 被決定性地印證了，Q 只是得到一個印證例的支持而已。可是，為什麼 $\sim P$ 不代表 P 假說被決定性地否證呢？這涉及不足決定論的另一半：「實驗無法決定地否證理論。」

杜恩問：「如果被預測的事實沒有產生，做為預測基礎的命題（主要假說）會受到無可挽救的責難？」（Duhem 1991 [1914]: 182）未必。他指出當實驗與預測不合時，不代表導出預測的假

設一定出錯，有可能是其它相關假設出錯了，因為「物理實驗從不是責難一個孤立的假設，而是一整個理論群。」(p. 183) 換言之，現象的預測和實驗的設計，以及實驗結果的解釋，科學家都不是僅僅使用他打算檢驗的理論，還包括其它一整群理論。如果預測現象沒有產生，不一定是受質疑的命題有誤，可能問題出在物理學家所接受的整個理論架構中的某地方。然而實驗只能告訴我們有錯誤，卻無法告訴我們錯誤在哪裡。一定是受檢驗的假說出錯嗎？難道其它相關假說（輔助假說）都不會出錯嗎？當然不是。杜恩因此結論說：「物理學家絕不是以實驗來檢驗一個孤立的假設，當實驗與假設不一致時，他所能學到的就是整群中有一假設不可接受，應被修正。但實驗無法指出哪個假設應被修正。」(p. 185)

杜恩進一步作出一個整體論的陳述：「物理學是一整個系統，它是個有機體，每一部分都與其它部分相關。如果有什麼出錯了，物理學家必須搜尋它對整個系統的效應，哪個器官需要治療和修補，而不是孤立器官後再檢驗它。」(p. 187) 後來蒯因在其 1953 年的經典文章〈經驗論的兩個教條〉(Two Dogmas of Empiricism) 一文中，把這種整體論擴大到整個科學都接受實驗的檢驗。如此推出整個科學是不可能被推翻的，科學家只能在科學的邊界地帶作些修補的工作。

杜恩所謂的理論群，以標準的假設演繹法來看，大致可以區分成主要假設與輔助假設。主要假設是檢驗對準的對象，輔助假設則包括先行條件、實驗設計的各種相關理論、實驗工具的工作原理、隱而未明言的假設（預設）等等。讓我們以 MH 來表示主要假設， AH_n 表示每一個相關的輔助假設， E 表示檢驗主要假設的實驗， P 表示由假設導出的預測。如此一個主要假設被檢驗

而被否證的邏輯可以表達如下：

$$(MH \wedge AH_1 \wedge AH_2 \wedge \cdots \wedge AH_n \wedge E) \supset P$$

$$\sim P$$

$$[1] \sim(MH \wedge AH_1 \wedge AH_2 \wedge \cdots \wedge AH_n \wedge E)$$

等值於 [2] $\sim MH \vee \sim AH_1 \vee \sim AH_2 \vee \cdots \vee \sim AH_n \vee \sim E$

「理論無法被決定性否證」即是指 [2]。因為邏輯上只能推出其中至少一個假說是假的，但究竟是哪一個，邏輯無法告訴我們。在科學家的實作上也是如此，科學家只能知道其中一個有錯，但是究竟是哪一個，科學家只能在假設其它輔助假說都是真的條件下，才能判斷主要假設為假。

柒、不足決定論的爭議評述

杜恩在二十世紀初首度提出不足決定論題時，並沒有受到英語世界的重視。杜恩的思想和他的著名同胞數學家龐卡黑 (Henri Poincaré, 1854-1912) 一向被歸屬於約定論 (conventionalism) 的陣營。蒯因發表〈經驗論的兩個教條〉之後，杜恩的論題才受到英語哲學界的重視，並把杜恩和蒯因的觀點合稱為「杜恩－蒯因論題」。經驗主義的陣營因此也開始對杜恩－蒯因論題提出批判，例如波柏企圖以否證方法學規則來克服杜恩論證，¹⁹ 1960年

19 他認為約定論在面對實驗證據與理論假設抵觸時，會採取四種策略：(1) 引進「特置假設」(ad hoc hypothesis)，或者修正基本理論概念的「顯式定義」；(2) 懷疑實驗的可靠性；(3) 把實驗排除在科學之外；(4) 懷疑實驗家的能力。這四種約定論的挽救策略，可以說都是「特置的」。波柏拒絕約定論的各種修正策略，並企圖建立科學(否證)的「方法學規則」。面對杜恩的論證，波柏認為杜恩「成功地顯示決斷實驗從不能建立一個理論。但他無法顯示它們不能駁

間也有不少文獻企圖克服這個論題。²⁰

1980年代後，社會建構論崛起，他們常使用不足決定論證來支持社會學的分析取向。他們爭論：因為證據不足以決定理論，所以科學家使用各種理論評價的判準來選擇理論時，必然有社會的、外於科學的因素，這也等於說方法學規則不足以決定理論的取捨，因此需要引入社會因素來說明科學的成功（Bloor 1991; Collins 1985）。科學理性論者如勞丹（Laudan 1996）尤其反對這種擴張性的應用，因此寫了〈解除不足決定的神話〉（*Demystifying Underdetermination*）來批判這種擴張或混淆的作法。科學實在論者也反對社會建構論，他們理所當然地把不足決定論視為一個需要克服的論證（Kitcher 1998; Psillos 1999）。環繞在證據不足以決定理論的爭論，幾乎可說是1970年代後英語科哲的核心議題。本節將討論代表性的理性論者和實在論者對這個議題的爭論。

斥一個理論」。（Popper 1969: 112, note 26）波柏爭論說，杜恩對於「實驗無法決定性否認理論」的主張，忽略了我們必須把兩個競爭的理論和所有的背景知識都放在一起考量，然後對準兩個理論互相爭議的部分。它也忽略了我們並未斷言理論本身的駁斥，而是斷言理論與其背景知識都被駁斥了。而且背景知識的部分，其實也可以設計決斷實驗來判斷它是否該為預測與證據不符而負責。波柏的討論把議題導向「特置假設」的爭論。

- 20 1960年格林鮑姆（Adolf Grünbaum）的〈杜恩式論證〉（*The Duhemian Argument*）是一篇早期有名的反對文章。這篇文章後來也受到一些科學哲學家的批評。兩年後，孔恩的《科學革命的結構》誕生了，他的科學革命觀點被認為支持了不足以決定論題，這個論題因而越來越受重視，1980年代之前的爭論論文（Laurens Laudan 1976; Carlo Giannoni 1976; Gary Wedking 1976）被收集在《理論能被駁斥嗎？》（*Can Theory be Refuted?*）這本論文集。本文並不打算詳述其中的邏輯辯論。

對於勞丹而言，當前對於科學方法論的懷疑和反對，大多可以溯源到杜恩的不足決定論題和論證。可是他們的懷疑是多餘的，他們的反對也都失敗了，因為他們都錯誤地假設了理論和證據之間的蘊涵關係與科學家選擇理論的合理性成正比。問題是，理論和證據之間的支持關係只是蘊涵關係嗎？即使證據不足以決定理論，就能推出沒有方法學規則可以做為科學家選擇理論的依據嗎？勞丹的答案當然都是否定的。

為了解除不足決定論的神話，勞丹首先把不足決定論區分成「休姆式的（演繹的）不足決定」和「蒯因式的（增加的）不足決定」兩大類型，每個類型又有許多不同的涵義、表述或版本。²¹ 勞丹表述前者為：「對於任何有限的證據體而言，似乎總是存在有多個互相對立的理論，都在邏輯上蘊含（logically entail）該證據體。」（Laudan 1996: 31）這個表述約莫相當於上節分析的「證據不足以決定性地印證理論」。

至於「增加的不足決定」，勞丹指出蒯因的論述可以推出兩個強弱不同的學說。較弱的是非獨一性論題（non-uniqueness thesis）：「對任何理論 T 和任何支持 T 的證據體而言，至少有一個與 T 對立的理論也可以得到 T 同樣好（as well as）的支持。」更強的是平等論題（egalitarian thesis）：「每個理論都得到與其對手一樣好的證據支持。」（Laudan 1996: 33）蒯因當然沒有明白

21 ampliative 表達一種推論，其結論的涵義和資訊比前提更多，恰與 deductive 對立。deductive 的意思是推論後的結論涵義或資訊比前提少。ampliative 有時也被譯成「歸納的」，但是我們已習慣用歸納來譯 induction。「歸納」這譯詞也不易表達其完整的意義，又 induction 其實只是 ampliative inference 其中一種，其它像 analogy, retrodution 也屬於 ampliative inference，都是結論的訊息比前提更多，故我們譯成「增加推論」。

地如此表述，從蒯因的整體論論述中，可以抽出的 QUD 為：「任何理論都可以透過我們對自然的其它假定之配合調整，來與任何頑抗的證據相調和。」(p. 36)²² 正因如此，一個理論因此可以得到和對手一樣好的證據支持，進而每個理論都可以如法炮製。

在表述這些學說時，哲學家常使用不同用詞如「蘊涵」(entail)、「支持」(support)、「調和」(可容)(be compatible with)，可是這些語彙不見得都是同義的。勞丹指出，理論和證據有四種積極關係：理論邏輯可容於 (be logically compatible with) 證據、理論邏輯蘊含 (logically entail) 證據、理論說明 (explain) 證據、理論得到證據經驗地支持 (empirically supported by)。蒯因的論述把這四種關係混在一起，乃是錯誤推論的來源。然而，勞丹指出：「不管是可容關係或蘊含關係中的哪一個，都無法建立說明關係或證據支持關係中的任一個。」(Laudan 1996: 37) 在更早的一篇與列普林 (Jarrett Leplin) 合著的〈經驗等值與不足決定〉(Empirical Equivalence and Underdetermination) 一文中，勞丹已經論證，「理論邏輯地蘊含證據」(證據是理論的邏輯論結 [logical consequence]) 並不必然推出「理論得到該證據經驗地支持」，因為總是有「理論的邏輯論結並不是理論的證據支持」，另一方面，也有「理論的證據支持並不是理論的邏輯論結」(Laudan [& Leplin] 1996: 64-68)。如此一來，理論的證據支持，其實與理論邏輯地蘊含證

22 這是一個很強的表述，它不只是「證據不足以決定性地否認理論」而已，它其實是「任何理論都不會被任何證據否認」。杜恩的不足決定論大概從來沒有達到這種強度。當然，勞丹同意杜恩的觀點並不能導出「方法論的不足決定」，他的標靶是蒯因較極端的論述，他的目標也是想澄清「杜恩－蒯因」兩人的主張不同，儘管他們被相提並論。

據並沒有必然的關連。因此，如能把理論和證據的積極關係——分析釐清，那麼證據不足決定論頂多只有演繹版本可以被接受，然而它不過是代表一種大家都會同意的可錯論（fallibilism）立場——所有的理論都有可能出錯，因此被其它同樣可以說明相同現象的理論取代。可是增加的不足決定論錯誤地混淆理論與證據的不同關係，所以無法成立，也無法被用來支持理論因此不足以被證據決定，或理論無法被方法學規則決定。

勞丹對於不足決定論論題的批判其實是針對蒯因論題和更強的非獨一性論題與平等論論題，包括孔恩的科學革命論以及相對主義傾向的社會建構論，其實才是勞丹批判的主要標靶（勞丹論文的最後兩節分別對準孔恩的不可共量性和科學知識的社會學）。然而，這幾個版本的主張都遠強於本文詮釋的杜恩版的不足決定論，勞丹其實沒有論證反對這個較弱的學說。因為「證據無法決定性地印證理論」和「證據不足以決定性地否認理論」，並不能導出我們不能用經驗證據來判斷兩個競爭的理論中，哪一個得到比較好的證據支持。問題是，要判斷哪一個理論得到比較好的證據支持，其判斷的標準和方式又是什麼？勞丹有他自己極大化解題效力的方法論與規範自然論的後設方法論，但這是另一個問題了。

賽洛斯（Stathis Psillos）是近十年來科學實在論的最佳辯護人，他理所當然要面對不足決定論的挑戰，而且他的分析綜合了近三十年來的討論。賽洛斯把不足決定論題表述為：「兩個理論在觀察上不可區分，亦即它們蘊含了完全相同的觀察論結，因此也在知識上不可區分，亦即它們得到同樣好的證據支持。因此，沒有正面的理由來相信其中一個而不是另一個。」（Psillos 1999: 162）賽洛斯隨即指出，這個表述相當於勞丹所謂的平等主義論

題。然而賽洛斯主張的科學實在論堅持科學家可以使用理論更為逼近真理來作選擇，換言之，真理是科學的目標也是理論選擇的最高依據。因此當然無法接受不足決定論。然而不像勞丹以孔恩和社會建構論為批評的標靶，賽洛斯設定的論戰對手是主張建構經驗論的范弗拉森（Bas van Fraassen）。²³ 范弗拉森使用不足決定論來爭論，既然兩個得到經驗證據同等支持的理論都是經驗適當的（empirically adequate），因此理論的選擇只能是出於實用的理據（pragmatic grounds），例如簡潔、說明力等德性（virtues），然而它們與真理無關。如果這觀點是對的，科學實在論就不能成立。所以要反對范弗拉森的主張，要先破壞它的推論基礎——不足決定論。

賽洛斯分析，不足決定論依賴於兩個前提：

- (a) 經驗等值性論題：對任何理論 T 和任何觀察證據體 E 而言，存在有另一個理論 T'，在關於 E 上，經驗地等值於 T。
- (b) 蘊含論題：理論的印證唯獨受到證據的蘊含的約束。（換言之，理論是否被印證，取決於它是否邏輯地蘊含證據。）

這兩個前提其實是分別從勞丹所提的演繹不足決定和非獨一性論題中抽取出來的前提。賽洛斯也是借用勞丹的分析和論證來批評這兩個前提均不能成立。可是，勞丹反對增加的不足決定論，也反對科學實在論，從這裡，賽洛斯與勞丹分道揚鑣。賽洛

23 其實勞丹也批評過范弗拉森，他與列普林在 1985 年聯名發表的論文即是以范弗拉森的論點為標靶。此文也收入 Laudan (1996) 中，而且受到賽洛斯的倚重。

斯開始爭論，儘管勞丹懷疑真理在理論選擇時的角色，如果勞丹主張對立的理論可以被合理比較是可以達成的話，那麼，進一步比較哪個理論更逼近真理，也是可以達成的——這是賽洛斯想爭論的目標（Psillos 1999: 175）。至此已經超出不足決定論的範圍了。

賽洛斯的標靶也是平等主義的不足決定論，他的批評其實沒有超越勞丹已做的，即使有效，同樣也不是針對杜恩較弱的不足決定論。如果賽洛斯沒有反駁杜恩版的不足決定論，對他的立場相當不利。因為賽洛斯主張真理或逼近真理在理論選擇時扮演一個必要的角色，杜恩的不足決定論卻挑戰這樣的觀點，因為如果理論無法被決定性地印證（證明為真）或否證（證明為假），或許科學家可以比較理論受到證據支持的好壞程度，但是，顯然無法從這種判斷中來推論哪個理論更逼近真理。重要的是，勞丹和賽洛斯的批判都是基於「理論的述句觀點」，他們對於理論與證據之間的關係之分析，其實是對理論語句與證據語句之間的邏輯和語意關係的分析。問題是，「證據」一定是指稱證據語句嗎？事實上，科學家也會使用「證據」一詞來指稱事物、事件或系統，例如卡文迪士的轉矩天平實驗和牛頓力學的關係，可以單由實驗結果的表述和牛頓重力定律的邏輯和語句關係之比較來完全揭示嗎？這種語句關係的分析顯然會漏失許多系統結構的配合與實驗歷程的訊息。

捌、模型哲學家對不足決定論的處理

如果採取模型基礎取向來分析理論的檢驗，理論上必定導出杜恩版的溫和和不足決定論，或者說局部決定論。這是因為抽象的理論和具體的現象間，永遠存在一個只能兩邊互相搭橋接近、但

無法評估是否全面跨越的鴻溝；同時，簡化的模型和複雜的實際世界之間，也總是存在兩邊互相修改以便配合得更好的可能性。因此理論無法被決定性地驗證或否證。可是，許多模型哲學家仍然視杜恩版的不足決定論為一個有必要克服的挑戰，讓我們依序討論。

吉爾瑞 (Giere 1988) 對於不足決定論的理解是我們所謂的「不足以決定性地否證理論」，他描述了它的邏輯框架： $(H \ \& \ A) \supset O$. Not-O . $\text{Thus, Not-H or Not-A}$ 。其中 H 是假說，A 是輔助條件（含實驗工具、技術等）然後他簡單地提出一個技術解決 (technological solution)，亦即「科學對於實驗中所使用的技術之知識，遠比他們對於實驗題材的知識要可靠。」(Giere 1988: 139) 他以類似哈金的說法為例：例如質子已成為研究其它核子結構的工具，它已屬於技術的一部分，質子的實在性比核子結構的知識更可靠 (p. 139)。言下之意是，如果實驗的結果與假說的推斷不合時，科學家把錯誤歸諸於假說 H 是合理的，因為科學家對實驗技術的知識比起對假說的知識還要可靠，如果 A 是代表實驗的各種條件，那麼 H 出錯的機率比起 A 還要高。可是，吉爾瑞這個解決實在太簡單了，也太侷限了，因為實驗技術知識要比理論知識更可靠，只有在實驗技術夠成熟的時候，我們才能勉強作這種宣稱。可是，即使技術夠成熟，仍然無法保證假說可以被決定性地否證。因為在杜恩的論證中，輔助條件未必只是實驗工具和技術上的條件，總可以是實驗過程中的干擾因素或者是理論的抽象性與實際現象之間的鴻溝。因此，吉爾瑞的技術解決實在不是真正解決，也不足以拒絕「理論無法被決定性否證」的論題。

卡特萊特 (Cartwright 1983) 對於不足決定論的處理被鑲嵌

在她對實在論議題的答案之下。她在〈何時說明引向推論〉(When Explanation Leads to Inference)一文中討論范弗拉森和杜恩的反實在論(anti-realism)。她論述說杜恩提出了一個「更多理論論證」(argument from redundancy)，被用來反對實在論的最佳說明推論(inference to the best explanation)。實在論使用最佳說明推論來支持「最好的理論可以為真或近似真」，因此實在論成立。因為「最好的理論對一組現象提供了最佳的說明，而且它是極可能真或至少似近真」。可是，杜恩的「更多理論論證」主張：「對於任何給定的一組現象而言，原則上總是有多於一個同樣令人滿意的說明，這些說明中至少有一些是不相容的。」(Cartwright, 1983: 90)如此一來，我們根本不可能找到一組現象的唯一一個最佳說明。

卡特萊特其實同意范弗拉森和杜恩的「理論的反實在論」(anti-realism about theories)，因為她自己正是在爭論「物理定律說謊」。因此，理論無法被判定為真或為假。可是，卡特萊特認為理論元項可以是實在的(這一點她的說法和哈金一樣，因此她們經常被並稱為元項實在論，而吉爾瑞的一些說法也類似他們)。進一步來說，當某些不可觀察的元項被當成工具，用來產生某些效果時，該元項就變成原因，因此，一個因果說明可以為真。卡特萊特的說法是：「因果說明內建了真。」(causal explanations have truth built into them)問題是，我們如何推出不可觀察的元項如電子的存在呢？我們是因它被用為工具而產生的結果來推出原因的存在。如此，卡特萊特也使用「最有可能原因的推論」(inference to the most probable cause)來取代「最佳說明推論」。但要注意，此時此元項並不是任何特別理論的元項，它要在一個最佳因果說明中才得以保證實在性。

卡特萊特反對不足決定論嗎？還是沒有。卡特萊特所謂的「更多理論論證」就是我們所說的「理論不足以決定性地被驗證」，她其實是支持這個論題，不同之處在於她區分了理論說明和因果說明，而且主張不足決定論只適用於理論，但並不適用因果說明。卡特萊特的區分可以成立嗎？她主張「因果說明」可以被決定嗎？這涉及到她對「原因」這個概念的重建，我們無法在這裡討論。²⁴

馬攸區分杜恩問題和不足決定論，並使用她的實驗探究的方法論來面對。她敘述杜恩問題為：「當實驗與假設的預測不符合時，那群被用以導出預測的假設中，哪一個應該被拒絕？」（Mayo 1996: 102）她表述不足決定論為：「任何被視為假說 H 的好檢驗（或好支持）的證據，也會被視為 H 的某個對立假說同樣好的檢驗（或同樣好的支持）」（1996: 177），這也是勞丹攻擊的方法學不足決定論。

對於杜恩問題，馬攸的解決方法相當複雜，但大意是透過模型階層以及每個階層中的錯誤類型之指認來解決。因為如果我們能細緻又全面地區分實驗探究的每一元素，並辨識出錯誤的類型，我們自然就能決定「哪一個假說」應該被拒絕。不過，我認為馬攸的解決相當於我所謂的「局部決定」，因為馬攸的實驗模型檢驗的是原初模型——它已經是一個高層理論被細分後的問題，約莫相當於我所謂的具體化模型，因此即使原初模型的錯誤可以被找出來，也不代表高層次的理論可以被決定性地驗證或否證。

24 陳思廷（2009）認為：「相對於每一個階段，我們有可能建構出一項相對地最完整的起因模型；但是，卻不可能建構出，對任何階段而言，都是最完整的起因模型——亦即，不可能建構出可被用來說明或預測真實世界之中任何事物的起因模型。」這樣看來，即使「因果說明」也無法被決定性地驗證。

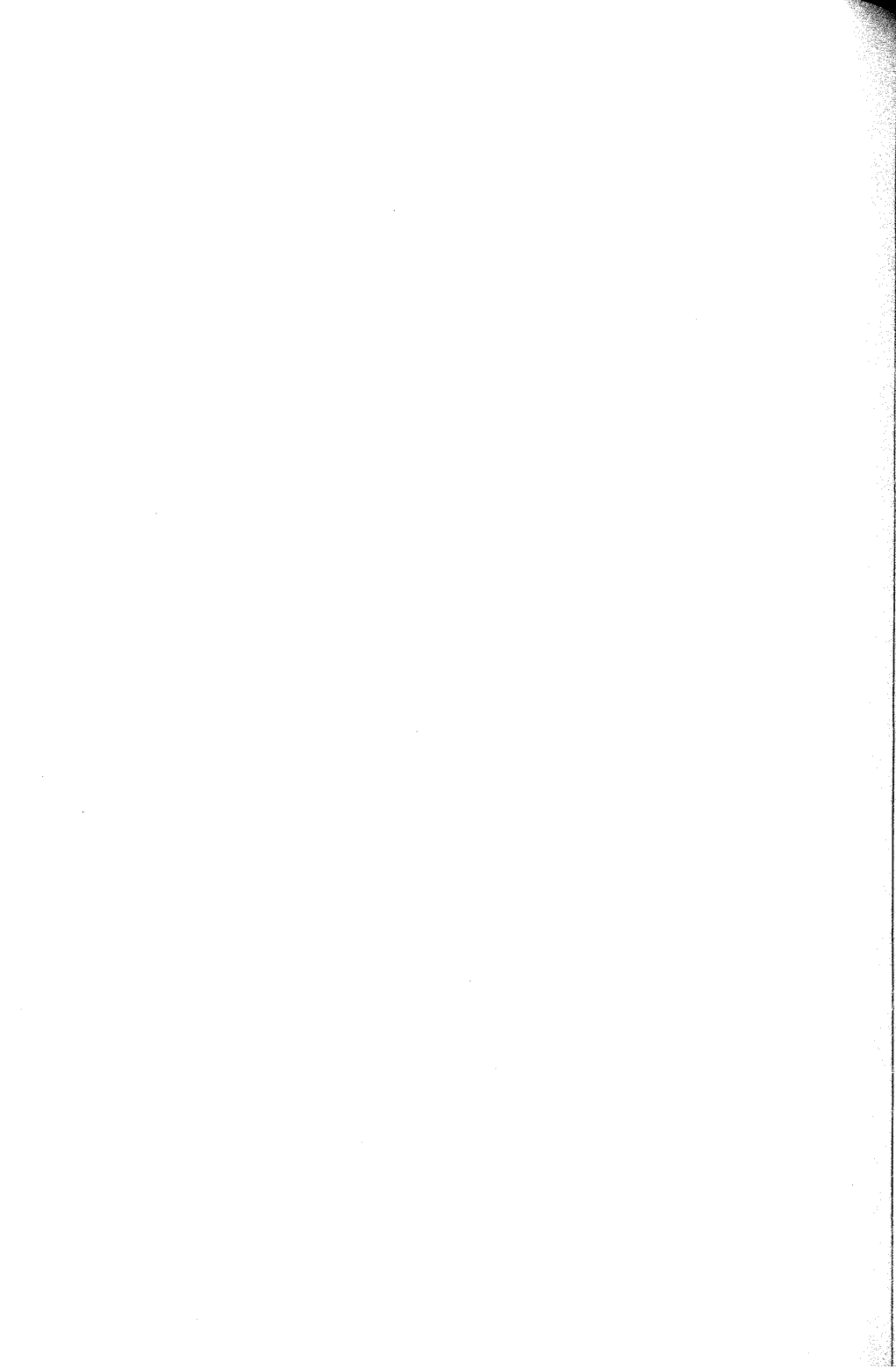
對於方法學的不足決定論，馬攸的解決方式更複雜。簡單地說，她主要訴諸於「嚴格檢驗」以及「嚴格程度」的概念，亦即我們可以測量假說通過檢驗的嚴格程度，她也建立了一個測量嚴格程度的方法學。由於本書並沒有要為方法學的不足決定論辯護，因此也不再討論馬攸的複雜解決方法。

玖、局部決定與不足決定

本文從模型觀點出發來分析理論的檢驗與印證和否證的問題，顯示其間的複雜關係，遠遠超出述句觀點的討論，同時支持了杜恩版的不足決定論。在理論的本質上，杜恩其實抱持述句觀點。他的論證是從述句觀點出發所能作出的最好分析，完全一致於演繹邏輯規則。本章則補足了理論與現象之間的模型媒介——也就是語意的面向，對杜恩版的不足決定論提供了更完整的支持。因此，本文爭論的「理論的局部決定」，蘊涵了杜恩的不足決定論：「證據不足以決定性地印證理論」和「證據不足以決定性地否證理論」。反過來說，杜恩的不足決定論，也蘊涵了局部決定論。這等於說，局部決定論與杜恩版的不足決定論是等值的。

如前所述，勞丹和賽洛斯其實沒有批判到杜恩版的「不足決定論」，他們批判的是更強的主張。為什麼不足決定論一直是一個爭議焦點？我認為，關鍵在於對不足決定論的引伸。如果證據無法決定性地印證或否證理論的話，科學家在面對競爭理論時，應該如何選擇？平等主義論題從杜恩版的不足決定論引伸出：既然證據無法決定性地印證和否證理論，則在選擇理論時，科學家無法依賴證據，就非得尋求其它標準，例如實用德性或主觀價值等。勞丹和賽洛斯則拒絕這種引伸，並論證這種主張依賴的邏輯

前提無法成立。但當他們反對「理論的選擇和決定不是依賴證據」時，卻又忽略了經驗證據也無法提供一個決定性的結論，因此科學家必須以非經驗的標準來輔助；他們也忽略了理論的判斷並不是單看經驗陳述式的證據，而是必須涉及產生經驗陳述的整個系統與過程。



第四章

理論與模型的發展動力

回顧前三章。第一章展示理論中的語言性定律、原理、通則、定理等要能說明現象必須透過模型的中介，理論和現象之間存在一個永恆的鴻溝，要透過模型搭橋相互靠近。可是模型也總是有高低不同的抽象程度和理想化程度，如何具體化模型，拋棄舊模型、修正可用模型或構思新模型來接近現象，是科學家的重要工作，構成了模型的發展，也就是理論的發展——因為理論是一個模型家族或族群。

第二章論證觀察總是預設經驗模型。觀察是對經驗現象的掌握，如果觀察預設經驗模型，表示我們對經驗的掌握也要透過模型的中介。科學家的經驗模型可能來自於過去的傳統，可能來自於一個高層的理論，也可能由實驗行為中被建構再用來檢驗理論。這意謂著理論的變遷可能導致經驗模型（觀察與經驗）的變遷，實驗的變遷也可能產生新的經驗模型，引導理論的修正、發展或新理論的建構。

第三章顯示檢驗理論的需求如何引導實驗的設計和進行，並論證實驗能印證的永遠只是一個具體化的模型，而不是高層抽象的理論模型。這產生一個結果：高層理論模型無法被決定性地印證，也無法被決定性地否證；而且它也說明了為什麼科學家會不

斷地想設計新實驗來檢驗一個已有很多印證實例的理論；更重要的是，每一個企圖檢驗理論而設計的新實驗預設一個新的具體化模型，以修正原來的理論模型，或者可能導出新的理論模型。

每一章都蘊涵了理論發展的不同途徑：由說明現象、由經驗或實驗觀察、由檢驗理論。可是它們也有一共同涵義：理論的發展是透過模型的發展而進行的，因此，考察理論的發展要考察模型（理論模型、具體化模型、經驗模型）的發展。而且儘管途徑不同，模型的發展似乎有一個共享的模式：建構模型來與資料和現象作比較、修正可用模型、拋棄舊模型、建構新模型。問題是：科學家如何決定要作修正、拋棄或建構新模型？一個立即的答案是科學家對於使用中的模型所作的認知評價。如果科學家認為使用中的模型不能滿足一種或多種認知價值標準，但仍可加以改良，科學家就會修正它；如果科學家認為修正也無法滿足自己的價值標準，就會拋棄它，另尋其它模型或者建構新模型。

如果修正、拋棄和新建構代表了模型發展的軌跡，則科學家的認知評價就是模型發展的原因或動力。如果模型的發展代表理論的發展，科學家的認知評價也就是理論發展的動力，它可以說明為什麼模型和理論會有那樣的發展軌跡。可是，儘管認知評價是關鍵的原因，卻不是唯一的原因，科學發展還有其它因素，一起構成一個因果機制，包括社會性因素。更詳細地說，本書將提出一個動力模型，揭示以認知評價為核心的因果機制——推動科學（理論與實驗）沿著一定軌跡發展的認知—社會機制。

壹、認知評價可以為科學變遷提供因果說明嗎？

在《科學革命的結構》中，孔恩對於科學變遷提出一個描述

其軌跡的「運動學模型」，即常態科學、危機和科學革命三部曲（三階段）模型，可是孔恩並沒有明白地談到變遷的因果說明，他只是描述當舊典範危機來臨時，有許多新理論會被提出互相競爭，可是為什麼一個新理論能取得多數科學家的接受，變成新典範？其原因是什麼？孔恩並沒有明白的答案，他只是說當科學家對於新典範形成共識時，新典範就會取代舊典範，科學革命完成。可是，科學家為什麼會對新典範形成共識？其原因又是什麼？

在〈客觀性、價值判斷與理論選擇〉(Objectivity, Value Judgment and Theory Choice)一文中，孔恩論證價值判斷在理論選擇的關鍵角色。¹ 首先，他舉出五個好理論的特徵 (characteristics) 或德性 (virtues)：準確、簡潔、一致、豐富、廣泛。孔恩強調不是只有這五個。然後，孔恩爭論它們可以做為理論科學家追求的 (認知) 價值，而且科學家是依據那些認知價值來對理論作評價，再選擇理論。換言之，理論選擇是一種價值判斷。以價值來選擇理論在實際上保有彈性的空間，得以在科學發展中良好運作。儘管孔恩反對傳統的規範方法學企圖找出的那種不會產生異議的判定程序，他仍然認為科學家共享上述的價值判準。可是，他進一步指出，一來科學家對於這些價值的應用結果難以產生共識；二來就算同一組價值被應用時，不同的科學家

1 臺灣關於價值判斷在理論選擇中的角色之討論，參看戴東源 (2005)、陳瑞麟 (2005)。近來 STS 學者雷祥麟 (2010b) 也開始討論臺灣醫學科學家杜聰明的「創造價值」。他是這麼說的：「孔恩就曾指出『價值』在科學發展過程中所扮演的關鍵角色。……作這些選擇的科學家都不可能完全基於已知的證據，他們所關切的是一個指向未來的計畫，因而涉及到尚未完全實現的價值，更直接地說，他們的投入、獻身、甚至研究設計，都涉及到他們對那些潛在價值的體驗與想像。」(p. 246)

可能會賦予諸價值不同的比重，難以產生共識性的排序；三來價值的意義和解釋可能隨著理論的變動而變動。

孔恩的洞見指出的是：無法把價值判斷化約成一組方法學規則，讓每個科學家都根據相同的方法學規則來產生相同的判斷，達成共識。然而他對於理論選擇是根據價值判斷的觀點，暗示了理論變遷的因果說明：科學家的價值判斷是理論變遷的原因。可是，孔恩也留下一個嚴重的問題：如果價值判斷因人而異，難以產生共識，為什麼科學家卻會在科學革命時期，有共識地拋棄舊典範、接納新典範？這樣一來，要如何把科學家殊異的價值判斷當成原因來說明科學家對新典範的共識？

孔恩的問題來自於他對變遷的「運動軌跡描述」，他以典範為科學變遷的基本單位，因此要預設在同一個典範下工作的科學家必須有共識。什麼原因讓科學家對一典範形成共識，就變成一個需要說明的問題。又孔恩自己已經有力地爭論科學家很難產生一致的價值判斷，如此會推出價值判斷無法做為共識形成的原因——這也是為什麼社會建構論者認為必須另尋他途，據此主張，共同的社會利益才能因果地說明共識的形成。

可是，如果科學理論的發展與變遷不是如同孔恩描述的那樣呢？如果我們對於科學理論的發展與變遷有一個不同的描述，我們能提出一個不同的運動軌跡模型，我們還會受困於孔恩的麻煩嗎？問題是：科學的發展與變遷可以有不同的運動軌跡嗎？

我在〈理論版本取代典範的精煉〉(Theory Versions Instead of Articulations of A Paradigm, Chen, R.-L. 2000)和《科學理論版本的結構與發展》(2004)中提出「理論版本」的概念，以及以理論版本為基礎的發展描述——一個建立家族的系譜學式的運動

軌跡模型。理論版本是個人化的理論，例如在哥白尼（Nicholas Copernicus, 1473-1543）在《天體運行論》（*On the Revolutions of Celestial Bodies*）一書中提出的是天文學「日心說」的理論版本，後來所謂的「哥白尼學派」或「哥白尼主義者」，如伽利略在《兩個世界體系的對話》（*Dialogue Concerning the Two Chief World Systems: Ptolemaic and Copernican*）、克普勒在《新天文學》（*New Astronomy*）和《哥白尼天文學概要》（*Epitome of Copernican Astronomy*）分別發展了「日心說」的不同理論版本，加上其他科學家的版本，一起構成了以哥白尼的理論為原型或典範版本（*prototypical or paradigmatic version*）的理論版本家族。這個發展到牛頓達到頂峰，牛頓《自然哲學的數學原理》建構了「牛頓力學」的理論版本，把哥白尼以來的天文學發展成「天體力學」，而且併入更普遍的力學版圖內。當然，力學和天體力學的發展並沒有停止，牛頓之後有十八世紀的瑞士和法國力學家如歐拉、達蘭伯特、拉普拉斯、拉格朗日繼之，紛紛發展自己的理論版本，構成「古典力學」這個大家族。

以個人化的理論版本為基本單位來描述科學理論發展的運動軌跡，可以分成兩種現象：（A）新理論版本從舊理論版本中發展出來；（B）新的版本家族從舊版本家族中演變出來。B現象相當於科哲家和科史家關切的「理論變遷」，HPS的科哲家使用典範、研究方案、研究傳統等大單位來描述；SS學家則使用甚至更大社會單位如利益共同體、生活形式、同盟網絡來刻劃（詳細討論見第五章）。這些大單位都預設許多不同的科學家必須被某種同質或共同的東西捆綁在一起，以便構成一個整體，HPS認為這種「綁帶」存在理論內部（範例、硬核或形上學等），SS則從理論外部尋找「綁帶」（共同利益、共同生活形式、權力結

盟等)。「理論版本家族」則是一個相對鬆散的單位，完全拋棄「綁帶」的需要，除了主張家族內部諸版本間是「家族相似」(family resemblance)之外，更強調「家族歧異」(family diversity)——有時差異甚至大到足以產生版本與版本之間的「局部不可共量性」(local incommensurability；參看陳瑞麟和薛甯中〔2009〕一文)。

對於 HPS 和 SS 而言，A 現象是可忽略的，但是對本書而言，A 現象也是一種「理論變遷」，但為了與過去的用法區分，我將之刻劃為「微變遷」，並稱 B 現象為「巨觀變遷」。重要的是，我爭論巨觀變遷是由一連串的微變遷帶來的：也就是說，一個原型版本，經過一連串新版本的發展，構成一個家族；在長期發展下，其遙遠子代的版本可能與「原型的祖先版本」有巨大的差異，而可能變成另一個新家族的原型版本。

這個版本家族發展的運動軌跡模型，不僅相似於人類家族的結構，也相似於人類家族的發展歷程，所以我們也可以合理地把描述人類家族的語詞套用到版本家族上，例如如果一個版本是被一個或幾個老版本啟發而產生，則它是一個子代版本或女兒版本 (daughter version)，老版本則是親代版本 (parent versions)，有共同親代版本的子代版本彼此互為兄弟姐妹；而一代又一代的所有子代版本總稱為後裔版本 (descendant versions)，前幾代的版本則是祖先版本 (ancestor versions)，開創一家族的最初原型或典範版本則是**初祖** (the primary ancestor)。必須一提的是，版本的生成與人類固定的有(兩)性生殖不同，親代版本可能只有一個(單源頭)，或兩個(雙源頭)，或多個(多源頭)。

現在，這個運動學模型有一個「分家問題」(the ramification

problem)：如果每個理論版本都有其親代版本，我們如何指認出一個新家族？即使一個「初祖版本」，也有其親代版本與由此而上溯的祖先，為什麼它有資格被稱作新家族的初祖？根據什麼，我們可以從整個科學的大傳統中，挑出版本家族並選出一個理論版本做為祖先？換言之，初祖如何指認？「家族相似」的觀念對回答這些問題毫無幫助，「家族歧異」可能帶來更多麻煩：同樣歧異極大的後代版本，為什麼其中之一可以變成新家族的初祖？

對於孔恩、拉卡托斯、勞丹、SS 學者等以「共同的巨大單位」切入科學變遷的立場而言，上述不是他們的難題。可是，我已經爭論「典範」、「研究方案」和「研究傳統」這些科學變遷的大單位都無法配合科學理論不斷演變的事實——不存在任何固定不變的元素或共同點可以用來指認這類巨大的單位。² 同樣地，也不可能有任何「理論版本家族遺傳的基因」或「理論版本家族內固定不變的元素」可以用來指認一個家族，因此也沒有辦法用類似「基因突變」或「全新元素」的方式來指認一個新家族。換言之，無法完全從理論內部去建立。解決這個問題的管道是再加上理論外部的競爭條件，可是我也不同意「共同利益」、「共同生活形式」、「權力結盟」等外部因素是好答案。

2 我在一篇尚未正式發表的英文論文“*What is Cartesian Science? A Philosophical Consideration*”已經使用笛卡兒科學為案例對此問題作了完整討論，也爭論孔恩、拉卡托斯和勞丹的「典範」、「研究方案」和「研究傳統」的巨大單位都有個別的困難。勞丹早已爭論典範與研究方案使用固定不變的範例或硬核來指認不合歷史實情，他爭論「研究傳統」（相當於典範或研究方案）會演化，如此有一個嚴重的挑戰：一個研究傳統如何能在某種深度的轉變下，仍然保持為「相同」的傳統？勞丹坦承他無法給出一個令人滿意的交代 (Laudan 1977: 95-99)。這個問題可以透過理論版本的連續繼承與變遷來回答。亦即，儘管多代之後的版本與其祖先版本可能有巨大差異，而且沒有共同元素（基因）貫穿其間，但是一條傳承之鏈仍然可以辨識其家族性。問題在於，如何區分出新家族？

本書建議的答案，簡單地說，是理論版本之間的競爭關係（competition，包括「對立、批判、啟發與生產」）造成分家。讓我們把這些關係表述為條件，並稱為「分家與指認條件」（conditions of ramification and identification）——因為分家與家族指認一體兩面：³

（CRI1）對立立場（the opposed position）：如果一個理論版本在某些公認最重要的議題（包括現象、概念或方法論）上，與既存家族的某一版本（通常是典範版本）持有不相容或對立的判斷，則滿足「對立立場」的條件。

（CRI2）批判行為（the conduction of criticizing）：如果持有一個理論版本的科學家，在最重要的議題上，要不是批判既存家族的某一版本時，就是繼承了批判該家族的某一理論版本時，則滿足「批判行為」的條件。批判的行為使對立公開，而且可以吸引新手投入自己的陣營，發展自己的家族。

（CRI3）啟發與產生（inspiration and production）：如果一個滿足前兩項條件的理論版本獲至空前的成就，能啟發其他科學家公開聲明受到鼓舞而採取相似的立場並擴張其理論到新問題（同時建構新版本），換言之，它有能力產生新版本，則此版本可能成為一個新家族的初祖。

