

## 具教育目的的小型電波望遠鏡動手作活動

曾耀寰

中央研究院 天文及天文物理研究所

(投稿日期：民國 100 年 09 月 04 日，修訂日期：100 年 11 月 29 日，接受日期：100 年 12 月 01 日)

**摘要：**電波天文學的發展是上個世紀的事，天文學家藉由電波訊號的接收，發現許多以往未曾見過的天體現象，為人類探索宇宙，開啓另一扇門。本文介紹利用現有商用衛星電視設備組裝成小型的電波天文望遠鏡，作為是一個適合在白天進行的天文觀測課程，學員可以從動手作的活動中，學習科學方法與精神，統合數學、物理、天文以及電機、電腦等知識，並瞭解到可見光天文觀測只是現代天文觀測的冰山一角，唯有全方位的觀測才能瞭解宇宙的全貌。

**關鍵詞：**電波天文望遠鏡、天文觀測、動手作活動

### 壹、前言

2009 年是全球天文年，主要為了紀念義大利天文學家伽利略(Galileo Galilei)，他在 1609 年首次將可見光望遠鏡當成天文觀測的重要工具。藉由自製望遠鏡的協助，伽利略發現月球表面凹凸不平，有高山與坑洞，有四顆衛星繞著木星公轉，以及金星有類似月亮的相變化，這些證據都是支持哥白尼的日心說。經過這四百年的持續發展，天文學家對於宇宙的認識，從托勒密的地心說，擴展到哥白尼的日心說，到銀河為宇宙中心，乃至島宇宙，膨脹宇宙，都是靠不斷進步的望遠鏡。而觀測用的可見光望遠鏡也從伽利略的 1 英吋(2.54 公分)口徑的折射望遠鏡，

進步到現今口徑十公尺的反射望遠鏡，甚至利用多面望遠鏡同時觀測，大大提高望遠鏡的解析度和威力。

相較於可見光望遠鏡，電波望遠鏡發展的歷史很短，1888 年德國物理學家赫茲(Heinrich Rudolf Hertz)首次製造出簡單的電波發射器和接收器，實驗證實馬克斯威理論預言的電磁波存在，1890 年代，特斯拉(Nikola Tesla)等人首先發現可以利用無線電波進行長距離的通訊傳播，成為人類最重要的訊息傳遞方式。1931 年，美國電波工程師顏斯基(Karl Jansky)首次偵測到來自外太空的電波訊號，日後證實此一電波訊號來自銀河中心。1937 年美國的雷伯(Grote Reber)在自家後院建造了口徑 9.5 公尺的拋

物面天線，專為電波天文學之觀測所用。

1944 年荷蘭天文學家亨德里特(Hendrik C. van de Hulst)預測中性氫原子可以發射 21 公分的電波訊號，直到 1951 年才有了觀測證據，銀河系的螺旋臂結構就在 21 公分的電波訊號下顯露出來。之後電波天文學的研究越顯重要，類星體、宇宙微波背景輻射、脈衝星和星際有機分子都是透過電波望遠鏡才得以發現，這些發現對宇宙的瞭解、星系以及星球演化過程、探索外星生命都有極大的貢獻。

臺灣有規模的天文研究發展始於十多年前，經由當時國內天文學家與國際知名華裔天文學家的合作，分別在中央研究院成立天文及天文物理研究所籌備處（以下簡稱中研院天文所），以及國立中央大學成立天文研究所。中研院天文所一開始致力於電波天文學的研究及發展，在短短十多年中，從無到有，藉由與國際一流的研究單位合作，學習世界一流的經驗，得以先後在夏威夷毛納基峰和毛納羅峰建立了次毫米波陣列與李遠哲陣列。1996 年，中研院和美國史密松天文台合作建造由 8 座 6 米天線組成的次毫米波陣列，當中有兩座天線是在臺灣製造，而李遠哲陣列是由中研院天文所與國內大學合作建立，主要的研究課題是和宇宙學有關，尤其是星系團的 SZ 效應，結合 X 射線的觀測資料，可以測得星系團的距離，推算出宇宙的各项常數。

