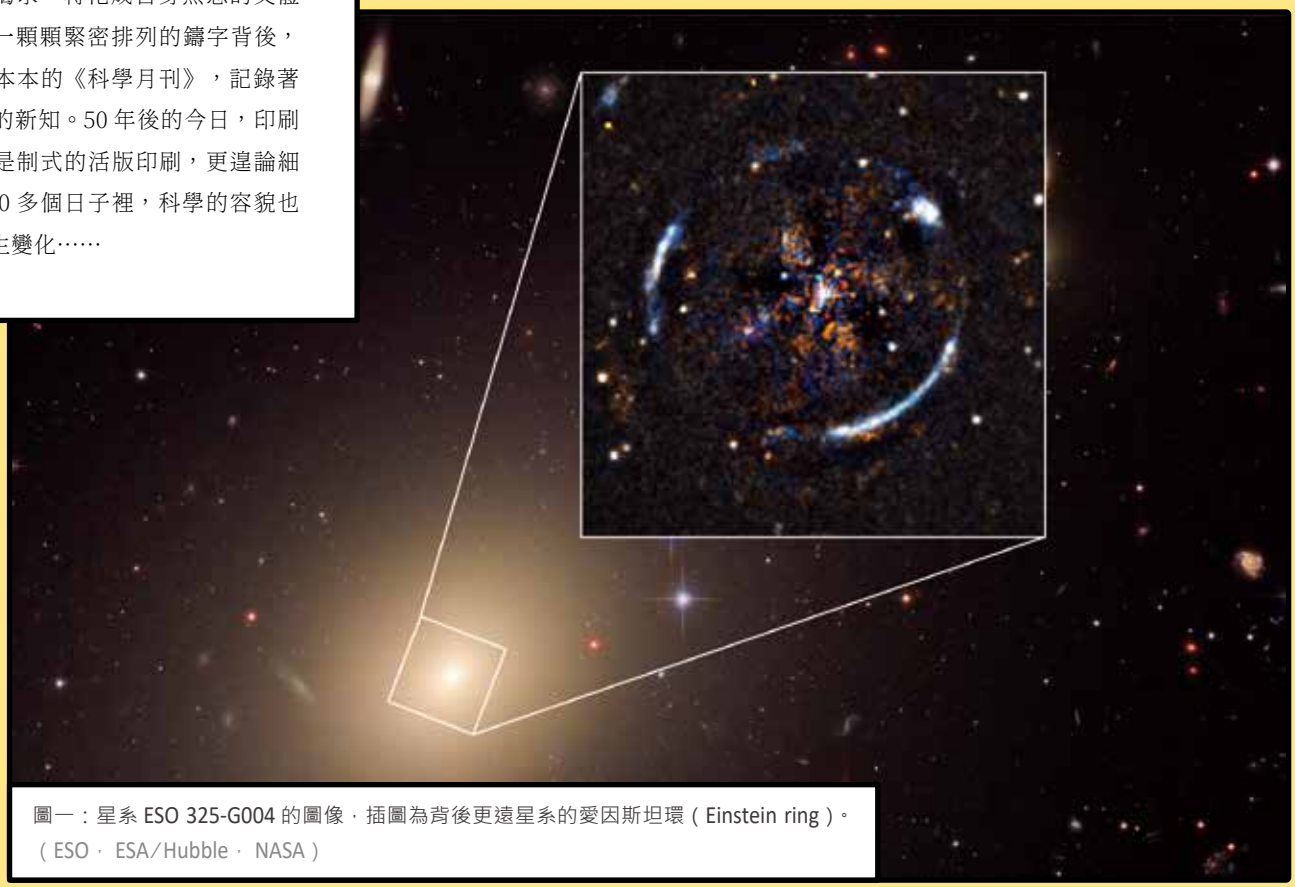
1970 年代，在美的臺灣留學生，將對學術知識的渴求，轉化成自身熟悉的文體撰寫。在一顆顆緊密排列的鑄字背後，轉印成一本本的《科學月刊》，記錄著當年珍稀的新知。50 年後的今日，印刷技術不再是制式的活版印刷，更遑論細數這 18000 多個日子裡，科學的容貌也已悄然發生變化……



