

文/ 胡佳伶

電波天文學是個相當新興的領域，歷史甚至還不到百年，在展示場的三樓，就有全球大大小小、許多不同類型電波望遠鏡的介紹喔！



卡爾·央斯基 圖片來源：NRAO/AUI/NSF

## 與眾不同的 電波望遠鏡

講到看星星，很多人腦海裡出現的畫面，會是常看到的光學望遠鏡，有著長型的鏡筒，得把眼睛湊近目鏡。但你知道還有另一種相當與眾不同的望遠鏡，長得像是個淺淺的圓盤，而接收器所得到的資訊還必須經過電腦處理，才能轉換成我們所見的影像，這種望遠鏡就是「電波望遠鏡」！

電波望遠鏡其實就是個接收無線電波的天線，只不過接收對象是發出電波的天體。此外，電波望遠鏡的外型差別很大，有固定在地面的單一口徑的碟形盤面、有能轉動的類似小耳朵的碟形天線、有陣列型式、甚至還有像是曬衣架的金屬杆狀。

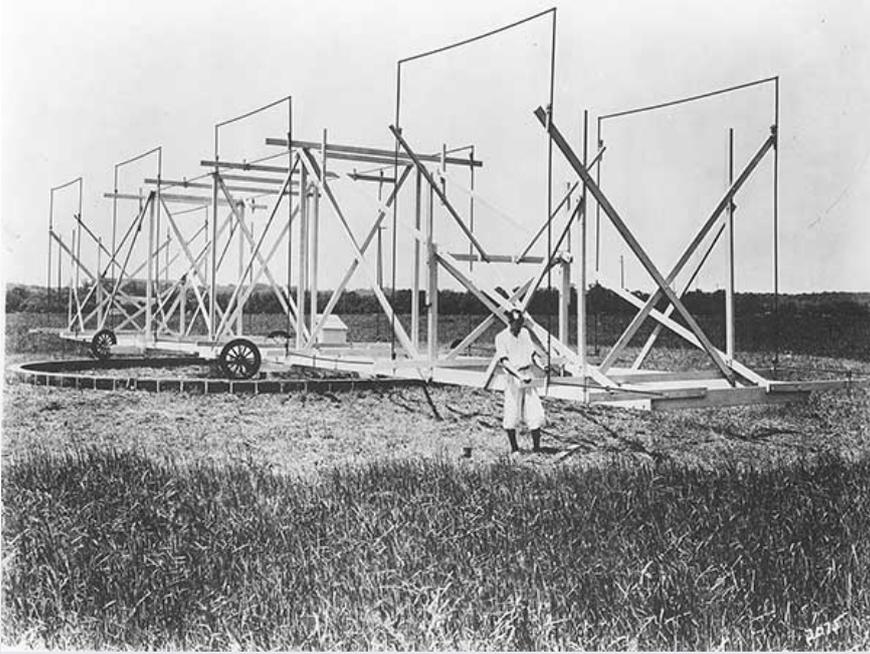
### 電波天文學的誕生

在走訪展示場尋找電波望遠鏡的蹤影前，讓我們先來認識一下電波天文學的起源。電波天文學是個相當新興的領域，歷史甚至還不到百年。1932年，貝爾電話實驗室的無線電工程師卡爾·央斯基（Karl Jansky, 1905-1950）使用一臺可任意旋轉的天線，調查無線電傳輸的背景來源，意外地發現了一個約23小時56分鐘就會重複的訊號，這恰好是一個恆星日，也就是地球相對於遙遠恆星的自轉時間，而不是我們常用的24小時，或是地球相對於太陽自轉一圈的平均時間。

