

日立アンテナ skyline 測定

理学部 理学科 学際理学コース 07S6032F

新宮領 咲貴子

目次

1. はじめに……………P.2
2. 測定手法……………P.3
 - 2-1. $\tau_0 \cdot T_{\text{sys}} \cdot T_{\text{sys}}^*$ の導出…P.3
 - 2-2.skyline 測定…P.3
 - 2-3.測定機器の説明…P.3
3. skyline 結果……………P.4～5
 - 3-1. $\tau_0 \cdot T_{\text{sys}} \cdot T_{\text{sys}}^*$ の導出結果…P.4
 - 3-2.AZ と Power 出力との関係（＊[dBm]単位の Power 出力による）…P.4～5
 - 3-3.長時間経過後の Power 出力変化確認…P.5
 - 3-4.約 7 時間半の長時間測定による結果…P.5
4. skyline 考察……………P.6～22
 - 4-1.長時間経過後の Power 出力変化確認の考察…P.6
 - 4-2. blank sky に対する出力レベル合わせ解析（＊[dBm]単位の Power 出力による）…P.6～8
 - 4-2-1.マスク処理解析…P.6～8
 - 4-3.標準偏差導出方法…P.9
 - 4-4.AZ と標準偏差との関係（＊[dBm]単位の Power 出力による）…P.9～10
 - 4-5.AZ と Power 出力・標準偏差の考察（＊[dBm]単位の Power 出力による）…P.10～12
 - 4-6.システム雑音温度への変換…P.12～18
 - 4-6-1.システム雑音温度導出方法…P.12～13
 - 4-6-2 システム雑音温度の Power 出力と標準偏差について…P.13～18
 - 4-7. 約 7 時間半の長時間測定による考察…P.18～21
 - 4-7-1.[dBm]単位での解析…P.19～20
 - 4-7-2.システム雑音温度での解析…P.20～21
 - 4-8.日立局 skyline 測定時での高萩局との位置…P.21～23
 - 4-8-1.日立局から高萩局を見た時に被る範囲計算…P.21～23
 - 4-8-2.日立局から高萩局を見た時に被る範囲の考察…P.23
 - 4-9.skyline の描写…P.24～25
5. まとめと課題……………P.26
6. 参考文献……………P.26
7. 線形補完のプログラム……………P.27～51
 - 7-1.システム概要のフローチャート…P.28～30
 - 7-2.プログラムフローチャート…P.31～51

1.はじめに

2010 年 12 月 28 日（火）の昼頃から夜中にかけて、茨城県高萩市にて日立アンテナを使用してスカイライン（skyline）測定を行った。今後日立アンテナを使用して、宇宙の観測を行う際に、観測の対象物による電波を正確に測定する為、観測地近辺にある人工電波等がどこに存在するのかを知っておく必要がある。つまり、「電波による地平線」を知っていなければならない。それが、スカイラインである。周辺に山や人工電波が存在すると、Power 出力の放射がとて高くなる。この事を利用して、日立アンテナを約 360 度回転させ、各々の EL でこの作業を繰り返す事で、スカイライン測定を行う。そして、宇宙の観測が行える方向を見つけ出す。また、大きな電波が観測された箇所では、様々な視点から見た標準偏差を指標としたり、実際に周辺を目で観察したり、計算を行う事で、大きく受信された電波の Power 出力が、人工電波に起因するものなのか、周辺に存在する山等の地理的なものに起因しているのか等を推測した。

2.測定手法

2-1. $\tau_0 \cdot T_{\text{sys}} \cdot T_{\text{sys}}^*$ の導出^{※1}

2-1-①. P_R (Rを入れた時のPower出力)、 T_{ABS} (ABS室温)を測定した

2-1-②. $\sec Z$ ^{※2} $< 1.004 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 8 \cdot 9 \cdot 10 \cdot 11 >$ の計11回に対して、Power出力を測定した

2-1-③ Excelの作成済フォーマットに値を入れ、 $\tau_0 \cdot T_{\text{sys}} \cdot T_{\text{sys}}^*$ を導出した

※1… τ_0 : 大気の厚み、 T_{sys} : 雑音そのもののPowerを[dBm]→[K]に変換したシステム雑音温度

T_{sys}^* : 外からの雑音(山や人工電波等含)が、全て大気放射であるかのように振舞うと仮定した時のシステム雑音温度

※2… $\sec Z = 1/\cos Z$

2-2. skyline 測定 (以下、AZは方位角を、ELは仰角を表す)

2-2-①. 高萩局を、日立局の回転中心に向けた (AZ243.880, EL30.766)

2-2-②. EL5.0 から EL13.5 を 0.5 度毎に固定した上、AZ2 から AZ358 まで日立局を動かし、そのPower出力を測定した

2-2-③. EL5.0 に固定した上で、AZ2 から AZ358 まで日立局を動かし、Power出力を測定した^{※3}

2-2-④. AZ=120、EL=5.0 に日立局を固定させ、約7時間半Power出力を測定した^{※4}

※3… 2-2-②測定を行った後に、EL5.0の時のPower出力を再度測定する事で、長時間経過後のPower出力に変動が生じているか否か調べた。

※4… Power変動の要因である、＜アンテナの変動＋大気の変動＞の振る舞いを調べる為、人工電波が無いと推測できるAZ=120の地点での変動を測定した。EL=5.0でアンテナを固定したのは、大気変動が最大の条件下で長期的な変動を調べる為である。

(詳細な説明は、4-7章を参照のこと)

2-3. 測定機器の説明

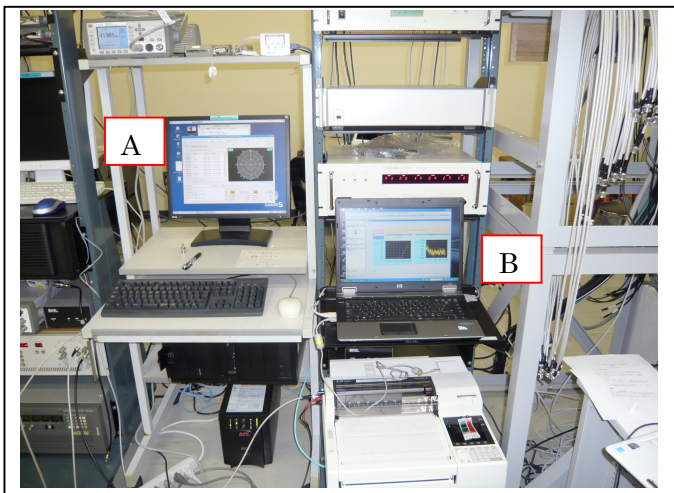


図1 skyline 測定機器

A: アンテナ制御 PC

【機能】AZ・ELの向きをコマンドで指示

【出力file名】(制御ログ含)

→yyyyMMdd.ang (例: 20101228.ang)

B: power 測定 PC

【機能】file名を指定し、Power出力を保存

【出力file名】

→yyyyMMddhhmm.txt (例: 201012281352.txt)

<使用方法>

1. 端末A上でアンテナの向き(AZ、EL)をコマンドにより与え、測定を開始したい方角にアンテナを向ける
2. 1の動作終了後、パソコンBでfile名を指定し、**OK**を押した瞬間から、Power出力が指定fileへと書き込まれ始める
3. 数秒後、端末Aで、終着点のAZ(orEL)にコマンドで指示する事でスキャンを開始する
4. 端末Aに停止(STOP)が表示されたら、パソコンB上の**STOP**ボタンを押す

《パソコンAでは、一旦全体のアンテナ(AZ,EL)ログが、1つのファイルに保存される。この為、同日に上の一連の操作を複数回繰り返すと、パソコンAからの出力ファイルは同一だが、パソコンBによるPower出力ファイルは別々にできる》

3.skyline 結果

測定日時：2010 年 12 月 28 日（火） 11:20 頃～夜中まで

3-1. $\tau_0 \cdot T_{\text{sys}} \cdot T_{\text{sys}}^*$ の導出結果（日立局での測定）

P_R （R を入れた時の Power 出力）、 T_{ABS} （ABS 室温）の測定結果を表 1 に示す。

表 1 $P_R \cdot T_{\text{ABS}}$ の結果

$P_R(\text{dBm})$	$T_{\text{ABS}}(^{\circ}\text{C})$
-17.261	11.6

$\text{secZ} < 1.004 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 8 \cdot 9 \cdot 10 \cdot 11 >$ の計 11 回に対して、Power 出力を測定した結果を表 2 に示す。

表 2 各々の secZ に対する Power 出力の結果

secZ	1.004	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$l(\text{degree})$	85.000	30.000	19.471	14.478	11.537	9.594	8.213	7.181	6.379	5.739	5.216
Power(dBm)	-28.386	-27.706	-27.263	-26.880	-26.553	-26.293	-26.032	-25.783	-25.592	-25.428	-25.262

※備考 【天気】 晴れ

【AZ】 170 度（ $\text{secZ}=1.004$ のみ $\text{AZ}=180$ ）

→ $\text{secZ}=2$ の時に太陽が入ってしまった為、 $\text{secZ}=2$ 以降から $\text{AZ}=170$ 度に変更

【測定方向】 下り（EL85 度(degree)→EL5.216 度(degree)の向き）

Excel の作成済フォーマットに上記の値を入れて、 $\tau_0 \cdot T_{\text{sys}} \cdot T_{\text{sys}}^*$ を計算した結果を表 3 に示す。

表 3 $\tau_0 \cdot T_{\text{sys}} \cdot T_{\text{sys}}^*$ の計算結果

傾き τ	T_{sys}	T_{sys}^*
0.009036785	23.5997128	23.81

3-2. AZ と Power 出力との関係（* [dBm] 単位の Power 出力による）

EL5.0 から EL13.5 まで 0.5 度毎に固定した上、AZ2 から AZ358 まで日立局を動かし、Power 出力を測定した。AZ に対して dBm 単位の Power 出力をプロットした結果を図 2 に示す。

