

小耳朵聽宇宙

子曰：「視其所以，觀其所由，察其所安。人焉叟哉？」

今日用望遠鏡觀星體，用小耳朵聽宇宙，希望能更進一步了解宇宙。

■ 曾耀寰

和宇宙文明接觸

1997年華納公司推出一部科幻電影〈接觸未來〉，它改編自美國著名天文學家薩根的同名科幻小說，是一部從人文角度探討外星人存在的科幻電影。

電影海報中的男女主角一立一坐，背後豎立了一排碟型天線，女主角脖子上掛著耳機。在許多劇照中，女主角伊莉·埃蘿薇總是拿著耳機專注聆聽來自外太空的訊息。伊莉是一名女天文學家，影片故事從她小時候開始敘述。經由父親的帶領，伊莉進入火腿族的世界，藉由無線電波的傳送，嘗試和其他地區的人溝通聯繫。鏡頭一轉，伊莉已經成為女天文學家，而且還是一位專門搜尋外星人的女電波天文學家。除了「搜尋外星人」的研究課題與一般天文學家不同外，她還習慣於用耳機收聽來自宇宙的電波訊號。



● 位在美國新墨西哥州的特大天線陣列，也是電影〈接觸未來〉的場景之一。（圖片來源：NRAO / AUI / NSF）

利用電波望遠鏡看宇宙，是一件相當困難的工作，原因在於電波望遠鏡的角解析度不足。



● 位在美國西維吉尼亞州的綠堤電波望遠鏡
(圖片來源：NRAO / AUI / NSF)



● 限於工程技術，單一天線的電波望遠鏡口徑幾乎無法再增加，為了增加解析度和靈敏度，採取干涉技術的電波望遠鏡陣列成了現今主流的電波觀測儀器。(圖片來源：NRAO / AUI)

人類耳朵能夠接收的音頻大約在20赫(Hz)到20千赫(kHz)之間(1秒鐘振動1次是1赫)。聲音是由空氣振動所造成的疏密波產生，由於空氣分子的來回振動，分子在空間形成疏密變化，空氣分子來回振動的方向和聲音傳播的方向一致，是一種縱波。

電波屬於電磁波，人類的耳朵沒辦法直接聽電磁波，電磁波是電磁場在空間中來回振動的橫波，和聲波完全不同。我們收聽廣播節目，是藉由收音機把電波訊號轉成聲音，透過喇叭播放出來。〈接觸未來〉劇中的女主角是把來自外太空的電波訊號轉成

聲音，收聽的音頻仍在20Hz到20kHz之間。

用電波望遠鏡看宇宙

用電波看(聽)宇宙是一件很酷的事。電波不同於可見光，它們是波長很長的電磁波。雖然可見光也是電磁波，但波長大約在380奈米到750奈米之間(1奈米是 10^{-9} 公尺，大約是原子大小的10倍)，依照波長的長短排列，顏色依序是紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫，紅光的波長最長，紫光最短。相較於可見光，電波的波長從數公尺以上開始，到公分級的微波，再延伸到公分以下的毫米波及次毫米波，波長

短於微米(1微米是 10^{-6} 公尺)便進入紅外光的範圍，光靠肉眼是無法看到電波的。

利用電波望遠鏡看宇宙，是一件相當困難的工作，原因在於電波望遠鏡的角解析度不足。望遠鏡的角解析度是由兩個因素所決定，一個是接收的電磁波的波長，波長越長，角解析度越差；另一個是望遠鏡的口徑，口徑越大，角解析度越好。對望遠鏡來說，大便是美，世界級可見光望遠鏡的口徑已達10公尺，光是反射鏡面就差不多有一間教室的大小。

