

中華民國第四十三屆中小學科學展覽會參展作品專輯

高 中 組

地球科學科

科別：地球科學科

組別：高中組

作品名稱：聽流星在說話

關鍵詞：流星、電波、HRO

編號：040507

學校名稱：

國立台灣師範大學附屬高級中學

作者姓名：

黃郁書、劉士賢、王藝婷

指導老師：

陳忠信

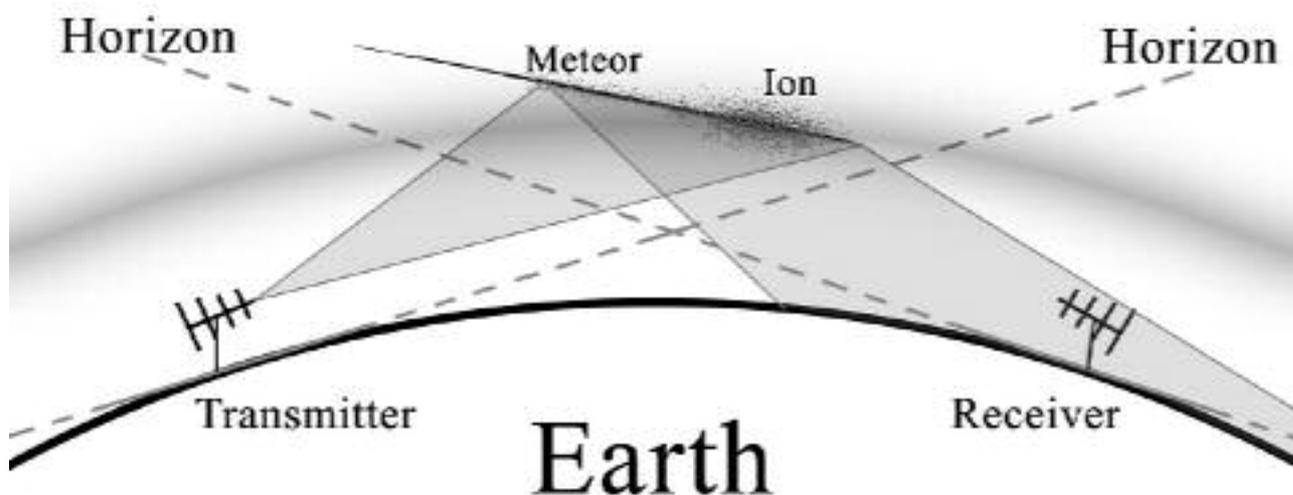


## 摘要

流星真的會說話嗎？當然不會！但是我們卻可以收到「來自流星的聲音」，流星墜入大氣層燃燒時的高溫，可使電離層局部電離濃度升高，高度電離化的空氣將會反射地球遠方平時收不到的電台訊號，藉由偵測這些訊號可用來觀測流星。

我們將要製作一電波流星觀測站，並進行實際的觀測。電波觀測不受天氣影響，即使白天也可以觀測。配合現代電腦強大的運算能力，可以解析出更多的微訊號，並精確的紀錄、統計，透過網際網路還可以即時與全球分享。優點甚多！

台灣缺少這方面的觀測研究，希望本作品能引起後人的興趣，做進一步的研究。



圖一、電波流星觀測原理

## 壹、研究動機

記得 2001 年 11 月，我們有幸能看到本週期最壯觀的一次獅子座流星暴，那是我們第一次看見流星，上千顆的火流星，實在令人永生難忘。

隔年台灣因爲月相不佳，難以再看到壯觀的獅子座流星雨，失望之餘，我們偶然發現了一個國內有關電波流星觀測的個人網站，得知可以利用電波來觀測流星，且不受天候及日夜限制，這個特點引起了我們的興趣，爲了迎接本次月相不佳的流星雨，我們決定試著進行國內甚少研究的**電波流星觀測**！

一般目視觀測流星，常會受到天氣以及月相的影響，身爲學生，還要在假日才能觀測。這對我們來說是極大的困擾，若可以不受月相、氣候的限制，在任何時間自動觀測記錄，那麼觀測流星就再也不用靠「運氣」了，這不僅是我們研究的動機，更是我們持續研究的動力！

### 作品與教材單元相關性

南一地球科學上冊 7-2.2 氣溫隨高度變化：在熱氣層的介紹提到有關電離層的部分，帶電粒子可以反射波長的較長的無線電波，使廣播能向遠方傳播。課本圖 7-10 大氣溫度的垂直分佈，流星出現的位置在距離地面 80Km 左右。

南一地球科學上冊 9-2 天文觀測：提到可以用無線電波的方法做天文觀測。

南一地球科學下冊 3-2.3 冥王星、小行星及彗星：曾提到流星體會受到地球引力吸引飛進大氣層，並在大氣層燃燒。

## 貳、研究目的

- 一、根據電波流星觀測基本原理，建立一套自己設計的電波流星觀測站
- 二、由接收到的訊號，開發自動流星偵測軟體取代人工辨識
- 三、從架設整套電波流星觀測系統的過程瞭解電波流星觀測法的特性與未來的發展潛力

## 參、研究設備及器材

### 天線部分

材料	塑膠水管(口徑 2.5 吋 厚 3mm E 管)	長度 4m、2m 各一支
	尼龍繩(粗約 1cm)	50m
	鍍鋅鐵絲	適當長度
	木條	4m、2m 各一支, 120cm 兩支
	不銹鋼角鋼(1 吋)	15cm * 2
	塑膠水管 U 型金屬夾	2 個
	圓形壓著端子	8 個
	歐洲夾(小)	2 個
	白扁線(1.6mm*2C)	540cm
	同軸電纜 5D-FB	20m
	M 型→BNC 型同軸電纜轉接頭	1 個
	一般電線	8m
	螺絲、螺帽、墊圈	若干
	封箱用寬膠帶	一捲
	電工膠帶、水管用止瀉帶	各一
	橡膠墊	適量

### 接收及分析系統部分

個人電腦(CPU: AMD 500Mhz)
瑞麗 春之頌音效卡
Microsoft Windows2000 作業系統
Microsoft Excel 2000
Microsoft Visual Basic 6.0
Sound Technology SpectraLAB 4.32.17
Messer v0.98
MP3 Decoder
ICOM IC-PCR1000
Communication 全頻接收機
ICOM 原廠 IC-PCR1000 控制軟體
3.5mm 鍍金接頭聲音訊號連接線 10 尺
RS-232C 9pin 電腦連接線 5 尺 *2 條
飛瑞 A-500 不斷電系統(UPS)

### 工具

電鑽、鑽床、老虎鉗、尖嘴鉗、剝線鉗、剪刀、美工刀、螺絲起子、活動扳手、熱熔膠槍、焊槍、長捲尺、指南針、三用電表



圖二、天線製作材料



圖三、無線電接收機

## 肆、研究過程或方法

### 一、 尋找相關資料並瞭解其理論基礎

我們以先前提到的電波流星觀測個人網站出發，學習電波流星觀測的基礎，並主動以 E-mail 和站長曹先生討教，另外因為台灣目前從事此研究的人實在太少（我們是台灣第四座 HRO 觀測站，其他三座只有曹先生的龍潭觀測站經驗較豐富，台北市立天文教育館的觀測站剛成立，尚在試驗階段），為了得到更多資訊，我們也向國外的網站搜尋，吸取更多別人觀測的經驗。

過去電波流星觀測常用 FRO(FM Radio meteor Observation)，以 FM 廣播電台做為接收對象，但近來由於非法地下電台及都市的電波雜訊干擾日趨嚴重，要做 FRO 十分困難。新的研究方向是 HRO(Ham Radio meteor Observation)，接收業餘 50Mhz 無線電台示標(Beacon)訊號，此頻道一般很少使用，較不受干擾，且示標電台大多是 24 小時發射，所以適合做全天觀測。

在以下的實驗，我們採用的也是 HRO 方式。

### 二、 初步規劃

#### （一）觀測地點：北縣雙溪

電波觀測地點必須遠離電波干擾源。經過探勘後，我們決定將在雙溪建立觀測站，此地點位在山路旁的住宅頂樓，平時車輛很少不易受汽機車引擎的火花干擾，且電波接收方向的視野開闊，背面則剛好是山壁，可以阻擋來自背面不必要的電波。

#### （二）監測電台：JA6YBR 日本九州宮崎大學示標電台，USB 模式 50.0169Mhz，功率 50W

此電台在位置上可說是台灣地區 HRO 的最佳選擇，台灣其他三座觀測站皆觀測此電台，考慮到未來彼此分享和比對觀測數據的可能性，我們決定也觀測同一電台。

#### （三）接收機：ICOM IC-PCR1000 電腦介面全頻接收機

若要接收 50Mhz 電波，這類的無線電接收機是必要的，PCR1000 價格較便宜，且可以透過電腦控制，十分方便。

※ 規格詳見<附錄二>

### 三、 選擇適合的天線

流星經過反射後，訊號變得很微弱，所以必須使用高感度的天線，但若感度過高，會使得指向性太尖銳而觀測範圍變窄，不利觀測。

最常用的是 Yagi 天線，包括龍潭觀測站和台北市立天文教育館，都是使用日本 Comet 公司製的 50Mhz 4 元件 Yagi 天線（元件數目越多則增益越高、指向性越尖銳），但是我們這次研究並不使用 Yagi，原因是：

