

日立アンテナの 6 GHz 帯の混信調査

茨城大学 理学部理学科物理学コース
学籍番号 15S2017H

川上泰輝

目次

1	はじめに	3
2	手法	4
2.1	混信の起きた時刻を求める	4
2.1.1	混信を探す	4
2.1.2	混信の正確な時刻を求める	4
2.2	混信の原因を探る	5
2.2.1	混信のスペクトルを確認する	5
2.2.2	時刻からアンテナ指向方向にあったものを確認する	5
2.2.3	アンテナ指向方向にどれだけ近づいたのかその離角を求める	6
3	調査結果	7
4	考察	10
4.1	離角と強度の検証	10
4.2	原因不明の混信	12
5	まとめと課題	13
付録 A	今回の混信	14
A.1	totalpower の変動プロット (1 日分)	15
A.2	混信による totalpower の変動プロットの拡大図	17
A.3	スペクトル	20
付録 B	参考文献	21

1 はじめに

日立アンテナでは、6.668GHz のメタノールレーザーを放出する天体の大規模なモニター観測を行っており、観測システムの健全性の確認のため常時 6GHz 帯（約 6600-7112MHz）のトータルパワーをパワーメーターを用いて計測し、記録している。時々、通常の約 10 倍の強度の信号が混信することがある。このような強烈な混信があると、観測データが使えなくなるだけでなく、観測装置（受信機）の損傷につながる危険性がある。この原因は何かを調べる。また、原因の特定から混信の影響を抑えることが本研究の目的である。2018/10/25～2018/11/7 の記録データから混信があった時間を調べその原因を探った。考えられる原因としては人工衛星、太陽、月をあげ、それぞれについて調べた。

2 手法

2.1 混信の起きた時刻を求める

2.1.1 混信を探す

トータルパワーの記録から一日分の強度変動をプロットし、モニター観測以外の原因による短時間の大きな変動を探した。混信は主に十数秒間の変動であるため数時間ごとの強度変動を確認し 0.3dB 以上のものを混信とした。(0.3dB という値は混信の原因を調べるにあたり混信とはっきりわかる大きさであることから定めた)。一日ごと混信に時刻の早いものから番号を付けた。(以降、混信番号と呼ぶ)。また、それぞれの混信に対して強度変動の大きさを記録した。

2.1.2 混信の正確な時刻を求める

2.1 で探した混信の正確な時刻を求めるために、混信それぞれに対してトータルパワーの強度変動プロットを拡大し 10 秒から 20 秒間の混信時付近のトータルパワーの強度変動をプロットし、図として記録した。またその図から混信のピークの時刻を求め、この時刻を混信の正確な時刻とした。

2.2 混信の原因を探る

2.2.1 混信のスペクトルを確認する

混信があった時刻が広帯域記録装置 (6600-7112MHz) を用いた観測中だった場合、分光データが存在する。分光データがあるものに対して混信があった時刻の一秒間のスペクトルを作成した。

globalstar 衛星

ここで結果の一部に触れてしまうことになるのだが、混信のスペクトルを確認したところ、次の図 1 ようなスペクトルを持つ混信が確認された。

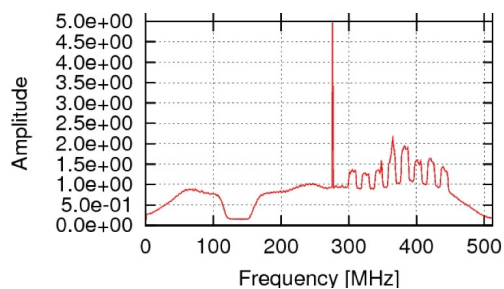


図 1 混信のスペクトル

2018/10/27 4:28:10-4:28:11(UT)

※実際の周波数 (Frequency) は図の値に 6600MHz 加えたもの

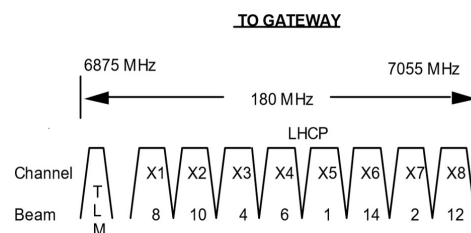


図 2 globalstar(衛星) が地上アンテナに送信する電波のスペクトル*2

このスペクトルは globalstar(衛星) が地上に送信する図 2 の電波のスペクトルとよく似ており、図 1 の混信は globalstar(衛星) による可能性が高いということが分かった。よって、以降より globalstar(衛星) を含めた混信の原因調査を行っていく。

2.2.2 時刻からアンテナ指向方向にあったものを確認する

アンテナが向いていた方向のログがあるので、人工混信があった時刻から方向を特定し、PreviSat というソフトウェアを用いて、太陽、月、人工衛星 (globalstar) がアンテナ指向方向付近にあったか確認した。

*2 参考 description of the globalstar system (2000)

PreviSat とは

PreviSat とは、太陽、月、人工衛星の位置情報を調べることができるソフトウェアである。観測地点の位置座標と標高を入力することで任意の時刻における観測地点から見た太陽、月、人工衛星の方位角 (Azimuth) と仰角 (Elevation) を求めることができる。

