

天間

中研院天文所季報
ASIAA Quarterly Press
<http://www.asiaa.sinica.edu.tw>



中華民國 109 年

秋季號

快速電波暴 FRB



位於加拿大的CHIME望遠鏡。©CHIME



莫名的 **宇宙**

快閃一族

作者 曾耀寰



一次歪打正著的發現，讓電波天文學家獲得諾貝爾物理獎。

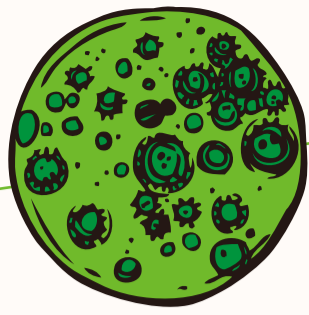
1960年代，英國電波天文學家休伊什（Antony Hewish）帶領研究生觀察宇宙電波訊號的閃爍現象，天上星光的閃爍是由地球大氣變動所造成的，而來自宇宙的電波訊號閃爍則是受到星際間介質的影響，但1967年的某一天，研究生貝爾（Jocelyn Bell Burnell）意外發現不尋常的電波閃爍，這個閃爍有著固定頻率，大約每1.3秒閃爍一次，這種快速且規則性的電波閃爍，很自然地讓人聯想來自外星人的拋媚眼，於是一開始給了個小名：小綠人一號（little green man -1），我們現在將它編號為PSR 1919+21。後來在其他位置又發現類似的電波源，連續脈衝般地向地球閃爍，後續的研究認為這是一種快速自轉的中子星，又稱做脈衝星（pulsar）。從中子星表面逃離的帶電粒子，順著兩極的磁場，就像燈塔探照燈，不斷向四面八方發射電波，當旋轉的『探照燈頭』指向地球，我們就會收到閃爍不停的電波訊號，休伊什因為這項發現而獲得了1974年的諾貝爾物理獎，堪稱1960年代天文學的四大大發現。

2007年，又是一位大學生納

克維奇（David Narkevic）有了意外的發現。這次納克維奇不是自己觀測，而是在觀測資料庫當中發現比背景訊號強百倍的電波訊號，資料是取自2001年脈衝星的巡天觀測，觀測頻率在1.4GHz，電波訊號的位置在麥哲倫星雲方向。一開始納克維奇和指導老師羅瑞默（Duncan Lorimer）認為這是他們要找的目標：脈衝星，由於這只是從以往的觀測資料搜尋出來的，接收到的電波訊號只延續了5毫秒，後續研究發現，電波訊號在這區域只出現一次，沒有重複（現給的編號為FRB 010724，代表是在2001年7月24日被望遠鏡觀測到），這種不重複的電波訊號反而更像是小綠人二號！不過當時的發現被天文學家稱做羅瑞默爆（Lorimer burst）。

由於更多類似的發現，現在這類特殊現象通稱為快速電波爆（Fast Radio Burst，簡稱FRB）。快速電波爆有一個特徵就是較強的電波色散現象。天上的彩虹是因為可見光通過介質（水滴）時，不同顏色（頻率）的單色光在介質中有不同的速度，因此造成不同程度的折射。電波訊號在星際介質中





也有色散現象，當電波訊號穿越宇宙空間，經過各種不同的星際介質時，高頻的電波訊號會比低頻訊號跑得快一些，漸漸地這股訊號就被分離，高頻訊號會較早抵達望遠鏡。高低頻到達時間的差異越大，色散程度越大，表示訊號來源離我們越遠。

這項特徵原本是用作尋找遠方脈衝星的方式之一，2007年在資料庫找到的 FRB 010724，

經確認排除來自地球人為干擾的可能性。其次它的觀測方向不在銀河盤面，大約在小麥哲倫星雲偏南3度，並且色散量測（dispersion measurement，DM）較大，表示電波色散程度大，是銀河系內的脈衝星的數倍，初步認為 FRB 010724 可能在較遠的位置，離我們有數十億光年遠。可是其他天文學家在同一個位置觀測了90多個小時，卻沒有發現任何類似的 FRB，也就是說這是個突發的電波爆，甚至沒有重複發

