

從兩種競爭的宇宙論模型看延遲判決性實驗

游雅廷 李金連

國立臺灣師範大學 科學教育研究所

摘要：了解宇宙結構與演化是人類最具挑戰性、最持久的探索問題之一，自西元前提出哲學的基本問題：「構成宇宙的基本物質是什麼？」並提出「宇宙的基本物質具有同一性、普遍性」的基本假設，這個問題的提出，使人類數千年來一直在探索這基本物質是甚麼？這個觀念至今仍影響著物理學探索組成宇宙物質的基本粒子是什麼？哲學賦於我們應以謙虛態度的宇宙觀來看待今日科學對宇宙的理解，科學對宇宙的理解則是基於可測量或可觀測的宇宙及思考範圍能及的範圍，我們現在的宇宙觀應只是目前可理解的宇宙。在 1940 年後，宇宙論出現兩種理論的競爭模型，一個是穩態宇宙論，另一個是大霹靂宇宙論，科學家對於同一個科學論題存在著兩個相互競爭的科學理論 H1 與 H2，它們幾乎經歷了許多實驗觀測的檢證，如果能給予一個新的實驗結果 E 來檢驗理論 H1 與 H2，其中 H1 理論預測會有實驗結果 E，而 H2 理論預測不會有實驗結果 E，當此一實驗結果 E 證實了 H1 理論的預測，同時否定了 H2 理論的預測，邏輯經驗論的 Hempel 稱此實驗 E 為判決性實驗，判決的結果某一方的理論獲得重大的支持，另一方的理論則被捨棄；但是科學史學派的 Lakatos 則對判決性實驗提出批判，他認為沒有即時的(instant)判決性實驗，而是需歷經時間考驗的主導性的判決性實驗(Major Crucial Experiment)，但是 Lakatos 並未對主導性判的判決性實驗之特性加以闡述。本文從科學史上幾個重大案例分析，發現判決性實驗它具有延遲性並具有理論主導的預測性等特性，透過遲來的判決性實驗，可取得主導理論的優勢，而依科學史上幾個重大案例分析研判這延遲的時間性可能是 20、30 年。本文嘗試藉『延遲的判決性實驗(Delayed Crucial Experiment)』來比較兩種競爭的宇宙論，大霹靂宇宙論通過理論的預測而發現大膽新穎的未知事實—『3K 微波背景黑體輻射』，對所預測大膽新穎的結果是當時所未知的事實，經過延遲判決性實驗而取得優勢，使其成為標準的宇宙論模型而主導常態科學的發展數十年。

一、前言

了解宇宙結構與演化是人類最具挑戰性、最持久的探索，李政道院士在其《對稱，不對稱和粒子世界》一書（李政道，民 82）中，則說明近代宇宙學研究領域中「哲學」與「物理學」的分野，他說「把微觀與巨觀統一起來冥想的是哲學，而把這微觀與巨觀予以量化聯繫的是物理學的任務。」李政道院士在其諾貝爾獎頒獎典禮的演獎詞中說「科學的進步總是我們的宇宙觀和我們對自然界的觀測之間相互密切影響的結果。前者只能從後者（我們對自然界的觀測）中推演出來，而後者也被前者（宇宙觀）極大的制約著。我們對自然的探索中，我們的概念和我們的觀測之間相互影響，有時會在早已熟悉的現象中導引出『完全沒有預料到的情況』，這些『隱蔽著的性質』往往只有在通過『根本改變我們有關支配自然現象的原理之基本概念』後才發現的，科學的發現為“概念”與“觀測”兩種因素相互影響所促進的。」（李政道，民 82）。哲學賦於我們應以謙虛態度

的宇宙觀來看待今日科學對宇宙的理解，科學對宇宙的理解是基於可測量或可觀測的宇宙及思考範圍能及的範圍，我們現在的宇宙觀應只是目前可理解的宇宙。科學哲學的研究主題有科學的本體論，科學的認識論，科學探索過程的方法論，科學論題的證實與否證，科學的革命與進步等等許多重要的研究主題。1940 年後宇宙論出現兩種理論的競爭模型（Gale and Urani, 1993； Balashov, 1994），一個是穩態宇宙論（Steady-State Cosmology），另一個是大霹靂宇宙論（The Big-Bang Cosmology），本文嘗試以邏輯經驗論及科學史學派的理念，藉『延遲判決性實驗』來分析比較二十世紀兩種競爭的宇宙論模型—穩態宇宙論與大霹靂宇宙論，來了解延遲判決性實驗的特性。

