

天聞

中華民國 111 年
夏季號



中研院天文所季報
ASIAA Quarterly Press
<http://www.asiaa.sinica.edu.tw>

SMA望遠鏡及銀河。©王為豪/中研院天文所

未來十年 天文的發現之路

2020年代天文及天文物理的發現之路

作者 周美吟

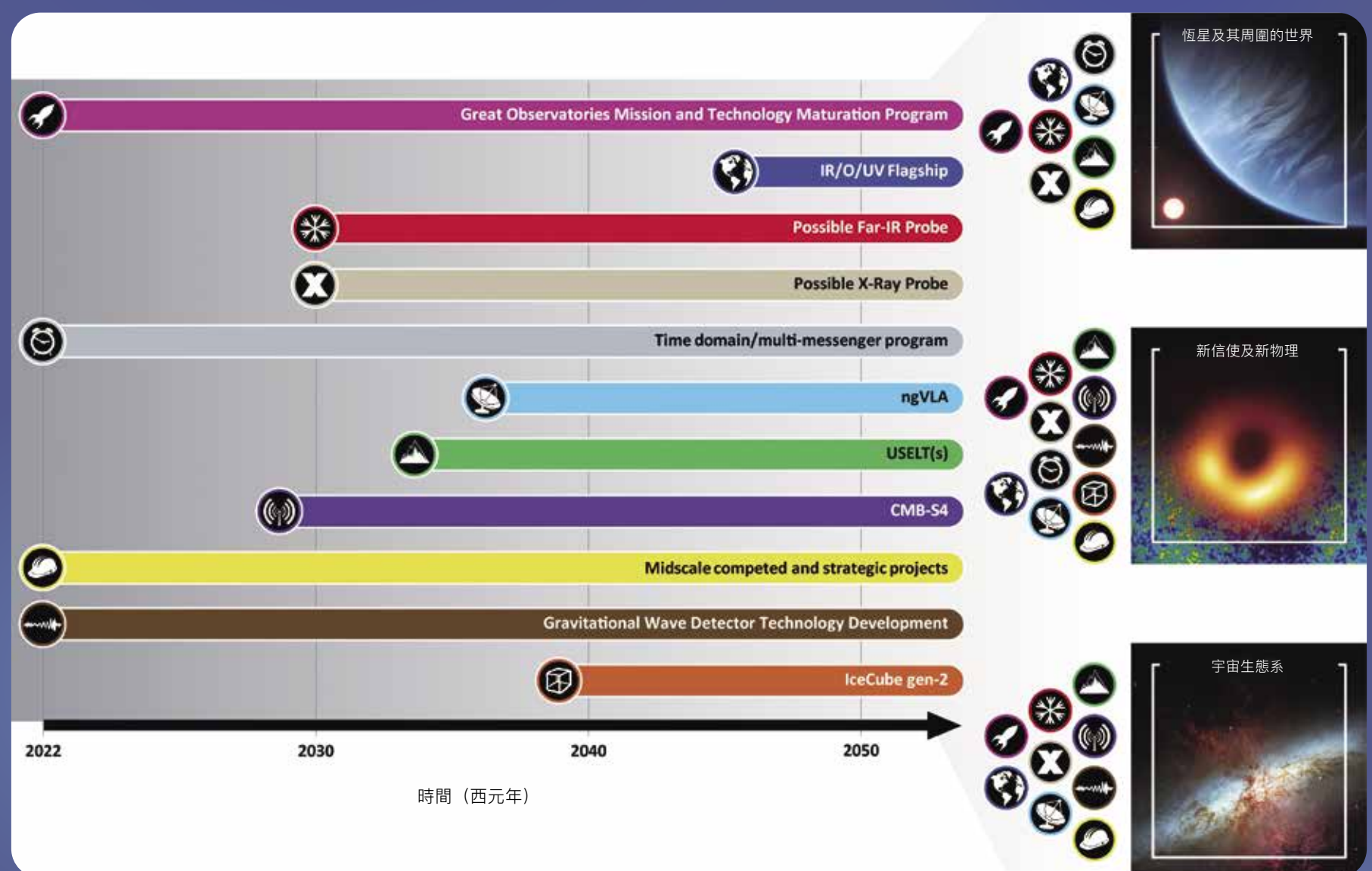
美國國家科學院自 1964 年以來，大約每十年會發表一篇對於未來十年在天文及天文物理學方面的研究策略報告，向政府及主管機關建議應該優先資助哪些領域及計畫，可說是天文的十年白皮書。過去幾項大型天文望遠鏡計畫，如特大天線陣（VLA）、錢卓 X 光觀測衛星（Chandra）、阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列（ALMA）等等，都曾經是這個白皮書推薦的重點計畫。甚至連去年才升空的韋伯太空望遠鏡（JWST），也是在 2001 年發表的「新千禧年的天文及天文物理」（Astronomy and Astrophysics in the New Millennium）這份報告內被列為優先計畫。這些計畫後來都對天文學的發展有重大影響，可見這個報告的前瞻性。