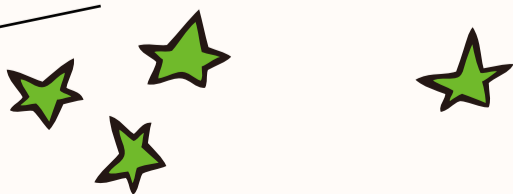
生，不像脈衝星有周期性電波。

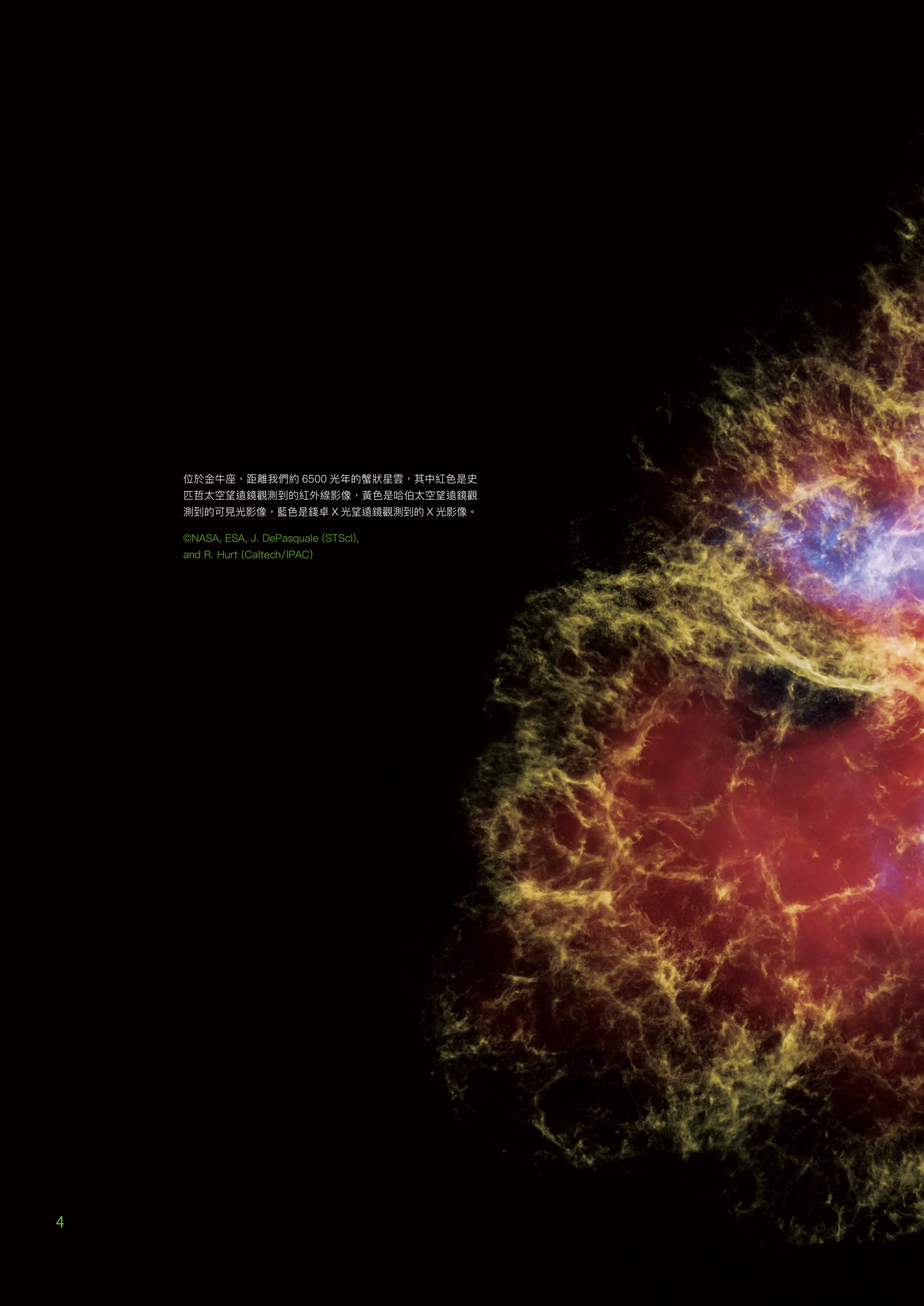
體積小、發射巨大能量、距離又遠，更詭異的是不再重複，這幾個特徵讓天文學家更加迷惑。要在茫茫宇宙中搜尋不定位置的突發事件，非得要特別建造的電波望遠鏡，「加拿大氫強度測繪實驗」（Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment，簡稱 CHIME）就是這樣的設備。CHIME 是由4個100×20米的半圓柱體組成，配有1024個雙極化電波接收器的電波干涉望遠鏡，自2018年9月底正式啟用，

