評介波普的簡單性

——兼述大科學家們對簡單性的看法

林崇安（2005.10）
中央大學太空科學研究所

一、前言

波普（K. Popper,1902-1994）的《科學發現的邏輯》，德文版初印於 1935 年，英文版初印於 1959 年，波普並於 1972 年對原著補上「追記」，今有邱仁宗的中譯本。此書的第七章簡單性共有六節：【41】-【46】。以下順著節數，標示其文，並略作評述。波普是從認識論、方法論的角度先批判美學的和實用的簡單性概念(約定主義者所說的「簡單性」)，接著試圖以自己的「招牌」—「可證偽度」來取代簡單性的概念。但事實上今日科學家所說的「簡單性」和「美」，是從「存有論」的立場來看自然定律的特質。

二、美學的和實用的簡單性概念

以下引述波普之文，將之分段標號外，並略加評述：

01 關於所謂「簡單性問題」的重要性幾乎沒有一致意見。Weyl 在不久前說：

「簡單性問題對於自然科學的認識論是最重要的。」

然而，近來對於這個問題的興趣低落了；也許是因為似乎很少有機會來解釋這問題，特別是在 Weyl 進行透徹的分析之後。

02 直到最近，簡單性觀念一直在無批判地使用，彷彿簡單性是什麼，為什麼它應該是有價值的，是很明顯的。不少科學哲學家在他們的理論裏給予簡單性概念一個關鍵性的重要地位，甚至沒有注意到它引起的困難，例如，Mach，Kirchhoff，Avenarius 的追隨者試圖用「最簡單的描述」這一觀念來代替因果解釋的觀念。沒有形容詞「最簡單的」或者類似的詞，這個學說就什麼也沒有說。

03 當應該解釋為什麼我們認為用理論對世界進行的描述，優於用單

稱陳述對世界進行的描述時，就似乎預先假定，理論比單稱陳述更簡單。然而很少有人曾經嘗試解釋過，為什麼理論應該是更簡單的，或者更確切地說，簡單性是什麼意思？

〔評述〕
〇Weyl 把簡單性的問題銜接到自然科學的認識論上，而非存有論上。以下波普試圖先排除美學和實用的簡單性。
〇所謂「理論比單稱陳述更簡單」一般是指「全稱陳述的理論，將多種不同的單稱陳述統一起來，而呈顯出一種簡單性」。

04 而且，如果我們假定，使用理論是由於簡單性，那麼顯然，我們應該使用最簡單的理論。Poincare（他認為理論的選擇是一個約定的問題）就是這樣來表述他的理論選擇原理的：他選擇可能的約定中最簡單的。但是，哪一個是最簡單的？

〔評述〕
〇出現幾種等價的理論時，會有主觀的偏好和選擇。非等價的幾種理論，就要面臨檢驗與否證，此時沒有妥協或選擇的空間。

【41】．排除美學的和實用的簡單性概念
01「簡單性」這個詞用於很多不同的意義。例如 Schroedinger 理論在方法論意義上具有很大的簡單性，但是在另外一種意義上，完全可以說它是「複雜的」。我們可以說，一個問題的解決不是簡單的而是困難的，或者說，一個描述或一個說明不是簡單的而是難以理解的（錯綜複雜的）。首先，我要從我們的討論中排除簡單性這一術語應用於任何像描述或說明這類東西。

〔評述〕
〇形式簡單的科學定律（如，力學）雖已知，但應用到解決一個實際問題時（如，預報天氣），其運算是困難的；詳細的描述或說明，也是錯綜複雜的。

02 有時，我們說到同一個數學證明的兩種說明，其中一個比另一個更簡單或更優美。從知識理論的觀點看來，這種區別意義很小；它

不在邏輯的範圍之內，只是表示一種美學性質或實用性質的選擇（偏好）。當人們說，一項工作比另一項工作可以「用更簡單的辦法完成」時，意思是，它可更容易地完成，或者，為了完成它，需要較少的訓練或較少的知識，這情況是類似的。在所有這些情況下，很容易排除「簡單」這個詞；這一詞的使用是邏輯外的。

〔評述〕

○此處波普指出現在所探討的「簡單性」，不是「一個數學證明的兩種說明中，一個比另一個更簡單或更優美」的「簡單性」。

【42】．簡單性的方法論問題

01 在我們排除了美學的和實用的簡單性觀念以後，如果有什麼東西餘留下，那是什麼呢？是否有對於邏輯學家是重要的簡單性概念？是否可能按照它們的簡單度來區別在邏輯上不等同（非等價）的理論？

