

測地VLBI コミュニティ標準 の観測制御ソフトFS9 を利 用する利点

関戸 衛

情報通信研究機構 鹿島宇宙技術センター

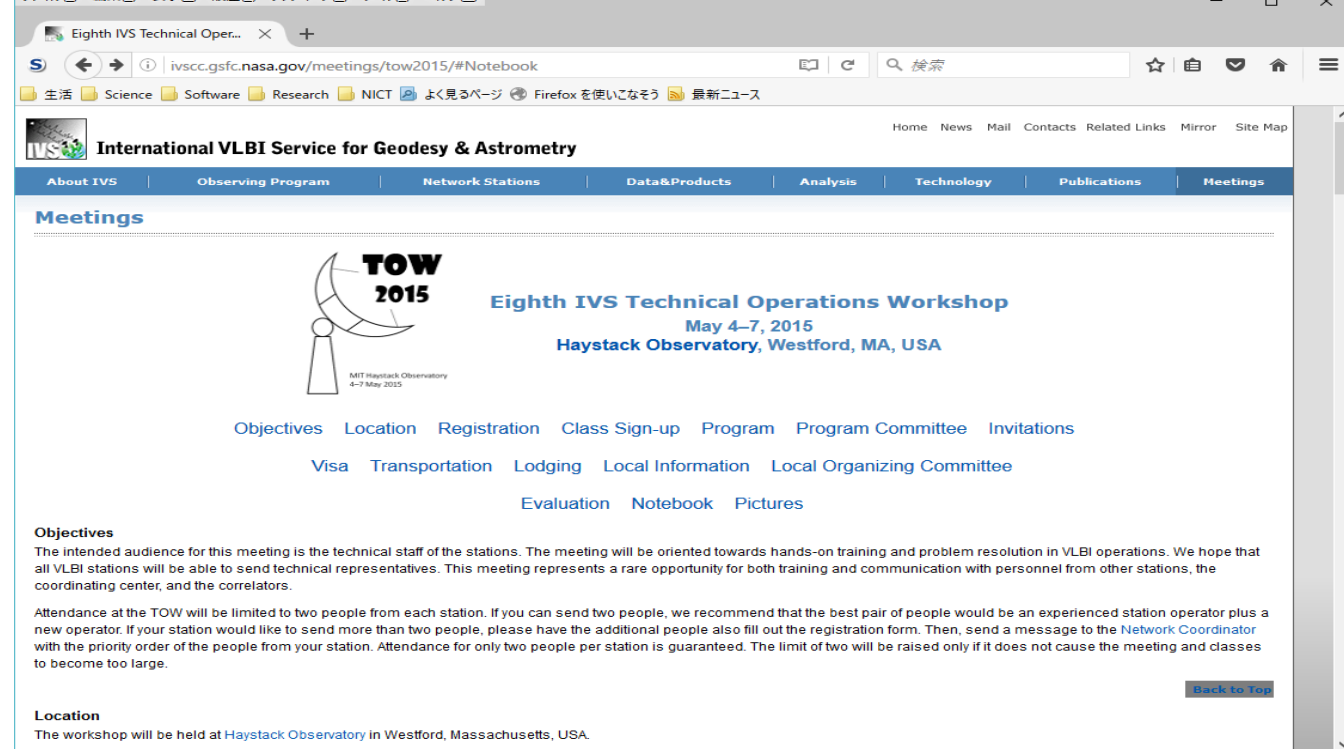
FS9 (Field System Ver.9)の紹介

- FS9とは
- 便利な機能
 - (軸、Gain)較正観測の自動化、軸較正モデルの選択・最小自乗解析
 - 自由にて議できるプロシージャ、スケジュールスクリプト (Snap)
 - リモート制御
- 世界の多くのVLBI観測機関と共通のログフォーマット
 - 共同観測に参加しやすい
 - 共通(標準)フォーマットにより、個別にソフトを開発する必要なく、分業、仕事の削減

