

天聞



中研院天文所季報

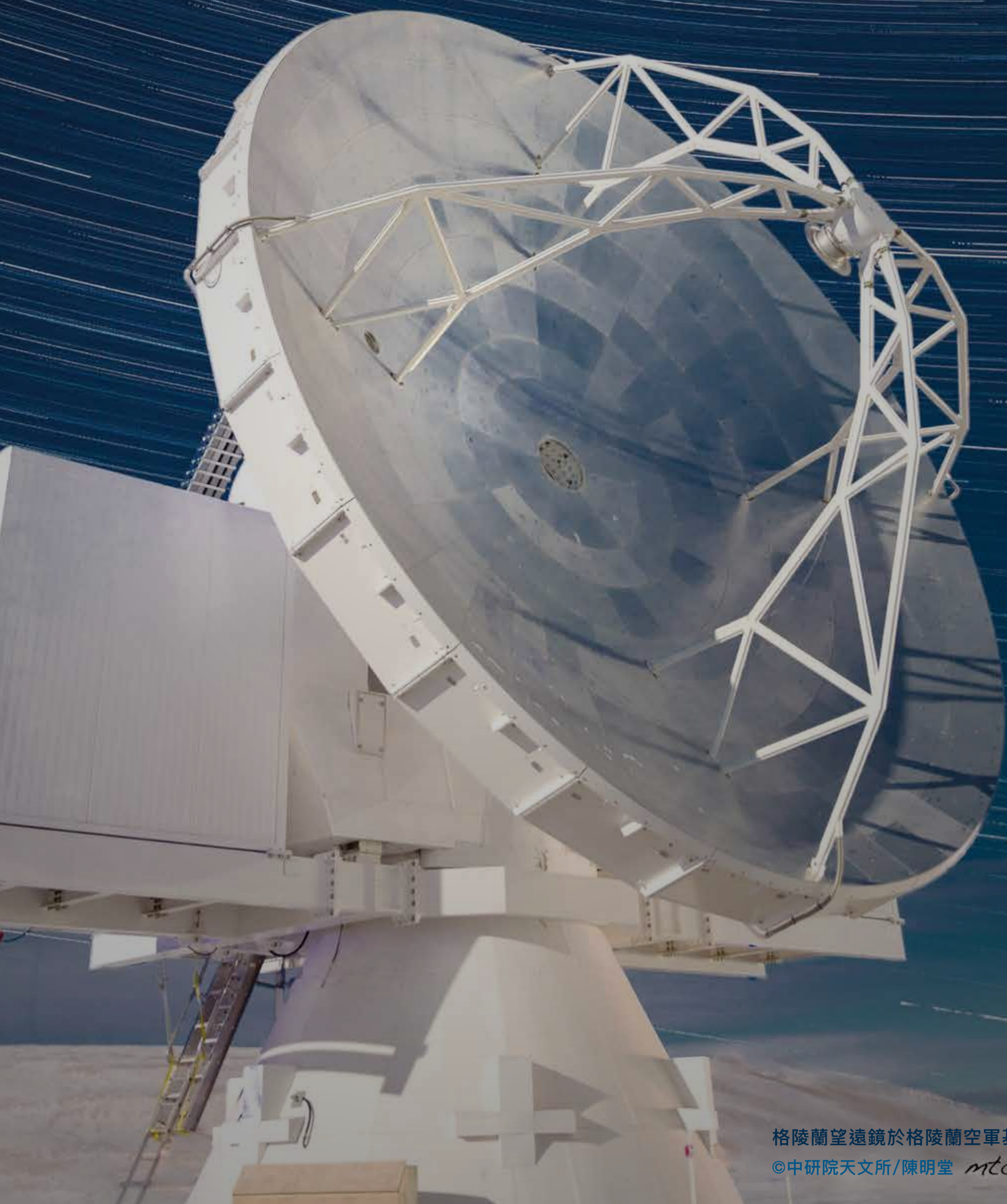
ASIAA Quarterly Press

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

中華民國107年
夏季號

格陵蘭望遠鏡

開啟北極天文新紀元



格陵蘭望遠鏡於格陵蘭空軍基地現況照片。

©中研院天文所/陳明堂 *mtc*

移地新生！

格陵蘭望遠鏡如期參與黑洞聯合觀測

作者／韓之強

長久以來，黑洞一直是天文學家們感興趣的話題，但是這個天體卻沒有真正被天文儀器所捕捉到，這是因為黑洞的體積實在是太小了，小到現階段沒有任何一個天文望遠鏡具備足夠高的解析度來觀測它。但藉由「特長基線干涉儀」（Very Long Baseline Interferometry，簡稱 VLBI）的天文觀測技術，就可能將望遠鏡的解析度提高到能夠觀測黑洞的程度，前提是連接各天文台的訊號基線（baseline）足夠長。基於這個想法，本所主導了格陵蘭望遠鏡計劃（Greenland Telescope Project，簡稱 GLT），目標是在北極圈內架設起一台望遠鏡，並與南美洲智利的「阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列」（簡稱 ALMA），以及夏威夷的「次毫米波陣列」（簡稱 SMA）進行 VLBI 連線觀測，將訊號基線的長度延伸至上萬公里的尺度，如此一來便可大幅提升觀測的解析度。

GLT 是一座直徑 12 公尺寬的電波望遠鏡，主體其實是 ALMA 研發時期的一座測試天線。於 ALMA 啓用後被閒置數年。直到 2011 年，由本所提出格陵蘭計畫後，賦予這座 ALMA 原型天線新的使命，欲將其從沙漠地帶遷移至格陵蘭冰原使用。但要將天線移到寒冷的格陵蘭使用，難度超乎團隊的預期。主要碰到的問題就是操作環境的巨大差異（從 +20°C 到 -55°C）。為了保護天線及其內部的儀器，必須增加天線抗寒能力，為此除了天線本身需要增加厚厚的隔熱泡綿（像穿禦寒衣物）以減緩溫差所帶來的衝擊，團隊還針對天線碟面設計了除冰系統來減少雪冰附著在天線碟面的可能性，為的就是能夠在零下 55°C 時還能讓天線運轉無誤，正常觀測。



