

科學理論與實驗的動力學

Cognition and Evaluation

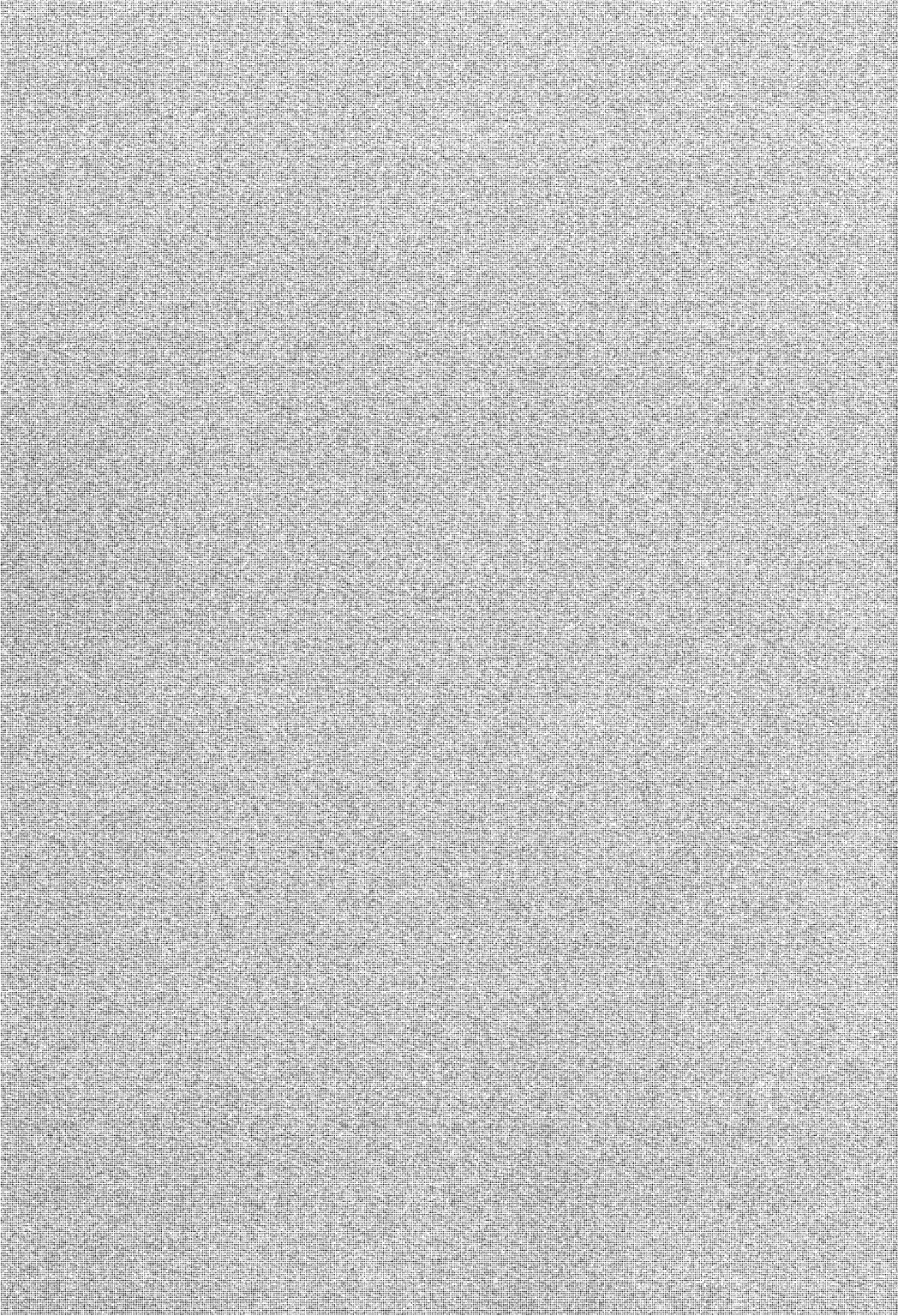
A Dynamics of
Scientific Theories and
Experiments

認知 與評價

下

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

下

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

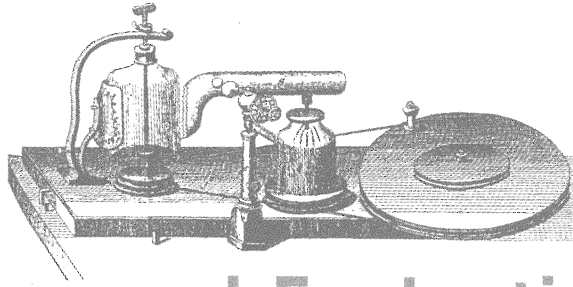
下冊

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



Cognition and Evaluation

A Dynamics of
Scientific Theories and
Experiments

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？

民間傳說，實驗必須是可重複的（repeatable）。這已產生哲學的偽問題。多樣化的實驗比相同事件的重複更重要是極其清楚的。結果，哲學家要不是試著展示重複比原版更有價值；要不就是使用機率演算試著說明為什麼重複較沒價值。可是，這都是偽問題，因為粗糙地說，沒有人曾經重複一個實驗。（Hacking 1983: 231）

——哈金，《表徵與干預》

哈金所謂的「民間傳說」，大致和邏輯經驗論的觀點相近。嚴格說來，邏輯經驗論幾乎沒有談到實驗，他們談的是觀察。無疑地，他們談的觀察當然要包含實驗結果的觀察。既然邏輯經驗論主張：要判斷一個理論假設的真假，要透過經驗觀察的檢驗，觀察到重複出現的事件，就給了該理論假說一個「歸納或統計的驗證」。同理，如果被觀察的是用來檢驗理論的實驗結果，那麼這個實驗理當要不斷地被重複操作，並觀察到相同的結果，理論假說才能得到高度的驗證。那麼，邏輯經驗論是提出一個看起來好像很愚蠢的主張：「一位實驗科學家要像機器般不斷地重複執行他已經做過的實驗，來為某個理論提供高度的驗證嗎？」當然也不是。邏輯經驗論的精緻主張是「主體際的可檢驗性」（intersubjective testability）：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。¹ 問題是，這個觀點似乎意謂重複實驗仍然使用相同的工具和裝備，以便產生相同的結果。若如此，歷史似乎顯示沒有人曾經重複一個實驗。哈金承認：「有時，當人們不相信實驗結果和懷疑它時，會再試試。」這並不是出於歸納地驗證理論的動機，而且「典型的一個實驗的嚴格重複，是企圖把同一件事做得更好——產生一個更穩定、較無雜訊的現象，一個實驗的重複通常使用不同的裝備。」(Hacking 1983: 231) 但是，這種使用不同裝備的重複實驗，顯然不是邏輯經驗論意義下的重複。在此我們有關於重複實驗的第一個問題：該如何理解重複實驗？在回答這個問題之前，或許我們應該先問：

為什麼要重複一個實驗？重複實驗是否真有其必要性？

實驗的一個基本功能是「檢驗假說或理論」。科學家使用儀器和設備，經過特殊組合，使儀器運作並與實驗對象互動，從而產生數據，以做為驗證或否證一個假說或理論的證據。可是，實驗並不是完美的上帝，絕不出錯。相反地，不僅誤差在實驗中難以避免，甚至實驗本身也可能常常出錯：設計不良、儀器失靈或失準、外因干擾、操作不當等等。在真實的歷史上，也要考慮擁有人性的科學家，在誘惑之下從事欺騙的學術行為：偽造數據。綜合各種可能，實驗出錯的機率甚至比理論要高得多。在這種情況下，實驗要如何扮演裁決理論對錯的角色？

1 參看查默斯對於「歸納主義」(inductivism)的介紹：一個好的歸納論證必須滿足下列條件：(1) 形成通則基礎的觀察數目必須夠大；(2) 觀察必須在大量多樣的條件之下重複；(3) 沒有被接受的觀察陳述會和已導出的定律衝突 (Chalmers 1999: 46)。

理論之所以需要檢驗，乃是因為理論會出錯。如果實驗也會出錯，則實驗也需要檢驗。如何檢驗實驗？唯一的方式似乎是重做實驗。理想上，由不同的科學家，在不同的背景（觀念、物質、空間等）下，複製原實驗、重新執行來檢驗之。可是，如此一來，我們似乎仍陷入一個兩難：一方面，如果一個實驗需要被重複或複製，似乎意謂它有可疑之處，重做的實驗就不能和原實驗一模一樣，否則如何檢查原實驗的疑點？另一方面，如果重做的實驗使用相當不同的工具，以致和原實驗相當不同，那它還算是原實驗的複製或重做嗎？它還算是相同的實驗嗎？還有檢驗原實驗的效力嗎？

即使實驗實際上沒有出錯，支持一個被實驗結果否定的假說之科學家，仍然會對實驗起疑，從而產生複製實驗以檢驗原實驗的念頭。但是，他同樣也會陷入兩難：一方面，如果他以和原實驗一模一樣的背景觀念和工具來設計實驗，產生和原實驗一模一樣的結果，那麼他的工作只是多此一舉；另一方面，如果他依據自己的背景觀念，使用不同的工具和設計不同的實驗模型，則他的實驗還算是原實驗的複製嗎？還有檢驗原實驗的效力嗎？面對這些困境，我們究竟該如何理解實驗的重複？

該如何理解「重複實驗」、為什麼要重複（複製）一個實驗、重複實驗的兩難等疑問，可以總稱為複製問題（the problem of replication）。在討論以實驗來檢驗理論之後，緊跟著而來必須處理的就是這個難題。本章將以「赫茲的陰極射線的複製」這個著名的歷史案例，來做為分析的樣本。我希望能為這個歷史插曲，提供一個結構主義的、模型觀點的交代。換言之，我希望本章能達成下列三項目標：（1）以手段—目的的關係架構來分析科學實驗的結構，以建立一個關於科學實驗的結構之模式；（2）提

出複製程度（the replication degree）的概念，並以此概念和實驗的結構為基礎，提議一個判斷實驗是否被複製的一般理論；(3) 以此一般理論來分析赫茲的陰極射線實驗之複製。

壹、複製赫茲的陰極射線實驗

陰極射線（cathode rays）乃是一種放電時會發螢光的現象。在低氣壓的容器內，對間隔的電極施加電壓導致陰極放電，會在兩極之間形成奇特的光芒。十八世紀初已有電學家摩擦玻璃（產生靜電）而觀察到類似現象，一直到十九世紀末時，科學家才稱呼這類光芒為「陰極射線」，而且開始嘗試揭開陰極射線的本質和成因。

在 1883 年之前，關於陰極射線的本質，有兩個對立的假說。一個是乙太波假說，主張陰極射線在本質上是一種乙太波；另一個則是帶電粒子說，即陰極射線的本質是帶電荷的微粒子。德國科學家赫茲（Henrich Hertz）支持乙太波假說，面對僵持不下的局面，他認為只有訴諸於實驗來裁決。於是他在 1883 年時設計了一個實驗裝置，並使其運作。赫茲使用此裝置執行了一系列的實驗，其中一個被稱作「電荷偵測實驗」（charge-catching experiment），在陰極射線是帶電粒子的假定下，嘗試去偵測陰極射線的電荷。另一個被稱作「射線偏折實驗」（ray-deflection experiment），乃是在射線路徑兩旁內插電場，以便觀察射線是否被電場偏折。結果，赫茲並沒有偵測到電荷，也沒有觀察到射線的偏轉，所以他結論陰極射線不可能是帶電粒子。顯然實驗的總結果也驗證了他的信念：陰極射線是乙太波。儘管如此，一些法國與英國的科學家卻不願接受赫茲的結果。法國的培林（Jean Perrin）與英國的湯姆生分別在 1895 年和 1897 年，以稍微不同

的裝置重做了赫茲的實驗，並得到相反的結果(詳情看第四節)。

大多數的科學家和科學史家都接受培林和湯姆生複製了赫茲的實驗，而且證實赫茲的實驗結果是錯的。他們也都同意培林和湯姆生的實驗同時否證了被赫茲的實驗結果所支持的乙太波假說(Harré 2002; Thomson Sir George 1969; Whittaker 1989[1951])。其中的推論是，除非赫茲的實驗被複製了，而且得到相反的結果，否則我們不能宣稱乙太波假說已被否證了。培林和湯姆生的實驗確實滿足這兩個條件。

1995年，孔恩的學生、目前是著名的科學史家布赫瓦在其〈為什麼赫茲在陰極射線上是對的？〉(Why Hertz was right about cathode ray? 1995a)一文中，討論培林和湯姆生的實驗是否成功地複製了赫茲的實驗。文章標題很明白地顯示出他對科學史上的公認觀點之翻案意圖：培林和湯姆生的實驗並未複製赫茲的實驗。這個意圖的弦外之音是，赫茲對陰極射線的假說也未被前兩人的實驗所否證。

布赫瓦引用瑞德的「在一固定理論解釋下的複製」觀念來考察培林和湯姆生的實驗是否複製了赫茲的實驗。在分析之後，他製作了兩個比較表：

表 7-1 電荷偵測實驗 (Buchwald 1995a: 164)

赫茲	培林	湯姆生
結果：不帶電荷	帶電荷	帶電荷
1. 陽極靠近陰極	1. 陽極遠離陰極	1. 陽極靠近陰極
2. 電流被陽極環繞	2. 不相干	2. 不相干
3. 不相干	3. 不相干	3. 電荷偵測器不在陰極陽極軸上

表 7-2 陰極射線偏折實驗 (Buchwald 1995a: 165)

赫茲	湯姆生
結果：射線不偏折	射線偏折
1. 不相干	1. 低氣壓
2. 不相干	2. 從管中抽掉氣體
3. 電板內在管內	3. 電板內在管內
4. 內部電板放電可能強化偏折	4. 避免內部電板放電

根據這兩個表，布赫瓦說：

在偵測電荷實驗的表上，我們看到赫茲和湯姆生把彼此的部分要求視為不相干。培林則把他們兩人的規定視為不重要。雖然三人都把陽極陰極的關係視為意義重大的，培林的設備不同於赫茲和湯姆生的，後兩人則沒有不同。每位實驗者因此有其他實驗者無法滿足的關鍵要求。
(Buchwald 1995a: 164)

同樣地，射線偏折實驗也是一樣，赫茲和湯姆生彼此無法滿足對方的關鍵要求。因此，布赫瓦結論說：「使用瑞德的術語，湯姆生並沒有在一固定的理論解釋下複製了赫茲的實驗。」(p. 165) 他進一步認為如果時間箭頭可以倒轉的話，我們也可以有意義地說「赫茲並未重做湯姆生的實驗」(p. 165)。

馬提尼 (James Mattingly 2001) 拒絕布赫瓦的判斷。在他的論文〈複製赫茲的陰極射線實驗〉中，他論證湯姆生確實複製了赫茲的實驗。他小心地檢視這段複製歷史與布赫瓦的歷史分析，指出布赫瓦的錯誤在於把焦點放在實驗資源（即赫茲用在實驗上的金屬紗網）。可是，真正重要的不在於實驗工具，而是實驗目標。實驗者是從實驗目標導出他的所有要求。所以，如果湯姆生

可以達成赫茲的目標，也就能滿足赫茲的所有要求，那麼他就成功地複製了赫茲的實驗，不管他使用或安排什麼樣的工具。馬提尼因此建議我們應該把焦點放在赫茲想達成的目標上：

採納實驗目標的觀點，迫使我們投向一個更寬廣的網絡。我們首先把注意力放在實驗本身的要求上。對於這效應的產生而言，什麼是必要的？對於測量效應而言、消除不想要的背景影響而言，什麼又是必要的？只有當我們回答這些問題後，我們才能進展到相關複製的問題。我們該問的是，赫茲對於上述問題的答案是否已適切地重現於湯姆生的實驗中了？而不是問湯姆生是否使用了赫茲的紗網（Mattingly 2001: 73）。

循著這條分析線索，馬提尼對陰極射線的複製，提出一個新的歷史與哲學分析。他也做了一個赫茲和湯姆生實驗的比較表格（表 7-3）。在該表中，原先在布赫瓦的表 7-1 和表 7-2 中不相干的因素，現在被馬提尼歸屬於相同的範疇——即消除不想要的靜電干擾。他指出：「赫茲把他的偵測器隱藏在靜電場外，而湯姆生則把他的偵測器移到一個區域，使得靜電場產生的只不過是背景效應而已。」（p. 72）

表 7-3 電荷偵測實驗（Mattingly 2001: 72）

赫茲	湯姆生
結果：不帶電荷 1. 陽極靠近陰極 2. 法拉第籠包住整個裝置	帶電荷 1. 陽極靠近陰極 2. 電荷偵測器不在陰極陽極軸上

其中「法拉第籠包住整個裝置」代表赫茲使用感應生電的偵測方式，完全不會受靜電場的干擾。

這個比較容許馬提尼結論說：湯姆生的確滿足了赫茲的目標所導出的需求，因此複製了赫茲的電荷偵測實驗。但馬提尼也寫說：「我不企圖論證培林的實驗能完全滿足赫茲。」(p. 70)

馬提尼對布赫瓦的批評告訴我們：當赫茲把注意力放在實驗手段上時，馬提尼自己則強調目的。也就是說，一位以實驗手段來當成複製的比較標準，另一位則提出目的。但為何不同時考量手段與目的呢？同時把手段、目的和結果納入複製的標準，正是本文想採取的進路，我相信這個進路能對實驗複製提供一個更好的理解。在作法上，我們把「目的、手段和結果」當成所有實驗內具的抽象結構，亦即，一個實驗可以分析為實驗目的、實驗手段和實驗結果三個相互關連的局部，再把每個局部細分成更小的次局部。既然兩個實驗之間的複製之判斷，就是兩個實驗之間的相似性之判斷；又兩個實驗的相似性，可以由兩個實驗的實驗模型相對應的局部之相似性來加以判斷。換言之，兩個實驗的相似性程度，乃是其實驗模型的對應局部之間的相似性之總和。如此一來，我們就會產生相似性程度和複製程度的概念。很顯然地，這個進路可以說明馬提尼為什麼宣稱他不企圖論證培林的實驗能完全滿足赫茲。因為培林實驗對於赫茲實驗的複製程度顯然低於湯姆生的實驗。在進一步精確地分析實驗的結構和界定「複製程度」的概念之前，讓我們先考察荷蘭科哲家瑞德的「可重做性」。

貳、瑞德論實驗的重做與可重做性

哈金所謂「沒有人曾經重複一個實驗」的說詞，其實是個稍嫌誇張的說法。即使社會建構論的科學社會史家都不可避免地談到重複實驗，這種現象其實常在科學歷史上出現 (Collins 1985; Schaffer & Shapin 1985: 43)。不過「歷史上一個實驗實際被複製

了嗎？」與「任一個實驗是否有可能被複製？」是兩個不同的問題。科哲家較關心的是後一個問題，相關的觀念是「主體際的可檢驗性」和「可重複性」，它們顯然不同於一個實驗實際上是否被複製了。雖然「可重複性」理當參考實際上複製品和原件之間的關係來決定，但是在進入實然的考察前，澄清「可重複性」的觀念也是十分重要的，也就是說：究竟是實驗的哪一部分（實驗設備、實驗過程、實驗結果）是可複製的？瑞德（Radder 1988, 1992, 1995）的研究，為我們提供了一個分析探討的起點。雖然瑞德使用「重做」（reproduction）和「可重做性」（reproducibility）的術語來代替「重複」、「複製」、「可重複性」和「可複製性」等。但是，三者基本上是同義詞。

首先，瑞德把實驗過程區分成兩部分：物質落實和理論描述或解釋（theoretical description or interpretation）。所謂「實驗的理論描述」可以用一個條件句 $p \rightarrow q$ 來表達。其中 p 即是理論描述，它可以推出實驗結果的描述 q 。 p 乃是針對實驗的對象、設備、對象與設備的互動、資料處理等的描述，以及為何會發生某預測結果的說明，一般包含三個主要的成分：實驗對象和設備的準備、互動和偵測過程的步驟、潛在的外部干擾因素之監控（即實驗系統的封閉性）。瑞德進一步指出，這裡所謂的理論不是指針對現象提供一個系統性的說明之理論，而只是提供「 q 如何產生的『單一因果說明』（singular causal explanation）」（Radder 1995: 59）。

所謂「實驗的物質落實」也就是指實驗被具體地執行（做了）。瑞德企圖讓實驗的物質落實獨立於實驗的理論描述，因此他設想實驗被一個外行人根據專家的指導，一步一步地執行（裝置設備、使其互動並產生所欲求的結果）。例如，一位化學的外

行人，幫助一位肢障學生做化學實驗，在後者的指導之下，完成課堂的要求（Radder 1995: 63）。在這個例子中，專家只指示實驗的步驟，完全沒有牽涉到任何理論的說明。因此，這樣完成的實驗，可以在不涉及理論的情況下，把一個實驗構想加以物質落實。如此一來，使用不同的理論描述來描述相同的物質落實便成為可能。或者換句話說，它使我們能夠在完全不同的理論解釋下來定義物質落實的可重做性。瑞德作這個區分的意圖很明顯，要讓實驗保有相對於理論的獨立性，才可能使用實驗來判決競爭的理論誰勝誰負。

在區分了實驗過程的兩個基本面向之後，瑞德進一步區分了三種「可重做性」的類型：一個實驗的物質落實之可重做性、實驗結果的可重做性、在一固定理論解釋下的實驗之可重做性（Radder 1995: 64-74）。（1）根據上述物質落實與理論描述的區分，第一種類型顯然強調可以在不同的理論描述下而重做的物質落實，當然，這也意謂持不同理論描述的科學家可能會對實驗結果有不同的解釋。例如，如果理論和結果分別有兩種，該實驗落實就可以在四種理論描述下被重做： $p \rightarrow q$ 、 $p \rightarrow q'$ 、 $p \rightarrow q'$ 、 $p' \rightarrow q$ 。（2）第二種類型則指相同實驗結果的重做，所謂「相同」是指在一個理論解釋的觀點下。當然這容許使用不同的實驗設備、不同的物質落實，以及不同的實驗過程——這些可以總括在「不同的理論描述」下，即 $p \rightarrow q$ 、 $p' \rightarrow q$ 、 $p'' \rightarrow q$ 等。（3）第三種類型的公式表達就只有一個，即 $p \rightarrow q$ 。在這固定的理論描述下，實驗被重做。瑞德指出，這是多數科哲家心中「可重做性」的最初涵義。至於一個後繼實驗如何被視為原實驗的重做呢？這必須由理論描述來決定。如此容許稍微不同的物質落實（Radder 1995: 72）。

瑞德進一步指出第三種類型又有四種不同的方式：第一是由不同的實驗者來重做一個實驗，這很少發生但還是有，如柯林斯提供的重力波實驗。主要因先前實驗的結果重要而有爭議，故需重做實驗來驗證或否認其結果；第二是由相同的實驗者一再地重做，其目的在於確認實驗結果，如波以爾的「真空中的真空」（void-in-the-void）實驗；第三是相同實驗者以稍微不同的方式來重做，如波以爾在上述實驗中以稍微不同的設備來重做，其目的主要在找出不會干擾的因素。第四是把實驗當成另一實驗的部分而重做（Radder 1995: 72-73）。

由上述的討論可知，瑞德對實驗的可重做性作了系統性的區分和討論，他為理論和實驗的關係提供了一個既相關又可獨立的架構，並且區分了三種類型的可重做性（尤其是「相同結果的重做」與「在一固定理論解釋下的實驗重做」），都是早期針對複製實驗這個議題的討論中，所不曾注意到的。現在，問題是，瑞德的架構如何說明具體的實驗案例——例如陰極射線實驗？赫茲到湯姆生的陰極射線實驗，顯然不是「物質落實的重做」也不是「相同實驗結果的重做」，可是，赫茲相信乙太波假說而湯姆生相信帶電粒子假說，兩人對實驗的理論解釋又都不一樣！那麼後者也不是對前者「在一固定理論解釋下的實驗重做」。瑞德的架構要如何配合這個案例？我們認為瑞德的困難可能在於他沒有進一步區分「實驗的理論描述」和「實驗結果的理論解釋」。再者，瑞德可能缺乏一個「科學理論之理論」，使他無法掌握到理論階層性。何況，瑞德在「理論的述句觀點」之傳統下，缺乏「模型」的概念，也使他很難完全處理理論和實驗間複雜關係。

除此之外，瑞德想使「實驗的物質落實」獨立於「理論描述和解釋」，和柯林斯以「默會知識」來說明實驗的複製與傳遞

(見第八章)，可能有所衝突。對柯林斯來說，把實驗的複製技能完全化約一組規則，指導一位完全沒有受過潛移默化訓練的外行人來重做一個實驗是不可能的。外行人沒有足夠的能力資格，即使他能在指導之下做出實驗，其結果也無法受到科學家社群的認可。當然，瑞德可以說，動手做的外行人此時就像指導者的傀儡一樣，實驗的真正執行者應該是指導者，但這樣一來，物質落實又要如何獨立於理論描述和解釋？畢竟指導者的理解和意志貫徹在整個實驗的執行中，如果換另一位有不同理論的指導者，他也有相當不同的規則和遵守規則的順序或實驗步驟。那麼，在他指導下的物質落實，可以算是前一位指導者指導下的物質落實之重做嗎？

總而言之，瑞德的架構和分類很難恰當地處理複製實驗的種種問題。如果我們想要擁有一個令人滿意的解決，我們不僅需要揭示且理解「實驗行為的典型結構」(the typical structure of experimenting)，² 同時我們也需要實驗模型的概念並發展它的理論內涵。這是下一節的工作。

參、實驗的結構與複製程度

首先，讓我們先對「實驗如何被建立」作一個直觀的、分析前的描述。從科學史中，我們知道每個實驗都發生在一個科學背

2 哈金(1988: 507-514)提出一個「實驗室實驗的元素分類表」，包括(1)關於某個主題的問題；(2)工作理論、背景知識或假定：又分成(2a)背景知識與期望、(2b)一般和高層的理論、(2c)主題假說；(3)實驗材料，有(3a)標靶、(3b)裝備、(3c)偵測器；(4)關於材料的背景理論；(5)資料產生器；(6)資料；(7)資料處理：(7a)資料評估、(7b)資料化約、(7c)資料分析。哈金的表列頗詳細，但缺乏結構性和系統性，也缺乏元素間的相互關係之說明。

景中，所謂的「科學背景」包括科學家置身的社群之學術氣候、既有假說的競爭、技術與物質資源的限制等。科學家不可避免地處在背景的影響之下，她會形成自己對重要問題是什麼、可能的解答的是什麼、如何證成她的答案等的觀念。讓我們把這些觀念稱作「背景觀念」。為了進一步解決難題，並證成她的答案，科學家會形成一個「如何做實驗」的初步構想，包含「打算達成什麼目標（解決什麼問題）、打算以什麼物體來實驗、如何組合可用的資源或裝置、如何使裝置運作、預期產生什麼樣的結果」等。然後，科學家再根據這些構想來設計一個細節性的、可操作的模型——即實驗模型。實驗模型為科學家提供了建構實驗裝置並使裝置運作的藍圖。具體地建構裝置並使其運作的階段，讓我們沿用瑞德的術語，稱作「物質落實」。

現在，我們可以開始把上述的描繪，精煉成理論性的架構。很明顯地，如果實驗總是源自背景觀念，那麼「落實（實現）背景觀念」就是每個實驗的廣義目的（說「廣義」是因為，我們可以進一步指認實驗的「狹義目標」，例如檢驗理論、測試工具、發現新現象、證實預測等），而實驗模型成為達成目的的手段，物質落實則是具體行為後的結果。所以，所謂「實驗行為的典型結構」由三個互相關連的成分構成的：落實實驗的背景觀念、實驗模型與物質落實。其中，實驗的物質落實也就是實驗模型的物質落實。

實驗的背景觀念意指實驗所預設的種種先行信念、假說或理論等。我們使用這個概念的目的，在於涵蓋那些不是由理論（高層模型）引導的實驗。因為檢驗理論並不是實驗的唯一目的。一個實驗可能是根據一個已被接受的理論而設計的；但實驗也可能來自於一個初步的信念、不成熟的假設，或是借用其它實驗的構

想。背景觀念有兩個基本功能：(1) 設計實驗模型，更詳細地說，科學家由其背景觀念引導出一個具體化模型，再根據具體化模型來設計實驗模型。這包括決定實驗問題、對象、工具裝置、資料蒐集設備、預測結論等。(2) 說明預測的結論，解釋被蒐集的資料，以及解釋物質落實後的實際結果。瑞德先前所謂實驗的理論解釋，其實只是某一類的背景觀念而已。

我們可以把背景觀念初分成兩大類型：一是實驗的理論假說；另一是非理論性的先行信念。即使只考慮實驗的理論假說，我們的概念和瑞德仍有兩點差異。首先，瑞德把實驗描述和解釋總括在一起不加區分，我們則試圖在概念上加以區分——我們以實驗模型來代替實驗的理論描述。理由是：科學家往往會在不同的理論假說上設計相似的實驗模型，卻產生不同的實驗結果。這也是在以實驗來檢驗理論中，最複雜難解的情況。例如，先前我們已用一系列陰極射線實驗來質疑瑞德的理論。在陰極射線實驗中，乙太波假說對「陰極射線為何在近真空的低壓管放電時形成」的理論說明是：「因為陰極與陽極的電位差，使得陽極釋放出微粒子，衝擊低壓管內的乙太媒介，導致乙太波動，而產生輝光，即陰極射線。」這個假說不僅說明了陰極射線的本質，也說明了「何以陰極射線會在低壓放電管中形成」的原因。可是，它本身是有待檢驗的理論假說。為了檢驗此假說，科學家通常不得不根據它來設計實驗。例如，赫茲想檢驗乙太波假說的真假，他就得根據此假說來設計實驗，則他必須想辦法分離放電管中的電流和陰極射線——因為在乙太波的假設下，陰極射線並不是帶電粒子流。因此，如果能夠分離電流和陰極射線，再檢測陰極射線是否具有靜電性，就可以檢驗乙太波假說正確與否。其次，我們是從模型的角度來看待理論，一個實驗的理論假說包含一個模型

階層，從這個模型階層中，我們可以導出一個具體化模型，再根據此模型來設計實驗模型（參看第一、二、三章）。

一般而言，設計實驗模型的直接依據是一個具體化模型。它有可能是從一個高層抽象的理論引導出來的，但它也有可能配合另一個不同的高層理論。換言之，具體化模型可以中立於不同的高層理論。這個觀點讓實驗仍然具有裁決競爭的理論假設之功能。當不存在任何高層的理論時，一個具體化模型還是可以從某種先行的信念、不成熟的假設中建立起來（參看第二、三章）。

銜接理論假說和物質落實的即是實驗模型，它是實驗的核心，也是本文要分析的主要對象，約莫相當於瑞德所謂的「實驗的理論描述」。不過，它雖和理論相關，但稱它為「理論描述」並不恰當，因為實驗模型的重點在於實驗裝備與產生實驗結果的結構，並不必涉及實驗的設計和其結果的說明。換言之，一個實驗模型關心的是其各成分項目彼此間的相互關係與互動，至於為什麼會有這樣的關係和互動，那是屬於背景觀念的事。為了要詳盡分析實驗模型以及據此而建立的複製程度和可複製性等概念，讓我們分成實驗模型的構成、複製的程度、實驗的複製類型、實驗模型的表徵，和實驗與實驗者的信念來加以論述。

實驗模型的構成：一個實驗模型是行為的一部分，因此可以由行為的架構（目的、手段和結果）來建立它的模型，換言之，一個實驗模型可由單一實驗目的、手段和預期三個項目來構成。即（a）實驗目標（experimental objective）、（b）實驗手段、（c）預期的結果（簡稱預期）。但每個項目又分成兩個到三個次項目，如此可使我們進行更細節性的結構比較：包括問題（problem）、對象（object）、裝置（apparatus）、操作

(operation)、控制(control)、蒐集(collection)、預測(prediction)。為什麼是這七項？因為每個實驗模型都必須回答下列七個問題：(a1) 這實驗打算達成什麼目標？解決什麼問題？(a2) 這實驗打算針對什麼對象？(b1) 如何組合不同的工具零件成為整體裝置？(b2) 如何控制運作以避免不想要的干擾因素？(b3) 如何使裝置運作？(c1) 如何蒐集實物與裝置互動而產生的資料？(c2) 實驗可能會產生什麼樣的結果(預測)？

這七個項目，再度可以使用「手段—目的」的架構來理解，例如「對象」是「目標內的手段」用來解決「目標內的問題」；「操作」是「手段內的目的」，因為建構實驗裝置的目的在於使它運作，而「裝置與控制」是「手段內的手段」，用來達成「手段內的目的」；最後，「預測」是「預期內的目的」，「蒐集」則是「預期內的手段」，用來滿足「預期內的目的」。換言之，目的與對象屬於「實驗目標」、裝置、控制和操作屬於實驗手段；蒐集與預測屬於實驗預期。這七個項目有必要再加以一一詳細說明。

首先，目標由問題和對象兩個項目組成的：(a1) 指的當然是實驗者設計此實驗時意圖解決的問題，例如用來檢驗單一假說，或者裁決兩個敵對競爭的假設，或者檢驗前一個實驗的結果，或者產生穩定的現象，或者測定某項數據，甚或是探測裝備和工具本身的潛在功能等等。科學實驗的解題目的並不是唯有檢驗理論，每個科學實驗也非只有單一目標或指向相同的問題。³

3 哈瑞(Ron Harré 2002)的《大科學實驗》(*Great Scientific Experiments*)一書分成三大部分：「方法的形式面向」、「發展—理論內容」、「技術」，每一部分又分成若干種類，這雖是實驗形式的分類，但一些種類似乎是以「實驗目標」為分類標準，如第一部分有「探測—自然歷程的特徵」、「決定敵對假說」、「發現—已知效應中的隱藏機制」、「證明某物存在」等都可以說是一種「實驗目標」。此

(a2) 實驗對象，指的實驗所針對、所使用的物質材料。例如在一個液體沸點的實驗中，其實驗對象即是液體。

其次是手段，(b1) 典型的實驗總是需要裝備和零件來容納實驗對象並與之互動，我們特別強調那為了達成實驗目標所不可或缺的裝備和零件。例如在液體沸點實驗中，盛裝液體的容器、測量溫度的儀器（溫度計）、加熱設備等，都是此實驗不可或缺的。(b2) 控制是指一個實驗要能成功執行，至少「有反應」，必然要能控制實驗對象與裝備之間的互動。例如在液體沸點實驗中，加熱設備的熱能，必須要能透過容器傳導給內盛的液體。與此同時，也要盡可能監控或排除與實驗目的不相干的潛在干擾因素，換言之，確保此實驗系統的封閉性。例如在液體沸點實驗中，實驗者必須確保被實驗的液體在吸收熱量後不會與容器產生化學變化，干擾了沸點的測量。(b3) 要達成實驗目標，實驗裝備必須是可操作的。而操作則取決於零件的適當組合。如果零件以最簡單的連結方式來組合，則一定數目 N 的零件，其組合方式有 $N(N-1)/2$ 種。但事實上，只有少數幾種裝配組合方式才能產生一定的反應。如果想要實驗裝備能成功地達成實驗目的，其組合或操作方式甚至可能只有唯一一種。因此，裝備與零件的組合和操作如果不恰當，要嘛沒有反應，要嘛就是造成不同的實驗結果。以最簡單的液體沸點實驗為例，如果溫度計沒有觸及液體，或者只觸及容器壁，當然實驗者無法得到預期的結果。如果實驗者的目標是測量液體沸騰時所產生的蒸氣溫度或是容器壁的溫度，那自是另當別論。再如十九世紀時首度發現電流導線與磁

外，其它的分類則有「實驗結果」的分類，如「沒有結果」、「歸納地發現定律形式」等。

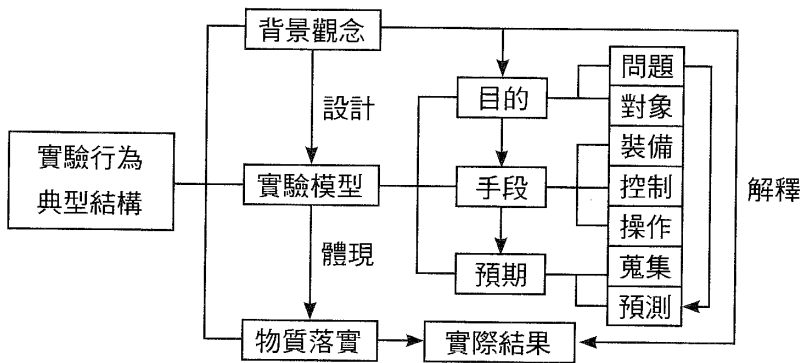
針互動的歐斯特的實驗為例，如果當初他是移動磁針而非移動導線，則他很可能什麼都看不到（參看第二章）。

最後，在預期項上，(c1) 所有的實驗都需要蒐集對象與裝備互動後產生的現象，並加以處理使成為可判讀的資料。資料的蒐集與處理雖然不是實驗主體裝備的一部分，卻也是實驗中不可或缺的成分。即使像液體沸點這樣簡單的實驗，也需測量液體溫度的溫度計來蒐集數據，否則實驗目的便無法達成。早期的實驗常以肉眼的觀察為資料蒐集的工具，如載流導線對於磁針的偏轉效應，但肉眼並不是實驗裝備的一部分。後來大多數實驗均需要特別的儀器來蒐集量的資料（數據），此儀器仍然不是實驗主體裝備的一部分。(c2) 預測：設計一個實驗，是期望它能產生某一定的結果，並據以達成目的。這個結果在實驗未被執行與落實之前，它就只是個預測的或預期的結果，實際的結果可能會完全不一樣。但是，實驗模型通常要包含預測的結果，因為它是由實驗目標和實驗裝備的組合導出的推論結論。換言之，實驗家常會說：在如此如此目的、設計和組合之下，理論上，實驗應該產生如此如此結果。正如在一個液體沸點實驗中，如果實驗對象是水，而且我們在平地執行實驗，則理論上，我們會得到水在攝氏 100 度時沸騰的結論——但這個預測的結果實際上卻不見得一定會發生。當然，執行（或落實）實驗之後一定有某些實際結果（actual result）產生——即使實驗裝備最後完全沒反應，但這也是一種實際結果。

實驗模型界定了一個實驗運作的內在結構。而且在目的—手段—結果的架構下，各次項目彼此間有密不可分的相互關係。首先，實驗目標決定了要選擇什麼樣的實驗對象、實驗裝備與零件、零件間的組合和操作，以及如何監控潛在的干擾因素和資料

的蒐集，最後並導出預測的結論。再者，實驗對象往往也是實驗目標表達中的一部分，例如，有個試圖探測某對象性質的實驗，則我們會說：「此實驗的目的在於探測某對象的性質。」對象和實驗裝備之間的互動之控制，決定於裝備零件的組合和操作。資料的蒐集與處理，則是決定實驗目的是否被達成的必要成分。因為資料的蒐集與處理，牽涉到實驗結果的判讀，其判讀又決定了實驗目的是否被達成。我們相信，這七個項目和彼此間的相互關係，加上實驗的設計理念與其實際的落實，應該可以精確地描述出每一個實驗行為的典型結構。

一個實驗行為的典型結構，可以以圖示如下。它是一種「整體—局部結構」或所謂的「巢狀結構」(nested structure)：



從實驗行為結構中的不同元素出發，我們可以針對複製功能和程度作出更恰當而有根據的判斷。

複製的功能：在具體的科學情境中，大多數的複製實驗的目的，在於檢驗某個原初實驗。一個實驗之被複製，多半是因為它可能有某種缺失，或者複製實驗的實驗者懷疑原實驗的結果，尤

其是她可能支持一個敵對的假說。所以，她必須努力把實驗做得更好；而且既然她認為原實驗可疑，她就必須找出她認為原實驗的裝備有問題之處，加以修改，若不如此，導致得到和原實驗一模一樣的結果，就失去複製檢驗的意義了。所以有效的、具有檢驗力的複製實驗，不應該和原實驗有一模一樣的結構，一旦實驗者在不同的背景觀念下，使用不同的裝備，就保證了複製實驗和原實驗不會有相同的結構。可是，她卻必須盡可能高度地複製原實驗的實驗模型，才能產生對於原初實驗的檢驗力。這種實驗我們稱作有效複製（valid replication）。如果她沒有產生一個複製實驗，其他科學家可能會把她的實驗視為不相干。相反地，如果一位科學家在相同的背景觀念下，設計相同的實驗模型，使用和原實驗一模一樣的裝備來重做實驗，並做出一模一樣的結果，這當然是複製，但它卻是一個沒有檢驗效力的瑣碎複製（trivial replication）。

複製的程度：有了實驗模型和實驗結構的界定和刻劃，我們就可以更細緻地處理實驗複製的問題——此界定讓我們擁有有力的工具來定義複製的程度，並判斷一個具體的重做實驗究竟複製原實驗到什麼程度。

波柏已經瞭解所有的重複實驗都只是相似於原實驗。哈金也指出完全一模一樣的複製實驗並沒有什麼檢驗意義（驗證或否認效力）。瑞德則區分三種類型的重做實驗。本文認為，要討論實驗的重複、複製或重做，都必須透過實驗模型的比較，而且複製是有程度性的——也就是說，重做的實驗之模型和結構總是會以不同的程度相似於原實驗的模型和結構。在這樣的觀點下，我們必須拋棄瑞德的分類，改以實驗模型的三個基本項目（包含七個次項目）的相似來分辨一個新實驗對於原實驗的複製程度。簡單

地說，後繼實驗和原實驗有更多項目更相似者，就有更大的複製程度。

兩個實驗之間的複製程度是由問題、對象、裝備、控制、操作、收集與預測這七個次項目的總和相似性之比較來定義的。我們可以比較兩個實驗模型的每個次項目之間的相似性，再把不同程度的相似性加總，得到一個總和相似度，就可得到兩個實驗之間的相似程度，也就是重做實驗對原實驗的複製程度。可是，我們如何比較兩個次項目之間的相似性呢？讓我們建構一個三值的比較系統，以便對於兩個實驗模型之間的次項目，指派恰當的比較值（comparative values）。這個三個值就是整體相似、局部相似和不相似。換言之，我們可以判斷每個次項目之間的目的、對象、裝備、控制、操作、蒐集和預測之間，是否是整體相似、局部相似或不相似，再加總而得到總相似性。舉例來說，如果實驗 R1 和實驗 R2 都是實驗 O 的重做，比較實驗 R1 和實驗 O，我們發現兩者之間有五個整體相似的次項目與兩個局部相似的次項目（換言之，我們為實驗 R 指派了五個整體相似的值）；而實驗 R2 和實驗 O 只有四個整體相似的次項目，那麼，R1 比 R2 對於實驗 O 有更高的複製程度。讓我們據此來定義複製程度：

如果一個實驗 R 的諸次項目比起實驗 R' 的諸次項目，對於原初實驗 O 的總和相似度更高，則 R 比 R' 有更高的複製程度。總和相似度由整體相似值的總數來決定，整體相似值越高，總和相似度越高。如果兩個重做實驗的整體相似值的總數一樣，再比較其局部相似值的總數，較多者總和相似度較高。

依此定義，實驗的複製性或複製程度就是實驗的目的、手段

和結果三者的聯合函數。

現在，我們可能有三個問題。為什麼我們提出的是一個三值的比較系統，而不是二值或更多值的比較系統？其次，這個比較系統如何應用到歷史上的真實實驗上呢？第三，這個比較系統，真的是科學家在作實際判斷時所應用的嗎？

我對第一個問題的答案是：一個二值（即相似和不相似）的比較系統不夠完備，無法滿足實際需求。簡單想像一位科學家在比較兩個實驗模型的裝備時，她並不情願為兩者指派一個相似的值，但她也無法說兩者是不相似的，兩值系統無法解決這個困境。一旦使用三值系統，她可以很方便地指派一個局部相似的值。至於四值或更多值的系統，自然可以分析得更細緻，但它們也過於複雜，以致無法滿足可應用性和相對簡潔性的後設判準。三值系統是最能滿足這些後設標準的比較模型，進一步的證成就得依賴於考察它的實際應用，這把我們帶到第二個問題。在第四節中，我們將使用赫茲的陰極射線實驗之複製來回答它。至於第三個問題，我的答案有兩層：首先，我承認，這個複製程度的比較系統並不是科學家實際應用的方法。但是，「實驗是否被複製」並不只是一個純科學的問題，它也是科學史和科學哲學的問題，所以科學家對於複製與否的判斷並不是唯一的標準，科學史家和科學哲學家同樣能夠從科學發展的角度來為複製的判斷提供答案——而且他們的答案可以具有模範性和規範性。在這個意義上，本文提供的答案可以被視為一個有關複製的判斷模型。我們提供一個基本模型做為科學家、科學史家和科學哲學家的判斷依據，而且我們容許這個模型在面對更複雜的案例時，可調整以配合該案例，例如賦予某個項目更大的權重值（weight value）。

接下來的問題是，我們該如何進行實際實驗的複製程度之比較？這時，我們必須考察實驗模型的表徵方式。

實驗模型的表徵：實驗模型在本質上是認知模型，即科學家在心靈中設想的模型。科學家決定實驗目的、對象、選擇或製作裝備、構思組合裝備零件的方式，資料蒐集與處理的方法、預測裝備與對象的互動過程和實驗結果。這個模型被投射出來，再嘗試加以落實。因此，每個實驗模型在原則上都是可以物質落實的，它們必定也可以被視覺所接收，從而也都能用圖像來表徵，正如本文第肆節那些實驗的圖像模型——或者稱作「實驗模型的圖像表徵」。再者，每個認知模型，都可以被表達為一組陳述或描述；也就是說，我們可以把圖像表徵翻譯成一組語言描述。這組描述就是實驗模型的語言表徵。反過來說，該組陳述或描述，共同界定了一個實驗模型（表徵的細節討論，參看陳瑞麟〔2003: 139-143〕）。因此，上文對實驗模型的七個項目之描述與說明，界定了實驗模型。而針對每一個個別的實驗，我們也可以使用七個項目的描述來界定它的模型、揭示它的結構。如此一來，透過「實驗模型的圖像表徵」和「實驗模型的語言表徵」，我們可以來比較兩個實驗模型的複製程度。

實驗者的信念：如果一個實驗的目的在於檢驗理論，那麼，在實驗者的信念、實驗目的、預測的實驗結果和實際的實驗結果之間，大致有下列組合。也就是說，實驗者對於實際的實驗結果，可能有下列的反應：(A) 實驗者相信該理論，則其實驗設計的目的傾向於證實該理論，並預測實驗結果符合理論的推論。一旦(A1) 實際結果符合預測結果，則實驗者相信理論被證實了；(A2) 實際結果不符預測結果，則實驗者傾向相信實驗的落實可能有瑕疵；當然，(A2') 實驗者也可能在檢查實驗的落實

過程後，坦承自己偏愛的理論被否證了。(B) 實驗者不相信該理論，則實驗設計的目的往往朝向否證該理論，並預測實驗結果不符該理論的推論，一旦(B1) 實際結果符合預測，實驗者相信該理論被否證了；(B2) 實際結果不符預測，實驗者傾向於相信實驗的落實可能有瑕疵；當然，(B2') 實驗者也可能相信該理論並未被告證，至少它通過一次考驗。甚至，(B2'') 實驗者也可能相信該理論反而被證實了，因為他可能認為實驗過程和輔助假說都沒有瑕疵，而且他的設計目的是要去否證它，卻否證不了，因此理論可以說被證實了。在實際的科學史上，一旦實際結果與預測結果不符合時，不管科學家主觀上是傾向於相信什麼，都足以引發重做實驗以檢驗原實驗的動機。實驗者的信念牽涉到實驗發展的動力學（參看第十章）。

下文我們將使用本節所發展的實驗模型、實驗行為的結構和建立在兩者之間的複製性與複製程度的觀點，來重新考察陰極射線的實驗歷史，並回答前文所設定的諸多問題。

肆、陰極射線實驗的複製歷史

十八世紀初，電學家就曾經在稀薄氣體中摩擦玻璃，並觀察到發光的現象。一些人把稀薄氣體中的放電實驗視為電流體假說的驗證。⁴ 可是，其後一百年間，儘管法拉第也在 1838 年做了類似的實驗，一般而言科學家對這種現象的理解依然停滯不前。一

4 豪斯比在 1705 年做了摩擦生電的實驗；Grummert 和 Watson 則於 1744 年使用起電機 (electrical machine) 把電流送入一個稀薄氣體的管中，也觀察到光亮。提出電的雙流體理論的諾雷 (Abbé Nollet) 則認為這種現象佐證了他的電物質之陰流 (efflux) 和陽流 (afflux) 的理論。(Whittaker 1989: 349)

個原因或許是因為空氣泵浦的效能不彰。1855年蓋斯勒（Geissler）發明了水銀空氣泵浦，足以把密閉管中的氣壓降至幾百甚至幾十毫米水銀柱（mm-Hg）的程度，低壓放電的研究才開始起飛。（或稱為「真空放電」〔vacuum discharge〕，但並非絕對真空，這種空氣被蓋斯勒泵浦抽至近乎真空的密閉管有時也被稱作蓋斯勒管〔Geissler's tube〕。）一個典型的蓋斯勒放電管如圖 7-1 所示。



圖 7-1 在一個近似今天的日光燈管的長條圓柱管中，兩端分別為陰極和陽極面板。中間只有非常稀薄、幾十毫米汞柱高的氣體。當兩極間被施加一個電壓時，管中產生奇特形式、間斷呈現的螢光。從陰極到陽極的方向而言，陰極周遭發出輝光，緊跟著一片黑暗區域（此為法拉第最先記載，又稱為「法拉第暗區」），接著是一段輝光，繼而又是一片暗區（又稱為「克魯克斯暗區」〔Crooke's dark space〕），再來又是長條狀的輝光直到陽極（圖形為作者自繪）。

1858年，德國科學家普呂克（Julius Plücker）開始做一系列實驗以探測真空放電的各種性質，他嘗試過磁鐵對負極光束的偏折（法拉第的老師戴維在1821年已經發現碳極間的電弧光會受到磁鐵的偏折），也嘗試把電極縮小到一點，結果發現負極光束似乎沿著磁力線而發出。他也曾以白金為電極，結果發現有微粒子剝裂，掉在管壁上發出磷光。普呂克的種種實驗，似乎指向陰極射束是一種帶電微粒子的假說（Whittaker 1989[1951]: 350-351）。儘管做了上述實驗和發現，普呂克似乎對陰極射束的美學形式更感興趣（Harré 2002: 173）。

後來，普呂克的學生希托夫（W. Hittorf）在 1869 年時把一個固體放在陰極點與磷光之間，觀察到管壁出現一片陰影。哥德斯坦（Eugen Goldstein）在 1876 年擴大希托夫的觀察，發現非點狀的陰極面板放電時，若有障礙物也會投射出陰影（Whittaker 1989: 351）。這種現象啟發了陰極束的本質可能是一種輻射的假設。就在十多年前，馬克斯威爾已經提出了光與電磁的統一理論，並假設它們均是透過乙太波動來傳遞。因此，科學家也很自然會猜測陰極束的本質乃是乙太波。

哥德斯坦正式把這種放電產生輝光的現象稱作「陰極射線」，並努力想瞭解它的本質。他在 1979 年發展了一個以乙太波為主卻頗為複雜的假說，簡單地說，哥德斯坦認為兩極間在通電之後，產生一個高速「運動」（一種開放電流〔open current〕）通過乙太，並撞擊殘留在管中的原子，使原子震動，從而形成可見光——透過橫向乙太波。所謂的「開放電流」是指一道射線的末端和下一道射線的開端，並沒有電荷的傳遞。因此，開放電流意味著間歇性的（intermittent）放電。陰極射線的本質，就是這開放電流所導致的乙太波動（Buchwald 1995a: 153; 1995b: 136-137）。因此一方面陰極射線像一般光線一樣碰到障礙會產生陰影，另一方面陰極射線間歇性地攜帶電荷，使它會受磁場偏折。這個理論假說廣為德國（柏林）科學界接受。哥德斯坦在這樣的假說下，做了一些實驗，例如他設計了如圖 7-2 的十字形管，把陽極安裝在與陰極管 Z_4 垂直的 Z_2 管，發現 Z_4 和 Z_2 管固然會產生輝光，但陰極射線也會直射到 B 表面，換言之，陰極射線不能完全只是（開放）電流，其本質畢竟仍是乙太波。

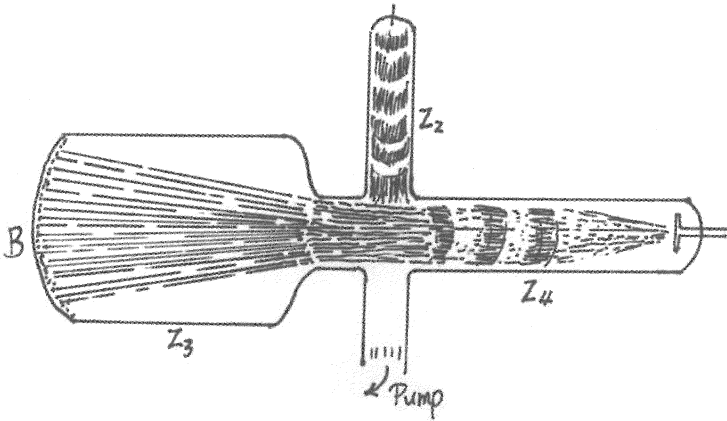


圖 7-2 哥德斯坦的十字形管
（參考 Buchwald 1995b: 139，作者根據原圖重繪）

以克魯克斯（Sir William Crookes）為首的英國科學家卻普遍不同意以太波假說。⁵ 他們認為陰極射線乃是一種帶電的分子激流（molecular torrent），整個放電和陰極射線的過程與液體電解質的電解類似：由於管內殘留氣體與陰極表面接觸，獲得負電荷之後，立即因同性相斥而垂直地飛離陰極。克魯克斯有一個極強的證據是，管內氣體越稀薄，陰陽兩極偏中間地帶的暗區（非法拉第暗區）就越加擴大，因為帶電分子越加稀少的緣故（Whittaker 1989[1951]: 352）。在「分子激流」的假說下，克魯克斯也執行了一系列探測性的實驗，包括「分子陰影的投射」、「被投射分子的機械作用」、「分子力線的磁偏折」等等（Crookes 1969[1879]: 564-575）。

5 更早之前，1871年 Cromwell Varley 已提出了「陰極射線乃是由陰極噴出的物質微粒子」的假說（Whittaker 1989[1951]: 351）。

陰極射線的本質問題，形成了乙太波假說與帶電粒子假說之間的競爭。身為德國科學家，以及哥德斯坦的實驗室同事，赫茲支持乙太波假說。他在經驗證據上的一個重要理由是：陰極射線可以穿透金屬薄膜——其厚度卻是一般可見光無法穿透的。這個經驗證據成為「帶電粒子說」的最大異例，因為如果陰極射線是帶電的物質粒子，它怎能穿透可見光穿不透的金屬薄膜呢？可是，如果陰極射線是乙太波，它又怎麼會被磁場所偏折呢？這種現象就構成乙太波假說的重大挑戰（Whittaker 1989[1951]: 354）。赫茲就是在這樣的理論和經驗背景下，設計出探測陰極射線本質的實驗。

雖然赫茲支持乙太波假說，卻不同意哥德斯坦那種「陰極射線同時也包括間歇性放電的開放電流」的觀點。他主張一個更純粹的觀點：陰極射線完完全全是不帶電的、自成一種（*sui generis*）的乙太波動。然而，即使赫茲是正確的，當時一切陰極射線現象，都要由真空放電來產生。放電就會有電流在管中流動（布赫瓦稱之為「管電流」〔*tube current*〕），所以陰極射線必然混著管電流在其間，也因此它會有種種屬於電流的性質（例如可以測得電荷、會受到磁場的偏折等）。赫茲認為，如果能分隔陰極射線和管電流（布赫瓦稱為「淨化的陰極射線」〔*purified cathode ray*〕），再來探測這種淨化後的陰極射線的電磁和靜電性質，就能更精確地獲知陰極射線的本質。但，是否有可能將陰極射線與管電流分離呢？這是赫茲要證實他的假說時所面對的第一個問題。一旦他能成功地隔離陰極射線與管電流，立即面對的第二個問題是：如何探測陰極射線的電磁性質和靜電性質。赫茲設計了幾個實驗分別探測兩者，後來培林和湯姆生複製的是赫茲以探測靜電性質為目標的實驗。既然本文的主題在於實驗的複製，

我們就把焦點集中在該實驗上⁶。

或許從哥德斯坦的十字形管中得到啟發，赫茲構思了如圖 7-3 的實驗裝備：

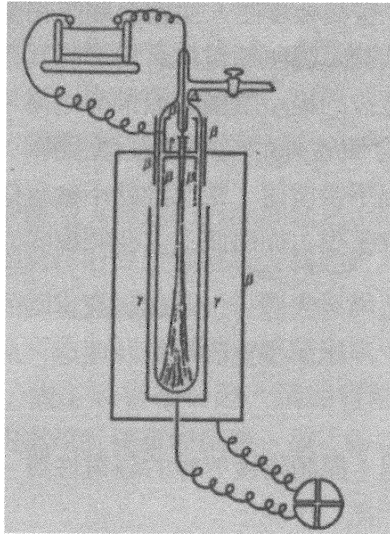


圖 7-3 赫茲的實驗裝備平面圖
(Hertz 1883, 轉引自 Mattingly 2001: 60)

其中陽極是成圓柱狀（即 brass tube 箭頭所指示處），環繞陰極且與其距離極短，在正對陰極處有一小孔，以供陰極射線射出。為了避免有電流漏出，在陽極下方，赫茲再裝上一個金屬紗

6 關於赫茲探測陰極射線的電磁性質之實驗 (Buchwald, 1995: 154-155; Mattingly, 2001: 56-57)。赫茲的實驗似乎證實了陰極射線不會發出任何電磁效應。至於陰極射線會受到外在磁場偏折的現象，赫茲並沒有設計任何實驗，他只是論證，磁場其實是作用在以太媒介上，致使依賴媒介傳遞的射線偏折，而不是直接作用在射線上。

網(圖中的 wire gauze 箭頭指示處), 以便吸收可能漏出的電流。如此一來, 噴出的陰極射線, 便可說是不再混著管電流的純淨陰極射線。赫茲再於放電管外裝置一個金屬匣 (metal case; 又稱作法拉第籠 [Faraday cage]), 最後再用一個金屬罩子 (metallic mantle) 罩住放電管與金屬匣。並在金屬匣和金屬罩之間接上電流計, 這是用來偵測金屬匣的電位之用。因為在赫茲看來, 如果這種分離管電流之後的純淨陰極射線帶有電荷, 它就像個帶負電的金屬棍一般, 會使管外的金屬匣感應生電, 致使電流計有反應。如果陰極射線不帶電荷, 電流計就不會有任何反應。這種結果就會否認帶電粒子說, 從而使乙太波假說成立的可能性更大。

從上述的描述中, 我們可以重建赫茲實驗的結構如下 (首先是實驗模型的建立, 繼而是實驗的設計理念, 最後是落實後的實際結果):

(Ha1) 問題: 探測陰極射線的靜電性質, 以檢驗互相競爭的乙太波假說和帶電粒子說。

(Ha2) 對象: 真空放電管放電時產生的陰極射線。

(Hb3) 裝備: 真空放電管 (陰極 α , 被圓柱筒狀的陽極 β 環繞)、電源系統、干擾因素的控制系統 (即吸收可能漏出的管電流之金屬紗網 β - β)、偵測系統 (接上電流計的金屬匣 $\gamma\gamma$ 和金屬罩)。

(Hb4) 控制: 抽氣使管內氣壓降低, 以金屬紗網吸收可能漏出的管電流。

(Hb5) 操作: 首先, 採用隔離管電流與陰極射線的組合方式, 讓陽極環繞陰極且距離極近, 陰極射線會噴出陽極之外, 使得放電管被分隔成「管電流段」和「陰極射線段」。其次, 將偵測靜電性質的設備置於放電管外, 金屬匣和金屬罩與管電流和陰

極射線完全不相接觸地隔離。打開電源產生放電，陰極射線從陽極金屬圓柱小孔中噴出。

(Hc6) 蒐集：使用陰極射線使金屬匣感應生電的方式（假設陰極射線帶電性），並以金屬匣與金屬罩之間的電流計來偵測。觀察其反應。

(Hc7) 預測：電流計沒有反應。（這預測背後的推論是：如果電流計沒有反應，則陰極射線不帶電荷；可因此推論乙太波假說為真。反之，則陰極射線帶電荷。）

對於這個實驗模型，赫茲的設計理念是：如果陰極射線是乙太波，則必須分離陰極射線與管電流，我們對其靜電性質的探測才不會受到污染。如果實驗設計能得到「純淨」的陰極射線，又如果帶電粒子說是真的，則金屬匣會感應生電；如果結果不是如此，則「帶電粒子說」將會被否認。這個實驗結構的物質落實是：連接金屬匣的電流計確實沒反應，故「帶電粒子說」被否認了。

根據同樣的模式，讓我們分別重建培林和湯姆生的幾個實驗之結構。在比較之後，可以看出它們對於赫茲實驗的「複製程度」。培林的實驗（圖 7-4）可以重建如下（Perrin 1969[1895]: 580-583）：

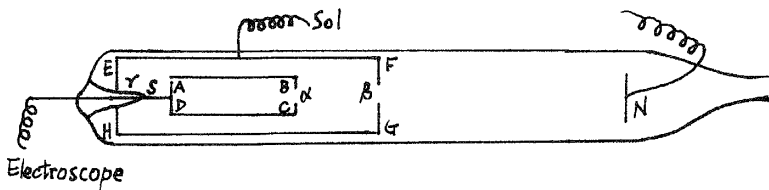


圖 7-4 培林的實驗裝備圖

（參考 Perrin 1969: 581，作者根據原圖重繪）

(Pa1) 目標：整體相似於 (Ha1)。

(Pa2) 對象：整體相似於 (Ha2)。

(Pb3 & Pb4) 裝備與控制：真空放電管（包括陰極板 N 和陽極匣 EFGH）、電源系統、偵測系統（接上電流計的金屬匣 ABCD〔法拉第籠〕）。抽氣使管內氣壓降低。

(Pb5) 操作：首先仍採取隔離管電流與陰極射線的組合方式，但陽極未環繞陰極，而是環繞偵測匣，如此卻使放電管無法被明確地區隔成管電流段和陰極射線段。再者，偵測系統的配置是偵測匣在放電管內部，被陽極所環繞，使陰極射線會直接打在偵測匣上。打開電源產生放電，陰極射線通過陽極中心小孔射出。

(Pc6) 蒐集：偵測匣蒐集陰極射線，觀察電流計反應。

(Pc7) 預測：預測電流計有反應。（相關的推論是如果電流計有反應，陰極射線帶負電荷，推論帶電粒子說為真。反之，則陰極射線不帶電荷。）

顯然，培林是在不同的理論假說下設計這個實驗模型和建造這種實驗裝置。雖然培林延續赫茲的思路，在設計上考慮管電流和陰極射線分開的組合方式。但是，培林基本上相信陰極射線是帶電微粒子，故設計使陰極射線直接撞擊偵測系統；如果陰極射線是乙太波，那麼偵測匣外接的電流計就不會有反應。培林預測的實驗結果是電流計有反應，證實了陰極射線帶有電荷。

培林的實驗複製了赫茲的實驗了嗎？從赫茲的角度來看，在實驗模型部分，除了 (a1) 和 (a2) 之外，其餘每個項目都有不盡相同之處：(1) 比較 (Hb3)、(Hb4) 和 (Pb3)、(Pb4)，培林的實驗少了干擾因素的控制系統；(2) 最大的差距出現在 (Pb5) 和 (Hb5) 之間，培林的實驗沒有明確隔離管電流和陰極射線，也沒有截然分隔管電流段和陰極射線段。乍看之下培林

的實驗讓陽極偵測系統外圍，可以完全吸收管電流，使穿過陽極中心小孔的陰極射線達到赫茲要求的「純淨化」，然而，如果管電流是因為低壓氣體的離子化而產生(類似在溶液電解的情況)，則陽極匣內部無法完全排除管電流，何況培林使陽極完全環繞偵測匣，從赫茲的設計理念來看，極可能使管電流打中偵測匣，根本不能算是淨化陰極射線。(3) 第三個差距是(Hc6)和(Pc6)之間，培林設計讓陰極射線直接打在偵測匣上，與赫茲採用感應偵測的方式不同。這個差異乃可說來自兩人所預測的實驗結果與背景觀念(理論假說)的不同。赫茲的理論假說和背景觀念使他堅信偵測設備不能在於真空管內，否則總會有受管電流「污染」的風險；培林的理論假說使他相信應該直接蒐集陰極射線來檢驗它的電荷性。

湯姆生在 1897 年也設計了類似赫茲和培林的實驗(如圖 7-5)，其理論說明與培林沒有差異，落實後也偵測到電荷。湯姆生的實驗模型可以重建如下(Thomson 1969[1897]: 584-585)：

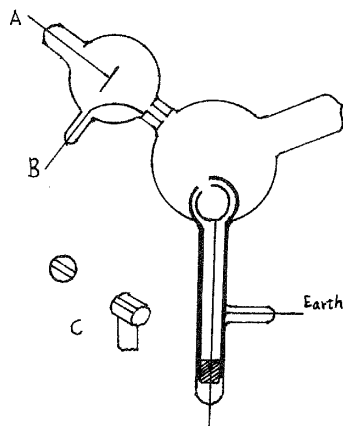


圖 7-5 湯姆生的實驗裝備圖
(參考 Thomson 1969: 584, 作者根據原圖重繪)

(Ta1) 問題：整體相似於 (Ha1)。

(Ta2) 對象：整體相似於 (Ha2)。

(Tb3) 裝備：真空放電管（陰極板 A 和陽極圓柱筒 B）、電源系統、偵測系統和干擾因素的控制系統（接上電流計的圓柱筒形偵測器 C，外有一接地的同軸圓柱筒，均留下一小狹縫）。

(Tb4) 控制：抽氣使管內氣壓降低。利用磁場來偏折射線，使少數射線能射入偵測器內。

(Tb5) 操作：首先，同樣採用隔離管電流與陰極射線的組合方式，陽極與陰極距離較短，也不像培林設計般環繞偵測匣，放電管也明顯地被區隔成管電流段與陰極射線段。其次，偵測系統的配置是偵測筒在放電管內部，不在陽極內部而且遠離陽極，再外繞一個接地的圓柱筒。打開電源產生放電，陰極射線通過陽極中心小孔射出，打入另一玻璃管。

(Tc6) 蒐集：偵測筒蒐集被偏折的陰極射線，觀察電流計反應。

(Tc7) 預測：預測電流計有反應。（如果「帶電粒子說」為真，預測電流計有反應，推論陰極射線帶負電荷。反之，則陰極射線不帶電荷。）

即使從赫茲的實驗設計之角度來看，也不得不承認，湯姆生的實驗比起培林的實驗，對赫茲實驗的「複製程度」更高。在 (Hb3) 部分，雖然湯姆生沒有使用金屬紗網來吸收漏出的管電流，但是紗網的目的是為了監控「干擾因素」，湯姆生畢竟設計了相同目的的裝備，讓陰極射線在通過陽極後射出，而且使用接地的圓柱筒來防止可能漏出的管電流「污染」偵測器。換言之，湯姆生的裝備組合可以部分地滿足赫茲對於「干擾因素監控」的要求。進一步，湯姆生也不像培林般直接捕捉直線射出的陰極射

線，而是利用磁場來偏折它，強化陰極射線是帶電粒子（因此會受磁場偏折影響）的驗證力。比較湯姆生和培林與赫茲的實驗，湯姆生區隔了管電流段與陰極射線段，使偵測系統遠離產生管電流的區段，可以避免培林的設計無法避開被管電流污染的可能性，也就是說，在培林和赫茲的前兩個差異，湯姆生的設計均可以予以彌補，然而在第三個差異——也就是偵測電荷的方式上——湯姆生採用了和培林一樣的理念，而與赫茲不同道——他讓陰極射線經偏折後打在偵測器上。換言之，湯姆生的理論假說和設計理念與培林一樣，都相信陰極射線是帶電粒子流。實際的落實結果也是驗證了他的信念。但是，從赫茲的設計理念來看，湯姆生讓偵測系統在放電管內，儘管有干擾因素的控制系統，但仍無法徹底避免管電流的污染，導致妨礙實驗的精確性。

在 1897 年的後續系列實驗中，湯姆生又設計了如圖 7-6 的偏折實驗。在大多數科學家看來，這個實驗可以說毫不含糊地給予「乙太波假說」和赫茲實驗的致命一擊。它幾乎做到了赫茲設計理念的一切要求，而且還增加了陰極射線會受到電場偏折這個證據。之前赫茲也曾執行偏折實驗，他於放電管的陰極射線段中內置整體和外插平板，並施加一靜電場，結果並沒有觀察到偏折。赫茲的偏折實驗模型可以重建如下：