因此，如果 A 版本和 B 版本之間的關係滿足這三個條件時，A 和 B 分屬不同的家族，而且 A 和 B 都是家族的初祖，不管 A

3 我在《科學理論版本的結構與發展》一書中，已經表述了這三個「競爭條件」，目的在於指認出兩個理論版本在什麼情況下會進入競爭狀態中，但是我並未把這三個條件當成指認一個新家族的分家條件。現在，很明顯的是「競爭條件」即是「分家條件」。

和 B 之間是否有相似的元素或者傳承的關係。哥白尼的天文學版本、第谷的天文學版本都是好例子，它們都繼承了亞里斯多德－托勒密的天文理論家族的許多元素，但是因為上述三個條件而建立了自己的新家族。笛卡兒的理論版本和牛頓的理論版本也是好例子，因為牛頓的理論版本在「慣性」和「動量」的概念上其實繼承自笛卡兒，但是牛頓卻建立一個新家族，因為他的版本和笛卡兒版本進入競爭關係。

理論外部的競爭關係或分家條件只是用來辨識新家族如何形成，家族成員的歸屬當然由理論內部的結構元素之傳承系譜來判定。有一種特別的情況是：已知 A 版本和 B 版本對立，C 版本也對立於 A，但在公認最重要的議題上，C 版本的建立者公開為 A 版本辯護並反對 B 版本時，則 C 屬於 A 的家族，儘管 C 在其它地方可能和 B 相近而和 A 相遠。這個情況的例子是十八世紀的萊布尼茲理論版本 (C)、笛卡兒版本 (A) 與牛頓版本 (B) 三者間的關係，因為萊布尼茲 (Gottfried W. Leibniz, 1646-1716) 在不同的議題上分別對立並批判笛卡兒和牛頓，但是在十八世紀初最重要的「重力」(gravity) 概念上，萊布尼茲沿用並辯護 (也有改良) 笛卡兒的渦漩理論 (vortex theory) (陳瑞麟 2004)。

至此，我已經把從理論版本到理論版本，以及從版本家族到版本家族的發展軌跡，作了一個完整的「運動學描述」。前者我們必須追蹤理論版本內在元素的繼承、變異、修正與發展，後者我們必須考察理論版本之間的競爭關係，以便指認新家族從何者開始。可是，新家族的建立還是要從一個典範的理論版本開始，「競爭」只是理論之間的關係狀態之描述，不是決定理論版本或

家族發展的原因或動力。⁴

貳、認知評價與因果機制：一個行為人基礎的動力模型

為了說明上述理論發展的運動學描述，本書提出一個動力模型，揭示一個因果機制以便說明（模釋）理論版本的運動軌跡。它主張個別科學家的認知評價是個人化的理論版本發展與變遷的動力因；而且有個人化的理論版本之發展，才有理論版本家族的建立。「理論版本家族」這個概念幫助我們掌握科學史家對各種主義、學派或傳統的直觀區分，但不管是主義、學派或傳統（典範）等都不是理論發展的基本單位。家族分化是理論發展過程中的一種社會化現象，但它是一種副現象（epiphenomenon），在理論版本持續發展和差異化之後才會產生。

本書爭論：科學家對不同的理論版本的認知評價，因果地決定了一個理論版本具有持續發展、產生後代版本的機會。它預設存在好理論可以被科學家的認知判斷挑選出來，可是好理論也是科學家發展出來的，發展出它們的科學家本身必須要有好的理論

4 這裡值得討論本書的運動學模型與達爾文天擇演化論的差異。天擇理論應用馬爾薩斯（Robert Malthus）的人口論模型，導出有限資源必然導致生物個體、群體或物種間的「生存競（鬥）爭」（struggle for existence），在競爭中有優勢而生下更多後代或者沒有優勢而無法留下後代，就是天擇（natural selection）。天擇因此是說明生物演化與種種現象的原因、動力或機制。生物在天擇作用下的「生存競爭」無所不在。可是，在科學發展之中，理論之間的競爭（competition）雖然很常見，並不是無所不在，科學家也沒有一個非得使自己的理論產下更多後代的目標，「競爭」也不是生存鬥爭，只是用來描述理論之間「對立、批判、啟發與產生家族」的關係。「理論版本家族」是因為競爭關係而產生的分家現象，用來幫助歷史家方便掌握複雜的歷史材料，但是「家族」是「虛擬的」，不是實體性的存在。我們也可以不使用「家族」這概念，仍然可以發展一個理論動力學。

建構或理論化技能（theorizing skill or ability）。如果後繼的科學家缺乏夠好的理論化技能，一個好理論也可能得不到發展的契機而步入消亡。追根究底，科學家的理論化技能是科學發展與變遷的原因之一。理論化技能包含**模型建構技能**或**模釋技能**（modeling skill），亦即建構各種不同程度的具體化模型、從而把理論公式連結到實際資料，並用來模釋、模擬、說明現象。

可是，我們如何掌握歷史上的科學家的理論化技能和模釋技能呢？顯然這類技能可以被它們的產品和歷史反映出來，亦即如果一位科學家的理論化與模釋技能夠好的話，他的產品——理論和模型——也就有足夠好的潛能（potentiality or capacity）可以被傳承，並經歷一段發展歷程。而且通常其他科學家實際評價的是理論本身，而不是生產該理論的科學家的理論化技能，所以，**理論潛能**（theory potentiality or capacity）和**模釋潛能**（modeling potentiality or capacity）也是我們要考察的對象——特別是非同時代的科學家，我們只能透過他的版本的理論和模釋潛能來說明「為什麼該版本得以被傳承、持續發展和成長，或者相反？」

當一些具高競爭力的理論版本生產出來時，一個壯大的理論家族，就可能提供社會利益做為它自己持續擴張的一種社會資源，吸引更多科學家和更多其它社會資源（例如贊助、資金、人力、技術、新工具等）投入己方陣營。結果發展成一個龐大的理論家族，產生家族內部共同且龐大的社會利益，這反過來可能會對其它競爭的理論構成社會拘束。社會對理論發展的影響就在這裡（在家族形成、鞏固與壯大的過程中）顯現出來。

最後，理論的目的在於說明或模釋人類對物質、自然、生命、社會事物、甚至人自己的種種經驗，雖然人類的想像力在運

著作，使得理論得以超越經驗、預測未來、甚至創造和建構全新現象，理論也可能強烈影響甚至支配人們的經驗，但是這都不意味經驗在理論發展中不扮演任何角色。相反地，過去人類累積了龐大的經驗資料庫（包括那些被過去理論影響下建立的經驗和資料），在在都對理論的發展產生拘束的作用：亦即理論仍然是為了說明、模釋既存經驗，預測未來可能經驗，也要接受各種經驗的檢驗——讓我們稱這些條件為「經驗拘束」。經驗拘束提供科學家作認知評價的一些判準（例如說明力、預測力、經驗適當等），影響了理論（版本）的發展。

科學家是一個有目的的行為人，建構科學理論也是一個目的性的行為，所以本書發展的因果說明和動力模型，可以稱作「行為人基礎的動力模型」：行為人有一定的技能，在集體經驗的拘束下，產生一定的產品，受到其他行為人的認知評價，獲得或產生社會資源，也可能受到社會拘束。換言之，一個理論發展與變遷的因果機制或動力模型要包括理論化技能（反映在理論潛能上）、認知評價、社會資源和社會拘束，以及經驗（自然或客體）拘束四個核心因素，以下進一步解釋：

（1）行為人的理論化技能可以建構或發展某些理論，以供其他行為人作評價和選擇。理論（技能的產品）具有一定的「理論潛能」，使得其他行為人能在評價之下對之作局部性的篩選和修正。

（2）行為人總是根據多元的價值標準對於既存理論作認知判斷，並決定要選擇哪個理論版本來應用並發展它。

（3）社會資源包括潛在的利益、既有的概念和文化資源、資助和金錢資源、意識型態資源等；所謂「概念和文化資源」意指社會是否有足夠豐富的概念可資利用？是否鼓勵研究自然現

象？是否提供一個深厚的「科學文化」以幫助科學的發展？或者擁有一個抑制投入科學的「反科學文化」或「非科學文化」？一個已建立的理論家族常常可以創造大量的社會利益，吸引新生代投入，而對其它競爭的理論構成不平等競爭。此時，社會資源會反過來表現成社會拘束，限定了某些理論發展的可能性，此時我們稱作「社會拘束」。

(4) 經驗拘束指被研究對象的天性（自然）拘束，又可稱「客體拘束」。因為被研究對象（客體）的天性提供我們經驗，經驗限制了建構理論模型的可能性空間，亦即不是任意理論模型都可以被建構出來，理論模型是被建構來說明經驗資料的。經驗也限制了行為人的認知判斷——不能任意，也不能被社群成規凌駕（override）。

現在讓我進一步解釋這些概念與因果說明的關係。首先，科學家的技能當然是一種原因，有技能才能生產好的、具競爭力的理論產品，以展開傳承和發展的歷程；缺乏技能則不易生產好產品，也難以進入後續的傳承和發展。其次，認知評價是作選擇的動機，動機是行為的原因，科學家作判斷之後，才能選擇理論並決定是否投入發展它，有其他科學家的投入和支持，一個理論版本才能發展成家族，才談得上成功。社會資源在一個理論版本家族的持續生存與壯大中，偶爾成為原因，各種社會資源有時會影響科學家的認知判斷，但是，資源並不總是運作中的原因，只是存在環境中，等待行為人的取用。拘束是消極的，它限制發展的可能性，也限制創造、建構、約定等行為的可能性。⁵ 經驗拘束

5 蓋利森也使用「拘束」這個概念。他討論的是在設計一個粒子物理實驗時，實驗者會受到什麼樣的限制（拘束）？他以超導對撞機的物理學家為例指出三個不同團體的看法：第一個團體強調物理學本身的拘束，這可稱為「理論拘束」；

代表一個人或社群不能超出客體的自然天性（被經驗表徵）而去想像任何可想的模型或理論，也表示科學家無法凌駕它而去建構出任何欲想實現的資料模型、現象、事實等。換言之，傳統方法論的經驗證據、印證，以及本書全力發展的結構對應性（代表限制的程度性），其實都是表達了經驗拘束。社會拘束則可能延緩或阻礙一個理論的進程，例如十七世紀的教會觀點可能阻礙了哥白尼天文學的發展速率，但不像經驗拘束難以凌駕，社會拘束有時較易克服。

以下我們將以具體的實例，亦即十七世紀的科學革命——包括哥白尼的天文學家族、笛卡兒的機械渦漩理論家族、牛頓的力學理論家族等——來例證。選擇這個大案例的主因有二：第一，這個時期涉及許多家族間的競爭與大轉換，也是近代經典科學的建立時期，它是任何科史哲、科學史和 SS 理論都應該要面對的經典案例。第二，這個時期的科學理論和思想的發展，不僅英文文獻豐富，臺灣也有一些詳細的中文科學史研究與翻譯，提供有趣的運動學描述，足以做為本書提出動力學說明的歷史基礎（陳瑞麟〔2004〕第五章、第八章；夸黑〔2005〕；戴東源〔2007, 2012〕）。⁶ 也因為有這些歷史基礎，本書將只提供一個簡明的科

第二個團體強調核子、工業和軍事的生產和消費圈內的整體網絡可能付出的代價和可行性，這是一種社會經濟拘束；第三個拘束的爭議則是來自工程領域：實驗裝備的零件要怎麼安排等，這是技術拘束。但是他強調：首先，在理論和實驗的次文化內，拘束的運作是準自主的，不是絕對分離的；其次，理論和實驗拘束同時扮演建設性與限制性的角色（Galison 1998: 14-17）。蓋利森的拘束概念和他的科學動力學有關。我比較不同意「理論拘束」的說法，理論的建設性角色，稱作「理論潛能」或「理論資源」更好。

6 我個人亦有尚未出版的中文草稿「理解天體與物質」，以理論版本的發展模型為基礎，重建了希臘天文學、哥白尼革命到力學革命的歷史。其它被參考的科學通史書籍，如 Kuhn (1957)、Wolf (1938[1999])、Westfall (1977)、Debus

學革命的運動軌跡描述。

參、從天文學革命到力學革命

十六世紀天文學革命，公認起於 1543 年哥白尼《天體運行論》的出版。這本書的原初目的是想解決行星問題，精確定位回歸年的長度，其內容構成哥白尼的理論版本。「地球運動」和「太陽位於宇宙中心或附近」確實是哥白尼版本的創新之處，它們使得地球變成行星、太陽由可動的行星變成固定不動的恆星。但是哥白尼理論的宇宙結構，仍然繼承亞里斯多德－托勒密家族的天文學，例如七大行星都位於天球殼層上，所有恆星（除了太陽）位於最外層的天球。哥白尼甚至也沒有完全拋棄托勒密的「副輪在主輪上的模型」，為了配合火星運動被觀察到的奇怪軌道，他設定一種「小副輪」（戴東源 2007）。

打從一開始，哥白尼版本就必須面對一些明顯經驗的反對，例如天空中的雲、鳥、高塔落下的石頭為什麼不會被地球拋在後方？如果地球自轉，在如此高的轉速之下，地球為什麼不會四散紛飛？如果地球繞太陽公轉，則根據幾何學，某日觀察一顆恆星，半年後再觀察它，應該會觀察到該星體的高度改變，這稱作恆星視差（star parallax）。可是十六世紀無人能觀察到恆星視差。種種問題構成哥白尼版本的異例。哥白尼不是沒有面對，但他提供的答案說服力顯得不強：例如他反問天球在旋轉，為何不會四散紛飛？但是亞托家族的人可以很輕易地回答這反問：天球是由緊緻的固體乙太構成的，不能和鬆散土元素構成的地球相提並

（1978）、Shapin（1996）。還有許許多多列入上述中文研究的參考文獻，不及備載。

論。針對高塔落下的石頭，他爭論因為石頭被空氣帶動；可是，逆風丟石頭，石頭為何不會被風吹回來？他爭論恆星天球極大，大到觀察不出視差，然而究竟有多大，哥白尼自己也無法提供測量的可能性（陳瑞麟 2010a）。

不管為什麼，確實有傑出的天文學家如克普勒和伽利略選擇了哥白尼的版本來發展。他們以地球運動為起點，面對一組全新的問題：包括哥白尼版本的異例與伴隨而來的更多問題：天的組成是什麼？固體行星天球殼層是否仍有必要？恆星天球呢？星體運動的原因是什麼？宇宙的大小或尺度如何？後來的天文學家開始一一打破哥白尼依舊保守的宇宙結構：先是恆星天球的必要性，繼而是宇宙尺度的無限大，⁷ 然後是行星天球的必要性等。

英國人狄吉斯（Thomas Digges, 1543-1595）改寫《天體運行論》的第一冊，取消恆星固定在最外圍球體的觀念。他主張恆星存在於在天球體外，四面八方無限伸展的空間裡。但是，行星仍然固定在球殼上。英國科學家吉伯特也提出一個宇宙結構的版本，取消外圍球體，主張恆星散佈於宇宙的無限空間中，地球不是位在某個天球殼層上，但其它行星仍在於天球殼層上。吉伯特同時也發展了磁力哲學，他的理論版本和磁力哲學的結合，對於克普勒有很大影響（Debus 1978）。從哥白尼到吉伯特，可以看

7 被教會送上火刑臺的布魯諾（Giordano Bruno, 1548-1600）正是如此主張。布魯諾說：「上帝的卓越，顯現在祂的王國之偉大上；祂並不是由於一個，而是由於無數個太陽（指恆星）而受到尊崇；不是由於一個地球，而是由於在這個無限宇宙中的幾千個地球而受到尊崇。」（轉引自夸黑 2005）布魯諾認為不只我們的地球環繞太陽；有很多地球環繞著它們的太陽。二十一世紀，人類真的透過太空望遠鏡（取名為「克普勒」，也許應該改叫「布魯諾」才對）觀察到外星系的許多行星，甚至類似地球的行星。

到地球殼層是逐步地被取消；宇宙的尺度也是逐步地被放大。

哥白尼之後，歐洲最重要的天文學家是第谷，他建立了天文學領域的權威性，成為當時公認最好的天體觀察家。他不同意哥白尼的地動說，因為物理意義（基於亞氏的物理學）與《聖經》都不支持地動的觀念，最重要的是他自己一直觀察不到恆星視差，所以他認為哥白尼必定是錯的。第谷自己提出了一個宇宙系統，主張其它行星繞太陽旋轉，而太陽則帶著其它行星繞地球轉。地球仍保持不動，但已不再是宇宙的中心。第谷並不屬於保守的亞氏—托勒密家族，因為他對彗星的深入觀察與研究，證明了彗星是一種天體，不是大氣現象，使他成為第一位論證彗星屬於天體的科學家。他進一步發現彗星穿行在各行星之間——這意味著天空必定不能存在球殼，否則會阻礙彗星運行。比起哥白尼的版本，第谷的版本在宇宙的結構上有更重大的突破——彗星是天體，而固體地球殼層可以取消。這些突破讓第谷的版本對立於亞氏—托勒密的傳統，而且得到許多耶穌會士的支持。換言之，第谷版本發展出自己的家族。⁸

克普勒的天文學理論是許多不同思想元素的綜合產物，包括畢達哥拉斯和柏拉圖的數學方法論、新柏拉圖主義的太陽中心的信念、亞里斯多德的目的因與本質觀、全新的機械哲學、哥白尼的行星天文學、吉伯特的磁力理論、第谷的宇宙結構理論和火星觀察資料（戴東源 2012）。他提出三大行星定律，主張行星繞行太陽的軌道是橢圓形。在接受第谷取消地球殼層的觀念之後，他

8 吉伯特曾在哥白尼和第谷的系統之間猶豫不決。因為吉伯特雖然主張太陽是宇宙中心，也同意地球有周日運動，但對於地球是否有周年運動感到懷疑而不予討論，夸黑（2005: 61-62）有一個很長的腳註討論這一點。

面對的問題是：行星如何在沒有支撐的虛空維持橢圓軌道而運行？他從吉伯特的磁學找到理論資源，發展一個磁性渦流理論，並提出一個機械類比模型：太陽發出磁性輻射，像掃帚般帶動行星運轉。行星在橢圓軌道上猶如船在河道上，當行星通過遠日點時，磁力要吸引行星靠近，當行星通過近日點時，磁力開始排斥行星，這猶如船上有船槳，保持船在河流上持續行進。然而，行星為何能始終保持在軌道上？克普勒覺得不能不引入心靈一類的原因，這使他擺脫不了亞氏的目的因。

伽利略是促成哥白尼革命的另一位關鍵科學家，他的貢獻有二：第一，運用望遠鏡的觀察，提供日心說旁證。第二，處理哥白尼版本面對「地球運動」之後產生的種種問題，例如高塔落石為什麼不會被拋在後頭。伽利略自己做出可能是當時倍數最高的望遠鏡觀察天空，發現許多新恆星，銀河有大量星星擁擠在一塊兒，宇宙一下子膨脹許多。這給哥白尼系統放大宇宙的一個旁證。他發現月亮表面疑似佈滿坑洞山谷，不是平面如鏡，這個觀察使他拒絕亞氏傳統對於天體如鏡的觀念。他又發現了木星的衛星——木星有自己的「月亮」顯示行星也可以是其它星體的運行中心，一方面使人們更容易接受地球是行星，另一方面人們不得不在舊天體分類中，增加新種類（即今天的「衛星」）。可是，望遠鏡不能提供更有力地證明地球運動的關鍵證據——太陽位於宇宙中心和視差現象還是無法觀察到。儘管如此，這些旁證提供了拒絕亞里斯多德理論的宇宙結構之理由。

針對高塔落石的問題，伽利略主張高塔落下的石頭在落下前已分享地球本身的運動——因此在掉落的過程中，石頭可以和地球自轉的圓周運動同步，為了檢驗這個主張，他構造一個可實驗的「船桅論證」：在運動的地球高塔上丟下一塊石頭，猶如在大

海航行的帆船桅桿頂端丟下一顆石頭，高塔的石頭不會被拋在後頭，猶如桅桿的石頭不會被拋在後頭一樣。可是，這個論證即使能實驗，也只能提供一個類比，並不能真正證實地球運動——因為人們無法跑到地球之外來觀察石頭的運動軌跡。

伽利略和克普勒同屬哥白尼理論家族，但是兩人從未結成同盟，也未互相接受對方的許多論點，伽利略甚至疏離克普勒——不少科學史家認為這是一「難解之謎」（戴東源，未發表手稿）。根據戴東源（2012）的研究，伽利略從未接受克普勒的行星橢圓軌道的觀念，而且對於行星在虛空中運動的機制保持沈默。事實上，伽利略仍然繼承「天體是完美的」的希臘傳統觀念，天體是根據其天性（by nature）以正圓形軌道作勻速運動，這是一種自然的運動，因此不必為天體運動提出動力因的說明。在說明潮汐的現象部分，伽利略也不同意克普勒訴諸於月球對海水的「吸引力」之作用來說明。伽利略自己主張潮汐是地球的自轉和公轉兩種運動造成的，而且潮汐反過來成為支持地球運動的證據。可是，為什麼水不會分享地球的運動？伽利略認為水有一種特別的天性，使它和土、氣、火三元素不同。伽利略和克普勒的理論版本差異，特別鮮明地展現了本書強調的「家族歧異性」；兩人的疏離關係，也對「共同利益」、「同盟說明」構成了重大的挑戰。

十七世紀力學理論的發展可以說是機械論（mechanism）或機械世界觀崛起的歷程。誰是「機械主義自然哲學」（通常簡稱「機械哲學」）的初祖，歷史已不可考。機械哲學是一種時代思想的氣氛，無法說誰是原創者，而且從古代具有心靈、目的或生命的自然轉變到笛卡兒式徹底的機械自然，也是逐步的。歐洲文化的大環境——尤其是十七世紀的工匠技術之精進與新工具的發明——確實提供了「機械哲學」興起的社會資源（看第肆節）。

機械論的自然哲學也就是現代所謂的「力學」(mechanics)，它其實是一門探討運動(motion)的科學。在亞氏的理論中，「運動」和「變化」是等值的，但在十七世紀時，各種運動都可以被化約到「空間變化」——即今天的「運動」的意思。儘管機械哲學的代表人物是笛卡兒，但笛卡兒之前仍有先驅者，我們不能不回溯到克普勒。他對行星運動的說明，提供了一個「雛形」的機械哲學，但克普勒並沒有完全擺脫生機論。接著在伽利略1638年出版《關於兩門新科學的對話錄》(*Dialogues Concerning Two New Sciences*)一書中，機械哲學被發展成現代意義的力學，他把「運動」的概念量化成「運動量」，並且以幾何和向量的概念(平行四邊形法)來分析。1640年笛卡兒出版《哲學原理》(*Principles of Philosophy*)，以微粒子的碰撞為基礎，提出一個企圖說明宇宙各種現象的理論版本。笛卡兒同時也提出「碰撞」的力學原理，把「運動量」代數化，主張一物體的「運動量」是它的「大小」(size)與「速率」(speed)的乘積。他也把伽利略的正圓周自然運動，改變成現代意義的「慣性直線運動」。惠更斯精煉笛卡兒力學，提出作用力與反作用力原理。這些發展在牛頓手中集大成。我們要強調的是，每一位科學家都是基於先驅者的版本，針對某些概念、模型作改良，因而發展出自己的理論版本。

牛頓宣稱重性(gravity)是萬有引力(universal attraction)——無需接觸、碰撞即可作用的「超距作用」(action in a distance)——並暗示萬有引力是上帝的精神力。笛卡兒家族的惠更斯和萊布尼茲認為牛頓的「重力」開倒車，回到中世紀的玄奧(occult)觀念，因而批判牛頓。面對笛卡兒主義者的攻擊，牛頓始終無法對重性提出一個機械因的說明，最後訴諸於方法論

來對抗，他建立了類似現代意義的歸納檢驗（印證）的方法論，宣稱「定律（規則）」可由歸納來建立和檢驗，不能以假設來規避。雙方競爭到十八世紀三十年代左右，牛頓家族才慢慢獲勝。但是笛卡兒家族的科學家仍然沒有放棄，設法在渦漩理論的基礎上來挽救，而且笛卡兒的幾何演繹方法，強烈影響十八世紀以牛頓理論為典範版本的法國古典力學家（陳瑞麟 2004）。

上述十六世紀中葉到十八世紀三十年代的「科學革命」之發展，可以圖示成下列複雜的理論版本傳承系譜（其中，實線箭頭代表家族的傳承，虛線箭頭代表有影響但非家族性的傳承）：

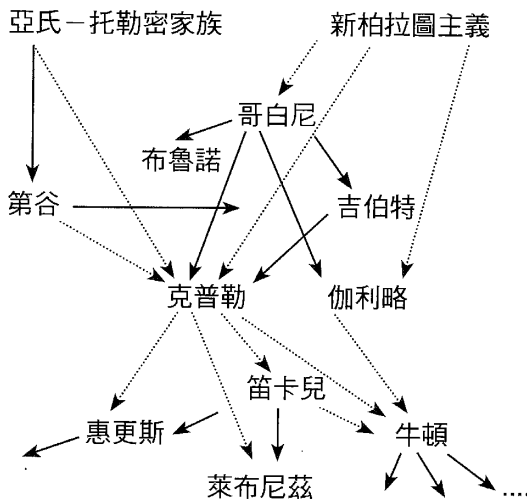


圖 4-1 科學革命的理論版本系譜圖

肆、理論潛能與認知評價

一個理論版本有三個相關但又具相當自主程度的核心元素：通則系統、模型家族、分疇分類架構，前兩項是語意觀點或模型

哲學對於科學理論的共同看法，分疇分類架構則是區分不同理論版本的關鍵元素——不同的分疇分類架構區分了不同的理論版本，它表徵一位科學家對於某一主題的存有結構之許諾（commitments to an ontological structure），是一個理論版本必備的形上學成分，它也蘊涵了孔恩和勞丹所謂研究傳統的形上學信念。除了這三個核心元素外，一個深具潛能、足以發展成家族的原型或典範版本，通常附帶一組特定的目標、價值和方法論，以及一個特定的學科分類（陳瑞麟 2004）。

理論潛能就是一個理論版本的每個組構元素潛能的綜合，每個組構元素的潛能不同，導致下一代沿著不同的路徑傳承，具備較大潛能的元素代表較易啟發後代科學家、較易被繼承、在傳承過程中較不易遭到修改而維持原貌，例如牛頓理論版本的通則與模型，或者笛卡兒版本的機械論形上學和演繹方法論。不同的理論版本在不同的元素有不盡相同的潛能，使得它們在競爭的過程中，會針對自己繼承版本的弱點加以改進，以維持家族的競爭力。例如惠更斯、萊布尼茲和伯努利一家堅持笛卡兒的機械論形上學，在面對牛頓重力理論的強大計算和預測力時，努力改良笛卡兒的渦漩理論，維繫其家族的競爭力（陳瑞麟 2004）。

牛頓曾一度受困於笛卡兒主義的概念評價：萬有引力是玄奧、非科學的。在一直無法為萬有引力找到機制（機械因）說明的狀況下，牛頓最後發展出不同於笛卡兒的方法論和形上學，建立自己版本的價值體系，主張從現象歸納中導出定律才是真正的科學方法，而不是建立沒有根據的假說——牛頓宣稱自己「不妄作假設」（陳瑞麟 2004: 141-142; 214-215），這些評價標準深深影響後來科學家的認知評價（Lakatos 1978）。

儘管一個理論版本可能提供特定的價值與方法論來影響後代科學家，但無法確保後代科學家一定會全盤接受。他們可能確立不同的目標，或接受其它理論版本提供的方法論和價值標準，形成自己的認知評價，以決定要繼承或修改版本的哪些部分。例如惠更斯和伯努利父子雖然接受笛卡兒的微粒子理論、機械形上學和天體渦漩理論，但並沒有接受確定性知識的價值標準和幾何演繹的方法論，他們認為假設有可能被經驗駁斥(知識的可錯論)，但他們判斷微粒子、機械哲學和渦漩理論可以通過經驗的考驗。惠更斯對空氣泵浦實驗結果的說明(第五章)和模擬地球自轉的圓柱筒實驗(陳瑞麟 2004: 212)，都立基於笛卡兒科學的基礎上。

理論潛能和認知評價如何導致科學理論的發展？當歷史上的科學家在面對幾個互相競爭的理論時，他們同時也面對許多印證或否證這些理論的經驗證據，在總體性地評估這些經驗證據的效力之際，其它評價標準也同時運作著，並不會因為一個理論有經驗證據的支持或反對，就立即接受它或放棄它。他們不是只因為經驗證據的加減(歸納主義)、不是只因為關鍵實驗或決定性的否定證據(否證論)、不是只因為理論預測的經驗證據被證實而增加了證據的印證力(貝耶斯主義)、不是只因為理論能說明新奇現象(拉卡托斯)、也不是只因為理論能對所有經驗證據提供最佳說明(實在論)就接受一個理論，上述都只是一種經驗性評價或其一部分。科學家往往還有其它先驗的、概念性的認知評價，例如一致性、優美、協調、簡潔、設定的原理等等。當然，經驗性的評價與先驗性評價的結合，會賦予科學家對一版本極強的信心。天文學革命是一個典範的例子。

為了解決行星運行問題(特別是春分點的歲差)，哥白尼提

出讓地球運動的新天文理論。他不是因為歲差和行星問題沒有人解決，而是因為他認為托勒密派天文學家的解決方案不精確、彼此間不一致、不協調、違反運動勻速性的首要原則等等，這些都是「概念性評價」。可是，哥白尼自己提出的解答，卻引發更多經驗問題，使得後來的天文學家（特別是伽利略和克普勒）在解決過程中，推展了哥白尼革命。在亞里斯多德—托勒密和哥白尼的天文體系之間，伽利略和克普勒為什麼選擇哥白尼的系統？顯然不單是因為哥白尼的系統在經驗證據或保全現象上的能力較好，還有根據其它評價標準所作的選擇。

伽利略在其《兩個主要世界體系的對話》討論地球的周日運動時，透過代言人沙伐提（Salvati）說：「當我們處理其它運動時，你會由看到托勒密缺乏敏銳性（acuteness）和心靈的穿透（penetration of mind），而看出偉大的哥白尼如何在這兩點超越托勒密——我意指這運動令人驚嘆的符合，被所有其它天體的運動反映出來。」（Galileo 1967[1632]: 115）不管「敏銳性」和「心靈的穿透」這兩個價值是否是主觀、也不管伽利略如何詮釋和理解它們的意義，他都是以它們來評價哥白尼和托勒密的理論。再者，伽利略也十分重視「美感」價值，他透過另一位代言人薩葛瑞多（Sagredo）說：「我們最好聽聽沙伐提的答案，是否真實的必定是更美的、不受限地美，其它〔非真實〕則極端醜；如果說真實的和美的是同一回事的形上學立場是正確的話，同樣地，假和醜就是同一回事。」（Galileo 1967[1632]: 133）當然，伽利略對哥白尼理論的支持，也因為它可以說明他自己使用望遠鏡觀察到金星盈虧這新奇現象，而托勒密的理論不能。例如他在1612年《論太陽黑子信函》（*Letters on Sunspots*）報告被觀察到的金星盈虧時說：「哥白尼在他為專業天文學家寫的《運行論》一書

中，提出金星繞太陽運行，證實了他的系統。」(Galileo 1957 [1612]: 130)。這意謂了「新奇預測」這個價值。

克普勒則在其早期《宇宙的奧祕》(*The Secret of Universe*)一書判斷哥白尼的理論「在數學上有超越托勒密的優點」(the advantages which Copernicus has mathematically over Ptolemy, Kepler 1981[1598]: 63) 後來在取得第谷的火星觀測數據和提出自己的橢圓軌道後，開始批評托勒密的假說不符合觀察、他的理論是基於先入之見或古人的正圓軌道之權威等。他說：「確實托勒密並未從觀察而建立他假說的所有內容，而是基於假定行星運動必然是規律地在正圓軌道上這個先入為主的假見解。正圓軌道已被觀察證明為假。」(Kepler 1952 [1608]: 911) 這段話也暗示了克普勒自己對於經驗與假說關係的價值標準：假說可以被經驗否證。

伽利略和克普勒對於托勒密和哥白尼理論作認知比較和評價後，選擇後者來發展。可是，十七世紀有另一位公認為最偉大的天文觀察家第谷，也提出自己的理論版本。第谷的理論版本可以恰當地解決許多經驗問題，例如行星在天體中的秩序、水星金星總是不遠離太陽、行星逆行現象等等，同時又保留了地球不動的信念，也和當時的經驗與推論吻合。所以，第谷的系統幾乎是個完美的折衷系統(Kuhn 1957)。為什麼克普勒(曾是第谷的助手)和伽利略，卻不選擇第谷？

就現存的文本而言，伽利略幾乎沒有正視過第谷的理論，他在《兩個主要世界體系的對話》中簡單地把第谷歸為亞里斯多德、托勒密家族，例如「亞里斯多德的、托勒密的、第谷的錯誤……」這樣的相提並論全書多次出現(Galileo 1967[1632]: 125,

171, 218, 267)，他也曾在《試金者》說第谷的系統「什麼也不是」。因為伽利略對於科學的評價系統接近近代的「理性主義」——主張理性掌握的「知識」比起感官更可靠——因此，「理性是心靈之眼」，可以穿透感官表象，抵達事物的真實（Feyerabend 1988，林正弘 1988），就這點而言，伽利略大概輕視第谷近乎純粹經驗式的工作，對他企圖拼湊地球中心假說與太陽中心假說的系統、以迎合既有的各種經驗證據的作法不屑一顧。

反觀克普勒曾是第谷的助手，又受亞里斯多德重經驗的影響，行星橢圓軌道這個重大的突破也是基於第谷大量的觀察記錄，使用逆推法（Hanson 1965，本書第二章）。因此克普勒十分重視經驗觀察的證據，對第谷也一直保持尊重，但是克普勒仍然沒有選擇第谷的系統，他似乎把第谷和哥白尼的系統看成差異極小，在《世界的和諧》（*Harmonies of the World*）一書第五卷，克普勒認為哥白尼和第谷的理論都一致於「和諧」這價值判準，他說：「這些關於和諧的思索即便在第谷的假說中也占有一席之地，因為第谷贊同哥白尼關於天體排列以及支配天體運動的規律的每一個觀點，只是單把哥白尼所堅持的地球的周年運動改成了整個行星天球系統和太陽的運動，而哥白尼和第谷都認為，太陽位於系統的中心。」（Kepler 1952[1618]: 1015；中譯本，頁 32）換言之，對於克普勒來說，重點是「太陽是宇宙中心」，至於地球是不是在運動相較之下，較不重要。儘管克普勒重視經驗，但是他也深受畢達哥拉斯和柏拉圖主義強調以數學方法研究自然的影響，既然哥白尼是位優秀的數學家，第谷只是觀察的天文學家，對他而言，第谷堅持地球不動的觀點就可以不必考慮，或者被併入哥白尼的系統中。伽利略和克普勒都不選擇第谷的理論，證明經驗方法論或經驗主義的價值不是選擇理論的唯一依據。

上文討論顯示伽利略和克普勒對於自然哲學（科學）有相當不同的評價系統，雖然他們都同受柏拉圖主義的影響，但在理性思考與感官經驗之間，伽利略標榜理性推理，克普勒重視觀察經驗。加上來自形上學的差異，使兩人對哥白尼系統有不同的認知評價，卻一致地摒棄托勒密理論、擱置第谷、選擇哥白尼理論來發展。這是不同的認知評價可以產生一致評價結果的明證。在實際的歷史上，兩人也保有一種疏離關係，至少伽利略似乎刻意疏遠克普勒。這一事實對本書強調的「家族歧異」概念提供了有力的歷史證據。

根據戴東源分析，伽利略和克普勒疏離的原因之一是他們的形上學觀點：對原因和本質的許諾不同。克普勒仍然追尋現象原因的本質，因此殘留亞里斯多德的目的因概念；伽利略則只承認動力因，拒絕尋求原因的本質（戴東源 2012）。從戴東源的歷史分析中，我認為伽利略和克普勒的疏離關係有幾個可能的意義值得深入挖掘：第一，伽利略並未把機械論（力學）的觀點擴張到天界，天體的本性似乎與地面物體截然不同，這暗示了伽利略並不像克普勒一般地把機械觀點全面貫徹到天界上（雖然克普勒保留了目的或心靈的觀念）；第二，伽利略訴諸於天體和水的天性來說明行星與潮汐的運動，這表示伽利略也無法完全擺脫亞里斯多德的影響，因為訴諸於天性和亞氏訴諸於本質並沒有什麼基本差別。或許可以這樣說，伽利略雖然拒絕目的因，但是他訴求的「天性」相當於「形式因」。第三，伽利略和克普勒的形上學，影響他們的認知價值。伽利略因為拒絕目的因，連帶對於任何訴諸於心靈、精靈、目的的理论都有不好的評價，他對「數學理論」的柏拉圖主義式的實在論觀點，也使他深信哥白尼的理論是最有前途的天文理論；克普勒同樣深受柏拉圖主義的數學方法與

和諧價值的影響，因此哥白尼理論的數學計算比起第谷只重觀察的理論對他更有吸引力。

伍、社會資源與社會拘束

為什麼會有十六和十七世紀的科學革命？或者用理論版本論的語言來說：為什麼天文學和力學的新理論版本家族會誕生？為什麼一個新家族會從老家族中分家？已知分家的條件是對立、批判、啟發與繁衍，則問題變成：為什麼會有科學家想尋求一個對立於老家族的新版本，並批判老家族？而且為什麼會有後代科學家受此新版本啟發，基於新版本而建立更新的子代版本，使得新家族逐漸形成？這些都是追問新家族形成與發展的原因。根據本書的因果機制，我們可以提出四個不同但相關的答案：（1）老家族的理論潛能（在認知評價之下）已不再能持續發展，對比之下，新的理論版本則顯得十分有前途。（2）新世代的科學家對老家族的認知評價遠低於新的競爭理論。（3）社會提供新理論版本興起和繁衍的資源，而且對老家族的持續發展構成拘束。⁹（4）老家族受到的經驗拘束，遠遠大於新的理論版本。例如老家族有許多異例（anomalies）不得解決，或者重大異例長期不得解決，或者老家族只能不斷地使用特置假設（ad hoc hypothesis）來解決它的異例。其中，前兩個因素已在前節討論，本節對準第三個

9 孔恩在《科學革命的結構》中說明科學革命為什麼產生的一般條件有四：（A）異例長期難以解決；（B）特置方案不斷繁殖，使得原典範繁複難解；（C）常態解謎活動飽和而趨於瓦解；（D）社會需求的壓力。其中C相當於「理論潛能已不再能持續發展」；A和B合起來相當「經驗拘束」；D相當於社會資源和社會拘束。孔恩在此沒有強調後代科學家的認知評價，後來他已討論科學家的價值判斷在理論選擇中的角色，但他仍沒有明確宣稱價值判斷是科學發展的因素。理由前文已討論。

因素，下一節討論第四個因素。

社會提供新家族興起的資源大致可以分成需求（包含資金、贊助的提供）、觀念與物質工具這三方面。

第一，十六世紀也是西歐文藝復興時期，社會產生重大的變遷。為了回應社會變遷產生的要求，是哥白尼決定尋求新天文學的動機之一。十五、十六世紀是個航海探險的時代，歐洲人紛紛航向大洋，尋找新土地和新航線。因為想安全與成功地航海，帶來了對更精確的地圖與航海技術（在大海中定位等）的要求，而這些技術又部分地依賴於天文知識。如此形成了天文學改革的壓力。另一方面，長期以來托勒密在天文學和地理學兩方面都被視為古代權威。可是航海家每次探險回來，就發現了新領地、新產品與新人種。這些新發現同時也使得歐洲人發現原來古代人對世界的描述是錯誤的，古代權威也可能出錯。人們理所當然地會想：既然托勒密在地理學已犯了許多錯誤，他的天文學難道就不會出錯？

年曆改革是更迫切的社會需求，它起於春分點的歲差問題。亦即太陽從正東方向升起的春分日，早在十三世紀時已無法固定於每年的三月二十一日，反而逐漸提前了。直到十六世紀，春分日前移到三月十日左右，社會壓力越來越大，因為這意謂人們無法在正確的日子歡度復活節、耶誕節等。對基督徒來說，如果算錯最後審判日真正來臨的那一天，正是致命的錯誤。因此年曆改革成為教會的官方計畫，也是哥白尼提出新天文學的動機：他認為既存的天文理論（托勒密和托勒密派的改良版）都無法設計一個適當的年曆，要改革年曆得先改革天文學。《天體運行論》的序文說：「首先，因為數學家們不確定太陽與月亮的運動，所以

他們無法說明一季節年的固定長度。」(Copernicus 1952[1453]) 在序文結尾，哥白尼建議他的天文系統使一個新年曆成為可能。1582年，教皇葛利果徵召一批天文學家制訂新年曆「葛利果曆」(Gregorian Calendar)，正是建立在哥白尼計算的基礎上。

觀念上的社會資源也可以分成兩個重點。

第一，文藝復興時新柏拉圖主義十分流行。新柏拉圖主義者繼承柏拉圖「最高善」(the highest good)的觀念，主張它是一切事物的最高理型(ideal type)。萬事萬物均是模仿這最高的善理型。新柏拉圖主義進一步想回答存在物生成的問題：模仿善理型的萬事萬物是怎麼產生的？他們提出所謂「流衍說」或「發散說」(emanation theory)，主張萬事萬物由善理型流衍或發散出來。這幅流衍或發散的圖像很像是太陽往四面八方發散光線，又太陽提供光與熱，地球上的一切生命才能生存。因此文藝復興時的新柏拉圖主義者，想像太陽在宇宙中的角色，類似善理型在萬事萬物中的地位。