FS9とは

- Field System Ver.9 現在Ver. 9.11.8
- 元々測地VLBIコミュニティのVLBI観測制御システムとしてSKEDとともにNASAが開発。天文VLBI局でも導入され、統一したアンテナ制御・GainCalデータ取得のシステムとして利用が広がっている。
- Developer:Ed Himwitch(NASA/GSFC), Jonathan Quick(HartRAO)
- 使用局：Jodrell Bank, Effelsberg, Westerbork, ATNF, Arecibo, Medichina, Metsahovi, SHAO, Yebes, JPL/DSN, …
 - 古いですがリストがhttp://lupus.gsfc.nasa.gov/software_fs_sites.htm

FS9とは



●導入するには：開発者：Ed (Ed.Himwich@nasa.gov), に連絡をとり、導入したい旨伝える。Freeのソフトウェアであるが、無断コピー配布は禁止されている。

●2年に一度 TOW(Technical Operator Workshop) @Haystackで講習会。

●講師Alastair Gunn(UK), Uwe Bach(MPIfR), Michael Lindqvist(Onsala), Bob Campbell(JIVE), Cormac Reynolds(JIVE)

<http://ivscc.gsfc.nasa.gov/meetings/tow2015/#Notebook>

便利な機能 1 : 自動較正観測 (軸較正、Gainカーブ測定)

acquire

観測のログが恒に記録され、ログファイルを解析することによって、アンテナモデルパラメータの推定、改善ができる。

1. リストを参照して観測可能な天体を自動選択
2. Fivept 5~7点の十字スキャンを行ってポインティング誤差 δAz , δEl を測定。
3. Onoff ノイズダイオード ON/OFF のデータと、リストに記載された天体の Flux を使って SEFD を測定
4. 1 に戻る。

/usr2/control/ctlpo.ctl

3C84	031948.16	+413042.1	2000	PREP	-1	10	10	0	POSTP	-2
TAURUSA	053432.	+220058	2000	PREP	-1	10	10	0	POSTP	-2
ORIONA	053516.	-052322.	2000	PREP	-1	10	10	0	POSTP	-2
3C273B	122906.70	+020308.6	2000	PREP	-1	10	10	0	POSTP	-2
VIRGOA	123049.42	+122328.0	2000	PREP	-1	10	10	0	POSTP	-2
3C279	125611.17	-054721.5	2000	PREP	-1	10	10	0	POSTP	-2
.....										
CYGNUSA	195928.4	+404402.	2000	PREP	-1	10	10	0	POSTP	-2
2134P004	213638.59	+004154.2	2000	PREP	-1	10	10	0	POSTP	-2
3C454D3	225357.75	+160853.6	2000	PREP	-1	10	10	0	POSTP	-2
CASA	232324.8	+584859.	2000	PREP	-1	10	10	0	POSTP	-2