對 FRB 有許多重要發現。例如 CHIME 發現兩個非週期性重複發生的 FRB，這對瞭解 FRB 的來源有很大的幫助。現今猜測 FRB 可能來自緻密星體的碰撞，例如兩顆中子星對撞，這類毀滅性來源只會造成一次性的電波訊號。若是來自單一緻密星體，例如超大質量黑洞、快速自旋的脈衝星，或自旋更快的磁星 (magnetar)，則可能會造成重複的 FRB。CHIME 至今已偵測到超過七百個 FRB，相信天文學家在更多的觀測資料下，會對 FRB 有更清楚的瞭解。



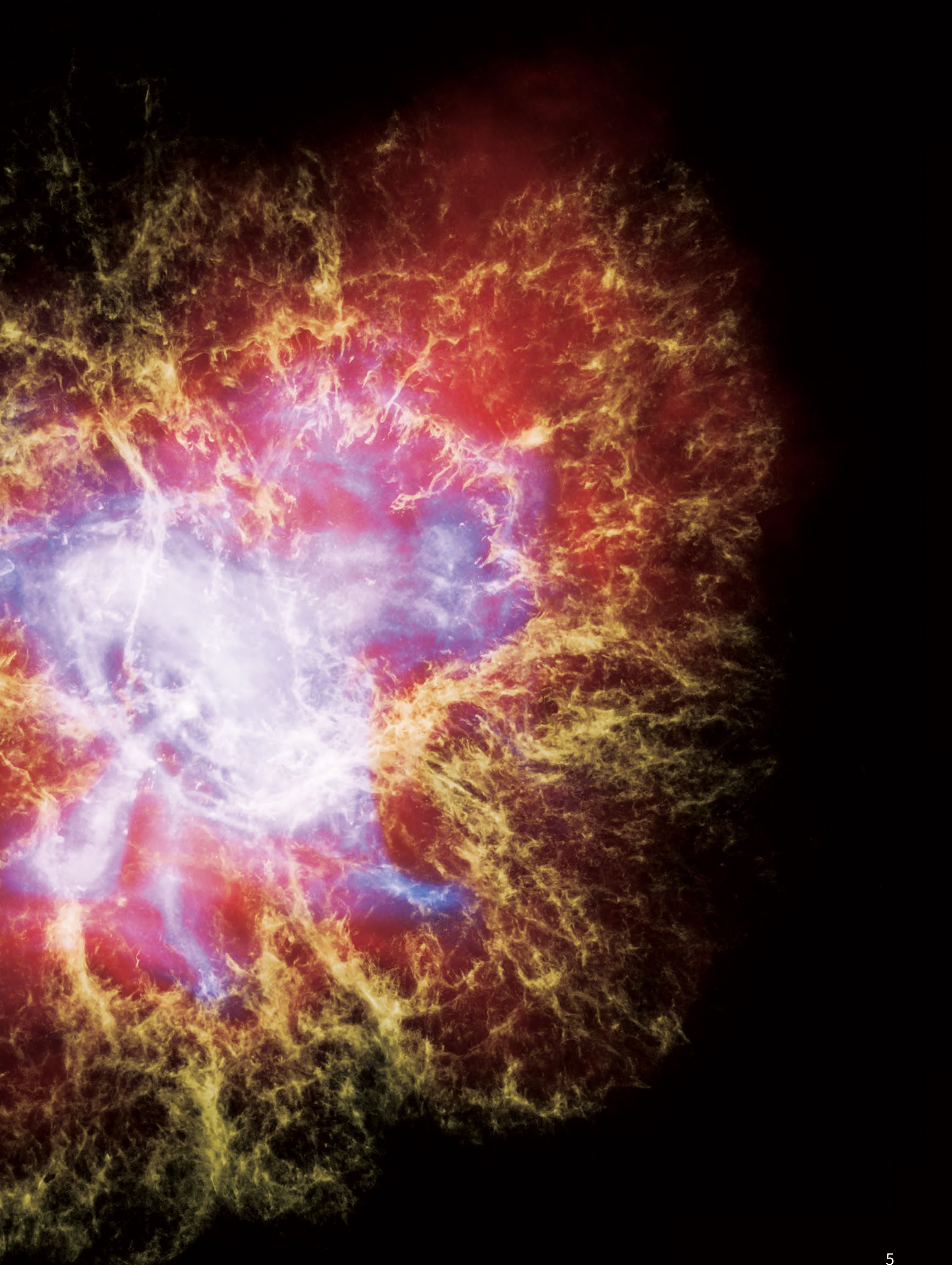
加拿大的 CHIME 望遠鏡是由四個 100 米長、20 米寬的半圓柱狀金屬網構成，搭載 1024 個電波接收器，能同時搜尋大範圍的天空。©CHIME





