

## 人工衛星の電波を受けようⅡ

# 人工衛星からの電波受信装置



### <目 次>

1. ねらい<目的と概要> .....	1	5-4.NOAA 衛星の電波を聞く	
2. 材料集めの情報やヒント .....	2	5-5.パソコンを操作して画像を受信する	
2-1.アンテナ		6. 安全対策 .....	18
2-2.受信機		7. 科学する心を育てるための具体的なヒント .....	18
2-3.ソフトウェア		8. この教材を用いることのできる子どものレベル .....	19
2-4.ノートパソコン		9. この教材を用いることのできる活動団体の経験年数 .....	19
2-5.その他の材料		10. 関連項目 .....	19
3. 受信システムの概要 .....	5	10-1.学習指導要領との関連	
4. ソフトウェアのインストール .....	6	10-2.活動総覧(活動マップ)	
4-1.雲の写真画像表示用ソフト WXtoImg のインストールと受信のための準備		10-3.教材系統図(カリキュラムマップ)	
4-2. 衛星の位置計算ソフト CALSAT32 インストールと準備		10-4.キーワード	
5. 受信してみよう .....	10	11. 補足資料 .....	19
5-1.受信場所の選定		11-1.受信機の感度の違いと画質	
5-2.アンテナの位置		11-2.機材のホームページ	
5-3.NOAA 衛星が地平線から昇ってから沈むまでの時刻の確認		11-3.NOAA について調べられるサイト	
		11-4.技術用語が調べられるサイト	
		11-5.CD-ROM	

本教材は宇宙とのつながりを軸として科学を身近に感じてもらうために作った科学教材です。本教材の利用による事故等については一切責任を持ちかねますので、本教材の利用は、経験のある指導者の指導の下に行ってください。

## — 人工衛星からの電波受信装置 —

### 1. ねらいと目的と概要

人工衛星には、通信衛星や放送衛星、気象衛星そして、カーナビなどで位置情報を得るためのGPS用の衛星など、多種多様な実用衛星が稼動しています。放送衛星や気象衛星は、高度約36,000kmの静止軌道上にあって24時間いつでも私たちの生活に役立てることができ、高信頼の情報を提供し続けています。

このように、人工衛星は、知らず知らずのうちに私たちの周辺に浸透し、水や空気のような存在になっています。普段、当たり前のように使っている人工衛星ですが、衛星放送の直接受信以外は、テレビの天気予報番組だったり、インターネットや新聞の情報だったり、二次的に加工された情報を利用しているにすぎません。この教材では、静止軌道上の衛星ではなく、低高度の軌道を周回している地球観測衛星（NOAA）に焦点を当て、まずは、簡単な設備を使いながら、自分の手で人工衛星の電波を捉まえられることを実感してもらいます。同時に、地平線から出て、頭上に達し、反対の方角の地平線へ沈んでいく時に、ドップラー効果をともなっていることを電波の受信から体験します。

人工衛星は、身近なわりには馴染みが薄く、遠い存在です。自らの力で人工衛星の電波受信に挑戦することで、より身近で実用的なものであることを感じてもらい、さらには、ISS（国際宇宙ステーション）に搭載されたアマチュア無線用デジタル中継装置やアマチュア無線衛星に搭載された中継装置を介して、自分の電波で海外の仲間と通信するなど、さまざまな発展に結びつくよう期待するものです。

人工衛星の電波と聞いただけで、大規模な追尾システムなど大掛かりな設備を連想される方も多いと思いますが、特に追尾もせず、簡単なアンテナと受信機、それとノートパソコンだけで人工衛星からの写真が受信できるとすれば、素晴らしいではありませんか。

#### 【地球観測衛星 NOAA について】

地球観測衛星 NOAA は、米国海洋大気庁：National Oceanic and Atmospheric Administration（NOAA）が打ち上げている気象衛星です。高度約810kmを周回しており、地上分解能が約1.1km、約3000kmの視野を持っています。受信しやすいVHFの137MHz帯で比較的強力な電波を発信しながら極軌道を周回しています。そのため、簡単なアンテナと安価な受信機で受信することができます。

NOAAからの送信信号にはAPTとHRPTがあり、運用周波数や方式が異なります。それぞれの解説は以下のとおりです。

#### APT:「Automatic Picture Transmission(自動画像送信)」

HRPTデータから作られた低速で低解像度の画像。受信側が簡単な設備で安価にシステムが構築できるので漁船などで使用される。送信周波数は137MHz帯。

#### HRPT:「High Resolution Picture Transmission(高解像度画像送信)」

高速デジタル信号で、HRPTで送信されている。周波数は、1700MHz帯。このくらいの周波数は、指向性が強く、パラボラアンテナのような高利得のアンテナに追尾システムを連動させ受信しなければならず、簡単に実現できない。また、システム構築の費用も高額になる。

2007年1月現在で稼動している NOAA は表 1 のとおりですが、衛星のコンディションにより運用状況が地上から制御されるため、いつまでも同じとは限りません。必要に応じて NOAA の Web サイトで最新の稼動状況を確認することをお奨めします。以下のページには、NOAA の週間レポートが置かれています。

<http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/podocs.html>

【表1】現在稼動中の NOAA と APT の周波数

衛星	周波数
NOAA-12	137.50MHz
NOAA-15	137.50MHz
NOAA-17	137.62MHz
NOAA-18	137.9125MHz

## 2. 材料集めの情報やヒント

### 2-1. アンテナ

NOAAの信号を強力に受信するだけの目的であれば、八木アンテナなどの指向性の鋭いアンテナで、追尾したり、ターンスタイルアンテナのような衛星電波の受信に適したもので受信することももっとも効果的で実用的であることに違いありません。しかし、これらの設備を作ることは、多くの費用や知識、時には金属加工の技術が必要だったりします。この教材の目的は、先ず、世の中で一番簡単なアンテナとできる限り安価な受信機を使って衛星の電波を受信してみることにあります。そこで、より多くの人々が体験しやすいよう、最低限の価格と性能のもので、先ず受信してみることを考えましょう。

以下にアンテナの参考例を示します。写真3のタイプでおおよそ500円くらいです（2007年2月現在、写真と規格は各社ホームページから転載）。

#### 【写真1】北辰産業製

(約5,000円)



144/430MHz 帯  
**FA-50**  
SMA-P (FA-50S) タイプもあります。

- 型式 (TYPE) : 1/4λ (144MHz)  
5/8λ (430MHz)
- 利得 (GAIN) : 2.15dBi (144MHz)  
3.2dBi (430MHz)
- 接栓 (CONN.) BNC-P
- 重量 (WEIGHT) : 約 200g
- 全長 (OVER LENGTH) : 約 470mm

#### 【写真2】秋月電子製

(約1,700円)



ハムバンドアンテナ (BNC)  
[WC-113B (WC-110B)]

- 144/430MHz φ76mm マグネット基台付
- ◆全長 490mm
- ◆BNC コネクタ
- ◆RG58/U (50Ω) 4m 同軸付き

#### 【写真3】秋月電子製

(約500円)



- 144/430MHzデュアル
- ◆VHF～UHFまで使用可能
  - ◆8段ロッドアンテナ
  - ◆全長 12～50cm
  - ◆コネクタ BNCプラグ
- ※基台は付属していません。

これらのアンテナは、車やベランダまたは受信機に取り付けられる 1/4 波長のもので、NOAA の周波数である、137MHz 周辺の周波数に近い、アマチュア無線用 (144MHz 帯) のものを流用することとしました。もし手近に、このようなアンテナがあれば新たに購入せず流用を考えましょう。144MHz 帯のアマチュア無線用であれば 145MHz あたりの感度が最大になるよう調整してあります。できる限りノーマルな 1/4 波長 (約 50cm) のホイップアンテナを購入します。また、1/4 波長以下の長さのものは短縮形と呼ばれ、効率が落ちるので適しません。一方、1/4 波長より長く、アンテナのエレメントの途中にコイルの入った 5/8 波長のものや、コリニア形と呼ばれるものは、水平方向に利得が高く、天頂方向が低くなっています。そのため、衛星が天頂付近を通過する時に感度が低下し、全体的に感度ムラが大きくなります。このようなアンテナは高利得を売りにしていて、衛星受信の目的には不向きですので注意が必要です。