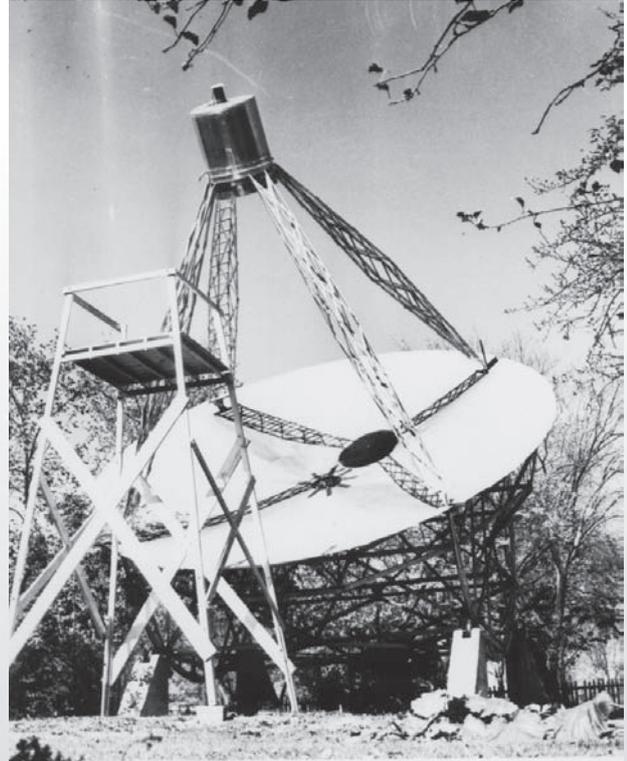
央斯基認為訊號源來自於銀

河中心，並在1933年發表此研究結果。他建議貝爾實驗室建造更大的天線來進一步研究，但因為這個電波源不會對穿越大西洋的通訊系統產生明顯的影響，因此貝爾實驗室拒絕了他的提議，並指派他進行另一項工作計畫。雖然如此，央斯基的發現已經開啓了電波天文學的濫觴，為了紀念他的貢獻，在1973年的國際天文聯合會大會上，決定使用「央斯基」（Jy）作為天體無線電流量密度的單位，簡寫作「央」（Jy），並且納入國際物理單位系統。

有些科學家對央斯基的發現相當感興趣，但電波天文學領域仍處於停滯狀態好幾年，部分原因是當時剛好遇到經濟大蕭條，



央斯基當年使用的天線 圖片來源：AMERICAN PHYSICAL SOCIETY



雷伯自建的電波望遠鏡 圖片來源：WIKI

天文臺不願開展任何新的研究計畫。1937年，另一位無線電工程師格羅特·雷伯（Grote Reber, 1911-2002）在自家後院建造了一架口徑9.5公尺的碟形天線，重複了央斯基的部份工作，並根據觀測結果繪製了第一張無線電波的全天影像，正式標誌了電波天文學的誕生。而雷伯使用的那架天線，是世界上第一架專門用來進行天文觀測的電波望遠鏡。

## 藏身在天文館展示場裡的電波望遠鏡

### 電波望遠鏡

接下來，就讓我們實地走訪展示場，找找電波望遠鏡吧！在展示場的三樓，有一個展項就是介紹電波望遠鏡。天文望遠鏡的極限解析度取決於望遠鏡的口徑和觀測所用的波長。口徑愈大，波長愈短，解析度愈高。無線電波是電磁波頻譜中波長最長的波段，其波長遠大於可見光，因此在相同口徑下，電波望遠鏡的解析度遠遠低於光學望遠鏡，所看到的影像與光學望遠鏡相比，簡直就像是「目睷去予蚵仔肉糊著」那樣模糊一團，這嚴重阻礙了電波天文學的初期發展。

