

高萩、日立 32m 電波望遠鏡の解析プログラムについて

学籍番号：07s2009n 氏名：小林 伸悟

2011 年 3 月 8 日

概要

宇宙観測研究室電波グループでは、平成 23 年度 1 月現在、高萩市にある高萩、日立 32m 電波望遠鏡を使った研究を進めている。本研究では、その望遠鏡から得られるログの解析プログラムの作成を行った。

得られるログには、アングルログ、パワーログの 2 種類のログがある。アングルログとは、ある時刻における方位角や仰角などの情報が載っている望遠鏡のログであり、パワーログとは、ある時刻における電波強度の情報が載っているログである。2 つのログは、時刻の間隔が違ったり、時刻が抜けている部分があるなど、書式がまるで違うため、そのままの状態では扱うことができない。そこで本研究では、この 2 つのログを扱いやすい形にすることを主な目的に解析プログラムの作成を行った。解析プログラムから主に、ある時刻に対する方位角、仰角と電波強度の両方の情報をひとつにまとめること、アングルログの時刻飛び情報のコメント行とバグの行の分離、コメント行のログを参照することで、ある時刻の望遠鏡の命令をわかりやすくするといったことができるようになった。また、プログラムの拡張により、電波強度を [dBm] から [mW] への変換したり、システム雑音温度に変換したり、西暦情報を総秒数に変換したときの数値の確認などもできるようにした。第 I 部では、このプログラムの使用方法や、アルゴリズムの詳細の説明をまとめた。ソースの詳細内容を知りたい場合、別冊の付録「プログラムのソースファイル」も参考にプログラムの内容を理解していただきたい。

この解析プログラムでの一番の成果は、簡単にある時刻における方位角や仰角と電波強度の情報を同時に知ることができるようになったことである。これは例えば、望遠鏡のスカイライン解析や天体のポインティング性能評価、天体のトラッキングの精度評価などの様々な解析に役立つことが期待できる。そこで、第 II 部では、このプログラムの活用例として研究した Skyline 測定の結果をまとめた。スカイラインとは地上と空 (Blank Sky) の境界線のことである。解析から描ける等高線を参照すれば、地上の電波の影響を受ける座標を知ることができ、天体の観測の計画を立てる上で役立てることができる。

目次

第 I 部	プログラミングによるログの解析	3
1	プログラム hita.exe の概要	3
1.1	アングルログ (2 種類) とパワーログ、その実行プログラムについて	3
1.2	コンパイルについて	4
1.3	使用方法	5
1.4	ソース、完成ファイルの概要	6
1.5	コマンドライン引数によるオプション指定について	6
2	プログラム hita.exe の詳細	9
2.1	func1.c	9
2.2	func2.c	11
2.3	func3.c	14
2.4	func4.c	16
2.5	func5.c	17
2.6	func6.c	17
2.7	func7.c	18
2.8	func8.c	20
2.9	func9.c	21
2.10	func10.c	22
2.11	func11.c	24
2.12	func12.c(と func13 の一部)	25
2.13	func13.c	26
2.14	func14.c	27
2.15	func15.c	29
2.16	func16.c	31
3	プログラム takahit.exe について	32
3.1	オプションの引数について	32
3.2	使い方の例	32
第 II 部	日立局電波望遠鏡のスカイライン解析について	35
4	スカイライン測定、解析 (11 月 11 日、12 日の測定)	35
4.1	測定法と各種解析	35
4.2	標準偏差による解析	41
4.3	電波強度差による解析	42
4.4	システム雑音温度の差による解析	46
4.5	11 月 11 日、12 日のスカイライン測定、解析の反省点と再測定について	47
5	スカイライン再測定、解析 (12 月 28 日の測定)	48
5.1	測定法と各種解析	48
5.2	マスクによる P_{off} 、 T_{sysoff} の決定	60
6	スカイライン測定の考察	67
6.1	各方位角の電波強度やシステム雑音温度の上昇の原因について	67
6.2	山の放射と人工電波源の判別について	67

第I部

プログラミングによるログの解析

第I部では、高萩、日立局の電波望遠鏡から取得するデータの解析プログラムの内容について説明する。ログの解析プログラムは、日立局アングルログに対応した hita.exe、高萩局アングルログに対応した taka.exe、どちらのアングルログにも対応しており、様々な機能拡張を追加した takahit.exe の3つある。1節や2節では、hita.exe の使用方法や詳細内容の説明を行なうが、実際に使用する際には takahit.exe が一番使い勝手がよい。takahit.exe は使用例のみ3節に記載したので、そちらを参考にしていきたい。

2節では hita.exe の詳細の説明のため、各図に (A-1) や (1) といった番号を振っている。これは付録のソースファイルのコメント番号に対応している。2節を読む際は、付録を読みながら流れをつかんでいただきたい。

解析プログラム (hita.exe,taka.exe,takahit.exe) は stars の共有ディレクトリ

takahit@stars.sci.ibaraki.ac.jp:/Users/takahit/Documents/kobayashi/program/

に置いたのでそこからダウンロードしていただきたい。

1 プログラム hita.exe の概要

1.1 アングルログ (2 種類) とパワーログ、その実行プログラムについて

最初に読み込む2つのファイルの列ごとの説明を表1.1、表1.2に示す。

表 1.1: 日立局アングルログ (.ang)

列	説明
1 列目	時刻 (yyyydddhhmmss) yyyy: 西暦, ddd: 通日, hhmmss: 時刻 (UT)
2 列目	AZ (現在地 [度])
3 列目	EL (現在地 [度])
4 列目	AZ (目的地 [度])
5 列目	EL (目的地 [度])
6 列目	AZ の駆動速度に比例した値 (モーターに掛けている電圧 [V])
7 列目	EL の駆動速度に比例した値 (モーターに掛けている電圧 [V])
8 列目	目的地と現在地との差 [度] ($\sqrt{(4 \text{ 列目} - 2 \text{ 列目})^2 + (5 \text{ 列目} - 3 \text{ 列目})^2}$)
9 列目	不明
10 列目	不明

表 1.2: パワーログ (.txt)

列	説明
1 列目	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 の値 [dBm]
3 列目	power sensor B の値 [dBm]

例えば 2010 年 9 月 16 日 11 時 30 分 (201009061130) に測定したファイルはそれぞれ以下のようになる。

20100906.ang(日立局)

```
1 2010249013634* DRIVE ON
2 2010249014519* point azel 40 85
3 2010249014520 39.986 44.985 40.0000 85.0000 0.1667 1.2000 40.015 +0.000 +0.000
4 2010249014521 39.991 45.076 40.0000 85.0000 0.1071 4.2000 39.924 +0.000 +0.000
5 2010249014522 39.995 45.263 40.0000 85.0000 0.0714 5.0000 39.737 +0.000 +0.000
6 .
7 .
```

201009061130.txt

```
1 63419509845.687 -30.4579 -30.2427
2 63419509845.937 -30.4586 -30.2467
3 63419509846.249 -30.4566 -30.2538
4 63419509846.530 -30.4541 -30.2570
5 63419509846.780 -30.4563 -30.2537
6 .
7 .
```

2つのファイルは書式がまるで違うため、このままではデータをうまく扱うことができない。そこで、この2つのファイルを1つのファイルに揃えて扱いやすいように解析、加工するプログラム (hita.exe) を作成した。

なお、アングルログは高萩局と日立局で書式 (列数やカンマの有無など) が異なるため、hita.exe では高萩局アングルログの解析はできない。

20101112.ang(高萩局)

```
1 2010316091925* DRIVE ON
2 2010316092453* point azel 2 5
3 2010316092456* ACU-REAL ACU-CMD CMD-DIST PC-COMP COMP-DIST (REF+ANTCOR)
4 2010316092456 59.90, 29.89 11.00, 5.00 52.32 2.000, 5.000 59.84 +0.000, +0.000
5 2010316092457 59.78, 29.78 11.00, 5.00 52.19 2.000, 5.000 59.72 +0.000, +0.000
6 2010316092458 59.67, 29.66 11.00, 5.00 52.06 2.000, 5.000 59.60 +0.000, +0.000
7 .
8 .
```

説明が紛らわしくなるので、以降では断りがない場合、アングルログといえば日立局のものとする。

1.2 コンパイルについて

コンパイル方法

makefile を作成したため、ソースの入ったディレクトリ内で make と入力すればコンパイルができる。

```
$ make
gcc -o hita.exe -lm main.c func1.o func2.o func3.o func4.o func5.o func6.o func7.o func8.o func9.o func10.o func11.o func12.o func13.o func14.o func15.o func16.o option.o
```

コンパイル時に生成されるオブジェクトファイルは make clean で削除できる。

```
$ make clean
rm -f *.o
```

オプションの設定について

オプション設定を作った。設定の変更を行いたいときは、option.c ファイルの SHIFTTIME や FUNC16 の数値を変更してから make を行う。デフォルトは 0 である。

表 1.3: SHIFTTIME

数値	説明
0	時刻の調整を行わない
1	アングルログとパワーログの時刻のズレの調整を実行時に手動入力で行う パワーログのパソコンの時計がズレていたときなどにこちらに設定する

表 1.4: FUNC16

数値	説明
0	完成ファイルをリネームし、中間ファイルは削除する
1	完成ファイルのリネームを行わず、中間ファイルを削除しない プログラムの修正を行う場合こちらにすることで経過の確認ができる

1.3 使用方法

上の2つのファイルを例に hita.exe を実行してみる。2つの読み込みファイルと hita.exe を同じディレクトリに入れ、./hita.exe と実行する。

```
$ ./hita.exe
```

以降オプションの設定によって入力、生成ディレクトリ、生成ファイルが変わる。

(1)SHIFTTIME=0,FUNC16=0 のとき (デフォルト)

出力ファイル名 (観測日など)、アングルログ名、パワーログ名が要求されるので以下のように入力する。

```
Please enter input file name of angle log > 20100906.ang
Please enter input file name of power log > 201009061130.txt
Please enter the output file name > 20100906
```

コンパイル方法

すると以下のように表示され、

```
63419509845.687 - 63419530812(2010249082012) is a common time
Create a directory for '20100906'
Files created to '20100906'
```

実行ディレクトリ内に完成ディレクトリ”20100906”が作成される。

ディレクトリ内に作成されるファイルは読み込みに使った、20100906.ang と 201009061130.txt の他に”入力した観測日.〇〇”という名前で出力される。この場合、入力した観測日を 20100906 にしたので、”20100906.com”、”20100906.bug”、”20100906.detail”、”20100906.rough”、”20100906.ref”、”20100906.merge”の6つのファイルが完成ファイルとなる。

(2)SHIFTTIME=1,FUNC16=1 のとき

パワーログのほうがアングルログよりも6秒進んでいるときは以下のように入力すればよい。

```
Please enter the time of observation > 20100906
Please enter input file name of angle log > 20100906.ang
Please enter input file name of power log > 201009061130.txt
Please enter the time shift of power log > -6
```

すると以下のように表示され、

```
63419509839.687 - 63419530812(2010249082012) is a common time
Create a directory for '20100906_part'
Files created to '20100906_part'
```

実行ディレクトリ内に完成ディレクトリ”20100906_part”が作成される。

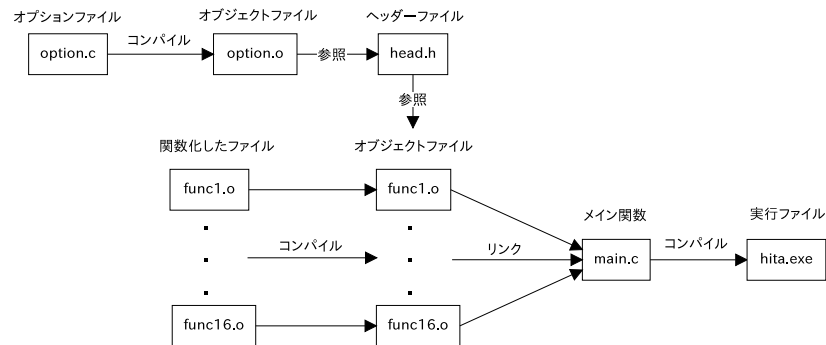
ディレクトリ内に作成されるファイルは読み込みに使った、20100906.ang の他に6秒戻したパワーログ、201009061130.txt_6.0、file1-1~file15-4 までの中間ファイルが作成される。

1.4 ソース、完成ファイルの概要

hita.exe は、16 個の関数化したファイル (func1.c~func16.c)、オプション用ファイル (option.c)、メイン関数 (main.c)、ヘッダーファイル (head.h) で構成されている。

コンパイル時に func1.c~func16.c はオブジェクトファイル func1.o~func16.o を作成する。それらのオブジェクトファイルを main.c とリンクさせることで hita.exe が作成される。

図 1.1: hita.exe 作成の流れ



1.5 コマンドライン引数によるオプション指定について

hita.exe を拡張した takahit.exe ではコマンドライン引数によってオプション指定を行なえるようにした。これにより、設定を変えるためにいちいち option.c ファイルのソースを変更し、コンパイルし直す必要はなくなった。詳細は 3 節で説明する。

ソースファイルの概要を表 1.5 に、完成ファイルの概要を表 1.6~1.8 にそれぞれまとめた。オプションの設定によって作成されるファイルは異なる。

表 1.5: ソースファイルの概要

ファイル名	説明
option.c	(1)SHIFTTIME と FUNC16 の値の格納
head.h	(2) 文字列のマクロ定数と外部変数の extern 宣言
func1.c	(3) 入力、出力ファイル名の格納 (4)SHIFTTIME が 1 のときはパワーログの時刻を修正したファイルを作成 (.txt_-6.0 など) (5) アングルログ最後の行に-1(目印)を追加。高萩局アングルログのときはカンマも除去する (6) パワーログ最終行に-1を追加。SHIFTTIME が 1 のときは時刻も修正する (7) 【taka.exe のとき】カンマを除去する (-1 は追加しない)
func2.c	(8) 共通時間があるときはその時間を端末に出力し、ないときはエラー終了
func3.c	(9) アングルログの 1 行目がコメント行のとき、その行の時刻情報を出力 (10)file3-1 の 1 行+アングルログ+1(目印) (11)file3-1 の 1 行+アングルログ
func4.c	(12) アングルログの最終行がコメントで終わるとき、最後の 1 行の時刻情報を追加書き込み
func5.c	(13) コメント行がある部分の除去とコメント行の抽出
func6.c	(14) 西暦時間を総秒数に直す
func7.c	(15) 秒数が抜けている部分をその秒数分の行だけ抜ける前の情報で補完 (16) 抜けたときの秒数を抽出
func8.c	(17) コメント行の前後の時間を抽出
func9.c	(18) 抜け始めと抜け終わり (奇数行と偶数行) の分離
func10.c	(19) コメントによる抜けとバグによる抜けの分離
func11.c	(20)file7-1 の時刻を修正。西暦時間の追加
func12.c	(21) 共通時間外の一部の除外 (書式調整)
func13.c	(22) パワーログの時間 (細かい) スケールにアングルログのデータを線形補間する
func14.c	(23) アングルログの時間 (大雑把) スケールにパワーログのデータを線形補間する
func15.c	(24).detail と .rough のファイルをお互いに補間 (マージ) (25) 最初の基準時刻を引いた列を 1 列目に追加
func16.c	(26) ディレクトリの作成 (FUNC16=0 のときは dir、FUNC16=1 のときは dir_part) (27) 完成ファイルのリネーム (28) 【FUNC16=0 のとき】中間ファイルのデリート (29) パワーログやアングルログの複写
main.c	(30)func1.o ~ func16.o、option.o のリンク

表 1.6: 完成ファイルの概要 1 (FUNC16=1 のとき)

中間ファイル	説明
file1-1	アングルログの最終行に-1(目印)を追加。高萩局アングルログのときはカンマも除去する
file1-2	パワーログの最後の行に-1(目印)を追加、SHIFTTIME の値が 1 のときは時刻修正も行う
file1-3	【taka.exe のとき】アングルログのカンマを除去 (最終行に-1 は追加しない)
file3-1	アングルログの最初がコメントで始まっているときに情報を 1 行出力
file3-2	file3-1 の 1 行+アングルログ+1(目印)
(file3-3)	file3-1 の 1 行+アングルログ (追加書き込みされ、file4-1 へとリネームされる)
file4-1	アングルログの最後がコメントで終わるときに file3-3 の最後の行へ情報を 1 行追加書き込み
file5-1	アングルログのコメント行を除去
file5-2	アングルログのコメント行のみ出力
file6-1	西暦秒数→総秒数
file7-1	抜けた秒数分の行を前の情報で補完 (時刻は合っていないが、各行の位置情報は合っている)
file7-2	抜けた秒数の抽出 (コメントの抜けとバグの抜けが混ざっている)
file8-1	コメント行前後の時刻の抽出 (コメントの抜けと、もともと飛んでいない時刻が混ざっている)
file9-1	抜け始めと抜け終わり (奇数行と偶数行) の分離
file10-1	アングルログのコメント行により抜けた時刻リスト
file10-2	アングルログのバグ (コメント行以外に抜けてしまっている部分) の時刻リスト
file11-1	file7-1 の時刻を修正
file12-1	file11-1(.ang) の共通範囲でない行の除去、または file1-2(.txt) の共通範囲でない行の除去
file13-1	パワーログの時間 (細かい) スケールにアングルログのデータを線形補間
file14-1	アングルログの時間 (大雑把) スケールにパワーログのデータを線形補間
file15-1	file13-1 と file14-1 のファイルをマージしたファイル。最初の基準時刻を引いた列を 1 列目に追加
file15-2	file13-1 に最初の基準時刻を引いた列を 1 列目に追加
file15-3	file14-1 に最初の基準時刻を引いた列を 1 列目に追加
file15-4	file5-2 に基準時刻を引いた列を 1 列目に追加

表 1.7: 完成ファイルの概要 2 (FUNC16=0 のとき)

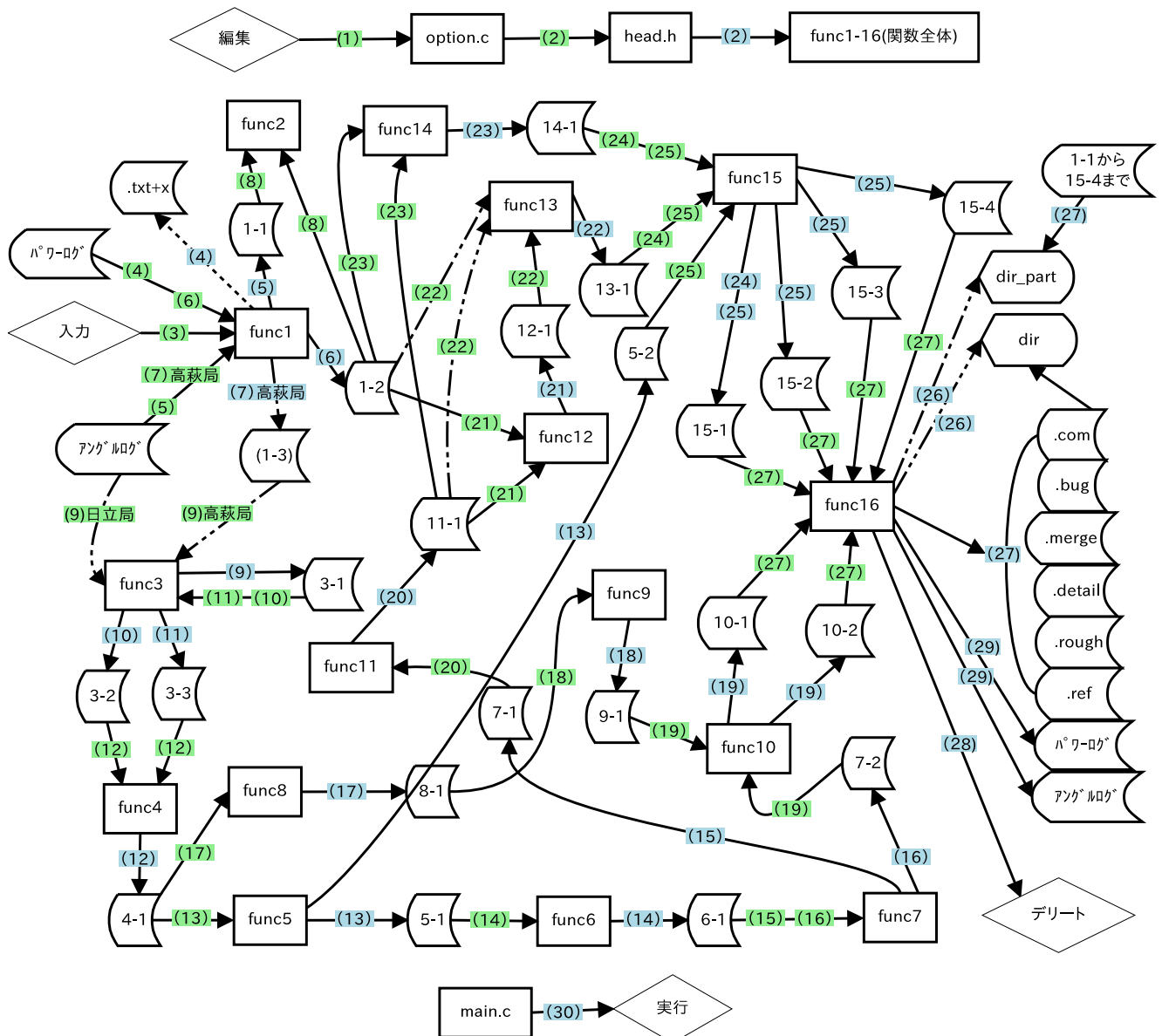
完成ファイル	元ファイル	説明
20100906.com	file10-1	アングルログのコメント行により抜けた時刻リスト (com は comment の略)
20100906.bug	file10-2	アングルログのバグ (コメント行以外に抜けてしまっている部分) の時刻リスト
20100906.merge	file15-1	.detail と .rough のファイルをお互いに補い合った (マージした) ファイル。
20100906.detail	file15-2	パワーログの時間 (細かい) スケールにアングルログのデータを線形補間したファイル
20100906.rough	file15-3	アングルログの時間 (大雑把) スケールにパワーログのデータを線形補間したファイル
20100906.ref	file15-4	アングルログのコメント部分を抜粋したファイル (ref は reference の略)

表 1.8: 完成ファイルの概要 3 (SHIFTTIME=1 のとき (入力値は-6 とする))

完成ファイル	元ファイル	説明
201009061130.txt_-6	201009061130.txt	パワーログの時刻を 6 秒遅らせたファイル

各関数のファイルの入出力の関係は図 1.2 のようになる。緑が入力、青が出力に対応している。

図 1.2: ファイルの入出力の関係



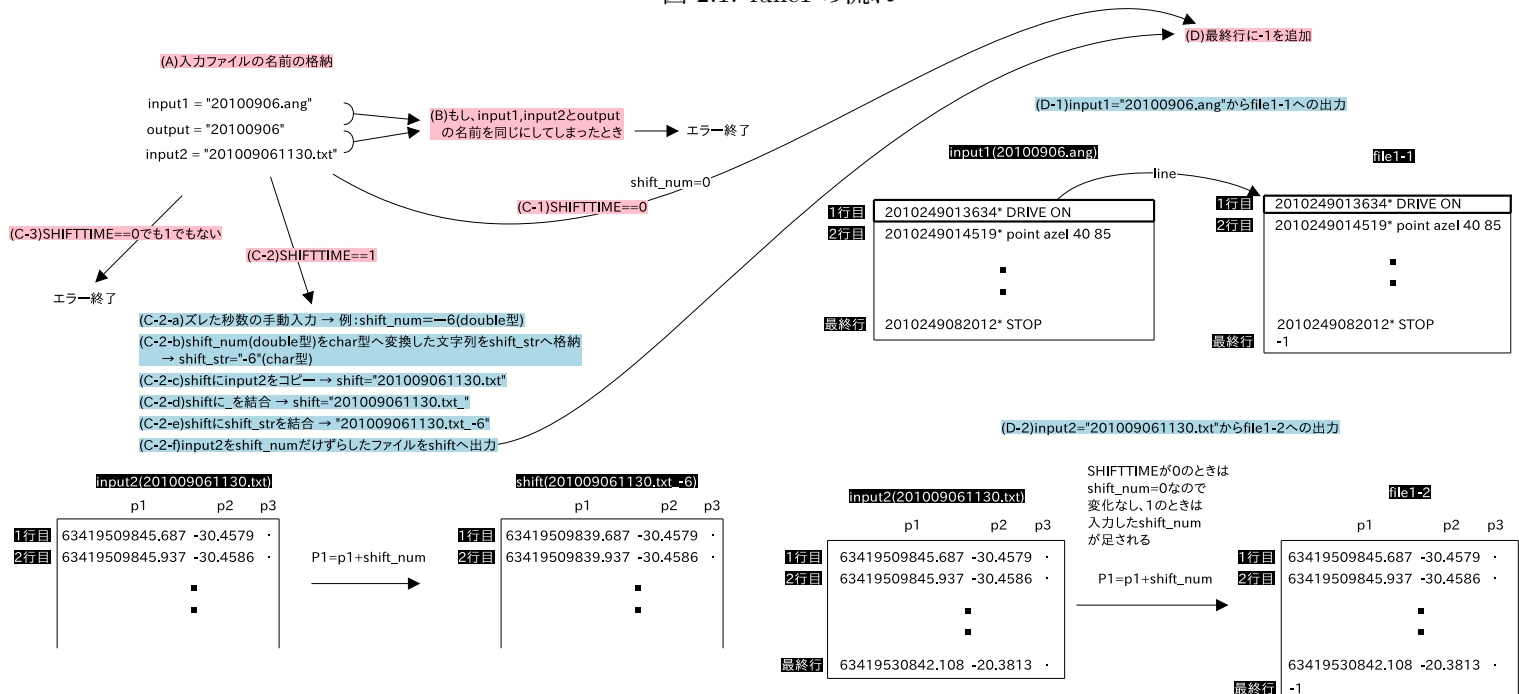
2 プログラム hita.exe の詳細

2.1 func1.c

◇ 全体の流れ

func1 の全体の流れを図 2.1 に示す。

図 2.1: func1 の流れ



◇ 6 ~ 7 外部変数

変数 `input1` などは他の関数 (`func3` や `func16`) でも使うため `func1` の外側で定義している。外部変数 `extern` は `head.h` で宣言している。

◇ 37 ~ 73 SHIFTTIME による分岐

`option.c` の `SHIFTTIME` の数値によって次のいずれかに分岐する。

(C-1) SHIFTTIME が 0 のとき

パワーログの 1 列目の時刻は変化しない (`shift=0`)。デフォルトはこの設定である。

(C-2) SHIFTTIME が 1 のとき

パワーログとアングルログの間に時刻のズレがある場合手動入力で時刻のズレを修正する。例えばパワーログ モニターの時計がアングルログよりも 6 秒が進んでいる場合。

Please enter the time shift of power log > -6

と入力すればパワーログの時刻の修正ができる。

また、修正前後のファイルの区別も行う。

例) 修正前ファイル: 201009061130.txt → 6 秒とした修正後ファイル: 201009061130.txt-6.0

(C-3) SHIFTTIME が 0 でも 1 でもないとき

エラー終了する。

高萩局アングルログ、20101212.ang

を例に、 $\ell 82 \sim \ell 114$ までの流れを図 2.2 にまとめた。

input1(20101212.ang@takahagi)

1行目 line 2010316091925* DRIVE ON

0から9までの数字と*と;を
ホワイトスペースまで読み込む

str1=2010316091925*

str1の
文字数を取得

len=14(コメント行)

lineを出力

1行目 2010316091925* DRIVE ON

2行目 line 2010316092456 59.90, 29.89 ... +0.000

カンマ

str1=2010316092456

len=13(データ行)

str1からstr11までを出力

最終行 (-1)

file1-3は最終行に-1はつかず、file1-1は最終行に-1がつく

str1=2010316092456 str2=59.90 str3=29.89 ... str11=+0.000

3行目へ

```
sscanf(line,"%[^,]*[,]%[^,]*[,]%[^,]*[,]%[^,]*[,]%[^,]*[,]" %  
        ,"%s",&str1,&str2,&str3,&str4,&str5,&str6,&str7,&str8,&str9,&str10,&str11);
```

なお、ここでは1列目の*を含む(文字数が14)か含まないか(文字数が13)で場合分けを行っている。これ以降の関数でもこの考え方を使う。以後、便宜上*を含む(文字数が14)行をコメント行、*を含まない(文字数が13)行をデータ行と呼ぶことにする。

2.2 func2.c

◇ (A) ℓ 17 ~ ℓ 33 アングルログの最初と最後の時刻の取得

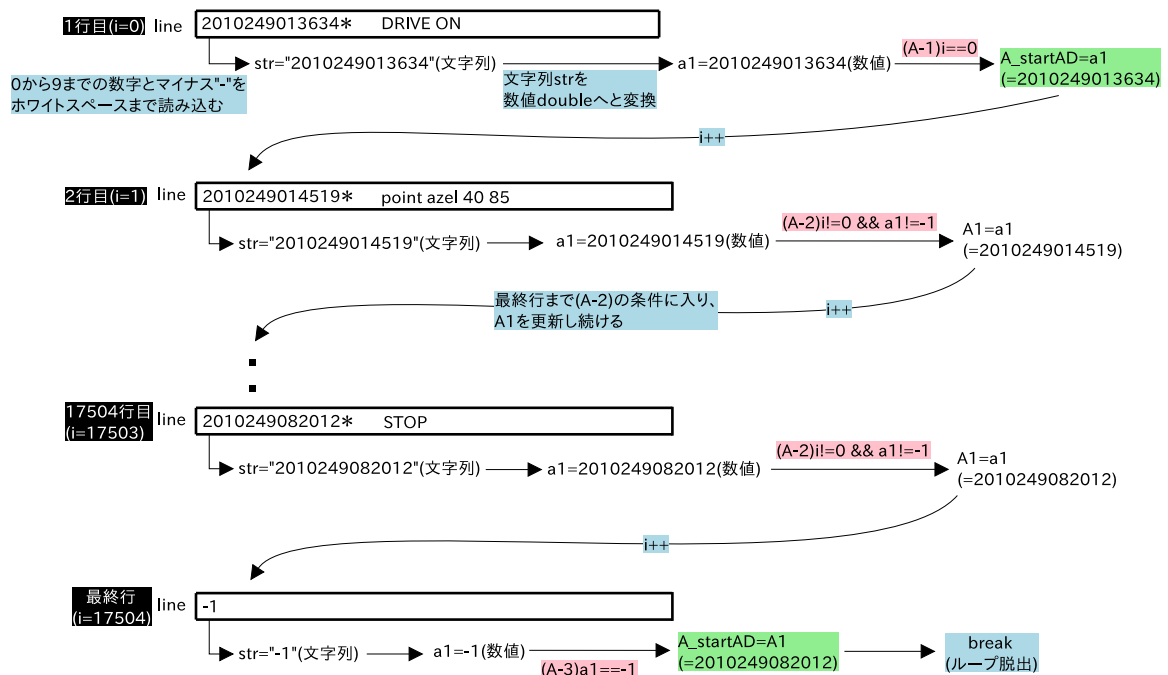
A_start_AD に最初の時刻、A_end_AD に最後の時刻を格納する¹。

20100906.ang

1	2010249013634* DRIVE ON
2	2010249014519* point azel 40 85
3	.
4	.
17503	.
17504	2010249082012* STOP
17505	-1

を例に格納の流れを図 2.3 に示した。

図 2.3: (A) アングルログの最初と最後の時刻の格納



¹”AD”は西暦の意味である。

◇ (B) ℓ 36 ~ ℓ 57 西暦時間→経過した総秒数

アングルログの時刻は、西暦 1 年 1 月 1 日 00 時 00 分からの西暦時間 2010249013634(2010 年の 249 日 1 時 36 分 34 秒) で書かれているのに対し、パワーログの時刻は西暦 1 年 1 月 1 日から経過した総秒数 63419506594 秒で記載されているため比較ができない。そこで、(B) では両者を比較するために (A) で取得したアングルログの西暦時間、A_start_AD と A_end_AD を総秒数に変換した。変換の流れを以下にまとめた。

○変換の流れ

例) 2010249013634 → 63419506594 秒の変換

(B-1) 2010249013634 の数値の分離、格納する。

$$\begin{aligned} \text{year} &= \underbrace{\frac{2010249013634}{10^9}}_{\text{小数点切り捨て}} = 2010 \text{ 年} \\ \text{day} &= \underbrace{\frac{2010249013634}{10^6}}_{\text{小数点切り捨て}} - 1000 \times 2010 = 249 \text{ 日} \end{aligned}$$

同様に、hour=1 時間、minute=36 分、minute=34 秒を得る。

(B-2) 総年数→総日数 (Day)

総年数を総日数に直す際には以下に注意しなければならない。

注意点

パワーログの総秒数は、1582 年 10 月 04 日まではユリウス暦、1582 年 10 月 15 日以降は、グレゴリオ暦での日数を総秒数として換算している。その補正として 10 日間日数を飛ばし、1582 年 10 月 04 日の次の日を 1582 年 10 月 15 日とした。ユリウス暦、グレゴリオ暦とは以下のようなものである。

- ・ユリウス暦：4 年に 1 回閏年
- ・グレゴリオ暦：4 年に 1 回閏年
ただし、その中で 100 で割れる年は閏年ではない
ただし、その中で更に 400 で割れる年は閏年

これを踏まえ、以下①、②、③の方法でパワーログとアングルログの日数を合わせた。

① 西暦 1 年 1 月 1 日 00 時 00 分からのグレゴリオ暦の閏年を考え、経過年数を日数へと直す

4 年に 1 回は閏年 (366 日) → (2009/4) の小数点切り捨ての値 → 502 日追加

その中で、100 年に 1 回は閏年でない (365 日) → (2009/100) の小数点切り捨ての値 → 20 日除外

さらにその中で、400 年に 1 回は閏年 (366 日) → (2009/400) 小数点切り捨ての値 → 5 日再度追加

$$2010 \rightarrow 2009 \times 365 + \underbrace{\frac{2009}{4} - \frac{2009}{100} + \frac{2009}{400}}_{\text{小数点切り捨て}} = 733772 \text{ 日}$$

② ユリウス暦からグレゴリオ暦へ移行した際の日数 (2 日間) の調整

①では、西暦 1 年 1 月 1 日 00 時 00 分から現在までをグレゴリオ暦として閏年の日数を計算したが、上記で述べたように、グレゴリオ暦が採用されたのは 1582 年 10 月 15 日以降であり、西暦 1 年 1 月 1 日 00 時から 1582 年 10 月 04 日まではユリウス暦として計算されている。