(H'a1) 問題：探測陰極射線在靜電場中的偏折。可用以檢驗理論假說。

(H'a2) 對象：陰極射線。

(H'b3) 裝備：真空放電管（陰極 α ，被圓柱筒狀的陽極 β 環繞）、電源系統、干擾因素的控制系統（即吸收可能漏出的管電流之金屬紗網 β - β ）、內插和外接的兩版靜電平板。

(H'b4) 控制：抽氣使管內氣壓降低，以紗網來吸收可能

漏出的管電流。

(H'b5) 操作：首先，採用隔離管電流與陰極射線的組合方式，讓陽極環繞陰極且距離極近，陰極射線會噴出陽極之外，使得放電管被分隔成「管電流段」和「陰極射線段」。其次，使陰極射線通過靜電平板。

(H'c6) 蒐集：觀察陰極射線的路徑。

(H'c7) 預測：預測射線路徑不會偏折。(如此表示陰極射線是乙太波，不是帶電粒子，才不會受到靜電場的偏折。)

湯姆生的實驗同樣內插平板並施加電場，結果明確地觀察到陰極射線的偏折。他還設計了測量其偏折量的尺標，透過施加電場的強度，可以計算出電子的質量電荷比。讓我們重建湯姆生的實驗模型 (Thomson 1969[1897]: 586-587)：

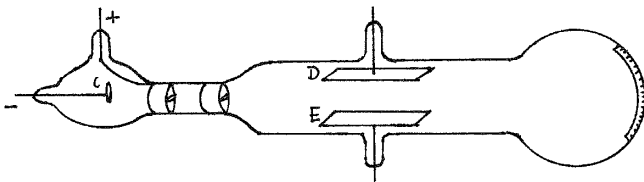


圖 7-6 湯姆生的偏折實驗裝備

(參考 Thomson 1969[1897]: 586，作者根據原圖重繪)

(T'a1) 問題：計算電子的質荷比，但也可用來檢驗競爭假說。

(T'a2) 對象：整體相似於 (Ha2)。

(T'b3) 裝備：真空放電管、電源系統、偵測系統和干擾因素的控制系統 (可能漏出的管電流之過濾段，即 AB 段)。

(T'b4) 操作：首先，同樣採用隔離管電流與陰極射線的組

合方式，陽極與陰極距離較短，放電管也明顯被區隔成管電流段、AB 段與陰極射線段。其次，電場平板在放電管內部。第三，使射線管段近乎真空。打開電源產生放電，陰極射線通過陽極中心小孔射出，經 AB 段，再進入射線段。

(T'b5) 控制：抽氣使管內氣壓降低。設置 DE 電場區，偏折射線，使陰極射線打中末端圓球的尺標。而且可調整電場強度，控制陰極射線的路徑。

(T'c6) 蒐集：觀察陰極射線打中尺標的位置。測定電場強度。

(T'c7) 預測：預測射線會有偏折。(即如果「帶電粒子說」為真，預測陰極射線會偏折。預先透過電場強度計算陰極射線將會打中的尺標位置。)

比較湯姆生的實驗對赫茲偏折實驗的複製程度，我們可以說，湯姆生做到了赫茲的實驗設計理念之各種要求，他的實驗模型可以說高度地複製了赫茲的實驗模型，而且更進一步地設計了測量和計算的方法——因此這個實驗後來被教科書寫為發現了電子。現在問題是：為什麼赫茲沒有觀察到電場下的偏折？湯姆生認為問題出於赫茲實驗中的射線管段的氣壓不夠低，導致兩片平板放電，產生垂直於陰極射線的電流，弱化靜電場的效應，使得陰極射線無法在通過靜電場中偏折。湯姆生是這麼說的：

在重複〔赫茲〕這實驗時，我首先得到相同的結果，但後續實驗顯出沒有偏折的現象是由於陰極射線賦予稀薄氣體的導電性。測量這導電性時，發現它會因氣體減少而快速地降低。在氣體少到快窮盡時，就有機會偵測到由於靜電場所導致的陰極射線偏折。(Thomson 1969[1897]: 586)

所以，湯姆生把陰極射線段的氣體抽掉，使其近乎真空，便

觀察到了陰極射線的偏折。

讓我們根據上文檢視製作一個諸實驗模型的比較表 7-4。此表可以顯示湯姆生的實驗 T (Ta1 ~ Tc2) 相對於培林的實驗 P (Pa1 ~ Pc2)，對於赫茲的實驗 H 之複製程度更高；而湯姆生的偏折實驗 T' 對於赫茲的實驗 H (偏折部分) 的複製程度最高。

表 7-4 赫茲、培林和湯姆生的實驗複製程度比較表

		實驗H (電荷實驗)	實驗P	實驗T	實驗H' (偏折實驗)	實驗T'
目標	目的	Ha1	整體相似	整體相似	H'a1	整體相似
	對象	Ha2	整體相似	整體相似	H'a2	整體相似
手段	裝備	Hb3	部分相似	整體相似	H'b3	整體相似
	控制	Hb4	不相似	部分相似	H'b4	整體相似
	操作	Hb5	部分相似	部分相似	H'b5	整體相似
結果	蒐集	Hc6	不相似	不相似	H'c6	部分相似
	結論	Hc7	不相似	不相似	H'c7	不相似

可是，布赫瓦（1995a: 164-165）仍然爭論：從赫茲的理論假說與背景觀念來看，如果陰極射線是帶電粒子，即使兩片平板間產生電流，也只會強化了偏折的效應，因為兩片平板間的電流也是帶電粒子的流動，因此同樣是帶電粒子的陰極射線，豈不該更加地向正極的方向偏折？布赫瓦似乎在為赫茲找理由。也就是說，如果赫茲活著看到了湯姆生的實驗時，他會怎麼評估呢？既然赫茲早逝，他的真正想法我們也無從得知。但赫茲當然有可能拒絕培林和湯姆生的實驗否證了他的實驗和假設。若是如此，他能提出什麼樣的理由？布赫瓦從實驗的背景觀念為赫茲找到了一個不接受湯姆生對他的否證之理由。由於杜恩已經說服力十足地

論證：實驗永遠無法決定性地印證或否證一個假說。我們當然也可以把杜恩的論證延伸到「實驗永遠無法決定性地印證或否證一個實驗」。如果赫茲有理由拒絕湯姆生的實驗否證了他的實驗，那麼科學史家總是可以找到一個理由來強調：湯姆生的偏折實驗也沒有成功地複製赫茲的實驗。但是，這恐怕混淆了否證和複製的差異。那麼，究竟赫茲的實驗和以太波假說有沒有被湯姆生的實驗否證？

伍、複製的程度性評估

如前文所述，瑞德區分了三種類型的複製：在一個固定理論解釋下的複製、物質落實的複製，以及實驗結果的複製。布赫瓦則評估：培林和湯姆生的實驗並不是在「一個固定理論解釋下的複製」，更遑論其它兩種類型的複製。所以，他們兩人並沒有複製赫茲的實驗。可是，如果打從一開始培林和湯姆生的背景觀念就不同於赫茲的，那麼我們要如何把他們的實驗和赫茲的實驗放入「固定理論解釋下的複製」類型來作比較呢？本文的討論顯示，我們可以比較不同背景觀念下的複製，而且不需區分不同的複製類型（除了「瑣碎複製」和「有效複製」的區分之外）。如果以實驗的類型來評估實驗的複製是一種絕對的評估，那麼我們認為本文提議的複製程度的相對、程度性的評估可能更好。換言之，培林和湯姆生分別以不同的程度複製了赫茲的實驗。最後，如果原初實驗與複製實驗的目的和問題都有檢驗理論假說的用意，那麼複製程度的觀點暗示否證也是有程度性的，這一點就留到下一章繼續探討。



第八章

實驗的複製（二）

歸納、推論與傳遞的問題

壹、複製實驗與歸納問題

眾所周知，休姆（David Hume）批判由歸納推論來推得通則（generalization）的邏輯必然性，但仍承認歸納推論有其功用，也有其心理基礎——我們心靈養成了重複的習慣，使我們慣於相信自然有其規律性。傳統上，科學定律被視為一個普遍性的通則，可以透過證據的歸納推論來支持它或證實它。既然休姆對這個看法提出有力的批判，那麼「科學定律究竟能不能被歸納推論所證成？」就成了所謂的歸納問題（the induction problem）。如果我們接受休姆的批判，那麼歸納問題就轉變成：要怎麼看待科學通則？

波柏同意休姆對歸納法的批判，但反對他的心理解釋（Popper 1969: 42-48）。¹ 波柏主張：我們不是被動地由重複來獲得規律性，而是主動嘗試把規律性施加在世界上。我們嘗試發現

1 波柏認為休姆的心理解釋有三點錯誤：（1）重複所產生的結果可能是下意識的生理反射，而未必是「有意識地期望定律」；（2）規律性的習慣不總是源自重複。（3）「定律的信念」未必都從重複中產生，一次印象深刻的觀察即足以創造定律的信念。

相似性，並以我們發明的定律來解釋相似性。在邏輯上，這稱作「試誤法」或「推測—駁斥法」；在心理上，這是一種「期望規律性的性向（propensity）」。可是，問題似乎還沒完全解決，因為我們總是可以再質問：為什麼我們會主動施加和期待規律性？當然，我們不能說是我們習慣於如此，也不能說是因為自然的規律使我們如此，換言之，答案絕不是因為經驗。那麼，我們只剩下先驗的答案。波柏認為，在判定兩個事物（或事件）之間是相似的或重複的之前，總是先預設了一定的觀點（point of view）、興趣（interest）、期望（expectation）：

一般而言，相似性和它的重複，總是預設了一個觀點的採納：如果我們對一問題感興趣，一些相似性或重複會吸引我們；如果我們對另一問題感興趣，吸引我們的就是其它相似性。但如果相似性和重複預設一個觀點或興趣或期望的採納，它們在邏輯上和時間上（或因果上或心理上）先於（prior to）重複是邏輯必然的。（Popper 1959: 422）

可是，規律性是如康德所言般的一種「先驗綜合的信念」嗎？在波柏看來，康德的答案必須作一些調整，規律性不是先驗有效的信念，而是邏輯上在觀察之先的思考方式——也就是一種方法學的規則（methodological rule）。這個方法學規則規定在做科學時，在觀察（經驗）之先，我們應該假設某種規律性，並施加在現象上。然後再設計實驗，由經驗來檢驗這個假設。

如我們所見，波柏用方法學規則來解決歸納問題，亦即，科學家其實是遵循著「把規律性施加在現象上」的方法學規則。可是，為了保證理論假設不是任意的猜測，我們需要經驗的檢驗。又為了保證科學的公共性，每個經驗證據必須在原則上能被不同的人所掌握，即必須是主體間的（inter-subjective）。如果這經驗

證據是來自實驗，就意味該實驗必須是可重複的（repeatable）。這也等於是說，一個檢驗理論的實驗需要被另一個重複的實驗所檢驗。然而，我們怎麼判斷後一個實驗是原實驗的重複？一個實驗並不像「這隻天鵝是白的」和「那隻天鵝是白的」這類簡單現象的相似而已，實驗牽涉到許多複雜的裝置和工具。如何判斷兩個實驗間的重複性，就成了既重要又困難的問題。

我們都知道，波柏不同意邏輯經驗論的歸納主義，他主張實驗的目標在於否證理論。但是在科學的客觀性（scientific objectivity）與主體間的可檢驗性上，波柏和邏輯經驗論的觀點一致。他是這麼說的：

只有當一定事件一致於規則或規律性而重現時，如同在可重複的實驗案例上時，我們的觀察原則上才可以被任何人來檢驗。直到我們重複且檢驗它們時，我們甚至不能嚴肅地採用我們自己的觀察，或接受它們為科學觀察。只有透過這樣的重複，我們才能說服自己不是在處理一個單純孤立的事件，而是在處理主體間可檢驗的事件——在交代它們的規律性和可重做性之上。（Popper 1959: 45; 2004: 23）。

然而他進一步明確地討論了「重複」的概念：

我們經驗的所有重複都是近似的重複（approximate repetitions）；在說重複是近似的時候，我意指的是一事件 A 的重複 B 並不同一於 A，或者和 A 不可區分，而只是或多或少地相似於 A。然而如果重複是建立在單純的相似性上，它必須分享相似性的主要特徵之一；也就是它的相對性。兩件相似的事總是在某些面向（in certain respects）上相似。（Popper 1959: 420-421）

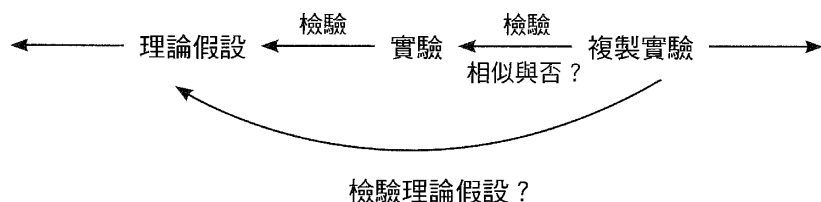
在波柏看來，實驗的目的在於檢驗理論（否證它），一個能夠否證某一理論、卻認可另一理論的實驗是個決斷實驗，但它必須能夠被重複執行，而且它的重複毋需與它自身同一，只要相似或逼近即可。既然一個決斷實驗總是同時檢驗兩個理論，為了滿足主體間的要求，這個實驗也應該要重做——至少由被否證的假說之支持者。如此一來，重做的實驗是否相似於原實驗的判斷，在邏輯上先於該實驗的「決斷性」之判斷。可是，如果一個相似重複，結果與原實驗一樣，因此我們就結論原實驗得到認可、原實驗所認可的假說也得到認可，那這豈不是重新把歸納召喚回來？而且如果原實驗需要主體間地檢驗，那麼檢驗原實驗的新實驗難道就不需要再被檢驗？結果，歸納的推論始終存在！這裡還有一個問題：對實驗的檢驗在何時可以關閉停止（close）？這引發一個所謂實驗者無限後退的困難（the problem of experimenter's regress ad infinitum）。

萬一一個實驗的相似重複，卻做出和原實驗不同的結果，我們又該怎麼辦？如此我們有第三組問題：一個實驗所謂的相似重複，產生了和原實驗截然不同的結果，該選擇哪一個？第二個實驗還可以說和第一個實驗相似嗎？波柏所謂的「某些面向上的相似」，在具體的實驗案例中，該如何應用？誠如 STS 名家柯林斯（Harry Collins 1985: 30）指出，波柏從沒有實際考慮過實驗程序和結果的相似和差異該如何判斷，他對歸納問題之解決只是理想的形式。由上述看來，波柏的方法學進路無法解決歸納問題。

不管「實驗的重複」該如何理解，也不管科學實驗是否經常實際地被重複，科學家和科哲家已經很習慣地把「實驗的重複」和「現象的重複」當成判準，用來檢驗、質疑或批判邊緣科學的科學性（陳瑞麟 2003b, 2003c）。也就是說，一些邊緣科學（如

特異功能研究），因其現象和實驗往往無法穩定地重複，導致它們的科學性受到嚴重的懷疑。問題在於所謂「實驗的重複」究竟是什麼意義下的「重複」？哈金所謂「沒有人曾經重複實驗」，指的是科學家不會像工業生產線一樣地複製一堆實驗來檢驗理論。但是，這並不意味科學家都不重做實驗。科學家重做實驗的目的，不在於檢驗理論，而是檢驗前一個實驗的結果，或是產生穩定的現象。問題在於：一個重做的實驗和原實驗之間，究竟有什麼樣的相似與差異？我們又該如何分析和辨識？

到目前為止，我們的討論都指向一個核心問題：該怎麼理解和判斷「重複（複製）實驗」？這問題預設了一個「理論假設－實驗－複製實驗」的架構，讓我們圖示成如下架構：



這個架構又蘊涵了下列問題：如果一個實驗被宣稱印證或否證了一個理論假設，而它的重複實驗也一致於原實驗的結果，那麼該重複實驗和原實驗的相似程度（或差異程度）究竟是增強或減弱實驗對理論的印證或否證程度？如果它的重複實驗與原實驗結果不一致，該重複實驗和原實驗的相似程度，對於理論假說的印證或否證程度是增強或減弱？

顯然，邏輯經驗論和波柏的否證論對這類複雜問題的處理付之闕如。因此，我們也可以說，經驗歸納的問題從來沒有被它們解決過。

本文試圖處理這個難題。我將透過實驗模型、實驗結構與複製程度這幾個概念來解決它。如同上一章所示，每個典型的科學實驗都擁有一個三元結構：實驗的背景觀念、實驗模型和實驗（模型）的物質落實。透過實驗行為結構的分析，我們可以比較重做實驗對於原實驗的複製程度。正由於複製實驗的程度性，科學家（雖然不一定明確地意識到）由此產生了不同的共識或異議的反應，而科學史家和科學哲學家也因此對於科學史上的複製案例產生了不同的判斷。如此，在複製程度的新觀點下，我們也會對歸納推論產生全新的理解。在進入本文的提議之前，讓我們先討論柯林斯的社會學解決（sociological solution）。

貳、柯林斯論實驗的複製與歸納問題的社會學解決

柯林斯在其《變動的秩序》（*Changing Order*）一書，試圖在實驗複製的脈絡下對歸納問題提出一個「社會學的解決」。柯林斯面對的「歸納推論的問題」正是指哲學傳統中的那個歸納之謎：歸納推論似乎沒有邏輯必然性，但我們又總是能應用歸納來獲得有用的知識。那麼，歸納推論究竟有沒有合法性？其合法性的基礎又何在？

柯林斯主張任何訴諸於規則或算則（algorithm）的解決方式都會面臨難以克服的困難，唯一的解決方案是社會約定論：簡單地說，所謂「歸納推論」的規則和「複製實驗以印證先前實驗結果」的規則，都只是社會約定成：「規則只是藉由社會約定俗成的規則：它們是社會成規。」（Collins 1985: 145）柯林斯以案例來論證他的解答。

一、歸納、複製和遵循規則的問題

柯林斯首先爭論，訴諸於「方法學規則」來解決歸納問題有其不可克服的困難。亦即一切訴諸於「遵循規則」的解決，都會面臨維根斯坦對遵循規則的懷疑——所有的行為都可以被解釋為遵循規則，即使有看似不規律性的情況也可以透過解釋而變得合乎規律性。²

在維根斯坦之前，哲學家對於「合規範性」(normativity)、甚至「合理性」(rationality) 概念的思考是建立在「遵循規則」(rule-following) 的基礎上，亦即判斷一個行為是否正確（合於規範）、做出此行為的人是否合乎理性，判準就在於他是否遵循規則。簡單地說，遵循規則定義了正確性、合規範性和合理性。在科學哲學上，這也是規範方法學的基本預設：是否遵循科學的方法學規則乃是判斷一位研究者的研究是否合理、合科學性的判準。所以邏輯經驗論、波柏、拉卡托斯、勞丹、科學實在論者均努力找出科學的方法學規則，因為它們提供了合理性和合科學性的判準。可是，維根斯坦 (Wittgenstein 1953) 卻深入地思考「遵循規則」的「意義」，發現一個悖論：

§ 201 這是我們的悖論：沒有行為過程能被規則所決定，因為任何行為過程都可以使其符合 (make out to accord with) 該規則。答案是：假如每件事都能符合某規則，則我們也能使它與該規則衝突 (make out to conflict with)。因此，既沒有符合，也沒有衝突。……因此，有個傾向說：每個行為與規則的符合是個解釋。但是我們應該說

2 在此我們當然不可能進入這個爭論之海中，但本文將簡單介紹這個悖論，與分析哲學的解決方式，再略提一下柯林斯的舉例詮釋。這個詮釋最初又來自社會哲學家文曲 (Winch 1990)。

「解釋」這個詞是以一個規則的表達來代替另一個表達。

換言之，我們可以讓任何行為描述都符合某條規則（該行為遵循規則），也可以讓任何行為描述都不符合規則（該行為不遵循規則）。例如當一個人計算 $5+7=12$ 時，他這次計算遵循算術加法規則，此規則定義了「+」這個符號的意義。下一次他計算 $25+32=56$ ，根據加法規則，他算錯了，這次計算沒有遵循規則。可是，這個人可辯稱，他遵循另一條規則，即「加法總和再加1」這條規則，為「+」這個符號訂定了新意義。所以，他沒有錯，他只是遵循另一條規則。當然我們可以再質問他，他過去一直把「+」用為加法的規則，因此，他的新計算違反了過去使用加法規則定義的「+」之意義。但他可以再辯稱就算過去他曾使用加法規則定義的「+」之意義，但此次計算中，他要使用「+」號的新意義，遵循新規則。所以，無論如何，他都沒有不守規則（這正是意義有限論的思路）。面對這樣的辯解，我們似乎只有一條路：亦即我們的社群是約定以加法規則的意義來使用「+」號，他違反了社群的約定——這就是克里普齊（Saul Kripke 1982）對這個悖論提出的「社群主義解決」（communitarian solution）。

在分析哲學中，如何詮釋和解決這個悖論成為維根斯坦哲學詮釋家的爭辯場域，大量文獻被生產出來。³ 科學知識的社會學

3 關於維根斯坦「遵循規則的悖論」之討論，已經在英美分析哲學中產生了大量的文獻，甚至衍生種種不同的詮釋版本，如傳統的馬爾孔版（Malcolm's version）、克律普齊版本（Kripke's version）、麥金版本（McGinn's version）等等，彼此間互相質疑詰難。也在社會科學中產生了不同的方向，亦即憂芬克爾（Harold Garfinkel）領導的常民方法學（ethnomethodology）和布洛爾領導的SSK，前者的哲學立場類似麥金、後者則類似克律普齊，彼此亦互相質疑對方，布洛爾稱常民方法學為右派維根斯坦主義者（Lynch 1992; Bloor 1992）。

家則在維根斯坦對於遵循規則的質疑中，以及社群主義的解決中，看到了試圖透過「方法學規則」來定義科學的困難。因此，一方面他們追隨社群主義的解決，主張遵循規則是一個人的行為是否一致於（或符合）社群的集體行為（約定），可以說，規範性的基礎在於社群的集體行為。而且進一步宣稱「規則即制度」（rules as institutions），不同的制度則反映不同的生活形式（Bloor 1983, 1997）。

柯林斯對於此悖論的看法與 SSK 完全一致。他舉例詮釋此悖論：假設一個人在數一數列 2、4、6、8；再想像這個人被要求「以相同的方式（即根據「規則」）繼續數下去」。在我們心中浮現的立即答案是 10、12、14、16。這的確是正確答案。但是，我們怎麼知道它是正確答案？如果說，我們是遵循「以相同的方式繼續數下去」這條規則，但是我們也可以把「相同的方式」詮釋為 2、4、6、8、10、2、4、6、8、10、12、2、4、6、8、10、12、14……或者 2、4、6、8、2、4、6、8、2、4、6、8……或者 8、6、4、2、2、4、6、8、8、6、4、2 如此等等。例子幾乎是無限多（Collins 1985: 13-16）。柯林斯從這裡得到四點結論：（1）規則並不具有如何應用自己的規則；（2）「相同」的觀念是歧義的；（3）在一個開放系統中，不可能為行為充分地界定出一條規則來；（4）雖然我們都知道繼續進行的正確方式，但必定不只是界定規則與遵循規則而已。柯林斯的解決是，規則和遵循規則都有其社會的基礎——我們的社會制度和生活方式才使得所謂的規則與遵循規則成為可能。

把解決上述悖論的思考方式應用到科學的方法學規則上，例如波柏主張「把規律性施加在自然上」這條方法學規則，可以詮釋成一切行為都是把「規律性施加在自然上」的結果，因此它也

無法做為區分科學和偽科學的判準。再者，波柏的方法學規則還有下半部：「要以經驗來檢驗和否證我們提出的規律性假設。」可是，經驗必須是可複製的，波柏並沒有發展一個複製理論，也沒有提供複製的方法學規則。

所以，柯林斯假想邏輯經驗論和波柏等方法學家，針對上述問題試著發展一個「複製的分析理論」(analytical theory of replication)：首先，在實際的科學實作上，完全一模一樣的複製實驗幾乎不會增加什麼印證力，因為它會被認為只是把原實驗再報告一次。同一個實驗，由同一觀察者不斷執行(run)幾輪，具有觀察穩定性之後，這個實驗結果才具有起碼的再檢驗資格。如果能有另一組實驗者來執行，則差異度比原先大，印證力似乎較大一點。進而，如果能夠用相似的設備來進行，甚至使用不同原理設計的實驗設備，都會增加印證力。如果由公開持有相反信念的科學家來執行，那麼印證力更高。上述似乎可以導出一條規則：「複製實驗與原實驗的差異度越大，其印證力越大。」這條規則可以成立嗎？柯林斯質疑：如果有一位懷疑的吉普賽人，拿山羊的內臟做實驗，宣稱得到和重力波實驗相同的結果。此時，實驗的差異最大，但科學家恐怕會覺得受到侮辱吧？所以，差異度是有界限的。但這個界限在哪裡，方法學家很難劃出來。

再者，如果第二個實驗的目的在於否證先前實驗的結果，情況就完全不同了。這時如果它和原實驗差異太大，可能會被認為是不相干或失敗的實驗。可是，如果它和原實驗完全相同（卻得出不同的結果），科學家也可能會質疑實驗者的能力有問題。那方法學家又該如何形構這種情況的方法學規則呢？總而言之，這個複製理論總有難以克服的混亂狀況(Collins 1985: 34-38)。柯林斯進一步嘗試為「複製的分析理論」提出七層次的規則：「層

次一：消除所有無關於主題的活動；層次二：消除所有非科學的活動；層次三：消除擁有不適當身分的實驗者之一切活動；層次四：消除一切非實驗的活動；層次五：消除一切沒有資格做為原實驗的複製品之實驗；層次六：把剩下來的分成肯定的實驗和否定的實驗。層次七：判定是否實驗被複製了。」(Collins 1985: 39) 它們決定了一個實驗的被複製性 (repliatedness)。他隨即一一論證指出所有規則都有難以避免的困難，因為規則本身無法保證規則被遵循，也沒有任何客觀的事實能保證規則被遵循 (Collins 1985: 38-46)。但科學家確實有遵循規則，我們也確實可以判定某些人違反規則，是什麼保證了他們的確是遵循規則或違反規則？唯一的答案就只能是：社會約定。如果一位科學家的行為一致於某個社群的約定，他遵循規則；如果不一致，他違反規則。

二、默會知識與實驗的傳遞

與遵循規則問題和複製問題相關的是實驗知識傳遞的問題，亦即在實驗複製的過程中，必須同時有實驗相關知識的傳遞：實驗者究竟是根據什麼而學會實驗的知識和技能？是實驗規則手冊嗎？實驗者遵循實驗規則手冊而複製或重做實驗嗎？如果規則有上述的問題，那麼在實驗知識和技能的傳遞中，遵循規則也不是一個好答案。

柯林斯主張要研究「真實的科學」和「活動中的科學」，因此他使用人類學的田野調查方法，以 1978-1979 年在巴斯大學 (University of Bath) 的物理學家哈里森博士 (Dr. Bob Harrison) 如何學會建造橫向激發氣體雷射 (Transversely Excited Atmospheric Laser, TEA-laser, 以下中文簡稱「氣體雷射」) 的

過程為觀察對象，探討實驗知識傳遞的模式（Collins 1985: 51-78）。柯林斯指出建造雷射的實驗知識傳遞有下列三個要點：

- (1) 必須和有成就的從業者接觸學習；
- (2) 其過程是不可見的，直到科學家試著去做，否則他們不知道自己是否有相關的專業能力；
- (3) 這個過程反覆無常，以致相似的師生關係也無法保證知識都一定會有所傳遞。而這三個要點所反映的正是波蘭尼（Michael Polanyi 1958）所謂的「默會知識」。柯林斯進一步說明「默會知識」是「我們執行一技能的能力，而毋需精確明示（articulate）我們是如何做的」（Collins 1985: 56），一個典型的例子是騎腳踏車的技能之學習，學會騎腳踏車的人，並不需要任何關於腳踏車運動的力學知識。所以，默會知識其實就是一種技能的知識，在柯林斯看來，實驗知識的學習和傳遞就是一種默會致知的過程。

柯林斯進一步區分兩種學習模型（model of learning）：一是算則模型（algorithmical model），意謂知識是一種使計算機能實現程式設計者意圖的資訊；另一種是涵化模型（enculturational model），意指知識是一組社會技能（Collins 1985: 57）。算則模型也就是規則模型，意指知識是一組規則，或者可以化約成一組規則。因此，學習知識是學習一組明示的規則。涵化模型的知識則是默會的技能知識，無法以語言和規則來明示。因此，學習知識必須向權威學習，必須親自踐履，而且並不保證一定能學會。無疑地，在柯林斯看來，建造雷射這種實驗知識的傳遞只能用涵化模型來說明。

可是，柯林斯的默會知識在一個重要的面向上不同於波蘭尼的原版。波蘭尼提議的「默會知識」其實是他所謂「個人知識」（personal knowledge）的默會成分，除了技能之外，還包含了一

些情感（例如知識熱情）和道德（委身投入、尊重權威等）的因素。此外，雖然免不了社會因素（師生間的互動），波蘭尼卻強調默會知識中的個人判斷的部分，而柯林斯則重視社會約定。儘管如此，波蘭尼和柯林斯的默會知識都具有下列共同的特徵：它是一種不可言傳的技能（unspecifiable skill），學習者必須委身傳統和權威，知識透過師傅的示範與學生的模仿來傳遞；它是非規則性的、非批判性的、也具整體性（Gestalt）和非分析的特徵。

三、實驗者的無限後退和實驗評價的問題

實驗者的無限後退（或簡稱「實驗者後退」）問題與實驗複製問題密切相關，它可以這樣表述：因為有科學家懷疑一個原始實驗的結果，所以科學家認為需要重複實驗來檢驗原實驗，萬一重複實驗的結果與原實驗不一致，則科學家必須再做實驗來檢驗重複實驗，萬一又不一致，則必須再做……如此等等，則哪一個實驗可以視為擁有最可靠或關鍵性的檢驗力？即使重複實驗的結果和原實驗一致，但是如果原實驗會受到懷疑因此需要檢驗，那麼沒有理由宣稱重複實驗就不受懷疑而不需檢驗。結果重複實驗需要再用另一個重複實驗來檢驗，然而它應該重複第一個實驗或者重複第二個重複性的實驗？如此等等，產生了實驗者的無限後退。

這是一個複製實驗的實驗者後退版本，它暗示實驗本身的結果無法做為判斷一個實驗好壞或可靠與否的標準——柯林斯的實驗者後退的原始版本著眼於此，他以重力波偵測實驗為例而表述：

什麼是正確的結果依賴於在可偵測的波流（fluxes）中是否有重力波打到地球。要發現這個現象，我們必須建造一

個好的重力波偵測器而且作檢視。但是要等到我們獲得正確結果後，我們才能知道是否已建造了好的偵測器！但我們不知道正確結果直到我們先建造好的偵測器……如此等等至於無限（Collins 1985: 84）。

柯林斯的意思是：「一個實驗結果是否正確，依賴於一個好實驗；但是，要判斷一個實驗夠好，又得依賴於該實驗得到正確結果。」顯然，這是一個不可接受的惡性循環。所以，柯林斯推論：要關閉這樣的循環，科學家勢必得採用獨立於實驗結果的標準——柯林斯也在科學家對於四個重力波偵測實驗的不同評論和意見的記錄中，找到了印證——他列出研究重力波的科學家們用來評價優秀實驗的客觀標準是：實驗能力和誠實、實驗者人格與智能、運作大實驗室的聲譽、在學術界或工業界工作、之前失敗過、結果的呈現方式、實驗的心理、大學的聲譽和規模、整合各種科學網絡、民族性（Collins 1985: 87）。最後，柯林斯也討論了「實驗的校準」（calibration of experiments）——所謂「檢驗的檢驗」（test of a test），但他爭論校準跳出了實驗者後退的循環，其實是因為控制了解釋的自由，而不是因為校準能做為實驗的檢驗。結果「檢驗的檢驗」無法避開實驗者後退的難題，不管這「檢驗的檢驗」是校準或另一個重複實驗。如此一來，實驗者的無限後退無法解決嗎？

根據 TEA 雷射與重力波實驗的田野調查，柯林斯從科學家的對話記錄中摘取十條命題，主張它們表達了科學實際運作的現象：（1）技能性的知識之轉換是反覆無常的。（2）技能性知識最好（或只能）透過已有成就的實作者。（3）實驗能力有技能的特徵，只能由實作中獲得或發展得到。像技能一樣，它不能完全被說明，或絕對地建立起來。（4）實驗能力的產生或擁有是不可見

的。(5) 裝備、裝備的零件，與實驗者的適當運作是由他們參與產生適當的實驗結果來定義。無法找到其它指標 (pp. 73-74)。

(6) 科學家和其他人傾向相信自然對於操作的回應性是由一組算則性的教學指示所引導的。這提供了一種印象：做出實驗在字面上是一個形式體系。雖然這個信念偶爾會因困難而被懸置，但它們災難性地再體現於實驗的完成上 (p. 76)。(7) 當正常的判準——成功的結果——不可行時，科學家對於哪個實驗夠格 (competently) 就難有共識。(8) 什麼是夠格的實驗沒有共識時，辯論與實驗的適當結果共存。關於「夠格」意義的辯論，在於一個新現象的「發現」或「不發現」有共識後才會停止 (p. 89)。(9) 關於現象存在與否的判定與現象性質的「發現」共存 (p. 100)。(10) 長期下來，有徹底(新)性質的現象只有在一個生活方式和一組制度之內才能存在，該生活方式與制度與科學構成一個整體。否則，要嘛現象、要嘛科學必定會變遷 (p. 125)。顯然，柯林斯的「社會學解決」即是從這十條命題導出。

四、社會學解決的麻煩

歸納問題的「社會約定」解決是唯一的出路嗎？筆者不以為然。第五章已經對社會建構(約定)論提出廣泛的檢討與批評，本章仍然針對柯林斯的案例、研究方法、十條現象命題和社會約定論分別提出一些評論。

首先，柯林斯的研究是一種科學知識與實作的社會學，他以人類學式田野調查方法，訪談並記錄科學家的實際意見，他主張這是一種「經驗性的相對主義方案」(empirical program of relativism)，屬性上是一種「方法學的相對主義」(methodological

relativism)，亦即社會學家在科學爭議中保持不偏倚、不靠邊站，也要對稱地使用相同的原因來解釋科學實驗的成功與失敗、真與假。同時，柯林斯研究的案例也是「進行中的科學」、「爭議中的科學」，尤其是重力波偵測的實驗，⁴ 而不是爭議結束或科學家已有共識的案例。因此，柯林斯的案例已經保證了他的多數命題——似乎是對科學研究現象作總結性的描述——看起來相當有說服力，例如命題（3）、（4）、（5）、（6）、（7）、（8）等。但是，這些命題並不是純粹描述，它們已混著柯林斯的許多理論主張、信念或判斷，例如命題（1）、（2）、（9）、（10）等。由於命題（1）到（5）屬於我所謂的「實驗知識傳遞」的問題，讓我留到下文來處理。現在我先考察與實驗複製和推理相關的命題——特別是（8）、（9）與（10）。

科學家的確會以新現象的發現來關閉對實驗的辯論，但是這涉及如何決定「什麼樣才算是有了發現」的問題，如此似乎意味了科學發現的本性、資格和條件必須先被回答。也就是說：究竟科學家對一個實驗是發現或未發現新現象的共識又是怎麼形成

4 在《變動的秩序》一書中，柯林斯討論的是 1970 年代初期由 Joseph Weber 執行的重力波偵測實驗。2004 年柯林斯再出版《重力的陰影：重力波的搜尋》（*Gravity's Shadow: The Search for Gravitational Waves*）這本厚達 900 頁的「鉅著」，巨細靡遺地追蹤了從 1970 年代初到二十一世紀初近三十年的重力波偵測的歷史。這裡我們當然不可能討論重力波偵測實驗的案例。不過，即使三十年後，柯林斯的基本觀點並沒有改變，他主張三十年來重力波偵測的實驗歷史，印證了他在 1985 年已提出的理論：經驗性的相對主義方案、方法學相對主義、實驗者後退等。值得一提的是，柯林斯區分了三種科學史與社會學取向：科學的技術史研究、中範圍研究（含 SSK 的強方案和他自己的經驗性的相對主義方案）、科學文化研究。他認為第一種分析科學家最熟，也在科學家之間尋求認可，但對理解科學的幫助不大。第三種包含以拉圖為代表的 ANT 研究，這種研究把科學處理為一種文化形式，對於科學理解的需求較小。中範圍研究恰介於中間，乃是最好的科學史與社會學研究。

的？柯林斯並沒有進一步討論這個問題，第九章將以孟德爾遺傳學案例來發展一組實驗發現的判定條件。命題（10）則把新現象的發現和生活方式與制度連結在一起，這實在跳得太快了。「生活方式」與「制度」其實是包含太廣的概念，很難對科學史的種種案例產生什麼樣的說明力。例如十九世紀末湯姆生的陰極射線實驗被認為發現了電子，二十一世紀的科學家今天仍然接受電子存在，而且是由湯姆生發現，然而十九世紀和二十一世紀的生活方式和制度一樣嗎？

說穿了，柯林斯的解決就是把科學家的約定和共識當成一個說明的概念，但這實在不算是解決。因為我們總是可以進一步問：科學家社群的共識與約定又是怎麼形成的？畢竟社群還是要由個人組成的，我們想知道為什麼科學家個人作判斷之後會形成一個約定的共識，他們的主要理由是什麼，柯林斯已經田野記錄了很多科學家訴諸於各種不同非科學的判準，但是奇怪的是，為什麼這種種不同的判準，最後卻會形成一個一致的共識？要如何說明這個現象？

柯林斯可以再度訴諸於維根斯坦的「生活形式」和波蘭尼的「默會知識」觀念。也就是說，科學家社群會形成一種固定的生活形式、一種社會制度，科學家在這形式或體制下接受教育、訓練、工作和實作，透過默會知識的傳遞，使得科學家形成一致的判斷。然而，我們總是可以再追問：最初的生活形式或社會制度又是怎麼產生的？如果答案是一群科學家的共識，那麼這是循環說明或循環論證。因為問題正在於說明**集體的共識是怎麼產生的**。柯林斯提到當新規則形成時，表示新的社會約定建立了；不同意新約定的人，就會被視為不能勝任（not competent）而被排除在共識圈外（Collins 1985: 145）。即使如此，仍然沒有回答那

些同意約定的科學家，為什麼會形成同意的判斷？換言之，所謂的同意或約定究竟是怎麼建立起來的？這裡完全沒有任何個人性的理性因素嗎？沒有任何方法學的因素嗎？或者沒有任何規範性的後設複製理論能被建立起來嗎？科學上一個最奇怪的現象就是：在田野調查中，一群對於一個實驗的評價與意見相當不一致的科學家，最後卻能形成共識。為什麼？這樣的現象不能單單由「只因為這群科學家最後形成共識了」來交代，因為這是套套邏輯式的空洞說明。「共同的生活方式或制度、權威與默會知識的傳遞」這種說明，則有生活方式和制度概念太廣泛以致失去說明力的問題，「權威與默會知識」則很難說明同時存在的異議現象。社會建構論訴求的另一個答案是談判協商，而且他們經常詳細地描述共識與約定形成的談判協商過程。可是，談判協商的答案有許多問題，第五章已討論。

如果我們想跳出「社會約定論」在說明或論證上的循環，我們必須把集體拆開成個人或小團隊，訴諸於個人的判斷。亦即科學家作個人的判斷後同意（agreement by judgment）慢慢地建立具有家族相似和歧異的駁雜團體，問題就變成：產生這判斷的因素又是什麼？答案就是第四章爭論的認知評價或認知－社會機制。

以十九世紀末赫茲到湯姆生的一系列著名的陰極射線實驗為例（參看上一章）。應用柯林斯的觀點，我們要說赫茲的實驗印證了「陰極射線是乙太波」乃是個科學社群的社會約定，而培林和湯姆生的實驗否證了赫茲的結果並且印證了「陰極射線是帶電粒子流」，乃是科學社群的新社會約定。同時，赫茲所處的德國科學社群，傾向支持乙太波論，赫茲在這樣的社群下潛移默化，自然傾向德國科學社群的共識。而湯姆生受訓的英國科學社群，

傾向支持帶電微粒說，所以，湯姆生自然也朝英國社群的共識做實驗。問題是，我們能對這樣的解答滿意嗎？歷史的實際發展是，赫茲英年早逝，無法回應培林和湯姆生對他的否證，所以我們不知赫茲會有什麼樣的後續動作。可是，即使赫茲得以得知後兩人的實驗，他似乎也不是沒有理論上的理由來懷疑培林和湯姆生的實驗是他的實驗之複製（布赫瓦即是朝此方向作論證）。再者，雖然德國科學社群傾向乙太波論，但真正潛移默化地傳授赫茲科學技能的霍姆霍茲（Hermann Helmholtz, 1821-1894），卻傾向於支持帶電粒子說！⁵ 這種史實我們又該如何解釋呢？

上述評論都顯示社會學解決恐怕有許多問題。下文讓我們從通則（generalization）開始來重新考察歸納問題。

參、歸納推理的再考察

科學知識常被視為一種通則，具有通則性（generality）或普遍性（universality）；或者說具有通則性和普遍性的知識，才是具有科學價值的知識。「通則」與「規律性」（regularity）和「定律」的概念相關，一個通則表達了自然事物的規律性，一旦得到經驗或實驗的印證或證實，便擁有定律的地位。問題是我們如何得到通則和定律呢？亦即，我們如何發現自然的規律性呢？傳統上認為，用歸納法。一方面，經驗或實驗對於假設的證實需要運用歸納法；另一方面，我們也是從重複觀察到某現象來歸納出一個通則，或形成一個通則性的假設。

5 當然，其中的故事相當複雜，霍姆霍茲也常在兩個假說中游移不定。但毫無疑問，他早期傾向帶電粒子流，因而對哥德斯坦的工作頗有微詞（Buchwald 1995b: 137; 172-174）。這段歷史的詳細分析見上一章。

通則或通則述句 (general statement) 一般有兩種基本形式。一種我們稱作「數值的通則性」(generality in number)，即「全稱性」⁶——以「所有」開頭的全稱述句，例如「所有烏鴉都是黑色的」。另一種稱作「規律的通則性」(generality in regularity)，也就是「可重複性」，即是表達規律地或重複地發生的現象之述句，例如「每當黎明來臨時，太陽從東方升起。」在量化邏輯系統中，兩者使用條件句的形式來表達，前者如「所有 x ，如果 x 是烏鴉，則 x 是黑的。」後者如「所有 t ，如果 t 是黎明，則太陽在 t 時升起。」進而，這兩種通則都被認為是由歸納法推論得到的。它的推論形式大致如下：

前提 1：(觀察到) Ra 而且 Ba

前提 2：(觀察到) Rb 而且 Bb

.....

前提 n ：(觀察到) Rn 而且 Bn

前提 z ：迄今並未觀察到 Rz 而且 $\sim Bz$

結論 C ： $(x)(Rx \rightarrow Bx)$

結論 C 乃是由前提 1、2…… n 和 z 所共同支持。其中前提 z 是一種「所有條件都保持相同的條款」(ceteris paribus clause)。

6 波柏 (1959, ch. 3) 使用 universal statement (普遍述句) 來表達我們在此所謂的「通則述句」。波柏又區分「嚴格普遍述句」(strictly universal statement) 和「數值普遍述句」(numerically universal statement)。前者如「所有彈簧伸長量與負重成正比」，後者如「所有地球上的人身高都不超過 250 公分。」波柏認為前者才是真正具有不受時空限制的普遍性，後者其主詞指涉的種類，受限於一定的時空，其數目其實是有限的，因此嚴格說來，它其實是一種「單稱述句」(singular statement)。波柏所謂「數值普遍述句」和我們所謂的「數值的通則性」並不一樣。我們所謂的「數值通則性」是為了和「規律的通則性」區分，兩者都是波柏所謂的「嚴格普遍述句」。

但是，如我們所見，實際的科學推論很少使用這種簡單的歸納推論。而且正如同波柏已經告訴我們的，一次嚴格的實驗或印象深刻的觀察即足以創造出規律性或通則性。可是，波柏也主張這樣的實驗必須具有主體間的可檢驗性，也就是可重複性。然而，上文已展示，實際科學上的重複實驗絕不是把同一個或完全相同的實驗裝備或儀器不斷地重複做很多次，再透過歸納推論來證實通則——這樣的重複實驗一點也沒有印證力，同一實驗重複多次所得到規律性，只是證實此實驗系統是穩定的起碼要求。事實上，科學家要求的是，必須在不同的時空脈絡中，以不同的實驗裝備系統卻又具有相似的實驗模型和結構（即有效複製）來執行，才能擁有印證力。因此，科學家的實驗推論模式應該是：

前提：（觀察到或建造）在某一時空脈絡 C 中，一個具有 S 結構的物理系統 P ，（觀察到） P 產生現象 F 。

結論：（預期或預測）在另一時空脈絡 C' 中，建構或發現一個具有相似於 S 結構的 S' 結構之物理系統 P' ，而且 P' 必定要有異於 P ；則可能觀察到 P' 產生現象 F （或現象 F' ，但 F' 相似於 F ）。

在實驗的脈絡中， S 和 S' 相當於實驗模型，而 P 和 P' 則相當於 S 和 S' 的物質落實。換言之，科學家並不是由歸納前提 1、2…… n 和前提 z 來推出或支持他們的通則性結論，這也等於是說，他們並不是使用傳統上的歸納法。他們的推論其實蘊涵上述的推論模式。這種推論模式並不需要重複很多事例，累積很多前提，而是只要一個可以被建立起結構的事例來做為前提就夠了。因此，與其說這種推論是歸納，不如說它是投射，亦即把一個具有結構 S 的物理系統 P ，以及它所產生的現象 E ，從一時空脈絡 C ，投射到另一時空脈絡 C' 上，對應了另一物理系統 P' 和結構

S' 與現象 F'。再者，這樣的系統和現象，也不再具有傳統經驗論和波柏所謂的那種不受時空限制的通則性，相反地，物理系統 P 和現象 F 是受限於時空脈絡的（時空脈絡總是前提條件之一），但是它們可以被投射到另一個時空脈絡，而且它們有可能在另一時空脈絡中被落實。因此我們說，此物理系統 P 和其結構 S，如果能被落實到另一時空脈絡（建構一相似結構的物理系統 P'，並產生現象 E），那麼，這個物理系統 P 具有跨脈絡的可落實性（cross-contextual realizability）。如此一來，具有結構 S 且能產生現象 F 的物理系統 P 是脈絡跨越的、而不是規律性或全稱性的通則性。因此，一個投射性的推論之結論，也不是一個規律或全稱的通則，而只是一個跨脈絡的通則或推廣（cross-contextual generalization）。

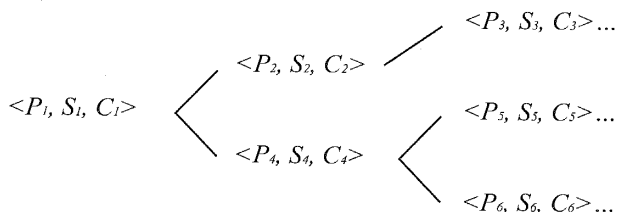
讓我們更詳細地比較歸納推論、規律性通則（regular generalization），以及結構投射、跨脈絡推廣（cross-contextual generalization）之間的差異。一個歸納的規律性通則代表一個事件類型（event-type），其包含的所有事件個例（event-token）都是相似的，而且在兩個事件個例之間的相似性是可傳遞的（transmissible）。如果一個規律通則是從事件 E_1 、 E_2 、…… E_i …… E_n 歸納得到的，則所有的 E_i 都相似於 E_1 ，而且彼此相似。但是，一個結構投射和跨脈絡推廣指稱的是不同類型的系統，只是這些系統在不同的脈絡中有相似的結構。它至少涉及物理系統、結構與脈絡之間的三元關係。物理系統的通則性乃是建立在它的結構可以被跨脈絡地投射到另一個脈絡，而且落實在另一個不同類型的物理系統上。但是，脈絡與結構相似性的引入就打破了物理系統之間的相似性之可傳遞性。更詳細地說，如果在一個脈絡 C 之下一個有結構 S 的物理系統 P 被跨脈絡地落實在另一個脈絡 C' 而且有結構 S' 的物理系統 P' 上時，則 S 相似於 S'。如果物理系

統 P' 又被投射到第三個脈絡 C'' 中有結構 S'' 的物理系統 P'' 時，則 S' 相似於 S'' 。但 S'' 可能不相似於 S 或者 S'' 和 S 之間只有低程度的相似性。這種不相似或低相似性的可能性使得投射推論中的相似性不可傳遞。

因為在一個歸納推論中的兩個事件個例間的相似性是可傳遞的，所有相似事件個例因此可以表成一個序列。也就是

$$E_1 \approx E_2 \approx \dots \approx E_i \approx \dots \approx E_n \quad (\text{所有事件彼此相似})$$

但是，在一個投射推論中，物體系統的圖像模式不是序列的，而是樹狀的。亦即：



其中，每個 P_i 代表不同類型的物理系統，每個 S_i 代表物理系統的結構，每個 C_i 代表不同的脈絡。根據投射推論的非傳遞性， S_1 相似於 S_2 而且 S_2 相似於 S_3 ，但是 S_3 可能不相似於 S_1 。 S_2 相似於 S_4 ，因為它們是從有 S_1 結構的 P_1 投射出來的，而 S_5 相似於 S_4 但可能不相似於 S_2 如此等等。我們可以進一步說，歸納推論其實只是投射推論的一個特別案例，因為當每一個系統 P_i 和每個結構 S_i 都彼此相似時，就是歸納。

肆、投射論的解決

歸納問題其實出自哲學家要求科學定律必須是全稱通則，而

且要同時具有科學性、必然性和普遍性。邏輯經驗論在必然性上退讓，承認科學定律只具備高機率性，卻可能失去科學性和普遍性的危險，即無法區分科學和非科學，而且不必然可能意味著不普遍。波柏想同時維持這三個特性，因此提出他的方法學解決，如此使得假設定律的實驗檢驗更形重要，但又為了維持科學研究的公共性，而必須承認主體間的可檢驗性，結果一來把歸納推理重新引入印證中，二來使得實驗複製的問題必須優先解決。但解決複製實驗的問題又要依賴於實驗結構的相似性分析，結果產生一個截然不同的推理模式，也讓我們得放棄科學定律一定是普遍必然的全稱通則的想法。換言之，所謂科學定律應該理解成一種跨脈絡的通則。這個觀念可以解決歸納問題、複製問題、實驗者後退問題嗎？

首先，跨脈絡通則的印證並不要求任何個例累積或統計性的歸納印證。因為它判斷的是：「如果一個具有結構 S 的系統 P 在脈絡 C 產生現象 F ，則在另一脈絡 C' 存在一個具有相似於 S 的結構 S' 的不同系統 P' 也能產生現象 F 或相似的現象 F' 。」亦即相似的現象 F 和 F' 可以在不同脈絡中出現於相似結構 S 與 S' 上。如果脈絡、相似結構與現象一再重複地出現，就好像擁有某種規律性一樣。但跨脈絡通則不必斷言現象 F 的全稱性與規律性。如此，它只斷言類似 F 的現象 F' 能在另一脈絡中出現。

其次，對於實驗是否複製的問題，則訴諸於結構相似性的判斷。這判斷如何產生實驗檢驗的推理？下一節將討論此問題。

跨脈絡通則可以維持主體間的可檢驗性，也不會有實驗者後退的問題。因為對它的判斷本身就蘊涵了「要在另一個不同的脈絡中重複實驗」，這並非出於對原實驗的懷疑，而是對任何實驗

結果提出跨脈絡通則，都必須蘊涵這個推論。因此，如果一個複製實驗一致於原實驗，則跨脈絡通則就被印證了，因為相似結構的不同物理系統 P 已經被落實在另一個脈絡，完全滿足跨脈絡通則的判斷。一位科學家可以使一個系統和結構不斷地從一個脈絡推廣到另一個脈絡，但這並不是實驗者的無限後退，而是跨脈絡通則的本質——可以無限地跨脈絡推廣。因此，這裡也沒有實驗關閉終止的問題——實驗毋需被關閉或終止。如果說實驗關閉問題是要判斷一個跨脈絡通則的假設是否成立，則其判準就在於印證該假設的實驗，能否被跨脈絡地落實？如果能（亦即重複實驗產生了一致的結果），那麼跨脈絡通則的假設就在這次重複實驗中成立。可是，在一次重複實驗中成立，不代表它必然或始終成立。換言之，不代表它每次跨脈絡都可以成功。

當然，科學家提出的通則，並不都是所謂的跨脈絡通則，科學家確實提出很多全稱通則和規律通則的假說。但是，我想說的是，當一個所謂的實驗印證或認可了一個全稱通則或規律通則時，它印證的其實只是這個全稱或規律通則蘊涵的跨脈絡通則而已。例如當科學家以地球繞太陽的觀察證據印證了牛頓重力定律「所有物體都會受到另一物體的重力吸引，其數值關係是 $U=GMm/R^2$ 」時，被印證的其實只是「在另一個脈絡中有一個物理系統 P'，類似地球繞太陽這樣的物理系統 P，而且有 $U=GMm/R^2$ 表達的結構」這樣一個跨脈絡的通則。

伍、競爭性實驗的推論

現在，讓我們進一步處理在實驗情境中的科學推論，也就是檢驗敵對假說的判決性的實驗，以及重複實驗卻否證了一個判決實驗的複雜情況——此時重複實驗和原判決性實驗構成了兩個互

相競爭的實驗。例如在陰極射線案例中的赫茲實驗和培林與湯姆生的實驗。我們的問題是：在這樣競爭性的實驗之情況下，以實驗來檢驗兩個敵對假說的推理和判斷應該如何進行？

首先，根據波柏的否證論，如果我們可以找到一個通則性假說的反例，即足以否證此通則。在科學中，假設必須能引導出可檢驗的命題，蘊涵一個檢驗的結果。這樣的否證推論模式可以表達如下（這是一個標準的假設演繹公式）：

$$\begin{array}{l} \text{(T)} \quad \text{如果H而且如果E，則R} \\ \quad \quad \text{非E} \\ \hline \quad \quad \text{所以，非H（假定E為真）} \end{array}$$

其中，H 是假說，E 是可檢驗條件，R 是檢驗的結果。現在有兩個敵對的假說 H 和 H'，如果有一共同的可檢驗條件 E，但根據 H 執行 E 將得到結果 R，根據 H' 執行 E 將得到結果 R'。其中 R 與 R' 為不相容，若 R 為真，則 R' 為假，反之亦然。如果執行 E 得到 R，即否證了 H' 而認可了 H；如果得到 R'，則反之。則 E 即是一個判決性的檢驗。讓我們把這樣的判決性檢驗的推論模式重建如下：

$$\begin{array}{l} \text{(OT)} \quad \text{如果H而且如果E，則R} \\ \quad \quad \text{如果H'而且如果E，則R'} \\ \quad \quad \text{R且非R'（非R'可以立即從R導出）} \\ \hline \quad \quad \text{所以，非H'而且H被認可（假定E為真或可成立）} \end{array}$$

問題是，我們如何確定 E 為真或可成立？根據主體間的可檢驗性，我們需要另一個檢驗條件 E' 來檢驗 E，而 E' 的執行可

能會產生下列兩種結果和推論：

(RT1) 如果H而且如果E'，則R
 如果H'而且如果E'，則R'
 R且非R'

所以，非H'而且H被認可

(RT2) 如果H而且如果E'，則R
 如果H'而且如果E''，則R'
 R'且非R

所以，非H而且H'被認可

推論 (RT1) 的情況與原推論 (OT) 一致，因此否證了 H' 而認可了 H；可是，如果結果出現的是推論 (RT2) 的情況，它與推論 (OT) 不一致，那麼究竟哪個結果和推論是正確的？不管是哪種情況，E' 與 E 之間的關係都是必須優先考慮的。我們已知，E' 如果與 E 完全一樣，那其實並沒有任何印證力；但如果 E' 與 E 差異太大，那麼 E' 對 E 可能也沒有印證力和否證力。E' 必須是 E 的有效複製，已知它的定義可以被表達如下：

(Def) E' 是 E 的有效檢驗，而且 E' 可對 E 產生程度性的印證力和否證力，若且唯若，

E 意味著「在一時空脈絡 C，觀察到或建構一物理系統 P，有一結構 S」；E' 意味著「在另一時空脈絡 C'，觀察到或建構另一物理系統 P'，有一結構 S'，S' 程度性地相似於 S」。

進而，E' 對 E 的印證程度，

(R1) 在 S' 和 S 有不同的背景觀念下，與 S' 和 S 的相似程度成正比。

(R2) 在 S' 和 S 有相同的背景觀念下，與 S' 和 S 的相似程度成反比。

(CR1) E' 對 E 的否證程度，不管背景觀念如何，與 S' 和 S 的相似程度成正比。

其中，相似程度由上章發展的複製程度來定義；背景觀念亦上一章中有所說明。如此一來，我們有如下的推論情況，推論 (RT1) 與推論 (OT) 一致的情況：

(Case 1) 如果 S' 和 S 的背景觀念不同，又如果 S' 對 S 的複製程度越高，則 E' 對 E 的印證程度越高。

(Case 2) 如果 S' 和 S 的背景觀念相同，又如果 S' 對 S 的複製程度越高，則 E' 對 E 的印證程度越低。

推論 (RT2) 與推論 (OT) 不一致的情況：

(Case 3) 如果 S' 對 S 的複製程度越高，則 E' 對 E 的否證力 (程度) 越高。如果建構 E' 的科學家能指出 E 的錯誤，則 E' 印證了 H' 而否證了 H。

(Case 4) 如果 S' 對 S 的複製程度越低，則 E' 對 E 的否證力 (程度) 越低。則 H 和 H' 都未必被證明為真或證明為假。

(Case 5) 即使是 Case 3 的情況，支持 H 的科學家仍然可以拿背景理念不同為由來拒絕 E 和 H 被 E' 否證了。因此儘管 H 被否證 (disconfirmed)，但 H 卻無法被證明為假 (falsified)。

在 (RT2) 與 (OT) 不一致的情況，也就是 E' 否證 E 的情況中，並不需要考慮實驗的設計理念，因為科學家必須容許來自

不同背景觀念的實驗，也有否證前一個實驗的可能性，但是這個實驗必須高度地複製前一個實驗——雖然最後究竟是否能完全否證某一個理論假說，仍是未定之數。正因如此，總是留下 Case 5 的可能性。

如果實驗對一實驗和理論的否證，要依賴於實驗的複製程度，那麼一個理論和實驗頂多只能程度性地被否證，但從來不會「被波柏式的證明為假」（Popperian falsified）。

陸、默會知識能充分地說明實驗的傳遞嗎？

實驗的傳遞也就是實驗知識和建構的傳遞。既然擁有實驗知識的判準在於能夠在不同的時空脈絡中建構與組合實驗裝備並成功地執行它，所以一個實驗的傳遞也就是在另一時空脈絡中複製該實驗。因此，實驗的傳遞和實驗的複製其實是一體兩面的事情。所不同的是，傳遞的議題涉及了學習的方式和過程。

我不確定柯林斯是否有意將涵化模型推廣到所有實驗知識的傳遞上，不過，我想指出以默會知識為核心的涵化模型，無法充分地說明各種實驗知識的傳遞。實驗的成功執行當然需要技能和技能知識，可是在擁有技能知識之前，實驗者必須要先擁有實驗模型的知識。

實驗模型的知識同樣是非規則性的，但是它並不是不可言傳的技能，也不是默會的，它可以是明示的或圖示的。模型知識的學習者並不一定需要向權威學習，他可以透過圖案和說明來自行揣摩與理解，因此，他也不一定要委身傳統，他可以自行學習。再者，模型知識是可以分析的。以陰極射線的實驗知識之傳遞為例，培林和湯姆生都沒有親身向赫茲學習如何執行陰極射線實

驗，他們仍然能夠自行建造和執行陰極射線的實驗。當然，這並不意味他們沒有範例——赫茲的實驗和實驗模型就是他們的範例。但是，培林和湯姆生參考範例從而建造自己的設備並執行實驗，並不是一個不可言傳的默會過程，他們還批判性地修正赫茲的原版實驗。再以柯林斯所考察的雷射建造案例來說，哈里森博士也需要擁有雷射產生設備的模型知識，他才能進一步學會建造雷射的技能。這個模型知識的圖示成分（即雷射電路圖）其實也被柯林斯加以明示了（Collins 1985: 53）。

當然，我並不是說單單擁有實驗模型的知識，就可以完全說明實驗知識的傳遞（以成功地執行實驗為判準）。一個擁有模型知識而沒有技能的人，我們也無法說他擁有實驗知識。可是，實驗的技能知識，卻預設了實驗的模型知識——模型知識是技能知識的一部分。實驗者在學習執行實驗的技能之前，必須先學習模型知識，經過練習，在成功地執行實驗之後，我們才能說他擁有完整的實驗知識。總之，我要爭論的是，如果我們只考慮默會的技能知識，而沒有納入非默會的實驗模型知識，就無法完整地說明實驗與實驗知識的傳遞。結論是，實驗知識的傳遞乃是模型知識和技能知識的同時傳遞：一個是明示的和可分析的，一個是隱然的和非分析的，不過，兩者都是非規則性的。這種實驗模型知識之傳遞，也可以說是一個實驗模型從一個（時空）脈絡中被投射到另一個時空脈絡。

為了澄清可能的誤解，我想強調，本書反對的是「假定所有的實驗的傳遞都需要一個默會學習的過程、都需要委身權威」——亦即把涵化模型和默會學習的過程看成是必要的。但是，我並沒有說所有的實驗傳遞都可以自行參考實驗報告來進行，我也沒有說所有的實驗者都不曾委身權威、不必向權威學習。我強調

的是，存在實驗和實驗者可以不透過默會學習的方式，也存在著明示和非權威性的實驗傳遞。當然，在實驗史上，兩種學習方式都存在。我反對的是，「規則－明示」和「技能－默會」這樣的二分法；我爭論的是，**存在一種明示性、非規則性的模型知識**；而且我進一步強調的是，不管默會學習或明示學習，都必須先學會實驗模型的知識，實驗者才有可能落實實驗。社會建構論的相關文獻傾向把實驗複製和傳遞看成只是社會過程，忽視對模型知識的分析，也就完全忽略了科學實作核心的認知面向，無法真正掌握科學實作技能。

柒、實驗複製和工具複製

本節討論實驗複製與工具複製的差異。實驗需要工具才能執行，因此要複製一個實驗之前，得先複製工具。可是，實驗複製與工具複製仍然不同，如同前章討論，使用不同的工具可以在不同的程度上複製一個實驗。而且，實驗者企圖複製一個實驗時，通常會改良工具以便把實驗做得更好。在這種情況下，實驗者是否複製原實驗使用的工具？回答這個問題涉及「複製」的意義和判準。如果「複製」意指做出如雙胞胎般一模一樣的孿生工具，或者如今日工廠生產線般生產規格完全相同的大量產品，那麼在現代工業生產系統建立之前，依賴工匠手工藝的時期，幾乎沒有實驗家能複製其他實驗家的工具。可是，如果「複製」的意思是做出可以製造出與原工具相同功能的新工具，不管其零件和外觀如何，則實驗工具就常常被複製。再者，工具都是由零件組裝而成，組裝的方式（即結構）往往會決定其功能，因此指認功能也會涉及工具的結構，這意謂結構也是複製性的判準之一。第三個可能的判準是外形，然而實驗工具是功能性的人造物，外形在複

製與否的判斷上可能無關緊要。

如同實驗複製的判斷是程度性和比較性的，工具複製的判斷也是程度性和比較性的，亦即先比較功能的相似性，或者在實現相同功能的前提下比較結構的相似性。例如在陰極射線實驗的案例中，我們應該比較操作、控制和蒐集三個功能和裝備的結構。第七章的表 7-4 顯示培林對赫茲裝置的複製程度小於湯姆生的複製程度。在程度性複製的觀點下，工具的複製與改良（或微小變異）很難區分，複製每一個工具的同時也是對原實驗工具的改良，標誌了實驗工具的發展。

回憶第五章空氣泵浦的案例，我們應該說惠更斯複製了波以爾的泵浦嗎？本書無法詳細地分析，但粗略看來，答案是肯定的。而且，惠更斯在複製波以爾機器（工具）的同時，也改良了它，並且發展了波以爾的實驗，產生新現象（異常懸置）。根據同樣的思路，波以爾其實是受到蓋瑞克的泵浦之啟發，但建造一臺功能大致相同，結構卻有很大差別的機器，並執行自己的一系列實驗。因此我們應該把蓋瑞克到惠更斯的工具與實驗，放到發展而不只是複製的脈絡下來考察——實驗發展是第十章的課題。

捌、從實驗的複製到實驗發現

本章的結論可以分成三部分：實驗複製與歸納問題、投射推論的解決、實驗知識與技能的傳遞——分別針對本節的三個主題。三者雖然不同，但確有密切關連，在本文中，它們都使用實驗模型結構的相似程度之比較，與實驗模型的結構投射來解決。

首先，歸納的問題其實是相似性與可重複性的判定問題：如何判定事物之間的相似性和現象的可重複性？進而據以預測未

來？在檢驗理論和科學實驗的脈絡中，就變成實驗的可重複性或複製實驗的判定問題。本文發展一個科學實驗的三元結構理論，並透過實驗模型的結構來比較實驗的複製程度。這個理論將對科學推論帶來全新的理解：科學推論不再是傳統的累積性歸納推論，而是根據物理系統的結構來進行投射推論；科學推論在尋求全稱性與規律性之前，總是預先尋求「跨脈絡的可落實性」。

柯林斯認為我們不可能為實驗的複製提出一個算則性的解決，換言之，我們無法提出一個判準來決定實驗是否被複製了。在這一點上，他是對的。但是他擺盪到另一極端，認為我們只能有社會學解決，實驗是否被複製的判斷只能是社會約定，只是透過默會知識和技能的傳遞。在這一點上，他錯了。本文的論證顯示，我們之所以無法為判斷實驗的複製提出一個規則或判準，是因為複製總是有程度性，我們只能透過實驗結構和實驗模型的比較來決定其複製的程度。但是這個決定並不完全是社會約定的，只是透過默會知識和技能的傳遞來完成；相反地，透過對實驗模型的學習和理解，以及判斷實驗模型的複製程度，決定了科學家的選擇。儘管如此，在實際的運作上總會為原實驗者對否證的抗拒留下了空間。

針對實驗者的無限後退問題，本章已提出一個投射論的解決，亦即我們必須重新理解通則敘述為跨脈絡通則，如果一個實驗能被投射到另一個脈絡而被落實，它就印證了該跨脈絡通則。如此解消了無限後退的問題。至於不同實驗結果之間的競爭和爭議，我同意科學家常常以哪個實驗做出新發現來結束爭議，可是新的實驗發現往往開啟全新的研究領域，這是下一章的主題。



第九章

實驗發現

壹、科學發現與實驗發現

科學哲學傳統的實證論、否證論和種種科學實在論，針對科學本質有不同的看法，也蘊涵了不同的科學史觀。可是，它們均共享一種基本立場：科學（假設）主要是由經驗證據來決定（真假）的。科學家和科學史家很少會去分辨這些科哲學派的內部差異，他們通常會接受上述基本假定，因此他們相信一個科學發現必須是在經驗證據的基礎上來判定——這可稱為證據主義（evidentialism）。在證據主義的觀點下，一般有兩種類型的科學發現：一是新現象或新存有物（entity）的發現，兩者預設了現象規律的存在，換言之，即新的現象律（phenomenological law）之發現；另一是新理論的發現，或者新的理論定律（theoretical law）之發現。要判斷一位科學家有了新發現，其標準就在於他的現象律或理論定律是否能得到經驗證據的證成，不同的證據主義科哲學派，有不同的證成判準。

孔恩在《科學革命的結構》第六章「異例與科學發現的產生」（Anomaly and the Emergence of Scientific Discoveries）曾花

了大篇幅討論科學發現。¹ 大致而言，孔恩在該章討論的科學發現主要是針對新現象或新存有物，他討論了氧、X光、電儲存（萊頓瓶）等案例，並把新發現與異例的偵測連結在一起。孔恩從三個案例中歸納出科學發現的共同特徵：先覺察到異例、逐漸而且同時地產生對異例的觀察和概念確認（conceptual recognition），最後是典範範疇與程序的變遷（通常伴隨著抗拒）（Kuhn 1970: 62）。我們可以說孔恩勾勒的是科學發現興起的歷史條件，它主張一個發現之所以被視為新發現，必須看是否有一個理論（典範）能否被建構來消化（解決、說明、解釋異象）它。換言之，發現必須依賴於理論。

