

紀念阿雷西博望遠鏡

文/徐麗婷

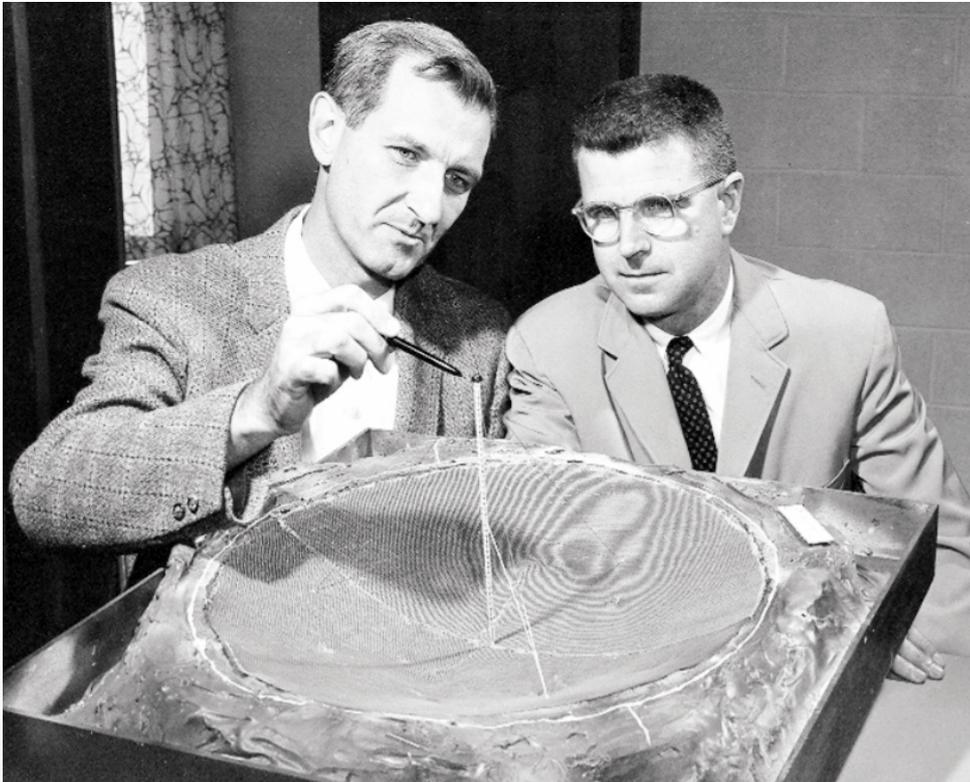


圖1. 威廉·戈登（左）與威廉·麥奎爾（右）正在研究阿雷西博望遠鏡的模型，1958年。圖片來源：Cornell University and Prof. D. B. Campbell

阿雷西博望遠鏡之父

威廉·戈登

(William E. Gordon, 1918–2010)

威廉·戈登是研究地球大氣電離層（50公里以上的高層大氣）的先驅，他在1950年代是康乃爾大學電機系的教授，同時也與業界合作開發無線電通訊網路。1958年，戈登提出了一個創新的想法：透過偵測電離層裡被散射的電子所發出的無線電波，或許可以讓我們更了解離地50公里以上的大氣天氣狀況（即所謂的「太空天氣」）。但是這種電子散射所產生的無線電波訊號非常微弱，戈登認為需要口徑300公尺的天線才有辦法偵測得到。幸運的是，那時正值冷戰的高峰期，政府有足夠的軍事資金來支持這些有創意的科學想法，所以戈登很快的就籌集到了大約1,000萬美元，並開始著手設計建造這個大型天線。

設計這個天線所遇到的第一個問題就是：要如何轉動一個300公尺的巨型天線？這顯然是件不太可能的事。於是科學家與工程師想到一個點子，既然無法轉動天線的巨大反射面，那就把反射面固定住，轉而移動比較輕巧的接收器。但是如此一來，天線的反射面就不能設計成只有單一焦點的拋物面。它必須是個球面，這樣反射光會在集中在一條直線上。而最初的接收器就是一個長條形的偵測器，可以將不同方位的光匯集起來。後來又加裝了一個半球狀的反射鏡來修正球面像差。阿雷西博的接收器平臺重達約900公噸，懸掛在反射面上方約150公尺的地方。

再者，這個望遠鏡的放置地點必須是個政治穩定的地方，而且要靠近南方，這樣才能方便觀察行星以及電離層。最後他們在波多黎各找到了一個適合放置300公尺巨大天線的天然山谷地形。當時，美國政府當局認為這是個不可能完成的計畫，戈登