工程人員正在天線碟面上安裝除冰系統控制線。 © 中研院天文所

之後在拆解原型天線送往格陵蘭的過程中，工作團隊陸陸續續的發現，一部分原型天線的部件因為長時間沒有維護的關係，已無法使用，而另一部分則是材料本身無法在格陵蘭的極低溫中維持其剛性，因此這些機械構件最終都送回原廠進行了改裝，或依新規格重新打造，於是一場跟時間的賽跑就開始了。為什麼這麼說呢？因為大型的天線構件無法空運，只好使用船運。但格陵蘭的港口幾乎是整年冰封的，只有數十天的時間可以容許船隻進入，加上格陵蘭地處偏遠，整段航程需要轉運，種種限制之下，最後的結果就是一年只有一個船期可以將貨物從臺灣運送至格陵蘭，一旦沒趕上那個船班，就只能等隔年。

2016年夏天，大型天線部件總算是運抵格陵蘭，工程團隊踏上了格陵蘭土勒（Thule）的空軍基地（GLT 現階段測試台址），開始在偌大的停機棚裡，逐步組裝起天線。由於 Thule 沒有電子及五金材

料行，一旦發生工具短缺，工程師們只得就地取材，想「各式奇招」去克難的完成任務。但冰冷的施工環境，才是最大的考驗。團隊組裝天線主鏡架時，停機棚內時常維持在零下的溫度，可怕的低溫除了工作相當不便（手套穿穿脫脫），也會讓一些東西失效（比如讓膠帶失去黏性），工作效率不佳。

其實組裝天線主鏡的步驟並不複雜，首先是組合鏡面背後的鏡面支撐架，然後是更換新的（更耐低溫的）調整螺絲，接下來就是佈署除冰系統的控制線，然後再裝上反射鏡面，但前前後後團隊卻花了近半年的時間。除了環境低溫問題，主要就是這近 1500 根螺絲的安裝及 264 片鏡面的調校十分困難且費時。工程師需以仰躺的方式爬入不到 50 公分高的鏡架內，在黑暗狹小又冰冷的空間內，配合觀看雷射校準儀的同事，拿著重重的扭力扳手來旋緊或放鬆螺絲，若不小心鎖歪了，處理起來更是頭疼。