證據主義和孔恩的發現觀，哪一個正確？

先從證據主義的發現觀來考察與反省。首先，理論能不能被稱作是「發現」，有很多爭議。因為理論是高度抽象的模型，是被建構的，而不是被發現的。即使理論可以被說是「發現的」，那也需要一個理論被證實，才得以被說是「發現」。但為什麼不乾脆就說「理論的證實」就好呢？因此，「發現」這個概念最好專門適用於新現象的發現。因為「發現 X」的意思是「去除使 X 無法被看到的遮蔽」。現在問題是，新現象的發現是依賴於觀察或理論？換言之，如何指認一個所謂的發現的確是發現了新現象？這也是科學發現的資格問題。

接著，讓我們考慮新現象如何被發現的途徑，初步看來有三種：透過偶然觀察而發現，透過理論預測而發現，與透過實驗而

1 對於「新理論的發現」，孔恩在《結構》第七章「危機與科學理論的產生」（Crisis and the Emergence of Scientific Theories）處理。其實，新科學理論（新典範）的產生乃是科學發現的條件之一，亦即科學發現的第三個共同特徵。

發現。我們可以稱第一種為偶然觀察的發現 (discoveries by contingent observation)，例如某些新的生物物種之發現；第二種為理論引導的發現 (discoveries [guided] by theories)，例如牛頓理論引導發現海王星、達爾文演化論引導在非洲發現原始人類的化石、高能物理學引導發現基本粒子等。² 第三種為實驗引導的發現 (discoveries by experiments)，簡稱實驗發現 (experimental discoveries)，例如氧、X 光、電儲存、電磁感應等等。可是，這並不能解決如何指認或判定一個發現真正是一個新發現。證據主義可以爭論，不管是理論引導或實驗引導，都需要觀察，只要觀察到過去未曾被觀察到的現象，就算是新發現。孔恩的典範論則可以爭論，即使是偶發觀察或實驗的偶然結果，都需要理論的指認才有資格被承認為新發現。

不管如何，兩個立場都會受到孟德爾案例的挑戰。

貳、孟德爾案例的挑戰

所有生命科學系的學生，都會在教科書中學到孟德爾遺傳定律 (Mendelian laws of heredity)：

分離律 (the law of segregation) 或孟德爾第一定律：控制

2 牛頓力學家為了解決天王星軌道的異例而發現海王星，見 Chen (2004)，還有本書第三章。達爾文演化論引導在非洲發現原始人類的化石，參看陳瑞麟 (2003)。「高能物理引導基本粒子的發現」究竟是「被發現」或「被創造」(被發明)的？這也是科哲的一個爭議議題，我們或可比照「實驗發現」中的新現象同時是被創造、也是被發現的雙重意義來理解，因為高能物理需要高度複雜的實驗設備，才能產生大量的基本粒子。但它們之所以仍屬於「理論引導發現」，主要是因為要發現它們的目標是去證實理論的預測，它們的實驗設備也是在理論的指導下被設計的。

性狀的成對遺傳因子（等位基因）就像粒子般，是彼此分離的。

獨立分配定律（the law of independent assortment）或孟德爾第二定律：任一對遺傳性狀的行為，獨立於其它任何遺傳性狀的行為。

這兩條定律是孟德爾發現的嗎？一些科史與科哲觀點，宣稱孟德爾並沒有發現孟德爾遺傳定律。這並不是一個語不驚人死不休的宣稱。如果孟德爾沒有發現孟德爾遺傳定律，那麼它們是誰發現的？為什麼還會有孟德爾定律的「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？本章先討論後兩個問題，第十一和十二章將回答前兩個問題。

要回答「孟德爾本人究竟發現了什麼」以及「他對科學的貢獻何在」，必須重新訴說古典遺傳學如何起源、古典遺傳定律如何發現的整個科學歷史，也必須考察科學發現的哲學問題：什麼才算是一個科學發現？科學發現有沒有什麼基本樣式？有什麼基本的條件可以確認一個科學發現？孟德爾的發現能不能算是一個科學發現或實驗發現？回答這些歷史與哲學問題，是一種結合科學史與科學哲學的考察。

正像許多科學發現的歷史一般，孟德爾的發現故事和古典遺傳學的來龍去脈，也有多種不同的故事和說法。在細節眾說紛紜之中，我們大致可以歸納出兩種的故事框架，蘊涵兩種史觀——恰對應於證據主義和典範主義兩種科哲立場。

流行在科學家、生物學家與遺傳學家之間的是發現、除錯、累積與進步的歷史圖像：科學天才的努力與洞見，撥開由神話、宗教、想像與錯誤觀念所混成的迷霧，指出正確的道路，照亮科

學的未來。可是，天才仍然得「站在巨人的肩膀上」，若不是許多科學家的先驅性工作，鋪平了通往大發現與大洞見的道路，天才也無法做出他那出類拔萃的成果。天才超越時代的洞見往往不能被同時代的人們認識與欣賞，然而，只要他們發現的是事實、揭開的是真理，他們的主張終將在證據不斷地累積和驗證之下，成為科學知識大廈穩固不移的磐石。古典遺傳學乃是在胚胎學、演化論、細胞學、雜交育種實驗等基石上誕生的一門科學；孟德爾正是一位科學天才，他的遺傳工作和理論過於超前，同代人均未能理解他的思想和工作，導致這個科學史上的悲劇。但是，孟德爾的實驗證據證實了遺傳定律的正確性，不會使他永遠被埋沒。我們可以把這種歷史圖像稱作證據史觀（evidence-based historiography）。寫作遺傳學史的遺傳學家史圖特凡（Sturtevant 1965）和卡爾生（Carlson 2004），以及寫作生物通史的演化生物學家麥爾（Ernst Mayr, 1904-2005）和科學史家瑪格納（Magner 2002）告訴我們的古典遺傳學史，大致是這幅圖像。

另一種則是孔恩式的典範史觀（paradigm-based historiography）：科學的歷史是由一連串的典範變遷與更迭所構成的。不再為當前科學家接受的理論，並不是混淆與錯誤的玄想，事實上，它們有其合理的架構，它們只是被捨棄的「舊典範」。它們曾一度興盛，啟發科學家構思解謎的方法，指引他們研究方向，進而催生「新典範」。事實上，那些被新典範的科學家尊為天才的革命人物，往往是出身自舊典範的人物，也殘留舊典範的思想元素。一個科學發現，必須要有相容的概念架構（即典範），才能被視為真正的科學發現。孟德爾的工作之所以被忽視，乃是因為他的時代並沒有新典範和新概念架構能夠消納他的實驗結果，而且孟德爾本人的思想也不像日後科學家想像般先

進，事實上，孟德爾在舊典範下工作，他企圖解決的是雜交育種的老問題。典範史觀企圖挑戰上述正統的實證進步史觀，代表人物是生物科學史家歐比（Olby 1985）、鮑勒（Bowler 1989）和柯考斯與摩納罕（Corcos & Monaghan 1993）。

就孟德爾的案例而言，這兩種故事均涉及下列歷史問題：古典遺傳學的起源為何？它又是怎麼發展演變的？什麼才是孟德爾的理論觀點？他對古典遺傳學的真正貢獻是什麼？如何在古典遺傳學中定位他的工作？他的成果為何會受到長期的忽略？就科學哲學的涉及而言，這兩種故事的哲學涵義與它們涉及的歷史問題，無疑當會促使我們進一步地問：科學發現的本質是什麼？或許科學發現有很多不同的基本模式，那麼又有哪些科學發現的模式？理論和實驗在科學發現中扮演的角色又是什麼？孟德爾的工作夠資格被稱作發現嗎？

參、古典遺傳學的兩種歷史³

一、證據史觀

流行在科學家之間的生命科學的正統故事，大致如下。

根據卡爾生，十九世紀的生物學可分成四個階段。第一階段從 1800 到 1830 年，可稱為「自然神學時代」（the era of natural theology），以自然神學家裴利（William Paley）為代表，主張科學的角色在於顯示造物主的智慧。第二階段從 1830 到 1860 年，乃是「科學的世俗化」（secularization of science），物理、化學、

3 這兩種故事更完整的陳述，看陳瑞麟（2009）第參、肆節。

天文、地質、生物學家紛紛提出他們的理論，達爾文（Charles Darwin, 1809-1882）亦在此期發表他的天擇說。第三階段為 1860 至 1880 年，乃是「生命科學的達爾文主義轉型」，支持演化的證據如此豐富，幾乎很少科學家願意否認它，宗教要不是必須和科學共存，就是必須妥協。第四階段為 1880 至 1900 年，為「透過化約論整合生命科學」，這是生命科學快速進展的時期，高潮為孟德爾遺傳定律的再發現（Carlson 2004: 4-5）。

古典遺傳學如何興起？⁴ 有四條途徑或支線（routes）：它們是演化觀念、胚胎學和生殖研究、細胞學、育種（breeding）和雜種培育（hybrid formation）。這四種不同部門的生物學研究，或間接或直接地導致孟德爾遺傳定律的發現與再發現，催生了孟德爾主義——它是古典遺傳學的核心。這四條途徑當然不是一路平順，儘管有錯失或迷途，但終能在經驗證據的光照下走到正確的方向。

第一條途徑是演化，與生命起源有關。宗教和科學都企圖回

4 以下的故事，沿用當代基因遺傳學家卡爾生（Carlson 2004）的《孟德爾的遺產：古典遺傳學的起源》（*Mendel's Legacy: The Origin of Classical Genetics*）一書的架構，具體內容則以更豐富的麥爾（Mayr 1982）的《生物學思想的成長：多樣性、演化和遺傳》（*The Growth of Biological Thoughts: Diversity, Evolution and Inheritance*）和瑪格納（Magner 2002）的《生命科學的歷史》（*A History of Life Science*）來補充。他們之間雖然共享相似的史觀，但並沒有共享相似的敘事結構，在各個細節的說法也不完全一致。大致而言，卡爾生的著作是古典遺傳學的專史，可以代表基因遺傳學家對於遺傳學歷史的觀點。麥爾則是演化生物學家，他的著作是一本生物學通史，分成三大部分，各自處理生物分類學、演化論和遺傳學，由書名副標題明白顯示。瑪格納的著作也是生物學通史，但他以主題區分成十章，與遺傳學起源相關的材料來自第五章「生成的問題」（Problem of Generation: Preformation and Epigenesis）和第九章「遺傳學」。在很多細節上，麥爾和瑪格納的史觀並沒有卡爾生那麼「單線」、「正統」，但仍然相當有別於鮑勒的典範史觀。

答生命起源的問題。宗教設想了造物主，祂創造一切生物。生命從無生命的物質中演化而來的觀點，則可以回溯到古希臘哲學家如德謨克利圖（Democritus）。當科學以理性、觀察和實驗來取代啟示或信仰時，就易於導向產生無神論的立場。拉馬克（Jean-Baptiste de Lamarck, 1744-1829）是法國無神論演化學說的代表人物，他相信生命從無生命中自發生成（spontaneous generation），慢慢演化成多樣的生命。可是，變遷是緩慢累積的，一方面生物會適應其環境的變遷而改變自己的身體或器官特徵，這是一種後天的獲得，而且生物能將獲得的特徵遺傳給下一代；另一方面，原先存在的器官或特徵也會因沒有練習而逐漸退化。拉馬克的學說是一個演化的環境模型，是「已被現代科學拋棄很久的古代哲學與他自己的觀察經驗主義的混合」（Carlson 2004: 9）。

卡爾生認為，達爾文的《物種起源》（*The Origin of Species*）提出了演化的證據基礎模型（evidence-based model of evolution），即天擇演化論（the theory of evolution by natural selection；通常簡稱演化論或天擇論）。簡單地說，生物由於特徵上的差異，對於環境有不同的適應能力，在環境的變動下，更能適應環境的生物，就能留下更多後代——即更能生存（survival）。演化論包括十一項主要發現。⁵可是，達爾文的理

-
- 5 根據卡爾生（2004: 11-12）的說法：（1）幾世紀以來，狗、鴿、貓、金魚等家庭育種的動物，其特徵是乃是被育種者經不斷地選擇後塑造而成的；（2）外來物種的入侵會改變原物種的生存環境；（3）生存競爭，天擇是物種演化的動力；（4）性擇（sexual selection）導致兩性型態的差異；（5）化石記錄不全；（6）孤立島嶼容易演化出新物種；（7）天擇與進步無關；（8）地理分佈一致於生物的長期演化；加拉巴哥群島（Galapagos Islands）的生物形式類似於南美洲的厄瓜多爾（Ecuador），非洲沿岸島嶼的生物則相似於非洲大陸；（9）比較解剖學顯示生命的親屬關係；人手、蝙蝠翼、海龜鱗肢、馬蹄等，顯出的骨骼數量和位置的相似性；（10）萎縮的器官的存在，在演化模型上有其意義，它們是遠祖

論沒有交代天擇作用的特徵變異 (variation) 之來源，他也無法說明隔代遺傳和返祖現象，他在發表天擇理論之前，也沒有一個可行的遺傳理論。儘管他對拉馬克那習得特徵的遺傳理論感到不安，他仍然沿用相似觀念，因為他沒有更好的可行理論，但他已儘量減少環境在遺傳中的角色。1860年代末，他應用當時進展中的細胞學而提出一個暫時的泛生論 (theory of pangenesis)，又稱作混合遺傳理論 (theory of blended heredity)：即全身器官、組織、細胞都會自我複製一種微小粒子，稱作芽胞 (gemmules)。芽胞循環全身，聚集在生殖器官，合併成精卵等配偶子。在生殖過程中，來自親代的芽胞組合形成胚胎。子代會有親代的特徵，正因為它們是由來自親代全身細胞的芽胞發育而成的。子代顯現出父系 (或母系) 的特徵，也正是因為傳遞特徵的芽胞是來自父親 (或母親)。利用芽胞理論，達爾文就可以說明變異的來源和遺傳的機制。再者，正因子代的整體特徵是親代特徵的混合，有些特徵是支配性的 (dominant)，所以會顯現出來，有些則是隱藏的 (latent)。但隱藏的特徵也可能在後代中再度顯現出來，如此則可以說明生物的隔代遺傳 (atavism; Manger 1999: 371-372)。⁶

在身體結構上的殘餘；(11) 休頓 (Hutton) 和萊伊爾 (Lyell) 的均變論 (uniformitarianism) 地質學，建議了地球年齡達數百萬年之久。

- 6 混合遺傳理論又稱作「軟遺傳理論」(theory of soft heredity)，受到他的表弟計量生物學家 (biometrician) 高騰 (Francis Galton, 1822-1911) 的實驗挑戰。他把某種毛色的兔子血液注入不同毛色的兔子血管內，後者子嗣的毛色卻沒有改變。他因此推論，如果特徵的遺傳如達爾文所言是由周流全身的芽胞傳遞的話，那麼兔子應該從血液中得到攜載不同特徵的芽胞，其後代的特徵多少會有所改變才對。實驗結果顯示達爾文的混合遺傳理論是錯的。達爾文雖然對高騰的實驗結果失望，但他不認為它已帶來致命威脅，因為芽胞的全身周流機制未必是透過血液循環系統，畢竟沒有血液的生物也有遺傳現象。

第二條途徑是發生問題（problems in generation）的解答企圖，體現在胚胎學和生殖發育的研究上。生物個體如何孕育和誕生？也是希臘思想家極感興趣的課題。亞里斯多德（Aristotle）提出了第一個較完整的「形上學」觀點。基於他的「形式」（forms）、「質料」（matter）、「潛能」（potency）、「實現」（actuality）等觀念，亞里斯多德主張在兩性生殖中，雌性提供了子代的質料，而雄性提供了形式——在生命世界中，魂（soul）即是生物個體的形式。高等動物的生殖是雄性或男人的精液攜載了形式或魂，在受孕時形塑雌性子宮內一種無形式的可凝質（coagulum）或人類女性的經血，首先形成心臟和血管系統，繼而發育其它器官，逐漸地孕育成胚胎。

十八世紀的生理學家把亞氏的觀點精煉成一個漸成論（epigenesis theory），有三個相關主張：（1）發育漸成論：生物體的器官是從無形式的物質或卵而逐漸發育形成的；（2）自發生成（spontaneous generation）：生命可以自動地從無生命物質中浮現；（3）生機論學說（vitalist doctrine）：必須要有某種非物質的魂或生命原質印加在無形式的可凝質或卵之上，才能引導器官與胚胎的發育。與漸成論對立的是先成論（preformation theory）。一些歐洲科學家如史旺默丹（Jan Swammerdam, 1637-1680）和鮑內特（Charles Bonnet, 1720-1793）倡議先成論，即新生物個體乃是先存在卵內的小個體膨脹或擴大而形成的。史旺默丹解剖蠶繭，發現裡面的胚胎已具蛾形，他想像蠶繭是蛾的卵，蛾是卵內蛾形胚胎的擴大，那麼其它生物也可能只是卵內已成形的個體之擴大。鮑內特則研究蚜蟲，他發現雌蟲腹內已有成形的小蚜蟲，小蚜蟲生下後體形擴大成為成蟲，因此他主張先成論不只是個理論，還是個真實。先成論者主張個體生命來自己先存在的生命，

不必訴諸於生命力這類概念，所以「先成說與漸成說的爭辯代表了拒絕生機論的努力。」(Carlson 2004: 34)

第三條途徑是細胞學，它是顯微鏡發明後的產物。十七世紀的科學家虎克觀察軟木塞薄片，看到蜂巢狀的區間，因而稱作「細微隔間」(cell)，中文譯成細胞。但是一直到十九世紀時都沒有發現或提出任何「細胞是構成生物體的基本單元」學說。1830年代後，兩位生理學家史萊登(Mathias Schleiden, 1804-1881)和舒旺(Theodor Schwann, 1810-1882)共同提議第一個細胞理論。他們相信每個生物體都是細胞的「聯合體」(communities)，細胞一方面有自己的「生命」，另方面和其它細胞合作以形成具有獨特功能的組織。可是，他們的細胞理論有一個重大的缺陷，亦即他們宣稱最初的細胞可由混沌或無定形的流體中產生，然後新細胞再從母細胞內部的核仁中產生，逐漸擴大形成，在視覺形象上十分類似肥皂泡沫的形成過程。這個觀點被魏州(Rudolf Virchow, 1821-1902)否證，因為他觀察到腫瘤、胚胎、組織內部的細胞分化過程，這使他相信「每個細胞都來自既存的細胞」。1870年代後，細胞內部的結構、細胞分裂時的核分裂、染色體複製、生殖細胞的減數分裂等現象一一被觀察與描繪。1880年代間，遺傳理論學家威斯曼(August Weismann, 1834-1914)在細胞學發展的基礎上，提出遺傳胚原質(生殖細胞)理論(the theory of germ plasm)，主張所有的遺傳物質全部存在於細胞核內，生殖細胞的遺傳物質必定成對出現，在生殖細胞分化過程中，被分化出來的生殖細胞遺傳物質減半。威斯曼的理論很快被用到其他科學家應用到染色體上，為日後古典遺傳學提供了細胞學的基礎，更進而為分子生物學鋪平了道路。

第四條路徑是育種技術和雜種實驗，這些是孟德爾實驗的先

行者 (Carlson 2004: 41-45)。十八世紀著名的分類學家林奈 (Carl Linnaeus, 1707-1778) 做了一些實驗，發現一些跨種交配的物種後代是不孕的；但一些則可產生具生殖力的後代。由此他作了一個匆促的結論：新物種可以由物種的雜交而創造出來。雖然這個觀點與早期他在分類學上的主張一物種固定不變的本質論有所衝突。比林奈稍晚的柯路特 (Joseph Kölreuter, 1733-1806) 是一位偉大的雜種學家，他在花園內使用不同物種的菸草總共做了一百三十六個雜種實驗。在 *Nicotiana paniculata* 和 *Nicotiana rustica* 的跨種交配實驗中，他發現第一後代的植株特徵是親代的混合，可是花粉囊卻是空殼子。大多數的雜種實驗都產生不孕的後代，這使得柯路特作出和林奈不同的結論：大自然傾向保持物種隔離。雖然有一些雜種可以孕育有生殖力的下一代，柯路特卻認為這是不正常也不自然的。接著是奈特 (Thomas A. Knight, 1759-1838)、諾丁 (Charles Naudin, 1815-1899)，甚至達爾文等育種實驗學家，他們作出一些類似孟德爾實驗的結果，但他們要不是沒有把植株的特徵當成整體考量，就是沒有計算每世代中顯出某種特徵的植株數目，所以他們都不能把實驗結果連結到有用的理論上。⁷

對於育種與雜種，麥爾強調物種的雜種學家 (species hybridizers) 和動植物的育種家 (breeders) 有相當不同的目標和興趣，不能混為一談。林奈、柯路特、加特納 (Carl F. von Gärtner, 1772-1850)、諾丁等人是物種的雜種學家，而奈特、薩葛瑞特 (Augustin Sageret, 1763-1851) 則是育種家。麥爾特別強

7 比起麥爾的著作，卡爾生的歷史敘述相對簡短得多，他著重在陳述科學家實驗後歸納出來的結論，以現代的知識來評論對錯。麥爾也會評論對錯，但他對「生物理論與思想」有相當詳細的敘述。

調林奈思想中的矛盾，林奈一方面主張每個物種有不連續的本質（essence），另一方面又相信雜種可以創造出中間性的本質（蘊涵了物種本質間的連續性）。針對柯路特的成就，麥爾也花了相當多的篇幅。柯路特拒絕了林奈那雜種可以創造新物種的想法，他的跨種交配實驗證實了絕大多數的雜種是不孕的。因此他變成一位堅定的物種本質論者。此外，柯路特把少數有生殖力的第一世代雜種與其親代交配（回交〔Back crosses〕），發現幾個世代之後的植株，又完全回復最初祖代的樣貌。他也發現一個現象：第一後代雜種的特徵是親代的混合，但把雜種互相交配時，第二後代的特徵就顯出相當大的變異性，第二後代比第一後代更類似於祖父母那一代。這種現象在柯路特之後，到孟德爾的百年之間，不斷地出現。諾丁則把物種的本質視為整體而非拼貼來考量，所以，親代物種的本質之間沒有混合可言，即使勉強混合，子代要不是不孕，就是之後的世代會回復祖代的樣貌。所以他主張一種「分離本質」（但不是分離性狀）的物種觀點。諾丁也得到孟德爾式的比例。但是不管是柯路特或諾丁，都不能算是孟德爾的先行者，因為他們都沒有使用孟德爾式的分離性狀來思考和做實驗（Mayr 1982: 641-651）。

孟德爾是遺傳學的創建者，他對於雜交和特徵的組合感到好奇，他讀了之前雜交和育種學家的作品後，設計出更有效果的實驗策略。在方法論上，他是化約論者，不像先行者般尋求雜種的整體意義，孟德爾把雜種的成分特徵拆開，一次一個特徵來加以分析。孟德爾以豌豆（pea, *Pisum sativum*）做實驗，他挑選了七種對偶特徵（或稱性狀〔trait〕）依序實驗：種子形狀是圓的或皺的、種子顏色是黃的或綠的、豆莢的形狀是平滑飽滿或者扁有皺褶、綠豆莢或黃豆莢、紫花朵併灰子葉（gray cotyledon）或白

花朵併白子葉、花的位置是腋生的（axial，長在莖間）或頂生的（terminal，長在莖幹頂端）、莖的長度是高的（近兩公尺）或矮的（只有十五公分）。首先，他讓各具對立特徵的豌豆互相雜交，例如以紫花朵的豌豆和白花朵的豌豆雜交，結果產下的第一後代都是紫花朵；以圓種子的豌豆和皺種子的豌豆雜交，產生的第一子代也都是圓種子，如此等等。接著他再以第一後代的豌豆互相交配，結果得到約三比一的比例，即每四株中，有三株開紫花朵，一株開白花朵；三株結成圓種子，一株結成皺種子等。

紫花豌豆與白花豌豆雜交的子代都開紫花，第一後代相互雜交的子代則有四分之三開紫花、四分之一開白花，其它種子的圓形、黃色、豆莢的飽滿和綠色、花朵腋生和高莖，相對於其對應性狀，都呈現出近似比例。孟德爾因此把這些多數植株顯現出的性狀稱為顯性性狀（dominant traits），而相對少數者稱為隱性性狀（recessive traits）。孟德爾進一步證明第二後代呈現出顯性性狀的豌豆，其實又有兩種不同的類型，三分之二和第一後代是同類型的（因為它們的子代即第三後代也會呈現出四分之一的隱性性狀），三分之一和祖代是同類型的——即顯性性狀的純種。孟德爾進一步把他的分析應用到兩個對偶性狀的組合上，分別以 A 和 B 代表顯性性狀，a 和 b 代表隱性性狀，如此得到第二後代的比例是 $9AB : 3Ab : 3aB : 1ab$ ，完全符合數學的代數分配定理。如此孟德爾的成果可以被總結成三條古典遺傳定律：⁸

8 孟德爾這兩條（或三條）定律自然被視為是孟德爾對遺傳學的最大貢獻。麥爾卻認為孟德爾最大的貢獻是拒絕了遺傳的「多粒子假說」（multiple particles hypothesis），而毫不含糊地支持了「遺傳的單一粒子假說」，亦即每個遺傳性狀都是由單一單位（即今天的「基因」）所決定。其次，遺傳性狀成對出現，在遺傳時一個來自父親、一個來自母親。而第二後代的 3:1 比例之普遍性證實了這些假說。正是這種理論上的簡單性帶來了遺傳學的革命（Mayr 1982: 721）。麥

分離律或孟德爾第一定律：控制性狀的成對遺傳因子（等位基因）就像粒子般，是彼此分離的。這條定律說明了第二後代的性狀比例。因為在第一後代中消失的隱性因子並沒有消失，而在第二後代中再度顯現。

獨立分配定律或孟德爾第二定律：任一對遺傳性狀的行為，獨立於其它任何遺傳性狀的行為。

顯性定律 (the law of dominance)：⁹ 親代兩種不同的遺傳性狀中，一種會在子代中顯現出來，稱作「顯性性狀」；另一種則隱藏，稱為「隱性性狀」。

孟德爾將他以豌豆實驗八年的辛勤工作成果，寫成一篇在組織結構和方法上都具典範性的科學論文〈植物雜交實驗〉 (Versuche über Pflanzen-Hybriden; Research on Plant-hybrids¹⁰)發表在《布呂恩自然史協會年報》(*Proceedings of the Natural*

爾的斷言係基於他對孟德爾使用「元素」一詞的詮釋，但這一點有問題，見下文。

- 9 一本生物學教科書 (Villem, C., et al. 1989: 241-242; 252) 記載了上述孟德爾的三條定律，另一本 (Starr and Taggart 1989, 中譯本: 165, 169) 則只記載兩條，缺了「顯性定律」。兩本教科書都討論了「不完全顯性」(incomplete dominance) 的現象，例如開紅花和白花的金魚藻交配後得到的第一後代都是粉紅花朵，第一後代互相交配則得到紅花、粉紅花、白花的 1:2:1 的比例，仍然吻合孟德爾的分離律。孟德爾定律再發現後，最積極的支持者貝特生則認為孟德爾並沒有宣稱任何類似的「顯性定律」，因為「一定特徵的顯性通常是重要的，但並非必要的」(Bateson 1909: 13)，所以他認為孟德爾遺傳學中有「顯性定律」是個錯誤。
- 10 這篇論文有幾種不同的英譯名，附在貝特生著作 (Bateson 1909) 之後的版本譯作 *Experiments in plant-hybridisation*，另一版本譯作 *Experiments on plant hybrids*，出現在 Stern and Sherwood (1966), eds., *The Origin of Genetics: A Mendel Source Book* 和 Corcos and Monaghan (1993), *Gregor Mendel's Experiments on Plant Hybrids: A Guided Study*。

History Society of Brünn)，並將抽印本寄給一些知名的植物雜交學家，包括納格利 (Karl von Nägeli, 1817-1891)。可惜的是，當時沒有人對孟德爾的觀念感興趣，雖然納格利和孟德爾通了不少信，但他也不能理解孟德爾著作的意義，他建議孟德爾可以嘗試把他的實驗方法應用到水蘭花屬 (hawkweeds, *Hieracium*，屬向日葵科 [sunflower family]) 上。孟德爾聽從他的建議，也做了水蘭雜交實驗，不幸的是，這植物是可以單性生殖，因此不符合類似豌豆實驗的結果。孟德爾相當失望，把水蘭實驗的成果寫成論文發表，不久之後他又被選為修道院院長，雜務纏身，再也很少從事科學研究。孟德爾的豌豆實驗論文被遺忘三十五年，直到1900年他的遺傳定律再度被發現。

1900年，荷蘭植物學家德弗里斯 (Hugo de Vries, 1848-1935)、德國植物學家柯仁斯 (Carl Correns, 1864-1933) 和奧地利植物學家薛馬克 (Erich Tschermak von Seysenegg, 1871-1962) 三人分別獨立再發現孟德爾定律，然而三人的動機各不相同。德弗里斯使用很多植物物種來支持他自己的細胞內泛生理論 (theory of intracellular Pangenesis；第十一章將再簡介此理論)，他從自己的實驗再度發現孟德爾的3:1比例。柯仁斯則是基於他對胚乳 (endosperm)¹¹ 的興趣而再發現此定律；薛馬克則是出於閱讀達爾文論豌豆的作品而再發現 (Carlson 2004, ch. 8)。孟德爾遺傳定律再發現後，細胞學家很快地把孟德爾定律和細胞核內的染色體連結起來，建立了一個遺傳的染色體理論。倡議孟德爾主義最力的貝特生 (William Bateson, 1861-1926) 一方面把孟

11 所謂「胚乳」是來自植物特有的「雙受精」(double fertilization) 現象，即植物的兩個雄核 (花粉) 同時進入胚囊中，一個與卵細胞結合發育成胚，另一個與極核結合而形成「胚乳」。

德爾定律延伸到動物遺傳上，另一方面為遺傳學提供了主要的術語，古典遺傳學開始走向開花結果的時期。

孟德爾的作品為何被忽略達三十五年？這是生物學史家相當感興趣的問題。卡爾生（2004: 49-50）、麥爾（1982: 722-726）和瑪格納（2002: 382-384）不約而同地主張孟德爾與納格利通信是「一場災難」，是最主要的原因。因為納格利信奉的混合遺傳理論被孟德爾的實驗結果駁斥，所以他不能謹慎地閱讀和公平地評價孟德爾的論文。納格利在自己總覽植物雜種的大著作甚至連提都沒有提到孟德爾。總而言之，孟德爾的著作並不是因為發表在地方性的學報而完全不為人知，重點在於那個時代的科學家——尤其是納格利——沒有足夠的正確知識，所以無法理解和恰當評估孟德爾工作的意義。

二、典範史觀下的孟德爾理論

上一小節我們已經從基於證據、發現和驗證的史觀中綜合敘述了孟德爾遺傳學的發現歷史。毫無疑問，孟德爾在這種史觀下是古典遺傳學的開創者，他發現孟德爾遺傳定律。可是，在典範史觀下，孟德爾本人不是孟德爾主義者，他是另一典範（植物雜交育種學）的一員，他甚至沒有發現遺傳學定律——他發現的是控制雜種特徵顯現和消失的定律。鮑勒的《孟德爾革命》（*The Mendelian Revolution: The Emergence of Hereditarian Concepts in Modern Science and Society*）企圖提供這樣一幅典範史觀的圖像。

鮑勒開宗明義要挑戰神話（Challenging the Myth），他指名卡爾生、史圖特凡等遺傳學家的著作，它們建構一個科學起源的

正統版本 (the orthodox version of science's origin)。¹² 這個正統觀點有下列幾個重點：「發現的觀念是核心元素，它是無知與迷信的解毒劑」、「科學家用來發現真理的研究方法，使他的事業獨立於人類事務的主觀世界，那個世界充滿無止盡的文化、社會和意識型態論辯」、「很多科學領域有一位具英雄地位的創建者，他把理性研究的智慧之光引入該領域中」、「孟德爾的同代人不願接受他對遺傳定律的證明，強化了他的悲劇英雄形象。」(Bowler 1989: 4-5)。可是，這幅科學客觀性的圖像已受到質疑。當代科學史與科學社會學的反省顯示，科學包括遺傳學充滿了不確定、爭辯、政治、經濟和意識型態等因素。新的史觀在概念、專業 (profession) 和意識型態三種層次上挑戰了科學的正統形象 (Bowler 1989: 6-12)。

對比於正統觀點，一個科學的新觀點興起，它主張科學的核心不是事實的發現，而是新理論的創造。「理論只是真實的模型或圖像；一些模型比其它更好，但沒有一個能保證自己精確地複製了真實。這意味了我們現在接受的理論不是能夠處理真實世界的唯一模型。……科學進步出現在既存的模型偶然地變得不適當，新取向必須被尋求。理論是被發明而非被發現的觀點有一個必然的副產品，即選擇模型的可能性，可能被非科學的因素所影響。」(Bowler 1989: 13) 這段敘述幾乎就是孔恩史觀的翻版。鮑

12 鮑勒指名的卡爾生著作是 1966 年的 *The Gene: A Critical History*，史圖特凡的著作是 1965 年的 *A History of Genetics*，最初由其它出版公司出版，再版則由遺傳學研究的大本營，美國冷泉港中心出版。除此之外，鮑勒還提到 Dunn, L. C. (1965), *A Short History of Genetics* 和 Stubbe, H. (1972), *History of Genetics from Prehistoric Times to the Rediscovery of Mendel's Laws* (本書是從 1965 年德文版翻譯而來的)。生物學教科書的遺傳學簡史大致來自這些史著。因為作者都是遺傳學家，他們被認為掌握了親身經歷的、第一手最可靠的史料。

勒當然也討論了孔恩，他指出科學史家和社會學家雖然沒有完全同意孔恩的整個分析，但是「典範是個有明確起點和終點的東西，把科學史轉變成真正的歷史學科，因為它意味著一個人只能由試著進入一度具支配性的典範之概念架構下，才能理解過去時代的科學。」(Bowler 1989: 15) 從上述引文，以及鮑勒的整本著作呈現，我們可以很適切地把鮑勒敘述的「孟德爾革命」的故事稱為典範史觀。

針對孟德爾的理論，鮑勒試圖呈現如下的圖像：

(1) 概念的：孟德爾定律的接受，要依賴於一組新概念架構的創造，在此架構內，定律才有意義。所以，孟德爾的定律只有在滿足以下兩個條件後，才會被視為重要的發現：(a) 生物特徵從一世代傳遞到下一代構成一個顯著而值得研究的領域，以及 (b) 特徵能被視為區隔的單元。在孟德爾的時代，這兩個條件並不具足，因為當時的達爾文和同代人，都接受一個遺傳的發育模型 (developmental model of heredity)，它完全不區分特徵的傳遞和特徵在生物體發育中顯現的過程。換言之，它們是一整個「生成」(包含不加區分的生殖、發育和遺傳) 的概念架構，使得傳遞的孤立研究不具意義。

(2) 專業的：遺傳學的興起不是一個既存科學內部的革命，而是一整個全新學科的創造。科學的成長是「被社會接受的理論模型所塑造的，該模型定義了研究領域」。可以這麼說，孟德爾主義定義了古典遺傳學。此外，它需要社會的和制度的條件之配合。

(3) 意識型態的：意識型態指流行在社會中的普遍想法。新理論可能被發明來滿足科學家與公眾的文化價值。孟德爾定律

的再發現與政治上的遺傳主義政策（hereditarian policies）在時間上幾乎同步，因為十九、二十世紀之交，政治人物與社會評論者開始在爭論人類的能力乃是由遺傳所決定的。

基於上述史觀，鮑勒的著作共有九章，第一章「孟德爾主義：發現或發明？」即上述基本觀點的介紹，第二章「達爾文之前的遺傳」、第三章「演化與遺傳」和第四章「發育中的細胞與遺傳」分別對應了「發現史觀」中的「發生學」和「遺傳的泛生論」，但是，在鮑勒的筆下，這二章詳盡述說「遺傳的發育論（典範）」之崛起和建立。第四章「發育和遺傳的細胞」則處理遺傳的新概念架構（典範）之浮現，第五章「孟德爾的貢獻」處理孟德爾的作品和被忽略的問題。這五章從「概念層次」處理孟德爾革命。第六章「孟德爾主義的浮現」和第七章「古典遺傳學」則討論新學科的創造，相當於處理專業層次的問題，第八章「遺傳學和政治」則處理意識型態層次的問題。基於本文主題，我們將只呈現前五章的內容。鮑勒敘述的歷史圖像大致如下。

十八世紀並沒有「生物學家」這樣的稱呼，研究動植物與它們生命現象的人被稱作自然學家（naturalist，或博物學家）。生物特徵如何代代相傳的遺傳問題，普遍被視為生殖或生成問題的一部分。對多數自然學家來說，「胚胎如何從親代提供的物質中成長」才是關鍵問題。一些自然學家（漸成論者）認為親代塑造（manufacturing）它們的子女，即它們的身體結構和特徵以某種方式印在（imprinted）卵或精液中，逐漸地長成胚胎和新生命。如此一來，遺傳只是兩代之間事，世代間的特徵遺傳是透過每次子代複製親代結構的方式來進行的。另一些自然學家則認為這種觀點無法解釋代代相承、始終保持不變的現象，所以他們假設胚胎其實從一個預先存在的「縮形」（miniature）膨脹或擴展而來

的，親代的身體只是提供必要的養分——這種觀點就是先成論。可是，縮形是受孕前或受孕後才存在？如果是受孕後才存在，那麼又是什麼力量使得受孕過程能塑造出一個胚胎縮形？一些先成論者只好假定縮形在受孕前就存在，推到極致，就必須假設每個物種的第一個生命體內，已經預先存在該物種的所有生物個體的縮形——只有上帝才能創造出來。對現代人來說，這似乎是個非科學的宗教信念。可是，先成論其實是十七世紀機械哲學的合理發展。先成論者不想設定超物理或非機械的生命力來說明生成現象，因此假設先存縮形的擴張或膨脹才能輕易地使用機械原理來說明發育。

可是，鮑勒指出，先成論未必是宗教信念、漸成論也未必都是生機論。事實上，十八世紀的先成論者和漸成論者，都在機械論和唯物論的架構下思考。雖然在生殖和發育的解釋不同，他們均共享相近的特徵遺傳觀念：雙親的身體是重要的因素，因為它們提供子代成長的養分。所以，子代的特徵是雙親特徵的混合。這個基本觀念也被十九世紀帶有目的論色彩的發育論（developmentalism）繼承下來。

先成論者始終無法說服一些胚胎學家（embryologist），因為他們使用顯微鏡對胚胎發育過程的詳細觀察，實在看不到任何先存的縮形、網絡或器官基礎。他們看到的胚胎是從較簡單均質的團塊，逐步地發育成複雜的組織、器官和生命體。他們無法接受機械哲學，畢竟無法想像和解釋一臺機器如何能自動地誕生，並逐步長出其零件，並發育成整體。發育的過程必然由一種超乎機械或物理力量的目的論力量（teleological forces）來引導，使得胚胎能逐漸發育出更複雜的組織。十八世紀末到十九世紀初的德國胚胎學家，領導建立「發育論」的基本架構。

得到解剖學家和古生物學家共鳴的德國發育論，結合法國的拉馬克主義，共同塑造了十九世紀理解「演化」的背景架構，使得多數自然學家都在發育論下來理解物種的演化——包括堅定的達爾文辯護者赫胥黎（Thomas H. Huxley, 1825-1895）和德國偉大的動物學家海克爾（Ernst Haeckel, 1834-1919），¹³ 甚至包括達爾文自己。當然，這並不意味達爾文沒有提出一套徹底的反目的論——物種演化沒有朝向任何固定的方向，是個沒有端點的分枝歷程（branching process），特徵的變異是隨機地被天擇所作用。可是，這種對演化的徹底唯物論和反目的論的理解，以及結合孟德爾主義遺傳學的新綜合論，只有在發育論的典範架構被破壞後，它的基進意義才能被完全掌握，而這樣的時機拖延到二十世紀後才來臨。

達爾文的泛生論對他而言並不是一個暫時的遺傳觀點，事實上，根據其他科學史家的研究，達爾文在 1830 年代（《物種起源》發表前二十年）即深深關切生殖的問題。他在 1868 年後才正式提出芽胞理論，但是早期筆記已有類似觀點。達爾文相信他的芽胞理論可以統一動植物的生殖（動物從全身身體細胞長出芽胞，類似植物的發芽），儘管它立即遭遇一些困難，達爾文從來沒有放棄，而是不斷地修正它。遺傳特徵由來自全身細胞的芽胞傳遞，會使得子代的特徵是親代特徵的混合，對達爾文來說，這正提供物種內個體間的大量變異之來源。如此一來，似乎也沒有

13 赫胥黎以出面為羞怯的達爾文辯護而著稱，因而被諧稱為「達爾文鬥犬」（Darwin's bulldog）。可是根據鮑勒，赫胥黎是動物的形態學家，並不關心天擇機制，他其實相信自然不可避免地驅使生命朝向更高層次的複雜度演變。海克爾則是「重演論」的支持者，他也主張物種朝向更複雜的層次演化，這種主張又可稱為「進步主義」（progressionism），亦即中文譯成「進化」的概念根源。重演論和進步主義都能相當適切地配合拉馬克主義。

辦法避免地推出環境會影響親代的身體，進而影響特徵的變異。達爾文確實主張：「外在環境的變動會干預親代特徵印在芽胞上的複製過程……子代因而傾向於偏離親代類型，結果導致新特徵的產生。家庭飼養的物種比野生物種變動幅度更大，因為它們被迫生活在一個不自然的環境中。」(Bowler 1989: 60-61) 總而言之，遺傳和生殖發育的過程密不可分，這使得達爾文無法設想一種獨立於生殖發育過程的遺傳載體，物種特徵和變異是透過那些載體而傳遞給後代。雖然達爾文並不相信進步主義，也沒有接受重演論，但是他對生殖與遺傳的基本觀點，使他無法擺脫發育論的思想架構，也使得《物種起源》的基進意義無法完全被理解。

無疑地，孟德爾做了他的豌豆實驗，他的成果的確成為孟德爾學派和古典遺傳學的基礎，這是不容否認的史實。可是，孟德爾本人做實驗的真正目的，並不是要解決遺傳問題、發現遺傳定律或創造遺傳的新模型，而是想解決新物種究竟能否由雜交而產生——這是一個雜交學和育種學傳統的老問題，孟德爾本人的思想和工作都隸屬於這個老傳統。科學史家歐比 (Robert Olby) 在 1979 年的論文〈不是孟德爾主義的孟德爾？〉(Mendel No Mendelian?) 首度提出這個觀點，鮑勒也接受。¹⁴

對立於孟德爾的再發現者、遺傳學家和科學家的正統解釋，歐比爭論下列三點：(1) 孟德爾關切的是新物種的生成之中，雜種扮演什麼角色？(2) 孟德爾沒有決定對偶特徵之成對因子（即單位遺傳物質或基因）的概念；(3) 在孟德爾的論文中，受

14 歐比的論文發表在《科學史》(*History of science*) 期刊第 17 期，但以附錄形式收錄於他在 1985 年的專著《孟德爾主義的起源》(*Origins of Mendelism*) (Olby 1985: 234-254)。

孕的細胞理論乃是用來支持他的主張：個體特徵在各種可能組合中保持恆定與獨立，而不是做為遺傳決定因子的細胞學基礎（Olby 1985: 253）。柯考斯與摩納罕（Corcos and Monaghan 1993）的《孟德爾的植物雜種實驗：一個導讀研究》（*Gregor Mendel's Experiments on Plant Hybrids: A Guided Study*）則一節一節地詳細解釋與分析孟德爾的論文，為歐比的論點提供了原文詮釋的支持。他們論證在論文的詳細閱讀中，「吾人發現的是一系列關於雜種形成（formation of hybrids）的定律，它們全然不同於傳統的『孟德爾遺傳定律』。因此吾人並非發現遺傳理論，而是發現雜種形成理論。」（Corcos and Monaghan 1993: xvi）他們重建的孟德爾雜種定律是：

（Law 1）針對每個性狀的對比特徵而言，純種親代的雜種子嗣全部相像，而且與親代其中之一相像。沒有形成任何中間類型。

（Law 2）相互跨種交配產生相同的雜種形式。也就是說，雜種性狀是顯性親代的性狀，與來自父親或母親無關。

（Law 3）當容許雜種自我受孕時，子代總是顯出兩類：一類像雜種而且像原初的純種親代（顯性的）；另一類則像隱性親代。沒有中間形式產生。顯性與隱性的比例約為 3：1。（Corcos and Monaghan 1993: 89）

（Law 4）（a）當容許雜種的隱性子代自我受孕時，它們總是育成純種隱性子代。（b）當容許雜種的顯性子代自我受孕時，幾乎三分之一育成純種顯性子代；而三分之二的行為正像是雜種世代。¹⁵（Corcos and Monaghan 1993: 97）

15 （a）說雜種的隱性子代自我受孕，即是 $aa \times aa$ ，所以其子嗣必都是 aa （純種隱性）。（b）說雜種的顯性子代自我受孕，此時顯性子代有兩種 AA 和 Aa ，其數

(Law 5) 在雜種的性狀聯合中，每一對不同性狀的行為獨立於兩個親代的所有其它不同性狀。(Corcos and Monaghan 1993: 118)

基於歐比的觀點，鮑勒企圖回答「孟德爾的工作為何長期被忽視？」第一個理由是時機尚未成熟，但不是因為當時的科學家沒有足夠的正確知識，而是因為他們的遺傳觀點深深受到發育論的概念架構支配，他們沒有遺傳獨立於生殖和發育的觀點。其次，納格利也不應該因為沒有正確地賞識和評價孟德爾的論文而受到責難。既然孟德爾並沒有把自己工作看成是發現遺傳定律，為何要期待納格利能看出來？如果孟德爾企圖說服納格利的焦點是新物種可以由雜交形成，為何要責難納格利不能看出其在遺傳上的革命性意義？只有在經過三十五年的醞釀，遺傳的發育論架構有了缺口之後，孟德爾定律的再發現者，才能從全新的、獨立的遺傳學眼光來看待孟德爾當初的工作。

孟德爾定律被理解為遺傳定律，孟德爾主義能被建立，要歸功於破壞發育論的「祖源遺傳」(ancestral heredity) 觀念和胚原質(生殖細胞)理論，關鍵性的兩位科學家是達爾文的表弟高騰(Francis Galton)和遺傳理論學家威斯曼。高騰從研究族群(population)變異與演化，而威斯曼從細胞分化中，共同形成三個重要的觀念：(1) 生物特徵的傳遞和發育過程無關，因此應該分開考察；(2) 生物特徵是一種來自祖先的遺傳，它是由某種遺傳物質攜帶的，獨立於雙親身體；(3) 特徵不是混合的，而是分離的，傳遞特徵的遺傳物質，是某種粒子式的單位，遺傳物質存

量比例是 1 : 2，所以說三分之一(即 $AA \times AA$)會產生純種顯性(即 AA)，而三分之二(即 $Aa \times Aa$)的行為就像是雜種世代。

在於生殖細胞的細胞核內。它們構成一個硬遺傳（hard heredity）的概念架構（對比於混合遺傳理論這種軟遺傳〔soft heredity〕架構），提供後來的孟德爾主義者再解釋孟德爾定律的思想典範。

三、兩種故事和史觀的評價

證據史觀和典範史觀的確呈現出相當不同的故事。哪個更恰當？讓我們先透過下列三個面向來作一個初步的分析、比較與評估。

首先是理論的、史觀的面向：卡爾生的歷史敘事並沒有完全忽略失敗的科學家與今日已被拋棄的錯誤科學觀念。可是，他們占的篇幅極少，又旨在提供歷史教訓，故通常以失敗、漠視經驗證據、忽略實驗、耽溺於幻想、匆促下結論的角色現身，以襯托出成功科學家的實驗技能、重視證據、嚴格謹慎。同樣地，卡爾生著力於呈現成功的理論或科學觀念，是因為它們的確符合實驗證據。相反地，典範史觀看重一個理論或概念興起當時的整個思想脈絡，因此，鮑勒花費相當多的篇幅來敘述那些「失敗」的觀念和理論，不僅要爬梳整個背景架構和思想脈絡，也要勾勒它們面對的問題，並力圖為它們重建一幅合理的形象。失敗的科學家和他們成功的對手同樣具有良好的實驗技能，也重視經驗證據，他們其實不是真正失敗，他們提出的理論和觀念往往能合理地解決他們面對的問題。之所以被視為失敗，不過是因為他們的問題已不再被視為重要的——而這又是因為形成問題背後的整個思想架構已全盤改變。

其次是證據的、史料的面向：雖然鮑勒的史料證據主要引證其他科學史家的工作，就孟德爾工作在遺傳學的定位而言，典範史觀的確有歐比的第一手史料研究來支持，1993年更有柯考斯

和摩納罕的著作，詳盡解讀孟德爾的論文，為典範史觀提供了強有力的文獻證據。相反地，強調科學研究的經驗實證之科學家卡爾生等人，似乎從未仔細分析過孟德爾論文中的語言和概念，他們也常漠視歐比等科學史家的工作。¹⁶ 當然，卡爾生的觀點其來有自，他其實繼承自證據史觀與正統科學家史觀的大傳統。

第三是歷史評價的面向：如何評價科學家和他們的工作？證據－發現史觀傾向「以成敗論英雄」，它傾向從勝利者的眼光來看待和評價過去的科學家及其成果。而且證據－發現史觀總是有輝格主義（Whiggism）的危險：成王敗寇、以今非古。再者，證據－發現史觀也面對一大挑戰與難題：如何保證今天的勝利者不會變成未來的失敗者？是否科學評價要隨著理論的成功和失敗而不斷地改變？典範史觀不會有這樣的麻煩，它主張我們要相對於典範或背景架構來評價科學家的工作。因此，在評價之前，我們有必要詳盡掌握科學家工作和思想的整個背景脈絡和架構。

我認為，如同鮑勒所見，典範史觀掌握了真正歷史工作的核心：就觀念而言，科學概念和理論如同生物一般，也有其誕生、發育、成長和消亡的歷程，科學史有必要呈現這樣的情景；就人而言，科學家固然有洞見力，但也有時代侷限；失敗的科學家未必真正失敗，也可能對於科學的進步有很大的貢獻，科學史也有必要加以公平強調。儘管如此，這並不意味鮑勒的整個歷史敘事全無缺陷，也不代表典範史觀是最恰當、最好的科學史觀。

鮑勒根據典範史觀呈現的歷史故事，有三個問題：（1）鮑勒

16 必須一提的是，麥爾有討論歐比的觀點，但他並不認為這足以破壞孟德爾發現「遺傳定律」的事實，他認為歐比的觀點提醒我們，不能把孟德爾定律的再發現者之觀點，完全讀入孟德爾本人的作品中（Mayr 1982: 725）。

給予雜交學家的思想與工作的篇幅極短（不到四頁），很難充分地呈現孟德爾身為雜交學傳統一員的圖像，這點雖然可以由歐比（Olby 1985）的《孟德爾主義的起源》（*Origins of Mendelism*）來補足。¹⁷ 但是，歐比並沒有著重在重建雜交學家的問題和思想架構，結果孟德爾的工作究竟要在什麼樣的思想架構下來解釋，變得混沌不明。鮑勒著力重建的是達爾文和孟德爾時代發育論的思想背景，它的支配性導致當時科學家無法理解達爾文和孟德爾理論中的現代意義，從而拖延了孟德爾遺傳定律的承認，以及達爾文演化論和孟德爾遺傳學的新綜合。可是，孟德爾企圖解決雜種形成問題的實驗結果，為什麼不能配合發育論的概念架構？在雜種形成問題背後又有什麼樣雜種理論典範？鮑勒（和歐比）都沒有給出一個清楚的答案。（2）鮑勒的典範史觀強調模型、理論、概念架構，甚至專業的發明與創造。孟德爾遺傳定律和遺傳學，乃是一個全新的硬遺傳之架構、理論和專業的發明。可是，孟德爾本人的思想，並不屬於這個新架構、理論和領域的一部分。那麼究竟孟德爾的實驗，在解決雜種問題的解釋下，算是什麼樣的科學貢獻？這樣的貢獻又該如何定位？它算是一個科學發現嗎？還是孟德爾從他的實驗中建立（發明）了一個雜種理論？（3）雜交實驗的傳統究竟依賴於什麼樣的思想或理論典範？正因鮑勒過於強調巨觀的思想典範、大概念架構的支配性，使他的

17 歐比的專著顧名思義也是在處理孟德爾的工作如何產生的歷史著作，但是它的風格較偏向一系列的人物傳記史——針對十八、十九世紀的「雜種學家」，從柯路特、加納特，到孟德爾。本書分成六章，分別是「早期雜交學家」、「孟德爾之前的雜交學家」、「混合與非混合遺傳」、「有性與無性生殖」、「孟德爾」、「再發現與承認」。歐比並沒有將故事的重心放在「典範的思想架構」之塑造上，他著重於鋪陳科學家之間的學術互動，大量採用他們的通信，換言之，他描繪的是一幅「科學社群史」。歐比的故事剛好和鮑勒互補。

故事幾乎完全忽略了科學家的實驗工作之重要性和（某種程度上）的獨立性。孟德爾的工作，正是可以由「實驗有自己的獨立傳統，不是全然依賴於理論典範」這樣的觀點中，獲得最恰當的定位。

源自孔恩的典範史觀其實有自己的問題。在孔恩筆下，典範主導常態科學的研究，定義一個科學社群，社群成員均共享相同的思想，在典範下從事解謎活動。鮑勒重建的「發育論和軟遺傳理論」與帶來遺傳學革命的「硬遺傳和孟德爾主義」可以視為兩個交接的新舊典範，可是，在發育論和孟德爾主義這兩個大架構下，鮑勒呈現出個別科學家多樣紛歧的觀點，正如在同一生物物種內，有許多變異的個體成員一般。這意味我們不該把典範理解成一個均質的概念架構，典範其實是一個駁雜的理論版本家族（theory version family）——第十一章將展現古典遺傳學的理论版本家族如何誕生和形成。

即使如此，我們質問鮑勒的三個問題，仍然沒有被回答。回答它們勢必要優先回答「什麼是科學發現」這個科學哲學的傳統問題。

肆、一個實驗發現的典型模式

很明顯地，孟德爾的實驗結果和科學發現，同時對證據史觀和典範史觀下的科學發現觀提出挑戰。

首先，讓我們考察證據史觀如何面對孟德爾的實驗結果之挑戰？第一個問題是，孟德爾的實驗結果究竟發現了什麼？如果從今天的生物學史和生物學教科書所敘述的標準孟德爾遺傳定律來看，顯然孟德爾的實驗結果被解釋為發現了孟德爾遺傳定律，因

為遺傳因子、遺傳因子的分離和獨立都不是現象的。若是如此，那麼孟德爾遺傳定律和孟德爾遺傳理論當然不是孟德爾發現的，因為孟德爾本人壓根就沒有從他的實驗結果推出那些定律和理論。面對這個質疑，證據史觀可以回歸到純經驗現象的發現，亦即孟德爾發現的純粹是他的實驗結果——那些顯性性狀與隱性性狀的數字比例。可是，誠如生物史家已指出，孟德爾之前的雜種學家如諾丁也作出來了（Mayr 1982: 648），那麼為什麼孟德爾有發現的優先權呢？證據史觀的支持者可以辯護，因為孟德爾的實驗結果最為完整，而且蘊涵或預示後來的孟德爾遺傳定律和理論。可是，這樣的解釋等於是向典範史觀靠攏——正因後來的遺傳論典範或思想架構的產生，才使得孟德爾的實驗結果有其「科學發現」的意義。

如同我在上一節已經指出典範史觀更能掌握歷史工作的核心。同樣地，在理論上，典範史觀也比證據史觀更能捕捉到科學界在指認一個科學發現（賦予優先權）時的典型條件：只有在一個理論（或典範或思想架構）的支持下，一個新現象的觀察和確認才會被承認為科學發現。可是，科學發現未必總是要和異例掛勾。因為孟德爾的實驗結果，並不是為了解決任何發育論典範下的特徵遺傳問題，因此也不是發育論典範的異例。如果我們接受孟德爾想解決的是「雜種形成問題」，那麼孟德爾的實驗壓根就和任何特徵遺傳的問題無關，因此也不能直接被嵌入「從發育論到遺傳論的典範變遷中產生的科學發現」這個歷史敘事的架構內。如此一來，孟德爾的實驗結果究竟該如何定位？它對科學的貢獻又何在？

從科學史家對於雜交、育種學家的片段討論中，我們可以看到孟德爾隸屬的是一個雜交、育種的實驗傳統，它沒有形成任何

像發育論或遺傳論的理論典範或支配性的思想架構，它純粹是一個獨立的實驗傳統，雖然這個傳統的工作者也曾嘗試想去解決一些理論性的問題（例如新物種是否可以由物種的雜交而誕生）。如同柯考斯與摩納罕的詮釋，孟德爾發現的是雜種形成定律，並預期一個雜種形成理論，在這種觀點下，孟德爾的實驗結果只不過是重複之前的雜交學家的主張，是一個對林奈觀點（新物種可以由物種雜交來形成）的再拒絕。唯一新的地方是孟德爾把特徵（性狀）視為分離獨立的單位來處理——正是這樣的想法和作法，使得孟德爾的實驗工作可以和後來的孟德爾遺傳理論掛上勾。而孟德爾的雜種形成定律中，強調沒有中間形式則蘊涵了拒絕發育論典範的連續特徵和混合特徵的看法，也成為後來支持遺傳理論的經驗證據。可是，雜種形成定律加以理論化的雜種形成理論（兩個同類物種雜交的結果，其子代特徵與親代特徵之間的規律關係）後來完全退出科學舞臺，如同科學史上一大堆被拋棄的理論般成為一個死的理論。

問題是為什麼孟德爾的實驗結果卻能夠依附在一個新理論架構上而新生，並被視為偉大的科學發現？如果我們詮釋孟德爾的工作是發現一個完整的雜種形成理論，那麼就很難解釋為什麼這個理論可以和另一個不同（雖未必不相容）的古典遺傳理論掛上勾。顯然這兩個理論並沒有被整合或綜合，如同後來新綜合論者整合或綜合達爾文理論和古典遺傳理論一般。要回答這個問題，我認為訴諸於「經驗模型可以配合不同的理論模型」這樣的架構，可以對這個問題提出一個好的解答（看第二章）。也就是說，孟德爾的實驗結果蘊涵一個經驗模型（模型蘊涵一個概念架構），這個模型有能力配合兩個（或以上）的不同高層理論模型（更高層、更抽象的概念架構）：一個是雜種理論模型，另一個

遺傳理論模型。前者死亡，後者新生，而且開闢了一個古典遺傳學的新領域。讓我們重建孟德爾實驗的經驗模型如下。

把兩種可以交配產下子嗣、而且有好幾組不同的對比特徵的生物雜交，可以得到五條通則：

(R1) 針對每個性狀的對比特徵而言，親代的子嗣全部相像，而且相像於親代其中之一。沒有形成任何中間類型。

(R2) 相互跨（變）種交配產生相同的形式。也就是說，性狀是顯性親代的性狀，與來自父親或母親無關。

(R3) 當第一代子嗣自我受孕時，第二子代總是顯出兩類：一類像第一子代而且像原初的親代（顯性的）；另一類則像隱性親代。沒有中間形式產生。顯性與隱性的比例約為 3:1。

(R4) (a) 當容許第二子代的隱性子代自我受孕時，它們總是育成隱性子代。(b) 當容許第二子代的顯性子代自我受孕時，三分之一育成顯性子代；而三分之二的行為正像是第一子代。

(R5) 在子代的性狀聯合中，每一對不同性狀的行為，獨立於兩個親代的所有其它不同的性狀。

這個經驗模型沒有使用任何「理論性的範疇」，換言之，它沒有使用任何「純種－雜種」的雜種理論語言，也沒有使用任何「遺傳因子」、「遺傳因子獨立和分離」等遺傳理論的語言。一旦我們把這些理論語言賦加到這個經驗模型上，我們就分別有雜種形成理論和孟德爾古典遺傳理論。

孟德爾其實沒有對他的實驗結果作出完整的理論性解釋或推廣，他並不能區分物種與變種的界線，也沒有物種雜種和變種雜種不同的想法。因此柯考斯和摩納罕從雜種、育種的實驗傳統中

推出孟德爾的雜種形成理論，也不能算是真正的理論發現；萬一孟德爾真的建議了雜種形成理論並付諸發表，它也不能算是一個科學發現，因為它並沒有被科學界接受，它也涉及物種為何、物種與變種如何分界的困難問題。總而言之，如果我們想把孟德爾發現詮釋為一個可接受的雜種形成理論，那麼有許多理論上的難題必須要克服。

終歸究底，孟德爾真正發現的就只是由上述五條通則所構成的經驗模型——而且這個經驗模型是在實驗中被發現的——它是一個不折不扣的實驗發現。進而我們想指出孟德爾的發現歷程或故事，體現了一個實驗發現的典型模式；也就是說，某個實驗老傳統中的某位實驗學家，做出了異象或新現象，並建立整合這些新現象和已知現象的經驗模型，但卻沒有任何令人滿意的理論來配合這個經驗模型，後來有科學家提出全新的理論，可以配合該經驗模型，它因此被視為一個科學發現，並成為支持新理論的一組經驗性的證據。

伍、實驗發現的核心特徵

孟德爾的發現可做為實驗發現的典型模式，意思是說，我們可以拿本文對孟德爾發現故事的交代為典範或原型，去交代很多科學史上由實驗而產生的新發現，例如普里斯利發現氧、葛雷（Stephan Gray, 1666-1736）發現電感應現象、萊頓瓶的電儲存現象之發現、歐斯特發現長導電線的電磁感應現象、湯姆生透過陰極射線實驗而發現了電子等等。¹⁸ 為了證明這一點，讓我們再

18 關於這些科學實驗的歷史，筆者在其它許多論文都有討論，雖然不是被放在「發現」這個主題下來討論。例如電感應現象、萊頓瓶的實驗發現，可以參看

簡短交代兩個案例：普里斯利和歐斯特的發現。

氧是誰發現的？不同的科學史有不同的記載。很多文獻基於證據史觀，¹⁹ 主張普里斯利是第一位分離出氧的人並首度發表，雖然他錯誤地指稱它為「去燃素氣」。拉瓦錫在一個科學場合中，聽到普里斯利提到他的實驗，他之後重做普里斯利的實驗，也得到和普里斯利一樣的氣體。而拉瓦錫拒絕燃素論，把新氣體命名為「氧」(oxygen，原意為「酸素」，酸的基本原素)並提出新的化學元素論，所以，在典範史觀看來，拉瓦錫才是氧的發現者。但是，為什麼科學史家和一些科學哲學家 (Kitcher 1978；中文討論參看陳瑞麟 [2003a]) 仍然視普里斯利為氧的發現者呢？他們的理由各有不同，但大致是基於證據史觀。問題是，普里斯利是否能被視為氧的發現者？從本書的「實驗發現觀」來看，可以。理由在於普里斯利還做了其它的實驗：讓老鼠呼吸該

陳瑞麟 (2007)；導線的電磁感應現象，參看第二章和陳瑞麟 (2005a)；陰極射線實驗，參看第七章和 Chen (2007)。所有這些現象，都需要經驗模型才能產生科學意義。另一方面，我們也會說這些現象是被(實驗工具)「創造」或「建構」的。在它們要依賴於工具的有效運作的意義下，它們是被創造的；在只有特定的工具組合才能有效地產生新現象的意義下，它們是被發現的。

- 19 例如維基百科(wikipedia)的oxygen此一條目寫說：“Oxygen was independently discovered by Carl Wilhelm Scheele, in Uppsala, in 1773 or earlier, and Joseph Priestley in Wiltshire, in 1774, but Priestley is often given priority because his work was published first.” 這種主張自然是來自科(化)學史家的共識，例如化學通史著作 Partington (1989: 116) 和 Brock (1992: 100) 雖然都討論氧發現經歷了 Scheele、普里斯利到拉瓦錫的整個經過，但仍然把氧的發現者的頭銜給予普里斯利。這背後的發現觀即是證據史觀。證據史觀不是輝格史觀。輝格史觀習慣以成敗論英雄，因此在輝格史觀的判斷下，堅持「燃素論」而失敗的普里斯利，可能不被視為氧的發現者。典範史觀也會判定普里斯利並沒有提出化學元素新典範來說明他發現的氣體，因此他不是氧的發現者。可是，普里斯利確實使用燃素理論這個舊典範解決了氧的異例。在這一點上，典範史觀的判斷偶然地和輝格史觀一致。

氣體、把氣體導入密閉室內使快熄滅的燭火重新燃燒、自己去呼吸該氣體。這些實驗產生一些經驗資料，讓「去燃素氣」和氧產生連結。儘管普里斯利堅持的高層理論（燃素理論）是錯的，但是，普里斯利的經驗模型足以使他獲得氧的實驗發現者之頭銜。這個判定結果和證據史觀一致，但是理由相當不同。

關於歐斯特的案例，回憶第二章。古汀著力展示科學發現是一個複雜、迂迴、集體的歷程，從歐斯特、必歐、戴維和法拉第等人的一系列實驗，才使得「圓形運轉的磁效應」這個現象的穩定，也使得電磁實驗家們後來都在這個共同的經驗基礎上，試圖提出種種不同的高層理論（包括磁的本性）來說明磁針的偏轉，最後終於產生法拉第的「磁力線（理論）模型」。其中，必歐的實驗程序在「圓形運轉的磁效應」此現象的浮現中，可說扮演一個關鍵角色。因此，嚴格說來，古汀討論的科學發現，其實是指向法拉第電磁理論（日後也是場論的原型，參看納瑟姍〔Nesserisan 1984〕），他並沒有建議或發現實驗發現這樣的行為。可是，在「圓形運轉的磁效應」成為共同經驗（模型）之前，還是需要歐斯特的實驗！這個現象也預設一個更廣義的電流感生磁效應的現象。那麼，歐斯特能不能被說做出了電流感生磁效應的實驗發現？

本書給出的答案是肯定的。因為歐斯特的實驗和觀察，滿足實驗發現的典型模式。歐斯特發現的當然不是圓形運轉的磁效應，而是導線電流產生磁偏轉的效應，他預設的**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、電現象與磁現象可能有關係（但未能證實）」等等，當他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，從他的實驗程序與磁針的偏轉的實驗結果中，他發現了電流能感應而產生磁針偏轉的效應，結合上述概念架構而構成一個經驗模型。之前並沒有任何理論預測到該現象，提出之後也沒有任何理論能說明它，後來有科學家提出新理論，令人滿意地說明該現象（配合其經驗模型），它也擊敗其它競爭的理論（法拉第的力線理論擊敗必歐、安培、戴維、華勒斯通等人的理論說明）。所以，歐斯特確實做出了一個實驗發現。

現在，我們可能想問：這個實驗發現的典型模式，是否可以代表實驗發現這個概念？實驗發現是否還有其它較不同的模式？還是說，上節討論的典型模式，其實懷有一個科學發現的共通結構，蘊涵了所有科學發現的核心特徵（即「本質」）？界定出實驗發現的必要條件？我提出一個肯定的答案。因為一個新現象如果要歸屬為實驗發現，它必定不能是任何理論事先就預測出來的現象——否則它就該歸屬為理論引導的發現。換言之，實驗發現的新現象，必定是在沒有任何理論預測的情況下由實驗操作而生產出來——它往往有相當高的意外成分。一個實驗發現的新現象，在首度被觀察到時，要不是一個在典範理論預期之外的異例，就是一個實驗傳統下的意外產物，不管是哪一種，它都必須要有後續的處理，需要歷史條件的具足、產生一些核心特徵，它才能成為一個實驗發現。這些特徵或條件是：

（ED1）在實驗過程中產生的現象被辨識為**新現象**。

（ED2）整合新現象和已知現象的經驗模型必須被提出來。換言之，新現象不能孤立存在，而是必須被納入一個模型、一個經驗的概念架構內。

（ED3）新現象被觀察之際，沒有任何理論已先預測它的出現，其時也不存在令人滿意的理論可以說明該現象，或者相關於

該現象沒有任何可說明的理論被提出來。所謂說明該現象，乃是指一個理論模型配合經驗模型。

(ED4) 一個不同於任何已存理論的新理論被提出來說明該現象，它能令人滿意地配合已被建立的經驗模型。

(ED5) 某一新理論（在其它理論的競爭之下）被接受為說明該現象的最佳理論。同時，該現象和相關的經驗（模型）被視為該理論成立的經驗證據。

這五項特徵或條件，總是存在於一個歷史脈絡中，因此它們也是一個實驗發現誕生的歷史條件，聯合界定了實驗發現的本質。而且要擁有實驗發現者的資格，並不在於他是第一位觀察到新現象的人，而在於他是**第一位提出整合新現象和舊經驗的經驗模型的人**。

