

## 山口32m電波望遠鏡のスカイライン

藤沢健太（山口大学）

### 1. はじめに

山口32m電波望遠鏡から見たスカイラインの測定を行った。スカイラインとは地面と天空の境界線のことで、方位角に対する仰角として表される。天体の仰角がスカイライン以下になると観測できない、またスカイラインに近づくと地面放射の影響によりシステム雑音温度が上昇する。スカイラインの情報は、これらの問題の対策として観測の計画を立てるうえで参考になる。

電波望遠鏡ビームの太さが有限であるため、スカイラインをどのように定義するかは自明ではない。以下では、「ある仰角で完全なスカイ状態を向いている場合に得られるはずのシステム雑音温度が、現実にはXだけ上昇した場合、そこをスカイラインと定義する」とした。Xの値は経験的に決めることにした。

### 2. 測定

測定は、アンテナを一定の仰角にし、方位角を2→358度（あるいはその逆方向）まで連続的に動かし続け、その間に受信パワーをパワーメータで取得し続ける（1秒間に約19回）、という方法をとった。データは時刻付きで保存した。

駆動開始時は一定速度になるまで時間がかかる（数秒）。また駆動停止時は徐々に速度を落とす制御を行っている。これらの影響をできるだけ避けて、何時何分にどの方位角を向いていたかを知るために、駆動開始時刻（Az=2度）、45度の通過時刻、90度、180度、270度、315度、358度での通過時刻をそれぞれ目で読み取って記録した。

測定は4回行った。時期が2002年9月から2003年3月まで半年間近く分散しており、また測定日によって気象条件が異なっている。低仰角の測定のため、特に気象条件の変化が強く影響している。測定内容はシステム雑音温度ではなく、単に受信パワーを測定しただけである。したがってゲインの変化やアッテネータの設定量の変化も測定結果に影響を及ぼす。これらの影響を取り除くため、毎回仰角7度での測定を行い、それが4回の測定で一致するものとして校正を行った。同じ仰角での測定は7度でしか行っていない。

表1. スカイライン測定

測定	日時	仰角	方位角	その他
1	2002/09/13	5	2→358	
2	2002/09/13	6	358→2	
3	2002/09/13	7	2→358	
4	2002/09/24	8	358→2	
5	2002/09/24	9	2→358	
6	2002/09/24	7	358→180	校正用
7	2002/10/17	10	2→358	
8	2002/10/17	11	358→2	
9	2002/10/17	12	2→358	
10	2002/10/17	7	358→180	校正用
11	2003/03/05	7	2→358	校正用
12	2003/03/05	13	358→2	
13	2003/03/05	14	2→358	
14	2003/03/05	15	358→2	
15	2003/03/05	16	50→30	Y2領域のみ
16	2003/03/05	17	30→50	Y2領域のみ
17	2003/03/05	18	50→30	Y2領域のみ
18	2003/03/05	19	30→50	Y2領域のみ
19	2003/03/05	20	50→30	Y2領域のみ

メモ：

・2002/10/17

システム雑音温度測定を行った (Az=2、El=15 で NS-ON/OFF=-17.970/-21.610)。  
ただし校正には使っていない。

・2003/03/05

曇り、田村さんが参加、他の日は藤沢のみ (天気も不明)。

Y2領域の測定では、方位角は測定範囲の外側から (例えば 55→25) 動かして、50 または 30 度を通過する時刻を測定した。狭い範囲の測定では、駆動開始・停止の影響をうけやすいので、その対策のため。

