

天聞

中華民國112年

秋季號

中研院天文所季報

ASIAA Quarterly Press

<http://www.asiaa.sinica.edu.tw>



格陵蘭望遠鏡 從北極看宇宙

格陵蘭望遠鏡首項科學成果一

天文學家首次同時拍攝到 M87 黑洞吸積流 和 強大噴流

作者：卜宏毅
國立臺灣師範大學物理系助理教授（協助
改編自本所新聞稿）

為了觀測黑洞附近的影像，利用特長基線干涉（very long baseline interferometry，簡稱 VLBI）技術，全球電波天文台已經成立兩個國際合作計畫，將分布各地的望遠鏡連線，構成和地球一樣大的虛擬望遠鏡。此兩項國際計畫包括「事件視界望遠鏡」（Event Horizon Telescope，簡稱 EHT）及「全球毫米波特長基線陣列」（Global mm-VLBI Array，簡稱 GMVA），分別以不同的波長頻段觀測。EHT 用 1.3 毫米波長觀測取得黑洞的陰影影像，而 GMVA 則使用 3.5 毫米波長觀測，重點在於捕捉黑洞附近的吸積和噴流性質。由本所主導的格陵蘭望遠鏡（Greenland Telescope，簡稱 GLT），能用 3.5、

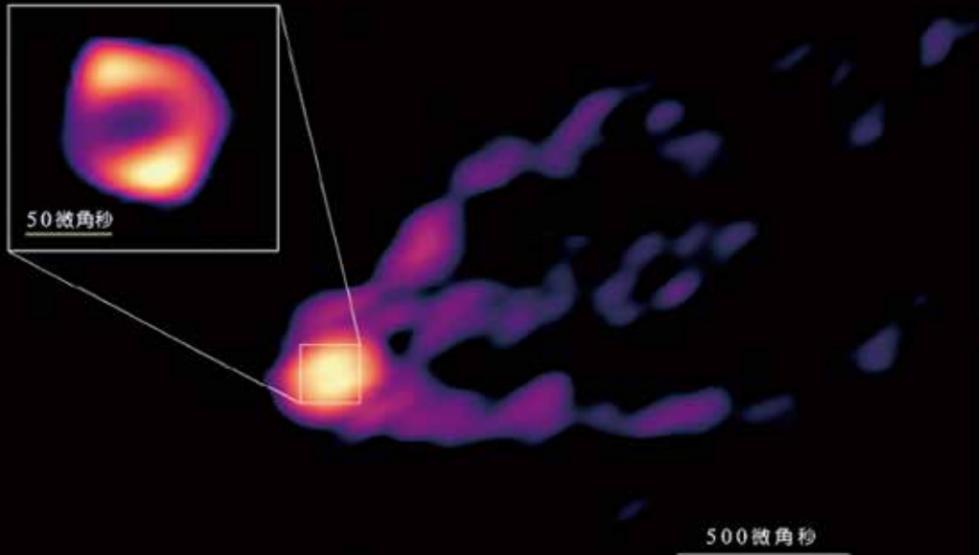
1.3、0.87 毫米的波長觀測，也參與了以上兩個國際合作計畫。其中 EHT 根據在 2017 年的觀測資料（當時 GLT 尚未開始運作），在 2019 及 2022 年公布人類史上第一張及第二張黑洞影像照片，本所研究人員也參與其中。

今年（2023 年）四月 GMVA 首度公布黑洞吸積流及噴流成像，是 2018 年阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列望遠鏡（Atacama Large Millimeter/submillimeter Array，簡稱 ALMA）與 GLT 加入 GMVA 全球連線觀測的成果。由於加入這兩座望遠鏡，使得跨洲望遠鏡連線的分辨率和靈敏度提高，首度能在 3.5 毫米波長下對 M87