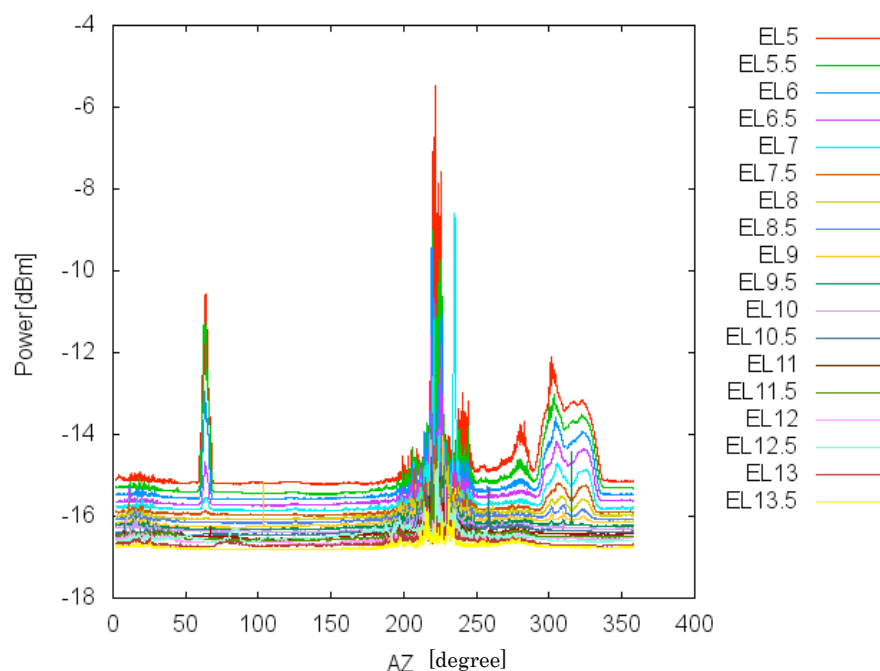


図 2 AZ と Power[dBm] との関係

図 2 の y 軸を-18(dBm)から-10(dBm)の範囲だけ拡大した結果を図 3 に示す。

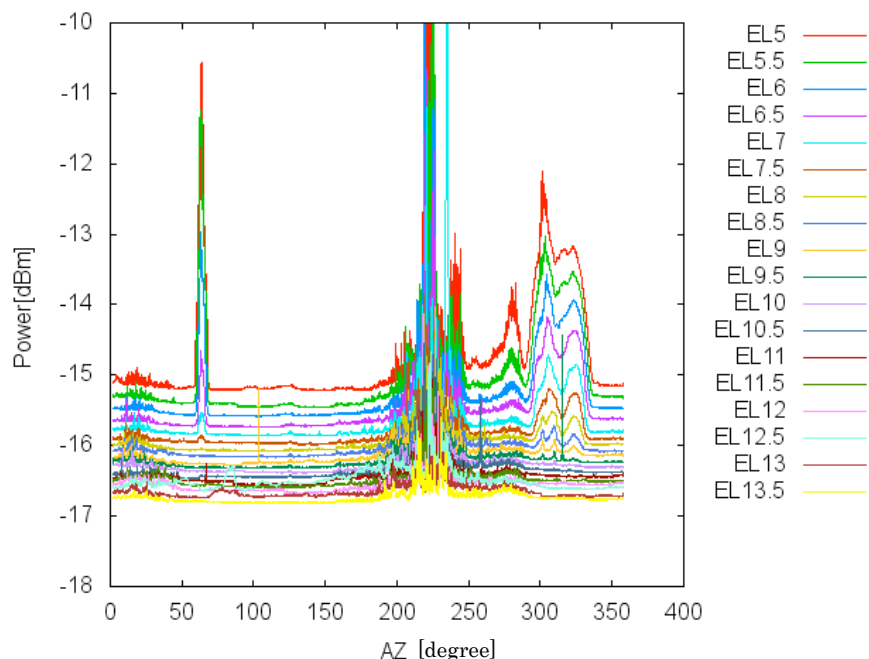


図 3 AZ と Power[dBm] (y 軸：-10~-18) との関係

EL が低い程、大気の厚み τ が大きくなる。この為、大気起因の出力の変動が大きくなり、Power 出力値が高くなる。

3-3. 長時間経過後の Power 出力変化確認

日立局で、最初に EL5.0 を測定した Power 出力（これを PowerA とする）と約 9 時間後に測定した EL5.0 の Power 出力（これを PowerB とする）を比べた結果を図 4 に示す。

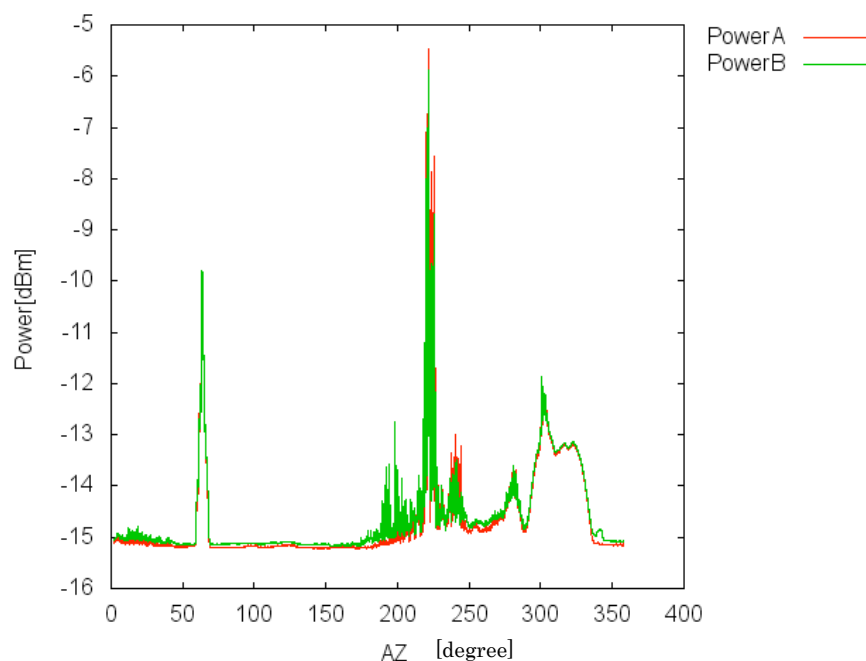


図 4 最初に測定した EL5.0 と 9 時間後に再測定した EL5.0 との比較

3-4. 約 7 時間半の長時間測定による結果

AZ=120、EL=5.0 に日立局を固定させた上で約 7 時間半測定した Power 出力の平均値・標準偏差を表 4 に示す。

表 4 約 7 時間半固定測定の結果

(EL、AZ)	平均[dB]	標準偏差[dB]
(5、120)	-15.102213	0.084062

※標準偏差の求め方は、4-3 標準偏差導出方法を参照。

4.skyline 考察

4-1.長時間経過後の Power 出力変化確認の考察

AZ2 から AZ358 までアンテナを一周回すと、約 30 分かかる。この作業を EL5 から EL13.5 までを 0.5 度刻みで（計 18 回）繰り返し行くと、 $18 \times 30 = 540$ 分（約 9 時間）かかる。9 時間後に、再度 EL5.0 に固定した上で、Power 出力の測定を行い、長時間経過後の Power 出力に変動が生じているか否か調べた。

図 4 をみると、最初に測定した EL5.0（赤線）と 9 時間後に再測定した EL5.0（緑線）とで、 $-1.0[\text{dBm}]$ の差がある AZ の地点が無く、9 時間経過後でも同 EL に大きな変化が見られない事が分かった。従って、長時間経過後のずれの補正等も加えず、今後解析を行う際の EL5.0 の Power 出力値は、EL5.0（赤線）の測定値をそのまま使用した。

4-2. blank sky に対する出力レベル（以下 base line と呼ぶ）合わせ解析（* $[\text{dBm}]$ 単位の Power 出力による）

図 2・図 3 から分かるように、EL が低い程大気の厚み τ が大きくなる。その為、大気起因の放射が増え、Power 出力は EL が低い程大きくなる。しかし、全 EL で比較する際、base line をそろえる必要がある。base line をそろえる為に、障害となる電波が入っていない Power 出力を 1 つ選び（これを P_A とする）、それぞれの Power 出力からその P_A 値を引く方法をとった。また、EL 毎で、 P_A 値が異なってくる為、それぞれの EL において、この作業を繰り返し行った。

4-2-1.マスク処理解析

上記の「障害となる電波が入っていない Power 出力を 1 つ選ぶ（ P_A ）」には、「マスク処理」という方法を利用して導出した。今回は、障害となる電波が入っていないと思われる AZ100–150 間で、「マスク処理」を使って求めた。

「マスク処理」とは、AZ100–150 間の内、 $\text{Pave}^{(0)} + \gamma \sigma^{(0)}$ （Pave : Power 出力の平均値、 γ : 係数、 σ : Power 出力の標準偏差、添え字(0) : 回数とする）以上のものを人工電波だと考え、それらのデータを除いた（この処理をマスクと呼ぶ）。次に、残ったデータでの $\text{Pave}^{(1)} \cdot \sigma^{(1)}$ を求め、さらに $\text{Pave}^{(1)} + \gamma \sigma^{(1)}$ 以上のものを除く処理を行った。この作業を繰り返し（ n 回とする）、マスクする AZ が無くなった時点で、それを最終的な $\text{Pave}^{(n)} \cdot \sigma^{(n)}$ とする。その最終的な $\text{Pave}^{(n)}$ の値を P_A 値とする。

今回の場合、 γ を 2 に設定すると、少ししかマスクされなかった為、今回は $\gamma = 1$ に設定した。

EL 毎に AZ100–150 間でマスク処理を行って、 P_A 値を求めた結果を表 5 に示す。

表 5 マスク処理の結果

EL	P _A 平均[dBm]	標準偏差[dBm]
5	-15.21778	0.000791
5.5	-15.461667	0.000377
6	-15.583259	0.001081
6.5	-15.740677	0.000868
7	-15.860078	0.001114
7.5	-15.98915	0.001058
8	-16.08215	0.00015
8.5	-16.165973	0.00082
9	-16.245842	0.001243
9.5	-16.31807	0.000994
10	-16.388357	0.000261
10.5	-16.44928	0.001486
11	-16.56395	0.00015
11.5	-16.59412	0.000337
12	-16.678283	0.001306
12.5	-16.547645	0.014694
13	-16.730906	0.000826
13.5	-16.818	0.0001

※5

※5…黄色くなっている EL13.5 は、マスク処理を行った結果、最終的に一つしかデータが残らず、標準偏差が 0.0000 になってしまった為、最終の一つ前の値を Pave や σ を採用した。

表 5 の標準偏差を見ると、最大でも約 0.01 と小さな値である為、blank sky のレベルとして確からしい値であると判断できた。表 5 の P_A 値を使用して、それぞれの Power 出力からその P_A 値を引いて、base line をそろえた結果を図 5 に示す。

