

電波望遠鏡を使った最高エネルギー宇宙線検 出装置の開発

宇宙粒子研究室

掃部 寛隆

目次

1 章、はじめに

1, 1 実験目的

2, 2 実験原理

空気シャワーとは
シンクロトロン
チェレンコフ光
大気分子制動輻射

3, 3 マイクロ波検出装置

電磁波とは？
マイクロ波とは？

2 章、実験方法

2, 1 実験装置

2, 2 システム温度

測定方法
バックグラウンド結果

3 章、実験

3, 1 7号館アンテナでの20124月～5月の観測

空気シャワーを測定するために

3, 2 実験その1 フィルター

13号館アンテナ
アンテナの仰角設定
アンテナの視野
マルチメータ
P C
フィルター実験結果
フィルターをつけた状態での太陽観測
かに星(蟹パルサー)の観測

3, 3 実験その2 高速回路

甲南大学での観測

大阪市立大学での観測

結果

4章、まとめ

まとめ

参考文献

謝辞

1 章、はじめに

1. 1 実験目的

最高エネルギー宇宙線を測定する為には 100 km^2 を超える広大な観測場所を必要とする。

例えば離れた二か所にシンチレータなどを配置しなければその方向などを測定することはできない。また蛍光を観測する場合は暗い夜の時間のみ観測可能というものであった。この実験では宇宙線が作る空気シャワーから分子制動輻射により放出される電磁波を測定するため家庭用の BS アンテナや電波アンテナを使い観測施設の縮小化や観測可能時間の工場が可能となるような、装置の開発&実際の観測を目的とする。

1. 2 実験原理

宇宙線が地球大気に入射する際に起こる空気シャワーという現象から発生するマイクロ波を測定する。

空気シャワーとは

空気シャワーとは高エネルギーの宇宙線が大気中に入射したさいに大気中の原子核、分子に相互作用し新たな放射線を生み出す現象である。

高エネルギーの宇宙線が大気中に入射すると(この時の宇宙線の事を第一次宇宙線という)宇宙線と空気原子核がぶつかり原子核の中から粒子が飛び出す現象が起こる。飛び出した粒子(第二次宇宙線)も非常に高エネルギーを持っておりまた別の原子核と相互作用を起こす。こうして鼠算式に放射線が発生していく現象を空気シャワーと呼ぶ。

空気シャワーによって生まれる粒子は二次宇宙線と呼ばれる。この二次宇宙線が空気粒子に当たり・・・とこの一連の連鎖が鼠算式に起こる。この反応の過程では反応を起こすたびに粒子の総数は増えていくが、1 粒子の持つエネルギーは徐々に減少していく、その結果新たな粒子を生成するために必要なエネルギーを粒子が失うと新たな粒子の生成は起こらなくなる。

宇宙線から電波が出る時は以下の場合が考えられる

シンクロトロン

宇宙線には荷電粒子が含まれている。その粒子が地球磁場に捕らわれると進行方向が曲がったり「加速度」を持つ。荷電粒子が加速度を持つと放射を行う。この磁場による放射現象を「シンクロトロン」と呼ぶ。この放射は粒子の進行方向に対して行われる。

チェレンコフ光

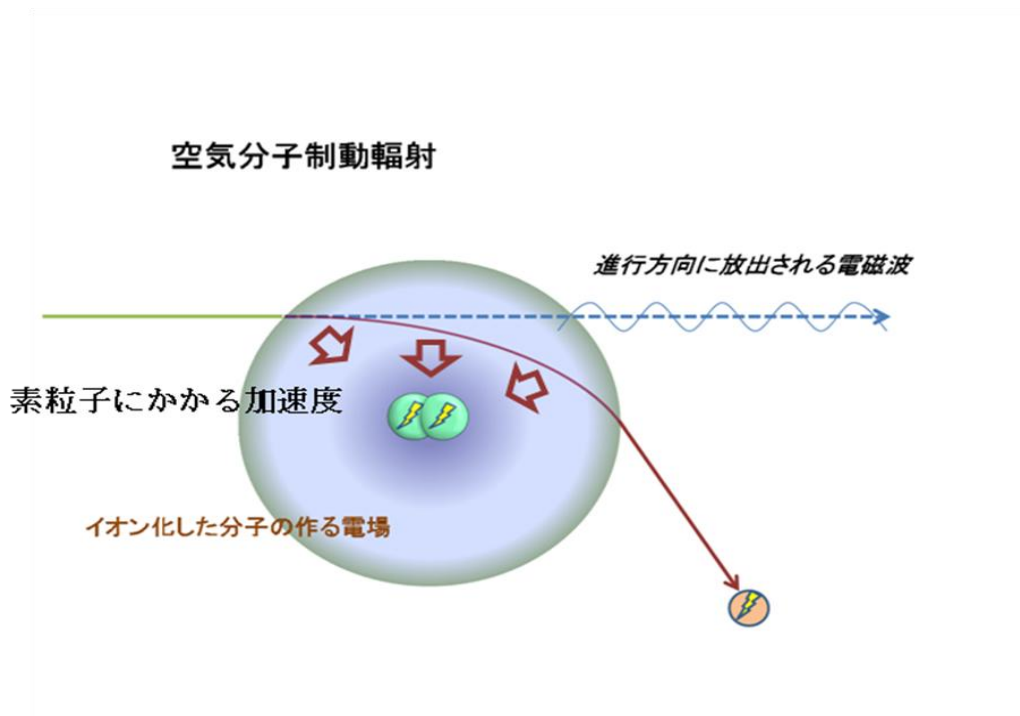
相対性理論によると「光はどんな観測者から見ても一定の速度で飛行する」「自然界のあらゆる物質は光と同じ速度、もしくは光より速くは運動できない」という法則が存在する。

だが物質中を伝播する光の速度は真空中を伝播する光速より遅くなることが知られている。たとえば、[水](#)中の伝播速度は $0.75C$ である。

ここで高速に非常に近い速度で真空中を飛行する粒子の存在があるとする。この粒子が他の物質中(たとえば水などの中)に入射すると光は質量が0の為にすぐさま速度が遅くなるが、粒子は微量ながら質量を持っているため光より速度の減少が遅くなる。このため「自然界のあらゆる物質は光と同じ速度、もしくは光より速くは運動できない」という法則とは矛盾が発生してしまう。この時チェレンコフ光が発生する。ある媒体の中に入射して光の速度より速くなってしまったエネルギーを光として進行方向に放射する。この一連の現象で発生する光が「チェレンコフ光」である。

大気分子制動輻射

この輻射はシンクロトロンと似ているが、この場合荷電粒子に加速度を与えるのは磁場ではなく空気中の電場である。荷電粒子が大気中に入射すると大気のイオン分子の電場により輻射が起こる。



輻射は進行方向に向けて行われるが、大気には多数のイオン化した分子が存在する。一度まがった粒子がまた別のイオンに曲げられてを繰り返すため、等方的な輻射に見える。

マイクロ波検出原理

電磁波とは？

電磁波とは磁場と電場が垂直に交わる波の事である。波長によって名称が異なり、そのうち波長が1 [mm]から2[nm]の電磁波を“光”と呼んでいる。電磁波は光の速度で飛行する、その速度は 3×10^8 [m/s]である。この他にも屈折、散乱、回折、干渉、反射、吸収などの性質も持ち合わせていて、波長の長い方から電波・光・X線・ガンマ線と呼ばれている。この電波の中にマイクロ波と呼ばれる電波がある。

マイクロ波とは？

マイクロ」は、電波の中で最も短い波長域であることを意味する。波長 1m から 100μm、周波数 300MHz から 3THz で、電波の中でもっとも波長が短い。

日常生活の利用法や応用としては衛星テレビ、マイクロ波通信機、レーダー、軍用通信、電子レンジ、マイクロ分光法、マイクロ治療に使われる。

名称	帯域(GHz)	用途
I バンド	～0.2	
G バンド	0.2～0.25	軍用航空機無線
P バンド	0.25～0.5	移動体通信・アナログコードレス電話・特定小電力無線
L バンド	0.5～1.5	テレビ放送・携帯電話・インマルサット衛星電話・800MHz 帯
S バンド	2～4	固定無線・移動体向けデジタル衛星放送・ISM バンド(電子レンジ・無線 LAN・ワイドスター衛星電話・アマチュア無線など)
C バンド	4～8	通信衛星・固定無線・無線アクセス
X バンド	8～12	軍事通信・気象衛星・地球観測衛星
Ku バンド	12～18	衛星テレビ放送・通信衛星
K バンド	18～26	通信衛星
Ka バンド	26～40	通信衛星
V バンド	40～75	レーダー・通信衛星
W バンド	75～111	電波天文学