圖一：星系 ESO 325-G004 的圖像，插圖為背後更遠星系的愛因斯坦環（Einstein ring）。（ESO、ESA/Hubble、NASA）

50 年的追尋—宇宙的演化

圖一：《科學月刊》第 8 期封面。

有 2 件事是無限的：宇宙的大小和人類的愚蠢。但我不能肯定宇宙的大小是否確實是無限的。

—愛因斯坦（Albert Einstein）

賴昭正／前清大化學系教授、系主任、所長；合創科學月刊。

半個世紀！一個人一生中有多少個值得慶祝的 50 週年紀念〔註一〕？在 1969 年創辦《科學月刊》時，朋友間曾流傳一句：「要整一個人，最好就是勸他辦雜誌！」因此，相信當時沒有人認爲《科學月刊》竟然會活到半百，在臺灣發展科普教育中扮演非常重要的角色！當年不少作者及就讀高三與大一的讀者，現在不是都已經進入「耳順」之年就是「從心所欲不踰矩」的高齡了！能不感嘆歲月匆匆嗎？

翻閱 1970 年首卷的《科學月刊》，第一個讓筆者感到不同的是，每一本分量皆輕且紙張泛黃！與今日「沈重」、表面光滑的銅板紙一比，充分顯示臺灣 50 年來的物質進展！內容方面，早期有許多翻譯文章，現在則少見，代表 50 年來臺灣科普寫作能力的提升！對讀者來說，廣告的大量下降可能有助於閱讀，但卻也默默地道盡《科學月刊》半世紀以來的慘淡經營血淚！讓筆者感到若有所失的是，雖然現在通訊快速又方便，但早期讀者與作者之間的互動似乎已隨歲月消失得無影無踪！

編輯部本希望筆者就 8 月號的〈分子結構與紅外線光譜〉一文撰寫回顧與延伸，但該議題是當時就已相當成熟的理論與科技，50 年來實在沒有什麼進展值得報告！編輯部退而求其次，讓筆者自行在該期裡找尋題材。其中一篇丘宏義教授的〈宇宙之演化〉，因爲近幾年來觀察天文的快速發展，筆者立即一見鍾情，藉由延伸該篇來慶祝《科學月刊》50 週年猶如天上掉下來的最佳禮物！曾被《時代》（*Times*）雜誌稱爲「最優秀的美國科學家」的天文物理學家丘宏義教授，現年 87 歲，臺大物理系未讀完就出國留學，爲早期的《科學月刊》作者，中文科普譯作 10 餘冊。

宇宙的時空

丘教授透過一些篇幅說明宇宙時間之長、空間之大，他認爲：「（合理的）物理學法則應適用於任何時、空。」事實上這也是該篇文章的副標題，然後結論表示，只有源於愛因斯坦廣義相對論的佛里德曼（Albert Friedmann）的宇宙論是唯一不違反物理法則的宇宙理論。可是，愛因斯坦的廣義相對論是否能適用於整個星球的巨大空間嗎？重力可以彎曲光線，因此星球（群）可以作爲重力透鏡（gravitational lens）。利用此技術，2015 年英國樸次茅斯大學（University of Portsmouth）研究員科利特（Thomas Collett）與其他 9 位同事合作，利用世界上最先進的 2 種光學儀器〔註二〕，經過 3 年的觀察與資料收集分析，完成最敏感的實驗：拍攝取得遙遠巨大星系 ESO 325-G004 後面另外一個巨大星系的光環（圖一）；於今（2019）年 6 月 21 日在 *Science* 表示，首次証明愛因斯坦的理論還是適用於整個星系的巨大空間，其誤差幅度僅爲 9%，實驗結果是迄今爲止太陽系之外廣義相對論的最精確測量。