但10公尺口徑的電波望遠鏡很難滿足天文學家的需求。以一

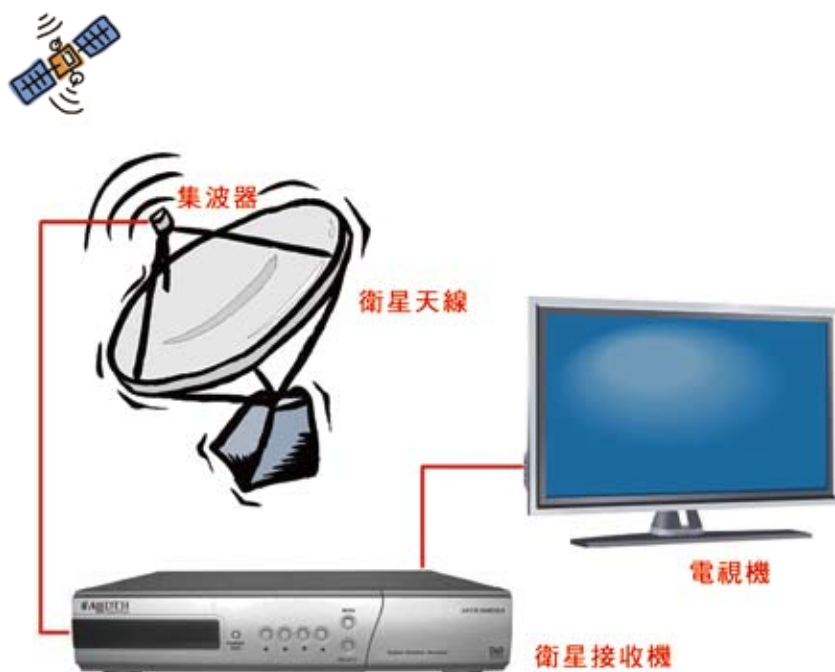
對望遠鏡來說，大便是美，世界級可見光望遠鏡的口徑已達10公尺，光是反射鏡面就差不多有一間教室的大小。

般家庭用微波爐的微波為例，它的頻率是2.54GHz（1GHz等於10億赫），波長大約12公分。12公分波長的微波比550奈米的黃光長了約22萬倍，也就是說在相同的解析能力下，電波望遠鏡的口徑必須是可見光望遠鏡的22萬倍。

爲了得到足夠的解析度，電波望遠鏡都建得很大，美國國家電波天文台所建造的綠堤電波望遠鏡的口徑達100公尺。在南美洲波多黎各阿雷西波天文台的電波望遠鏡，口徑更高達305公尺，整個天線建在山裡。中國天文界也打算在貴州喀斯特窪坑建造500公尺口徑的電波望遠鏡。限於工程技術，單一天線的電波望遠鏡口徑幾乎無法再增加，爲了增加解析度和靈敏度，採取干涉技術的電波望遠鏡陣列成了現今主流的電波觀測儀器。

自製的電波望遠鏡

接收來自宇宙的電波訊號，除了天文學家使用特製的電波望遠鏡外，利用市售電子產品，經過適當的組合改裝，



● 一般接收衛星節目所需要的設備，主要包括衛星天線、集波器、衛星接收機和電視。

一般人也可以擁有自製的電波望遠鏡。

由於商業性電子產品的普及，一般家庭的視聽娛樂，除了傳統無線的類比和數位電視台外，還可以收看有線電視的節目。甚至市場上出現了機上盒的產品，客戶可以透過高速的寬頻網路把節目傳到家中，並且能依照個人喜好選擇想要收看的節目。

在寬頻網路的選擇外，還可以透過衛星天線（俗稱小耳

朵）收看衛星電視節目，又稱爲TVRO（TV receive only）。TVRO所接收的衛星節目可能來自不同的國家，讓消費者有更多節目的選擇。小耳朵接收節目的方式比較不同，不像無線電視接收當地電視台的訊號，或從第四台的電纜、寬頻網路直接接收，小耳朵是接收運行在地球軌道中的衛星訊號。透過人造衛星的轉播，便可以接收其他國家的電視節目。

一般要接收衛星電視的節

接收來自宇宙的電波訊號，除了天文學家使用特製的電波望遠鏡外，利用市售電子產品，經過適當的組合改裝，一般人也可以擁有自製的電波望遠鏡。

目，除了必備的電視機外，還要有衛星天線和接收機。衛星天線包括了碟型天線和集波器（或稱為放大降頻器），集波器放在天線的前方，藉由同軸電纜連接到後方的衛星接收機，再使接收機與電視機連結，便可以收看衛星電視的節目。