IEEE による分類、(アメリカ合衆国に本部を持つ電気・電子技術の学会での分類)

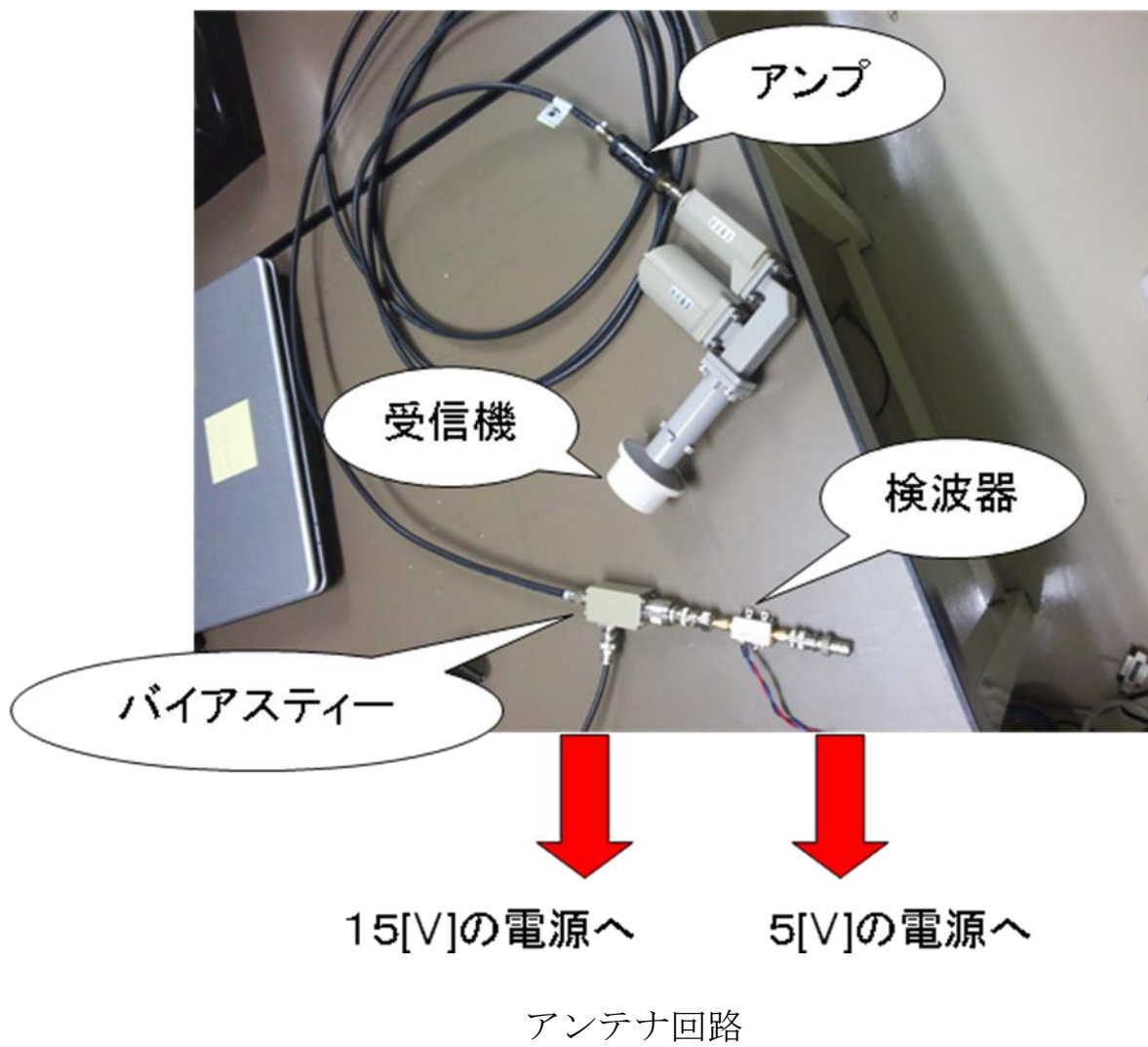
このように衛星テレビや通信にも使われているため、家庭用アンテナを使用しマイクロ波を検出することも可能となる。この性質を利用してこの実験では家庭用の衛星放送のアンテナを用いて宇宙線から発せられるマイクロ波の測定を試みる。

2 章、実験方法

2. 1 実験装置



甲南大学17号館屋
12台のアンテナの電波アンテナ



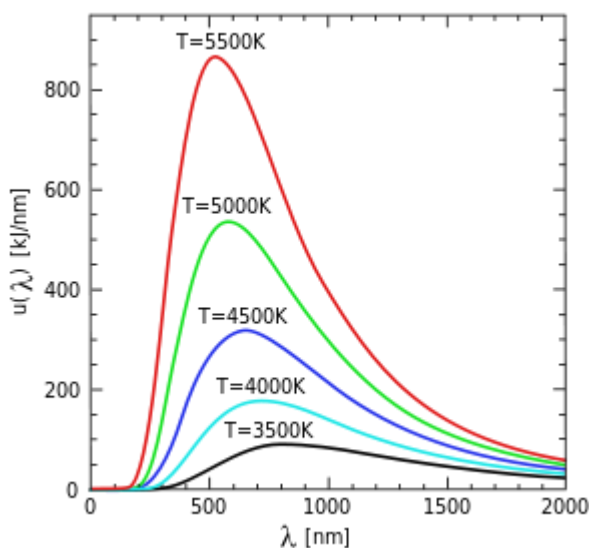
2. 2 システム温度

アンテナを使うに至り、まず使用するアンテナの測定限界を計測する

アンテナにはノイズやバックグラウンドが存在する。アンテナが電波を捉えたとしても、電波強度がバックグラウンドの以下だとバックグラウンドの中に隠れてしまい電波は検出することができなくなってしまう。正確な測定を行うためにアンテナの持つ測定限界を測定する必要がある。

温度を持つ物体は電磁波を放出する。

その電波強度はプランクの公式に従うものになっている



画像参照

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%97%E3%83%A9%E3%83%B3%E3%82%AF%E3%81%AE%E6%B3%95%E5%89%87>

プランクの公式

$$B(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

上の表では横軸波長となっており、縦軸が電波強度となっている。

今観測で使用するアンテナの検波波長域は 12[GHz]をとっている。

波長と振動数の関係は

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi v}{\omega} = \frac{v}{\nu}$$

で表されるので

$$\lambda [\text{m}] = 3.0 \times 10^8 [\text{m/s}] / 12 \times 10^9 [1/\text{s}] = 1.0 \times 10^{-3} [\text{m}] = 1.0 \times 10^6 [\text{nm}]$$

これは上記表の範囲では非常に大きな値と見ることができる。

$\lambda \gg 1$ と置き近似式を作ると

レイリージーンズの式

$$f(\lambda) = 8\pi k \frac{T}{\lambda^4}$$

この用に近似できる。

アンテナで測定される波長域は一定なのでこれは T の関数であり $f(T) \propto T$ の様な一次関数であることがわかる。このアンテナは温度 $[T]$ が上がれば上がるほど比例して電波強度が強くなる波長域を測定している。

システム温度の具体的な測り方としては、

先ほどの議論で電波強度が測定対象の温度と一次関数的に比例する関係にあることを記した。

アンテナ自体にも温度がありバックグラウンドが存在するのでたとえ $0 [\text{K}]$ の物体を観測したとしてもある値を持つ、この値がアンテナの持つバックグラウンドでありシステム温度である。