陸、科學發現的社會學模型

科學知識社會學家布朗尼根 (Augustine Brannigan 1981) 在其《科學發現的社會基礎》(*The Social Basis of Scientific Discoveries*) 一書中，企圖爭論發現其實是一個社會事件，他也詳細分析孟德爾的案例，以佐證他所提出的科學發現的歸屬模型 (the attributional model)。所謂的歸屬模型是指科學發現之所以被視為一個科學發現、科學家被指認為發現者，乃是在一個特定的社會脈絡下，基於一些社會因素而被定義或承認 (例如發現優先權的競爭，如孟德爾的案例)。他說：「發現的地位不是論文內容的簡單功能，毋寧說是因為論文出現的脈絡。」(Brannigan 1981: 89) 上文的爭論恰好反對這個論點。

針對孟德爾的案例，布朗尼根先提出三個對立於傳統看法的

假說：(a) 孟德爾不單純地是我們今天所謂遺傳學的創始者；(b) 他在 1866 年並沒有被忽略；(c) 即使 1900 年三位研究者在相同問題上的獨立工作，也不算是再發現。相反地，孟德爾的作品之地位隨著社會脈絡而轉移，在 1866 年時，它在雜交學傳統的常態科學中不過是一個既存觀點的印證而已，但在 1900 年遺傳學革命時期，它有了全然不同的地位，它變成一個新發現。到這裡為止，這些論點與鮑勒的典範史觀沒有不同，可是布朗尼根並不是爭論因為「遺傳學的新概念架構」使得孟德爾的工作成為一個新發現（也因此被再發現），而是因為兩位再發現者德弗里斯與柯仁斯的發現優先權之競爭，以及孟德爾主義者貝特生與生物統計學家（biometricians）爭議，才使得孟德爾的工作被重新評價，也因此遺傳定律的發現者被歸給孟德爾，而不是他的先行者（Brannigan 1981: 90）。

布朗尼根應用許多生物史家爬梳史料的成果來爭論他的觀點。他首先交代孟德爾復興的脈絡，亦即德弗里斯的遺傳理論和突變理論，然後詳細引證指出孟德爾的論文其實有不少引證，並非如德弗里斯和生物史家抱怨般不為人知。他討論一些對德弗里斯的懷疑：即德弗里斯可能熟悉孟德爾的論文，但一開始並不準備提到孟德爾，直到與柯仁斯通信之後才提及（言下之意，德弗里斯可能不夠誠實）。柯仁斯知道他對於分離現象的發現已落後於德弗里斯，因此把德弗里斯和他自己實驗得到的性狀分離和遺傳的規律性稱為孟德爾定律，以中立化他的損失（neutralizes his loss）。再者，生物統計學家高騰支持連續變異可以導致新種出現，對立貝特生主張「不連續變異」的觀點，這種「演化理論中有關變異的爭議」，使得貝特生需要把孟德爾的實驗解讀為遺傳定律，來支持他自己的不連續變異之觀點。正是因此，孟德爾的

成果在 1900 年之後被解讀為遺傳學實驗的大發現 (Brannigan 1981: 90-100)。

那麼孟德爾發現了遺傳學定律嗎？孟德爾被再發現了嗎？布朗尼根認為，如果從孟德爾的雜交學傳統先行者和同時代人的成果來看，答案都是否定的。布朗尼根引證惹克爾 (Conway Zirkle 1951) 的文章，認為所謂孟德爾發現中有幾個新穎的面向其實一點都不新穎，孟德爾之前都已有先驅者。例如，顯性原理和分離原理在 1799 到 1824 年間已被幾位雜交學家如勾斯 (Gos) 和謝同 (Seton) 等使用碗豆實驗而觀察到了。在 1826 年時，薩葛瑞特使用有五個不同性狀的兩種甜瓜雜交，觀察到性狀並未混合而是分佈的，這可以說是發現獨立分配原理。1856 年時，則有德日隆 (Johann Dzierzon) 把德國蜜蜂和義大利蜜蜂交配產下雜種女王蜂後，她的子代產出德國蜂和義大利蜂 1:1 的比例。而孟德爾自己也研究蜜蜂二十年，不可能不知德日隆的成果。所以，布朗尼根認為在惹克爾的歷史證據下，很難爭論孟德爾在那些所謂新穎面向上領先他的同代人 (Brannigan 1981: 103-114)。一些科學史家也爭論孟德爾有一些方法上有所創新，例如單位化的性狀和統計方法的應用等，但布朗尼根舉證這些在 1860 年代都不算新穎。進一步去考察孟德爾自己對同時代的雜交學家加特納的工作之討論，更可以明確地確認孟德爾屬於雜交學的傳統，而且其工作也是為了解決雜交學的問題——雜交可以把一物種轉形成另一物種。所以，布朗尼根結論，在雜交學傳統的常態科學的眼光下，孟德爾的工作完全沒有什麼創新性。孟德爾成為孟德爾定律的發現者，乃是因柯仁斯恰好讀了他的論文，萬一柯仁斯知道幾位先驅者的工作，也許遺傳定律會被命名為「勾斯和謝同定律」或「薩葛瑞特定律」(Brannigan 1981: 114)。

乍看之下，布朗尼根的故事似乎很有說服力。因為孟德爾定律一詞確實是柯仁斯的發明（看第十一章），柯仁斯也的確和德弗里斯對「(再)發現者」的優先權上有所競爭。孟德爾的確屬於雜交育種學的傳統，他的論文也不乏引證，遺傳定律其實也不能被視為再發現，換言之，布朗尼根的假設其實都有其歷史理據，然而，布朗尼根卻很快地跳到一個發現的歸屬模型，主張社會脈絡因素才是一個科學發現的必要條件，完全忽略了發現的內容、以及整合和模型化在發現中的必要角色。布朗尼根認為不重要的論文內容，才真正是孟德爾被視（讀）為遺傳定律發現者的必要條件。為什麼？

首先，如果不是孟德爾的論文內容具備高度的整合性和完整性的話²⁰——換言之，他提出一個可以配合古典遺傳學理論的經驗模型——無法說服德弗里斯和柯仁斯接受孟德爾的發現者地位，而屈居於再發現者的角色。布朗尼根暗示柯仁斯不知道孟德爾先行者的作品，所以才會抬出孟德爾，但他在這一點上只是猜測，沒有任何考據。因為柯仁斯有可能知道那些作品，但他判斷

20 可以參看下一章對孟德爾論文的文本分析。寫一本書來詮釋孟德爾經典論文的柯克斯和摩納罕說：「孟德爾是一位偉大的科學家，一位整合橫跨植物學、物理學和數學三個科學學科觀念的先驅者。透過這個整合，他創造了一個在數學上精確的、一個雜種形成與後代子嗣發育的量化理論。藉由這個理論，他能說明長久以來為人熟知但並不理解的雜種行為。進而孟德爾是一位耀眼的實驗家。他在雜種上的實驗設想十分優越，也被執行得十分妥善，即使當它們變成新遺傳科學的基礎時，仍然沒有受到挑戰。」(Corcos and Monaghan 1993: xvi-xvii)，他們進一步解釋孟德爾實驗工作的典範性：「他的創造力量很明白地由下列事實來顯示：以單一線索為起點，他執行了一大系列實驗，做這些實驗超過八年，發現基本定律，創造出一個理論並對他的結果提出一個令人滿意的說明。很少有一個人能如此完美、如此優雅地實現了整個科學的過程。」(xvii)也參看結論討論的 Hartl and Orel (1992) 一文。

它們只是片段和不明確的觀察，無法說服他。²¹ 就算柯仁斯真的從不知孟德爾先行者的作品，也不代表他在知道後就不會選擇孟德爾來當發現者，正因為孟德爾實驗執行的廣泛性和完整度、實驗論文的整合性、還有孟德爾對於生殖細胞的討論、對於「元素」(element)概念的思辨(看第十一章深入分析)——蘊涵一個結構完整的經驗模型，而不是片段的觀察記錄。

至於布朗尼根引證惹克爾的論文而爭論所謂孟德爾發現的新穎面向都已有先驅者。誠然那些面向都有先驅者，但分別歸屬給不同的人，因此是破碎、分散的，正是孟德爾將這些分散的元素整合成一個完整的模型。如果根據布朗尼根暗涵的發現邏輯：一個整合模型的許多局部面向都有先驅者，所以整合者不算是發現者，那牛頓和愛因斯坦也不是重力定律和相對論的創建者，因為平方反比定律早在牛頓之前就被提出來了；萊布尼茲和柏克萊比愛因斯坦早了兩百多年就已批評絕對時空的觀念了。布朗尼根的說法再次忽略了科學家或科學史家指認一位發現者時，對於他提出發現的方式和內容的判斷——一個發現只有在被發現事物的結構足以配合一個新理論時，才會被承認為發現。

必須一提的是，布朗尼根強調把孟德爾看成與先驅者沒有差別是個嚴重的錯誤，孟德爾至少在兩方面遠遠優於其先驅者：一是他不只觀察到分離的證據，而且也觀察到性狀在雜種和雙雜種

21 柯仁斯回憶自己是在 1899 年底才首度讀孟德爾的論文，但任伯格(2010: 51-81)爬梳柯仁斯的筆記，發現他在 1896 年的筆記中即有閱讀孟德爾筆記的記錄，但並未能完全理解孟德爾的論文和自己工作的關係，後來柯仁斯在整理自己的發現之前重讀孟德爾的論文，才對自己的實驗意義豁然貫通。換言之，孟德爾的論文對於柯仁斯的實驗和思考有啟發之功，這也是柯仁斯把孟德爾定律的發現者歸給孟德爾的關鍵因素。

跨種交配出現的比例；二是他對這些觀察提出一個說明，並把比例歸給生殖細胞中的因素分離現象（Brannigan 1981: 106）。而這不就是柯仁斯為什麼相信孟德爾是遺傳定律的發現者之內容根據嗎？（柯仁斯如何把孟德爾詮釋為分離律的發現者，看第十一章分析。）為什麼布朗尼根還要說如果柯仁斯知道其先行者的成果，可能會把定律之名派給其他人呢？（在此，可以再補充一點：孟德爾對實驗程序的構思與設計、還有完整記錄，以及對於實驗結果的深入討論，看第十一章分析。）

布朗尼根的著作是愛丁堡學派科學知識的社會學計畫之一部分（Brannigan 1981: 78-79），亦即使用社會因素來說明科學知識被創建、被發現、被印證和被接受。簡單地說，被接受的理論知識（被證成）、被接受為新發現的知識，都是科學社群在某種偶然的歷史脈絡下達成共識的結果，科學家會產生共識都是基於特定的利益。例如在孟德爾的案例中，孟德爾被追認為定律發現者、遺傳學創建者，其實是因為這樣分別滿足了柯仁斯和貝特生的利益。可是，一項說法、假設、模型被接受為知識，科學家會有共識，主要是因為其內容滿足不同科學家的認知判斷，而不是因為滿足某種特定的利益。相反地，因為選擇令人滿意的知識，也會為科學家帶來利益，利益是好選擇的結果，而不是科學知識被接受的原因。布朗尼根的錯誤，其實是 SSK 的錯誤因果說明之一部分。

柒、孟德爾的實驗發現

現在我們可以總結孟德爾對科學的貢獻。從上述的分析來看，他對於科學的最大貢獻有二：首先是他的實驗設計和實驗結果，可以建立一個經驗模型，這個模型有能力配合後來遺傳論典

範的孟德爾遺傳理論，成功地指引和解釋後來的許多遺傳學的實驗研究。其次是他使用的實驗方法，蘊涵一個極具啟發性的實驗模型，可以啟迪後續的實驗研究，開啟一個遺傳學的實驗傳統。本文揭示了孟德爾的第一個貢獻——它也是孟德爾**真正做出的科學發現**。至於孟德爾的第二個貢獻，必須由後續古典遺傳學的實驗發展來揭示，這是另一篇論文的故事了。可是，孟德爾的貢獻並不是發現今天所知的兩條或三條孟德爾古典遺傳學定律或孟德爾古典遺傳學理論。此外，推動科學發展變遷的主因往往不是純理論、也不是純實驗，就古典遺傳學的案例而言，使得軟遺傳理論變更成硬遺傳理論的孟德爾遺傳學，乃是源於實驗中提煉（抽取）的經驗模型，因該模型有能力銜接新理論，從而推動了遺傳學的發展與變遷。

1992年有兩位生物學家在專業遺傳學學術期刊《遺傳學》（*Genetics*）發表一篇〈孟德爾是怎麼想他所發現的東西？〉（What Did Gregor Mendel Think He Discovered?），面對了本文所謂典範史觀的生物史家挑戰——特別是「孟德爾不是孟德爾主義者」這個觀點——企圖爭論「孟德爾確實是孟德爾主義者」，他們的結論是：

（1）孟德爾確實應該被視為雜交學家。他自己設定的目標的確是發現「雜種形成與發育定律」，但他很清楚遺傳歷程與演化歷程的不同。

（2）孟德爾雖然沒有規定遺傳決定因子是粒子，但是他確實假定它們是物質事物，而不是形上學的潛能。

（3）孟德爾很清楚地把分離視為刻劃雜種的現象。

（4）碗豆的遺傳定律被孟德爾視為普遍可應用的，他顯然提議它們可以被應用到各種雜種的形式上。

(5) 孟德爾設想要發現的「雜種形成與發育的定律」的確有遺傳學的意義，孟德爾本人完全理解他的實驗對於遺傳的意義。孟德爾確實應得到孟德爾主義的始祖之名，也應因他的洞見而得到歷史信譽。

這些論點與本文的結論十分相近，但仍有差異之處。最主要的差異是它沒有使用本文使用的模型哲學的語言，他們也沒有提出一個發現的哲學理論。他們爭論的是孟德爾本人究竟是怎麼看待他自己的實驗，而且爭論孟德爾的確清楚地理解他的實驗之遺傳意義。當然，孟德爾的發現無疑有遺傳學的涵意——否則也無法密切地配合後來的古典遺傳學理論。但是孟德爾本人怎麼看他自己的實驗並不是重點，重點是他並沒有一個完整、初步、甚至雛形的孟德爾主義（古典）遺傳理論，當然也沒有一個完整的雜種形成理論，他發現的就只是經驗性的「特定雜交之下性狀的傳遞模型」。因此，「孟德爾究竟是不是孟德爾主義者」就變成不過是孟德爾主義這個名詞的意義之爭論而已。

最後，就實驗發現與科學發現的哲學問題而言，本章並沒有對科學發現提出一個全面的交代，但我相信本章已經發現了實驗發現這個證據史觀和典範史觀都沒有發現的新發現樣式。

第十章

科學實驗的發展（一）

一個輻射模型

壹、實驗如何發展？

什麼推動科學的發展？理論或實驗？大多數人都會同意兩者皆有。不過，多數科哲家似乎偏向強調理論，實驗往往被放置在理論附庸的位置上，只是扮演檢驗理論的角色。如果實驗的主要、甚至唯一目的是檢驗理論，那麼必定要先有理論的提出、才有實驗的設計與執行，因此實驗必須要依賴或附屬於理論。一個依賴與附屬的角色就不能算是推動科學發展的主要動力。我們也無法問「實驗如何、為什麼發展？」這一類的問題，因為實驗的存在理由只為了檢驗理論，只要問「理論如何發展？」，實驗如何發展的問題就解決一大半了？

自從哈金之後，實驗只是理論附庸的觀點開始受到質疑。哈金對「實驗自有其生命」的觀察，提供我們問「實驗如何、為什麼發展？」的動機。可是，儘管實驗可以獨立於理論而自行發展，但並不代表它與任何思想或觀念全無關係，也不代表它是毋需涉及思想、純粹動手做的事，更不是說實驗的發展和理論的發展全無交集，也不是說所有的科學領域的發展都是以實驗為優先、由實驗來推動。事實上，實驗的發展當然和科學觀念、思

想、模型，甚至理論的發展有難以分離的複雜關係和互動——這該如何被理解？如何被有秩序地呈現和掌握？什麼因素推動這樣複雜多變的關係與互動？在問一個系統（即實驗系統）的演變與發展的因素，即是在問它的發展動力學或動力模型。可是，問動力學之前，我們得先掌握實驗發展的特定規律或樣式，正如在建立力學的動力學之前，必先建立運動學——先處理物體運動的軌跡，才能追求塑造此特定軌跡的原因。以下三章的目的就是在提出一個「科學實驗發展的樣式與動力模型」。

注視歷史，我們可以發現近代電學實驗、電磁學實驗、十九世紀的胚胎實驗、二十世紀的育種遺傳實驗、生化實驗等，似乎都體現了自主發展的邏輯。說電實驗創造了電學、電磁學實驗創造電磁學、育種實驗創造古典遺傳學、生化實驗創造分子生物學，並不為過。問題是，這些實驗如何創造出一個學科領域？這些學科領域當然包括許多實驗，可是實驗產生的大量新現象也需要理論的說明，因此它們也包括大量的理論，而且理論和實驗似乎一起交織演變——如何分析這種複雜的歷史呢？因為這類學科領域是被實驗推動的，實驗本身的發展模式就是我們要考察的起點。

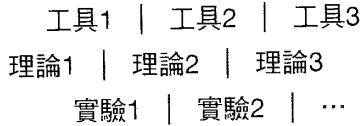
一如針對理論發展樣式的分析，我們也可以透過實驗行為的結構分析來追蹤其發展模式，亦即比較兩個相關的實驗行為之結構，考察它們成分元素的變動，藉此勾勒出變動的方向與樣式，這個樣式顯現出輻射狀，故我們稱為「實驗發展的輻射模型」。在抽象地勾勒出這個模型之後，本章以物理學中的近代電學實驗為案例，展示實驗工具的發展演變，可以被輻射模型模釋；第十一章以生物學的古典遺傳學實驗為案例，展示實驗與理論的交織；第十二章則使用古典遺傳實驗來例示一個行為人基礎的動力

學。

至今，科學哲學家很少人涉入科學實驗發展的議題，也就是說，如同歷史取向（孔恩、拉卡托斯、勞丹、胡爾、傅大為、陳瑞麟等）考察科學理論演變的發展邏輯、規律，或樣式般地考察科學實驗發展與演變的邏輯、規律或樣式。在某種程度上，科學史家兼哲學家蓋利森和任伯格分別針對物理實驗和生物實驗做了近似的工作。可是，蓋利森研究的對象其實是物理實驗室或大工具，視它們為物理學的「次文化」(subcultures)；任伯格則發展「實驗系統」(experimental systems)的觀念（參看下節討論）。初步看來，他們關注的是近似典範等大單位的變遷，與本文所關心「個別科學實驗」的發展與變遷並不相同。再者，由於實驗的異質與複雜性，一系列實驗是否能構成一個統一的更大單位，其邊界是否能被清楚刻劃，也有賴於個別實驗的發展和傳承被揭示後，才得以評估。第三，蓋利森的變遷模型是否能適用於生物實驗，任伯格的歷史知識論又是否能適用於物理實驗，兩者皆不清楚。本書則企圖提議一個能夠適用於物理和生物實驗的發展模型。總而言之，以下三章的工作，在於尋找個別科學實驗在歷史中的發展邏輯、秩序和模式，以及探討它們是否能被一個適當的理論模型揭示？換句話說，我們試圖尋求能描述和說明科學實驗發展的科史哲模型。

貳、蓋利森與任伯格的實驗發展模型

蓋利森在其《形象與邏輯》(*Image and Logic*)一書中提出了理論、實驗和工具形成三個獨立的「傳統」，蓋利森稱它們為「次文化」，它們各有各的週期循環，交錯地(intercalatedly)發生在歷史演變中。這種交錯演變的視覺形象如砌磚一般：



理論、實驗和工具每個次文化的週期演變猶如孔恩典範的週期演變一般，差別在於蓋利森認為孔恩的模型是同一典範下理論、實驗和工具同步變遷。但是，蓋利森認為理論、實驗和工具各有各的變遷時間，未必同時。這種砌磚狀的變遷模式有下列特色：第一，每個次文化都有局部的自主性；第二，在觀察上沒有絕對連續的基礎；第三，局部的連續性是交錯的；第四，每個次文化之間是平等的，沒有一個具有特別的地位（Galison 1998: 797-802）。第五，這些特色一起顯示物理學的某種不統一性。

然而，這三個不統一的傳統彼此間仍有緊密的互動，例如工具可以促成理論或實驗變遷、理論可以促成實驗或工具變遷、實驗也可以促成工具或理論變遷。可是，既然沒有一個連續的觀察或統一的典範，為什麼這些變遷的現象會發生呢？隱喻地說，這意謂需要某種「理智的水泥」把這些交錯的「磚塊」固著在一起。蓋利森提出「交易區」(trading zone) 這個觀念，想表達一種「無需參考某種規格就可以把事物等量齊觀並交換」的效果 (p. 803)，猶如不同宗教信仰的人們可以互相接受對方對自己的幫助、祈福或禱告的行為，但會以自己的信仰和想法來理解或解釋對方的行為（例如佛教徒會解釋成緣，基督徒解釋成上帝的恩典），並感受對方的善意——這裡存在著善意與善行的交換。¹

1 蓋利森以一個人類學的例子來說明這種效果，但這個例子中文讀者比較陌生，所以我改成以宗教信仰為例，我相信這個可以精確地掌握蓋利森想表達的意義。

使用交易區的觀念，蓋利森以十九世紀末物理學家對「質量」的理解來討論理論與實驗的交易。亞伯拉罕（Max Abraham）、洛倫茲（H. A. Lorentz）、龐卡黑（Henri Poincaré）和愛因斯坦（Albert Einstein）對於「質量」分別有不同的理論和解釋，也分別企圖由自己的理論去計算電子的質量。蓋利森認為，在孔恩不可共量性的觀點下，使用實驗來比較這些理論是不可能的。² 可是，蓋利森指出，實際上有一個豐富的實驗次文化曾設計實驗來比較這些不同的理論：實驗學家考夫曼（Max Kaufmann）和貝赫若（Alfred Bucherer）使用磁場與電場來測量電子的橫向質量（transverse mass）。結果使得洛倫茲承認自己的假設與實驗不合，應該要捨棄；龐卡黑認為他的整個理論受到威脅；愛因斯坦則對自己的理論有自信，但他也預測電子的橫向質量，以便考夫曼可以使用他們的方法來檢驗，他甚至設想實驗的修正，希望有人能執行他的設計（pp. 811-812）。可是，蓋利森並沒有討論實驗與工具的交易，也沒有討論理論和工具的交易，反而花大量篇幅去討論「交易的場所」。

對於蓋利森的理論、實驗和工具的交錯變遷模型，本書不可能進入其案例研究的細節中，在此我只能表達如下幾點評論和疑問：第一，他那冗長（達八百多頁）到十分瑣碎的傳記性案例研究，無法簡潔鮮明地顯現出他的模型與歷史材料間的配合。第二，訴諸於週期循環性，就意謂承認「斷裂」的觀念。對於「理論的變遷和斷裂」，孔恩的理論為我們提供一個明確的圖像，可以透過典範的概念結構和不可共量性的觀念來掌握。但是，什麼

2 這裡蓋利森對孔恩的不可共量性之詮釋可能有點不精確或不公平，因為孔恩並沒有主張理論與理論之間的不可共量性意謂著不能作比較。孔恩討論的不可共量性也不是科學家的實際反應。

是實驗的斷裂？什麼又是工具的斷裂？蓋利森並沒有有一個清楚的觀念。讀者只能從他的長篇歷史敘述中得知，從雲室（cloud chamber）到泡泡室（bubble chamber）大概是工具的斷裂，可是，兩者為什麼是斷裂？第三，蓋利森把十九世紀末的微物理學分成形象和邏輯兩個傳統，分別有自己的工具。形象傳統是雲室到泡泡室；邏輯傳統是火花室（spark chamber）和導線室（wire chamber）（p. 20），那麼形象傳統和邏輯傳統分別又是什麼？彼此間的關係又是什麼？而且，蓋利森在討論所謂的「傳統」時，又提出教育的連續性、技術連續性和證明的連續性，這又要如何融入他的交錯性的週期循環歷史呢？第四，蓋利森的磚塊般的巨著其實不是實驗的歷史，如他自己所言：「這本書是工具的歷史。」（This book is a history of instruments, p. 51）究竟實驗如何發展？如何斷裂或顯現出週期性（假定實驗是週期性的）？實驗的發展單位又是什麼？同樣地，理論如何發展？如何斷裂或顯現出週期性？我們在此書中無法得到明確的答案。第五，蓋利森在使用案例來說明理論與實驗的交易時，隱含或預設了「理論版本」的觀念，他說：「龐卡黑引入洛倫茲理論的一個修改版本（modified version of Lorentz' theory）」（p. 811）事實上，我們可以看到，很多科學史家在深入討論一位科學家的理論或觀念細節時，都隱然預設了「理論版本」的概念。如果理論版本是科學史不得不預設的單元，是否意謂本書提出以理論版本為單元的動力發展模式，也可以被應用到理論與實驗的互動上？下一章我將以古典遺傳學的發展來證明這個論點。

任伯格在其《朝向知識事物的歷史：在試管中合成蛋白質》（*Toward a History of Epistemic Things: Synthesizing Proteins in the Test Tube*, 1997）和《具體物的知識論：二十世紀的生命歷史》

(*An Epistemology of the Concrete: Twentieth-Century Histories of Life*, 2010) 二書中，提出了一個以歷史知識論為核心的實驗發展模式。不像蓋利森和 SSK 的理論源於英、美的科史哲，任伯格的理論繼承歐陸科史哲傳統，例如波蘭的弗萊克 (Ludwik Fleck)、法國的巴榭拉 (Gaston Bachelard) 和岡居朗 (Georges Canguilhem) 等人，他甚至借用法國哲學家德希達 (Jacques Derrida) 的觀念。任伯格的科學實驗之歷史知識論的核心概念是「實驗系統」、「知識事物」(epistemic things)、「技術對象」(technical objects)、「重製或再生」(reproduction) 和德希達的「延異」(différance)。

「實驗系統」源自弗萊克的觀念，它是科學研究最小的完整工作單位 (the smallest integral working units of research)。任伯格直接引用弗萊克的文本來解釋這個觀念：「要建立證明，包含幾個實驗和控制的一整個系統是必要的，它是根據一個設想或風格而被建立，而且被一位專家執行。」他進一步解釋：「一位研究者處理的不是相關到一個理論的孤立實驗，而是一個整體實驗安排 (a whole experimental arrangement)，被設計來產生他尚未掌握的知識。更重要的是，實驗科學家處理的諸實驗系統通常沒有良好的定義，也不能提供清楚的答案。」(Rheinberger 1997: 27) 任伯格自己對實驗系統的具體例示是二十世紀的合成蛋白質實驗，要介紹這個案例需要太多背景知識，非本章能勝任。如果想舉出一個實驗系統的實例，可以說，波以爾和惠更斯的空氣泵浦的系列實驗是兩個不同的實驗系統。

任伯格主張實驗系統有兩個不同、但是不可分離的核心元素：知識事物是構成被探討對象的物質元目或歷程——物理結構、化學反應、生物功能等；技術對象 (technical objects) 是指

實驗條件或實驗安排，包括工具、記號、模型生物（model organism）和浮動的定理或依附在定理的邊界概念。透過技術對象，知識事物才可能在種種知識實作與物質文化中被精煉和鞏固（Rheinberger 1997: 29）。總而言之，如果想理解實驗如何產生知識，必須分析實驗系統，包括它探討的知識事物，以及做為探討工具的技術對象。

已知實驗系統是研究的最小單位，知識事物和技術對象的區分則勾勒出實驗系統的結構，如何在這幾個概念上來建立實驗的歷史知識論？關鍵概念是「再生產」。任伯格澄清 reproduction 不是指複製程序（copying procedure），也不是用來指一個實驗計畫的重生（意謂實驗計畫的連續性），也不是指一個好的實驗結果應該可重現，而是「再生產一個實驗系統意指維繫實驗條件——探討的對象、工具、技能——使得實驗系統保有生產性（productive）」。他使用這個概念來表達類似演化的含意，意指「實驗必須被視為持續且不可中斷的事件之鏈，持續這實驗歷程的物質條件必須被保持。」（Rheinberger 1997: 75）也就是在不同的脈絡和情境下再生產一個實驗系統，如此是一種原系統的差異再生，標誌了實驗的歷史性。任伯格進一步引入德希達的「延異」——「差異化和延遲化的生產過程」（the production of differing/deferring）——來表達實驗的再生產過程。德希達所謂「延異」是指一個文本在被閱讀的過程中，不斷地被詮釋，文本的意義因此不斷地衍生與差異化，而且差異化的方式都不一樣（差異的差異），使得文本的完整意義永遠無法得到充分實現（延遲）。任伯格借用「延異」來表達實驗系統在歷史中的差異化再生，一個實驗系統總是會不斷地被挪移他用，其原始意圖總是會在系統延異的過程中消失。

在《朝向知識事物的歷史》一書中，任伯格以一個詳細的歷史研究來例示他的理論框架，討論蛋白質合成實驗系統如何差異化地再生產知識事物。在《具體物的知識論》一書中，他探討的重心變成「技術對象」，例如模型生物、實驗工具，以及它們如何幫助知識的形構等等。粗略觀之，任伯格以較晦澀的歐洲哲學術語所勾勒出的實驗發展圖像，可能是本章將提出的輻射模型之胚型。然而，我們無法確定是否真是如此，因為任伯格的理論架構的輪廓並不十分清楚，實驗系統的範圍如何界定也不十分明確（當然他宣稱實驗系統無法被完整定義）。當宣稱「研究者處理的不是相對於一個理論的孤立實驗」時，任伯格似乎沒有考慮到孔恩曾指出的數學傳統與實驗傳統的差別（下一節），例如檢驗古典力學的阿特武德機、卡文迪士轉矩天平等就是數學傳統下的實驗（第三章），難道不是相對於一個理論的孤立實驗嗎？因此，我懷疑「實驗系統是最小的研究單位」可以被普遍地推廣到各種學科。雖然一系列的實驗可以構成一個實驗系統，但是它們仍然是由一個一個單一實驗在一定的發展秩序中形成的（雖然不是孤立的），這個發展秩序是什麼？一個實驗系統又如何形成？這些是本章要考察的課題。最後，任伯格關心的其實是知識事物和技術對象的歷史，亦即被研究的對象如何在實驗中被建立；技術對象又對知識的生產有什麼幫助，這個關注焦點和本書關注於「實驗行為的發展與演變」以及「實驗如何創造出一個學科領域」也有所不同。

參、科學實驗的輻射發展模型

孔恩認為近代科學似乎沿著兩條截然不同的路線而開展出兩

個不同的傳統：一個是數學的傳統；另一個則是實驗的傳統。³ 第一個傳統往往又稱作古典科學 (classical sciences)，其代表性的典型學科是天文學和力學；⁴ 第二個傳統則因為培根的《新工具論》(*Novum Organum*) 的象徵意義而又稱作培根科學 (Baconian sciences)，其代表性的學科則是磁學和電學。這兩個傳統沒有截然分明的界線，彼此也常互相滲透合作，但它們仍然可以被分辨出來。雖然數學傳統並不是沒有，也不是很少使用實驗，像其代表人物如伽利略或牛頓都做了許多實驗，可是數學傳統的實驗往往在理論的引導下，或者是為了檢驗理論這目的而進行。相反地，培根科學傳統的實驗，大部分是在從事哈金所謂創造現象的活動。⁵ 尤其是熱、磁與電的實驗，創造了全新的科學

-
- 3 孔恩 (Kuhn 1977) 的〈數學傳統對抗實驗傳統〉(Mathematical versus Experimental Traditions) 這篇經典文章中，宏觀性地描繪了近代科學的兩個傳統的發展與對抗，並討論十七到十九世紀的大科學家和種種物理和化學學科，要被歸屬到哪個傳統中，以及兩個傳統的起源。大致而言，天文學、力學和(幾何)光學是典型的古典數學科學中的學科；而氣體力學 (pneumatics)、熱學、磁學、電學和化學則是培根科學的學科。這兩個傳統當然有彼此相互借用或滲透之處，可是，一直到今天仍然有「理論的」和「實驗的」物理、化學、生物學的區分。孔恩的結論是或許這個區分是根植在人性中。
 - 4 從古希臘以來一直到十九世紀初，今日所謂的物理、化學和生物科學等，仍然被稱作「自然哲學」。天文學則屬於「數學」(mathematics) 的傳統，不同於自然哲學。沿用天文學—數學的方法到自然哲學處理的對象和領域上，大致出現在十六世紀末、十七世紀初，伽利略乃是一位關鍵的、象徵性的科學家，所以有人把他稱為「近代科學之父」。數學化的自然哲學，最鮮明的標記應該是牛頓的鉅著《自然哲學的數學原理》。至於「實驗的傳統」，在十七世紀時，則有「實驗哲學」一詞為培根本人所用，而波以爾和牛頓也使用過這個詞。
 - 5 有一些實驗的主要目的是為了裁決長久爭議的理論，如望遠鏡之於托勒密和哥白尼的理論、空氣泵浦之於真空的存在與否；可是大多數實驗在先於可接受的理論說明之下而進行(當然，這並不意味完全沒有任何「背景觀念」)，同時累積大量的觀察記錄，如吉伯特的磁石實驗和物質生電實驗、波以爾的熱學與化學實驗、虎克的顯微鏡觀察、豪斯比的種種生電、導電實驗等。

領域，成為十八和十九世紀科學主要研究的對象。⁶

孔恩的圖像是否恰當是另一個問題。現在，我們的問題是：實驗科學如電或遺傳的實驗，如何創造一個全新的科學領域？回答這個問題得立基在實驗如何發展、傳衍、擴張和播散的回答之上。本書想問，除了階段性的編史學外，我們是否能展示「實驗自有其生命」的獨立發展？我們是否能提出一個模型，可以秩序地揭示實驗發展的邏輯和自主性？「實驗發展的輻射模型」是一個答案。

科學實驗是一種行為、一種實踐。乍看之下，行為和實踐的變動漫無秩序。可是行為和實踐也有其內在的結構，這不是物質儀器裝備的結構，而是一個由異質的事物所結合的一定程式或關係網絡，要經歷一段時間才能完成，物質裝備乃是這個結構中的一部分。揭示實驗行為的結構，我們就可以透過分析和比較歷史上相繼的兩個實驗之間的內在結構，來揭示實驗的變動，從而追蹤實驗的發展與它們的發展路徑。

一、原型實驗、衍生實驗及其傳衍關係

如同哈金所言，主流的科學哲學（從邏輯經驗論一直到歷史學派）傾向考察理論的發展演變，實驗則是在理論的演變過程中被提及。但是，「實驗自有其生命」指示了另一種看待實驗科學的觀點：也許可以以實驗為核心來看實驗科學的發展。當然，大

6 由於培根科學在十七世紀科學革命的概念轉變中，並沒有重要角色，所以一些重視理論和概念變遷的科學史家如夸黑（Koyré 1978）和巴特斐（Butterfield 1958）認為培根科學運動乃是個假像。不過，孔恩認為即使培根科學對於古典科學沒什麼貢獻，它卻產生了很多新的科學領域。

家都同意實驗與理論有糾纏難解的關係，在歷史上，相同的實驗可能被不同的理論所使用，實驗也可能先於理論而創造出有待進一步說明的新現象。一個出於檢驗理論而設計出來的裝備（蓋利森稱為「工具」），也有可能被用來實驗不同的對象，或用為完全不同的實驗目的。問題在於：是否存在某種領域是以實驗為主來發展？實驗的變遷是否也在某些領域中成為引導科學發展的主要動力？當然，這樣以實驗為主的發展史，仍然少不了理論的角色。重點在於，是否有一個發展模型，能夠揭示以實驗為主的學科之發展史，同時妥當安排理論與實驗間的相互關係？

已知所有的實驗都是為了達成某種目的、回答某些問題。實驗科學家在設計實驗回答問題之前，必定先有某種想法或理念，才能據以設計實驗，即構思一個模型，並加以落實。如果由於這個實驗的新奇性，導致後繼實驗受到啟發而產生，這個實驗就成為一個原型實驗（*prototypical experiment*）。受它啟發所產生的實驗就稱作衍生實驗（*descended experiment*）。原型實驗有歷史上的「原創的」、「最初的」（*original*）的意義。

想像幾種可能的衍生實驗。科學家可能受到某一原型實驗的啟發，接受其背景觀念；他也可能採納其實驗模型和工具，但用在相同或不同的對象上，並做細部調整以便配合他的不同理念，執行一個不同的落實，並觀察其實驗結果；或者他可能改良模型和工具以探測其新奇性和潛能，包括是否能適用於其他對象，產生不同的結果，以檢驗或形成不同的背景觀念。簡言之，一個實驗啟發或傳衍另一個實驗的途徑有三：背景觀念、實驗模型、實驗結果。

如果衍生實驗落實後的實際結果與預測結論不一致，也就表

示與理念不一致，如此再度引發調整實驗模型（例如改良實驗工具、重新理解實驗對象），或調整背景觀念的動機，導致重做一個新實驗的需求，這個新實驗是由於衍生實驗所引發的，它就做為「第二代的衍生實驗」。

如果一個實驗，除了執行的時空和某一原初實驗不同之外，它的背景觀念、實驗模型、物質落實均與原初實驗一模一樣，則我們說這是一種瑣碎的複製，它既無檢驗力，也不算是一個衍生實驗。例如在一個實驗產生穩定結果之前所從事的每一次重複實驗，都是為了保證實驗的可靠，它們的目的不在於檢驗第一次實驗，而是產生一個最好、最穩定的結果。所以它們是一種瑣碎的複製，沒有檢驗實驗和傳衍的意義（但不代表不重要）。因此，一個衍生實驗不能是原型實驗的瑣碎複製。一模一樣的實驗，談不上發展。

複製關係與傳衍關係不同。粗略地說，傳衍關係著眼在後繼實驗是否被原初實驗所啟發而執行，正如生物上的後代與親代間的關係；複製關係考慮的則是兩個實驗模型之間的結構相似性。複製關係有複製程度大小，由實驗模型的相似程度來判斷。很多複製性的實驗同時也是一個衍生實驗，它傳衍被複製者。例如培林和湯姆生對於赫茲的陰極射線之複製（第七章）。可是，也有很多衍生實驗和它的啟發實驗之間，完全談不上複製關係。例如法拉第重做其老師戴維的針塔實驗，由此形成磁力運轉的構想，因而導致磁力推動導線的實驗構想，雖然衍生自戴維，但它本身也進一步衍生了其它實驗，例如使載流導線在磁場中旋轉的實驗，試圖印證「磁力運轉」的想法。這是兩個非複製的實驗，它們分別有兩個截然不同的實驗工具，但都是出於法拉第的電磁統一和磁力線理念下的產物（第二章）。傳衍關係重視的是原實驗

的背景觀念（用來設計實驗模型）、所用的實驗模型的相似性，以及新奇的實驗結果（物質落實）之啟發，並不單單只考慮實驗模型之間的相似性。

既然傳衍關係的考察重點在於原型實驗的背景觀念、實驗模型與落實結果三種元素，讓我們把它們稱作基本傳衍項目（basic descending items），它們類似生物的性狀或特徵。正如生物的子代並不需要傳承親代的所有顯著特徵一般，實驗的傳衍也不需要三者聯合（conjunction）。甚至，衍生實驗在三個傳衍項目上均不同於原型實驗，也還是可以構成傳衍關係——因為三個傳衍項目存在許多變異，正如生物特徵有許多變異一般。

現在，問題是我們如何判斷每個基本的傳衍項目從原型實驗被傳衍到衍生實驗了？科學家的背景觀念各式各樣，必須針對相同主題範圍的背景觀念才有傳承的意義可言，例如我們很難說孟德爾的背景觀念傳衍自法拉第，因為他們研究的是截然不同的主題，有截然不同的範圍。針對相同的主題範圍，或者說某種現象，兩個實驗的背景觀念就二分法而言可以有一致和不一致（或相容和不相容）兩種，背景觀念不一致就表示不存在背景觀念的傳衍；同樣地，實驗結果也可以有一致與不一致兩種，因此實驗結果不一致也表示不存在實驗結果的傳衍。

實驗模型傳衍的判斷較複雜。第七章已論及，實驗模型又可分成目標（含問題和對象）、手段（裝置、操作和控制）、預期（蒐集與預測）三個構成項目（共包含七個次項目），每個項目都可以有程度性的相似判斷，例如三個相似值的計算總合，使得每一組原型實驗和傳衍實驗之間的實驗模型都有相似性程度的差異，如此一來，如何判斷實驗模型的整體是相似或不相似呢？一

個可能的方式是建立相似程度的量尺，由 10 級到 0 級，10 級相似性是一模一樣，即完全相同（例如瑣碎複製的實驗），0 級是完全不同。相似度在 5 級以上可以列入相似的一類，相似度在 5 級以下則列入不相似的一類。如此可以勉強將實驗模型區分成相似與不相似兩大類。但我們應該強調的是，這樣的區分只是為了作出一個傳衍項目的初步考察，而不是強硬地要區分兩個實驗模型究竟相似或不相似。以生物遺傳來作比喻，如同生物的體色會遺傳給下一代，子代的體色通常相似於親代，但是子代不同成員間與親代的相似程度，顯然是不同的（存在著變異），但是，我們仍然可以說它們的體色是相似的、同類的。所以，儘管不同的衍生實驗模型與原型實驗模型的相似性存在著差異，它們還是有可能被歸為同類（大致相似）或是不同類（大致不相似）。如果衍生實驗與原實驗的實驗模型大致不相似，那就表示它不是兩個實驗之間的傳衍項目。

如此三個基本傳衍項目可以視為三個變項，每個變項有一致和不一致或相似和不相似兩種對比特徵，如此可產生八種組合。也就是說，傳衍關係可以初步分成下列八種類型：⁷

- (1) 背景觀念一致，相似實驗模型，落實結果一致（BMC）。
- (2) 背景觀念一致，相似實驗模型，落實結果不一致（BM）。
- (3) 背景觀念一致，實驗模型不相似，落實結果一致（BC）。
- (4) 背景觀念一致，實驗模型不相似，落實結果不一致（B）。
- (5) 背景觀念不一致，相似實驗模型，落實結果一致（MC）。

7 其中的編號 B 表示「背景觀念」，M 表示實驗模型，C 表示落實結果。BMC 表示背景觀念一致、實驗模型相似、落實結果一致。以此類推。最後三者全不一致者以編號 X 表示。

- (6) 背景觀念不一致，相似實驗模型，落實結果不一致(M)。
- (7) 背景觀念不一致，實驗模型不相似，落實結果一致(C)。
- (8) 背景觀念不一致，實驗模型不相似，落實結果不一致(X)。

進一步說明如下：原型實驗和衍生實驗的背景觀念，就是實驗設計者的背景觀念，如同前文論述，背景觀念有兩個功能：設計實驗模型（決定使用什麼實驗工具或加以改良是其中一部分）與說明（或解釋）實驗結果。如此一來，我們有兩種結果：「實驗落實後的結果」（未經解釋的結果）與「經（背景觀念）解釋後的結果」。如何理解這兩種結果？如第二章曾論證，背景觀念不一致的科學家，也有可能觀察到一致的實驗結果（上述的類型5與7），因為他們有相同或極相似的經驗模型，但當他們逆推其背後的原因時，可能會產生不一致的高層理論模型——換言之，他們的背景觀念不一致。反過來說，背景觀念一致的科學家，也有可能觀察到不一致的落實結果（上述的類型2與4）。在類型4的情況，有可能是因為他們採用不相似的實驗工具，可以把不一致歸給實驗工具，換言之，實驗工具造成觀察結果的不一致，但並不妨礙「經解釋後的結果」是一致的。在類型2的情況，他們有相似的實驗模型，卻得到不一致的結果，此時有三種可能：一是將不一致的觀察結果，解釋為一致的，將問題歸諸於某個外來的、未經控制的因素；另一種可能是暫時擱置理論上的疑惑，從事進一步實驗來確認；第三種可能性是調整或改變背景觀念，在此種情況中，實驗前與實驗後的背景觀念不一樣——亦即類型2被轉變成類型6。當然，這八種組合是基本類型，在實際的科學實驗史上，必定存在許許多多變形——特別是實驗模型的相似性到不相似之間是一個光譜，是程度性的，使得傳衍實驗會產生許多變異，猶如生物傳衍上相同親代的子嗣會有許多變異存在。

由於實驗的傳佈，衍生實驗與原型實驗的關係也可根據傳衍的直接性而初分成直接傳衍（direct descent）與間接傳衍（indirect descent）。如果 A 實驗啟發 B 實驗，則 B 實驗是 A 實驗的直接傳衍；如果 B 實驗進一步啟發 C 實驗，則我們說 C 實驗是 A 實驗的間接傳衍。當然 C 實驗是 B 實驗的直接傳衍。換言之，兩個具有直接傳衍關係的實驗，同時也具有啟發關係。直接傳衍可以指認啟發；啟發定義了直接傳衍。然而，我們可能想進一步問：在什麼歷史條件下或者在什麼歷史情境或脈絡下，一個實驗啟發了另一個實驗？在什麼意義下，我們可以說一個實驗是被另一個實驗所啟發？如果 A 實驗啟發了 B 實驗，則第一個條件是：（C1）執行 B 實驗的科學家曾經吸收 A 實驗報告之後執行了 B 實驗；要不是有親身的接觸和溝通（或為師徒，或聽公開演講，或者曾在學術場合交換意見），就是透過公開學術的發表管道（期刊、書籍等）。（C2）滿足了 C1 條件之後，我們應該考察 B 實驗的背景觀念、實驗模型、落實結果，是否有任一項目與 A 實驗一致或相似？只要任一項目一致或相似，則可判斷 B 實驗確實受到 A 實驗的啟發；（C3）滿足了 C1 條件但是不滿足 C2 條件時（也就是上述第八種次類型），我們說 B 實驗受到 A 實驗啟發是因為它們企圖解決相同的理論或概念問題，或者 B 實驗（背景觀念、實驗模型、落實結果均與 A 實驗不一致）企圖解決 A 實驗產生的新問題。

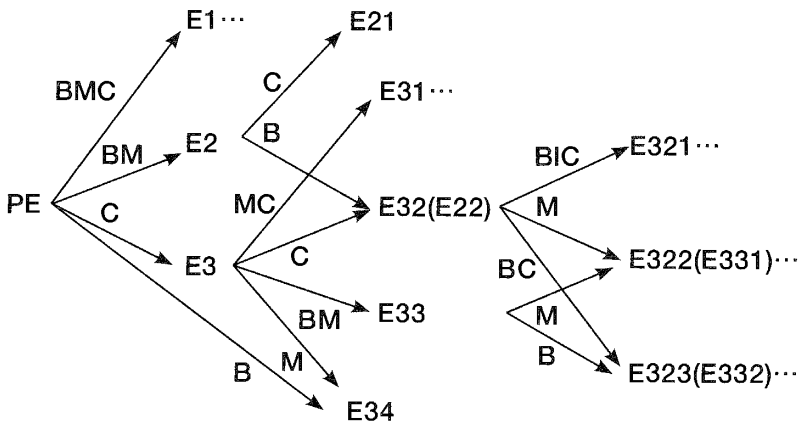
一般而言，歷史學家在討論實驗間的啟發關係時，著重於揭示 C1 條件；而科學哲學家著重於 C2 和 C3 條件。可是，不管是歷史學家或科學哲學家，在指認兩個實驗是啟發或直接傳衍關係時，他們都必須同時考慮這三項條件。歷史學家的工作較重視 C1 條件可以幫助科學哲學家辨識兩個實驗究竟是直接傳衍或間

接傳衍；而科學哲學家對於 C2 和 C3 條件的考察，可以幫助歷史學家確認兩位歷史上曾互相接觸的實驗家，他們執行的相繼實驗是否確實有啟發關係。因為 B 實驗家曾經吸收 A 實驗報告不必然表示 B 實驗就一定被 A 實驗所啟發。

實驗是否使用相似工具，在傳衍關係的考察中，通常扮演重要角色。科學史家如蓋利森和任伯格相當重視工具。相似的也可以定義為「同類的」，如此一來，「如何分類實驗工具」就變成必須面對的問題。我們得回答：由什麼標準，我們可以判斷實驗工具是同類的？在科學歷史上，實驗工具不斷地在改變演化，我們不太可能為實驗工具找到一個本質性的分類標準，我們只能採取家族相似的演化觀念。亦即同類的實驗工具是家族相似的，有其原型、典型的成員，它們做為決定「一類」的參考範例，但是同類成員與它們的相似有程度性的差異，因此有非典型成員，也有周邊的成員，但都屬於同一家族（同類）的成員。在這裡，我們要進一步採取歷史發展的觀點，來看待這個家族相似的結構，亦即原型、典型往往也是在歷史上較早出現、被視為典範、被模倣的成員。可是，還是有比原型更早誕生、啟發原型、但並不被視為典範的成員，我們稱作「胚型」或「雛型」，它們是尚未成熟的成員。這意謂著原型是最早的成熟型的成員。本於原型，實驗科學家和工具科學家會不斷地改良工具，新的工具改變了舊工具的某一部分，慢慢地，差異累積越多，越晚產生的工具與原型的差異越大，成為周邊的成員，最後有可能演變成全新種類的工具。總而言之，我們對實驗工具的分類，乃是基於結合歷史發展、家族相似與原型等概念而構成的分類理論。

二、實驗發展的輻射模型

實驗發展的「輻射模型」是建立在「原型實驗」和「衍生實驗」的基本傳衍關係上。一個實驗之所以能成為原型實驗，意謂有新的實驗被它所啟發，或者由它而衍生新的實驗。但是，這個新的實驗並不是循著一個固定的關係或者一條固定的路徑而產生，相反地，正因實驗有一個典型的結構，有背景觀念、實驗對象和工具、物質落實三個主要的傳衍項目，每個項目都可能成為構思與設計新實驗的契機，成為新實驗發展的途徑或管道。各種途徑和管道形成衍生實驗和原型實驗間的不同傳衍關係。我們已在上文抽象分析得到：原型實驗與衍生實驗可以有八種基本關係。如此一來，一個原型實驗可以沿著各種管道或關係而發展出一個新實驗，以做為衍生實驗；進一步，該衍生實驗也可以進一步沿著各種管道或關係而發展或衍生出第三代的實驗。如此不斷地延續下去。這樣的發展將呈現出輻射狀，因此我們也說它是一種播散。其抽象圖示如下。



其中，PE 是第一個原型實驗，E1、E2、E3 代表由 PE 沿著 BMC、BM、C 三種關係衍生出來的實驗；E1、E2、E3 都可以繼續衍生新實驗，上圖中所示為 E3 沿著另幾種關係而衍生 E31、E32、E33、E34 等。每個第三代的實驗都有可能再衍生第四代的實驗。如從 E32 衍生 E321、E322、E323 等。有幾點值得注意的是，首先，這個圖只是一個簡化抽象的示意圖，歷史上一個具體的原型實驗，其沿著哪幾種關係而衍生出哪幾種新實驗乃是變動不定的，但是都可以參考上述八種關係來重建與模釋。其次，建立一個實驗的輻射發展，要同時考察直接傳衍與間接傳衍，以建構一個實驗歷史的傳衍系譜。換言之，一個實驗的輻射發展系譜不只是一個根據分類原則而來的分類系統而已。事實上，當我們納入實驗的世代傳衍時，我們考察的就已不是單純的實驗分類系統。第三，一個實驗不一定傳衍（不管直接或間接）自單一個實驗，它有可能傳衍自兩個以上的實驗。它也可能「直接傳衍」自一個實驗，而「間接傳衍」自另一個實驗。

根據這個模型，我們就可以將歷史上的實際科學實驗，重建成一個有秩序的輻射發展圖像。每個階段或每個主題的實驗發展輻射圖像，同時也表徵了實驗在歷史上的發展系譜。因此，一個「輻射發展模型」的研究，也在於把歷史上的各種實驗重建成一幅輻射圖像。在建構各種實驗發展的輻射圖像時，我們應該同時交代實驗間的發展路徑（是沿著背景觀念、實驗模型或實驗結果在發展的？）換言之，要使用 BMC、BM、M……等類型標記來清楚地標示實驗的傳衍項目與發展的路徑，進而我們也要使用「直接傳衍 DD」和「間接傳衍 ID」的標記來標示實驗間的啟發和傳衍關係。

三、輻射發展模型的歷史與哲學意義

現在，我們可能想問，這樣一個輻射發展模型，除了把各種實驗加以分類之外，還有什麼歷史和哲學意義？首先，這個模型不是一個單純地根據實驗間的相似和差異來分類的階層分類系統，它考慮的是歷史上的實際啟發與傳衍關係，換言之，它結合了實驗的分類、演化與家族系譜的觀念。其次，它建立一個實驗行為的結構，揭示演化發展的基本路徑是背景觀念、實驗模型與落實結果的一致或不一致，這些基本路徑為實驗發展提供了某種可理解的、秩序化的規律或模式。第三，基本傳衍項目建議了實驗變異（variation in experiments）的基本來源，也使得談論實驗的獨立發展成為可能。亦即後繼實驗為什麼不同於其先行實驗？其來源是什麼？當然，實驗變異的來源非常多，例如背景觀念中的實驗方法，還有實驗模型中的操作程式、控制方式等，都會產生許多變型。可是，上述的三個項目是基本的，可以做為我們探討實驗變異的參考點。第四，這樣的實驗發展模式也蘊涵了另一種科學史的寫作模式，科學史家可以透過傳衍關係來重新安排書寫架構，並展示其間的傳衍關係，而不必只是依靠時間先後順序，或階段性的分期寫作。第五，輻射發展模型蘊涵了一個實驗演化與發展的動力學——一個同時涉及背景環境、個人思想與行為結果的動力學。打個比方，正如天擇是生物物種演化的動力，輻射模型主張科學家落實背景觀念的動機，以及落實過程中產生背景、個人思想與行為結果間的不配合或不諧調，乃是實驗發展與演化的動力——這個動力潛藏在實驗行為的結構中。完整的討論見第十二章。

肆、近代電學工具的實驗

如何把上文的輻射「運動」模式應用到近代電學上？本章的短短篇幅當然不可能含蓋全部的電學實驗史。不過，起電機與萊頓瓶特別具有代表性；起電機例示實驗工具的變異；萊頓瓶例示探測工具潛能的實驗之發展。兩者的歷史背景要回溯到早期的靜電吸引現象。

希臘人已經觀察到在乾燥的天候下，以羊毛織物摩擦琥珀之後，琥珀會吸引秣料、木屑一類輕微的小事物（Electro- 這個字根即是來自希臘文的琥珀）。這種現象和磁石吸引鐵、重物掉落同被視為超距作用，毋需接觸即可產生運動。在十七世紀之前，磁吸引和電吸引不僅被相提並論，而且往往被看成是同一種現象。一些中世紀經院哲學家把它們看成是不可說明的玄奧性質，赫密斯主義哲學家（Hermetic philosophers）則以最廣泛的同感（sympathy）和反感（antipathy）來說明磁石對鐵的吸引和磁石彼此間的排斥（Heilbron 1979: 19-30）。在這樣的思想氣氛下，如果一個人問：「為什麼磁石能吸引鐵？」答案就是「因為磁石具有磁性」。如果要進一步問：「磁性又是什麼？」答案只能是「磁石的天性」或「磁石之間的同感作用」。對於十七世紀的新哲學家來說，這樣的答案當然不能令人滿意。

十六、十七世紀之交，第一位對磁與電的實驗研究作出具體貢獻的人乃是科學家兼醫生的吉伯特，他往往也被視為培根科學的實踐者（事實上，他的工作比培根的實驗哲學宣言要早二、三十年）。吉伯特於1600年出版《論磁石、磁體與地球這大磁體：一個新生理學》，⁸ 一般被科學史家認為是現代磁學與電學的

8 拉丁書名為 *De Magnete Mageticisque Corporibus et de Magno Magnete Tellure*

開山之作。《論磁石》主要討論磁，然而吉伯特在第二冊第二章中花了不少篇幅來分辨磁與電的差異，並報告他對電的一些實驗結果——這也是近代電學研究的開端。正是因吉伯特區分與澄清磁與電的差異，磁學和電學的深入研究才能展開。

在某些方面，吉伯特仍然保有亞氏思想的餘緒，他認為電吸作用來自質料，而磁作用來自形式（Gilbert 1952[1600]: 30）。⁹ 又因為磁具有指向性，所以吉伯特認為磁是一種活物（animate），地磁則是地球的一種精神力或磁魂（Gilbert 1952[1600]: 104-105; Westfall, 1977: 25-28）。至於電則是純物質的，乃是電物體（electrics）在其表面散發出一種水樣電素（watery effluvium），類似濕氣黏住輕物體般地吸引輕物體。¹⁰ 可是電吸引作用當然不

Physiologia Nova。科學史家 Westfall 英譯為 *On the Magnet, Magnetic Bodies Also, and on the Great Magnet the Earth, a New Physiology*。本文引證使用芝加哥大學出版社出版的 *Great Books of Western World* 系列叢書第 26 冊，書名作 *On the Loadstone and Magnetic Bodies and on the Great Magnet the Earth*，由 Mottelay 譯自拉丁文。關於 physiology 這字眼，現代通譯成（理解成）「生理學」，即探討生物體的生理作用之學問。這個字的字根來自希臘文 *physis*，即 nature 之意。physiology 就其構字本義，乃是指探討「物性（包括無生物和生物）的邏輯」。physics、physician 都來自相同的字根。physics 有它特別的歷史根源與流變，後被用於傾向研究「無生物的天性」的學問；而 physiology 則傾向於研究生物的天性。physician 則是精通 physiology 的專家。吉伯特選用這個字，自然是因為他把「磁」理解成一種「生命力」。

- 9 嚴格說來，吉伯特認為磁不是一種吸引作用（attraction），吸引作用是物質性的，電吸作用為其典型（當時尚未發現電斥力）。磁有吸引也有排斥，吉伯特以 coition（今天的字義是「性交」，吉伯特取其「交互作用」的意義）來稱呼磁作用。可是，當時人們慣於以 attraction 來稱呼磁吸引。科學吉伯特對磁吸引的觀點保有生機論的色彩，在實證主義興起後被視為形上學，因此二十世紀早期科學史家沃爾夫（Wolf 1999 [1938]）幾乎完全沒有提到吉伯特對於磁本性的觀點。
- 10 吉伯特將電物質的「水樣電素」和地球的大氣作類比。水樣電素吸引輕物，猶如地球大氣吸引重物。地球周遭的大氣（air）就是地球所散發的「氤氳」（effluvium），此種氤氳作用「把重物體帶回」地表（Gilbert 1952[1600]: 32）。

同於濕氣的吸引作用，因為濕氣會破壞電吸引——濕琥珀無法吸引輕物體。進一步，吉伯特實驗發現不只是琥珀或硬臘等少數幾種物質才有電作用，事實上，石塊、玻璃、鑽石、翡翠、寶石等許多東西都是電物體。總而言之，區分電和磁、以水樣電素來說明電作用的原因、辨識出許多物體都是電物體這三點，乃是吉伯特對電研究的重要貢獻。

吉伯特之後，電學進展緩慢，整個十七世紀一百年間，只有少量的電學研究與實驗。十八世紀上半葉雖有較多電作用的實驗，但一直到十八世紀上半葉為止整整一百五十年間，電學一直不是科學家的焦點。按孔恩在《科學革命的結構》中的觀點，十八世紀中葉的富蘭克林（Benjamin Franklin, 1706-1790）的電流體理論成為電學典範之後，電科學才算是真正誕生。雖然本書不接受這個觀點，但是，電學研究從此突飛猛進也是史實。一直到十九世紀中葉之前，電與磁統一，進而與光統一。這不到一百年的時間，培根科學發光發亮。再過不到五十年，二十世紀來臨之前，電力已成為最廣泛使用、最強大的文明力量。

從吉伯特的《論磁石》經歐斯特、必歐、法拉第等人的電磁現象建構，再到馬克斯威爾的電磁統一理論，共約兩百七十年，電學和電磁學研究大致是實驗先於理論，是實驗創造學科並推動學科的進展。這段期間又可分成兩期，首先是 1600 年到 1820 年歐斯特看到電流的磁作用為止，為電學時期；1820 年之後為電磁學時期。電學時期又可分成早期的靜電時期（約 1600 到 1740 年間）與晚期的電流時期（1740 到 1820 年間）。靜電時期的實驗發展又可分成四階段：從摩擦生電到起電機、起電機與導電現象實驗的發展、靜電的吸引與排斥、萊頓瓶的發明與電的儲存。起電機的實驗乃是電學的開端。

一、起電機的變異

繼摩擦生電之後，電學實驗的焦點無疑是導電現象與排斥現象的發現，與此二發現同步進展的是起電機的發明與改良。起電機能產生比摩擦生電更強大的電力，有助於電學家們執行種種實驗與探測，於是我們很快地看到起電機被用來執行導電與排斥實驗。萊頓瓶發明之後，這個裝置也被納入起電機的構造中。但是，不管是導電與排斥實驗或起電機，都必須追溯到十七世紀的蓋瑞克。

蓋瑞克不僅是氣壓學上著名的馬德堡球 (Magdeburg sphere) 的發明人，也比波以爾更早建構空氣泵浦，並建構了最早的、雛形的起電工具——一個具有中軸的硫磺球。可是，蓋瑞克的背景觀念有著濃厚的生機論色彩，他建造硫磺球的目的，主要不是為了產生電，而是想模擬地球的種種德性 (virtues)。因為蓋瑞克相信地球擁有行星魂或行星力 (planetary souls or powers)，它們是一種地球德性 (terrestrial virtues)，能對物體產生超距作用。這些德性是保守性 (conservative，即重性)、排斥性 (expulsive，使火和月球保持在一定的距離上)、指向性 (directive，引導地球公轉)、自旋性 (gyrational，使地球自轉)、衝性 (impulsive，即慣性)、發光性、發聲性、發熱性 (*virtues luciens, soni, calefaciens*，以上的光、聲和熱均為拉丁文) (Heilbron 1979: 215)。在這種背景觀念下，蓋瑞克使用一個球形玻璃瓶，注滿熱硫磺，冷卻後打破玻璃而得到一個硫磺球，他相信它是一個具體而微的小地球，只要摩擦它，一些德性就會出現。最明顯的證據是它會吸引一些輕物體附著在其表面上，蓋瑞克相信這是地球的保守性 (換言之，蓋瑞克把地球吸引地面物體的能力隱然地等同於靜電力)。其它種種德性，蓋瑞克也一一

展示。其中之一包括受激的硫磺球可以使一根羽毛懸浮在其上方，隨著硫磺球的移動而移動，這一操作導致日後發現了排斥電性。蓋瑞克還拿了一根亞麻線，使其一端接觸硫磺球，結果發現另一端可以吸引秣料，這是最原始的導電實驗（Heilbron 1979: 216-218; Wolf 1999[1938]: 304）。¹¹ 可是，基於蓋瑞克的背景觀念，他執行的實在是地球德性實驗。

英國的波以爾在得知蓋瑞克的實驗後，也製作一個硫磺球，並做了幾個類似的實驗。但是波以爾是微粒子哲學的支持者，他在這個實驗上的背景觀念與蓋瑞克相當不同，他並不認為硫磺球實驗的目的是在模擬地球的德性，他相信硫磺球像一種電物體。摩擦硫磺球能吸引輕物，是因為硫磺球表面會產生一種膠狀電素（glutinous effluvium）（Wolf 1999[1938]: 305; Priestley 1966[1755]: 9）。如此看來，波以爾是在不同的背景觀念下，複製了蓋瑞克的實驗。在歐洲大陸，深受笛卡兒影響的惠更斯，也製作了硫磺球，卻沒有成功，後來他改用琥珀球做實驗。惠更斯相信琥珀球吸引輕物，是因為看不見的電渦漩把物體帶到琥珀；琥珀球排斥羽毛，是因為兩股渦漩互相排斥。惠更斯也是在不同的背景觀念下複製蓋瑞克的實驗，他的實驗模型與蓋瑞克的實驗模型之差距就更大了。

11 其中還有一個重要的現象是「電光現象」，蓋瑞克以手指接近受激的硫磺球，則在暗室中會發出光點，也會有劈啪聲。波以爾和豪斯比也曾在低壓狀態下摩擦生電，看到輝光。豪斯比在其起電機的中軸裝置兩個玻璃球，一個在另一個內部，利用空氣泵浦降低內部玻璃球的氣壓，摩擦外球外殼之後，會看到內球發出輝光。電與光的關係為何？後來電學家一直想努力實驗和說明這種電光現象，可是要到十九世紀下半葉才有理論上的統一，並導致陰極射線的研究與實驗。限於篇幅與重點，本文將不討論「電光現象」。

繼給蓋瑞克和波以爾的硫磺球之後，英國皇家學會的豪斯比在 1706 年發明第一臺正式的原型起電機。他以玻璃球代替給蓋瑞克的硫磺球，而且使用皮帶、轉輪和曲柄來帶動玻璃球的旋轉，再手持織物接觸摩擦轉動的玻璃球，如此可產生更大的電力效應（見圖 10-1）。

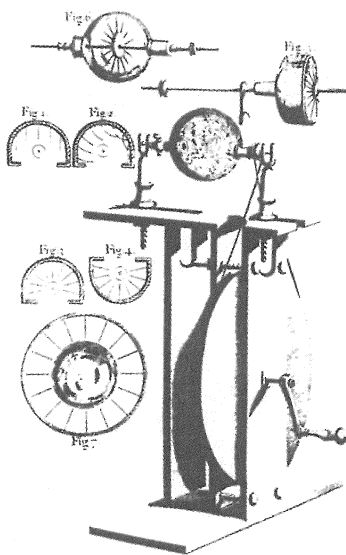


圖 10-1 豪斯比的原型起電機與電排斥的絲線實驗
（來源：Hauksbee 1709，轉引自 Heilbron 1979: 232）

後來歐洲大陸的電學家持續改良豪斯比的起電機，製造多樣外型，但其基本結構都是相近的。根據十八世紀著名的實驗科學家普里斯利（Joseph Priestley 1966 [1767]）的電學史記載，¹² 我

12 普里斯利是十八世紀法國有名的實驗科學家。他加熱砵砂而得到氧氣，但他相信燃素理論。他也做了許多電學實驗，對靜電吸引的量測也有貢獻。他寫了一本電學的歷史史著，幾乎可以說是第一本第一手的電學實驗科學史著。普里斯

們可以把起電機的演變分成三個階段：

(1) 原型階段：必須手持摩擦的織物，包括豪斯比和德國的豪森 (C. A. Hausen) (見圖 10-2) 與法國電學家諾雷 (Jean Antoine Nollet, 1700-1770) 用來執行導電實驗的起電機 (見圖 10-3)。

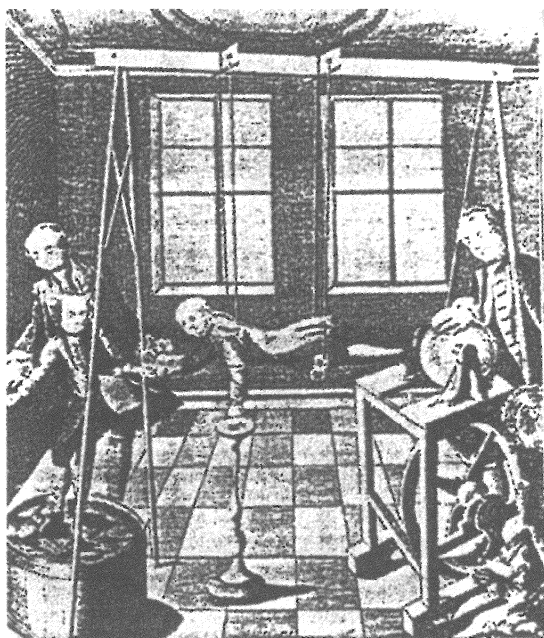


圖 10-2 德國豪森的起電機，以鞋底為摩擦片，並以人體為導電棒。
(來源：C. A. Hausen 1743，轉引自 Wolf 1999 [1938]: Illustr. 96)

利所描述的起電機和蒐集的圖片，主要展示的是實驗裝置 (工具) 的演變。但實驗裝置是實驗模型的結構，也是實驗行為結構的一部分，裝置的演變同時也意味了實驗的演變。

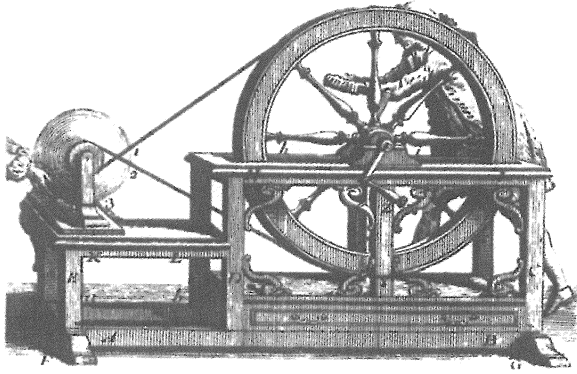


圖 10-3 諾雷的大型起電機
(來源：Nollet 1750，轉引自 Heilbron 1979: 266)

(2) 固定摩擦片的改良階段：把摩擦玻璃球的摩擦布片固定在機器座臺上，實驗家不再需要手持摩擦布；如威爾森博士 (Dr. Wilson) 的起電機。華生博士 (Dr. William Watson) 製造的起電機甚至可同時驅動四個玻璃球來發電 (見圖 10-4)。

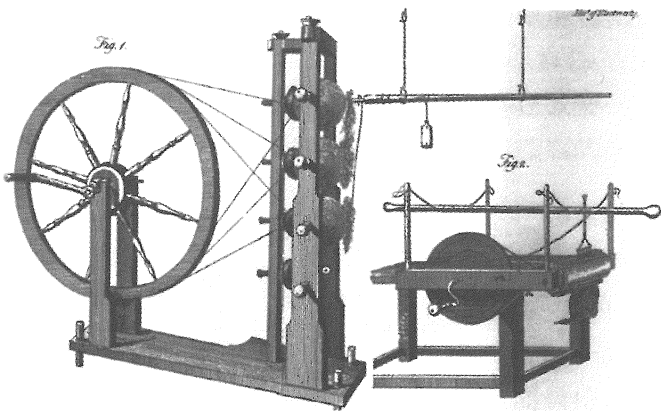


圖 10-4 左圖為華生博士的四玻璃球起電機；
右圖為威爾森博士的起電機。
(來源：Priestley 1966[1767]: 272-273, Plate V.)