新柏拉圖主義提供觀念上的資源，使哥白尼得以想像如何以太陽位於宇宙中心的位置（雖然不是在正中心）來安排行星。哥白尼思想中的新柏拉圖主義的色彩，一般由下列兩項證據來支持，其一是哥白尼的老師數學家諾瓦拉(D. M. de Novara)是位新柏拉圖主義者。其二是哥白尼自己讚頌太陽在宇宙的中心位置：「除了〔宇宙中心〕的位置外，誰還能把這盞華麗殿堂中的明燈置放到一個更好的位置上，使之能同時照亮一切？事實上，有人把它稱為世界之燈、世界之心、世界之首，都是很適切的。三倍偉大的赫密斯稱它為『可見之神』；索福克里斯筆下的伊蕾珂卓(Sophocles' Electra)稱其為『洞悉萬物者』。太陽就好像端

坐在王位上，統領繞其而運行的行星家族。」(Copernicus 1952[1453]: 527-528)

除了太陽崇拜的信念外，新柏拉圖主義者對於哥白尼的影響還有數學工具的使用，與「數學簡易性」的價值判準——哥白尼認為托勒密天文學家在解決行星逆行問題上設定的主輪—副輪模型，在數學上繁複難解（陳瑞麟 2010a）。新柏拉圖主義在哥白尼革命的進行中，也扮演著非常重要的角色，例如克普勒也一直被公認為是深受新柏拉圖主義與太陽崇拜的影響：「太陽是光的泉源、富含豐饒的熱、最公平、清澈、對視覺最純粹、乃是視覺的來源……我們回到太陽是最正確的，藉著它的尊嚴與權力，它獨自顯現了適合它的責任，它值得變成上帝——第一動者——的家。」（轉引自 Burt 1954: 59）

第二，教會哲學家對於亞里斯多德理論的批判，提供了哥白尼想像地球運動的觀念資源（這類觀念包括所謂的「衝力理論」〔*impetus theory*〕）。十四世紀的教會哲學家歐瑞斯姆（Nicole Oresme, 1320-1382）曾批判亞里斯多德的「唯一地球」論證。亞里斯多德論證地球只有一個，宇宙中不可能有兩個以上的地球。因為地球就是由土元素所構成的，土最重，必定聚集在宇宙的中心；如果有兩個地球，它們會由於土元素的本性而自動靠攏合併成一個地球，因此地球必定只有一個。歐瑞斯姆認為這個論證預設了一個未能證明的「絕對運動」理論，亦即物體的運動是由它在空間中的絕對位置所決定的（土的絕對位置是宇宙的中心）。可是，歐瑞斯姆想像並非所有由土元素構成的物體，都是朝向宇宙中心運動，他建議一個另類的運動理論（後來的伽利略把它發展成「相對運動理論」），亦即物體的運動由其相對於其它物體的位置來決定。在這種觀念下，地球未必不能運動、也未必一定只

有唯一一個（Lindberg 1992）。

經院學派的學者其實仍然是亞里斯多德－教會官方自然哲學家族的成員，他們的觀點是家族的偏遠版本。雖然批判亞里斯多德的理論，也設想其它另類的觀點，他們自己卻很少認真採納這些另類觀點。因為他們找不出能夠吻合《聖經》經文、又能全面替代亞里斯多德和托勒密天文學的新理論。但是他們持續討論這些另類觀點。這些討論創造了一種知識氛圍，使哥白尼能夠想像一個運動的地球。就這些觀念的傳播途徑來說，它們最初起於十四世紀的牛津大學，跨過英倫海峽進入巴黎大學，在十五世紀時傳向義大利巴杜亞大學（Padua University）。哥白尼曾在巴杜亞大學讀書，而伽利略則曾在巴杜亞大學教書，這些淵源間接顯示了教會哲學家對於的哥白尼革命的貢獻。

這些觀念上的社會資源，其實也可以納入理論家族傳承的系譜內，它們是哥白尼理論各種觀念的祖源，這一點顯示科學革命並不是突如其來的。

就物質工具的資源而言，我們可以討論望遠鏡和顯微鏡這兩種新工具，以及機械鐘提供的機械論隱喻。伽利略聽說荷蘭磨鏡工人組合兩片透鏡後，可以放大遠距離的物體，他自己嘗試各種組合，而製作出當時最高倍數的望遠鏡。望遠鏡擴大他的感官經驗，也使得他相信肉眼感官未必完全可靠，對於他的「理性是心靈之眼」的評價標準提供了支持（望遠鏡本身是一種高度理性思考才能被發明的工具）。再者，顯微鏡也在十七世紀初發明出來，它和望遠鏡都使人們看到前所未見的事物。望遠鏡改變了人們對天體的想像，嚴重地挑戰了天體完美的信念；顯微鏡使人們看到肉眼看不到的東西，使人們想到或許一些看似神祕的現象或

力量，乃是肉眼不可見之物的作用。這一個想像為微粒子哲學（*corpuscular philosophy*）的興起提供了觀念上的助力。再者，新工具也使科學家可能看重或創造工匠和工具在研究自然時的新價值，促成培根科學（*Baconian science*）或實驗科學的興起（見第十章）。例如伽利略說（下文為戴東源譯，轉引自戴東源 2012，《兩門新科學》第 1 頁）：

Salviati：你們威尼斯人在著名的兵工場進行經常性的活動，特別是包含力學的那部分工作，對好學的人提出一個廣闊的領域。因為在這部分工作中，各種類型的儀器和機器被許多手工藝人不斷製造出來，在他們之中一定有人因為繼承經驗或利用自己的觀察，在解釋問題時變得高度熟練和非常聰明。

Sagredo：你說得很對。生性好奇的我，常常訪問這些地方，純粹是為了觀察那部分人的工作帶來的愉悅，由於那些人比其它技術工具有較強的優勢，我們稱之為「頭等人」（*first rank man*）。同他們討論對我的某些研究結果經常很有幫助，不僅包括那些明顯的，還包括那些深奧和幾乎不可想像的結果。

第二點是機械鐘對十七世紀的力學革命提供的隱喻和推理效果。十五、十六世紀的航海，要歸諸於歐洲工匠能造出更堅固的船隻，歐洲人航海探險安全回來，使他們產生「征服自然」的榮耀，連帶地，自然慢慢變得不再像中世紀或文藝復興時期那般充滿神祕與危險。如果知識與技術能幫助歐洲人克服自然的力量，也意味著自然本身可能不再像是文藝復興所認知般地不可看穿，而是可以被理解和掌握的。精密的「機械鐘」不僅扮演一個啟發聯想的角色，也成為十七世紀歐洲人理解自然的核心象徵。雖然機械鐘誕生於十三世紀末，但早期的鐘是透明的，其報時的指針

與連動的機構是可見的，從十六世紀起，工匠開始把鐘的內在機構裝入一個不透明的盒子內，只剩下指針和鐘面可看。然而其機構越來越複雜，計時越來越精密。對於外行人而言，機械鐘是個神祕的東西，但是，對於工匠與行家而言，它的運作原理再清楚不過了。而外行人可以透過行家的指導與解說瞭解機械鐘的運作原理。因此，一旦自然被類比於機械鐘，固然許多自然現象的原因，人們仍不得而知，但是它們可以在解析下被認識——正如鐘可以拆開去認識。這些社會條件的塑造，都使得機械哲學與機械世界觀在十七世紀上半葉很自然地流行起來。機械哲學流行之迅速、文藝復興的生機論退潮之快，使得一些思想家如傅柯認為這種轉變應以知識的「斷裂」來描述。問題是真的有斷裂嗎？

最後，十六世紀的基督教社會在天文學革命早期，對於哥白尼新家族的發展產生抑制的效果，延遲它發展的速率，伽利略受到教會審判，被禁止宣揚哥白尼的理論是一明證。然而十七世紀民族國家的興起，君王政治企圖擺脫教會的勢力，則形成十七世紀新科學的助力，反過來對亞里斯多德—教會的自然哲學老家族的持續生存構成社會拘束。

從上述討論中，我們可以看到社會需求提供了拋棄老家族、尋求和建構新版本的動機；社會提供觀念、工具上的資源也會影響理論潛能和認知評價，亦即如果科學家的理論可以納入社會流行的觀念，或者迎合更寬廣的社會價值，則它成功的可能性就更大。但是，我們不能因此就說社會資源是科學的最終動力因，也不代表社會資源在科學發展的因果鏈上總是在先的。因為理論潛能、科學認知評價和經驗拘束也可能影響社會，構成後來家族內理論版本的發展資源。例如哥白尼理論版本一開始並沒有什麼社會資源，只有當克普勒和伽利略這些具備理論技能的科學家基於

認知評價而選擇它來發展時，它才能開始累積社會資源；當新家族獲勝時，後代科學家即使可能對老家族有較好的認知評價，也可能會放棄以老家族的理論來建構新版本的動機。總之，科學理論發展的動力是一個因果機制，由理論潛能、認知評價、社會資源與拘束和經驗拘束這四項因素交織地相互影響而構成的。下一節讓我們考察經驗拘束。

陸、經驗模型與經驗拘束

經驗拘束包括兩種基本類型：第一是客體或自然提供給人類經驗一個基本結構，人類感官只能反映它，但不能改變它。換言之，這經驗結構對於假說和理論構成拘束。當然，人類感官有可能被理論影響，從而賦予這結構不同的內容；但是不同的理論也可能共享相同的結構和內容。第二是理論的推論、預測不符合共同的經驗結構和內容時，形成異例，產生對理論的經驗拘束。

在第二章已論證人類的經驗總是以結構性的模式而呈現，故可稱作經驗模型，我也爭論理論可能影響經驗模型，但經驗模型也可以獨立於理論而存在。然而，第二章並沒有告訴讀者要如何表徵經驗模型，即經驗。我發現認知心理學家巴沙羅（Lawrence W. Barsalou 1992, 1993）發展的「框架理論」（frame theory）提出一個一般性的概念和經驗表徵理論，¹⁰ 十分貼切、細緻且有力地體現了「經驗模型」的概念，因此我將引用它來表徵各種科學理論所必須說明的經驗模型，這些經驗模型運作為影響理論發展

10 我是透過 Xiang Chen, Peter Baker, Hanna Anderson 的論文（Chen & Baker, 2000; Baker, Chen & Anderson, 2003）而發現框架理論，但是我不同意他們應用框架來表徵理論，我對他們觀點的討論見陳瑞麟和薛寧中（2009）。

的經驗拘束。

巴沙羅在 1992 年發表的〈框架、概念與概念領域〉(Frames, Concepts, and Conceptual Fields) 一文，主張人類是使用「概念框架」(conceptual frames) 來建立一個「概念網絡」(conceptual network) 以便表徵概念和認知世界。什麼是概念框架？隱喻地說，正如一扇窗戶要有窗框，窗框決定了窗戶的形狀、外觀、結構、體質等，而且建構窗戶之前要先建構窗框；同樣地，「概念框架」之於概念之間的關係，正如窗框之於窗戶的關係，概念框架是建構概念的必要元素，它決定了概念的內涵。但是，要如何界定和建構概念框架？下列四個基本特性勾勒了「概念框架」：屬性 (attribute) 與屬性值 (attribute-values) 的區分、屬性系統性 (attribute systematicity) 和結構不變性 (structural invariants)、屬性間的拘束 (constraints)，以及任何概念都鑲嵌在一個概念階層之中，一般分成「上級概念」、「次級概念」和「下級概念」三個階層。讓我們進一步說明如下。

傳統上，我們對於一對象的特徵是相互獨立的描述詞來描述，例如「鳥」的特徵就是「會飛」、「有翅膀」、「有羽毛」、「嘴巴是喙」、「腳掌」等等。框架理論則將概念個例的各個特徵以雙層次的「屬性－屬性值」來表示，並同時使用「屬性與屬性值」來「界定」一概念並分類對象。一組「屬性」與「屬性值」構成了一個「概念框架」，屬性值較具體，屬性較抽象。所謂的「屬性」是認知者用來描述被表徵概念整體中一個面向，而「屬性值」則是「屬性」的附屬，附屬性使它不只繼承從「屬性」而來的資訊，還繼承了「屬性」與其所表徵概念之間的關係：「屬性值」也是被表徵概念的一個面向。屬性與屬性值構成的概念框架決定了一概念的主要內涵，它們是建構一概念的基石，而且可以

使用圖表來顯示它們如何組織一個概念。例如「鳥」的特徵會被重新理解成一個「特徵框架」，「有翅膀」是較基本的屬性，「會飛」和「不會飛」則是「有翅膀」之下的屬性值，因為有些有翅膀的鳥不會飛；「喙」是基本屬性，「尖喙」和「扁圓喙」則是屬性值，常用來區分「陸鳥」和「水鳥」；「腳掌」是基本屬性，「無蹼爪」或「有蹼爪」是屬性值，也是用來區分「陸鳥」和「水鳥」的屬性值之一。如果我們想區分「陸鳥」和「水鳥」，則我們可以找到一組屬性和屬性值，構成一個概念框架，用來作一個邊界較分明的區分。框架理論告訴我們的是，自然對象的大量特徵可能以結構的方式來組織，人類的認知心靈也可以掌握這個結構，而對大量經驗作出較清楚明晰的分類。

根據框架理論，一概念的組織和建構過程大致是這樣的：當認知者被要求要表徵一個概念時，他首先會聯想到一些他經驗過的概念個例，再依據他考量的面向，將那些個例的共享「屬性」抽象出來。換句話說，那些「屬性」不但代表了認知者所考量的面向，還顯示認知者聯想到的各個個例在那些面向上具有某個程度的相似性。這意味著，認知者認為那些「屬性」在他聯想到的概念個例上具有某種系統性，也就是說，那些「屬性」之間有某種不變的關係——這也就是所謂的「結構不變性」。在抽象出概念個例間共享的「屬性」後，認知者會透過那些個例的相異處，將它們共享的「屬性」進一步區分出不同卻依附於「屬性」的「屬性值」。如此一來，認知者就完成了一個由「屬性」與「屬性值」所構成的概念框架，因此，建造框架的過程必須依賴於認知者（認知主體）的過去經驗與目的（欲考量的面向），這代表了概念的相對性，亦即不同的認知者很可能以截然不同的屬性和屬性值組為相同概念建造不同的框架。這些決定一概念內容的屬

性和屬性值，又稱作該概念的「核心屬性組」。

一個概念框架的核心屬性通常會相伴出現，這稱作「屬性系統性」(attribute systematicity)，通常有兩種關係，一種是「或然的」(probabilistic)或「統計相關」(correlationally related)；另一種則是「必然的」或「概念上相關」(conceptually related)。「統計相關」是常常伴隨出現的屬性，會透過心理上的聯想力，使框架建構者因此認為它們之間有關連，而將它們整合到記憶中。但是，由於這種屬性會隨著觀察者所處的環境與知識背景而改變，它們對於該概念而言只有統計上的或然關係。例如，對一個處在只使用信用卡交易地區的人來說，因為所有「購買」的個例中都會出現「信用卡」，所以他建構「購買」框架的核心屬性中必定包含「信用卡」這個屬性。然而，對於「購買」這個概念的理解而言，「信用卡」這個概念並非必要的。早在尚未出現「信用卡」這個概念之前就有所謂的「購買」概念了，因此，「信用卡」對於「購買」而言只有因果或然的關係。所謂屬性間的「概念上相關」則是指，在了解框架所表徵概念之前必須先了解的概念，那些概念對於認知者理解框架所表徵的概念而言是必要的。例如，我們無法在不了解「買方」和「賣方」這兩個概念的情況下理解「購買」這個概念。換句話說，對於「購買」這個概念的理解而言，「買方」和「賣方」是必要的概念。巴沙羅 (Barsalou 1992: 34-37) 把「或然相關」和「概念必然」的屬性稱作「結構不變項」(structural invariants)。

框架中的屬性會相互拘束。與結構不變性一樣，拘束也表徵屬性間的相對不變的關係，不同點在於「拘束」除了顯示屬性間的不變關係，還提供了屬性值中系統化的可變性 (systematic variability)。舉例來說，不管存在於什麼概念的框架中，當距離

一定時，「速度」與「費時」這兩個屬性的屬性值之間都具有「成反比」的關係。「成反比」這拘束與「買賣」關係之間的差異在於，它不僅指出了「速度」與「費時」這兩個屬性間有固定不變的成反比關係；還顯示兩者的「屬性值」會依據一個規則進行共變：當距離一定時，速度越「快」，費時越「短」；速度越「慢」，費時越「長」。而「買賣」僅指出「買方」與「賣方」這兩個屬性之間的不變關係：總是「賣方」賣東西給「買方」。而且不管「賣方」的屬性值有什麼變化（不管是阿花還是阿土是賣方），「買方」的屬性值都不會隨之改變（如果「買方」是阿草，那麼阿草向阿花或阿土買東西，都是買賣），意即它們的屬性值不會依據一個規則共變。總之，若一個框架中的兩個屬性 A 和 B 之間相互拘束，兩者的屬性值會有變化的規律性，也就是兩者的屬性值間是一個「函數」(function)。若它們所依循的變化規則則是「 $A=2B$ 」的話，當 A 的屬性值由 1 變成 2 時，B 的屬性值就會從 2 變成 4。

由上可知，「框架理論」是一種表徵（組織或建構）概念的理論，也是一種「分類判準理論」，亦即它主張人類認知主體是依據「概念框架」在表徵一個概念，同時做為分類的判準。值得注意的是，它可相容於傳統本質主義的分類理論（亦即把「框架」的核心屬性視為被表徵的物體之本質），也可相容於分類的原型理論（亦即，「框架」只是用來決定一個種類的原型）。本書接受原型理論，則框架理論與原型理論的結合，就意謂了在分類時要使用「概念框架」來指認一個種類的典型或原型的成員。現在，這樣的理論如何說明天文革命中的受到各理論版本影響下的經驗（分類）模型？

讓我們以十六世紀受亞里斯多德和托勒密的天文學理論（以

下簡稱亞托理論)影響下的科學家,他們一般對於「物體」這個概念為例,示範框架理論如何表徵這個「物體」概念。

首先,由亞里斯多德物理學的兩個原則性的主張:「對象的成分決定它存在的狀態是永恆還是可變的」與「地面上的元素必須沿著直線路徑才能到達它們自然的所在」顯示出,應以「成分」、「所在」(place)、「穩定性」、「運動」與「狀態」為建造亞氏學說的核心屬性組,彼此間有結構不變和拘束關係。「乙太」和「四元素」是「成分」此一屬性的兩個屬性值;「月球上方、下方」則是「所在」的屬性值,如此等等。「物體」是範圍最廣的「上級概念」,「地界物體」與「天界物體」是對「物體」的兩個基本分類,屬「次級概念」。天文學關心「天界物體」又可以分成「恆星與恆星天球」和「行星與行星天球」。在「上級概念」與「次級概念」之間的屬性也有結構不變關係,在「次級概念」和「下級概念」之間的屬性則有拘束關係。亦即「所在」和「穩定性」、「所在」和「運動」、「穩定性」和「運動」,與「行星」和「恆星」這下級概念間都有拘束關係。這些關係,也使得一些屬性值的組合是不可能的。例如,同時具有「成分是四元素」且「穩定性是永恆的」這兩個屬性的類別是不可能的,這也是為什麼亞氏學派中的「物體」只有兩種,分別是「地界物體」與「天界物體」(天體)。因為地界物體是由元素構成的,只具暫時的穩定性,總是直線運動;天體的成分是由乙太構成的,具永恆的穩定性,總是作勻速圓周運動。如此可以構造出圖 4-2。

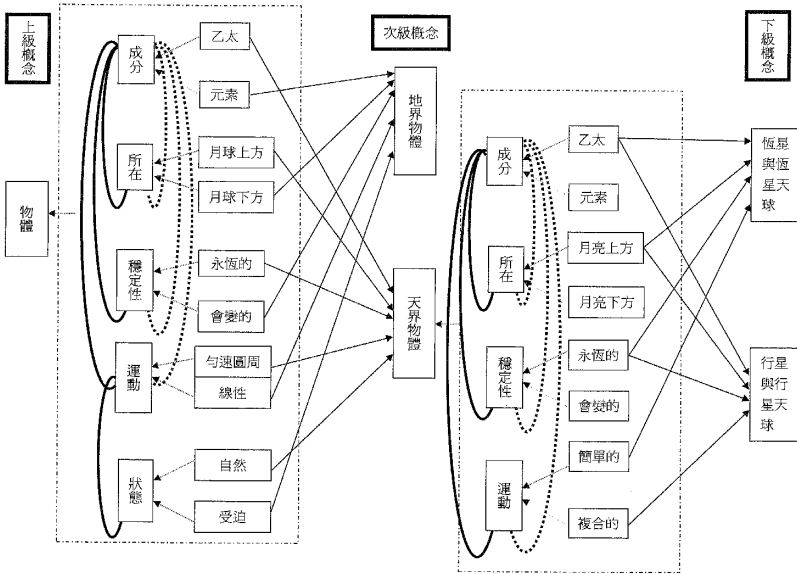


圖 4-2 十六世紀一般物體的經驗資料分類架構

這個框架圖是標準的框架圖示法，其中的符號都有其特定的意義如下：

1. 以虛線箭號相連的概念表示它們之間有「屬 (genus) — 種 (species)」的關係。處在箭號所指方向的概念代表「類型」概念；相反方向的概念則是「個例」概念。
2. 以實線箭號相連的概念表示它們之間有「整體—面向」的關係。處在箭號所指方向的概念代表「整體」概念；相反方向的概念則是「面向」概念。
3. 虛線框裡的概念與實線框內概念之間的關係是「屬性—屬性值」的關係，它們以虛線相連。處在箭號所指方向的概念代表「屬性」概念；相反方向的概念則是「屬性值」概

念。

- 以「實曲線」相連的概念之間具有「結構不變性」的關係，以「虛曲線」相連的概念之間具有「拘束」的關係。

圖 4-3 表徵以哥白尼理論為基礎的物體經驗分類模型。事實上，哥白尼使地球運動打破了亞氏經驗模型中的「成分」與「所在」的結構不變和拘束，使得亞氏經驗模型中的「成分」不再是分類對象的核心屬性組之一。哥白尼式的經驗也使得「所在」有三個屬性值：「月亮下方」、「宇宙邊界」（因為哥白尼仍保留「恆星天球」，人們可以把夜色的黑色天幕「看成」固體天球）、「宇宙中心」（太陽之所在）。此外，亞氏經驗中的天體沒有「靜止」狀態，哥白尼式的模型則引入了靜止天體的可能性。然而我們可以看到，哥白尼式的經驗分類模型大致仍繼承了亞氏的經驗模型。

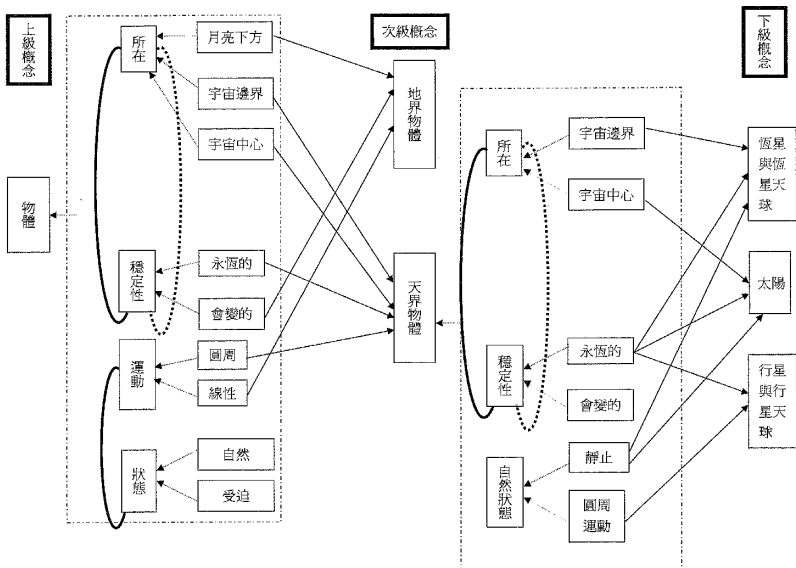


圖 4-3 以哥白尼理論版本為基礎的「物體」的經驗資料分類架構

圖 4-4 表徵以第谷理論為基礎的物體經驗分類模型（也是耶穌會士們的經驗分類模型）。正是第谷首度確認彗星穿行於行星之間，繞過太陽，尾巴會隨其相對於太陽的位置而改變。因此第谷堅信彗星是天體，而不是月下世界的火球。如果彗星是天體，那就不能有固體天球，否則彗星不可能穿越行星。第谷因此取消亞托家族的「天球」概念（所以，第谷之後，人們再也不把夜空看成是「天球」了），並把「路徑」的概念引入，以「路徑」來取代「運動」這個屬性。也因此，在天體的核心屬性組中，路徑表現為「軌道形狀」，而且「圓周的軌道形狀」就有了「軌道中心」的概念。另一方面，第谷也接受哥白尼的「五大行星繞太陽運動」的主張。所以「軌道中心」有「以地球為中心」和「以太陽為中心」兩個屬性值。可是，第谷仍然保留地球中心論的基本主張，受第谷理論影響的經驗分類系統，也保留了「成分」與「所

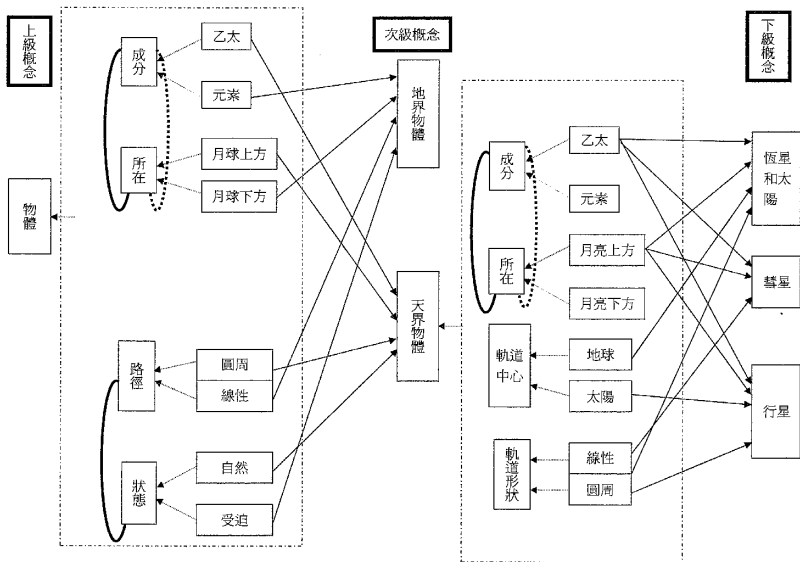


圖 4-4 以第谷理論版本為基礎的「物體」的經驗資料分類架構

在」的屬性與兩者的結構不變和拘束關係。

從圖 4-3 與圖 4-4 表徵的經驗模型可以看出受到哥白尼和第谷理論版本影響的經驗分類系統，分別繼承了亞托經驗系統的一部分，卻也變更了另一部分。這代表先前理論影響之下的經驗模型，會運作為新理論的經驗拘束，因此，哥白尼的理論版本看似「天翻地覆」，由地球中心轉變成太陽中心，但其實他的整個宇宙理論模型，相較於亞托的理論，沒有呈現很大的變動。

第谷對彗星的定位，構成亞托宇宙結構的一個重大的異例，因為亞托理論預設「天上的對象」都是永恆的，並且它們之所以有「永恆的」這個特徵是因為它們都是由乙太所構成。他們觀察到彗星的出現總是短暫的，因此主張它不會是天體，其成分也不會是乙太，只好指派它是由「火」這個元素構成的地界物體。讓我們以圖 4-5 來顯示彗星這個異例對亞氏架構的挑戰。

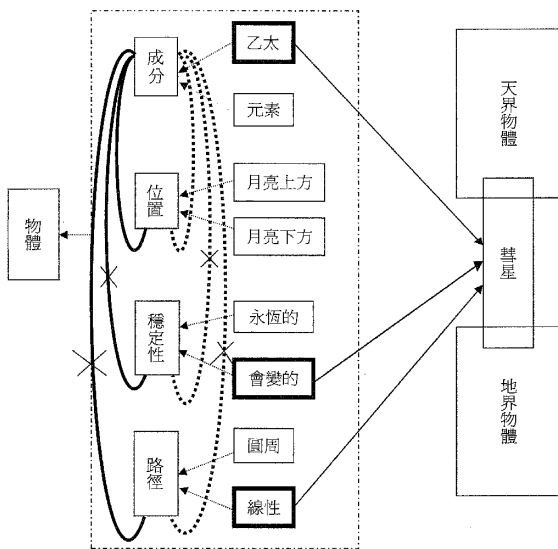


圖 4-5 「彗星」這個概念在亞氏分類架構中沒有適當位置，形成一個重大異例。

如果彗星是天體，那麼它的成分就不是「四元素」而是「乙太」。這顯示出，原本出現在「穩定性」與「成分」之間的屬性拘束已經被取消，不可能的屬性組合變得可能了。於是克普勒推論，可能存在一種物理對象，它的成分是乙太，運動路徑是非圓周的、(曲)線性的，彗星正是這種。這進一步消除了「所在」與「穩定性」之間、「所在」與「運動路徑」的拘束(穩定性是暫時的，彗星也可能在月球上方，是線性的路徑)。這也意味了「乙太」、「位置」和「成分」之間的結構不變關係是可能改變的，克普勒進一步思考也許「所在」與「成分」、「穩定性」與「運動路徑」都無關，天體甚至可能不是「乙太」構成的，也不一定是「永恆」且「圓周運動」的——這使得他能引入橢圓軌道。

克普勒的理論版本除了蘊涵對亞托經驗模型的修改之外，他還放棄柏拉圖訓令：必定要正圓周運動的組合來說明行星的運動。為了配合他繼承的第谷的觀察資料，他決定行星的運行路徑是「橢圓形」的。然後伽利略發現了木星的衛星，拒絕了亞托理論隱含的預設「所有天體對象進行的圓周運動都是以地球為中心」——這個預設使亞托理論不會以「運行中心」的不同來區分天體對象。伽利略對木星的觀察顯示出天體對象可能有不同的運行中心。因此，在發現木星的衛星後，天體對象的分類框架多加「軌道中心」是「地心」或「非地心」這組屬性值。後來更允許「恆星」與「行星」做為其它天體對象的軌道中心。

克普勒和伽利略的理論版本聯合影響了基於「地動說」的經驗模型，讓我們由圖 4-6 來表徵。它在天體的分類上，大致上繼

承了第谷的「軌道形狀」和「軌道中心」的屬性，¹¹ 並引入了「距離」和「發光性」的屬性（「發光性」是基於克普勒的光學研究）做為分類天體的判準，同時納入伽利略對於「衛星」的新發現。在伽利略和克普勒版本的經驗系統之中介下，天文學在十八世紀才會進入牛頓天體力學理論之後的現代天體分類模型，由圖 4-7 表徵。

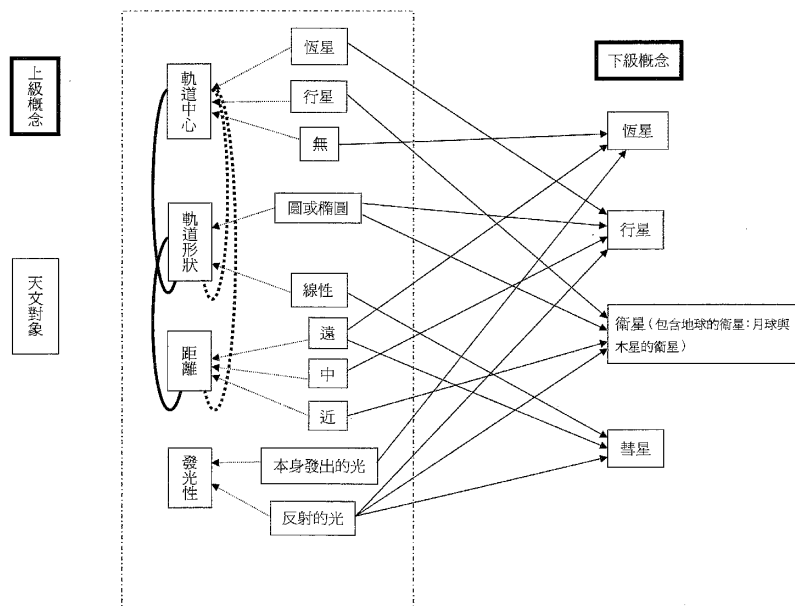


圖 4-6 以克普勒和伽利略版本為基礎的「天文對象」的分類架構

11 其中「軌道形狀」的「圓或橢圓」這個屬性值是因為伽利略仍然堅持天體是以正圓形的軌道運轉，而克普勒則主張橢圓。兩者的對錯在十七世紀早期其實是懸而未決。

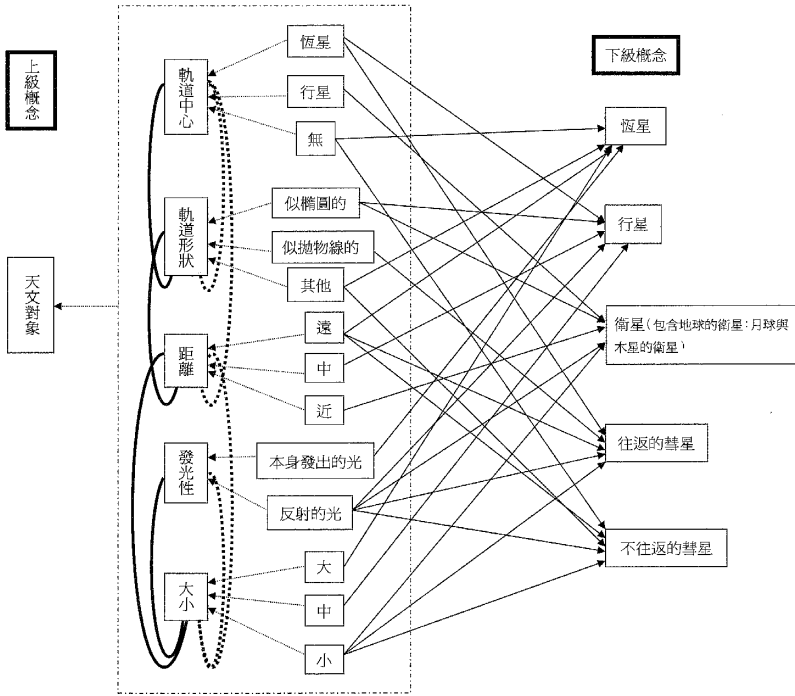


圖 4-7 十八世紀「天文對象」的分類架構

我們注意到伽利略和克普勒版本的經驗系統繼承第谷式的經驗系統較多，但是伽利略和克普勒兩人的理論版本屬於哥白尼的家族，而且兩人有相當不同的理論版本，卻不妨礙他們的理論版本聯合塑造一個共同的經驗模型。這也表示儘管經驗模型會受理論的影響，但並不是全然受到理論的支配。而且，第谷版本影響下的經驗模型，會運作為經驗拘束，限制人們對克普勒和伽利略的理論版本之判斷和新的經驗模型之改變。使用「框架理論」來表徵天文學革命中的經驗模型，有幾個重要的哲學意義：

第一，先行理論版本影響下的經驗模型，會運作為經驗拘束，不僅限制後繼理論版本對先行版本的修改幅度，也會限制後繼經驗模型的修改幅度。

第二，不僅理論會變遷，經驗也會變遷。從圖 4-2、圖 4-3、圖 4-4、圖 4-6 到圖 4-7，可以看到框架表徵下的「經驗對象之分類系統」的演變，顯然這個演變具有「概念和概念形成的連續性」。另一方面，每個經驗系統都有新的屬性引入或取消原有的屬性（從而取消原來的結構不變或拘束），就會引發了理論上的問題，例如取消天球後，天體是由於什麼原因或力量而運動，就形成新的問題，這裡顯示出「問題與問題形成的連續性」。換言之，即使經驗分類系統（即經驗）是受到理論影響的，但從理論版本到理論版本的變遷是連續的，從經驗模型到經驗模型的變遷也是連續的。其變遷的模式，粗略說來是：理論版本 A1 — 經驗模型 A1 — 理論版本 A21、A22 — 經驗模型 A2 — 理論版本 A31、A32、A33 — 經驗模型 A3……要注意，理論版本的發展與變遷是人類家族系譜式的，而不是線性的。如此一來，本書對於理論和經驗變遷的主張均對立於孔恩的「典範斷裂性」和「知覺經驗的斷裂性」的論題。然而，如果我們只考慮十六世紀（圖 4-2）和十八世紀（圖 4-7）這兩個經驗框架，而忽略中間的演變時，那麼我們就會強烈地感受到「經驗分類模型的斷裂」——因為這兩個框架中，對象概念和分類的屬性概念都截然不同。換言之，「經驗的斷裂」並不是決定家族分家的唯一判準。

第三，如果「局部的不可共量性」是一個分類系統中的某概念，在另一分類系統中找不到可以對應的概念，那麼，即使理論版本和經驗模型的變遷是連續的，也不影響它們之間存在「局部的不可共量性」。例如不可共量性在第谷式的經驗分類系統和

十六世紀的經驗分類系統之間就出現了，甚至第谷式的經驗分類系統和哥白尼式的經驗分類系統之間也是不可共量的。我們反而意外地發現哥白尼式的經驗分類系統和十六世紀亞氏的經驗分類系統沒有不可共量性！因為兩者的差別不過是哥白尼式的經驗分類系統不再考慮「成分」這屬性以及「成分」和「所在」之間的約束，還有太陽在相同的核心屬性之判準下，被放置到宇宙中心這「所在」。這一點可以證明哥白尼的理論版本相對上是保守的。

柒、理論版本的範疇架構與經驗框架的比較

我在發展理論版本的同時，也發展一個針對理論的「分疇與分類架構表徵法」，這個方法乍看之下與「框架表徵法」有點類似，但仍有幾點不同值得在此作一分析和比較：

首先，在科學理論中，對於概念有兩種主要的區分方式：分疇和分類。分疇是異質性的區分，分類則是同質性區分。「分疇」扮演類似屬性和屬性值的角色，但分疇不能等於「屬性－屬性值」這兩個概念。此外，在不同的範疇與種類之間的連結是由原理、定律來連結，它們提供一些類似經驗框架的特性，例如「分疇系統性」、「結構不變性」、「分類判準」與「理論或概念約束」。然而，這些特性都要依賴理論內部來顯現，而不是使用同一組「框架」。例如不同的理論會建立自己的「分類判準」，它們往往不同於框架理論提供的核心屬性判準。所以，我們不能把框架表徵法應用到理論上。

第二，框架理論是一個針對一般人的分類認知作經驗研究而提出的理論，它是一般人對經驗對象進行概念表徵和分類時，隱然採取的表徵方法和分類判準，框架理論把這個潛藏的模式精緻

化、理論化。換言之，框架理論的適當應用是表徵一般人（包括科學家）對經驗對象的分類，而不是科學理論本身對理論對象的分類。這裡我們已經作了「經驗對象」和「理論對象」的二分，但這並不是一個截然分明的區分，也不代表兩者毫無關連。「經驗對象」並不是「所予」、不是「感覺資料」。事實上，「經驗對象」往往受到理論影響甚至預設理論（「背負理論」）。可是，經驗對象也不能和理論對象劃等號，因為經驗對象來自經驗。對經驗對象作分類其實是對「經驗資料」作分類，因為我們的經驗資料提供的其實是經驗對象——例如鵝、鴨、恆星（在經驗中相對位置不變的星體）、行星（在經驗中相對位置會改變的星體）等。

第三，接受一個科學理論會影響一個人對經驗資料的分類和建立，但是並不代表他一定使用科學理論來進行分類，因為他甚至可能不懂得該科學理論。例如現代人都可以建立一個基於地動說的天體的經驗分類系統：恆星、行星、衛星、彗星、流星、小行星等，來整理他的星空觀察經驗，但是他可能對哥白尼、伽利略、克普勒、牛頓等科學家的天文學理論一無所知。在這個意義上，經驗資料和經驗對象的分類並不是絕對地受到理論的滲透和支配。

第五章

理論與實驗的利益說明為什麼錯？

相較於概念、理論和模型，科學哲學家較少關心實驗。可是，在新興的科學之學、科技之學或科技與社會中，研究者從1980年代起即十分關注科學實作。實驗是科學實作的核心，因此科學之學的研究成果有很大的比重是在分析科學實驗的內在（實驗室）與外在（更寬廣的社會脈絡）的社會條件。

科學之學 SS 意指結合歷史、社會學、人類學、哲學等各種不同的學科來研究科學活動的一門「人文社會科學」。今天 SS 已是 STS（包含 ST&S 和 S&TS）的一部分，SS 只聚焦在「科學」的主題上（著名的讀本有 Biagioli 1999，《科學之學讀本》〔*Science Studies Readers*〕）。可以說 STS 的發展先針對科學，再擴張到技術和醫療。

SS 通常被認為起於孔恩，因為孔恩在《科學革命的結構》中，同時動用歷史、心理學、社會學、哲學來從事科學變遷與科學革命的分析。孔恩有時被尊為「科學之學之父」，從幾本 STS 的教科書對於 STS 起源的歷史交代中可以看到（Hess 1997, Sismondo 2004）。哈金則明白提到孔恩做為 STS 的創建之父（*founding father*; Hacking 2008: 269）。孔恩自己後來卻對新興的 STS 頗有敵意（Fu 2008, 陳瑞麟 2011a）。打個宗教性的比喻，他