天体座標

Fivept Wait

Onoff Wait

Peakf Wait

便利な機能 1 a : 軸較正観測ログの解析

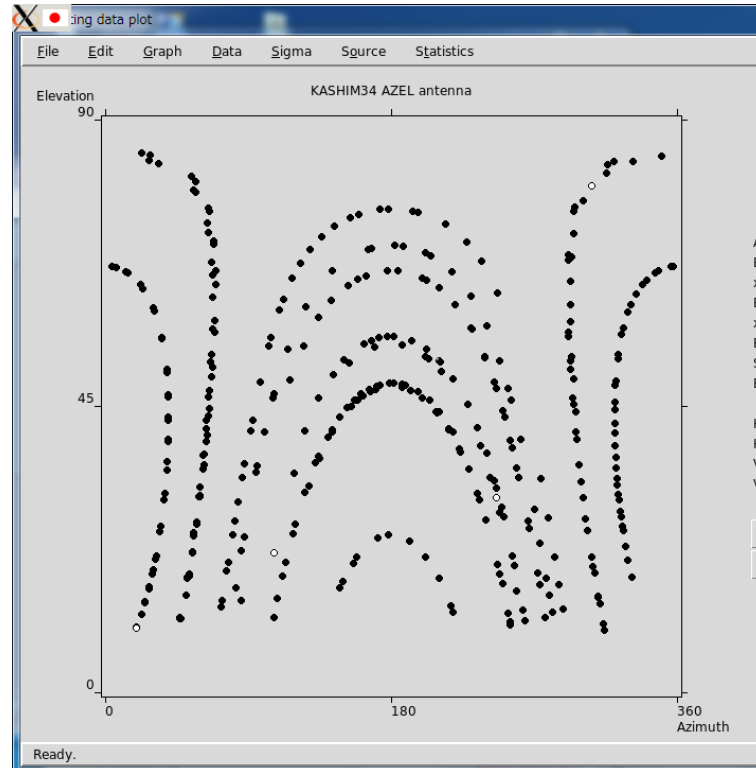
pdplt

Log File

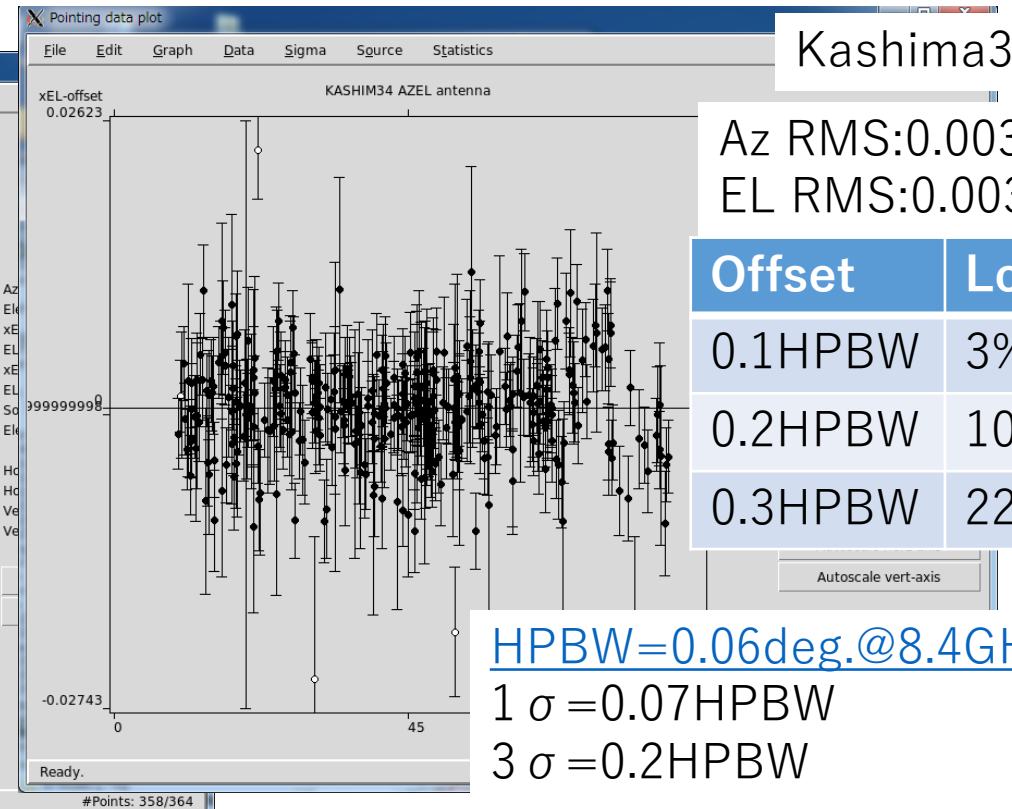
Antenna Model parameter

1. ログファイルを読み込み、Fiveptのデータを抽出
2. ポインティングモデルパラメータの推定。残差データのエディット。
3. 統計データ、新モデルパラメータ出力。

AZ-EL plot



EL- δ Az 残差plot



Kashima34

Az RMS:0.00393
EL RMS:0.00385

Offset	Loss
0.1HPBW	3%
0.2HPBW	10%
0.3HPBW	22%

HPBW=0.06deg.@8.4GHz

1 σ = 0.07HPBW

3 σ = 0.2HPBW

便利な機能 1 a : 軸較正観測ログの解析

推定モデルパラメータの選択

pdplt

モデルパラメータ選択

Modify Parameters

Please choose one flag(0-4) for each parameter(1-20)

WARNING: THIS LEGACY MODEL FILE ONLY SUPPORTS 20 PARAMETERS

Flag 0: This parameter is not in use.
Flag 1: This parameter is in use.
Flag 2: This parameter is in use, but its value is hardwired.
Flag 3: Update 3's only, hardwire 1's and 2's.
Flag 4: This parameter is used in current model, but don't use in new model.