二、宇宙論發展的歷史背景

了解宇宙結構與演化是人類最具挑戰性、最持久的探索，自西元前 640 年至西元前 525 年，Miletus 學派的泰利斯（Thales, 625~545 B. C.）首先提出哲學的基本問題：「構成宇宙的基本物質是什麼？」並提出哲學的基本假設：宇宙的基本物質具有『同一性』、『普遍性』（孟祥森，民 66）。這個問題的提出，使人類數千年來一直在探索這基本物質是甚麼？早期西臘哲學家對上述問題的探索充滿著智慧，人類也靠這些累積的智慧形成豐富的知識文化資產，自然科學這些成就即是從『共同本源—哲學』日漸分離出來的。泰利斯認為組成宇宙的基本物質是『水』，『水』泛指液體或流體。Anaximander 認為組成宇宙的基本物質是『氣』，『氣』包括空氣、心智、靈魂。Anaximenes 認為組成宇宙的基本物質是『無限（apeiron）』。『無限』是西臘哲學思想第一個「純理性的概念」，『無限』的概念有兩種：第一、『無限』是原始的混沌狀態，在其中由感官所察知的種種不同的質（quality），互相對立著又尚未互相分離。經由感官從這個原始的混沌狀態察知「具有某些不變特徵的表象」，而分離出種種不同的質。第二、『無限』不是所有質的混合體，它不具有其中任何一個質，但卻容納每一個質。此種古希臘對宇宙的觀念至今仍很接近大霹靂宇宙論的觀點。

「構成宇宙的基本物質是什麼？」數學家與自然科學家分別有不同的看法，Pythagoras 學派的數學家假設宇宙是由「數」所組成的，他們認為宇宙由圖（figures）、關係（relation）、形式（form）所組成，重要的是形式而非物質。而這個問題的提出，指引著化學家道爾吞（Dalton, 1766~1844）提出原子說來說明組成物質的基本物質是「原子」；而這個觀念至今仍影響著物理學探索組成宇宙物質是什麼？1995 年諾貝爾物理獎頒給發現陶粒子（tau）的 Martin L. Perl 博士以及證明反微中子（anti-neutrino）存在的

Frederic Reines 博士，瑞典皇家科學院在解釋頒獎原因時說：「兩位得獎人的實驗成果對人類探尋科學上最基礎的問題作了永恆的貢獻。這些問題包括：什麼是宇宙最小的粒子？它們有什麼性質？它們就宇宙的歷史和未來可以給我們一些什麼資訊？」（李弘謙，1996）；陶粒子與微中子同屬於組成宇宙基本物質的輕子（lepton），另一種基本粒子是夸克（quarks），當 1996 年三月美國國立費米加速器（The Fermi National Accelerator Laboratory）的二個實驗小組分別宣佈找到頂夸克（top quark）存在的證據之後，理論上預測的六種夸克全部找到，物理學家所探索組成宇宙的基本物質是基本粒子是『夸克』（李精益，1996），由上述可知至今人類仍在繼續探索這個問題。

從古希臘時期對宇宙探哲學思辯觀點的理解，到十六世紀演進成科學數學觀點來描述宇宙，十六世紀時，天文學家第谷（Tycho）長期觀測地球、月球、太陽、水星、金星、火星、木星與土星等行星的運轉軌道的位置、半徑、運轉週期等數據，在十七世紀時，刻卜勒（Kepler）首先用簡單的數學描述行星的運動，利用這些數據計算導出刻卜勒三大行星運動定律，同時期的伽利略（Galileo）則精確的測量出在忽略空氣阻力時地球表面的加速度值為定值與慣性定律，牛頓（Newton）結合刻卜勒三大行星運動定律、伽利略的慣性定律及其發現的萬有引力定律形成牛頓力學三大定律來解釋行星的繞日運動，此種科學知識的發展，影響今日我們對宇宙結構與演化的了解。如同上述的科學研究方法，近代對宇宙結構與演化，則結合天文學、基本粒子物理學與宇宙學來了解，Burns（1986）認為對宇宙結構與演化尋求解答的步驟是天文學家觀測天體畫成赤經赤緯星圖的分佈，然後尋出其間的共同現象；物理學家從這些現象找出主宰宇宙初期的物理定律；宇宙學家由這些物理定律來描述宇宙初期的世界並解釋宇宙如何演化成今天的狀態。