よって、パワーログの総秒数では西暦 100,200,300,500,600,700,900,1000,1100,1300,1400,1500 の 12 年が閏年でないため、①で求めた 733772 日という値は、パワーログに合わせるために 12 日加算すべきである。また、パワーログの総秒数はユリウス暦からグレゴリオ暦への移行時の補正として、10 日分飛ばしているため、①の値よりも 10 日少なく見積もられる必要もある。結果として、①の値はパワーログの総秒数よりも 2 日遅れるため、パワーログの時刻に合わせるよう、さらに 2 日間加算する必要がある。

$$733772 + \underbrace{12 - 10}_{\text{2 日分の補正}} = 733774 \text{ 日}$$

③ 測定年度 (2010 年) の経過日数 (249-1 日) を追加する。

$$\text{Day} = 733774 + (249 - 1) = 734022 \text{ 日 (総日数)}$$

(B-3) 総日数 (Day)+経過時間数 (1 時間) →総時間数 (Hour) へと変換する。

$$\text{Hour} = (734022 \times 24) + 1 = 17616529 \text{ 時間 (総時間)}$$

(B-4) 総時間数 (Hour)+経過分数 (36 分) →総分数 (Minute) へと変換する。

$$\text{minute} = (17616529 \times 60) + 36 = 1056991776 \text{ 分 (総分数)}$$

(B-5) 総分数 (Minute)+経過秒数 (34 秒) →総秒数 (A_start) へと変換する。

$$\text{A_start} = (1056991776 \times 60) + 34 = 63419506594 \text{ 秒 (総秒数)}$$

以上の処理から、アングルログの西暦秒数 2010249013634 をパワーログの総秒数に合わせた、63419506594 秒へと変換した。

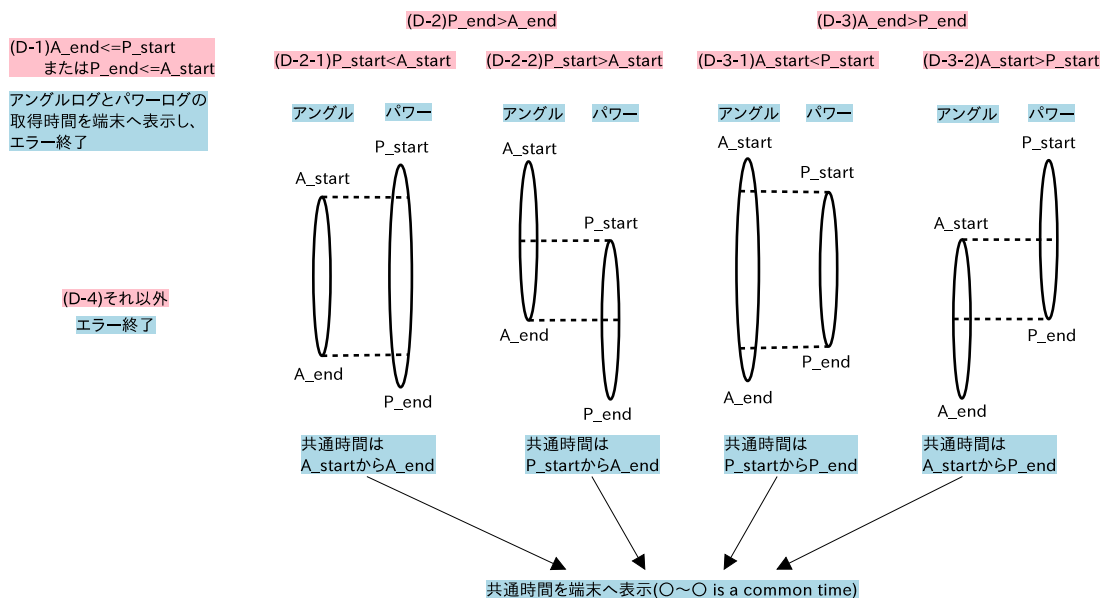
◇ (C) ℓ 60 ~ ℓ 74 パワーログの最初と最後の時刻の取得

P_start に最初の時刻、P_end に最後の時刻を格納する。格納方法は図 2.3 と同じなので省略する。

◇ (D) ℓ 77 ~ ℓ 106 アングルログとパワーログの共通時間の判定

アングルログとパワーログの比較するためには両者の間に共通な時間がなければならない。先ほど取得した両者の最初と最後の秒数の大小関係と比較し共通部分がない場合エラー終了する。共通時間が存在している場合はその範囲を端末へ表示する。条件分岐は図 2.4 のようになる。

図 2.4: (D) 条件分岐



例えば、2010 年 9 月 6 日だと

A_start=63419506594、A_end=63419530812、P_start=63419509845.687、P_end=63419530842.108

が格納されるので、(D-2-2) に対応し端末の出力は以下の表示となる。

63419509845.687 - 63419530812(2010249082012) is a common time

2.3 func3.c

◇ アングルログ加工の全体の流れ

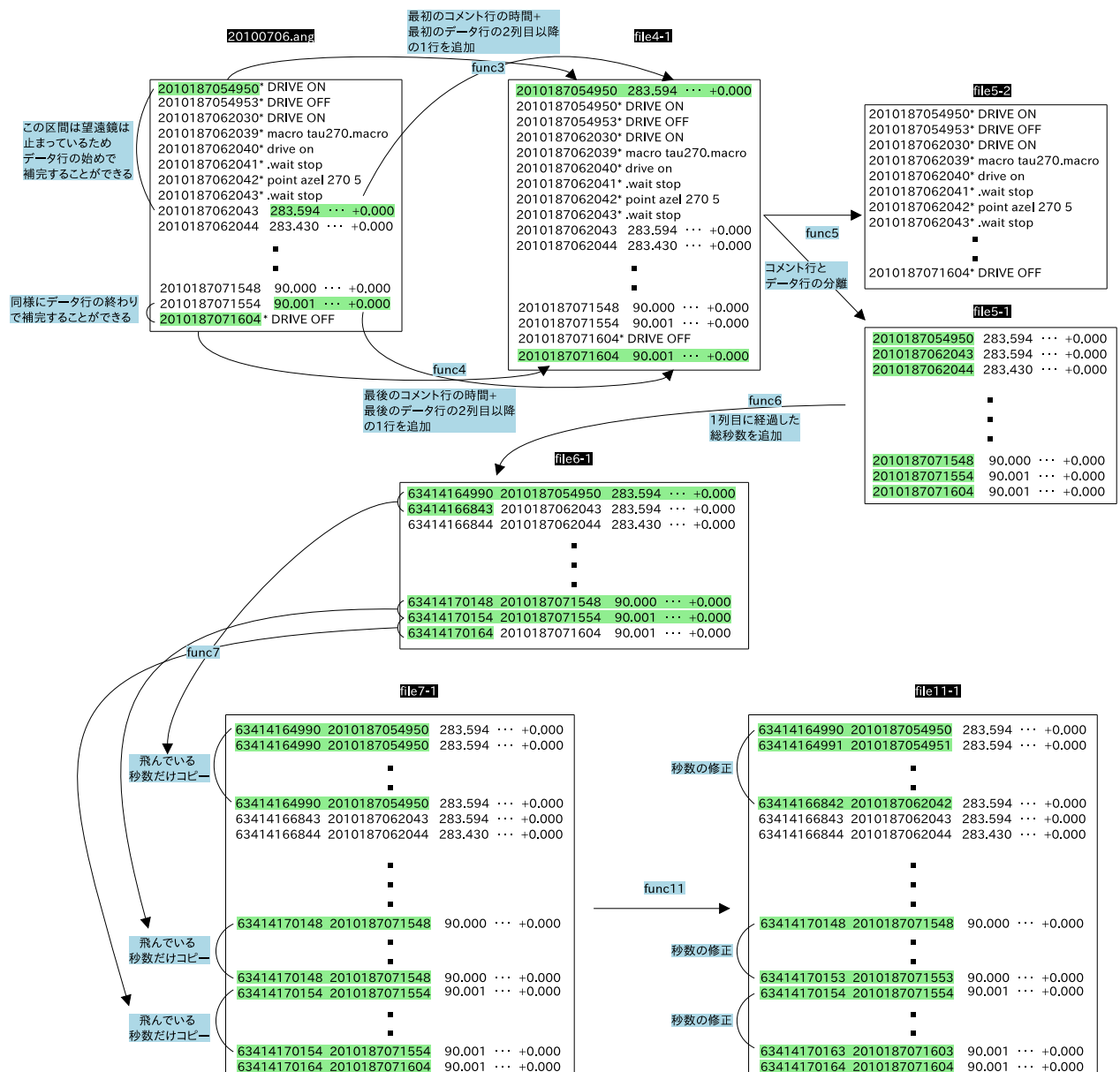
func3 以降を説明する前に

2010 年 7 月 6 日のアングルログ (20100706.ang)

1	2010187054950* DRIVE ON
2	2010187054953* DRIVE OFF
3	2010187062030* DRIVE ON
4	2010187062039* macro tau270.macro
5	2010187062040* drive on
6	2010187062041* .wait stop
7	2010187062042* point azel 270 5
8	2010187062043* .wait stop
9	2010187062043 283.594 . . . +0.000
10	2010187062044 283.430 . . . +0.000
11	.
12	.
2562	.
2563	.
2564	2010187071548 90.000 . . . +0.000
2565	2010187071554 90.001 . . . +0.000
2566	2010187071604* DRIVE OFF

を例にアングルログ加工の全体の流れを図 2.5 にまとめる。

図 2.5: アングルログ加工の全体の流れ



コメント行の時刻は望遠鏡は動いていない。そこで、この 1853 秒間は動き始め 2010187062043 のデータ

9	283.594	• • •	+0.000
---	---------	-------	--------

◇ func3 の流れ

図 2.6: func3 の格納の流れ



◇ ℓ 81 条件式 (5) `if(frag==0 && (END-START)!=0)` について

1	2010187062043* DRIVE ON
2	2010187062043 283.594 . . . +0.000
3	.
4	.

1	2010187062043	283.594	• • •	+0.000
2	2010187062043	283.594	• • •	+0.000
3	.			
4	.			

それを防止するために (5) の条件式を入れている。

◇ ℓ 94 func4 の準備

²それに対し、func4 ではアングルログの最後で同様の処理を行っていることが図 2.5 からわかる。

2.4 func4.c

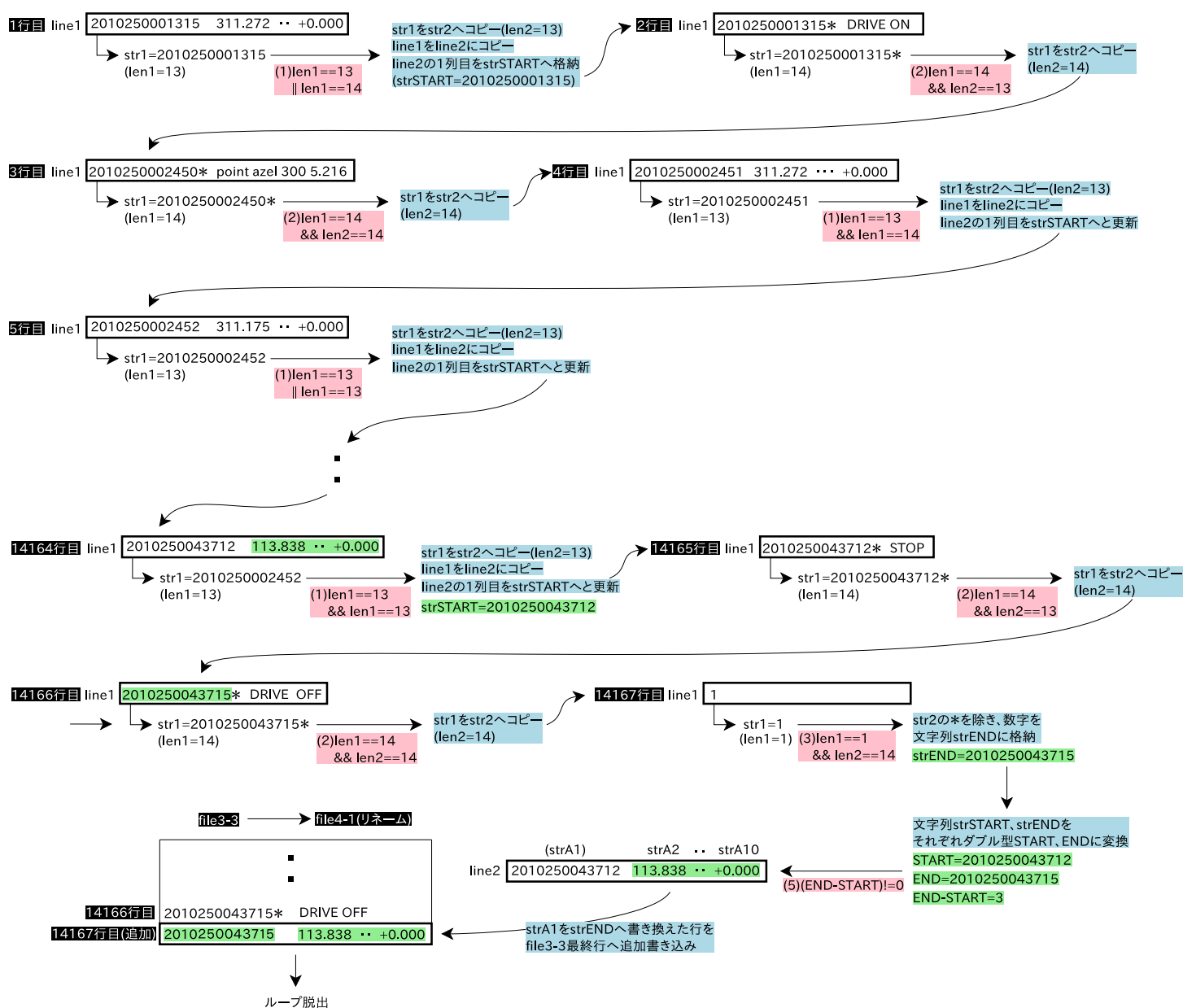
◇ func4 の流れ

2010 年 9 月 7 日の file3-2

1	2010250001315 311.272 .. +0.000
2	2010250001315* DRIVE ON
3	2010250002450* point azel 300 5.216
4	2010250002451 311.272 .. +0.000
5	2010250002452 311.175 .. +0.000
6	2010250002453 310.983 .. +0.000
7	.
8	.
14161	.
14162	.
14163	2010250043711 113.836 .. +0.000
14164	2010250043712 113.838 .. +0.000
14165	2010250043712* STOP
14166	2010250043715* DRIVE OFF
14167	1

を例に func4.c の処理を図 2.7 にまとめた。

図 2.7: func4 の格納の流れ



◇ ℓ 23 ~ ℓ 26 **file3-3 への追加書き込み**

func4 では file3-2 を読み込み、最後の行の”1”を目印に file3-3 の最後の行へと追加書き込みを行っている。”a”は追加書き込みの意味である。

◇ ℓ 39 **条件式 (5) if((END-START)!=0) について**

func3 と同様に同じ行が作られてしまうのを防止する条件式である。

◇ ℓ 57 ~ ℓ 61 **file3-3 から file4-1 へリネーム**

func4 での処理が行われたことがわかるように、file4-1 へとリネームした³。

2.5 func5.c

◇ **データ行、コメント行の分離**

func5 ではデータ行とコメント行の分離を行っている。分離したデータ行とコメント行はそれぞれ file5-1 と file5-2 へと出力される (図 2.5 参照)。

◇ **分離の手順**

- (1)file4-1 を毎行 line へと格納
- (2)1 列目 (0 から 9 と*のみ) をスキャンし str へ格納
- (3)str の文字数を len に格納
- (4-a) 文字数 len が 13(データ行) なら line を file5-1 へと出力
- (4-b) 文字数 len が 14(コメント行) なら line を file5-2 へと出力

2.6 func6.c

◇ **西暦時間→経過した総秒数**

アングルログ、パワーログの両者の比較を行うため、file5-1 で読み込んだアングルログ 1 列目の西暦時間 (例 : 2010249013634) を経過した総秒数 (例 : 63419506594) へと変換し、経過した総秒数を 1 列目に追加した形で file6-1 へと出力する (図 2.5 参照)。変換の方法は func2 の (B) と同じ方法である。

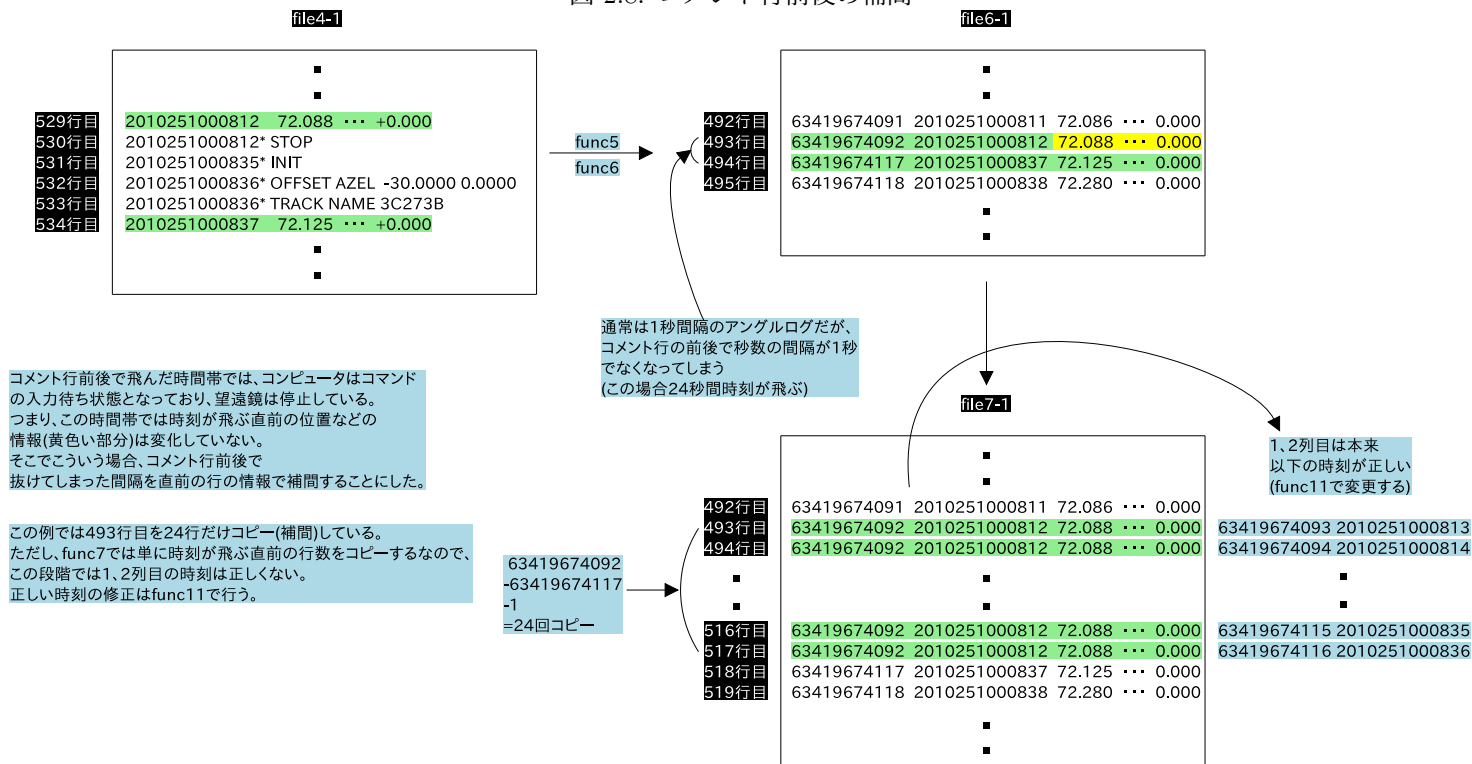
³file ○-△の○の部分は func ○の部分に対応させている。

2.7 func7.c

◇ コメント行前後の補間

図 2.5 でも流れを記載したが、func7 の処理 (コメント行前後の補間) を 2010 年 9 月 8 日 (20100908) のファイルを例に図 2.8 にまとめた。

図 2.8: コメント行前後の補間



◇ バグによる時刻飛びについて

アングルログは*のあるコメント行前後以外でも、飛んでしまっている部分がある (バグだと思われる)。

例えば、アングルログ 20100908.ang では

1713	2010251002837	14.094	21.091	14.0941	21.0907	0.0231	-0.0261	0.000	+0.000	+0.000	
1714	2010251002838	14.095	21.092	14.0953	21.0915	0.0541	0.0733	0.001	+0.000	+0.000	// コメント行の前後でないのに
1715	2010251002840	14.098	21.093	14.0978	21.0932	-0.0028	0.0412	0.000	+0.000	+0.000	// 1秒間飛んでしまっている
1716	2010251002841	14.098	21.094	14.0991	21.0941	0.1402	0.0216	0.001	+0.000	+0.000	

と本来あるべきの 2010251002839 が抜けてしまっている。

func5 でこれらのバグによる抜けとコメント行による抜けの情報が混在されるため、このバグによる抜けの情報も図 2.8 のような補完が行われる。コメント行のときと違い、こちらは飛んでしまっている間もアンテナが動いているものだと考えられる。そのため抜ける直前のアングル情報で行数を補完するのは正確ではない。しかし、バグにより抜けてしまった間隔のほとんどが 1~3 秒ととても短いので、図 2.8 の補完でも特に問題はないものと思われる。

◇ 抜け始めと抜け終わりの時刻の出力

func7 では図 2.8 の補間の他に、抜け始めと抜け終わりの時刻を file7-2 に出力している。例えば図 2.8 のコメント行前後の抜けの情報や上のバグによる前後の抜けの情報は以下のように出力される。

20100908、file7-2 の ℓ 1 図 2.8 のコメント行前後の抜け情報

```
1 2010251000812 2010251000837 63419674092 63419674117 // 2010251000812~2010251000837 (63419674092~63419674117)
```

20100908、file7-2 の ℓ 4 上のバグによる前後の抜け情報

```
4 2010251002838 2010251002840 63419675318 63419675320 // 2010251002838~2010251002840 (63419675318~63419675320)
```

file7-2 はコメント行により抜けた時刻とバグにより抜けた時刻が混在しているファイルである。後の関数の、コメント行により抜けた情報とバグにより抜けた情報の分離でこのファイルを使う。

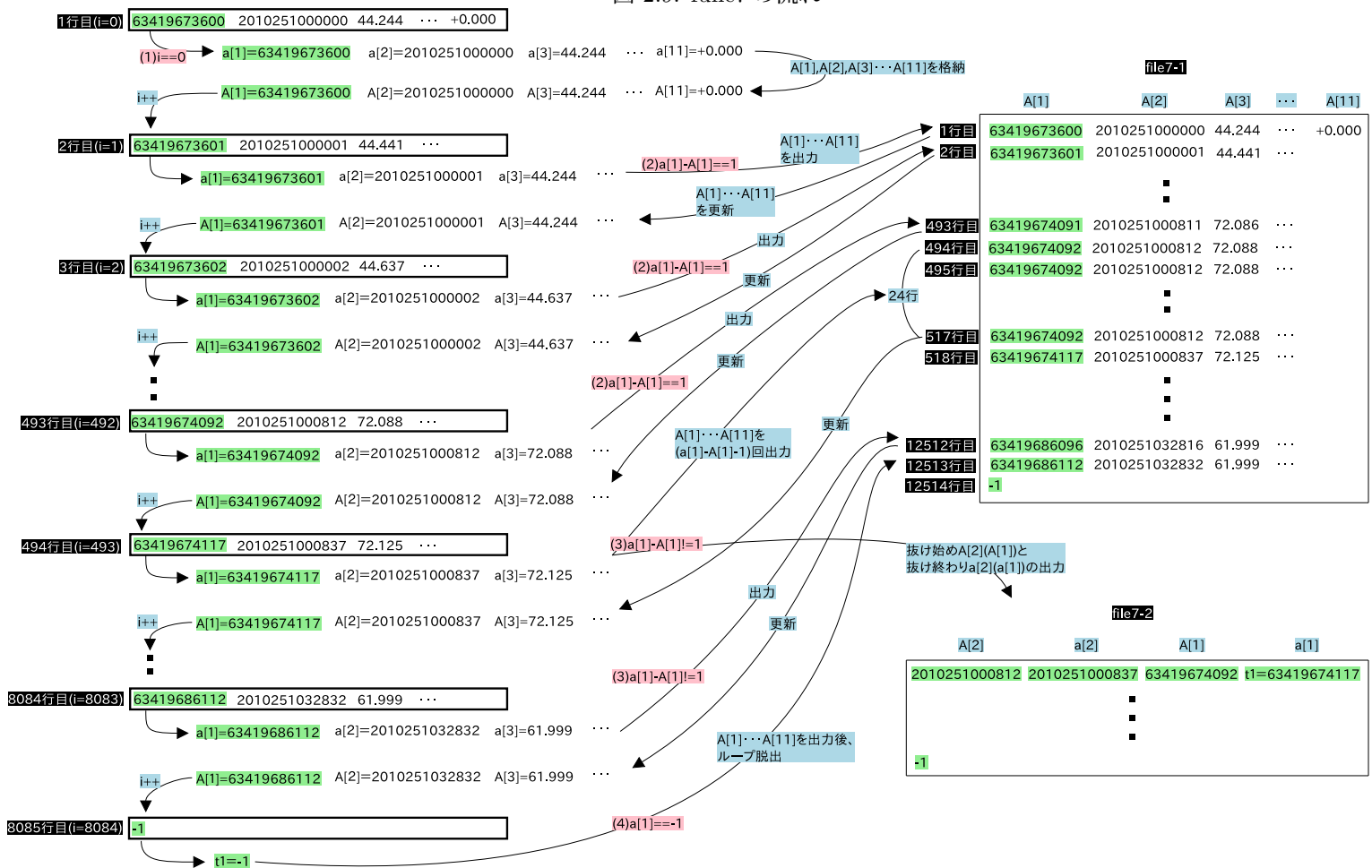
◇ func7 の格納の流れ

20100908 の file6-1

1	63419673600	2010251000000	44.244	...	0.000
2	63419673601	2010251000001	44.441	...	0.000
3	63419673602	2010251000002	44.637	...	0.000
4	.				
5	.				
491	.				
492	63419674091	2010251000811	72.086	...	0.000
493	63419674092	2010251000812	72.088	...	0.000
494	63419674117	2010251000837	72.125	...	0.000
495	63419674118	2010251000838	72.280	...	0.000
496	.				
497	.				
8082	.				
8083	63419686096	2010251032816	61.999	...	0.000
8084	63419686112	2010251032832	61.999	...	0.000
8085	-1				

を例に func7 の格納の流れを図 2.9 にまとめた。

図 2.9: func7 の流れ



2.8 func8.c

*のあるコメント行の前後の行の時刻を出力する関数である。コメント行を除去する file4-1 を読み込み、file8-1 へと出力する。例えば 20100906 の file4-1 の ℓ 221 ~ ℓ 223

```
221 2010249014857 40.000 84.998 40.0000 85.0000 0.0000 0.0238 0.002 +0.000 +0.000
222 2010249014923* point azel 40 30
223 2010249014924 40.000 84.992 40.0000 30.0000 0.0000 -1.5000 54.992 +0.000 +0.000
```

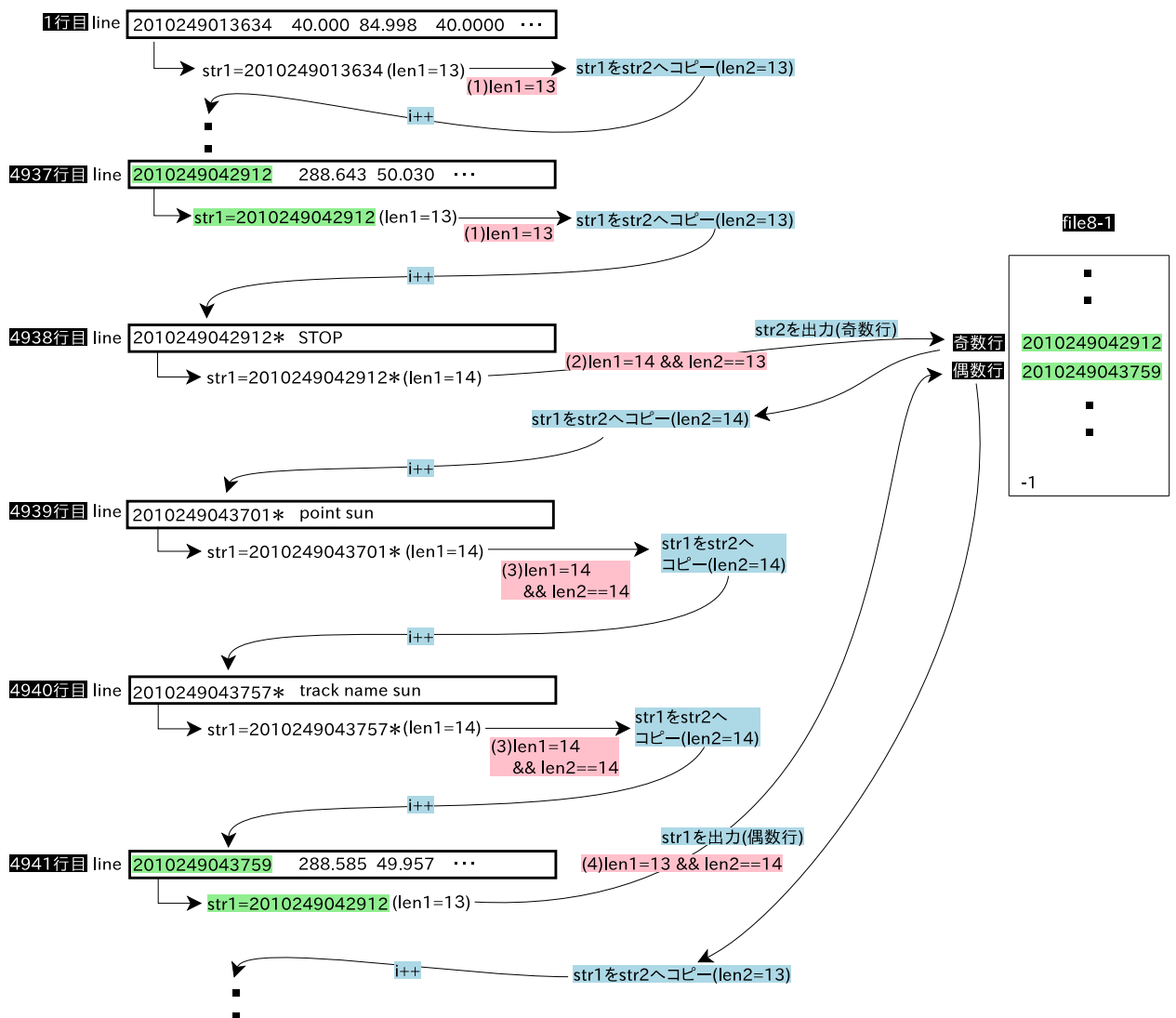
ではコメント行*がある前後の行の時刻 2010249014857 と 2010249014924 を file8-1 へと出力する。

20100906 の file4-1 の ℓ 1、ℓ 4937 ~ ℓ 4941

```
1 2010249013634 39.986 44.985 40.0000 85.0000 0.1667 1.2000 40.015 +0.000 +0.000 //1行目は必ずデータ行 (13文字となる)
2 .
3 .
4937 2010249042912 288.643 50.030 288.6435 50.0303 0.0756 -0.0064 0.000 +0.000 +0.000
4938 2010249042912* STOP
4939 2010249043701* point sun
4940 2010249043757* track name sun
4941 2010249043759 288.585 49.957 229.4604 48.9063 -3.0000 -3.0000 37.442 +0.000 +0.000
```

を例に格納の流れを図 2.10 にまとめた (このときは 2010249042912 と 2010249043759 を file8-1 へと出力する)。

図 2.10: func8 の流れ



2.9 func9.c

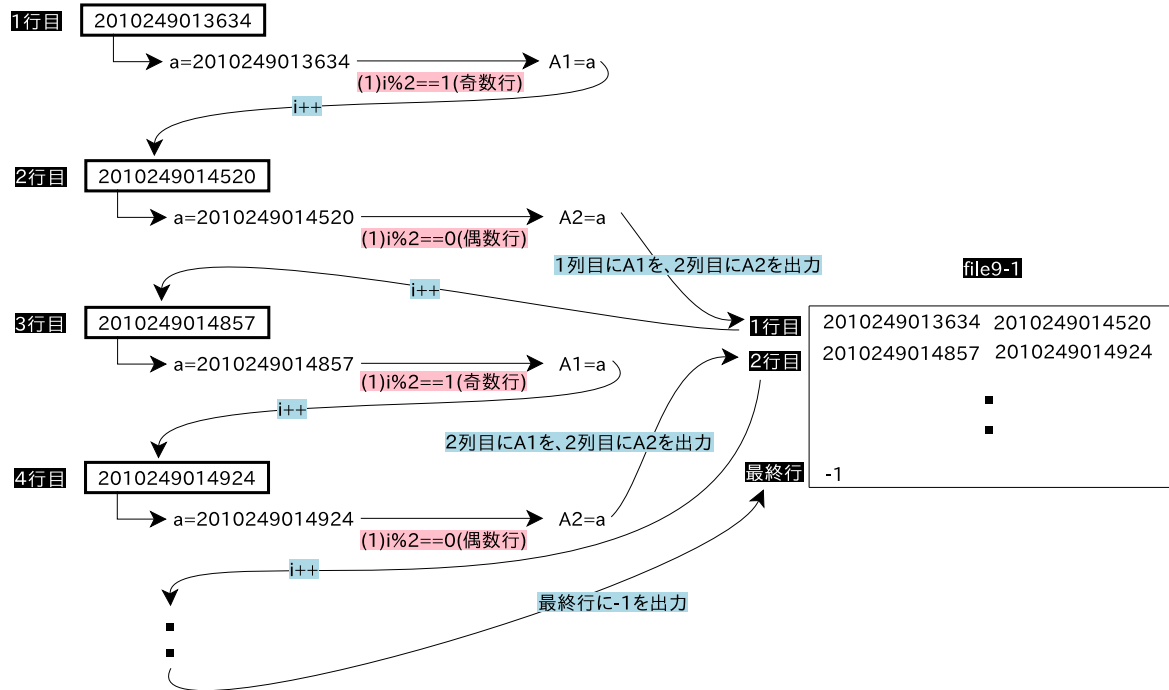
file8-1 の奇数行は抜け初め、偶数行は抜け終わりである。func9 では読み込みやすい形にするため、file8-1 の奇数行と偶数行をそれぞれを file9-1 の 1 列目と 2 列目に出力する。

20100906 の file8-1 の $\ell 1 \sim \ell 4$

```
1 2010249013634
2 2010249014520
3 2010249014857
4 2010249014924
```

を例に格納の流れを図 2.11 にまとめた。

図 2.11: func9 の流れ



2.10 func10.c

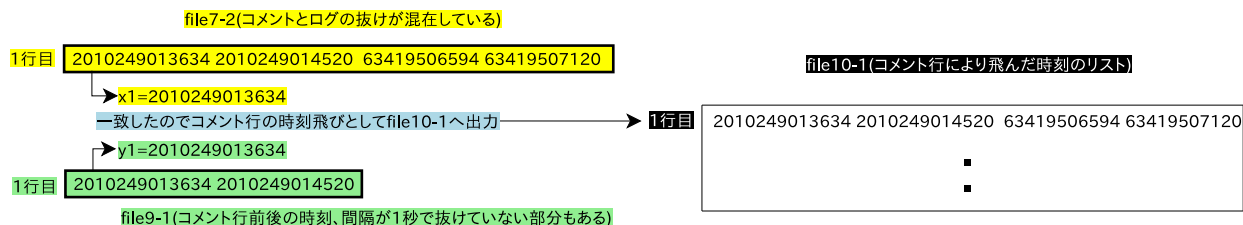
func10 では file9-1 のコメント行前後の時刻を参照して、file7-2 に出力した飛んだ秒数を、「コメント行により飛んだ前後の時刻」と「バグにより飛んだ前後の時刻」に振り分ける。

20100906 の file7-2 と file9-1

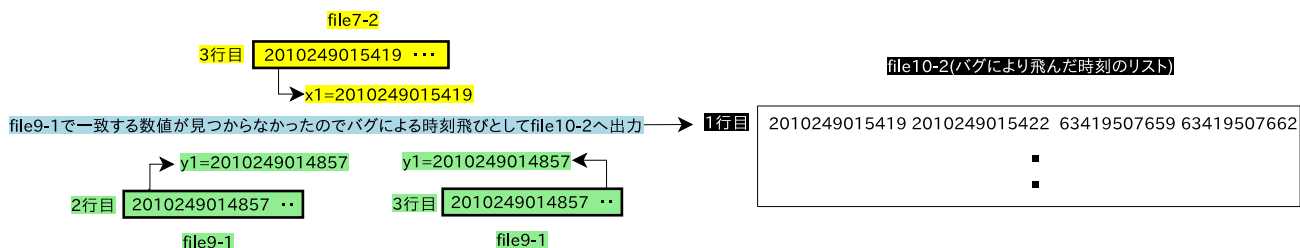
file7-2、 $\ell 1 \sim \ell 4$ と $\ell 13 \sim \ell 18$				file9-1、 $\ell 1 \sim \ell 4$ と $\ell 13 \sim \ell 15$			
1	2010249013634	2010249014520	63419506594	63419507120	1	2010249013634	2010249014520
2	2010249014857	2010249014924	63419507337	63419507364	2	2010249014857	2010249014924
3	2010249015419	2010249015422	63419507659	63419507662	3	2010249015422	2010249015518
4	2010249015422	2010249015518	63419507662	63419507718	4	2010249015620	2010249015654
5					5		
6					6		
12					12		
13	2010249020156	2010249020158	63419508116	63419508118	13	2010249020311	2010249020636
14	2010249020158	2010249020226	63419508118	63419508146	14	2010249020641	2010249020642
15	2010249020236	2010249020301	63419508156	63419508181	15	2010249020643	2010249021238
16	2010249020311	2010249020636	63419508191	63419508396	16		
17	2010249020643	2010249021238	63419508403	63419508758			
18	2010249021325	2010249024421	63419508805	63419510661			
19							

を例にとると、振り分け方は以下の①、②、③の3通りとなる。

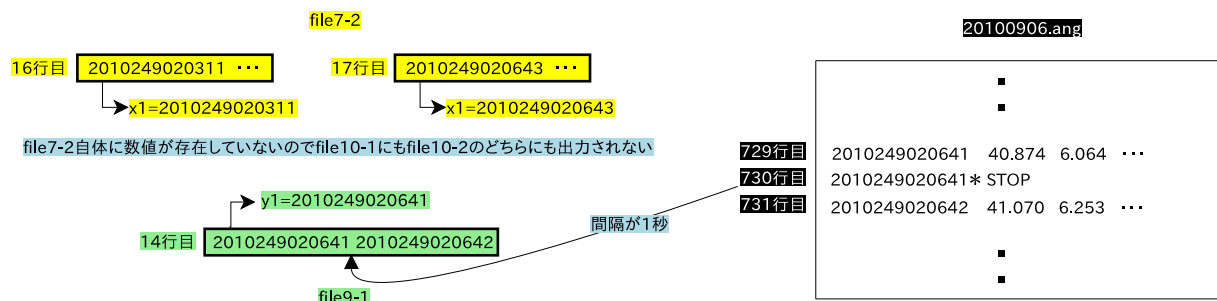
①コメント行により飛んだ時刻の選別



②バグにより飛んだ時刻の選別



③どちらでもないとき (file9-1 で出力した時刻の間隔が1秒だったとき)



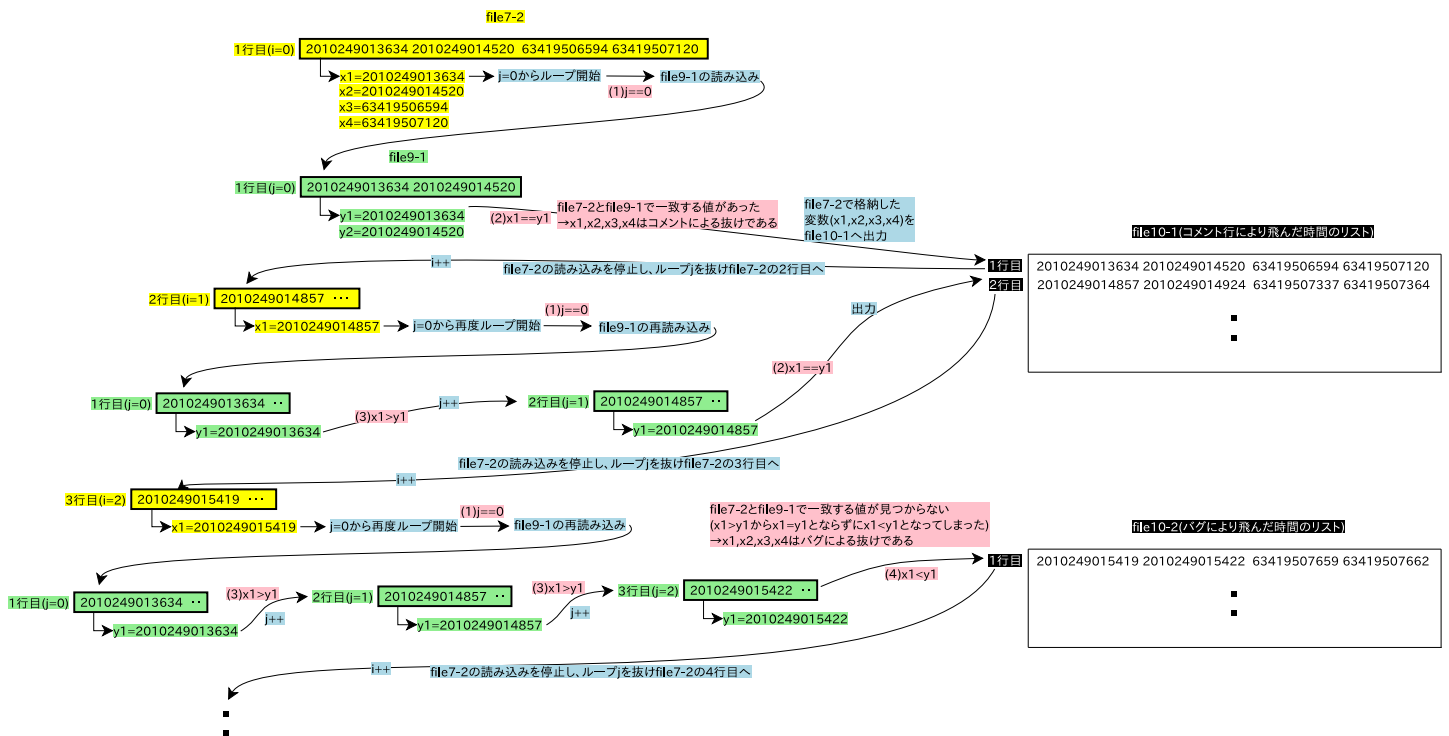
◇ 格納の流れ

20100906 の file7-2 の $\ell 1 \sim \ell 3$ と file9-1 の $\ell 1 \sim \ell 3$

file7-2 の $\ell 1 \sim \ell 3$				file9-1 の $\ell 1 \sim \ell 3$	
1	2010249013634	2010249014520	63419506594	63419507120	
2	2010249014857	2010249014924	63419507337	63419507364	
3	2010249015419	2010249015422	63419507659	63419507662	
4		.		.	
5		.		.	