國內電波天文學在天文所的努力下，研究規模已達國際水準，為深耕培養下一代的天文學家，提高在校學生對電波天文學的興趣，中研院天文所從 2008 年開始，首次為台北市的高中生舉辦電波望遠鏡動手作的活動，該活動在台北市立建國高級中學（以下簡稱建中）大力配合，與該校地球科學老師在有限的經費和人力（如表 1），共舉辦了四

次的活動，除了第一次活動是在建中校內舉辦外，其他三次與台北市立天文科學教育館（以下簡稱天文館）合作，都在天文館舉辦。

在傳統科普推廣中，常用的方式有舉辦科普演講和撰寫科普文章，精彩的演講和文章除了達到傳遞知識的目的，也可以吸引閱聽人的興趣，自動參與和閱讀進一步的科學內容。科普不僅要有傳播的功能，更可以有教育的功能，做為正規學校教育的補充，尤其是在科學方法和精神的層面。在現今升學導向的教育環境下，學生大多是完全接收老師所傳授的知識，經過反覆的背誦，以應付升學考試。但科學方法和精神的養成，不只是聽老師或專家的講解，實際動手作是很重要的學習過程，我們希望透過電波望遠鏡動手作活動，讓學生能有機會學習和體會不一樣的科學內容。

## 貳、原理

### 一、商業衛星天線系統

一般業餘天文愛好者或學生是不容易接觸到電波望遠鏡，這和可見光望遠鏡的情況不同。主要原因是電波望遠鏡都太大了，太過專業。電波望遠鏡受限於角解析度不足，唯有不斷地加大電波天線的口徑，才能滿足電波觀測的需求。對單一可轉動的電波天線直徑已達一百公尺（綠堤電波望遠鏡），這幾乎是結構承重的極限，而單一不可轉動的天線直徑則可高達三百公尺（阿雷西博電波望遠鏡）。為了進一步提高角解析度，運用干涉儀技術的電波望遠鏡陣列是不可或缺的觀測工具。但由於這些電波望遠鏡太過專業，造價太過昂貴，對一般人而言，是不易接觸，這對推廣電波天文學而言，是一大阻力。

其實在日常生活中，電波的使用是無處

不在，收音機、無線電視、手機、無線網路、微波爐所使用的電磁波都屬於電波範圍，差別只在使用不同的電波波長。爲了讓一般人和學生能夠對電波天文觀測有所概念，我們在國外網站找到利用衛星天線進行電波觀測的實例[Salah et al, 2003]，開始了電波望遠鏡動手作的計畫。

我們要動手作一台電波望遠鏡，當成電波天文學教學工作，不僅要造價便宜，所需器材還要容易取得，商業用的衛星天線便是理想的選擇。衛星電視的基本原理是利用碟型天線接收來自人造衛星的電波訊號，常見的電波訊號頻率有 4GHz 和 12GHz。整個接收系統包括碟型的拋物面天線、低雜訊降頻放大器（Low Noise Block converter，簡稱 LNB）、衛星電視接收機以及電視（如圖 1）。碟型天線能夠收集電波訊號，並集中到天線的焦點上。LNB 主要功能是把來自人造衛星的 4GHz 或 12GHz 電波訊號降頻和放大，將 LNB 放置在碟型天線的焦點上，電波訊號從天線表面的反射，進入 LNB，經過 LNB 的降頻放大後，將訊號透過電纜線傳送到接收機，從電視螢幕放送出來。



圖 1：TVRO(Television Receive Only)示意圖，針對各衛星所傳送的訊號，嘗試加以接收和解調但並不發送

## 二、自製電波天文望遠鏡

這樣的電波接收方式和電波天文觀測相似，我們可以藉由廉價的商業產品，達到人人都有機會用電波看宇宙的目的（如圖 2）。整套系統的架構除了包括碟型天線、LNB 外，我們還使用了衛星搜尋器（如圖 3），衛星搜尋器原先的用處是方便衛星天線的架設，衛星工程師可以使用衛星搜尋器將衛星天線對準地球上空的人造衛星，接收清楚的衛星節目。從衛星搜尋器的儀表板上可以讀取電波訊號的強弱數值，所以也稱作訊號強度計。針對我們的需求，我們將衛星搜尋器做了些修改，以利將顯示的數值傳到電腦，達到天文觀測的目的。在衛星搜尋器和電腦之間，我們自行設計製作了一個簡易的 AD 轉換器（如圖 4），主要功能是把衛星搜尋器的類比訊號轉換成數位訊號，透過 RS232 輸入電腦。我們在電腦端設計了相對應的軟體，可以將讀進來的資料即時畫出隨時間的變化，也可以將圖形儲存下來（如圖 5），該軟體還可以将資料儲存成一般的文字檔，事後用繪圖軟體進一步處理資料，例如用數學函式擬合觀測的電波資料（如圖 6）。