但是也因為電波的波長遠大於可見光，因此電

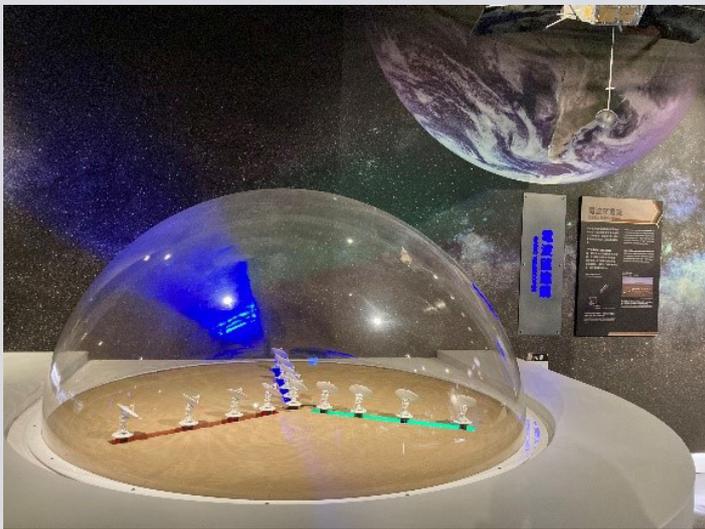
波望遠鏡的碟形反射面不需要像光學望遠鏡的鏡面那樣研磨到奈米等級，通常只要是平滑的鐵片即可，精度要求低了許多，建造費用也因此比較低廉，這讓自製變得相對容易，當年雷伯自己建造的望遠鏡就可以達到9.5公尺的口徑。

電波望遠鏡的解析力低落問題在1962年獲得重大突破，劍橋大學卡文迪西實驗室的馬丁·賴爾（Sir Martin Ryle, 1918-1984）發明了電波干涉技術（interferometry），讓兩架分開的電波望遠鏡的等效解析度，最高可以等同於一架口徑相當於兩地距離的單碟電波望遠鏡。也就是說，天文學家只要用兩個分開1,000公里的小碟子，就能得到口徑1,000公里的電波望遠鏡的解析度，這簡直是讓電波望遠鏡開了超大外掛。光學天文觀測是利用光的粒子性，而電波天文觀測則是利用光的波動性，把光波的干涉原理用來提升解析度。電波干涉技術的發明，不僅使電波天文觀測的解析度遠超過光學天文，也能透過建立陣列來增加觀測靈敏度，突破了電波望遠鏡單一鏡面的口徑限制。賴爾因為發明干涉儀獲得1974年諾貝爾物理學獎，這是諾貝爾獎第一次表彰天文研究。

電波望遠鏡的運作原理與凹面鏡的反射原理相同，遙遠天體的無線電波經由天線盤面聚集至焦點，再反射至接收機。因此我們常見的電波天線長的就像是個接收衛星電視訊號的小耳朵，和一般常見的光學望遠鏡很不一樣。

### 甚大天線陣列

在圖文展版的左側，可以看到相當吸睛的甚大天線陣列（The Very Large Array，簡稱VLA）。位於美國新墨西哥州的甚大天線陣列隸屬於美國國家無線電天文臺（NRAO），是世界上最大的綜合孔徑無線電望遠鏡。這群以Y字形分布的陣列由27座天線組成，每座天線的口徑達25公尺，重230噸，架設在鐵軌上，可以移動成不同的基線長度，三條陣列臂的長度分別為21公里，組合成的最長基線可達36公里。最高解析度可以達到0.05角秒，與地面大型光學望遠鏡的解析度相當。最特別的是這個電波望遠鏡陣列曾出現在多部影視作品中，包括《威震太陽神》、《接觸未來》、《ID4星際終結者》等，下次看電影時不妨多留意！



### 阿雷西博天文臺

展場中另一座吸引人目光的電波望遠鏡模型，最為人所知的貢獻竟是發送訊息給外星人！因此得走到「人類向外太空發出過的訊息」展項才能看到大名鼎鼎的阿雷西博（Arecibo）電波望遠鏡，阿雷西博天文臺位於波多黎各的阿雷西博山谷中，由美國及波多黎各民間單位共同管理。