- （一）我們希望能嘗試使用不一樣的天線，尋找是否有比 Yagi 更佳的選擇。
- （二）50Mhz 的 Yagi 天線不便宜，Comet 公司網站上的報價高達 13,800 日圓，而且國內甚少進口，可能要向國外訂購。
- （三）曾經考慮自製一支 Yagi，但是 6 米波的天線尺寸很大，4 元件 Yagi 長約 3.5 米，寬約 3 米，而且要受日曬雨淋，使得製作的難度增加，加上 Yagi 對尺寸的準確要求比較高，若是做得不好，可能就失去了本來的優點。

於是我們開始尋找其他可用的天線，在網路上以及學長留下來的書裡面，我們發現 Hentenna 是個不錯的選擇，雖然增益沒有 4 元件 Yagi 高（約 5.1dBi，相當於 2 元件 Yagi），但難得的是在 5.1dBi 增益下，半值角還能維持約 80 度，而且寬容度高，尺寸要求不嚴格，容易製作是一大特點，所以我們決定以自製 Hentenna 來進行觀測。

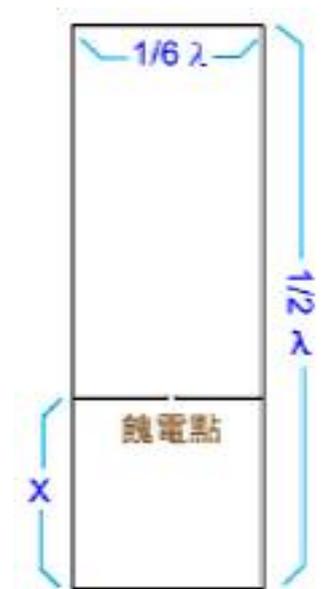
只是以 Hentenna 觀測流星的例子很少（僅知日本有 1 位而已），對於突破傳統使用不同的天線將是一大挑戰！

### 四、 天線的設計與製作

標準 Hentenna 如右圖。其中 X 的長度比較特殊，約  $1/6 \lambda$ ，但精確長度需要經過實際試驗與調整才能決定（使天線達到正確的感應頻率）

另外  $\lambda$  會受到金屬中光速變慢的影響，實際波長要乘以波長縮短率約 0.98，但因為這裡差異很小，可以不考慮。

原則上天線高度越高越好（避免地面或建築物與天線互相感應），所以我們特別把天線架高 3 公尺（總高 6 公尺）。另外除了天線本體以外，盡可能不用金屬材料，使天線特性可以更接近理論狀態



雖然「天線製作技術秘笈」有提到製作的方法，但是因為我們把天線架得很高，有很多強度的因素要考慮，所以我們必須自己重新設計天線的支撐結構，設計圖解如下 Hentenna 構造

### 主桿：

爲了不使用金屬材料，主桿使用較粗且厚的塑膠管（口徑 2.5 吋，厚 3mm，E 管），再用一些粗木條加以補強，最後以鐵絲一起固定在建築物突出的鋼筋上。

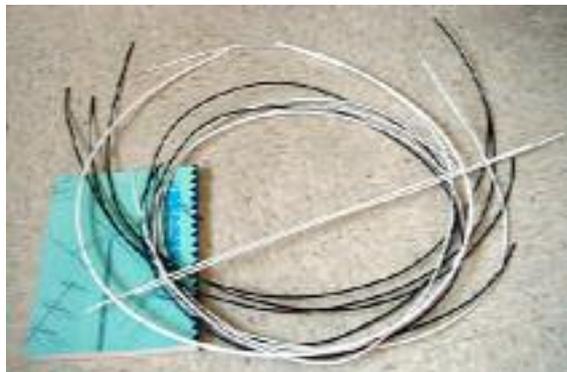
另外因爲塑膠管單支最長只有 4 米，所以主桿是用兩截連接而成的。

### 拉線：

爲了穩定主桿，使用 4 條粗約 1 公分的尼龍繩從頂部拉住主桿。

### 單芯銅線：

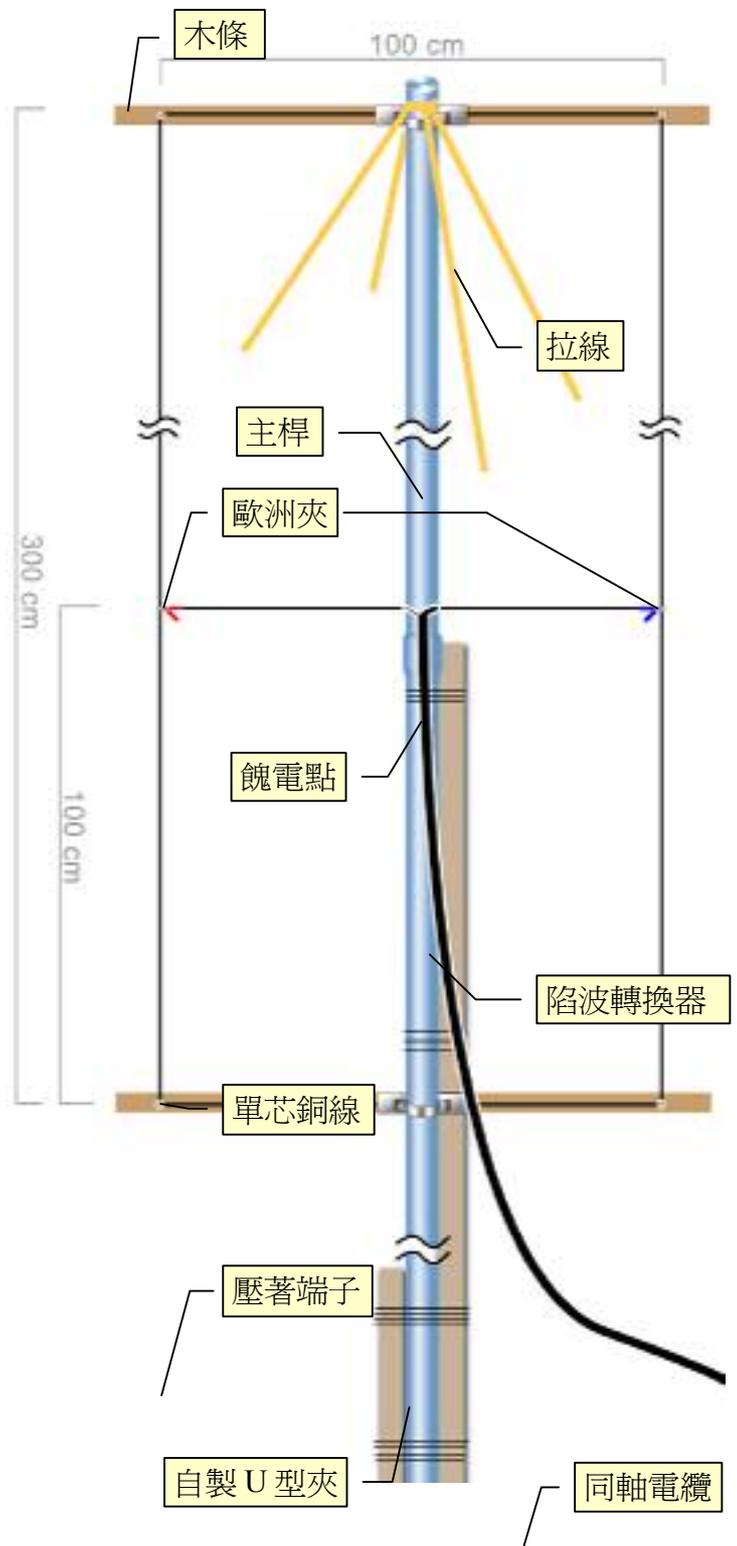
我們以單芯銅線構成天線的本體。把白扁線（一種室內電源配線）最外層皮切開，可得到兩條單芯銅線。需要的銅線有縱向元件 3m 兩條，橫向 1m 兩條，餽電元件 0.5m 兩條。



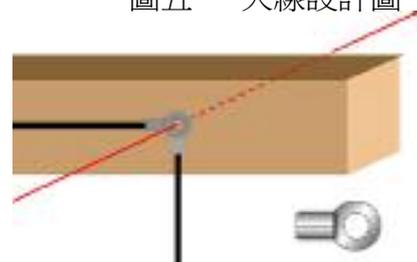
圖六、白扁線切開後得到的銅線

### 木條：

因銅線較軟，容易變形，所以用木條加以支撐，木條再和主桿連接。此外爲了避免木條在戶外腐朽，我們用寬膠帶包起來加以保護。



圖五、天線設計圖



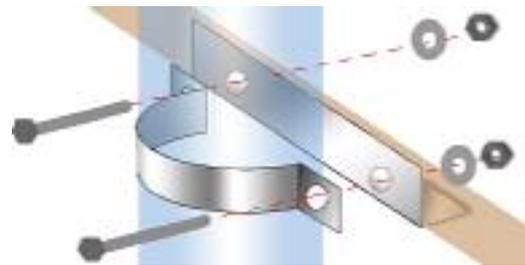
圖七、壓著端子與木條

### 壓著端子：

銅線兩端裝上圓形壓著端子，橫向和縱向銅線藉此互相連通形成 Hentenna 迴路，然後以螺絲固定在木條上。

### 自製 U 型夾：

木條和主桿之間以 U 型夾連接，但一般天線用的 U 型夾尺寸都太小夾不住塑膠管，於是我們自己設計了一個替代品，以水管用的 U 型夾（和天線用的不同，是  $\Omega$  形狀的），和角鋼（請鐵工廠裁的）。將木條放在角鋼上，然後一起鑽上兩個洞，把螺絲穿過 U 型夾、角鋼、木條，加上墊圈鎖緊即可固定。