本所人員在當地夏季永晝期以魚眼鏡頭拍攝到的日不落奇景，本圖以 24 小時縮時攝影每隔 1 小時拍攝疊圖所合成。© 中研院天文所 / 張書豪

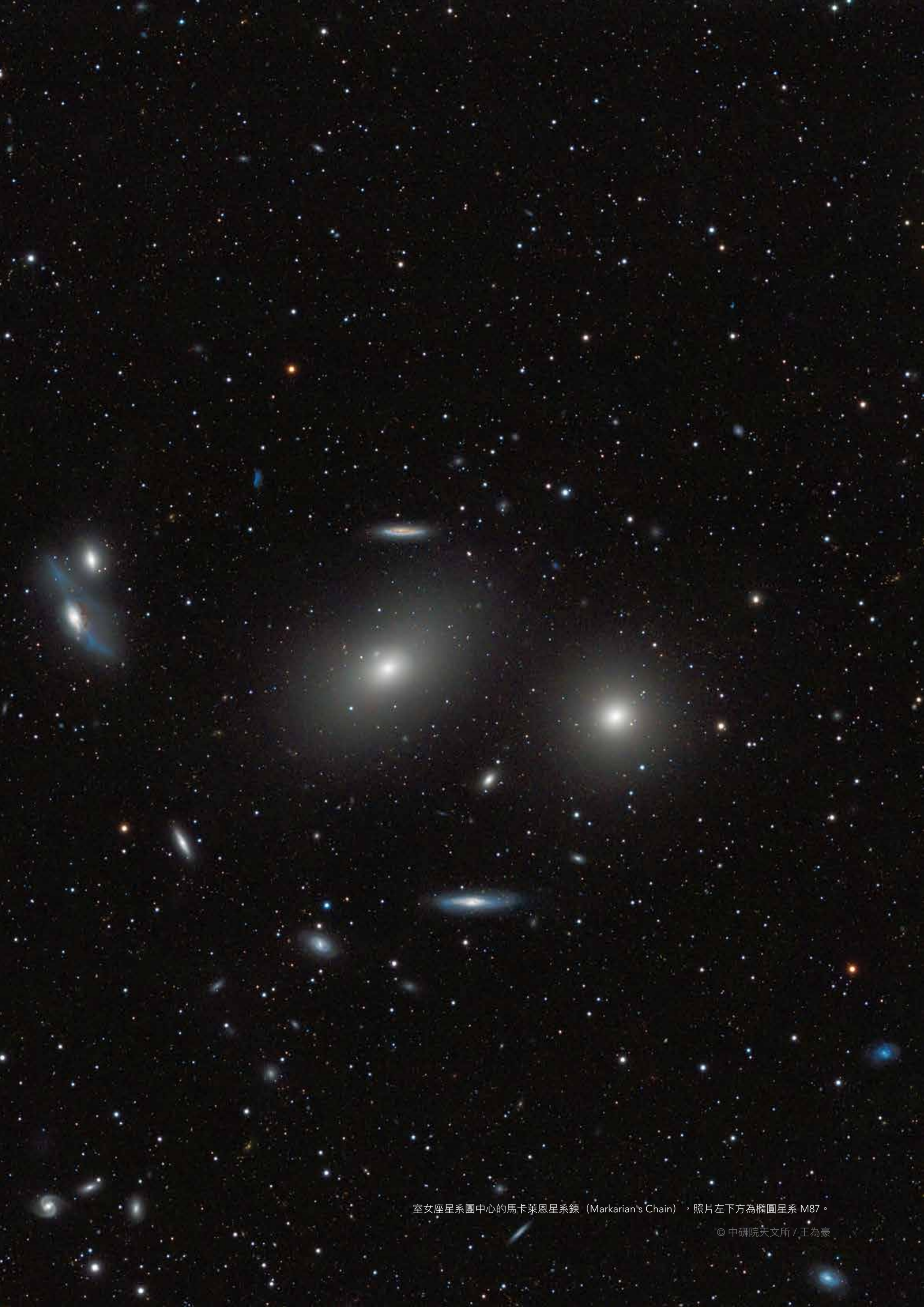
2017年夏天，在 3 部大型吊車的協助之下，格陵蘭望遠鏡的天線鏡面成功安裝在天線主體上，宣告 GLT 機械結構組裝完成，開始下一階段的工作，安裝電力線及其他管線。與此同時，接收機系統（GLT Frontend Receiver System）由臺灣空運至夏威夷，安裝在毛納基峰上的 James Clerk Maxwell Telescope（簡稱 JCMT）天文台內。借用 JCMT 的天線，來檢驗 GLT 接收機系統是否在離開實驗室環境後，依舊能運作無誤。爾後，在測試無異常後，團隊洽詢 SMA 天文台，進行小型的 VLBI 實測，成功取得 GLT（暫置於 JCMT 的接收機室）與 SMA 間的干涉條紋（fringe），證實 GLT 前後端硬體整合成功。於是團隊趕在格陵蘭進入永夜之前，將接收機系統送入 Thule。