丘教授表示：「雖然愛因斯坦和佛里曼的學說能夠成功解釋各種現象，但它仍有些相當難以解決的問題；最嚴重的一項，是我們的銀河系中最老星球的年齡和宇宙的年齡不符 .....，不妙的是，我們知道宇宙的年齡不可能超過 1.3×10^{10} 年。」2012 年，NASA 的威爾金森微波各向異性探測器（Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, WMAP）估計宇宙年齡爲 137.72±0.59 億年；2013 年，歐洲太空總署（European Space Agency, ESA）的普朗克太空船（Planck）測量的宇宙年齡爲 138.8 億年。這現代科學家公認的宇宙年齡解決了丘教授在該篇文章中提出的一些疑問。

恆星的命運

如同 50 年前，人們雖然對 140 億年前的宇宙結構細節非常不清楚，但大部份的科學家均認爲宇宙是由大霹靂（Big Bang）的「一個時空奇異點」突然大爆炸而出現。雖然物理學家尚不知道應用於該奇異點的理論，但均認爲爆炸後的宇宙處於一個高度均勻、非常高溫及高輻射能密度的狀態；宇宙快速地膨脹而冷卻，於是基本粒子、氫、氦、離子電漿、冷氣體、星群、恆星、太陽及地球相繼出現，形成今日的宇宙樣貌。這些星球在融核燃料用盡後，因重力關係而內縮崩潰，一直到電子或中子的包利不相容（Pauli exclusion principle）反抗壓力出現，才達到一

個平衡狀態：依質量不同而形成白矮星（white dwarf）、中子星（neutron star）或黑洞（black hole）！白矮星內部因不再進行核融反應製造能量，其溫度將慢慢降低而由白轉棕，轉變爲棕矮星（brown dwarf），最後成黑矮星（black dwarf），在漆黑的天空中「失跡」。雖然天文物理學家早就預測到這些恆星可能的最後命運，但或許因爲當時還沒有觀察到實據〔註三〕，丘教授只提及變成中子星之前的「超新星（supernova）」爆炸。

1915 年，在愛因斯坦發表時空會因重力而變形的廣義相對論後不久，史瓦西（Karl Schwarzschild）就預測黑洞的存在；不久，他們也開始想到重力波（gravitational wave）的可能性。2015 年 9 月 14 日，雷射干涉儀重力波觀測站（laser interferometer gravitational wave observatory, LIGO）所偵測到的重力波不但被認爲是黑洞相撞而產生，也曾被認爲是首次直接「觀測」到黑洞存在的證據。但眞正提供第一個直接「視覺」的證據是今年 4 月 10 日，由麻省理工學院海斯塔克天文台（Haystack Observatory）利用「事件視界望遠鏡（Event Horizon Telescope）」所攝得的黑洞及其陰影照片（圖二）。重力波與黑洞的發現又再次肯定廣義相對論在宇宙論中的地位。