2.2.3 アンテナ指向方向にどれだけ近づいたのかその離角を求める

PreviSat により混信が起きた時刻にアンテナ指向方向に太陽、月、人工衛星が確認された場合、一秒ごとの (PreviSat で求めることのできる位置情報が一秒ごとであるため) 対象とアンテナビーム中心との離角を求める。また最接近時の時刻を記録した。

離角の計算には以下の式を用いた。

$$\text{離角 (}^\circ\text{)} = \sqrt{(A - B)^2 + [(X - Y) \cos(A)]^2}$$

Antenna
Azimuth : X
Elevation : A

PreviSat
Azimuth : Y
Elevation : B

※単位はすべて (°) 表記

3 調査結果

2018/10/25～2018/11/7 のトータルパワーの記録について混信の調査をした。その期間には混信は全部で 49 回あった。分光データから人工衛星 (globalstar) からの信号とスペクトルがよく似ていることが分かった。またソフトウェア PreviSat を用いることでアンテナ指向方向付近に衛星 (globalstar) が入ったことも確認された。人工衛星 (globalstar) がアンテナビームを通過したことが原因と考えられるものは 34 回あり、月が 1 回、太陽が 1 回、アンテナ指向方向に接近したことが原因である。その他 13 回については本研究では原因がわからなかった。

今回の研究結果をまとめたものを表 3.1(調査結果まとめ) に記載する。

調査結果まとめ

混信 番号	日時(UT)	DOY (UT)	Time (UT)	強度 (dBm)	スペクトル	アンテナの向き		原因	アンテナ付近に あったもの	時刻 (最接近)	最接近時 の離角 (°)	アンテナ の動き	時刻のずれ
						AZ	EL						
1	2018/10/24	297	15:39:17	1	分光データなし	165.043	46.399	不明	×	×	×	切り替え	×
2	2018/10/24	297	15:39:27	5	分光データなし	162.963	46.431	不明	×	×	×	切り替え	×
3	2018/10/24	297	23:31:27	6	分光データなし	131.949	28.112	sun	sun	23:31:29	0.9	切り替え	0:00:02
1	2018/10/25	298	1:43:17	1	分光データなし	130.000	85.000	globalstar?	M065	1:43:29	3.1	停止中	0:00:12
2	2018/10/25	298	11:44:27	1	人工的ではない	257.225	20.578	不明	×	×	×	追尾	×
3	2018/10/25	298	16:59:47	1	分光データなし	144.532	40.339	不明	×	×	×	停止中	×
1	2018/10/26	299	0:02:07	4	分光データなし	130.000	85.000	globalstar?	M095	0:01:59	0.8	停止中	0:00:08
2	2018/10/26	299	9:09:12	2	分光データなし	221.771	36.404	globalstar?	M092	9:09:14	0.9	追尾	0:00:02
3	2018/10/26	299	11:25:36	1	分光データなし	257.595	30.883	不明	×	×	×	追尾	×
1	2018/10/27	300	1:14:03	1	分光データなし	130.000	85.000	globalstar?	M065	1:14:12	2.6	停止中	0:00:09
2	2018/10/27	300	4:28:11	10	globalstarと一致	135.377	32.004	globalstar	M080	4:28:12	0.1	切り替え	0:00:01
3	2018/10/27	300	8:21:03	1	分光データなし	209.803	31.330	不明	×	×	×	切り替え	×
4	2018/10/27	300	19:02:25	7	分光データなし	144.204	40.207	globalstar?	M070	19:02:29	0.4	停止中	0:00:04
1	2018/10/28	301	14:23:16	1	人工的ではない	96.033	42.659	globalstar?	moon	14:23:16	0.4	切り替え	0:00:00
2	2018/10/28	301	22:01:23	4	globalstarと一致	130.000	12.171	globalstar	M071	22:01:23	0.2	切り替え	0:00:00
1	2018/10/29	302	12:20:05	7	分光データなし	271.667	23.134	globalstar?	M070	12:20:06	0.5	追尾	0:00:01
2	2018/10/29	302	18:33:07	1	分光データなし	144.742	40.423	globalstar?	M070[+]	18:33:07	1.0	停止中	0:00:00
3	2018/10/29	302	18:52:12	0	分光データなし	144.742	40.423	globalstar?	M093[+]	18:52:08	1.2	停止中	0:00:04
4	2018/10/29	302	21:43:32	1	分光データなし	144.742	40.424	globalstar?	M088[+]	21:44:02	0.6	停止中	0:00:30
1	2018/10/30	303	3:38:15	1	分光データなし	125.981	28.385	globalstar?	M072[+]	3:38:25	0.9	追尾	0:00:10
2	2018/10/30	303	10:49:57	1	分光データなし	45.218	39.287	globalstar?	M080[+]	10:49:59	0.6	追尾	0:00:02
1	2018/10/31	304	3:58:39	1	分光データなし	131.414	32.199	不明	×	×	×	追尾	×
2	2018/10/31	304	4:28:55	2	分光データなし	167.788	15.947	globalstar?	M097[+]	4:29:01	0.4	追尾	0:00:06
3	2018/10/31	304	7:55:40	1	分光データなし	208.542	20.716	globalstar?	M095[+]	7:55:30	0.7	追尾	0:00:10
4	2018/10/31	304	10:42:07	1	分光データなし	250.459	26.871	globalstar?	M090[+]	10:42:07	2.7	切り替え	0:00:00
5	2018/10/31	304	12:02:50	0	分光データなし	269.960	24.135	不明	×	×	×	切り替え	×
6	2018/10/31	304	14:28:47	1	分光データなし	99.257	35.204	globalstar?	M073[+]	14:28:44	0.8	追尾	0:00:03
7	2018/10/31	304	18:35:57	0	globalstarと一致	227.350	69.950	globalstar	M079[+]	18:35:55	0.4	追尾	0:00:02
1	2018/11/1	305	11:51:05	2	分光データなし	265.885	21.354	globalstar?	M074[+]	11:51:07	0.7	追尾	0:00:02
1	2018/11/2	306	6:27:00	1	分光データなし	187.727	28.871	globalstar?	M092[+]	6:27:00	0.5	追尾	0:00:00
2	2018/11/2	306	11:16:22	17	分光データなし	257.794	21.414	globalstar?	M076[+]	11:16:24	0.1	追尾	0:00:02
3	2018/11/2	306	20:38:29	3	分光データなし	153.275	31.632	globalstar?	M078[+]	20:38:46	2.1	切り替え	0:00:17
4	2018/11/2	306	21:34:18	1	分光データなし	273.112	34.606	globalstar?	M075[+]	21:34:14	0.3	追尾	0:00:04
5	2018/11/2	306	22:34:06	8	分光データなし	242.022	22.999	globalstar?	M078[+]	22:34:17	3.4	切り替え	0:00:11
1	2018/11/3	307	0:55:48	10	分光データなし	129.998	84.991	globalstar?	M090[+]	0:55:35	0.2	停止中	0:00:13
2	2018/11/3	307	7:54:05	2	分光データなし	209.985	31.691	不明	×	×	×	切り替え	×
3	2018/11/3	307	10:06:40	5	分光データなし	243.988	27.633	globalstar?	M070[+]	10:06:43	0.4	追尾	0:00:03
4	2018/11/3	307	17:35:36	12	分光データなし	144.354	40.268	globalstar?	M074[+]	17:35:37	0.2	停止中	0:00:01
5	2018/11/3	307	20:26:35	1	分光データなし	144.354	40.268	globalstar?	M075[+]	20:26:30	1.2	停止中	0:00:05
1	2018/11/4	308	5:59:34	18	分光データなし	174.530	41.951	globalstar?	M092[+]	5:59:35	0.1	追尾	0:00:01
2	2018/11/4	308	13:40:53	11	分光データなし	274.248	39.681	globalstar?	M094[+]	13:40:57	0.8	切り替え	0:00:04
1	2018/11/5	309	5:43:49	18	分光データなし	177.975	32.789	globalstar?	M095[+]	5:43:58	0.1	追尾	0:00:09
2	2018/11/5	309	10:20:12	1	分光データなし	248.247	23.900	不明	×	×	×	切り替え	×
3	2018/11/5	309	13:29:10	1	分光データなし	328.660	49.788	globalstar?	M077[+]	13:29:04	0.9	追尾	0:00:06
4	2018/11/5	309	14:44:41	13	分光データなし	90.727	55.085	globalstar?	M065[+]	14:44:45	1.8	切り替え	0:00:04
5	2018/11/5	309	22:44:07	1	分光データなし	130.011	85.000	globalstar?	M096[+]	22:44:13	2.0	停止中	0:00:06
1	2018/11/6	310	22:33:32	4	分光データなし	241.952	22.999	不明	×	×	×	切り替え	×
2	2018/11/6	310	23:07:00	0	分光データなし	130.001	85.000	不明	×	×	×	停止中	×
3	2018/11/6	310	23:25:30	0	分光データなし	130.001	85.000	不明	×	×	×	停止中	×