歷經萬里長征，GLT 接收機系統在 11 月下旬一個漆黑寒冷的日子（永夜，零下 27°C），終於順利安裝在天線內部。隨著天線次系統（sub-system）的逐一校準，就在聖誕節的夜晚，GLT 在格陵蘭取得了首個天文訊號（first light），對於工作團隊來說，這個聖誕節禮物來得正是及時，期許 GLT 能夠在不久的將來，順利協助天文學家們一窺黑洞的樣貌！

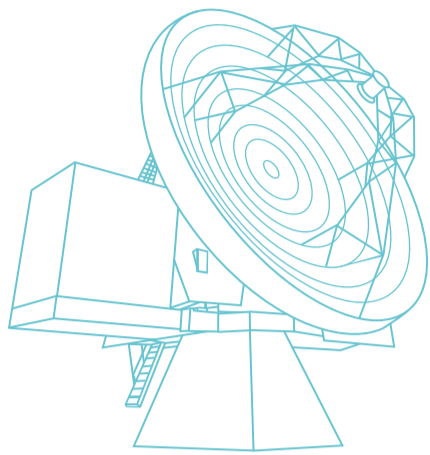


吊車正協助安裝碟面到主體上。© 中研院天文所





室女座星系團中心的馬卡萊恩星系鍊 (Markarian's Chain) ，照片左下方為橢圓星系 M87 。



格陵蘭望遠鏡

科學任務簡介

作者／黃智威

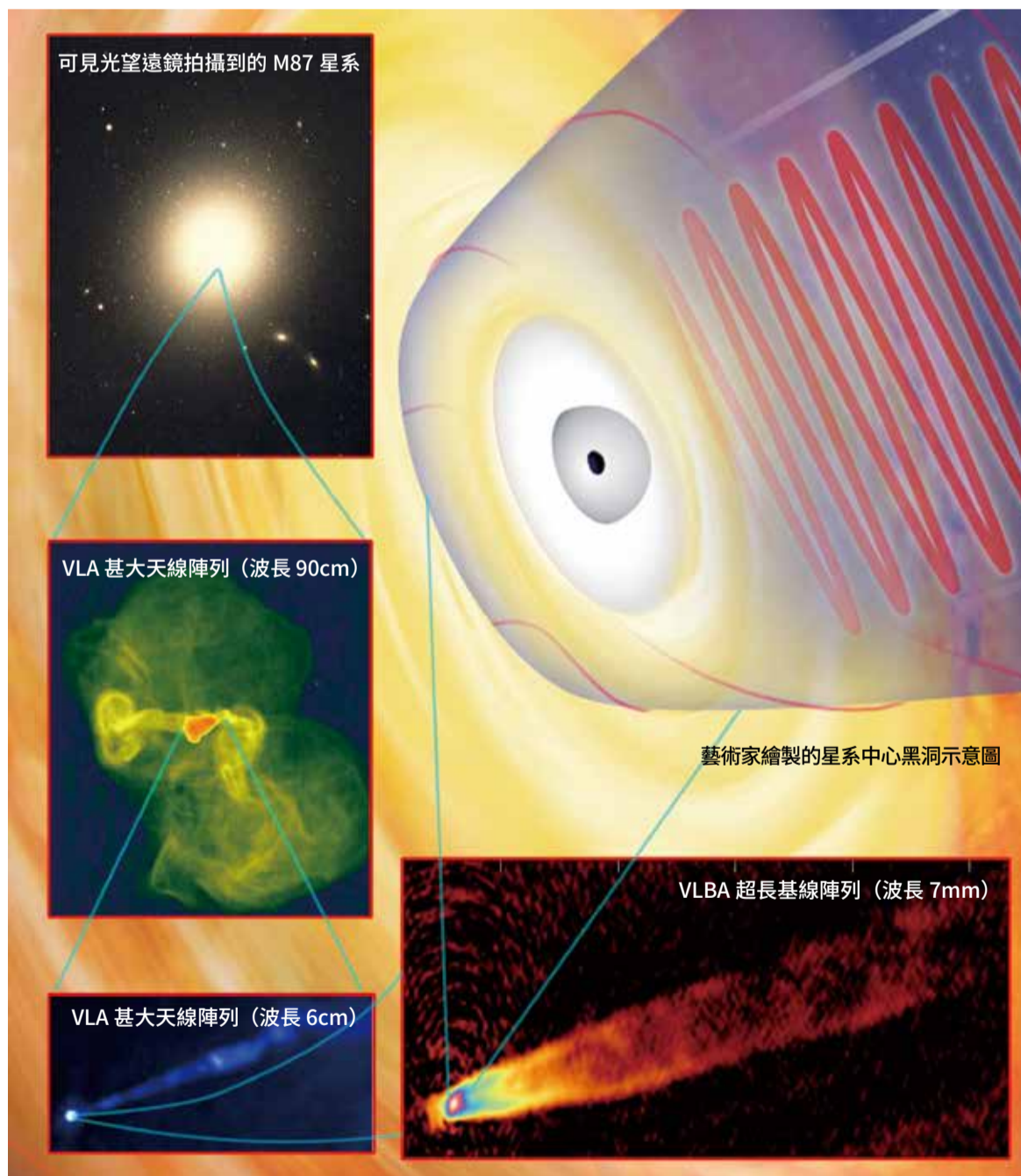
格陵蘭望遠鏡（Greenland Telescope，簡稱 GLT）的觀測目標主要可以分為兩個類別，一是使用特長基線干涉技術（VLBI）觀測超大質量黑洞，另一則是以單碟模式研究恆星形成或銀河系外的天體。