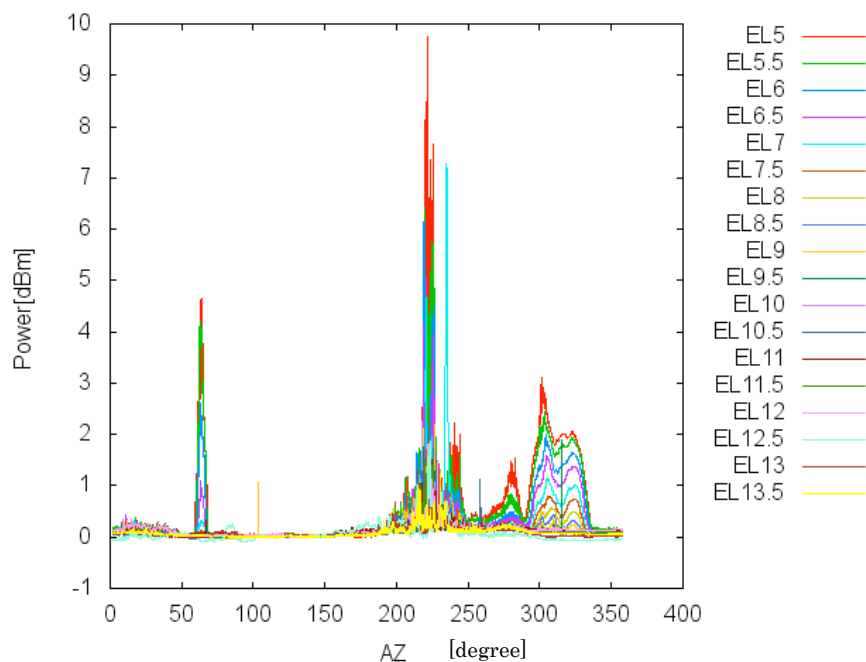


図 5 マスク処理によって base line を合わせた AZ と Power 出力との関係

図 5 の y 軸を-1(dBm)から 4(dBm)の範囲だけ拡大した結果を図 6 に示す。

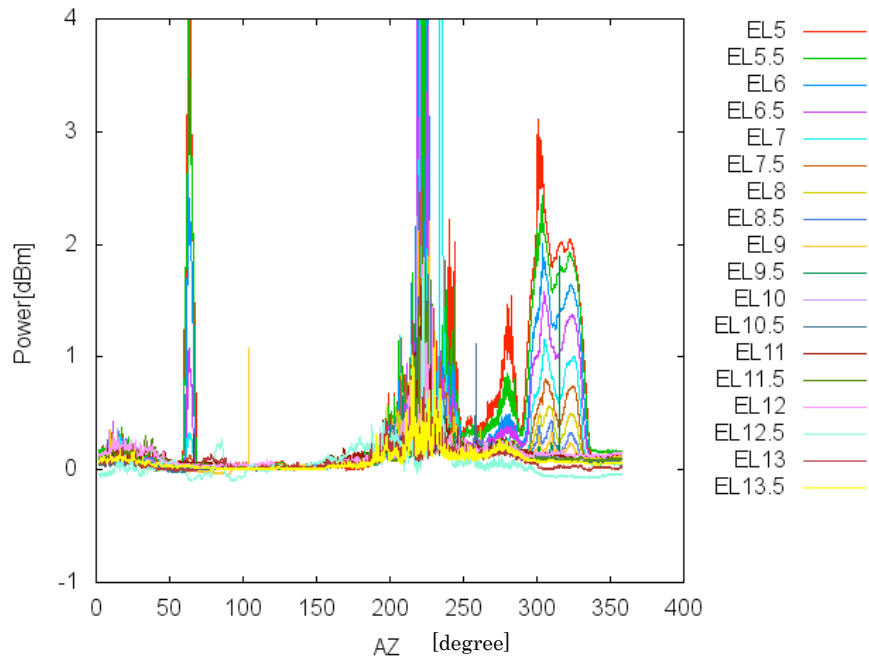


図 6 マスク処理によって底を合わせた AZ と Power 出力 (y 軸：-1～4) との関係

図 5・図 6 から、顕著に大きく電波を受信している AZ は、以下の 4 ヶ所であった。

- ・AZ60 度付近
- ・AZ200 度付近から AZ250 度付近
- ・AZ280 度付近
- ・AZ290 度付近から AZ330 度付近

上記の 4 ヶ所以外にも、

- ・AZ10 から 20 度付近
- ・AZ200 度直前
- ・AZ250 度付近から AZ280 度付近間

にわずかに大きい電波受信があった。

また、ある特定の EL で大きく電波の受信が観測された AZ は、

- ・AZ100 度付近 (EL9 のみ)
- ・AZ260 度付近 (EL10.5 のみ)
- ・AZ320 度付近 (EL9.5 のみ)

である。

従って、障害となる電波受信が無い或いは少ないと予想できる AZ は、

- ・AZ100 度付近から AZ150 度付近
- ・AZ340 度付近から AZ358 度付近

である。

4-3.標準偏差導出方法

標準偏差とは、どれだけのばらつきがあるかの指標となるもので、N 個のデータ x_i ($i=1\cdots N$) の平均を $\bar{x}$ とすると、分散 σ^2 の導出は以下の通りである。

$$\text{分散} = \sigma^2 = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{N} \quad (1)$$

標準偏差と分散との関係は以下の通りである。

$$\text{標準偏差} = \sqrt{\sigma^2} \quad (2)$$

従って、標準偏差を求める際は、先ず全データの平均を求め、その平均値を使用して分散を求め、分散のルートをとって標準偏差を導出した。

4-4. AZ と標準偏差との関係 (*[dBm]単位の Power 出力による)

4-3.標準偏差導出方法の方法により、AZ1 度毎に平均・標準偏差を求め、AZ の関数としてプロットしたものを図 7 に示す。

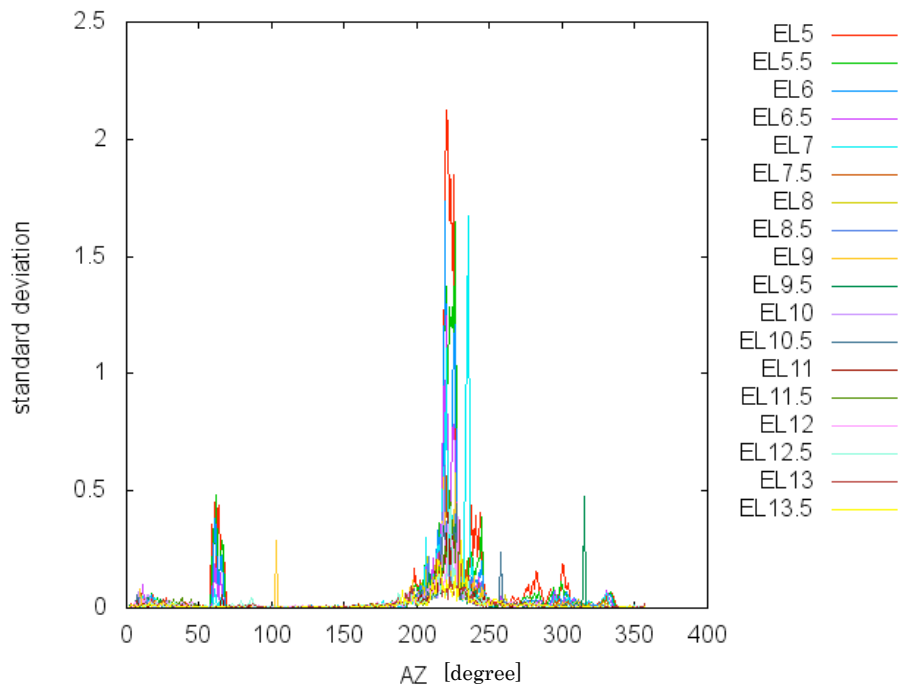


図 7 AZ と標準偏差との関係

図 7 の y 軸を 0 から 0.5 の範囲だけ拡大した結果を図 8 に示す。

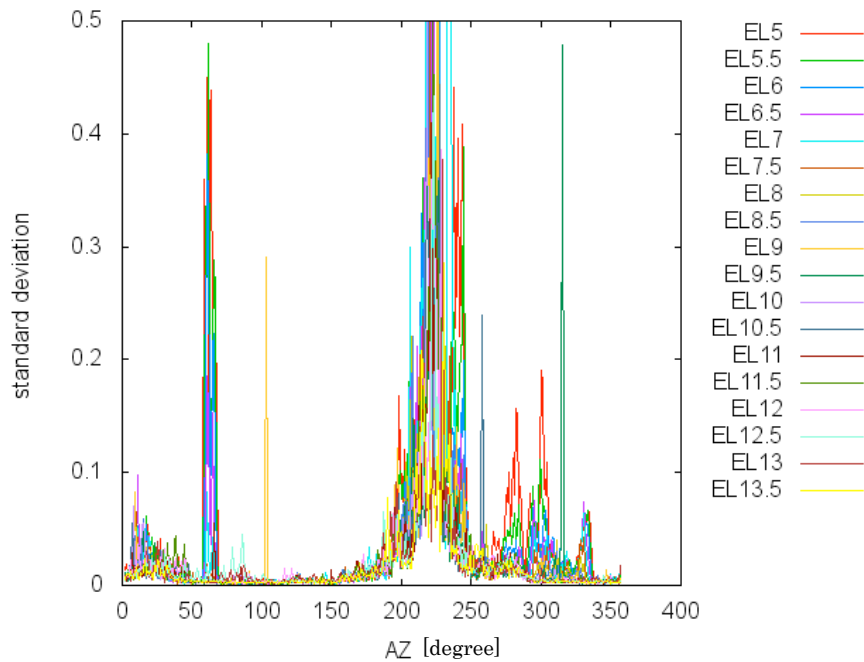


図 8 AZ と標準偏差 (y 軸 : 0~0.5) との関係

図 7・図 8 から、ほぼ全ての EL で特に標準偏差が大きくなっている AZ は、以下の 4 ヶ所である。

- ・ AZ60 度付近
- ・ AZ200 度付近から AZ250 度付近
- ・ AZ280 度付近
- ・ AZ300 度付近

他に、標準偏差 0.1 以下ではあるが、標準偏差が大きくなっている箇所は、以下の 2 ヶ所である。

- ・ AZ10 度から AZ20 度付近
- ・ AZ200 度直前
- ・ AZ330 度付近

他にも、特定の EL だけ標準偏差が大きくなっている AZ の箇所は以下の 3 ヶ所であった。

- ・ AZ100 度付近 (EL9 のみ)
- ・ AZ260 度付近 (EL10.5 のみ)
- ・ AZ320 度付近 (EL9.5 のみ)

4-5.AZ と Power 出力・標準偏差の考察 (* [dBm] 単位の Power 出力による)

もし山の部分をアンテナがスキャンしているとすると、Power 出力が大きくなるのに対し、ゆらぎの変化は無いので、標準偏差は小さい。しかし、人工電波が出ている方角は、そこで Power 出力が急に大きくなる為、ゆらぎの指標である標準偏差も大きくなる。従って、Power 出力グラフ (図 5・図 6) と標準偏差グラフ (図 7・図 8) とを比べる事で、Power 出力の変動が山に起因するものなのか、人工電波に起因するものなのかを推測できた。

両者を比較した結果を表 6 に示す。

表 6 図 5・6/図 7・8 からの結果

AZ(度)	Power 出力[dBm]グラフ(図 5・図 6)から	標準偏差グラフ(図 7・図 8)から
10-20	○	○
60	◎	◎
100	△	△
200(直前)	○	○
200-250	◎	◎
260	△	△
250-280	○	
280	◎	◎
300		◎
320	△	△
330		○
290-330	◎	

◎…顕著に大きかったところ
○…わずかに大きかったところ
△…特定の EL で大きかったところ

表 6 より、Power 出力グラフと標準偏差グラフの両方に記号がついているところは、人工電波であると推測した。まとめると、以下の通りである。

- ・ AZ10-20 付近…わずかではあるが人工電波が入っていた
- ・ AZ200（直前）付近…わずかではあるが人工電波が入っていた。ただし、この範囲は、AZ200-250 の人工電波の影響によるものだと考えられた
- ・ AZ60 付近／200-250 付近／280 付近…これらの部分は何らかの人工電波等がほぼ確実に入っていたと考えられた
- ・ AZ100 付近／260 付近／320 付近…ある特定の EL のみで人工電波が観測されたと推測できた

上記以外は、表 6 のどちらか片方に記号がついている。まず、AZ250－280 付近に関して考察する。Power 出力のグラフでは、「AZ250－280 付近でわずかに大きくなっていて、AZ280 付近では顕著に何かしらの電波が受信されていた」。これに対して、標準偏差のグラフでは、「AZ250－280 付近も全体的に小さなゆらぎはあるが、AZ280 付近で特に大きくなっていた」。従って、AZ280 度付近に人工電波があると考えられ、その影響により、Power 出力の AZ250－280 付近まで出力が大きくなったと考えられた。

次に、AZ290－330 付近に関して考察する。Power 出力グラフでは、AZ290－330 付近が全体的に電波の出力が大きくなった。その中でも、AZ300 付近・AZ330 付近での Power 出力が大きくなっていた。標準偏差では、AZ300 付近・AZ330 付近で特にグラフが大きくなっていた為、その 2 箇所人工電波源があると推測できた。

尚、Power 出力値グラフで見られる AZ290-330 付近の Power 出力の高まりは、肉眼でも確認できる山の連なりの影響だと考えられた。

上記の考察から、人工電波があると推測できる AZ は、

- ・ AZ10-20 付近／60 付近／200-250 付近／280 付近／300 付近／330 付近

であり、山の影響が出ている AZ は、

- ・ AZ290-330 付近

であると推測できた。さらに、特定の EL で人工電波受信があったところは、

- ・ AZ100 付近／260 付近／320 付近

である。

また、AZ60 度付近の方角に高萩局が位置する。その範囲は、人工電波源由来なのか高萩局による影響なのかは、この後の 4-8 章で議論する。

4-6. システム雑音温度への変換

上記までは、[dBm]単位で Power 出力値や標準偏差を議論してきたが、この章では、[dBm]単位をシステム雑音温度[K]単位に変換して議論する。

4-6-1. システム雑音温度導出方法

システム雑音の本来の意味は、大気圏外で観測した際の天体信号に対して（仮想的状況）、実際はどれ位雑音が付加されているかを示した量である。従って、S を信号、N を雑音とすると、S/N 比で表わされる。