最新一份調查報告「2020 年代天文及天文物理的發現之路」（Pathways to Discovery in Astronomy and Astrophysics for the 2020s，簡稱 Astro2020）於去年 11 月發表，認為應優先建立「大型天文台技術成熟計畫（Great Observatories Mission and Technology Maturation Program）」，為未來 30 年的天文台計畫鋪路，也首度提及人文方面的相關議題。報告中除了建議應資助新進研究人員、大學的多元化教師和學生等，加強平等與發展多元共融，也呼籲建立社區天文學的參與模式，在發展天文的同時，應尊重並造福當地居民。報告中提到三個重要科學主題值得關注，分別是恆星及其周圍的世界、新信使及新物理、和

宇宙生態系。其對應的優先領域分別為：

- 通往適居世界的途徑，找出太陽系外的類地行星並得到其影像；
- 研究動態宇宙的新窗口，利用各種電磁波、重力波和微中子觀測，探究黑洞和中子星的本質；
- 找出星系成長的推手，徹底了解星系的起源和演化。

本期季報將簡介這三個領域目前的成果及發展。



Astro2020 報告中建議三個值得關注的科學主題（右），以及相關對應的太空或地面觀測計畫及時程。©National Academy of Sciences



從太陽系望向宇宙：尋找新世界

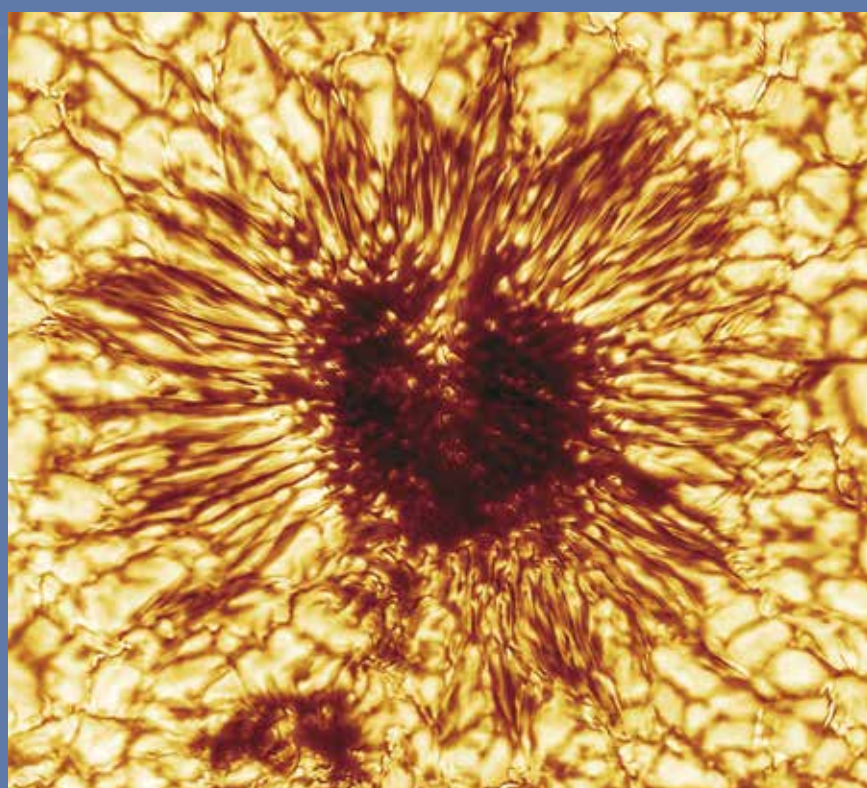
作者 劉君帆、黃柏盛

自從人類社會懂得向浩瀚宇宙仰望以來，一個亙古不變的問題油然而生：我們是唯一的嗎？若非如此，其他生命形式所在的行星與養育它們的母恆星跟地球與太陽也會很相似嗎？為了回答這個問題，科學家將配合近十年內新近建設的望遠鏡與下個十年預計上線觀測的望遠鏡，從以下幾個方向著手探討。

(1) 本銀河系的星口普查：2013 年升空的蓋婭（Gaia）望遠鏡目標為提供銀河系內十億顆恆星的精確距離與速度，大大提升許多恆星物理量的計算精準度，未來的魯賓天文台（Rubin Observatory）預估將可描繪十倍多的恆星基本參數。

(2) 理解行星形成的搖籃：恆星周圍的原行星盤是行星形成的搖籃，但是行星形成的過程、其所需時間、以及如何受恆星演化而影響仍是未解之謎，藉由阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列（ALMA）及甚大望遠鏡（VLT），科學家試著從電波與紅外線波段解析原行星盤的性質。未來數個三十米等級光學望遠鏡將幫助我們見證行星初生的時刻，並配合 X 光與紫外光波段靈敏的太空望遠鏡偵測恆星的變化，以理解恆星與行星共同演化的歷程。