回憶說：「當時我們正在嘗試做一件不可能的事，這需要很大的勇氣，而我們夠年輕，年輕到沒有意識到我們可能做不到。」

阿雷西博望遠鏡在1963年建造完成，雖然最初的主要目的是為了研究大氣的電離層，但是在後往的57年裡，它對天文學也有非常重大的貢獻，包括發現第一個脈衝雙星系統、和第一個太陽系外行星，前者還因而得到了1993年的諾貝爾物理獎。

阿雷西博望遠鏡 在電波天文學上的貢獻

阿雷西博望遠鏡所觀測的無線電波波長，大約是在3公分（10.0 GHz）到 100公分（300 MHz）之間。因為其天線無法轉動，觀察的天區範圍有限，所以天文學界原本對於阿雷西博望遠鏡並沒有什麼期望。但是沒想到，阿雷西博望遠鏡卻陸續觀測到許多驚人的天體現象，下面列出了幾項它在天文學上的重要貢獻：

- 1964年，天文學家Gordon Pettengill和其團隊精確的測量到水星的公轉週期是88天，並非是先前認為的59天。

- 1968年，Richard V. E. Lovelace等多位科學家發現蟹狀星雲裡脈衝星（Crab Pulsar）的周期性，這是第一個證實蟹狀星雲中央中子星存在的重要證據。

- 1974年，Russell Alan Hulse 和 Joseph Hooton Taylor Jr. 兩人發現了脈衝雙星（Hulse-Taylor binary）。這是由一顆中子星與一顆脈衝星相互高速繞轉的雙星系統。Hulse 和 Taylor 兩人由於發現脈衝雙星，因此得到了1993年的諾貝爾物理獎。後來科學家也藉由這個脈衝雙星系統，來驗證愛因斯坦廣義相對論裡所預測的重力波。

- 1974年，科學家用阿雷西博望遠鏡對著M13球狀星團發出訊息，嘗試與可能存在的外星生命聯繫（因為M13球狀星團裡的恆星分布均勻，科學家認為很有可能存在外星生命存在）。這個訊息以二進位的編碼組成，內容包含了數字1到10、DNA的元素組成、DNA的雙螺旋結構、人類的樣貌、太陽系的組成、和阿雷西博望遠鏡（參見圖2）。

- 1990年，Aleksander Wolszczan 在研究脈衝星PSR B1257+12的資料時，發現了三個圍繞這個脈衝星的行星。這也是人類首次發現太陽系外行星。

- 2008年，天文學家透過光譜分析，發現星暴星系Arp 220（Starburst Galaxies Arp 220）中存在著有機分子與氰化氫。

- 2010年，天文學家Matthew Route 和 Aleksander Wolszczan

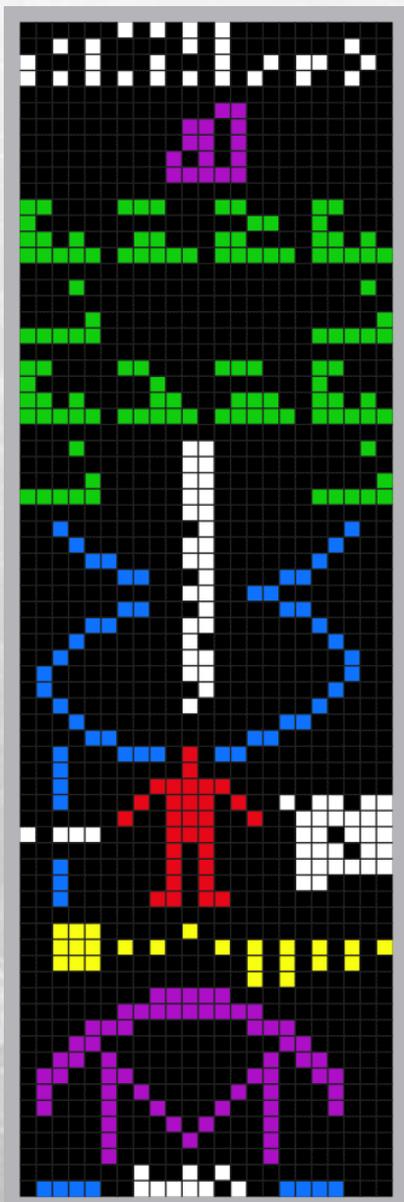


圖2. 科學家用阿雷西博望遠鏡所發出的電波訊息。

(Image credit: by Arne Nordmann (norro), CC BY-SA 3.0)