また、仮想的状況と現実で観測して異なる点は、現実には大気が存在している為、「①大気吸収による、電波信号の減衰」・「②大気からの放射」を受ける。逆に、同様な点は、「③アンテナ内の受信機等の雑音」が入る事である。従って、地上から観測を行うと、①～③の雑音を受ける事になる。

さらに、本研究では、常に sky を見ているのではない為、「山や人工電波源等からの放射」も雑音源として入ってくる。しかし、今回は「山や人工電波源等からの放射」も全て大気放射と同等のものと見なし、それらも信号の減衰効果を起こすと仮定した上で計算・解析を行った。

システム雑音温度 $T_{sys}[K]$ の導出方法を以下に示す。

$$T_{sys}^* = \frac{P_{sky}}{P_R - P_{sky}} T_{amb} \quad (3)$$

$$T_{sys} = T_{sys}^* e^{-\tau_0 \sec Z} \quad (4)$$

T_{sys}^* : 外からの雑音（山や人工電波等含）が、全て大気放射であるかのように振舞うと仮定した時のシステム雑音温度

T_{sys} : 雑音そのものの Power[dBm]→[K]に変換したシステム雑音温度

P_R : 黒体を置いた時の出力

P_{sky} : 測定値の出力

T_{amb} : 吸収体温度

τ_0 : 大気の厚み

今回の測定では、 P_R : -17.261 (dBm)、 τ_0 : 0.009036785、 T_{amb} : 11.6 (°C) であった。

P_R は、減衰させてある為、-17.261 (dBm) + 10 (dBm) = -7.261 (dBm) である。

また、 P_{sky} には、測定した各々の Power[dBm]出力値を入れ、 T_{sys}^* を求めた。尚、その時の EL を $\sec Z$ に入れて T_{sys} を求めた。この方法で、各々の Power 出力を[dBm]から[K]に変換した。

また、 P_{sky} に Power 出力を代入する際、[dBm]から[mW]に直さなければならない。この例を以下に示す。

例) $P_{sky} = -13.93[\text{dBm}]$ の時

$$-13.93[\text{dBm}] = 10 \log_{10}(P_{out}[\text{mW}])$$

$$-1.393[\text{dBm}] = \log_{10}(P_{out}[\text{mW}])$$

$$P_{out}[\text{mW}] = 10^{-1.393}$$

上記のようにして[mW]単位に直してから P_{sky} に代入した。

4-6-2. システム雑音温度の Power 出力と標準偏差について

4-6-1 の方法でシステム雑音温度に変換した Power 出力と AZ との関係を図 9 に示す。

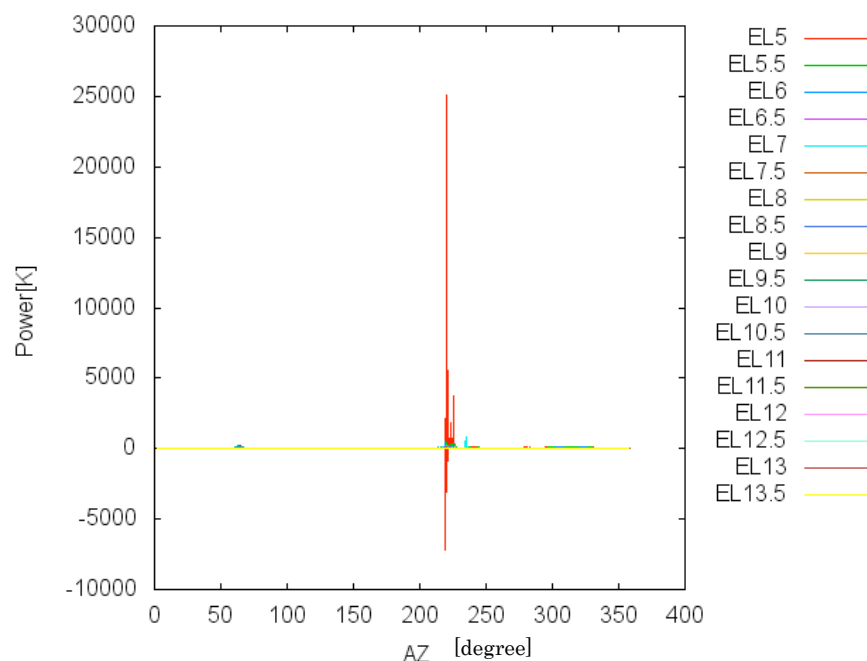


図 9 AZ とシステム雑音温度 Power 出力との関係

システム雑音温度に変換した時、EL5 の出力が高くなっており、Power 出力が低い範囲の詳細が分からない為、y 軸を拡大した図を図 10 に示す。

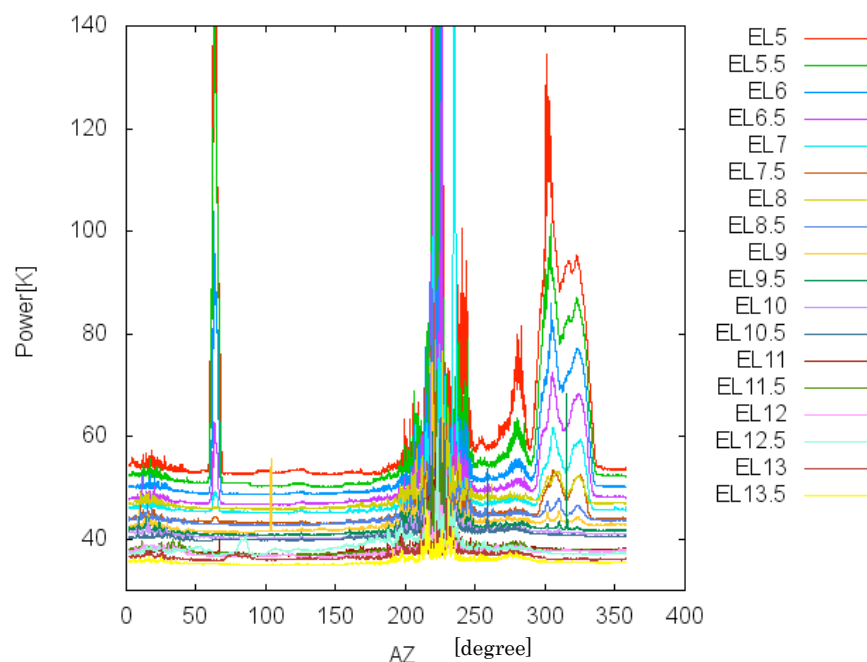


図 10 AZ とシステム雑音温度 Power 出力 (y 軸拡大) との関係

4-2-1 章のマスク処理解析で説明した方法で、システム雑音温度でも base line を合わせた。システム雑音温度の場合も、 $P_{ave} + \gamma \sigma$ の $\gamma=1$ に設定した。今回のシステム雑音温度の最終的な値 P_A' を求めた結果を表 7 に示す。

表 7 マスク処理の結果(システム雑音温度)

EL	システム温度 平均[K]	システム温度 標準偏差[K]	
5	52.5485	0.0005	※6
5.5	50.131286	0.004949	
6	48.672059	0.01415	
6.5	46.660462	0.010966	
7	45.068925	0.013361	
7.5	42.936118	0.012129	
8	45.7505	0.0015	※6
8.5	42.688091	0.009189	
9	41.585405	0.013644	
9.5	40.764625	0.010307	
10	40.090286	0.002914	
10.5	39.779939	0.015438	
11	36.6925	0.0015	※6
11.5	36.8868	0.00337	
12	36.376914	0.012366	
12.5	37.697509	0.143865	
13	35.910647	0.007723	
13.5	34.925	0.001	※6

※6…黄色くなっている 4 つの EL は、マスク処理を行った結果、最終的に一つしかデータが残らなかったり、二つデータが残ったものの、その二つの Power 出力値が同値だった為に、標準偏差が 0.0000 になった。その為、最終の一つ前の値を P_{ave} や σ を採用した。

表 7 の標準偏差を見ると、0.0005～約 0.14 と小さな値であるので、blank sky のレベルとして確からしい値だと判断できた。

表 7 の P_A' 値を使用して、各々の Power 出力からその P_A' 値を引いて、base line をそろえた結果を図 11 に示す。

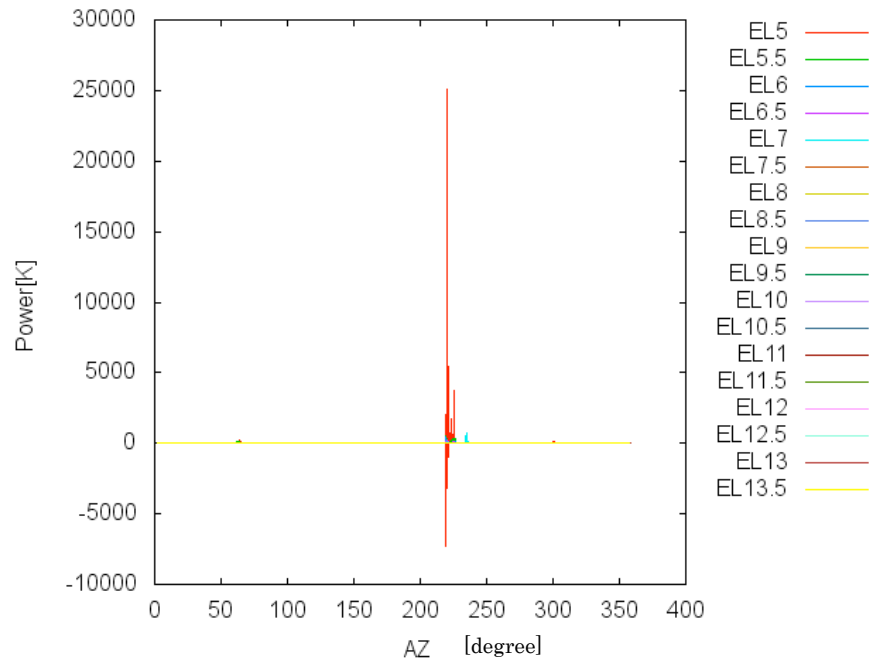


図 11 base line を合わせた AZ とシステム雑音温度 Power 出力との関係

図 11 の y 軸を拡大した図を図 12 に示す。

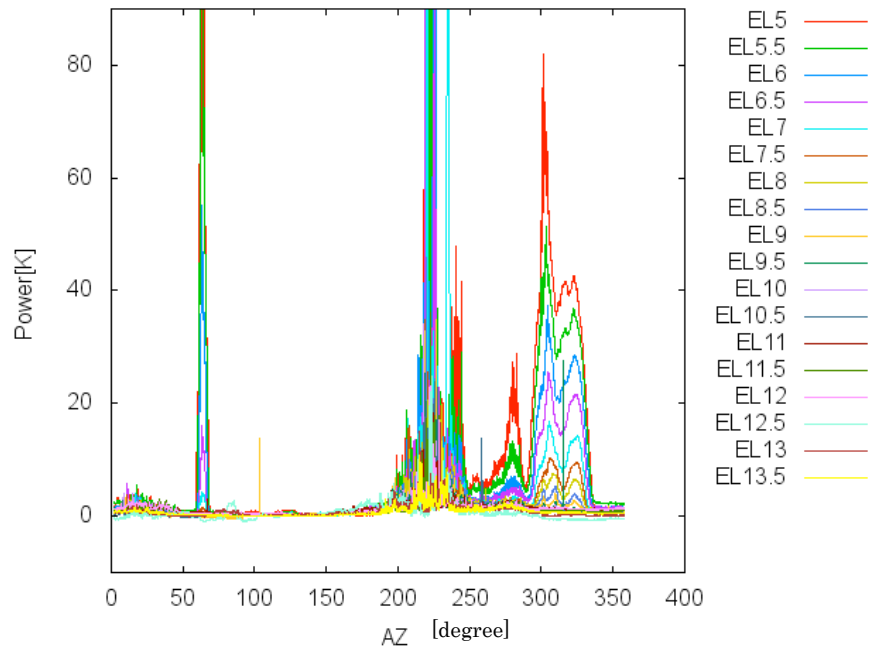


図 12 base line を合わせた AZ とシステム雑音温度 Power 出力 (y 軸拡大) との関係

AZ とシステム雑音温度 Power 出力との関係から、[dBm]単位の結果とほぼ同様になった。しかし、[dBm]単位に比べ、AZ280 度付近と AZ300 度付近の人工電波と推測される大きい出力がより鋭く表れた。