主觀上大概不願意承擔 STS 教主之名，正如有人認為使徒保羅才是基督宗教的創教者，那麼也許 STS 的真正創教者是「使徒」布洛爾（David Bloor）和巴恩斯（Barry Barnes）——他們也是 1970 年代崛起的愛丁堡學派的創建者。¹

布洛爾在 1976 年出版的《知識與社會形象》（*Knowledge and Social Images*），正式提出科學知識社會學的方法論強方案，可說是 SS 的奠基之作。巴恩斯在 1977 年出版的《利益與知識的成長》（*Interests and the Growth of Knowledge*）一反墨頓（Robert K. Merton）主張科學是「無關利害（益）考量」（disinterested）的精神，反而把利益說明引入科學動力之內。1982 年巴恩斯出版《孔恩與社會科學》（*Thomas S. Kuhn and Social Science*）連結孔恩的科史哲理論與科學知識的社會學，並發展出維根斯坦式的有限論（finitism），也把孔恩推上 SS 的「教主」。

SSK 和強方案誕生不久，科學之學的學者很快地把它應用到各種案例上，包括遺傳學、統計學、天文物理學、高能物理等等。英國和美國的大學出版了許多應用性的著作，例如 1981 年布朗尼根（Augustine Brannigan）出版《科學發現的社會基礎》（*The Social Basis of Scientific Discoveries*），同年麥肯齊（Donald McKenzie）出版《不列顛的統計學 1865-1930：科學知識的社會建構》（*Statistics in Britain 1865-1930: Social Construction of Scientific Knowledge*），討論二十世紀初的遺傳學和統計學，平契（Travor Pinch）和柯林斯在 1982 年出版討論特異心理學

1 曾留學愛丁堡大學的黃之棟博士與中國學者合作對愛丁堡學派的成員作了一系列訪談，並譯成中文刊在《科技、醫療與社會》期刊。其中布洛爾的訪談刊在第 10 期，巴恩斯的訪談在第 11 期，麥肯齊的訪談刊在第 13 期。

(parapsychology) 的《意義的框架》(*The Frame of Meaning*)，企圖展示科學與偽科學(意識型態)之間的邊界不明，皮克林(Andrew Pickering)在1984年出版的《建構夸克》(*Constructing Quark*)對準當代尖端物理理論，柯林斯在1985年出版的《變動的秩序》(*The Order of Changing*)則對準當代尖端物理實驗等等。法國則有拉圖和吳爾加(Steve Woolgar)早在1979年出版《實驗室生活：科學事實的社會建構》(*Laboratory Life: Social Construction of Scientific Facts*)。² 這些著作帶起了「社會建構論」的名稱和風潮，1985年謝平和夏佛出版的《巨怪和空氣泵浦：霍布斯、波以爾與實驗生活》更是將社會建構論擴張到近代科學的源頭之一：十七世紀波以爾的實驗哲學，以及波以爾與霍布斯(Thomas Hobbes, 1588-1679)的爭議。這本書在臺灣通常被視為社會建構論、甚至 STS 的經典之作。

可以看到，從1976年到1985年短短十年之間，後繼學者已經很快地超出科學知識社會學的格局，把觸角伸展到科學實驗、實作和技術上，1984年平契和畢吉克(Wiebe E. Bijker)已提出「技術的社會建構論」(Social Constructivism of Technology, SCOT)，把SS擴張成STS。³ 今天的STS已變成一個學科領域，發展出許多龐大的理論家族，納入更多人文學和社會學其它傳統的研究取向和理論，例如來自符號互動論的社會世界理論(social world theory)、擴展女性主義(feminism)的女性主義科技之學、

2 後來拉圖於1986年再版《實驗室生活》，把副標題改成「科學事實的建構」，取消「社會」一詞，標誌他與「社會建構論」分道揚鑣，此後拉圖開始倡議「行為者網絡理論」。

3 傅大為認為「科學知識的社會學」仍然持續在發展之中，例如柯林斯所謂STS的第三波發展，以及對於專業和專家知識的討論。因此，他不認為科學知識的社會學已經被超越了(私人通信的討論)。

基於後殖民理論（post-colonial theory）的後殖民科技之學、來自風險社會學（risk sociology）的科技與風險研究、來自政治學的（審議）民主理論和公民參與等。這些取向和理論關心科技與社會互動的不同面向，**科技的歷史發展過程之解釋和說明**一般不是它們的主要關切點。只有 SS 和 STS 最早發展的兩個理論家族社會建構論和行為者網絡理論（它的創建者是法國社會學家卡雍 [Michel Callon]，將它發揚光大者是拉圖），才是本書對話的主要對象。這兩個理論都是從 HPS 傳統和取向中發展出來的，著眼在說明科學理論、實作與技術的歷史發展過程，企圖提出動力學說明。⁴

對於科學實驗的議題，社會建構論和 ANT 都有一套獨特的說明方式。就臺灣的 STS 社群而言，社會建構論以《泵浦》一書為代表性的理論版本；ANT 的代表版本則是拉圖的一系列著作（見第六章）。本書將檢討這兩大理論版本對於科學理論與實驗的說明，我認為這兩大理論版本都有相當的**哲學**缺失，⁵ 它們以利益或利害考量（interests）為基礎的**歷史**說明模式在我看來也是錯的，我堅持認知與價值在說明科學動力學上優先於利益。第五章針對社會建構論，第六章針對行為者網絡理論分別論證這個宣稱。可是，我們也不能光只提出批判，一個積極性的替代說

4 卡雍在 1995 年的一篇論文中，利用行為者網絡理論的五個指標：自然、行為者、發展動力、一致同意和社會組織，界定四種科學的動力模型：科學即理性知識、科學即知識市場的競爭行為、科學即社會文化實踐、科學即擴張性的轉換。分別對應到科學哲學傳統的科學觀、社會學傳統的科學觀、社會建構論的科學觀和行為者網絡理論的科學觀。

5 這兩大理論版本或家族確實提供了「說故事」的好架構，使得很多 STS 學者並不在意它們的哲學立場，仍然認為它們極具啟發性和可應用性，而把它們用到各種案例上。可是，我已爭論如果沒有偵測與檢討它們的哲學缺失，這些應用終究只是常態科學下的實證工作，無法進一步地深入發展（Chen, R.-L. 2011）。

明才能真正顯示它們為什麼錯。

第四章已針對理論發展提出一個新的因果說明或動力模型，本章將把該模型推展到實作與實驗上，下一章爭論認知與價值的優先性。而且為了實現這個模型的全面發展，從第七章起對相關的實驗複製議題、實驗發現、實驗發展軌跡等進行更深入的討論，也批判一些 STS 學家在相關議題上的論點，最終於第十二章完成實驗發展的動力模型。這一切得從 SSK 談起。

壹、強方案與科學知識的社會學

如果說孔恩的《科學革命的結構》提供了一個雛形的 SS 理論，那麼 SSK 和強方案則提出 SS 的原型理論。由於我已在其它地方詳細介紹 SSK 的理論內容，並与其它理論或學科作比較（陳瑞麟 2010a, 2011, 2012；Chen, R.-L. 2011）。⁶ 本節只根據前作總結性的整理，不會進入學派成員的許多案例研究內，而將焦點放在布洛爾與巴恩斯的哲學（方法論與知識論）立場上，加以討論和批判。

科學知識的社會學背後的哲學立場，可以被整理成四個重點：強方案的方法學原則、維根斯坦的遵循規則之悖論（paradox of rule-following）的社會學解決、意義有限論、科學發展與變遷

6 陳瑞麟（2010）「社會中的科學」是我的科哲教科書《科學哲學：理論與歷史》的第八章，對於布洛爾、巴恩斯、謝平、夏佛、拉圖等 STS 研究者的科學哲學立場，作了導讀性的介紹。陳瑞麟（2011）〈英美哲學、STS 和科技與社會〉一文為臺灣人文學者概覽臺灣英美哲學與 STS 的關係並展望未來。陳瑞麟（2012）一文比較「兩種維根斯坦科學」，即 SSK 和認知心理學中的分類原型理論。Chen, R.-L. (2011) 則討論臺灣科哲面對 STS 崛起的挑戰，試圖爭論科學哲學的反省在 STS 的持續分枝發展中是必要的。

動力的利益說明。本章討論其中三點，維根斯坦的遵循規則悖論之社會學解決則留待第八章。

布洛爾在《科學的社會形象》一書開宗明義地提出科學知識社會學的四條方法學規則，它們是強方案的指導原則，定義了社會學說明的基本性格。一個科學知識的社會學說明，應該要將滿足下列四條教義（tenet; Bloor 1991: 7）：

（S1）說明將是「因果的」（causal）。因為知識本身是一種「自然現象」，同時也是一種「社會現象」。

（S2）關於科學信念的真與假、理性與非理性、成功與失敗，說明將是不偏倚的（impartial）。

（S3）在說明的方式上，它是對稱的（symmetrical），亦即以相同類型的原因來說明真和假的信念。

（S4）說明是反身的（reflexive）。原則上這個說明必須能應用到社會學本身。

我們也可以說它們是作科學知識社會學的四條方法學規則。它們如何證成？為什麼一個科學知識的社會學說明要遵循它們呢？布洛爾進一步解釋如下：針對（S1），社會學也是科學，正如同科學要回答自然現象為什麼發生，我們也要問某種特定的科學知識為什麼會出現和形成？因此，對它的社會學說明一定也要是因果的。布魯爾所謂的「自然」也可稱作「社會性的自然」（social nature; 陳瑞麟 2001b）。針對（S2），既然要研究科學知識如何形成和被接受的因果來源，同時也要涉及某些科學知識為何被拒絕和拋棄，社會學家不能單單說因為它們是錯的。社會學家必須把科學擂臺上成功與失敗的理論一視同仁。因此說明不能

有所偏倚，換言之，不能理所當然地接受成功的理論一定是真和理性的；失敗的理論就是假和不理性的。針對（S3），為什麼一個科學家提出的理論會成功（廣被科學家接受）？為什麼另一個科學家提出的競爭理論會失敗（被其他科學家拋棄）？科學界一向認為成功的科學家之所以成功是因為他提出的理論為真，失敗的科學家為什麼會失敗是因為他有偏見、盲目、輕忽證據等，而這又是因為許多社會因素如階級利益、意識型態等造成他的態度。換言之，使用社會因素來說明科學家的失敗；但成功的科學家不需說明為何成功。這是一種說明的不對稱——成功的理論不需要說明，失敗的理論才需要說明。⁷

強方案反對這種說明的不對稱。因為如此一來，科學知識的社會學變成只是「假科學理論或被拋棄的科學理論、或單純信念之社會學」，換言之，這並不是知識的社會學，而是錯誤的社會學（sociology of error）。可是，成功與失敗的理論在最初競爭時，沒有人知道誰一定會成功或者誰一定會失敗，而是經過一段社會歷程之後，科學家接受的理論才算是成功，科學家拋棄的理論因此是失敗，但成功和失敗都經歷一套相同的知識形成過程，因此必須對成功與失敗的理論都使用同一套模式（相同類型的社會因素）來說明，也就是要對真與假保持對稱，才算是真正的科

7 另一個解釋方式是：科學歷史上常有一種現象，有些支持舊理論的大科學家在新理論廣為被接受時，仍然堅持舊理論。為什麼會這樣？科學界和科學史家面對這種情況，常常訴諸於社會因素來說明，例如那些科學家的宗教信仰、意識型態、階級利益等，讓他們堅守舊理論。因為那些社會因素與舊理論利益交織，蒙蔽他們的理性，使他們無視於堅實的經驗證據。反過來說，接受新理論的科學家為什麼接受新理論就被視為理所當然，不必加以說明。或者說，單只因為新理論被證實為真。這種處理方式造成只有失敗的理論才有「社會學說明」，成功的理論就沒有社會學說明。

學知識社會學。最後，針對（S4），基於自然主義的立場，社會學同樣也是科學，它提供有關社會的科學知識，所以科學知識的社會學同樣也要應用到社會學本身。

這套方法學原則當然不是憑空誕生，它們其實是從有限論中擷取出來的。有限論在 SSK 的不同文獻中被稱為「意義有限論」或「社會學有限論」，是一個在維根斯坦後期哲學的影響下而發展出來的理論。維根斯坦在 1930 年代末開始反省邏輯經驗論的思考方式，與其早期哲學大異其趣，成果被稱作「後期維根斯坦哲學」。在 1953 年出版的《哲學研究》（*Philosophical Investigation*）中，維根斯坦提出「語言遊戲」、「生活形式」、「家族相似」、「遵循規則的悖論」這四個觀念，深深影響了 1960 年代後英美哲學、科學哲學，甚至更廣泛的人文社會科學（陳瑞麟 2011b）。

布洛爾簡述意義有限論為「一個詞的既成意義（established meaning）並不能決定該詞的未來應用。」（Bloor 1983: 25）如果一個詞代表一個概念，而根據維根斯坦哲學，一個詞的意義是其概念的用法，那麼這也意謂「一個概念的過去經驗和用法，從來不足以決定未來的用法。」（Barnes 1982: 27）這兩個有限論的核心宣稱，其實預設了四個基本問題群：（A）人們如何學會一個語詞的既成意義？（或人們如何學會一個概念的既成用法？）（B）人們如何把一個語詞應用到一個新場合中？（或人們如何把一個概念應用到新個案上？）（C）一個語詞或概念的新應用可以被過去既成意義或應用所決定嗎？（D）人們如何判斷該應用是不是正確的？（SSK 的問題因此是：如果一個語詞或概念的新應用不足以被過去的應用所決定，那麼人們是根據什麼來判斷？）意義有限論對這個問題的基本答案是：（1）人們是在一個

社會的認知權威下學會該社會對於語詞和概念的約定意義。(2) 人們把一個語詞和概念應用到新場合和新對象時，總是要同時考察許多種類的個例間之相似與差異。(3) 使用一個語詞或概念的過去經驗（該語詞的既成意義），並不能決定該語詞或概念的未來用法。(4) 人們對於語詞或概念意義的正確性判斷是它的應用是否一致於社會的習俗或成規。

SSK 把意義有限論的答案發展到信念（代表「命題性的知識」）和科學模釋（代表「科學模型」和「科學理論建構」）上，成為信念的有限論和模釋的有限論（Barnes, Bloor and Henry 1996）——即科學知識的有限論。⁸ 讓我們總結成下列四項論點與一個推論：

(f1) 人們是在一社會的認知權威之教導下學會一社會既成的概念（分類）系統、信念系統和科學模型的系統。

(f2) 人們在把一概念、信念或模型應用到一個例時，總是同時考察許多不同種類、信念與模型的個例之間的相似與差異。

(f3) 一個概念、信念或模型的過去應用，不足以決定其未來的應用。因為，沒有一組根本性的相似或差異，足以決定一個個例應該適用於哪個概念、信念或模型。

(f4) 一個概念、信念或模型的「正確（真）」或「不正確

8 SSK 對於科學模釋的具體案例是伽利略的斜坡實驗，做為一個力學模型的範例，被應用到單擺上，再被惠更斯擴張到一根具有質量的矩形尺，沿著一端點而來回擺盪的案例上，又被伯努利（Daniel Bernoulli）應用到桶中的水透過底部水龍頭流出時，桶內部液面的來回擺盪（Barnes 1982: 47-48; Barnes, Bloor and Henry 1996: 103-104）。

（假）」的應用，乃是由應用它們的人是否順從於社會的習俗或成規來判斷的。

(I) 從上述四項論點可以作出如下推論：一方面，傳統、習俗和規約不足以決定一個概念、信念或模型的未來應用；另一方面，一個概念、信念或模型的應用之正確與否，由社會習俗和成規來判斷。所以，社會習俗和成規是可改變的，一個新的概念、信念、模型的應用可以形成一個新成規，構成一個新的「正確」和「不正確」之判斷。

為什麼說過去的經驗不足以決定一個語詞、概念、信念和模型的未來使用呢？以概念為例。當一個人遇到一個新的對象（個例）時，他得先觀察這個個例的種種特徵，然後把這個個例的特徵與他過去經驗過的個例特徵作比較，看看它最相似於哪些個例？就在他比較相似性時，他也會同時比較差異，以便排除他認為不適用的語詞。然後，他得看該對象和哪些少數的語詞應用的對象比較相似，再來比較差異。最後挑出一個最適合的語詞和概念。這個過程和他學習一個語詞的過程基本上是一樣的。可是，儘管他挑出他認為最適合的概念，卻不能決定他的應用是正確的，或者他可能面對一個難以選擇的處境。

假設他可能看到一隻體型像白鵝的水鳥，但脖子和體態好像比較像鴨子（因此和鵝有差異），但是假定他又從未看過全身白羽的鴨子。那麼他要稱它為「鵝」或「鴨」？哪個稱呼才對？儘管過去的經驗可以引導他，但不足以固定（fix）他對一語詞的用法，也不足以決定他的用法（稱它為「鵝」或「鴨」）一定是正確或錯誤。正因為分類的判斷建立在個例與已被歸屬給兩個種類的個例之間的相似與差異。究竟哪些相似性被挑出來，以便把 X

歸到「鵝」類；而哪些差異被挑出來，以致不把 X 歸到「鴨」類？這裡並沒有任何必然的相似性可以決定結論。所以，過去的經驗不足以決定未來的應用（讀者在此可以回想第四章討論的框架理論和經驗拘束，並作比較）。巴恩斯以如下的圖 5-1 來圖示我們概念應用的基本架構：這個圖融合兩個圖，分別是巴恩斯（1982: 28, Fig. 2.1）和巴恩斯、布魯爾和亨利（1996: 51, fig. 3.1）。

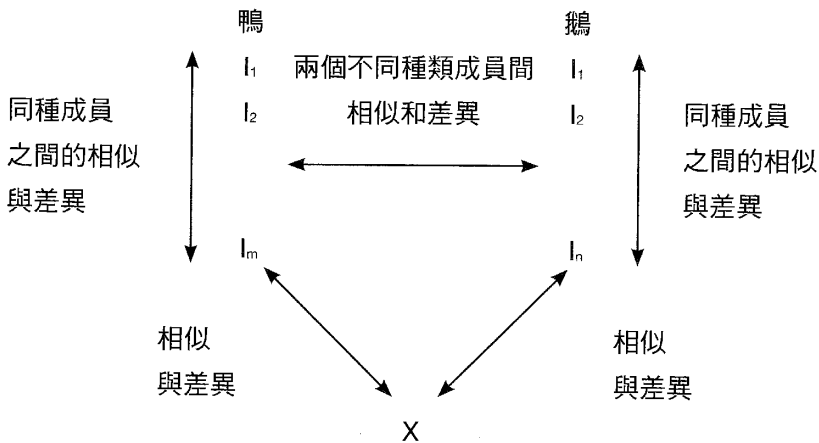


圖 5-1 概念應用的基本架構圖

正因為過去的經驗和傳統不足以固定一個概念的用法，所以概念的應用是開放而無終點的，也是可修正的、不必然正確的。如果要判斷他的用法是否正確，就必須訴諸於社會成規。

如果過去面對的個例和未來面對的個例，相似和差異並不完全一樣，則一概念能否應用到一個例上的判斷，就只是偶然的、視情況而定的 (contingent)。這一點，對立於本質主義 (essentialism)，因為本質主義主張如果一個個體具有某種本質

(充分必要條件)，則它必然屬於該本質定義的種類。

由這五項論點和推論構成的有限論可以很適當地被稱作社會學有限論，如同巴恩斯等人的稱呼。可是，它仍然不是一個針對科學動力學的完整答案。因為它還沒有回答：為什麼社會習俗和成規傾向於維持穩定？為什麼人們易於接受社會習俗與成規的判斷？或者說為什麼人們傾向於遵循既有的規則？此外，它也沒有回答：當一個新應用與既成社會成規抵觸時，換言之，相對於既成的社會成規，它是一個「不正確」的應用。如果它能生存下來，它能成功，能形成一個新習俗、新成規，則為什麼它能成功？對於這些問題的答案涉及 SSK 的「利益／利害考量／興趣」觀念。

重回上述的個體 X 的例子，因為它是一個難以分類的異例。科學家的作法可能是在「鴨」和「鵝」二分類架構下調整，例如把 X 納入原來分類架構中的「鵝」類，同時調整之前已建立的通則（例如「鵝總是長脖子」）；但他也可能重新建立一個新的分類架構，讓 X 構成一個新種類，使得分類架構變成一個三分類架構。最後要採取哪個辦法？科學社群總是要透過協商的過程，取得共識並形成約定。因為重點在於判斷這個新個體，與「鵝」這個概念下的個體間之相似性和差異有多大？如果相似大於差異，就維持原分類，如果差異大於相似，就建立新分類。但為什麼社群會認為相似大於差異呢？或者主張差異大於相似呢？換言之，為什麼科學社群會形成一個共識呢？這不是因為這樣的應用是真，或被合理證成，或經驗適當，換言之，不是因為證據和理性（因為證據就是一組相似關係和差異），而是因為這個判斷滿足科學社群的共同目標和利害考量。這就是所謂對科學評價與變遷的利益說明。

傳統上，科學家和科學哲學家對於為什麼一群科學家會接受一個理論、為什麼一群科學家可以形成共識，答案通常是因為該理論為真或逼近真（實在論），或該理論是合理證成的（理性論），或該理論是經驗適當的（經驗論）。換言之，因為該理論滿足了某一種判準。現在巴恩斯主張答案是科學家的共同目標和利害考量，這並不是一個要用來替代先前答案的判準，目標與利害考量是用為一個因果說明，用來說明為什麼一群科學家會形成共識的原因，或者說明為什麼一個理論會被視為真的原因。目標與利害考量是「體制（與知識）動力學」說明中的因素，它們交代了為什麼一個舊的概念應用會被維持，也交代了一個新的概念應用會被發展出來。

究竟是什麼共同的利害考量呢？技術與預測利益（technical and predictive interests）是一種。所謂「技術利益」是指一個理論可以帶來技術上的好處（可以幫助人們控制自然）。其它像前途、地位、聲譽、階級、宗教、政治等利益在不同的案例中都有可能。如果科學知識的接受也是基於利害考量，那麼「從社會學的觀點看，科學與意識型態（ideology）的基本區分，就沒有價值了。」（Barnes 1982: 107）

傳統上人們認為出於利害考量而接受某一套信念時，該套信念就是一個意識型態。可是，SSK 爭論一套信念被接受為科學知識，也是基於利害考量，因此科學與意識型態的區分就無法成立了，因為每個科學理論其實都不過是一個個意識型態。例如，男女兩性之間的性別差異，究竟是出於「天生遺傳」（遺傳、基因決定論）或「後天環境與社會體制的塑造」（環境決定論）之爭論，並不是前者應用生物學理論就是科學，而後者就是基於性別的意識型態。事實上，兩者都有經驗證據的支持，也都有反例

來反對，然而兩個理論都可以進行理論的修正，來面對反例。因此，兩個理論都無法被對方的證據所駁斥。兩個理論都可以是科學，也都是意識型態。

訴諸於科學社群的共同目標與利害考量，就意謂著拒絕科學體制有一個內在的目的（intrinsic end，例如追求真理或說明〔理解〕現象等），因為不同的科學社群有不同的目標和利害考量。不同的目標產生不同的科學知識，科學知識做為實現這些目標的工具，這也是一種工具論。社會學有限論只能交代概念的應用模式，但還不算是一個因果說明，引入「利害考量」後才構成科學知識發展與變遷的因果說明。因此有限論和工具論兩者互補，為科學知識的動力學提供一個完整的交代。可是，必須一提的是，巴恩斯的工具論是一般性的工具論或者利害考量的工具論，而不是認知的工具論（以各種不同的認知價值為目的的工具論）。

最後，讓我們簡短討論巴恩斯反對「認知價值」在理論動力學中的角色。巴恩斯認為孔恩對於價值角色的分析完全不正確，但他說很幸運地，孔恩並沒有進行任何經驗性的研究（Barnes 1982: 125）。巴恩斯認為價值是社群活動的產品，而不是社群基礎的一部分，它是在每一次的理論應用中被維持、活化或修正。換言之，巴恩斯不認為一個社群的認定是由一組價值來判斷的，相反地，價值是社群建立後的產物，認知價值和科學理論的地位是一樣的（Barnes 1982: 124）。⁹

9 在最近一篇論文〈超越社會影響的論述〉（Transcending the Discourse of Social Influences, Barnes 2005），如題所示，巴恩斯爭論「社會影響的論述」是不恰當的，因為它預設科學與社會的分離、預設「科學自己」和「社會自己」、預設科學是「非社會性的」、預設傳統的科學內在一外在的二分框架等等。巴恩斯想爭論的是：科學就是一個社會活動。他說：「因此，當繼續作出『社會的』和『科

貳、生活形式與科學實作

維根斯坦曾說：「想像一種語言，即想像一種生活形式。」（PI §19）如果一個獨特的科學使用一套獨特的語言，它其實也構成一種獨特的語言遊戲和生活形式。《泵浦》企圖展示近代科學創建之初，霍布斯的幾何演繹哲學（科學）方案（綱領）和波以爾的實驗哲學（科學）綱領之間的競爭，不僅是兩套理論、科學方法、方法論、世界觀之間的競爭，也是兩套政治哲學、理論和體制——也就是兩種生活形式——之間的鬥爭。

《泵浦》勾勒十七世紀的近代科學實驗，如何在一個特定的社會脈絡（科學爭議、政治鬥爭）下被波以爾建立起來。波以爾稱它為「實驗哲學」。謝平與夏佛著力展示：這個實驗哲學不僅僅是一個科學方案、一個科學方法，也是一個生產實驗事實的生活形式。副標題「實驗生活」這一詞凸顯出這個意義。在波以爾的設想下，實驗生活的目標是產生無可置疑的事實，以便裁決爭議，平息紛爭，而這又有賴於在實驗生活上建立關鍵的界線並加

學的』對比時，就好像科學是非社會的東西，而在科學上的『社會影響』持續地被評論，其中隱而未說的假定是科學內在（社會的）活動被外在的社會所影響。社會影響論述就其持續的範圍而言，堅持做為熟悉的內在／外在框架的一部分：在那個框架中，一個『社會的』影響是外在的，而且不是透過做為『社會』的影響。」（Barnes 2005: 92）巴恩斯這篇論文被收錄在匹茲堡大學科學史與科學哲學系出版的《科學、價值、與客觀性》（*Science, Values, and Objectivity*）一書中，該書收錄許多哲學家的論文。巴恩斯力排眾議，企圖說服哲學家使用「社會影響」的語言不能掌握科學的真實狀況。不過，我不認為談「社會影響」會造成巴恩斯所說的狀況。科學與社會的區分真正是「認知」與「非認知」的區分，「科學的社會影響」可以被理解成「非認知的社會因素」對於「認知因素」的影響，而認知因素可以是「個人的」、也可能是「社會的」——例如 Giere (2006, 2008) 討論的「分佈認知」(distributed cognition)。巴恩斯的論文顯示 SSK 和科學哲學之間仍有難以相容的問題。

以維護。波以爾的實驗哲學其實是一個解決秩序問題的方法，它有效且安全。不只能用來平息自然哲學的爭議，也可以被應用到政治上。可是它卻受到霍布斯的強烈批評，引發一場長期爭辯——它的科學背景是真空論與密實論（plentism）的爭論。

十七世紀的自然哲學家，爭論著自然是否存在真空。為什麼會有這樣的爭論？因為古希臘的原子論（atomism）在十七世紀復興。原子論主張大自然只存在兩種實體：原子（atom）和真空（void）。原子是不可再分割的最小物質單位，真空是不存在任何物質的空間。原子論主張萬事萬物的變化乃是在真空中的原子隨機碰撞、組合和分離。理所當然地，原子要能運動，必須在一個沒有任何物質的真空中，因此真空必須存在。可是，從希臘時代以來，亞氏的宇宙觀得到中世紀學者的支持。亞氏主張「自然憎惡真空」，主張空間所到之處，必定充滿物質，因此不存在沒有任何物質的真空。十七世紀的笛卡兒提出其機械哲學，被反對亞氏和士林哲學傳統的新生代廣為接受。笛卡兒一方面反對亞里斯多德，一方面仍然堅持「空間等於物質」，因為笛卡兒對於「空間」和「物質」的定義都是「展延」（extension）。笛卡兒因此爭論，「真空」是個矛盾的詞彙。「真空就是虛無（nothing）」，說真空存在等於說虛無存在一樣自相矛盾。霍布斯雖然反對笛卡兒的心物二元論（dualism），主張唯物論（materialism），但仍繼承笛卡兒式的機械論和宇宙觀，主張空間處處充滿物質。當然在許多細節處，他們互不同意對方。笛卡兒和霍布斯的主張被稱作「空間密實論」（另譯成「空間普滿論」）。

十七世紀中，義大利物理學家托里切利（Evangelista Torricelli, 1608-1647）利用一根超過一公尺的細長玻璃管，裝滿水銀，倒放在另一個裝滿水銀的盆子上，管中水銀面下降到約留

下一公尺多一點的高度，就不再下降。如此管內的水銀柱上方，有一個空間，被稱作「托里切利空間」。托里切利的水銀管引起十七世紀自然哲學家關心的問題是：（1）為什麼水銀柱不會再下降？（2）托里切利空間是真空嗎？如果是，托里切利的實驗證明了真空的確存在於大自然中嗎？有許多不同的觀點被提出來。

士林哲學家認為該空間不是空的，水銀的高度，是空氣膨脹的必然結果。笛卡兒認為，水銀上的空間不是空的，仍充滿細微的乙太，其高度由大氣的重量來支撐。笛卡兒的反對者霍伯瓦（Gilles Personne de Roberval）認為托里切利空間是空的，但小銀高度是由自然恐懼真空的限度而決定的。托里切利和巴斯卡認為，該空間是空的，但是水銀高度由大氣重量支撐。

在謝平和夏佛的敘事下，波以爾認為這些爭論混亂不堪，無法解決。他主張實驗是解決爭議的重要手段，但是單單實驗本身無法解決爭議。還必須配合其它因素。事實上，波以爾想創造出一種論述，可以擺脫「真空論—密實論」這種無解的形上學爭議。這兩個理論所使用的語言都被波以爾判定為不宜。波以爾創造出的論述（一整套語言），包含了三種技術：物質（實驗工具）的技術（material technology）、書面的（文字的）技術（literary technology）、社會的技術（social technology）。這一整套論述意味一個「實驗哲學方案」、一個「實驗生活形式」。

首先，物質的技術以空氣泵浦為重心。空氣泵浦是十七世紀大型、昂貴的實驗裝置，其地位相當於二十世紀的「迴旋粒子加速器」。波以爾使用空氣泵浦做了四十三個實驗。這些實驗的目的不是要檢驗「真空論」或「密實論」哪個對。相反地，波以爾認為他的實驗證明了「真空論」和「密實論」的爭論是不適宜

的。實驗產生事實 (fact)，無可爭議的事實。波以爾用他的實驗產生的事實是什麼？它產生一個真空，一個沒有空氣或近乎沒有空氣的空間，但它不是傳統爭論的真空。

為什麼波以爾的「真空」不是傳統的「真空」？波以爾又要如何擺脫傳統的「真空」概念？這一點需要「書面、文字技術」的幫助——也就是修辭的技術——具體說來，就是如何解釋實驗的結果。波以爾主張托里切利空間是空氣彈力抵抗水銀柱的結果。因為水銀柱高度的重量和空氣抵達大氣最上層的空气柱重量平衡。一旦把托里切利管放在空氣泵浦中實驗，抽空泵浦容器內的空氣時，水銀柱下降，但仍然無法達到與水盆水銀水平的狀態，為什麼？因為空氣仍然會滲入氣泵內，其彈力使得水銀柱維持一小段高度。謝平和夏佛分析說：「空氣彈力」的說明其實只是一個假設，波以爾卻在實作上把它當成事實來處理，把「事實」與「原因」加以區分，亦即必須把彈力的事實和彈力之因的明確區分，彈力之因無法被實驗顯示，彈力則是明明白白地由實驗生產出來的事實。波以爾努力維護事實的邊界，使得事實與事實之因的區分變成一個成規。波以爾也沒有區分「彈力」和「重量」，而是把它們總稱為「壓力」。這是波以爾的「書面技術」。可是，這些文字修辭下的「事實」如何被社會接受為事實？這又需要「社會技術」的協助。

所謂社會技術，針對「實驗工具所生產的『事實』如何被社會接受為事實」的問題，波以爾設計了一套實驗的見證程序。

(1) 實驗的執行必須有見證人。但如何管控證人的報告，以避免極端的個人主義？需對證人作規訓——換言之，要夠資格的才能當證人。(2) 要能重複實驗，以便增加見證人。(3) 使用「虛擬見證」，使用修辭與圖解，以便在讀者腦中喚醒實驗場景的形

象。(4) 實驗敘述的德性：實驗敘述要謙虛，不能被私人利益扭曲。論文寫作也有一定的形式（這也屬於書面技術的一環。）

(5) 區分「科學（自然哲學）」和「非科學（形上學）」的邊界。(6) 爭辯要有規矩（manner）。這規矩是「要基於事實來爭辯，因為事實是各派的共產。」波以爾以他皇家學會重要成員的位置使用這三項技術，成功地建立實驗社群。

霍布斯主張「空間密實論」。他反對波以爾，不只是反對他的理論而已，而是反對他的整個綱領，反對「實驗的生活形式」。霍布斯主張知識（哲學）是一種理性的因果推論，實驗事實無法提供，因此他質疑波以爾的實驗只在少數人能參與的實驗室中進行，如何能說是公開的？再者，實驗總是預設了一組假定，它們沒有一個是確定的，都是可疑的。知識如何建立在可疑的假設之上呢？霍布斯也認為不可能不談形上學而使用「真空」一詞，他認為波以爾的實驗哲學或實驗方法不能解決秩序的問題，他指出波以爾建議的實驗事實之界線和維護的方式，反而保證混亂持續存在。最後，霍布斯本人提出另一套解決秩序問題的方法，這是另一種「自然哲學的方案」，它並不依賴於實驗。它以幾何演繹為藍本，由無可置疑的前提，透過無可置疑的推理規則，演繹出真理，如此才能解決爭議。在國家和社會體制的建構上，也是如此。可以說，霍布斯的整套想法，構成另一種「生活形式」——另一種政治生活和科學生活的方式。

謝平和夏佛進一步指出，波以爾和霍布斯各自對事實、客觀性、科學知識的觀點，和他們當時的政治立場、宗教紛爭也有密不可分的关系。他們均捲入十七世紀英格蘭的動盪政治中。波以爾與他所隸屬的皇家學會，和霍布斯有一段長期的政治鬥爭。他們彼此間的科學爭議，延伸到這政治鬥爭上，其中蘊涵了彼此政

治觀點和理論的巨大差異。就波以爾這邊來說，他們希望實驗社群能展示一個理想的社會，在這個社會中，實驗是排除錯誤的可靠手段，而且爭議由事實來解決。就霍布斯一邊來說，和平的社會秩序之達成，也必須仰賴知識，但幾何才能負擔這項任務。因為幾何學才能取得公眾的同意或一致。總而言之，「知識問題的解答即社會秩序問題的解答。」(Sapin & Schaffer 1985: 332) 因此，知識論與政治理論密不可分。最後是波以爾和他的皇家學會贏了鬥爭，所以，他們的「科學知識」成為「客觀事實」的知識。為什麼皇家學會可以贏得鬥爭呢？因為他們可以結合更多盟友、產生更大利益、握有更大權力。謝平和夏佛在結論中將這個案例推廣到一般生活形式，他們說：

不同的生活形式與其特有的知識產品之間的競爭，依賴於競爭者能否在政治上成功地滲入其它機構和利益團體。結交最多與最有力的盟友的人會贏。(Shapin & Schaffer 1985: 342)

謝平和夏佛認為，許多科學史家習慣接受「勝利史觀」，在面對霍布斯與波以爾的爭論時，科學史家傾向接受波以爾對於霍布斯的評價，所以認為霍布斯的科學能力不足，因此不必在科學史上為霍布斯留下一個位置。結果，在既有的傳統科學史中，科學史家幾乎從未提及霍布斯的科學著作和理論，因為它們被簡單地打發成假；霍布斯也從來沒有被視為一位科學家，因為他不夠格；波以爾和霍布斯的爭議被看成是一個微不足道的插曲，不值一提。但這是一種說明的偏倚和不對稱。要改變這種偏頗，就得遵循強方案的三條方法學規則（《泵浦》不需要用到第四條）和利益說明。

根據「不偏倚原則」，謝平和夏佛不僅把霍布斯和波以爾的

科學爭議當成專書的主題，把兩人的科學說詞等量齊觀、公平看待，並沒有因為霍布斯的理論在日後消失（失敗）而貶抑他。而且他們小心地、系統地重建霍布斯的科學理論，以史料顯示霍布斯為波以爾的真正對手，也爭論波以爾對於泵浦實驗的改良，相當程度上是在霍布斯的刺激下，為了回應他的批評而進行的。

再者，他們分析並不是因為波以爾的理論符合事實（為真）、霍布斯的理論不合事實（為假），波以爾的理論才被接受。相反地，對於爭議中用來裁決競爭假說或理論的事實，乃是波以爾發明一整套實驗哲學而建構的。波以爾創造並使用了幾項技術來建構事實。如果事實是被競爭者單方面地建構出來，它就不能用來仲裁競爭假設誰真誰假。這也表示競爭中的理論哪一個最後被接受，不能用誰較符合事實來說明，而是必須訴諸於建構事實的社會歷程。另一方面，事實只有在波以爾的實驗社群內才有仲裁紛爭的效果，即必須紛爭的各方都接受實驗事實具有仲裁資格才成——但這也是社會性的，謝平和夏佛進一步強調「事實即社會成規」（*matter of fact as social conventions*, p. 226；中譯，頁 316）以及「一個事實是一個構成性的社會範疇」（p. 225），又因為事實需要巨大的勞動才能被生產和製造出來，他們必須追蹤這個社會歷程，因此即使使用一個競爭性的假說符合事實來說明它的成功，終究是一種社會性的說明。所以，他們對於真空實驗案例的因果說明完全一致於對稱原則。

在因果原則方面，雖然謝平和夏佛宣稱他們並沒有問「為什麼波以爾贏了」的問題，但是他們仍然提出答案：復辟政權得以確保，是實驗生活形式得以局部成功的條件（p. 341）。換言之，他們不僅對於波以爾的成功提出一個因果說明，也主張其原因是基於政治利益，基於擴大結盟，並以一整章的篇幅來論證，明示

在第七章標題上「自然哲學與王政復辟時期：利益之爭」。這一點剛好是霍布斯的政治哲學對於如何說明一個政治社群的建立與衰亡的理論主張，所以，謝平和夏佛結論說：

當確認了我們的認知形式是約定的與人為的時候，我們就了解到：該為我們所知負責的〔原因〕乃是我們自己而非實在。知識，正如國家一般，是人類行為的產品。霍布斯是對的。(Shapin & Schaffer 1985: 344)

從上述對於《巨怪與空氣泵浦》的論點與強方案的方法學規則之分析，可以明顯看出此書是強方案在近代科學的一個演練。略有不同之處在於，謝平和夏佛的焦點是實驗而不是理論，他們針對實驗如何生產事實和知識的歷史過程，以及在此過程中實驗方法與事實概念如何被建構、如何構成一個新的生活形式、又如何面對截然對立的競爭者與完全不同的生活形方式，作了巨細靡遺的分析，他們也擴張性地示範維根斯坦的「生活形式」之概念，如何可能是一個分析科學歷史過程的有用概念。

參、對稱原則與利益說明的麻煩

強方案在提議不久，即受到英美科學哲學學者的注目和批判 (Laudan 1977, Hollis and Lukes 1982, Brown 1984, Nola 1988)。可是，這些批判並沒有阻礙或延緩 SSK 的發展和擴張步調，它持續成長，發展成今天興盛的 STS，而且分裂成幾個大理論家族：科學與技術的社會建構論、ANT 等。雖然後來的 STS 學者已失去 SSK 關注知識的初衷，轉向關注實作（含實驗）和技術，SSK 的一些基本觀念和方法學原則也已被修正（例如謝平和夏佛提出更明確的結盟說明，而 ANT 放棄因果原則，並擴大對稱

原則)，強社會建構論（主張社會優先性，又可稱為社會約定論）似乎也被放棄了，可是共識形成過程（協商和約定）、科學發展的偶然性、政治（權力）對認知的優先性和利益說明的基調一直傳承下來，以各種不同的形式充斥在 STS 研究之間。可以說，SSK 成功地繁衍出 STS 的理論大族群（theory population）。可是，SSK 這個原型理論可能有下列困難。

一、Interest概念的含糊性

SSK 因果說明的核心概念 interest 其實很含糊，有多重意義（類似「典範」的多義性）。使用這個概念來對科學（理論和實作）的發展和演變作因果說明，有其「概念問題」。尤其是對照中文翻譯上的困難和不適切可知：