Parameter explanation

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
1	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
1	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Save Cancel

Parameter Explanation

Parameter 1:X-angle Encoder Offset

Parameter 2:X-angle Sag

Parameter 3:Axis Skew

Parameter 4:Box Offset

Parameter 5:Tilt Out (tilt of Y=+90 toward (X,Y)=(0,0))

Parameter 6:Tilt Over (tilt of Y=+90 toward (X,Y)=(+90,0))

Tilt Amplitude = $\sqrt{P5^2 + P6^2}$

Tilt of Y=+90 is toward (X,Y)=($\text{atan2}(P6, P5), 0$)

Parameter 7:Y-angle Encoder Offset

Parameter 8:Y-angle Sag

Parameter 9:ad hoc Y-angle Slope (degrees/radian)

Parameter 10:ad hoc deltaYcosY Coefficient

Parameter 11:ad hoc deltaYsinY Coefficient

Parameter 12:ad hoc X-angle Slope (degrees/radian)

Parameter 13:ad hoc deltaXcosX Coefficient

Parameter 14:ad hoc deltaXsinX Coefficient

Parameter 15:ad hoc deltaYcos2X Coefficient

Parameter 16:ad hoc deltaYsin2X Coefficient

Parameter 17:ad hoc deltaXcos2X Coefficient

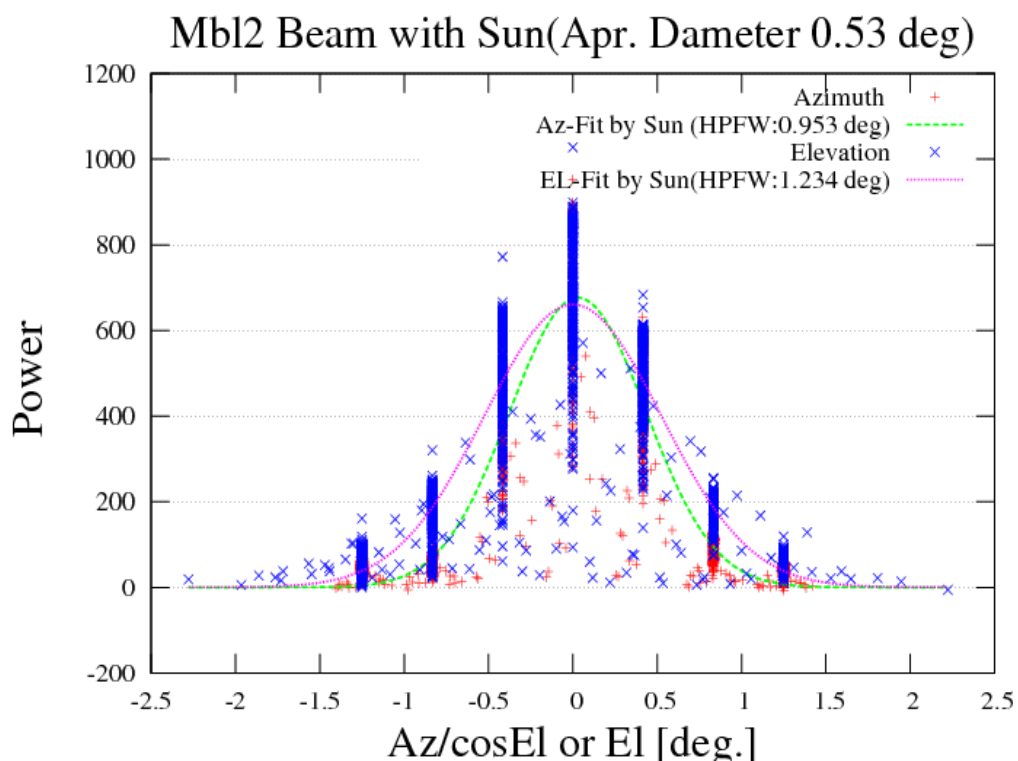
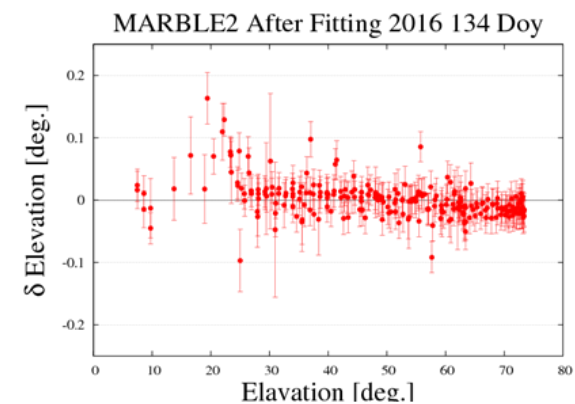
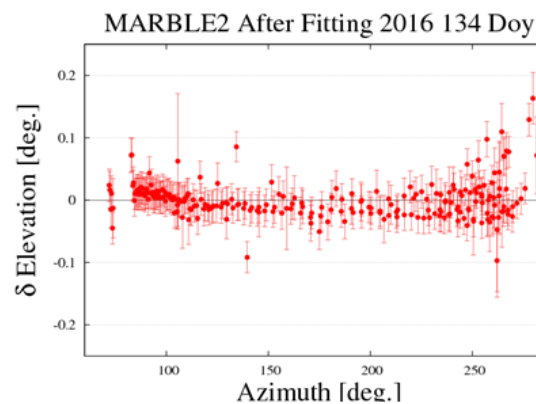
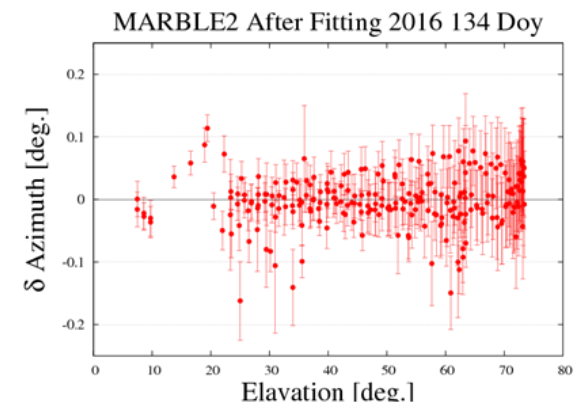
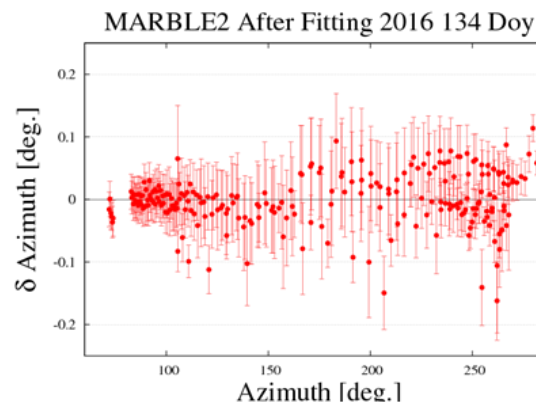
Parameter 18:ad hoc deltaXsin2X Coefficient

Parameter 19:ad hoc deltaYcos8Y Coefficient

Parameter 20:ad hoc deltaYsin8Y Coefficient

OK

Pointing 軸較正観測例



- FIT前のオフセット: AZ: -0.236 deg., EL: +0.6186 deg.
- 残差RMS: AZ: 0.0765 deg., EL: 0.0261 deg.
- FIT後の残差RMS:
 - AZ: 0.0248 deg., EL: 0.0330 deg.
 - 観測周波数: 8180-9080MHz