また、アンテナの例ですが、写真1から写真3には価格的にかなりの差があります。しかし、感度に殆ど差がありませんので、このような実験的な使用法においては、低価格なもので差し支えありません。

参考のために、1/4波長ホイップアンテナの長さの目安を以下に示します。

### 1/4波長ホイップアンテナのエレメント長の算出

$$\text{エレメント長} = 300 \div \text{周波数} \times \text{短縮率} \div 4$$

300 : 光速（電波の伝わる速さ30万km/秒）  
周波数 : 単位はMHz, NOAAの周波数は137MHzを代入します。  
短縮率 : 0.95  
4 : 1/4波長アンテナのため4で割る

$$300 \div 137(\text{MHz}) \times 0.95 \div 4 = 0.52(\text{m})$$

144MHz帯のアマチュア無線用アンテナは、145MHzに調整されていて上記の計算値より短く、ほんの少し感度は下がることにはなりますが、ここでは気にしないでおきましょう。

※写真3のロッドアンテナでは、最大に伸ばし切っても50cmですので、少し足りません。もう少し長めのロッドアンテナが入手できるようでしたら、52cmになるよう調整すると理想的です。

## 2-2. 受信機

NOAAなどの気象衛星専用受信機で、衛星からの信号帯域幅に最適な30KHz～50KHzのものが販売されていますが、高額なことから、さまざまな電波の受信を試みるための発展性を考えると、勿体ないと言えます。そのことから、NOAAだけに限定されたものではなく、広い受信可能な周波数帯域と多くの受信モード（FM、AM、SSB、CWなど）を持ったものが望ましいと考えます。

性能は、価格に比例して良くなるのが常ですが、実用限界とコストパフォーマンスを考え、ユピテル工業のMVT-7300を参考例としました。また、**補足資料11-1**では、受信機の中では中程度の価格の受信機との受信画像の比較を行いました。もし、購入をご検討される場合には参考にさせていただきたいと思います。

### 【写真4】MVT-7300

ユピテル工業製ハンディ受信機



受信周波数範囲 : 0.531~1320MHz  
受信モード : FM、W-FM、N-AM、AM、  
LSB、USB、CW、AUTO  
アンテナコネクタ : BNC

実売価格 : 2.5万円～3.5万円

### 【写真5】AR8600

エーオーアール社製受信機

受信周波数範囲 : 0.1~2040MHz  
受信モード : SFM、W-FM、N-FM、W-FM、W-AM、N-AM、AM、  
LSB、USB、CW、AUTO  
アンテナコネクタ : BNC

※ 最近では、受信帯域を3000MHzに広げた後継機のAR8600MARK2が発売されている。



実売価格 : 7.5万円～10万円

【注意】 付属のアンテナは短く、感度が低いため衛星電波の電波受信には適しませんので、前述のアンテナを外部アンテナとして接続し使用します。

## 2-3. ソフトウェア

### 1) 雲の写真画像表示用ソフト WXtoImg

このソフトは、音声信号になっている気象ファックス信号をパソコンで受信するのに適したソフトです。無料のフリーウェアと有料化して機能を上げたシェアウェア版があります。

NOAAの電波は、FMモードで受信しアナログの音声信号として取り出し、その音声信号をパソコンのマイク端子にそのまま入力することで、WXtoImg が写真画像として画面上に表示してくれます。

このソフトは、ホームページからダウンロード可能です。以下のページからダウンロードしてください。

WXtoImg のページ : <http://www.wxtoimg.com/>

ここで、TOPページが表示されますので、上部にあるメニューの「Downloads」のページへ移りダウンロードします。インストールについては、この先の項で説明します。

### 2) 衛星の位置計算ソフト CALSAT32

WXtoImg にも、衛星の位置計算機能があり、自動での受信が可能です。しかし、ここでは飽くまで自分の手で衛星電波を受信することが目的で、マニュアル受信が基本です。

マニュアル受信を行うには、衛星が地平線から出る時刻から地平線に沈む時刻までを知ること、そして追尾する場合には、どのようなパスで頭上を通過するのかを知ることが重要になってきます。CALSAT32 には、気象衛星やアマチュア衛星、国際宇宙ステーションなど、多くの人工衛星が登録されていて、時々刻々動いていく衛星の位置情報を自動計算して地図上に表示してくれます。また、目的の衛星が可視圏内に入ったら、ベルで知らせてくれたり、ドップラー効果で変移していく周波数を表示してくれる機能もあります。将来、自動追尾を考えている皆さんには、3軸でアンテナを動かすローターを自動駆動できるインターフェースを持っている素晴らしいソフトです。

このソフトは、アマチュア無線家の相田正則さんが開発され、ホームページに公開しています。相田さんには、本教材の趣旨をご理解いただき、ホームページでの公開及び CD-ROM による配布の許可をいただきました。誌上を借りてお礼申し上げます。

CALSAT32 が公開されている相田さんのページ :

<http://homepage1.nifty.com/aida/index.htm>

## 2-4. ノートパソコン

自分の手で電波を捉まえることが目的なので、アンテナや機材は最低限の性能（価格も）で、その分見通しの良い広い場所へ出て行こうというのが本教材の趣旨です。そこで問題になるのが電源です。やはり、電池で駆動できるノートパソコンが必要になります。これも、最新鋭のものである必要はありませんが、問題のない性能の目安を次ページの**表2**に示します。

【表2】システムの動作環境(中古の PC でも以下の性能が目安です)

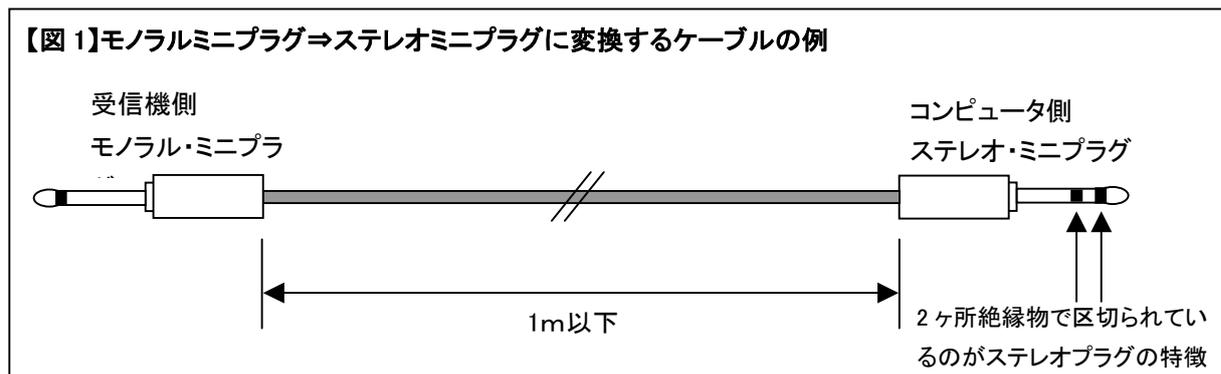
	性能	備考
CPUの種類とクロック	Ceelon 800MHz 以上	
OS	Windows 2000 以上推奨	理想的には、WinXP
メモリー	256MB 以上	
オーディオ処理機能	アナログのマイクまたはライン入力を装備していること	
電池	最低限 20 分以上もつこと	衛星は最大 15 分くらいは見えているので、その間は受信できなければならない。

## 2-5. その他の材料

### 1) 接続ケーブル

受信機とパソコンを接続するケーブルが必要です。受信機はモノラルでミニジャックで出力されており、パソコンのマイクまたはライン入力はステレオのミニジャック入力です。そこで、ちゃんと接続するにはモノラルミニプラグからステレオミニプラグに変換するオーディオケーブルが必要です。