(3) 整合萊頓瓶的起電機：起電機被進一步地小型化、桌上化，使實驗家可以獨立執行實驗。此時為 1760 年代之後，萊頓瓶早已發明，而且普遍為人所所用。所以，起電機的設計者在第二階段的改良之基礎上，進一步整合了兩個裝置，把摩擦玻璃球或玻璃瓶所產生的電，透過導體而引入萊頓瓶。如瑞德博士 (Dr. Read) 和普里斯利自己的起電機 (見圖 10-5 和 10-6)。

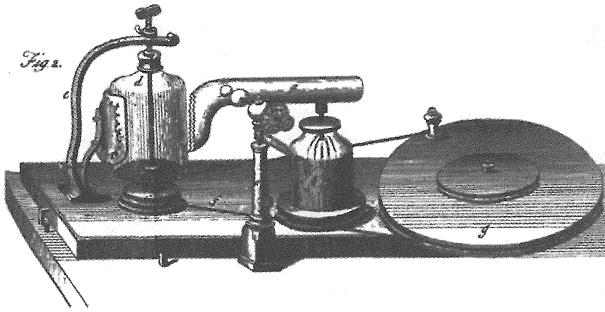


圖 10-5 瑞德博士的起電機
(來源：Priestley 1900[1767]: 304-305, fig. 2)

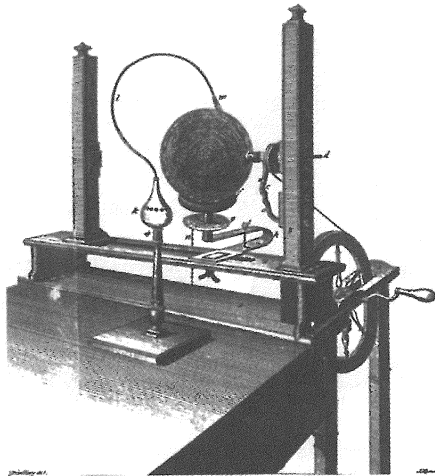
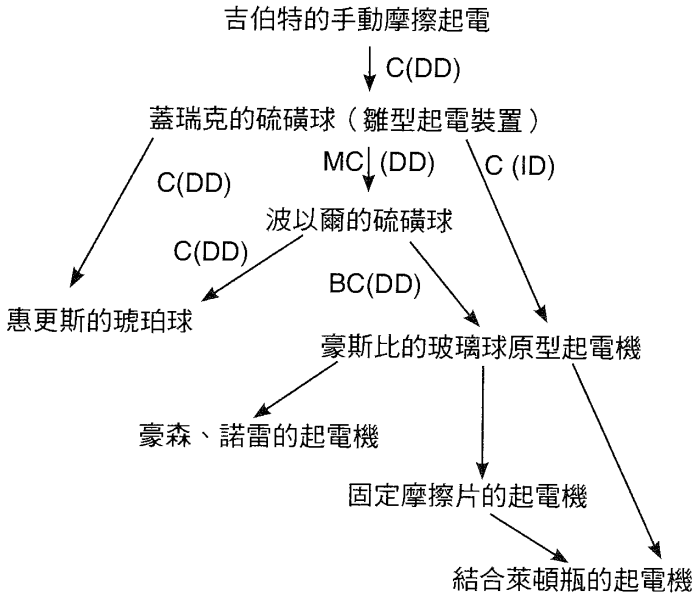


圖 10-6 普里斯利的起電機
(來源：Priestley 1900[1767]: 336-337)

讓我們把起電裝置的演變與傳衍關係整理如下：



其中，從吉伯特的摩擦起電到豪斯比的原型起電機，主要是實驗摩擦生電以產生吸引現象的實驗，所以實驗結果都是一致的。但是工具與關於此現象的背景觀念一直在改變。豪斯比的原型起電機發明之後，從豪森、諾雷到結合萊頓瓶的起電機例示了工具的演變與改良。

從蓋瑞克的硫磺球到普里斯利的起電機，大約有一百年的時間。依孔恩的觀點看來，這是電學的「前典範時期」，科學家們對於電的本質眾說紛云，幾乎每個人都有自己的一套解釋。依蓋利森的觀點來看，他們卻共用相同的工具，而且持續到第一個電學典範（富蘭克林的電流體理論）建立之後。換言之，工具的持

續可以跨越典範的變遷。不過，我們想指出，這並不意味工具不會演變和改良。上文系譜很明顯地展示，以「家族相似的輻射模式」來理解工具的改良和演變是一個更好的方式。

二、萊頓瓶潛能的實驗探測

萊頓瓶不是一人一時一地的發明。大約在 1745 到 1746 年間，由荷蘭萊頓大學出身的幾位學者，各自獨立地發明了它。最早一位是曾經在萊頓大學讀書的普魯士人克萊斯特（Ewald Juergen von Kleist, 1700-1748）。克萊斯特認為帶電物體引發的火花強度，應與受電化的物質量成正比，所以他把一根連結導體的導線插入一個絕緣的、充滿水的玻璃瓶中，對他而言，這只是增加導體質量的方便方法。只要他把玻璃瓶接地，他就能產生一個萊頓瓶，但他的目的在於增強火花，所以他認為必須遵守杜費規則。¹³

克萊斯特稍微改變一下裝置，他把一根釘子插在裝水的窄瓶上，想引起火花來點燃酒精。他在瓶中加入一點酒精，把電引入釘子，移除起電機後，發現釘子上會產生火焰。克萊斯特想到他可以因此製造一個手提的點火器，所以嘗試手持瓶子到另一房間，再以手指接觸鐵釘來引發火花。令他驚訝的是，一旦把瓶子放在桌上，就無法產生火花，只有拿在手中，才可以產生火花。

13 法國電學家杜費（Charles François de Cisternay Dufay, 1698-1739）是正式確認「電物體」和「非電物體」區分的科學家之一，他繼承了英國電學家葛雷的觀念，也做了許多延續葛雷貢獻的實驗。他發現再怎麼摩擦金屬都無法使金屬（或非電物體）帶電，但金屬（非電物體）卻可以在接觸帶電物質後擁有強大的電性——可是，要使金屬擁有強大電性，必須使用沒有被激發電性的電物體來隔離才成。這樣的經驗被視為一條規則，又稱作「杜費規則」。許多電學家都確認此規則，直到萊頓瓶的發明，偶然地打破了這條規則。

後來克萊斯特更試著手握瓶子，在電化的同時用手指接觸鐵釘，卻感受到強烈的「電擊」。可是，克萊斯特並未認知這發現的重要性，也不能掌握實驗的正確方向——他的焦點都放在如何使「點火器」運作之上（Heilbron 1979: 309-312）。

克萊斯特把他的實驗告訴一些朋友，傳到葛拉特（Daniel Galath, 1708-1767）和溫克勒（J. H. Winkler, 1703-1770）耳中，他們改良了克萊斯特的實驗。葛拉特安排二十人手牽手，每個人都同時感受到電擊。其中一個實驗是要一些朋友，每人都拿一個克萊斯特瓶，同時手持一根短線，另一手摸著起電機導體；另一人則同時伸手握住每根短線，再用另一手接觸導體，結果感受到更強大的電擊。溫克勒則把一根鏈纏繞在一些克萊斯特瓶外，通到一張可導電的桌上，再從桌上伸出一根金屬棍，與起電機的導體形成一個小間隙，稱作「火花溝」（sparks gap）。當轉動起電機時，同時產生火花與巨響（Wolf 1999 [1938]: 222）。

約從 1742 年起，萊頓大學的穆金布洛克（Pieter van Musschenbroek, 1692-1761）企圖從帶電的水中引發火花。穆金布洛克是專業的電學家，自然不會忘掉玻璃瓶下的絕緣體。他重複著克萊斯特所研究的東西：火花的強度。偶然地，一位喜好新奇玩意的律師康紐烏斯（Andreas Canaeus），在 1746 年時拜訪穆金布洛克的實驗室之後，著迷於水生火的點子。他在家中重做此實驗，但是由於不是專業的電學家，也不知道什麼「杜費規則」，他很自然地手持瓶子，在充電時，用另一手接觸鐵釘——就把溫和的火花產生器轉變成可怕的萊頓瓶。

穆金布洛克在知道康紐烏斯的報告之後，很快地重做實驗，心有餘悸地在寫給巴黎學院（Paris Academy）的黎穆爾（René

Réaumur, 1683-1757) 的信中，記下他的可怕經驗。他的描述十分專業精確，正式標誌了萊頓瓶的誕生（見圖 10-7）。

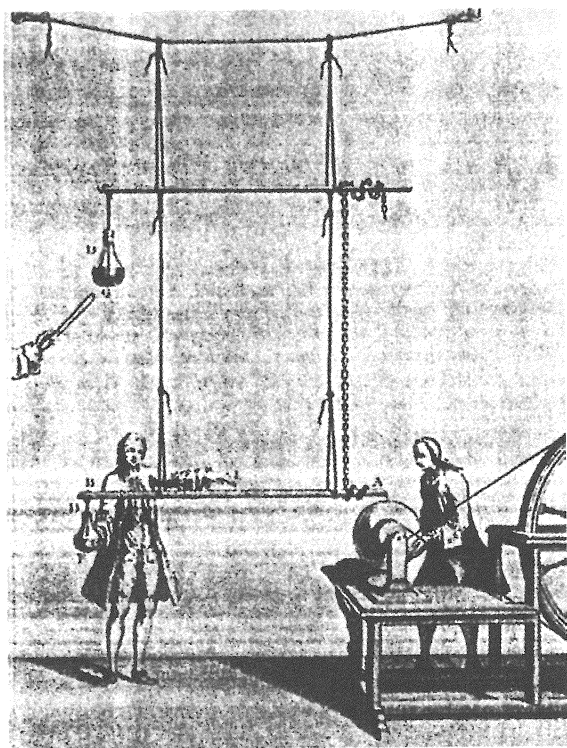


圖 10-7 穆金布洛克的萊頓瓶實驗
(引自 Wolf 1999 [1938]: Illustr. 105)

諾雷從黎穆爾處得知穆金布洛克的實驗，立即印證該實驗的效應，也正是諾雷，把產生這種效應的瓶子稱作「萊頓瓶」。萊頓瓶對當時流行的各種電本質的理論構成了挑戰。因為如果萊頓瓶只是普通的導體，為何會產生前所未見的電擊震撼？比起電機所產生的觸電感受更強得多。電學家也很快地觀察到充電之後的

萊頓瓶，經過一段時日仍然可以產生觸電的效應。為何萊頓瓶未經摩擦和導電，就能發出電力的效果？如果電是「流動的電素」，它究竟如何被保存在萊頓瓶內？不會流失散逸？萊頓瓶為什麼又違反當時大家公認的杜費規則呢？即不以絕緣體隔離瓶身，反而使瓶底接通地面，卻能產生強大的電力？（讀者可以輕易想到這是個人經驗拒絕「社群成規」的一個例證。）

萊頓瓶也對諾雷的「噴出流」和「吸入流」理論構成挑戰：¹⁴ 要如何使用這個理論來說明萊頓瓶的強大電力呢？諾雷假設當實驗者手持萊頓瓶時，萊頓瓶表面有一股「噴出流」，從地面通過手持者的身體而噴入地面，反過來，有一股注入流從身體注入萊頓瓶。另一方面，手指接觸導體時，導體的噴出流注入身體，而身體有注入流注入導體。身體兩端同時有電素的噴出和注入，以致產生強大的震撼感覺。但是，為何萊頓瓶能保存電性？此時電性只是注入而不噴出嗎？裝水的玻璃瓶究竟有何特殊之處，能產生保存電性的效果？如果以絕緣體來隔離萊頓瓶時，以手指碰觸萊頓瓶口的鐵釘能產生火花、卻不會觸電？凡此種種，都有諾雷的理論難以交代之處。最後，諾雷傾向於把萊頓瓶的現象看成是個例外，是「自成一種」的現象（Heilbron 1979: 312-316）。

儘管理論上有所困難，實驗上有受到電擊的恐懼感，電學家仍努力從事種種實驗以探索萊頓瓶的奧祕。這些實驗大致可分為

14 諾雷肯定一種環繞在帶電物體周遭的「電氣」（electrical atmosphere）之存在，正如地球的大氣一般。他進一步假設這種「大氣」是在電微粒受摩擦後，從表面的孔隙中噴出，形成圓錐狀的「噴出流」（effluent flux）。但電微粒瀰漫在環境中，為了補充電物體內的損失，必須從環境中吸入電微粒，從而形成「注入流」（affluent flux），其方向與「噴出流」相反，它是由外朝向電物體表面的孔隙快速直線注入。「噴出流」呈圓錐狀發散而出，「注入流」卻是平行注入。

四類：瓶的性質、能產生電擊的迴路有多大、電擊的傳播和傳播速度、如何弱化萊頓瓶的電擊效應。關於第一點，一些電學家確認了玻璃瓶壁越薄、電擊的效果越大。關於第二點，電學家曾使上百人感受到電擊；也試驗並聯和串聯萊頓瓶的效果。關於第三點，電學家想以碰觸導體產生火花和感受電擊的時間差來判斷傳播的速度，發現根本沒有時間差，他們只能結論電性傳播的速度太快了。最後一點，後來的電學家試著使用金屬導線接地的方式，使萊頓瓶的電力一點一點地減弱（Heilbron 1979: 317-323）。

種種關於萊頓瓶的實驗，在富蘭克林的手中改良，並導出一個恰當的理論說明。在討論富蘭克林之前，我們也有必要先瞭解另一電學家華生的假設。華生主張有一種微妙、精細的電流體，充滿地球上的每個物體，在自然狀態中，每個物體含有的電流體密度是相同的（電流體守恆原則）。由於某些外力，會使得一些電物體擁有較高的密度、一些則較低。高密度的為正電，低密度為負電（Whittaker 1989[1951]: 46）。為了說明萊頓瓶的神奇現象，富蘭克林也提議正負電、電流體守恆，以及「萊頓瓶像空氣泵浦」等觀念，並加上「電火（電流體）不能穿透玻璃」的假設。正因為電不能穿透玻璃，當為萊頓瓶充電時，電就累積在萊頓瓶口的金屬棒內，不會由玻璃瓶流失。可是，又因為萊頓瓶像空氣泵浦，當它的瓶口的金屬棒被充電時，反而會同時把瓶身的電流體抽取到金屬棒處（帶正電）。一旦起電機不斷地從導線中輸入電時，瓶底就依比例地損失電量，所以帶負電。整個運作過程如下：假設一開始不帶電時，共同電量是 20，當瓶口金屬棒的電量變成 21 時，瓶底的電量就變成 19，直到最後金屬棒的電量 40，而瓶底電量為零（Wolf 1999 [1938]: 229）。在充電完成的狀態下，萊頓瓶的電量差距，無法由其內部來回復平衡，因為玻

璃是電流不透的。可是，如果以一個非電物體（即導體）同時接觸瓶口金屬與瓶底兩端，瓶口金屬就透過導體流到瓶底，恢復原來的平衡不帶電狀態。所以，一旦以手接觸瓶身、腳踏地面，一方面萊頓瓶底的電流體會透過身體流入地底；另一方面，一手接觸瓶口，也會使得金屬棒的電量流入身體，補償瓶底的損失，使得人體感受到強大的電擊。

富蘭克林也設計了幾個實驗來印證他的理論。他首先在萊頓瓶底部裝置一根像老鼠尾巴的導線，末端有一金屬球（見圖 10-8, fig. 1），接著把萊頓瓶放在一塊蠟上絕緣隔離，再用一根絲線懸吊一小塊軟木塞，來回地碰觸「鼠尾」與萊頓瓶口的釘頭，軟木塞可以一點一滴地從釘頭引出「電火」，傳送到「鼠尾」，最終使得萊頓瓶回復未充電前的平衡狀態（因此不再擁有電性）。富蘭克林使用不同的方式來做類似的實驗，例如以一根絕緣體夾住金屬線，同時碰觸萊頓瓶口金屬端和瓶底，最終使萊頓瓶不再帶電（見圖 10-8, fig.III）；又如用一根導線連接瓶底和瓶口金屬端，在一段時間後，萊頓瓶不再帶電（見圖 10-8, fig.IV）（Heilbron 1979: 330-334）。

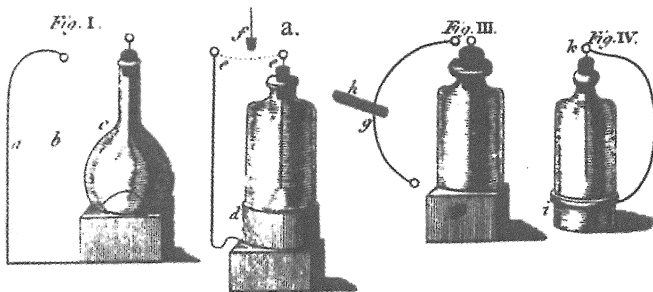
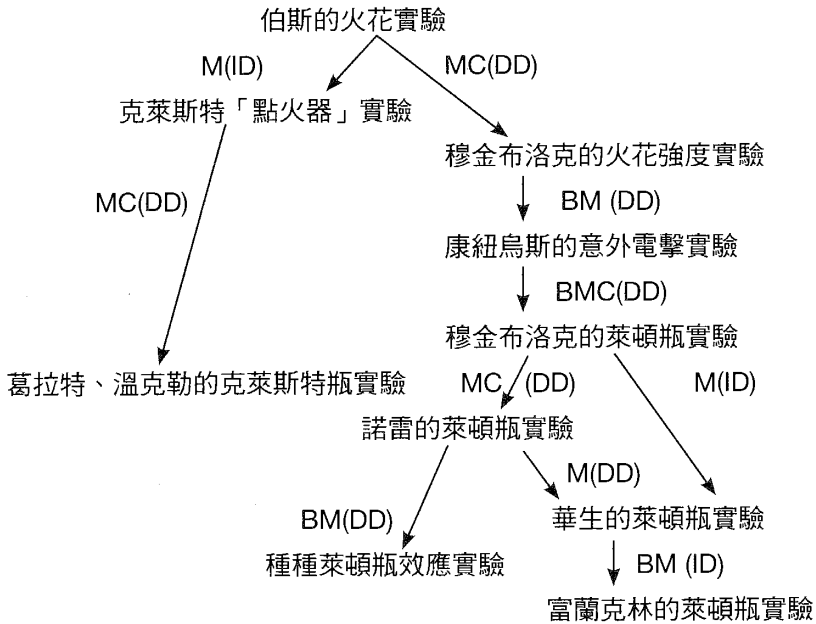


圖 10-8 富蘭克林的萊頓瓶實驗
（來源：Franklin 1774，轉引自 Heilbron 1979: 332）

根據上述，一個萊頓瓶的發展系譜可以重建如下：



此系譜展示的是同類工具的實驗傳衍，可以看到在克萊斯特和康紐烏斯時，發生了實驗結果的不一致，其後，電學家都以萊頓瓶從事新型實驗，以產生新的結果，而且對萊頓瓶工作之理論說明，也不斷地在變動。富蘭克林雖然繼承了華生的一些背景觀念，但是他發展了一個全面完整的電流體理論。

富蘭克林的實驗和理論，將電學導向一個全新的階段。在說明萊頓瓶的工作原理之理論模型之下，富蘭克林建立一個單流體理論（one-fluid theory），主張所有物體內部的電流體量，在正常狀態下是固定的，呈現電中性。一旦電流體超出此固定量，就呈現正電性；少於此量，就呈現負電性。正如水流總是趨於水平面

的平衡一般，大自然所有物體內的電流體量也總是趨於固定平衡的狀態。如此一來，一旦兩物體同時帶正電性或負電性時，自然會互相排斥；電吸引也不是物體發出電素產生的作用，而是電流體趨向平衡的本性所產生的效應。

伍、實驗對象、工具與行為

本章建立一個由實驗結構來考察實驗發展的模型。實驗的每個局部元素都可成為傳衍項目，因為實驗者可以修改每個局部元素，或添加創新的成分，使其實驗相較原實驗或其它傳衍實驗而有變異。由實驗的三個基本元素，我們可以建立八種傳衍關係的基本類型，它們構成判斷變異實驗的參考點。透過傳衍關係的考察與追溯，我們便可以建立實驗的譜系，從而揭示實驗發展的路徑。

本章的近代電學實驗例示實驗工具的變異和傳衍，也例示探測工具潛能的實驗之變異和傳衍，探測這些工具和其潛能的實驗創造了許多新現象，有待實驗家提出理論說明。我們也看到了近代電學家為了說明新現象而提出許多暫時性的假設，但很快地被改良和更新，直到富蘭克林才有一個較穩定的理論被建立。這是實驗推動理論發展的實例，實驗與理論循環互動、密切交織。不過，本文並沒有明確地展示實驗與理論的交織發展關係——這是第十一章的主題。

最後，我想強調的是，本章企圖發掘的是實驗行為的發展模型。本章的主題與焦點不單獨放在實驗知識（如何設計實驗、如何操作實驗工具、如何解釋實驗結果等），不在於實驗對象（任伯格所謂的「知識事物」），也不在於實驗工具的演變（任伯格所

謂的「技術對象」)。事實上，實驗知識、實驗對象、實驗工具都已被納入實驗行為中，它們都是實驗行為的局部元素，都共用實驗行為發展的輻射模式。

第十一章

科學實驗的發展（二）

實驗與理論的交織演變

實驗發展的輻射模型和理論版本家族的發展模型可以整合，用起來模釋一些實驗主導的學科領域。事實上，兩者共享相同的原型－啟發－修改－變異（版本）－樹狀分支－系譜建立的抽象模型。一些實驗科學如古典遺傳學的實驗常常催生新模型的增生，導致新理論版本的建構，反過來說，新模型與新版本，也提供啟發實驗的修正、新實驗的設計，兩種過程共同反映出一種循環交織的發展樣式。古典遺傳學如何體現這個圖像？

壹、古典遺傳學如何從實驗中誕生？

古典遺傳學其實是一門從大量實驗中建立起來的生物學科。從它的起源到建立與繁盛，有幾次背景思想、實驗目的、工具和結果的歧出，也建立許多不同的理論版本，構成一個理論版本大家族。其發展過程與路徑十分貼切地例示了實驗的輻射發展模型與理論版本家族發展模型的整合。

一、古典遺傳學理論版本家族概觀

大致而言，建立古典遺傳學的五位關鍵科學家是奧地利的孟德爾；孟德爾遺傳定律的再發現者荷蘭的德弗里斯和德國的柯仁

斯；在英國倡議與推廣孟德爾主義的貝特生；以及使果蠅（fruit fly）成為著名的實驗工具並使美國成為遺傳學重鎮的摩根（Thomas Hunt Morgan, 1866-1945）。然而，他們在思想、實驗程序和結果上的差異，會使人驚訝：他們真的聯合建立了古典遺傳學這門學術領域嗎？事實上，幾乎每一門科學領域（特別是實驗科學）的建立，都是由許多思想、見解、實驗、使用工具等大異其趣的科學家聯合貢獻，古典遺傳學的歷史表明科學領域的建立始終是一個迂曲與複雜的過程。

這五位古典遺傳學家都有自己的一套背景觀念，而且也都強烈地想使用實驗來落實（證實）自己的背景觀念，進而他們也分別發展了自己的古典遺傳學模型或理論版本。孟德爾提供的是古典遺傳學理論的經驗模型，德弗里斯發展了一個「細胞內泛生論」並組合顯性律與分離律的遺傳學理論，本文把這個版本視為古典遺傳學的雛形理論（pre-prototypical version）。柯仁斯首度提出孟德爾定律這樣的名稱，並重建孟德爾的經驗模型為分離律和獨立分配律，所以我們視柯仁斯提出了孟德爾主義遺傳理論之雛形版本。然後是貝特生發展了孟德爾主義的**原型**、**典範版本**，但是貝特生並不接受遺傳的染色體理論（chromosomal theory of heredity）——亦即染色體是遺傳的物質基礎、是孟德爾遺傳因子的載體。摩根則整合孟德爾主義和遺傳的染色體理論，建立了被視為古典遺傳學的標準學說的基因遺傳理論（the theory of genes），我們視摩根的理論版本是一個成熟的古典遺傳學理論。以上五位遺傳學家的實驗貢獻和理論版本，加上其他許多遺傳學家的理論和實驗貢獻，一起建構了古典遺傳學這門學術領域。¹

1 摩根其實代表一個團隊，他的工作大部分是與學生的集體成果，他的學生都成

在個別的背景觀念和理論版本之後，除了孟德爾之外，其他人更有共享的思想背景與近似的問題意識，這一切都要從達爾文談起。

二、共同思想背景：達爾文演化論留下的問題

達爾文在 1859 年發表《物種起源》，提出一個天擇演化理論。如同書名所示，達爾文的目標是解決「新物種如何誕生」的問題，他以天擇機制來回答。在長期的動植物的取樣、蒐集、觀察與研究中，達爾文觀察到大自然的野生動植物的同種（species）個體之間，總存在著差異。同類（genera）之下的不同種，則有彼此間十分密切但不均等的相似變異（resemble varieties）的情況。自然能容受的物種數量有限，達爾文受到經濟學家馬爾薩斯（Robert Malthus, 1766-1834）人口論的啟發，產生了生存競（鬥）爭的觀念，進一步形成「天擇」（生物個體的保存與淘汰機制）的概念。所謂的生存競爭是指：「每個生命在其自然的壽命中生產幾個卵或種子，必定在生存的某時期、某季節或偶然的年代中受到損毀，要不然，根據幾何級數增加的原理，其數量將很快地變成非比尋常地多，以致沒有土地能支持它

為著名的古典遺傳學家，例如斯圖特凡、穆勒（H. J. Muller）、布里治（C. B. Bridges），他們除了與摩根聯名發表論文和著作之外，也個別發表遺傳學的論文。斯圖特凡在決定基因在染色體上的定位之貢獻尤大。不過，摩根的特別之處在於他從反染色體理論到接受染色體理論，並整合染色體理論與孟德爾主義者的經驗模型，發展一個「基因遺傳理論」取代其它理論版本，這代表他是一位建構「理論版本」的科學家。在基因遺傳理論之後、甚至 DNA 被發現後的分子遺傳學之後，還是有很多偉大的古典遺傳學家提出多樣的理論版本，如同同物種生物內的多樣變異一般。即使在分子生物學崛起之後，仍然堅守在古典遺傳學領域內的科學家也所在多有，例如玉米遺傳學家麥克林托克（Barbara McClintock），可參看傅大為（1999）。

們的繁殖。因此，只要個體的繁殖比起能生存的更多，就必定有生存競爭。每個個體必定與同種的個體，或者與異種的個體，或者與生命的物理條件競爭。這是馬爾薩斯學說有力地應用到整個動物和植物界的結論。」（*The Origins of Species*, p. 117）從生存競爭順理地導出天擇：「由於生存競爭，在個體與其它生物和外在自然環境的複雜關係中，任何變異（不管多麼微小也不管由什麼原因產生），只要它有利於一物種的任何個體，該個體就傾向被保存，而且變異被其子嗣繼承。……我以天擇一詞來稱之。」（*The Origins of Species*, p. 115）

達爾文進一步推論：由於同物種的某些個體擁有微小有利的變異，代代相傳，逐漸改變群體，並與同種之間其它沒有該變異的個體競爭，長久下來，兩者差距越大，終於形成一個新物種，原初物種則可能在生存競爭中居於劣勢而滅絕。這整個過程是逐漸緩慢的，不會在發生在短期內，新物種也不會突然出現。這就是「物種的起源」。

天擇演化論能說明很多生物現象，因此很快地得到不少生物學家的支持，然而也一直有不少生物學家反對（相關歷史討論看 Hull 1973; Bowler 1983）。一直到 1930 年代新綜合論誕生之前，達爾文的理論無法克服反對意見的重點是：緩慢改變的微小變異也許能夠說明現存生物為什麼會有那些奇特的特徵，但是無法說明新物種為什麼會誕生。很多生物學家認為，微小變異的產生只是在舊物種的個體之間增加變異的個體，無法創造出新物種，新物種的產生必定由天擇之外的其它機制。達爾文理論引發的第二個爭議點是「變異的來源」：如果變異在達爾文的理論中具有如此關鍵的地位，那麼究竟又是什麼機制導致同種個體之間會有如此大量的微小變異產生？這一個問題涉及了遺傳。也就是說，生

物特徵的遺傳機制究竟是如何，才會使得生物的多數特徵得以代代相傳地遺傳給下一代之際，又能產生許許多多的微小變異？

達爾文自己對遺傳問題的解答是泛生論這個混合遺傳理論（見第九章）。利用泛生論和芽胞概念，達爾文就可以說明變異的來源和遺傳的機制。可是，泛生論並沒有解剖學與實驗上的支持，它頂多只能做為一個假設。儘管達爾文的混合遺傳理論具有某種啟發性，它啟發了德弗里斯設想出一個硬遺傳理論，但德弗里斯並未意識到他們之間不同，所以沿用達爾文的術語，而把假設的遺傳物質稱作「泛基因」(pangene)。隨著細胞學的進展，生物學家傾向認為透過遺傳物質傳遞生物特徵的遺傳過程是發生在細胞內部，而不是細胞之間。一個不同於達爾文的軟遺傳觀念之硬遺傳架構逐漸得到生物學家的偏好，為孟德爾遺傳定律的建構（再發現）提供了必要的思想背景。可是，被視為古典遺傳學創始人孟德爾本人的思想，其實並不在這個遺傳學的思想氛圍下。

三、孟德爾屬雜交實驗傳統

孟德爾和他的工作，都是屬於十八世紀林奈以來的雜交學和育種學的實驗傳統。雜交學和育種學家大多在實用的利益和目標下進行研究工作，² 偶爾的理論關懷則是「物種起源」的問題。林奈曾主張不同物種的雜交可以產生新物種，可是這個主張在後來被一些雜交學家如柯路特和諾丁等人拒絕（Mayr 1982: 641-651）。然而，這個問題牽涉到對「物種」的理解和界定，雜交學

2 〈植物雜交實驗〉「導論」的開場白，很明白地描繪了這個情況。他說：「為觀賞植物進行人工受孕以獲得新顏色的變異體，這種動機催生本文討論的實驗。」（Mendel 1966[1866]: 1）

家所用的雜交對象分屬不同的物種嗎？雜交後得到的雜種在分類系統中又有什麼樣的位置？這些問題沒有解決，雜交能不能產生新物種也就得不到定論。³ 不管如何，雜交學家確實使用大量不同特徵的生物個體來進行雜交，得到相當多的變異個體。因此，雜種如何形成？如何發育？有沒有什麼規律性在其間？就成了孟德爾實驗工作背後的問題背景。

如同第九章爭論，孟德爾可能不再是古典遺傳學的創始人，但是他的碗豆實驗仍然是一個經典性的科學實驗，受到科學家與科學史家的高度讚美。可是，我們今天能讚美孟德爾的實驗，其實是透過他的經典論文之內容。換言之，孟德爾的傑出實驗被記錄在〈植物雜交實驗〉這篇傑出論文中，它報告了一個經典性的科學實驗，它的文章結構也反映了完整的科學實驗之結構，值得深入分析。

〈植物雜交實驗〉一文共分成十一節，每節的標題與綱要如下：第一節是導論，孟德爾作了簡短的文獻回顧，並指出他的實驗所企圖解決的問題。第二節「實驗植物的選擇」說明挑選實驗植物的條件，同時論及實驗的程序、操作與控制。第三節「實驗的序列和安排」說明他挑出的碗豆的七種特徵，以及如何防止昆蟲對碗豆受孕的干擾。第四節「雜種形式」開始報告實驗結果，

3 孟德爾自己對這個困難有相當的意識，他說：「無論如何，在一個分類系統中被指派給它們的等級，對於議題中的實驗而言，完全是不實際的（completely immaterial）。正如不可能在物種和變種之間劃出一條截然分明的界線來，想在物種的雜種和變種的雜種之間建立一個基本差異也同樣是不可能的。」（Mendel 1966[1866]: 5）當然，孟德爾在同頁中也提到，根據專家意見，他收集到種種碗豆，多數是 *Pisum sativum*，但其餘分屬幾個不同的物種 *P. quadratum*、*P. saccharatum* 和 *P. umbellatum* 等。

這是一個質性的結論，重點是「雜種的子代並未表現出親代之間的中間形式」。這也是後來被表達為古典遺傳學的分離律之來源。⁴ 第五節「雜種的第一世代」報告數量上的實驗結果，顯性和隱性性狀是 3：1 的比例，出現在本節第一段。第六節「雜種的第二世代」和第七節「雜種的後續世代」報告雜種子代繼續自我受孕後的子代性狀之規律性。⁵ 第八節「幾個不同性狀聯合下的雜種子嗣」則是兩個和兩個以上的性狀聯合考慮的實驗報告，以及其產生的子代性狀比例。另一個著名 9：3：3：1 比例數列即是從此節中導出。⁶ 第九節「雜種生殖細胞」是比較難懂的一節。孟德爾的思路是：從先前的豌豆性狀之實驗，可以推論出雜種的種子與花粉細胞之間的組合，也會產生同樣的組合可能性。因為受孕細胞是植物性狀的來源，而受孕細胞又分別是種子細胞與花粉細胞的結合。因此這些生殖細胞也會反映出顯性、隱性等對比性狀的組合可能性。孟德爾以豌豆種子形狀和豆莢形狀以及花朵顏色和莖的長短來代表生殖細胞的差異，實驗之後顯示細胞

-
- 4 柯考斯和摩納罕重建的孟德爾的「雜種發育與形成理論」的第一定律「針對每個性狀的對比特徵而言，純種親代的雜種子嗣全部相像，而且相像於親代其中之一。沒有形成任何中間類型。」也是來自這一節。
 - 5 這兩節在表達說雜種的隱性子代自我受孕，即是 $aa \times aa$ ，所以其子嗣必都是 aa （純種隱性）。還有雜種的顯性子代自我受孕，此時顯性子代有兩種 AA 和 Aa ，其數量比例是 1:2，所以說雜種的第二代之後的顯性世代，會出一個雜種（ Aa ）與純種顯性（ AA ）是 2:1 的比例數字。柯考斯和摩納罕重建的第四定律之來源。
 - 6 孟德爾原來的符號是寫作 $AB+Ab+aB+ab+2ABb+2aBb+2AaB+2Aab+4AaBb$ 。9：3：3：1 的比例是這樣的（以教科書的慣用寫法來表達）： $1AABB+2AABb+2AaBB+4AaBb$ 都是顯現出兩個顯性性狀 A 和 B 的子嗣，比例是 16 分之 9。 $AAbb+2Aabb$ 則是顯出 A 顯性性狀和 b 隱性性狀的子嗣，比例是 16 分之 3。 $aaBB+2aaBb$ 則是顯出 a 隱性性狀和 B 顯性性狀的子嗣，比例是 16 分之 3。 $aabb$ 則是唯一顯出 a 和 b 隱性性狀的子嗣，比例為 16 分之 1。

組合類型，完全符合植物性狀的組合類型。⁷ 第十節「其它植物物種的雜種實驗」，孟德爾報告他使用 *Phaseolus vulgaris* 和 *Phaseolus nanus* 來進行實驗，顯出和碗豆實驗一樣的結果。第十一節「結論」，孟德爾主要把他的實驗結果和其他雜交育種學家的成果進行比較，這一節也特別顯示出孟德爾針對的是「新物種是否能由雜交而產生」這個分類學家的老問題。這當然是一個非常困難的問題，因為一個植物物種有許多特徵，這些特徵的組合，將是非常龐大的數目。孟德爾的實驗報告頂多只能考慮到三個特徵的組合。⁸

呈現孟德爾論文的綱要內容之後，我們將根據實驗模型的典型結構：「問題、對象、裝置、操作、控制、蒐集、預測」這七個實驗基本項目，來重建孟德爾的實驗，並顯示他的實驗結構之完整程度。

(1) 問題：孟德爾明白地表示他的問題和目標在於尋找控制「雜種形成與發育的定律」(第一節)。

7 柯考斯和摩納罕把此節詮釋為孟德爾在檢驗他的「雜種形成與發育理論」。他們認為孟德爾作了五個假定：(1) 在雜種的子房中，當很多種子細胞被產生時，它們的子嗣有一定組合的可能性。(2) 在雜種的花蕊中，當很多花粉細胞被產生時，它們的子嗣有一定組合的可能性。(3) 出現在種子和花粉細胞上的性狀組合，符合出現在子嗣中的一些形式之性狀組合。(4) 平均而言，在雜種中，不同種類的種子和花粉細胞以同樣的數目被生產出來。(5) 受孕同樣出現在每個可能的組合中。(Corcos and Monaghan 1993: 128)

8 柯考斯和摩納罕把這一節分成兩部分，第一部分是「針對雜種的一般評論」，第二部分是「一物種轉形成另一物種」，孟德爾企圖從他的碗豆實驗結果中，建議如何把使用自然或人工受孕的方法來把一物種轉換成另一物種，從今天的眼光來看，多數生物學家對於「物種」的定義是其子代具生殖能力，因此如果雜種具生殖能力，那麼這雜種不過是同一物種的「變種」(varieties)而已，所以第二部分的討論幾乎是無用的。(Corcos and Monaghan 1993: 168-173)

(2) 對象：物種、變種。孟德爾真正實驗的對象是物種、變種與不同物種和變種交配後產生的雜種。不過，為了操作上的可行，孟德爾以對比鮮明的性狀來區分不同的種類。他列出碗豆的七對對比性狀「圓的和皺的種子形狀」、「黃的和綠的種子顏色」、「平滑飽滿和扁有皺褶的豆莢形狀」、「綠的和黃的豆莢顏色」、「紫花朵併灰子葉（gray cotyledon）和白花朵併白子葉」、「腋生的（axial）（長在莖間）和頂生的（terminal）（長在莖幹頂端）的花朵位置」、「高莖和矮莖」。（第三節描述）

(3) 裝置（工具）：主裝置是碗豆（植物）。加上其餘操作和控制的輔助裝置，例如溫室、人工授粉的裝置、防止被昆蟲污染的罩蓬等。（第二節與第三節敘述）

(4) 操作：在花園中培育植物、開花期移至溫室、人工授粉等等。

(5) 控制：包含實驗裝置的選擇和防止干擾因素的條件（在生物實驗中要特別考慮才能保證實驗的順利進行），有三條：「1. 擁有恆定的差異性狀。2. 在開花期間，它們的雜種必須很容易受到保護以便防止外來花粉的影響。3. 雜種與雜種後繼世代的生殖力，應該沒有明顯的困擾。」（第二節）

(6) 結果蒐集：計算每一個別性狀的子嗣數量，建立統計數字。

(7) 預測：沒有。孟德爾沒有進行什麼預測，這一點顯示出他的實驗的強烈經驗性格以及實驗結論的歸納特性，也顯示出他的實驗結果不是受到先行理論的引導（但不代表完全沒有背景觀念的引導）。

孟德爾發表了〈植物雜交實驗〉之後，將抽印本寄給一些知名的植物雜交學家，包括被視為權威的納格利。納格利建議孟德

爾試著用水蘭花屬（hawkweeds, *Hieracium*，一種向日葵科植物）做實驗，孟德爾聽取他的建議，在做了實驗之後，卻發現結果並不能吻合他使用碗豆實驗而得到的定律，他很失望，但仍然寫成一篇論文〈論由人工受孕得到的水蘭屬雜種〉（*On Hieracium-Hybrids Obtained by Artificial Fertilization*）於1869年發表。在結尾處，孟德爾寫道：「從這個環境，我們是否可以冒險地結論說：*Salix* 和 *Hieracium* 屬關連到雜種的特別條件，仍然是一個開放的問題，可以被提出但迄今尚未被回答。」⁹（Mendel 1909 [1869]: 368）如此，孟德爾自己做了一個新實驗，與其先前的結果不一致。這個不一致（異例）也許使得孟德爾沒有進一步將他的經驗模型發展成理論，也可能使得納格利完全忽視孟德爾的碗豆實驗。

第九章已論證孟德爾真正發現的是一個經驗模型，可以由下列五條通則來描述，它們不是在雜種發育與形成的背景觀念下被解釋的結果，它們是中立於不同理論的經驗模型。讓我們重述一次：

(R1) 針對每個性狀的對比特徵而言，親代的子嗣全部相像，而且相像於親代其中之一。沒有形成任何中間類型。

(R2) 相互跨種交配產生相同的形式。也就是說，性狀是顯性親代的性狀，與來自父親或母親無關。

9 *Salix* 是一種柳樹植物的屬名，包括 *sallow*（闊葉柳、山毛柳等）、*willow*（一般柳樹）、*osier*（杞柳）等。因為孟德爾在結尾之前提到 *Wichura* 也做了 *Salix* 的雜種實驗，與他的水蘭實驗結果類似。孟德爾說：「在描述碗豆實驗中，已有評論指出也有雜種的後代並未變異，例如根據 *Wichura*，*Salix* 的雜種生出像純種的後代。在水蘭屬中，我們可能視它為一個類似的案例。」（Mendel 1909[1869]: 367）

(R3) 當第一代子代自我受孕時，第二子代總是顯出兩類：一類像第一子代而且像原初的親代（顯性的）；另一類則像隱性親代。沒有中間形式產生。顯性與隱性的比例約為 3 : 1。

(R4) (a) 當容許第二子代的隱性子代自我受孕時，它們總是育成隱性子代。(b) 當容許第二子代的顯性子代自我受孕時，三分之一育成顯性子代；而三分之二的行為正像是第一子代。

(R5) 在子代的性狀聯合中，每一對不同性狀的行為，獨立於兩個親代所有其它不同的性狀。

這五條通則透過再發現者德弗里斯和柯仁斯被重構成孟德爾遺傳定律，或者說，德弗里斯和柯仁斯從遺傳學的觀點來重新解釋孟德爾的經驗發現。

四、德弗里斯和柯仁斯「再發現」遺傳定律

德弗里斯在生物學中的地位相當獨特，他自認是一位達爾文主義者，但是生物史與演化學界卻公認他是一位非達爾文主義者（non-Darwinian）。生物學家古爾德（Stephen J. Gould）稱他為「最不情願的非達爾文主義者」（Gould 2002: 415）。他是孟德爾遺傳定律的再發現者之一，卻也不曾變成一位孟德爾主義者。德弗里斯對於達爾文的追隨，不僅在於演化論、也在於遺傳理論。在遺傳方面，他自認為繼承了達爾文的泛生論，只是作了小幅修正，可是史家普遍認為他的遺傳理論屬於「硬遺傳架構」，而不是達爾文式的「軟（混合）遺傳架構」。在演化論方面，他自認為達爾文從未拒絕突變（mutation）是演化的主要機制，可是，學界卻認為他誤解甚或曲解了達爾文的理論。

1889年，德弗里斯出版《細胞內泛生》(*Intracellular Pangenesis*)一書，根據當時細胞學的最新進展，把達爾文所謂的芽胞改稱泛基因，主張它們建構生命體的微粒子，也是生命特徵的載體。根據麥爾(Mayr 1982: 708-709)，德弗里斯的理論(假說)可以被整理成下列主張：(1)遺傳是由於遺傳性質的物質載體，稱作泛基因。(2)每個遺傳特徵有自己特別種類的泛基因。(3)越高度分化的生命體，泛基因的種類越多。(4)每個泛基因獨立於其它種類而變動。(5)所有的核擁有相同的泛基因，但有限數量的泛基因被釋放到一個細胞的細胞質中。(6)給定一個泛基因，一個核可以擁有很多複製品；(7)為了變成「活動的」(active)，泛基因必須從細胞核移動到細胞質。(8)泛基因不會從細胞質移動到細胞核。(9)泛基因不會在細胞間移動。(10)泛基因總是在細胞分裂期間分裂，而且其分裂是使一個給定的泛基因可以在細胞質中被很多複製品所代表。(11)一個生命體的整個原生質(protoplasm)是由泛基因構成的。(12)偶然地，一個泛基因會改變，這改變「形成物種與變種的起源」——這也是突變理論(the mutation theory)的根源。

德弗里斯的細胞內遺傳和泛基因的假設之所以繼承達爾文泛生論之處在於：遺傳特徵由物質粒子(泛基因)攜載、泛基因的合成建造了生物體的原生質、不同種類間泛基因的多少決定了原生質的多寡因而表現了遺傳特徵。差別與修正則在於：(a)泛基因只存在於細胞核內，而且只能從細胞核移動到細胞質，無法如達爾文宣稱般在細胞間移動。(b)每種遺傳特徵對應一特別種類的泛基因，不是如達爾文主張般由芽胞混合而成；(c)德弗里斯引入細胞學的最新發展。另一方面，「每個遺傳特徵由自己獨特的泛基因負責，以及每種泛基因獨立於其它種泛基因而變動」這

兩點主張，已經預示了古典遺傳學的分離律和獨立分配律，也是它們引導德弗里斯再發現孟德爾的遺傳定律。進一步，德弗里斯假設有些泛基因是主動的，從而區分了潛藏的（latent），也預示了「顯性和隱性基因」的概念。甚至，泛基因從細胞核移動到細胞質也會令人類比於當代基因理論中的 DNA 和 RNA 的活動。德弗里斯的理論假設與現代遺傳理論這種驚人的吻合，使得古爾德讚美它為「這個驚人的先見之明的理論」（remarkably prescient theory；Gould 2002: 424）。當然，德弗里斯的理論畢竟不是成熟的古典遺傳學理論，而且也和後者有幾點重大差異。¹⁰

德弗里斯的實驗表達在〈雜種的分離律〉（The Law of Segregation of Hybrids）一文中。不像孟德爾詳盡地交代的自己的實驗設計、結構、內容的長文，這是一篇只交代實驗結果的短文，因此我們無法從其中得知德弗里斯的實驗操作。不過同樣使用植物雜交育種實驗的傳統方法，儘管德弗里斯那特別關切遺傳問題的不同背景觀念，其實驗模型仍然是人工受孕的標準結構，使用植物為實驗裝置，並且要控制與排除外來花粉的污染。可是，實驗目標會受到背景觀念的影響，因此德弗里斯對於實驗目標的敘述，顯現出不同於孟德爾的思路。德弗里斯（De Vries 1966[1900]: 108）說：

關於雜種的流行學說把物種、亞物種、變種視為組合單元，可創造出雜種，因而應該研究。吾人對於變種的混合

10 麥爾認為德弗里斯的理論有兩個「災難性的錯誤」（drastically wrong）：泛基因本身從核移動到細胞質（依現代基因理論來看，是 RNA 而不是儲存遺傳訊息的 DNA 在移動）；一個給定的泛基因有很多複製品（Mayr 1982: 709）。當然，德弗里斯的理論還有第三個不符合現代遺傳理論的地方是，他以泛基因是否從核移動到細胞質來區分「主動」和「潛藏」。

與真物種的雜種之區分，依恃於一個說及雙源或多源雜種、三源或四源雜種等等時，親代類型的數目。

在我看來，在生理學研究中，這種看問題的方式應該被捨棄，因為即使它滿足了分類學與園藝學的目的，但是就想得到物種更基本知識的目的而言，它並不適當。

物種獨特性狀 (species-specific traits) 的跨越交配的原理，應該取代它。物種獨特性狀的單位應該在這關連中被視為截然區隔的存在物而且應該就其本身而被研究。

德弗里斯這個看法，與他「獨特性狀突變可以產生新物種」的突變論有關，但是它的重要性在於，從孟德爾實驗中仍然隱含的「物種做為實驗對象」，向前進一步確立了性狀本身做為實驗對象，也因此可以和遺傳問題掛上勾——子代的性狀是遺傳自親代。可是，基於他的突變理論之背景觀念，德弗里斯的語言和概念，仍然無法完全擺脫物種、雜種的干擾，因此德弗里斯的實驗仍然不是指向純遺傳學的目標。

從 1889 到 1899 年間，德弗里斯總共執行了十幾種植物的跨越交配，含人工跨交和自由跨交 (free crossing)，這些實驗的第二子代之顯性性狀和隱性性狀都顯現出 3：1 的比例。因此，他說：

我的實驗引導我作出下列兩條陳述：

1. 就兩個對立的性狀而言，雜種只顯現出一個，而且在完全發育的情況下顯現。雜種與親代之一不可分辨，沒有任何中間形式。
2. 在花粉和子房的形成中，兩個對立性狀是分離的，遵循最簡單的機率定律。

這兩條陳述被德弗里斯總結成雜種的分離律。如果我們從德弗里斯的「細胞內泛生論」的硬遺傳觀點來解釋它們時，它們就相當於古典遺傳學中的顯性律和分離律。至於在量化方面，德弗里斯歸納出三種公式：

$$(d+r)(d+r)=d^2+2dr+r^2$$

$$(d+r)d=d^2+dr \text{ (或表達為 } (d+r)(d+d)=2dd+2dr)$$

$$(d+r)r=dr+r^2 \text{ (或表達為 } (d+r)(r+r)=2dr+2rr)$$

這三條公式也有助於連結孟德爾的比例與遺傳學的比例，因為它們直接使用顯性性狀的代號 d 和隱性性狀的代號 r 來表示。

可是，德弗里斯的論文和陳述並未揭示古典遺傳學的獨立分配律，因為他並沒有提到兩組對比性狀一起考慮的實驗結果與統計數字。這一點由另一位再發現者柯仁斯補足了。柯仁斯建立了孟德爾遺傳理論的獨立分配律，但他沒有明白地區分分離律和獨立分配律（參看 Darden 1991 的討論）。

在德弗里斯投出論文後約一個半月後，柯仁斯也投出他的論文〈關於變種雜種子嗣行為的孟德爾定律〉(G. Mendel's Law Concerning the Behavior of Progeny of Varietal Hybrids)。柯仁斯的論文一開頭就提到德弗里斯的論文，同時宣告自己使用碗豆和玉米的實驗，也得到一樣的結果。幾句話之後，柯仁斯即抬出孟德爾的名字和他的碗豆實驗，並宣稱孟德爾在 1866 年的論文，「不只透過持續多年的廣泛的碗豆實驗，得到德弗里斯和我同樣的結果，而且也給出正相同的說明。」(Correns 1966[1900]: 120)顯然從這幾句話中，孟德爾開始被推向「古典遺傳學之父」的位置，也正是這篇論文的標題把古典遺傳學定律冠上孟德爾定律的名號。

柯仁斯論文的大部分在陳述他自己的實驗過程與結果，並且不斷地引證孟德爾的先見之明。雖然他也使用玉米做實驗，但是他的論文主要報告碗豆實驗，並報告到第六代子代，從第二子代起，自我受孕的碗豆不斷地出現顯性與隱性性狀 3:1 的比例數字。可是，柯仁斯很明顯地從遺傳的觀點來解釋這個經驗事實，在他的論文中有兩個主要證據。第一，是為了說明這種性狀的顯性與隱性的比例，他說：「吾人必須假定（如孟德爾那般假定）生殖核（reproductive nuclei）的融合中，『隱性』性狀的『質素』（Anlage）（在我們的實驗中，是種子的綠色），被『顯性』性狀的質素壓制。因此所有胚胎（embryos）都是黃色的。可是，這質素雖然潛藏卻被保存，而且在生殖核的確定形成之前，兩個質素完全是分離的，以致生殖核的一半接收了隱性性狀的質素，另一半則接收顯性性狀的質素。」（Correns 1966[1900]: 125-126）¹¹ 第二，他引證了遺傳學家威斯曼的核分裂觀點：「這分離可能出現的最早時間是種子和花蕊的原初質素形成時。1:1 的數字比例強烈地建議了這分離出現在核分裂——即威斯曼的減數分裂——的期間。」（p. 127）這幾句話實實在在蘊涵了古典遺傳學的分離律。

至於古典遺傳學的獨立分配律，柯仁斯的說法是：「兩個或更多差異性狀的案例也被孟德爾作理論性的討論和實驗性的檢驗。假定性狀組合的產生是由於機會，則所有可能的組合的出現頻率，與基於機率定律的期待一樣。」（p. 130）接著引證孟德爾

11 “Anlage” 是德文，乃是「設備、裝置、規劃、體質、資質」等意思，柯仁斯用此字來表達「細胞核內建造性狀的東西」，我們因此譯成「質素」，即後來被理解成「基因」。柯仁斯在此段話中加腳註說明孟德爾並未提到核，而只是提到「種子細胞」（germinal cells）和「花粉細胞」（pollen cells）。

對性狀獨立性的說詞：「這也同時展示在雜種的性狀聯合中，每一對不同性狀的行為獨立於兩個親代的所有其它不同性狀。」(p. 130) 緊接著，柯仁斯提出了另一個著名的比例數列 9 : 3 : 3 : 1——即兩對性狀聯合考察時，子代會出現的性狀比例。下一段，柯仁斯再次以遺傳的觀點來重述孟德爾如下的結論：「來自種子細胞和花粉細胞的碗豆雜種，它們的組合，以同樣的數目對應了所有純種形式透過受孕而產生性狀組合。」他說：「在（變種）雜種中，生殖細胞以如下方式被產生：個別親代特徵的質素被包含在所有可能組合中，但同一對性狀的兩個質素從沒有被組合（即「分離的」）。每個組合以相同的頻率出現。」(p. 130) 最後，柯仁斯結論說：「這是我稱為孟德爾的定律 (Mendel's Law)。它也包括德弗里斯的『分離律』。一切都可以從此定律中導出。」(p. 131)

至此我們可以說，古典遺傳學定律完整地重建在柯仁斯的論文中，不過今天的教科書把它們拆開成兩條或三條定律。¹² 可是，我們也必須提出柯仁斯和孟德爾與德弗里斯有兩點不同。一是他一開始將報告侷限在變種雜種上，從未涉及物種問題和物種雜種。第二，他在論文中強調：很多成對性狀並未出現顯性數目，而且分離律（其實是獨立分配定律）也不是普遍適用。¹³ 從

12 這裡我們有必要更小心地討論「遺傳因素導致性狀的分離」和「遺傳因素本身是分離的」兩者的不同：亦即表現型的分離和基因（型）的分離。今天的教科書談的是後者。生物史哲學家達頓 (Lindley Darden 1991: 45) 曾爭論實際上，直到 1910 年止，沒有人發現分離。可是，達頓指的是在生殖細胞形成過程中，物質單位（即基因）的分離。確實，「基因的分離律」要等到摩根的基因理論建立之後，才算是被發現。

13 柯仁斯一再重申，不是所有的成對性狀都有顯性性狀。這一點和德弗里斯不同，他強調：「我不能理解德弗里斯假定所有來自不同血統 (strain) 的成對性狀，其中之一必是顯性的。」換言之，他拒絕有「顯性律」的存在，這一點後

我的模型論和理論版本論的觀點來看，德弗里斯和柯仁斯分別提出了不同的「古典遺傳學模型」，它們分別可以被定位成「雛形的古典遺傳理論版本」和「雛形的孟德爾遺傳理論版本」，並引導貝特生的理論建構。

五、孟德爾的經驗模型與古典遺傳學理論的配合

上一節我們已經展示了德弗里斯和柯仁斯如何從遺傳的觀點來解釋孟德爾的論文，從而建構了孟德爾的實驗發現，以及他們自己身為「再發現者」的歷史位置。可是，我已經爭論，孟德爾真正發現的是由五條通則組成的一個經驗模型；而德弗里斯和柯仁斯分別建構了不盡相同的古典遺傳學模型（更嚴格地說，德弗里斯建構的遺傳模型由顯性律和分離律構成的；柯仁斯建構的遺傳模型由分離律和獨立分配律構成的。）因此，現在我們的問題是：孟德爾的經驗模型如何配合古典遺傳學的理論模型？換言之，五條性狀傳遞的通則如何配合兩條或三條遺傳定律？

首先，從硬遺傳架構的角度來看，(R1)、(R2)、(R3) 表達的性狀傳遞通則；在一個威斯曼唯物主義的遺傳理論的思路下，必須要有物質性的載體來攜帶性狀；而且顯性性狀在子代中反覆出現，隱性性狀在第一子代中隱藏，在第二子代後出現，這一現象可以推出攜帶性狀的載體，不會在生殖時混在一起，如此建議了（性狀載體的）分離律——或者說，性狀載體的分離律乃是一條理論定律，它可以配合或說明可觀察的性狀出現的事實和比例。其次，(R3) 與 (R4) 表達對偶性狀的出現與不出現、多數

來被貝特生特別強調。分離律不是普遍適用出現在他的「後記」中，但他明顯指涉的是「獨立分配定律」，而且在相關脈絡（Correns 1966[1900]: 130）處，他後來增加一個腳註說：「這條規則再次有例外，有連鎖性狀的血統存在。」

對少數的固定比例這個經驗事實，可以推出攜帶性狀的載體，也同樣要有顯性和隱性的區分，或者說性狀載體的顯性律這條理論定律可以說明上述經驗事實——雖然這種經驗事實並不是一個普遍適用於多數生物的規律。最後，(R5) 通則對應了「性狀載體互相獨立作用」這一條理論定律，亦即性狀的組合比例數字，可以完全配合性狀載體分離並獨立之後的每種可能組合。如此一來，孟德爾的經驗模型就被提煉成古典遺傳學的理論模型，而成為古典遺傳學理論的經驗證據。

為什麼孟德爾的經驗模型不能被理解為古典遺傳理論模型？反過來說，為什麼柯仁斯直接把孟德爾的經驗模型理解成古典遺傳學理論？關鍵在於孟德爾論文的第九節。柯仁斯認為孟德爾在此節討論的種子細胞、花粉細胞就是代表性狀的載體。可是，柯仁斯忽略了孟德爾顯然是在發育而非遺傳的背景架構下來理解「細胞」這概念（這也代表柯仁斯和孟德爾已處在相當不同的思想背景中），也就是說，細胞是建構生物個體的基本單元，所有的生物個體都由細胞發育而來的，因此孟德爾也需要討論種子細胞或花粉細胞本身的性狀。既然這些生殖細胞本身也有性狀，那麼對孟德爾來說，生殖細胞雖然是發育後的生物個體之性狀的來源，但其本身可能不是性狀載體。換言之，孟德爾極可能還沒有「性狀載體」這樣的想法，即使有，也沒有顯示在他的著作當中。

一些生物學家認為孟德爾在結論處使用了 *Elemente* (element)「元素」這個詞，可以證明孟德爾確實有了單位化、個體化的性狀載體之想法，因此足以被視為孟德爾定律的發現者，古典遺傳學的創建者 (Mayr 1982: 721; 楊倍昌 2010:

210)。¹⁴ 孟德爾使用「元素」這個詞的一些段落如下：

這個發育是根據一條恆常的定律而進行的，該定律乃是建立在 *Elemente* 的物質組合與安排，在細胞內的達成一個可行的統合。(Mendel 1966[1866]: 42)

在這些細胞的構成中，所有元素以一種完全自由和齊一的方式來參與其間，而且只有那些不同的才會彼此分離。以這個方式，有多少種潛在構成元素的組合，就有多少種生殖或花粉細胞的產生。(Mendel 1966[1866]: 43)

兩种植物的顯著性狀畢竟只能由元素的組合與群聚的差異而導致，這些差異則存在於生殖細胞的動態交互作用之中。(Mendel 1966[1866]: 43)

這些段落確實很容易以古典遺傳學的理论來詮釋。可是，「元素」其實是一個自古希臘以來就經常出現在科學中的一個用詞，使用元素並不保證元素就是單位化、個體化的孟德爾因子，唯一能確定的只是元素存在於細胞內，是性狀的原因。但是，元素有可能是許多微粒子構成的，例如亞里斯多德的四元素或者達爾文的芽胞。以芽胞來解釋「元素」，似乎說得通（雖然泛生論這整個理論仍然不一致於孟德爾的觀點）。換言之，對孟德爾來說，明確個體化、單位化的只是性狀和攜帶個別性狀的生殖細胞，由 A、a、B、b 等符號來代表，但是他的謹慎顯然不會使他把個體化和單位化的特徵推廣到負責性狀形成的元素上。因此，

14 楊倍昌對於孟德爾對於 *Elemente* 的使用作了有趣且有啟發性的討論，他首先指出孟德爾在結論處才開始使用 *Elemente* 這個詞，而且只用了十次。他認為孟德爾應該是「靈光一閃」地想到這個詞以便概括說明他的觀察結果。換言之，*Elemente* 主要做為假說之用，但它只是一個虛幻之詞，沒有具體的實體可與之對應。

「元素」這個詞的使用並不能證明孟德爾已經有或提出單位化的性狀載體這樣的想法。

貳、孟德爾主義的誕生和發展

真正孟德爾遺傳理論的創始人其實是貝特生。貝特生不僅在英國提倡推廣孟德爾主義，同時也是「遺傳學」(genetics) 這個字的造字者，而且提供了古典遺傳學的許多重要術語，如同麥爾所言：「在這領域中最重要的術語，我們受益於貝特生。他在 1906 年鑄造了 genetics，1901 年鑄造 allele (最初作 allelomorph)、heterozygote 和 homozygote。這些沒有歧義的詞彙，在這個時期大幅地促進了溝通。」(Mayr 1982: 733)¹⁵ 從「理論版本論」的角度來看，貝特生其實創建了古典遺傳學的「典範、原型的理論版本」，這個理論版本整合了孟德爾的經驗模型、德弗里斯和柯仁斯的遺傳定律和細胞生殖理論，成為一個古典遺傳學中的孟德爾理論的原型版本。

15 這裡我們可以再作一點字源學的考據和中文翻譯的演變之交代。Gene 今天被譯成「基因」，可是它是來自希臘文 *genesis*，是「生成」或「發生」的意思。一直到十九世紀末，它包含了生物的誕生（受孕、胚胎）、發育和遺傳三個面向而不加區分。從德弗里斯的 *Pangene* 開始，*genesis* 的遺傳面向開始被凸顯，貝特生用此字的字根鑄造了 genetics 一字，應該譯成遺傳學。1909 年丹麥的遺傳學家 W. Johannsen 捨棄 *Pangene* 的 pan 而成 gene，代表性狀遺傳的載體，即中譯的「基因」。在基因做為性狀遺傳的載體被接受之後，也經摩根的發展，genetics 也許也會被譯成「基因學」或「基因遺傳學」，此類譯詞預設了一套基因理論。但是，貝特生本人並不怎麼接受 gene 的概念，因此用「基因遺傳學」來翻譯貝特生的遺傳學是不恰當的。同理，allele 在今天的生物學或基因工程學辭典中被譯成「對偶基因」或「等位基因」，但這樣的譯法也不能用在 allelomorph 上。貝特生著作中的 allelomorph 或許該譯成「對偶性狀」較好。

一、貝特生的背景思想

貝特生的思想與實驗發展歷程可以分成兩個階段，表現在三本重要著作中。1894年的《變異研究的材料》(*Materials for the Study of Variation*)顯示他對變異問題的關懷，是第一階段的成果。1909年的《孟德爾的遺傳原理》(*Mendel's Principles of Heredity*)和1913年的《遺傳學的問題》(*Problems of Genetics*)以遺傳問題為核心，代表第二階段的成果，前一本書建立了孟德爾遺傳學的原型版本，後一本書則標誌了他與摩根式遺傳理論的分道揚鑣。雖然，本文的主題是遺傳理論與實驗，但1894年的著作提供了貝特生在遺傳學實驗上的背景觀念，必須優先討論。

貝特生的科學研究也是從演化與物種起源的問題而開始的。生物物種如何演化？新物種如何誕生？貝特生在《變異研究的材料》中為自己設定一個任務，去解決他認為的一個謎題：不連續的物種如何可能從適應連續的環境中形成？因為貝特生認為：「物種之間的差異……是種類的差異(differences of kind)，形成一個不連續的系列，然而物種從屬的環境之差異只是程度上的整體差異而且形成一個連續的系列。」(Bateson 1894: 16) 這個信念使貝特生拒絕達爾文的適應和天擇理論，因為它主張演化是基於微小變異的逐漸改變，再經由適應環境的天擇機制而造成的——這是連續環境導致不連續的種類，有其內在的邏輯矛盾。當然，貝特生相信變異是解決演化問題的關鍵，他認為：「不管變異的原因是什麼，它是演化的根本現象。變異事實上就是演化。因此，解決演化問題最妥當的方式是研究變異的事實。」(Bateson 1894: 6) 如果變異是演化的根本現象，而演化產生了不連續的物種，而物種又是由大量或基本變異來區分，變異是造成物種的因素，這是否意味著變異本身可能也是不連續的？因此，貝特生進

一步拒絕達爾文理論中蘊涵的連續性的微小變異之觀點，換言之，他相信「變異是不連續的」，在研究了大量的材料（各種生物的變異）之後，他結論：「……物種是不連續性的一個表現，其起源不是出於環境，也不在於任何適應的現象，而是在於生物體本身的內在天性（intrinsic nature），顯現在變異原初的不連續性（original discontinuity）中。」（Bateson 1894: 567）正是這種背景觀念，推動貝特生在 1890 年代後半從事大量的育種雜交實驗，而且在 1900 年得知孟德爾定律的再發現後，立即接受了孟德爾主義，因為把每個性狀分離獨立處理的分離律毫不歧義地配合他的「不連續的變異」觀念——因為變異也就是同類性狀的不同呈現；¹⁶ 而且孟德爾主義也完全配合貝特生那「不連續的物種之起源來自於生物體本身的內在天性」——亦即物種演化的起源來自於遺傳。

貝特生的演化觀念通常被稱作「躍變理論」（the saltation theory, or the theory of saltative evolution），在科學史上對立於達爾文的漸變主義（gradualism）。它與德弗里斯的突變理論雖相似但並不一樣。貝特生的「躍變」指物種內部個體性狀的不連續變異，而不是可以創造出新物種的巨大突變性狀。事實上，貝特生也不相信一個單一突變即可能創造出足以定義新物種的一群新性狀。對他而言，突變頂多只能破壞既存的孟德爾因素（Mendelian factor）——造成一個不連續變異的因素（Bowler 1983: 192-193）。那麼，對貝特生來說，什麼造成物種的演化呢？什麼是物

16 更精確地說，貝特生把變異分成兩種：一是「可量測變異」（meristic variations），即對稱地重複、可數的而且不連續的性狀或結構，如眼珠的是黑色或藍色、碗豆是高莖或矮莖等。另一是「實質變異」（substantive variations），即一般可連續的變異，如黑眼珠中有深黑或淺黑等。

種的起源呢？誠如古爾德的評論（Gould 2002: 405-406），貝特生其實並沒有對這問題作出多少積極性的宣稱，他的主要論證都是否定性的，旨在拒絕達爾文的天擇和適應可以做為推動物種演化的創造力量。¹⁷

已知貝特生的遺傳實驗之背景觀念後，他如何從大量的實驗證據中建立孟德爾主義的原型版本呢？我們必須分析《孟德爾的遺傳原理》的結構和內容。

二、《孟德爾的遺傳原理》的實驗結果和理論

《孟德爾的遺傳原理》全書編輯成兩大部分，第一部分是主要內容，第二部分其實是附錄，一篇孟德爾的傳記，還有〈植物雜交實驗〉和〈水蘭屬雜種〉兩文的翻譯。第一部分共有十六章，根據其內容，可以再分成三部分：第一部分包括第一、二、三章，表達孟德爾遺傳學的原理，亦即建立一個孟德爾主義的原型版本。第二部分從第四章到第十四章，討論了數百種動植物的遺傳現象，做為孟德爾遺傳學原理的證據，包括人的遺傳、性的角色等，特別是動植物的體色總共用了五章來處理。第十四章則處理所謂的例外或不一致的現象（亦即孟德爾理論的異例）。第

17 古爾德評論說，如果根據貝特生的想法，很多變異是不連續的，是來自生物體內，透過遺傳而顯出機械或化學上的穩定性，則演化的最初原因應該是一個不連續的歷程，應該被定位在變異的規則、模式或方向上。可是，貝特生一方面不接受德弗里斯的「突變」，另一方面也沒有對不連續的變異如何推動物種演化給出一個清楚明確的答案。貝特生否定天擇和適應的論證，大致而言，一個是基於邏輯：適應連續的環境不可能創造出不連續的變異；另一個是反達爾文主義的老論證：天擇頂多只能在來自於生物體內部的不同變異中作選擇，而無法做為創造新物種的力量。還有一個是方法學上的反對：貝特生認為適應和天擇是想像的、猜測的，是功能性的說明，沒有實驗和物理化學的基礎（Gould, 2002: 405-406）。