圖八(上左)、一般 U 型夾  
圖九(上右)、我們設計的 U 型夾  
圖十(左)、U 型夾與木條完成圖

### 歐洲夾：

一種類似鱷魚夾的夾子，接上餽電元件後，夾在縱向銅線上，再用電工膠帶把接點連同歐洲夾一起纏好固定避免脫落。



### 同軸電纜：

圖十一、歐洲夾和接點

使用 20 公尺長的 5D-FB 低損失型同軸電纜，連接天線與接收機，在 50Mhz 的傳輸損失約 0.9dB。還有因為電纜是 M 接頭，PCR1000 是 BNC 接頭，所以加裝一個轉接頭。



圖十二、5D-FB 同軸電纜



圖十三、M-BNC 轉接頭

### 餽電點：

將同軸電纜接上餽電元件，用熱熔膠固定接點避免短路，外面用止洩帶把整個餽電點纏好，再纏上一層電工膠帶，雙重保護防水。



圖十四、待連接餽電元件之同軸電纜



圖十五、餽電元件連接完成



圖十六、示意圖

### 陷波轉換器：

天線為了和同軸電纜阻抗匹配，還要有平衡-不平衡轉換器，根據「天線製作技術秘笈」提供的陷波式轉換器製作方法如下：

剪下一段同軸電纜，長度為  $1/4 \lambda$  乘以同軸電纜波長縮短率 0.67，約等於 1 公尺。抽出其外部隔離網線，再包覆在另一段同軸電纜上，切開一小部分電纜外皮，將電纜的網線和包覆上去的網線底端銲接在一起，最後再用電工膠帶密封起來即可。



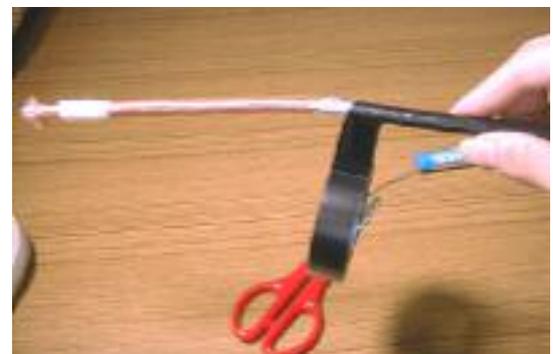
圖十七、抽出的網線



圖十八、套到電纜上



圖十九、銲接接點



圖二十、纏上膠帶

最後將完成的天線朝向日本九州，方位約北  $45^\circ$  東，仰角約  $7^\circ$

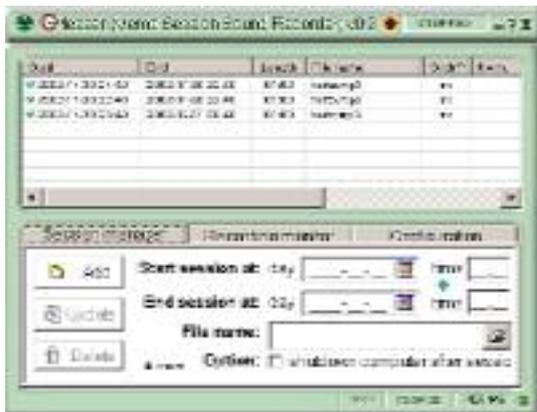
## 五、資料的收取

- (一) 天線完成以後，將同軸電纜接上 PCR1000，即完成訊號的輸入。再從接收機接出一條地線通入地下，可以幫助減少雜訊
- (二) 電腦與接收器之間盡量保持距離，避免電源供應器和 CPU 的干擾，實際接收時，也要把螢幕電源關閉（螢幕也是干擾源之一）
- (三) 因為電腦遠離接收機，控制 PCR1000 的 RS-232C 連接線以及聲音訊號線都要加長。聲音訊號線則特別挑選有鍍金接頭的，避免以後接頭氧化造成雜訊
- (四) 使用原廠 PCR1000 控制程式，將頻率設定在 USB 50.0169Mhz，最窄頻寬 2.8K
- (五) 爲了方便研究訊號的處理方法，我們決定以長期錄音的方式，錄下極大期那幾天的聲音訊號，做爲流星訊號的研究樣本



圖二十一、ICOM PCR-1000 控制軟體

- (六) 爲了解決長時間錄音所需要的大量記錄媒體，我們想到可以利用電腦的大容量硬碟錄音，並且利用目前流行的 MP3 格式來節省硬碟空間（可節省 10 倍以上）。我們在網路上找了好久，終於找到適合的軟體「Messer」，可以做 MP3 即時壓縮，並且能排定時程讓軟體自動錄音



圖二十二(左)、Messer

圖二十三(上)、MP3 Decoder

- (七) 爲了配合後面才會提到的訊號分析程式，MP3 要先解壓縮才能分析，我們使用「MP3 Decoder」，優點是可以一次連續轉換數個檔案，減少重複操作的麻煩
- (八) 先對一些較大的流星群進行觀測，包括 2002 獅子座流星雨、雙子座流星雨，以及 2003 象限儀座流星雨。以一個小時爲單位，定時錄音與儲存。待有空的時候再到雙溪觀測站取回檔案進行分析。

## 六、 訊號分析

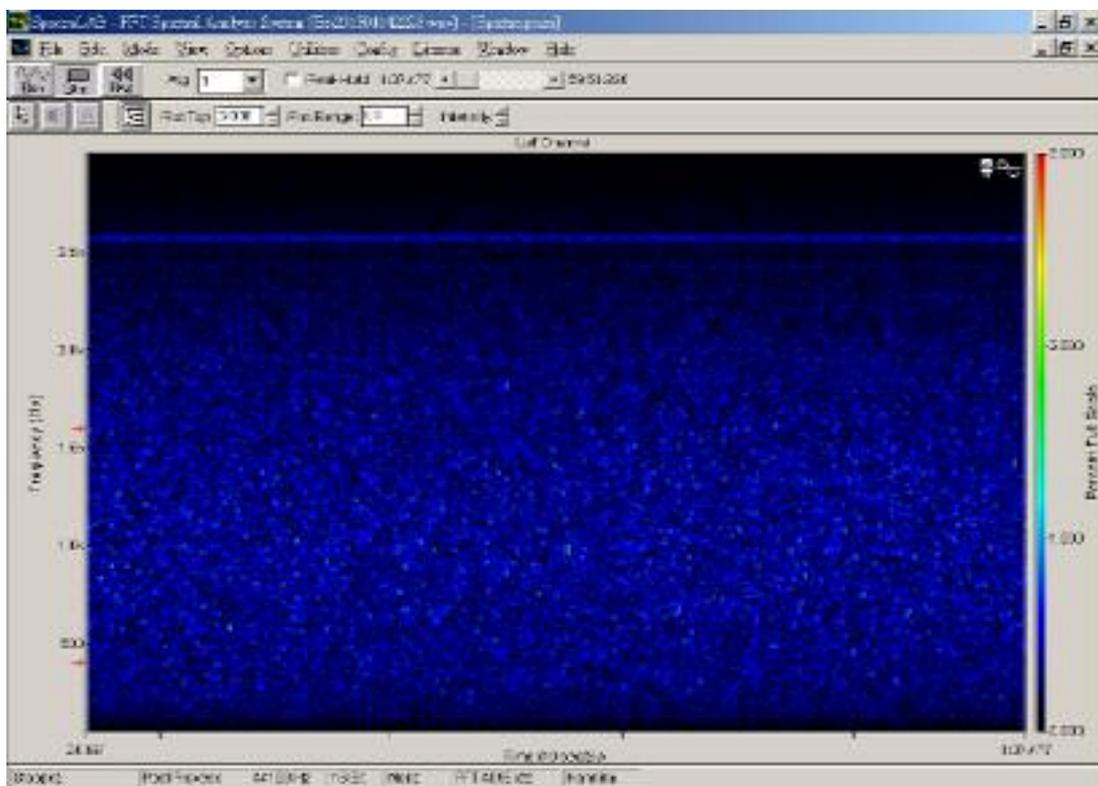
爲了計算聲音檔中的流星數目，雖然用聽的就可以知道是否有流星，但要聽完這些龐大的聲音檔恐怕不是一件容易的事，而且結果也不客觀，所以我們改用軟體自動分析。

最常用的流星分析軟體是 HROFFT 和 FFTDSP，但我們在網路上找不到 HROFFT，又 FFTDSP 一定要搭配 Creative 公司的舊型音效卡才能使用。在沒有現成分析軟體可用的困境下，唯一的辦法。就是自己設計分析程式。然而現有的程式並沒有公開原始程式碼，也沒有說明如何分析。所以我們開始嘗試自己探索分析流星訊號的方法。