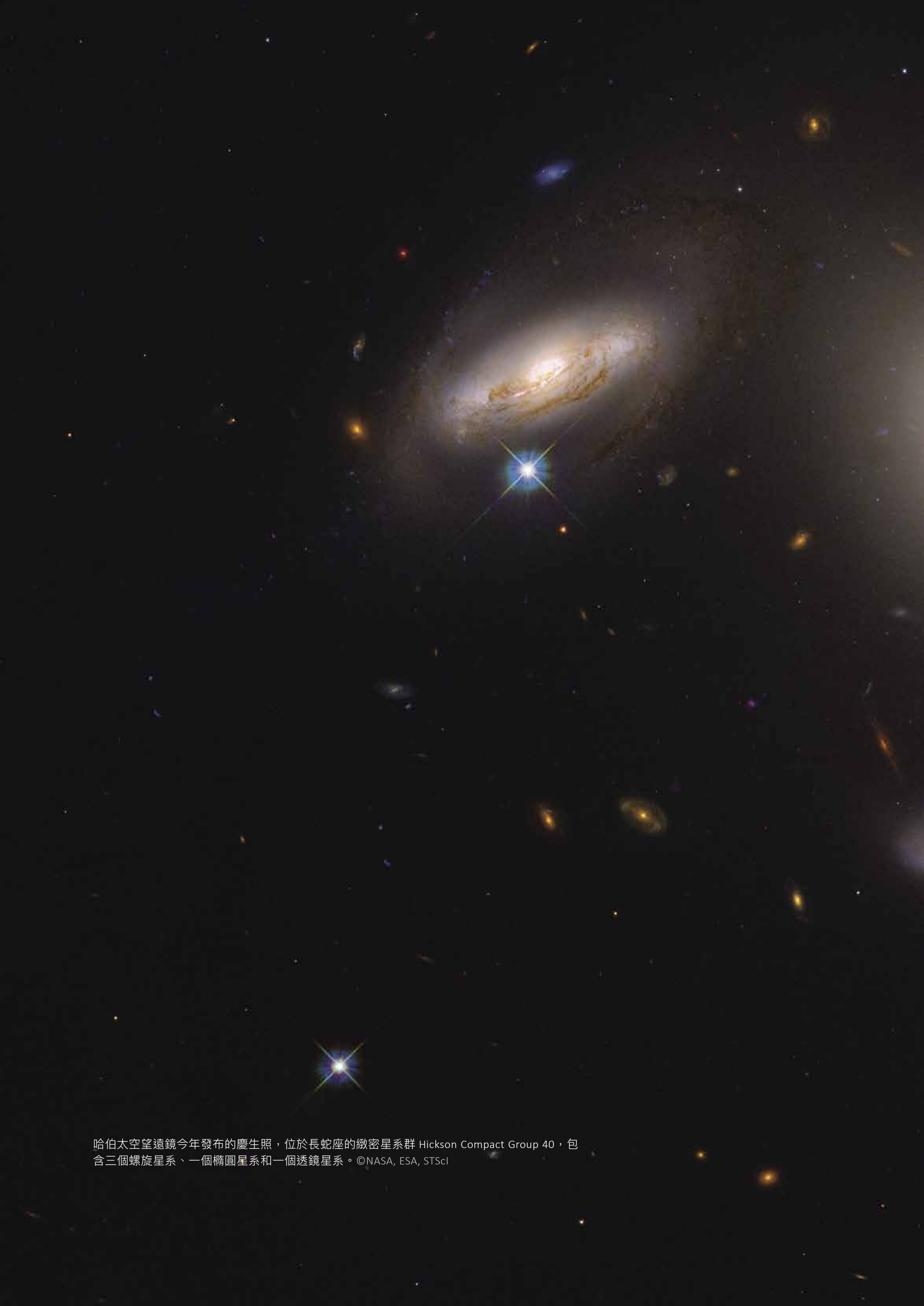
(3) 了解已知行星的大氣環境等性質：適居行星的搜尋是目前行星科學的前沿之一，需要了解行星大氣的組成才能進一步判斷他們是不是適居行星。今年 3 月，天文學家已經發現 5000 顆以上的系外行星，主要透過克卜勒太空望遠鏡（Kepler）和凌日系外行星巡天衛星（TESS）以凌日法來觀測。其他使用徑向速度法或重力微透鏡，也有數十顆被直接觀測到。其中位於適居帶且半徑小於 2.5 倍地球半徑、質量小於 10 倍地球質量的行星有 50 顆以上。2021 年底發射的韋伯太空望遠鏡（JWST）和未來的羅曼太空望遠鏡（Roman，原名