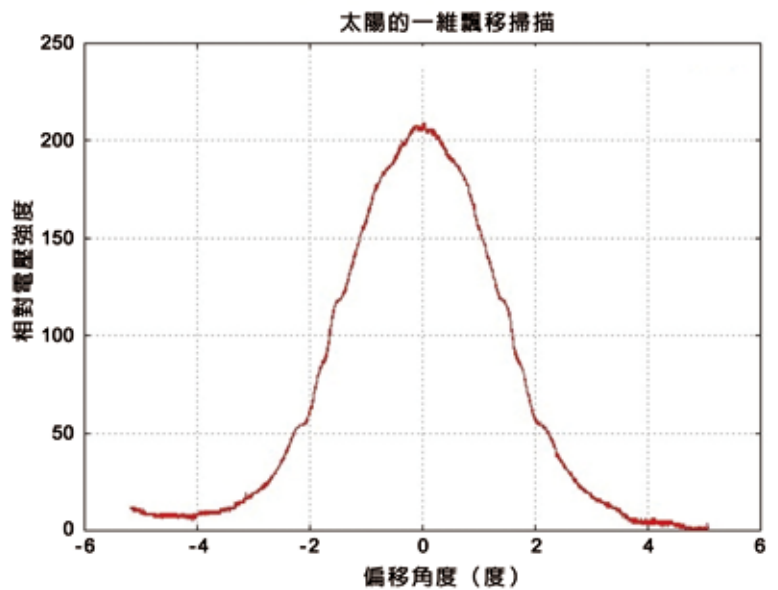
現今常見的衛星天線長得很像碟子，碟型天線的表面呈拋物面狀，能把落在拋物面上的電波聚焦到拋物面的焦點。市場上的

碟型天線有正焦天線和偏焦天線兩種。正焦天線的焦點在鏡面的正前方，當遠方的電波打到反射鏡面時，會被聚焦到前方焦點位置的集波器上。偏焦天線則是利用正焦天線的部分反射面，通常所使用的反射面呈橢圓狀，並且焦點是偏在一側。偏焦天線的優點是，接收用的集波器不會擋在進入天線的電波路徑上，因此對訊號有較好的靈敏度，常用於Ku波段（12GHz）訊號的接收。

正焦天線所聚焦的位置是在拋物反射面正前方的焦點上，可以直接把接收電波訊號的儀器放在焦點位置，也可以在焦點位置上放置次級反射面，就像可見光的凱賽格林望遠鏡，次級反射面反射的電波會被導入一排集波器。偏焦天線的焦點是在碟型天線的側邊，當電波訊號打在天線反射面上時，會以適當的角度反射聚焦到集波器，通常商用偏焦天線的角度約20度左右。



● 當電波訊號打到天線的反射面時，會以適當的角度反射聚焦到集波器上。



● 用自製的電波望遠鏡觀測太陽的一維飄移掃描

從商用衛星天線的長相，讓我們聯想到電波天文學家所用的望遠鏡，不論是正焦天線、凱賽格林式天線或偏焦天線，都可以用在世界一流的電波望遠鏡上。因此可以嘗試用衛星天線系統充當電波望遠鏡，做一些簡單的太陽或月亮的電波觀測，並藉由觀測的過程了解電波天文學家如何觀測來自外太空的電波。

動手做電波望遠鏡

在動手建造電波望遠鏡的過程中，可盡量使用已商品化的零件，主要的零件有碟型天線、集波器、尋星儀等。衛星

電視所占用的頻道有C頻和Ku頻兩種，C頻的頻率是4GHz，Ku頻是12GHz。C頻的波長比Ku頻長，需要選擇較大口徑的天線。常見天線的口徑有45、60、80、120、150和180公分，C頻最好選擇80公分以上的天線。

集波器的種類很多，主要根據不同的偏振和本振頻率來區分。偏振分成水平偏振和垂直偏振兩種，衛星節目除了會放置在不同頻率的波段上，也會放置在不同的偏振上，因此為了收視衛星節目，需要選擇適當接收頻率的集波器。尋星儀的主要功用是找尋人造衛星的位置，當碟型