・測定チャンネルは 2003/03/05 の測定 (CH2) を除き、CH1。両チャンネルの雑音温度は数Kで一致するため、以下の解析では違いを無視した。

### 3. 解析

#### 3-1. 解析手順

取得されたデータ（時刻付きパワーのデータ、所定方位角通過時刻表）からスカイラインを得るまでの、解析の手順は以下の通りである。

- (1) 時刻を参照して、「方位角（例えば0. 1度毎）での受信パワー」というデータを作成する。これを各仰角についておこなう。
- (2) 仰角7度での測定結果が一致するように、受信パワーを補正する係数を決め（すり合わせ）、補正を実行する。この結果、各仰角での受信パワーの比較ができる。
- (3) 受信パワーをシステム雑音温度に変換する。適当なタイミングで1回以上測定、あるいは過去の測定を参照する。この結果、各方位角・仰角でのシステム雑音温度をプロットできる。
- (4) 明らかに地面の影響を受けていないと判断される方位角を選択し、そこを基準にして他の方位角でのシステム雑音温度の上昇を計算する。この結果、各方位角・仰角での地面放射の影響をプロットできる。測定がうまくいけば、仰角に対する単調減少関数となるはずである。
- (5) ある方位角について、高仰角から低仰角へとアンテナを動かした場合、システム雑音温度がX [K] 上昇する仰角を計算する。これを各方位角について行うことで、『地面の放射の影響でシステム雑音温度がX [K] 上昇するスカイライン』を得られる。

#### 3-2. 今回の解析

今回の解析では、(1) と (5) は F-BASIC を使ったプログラムを作成 (sky-1.bas, sky-2.bas) し、(2-4) はエクセルを用いて、手作業で処理を行った。

##### (1) 方位角に対する受信パワー

入力と出力を付録Aに示した。

##### (2) 測定日毎のすり合わせ

天気の変動の影響をなくすため、明らかにビームが山で遮蔽されていると思われる方位角を採用した。今回の測定ではAZ = 330 - 358度の範囲ですりあわせを行った。すりあわせの結果の補正係数を表2に示す。基準は2002/09/13とした。

表 2. すりあわせ補正係数

日時	補正係数	その他
2002/09/13	0	基準値
2002/09/24	0.064	スカイ領域では補正係数が 0.5dB 近く低下する。好天気のため。
2002/10/17	-0.709	
2003/03/05	2.715	

### (3) システム雑音温度へ変換

過去の測定を参考にして、仰角 20 度でシステム雑音温度を 50 K とした ( $\pm 2$  K 程度の誤差があるが、以下の解析では無視した)。各方位角・仰角でのシステム雑音温度のプロットを図 1 に示す。