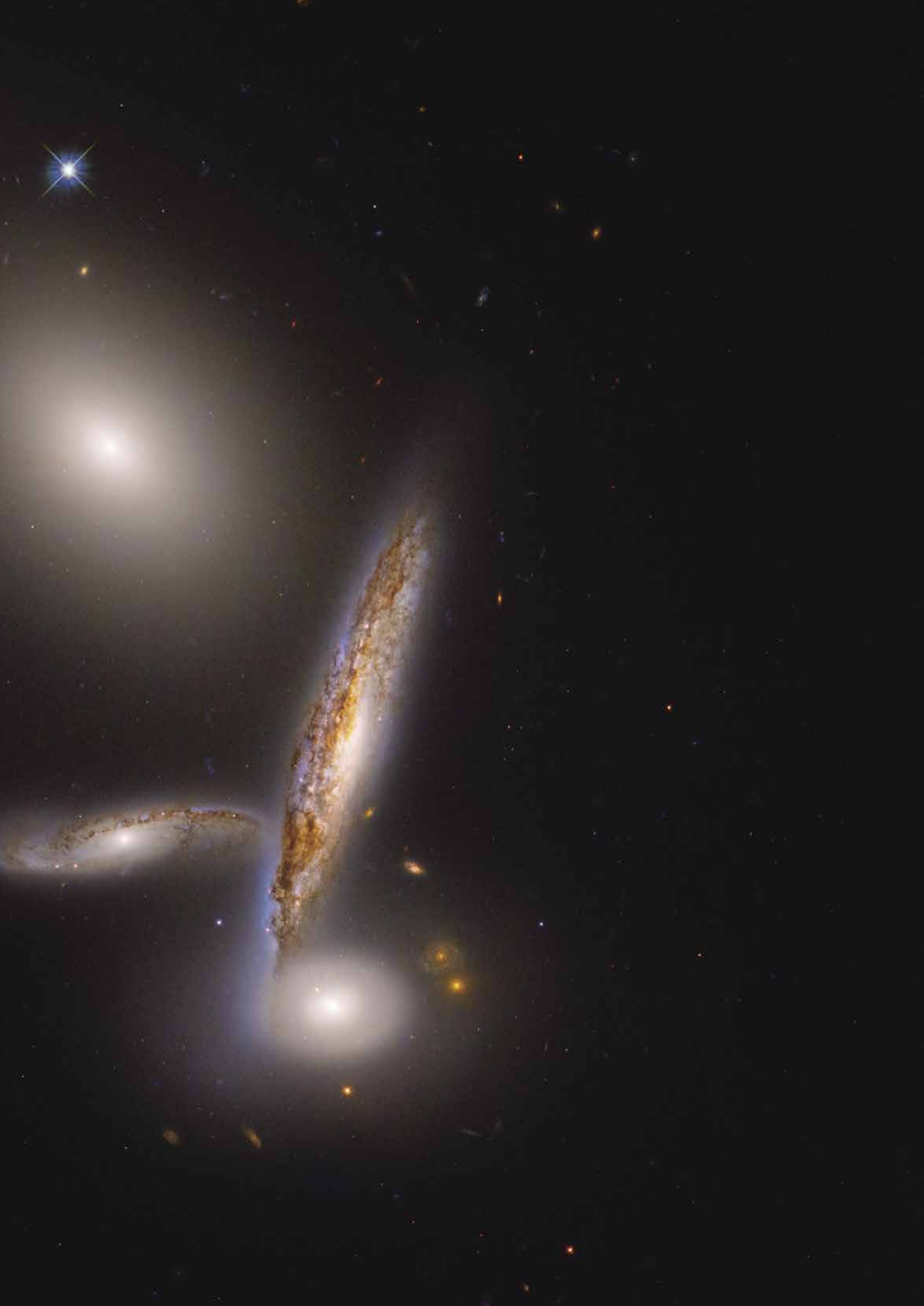
DKIST 測得的首幅太陽黑子照片，照片直徑約二萬公里。© NSO/NSF/AURA

WFIRST）已經把系外行星列為主要任務之一。除此之外，Cheops 以及預計的 Plato、Ariel 太空望遠鏡將測量更多系外行星的性質。隨著新計畫的投入，我們將可大幅提升光譜靈敏度，從吸收譜線判斷行星大氣組成以推測其適居度。

(4) 以太陽系為鏡而理解其他系外行星系統：太陽系是我們最熟悉的，也是唯一可以近距離解析並驗證各種理論的恆星 - 行星系統。2021 年底啟用的井上建太陽望遠鏡（DKIST）讓我們得以首次解析太陽黑子的結構，進一步理解太陽的磁場，並與被測得的其他恆星磁場結構比較。又如太陽系內小天體的分佈與同位素性質，也可以與其他年輕恆星的塵埃盤結構比較。這些討論最終都會回到一個問題：我們的太陽系究竟可以大致代表銀河系內類似質量的系統，還是一個獨一無二的系統？我們仍有數個十年得以思考這個問題。



哈伯太空望遠鏡今年發布的慶生照，位於長蛇座的緻密星系群 Hickson Compact Group 40，包含三個螺旋星系、一個橢圓星系和一個透鏡星系。©NASA, ESA, STScI