（1）一般常把 interest 譯成「利益」。然而 interests 的意義並不完全等於中文的「利益」，雖然包含它。亦即，如果我做什麼事能得到什麼好處（我預想的後果，例如巴恩斯所提的技術和預測上的利益，或其它政治或社會上的利益等），則做此事對我是有 interest。在這個意思上，它也包含「欲望」（wish），但它和「欲望」不同，它指涉欲望實現之後的結果。當主張科學的發展和演變是基於科學社群的共同利益時，這個主張通常排除「經驗判斷」、「方法學的理性判斷」、「認知評價」做為理論選擇的原因。

（2）把 interest 譯成「利害考量」，這個翻譯可能更適切，它包含了「利益」，但也可以相容於「工具理性」，亦即如果一個人做某事是基於「利害考量」，則他會理性地考量他的做此事（工具）是否能達成他的目標（此事對達成目標是有利或有害）。然而，利害考量仍然不等於工具理性。因為「工具理性」容許一

個行為人設定自己的各種目標，而且這目標可以是理想的、認知的：例如真理、說明力、一致、簡潔等等。「利害考量」排除了理想、認知性的目標。

(3) interest 也有中文「興趣」的意思——我對某事有 interest (興趣)，表示該事引起我關心、使我主動想去做它。但是「興趣」的意義有時太廣了，廣到缺乏失去說明力：一位科學家投入一個科學理論或選擇一個理論是因為他對該理論有興趣，這近乎瑣碎地真。而且，這立即產生一個問題：為什麼該理論能引起他的興趣？這表示興趣的背後仍然有一個原因需要被找出來。同樣地，說「如果你的科學理論要成功，你要使它引起眾人興趣，才能產生有力結盟」太空洞，因為立即有「如何引起眾人興趣」的問題，這時「如何」就是更進一步的原因。此外，有興趣不代表會支持，例如人們也許對於「末日預言理論」很有興趣，但不會去支持它。「興趣」有時又太狹，例如很有可能一個科學家對他的工作並無真正興趣，那只是他的職業，他在利害考量下不得不去做。而且 SSK 使用 interest，有對於墨頓學派主張科學精神是 disinterested 的針對性，但 disinterested 不能譯成「無興趣」或「無關興趣」。

不管如何，主張 interests 是科學行為的主要動機或原因，使用 interests 就足以為科學行為和發展提出一個完整的因果說明，有其因概念含糊以致失去恰當、完整的說明力的問題。

二、SSK 反身應用的困難：如何一致地說明社會建構論的成功？

儘管布洛爾和巴恩斯的「嫡系追隨者」並不多，但是各種形式的社會建構論都是他們的理論後裔。因此我們還是可以問：

SSK 和社會建構論為什麼成功？根據因果原則、利益說明和自反原則，我們該說原因是 SSK 和英國人文社會學術社群有共同興趣或利益？或者根據《泵浦》最後的說法，因為社會建構論能夠和更多盟友結盟，以擴大其地盤——這仍然意謂社會建構論和其盟友有共同利益？可是，當 SSK 起步之初，誰是他們的盟友？後期維根斯坦的哲學家和社會學家嗎？SSK 能成功是因為他們結盟維根斯坦後期哲學而在英國人文社會學術界生根？所以他們才能招收更多學生，以傳承他們的觀點？¹⁰

本書拒絕「利益說明」是某個科學理論或知識發展「唯一和完整」的因果說明，因此我也不認為 SSK 的成長和後來 STS 的壯大是因為它們與後期維根斯坦哲學家的結盟——再多的歷史證據永遠也無法證實這樣一個假說——「證據不足以決定理論」同樣要適用於社會科學。更何況，這個社會科學假說面對的可能是歷史證據根本就不足夠。SSK 的支持者能夠提出足夠的證據證明 SSK 的追隨者之所以能在英國學術界占有一席之地（後來更擴張到美國），是因為在英國已有學術地位的後期維根斯坦的哲學家支持之故？根據自反原則，SSK 或支持利益說明的研究者也必須一致於對稱原則，必須使用相同的社會原因和歷程來說明它自己的成功，他們必須顯示英國和美國人文社會學術界的人事任用，特別是支持 SSK 和「社會建構論」的研究者在學術界任

10 如果想證明這一點，也許應該考察 1980 年代英國的人文社會科學學術「生態」？一個可能的猜測是因為 SSK 應用維根斯坦後期哲學，其在英國學術界有相當的影響力，又 SSK 將批判矛頭對準波柏，他曾在劍橋與維根斯坦有過理智上的衝突（著名的火鉗事件，中文方面參看《維根斯坦的撥火棒》一書），所以英國哲學界中後期維根斯坦哲學家，與 SSK 同仇敵愾，都潛在地變成 SSK 在學術界的盟友。這個猜測似乎言之成理，但是缺乏很多歷史事件的細節與發展經過。

職，乃是基於利害考量。但是，這能做到嗎？顯然，這個問題有待強社會建構論的支持者自己去克服。

一個可能克服的方式是利用英文 interest 這個字的歧義和含糊性，把 interest 解釋成「興趣」，如此爭論英國和美國的新生代被 SSK 吸引並進一步把它發展成社會建構論和 STS，是因為他們對 SSK 有高度的興趣，他們覺得 SSK 有趣 (interesting)。同樣地，英美人文社會學界的有地位和有力人士，也因為覺得 SSK 有趣 (新奇、角度鮮明，而且繼承維根斯坦等)。但是，interest 理解成「興趣」的問題已於上一節討論。而且這樣一來就把 SSK 社群主義式的說明化約成「個人主義式」的說明，因為興趣是個人的事，顯然這種克服法有違 SSK 的利益因果說明的原意。

更麻煩的是，根據謝平和夏佛的觀點，因為強社會建構論者能夠結交有力的盟友，所以它能成功。問題是，強社會建構論的科學形象抵觸了大多數科學家團體的自我觀點，結果引發 1996 年的「科學戰爭」(Science Wars)，強社會建構論社群無法結交廣大的科學家團體 (構成一個霸權性的體制) 這個有力的盟友，它甚至失去被它視為「先知」、「教主」或「創建之父」孔恩的支持，那麼社會建構論或利益說明論為什麼還能壯大？

上述討論已經蘊涵對於強方案的對稱原則之拒絕，因為對稱原則與利益說明實在是一體兩面。對稱原則要求科學發展的動力說明必定是社會性的，而且必定使用社群利益、甚至更廣大的社會利益來「對稱地」說明成功的科學知識或理論為什麼能成功、失敗的理論為什麼失敗。但是，把對稱原則、利益說明與自反原則同時併用到 SSK 自己身上時，就會顯示出困難。

三、事實與事實建構不是成規

強社會建構論和社會約定論並不是全無理據的天真觀點，它的背後有從維根斯坦後期哲學發展而來的意義有限論之支持。這個理論正確地看到了語言的意義和使用是一個社會歷程，是約定俗成，卻錯誤地認為「事物本身大致上是沈默與無關」的：

指物學習是一個社會歷程。學習者被其他人、而非事物本身教會如何掌握事物，事物本身大致上是沈默與無關的。掌握事物的正確方式被建立為傳統中的成規，而且在一個社會關係中被傳遞，這個社會關係包含了對教師的信賴以及承認她／他的認知權威。(Barnes, Bloor & Henry 1996: 54)

為什麼他們會這樣主張？回憶第二節概念應用的基本架構，強方案主張新個例之所以被歸為某一類，是因為社群的利益，使他們決定看重該個例與該類成員間的某些特徵上的相似性，而忽略其它差異的特徵。針對這樣的主張，我想先使用中國傳統成語故事中的「指鹿為馬」來反駁。秦朝的趙高權勢薰天，他命人牽一頭帶角的鹿上朝，指著它對滿朝文武大臣說：這是一隻漂亮的馬。有位大臣不識相，上前糾正趙高，說它是一頭鹿。趙高立即命手下把他拖出去砍頭。再問其他大臣，眼前的動物是鹿是馬？所有的大臣都俯首稱「馬」。可是，趙高的權勢和大臣迫於權勢下的利益社群，可以讓鹿變成馬嗎？鹿和馬本身的特徵之相似和差異，對於分辨鹿和馬，以及它們的名稱「鹿」和「馬」的使用無關嗎？當然，一個人可以說在趙高的權勢社群中，「馬」這個名稱被用來指鹿，但這只是文字互換遊戲，即使「馬」和「鹿」的名稱互換，馬和鹿仍然有特徵上的差異，使得即使在這社群中，若要一致地使用語言並溝通(而不是展現趙高的極端權力)，

「鹿」只能用來指馬，「馬」只能指用來鹿。若是如此，事物本身的特徵對於語詞的使用就不會是沈默無關。

讓我們稍微改變一下這個故事，假定有一隻臉型、脖子、體型、四肢、尾巴、行為特徵都長得很像馬的動物，頭上卻有兩隻短角，科學家要把它歸為「馬」類、「鹿」類或「羊」類？也許科學家可以解剖它，觀察它頭頂的短角究竟是畸形骨骼或者是像鹿角或羊角一類的組織，如果短角是頭骨的畸形延伸，那麼科學家就傾向把它歸為「馬」類，視為畸形個例。如果該短角確實是獨立的、類似鹿角的組織，那麼考量該動物的臉型、脖子、體型、四肢等都和鹿類不相似，科學家也許會建立一個新種類來含納這個「異例」。換言之，有知能的科學家總是會參考對象的特徵結構（亦即短角組織和頭骨位置、關係、臉型、脖子、體型、四肢、尾巴、行為特徵等特徵之間的關係和結構一併加以考量），而不單單依據短角與鹿角的相似或差異，也不是單單依據社群利益來決定要看重相似或差異。在決定對象的歸屬之前，科學家常常會有一個協商（討論）的過程，但是這不是根據大家的集體偏愛或純粹共識而作約定，科學家協商後的同意不能違反這隻動物的短角組織和其它特徵的相關性所顯示出來的成套、結構性的資料——也就是第四章已論證的經驗資料模型。科學家協商後的同意讓最後的決定看起來像是約定或成規，但這是在經驗資料的拘束之下建立的結論，壓根和我們說一個記號的使用是我們約定俗成的成規完全是兩回事——後者是主體間、社會性的約定，是偶然和任意的；前者受限於被研究的對象和客體，它實在不該被稱作「約定」或「成規」。事物本身特徵的關係和結構限制了（但並非決定）科學家可以提出的經驗證據的空間——這是一種對象（客體）拘束。

回到實際的科學，回想第二章導線感生磁場現象的討論，儘管必歐、安培、戴維、法拉第對於靠近長導直線電流的磁針會偏轉的現象解釋不一（乙太震動、運轉磁、磁原極、磁力線等），但是他們都受到「通電導線的電流會使不同位置的磁針向不同方向偏轉」這種經驗的拘束；儘管他們的實驗程序不一，都無法避開導線偏轉方向和其所在位置有固定關係的經驗事實。就算導線偏轉方向指示出一個磁力作用的「圓形形象」是由必歐的實驗程序「引導發現」或「建構的」，但是沒有其他科學家可以使用不同的程序來建構不同的磁形象——這就是被研究對象產生的經驗拘束——它不是主體間、社會性的約定。總而言之，事物本身的特徵結構、經驗和客體的拘束，讓不同假設的科學家得以共享相同的資料模型，而不是因為科學家隸屬於一個權威性的社群中，或者因為社群的成規才使科學家得以共享相同的經驗。

如果「事實」一詞指的是科學家可以共享的經驗、資料模型，事實和事實的建構就不會做為（如同 as）社會成規，也不會是社會範疇。儘管事實可能從實驗中被生產、被建構或被創造（經驗、資料模型的產生），它們可能從不同的角度被描述，一個固定的事實描述可能也經過一段討論協商的歷程，甚至近代科學或實驗的「事實」這個概念是被波以爾或皇家學會發明的，¹¹「事實」這個概念的內含也不斷在演變等——所有這些事實都不

11 王文基在其為《泵浦》一書中譯本所寫的導讀中談到：科學史家狄邇（Peter Dear）指出，皇家學會的成員並非發明了「事實」，而是利用它來達到特殊目的。學者夏瑟若（Barbara Shapiro）更把對「事實」的分析擴張到更廣的範圍，她指出「事實」的概念最先來自現代早期的法律領域。因此質疑「事實」的概念是否如謝平和夏佛所言般與紳士身分緊密相連？科學史家達思頓（Lorraine Daston）也指出強調培根式的事實團體，早在十六、十七世紀末存在於法國、義大利和日耳曼等地區（《泵浦》中譯導讀，頁 xxviii-xxx）。

能證明「事實的建構」是社會範疇或做為社會成規。「事實」的概念也許在歷史的某一時期被發現或發明，但並不因此就變成社會的、集體的，因為**事實是認知對象本身的結構與人類認知結構的合作產物**，正如同「彗星」的概念在十七世紀初轉變成「天體的一分子」，並不因此使得「彗星」變成社會的。相反地，它們都代表某種經驗模型——經驗模型是歷史的、會變動的，一個特定的經驗模型可能在歷史的某個時期被發現、被建構或被發明，如同第四章的展示——「彗星」代表觀察掃把形狀的光點在天幕中的行為和其它天體的關係。「事實」代表了廣泛的各種人類經驗模型，「事實」概念的變動代表人類看待經驗模型觀點的變動。可是「事實」和「彗星」一樣，都不是發出社會成規的功能，而是對理論、實作，甚至社會成規產生經驗拘束的作用。

肆、歷史敘事與修辭技術

《泵浦》一書引發大量的迴響，科學史家、科學哲學家、科學家、STS 學家紛紛寫作簡短書評、長篇論文評論、專書章節來討論該書的優點與缺點，反駁它傳達的科學哲學與科學史觀點，或以不同的角度來詮釋、重述甚至發展它提供的霍布斯和波以爾的故事。1989 年科學史家海布隆 (J. L. Heilbron) 的短評惋惜作者集中以英格蘭的故事來闡述實驗科學與演繹科學的爭論，不能以同時期歐洲的科學史來作對照 (Heilbron 1989)。1990 年，STS 學家拉圖從自己的新對稱觀點來評論此書，並發展自己的詮釋 (Latour 1990)，後來更在 1993 年發展成《我們從未現代》一書，以《泵浦》的歷史材料為基礎，使用 ANT 的架構來重述霍布斯和波以爾的爭論 (見第六章)。1991 年哈金則寫作長篇書評，讚譽作者提供一個看待科學史的全新觀點，創造一個嶄新的

主角——空氣泵浦，書寫一個工具的歷史，故事引人入勝；但是哈金仍然質問作者為何結論說「霍布斯是對的」？他認為波以爾的空氣泵浦的真正對手不是霍布斯的《利維坦》，而是另一位科學家惠更斯的空氣泵浦。哈金也認為作者在此訴求維根斯坦的「生活形式」概念並不適當，在他看來，波以爾不是創造一個實驗的生活形式（如該書副標題所言），而是一個「實驗的推理方法」（the experimental method of reasoning），它是一種新的「科學推理的風格」（a new style of scientific reasoning）（Hacking 1991: 241）。¹² 2006年《泵浦》中譯本出版，王文基（2006）寫作長篇導讀兼評論，在「事實」、「空間與地圖學隱喻」、「疆界分割」（boundary-work）等三個焦點上，將《該書》的論述與其他科學史家、思想家的研究作比較，指出更多深入探討或對話的可能性。¹³

科學理性觀的陣營（包括不少科學家和科學哲學家）則堅持《泵浦》預設的知識論是相對主義，必須加以駁斥。1994年兩位科學家葛羅斯（Paul Gross）與李維特（Norman Levitt）出版《高級迷信》，猛烈抨擊科學的文化研究和STS的學術，包括《泵浦》一書的歷史。他們爭論霍布斯不夠格做為一位科學家，他的數學能力有問題。繼而科史哲學家平妮克（Cassandra L. Pinnick 1998）發表專題論文爭論《泵浦》內的歷史是壞歷史

12 這個概念後來哈金改稱「科學思考的風格」（styles of scientific thinking），並全力發展人類歷史上六個不同的風格，但這是另一個故事了（Hacking 2009）。

13 關於「事實」的問題，參看王文基（2006）。關於「空間地理隱喻」，王文基主要討論兩位作者如何類似傅柯般地分析空間、知識與權力三者的關連，但是不像傅柯分析中，權力是隱藏無名的，《泵浦》描述的科學家權力軌跡清楚可見。王文基也指出「疆界分割」與空間、權力相關，從這評論中，我們甚至可以推出「自然」與「社會」的劃界，體現在實驗室的空間範圍內外。

(bad history)，謝平和夏佛則正式回應，並進行兩輪爭辯 (Shapin and Schaffer 1999a, Pinnick 1999, Shapin and Schaffer 1999b)。研究波以爾的哲學專家沃錫克 (Jan W. Wojcik 1997) 主張：「波以爾有一個顯著的統一世界觀，一個在其中化學、物理、鍊金術、神學的真理事實是統一知識體的不同面向之世界觀。」 (Wojcik 1997: ix) 基於此，他考察了波以爾思想中的神學脈絡和自然哲學脈絡，最後基於他的研究指出《泵浦》一書有三個問題：第一，在波以爾的觀點中，事實和假說之間的界線沒有如同作者宣稱般地尖銳。第二，實驗哲學家之間有政治目標的共識之假定站不住腳 (is unfounded)；第三，波以爾自己支持復辟到什麼程度的問題是可疑的 (Wojcik 1997: 218)。

一、《泵浦》的修辭技術

上述評論、駁斥和發展，都沒有討論謝平和夏佛書寫波以爾和霍布斯爭辯歷史的「修辭技術」(rhetoric technology；或使用他們自己的術語是「書面技術」[literary technology])。如同他們明白自言：「本書是一個科學知識社會學的演練。」(Shapin and Schaffer 1985: 15) 在進入歷史細節之前，他們已經預設一個方法學的架構，類似孔恩所言：「把自然強塞入典範制定好的盒子內。」他們把大量的歷史材料塞入科學知識社會學的框架，產生一個令人驚嘆的成果，使這個重新敘說的新故事對很多人而言具有相當的勸誘力 (雖然不是沒有爭議)，甚至使《泵浦》具有經典性的地位。這樣的成就為什麼能達成？關鍵之一是理論的勸誘力——從維根斯坦哲學、孔恩的科史哲、到強方案的新方法學原則；關鍵之二不能不提他們的修辭技術，這個技術幫助他們把歷史材料有效地織入理論架構內。可是，如果理論架構是有「漏隙」的 (如上節所示)，這個修辭技術以及它所創造的一整套

「語言遊戲」，還能對這個歷史故事提出最好的因果說明嗎？本節試圖揭示體現在《泵浦》一書——特別是描繪波以爾如何建立「實驗生活」——的修辭技術，並爭論另一套語言遊戲可以提供更好的因果說明。

SSK 較抽象的理論和方法論框架，要如何落實到具體的歷史案例上？關鍵在於建立一個具體化的模型，《泵浦》建立的具體化模型，被表達在「結論」處：

我們使三件事產生連結：(1) 智識社群的政體；(2) 製作知識與證成知識的實際問題的解決；(3) 更廣社會的政體。我們作了三項連結，我們企圖顯示 (1) 知識問題的解決是政治的；亦即針對知識政體中的人際關係制定規則與成規；(2) 如此生產出來並鑑定為真的知識，變成更大政體中政治行為一項元素；沒有參考知識政體的產品，不可能理解國家內政治行為的性質；(3) 不同類的生活形式與其知識產品的特有形式之間的競爭，取決於競爭者是否能成功地滲入其他機構與其他利益團體的活動。有最多且最有權力盟友的人勝出 (Shapin and Schaffer 1985: 342)。

這個「具體化模型」把互相競爭的科學知識與生產它們的方法，理解成由社會約定（成規）而建立的不同組語言遊戲，並使用掌握政治權力的大小來說明一套知識與其方法為什麼能成功、得勝。這仍然是利益說明，它指涉的因素是政治利益，因為握有更大的政治權力，無疑可以帶給參與知識生產的科學家更大的政治利益。它完全可以由強方案的「社會學有限論」導出。問題是，它為什麼被安排在結論處？這個安排暗示謝平和夏佛想製造一種印象：這是一個結論，而且是在漫長、細緻甚至瑣碎的歷史事實（文本、人際關係、圖像等）的描述和分析之後，被大量的

歷史證據堅實地支持著。這也意味著大量細節如髮般地爬梳，是他們修辭技術的一部分。這個「印象製造」的相關證據是他們詳細地分析霍布斯的《物理學對話錄》(*Dialogus physicus, Dialogue of Physics*；之前科學史家一致忽視該書)，甚至首度將它從拉丁文譯成英文，並以附錄為名印在該書之後。《物理學對話錄》提供新的文本證據，用以證明霍布斯是波以爾的可敬對手。可是，上述三項連結其實不是透過歷史材料的分析和重建之後才獲得的結論，它是一個早在分析之前已被建立的模型，《泵浦》全書不過是按表操課下的產物。

《泵浦》的修辭技術的第二個場景在於分析波以爾的「書面技術」。謝平和夏佛宣稱波以爾的最大關懷是「將事實與各種因果知識隔離以保護事實。」因此，他們設定兩個問題：「在實作上 (in practice)，波以爾如何經營 (manage) 這個界線的？」又「在實作上，他又如何在事實與事實的說明之間移動的？」(p. 49) 他們認為必須從波以爾對空氣的「彈力」(spring)、「壓力」(pressure) 和「重量」(weight) 等概念的使用入手分析。隨後，他們指出波以爾在不同的地方把「空氣彈力」視為一個「觀念」(notion)、「假設」或「原理」，但「如同我們在第五章展示，波以爾在操作上 (operationally) 把空氣彈力當成事實。在《新實驗》第二十則實驗報告中，波以爾假定『空氣有顯著的彈性力』這個事實 (the fact “that air hath a notable elastical power”) 已從他的研究中『大量地被證明了』(abundantly evinced)」(p. 49) 注意，這句話混著對波以爾的文本的引用，以及作者們的詮釋，而「事實」這個詞並不是從波以爾的文本中引出。在指出波以爾研究程序的一些面向之後，作者們結論：

我們的重點可以總結如下：波以爾教實驗哲學家玩的語言

遊戲，依賴於隱然的劃界行為。實驗的事實與其終極的物理原因和說明之間要有一個關鍵的界線。就常人或者就外人的眼光來看，不清楚為什麼聲稱是觀察結果原因的空氣彈力，應該被當成事實而不是思辨性的假設（p. 51）。

從這個結論，謝平和夏佛進一步把波以爾的「事實」與「成規」連結起來：

我們注意的是波以爾用來製造事實與原因這個他偏愛的區分的判準和規則，具有成規的地位。因果談論奠基於波以爾的報告例示的成規，正是事實的建構在本性上（in nature）是約定俗成的（p. 52）。

問題是：查遍《泵浦》一書引用到的文本，找不到任何一個地方波以爾明確地聲明「空氣彈力是一個（實驗）事實」。是作者們漏掉，還是其它原因？在我看來，謝平和夏佛有「橫柴入灶」的嫌疑（下一小節討論這一點）。不過，本節的重點是他們的修辭技術：他們很小心地以「在實作上」、「操作上」來修辭性地描述波以爾把「空氣彈力」當成事實，並持續不懈地維護「事實」的界線，創造出一套關於實驗事實的論述——這讓他們得以推出「事實的建構在本性不過是成規」的結論。

驚人的修辭技術表現的第三個重點是謝平和夏佛在全書各處不斷地以「道德」和「社會」兩詞來描述波以爾建立的實驗方法論——特別在分析「社會技術」和「社會性的書面技術」的地方。例如，引證波以爾對於當見證人要有兩大要求的陳述：一是對於傳述的東西要有知識，二是對於真正傳述其所知的東西要信實。隨即結論：「因此，實驗哲學中見證的提供，橫貫了復辟時期英格蘭的社會和道德責任系統（moral accounting systems）。」（p. 59）又如，波以爾強調敘述實驗時應謙虛，「連不成功的實

驗也坦白以告者是一位客觀性沒有被利害考量扭曲的人。因此某種道德 (morality) 的書面展示，也是製造事實的技巧。」(p. 65) 討論知識的每個用詞，包括事實與理論、假設等每個知識論的項目，都有「專用的道德姿態與專用的言說模式。」(p. 67) 他們甚至乾脆明白使用「實驗者的道德社群」(a moral community of experimentalists, p. 69) 以及「哲學爭議的道德口吻應當文明且優雅 (civil and liberal)」(p. 76) 這樣的用詞。顯然地，透過「道德」和「社會」的直接使用，知識論可以被建構成社會關係的一部分，謝平和夏佛總結地說：

波以爾的語言實作所規定的邊界，其作用在於使社群免於分裂……類似地，他所規定的爭辯中的適切規矩，作用在於保障能對事實產生同意的社會團聚，並把會破壞實驗生活形式的道德完整性的非難排除出去。實驗事實的客觀性，是特定論述形式與特定社會團聚的人造物。(pp. 77-78)

實際上，「道德」和「社會」這兩個詞完全可以被「規範」(或「方法論」)和「社群」(可以只侷限於科學家團體內部)來取代而不會有任何不適當之處(見下一小節分析)，唯一的損失是無法達成他們預先設定的目標：論證「知識政體」這個概念可以成立，而且「知識政體只是更大政體的政治行為的一項元素」也因而成立。為了達成預定的目標，謝平和夏佛自然必須使用修辭技術。

為什麼謝平和夏佛要使用這套修辭技術？我認為有兩個合理的理由：第一他們知道他的作品不過是「強方案」理論架構的演練，不具方法論和理論上的原創性，所以另尋出路來展現他們作品的價值。第二，這套技術十分有助於他們把歷史材料塞入依

據強方案的藍圖而造就的盒子內。可是，如同上文已指出：這套修辭技術不是無懈可擊。

二、裂縫與漏隙

為什麼說謝平和夏佛有「橫柴入灶」的嫌疑？波以爾真的「在實作上」把空氣彈力當成事實？在我讀來，《泵浦》引用的波以爾的文本，都很一致地把空氣彈力當成是假設，例如他們已指出波以爾一開始把空氣彈力當成是「觀念」、「假設」或「原理」，後來才被「大量地證明」。但是，被大量地證明就變成是波以爾所謂的實驗事實嗎？若如此，波以爾為什麼不明白地說「空氣彈力這個事實」？大概因為無法在波以爾的文本中找到這樣的用詞，所以他們才不得不修辭性地宣稱：「在實作上」，波以爾把空氣彈力當成事實。但波以爾有嗎？下列是出自《泵浦》各處的相關引文：

波以爾覺得其對手攻擊的不只是「我的一、兩項推測 (conjectures)」，而是絕大多數，包括空氣彈力的核心假說 (the central hypothesis of air spring)。(p. 165, 「核心假說」是兩位作者自己的用詞，顯然因為波以爾自己用「推測」一詞，使他們不得不用「假說」。

霍布斯反對空氣的重量和彈力——「我們兩個重大假設」。(p. 174, 引號內的文字是從波以爾書中引出。)

……毋需訴諸於任何如此爭議性的原理，也可以由空氣的壓力和重量而對所提出的現象給予公平的說明。(p. 188, 此處空氣的壓力和重量顯然是用來說明現象的，而不是被當成事實。)

在附著的實際狀況中，波以爾強調「大氣的壓力」有較為

優越的說明力 (superior explanatory importance)。(p. 190, 這裡的「說明力」也是作者自己下的。)

在《物理學對話錄》中, 霍布斯……讓對話者打賭 (以波以爾的話來說) 成功的檢驗結果就意味著「不可能懷疑 [波以爾] 指派的原因為真」。(pp. 191-192, 根據脈絡, 這裡的「原因」就是指空氣彈力。)

所有這些引文都顯示出波以爾把空氣彈力當成「假說」或「原因」, 用來說明實驗事實, 甚至作者們自己也如此描述, 那為什麼還說波以爾「在實作上」把空氣彈力當成事實? 如果波以爾的實驗報告, 還有他的對手如霍布斯都沒有說空氣彈力被當成事實, 要如何主張波以爾「在實作上」把空氣彈力當成事實?

或許問題在於波以爾所謂的「實驗事實」是什麼? 謝平和夏佛說:「波以爾提出事實由個人信念的累積而被建立。一個知識集體的成員們必須互相擔保該信念在一個經驗中被證示 (is warranted); 有了經驗、經驗也自我證示、而且向他人保證信念的基礎是適當的, 這整個過程的結果就是事實。」(p. 25) 這些對於「事實」的描述, 使用經驗主義方法論的觀點來解讀就是: 某人有某個觀察經驗 (或做了一個實驗), 該經驗可以重複出現使其他人也可以經驗 (該實驗可由他人重複執行, 即「主體間的可檢驗性»), 有同類經驗的人們互相向對方確認彼此的經驗是同類的 (彼此的實驗是相同的實驗)。換言之, 事實就是實驗產生的共同經驗, 被表達在實驗報告中。這些共同經驗的原因是什麼? 必須要建立某些假設來說明。因此, 波以爾所謂的事實, 只是他的每個實驗作出的結果 (共同經驗), 由他的實驗報告所描述。為了回答為什麼會有這樣的結果 (事實), 他提出「空氣彈力 (壓力、重量)」這個「觀念」、「假說」來一致說明它們, 空氣

彈力如此被當成說明這些事實的原因。然而，因為有大量的實驗事實都可以使用「空氣彈力」來一致地說明，這給予波以爾信心，主張「空氣有顯著彈力已被證明了」——用經驗主義的傳統術語來說是「空氣彈力這個假設已被大量實驗事實印證了（confirmed）」。但「空氣彈力」並沒有被當成事實。這是一種清楚明瞭、而且符合文本的方法學解釋。為什麼謝平和夏佛不這樣看呢？因為，如果這樣看，他們就無法把波以爾的實驗方法塞入強方案的盒子內。既然後者是他們的目標，他們就只好動用修辭技術了。

不可否認，波以爾在建立他的實驗方法論時，確實提出「見證報告應誠實」、「敘述應謙虛」等道德性的特徵（事實上，所有的知識論和方法論都必得如此，例如知識和信念必須建立在對自己的經驗的「誠實」之上）。但是，知識和道德行為有某些共同的特徵，並不代表知識就是道德行為的一種，正如蝙蝠和鳥都會飛，不代表蝙蝠就是鳥的一類。知識論和方法論還有很多特徵與道德理論無關，例如「物質技術」與道德無關，實驗生產的事實也與道德無關，對事實提出假設來作因果說明也與道德無關，見證的內容與道德無關。為什麼只因為一個知識社群也需要一些道德的行為，就可以被稱作「道德社群」？一個人可以爭論，蝙蝠有可能被分類為鳥，如果我們使用「會飛」來定義「鳥」這個概念。沒錯，這是社會學有限論的思路，但是根據同樣的有限論：「會飛」也不能決定「鳥」這個概念的用法。如果知識社群有一些道德特徵，但是有更多非關道德的特徵，為什麼要把「道德特徵」當成是「知識社群」的決定特徵？知識也許不是完全無關（中立於）道德和價值，但是因為知識和一些道德與價值有關，就宣稱知識社群不過是道德社群，其目的仍然是為了把波以爾的

實驗方法論強塞入強方案與社會約定論的框架內。

三、複製泵浦與協商的問題

為了強化他們的論點，謝平和夏佛又透過複製的困難來爭論為什麼事實無法有客觀的判斷，只能訴諸於社會約定或成規來認定。社會成規需要一個談判（negotiation；STS 學界慣譯成「協商」）過程才能形成，一個實驗社群談判後約定一個事實，才使得實驗者可以跳出「實驗者後退」（experimenter's regress）的迴圈中（參看第八章討論）。下列是這段歷史的摘要：

（一）複製極為困難，無法單靠波以爾的文本說明來執行。謝平和夏佛指出，唯一能不在波以爾和虎克（Robert Hooke, 1635-1703）監督下複製泵浦的自然哲學家是荷蘭的惠更斯，但惠更斯參觀過波以爾的泵浦實驗。其他人「在日耳曼的蓋瑞克（Otto von Guericke, 1602-1686）和佛羅倫斯的實驗學院，即使都擁有波以爾泵浦的完整文本，但都沒有建造這樣的機器。」（Shapin and Schaffer 1985: 230）

（二）波以爾泵浦實驗的複製過程，可以聚焦於泵浦這個工具本身的複製上：「波以爾對現象的宣稱由於泵浦的複製而轉變成事實，但是其他實驗者必須要能判斷這種複製何時才算完成，唯一的方法就是以波以爾的現象做為他們自己機器的校準。」（p. 226）即使惠更斯有能力自行建造機器，他也必須根據英格蘭的泵浦實驗來校準自己的機器，結果產生了一個最重要的難題異常懸置（anomalous suspension）的現象，也就是說，當抽光空氣時，除盡空氣的水在氣壓計中並未下降。波以爾對此現象保持沈默。只有在惠更斯拜訪虎克並與他一起實驗時，異常懸置才在英格蘭被接受為一項事實。這個過程被理解成談判（pp. 244-255）。

(三) 1660 年代早期，在英格蘭和荷蘭之外的唯一一具泵浦是惠更斯直接指導而建造的，在巴黎的蒙莫爾學院。但是沒有惠更斯在場，巴黎方面無人知道如何操作機器。1666 年惠更斯重返巴黎，法國的泵浦研究才再度興起。惠更斯一直相信自己的機器比波以爾的好，因此他的泵浦主宰了巴黎科學圈。1670 年代中之後，惠更斯甚至在法國氣泵的商業化扮演重要角色 (pp. 265-276)。

(四) 惠更斯的泵浦作出的「異常懸置」現象使他提出「細微流體」的理論，因此使用他自己的實驗事實來支持「空間密實論」。結果在 1660 年代晚期到 1670 年代早期，惠更斯與皇家學院有許多關於理論和實驗哲學的權威性之辯論。

(五) 在「複製的限制」一節中，謝平和夏佛指出日耳曼的蓋瑞克和佛羅倫斯的實驗學院並未企圖 (did not attempt) 複製波以爾的機器。蓋瑞克則有自己的泵浦，甚且和波以爾互相批評對方的機器。蓋瑞克的機器雖然巨大，但是效能良好，因此「沒有理由嘗試複製英格蘭的機器」(p. 281)。

如果上述對於「泵浦複製歷史」的摘要是一正確的話，我實在看不出如何能導出謝平和夏佛的結論：實驗複製極其困難，使實驗事實的認定只能依賴於科學家彼此的協商和約定。我的評論如下：

第一，日耳曼和佛羅倫斯的實驗學家根本不認為有必要複製波以爾的泵浦，為什麼是顯示出泵浦複製困難的一個「證據」？謝平和夏佛在 230 頁的說法（見上引文）有誤導之嫌：為什麼不一開始就明言他們「不企圖」建造波以爾的泵浦，反而暗示他們即使有波以爾泵浦的完整文本也「無法」複製泵浦？

第二，事實上蓋瑞克的機器在波以爾的機器建造之前已被發明，謝平和夏佛一開始就說：「波以爾原本想改良蓋瑞克設計的裝置，休特（Caspar Schott）在1567年的《水力氣動力學》一書中對它作了描述。」（p. 26）言下之意是波以爾想透過文本的描述來複製它。波以爾之所以沒有著手複製是因為他認為蓋瑞克的機器有幾個操作上的缺點。但是，兩種泵浦都能執行相同的功能，為什麼不說波以爾沒有在蓋瑞克的指導之下，成功地複製了泵浦這機器？或許可以辯說波以爾的機器和蓋瑞克的機器外型上有很大的差異，因此波以爾發明了他自己的機器。然而，惠更斯的機器在外型上也與波以爾不同，為什麼要說惠更斯是複製波以爾的機器，而不是發明他自己的？複製波以爾的機器是惠更斯自己說的嗎？謝平和夏佛引用惠更斯的書信提到：「……讓我想造一臺像他的機器……」而且惠更斯寫信給皇家學會的祕書說：「我會讓你知道我做的改變……」而祕書也回信說：「既然你想以你自己的方式建造一臺……」（p. 236）這些對話都顯示惠更斯打從一開始就想建造自己的機器。因此，惠更斯「複製」波以爾的機器是謝平和夏佛自己的判斷，那麼他們判斷「工具複製」的判準何在？《泵浦》整本書都沒有提出和回答這樣的問題，複製與否的判斷似乎是依賴於圖像和直觀。

第三，為什麼惠更斯在參觀波以爾的實驗後，想動手做泵浦，可以推出「操作者要在沒有親眼看過英格蘭的那些實驗的情況下，要建造泵浦是很困難的」？如果惠更斯只是參觀實驗實作，沒有波以爾的實驗報告和圖解，他能造得出泵浦嗎？沒有歷史證據顯示波以爾和虎克指導惠更斯，惠更斯頂多請求波以爾提供零件的更多資料，謝平和夏佛也承認惠更斯完全不需要波以爾和虎克的協助就能建造他自己的泵浦，那麼惠更斯能夠建造與波

以爾競爭和對抗的泵浦的原因和依據何在？謝平和夏佛推出兩個結論。第一個是「複製的完成視偶然的判斷行為（contingent acts of judgment）而定。一個人不能寫下一個公式說複製何時被實現或不實現。」（p. 281）問題是：憑什麼說惠更斯是複製波以爾的機器？第二個結論是「知識生產所依賴的剛好不是在（depends not just on）報告與觀念的抽象交流，而在於（but on）人和機器的實際社會調控（social regulation）。」（p. 281）問題是：惠更斯建造自己泵浦的「社會調控」又是什麼？

第四，或許可以辯稱惠更斯要用他的機器來複製波以爾的實驗，以便校準自己的機器是否成功。問題是，根據謝平和夏佛自己的歷史敘事，惠更斯早在1661年11月就自信他的泵浦比波以爾的更好（p. 237）。惠更斯確實重做波以爾的第十九、二十二號實驗來校準自己的機器，但是校準的目的不是為了證明自己複製成功，而是證明自己的機器更好！而且在校準的過程中很快地就產生「異常懸置」的現象。謝平和夏佛歸納得出「第一，惠更斯為自己建立一個判定的現象，其成果得以衡量任何泵浦的優越性。第二，為了解釋這校準現象，惠更斯訴諸於新流體的存在，挑戰了普通空氣的重量和彈力在充分性。」（p. 243）顯然從這兩點中，我們能推出的是惠更斯不僅提出不同的理論假設，也提出他自己對實驗的認知評價來與波以爾競爭。但是謝平和夏佛卻把波以爾方面的回應解讀成與惠更斯「談判」。

第五，negotiation 這個英文字其實常用在國際政治外交上，在這個脈絡下，常譯成交涉、折衝或談判，它蘊涵「利益交換」。譯成「協商」其實緩和了它被用在科學競爭與共識形成上的不適切性，因為協商易於使人們聯想到「理性的討論」，而不是聯想到求贏策略的運用、力量的折衝、利益的交換。如果波以爾對於

惠更斯的回應和兩人的競爭可以用「交涉或談判」來描述，那麼他們究竟對於對方施用了什麼贏家的策略？交換了什麼利益？他們各退一步以取得共識嗎？雖然一開始波以爾不承認異常懸置現象，但是惠更斯堅持不讓步，他再重造一臺新機器，仍然產生一樣的經驗，因此堅持他的機器比英格蘭的更好。波以爾和虎克不得不再地試驗和調整自己的機器，最後終於做出了異常懸置。這個史實證明的是什麼？惠更斯與波以爾協商達成共識？還是惠更斯堅持到底，波以爾在實驗現象的生產之下，不得不承認異常懸置是事實？當然，波以爾並沒有在自己的假設和理論上讓步，他堅稱：「異常懸置並未『拒絕我們先前的』彈力『假設』，而是加以補充。」(p. 255) 從謝平和夏佛的描述中，我也完全讀不出任何「談判」、「交涉」、「利益交換」的情況，只有波以爾和惠更斯均堅守自己對於實驗結果的認知評價，在面對一再重現的經驗時，不得不接受事實（共同的經驗模型）。但是，即使接受事實也不代表他們會放棄自己的理論假設——因為理論不足以被證據決定。

同樣的歷史敘述，本書卻讀出與謝平和夏佛完全不同的歷史判斷。為什麼謝平和夏佛要作那種充滿毛病的詮釋？答案已經很明朗：他們堅持把這段歷史塞入強方案的硬定盒子內。

最後，一旦我們深入地追究他們的隱然信念時，這套技術反向地證明了他們並不真正相信歷史事實是被約定俗成的；否則，他們為什麼要提出一個違反研究波以爾和霍布斯的科學史家與哲學史家的共識和成規的觀點？也不真正相信政治權力和更多盟友可以使一套知識和方法論成功；否則他們為什麼不迎合科學社群的喜好？科學社群不是更有權力嗎？還是他們打從一開始就不想追求成功？更甚者，他們不相信科學知識問題的解決是更大政體

的一部分，也不相信科學知識的問題就是社會秩序的問題；否則，他們為什麼不寫一本英格蘭王政復辟的歷史，把霍布斯和波以爾的知識爭辯寫成復辟歷史下的一章？他們隱然相信的是：他們發現了一個不是約定俗成的歷史事實：波以爾對泵浦長期、持續的改良，是為了回應霍布斯的批評；他們隱然相信的是：他們對歷史事實的揭露，可以挑戰其他科學史家和科學家的同盟霸權，而且可能成功；他們隱然相信的是：科學家其實是把知識社群內部秩序問題的解決，投射到或想像成更廣大社會的問題之解決，而且知識社群內部的秩序問題，是由科學本身的爭議（托里切利管的空間）、而不是社會爭議或社會秩序的問題而產生的。因此必須先獨立地討論科學內部的爭議，再「設法」連結到社會和政治秩序上，這一點也可以從他們的章節安排看出來，波以爾的機器、霍布斯的理論，分別被安排在導論後的頭兩章，王政復辟被安排在第七章——結論的前一章。