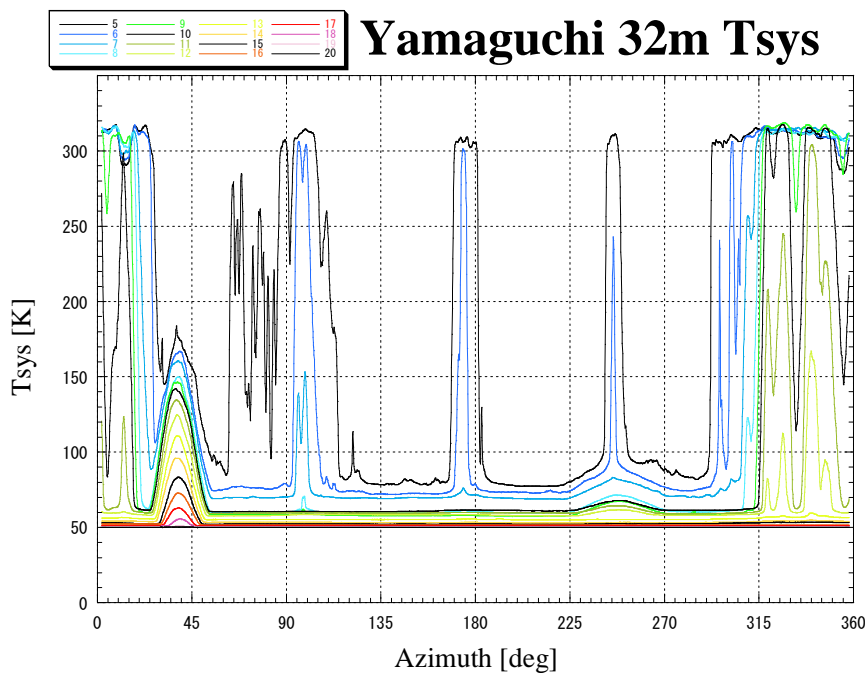


図 1. システム雑音温度の方位角・仰角依存性

### (4) 地面放射の影響

図 1 より、方位角が 200 – 210 度の範囲で最もシステム雑音は低く、かつ安定している。この範囲をスカイと定義してシステム雑音温度の平均値を作成した。その結果を表

3に示す。本来なら仰角に対して単調減少関数となるはずであるが、測定日によって大気放射の影響が異なるため、仰角8、9度（2002/09/24 測定）でシステム雑音温度が他の測定より低くなっている。

表3. スカイ状態でのシステム雑音温度

仰角	スカイ状態でのシステム雑音温度 [K]
5	77.60
6	73.15
7	69.15
8	59.69
9	57.47
10	61.17
11	59.77
12	57.90
13	55.15
14	53.09
15	52.13
16	51.79
17	51.09
18	50.59
19	50.20
20	50

この、各仰角でのスカイ状態のシステム雑音温度を仰角ごとに全方位角でのシステム雑音温度から差し引くことで、地面の放射によるシステム雑音温度の上昇だけを取り出す。その結果を図2に示す。

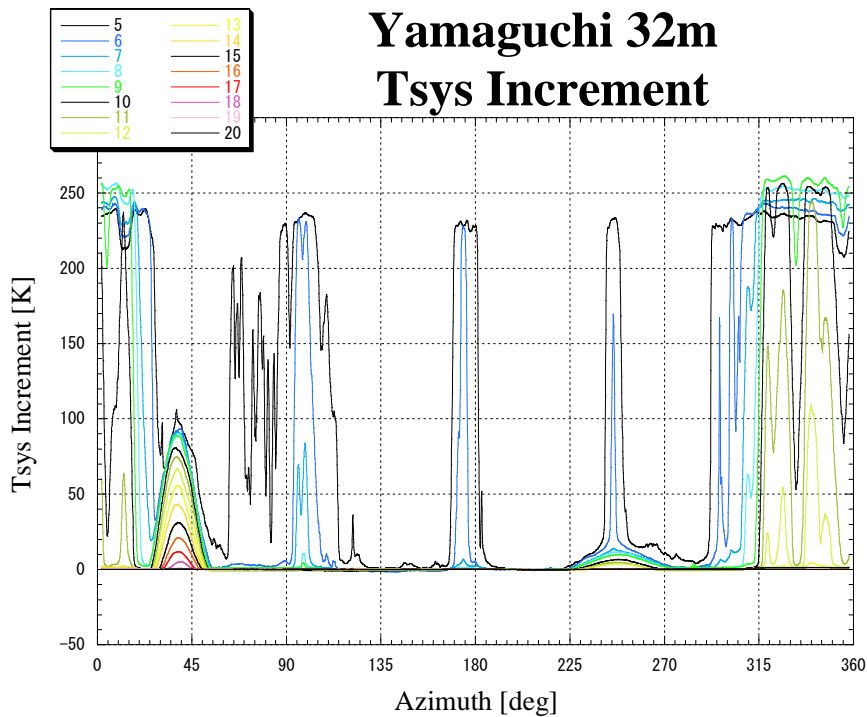


図 2. 地面の放射によるシステム雑音温度の上昇

この結果は、ほぼ仰角に対して単調減少の関数となっている。

#### (5) スカイラインの計算

付録Bに入力と出力を示した。この計算では、まず、仰角を1度ずつ下げていき、設定した温度上昇Xをはさむ2つの仰角を得る。2つの仰角でのシステム雑音温度上昇分を直線近似し、温度上昇がXとなる仰角を計算する。こうして得られた『地面の放射の影響でシステム雑音温度がX [K] 上昇するスカイライン』を図3に示す。