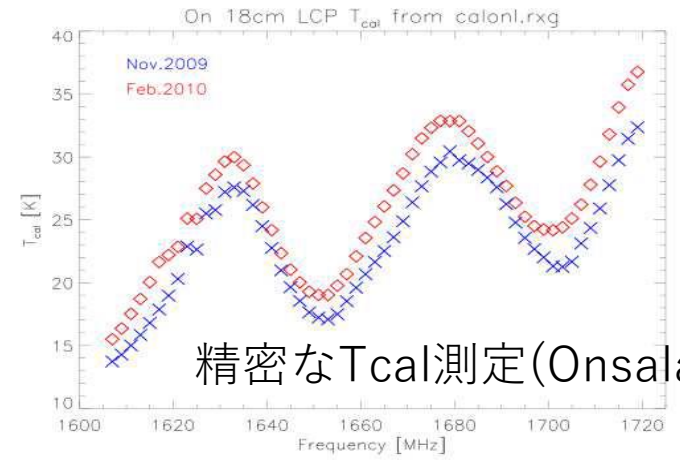
便利な機能 1 b : Gain較正観測ログの解析

$$\frac{1}{2}SA\eta = k_B T$$

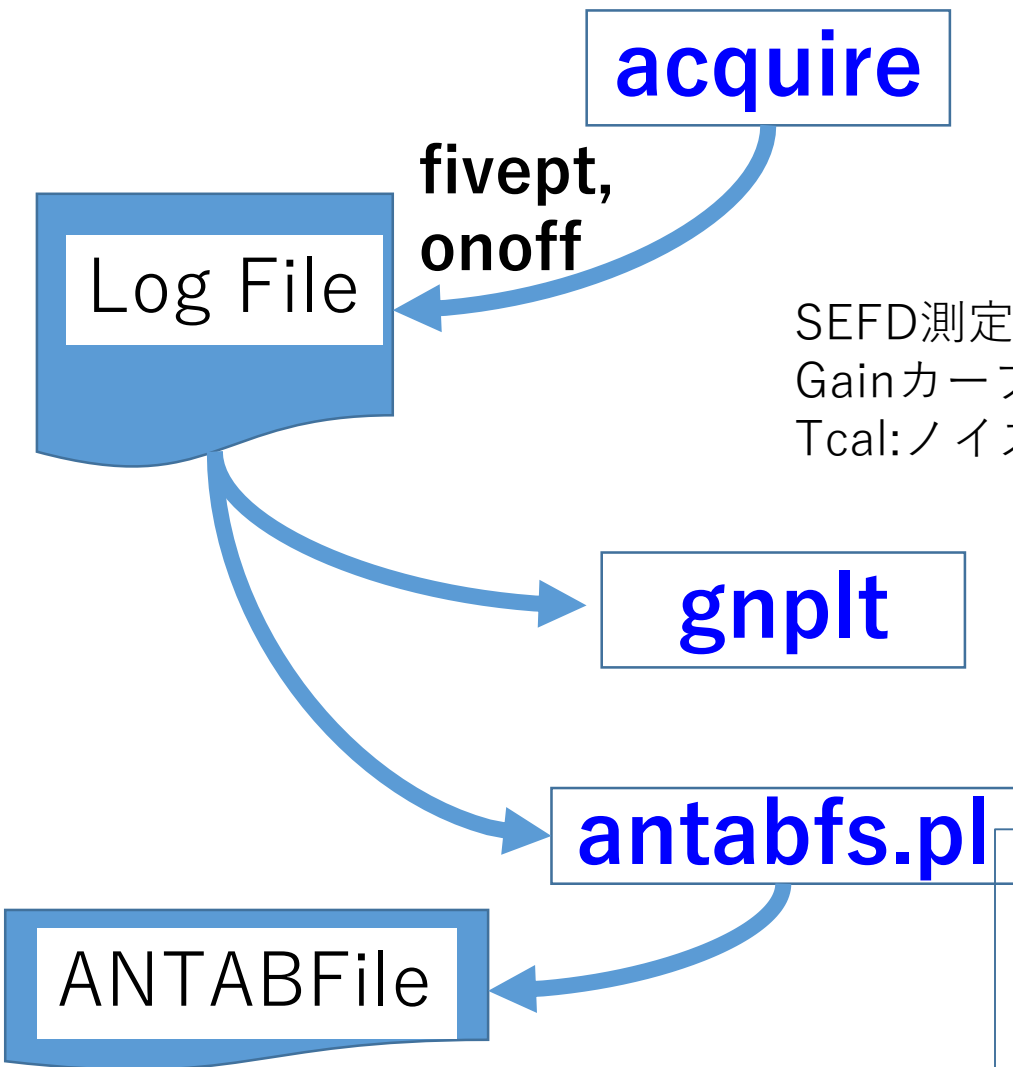
$$SEFD = \frac{T_{sys}}{\frac{1}{2k_B}A\eta} = \frac{T_{sys}}{DPFU \times G}$$