測定方法

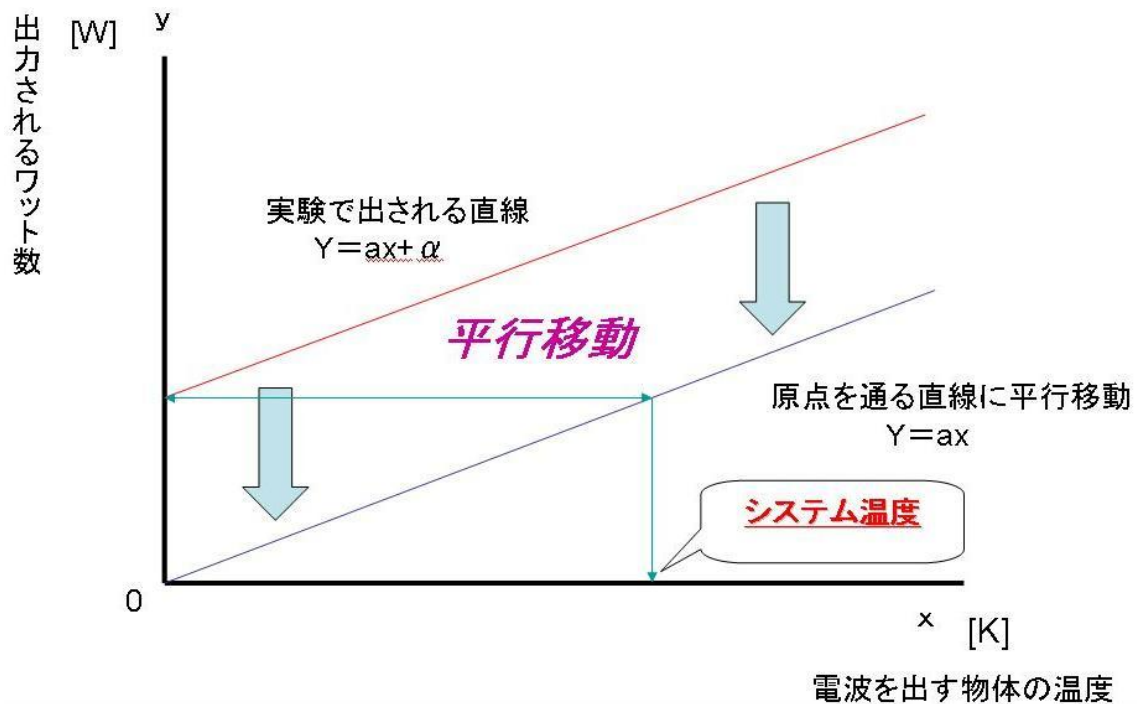
このバックグラウンドを求めるためにはこのアンテナが従う

$$f(T) = AT + \alpha \quad (A, \alpha \text{ は定数})$$

の式を観測により導出し、

$$\alpha = AT$$

の T の値がシステム温度になっている。



ここで「電波望遠鏡が温度を持ちバックグラウンドを持つのであれば、装置の温度[T]こそがシステム温度になるのではないか？」という疑問を持つことだと思う。実際の測定では電波を受信するとアンプで波長の増幅を行っているため、装置の温度が高いとしてもアンテナで測定された電波は引き伸ばされている。その後の操作引き伸ばした値を元の電波に変換するのでバックグラウンドの温度は低めの数値が期待される。

$$f(T) = AT + \alpha \quad (A, \alpha \text{ は定数})$$

この式を導出するためには電波望遠鏡を使い温度の分かっている2つの物体を測定する必要がある。2点の温度[T]と電波強度 $f(T)$ が分かれば $f(T) \propto T$ はすでに記しているので上記の式が導出できる。

ここで測定対象となるべき2点であるが、

「大きく均一の温度を持っている物」をそくていする必要がある。

アンテナで測定しているため、アンテナの集光範囲をカバーするだけの大きさが求められる。

また不均一の温度であればその物体が一体どのくらいの温度の放射をしているか分らないといった事になるからである。

この二つの点を考慮した結果、「宇宙の背景輻射」の測定と「甲南大学7号館校舎日陰の壁」にアンテナを向けることになった。

なおなぜ日陰の壁を選んだかというと、太陽光により直接温められていないため、その時の気温と同じ温度を持っているからである。

バックグラウンド結果

二つの温度を求めた結果

観測日 2012 年 6 月 1 日 空全体に雲がかかっているが晴れ 気温 26℃

温度	5 [K]	299[K]
出力電力	0.006309373[W]	0.015848932[W]

(3 [K]ではなく 5 [K]なのは雲などのノイズを考慮した結果)

このグラフは

$$Y=0.000032447x+\alpha$$
$$\alpha=0.06147339$$

であることが分かった。

ここで $0.06147339=0.000032447x$ の x の値を求めればその x がシステム温度となる
計算すると

$$x=189.4590483$$
$$\simeq 189[\text{K}]$$

電波望遠鏡では 189 [K] 以下は測れず、ノイズレベルが分かった。

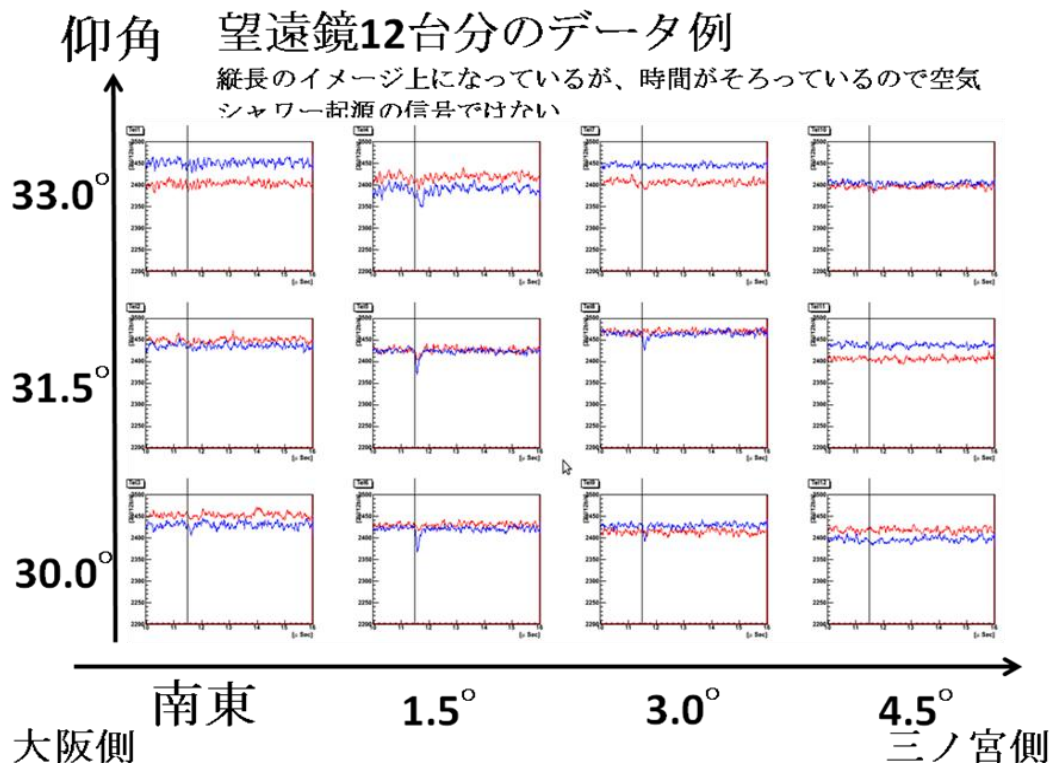
3 章、実験

3. 1 7 号館アンテナでの 2012 年 4 月 ～ 5 月の観測

システム温度を求めた 12 台のアンテナを使用して 2012 年 4～5 月の間観測を実施した。

このアンテナ 12 台のうち 3 台をトリガーとし、トリガーとなっているアンテナに空気シャワーが入射した時、前後のデータを記録するという方式をとっている。

しかし、これらのアンテナでは空気シャワーをアンテナで検出する事はできなかった。この結果により空気制動輻射により放出されるマイクロ波は現在考えられている 10 分の 1 以下の強度しかないことが示唆された。



各グラフの横軸は時間、縦軸は出力

空気シャワーを測定するために

考えられていた強度の10分の1以下しかない空気シャワーを検出するための方法として

- ① バイアスティーと検波器の間にノイズバンドフィルターを設置してノイズを減らす
 - ② バイアスティー、検波器、インピーダンス変換を一括にまとめ応答速度を上げる
- の2通りが考えられた。

3. 2 実験その1 フィルター

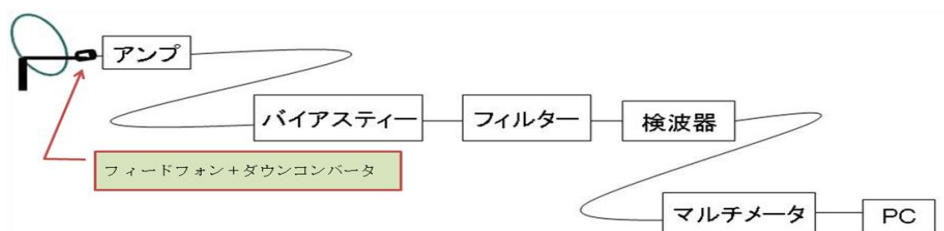
フィルターを設置してノイズをシャットアウトする方法について検証する

アンテナを空に向けると空気シャワーのみではなく飛行機がアンテナ視野を横切る事によるノイズや、その他の人工的なノイズが混っており、特定の波長以外をシャットアウトするフィルターを挟み、その波長域のノイズを除去するという方法である。