02 對這個問題的回答似乎是很可疑的，因為大部分想定義這個概念的嘗試得到很小的成功。例如，Schlick 給了一個否定的回答。他說：

「**簡單性是……一個概念，它表示的選擇性質上，部分地是實用的，部分地是美學的。**」

值得注意的是，他給出了這個回答，是在他寫到這裏使我們感興趣的概念，我稱之為「簡單性的認識論概念」（the epistemological concept of simplicity）的時候；因為他繼續說道：

「**即使我們不能解釋簡單性在這裏的真正意思是什麼，我們仍然必須認識到這樣的事實：任何科學家成功地用一個非常簡單的公式（例如：一個線性的，二次的，或指數的函數）來描述一系列觀察，他就立即確信，他已發現了一條定律。**」

Schlick 討論了用簡單性概念來定義似定律的規律性概念，特別是「定律」和「機遇」區別的可能性。他最後排除了這個可能性，說道：

「**簡單性顯然是一個完全相對和模糊的概念；用它不能得到因果性的嚴格定義，定律和機遇也不能精確地區別開。**」

從這一段話中真正期待簡單性概念完成什麼就很清楚了：它要提供一種事件的似律性或規律性程度的量度。Feigl 說出了同樣的看

法，他說到「**用簡單性概念來定義規律性或似律性的程度**」。

03 簡單性的認識論觀念在歸納邏輯理論裏起著特殊的作用，比如聯繫到「最簡單曲線」問題。歸納邏輯的信仰者假定，我們通過概括特殊的觀察到達自然律。如果我們設想在一系列觀察中的各種結果，作為在一個坐標系統中標繪的點。那麼定律的圖形表示就將是一條通過所有這些點的曲線。但是，通過有限數目的點，我們總能畫出形式極為多樣的數目無限的曲線。因此，由於定律不是單單由觀察決定的，歸納邏輯面臨在所有這些可能的曲線中決定選擇哪一條曲線的問題。通常的回答是：「選擇最簡單的曲線」。例如，Wittgenstein 說：

「**歸納過程在於發現可以使之和我們的經驗相協調的最簡單的定律**。」

〔評述〕

○可以分成四種狀況來探討：

a 與經驗協調而簡單的定律——易被接受。

b 與經驗協調而複雜的定律——有待觀察，因為有可能再簡化。

c 與經驗不協調而簡單的定律——有待觀察，因為有可能觀測有誤。

d 與經驗不協調而複雜的定律——立被排斥。

04 在選擇最簡單的定律時，通常不言而喻地假定，比方說，線性函數比二次函數簡單，圓比橢圓簡單，等等。但是，沒有給出任何理由，或說明選擇這個特殊的簡單性等級，而不是任何其他的等級，或說明相信「簡單的」定律優於比較不簡單的定律——除了美學的實用的理由以外，Schlick 和 Feigl 提到 Natkin 的一篇未出版的論文，按照 Schlick 的敍述，Natkin 建議稱一條曲線比另一條更簡單，如果它的平均曲率更小的話，或者按照 Feigl 的敍述，如果它偏離一條直線更小的話（這兩種敍述是不等價的）。

05 這個定義似乎和我們的直覺符合得相當好；但是，它沒有抓住關鍵之處，例如，它使得雙曲線的一部分（漸近線部分）比圓簡單得多，等等。實在說，我不認為，問題能為這樣的「技巧」（Schlick 這樣稱呼它們）所解決。而且，為什麼我們應該給予簡單性（如果用這個特殊方法來定義它）以優先權，這仍然是個謎。

〔評述〕

○「線性函數比二次函數簡單，圓比橢圓簡單等等」這是來至數學學習難易上的「簡單」。而物理科學的「簡單性」常指能將多種現象納入一公式者，例如，將太陽外圍的行星、彗星等天體的圓形、橢圓形、拋物線、雙曲線等軌道全攝入一個圓錐曲線的式子：

r ＝ 1/〔A＋B cosθ 〕＝ 1/〔1＋e cosθ 〕；(A,B 為正；e＝B/ A)

A＞B	或 1＞e	橢圓
A＞B＝0	或 0＝e	圓
A＝B	或 1＝e	拋物線
0＜A＜B	或 1＜e	雙曲線

06 Weyl 討論了並否定了一個非常有趣的把簡單性置於概率基礎之上的嘗試：

「例如，假定同一函數 y＝f（x）的 20 對座標值（x，y），當標繪在方格圖解紙上時，落在一條直線上（在預期的精確度內）。因此我們推測，我們在這裏面對一條嚴格的自然律，y 線性地依賴於 x。我們所以這樣推測是（a）由於直線的簡單性，或者（b）因為，如果該定律是一條不同的定律，這 20 對任意選擇的觀察正好非常接近地落在一條直線上，是極端不可幾的。假如，現在我們用這條直線來進行內插和外推，我們會得到超出觀察告訴我們的東西之外的預見，然而，這個分析是可以批判的。