新信使及新物理

作者 蔣龍毅

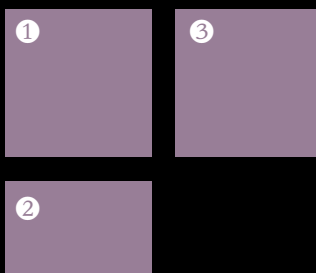
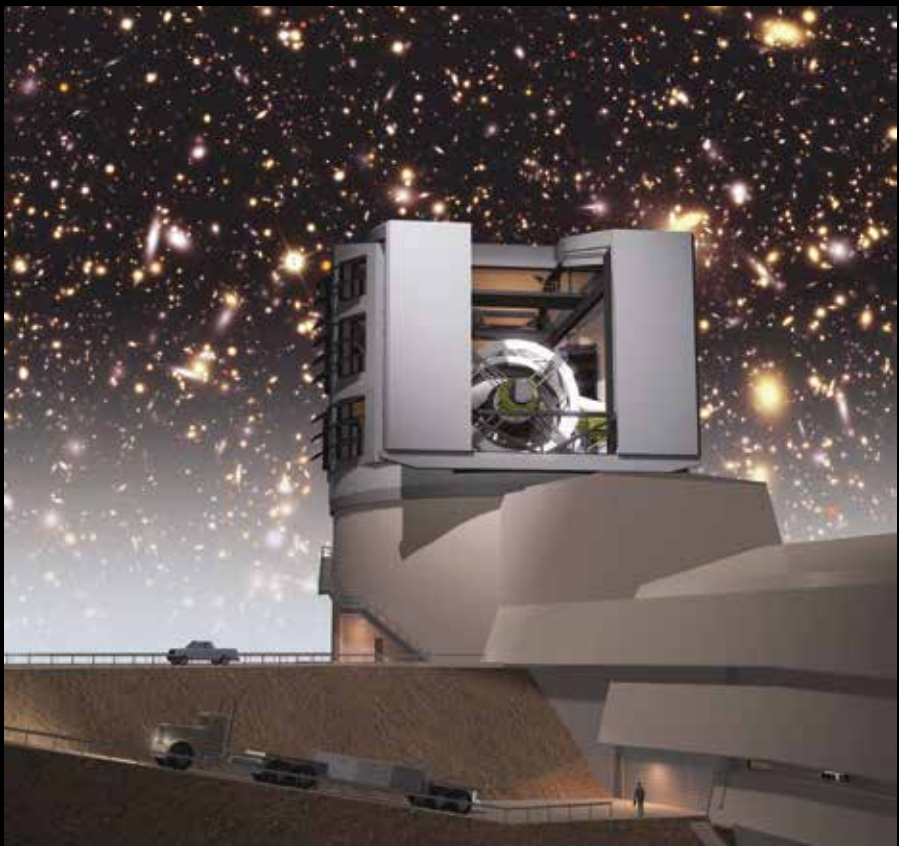
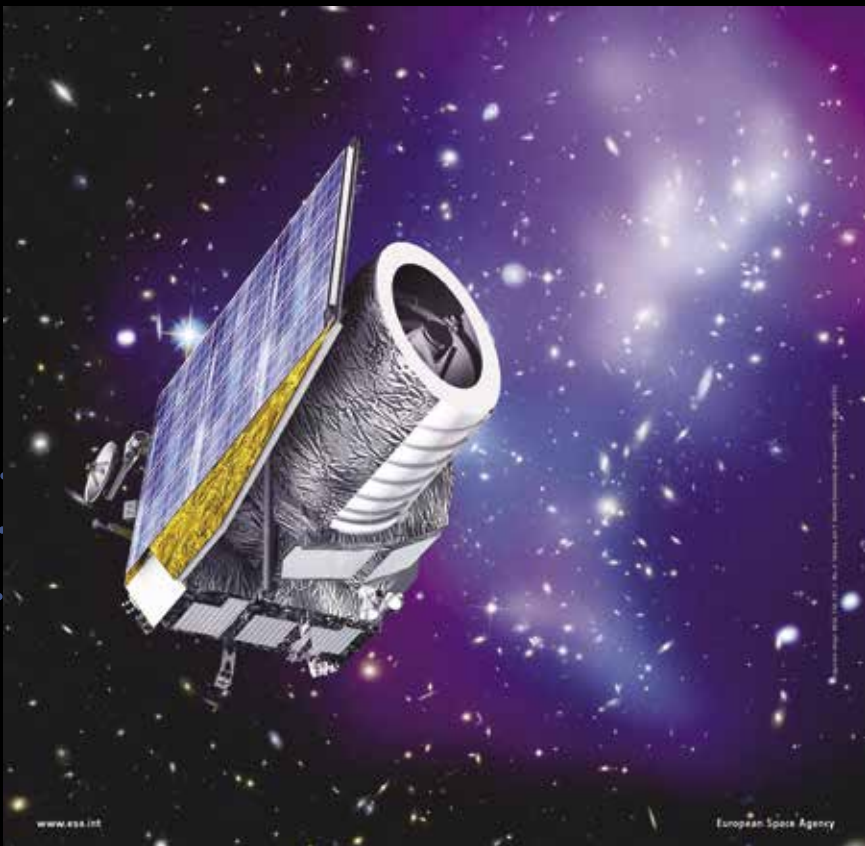
2020 天文 10 年計畫三大建議之一是「新信使 (messenger) 及新物理」。雖然每個 10 年計畫都是針對新的科學研究作規劃，為何這次特別提出新信使及新物理呢？就像我們的日常經驗受益於結合視覺、聽覺、嗅覺及味覺所提供的資訊一樣，傳統天文觀測主要依賴電磁頻譜，但過去十年中利用 LIGO、IceCube 和 Pierre Auger 觀測站等設施分別取得重力波、微中子及宇宙射線的突破性發現。長期以來這些一直被視為物理學的領域，現在都進入天文學的研究範圍。結合這些新的多信使探測器及在時域觀測領域的成熟發展，將開啟天文物理研究新的一頁。