使用するフィルターは R&K 社の「R&K-BP1000BW100-4-0S」を使用する。

このフィルターはノイズバンドフィルターであり、950 [MHz]～1050 [MHz]の波長域外の波長をシャットアウトしてしまうという性能を持っている。

したがってこの波長域外のノイズを除去されることが期待される。



回路図



1 3 号館アンテナ

1 3 号館アンテナと観測装置の入った箱

メーカー名：COMSTAR

アンテナ名：ST-10

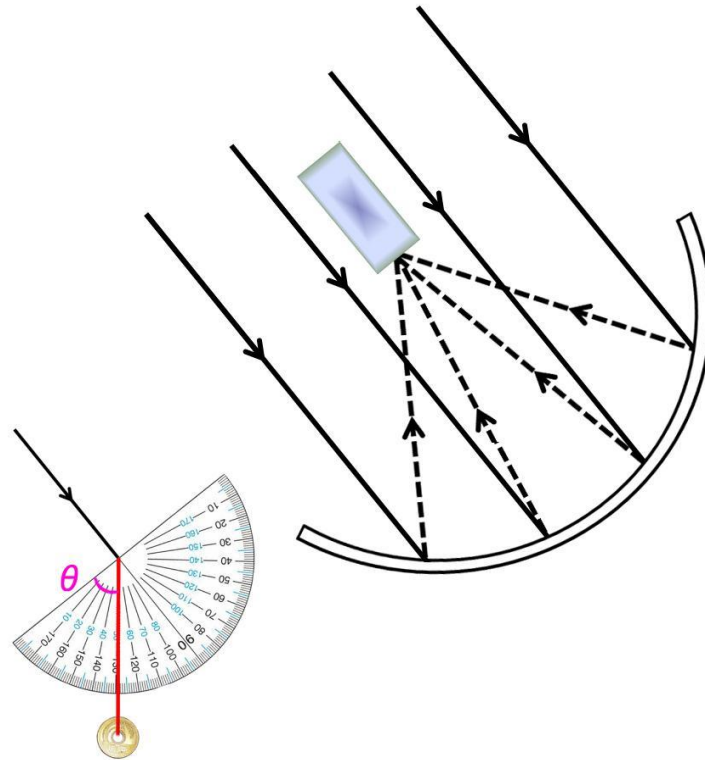
受信周波数	3.4～4.2[GHz]
偏波特製	右旋円偏波
アンテナ有効径	3 [m]
コンバータ出力周波数	950～1750[MHz]
フォーカスレンジ	1.160[M]

アンテナの角度設定

測定をするにあたり、アンテナを向けている行革と方位をただしく知る必要がある
まず、正確な南の位置であるが方位磁石を使用するのが望ましいが地球の地磁気と地軸は必ずしも一致しない。また地図で確認しただけでも北極点と南極点、磁北極と磁南極は微妙な誤差がある。(北磁極はグリーンランド付近に、南磁極は南極大陸付近の海上にある。)アンテナを設置した甲南大学1 3 号館付近、すなわち神戸市東灘付近の偏角は 西偏

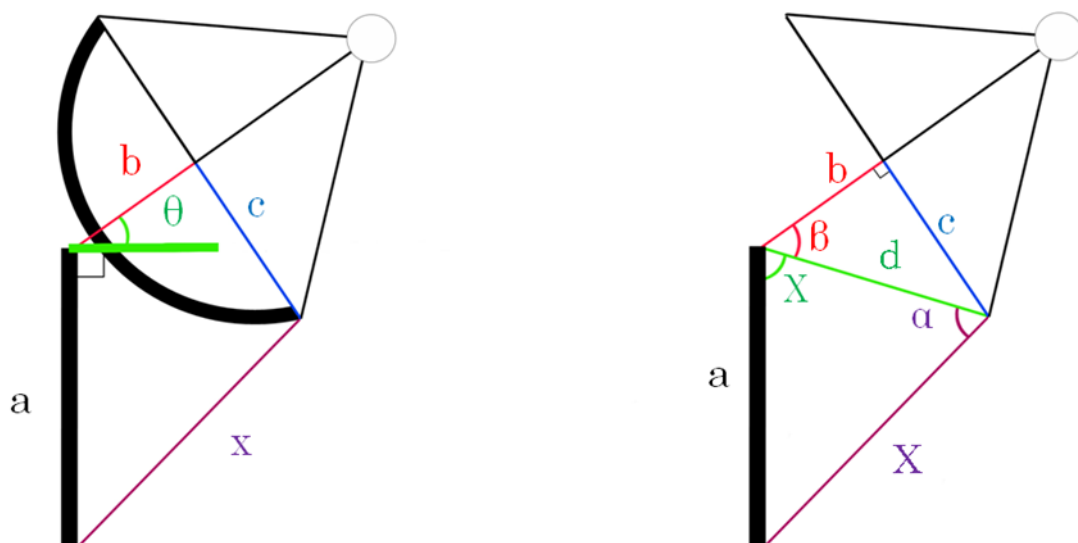
角 7.217° (毎年 0.033°)の偏角 (2010年度データ) となっている点を考慮して方位磁石を使い方角を確認する必要がある。その他にも太陽の南中時刻を調べ、太陽を基準とした方角の合わせ方も存在する。

仰角であるが、アンテナの仰角の求め方は二通り考えられる。
まずはコンパスを使った方法である。



コンパスを仰角の求め方

次の方法はパラボラの各部分の長さを測定し正弦定理、余弦定理を用いてパラボラの仰角を求める方法である。



ここで実際に測定するのは支柱の長さ a と支柱底部からアンテナ底部までの長さ x である。
支柱の長さ a はアンテナの支柱に貼り付けてあるテープの上辺を支柱底部の基準にする



アンテナの支柱の基準となるテープ

支柱の上部の基準はアンテナを固定するボルトの中心とする。

測定の結果 a の長さは $a=1.353[\text{m}]$ となっていた。

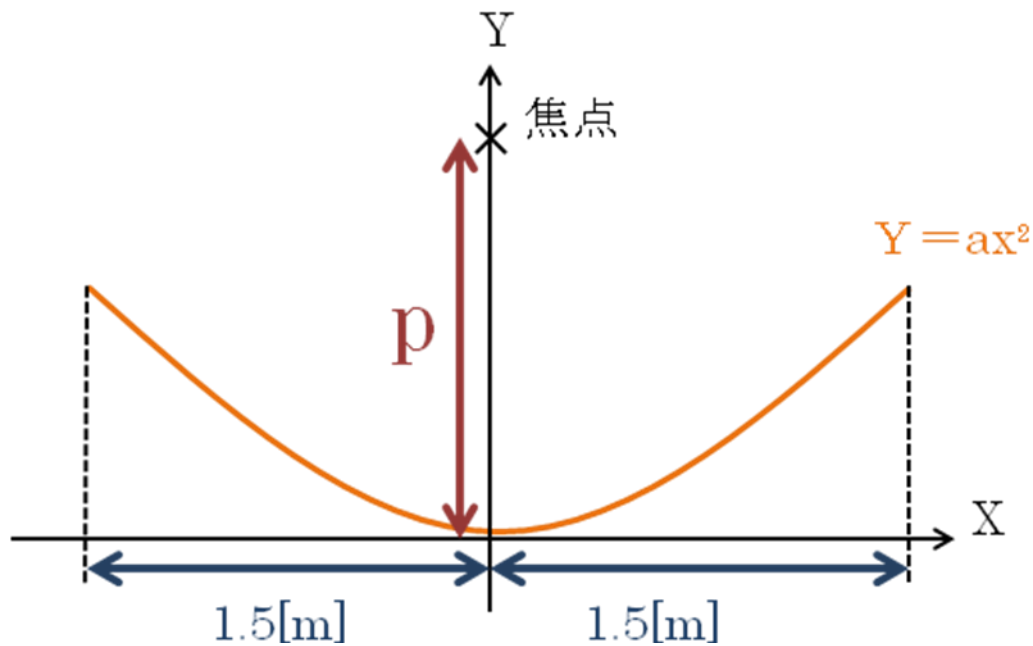
アンテナ ST-10 は $3[\text{m}]$ 口径となっているのでアンテナ半径 c の長さは $3[\text{m}] \div 2 = 1.5[\text{m}]$ である。