### (一) 頻譜軟體

從 HROFFT 和 FFTDSP 名稱上就可以知道，是用了 FFT (Fast Fourier Transform, 快速傅立葉轉換) 頻譜分析，分離出聲音訊號在不同頻率的強度值，這對偵測微弱訊號很有用，因爲雜訊的強度會分散在頻譜的各個位置，但要偵測的訊號則會集中在特定的頻率，使得 S/N 升高，可以偵測出更微弱的訊號。

所以我們決定也用 FFT 分析，上網搜尋 FFT 軟體，但試過好幾個軟體，大多都不具有資料輸出的功能，無法提供數值化的資料供我們研究。不過在我們努力之下，終於還是找到了適合的軟體，是 Sound Technology 公司的 SpectraLAB，介面簡單但功能完整實用。



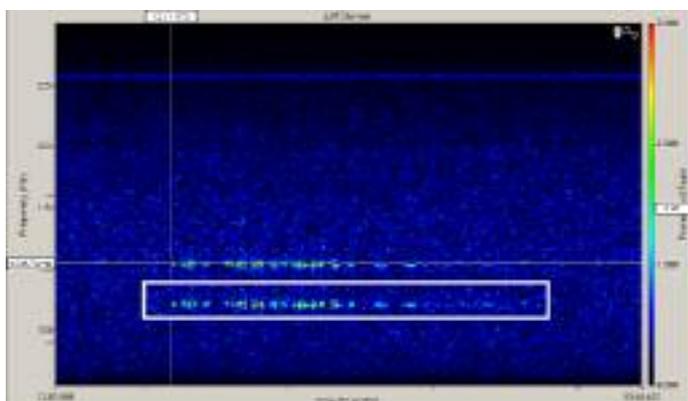
圖二十四、 SpectraLAB

## (二) 訊號的種類

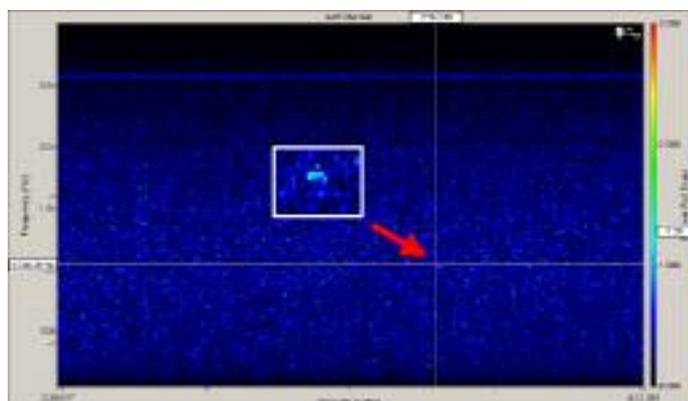
爲了設計一個流星自動偵測程式，此程式要能鎖定流星訊號的某些特徵，以及排除非流星訊號的可能。所以一開始我們得先認識我們收到的訊號內容。又因爲資料量很大，所以採抽樣一部份觀察。

從 Spectrogram 可觀察到，大多是背景雜訊（圖中藍色部分）。

偶爾會出現如下二圖的訊號，呈單一音頻且不隨意飄移（Beacon 型態），強度的變化也符合流星反射理論上的情形（強度突然增加，然後慢慢減弱），因此我們認爲這就是流星反射的電波訊號。在一次較長的訊號（圖二十五，位於 200301042223.mp3，約 12 分 10 秒處），可清楚的聽到摩斯電碼的聲音，證明這的確是 Beacon 訊號。

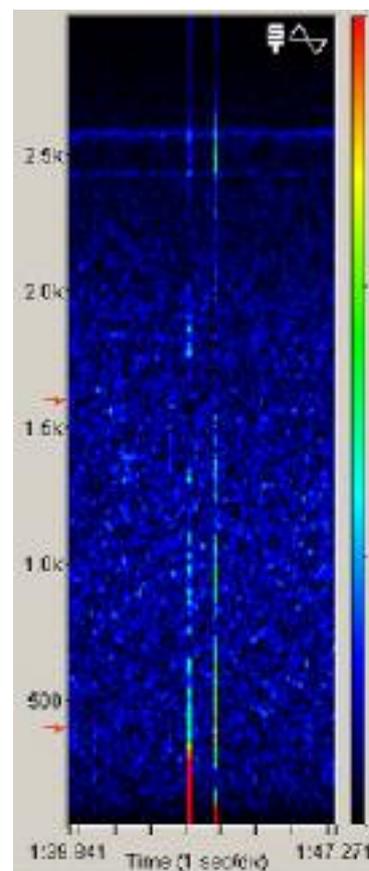


圖二十五、長時間反射訊號



圖二十六、短時間反射訊號

其他還有各種干擾訊號，例如突波（右圖），經常出現。



圖二十七、突波

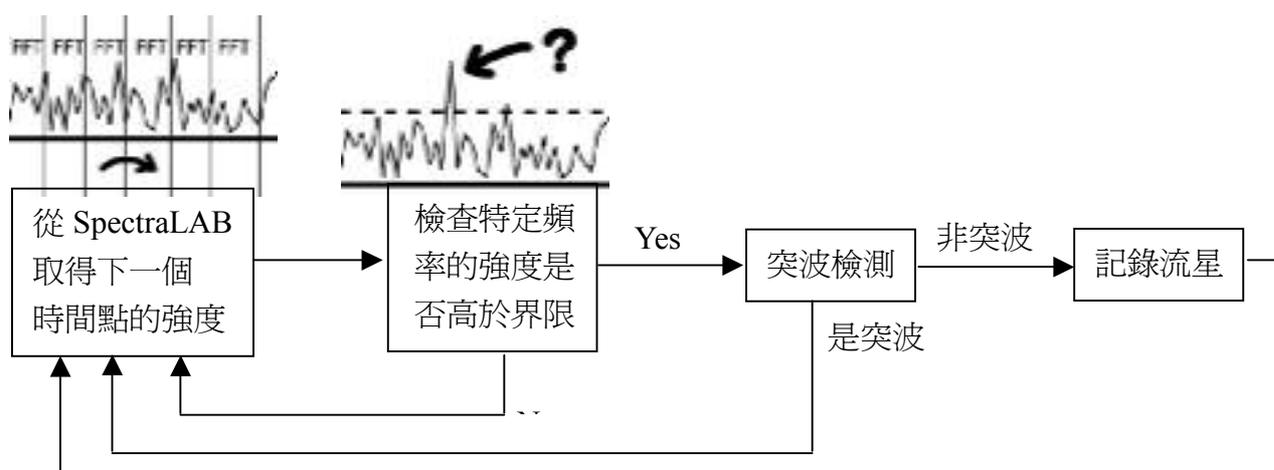
### (三) 訊號的程式自動分析

根據前面的結果，判別流星訊號的篩選條件可以是：若一特定頻率的強度高於某一界限，即可「懷疑」是流星訊號（此特定頻率及強度標準需事先設定）。但這些訊號中可能還包含了突波（因為突波強度極強，且會分佈於各頻率），所以還要從中再扣除之。

至於檢測突波的方法。我們認為，單從單一頻率是無法判別突波的，還要看其他各頻率的強度變化才行（因為突波是同時發生於各頻率的），所以我們判別突波的方法是：比較各個頻率與其各自的前一個時間點的強度，統計有幾個頻率有「強度增加」的情形，此數目越多則代表越可能是突波，若大於某一值（需自行設定），則判定為突波。

最後若判定為流星訊號，程式會開始記錄其時間、強度變化等資料，以及統計流星數 (HR)，直到該訊號強度已低於強度界限，然後再繼續偵測下一個流星訊號。

以下是程式分析原理的圖解：



圖二十八、 程式分析原理圖解

另外，因為我們記錄了十分大量的聲音檔，不可能逐一檢查所有的聲音內容，所以我們相信在這些聲音檔中，應該還存在其他未知的干擾訊號，雖然可能造成分析結果錯誤，不過我們反而也能從錯誤數據中知道還有哪些未知干擾，便可以改善程式，如此可讓程式抗干擾能力逐漸完備。

## (四) 程式設計

最初的構想是用 Excel，將 SpectraLAB 的 Data Log 匯入，再用巨集程式分析，但是我們發現 Excel 的巨集實在太簡陋，不適合寫複雜的程式，而且用 SpectraLAB 輸出記錄檔的工作仍要一個一個手動執行，十分麻煩。

後來我們改用 Visual Basic 來撰寫分析程式，並利用 DDE(Dynamic Data Exchange)與 SpectraLAB 連接，即可以外部程式控制 SpectraLAB 動作，也可以要求傳回頻譜資料，所以可以自動一次完成大量的分析。

本來設計這程式只是爲了要能分析資料，但在後來不斷改良下，又整合了許多功能，使程式更完備，更方便使用。整個程式包含以下主要功能：

### 1. 檔案批次分析

用來分析之前錄的聲音檔訊號，可以選取多個檔案，一次完成所有的分析。

### 2. 連續分析

我們把錄音的功能整合進來，並讓電腦在錄音時同時進行分析，如此便能達到不限時間的即時連續分析，並且不再需要 Messer 與 MP3 Decoder，未來可用在常設性觀測站上。