位於金牛座，距離我們約 6500 光年的蟹狀星雲，其中紅色是史匹哲太空望遠鏡觀測到的紅外線影像，黃色是哈伯太空望遠鏡觀測到的可見光影像，藍色是錢卓 X 光望遠鏡觀測到的 X 光影像。

©NASA, ESA, J. DePasquale (STScI),
and R. Hurt (Caltech/IPAC)



神秘的快速電波爆

作者 Geoffrey Bower

翻譯 周美吟



每天都有幾千個從遙遠宇宙傳來地球的簡訊。這是一種短暫、明亮的電波爆發訊號，也包含了電波到達地球前，經過瀰散的星系際介質所帶來的印記，暗示著未知的巨大能量來源。這些神秘的爆發訊號稱為 FRB，為探索宇宙中最高能、甚至是最黑暗、最寒冷的區域，開了一扇窗。因為天文學家急切地想了解這是什麼「在夜空碰撞」所造成的，全世界的新望遠鏡跟數位科技正在努力發現中。

FRB 最顯著的特點就是接收到的訊號中隱含了它們的距離資訊，這是由於電磁波經過不同的電漿密度時光速會有所不同。當望遠鏡偵測到一個 FRB，訊號不會在同一時間到達：高頻率的電波會比低頻率的電波先抵達地球。如果你能用耳朵聽到 FRB，你會先聽到像鳥鳴的高音然後漸漸轉低沉。高頻和低頻波的抵達時間差，可以讓天文學家知道這個電波經過了多少電漿。如果能預估太空星系間極低的電漿密度，也就是星系際介