図 1 に変換プラグの例を示しました。



受信機とパソコンの距離に応じて長さは決めても良いが必要以上に長くしないようにしてください。

## 3. 受信システムの概要

次ページの図 2 に受信システムの接続図を示します。機材はすべて電池で駆動できるようにしておきます。受信機は、航空無線やアマチュア無線など、144MHz 付近で受信できる他の無線交信が受信できていることを予め確認しておいてください。参考までに、周辺の周波数帯で受信できる電波を示しておきます。航空無線や、テレビの信号などは強力に入感しますので、受信機やアンテナが間違いなく接続されているかの確認には役にたつと思います。

個人で無線を傍受することは、法律上問題はありますが、傍受した内容や、その存在を漏らした場合には電波法により罰せられます。十分注意してください。参考までに条文を次ページに示します。

【表 3】気象衛星の周辺の周波数帯で傍受できる無線

周波数帯の目安	傍受できる電波
90MHz~108MHz	VHF のテレビ ch1~ch3
110MHz~135MHz	航空無線
137MHz 帯	気象衛星
144MHz~146MHz	アマチュア無線

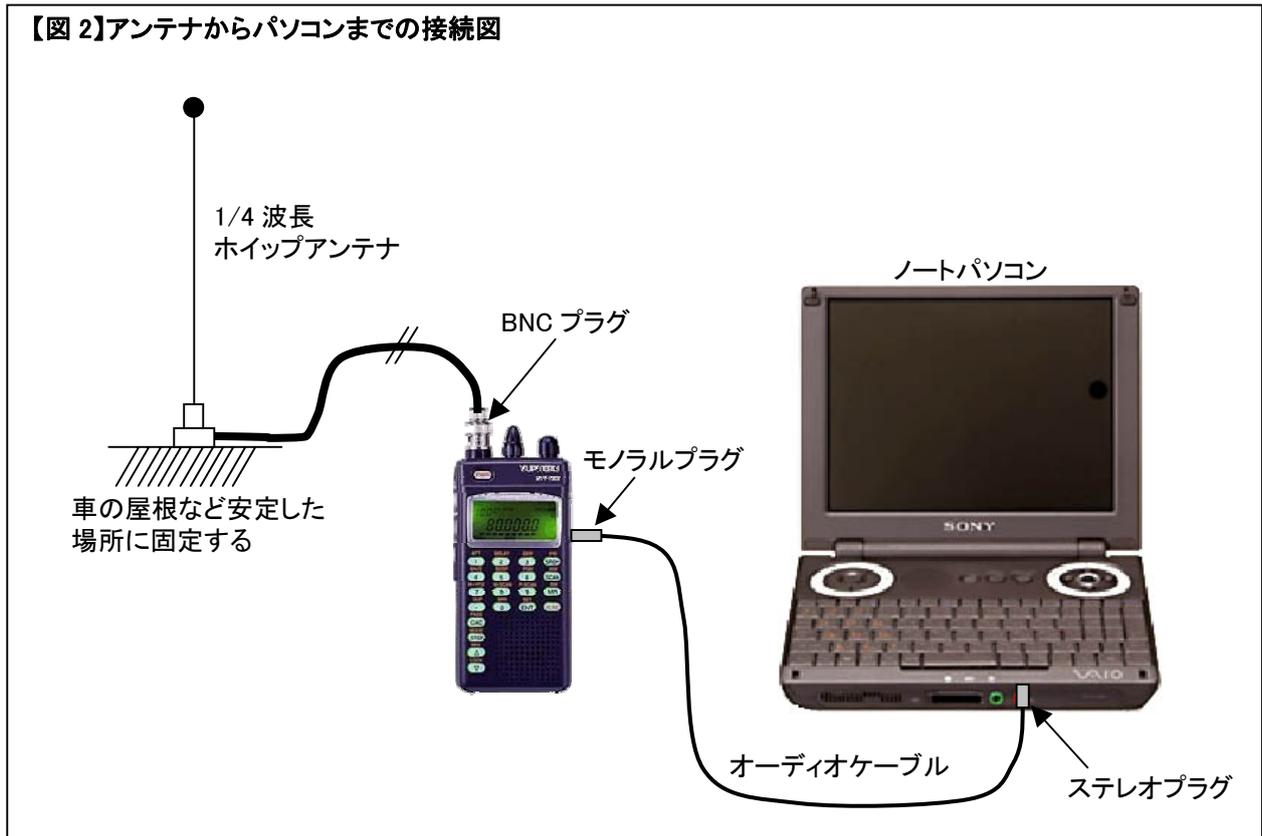
(秘密の保護)

第五十九条 何人も法律に別段の定めがある場合を除くほか、特定の相手方に対して行われる無線通信（電気通信事業法第四条第一項 又は第九十条第二項 の通信たるものを除く。第九十九条において同じ。）を傍受してその存在若しくは内容を漏らし、又はこれを窃用してはならない。

(罰則)

第九十九条 無線局の取扱中に係る無線通信の秘密を漏らし、又は窃用した者は、一年以下の懲役又は五十万円以下の罰金に処する。

【図 2】アンテナからパソコンまでの接続図



#### 4. ソフトウェアのインストール

前項まででハードウェアの準備は完了です。続いてソフトウェアのインストールを行います。

※この項の作業は、すべてインターネットに接続されたパソコンで実施することが前提です。

##### 4-1. 雲の写真画像表示用ソフト WXtoImg のインストールと受信のための準備



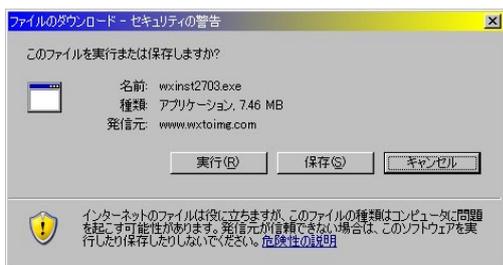
①Web サイトから「WXtoImg」をダウンロードする。

WXtoImg の URL : <http://www.wxtoimg.com/>

左の画面が現れるので、左記矢印の位置にある”Downloads”をクリックし、ダウンロード画面に移行する。

②ダウンロード画面の最下段にダウンロードのためのリンクがあるので、対応する OS の WXtoImg をダウンロードする。  
リンクの名称は以下のようにになっている。

**Windows Full Install: for Windows 95/98/ME/XP/2000/NT**  
(7.47MB)



リンクをクリックすると左のダイアログが現れるので、「実行」ボタンを押してインストールを始める。

## ② 「WXtoImg」をインストールする。



「実行」ボタンを押すと、自動的にインストールが始まる。

画面の指示に従い進めていく。



左のように、

「WXtoImg has been successfully installed!

と出たらインストール完了。

## ③ 受信のための準備

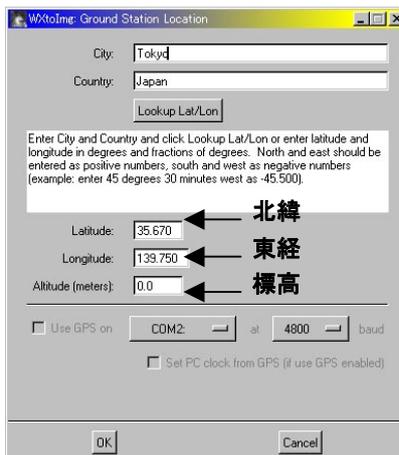


「WXtoImg」のショートカットがデスクトップに自動作成されているので、立ち上げる。

問題なく立ち上がれば、左の画面が現れる。

初期化に 10 秒ほどかかるので、すぐには現れないが、辛抱強く待つ。

## ④ 自分の受信位置の入力



メニューから「Option」→「Grand Station Location」

を選択し、左のダイアログを出す。上段に City、下段に Country を入力する欄があるので、自分の場所を入力する。

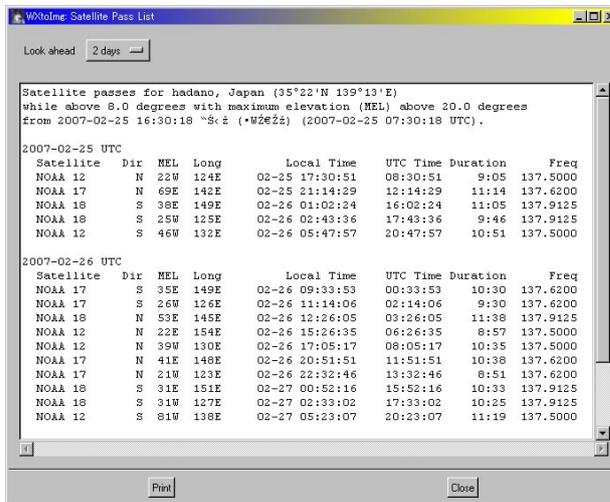
入力したら、その下にある「Lookup Lat/Lon」を押し、下の欄にあるテキストボックスに、座標の数値が反映されることを確認する。