長さ X も上記に記したアンテナの支柱の底部の基準から、アンテナ円周の底までの長さを測定する。
ここもわかりやすいようにテープを張って目印としている。



アンテナの底部の張ってあるテープ

アンテナの根元から先ほどの c の半径に交わる b の求め方であるが、アンテナは放物線の形をしており、その焦点にフィードホンを設置している。放物線の性質上焦点が分かれば b を求めることも可能となっている



放物線は $x^2 = 4py$ であらわすことができ、このアンテナの焦点(フォーカスレングス)は 1.160[m] となっている。これによりアンテナの放物線は

$y = 1/(4.640) \times x^2$ の式に従うことが計算により導き出せる。

半径は 1.5[m] となっているので b の長さは

$$b = 1/(4.640) \times (1.5)^2 = 0.485[\text{m}]$$

となることを導ける

角度 C は正弦定理より

$$C = \sin^{-1}(c/d)$$

角度 X は余弦定理を用いて

$$\chi = \cos^{-1}(x^2 - a^2 - d^2 / -2ad)$$

で求まる

この二つの角度を使い仰角 θ は

$$\theta = \chi + \beta - 90 \quad \text{である。}$$

アンテナの視野

次にアンテナの視野を求める方法を記す、

天球におけるアンテナの視野 Φ [rad]を求める方法は

$$\Phi [\text{rad}] = 2 \lambda / D \quad (D : \text{アンテナ有効系} \quad \lambda : \text{観測する波長})$$

この式を使い求めることができる。

このアンテナは 3.4 [GHz]~4.2 [GHz] の電波を受信するので波長域は
 $0.714 \times 10^{-1} [\text{m}] \sim 0.882 \times 10^{-1} [\text{m}]$ である。

この値を上記の式に代入すると

$$0.476 \times 10^{-1} [\text{rad}] \sim 0.588 \times 10^{-1} [\text{rad}]$$

↓

$$2.73^\circ \sim 3.37^\circ$$

これがこのアンテナの視野直径となる。

マルチメータ



使用するマルチメータ

SANWA 製 KB-USB2

検波器が出力した電圧を図るためにマルチメータを使用する。

このマルチメータを使用する際に気をつけるべきことは、通常の起動方法で起動し使用した場合、一定の時間が過ぎると電源が切れてしまうことがある。(オートパワーオフ機能)

長時間にわたる測定をする際はオートパワーオフ機能を行う必要がある。

解除方法

- ① **RANGE** ボタンを押しながらファンクションスイッチを **OFF** からまわして電源を入れる。
- ② 表示欄に「dSAPO」という文字が一瞬表示されればオフになっている

まった使用してない時はファンクションスイッチを **OFF** にする。

PC

マルチメータのデータを PC に取り込むために「PCLink」というソフトを PC にいれる。

使用方法

- ① マルチメータと PC を接続する。
- ② PCLink 内で「ツールバー」→「ポート」→「ポート設定」→「ポート番号」を設定する→「機種」を「PC 5 0 0 0」に設定。

ポート番号確認方法

PC とマルチメータを接続した状態で、

「コントロールパネル」→「システム」→「ハードウェアタグ」→「デバイスマネージャ」→「ポート(COM と LPT)」→「SANWA,PC LINK,SYSTEM CABLEL」 を調べると書いてある。

(windowsXP の場合)

