



魅惑の電波天文の世界

宇宙の電波を キャッチしてみよう

日本アマチュア無線連盟

技術研究所

JARL NEWS2010 年春号の「アマチュア無線の技術を応用して宇宙の電波を受信する」、2010 年夏号の「アマチュア無線の設備を用いた流星電波観測」の両特集はいかがだったでしょうか。

日頃から、私たちが何気なく交信に使っている「トランシーバー」や「受信機」は、実は「非常に高感度な電波センサー」であり、「高感度な測定器としての側面」も持ち合わせていることが、おわかりいただけたものと思います。

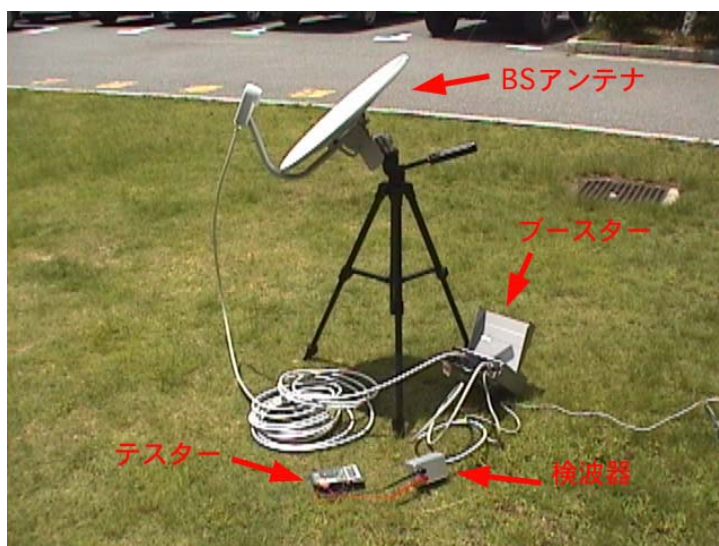
この資料では、宇宙の電波の受信の実際について、特集の内容をさらに一歩進めて、具体的な形で紹介いたします。



目次【Contents】

●宇宙の電波を受信する

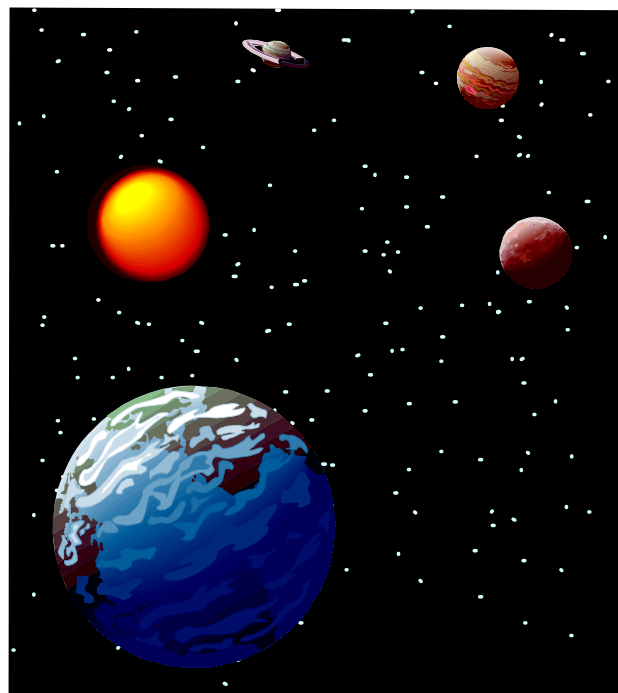
観測対象を選ぶ	3
太陽電波の観測	4
木星電波の観測	8
流星の電波観測	9



宇宙の電波を受信する

【観測対象を選ぶ】

日本ではアマチュア電波天文に関する文献はあまり見かけませんが、海外では具体的な観測方法や機材について丁寧に紹介されている文献があります。下の表はアメリカの電波天文に関する書籍を出版している「Radio-Sky Publishing」社の Web サイトで紹介されている観測対象と機材や難易度を示した表です。私たちアマチュア無線家にとって比較的簡単に観測できる、太陽、木星、流星の観測の具体的な方法を紹介します。



【太陽電波の観測】

市販の BS アンテナ（コンバータ付き）で問題ありません。CATV を導入して不要になったご家庭や、CS 受信対応のために BS/CS 両対応のアンテナに交換した家庭等も少なくないようで、リサイクルショップなどにも格安の中古品が出回っているようです。中古品は状態によってかなり価格に開きがあるようですが、程度が良く手頃な価格のものが見つければ活用するのも良いでしょう。新品でも 7,000 円程度で入手できるようです。BS ラインブースターも一緒に入手しておきましょう。検波器は後述の RF 検波器と電源供給回路を自作してください。

【木星電波の観測】

アンテナはダイポールアンテナを自作するのが最も簡単な方法です。本格的に取り組む場合は 2～3 エLEMENT の八木アンテナを自作しましょう。

受信機は 22MHz 帯が受信できるトランシーバーや広帯域受信機が活用できます。受信モードは AM で AGC は OFF で観測してください。受信機には後述の AF 検波器とデジタルマルチメーター、パソコンを接続してデータを記録します。アメリカでは木星の電波観測用受信機のキットも販売されているようです。

観測対象	必要機材	無線工学等に関する知識
木星の電波	短波受信機, ダイポールアンテナ	入門者向け
太陽 (12GHz)	BS アンテナ, ブースター	入門者向け
流星	50MHz 帯 SSB 機, アンテナ	入門者向け
VLF 太陽フレアー	長波受信機, アンテナ	入門者向け (受信機の自作必要)
HF/VHF による観測	HF/VHF 受信機, アンテナ	中級者から上級者向け
UHF/マイクロ波	プリアンプ, 受信機, アンテナ	中級者から上級者向け
電波強度地図	マルチプルアンテナ, 受信機	上級者
地球外文明探査 (SETI)	高性能アンテナ, マイクロ波受信機	上級者

宇宙の電波を受信する

【太陽電波の観測】



【検波器を作る】

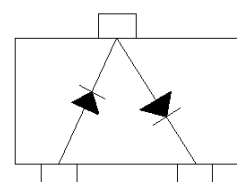
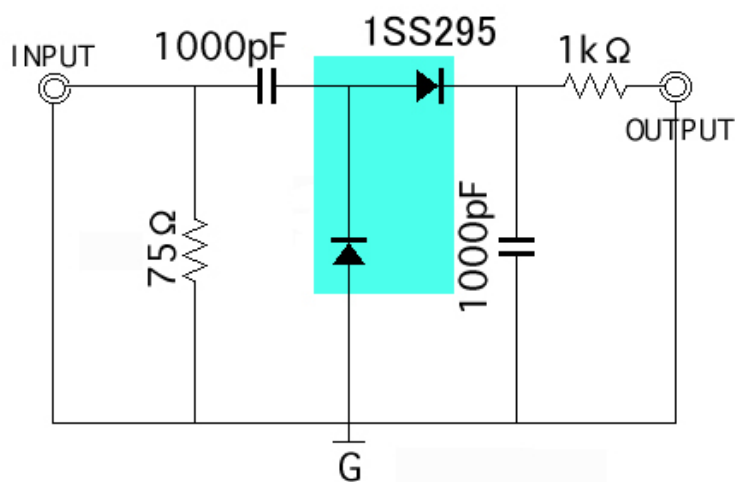
●RF 検波器

BS アンテナと BS ブースターで構成する 12GHz 帯の天体観測用の検波器の入力は、BS の機器との整合性を考えて F 型コネクタのジャックを使用しましょう。基本的な回路は JARL NEWS 2010 年春号 76 ページのもの（右の回路）で、ダイオードは 1SS295 を使用します。

1SS295 は JARL NEWS2010 年春号の記事でも紹介されていますが、一つのパッケージに二つのダイオードが右の図（上から見た場合）のように組み込まれているものです。