を例に格納の流れを図 2.12 にまとめた。

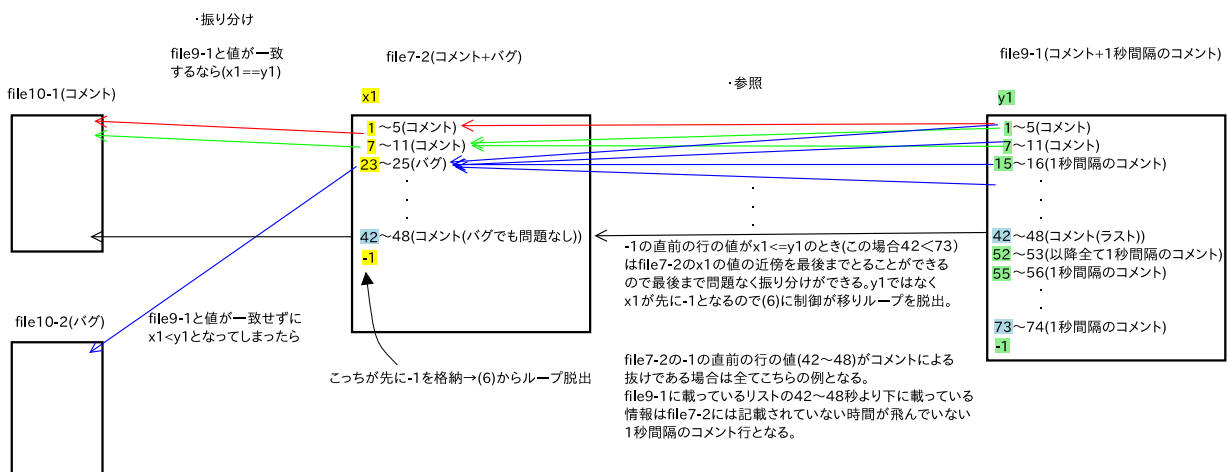
図 2.12: func10 の流れ



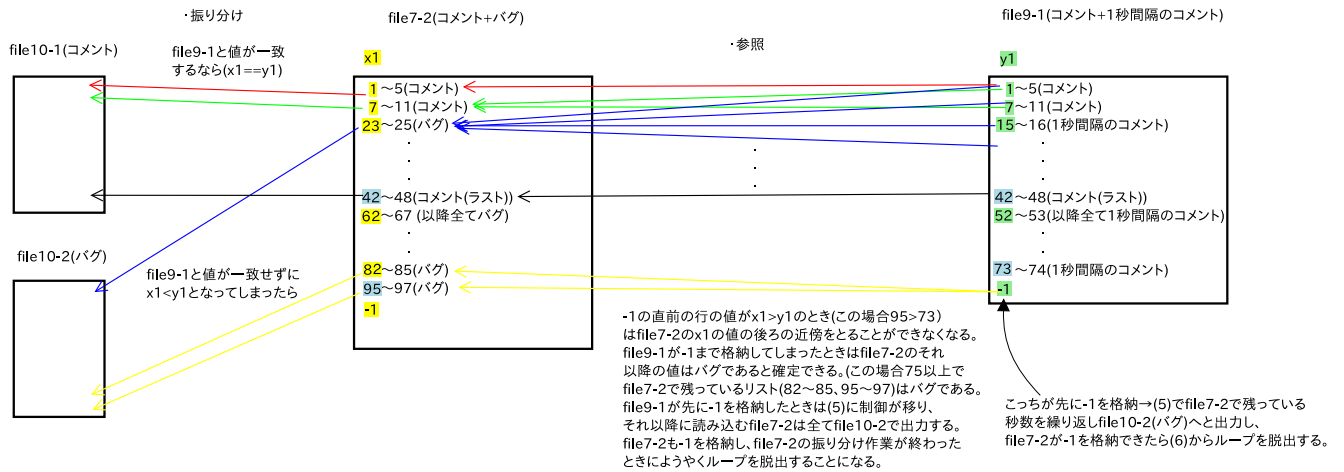
◇ ループの終わり方について

ループの脱出方法が複雑なので、以下にまとめた。①、②の 2 通りが考えられる。①では (6) からループ脱出、②では (5) を繰り返した後 (6) から脱出する。

①file7-2 が先に-1 を読み込むとき



②file9-1 が先に-1 を読み込むとき



2.11 func11.c

func7.c では時刻が飛ぶ直前の位置情報を飛んだ時間分だけ繰り返し file7-1 へ出力した。しかし、1 列目,2 列目の時刻情報は正しいものではない⁴。そこで、func11.c では file7-1 の 1 列目,2 列目の時刻の修正を行う。

時刻の修正を行なう際、1 列目と 2 列目で時刻の修正方法が異なることに注意しなければならない。file7-1 の 1 列目の総秒数 (63419506594 など) は 10 進数となっているので、最初の行で取得した値を毎行+1 加算していけばよい。しかし、2 列目の西暦秒数 (2010249013634 など) は 10 進数、365(366) 進数、24 進数、60 進数、60 進数という書式になっているため単純に+1 を加算していきただけというわけにはいかない。

例えば、

```
63419506619 2010249013659 39.986 44.985 40.0000 85.0000 0.1667 1.2000 40.015 0.000 0.000
63419506619 2010249013659 39.986 44.985 40.0000 85.0000 0.1667 1.2000 40.015 0.000 0.000
```

という部分を修正するとき、1 列目は+1 をすることができるが、2 列目では繰り上がりを考えなければいけないため、以下のように 2010249013660 → 2010249013700 としなければならない。

```
63419506619 2010249013659 39.986 44.985 40.0000 85.0000 0.1667 1.2000 40.015 0.000 0.000
63419506620 2010249013700 39.986 44.985 40.0000 85.0000 0.1667 1.2000 40.015 0.000 0.000
```

(A) ℓ 34 ~ ℓ 74 では繰り上がりを考慮した正しい数値を int 型で取得している。

(B) ℓ 77 ~ ℓ 142 では取得した int 型の数値を 1 ではなく 01 という書式に変換している。

格納の流れは、(A) では 2010000235959、(B) では 2010001010101 を例にソースファイルにコメントとして詳しくまとめた。

⁴file7-1 で正しい部分は 3 ~ 11 列目の値と行番号である。

2.12 func12.c(と func13 の一部)

◇ 線形補間

func12.c 以降の説明を行う前に線形補間について説明する。

図 2.13: 線形補間

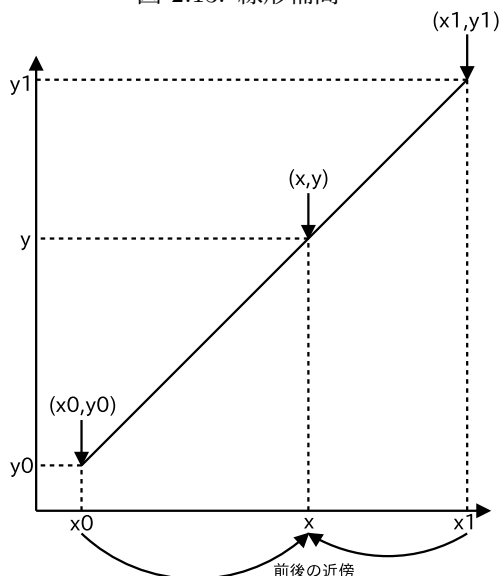


図 2.13 の $(x_0, y_0), (x_1, y_1)$ の値がわかっているとする。2 点を直線で結んだ 1 次関数を考えるとある点 x における y の値を以下のように近似することができる。

$$\frac{-(x - x_1) \times y_0 + (x - x_0) \times y_1}{x_1 - x_0}$$

この近似方法を線形補間 (1 次補間) という。近似したい点の前後の近傍を取り、線形補間を行うことで、時間間隔のバラバラなアングルログとパワーログの時刻をどちらかの時間スケールに統一することができる。

パワーログの細かな時間スケールに、アングルログの値を近似した関数が func13 で、アングルログの大雑把な時間スケール (1 秒間隔) に、パワーログの値を近似した関数が func14 となる。2 つの関数の近傍の取られ方を、それぞれ図 2.14 と図 2.15 にまとめる。

図 2.14: func13 の近傍の取られ方

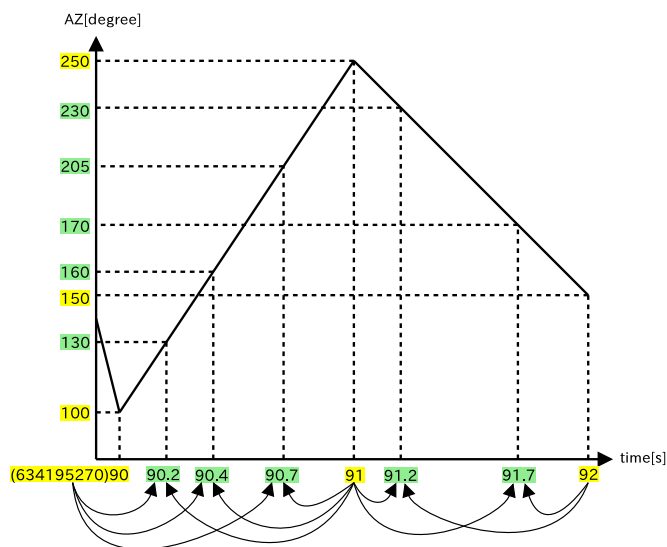
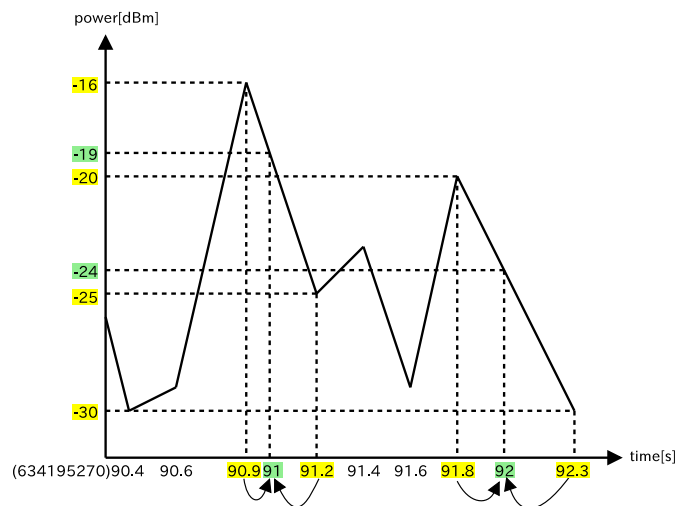


図 2.15: func14 の近傍の取られ方



黄色の点が実際の値で、緑の点がその前後の緑色の点 (前後の近傍) を使い線形補間された値となる。

例えば func13 で x 軸の 91.2 という値で線形補間を行う際、その前後の近傍である $(91, 250)$ と $(92, 150)$ の値を用いて、

$$\frac{-(91.2 - 92) \times 250 + (91.2 - 91) \times 150}{92 - 91} = 230$$

のように間に $(91.2, 230)$ という値があると近似することができる。

同様に func14 では、 x 軸の 91 という値で線形補間を行う際、その前後の近傍である $(90.9, -16)$ と $(91.2, -25)$ の値を用いて、

$$\frac{-(91 - 91.2) \times (-16) + (91 - 90.9) \times (-25)}{91.2 - 90.9} = -19$$

のように間に (91,-19) という値があると近似することができる。

◇ func12、func13(ℓ 17 ~ ℓ 50)

func12 は、func13 の一部 (ℓ 17 ~ ℓ 50) と一緒に説明する。

func13 ではパワーログの時間スケールにアングルログの値を線形補完するのだが、2つのログの共通時間の一番最初の近傍を取ることが難しく、いきなり計算するのが難しかった。

そこで、func12 でアングルログ (file11-1) とパワーログ (file1-2) を読み込み、共通時間の入り始めの足並みを揃えることにした。図 2.16、図 2.17 に func12 から func13 の流れをまとめた。

図 2.16: (a) パワーログの最初の一部を除去

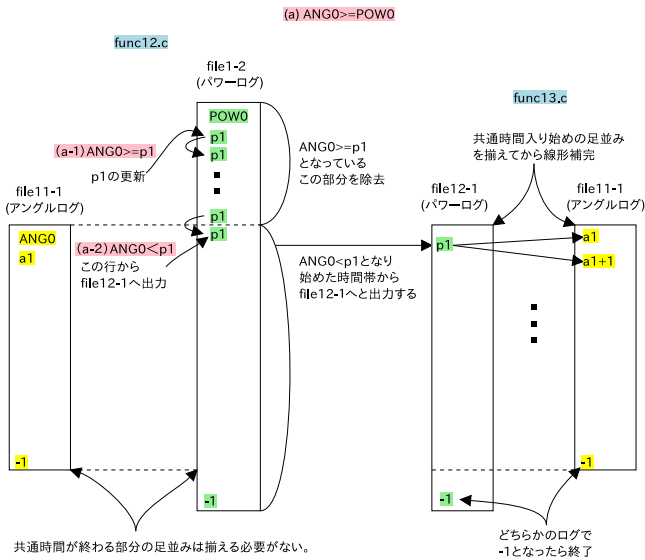
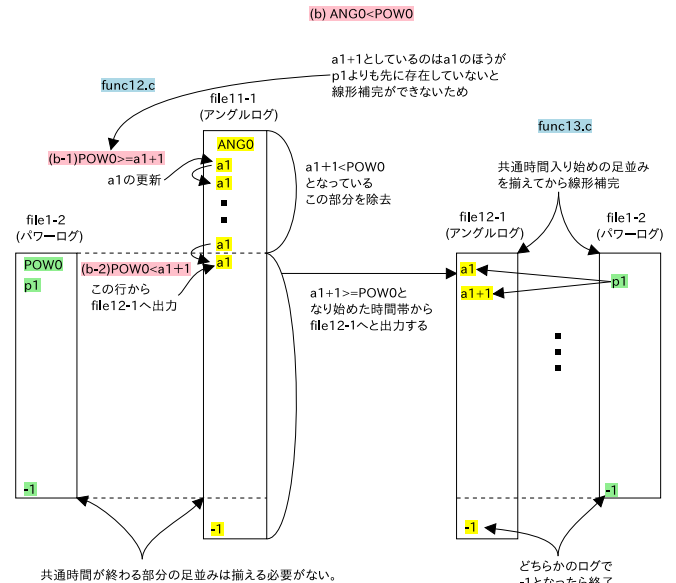


図 2.17: (b) アングルログの最初の一部を除去



file12-1 は、(a) パワーログの最初の一部を除去したファイルと、(b) アングルログの最初の一部を除去したファイルの 2 通りに分かれる。そのため、func13 で読み込む組み合わせは、(a)file12-1(パワーログ) と file11-1(アングルログ)、(b)file12-1(アングルログ) と file1-2(パワーログ) の 2 通りがある。

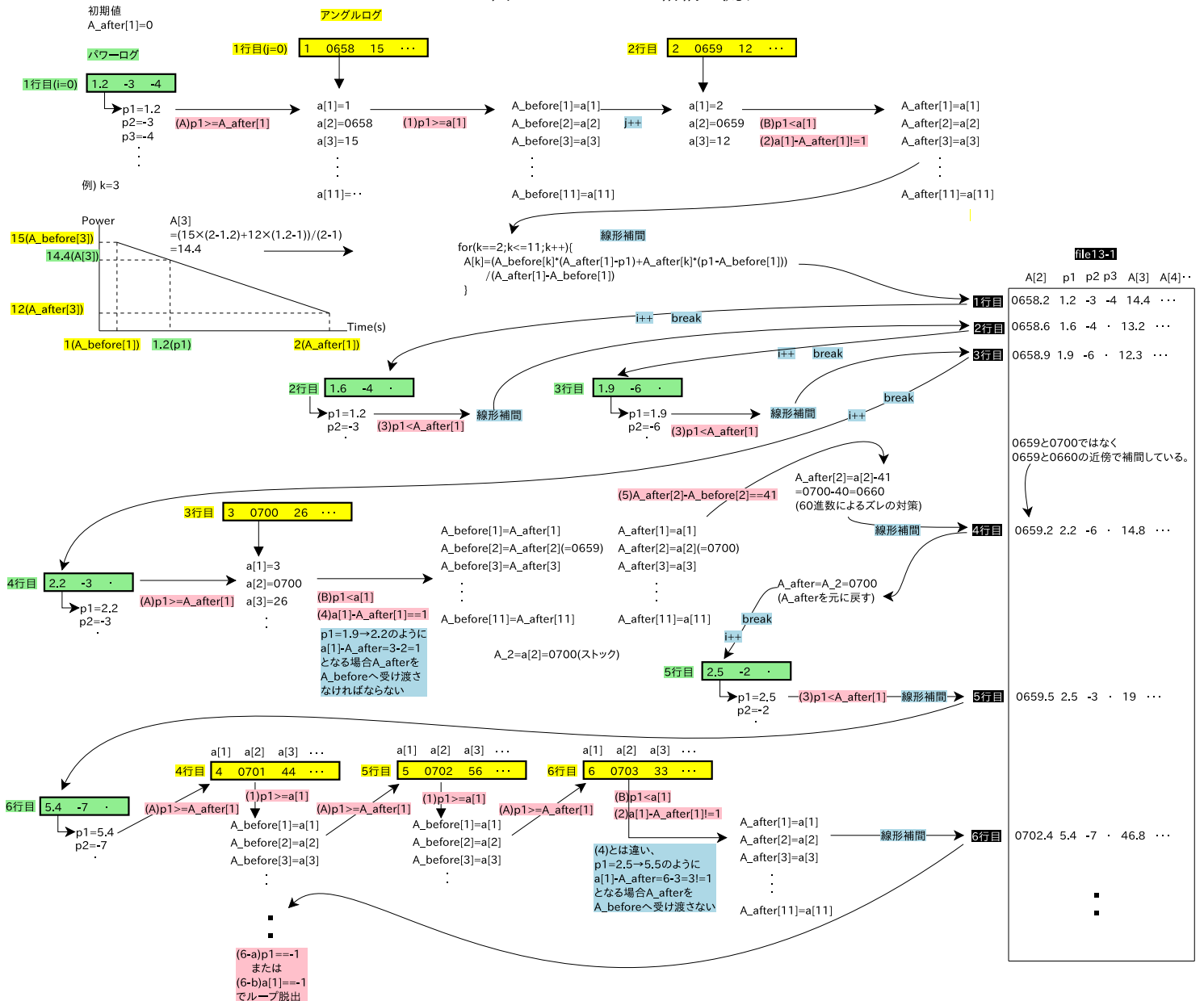
2.13 func13.c

パワーログの時間スケールにアングルログの値を線形補完する。簡単な例として

パワーログ				アングルログ			
1	1.2	-3	-4	1	0658	15	
2	1.6	-4	•	2	0659	12	
3	1.9	-6	•	3	0700	26	•
4	2.2	-3	•	4	0701	44	
5	2.5	-2		5	0702	56	•
6	5.4	-7		6	0703	33	
7	•	•		7	•	•	•
8	•	•		8	•	•	
9	•	•		9	•	•	
10	-1			10	-1		

を例に格納の流れを図 2.18 にまとめた。

図 2.18: func13 の格納の流れ



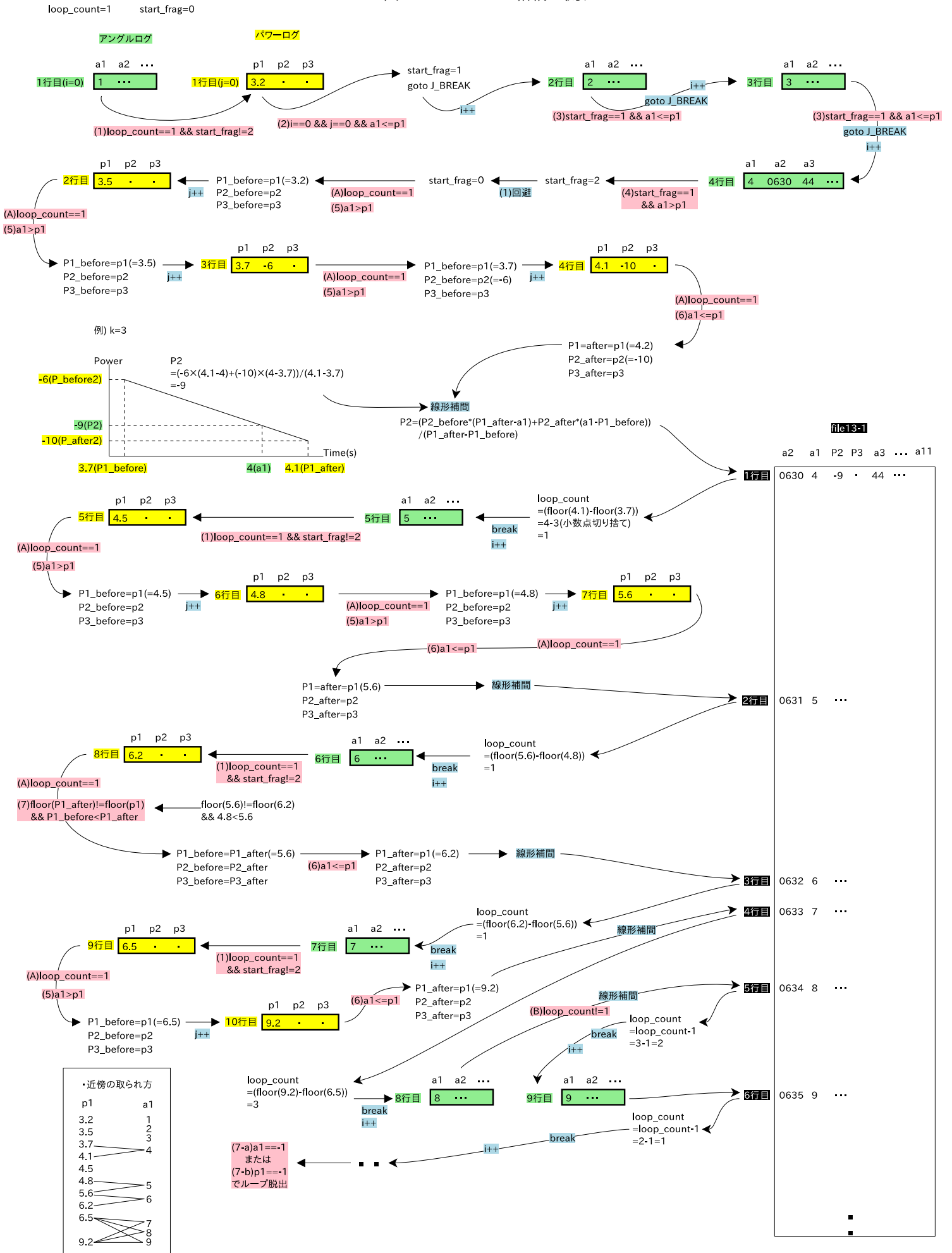
2.14 func14.c

func13 とは逆にアングルログの時間スケールにパワーログの値を線形補完する。簡単な例として

パワーログ					アングルログ				
1	3.2	.	.	.	1	.	.	.	.
2	3.5	.	.	.	2	.	.	.	.
3	3.7	-6	.	.	3	.	.	.	.
4	4.1	-10	.	.	4	0630	44	.	.
5	4.5	.	.	.	5	.	.	.	.
6	4.8	.	.	.	6	.	.	.	.
7	5.6	.	.	.	7	.	.	.	.
8	6.2	.	.	.	8	.	.	.	.
9	6.5	.	.	.	9	.	.	.	.
10	9.2	.	.	.	10	10	.	.	.
11	.	.	.	.	11	.	.	.	.
12	.	.	.	.	12	.	.	.	.
13	.	.	.	.	13	.	.	.	.
14	-1	.	.	.	14	-1	.	.	.

を例に格納の流れを図 2.19 にまとめた。

図 2.19: func14 の格納の流れ



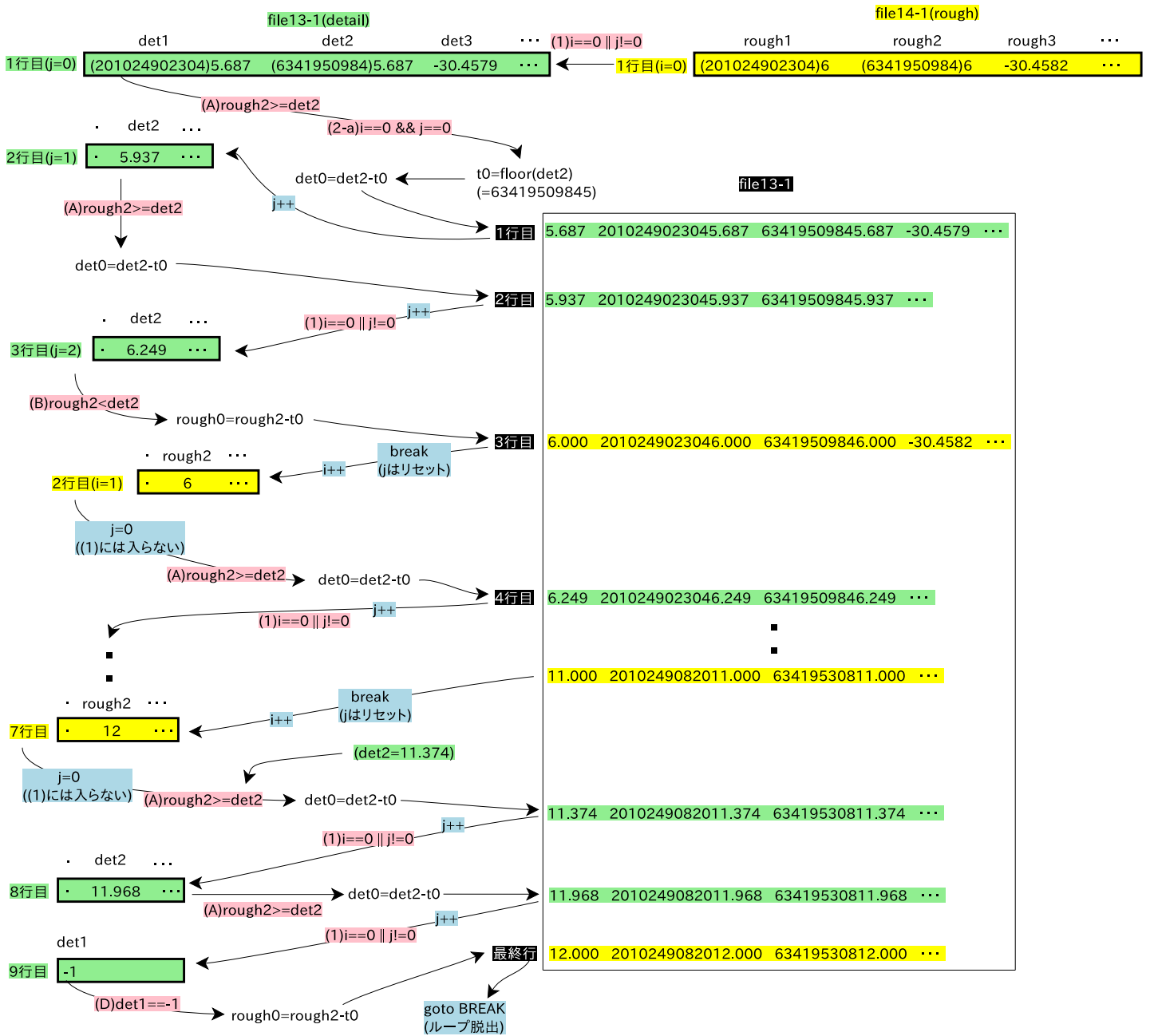
2.15 func15.c

(A) では、file13-1 と file14-1 をマージしている。また、最初の秒数 t0 を取得し、1 列目にその秒数を引いた時刻を追加する。file13-1 と file14-1 の 1 行目と最終行の値によってループの流れが変わるので、

file13-1(detail)					file14-1(rough)				
1	(201024902304)	5.687	(6341950984)	5.687 -30.4579 ...	1	(201024902304)	6	(6341950984)	6 -30.4582 ...
2		5.937		5.937	2		7		7
3		6.249		6.249	3				
4		.		.	4		.		.
5		.		.	5		.		.
6		.		.	6	(20102490820)	11	(634195308)	11
7	(20102490820)	11.374	(634195308)	11.374	7		12		12
8		11.968		11.968	8		-1		
9		-1							

を例にした格納の流れを図 2.20 にまとめ、

図 2.20: func15 の格納の流れ (1 行目 file13-1、最終行 file14-1)



file13-1(detail)

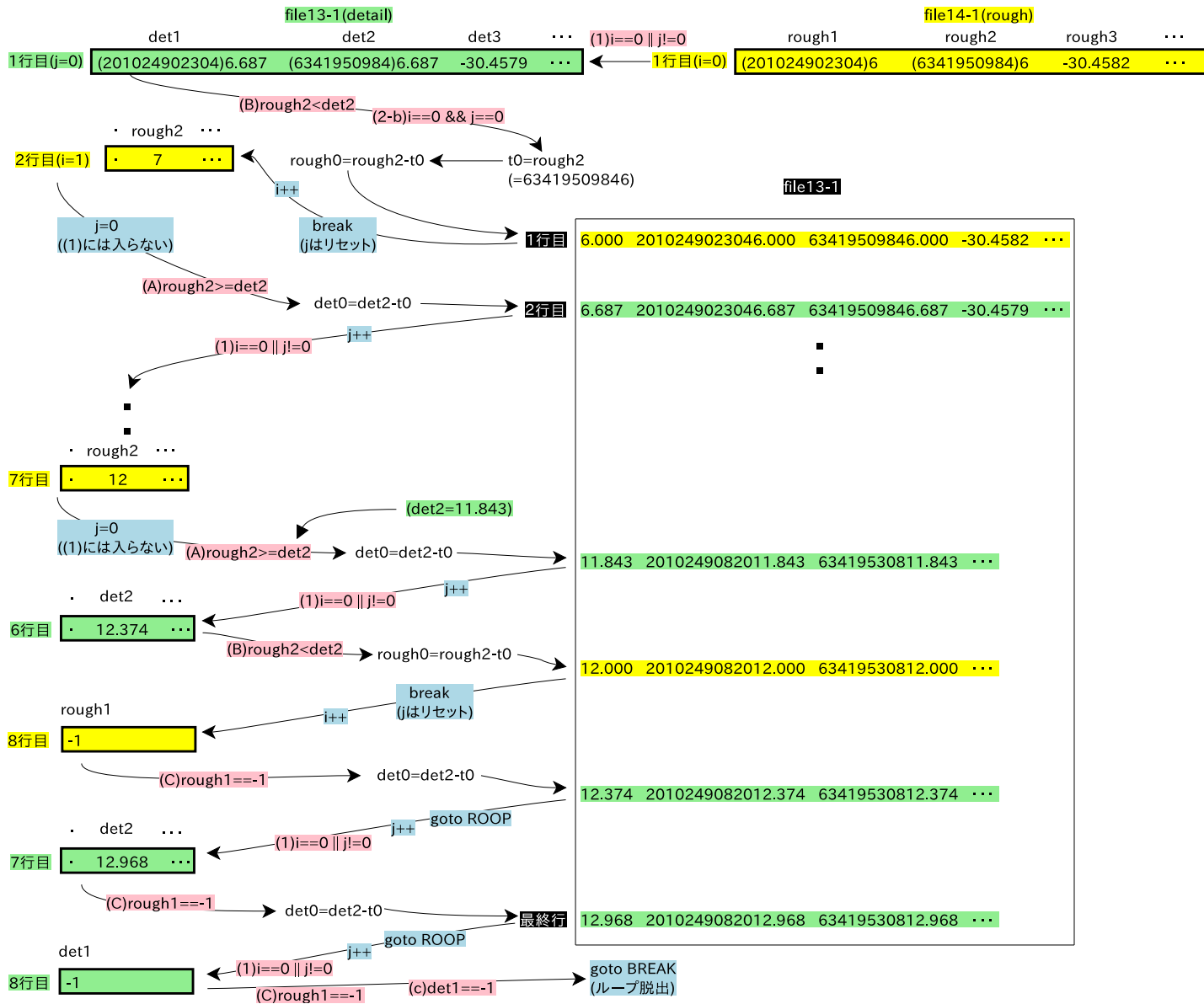
1	(201024902304)6.687	(6341950984)6.687	-30.4579	...
2	.	.	.	.
3	.	.	.	.
4	.	.	.	.
5	(20102490820)11.843	(634195308)11.843		
6	12.374	12.374		
7	12.968	12.968		
8	-1			

file14-1(rough)