星系中心的環狀結構成像，強化了 GMVA 計畫的成像能力。由於 GLT 和 ALMA 加入 GMVA 的 3.5 毫米觀測，與 EHT 的結果相比，有足夠的角分辨率，能解析出核心周圍更厚更大的環，這個厚環主要與 M87 超大質量黑洞周圍的吸積流有關。GMVA 測得的環直徑為 64 微角秒，相當於太空人從月球回望地球上的一個甜甜圈大小（約 13 公分），比 EHT 用 1.3 毫米波長觀測到的直徑大 50%，這與該區域的相對論性電漿輻射特性相符。

這是格陵蘭望遠鏡的第一個科學成果！GLT 計畫從 14 年前本所規劃選址開始，歷經將望遠鏡改造以適應極端寒冷的天氣，並搬到格陵蘭島重新組裝（參見天聞季報 2018 年夏季號），由本所與國家中山科學研究院的工程師和技術人員，一起接受這個巨大挑戰，如今終於實現目標！

以前我們只能分別看到黑洞和噴流的



M87 噴流和黑洞陰影在毫米波段的影像，由加入了 ALMA 和格陵蘭望遠鏡的 GMVA 觀測計畫取得。©Lu, Asada, et al. (2023)

影像，但這次用新的觀測波長（3.5 毫米），可以同時拍攝到黑洞及其噴流的全景照片。由於有了在不同波長的高解析度觀測資料，利用數值模擬黑洞環境並建立黑洞系統輻射特徵的理論模型，天文學家確定了影像中的環狀結構與數值模擬的吸積流有關。這次的觀測資料還發現一些令人驚訝的事：靠近黑洞的內部區域發出的

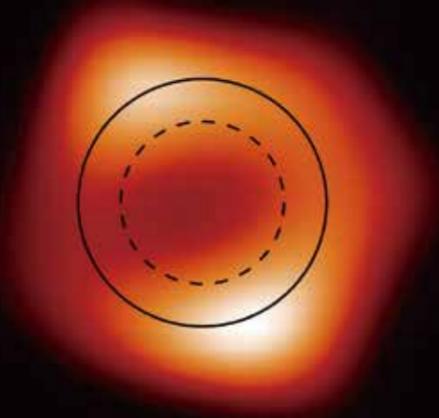
輻射比我們預期的要寬。這可能意味著不僅有氣體落入其中，也有風吹出來，導致黑洞周圍出現紊流和混沌。

M87 黑洞周圍發出的光是由高能電子和磁場間的相互作用產生，這種現象稱為同步輻射。這次的新觀測成果揭示了這些電子的位置和能量的更多細節，還告訴我們一些關於這個黑洞

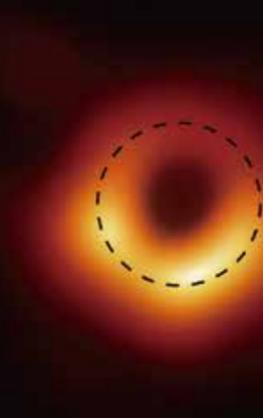
本身的性質：它不是很餓！M87 黑洞的吸積率每年小於 0.001 個太陽質量，相當於每年只進食了它本身質量的一兆分之一！僅將一小部分物質轉化為輻射。然而，對 M87 黑洞的探索並未結束，因為還有許多望遠鏡將進一步觀測，持續解開它的秘密。未來將聚焦於 M87 黑洞隨時間的演化，以及多波段的黑洞影像。

本所前所長、現任東亞天文臺臺長賀曾樸院士表示：「由臺灣主導的 GLT 和以臺灣為重要合作夥伴的 ALMA，所提供的資料提高了觀測靈敏度和解析度，從而導致這個新發現。同時也看出使用 3.5 毫米觀測的 GMVA 比我們最初預期的要強大得多。今年東亞天文臺的馬克斯威望遠鏡（James Clerk Maxwell Telescope，簡稱 JCMT）也已加入此陣列。利用 ALMA-GLT-JCMT 創造出的金三角，將成為全球特長基線干涉陣列的基柱，未來計畫拍攝黑洞附近的影片，使我們能探索物質如何吸積到黑洞，以及如何從黑洞附近噴發出來。」

GMVA (3.5mm)