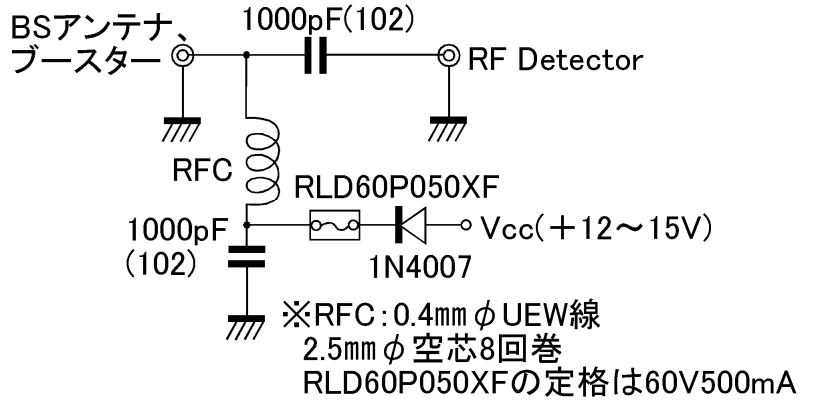
RF 検波器は BS アンテナのコンバータ部で 1~2GHz 帯の中間周波数 (IF) に変換されていますので配線や部品の配置に注意して組み立ててください。

BS アンテナ用の電源を内蔵した BS ブースターは「ラインブースター」と呼ばれる電源回路のない物よりかなり高価です。そこで RF 検波器には、同軸ケーブルで電源を供給する回路を付加するとよいでしょう。こうすることで、使用環境に合わせて AC アダプタやバッテリー、車のシガージャックなどの電源を選ぶことが容易にできるようになります。



RF 検波器の電源部の回路は右の図の通りで、RF 検波器の INPUT の前にこの回路を付加することになります。

電源極性の逆接続やショートによる機器のダメージを防止するためにダイオードとポリスイッチによる保護回路を付加しました。ポリスイッチは定格電流の 2 倍の電流が流れると素子自体の抵抗値が増して電流を流れなくするものです。



【データ記録装置について】

電波観測のデータを記録する方法はいろいろありますが、比較的安価に記録システムを構築する方法を紹介しましょう。「JARL NEWS2010 年春号」の記事にも紹介されていますが、記録装置にはパソコン使用が簡単でオススメです。具体的には、パソコンと接続できるマルチテスターとパソコン、記録用ソフトウェアでシステムを構成します。最近では高機能なマルチメータを数千円で入手する事が可能です。データ記録用ソフト（データロガー）を動かすのに、最新のマシンスペックや処理速度は不要ですので、現役を退いたちょっと古いパソコンと組み合わせることで高機能なデータ記録装置に変身させることができます。ここでは具体的なシステム構成例をご紹介します。

①マルチテスター

M-6000H (METEX 社製, 秋月電子通商で購入 7,300 円)。USB 接続でパソコンと接続可能。電流・電圧 (交直), 周波数, 容量, 照度, サウンドレベル, 温度を測定可能です。

②パソコン

USB 端子付きパソコン (データロガー用ソフトが対応するもの)

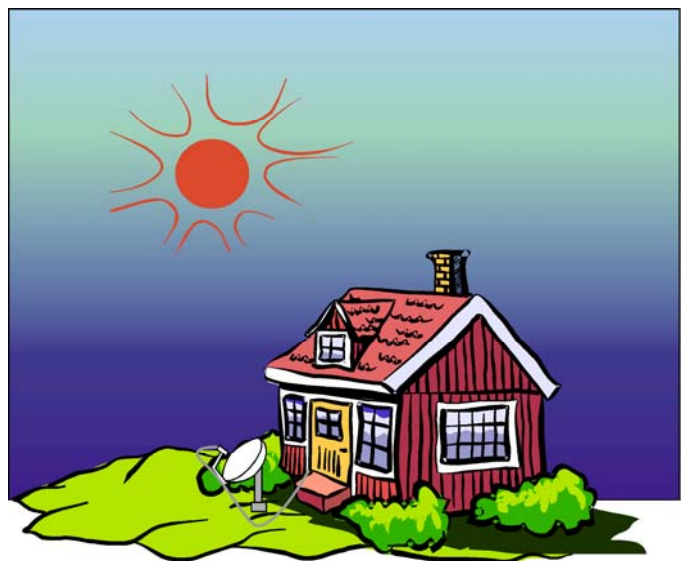
③データロガー用ソフト

Ts Software の「Ts Digital Multi Meter Viewer」というフリーウェアが便利です。ソフトウェアは下記の URL からダウンロードできます。

<http://www.ts-software-jp.net/product/tsdmmviewer/index.htm>



▲電源回路を内蔵した検波器の製作例(実際は 10V~16V で動作します)





▲BS/CS アンテナと接続した太陽電波観測機器(左からパソコン, BS ラインブースター, テスター, 電源供給回路付き RF 検波器)

①マルチテスターについて

パソコンとの通信機能付きマルチテスターはさらに安価な製品もありますが、最近のパソコンでは RS-232C のシリアル通信のポートが付いていないパソコンが増えてきているので、若干高価ですが USB タイプのマルチテスターの M-6000H を選ぶといいでしょう。M-6000H は照度やサウンドレベルなども測定でき、宇宙電波の観測以外にもいろいろと実験できます。この製品にはパソコンとの接続に必要な USB ケーブルも同梱されていますので、別途用意する必要もありません。

なお、M-6000H より若干測定項目が少ないですが、RS-232C 接続の M-6000M もオススメの一つです。

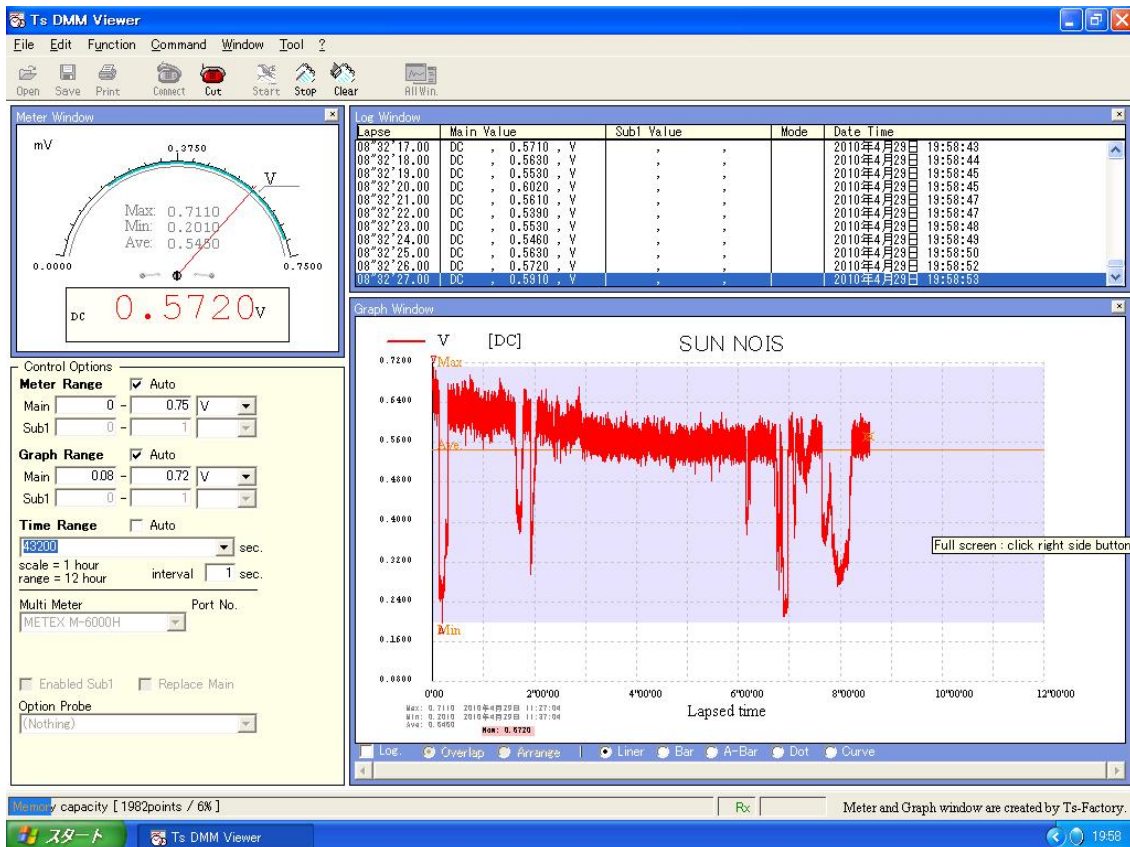
②パソコン

パソコンは、データロガー用ソフト「Ts Digital Multi Meter Viewer」の動作条件を満足するものを用意してください。ソフトが対応する OS は Windows98/Me, Windows2000, Windows XP, Windows Vista (32bit 版) です。ソフトのインストール時は、ハードディスクに 10MB 程度の空き領域が必要とのことです。