總有可能來定義……會被這 20 項觀察所滿足的各種數學函數；而這些函數中的某些會相當大地偏離直線。對這些函數中的每一個，我們都可以說，除非它代表真的定律，這 20 項觀察正好落在這條曲線上，是極端不可幾的。

因此，函數，更確切地說，函數類，由於它的數學簡單性，必定是先驗地由數學提供給我們的，這畢竟是必不可少的。應該注意，這個函數項不必依賴與應滿足的觀察數一樣多的參數。」

07 Weyl 關於「函數類，由於它的數學簡單性，必定是先驗地由數學提供給我們的」這段話以及他提到的參數的數目，和我的觀點（在第 43 節中展開）是一致的。但是，Weyl 沒有說「數學的簡單性」是什麼，而且，最重要的，他沒有說較簡單的定律，與較複雜的定律相比較，應該具有什麼邏輯的或認識論的優點。

08 以上引證的幾段話是很重要的，因為它們和我們現在的目的有關，

這目的是分析簡單性的認識論概念。因為這個概念尚未精確地加以確定。所以有可能擯棄任何想通過下述辦法使這個概念精確化的嘗試（比如我的嘗試）而說：認識論家感興趣的這個簡單性概念，實際上是一個完全不同的概念。對於這種反對意見，我可以這樣回答：**我不賦予（attach）『簡單性』這個詞絲毫重要性。**

這個術語不是我引進的，我也知道它的缺點。我所要說的只是，如我的引證所表明的，我要澄清的這個簡單性概念幫助我們回答的問題，正好就是科學哲學家常常提出的與他們的『簡單性問題』相聯繫的問題。

〔評述〕

○以上波普先批評以往著名的學者（Poincare；Schlick；Feigl；Wittgenstein）對「簡單性」的不明確，並排除美學的和實用的簡單性概念，甚至對「簡單性」這個詞不認為有其重要性，重要的是「可證偽度」，以下波普便試圖以「可檢驗性」和「可證偽度」來建立簡單性的認識論概念。

三、波普把簡單性概念等同於可證偽度

【43】．簡單性（simplicity）和可證偽度（degree of falsifiability）

01 與簡單性概念相聯繫而產生的認識論問題都可得到解答，只要我們把這個概念等同於可證偽度。這個斷言可能遭到反對；所以我首先試圖使它在直覺上更易於為人所接受。

02 我已經說明，具有低維的理論比高維理論更易於證偽。例如，具有一次函數形式的定律比用二次函數表示的定律更易於證偽。但是後者在具有代數函數的數學形式定律中間，仍然屬於最可證偽的定律之列的。這一點和 Schlick 對簡單性的評論完全一致：

「**我們當然應該傾向於認為一次函數比二次函數簡單，雖然後者無疑地也描述一條很好的定律……。**」

03 我們已經看到，理論的普遍度和精確度和它的可證偽度一起增加。因此我們也許可以把理論的嚴格度——可以說理論把定律的嚴格性加于自然的程度——等同於它的可證偽度；這一點表明，可證偽度正是做的 Schlick 和 Feigl 期望簡單性概念做的事情。我還可以說，Schlick 希望在定律和機遇之間作出的區別，也能借可證偽度概