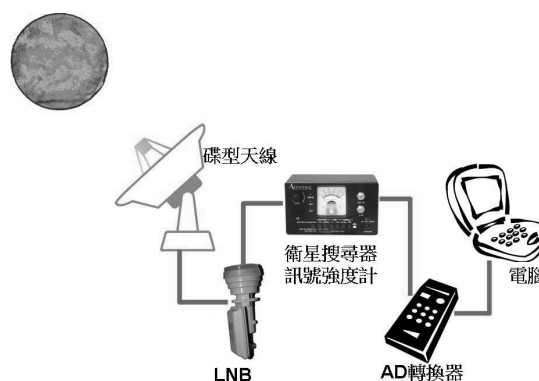


圖 2：電波望遠鏡組裝示意圖



圖 3：經過修改的衛星搜尋器



圖 4：自製的 AD 轉換器，用以連接衛星搜尋器和電腦



圖 5：專用軟體接收訊號的圖形介面，橫座標是時間，縱座標是接收到訊號的強度

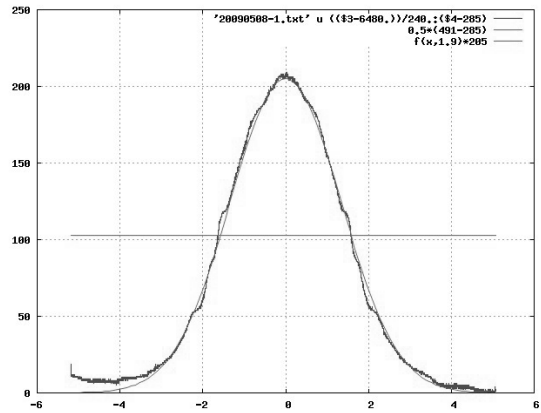


圖 6：事後用其他繪圖軟體進行後續的資料分析，紅色曲線是真實觀測的資料，綠色曲線是擬合的結果，綠色水平線是半幅的位置。

### 參、參與活動內容與過程

#### 一、動手作活動內容

在四次的活動中，共有 76 名學生以及 53 名老師參與（表 2），共組裝了六套 60 公分電波望遠鏡以及五套 85 公分電波望遠鏡，專門接收 12GHz 的訊號，由於經費不足，參與活動的學生和老師仍須繳交部分費用（如圖 7），活動結束後，所有器材都需拆解，留做下次活動重複使用。

對一般人而言，電波天文學是一門陌生的學科，為讓學員先有電波天文學的基本概念，活動一開始便安排兩場演講，分別由中研院天文所兩位專家介紹電波天文學以及電波天文觀測的基本原理。在整個活動過程中，也提供了一些簡短的實際操作說明，解說如何將現有的元件組裝成可以進行電波觀測的望遠鏡。經過這樣的安排可以讓學員瞭解實際動手組裝電波望遠鏡的步驟，進而瞭解電波天文學家如何觀測來自宇宙的電波源。

課堂解說之後，所有的學員採分組的方式進行動手組裝。剛開始，學員利用組裝好的電波望遠鏡觀測手邊的電波發射源（例如白熾燈泡），實際瞭解黑體輻射的概念，之後便到戶外進行太陽的電波觀測（如圖 8），並將資料記錄在電腦，活動最後一天驗收成果，各組推派代表上台報告組裝以及觀測太陽電波的結果。

## 二、活動過程經驗分享

由於電波天線是架設在一般的三角架上，沒有類似赤道儀的追蹤功能，對於太陽的觀測只能採用飄移掃瞄（drift scan）的方式，將電波天線瞄準太陽經過的路徑上，讓太陽從電波天線前方經過，獲得太陽的電波訊號隨時間變化的曲線，學員從曲線變化的