於1963年興建完成的阿雷西博望遠鏡曾是世界上最大的單面口徑電波望遠鏡，直徑達305公尺。由於它的主鏡基座是直接建構在山谷中，因此主鏡不能轉動，只能透過改變電線接收器的角度調整觀測的區域。1974年，天文學家利用阿雷西博望遠鏡向M13球狀星團發射了1679個二進位數字，稱為阿雷西博訊號，希望能獲得外星智慧生命的回應。由於M13擁有為數眾多的恆星，當時認為有外星文明的機會很高，但M13距離我們約2萬2,000光年，所以這個訊息要等兩萬多年後才會抵達M13星團。這座也曾在電影《007黃金眼》、《接觸未來》中出現的望遠鏡，卻在2020年因結構損毀而退役，望遠鏡上方的接受器平臺更在12月1日墜落，讓整體架構徹底損毀，戲劇性地結束57年的風光歲月！



### 次毫米波 陣列望遠鏡

展場中另一個能見到電波望遠鏡身影的地方是在三樓南側的「臺灣的天文研究」。2001年，次毫米波陣列（Sub-Millimeter Array，簡稱SMA）矗立在夏威夷島海拔4080公尺的毛納基亞峰頂上，由哈佛-史密松天體物理中心與臺灣的中研院天文所合資建造。陣列中8座望遠鏡的其中2座是由臺灣製造，每座望遠鏡的直徑均為6公尺，共同構成一個天線陣列，模擬出一座直徑508公尺、面積大約9座足球場

大小的單一碟型望遠鏡。次毫米波長介於紅外與微波之間，約1-0.3mm，可穿透宇宙中的雲氣和塵埃，透過次毫米波段可觀測恆星形成的過程、恆星周圍原行星盤內的行星形成及星系的變化。次毫米波陣列望遠鏡的支撐骨幹結構，採用的碳纖維強化塑膠管，是臺灣廠商在中山科學院航空研究所指導下製造生產，堪稱「臺灣之光」呢！

## 地面天文臺

電波望遠鏡當然不止這幾座，在展示場三樓東側的「地面天文臺」展項，也有不少電波望遠鏡的身影。由於大氣窗口的緣故，地面望遠鏡都是光學、電波、微波波段，還有少數建在高山、高原上的紅外望遠鏡。

這些大型望遠鏡的建造費用都很高昂，因此地點必須慎選，必備條件有：無光害、晴夜率高、濕度低、視相（seeing）良好、低夜空亮度，這樣才能把觀測品質提升到最高。視相是指星體成像受大氣擾動影響的程度。大氣越穩定則視相越好，成像也越清晰。另天文臺建置地點的海拔越高、水氣越少，大氣透明度越佳，則星光受大氣的影響越小而提升觀測品質，特別是紅外線波段的觀測。目前公認世界上最佳的天文臺址有三個：夏威夷的火山頂、南美洲智利境內的高原、北非外海的加納利群島。

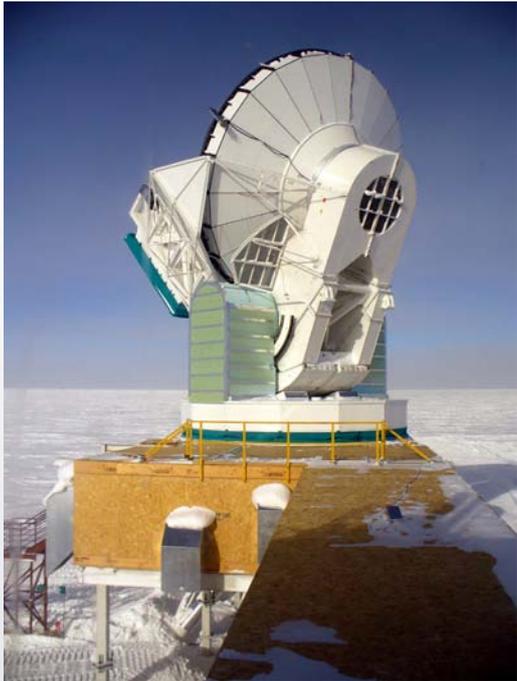


位於美國亞利桑那州格雷厄姆山的海因里希赫茲次毫米波望遠鏡  
圖片來源：WIKI

在這個展項內的電波望遠鏡有

1. 次毫米波望遠鏡（Sub-Millimeter Telescope，簡稱SMT）：位於亞利桑那州的次毫米波望遠鏡，是一座口徑10公尺的電波望遠鏡。
2. 南極望遠鏡（The South Pole Telescope，簡稱SPT）：位於南極洲南極點阿蒙森－史考特南極站的南極望遠鏡，是一座口徑10公尺的電波望遠鏡。