表 1 調査結果のまとめ

補足

スペクトルについて

globalstar と一致 → スペクトルが globalstar 衛星と似ていたもの

人工的ではない → スペクトルに globalstar 衛星のスペクトルの特徴がみられないもの

分光データなし → 広帯域記録装置を用いた観測中ではなく、分光データが存在せずスペクトルの作成ができないもの

原因決定に用いた判断基準について

globalstar → 混信のスペクトルが globalstar 衛星のものと似ているもの

globalstar? → 分光データなし、かつアンテナビーム付近に globalstar 衛星が確認されたもの

sun → アンテナビーム付近に太陽が確認されたもの

moon → アンテナビーム付近に月が確認されたもの

不明 → アンテナビーム付近に globalstar、太陽、月が確認できなかったもの

アンテナの動き

切り替え → 次の観測ポイントに向け移動中

停止中 → アンテナが drive off

追尾中 → 観測天体を追尾中

4 考察

4.1 離角と強度の検証

実際に混信があった時刻というのは広帯域記録装置を用いた観測中でなかったり、分光データがそのデータ量の大きさから今回の解析実施時には既に削除されてしまったものも多く、スペクトルから混信の原因を調べられるものは少なかった。また、PreviSat の計算精度が示されていないこと、衛星が常に同じ強度の電波を送信しているのかわからないことから globalstar がアンテナ指向方向付近にいたことが確認されたものに対しても、その混信の原因を globalstar 衛星と断定することができなかった。

分光データがないものに対して PreviSat により求められた globalstar 衛星とアンテナビーム中心との離角とトータルパワーの強度変化より、globalstar 衛星の混信となりうる範囲の見積りをした。