寬度可以推算出電波天線的角解析度，進而與電波天線的理論角解析度比較，達到理論與實驗的相互驗證。除了學員的實作外，中研院天文所也提供儀器設備，現場進行操作上較為困難的干涉儀演示，將兩個 LNB 的訊號疊加，藉由示波器展現電波訊號的干涉現象。

在實際操作過程，最困難的步驟是將天線對準想要觀測的物體—太陽，由於沒有自動追蹤和控制的協助，一切都得靠人工的方式完成，在天線的指向操作中，有些學員能夠自行發展出有趣的方式，幫助天線對準太陽。例如觀察 LNB 表面是否發亮，因為當太陽光集中在天線焦點時，會讓 LNB 的表面發光。除此之外，也可以將鋁箔紙貼在天線盤面上，然後從 LNB 的位置，向天線盤面望去，當鋁箔紙特別亮，代表天線已經對到太陽（如圖 9）。到了最近的一次活動（2010 年），有了進一步的改良—使用小塊鏡片取代鋁箔紙。由於鏡子反射太陽光的效果更好，將數塊小鏡片黏貼在天線盤面上，當天線正確對準太陽時，各個小鏡片反射的太陽光可以清楚地投射在 LNB 上，只要在天線前方看到所有的小鏡片都在發亮，表示太陽的電波訊號也會集中在 LNB 上。



圖 7：2008 年首次在建中校園內舉辦活動的團體照



圖 8：學員在天文館戶外實際動手觀測



圖 9：天線盤面貼上可反光的鋁箔紙，藉此做為天線對準太陽的工具

整體來說，大約有三分之二以上的學員可以在活動期間完成太陽的飄移掃瞄實驗，無法完成最後實驗的主要原因，除了電波天線不易對準太陽外，常受到衛星搜尋器的不穩定而影響進度，衛星搜尋器本身需要電源供應，並且原先的設計不適合長時間使用，因此常發生電源不足、或長時間使用造成過熱等因素，得到不正確的資料。此外購買的衛星搜尋器無法直接接上電源使用，必須充飽內建電池後使用，不利長時間觀測，我們事後針對這項缺點，進行搜尋器的修改，讓搜尋器可以直接接上電源使用。另外天線本身的瑕疵也會影響電波聚焦到 LNB 上，原因是器材經過幾次活動的重複使用，有些天線在操作過程中，因為強風而被吹倒，造成天線盤面的變形，影響後續活動學員的使用。

## 肆、討論

### 一、先天的限制

電波天線接收到的訊號和可見光望遠鏡大不相同，這種比較是不容易從課本上學習來的。可見光望遠鏡就像照相機一樣，看到的是一張影像，是一張二維的空間分佈影像，但電波天線所接收到的訊號是空間上某一點位置的電波強度，可看度不高，若要獲得照片般的影像，必須將天線沿著二維天空，一點一點地掃瞄，才能獲得解析度不高的二維影像（如圖 10）。這種掃瞄的方式必須要有自動追蹤以及自動控制功能的配合，比較簡單的方式是將電波天線架設在一般可見光望遠鏡的赤道儀上，然後透過赤道儀的自動追蹤以及 Goto 的控制系統，才能做到，缺點是一般常用的赤道儀載重有限，碟型天線放在赤道儀上，由於天線盤面尺寸的原因，會產生較大的力矩，限制能夠使用的天

線大小。不過學員若能從動手組裝和使用電波望遠鏡的過程，體會出自動控制的好處，以及自動控制的迫切需求，這對後續的改良有正面的作用。

由於觀測頻率與天線大小的限制，衛星天線所組成的電波望遠鏡在靈敏度和解析度不能與專業用電波望遠鏡相比，但從實際操作和理論計算仍可以相互驗證所使用碟型天線的角解析能力，讓學員對望遠鏡角解析度有更深入的體會。在這樣的解析能力下，能夠觀測的天體只有太陽和月亮，由於活動期間集中在白天，太陽成爲此次活動的主要觀測目標。