1	(201024902304)6	(6341950984)6	-30.4582	...
2	7	7		
3	.	.	.	.
4	.	.	.	.
5	.	.	.	.
6	(20102490820)11	(634195308)11		
7	12	12		
8	-1			

を例にした格納の流れを図 2.21 にそれぞれまとめた。

図 2.21: func15 の格納の流れ (1 行目 file14-1、最終行 file13-1)

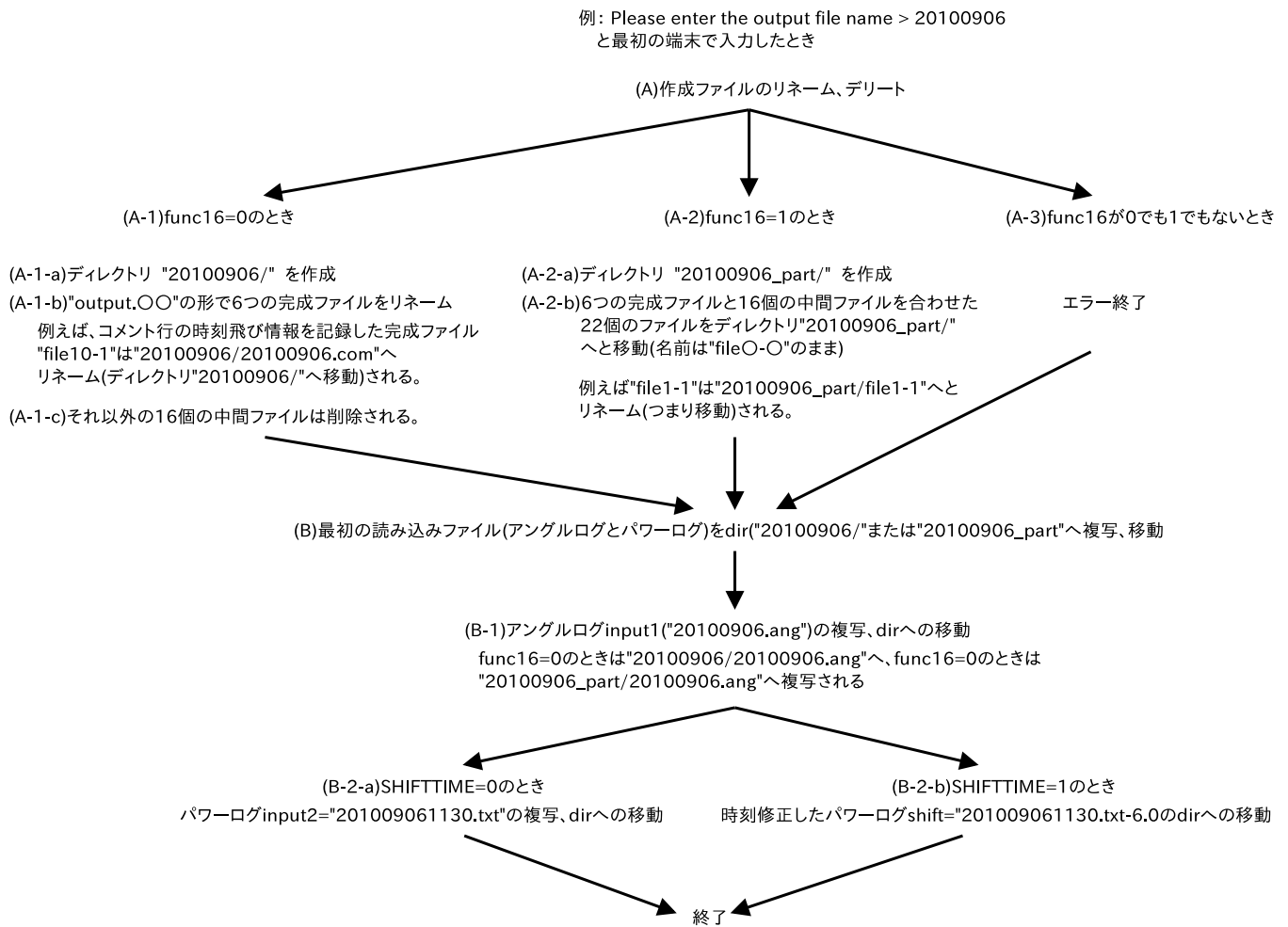


なお、(B)、(C)、(D) では各入力ファイルの 1 列目の秒数から (A) で取得した t0 を引き、その値をそれぞれのファイルの 1 列目に追加している。

2.16 func16.c

(A) では作成ファイルのリネーム、デリート、(B) では最初の読み込みファイル (アングルログとパワーログ) を複写、移動している。図 2.22 に全体の流れをまとめた。

図 2.22: func16 の全体の流れ (1 行目 file14-1、最終行 file13-1)



3 プログラム takahit.exe について

コマンドラインの引数をメイン関数に渡すことでオプションを設定を変更できるプログラム takahit.exe を作成した。これにより、オプションによる機能の拡張を行えるようにした。

また、takahit.exe ではその他にも、3つの完成ファイル〇〇.detail、〇〇.rough、〇〇.merge の4、5列目の強度 [dBm] の右列に [mW] に変換した値を追加した。

3.1 オプションの引数について

オプション機能における引数とその説明を表 3.9 にまとめた

表 3.9: オプション引数とその説明

引数	説明
-h	日立局アングルログを読み込む ⁵
-t	高萩局アングルログを読み込む
-s	アングルログとパワーログの時刻のズレを修正する (SHIFTTIME=1 にする)
-p	中間ファイルを作成する (FUNC16=1 にする)
-cut	あまり使わないと思われる列の情報を除外する
-Tsys	システム雑音温度 T_{sys}^* と T_{sys} の情報を追加する
-pow	パワーログの値 [dBm] を [mW] に変換した数値を追加する
-check	西暦時間を総秒数に変換した値を確認する。

3.2 使い方の例

使い方の例を以下にいくつかまとめる。

例 1 日立局アングルログとパワーログを使って解析を行なうとき (通常)

以下のように入力する (h は入れなくてもよい)。するとディレクトリ "20100906/" 内に 2 節で扱った 6 つの完成ファイルが作成され、2 つの入力ファイルがコピーされる。

```
$ ./takahit.exe (-h)
Please enter input file name of Hitachi angle log > 20100906.ang
Please enter input file name of power log > 201009061130.txt
Please enter the output file name > 20100906
63419509845.687 - 63419530812(2010249082012) is a common time
Create a directory for '20100906'
```

例 2 高萩局アングルログとパワーログを使い、パワーログの方がアングルログより 6 秒進んでおり、完成ファイルでなく中間ファイルを作成したいとき

入力後、ディレクトリ "20101212_part/" 内に 2 節で扱った 23 個の中間ファイルとパワーログを -6 秒したファイル (201011121919.txt_-6.0) 作成され、アングルログがコピーされる。

```
$ ./takahit.exe -t -s -p
Please enter input file name of Takahagi angle log > 20101112.ang@taka
Please enter input file name of power log > 201011121919.txt
Please enter the output file name > 20101212
Please enter the time shift of power log > -6
63425326769.375 - 63425330119(2010316111519) is a common time
Create a directory for '20101212_part'
Files created to '20101212_part'
```

ちなみに引数を複数追加するときに、引数の順番に決まりはないので、以下のように入力してもよい。

```
$ ./takahit.exe -p -t -s
```

⁵デフォルトでは、日立局のアングルログを読み込むようにしているため、日立局アングルログを読み込みたいときにはいちいち引数 "-h" を入れなくても問題ない。-h は -t との対比用に設けただけである。

例 3 日立局アングルログとパワーログを使い、解析ではあまり使わない列を除外したいとき

例 1 の方法で作成される完成ファイルでは”20100906.merge”は以下のように 16 列⁶となり扱いづらい。12~13 列目のアンテナの駆動速度の電圧、14 列目の目的地と現在地の差、15~16 列目の不明の列は解析ではあまり使わないと思われる。

```
1 0.687 2010249023045.687 63419509845.687 -30.4579 0.0008999326 -30.2427 0.0009456491 50.230 15.183 50.0450 14.9980 1.1000 1.1000
   0.257 0.000 0.000
2 0.937 2010249023045.937 63419509845.937 -30.4586 0.0008997876 -30.2467 0.0009447785 50.230 15.183 50.0450 14.9980 1.1000 1.1000
   0.257 0.000 0.000
3 1.000 2010249023046.000 63419509846.000 -30.4582 0.0008998705 -30.2481 0.0009444740 50.230 15.183 50.0450 14.9980 1.1000 1.1000
   0.257 0.000 0.000
```

そこで、以下のように”-cut”オプションを付け加えることでこれらの列を除外できるようにした。

```
$ ./takahit.exe -h -cut
Please enter input file name of Hitachi angle log > 20100906.ang
Please enter input file name of power log > 201009061130.txt
Please enter the output file name > 20100906
63419509845.687 - 63419530812(2010249082012) is a common time
Files created to '20100906'
```

この場合、”20100906.merge”は以下のように 11 列になる⁷。

```
1 0.687 2010249023045.687 63419509845.687 -30.4579 0.0008999326 -30.2427 0.0009456491 50.230 15.183 50.0450 14.9980
2 0.937 2010249023045.937 63419509845.937 -30.4586 0.0008997876 -30.2467 0.0009447785 50.230 15.183 50.0450 14.9980
3 1.000 2010249023046.000 63419509846.000 -30.4582 0.0008998705 -30.2481 0.0009444740 50.230 15.183 50.0450 14.9980
```

なお、これらの処理は”20100906.merge”だけでなく、同様な書式となっている”20100906.detail”、”20100906.rough”でも行われる。

例 4 日立局アングルログとパワーログを使い、 T_{sys}^* , T_{sys} を求めたいとき

事前情報として望遠鏡周辺の地上の温度 temperature[°C]、吸収帯を入れたときの出力 $P(T_{\text{amb}})$ [dBm]、 τ_0 の値がわかっているものとする。

例えば、temperature=11.6[°C]、 $P(T_{\text{amb}})=-5.898$ [dBm]、 $\tau_0=0.0090337$ のときは以下のように入力する。

```
$ ./takahit.exe -h -Tsys
Please enter input file name of Hitachi angle log > 20100906.ang
Please enter input file name of power log > 201009061130.txt
Please enter the output file name > 20100906
63419509845.687 - 63419530812(2010249082012) is a common time
Please enter the temperature [degrees Celsius] > 16.8
Please enter the P(Tamb) [dBm] > -5.898
Please enter the tau0 > 0.0090337
Files created to '20100906'
```

すると完成ファイル、”20101112.merge”では、先ほどの例 3 の書式での 5 列目と 6 列目の間に sensorA の出力を換算した T_{sys}^* , T_{sys} ⁸ の 2 列が、7 列目と 8 列目の間に sensorB の出力を換算した T_{sys}^* , T_{sys} の 2 列の計 4 列が以下のように追加される。

```
1 0.687 2010249023045.687 63419509845.687 -30.4579 0.0008999326 1.0183 0.9837 -30.2427 0.0009456491 1.0702 1.0339 50.230 15.183
   50.0450 14.9980 1.1000 1.1000 0.257 0.000 0.001
2 0.937 2010249023045.937 63419509845.937 -30.4586 0.0008997876 1.0181 0.9836 -30.2467 0.0009447785 1.0692 1.0329 50.230 15.183
   50.0450 14.9980 1.1000 1.1000 0.257 0.000 0.001
3 1.000 2010249023046.000 63419509846.000 -30.4582 0.0008998705 1.0182 0.9837 -30.2481 0.0009444740 1.0688 1.0326 50.230 15.183
   50.0450 14.9980 1.1000 1.1000 0.257 0.000 0.001
```

こちらでも、これらの処理は”20100906.merge”だけでなく、”20100906.detail”、”20100906.rough”でも行われる。

また、”〇〇.Tsyslog”という名前で T_{sys} 関係のログも追加で作成される。この例ではディレクトリ”20100906/”内に”20100906.Tsyslog”という名前のファイルが追加で作成される。書式は以下になる。

```
1 Tamb[K] P(Tamb)[dBm] P(Tamb)[mW] tau0
2 289.95 -5.8980 0.2571579766 0.00903370
```

⁶ 1 列目から、1:開始からの経過秒数,2:西暦秒数,3:総秒数,4:power sensor A の値 [dBm],5:sensor A の値 [mW], 6:sensor B の値 [dBm],7:sensor B の値 [mW],8:AZ(現在地 [度]),9:EL(現在地 [度]),10:AZ(目的地 [度]),11:EL(目的地 [度]),12:AZ の駆動速度の電圧 [V],13:EL の駆動速度の電圧 [V],14:目的地と現在地の差 [度],15:不明,16:不明”となっている。takahit.exe では 5 列目,7 列目を新たに追加した。

⁷ 高萩局アングルログの場合、通常 17 列できるが、”-t”と”-cut”を併用したときには 6 列除外され、日立局と同じ 11 列のみ残る。また、例 4 で説明する”-Tsys”オプションを”-cut”オプションと併用したときには、列が 4 列増えるので、日立局、高萩局共に 15 列残る。

⁸ $T_{\text{sys}}^* = \frac{P_{\text{sky}}}{P(T_{\text{amb}}) - P_{\text{sky}}} T_{\text{amb}}$, $T_{\text{sys}} = T_{\text{sys}}^* e^{-\tau}$ から求める。

例 5 パワーログを使い、mW に換算したいとき (アングルログ不要)

パワーログの 2 列目と 3 列目の出力 [dBm] を [mW] に換算した値を右隣の列に追加する。望遠鏡が動いていないなどの理由で、アングルログが存在していないときに、パワーログの [dBm] を [mW] に変換したいときに使う。

```
$ ./takahit.exe -pow
Please enter input file name of power log > 201009061130.txt
```

実行後ディレクトリ”201009061130.txt_pow”が作成され、その中に [mW] の列を追加したファイルが作成される。

なお、“-pow” オプションとの併用は“-Tsys” オプションのみが有効である。“-pow” オプションと“-Tsys” オプションを併用したときは、パワーログの 2 列目と 3 列目の出力 [dBm] を [mW] に変換した値の他に、 T_{sys}^* [K]⁹ に変換した値も右隣の列に追加される。

```
$ ./takahit.exe -pow -Tsys
Please enter input file name of power log > 201009061130.txt
Please enter the temperature [degrees Celsius] > 16.8
Please enter the P(Tamb) [dBm] > -5.898
Create a directory for '201009061130.txt_Tstar'
```

この場合、実行後ディレクトリ”201009061130.txt_Tstar”が作成され、その中に [mW],[K] の列を追加したファイルが作成される。

例 6 西暦時間を総秒数に変換したときの値を確認したいとき (アングルログ、パワーログ不要)

例えば、西暦秒数 2010 年 249 日 1 時 36 分 34 秒 ”2010249013634”を西暦 1 年 1 月 1 日 0 時 0 分からの総秒数に変換した値を確認したいときは、以下のように入力すると変換した総秒数”63419506594”が端末に出力される。

```
$ ./takahit.exe -check
Please enter the time of angle log
> 2010249013634
63419506594
```

⁹ T_{sys} に変換した値は EL がわからないため求めることはできない。

第II部

日立局電波望遠鏡のスカイライン解析について

第I部で扱った解析プログラムが一番大きな成果として挙げられるのは、AZ、EL が記載されているアングルログと、電波強度が記載されているパワーログを、同じ時間スケールに線形補間したことである。これにより、ある時刻におけるビームの向きと電波強度との対応を容易に知ることができるようになった。

これは例えば、望遠鏡のスカイライン解析や天体のポインティング精度評価、トラッキング精度の確認、その他の解析にも大いに役立てられると期待できる。第II部ではこのプログラムの活用事として、日立局電波望遠鏡から見たスカイライン測定と、その解析結果をまとめた。

スカイラインとは地上と空 (Blank Sky) の境界線のことで、方位角 AZ に対する仰角 EL 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、地上からの放射の影響のため、天体の観測ができなくなる。観測の計画を立てるうえでスカイライン情報は欠かせない。なお、スカイラインの定義については自明ではない。ここでは、ある AZ と EL における、電波強度またはシステム雑音温度が、空のみを見ていると考えられる基準値からある値 X より上昇する EL のラインを、X 上昇するスカイラインとして定義した。

測定は、2010 年 11 月 11 日、12 日の 2 日間で一回目を、再測定として 12 月 28 日に二回目を行なった。4 節では一回目の測定、5 節では二回目の測定の結果をまとめた。

4 スカイライン測定、解析 (11 月 11 日、12 日の測定)

4.1 測定法と各種解析

日立局スカイラインの測定方法について

- 2010 年 11 月 11 日 (測定 1 日目)
 - (1) 2010 年 11 月 11 日の T_{sys} 、 τ_0 を調べた。
 - (2) EL=5 度、AZ=2 度の受信強度を 1 分程度測定し、測定システムの変動の大きさを調べた。
 - (3) 強度を測定しながら、EL=5 度のまま、AZ=2 → 358 度までアンテナを動かした。
 - (4) (2) と同様、EL=5 度、AZ=358 度の強度を 1 分程度測定した。
 - (5) EL=6 度に移動して、(4) → (3) → (2) と同様の測定を順に行った (今度は AZ=358 → 2 度へと動かした)。
 - (6) 同様の手順で、EL=7,8,9,10,11 度に対して測定を行った。
- 2010 年 11 月 12 日 (測定 2 日目)
 - (7) 2010 年 11 月 12 日の T_{sys} 、 τ_0 を調べた。
 - (8) 日立局の望遠鏡へと登り、受信強度が高かった方角に何があるかを探るため、その方向に対し写真撮影を行なった。
 - (9) 強度の高い AZ=240-358 度の範囲で (2)~(4) の測定を、EL=5.5,6.5,...,10.5 度において測定した。
 - (10) AZ=240~358 度の範囲で、AZ を 5 度刻みで (AZ=240,245,...,358 度)、EL を 5~11(11~5) 度まで動かした。
 - (11) パワーログとアングルログに時刻のズレがないか 3C345 を追尾することで確認した。
 - (12) 日立局を高萩局へと固定し (AZ=61 度、EL=5 度)、高萩局を EL=5 度、AZ=11 → 349 度まで回し、高萩局から見た日立局の放射の影響を確認した。

(1)~(12) の解析結果を以降にまとめた。

(1),(7) 11月11日、12日の τ_0 、 T_{sys} の値

電波望遠鏡を (1) 吸収体に向けた場合、(2) 天体 (太陽とする) と同じ高度角 (つまり太陽と同じ τ が期待されるところ) の空 (Blank Sky) に向けた場合、(3) 太陽に向けた場合、それぞれの出力電力 $P(T_{\text{amb}})$ 、 P_{sky} 、 P_{sun} は以下ようになる。

$$P(T_{\text{amb}}) = GkB[T_{\text{RX}} + T_{\text{amb}} + T_{\text{other}}] \quad (1)$$

$$P_{\text{sky}} = GkB[T_{\text{RX}} + (1 - \eta)T_{\text{amb}} + T_{\text{other}} + \eta(1 - e^{-\tau})T_{\text{atm}}] \quad (2)$$

$$P_{\text{sun}} = GkB[T_{\text{RX}} + (1 - \eta)T_{\text{amb}} + T_{\text{other}} + \eta(e^{-\tau}T_{\text{A}}^* + (1 - e^{-\tau})T_{\text{atm}})] \quad (3)$$

G はゲイン、 B は受信周波数幅、 T_{RX} は雑音温度、 (T_{atm}) は上空大気の温度、 (T_{amb}) は望遠鏡周辺の (地上の) 温度、 τ は光学的厚み、 η はアンテナが空の方向を見る効率¹⁰(フィード効率)、 T_{A}^* は大気圏外で測定したときに得るアンテナ温度である。また、その他の雑音として以下のような T_{other} を導入した。

T_{other} について

天文観測では一般的に、雑音温度と望遠鏡周辺の温度の和の $T_{\text{RX}} + (1 - \eta)T_{\text{amb}}$ を雑音とするのに対し、天体の出力や地上の放射や人工電波源を信号として扱う。しかし、スカイライン解析では、地上の放射や人工電波源を雑音と見なすほうが都合がよい。そこで、 $T_{\text{RX}} + (1 - \eta)T_{\text{amb}}$ に加え、その他にも地上や人工電波の放射の和として T_{other} を定義した。

簡単のため $T_{\text{atm}} = T_{\text{amb}}$ と近似する¹¹と、上式は以下ようになる。

$$P(T_{\text{amb}}) = GkB[T_{\text{RX}} + T_{\text{amb}} + T_{\text{other}}] \quad (4)$$

$$P_{\text{sky}} = GkB[\underbrace{T_{\text{RX}} + (1 - \eta e^{-\tau})T_{\text{amb}} + T_{\text{other}}}_{\text{この部分が } T_{\text{sys}} \text{ に対応}}] \quad (5)$$

$$P_{\text{sun}} = GkB[T_{\text{RX}} + (1 - \eta e^{-\tau})T_{\text{amb}} + T_{\text{other}} + \eta e^{-\tau}T_{\text{A}}^*] \quad (6)$$

式 (5) の下線部分はシステム雑音温度 T_{sys} に対応している。式 (6) は式 (7) に変形できる。

$$P_{\text{sky}} = GkB e^{-\tau} [\underbrace{e^{\tau}T_{\text{RX}} + (e^{\tau} - \eta)T_{\text{amb}} + e^{\tau}T_{\text{other}}}_{\text{この部分が } T_{\text{sys}}^* \text{ に対応}} + \eta T_{\text{A}}^*] \quad (7)$$

ηT_{A}^* を除いた下線部分は、大気吸収量を補正したシステム雑音温度 T_{sys}^* になる。これは

$$\frac{P_{\text{sky}}}{P(T_{\text{amb}}) - P_{\text{sky}}} T_{\text{amb}} = e^{\tau}T_{\text{RX}} + (e^{\tau} - \eta)T_{\text{amb}} + T_{\text{other}} = T_{\text{sys}}^* \quad (8)$$

と表される。また、式 (5)、式 (7) の下線部から、観測量そのもののパワーを温度換算した T_{sys} は

$$T_{\text{sys}} = T_{\text{sys}}^* e^{-\tau} \quad (9)$$

となる。よって τ を別途測定すれば T_{sys}^* から T_{sys} を求めることができる。

τ は、天頂での光学的厚みを τ_0 、天頂からの角度距離を $Z = 90 - \text{EL}$ とすると図 4.1 から式 (10) のようになる。

$$\tau = \frac{\tau_0}{\cos Z} = \tau_0 \sec Z \quad (10)$$

式 (4)-(5) に $\tau = \tau_0 \sec Z$ を代入し、両辺の自然対数を取ると、式 (11) になる。

$$\underbrace{\ln(P(T_{\text{amb}}) - P_{\text{sky}})}_y = -\tau_0 \underbrace{\sec Z}_x + \text{const} \quad (11)$$

τ_0 は、 $y = -\tau_0 x + \text{const}$ と考えたときの (傾き) $\times (-1)$ に対応している。これより、各 EL ごとの P_{sky} を測ることにより、 τ_0 の値を見積もることができる。

¹⁰(1- η) は空でなくそっぽを向いている割合である。

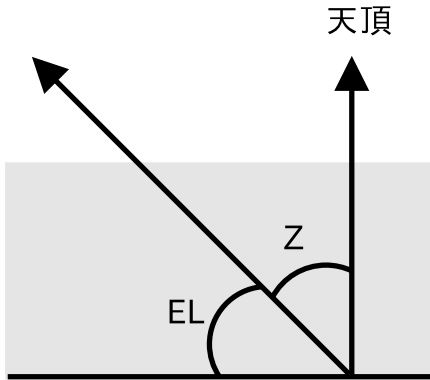
¹¹両者の違いはせいぜい~ 10%程度 (< 30K) であることが期待される。

例えば、2010 年 11 月 11 日の観測では、 $P(T_{\text{amb}}) = -5.898^{12} [\text{dBm}] = 2.572 \times 10^{-2} [\text{mW}]^{13}$ であり、EL ごとの $\sec Z$ 、 $P_{\text{sky}} [\text{dBm}]$ 、 $P_{\text{sky}} [\text{mW}]$ 、 $\ln(P(T_{\text{amb}}) - P_{\text{sky}}) [\text{mW}]$ の値は表 4.10 のようになった。

表 4.10: EL ごとの各値

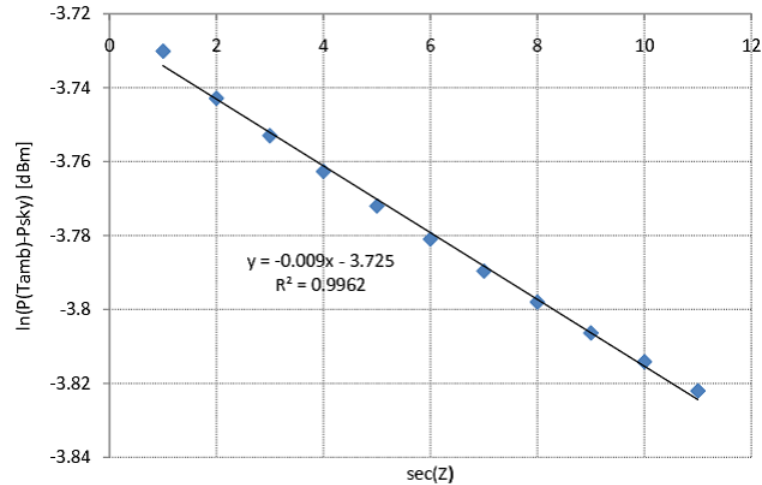
EL[deg]	$\sec Z$	$P_{\text{sky}} [\text{dBm}]$	$P_{\text{sky}} [\text{mW}]$	$\ln(P(T_{\text{amb}}) - P_{\text{sky}})$
85	1.0038	-17.632	1.73×10^{-3}	-3.730
30	2	-16.926	2.03×10^{-3}	-3.743
19.47	3	-16.444	2.27×10^{-3}	-3.753
14.48	4	-16.033	2.49×10^{-3}	-3.763
11.54	5	-15.670	2.71×10^{-3}	-3.772
9.594	6	-15.354	2.91×10^{-3}	-3.781
8.213	7	-15.070	3.11×10^{-3}	-3.790
7.181	8	-14.815	3.30×10^{-3}	-3.798
6.379	9	-14.576	3.49×10^{-3}	-3.806
5.739	10	-14.365	3.66×10^{-3}	-3.814
5.216	11	-14.165	3.83×10^{-3}	-3.822

図 4.1: $\sec Z$ による大気の厚みの補正



また、表 4.10 の $\sec Z$ と $\ln(P(T_{\text{amb}}) - P_{\text{sky}})$ の関係は図 4.2 のようになった。

図 4.2: $\sec Z$ と $\ln(P(T_{\text{amb}}) - P_{\text{sky}})$ の関係



これより、図 4.2 の (傾き) $\times (-1)$ から $\tau_0 = -9.03 \times 10^{-3}$ と求まった。また、測定時の望遠鏡周辺の温度は 16.8°C であり、 $T_{\text{amb}} = 289.95$ となった。よって、EL85 度での $T_{\text{sys}}^* = \frac{1.73 \times 10^{-3}}{2.57 \times 10^{-2}} - 1.73 \times 10^{-3} \times 289.95 = 20.849$ 、 $T_{\text{sys}} = 20.849 \times e^{(9.03 \times 10^{-3} \times 1.0038)} = 20.661$ と求まった。

11 日、12 日の τ_0 、 T_{sys} の値を以下にまとめた。

2010 年 11 月 11 日：気温 16.8°C 、 $\tau_0 = 9.03 \times 10^{-3}$ 、 $T_{\text{sys}}^* = 20.849\text{K} (\text{El}=85)$ 、 $T_{\text{sys}} = 20.661\text{K} (\text{El}=85)$

2010 年 11 月 12 日：気温 21.5°C 、 $\tau_0 = 9.07 \times 10^{-3}$ 、 $T_{\text{sys}}^* = 21.498\text{K} (\text{El}=85)$ 、 $T_{\text{sys}} = 20.303\text{K} (\text{El}=85)$

以降のスカイラインの解析では、電波強度 $[\text{dBm}]$ による解析の他に、温度換算した $T_{\text{sys}} [\text{K}]$ による解析を並行して行なった¹⁴。

¹² $P(T_{\text{amb}})$ は、アッテネータにより $10 [\text{dBm}]$ 出力を落としている。その補正をすると、 $P(T_{\text{amb}}) = -15.898 + 10 = -5.898 [\text{dBm}]$ となった。

¹³ $P [\text{mW}] = 10^{\frac{P [\text{dBm}]}{10}}$ から $[\text{dBm}]$ を $[\text{mW}]$ に変換した。

¹⁴ R-SKY 法で求めた τ は大気圏外から望遠鏡までの光学的厚みである。山などの大気圏内にある物体を見たときは、 $T_{\text{sys}} = T_{\text{sys}}^* e^{-\tau}$ の光学的厚みが小さくなるため、 T_{sys} の値は厳密ではなくなる。そのため、今回は T_{sys} を使い解析したが、 T_{sys}^* を使う方がより適切であったと思われる。ただし、 τ の値が非常に小さいため、 T_{sys} や T_{sys}^* のどちらを使うにしてもほとんど変わりはない。

(2),(4) 各 EL 測定直前、測定直後の電波強度の変動について

測定前後で、望遠鏡のシステム内の出力の変動を調べるため、各 EL ごとに方位角を回し始める直前と回し終えた直後の方位¹⁵での出力を1分程度測定した。その結果は表 4.11 のようになった。

表 4.11: 各 EL の測定前後の平均値と標準偏差

EL[deg]	測定前の平均値 [dBm]	測定後の平均値 [dBm]	測定前の標準偏差 [dBm]	測定後の標準偏差 [dBm]
5.0	-13.7364	-13.5759	0.00473	0.01274
5.5	-13.9424	-13.9681	0.01281	0.00271
6.0	-14.0336	-13.9131	0.01543	0.01550
6.5	-14.3621	-14.0725	0.00340	0.02467
7.0	-14.3239	-13.8825	0.02471	0.02903
7.5	-13.6670	-14.6350	0.04114	0.00230
8.0	-14.4813	-14.6717	0.02500	0.01174
8.5	-14.8902	-14.8414	0.00242	0.00203
9.0	-14.5704	-15.0010	0.03330	0.01174
9.5	-15.0791	-15.0727	0.00357	0.00211
10.0	-15.0909	-15.2302	0.01001	0.00196
10.5	-15.2643	-15.2177	0.00467	0.00232
11.0	-15.3827	-15.3773	0.01611	0.00177

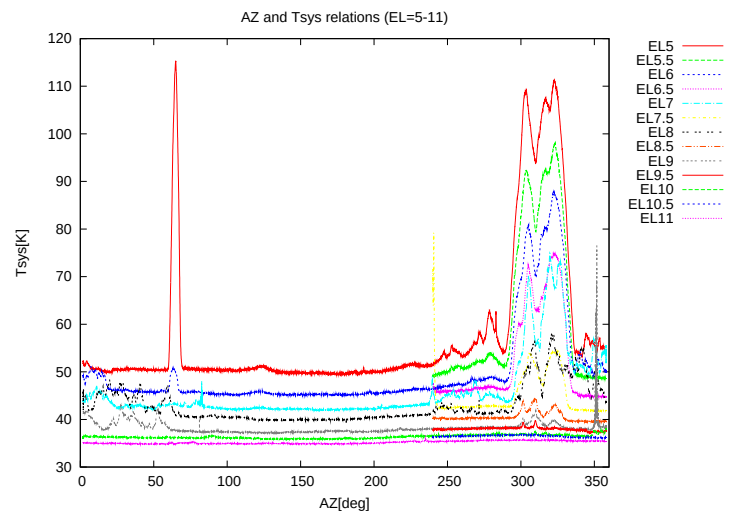
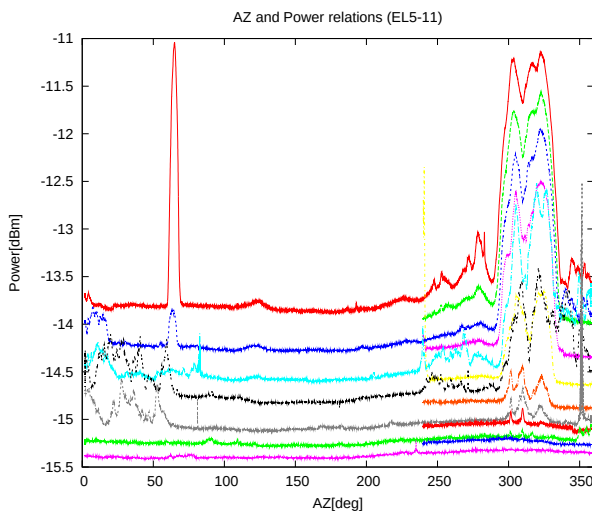
測定前後の方位角 (AZ=2 度や AZ=358 度) では、人工電波の影響を比較的受けてしまっている。そのため、標準偏差が高くなってしまったり、測定前後での平均値に大きな差ができてしまっている箇所が見られる。システム内の出力の変動を調べるためには、人工電波の影響をほとんど受けていない方位角で測定を行なうことが適切である。

(3),(5),(6),(9) AZ と絶対量 P_{sky} 、 T_{sys} の関係

測定されたアングルログとパワーログを、第 I 部で述べたプログラムを使い解析した。それにより得られたファイルの AZ と P_{sky} [dBm]、 T_{sys} [K] の出力の関係はそれぞれ図 4.3、図 4.4 のようになった。

図 4.3: AZ と P_{sky} [dBm] の関係 (EL=5-11)

図 4.4: AZ と T_{sys} [K] の関係 (EL=5-11)



大気の高みや EL ごとの空の温度に違いがあるため、どちらの解析でも P_{sky} と T_{sys} の空のみを見ていると考えられる状態での受信強度が違う。そのため、EL ごとの P_{sky} や T_{sys} の絶対量を単純に比較するだけでは、スカイラインを推定することが難しい。

¹⁵例えば、方位角を 2 → 358 度へと回した EL=5 度ならば、測定直前の方位は (AZ,EL)=(2,5)、測定直後の方位は (358,5) となる。それに対し、方位角を 358 → 2 度へと回した EL=6 度ならば、測定直前の方位は (358,6)、測定直後の方位は (2,6) となる。

(8) 受信強度の高い方位角の写真

日立局に登り、11月11日の解析で受信強度の高かった方位角での様子を確認した。図4.5、図4.6に強度の強かったAZ=62~63度、AZ=305~325度辺りの写真を載せた。AZ=50~70度で強度が高くなっているのは高萩局の放射の影響で、AZ=290~350度辺りで強度が高くなっているのは、山や人工電波の影響を受けているためだと思われる。

図 4.5: AZ=62-63 度



強度が高くなる原因は高萩局の望遠鏡であることがわかる。

図 4.6: AZ=305-325 度



AZ=290~350度では山の放射の他にも、人工電波の影響を受けていることが、強度が高くなる原因であると思われる。

(10) 方位角を固定し、EL=5~11度に動かしたときの強度の変化

測定時の電波強度の高かった、AZ=240~358度におけるAZ5度ごとのELと電波強度の関係を図4.7~4.9に示した。

図 4.7: EL と P_{sky} の関係 (AZ240~275 度)