図 3 が離角と強度の相関図である。

図 4 は強度の比較的大きな混信の globalstar 衛星との離角と強度の時間変化をプロットしたものである。

※注意 トータルパワーの強度変動が 1 秒間に複数回記録されるのに対し、求めることのできる離角は 1 秒につき 1 つであるため同じ離角で強度が変動しているように見える。今回は解析時間の関係上、内挿して対応する角度を求めなかった。

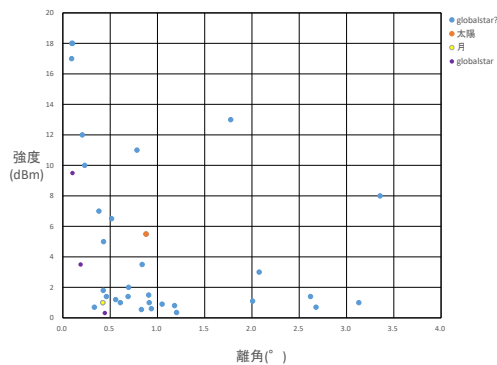


図 3 離角と強度の相関図

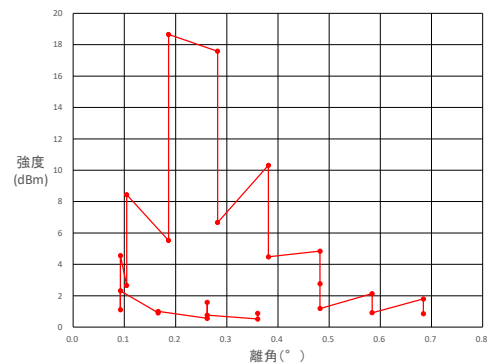


図 4 DOT306 混信番号 2

図 3 より離角の離れたもので強度がある程度高く、globalstar が原因だと思われる混信は PreviSat の計算精度、または他に原因があると考えられる。離角が小さく強度が高い globalstar が原因だと思われるものに関しては原因が globalstar 衛星によるものとして間違いないだろう。

最接近時の強度が最大になるはずであるが、図 4 より強度のピークと最接近時刻にずれがあり PreviSat の計算精度に問題があることがわかる。また globalstar 衛星の信号は強力でアンテナのサイドローブからも信号が混入していることがわかる。

下図 5 は図 3 と図 4 を重ね合わせたものである。

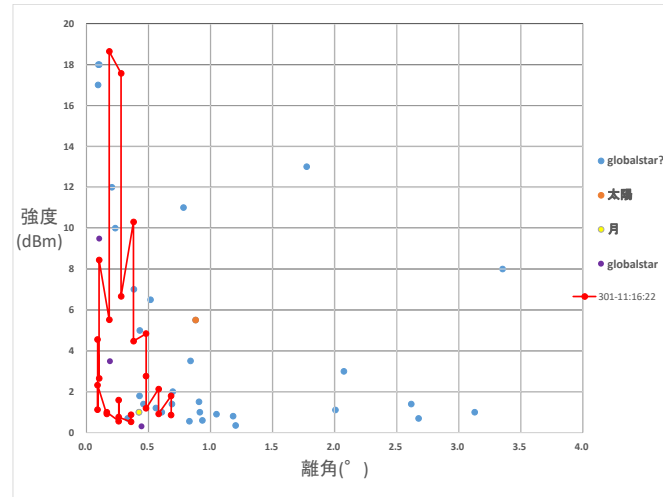


図 5 図 3 と図 4 を重ねたもの

図 5 を見ると PreviSat の位置計算誤差を加味しても PreviSat を用いて求められた離角が 1.5° 以上かつ混信強度が -3dB 以上のものは globalstar 衛星が原因であるとは考えにくいことがわかる。逆に分光データがない場合も 1.5° 未満に globalstar 衛星が近づいた場合は混信の原因は globalstar 衛星である可能性が高い。

4.2 原因不明の混信

PreviSat を用いても原因がわからなかったものについては混信の原因として天体 (惑星や AGN などの連続波源、あるいはメーザー源) が考えられる。混信混入時にアンテナが静止していたか、天体の追尾中か、次の天体を向くために方向を変えている途中であるかによって、その信号の発信源をある程度推測することができる。

アンテナが静止しているときに混信が確認された場合、地球の自転により天体がアンテナ指向方向を通過する時間は、天体の移動速度が

$$\text{天体の移動速度} = 0.004 * \cos(\text{赤緯}) (^{\circ} / \text{秒})$$

で考えられ、アンテナのビームサイズが 0.1° 程度であるため

$$\text{ビーム内通過時間 (天体)} = \frac{0.1}{0.004 \cos(\text{赤緯})} = 25 \cos(\text{赤緯}) (\text{秒})$$

と求められるこの程度の時間をかけてゆっくりと強度が変化する場合は天体が原因の可能性が高い。

アンテナが観測天体を追尾中である場合、混信源は人工衛星の可能性が高い。

アンテナが次の観測ポイントに向け移動中である場合は、トータルパワーの強度変化のパターンのみから混信源を推定することは難しい。

5 まとめと課題

考察より 1.5° 未満に近づいた globalstar 衛星は混信の原因となる。よって 49 回中 27 回は globalstar 衛星によるものと考えていいだろう。また、原因がはっきりしないものは 20 回であった。以上の結果より混信の半数以上は globalstar 衛星が原因である。globalstar 衛星はとても数が多く地球上空の軌道を高速で飛翔するため、この混信を抑えるのはとても困難である。事後の対応 (混信が起きてから、観測への影響を抑えるために混信があった時間帯のデータを使わないようにするなど) は可能であるが、事前の対応 (混信が起きないようにアンテナを動かすなど) で混信を減らすためにどうするかが今後の課題となる。