## Yamaguchi 32m Skyline

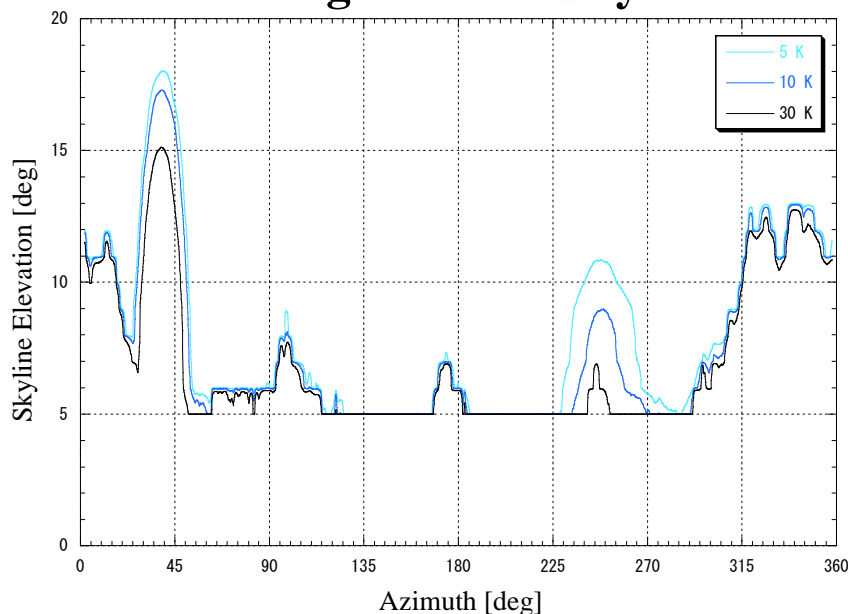


図3. スカイライン (システム雑音温度上昇= 5、10、30 K)

### 4. 考察

#### 4-1. 測定と解析

測定日ごとに気象条件が変わっている影響が、結果にも若干の影響を及ぼしている。測定はできるだけ連続して短時間のうちに行うこと、また好天気で安定した条件で行う事が望ましい。

今回の測定ではシステム雑音温度ではなく、パワーだけの測定であった。そのため後の解析が複雑になっている。これを避けるためにシステム雑音温度を連続的に測定する事が望ましい。

仰角の間隔は1度おきとしたが、できるだけ細かな間隔とする事が望ましい。特に山を見始める仰角ではシステム雑音温度の変動が激しいため、1度間隔では測定データが仰角方向に急激に変化する。今回得られたスカイラインも、1度間隔で緩く量子化された様子が見られ、全体としてギクシャクしたものとなっている。

#### 4-2. スカイライン

##### ・北側の山

スカイラインには、特徴的な形状が現れている。315-360-20度は、仰角12度程度で山を見込んでいる。観測を行う上で、北側はスカイラインが高いことに注意が必

要となる。

- ・ Y 2 アンテナ

40度の方向にある高い山はY 2 アンテナである。システム雑音温度の上昇にはあまり寄与しないものの、18度という高仰角まで影響が現れる。この方向の観測は要注意である。

- ・ 南側

逆に、南側は谷を見込む方向なのでスカイラインがリミット（5度）より低く、極めて視界が開けている。115－230度の範囲は、170－180度の狭い範囲を除き、ほとんど無制限と考えてよい（ただし真南は山があることに注意）。

- ・ 東方便山と松の木

245度付近の山は2つの要素からなる。1つは東方便山（仁保峠の南側にある山）である。これが中央の鋭いピークに対応している。その周りになだらかに広がる構造は、32m電波望遠鏡のすぐ脇にある松の木である。低仰角では、松の木を見込むことになる。しかし、この測定後、松の木は切られてなくなってしまった。したがって、スカイラインはこの測定結果とは異なった形となっている。これは注意すべき点である。