三部分是孟德爾遺傳原理的意義，第十五章討論孟德爾的發現如何改變生物學的種種概念，第十六章處理孟德爾原理的實務應用，包括育種技術和社會學的應用。此處將討論第一部分和第十五章。

在第一章「導論：孟德爾的發現」(Introductory. Mendel's Discoveries)中，貝特生引入了 Allelomorphism、homozygote、heterozygote 等術語。在簡單地陳述了孟德爾的發現與再發現之後，貝特生開始介紹孟德爾理論的重要概念，首先是性狀的顯性和隱性、性狀的分離現象 (segregation)，然後引入「對偶性狀」(allelomorphic) 這個術語：「性狀彼此在生殖細胞形成的過程中分離的現象，我們稱為 segregation，而彼此分離的性狀則被描述為 allelomorphic，亦即在配位子 (gametes) 的構成中非此即彼 (alternative to each other in the constitution of the gametes)。」(Bateson 1909: 11) 貝特生也討論代表分離律的 3:1 比例，不像孟德爾與德弗里斯使用算術的加號 +，貝特生採用乘號 ×，並列出了顯性隱性搭配的四種可能組合 DD×RR、DR×RR、DR×DD、DR×DR 與它們的結果。下一節貝特生引入「同接合子」(homozygote) 和「異接合子」(heterozygote) 這兩個理論概念以做為分離現象的結果，即擁有對偶性狀中兩個相同性狀 (同為顯性的 AA 形式和同為隱性的 aa 形式) 的受孕細胞為同接合子，反之有兩個相異性狀者 (Aa 形式) 為異接合子。

第二章「已被調查的材料」(The Material Investigated) 為典型的文獻回顧，羅列已被育種學和遺傳學家實驗的動植物案例，植物舉了三十六種；動物在「體質性狀」(structural characters) 部分有二十六種。然後貝特生再特別討論「體色性狀」(color characters)，有二十七種植物和十七種動物 (這裡的「種」都不

是生物分類上嚴格意義的「物種」或「屬」。本章最重要的是討論不完全顯性 (imperfect dominance) 的現象，貝特生討論一種 Andalusian fowl (安達魯西安品種雞)，其藍羽毛互相交配卻產生 1/4 黑羽毛、1/2 藍羽毛和 1/4 斑白羽的小雞；又黑羽毛與斑白羽交配產生第一子代全是藍羽毛，第二子代再重現 1 黑：2 藍：1 斑白的比例 (Bateson 1909: 51-52)。這裡顯示 AA 形式的同接合子才能產生黑羽這樣的完全顯性性狀，而 Aa 形式的異接合子只能產生藍羽這種「不完全顯性性狀」。因此，貝特生在第一章即已強調：「某一定性狀的支配 (顯現) 是孟德爾遺傳的一項重要但絕非必要的特色。那些首先處理孟德爾作品的人，不幸地掉入一個錯誤，即宣稱有一個可以和『分離律』等量齊觀的『顯性律』。孟德爾自己並未宣稱這樣的定律。」(Bateson 1909: 13) 後來的基因遺傳學 (如現行的生物學教科書) 把顯性定位在基因型 (genotype) 上而非表現型 (phenotype)，即顯性基因而非顯性性狀，如此在每一對對偶基因 (allele) 上總有一個顯性基因和一個隱性基因，那麼說孟德爾遺傳定律中有「顯性定律」或「顯隱律」就是合理的。¹⁸ 但是，要注意的是，貝特生本人並沒有明確地意識到「基因型」和「表現型」的區分，他是把顯性定位在性狀 (即表現型) 上——換言之，貝特生的實驗對象是性狀。

第三章處理教科書所謂的獨立分配律，即兩種以上性狀搭配

18 教科書仍然使用「不完全顯性」這樣的術語，解釋說這是一種顯性基因相對於隱性基因並不具足夠的優勢，以致無法產生足夠的色素，使得異接合子發育的個體，無法顯現出顯性基因的同接合子發育成的個體那種較深的體色。教科書的案例是紅花與白花的金魚草，有 1/2 的粉紅花。參看 Vilee, at el., 1989: 260-261, Starr and Taggart (中譯本), 1996, 頁 170。

在遺傳上的量化結果，已被柯仁斯明確表達的 9 : 3 : 3 : 1 的比例數列，貝特生作了一個數學公式上的推廣 (Bateson 1909: 59-60)：

$$4=3+1$$

$$16=(3+1)^2=3^2+3+3+1$$

$$64=(3+1)^3=3^3+3 \cdot 3^2+3 \cdot 3+1=27+27+9+1$$

如此可以通則化成

$$4^n=(3+1)^n=\dots$$

緊接著，貝特生也處理不完全顯性現象在兩種性狀上獨立分配的結果。他舉證一個已為家禽育種學家熟知的事實：雞冠的形狀。一般有五種雞冠形狀，如圖 11-1 所示：A 型公雞的單冠 (single comb)、B 型公雞的豆冠 (pea comb)、C 型母雞的豆冠、D 型是公雞的玫瑰冠 (rose comb)、E 型公雞的胡桃冠 (walnut comb) (已知是由玫瑰冠公雞與豆冠母雞交配而產生)。也就是說，現在有四種雞冠：單冠、豆冠、玫瑰冠和胡桃冠，分別以 S、P、R、RP 來代表，那麼可以做實驗來檢驗它們的遺傳規律。¹⁹

19 生物學教科書一般使用基因遺傳理論的語言來解釋這個案例，而且說這是兩組對偶基因交互作用影響表現型而產生的結果，參看 Villee, et al., 1989: 262-263、Starr and Taggart (中譯本), 1996, 頁 171-172。這種解釋是繼承摩根觀點，參看下一節。

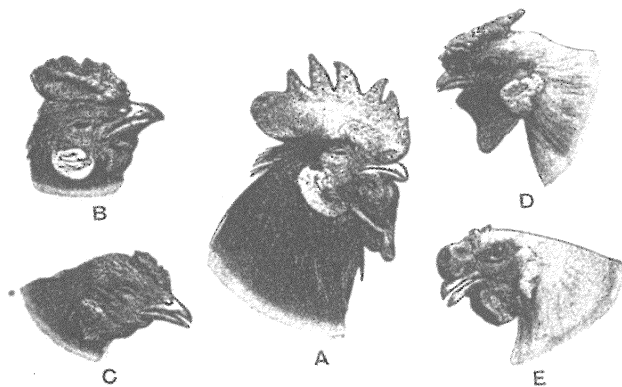


圖 11-1 五種雞冠形狀
(來源：Bateson 1909: 61)

首先，把胡桃冠型的公母雞交配，產下子代的比例為 $9R P : 3R : 3P : 1S$ 。如果把胡桃冠與單冠交配，則產下子代比例為 $1R P : 1R : 1P : 1S$ ，這可以建立 R 和 P 是性狀的呈現，因此是顯性的；而 S 是沒有 R 和 P 的性狀，因此相對於 R 和 P 是隱性的。現在，貝特生分析，決定雞冠形狀的因素有兩個「性狀因子」（孟德爾因子），它們的出現和不出現構成四種情況，四者的獨立分配才產生了四種雞冠形狀。這四種情況是：

1. 玫瑰冠（顯性） R 和「缺玫瑰冠」（absence of rose） r
2. 豆冠（顯性） P 和「缺豆冠」（absence of pea） p

如果 r 和 p 也代表一個因素，那麼它們是消極的，是因為積極因子 R 和 P 的缺乏才構成一個因素。如此，「胡桃冠形狀」即至少有一個「玫瑰冠因素」和「豆冠因素」同時出現搭配下的產物，而「玫瑰冠形狀」是「玫瑰冠因素」和「缺豆冠因素」搭配之產物，「豆冠形狀」是「豆冠因素」和「缺玫瑰冠因素」之產

物，「缺玫瑰冠因素」和「缺豆冠因素」搭配則生出「單冠形狀」。那麼四種雞冠形狀的遺傳完全吻合孟德爾的規律性。以圖表來表示胡桃冠和胡桃冠交配產下第一子代與子代相互交配再產下第二子代的結果，如下表 11-1 (Bateson 1909: 65)。

表 11-1 雞冠的獨立分配

RPRP 胡桃冠， 互相交配生純 種子代	RPRp 胡桃冠， 生胡桃冠和玫 瑰冠子代	RPrP 胡桃冠， 生胡桃冠和豆 冠子代	RPrp 胡桃冠， 生出四種子代
RpRP 胡桃冠， 生胡桃冠和玫 瑰冠子代	RpRp 玫瑰冠， 生純玫瑰冠子 代	RprP 胡桃冠， 生出四種子代	Rprp 玫瑰冠， 生玫瑰冠和單 冠子代
rPRP 胡桃冠， 生胡桃冠和豆 冠子代	rPRp 胡桃冠， 生四種子代	rPrP 豆冠，生 純豆冠子代	rPrp 豆冠，生 豆冠和單冠子 代
rpRP 胡桃冠， 生四種子代	rpRp 玫瑰冠， 生玫瑰冠和單 冠子代	rprP 豆冠，生 豆冠和單冠子 代	rprp 單冠，生 純單冠子代

現在，我們可以說一個孟德爾主義的原型版本（含不完全顯性現象的規律性）在貝特生的手中被建構出來了。

但是，貝特生終究沒有發展出一個基因遺傳理論，可以由第十五章的內容看出，在這章中，貝特生討論了孟德爾主義對整個生物學領域和概念的重大意義，其中一節是「染色體為遺傳因素的可能載體」(chromosomes as the possible bearers of factors)，標題似乎是肯定、實質內容卻是否定的。在二十世紀初，細胞核內的染色體的行為似乎配合孟德爾的遺傳定律，已廣為周知，貝特生也提到了摩根正在研究中，但仍有很多問題。貝特生說：「關

於染色體很多已知的現象，似乎與染色體是遺傳唯一的有效工具之觀點不一致。」緊接著說：「如果染色體直接做為產生物理性狀的主要動因（chief agent），我們確實應該期待在區分類型的差異與區分染色體的數量或形狀的差異之間，找到某種程度的對應。至今就我所知，沒有人找到這種對應的跡象。」（Bateson 1909: 271）事實上，一直到 1913 年的《遺傳學的問題》，甚至他去世之前，貝特生一直都沒有接受遺傳的染色體理論，等於是他一直未接受摩根建立的基因遺傳理論。可是，在《孟德爾的遺傳原理》中，貝特生並沒有涉及遺傳是如何發生、其原因是什麼的「遺傳機制」（mechanism of heredity）問題。所以，他再寫了《遺傳學的問題》，針對此問題進行思辨。貝特生當然不是否認染色體在遺傳中扮演一定的角色，但他拒絕染色體是唯一的角色，他認為還有一種更重要、更關鍵的未知物理力量，在細胞分化的過程中，控制了受孕卵子的物質結構，這種力量的特徵是震盪性的，所以能造成不連續性狀的現象、條紋狀的體色等等，正如波在沙灘上產生的紋漪（Bowler 1983: 193-194）。²⁰

為什麼說貝特生不接受遺傳的染色體理論等於不接受基因遺傳理論呢？難道遺傳因素或孟德爾因素不是基因嗎？確實，很多生物學家和教科書在說明貝特生的案例時，都使用基因理論的語言。然而，有兩點是科學史必須強調的：第一，貝特生並沒有明

20 鮑勒認為貝特生是受到十九世紀末支配劍橋科學家的觀念論哲學（idealist philosophy）之影響，他評論說：「它的確產生一個弔詭的事實，一位領導性的實驗學家仍然認同一個保守的、幾乎觀念論式觀點，在特徵上像定向演化。」（Bowler 1983: 194）鮑勒的評論是否適當，在此我不予討論。但他至少提供了一個貝特生為何不接受遺傳的染色體理論的一個理由——基於貝特生的哲學（形上學）觀念。進一步，貝特生的形上學觀念似乎又和他的方法學觀念（如古爾德所言）互相衝突。

確的基因型和表現型區分的觀念，對貝特生來說，孟德爾的分離律表徵的是性狀分離的規律性，至於是不是有對應的分離「物質載體」是一個有待研究的問題。第二，孟德爾因素是造成分離性狀的原因，但並不是分離性狀本身，因此所謂的孟德爾因素也不見得是一種可完全使用化學手法分離出來的載體（即染色體）。有可能一種複雜的物理機制，造成了性狀分離的事實。因此，我們不能直接把貝特生的孟德爾因素和基因（摩根的基因理論之觀念，相當於染色體上的一定片段）劃上等號。

三、從孟德爾遺傳理論到基因理論

在討論摩根之前，我們有必要對「孟德爾主義」和「古典遺傳學」這兩個名詞作一番詞意分析。這兩個詞有時被科學家和生物史家用為可互換，但兩者的涵蓋範圍其實並不一樣。「孟德爾主義」是指以孟德爾發現的經驗模型為基礎，建立孟德爾定律的不同表述，探討性狀遺傳的各種遺傳理論版本，而且尊奉孟德爾為遺傳學創始人，例如本文討論的柯仁斯、貝特生、摩根都是孟德爾主義者；但孟德爾本人意圖發現的並不是所謂的孟德爾遺傳定律，因此他不是一位孟德爾主義者，同樣地，儘管身為所謂再發現者，德弗里斯也不是孟德爾主義者，因為他有自己的一套細胞內泛生論和突變理論，並未在孟德爾定律的基礎上去發展一套遺傳理論版本。可是，他們五人都屬於古典遺傳學——他們的實驗、發現、理論概念、假設一起聯合建立古典遺傳學這門領域，聯合推動了古典遺傳學的發展。「古典遺傳學」又是對比於「分子生物學」而立說，因為它有一套自己的實驗方法（來自雜交育種學的傳統）、經驗資料和逐步演化的理論術語和理論版本家族，古典遺傳學以摩根在 1926 年建立的基因理論最成熟的版本，但本書的討論將限制在 1910 至 1915 年間摩根的孟德爾主義

遺傳理論（看第十二章）。

如同德弗里斯和貝特生，摩根從事遺傳實驗的思想背景有兩個面向：一個針對演化的動力或機制問題；另一個是針對變異（性狀）的遺傳起源。摩根和德弗里斯一樣，其早期思想同屬於演化的突變主義。摩根待過德弗里斯的實驗室，而且深受德弗里斯思想的影響。至於「變異的遺傳起源」問題，摩根面對的思想背景是孟德爾遺傳定律的再發現（創建），以及尋求去發現孟德爾式的遺傳機制，當時已有貝特生的「物理動力理論假說」和其他科學家的「遺傳的染色體理論假說」在互相競爭，摩根並沒有明確支持前者，但他更反對後者，因為他在投入遺傳的果蠅實驗之前，已是一位有地位的胚胎發育學家，而直到二十世紀初，胚胎學仍然被漸成論的思想支配，厭惡先成論，遺傳的染色體理論被聯想到先成論（Mayr 1982: 745）。摩根由於反對先成論的思想傾向因此而反對遺傳的染色體理論，沒想到，他的實驗最後反而印證了染色體理論，他也在1910年後成為染色體理論的支持者，更從其中發展出基因遺傳理論。麥爾用「改宗」（conversion）來形容摩根，他先描述孟德爾主義的遺傳學家如貝特生和摩根都反對遺傳的染色體理論，因此需要由實驗來檢驗它，結果「……支持性的實驗證明最後由摩根團隊和其他人提供了。但這是在1910年之後，緊跟著摩根從反對者改宗成染色體理論的支持者而來的。」（Mayr 1982: 770）這是一個科學家在面對大量證據時改變先前主張的一個經典範例。

雖然遺傳的染色體理論不是摩根在實驗前的背景觀念之一部分，但它是摩根的實驗背景，亦即摩根企圖做實驗來檢驗這個理論，構成了摩根的實驗目的之一部分。如此我們仍有必要介紹遺傳的染色體理論（以下主要根據麥爾〔Mayr 1982: 747-749〕的

描述)：這個理論是由是在十九世紀末由薄維利 (Theodor Boveri, 1862-1915) 和舒頓 (Walter S. Sutton, 1877-1916) 建立的，當然還有其他科學家也有貢獻。它的提出乃是基於顯微鏡對細胞行為的觀察再進一步推論而來的，它必須基於染色體的兩個基本特徵的建立：個體性 (individuality) 和連續性 (continuity)。薄維利提供了染色體個體性的證據，亦即在細胞核內，不同形狀的染色體有不同的功能和行為，因此應該被視為具個性的不同個體。(在此我們可以作一個類比的說明，同類細胞的每個細胞沒有個體性，儘管我們可能在顯微鏡下分辨不同的細胞，但不同個細胞間沒有什麼行為和功能上的差異，因此不必考慮不同個細胞的個性。) 進一步，染色體在細胞內總是兩兩配對，配對的染色體稱為同形染色體 (homologous chromosome)，在細胞分裂成生殖細胞時，染色體也會成對減半，一對同形染色體會被拆開分別進入「女兒生殖細胞」中；進而生殖細胞的結合，染色體回復完整數量，但其一半同形染色體來自雌性配子、一半來自雄性配子。這樣的行為與孟德爾定律的描述幾乎一致，舒頓首度提供了兩者平行的假說，他說：「父親和母親染色體成對結合以及後續地在減數分裂中分離……可能構成孟德爾遺傳定律的物理基礎。」(轉引自 Mayr 1982: 748) 在這個分裂和結合的過程中，染色體的形狀、功能和行為一直延續，而且如果一個接合子缺少某些染色體，就無法正常發育，這是染色體的連續性，再度由薄維利提供了實驗上的支持。換言之，遺傳的染色體理論和孟德爾定律的關連性，已經被舒頓提出了，而薄維利提供了細胞學上的實驗證據——但是，這不是直接的遺傳實驗證據。因此，在摩根的實驗之前，遺傳的染色體理論仍處於一個假說的地位上。摩根的果蠅實驗使他整合遺傳的染色體理論和孟德爾主義，把染色體假說發展成理論。

讓我們將摩根的系列果蠅實驗之一般結構重建如下：

(1) 問題：尋找突變種和遺傳的規律性；檢驗染色體假說。

(2) 對象：性狀載體（染色體）

(3) 裝置（工具）：主裝置為果蠅（*Drosophila ampelophila*; fruit fly）。加上其它培育果蠅的工具如開口瓶、食物等。

(4) 操作：分成兩個部分。第一個部分是培育（製造）實驗工具——果蠅和突變的果蠅；使用溫度、化學藥物、輻射物、X 光射線等企圖誘發果蠅突變。第二部分是遵循雜交學家和孟德爾建立的雜交實驗程序：將兩種具對偶性狀的純雜種互相交配，得到第一子代，以辨識何為顯性性狀；繼而將第一子代互相交配，以得到第二子代，計算其性狀的比例等。

(5) 控制：包含實驗裝置的選擇和排除變因干擾。選擇果蠅的理由如同上述（大量生產、世代成熟時間短、染色體少、容易養殖、不易受病變與災害等）。在排除變因干擾部分，因為果蠅是動物，不是植物，因此必須有效隔離親代和子代，以避免世代混亂。摩根在其「哺育果蠅的方法」（*Methods of Breeding Drosophila*）一文中詳細交代了把果蠅移到不同培育瓶的時間（Morgan 1915: 231）。

(6) 結果蒐集：也分成兩部分：第一部分是突變果蠅的觀察和突變性狀的記錄；第二部分是孟德爾遺傳實驗的標準程序，記錄每世代各種性狀之間的數字和比例。

(7) 預測：沒有。如同孟德爾和其他古典遺傳學家一般，摩根並沒有作任何如同典型的理論引導的物理實驗般的事先預

測。這也是古典遺傳學非「理論主導」的特色。當然，既然孟德爾遺傳定律已被建立，也可以說摩根預期了果蠅會出現孟德爾式的比例，但這已經有太多案例，不算是一個新奇的預測。摩根在大量實驗結果的統計中所建立的「連鎖」和「交換」等理論，並不是事先的預測（看下一章討論）。

儘管摩根的實驗拒絕了德弗里斯的突變理論版本，但是摩根本人並沒有改變他的突變演化思想（但這思想和德弗里斯的理論已有很大的差異），他在 1910 年之前仍然相信一系列的突變是演化的原因，演化不是外在環境的天擇，而是生物體內內在的遺傳機制，他終究沒有改變他的演化突變主義。所以，我們將說從德弗里斯到摩根的實驗發展歷程是 BC 型的，亦即在演化突變的問題上，他的實驗和德弗里斯的實驗「背景觀念一致（但容許變異），不同類的實驗模型，和一致的實驗結果」；可是，在遺傳的染色體理論上，摩根從反對者變更成支持者，他在實驗後改變了他的背景觀念，而貝特生一直沒有支持染色體理論，然而他們的實驗結果是一致的；所以從貝特生到摩根的實驗發展歷程是從 BC 型轉變成 C 型——亦即從「背景觀念一致，不同類的實驗模型，一致的實驗結果」轉變成「背景觀念不一致，不同類的實驗模型和一致的實驗結果」。

在做了大量實驗與說明大量的經驗之後，摩根提出遺傳因子假說（他沿用貝特生的術語 factor，後來為了與貝特生區分而改稱 gene）：孟德爾式的遺傳現象乃是由於位在染色體上的因子在一定環境和其它因子的作用下，所造成的結果。在遺傳中，真實單位是因子（the real unit in heredity is the factor），所謂單位因子造成單位性狀是誤解，事實上，一個性狀可能是好幾個因子聯合作用，一個因子也可能負責好幾個性狀。「性狀是一些因子和環

境條件的合成結果。只有當對比的個體在一個單一因子上不同時，性狀才表現得像單位，而且只有在這種情況下，它才會被稱作單位性狀。」(Morgan 1915: 210) 正是由於因子與性狀的混淆產生了很多重大的誤解，例如貝特生對於雞冠的著名解釋。貝特生認為缺「玫瑰冠因子」產生「豆冠 P」，缺「豆冠因子」就產生「玫瑰冠 R」，兩者都有產生胡桃冠，兩者都缺則產生單冠。可是雞冠需要一個因子來產生它，因此這因子就標示為 S，那麼四者的符號為：

玫瑰冠	RpS
豆冠	rPS
胡桃冠	RPS
單冠	rpS

現在，再把單冠雞與無冠雞交配，結果第二子代單冠與無冠的比例為 3:1，如此可以證明這種「缺 x 因子」的解釋是對的。可是，摩根認為，毋需把這個案例理解為「缺 x 因子」，反而可以使用基因突變來解釋。因為野生種的雞為單冠雞，雞冠可能有三種基因的聯合作用，其中一個突變產生玫瑰冠，另一個突變產生豆冠，第三個突變產生無冠，胡桃冠則同時有豆冠和玫瑰冠的突變基因，符號表為：

野生種（單冠）	ABC
玫瑰冠	A'BC
豆冠	AB'C
無冠	ABC'
胡桃冠	A'B'C

摩根很小心地強調他並不是要拒絕缺基因可能造成性狀變異的情況，重點在於「缺因子」的假設似乎預設了單一因子產生單一性狀，這正是摩根想避開的混淆。而且這樣的說法只有在知道基因如何作用以產生性狀的情況下，才能判斷缺基因產生另一種性狀，但是當時並沒有這樣的知識。再者，如果性狀隱藏被視為缺基因的判準，則性狀顯現就是因子存在，問題是，如同先前已指出，顯性通常是不完全的，像雞冠這種性狀的變異，毋寧說是顯性和隱性基因聯合作用的結果。最後是，多重對偶基因的存在可以說明這種情況，毋需訴諸於缺因子的說法。可以看出，摩根對於雞冠案例的「缺因子假設」之反對，乃是基於他的基因理論版本，這個例子最能鮮明地凸顯出他和貝特生的差異。

參、古典遺傳學的實驗與理論版本的發展

前兩節展示的古典遺傳學包括兩個部分：遺傳實驗的播散和古典遺傳學理論版本家族的形成和建立，兩者緊密相關、融為一體，但並不妨礙我們可以分別重建它們的譜系。

關於遺傳實驗的播散，重點是不同實驗家的背景思想、實驗工具和對象、落實結果彼此間的比較，以顯示其變化狀況。可以整理條列如下：

（一）以柯路特和諾丁為代表的雜交學家有共同面對的問題：物種雜交能否產生新物種？他們以動植物（工具）來實驗，其實驗對象物種和雜種，結果得到否定的答案，而形成物種本質主義的觀點。孟德爾繼承了他們的問題、實驗工具與對象，但是否雜交可以產生新物種？孟德爾並沒有明顯的答案。可是，孟德爾卻提出了一個雜種形成與發育定律，是其前輩的結果中沒有

的——這個結果後來也開啟了古典遺傳學。所以，這個實驗傳衍是 BM 型，從孟德爾的論文討論了柯路特來看，他直接繼承了 (DD) 早期雜交學家的實驗。

(二) 再發現者德弗里斯和柯仁斯與孟德爾有截然不同的思想背景，他們的實驗也非受到孟德爾的啟發（所以是間接傳衍 ID）。可是，卻得到一致的結果（亦即孟德爾的基本比例和所謂的孟德爾定律）。至於實驗工具和對象方面，德弗里斯的實驗對象仍然游移在性狀與物種之間，仍與孟德爾相似，所以從孟德爾到德弗里斯的實驗是 MC 型傳衍；柯仁斯的實驗問題和對象是性狀的遺傳，已與孟德爾不同，所以他們之間的實驗是 C 型的傳衍。

(三) 貝特生是因為再發現者才能「發現」孟德爾，所以，貝特生的實驗直接傳衍 (DD) 自德弗里斯和柯仁斯。可是，貝特生的背景觀念與德弗里斯和柯仁斯都不一致，此外，他的實驗問題在於性狀的遺傳，實驗對象是性狀，考察動植物的跨交遺傳，與德弗里斯也有極大差異，所以兩人的實驗是 C 型傳衍；但他的模型與柯仁斯差異不大，所以兩人的實驗是 MC 型傳衍。

(四) 摩根與上述先行者的關係，可以分成兩個階段來看，1910 年之前，他所做的實驗與德弗里斯的實驗是 BC 型的傳衍，與柯仁斯的是 MC 型的傳衍，與貝特生的也是 MC 型的傳衍；但 1910 年之後，他發展基因遺傳理論，他的實驗對象不再是性狀，而是指向染色體，他的操作與控制方式也與先前的植物遺傳學家大異其趣，所以，他與上述三人的實驗傳衍關係變成 C 型。

至於古典遺傳學的理论版本之發展，除了孟德爾的實驗和經驗模型之外，還必須納入達爾文的泛生論（德弗里斯的思想來

源)、威斯曼的硬遺傳理論(柯仁斯的理論來源)等。因此,古典遺傳學的諸理論版本的發展歷程與科學家之間的譜系關係,可以整理條列如下。必須強調的是,它是一個非常複雜的過程,本書所提供只是一個粗略的模型,一個基於本章討論的五位關鍵科學家而建立的譜系。

(1) 孟德爾提供一個性狀在生物變種雜交下傳遞的經驗模型,也提供「單位、分離性狀」的原型觀念,但他自己的思想不屬於古典遺傳學。

(2) 達爾文的芽胞觀念,提供性狀載體的原型觀念。威斯曼的細胞核分裂提供性狀載體只在細胞內傳遞的理論架構。

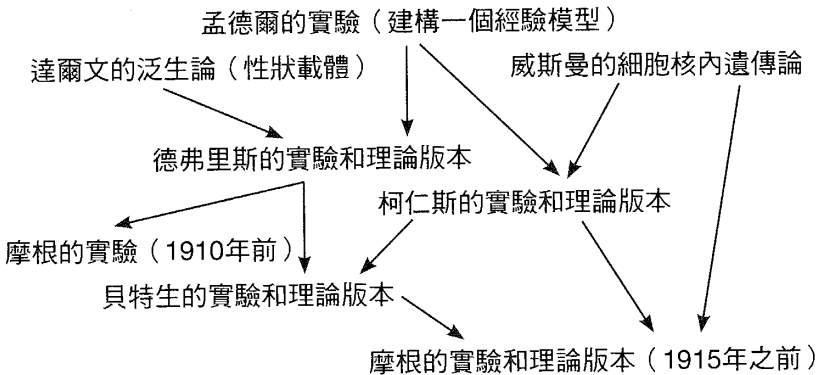
(3) 德弗里斯解釋孟德爾的經驗模型為分離律和顯性律,並整合達爾文的芽胞(性狀載體,改稱泛基因)觀念、分離律與顯性律,加上他自己的演化突變理論,構成一個古典遺傳學的雛形理論版本,其核心主張是「泛基因突變可以產生新物種」。

(4) 柯仁斯解釋孟德爾的經驗模型為分離律和獨立分配律,明確提議「性狀載體是個體粒子」的觀念,引入威斯曼的細胞核分裂觀點,暗示粒子化的性狀載體活動於細胞核內。柯仁斯建立一個孟德爾主義的雛形理論版本。

(5) 貝特生確立分離律與獨立分配律,主張存在孟德爾因子(雖然他反對那是染色體),說明不完全顯性現象(包括單一性狀和多元性狀),解決許多異例,擴大孟德爾定律的適用範圍,鑄造古典遺傳學術語,所以他提出了一個孟德爾遺傳理論的原型理論版本。

(6) 1910年後的摩根，使用果蠅做實驗，產生更多經驗資料，使孟德爾定律能說明各種比例，確立「孟德爾因子」為基因，並存在於細胞核內的染色體上，整合孟德爾遺傳理論和遺傳的染色體理論，建構一個基因遺傳理論，這是古典遺傳學的成熟版本。不過，本章並沒有詳細討論這個版本。

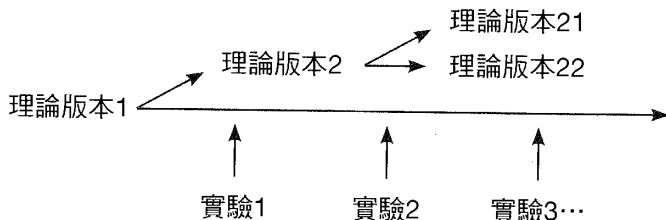
因此，一個古典遺傳學的實驗和理論版本家族的發展和影響系譜圖可以具體建立如下：



肆、理論和實驗發展的三種典型樣式

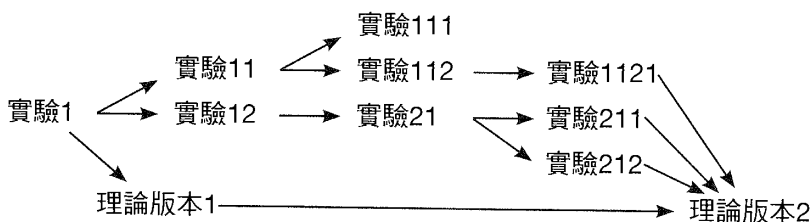
本書挖掘了理論與實驗至少三種發展樣式，分別在第三章以牛頓力學的檢驗、第十章古典電學的工具探測、本章的古典遺傳學的實驗和理論版本的互相增生，三者分別例示了三種不同的發展樣式：理論主導、實驗主導、理論與實驗的交織互生。以下讓我們抽象地圖示這三種發展樣式。

樣式一：理論主導的發展，如古典力學。



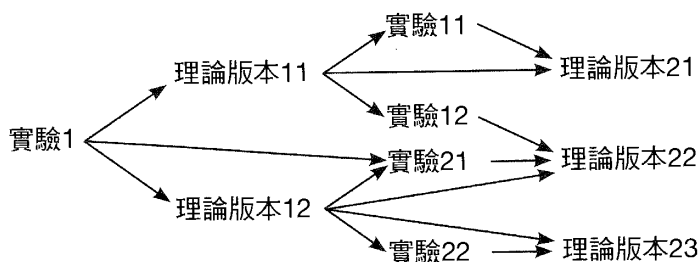
其中，理論版本有獨立的發展，理論家一再地精煉理論而產生新版本。實驗往往對準單一版本，主要目的在於印證它。

樣式二：實驗主導的發展，如古典電學。



實驗有其獨立的發展，其目的通常在於試驗新實驗模型能產生什麼樣的新結果，或者探測新工具的潛能。在累積大量的新奇實驗結果之後，新理論版本才被建構以說明各種新奇現象。

樣式三：理論和實驗的交織循環發展，如古典遺傳學。



其中，實驗 11 和實驗 12 同時受到實驗 1 和理論版本 11 的啟發，實驗 21 同時受實驗 1 和理論版本 12 的啟發，理論版本 21 則是因實驗 11 的結果修改理論版本 11 而產生的，如此等等。

第十二章

科學實驗的發展（三）

一個行為人基礎的動力學

輻射模型顯示科學實驗的發展，可以用系譜、傳衍、傳衍路徑和傳衍類型等觀念來描述，也就是說，從一個原型實驗，沿著背景觀念、實驗模型和實驗結果這三個不同的路徑而衍生不同的實驗。前兩章已使用古典電學的起電機和萊頓瓶實驗和古典遺傳學的雜交育種實驗來例證。我們現在想問，這樣的實驗發展的動力是什麼？或者說，什麼原因造成這樣的實驗發展？換言之，實驗發展的動力學在於對實驗的歷史演變與其特別的演變模式提出一個因果說明。可是，在問什麼原因（或因素的組合）導致實驗的發展和演變時，一個更優先的問題是：一個實驗是怎麼誕生的？什麼原因使得一個實驗出現？

一個實驗總是要有實驗者、實驗目的、實驗工具、實驗設計才能形成，這些是實驗的條件，缺少任一個，實驗就無法誕生。這些條件都是原因嗎？根據亞里斯多德的四因說（質料因、形式因、動力因和目的因），答案是肯定的：實驗工具是質料因、實驗設計是形式因、實驗目的是目的因、實驗者本人是動力因。實驗者之所以想要做實驗是因為他有一個實驗目的，他想達成這個目的。實驗目的驅使實驗者去做出實驗的行為，目的在實驗的脈絡下變成另一種意義的動力。因此，我們對實驗發展的考察，是一種目的基礎的動力學，以行為人的目的為基礎，故也是行為者

基礎的動力學，目的因和動力因合而為一。

本書第五章已提出一個科學實作的行為者基礎動力模型，以行為人的實作技能與實作產品的潛能、認知評價、物質或經驗拘束，以及社會資源和拘束為基本因素，構成一個因果機制，企圖對科學實作（含理論化、模釋與實驗）提出一個一般性的因果說明。實驗是一種實作，因此實驗的發展也可以使用這個因果機制來說明。

首先，「實作潛能」的概念要求我們必須如同分析理論的結構一般去分析一個實驗的內在結構，才能揭示已執行的實作是否有進一步發展的潛能，本書第七章根據「手段—目的架構」建立一個實驗結構的框架，並發展了結構相似性的比較方法，它們已被應用到第八、九、十、十一章。再者，實驗通常需要使用特別的工具，工具的好壞對於實驗目的達成攸關重大，這是一種工具資源和拘束。實驗一定有被實驗的對象，對象在實驗中可能產生什麼樣的經驗？這是用來評價實驗是否成功的重要判準，影響實驗的發展可能性，是實驗受到的經驗拘束。再者，實驗的工具通常要來自社會。社會能提供什麼樣的工具和技術？工具和技術需要金錢，實驗者是否能從社會中得到提供？實驗為什麼會被實行或中斷執行？是否來自社會的壓力驅使實驗者去做某種實驗或者禁止從事它？這些問題都在追問會影響實驗發展的社會性因素，它們總稱為社會資源和社會拘束。最後，我們必須發現可以用來作實驗評價的認知價值。實驗是一特殊的行為，預設一特定的行為目的，目的能否達成或實現？評價實驗的認知價值就由此建立。這意謂我們必須去發現實驗的特定目的：是否所有的實驗者都共享一特定的實驗目的？

壹、實驗者的基本目的

每個實驗都是實驗者做出來的。每個實驗都是一個行為，因此都有行為人、行為目的、行為過程和行為結果。一個實驗之所以產生，正是因為實驗者有一個目的，他意圖（intend to）去達成該目的或說他有一個「達成目的」的動機，這個動機推動他去做出實驗，產生一定的結果。「達成目的」的意圖或動機就是實驗產生，也是推動實驗發展的直接原因——即實驗者的目的（the experimenter's end）。現在問題是：除了做出實驗之外，實驗者的目的是否有一般性的內容？要回答這個問題，我們需要實驗結構的分析，**實驗行為的結構本身已經蘊涵了實驗發展的動力。**

一、落實背景觀念

一個典型實驗行為的結構，包括背景觀念、實驗模型和實驗的物質落實。背景觀念引導實驗模型的設計，實驗家再根據實驗模型建造實驗裝備，執行實驗使實驗模型得以物質落實。這整個過程我們可以描述為「實驗家總是企圖落實他的背景觀念」。落實背景觀念（realizing background ideas）就是每位實驗家直接立即的目的，讓我們稱為「實驗者的基本目的」（the experimenter's basic end）。這個目的構成實驗發展最基本的動力因素。如果一位實驗者有著和其他人不一樣的背景觀念時，她就會想根據自己的背景觀念設計實驗來落實自己的背景觀念。「背景觀念」是一個比「理論」更寬廣的概念，它不只包括理論或理論假說，也包括對實驗裝備的潛能的想法，以及對可能實驗結果的期待與解釋。如此一來，落實背景觀念可以被區分成三種基本類型：（B1）檢驗給定的理論、假說或由一個固定理論來解釋的實驗結果。這是我們在討論實驗時最熟悉的目的，在科學史上有很多

例子。(B2) 探測實驗模型或實驗裝置的能力或潛能。如果有新的實驗模型或實驗工具被發明，關懷它的實驗者可能會想設計實驗去探測它們的性質和能力，以便獲得更多的資訊。例如一系列設計來探測起電機和萊頓瓶的性質和能力，就是屬於這類型的目的。(B3) 在一個被接受的理論上，增加該理論能解釋的新結果。如果一位實驗者接受一個理論有堅實的實驗結果來支持，她也可能再設計新實驗，企圖為該理論增加新奇的結果，或改良既有結果的精確性。例如高能物理的實驗者在夸克模型下，使用超導對撞機來搜尋基本粒子。或者透過實驗來精密測定很多物理常數。

落實背景觀念並不是唯一的一般目的。畢竟，如果所有實驗者的背景觀念都能被妥善地落實，那就不會有後續的實驗發展。實驗者的直接目的沒有完全被達成，往往是實驗持續發展的契機。

儘管實驗行為的三個異質成分之間有密切的關係，但是背景觀念並不能完全決定和控制實驗裝備的建造或運作，同樣地，儘管實驗的物質落實要落實實驗模型，但是最後的實驗結果（工具裝備與實驗對象互動後的結果），也不是實驗模型能完全決定的。這也意味著背景觀念、實驗模型和實驗結果之間存在著不協調的可能性。這些不協調構成了實驗異例（experimental anomalies）。

二、解決實驗異例

異例可以被區分成理論異例和實驗異例兩大類型。理論異例通常發生在已經有一個已建立的強勢（典範）理論版本的環境下，又可分成概念異例和經驗異例（勞丹〔Laudan 1977〕已有

這樣的區分，他稱作概念問題和經驗問題）。概念異例指一個新提議的理論概念，與至少一個已建立理論（established theory）的概念架構不一致；經驗異例則指一個實驗結果與已建立理論的推斷不吻合。

科學哲學家大多同意異例、異常現象（anomalous phenomena）或異常問題（anomalous problem）的出現，乃是科學理論發展的一種契機，科學家解決異例的動機乃是促成科學理論發展的動力之一。可是，異例不是如同認知評價般時時刻刻在推動理論的前進，因為異例總是可以被擱置。如同孔恩指出，在常態科學時期，科學家通常會忽略異例，再者，謎和異例也很難區分。只有在大量謎題被解決之後，留下長期不得解決的異例之時，異例的角色才會變得重要。拉卡托斯甚至有「異例的海洋」這樣的形容。在拉卡托斯的理論中，理論異例幾乎不會危害到一個研究方案的硬核，它只會對保護帶構成威脅。

通常理論與檢驗理論的實驗和觀察之間不一致或不能配合，是（理論）異例的主要來源。勞丹（Laudan 1977）則把一理論尚未解決、但競爭對手已經解決的問題視為該理論的異常問題，如此大幅降低異常問題對於理論的殺傷力，因為科學家總是可以宣稱對手的解決不是真正的解決。傅大為（Fu 1986）則爭論有一種特別的異例，稱作「瓶頸問題」，是一個理論的支持者不得不去解決的，如果他們不去解決，則會阻礙其持續發展。以本書的術語來說，瓶頸問題為一個理論製造了強大的經驗拘束，但它是一個理論家族發展到十分成熟、開始步入衰退時期才會產生的異例。總地說來，異例要求科學家要修正或放棄她的理論版本，對理論版本發展構成較大的經驗拘束。

與理論異例有別，實驗異例是推動實驗發展演變的基本動力。異例的產生，意味著實驗家無法妥善地落實背景觀念，或是順利完成整個落實的過程。面對這種窘境或困境，實驗家脫困的企圖就成了執行實驗的另一種動機。換言之，解決實驗異例構成了另一種實驗者的基本目的，而且針對實驗是否能恰當地解決實驗異例，也是實驗評價的重點；實驗異例自然對其它實驗創造了經驗拘束。

如果我們進一步問：為什麼實驗者要汲汲於落實自己的觀念或信念？為什麼實驗者會有解決異例的迫切動機？答案可能是：如此做可以滿足他純粹的知性需求，或者帶給他利益，或是可以伸張他的權力，或是迎合他的某種意識型態，或是滿足他的某種更宏觀的信仰等等。現在，讓我們把直接推動實驗執行與發展的目的稱作「內在或直接目的」(intrinsic or direct end)，而可能想透過基本目的來達成的進一步目的稱作「外在或間接目的」(extrinsic or indirect end)。所以，落實背景觀念和解決異例可以是立即推動實驗執行的內在目的；而科學家達成這基本目的之後或許想要進一步達成某個間接目的。反過來說，要達成某個間接目的，只有透過基本目的才能被實現。因此，我們不能說科學家的實驗是被間接目的直接推動的。

背景觀念乃是實驗結構中連結實驗者個人和他的科學、生活和文化背景的關鍵項目。本書主張我們應該透過背景觀念來連結間接目的。因為實驗者的背景觀念主要來自他隸屬的科學社群、典範、研究傳統、理論家族等，而這些社群、典範、研究傳統、理論家族等科學背景，又可以連結到更宏觀的生活、政治、社會和文化背景，它們提供了間接目的，引導基本目的。所以，背景觀念是連結到「群體」或「社會」的要項；對照之下，實驗模型

則是實驗結構中屬於實驗者的個人思想成分，實驗模型代表實驗家如何從群體性的背景觀念中建立自己的實踐藍圖，以便引導他去落實藍圖、具體實踐、執行實驗。經由上述分析，我們可以總結說：一個輻射發展的動力學將會揭示實驗演化、發展的動力在於「群體」與「群體」（不同的背景觀念）、「群體」（背景觀念）與「個人」（實驗模型）、「個人思想」（實驗模型）與「行為」（物質落實）、「行為」與「群體」等兩兩項目之間的張力。

三、內在與外在實驗異例

實驗異例來自於實驗結構的異質成分之間的不協調，有兩大主要來源。第一種是一個實驗本身內在的不協調，我們稱為「內在實驗異例」（internally experimental anomalies），例如一個根據某種背景觀念而設計的實驗，在落實後的實際結果卻不吻合背景觀念，會推動實驗家繼續做新實驗。例如康紐烏斯的意外實驗，與當時對點火器的背景觀念不一致，因而推動穆金布洛克發明萊頓瓶。如果實驗者的背景觀念同時也是某個科學社群接受為已建立理論時，那麼這個內在實驗異例同時也是個理論的經驗異例。但是萊頓瓶的例子並不是一個理論異例的例子，因為當時並沒有任何一個已建立的電學理論。

第二種實驗異例的主要來源是兩個（或以上）不同實驗之間的對抗，構成「外在實驗異例」（externally experimental anomalies）這一大類型。它又可以分成下列次類型：（EA1）如果為了解決某一個問題，至少有兩個實驗已被執行，卻有不相容或對立的結論。這會推動實驗者設計新實驗來檢驗先前的兩個實驗（包括它們的背景觀念、實驗模型和實驗結果）。例如培林和赫茲的陰極射線實驗是兩個不相容的實驗結論，湯姆生因此設計

新實驗企圖檢驗兩個先前的實驗。(EA2) 如果有兩個已執行的實驗，是在相容的背景觀念下，有相似的預期，卻是使用不同的裝置來執行，產生了不一致的結果。就會推動實驗者再設計新實驗來檢驗實驗裝置。例如萊頓瓶和起電機產生的電擊效果不一致（萊頓瓶對人體產生較強大的電擊），使得實驗者設計新實驗去探測萊頓瓶的潛能。(EA3) 第三種情況是兩個或兩組已執行的實驗在不同的背景觀念下執行，卻產生了一致的結果。如此將會推動實驗者進一步實驗以便回答為什麼會這樣？哪些背景觀念才能真正配合實驗結果？哪些解釋實驗結果的理論假設可以被恰當地建立起來？在回答上述問題的過程中，可能會有許多內在實驗異例產生，例如孟德爾的碗豆實驗和後來古典遺傳學家遺傳實驗，是在不一樣、甚至不斷變動的背景觀念下執行的，卻有一致的結果，也產生許多內在實驗異例，為了將此結果加以推廣以克服各種內在實驗異例，便有更多遺傳實驗的進行，以及孟德爾主義與古典遺傳學的建立。

在這三種類型中，實驗者做實驗的目的是企圖檢驗已被執行的實驗，也會檢驗對立或競爭的背景觀念、實驗工具或實驗結果。如果實驗者想檢驗的背景觀念是一個已建立的理論時，那麼這樣的「外在實驗異例」同時也是理論異例。

內在實驗異例與外在實驗異例的區分，乃是從實驗行為的結構的分析中得到的，也就是說，實驗行為結構的元素之間的不協調，蘊涵了進一步實驗的可能性：科學家企圖解決實驗異例的動機，推動了新實驗的設計和執行。可是，這並不意味實際發生在科學實驗史中的異例，都可以一一被分門別類地歸屬於理論異例或內、外在實驗異例。我們區分異例類型的目的在於指出，一個異例可能涉及的不僅是「理論與實驗（結果）的對抗」而已，還

要考慮「相互競爭的理論或背景觀念」、「相互競爭的實驗模型」，以及「相互競爭的實驗結果」。這也意味著，背景觀念、實驗模型和實驗結果三者雖然緊密相關，卻可以被分開考量，形成不同的實驗發展路徑。

區分不同類型的基本目的，以及不同類型的異例，並不是要根據原因的類型來把歷史上的實際實驗分門別類。事實上，歷史上實際實驗的誕生原因，都是多種因素的組合，除了落實背景觀念、解決異例等實驗者的立即目的外，可能還有實驗者的間接目的、甚至社會因素或社會結構性的因素等。但是，這些因素必須透過基本目的才能達成。所以，區分的目的在於釐清實驗的誕生與發展的因素有哪些類型？這些類型又如何聯合作用？猶如伽利略和牛頓的受力之幾何（平行四邊形）分析，考察不同方向的受力分量，再指認其合力（resultant force）；同理，在考察實驗的發展時，我們指認不同類型的因素，以及辨識每個實驗的誕生有哪些種因素的作用，有助於瞭解一個實驗的總合成因（resultant cause），如此才能為實驗的發展提出一個因果說明，進而建構一個實驗發展的動力學模型。

在完全發展這樣一個動力模型之前，讓我們先討論一個十分相似於本書的科哲理論：生物學哲學家達頓（Lindley Darden）關於理論變遷的策略基礎的方法論（strategy-based methodology）。¹

1 達頓於 2011 年 3 月應邀訪問臺灣，參與在清華大學舉辦的「國際生物學與經濟學哲學會議：因果與機制」，並發表論文。

貳、達頓的理論變遷的策略方法論

在《科學理論變遷：來自孟德爾遺傳學的策略》(*Theory Change in Science: Strategies from Mendelian Genetics*, 1991)一書中，達頓提出一個模釋理論發展的後設科學模型——以「策略」的概念為核心，故我稱為「策略基礎的方法論」。達頓的書名涉及「理論變遷」，但她並不是討論科學革命、典範變遷、傳統更替或新理論家族建立那一類的巨觀理論變遷，而是孟德爾遺傳學理論——尤其是摩根成熟的基因理論——如何逐步地被建立的歷程。因此，達頓所謂的「理論變遷」十分類似於本書所謂的「微變遷」，從一個理論版本發展到其它理論版本，也就是一個理論版本如何被建立的發展過程。可是，達頓並沒有本書「理論版本」的概念，她不企圖去勾勒德弗里斯、柯仁斯、貝特生、摩根各有各人的理論版本，對她來說，理論是一個命題或判斷的集合，有許多成分，不同的科學家會貢獻不同的成分，如此理論成分在時間中會經歷改變——這就是達頓所謂的變遷——其實就是理論的發育（展）。對達頓來說，在古典遺傳學中，摩根的理論代表了真正的（成熟的）孟德爾遺傳理論，其他諸人從孟德爾遺傳定律再發現起分別貢獻了不同的理論成分（theoretical components），經過許多遺傳學家的實驗和理論貢獻，刪修增補，最後由摩根集大成。

達頓認為在 1900 至 1903 年，孟德爾遺傳理論間由六大理論成分（包含不等的次成分）組成的（Darden 1991: 51, Table 5-2）：

C1. 單位性狀（Unit-characters）

C1.1 一個生物體被視為由可分離的單位性狀組成的。

C2. 差異化的成對性狀 (differentiating pairs of characters)

C2.1 在各種生物體中，使它們有不同外觀的是差異化的成對性狀。

C3. 與細胞學領域間的連結

C3.1 世代之間的連結是生殖細胞，也稱作「配位子」(亦即在植物是花粉和卵細胞；在動物則是精子和卵細胞)。

C4. 顯性—隱性

C4.1 在一個來自跨交一對性狀中不同親代而形成的雜種中，有某種差異以致一個性狀支配另一個性狀；如此，雜種的性狀類似親代其中之一而不似另一。(讓 A 代表顯出的支配的性狀；a 代表不見的性狀)。

C5. 分離

C5.1 就一個來自跨交一對性狀中不同親代而生產的雜種而言，在其生殖細胞的形成中，親代性狀的分離以致生殖細胞是純種親代類型其中之一。(每個生殖細胞要不是有 A 就是 a，但不會同時有兩種；這稱作「配位子的純粹化」)。

C5.2 兩個不同類型的生殖細胞，大約以相等的數量形成 (A 與 a 的生殖細胞數量相等)。

C5.3 當兩個雜種受孕時 (或自我受孕發生時)，不同類型的生殖細胞隨機地組合。(其組合結果可由下列公式表達) $(A+a)(A+a)=AA+Aa+aa$ 顯現為 3A : 1a。

C6 雙雜種跨交的說明 (後來稱作「獨立分配」)

C6.1 跨交擁有兩對不同性狀的親代時，每對性狀的行為是獨立的，符號式為 $(AB+Ab+aB+ab)(AB+Ab+aB+ab)$ 的展開，顯現為 9AB : 3Ab : 3aB : 1ab。

達頓追蹤這 1903 年的遺傳理論成分，如何發展成下列 1926

年的基因理論成分。她調查古典遺傳學家使用什麼推理、研究和發現的策略，把前者發展成後者，其間可以看到什麼被拋棄、什麼被保留、什麼被新增、什麼被修改。1926 年的基因理論，有如下成分 (Darden 1991: 239, Table 14-1)：

C1' 基因和性狀

C1.1' 基因造成 (cause) 性狀。

C1.2' (a) 一個基因可能造成一個性狀，或者 (b) 多元因子在一連鎖群中不同位點 (loci) 的基因可能互動產生一個性狀，或者 (c) 一個基因可能影響很多性狀。

C2' 成對基因和多元對偶基因

C2.1' 在任一個生物體中，基因成對出現 (稱作「對偶基因」，而且在對應的連鎖群中被找到)。

C2.2' 在一族群中，偶然有造成一個性狀的多元對偶基因。

C3' 領域間連結

C3.1' 基因在生殖細胞中從親代被傳遞到子代 (進一步的發展導致領域間理論，孟德爾遺傳的染色體理論)。

(沒有 C4'：顯性—隱性的成分被刪除)

C5' 分離定律

C5.1.1' 親代基因不是在一個雜種中一起被修改；沒有新種雜種基因形成。

C5.1.2' 在雜種細胞的形成中，成對親代基因 (對偶基因) 分離，以致生殖細胞只有一對基因的其中之一。

C5.2' 兩個不同類型的生殖細胞形成的數目相等。

C5.3' 當兩個雜種受孕時 (或自我受孕發生時)，不同類型的生殖細胞隨機地組合。(其組合結果可由下列公式表達) $(A+a)(A+a)=AA+Aa+aa$ 顯現為 $3A : 1a$ 。

C6' 分配、連鎖（linkage）和交換（crossing-over）

C6.1' 基因在連鎖群中被發現；諸群相應地成對出現。

C6.2' 不同連鎖群的基因獨立分配。

C6.3' 通常基因在相同連鎖群中一起遺傳；可是，有時一種稱作交換的有序互換會在相應的連鎖群中出現在對偶基因之間。

C6.4' 基因在連鎖群中彼此是線性地被安排。

C6.5' 交換的頻率可以用來計算相關基因在連鎖群中的相對位置，如果像雙重交換這種干擾因素或互相交換的干預被納入考量時。

C7' 突變

C7.1' 基因偶然突變而且造成不同的性狀。

C7.2' 這樣的點突變不能改變連鎖群的其它基因彼此間的線性關係。

什麼策略產生這樣的理論改變呢？對達頓來說，策略是指引理論發展的程序（procedure）、實作（practice）、原則（principle），類似人工智能學家對於 heuristics 的用法，它是一個能產生合理結果的推理方法（reasoning method），但對比於算則，算則保證產生正確的結果，啟迪則否。啟迪比算則更抽象，它可以說是算則之上的指導原則，一個啟迪可能指導幾個不同的算則。然而達頓比較偏愛使用 strategy 這個詞，因為這個詞更一般，例如同一個策略有可能指導幾個不同的啟迪，一個啟迪指導幾個不同的算則等。可是，達頓對於 strategy 的使用完全沒有競爭或權力較勁的意涵在內，主要強調它做為達成認知目標的推理手段，雖然她說：「我討論的多數策略更像軍事上的戰術（tactics）；亦即我討論達成局部目標的局部化的法門，而非贏得戰爭或形成一個完整理論的一般戰略。」（Darden 1991: 20）不過，我認為我們最好把達頓所謂的「策略」理解成拉卡托斯式的「啟迪」，後來達頓直

接使用「推理策略」(reasoning strategies) 這個詞 (Darden 2006)。那麼，達頓提出哪些古典遺傳學家的推理策略呢？

達頓不只提出一些局部的推理策略而已，她其實提出一整個「理論發展的方法學架構」，包含許多不同的推理策略，這個架構分成五個循環的階段 (stages)：待說明的問題或論域 (domain) — 起始觀念 (beginning ideas) — 合理假設 — 有證據支持的假設 — 被改良的假設 — 新的待說明的問題或論域……，每個階段分別要應用一、兩組的推理策略，一共有三組：產生新觀念的策略、理論評估 (theory assessment) 的策略、解決異例或變更範圍的策略。達頓進一步提出頗為完整的策略清單如下：在羅列中，我也同時討論這些策略與本書觀點的相似性。

產生新觀念有七個策略 (pp. 244-257)：

1. 使用類比。
2. 召喚一個理論類型 (invoke a theory type)。²
3. 使用領域間的關係 (use interrelations)。³
4. 移到另一個組織層次。
5. 引入和操縱一個符號表徵。
6. 引入一個簡化假定，然後複雜化。
7. 從一個含糊的觀念開始，繼而精煉它。這個策略涉及理論評估。

2 「理論類型」類似本書所說的高層抽象模型。如可以應用到繩波、水波、聲波、光波、電磁波、電震盪甚至往復運動的抽象波動理論。也參看 Darden and Cain (1989)。

3 「相互關係」是指科學「領域」(fields) 或「學科」(disciplines) 之間的關係，如古典遺傳學涉及演化論、細胞學、胚胎學等，因此使用相關學科的已有知識來發展一個新理論，即是「使用領域間的關係」策略。亦看 Darden and Maul (1977)。

這七個策略在本書中可以使用模型的觀點來重建：例如類比即是使用類比模型；召喚理論類型是將較具體的模型抽象化；使用相互關係可以說是應用其它領域的模型到目標領域中；移到另一個組織層次是連結不同層次的模型；引入簡化假定即是建立模型，複雜化是將它去理想化、具體化；從含糊的觀念開始再精煉它是把一個觀念模型化。

理論評估有十一個策略（pp. 257-269）：

1. 內在一致性和不空洞性(沒有空洞性才會有經驗內容)。
2. 系統性對抗模組性 (modularity)：一個理論的內在成分需要有系統地關聯，但又必須有相對的獨立性（模組性）以便修改單一成分。
3. 清楚。
4. 說明的適當性。
5. 預測適當性。
6. 範圍廣泛和通泛性。
7. 沒有特置性。
8. 可擴張性和豐富性。
9. 相關到其它已被接受的理論。
10. 形上學與方法學的拘束。
11. 與對手的關係。

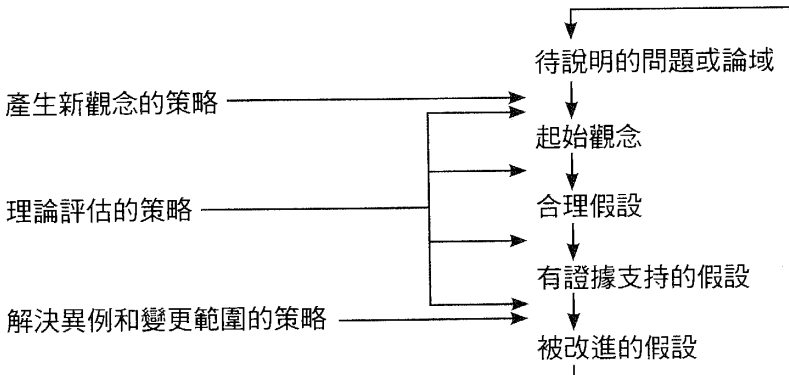
可以看到，理論評估的策略即是本書所謂的「認知價值」。達頓討論的種種評估策略，大都在本書的「導論」中討論，本書第六章更討論了認知價值和經驗的關係，以及認知價值與社會價值的二分法，這是達頓沒有涉及的。

解決異例和變更範圍有五組策略和其局部規則（pp. 269-275）：

1. 印證異例存在：(a) 複製異常資料、(b) 再分析問題。
2. 把問題局部化。亦即限定問題的範圍，使其不必波及整個理論。
3. 改變理論的另類方式：(a) 改變一個成分，又有刪除、推廣、特定化、複雜化、簡化、限定範圍、微調、設定對立面；(b) 增加一個成分；(c) 為了 (a) 和 (b)，在下列三種拘束下設計一個新的理論成分：(i) 新的理論必須說明異例的本性；(ii) 與其它沒有問題的理論成分保持系統性的關連，也就是避免特置性；(iii) 理論評估的其它判準。
4. 如果 3a 和 3b 導致理論成分的改變，把理論評估的判準應用到新成分上來評估理論的新版本。
5. 如果上面的步驟無法解決異例，考慮異例是否嚴重到要捨棄整個理論，或者是否理論可以在異例未解決的狀態下繼續運作。

本書並沒有討論異例解決的策略或方式，因為本章的焦點在於異例解決做為實驗發展的基本目的（動力）之一。因此達頓的討論對於本章而言是相當好的補充，但是本書的討論方向與達頓相當不同（下文會作比較）。

達頓把這個方法學架構描繪成一個流程圖：



此架構顯示，產生新觀念的策略被用於問題到起始觀念的形成之間，偶爾理論評估的策略被用到這階段（即評估新觀念是否可以發展出好理論），接著從起始觀念到合理假設再有證據支持的假設這三個階段，主要使用理論評估的策略，從有證據支持的假設到經過改進的假設之間，通常會產生異例，因此使用解決異例的策略來介入，同時也會用到理論評估，結果常會變更研究的範圍。

這個方法學架構和諸多策略如何被應用到古典遺傳學的理論發展之上呢？達頓展示 1900 至 1903 年的孟德爾理論發展到 1926 年的基因理論中，遺傳學家使用的策略總結如下（p. 241, Table 14-2）：

- S1. 策略：概念釐清。
 改變：從單位性狀變成基因造成性狀。
 結果：理論元項（基因）的設定。
- S2. 策略：複雜化、特定化、增加。
 改變：從因子和性狀一對一改變成一基因造成多性狀、多基因造成一性狀、多基因造成多性狀。
 結果：擴張論域範圍，形成新的理論成分。
- S3. 策略：設定領域間或層次間的關係。
 改變：生殖細胞的明確指認。
 結果：其它概念和層次可用於其它成分。
- S4. 策略：刪除。
 改變：由於很多例外而消除顯性成分。
 結果：移除過度的推廣，而且領域範圍膨脹。
- S5. 策略：使先前隱然可區隔的假定明顯化。
 改變：性狀以雜種而一起考慮改變成每對性狀分開考慮。

結果：重新設定成分的範圍並使另類假設可以開始接受檢驗。

S6. 策略：定界和改變；特殊化和增加；使用領域間關係和類比模型去產生新觀念。

改變：a. 獨立分配律與分離律分隔；

b. 獨立分配律只應到不同連鎖群的基因上；

c. 增加基因「連鎖」、「交換」、「線性排列」等新成分。

結果：一條定律分隔成兩條，重要的新成分被增加到理論上，限制第二定律的普遍性而且解決了異例。

S7. 策略：由改變老觀念而增加新成分。

改變：德弗里斯式的新物種突變變成小規模的基因突變。

結果：增加新的理論成分與研究突變的新方案。論域的膨脹。

現在讀者可能會想問：這些策略究竟是描述的（實然的）還是規範的（應然的）？達頓究竟在揭示古典遺傳學家真的使用這些推理策略，還是在向科學家推薦它們？如果策略是規範性的，為什麼她會提出 S1-S7 的改變策略，好像孟德爾遺傳理論真的是如此發展的？如果它們是描述的話，孟德爾遺傳學真的如達頓所說般一個成分、一個成分地改變嗎？對於這些可能的疑問，達頓的回應是：描述和規範對這些策略而言都不是相當正確的界定，她偏愛稱自己的討論是「假設的」。因為它們不是傳統規範方法學那種意義的規範，但她也無法證明那些策略是科學家有意識地追隨和使用，所以它們也不是描述的，不過，這些策略可能「做為科學家可能已經使用了什麼推理策略的假設」（p. 15）。

在我看來，我們不應該孤立地追問達頓的策略是描述的或規

範的，而是應該考慮她的整個方法學架構，這個架構的最好界定是一個科哲的方法學模型，猶如本書對於所提出的科哲理論（運動學、動力學和方法論）的自我定位。模型無疑也是一種假設，它可以由是否能恰當地說明歷史資料來評價（是否能密切地配合歷史資料？配合多少資料？配合到什麼程度？等等）。這也是達頓的理論十分類似本書理論的一個要點。

儘管如此，達頓「策略基礎方法論」展示的孟德爾遺傳理論的發展和第十一章已呈現與本章將呈現的同一歷史，仍然有下列幾點重要的差異：首先，前文已提到，達頓的理論觀與本書十分不同，她沒有「理論版本與家族發展」的觀念；第二，達頓是在理論主導的角度下來談古典遺傳學的發展，第十一章和本章卻要從實驗主導或理論與實驗的交織發展的觀點下來模釋它；第三，達頓討論的是理論發展的推理策略，第十一章與本章企圖針對實驗發展提出一個因果或動力說明。不管如何，達頓的方法學模型與本書的動力學模型，都模釋了古典遺傳學的實際發展歷史的某個面向，因為模型總是從某個透視點來模釋實際對象——這是為什麼吉爾瑞（Giere 2006）要把模型觀點刻劃為「科學觀點論」（scientific perspectivism）。然而，科哲家喜歡提出科史哲的模型，並不能反向地凸顯科學史家的歷史書寫就是全面和完整的實際歷史，事實上，沒有任何歷史書寫能寫出全面、完整而無所遺漏的實際歷史——所有的歷史敘事都是各種特定史觀（某種歷史的模型）下的產物——哪種史觀下的歷史書寫更好？同樣需要我們針對歷史觀點、理論、模型進行評價。

下一節讓我們開始考察推動古典遺傳學實驗發展的動力：落實背景觀念與解決實驗異例。

參、落實背景觀念如何推動實驗發展

古典遺傳學的歷史從孟德爾的植物雜交實驗開始。什麼導致孟德爾要做那個長達八年又辛苦的菜豆雜交實驗？這當然與他的雜種、物種起源等背景觀念有關，孟德爾並沒有把他的想法發展成一個完整的理論，然而〈植物雜交實驗〉一文的導論和結論，確實明白地顯示出他的背景觀念。他在導論中說：

當相似物種 (like species) 之間的受孕發生時，相同雜種形式 (hybrid forms) 再出現這個驚人的規律性，建議了進一步的實驗，它們的任務是去追尋雜種子代的發育。
(Mendel 1966 [1866]: 1)

可以普遍應用到雜種的形成和發育的定律 (generally applicable law of the formation and development of hybrids)，至今仍未被成功地建立。任何人，如果熟悉這個事務的範圍，而且能欣賞這種實驗的困難，就不會對上述一事感到驚訝。只有當大量不同的植物科 (plant families) 的詳細實驗是可行的時候，最終的判定才有可能達成。……這〔實驗〕似乎是對某一問題〔雜種形成與發育〕最後達成解決的正確管道，該問題對於生命形式的演化歷史之重要意義，不能被低估。(Mendel 1966 [1866]: 2)⁴

在結語評論 (concluding remarks) 處，孟德爾特別討論其他雜交育種學家如柯路特和加特納 (Carl F. von Gärtner, 1772-

4 此處孟德爾論文的英譯是 however, this seems to be the one correct way of finally reaching the solution to a question whose significance for the evolutionary history of organic forms must not be underestimated。方括號內的文字，代表我對於 this 和 question 的理解。

1850)的工作，他們的實驗目的是「由人工受孕把一物種轉形成另一物種」(*transformation of one species into another by artificial fertilization*，原譯文為斜體)，而且加特納認為這是生產雜種中最困難的事。孟德爾以一個形式的描述總結他們的目標：

當打算把物種 A 轉形成 B 時，兩個物種由受孕組合而且子代雜種一再地與使用 B 種的花粉來授粉；從它們那多樣子嗣挑出中最接近物種 B 而且反覆由 B 花粉來授粉，如此等等，直到最後，有一形式像 B 而且它的後代都保持恆定。(Mendel 1966 [1866]: 44)

孟德爾隨後討論實驗考察的性狀越多、實驗的植物樣本數越少時，達成目標所需的時間就越長(亦即植物的世代數目越多)。換言之，孟德爾的目標，乃是要去尋找性狀特徵數目與子嗣的世代數目之間的某種函數式。就在這種背景觀念下，孟德爾從事他的豌豆實驗，以落實他的背景觀念。儘管不是為了解決遺傳問題而設計實驗，孟德爾的實驗成果，卻能銜接後來的硬遺傳架構，從而開啟了基於孟德爾主義的古典遺傳學，孟德爾本人也被尊為「古典遺傳學之父」。

孟德爾的工作成果與古典遺傳學的聯繫，要歸功於「再發現者」德弗里斯和柯仁斯。其中德弗里斯既關懷「變異的起源和特徵遺傳」問題，更花費下半輩子的精力企圖解決「物種起源」的難題。針對前者，德弗里斯提出細胞內泛生論，針對後者，他提出突變演化理論(見第十一章)，兩者構成他的背景觀念，引導他做了實驗，從而「再發現」孟德爾遺傳定律——這個事實很明白地在德弗里斯的論文〈雜種分離定律〉(*The Law of Segregation of Hybrids*)的頭兩段中表達出來：

根據細胞內泛生，一植物的總特性是由不同單位建立的。人們設想這些所謂的物種元素，或是它的基本特性，乃是被繫結在物質載體上，一種特別的物質載體對應到每個個體特性。像化學分子一樣，這些元素之間沒有中間階段。

多年來，這個原理代表我的研究起點。很多重要結果可以從它演繹出來，而且被實驗加以檢驗。我的實驗部分在於可變異性和可突變性的領域，部分在雜交的領域。(De Vries 1966 [1900]: 107)