念之助弄清楚。

〔評述〕

〇波普說：「理論的普遍度和精確度和它的可證偽度一起增加」，是波普在第 36 節，用下列設想的自然律來說明：

p：所有天體軌道是圓。（所有在封閉軌道中運行的天體作圓運動）

q：所有行星軌道是圓。

r：所有天體軌道是橢圓。

s：所有行星軌道是橢圓。

從 p 到 q，普遍性程度減少（p 表達的比 q 多），因為行星是天體的一個真子類。因此，p 比 q 更易於被證偽。

從 p 到 r，（謂語的）精確度減少，因為圓是橢圓的真子類。

從 p 到 s，普遍性程度和精確度二者都減少。

從 q 到 s，精確度減少。

從 r 到 s，普遍性程度減少。

接著，波普說：「和較高程度的普遍性或精確度對應的是較大的（邏輯的，或）經驗的內容，因而有較高的可證偽度。」

〇評：在上述的比對中，波普未仔細比對 q 與 r。 q 與 r 的比對是重要的：

q：所有行星軌道是圓。

r：所有天體軌道是橢圓。

（行星是天體的一個真子類；圓是橢圓的一個真子類）

今將 q 與 r 改為類同而較易說明的比對：

q：所有行星軌道是橢圓。

r：所有天體軌道是圓錐曲線。

此中，行星是天體的一個真子類，橢圓是圓錐曲線的一個真子類。

※問題 1：q 與 r 之中，哪一個較具簡單性呢？q 與 r 之中，哪一個有較高的可證偽度呢？

依據波普上述所說：「理論的普遍度和精確度和它的可證偽度一起增加」或「較高程度的普遍性或精確度對應的是較高的可證偽度。」r 是一增一減，很難確定可證偽度是否比 q 高或低。由於的觀點是將簡單性等同於可證偽度，因而在今例中，波普不能判定 q 與 r 何者較具簡單性。

在數學上會認為為 q 較具簡單性；但在物理上會認為 r 較具簡單

性，因為（主語的）普遍性較大，雖然此時（謂語的）精確度減少，但還落在一個合適的範圍（是圓錐曲線而非任意曲線）。
由此可以看出，物理上雖然希望找出（主語的）普遍性愈高，（謂語的）精確度也愈高的定律，但有時難以兩全。在今例中，為了提高（主語的）普遍性，就要減少（謂語的）精確度到某一個程度。

04 關於具有似機遇特徵的序列的概率陳述，證明具有無限的維（參看第 65 節）；不是簡單的而是複雜的（參看第 58 節和第 59 節的後半部分）；而且只是在特殊的保證條件下才是可證偽的（第 68 節）。

05 可檢驗度的比較已經在第 31 到 40 節裏詳細地討論過。那裏提供的某些例子和其他細節可以容易地轉用到簡單性問題上來。這一點特別適用於理論的普遍度，一個比較普遍的陳述能代替許多較不普遍的陳述，並由於這個理由時常被稱作為「比較簡單」。
理論的維的概念可以說是使得 Weyl 的用參量的數目來確定簡單性概念的思想精確化了。＊

＊〔波普新註〕
Harold Jeffreys 和 Dorothy Wrinch（Phil.Mag.42,1921）首先提議，去測量一個函數的簡單性——藉由其自由可以調整的參數之少量性。但是，他們也提議，對較簡單的假說賦予較高的可能性。如此，他們的見解可以用圖式表達為：簡單性＝參數之少量性＝高可能性
simplicity＝paucity of parameters＝high prior probability
而我則從一個完全不同的角度切入這一問題。我對可檢驗性的估計程度感到興趣，我首先發現可檢驗性可以用「邏輯的」不可能性（此完全相對應於 Jeffreys 的高不可能性）來測量。而後我發現檢驗性，以及高不可能性，可以相等於參數之少量性，並在結尾我將高可檢驗性等同於高簡單性。如此，我的見解可以用圖式表達為：可檢驗性＝高不可能性＝參數之少量性＝簡單性
testability＝high prior improbability＝paucity of parameters＝simplicity
可以看出這兩種圖式是部分相合，而決定性的要點——可能性對不可能性——它們是站在相反的立場。

06 通過我們在理論的維的形式的減少和內容的減少之間所作出的區別（參看第 40 節），可以對付對 Weyl 理論的某些可能的反對意見。這些反對意見之一是，軸比和偏心率數值給定的橢圓集雖然它顯然不是那麼「簡單的」，具有和圓集正好一樣多的參數。

07 最重要的是，我們的理論解釋了為什麼簡單性是如此高度的合乎需要。為了理解這一點，我們不需要假定「思維經濟原理」或者任何這類原理。假如知識是我們的目的，簡單的陳述就比不那麼簡單的陳述得到更高的評價，因為它們告訴我們更多東西；因為它們的經驗內容更多；因為它們更可檢驗。

〔評述〕

○「**簡單的陳述得到更高的評價**」，此處前二理由：「**因為它們告訴我們更多東西；因為它們的經驗內容更多**」，這符合一般科學家尋找定律時的預設：自然現象具有「簡單性」，這是首階的存有論的性質。