除了天然的電波源(太陽)，人爲的電波源也充斥在日常生活中，一般室內照明所使用的日光燈是利用螢光原理，不像白熾燈泡產生的黑體輻射，而是在 12GHz 有很強的輻射，透過電波望遠鏡的接收，還可以瞭解白熾燈泡和日光燈發光原理的不同。另外在天空中的同步衛星也是很強的電波源，它會不斷發射足夠強的衛星電視訊號，我們還可以將這樣的同步衛星當成觀測目標，甚至當成電波望遠鏡定位指向(pointing)的校準星，就像可見光望遠鏡將北極星當成校準星，方便進一步的觀測。只不過這些都需要有適當的追蹤系統，例如赤道儀或經緯儀，由於經費的限制，無法在活動中進行。

### 二、團隊合作的培養

團隊合作也是科學學習的重要過程，尤其是現代的天文科學研究，單靠一個人的能力是很難解決所有的問題，爲了培養學員團隊合作精神，每次活動都是採取分組進行，由於天線架設在固定的三角架上，電腦進行電波訊號的接收，整個觀測過程需要學員發揮團隊合作與分工的精神，共同操作與解決

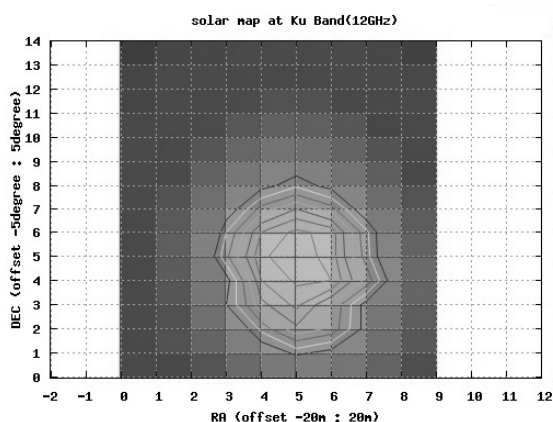


圖 10：利用 60 公分天線紀錄太陽在 12GHz 波段的二維影像

問題，這是大部分臺灣學生所欠缺的。基本上參與這項動手作活動的大部分學生都是北部地區明星學校的學生，很會唸書，不過實際動手作的經驗仍待加強。動手作實驗的主要精神在於嘗試錯誤，在不斷地錯誤中學習，但嘗試錯誤不適合考試，嘗試錯誤的學習成果不容易從考試成績上顯現出來。考試不容許出錯，考試只有標準答案，但科學研究是在不斷嘗試錯誤中得到結果，在電波望遠鏡動手作的活動中，有部分過程需要團隊合作以及實際動手才能獲得成果，例如電波天線是架設在固定的三角架上，在找尋太陽、對準太陽、甚至將天線預先對準在太陽行經的軌道上，這些動作都需要一個好的定位方式，才能事半功倍。在三角架上安置合適的小工具用來測量天線瞄準的方位角和高度角是必須的，當知道天線對準位置的方位角和高度角，進一步瞭解太陽的移動位置就變得容易多了。不過大多數學員都是靠練習和感覺來調整天線，每觀測一次都得重新來過，這使得調整的工作變得複雜而費事。

### 三、各學科知識的整合

電波天文觀測結合了數學、物理、電機和電腦資訊方面的知識，學員從中可以學到電磁波、黑體輻射、電學、輻射訊號接收以及相關的電腦知識，當然還有電波天文學的內容。透過動手作的過程，可以培養學生解決問題的能力。由於電波觀測不易受到天候和晝夜的影響，並且相對於專業可見光望遠鏡，整套自製電波望遠鏡的造價相對低廉(大約新台幣六千元)，容易在市場上購買，是一項適合課堂上學習的課程。

### 四、未來改進與展望

此項計畫還可以配合市售的馬達控制碟型天線，達到經緯儀的功能(如圖 11)，甚至透過電腦介面遠端遙控，可以在網路上進行電波天文觀測。我們最近已經採購 YAESU G-5500 天線水平及垂直轉向控制器以及對應的 GS-232B 天線轉向控制器電腦界面，