$G(El)$: ゲインカーブ

SEFD測定(Onoff)
Gainカーブ、DPFU算出
Tcal:ノイズダイオード温度の較正



For the EVN, Tcal of the cal-sources is measured in CL experiments that take place in each frequency-band sub-session during disk-based EVN sessions.



観測局へのフィードバック

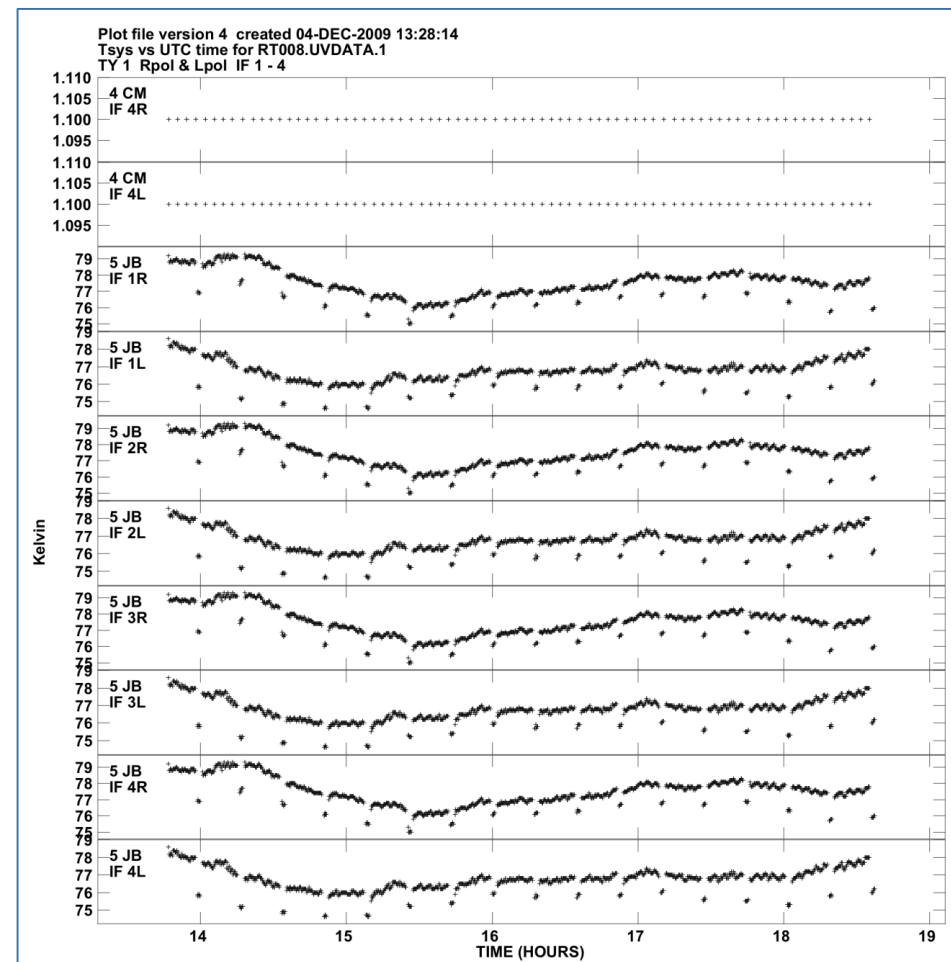
2.8 Calibration feed-back for experiments correlated at JIVE