觀測黑洞

直接觀測黑洞是現代物理和天文學的終極目標。若取得黑洞的陰影影像，除了是黑洞存在的直接證據，也讓我們能在極端重力場下檢驗廣義相對論，並進一步了解黑洞周圍物質吸積的機制、吸積盤的形成、噴流的形成與加速機制、及黑洞的質量與自旋速度等物理特性。

黑洞的重力場會扭曲週遭的時空結構，形成所謂「事件視界」的區域，任何物體只要落入這個區域，都會掉入黑洞，即使是光也無法倖免。黑洞會把所有藉以進行觀測的光都吸收掉，那究竟該如何偵測黑洞？由於黑洞的重力會吸積物質到它附近，因此周圍通常都有一個吸積盤環繞著。吸積盤非常地熱而且很亮，明亮的吸積盤與完全不反光的事件視界會形成一個非亮即暗的對比，於是我們可以在吸積盤上看到黑洞投影所產生的陰影，類似 2014 年電影《星際效應》所呈現的效果。

藉由觀測黑洞陰影，我們便可證明黑洞的存在。我們特別感興趣的是位於星系中心的超大質量黑洞（supermassive black hole，簡稱 SMBH），因為事件視界的大小正比於黑洞質量，亦即愈重的黑洞愈容易觀測。GLT 要觀測的 SMBH 主要有兩個，一是銀河系中心人馬座附近的 SgrA*，另一個位於 M87 星系核心，距離地球約 5 千萬光年；後者較引人注意，因為它變化得比較緩慢，且有穩定持續的噴流。



M87 星系中心超大質量黑洞及噴流周圍的影像逐步被解析。
© Anglo Australian Observatory/Bill Saxton, NRAO/AUI/NSF

SMBH 雖質量巨大，事件視界體積還是很小，所以觀測黑洞陰影需要極高的角解析度。以 M87 黑洞來說，體積約等於海王星公轉的軌道那麼大，如果拿臺灣來比擬整個 M87 星系的大小，那麼這顆黑洞的體積就像一顆飯粒一樣小，因此視角的解析度必須精密到數十微角秒的等級，相當於從地球看見擺放在月球上的一顆棒球！

要達到如此高的分辨率，必須利用干涉原理，將不同的望遠鏡加以「連線」，同時偵測天空中的同一個訊號源，再將各地的觀測資料收集在一起，透過相關器（correlator）處理數據，量得訊號抵達各望遠鏡的時間差，最後再計算得影像。類似雙狹縫繞射，繞射波紋的分隔間隔正比於波長除以狹縫寬度，以干涉技術組成的「虛擬」望遠鏡，口徑相當於基線（即望遠鏡之間的直線），解析度則正比於波長除以基線長。而特長基線干涉儀陣列的望遠鏡座落在不同的洲際大陸，基線可達數百甚至是數千公里。若以次毫米波長（sub-mm）進行干涉，此時 VLBI 的解析度終於可達解析黑洞陰影的能力。