重力波是源自於物質質量、形狀或速度改變造成的時空漣漪。目前人類測量到的重力波源自於黑洞、中子星之間的合併事件，是最新的信使之一。結合重力波和電磁觀測有可能最終破解黑洞的起源及演化。高能微中子攜帶著自然界最激烈能量反應的訊息：恆星內部的核爐、恆星演化末期超新星爆炸形成中子星，以及星系核中黑洞所形成的相對論性噴流對。所以高靈敏度觀測高能微中子和帶電粒子讓我們得以探索緻密恆星殘骸如白矮

星、中子星和黑洞的形成和演化。在這未來 10 年中結合時域觀測、非電磁波的新信使，及利用魯賓天文台 (Rubin) 的靈敏度，可以將這些工具應用於緻密恆星的殘骸形成、演化及其特性。

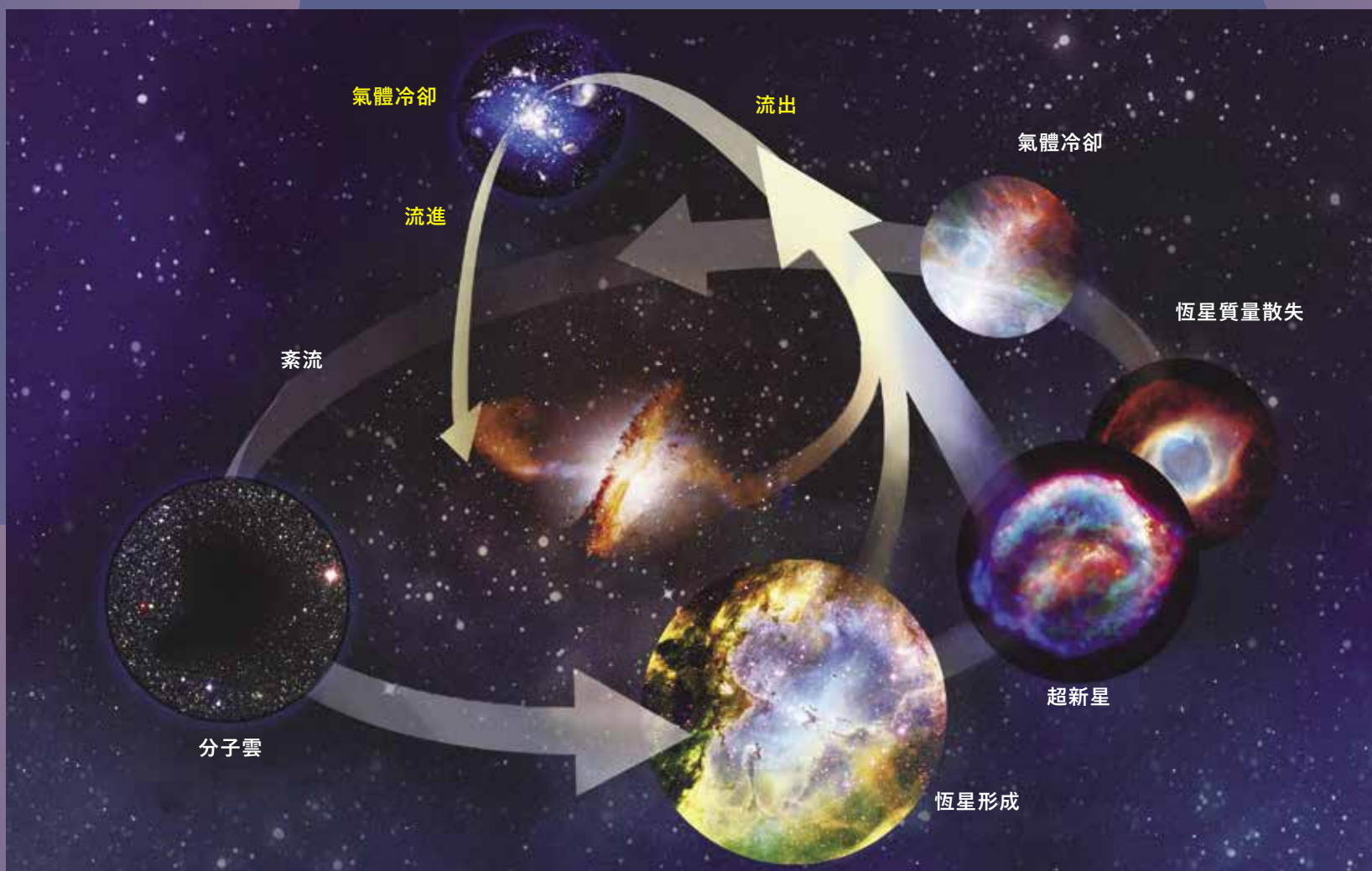
另一個得以利用新信使解決的問題則是宇宙膨脹速度。宇宙因暗能量造成加速膨脹，而膨脹速度的重要常數叫哈伯常數。這個數值可以經由量測 138 億年前留下的背景輻射，藉著我們的宇宙模型來推估現今應該有的膨脹速度，另一種方法則是藉由直接測量超新星的距離及遠離速度。但這兩者有著顯著的差異，或許是測量上未知的誤差，但也或許源自於目前宇宙學模型中所缺少的新物理。接下來十年除了利用魯賓天文台、羅曼太空望遠鏡、歐幾里得衛星 (Euclid) 嘗試解開暗能量是否是宇宙常數之外，通過重力波信號與相關的紅移測量相結合，將可以對哈伯常數進行完全獨立的測量。