場所によってはエラーになるので、そのような時は「グーグルアース」などで座標を調べて入力しよう。

標高も、分かれば入れておく。

入れ終わったら、OK ボタンを押してダイアログを閉じる。

気象衛星の電波を受信することを目的に作られた「WXtoImg」は、衛星の通過時刻を表示したり、画像を自動受信するなど、素晴らしい機能が盛り込まれている。  
NOAA 衛星の通過時刻は、この次にインストールする CALSAT32 がビジュアルに画面表示でき分かりやすいのですが、「WXtoImg」でも文字情報で見ることができる。



衛星の通過時刻を調べたい時は、メニューの「File」→「Update Keplers」を選択すると、自動的にインターネットにアクセスしデータを更新する。その後、メニューの「File」→「Satellite Pass List」で左のダイアログに示すような表が示され、自分の頭上を何時何分に通過するかを知ることができる。

詳細な使い方については、HELP の日本語訳が以下のページに置いてあるので参考にしてください(2007年2月現在)。

<http://globe.dyndns.org/~public/satellite/wxgui-doc-ja.html>

#### 4-2. 衛星の位置計算ソフトCALSAT32インストールと準備

この教材の目的は気象衛星 NOAA の画像を綺麗に受信することではありません。それ以外のアマチュア無線衛星や、東京大学、東京工業大学などが打ち上げたキューブサットのような超小型衛星の信号の受信に発展させたいので、これらの衛星の軌道情報も合わせて管理できる「CALSAT32」をインストールします。

前述のように、「CALSAT32」はアマチュア無線家の相田さんが開発されたフリーウェアで、衛星通信を趣味とする無線仲間では広く使われています。このソフトは、衛星を追尾するために必要な2軸のローターを制御できる素晴らしい機能を持っています。

今回は、先ず衛星の信号を受信に挑戦するのが趣旨なので、頭上を通過するはずの衛星が地平線を昇ってくる方角や沈む方角を特定すること、可視時間がどのくらいかを確認することなどを目的とします。

##### ①ダウンロード



インストールするには、以下のページからアクセスし、圧縮ファイルをダウンロードする。

CALSAT32 の URL :

<http://homepage1.nifty.com/aida/>

※ 相田さんには、本教材のためにソフトの CD-ROM での無償配布にご快諾いただきました。2007年2月現在での最新バージョン 1.4.0 を収録した CD-ROM を希望される方は「補足資料 11-5」を参照のこと。



ダウンロードした「CALSAT32」をダブルクリックすると自動解凍され、デスクトップ上に「Calsat32ver140」というフォルダが現れる。

開くと、左のようなインストーラーが見えるので、更にダブルクリックしてインストールを開始する。

## ②インストール



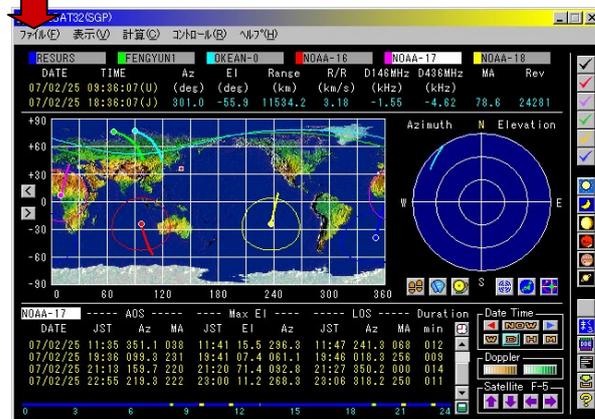
インストーラーの指示どおりに進むと、左のダイアログが表示され完了する。

「CALSAT32」は、「マイドキュメント」の中にインストールされているので、確認しショートカットをデスクトップに出しておくとお便利だ。

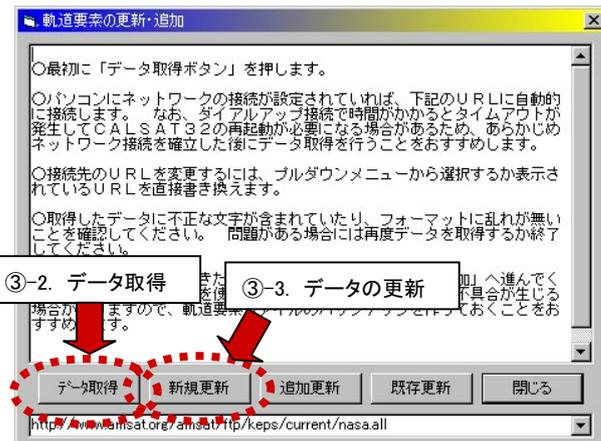
## ③衛星の位置情報収集のための準備

「CALSAT32」は、そのまま起動しても最初から持っている情報は古いものなので最新のデータに更新する必要がある。ここでは、このソフトを使用するために準備しなければならない必要最低限の操作を説明する。更に詳しく知りたい場合は、メニューの「ヘルプ」→「CALSAT32のオンライン利用ガイド」から、ネット上の相田さんのサイトに置いてあるPDFファイルに飛ぶので、そこを参照されたい。

### ③-1. 軌道要素ファイルの更新



③-1. 軌道要素ファイルの更新は CALSAT32 のノーマルの画面だ。「ファイル」→「軌道要素ファイルの更新」を選択する。



### ③-2. データ取得

左の「軌道要素の更新・追加」の画面が現れるので、「データ取得」ボタンを押す。自動的に「The Radio Amateur Satellite Corporation」のサイトから最新の起動要素をダウンロードしてくれる。

### ③-3. データの更新

更新ボタンには、

- a. 新規更新（取り込んだデータに全て置き換える）
- b. 追加更新（既存の衛星のデータを更新し、新しい衛星を追加する）
- c. 既存更新（既存の衛星のデータのみ更新する）

の3種類の方法があるが、最初なので「a. 新規更新」で、全てのデータを置き換えよう。次回からは「b. 追加更新」が良い。

【注意】インターネットから更新した情報は最新のものですが、軌道要素は常に変化し続けています。数日置いてから再び受信しようとする時には、パソコンをインターネットに接続しデータを必ず更新してください。

ここまでくれば、殆どの準備は終わったも同然です。次は、見通しの良い場所へ移動し受信を試みましょう。

## 5. 受信してみよう

この教材では、人工衛星の中でも比較的電波が強力で、周波数が低く扱いやすい気象衛星 NOAA を目標にしました。確実に受信し、自分の手で人工衛星を捉えたことを実感してもらうために、屋外での受信に挑戦していただきます。

受信機もパソコンも電池で動作するものを準備することにしましょう。車で移動できそうなら、車から電源が取れるようにしておくとも時間に関係なく楽しめます。ここでは、車で移動した例を参考に写真を載せていますが、受信機とパソコン、アンテナをリュックに詰め込んで移動しても楽しいでしょう。

【注意】各ソフトウェア及び受信機の最低限の基本操作については、それぞれの取り扱い説明書やヘルプファイルをよく読んで予め操作に慣れたうえで実践に臨んでください。

では、目的地に到着したとして、受信するための準備から受信方法までを解説しましょう。手順は、以下のとおりです。

- ①受信場所の選定
- ②アンテナの設置
- ③NOAA 衛星が地平線から昇ってから沈むまでの時刻の確認
- ④NOAA 衛星の電波を聞く
- ⑤パソコンを操作して画像を受信する