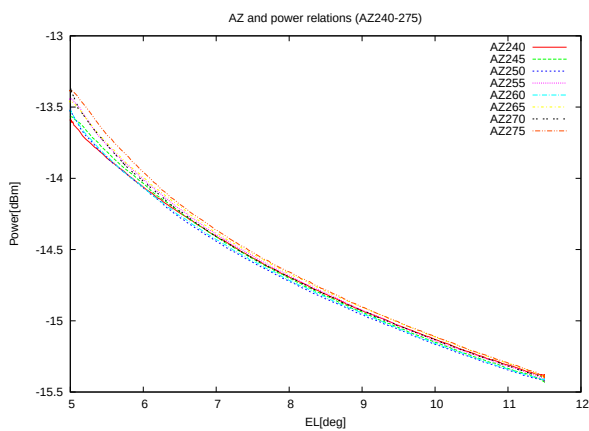


図 4.8: EL と P_{sky} の関係 (AZ280~315 度)

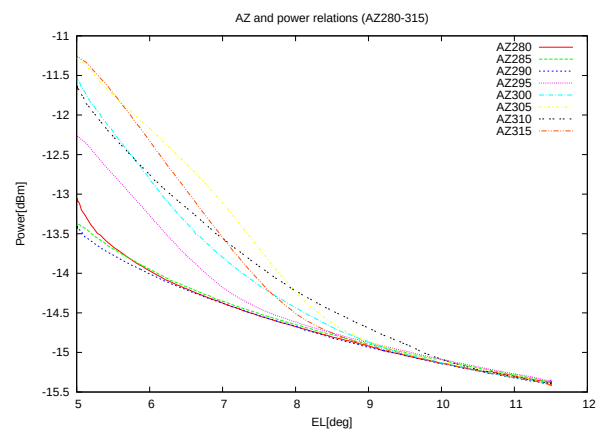
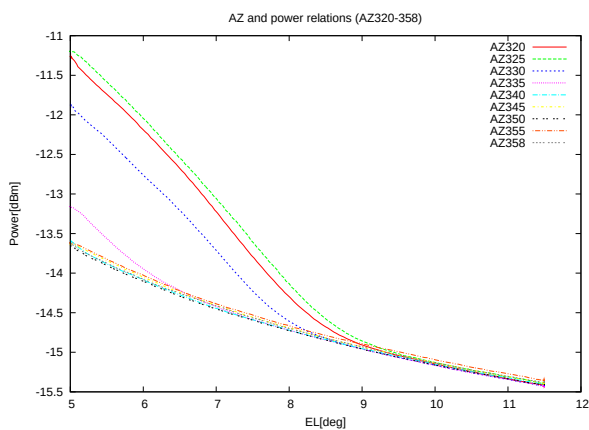


図 4.9: EL と P_{sky} の関係 (AZ320~358 度)

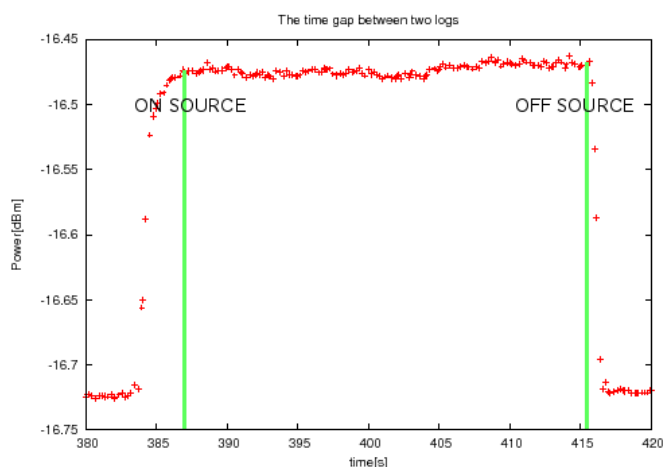


ELが低いほど大気吸収量が多くなるため電波強度が高くなる。AZ=295~335度で傾き方が顕著になっていることから、この範囲では人工電波や地平線の影響が特に強いものと考えられる。

(11) パワーログとアングルログの時刻のズレについて

パワーログとアングルログはそれぞれ別々に取得されているため、時刻が相対的にズレることがある。これを補正するため、十分強い電波源である 3C345 を追尾したときの、経過秒数と電波強度の関係のグラフ図 4.10 と、第 I 部のプログラムで作成されるコマンドのログ (.ref) を比較した。

図 4.10: 経過秒数と電波強度の関係



コマンドのログ (.ref)

```
112      *
113      381 63425322629 2010316091029* ON SOURCE
114      408 63425322656 2010316091056* offset azel -30 0
115      409 63425322657 2010316091057* OFF SOURCE
116      *
```

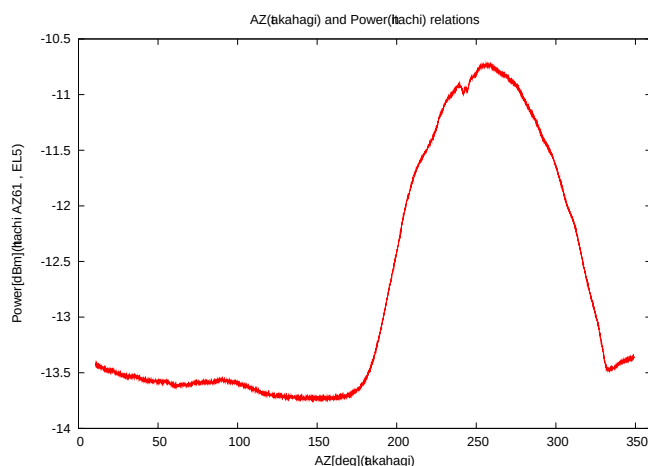
各列は 1 列目から「経過秒数」、「総秒数」、「西暦秒数」、「コマンド」である。

コマンドのログの ON SOURCE と OFF SOURCE とグラフを比較してみると 6 秒程度のズレ (パワーログのほう が 6 秒進んでいる) が生じていることが確認できる。これを踏まえ今回は、全てのパワーログの時刻を -6 秒として から解析を行った。

(12) 高萩局から見た日立局の影響

日立局は AZ=61 度付近で高萩局の影響を受け、受信強度が高くなる。この影響を詳しく見るため、日立局を強度 が高かった AZ=61 度¹⁶、EL=5 度に固定し、高萩局を AZ=11 → 349 度まで回したときの高萩局の AZ と日立局の 電波強度の関係を調べた。その結果を図 4.11 に示した。

図 4.11: 高萩局の AZ と日立局の電波強度 [dBm] の関係



5.1 節で説明するが、高萩局から見て、日立局の中心の方位角は AZ=243.880 度と求まる。図 4.11 から高萩局がそ の方向¹⁷を向いたときに受信強度が高くなっていることを確認した。

¹⁶後に、日立局から見た高萩局の中心の方位角は AZ=63.878 度と求まる。しかし、11 月 12 日時点では日立局から見た高萩局の中心の方位角 を求めていなかったため、強度が高かった AZ=61 度に固定した。

¹⁷図 4.11 の受信強度のピークは、計算から得られる日立局中心の方位角 AZ=243.880 度からズレた、AZ=250 度付近となっている。これは、 日立局の方位角を高萩局の中心となる AZ=63.878 ではなく、AZ=61 度に固定したことが原因であると考えられる。

4.2 標準偏差による解析

空から山や人工電波を見始めたときや、逆に、山や人工電波から空を見始めたとき、その方角での標準偏差は高くなる。そのため、ある間隔の方角におけるデータ点の標準偏差を求めることで、山や人工電波の影響を受けている方角を調べることができる。そこで、1 度間隔の方角のデータ点における標準偏差を求めるプログラムを作った。AZ1 度間隔の方角と、その区間の標準偏差の関係を階段状にプロットしたグラフを図 4.12、図 4.13 に示した。

図 4.12: AZ と標準偏差の関係 (11 日の測定)

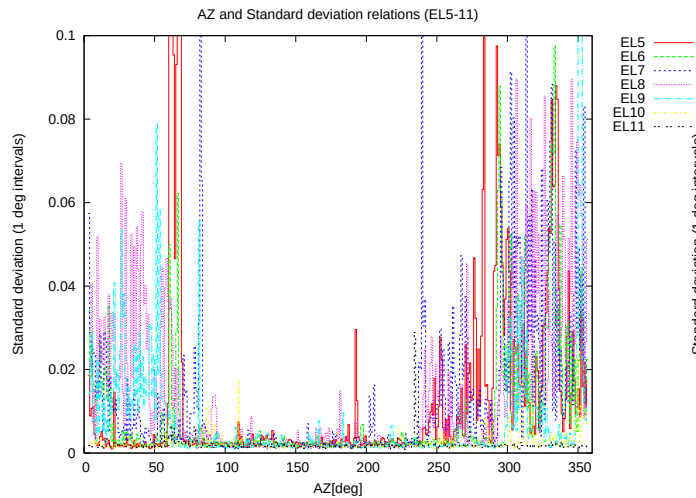


図 4.13: AZ と標準偏差の関係 (12 日の測定)

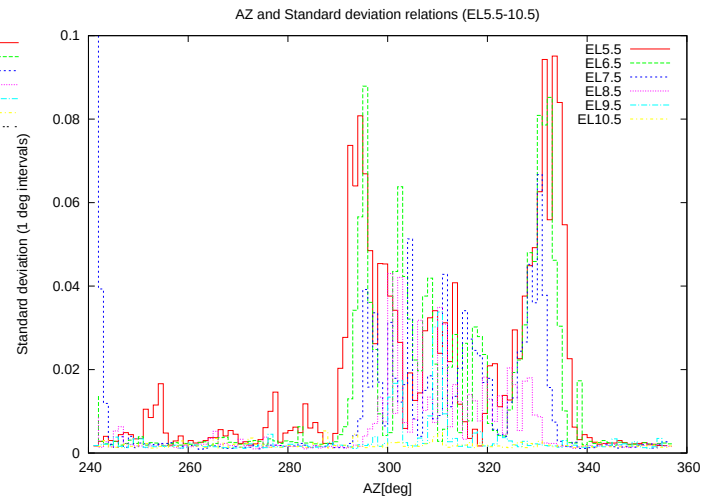
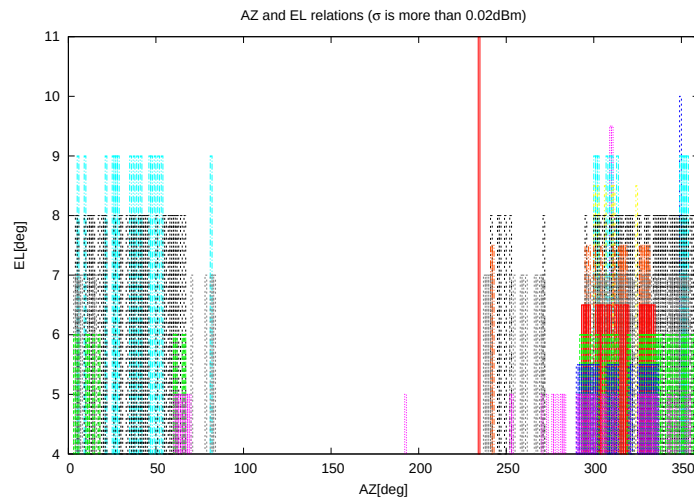


図 4.12 の AZ=100~230 度では、他と比べて標準偏差は低く、0.01[dBm] 以下の箇所がほとんどである。この範囲では山や人工電波の影響を受けておらず、空のみを見ている可能性が高い。

空のみを見ているときと比べて、有意に強度が高いと考えられる 0.02[dBm] をスカイラインのしきい値と考えると、標準偏差によるスカイラインは図 4.14 のようになった。

図 4.14: 1 度間隔の AZ の標準偏差が 0.02[dBm] 以上となる AZ と EL の関係



4.3 電波強度差による解析

電波強度 [dBm] を用いたスカイラインの導出も試みた。

4.1 節でも述べたが、地平線に近づくほど大気の厚みが増し、大気の放射は強くなるため、電波強度の絶対量を単純に比較するだけではスカイラインを推定することが難しい。そこで、空を見ていると考えられ、明らかに地平線や人工電波の影響を受けていない地点とそこでの電波強度を off 点と P_{off} 、その他の地点とそこでの電波強度を on 点と P_{on} とし、各 EL における相対量 $P_{\text{on}} - P_{\text{off}}$ を比較することでスカイラインを導出した。

各 EL における off 点、試行的な P''_{off} の選定

測定日によって AZ の範囲が違ったため、11 日は AZ=140 度付近を、12 日は AZ=250 度付近をそれぞれ off 点とした。その地点での受信強度を P'_{off} とする。また、大気放射の影響を補正し、各 EL で一貫性を持たせるために、図 4.15、図 4.16 のように P'_{off} を EL の 2 次の多項式として¹⁸近似し、その式から得られる値を P''_{off} とした。表 4.12 に各値を示した。

図 4.15: EL と P'_{off} の多項式近似 (11 日の測定)

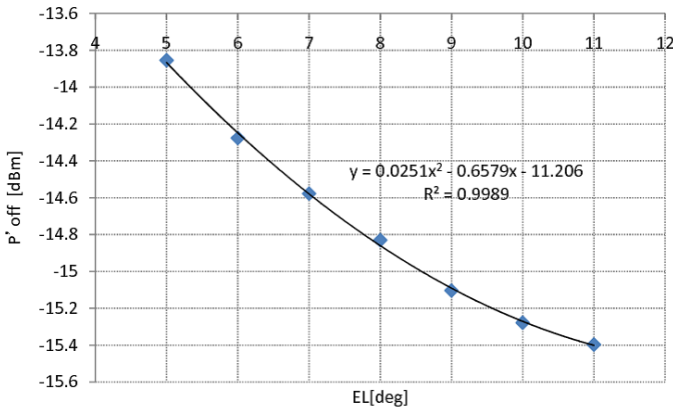


図 4.16: EL と P'_{off} の多項式近似 (12 日の測定)

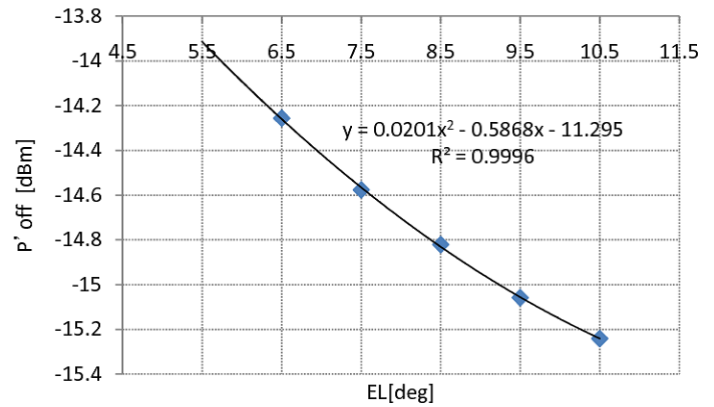


表 4.12: 試行的な P''_{off} の決定

20101111				20101112			
EL[deg]	AZ(off 点)[deg]	P'_{off} [dBm]	P''_{off} [dBm]	EL[deg]	AZ(off 点)[deg]	P'_{off} [dBm]	P''_{off} [dBm]
5	140.027	-13.8542	-13.8680	5.5	—	— ¹⁹	-13.9144
6	139.998	-14.2761	-14.2498	6.5	249.980	-14.2564	-14.2600
7	140.022	-14.5779	-14.5814	7.5	249.990	-14.5765	-14.5654
8	140.013	-14.8305	-14.8628	8.5	249.994	-14.8210	-14.8306
9	139.991	-15.1039	-15.0940	9.5	249.986	-15.0584	-15.0556
10	140.025	-15.2781	-15.2750	10.5	249.995	-15.2414	-15.2404
11	140.020	-15.3969	-15.4058			—	

今後の解析ではまず最初に試行値として、この P''_{off} を用いた。

¹⁸ここは本来、先ほどの (2) 式 (または (5) 式) を使うのが正確だが、単に近似式を得ることが目的であるため 2 次式を使っている。

¹⁹EL=5.5 度での off 点は、測定した AZ240~358 度の範囲では受信強度が高くなってしまい適切な off 点を見つけれなかった。

試行値 P''_{off} による AZ と $P_{\text{on}} - P''_{\text{off}}$ の関係

AZ と $P_{\text{on}} - P''_{\text{off}}$ の関係は図 4.17 のようになった。

図 4.17: AZ と $P_{\text{on}} - P''_{\text{off}}$ の関係 (EL=5-11)

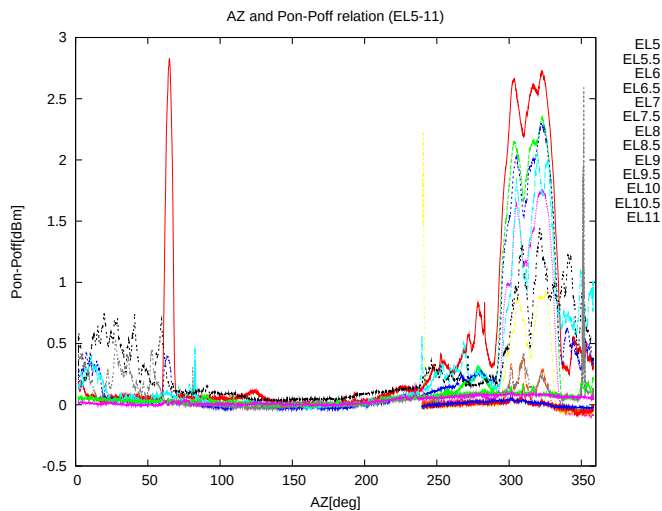
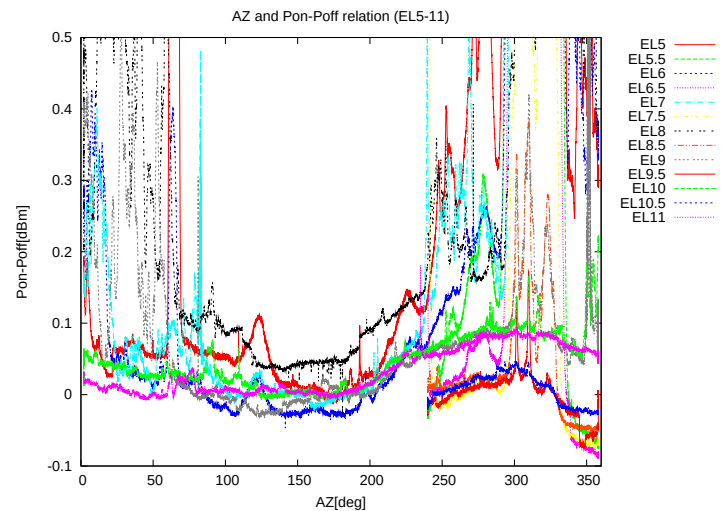


図 4.18: $P_{\text{on}} - P''_{\text{off}}$ における P_{border} のゼロからのズレ



山の放射や人工電波といった外部からの放射の影響を受けておらず、空のみを見ていると考えられる状態での、電波強度の相対量 $P_{\text{on}} - P_{\text{off}}$ の値を P_{border} とする²⁰。システムや大気の揺らぎが全くない場合、空のみを見ていると考えられる方角では $P_{\text{on}} = P_{\text{off}}$ となる。つまり、この方角の基準値 P_{border} がゼロに近づけば近づくほど、理想的な P_{off} を選んでいるといえる。

絶対量 P_{sky} では、図 4.3 のように空のみを見ていると考えられるときの電波強度が EL 間で違っていたため、EL 間での強度の比較ができなかった。それに対し、図 4.17 では、 $P_{\text{on}} - P''_{\text{off}}$ という相対量を考えたことで、 P_{border} をおおそゼロに揃えることができ、EL 間の比較をができるようになった。

しかし、拡大した図 4.18 を見てみると P_{border} がゼロにまとめきれしていない。これは、AZ=140 度や AZ=250 度にある 1 つのデータ点のみで P'_{off} を決めたことと、測定日が EL によって異なるためことが原因であると考えられる。

²⁰例えば、今回の 11 月の測定では、外部からの放射の影響を受けていないと考えられる AZ=100~200 度辺りでの $P_{\text{on}} - P''_{\text{off}}$ を P_{border} であると考えることができる。

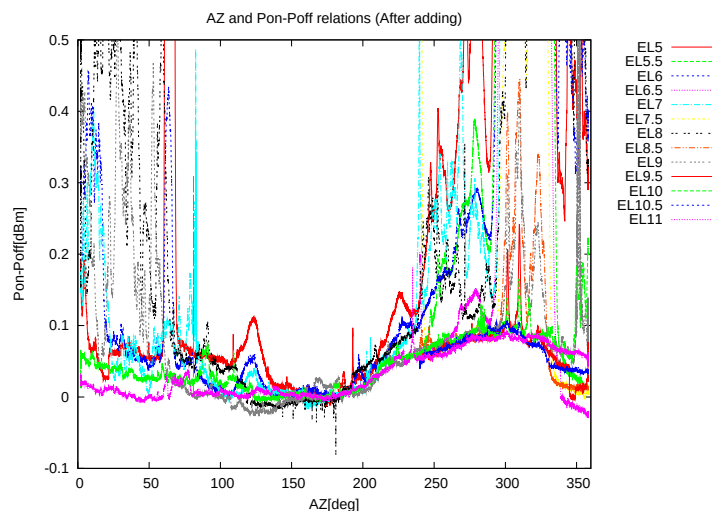
最終的に採用する P_{off} の決定

依然として大気放射の EL 依存性が補正しきれていないため、図 4.17 でプロットしたファイルを使って、正確なスカイラインを得ることができない。そこで、図 4.18 を参考に P_{border} がゼロになるような、加算すべき補正値を決めた²¹。表 4.12 の試行的に用いた P''_{off} から補正値を引いた値を最終的な P_{off} として採用する。各値は表 4.13 のようになった。

表 4.13: 補正値、 P_{off} の決定

EL[deg]	補正値 [dBm]	P''_{off}	P_{off}
5	0	-13.8680	-13.8680
6	+0.03	-14.2498	-14.2798
7	+0.005	-14.5814	-14.5864
8	-0.05	-14.8628	-14.8128
9	+0.005	-15.0940	-15.0990
10	0	-15.2750	-15.2750
11	0	-15.4058	-15.4058
5.5	+0.08	-13.9144	-13.9944
6.5	+0.06	-14.2600	-14.32
7.5	+0.075	-14.5654	-14.6404
8.5	+0.06	-14.8306	-14.8906
9.5	+0.07	-15.0556	-15.1256
10.5	+0.06	-15.2404	-15.3004

図 4.19: P_{off} によるズレの補正



この P_{off} を用いて先ほどの、AZ と $P_{\text{on}} - P_{\text{off}}$ の関係をプロットすると図 4.19 のようになった。図 4.18 に比べ、各 EL 間での P_{border} のゼロからのズレを解消することができた。

測定値から直接導かれるスカイライン

AZ、EL、 $P_{\text{on}} - P_{\text{off}}$ を求めたファイルに対し、 $P_{\text{on}} - P_{\text{off}}$ がしきい値を越える AZ、EL の組み合わせを取得し、それをプロットすれば AZ=1 度の分解能でのスカイラインを知ることができる。

図 4.20: 0.1dBm を越えるの AZ、EL の組み合わせ

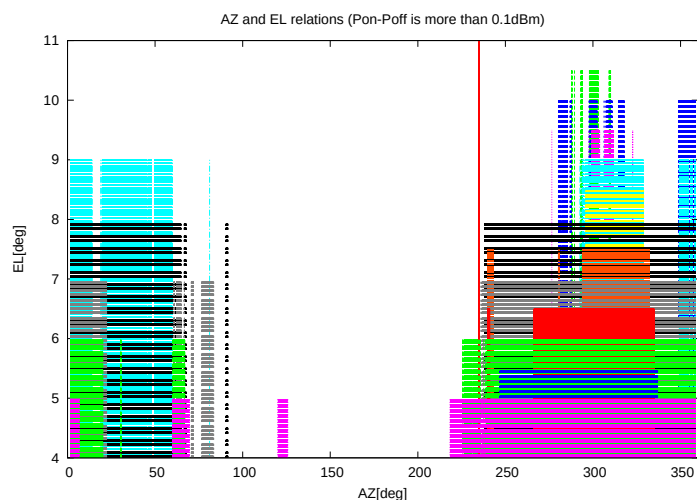


図 4.21: 各しきい値を越える AZ、EL の組み合わせ

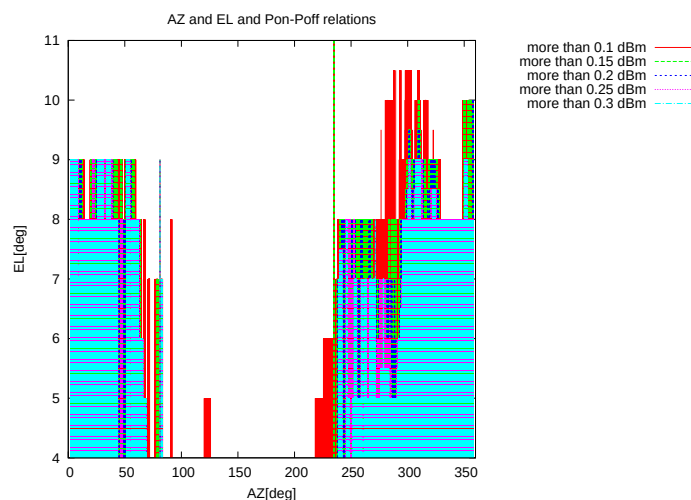


図 4.20 は、各 EL において $P_{\text{on}} - P_{\text{off}}$ の値が 0.1dBm を越えた AZ、EL をインパルス状にプロットしたものである。このグラフの EL の最大値が 0.1dBm を越えるスカイラインであると考えられる。また、それぞれ 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3dBm をしきい値と考えたときのスカイラインを図 4.21 に示した。

²¹ 本来ならば測定日の違いのズレは、共通の環境を測定し、すり合わせ用の係数を決定し校正を行うべきだが、一回目の測定では共通の条件での測定を行っておらず、係数の決定が正確に行えなかったので加算した。

線形補間によるスカイラインの決定

図 4.21 の EL の最大値を線で結べば、各しきい値を越えるスカイラインをプロットできる。しかし、各 EL ごとの AZ のサンプル値は統一されていないため、しきい値を越える EL の最大値を測定値から直接決定することができない。そこで、 $P_{on} - P_{off}$ の値を AZ を 0.1 度間隔で考えたときのスケールで線形補間し、各 EL ごとの AZ を 0.1 度間隔で統一した。0.1dBm 以上の (AZ,EL) のデータ点の取得までの流れを図 4.22 にまとめた。

図 4.22: スカイラインのデータ点取得までの流れ

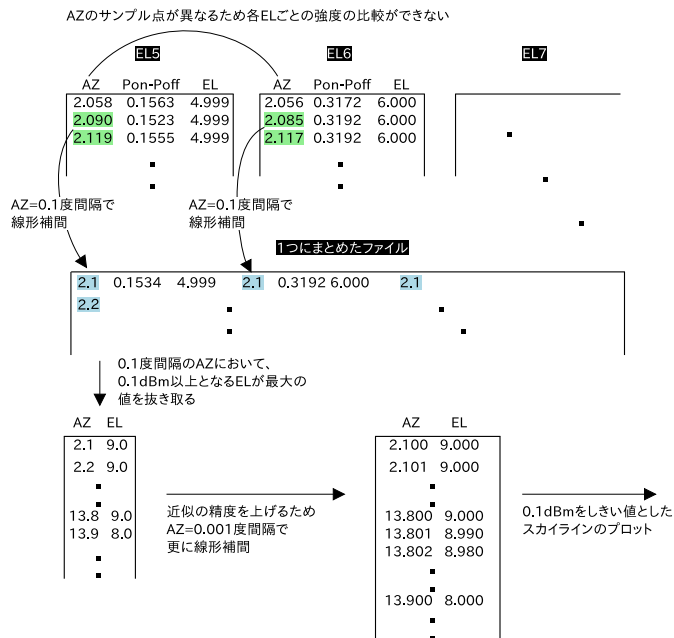
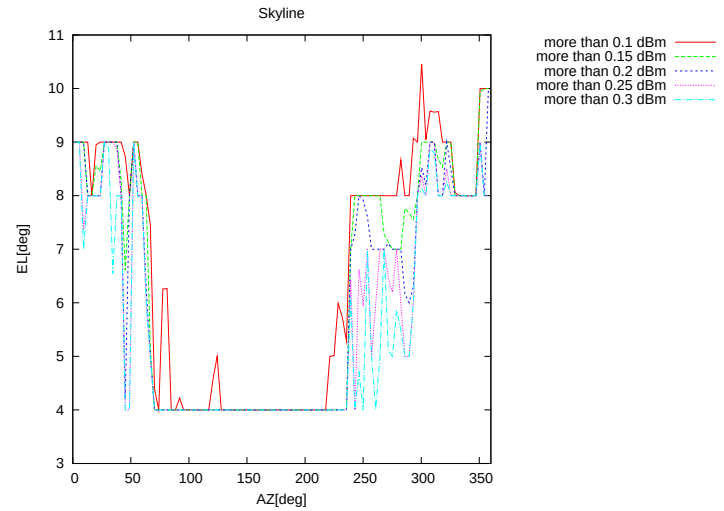


図 4.23: 電波強度 [dBm] のスカイライン



こうして取得したファイルをプロットし、最終的にしきい値となる電波強度 [dBm] ごとで定義したスカイラインが図 4.23 として得られた。

4.4 システム雑音温度の差による解析

4.3 節と同様に、システム雑音温度の差 ($T_{\text{syson}} - T_{\text{sysoff}}$) を用いたスカイラインの導出も試みた。

AZ と $T_{\text{syson}} - T_{\text{sysoff}}$ の関係

AZ と $T_{\text{syson}} - T_{\text{sysoff}}$ の関係は図 4.24、図 4.25 のようになった。空のみを見ていると考えられる状態での、雑音温度の相対量 $T_{\text{syson}} - T_{\text{sysoff}}$ の値を T_{border} とする。こちらも、絶対量 T_{sys} では、図 4.4 のように空のみを見ていると考えられる状態の基準値が EL 間でズレてしまっていたため、EL 間の比較ができなかった。しかし、相対量 $T_{\text{syson}} - T_{\text{sysoff}}$ を考えたことで、図 4.24、図 4.25 のように T_{border} をゼロに揃えることができた。ここではあらかじめ、EL ごとの放射量を補正するよう決めた、表 4.13 の各 EL での P_{off} を温度換算した値を T_{sysoff} としたので、図 4.18 のように T_{border} をゼロにまとめることができています。

図 4.24: AZ と $T_{\text{syson}} - T_{\text{sysoff}}$ の関係 (EL=5-11)

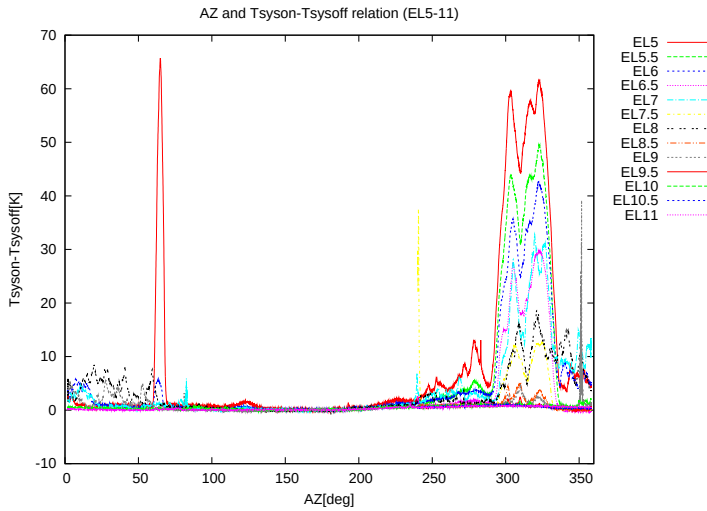
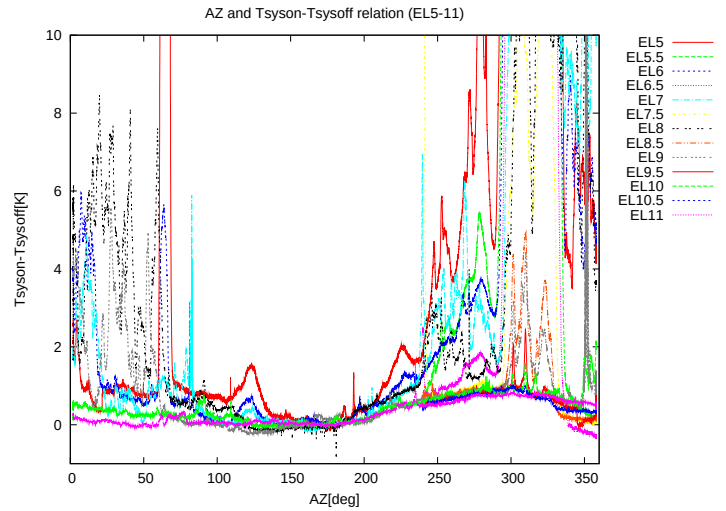


図 4.25: T_{sysoff} のズレについて



測定値から直接導かれるスカイライン

4.3 節同様、AZ、EL、 $T_{\text{syson}} - T_{\text{sysoff}}$ を求めたファイルに対し、 $T_{\text{syson}} - T_{\text{sysoff}}$ がしきい値を越える AZ、EL の組み合わせを取得し、それをプロットすれば AZ=1 度の分解能でのスカイラインを知ることができる。

図 4.26: 差が 1.0K 以上の AZ、EL の組み合わせ

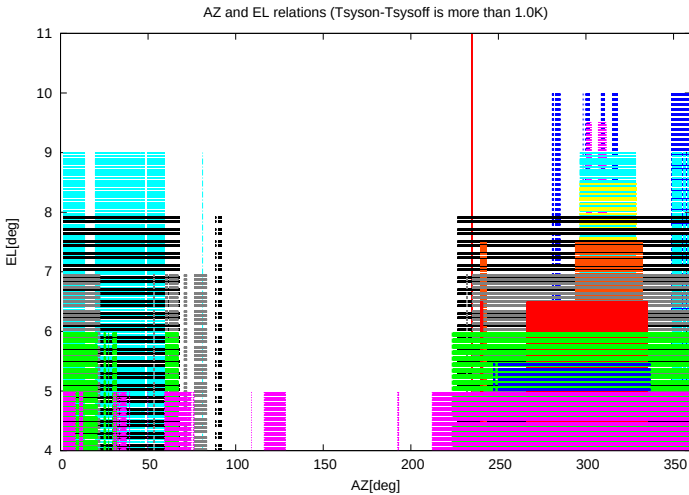


図 4.27: 差が各基準値以上の AZ、EL の組み合わせ

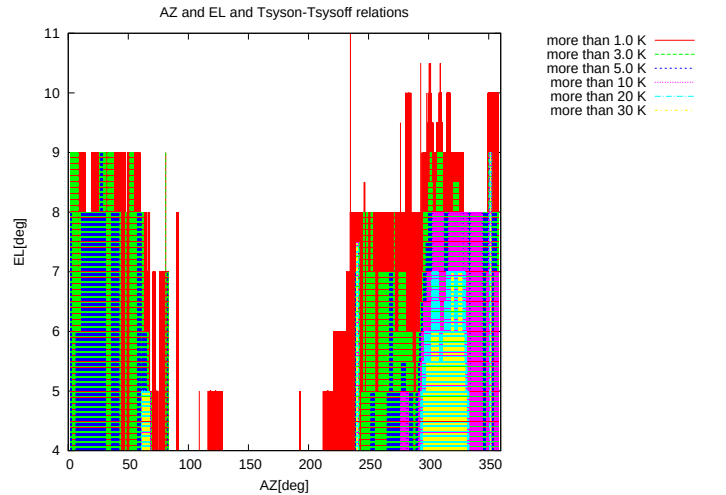
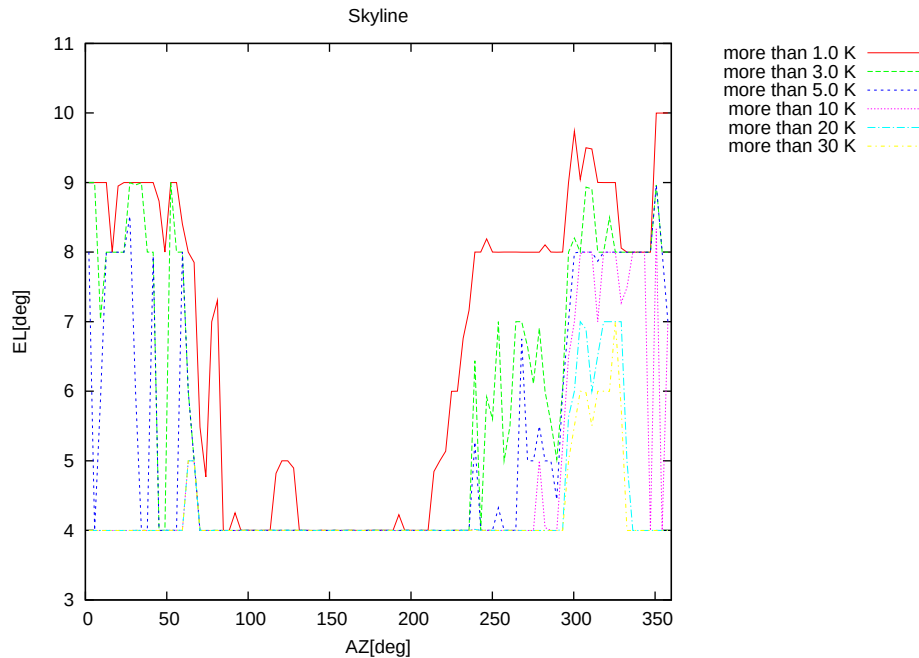