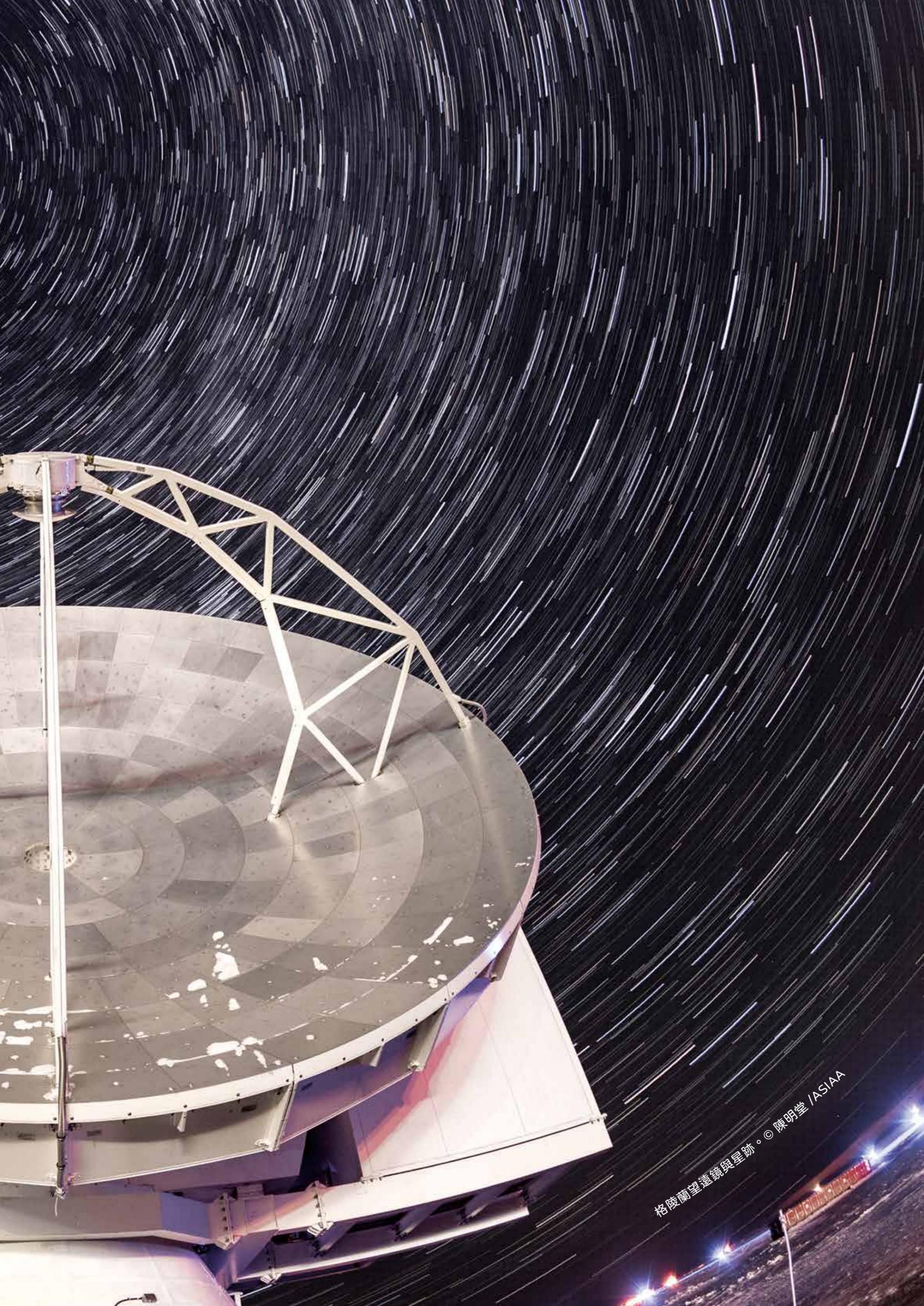


EHT (1.3mm)