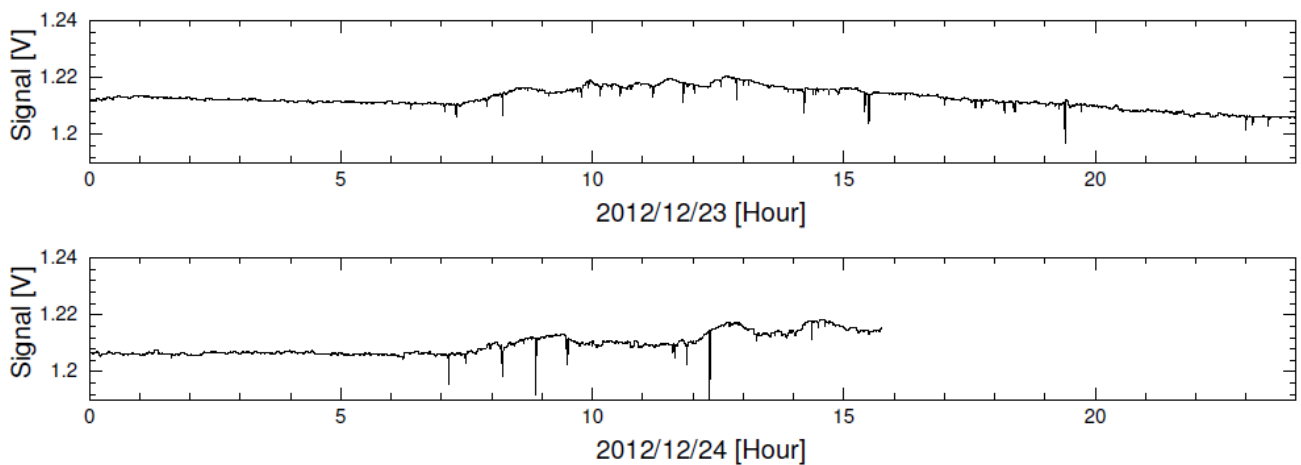
3. 3 フィルター実験結果

このフィルターはバンドギャップフィルターとなっている。

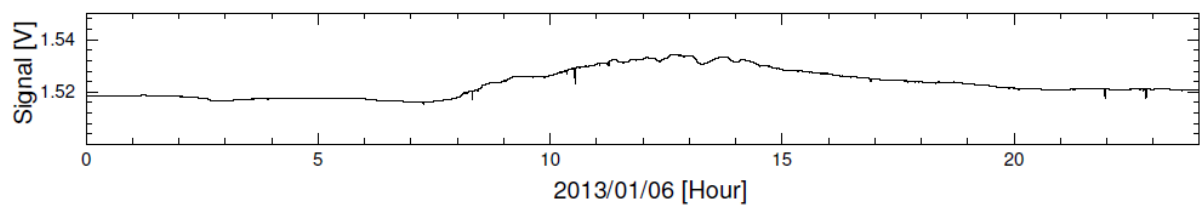
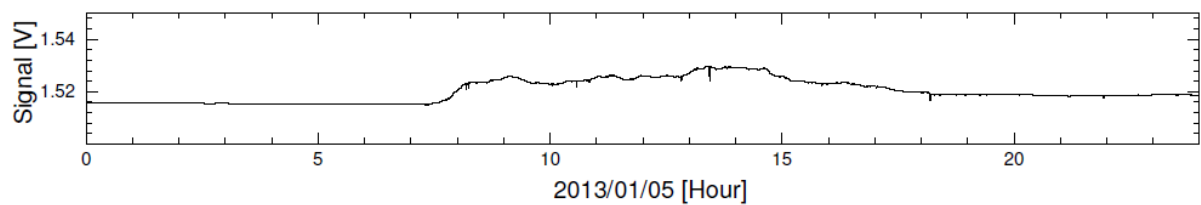
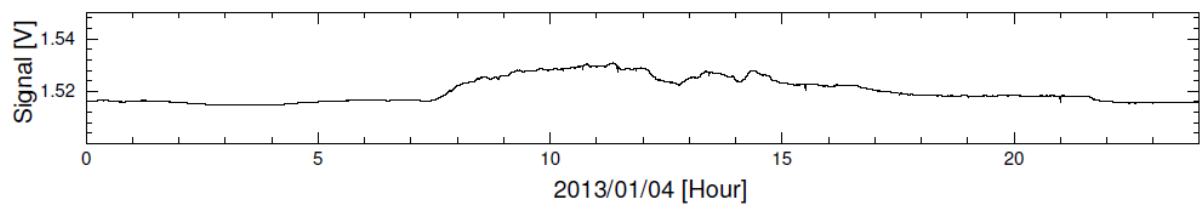
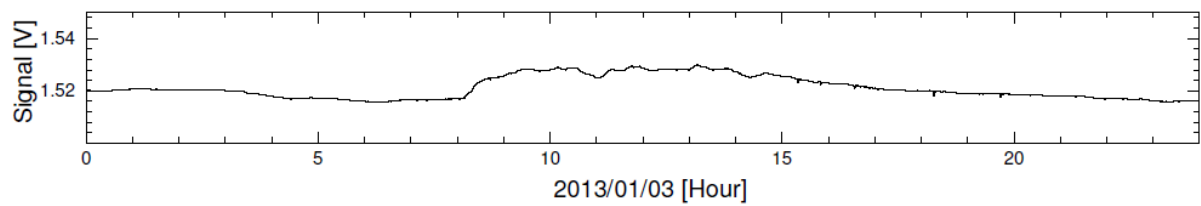
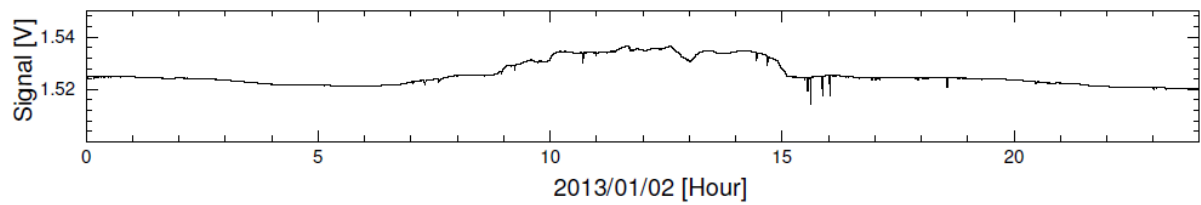
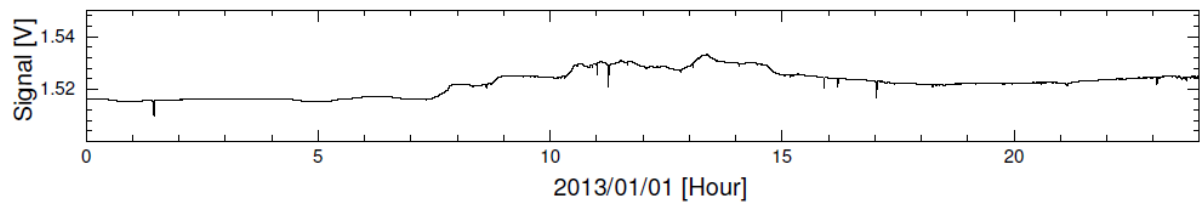
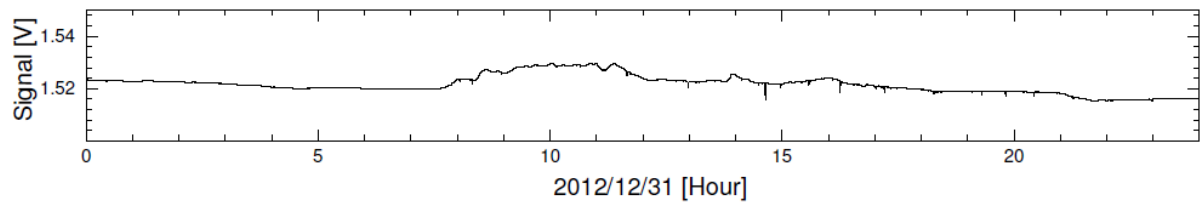
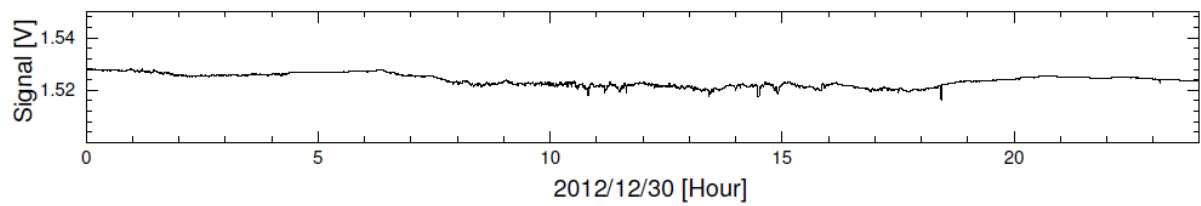
950[MHz]～1050[MHz]の波長域の波長以外はシャットアウトする性能を持っている。

このフィルターを掛け波長を限定することにより無駄なノイズが遮断され、ノイズが減少することが期待される。

1 3号館前アンテナを天頂に向けフィルターがある場合、ない場合の2通りを数日に分けて測定し、ある場合とない場合のノイズレベルを比較する。



フィルターのない状態



フィルターを付けた状態

フィルターを付けずに天頂に向け

この二つのデータを比べてみるとフィルターを付けてない状態では7イベント以上の人口ノイズが見受けられるが、フィルターがある場合は5イベント以下まで減少している。

フィルターを付けた状態での太陽観測

次にフィルターを付けた状態で太陽を観測し、実際に人工物以外の物がフィルターに阻まれることなく正確に測定される事を確認する。

ここでは太陽にアンテナを向け観測することにする。

なぜ太陽を選んだかということ太陽が大きく(視野直径 0.5)、非常に強い電波を放出しているため観測が容易であるためである。

太陽がアンテナを通過する時間

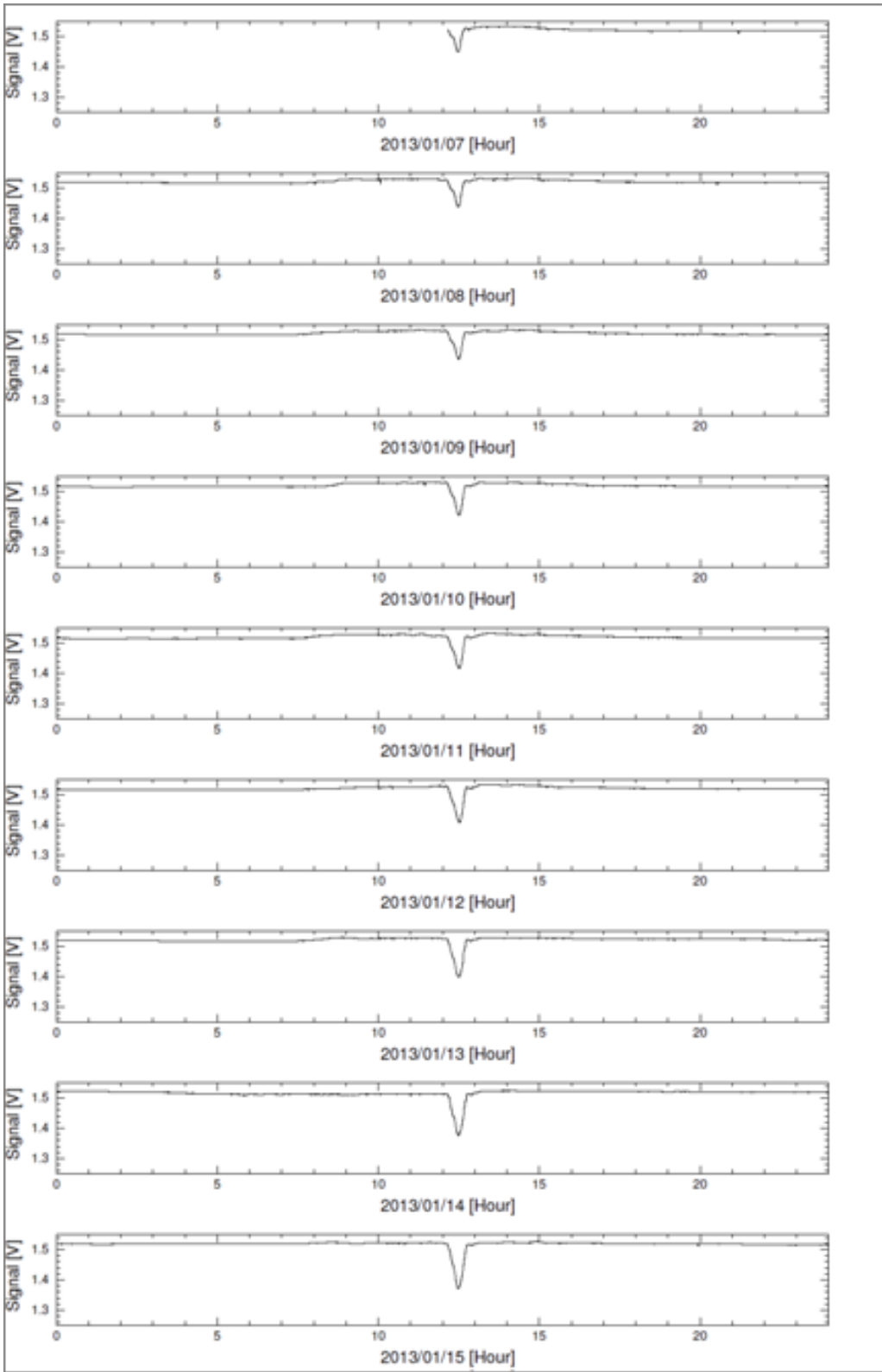
太陽の視野直径とアンテナの視野を計算し、太陽がアンテナを横切るのにかかる時間を求める。