從一顆棕矮星上偵測到無線電波，同時也在這個棕矮星大氣的光譜分析中，發現了甲烷分子的吸收譜線。這是人類第一次在棕矮星上偵測到無線電波。

然而，在運作57年之後，年邁的阿雷西博望遠鏡於2020年8月和11月，各發生一次纜繩損毀的意外，這因此使得望遠鏡的支撐結構變得非常不穩定。同年12月1日，就在美國國家科學基金會（National Science Foundation, NSF）宣布永久關閉阿雷西博天文臺之後，不到一個月，阿雷西博望遠鏡就被上方的接收器平臺砸毀，造成無法修補的巨大損壞（參見圖3，以及下方YouTube影片「Snippet: Arecibo telescope collapses」）。

在阿雷西博望遠鏡邁入歷史的當下，中國

雲貴高原上的「500公尺口徑球面無線電波望遠鏡（Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope，簡稱FAST）」，又名為「中國天眼」，已在2016年正式啓用。FAST能接收宇宙中更遠更微弱的電波訊號，雖然它無法如阿雷西博望遠鏡一樣主動發射電波去觀測太陽系中的天體，但是它承繼並改良了阿雷西博望遠鏡的設計，成為下一代電波之眼，也是目前地球上最大的單面口徑碟形天線。

參考資料：

<https://www.nature.com/articles/464502a>

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2009EO310005>

<https://www.naic.edu/ao/scientist-user-portal/astronomy>

https://en.wikipedia.org/wiki/Arecibo_Telescope

<https://case.ntu.edu.tw/blog/?p=36046>



圖3. 2020年12月1日，阿雷西博天文臺的巨大天線被上方的接收器平臺砸毀。懸掛於上方的接收器平臺重達約900公噸，因為支撐平臺的纜繩斷裂而墜落。(Credit: RICARDO ARDUENGO /AFP via Getty Images)

YouTube相關影片：



Snippet: Arecibo telescope collapses

<https://www.youtube.com/watch?v=T99REQhNlt4>



Arecibo radio telescope goes dark after mysterious destruction

<https://youtu.be/IQJbuGv0EOg>

單面大口徑無線電波望遠鏡

宇宙中的天體會輻射各種波段的電磁波，然而大部份的波段會被地球大氣所吸收，只有可見光與無線電波比較容易穿過大氣層，到達地面被望遠鏡所觀測到。相較於可見光望遠鏡，無線電波望遠鏡的優點在於比較不會受到天氣、日夜的影響，即使是白天也能進行觀測。

科學家可以用無線電波來觀測行星、恆星、脈衝星、氣體雲氣、恆星生成區、和超新星爆炸遺跡等等。同時藉由研究天體的電波譜線，可以分析出宇宙中遙遠天體的化學組成，像是太陽系彗星上的物質、太陽系外行星的大氣組成物質、或是星系內的星際介質。

無線電波望遠鏡的種類

地面上的無線電波望遠鏡主要有兩種型態，一種是單面口徑的碟形天線。天線口徑越大，能接收越多訊號，解析度越高。另一種則是利用干涉原理，由多個天線組成的「陣列形式」望遠鏡。像是位於美國新墨西哥州的「甚大天線陣列（VLA）」（圖1）、位於智利的「阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣（ALMA）」、以及跨洲際的「特長基線干涉陣列（VLBI）」。這篇文章將會聚焦在單面大口徑的無線電波天線。



圖1. 位於美國新墨西哥州的「甚大天線陣列（VLA）」（圖片來源：NRAO, <https://public.nrao.edu/telescopes/vla/>）

以單面電波望遠鏡來說，有些碟形天線的設計是可以轉動的，例如位於美國的「100公尺綠堤望遠鏡」、位於德國的「100公尺艾菲伯格望遠鏡」、和位於英格蘭的「76公尺拉威爾望遠鏡」（圖2）。有些則是固定在天然山谷地形裡的巨大天線，像是位於波多黎各的「305公尺阿雷西博望遠鏡（Arecibo Telescope）」，以及位於中國貴州

的「500公尺口徑球面無線電波望遠鏡（FAST）」（圖3）。

令人惋惜的是，在2020年12月1日，阿雷西博望遠鏡發生了永久性的結構毀損，因判定無法修復而即刻退役。

徐麗婷；政大應用物理所兼任助理教授



圖2. 由左而右分別是：位於美國的100公尺綠堤望遠鏡、位於德國的100公尺艾菲伯格望遠鏡、和位於英格蘭的76公尺拉威爾望遠鏡。（圖片來源：Wikipedia）



圖3. 左邊是305公尺阿雷西博望遠鏡（圖片來源：Dr Seth Shostak/Science Photo Library）。右邊是位於中國貴州的500公尺球面電波望遠鏡。（圖片來源：FAST官網）