跳票的保育承諾 p.50
睜一隻眼睡覺 p.68
幼兒學習，聰明起跑 p.74

sa.ylib.com
SCIENTIFIC AMERICAN 中文版
No. 213
2019年11月號

科學人

三體，在哪裡？

從數學、科學到科幻，尋找天體運行的答案。

奇想生物學
神奇寶貝現身！抓寶學演化 p.92

ISSN 1683-2311
4 191683 311009 11 SM213
定價新台幣280元／港幣70元

中央研究院
ACADEMIA SINICA

挑戰卓越系列 12

劃時代成果
史上首張黑洞影像

賀曾樸

中央研究院院士、中央研究院天文及天文物理研究所特聘研究員、事件視界望遠鏡董事會東亞席次代表、東亞天文臺臺長。長年致力於臺灣的天文發展。

今年4月10日晚間8時30分，全球有6個地點同步召開一場科學盛會：史上首張黑洞影像發表。臺灣即是其中一處，臺灣場的主持人、中央研究院院長廖俊智在開場時說：「這是本世紀重大的天文及物理學界的發現之一。」現場坐無虛席，也有很多人透過直播觀看這場記者會，網路上更是引發回響、討論熱烈。那天晚上，臺灣變得很有科學味。

中研院天文及天文物理研究所在這項發現中有重要貢獻，這是該所長年耕耘的成果，天文所賀曾樸院士說：「本所成立之初，即策略性挑選電波天文學以及干涉技術深入發展……今天我們已看到了過去以為看不到的黑洞，這是臺灣在科學方面的大豐收。」這項國際研究是由全球200多位科學家合作取得，他們藉由事件視界望遠鏡（Event Horizon Telescope, EHT）觀測了黑洞，其結果可以高度檢驗愛因斯坦廣義相對論的正確與否。100年前廣義相對論獲得實驗初步證實，因此今日的這項發現格外富有歷史意義。《天文物理期刊通訊》特別在4月10日當期僅刊出這項研究的六篇論文，彰顯了其重要性。EHT團隊更在今年9月獲得2020基礎物理突破獎。

視野，望得遠

中研院天文所的非凡成就可追溯到多位創建者的高明遠見。20多年前，李太楓院士受任在中研院重新成立天文所，但國內這方面的學者少，而且研究資源有限。他邀請專長在天文物理的徐遐生院士一起規劃，徐遐生打趣說：「臺灣的天氣不好，常下雨且有霧，不適合發展光學望遠鏡，應該發展電波望遠鏡。」徐遐生想找擅長電波天文學、人在美國的魯國鏞院士幫忙，卻一時聯絡不到人，於是他找了人也在美國的賀曾樸代為聯繫，後來魯國鏞與賀曾樸皆推動中研院天文所的成立大事。

中研院天文所成立之初，他們便想著要做一個好的計畫，而且是頂尖的研究。賀曾樸說：「要是我們做其他人已經在做的研究，等我們準備好時，就追不上別人了。要是我們做普通的研究，等下一代拿到博士學位，我們要怎麼讓他們願意回國做研究？」至於該如何鋪這條路，讓下一代可以走下去？

首先，他們找了研究夥伴。在頂尖研究方面，夥伴能夠給予協助，避免研究沒有進展，降低做不出成果的風險。其次，要妥善運用有限的經費。他們與美國史密松天文臺合作興建「次毫米波陣列望遠鏡」（SMA），總共有8架口徑六米的天線一同觀測，兩方協議由史密松天文臺建造6架，2架由中研院天文所負責，兩家機構都能建議如何使用望遠鏡觀測時間。

在儀器研發建造上，中研院天文所很幸運得到國家中山科學研究院傾力支援。當時，中山科學研究院告訴賀曾樸，外國公司收費很貴，我們應該自己做，賀曾樸反問：「真的可以協得出來嗎？」然而後續這十幾年來，中研院天文所的每一個案子都由中山科學研究院幫忙完成。中山科學研究院是他們非常重要的夥伴。賀曾樸說：「要是沒有他們，我們很多東西都做不出來。」中山科學研究院的想法是，幫助臺灣在科學方面有所發展是應該做的事。賀曾樸指出，這種價值觀在許多國家都找不到。