「新信使和新物理學」藉著結合粒子、微中子、重力波和電磁波的天文測量探討科學上最關鍵前沿的問題，未來十年將取得巨大的觀測進展。



- ① 歐幾里得衛星
- ② 羅曼太空望遠鏡
- ③ 魯賓天文台的示意圖

©ESA/GSFC/SVS/Todd Mason, Mason Productions Inc. / LSST Corporation



氣體在宇宙生態系中的循環。©HABEX Report, The Habitable Exoplanet Observatory Study Team

宇宙生態系——找出星系演化的推手

作者 吳柏鋒

星系是如何形成的？這是一個涵蓋了極大時間及空間尺度的物理過程。就像人體的運作，我們需要了解大大小小的組成成分。從微小的細胞開始，到各個人體器官的功能，最後還要了解各個部件如何協同運作，而星系亦然。星系是一個由暗物質、恆星、超大質量黑洞，以及氣體所組成的複雜生態系，各個成分的交互作用推動著星系的演化。

從大尺度來看，宇宙間的物質分佈在像蜘蛛網般的絲狀結構上。大部分的重子（baryons）物質以瀰散氣體的狀態存在著，星系在這些絲狀結構上最密集的地方生成。瀰散氣體受重力場影響塌縮而逐漸冷卻，流向星系中心，形成緻密的分子氣體為星系提供恆星形成的燃料，同時也餵養星系中心的超大質量黑洞。新生恆星放出的高能量的光子，將周圍的氣體電離。恆星生命末期產生的恆星風及超新星爆炸把新合成的重元素與塵埃送回星系生態系中。超大質量黑洞吸積所觸發的噴流更是攜帶著極高能量向外傳送。這些物理過程發生在很小的空間尺度上，卻大大地影響著星系的演化。這一連串的交互作用，從星系開始生成以來一直沒有停過。

未來十年，我們將有機會一窺這個複雜生態系的原初狀態。甫升空的韋伯太空望遠鏡將偵測到宇宙中第一代生成的星系，建造中的 30 米級地面望遠鏡可以跟進取得這些星系的紫外線及可見光光譜，大型電波天線

陣列會進一步觀測這些星系中的原子分子氣體。這些資訊將為我們描繪出約一百三十億年前原始星系的樣貌，幫助我們了解在極早期宇宙，重子物質如何在原始星系中由氣體轉化成恆星，合成重元素，並催化宇宙的再電離過程。30 米級望遠鏡的高靈敏度也能觀測星系間瀰散氣體的發射光譜，這是現有的 10 米級地面望遠鏡無法企及的能力。我們將能描繪出氣體在宇宙間的空間分佈，直接驗證星系是否如同理論預測的由絲狀的瀰散氣體供應製造恆星的燃料。

除此之外，我們仍然需要發展下一代的望遠鏡將星系的細節看得更清楚。大口徑紫外線太空望遠鏡將能觀測銀河系及鄰近星系內大質量恆星的輻射及恆星風，有助於我們了解恆星形成活動與周邊環境的交互作用。規劃中的 X 射線太空望遠鏡雅典娜號（Athena）將測量超大質量黑洞驅使的噴流以及個別星系周邊氣體的溫度、密度、運動，及化學組成等等性質，從觀測上了解黑洞噴流如何影響星系的演化。

目前，這些物理過程多數都只能在電腦模擬中研究。未來的觀測資料將為我們帶來嶄新關於星系的知識，同時也將嚴格地測試與挑戰現有的理論模型及電腦模擬計算，驅使我們發展出更詳盡的理論模型，徹底了解星系這個複雜生態系的起源與演化。