就在今年（2018）四月，GLT 參與全球 VLBI 陣列之一的 EHT（Event Horizon Telescope）團隊，連結同屬本所計畫的夏威夷 SMA、JCMT 及智利 ALMA 等望遠鏡，以最長可達 9600 公里的基線，一同以 230 GHz 觀測 M87 中心的超大質量黑洞；並首度嘗試與南極 SPT 望遠鏡構築起史上最長、接近地球直徑的基線，觀測遙遠的類星體。GLT 是 VLBI 陣列中最北的望遠鏡，將貢獻角度獨特（特別是北-南方向）的長基線，對黑洞陰影的成像十分有助益。

單碟模式

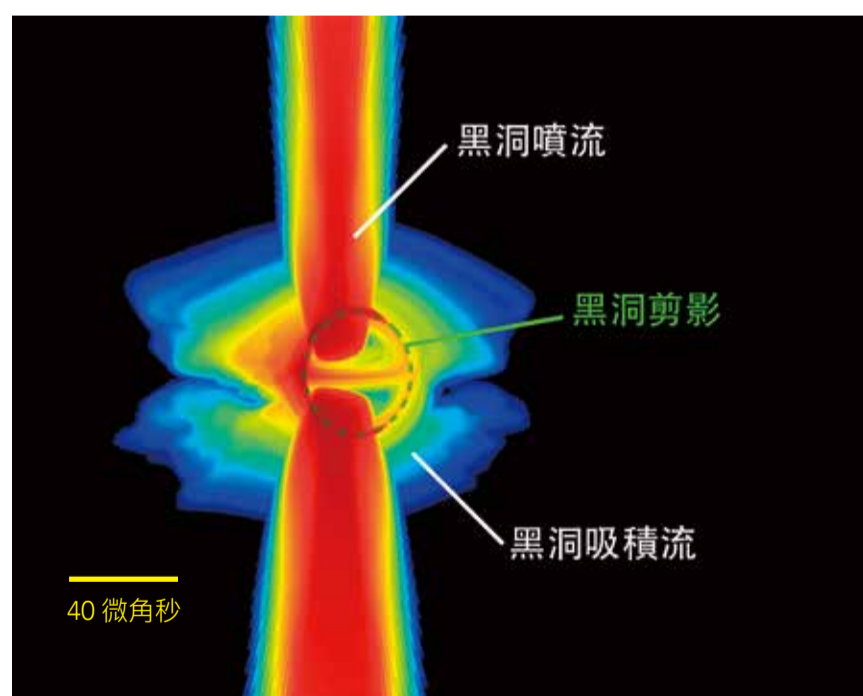
GLT 位在北極圈內，水氣少而大氣透明度佳，單碟模式的重頭戲是兆赫茲（THz）波段的觀測，這是目前學界還在積極探索的領域。GLT 的優勢在於 12 米口徑在 1.5 兆赫茲可解析至約 4 角秒，遠勝同在兆赫茲的 Herschel 太空望遠鏡；加上 GLT 相較其它望遠鏡對臺灣學界有更充裕的觀測時間，可累積最佳的訊號。

受到新生恆星加熱影響的星際介質（interstellar medium，簡稱 ISM），其頻譜強度在兆赫茲波段趨於極大。利用 GLT 針對此頻段中如一氧化碳或是游離氮氣譜線的高解析度觀測，非常適合窺視恆星自星際介質誕生的物理與化學過程。ISM 中的磁場咸被認為

在恆星形成中扮演了重要角色，而磁場的分佈可以藉由分析 ISM 中星際塵埃所發出之連續譜訊號的極化偏振得知。GLT 的解析度正好可以填補此研究之中尺度（2-5 角秒）觀測資料的空缺，讓我們得以進一步鑑別恆星形成區域中磁場的重要性。

同樣地，我們也可以兆赫茲波段觀測來自鄰近星系中的 ISM 訊號，特別是某些恆星數相對少量卻有大型熾熱且明亮星團的藍色緻密矮星系（BCD galaxies），或是恆星形成作用旺盛的星爆星系（starburst galaxies）。GLT 的解析度能幫助觀察星際物質的流入（inflow）與流出（outflow）現象，並了解劇烈的恆星形成活動在矮星系演化過程中扮演的角色。