図 4.26 は、各 EL において $T_{\text{syson}} - T_{\text{sysoff}}$ の値が 1.0K を越えた AZ、EL をインパルス状にプロットしたものである。このグラフの EL の最大値が 1.0K を越えるスカイラインであると考えることができる。また、それぞれ 1,3,5,10,20,30K をしきい値と考えたときのスカイラインを図 4.27 に示した。

システム雑音温度のスカイライン

3 節同様、線形補間などのファイルの加工を行い、最終的に温度換算した際のスカイラインは図 4.28 のようになった。

図 4.28: 温度換算したときのスカイライン



4.5 11月11日、12日のスカイライン測定、解析の反省点と再測定について

今回の測定の考察、反省点を以下にまとめた。

- 標準偏差による解析方法について
4.2 節で AZ1 度ごとの標準偏差を求めたが、1 度ごとの標準偏差が大きく変動するのは山や人工電波源を捉え始めたとき、または捉え終えたときのみである。山を捉え始めたときと捉え終えたときの間の標準偏差の変動は、捉え始め、捉え終わりと比べるとさほど大きくならない。そのため、4.2 節の方法で精度の高いスカイラインを描くことは難しいと考えられる。
- P_{off} 、 T_{sysoff} の選定について
4.3 節では多項式近似によって P'_{off} を求めた。しかし、AZ=140 度や AZ=250 度にある 1 つのデータ点のみで P'_{off} を決めたことと、測定日が EL によって異なるため、図 4.18 のように、EL 間の P_{border} がゼロからズレてしまった。今回の測定では、加算すべき補正値をグラフから決定することで、そのズレを解消した。しかし、この補正値は図 4.18 のグラフを参考に目で決めてしまっているものであり、適切な解析方法とはいえない。解析方法を再考し、より精度の高い P_{off} 、 T_{sysoff} の値を得られるようにする必要がある。
- 高萩局の影響について
解析から高萩局の影響を受けていることは確認できた。再測定ではお互いの望遠鏡から見たときの中心方角を計算するなど、高萩局の影響の詳細を調べる必要がある。

5 スカイライン再測定、解析 (12月28日の測定)

5.1 測定法と各種解析

日立局スカイラインの測定方法について

- 2010 年 12 月 24 日 (事前準備)
 - (1) 吸収体を入れた状態で長時間受信強度を計測し、望遠鏡内の受信機などのシステムの変動の上限値を調べた。
- 2010 年 12 月 28 日 (測定日)
 - (2) 2010 年 12 月 28 日の T_{sys} 、 τ_0 を測定した。
 - (3) 高萩局から見た日立局の AZ の中心方位角、および高萩局の鏡面が占める空間の EL の最大値を求め、高萩局をその方位角に固定した。
 - (4) EL=5、5.5、...、13.5 度の 0.5 度刻みで、日立局を AZ=2 → 358 度 (358 → 2 度) まで回した。
 - (5) 望遠鏡内のシステムや大気の変動の影響により、開始時と終了時でどれほど受信強度の基準が変化したかを確認するため、終了時に EL=5 度で日立局を AZ=2 → 358 度まで再度回した。
 - (6) パワーログとアングルログに時刻のズレがないか、3C84 を追尾することで確認した。
 - (7) 日立局から見た、高萩局の中心方位角 (AZ=63.878 度) から EL=15 → 5 度 (5 → 15 度) まで動かし、受信強度の変動を調べた。
 - (8) 山や人工電波の影響がないと考えられる (AZ,EL)=(120 度,5 度) で受信強度を長時間計測することで、望遠鏡内のシステムの変動と大気の変動を合計した上限値を調べた。

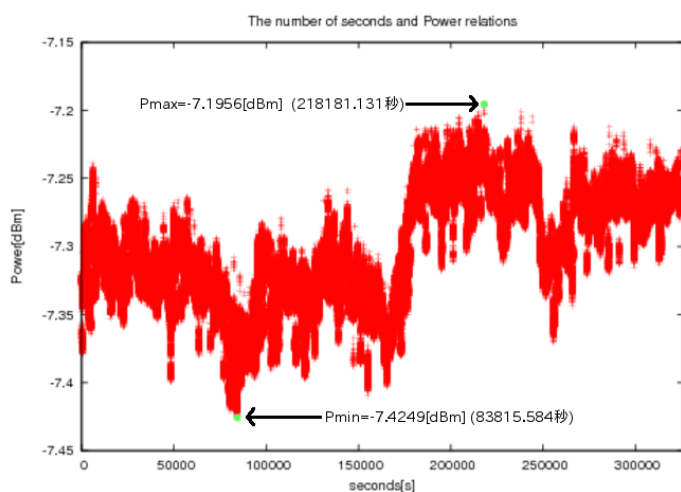
(1) 望遠鏡内のシステムの変動の上限値

受信強度の変動の要因には以下の 4 つが考えられる。

- 望遠鏡内の受信機などのシステムの変動
- 大気の変動
- 山などの物体による放射
- 特定の周波数で放射される人工電波源

(1) では、望遠鏡内のシステムの変動の上限値を求めるため、12 月 24 日から 12 月 28 日の 3.76 日間吸収体を入れたときの受信強度の変動の様子を調べた。その経過秒数と電波強度の関係を図 5.1 に、得た測定値の代表的統計量を以下に示した。

図 5.1: 長時間吸収体を入れた状態での望遠鏡の変動



解析数値

最大値: $P_{\text{max}} = -7.1956[\text{dBm}]$ (218181.131 秒)
最小値: $P_{\text{min}} = -7.4249[\text{dBm}]$ (83815.584 秒)
最大値と最小値の差: $P_{\text{max}} - P_{\text{min}} = 0.2293[\text{dBm}]$
平均値: $P_{\text{min}} = -7.3067[\text{dBm}]$
標準偏差: $P_{\sigma} = 0.0393[\text{dBm}]$
測定時間; $t = 325000$ 秒間 = 90.27 時間 = 3.76 日

望遠鏡内のシステムの変動の上限値を最大値と最小値の差と考えると、3.76 日間での上限値は 0.2293dBm となった。しかし、スカイライン測定で AZ=2 → 358 度まで回すのには、およそ 30 分しかかからないため、この値をスカイライン測定でのシステムの変動の上限値と考えるのは適切ではない²²。

そこで、3.76 日のうちのある 30 分間のデータを連続的にスキャンし続けたときの電波強度の最大値と最小値の差が最も大きくなるペアを見出して、その差をスカイライン測定でのシステムの変動の上限値とした。プログラミングによる解析の結果、その条件での最大値、最小値の 2 点とその差は以下のように求まった。

3.76 日のうちのある 30 分間を連続的にスキャンしたときの最大値と最小値の差が最大となる点

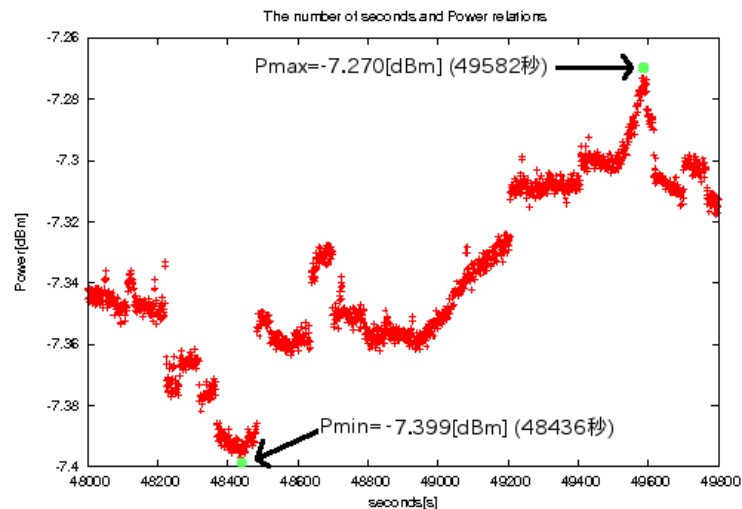
最大値： $P_{\max} = -7.270[\text{dBm}]$ (49582 秒²³)

最小値： $P_{\min} = -7.399[\text{dBm}]$ (48436 秒)

最大値と最小値の差： $P_{\max} - P_{\min} = 0.1290[\text{dBm}]$

また、30 分間で上記の 2 点が見つかる範囲での経過秒数と電波強度の関係を図 5.2 に示した。

図 5.2: ある 30 分間での経過秒数と電波強度の関係



スカイラインを回すのに要する 30 分という時間で見たときの、システム内の変動の上限値は 0.1290[dBm] となった。この値よりも $P_{\text{on}} - P_{\text{off}}$ の値が大きくなる場合、それはシステム内の変動以外の影響を受けていると考えることができる。

(2) 12 月 28 日の τ_0 、 T_{sys} の値

11 月 11 日、12 日の測定同様、 τ_0 、天頂の T_{sys} の値を求めた。結果は以下ようになった。

2010 年 12 月 28 日：気温 11.6 °C、 $\tau_0 = 9.04 \times 10^{-3}$ 、 $T_{\text{sys}}^* = 23.815\text{K}(\text{El}=85)$ 、 $T_{\text{sys}} = 23.600\text{K}(\text{El}=85)$

²²30 分に対して 3.76 日という時間は長時間である。そのため、30 分よりも 3.76 日のほうが、室温の変動に起因する受信機の揺らぎの影響をより大きく受けることになる。よって、スカイライン測定をするような短時間では、システムの変動の上限値は 0.2293dBm よりも小さくなるはずである。

²³秒数が小数でなく整数となっているが、これは解析のため 1 秒間隔へと線形補間したためである。ここで求めた $P_{\max}$ 、 $P_{\min}$ は厳密な値ではなく、1 秒間隔へ線形補間した際の近似値となる。

(3) 高萩局を向ける方角の決定

一回目の測定では日立局を回す際に、高萩局の向いていた方角を確認しておらず、さらに、途中で高萩局を動かしてしまった。そのため、異なる AZ、EL 間での受信強度の比較ができなかった。それを防ぐため今回は、望遠鏡を回し始める前に、高萩局による日立局の受信強度の影響が最も強くなるであろう方角に高萩局を固定した。下記の計算から、日立局から見て高萩局の影響を最も受けるような高萩局の方角は (AZ,EL)=(243.880 度,30.766 度) と求まった。

- 高萩局の AZ の決定

—— 日立局、高萩局の回転中心軸における緯度と経度 ——

日立局：北緯 36 度 41 分 50.8574 秒、東経 140 度 41 分 31.5286 秒

高萩局：北緯 36 度 41 分 54.4269 秒、東経 140 度 41 分 40.5670 秒

上記の各望遠鏡の AZ と EL の回転軸における緯度と経度から、国土地理院 HP の計算機 [1] を用いて、お互いの中心方位角を決定した。その結果、高萩局から見た日立局の中心方位角の AZ は 243.880 度、日立局から見た高萩局の中心方位角の AZ は 63.878 度と求まった。

- 高萩局の EL の決定

図 5.3: 高萩局鏡面が占める空間内で EL が最大となる場所

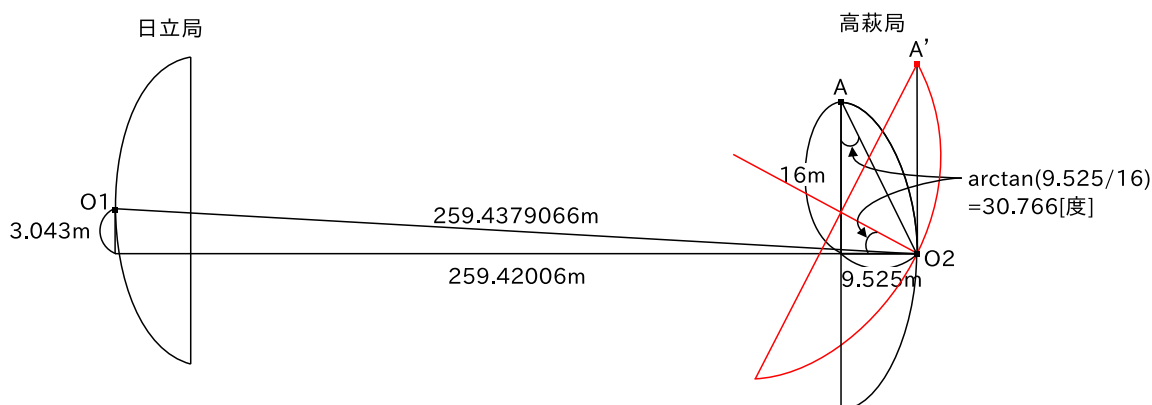
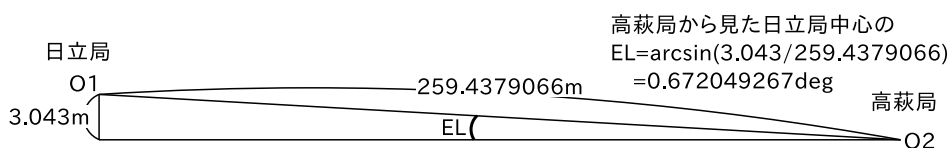


図 5.3 のように、日立局、高萩局の回転中心軸をそれぞれ O1、O2 とし、高萩局の鏡面上端を A とする。このとき、高萩局が赤色の方向を向いているとき、つまり A が O の真上の A' の位置に来るときに日立局から見て高萩局の影響を最も受ける。このときの高萩局の EL は $EL = \arctan \frac{9.525}{16} = 30.766$ 度と求まった。

※お互いの望遠鏡の中心の方角について

高萩局から見た日立局中心の EL は、図 5.4 から $EL = \arcsin \frac{3.043}{259.438} = 0.672$ 度となる。また逆に、日立局から見た高萩局中心の EL は -0.672 度となる。

図 5.4: 高萩局から見た日立局中心の EL について



これより、日立局から見た高萩局の中心方位角は (AZ,EL)=(63.878 度,-0.672 度)、高萩局から見た日立局の中心方位角は (243.880 度,0.672 度) と求まった。

(4) 各 EL ごとの AZ と P_{sky} の関係

AZ と P_{sky} [dBm] の関係、AZ と T_{sys} [K] の関係はそれぞれ図 5.5、図 5.6 のようになった。

図 5.5: AZ と P_{sky} [dBm] の関係 (EL=5-13.5)

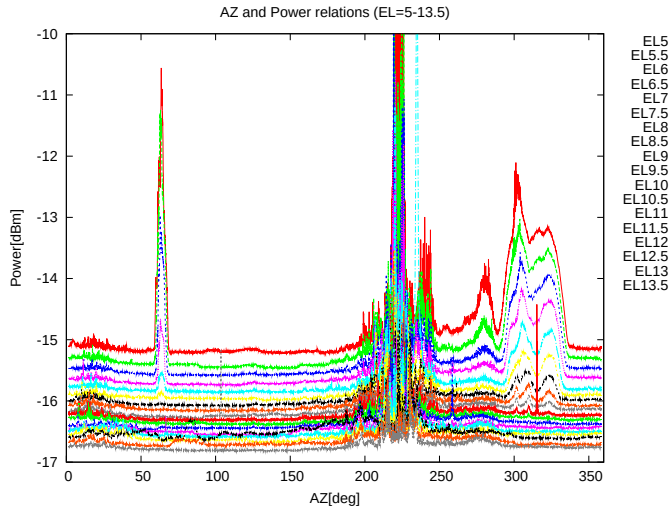


図 5.6: AZ と T_{sys} [K] の関係 (EL=5-13.5)

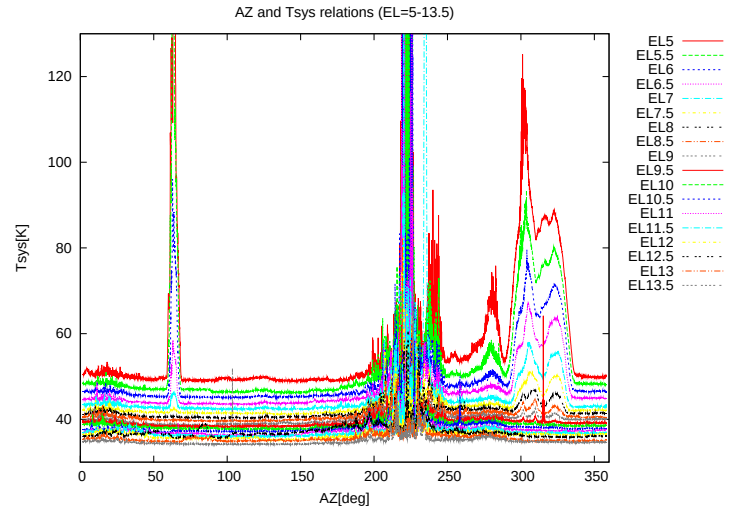


図 4.3、図 4.4 ではそれほど出力が高くなかった AZ=190~250 度の範囲において、出力が極端に上がっていることから、今回はこの範囲で強い人工電波の影響を受けていると考えられる。

(5) 測定開始時と終了時のシステムや大気状態の変動について

12 時 50 分に EL=5 度から回し始め、最後の EL=13.5 度を回し終えた時刻は 23 時 20 分頃である。観測日による大気状態の変動を抑えるため一日で一気に測定したが、観測にはおよそ 10 時間半かかってしまった。この間に受信機などのシステムや大気の状態がどの程度変動したのか確認するため、EL=13.5 度を回し終えた後に、EL=5 度を再度測定した。そのときの AZ と P_{sky} 、 T_{sys} の関係はそれぞれ図 5.7、図 5.8 のようになった。

図 5.7: AZ と P_{sky} [dBm] の関係 (EL=5 度)

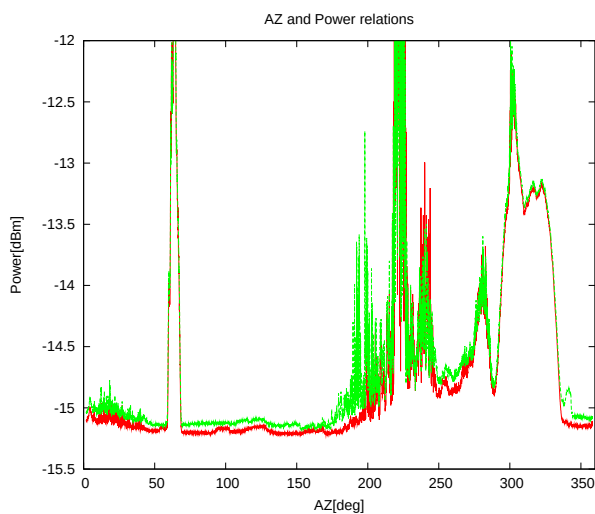
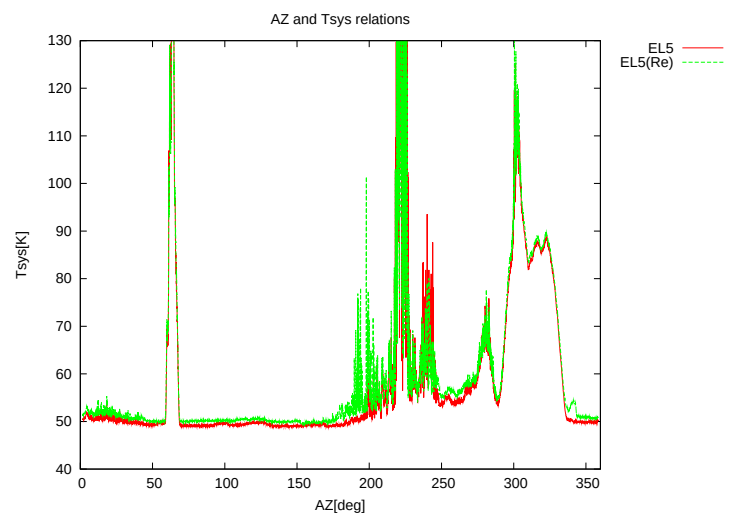


図 5.8: AZ と T_{sys} [K] の関係 (EL=5 度)

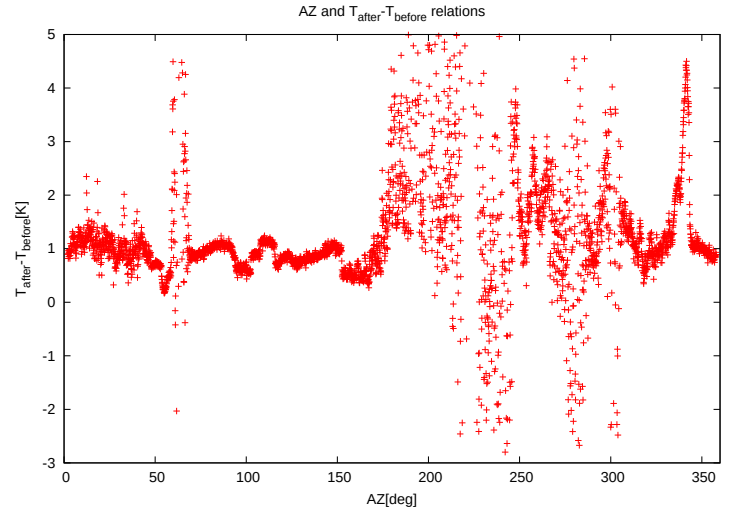
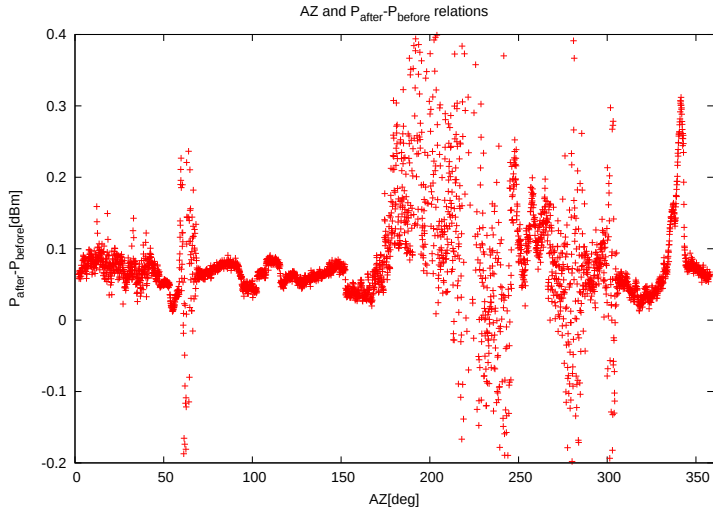


開始時に測定したときの線は赤色の線で、終了時に再度測定したときの線は緑色の線となる。両者を比較すると、再度測定したときのほうが受信強度が高くなっている。

どの程度変動したかを詳しく調べるため、開始時と終了時でのサンプル点を AZ0.1 度間隔で線形補間し、補間した両者の点での差を考えた。測定開始時での電波強度と雑音温度を P_{before} と T_{before} 、測定終了時での電波強度と雑音温度を P_{after} と T_{after} とすると 0.1 度間隔の AZ と $P_{\text{after}} - P_{\text{before}}$ 、 $T_{\text{after}} - T_{\text{before}}$ の関係はそれぞれ図 5.9、図 5.10 になった。

図 5.9: AZ と $P_{\text{after}} - P_{\text{before}}$ [dBm] の関係

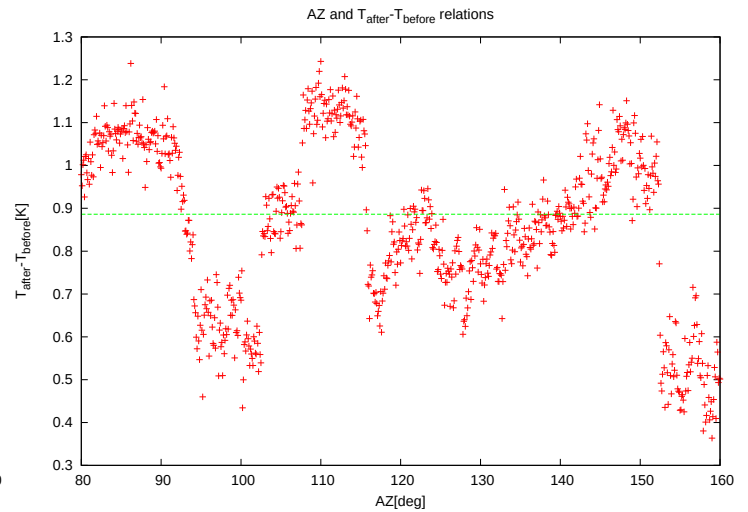
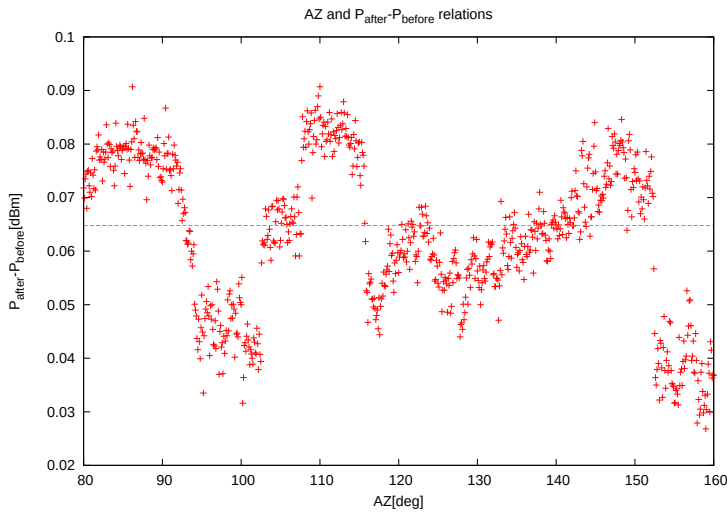
図 5.10: AZ と $T_{\text{after}} - T_{\text{before}}$ [K] の関係



地平線や人工電波の影響を受けている、AZ=60 度付近や AZ=170~350 度では、受信強度が大きく変動する。その影響で、 $P_{\text{after}} - P_{\text{before}}$ や $T_{\text{after}} - T_{\text{before}}$ の値も大きくなると考えられる。時間変動によるシステムや大気の状態の変動を調べるためには、地平線や人工電波の影響を受けておらず、空のみを見ている方位角を考えるべきである。そこで、図 5.9 や図 5.10 で受信強度が比較的小さく、空のみを見ていると思われる AZ=80~160 度について考えた。この範囲での 0.1 度間隔の AZ と $P_{\text{after}} - P_{\text{before}}$ 、 $T_{\text{after}} - T_{\text{before}}$ の関係はそれぞれ図 5.11、図 5.12 になった。

図 5.11: AZ と $P_{\text{after}} - P_{\text{before}}$ の関係 (AZ=80~160 度)

図 5.12: AZ と $T_{\text{after}} - T_{\text{before}}$ の関係 (AZ=80~160 度)



この範囲での $P_{\text{after}} - P_{\text{before}}$ 、 $T_{\text{after}} - T_{\text{before}}$ の平均値 P_{ave} 、 T_{ave} をそれぞれ計算すると $P_{\text{ave}} = 0.0648[\text{dBm}]$ 、 $T_{\text{ave}} = 0.886[\text{K}]$ となった。これより、測定開始時よりも測定終了時のほうが、平均で $P_{\text{sky}} = 0.0648[\text{dBm}]$ 、 $T_{\text{sys}} = 0.886[\text{K}]$ 程度上がったと考えられる。先ほど (1) で計算したが、望遠鏡を回すのに要する 30 分という時間での、システムの上限值は $P_{\text{sky}} = 0.129[\text{dBm}]$ である。 $P_{\text{sky}} = 0.0648[\text{dBm}]$ という値は、この上限値の半分程度であり、システムの揺らぎの範囲内に収まっている。そのため、今回の測定開始時と終了時での出力の変動は、スカイライン解析においてそれほど影響しないと考えられる。

(6) パワーログとアングルログの時刻のズレについて

4.1 節の (11) と同様に 3C84 を追尾し、コマンドのログを参照することでパワーログとアングルログに時刻のズレがないか確認した。今回はグラフを見た限り時刻のズレはないと思われた。そのため、前回のようなパワーログの時刻の調整は行わなかった。

(7) 高萩局の中心方向に AZ を向け、EL のみ動かしたときの EL と強度の関係

高萩局の中心である $AZ=63.878$ 度へと日立局を動かし、 $EL=5 \rightarrow 15$ 度へと動かしたときの EL と電波強度、雑音温度の関係はそれぞれ図 5.13、図 5.14 のようになった。グラフからは、 $EL=7$ 度辺りを境にそれよりも EL が低くなるにつれ、受信強度が急激に上がっていったことが読み取れる。

図 5.13: EL と P_{sky} [dBm] の関係 ($AZ=63.878$ 度)

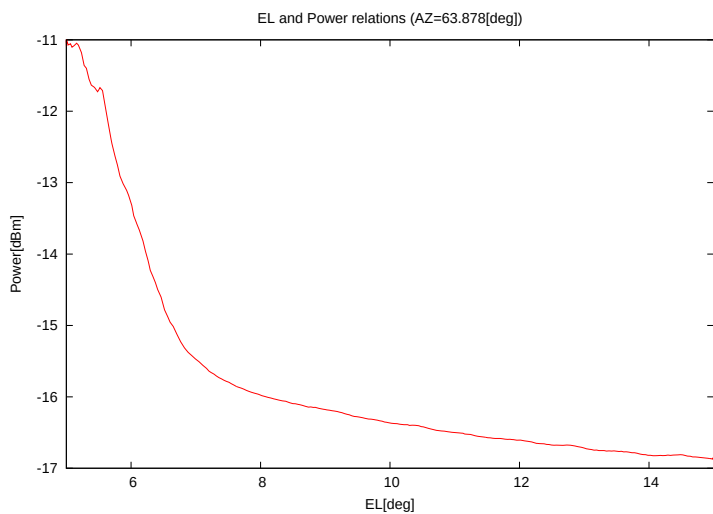
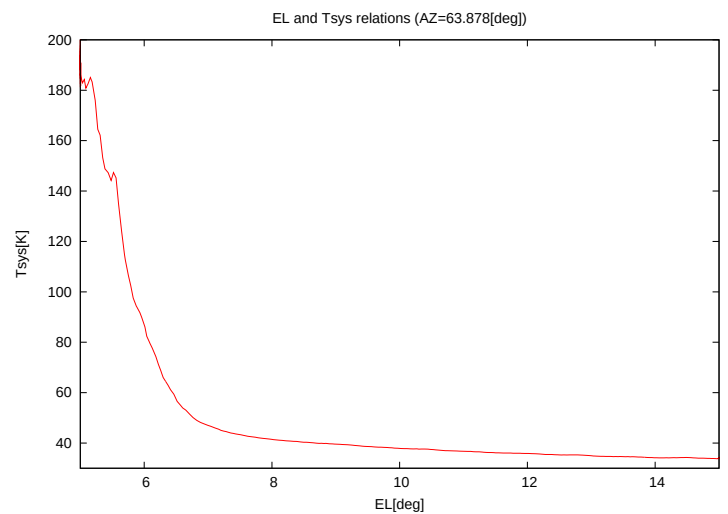


図 5.14: EL と T_{sys} [K] の関係 ($AZ=63.878$ 度)



※各 EL ごとの高萩局付近の AZ と強度の関係

各 EL ごとの高萩局付近の AZ ($AZ=57\sim 71$ 度) と電波強度、雑音温度の関係をそれぞれ図 5.15、図 5.16 に示した。日立局が向くことができる仰角の最小値の $EL=5$ 度では、 $AZ=59\sim 69$ 度辺りまで電波強度や雑音温度が上がっていた。また、図 5.13、図 5.14 のように、この図からも $EL=7$ 度以下の範囲で強度に影響が出ていたことが読み取れる。

図 5.15: AZ (57~71 度) と P_{sky} [dBm] の関係

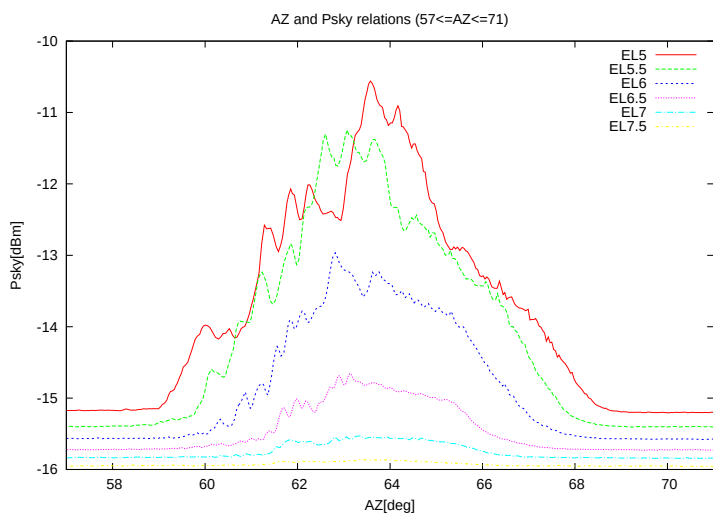
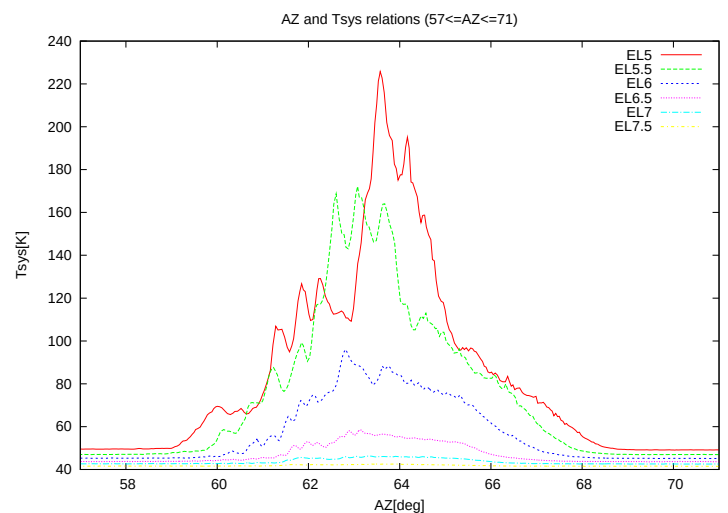


図 5.16: AZ (57~71 度) と T_{sys} [K] の関係



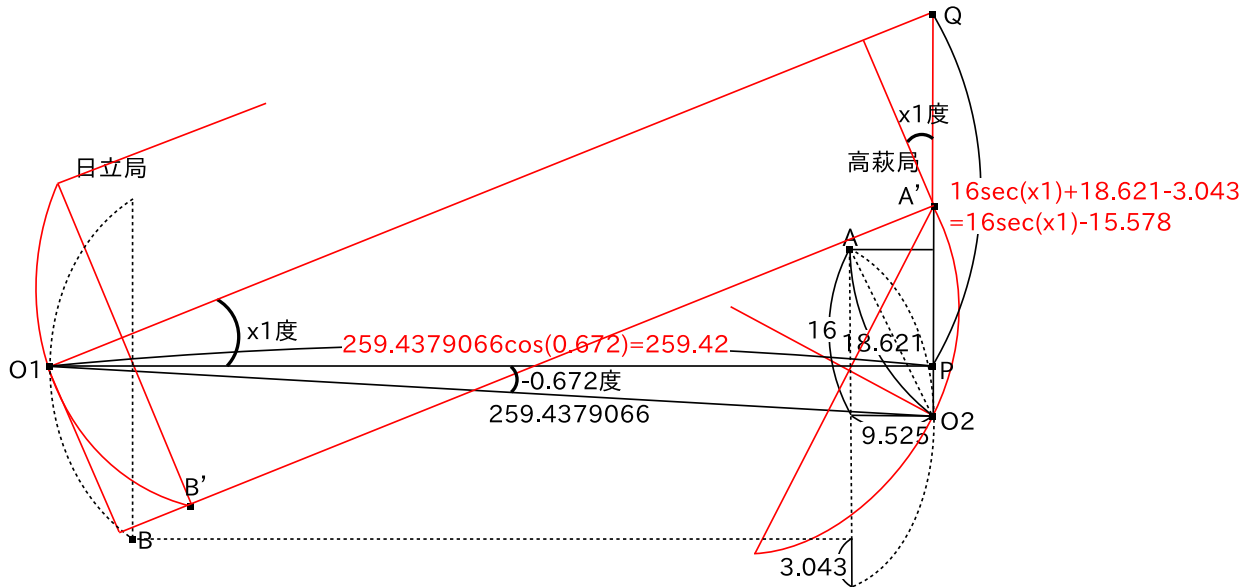
※日立局から見て高萩局の鏡面が取りうる範囲について

日立局が円筒状の領域を見ているとしたときの、日立局から見た高萩局鏡面が取りうる EL と AZ の範囲を計算した。

① お互いが中心 AZ を見ているときの、日立局から見た高萩局鏡面が取りうる EL の範囲

お互いの望遠鏡は中心方位角 (日立局の AZ=63.878 度、高萩局の AZ=243.880 度) を向いているものとする。このとき、日立局から見て高萩局鏡面が取りうる EL が最大となるときの望遠鏡の位置関係 (真横から見た) を図 5.17 に示した。