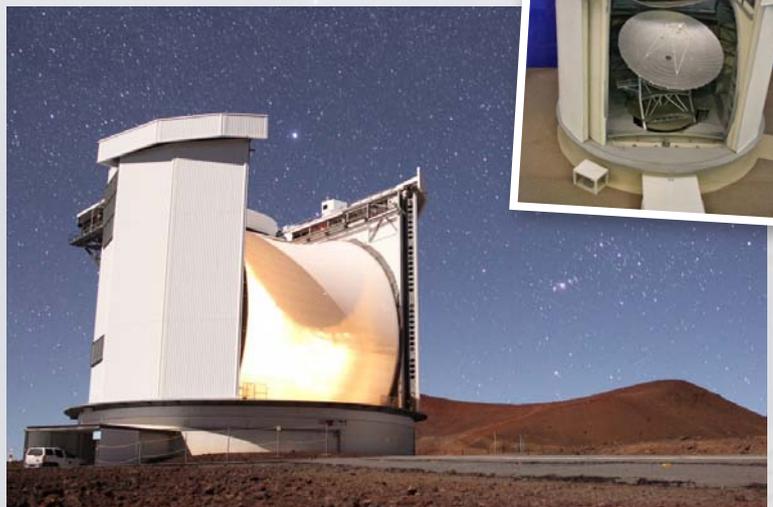
↑ 阿塔卡瑪探路者實驗電波望遠鏡 圖片來源：WIKI

← 南極望遠鏡 圖片來源：WIKI

3. 阿塔卡瑪探路者實驗 (Atacama Pathfinder Experiment, 簡稱APEX) 電波望遠鏡：位於智利北部阿塔卡瑪沙漠的阿塔卡瑪探路者實驗電波望遠鏡，主鏡的盤面直徑約為12公尺。

4. 詹姆士克拉克麥克斯威爾望遠鏡 (James Clerk Maxwell Telescope, 簡稱JCMT)：位於美國夏威夷毛納基峰的詹姆士克拉克麥克斯威爾望遠鏡，是一座口徑15公尺的電波望遠鏡。

5. IRAM 30米望遠鏡：坐落於西班牙的IRAM望遠鏡，是一座口徑30公尺的電波望遠鏡。



詹姆士克拉克麥克斯威爾望遠鏡 圖片來源：William Montgomerie, Alchetron



IRAM 30米望遠鏡 圖片來源：WIKI



大型毫米波望遠鏡 © Large Millimeter Telescope Alfonso Serrano

## 6. 大型毫米波望遠鏡

(Large Millimeter Telescope, 簡稱LMT)：大型毫米波望遠鏡是一座位於墨西哥的電波望遠鏡，望遠鏡口徑50公尺。是毫米波段口徑最大且最靈敏的單一天線電波望遠鏡。

7. 阿雷西博天文臺：直徑達305公尺，曾是世界上最大的單面口徑電波望遠鏡。於1963年建成，2020年因結構損毀而除役。



阿雷西博天文臺 圖片來源：Arecibo Observatory/University of Central Florida

8. 500米口徑球面電波望遠鏡 (Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope, 簡稱FAST)：中國科學院國家天文臺的一座電波望遠鏡，位於貴州南部的喀斯特窪地，又被稱為「中國天眼」。主鏡由4,450塊三角形的反射鏡所組成，面積約25萬平方公尺，比阿雷西博電波望遠鏡大上一倍，為世界最大的單一口徑電波望遠鏡。FAST的主要目標包括巡視宇宙中的中性氫、觀測脈衝星、探測星際分子、搜索可能的星際通訊信號等。