では、具体的に NOAA 衛星の受信について順を追って説明したいと思います。

### 5-1. 受信場所の選定

受信に最適な場所としては、周辺にビル群などの高層建築が無い、自然に恵まれた郊外の丘の上などが理想的です。そのような場所は、都市雑音（電波の雑音）が少なく、綺麗な画像を受信することができます。都市部では、理想的な場所を見つけることは難しいので、見通しの良いビルの屋上にでも仲間と一緒に移動しましょう。右の写真は、筆者の家の近くの小高い丘



の上。このように空が広く開けた場所では、衛星の可視時間が長いので広い範囲の画像が受信できます。

目的地までの移動には時間がかかりますが、予め、CALSAT32 で受信予定の衛星が上空を通過する時刻を確認しておいて余裕をもって出かけましょう。

## 5-2. アンテナの設置

左の写真は、車のルーフサイドに取り付けた 1/4 波長ホイップアンテナの例。木の棒や屋上の手すりなど、垂直に立つように工夫してほしい。NOAA の電波は比較的強いので大規模なアンテナでなくても問題なく受信できます。

【注意】短縮型の小型アンテナは嵩張らず持ち運びに便利ですが、効率が悪く感度が良くないので避けたほうが無難です。



## 5-3. NOAA 衛星が地平線から昇ってから沈むまでの時刻の確認

NOAA 衛星は、最も条件の良い、真上を通過するコースの可視時間が約 15 分間です。受信する場所へ移動するための時間や設営にかかる時間、準備時間も含め、無理の無いスケジュールを立ててください。また、前述のように NOAA 衛星は 1 機ではありませんので、複数受信できる時間帯を選ぶのも良いと思います。

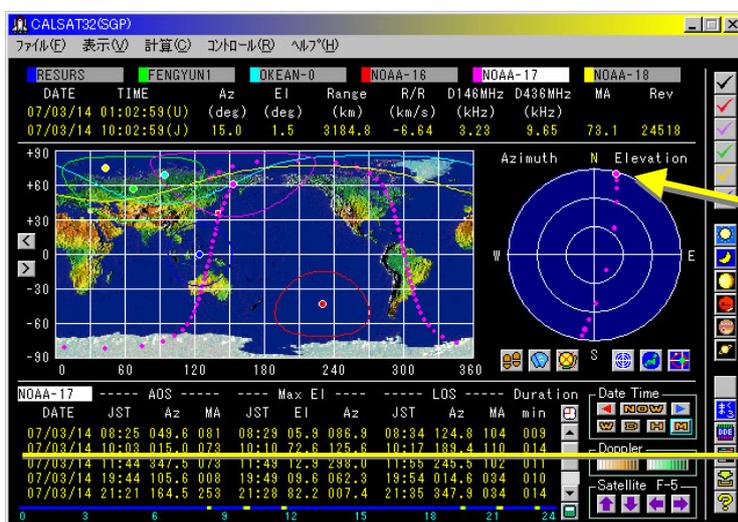
さて、これらの時間を特定するために「CALSAT32」を使います。初期設定については、4-2. で述べました。出発前にインターネットから最新の軌道情報をダウンロードして、既存データを更新していれば正確なデータが表示できるはずです。

では、「CALSAT32」のプログラムを起動してみましょう。

図 5-3-1 は、2007 年 3 月 14 日 10 時 2 分 59 秒の NOAA17 及びメニューにある各衛星の位置を色の点で表しています。

この画面の状態が、実時間であればすぐに受信操作を行う必要があります。現在から、最大 14 分間の間は衛星が可視状態にあり、この間は強力に電波を受信できます。

下の図は、「CALSAT32」を起動した状態です。



【図 5-3-1】

2007 年 3 月 14 日 10 時 2 分 59 秒の NOAA17 の位置

NOAA17 衛星が北北東の地平線から出てきた瞬間を現している。

10 時 3 分～10 時 17 分の 14 分間衛星が見えていることが分かる

【図 5-3-2】

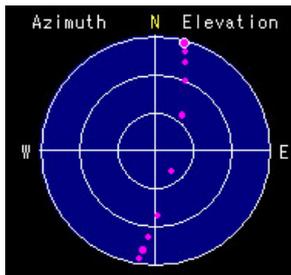


図 5-3-2 は、図 5-3-1 の衛星の通過コース（パス）を示すチャートです。北北東から南南西に向かう理想的なパスで、この日の午前のパスでは最も長い 14 分間であることがリストから読み取ることができます。一方、時間の短いパスは、高度が低く、山などに隠れてしまうこともあり、受信条件は極めて悪くなります。

雲の分布状態を上空からの可視光領域の写真として捉えるのは昼間のパスで綺麗な雲や陸地の画像を受信できます。夜は赤外線写真で陸地は黒っぽく、海上の温度分布などをカラーで表現した写真が送られてきます。

したがって、午前または昼間のできるだけ長時間のパスを予めシミュレーションしておき、移動スケジュールを組むことをお奨めします。

人工衛星は一般的に、朝夕、条件によっては夜にも太陽の光を反射して輝きますので肉眼で確認することが可能です。チャートで方角を確認し、目視に挑戦してみてもいいでしょう。

#### 5-4. NOAA 衛星の電波を聞く

受信機の操作は、予め取り扱い説明書を見ながらトレーニングしておきます。決して現場に着いてから初めて電源を入れるといったことが無いよう、しっかり前準備として操作練習をしておいてください。

##### 受信操作の手順

- ・受信機の電源を入れる
- ・音声ボリュームを適正に調整する
- ・周波数と受信モードを受信したい電波に合わせる
- ・音声を確認できたら、コンピュータの音声入力に接続する

順に解説しましょう。

##### 1) 受信機の電源を入れる

アンテナは既に接続されているものとします。

右図（図④-1-1）に示すように「PWR」電源ボタンを 2 秒以上長押しします。

電源が入り、液晶表示が時計表示から周波数表示に変わります。

【図④-1-1】



##### 2) 音声ボリュームを適正に調整する

右図（図④-2-1）に示す音声ボリュームを調整し、適正な大きさの雑音聞こえるよう調整します。

音声ボリュームは、スケルチのボリュームと同芯構造になっています。外側のつまみがスケルチで、内側のつまみが音量調整ボリュームです。外側のスケルチボリュームは左側に一杯回しきっておき、スケルチ

【図④-2-1】



【図④-2-2】



スケルチと音声ボリュームが同芯構造になっている。

を切った状態にしておいてください。

#### ※スケルチとは？

スケルチとは、特に FM モードでの受信時、信号が無い場合に「ザー」という連続した雑音が聞こえます。この耳障りな雑音を受信機側で除去する機能をスケルチといい、通信機では広く利用されています。尚、AM や SSB のモードでもスケルチ機能が使える設計のものも多く市販されています。

スケルチボリュームの設定点についてですが、最初は左一杯に回しきっておき、ノイズを出しておきます。続いてゆっくり右側に回していきノイズが切れる点を探します。通常はこの点に設定します。更に深く右側へ回していくと、より強い信号でないとスケルチが開かなくなります。

受信したい信号の大きさによってスケルチレベルを調整しておくことで、耳障りな雑音から開放されます。ただし、人工衛星のような比較的弱い信号を相手にする場合は、左側に回しきっておき、ノイズに埋もれていそうな弱い信号も見落とさないようにすることが肝要です。