SSK 的反身性原則確實是一個有力的原則，它讓我們看到了 SSK 本身在反身檢驗之下的不足；它也證明了 SSK 的學者們並沒有認真地對待這個原則。

伍、為什麼訴諸於認知評價的因果說明更好？

本書沒有反對反身原則和因果原則，也沒有反對不偏倚原則。我同意我們應該對成功與失敗的理論保持不偏倚的態度。回憶孔恩的〈發現的邏輯或探究的心理學？〉(Logic of Discovery or Psychology of Inquiry?)一文，孔恩反身地應用他的典範理論和不可共量性到波柏的理論與他自己的理論之爭議上，孔恩說明當波柏學派的追隨者面對他的理論之挑戰時（產生異例），會不斷修正理論來回應（例如拉卡托斯所謂的精緻否證論、甚至拉卡

托斯自己的研究方案方法論)，這和一個舊科學典範的支持者面對異例和新典範的挑戰之反應是類似的。進一步地說，波柏學派的科哲典範與他的科史哲典範分別有不同的目標、設定的問題、不同的概念架構和不同的評價標準，兩者是不可共量的。孔恩的《革命》一書和他的反身應用體現了不偏倚原則。因此，孔恩的科史哲理論確實已經蘊涵了不偏倚原則和反身原則。那麼因果原則呢？

當我們問科學革命為什麼完成？新典範為什麼成功？原因是什麼？孔恩並沒有提供明白的答案。但孔恩確實說：「如果想發現科學革命是怎麼有結果的，我們不但要探討自然與邏輯的影響，也要知道科學家社群內的各個特殊團體的勸誘說服技巧。」（Kuhn 1962[1970]: 94）社會建構論者發揮了後一句（例如《泵浦》對於波以爾的種種「勸誘說服技術」之揭示），卻失落了前一句。該句顯示孔恩認為探討科學家對於自然現象的研究（包括實驗成果）和理論的邏輯是重要的，對於理論變遷也會有所影響——換言之，仍然保留了理論評價和認知判斷做為理論變遷的原因（第四章已經全面發展這個觀點）。儘管科學家對價值有各種不同的應用、權衡和解釋，卻不妨礙他們可以形成「哪一個理論較好」的共識！這是本書接受的對於科學發展和變遷的因果說明模型之一（陳瑞麟〔2005a〕已經提議一個初步的「多元原因模型」）——這種說明在強社會建構論的著作中完全消失了。

如果我們考慮更多科學史的案例，就可以發現社會約定論的利益和結盟說明是何等地侷限，它尤其無法面對一個新理論在被提議之時，總是面對一個既成、發展成熟、盟友眾多、占據一切體制優勢的老理論。就拿經典的哥白尼天文學取代托勒密天文學為例，這整個取代過程若從 1543 年《天體運行論》出版算起，到

1682年牛頓的《自然哲學的數學原理》為止，長達一百三十年。它面對的不只是亞里斯多德—托勒密這個在十七世紀前壟斷一切的理論家族，甚至在十七世紀末仍然保有學術體制的優勢，它也面對十六世紀末誕生、十七世紀中廣受耶穌會士接受、政治和宗教結盟廣泛的第谷理論版本之競爭（第四章）。如果以結盟來看，第谷不僅是德國皇家天文臺的首席天文學家，也廣泛得到耶穌會士的支持，勢力在十七世紀上半葉最為龐大，同時能調和地球中心論和太陽中心論的對立，為什麼伽利略不願接受第谷的理論？更重要的是，為什麼身為第谷的助手克普勒也沒有接受？甚至，如果結盟很重要的話，同樣身為哥白尼天文學支持者的伽利略和克普勒卻反而互相疏離？利益理論如何說明這些歷史資料？

社會約定論可以辯護說，利益說明只能應用到集體變遷，不能應用到個體選擇。因此，利益說明當然不能說明伽利略或克普勒個人的選擇，它只能說明從托勒密到哥白尼天文學的轉換，是因為利益轉換了。可是，這樣的辯護失去了一個理論家族在發展過程中，總是有許多個別的科學家願意投入它，它才能壯大，才能顯出它的利益，以便提供給新來者。事實上，我們可以看到SSK和社會建構論者處理的歷史案例，都集中在互相競爭的新理論之間，為什麼其中一個可以勝出？例如霍布斯和波以爾都互相競爭要取代「自然厭惡真空」這亞氏學派的老典範，《泵浦》暗示波以爾方案的成功是因為它比霍布斯的方案有更多更有力的盟友（包括政治盟友）。即使該案例是如此，這個說明模型也很難適用於其它科學史的案例，例如笛卡兒和牛頓的競爭，或者牛頓和萊布尼茲的競爭。這些自然哲學家 and 理論的背後，有什麼樣不同的生活形式？他們又分別如何結盟以對抗敵手呢？

沒有錯，笛卡兒理論在十七世紀下半葉和十八世紀上半葉曾

很有勢力，但笛卡兒本人早已身亡而無法目睹；如果不是笛卡兒學派的支持者對於他的理論作了「好理論」的價值判斷，大概沒有人會投入發展他的理論——因為笛卡兒未必能帶給他們什麼利益。牛頓的理論在十八世紀後發展成一股強大的學術勢力，取代笛卡兒，但那是因為牛頓已經在科學上成功，他已經出版《自然哲學的數學原理》，準確地說明許多天體現象，建立一個簡潔的公式來駕馭繁複的自然現象，統一天體與地面，後來更精確預測哈雷彗星的回歸——換言之，牛頓理論幾乎滿足了一切「好理論」的標準（陳瑞麟 2004）。但是，牛頓在被哈雷「發掘」之前，只是一位沒有什麼政治社會背景的數學教授，當他的天文學取得巨大成功之後，才為他帶來龐大的學術和政治利益（1690年代出任國會議員，後又被任命為皇家鑄幣廠的主管，相當於現行中央銀行總裁），使他在與萊布尼茲的微積分專利鬥爭中，取得壓倒性的優勢（Hall 1980）。可是，在這個案例中，勢力與利益是好理論和其他科學家價值判斷的結果，不是原因，雖然它們確實會為一個理論的持續擴張提供社會性的資源。再看化學革命的案例，拉瓦錫（Antoine-Laurent Lavoisier）與普里斯利（Joseph Priestley）互相競爭（普里斯利支持燃素理論，但燃素理論並不是一個像亞氏理論四元素說那樣發展很久的老典範），他們之間又有什麼樣的社會利益之衝突？拉瓦錫於法國大革命時被送上斷頭臺（政治上失敗），但並不妨礙他的科學理論成功。社會約定論又該如何說明這些案例呢？

上述都是科史哲傳統討論眾多的經典案例，強社會建構論很難廣泛、精確、一致地把「利益說明」應用到這些案例上。至今我們也從來沒有看到強社會建構論的支持者挑戰這些經典案例。若是如此，這也顯示出社會約定論和利益說明的侷限。對於利益

理論的一個可能的辯護是：利益說明包含個人的價值判斷。亦即個人判斷是好的理論即是對他有利的理論。可是，這種辯護方式已經改變了「利益」一詞的意義，而且貶抑「認知價值」可能擁有的「理想性」意涵，也違反了「社群共同利益」的原始主張。它終究不能給予認知價值一個內在、基本的地位，而且不能說明科學發展的微變遷現象。

從科學史的多數案例可以看出，經過時間的發展，互相競爭的理論之中，總有一個能顯示出更多優點、發展出許多改良的理論版本，構成一個大家族，自我證明它們比對手更好（更具說服力、更簡潔、更豐富、更廣泛、更一致、更可落實），經過許多科學家的認知判斷和評價之後作選擇，終於脫穎勝出。即使不同的科學家，對於這些價值標準的權重、應用和解釋不同，但只要他們判斷一個理論是好理論，願意投入發展它，就為這個理論日後的可能成功添加籌碼（例如伽利略和克普勒選擇哥白尼理論）。一旦有越來越多的科學家投入一個理論家族的陣營，它就構成一股勢力，形成體制上的優勢，能夠提供利益給新來者，影響他們的認知判斷，進一步強化該理論家族的競爭力。此時，利益在某種程度上是它的持續生存和擴張的原因，更精確地說，它是一個理論家族發展的社會資源，偶然被科學家取用，但利益並不是理論和理論家族發展的關鍵原因，利益的效果仍然必須透過個別科學家的認知判斷來顯現。

第四章已提議一個因果機制，以理論化技能（理論潛能）、認知評價、經驗拘束、社會資源與社會拘束四種因素，構成一個架構以做為理論發展與變遷的動力模型。這個因果說明的動力模型可以輕易被擴張到實作和實驗上，亦即一個能應用到實作和實驗的一般動力模型包括四種因素：實作技能（模稜技能和實驗技

能)、實作評價(模型評價與實驗評價)、物質拘束(客體拘束和工具拘束)、社會資源與社會拘束。其中,模釋與模型是理論與實作的媒介者,它們既有理論特性也有實作特性,又實驗有其特有的「工具拘束」。讓我們再次詳細說明如下:

(1) 行為人的實作技能使他們執行並發展出某些模釋和實驗,以供其他行為人作評價和選擇。

(2) 行為人總是根據多元的價值標準對既存的模釋和實驗作判斷,並決定要選擇哪個理論模型或實驗模型來應用並發展它們。

(3) 實作與實驗受到的物質拘束包括被研究的對象天性拘束與使用來研究對象的工具或裝備的拘束,後者特稱為「工具拘束」,它也是一種物質拘束。兩者都限制了實驗的資料模型的可能性,亦即不是一切資料模型都可以被建構出來,如此也拘束了行為人的認知判斷——它不能是任意的,也不能被社群成規凌駕(override)。

(4) 社會資源包括潛在的利益、概念與文化資源、工具與儀器資源、技術資源、資助和金錢資源、意識型態資源等等;有時,社會資源會反過來表現出消極和抑制面,抑制了某種理論或實作的發展可能性,此時我們稱作「社會拘束」。工具、儀器和技術資源主要影響科學實驗的發展,當然它們也可能透過實驗而影響理論的發展。

現在,讓我們問:這個模型能夠反身地應用嗎?它能說明SSK或社會建構論的成功嗎?當然它能,而且它可以提出一個比起利益說明模型更能配合更多歷史資料的故事(假說):正因

為 SSK 的創建者有能力把維根斯坦的哲學洞見理論化、精緻化，使得 SSK 在相當程度上能滿足一些好理論的判準，使它與科學的歷史發展和科學與社會關係的資料模型之間，具有相當程度的結構對應性，能說明那些資料和資料模型，能吸引新生代投入發展它，也能夠通過接受共同資料模型的人文社會學者的認知評價，而在學術體制上占有一席之地，產生有利益的社會資源。結果，接受和應用強方案和 SSK 作研究，可以得到學術利益（可以被接受發表、在人文社會學界占有位置），進一步吸引更多新生代投入，修正它，使它更精緻、更能面對對手。所以，SSK 和社會建構論成功。這個故事也是一個因果說明，但利益主要扮演資源和結果的角色，而不是全部原因；認知評價才是主要原因。利益頂多提供資源，創造一個有利環境，使得一種特定的認知評價和判斷結果得以「繁衍後代」。

這個說明故事拒絕「對稱原則」和與之不可分離的「利益說明」的優先性，並重新召回「認知評價」在因果說明中的角色。它也可以進一步反身地說明競爭的情況：假定在英國與 SSK 競爭的理性主義科哲（波柏的批判理性論和拉卡托斯的歷史理性論）相對說來是失敗的。但是它失敗不是因為結交盟友不夠多，也不是不能帶給追隨者學術利益。根據我們的故事，波柏科哲之所以失敗，是因為它不符合科學史家、科學社會學家對於科學歷史的共同資料模型（運做為經驗拘束），進而無法滿足他們的認知評價。相反地，波柏科哲描述的科學家冒險後成功的英雄形象，相當符合科學家的自我形象，也對傳遞「正面」的科學形象有利。所以，波柏與科學家有共同興趣和利益，但這種共同點並未能支持波柏學派持續壯大，因為科學家畢竟並不研究自己，儘管有共同利益，他們無法提供足夠的認知資料來幫助波柏學派的

理論，使得研究科學活動的科學史家和科學社會學家在根據經驗資料（相近觀點的科學史著的互相引用和大量繁殖）的認知判斷下，傾向不選擇波柏的理論。再者，科學家也無法根據共同興趣和利益，在人文社會科學的學術任用上支持理性科哲的研究者，因為他們並不是研究科學的人文社會專業研究者，他們受限於「專業自主」的科學學術體制——它擁有墨頓式的「無利害考量」之精神——這是理性主義科哲發展受到的社會拘束。

陸、重新說明霍布斯與波以爾的競爭

上述的因果說明模型，可以用來重建霍布斯和波以爾的競爭故事嗎？

讓我們先問一個問題：如何指認實驗社群？如何判斷哪個科學家是實驗社群？當然，《泵浦》似乎提供了明確的答案：接受實驗事實的地位。但是，如果實驗社群是相當於使波以爾成功的同盟，這也等於是在問：波以爾的盟友是誰？為什麼他們是波以爾的盟友？為什麼實驗事實的接受是盟友的判準？為什麼不是共同的理論假設？更具體地來說，實際製造波以爾氣泵的虎克是他的忠實盟友，為皇家學會的事實可靠性辯護的史普瑞特（Thomas Sprat）無疑也是，還有跟霍布斯在幾何上嚴重衝突的瓦立思。可是，整個皇家學會都是波以爾的盟友嗎？霍布斯雖然被排除在外，但謝平和夏佛自己指出霍布斯在皇家學會裡仍有朋友和許多崇拜者，甚至新王查理二世對霍布斯很好（Shapin and Schaffer 1985: 132-133）。既然他們堅持政治與知識不能分開看待、人格評價和哲學綱領也合而為一，那麼為什麼霍布斯的政治盟友力量不夠？為什麼人格評價也不好的瓦立思和波以爾反而可以結交更多盟友？（pp. 136-137）謝平和夏佛並沒有給我們明確的答案。

當然，在結論處他們說並沒有回答「為什麼波以爾成功？」這個問題。

再考慮接受實驗可以生產事實，也謹守爭論規矩，但在假設上與波以爾爭辯的耶穌會士萊納斯（Franciscus Linus, 1595-1675）和劍橋的柏拉圖主義者摩爾（Henry More, 1614-1687），他們為什麼不是波以爾的盟友？如果同盟的判準是「接受實驗能產生事實、接受爭辯的規矩」等——這是波以爾努力去維護的界線。為什麼摩爾主張的就是另一套生活形式？萊納斯呢？再來，有能力不在波以爾和虎克監督下自行製造泵浦的惠更斯，當然也接受波以爾的全套實驗生活的規矩，而且還生產不同的事實，支持不同的假設，那惠更斯究竟是不是波以爾的盟友？惠更斯在推廣泵浦和泵浦實驗上居功厥偉，他究竟算不算是「實驗生活」的同盟之一？如果不算，令人難以置信；如果算，他的機器、實驗、事實和假設（惠更斯支持空間密實論），又和波以爾有強烈的競爭關係。更嚴重的問題是：惠更斯和英格蘭的復辟政治有何關係？再看日耳曼的蓋瑞克發明的氣泵，與波以爾的機器不同，他與波以爾互相批評，所用的理由很像（p. 281），問題是：蓋瑞克為什麼也不算是「實驗社群」？實驗社群就只是波以爾的社群，要全盤接受波以爾認定的每一個事實、規矩和社會關係，才算是實驗社群？這樣一種資格狹隘、條件嚴格、封閉的小社群又要如何談得上擴大結盟？又要如何成功？

我認為，針對上述問題，《泵浦》的理論架構和「同盟說」很難回答。如果從本書的「理論版本」和「認知評價」的觀點來看，問題都可以迎刃而解。波以爾、霍布斯、萊納斯、摩爾、惠更斯、蓋瑞克等每位自然哲學家都有自己的理論版本，彼此在不同的議題上互相對立、批判和競爭，競相吸引下一代的科學家接

受自己的理論，壯大自己所屬的家族或發展成新家族。其中，波以爾、惠更斯和蓋瑞克有工具和實驗的物質實作，可以生產新事實來幫助他們的理論版本，霍布斯、萊納斯和摩爾的版本則缺乏物質實作來支持，霍布斯更拒絕整個物質實作的合法性。問題是，泵浦和實驗可以用來分門別派嗎？這工具是為了解決「真空是否存在」的理論問題，它與使用它來進行的實驗，在十七世紀的脈絡下，是依附在理論上（與起電機和萊頓瓶不同，見第十章）。泵浦可以強化理論版本的競爭力，但是早在它產生新現象之前，已有各種假說和理論在互相競爭，所以泵浦一開始就扮演一個檢驗和裁決競爭假說角色，它幫助修正、強化、精煉既有的理論版本，繁衍新的版本（類似望遠鏡在天文學革命中的角色）。即使波以爾強調泵浦生產實驗事實，並建構一套方法論來強調事實的角色，這仍然是為了支持他的「空氣彈力」假說（理論版本）。但謝平和夏佛為了強調「實驗社群」這個概念，有意地漠視理論競爭的整個過程。

如果從理論競爭的觀點來看，要「分門別派」的話，需從理論版本家族入手。根據「概念、理論的家族相似性」這內部條件和「對立、批判、啟發與產生」這三個外部條件，霍布斯自成一家，惠更斯則屬於笛卡兒家族（雖然霍布斯和笛卡兒家族都支持機械論，也都主張空間密實論，甚至都支持幾何演繹的科學方法，但霍布斯和笛卡兒互相批判、對立與競爭）；萊納斯和摩爾同屬教會自然哲學家族（堅持目的因、反對機械論，摩爾和霍布斯也對立和互相批判）；波以爾和蓋瑞克在此爭議上是同一家族（同屬真空論，雖然波以爾對「真空」重新定義，拒絕他談的是之前的真空論者的形上學真空，但波以爾的觀點可以看成是「真空論」的一個變種〔版本〕，因為他不接受惠更斯的另一種流體

論，但他承認空氣可以被抽空，並提出「空氣彈力」的假設來說明水銀柱的高度，只是重新定義「真空」的概念，他的背景知識仍然是微粒子哲學——一個形上學的假設；¹⁴ 雖然波以爾和蓋瑞克互相批評，但重點不在反對對方的理論假設，而在於指責對方的機器效能不好，不能把空氣全部抽光）。又波以爾的「空氣彈力」觀念和假設與虎克的「彈簧彈性」理論顯然有關，但《泵浦》一書完全沒有追蹤此兩人的理論關係。

如何為霍布斯與波以爾兩個版本的互相競爭提出一個因果說明？為什麼波以爾的版本成功？請注意，我們不是問波以爾的實驗方法、社群或生活形式為什麼成功——這個問題很難有精確的意義和範圍。「實驗的生活形式」是個廣泛到失去精確意義的概念，實驗社群則認定困難，實驗方法牽涉眾多，不能單由波以爾開始（如何能不談培根和吉伯特？），也不能不考慮波以爾之後的發展。如果一個理論版本成功的條件是它可以產生一個新家族，或者壯大自己所屬的家族，則確實霍布斯失敗了而波以爾成功了。那麼波以爾成功的原因是什麼？

泵浦這工具和使用泵浦執行的實驗，確實扮演很重要的角色——它們創造新經驗（新事實），強化波以爾的實作技能，使得後來的自然哲學家在個人的認知評價上，判斷波以爾的理論、實驗是值得投入發展的，例如惠更斯認為波以爾的工具值得複製，實驗值得發展，因此將泵浦推廣到法國。牛頓則支持波以爾和虎

14 我們不能把波以爾的實驗哲學理解成現代意義的實證論，完全拒絕形上學假設，證據之一是波以爾支持微粒子哲學，證據之二是波以爾在燃燒現象上支持一種微粒子理論，類似後來的燃素論，而燃素是一種看不見的、假設性元素。波以爾的微粒子哲學，參看 Alexander 1985。謝平和夏佛似乎沒有考察波以爾的微粒子哲學對他的空氣彈力論之影響。

克的彈力理論，將之納入他的普遍力學內；皇家學會的下一代郝斯比（Francis Hauksbee, 1660-1713）使用波以爾的機器和他自己的起電機（見第十章）執行更多新奇實驗（如電光現象）等等。尤其與霍布斯比較之下，波以爾不僅有建構假說來說明經驗現象（模釋）的技能，也有設計和執行實驗的技能；反觀霍布斯僅能理論化而已。我們可以不偏倚地看待波以爾和霍布斯的理論化（模釋）技能和理論潛能，但不能不說霍布斯完全拒絕發展實作技能——這使霍布斯無法產生新經驗（即使他不承認波以爾的經驗是事實）。後代的科學家會如何評價他們兩人的理論版本？儘管我們可以說培根的經驗方法論和笛卡兒的幾何演繹方法論在十七世紀時仍然勢均力敵，但是，對於工匠與新工具可能在理論說明時扮演的角色，一個嶄新的評價態度已經崛起，早在伽利略的著作中透露端倪（見前一章）。霍布斯並沒有看到這個趨勢，也使他的版本與波以爾的方法論競爭中落居下風。如同前一章已經爭論，在理論版本的競爭中，往往包括方法論的競爭。方法論的競爭就蘊涵了評價標準的競爭，具有強大理論潛能的版本，往往也具有強大的方法論潛能，使其得以影響後代科學家的認知評價。波以爾建構的實驗方法論，強調幾項認知價值：能產生新經驗是優點、事實對於假說的中立性、經驗和事實的公共性（見證）、實驗敘述的德性（具體〔輔以圖解〕、詳盡、信實、謙虛〔謹慎〕等）、爭辯的規矩。¹⁵ 儘管霍布斯不接受、甚至拒絕這些認知價值，他自己堅持的認知價值無法對下一代科學家產生更大的吸引力，更重要的是，他拒絕面對泵浦創造的新經驗，使他

15 它們是否都是波以爾發明的，值得歷史學家考證。但我認為不是每一個認知價值都是波以爾發明的，例如「詳細圖解」是自然史的老傳統。「見證」則借用自法律，可能和曾任大法官的培根有關。

無法創造出具競爭力的新價值。

泵浦創造新經驗的同時，也為所有競爭的理論版本創造新的經驗拘束——互相競爭的假說都必須能說明這些新現象——即使過去已經建立的「定律」也不能凌駕，例如傳統的亞氏學派和教會哲學家，儘管有許多「自然憎惡真空」的經驗（例如把瓶水從小孔中漏出，空氣即以氣泡形式進入瓶內），這些經驗構成他們的共識，猶如成規。但是，他們仍然不得不面對新經驗，因為新經驗對他們構成新拘束，他們不能以過去的共識或宣稱「自然憎惡真空」是一「成規」來輕易打發它們。霍布斯誠然對新經驗無所畏懼，他的理論技能使他有能力一一克服這些經驗拘束，並且製造許多波以爾的理論版本不得不面對的難題。但是，霍布斯拒絕為他的版本引入實作潛能，也使他對一些新的經驗一無所知而無從回應，例如波以爾和惠更斯熱烈爭論的「異常懸置」現象。這種置身事外或被排除在外的窘境，使得新經驗對他產生一個更大的拘束力，抑制其理論版本的後續發展。反觀惠更斯熱切地發展其實作技能，使他得以和波以爾不斷競爭，並產生波以爾不得不面對和回應的「新事實」，因此增加自己「空間密實論」版本的理論潛能，也強化笛卡兒家族的競爭力，一直到面對牛頓時仍然毫不遜色（當然，這是另一個主題的理論版本間的競爭了，請見陳瑞麟〔2004〕）。

最後，泵浦為波以爾的理論版本之發展帶來了大量的社會資源：給它的建立者名聲、信譽和社會資本。泵浦是一個可以對王公貴族展示的新玩意，在創造社會資源上，比起霍布斯的無形幾何推論更具體、更有力、更鮮明。這些社會資源則反過來對其對手霍布斯構成社會拘束，而霍布斯的理論無法突破它們。從這一切，我們可以結論說：波以爾的版本自然（by nature）會贏。



第六章

認知與價值的優先性

所謂「認知與價值的優先性」是指在說明事實的形成與科學的發展上，「認知與價值」範疇相對於「利益、成規、權力、同盟、網絡」等社會範疇而言，具有優先性。這不是如傳統科哲般排除後一組範疇在說明科學發展上的因果效力，而是認知與價值具有核心、主導、內在的地位，透過認知與價值的中介，社會因素才能對事實的形成與科學的發展，產生因果影響。

這個觀點引起一個問題：我們是否預設「認知—社會」、「事實—價值」、「自然—社會」、「描述—規範」、「實在—理想」、「真實—虛（建）構」、「客體—主體」、「經驗—理論」這一系列有爭議的二分法？沒有錯。本書接受「認知」、「社會」、「事實」、「價值」、「真實」、「理想」、「描述」、「規範」、「客體」、「主體」這些傳統基本範疇的區分，但主張它們彼此間並不是截然分明的，我們總是可以模型來媒介其間，構成程度性、光譜性的連續範疇。在連續之間，我們仍然可以用明確的典型或原型來區分兩者，而且兩個不同的範疇原型之間以某種複雜的方式或機制彼此互動。必須強調的是：本書並未主張一個大二分法：「認知、事實、自然、描述、真理、實在、客體、經驗」在一邊，「社會、價值、規範、建構、理想、主體、理論」在另一邊。相反地，所有這些不同的範疇，乃是針對不同的主題或向度而設定的基本區

分，每一對範疇構成一個存有論的向度，幫助我們掌握繁複多樣的世界。如同導論已指出對於科學的後設分析，不能陷入傳統的「發現—證成」二分脈絡中，科學活動有發現、結構、發展（發育或發生）、變遷、社會環境、規範這些向度，同時出現在不同的脈絡的不同案例中。同樣地，「認知—社會」、「事實—價值」、「真理—建構」這些二元範疇代表研究世界的不同向度。每一對範疇之間並不是互相隔離和排斥的，相反地，它們都可以被組成有意義的新範疇：例如「認知事實—社會事實」、「認知價值—社會價值」、「認知真理—社會真理」、「認知建構—社會建構」等等——爭論這些範疇和組合範疇的意義是本章的主要課題。

行為者網絡理論是一個企圖消除（eliminate）上述一系列二分法、並提出「行為者網絡」來取代它們的 STS 理論，這個理論的主張能成立嗎？

壹、行為者網絡理論

社會建構論和科學實在論嚴重對立，並曾在 1996 到 2000 年間發生大規模的「科學戰爭」（science wars；陳瑞麟 2005a）。這兩種立場其實共享一個相同的二分架構「自然實在 vs. 社會建構」，而且分別站在對立的兩極，否定對方一極的存在，而且批判對方的觀點。行為者網絡理論也同樣批判「社會建構論」，但是它的出發點與科學實在論相當不同，它挑戰「自然實在 vs. 社會建構」這個二分架構，就此而言，它也反對科學實在論。

行為者網絡理論家反對科學知識和實作是被社會建構的，因為這樣的主張預設了「社會」這個先驗的範疇，他們堅持「社會」這個範疇同樣也是被建構的。如果用社會來說明科學知識、

科學實作、技術與技術實作和人造物，仍然有一種社會與科技的不對稱，他們認為應該尋求一個新的起點，來同時說明科技與社會的互相建構——科技與社會都被鑲嵌在一個共同的網絡中，這個網絡有許多行為者的互相連結，才同時建構了一個特定的科學與一個特定的社會。這些行為者包括了過去被稱作「主體」的人（human），也包括被稱作「客體」的非人（nonhuman，自然和物質）。因此，行為者網絡理論修改強方案的「對稱原則」而成為一種「超對稱」或「一般對稱」：社會與科技物質皆是網絡的產物，要同時描述人與非人的行為者，並用同樣的關係性架構來處理它們。這也是意謂著人和非人的超對稱性：人和非人都是行為者（actor），也都是（被）行為者（actant）。在網絡的形成之初，沒有主動主體或被動客體之區分。我們思考架構中強烈地直覺人是主動的主體、物是被動的客體，其實是現代社會（modern society）這個巨大的行為者網絡之產物。

為什麼人和非人都可以同時是行為者和被行為者呢？拉圖（Latour 1999b: 174-215）以一個很生動的例子來解釋。他指出，唯物論者會說「鎗殺人」；而法國左派社會學的人則會說「不是鎗殺人，而是人殺人」（鎗只是中立的工具）。但這兩者都偏於一面。對拉圖來說，當一個人手上有一把鎗，並用它來殺人時，他變成一個「鎗手」。而「殺人」這件行為，既不只是鎗手意圖的結果，也不只是鎗開火的結果，而是兩者的連結或合成（composition），人和鎗都是「行為者」或「作用者」（actor or actant）。因為此鎗手已不再是原來手上無鎗的人（變成「殺人犯」）；鎗也不再是原來待在鎗套裡的鎗（變成「兇鎗」），這種轉變就是行為者網絡理論家所謂的「轉換」（translation）。在英文裡 actor 這個詞通常只用來指人，所以行為者網絡理論家也用了

另一個字 *actant* 來指非人。但人和非人都可以是 *actor* 和 *actant*，因為它們都被連結在一個密不可分的網絡中。

在臺灣，一提到行為者網絡理論，就會讓人聯想到拉圖，反之亦然。不過，行為者網絡理論其實是個理論家族，是 STS 裡的法國品牌。除了創建者法國社會學家卡雍（Michel Callon）外，英國社會學家洛（John Law）也支持這個理論，並發展其版本。然而，以拉圖的版本在臺灣最受重視，也有不少倡議者和應用者，例如雷祥麟（2008, 2010a）、林文源（2007, 2010）、邱大昕（2008）、邱文聰（2010）等臺灣學者。

拉圖是一位深具原創性的多產思想家，從 1979 年的《實驗室生活》以來至今，出版許多專著，不只把行為者網絡理論發展成一個 STS 的理論，還建立了一套完整的網絡哲學，¹ 包括案例研究、理論與方法論、認識論、形上學和政治哲學。1987 年《行動中的科學：如何追隨科學家和工程師穿越社會》（*Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers through Society*）是行為者網絡理論的方法論，1988 年《法國的巴斯德化》（*Pasteurization of France*）是該理論在科學上的案例演練，1993 年《我們從未現代過》（*We Have Never Been Modern*）開始提出一個人與物連結的存有論，評論《泵浦》一書並重新詮釋波以爾和霍布斯的競爭，1996 年《阿拉米斯或技術之愛》（*Aramis or The Love of Technology*）是該理論在技術上的演練，1999 年《潘朵拉的希望：科學之學的實在性論集》（*Pandora's Hope: Essays*

1 已有哲學家開始研究他的哲學系統，並稱他為「網絡王子」（*prince of network*），例如 Graham Harman（2009），*Prince of Network: Bruno Latour and Metaphysics* 一書。

on the Reality of Science Studies) 是一本論文集，發展其知識論，2004 年的《自然的政治學：如何把科學帶入民主》(*Politics of Nature: How to Bring the Sciences into Democracy*) 提出一套人與物的政治哲學，並對準傳統的「自然」範疇；2005 年《再組聚社會：行為者網絡理論導讀》(*Resembling the Social: An Introduction to Actor Network Theory*) 一方面是一本行為者網絡理論的教科書，另一方面，發展人與物的集結體之概念，並對準傳統的「社會」此一範疇（亦參看林文源 2010: 395）。本章不可能全面探討拉圖的著作和理論，我的焦點配合本章的主題，討論行為者網絡理論說明科學的案例研究、方法論的理論化，以及與事實和價值相關的政治哲學。在討論的文本上，我將集中在《行動中的科學》、《我們從未現代過》和《自然的政治學》這三本著作，並簡單地評論本土學者對於行為者網絡理論的詮釋與應用。拉圖使用許多具體案例來展現他的大理論，本章集中在已有中譯的巴斯德故事和霍布斯與波以爾爭論的再詮釋。

一、案例演練

一個行為者網絡總是同時包含人和非人的行為者，例如科學家、制度、政府、社會大眾、儀器、自然物、記號等全然異質的事物，它們全是在一個網絡中被建構出來的，所以行為者網絡理論也被稱為「異質建構論」(heterogeneous constructivism)：它主張科學知識與技術的建構不單只是由社會（利益）來決定，而是同時由人（社會）與非人（工具、物、被研究的對象）等一起構成一個「異質行為者的網絡」來決定。簡單地說，ANT 其實是一套對一個異質行為者網絡如何建構自己、如何形成、如何擴張、如何演變和瓦解的一套描述的方法——一套說故事的架構或方法。這套方法如何被應用到具體案例上呢？拉圖為人熟知的成

果是針對十九世紀法國微生物學家巴斯德（Louis Pasteur, 1822-1895）如何成功克服牛隻炭疽症的事例，提出一個有趣的描述。

巴斯德是法國微生物學家，有時被視為創造了微生物學（microbiology），對於免疫學（immunology）也很有貢獻。傳統科學史寫說，巴斯德的主要科學貢獻是證明了發酵不是自然產生，而是微生物導致的作用。另一個重大的貢獻是否證了「自發生成」（spontaneous generation）——生物可以在某種自然環境中由無生物自動生成——的學說。不過，使巴斯德聲名大噪的事蹟是在十九世紀下半葉時，成功地解決困擾法國農人的牛隻炭疽病問題——他製造炭疽病疫苗並使牛隻得以免疫。

科學史記載，十九世紀下半葉，一種怪病襲擊法國的畜牧業，許多牛隻和羊群受到感染很快死亡，使法國農人損失慘重，農人甚至也會被感染。德國的科學家科霍（Robert Koch）首度證明炭疽症是由於一種致病的微生物（今天所謂的「炭疽菌」），而巴斯德是第一位證明炭疽病疫苗確實有免疫的效果。拉圖如何重新述說巴斯德克服炭疽病的故事呢？²

ANT 和傳統科學史說故事的方法完全不同，拉圖使用 ANT 說出巴斯德如何成功建立起一個人與非人的同盟網絡的故事，重心在於巴斯德使用了什麼樣的動作、技術和策略。拉圖說巴斯德有三個主要動作：（1）攫獲別人的利害考量；（2）將支點由弱勢位置移至強勢位置（這使得巴斯德得以控制病菌）；（3）以槓桿來移動世界（把實驗室裡的工作擴張到社會中，或者說把社會實

2 此處只使用拉圖的〈給我一個實驗室，我將舉起全世界〉這篇論文的中譯文。更完整的故事在《法國的巴斯德化》一書。

驗室化)。

拉圖批評 SSK 的利益說明。因為使用這個社會學式的說明預設一個群體有預先存在的共同利益，才會接受一個理論和學說。但是，如何確認這個群體有共同的利益呢？拉圖認為利益不是預先存在的，利益也是可建構的、可以被喚起的。巴斯德的成功在於他能讓記者、公衛學家、醫生、農人都對他的實驗室的工作產生興趣和利害關係，這是第一步。因為一開始牛隻的炭疽病被認為是「地方性的」或「風土性的」，和土地、風、氣候、水、農耕畜牧系統等有關。因此大多數人不以為這個疾病和巴黎的實驗室會有什麼利害關連。巴斯德要成功，必須使多數人理解：炭疽病的解決方法在實驗室中——這是「攫獲別人的利害考量」。

一般科學史都簡單地說，巴斯德製造了炭疽菌的疫苗，讓農人接種在牛隻上，使牛隻得以免疫。拉圖則說，巴斯德其實在實驗室中稀釋炭疽菌，並接種在實驗室的動物身上，然後記錄動物的狀況。他在實驗室中複製了一個小規模的動物流行病。結果實驗室的動物可以抵抗稀釋的炭疽菌，換言之，實驗室複製了可控制毒性的細菌——也就是科學史家講的「疫苗」(vaccine)。這是第二步，將支點由弱勢移到強勢位置。現在，光實驗室能控制細菌、人在實驗室中比細菌還強勢，這仍不夠。沒有人知道出了實驗室後，事情會如何演變？

巴斯德的作法是把實驗室的條件複製到實驗室外的農場中。亦即把實驗室複製到社會中，把社會「實驗室化」。因為他有效地在社會（農場田野）中複製了實驗室的條件以及實驗室的結果，所以他最後成功了。在這整個過程中，他建立起一個龐大的

網絡，動員許多人（記者、公衛學家、醫生、農人）與非人（炭疽菌、牛隻、疫苗，甚至試管等），召喚他們的興趣，引發他們的利害考量，繼而成功把社會實驗室化。

本章要討論的第二個案例出現在《我們從未現代過》，霍布斯和波以爾的爭議故事被行為者網絡理論的描述方法重新詮釋，而且成為「非現代」(nonmodern) 大論述的起點。在拉圖看來，謝平和夏佛「挖掘了霍布斯的科學作品——被政治科學家忽略者……以及喚回了被遺忘的波以爾的政治理論——已被科學史家忽略了……波以爾有一個科學和一個政治理論；霍布斯有一個政治理論和一個科學。」(Latour 1993: 16-17) 因為「波以爾創造了一個政治論述，使得政治學被排除，而霍布斯則想像了科學化的政治學，使得實驗科學被排除。」(p. 27) 政治理論意味著主體與社會秩序的發明；科學則意味著客體與自然秩序的發明。「換言之，他們正發明了我們現代世界，在這個世界中，由實驗室所媒介的事物表徵永遠地與由社會契約所媒介的公民表徵分離。」(p. 27) 在處理霍布斯與波以爾各自的社會與自然理論時，謝平和夏佛成功地保持了對稱。然而，對這個歷史爭議的意義之最終解釋，他們卻往社會的一邊偏斜：「霍布斯是對的。」

拉圖提出異議：「不，霍布斯是錯的。」(Latour 1993: 26) 既然霍布斯和波以爾兩人都同時提出了各自的科學和政治理論，為什麼解釋的天平卻要往霍布斯的方向傾斜？這正是因為：「霍布斯和波以爾的後繼者提供了我們現在慣用的資源：一邊是社會力與權力；另一邊是自然力與機制。」(p. 29) 拉圖要求我們對稱地看待霍布斯和波以爾的工作：他們一開始所面對的，只是一個整體，沒有主體與客體，也沒有自然與社會的區分。他們也試圖處理這一整體，只是各自有了不同的強調，公民與事實、國家與自

然的區分才開始浮現。

拉圖主張我們不應該如此看待科學：亦即已存社會中的一群霍布斯的主體們協商著要不要同意「是否波以爾的空氣泵浦產生了事實？」相反地，現代科學的起源是一個大網絡，是一群概念、記號、實驗科學家（人）與空氣泵浦、實驗室、技術（非人）的互動，形成了一個充斥著異質成分的網路，每個成分（不管人或非人）都是「行為者」，共同建構了現（近）代科學（modern science），甚至人類現（近）代文明。

霍布斯與波以爾的爭論的重新詮釋，只是《我們從未現代過》一書對於「現代性」（modernity）如何形成的大論述和重構的起點。如同聳動書名顯示拉圖企圖爭論我們從未現代過，所謂的現代的終結並朝向後現代其實都不過是「非現代」而已，因為不管是前現代、現代或後現代文明都是無所不在的雜種物（hybrids）、準主體（quasi-subjects）、準客體（quasi-objects）的異質網絡，即使經過霍布斯（針對主體與社會）和波以爾（針對客體與自然）的純化工作（purification），一個人只要超對稱（super-symmetrically）地看待客體與主體、自然與社會兩邊，就可以看到異質網絡始終起著作用。然而，這整個「現代性」的大敘事已超出本書的範圍，我將止於此而不深入追究。

二、網絡描述方法的理論化

這個說故事的方法在《行動中的科學》一書被精煉和系統化，拉圖在該書中提出七條研究科學行為的方法學規則：

- (L1) 我們研究建構中的科學，而不是科學或技術的產品。
- (L2) 決定一宣稱的主觀性或客觀性，一機制的效率或完

美與否，不是從它們的固有性質（intrinsic qualities）上尋求，而是從它們後來遭到其他人怎麼對待來尋求。

（L3）爭議的解決是自然表徵的原因，而非其結果。所以，不能使用自然來說明爭議如何解決。

（L4）爭議的解決是社會穩定的原因，所以也不能使用社會來說明爭議如何被解決。必須對稱地考察人與非人的資源。

（L5）我們必須把科技構成的各種行為者視為未判定的；每次一旦內外區分被建立之後，我們應該同時研究兩邊。

（L6）面對不理性的控訴，我們既不是考察已被打破的邏輯規則，也不是考察什麼社會結構，而是注視觀察者移位的角度和方向，以及網絡被建立的長度。

（L7）一旦網絡被研究後，還有什麼東西沒有說明的，我們才開始談認知因素。

這七條規則是行為者網絡理論的系統化，也可比照強方案SSK式的方法論般，視為行為者網絡的研究方案。《行動中的科學》一共有七章，每章討論一條並加以展開和詮釋。第一條規則聲明一位科技與社會學家（或者採用行為者網絡理論的研究者）應該研究「建構中的科學」，問題是要如何開始？要從何時開始？拉圖使用人類學家的研究態度，要求研究者對於「什麼構成科學要有盡可能少的觀念」，選擇從爭議（controversies）開始總是最好的入口（Latour 1994: 7），而且「入口的選擇重重地依賴於好時序（good timing）」（Latour 1994: 2）。拉圖在書上「塗鴉」，畫出幾張兩面門神（Janus）的圖片，透過他們的口說出一系列觀點的對比：