錄音格式改採不壓縮方式，可避免 MP3 壓縮失真的問題。

### 3. 定時啓動與停止

從 Messer 想到的點子，可設定時間定時啓動或停止「連續分析」。

### 4. 資料統計

專門用來檢視流星記錄檔的程式，提供試算表、圖表，還有當日統計、前 10 日統計以及全年統計等功能。

#### ※ 紀錄格式

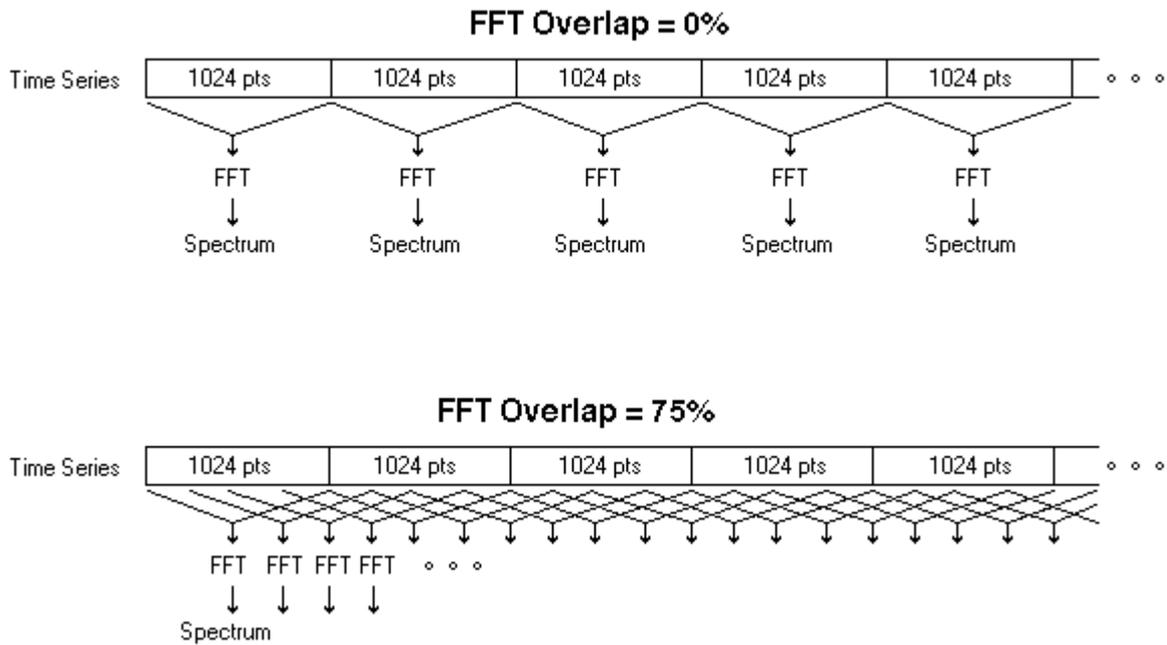
流星之記錄格式除了用我們自創的格式來紀錄完整的資訊外，本程式也以國際上通用的格式 RMOB(Radio Meteor Observing Bulletin)紀錄，方便與國際共享。

此程式還有一些參數設定，跟靈敏度有關，依序如下：

### 1. FFT size :

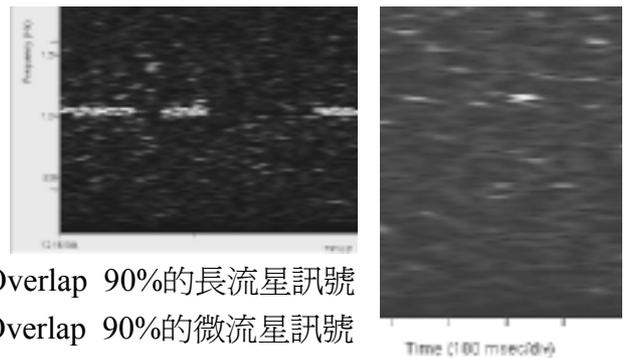
頻譜解析出的頻道數量，頻道越多頻寬越窄，S/N 越高。但若設得太高會導致時間解析度太低，分析不出微流星；反之設得太低，雜訊會過多而難以偵測。

### 2. FFT Overlap :



圖二十九、FFT overlap 示意圖 (摘自 SpectraLAB 說明文件)

FFT Overlap 的方式如上圖，可以在相同 FFT size 下提高時間解析度，使訊號既清晰又能解析微流星，如右圖，但運算時間變長



圖三十(上)、Overlap 90%的長流星訊號  
圖三十一(右)、Overlap 90%的微流星訊號

### 3. 最低感測強度(%) :

此值即強度篩選之界線，大於此值的才會進一步做流星和突波的篩檢。不過這是一個相對值，相對於背景雜訊的程度，所以即使背景雜訊程度改變或是調整接收機音量，程式都能自動適應。

至於背景雜訊的測定，程式會在分析前先跑一次 FFT，將整個檔案的背景強度平均作為雜訊值（取樣約 400 萬筆數據）。再跑第二次 FFT 才正式開始分析。

#### 4. 連續性：

持續較久的流星訊號通常是不連續的，如上圖三十，這是摩斯電碼的必然型態，爲了避免被誤認成好幾顆不同的流星，必須忽略這短暫的間斷。而「連續性」即爲對這間斷的容許時間。

#### 5. 訊號音頻：

Beacon 訊號出現的音頻，每次觀測僅需人工測定一次即可。

#### 6. 監測頻道數&突波相似性：

前面提過檢測突波的方法，比較各個頻率與其各自的前一個時間點的強度，統計有多少個頻率呈「強度增加」。所以要指定欲取樣的頻道數量，即「監測頻道數」，而如果呈「強度增加」的頻道數超過「突波相似性」所設定的值則判定爲突波。

※ 礙於篇幅，尚有許多技術內容無法詳述，完整原始程式碼詳見附件光碟。

### 七、 實際進行分析

以之前觀測站錄的聲音檔測試我們設計的分析程式，檢驗分析的正確性，採用的設定是：

FFT size：4096 點，因爲雜訊適中，時間解析度也在能接受的範圍內(0.092 秒)