### 3) 周波数と受信モードを受信したい電波に合わせる

【図④-3-1】



図④-3-1 は、受信機を NOAA17 の周波数 137.62MHz に合わせたところです。

#### ■ 周波数 ■

テンキーで、137.62「ENT」と押すとセットされます。

#### ■ モード ■

「FUNC」「STEP」と押して「DIAL」つまみを回し「FM」と表示が変わったところで「ENT」を押します。

「DIAL」つまみの位置は、図④-3-2 で示すように音声ボリュームの右側です。

【図④-3-2】 DIAL つまみ



#### ※ドップラー効果を考慮する

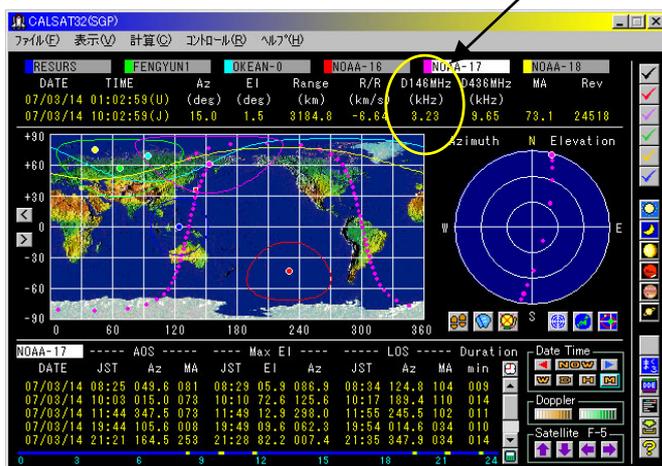
ドップラー効果は、衛星が電波を出しながら近づいてくるため、見かけ上の周波数が高くなり、上空を通過して、徐々に遠ざかる時は見かけ上の周波数が低くなる現象です。

「CALSAT32」では、このドップラーの周波数差を常時計算してくれています。

計算値は、146MHz と 436MHz を代表値として[D146MHz]、[D436MHz]として表示しています。NOAA 衛星の場合は 137.62MHz なので、代表値の 146MHz に近いので、ここに表示される値を使います。

【図④-3-3】ドップラ周波数

146MHz のドップラ周波数は+3.23kHz



図④-3-3 は、前項で出てきたものと同じです。NOAA17 が地平線から姿を現した瞬間ですが、3.23kHz のドップラー効果を受け、目的とする電波の周波数が、+方向に約 3kHz 偏移していることを示しています。

即ち、

$$137.62\text{MHz} + 3\text{kHz} = 137.623\text{MHz}$$

となっているので受信機の「DIAL」

つまみを操作して 3kHz だけ高い周波数にずらして受信を始めます。

※受信音のサンプルを CD-ROM にてご希望の方は、**補足資料 11-5** を参照のこと。再生して雰囲気をつかんでおいてください。

NOAA 衛星の信号は、ドップラー効果を受けていても FM であるため、中心周波数が最初は 3kHz ずれているだけで、受信音に変化があるわけではありません。衛星が地平線を出たところが偏移がいちばん大きく、頭上で一番近くなったところで、137.62MHz 丁度となり、それ以後、離れていくにしたがって周波数が下がっていきます。ドップラ周波数の値を読みながら、「DIAL」つまみをゆっくり回し、中心周波数を逃さないよう注意しましょう。

NOAA からの信号は、FM で帯域幅が 30 kHz 以上あるため、±3kHz 程度の偏移は問題になりにくいのですが、受信画像の画質に微妙に影響するほか、低高度のパスでは信号が弱いので S/N（信号対雑音比）への影響が顕著です。受信音を確認できたら音声継ケーブルを接続し、音声信号をパソコンに流し込みます。接続は、「3.受信システムの接続図」を参照し、参考にしてください。

※ドップラー効果を体験しようと思ったら、「CALSAT32」のドップラー周波数の表示に拘らず、自分の目と耳で信号の強いと思われるところにダイヤルを合わせながら受信してみましょう。衛星の見え始めから地平線へ沈むまでの間に、感度がピークになる周波数が高いほうから低いほうへ徐々に移動していくのが確認できることでしょう。

※受信機の基本的な操作方法は、受信機に付属している取扱説明書をご覧ください。

#### 5-5. パソコンを操作して画像を受信する

NOAA 衛星の信号が聞こえたところで、いよいよ画像を受信する操作に入ります。最長のパスで約 15 分間です。慌てずに操作しましょう。詳細な操作方法は、Web 上にあるマニュアルを参照してください。「WXtoImg」のヘルプには詳細な説明がありますが、残念ながら英語での解説しかありません。もし、英語が苦手でしたら、以下のサイトに日本語の詳しい説明がありますので、参考にしてください。

<http://globe.dyndns.org/~public/satellite/wxgui-doc-ja.html>

先ず、「WXtoImg」のアイコンをダブルクリックし、アプリケーションを立ち上げます。それ以後は、以下の手順で受信を始めます。

#### 「WXtoImg」初期状態の確認

各メニューをプルダウンして選択状態を確認してください。

基本的には、デフォルト状態で問題ありません。

「File」 :	何も選択されていない。「Stop」のみが消えている。
「Satellite」 :	「Autodetect APT」が選択されている。
「Enhancements」 :	「Normal」が選択されている。
「Options」 :	「Despeckle」が選択されている。
「Projection」 :	「Normal」が選択されている。
「Image」	何も選択されていない。
「Help」	何も選択されていない。

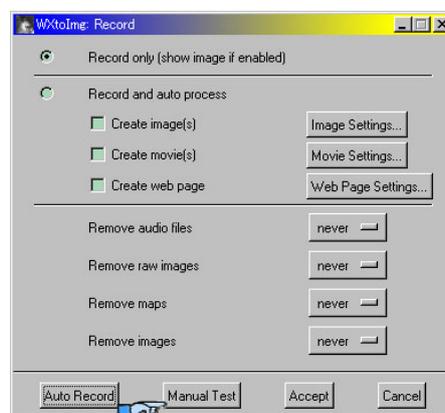
#### 1) 録音開始

録音は受信レベルの調整がポイントです。調整しだいで画質の良し悪しに大きく影響しますので、注意深く操作してください。録音を開始するには、メニューから「File」→「Record」を選択します。

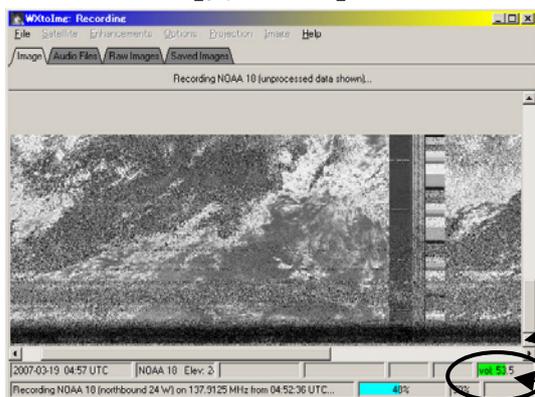
図 5-5-1-1 のダイアログが現れますので、「Record only (show image if enabled)」を選択し「Manual Test」ボタンを押します。

以上の操作はマニュアル録音の操作です。このダイアログは、ボタンの文字を見れば分かるように自動録音することも可能です。しかし、自分で直接、電波を受信することを目的としていますので、あえて自動受信の操作には触れないことにします。

【図 5-5-1-1】



【図 5-5-1-2】



音声はノイズのように聞こえますが、正しく受信されると画像の走査線一本一本を順に描いていきます。

受信機の音声ボリュームを調整し、図 5-5-1-2 に示すように 45～55 の数値を示すよう調整してください。

受信機からの音声信号が小さすぎる時には黒い帯となる。

音声レベル: 45～55 が最適

音量が大きすぎると、歪んでしまい白い線として、小さすぎると黒い線で描かれてしまうので注意しましょう。

【注意】パソコンのスピードによりませんが、「CALSAT32」と「WXtoImg」を同時に立ち上げておいても問題なく動作します。しかしながら、どうしても負荷が重いと感ずる場合

には「CALSAT32」を終了させてください。

## 2) 録音終了

NOAA 衛星が地平線または山際に沈んでしまうと電波が届かなくなり、信号が FM ノイズに埋もれてしまいます。そうなったら、録音を中止しましょう。

「File」→「Stop」を選択します。

この操作で録音が停止し、画面には受信した信号が画像となって現れています。あとは、必要に応じて受信画像を加工しましょう。

## 3) 最初だけ必要な調整

今回は、最初の受信だった場合には、衛星の信号とコンピュータの音声処理回路のサンプリング周波数が微妙にずれているため、斜めの線になって表示されているはずです。この微妙なずれを補正して正しい画像が表示できるよう調整します。

a. 「Options」→「Disable PLL」を選択。

→ b. 「Image」→「Slant correction...」を選択直後、画面の斜めの線に沿ってマウスで線を書く。

c. ダイアログで出るので、「Estimate and set sampling frequencies for all satellites」を選択し「Set」を押す。