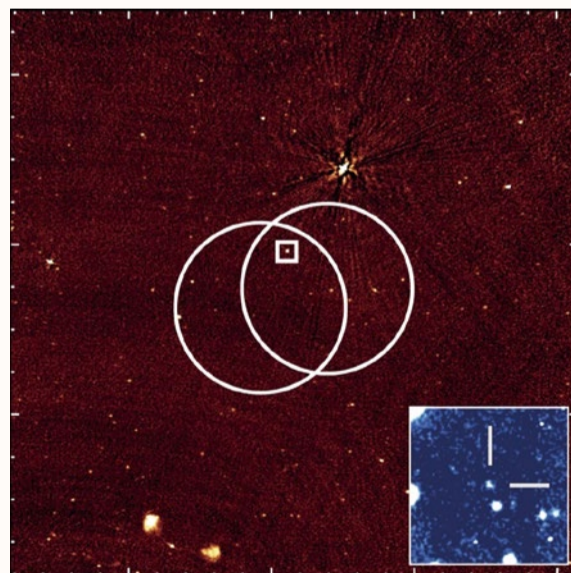
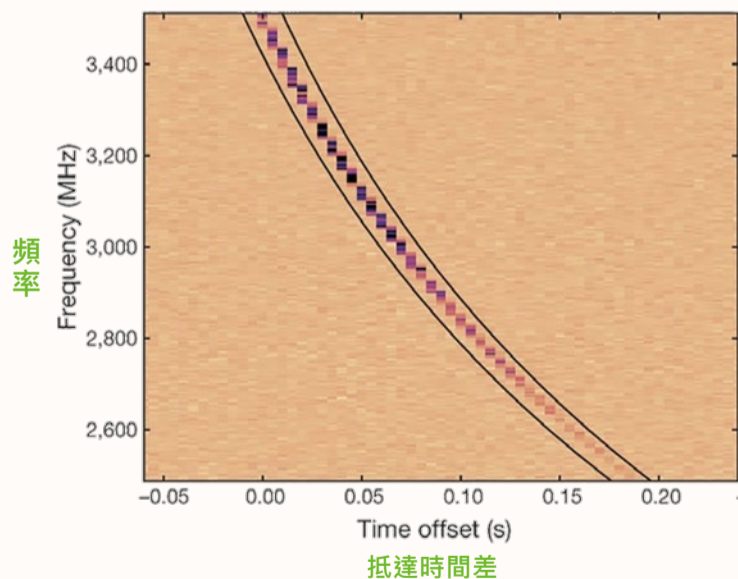
質的密度，天文學家就可以利用這時間差來計算距離。而且計算出來的距離非常大！因此 FRB 是來自我們銀河系以外，距離甚至遠達幾十億光年。由於這種電波來自如此遙遠的距離但依然明亮，因此發出這種電波的事件必定產生巨大的能量，比我們銀河系中任何天體發出的能量還大！

另一方面，持續時間只有毫秒的 FRB 和天文學家研究的毫

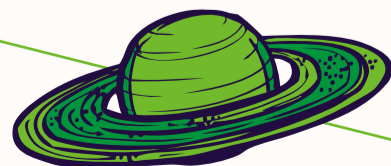
秒脈衝星很類似。脈衝星是一種特別的快速自轉中子星，是十倍以上太陽質量的恆星垂死的遺骸。蟹狀星雲內部就有一顆這樣的脈衝星，是在西元 1054 年超新星爆炸後遺留下來的，中國古代天文學家曾經肉眼觀測過這個超新星爆炸。雖然它曾經是銀河系內最明亮的電波脈衝源，但蟹狀星雲的脈衝星能量只有快速電波爆的百萬分之一。

FRB 的巨大能量和遙遠的距離使天文學家在發現後陷入了十多年的困境。一些天文學家懷疑 FRB 是否真的來自如此遙遠的距離，並認為它們可能起源於我們銀河系內隱藏、密集的電漿區。其他人則提出了更奇特的解釋，包括太陽或附近的恆星爆發、黑洞的塌縮，甚至是外星文明的信號。

雖然天空中有許多 FRB 發生，



(左) 來自 FRB 121102 的脈衝波訊號抵達時間和頻率的關係。訊號先以高頻到達，然後低頻才出現，顏色深淺顯示電波的強度。FRB 沿途經過的電漿越多，高頻和低頻之間抵達的時間差就越長。(右) 顯示 FRB 121102 周圍的區域影像。大圖是電波影像，FRB 121102 位於白色小方格中。該區域的其他電波源主要是由巨大黑洞驅動的遙遠星系。右下圖是該視野的可見光影像，顯示了 FRB 121102 的宿主星系。©Chatterjee et al 2017, Nature.