③ソフトの設定と動作の確認

マルチテスター M-6000H に付属している CD-ROM をパソコンに挿入します。

「エクスプローラ」で CD-ROM のプログラムフォルダを開きます。「SETUP」をダブルクリックしてプログラムをインストールしてください。インストール完了後に M-6000H に付属している USB ケーブル



▲Ts Digital Multi Meter Viewer の表示画面

ルでパソコンと M-6000H を接続すると、新しいハードウェアとして認識されます。

次はデバイスマネージャーでシリアルポートの番号を確認しましたら、インストールしたソフトウェアを立ち上げます。パソコンの画面上に、マルチテスターの測定値が表示されます。ここでマルチテスターの測定項目ダイヤルを変更するとパソコンに表示される単位等も自動的に変化しますので確認しておいてください。なおこのソフトは、マルチテスターの測定結果を表示するのみで、データの記録や経時変化をグラフ表示することはできません。

データの変化をグラフとしてパソコンのモニターに表示しデータを記録するソフトである「Ts Digital Multi Meter Viewer」をインストールしましょう。ダウンロードしたソフトは圧縮されていますので解凍してください。解凍後に生成された「setup」ファイルをダブルクリックしてソフトウェアをインストールします。インストールが完了したら、ソフトウェアを立ち上げましょう。通信ポートと使用するマルチテスターの型番を設定するとマルチテスターの測定値がパソコンの画面に表示されます。グラフのタイトルなども自由に変更できますので好みに合わせてカスタマイズします。

M-6000H は温度や照度、サウンドレベルなども測定できますので、「Ts Digital Multi Meter Viewer」と組み合わせることにより環境の長期的な観測などにも応用できます。電波天文以外にも中高生の夏休みの自習研究（気温、湿度、気圧などのセンサーと組み合わせる）に応用できるスグレモノです。

【参考】

●秋月電子通商

<http://akizukidenshi.com/catalog/default.aspx>

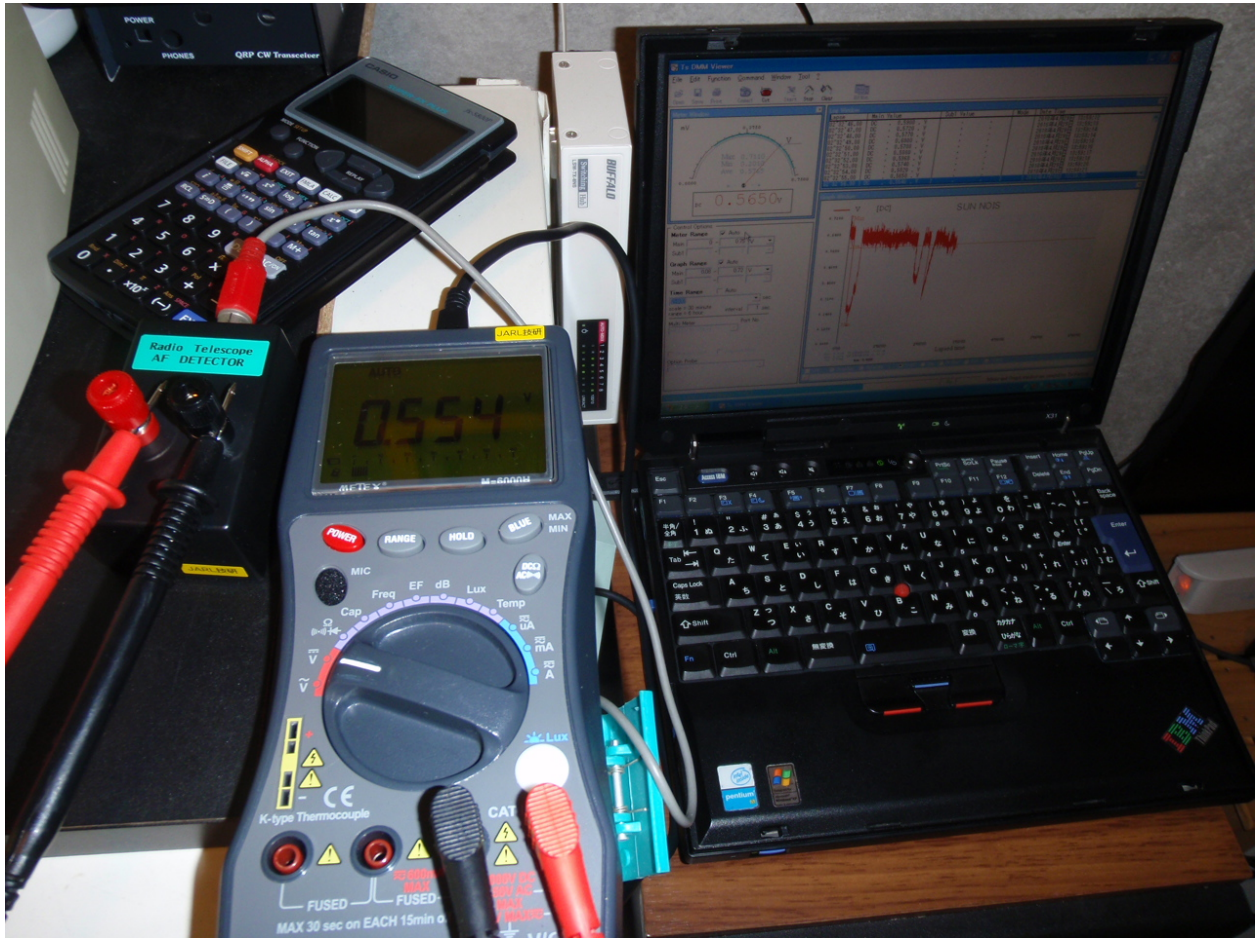
●METEX

<http://www.metex.co.kr/>

●Ts Digital Multi Meter Viewer

<http://www.ts-software-jp.net/product/tsdmmviewer/index.htm>

宇宙の電波を受信する 【木星電波の観測】



▲写真左から AF 検波器, マルチメータ(M-6000H), パソコン

前述のとおり木星電波の観測は、22MHz 帯の電波を AM モードで受信したオーディオ信号を検波しておこないます。このため AF 検波器を製作して使用します。使用する受信機は 22MHz 帯を AM モードで受信できるものならば何でもかまいません。