続いて、AZ とシステム雑音温度 Power 出力の AZ1 度毎での標準偏差との関係を図 13 に示す。

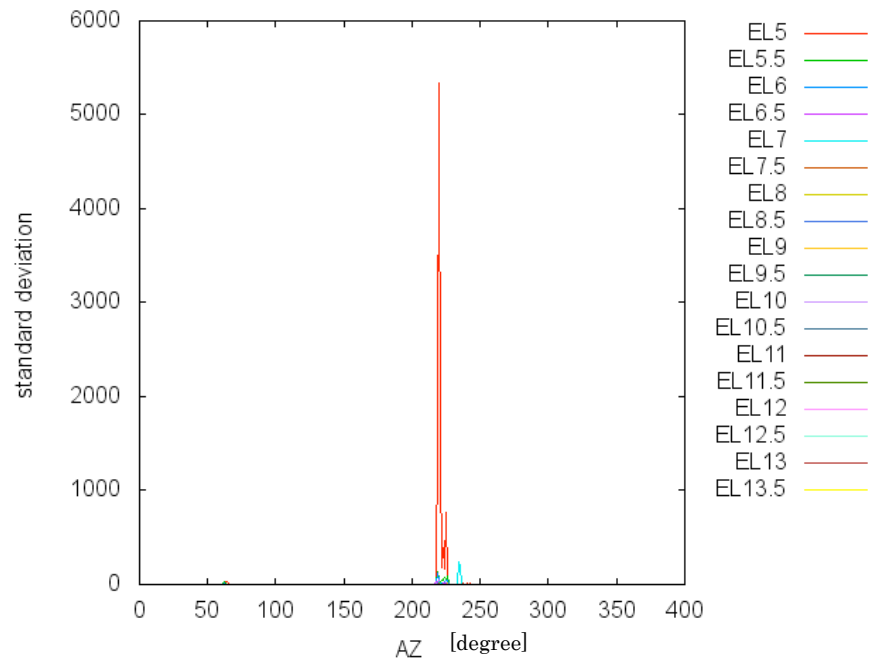


図 13 AZ とシステム雑音温度の標準偏差との関係

AZ230 度付近に見えている水色の Power 出力値に合わせて、y 軸を拡大した図を図 14 に示す。

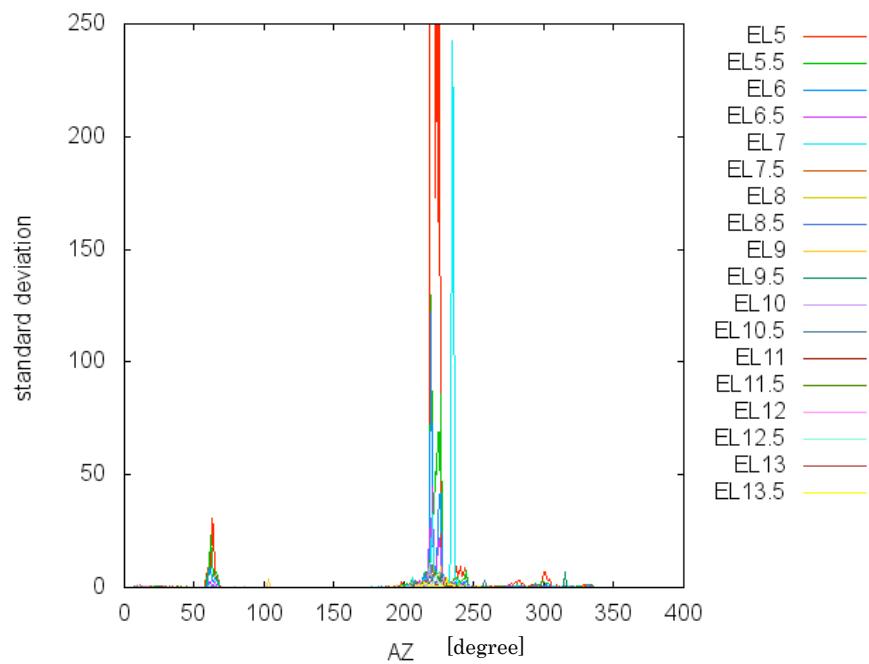


図 14 AZ とシステム雑音温度の標準偏差との関係 (y 軸 : 0~250)

AZ60 度付近に見えている Power 出力値に合わせて、y 軸を拡大した図を図 15 に示す

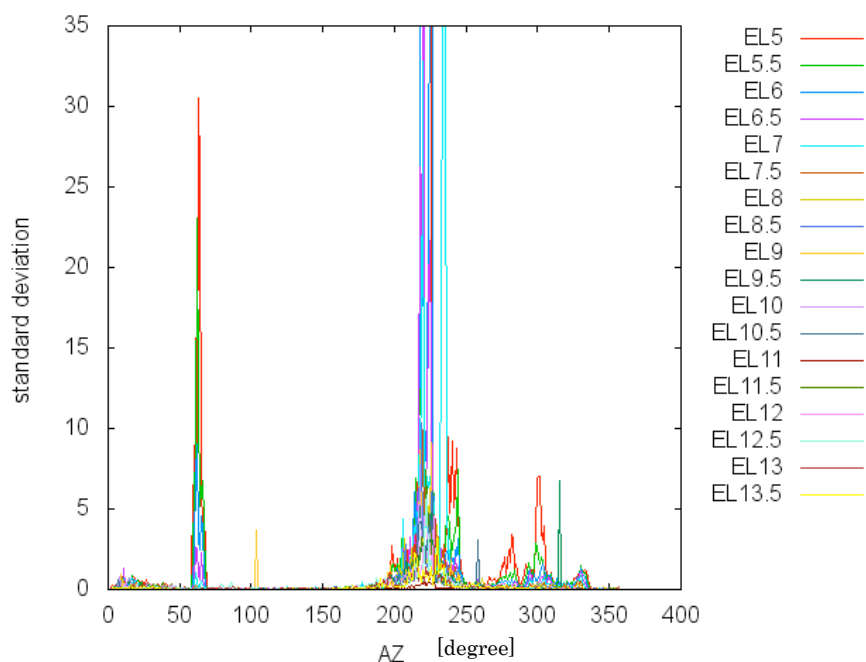


図 15 AZ とシステム雑音温度の標準偏差との関係 (y 軸 : 0~35)

さらに、y 軸を 0~10 まで拡大したものを図 16 に示す。

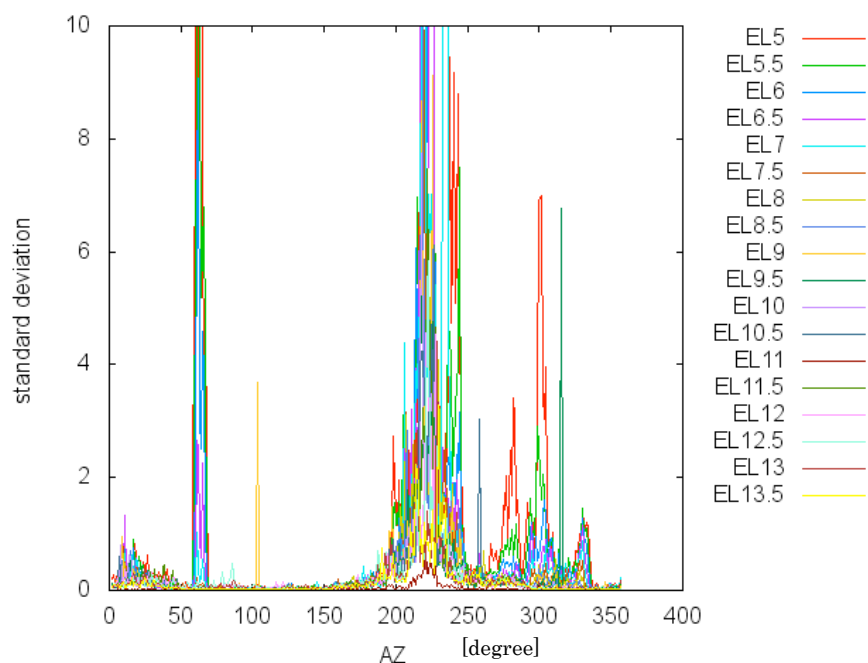


図 16 AZ とシステム雑音温度の標準偏差との関係 (y 軸 : 0~10)

AZ と標準偏差との関係は、[dBm] 単位の結果とほぼ同様になった。しかし、Power 出力値と同様に、[dBm] 単位に比べ、AZ280 度付近と AZ300 度付近の人工電波と推測される大きい標準偏差がより鋭く表れた。

上記の AZ と Power 出力値 (図 11・図 12) と AZ と標準偏差 (図 13~16) の両者の結果を合わせた結果を表 8 に示す。

表 8 図 11・12/図 13～16 からの結果

AZ(度)	Power 出力グラフ (図 11・図 12)から	標準偏差グラフ (図 13～図 16) から
10-20	○	○
60	◎	◎
100	△	△
200(直前)	○	○
200-250	◎	◎
260	△	△
250-280	○	
280	◎	◎
300		◎
320	△	△
330		○
290-330	◎	

◎…顕著に大きかったところ
○…わずかに大きかったところ
△…特定の EL で大きかったところ

[dBm]単位と全く同様の結果になり、システム雑音温度の結果は以下の通りである。

○人工電波があると推測できる AZ

・AZ10－20 付近／60 付近／200-250 付近／280 付近／300 付近／330 付近

○山の影響が出ている AZ

・AZ290－330 付近

○特定の EL で人工電波受信があった AZ

・AZ100 付近／260 付近／320 付近

※AZ60 度付近が人工電波なのか高萩アンテナによる影響なのかは 4-8 章で議論する。

4-7.約 7 時間半の長時間測定による考察

[dBm]単位グラフ・システム雑音温度グラフから分かるように、skyline 測定を行うと Power 出力が変動した。その変動の要因は、以下の 3 つが挙げられる。

- 1.大気起因の変動
- 2.受信機等のアンテナ起因の変動
- 3.人工電波源等による変動

<Power 出力ゆらぎ＝大気起因の変動＋受信機等のアンテナ起因の変動＋人工電波源等による変動>

従って、

人工電波源等による変動＝Power 出力ゆらぎ－（大気起因の変動＋受信機等のアンテナ起因の変動）
の概念を使って、人工電波源等による変動を推測した。

大気起因の変動・受信機等のアンテナ起因の変動を求める為に、人工電波源が無いと推測される AZ=120 の方位角に日立局を向け、大気起因の変動が最も大きい EL=5.0 に日立局を固定した。そして、長期的な変動を調べる為に、約 7 時間半かけて Power 出力を測定した。