天線鎖定特定的人造衛星時，尋星儀的儀表板會有較強的訊號輸出，便可以利用尋星儀讀出訊號的數值。

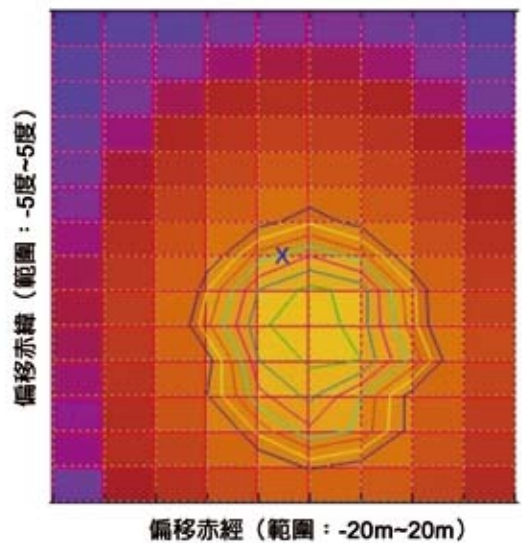
當收到電波訊號後，還要把訊號記錄下來。市售商業產品是把訊號傳給電視螢幕，我們則需要把訊號傳給電腦，因此得自行設計類比—數位轉換器，把尋星儀輸出的電壓轉成數位資料，然後傳輸給電腦並儲存資料，以利後續的資料分析。

這種自製的電波望遠鏡能輕易地接收太陽的電波訊號，因此可以把電波望遠鏡指向太陽運行的路徑上，隨著地球的



● 這種自製的電波望遠鏡能輕易地接收太陽的電波訊號，因此可以把電波望遠鏡指向太陽運行的路徑上，隨著地球的自轉，讓太陽從望遠鏡的前方經過，並記錄電波訊號的變化。

Ku波段 (12GHz) 太陽二維電波圖



● 利用自製電波望遠鏡，以Ku波段電波掃描得到的太陽二維影像。



● 2008年在台北市建國中學舉辦研習營，在整個活動中，學生透過團隊的合作，各自組裝出Ku頻段的電波望遠鏡。

自轉，讓太陽從望遠鏡的前方經過，並記錄電波訊號的變化。得到的圖可以清楚看到，電波訊號隨著太陽進入視野而逐漸增強，當太陽進入視野的中心時，訊號達到最高峰，之後隨著太陽離開視野而逐漸減弱。

這只是對太陽的一維方向進行測量，太陽在天球上是以二維的方式顯現，要得到太陽的二維電波影像，得一個像素一個像素地掃描太陽，最後透過假色處理得到太陽二維的電波影像。這個二維影像會非常粗糙，只是一張 9×14 像素的影像，這是因為受限於赤道儀設備，望遠鏡每次上下和左右所能移動的角度不同，

大約只能移動 0.6 度左右。整張影像雖只有 10×10 度，不過還是可以約略看到太陽的外形。

台北市建國中學和中研院天文所合作，曾舉辦「電波天文望遠鏡動手做」資優研習活動。限於人力與經費，只開放給台北高中學生參與。在整個活動中，學生透過團隊的合作，各自組裝出Ku頻段的電波望遠鏡。學生先用電波望遠鏡測量生活周遭的電波訊號，例如日光燈及燈泡，之後又實際觀測太陽的電波輻射。

雖然受限於活動時間較短，以及儀器的解析度和靈敏度不足，但學生透過動手做的演練，了解到整個電波望遠鏡的基本觀

測知識，這是一般課堂上學習不到的。未來如有機會，可以引進電波干涉的技術，以提升望遠鏡的解析能力。此外，透過網路自動控制望遠鏡也是有趣的課題。台灣的電波天文研究已達世界水準，然而業餘的電波天文觀測還只是在起步的階段，希望藉由專業和業餘電波的共同研究，吸引更多有興趣的人參與，才能讓電波天文學在台灣生根茁壯。

曾耀寰

中央研究院天文及天文物理研究所籌備處