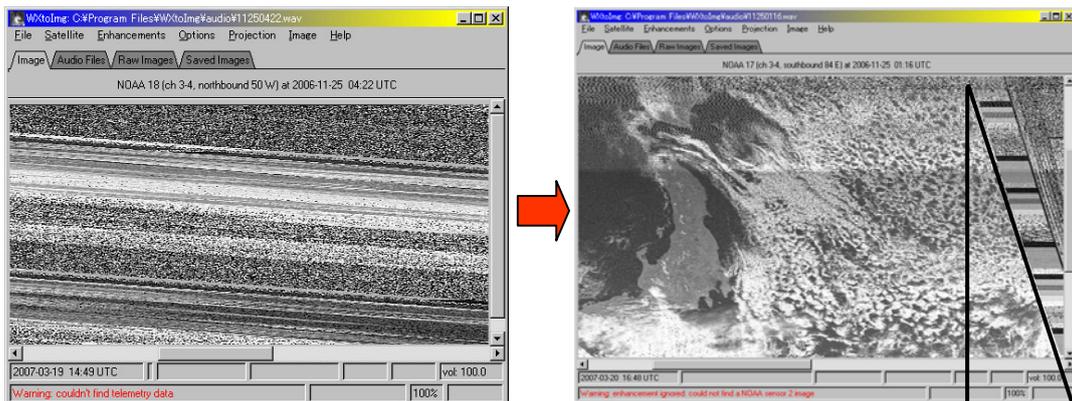
d. 「File」→「Decode」を選択する。

e. 画面の端の線が垂直に近づく。

a. から e. まで順に操作し、e. から再び b. に戻り、2 回ほどこの操作を繰り返すと、画像が正しく（画面の端が垂直に）表示されるようになります。

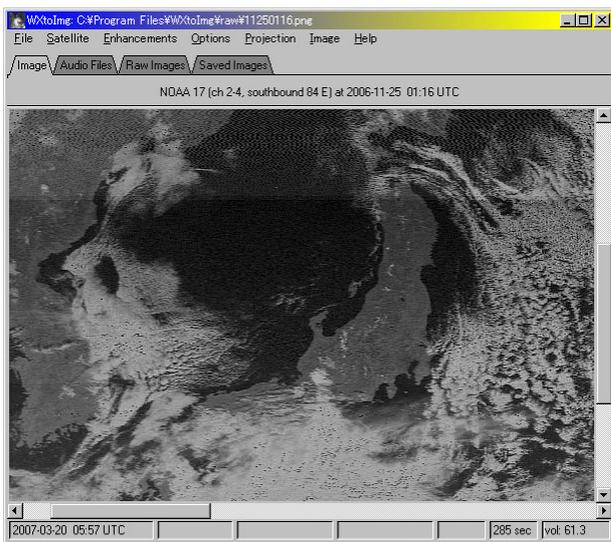
一度、この操作をしておけば、次回からずれることはありません。

【図 5-5-1-3】 上記の操作によってサンプリング周波数のズレが少し補正された例



同期信号部分が垂直になる  
まで繰り返し調整する。

#### 4) 後処理



受信した画像は、そのままでは単なる白黒画像ですが、「Enhancements」メニューの中に組み込まれたさまざまな機能によって見やすく綺麗な画像に仕上げることができます。

左の画像（図 5-5-4-1）は NOAA17 から送られてきた画像を展開したもので、「Enhancements」→「Normal」の状態です。

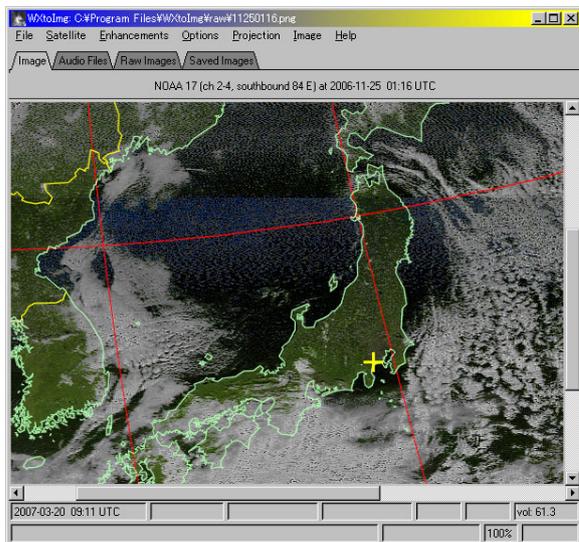
この画像は受信したままの状態であり、強調処理を何もしていない画像の例です。

【図 5-5-4-1】 ノーマル画像

##### ①擬似色を付けた画像の作り方

次に、擬似的に色を付けた画像を作ってみましょう。「Enhancements」→「MSA multispectral analysis(NOAA-#2-4)」を選択します。MSAとは多重波長分析の略で、陸地、海、雲が強調され擬似色が自動的に付けられます。（図 5-5-4-2）

【図 5-5-4-2】 多重波長分析で強調した画像

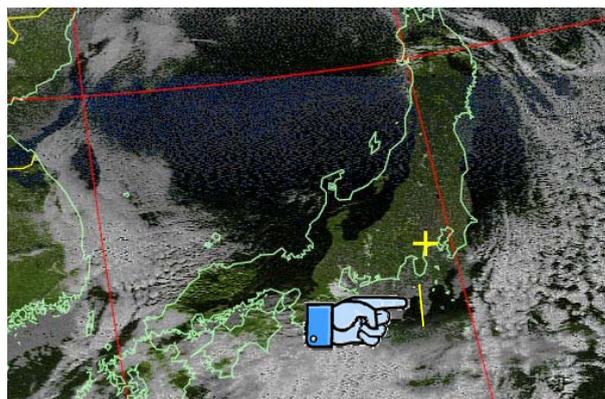


「Option」→「Disable Map Overlay」が設定されていない場合には、自動的に地図が重ねられます。「4. ソフトウェアのインストール」のところを入力した受信位置の緯度と経度が反映され、十字のマークが打たれています。

##### ②地図のズレを補正する（図 5-5-4-3）

前述の操作で、もし地図と陸地がずれていた場合には、強制的に重ねることができます。「Image」→「Move Map Overlay」を選択します。直後に、マウスで地図の分かりやすい点と画像の陸地の稜線との間に線を引きます。（画像をマウスでなぞると線が引けます。）マウスを放すと地図が陸地にぴったりと合います。うまくいかない場合には何度も試してみてください。

【図 5-5-4-3】 地図と受信画像がずれている例



強調の方法は、「MSA multispectral analysis」以外にも、「HVCT false-colour」や「HVC false-colour」など、「Enhancements」メニューにいくつか組み込まれていますので、いろいろ試してみましょう。

「WxtoImg」は、大変多くの機能を持っていますので、HELP や日本語訳マニュアルを研究し自動受信やアニメーションなどにチャレンジすることも良いと思います。

【参考】一旦受信された音声は、オーディオファイル（WAV ファイル）としてインストールディレクトリにある「audio」フォルダに格納されています。それらのファイルは、世界標準時の日付と時刻をもとにファイル名が付けられていますので、後から見ても受信した日時が一目で分かります。

## 6. 安全対策

### 6-1. 受信場所の条件

何度か述べていますが、この教材は大きな設備を駆使するのではなく、簡単な設備を持ち、条件の良い場所へ移動して自分の手で気象衛星 NOAA の電波を捉えてみようとするものです。したがって、移動する場所によっては危険を伴います。崖っぷちなどは極力避け、広い丘や野原のような場所を選びましょう。また、受信に集中するあまり、周辺への注意が散漫となり交通事故に会わないとも限りません。必ず複数の人と協力して相互に注意して怪我や事故に会うことのないよう注意が必要です。