今回は 6GHz 帯の混信調査を行ったが、8GHz 帯でも同様に混信が確認されており、原因はまだわかっていない。こちらの調査も必要である。

付録 A 今回の混信

今回の研究で見つかった混信について記録したデータの一覧である。

plot 方法詳細

(1) 高萩の macmini に記録されているパワーメーターの数日分の記録ファイル (yyyymmddhhmm.txt ファイル名は記録開始時の JST) の中身を、時刻 (UT)、パワーの形式に変換

```
$veeread2018 yyyymmddhhmm.txt 出力ファイル名.pm0 0
```

(2) ファイルを日付ごとに分別

pm0 ファイルの内容は、

year,doy,month,day,hour(UT),min,sec,powerA(dBm),powerB(dBm) であるから、

```
$grep -i 'year, doy, month, day' '検索ファイル名.pm0' > '出力ファイル名.pm0'
```

で一日分のファイルを作った。

(3) 最後に gnuplot を用いてプロット

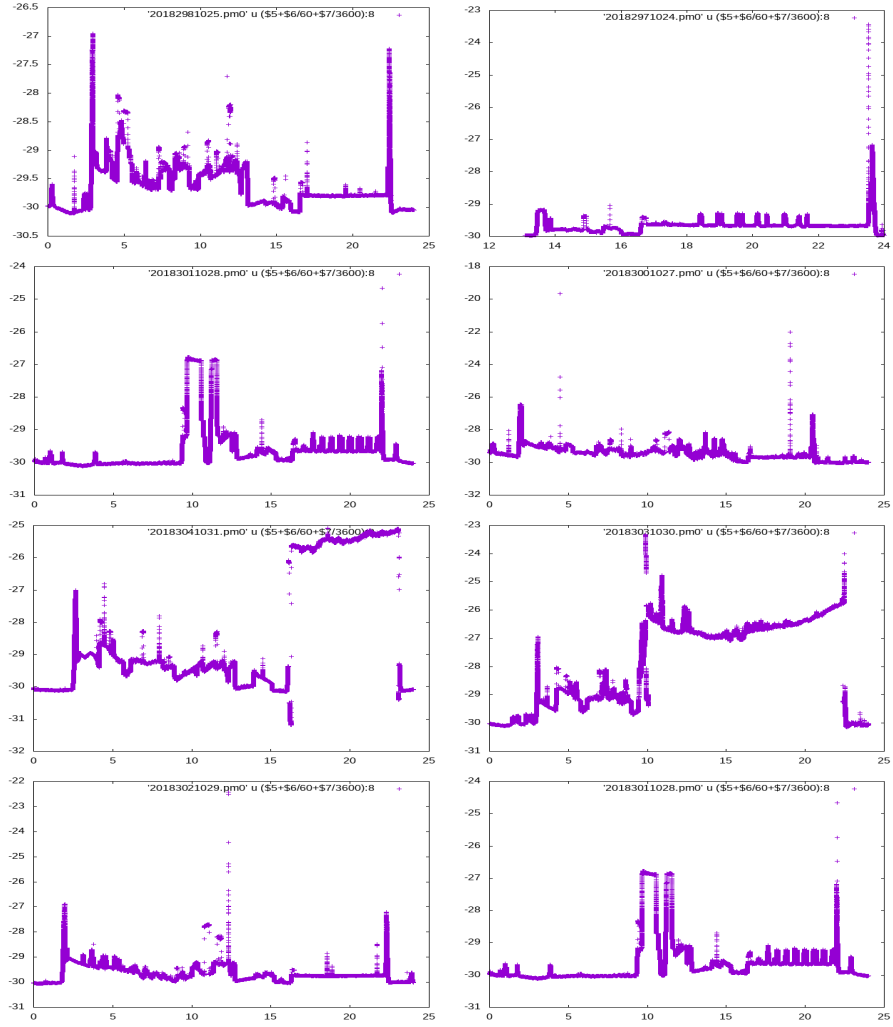
```
$plot '一日分のファイル.pm0' u ($5+$6/60+$7/3600):8
```