4-7-1.[dBm]単位での解析

約 7 時間半測定 of Power 出力[dBm]の AZ1 度間 (7 秒間) 毎での標準偏差を求め、その累積頻度分布 (近似曲線) を導出した。その結果を図 17 に、図 17 の y 軸・x 軸を拡大したものを図 18 に示す。

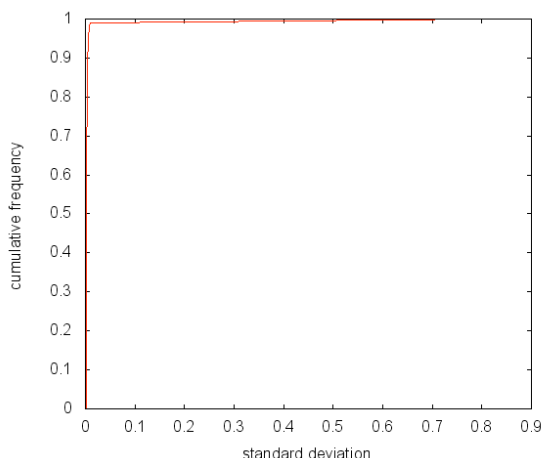


図 17 標準偏差と累積頻度

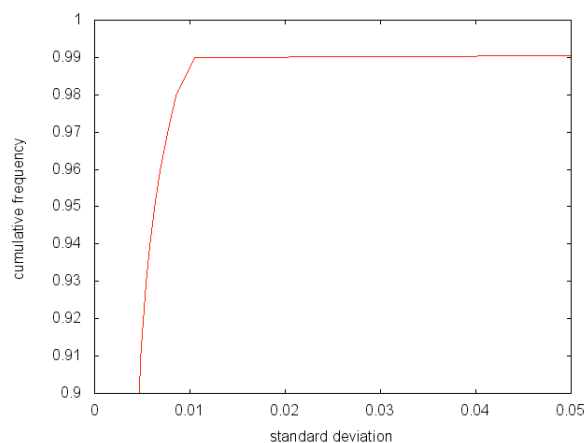


図 18 標準偏差と累積頻度 (拡大図)

図 17・18 から、大気変動や受信機変動以外の原因 (人工電波源等) で標準偏差が大きくなっている箇所は、どの標準偏差以上の範囲なのかという、基準となる標準偏差を決めた。つまり、その基準値より小さい標準偏差であれば、大気起因の変動・受信機等のアンテナ起因の変動と見なす。逆に、その基準値よりも大きければ、人工電波源等によって標準偏差が大きくなったと考えた。今回、図 17・18 から基準値を 0.02 と定めた。この基準値と、AZ1 度毎での標準偏差と比較した結果を図 19 に示す。

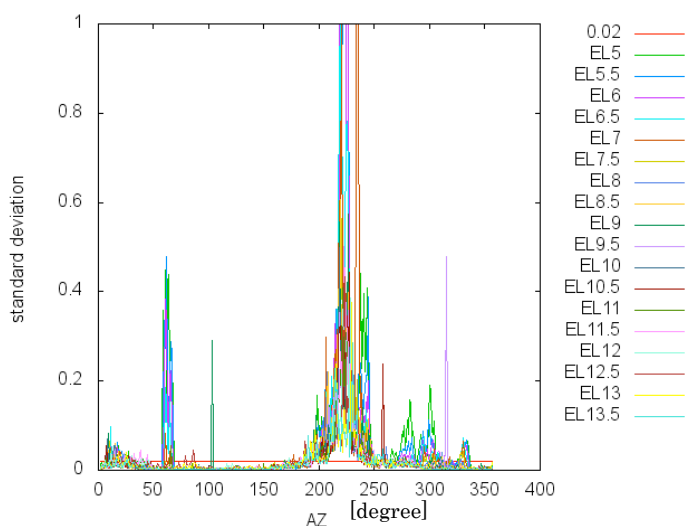


図 19 累積頻度基準値と AZ1 度毎での標準偏差

図 19 の赤線 ($y=0.02$) よりも大きい標準偏差は、大気変動や受信機変動以外 (人工電波源等) の原因によるものだと考えた。

図 19 の結果から分かる事は、以下の通りである。

○人工電波があると推測できる AZ

・ AZ10－20 付近／60 付近／200-250 付近／280 付近／300 付近／330 付近

○特定の EL で人工電波受信があった AZ

・ AZ100 付近／260 付近／320 付近

4-7-2.システム雑音温度での解析

約 7 時間半測定 of Power 出力[dBm]をシステム雑音温度[K]に変換して 4-7-1 と同様の解析を行った。システム雑音温度に変換してから、AZ1 度間（7 秒間）毎での標準偏差を求め、その累積頻度分布（近似曲線）を導出した。その結果を図 20 に、図 20 の y 軸・x 軸を拡大したものを図 21 に示す。

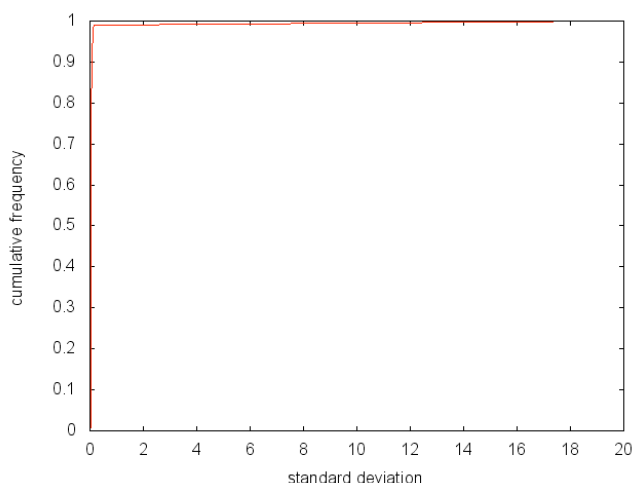


図 20 標準偏差と累積頻度（システム雑音温度）

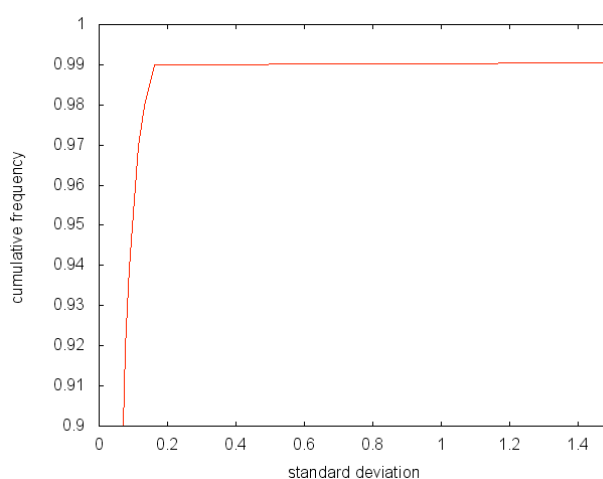


図 21 標準偏差と累積頻度（システム雑音温度：拡大図）

システム雑音温度では、図 20・21 から基準値を 0.4 と定めた。この基準値と、AZ1 度毎での標準偏差（システム雑音温度）と比較した結果を図 22 に示す。

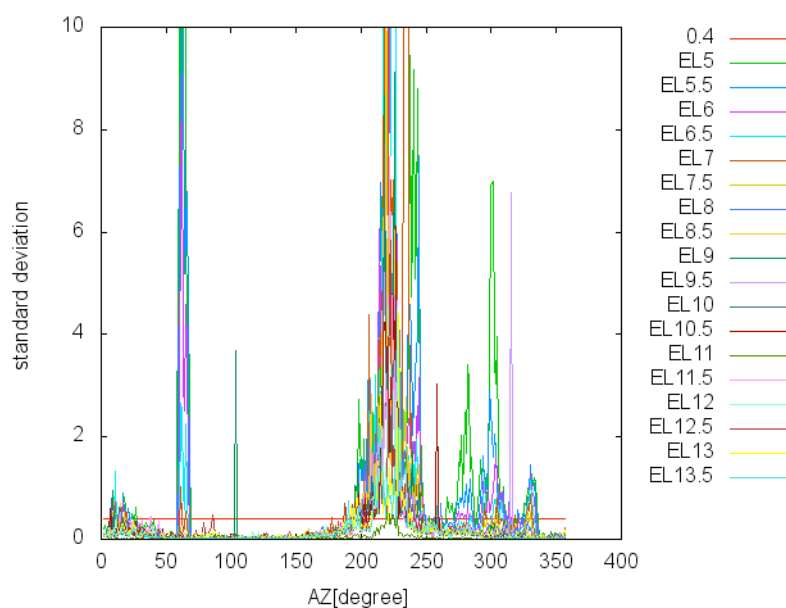


図 22 累積頻度基準値と AZ1 度毎での標準偏差（システム雑音温度）

図 22 のシステム雑音温度での解析結果から分かる事は、以下の通りである。

○人工電波があると推測できる AZ

・ AZ10-20 付近／60 付近／200-250 付近／280 付近／300 付近／330 付近

○特定の EL で人工電波受信があった AZ

・ AZ100 付近／260 付近／320 付近

従って、[dBm]単位でもシステム雑音温度単位でも同じ結果となった。さらに、この結果は、Power 出力と標準偏差とを比較した結果とも同様の結果となった。

4-8. 日立局 skyline 測定時での高萩局との位置

今までの議論から、AZ60 度付近に強い電波受信が入る事が分かった。そして、日立局から見た AZ60 付近には、高萩局が位置していた。その AZ60 度付近の電波が、高萩局の由来のものなのか、高萩局の奥に人工電波源等によるものなのかを調べた。その手法として、以下に示すように、日立局から見た時に、高萩局が角度的に入るのか否かを計算（概算）によって求めた。