GLT 有九成的時間將以單碟模式運轉，這使 GLT 有充裕的時間執行長期計畫，例如巡天觀測。GLT 可在 650 或 850 GHz 波段觀測高紅移星系。這些星系的訊號構成了宇宙遠紅外線背景輻射，但過去受制於解析度，僅有 1/3 被辨別。這時 GLT 可以再度發揮勝過 Herschel 解析度的優勢，調查這些遠紅外線星系的組成。除此之外，GLT 的排程彈性，也適合追蹤隨時間變化的天文現象，例如活躍星系核（AGN）活動的定期監測，或是伽馬射線爆（GRB）的後續觀測等。



理論計算的黑洞影像示意圖。廣義相對論預測，黑洞能彎曲其周圍的光線（由黑洞周圍明亮的吸積流和噴流提供）而形成黑洞剪影。根據 M87 的黑洞質量與距離，我們估計剪影在天空中的張角約為 40 微角秒。© 卜宏毅

格陵蘭望遠鏡初試啼聲一

取得首個天文訊號、首道干涉條紋及完成南北向最長基線

由本所主導興建的格陵蘭望遠鏡啓用了！繼 2017 年 12 月確認天文訊號可正常接收、2018 年 1 月在「事件視界望遠鏡」（簡稱為 EHT）連線彩排演練中成功與其它望遠鏡取得特長基線干涉條紋（VLBI fringe），4 月底格陵蘭望遠鏡首度加入 EHT 及「全球毫米波特長基線干涉陣列」（簡稱為 GMVA）的聯合觀測。

格陵蘭望遠鏡原本是阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列望遠鏡（簡稱 ALMA）測試驗收用途的原型機之一，2011 年擁有權轉移至史密松天文臺（Smithsonian Astrophysical

Observatory，簡稱 SAO）。本所與史密松天文臺合作，連同國家中山科學研究院，著手大幅改裝該望遠鏡，以利日後在格陵蘭的酷寒氣候運作。2016 年望遠鏡運抵格陵蘭土勒港的美軍空軍基地，並在該處完成組裝。目前已裝置了三具本所提供的接收機，接收频段分別是 86 GHz（對應的波長是 3.5 毫米）、230 GHz（對應波長為 1.3 毫米）和 345 GHz（對應波長為 0.9 毫米）。

望遠鏡的調校作業於 2017 年 12 月開始，由本所的科學研究團隊接手。隨後數週即傳回喜訊，正好在 2017 年 12 月 25 日耶誕

節當天首度測得電波「光」的天文訊號（亦即 first light），當時使用的是 86 GHz 頻段的接收機。對研究團隊來說，這是最佳的耶誕禮物！

隨後接續測試 230 GHz 接收機，再度傳回捷報，並開始與 ALMA 以 VLBI 模式連線加入「EHT 全球連線試演練」。4 月中，傳出彩排結果成功——觀測資料顯示出「干涉訊號」。對電波天文學家而言，這第一道干涉條紋（亦即 first fringe）的獲得，是重要里程碑，證明該望遠鏡已達到可與世界各地電波望遠鏡同步工作的能力，讓學界所企盼能得到超大質量黑洞圖像必須要有解析力，又向前邁進一步。

本所格陵蘭望遠鏡專案經理陳明堂博士表示：「嚴冬時期那裏氣溫經常低於零下 30 度，但我們還是克服萬難，在短期內即取得第一個天文訊號和第一道干涉條紋！」

本所擔任格陵蘭望遠鏡計畫科學家的淺田圭一博士則說：「我們非常高興第一道干涉條紋能這麼快就取得！從格陵蘭望遠鏡到 ALMA 望遠鏡，二者間形成的是目前地球上南北向最長的一道基線（約 9,500 公里）。我們的格陵蘭望遠鏡未來很有希望拍到在 M87 星系內的超大質量黑洞及其鄰近區域的高解析力圖像！」

（摘自本所新聞稿）



於 EHT 連線試演練期間，工作團隊在格陵蘭空軍基地的格陵蘭望遠鏡控制室內合照。人員由左至右為：陳明堂、Nimesh Patel（SAO）、劉冠宇、淺田圭一及西岡宏朗。© Nimesh Patel

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：朱有花。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。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。