再揭黑洞之謎！ EHT 公布銀河系中心黑洞首張影像

二見黑洞！本所參與的「事件視界望遠鏡（Event Horizon Telescope，簡稱 EHT）」國際合作計畫，於本（2022）年 5 月 12 日舉行全球同步記者會，公布銀河系中心超大質量黑洞的第一張影像，這也是人類史上看到的第二個黑洞。

2017 年的觀測是透過 EHT 全球 8 座電波望遠鏡連線，形成一個跟地球一樣大的虛擬望遠鏡，達到前所未有的高解析度。銀河系中心是一個充滿神秘色彩的區域，過去十多年來，科學家已經觀測到裡面有一個看不見的超大質量緻密天體，名為人馬座 A 星（簡寫為 Sgr A*）。2020 年諾貝爾物理學獎得主即因間接證實人馬座 A 星是一個超大質量黑洞而獲獎（詳見天聞季報 2020 年冬季號）。如今，這張照片成為揭開銀河系中心黑洞存在的「第一個直接觀測證據」。

本所資深科學家包傑夫（Geoffrey Bower）表示，「這次公布的影像捕捉到被強大的黑洞重力彎曲的光線，亮環大小也吻合愛因斯坦的廣義相對論」。本突破性發現有助於進一步理解銀河系中心，以及此巨大黑洞如何與周圍環境相互作用。

事實上，2017 年 EHT 就同時針對 M87 星系、銀河系中心的超大質量黑洞進行觀測。相較於距離地球 5,500 萬光年的 M87 星系黑洞，其質量約為太陽的 65 億倍；人馬座 A 星雖然離地球較近，約 2 萬 7,000 光年，質量約為太陽的 400 萬倍，但遠比觀測 M87 更加困難。因為兩個黑洞附近的氣體均以近乎光速在移動，而人馬座 A 星



在本院舉行的全球記者會，從左至右為臺灣師範大學物理系卜宏毅助理教授、本所賀曾樸院士、彭威禮所長、本院廖俊智院長、科技部羅夢凡司長、本所郭駿毅博士、黃智威博士，背景即為此次公布的銀河系中心黑洞照片。© 中央研究院

比 M87 黑洞小了約千倍，氣體在比較大的 M87 黑洞軌道上繞一圈，需要數天至數週；但在小得多的人馬座 A 星軌道上，僅需短短數分鐘，其所造成的氣體擾動導致影像變化速度過快，「像在拍一隻追著自己尾巴跑的小狗」，很難取得清晰的照片。此也導致重建這張黑洞影像的難度比 M87 更高，需開發更複雜的校正技術及成像方法。

本所紀柏特（Britton Jeter）博士比喻，「拍攝人馬座 A 星的過程，就像將一部電影總結為一張影像！」這些收集到的龐大觀測訊號必須透過世界各地的超級電腦運算，包含美國、加拿大、歐洲及臺灣，打造一個前所未有的黑洞模擬資料庫，與觀測結果作比對。最後透過多次模擬、調校，費

時 5 年才得以成像，成功解開人馬座 A 星的黑洞謎團，讓世人真正看到這個「潛伏在銀河系中心的巨獸」。

本所研究員松下聰樹（Satoki Matsushita）回憶，EHT 自 2017 年啟動黑洞計畫以來，天文所團隊即已投入其中，從初步觀測，到處理大量數據資料、分析及成像，即使這幾年全球疫情爆發，仍持續進行國際合作。本所研究員陳明堂則表示：「看到我們參與建造或營運的 SMA、ALMA 和 JCMT 望遠鏡成為解開本世紀科學之謎的重要工具，我感到非常自豪！臺灣對 EHT 的科學和技術都做出了重大貢獻。」

（摘自本所新聞稿）

天聞季報編輯群感謝各位閱讀本期內容。本季報由中央研究院天文所發行，旨在報導本所相關研究成果、天文動態及發表於國際的天文新知等，提供中學以上師生及一般民眾作為天文教學參考資源。歡迎各界來信提供您的迴響、讀後心得、天文問題或是建議指教。來信請寄至：「臺北市羅斯福路四段 1 號 中央研究院 / 臺灣大學天文數學館 11 樓 中央研究院天文所天聞季報編輯小組收」。歡迎各級學校師生提供天文相關活動訊息，有機會在天聞季報上刊登喔！



發行人 | 彭威禮 執行主編 | 周美吟 美術編輯 | 王韻青、楊翔伊 執行編輯 | 曾耀寰、劉君帆、蔣龍毅、黃柏盛、吳柏鋒
發行單位 | 中央研究院天文及天文物理研究所 天聞季報版權所有 | 中研院天文所 ISSN | 2311-7281 GPN | 2009905151
地址 | 中央研究院 / 臺灣大學天文數學館 11 樓（臺北市羅斯福路四段 1 號） 電話 | (02) 2366-5415 電子信箱 | epo@asiaa.sinica.edu.tw