図 5.17: 日立局から見て高萩局鏡面が取りうる EL が最大となるときの望遠鏡の位置関係 (真横から見た図)



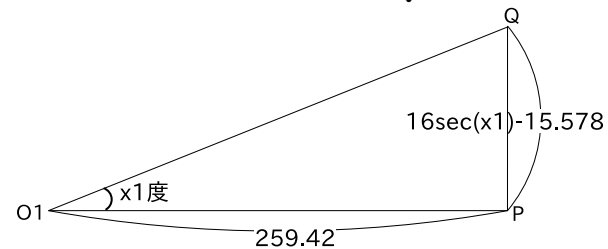
O1 と同じ高さにあり、O2A' 上に位置する点を P、日立局鏡面の下端を B とする。日立局が円筒状に見ていると考えて、B が B' へ移動したときに日立局から見て高萩局鏡面が取りうる EL が最大となる。このとき、B'A' と平行となるように O1 から伸ばした線と O2A' の延長線との交点を Q、EL の最大値となる $\angle PO1Q$ を $\angle PO1Q=x1$ 度と置く。

O1O2=259.438m とわかっているので、O1P=259.42m と求まる。また、 $PQ = A'Q + O2A' - O2P = 16\sec(x1) - 15.578$ となるので、図 5.18 の $\triangle PO1Q$ から

$$\tan(x) = \frac{16\sec(x1)-15.578}{259.42}$$

を解くことで、 $x1=6.966$ 度と求まる。

図 5.18: $\triangle PO1Q$



よって計算では、お互いの望遠鏡が中心方位角を向いているとき、日立局の $EL \leq 6.966$ 度のときには高萩局鏡面の放射の影響を受けることがわかった。これより、図 5.13 や図 5.14 の出力の上がる範囲は、 $EL < 6.966$ 度とほぼ一致していることが確認できた。

② お互いが中心 EL を見ているときの、日立局から見た高萩局鏡面が取りうる AZ の範囲

お互いの望遠鏡は中心仰角 (日立局の EL=-0.672 度、高萩局の EL=0.672 度) を向いているものとする。このとき、日立局から見て高萩局鏡面が取りうる AZ が最小となるときの望遠鏡の位置関係を以下の図に示した。

図: 日立局から見て高萩局鏡面が取りうる AZ が最小となるときの望遠鏡の位置関係

図 5.19: 真上から見た図

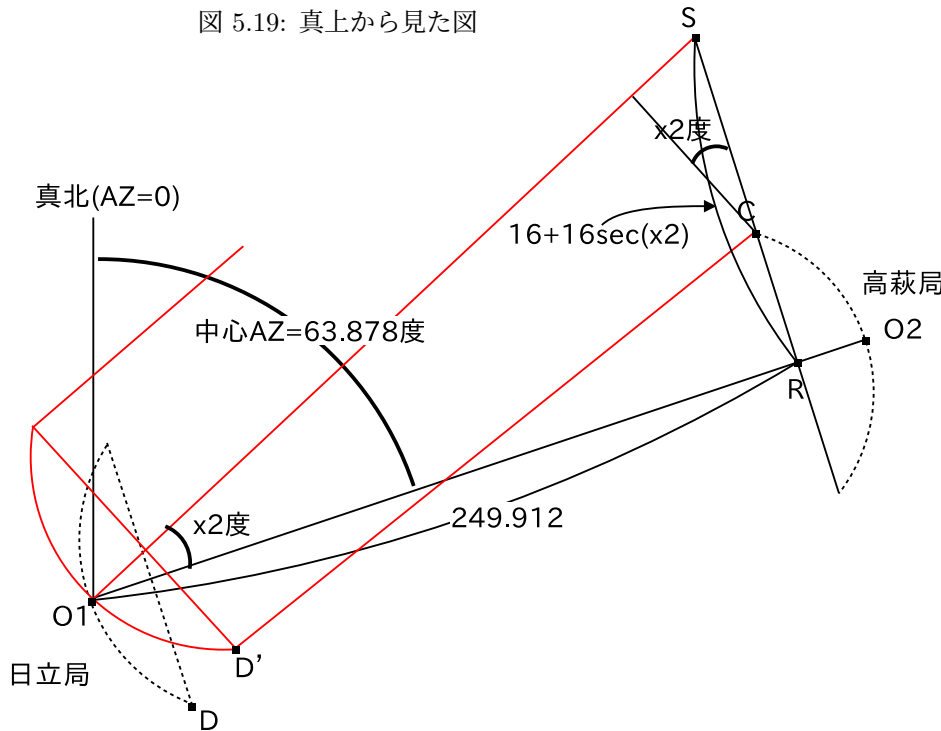


図 5.20: 高萩局正面を見たときの図

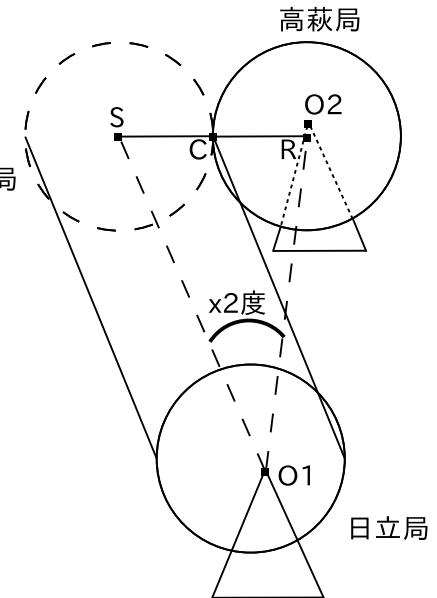


図 5.21: 真横から見た図

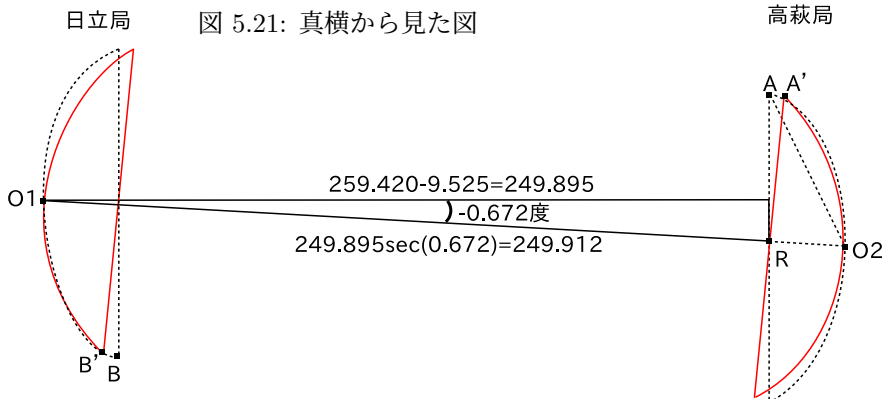
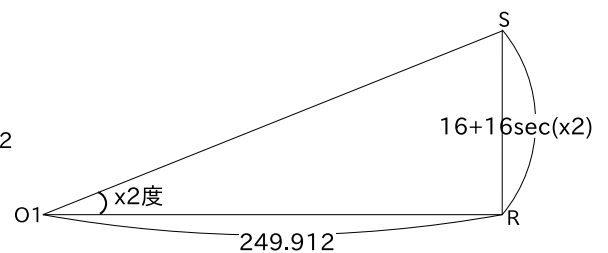


図 5.22: 高萩局正面を見たときの図



O1O2 上にあり、O2 から鏡面の深さ 9.525m だけ離れている地点を R、高萩局鏡面の右端を C、日立局鏡面の右端を D とする。D が D' へ移動したときに日立局から見て高萩局鏡面が取りうる AZ が最小となる。このとき、D'C と平行となるように O1 から伸ばした線と RC の延長線との交点を S、 $\angle RO1S = x2$ 度とおく。

$RS = 16 + 16 \sec(x2)$ であり、図 5.21 から $O1R = 249.912$ となるので、図 5.22 の $\triangle RO1S$ から

$$\tan(x) = \frac{16 + 16 \sec(x2)}{249.912}$$

を解くと $x2 = 7.326$ 度と求まる。

中心方向の $AZ = 63.878$ であるため、 $AZ = 63.878 \pm x2$ が、それぞれ AZ の最小値、最大値に対応する。よって、日立局から見た AZ の最小値 $AZ_{\min}$ と最大値 $AZ_{\max}$ は、それぞれ $AZ_{\min} = 63.878 - 7.326 = 56.552$ 度、 $AZ_{\max} = 63.878 + 7.326 = 71.204$ 度となった。

これより計算では、お互いの望遠鏡が中心仰角を向いているとき、日立局の $56.552 \leq AZ \leq 71.204$ 度のときには高萩局鏡面の放射の影響を受けることがわかった。

これを真横から見たときの位置関係を図 5.24 に示した。

図 5.23: 高萩局を正面から見た図 (その 1)

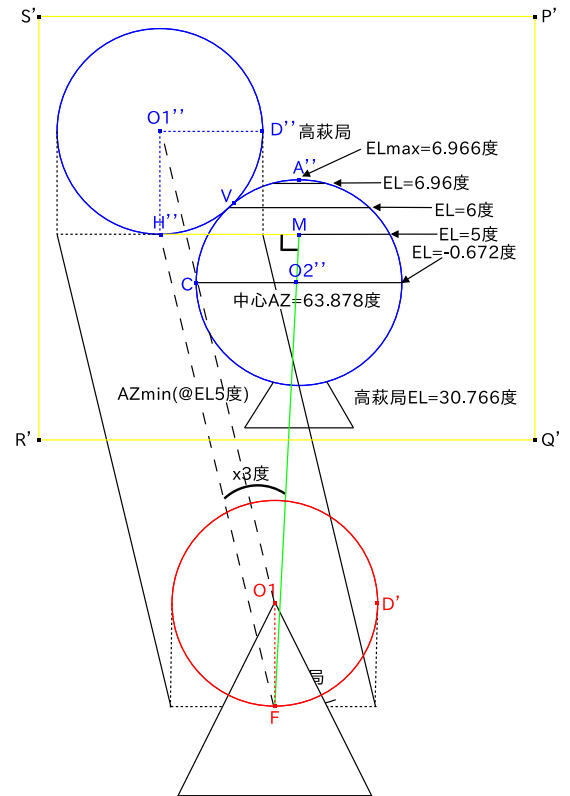
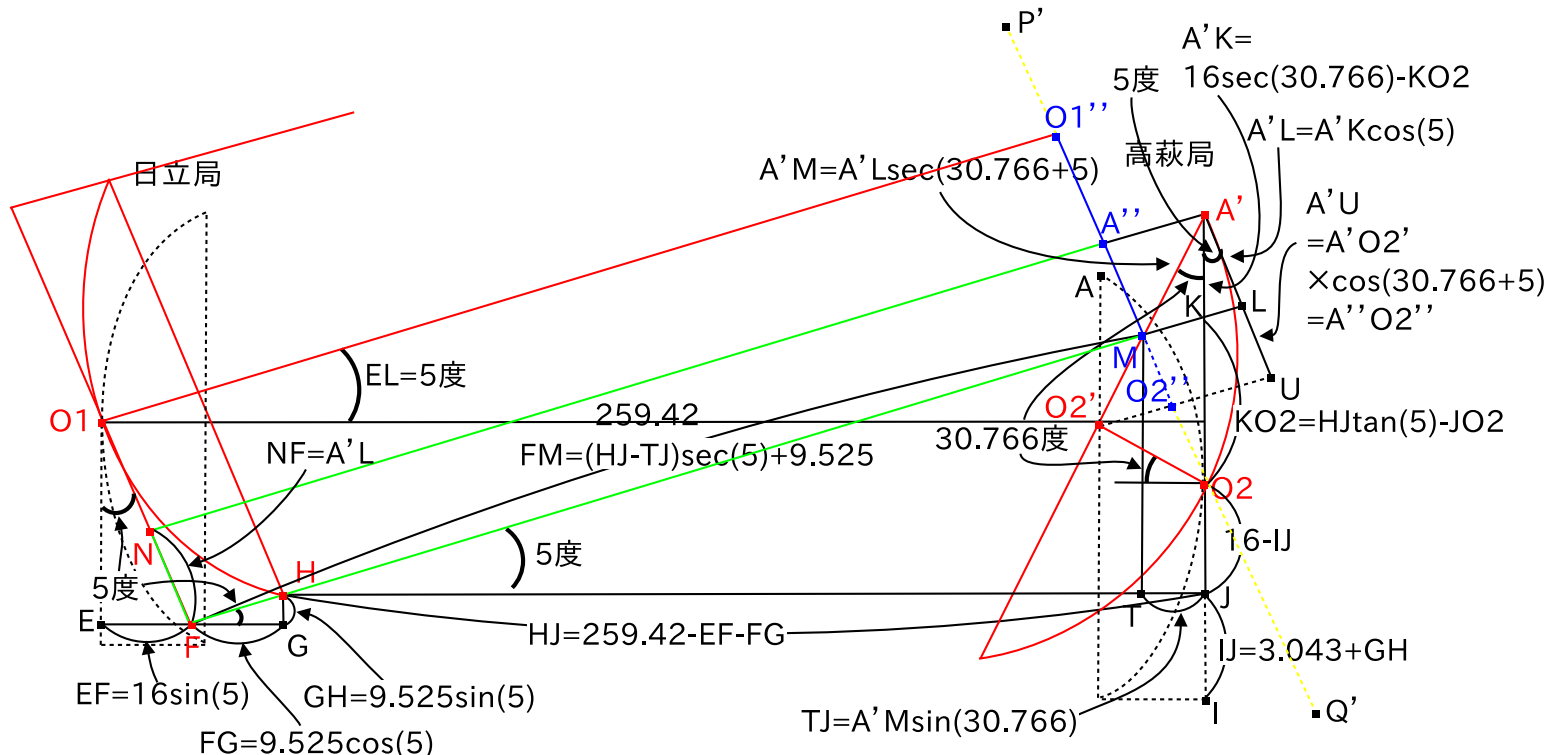


図 5.24: 真横から見た図



求めたい線の1つであるFMの値は計算できた。以降では、ここで求めたNF(=A''M)とFM(=NA'')の値を使い、求めたいもう1つの線である図5.23のMH''の計算を行なう。

図 5.25: 真上から見た図

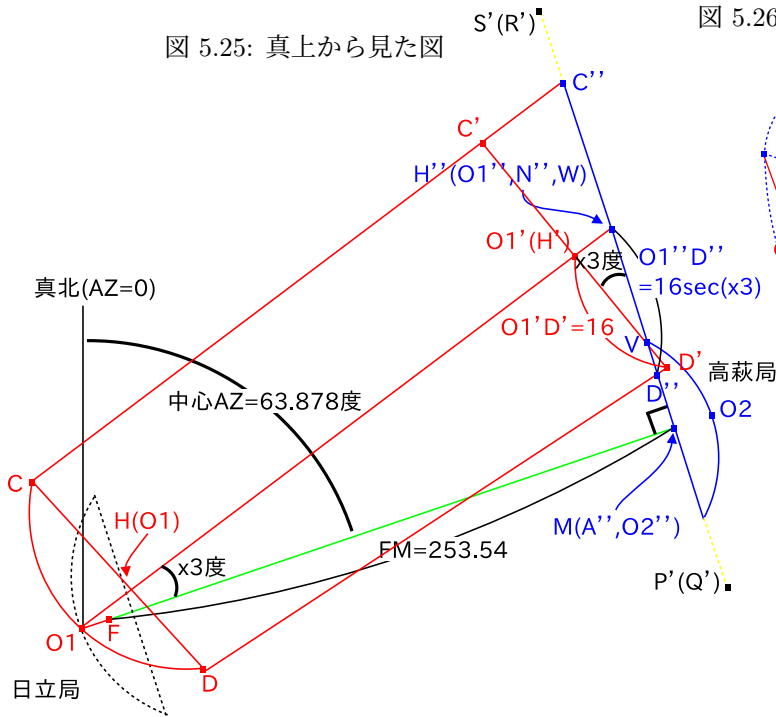


図 5.26: 高萩局を正面から見た図 (その 2)

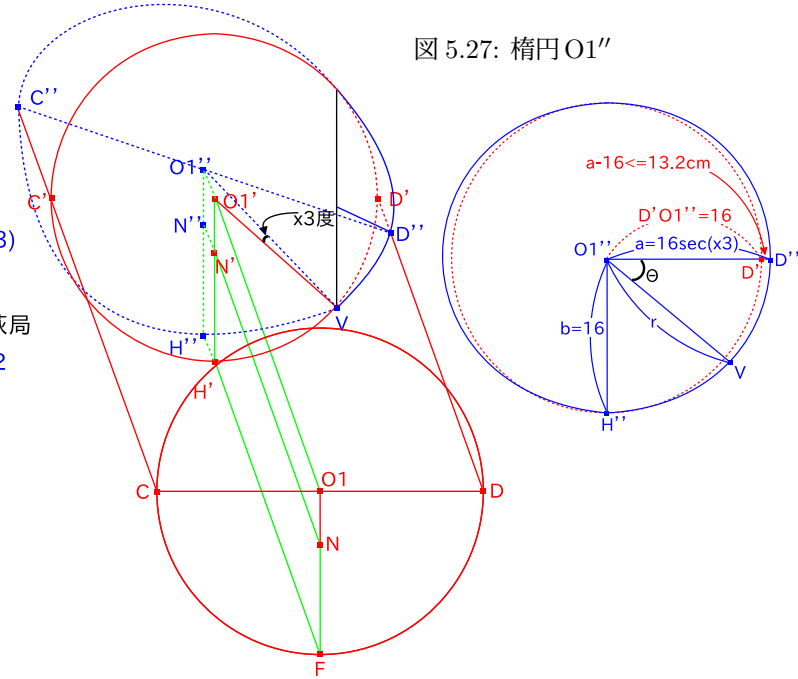
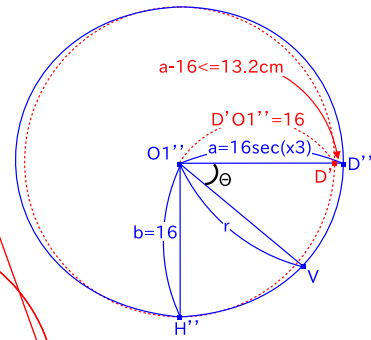


図 5.27: 楕円 O1''



O1 から円筒状に見た円が接点 V と交わる地点での円を円 O1' とする。このとき、円 O1' と P'Q'R'S' 平面上に投影される円 O1'' の位置関係を図 5.25 と図 5.26 に示した。円 O1'' は図 5.27 のように半径 16 の円を横方向に $\sec(x3)$ 倍した楕円となる。ここでは、図 5.27 の $r=VO1''$ の値を求めたい。しかし、このときの r の値を厳密に求めることができなかった。そこで、 $r \approx 16\text{m}$ と近似することにした²⁴。

P'Q'R'S' 平面上に投影される O1'' と O2'' の位置関係は図 5.28 のようになった。図 5.24 での計算で $NF=8.97\text{m}$ と $FM=12.98\text{m}$ ということがわかっており、 $VO1''=r=16\text{m}$ としている。これより、 $MH''=20.96\text{m}$ と求めることができた。

以上より、 $EL=5$ 度では $x3 = \arctan\left(\frac{20.96}{253.34}\right) = 4.730$ 度と求まった。よって、 $AZ_{\min} = 63.878 - 4.73 = 59.148$ 度、 $AZ_{\max} = 63.878 + 4.73 = 68.608$ 度となった。

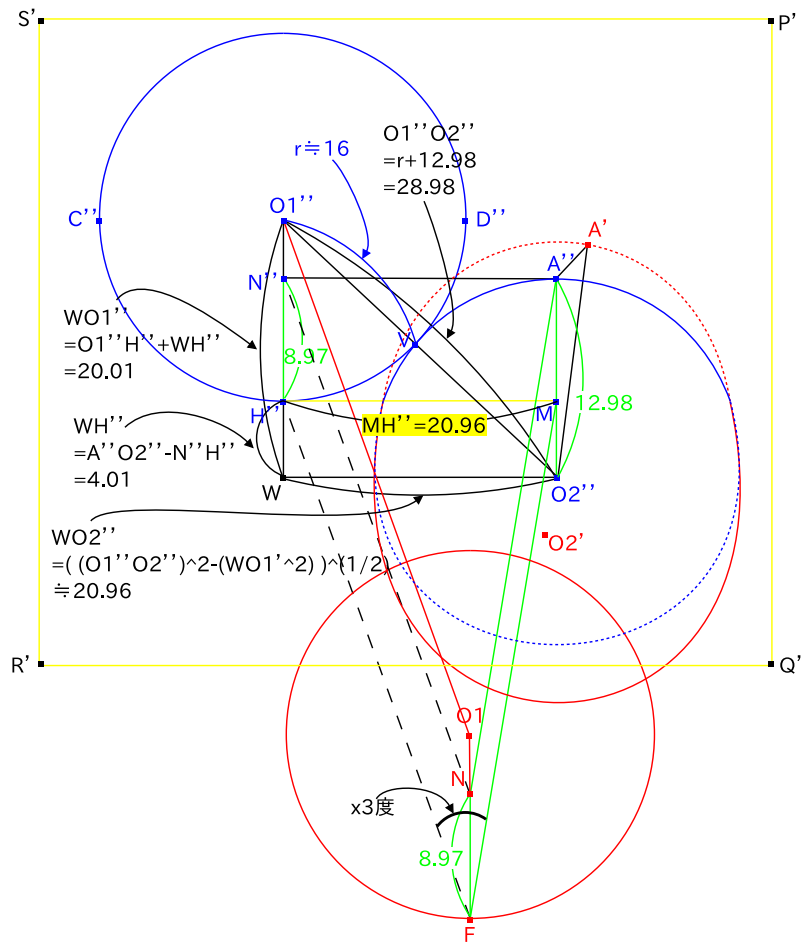
表 5.14 に日立局から見た各 EL における高萩局鏡面が取りうる AZ の範囲をまとめた。

表 5.14: 各 EL ごとの日立局から見た高萩局鏡面の AZ の範囲

	EL5	EL5.5	EL6	EL6.5	EL6.96
$x3$	4.730	4.157	3.439	2.455	0.634
$AZ_{\min}$	59.148	59.721	60.439	61.423	63.244
$AZ_{\max}$	68.608	68.035	67.317	66.333	64.512

これより、図 5.15 や図 5.16 の出力の上がる範囲と $AZ_{\min} < AZ < AZ_{\max}$ の範囲がほぼ一致していることが確認できた。

図 5.28: 高萩局を正面から見た図 (その 3)



²⁴長軸半径を $a=O1''D''(=16\sec(x3))$ 、短軸半径を $b=O1''H''(=16)$ 、 $\angle VO1''D'' = \theta$ とおくと、 $r = \sqrt{(a \cos \theta)^2 + (b \sin \theta)^2}$ となり、厳密には $r=16$ とならない。逆算になるが、 $r=16$ と近似すると後に $EL=5$ 度とき $x3=4.73$ 度と求まる。 $x3$ がこの値 (付近) のとき、 r と 16 の差 $\Delta r=r-16$ が最大となる。このとき、 $a = 16 \sec(4.73) = 16.054\text{m}$ であるため、 $\Delta r \leq 16.054 - 16\text{m} = 5.4\text{cm}$ となる。2 局の距離 $FM=253\text{m}$ と比較して、この値は十分小さいため $r \approx 16$ と近似しても、 $x3$ の値にほとんど影響はない ($x3$ の誤差 $= \arctan(0.054/253) \pm 0.012$ 程度)。

(8) 受信機などのシステム内の変動と大気の変動の合計した値の上限値

システム内の変動の上限値を求めた (1) に対し、(8) ではシステム内の変動と大気の変動を合計した値の上限値を求めた。 $P_{\text{on}} - P_{\text{off}}$ や $T_{\text{syson}} - T_{\text{sysoff}}$ が、この上限値よりも大きな変動を示した場合は、外部の電波の影響を受けているとみなすことができる。

上限値を決定するため、外部からの電波の影響が見られなかった方位角で、かつ大気の変動の影響を最も受ける仰角であると考えられる方を (AZ,EL)=(120 度,5 度) とし、ここで長時間 (約 7 時間半) 計測を行なった。経過秒数と P_{sky} 、 T_{sys} の関係はそれぞれ図 5.29、図 5.30 のようになった。

図 5.29: 経過秒数と $P_{\text{sky}}[\text{dBm}]$ の関係 (AZ=120,EL=5)

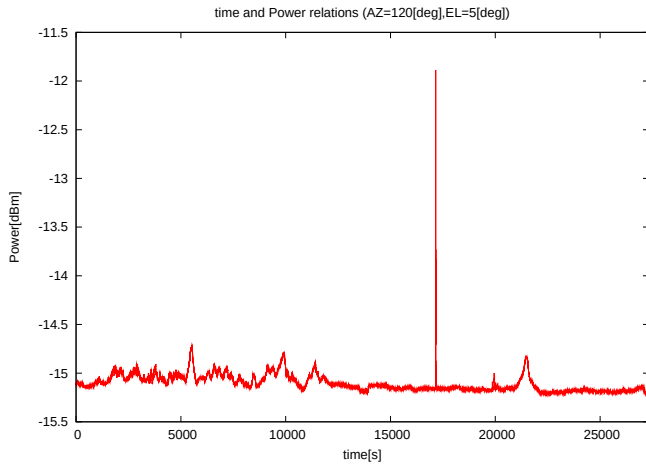
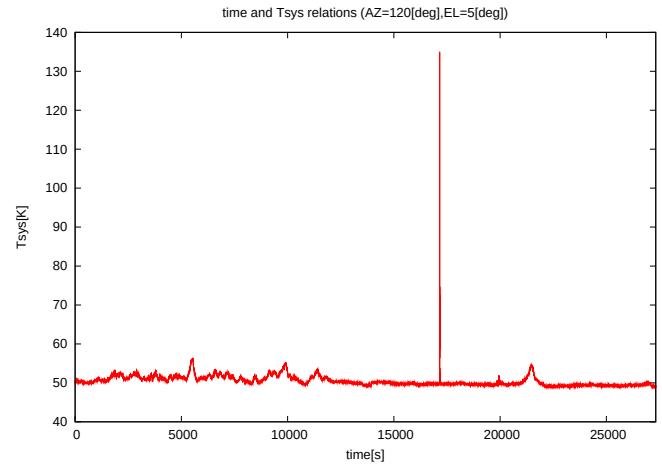


図 5.30: 経過秒数と $T_{\text{sys}}[\text{K}]$ の関係 (AZ=120,EL=5)



一部、明らかに外部の電波が入ってしまったと考えられる。このままでは外部からの電波を除いた上限値を決定できないので、明らかに数値が上がってしまった、経過秒数 17165.159~17169.159 秒の 24 秒間を除外したデータを解析に使った。その一部を除外した AZ と P_{sky} 、 T_{sys} の関係はそれぞれ図 5.31、図 5.32 のようになった。また、そのデータから得られた代表的統計量を以下に示した。

図 5.31: 経過秒数と $P_{\text{sky}}[\text{dBm}]$ の関係 (AZ=120,EL=5)

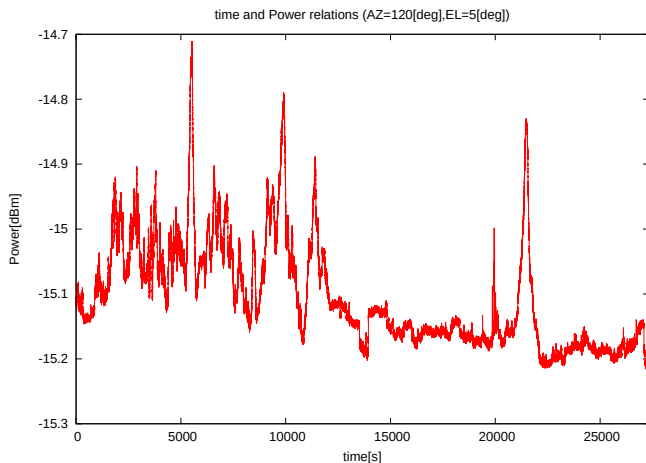
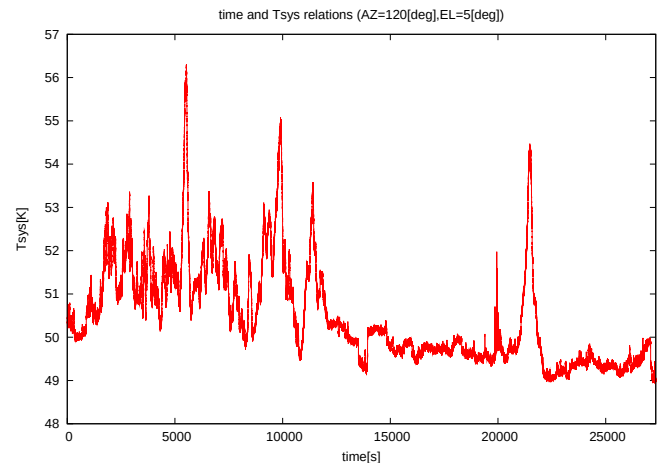


図 5.32: 経過秒数と $T_{\text{sys}}[\text{K}]$ の関係 (AZ=120,EL=5)



解析数値

最大値: $P_{\text{max}}=-14.7108[\text{dBm}]$, $T_{\text{sysmax}}=56.3099[\text{K}]$ (5534.278 秒)

最小値: $P_{\text{min}}=-15.2182[\text{dBm}]$, $T_{\text{sysmin}}=48.9176[\text{K}]$ (27304.575 秒)

最大値と最大値の差: $P_{\text{max}}-P_{\text{min}}=0.5074[\text{dBm}]$, $T_{\text{sysmax}}-T_{\text{sysmin}}=7.3923[\text{K}]$

平均値: $P_{\text{min}}=-15.10[\text{dBm}]$, $T_{\text{sysave}}=50.52[\text{K}]$ **標準偏差:** $P_{\sigma}=0.082607[\text{dBm}]$, $T_{\text{sys}}\sigma=1.16832[\text{K}]$

測定時間: $t=27325.174$ 秒=7.59 時間

(1) の解析と同様に、こちらも長時間の計測による最大値と最小値の差を上限値と定めるのは適切ではない。

そこで、(1)と同様に7.59時間のうちのある30分間のデータを連続的にスキャンし続けたときの、最大値と最小値の差が最も大きくなるペアを見出して、その差をスカイライン測定でのシステムや大気の変動の合計の上限値とした。プログラミングによる解析の結果、その条件での最大値、最小値の2点とその差は以下のように求まった。

7.59 時間のうちのある 30 分を考えたときの最大値と最小値の差が最大となる点

最大値： $P_{\max}=-14.7128[\text{dBm}]$ (5535 秒), $T_{\text{sysmax}}=56.2786[\text{K}]$ (5535 秒)

最小値： $P_{\min}=-15.1237[\text{dBm}]$ (4312 秒), $T_{\text{sysmin}}=50.2039[\text{K}]$ (4312 秒)

最大値と最小値の差： $P_{\max}-P_{\min}=0.4109[\text{dBm}]$, $T_{\text{sysmax}}-T_{\text{sysmin}}=6.0747[\text{K}]$

また、30 分間で上記の 2 点が見つかる範囲の経過秒数と電波強度、雑音温度の関係をそれぞれ図 5.33、図 5.34 に示した。

図 5.33: ある 30 分間で経過秒数と $P_{\text{sky}}[\text{dBm}]$ の関係

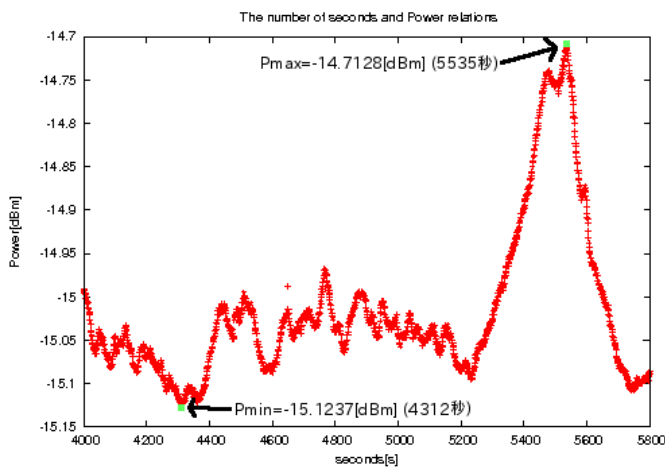
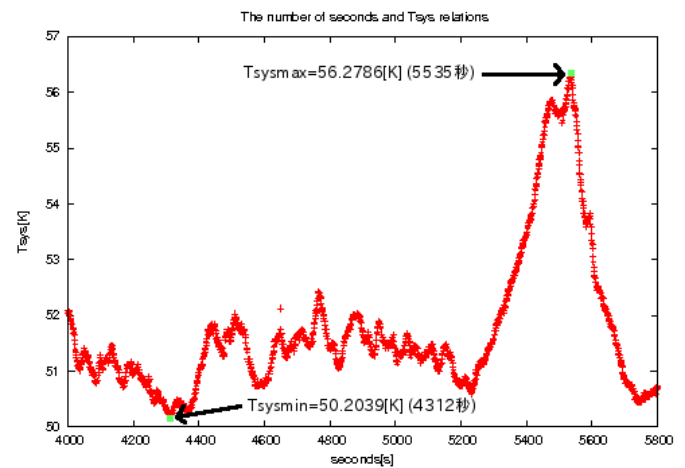


図 5.34: ある 30 分間で経過秒数と $T_{\text{sys}}[\text{K}]$ の関係



これより、スカイラインを回すのに要する 30 分という時間で見たときの、システム内の変動と大気の変動を合計した値の上限値はそれぞれ、 $0.4109[\text{dBm}]$ 、 $6.0747[\text{K}]$ と求まった。注意点として、(8)の解析では(1)とは違い空を見ているため、受信強度が他に比べて高い部分は、何らかの放射の影響を受けているとも考えられる。つまり、実際の上限値はこれらの値よりも低いものである可能性がある。しかし、少なくともこの値よりも $P_{\text{on}} - P_{\text{off}}$ や $T_{\text{syson}} - T_{\text{sysoff}}$ が大きくなる場合、それは人工電波や山などの放射の影響を受けていると考えることができる。

5.2 マスクによる P_{off} 、 T_{sysoff} の決定

4 節で報告した 11 月の測定では、以下の 2 点が問題であったため、EL 間の P_{border} がゼロにまともらなかった。

- ① 測定日が EL によって異なるため、大気の状態の変動による影響を強く受けてしまったこと。
- ② $AZ=140$ 度と $AZ=250$ 度といった 1 つのデータ点のみで P'_{off} を決めたこと。

①の問題の影響を少なくするために 12 月の測定では、1 日で一気に測定した。その結果、5.1 節の (4) の解析から、測定時刻の違いによる大気状態の変動が、スカイライン解析にそれほど影響しないことが確認できた。また、②の問題は、空のみを見ていると考えられる AZ の範囲における複数のデータ点を考えることで解決できる。12 月の測定では、その空のみを見ている方位角 (off 点) を $AZ=100\sim 150$ 度と考え、そこでの複数のデータ点を扱うことにした。

12 月の解析では、これらのデータ点において、以下に述べるマスクという解析手法を再帰的に行なうことで、精度の高い P_{off} 、 T_{sysoff} の値を得ることができた。