なお、観測データの記録方法などについては、太陽電波観測の場合と同様です。

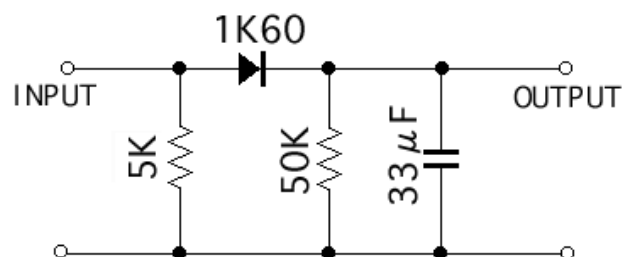
【AF 検波器を作る】

●AF 検波器

JARL NEWS2010 年春号の 73 ページで紹介されている右の回路を製作するとよいでしょう。

AF 検波器のダイオード 1K60 はリードタイプです。製作に特に問題はないと思います。

上の写真の製作例では受信機からのオーディオ入力端子に RCA ジャックを、記録計への出力端子には 12mm φ ターナルを使用すると便利です。



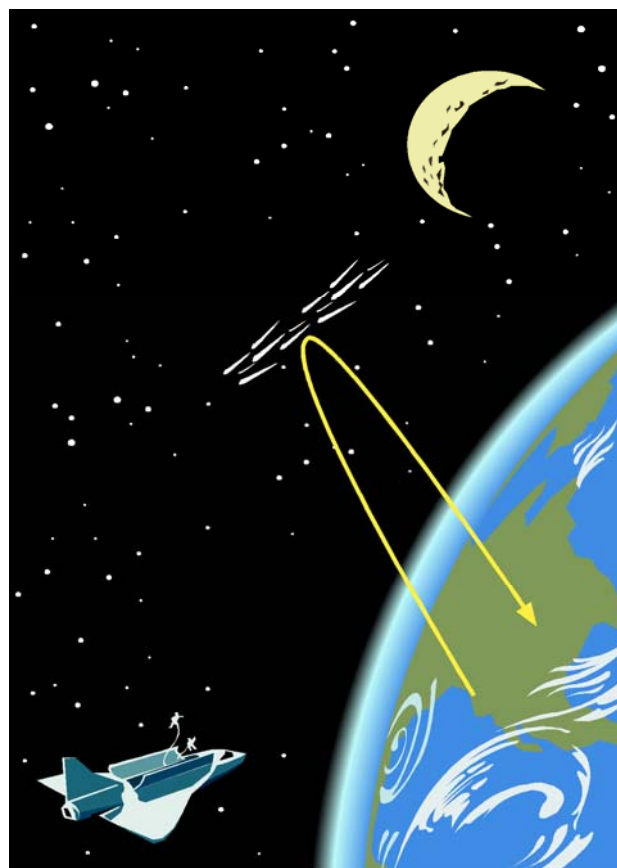
宇宙の電波を受信する

【流星の電波観測】

アマチュアの流星電波観測は1970年頃からFM放送の電波を活用しておこなわれていました。この方法は通常では聞くことのできない遠方のFM放送局の電波を受信し、流星飛跡に反射した電波を観測するもので「FRO」(FM Radio Observation)と呼ばれていました。しかし、1980年代にFM放送局が多数開局され「FRO」には相応しくない環境になりました。そこで登場したのが、50MHz帯のビーコンを使用した流星電波観測「HRO」(Ham Radio Observation)です。ビーコンは福井県のJA9YDBから53.750MHzで常時送信されていますので、受信機の周波数を53.7491MHzにセットし、モードをUSBにすると流星の反射波が受かると900Hz程度の音で受信することができます。

この流星電波観測の概要につきましては、JARL NEWS2010年夏号の特集記事を参照してください。

ここでは具体的な観測に必要な機材やソフトウェアの設定方法について説明します。



■準備する機材等■

- ①50MHz帯アンテナ
- ②50MHz帯SSB受信機
- ③同軸ケーブル
- ④パソコン
- ⑤オーディオケーブル
- ⑥アンテナ設置用部材
- ⑦HROFFT (観測用ソフトウェア)
- ⑧その他

①50MHz帯アンテナ

2エレメントの八木アンテナやHB9CVで十分です。

ダイポールアンテナでも観測は可能ですので、すでに50MHz帯のアンテナをお持ちの方は、現在のシステムで受信にトライしてみましょう(写真は、ダイヤモンドアンテナの2エレメントHB9CV・A502HBR)。

福井県から500km以上離れた場所の場合は、アンテナの指向方向をビーコンの発信地である福井県方向に、水平ないし適当な仰角を持たせて向けてください。観測専用のアンテナを設置する場合は、エレメントを短くして53.75MHzに調整してください。



②50MHz 帯 SSB 受信機

50MHz 帯 SSB を受信できる受信機を用意します。

右の写真のような広帯域レシーバーや、50MHz 帯の運用に対応したアマチュア無線機など機種は問いません。

福井県から常時送信されている JA9YDB のビーコン周波数は 53.750MHz です。受信機の周波数を 53.7491MHz にセットして受信モードを USB にすると、流星で反射された電波を受信すると約 900Hz の音で受信できます。

最近の無線機や受信機の周波数精度は申し分なく、表示周波数のとおりで問題なく受信できると思います。

また、アイテック電子研究所から HRO 専用受信機 MRX-50 (HRO-RX1a の後継機：15,750 円+送料、右の写真) が販売されています。流星電波観測専用の受信機として設計されておりコストパフォーマンスに優れています。小型軽量であることや消費電力が少ないため連続観測や商用電源の確保できない場所での観測にも適しています。

アイテック電子研究所

〒325-0001 栃木県那須郡那須町高久甲 4590

電話 0287-62-0939



③同軸ケーブル

50MHz 帯でのケーブル損失は、3D2V で 10m あたり 1dB、5D2V は 0.6dB 程度です。使用する長さにもよりますが 5D2V がお勧めです。ケーブルの両端に M 型のコネクターのプラグを接続してください。

主要同軸ケーブルの損失 (dB/10m) に関するデータは、JARL Web の次のページをご参照ください。

http://www.jarl.or.jp/Japanese/7_Technical/lib1/coax.htm

④パソコン

Windows 95, 98SE, 2000, XP のいずれかが動作するパソコンが必要です。Window Vista 以降のパソコンでは HROFFT の動作の保証はありません。リースバック品などの中古パソコンであれば数千円で購入することもできるので、観測専用として入手してはいかがでしょうか。

⑤オーディオケーブル

受信機のオーディオ出力とパソコンのサウンド入力を接続するためのケーブルです。機種に合ったものを選んで用意します。

⑥アンテナ建設用部材

アンテナを設置するための部材として、設置環境により屋根馬やポール、支線などが必要です。設置環境に合わせて用意してください。

⑦HROFFT

大川一彦氏の製作された流星電波観測用ソフトウェアです。HROFFT はインターネットでの配布はおこなわれていません。HROFFT の作者である大川氏のご厚意で下記の条件で入手できます。