4-8-1. 日立局から高萩局を見た時に被る範囲計算

まず、日立局から高萩局を見た時、或いはその逆の時での「各々の回転中心」と、「鏡面の上端と回転中心の距離」を求めた結果を図 23 に示す。

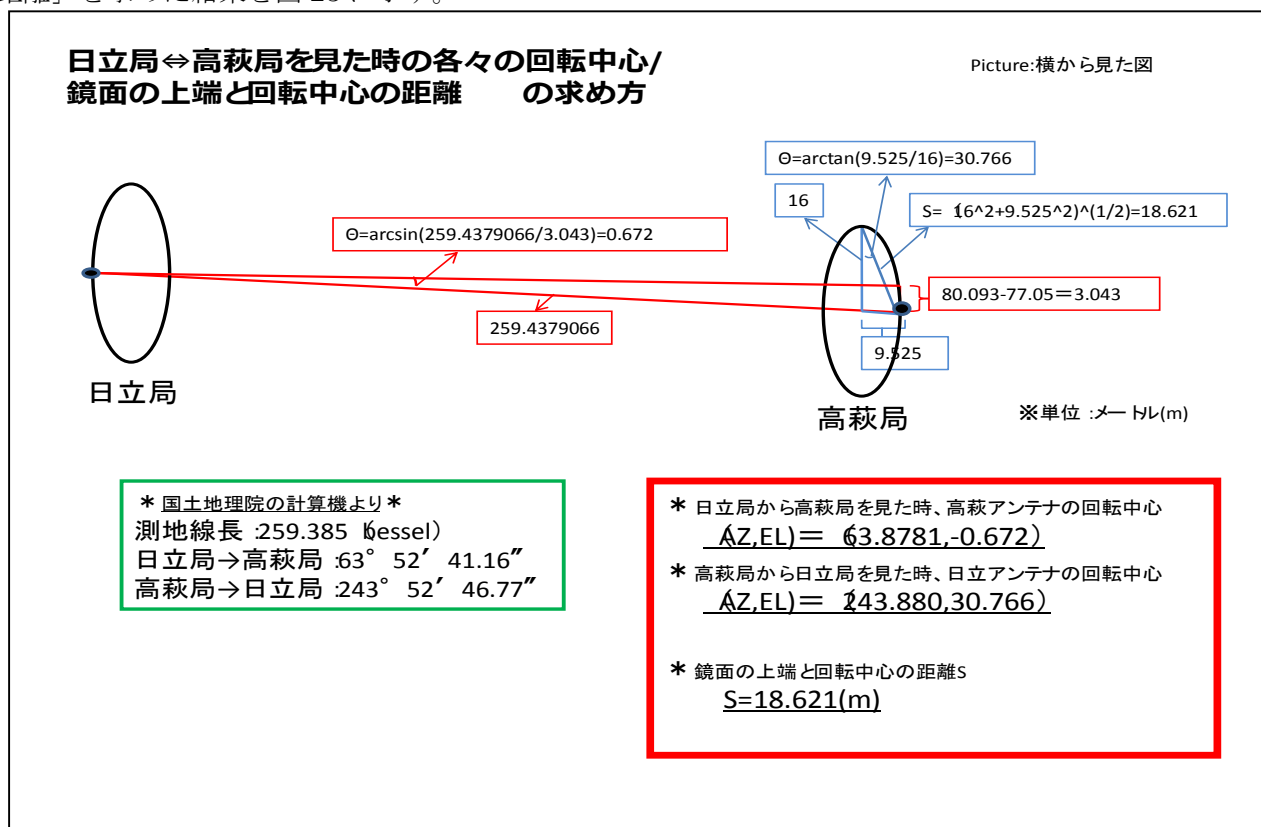
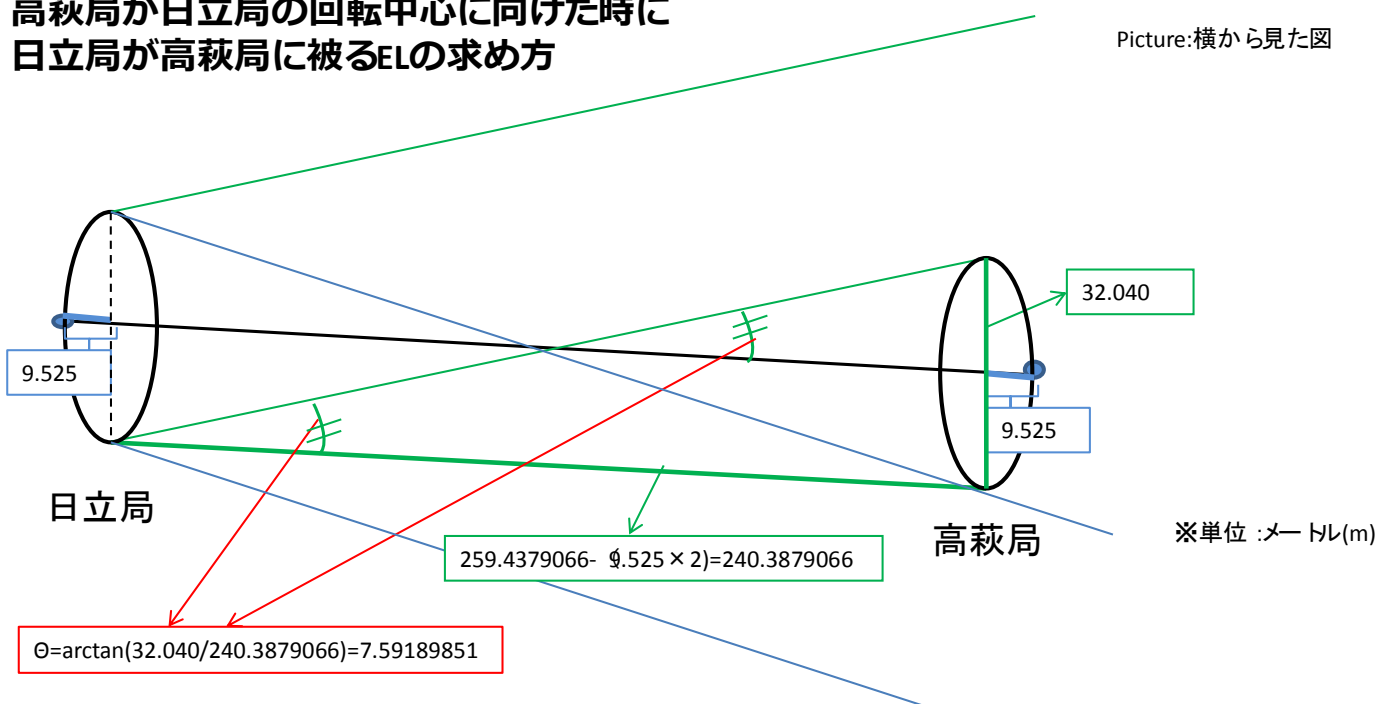


図 23 回転中心と鏡面の上端と回転中心の距離を求めた結果

次に、高萩局を日立局の回転中心に向けた時での、日立局が高萩局に被る EL 範囲を求めた結果を図 24 に示す。

高萩局が日立局の回転中心に向けた時に 日立局が高萩局に被るELの求め方

Picture:横から見た図



* 日立局が高萩局に被るEL値

$$\begin{aligned} \text{ELmax} \sim \text{ELmin} &= (-0.672^\circ + 7.59189851^\circ \sim -0.672^\circ - 7.59189851^\circ) \\ &= (-6.920 \sim -8.264) \end{aligned}$$

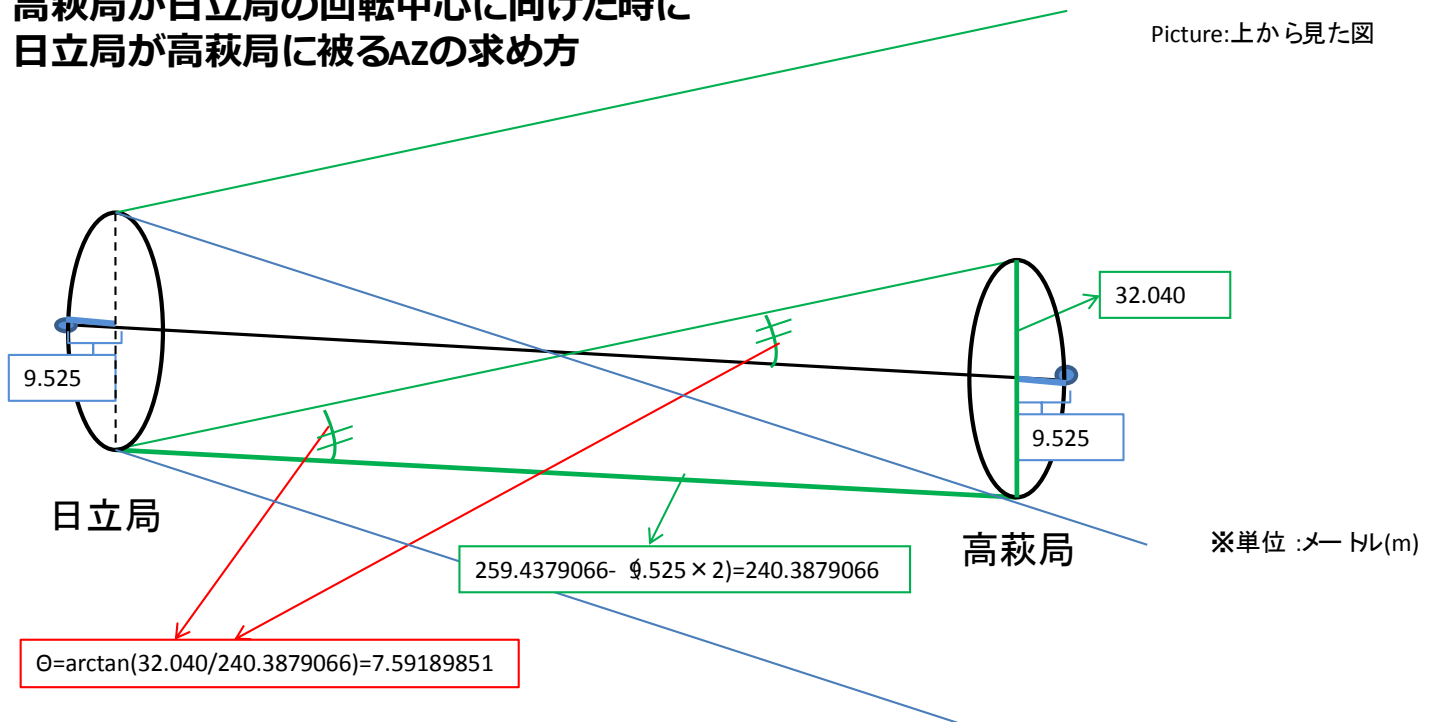
※実際は、日立局も高萩局も傾いているので、上記の値より小さくなる。

図 24 日立局が高萩局に被る EL 値を求めた結果

続いて、高萩局を日立局の回転中心に向けた時での、日立局が高萩局に被る AZ を求めた結果を図 25 に示す。

高萩局が日立局の回転中心に向けた時に 日立局が高萩局に被るAZの求め方

Picture:上から見た図



* 日立局が高萩局に被るAZ値

$$\begin{aligned} \text{AZmax} \sim \text{AZmin} &= (63.8781^\circ + 7.59189851^\circ \sim 63.8781^\circ - 7.59189851^\circ) \\ &= (71.470 \sim 56.286) \end{aligned}$$

図 25 日立アンテナが高萩アンテナに被る AZ 値を求めた結果

4-8-2.日立局から高萩局を見た時に被る範囲の考察

まず、EL の範囲について考察する。実際は高萩局も日立局も傾いているので、EL は、上記の計算結果よりも、値は小さくなると予想される。しかし、高萩の傾きも 30° 程度であり、上記で求めた値よりも大幅にずれる事はないと考えられた。従って、上で求めた EL の範囲が $(\text{ELmax} \sim \text{ELmin}) = (6.920 \sim -8.264)$ という事は、観測を行った際に、日立局から見た時に高萩局が被っていたと推測できた。

次に、AZ の範囲について考察する。上での計算結果より、AZ の範囲が、 $(\text{AZmax} \sim \text{AZmin}) = (71.470 \sim 56.286)$ であった。これは、電波が強く感じられた AZ60 度付近にちょうど被る AZ 範囲である事が分かった。

従って、AZ,EL の範囲から考えて、AZ60 度付近の顕著に大きく受信された電波は、高萩局の影響によるものだったと推測できた。

4-9.skyline の描写

skyline を描写するにあたって、以下の手順で解析を行った。

I) AZ の精度を 0.1 度に固定・・・

[dBm]単位／システム雑音温度単位で base line を合わせた（出力値から P_A 値を引いたもの）Power 出力値を記載したファイルの AZ を 0.1 度精度で四捨五入した。