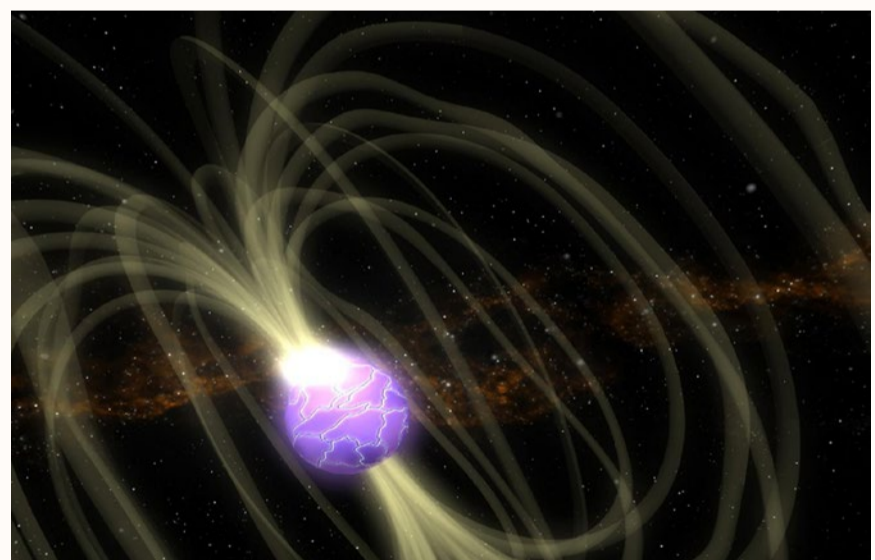


用來發現 FRB 的電波望遠鏡。一台單碟望遠鏡能夠一次觀測像月球一樣大的區域，位於澳洲的帕克斯望遠鏡被用來發現第一批 FRB，天線的直徑是 70 米。
©David McClenaghan, CSIRO

但只有幾十個被偵測到，使得這個問題更加困難。由於 FRB 的持續時間短，且大多數電波望遠鏡在固定時間能看到的視野很小，因此很難找到它們。必須在正確的時間將望遠鏡對準太空中的正確位置才能捕捉到 FRB。更慘的是，最適合發現 FRB 的望遠鏡通常很難在天空中準確定位。準確定位很重要，因為可以用來判別發射來源是恆星、星系還是天空中的其他天體。FRB 的發現過程中，人為的訊號也曾造成困擾。人類活動如手機、機場雷達和通信傳輸，通常會產生短時間的電波爆發，使電波望遠鏡過負載或干擾偵測器。仔細分析後，這些信號大多可以被排除，因為

它們通常不會顯示宇宙信號會有的電漿延遲特徵。其中最誇張的例子是，澳洲帕克斯望遠鏡的一名研究生發現午餐時間前後偵測到許多令人困擾的訊號。她後來發現這種輻射是當地微波爐洩漏出來的，證實是假的 FRB！

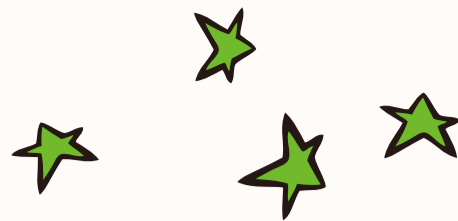
但是，2012 年發現了一種特殊的 FRB，為新的研究打開大門。發現該 FRB 的日期為 2012 年 11 月 2 日，因此被命名為 FRB 121102。與其他先前已知的 FRB 不同，這個 FRB 有重複的爆發，能一次又一次地被觀測。因此，天文學家能持續觀測相同的位置，並尋找能針對爆發定位而優化的工具。但是，這種重複



藝術家對磁星的想像圖。線條表示與恆星相連的強大磁場。強烈的白色區域是磁星表面爆炸或星震的位置，可為爆發提供能量。©NASA/Goddard Space Flight Center Conceptual Image Lab