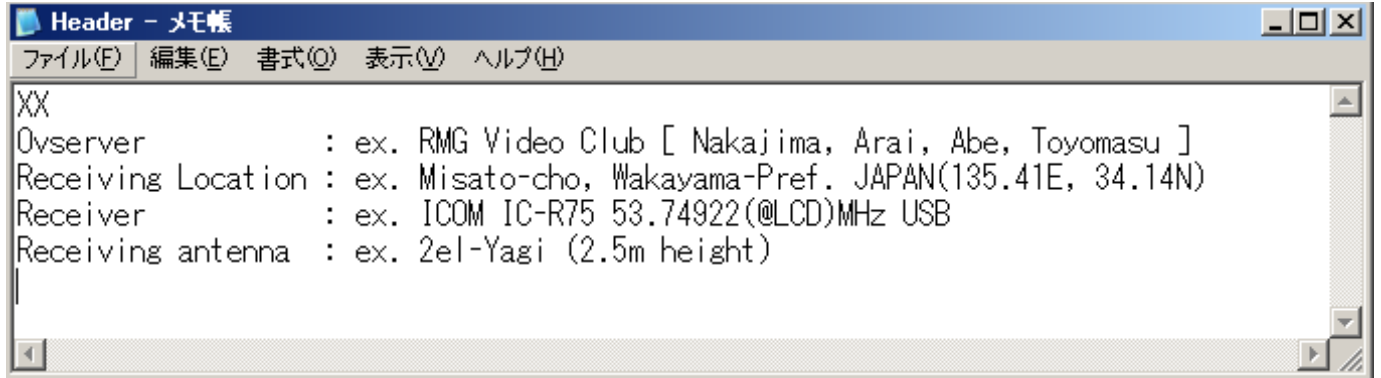
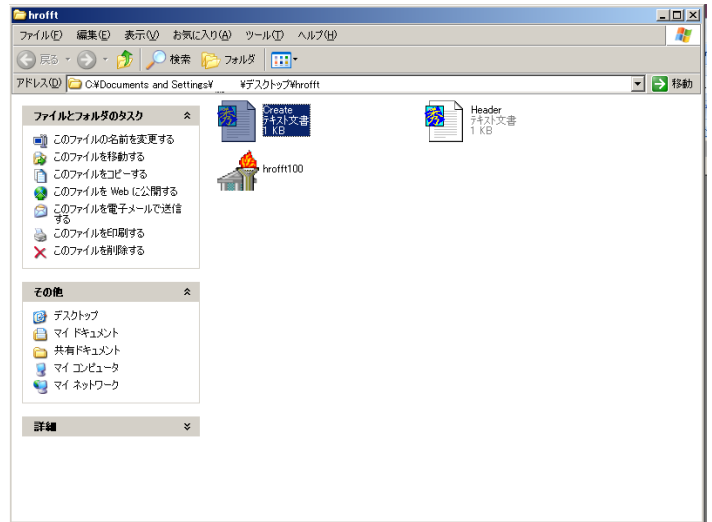
- 連絡先 〒170-8073 東京都豊島区巣鴨 1-14-5 日本アマチュア無線連盟技術研究所
- 電話 03-5395-3122 E-mail lab@jarl.or.jp
- 配布期限 2010年9月30日まで
- 配布条件 再配布禁止

■HROFFT の設定■

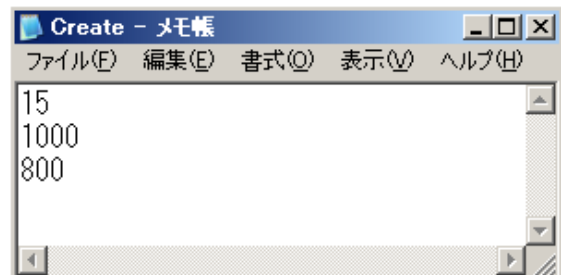
HROFFT の配布を受けましたら解凍してください。解凍すると「hrofft100」、「Create」、「Header」の三つのファイルが現れます(右の画面)。

「hrofft100」がソフトウェアの本体です。このアイコンをクリックするとソフトが動作しますが、とりあえず「hrofft」のフォルダを「Program files」のフォルダなどの適当なフォルダに移し、「hrofft100」のショートカットをデスクトップに作成しておきましょう。

次に、「Header」を Windows のメモ帳やテキストエディターで開いて観測地点の情報を記入します(下の画面)。

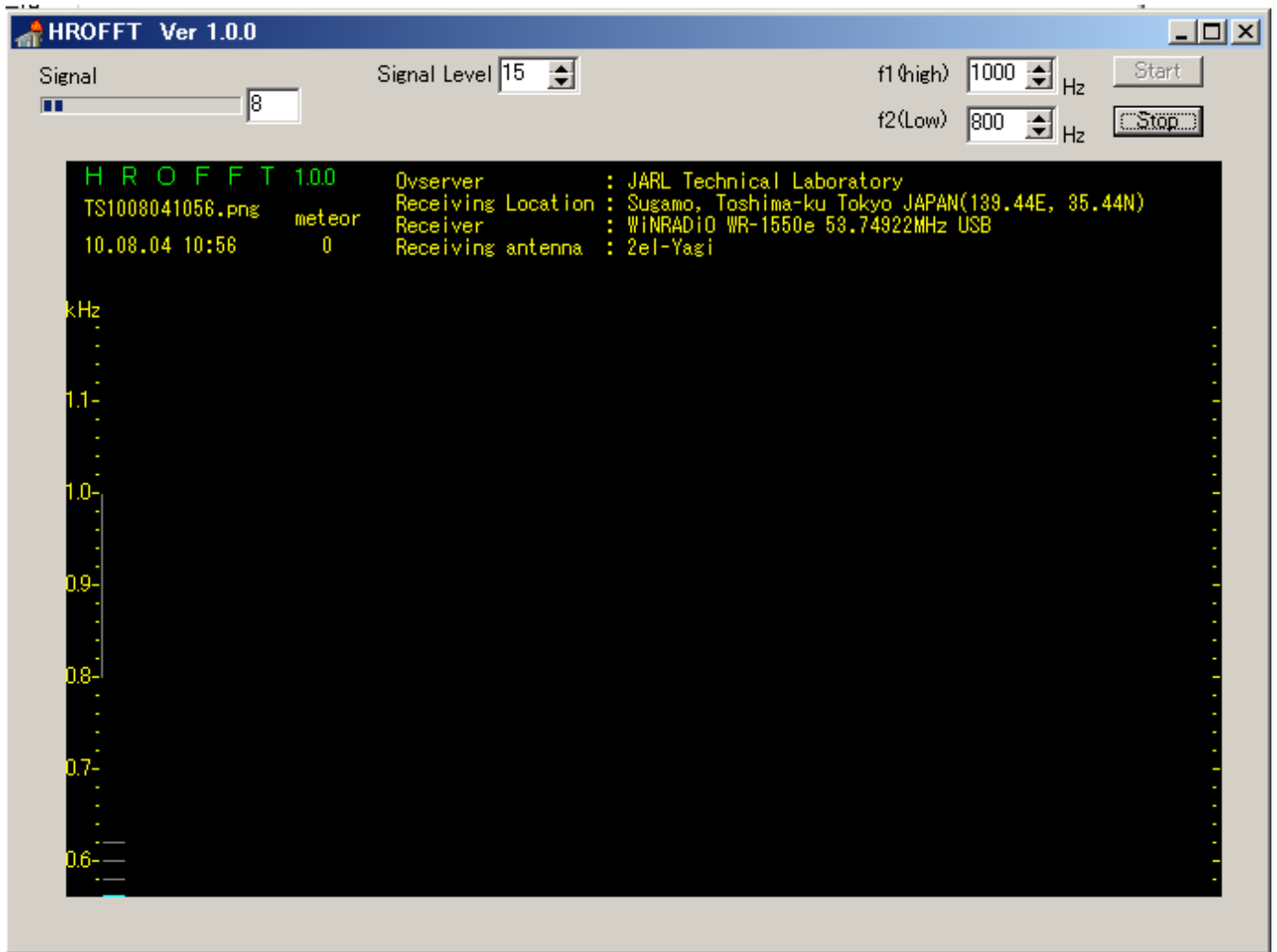


「Header.txt」をメモ帳で開くと上記のような記載例が記入されているので、実際の観測情報に書き換えて「ファイル(F)」、「上書き保存(S)」として書き換えます。一番上の行の「XX」は観測地認識記号ですので任意の記号としてください。2文字である必要はないそうですが、保存される画像データファイル名の先頭に付加されます。「Create」ファイルは設定保存用ファイルで初期値は右の画面のようになっています。「15」は後述の



Signal Level, 「1000」と「800」は f1 と f2 の値で HROFFT の設定を変えることにより書き換わります。

無線機や受信機とパソコンをオーディオケーブルで接続してください。無線機にライン出力(録音端子)がある場合はライン出力端子を使用しますが、ライン出力端子がない場合はイヤホン端子やスピーカ端子を使用します。パソコン側もライン入力端子がある場合はライン入力端子を、ノートパソコン等でライン入力端子がない場合はマイク端子につなぎます。