FFT Overlap：0%，分析速度上的考量所以不做 Overlap

最低感測強度：336%，估計值

連續性：5.7 秒，JA6YBR 電台訊號間斷的最長時間

監測頻道數：110，可設定的最大值

突波相似性：92，估計值

## 伍、研究結果

### 一、 硬體部分

天線架設成功，並能實際收到訊號，電腦系統也已安裝完成：



圖三十二(上)、 天線全圖



圖三十三(右)、 天線仰視圖



圖三十四、 觀測用的電腦



圖三十五、 天線仰視圖

## 二、軟體部分

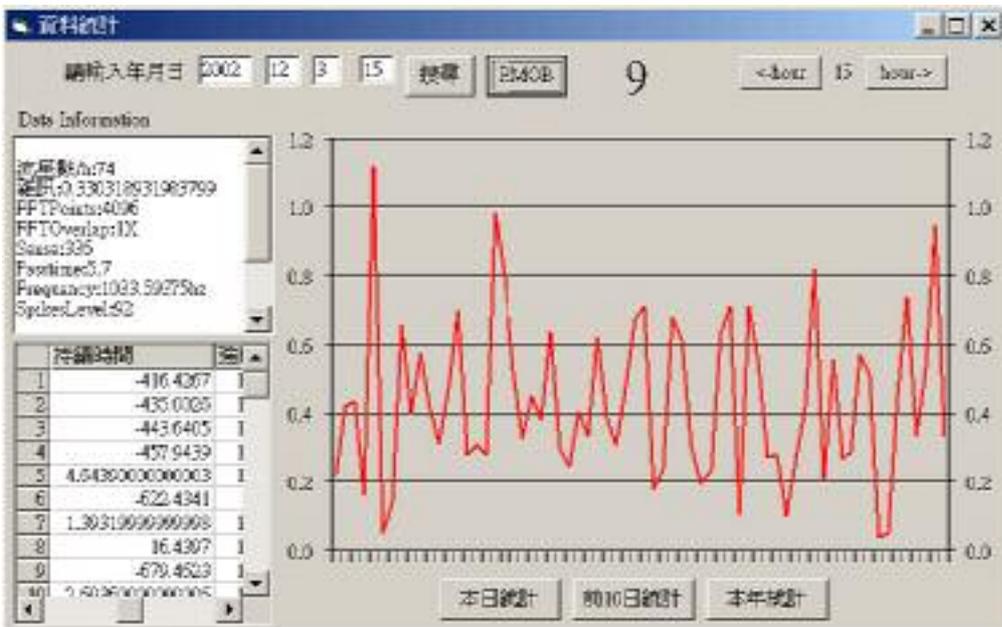
設計完成的分析程式如下：



圖三十六、程式主畫面



圖三十七、定時設定



圖三十八、  
資料統計



圖三十九、程式設定



圖四十(上)、RMOB 格式



圖四十一(下)、自創紀錄格式

### 三、分析結果

#### 2002 獅子座流星雨

開始紀錄時間：2002/11/16/18:00

首次觀測不幸因為觀測地點停電，只錄到 8 個小時的聲音，8 小時還不足以研究此流星群的活動情形，可算是一次失敗的紀錄。

為避免類似事件再發生，我們後來在觀測站加裝一部 UPS 不斷電系統（右圖）



圖四十二、新裝的 UPS

#### 2002 雙子座流星雨

開始記錄時間：2002/12/13/19:00

結束記錄時間：2002/12/15/19:00

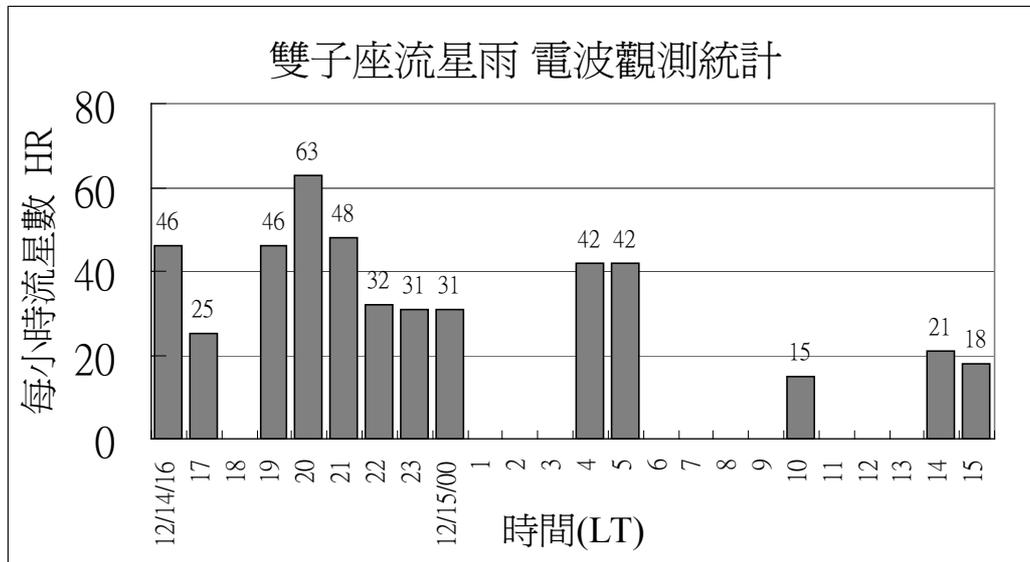
斷電的問題是解決了，但是另外的問題是：雖然 Messer 已設定為 1 小時錄音一次，但錄出來的檔案卻長短不一，有些錄滿 1 小時，有些僅錄了數秒，以致於這次觀測僅有少部分是有效的數據。

以下是這次各聲音檔的時間長度

	12月13日					12月14日																							
	19	20	21	22	23	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
分	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	1	0	59	59	2	59	59	59	59	59
秒	2	40	19	5	11	1	18	9	15	24	14	53	41	47	28	30	5	1	33	7	0	51	50	52	51	51	52	51	51
	12月15日																												
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18										
分	59	9	1	0	59	59	25	6	47	4	59	1	2	28	59	59	18	16	0										
秒	51	28	29	51	50	51	36	31	55	36	51	36	8	4	50	52	35	0	0										

其實這問題在上次獅子座流星雨時就有了，只是當時還未能解決此問題，以致於這次觀測的失敗，此問題我們還沒找出原因，可能是 Messer 設計的不良，或是電腦硬體不穩定等。

剩下少部分有效的檔案（超過 59 分鐘者），流星數統計如下，但其實意義不大未標示流星數目者表示該時間錄音不完全

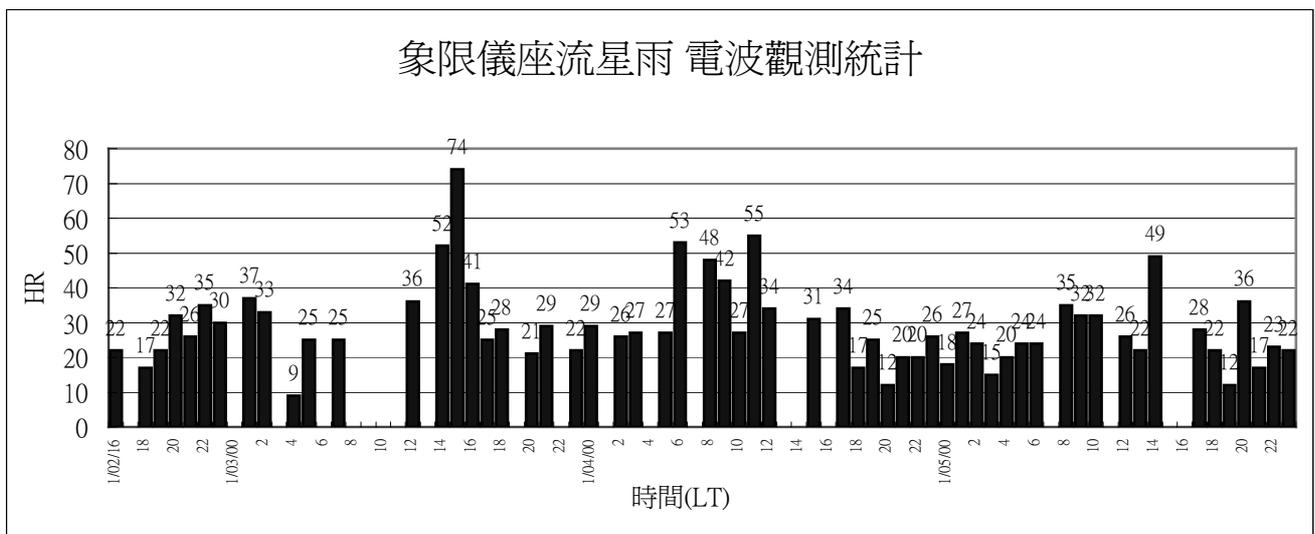


## 2003 象限儀座流星雨

開始記錄時間：2003/01/02/16:00

結束記錄時間：2003/01/05/23:00

本次記錄大部分檔案都有錄滿 1 小時，可說是十分成功



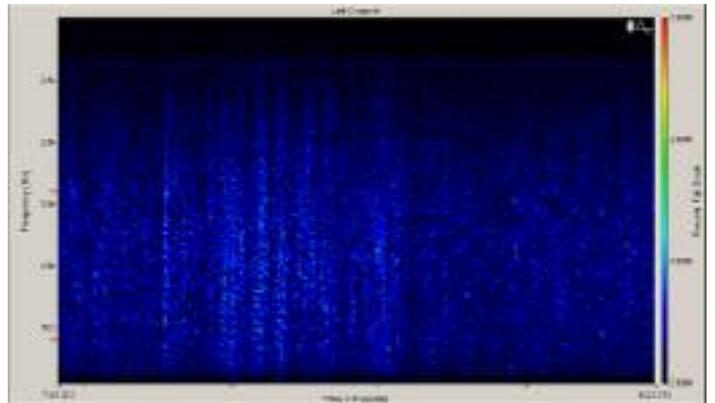
本次的總記錄量達 1.8Gbytes，儲存於 4 張光碟內

## 陸、討論

一、就實際狀況而言，Hentenna 的感度偏低，若要進行較深入的研究，還是以 Yagi 天線較為適合。

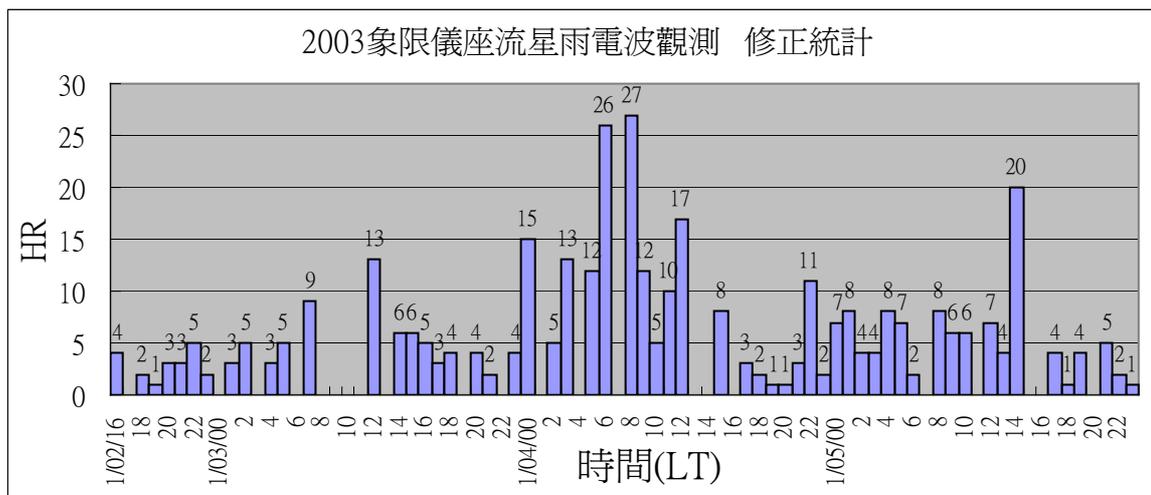
二、依 **電離化密度=流星質量 x 速度<sup>4</sup>** 公式，清晨時流星速度最快，電離密度較高，可接收到最多流星訊號，而黃昏時則反之，根據別人實際的觀測結果也反應此現象（如圖四十四），但從我們象限儀座流星雨的分析結果卻幾乎觀察不到此現象，這表示我們的統計結果有誤，於是我們去檢視流星記錄檔與原始聲音檔比對，發現其原因可能是：