膨脹宇宙論

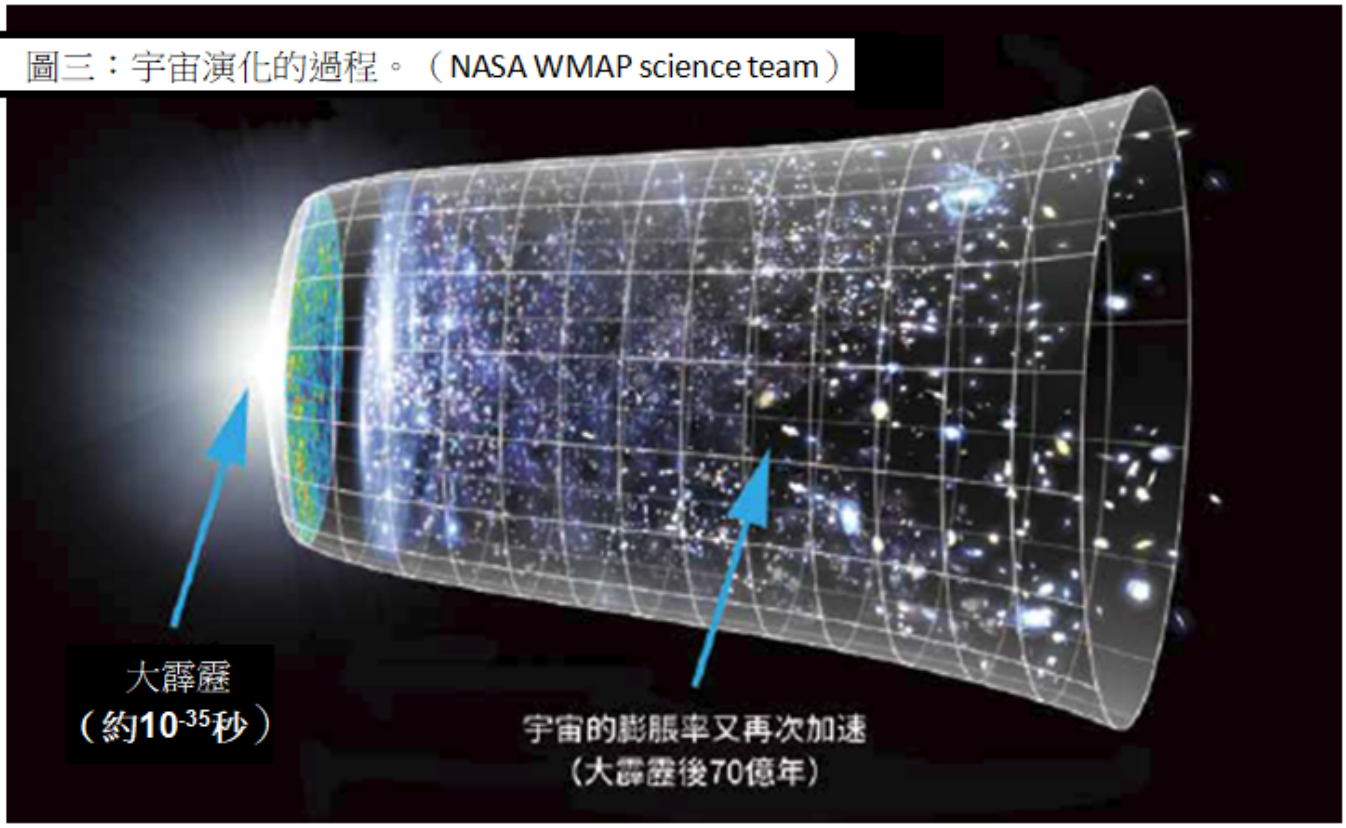
宇宙論在 1970 年後的最大進展有二：（1）1998 年美國加州大學柏克萊分校（University of California, Berkeley）的珀爾馬特（Saul Perlmutter）及澳洲國立大學（Australian National University）的施密特（Brian Schmidt）相繼宣佈 la 超新星（Type Ia supernova）的數據顯示，在大霹靂後的 70 億年，宇宙的膨脹率又再次加速！美國約翰霍普金斯大學（Johns Hopkins University）的雷斯（Adam Riess）於 2006 年再次肯定此觀查結果；（2）麻省理工學院的古斯（Alan Guth）於 1979 年所提出的膨脹宇宙論（inflationary cosmology），後者可解釋前者的宇宙膨脹率爲何又再次加速。丘宏義教授所提到的宇宙常數（cosmological constant），不但不是愛因斯坦一生中最大的錯誤，現已成爲解釋廣爲科學家所接受的「膨脹宇宙論」主要工具！

丘教授文中採用的數據表示宇宙是關閉的，遲早都會再回到大霹靂前那時空奇異點，但因誤差大，故他認爲「還是保守一點好」。現今天文學家大多認爲宇宙幾何是平的，即宇宙是開放的，雖然膨脹率終將慢下來，但膨脹卻永遠不會停止。但是，觀察到的宇宙中物質與能量卻不足以解釋爲何宇宙幾何是平的，因此現在天文學家認爲宇宙中尚存在有未觀察到的暗物質（dark matter）與暗能量（dark energy），前者約佔臨界質量密度的 25%，後者爲 70%〔註四〕。這意味著現今天文學家只能觀察到宇宙中 5%的「東西」而已！爲此，美國能源部（United States Department of Energy）、NASA 及國家科學委員會（United States National Research Council）已於 2005 年成立「暗能量特別小組」負責此一挖寶工作。這些 NASA 稱爲「比不明更不明（more unknown than unknown）」的暗物質與暗能量到底是什麼呢？目前沒有人知道！只知道不是「普通的東西」！