中研院天文所在投入SMA的興建時，就在想怎麼走下一步？他們注意到美國、歐洲、日本準備共同搭建當前全球最強大的地面天文望遠鏡——阿塔卡瑪大型毫米波陣列（ALMA）。中研院天文所在2005年先與日本合作，成為ALMA團隊的一員，再於2008年與美國合作，負責整合各國製作的接收機。一開始ALMA沒有納入次毫米波觀測波段，他們與其他國的成員建議增加次毫米波，才能大幅發揮觀測效能，ALMA其後正式全名為「阿塔卡瑪大型毫米波及次毫米波陣列」。在這個過程中，中研院天文所也投入國內自主建造「李遠哲宇宙背景輻射陣列望遠鏡」（AMiBA），用於宇宙學研究。

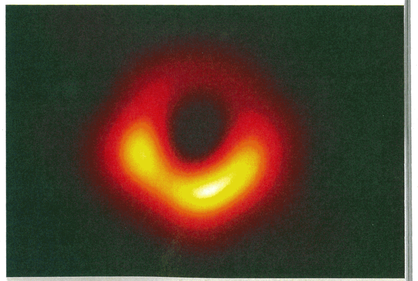
同樣地，2008年在建造ALMA時，他們思索若要申聯全球各地的多座電波望遠鏡組成陣列，形成有如地球般大小的虛擬望遠鏡來觀測鄰近地球的黑洞，就需要特長基線干涉（VLBI）技術方面的人才，賀曾樸聯絡了當時任職於日本國立天文臺的VLBI專家井上允，力邀他到中研院天文所任職，協助培育人才。2017年，中研院天文所與全球12家主要機構成立EHT聯盟，以分散在南北半球的8座電波望遠鏡組成EHT，中研院天文所參與了其中3座：SMA、ALMA和詹姆士克拉克麥克斯威爾望遠鏡（JCMT）。

黑洞現形

EHT最佳的觀測目標是地球周遭最大的黑洞：位於M87星系中心的超大質量黑洞，它有65億顆太陽那麼重，距離我們約5500萬光年。但想從地球上看見它，需要角解析度極高的望遠鏡，等同於站在地面上足以辨識月球表面的一張光碟片，因此相當不容易，所幸EHT能夠達到如此高的解析度——20微角秒。

然而，我們根本看不見黑洞本身，過去所謂看到黑洞，其實是看見黑洞周圍快速繞轉而加熱發光的氣體，或是黑洞發出的巨大噴流。假定廣義相對論正確無誤，那些體積極小且質量極大的昏暗天體必定是黑洞，而且我們早就習慣把它們稱為黑洞。老實說，我們不知道那些天體是否擁有只能吸入物質的「宇宙單向門」——任何物質都無法逃脫黑洞強大的重力，即使是速度最快的光。換句話說，我們不知道它們是否擁有事件視界（亦即黑洞的邊界）。事件視界是廣義相對論的重要預測，黑洞事件視界的影像可以讓我們知道廣義相對論是不是正確的重力理論，所以拍攝到黑洞的事件視界至關重要，EHT也因此命名。

黑洞周圍高速繞行的高溫氣體會發出亮光，光線無法穿透黑洞，黑洞便在一片光幕中投射一塊陰影，也就是所謂的黑洞陰影。EHT可以拍攝黑洞陰影，觀測落入黑洞的氣體，揭露黑洞的視界以及自轉軸與我們視線的夾角，推算出黑洞的質量。這些高速運動的氣體發出的光，會因為都卜勒效應產生頻移，靠近我們這一側的光會變亮，背離的光則變暗，由此可知黑洞的自轉方向與轉速。