- (一) 「最低感測強度」設的太低，使某些偶然略高的單純雜訊被當成流星。因為我們發現有許多被偵測出來的「流星訊號」，比對原始聲音檔結果只是雜訊而已。
- (二) 如我們所預期的，確實發現了未知的干擾訊號，如右圖。所以我們改良了程式加入新的篩選條件：以舊的方法篩選出來的流星訊號，要再特別取該訊號的背景雜訊值，以該雜訊值重新檢查該訊號強度是否高於界線。可確保偵測到的訊號不受背景雜訊的暫時性大幅變動影響。



圖四十三、 未知的雜訊

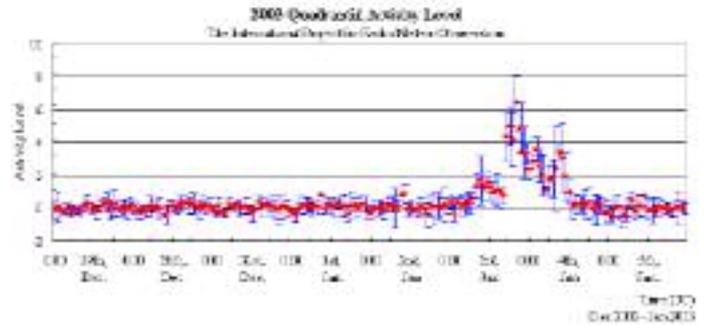
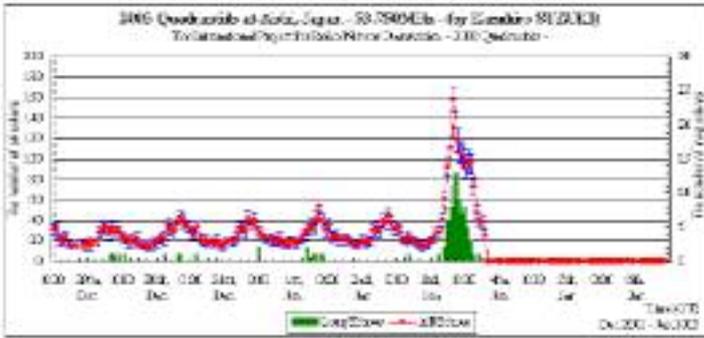
後來我們重新分析，使用新的分析程式，並提高「最低感測強度」至 380，新的結果如下：



已略可看出流星數變化有週期性趨勢，並且 1 月 4 日 6h~8h（換算 UT 為 1 月 3 日 22h~4 日 0h）出現極大期，與國際間觀測結果時間相符（如下圖），可證明我們的分析結果是正確的。

圖四十四、日本的觀測結果

圖四十五、國際的觀測結果統計



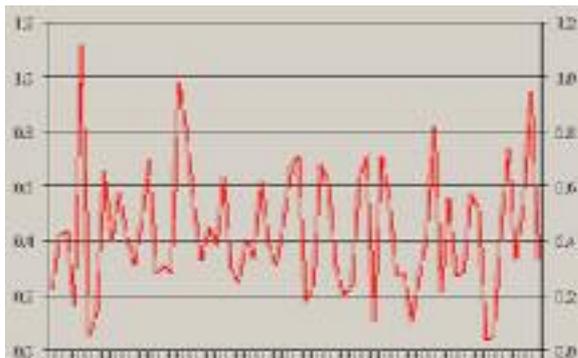
三、分析程式有一些原先沒想到的小問題：

(一) 原本 Stop 按鈕是用來停止分析的，但是當正在分析時，程式並不能接受其他指令，所以 Stop 按鈕也毫無用武之地。我們解決的方法是另外設計一個獨立的程式，叫做” Stopper”（右圖），此程式不受分析程式的控制，所以可以自由使用。分析程式會主動去檢查 Stopper 以決定是否停止。

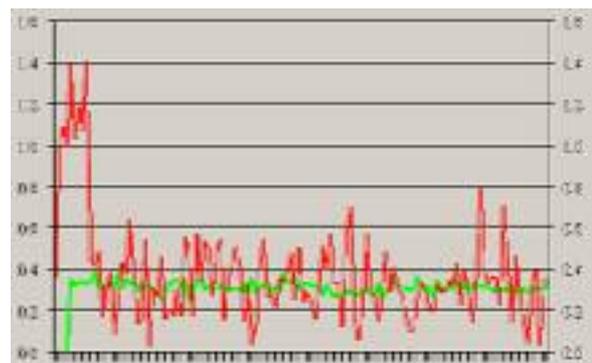


圖四十六、 Stopper

(二) 流星記錄檔的「強度變化」項目，原意是用來方便事後人工檢驗是否為流星用，但我們發現光看訊號強度變化還是難以確認為流星，還要考慮雜訊的情形。所以我們在記錄格式中加入「雜訊變化」項目，其值為該時間點在流星音頻以外的頻率的強度平均值。並且「資料檢視」程式的圖表也會以第二條數列顯示雜訊變化，如下圖，這樣應該能更容易判別流星訊號。



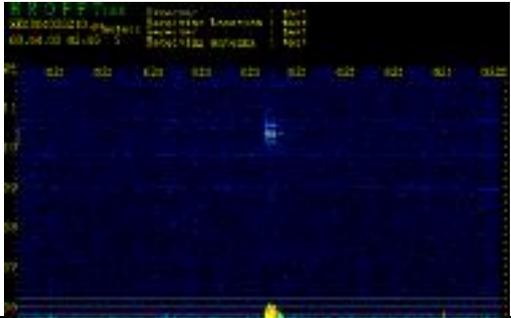
圖四十七、 舊的資料檢視圖表



圖四十八、 新的資料檢視圖表

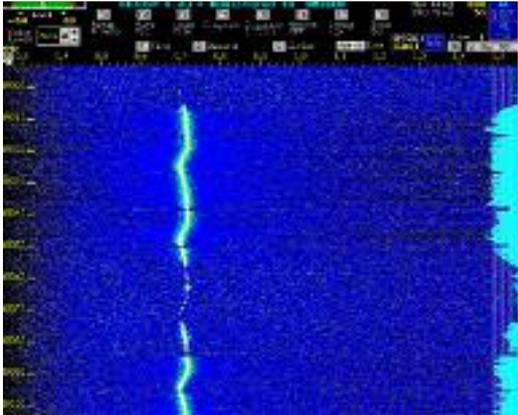
四、就龍潭觀測站與台北市立天文教育館的觀測站而言，都是使用 FFTDSP 進行觀測。又後來我們得知天文館有 HROFFT 軟體，於是我們和天文館聯繫取得此軟體，開始對 HROFFT 有了比較清楚的認識。針對 HROFFT 與 FFTDSP，與我們研發的分析程式比較：

### (一) HROFFT

優點	缺點
<p>速度較快，硬體需求不高 其偵測的訊號音頻是一個「範圍」，可應付較大的音頻偏移範圍</p> 	<p>沒有考量「連續性」，常會把同一顆流星當作好幾個。 沒有消除干擾訊號的篩選程式，誤判率大。 靈敏度的設定是絕對的，非相對的，若調整機器的音量或是背景雜訊強度改變，其靈敏度也要重新調整。 本身並沒有資料檢視或是統計的功能，需使用外掛程式及 Excel 配合。 記錄檔為圖檔格式，記錄整個 Spectrogram，且即使沒有流星也紀錄，使得紀錄檔十分龐大。</p>

圖四十九、 HROFFT 分析畫面

### (二) FFTDSP

優點	缺點
<p>1. 功能較多</p> 	<p>其實 FFTDSP 並不算是一套流星偵測軟體，但是因具有 FFT 分析微訊號功能，所以有人利用一些小程式來長時間紀錄 FFTDSP 的 Spectrogram，所以 FFTDSP 並不具自動計數功能，需要自己去從影像中找出流星訊號。  需使用特定的音效卡 紀錄檔的 Spectrogram 色彩只有 4bit，16 種變化，無法看出詳細的訊號強度變化。 因為只是不斷的紀錄圖檔，所以影像檔很龐大，一天的資料量達 18MB！</p>

圖五十、 FFTDSP 分析畫面

### (三) 我們設計的分析程式

優點	缺點
<p>皆沒有上述兩套軟體的缺點，並且只有當流星出現時才特別記錄，所以一天的紀錄檔只有 1MB 左右，若使用 2 進位元組的方式記錄則又可再節省近 3 倍的空間。</p> <p>整合了許多功能，包括定時分析、檔案分析、資料檢視等功能。</p>	<p>分析速度較慢（一小時資料需分析 40 分鐘才能完成），需較快的電腦。 流星的訊號音頻尚需人工測量（不過只需測一次）。</p>

每秒取樣約 10 次，更容易偵測到微訊號，而上述兩個軟體每秒皆只取樣 1 次。 可調整的設定值多，自由組合分析的條件。 偵測的流星數據十分可靠，可輕鬆完成自動觀測，只要定期至觀測站取回觀測結果即可。	
---	--

五、此外，即使科展結束，我們還是持續在做研究，包括最近幾次的流星群的觀測，以及繼續改良分析程式，目前我們已於 5 月寶瓶座流星雨測試了「連續分析」功能，運作正常並已解決錄音不完全的現象。並持續改善分析正確率，預定 8 月中旬將繼續觀測英仙座流星雨。