太陽は24時間をかけて天球を一周している。一時間には $360 \div 24 = 15^\circ$ 天球上を進むと計算でも求められる。

分速にして $15 \div 60 = 0.25^\circ$ 太陽は動いている。

アンテナの視野直径が $2.7^\circ \sim 3.37^\circ$ なので太陽の通過時間は 12.920[分]~15.480[分]となっている。 計算ではなく、データを読み解き太陽の通過時間を求める方法は半値幅を取り太陽が横切った時間を求める。

実験結果



1/7

南中時刻	12:05:28
南中角度[°]	33.0
受信開始	12:23:13 基本電圧 1.50[V]
ピーク	12:29:49～12:34:10 ピーク電圧 1.45[V]
受信終了	12:38:01～12:38:00 基本電圧 1.50[V]
FWHM	12:28:01～12:35:01 (7:00 分)

1/8

南中時刻	12:05:54
南中角度[°]	33.1
受信開始	12:11:25～12:34:10 基本電圧 1.53[V]
ピーク	12:29:49～12:34:10 ピーク電圧 1.44[V]
受信終了	12:41:52～12:44:16 基本電圧 1.52[V]
FWHM	12:25:49～12:44:16 (11:48 分)

1/9

南中時刻	12:06:19
南中角度[°]	33.3
受信開始	12:11:03～12:12:33 基本電圧 1.53[V]
ピーク	12:30:18～12:35:33 ピーク電圧 1.44[V]
受信終了	12:45:48 基本電圧 1.53[V]
FWHM	12:25:54 (12 : 39 分)

1/10

南中時刻	12:06:44
南中角度[°]	33.4
受信開始	12:11:25 基本電圧[1.53V]
ピーク	12:31:25～12:35:13 ピーク電圧[1.42V]
受信終了	12:44:43. 基本電圧[1.52V]
FWHM	12:26:01～12:40:25 [14:24 分]

1/11

南中時刻	12:09:53
南中角度[°]	33.6
受信開始	12:13:22 基本電圧[1.52V]
ピーク	12:34:30～12:34:26 ピーク電圧[1.41V]
受信終了	12:44:52 基本電圧[1.52V]
FWHM	12:26:46～12:40:18 [13:30 分]

1/12

南中時刻	12:09:35
南中角度[°]	33.7
受信開始	12:12:20 基本電圧[1.53V]
ピーク	12:32:08～12:36:17 ピーク電圧[1.41V]
受信終了	12:45:56 基本電圧[1.52V]
FWHM	12:24:11～12:41:11[17:00 分]

1/13

南中時刻	12:08:07
南中角度[°]	33.9
受信開始	12:10:52 基本電圧[1.53V]
ピーク	12:30:43～12:35:34 ピーク電圧[1.40V]
受信終了	12:47:19～12:47:31 基本電圧[1.52V]
FWHM	12:22:01～12:31:40[19:39 分]

1/14

南中時刻	12:08:16
南中角度[°]	34.1
受信開始	12:13:40～12:14:28 基本電圧[1.51V]
ピーク	12:29:58～12:35:10 ピーク電圧[1.38V]
受信終了	12:47:34 基本電圧[1.51V]
FWHM	12:20:16～12:43:13[22:57 分]

南中時刻	12:08:38
南中角度[°]	34.2
受信開始	12:31:28[1.52V]
ピーク	12:30:31～12:30:46[1.37V]
受信終了	12:48:25～12:48:34[1.52V]
FWHM	12:22:52～12:31:34[18:42]

FWHM は10分以上記録していたので、太陽はフィルターで除かれることなく観測されていたことが分かった

かに星雲(蟹座パルサー)の観測

フィルターを付けた状態での太陽観測を行った。
 今度はかに星雲にある蟹座パルサーにアンテナを向け測定を行う。

蟹座パルサーの南中高度と時刻

日時	南中時刻	角度[°]
2013 年 1/22	21:26	76.337
2013 年 1/23	21:22	76.336
2013 年 1/24	21:18	76.336
2013 年 1/25	21:14	76.336
2013 年 1/26	21:11	76.336
2013 年 1/27	21:07	76.337
2013 年 1/28	21:13	76.337

蟹座パルサーの信号は検出されなかった。
 理由としては蟹座パルサーは非常に小さくアンテナの視野にとらえ損ねたと考えられる

3. 5 実験その2 高速回路

高速回路を設置し、アンテナの感度を上げる事を検証する。

R&K 社と甲南大学が共同で開発した高速回路を使用する。



この装置に書いてある「KU」というのは甲南大学の略である。
検波器、バイアスティー、インピーダンス変換を一つにまとめた高速回路、

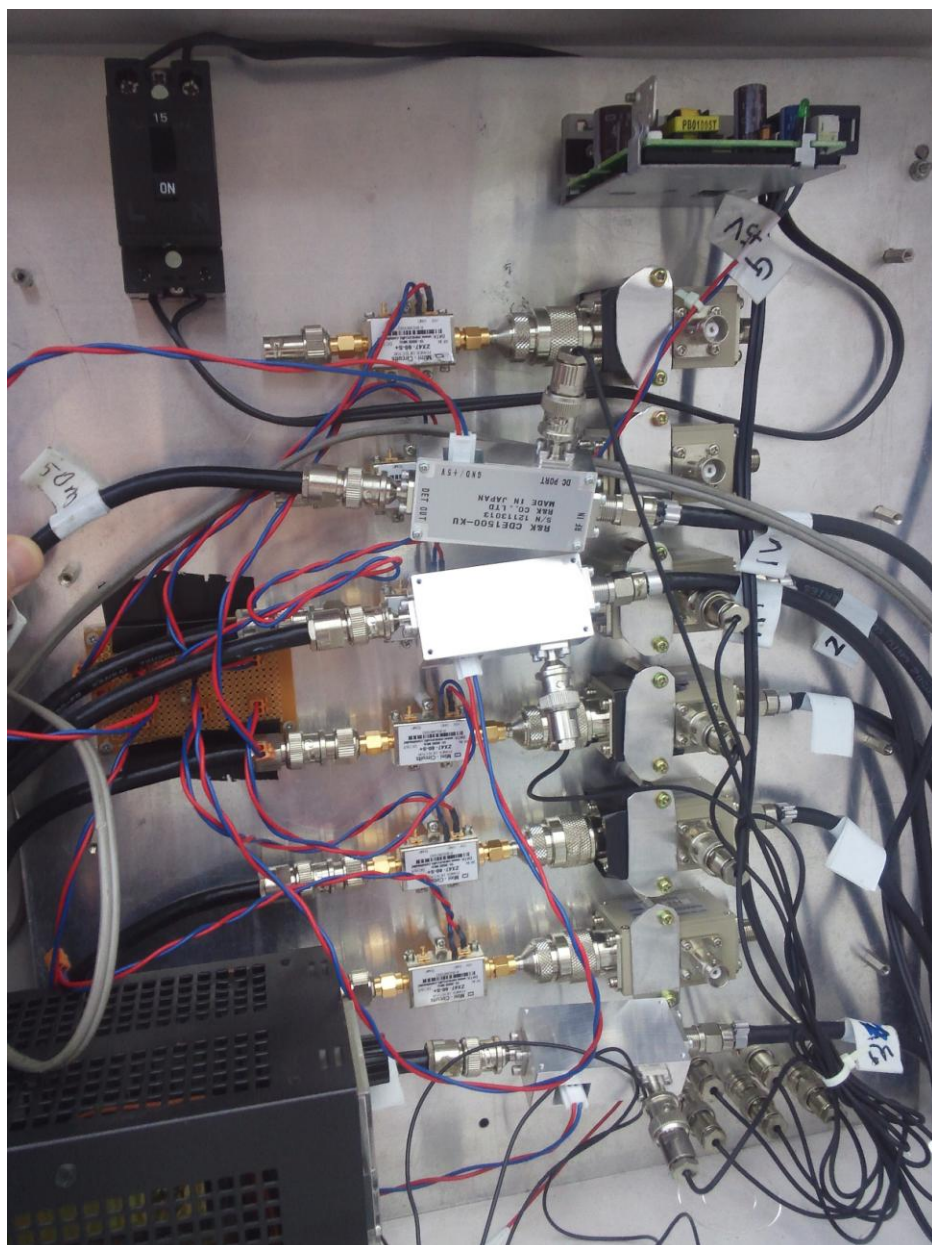
検波器の応答速度は約 10 [ns]程度
(今までの検波速度は 200 [ns]程度であった)