無線機や受信機とパソコンの接続が完了しましたら、「HROFFT」を立ち上げてください。

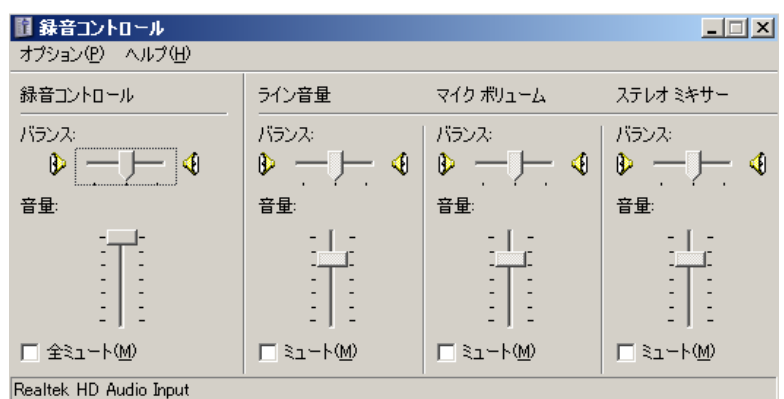
HROFFT を立ち上げると上の画面が表示されます。画面の左上の表示から順番に機能の説明をおこないましょう。

【Signal】

左上の「Signal」は受信機からのオーディオ信号のレベルを示します。右隣の枠に示される数値もオーディオの強度を数値的に表しています。

無信号時の受信ノイズで「60 から 80」を示すように受信機とパソコンのライン音量を調整します。

ライン入力端子がないパソコンの場合はマイク端子を使用しますが、この場合はコントロールパネルの「マイクボリューム」で、マイク入力レベルを調整してください。

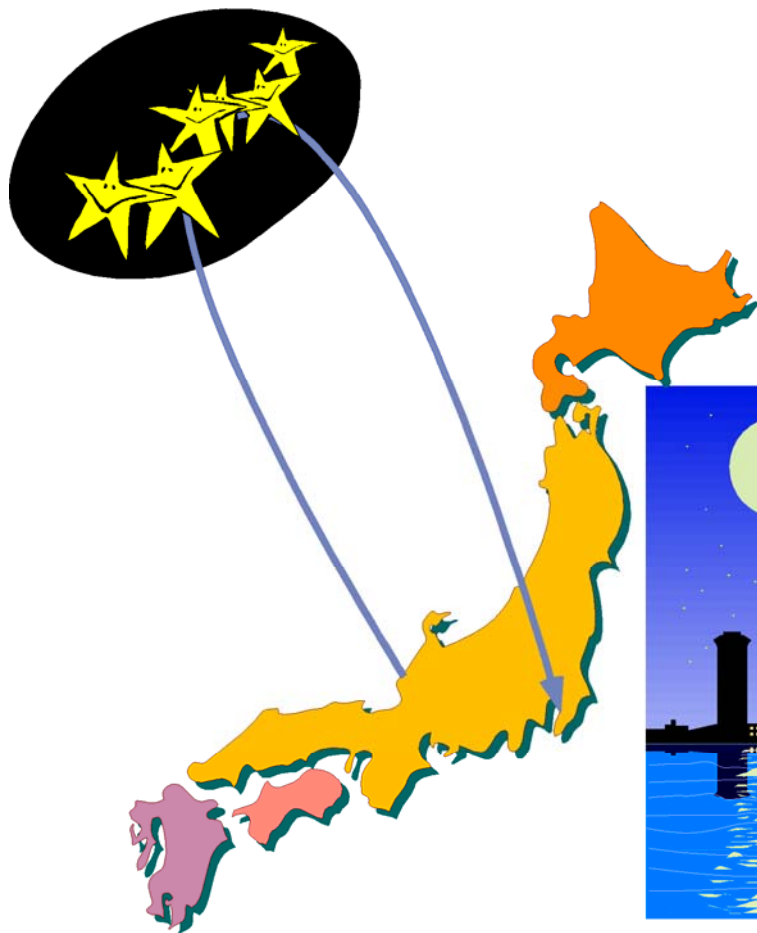


【Signal Level】

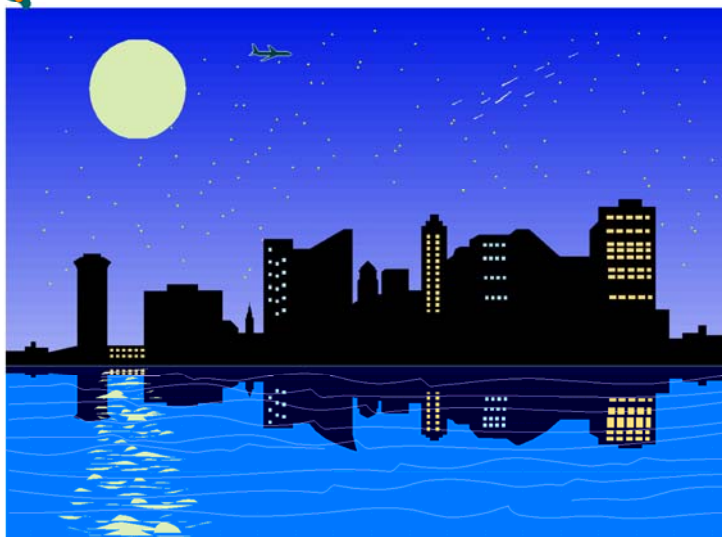
前述の「Signal」と同様の機能ですが、無線機やパソコンの音量レベルの調整で 60～80 にすることができない場合に、この数値を変更して調整します。

【f1 (high), f2 (Low)】

信号の強度表示範囲の設定です。ここで設定した周波数範囲は画面最下部に信号の強度として表示されます。



流星群で反射する 電波をキャッチ しよう！



また、受信信号のスペクトラム表示メモリにも表示範囲としてグレーの縦線が表示されます。

前記の画面では、f1が1000Hz、f2が800Hzに設定されています。画面中央部のスペクトラム周波数表示目盛の0.8から1.0kHzの縦線が入っていることを確認してください。

このf1とf2の周波数の設定は、流星エコー以外の雑音の問題や受信機の温度特性などにより範囲を決めることとなりますが、とりあえずf1を960Hz、f2を840Hz程度で良いと思います。

【TS1008041056.png】

グリーンで表示されている「HROFFT1.00」の下に表示された「TS1008041056.png」が観測したデータの画像ファイルです。

HROFFTは受信機からのオーディオ信号をフーリエ変換してスペクトラムと信号強度を得ます。取得したデータは画面中央のスペクトラム表示部と信号強度表示部に表し、10分ごとに「png」形式の画像ファイルとして蓄積します。つまり、1時間観測すると6個の画像ファイルが生成されるので1日に144の画像ファイルが蓄積されます。

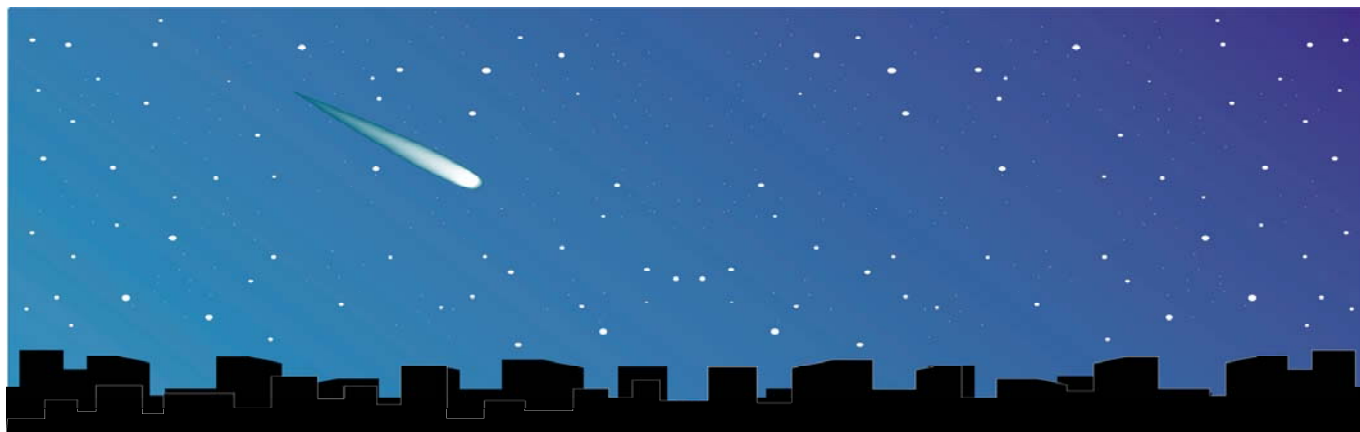
ファイル名の先頭の2文字は、「Header.txt」ファイルの1行目で指定した文字列です。