==以上==



付録

A. 時刻に対するデータを角度に対するデータへ変換

測定データの形式 (sky-1.bas の入力ファイル形式)

#1	ヘッダ 1 番号
2002/09/13	ヘッダ 2 日付
5.0	ヘッダ 3 仰角
2	ヘッダ 4 開始方位角
358	ヘッダ 5 終了方位角
020913el5az2-358.dat	ヘッダ 6 ファイル名
2 06:30:00	ヘッダ 7 時刻と角度データ AAA HH:MM:SS
45 06:32:58	ヘッダ 8 同上、2個以上、任意数のデータ
90 06:36:04	ヘッダ 9 同上
180 06:42:17	ヘッダ 10 同上
270 06:48:29	ヘッダ 11 同上
315 06:51:35	ヘッダ 12 同上
358 06:54:34	ヘッダ 13 同上
06:29:32 -13.486	データ HH:MM:SS PPP.PPP
06:29:32 -13.486	以下同様
06:29:32 -13.487	
06:29:32 -13.486	※ヘッダは、データファイルに手作業で編集して付加する
06:29:32 -13.486	
06:29:32 -13.487	
06:29:32 -13.484	
06:29:33 -13.482	
06:29:33 -13.482	
06:29:33 -13.483	
06:29:33 -13.484	
06:29:33 -13.483	
06:29:33 -13.483	
06:29:33 -13.484	
06:29:33 -13.484	
06:29:33 -13.485	

方位角毎の受信パワー (sky-1.bas の出力ファイル形式)

#1					ヘッダ 1 番号
2002/09/13					ヘッダ 2 日付
5.0					ヘッダ 3 仰角
020913el5az2-358.dat					ヘッダ 4 ファイル名
2	45	23400	23578	.241573	ヘッダ 5 角速度データ
45	90	23578	23764	.241935	方位角 1 方位角 2 通過
90	180	23764	24137	.241287	時刻 1 通過時刻 2 角速
180	270	24137	24509	.241935	度 [度/秒]
270	315	24509	24695	.241935	
315	358	24695	24874	.240223	
2	.	-13.48			方位角と受信パワー
2.1	.	-13.48			同上
2.2	.	-13.479			
2.3	.	-13.479			
2.4	.	-13.478			
2.5	.	-13.479			
2.6	.	-13.478			
2.7	.	-13.477			
2.8	.	-13.474			
2.9	.	-13.477			
3	.	-13.473			
3.1	.	-13.475			
3.2	.	-13.469			
3.3	.	-13.469			
3.4	.	-13.467			
3.5	.	-13.469			
3.6	.	-13.465			

付録B. 角速度について

アンテナの駆動角速度について調べた。結果を表B 1、図B 1に示す。

方位角が45-315度の範囲では、仰角が一定であればほぼ同じ角速度を示している。駆動が終了する最後の角度範囲（315→358、または45→2度）では、0.001 deg/sec程度（約0.5%）の減速が見られるが、これは最後の減速に影響されたものと考えられる。したがって、仰角が一定であれば、（角度指定コマンドに対して）角速度は一定値を示すことがわかる。