### 6-2. 受信設備の設営

受信設備は複雑なものではありませんし、特段、危険なものではありません。しかしながら、アンテナは細くて硬いステンレスやアルミなどの金属でできています。誤って人体に突き刺すことが無いよう、移動時はポリ袋または布袋に入れるなど、安全対策を行ってください。

### 6-3. 気象条件

見通しの良い場所へ移動することになると思うので、気象条件には十分な配慮を行ってください。特に、落雷の危険が近づくと、受信機には早期に稲光に伴う雑音が入感します。早めに撤収するよう心がけてください。

## 7. 科学する心を育てるための具体的なヒント

人工衛星を身近に感じるための試みで、誰もが簡単に衛星の電波を捉まえられてしまう。これで満足し、終わってしまったのでは科学する心は育つことは望めない。この体験をきっかけに更なる挑戦を考えてみましょう。例えば、

1) 画質を向上させるために、指向性のある八木アンテナなどに替えてみましょう。

「CALSAT32」の示す方角を確認しながら八木アンテナを手に持ち、衛星を手動追尾してみましょう。画質は大幅に向上するはずですが、ホイップアンテナとの違いから、アンテナの特性を肌で感じるができるでしょう。

2) 追尾対象の衛星を変えてみましょう。

NOAA は商用衛星ですから、電波が強く安定しています。受信目標としては比較的簡単なほうです。そこで、次は、アマチュア無線衛星の受信にチャレンジしてみてください。アマチュア衛星は、430MHz 帯や 1200MHz 帯で交信が可能なトランスポンダーと呼ばれる中継器を搭載して

います。同時にテレメトリー装置からビーコン電波を送信しています。NOAA のような広帯域の FM 電波ではなく、CW とか SSB のような帯域の狭い電波を送信、中継しながら飛んでいます。送信出力も弱いことから、NOAA 衛星と比べると難易度はかなり上がります。ドップラー効果も顕著に効いてきますので、よりリアルな体験ができることでしょう。

### 3) 人工衛星自動追尾システムの研究につなげる。

「CALSAT32」は、自動追尾のためのインターフェースを持っています。制御装置を構築すれば八木アンテナを自動で衛星の方向へ向け、追尾することが可能です。「WxtoImg」の自動受信機能と組み合わせることにより、完全自動の衛星受信システムに発展させることが可能です。

## 8. この教材を用いることのできる子どものレベル

指導者がついていてコンピュータの操作を行ってあげれば、小学校低学年でも体験が可能で、高学年以上はコンピュータの操作（ソフトの操作）について教えることで自ら体験させることが可能です。しかしながら、英語のソフト「WXtoImg」を利用するので、小中学生には予めメニューの簡単な内容について説明をしておく必要があります。

## 9. この教材を用いることのできる活動団体の経験年数

パソコンが普通に扱うことができ、インターネットに接続できる設備さえ持っていれば特に経験年数は問題ではありません。アマチュア無線の経験のある指導者が居れば、内容的に理解することは容易でしょう。指導者になられる方は、まず、この教材をひととおり実体験してみることをお奨めします。

## 10. 関連項目

### 10-1. 学習指導要領との関連：

小学校編：理科の内容 C 区分「地球と宇宙」

中学校編：理科の第2分野（6）「地球と宇宙」

### 10-2. 活動総覧（活動マップ）：「人工衛星」

### 10-3. 教材系統図：（カリキュラムマップ）：「人工衛星」「科学工作・科学実験」

### 10-4. キーワード：人工衛星 電波 アンテナ 地球観測衛星 NOAA 画像 リモートセンシング

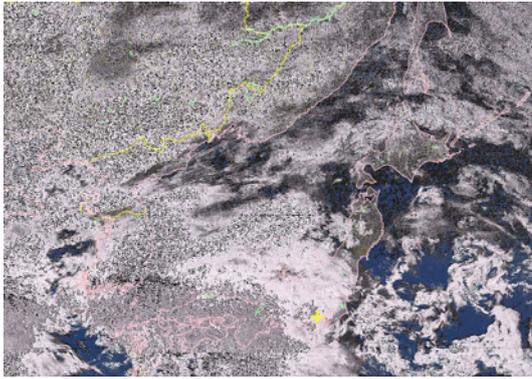
## 11. 補足資料

### 11-1. 受信機の感度の違いと画質

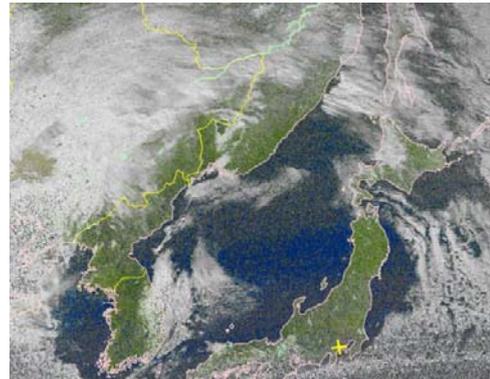
受信機の性能は、その価格に比例すると考えてよいと思います。画質には感度と帯域幅が微妙に影響してきます。ここでは、分かり易くするために数値は用いず、画質を単純に比較してみたいと思います。しかしながら、完全に同じ条件で比較した訳では

比較した受信機	YUPITERU MVT-7300	イーオーアール AR8600
受信機の写真		

はありませんので正確な評価ではないことをご承知おきください。



MVT-7300 で受信した画像



AR8600 で受信した画像

雲量が違い、単純に比較することは難しいかもしれませんが、実売価格で二倍以上の開きがある割には MVT-7300 の画質は全体的に良いと思います。雲の白い部分でノイズが多く見えるのは受信機の帯域幅が狭いために発生していると考えられ、受信機の仕様からくるものです。一方、AR8600の方は全体に柔らかい画質で綺麗です。

画質だけを追求するなら、NOAA などの気象衛星専用の受信機も市販されています。専用受信機では、アマチュア衛星など多くの人工衛星の電波を捉えることができませんので、記事の中では紹介していません。発展的に研究を進めるなら、MVT-7300 や AR8600 のような広帯域受信機をお使いになることをお奨めしたいと思います。

#### 1 1 - 2. 機材のホームページ

##### 1) 受信機

ユピテル工業株式会社 : <http://www.yupiteru.co.jp/products/receiver/mvt-7300.html>

株式会社エーオーアール : [http://www.aorja.com/ar8600\\_mk2j.html](http://www.aorja.com/ar8600_mk2j.html)

##### 2) アンテナ

(株) 秋月電子通商 : <http://akizukidenshi.com/>

北辰産業株式会社 : <http://www.maldol.co.jp/>

#### 1 1 - 3. NOAA について調べられるサイト

海洋大気庁について : <http://www-cger.nies.go.jp/cger-j/db/info/org/noaa.htm>

米国海洋大気庁 (英語) : <http://www.noaa.gov/>

#### 1 1 - 4. 技術用語が調べられるサイト

リモートセンシング用語集 :

<http://www.restec.or.jp/research/glossary/glossary.php?bunrui1=1&bunrui2=2&bunrui3=15>

#### 1 1 - 5. CD-ROM

本文中で紹介した相田氏のソフト CALSAT32 のバージョン 1.4.0 および、NOAA からの実際の音声データ例を CD-ROM でご希望の方は、(財)日本宇宙少年団 ([kyozai@yac-j.or.jp](mailto:kyozai@yac-j.or.jp)) までお問い合わせください。

教材提供 : 日本宇宙少年団厚木分団 林正之氏  
追記、編集 : 「宇宙教育のためのリーダー育成」委員会  
教材開発グループ  
お問合せ先 : 財団法人日本宇宙少年団  
TEL. 03-5542-3254 FAX. 03-3551-4870  
e-mail kyozei@yac-j.or.jp  
発行 : 宇宙航空研究開発機構 宇宙教育センター  
©JAXA 無断転載を禁じます