三、穩態宇宙論與大霹靂宇宙論

基於哲學首先提出的基本問題：「構成宇宙的基本物質是什麼？」宇宙論就不能與哲學不相關，在哲學的立場來說，宇宙是包含所有物質的全部及時空的全部，近代宇宙學研究領域中「哲學」與「物理學」的分野，李政道院士有極為精闢的看法，他說「把微觀與巨觀統一起來冥想的是哲學，而把這微觀與巨觀予以量化聯繫的是物理學的任務。」而二十世紀的宇宙論模型，始於 1916 年愛因斯坦提出廣義相對論，因此有了明確且犀利的工具，而成為科學的問題（Brush，1992）。換句話說，就科學哲學的理念而言，愛因斯坦的靜態宇宙論命題具有可證實性或可否證性。愛因斯坦於 1917 年首先利用其廣義相對論的方程式來解宇宙的時空分佈結構，他先採完美宇宙論的原理（The

Perfect Cosmological Principle) 作為哲學形上學的基本假設：(1) 宇宙的平均質量密度及空間曲率不會隨時間而變。(2) 宇宙空間的分佈是均勻 (homogeneous) 且同向性 (isotropic)，在宇宙的任一點任一方向看宇宙皆相同。(Peeples, 1971; Weinberg, 1977) 換句話說愛因斯坦的宇宙論是靜態的宇宙論，但是他在解其方程式所得的結果中，並沒有一個解是符合靜態宇宙的基本假設，為了滿足形上學完美宇宙論的原理的基本假設及當時天文觀測的近似均向且均勻的宇宙結構，愛因斯坦引入宇宙常數項 Λ (cosmological constant) 代入其方程式作為修正項求解，而獲得符合其基本假設的解。但是 1922 年 Friedmann 在研究愛因斯坦所引入宇宙常數項 Λ 修正項的方程式，發現當時愛因斯坦的解並不是唯一解，他『排除』愛因斯坦為了滿足形上學完美宇宙論的原理的基本假設所放入的宇宙常數項 Λ 及宇宙的平均質量密度及空間曲率不會隨時間而變的基本假設，在解其方程式所得的數學解是宇宙若非一直在擴張，不然就是在收縮，而獲得動態的宇宙模型 (Peebles, 1971; Berry, 1976; 郭中一, 民 73; 民 79; 陳建生, 民 82; 王國銓譯, 1985; 曾煥華譯, 1986)。1929 年哈伯發現星系的紅位移現象 (Red Shift)，他發現星系遠離的速度和距離成正比，現稱為哈伯定律， $V=H_0 \cdot D$ ， V ：星系遠離的速度，其中 H_0 ：哈伯常數， D ：星系的距離，而確認目前的宇宙是處於膨脹擴張 (expansion) 中。

1940 年後宇宙論出現兩種理論的競爭模型，一個是穩態宇宙論，另一個是大霹靂宇宙論。雖然哈伯發現了宇宙在膨脹，使靜態的宇宙論起了革命性的看法，但是『完美宇宙論的原理』的實力仍在，為了不與『觀測到的宇宙膨脹現象』相抵觸，1948 年劍橋大學的天文物理學家 Bondi、Gold 及 Hoyle 仍堅持完美宇宙論的原理作為形上學的基本假設，並提出物質由真空創造無中生有以彌補宇宙膨脹而減少的密度，因此宇宙的密度仍不會隨時間而有所改變，這就是穩態宇宙論，解釋宇宙膨脹現象雖然有些勉強，但是「完美宇宙論的原理」是令人非常折服的哲學觀點 (Balashov, 1994; 袁旂, 1995)；大霹靂宇宙論則是由 Gamow 於 1940 年首先提出，宇宙是由一個溫度、密度極高的極小空間區域一次大霹靂而急速膨脹開來，隨之由於膨脹而溫度降低，而形成基本粒子、原子、物質、星系及背景輻射，1948 年修正後的大霹靂宇宙論成功地解釋『宇宙間氫與氦的比例為 3:1』並做了預測宇宙自大霹靂擴張之後，今日的輻射餘燼為『3K 微波背景黑體輻射 (Cosmic microwave background radiation)』，此預測於 1965 年被 Penzias 與 Wilson 意外的發現，自此「大霹靂宇宙論」凌駕於「穩態宇宙論」之上，成為宇宙論的標準模型。