可見得德弗里斯做實驗是為了落實他的背景觀念，而且德弗里斯的細胞內泛生遺傳理論顯然做為達爾文的泛生論到孟德爾遺傳理論之間的過渡。

至於「突變」的觀念，如同德弗里斯自己的說法「一個泛基因偶然的改變」，也是德弗里斯實驗的背景觀念之一部分，後來更被他利用自己的實驗成果發展成一個突變理論。突變理論是說，一個生物物種，可以因為一個巨大的性狀變異而形成，是一種造成種化的突變。德弗里斯在 1901 年宣稱他找到一個由突變而來的全新物種 *Oenothera Lamarckiana*（一種野花），他在企圖培育超過一百種的植物中，幸運地發現此一滿足他期待的新種（De Vries 1909）。可是，這所謂新物種後來已被證明不過是另一個變種（sporty）而已。突變理論其實是德弗里斯的科學研究最關切的重心，是他自己認為對於生物演化問題的答案和貢獻，也是生物史家認為最能代表德弗里斯的生物學思想。雖然它相關，但不屬於遺傳學領域，所以我們不再多作討論。⁵

5 關於德弗里斯的突變理論，可以參看 Mayr (1982: 546-550)、Bowler (1983: 197-205)、Gould (2002: 415-446)。

貝特生發展他的理論和實驗的背景觀念，也是他對於變異和演化的關心，摩根則當過德弗里斯的助手，也深受他的突變理論之影響，因此摩根做實驗的背景觀念和德弗里斯類似，兩人的背景觀念均於第十一章交代，在此不再重複。重要的是，貝特生和摩根在建構孟德爾理論和基因理論的過程中，為了建立和推廣孟德爾定律，使用許多實驗證據或做了許多的實驗來解決孟德爾理論或定律的異例。

肆、異例的解決如何推動古典遺傳學實驗與理論建構

打從一開始，孟德爾自己提出的性狀比例（經驗模型），就面對一個也是孟德爾自己做出的實驗異例：水蘭花屬的比例不是 3：1。雖然後來古典遺傳學的實驗並不是在這個異例的推動下持續發展，但是這個異例和日後許多所謂孟德爾定律的例外，仍然挑戰了基於孟德爾定律做為一個普遍遺傳定律、甚至理論的地位，這個問題留到二十世紀初，遺傳學家才提出一個清楚與完整的解決：也就是下文貝特生討論的第一種例外。

為了顯示孟德爾理論的普遍性，貝特生進一步討論所謂的例外或不一致於理論的現象。在《孟德爾的遺傳原理》的第十四章「繁雜的例外和不一致的現象」（Miscellaneous Exceptional and Unconformable Phenomena）中，貝特生一開始就說：「各種所謂孟德爾原理的例外或不一致，很少是真正的例外。」（Bateson 1909: 245）例如先前已提出的不完全顯性的現象。可是，有五種看來是真正例外的現象類型需要討論。第一類型是跨種交配後沒有分離的現象，例如孟德爾自己執行的水蘭屬實驗，是一個孤雌生殖案例（parthenogenetic case），即使有人工配種，但是很多種子仍然在沒有受孕的情況下發育，二十世紀初時已有許多植物學

家實驗證實這種現象廣泛存在。既然一部分種子可以孤雌生殖，就表示它們的性狀完全繼承其親代，如此得到的子代性狀比例，不會反映出孟德爾式的 3 : 1。第二類型是比例數字上的例外，貝特生舉鮑爾 (E. Baur) 對 *Antirrhinum* (金魚草) 的葉子之實驗。鮑爾把純種綠色葉子與雜色葉子的金魚草跨交後得到子代，再自我受孕，結果產生雜色和綠葉約 2 : 1 的結果。在這案例中，雜色是顯性性狀、綠色是隱性，但雜色性狀的同接合子無法發育 (後來這又被稱作「自我不相容的」[self-incompatible])。鮑爾認為這是一個孟德爾原理的例外，貝特生則懷疑它是生理因素造成的：「我仍然懷疑這傳遞是否是一個我們通常稱作遺傳的歷程。……如果我是正確的，這歷程絕不是自然學家所謂的遺傳。」(Bateson 1909: 254)

第三類型是「不規律的顯性」，包括已討論過的不完全顯性現象，但貝特生已主張顯性性狀不是必然的。真正困難的是顯性因子存在，卻沒有任何效應，以致顯性個體與隱性個體難以區分。貝特生的例子是雞的第五個多餘趾，正常的雞是四趾，以英國朵金 (Dorking) 地區培育出的五趾品種的雞和四趾雞跨交，卻產生四趾雞的比例較大，五趾雞的比例少，甚至同一隻雞的兩隻腳有不同數目的腳趾。貝特生對這種例外的解釋是：「這些案例的奇特性是接合子的問題 (zygotic)，而不是由於分離的失敗。」(Bateson 1909: 256)⁶ 第四類型是「世代交替」(alternation of generations)，貝特生稱此為「一個顯著的困難」。之前的例外

6 教科書對這種例子的描述是「對偶基因的表現型之表現程度會隨個體有所不同」，並利用「上位效應」(epistasis) 來說明，亦即某些上位的基因會部分地決定其它基因是否會被表現出來。因此，多趾的顯性基因可能會被其它基因壓制而沒有表現出來。

可以被克服、被納入孟德爾遺傳因子分析的系統內，但是這個現象似乎無法被因子分析所「消化」。有些昆蟲冬天後出現，成長成一種春天形式，然後產卵，其幼蟲在夏天成長變成夏天形式，夏天形式的昆蟲產下的卵、孵化成幼蟲又注定變成春天形式。這要如何用孟德爾原理來分析呢？貝特生說：「我們能認知的、重複出現不同類型的例子中，沒有一個是由於因子的增加或移除。另一個可以提出的建議是這些差異最終可參考外在條件的效應。」（Bateson 1909: 257）最後一個類型是「胚胎的母親性狀」，亦即有些麥子和碗豆，兩種不同類型跨交會產出中間型的第一子代種子，而第一子代自我受孕，卻產生完全像母親的第二子代（即都是中間型的種子），第二子代自我受孕後才產生三種類型（兩種祖型和第一子代中間型），這當然也不合孟德爾定律，貝特生的說明是：「母親植物可以由影響而對它的子嗣印上種種性狀，並不是一般意義上的遺傳。」他認為：「這種影響可能很有限，或許與那些嚴格遺傳相較之下是瑣碎的，但是我們迄今不知道它們是否可忽略。」（Bateson 1909: 264）

由上可知，貝特生完全不認為這些異例足以威脅到孟德爾原理，他主要歸諸於環境的影響，可是，他也不能提出一個完全的解決：例如環境如何干擾了遺傳因子的傳遞，使它們似乎不合孟德爾的原理？這些內在實驗異例也是已建立的孟德爾理論的理論異例，在二十世紀初仍然是未解決的。

摩根從事遺傳實驗的最初目的是企圖以實驗來落實德弗里斯的「突變創造新物種」的假設，只是後來結果卻否認它，而且改變了「突變」一詞的意義。⁷ 這是一個極具否認論風格的科學發

7 德弗里斯的「突變」一詞是指可以創造新物種的巨大性狀變異；然而摩根的「突

展過程，十分完整地反映在摩根的大量著作中，也顯示摩根是一位非常具有波柏風格的科學家。

就本章的主題而言，摩根與其學生（A. H. Sturtevant, H. J. Muller and C. B. Bridges）合著的《孟德爾式遺傳之機制》（*The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915）與他自己單獨寫作的《基因之理論》（*The Theory of the Gene*, 1926）是兩本最重要的代表作。第一本書奠基在大量已發表的遺傳實驗論文上，其目標是以大量果蠅實驗的證據來印證遺傳的染色體理論。以模型觀點的術語來說，摩根企圖證明遺傳機制的染色體模型，可以配合大量果蠅實驗的經驗資料，而這些經驗資料都可以用孟德爾的經驗模型來整合。或者說，染色體的理論模型可以說明孟德爾發現的經驗模型，進一步，這個經驗模型可以在染色體的理論模型之幫助下，經由修正擴充而解決原來的異例，配合更多的經驗資料。⁸第二本書則正式使用「基因」一詞並提出完整的古典遺傳學的基因理論，是後來生物學哲學家討論古典遺傳學的基因理論能否被化約到分子生物學的標準版本。達頓討論遺傳學的理論發展，也

變」是指一個「對偶基因」的改變，導致一種新性狀的出現。事實上，摩根談到某種對偶基因的突變會同時改變多種性狀，亦即「單一對基因的多重效應」現象，類似於德弗里斯所謂的「突變」，但是這種產生多重效應的基因突變，創造出的仍然只是突變（甚至畸變）個體，而不是全新的物種。當然，我們無法排除這種突變種有可能是全新物種的最初祖宗，但是新物種要形成，還是需要一段漫長的天擇演化過程。

- 8 「遺傳的染色體理論」和「遺傳的基因理論」能不能被劃上等號？在摩根的遺傳理論中，兩者是同義詞，可是，「遺傳的染色體理論」比後者更早。舒頓和薄維利是細胞學家，他們的染色體理論雖然預期了摩根的基因遺傳理論，但是他們的理論是從顯微鏡對細胞行為的觀察中推論出來的，並沒有直接從事遺傳實驗，因此，他們的「遺傳的染色體理論」主要是一個理論假說，不能和擁有完整的理論和經驗模型的「基因遺傳理論」等量齊觀。可以說，摩根把「遺傳的染色體理論」發展成「遺傳的基因理論」。

以 1926 年此書的理論內容為終點。但是有兩個理由使本章以 1915 年而不是 1926 年的著作為主：(1) 1915 年的著作著重在實驗上——透過許多實驗的報告而揭露遺傳的機制，1926 年則是著重在基因理論的完整闡述，所以 1915 年的著作較配合本章的目的；(2) 1915 年的著作內容主要是摩根團隊的實驗產生的異例，如何被解決和消化到染色體和基因理論的展示；(3) 1926 年的著作內容超出本章討論的「孟德爾遺傳理論家族」的範圍（例如涉及「突變」概念的重新理解和定義，並涉及「二倍體」、「多倍體」等新概念）。

《孟德爾式遺傳之機制》全書共有九章，第一章「孟德爾主義分離與染色體」以果蠅細胞核內的四對染色體為例，介紹染色體在細胞分裂與生殖過程中的行為與孟德爾發現的分離現象節節相符。第二章「孟德爾主義遺傳的類型」討論遺傳因子（基因）與其產生效果的幾種關係。第三章「連鎖」（Linkage）其實主要是討論染色體中的片段「交換」（cross over）的現象與其產生的遺傳結果。第四章「性遺傳」討論性染色體的行為其遺傳效果。第五章「染色體做為遺傳材料的載體」提出在胚胎發育、細胞結構、生殖細胞的分裂和結合等情況，觀察染色體的行為，進一步佐證染色體理論的真實性。第六章「染色體分佈與遺傳因子分佈之間的對應」再次提出更多細胞學上的證據。第七章「多重對偶因子」（Multiple allelomorphs）討論超過三個或以上的因子，好像對偶因子一樣地行為。第八章「多重因子」（Multiple factors）討論兩個以上的因子可以產生相似結果的現象。第九章「遺傳因子假說」（The factorial hypothesis）乃是結論，即討論「染色體是遺傳因子的載體」這個假說，反駁質疑並和其它假說（如貝特生）作比較。其中前三章已呈現了「遺傳機制的染色體模型」的

基本架構和內容，第四到八章不過是延伸性的細節討論，第九章是總結，所以本章只討論前三章和第九章。從這裡我們可以看到摩根如何把貝特生的孟德爾主義原型版本，發展成一個「基因（染色體）基礎的古典遺傳學」，或者說「古典遺傳學的基因理論版本」，它是古典遺傳學最成熟的理論版本。

摩根在第一章一開場即使用細胞語言來重新表述孟德爾分離定律：「由兩個親代貢獻的單元，在子代的生殖細胞中分離，彼此間沒有任何相互影響。」緊接著，摩根立即描繪細胞核內染色體的結構和行為：染色體成對出現，而且在細胞分裂時，核內的每個染色體也會複製自己，使得子細胞核內的染色體個體和數目與母細胞一模一樣，這是後來所謂的「有絲分裂」。另一種生殖細胞的分裂是兩個子細胞核內的染色體只有母細胞的一半，這是後來所謂的「減數分裂」。因此，當生殖細胞與另一個異性細胞結合時，它由其配偶獲得另一半染色體，而恢復原來的染色體數目，只是一半染色體個體已不一樣，形成和母細胞不同的配對。摩根結論說：「染色體的行為平行於孟德爾單元的行為，因為在生殖細胞中，每個來自父親的單元區隔於來自母親的對應單元。這些單元被說是如同單位因子；構成一對的兩個因子被稱作彼此的對偶因子。它們在生殖細胞內的區隔被稱作分離。」(Morgan, et al. 1915: 2-3) 很明顯地，摩根在這裡已經把孟德爾的分離律重新定義成「因子的分離」，表現在染色體的分離個體上，而不再是從孟德爾到貝特生的「性狀的分離」。同時，貝特生的「對偶性狀」也被重新定義成「對偶因子」，亦即成對染色體上的兩個對應的片段。

接下來，摩根使用染色體理論來重述孟德爾定律和比例，例如有一種突變的果蠅（mutant stock），叫「殘翅」（vestigial），因

其翅膀萎縮殘缺。將它與野生長翅的果蠅交配，第一子代都是長翅，第一子代互相交配，第二子代即得到長翅和殘翅 3：1 的標準孟德爾比例 (Morgan, et al. 1915: 8-14)。重點是，除了果蠅性狀的圖案外 (圖 12-1)，摩根還使用果蠅的配子 (有四對染色體) 來顯示如何得到 3：1 的比例 (圖 12-2)。這兩圖顯示出摩根清楚地區分了「性狀」和「因子」，雖然到目前為止，它們是一一對應。同時必須一提的是，摩根對 mutation 的使用也與德弗里斯不同，對摩根來說，突變不過是一種基因 (因子) 突然改變，以致產生與正常個體不一樣的性狀，每一個從正常基因突變而來的基因，就和正常基因構成一對對偶基因，突變的基因常常是隱性的。摩根也使用殘翅和體色兩對性狀來例示獨立分配定律和 9：3：3：1 的比例，然而這個比例數字要出現，性狀的基因必須位於不同的染色體上。如果兩對性狀的基因位於相同的染色體上時，就不會出現這個比例數字，反而是性狀相伴出現——這是「連鎖」(linkage)——一種過去遺傳學家很少討論的現象，它其實是孟德爾定律的異例。

連鎖意指不同類型的性狀在遺傳時相伴出現的現象。這也是染色體觀點的一個必然結果，因為同一個染色體攜帶的各種基因，會隨著染色體一起被分配到生殖細胞上，那些基因造成的性狀就連結成群地出現了。之前遺傳學家使用植物雜交為實驗工具，不易累積資料，而摩根使用果蠅實驗，由於突變而產生大量的新性狀，使得連鎖現象的資料大量增加，摩根甚至已把果蠅的各種突變性狀分成四組連結，恰對應於果蠅的四對染色體，而且其中一組連鎖只有兩個性狀，果蠅的四對染色體中也有一對特別小，呈現點狀。摩根很快地使用一種性連鎖 (sex linked) 的性狀來例示連結現象：亦即白眼的突變果蠅，其基因位於性染色體上，故白眼的出現與性別產生連結。此例子將正常雌性紅眼果蠅

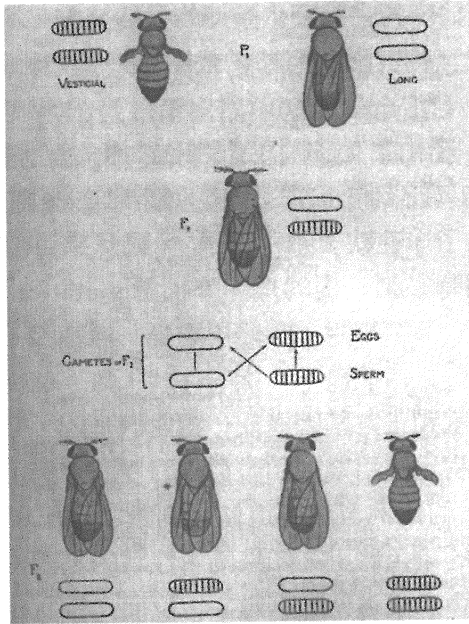


圖 12-1 長翅與殘翅交配後第二子代是標準孟德爾比例
(來源：Morgan, et al. 1915: 9)

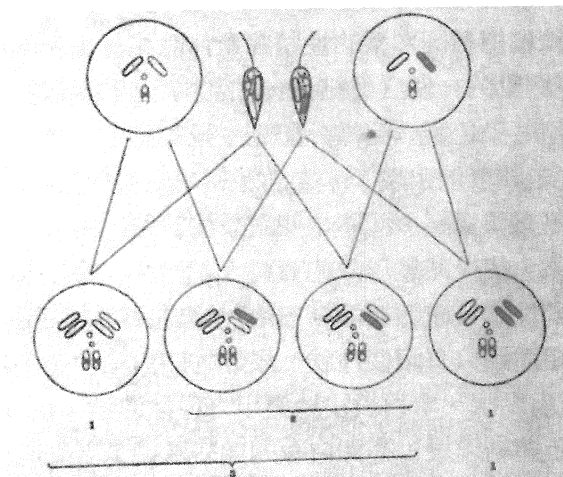


圖 12-2 果蠅配子四對染色體的交配後的比例
(來源：Morgan, et al. 1915: 12)

與雄性白眼果蠅交配，第一子代都是正常紅眼，相互交配的結果，第二子代中紅眼與白眼的比例是 3:1，可是白眼都是雄性！而白眼雄性與紅眼雄性的比例是 1:1，如圖 12-3 所示。接著，把白眼雌性果蠅與紅眼雄性果蠅交配，第二子代不管雌性雄性，其白眼與紅眼的比例都是 1:1，如圖 12-4 所示。顯然，主張白眼和紅眼的基因位於性染色體上可以輕易地說明這種現象。

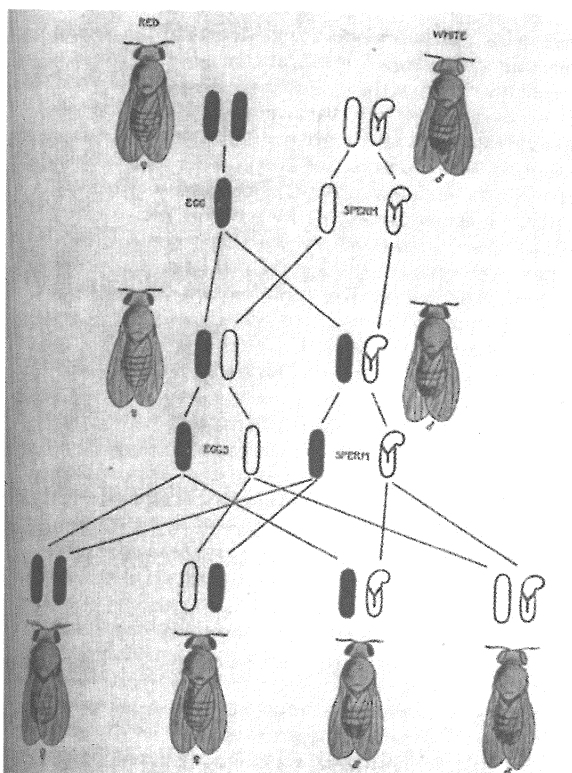


圖 12-3 紅眼雌性果蠅與白眼雄性果蠅交配產生第一子代都是紅眼，再互相交配產下第二子代雌性果蠅都是紅眼、雄性果蠅紅眼與白眼為 1:1。

(來源：Morgan, et al. 1915: 17)

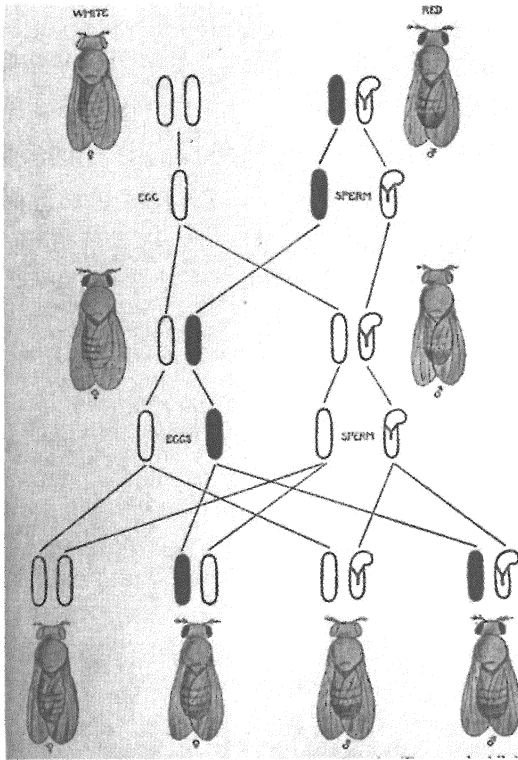


圖 12-4 白眼雌性果蠅與紅眼雄性果蠅交配產下第一子代雄性都是白眼、雌性都是紅眼；第一子代互相交配，產下第二子代雌性與雄性中，白眼和紅眼的比例都是 1 : 1。
(來源：Morgan, et al. 1915: 19)

第二章討論幾個似乎是異常的遺傳現象，這些現象在過去可能被視為孟德爾定律的異例，但都被摩根克服了。首先是當時已有不少案例的不完全顯性現象，這種現象使柯仁斯和貝特生拒絕有所謂的「顯性律」。摩根的果蠅實驗有一個更奇怪的結果：一個棒眼 (bar eye) 的突變果蠅與正常圓眼的野生果蠅交配，產下有棒眼的女兒，其眼睛寬度卻不似純棒眼那麼狹窄，而且變異的

範圍極大，有的窄到接近純棒眼，有的寬到像圓眼，然而有棒眼的兒子則與純棒眼一樣窄。摩根認為棒眼的基因可能在 X 染色體上，所以繼承棒眼 X 染色體的雄性眼睛，與同接合子的雌性之眼睛，都像純棒眼一樣窄；而異接合子的雌性則因為有一個 X 染色體是非棒眼因子，亦棒眼基因的對偶基因，其與棒眼基因競爭影響，導致異接合子的雌性果蠅，其眼睛較寬。摩根甚至懷疑是否有孟德爾在碗豆實驗中所假設的完全顯性？果蠅實驗中有不少例子顯示出隱性基因的影響，例如果蠅的紅眼，可能因為增加隱性基因而弱化眼睛的紅色。⁹

下一個遺傳類型（或異例）是單一對基因的多重影響。摩根一開始就說，假定單一對基因只能影響單一性狀是錯誤的，真正理解孟德爾主義的人都會把單一對基因的多重影響視為理所當然。有一種叫 club 的突變果蠅，約有 20% 的數目翅膀捲皺、無法展開，後來發現所有 club 的果蠅的頭部較平坦、較小、喉部和腹部有些扭曲，換言之，這種突變因子影響是多重的，一些是整個群體的恆定性狀，一些則是偶然或變動的（如翅膀的捲縮）。

第三遺傳類型（或異例）是不同基因產生相似的結果。很多家飼動植物的白體色就是這類型，例如有一種甜碗豆的第二子代有紅花和白花 9：7 的比例，這其實是 9：3：3：1 的特例，因為白花其實有三類不同的基因（基因型），只是表面相似（表現型

9 這裡我們可以討論一下把 dominant 譯成「顯性的」問題，按照當初選用此詞譯者的思路，他可能是用此詞來形容性狀，亦即性狀顯現出來者為顯性，而隱性遇到顯性則會隱藏。可是，這實在不是恰當的翻譯，一來 dominant 表達的是「支配」、「優勢」的意思；二來如同摩根的研究，recessive factor 也可能會對性狀產生影響，只是不像 dominant factor 對性狀的影響那般具支配性或強勢。譯名常常也是約定成俗，又此譯名已通行多年，所以我們仍然沿用，但最好理解成「優勢」和「劣勢」。

相似)，對這種現象的說明是，這種甜碗豆其實有兩個相互獨立的白色隱性基因，任一個隱性白色基因成對出現時，就會表現出白色花朵。以染色體的觀點來看，其中一個白色基因是由於一個染色體上的突變，另一個則是另一個染色體上的突變。針對這種類型，摩根舉了很多例子。

第二章最後一節，摩根討論影響基因表現的其它因素，主要有環境、發育過程和其它基因聯合影響，可以說它們一起構成一個基因的複合體，影響了單一性狀（這和上述不同基因產生相似性狀的情況不同）。摩根結論說：

如果孟德爾式的基因與差異沒有被發現需要特定條件——環境、發育或其它基因——以便產生已知結果或任何結果時，那才真是一件奇怪的事。因為孟德爾的基因導致或影響各種性狀——也就是，任一種或所有發育和生理反應；而且我們已知很多這類的反應被年齡、溫度、身體部位等等所影響。上述已知的事實一點也不能推翻孟德爾原理，相反地，它們佐證了先前對所有遺傳性狀的解釋，亦即每個性狀都是基因反應了環境和其它基因作用的結果。無法理解到這觀點，導致孟德爾主義的反對者作了一些徒勞的批評（Morgan, et al. 1915: 46）。

第二章討論的現象，在過去都被視為孟德爾定律的反例或異例，現在摩根把它們轉化為孟德爾主義的有力佐證，關鍵正在於他把孟德爾式的遺傳全面擴大到生物的所有發育和生理現象，這也是他的理論版本比貝特生的版本更進一步、更全面、更普遍化的地方。貝特生把環境和發育視為「外來」的干擾因素，它們導致孟德爾的比例沒有出現，因此它們是例外或有待進一步解決的異常現象。但摩根把環境和發育解釋為孟德爾遺傳機制的一環，

更進一步提出基因互相作用的機制，所以它們不再是例外或異例，而是常態的、理所當然的現象。

標題為「連鎖」的第三章，其真正討論的內容是染色體片段的「交換」，亦即成對染色體在分裂過程中，會和其配偶互換某些片段，造成原來沒有某些基因的對偶染色體，有了之前沒有的基因。可是，透過交換現象的統計，可以得知兩個基因連結的機率，這是摩根遺傳學嶄新的部分，也是染色體理論的精華，是其它遺傳理論（版本）所不及之處。染色體片段產生交換的例子如下：已知黑體色和殘翅的突變基因都位在第二對染色體上，如果一隻黑色殘翅的果蠅與野生（灰色長翅）果蠅交配，其第一子代都是正常的灰色長翅；進而將第一子代雄蠅回交黑體殘翅雌蠅，結果得到黑色殘翅與灰色長翅 1：1 的比例，這表示第一子代的染色體沒有交換現象。可是，如果將第一子代雌性回交雄性黑色殘翅，卻得到黑色殘翅 41.5%、灰色長翅 41.5%、黑色長翅 8.5% 和灰色殘翅 8.5% 的數字（見圖 12-5）。為什麼？這可以用染色體片段的交換來說明，亦即第一子代雌性的細胞分裂成生殖細胞時，有一條染色體原來有黑體色和殘翅基因，因為與另一條沒有那兩個基因的對偶染色體交換片段，使得其中一個基因（例如殘翅基因）跑到另一條染色體上，現在這雌性果蠅產生了四種不同的卵，分別有黑色殘翅基因、沒有、黑色基因、殘翅基因，如此與黑色殘翅果蠅交配時，就會生下四種性狀組合的子代，根據上述統計數字，表示其染色體交換發生的比率是 17%。摩根進一步舉出幾個例子來顯示有幾個連結基因會發生的交換率不同，交換率越小的基因，表示它們在染色體上的位置（locus）越接近，因為它們不易在交換過程中被分開。「從這個觀點來看，交換的百分比是兩個基因彼此間距離的表現。」（Morgan, et al. 1915:

61) 可是，為什麼會有交換現象呢？摩根使用細胞學上的觀察來加以說明：因為在細胞分裂的末期時，同形染色體會彼此靠近而統一成對，而且它們經常會如麻花捲般地交纏，在重新分開時，偶爾在交點處互換片段，但當然也常沒有互換而維持原樣（圖 12-6）。我們可以說，摩根使用染色體交換片段的機制來說明連鎖的基因，卻偶然地產生了不連鎖的結果。

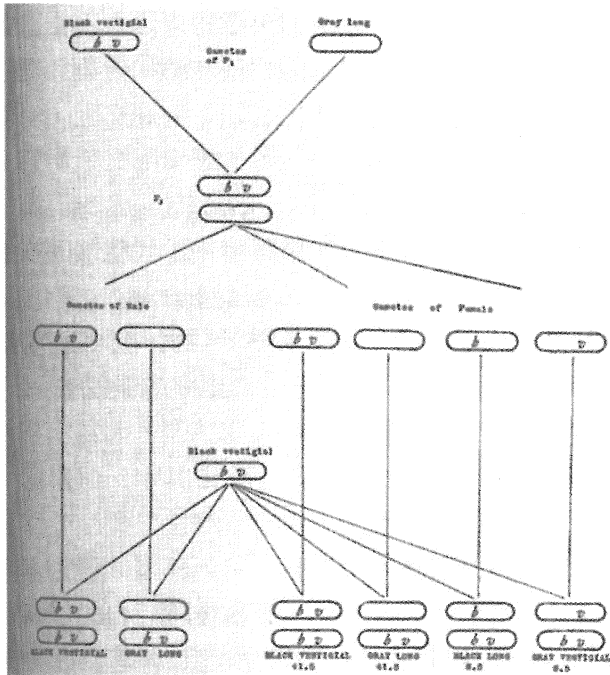


圖 12-5 擁有 b 與 v 基因的部分雌性配子可能發生交換，與有 b 和 v 基因的雄性配子結合，產生四種子代，數量有一定的比例。

(來源：Morgan, et al. 1915: 49)

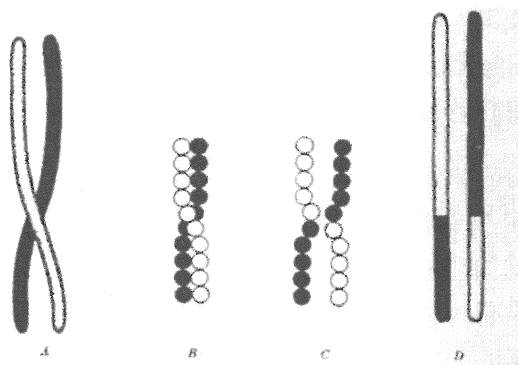


圖 12-6 染色體片段的交換
 (來源：Morgan, et al. 1915: 61)

伍、實驗的行為人基礎的動力模型

本文的目的是以從孟德爾到摩根的古典遺傳學實驗之歷史和古典遺傳學學科的建立，來印證筆者提出的實驗發展之動力模型。我主張實驗發展的主要動力因素是落實背景觀念和解決實驗異例。在以「背景觀念、實驗模型和實驗結果」的架構來展示古典遺傳學的實驗歷史之後，我們可以更具體地說明這個動力模型的適當性。

實驗者從事實驗的目的想要「落實自己的背景觀念」明顯在諸遺傳學學家的實驗中看到。背景觀念偶爾包括已建立的理論，但並不總是含有理論，孟德爾是一個鮮明的例子。除非孟德爾建立一個生物分類理論，明確提出物種與變種的界線判準，否則我們無法說孟德爾已建立完整明確的「雜種的形成與發育理論」，因為它需要預設一個「物種與變種的形成與發育理論」。但是孟德爾顯然有一些物種、變種與雜種的背景觀念，引導他企圖使用實驗去發現雜種形成與發育定律。進一步，他的背景觀念的落實

屬於(B2)類型「探測實驗模型與實驗裝置的潛能」，孟德爾想探測他的實驗對象和裝置——雜種、碗豆和植物——究竟會有什麼樣的規律性行為。

解決實驗異例是推動實驗發展的第二個基本動力因素，這也意謂者實驗異例在實驗與實驗科學的發展中，扮演關鍵的角色——這一點和理論的發展略有不同。如同我們已知，理論異例在理論發展中有時會被擱置。可是，實驗異例卻總是在實驗過程中推動新實驗的執行與新理論的建構。就古典遺傳學的案例而言，(EA3)型的「外在實驗異例」是主要的推動力。儘管柯仁斯完全沒有意識到他自己的背景觀念與孟德爾有所不同，但是兩人的實驗確實是在截然不同的背景觀念下產生了一致的結果。然而，德弗里斯則隱然感受到孟德爾的背景觀念有所差異，例如他主張使用獨特性狀的跨種交配研究，應該取代流行的雙源或多源雜種的研究，後者則是孟德爾研究的出發點。如果我們進一步考慮貝特生和摩根，情況就更明顯了，因為貝特生後來始終不同意摩根的遺傳染色體理論。此外，柯仁斯已注意到顯性律和獨立分配律並不是普遍適用，這是(EA2)型的外在實驗異例，不同的實驗裝置有不一致的結果(某些植物的對偶性狀並未出現顯性情況)。柯仁斯並沒有舉出實例，這一點使得古典遺傳學家使用更多不同的實驗生物來做實驗，從而確立了不完全顯性的情況。摩根更是進一步主張或許並不存在完全顯性的情況，他的大量實驗，並沒有總是呈現出完美的孟德爾比例，也使得他進一步整合遺傳的染色體理論，提出「基因連鎖」和「染色體片段交換」等觀念和機制，來說明他得到的子代比例數字。

解決實驗異例也代表經驗拘束對實驗發展的關鍵性，因為實驗異例提供了經驗拘束，為了克服這種拘束，科學家不得不修改

理論版本。古典遺傳學的諸理論版本幾乎都是為了回應實驗產生的新現象與新經驗而提出和修改的，特別是摩根的版本發展過程。相較於其他古典遺傳學家，摩根的理論發展受到實驗生產的經驗拘束的推動最大，他經歷四個重大的理論改變：(1) 從反對遺傳的染色體理論到接受它；(2) 整合染色體理論和孟德爾主義；(3) 從接受德弗里斯的突變理論到反對它；(4) 改變「突變」的意義，發展新的基因突變和突變演化理論。

工具資源與拘束影響古典遺傳學的發展路徑，特別是孟德爾、德弗里斯和摩根對實驗工具的選擇。孟德爾恰好選到豌豆，他實驗的七個對偶性狀恰好沒有任何連鎖，所以他能得到一定的比例。早期遺傳學家大都使用植物來進行雜交實驗，如前文所述，德弗里斯曾宣稱他找到一個突變的新種，這是他辛勤培育植物十多年的成果。1900年代初，不管德弗里斯找到的是不是新物種，一個樣本就想證實他的突變理論，很難被多數生物學家接受。工具拘束限制了德弗里斯的突變理論之發展。既然摩根想利用實驗來證明突變的可行性，他瞭解自己不宜再使用曠日廢時的植物來做實驗。幸運地，二十世紀初已有其他科學家開始使用果蠅來做實驗，摩根如同孟德爾一般，在選擇實驗工具來配合目標上有獨到的眼光和洞見，他放棄哺乳動物而選擇果蠅，使得哥倫比亞大學「果蠅屋」聲名遠播，成為科學實驗史的一段佳話，也幫助他獲得遺傳學上的突破（關於果蠅的實驗史，參看 Kohler 1994）。果蠅除了可以大量生殖、短期內可以產生大量世代之外，它細胞核的染色體只有四對，容易觀察和檢驗，這些特徵都十分能配合摩根想製造突變新種的目標。即使摩根沒有達到他的原初目標，他卻很快地把果蠅的實驗用來發展孟德爾遺傳學和基因理論。

最後關於社會資源與社會拘束的面向，鮑勒（Bowler 1989）已討論了孟德爾主義和古典遺傳學興起的社會和制度條件，以及意識型態的條件（如十九世紀末到二十世紀初流行的遺傳主義的政策）。這些條件如何被鑲嵌到本書主張的「認知－社會的因果機制」中呢？本章著重在展示科學發展的結構與傳承面向，而暫時擱置對社會環境的探討，因此把這個問題留待未來。

結論

一個整合的科史哲理論

理論與實驗是分析科學的兩個基本範疇，也是絕大多數科學哲學家的基本關懷。理論與實驗的關係構成科學的核心，掌握理論與實驗的關係，似乎就掌握了科學的「本質」。幾乎所有的科學哲學、甚至科學之學理論，都是在回答「理論與實驗的關係是什麼」這個問題。雖然我們談到早期科哲忽視實驗，意思是指他們在缺乏對實驗的分析之下，就提出了上述問題的答案；或者說他們把實驗的功能簡化、單一化與偏狹化，但並不表示他們漠視實驗在科學中的地位。可是，即使後來的科學研究或科技與社會相當重視實驗與實作，也不代表他們對於「理論和實驗的關係」已提出好答案。那麼，理論和實驗的關係究竟是什麼？或者問，我們應該如何定位理論和實驗在科學中的角色與相關位置？

本書發展一個的整合理論、模型和實驗的科史哲理論，其答案總結如下：

(C1) 科學行為與其產品既可區分又連續：科學行為與其產品構成一個連續體，像一個光譜般，理論與實驗分別位在兩個端點。理論在抽象和理想化的那端；實驗在具體化與實作的那端，而模型中介於其間。在理論一端的是理論模型；在經驗、現象與物質一端的是經驗模型、資料模型與實驗模型（導論、第

一、二、三章)。

(C2) **模型的媒介角色無所不在**：亦即模型不只是理論與現象的媒介者，也是理論與觀察、理論與檢驗、理論與實驗、實驗與現象、實驗學習、實驗發現、實驗傳遞與發展的媒介者（全書各章）。

(C3) **不同理論與實驗競爭的判斷與選擇依據是各種認知評價，結構相似度提供各種認知評價的媒介或共同參考架構**：針對相同主題或現象之不同理論和實驗結論或解釋，彼此間會互相競爭，導致新理論版本或新實驗的建立。既然理論與實驗都要透過模型的媒介，才能連結現象，則判定或選擇競爭理論與實驗的各種評價標準中，也有一個共同的媒介或參考架構：結構相似度（導論、第一、四、七、八章）。

(C4) **觀察與實驗的獨立性**：(a) 並非所有的觀察與實驗都在理論的支配或引導下進行，但有意義的觀察與實驗結果（包括發現），要依賴於經驗模型或具體化模型的建構（第二、三章）。(b) 觀察與實驗結果的解釋，要透過經驗模型或具體化模型的建構，再對後者提出理論說明。如果科學家對於觀察與實驗結果能形成共識，其實基於共同具體化模型的建立；然而對於相同具體化模型可能產生不同的理論說明。共同具體化模型的共識建立並不是來自偶然或任意的約定俗成，而是來自資料和經驗的不變結構（第二、四、五、九章）。

(C5) **理論與實驗共享相同的發展模型**：(a) 理論和實驗都要由模型來媒介，因此理論和實驗的發展由模型的發展來媒介。模型的發展模型是：建構模型來模釋資料和現象（與之作比較）、修正可用模型、拋棄舊模型、建構新模型（第四章）。(b)

理論、模型和實驗都是具有結構的事物，其發展方式總是透過局部性的修改，亦即從一個原型的結構中某一部分加以修改而發展出新理論版本或新實驗，修改不同的部分會產生不同的變異，彼此間只是家族相似的，但也容許很大的家族歧異性。理論、模型和實驗透過代代相傳和修改，逐步地發展出一個理論版本的家族或主題實驗的家族。我們可以總稱這是一個「人類家族似的發展和演化模型」（第四、十、十一章）。(c) 理論和實驗又有其各自相對獨立性，所以理論和實驗的發展有三種基本樣式：理論主導的發展、實驗主導的發展、理論與實驗交織發展（第三、十、十一章）。

(C6) 理論主導的科學發展樣式：理論本身以理論版本家族的發展樣式主導科學的過程。在此樣式下，理論的確能引導觀察與實驗的設計和執行、甚至導致發現，但要透過具體化模型的建構。具體化模型是決定觀察方向與設計實驗模型的依據。例如天文學理論引導天體的觀察與發展，古典力學、光學引導力學、光學實驗的設計和執行。但是在理論引導下的觀察與實驗似乎是較孤立的，並未形成系統性、家族性的發展（第三章）。

(C7) 實驗主導的科學發展樣式（實驗也能引導理論的建構和科學學科的發展）：有些理論、領域甚至學科，乃是由於實驗而建立的，例如近代化學、電學、電磁學、胚胎發育學等等。實驗引導理論的建構和發展的方式是透過把具體化模型加以抽象和推廣。具體化模型的結構局部之抽象，可能產生不同的理論模型或理論版本。在此情況下，理論發展較為孤立而不具家族性（第十章）。

(C8) 理論與實驗的發展動力是一個認知－社會的因果機

制，包括理論化與實作技能（理論與實驗潛能）、認知評價、經驗拘束和社會資源與社會拘束：(a) 在這個因果機制中，認知與價值相對於社會範疇具有優先性，社會範疇（資源與拘束）的角色要透過認知與價值才能產生因果影響（第五、六章）。(b) 事實與價值的範疇區分反映了實然判斷與應然判斷的邏輯區分，無法被化約或消除。可是在實作上，兩者緊密循環互動，表現在認知評價是科學發展的原因（應然判斷導致實然），科學的發展產生新的價值和評價，引導科學未來的發展（實然導致新的應然判斷）（第四、五、六章）。(c) 在事實與價值的循環互動的觀點下，我們討論的既是「已建構的科學」又是「建構中的科學」，兩者不能被截然區隔和分開探討（導論、第四、五、六、十一、十二章）。

為了與本書的答案、理論和模型進行比較，讓我們整理迄今回答「理論與實踐的關係」的幾個觀點，以便顯示本書論點的相關位置。

第一個觀點是理論支配實驗，亦即實驗的執行與發展總是要依賴於理論的引導，觀察與實驗結果的解釋，總是背負理論。在某一個意義上，只要把「模型」都理解成理論的，本書的主張就與此差別不大。問題是，我們可以說理論是模型或理論都是由模型組成的，卻不能說「模型都是理論」。當然，我們不能在理論與模型之間畫出一條截然分明的界線，但在程度性的思考下，沒有截然分明的界線並不代表兩個就不可區分，例如一些「圖像模型」與理論之間就可以清楚地區別。當然，模型也可以是一個概念結構、概念框架或概念架構，但這並不意謂這些概念架構都是理論。

第二個觀點主張理論與實驗的辯證互動 (dialectical interaction)，亦即理論可以引導實驗的設計、執行與結果的解釋，而實驗反過來引導理論、修正理論或指示理論的新方向等。這個觀點當然沒錯（可以說是瑣碎地真），問題在於它究竟如何理解「理論」，又如何理解「實驗」？同時它也必須回答理論如何引導實驗？實驗又如何反過來引導理論？如果它把理論理解為只是一組命題或公理系統，實驗則是操作工具與物質的行為，則很難連結高度抽象的公理系統與具體行為和工具。要做到這一點，勢必引入模型的中介角色，從而必須改變對理論和實驗的理解。

第三個觀點引入所謂論述實作 (discursive practice) 的概念，既然實驗是一種實作，則可以說理論是一種論述實驗 (discursive experiment)。科學史上充斥著思想實驗，使得這個概念並不會太奇怪，此外也有一些理論模擬可以說是一種論述性的實驗。然而這個觀點的後果是從實作的角度來理解理論與理論概念和思想，消除了理論與實驗之間的範疇差異。問題是，典型的理論仍然與典型的實驗有很大的差別。讓我們再次重申，儘管理論與實驗之間並沒有截然分明的界線，卻不代表這不是兩個不同的範疇。理論與實驗是兩個相連、相關而且連續相接的兩個不同範疇，連接兩者的是模型。兩個範疇的極端存在著「無法具體實驗的理論 (假設)」(例如「重力透鏡、蟲洞、宇宙大霹靂爆炸、多重宇宙」等)，也存在著「不具理論的實驗」(但不代表不具模型)，介於其間的是許許多多抽象與具體化程度不同的模型。

此觀點亦常會主張實驗是「物化的理論」(reified or materialized theories) 來補充「理論是論述實驗」，其結果同樣消除了理論與實驗的界線，使兩者形成「一體兩面」。可是，「一體

兩面」這樣的成語並不適合，也會產生誤導。因為雖然「理論」與「實驗」都是科學行為，並透過模型來中介，但並不表示它們是同一個科學行為的「兩面」，事實上它們是不同種類的科學行為。

第四個觀點引入社會的角色，主張社會才是理論與實驗發展的最終決定者。更精確地說，是實驗結果對於理論的檢驗與否，其實是由社會制度、生活方式或約定俗成來決定的，實驗的發展是基於默會技能的傳遞，實驗者要向傳統與權威學習。所謂的科學發現或實驗發現的資格也要由優先權的社會競爭概念來界定。這個觀點之所以會被提出，是由於「證據不足以決定理論」的哲學論證與「科學爭議無所不在」的歷史現象，二十世紀經驗論、否證論、實在論等科學哲學方法論的失敗，以及針對「爭議中的科學」之田野調查結果，使得科學社會學家相信要調和這些現象、論證與資料，只有訴諸於社會約定或社會決定。問題是，社會共識或約定其實是評價與判定的結果，而不是原因——本書的許多案例研究，論證了這一點（第五章）。再者，本書已經提出一個調和這些現象、論證和資料的解決之道：亦即使用模型來中介理論與現象、觀察與實驗，使用結構相似性來進行經驗評價與判定，使用程度性思考來解決判定的不確定性問題。如此一來，我們毋需訴諸於社會決定的角色。當然，本書的理論並不代表科學與社會無關，也不是回到經驗主義和否證論的主張，實驗產生的經驗證據可以完全決定理論的取捨。相反地，由引入模型的中介角色，本書也打開了一個研究科學與社會的新方向——亦即模型與評價亦做為科學與社會的中介。

基於本書的理論，我們也可以對科哲傳統關心的知識、真理（真）、經驗事實的決定能力（經驗證成）、實在、理性等議題，

提出一些延伸性的討論。

在柏拉圖的影響下，「知識」被分析（或定義）成「證成的真信念」，又信念是命題式的心靈狀態或者說必須使用命題來表達，所以「知識」也被理解成等值於「證成的真命題」。所以，科學的理論知識、實驗知識等，都必須被表達成「證成的真命題」。哲學家的任務就在於建立或定義「證成」、「真」的判準。本書強調科學中模型的關鍵角色，如果科學知識勢必得由模型來表徵，那麼我們就不能把知識侷限在唯獨「證成的真信念」上。相反地，科學知識多半是模型知識，一些可以仍然是信念，但也有非信念的知識。因為科學認知模型是心靈元項（mental entities），雖然有些模型可以用命題來表達，但也有非命題性的模型（概念、圖像、空間等），因此，模型知識未必都是命題性的信念知識。

其次，傳統主張「真」是知識的必要條件。可是，一些模型理論家如卡特萊特、吉爾瑞等卻主張「真」在討論科學理論或知識中並不重要。因為模型表達的是理想狀態或抽象狀態下的系統結構或行為，實際上總是為假——模型也都是假設，導論已指出兩者的歷史淵源。如果科學知識主要是模型知識，那麼，科學知識就不必然預設真。模型知識並不必然真的第二個理由是：「真」（真值）通常被認為是命題的一個性質，因此非命題的模型自然也不能被賦予真值。可是，如果模型知識是科學知識的關鍵元素，就意謂著「知識」的概念、意義或定義必須被改變或擴張。

真是什麼？「真」的意義為何？這也是哲學傳統最關心的問題之一，有許許多多的觀點或理論已被提議。本書並沒有進入這個議題，在結論處自然不能也不該多作議論。可是真與符應

(correspondence，或對應、符合、吻合)的關係卻必須討論，因為本書使用「結構對應」來測量模型間的結構相似性。眾所周知，一個廣被接受的「真理觀」把「真」定義為「命題或敘述符應事實」。那麼，從符應真理觀看來，如果我們宣稱一個理論模型結構性地對應了一個現象或資料模型，這豈不是等於說該理論模型為真？換言之，我們的理論並沒有真正證明「真」並不必要。不過，雖然「真」可以定義成「對應」，但並非所有的對應都是真。即使一個理論模型的結構完全對應了（同構於）資料模型的結構，也不代表描述該理論模型的命題就是「真」，因為資料模型並不能立即被理解為中立的、赤裸裸的事實——資料模型是模塑後的產物。再者，幾乎沒有理論模型可以同構於資料模型，頂多只有極大的結構相似度，因為理論模型是高度抽象和理想化，而資料模型則具體而實際。如果我們把共同的經驗模型與資料模型理解為事實，則「真」即可以應用在這樣的定義上，但此時事實是被建構、被模塑的——它是經驗資料的不變結構與人類的認知結構之聯合產物。如此一來，「真」也就有程度性的差別。可是，這種理解方式會產生一些概念上的問題，假定一命題的媒介結構與資料結構之間有 99% 的相似度可以使此命題被稱作「真」，但是如果只有 85% 呢？或者 70% 呢？我們對於指派「真」給只有 60% 的相似度的命題必定會感到極度猶豫。既然，「真」可以被定義或化約到對應上，而結構對應的相似度沒有任何概念上的困擾，為何不在科學中使用「對應」的概念即可？這意謂著，「真」的角色在科學中是可有可無，或者可以被化約或極小化。當然，這不代表我暗示「真」在其他各種領域（如日常生活、歷史、法律）的角色也可以被消除。

當代許多真理觀或真理理論拒絕「符應的真理觀」，「毋需符

應的真」(truth without correspondence) 似乎代表二十世紀哲學的一股趨勢，現在我要說，在科學中，我們需要的是「毋需真的對應」(correspondence without truth)。

在科學中，模型做為理論與經驗或現象的中介，所帶來的結果是消除了命題與事實之間直接連繫。我們也可以說，模型是科學命題與科學事實之間的媒介。因此，過去哲學家習慣說經驗或事實命題可以給予理論命題一個經驗證成或不證成，我們現在得說：經驗或資料模型透過理論模型才能給予理論命題一個程度性的經驗證成或不證成——也就是我們已在第八章中發展出來_h印證和否證程度。而且對於一個高度抽象的大理論而言，經驗或資料能夠提供的永遠只能是局部決定而已——我們也已在第三章證明了這個論點。

成熟或最好的科學理論是否反映了世界的實在、至少逐步地逼近實在？肯定的答案是實在論，否定的答案是反實在論。這個爭議自從古希臘以來也一直是哲學的關懷重心，在二十世紀後的科學哲學中更是焦點。然而，這個爭議似乎也一直以天文學為模型，因為這是古希臘哲學家問題意識的誕生背景：我們只能透過觀察來掌握天文現象，我們無從置身於太空之中，那麼我們究竟會不會被觀察的表象欺騙？我們是否要依賴於理性建構的天文學理論才能掌握宇宙的真實？正是這些問題才使得實在論與反實在論的爭議歷久不衰。當然，這個天文學的問題模式也可以套用到二十世紀的微觀世界中——我們的感官也無法觸及灰塵以下的微小世界，那麼科學理論是否能夠幫助我們理解微觀世界的真實性？這個以古希臘天文學為模型和背景的問題意識，固然一直是科學的一部分，但是能與自然互動、改造物質、甚至產生新現象的實驗技能誕生之後，已經改變了科學。在科學中我們經驗的現

象不再是既予或所予，不再是如古希臘人觀察的天體現象般永恆不變，透過工具儀器的發明，實驗可以大量地創造新現象和新經驗！實驗帶給人類新的經驗之流，實驗可以使得理論預測的現象實現！在這種情況下，我們還能一直侷限於理論是否反映實在的問題意識之下嗎？實驗的能力至少帶給我們一個新的問題意識：一個理論能經由實驗實現或落實嗎？能落實到什麼程度？這個問題意識就召喚來本書導論已提到「落實」和「落實程度」的概念。進一步，我們想建議在科學中，「理論是否反映實在」可以而且應該全面使用「理論是否能被落實、落實到什麼程度」的問題來涵蓋和取代。如此一來，傳統上問「理論是否為真（如果它反映了實在）」、「哪個理論較真」，也應該改問「理論可以被落實到什麼程度」、「哪個理論的落實程度較大」。當然，問題也轉向如何定義和發展一個「落實理論」。本書已建議使用具體化程度來衡量落實程度，而具體化程度又是透過模型與現象或資料模型的結構相似度來比較。這個比較總是相對的，亦即一個模型的具體化程度是和針對相同資料的其它模型之具體化程度作比較，本書第一章和第七章已經詳細發展了比較的判準。

在一些科學哲學家（例如波柏、拉卡托斯、一些科學實在論者）看來，「科學方法論」也即是「科學理性的理論」，方法論提供的科學方法定義了科學理性，進而這樣的科學方法和科學理性也可以用來區分科學和非科學，它們定義了科學，為科學提供一個統一的目標（追求真理、追求進步等等）。後來的科學哲學家普遍不再接受這種單一、本質、目的論式的科學方法和理性論，也改採取「工具理性」的觀點：科學方法只是工具，可以隨著不同的科學目標而變動。因此科學方法和理性也不是單一的，而是多元的。近來一些科學哲學家的工作在於發展和建議科學發現的

策略——這個術語的使用更是工具理性觀的體現。因此，現在問題變成究竟有什麼樣特徵的方法工具或理性工具可以提出？本書提出一種比較性、程度性思考的理性方法，它總是運作在兩兩對象的程度性比較之間；進一步來說，模塑和模釋也是理性運作的一種方式。這種理性的運作方式，與古希臘以來的演繹、公理系統的建構、邏輯分析都相當不同。

最後，本書已提出一個理論、實驗和整合兩者發展的動力學，我們宣稱這是一個行為人基礎的動力學，它是基於對行為結構的模塑與分析而發展出來的。因為它使用標準的「方法－目標價值架構」和「手段－目的架構」來模塑理論化和實驗行為。如此，理論化與實驗的發展模型也建議了「一種行為的發展模型」。這套模型以及理論與實驗之間的關係，建議更普遍的信念與行為之間的關係：信念系統對應到理論，行為對應到實驗，概念架構（conceptual schema）對應到模型。因此，基於這個結論的討論，我想建議（投射）出如下延伸性的命題：

- (1) 概念架構（也是概念模型）是信念與行為的媒介者。
- (2) 任兩個個體之間的相似度，可以透過結構相似度的方法來加以比較。因為任何個體都可以被看成是具有結構的系統，都可以被分析成局部的整合。
- (3) 同理，對於信念與行為的經驗評價，亦即所謂經驗證據的問題，必須透過信念、行為與經驗的概念架構之間的結構相似度來判定。
- (4) 信念系統與行為的發展樣式，可以透過概念架構的結構局部發展，來追蹤其軌跡或路徑。

(5) 人類應付其生存環境的行為構成一個連續體，像一個光譜般，信念系統（假設、理論、知識）與實作系統（參與、實驗、觀察、探查和測量等）是分別位在兩個端點：信念系統在抽象和理想化的那端；實作在經驗、具體化與物質的那端，概念架構媒介於其間。

在這些命題中，我們引入更普遍的概念例如「證據」、「個體」、「實作」、「信念」、「行為」、「概念架構」等等。我們並沒有直接分析上述概念並論證上述命題，然而它們可以從本文針對理論與實驗的分析、論證和案例研究中投射出來。我相信，這也是本書的科史哲理論對於更寬廣、更一般性的知識論與行為哲學的問題所蘊涵的意義。

參考文獻

一、中文文獻

- 王文基 (2006),〈顯而易見〉,《利維坦與空氣泵浦：霍布斯、波以耳與實驗生活》中譯本導讀。臺北：行人。
- 戈革 (1992),《玻爾》。臺北：東大。
- 米建國 (2004),《意義、真理與信念：語言哲學論文集》。臺北：學富。
- 夸黑 (2005), 陳瑞麟、張樂霖譯,《從封閉世界到無限宇宙》。臺北：商周。譯自 Koyré, Alexander (1968). *From the Closed World to the Infinite Universe*.
- 李精益譯 (1997),《薛汀格的貓：奇幻的量子世界》。臺北：牛頓。譯自 John Gribbin (1994). *Schroedinger's Kitten and the Search for Reality*.
- 沈慧君和郭亦玲編著 (1998),《經典物理發展中的著名實驗》。新竹：凡異出版社。
- 邱大昕 (2008),〈「殘障設施」的由來：無障礙〉,《科技、醫療與社會》第 6 期,頁 21-68。
- 邱文聰 (2010),〈科學研究自由與第三波科學民主化的挑戰——對「知識憲法」與「政治憲法」二分的一個批判考察〉,收於邱文聰主編,《2009 科技發展與法律規範雙年刊：科學管制、學術研究自由與多元民主價值》,頁 61-115。臺北：中研院法律研究所。
- 林文源 (2007),〈論行動者網路的行動本體論〉,《科技、醫療與社會》第 4 期,頁 65-108。
- 林文源 (2010),〈由非現代的政治難題到在地策略〉,《臺灣社會研究季刊》第 80 期,頁 396-419。
- 林正弘 (1988),《伽利略·波柏·科學說明》。臺北：東大。

- 林正弘（1991），〈論孔恩的典範概念〉，收於《第二屆美國文學與思想研討會論文集》。臺北：中央研究院歐美所。又收於傅大為，朱元鴻主編，《孔恩：評論集》，頁 115-134。臺北：巨流。
- 林正弘（1993），〈庫恩 [Thomas S. Kuhn] 論科學的客觀性〉，《新亞學術集刊》第 10 期，頁 199-206。
- 拉圖（2004），林宗德譯，〈給我一個實驗室，我將舉起全世界〉，收於吳嘉苓、傅大為、雷祥麟主編，《科技渴望社會》，頁 219-263。臺北：群學。譯自 Latour, Bruno, Give Me a Laboratory and I Will Raise the World.
- 莊文瑞（1987），〈當代科學哲學的轉向——巴柏與孔恩的辯論〉，《當代：科學哲學專輯》第 10 期，頁 26-36。
- 陳思廷（2009），〈游走於理論與實情之間：一項經濟模型操作的案例研究〉，《科技、醫療與社會》第 9 期，頁 57-122。
- 陳雅茜譯（2003），《果蠅：閃亮的生命科學研究先驅》。臺北：天下。譯自 Brooks, M. (2001). *Fly: An Experimental Life*.
- 陳瑞麟（1999），〈組織科學理論：分疇、分類和模型〉，《東吳哲學學報》第 4 期，頁 1-32。
- 陳瑞麟（2001a），〈《科學革命的結構》之後〉，收於傅大為與朱元鴻主編，《孔恩：評論集》，頁 279-310。臺北：巨流。
- 陳瑞麟（2001b），〈社會建構中的「實在」〉，《政大哲學學報》第 7 期，頁 97-126。
- 陳瑞麟（2003a），〈科學概念的指稱與投射〉，《歐美研究》第 33 卷第 1 期，頁 125-192。
- 陳瑞麟（2003b），〈科學模型的投射與落實〉，《科學與世界之間：科學哲學論文集》，頁 321-331。臺北：學富。
- 陳瑞麟（2003c），〈特異功能研究是科學嗎？〉，《科學與世界之間：科學哲學論文集》，頁 321-332。臺北：學富。

- 陳瑞麟 (2003d), 《科學與世界之間：科學哲學論文集》。臺北：學富。
- 陳瑞麟 (2004), 《科學理論版本的結構與發展》。臺北：臺大出版中心。
- 陳瑞麟 (2005a), 〈科學現象的觀察與建構〉, 《東吳哲學學報》第 11 期, 頁 57-98。
- 陳瑞麟 (2005b), 〈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, 頁 37-71。
- 陳瑞麟 (2007a), 〈科學實驗的輻射發展：重構早期電學實驗的歷史〉, 《歐美研究》第 37 卷第 4 期, 頁 535-591。
- 陳瑞麟 (2007b), 〈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》第 68 期, 頁 227-264。
- 陳瑞麟 (2009), 〈孟德爾究竟發現了什麼？一個實驗發現的典型模式〉, 《科技、醫療與社會》第 9 期, 頁 123-172。
- 陳瑞麟、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》, 頁 183-234。臺北：學富。
- 陳瑞麟 (2010a), 《科學哲學：理論與歷史》。臺北：群學。
- 陳瑞麟 (2010b), 〈實驗實在論與落實〉, 《東吳哲學學報》第 22 期, 頁 83-113。
- 陳瑞麟 (2011), 〈英美哲學、STS 和科技與社會〉, 《人文與社會科學簡訊》第 12 卷第 4 期, 頁 13-24。
- 陳瑞麟 (2012), 〈維根斯坦與科學知識的社會學〉, 收於黃瑞祺、李正風主編, 《科技與社會：社會建構論、科學社會學和知識社會學的視角》, 頁 65-103。臺北：群學。
- 張國暉 (2011), 〈對技術的社會建構論之挑戰：建構東亞技術研究主體性的一個契機〉, 《科技、醫療與社會》第 13 期, 頁 171-222。
- 傅大為 (1986), 〈科學的哲學發展史中的孔恩〉, 《科學革命的結構》

中譯本導言。臺北：允晨。

傅大為 (1995)，〈H₂O 的一個不可共量史——重論「不可共量性」及其與意義理論之爭〉，收於何志青、洪裕宏主編，《第四屆美國文學與思想研討會論文選集——哲學篇》，頁 95-122。臺北：中央研究院歐美研究所。又收於傅大為，朱元鴻主編，《孔恩：評論集》，頁 311-344。臺北：巨流。

傅大為 (1999)，〈融會在玉米田裡的「非男性」科學——關於「女性科學」的哲學論爭與新發展〉《歐美研究》第 29 卷第 2 期，頁 1-40。

傅大為與朱元鴻主編 (2001)，《孔恩：評論集》。臺北：巨流。

曾佳琦譯 (2001)，《維根斯坦的撥火棒》。臺北：時報文化。譯自 Edmonds, David J. and Eidinow, John. *Wittgenstein's Poker: The Story of a Ten-minute Argument Between Two Great Philosophers*.

雷祥麟 (2008)，〈常山：一個新抗虐藥的誕生〉，收於李建民編，《從醫療看中國史》第十章。臺北：聯經。

雷祥麟 (2010a)，〈《我們不層現代過》的三個意義〉，《科技、醫療與社會》第 10 期，頁 221-236。

雷祥麟 (2010b)，〈杜聰明的漢醫藥研究之謎：兼論創造價值的整合醫學研究〉，《科技、醫療與社會》第 11 期，頁 199-284。

楊倍昌 (2010)，〈由生物實驗的設計來發現孟德爾定律的發現〉，《科技、醫療與社會》第 10 期，頁 191-220。

戴東源 (2005)，《理論選擇：一個理性論的解釋與辯護》。東海大學哲學研究所博士論文。

戴東源 (2007)，〈克普勒之前的天文思想演變：哥白尼與第谷〉，《科技、醫療與社會》第 5 期，頁 111-182。

戴東源 (2012)，〈原因與本質：克普勒與伽利略天文思想的形上學差異〉，《科技、醫療與社會》第 15 期。

二、外文文獻

- Abetti, Giorgio (1952). *The History of Astronomy*. Tr. by Betty Burr Abetti. London: Abelard-Schuman.
- Achinstein, Peter (1968). *Concepts of Science: The Philosophical Analysis*. Baltimore, Maryland: The Johns Hopkins Press.
- Alexander, Peter (1985). *Ideas, Qualities and Corpuscles: Locke and Boyle on the External World*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Atwood, George (1784). *A Treatise on the Rectilinear Motion and Rotation of Bodies, with a Description of Original Experiments Relative to the Subject*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Barker, P., Xiang Chen, and Hanne Andersen (2003). Kuhn on Concepts and Categorization. In Thomas Nickles (ed.). *Thomas Kuhn* (pp. 212-245). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Barnes, Barry (1977). *Interests and the Growth of Knowledge*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Barnes, Barry (1982). *T. S. Kuhn and Social Science*. London: MacMillan Press.
- Barnes, Barry, David Bloor, and John Henry (1996). *Scientific Knowledge: A Sociological Analysis*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Barnes, Barry (2005). Transcending the Discourse of Social Influences. In *Science, Values, and Objectivity* (pp. 90-111). Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Barsalou, Lawrence W. (1992). Frames, Concepts, and Conceptual Fields. In A. Lehrer and E. Kittay (eds.). *Frames, Fields and Contrasts: New Essays in Semantic and Lexical Organization* (pp. 21-74). New York: Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.
- Barsalou, Lawrence W. and Christopher R. Hale (1993). Components of

- Conceptual Representation: From Feature Lists to Recursive Frames. In K. Meahelen, J. Hampton, R. Michalski, and P. Theuns (eds.). *Categories and Concepts: Theoretical Views and Inductive Data Analysis* (pp. 97-144). New York: Academic Press.
- Bateson, William (1909). *Mendel's Principles of Heredity*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Berry, Arthur (1961). *A Short History of Astronomy*. New York: Dover Publications. First published 1898.
- Black, Max (1962). Models and Archetypes. In *Model and Metaphor* (pp. 219-243). Ithaca: Cornell University Press.
- Bloor, David (1983). *Wittgenstein: A Social Theory of Knowledge*. London: Routledge.
- Bloor, David (1991). *Knowledge and Social Imagery*. 2nd edition. Chicago: The University of Chicago Press. First published 1976.
- Bloor, David (1999). Anti-Latour. *Studies in History and Philosophy of Science* 30(1): 81-112.
- Biagioli, Mario (1999). *The Science Studies Readers*. London: Routledge.
- Bijker, Wiebe E. and Trevor J. Pinch (1984). The Social Construction of Facts and Artifacts: Or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other. *Social Studies of Science* 14(3): 399-441.
- Bird, Alexander (2000). *Thomas Kuhn*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Boumans, Marcel (2002). Calibration of Models in Experiments. In L. Magnani and N. Nersessian (eds.). *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values* (pp. 75-94). New York: Kluwer Academic.
- Bowler, Peter J. (1983). *The Eclipse of Darwinism: Anti-Darwinian*

Evolution Theories in the Decades around 1900. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.

Bowler, Peter J. (1989). *The Mendelian Revolution: The Emergence of Hereditarian Concepts in Modern Science and Society*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.

Brannigan, Augustine (1981). *The Social Basis of Scientific Discoveries*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Brenann, R. (1996). *Heisenberg Probably Slept Here*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Brock, H. William (1992). *The Chemical Tree: A History of Chemistry*. New York: W. W. Norton & Company, Inc.

Brown, James R. (1984)(ed.). *Scientific Rationality: The Sociological Turn*. Dordrecht: D. Reidel.

Buchwald, Jed Z. (1995a). Why Hertz Was Right about Cathode Rays. In J. Z. Buchwald (ed.). *Scientific Practice: Theories and Stories of Doing Physics* (pp. 151-169). Chicago: The University of Chicago Press.

Buchwald, Jed Z. (1995b). *The Creation of Scientific Effects*. Chicago: The University of Chicago Press.

Buchwald, Jed Z. (1995c)(ed.). *Scientific Practice: Theories and Stories of Doing Physics*. Chicago: The University of Chicago Press.

Burt, Edwin Arthur (1954). *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*. New York: Doubleday.

Butterfield, Herbert (1958). *The Origin of Modern Science: 1300-1800*. London: G. Bell and Sons Ltd.

Callon, Michel (1995). Four Models for the Dynamics of Science. In Sheila Jasanoff et al. (eds.). *Handbook of Science and Technology Studies*. London: Sage.

- Carlson, Elof Axel (2004). *Mendel's Legacy: The Origin of Classical Genetics*. Cold Spring Harbor, New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Cartwright, Nancy (1983). *How the Laws of Physics Lie*. Oxford: Clarendon Press.
- Cartwright, Nancy (1989). *Nature's Capacities and Their Measurement*. Oxford: Oxford University Press.
- Cartwright, Nancy (1999a). *The Dappled World: A Study of the Boundaries of Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cartwright, Nancy (1999b). Models and the Limit of Theory: Quantum Hamiltonians and the BCS Models of Superconductivity. In Mary S. Morgan and Margaret Morrison (eds.). *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science* (pp. 241-281). Cambridge: Cambridge University Press.
- Chao, Hsiang-Ke (2009). *Representation and Structure in Economics*. London: Routledge.
- Chalmers, Alan F. (1990). *Science and its Fabrication*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Chalmers, Alan F. (1999). *What is this Thing Called Science*. Indianapolis: Hackett Publishing.
- Chen, Ruey-Lin (2000). Theory Versions Instead of Articulations of a Paradigm. *Studies in History and Philosophy of Science* 31A(3): 449-471.
- Chen, Ruey-Lin (2004). Testing through Realizable Models. *NTU Philosophical Review* (《臺大哲學論評》) 27: 67-117.
- Chen, Ruey-Lin (2007). The Structure of Experimentation and the Replication Degree: Reconsidering the Replication of Hertz's Cathode

- Ray Experiment. In Michael, C.-K., Mi and Ruey-Lin, Chen (eds.). *Naturalizing Epistemology and Philosophy of Science*. Amsterdam, Netherlands: Rodopi Press.
- Chen, Ruey-Lin (2008). *What is Cartesian Science: A Philosophical Consideration*. Presented at Daniel Garber Workshop, June, 2008. Department of Philosophy, National Chung-Cheng University.
- Chen, Ruey-Lin (2011). The STS Challenge to Philosophy of Science in Taiwan. *East Asian Science, Technology and Society: An International Journal* 5 (1): 27-48.
- Chen, Xiang and Peter Baker (2000). Continuity through Revolutions: A Frame-Based Account of Conceptual Change during Scientific Revolutions. *Philosophy of Science* 67(Supplement): S208-S223.
- Collins, Harry M. and Trevor Pinch (1982). *The Frame of Meaning: The Social Construction of Extraordinary Science*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Collins, Harry (1985). *Changing Order*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Collins, Harry (2004). *Gravity's Shadow: The Search for Gravitational Waves*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Crookes, S. W. (1969 [1879]). The Cathode Discharge. In E. Madden (1969) (ed.). *Source Books in the History of Science* (pp. 564-575). Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Copernicus, Nicholas (1952[1453]). *On the Revolutions of Celestial Bodies*. Tr. by Great Books in the Western World. Chicago: Encyclopædia Britannica, Inc. 6th edition 1990. 中譯本：張卜天譯（2005），《天體運行論》。臺北：大塊文化。
- Corcus, Alain and Floyd Monaghan (1993). *Gregor Mendel's Experiments on Plant Hybrids: A Guided Study*. New Jersey: Rutgers University

Press.