○波普第三理由：「**因為它們更可檢驗。**」已將焦點轉接到「可證偽度」。這是次階的方法論檢驗角色。

【44】．幾何形狀和函數形式

01 我們關於簡單性概念的觀點使我們能夠解決了一些矛盾，直到現在這些矛盾曾使得這個概念是否有任何用處成為疑問。

（a）很少人會認為，比方說對數曲線的幾何形狀是特別簡單的；

（b）但是一個由對數函數表示的定律常常被認為是簡單的定律。

同樣地，（b）一個正弦函數通常被說成是簡單的，縱然（a）正弦曲線的幾何形狀也許不是很簡單的。

02 假如我們記住在參數數目和可證偽度之間的聯繫。假如我們又在維的形式減少和內容減少之間加以區別，像這樣的困難可以得到解決。（我們也必須記住對於坐標系統的變換的不變性的作用。）

03 如果我們說到一條曲線的幾何形式或形狀，那麼我們所要求的是，對於所有歸屬位移群的變換的不變性，我們還可以要求對相似變換的不變性；因為我們並沒有想把幾何圖形或形狀和一定的位置聯結起來。

（a）因此，如果我們把一條單參數對數曲線（y＝logax）的形狀看作置於一個平面的任何地方，那麼它就有五個參數（假如我們允許相

似變換）。因此它就完全不是一個特別簡單的曲線。
（b）另一方面，如果用一條對數曲線來表示一個理論或定律，那麼描述過的那種座標變換是無關的。在這種情況下，進行旋轉、平移或相似變換都是沒有意義的。因為一條對數曲線通常是一種座標不能互變的圖形表示（例如，x 軸可以表示大氣壓力，y 軸表示海拔高度）。由於這個理由，相似變換在這裏同樣沒有任何意義。

類似的考慮適用於沿著一根特殊的軸，例如時間軸的正弦振盪；還有許多其他情況都是如此。

〔評述〕
〇此處波普分別出（a）函數和（b）以函數所表示的定律，用以區別數學和物理所說的「簡單」的不同看法。
〇將一條單參數對數曲線（$y=\log_a x$），進行旋轉、平移或相似變換有五個參數：旋轉角度值、原點值(x_o,y_o)、相似放大率 r 和 a。

【45】．Euclid 幾何學的簡單性
01 在相對論的大部分討論中起著主要作用的問題之一是，Euclid 幾何學的簡單性。
（a）從未有人懷疑過，Euclid 幾何學本身是比任何有一定曲率的非 Euclid 幾何學更簡單些——更不要說具有隨地方而變化的曲率的非 Euclid 幾何學了。乍一看來，這裏涉及的這種簡單性似乎和可證偽性很少關係。
（b）但是，如果討論中的陳述被表述為經驗的假說，那麼我們發現，在這種情況下這兩個概念，簡單性和可證偽性，也是重合的。

〔評述〕
〇此處波普繼續區別（a）數學和（b）物理所說的「簡單性」的不同看法，後者與可證偽性相關連。
〇以下波普舉例說明物理所說的可證偽性與簡單性。

02 讓我們考慮什麼實驗可以幫助我們檢驗這樣的假說：
「*在我們的世界裏，我們必須運用具有某一曲率半徑的一種度量幾何學。*」
03 僅當我們把一定的幾何學實體和一定的物理客體——例如直線和

光線、點和幾根線的交點——等同起來時，檢驗才是可能的。
04 如果採取這樣的等同（一個相關定義，或者也許是一個直指定義；參看第 17 節），那麼可以看出 Euclid 光線幾何學的正確性假說的可證偽度，比任何斷言某種非 Euclid 幾何學的正確性的與前者相匹敵的假說的可證偽度高。因為如果我們測量一個光線三角形的角度之和，那麼對 180 度任何顯著偏離都將證偽 Euclid 假說。
05 另一方面，具有給定曲率的 Bolyai－Lobatschewski 幾何學的假說是和任何不超過 180 度的特定測量相容的。而且，為了證偽這個假說，必須不僅測量角度之和，而且還要測量三角形的（絕對）大小；這意味著，在角度之外，必須再定義一個測量單位，例如面積單位。因此我們看到，證偽需要更多的測量；假說和測量結果的更大的變化相容；因此更難於證偽：它的可證偽度較小。
06 換句話說，Euclid 幾何是惟一的具有確定曲率的，在其中可能進行相似變換的度量幾何學。因此，Euclid 幾何圖形能對比較多的變換保持不變；即它們可能是維數較少的：它們可能是較簡單的。