▲ 前所未見：史上第一張黑洞影像，是由事件視界望遠鏡拍攝M87星系中心的超大質量黑洞。
版權●EHT Collaboration

2017年4月的這張黑洞影像沒有記錄到黑洞的噴流，若要獲得關於黑洞更詳細的資訊，我們需要更清楚的黑洞影像，EHT就需要納入更多座電波望遠鏡。位於法國的IRAM NOEMA天文臺與格陵蘭望遠鏡（GLT）於2018年加入EHT，可望讓解析度提升至前所未有之高。其中，GLT是由中研院天文所主導建造，可讓EHT的基線（兩站點的距離）增加至9000公里，再透過原子鐘同步觀測資料，虛擬成一座鏡面9000公里的望遠鏡，就有如把整個地球當做望遠鏡。

更高的位置

GLT計畫始於美國國家科學基金會在2009年公開徵求提案，獲選團隊可以使用ALMA北美團隊的望遠鏡原型機。中研院天文所與美國三家機構組成團隊，提出「觀測黑洞」計畫獲選。可是要提高EHT的解析度，新的望遠鏡架設地點必須距離已有望遠鏡的夏威夷、智利夠遠，基線才能夠長。除此之外，還要考慮氣候乾燥、交通以及基礎設施。最終，中研院天文所選擇了位於北極圈內的格陵蘭。2011年取得原型機後，GLT計畫主持人、中研院天文所研究員陳明堂帶領團隊花費5年升級並改裝，由於格陵蘭的氣溫可下探零下70℃、經常結冰，因此也要一併考量儀器的設置與望遠鏡的加溫，以符合在極地氣候下觀測。

2016年夏天，陳明堂的團隊在美國港口搭上一年只前往格陵蘭一次的船班，在圖勒港口附近的平地搭建望遠鏡。2018年1月，他們非常順利地與ALMA連上線，得以成為EHT的一份子。然而，GLT也能夠獨自進行高頻次毫米波的天文觀測，改裝後的解析力更是原型機的1000倍。而且是北極圈內的第一座次毫米波望遠鏡，顯示臺灣在望遠鏡技術上也可以達到世界水準。在經費方面也還用妥當，一半的經費用於取得原型機，另一半的經費用於格陵蘭望遠鏡的改裝與升級，所有經費的用途都回歸到臺灣。

賀曾樸表示，這些年仰賴中研院和科技部（前國科會）支持。他接著說：「國家最重要的是人才，是我們最後的資產。我們做頂尖研究，可以留住自己的人才。」因此他認為有三件事格外重要：**在臺灣培育人才、經費用於臺灣，以及在頂尖研究競爭、保留自家的技術**。而GLT計畫主持人陳明堂就是在20多年前加入中研院天文所，辛勞參與多項計畫，包括SMA、ALMA、AMiBA，以及GLT。

同樣地，中研院天文所在搭建GLT時，也在想怎麼走下一步。其實格陵蘭的峰頂基地是更佳的觀測地點，海拔高3200公尺，大氣薄且低水氣，條件相似的地點僅有SMA與JCMT所在地的夏威夷毛納基山頂、ALMA的智利阿塔卡瑪沙漠、南極望遠鏡的南極點。但峰頂基地相當偏僻且氣候更嚴峻，搬運望遠鏡的過程必定是條艱困的路。

陳明堂的團隊預計把格陵蘭望遠鏡移到更高的位置，這需要更多經費，也要耗費極大心力以及時間，為的是讓全世界的人更清楚看見黑洞；正如這些年，中研院天文所每一位成員把臺灣科研地位推往更高的位置，為的是讓全世界更清楚看見臺灣擁有可以與國際競爭的科研實力與天文人才。

▲ 中央研究院天文及天文物理研究所主導建造的望遠鏡，位於格陵蘭，是北極圈內第一座次毫米波望遠鏡。
版權●陳明堂

延伸閱讀

關於格陵蘭望遠鏡的更多資訊，請見網頁「十問格陵蘭」：https://sites.google.com/asiaa.sinica.edu.tw/glthaqs/

中央研究院天文及天文物理研究所的最新研究進展，請見網站「天聞網」：https://sites.google.com/asiaa.sinica.edu.tw/newsite/

Look! 相關中研院資訊
- 中研院官方粉絲專頁
- 中研院科普平臺「研之有物」