四、延遲的決斷性實驗

人類的感官受到生理上的限制，使直接觀察的範圍與能力及精確度受到限制，甚至於會有錯覺，因此人類發展出望遠鏡、顯微鏡、粒子加速器等科學儀器，使得觀察者擴大了觀察的範圍及觀察的精確度，使被觀察的對象由「巨觀世界」拓展至「微觀世界」，也使「觀察結果」成為競爭的理論獲得優勝劣敗的「判決性的證據」。科學家對於同一個科學論題存在著兩個相互競爭的科學理論（或假說） H_1 與 H_2 ，它們幾乎經歷了許多實驗觀測的檢證，如果能給予一個新的實驗結果 E 來檢驗理論 H_1 與 H_2 ，其中 H_1 理論預測會有實驗結果 E ，而 H_2 理論預測不會有實驗結果 E ，當此一實驗結果 E 證實了 H_1 理論的預測，同時否定了 H_2 理論的預測，邏輯經驗論的 Hempel (1966) 稱此實驗 E 為判決性實驗 (Crucial Test)，判決的結果某一方的理論獲得重大的支持，另一方的理論則被捨棄，Hempel 舉一科學史上著名的判決性實驗的例子是 Foucault 測定水中光速的實驗。17 世紀時對於光的本質解釋有兩個競爭的理論模型，牛頓提出粒子說模型來解釋光的反射、折射等現象，惠更斯 (Christian Huygens, 1629-1695) 提出波動說模型來解釋光的反射、折射現象，但當時惠更斯的波動說遭遇一個困難是實驗觀測的現象總是以直線進行，因此牛頓的粒子說模型略佔上風，直至 1801 年楊氏雙狹縫干涉實驗的結果，使光的波動理論得以與粒子說再度抗衡競爭，它們各自有許多實驗觀測的支持檢證，但是牛頓提出粒子說模型預測水中光速會大於光在空氣中的速度；而波動說則預測水中光速會小於光在空氣中的速度。當牛頓提出粒子說模型預測水中光速會大於光在空氣中的速度，在當時沒有實驗可驗證此一論點，經過了 200 年之後 Foucault 測定水中光速的實驗，發現水中光速會小於光在空氣中的速度，此時粒子說才根本動搖，在當時 (19 世紀) Foucault 測定水中光速的實驗是足以稱為判決性實驗的。

從上述穩態宇宙論與大霹靂宇宙論兩種理論的競爭過程來看，紅位移現象並不足以成為判決性的唯一證據，紅位移現象竟能被穩態宇宙論與大霹靂宇宙論兩種理論的競爭過程所解釋，反而出現了『邏輯不可勝任性』的窘境，此時需要有通過理論的預測所發現的未知事實是大膽新穎的 (factual novelty)，所預測大膽新穎的結果是當時所未知的事實來對此兩種理論做出優劣的判決，而『3K 微波背景黑體輻射』的預測，經過二十年後才被證實，當此一實驗結果證實了大霹靂宇宙論的預測，使大霹靂宇宙論凌駕於穩態宇宙論之上，成為宇宙論的標準模型，『3K 微波背景黑體輻射』成為『延遲的判決性實驗 (Delayed Crucial Experiment)』的證據。當代正在研究的科學論題中，有著兩種理

論的競爭，此時需要有通過理論的預測所發現大膽新穎的未知事實，所預測大膽新穎的結果是當時所未知的事實來對此兩種理論做出優劣的判決，它不像邏輯經驗論對已知的靜態知識命題以可檢證性來判定是否為科學的命題，它需經過一個很長的時間才被發現或證實或否證，本文嘗試將其稱為『延遲的判決性實驗』，並可藉『延遲判決性實驗』來對兩種競爭的宇宙論模型做出優劣的判決，發現透過遲來的判決性實驗具有理論主導的預測性等特性，可取得主導優勢的理論，而依科學史的研判這延遲的時間大約是 20~30 年。