〔評述〕
○此處波普站在檢驗的「費力度」，來評定可證偽度，較易檢驗出結果的，費力度小，代表可證偽度高。因而 Euclid 幾何學可證偽度高、較具簡單性。但是以「費力度」來談可證偽度與簡單性會出現混淆，先引前述之例子：

q：所有行星軌道是橢圓。

r：所有天體軌道是圓錐曲線。

※問題 2：以「費力度」來看 q 與 r，哪一個較具簡單性呢？哪一個有較高的可證偽度呢？

由於 q 的（主語與謂語）範圍小，較易檢驗出結果，所以波普會得出 q 的可證偽度高，因而較具簡單性。但是一般物理學家會認為 r 較具簡單性。

又以「台灣的烏鴉都是黑的」和「所有的烏鴉都是黑的」來比較說明：

a 站在檢驗的「費力」程度，前者較易檢驗，因而有較高的可證偽度，較具簡單性。

b 站在普遍性的角度來看，波普說「較高程度的普遍性或精確度對應的是較高的可證偽度」，後者有較高的普遍性，因而有較高的可

證偽度，較具簡單性。（一般物理學家會站在普遍性的角度認為後者較具簡單性。）

波普於 a 和 b 得出相反的結果。所以應避免從「費力度」來談可證偽度與簡單性。

四、波普的結論

【46】．約定主義和簡單性概念

01 約定主義者所說的「簡單性」並不對應於我所說的「簡單性」。任何理論都不是為經驗所毫不含糊地決定的，這是約定主義者的中心思想，也是他們的出發點；這一點我同意。他們相信，他們因此必須選擇「最簡單的」理論。

但是，由於約定主義者並不把他們的理論當作可證偽的系統，而是當作約定的規定，顯然他們認為「簡單性」的意義是和可證偽度不同的。

約定主義者的簡單性概念證明確實是部分地美學的和部分地實用的。

02 因此，下列 Schlick 的評論（參看第 42 節）適用於約定主義者的簡單性概念，而不適用於我的：

「人們只能用約定來定義簡單性概念，這約定必定總是任意的，這一點是確定無疑的。」

03 奇怪的是，約定主義者自己沒有看到他們自己的基本概念——簡單性概念的約定性質。他們必須是忽略了這一點，這是明顯的，因為否則他們本來會注意到，一旦他們已選擇了任意約定的方法，他們求助於簡單性決不可能使他們避免任意性。

04 從我的觀點看來，假如有人按照約定主義者的實踐，堅持某一系統是一個永遠確立了的系統，每當它處於危險中時，他就決意引進輔助假說去挽救它，那麼必須說這個系統是最高度複雜的。因為，這樣保護起來的系統的可證偽度等於零。這樣我們就被我們的簡單性概念引回到第 20 節的方法論規則；特別是也引回到限制我們過度使用特設性假說和輔助假說的規則或原理：使用假說的節約原理。

〔評述〕

〇約定主義者將引進輔助假說來挽救，波普認為如此導致複雜度增

高，可證偽度等於零。這是順著「越簡單，則可證偽度越高；越複雜，則可證偽度越低」的思路而得。但事實上，不當的引進輔助假說，反而左支右絀，提高了可證偽度。

○第 20 節波普的方法論規則：

> 「關於輔助假說，我們建議規定這樣的規則：只有那些引進以後並不減少，反而增加該系統的可證偽度或可檢驗度的輔助假說才是可接受的。如果可證偽度增加了，那麼引進假說真正加強了這理論：這系統比以前排除更多的東西，禁止更多的東西。…一個在這個意義上能被接受的輔助假說的突出例子是，Pauli 的不相容原理。」

○一系統＝「定律」＋「初始條件」→結果。當結果不符合時，一般先修正初始條件。最後才考慮另尋新定律。

※問題 3：此處約定主義者若採用修正初始條件，對定律本身的可證偽度是否降低？若採用「特設性假說」以修正定律，可證偽度是否等於零？是否高度複雜？這些有待商榷。

○以實例說明引進「輔助假說」：

a「等壓下，所有的物質加溫則體積膨脹。」

b「等壓下，所有的物質加溫則體積膨脹，水例外。」

這二陳述的可證偽度，在檢驗前，何者為高？檢驗時，a 是所有的物質；b 是除了水外的所有物質，但是水是否應該優先檢驗？b 比 a 的可證偽度是否增加了？

其實，a 和 b 的主語範圍相同，都包含所有的物質，只是檢驗後知道 a 是錯誤，b 是正確，此中 b 有特設性假說（水例外），一般有特設性假說時，常表示此中還有一個更高層次的原理有待發現。又如，常溫下，金屬是固態，汞例外。此一更高層次的原理是量子力學。

【追記】（1972）

01 在這一章裏，我試圖表明簡單度能夠和可檢驗度等同到什麼程度。沒有什麼東西依賴於「簡單性」這個詞：我從不就詞進行爭論，我也不設法揭示簡單性的本質。我所試圖說明的只是這樣：