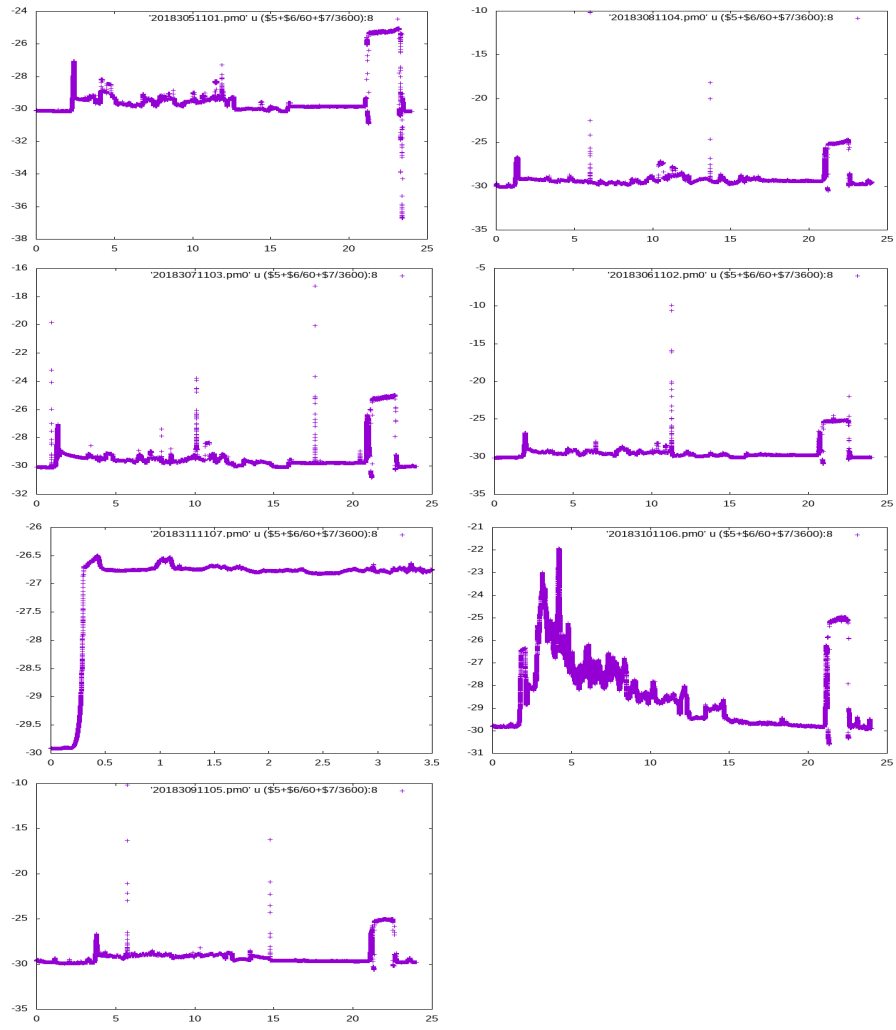
混信による totalpower の変動をプロットする際は、

```
$plot '一日分のファイル.pm0' u ($5-時+$6-分/60+$7-秒/3600)*3600:8
```