II) 同 AZ 内で最大 power 出力値を選択・・・

同じ AZ 値（複数在る）の中で Power 出力値が最大となる[AZ、Power 出力値]のセットを一つ取り出した。

III) 各々の AZ に対して、EL5.0 度～EL13.0 度の 1.0 毎での Power 出力値比較・・・

各々の AZ に対して、ある Power 出力値[設定する]以上の値を持つ EL の中で、最大の EL を選択し、その時の[AZ,EL]のセットを取り出した。

上記の手順から、[dBm]単位で skyline を描写（近似曲線）した図を図 26 に示す。

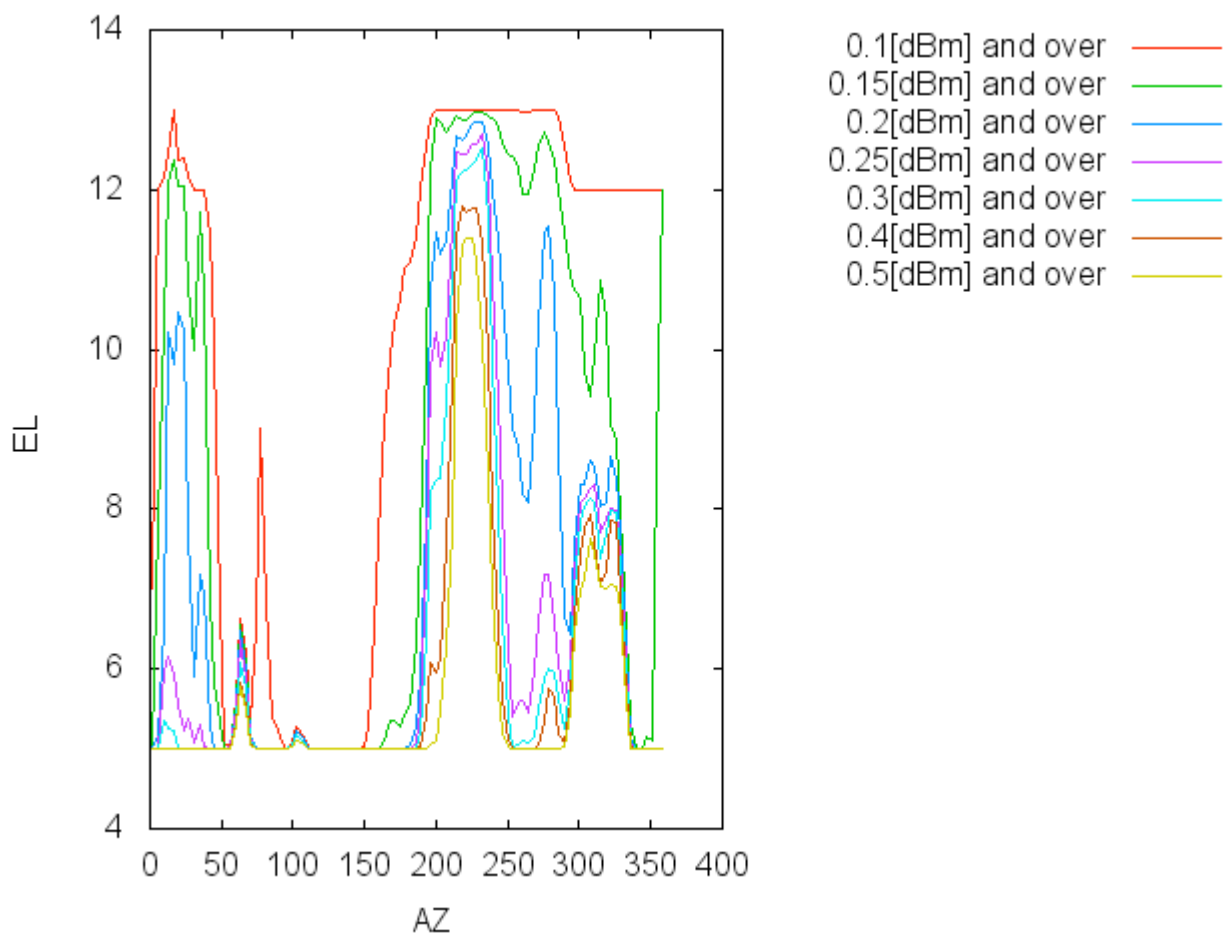


図 26 [dBm]単位での skyline

また、システム雑音温度単位で **skyline** を描写（近似曲線）した図を図 27 に示す。

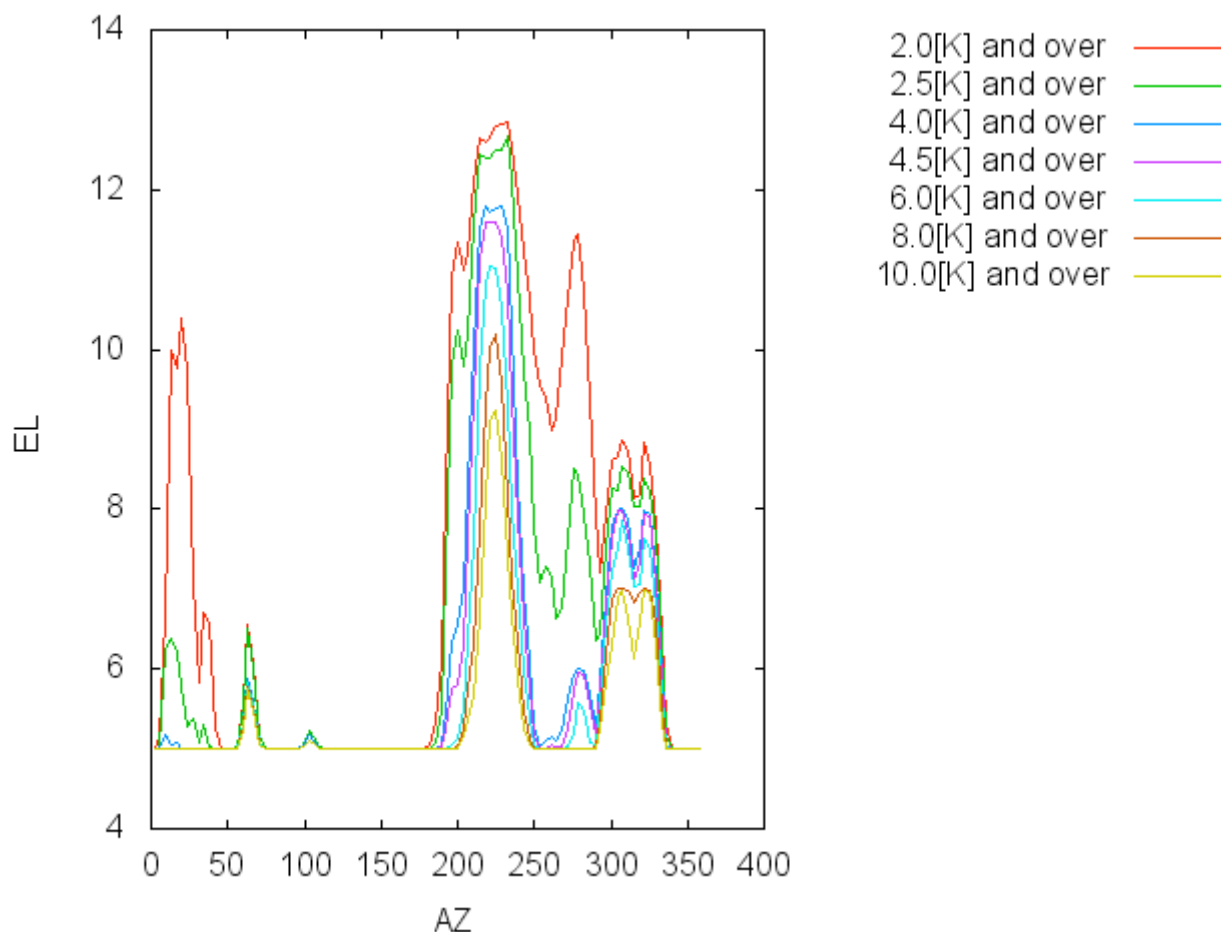


図 27 システム雑音温度単位での skyline

図 26 の[dBm]単位での skyline を見ると、0.1[dBm]や 0.15[dBm]では、AZ340-358 度付近の EL が高くなっていた。しかし、Power 出力と AZ との関係のグラフや AZ1 度毎での標準偏差と AZ とのグラフでは、AZ340-358 度付近の値は小さくなっていた。従って、AZ340-358 度付近はでは、周波数等を詳しく調べていく必要がある事が分かった。

5.まとめと課題

Power 出力値・標準偏差 ([dBm]単位とシステム雑音温度) や、高萩局と日立局との関係から、以下の事が推測できた。

- ・AZ10 度付近から AZ20 度付近…弱い人工電波が出ていた
- ・AZ60 度付近…高萩局の影響による電波受信 (高萩局は自ら電波を放っているのではなく、その温度に合った電波を出す黒体としての電波である)
- ・AZ100 度付近…EL9 で人工電波が出ていた
- ・AZ200 度付近から AZ250 度付近…莫大な人工電波が出ていた
- ・AZ260 度付近…EL10.5 で人工電波が出ていた
- ・AZ280 度付近…人工電波が出ていた
- ・AZ290 度付近から AZ330 度付近 (AZ300 度・AZ320 度・AZ330 度含)

…山による影響で電波が出ていた。その内、AZ300 度付近と AZ330 度付近は、人工電波が出ていた。
また、AZ320 度付近は、EL9.5 で人工電波が出ていた。

従って、障害となる電波が無く、今後観測に適應できる AZ は、

- ・AZ100 度付近から AZ150 度付近 (EL9 では AZ100 度は避けた方が良い)
 - ・AZ340 度付近から AZ358 度付近
- であると推測できた。

今後の課題としては、スペクトルアナライザー等を使用して、推測された AZ 方向の人工電波の周波数特性を把握し、どの周波数帯で特に大きな影響があるか調べる必要がある。また、特定の EL に対して電波強度が強くなった部分に関しては、それが衛星等に起因しているのか、測定エラーなのか等の詳細を調査する必要がある。尚、今回測定した際に、アッテネータを取っていなかった為、全体の Power 出力に 10.0[dBm]を足した事で、何か影響が出る事があるのかを調べる必要もあるかもしれない。

6.参考文献

- ・山口 3 2 m 電波望遠鏡のスカイライン 藤沢健太 (山口大学)
<http://www.astro.sci.yamaguchi-u.ac.jp/~kenta/Y4project/skyline-030331.pdf>
- ・日立アンテナ図面
- ・「C 言語によるプログラミング 基礎編第 2 版」 内田智史 監修 株式会社システム計画研究所 編

7.補完プログラム

20101228.ang ファイルとパワー出力ファイルの二つを一つのファイルとして合体させるプログラムである。

20101228.ang ファイルの列は、

- 【1 列目】 yyyydddhhmmss … yyyy : 西暦、ddd : 通日、hhmmss : 時刻 (UT)
- 【2 列目】 現在地の AZ (度)
- 【3 列目】 現在地の EL (度)
- 【4 列目】 目的地の AZ (度)
- 【5 列目】 目的地の EL (度)
- 【6 列目】 AZ の駆動速度の比例値<モーターにかけている電圧 (V) >
- 【7 列目】 EL の駆動速度の比例値<モーターにかけている電圧 (V) >
- 【8 列目】 現在地と目的地の差 (度)
- 【9 列目】 不明
- 【10 列目】 不明

となっている。

パワー出力ファイルの列は、

- 【1 列目】 秒数の時刻<西暦 0001 年 1 月 1 日 00 時 00 分からの経過秒数>
- 【2 列目】 power sensor A 値 (dBm) <今回はこちらの値のみ使用>
- 【3 列目】 power sensor B 値 (dBm)

である。

まず、システム概要のフローチャートを示す。その後、プログラムの詳細フローチャートを示す。

プログラムは takahagi1.c/log.c は共同研究者 小林君のプログラムを参考に作製した。

他のプログラム内にも、部分的に参考している箇所もある。