500米口徑球面電波望遠鏡 © FAST官網



次毫米波陣列 圖片來源：WIKI

9. 次毫米波陣列：位於美國夏威夷毛納基峰的次毫米波陣列望遠鏡，是由八座口徑6公尺的望遠鏡組成。

10. 阿塔卡瑪毫米及次毫米波陣列望遠鏡（Atacama Large Millimeter/submillimeter Array，簡稱ALMA）：「alma」在西班牙文的意思是「靈魂」，位於智利北部阿塔卡瑪沙漠的高原上，海拔約5,060公尺，是由66座天線組成的電波干涉儀；包括54座口徑12公尺及12座口徑7公尺的天線，它們可排列成不同配置的陣列，天線間的距離可從最短150公尺延伸至最長16公里。由於ALMA地點佳，望遠鏡解析力強，使得天文學家得以進行許多新的研究，譬如探測恆星及星系的起源，甚至直接捕捉行星形成的影像。ALMA由歐洲、北美、日、臺與智利等團隊及國家所共同建造、營運及管理。



阿塔卡瑪毫米及次毫米波陣列望遠鏡 圖片來源：WIKI

11. 事件視界望遠鏡（Event Horizon Telescope，簡稱EHT）：事件視界望遠鏡是將分布於世界各地的毫米波／次毫米波陣列望遠鏡串連起來組成一個約略地球直徑大小的電波望遠鏡觀測陣列，並利用特長基線干涉技術（VLBI）來觀測黑洞，望遠鏡陣列成員包括北極格陵蘭的格陵蘭望遠鏡（Greenland