爆發是不規律的，大部分時間 FRB 121102 都處於平靜狀態。曾經在一個月內進行 50 小時的觀測，但一個爆發都沒有發現。直到 2016 年，天

文學家使用特大天線陣（Very Large Array，簡稱 VLA，是世界上最強大的電波望遠鏡之一）偵測到一系列爆發，甚至曾在兩小時內發生了 6 次



用來發現 FRB 的電波望遠鏡。位於美國的特大天線陣 VLA 有 27 個直徑 25 米長的碟形天線，彼此可以相距 35 公里。VLA 是用於繪製天空影像並將 FRB 定位到其宿主星系的強大工具。© Alex Savello

爆發。VLA 表示，爆發源自一個距離約 20 億光年的小星系。後來的觀測顯示，爆發來自星系中一個密集的恆星形成區，這是產生中子星和脈衝星的絕佳環境。

是什麼使 VLA 成為定位 FRB 的理想望遠鏡？VLA 是一種干涉儀，這意味著它將許多單獨的天線訊號組合在一起，從而繪製出天空的影像。單一天線的定位精確度取決於其直徑，直徑越大，定位越精準。而干涉儀則是天線之間的間隔越大，定位越準確。VLA 的天線分隔距離可長達 35 公里，是其碟形天線直徑的千倍，可提供非常精確的定位。但是這種定位的能力，需要用複雜的數位電子將所有天線串連在一起。想要高速捕獲毫秒級的爆

發，需要在其電腦系統的硬體和軟體上進行大量投資。

現在，世界上出現了一種使用專業技術的新型望遠鏡，正在迅速發現和定位 FRB。澳洲 ASKAP 望遠鏡將寬廣的視野與干涉儀強大的定位能力結合在一起，最近宣布發現了六個可定位的 FRB。透過計算那些 FRB 宿主星系的距離，研究人員首次證明星系際介質的普遍存在。而加拿大的 CHIME 干涉儀，採用特別設計的圓柱形天線，已經發現了數百個 FRB，包括許多新發現的重複爆發源。中國的 FAST 是一個 500 米的巨大望遠鏡，已經開始發現一些暗淡的 FRB，有些可能是最遙遠的 FRB。

但並非每個發現都需要巨型

望遠鏡。在過去一年中最激勵人心的發現是，一名美國研究生使用一台比人還矮小的天線發現銀河系中子星的爆發，比蟹狀星雲的脈衝星還亮 1000 倍。那顆特殊的中子星具有非常強大的磁場，強度約為地球磁場的 100 兆倍，可能是產生如此強大爆發的關鍵。這種被稱為磁星 (magnetar) 的中子星很少見，被認為是非常近期的超新星產物。在某些模型中，FRB 可能源自爆發後只有 10 年的超新星。想想看，一個只有一毫秒的爆發訊號，是來自於一個 10 年前死亡的恆星，穿越了十億年時空來到地球被我們偵測到，多麼不可思議啊！

FRB 的下一步是什麼？隨著更多的 FRB 被偵測到並被定

位，未來將有更多發現。重複爆發和非重複爆發的 FRB 有何不同？也許產生這些短暫爆發的宇宙來源不止一種？也許某些 FRB 會重複，只是間隔時間很長？哪種機制會產生如此強大的爆發力？解決這些問題的重要關鍵是找到同時產生光學或 X 光的 FRB。FRB 的數量和目前能被定位的 FRB 數量仍然差很多。具有複雜數據處理能力的新型望遠鏡也許能夠越過門檻，並大大增進我們對 FRB 的宿主星系和宿主天體的了解。最終，只要有足夠的 FRB 被定位，天文學家就可以繪製宇宙的形狀和內容。



用來發現 FRB 的電波望遠鏡。位於美國的 STARE2 望遠鏡與研究生 Chris Bochenek。STARE2 觀測到銀河系中最強大的電波爆發。這種小型望遠鏡可以一次看到大部分的天空，但只能偵測到最明亮的爆發。©Chris Bochenek

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 | 王祥宇。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。