> 「有些大科學家和大哲學家已經論述了簡單性和它對科學的價值。我認為，假如我們假定，當說到簡單性時，他們有時（sometimes）在心裏想的是可檢驗性，就能夠更好地理解其中一些論述。這一點甚至說明了 Poincare 的某些例子，雖然這些

例子和他的觀點是衝突的。」

02 現在我應該進一步強調兩點：

（1）我們能在可檢驗性方面比較理論，僅當在這些理論應該解決的問題中，至少有一些是重合的。

（2）不能用這種方法比較特設性假說。

〔評述〕

○此處波普說：「**當說到簡單性時，他們（大科學家和大哲學家）有時在心裏想的是可檢驗性**」，可知波普為對自己的說法：簡單性＝可檢驗性，是不那麼肯定的，所以只用「**有時**」（sometimes），表示這一看法未必是正確的，是很可以被否證的。

◎波普的第七章「簡單性」至此結束。以下我們接著談談今日大科學家們對簡單性的看法。

五、今日大科學家對簡單性的看法

許多大科學家都提及科學理論的簡單性和它的美，這是從「存有論」的立場來看自然界定律的特質。關於尋找新的物理定律，費曼（R.P.Feynman,1918-1988）說：

> 「**早在你還沒著手測試所有推論之前，就可以知道是對是錯，你可以由它的美麗和簡單而辨認出真理。這是很容易的，你做出一項猜測，進行了二三個小運算，確定沒有什麼明顯的失誤。假定你是個經驗豐富的科學家，當你的猜測正確時，它就很明顯是正確的。**」

費曼又說：

> 「**我們很容易就可以完整地描述它的原理**（例如，以數學形式表達的重力定律），**不致因為含含糊糊，以致不同的人會做出不同的詮釋。因為它的形式是簡單的，所以它是美的。**」
> 「**縱使它們的實際作用很複雜，形式卻都是很簡單的。**

簡單性與美是密切相關的，建立電弱理論的溫伯格（S. Weinberg,1933-）說：

「簡單(simplicity)是我所謂美的一部分，但它是概念上的簡單，而非能以計算方程式或符號得出的那種機械式的簡單。廣義相對論的方程式是以難解而聞名，但這並不減損其理論本身的美。愛因斯坦和牛頓兩人的重力理論都包括了能說明由任何數量的物質所產生之重力的方程式，在牛頓的理論中有三個此種方程式(相對應於空間的三維)（加上一個勢位方程式)，而在愛因斯坦理論中則有十四個。事實上較美的反而是愛因斯坦的理論，部分是因為其有關重力和慣性相等的中心概念極具簡單性。」

所以，自然定律的這種簡單性和美的特質，是不同於波普由認識論所主張的「可證偽性」。

大科學家所說的科學理論的簡單性，是指以簡單的假設或公理，能括入甚多的經驗事實，愛因斯坦說：

「一切科學的偉大目標是要從盡可能少的假設或公理出發，通過邏輯的演繹，概括盡可能多的經驗事實。」

所謂「從盡可能少的假設或公理出發」其實與「思維經濟原理」相關。「概括盡可能多的經驗事實」，就是理論的普遍度，這是大科學家所說的「簡單性」。

理論模型的簡單性與統一性也是密切相關的，1938 年 1 月 24 日，愛因斯坦寫給蘭佐斯的信中說：

「從有點像馬赫的那種懷疑的經驗論出發，經過引力問題，我轉變成為一個信仰唯理論的人，也就是說，成為一個到數學的簡單性中去尋求真理的唯一可靠源泉的人。邏輯簡單的東西，當然不一定就是物理上真實的東西。但是，物理上真實的東西一定是邏輯上簡單的東西，也就是說，它在基礎上具有統一性。」(《愛因斯坦文集》第 1 卷)。

所以，簡單性暗示了宇宙萬物的相關性、和諧性。

另一方面，簡單性暗含預測性：可預測一些結果來接受檢驗。一旦否證不了，更突顯出真理的普遍性及其簡單性。簡單性所暗示的實用性是指可以應用於對許多舊現象的解釋以及新現象的預測。這種簡單性和實用性，是不同於波普所排斥的「美學的和實用的簡單性觀念」。