3文字目から10文字目は、年月日と時分を表示しており画面の例では、2010年8月4日10時56分から10分間のデータであることが判ります。

【10.08.04 10:56】

カレンダーと時刻表示です。時刻は1分ごとに更新されます。



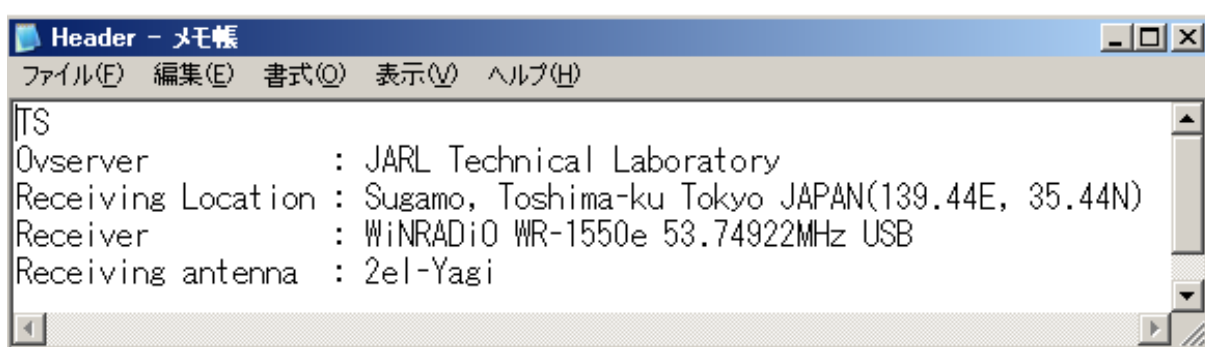


【meteor】

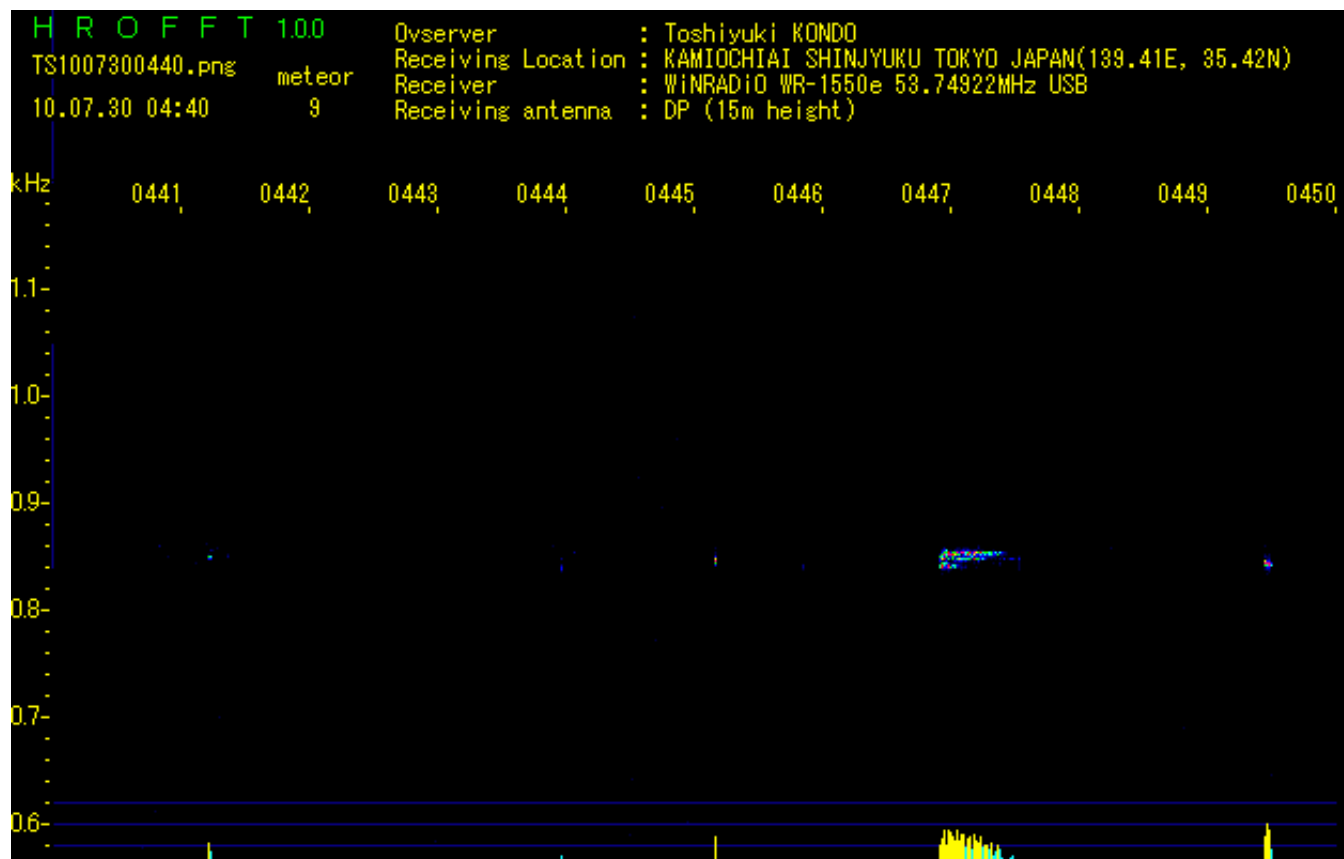
HROFFT が流星エコーであるとカウントした数が表示されます。

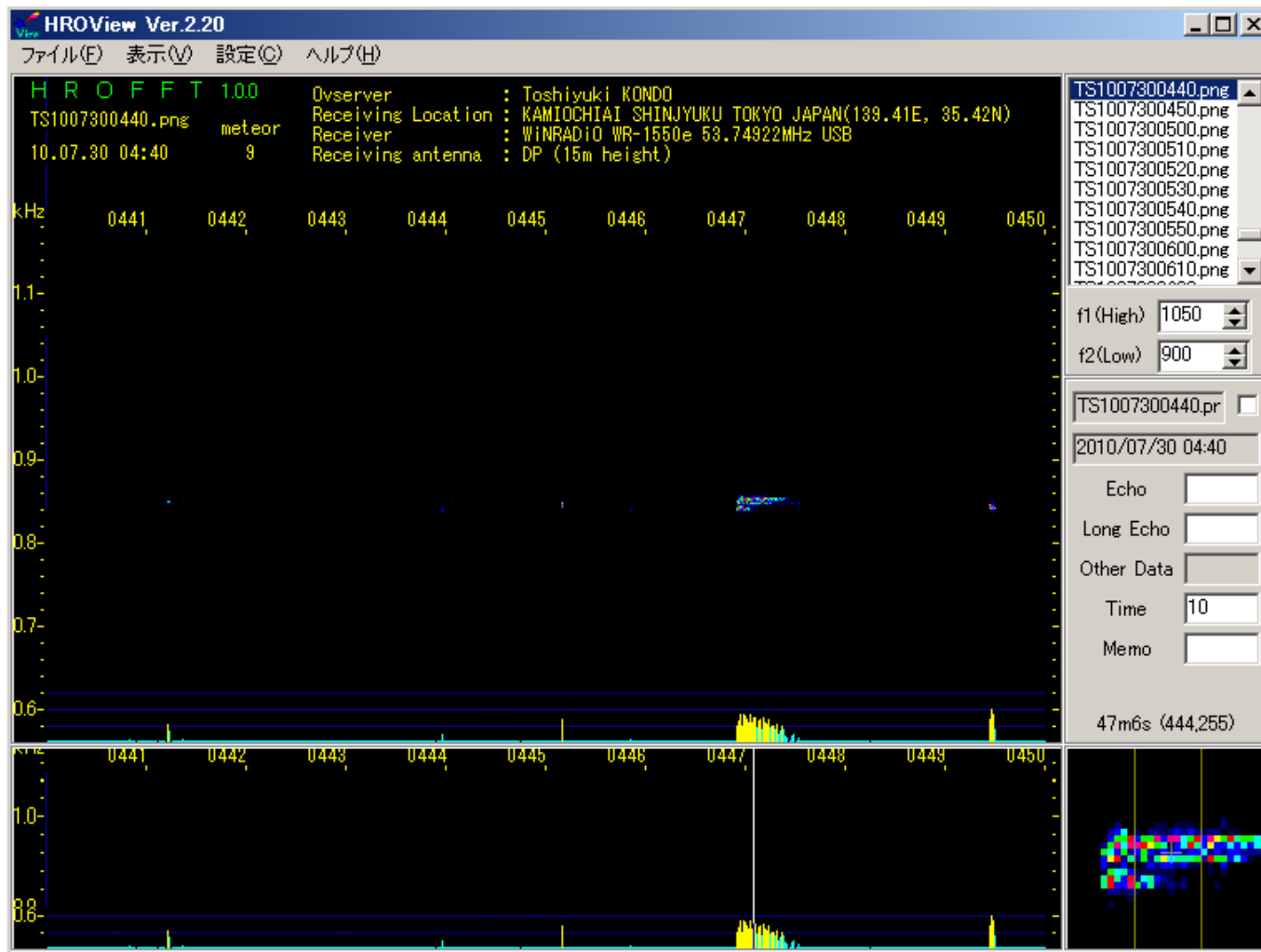
【Observer, その他】

「Observer」(観測者), 「Receiving Location」(受信場所), 「Receiver」(受信機, 周波数), 「Receiving antenna」(受信アンテナ) の順に表示されます。この内容は前述の「Header.txt」に記載した内容です(下図参照)



【実際の観測例】





【HRO 観測データのまとめ】

HROFFTにより流星電波観測を自動的におこなうことができますが、データの解析には継続的な観測者の努力が必要です。観測システムの維持管理や日々得られるデータの整理です。

観測目的にもよりますが、なるべく同一条件でデータを得るためにアンテナの整備や受信機の性能維持といったハードウェアの管理も重要なことですが、日々のデータ整理は最も重要な作業です。