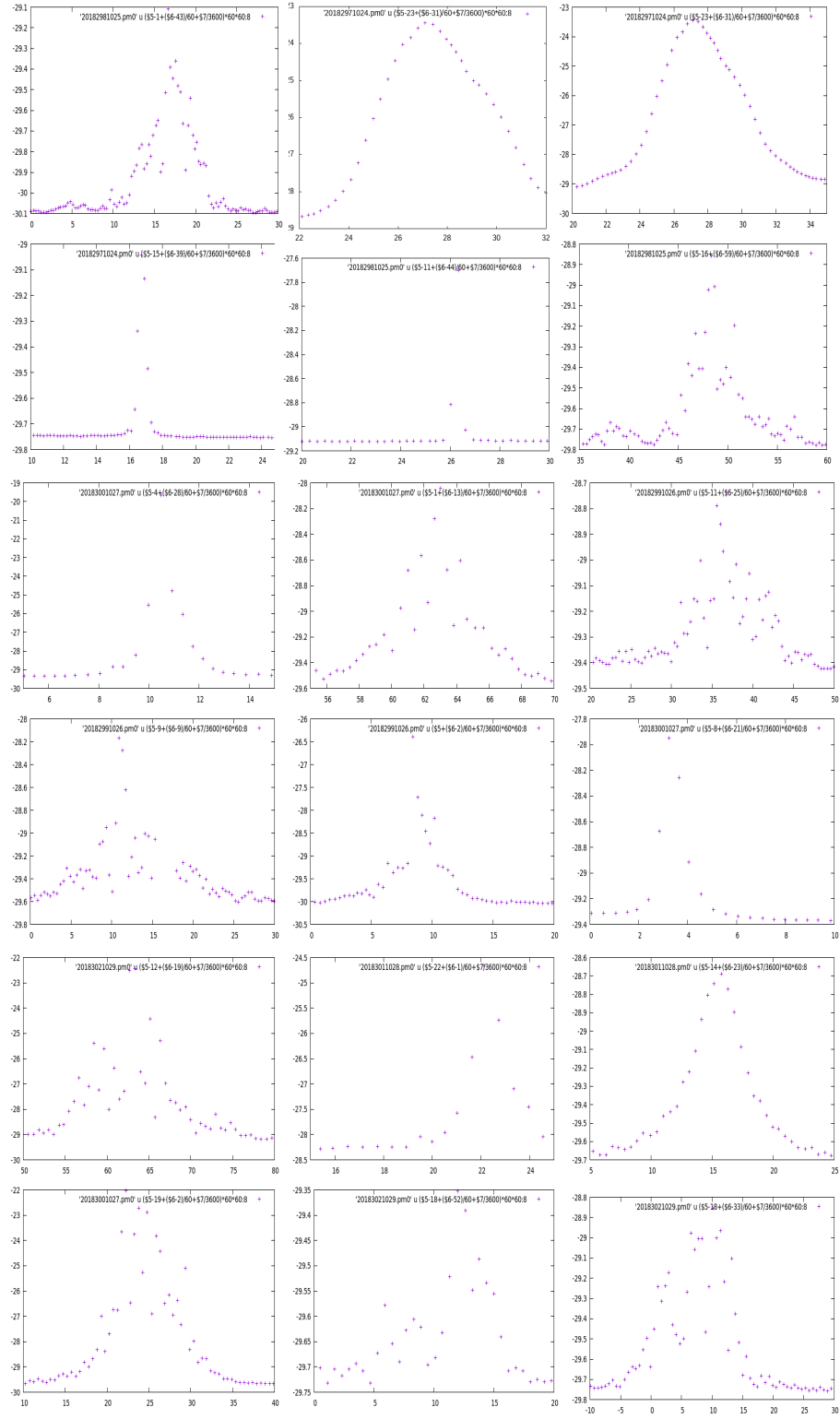
としてプロットを見たい時刻までずらし、秒スケールに拡大する。

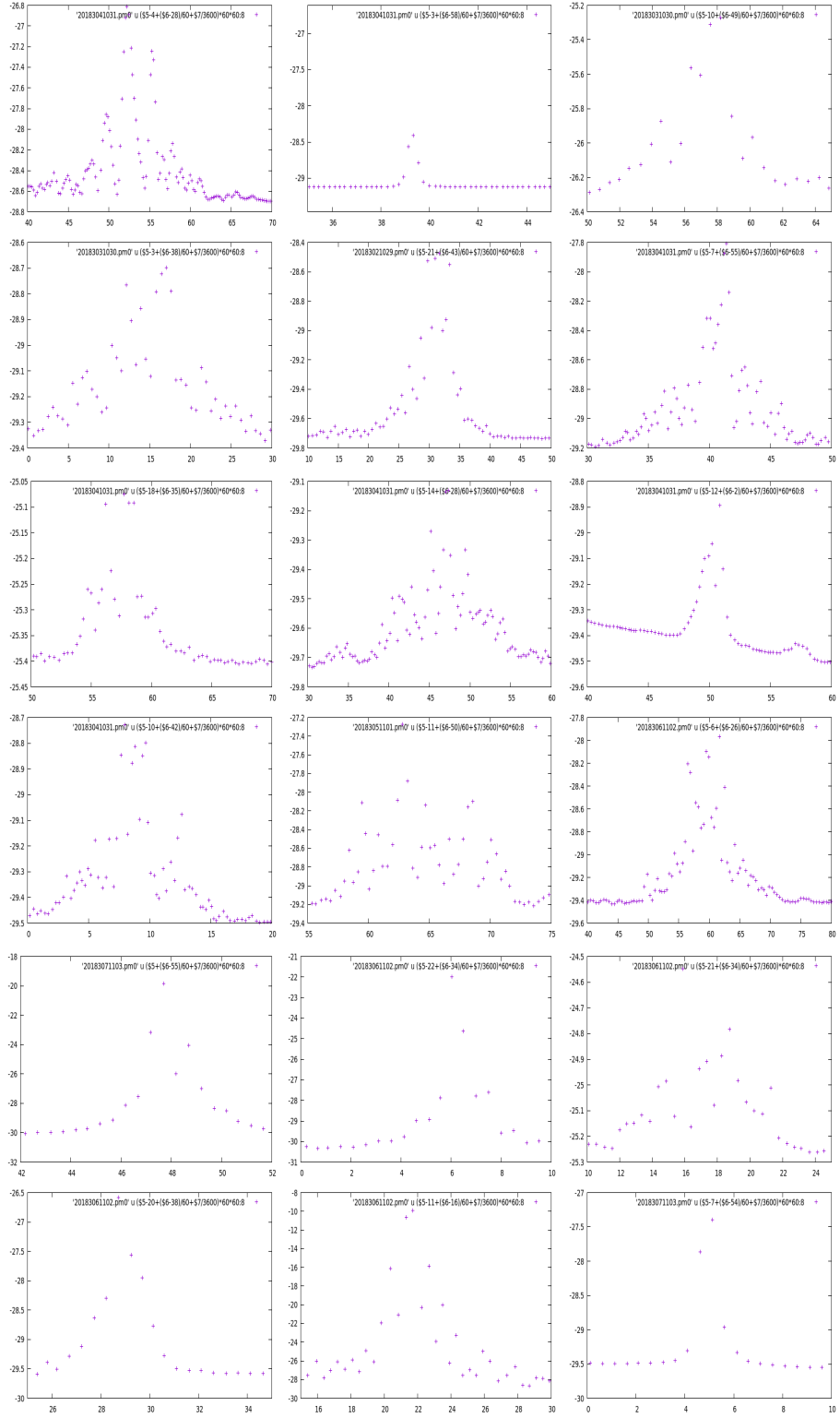
A.1 totalpower の変動プロット (1 日分)