用不同波長觀測的 M87 黑洞陰影影像，左邊來自 3.5 毫米觀測的 GMVA 影像，右邊是使用 1.3 毫米觀測的 EHT 影像。©Lu, Asada, et al. (2023); the EHT Collaboration; composition by F. Tazaki





格陵蘭望遠鏡與星跡。© 陳明堂 / ASIAA

北極的

永夜食堂

作者：郭駿毅

翻譯：周美吟

11年了！格陵蘭望遠鏡（Greenland Telescope，簡稱 GLT）的旅程自 2012 年開始，從位於美國新墨西哥州的索科羅（Socorro）被拆解，到今年（2023）公布的首批科學成果，同時顯示了 M87 星系的黑洞和噴流。期間，從原本阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列（簡稱 ALMA）的原型天線，經過翻新和改裝成可以承受攝氏零下 60 度的低溫，再運送到

格陵蘭皮圖菲克太空基地（Pituffik Space Base，原名為土勒空軍基地 Thule Air Base，2023 年改名），於 2017 年夏季重新組裝。同時間，新的接收機在臺北製造，再運往夏威夷的馬克斯威望遠鏡（James Clerk Maxwell Telescope，簡稱 JCMT）進行測試，然後安裝到格陵蘭的望遠鏡上。此後，在創紀錄的時間內，GLT 於 2018 年春季開始首次

科學觀測，加入了事件視界望遠鏡（Event Horizon Telescope，簡稱 EHT）和全球毫米波特長基線干涉陣列（Global mm-VLBI Array，簡稱 GMVA）的觀測活動。這要歸功於本所和哈佛史密松天文物理中心眾多才華洋溢的工程師和天文學家的遠見、努力和堅持，以及我們在臺灣的產業合作夥伴和贊助機構。

我很幸運能夠參與 GLT 這不可思議的旅程，尤其是在過去六年間，有許多令人興奮的時刻。我仍然清楚地記

在冬季工作時，格陵蘭望遠鏡將面臨長達數週的永夜，可能會讓人感到沮喪。只有人造光源指引動線，有時感覺就像是身處恐怖電影的場景！© 郭駿毅

得第一次踏上格陵蘭，是在 2017 年 12 月底的寒冬時節。我與我當時的指導教授松下聰樹博士，一起使用望遠鏡首次偵測到月球訊號，確認所有系統和硬體在工程師安裝後表現得非常出色。然而，僅僅過了幾天，接收機艙內的加熱系統因為過熱而爆炸！溫度迅速下降，威脅到需要保持在攝氏零度以上的高靈敏度儀器。負責加熱系統的德國公司工程師正在放聖誕假期，因此我們每天幾乎工作 24 小時，與臺灣和夏威夷的本所工程師進行線上諮詢，把握時間尋求解方，拯救 GLT 的儀器。我記得我們兩人拼命地剪斷燒熔的電線並重新連接它們，同時從臺北的工程師那裡得到每一步的詳細指示，他們一邊研究電路圖，一邊透過網路指導我們。

事實上，我的第一次格陵蘭之旅充滿了極端狀況，除了慶祝觀測上的大成功，也面臨了儀器損壞的艱難挑戰，這些都在氣溫攝氏零下 40 度發生。然而，寒冷還不是最糟糕的問題。最讓我感到沮喪的是 24 小時的完全黑暗（永夜），根本沒有太陽。工作時周圍有人造光源，我們要一遍又一遍地在望遠鏡的接收機室爬上爬下，或在美國空軍基地附近駕車來回。有時感覺自己就像在恐怖電影中，外星生物正藏在某個地方，等待著從黑暗中跳出來攻擊我！當工作終於結束可以離開基地，我在飛機上小睡一會，醒來後從窗戶看到睽違三週的陽光，我感到非常滿足和欣慰，沒有言語可以表達！我才發現我們經常會把生活中的簡單事物，比如陽光，視為理所當然。我簡直無法想像我的同事需要在那裡的冬天待上 7 到 8 週。是的，為了科學和發現，我們願意經歷這一切！