研究已建構的科學	研究建構中的科學
R1. 直接掌握事實	M1. 剔除所有無用的事實
R2. 就掌握最有效的機器	M2. 決定效率應該是什麼
R3. 一旦機器開始運作，人們將被說服。	M3. 當所有相關的人們被說服時，機器將開始運作。
R4. 當事物是真的時候，它們成立。	M4. 當事物成立時，它們開始變成真。

已經決定從爭議開始，拉圖展示如何追隨爭議兩邊的科學家 and 工程師、如何解決爭議，使得爭議中的某個宣稱變成真理，某臺機器變成有效率的。這個過程是「把朋友帶進來」、「參考先前的文本」、「被後來的文本參考」；然後寫論文以抵抗來自有敵意的環境之攻擊，這包括「鞏固自己的文章」、「制定一系列戰術：上膛、階段化與框架化、資本化」等。這些觀念像是推銷自己產品的「技巧」和「手腕」，沒有任何產品內在品質的評估可言：因為研究者應保持避免對爭議兩邊有先入之見，因此不能從知識和工程的內在品質著手。

第三章證明第三條規則，展示自然如何是爭議解決的結果，而不是原因。這個過程顯現在科學家如何把實驗室生產的銘記（inscriptions；實驗儀器顯示的記號、圖像、圖表、記錄等）建構為事物或真理。拉圖想像一位異議者（dissenter）進入科學家的實驗室時，科學家指著某個圖表要求他自己看，並問：「現在你相信了吧？」拉圖寫道：「面對技術論文影射的事物本身時，異議者要不是接受事實，就是懷疑自己的神智。」（Latour 1994: 70）換言之，異議者（外行人）在科學家的技術之外，不再有異議時，「事實」才變成是事實或自然。

自然不是爭議解決的原因，社會也不是，因為穩定的社會也是爭議解決的結果。爭議的解決是透過「轉換（或轉譯）利益」的過程，也就是說，顯示爭議雙方其中某個宣稱可以創造較大的利益，招募與動員其他人投入己方。拉圖將此過程細緻地分成五個模式或（階段性的）策略：（1）「我想要你想要的」，亦即讓別人知道我可以帶給他利益，如此可以較容易地動員他人；（2）「我想要它，為何你不？」然而，別人已經在既定的道路上，為何要放棄自己的例行路線，改投入你的陣營？換言之，如何說服別人你可以帶給他利益和達成他的目標？必須要有更多理由才能說服別人；所以，（3）「如果你迂迴一下……」，這是向別人展示自己有捷徑可以達成他想達到的目標，但這有兩個侷限：一是達成目標的途徑並沒有被阻礙時，此策略無用；二是很難決定誰是迂迴的原因；如此，需要（4）「將利益與目標重新洗牌」以克服第三個策略的困難，這又有賴於五項戰術：（A）置換目標；（B）發明新目標；（C）發明新團體；（D）使迂迴隱形；（E）贏得原因歸屬的裁決，亦即使大家把改變的原因歸給你。（5）「變成不可缺的」（Latour 1994: 108-121）。

上述是行為者網絡方法論中最核心的轉換理論，也是建構網絡的策略，或者說是成功的科學網絡的建構過程。一旦網絡被建構起來，如何擴張網絡、維持它的生存和延續？這時必須「保持相關團體在相同陣線上」，但是利害相關團體的連結並不是穩固的，這時必須要有更多條件的加入，例如與未預期的盟友結盟、把力量「機械化」（建構「一臺機器」，更精確地說是「一個機制」），使運作得以例行化和穩定。

第五章則展示實驗室內部的事實如何被推廣到社會，成為社會接受的事實。需要的策略是使實驗室的其他人感興趣、創造強

制的通行點，使實驗室變得不可缺；然後要計入聯盟和資源，算算有多少科學家和工程師可以投入，也不要只計入科學家和工程師（要動員更多人資助自己等），如此是應用第五條規則的結果。第六條規則是面對「不理性」的控訴時，研究者應該反省自己的位置和方向，因為「不理性」總是一個已建立網絡的人對正建構網絡中的人發出的指控，兩者的差別不過是網絡的大小和長短而已，因此要對稱地考察所謂理性、精確、邏輯的一邊和不理性、含糊和荒謬的一邊。最後第七條規則把認知因素「放逐到」可有可無的位置上。

這個行為者網絡理論背後有一套複雜、新奇的存有論，臺灣學者頗為受到吸引，也因此，拉圖的思想在臺灣有不少支持者、應用者和詮釋者。特別是林文源把行為者網絡理論的存有論詮釋為複數的「行動本體論」(ontologies-in-practice)，並為它的政治基進性辯護（林文源 2007）。簡單地說，林文源認為 ANT 要研究的是「科技萌生過程」(science in action)，它其實不是一個企圖說明科技產品與社會互動的理論，而是提供一些切入方式與思考方法，它是一種視野。它對科技活動的研究有兩種基本方法：追溯文獻與追溯科技與社會集合體。追溯文獻的方法在一開始不預設文獻中被討論的物與人、事實與說法的區別，「不預設自然與社會、人與非人行動者的任何本質、面向、學科、規模等等，而由行動者在文獻中對其它文獻、行動者的相互定義與作用過程，重新揭開已經被視為理所當然的各種事實是如何被穩定下來，已被認為對的或錯的理論又是如何變成對的或錯的。」（林文源 2007: 71）追溯科技與社會集合體的方法也是一種物質符號學（material semiotics）的方法——把物質「視為關係性構成，而關係亦由這些物所構成的」（p. 73），亦即一個物質是在與其它物

質的關係中被定位，猶如一個符號是在其它符號鏈或符號關係中被定義一樣。這兩個基本研究方法乃是一套「行動本體論」衍生的方法論，或者說此方法論預設一套「行動本體論」（稱作「實作存有論」更好）。³

關於行為者網絡理論的存有論問題，特別是實在這個概念的爭議上，我已在其它文章作了討論（陳瑞麟 2001b, 2007），⁴對於更複雜的概念如人與物的集體、關係性的存在、異質構成、憲法等新奇概念，牽涉眾多，實在有必要另文深入探討。本章只集中檢討行為者網絡理論本身的轉換理論和方法論。

-
- 3 把 ontology 譯成「本體論」是一個不適當的譯法，尤其不適用於行為者網絡理論。因為該理論主張存在事物是關係性的構成，是在實作中變動的，而「本體」一詞會讓人聯想到本來面目、本質、不變的支撐體等涵意。Ontology 其實是研究「存在」的學問，即「有什麼東西」，如此，「行動存有論」可以理解成存在物是在行動和關係中被構成、被轉換、被定義。例如，林文源認為「行動本體論」有三個重要面向：關係性萌生、中介的多樣性與異質性。所謂的關係性萌生是指並不存在任何物自身或理念自身，存在的事物都是在關係所連結的網絡中才萌生特定的性質，例如在巴斯德故事中的微生物，最初只是隱晦不明的行動體，儘管它們的作用很強（使牛隻死亡、酪農蒙受重大損失），卻沒有存在地位（幾乎「不存在」）；直到巴斯德利用實驗室，進行一連串招募、動員、轉換的過程——這也是一連串的「存有化事件」（ontologizing events），建立一個「微生物—巴斯德」聯盟的網絡，微生物的存在地位才得以穩定（從「幾乎不存在」變成「明顯存在」）。
- 4 在陳瑞麟（2001b）中，我批評拉圖的網絡理論無法說明科學區別「準虛構」與「純虛構」的能力，在陳瑞麟（2007）一文中，我批評拉圖消除「事實」與「價值」的二分架構的企圖並不能成功，主張以「事實」與「價值」的互動論來取代（見第肆節）；邱文聰（2010: 102-103，腳註 138, 139）在其〈科學研究自由與第三波科學民主化的挑戰〉一文中，回應我的兩篇論文對拉圖的批評，他指出在拉圖的「新憲法」下，不存在「實在」與「虛構」的絕對對立。又我主張的「事實」與「價值」的互動論，在拉圖看來，無法標定出「混種物」、「準主體」、「準客體」等。不過邱文聰只是重申拉圖的主張，並未針對我的完整批評為他作更多理由上的辯護。

貳、行為者網絡的非歷史性和外在性

行為者網絡理論在 STS 領域內引起很多批判，主要來自社會建構論的陣營。這些批評集中在行為者網絡理論的存有論和政治性上，例如《我們從未現代過》的許多書評指責它「扭曲與簡化現代性的定義以立論」、「以好鬥姿態、暴力地簡化與攻擊對手論點」、所謂「物的會議」是「環保運動早就已經承認的共識，卻毫無理由地絲毫不提」、對於「知識生產過程、SSK 仍視為重要議題的論辯毫無貢獻，但是作者的機智與誇大立論一定會吸引一堆趕流行的崇拜者」（見林文源 2010: 397）。SSK 的創建者布洛爾也指出拉圖簡化與扭曲 SSK 的自然論立場，而且爭論拉圖想消除自然與社會的對立，「自始至終預設了自然和社會。」（Bloor 1999: 98）而且刻意「……變更我們日常的概念約定，把一個有意圖的詞彙使用在沒有意圖的事物上，把機械性的詞彙使用在有意圖的事物上。」（Bloor 1999: 97）

對於這類批判，臺灣的行為者網絡理論支持者的回應通常是再度重申這個理論的重大意義和存有論優點（雷祥麟 2010a），或宣稱「非人政治性的問題，並沒有太大意義」、「人與非人的辯論，或現代性的辯論，從來不是本地社會知識理念脈絡的重點」、「提出對非人混種物的重視，並不消極地表示現實處境與政治策略是與人無關的」（林文源 2010: 409）⁵，可是，重點並不是「非人混種物」是否與人有關或無關，而是這個概念與其鑲嵌的整套存有論，究竟具不具備概念上的融貫性、一致性、適切性、整合性？它想傳達的意義，是不是有其它理論可以傳達得更好？

5 看了本章的初稿後，在私人通信中，中國科學史家祝平一評論說：「寫得很好，但是難道你都看不到拉圖理論的優點嗎？」

難道其它理論就會忽略「非人混種物」嗎？其它理論不能安排「非人混種物」在「自然—社會」中的位置嗎？這類辯護透露出不同的評價標準或態度——是否更看重一個理論是否在說明、解釋和理解現有現象上有優點、是否現有的經驗可以有效地支持（驗證）它、是否可以實用地被應用到本土現象上等等，可以總結為這是一種「肯定性（實證性）」（positive）的評價態度，而對於理論內含的各種概念是否的一致、融貫、適切等爭議，持以「較次要」的態度。然而，本書則主張「肯定性」的評價態度對於本土學術主體性以及理論版本家族的建立而言較為不利（Chen, R.-L. 2011b）——我們認為，考察一個理論和其概念的一致、融貫和適切，才能帶來一種挑戰和持續深化的態度，發展更新的版本——這是一種「否定性」或「批判性」的評價態度，亦即總是考察一個理論是不是能夠滿足最多種類的評價標準，並加以改良修正地去發展出自己的版本。

事實上，拉圖一再地宣稱自己花費許多心力要消除各種「大區分、大斷裂」（Great Divide），他的方法論卻展現、甚至刻意使用二元對立的風格，例如「兩面門神」的設計，把「研究已建構的科學」和「研究建構中的科學」對立起來，把「科學爭議」與「爭議的歷史背景」對立起來，把「認知」與「網絡」對立起來。這些對立顯現在他的七條方法學規則中，以下讓我針對它們提出一般性的問題與評論：

第一條方法學規則把「建構中的科學」和「已建構的科學產品」對立區隔。事實上，這個對立完全經不起歷史的考驗，因為所有「建構中的科學」都是來自先前「已建構的科學產品」：要研究伽利略和克普勒如何建構他們的天文學理論，不能不研究托勒密和哥白尼已建構好的天文理論；要研究牛頓如何建構他的力

學理論，不能不研究亞里斯多德、伽利略、克普勒和笛卡兒已建構的天文學和力學理論。拉圖規勸研究者要盡可能假裝對科學一無所知（「什麼構成科學要有盡可能少的觀念」）是一種虛假的姿態：如同過去邏輯經驗論尋求「中立於理論」的感覺證據和觀察；拉圖也想尋求中立於各種網絡的位置，但是這樣的尋求造成研究者選擇的起點與歷史背景的斷裂，因為拉圖主張不研究已建構的科學產品，可是任何爭議都無法不參考已建構的科學產品來分析。正是因此，拉圖會把霍布斯和波以爾視為「發明我們現代世界」，而且「霍布斯發明了公民和社會」、「波以爾發明了客體和自然」，這些宣稱完全是「非歷史的」——歷史哪有那麼地無中生有？（這個問題也出現在《泵浦》一書中，霍布斯和波以爾好像憑空建構他們的生活形式，完全沒有先行者似的，其歷史背景似乎就只有王政復辟的政治背景而已，沒有任何知識背景的描述。）

可以辯稱拉圖的理論並沒有反對回溯一個爭議的歷史背景，若如此就必定涉及已建構的科學，而且這種研究不代表一定會主張 R1、R2、R3、R4 等立場——它們也是虛構的，因為研究已建構的科學的人未必會主張這四個立場。總是以科學爭議為研究起點終究是拒絕研究「歷史的發展」議題，因為爭議是歷史發展的產物；沒有考察爭議前的發展，就是對歷史視而不見。固然科學爭議會影響之後的科學發展，但爭議只是整個發展過程——從過去到現在並朝向未來的歷史過程——的一環。所有研究者都不得不選擇一個時間點出發，但是研究者不能或假裝對該時間點的知識背景一無所知或知道很少。

第二條規則是第一條的延伸，它要求研究者不要從「固有性質」來尋求科學的客觀性或主觀性與否。但是，如同上節指出，

科學的建構過程（建構中的科學）不能和已建構的科學截然區分，研究科學知識和產品的結構、成分、概念網絡、印證、方法學規則等是研究其內在固有性質，並不代表要對科學的客觀性或主觀性作判斷。即使主張事實有其客觀地位，也不是由後來的人們如何對待它來決定，如同第四章的論證，是人類認知經驗的不變結構與先前已建立的理論內容，決定人們會如何對待事實。再次，假裝研究者可以中立於各種科學網絡，違反行為者網絡理論自己的存有論：研究者本身的存在也是關係性的，研究者自己早已被大量知識網絡所塑造。中立於科學網絡的虛擬立場、拒絕研究科學產品的內在固有性質，也就無法看到科學知識和觀念的歷史傳承，使得拉圖描述的每一個異質網絡都像是一個個孤立無根的浮動島嶼，漂浮在茫茫的歷史大海中。

科學爭議是科學動力學（如卡雍〔Callon 1995〕的主張，ANT也企圖提出一個科學動力學理論）的一個重點，在科學史上通常表現為對異例的處理。但它並不是唯一、也不是最好的起點。甚至，我要說科學爭議不是研究科學動力學的起點，因為科學爭議是被鑲嵌在知識歷史之流的因果鏈中。如同拉圖所言：切入點的選擇依賴於好時序，問題是：「**什麼時序和時間點是好的**」永遠有爭議。第三條和第四條規則把科學爭議從歷史因果鏈中抽離出來，規定爭議的解決必定是自然表徵的原因，漠視爭議更可能是先前自然表徵的結果。例如，如果不是牛頓理論能夠整合許多先前的理論（哥白尼、伽利略、克普勒、笛卡兒和惠更斯等），而且作出大量的運算和預測，又如何能說服後來的科學家在機械論主流的大環境下接受「重力」的概念呢？再者，笛卡兒家族和牛頓家族對於「重力」的概念爭議，何時才算被解決呢？科學爭議的解決沒有一個明確的時間點，或者一勞永逸的判準，

斷裂點和好的時序性的選擇總是任意的（arbitrary）。

在集體性的典範、生活形式、同盟網絡的觀點下，爭議的解決被理解為新典範、新社會成規、新生活形式、新同盟網絡的形成，多數科學家對於拋棄舊典範、舊社會成規、舊生活形式、舊同盟網絡並接納新集體有共識，使得歷史過程似乎有一斷裂點。問題是理論版本家族所處的競爭環境非常複雜，並不是每次都只有兩組人馬在對抗。事實是歷史的每一個時段中，總是有好幾個版本、幾個潛在的家族彼此互相競爭，例如在十七世紀初的天文學同時有托勒密系統、第谷系統和哥白尼系統在競爭；十七世紀中對於物質與空間理論有教會的自然哲學、笛卡兒的機械論、霍布斯的唯物論、原子論（如巴斯卡和波以爾）的真空論互相競爭；十八世紀初的整體自然哲學系統也同時有教會的亞里斯多德自然哲學、笛卡兒機械渦漩論、牛頓重力理論彼此對抗。在競爭之中，不同的版本、不同的家族提出不同的自然表徵，產生不同的說明、判斷或預測，結果才產生爭議。一個版本或家族聲稱已解決某個爭議，其它家族未必接受；而且不同家族之間產生的爭議不同，霍布斯和波以爾的競爭在於實驗方法論的合法性，惠更斯與波以爾對異常懸置現象的態度不同，蓋瑞克和波以爾對彼此泵浦工具的效能見解有別。每個版本或家族大都堅持自己的認知評價，重點在於誰能得到更多後代科學家的認同——亦即家族的興盛程度。但注意，理論版本家族並不是一個均質劃一的集體，總是有可能吸收其它家族的長處和優點，例如十八世紀中之後的法國古典力學家，使用笛卡兒的演繹方法和萊布尼茲的微積分來重新形構牛頓力學理論。因此，家族競爭的結果也可能是一個更大的、更全面的綜合版本的建構，將競爭導向一個新階段，例如哥白尼和托勒密天文學的競爭在十七世紀中葉之後，朝向整個宇

宙論和自然哲學的大競爭。我們不得不在歷史之流中選擇一個切入點，然而我們不該把那個切入的時間點（例如科學爭議的產生或解決）規定為只能是原因或結果其中之一，它既是原因又是結果：它是先前某些自然表徵和競爭的結果，又是之後某些自然表徵和競爭的原因。

那麼，究竟科學爭議如何解決？更進一步的問題是：什麼是科學爭議的解決？以科學爭議為研究科學動力的起點的 SS 學家，通常預設一個虛構的二元對抗的「擂臺模型」或「競賽模型」，類似拳擊或球類競賽，一種規定同時間只能有兩個參賽者、兩組人馬、兩個隊伍下場的「爭議比賽」。這種模型隱然的比賽規則是：兩組人馬互相向對方提出問題，構成爭議，然後使用各種技巧（SSK 和 ANT 都著眼在利害關係的考量與誘導上）設法說服或拉攏潛在的參賽者加入己方，當多數潛在的參賽者都加入己方時就贏——爭議解決，贏的一方成為真理（真實的自然表徵）和社會穩定的支柱。可是科學歷史並不是擂臺競賽。

更恰當、更適切、更配合大量歷史資料的科學動力學的抽象模型不是「有終局的二元對抗」，而是「無終局的多元競爭」，一種沒有明確的爭議解決的家族或領域擴張的競爭——沒有那種會造成唯一一種自然表徵和社會穩定性的拉圖式的爭議解決，因為總是同時有許多競爭的自然表徵存在著，它們均不斷地在修改自己以配合新資料；社會也從來沒有真正穩定過，因為各種「拉圖式的共同利益或目標導向的異質網絡」都不斷地在互相滲透、互相連結，無法被明確地劃出網絡的範圍，從而穩定化，並被指認出來。在這種競爭模型下，拉圖的第三和第四條規則就失去效力了。以波以爾和霍布斯的競爭為例，不能只考慮他們兩人的同盟網絡，還要考慮教會自然哲學家（萊納斯和摩爾）、笛卡兒學派

(惠更斯)、日耳曼的蓋瑞克等不同網絡的合縱連橫。霍布斯的網絡或許因為沒有泵浦這非人的工具而不同於波以爾的網絡，可是霍布斯和波以爾卻有共同的皇家學會朋友(人)。惠更斯和英格蘭的皇家學會之政治網絡無關，但他的巴黎科學網絡卻有泵浦這具機器，因此泵浦並不能決定波以爾網絡的邊界、皇家學會成員的政治立場亦然。霍布斯和波以爾的爭議是實驗方法的合法性，這爭議真的有解決嗎？波以爾贏得科學表徵嗎？波以爾的「空氣彈力」被接受為事實了嗎？未必，因為後來的科學家並沒有使用「空氣彈力」這個概念，而是把它改良成「壓力」並明確地定義成單位面積的受力。霍布斯的幾何演繹方法也不見得輸，它仍然是重要的科學方法。反過來說，霍布斯贏得政治理論嗎？未必，因為後來英國政治哲學有洛克(John Locke)的「政府理論」與霍布斯的政治理論競爭，而洛克在自然哲學上是傾向波以爾的。這樣看來，要如何定義拉圖式的爭議解決呢？

拉圖的七條方法學規則可以分成三組，第一和二條構成第一組，它們預設一個「已建構科學」(固有 intrinsic)和「建構中的科學」(外加 extrinsic)的二元區分，第三和四條合成第二組，它們預設「二元對抗」的擂臺模型，第三組是第五、六、七條規則，它們是第一、二組的邏輯論結，導出利益對認知的優先性。如果第一組不能成立，第二組失去效力，第三組也就無所依靠了。

最後，我想嘗試回答一個問題：為什麼行為者網絡理論對於學者有吸引力？我認為這個理論可以適用於說明一個組織、公司、制度、品牌、團體、政黨、宗教，甚至技術產品的成功，拉圖對於轉換理論的分析，適用於建構自己主導的網絡、廣結善緣、擴大勢力的成功者。人人都想要成功，而且人們知道有些科

學理論和科學家很成功。傳統科哲、HPS、SSK 和 ANT 都想說明成功的科學如何成功。實證論和實在論告訴我們，科學家能成功是因為他們的理論通過經驗與證據的考驗、找到真理或發現最佳說明。理性主義的 HPS 則說因為他們滿足科學理性的遊戲規則、作出新奇預測或強化解題能力等等。SSK 則說因為他們順從社會某個有力團體的共同利益。這些說明都告訴我們：成功不是個人能控制的，因為我們（不只是科學家，還有每一位學術研究者）都不知道自己的理論能不能通過經驗和證據的考驗、能不能被視為真理、算不算最佳說明、能不能作出新奇預測或極大化解題能力？更糟的是，萬一我們自己的觀點，與社會的主流觀點不同或違反多數人的共同利益時，該怎麼辦？

ANT 則說一些大科學家和發明家能成功是因為他們能轉換利益：喚起他人興趣、招募和動員他人、將目標與利益重新洗牌等，拉圖更進一步提出許多戰術或訣竅——這些好像是個人能運用的邁向成功的法門？在拉圖的轉換理論下，只要一個人可以試著去「帶給他人利益」、「為他人指出達成目標的捷徑」、「把目標和利益重新洗牌」（又有種種戰術）、「讓自己變得不可缺少」，他就有相當的機會可以成功？這些策略和戰術似乎是一些可以操作的訣竅，可以用來推銷自己的產品，而不必管自己的產品夠不夠好、能不能通過經驗考驗、是不是最佳說明、解題能力夠不夠好等等——至少拉圖從來沒有談論產品的好壞對於推銷的操作有沒有什麼影響。這個理論適合很多人類社會的活動，人們可以輕易在自己的日常經驗中得到印證，因此相當吸引人。但是，它就是不適用於科學——除非對科學理論和實驗的故事作極度地簡化和扭曲。不過，我再度強調，我不反對 ANT 應用到技術、發明和科技產品上有其合法性和適切性。

ANT不是一個純粹的說明理論，它也反對「實然」與「應然」、「事實」與「價值」的二分架構，ANT不是只用來說明成功的人如何成功，它也是「教戰守則」，告訴想要成功的人要怎麼操作才能成功。問題是：拉圖反對「事實」與「價值」二分架構的方式有效嗎？

參、再探事實與價值的二分法

不管是哲學、社會學或歷史學，都有大思想家支持「實然」與「應然」這個二分範疇架構，而且奉獻心血結晶，並提出說服力強大的論證，構成一個悠久的學術傳統。萊布尼茲、休姆、康德、狄爾泰（Wilhelm Dilthey）、弗列格（Gottlob Frege）、胡塞爾（Edmund Husserl）、謨爾（G. E. Moore）、韋伯（Max Weber）、萊興巴赫（Hans Reichenbach）、波柏這一長串萬神殿中的名字，在不同的歷史脈絡，針對不同的議題，在每個人自己龐大的思想體系下，要不是作了某種類似的二元區分，就是在這個二分範疇架構下工作，而且豐富、深化了這個傳統。⁶ 正因如此，反對這個二元區分或架構的思想家，也分別從不同的角度、針對自己關懷的焦點、以不同的方式來批判，從而使這個議題更

6 萊布尼茲區分了「事實真理」和「理性真理」。休姆也有類似的區分，而且明確地提出「應該」不能由「實是」（is）邏輯地導出。康德區分「純粹理性」和「實踐（道德）理性」。狄爾泰嚴格區分「自然科學」（naturwissenschaft）和「精神科學」（Geisteswissenschaft）。弗列格嚴厲地批判主張可透過心理學的研究來理解邏輯的心理主義（psychologism，也是一種自然主義），而把邏輯、知識論引向純規範性的分析研究。謨爾則批判倫理學中的「自然主義」。韋伯主張如下的觀點「一方面是經驗事實的斷言；另一方面則是實踐、倫理、和哲學的價值判斷」這樣的區分才是可接受的（Weber 1978: 69）。萊興巴赫區分「發現的脈絡」和「證成的脈絡」，波柏區分「知識的心理學」與「知識的邏輯」亦是在相同的架構下工作。

加複雜化。拉圖也企圖拆解「事實」與「價值」的內在矛盾，再重新建立、重新組合一個新的二分範疇架構。拉圖的分析相當具有新意與啟發性，但是我認為他的方案並未真正解決這個古老的問題。

拉圖在《自然的政治學》企圖提出一個全新的思想架構——他以政治學的語言比喻稱作「憲法（構成）」（Constitution），他甚至為此而發明一套全新的語彙（glossary）。這個新憲法將會搭建一個新政權（regime），並追求一個人與非人和諧的「同善世界」（good common world）。⁷ 新政權和新憲法的提法即意味存在一個舊有的政權和憲法：該憲法建立一個「兩院體制」（Bicameralism），把「自然」與「社會」、「客體」與「主體」、「事實」與「價值」一系列的二元區分合法化。拉圖把這個「憲法」的建立上溯到柏拉圖的「洞穴寓言」（the allegory of the Cave），一群被監禁只能看著幻像的洞穴囚犯（隱喻「社會」和無知的大眾），一個洞穴外的真實世界（隱喻「自然」），少數能夠擺脫監禁抵達真實世界、認知真實，並來回於兩個世界的人（隱喻擁有真實知識的科學家）。結果，這個兩院體制創造出如此不民主的結果：「這些少數的選民被賦予一個有史以來最神奇的政治能力（他們自己也是這樣看）：他們能使黯啞的世界說話，能訴說真理而毋庸被挑戰，能透過一個無可爭議的權威形式（其源於事物自身）而終結持續不斷的爭論。」（Latour 2004: 14）

7 「同善世界」是拉圖的「新政權」所追求的目標，組合了「舊政權」中分隔的「共同世界」（common world，即「外在實在界」）與「共同善」（common good，即「美善人生」（good life））。拉圖亦稱作「和諧世界」（cosmos），使用cosmos這個希臘字的原初意義。參看拉圖的語彙集（Latour 2004: 239-240）。這個概念有點像中國古老的「大同世界」。

既然「自然科學家」擁有「掌握事實」的特殊權力，「無知的社會大眾」恐懼他們，所以就不斷地向他們提出「規範」與「倫理」的議題。可是，在拉圖看來，這個架構有其深深的內在矛盾。

拉圖企圖發明一個取代事實與價值這兩個觀念的繼承者，所以他先從檢視它們的流行用法出發（Latour 2004: 95-102）。他問：「『事實』這個字在當前流行的使用方式中，那裡錯了？」

（What is wrong with the way the word “fact” is currently used?, p. 95）。他指出這兩個觀念的一般用法分別有幾個缺點：首先，人們使用「事實」一詞，只侷限在一個漫長歷程（包括草案、原型、試驗、拒絕、改良、浪費整個過程）的最終階段，之前的階段往往就被漠視了。其次，「事實」的觀念不允許我們強調理論的運作，然而要使資料融貫（coherence of data），理論是必要的。就「價值」一詞的一般用法而言，它整個要依賴於事先定義的「事實」才能界定它的轄域（territory）。結果，為了產生「應然」（what ought to be），價值同樣要先鞏固「實然」（what is），把它當成穩定的、無可修改的事實。接下來，價值才能作其判斷。然而，事實是不斷地變動，在此過程中，價值也是相對於事實而不斷地波動。認清這一點，卻帶來價值的第二個缺點：因為事實與價值的不斷變動，反而使得人們無所適從，轉而認為價值必須在「毋需事實」的狀態下判斷，結果造成一個「科學家」和「道德學家」的徹底分工，道德學家在沒有掌握事實的狀態下去尋求倫理原理、價值基礎等。

在拉圖看來，人們在使用「事實」與「價值」時，往往同時產生兩個內在矛盾的要求：就「事實」而言，它強調討論的重要和不確定性；卻又強調不討論和不再討論的重要。也就是說，一

旦有個新事實違反我們舊有的習慣時，我們就會想指出事實如此，我們討論要不要接納新事實。可是，我們又會說，事實如此，沒有什麼好討論的。同樣地，價值也有兩個內在矛盾的要求：一方面它要求我們要去諮詢價值異議者，另一方面又要求我們把價值異議者納入既有的價值階層。拉圖把這四項互相矛盾的要求，使用他的新架構的語言，重新表述成四條定言命令 (categorical imperatives)：⁸

(F) 針對「事實」的要求：

(F1) 「繁複性」(perplexity) 的要求：在討論中需要納入考量的連結群⁹的數量，汝不應簡化。

(F2) 「制度」(intuition) 的要求：一旦集結群被制度化時，汝不應再爭辯它們在集體生活內的合法出現。

(V) 針對「價值」的要求：

8 這四條定言命令值得原文重錄：

(F1) Thou shalt not simplify the number of propositions to be taken into account in the discussion.

(F2) Once propositions have been intuited, thou shalt no longer debate their legitimate presence within collective life.

(V1) Thou shalt ensure that the number of voices that participate in the articulation of propositions has not been arbitrarily short-circuited.

(V2) Thou shalt discuss the compatibility of the new propositions with those which are already instituted, in such a way as to maintain them all in the same common world that will give them their legitimate rank.

9 「連結群」用來譯 proposition。Proposition 在哲學和邏輯傳統中意謂「命題」，即抽象化的陳述 (statement)。可是拉圖把它用為意指一種在變成「聚結全體」(collective) 的全權成員之前人與非人的連結，此連結可以被勾連 (articulation) (Latour 2004: 247-248)。因此譯成「連結群」。

(V1)「諮詢」(consultation)的要求：汝應保證參與連結群的勾連工作的各種聲音均不能任意被抹消。

(V2)「階層化」(hierarchization)要求：汝應討論新連結群和已被制度化的連結群之可容性，討論是在如下的方式上進行：把它們維繫在一個將會給予它們合法位階的「同善世界」中。(Latour 2004: 102-108)

這些以他的新語言來表述的命令，當然有其**合法性**，問題是它們應在一個新的兩院體制上找到新定位。這個新的兩院體制拋棄「事實」與「價值」這兩個老觀念，代以兩種「權力」或「能力」：「納入考量的權力」(power to take into account)和「排序的權力」(power to arrange in rank order)。前者回答「我們有多少數目」(How many are we)、後者回答「我們能一起生活嗎」(Can we live together)。「納入考量的權力」包含原先的(F1)和(V1)兩條命令；而「排序的權力」則包含(F2)和(V2)的命令(Latour 2004: 108-121)。拉圖認為，這樣的「新兩院制」不僅更合理、更一致、更融貫(在邏輯上)，而且(在實踐上)也將會帶來一個生活上的巨大變革，使我們真正朝向「同善世界」。

在我看來，拉圖如柏拉圖般，想建立一個「新理想國」——包含人與非人的大同世界。這個部分牽涉到他對於整個「新政權」和「新憲法」的設計，限於篇幅，我無法在此討論。針對「事實」與「價值」這兩個觀念的流行用法，我同意他的批判相當有趣，他企圖取代老二分架構的討論和提議也極具啟發性，和我下文的主張頗有異曲同工之妙，但是終究沒有解決哲學與社會學傳統爭論的「實然」與「應然」的問題。為什麼？首先，哲學與社會學傳統爭論的「實然」與「應然」並不是針對「事實」與

「價值」這兩個觀念的用法，而是針對「實然判斷」（描述的陳述）和「應然判斷」（規範的陳述）。它們是日常語言中存在的兩大判斷類型，也對應了說話者的「描述態度」與「規範態度」。所謂的「事實」與「價值」只是對這兩大判斷類型的簡稱。因此，哲學爭議的重點並不在「事實」和「價值」這兩個簡稱如何被使用，而在於追問：這兩大類型的判斷是兩個截然區隔的類型嗎？它們有什麼邏輯關係？這兩大類型的判斷形成了截然區隔的兩個研究領域嗎？拉圖指出的缺點，在這些問題下根本不會出現。因為一個「描述的陳述」如「太陽每天從東方升起」並沒有侷限在任何事實的最終階段（我們可以問這現象的原因是什麼），也沒有排除理論的說明（可以用「日動說」或「地動說」來說明）。而且，我們也很難看出一個「規範的陳述」例如「牛頓理論比亞里斯多德的理論更好，所以我們應該用牛頓理論來理解自然」如何引起拉圖宣稱的缺點？（拉圖其實是站在其「新憲法」的觀點來宣稱那些「缺點」。）第二，就算拉圖的建議成功地取代了「事實」與「價值」這兩個觀念，但是他仍然擺脫不了「實然判斷」與「應然判斷」的應用。因為這兩個判斷類型根植在我們的語言或思考模式中，我不知道拉圖要如何將它們消除掉？「事實上」，拉圖也無法不依賴於這類語言：例如當拉圖說 *What is wrong with the way the word "fact" is currently used?* 他正在說一個「實然」（*what is*）的問句。當他使用古字 *"thou shalt"*（*you should*，汝應）時，他就在作「應然或規範的陳述」。所以，拉圖的討論固然指出了一些關於「事實」和「價值」的流行用法之弊端，但他還是沒有觸及學術傳統中爭論的「實然」與「應然」議題。

那麼，究竟在哲學和社會學傳統中，「實然」與「應然」的

爭議是什麼？（這是一個「實然的問題」。）各種解決這爭議的理論，哪一個較好？（這是一個「應然的問題」。）哲學家想要問，如果一個實然的判斷被我們接受了，例如「亞里斯多德理論確實能夠說明世界上大多數的現象」，是否就能使我們在邏輯上推出「因此，我們不應該質疑亞里斯多德的思想」？社會學家想要問：人類社會充滿規範判斷，社會科學在說明人類的社會行為時無可避免地要涉及規範（例如「某人從事社交是因為某人認為社交好，人們應該多多社交」），是否也意謂社會科學研究的東西都是「價值領域」，而自然科學純粹屬於「事實領域」？因為「太陽從東方升起」這個判斷似乎和任何人類的價值無關。所以推出，社會科學是一種「作應然判斷」的實踐，而自然科學是一種「作實然判斷」的實踐？這一連串相關問題在科哲和 STS 中呈現為：如果某一個科學發展模式被接受了，是否就能在邏輯上推出未來科學應該根據此模式來繼續發展？同時，我們在實踐上是否都「應該」接受科學依據此模式來發展是最好的？這些疑問才是所謂的「事實」與「價值」二分法的爭議。

大致說來，支持這個二分架構的思想家著眼於「實然」與「應然」之間在邏輯區分上的明確性，從而主張存在兩個互相獨立的範疇或領域，不能取消其中任一範疇，也不能把它化約到另一範疇上。反對者往往從「實踐」的事實或態度上出發，看到事實與價值間密不可分的關係，進而主張這個邏輯區分並不存在。更進一步，他們試圖提出替代方案：有人想把其中一範疇化約到另一範疇上；有人企圖指出兩者之間緊密互動；有人則想全盤拋棄這一系列二分法，另行建立新的範疇架構。以上討論暗示了這個議題至少有「邏輯」和「實踐」兩個面向：

(L) 在邏輯面向上：(La) 支持者主張「實然」不能「導

出」(演繹或歸納)「應然」。我們接受「A 是事實」不能決定「我們就應該做 A」；(Lb) 反對者主張「實然」可以推出「應然」。例如，我們可以這樣推論「A 是事實，A 是成功的，我們想要成功；所以，我們應該做 A。」其中，「成功」、「想要」都是「實然」。

(P) 在實踐面向上：(Pa) 二元論：支持者主張「實然判斷」和「應然判斷」在某個意義上互相獨立，應該應用不同的研究方法，方法彼此之間不能跨越；(Pb) 反二元論：反對二種判斷類型或領域互相獨立，相反地，兩者互相依賴、密切互動。研究兩個領域的方法也可以互相跨越和適用於彼方(互動論)。反二元論可能會有不同的立場，例如主張其中一領域可以被化約到另一領域(化約論)，或者乾脆消除一些二分領域(如「自然—社會」這樣的區分)而建議尋求全新的領域區分和範疇架構(消除論兼取代論)。¹⁰

各種哲學論證往往都認為理所當然地只有兩種組合：(La) + (Pa) 與 (Lb) + (Pb)。在此，我想要論證支持第三種組合：(La) + (Pb)，即邏輯上，我們不應該從「實然」導出「應然」；但是實踐上，「事實判斷」與「價值判斷」兩個範疇密切互動、互相依賴。換言之，邏輯上「休姆鴻溝」(Humean gap) 的存在，並不會造成(導致)實踐上事實與價值是兩個互相獨立的

10 簡單地說，反二元論又可分成三種基本立場：互動論、化約論和消除論。化約論又有兩個方向，一個可稱作徹底的自然主義，企圖把應然化約到實然上；另一個可稱規範的(道德的)理想主義(moral idealism)，企圖把實然化約到應然上。消除論同時伴隨著取代論，即企圖消除舊的二分架構，代以新的範疇架構。如上討論的拉圖即是消除論進路。筆者支持反二元論中的互動論，但不支持化約論和消除論。

領域，必須適用於截然不同的方法。我的論證如下：

首先，讓我們精確地陳述「實然不蘊涵應然」的主張：「A 是事實」此一判斷不能在沒有添加任何評價性的前提（表達說話者的某種評價態度）之下，直接地導出「應該做 A」或「不該做 A」的結論；同樣地，「A 不是事實」也不能在沒有添加評價前提之下導出「不該做 A」或「該做 A」的結論。

第二，根據休姆對歸納法必然性的批判，即使某現象過去規律地出現，也不必然保證該現象未來會持續地出現。以科學的發展為例，即使科學過去是根據某種規律而發展，並不必然保證科學在未來仍依循該規律（雖然有很高的機率如此），因此也不會形成一種規律上的強制性，要求我們應該要遵循該規律來做；更何況，科學是人為的產品，人們的「能動性」(agency) 確實有可能使科學脫離過去的規律，朝向不同的方向或形態演變。

第三，當反對者推論「A 是事實，A 是成功的，我們想要成功；所以，我們應該做 A」時，其實已經隱然地評價「A 的成功是好的」。換言之，反對者的前提中已經預設了一個隱而未顯的「規範」命題。整個推論應該是「A 是事實，A 是成功的，我們想要成功，而且 A 的成功是好的；所以，我們應該做 A」。

第四，我們可以作出如下符合邏輯直覺的推論：「A 是事實，A 是失敗的，我們不想失敗；所以我們不該做 A」，以及「A 是事實，A 是不好的；所以，我們不應該做 A」。但我們的直覺並不支持如下推論「A 是事實，A 是不好的；所以，我們應該做 A」，以及「A 是事實，A 是失敗的；所以，我們應該做 A」（雖然一些「知其不可而為之」的情況似乎是此推論的異例，然而這種情況下，推論者隱然地預設「A 是好的，儘管 A 失敗了」）；

也不支持我們作出如下推論「A 是事實，A 是好的；所以，我們不應該做 A」，以及「A 是事實，A 是成功的；所以，我們不應該做 A」（如果主張這個推論合理時，代表推論者預設「A 是不好的」）。也就是說，當我們要從所謂的「實然」推出「應然」的時候，我們都已經預先在「事實判斷」上賦予一個評價的態度，亦即評價「成功是好的」、「失敗是不好的」，甚至「成功」和「失敗」本身就是一種評價。我們的邏輯直覺不會直接由事實判斷或描述陳述來導出「應該如何」。

第五，這個邏輯上的鴻溝，並不能推出在實踐上，事實與價值是兩個互相獨立的領域，分別而且只能適用於不同的方法。相反地，「事實判斷」與「價值判斷」之間密切的關係和互動，表現在：（1）在許多說明事實的假說或理論之間作選擇時，我們總是依據某一定價值。甚至「真理」（truth）本身也應該被認知為一項價值。（2）某項價值的應用或某組價值位階的改變，可能帶來新的事實或新的規律；例如希臘人研究科學，是為了理解自然，滿足自己的好奇心，因此產生了希臘式的自然哲學；中世紀科學家則是為了佐證《聖經》和權威、榮耀上帝，結果產生了神學優位的中世紀科學；但近代以降，「效益」甚至「經濟利益」的價值主導了人們對科學的態度，科學搖身一變，成為創造經濟效益最有力的「生產工具」，近代科學因而發展出強大的「控制自然」的力量；（3）我們創造一個新產品（構成一個新事實），有可能帶來一個新的價值或導致舊的價值位階的改變，例如十七世紀時望遠鏡、顯微鏡和各種精密測量工具（如機械鐘和彈簧秤）的發明，就使得「量上的精確性」凌駕於亞里斯多德傳統的「廣泛性」。評價標準的改變，導致科學家偏愛量化的新理論，使得亞氏的老科學被拋棄。（4）即使我們接受在邏輯上不能直接