圖 11：上圖是接上馬達的衛星天線。下圖是整合商業產品進行遠端控制電波天線(戶外)，桌面上放著電腦、衛星搜尋器以及馬達控制器。

YAESU G-5500 提供水平和垂直雙向馬達，其功能就像一般望遠鏡所使用的經緯儀，控制天線的方位角和地平高度，GS-232B 則是電腦和控制馬達之間的專屬介面，電腦藉由 RS232 傳輸線，可以將控制訊號傳給 G-5500，進而轉動衛星碟型天線。未來可以結合免費的星圖軟體，以及網際網路的連接，遠端操控電波望遠鏡，並進行電波訊號的觀測。

現階段的電波望遠鏡動手做活動著重在學員直接動手操作的過程，未來將會編寫出操作手冊，並發展出一系列可在課堂上演示的電波觀測實驗，例如測量系統溫度、天線溫度、天線孔徑大小、系統校正以及天線指向，方便有興趣的學生或老師自行學習。長程目標是建立一套教學用的電波望遠鏡，可以讓人直接透過網路進行電波觀測，不僅讓

學生學習設計觀測實驗，並且瞭解電波天文學家是如何進行觀測。

另外，若能結合電機電子能力的訓練，自行製作低頻(例如 1420MHz)的 LNA(Low Noise Amplifier, 簡單地說就是不具降頻功能的 LNB, 只有訊號放大的功能)，結合更大口徑的商業衛星天線，便可以進行氫原子的巡天觀測，甚至發展兩面天線以上的電波干涉儀，這對業餘電波天文觀測是一項深具意義的目標，不僅提升國內電波觀測能力，也為業餘電波天文觀測另闢一扇天窗。

## 致謝

感謝中央研究院天文及天文物理研究所的補助，以及資訊同仁黃品淞先生在電子軟體方面的協助製作，使本研究得以順利完成。

表 1：各次活動人力支援與經費統計表

活動日期	工作人員	補助經費 (新台幣)	舉辦地點	補助計畫
2008/4	3 (建中) + 5 (天文所)	70,400	建中	1. 臺北市 97 年度區域性資賦優異教育方案
2009/3	2 (天文館) + 2 (建中) + 5 (天文所)	80,000 + 22,500	天文館	1. 臺北市 98 年度區域性資賦優異教育方案 2. 臺北市高級中學科學教育輔導網地球科學科輔導團 97 學年度「電波干涉儀實作」研習計畫方案
2009/9	2 (天文館) + 1 (建中) + 5 (天文所)	0	天文館	註：沿用前次活動的硬體設備
2010/5	2 (天文館) + 5 (天文所)	0	天文館	註：沿用前次活動的硬體設備

表 2：各次活動參與學員人數與成果統計表

活動日期	活動天數	參與活動人數	電波望遠鏡數量
2008/4	四天	24 (學生) + 8 (老師)	六套 60 公分電波天線
2009/3	四天	15 (學生) + 15 (老師)	五套 85 公分電波天線
2009/9	四天	15 (學生) + 15 (老師)	五套 85 公分電波天線
2010/5	三天	22 (學生) + 15 (老師)	五套 85 公分電波天線



## 參考文獻

1. 曾耀寰,李文禮(2010): 電波望遠鏡動手作活動, 第三屆海峽兩岸科普論壇,桃園,元智大學
2. Salah, J.E., Pratap, P., Rogers, A.E.E. 2003. “The Educational Role of Small Telescopes in Radio Astronomy”, *The Future of Small Telescopes in the New Millenium*. Vol. II, 323-336.
3. William Long, 2006, “Radio Astronomy Projects”, Radio-Sky Publishing

## **A Small Radio Telescope for Educational Purposes**

**Yao-Huan Tseng**  
Academia Sinica

### **Abstract**

Radio Astronomy has been developed in the last century. Radio astronomers discover many unseen astronomical objects and phenomenon people never saw before by detecting the radio signals from the universe. I will introduce a small radio telescope which based on existing commercially available satellite television equipment. This small radio telescope is an ideal tool for teaching the astronomical observation in the date time. Students can learn scientific method and spirit in the Do It Yourself (DIY) activity and integrate the knowledge of physics, astronomy, engineering principles and computer technique. It allows learners to reinforce the fact that the visible light is indeed just the tip of the iceberg. We only understand the universe via observing with the whole electromagnetic spectrum.

**Key words:** Radio telescope, astronomical observation, Do It Yourself activity