マスク処理について

$AZ=100\sim 150$ 度でのファイルに対する、電波強度と雑音温度における、平均値をそれぞれ P_{ave} 、 T_{ave} 、標準偏差を P_{σ} 、 T_{σ} 、標準偏差にかかる無次元の係数を α_P 、 α_T とする。 $AZ=100\sim 150$ 度の範囲では、外部の放射の影響をほとんど受けていないと考えられる。しかし、システムや大気の揺らぎの影響は受けるため、外部の放射ほどではないにせよ、これらの影響を受けたデータ点を使うと、精度の高い P_{off} 、 T_{sysoff} の値は得られないと考えられる。そこで、平均値 P_{ave} 、 T_{ave} よりも $\pm\alpha_P \times P_{\sigma}$ 、 $\pm\alpha_T \times T_{\sigma}$ 以上離れているデータ点を除外する (マスクと呼ぶ) ことにした。マスクしたファイルに対し、再帰的にマスクを行なうことで、精度の高い P_{off} 、 T_{sysoff} を得られることが期待できる²⁵。今回の解析方法を以下にまとめた。

- (1) 各 EL ごとで、 AZ 、 P_{sky} 、 T_{sys} の情報が記載されているファイルから、空のみを見ていると考えられる $AZ=100\sim 150$ 度の範囲におけるデータを抜きだし、それをファイル (file0) へと書き込む。
- (2) file0 の 1 回目の平均値 P_{ave1} 、 T_{ave1} と標準偏差 $P_{\sigma1}$ 、 $T_{\sigma1}$ を求める。
- (3) file0 において、 $P_{\text{ave1}} \pm \alpha_P \times P_{\sigma1}$ 、 $T_{\text{ave1}} \pm \alpha_T \times T_{\sigma1}$ となる数値のデータ点を除外し、残りのデータ点を file1 へと書き込む (1 回目のマスク)。
- (4) 1 回マスクした file1 において 2 回目の平均値 P_{ave2} 、 T_{ave2} と標準偏差 $P_{\sigma2}$ 、 $T_{\sigma2}$ を求める。
- (5) file1 において、 $P_{\text{ave2}} \pm \alpha_P \times P_{\sigma2}$ 、 $T_{\text{ave2}} \pm \alpha_T \times T_{\sigma2}$ となる数値のデータ点を除外し、残りのデータ点を file2 へと書き込む (2 回目のマスク)。
- (6) 以降マスクを何度も繰り返し、数値を除外できなくなった時点での N_P 、 N_T 回マスクしたファイル (fileN) での P_{ave} 、 T_{ave} を最終的な P_{off} 、 T_{sysoff} として採用する。

²⁵ システムの揺らぎと大気の揺らぎが、お互いに相殺した可能性があるため、平均値付近のデータ点だからといって、揺らぎの影響をほとんど受けているとは限らない。しかし、平均値よりも十分離れているデータ点は、平均値付近のデータ点と比べ、システムや大気の揺らぎの影響を大きく受けている可能性が高いと考えられる。そのため、マスクを何度も繰り返すことで、これらの揺らぎの影響を受けている不適切なデータ点を取り除くことが可能である。

係数 α_P 、 α_T の決定

マスク処理では、係数 α_P 、 α_T をどのようにするかという問題がある。そこで、EL=5 度での 0.1 間隔の α_P 、 α_T において各解析数値がどう違うかを調べ、その結果を表 5.15 に示した。 N_P と N_T はマスク可能な回数、 P_{ave} と T_{ave} は、それぞれ N_P 、 N_T 回マスクされたファイル (fileN) の平均値 (つまり P_{off} 、 T_{sysoff} に対応)、 P_σ と T_σ は fileN の標準偏差、 n_P と n_T は fileN で残ったデータ点の個数を表す。なお、マスクを行う前の AZ=100~150 度までのファイル (file0) でのデータ点の個数 n は 1355 個であった。

表 5.15: α_P 、 α_T の値による各値 (EL=5 度)

P[dBm]					T[K]				
α_P	N_P	P_{ave}	P_σ	n_P	α_T	N_T	T_{ave}	T_σ	n_T
1.2	17	-15.1960	0	6	1.2	17	49.2163	0	6
1.3	19	-15.1966	0.00004899	10	1.3	19	49.2077	0.00063687	10
1.4	26	-15.2058	0.00005	14	1.4	24	49.0835	0.0007	14
1.5	26	-15.2061	0.00024852	41	1.5	26	49.0797	0.00333268	41
1.6	36	-15.2071	0.00097239	121	1.6	35	49.0666	0.01308177	121
1.7	53	-15.2064	0.00139867	179	1.7	54	49.0767	0.01882289	179
1.8	9	-15.1885	0.01962059	1276	1.8	7	49.3186	0.26571274	1275
1.9	2	-15.1871	0.02049751	1324	1.9	2	49.3374	0.27793515	1324
2.0	1	-15.1869	0.02066653	1332	2.0	1	49.3407	0.28024877	1332
2.1	1	-15.1868	0.02069148	1333	2.1	1	49.3411	0.28059071	1333
2.2	0	-15.1868	0.02074697	1335	2.2	0	49.3420	0.28135168	1335

$P_{ave} \pm \alpha_P \times P_\sigma$ 、 $T_{ave} \pm \alpha_T \times T_\sigma$ の範囲内に収まるようなデータ点は、システムや大気の揺らぎの影響をそれほど受けていない (あるいはお互いの揺らぎで相殺されている) データ点と考えられ、この範囲内に収まらないようなデータ点は揺らぎの影響を大きく受けているデータ点と考えられる。

P_σ 、 T_σ の値が小さいと、範囲内に収まるための条件が厳しくなるため、大量のデータ点が除外されてしまい、 P_σ 、 T_σ や n_T 、 n_P は小さくなると考えられる。逆に、 P_σ 、 T_σ の値が大きいと、範囲内に収まるための条件が甘くなるため、データ点をあまり除外できず、 P_σ 、 T_σ や n_T 、 n_P は大きくなると考えられる。

これを踏まえ、表 5.15 における特徴的な地点の係数 α_P 、 α_T として、以下の (a),(b),(c) の場合分けを考えた。

- (a) P_σ 、 T_σ が 0 になり始めるとき ($\alpha_P=1.2, \alpha_T=1.2$)
- (b) N_P 、 N_T の値が最大になるとき ($\alpha_P=1.7, \alpha_T=1.7$)
- (c) N_P 、 N_T が 0 のとき ($\alpha=2.2$ 以上の値)

α_P 、 α_T の値は (a)<(b)<(c) となる。(a) は α_P 、 α_T の値が (b)、(c) よりも小さく、範囲内に収まるための条件が非常に厳しい²⁶ ため、数回のマスクで大量のデータ点が除外されてしまう。(b) は α_P 、 α_T が (a) や (c) の値のように極端ではないため、範囲内に収まるための条件が程良い厳しさとなっている。(c) は範囲内に収まるための条件が甘すぎるため、1 回もマスクができない。これはつまり、AZ=100~150 度の全データ点の平均値ということになる。

以降では、(a)、(b)、(c) の場合分けにおいて、どれがもっともらしい P_{off} や T_{sysoff} になるか考えた。

²⁶条件をこれよりも厳しくすること、つまり α_P や α_T の値をより小さくすることは可能であるが、際限がないため P_σ 、 T_σ が 0 になり始めるところで打ち止めとした。

EL=5 度において fileN における、(a),(b),(c) の P_{sky} と T_{sys} の分布をそれぞれ図 5.35、図 5.36 に示した。

図 5.35: EL=5 度のときの P_{sky} の (a),(b),(c) の分布

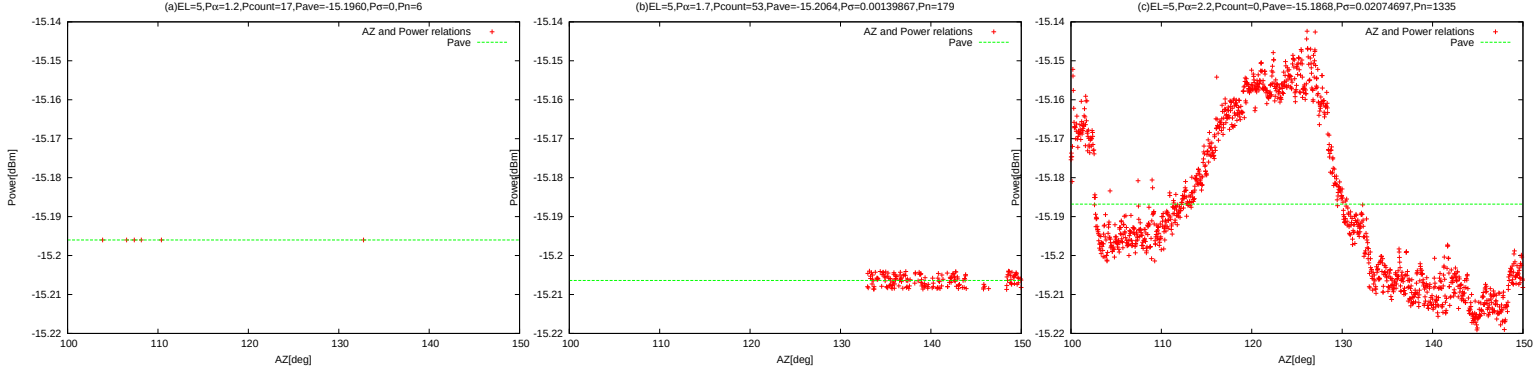
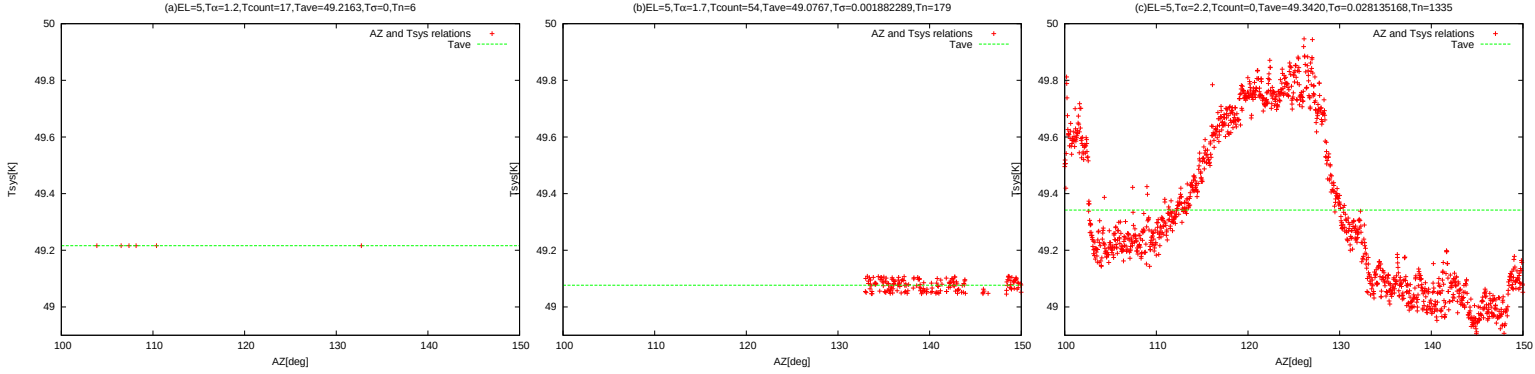


図 5.36: EL=5 度のときの T_{sys} の (a),(b),(c) の分布



(a) ではデータ点がほとんどなく全ての点が同じ値となっている。(b) ではデータ点がある領域に局在するような分布となった。(c) では一回もマスクを行っていないため、変動の激しいデータ点の除去ができていない。

各 EL ごとの (a)、(b)、(c) の α_P 、 α_T の値を表 5.16 にまとめた。

表 5.16: 各 EL ごとの α_P 、 α_T の値

	α_P			α_T		
EL	(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)
5	1.2	1.7	2.2(以上)	1.2	1.7	2.2(以上)
5.5	1.2	1.7	3.0	1.2	1.7	3.1
6	1.1	1.5	4.1	1.1	1.5	4.2
6.5	1.2	1.5	3.2	1.2	1.5	3.2
7	1.1	1.7	5.0	1.1	1.7	5.0
7.5	1.0	1.7	3.5	1.0	1.7	3.5
8	1.1	1.8	3.2	1.1	1.8	3.2
8.5	1.2	1.6	3.5	1.1	1.6	3.6
9	1.2	1.7	22.0	1.2	1.7	23.1
9.5	1.0	1.6	5.1	1.1	1.6	5.1
10	1.2	1.7	5.9	1.1	1.6	5.9
10.5	1.2	1.7	4.4	1.1	1.7	4.4
11	1.1	1.6	4.4	1.2	1.6	4.4
11.5	1.1	1.7	4.1	1.1	1.7	4.1
12	1.1	1.6	3.2	1.1	1.6	3.2
12.5	1.1	1.6	3.9	1.1	1.6	3.9
13	1.0	1.8	4.1	1.2	1.8	4.1
13.5	1.2	1.6	4.8	1.1	1.6	4.9

表 5.16 の (a),(b),(c) の P_{off} と T_{sysoff} を使い、AZ と $P_{\text{on}} - P_{\text{off}}$ 、 $T_{\text{syson}} - T_{\text{sysoff}}$ の関係をそれぞれ図 5.37、図 5.38、図 5.39 にプロットした。なお、(a),(b),(c) の違いがわかりやすいよう EL は 5,7,9,11,13 度のみをプロットしている。

図 5.37: (a) P_{σ} 、 T_{σ} が 0 になり始めるとき

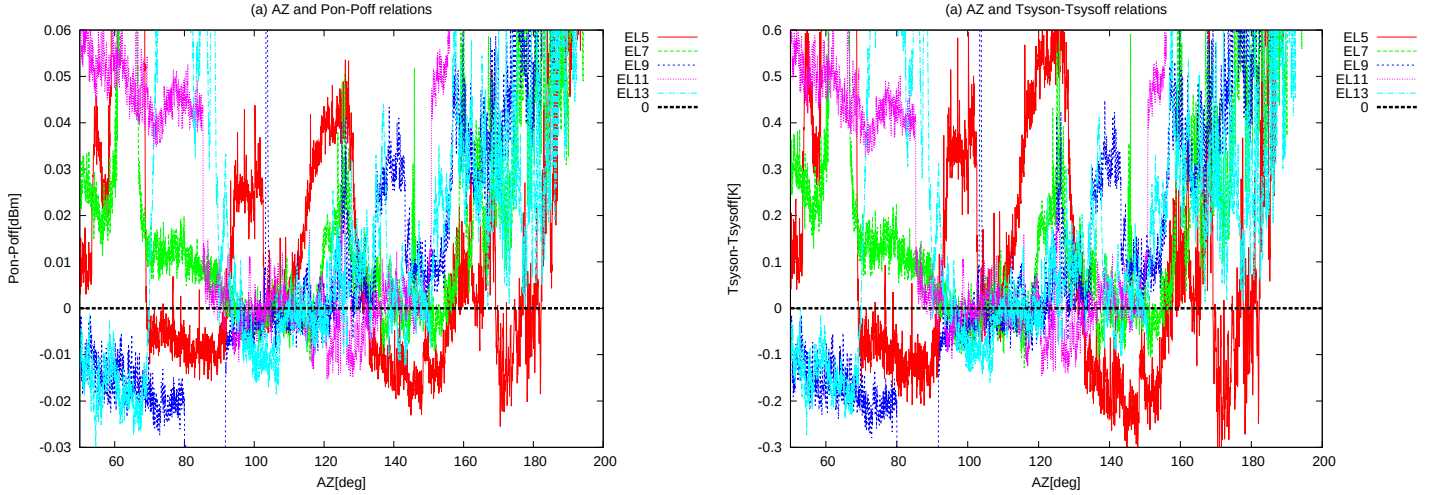


図 5.38: (b) N_P 、 N_T の値が最大になるとき

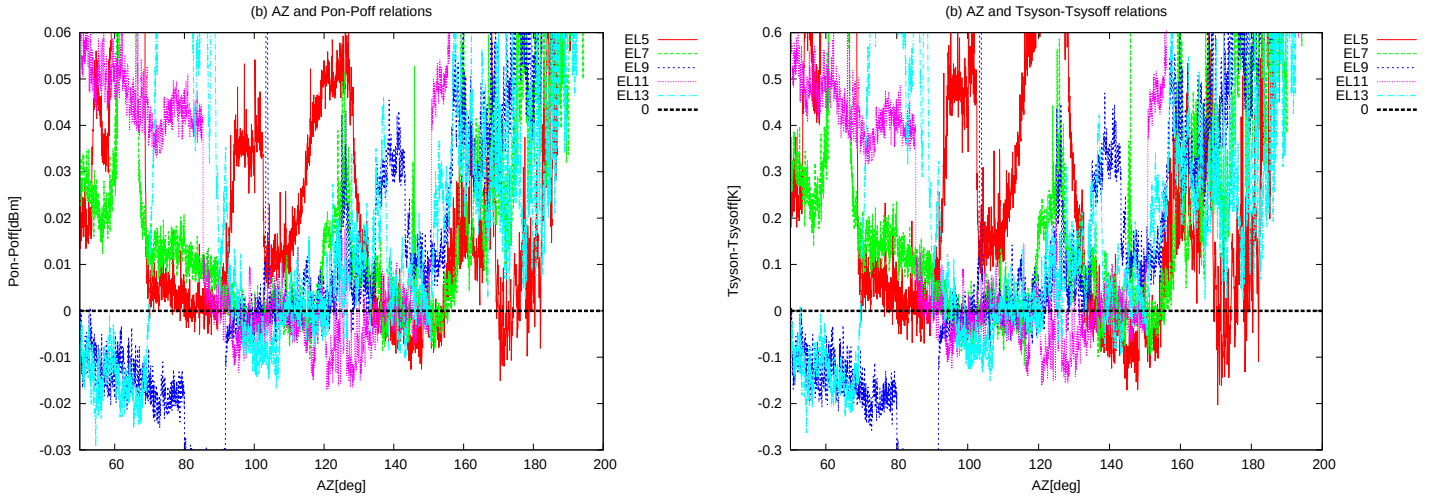
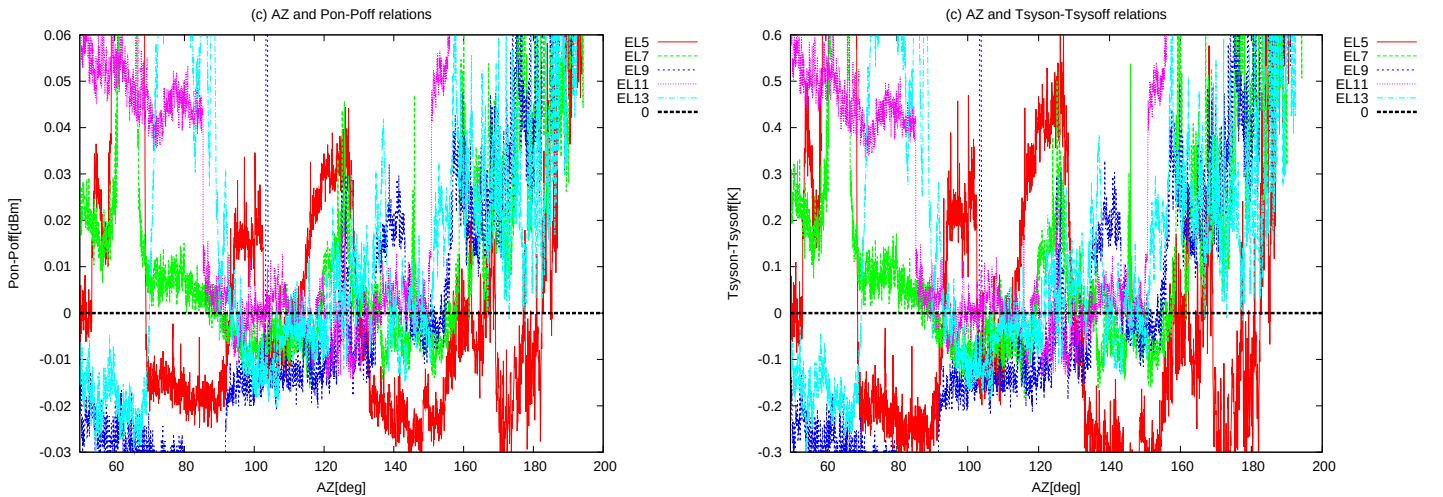


図 5.39: (c) N_P 、 N_T が 0 のとき



空のみを見ていると考えられる状態での受信強度の相対量 P_{border} や T_{border} が、ゼロに近づくほどスカイライン解析のデータとしては理想的である。各 EL 間において、(a)、(b)、(c) のいずれもほぼ P_{border} や T_{border} がゼロ付近に揃っており、正確なスカイラインをプロットするのに十分であると思われる。その中でも、もっともゼロ付近にまとまっているのは (b) であると判断し、²⁷ グラフからは (b) が一番もっともらしい P_{off} 、 T_{sysoff} の値であると考えた。

²⁷(c) は (a) や (b) と比べ、ゼロ付近にまとまっていないことがわかるが、(a) は (b) とそれほど違いが見られなかった。しかし、大気の揺らぎを最も受けている EL=5 度 (赤線) では、(b) よりも (a) のほうがゼロからズレが大きくなっている。よって、(b) が一番ゼロ付近であると判断した。

また、他にも①、②の理由から (b) がもっともらしいと考えられる。

① (c) よりも (a) や (b) がもっともらしい理由

(c) は一度もマスクをしておらず、システムや大気の揺らぎの影響を大きく受けた不適切なデータ点を除外できていないため、(a) や (b) よりは精密な P_{off} 、 T_{sysoff} が得られない。

② (a) よりも (b) がもっともらしい理由

(a) は数回のマスクで大量のデータ点が除外されてしまうため、その過程で、本来精密な P_{off} 、 T_{sysoff} を得るのに適切であったデータ点まで除外されてしまう可能性がある。(b) のように、マスクを何度も繰り返し、慎重に不適切なデータ点を除外することがより精密な P_{off} 、 T_{sysoff} を得るのに適切であると考えられる。

いずれも定量的な説明ではないが、上記の理由から (b) の P_{off} 、 T_{sysoff} を採用することにした。

選んだ (b) での P_{off} 、 T_{sysoff} の値を使った、AZ と $P_{\text{on}} - P_{\text{off}}$ 、AZ と $T_{\text{syson}} - T_{\text{sysoff}}$ の関係をそれぞれ図 5.40、図 5.41 に示した。図 4.17 や図 4.18 と比べても、AZ=100~150 度辺りの受信強度 P_{border} 、 T_{border} をゼロに揃えることができおり、もっともらしい P_{off} 、 T_{sysoff} を得られているといえる。

図 5.40: AZ と $P_{\text{on}} - P_{\text{off}}$ の関係

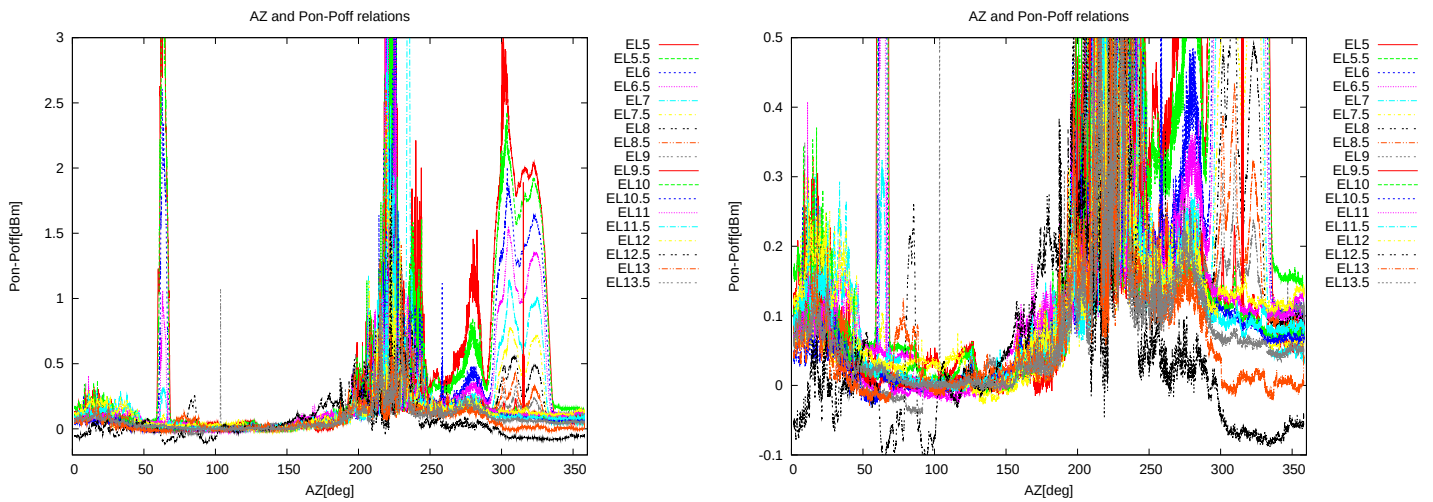
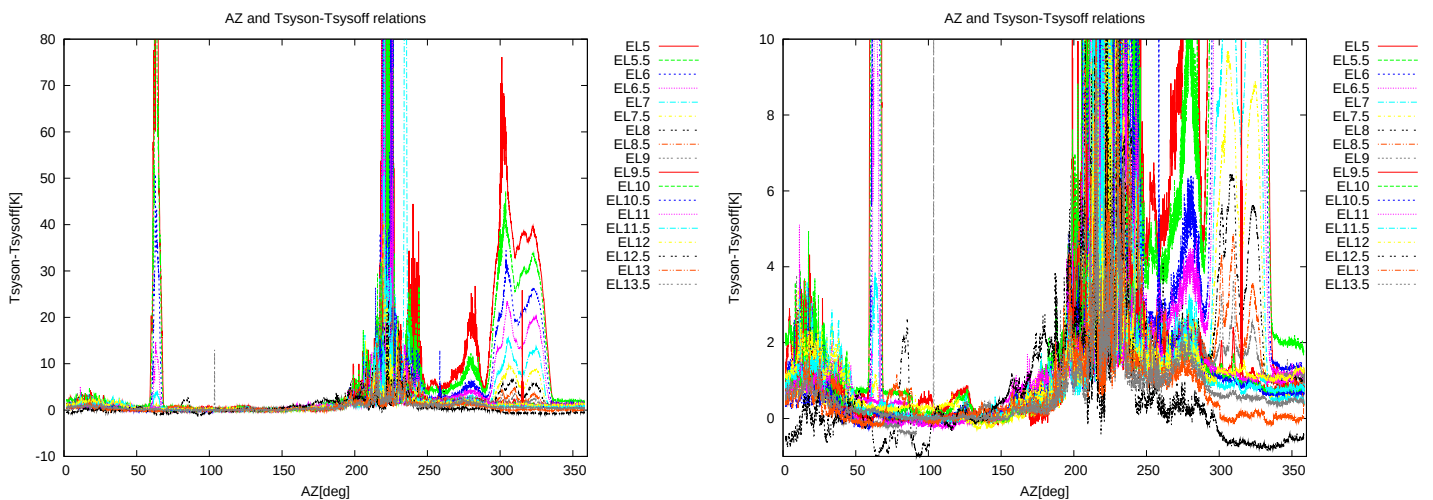


図 5.41: AZ と $T_{\text{syson}} - T_{\text{sysoff}}$ の関係



マスク処理から得られるスカイライン

この P_{off} 、 T_{sysoff} から得られる、各しきい値ごとのスカイラインは図 5.42、図 5.43 のようになった。

図 5.42: パワー [dBm] のスカイライン

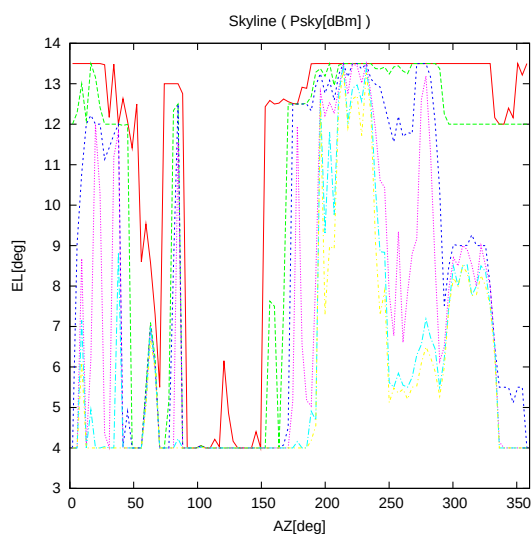
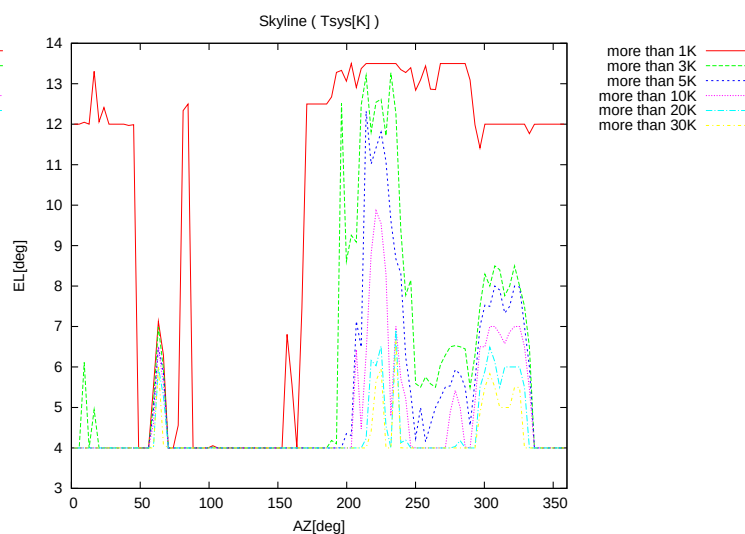


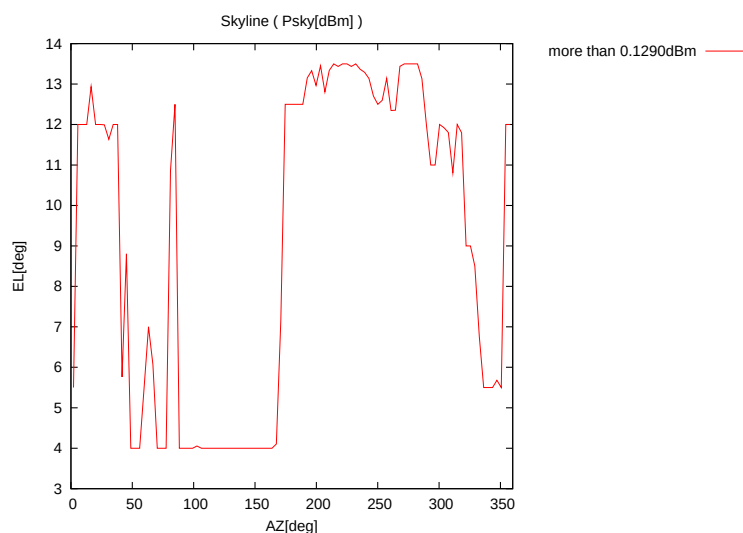
図 5.43: システム雑音温度 [K] のスカイライン



前回の 11 月のスカイライン (図 4.23、図 4.28) と同じようなスカイラインが描けたが、今回の 12 月の測定では、前回とは違い、AZ190~250 度辺りでの受信強度が非常に高くなった。ここでは時間変動する人工電波源が存在していると考えられる。

また、5.1 節の (1) で求めたシステム内の上限値 0.1290[dBm] をしきい値と考えたときのスカイラインは図 5.44 のようになった。

図 5.44: 0.1290[dBm] を基準値としたスカイライン



このラインよりも下にある EL は、大気の変動や人工電波、山などの放射といった、システムの変動以外の影響を受けていると見なすことができる。空を見ているため、それらの影響を受けるのは当然であるが、マスク解析に用いた AZ=100~150 度の範囲では、揺らぎが最も大きくなると考えられる EL=5 度でも、このしきい値を越えるような方角が全くなかった。この方角では、空を見ているにも関わらず、システムの変動の上限値内に電波強度の揺らぎが収まったといえる。

また更に、5.1 節の (8) で求めた、システム内の変動と大気の変動を合わせた値の上限値 0.4109[dBm]、6.0747[K] をしきい値と考えたときのスカイラインはそれぞれ図 5.45、図 5.46 のようになった。このラインよりも下にある EL は、人工電波、山などの放射といった、外部の放射の影響を受けていると見なせる。

図 5.45: 0.4109[dBm] をしきい値としたスカイライン

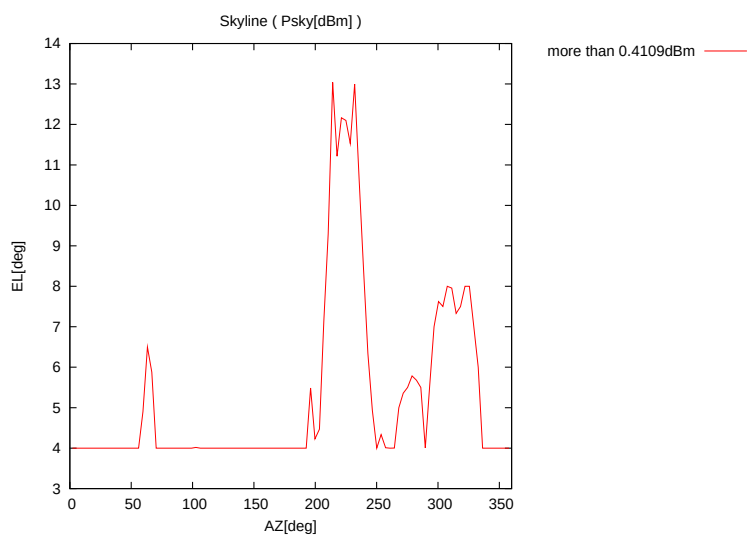
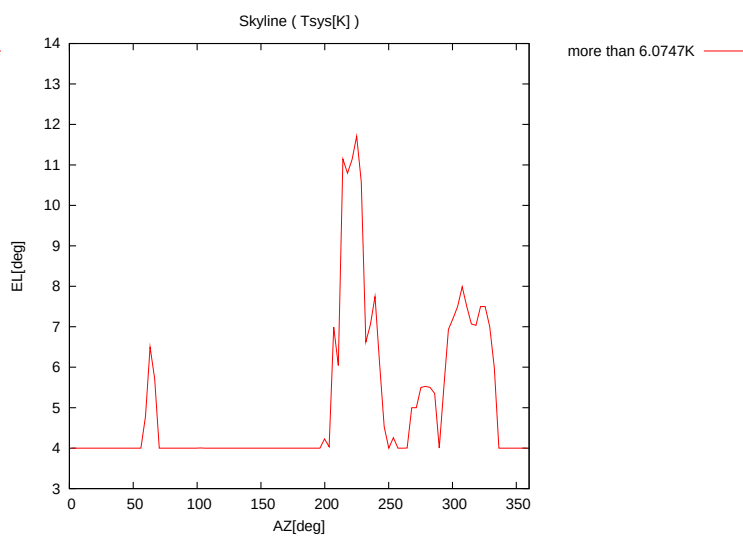


図 5.46: 6.0747[K] をしきい値としたスカイライン



6 スカイライン測定の考察

6.1 各方位角の電波強度やシステム雑音温度の上昇の原因について

- 高萩局望遠鏡
日立局の EL が最小の 5 度であるとき、AZ=59~69 度辺りでは、高萩局の影響を受ける可能性がある。また、EL=7 度以下のときも高萩局の放射の影響を受ける可能性がある。
- 西から北の方角の山
AZ240~358 度の範囲の西から北の方角には、山々が連なっている。この方位角において仰角が低いと、これらの山の放射の影響を受ける。
- 人工電波源について
二回の観測では、AZ=290~340 度で特に出力が上がっていた。この範囲では、山の放射以外にも人工電波の影響を受けていると思われる。また、再測定の際には、AZ=190~250 度でも極端に出力が上がっていることが確認できた。一回目の測定ではこの範囲での出力がそれほど高くなかったことを考えると、再測定時にこの範囲でも、人工電波の影響を受けたものだと考えられる。

6.2 山の放射と人工電波源の判別について

一般的に、山の放射よりも人工電波のほうが出力が高くなると思われるが、今回行なった測定方法では、人工電波と山の放射の明確な判別は難しい。より明確に人工電波と山の放射の判別を行なうためには、周波数帯を変えた際のスカイライン測定を行なうことが有効である。しかし、その方法で判別を行なうにしても、人工電波は観測する時間帯や時期に依存するため、人工電波の影響を完全に把握することは難しいものであると思われる。

参考文献

- [1] 国土地理院：測量計算 (距離と方位角の計算), <<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/bl2stf.html>> (参照 2011-12-24).