自從那次旅程後，我每年大約要造訪

格陵蘭 2 到 3 次。我目睹了 GLT 的能力不斷提升，新的觀測軟體被編寫和更新，現有的元件得到改進，工程師還增加和升級了零件，望遠鏡操作變得更加順利和自動化。隨著望遠鏡的功能逐漸完善，GLT 參與了越來越多的科學觀測，資料也同時由 EHT 和 GMVA 的科學團隊進行處理和分析。這段期間，我也逐漸和同事及基地上的常駐工作人員熟悉。我們成了非常好的朋友。這讓我在長時間離開家人的情況下，還能享受待在皮圖菲克。在春季和秋季的週末，白天沒有觀測時，我們會駕車離開基地去探索冰川，並瞥見當地的野生動物。晚上我們會為彼此做飯，事實證明這是在格陵蘭工作中最有趣的一部分。GLT 團隊由來自臺灣、日本、法國、印度、墨西哥、美國、馬來西亞以及世界各地的科學家和工程師組成，這意味著我們經常有機會品嚐來自各種文化的家常菜。這絕對是在這種國際環境中工作的優點之一！

新冠疫情大流行迫使我们加速實施 GLT 的遠端操作。由於那段期間無法前往格陵蘭，工程師和科學家們迅速設置了必要的軟硬體，包括相機和其他安全功能，以便從臺北的辦公室遠端操作望遠鏡。2021 年的 EHT 觀測就是完全從臺北進行，在基地現場的工程師只有提供最基本的協助。他們實際上也不是天文學家，然而，他們對望遠鏡的觀測和維護功不可沒。在疫情大流行期間，他們仍然從日常工作中抽出時間來檢查望遠鏡，確保觀測能正常運行，並幫忙解決遇到的任何技術問題。

這意味著我們現在可以減少前往皮圖菲克的出差。每次只需要兩個人在那裡，主要進行現場安全檢查，並在觀測過程中處理技術問題。有時還包括像清理望遠鏡天線上過多積雪那樣的瑣碎任務，因為這可能會影響望遠鏡的性能。有時關鍵元件可能會出現故障，就需要專業技術來解決問題。



GLT 的成功離不開本所工程師們的努力，他們有時需要在惡劣和危險的條件下工作。這張照片攝於 2018 年 8 月下旬，兩位臺灣的工程師正在努力提高天線表面精度。這些努力對於隨後幾年顯著提高 GLT 的觀測性能至關重要。© 郭駿毅



2018年8月底，筆者在格陵蘭皮圖菲克太空基地附近參觀冰川。© 郭駿毅

當然，減少人員出差不僅可以節省成本，還可以減少望遠鏡運轉的碳足跡，這對未來非常重要。這也是在計畫 GLT 下一階段運轉時，包括將望遠鏡搬到格陵蘭海拔 3216 米的山頂站，需要考慮的事情。山頂的大氣條件對天文觀測來說更好，但氣溫可降至攝氏零下 60 度，工作條件將更加嚴酷。確保科學家和工程師的安全，同時使用綠色能源為望遠鏡和測站供

電，並保護該地區的原始環境，是一個關鍵的規劃目標。

現在我不用再去現場，大部分時間都是遠端操作 GLT，我仍然非常想念格陵蘭！能夠親自接觸儀器，在望遠鏡周圍爬上爬下，呼吸清新的寒冷空氣，以及在荒野中的孤寂感和聽到冰川崩裂時的聲音，這些都是我會長久留存的記憶。

11 年。是的，確實花了這麼長的時間。但這是值得的。當我第一次看到 GLT 參與觀測得到的 M87 影像，同時顯示了黑洞和噴流，我們的努力終於得到了回報。雖然這是我們第一次看到了黑洞的樣子，我們相信這只是 GLT 旅程的開始。但誰知道在未來數十年，黑洞還會告訴我們什麼更令人興奮的故事呢？

天間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間季報編輯小組收」。歡迎各級學校師生提供天文相關活動訊息，有機會在天間季報上刊登喔！

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。
 發行單位 | 中央研究院天文及天文物理研究所。
 天間季報版權所有 | 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。