從實然導出應然，也不代表「應然」完全獨立於經驗，因為我們必須考察應用一項價值，可能對事件的未來發展造成什麼樣的影響；但也只有在經驗研究中，我們才能知道人類價值與價值位階是怎麼在歷史變動的過程中產生改變，如同第四章已爭論認知評價在說明科學發展中的重要因果角色。

最後，只有承認在邏輯上，我們不「應該」直接從「實然」導出「應然」，我們才能顯示在實踐上，「事實」與「價值」兩個範疇和領域緊密互動，而且可以互相改變對方，因此彰顯人類的「能動性」。換言之，我們不能把應然化約到實然上，因為即使在邏輯上，我們可以在賦加評價態度後，從實然導出應然，但如果我們因此就總是從實然導出應然（實然決定了應然，把過去的事實發展看成是一定是好的或不可避免的），反而意味了我們將受制於過去的規律或習慣，難以主動地改變未來，結果喪失了人類的能動性。反過來說，我們也不能把實然化約到應然上，認為事態總是會在我們堅持「理想」和「價值」之引導下而發展，如此將易於漠視實際經驗或歷史的發展與變動，造成一廂情願與不切實際的後果。

肆、理論版本家族發展模型的規範性應用

如果事實和價值是循環互動的，那麼本書建議的科學發展之動力模型，是否也能做為科學發展的規範？這樣的版本家族發展模型，除了可以模釋科學發展的歷史外，是否也是未來科學發展的好模型？引導科學朝向好方向？我的答案是肯定的。可是，過去的事實不能決定未來的實然，未來的實然發展的方向有可能被某個時期的認知評價引導，這表示儘管科學革命時期的多元競爭、家族發展以及自然哲學的概念思辨與數學模型的演算不分家

的發展樣式，在經過十九世紀到二十世紀實證科學觀的衝擊之後，未必能維持。二十世紀的科學發展——尤其是在自然科學的王國內——實證主義也產生相當大的引導作用。¹¹ 實證主義的科學評價系統是一種主張經驗與證據做為評價理論和模型的唯一或基礎標準的方法論，也主張價值中立、反形上學（哲學與概念性思辨）立場、建立「事實與價值、發現與證成、科學與哲學、自然與社會」等二分架構。二十世紀實證主義者的錯誤在於他們主張從十七世紀的科學革命以來，科學即以實證主義的模式發展，但這並不代表實證主義不會引導科學的發展，也不表示二十世紀以來的科學完全沒有實證主義的面貌。事實上，自然科學和社會科學確實朝向實證主義價值系統指示的方向發展，至少許多科學家接受實證主義的科學評價觀點，在這樣的情況下，實證主義和經驗主義當然可能、甚至確實引導（部分）科學現在與未來的發展。可是，我認為實證主義引導的發展模型並不是一個好規範，因為它把科學窄化成只剩下經驗資料的蒐集活動，忽略科學的概念思考和推理程序，也忽略非經驗的認知價值。

孔恩的《科學革命的結構》提供一個「常態科學—科學危機—科學革命」的三部曲圖像，成為實證主義，累積進步觀的一個強力競爭對手。儘管孔恩的圖像也簡化過去歷史複雜的科學發展，但重要的是，孔恩強調在常態科學之前和科學危機之時，形上學和方法論一類的哲學思考和論辯往往成為當時科學家關注的

11 哲學習慣使用「實證主義」來翻譯 positivism，而以「經驗主義」來譯 empiricism。然而臺灣的社會科學如經濟學，卻以「實證」一詞來翻譯 empirical，例如「實證經濟學」指 empirical economics，意指統計實際的經濟數據來檢驗經濟模型的（實證）研究，而不是單單作理論的模擬和推導。在此我們把「實證主義」一詞用為包括 positivism 和 empiricism。

核心。也就是互相競爭的科學家往往會挑戰對手理論的基本存有論假設，或採用方法的合法性（見前兩章）。換言之，哲學思考與概念分析是科學建立和革命過程中必要的一部分。然而，孔恩更主張一旦有個競爭的理論脫穎而出成為新典範，引導新階段的常態科學研究，哲學論辯就會逐步淡出，常態科學家在態度上也不希望再度被對手的哲學問題所干擾，因為原先「典範的候選理論」在此時已被接受為典範，常態科學家不能質疑它，否則無法從事細部的解謎活動。

孔恩描繪力學、化學、磁學、熱學、電學等物理化學學科的歷史，莫不是一再重演上述發展歷程，因此，三部曲模式很可能被理解為一種「科學發展的規律」，進而被引伸為新興學科的「發展規範」——也就是，如果一個新興學科的典範既已確立之後，就不該再爭辯哲學問題來干擾它的常態科學進展。正是這種具有規律和規範的詮釋可能性，使得波柏、拉卡托斯和費耶阿本，不約而同地批判孔恩的「常態科學」觀念，要不是在實然上不能成立，就是在應然上會造成教條與壟斷（Lakatos & Musgrave 1970）。

我認為孔恩的「常態科學」觀念是有益的，因為它能為一個典範與原型版本修改與深化發展保留時間，可是我也同意波柏等人對孔恩的批判：在一段時間內只有單一典範和單一常態科學對科學的發展是不好的。進而，我不同意孔恩主張在常態科學時期，科學家實際上會漠視形上學與方法論的爭論（亦即常態科學往往是個實證主義引導的發展階段）——至少在實證主義興起之前並非事實——這種實然的模式被當成一個規範或引導時，造成不利的結論：常態科學時期的科學研究不該爭論科學理論和實作中的哲學問題。

本書論證，我們可以一方面接受「常態科學」的觀念，主張常態科學是個有意義的、甚至是應然的階段，另一方面也堅持哲學思考（方法論、知識論和形上學）不會妨礙到它的開展，相反地，哲學思考不僅在危機階段成為科學活動的重心，在常態科學階段，仍然扮演著形塑理論和引導發展的角色。更精確地說，哲學（形上學和方法論）不僅是所有科學理論的內在成分，同時也能促成不同理論版本的誕生，引導一個理論版本家族的成長——這意味著我們應該把孔恩所謂的典範和常態科學，理解成一個繁盛、壯大的理論版本家族。如何把這樣的實然模式應用為發展規範？讓我先討論費耶阿本的理论增生原則，因為實然上的理論版本家族成長的觀念，在應然上相容於增生原則（principle of proliferation）。

費耶阿本所謂的「增生原則」是在批判孔恩的「常態科學」觀念時，所提出來的一條暫行的方法論原則。¹² 他主張科學研究不是定於一尊，在單一獨大的典範之壟斷下從事鉅釘枝節的解謎活動，才能導致科學革命。相反地，如果沒有不斷地提議另類理論，以增加原典範理論的困難，並提供不同的選擇，科學革命也不可能產生。增生理論則有賴於哲學論辯的啟發。在批評常態科學與典範威權的觀念時，費耶阿本並不反對典範在引導理論充分

12 費耶阿本不是以「反對方法」而著稱嗎？為什麼他在這裡提出「方法學原則」呢？其實，費耶阿本反對的是「科學理性論」的那種方法。科學理性論一般主張一種定於一尊的科學理性，它體現在一套方法學規則中，滿足這組規則的研究，才是科學的。然而，他在此處的「方法學原則」並不是理性論意義下的方法學原則。正如文中「暫時」的形容詞，費耶阿本提出兩條「原則」乃是基於他的論述策略，當這兩條「原則」的應用是主張每個人都可以固守自己的偏好，不接受任何一個權威，去發展提議自己的理論，而且不輕易放棄時，它們已經隱然地呼應了他的「什麼都行」（anything goes）的宣言了（Feyerabend 1970）。

發展上的功能，但他提出「固執原則」(principle of tenacity)來表達這種功能。「固執原則」意指科學家應該固守於自己的理論，不輕言放棄，使它有機會和時間得到充分的發展。就方法論而言，固執原則與增生原則是一對共存並生、一體兩面的原則，它們使每位科學家都不斷提議新理論(理論增生)，而且堅守理論努力發展，產生多元競爭的局面，終而導致科學革命。費耶阿本論證，在這樣的應用和描述下，常態科學的觀念根本就不必要，而且實際(實然)上也不存在常態科學的階段(費耶阿本也以歷史實例簡單地展示這點)。

以孔恩的模式和語言為參考架構，讓我們重述費耶阿本的立場：

(F) 科學的發展其實是不斷地發生科學危機和科學革命。但它們並不是兩個時間性的階段，而是應用增生原則和固執原則所產生的結果。因此也不是孔恩所謂的常態科學階段的解謎活動才導致科學革命，而是科學危機時的哲學論辯，導致理論增生，在多元競爭的格局下，科學革命才得以發生。

本書提出的理論版本家族發展的模式，能保留孔恩的「常態科學」觀念，又能引入費耶阿本的增生原則和哲學思考的功能。費耶阿本的增生原則主張科學家應該增生「典範的候選理論」，即所增生的理論都具有競逐典範的潛能。可是，我主張我們應該把理論增生修改成「理論版本的增生」。也就是說，科學家可以或應該接受某一理論(版本)是個典範的、原型的版本，並依此發展不同的理論版本，在從事解謎(題)活動的同時，勢必也要修正或改變原版本的概念，產生新的版本。在這個發展過程中，方法論和形上學等哲學思考扮演引導產生新版本的關鍵功能。長

期增生理論版本的結果，構成一個理論版本家族，常態科學就是一個理論版本家族的成長與壯大的階段。前幾章許多案例研究展示並沒有「單一典範」獨大的時期，但是這也不意味常態科學不存在——每個理論家族發展壯大的時期，都是它自己的常態科學階段——這是一種多元而非一元的「常態科學」觀念。我推薦這是一個好的、成功的科學發展模式。在這樣的方向下，科學家（包括自然和社會科學家）應該重視哲學思辨（形上學的概念分析、方法論的價值思考、認知評價系統的建立等）以產生新的理論版本——做為典範版本的變異，如此才能進一步促成家族的擴張，甚至導致新家族的建立。總而言之，理論版本家族發展的「實然模式」，可以被用為一個「規範性的主張」——這個主張只是被推薦的，它不是一個針對科學性的定義，也不是強制的、必然的要求。

伍、認知價值與社會價值

當本書強調認知評價與認知價值做為發展原因和動力時，一方面消除了事實與價值截然區隔的鴻溝，另一方面也預設了認知價值與社會價值（social values）的二分法。所謂社會價值是指像種族、道德、愛、人道、和平、民主等不管是好是壞、被人們認為「值得追求的目標」，直覺上，這類價值目標當然不可能、也不應該做為認知的判斷標準——有時科學的價值中立性（value-neutrality）指的正是科學應該中立，或無關於這類社會價值。

女性主義科學哲學家蘭吉諾（Helen L. Longino）在1995年開始挑戰這認知價值與社會價值的二分法（當然，也可以說巴恩斯更早挑戰了這二分法，不過巴恩斯挑戰的是更廣泛的認知與社會的二分法）。她從女性主義者對現行科學的批判中，歸納出幾

個女性主義價值，例如（性別）經驗的適當性（empirical adequate）、新奇性（novelty）、存有論的異質性（ontological heterogeneity）、互動的相互性（mutuality of interaction）、當前人類需求的可應用性（applicability of current human need）、權力的分散（diffusion of power），它們都沒有出現在科學家和科學哲學家慣用的「認知價值表」中，它們一般被認為是「非認知價值」（Longino 1995, 1996）。因為「（性別）經驗的適當性」意指如果有什麼研究忽略了女性或者樣本集中在特定族群，它就是經驗上不適當的，它其實強調的是「性別」的價值。「新穎性」意指理論或模型在重要的方式上不同於目前已被接受的理論。這不是指「新奇預測」（有經驗意義），而是純粹為新穎而追求之。「存有論的異質性」或「存有論的多樣性」（ontological diversity）意指理論設定不同種類的存有物，而且容許不同的對待，它對立於「存有論的均質性」（ontological homogeneity；往往被連結到「簡潔」這個認知價值）。「互動的相互性」意指理論所設的存有物和歷程彼此間是相互的，而非單向的。很多女性主義科學家把複雜的互動當成說明的基本原則。「可應用於當前的人類需求」和「權力的分散」則是兩項實用價值，與它們相關的是理論和模型應用之後的效果，前者用來判斷哪個理論較能迎合當前的人類需求；後者用來判斷哪個理論能促使權力分散，而非使權力集中（亦參看拉琪〔Lacey 1999: 218-223〕的詮釋）。

我們對認知的直覺告訴我們：一個理論不該僅因為它是新穎的、它設定的存有物多樣、它揭示事物的雙向互動、它可應用來滿足人類需求和它能幫助權力分散，就被挑選出來。可是，蘭吉諾爭論，這些所謂的非認知的價值也能做為認知的目的，而傳統的認知價值在某些脈絡下則可能產生社會政治的效果，因此，認

知價值與非認知價值的二分法根本就不能成立——是否能做為認知的目的或者可能產生非認知社會政治效果，必須依賴脈絡而決定，論證如下（Longino 1996: 51-54）。

首先，女性主義者提出「新穎性」的目的在於她們認知到許多已被接受的理論，由於隱藏性別區分而產生性別壓迫的作用，因此有必要推薦有別於目前已被接受的新理論。相反地，「外在一致性」則與目前已被接受的理論一致，使得性別持續無形化。在這種情況下，「外在一致性」明顯可被用為政治社會的目的，成為一個維繫保守社會傳統的價值判準。其次，「簡潔」也可能背負了社會政治的價值。因為簡潔可以被解釋為在存有論上，設定越少種類的存有物越能滿足此項價值。則簡潔的理論可能會使得科學家忽略存有物不同的存有條件，尤其是在社會科學的領域中。例如新古典經濟理論總是假定經濟人都是「理性自利的個人」，把不同社會位置與行為條件的差異抹除掉。如此，雖然滿足「簡潔」的判準，卻可能維繫既存社會中性別或階級不平等的結構。女性主義推薦具有「存有異質性」的理論，反而可以對治「簡潔」可能帶來的政治社會的不良效果。再來，女性主義的兩個實用價值，支持能夠用來改善生活條件、降低權力的不平等的理論或模型，使得選擇理論的科學家必須超出研究的內在脈絡，而去考慮更廣大與更未來的政治、社會和經濟脈絡。相反地，「豐富性」只考慮研究脈絡內部，反而產生保守現狀的效果，例如如果一個理論作出的預測有助於鞏固既有的權力結構（假如有一理論宣稱能「客觀地」預測未來女性任主管的機率只有20%），那麼這種預測本身其實就是政治的，而不是認知的。如此一來，我們就不能說一致、簡潔、豐富等價值一定是認知的；而女性主義的價值就一定非認知的。

蘭吉諾提醒我們，她的討論並不是一致、簡潔和豐富等就一定會產生政治社會的效果，而是在特定的脈絡下，對比於某些女性主義價值，它們可能產生非認知的效果。同樣地，女性主義價值的認知效果，也要依賴於脈絡。總而言之，價值做為認知目標或有政治社會的非認知效應，都是受限於脈絡的。所以，蘭吉諾稱她的觀點為「脈絡經驗論」(contextual empiricism)。因為一方面，蘭吉諾接受實驗與觀察的證據構成了我們評估理論的基礎，也就是接受傳統上所謂的認知價值(它們和經驗證據密切相關)；另一方面，也主張資料是否能做為證據卻必須依賴於背景假設(科學推論如何依賴於背景假設？參看陳瑞麟〔2010〕簡介)。不同的脈絡會有不同的背景假定，與種種目標與價值相關，從而決定不同的評價。也就是說，價值要能促進認知目標必須依賴於脈絡而定(Longino 1990, 1996)。

脈絡經驗論的脈絡主義成分，是否會造成相對主義的結果，導致科學探討沒有客觀性可言？蘭吉諾承認這種可能性，因此她追問「控制背景假定」的可能性。要減輕對某種背景假定的主觀偏愛之影響，把主觀轉化成客觀，必須依賴於社群的互動，以及社群所建立的幾個制度性的特徵(或者也可以說是「制度性的規範」)：

(I1) 社群必須有批判證據、方法、假定和推理的公共論壇；

(I2) 社群必須回應批判。不只是寬容異議，還必須回應發生在內部的批判。

(I3) 社群必須有公開承認的價值，使成員可以據以評價理論或假說；也使他們可以根據社群的探討目標來進行批判。

(I4) 社群的共識必須是由所有相關觀點批判對話後的結果，而不可以是排除異議或純政治經濟力量的結果。

乍看之下，蘭吉諾一方面主張價值的認知作用是依賴於脈絡的，另一方面又主張社群必須有公開承認的價值，這兩個主張如何相容而不衝突？其次，如果消除認知價值和非認知價值的二分法，會不會為利用「種族歧視」、「性別歧視」、「階級歧視」、「鞏固權力中心」等負面的社會價值來選擇理論的人打開方便之門？換言之，我們能夠合理地接受她消除這二分法的提案嗎？

就今日科技發展的情勢觀之，蘭吉諾消除認知價值與非認知價值的二分法是有其現實基礎的。例如基因工程的發展，已經把道德捲入理論和技術發展或選擇的考量中。要不要使用人類胚胎幹細胞來作研究？要不要從事複製人類的實驗？要不要從事某種會使受試者感到痛苦的動物試驗？絕不是與道德無關的事。道德價值確實深深地進入科學理論與方法的選擇中。如果道德要求我們不應該使用人類胚胎幹細胞來作研究，那麼有關人類胚胎幹細胞實驗的知識、方法和技術就不應該被選出來加以發展。在這些議題和脈絡下，道德價值確實扮演了認知的角色——用來挑選或不挑選某種知識、理論或方法。

問題是：消除認知價值與非認知的社會價值的二分界線，立即引發的最大疑慮就是：「種族歧視」等各種負面價值是否可以堂而皇之地用來選擇理論（歷史的例子如十九世紀的顛相學、阿利安科學、女性主義長久批判的男性中心科學）？當然，我們可以說這些負面價值違反了道德，所以我們不應該使用它們當成選擇理論的判準。可是，這是否暗示科學終究得從屬於道德的約束？而且正面的道德價值是否就可以當成選擇理論的判準？例如

拉馬克 (Jean B. Lamarck, 1744-1829) 的「用進廢退說」似乎比達爾文的「物競天擇說」更能滿足「努力上進」的正面價值，所以我們應該選擇拉馬克的理論？當然不是。蘭吉諾爭論的只是：我們無法劃出一條明確的界線來區分所謂的認知價值和非認知價值，也無法把各種價值一一歸類到兩邊。一個價值是否能用為認知的目的，必須由脈絡來決定，而一般的社會價值的確可能產生認知的功用。

如果「生命」這價值告訴我們應該選出一個維護生命的科學理論，則它具有認知的作用。當然，如果生命的價值告訴我們應該在生活中「守護生命」時，它的功用就與知識無關，在此脈絡下它只是個社會或道德的價值。這似乎意謂一個價值是認知或非認知，要依賴它在脈絡中的功能角色 (functional role) 而定。但是，這顯然不代表「認知價值」這樣的概念可以全盤被廢棄。換言之，我們可以由「功能論」的觀點來理解價值的區分——讓我們稱作「價值的功能論論題」(functionalist thesis of value)：

(F) 如果一價值在某個脈絡中扮演認知的功能角色或可用為認知的目的，則它此時是「認知價值」；如果該價值在另一脈絡中能產生道德規範或政治效果的作用，則它是「道德或政治價值」。

直覺上，我們又總是感到「準確」、「一致」、「豐富」等價值與「人道」、「和平」、「愛」等價值有相當的差異。前一組似乎傾向用為認知的目的（雖然它們可能產生政治社會性的結果），而後一組一般是行為的目的（雖然它們也可用為認知上的目的）。因此，本書主張「內在認知價值 (intrinsically cognitive values) 或核心認知價值」與「工具認知價值 (instrumentally cognitive

values) 或輔助認知價值」的區分：前者是傳統上所謂的認知價值；後者則是可扮演認知的功能角色的社會價值。這個區分是否有其合理基礎呢？

本文主張內在認知價值有：說明力（廣義的「經驗適當性」可以納入此項價值內）、準確、內在一致性、範圍寬廣、簡潔、豐富、可落實性等等。¹³ 所謂「內在認知價值」之所以是「內在的」正是因為它們是認知產品（理論和實驗）本身的德性，也是前文所謂的「理論和實作潛能」。它們直接從認知產品和認知對象（客體）之間的關係中抽取出來的。它們是認知者（科學家）優越地處理認知對象提供的經驗之成果而具有的性質，所以內在認知價值不可避免地要與經驗和證據相關。例如「說明力」（或保全現象）在於判斷一個理論說明經驗現象的能力；「準確」則是理論在量上的計算要能一致於實驗數據；「內在一致性」告訴我們一個內在不一致的理論無法明確預測哪個經驗會發生；「範圍寬廣」要求一理論要盡可能把更廣泛的經驗納入處理。「簡潔」是一個比較含糊的價值，它至少包括「理論設定的存有物越少越簡潔」、「理論使用的概念越少越簡潔」和「理論公式和計算過程越少越簡潔」這三層意義。科學史上的科學家把簡潔當成「認知價值」可能與一致性有關，自然經驗必是一致的，而一致的經驗通常是簡單的。「豐富」則要求一理論要能預測更多新的經驗，因而提供更多謎題給科學家；「可落實性」要求一理論中至少部分概念或模型要能落實到物質上，從而創造新事物，為我們提供人為的新經驗。

13 其中，我移除傳統上的「保守性」（外在一致性），因為我認為保守性牽涉的是理論與理論的關係，勢必涉及其他的認知者，而不單純是認知者與對象的關係。

相對於內在認知價值，工具認知價值大部分是由「認知者」與「認知者」和「其他人」之間的關係所抽取出來的價值。¹⁴ 它包括了一切可以在某些特定脈絡下做為認知目的的價值。讓我們考察蘭吉諾整理的那組女性主義價值：「新奇性」乃是相對於其他認知者接受的理論而新奇（相對地，「保守性」也該列入此工具認知價值內，因為它指理論相容於其他認知者已接受的理論）；「可應用於當前的人類需求」和「權力的分散」很明顯涉及其他非認知者的主體。「存有論的異質性」和「互動的相互性」是較特殊的兩個，因為它們似乎是從認知對象抽取出來的。可是，兩者有其受限的應用範圍，它們通常應用於認知對象是人類主體的時候，因此它們間接與人類主體相關（參看上一節的討論）。我們之所以在這類價值加上「工具」或「輔助」的形容詞，乃是因為本文主張工具認知價值只有在輔助內在認知價值的實現之時，才能扮演認知價值的功能角色。

有一個值得舉出討論的特殊價值是「啟發力」（*heuristic power*），它似乎介於「核心認知價值」和「工具認知價值」之間。一個具有啟發力的理論，意謂它比其它理論或模型更能誘使研究者使用它去說明更多現象、收納更多經驗。因此，它似乎同時涉及「理論和經驗」與「理論和其他認知者」的雙重關係。一

14 在實在論的傳統中，知識純粹只是認知者與認知對象之間的關係。例如柏拉圖對知識的古老定義（知識的三條件）： p 為真，而且 S 有證成地相信 p 為真。其中的「證成」可是由種種「認知價值」來定義。可是，一旦我們接受社會價值也可能當成選擇知識的判準時，我們對「知識」這概念的理解，就蘊涵了一個截然不同的架構，知識現在是認知者、其他認知者、其他相關主體（非認知者）與認知對象之間的四元或四角關係。這個新的知識基本架構，可以說是許多發展「社會知識論」（*social epistemology*）的學者之共通架構。可參看蘭吉諾《知識的命運》（*The Fate of Knowledge*, Longino, 2002）中的討論。

個啟發力強大的理論，往往能夠形成龐大的理論家族。因此在很多脈絡下，它常被看成核心的認知價值，而且特別可以用來評價一個新興或雛形的理論或模型。

蘭吉諾並沒有告訴我們，是否容許在某個特殊的脈絡下，我們可以依靠一個價值如「權力的分散」或「存有論的異質性」來當成選擇理論的唯一判準？根據上文的討論，我們的答案顯然是不能。「工具或輔助認知價值」之所以能夠扮演認知價值的角色，在於它們能促進更多認知價值的實現。換言之，工具或輔助認知價值不能單獨運作為選擇理論的判準，因為它幾乎不能產生認知效益（cognitive utility）——認知價值實現的結果。也就是說，我們在此提出一個規範性的主張，一個「條件命令」（hypothetical imperative）：

（N3）如果我們想要得到最大的認知效益，則我們不該把任何一個工具認知價值當成是選擇理論時的唯一判準。

可是，這並不能排除在實際上（實然上），有科學家可能把某一個工具認知價值當成選擇理論的唯一判準。¹⁵ 進而，這也不意謂在應然上，工具認知價值的應用，絕不能牴觸任何一個核心認知價值。也就是說，「輔助」或「工具」的形容詞並不意謂它們在整體價值的權衡上，不該凌駕於任何一個單一的內在認知價值上。如同蘭吉諾已論證，像「存有論的異質性」和「權力分

15 「科學劃界」與「科學評價」是兩回事。儘管可能有科學家（他從事的研究確實屬於科學的領域）做出違反（N1）規範的判定，這時我們將說他的決定是個「不合規範的判定」（norm-violated or anomalous decision）。但是，如果我們把「理性」定義在「工具理性」（即為達成某個目的而選擇適當、正確的工具）時，則他的決定未必是個「不合理的決定」（irrational decision）。這是有關「理性」的問題，我暫時不深入討論。

散」等工具認知價值，可以在某些脈絡下，超過並懸置「存有論的簡潔性」和「豐富性」的判斷。可是，我要堅持，一個工具認知價值之所能凌駕某個核心認知價值是由於它能促進其它更大的認知價值總量（value sum）之實現。例如，在一個確實存在結構性的性別差異或階級差異的脈絡下，如果科學家堅持使用「存有論的簡潔」來選擇理論，可能會大幅損失對某些現象的說明力；但如果我們選出「存有論的異質性」的理論，則可以增加對於經驗現象的說明力，甚至可以增強對於未知現象的預測力，如此增大了認知價值的總量。¹⁶ 上述討論預設了兩條規範：

（N2）如果我們想得到最大的認知效益，則在理論選擇時，我們應該考慮理論在脈絡中所相關的一切核心認知價值和工具認知價值，經過理性的權衡以獲得最大的認知效益總量。

（N2）規範強化了（N3）規範的合理性，因為沒有任何理論在任何脈絡中，只相關於單一個工具認知價值，而沒有與其它核心認知價值相關的。還有一是關於「工具認知價值」這個概念的規範性定義（我對這三條規範的推導是從 N3 回溯到 N1，不過在邏輯秩序上，則是 N1 蘊涵 N2，N2 蘊涵 N3）：

（N1）一個工具認知價值（一般的社會價值）之所以能產

16 舉一個更具體的例子，在護理照顧理論中，如果一個護理理論模型只考慮「病人」這個存有種類，而使用統計數字統計出「病人」的平均反應，再據以擬定照顧護理的措施；另一個理論模型卻把「病人」的年紀、身分、地位、家庭環境都納入考慮，構成許多不同種類的「病人」，則其所擬定的照顧措施也相對地複雜。那麼，前一個理論滿足「簡潔」的價值，後一個理論則滿足「存有論的異質性」，可是，選擇前一個理論，可能會忽略不同種類的病人，對於相同的照護措施可能會有不同的反應。如此將會損失了說明力、預測力和可落實性。

生認知價值的功用，唯若其所促進的核心認知價值大於其所懸置的核心認知價值，亦即其所實現的核心認知價值之總量是一個正淨值。

根據這三條規範，如果一個社會價值被用來從事理論選擇，卻不能產生核心認知價值的正淨值，那麼這個價值的應用在此脈絡下，就不該被視為「工具認知價值」，它只是一個以純粹的社會或政治力量來干預科學與知識的例子。如此一來，我們就可以有認知上的理由，來排除種族歧視、性別歧視等負面價值做為認知價值的合法性，因為根據種族歧視和性別歧視等負面價值來作選擇時，不管是指向理論內容或指向提出理論的研究者身分，都只會產生核心認知價值的負淨值。¹⁷ 同時，我們也有認知上的理由來排除完全以正面的道德價值來做為選擇理論的判準（如以拉馬克的理論符合「努力上進」的價值而選擇它）——因為此時並不是在作認知判斷，而是在作道德判斷。

最後，我們同意蘭吉諾的「價值的脈絡依賴性」之主張。可是，如果一方面價值是依賴於脈絡；另一方面，社群又必須要有公開承認的共享價值，則社群的成員必須對理論所處理的脈絡有共同的認知，如此才能對脈絡產生共識，進而對應該應用哪些認知價值產生共識。所以，本文主張，我們應該在蘭吉諾所刻劃的四

17 如果是根據理論提出者的種族身分或性別身分來做為選擇或排除此理論的判準，顯然是完全不考慮「核心認知價值」的決定，違反了(N2)規範；如果針對一理論擁有種族歧視或性別歧視的內容時，例如只以某一種族或某一性別為抽樣的樣本，再加以統計，則此理論將會損失說明力、準確性(統計偏差)、簡潔性、範圍寬廣、豐富性、可落實性(對於不同的種族和性別就無法落實)等，即使它可能是一致的，它的核心認知價值之淨值，仍然是負的。如此違反了(N3)規範。

條關於社群的制度性規範中，再加上第五條：

(I5) 社群必須是脈絡敏感的 (context-sensitive)，他們應該努力去辨識理論、方法、價值和批判是出於什麼脈絡。

我已經在蘭吉諾的「脈絡經驗論」之基礎上，重新提出一個科學理論選擇的評價方法論，它包含「價值的功能論論旨」、「核心認知價值與工具認知價值之區分」、「三條認知價值的後設應用規範 (N1)、(N2)、(N3)」和「五條科學社群的制度性規範 (I1) ~ (I5)」，它們的目的在於創造一個科學評價能應用的制度，以實現科學認知目的。

陸、科學行為者做為評價者

由於事實與價值的在實踐上的互動，我們對於科學實際發展的模型，有兩種規範性的態度、對立的評價：一是現行科學實際發展的模型是好的，應該用來引導科學未來的發展；另一是現行科學實際發展的模型是不好的，未來的科學不應該再繼續受制於該模型。

如果 SSK 和社會建構論對於科學發展的利益模型能配合部分的經驗資料，這個模型可以受到推薦並用為未來科學發展的引導嗎？如果我們把它當成一個好的規範和引導，豈不表示科學的發展應該朝向利益和同盟（西瓜靠大邊）？如果我們不能接受單靠利益來引導科學的發展，意謂我們必須要再提出其它好的發展方向、規範模式、評價標準，這意謂著「價值」有可能引導當前和未來的科學發展。如果價值可以引導當前和未來的科學發展，為什麼過去的科學發展就只有利益而沒有價值的角色和位置？這再次證明社會建構論的「利益基礎說明」，還有其著作中忽視價

值的因果角色是有侷限的、甚至是錯誤的。

很多人以為 ANT 重新把非人、物質和工具的角色引入網絡中，彌補了社會建構論偏於社會一面的缺失。然而重點不是非人與物是否被排除或被納入，而是認知因素與評價因素被排除——在這方面，ANT 並沒有比社會建構論更好。儘管反對社會建構論，ANT 仍然是利益基礎的描述，即使它把非人的物「納入考量」，它仍不是以經驗認知和價值判斷來決定物的位置，而是把非人與物也納入利害考量之下，如同布洛爾的批判「把有意圖的詞彙用在沒有意圖的事物上」。更糟的是，ANT 拒絕「事實與價值」、「實然與應然」、「自然與社會」、「客體與主體」的區分，結果 ANT 的模型大方地被用為規範和引導，ANT 發展的轉換策略和戰術，堂而皇之地被用為「成功的法門」、「行銷的訣竅」：科學家不再需要在意自己的產品夠不夠好，只要懂推銷就可以了？ANT 的辯護者可以辯稱：產品不好也很難推銷。問題是：拉圖在《行動中的科學》中的論述幾乎沒有在意過產品好不好的問題。再者如果真的主張「產品不好，也很難推銷」，就必然得把「認知與價值」引入科學動力學的探討內。¹⁸

18 儘管我反對拉圖的「利益轉換理論」可以適用於科學，但它確實是「有趣」也「有價值」的理論，適用於許多事物。如果在科學活動中，認知與價值是必要的，那麼我們可以模仿拉圖建立一個「價值轉換理論」，或許有如下策略：(1) 讓別人認為你的問題有價值（因為有價值，所以有趣；反過來說，有趣不一定有價值）；(2) 讓你的問題與別人的問題是相關的，別人的問題需要你的問題之解決的幫助之下才能得到好的解決（你的問題之解決不僅對別人是有益的，而且可以幫助他們解決得更好）；(3) 發現你的領域或社群重視什麼樣的認知價值，使你的問題之解決，盡可能地滿足最多的認知價值（被社群評價為好的解決）；(4) 創造或發明新價值，而且說服他人這個新價值可以幫助社群其它價值的實現、帶給社群很大的利益；(5) 證明你的問題之解決，可以實現這個新價值。我希望另文發展此一價值轉換理論。

總而言之，社會建構論和 ANT 最大的缺失在於過度強調「科學行為者」（不管是人或非人）只是追求欲望的欲求者（wisher）和只重利害考量的算計者（calculator）；然而，如果我們需要科學、如果我們想引導科學的未來發展，科學行為者就不能只是欲求者和算計者，還必須總是一位好奇地想知道未知的探討者（inquirer）和認知者（knower），也必須總是一位不斷地在進行好壞判斷的評價者（evaluator）。進一步來說，認知與價值總是優先於利害考量，因為好的、有價值的認知產品與認知建構物，才能帶來長遠的利益——利益在這種情況下，不是原因而是結果。不能被其他科學家評價為好的、有認知價值的科學產品，即使可以在一些推銷技巧下、在利益勸誘與動員下，獲得短期的成功，但是長遠看來，終將失敗。

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

認知與評價：科學理論與實驗的動力學／陳瑞麟著.--初版.--

臺北市：臺大出版中心出版：臺大發行，2012.11

冊；公分.--（臺大哲學叢書；5-6）

ISBN 978-986-03-3498-2（全套：平裝）

1. 科學哲學 2. 科學實驗 3. 模型論

301

101017073

臺大哲學叢書 05

認知與評價：科學理論與實驗的動力學（上）

作者 陳瑞麟

叢書主編 林正弘

總監 項潔

責任編輯 潘乃慧、蔡忠穎 文字編輯 李育琴

內文編排 藍天圖物宣字社 封面設計 張瑜卿

發行人 李嗣涔

發行所 國立臺灣大學

出版者 國立臺灣大學出版中心

法律顧問 賴文智律師

印製 卡樂印刷有限公司

出版年月 2012年11月

版次 初版

定價 新臺幣600元整（上下冊不分售）

展售處 國立臺灣大學出版中心

臺北市10617羅斯福路四段1號

電話：(02) 2365-9286

傳真：(02) 2363-6905

臺北市10087思源街18號澄思樓1樓

電話：(02) 3366-3991~3轉18

傳真：(02) 3366-9986

E-mail：ntuprs@ntu.edu.tw

http://www.press.ntu.edu.tw

國家書店松江門市

電話：(02) 2518-0207

臺北市10485松江路209號1樓

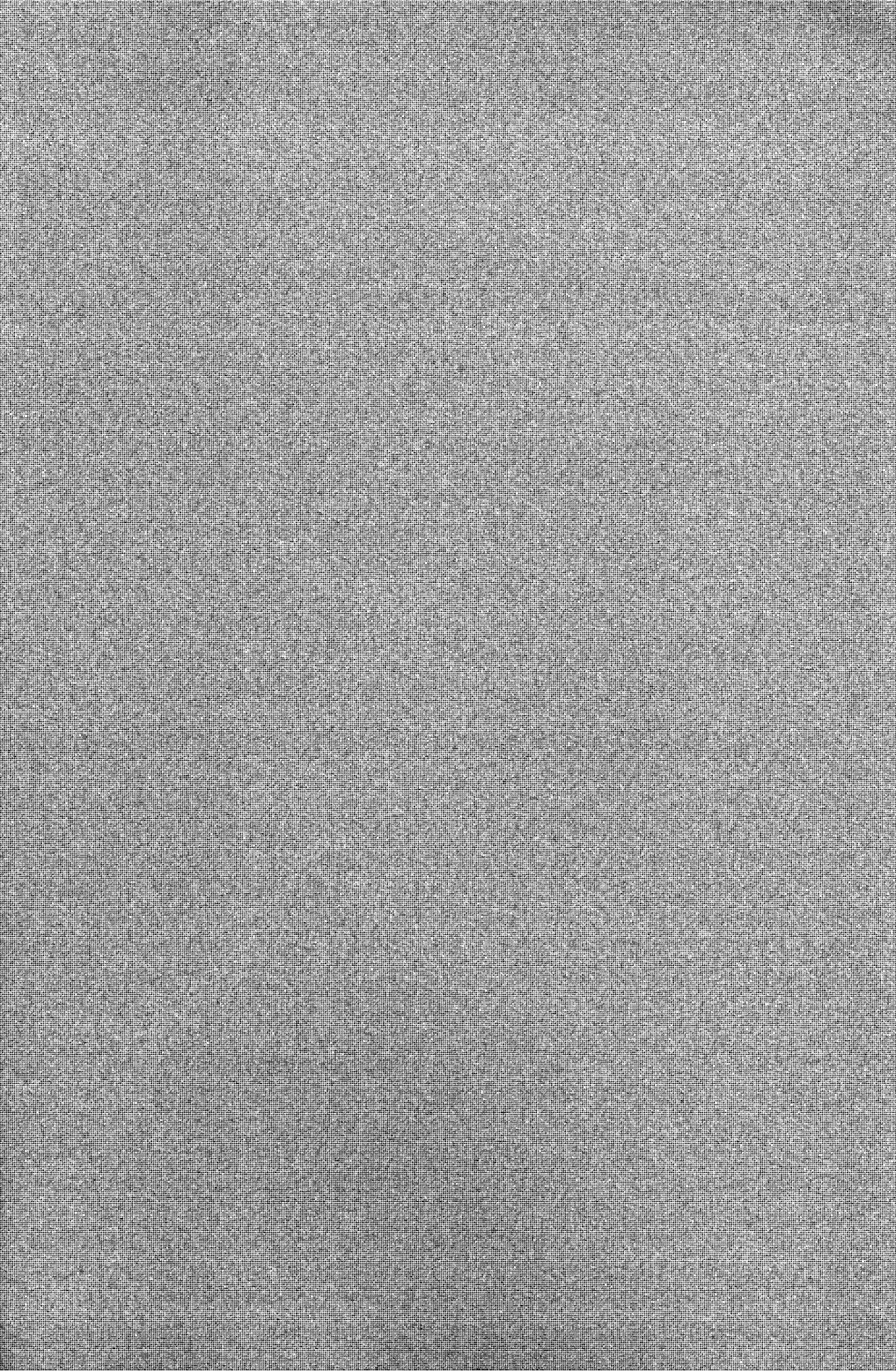
國家網路書店

http://www.govbooks.com.tw

ISBN：978-986-03-3498-2

GPN：1010101837

著作權所有・翻印必究



認知 與評價

科學理論與實驗的動力學

本書是一部科學史與科學哲學 (History and Philosophy of Science) 專著，也與「科技與社會」(Science, Technology and Society) 理論有深度的對話。上冊是第一部分「模型與理論」，包含〈導論〉以及第一到第六章；下冊是第二部分「實驗」，包含第七到第十二章以及〈結論〉。

本書企圖建構一個科學理論與實驗發展與演變的動力模型、一個科史哲理論，總結有下列主張：

- 1 科學理論和實驗的發展共享一個人類家族似的發展樣式，即透過對先行者（親代）結構局部的修改，而產生彼此間具有家族相似和歧異的後繼者（子代）來描述。
- 2 此發展樣式的原因和動力，是科學家對先行理論與實驗作認知評價後，局部修改其內在結構，再發展自己的新版本。
- 3 模型媒介於理論和實驗之間，必須透過模型來分析理論和實驗的內在結構。
- 4 理論、模型、實驗與世界兩兩之間的關係，可以透過結構相似程度的比較來進行認知判斷；其比較方法是分析理論、模型和實驗的結構成為組成局部，再比較先行者與後繼者的局部和對應局部的相似性來作判斷；此方法為認知評價提供一個較客觀的參考架構。
- 5 科學活動有發現、結構、發展（發育或發生）、變遷、社會環境、規範等多元向度，彼此在不同的脈絡中互相關聯，但不能被化約到發現脈絡和證成脈絡的二分架構上。
- 6 我們可以推薦新的認知評價來引導科學未來的發展。如此，原因和動力的實然與認知評價的應然不斷地互相循環、互相影響。



臺大出版中心

NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY PRESS