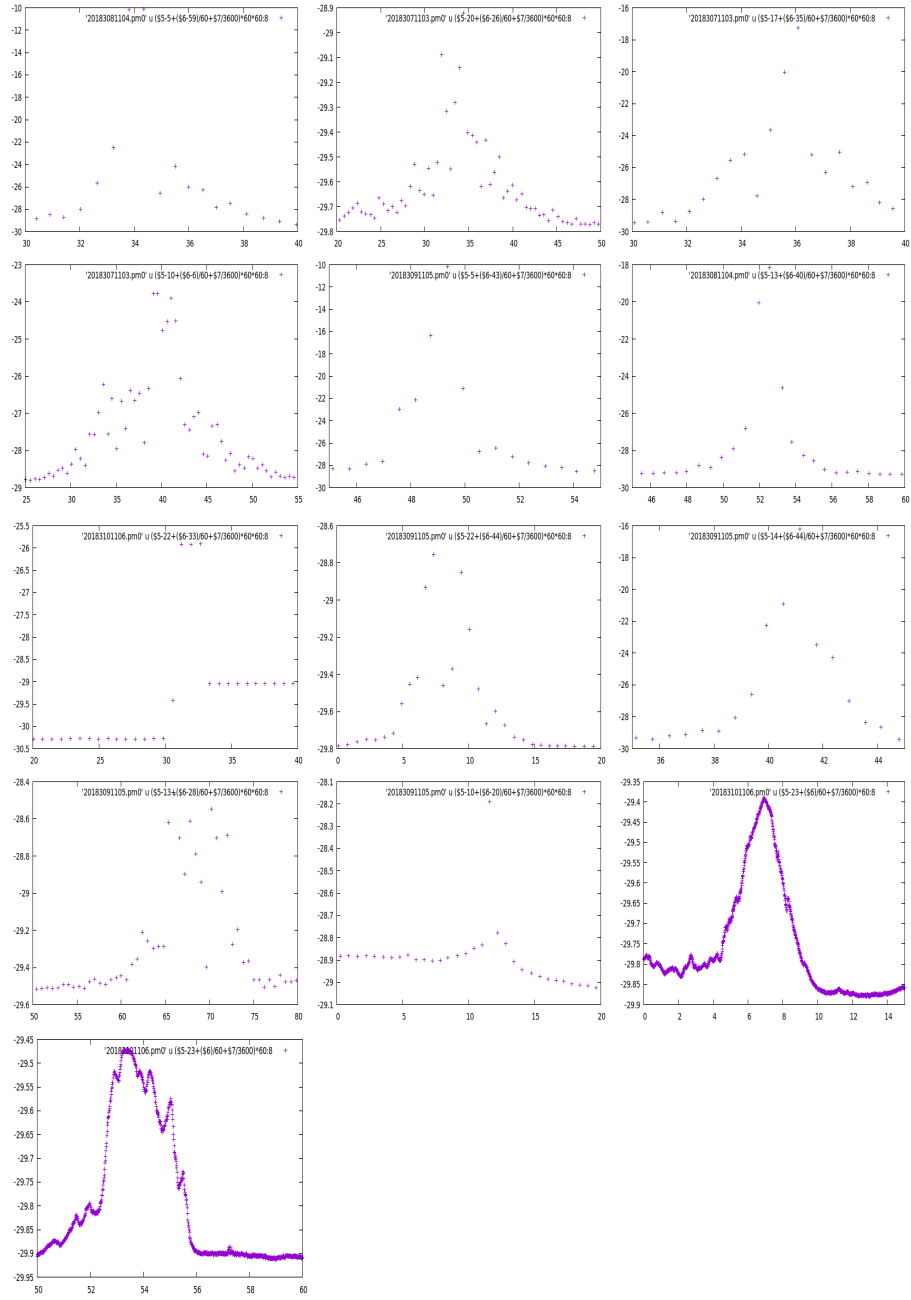




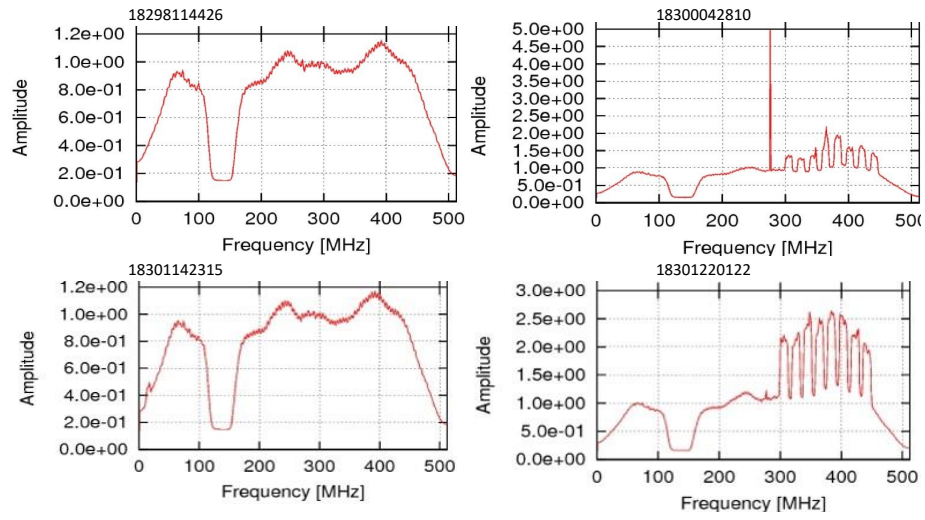
A.2 混信混入時付近の totalpower の変動プロットの拡大図







A.3 スペクトル



付録 B 参考文献

- ・ description of the globalstar system (2000)
- ・ PreviSat (<http://previsat.sourceforge.net>)