結論

中國早在西元 185 年就有發現超新星爆炸的記錄；而白矮星雖非常小但很明亮，因此也在廣義相對論出現前的 1862 年就被發現。其他死亡的恆星遺體如棕矮星、黑矮星、中子星或黑洞等，均是在廣義相對論出現後才被發現，加上偵測到的重力波，都可以說是在實驗上證明該理論的正確性，使現在的宇宙論不再只是科幻小說情節！

圖二：事件視界望遠鏡所拍攝到的黑洞及其陰影照片。
（The Event Horizon Telescope Collaboration）



圖三：宇宙演化的過程。（NASA WMAP science team）

在〈宇宙之演化〉一開頭，丘宏義教授便表示：「宇宙論和其他任何科學一樣，應該是奠基於觀察或實驗得來的資料。不幸的是一直到最近爲止，有關的資料可說是鳳毛麟角，幾乎不存在。」從上述的報導可看出 50 年來，由於科技的快速進步，實驗天文發展可能遠遠超過丘教授當時所預期！因此丘教授 50 年前的結論事實上更適用於今日：「宇宙論終於成爲實驗科學的一部門，而不再是爲了滿足個人心理上的需要或個人的願望，而生的虛無飄渺的大腦活動。」

50 年對一個人來說或許是一段不短的時間，但在宇宙的歷史上卻只是一瞬間而已！在珍惜紀念《科學月刊》創辦半個世紀的同時，我們也應該慶祝在這宇宙瞬間裡，人類對宇宙本身也獲得突飛猛進的了解！

掃一下 QR code，
就能回顧《科學月刊》1970 年 8 月號的
〈宇宙之演化〉！

〔註一〕明（2020）年--也就是《科學月刊》創刊 50 週年--底將是筆者結婚50 週年紀念！

〔註二〕美國國家太空總署的哈伯太空望遠鏡（Hubble Space Telescope）和智利安第斯山脈（Andes）的歐洲南方天文台（European Southern Observatory）超大望遠鏡（Very Large Telescope, VLT）。

〔註三〕1967 年，劍橋大學的研究生伯奈爾（Jocelyn Bell Burnell）利用指導教授休伊什（Antony Hewish）所設計和建造的特殊探測器，發現因中子星的磁場與其旋轉軸對齊而形成的脈衝星（pulsar）所發射出來的常規無線電脈衝，首次間接地證明中子星的存在。其它恆星死亡的遺體均是在 1970 年以後才被發現。1974 年，休伊什因「在發現脈衝星所扮的重要角色」而獲諾貝爾物理學獎；這對伯奈爾似乎很不公平！去（2018）年 9 月 6 日，突破獎（Breakthrough Prize）宣布將當年的基礎物理特別突破獎及 300 萬美金發給伯奈爾。有關諾貝爾獎的不公平及突破獎的巨額獎金，請參見〈諾貝爾獎的爭議性〉（《科學月刊》564 期）及〈科學研究背後的名與利〉（泛科學，2017/12/03）。

〔註四〕這 70%的暗能量正足以解釋為何在大霹靂 70 億年後，宇宙又再次加速膨脹。

延伸閱讀

1. 賴昭正，《我愛科學》，華騰文化，2017 年。
2. 泛科學，〈愛因斯坦其實沒那麼神？〉，https://reurl.cc/eKaYb，2016 年 3 月。
3. 泛科學，〈宇宙黑洞與哈斤〉，https://pansci.asia/archives/139118，2018 年 10 月。