HROFFTでは10分間隔で1枚の画像データとしてデータを収集します。1日に144枚の画像データが得られますが、この画像データから目的の流星エコーを抽出したり、環境雑音やEスポによる伝搬、航空機による反射、雷雑音、F層反射などのふるい分けをおこなったりします。

また逆に、HROFFTを活用して、Eスポや雷、F層反射などの状態を調べるといった観測をするのもおもしろいと思います。

HROFFTのデータ整理に大活躍するソフトに山本道成氏が作成した「HROView」というソフトウェアがあります(上の画面)。「HROView」は山本氏のWebサイトで入手できます。

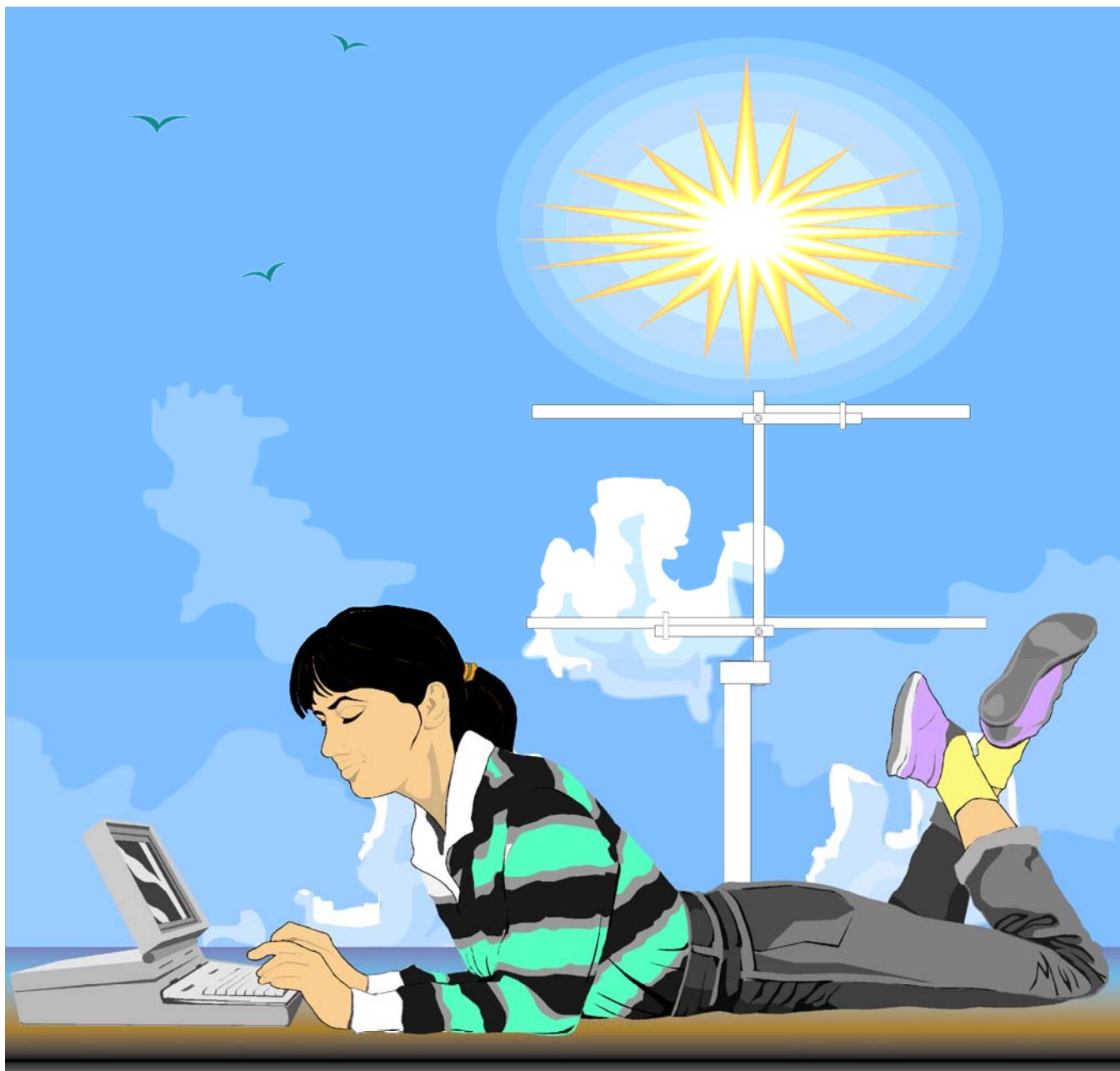
<http://nap.dip.jp/michi/meteor/hroview2/index.html>

また、詳しい使用方法が紹介されていますのでご一読をお勧めいたします。

★

★

電波天文学の世界では、流星群の観測のように短期的な観測から年周変化、電波干渉計を使った観測、複数地点からの複数周波数による観測など、さまざまな観測方法が考えられ、高校や高専、大学などにより研究が進められ研究発表や論文も多数ありますので参考にしてください。



 **社団法人 日本アマチュア無線連盟 技術研究所**