この装置はバイアスティーと検波器と インピーダンス変換を一つにまとめている。
今までの検波器の時定数は 200 [ns]であったが、この装置の時定数は 10[ns]となっている。
現在この装置を組み込んだ BS アンテナを使い大阪市立大学と甲南大学で観測を行っている。

甲南大学での観測

甲南大学では7号館屋上12台のアンテナのうち3台にこの高速回路を設置している。
設置した3台のアンテナをトリガーとして、このアンテナに信号が入ると12台すべてのアンテナの前後のデータを保存するというシステムを採用している

アンテナを設置して運用してみたが、うまくトリガーが作動しなかったのか観測はできなかった。



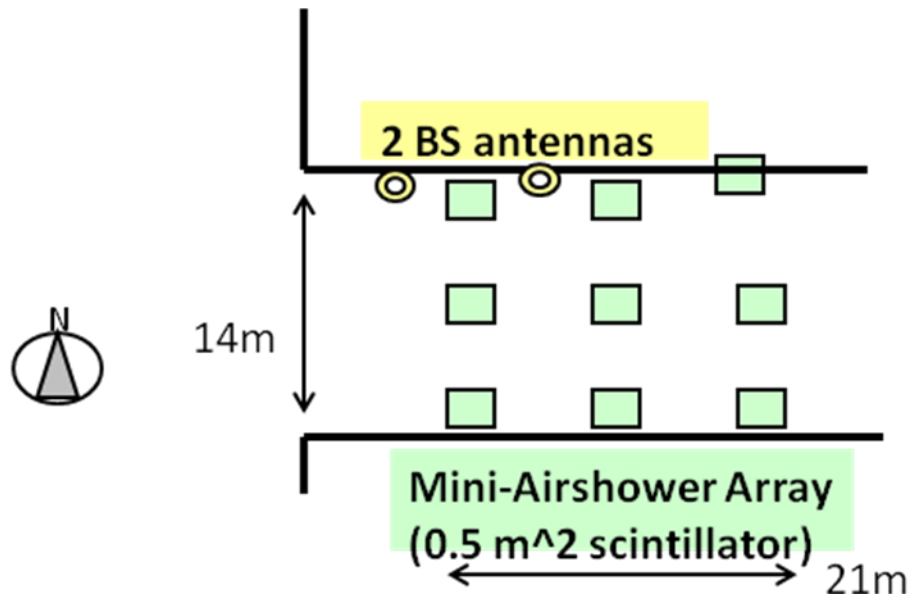
甲南大学で高速回路使用の様子

トリガーがうまく働かなかった理由としては、まだ検出するだけの感度に達しておらず、トリガーは反応しきれていなかったのではないかと考えられる。

大阪市立大学での観測

14x21m のシンチレータアレイをトリガーとして観測を行っている。

このシンチレータに空気シャワーが入射すると前後のアンテナのデータを記録するように設定されている



シンチレータアレイの配置図



シンチレータアレイの様子



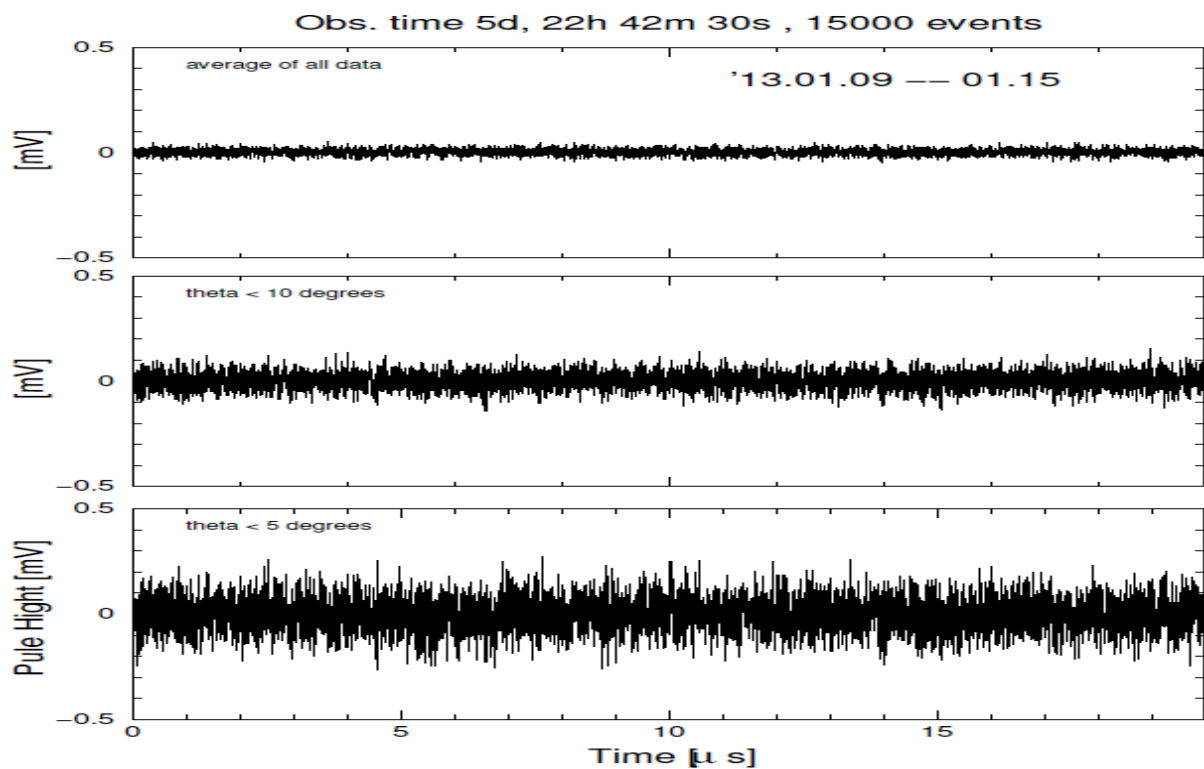
市大で使用している実験装置箱の中に甲南大学で開発した高速回路が入っている。



市大のアンテナ

市大では高速回路を使用し、472 時間測定した。

結果



市大の結果

一番上「全体平均」

2 番目「天頂から 10 度の平均」

3 番目「天頂から 5 度の平均」

ノイズは入っている部分とない部分がランダムとなっているので平均をとるとノイズの信号はどんどん小さくなる。しかし、シンチレータアレイでトリガーを取っている空気シャワーの信号は一定の場所に出てくることが期待される。多くのデータを取り平均をとればノイズは減少していくが、空気シャワーの信号は減少しないので信号があらわれてくる可能性が今後期待される。

4、まとめ

まとめ

アンテナを使い甲南大学で空気分子制動輻射の測定を行った



マイクロ波は検出されず
(従来考えられている10分の1以下の強度であることが示唆された)



甲南大学で高速回路の開発へ
応答速度約200[ns]から約10[ns]へ



大阪市大と甲南大学で回路のテスト運用
2校とも空気シャワーは現在検出されていない



アメリカユタ州の宇宙線観測所で人工空気シャワーの測定を行う。

フィルター、高速回路をつかったが、どちらも空気シャワーを検出はされていない。
ユタ州で疑似的な空気シャワーを当てアンテナの起動実験を行う予定ある。

現在は空気シャワーの検出はされていないが、今後の解析が期待される。

5、参考文献

- 1、天体シミュレーションソフトウェア ステラナビゲータ 9 (AstroArts)
- 2、[Koyomi Station](http://eco.mtk.nao.ac.jp/cgi-bin/koyomi/koyomix.cgi) (<http://eco.mtk.nao.ac.jp/cgi-bin/koyomi/koyomix.cgi>)
- 3、物理学選書 5 宇宙線[改訂版] (裳華房) 著者 小田 稔

6、謝辞

研究を行うにあたり丁寧に御指導をしてくださいました梶野教授、山本准教授に心から感謝を申し上げます。