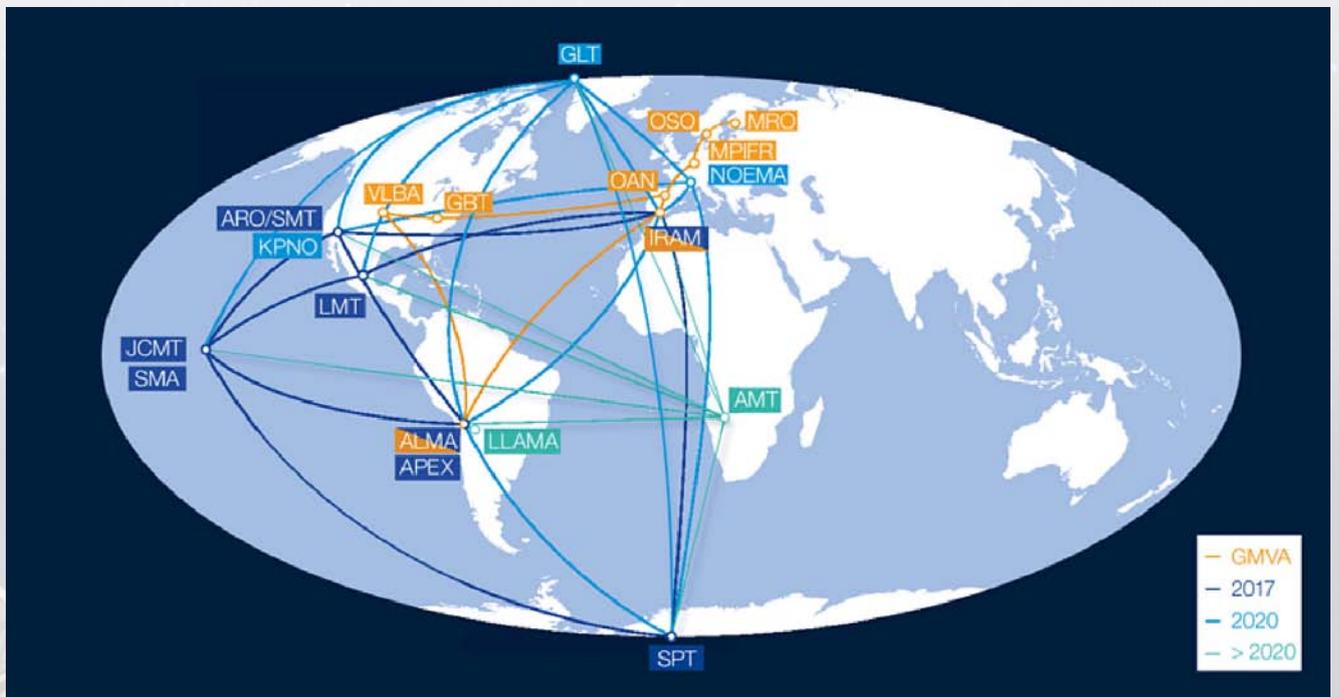
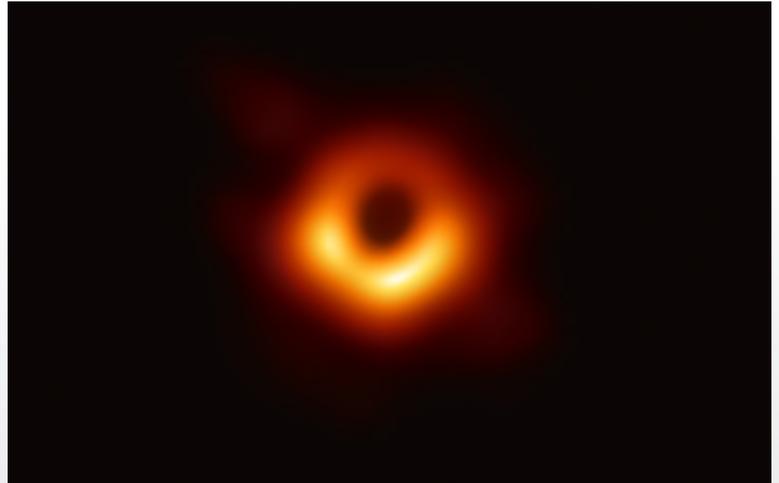
Telescope）、美國亞利桑那州的次毫米波望遠鏡、夏威夷的詹姆斯克拉克麥克斯威爾望遠鏡及次毫米波陣列、墨西哥的大型毫米波望遠鏡、西班牙的IRAM、智利的阿塔卡瑪毫米及次毫米波陣列望遠鏡和阿塔卡瑪探路者實驗電波望遠鏡、南極洲的南極望遠鏡。在2019年4月10日發布首張超大質量黑洞影像，就是事件視界

望遠鏡所拍攝的M87星系核心超大質量黑洞剪影！

看完這篇文章，是否發現藏在天文館展示場裡的電波望遠鏡比你所想像的還要更多！下次來到天文館，不妨跟著文章數一數，也很有樂趣呢！

胡佳伶：前臺北市立天文科學教育館展示組組員

事件視界望遠鏡所拍攝的M87星系核心超大質量黑洞剪影 © Event Horizon Telescope Collaboration



事件視界望遠鏡成員，EHT（藍線）與GMVA（黃線）之望遠鏡陣列分布，其中ALMA和IRAM同時屬於兩個陣營，淺藍色為2020年加入EHT的望遠鏡，綠色顯示將來可能會加入EHT的望遠鏡。 圖片來源：ResearchGate

### YouTube相關影片：



Very Large Array observatory reveals the universe - Science Nation  
[https://www.youtube.com/watch?v=o8\\_ExhTLIVM&t=1s](https://www.youtube.com/watch?v=o8_ExhTLIVM&t=1s)



ALMA 望遠鏡 探索宇宙源起  
<https://www.youtube.com/watch?v=S2IEICs71P8&t=1s>



支撐電纜突斷裂 阿雷西博望遠鏡墜毀崩塌 - 民視新聞  
<https://www.youtube.com/watch?v=Oo3fnP2TSMQ>