CWとCCW方向では、ほとんど差がない。

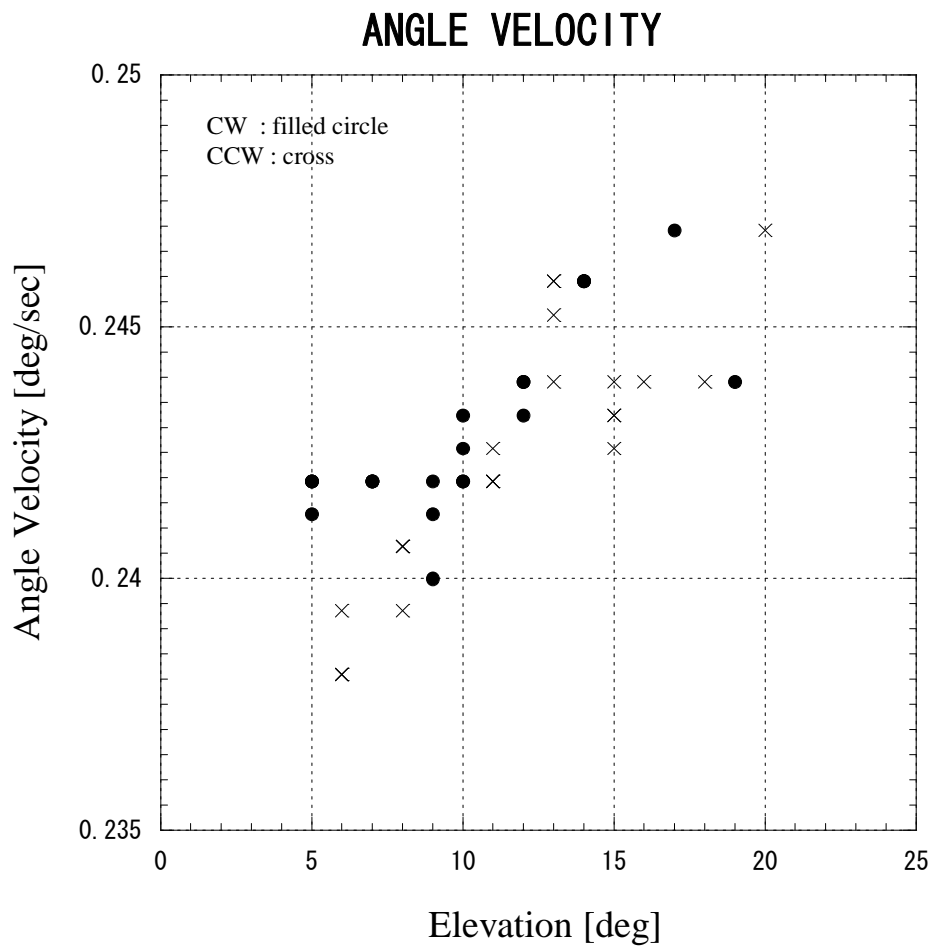
仰角に対する依存性がある。測定した範囲内では、仰角が高くなると角速度が増加する。アンテナが低仰角の場合、バランスが取れていないため駆動に対する抵抗が大きい、などの理由が考えられる。

表B 1. アンテナ駆動角速度（単位は deg/sec）

CW（時計回り方向）							
AZ	EL	5	7	9	10	12	14
2	45	0.241573	0.241573		0.241573		0.244318
45	90	0.241935	0.241935		0.241935		0.245902
90	180	0.241287	0.241935	0.24	0.241935	0.243902	0.245902
180	270	0.241935	0.241935	0.241287	0.242588	0.243902	0.245902
270	315	0.241935	0.241935	0.241935	0.243243	0.243243	0.245902
315	358	0.240223	0.240223	0.240223	0.242938	0.242938	0.241573
AZ	EL	17	19				
30	50	0.246914	0.243902				

CCW（反時計回り方向）							
AZ	EL	6	8	11	13	15	
358	315	-0.23757	-0.24022	-0.24022	-0.24157	-0.24022	
315	270	-0.2381	-0.23936	-0.24194	-0.2459	-0.24324	
270	180	-0.2381	-0.24064	-0.24194	-0.24523	-0.2439	
180	90	-0.2381	-0.24064	-0.24259	-0.2439	-0.24259	
90	45	-0.23936	-0.24064	-0.24194	-0.2459	-0.24324	
45	2	-0.23889	-0.24022	-0.24294	-0.24022	-0.23757	
AZ	EL	16	18	20			
50	30	-0.2439	-0.2439	-0.24691			



図B 1. 角速度の仰角依存性  
 (駆動開始直後、駆動停止直前のデータは除かれている)