Correns, Carl (1966[1900]). G. Mendel's Law Concerning the Behavior of Progeny of Varietal Hybrids. In Curt Stern and Eva R. Sherwood (1966)(eds.). *The Origin of Genetics* (pp. 119-132). San Francisco: W. H. Freeman and Company.

Da Costa, Newton C. and Steven French (1990). The Model-Theoretical Approach in the Philosophy of Science. *Philosophy of Science* 57: 248-265.

Darden, Lindley (1991). *Theory Change in Science: Strategies from Mendelian Genetics*. New York: Oxford University Press.

Darden, Lindley (2006). *Reasoning in Biological Discoveries: Essays on Mechanics, Interfield Relations, and Anomaly Resolution*. Cambridge: Cambridge University Press.

Darwin, Charles (1979[1859]). *The Origin of Species*. 6th edition. New York: Random House.

De Vries, Hugo (1966 [1900]). The Law of Segregation of Hybrids. Tr. by Evelyn Stern. In Curt Stern and Eva R. Sherwood (1966)(ed.). *The Origin of Genetics* (pp. 107-117). San Francisco: W. H. Freeman and Company.

De Vries, Hugo (1909). *The Mutation Theory: Experiments and Observation on the Origin of Species in the Vegetable Kingdom* (English edition). Chicago: The Open Court Publishing Company. German edition in 1901-1903.

Debus, Allen G. (1978). *Man and Nature in the Renaissance*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Duhem, Pierre (1991[1914]). *The Aim and Structure of Physical Theories*. Tr. by Philip Wiener. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

- Dugàs, Rene (1988 [1955]). *A History of Mechanics*. Tr. by J. R. Maddox. New York: Dover Publications. First published 1955.
- Eisberg, R. and R. Resnick (1985). *Quantum Physics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Feyerabend, Paul (1970). Consolations for the Specialists. In Imre Lakatos and Alan Musgrave (eds.). *Criticism and the Growth of Knowledge* (pp. 197-230). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Feyerabend, Paul (1988). *Against Method*. 3rd edition. London: Verso Press. First published 1975.
- Forbes, Eric G. (1990). The Comet of 1680-1681. In Norman J. W. Thrower (ed.). *Standing on the Shoulder of Giants* (pp. 312-323). Berkeley: University of California Press.
- Fu, Daiwie (1986). *Problem Domain and Developmental Strategies: A Study on the Logic of Competition and Development of Scientific Programs*. New York: Columbia University, Ph. D. Dissertation.
- Fu, Daiwie (2008). Hacking on Kuhn and Foucault. *Taiwanese Journal for Studies of Science, Technology and Medicine* (《科技、醫療與社會》) 7: 203-214.
- Fuller, Steve (2001). *Thomas Kuhn: A Philosophical History for Our Times*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Galilei, Galileo (1954 [1638]). *Dialogue Concerning the Two New Sciences*. Tr. by Henry Crew and Alfonso de Salvio. New York: Dover Publications.
- Galilei, Galileo (1957 [1612]). Letters on Sunspots. In Stillman Drake (1957)(ed.). *Discoveries and Opinions of Galileo*. Tr. by Stillman Drake. New York: Doubleday.
- Galilei, Galileo (1967 [1632]). *Dialogue Concerning the Two Chief World*

Systems: Ptolemaic and Copernican. Tr. by Stillman Drake, foreword by Albert Einstein. Los Angeles: The University of California Press.

Galison, Peter (1987). *How Experiments End*. Chicago: The University of Chicago Press.

Galison, Peter (1998). *Image and Logic*. Chicago: The University of Chicago Press.

Galison, Peter and David. J. Stump (1996)(eds.). *The Disunity of Science*. Stanford, California: Stanford University Press.

Giannoni, Carlo (1976). Quine, Grünbaum, and the Duhemian Thesis. In Sandra G. Harding (ed.). *Can Theories be Refuted?* (pp. 162-175). Dordrecht: D. Reidel.

Giere, Ronald N. (1985). Philosophy of Science Naturalized. *Philosophy of Science* 52(3): 331-356.

Giere, Ronald N. (1988). *Explaining Science: A Cognitive Approach*. Chicago: The University of Chicago Press.

Giere, Ronald N. (1994). The Cognitive Structure of Scientific Theories. *Philosophy of Science* 61: 276-296.

Giere, Ronald N. (1995). Science without Laws of Natures. In F. Weinert (ed.). *Laws of Nature: Essays on the Philosophical, Scientific and Historical Dimension* (pp. 120-138). Berlin: Walter de Gruyter.

Giere, Ronald N. (1999a). *Science without Laws*. Chicago: The University of Chicago Press.

Giere, Ronald N. (1999b). Using Models to Represent Reality. In Lorenzo Magnani, Nancy J. Nersessian, and Paul Thagard (eds.). *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 41-58). New York: Kluwer Academic.

Giere, Ronald N. (2006). *Scientific Perspectivism*. Chicago: The University

of Chicago Press.

- Giere, Ronald N. (2008a). Models, Metaphysics, and Methodology. In Stephan Hartmann, Carl Hoefer, and Luc Bovens (eds.). *Nancy Cartwright's Philosophy of Science* (pp. 123-133). New York: Routledge.
- Giere, Ronald N. (2008b). Cognitive Studies of Science and Technology. In Edward Hackett, Alga Amsterdamska, Michel Lynch, and Judy Majcman (eds.). *The Handbook of Science and Technology Studies* (pp. 259-278). 3rd edition. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Gilbert, William (1952[1600]). *On the Loadstone and Magnetic Bodies and on the Great Magnet the Earth*. Tr. by P. Fleury Mottelay. Great Books of the Western World, 26. Chicago: The University of Chicago Press. 6th edition 1990.
- Greenslade, Jr. T. B. (1985). Atwood's Machine. *The Physics Teachers* Jan: 24-28.
- Goldman, Alvin (1999). *Knowledge and Social World*. Oxford: Clarendon Press.
- Gooding, David (1981). Final Step to Field Theory: Faraday's Study of Magnetic Phenomena, 1845-1850. *Historical Studies in the Physical Sciences* 11: 231-275.
- Gooding, David (1982). Empiricism in Practice: Teleology, Economy and Observation in Faraday's Physics. *Isis* 73: 46-67.
- Gooding David (1990). *Experiment and the Making of Meaning*. Dordrecht: Kluwer Academic.
- Gooding David (1992). The Procedural Turn; or, Why Do Thought Experiments Work? In Ronald Giere (ed.). *Cognitive Models of Science* (pp. 45-76). Minneapolis: University of Minnesota Press.

- Gould, Stephen J. (2002). *The Structure of Evolutionary Theory*. Cambridge, Massachusetts: The Belknap Press of Harvard University Press.
- Graham, Harman (2009). *Prince of Networks: Bruno Latour and Metaphysics*. Melbourne: re.press Publications.
- Grosser, M. (1979). *The Discovery of Neptune*. New York: Dover Publications. First published 1962.
- Guala, Francesco (2002). Models, Simulations, and Experiments. In L. Magnani and N. Nersessian (eds.). *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values* (pp. 59-74). New York: Kluwer Academic.
- Gutting, Gray (1980)(ed.). *Paradigms and Revolutions*. Norte Dame: University of Norte Dame Press.
- Hacking, Ian (1981)(ed.). *Scientific Revolutions*. Oxford: Oxford University Press.
- Hacking, Ian (1983). *Representing and Intervening*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Hacking, Ian (1988). On the Stability of the Laboratory Science. *Journal of Philosophy* 85, 10: 507-514.
- Hacking, Ian (1991). Artificial Phenomena. *British Journal for the History of Science* 24(2): 235-241.
- Hacking, Ian (2008). Comments and Replies. *Taiwanese Journal for Studies of Science, Technology and Medicine* (《科技、醫療與社會》) 7: 203-214.
- Hacking, Ian (2009). *Scientific Reason*. Taipei: The NTU Press.
- Hackmann, Willem (1989). Scientific Instruments: Models of Brass and Aids to Discovery. In David Gooding, Trevor Pinch, and Simon Schaffer (eds.). *The Uses of Experiment: Studies in the Natural Sciences*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

- Hall, A. Rupert (1980). *Philosopher at War: The Quarrel between Newton and Leibniz*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Halliday, D. and R. Resnick (1986). *Fundamentals of Physics*, 2nd extended version. New York: John Wiley & Sons Press.
- Hankins, Thomas (1985). *Science and the Enlightenment*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Hanson, Norwood R. (1965). *Patterns of Discovery*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. First published 1958.
- Hanson, Norwood R. (1969). *Perception and Discovery*. San Francisco: Freeman, Cooper & Company.
- Hartl, Daniel and Vitězslav Orel (1992). What Did Gregor Mendel Think He Discovered? *Genetics* 131: 245-253.
- Harman, Gibert (1965). The Inference to the Best Explanation. *Philosophical Review* 74: 88-95.
- Harré, Rom (2002). *Great Scientific Experiments: Twenty Experiments that Changed Our View of the World*. New York: Dover Publications.
- Heilbron, John L. (1979). *Electricity in the 17th and 18th Centuries: A Study of Early Modern Physics*. New York: Dover Publications.
- Heilbron, John L. (1989). Book Review on Leviathan and Air Pump. *Medical History* 33(2): 256-257.
- Hess, David J. (1997). *Science Studies: An Advanced Introduction*. New York: New York University Press.
- Hesse, Mary (1966). *Models and Analogies in Science*. Notre Dame: University of Notre Dame Press.
- Hollins, M. and S. Luckes (1982) (eds.). *Rationality and Relativism*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.

- Horwich, Paul (1993)(ed.). *World Changes*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Hoyningen-Heune, Paul (1993). *Reconstructing Scientific Revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Huges, David W. (1990). Edmund Halley: His Interest in Comet. In Norman Thrower (ed.). *Standing on the Shoulder of Giants* (pp. 324-372). Berkeley: University of California Press.
- Hull, David L. (1973). *Darwin and His Critics: The Reception of Darwin's Theory of Evolution by the Scientific Community*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Hull, David L. (1988). *Science as Process*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Kepler, Johannes (1952[1608]). *Epitome of Copernican Astronomy: Books IV and V*. Tr. by Charles Glen Wallis. Great Books of the Western World. Chicago: Encyclopædia Britannica, Inc. 6th edition 1990.
- Kepler, Johannes (1952[1618]). *Harmonies of the World: Book V*. Tr. by Charles Glen Wallis. Great Books of the Western World. Chicago: Encyclopædia Britannica, Inc. 6th edition 1990. 中譯本：張卜天譯 (2005)，《世界的和諧》。臺北：大塊文化。
- Kepler, Johannes (1981[1598]). *The Secret of the Universe*. Tr. by A. M. Duncan. New York: Abaris Books.
- Kitcher, Philip (1978). Theories, Theorists and Theoretical Change. *The Philosophical Review* 87(4): 519-547.
- Kitcher, Philip (1998). A Plea for Science Studies. In N. Koertge (ed.). *A House Built in Sands: Exposing Postmodernist Myths about Science* (pp. 32-56). New York: Oxford University Press.
- Kohler, Robert E. (1994). *Lords of the Fly: Drosophila Genetics and the*

- Experimental Life*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Koyré, Alexander (1978). *Galileo Studies*. Tr. by J. Mephan. New Jersey: Humanities Press.
- Kuhn, Thomas S. (1957). *The Copernican Revolution*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Kuhn, Thomas S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press. 2nd edition 1970.
- Kuhn, Thomas S. (1970). Logic of Discovery or Psychology of Inquiry? In Imre Lakatos and Alan Musgrave (1970)(eds.). *Criticism and the Growth of Knowledge* (pp. 1-23). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Kuhn, Thomas S. (1974). Second Thought on Paradigm. In Fredrick Suppe (ed.). *The Structure of Scientific Theories* (pp. 459-482). Urbana: The University of Illinois Press.
- Kuhn, Thomas S. (1977a). Mathematical vs. Experimental Traditions in the Development of Physical Science. In *The Essential Tension* (pp. 31-65). Chicago: The University of Chicago Press.
- Kuhn, Thomas S. (1977b). Objectivity, Value Judgment and Theory Choice. In *The Essential Tension* (pp. 320-339). Chicago: The University of Chicago Press.
- Kuhn, Thomas S. (1989). Possible Worlds in History of Science. In S. Allen (ed.). *Possible Worlds in Humanities, Arts, and Sciences* (pp. 9-32). Berlin: de Gruyter Press.
- Kuhn, Thomas S. (2000). *The Road since Structure* (eds. by James Conant and John Haugeland). Chicago: The University of Chicago Press.
- Lacey, Hugh (1999). *Is Science Value Free? Values and Scientific Understanding*. London: Routledge.

- Lacey, Hugh (2005). *Values and Objectivity in Science: The Current Controversy about Transgenic Crops*. Oxford: Lexington Books.
- Lakatos, Imre and Alan Musgrave (1970)(eds.). *Criticism and the Growth of Knowledge*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Lakatos, Imre (1978). *The Methodology of Scientific Research Programmes: Vol. 1: Philosophical Papers*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Latour, Bruno and Steve Woolgar (1979). *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*. Sussex: Sage Publications, Inc.
- Latour, Bruno and Steve Woolgar (1986). *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Latour, Bruno (1987). *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers through Society*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Latour, Bruno (1988). *The Pasteurization of France*. Tr. by Alan Sheridan and John Law. Cambridge: Harvard University Press.
- Latour, Bruno (1990). Postmodern? No, Simply Amodern! Steps towards an Anthropology of Science. *Studies in History and Philosophy of Science* 21(1): 145-171.
- Latour, Bruno (1993). *We Have Never Been Modern*. Tr. by C. Porter. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Latour, Bruno (1996). *Aramis or the Love of Technology*. Tr. by C. Porter. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Latour, Bruno (1999a). *Pandora's Hope: Essays on the Reality of Science Studies*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Latour, Bruno (1999b). For David Bloor... and Beyond: A Reply to David Bloor's "Anti-Latour". *Studies in History and Philosophy of Science*

- 30(1): 113-129.
- Latour, Bruno (2004). *Politics of Nature: How to Bring the Sciences into Democracy*. Tr. by C. Porter. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Latour, Bruno (2005). *Resembling the Social: An Introduction to Actor Network Theory*. New York: Oxford University Press.
- Laudan, Larry (1977). *Progress and Its Problems: Toward a Theory of Scientific Growth*. Berkeley: University of California Press.
- Laudan, Laurens (1976). Grünbaum on “the Duhemian Argument”. In Sandra G. Harding (ed.). *Can Theories be Refuted?* (pp. 155-161). Dordrecht: D. Reidel.
- Laudan, Larry (1984). *Science and Values*. Berkeley: University of California Press.
- Laudan, Larry (1996). *Beyond Positivism and Relativism: Theory, Method, and Evidence*. Oxford: The Westview Press.
- Lea, Susan and John Burke (1997). *Physics: The Nature of Things*. Brooks/Cole.
- Lenk, Hans (2004). Towards a Technologicistic Methodology and Philosophy of Science. *NTU Philosophical Review* (《臺大哲學論評》) 27: 41-65.
- Lindberg, David (1992). *The Beginning of Western Science*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Lipton, Peter (1991). *Inference to the Best Explanation*. London: Routledge.
- Longino, Helen (1990). *Science as Social Knowledge*. Princeton: Princeton University Press.
- Longino, Helen (1995). Gender, Politics, and the Theoretical Virtues. *Synthese* 104: 383-397.

- Longino, Helen (1996). Cognitive and Non-Cognitive Values in Science: Rethinking the Dichotomy. In Lynn H. Nelson and Jack Nelson (eds.). *Feminism, Science, the Philosophy of Science* (pp. 39-58). Dordrecht: Kluwer Academic.
- Longino, Helen (2002). *The Fate of Knowledge*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Mach, Ernst (1960). *The Science of Mechanics: A Critical and Historical Account of Its Development*. 6th edition. Tr. by Thomas J. McCormack. Illinois: The Open Court Publishing Co.
- Magnani, Lorenzo and Nancy J. Nersessian (2002)(eds.). *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values*. New York: Kluwer Academic.
- Magner, Lois N. (2002). *A History of the Life Science*. Revised and expanded, 3rd edition. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Maricle, Brain A. (2008). *Thomas Kuhn in the Light of Reason*. New York: Light of Reason Press.
- Marion, Jerry B. and Stephen T. Thornton (1988). *Classical Dynamics of Particles and Systems*. 3rd edition. San Diego: Harcourt Brace Jovanovich, Publishers.
- Matheson, Carl A. and A. David Kline (1988). Is There a Significant Observational-Theoretical Distinction? In E. D. Klemke, R. Hollinger, and A. D. Kline (eds.). *Introductory Readings in the Philosophy of Science* (pp. 217-233). New York: Prometheus Books.
- Mattingly, James (2001). The Replication of Hertz's Cathode Ray Experiments. *Studies in History and Philosophy of Science* 32(1): 53-75.
- Mayo, Deborah G. (1996). *Error and the Growth of Experimental Knowledge*. Chicago: The University of Chicago Press.

- Mayr, Ernest (1982). *The Growth of Biological Thought*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- McKenzie, Donald (1981). *Statistics in Britain 1865-1930: Social Construction of Scientific Knowledge*. Edinburgh: The Edinburgh University Press.
- Mendel, Gregor (1909[1869]). On Hieracium-Hybrids Obtained by Artificial Fertilization. Tr. by W. Bateson. Attached in Bateson (1909). *Mendel's Principles of Heredity*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Mendel, Gregor (1966 [1866]). Experiments in Plant-Hybrids. Tr. by Eva Sherwood. In Curt Stern and Eva Sherwood (1966)(ed.). *In The Origin of Genetics: A Mendel Source Book* (pp. 1-48). San Francisco: W. H. Freeman and Company.
- Miller, Arthur (1987). *Imagery in Scientific Thought*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Morgan, Thomas H., A. H. Sturtevant, H. J. Muller, and C. B. Bridges (1915). *The Mechanism of Mendelian Heredity*. New York: Henry Holt and Company.
- Morgan, Thomas H. (1926). *The Theory of the Gene*. New Haven: Yale University Press.
- Morgan, Mary S. and Margaret Morrison (1999) (eds.). *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Morgan, Mary S. (2002). Model Experiments and Models in Experiments. In L. Magnani and N. Nersessian (eds.). *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values* (pp. 41-58). New York: Kluwer Academic.
- Morrison, Margaret (1999). Models as Autonomous Agents. In Mary S. Morgan and Margaret Morrison (eds.). *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science* (pp. 38-65). Cambridge:

Cambridge University Press.

Nagel, Ernest (1961). *The Structure of Science*. New York: Harcourt, Brace.

Nesserisan, Nancy I. (1984). *Faraday to Einstein: Constructing Meaning in Scientific Theories*. Dordrecht: Kluwer Academic.

Nersessain, Nancy I. (1992). How Do Scientists Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science. In Ronald Giere (ed.). *Cognitive Models of Science* (pp. 3-44). Minneapolis: University of Minnesota Press.

Newton, Issac (1962[1682]). *Mathematical Principles of Natural Philosophy and His System of the World*. Tr. by Florian Cajori. New York: Greenwood Press.

Nickles, Thomas (2003)(ed.). *Thomas Kuhn*. Cambridge: Cambridge University Press.

Nola, Robert (1988). Introduction: Some Issues Concerning Relativism and Realism in Science. In R. Nola (1988)(ed.). *Relativism and Realism in Science* (pp. 1-35). Dordrecht: Kluwer Academic.

Olby, Robert (1985). *Origins of Mendelism*. Chicago: The University of Chicago Press. First published 1966.

Partington, J. R. (1989). *A Short History of Chemistry*. New York: Dover Publications.

Perrin, J. (1969[1895]). The Negative Charges in the Cathode Discharge. In E. Madden (ed.). *Source Books in the History of Science* (pp. 580-583). Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.

Pickering, Andrew (1984). *Constructing Quark*. Edinburgh: Edinburgh University Press.

Pickering, Andrew (1992). From Science as Knowledge to Science as Practice. In A. Pickering (ed.). *Science as Practice and Culture* (pp.

- 1-26). Chicago: The University of Chicago Press.
- Pickering, Andrew (1995). *The Mangle of Practice: Time, Agency and Science*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Pinnick, Cassandra L. (1998). What's Wrong with the Strong Programme's Case Study of the "Hobbes-Boyle" Dispute? In N. Koertge (ed.), *A House Built on Sand: Exposing Postmodernist Myths about Science* (pp. 205-213). New York: Oxford University Press.
- Pinnick, Cassandra L. (1999). Caught in a Sandy Shoal of the Shallow: Reply to Shapin and Schaffer. *Social Studies of Science* 29(2): 253-257.
- Polanyi, Michael (1958). *Personal Knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Popper, K. (1959). *The Logic of Scientific Discovery*. New York: Harper & Row, Publishers. 2004 Routledge edition.
- Popper, K. (1969). *Conjectures and Refutations*. London: Routledge. First published 1963.
- Preston, John (2008). *The Structure of Scientific Revolutions: A Reader's Guide*. New York: Continuum Press.
- Priestley, Joseph (1966 [1767]). *The History and Present State of Electricity*. New York: Johnson Reprint Corporation. 1966 reprinted.
- Psillos, Stathis (1999). *Scientific Realism: How Science Tracks Truth*. London: Routledge.
- Ptolemy, Claudius (1952). *The Almagest*. Tr. by R. Catesby Taliaferro. Great Books of the Western World. Chicago: The University of Chicago Press. 6th edition 1990.
- Radder, H. (1988). *The Material Realization of Science*. Assen: van Gorcum.
- Radder, H. (1992). Normative Reflexions on Constructivist Approaches to Science and Technology. *Social Studies of Science* 22: 141-173.

- Radder, H. (1995). Experimenting in the Natural Sciences: A Philosophical Approach. In J. Z. Buchwald (ed.). *Scientific Practice: Theories and Stories of Doing Physics* (pp. 56-86). Chicago: The University of Chicago Press.
- Rheinberger, Hans-Jörg (1997). *Toward a History of Epistemic Things: Synthesizing Proteins in the Test Tube*. Stanford, California: Stanford University Press.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2010). *An Epistemology of the Concrete: Twentieth-Century Histories of Life*. London: Duke University Press.
- Röntgen, Wilhelm K. (1969 [1895]). The Röntgen Ray. Tr. by George F. Barker. In E. Madden (ed.). *Source Books in the History of Science* (pp. 583-597). Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Rouse, Joseph (1996). *Engaging Science: How to Understand Its Practices Philosophically*. Ithaca: Cornell University Press.
- Sankey, H. and Paul Hoyningen-Heune (2001)(eds.). *Incommensurability and Related Matters*. Boston: Kluwer Press.
- Schaffer, Simon (1990). Halley, Delisle, and the Making of the Comet. In Norman Thrower (ed.). *Standing on the Shoulder of Giants* (pp. 254-298). Berkeley: University of California Press.
- Sears, Francis, Mark Zemansky, and Hugh Young (1982). *University Physics*. Boston: Addison-Wesley Publishing Co.
- Shapin, Steven and Simon Schaffer (1985). *Leviathan and Air Pump: Hobbes, Boyle and Experimental Life*. Princeton: Princeton University Press. 中譯本：蔡佩君譯（2006），《利維坦與空氣泵浦：霍布斯、波以耳與實驗生活》。臺北：行人。
- Shapin, Steven and Simon Schaffer (1999a). Response to Pinnick. *Social Studies of Science* 29(2): 249-253.

- Shapin, Steven and Simon Schaffer (1999b). On Bad History: Reply to Pinnick. *Social Studies of Science* 29(2): 257-259.
- Shapin, Steven (1996). *Scientific Revolution*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Sharrock, Wes and Rupert Read (2002). *Kuhn: Philosopher of Scientific Revolution*. Cambridge, UK: Polity Press.
- Shimony, Abner (1993). *Search for a Naturalistic World View: Vol. 1: Scientific Method and Epistemology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sismondo, Sergio (2004). *An Introduction to Science and Technology Studies*. Oxford: Blackwell Press. 中譯本：林宗德譯（2008），《科學與技術研究導論》。臺北：群學。
- Sneed, Joseph D. (1979). *The Logical Structure of Mathematical Physics*. 2nd edition. Dordrecht: D. Reidel. First Published 1971.
- Starr, C. and R. Taggart (1989). *Biology: The Unity and Diversity of Life*. Belmont, California: Wadsworth Company. 中譯本：丁澤民、王偉、張世玲、連慧瑞編譯，《生物學》。臺北：藝軒圖書。
- Sturtevant, Alfred H. (2001). *A History of Genetics*. Cold Spring Harbor, New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press. First published 1965.
- Suárez, Mauricio (1999). The Role of Models in the Application of Scientific Theories: Epistemological Implications. In Mary S. Morgan and Margaret Morrison (eds.), *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Suárez, Mauricio (2003). Scientific Representation: Against Similarity and Isomorphism. *International Studies in the Philosophy of Science* 17: 225-244.
- Suppes, Patrick (1957). *Introduction to Logic*. Princeton: D. Van Nostrand

Company, Inc.

Suppes, Patrick (1962). Models of Data. In Ernest Nagel, Patrick Suppes, and Alfred Tarski (eds). *Logic, Methodology and Philosophy of Science* (pp. 252-261). Stanford, California: Stanford University Press.

Suppes, Patrick (1969). A Comparison of the Meaning and Uses of Models in Mathematics and the Empirical Sciences. In Hans Freudenthal (ed.). *The Concept and Role of the Model in the Mathematics and Natural Science* (pp. 163-177). Dordrecht: D. Reidel.

Suppes, Patrick (1977). The Structure of Theories and the Analysis of Data. In Frederick Suppe (ed.). *The Structure of Scientific Theories*. 2nd edition (pp. 266-283). Urbana: University of Illinois Press. First published 1974.

Suppe, Frederick (1989). *The Semantic Concept of Theories and Scientific Realism*. Urbana: University of Illinois Press.

Thagard, Paul (1992). *Conceptual Revolutions*. Princeton: Princeton University Press.

Thomson, Sir G. (1969). Matter and Radiation. In R. Harré (ed.). *Scientific Thought, 1900-1960: A Selective Survey* (pp. 43-105). Oxford: Clarendon Press.

Thomson, J. J. (1969 [1897]). The Electron. In E. Madden (ed.). *Source Books in the History of Science* (pp. 583-597). Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.

Truesdell, C. (1968). A Program toward Rediscovering the Rational Mechanics of the Age of Reason. In *Essays in the History of Mechanics*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Van Fraassen, Bas C. (1970). On the Extension of Beth's Semantics of Physical Theories. *Philosophy of Science* 37: 325-339.

- Van Fraassen, Bas C. (1980). *The Scientific Image*. Oxford: Clarendon Press.
- Villee, C., et al. (1989). *Biology*. Philadelphia: Saunders College Publishing.
- Waff, Craig B. (1990). The First International Halley Watch: Guiding the Worldwide Search for Comet Halley, 1755-1759. In Norman J. W. Throer (ed.). *Standing on the Shoulders of Giants* (pp. 373-411). Berkeley: University of California Press.
- Weber, Max (1978). Value-Judgments in Social Science. Tr. by Eric Mathews. In W. G. Runciman (ed.). *Weber Selections in Translation* (pp. 69-98). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Wedking, Gary (1976). Duhem, Quine and Grünbaum on Falsification. In Sandra G. Harding (ed.). *Can Theories be Refuted?* (pp. 176-183). Dordrecht: D. Reidel.
- Westfall, S. Richard (1977). *The Construction of Modern Science: Mechanisms and Mechanics*. New York: Cambridge University Press.
- Whittaker, Sir Edmund (1989[1951]). *A History of the Theories of Aether and Electricity*. New York: Dover Publications. First published 1951.
- Wittgenstein, Ludwig (1953). *Philosophical Investigations*. Oxford: Basil Blackwell.
- Winch, Peter (1990). *The Idea of a Social Science and Its Relation to Philosophy*. 2nd edition. London: Routledge. First published 1958.
- Wojcik, Jan W. (1997). *Robert Boyle and the Limits of Reason*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wolf, Abraham (1999 [1938]). *A History of Science, Technology and Philosophy in the 16th, 17th and 18th Centuries: Vol. 1 & 2*. 1999 reprinted. Bristol: Thoemmes Press.

人名索引

四畫

- 孔恩 (Thomas S. Kuhn, 1922-1996) 6, 10, 22, 25, 35, 36, 38, 41, 49, 88, 100, 125, 127-129, 138, 148, 160, 166, 171, 174, 184-186, 189, 204, 210, 230, 233, 234, 237, 246, 258, 264, 277, 278, 324-327, 349, 419-421, 423, 436, 437, 447, 465-467, 471-473, 486, 549
- 巴沙羅 (Lawrence W. Barsalou) 217, 218, 220
- 巴恩斯 (Barry Barnes) 49, 234, 237, 243-247, 255, 256, 328
- 巴斯德 (Louis Pasteur, 1822-1895) 294-297, 304
- 巴榭拉 (Gaston Bachelard, 1884-1962) 150, 469
- 牛頓 (Isaac Newton, 1642-1727) 5, 6, 27, 41, 58-60, 65-68, 70, 72, 89-91, 102, 132, 150-164, 167, 176, 187, 191, 196, 202-204, 228, 232, 279, 280, 287, 289, 306, 308, 309, 318, 409, 421, 459, 472, 542, 553

五畫

- 加特納 (Carl F. von Gärtner, 1772-1850) 457, 564, 565

- 卡文迪士 (Henry Cavendish, 1731-1810) 68-70, 152, 158, 159, 162, 176, 471
- 卡特萊特 (Nancy Cartwright) 9, 10, 77, 79, 80-82, 87, 88, 90, 177-179, 591
- 卡雍 (Michel Callon) 236, 294, 308
- 古汀 (David Gooding) 9, 47, 101, 110, 111, 113, 114, 116, 118-135, 148, 453
- 古爾德 (Stephen J. Gould) 513, 515, 526, 532
- 史旺默丹 (Jan Swammerdam, 1637-1680) 428
- 史萊登 (Mathias Schleiden, 1804-1881) 429
- 布洛爾 (David Bloor) 49, 234, 237, 238, 240, 256, 305, 340, 392
- 布朗尼根 (Augustine Brannigan) 234, 455-460
- 布赫瓦 (Jud Buchwald) 9, 349-352, 372, 382, 383, 403
- 布魯諾 (Giordano Bruno, 1548-1600) 198, 203
- 平契 (Travor Pinch) 234, 235
- 弗列格 (Gottlob Frege, 1848-1925) 313

弗萊克 (Ludwik Fleck, 1896-1961)
469

弗瑞內爾 (Augustin Jean Fresnel,
1788-1837) 102

弗蘭克林 (Allan Franklin, 1706-
1790) 9

弗蘭斯提 (John Flamsteed, 1646-
1719) 160

必歐 (Jean-Baptiste Biot, 1774-1862)
114-117, 121, 123, 133, 261, 453, 454,
486

瓦立思 (John Wallis, 1616-1703)
153, 284

皮克林 (Andrew Pickering) 235

六畫

休姆 (David Hume, 1711-1776) 172,
313, 320, 321, 385,

任伯格 (Hans Joerg Rheinberger) 9,
52, 459, 465, 468-471, 480, 501

列維利爾 (Jean Le Verrier, 1811-
1877) 161

吉爾瑞 (Ronald Giere) 9, 10, 77-80,
82, 87-93, 177, 178, 591

安培 (André-Marie Ampère, 1775-
1836) 114, 116-118, 122, 261

托里切利 (Evangelista Torricelli, 1608-
1647) 248-250, 277

托勒密 (Claudius Ptolemy, 90-168)
13, 14, 191, 197, 199, 203, 206, 207,

209, 211, 213, 214, 221, 278, 279, 306,
309, 472

西蒙尼 (Abner Shimony) 126-128,
135

七畫

伯努利 (Daniel Bernoulli, 1700-
1782) 204, 205, 241

克里普齊 (Saul Kripke) 392

克萊斯特 (Ewald Juergen von Kleist,
1700-1748) 494, 495, 500

克魯克斯 (Sir William Crookes, 1832-
1919) 369, 371

吳爾加 (Steve Woolgar) 235

杜費 (Charles Francois de Cisternay
Dufay, 1698-1739) 494, 495, 497

沃勒斯通 (William Hyde Wollaston,
1766-1828) 118, 119, 123

狄吉斯 (Thomas Digges, 1543-1595)
198

貝特生 (William Bateson, 1861-1926)
433, 434, 456, 460, 504, 520, 523-534,
537-542, 554, 567-569, 571, 572, 576,
582

亞當 (John Couch Adams, 1819-1892)
161

八畫

奈特 (Thomas A. Knight, 1759-1838)
430

- 孟德爾 (Gregor Mendel, 1822-1884)
52, 53, 401, 421-425, 429-438, 440-
451, 455-462, 476, 503-505, 507-513,
515-528, 530-537, 539-542, 552, 554,
556, 561-574, 576-578, 581-584
- 岡居朗 (Georges Canguilhem, 1904-
1996) 469
- 拉卡托斯 (Imre Lakatos, 1922-1974)
22, 27, 41, 43, 88, 138, 189, 205, 277,
278, 283, 325, 549, 557, 594
- 拉瓦錫 (Antoine Laurent Lavoisier,
1743-1794) 280, 452
- 拉格朗日 (Joseph-Louis Lagrange,
1736-1813) 156, 187
- 拉馬克 (Jean-Baptiste de Lamarck,
1744-1829) 333, 338, 426, 427, 440
- 拉普拉斯 (Pierre-Simon LaPlace,
1749-1827) 116, 156, 187
- 拉塞福 (Ernest Rutherford, 1871-1937)
143
- 拉圖 (Bruno Latour) 9, 25, 34, 235-
237, 262, 293-308, 310-318, 320, 340,
400
- 林奈 (Carl Linnaeus, 1707-1778)
430, 431, 449, 507
- 波以爾 (Robert Boyle, 1627-1691)
5, 49, 50, 235, 247-253, 261-279, 284-
289, 294, 295, 298, 299, 307, 309-311,
355, 416, 469, 472, 487-489, 493
- 波柏 (Karl Popper, 1902-1994) 6, 18,
22, 35, 41, 43, 51, 100, 138, 165, 170,
171, 257, 277, 278, 283, 284, 313, 325,
364, 385-389, 391, 394, 404-406, 408,
410, 413, 570, 594
- 波蘭尼 (Michael Polanyi, 1891-1976)
396, 397, 401
- 法拉第 (Michael Faraday, 1791-
1867) 110, 111, 114, 117-119, 121-
123, 131, 133, 261, 351, 368, 369, 371,
374, 376, 453, 454, 475, 476, 486
- 虎克 (Robert Hooke, 1635-1703)
102, 272, 274, 276, 284, 285, 287, 429,
472
- 阿特武德 (George Atwood, 1745-
1807) 65-68, 71, 72, 144, 149, 152,
156-158, 162, 471
- ## 九畫
- 哈金 (Ian Hacking) 6-10, 79, 82, 87,
88, 99-104, 107, 109, 110, 125-127,
129, 130, 132, 134, 177, 178, 233, 262,
263, 345, 346, 352, 356, 364, 389, 463,
472, 473
- 哈雷 (Edmund Halley, 1656-1742)
119, 150, 152, 154, 155, 158, 280
- 威斯曼 (August Weismann, 1834-
1914) 429, 443, 518, 520, 541, 542
- 柯仁斯 (Carl Correns, 1864-1933)
434, 456-460, 504, 513, 517-521, 523,
529, 533, 540-542, 554, 565, 576, 582
- 柯考斯 (Alain Corcos) 424, 442,
444, 449, 450, 458, 509, 510

- 柯林斯 (Harry Collins) 9, 51, 234,
235, 355, 356, 388, 390, 391, 393-402,
413, 414, 417
- 柯路特 (Joseph Kölreuter, 1733-
1806) 430, 431, 446, 507, 539, 540,
564
- 查默斯 (Alan Chalmers) 101, 125-
127, 129, 135, 346
- 洛 (John Law) 294
- 洛克 (John Locke, 1632-1704) 150,
311
- 玻爾 (Niels Bohr, 1885-1962) 27,
143, 148
- 胡爾 (David Hull) 22, 25, 465
- 范弗拉森 (Bas van Fraassen) 77,
79, 175, 178
- 十畫**
- 哥白尼 (Nicholas Copernicus, 1473-
1543) 6, 133, 143, 187, 191, 196-
201, 203, 205-214, 216, 224-226, 229,
231, 232, 278, 279, 281, 306, 308, 309,
472
- 夏佛 (Simon Schaffer) 9, 49, 235,
237, 247, 249-254, 258, 261, 264-276,
284, 286, 287, 298
- 海布隆 (J. L. Heilbron) 262
- 海克爾 (Ernst Haeckel, 1834-1919)
440
- 納格利 (Karl von Nägeli, 1817-1891)
434, 435, 443, 511, 512

- 納格爾 (Ernest Nagel, 1901-1985) 6
- 郝斯比 (Francis Hauksbee, 1660-
1713) 288
- 馬克斯威爾 (James Clark Maxwell,
1831-1879) 111, 116, 167, 370, 486
- 馬攸 (Deborah G. Mayo) 9-12, 36,
77, 83-87, 179, 180
- 馬提尼 (James Mattingly) 350-352
- 馬爾薩斯 (Robert Malthus, 1766-
1834) 192, 505, 506

十一畫

- 培林 (Jean Perrin, 1870-1942) 348-
350, 352, 372, 375-379, 382, 383, 402,
403, 410, 413, 414, 416, 475, 551
- 畢吉克 (Wiebe E. Bijker) 235
- 笛卡兒 (René Descartes, 1596-1650)
156, 161, 189, 191, 196, 201-205, 248,
249, 279, 280, 286, 288, 289, 307-310,
488
- 第谷 (Tycho Brahe, 1546-1601) 104,
106, 191, 199, 203, 207-210, 225-231,
279, 309
- 郭德曼 (Alvin Goldman) 125, 126,
135
- 麥肯齊 (Donald McKenzie) 234
- 麥爾 (Ernst Mayr, 1904-2005) 423,
425, 430-433, 435, 445, 514, 515, 523,
534

十二畫

- 傅柯 (Jean Bernard Foucault, 1819-1868) 167, 216, 263
- 勞丹 (Larry Laudan) 22, 35, 36, 38, 44, 171-176, 179, 180, 189, 204, 391, 465, 548, 549
- 勞斯 (Joseph Rouse) 9
- 惠更斯 (Christiaan Huygens, 1629-1695) 50, 153, 167, 202-205, 241, 263, 272-276, 285-287, 289, 308, 309, 311, 416, 469, 488, 493
- 普里斯利 (Joseph Priestley, 1733-1804) 280, 451-453, 489, 492, 493
- 湯姆生 (J. J. Thompson, 1856-1940) 143, 348-352, 355, 372, 375, 377-383, 401-403, 410, 413, 414, 416, 451, 475, 551
- 舒旺 (Theodor Schwann, 1810-1882) 429
- 舒頓 (Walter S. Sutton, 1877-1916) 535, 570
- 萊布尼茲 (Gorrfried W. Leibniz, 1646-1716) 191, 202-204, 279, 280, 309, 313, 459
- 萊納斯 (Franciscus Linus, 1595-1675) 285, 286, 310
- 萊興巴赫 (Hans Reichenbach, 1891-1953) 313
- 費耶阿本 (Paul Feyerabend, 1924-1994) 100, 103, 104, 125, 138, 166,

325-327

十三畫

- 愛因斯坦 (Albert Einstein, 1879-1955) 27, 148, 149, 459, 467
- 楊格 (Thomas Young, 1773-1829) 102
- 溫克勒 (J. H. Winkler, 1703-1770) 495, 500
- 瑞德 (Hans Radder) 9, 349, 350, 352-359, 364, 383, 492
- 葛拉特 (Daniel Gralath, 1708-1767) 495, 500
- 葛雷 (Stephan Gray, 1666-1736) 451, 494
- 達頓 (Lindley Darden) 519, 553-555, 557-563, 570
- 達蘭伯特 (Jean-Baptiste le Rond d'Alembert, 1717-1783) 156, 187
- 雷恩 (Sir Christopher Wren, 1632-1723) 153

十四畫

- 維根斯坦 (Ludwig Wittgenstein, 1889-1951) 19, 104, 234, 237, 238, 240, 247, 254, 257-259, 263, 264, 283, 391-393, 401
- 蓋利森 (Peter Galison) 9, 10, 52, 101, 195, 196, 465-469, 474, 480, 493
- 蓋瑞克 (Otto von Guericke, 1602-1686) 272-274, 285-287, 309, 311,

416, 487-489, 493

赫胥黎 (Thomas H. Huxley, 1825-1895) 440

赫茲 (Henrich Hertz, 1857-1894)
347-352, 355, 358, 366, 372-379, 381-383, 402, 403, 410, 413, 414, 416, 475, 551

赫歇爾 (William Herschel, 1738-1822) 102, 160

蒯因 (W. V. O. Quine, 1908-2000)
101, 165, 166, 169, 170, 172-174

十五畫

德弗里斯 (Hugo de Vries, 1848-1935) 434, 456, 458, 503, 504, 507, 513-517, 519, 520, 523, 525-527, 533, 534, 537, 540-542, 554, 562, 565-567, 569, 570, 573, 582, 583

德謨克利圖 (Democritus) 426

摩根 (Thomas Hunt Morgan, 1866-1945) 504, 505, 519, 523, 524, 529, 531-540, 542, 554, 567, 569-573, 576-583

摩爾 (Henry More, 1614-1687) 285, 286, 310

歐比 (Robert Olby) 424, 441-446

歐拉 (Leonhard Euler, 1707-1783)
156, 187

歐斯特 (Hans C. Oersted, 1777-1851)
113, 114, 116, 117, 119-121, 123, 124, 130, 362, 451-454, 486

歐瑞斯姆 (Nicole Oresme, 1320-1382) 213

十六畫

黎穆爾 (René Réaumur, 1683-1757)
495, 496

穆金布洛克 (Pieter van Musschenbroek, 1692-1761) 495, 496, 500, 551

諾丁 (Charles Naudin, 1815-1899)
430, 431, 448, 507, 539

諾雷 (Jean Antonie Nollet, 1700-1770)
368, 490, 491, 493, 496, 497, 500

霍布斯 (Thomas Hobbes, 1588-1679)
49, 50, 235, 247, 248, 251-254, 262-264, 266, 269, 270, 276, 277, 279, 284-289, 294, 295, 298, 299, 307, 309-311

霍姆霍茲 (Hermann Helmholtz, 1821-1894) 403

鮑內特 (Charles Bonnet, 1720-1793)
428

十七畫

戴維 (Humphry Davy, 1778-1829)
114, 117, 118, 121, 133, 261, 369, 453, 454, 475

薄維利 (Theodor Boveri, 1862-1915)
535, 570

薛馬克 (Erich Tschermak von Seysenegg, 1871-1962) 434

謝平 (Steven Shapin) 9, 49, 235, 237, 247, 249-254, 258, 261, 264-276, 284,

286, 287, 298

賽洛斯 (Stathis Psillos) 174-176,

180

十八畫

韓森 (N. R. Hanson, 1924-1967) 57,

98, 100, 103-110, 125-129, 131, 147,

157, 166

薩葛瑞特 (Augustin Sageret, 1763-

1851) 430, 457

魏州 (Rudolf Virchow, 1821-1902)

429

十九畫

龐卡黑 (Henri Poincaré, 1854-1912)

170, 467, 468

二十一畫

蘭吉諾 (Helen L. Longino) 328, 329,

331-333, 335, 336, 338, 339

專有名詞索引

三畫

- 工具 (instrument) 2-4, 8-11, 16, 23,
35, 37, 42, 44-46, 51-53, 71, 72, 76,
82, 87, 101, 102, 111, 122, 132, 135,
142, 143, 145, 146, 148, 150, 157, 158,
166, 169, 177, 178, 193, 201, 211, 213-
216, 246, 249, 250, 255, 263, 272, 274,
282, 286-288, 293, 295, 309, 311, 322,
333, 335-340, 346, 347, 350, 351, 357,
358, 360, 362, 364, 387, 415, 416, 452,
464-468, 470-472, 474, 475, 478, 480,
481, 484, 487, 490, 493, 494, 500-504,
511, 532, 536, 539, 540, 542, 543, 545,
546, 548, 552, 573, 583, 589, 594, 595
- 工具資源 (instrumental resources)
546, 583
- 工具認知價值 (instrumentally
cognitive values) 333, 335-339
- 已建構的科學 (ready science) 50,
301, 306-308, 588

四畫

- 不可共量性 (immensurability) 10,
127, 128, 166, 174, 188, 230, 231, 277,
467
- 不相似度 (dissimilarity) 22

不偏倚原則 (principle of impartiality)
252, 277, 278

內在或直接目的 (intrinsic or direct
end) 550

內在實驗異例 (internally experimental
anomalies) 551, 552, 569

內在認知價值 (intrinsically cognitive
values) 333-336

分析策略 (analytical strategy) 126,
128, 129

反身原則 (principle of reflexivity)
277, 278

反實在論 (anti-realism) 8, 79, 80,
82, 108, 178, 593

方法學的個人主義 (methodological
individualism) 27

方法學的規則 (methodological rule)
386

五畫

主體間的 (inter-subjective) 270,
386-388, 405, 408, 410

主體間的可檢驗性 (intersubjective
testability) 270, 387, 405, 408, 410

功能獨立性 (functional independency)
90

半實在論 (semi-realism) 80

可投射性 (projectability) 33

可重複的 (repeatable) 345, 387

可測量的量或可測量 (measurable quantities) 60-63, 72, 74, 75, 131, 141

可落實性 (realizability) 33, 45, 334, 337, 338, 406, 417

可複製性 (replicability) 33, 50, 51, 353, 359

古典科學 (classical sciences) 49, 472, 473

古典遺傳學 (classical genetics) 12, 52, 53, 422-425, 429, 435, 437, 438, 441, 447, 450, 458, 461, 462, 464, 468, 503-505, 507-509, 514, 515, 517-523, 533, 536, 537, 539-542, 544, 545, 552, 554, 556, 558, 561-565, 567, 570, 572, 581-584

外在或間接目的 (extrinsic or indirect end) 550

外在實驗異例 (externally experimental anomalies) 551, 552, 582

生存競 (鬥) 爭 (struggle for existence) 192, 505

生活形式 (form of life) 28, 38, 187, 189, 240, 247, 249, 251-254, 263, 265, 268, 279, 285, 287, 307, 309, 393, 401

目標導向的行為 (goal-directed act) 48, 101, 129, 134, 135

六畫

共變關係 (covariance) 60

再呈現 (re-presentation) 7

印證 (confirmation) 10, 17, 18, 21, 22, 48, 63, 79, 82, 99, 137-142, 144, 146-148, 150-153, 155-159, 162-166, 168, 172, 174-176, 180, 183, 184, 196, 203, 205, 271, 308, 312, 383, 389, 390, 394, 398, 400, 402, 403, 405, 408, 409, 411, 412, 417, 456, 460, 475, 496, 499, 534, 543, 560, 570, 581, 593

印證例 (confirming instance) 18, 138, 141, 142, 144, 146-148, 151, 159, 162, 163, 168

印證程度 (degrees of confirmation) 17, 18, 21, 22, 411, 412

同構的 (isomorphic) 21, 146

同構關係 (isomorphism) 79, 164

因果機制 (causal mechanism) 38, 49, 53, 184, 192, 194, 210, 217, 281, 546, 584, 587, 588

有限論 (finitism) 234, 237, 240, 241, 244, 246, 259, 265, 271, 392

有效的可複製性 (valid replicability) 33

有效複製 (valid replication) 12, 364, 383, 405, 411

自然 (本性) 主義 (naturalism) 35, 42, 44, 45, 79, 240, 313, 320

自然律 (natural law) 89

自然的拘束 (natural constraints)

101

自然定律 (laws of nature) 1, 5, 7

行為人基礎的動力模型 (a agent-

based dynamic model) 27, 28, 30,

53, 192, 194, 581

行為者網絡理論 (actor network

theory) 23, 50, 235, 236, 292-295,

298, 300, 303-305, 308, 311

七畫

利益或利害考量 (interests) 8, 10,

26, 31, 38, 39, 41, 45, 46, 49, 50, 186,

187, 189, 193-195, 201, 233, 234, 236,

238, 239, 244-246, 251-260, 265, 268,

275, 276, 278-284, 291, 295-298, 302,

310-312, 322, 339-341, 460, 507, 550

利益工具論 (interest instrumentalism)

45, 46

利益基礎說明或利益說明 (interest-

based explanation) 8, 41, 233, 234,

238, 244, 252, 254, 255, 257, 258, 265,

279-283, 297, 339

否證程度或被否證程度 (degrees

of disconfirmation) 21, 22, 389,

412, 593,

局部相似或局部相似值 (partial

similarity) 20, 75, 76, 365, 366

技能 (skill) 2, 7, 9, 38, 49, 100-102,

110, 120, 121, 125, 127, 129, 134, 148,

193-195, 216, 281, 282, 287-289, 356,

395-398, 403, 413-417, 444, 470, 546,

588, 590, 593

技術對象 (technical objects) 469-

471, 502

技術與預測利益 (technical and

predictive interests) 245

投射 (projection) 12, 33, 40, 48, 51,

71, 132-134, 167, 277, 367, 370, 371,

405-407, 414, 416, 417, 595, 596

投射推論 (projective inference) 12,

51, 407, 416, 417

八畫

具體化程度 (degrees of concretization)

11, 21, 72, 589, 594

具體化模型 (concretized model)

15-17, 21, 22, 33, 34, 40, 47, 48, 59,

63-66, 68, 70-72, 75, 92, 94, 95, 140-

143, 145-151, 158, 159, 162-165, 179,

183, 184, 193, 265, 358, 359, 586, 587

原型 (prototype) 15, 17, 19, 29, 30,

37, 50, 52, 53, 67, 69, 187, 188, 204,

221, 237, 255, 291, 315, 325, 327, 451,

453, 473-482, 489, 490, 493, 503, 504,

523, 524, 526, 531, 541, 545, 572, 587

典範 (paradigm) 6, 10, 28, 35, 38, 52,

125, 127-129, 132, 160, 185-192, 203-

205, 210, 230, 255, 264, 277-280, 309,

325-328, 420-425, 433, 435, 437, 438,

440, 444-449, 451, 452, 454, 456, 458,

460-462, 465-467, 480, 486, 493, 494,

504, 523, 534, 548, 550, 554

典範史觀 (paradigm-based historiography) 423-425, 435, 437, 444-448, 452, 456, 461, 462

協商談判 (negotiation) 10, 23, 29

固執原則 (principle of tenacity) 327

抽象程度 (degrees of abstraction) 21, 59, 92, 146, 183

拘束 (constraint) 36, 38, 49, 101, 193-196, 210, 216-218, 220-222, 224, 226, 227, 229-231, 243, 260-262, 281-284, 289, 546, 549, 550, 559, 560, 582-584, 588

物質或經驗拘束 (material or empirical constraints) 38, 546

物質落實 (material realization) 44, 51, 95, 140, 143-145, 147, 150, 164, 353-359, 363, 367, 375, 383, 390, 405, 475, 476, 481, 547, 548, 551

直接傳衍 (direct descent) 479, 482, 540

知識論的集體主義 (epistemological collectivism) 23, 24, 27

社會拘束 (social constraints) 49, 193-196, 210, 216, 281, 282, 284, 289, 546, 584, 588

社會建構論 (social constructivism) 23, 25, 38, 41, 49, 111, 171, 174, 175, 186, 235, 236, 254-259, 278-280, 282, 283, 292, 305, 339-341, 352, 402, 415

社會約定論 (social conventionalism) 255, 259, 272, 278-280, 390, 399, 402

社會資源 (social resources) 8, 38, 49, 193-195, 201, 210, 212, 214, 216, 217, 281-283, 289, 546, 584, 588

社會價值 (social values) 50, 216, 292, 328, 332-335, 337, 338, 559

表徵模型 (representational models) 88-90

九畫

建構中的科學 (science in making) 23, 50, 299-301, 306, 308, 311, 588

建構的依賴性 (dependency in construction) 90

建模 (construal) 110, 122-124, 126, 134

後科史哲 (post-HPS) 22

後設模型 (meta-models) 44

相似值 (values of similarity) 20, 75, 76, 365, 476

相似程度 (degrees of similarity) 12, 18, 19, 46, 72-76, 82, 87, 89, 93, 94, 139, 145, 365, 389, 412, 416, 475, 477

科史哲傳統 (History and Philosophy of Science) 22, 41, 280, 469

科學知識的社會學 (sociology of scientific knowledge, SSK) 19, 23, 174, 234, 235, 237-240, 392, 460

科學發現的歸屬模型 (the attributional model) 455

科學實在論 (scientific realism) 43,

124, 171, 174, 175, 292, 391, 419, 594,
595

科學實驗的哲學 (philosophy of
scientific experimentation) 8, 9

約定俗成或成規 (convention) 23,
39, 41, 49, 50, 195, 241-244, 250, 253,
259-262, 265, 267, 272, 276, 277, 282,
289, 291, 309, 390, 497, 586, 590

衍生實驗 (descended experiment)
52, 53, 473-479, 481

十畫

個體性 (individuality) 525, 535

原初模型 (primary model) 83-85,
163, 179

原型版本 (prototypical version)
188, 325, 523, 524, 526, 531, 572

原型結構 (prototypical structure)
15

原型實驗 (prototypical experiment)
29, 37, 52, 53, 473-479, 481, 482, 545

原理模型 (principal models) 15, 40,
58, 63-66, 68, 72, 89, 93, 94

特置假設 (ad hoc hypothesis) 133,
170, 171, 210

脈絡經驗論 (contextual empiricism)
331, 339

逆推法 (retroduction) 107-109, 208

配合程度 (degrees of fit) 20, 21, 89,
93, 94, 131

十一畫

培根科學 (Baconian sciences) 215,
472, 473, 484, 486

強方案 (strong program) 49, 50, 234,
237-239, 252, 254, 258, 259, 264, 265,
268, 269, 271, 272, 276, 283, 293, 300,
400

理論中的模型 (models in theories)
59, 90-93, 98, 149

理論化 (theorizing) 1, 4, 38, 50, 107,
148, 193, 194, 232, 281, 283, 288, 295,
299, 449, 546, 588, 595

理論化技能 (theorizing skill) 38,
193, 194, 281

理論引導的發現 (discoveries
[guided] by theories) 421, 454

理論成分 (theoretical components)
554-556, 560-562

理論即模型 (theory as model) 13,
47, 78

理論定律 (theoretical law) 79-81,
97, 419, 520, 521

理論版本 (theory version) 15, 29,
30, 37, 53, 63, 76, 78, 82, 94, 139, 140,
142, 147, 150, 151, 161-164, 186-198,
201-205, 207, 210, 216, 221, 224-227,
229-231, 236, 279, 281, 285-289, 306,
309, 323, 326-328, 447, 468, 503-505,
520, 523, 533, 537, 539-544, 548, 549,
554, 563, 572, 578, 583, 586, 587

理論版本家族 (theory version family) 37, 164, 187-189, 192, 195, 210, 286, 306, 309, 323, 326-328, 447, 503, 533, 539, 542, 587

理論建構或理論化技能 (theorizing skill or ability) 38, 193, 194, 281

理論原理 (theoretical principles) 4, 17, 64, 68, 89, 162, 163

理論描述或解釋 (theoretical description or interpretation) 100, 102, 123, 124, 126, 131, 349, 350, 353-356, 358, 359

理論評估 (theory assessment) 558-561

理論潛能 (theory potentiality or capacity) 193, 194, 196, 203-205, 210, 216, 217, 281, 288, 289

現象律 (phenomenological law) 80, 419

現象模型 (phenomenological model) 22, 90-93, 131

符應 (correspondence) 591, 592

粗資料 (row data) 16, 84, 86

被複製性 (repliatedness) 395

規則或算則 (algorithm) 390, 396, 399, 417, 557

規範 (prescription) 1, 34-36, 41-46, 50, 174, 185, 268, 291, 292, 313, 315, 318-321, 323-326, 328, 331, 333, 336-340, 366, 391, 393, 402, 562

規範方法論 (normative methodology) 35, 41, 42, 44, 45

規範性 (normativity) 41-43, 313, 323, 328, 336, 337, 339, 366, 391, 393, 402, 562

通則 (generalization) 51, 89, 138, 183, 203, 204, 244, 346, 385, 403-410, 417, 450-513, 520, 521, 529

通則性 (generality) 403-406, 410

連續性 (continuity) 10, 230, 431, 466, 468, 470, 525, 532, 535

部分實現 (partially actualized) 64

十二畫

最大具體化模型 (maximally concretized model) 22, 63, 64, 141, 147, 163, 165

最大配合度 (maximized degree of fitness) 63

最大結構相似度 (maximized degree of structural similarity) 63

最佳說明推論 (inference to the best explanation) 108, 178

媒介或中介 (mediation) 13-16, 21, 39, 40, 46-48, 50, 59, 64, 72, 77, 80, 88, 90-93, 97, 98, 103, 134, 139, 150, 167, 180, 183, 228, 282, 291, 298, 304, 358, 373, 585, 586, 589, 590, 592, 593, 595, 596

媒介者 (mediator) 14, 15, 39, 77, 88,

91, 139, 282, 586, 595

媒介模型 (mediating model) 90, 91, 93

描述 (description) 24, 25, 43, 44, 52, 58-61, 63-65, 70, 90, 92, 94, 97, 100, 111, 113, 116, 118, 120, 121, 141, 146, 147, 154, 155, 158, 160, 177, 184-188, 191, 192, 196, 197, 211, 216, 218, 261, 263, 265, 267, 270, 274, 276, 283, 291, 293, 295, 296, 298, 299, 307, 308, 318, 322, 327, 340, 353-356, 358, 359, 363, 367, 374, 392, 400, 402, 465, 490, 496, 511, 512, 527, 534, 535, 545, 547, 562, 565, 568, 592

發育論 (developmentalism) 438-441, 443, 446-449

發射理論 (the emission theory of light) 74, 75

發展 (development) 1, 4, 5, 8, 10-12, 15, 18-20, 22-31, 33-38, 40-44, 46-50, 52-54, 76-79, 82, 83, 86-88, 93, 101, 108, 110, 120, 123, 124, 127, 134, 146, 155, 156, 159, 183-188, 190-196, 198-205, 207, 209, 210, 213, 216, 217, 230, 231, 233-237, 240, 241, 245, 246, 254-259, 262-264, 278-284, 286-289, 291, 292, 294, 295, 306, 307, 319, 321-328, 332, 335, 339-341, 356, 360, 366, 368, 370, 394, 398, 401, 403, 412, 416, 417, 424, 429, 439, 461, 463-465, 468, 469, 471-475, 480-484, 486, 500-504, 512, 514, 523, 524, 531, 533-535, 537, 539-

551, 553-558, 560-564, 566, 567, 570, 572, 581-584, 586-588, 590, 593-595

發現的脈絡 (context of discovery) 34, 313

程度性的思考 (thinking in degree) 18, 40, 588

程度性的概念 (conception of degree) 18, 21

策略基礎的方法論 (strategy-based methodology) 553, 554

結構的對應 (structural correspondence) 20

結構相似性 (structural similarity) 17, 21, 22, 40, 42, 59-61, 64, 66-68, 70, 72-74, 82, 142, 163, 165, 406, 408, 475, 546, 590, 592

結構相似程度或結構相似度 (degrees of structural similarity) 18, 19, 20-22, 31, 39-43, 46-48, 51, 60, 62, 63, 72-76, 82, 87, 93, 94, 145, 586, 592, 594, 595

間接傳衍 (indirect descent) 479, 482, 540

階層性 (hierarchy) 15, 355

十三畫

微變遷 (micro-changes) 29, 38, 188, 281, 554

新實驗主義 (New Experimentalism) 5, 9-11

概念整體 (conceptual Gestalt) 107,
108, 218

準同構於 (be quasi-isomorphic to)
63, 143

經驗模型 (empirical model) 13, 16,
17, 32, 33, 47, 48, 53, 92-94, 97-99,
101, 130-135, 140, 183, 184, 217, 224,
226, 227, 229, 230, 262, 276, 449-455,
458-461, 478, 504, 505, 512, 520, 521,
523, 533, 540-542, 567, 570, 585, 586,
592

落實背景觀念 (realizing background
ideas) 11, 33, 53, 483, 547, 548,
550, 553, 563, 564, 581

資源 (resources) 8, 38, 49, 192-196,
200, 201, 210-214, 216, 217, 280-283,
289, 298, 300, 303, 350, 357, 546, 583,
584, 588

跨脈絡性 (cross-contextuality) 33

跨脈絡的可落實性 (cross-contextual
realizability) 406, 417

跨脈絡的通則或推廣 (cross-
contextual generalization) 51, 406,
408, 409

十四畫

實作 (practice) 2, 4, 5, 11, 24-27,
29-32, 38, 40-42, 44, 45, 50, 53, 74,
92, 102, 149, 170, 233, 235-237, 247,
250, 254, 255, 262, 266-270, 274, 281,
282, 286-289, 292, 293, 304, 325, 334,

394, 398, 399, 401, 415, 470, 546, 557,
585, 588, 589, 596

實作技能 (practice skill) 38, 281,
282, 287-289, 415, 546, 588

實作潛能 (practice potentiality) 289,
334, 546

實現例 (actualizing instance) 63

實現程度 (degrees of actualization)
21

實驗之檢驗 (tests of experiments)
12

實驗引導的發現 (discoveries by
experiments) 421

實驗目標 (experimental objective)
350, 351, 359-363, 515

實驗行為 (experimenting) 1-3, 11,
12, 26, 48, 51, 52, 134, 183, 356, 357,
363, 368, 390, 464, 471, 473, 483, 490,
501, 502, 547, 548, 552, 595

實驗行為的結構 (the structure of
experimenting) 11, 26, 52, 368, 464,
473, 483, 547, 552

實驗物項 (experimental entity) 10

實驗者無限後退的困難 (the
problem of experimenter's regress ad
infitum) 388

實驗哲學 (experimental philosophy)
5, 9, 11, 235, 247-249, 251, 253, 264,
266, 267, 273, 287, 472, 484

實驗推論 (experimental inference)

3, 12, 51, 405

實驗異例 (experimental anomalies)

53, 548, 550-552, 563, 567, 569, 581,
582

實驗發現 (experimental discoveries)

4, 13, 52, 160, 237, 401, 416, 417, 419,
421, 422, 447, 451-455, 460, 462, 486,
520, 586, 590

實驗落實 (experimental realization)

140, 149, 150, 354, 474, 478

實驗模型 (experimental model) 11,

16, 17, 21, 22, 33, 40, 48, 51, 52, 65,
72, 77, 83-87, 92-95, 140, 141, 144,
145, 149, 150, 164, 179, 282, 347, 352,
356-360, 362-368, 374-377, 379-382,
390, 405, 413-417, 461, 474-479, 482,
483, 488, 490, 510, 515, 537, 543, 545,
547, 548, 550, 551, 553, 581, 582, 585,
587

實驗變異 (variation in experiments)

483

瑣碎複製 (trivial replication) 12,

364, 383, 475, 477

認知工具論 (cognitive or epistemic
instrumentalism) 45, 46

認知判斷 (cognitive judgment) 19,

26, 28, 38-40, 46, 192, 194, 195, 278,
281, 282, 284, 338, 460

認知—社會機制 (cognitive-social
mechanism) 38, 184, 402

認知效益 (cognitive utility) 336,

337

認知評價 (cognitive evaluation)

26-31, 33-42, 46, 49, 184, 192, 194,
195, 203-205, 209, 210, 216, 217, 255,
275-277, 281, 283, 285, 287, 288, 309,
323, 328, 402, 546, 549, 586, 588

十五畫

價值中立性 (value-neutrality) 328

價值的功能論論題 (functionalist
thesis of value) 333

增生原則 (principle of proliferation)

326, 327

模型做為媒介者 (models as
mediators) 14, 39

模型家族 (a family of models) 15,

57, 64, 78, 142, 146, 147, 163, 183,
203

模型基礎取向 (model-based
approach) 9, 176

模型族群 (a population of models)

15, 48, 57, 58, 63, 140, 158, 162

模型階層 (hierarchy of models) 77,

78, 82-87, 94, 147, 164, 179, 358, 359

模塑或模釋 (modeling) 1-4, 10, 11,

15, 16, 32, 39, 41, 43, 44, 49, 50, 57-60,
63, 64, 82, 84, 86, 98, 104, 120, 131,
144, 192-194, 241, 281, 282, 288, 323,
464, 482, 503, 546, 554, 563, 586, 592,
595

模釋技能 (modeling skill) 193, 281

模釋潛能 (modeling potentiality or capacity) 193

複合具體化模型 (compositely concretized model) 17, 65, 68, 158, 159, 162

複製問題 (the problem of replication) 3, 51, 347, 395, 397, 408

複製程度 (degrees of replication) 12, 21, 22, 51, 348, 352, 356, 359, 364-368, 375, 378, 381-383, 390, 412, 413, 416, 417, 475

十六畫

操縱 (manipulation) 7, 10, 113, 150, 558

整合策略 (integrative strategy) 126, 128, 129

整體相似值 (whole similarity) 365

歷史知識論 (historical epistemology) 465, 469, 470

輻射模型 (a radial model) 52, 53, 463, 464, 471, 473, 481, 483, 503, 545

遺傳的染色體理論 (chromosomal theory of heredity) 434, 504, 532, 534, 535, 537, 542, 556, 570, 582, 583

遺傳的發育模型 (developmental model of heredity) 437

十八畫

歸納問題 (the induction problem) 51, 385, 386, 388, 390, 391, 399, 403,

407, 408, 416

十九畫

穩定性 (stability) 33, 143, 222, 227, 310, 394, 526

證成的脈絡 (context of justification) 34, 313

證明為假 (falsified) 15, 18, 47, 78, 165, 176, 207, 412, 413

證據 (a piece of evidence) 2, 42, 52, 79, 104, 124, 135, 137-140, 147, 150, 159, 164, 166, 168, 170-176, 179-181, 185, 186, 200, 201, 205, 206, 208, 209, 212, 239, 244-246, 257, 260, 266, 273, 274, 276, 287, 307, 312, 324, 331, 334, 346, 371, 372, 379, 385-387, 409, 419-426, 435, 444, 445, 447-449, 451-453, 455, 457, 459, 462, 487, 518, 521, 526, 534, 535, 558, 560, 561, 567, 570, 571, 590, 595, 596

證據不足決定理論

(underdetermination of theories by evidence) 140

證據主義 (evidentialism) 52, 124, 419-422

證據史觀 (evidence-based historiography) 423, 424, 444, 445, 447, 448, 452, 453, 462

證據局部決定理論 (partial determination of theories by evidence) 140

二十三畫

變異 (variance) 24, 25, 29, 30, 53,
86, 191, 328, 416, 427, 431, 440, 441,
443, 447, 456, 476-478, 483, 484, 487,
501, 503, 505-508, 512, 524-526, 534,
537, 539, 565-567, 569, 576, 587

變遷 (change) 4, 6, 10, 23, 25-27, 29,
31, 33, 35, 36-38, 41, 46, 49, 76, 132,
149, 183-189, 192-194, 211, 230, 233,
237, 244, 246, 278, 279, 281, 292, 399,
420, 423, 426, 448, 461, 465-467, 473,
474, 494, 553, 554

體現 (embodiment) 23, 52, 72, 140,
143, 217, 263, 265, 278, 326, 363, 399,
428, 451, 464, 503, 595

二十五畫

觀察背負理論 (theory-ladenness of
observation) 10, 47, 98-102, 108,
109, 124-129, 134, 135, 166

觀察與理論的互動論 (an interactive
theory of observation and theories)
134, 135

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 06

認知與評價：科學理論與實驗的動力學（下）

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

臺北市10485松江路209號1樓

國家網路書店

電話：(02) 2518-0207

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