延遲的判決性實驗它具有延遲性並具有理論主導的預測性，透過遲來的判決性實驗，可取得主導優勢的理論，而這延遲的時間性可能是 20、30 年，例如本文論述中大霹靂宇宙論的預測的『3K 微波背景黑體輻射』，經過二十年後才被證實。例如 1945 年諾貝爾物理獎得主鮑立 (Pauli) 早在 1930 年即假設微中子 (neutrino) 的存在，當年鮑立推論此粒子可能永遠都不會被實驗偵測到，在 1953 年 Reines 經由實驗探測到微中子 (neutrino) 的存在，也大約經過二十年後才被證實存在，Reines 亦因此貢獻而獲得 1995 年的諾貝爾物理獎。1995 年之後微中子實驗的重要性是質量的測定，如果微中子的質量是電子質量的五萬分之一，則現在仍在進行中的宇宙膨脹終會停止而回頭開始收縮；如果微中子的質量是小於電子質量的五十萬分之一，則宇宙可能繼續膨脹下去，『微中子質量的精確測定』則可能是宇宙膨脹終會停止或繼續膨脹的『延遲判決性實驗』。

但是誠如科學史學派的 Lakotos (1978) 對『判決性實驗』的批判，理論所預測等待發現大膽新穎的未知事實經常是經過一個很長的時間才被發現，因此他認為沒有『即時的 (instant) 判決性實驗』，而是需歷經時間考驗的『主導性的判決性實驗 (Major Crucial Experiment)』，但是 Lakotos 並未對主導性的判決性實驗的特性加以闡述，本文透過對二十世紀兩種宇宙論模型—穩態宇宙論與大霹靂宇宙論的競爭歷程分析理解，用具有 20、30 年延遲性並具有理論主導的預測性，透過遲來的判決性實驗，來取得主導優勢的理論，是歷經時間考驗之主導性的判決性實驗；在主導性的判決性實驗—大霹靂宇宙論所預測的『3K 微波背景黑體輻射』，經過二十年後才被證實，自此「大霹靂宇宙論」凌駕於「穩態宇宙論」之上，成為宇宙論的標準模型。

總之，通過理論的預測所發現大膽新穎的未知事實之『延遲判決性實驗』，對所預測大膽新穎的結果是當時所未知的事實來對此兩種理論做出優劣的判決，經過此種延遲判決性實驗而取得優勢的理論模型，預測它將可主導常態科學的發展數十年。

五、誌 謝

承蒙台灣師範大學科學教育研究所 趙金祁教授指導科學哲學理念課程以及 楊文金博士的建議指教，本文才得以完成，在此深表誠懇的感激。

六、參考文獻

一、中文部分

- 王國詮譯（1985）基本粒子和宇宙論，台北，銀禾文化事業有限公司。
- 李弘謙（1996）1995年諾貝爾物理獎微中子與陶粒子，科學月刊，27 (1), 54。
- 李精益（1996）以古鑑今談夸克，科學月刊，27 (5), 362。
- 李政道著、朱允倫譯（民82）：對稱，不對稱和粒子世界。台北：學鼎出版社。
- 曾煥華譯（1986）宇宙的起源，台北，銀禾文化事業有限公司。
- 孟祥森譯（民66）：西洋哲學思想史。台北：牧童出版社。
- 袁旂（民85）宇宙創始者的面孔，科學月刊，26 (11), 926。
- 郭中一（民73）遂古之初 誰傳道之？淺說宇宙起始（上），科學月刊，15 (12), 944。
- 郭中一（民74）遂古之初 誰傳道之？淺說宇宙起始（下），科學月刊，16 (1), 50。
- 郭中一（民79）夸克、似星體及量子宇宙論，科學月刊，21 (6), 461。
- 陳建生（民82）紅移、似星體及宇宙，科學月刊，24 (1), 43。

二、英文部分

- Balashov, Y. (1986) .Uniformitarianism in Cosmology : Background and Philosophical Implications of the Steady-State Theory. Stud. Hist. Phil. Sci., 25 (6), 933.
- Berry, M. (1976) .Principles of cosmology and gravitation. Cambridge University Press,PP.119-136.
- Brush, S. G. (1992) .How cosmology became a science, Sci. Am., 267, 62.
- Burns, J. O. (1986) .Very large structure in the universe , Sci. Am., 255 (1), 30.
- Gale, G. and Urani, J. (1993) Philosophical midwifery and the birthpangs of modern cosmology,American Journal of Physics 61,66-73.
- Hempel, C. G. (1966) .Philosophy of Nature Science. Princeton university.
- Lakotos I. (1978) . The Methodology of Sci. Res. Prog., Cambridge Univ. Press.
- Peeples, P. J. E. (1971) Physical Cosmology , Princeton University Press , New Jersey.
- Weinberg, S. (1977) The First Three Minutes , New York.