目前努力的目標有：

1. 研究天線感度、指向性與流星數的關係
2. 改用 2 進位元組方式儲存記錄檔以使記錄檔佔的空間更小
3. 找出各設定參數的最佳值
4. 將分析程式加入自動測定訊號音頻功能
5. 使分析程式支援網路連線，使之完全做到無人遠端遙控觀測
6. 整合分析程式、PCR1000 控制程式、SpectraLAB 成爲一體
7. 將觀測站規劃成全年常態性持續觀測，並將結果回報給國際上之觀測資料庫

## 柒、結論

- 一、Hentenna 感度偏低，盡可能使用 Yagi 天線較佳。
- 二、順利完成架設電波流星觀測站，並進行 24 小時的觀測。
- 三、目前已有的分析程式仍有許多功能不足，而我們自己研發的程式與目前最常用的軟體比較，已經有許多突破的改善。
- 四、成功完成流星的自動偵測程式並順利取得正確的結果，但還需要不斷改進以使程式抗干擾能力更強。
- 五、由於全天候觀測以及自動分析功能，可提供更多更豐富的資料放置於國際間的電波流星觀測資料庫，供有需要的專家來研究流星群之活躍情形用，並有助於改善流星雨預報之準確度。
- 六、電波流星觀測是需要相當多領域的知識配合的，從大氣、天文、無線通訊、數位訊號處理、電子學、天線設計、微訊號偵測、程式語言、統計學...等等，所以其發展潛力很大。

## 捌、參考資料及其他

天線製作技術秘笈

圖解電波的構造

Visual Basic 6.0 學習手冊

無線電界雜誌社發行

世茂出版社

創意家資訊

<http://www.tsao5916.com/>

<http://bv3fg.tripod.com/>

<http://www.tam.gov.tw/>

<http://infoserv.com.tw/vb/>

<http://toget.pchome.com.tw/>

龍潭觀測站

Radio Shack of BV3FG

台北市立天文教育館

小雄資訊中心 VB 研究小站

PChome 網路家庭-下載

<http://www.imo.net/radio/index.html>

<http://www.imo.net/calendar/cal03.html>

<http://www.amsmeteors.org/radmet.html>

<http://www.meteorscatter.net/>

<http://www.meteorscatter.net/soft.htm>

<http://www.net4you.net/user/kuneth/gallery.html>

<http://www.af9y.com/>

<http://www.soundtechnology.com/home.htm>

<http://www.muenster.de/~welp/sb.htm>

[http://sapp.telepac.pt/coaa/r\\_meteor.htm](http://sapp.telepac.pt/coaa/r_meteor.htm)

<http://www.rmob.org/>

<http://www.tcp-ip.or.jp/~kaze/rmd.htm>

<http://ja6ybr.org/beacon/new/index.html>

[http://homepage2.nifty.com/~baron/hro\\_index.htm](http://homepage2.nifty.com/~baron/hro_index.htm)

<http://www.nhao.go.jp/~michi/meteor/>

<http://radio.nhao.go.jp/meteor/data/>

<http://www.fcz-lab.com/hentenna-home.html>

IMO Radio Meteor Pages

IMO Meteor Shower Calendar 2003

The American Meteor Society – Radio Observing

Meteor scatter

Meteor scatter: VHF/Meteor scatter related Software

Radio Meteor Gallery

FFTDSP

Sound Technology

Amateur Radio SoundBlaster Software Collection

R\_Meteor Software

RMOB

Radio Meteor Data, Japan

JA6YBR

Radio Meteor Observation

流星の電波観測

(Meteor data)

Hentenna-home

## < 附錄一 > 名詞註解 (按字母排序)

半值角	用來表示天線的指向性，以強度衰減一半（約-3dB）的兩個方向夾角為半值角
指向性	天線對特定方向訊號的敏感度，根據天線在各方向的增益可畫出天線的定向圖（或稱輻射場圖形），通常前端增益最大。指向性可用半值角表示
增益	表示天線對於訊號加強的能力，單位是 dB，有多種表示方式，在這裡我們統一使用 dBi（絕對增益）為單位
Beacon	示標訊號，以摩斯電碼形式發出，內容包含電台名稱、經緯度等資訊
BV3FG	無線電台呼號，架設無線電台需要考取合法執照，並由政府發給呼號，此呼號是全世界通用的，也是唯一的。
JA6YBR	
CW	一種電波調變方式，發射單頻 AM 訊號，頻寬很窄，因此較節省功率，通常用在莫斯電碼通訊上，Beacon 電台常用此調變方法傳送。
S/N	Signal/Noise，又稱訊噪比，比值越高雜訊越少，訊號越清晰
SSB	一種電波調變方式，發射的是單邊波訊號，不同於 AM 是雙邊波訊號，SSB 使得頻寬變窄，可以減少干擾和節省發射功率。其中上邊波稱 USB，下邊波稱 LSB。
USB	見 SSB

## <附錄二>

### 一般部分

#### 1. 頻率涵蓋範圍：

機種版本	頻率範圍 (單位：MHz)
美規	0.010000~823.999999
	849.000001~868.999999
	849.000001~1300.000000
歐規	0.010000~1300.000000

2. 模式：USB, LSB, CW, AM, FM, WFM
3. 頻率穩定性誤差：±3ppm (1ppm=一百萬分之一)
4. 頻率圖形分辨率：1Hz (最小值)
5. 電源需求：13.8V 直流電源 (輸出電流最小 1 安培)
6. 天線接頭型式：BNC (50Ω)
7. RS-232C 連接線：D-sub 9-pin 母頭
8. 機器尺寸：199(長)x127.5(寬)x30(高) 單位：厘米
9. 重量：約 1 公斤

### 接收部分

1. 接收系統：三倍超外差式接收(Triple superheterodyne)
2. 中間頻率：

1st	266.7Mhz
2nd	10.7MHz
3rd	450kHz(WFM 模式除外)
3. 靈敏度 (典型)

Frequency MHz	SSB/CW (10 dB S/N)	AM (10 dB S/N)	FM (12 dB SINAD)	WFM (12 dB SINAD)
0.5 - 1.799999	0.56 μV	2.5 μV	--	--
1.8 - 27.99999	0.28 μV	1.4 μV	--	--
28 - 29.99999	0.28 μV	1.4 μV	0.5 μV	--
30 - 49.99999	0.35 μV	1.8 μV	0.5 μV	--
50 - 59.99999	0.2 μV	1.0 μV	0.32 μV	0.79 μV
700 - 1300	0.25 μV	1.3 μV	0.4 μV	1.0 μV

## 靈敏度 (底限值)

Frequency MHz	SSB/CW	AM	FM	WFM
0.5 - 1.799999	14 $\mu$ V	1.8 $\mu$ V	--	--
1.8 - 27.999999	7.1 $\mu$ V	0.89 $\mu$ V	--	--
28 - 29.999999	7.1 $\mu$ V	0.89 $\mu$ V	0.63 $\mu$ V	--
30 - 49.999999	7.1 $\mu$ V	0.89 $\mu$ V	0.63 $\mu$ V	--
50 - 59.999999	5.6 $\mu$ V	0.71 $\mu$ V	0.5 $\mu$ V	5.6 $\mu$ V
700 - 1300	7.1 $\mu$ V	0.89 $\mu$ V	0.63 $\mu$ V	7.1 $\mu$ V

IF Shift 範圍: 大於  $\pm 1.2$  kHz

聲音輸出阻抗: 4 - 8 歐姆

最大聲音輸出: 200 mW (當輸出阻抗為 8 歐姆時約有 10%的失真)

### 4. 頻寬選擇 :

WFM -- 230 kHz/-6 dB (典型)

WFM/FM/AM -- 50 kHz/-6 db (典型)

FM/AM -- 15 kHz/-6 dB (典型)

AM/SSB/CW -- 2.8\* kHz/-6 dB (典型) \*軟體上顯示為 3 kHz

5. 外接聲音連接單元 : 直徑 3.5mm, 阻抗 4-8 歐姆

---

## 系統需求

中央處理單元 : Intel® 486DX4 or later CPU (Pentium® 100 or later recommended)

系統平台 : Microsoft® Windows® version 3.1 or 95(註 1)

硬碟容量需求 : 至少 10 MB

隨機處理記憶體 : 至少 16 MB of memory

軟碟機, 序列埠

顯示器至少提供 640 x 480 像素

註 1 : 網路資源上有適合各種系統平台的操作軟體, 不僅限於微軟視窗平台

(以上摘自 <http://www.x-net.idv.tw/>)

PCR1000 特色是沒有面版, 僅一個黑盒子, 因此優點是價格便宜

與龍潭觀測站使用的 IC-706MKII 相比, IC-PCR1000 的優點是可以全頻接收, 而且是透過電腦控制, 方便系統整合管理, 價格也便宜很多。

但是缺點是不具 PreAmplitude 放大功能, 而且沒有自動風扇散熱功能, 長期處於高溫可能使得機器壽命縮短以及不穩定現象。

## 評語

- 1 能自行組裝天線及改良現有軟體，表現不俗
- 2 唯報告仍停留在技術層面，期盼能持續觀測，以進行科學分析