科學實例：電磁力與弱力的統一

1896 年，貝奎雷(H. Becquerel)發現 beta 衰變的放射現象。

1933 年，費米(E. Fermi)提出 beta 衰變的弱力理論。

1967 年，溫伯格提出統一弱力與電磁力的電弱理論，該理論預測：有帶電 W 粒子、中性 Z 粒子，以及左右不對稱現象。

1976 年，一項危機發生了。西雅圖和牛津兩地進行的實驗無法發現左右不對稱現象。電弱理論似乎被嚴格的實驗否證了！許多理論家（含溫伯格）嘗試修正電弱理論，將其變得複雜些以適應觀測結果，但是都行不通。

1978 年，史丹福大學的一項新實驗發現了預期中的左右不對稱。所有理論家此時全相信原先簡單的電弱理論是正確的。西雅圖和牛津兩地重新進行的實驗，也改變立場認為有左右不對稱現象。

1983 年，盧比亞(C.Rubbia)的小組發現了理論所預期的 W 粒子，1984 年發現了 Z 粒子。電弱理論確實是簡單而美的。

為什麼科學家可以從世界的某一部份，猜到世界的其餘部份？費曼說：

> **「這是個很不科學的問題，我不知道該如何回答，因此，我將給你們一個很不科學的答案：我認為，這是因為大自然具有「簡單」的這項特徵，因而呈現出一種特別的美。」**

所以，簡單性可說是科學家們最基本的「公設」了。今日大科學家所說的「簡單性」，一般都不是從方法論的角度來談可證偽度、可檢驗性。

六、總結

科學家對現象的追根究底，有兩方面的結果：（1）積極面：發現

普遍的定律、規則，呈現自然界本身的簡單性。（2）消極面：否定錯誤的看法。大科學家對現象追根究底時，是以積極面的發現普遍而具有簡單性的定律為主；檢驗時，用消極面來否證其錯誤。當科學家說到簡單性時，他們在心裏想的是「普遍性、和諧性」的積極面，而不會是波普所說的「可檢驗性」的消極面。先有簡單性，進而才有預測性：預測一些結果來接受檢驗或否證。由此可以看出，波普若從認識論的角度用消極面的檢驗或可證偽性想來取代積極面的簡單性的地位，是不能成功的。

一般大科學家們所說的簡單性，是指大自然的原理、定律具有簡單而美的性質，這是從存有論的角度來看簡單性，這種簡單性是科學家們的一種「公設」：認為大自然本身就具有這種特性。從牛頓至今，大科學家們所發現的原理、定律，果然都具有這種「簡單性」（例如，對稱性），可說是對此「公設」一再給予確認(corroboration；affirmation)。

〔附述〕簡單性與創意

創意、新觀念常是很簡單的，但是別人就是事先想不出來。創意是一種能力，能不能夠靠後天的訓練培養出來？

彭加勒(Henri Poincaré，1854~1912)是法國大科學家、大數學家，在《科學與方法》中，他以自己的親身經歷來說明創意與直覺。有一次是作地質考察登公車時，他突然想到定義富克斯函數的變換式與非歐幾何的變換式等價；一次是在悠閒散步時，忽然想到不定三元二次式的算術變換式與非歐幾何的變換式等價；一次是在接受軍事訓練行經大街時，頓悟到解決構造一切富克斯函數的障礙。彭加勒說：

> **「關於這種無意識的工作條件，尚可說明如下：如果一方面有意識的工作在它之前，另一方面又被有意識的工作尾隨其後，那麼這就是可能的，而且肯定是富有成果的。」**

所以，產生創意與直覺的條件是：先要對所解決的問題進行過一段認真的研究，閒暇時並能常處在輕鬆的狀態中，機緣一熟，就在「無意識」的直覺中悟到問題的解答。接著，如同費曼所說的「你做出一項猜測，進行了二三個小運算，確定沒有什麼明顯的失誤」，就知道這是真正的結果。

〔附述〕從科學的「增智模式」來看簡單性

科學的增智模式是：【前科學 1】→【科學 1】→【後科學 1＝前科學 2】→【科學 2】→【後科學 2＝前科學 3】→【科學 3】…此中的前科學與後科學，屬於哲學階段。以力學為例：

先由刻普勒找出行星運動三定律【前科學 1】，後由牛頓將這些行星的運動納入牛頓定律中【科學 1】。在具有簡單性的牛頓力學下，各類星體的不同運動都能得到解釋，呈現出星體運動的規律性。但當物體的相對運動的速度很大時，牛頓力學就不再適用【後科學 1＝前科學 2】。後由愛因斯坦提出相對論力學【科學 2】，涵蓋高低速度的運動，呈現出更廣的簡單性。今日，大科學家們又嘗試將重力統一到電磁力、強力、弱力，透過「對稱」追尋更上一層的簡單性【後科學 2＝前科學 3】。