- Each experiment correlated at JIVE gets pipelined. The *a priori* amplitude calibration for this comes directly from the stations' *antabfs* output files.
- Pipeline results reside in the EVN archive, which you can access at

www.jive.nl/select-experiment

by clicking on the experiment you want from the pull-down menu. Go to the Pipeline tab, then to the pipeline plots link (top one of the table). Find the section beginning "Amplitude corrections". This will provide a list of sources in the experiment, each with a pdf, a text file, and a statistical summary.

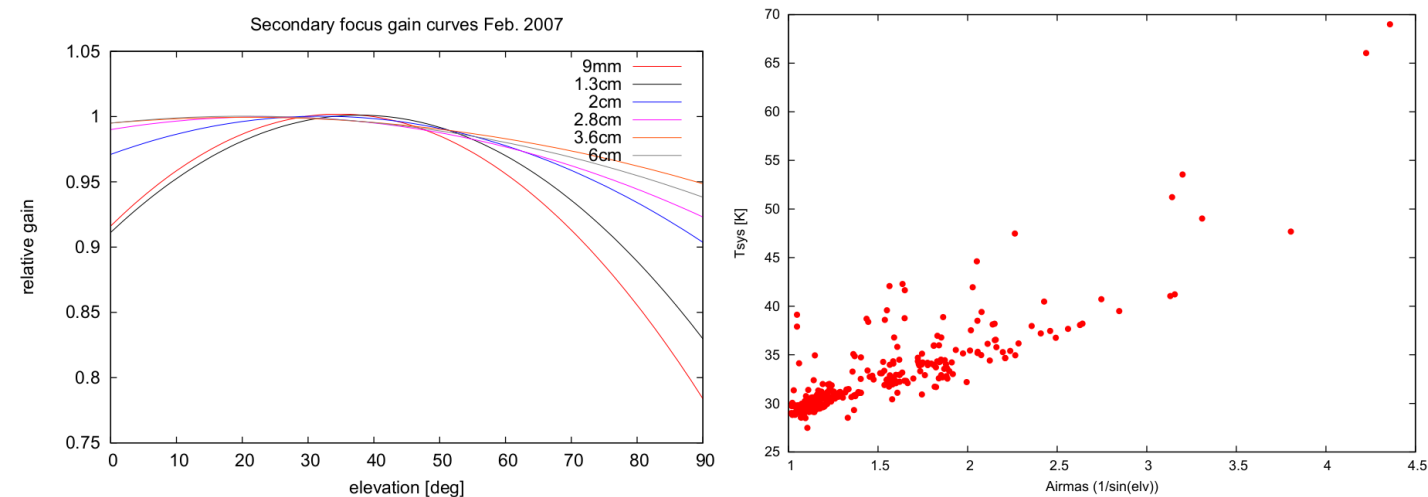
- The pdf file plots amplitude correction factors (1 = no correction needed) by station/sub-band/polarization -- see Fig. 2.2.2
- The statistical summary tabulates by station/channel the median amplitude correction factor and related statistics. It also provides the antenna numbering that is needed to investigate the text file.
- The text file contains the raw information from which the statistical summary was computed. It tabulates per sub-band/polarization the amplitude correction factor ($\times 10000$), with time-sampling roughly on a per-scan basis. The telescopes form the columns, labeled by the antenna number in the experiment.



アンテナのゲイン較正

$$\text{SEFD} = \frac{T_{\text{sys}}}{\frac{1}{2k_B} A \eta} = \frac{T_{\text{sys}}}{\text{DPFU} \times G}$$

$G(El)$: ゲインカーブ



Scan毎の`preob`による T_{sys} 測定例

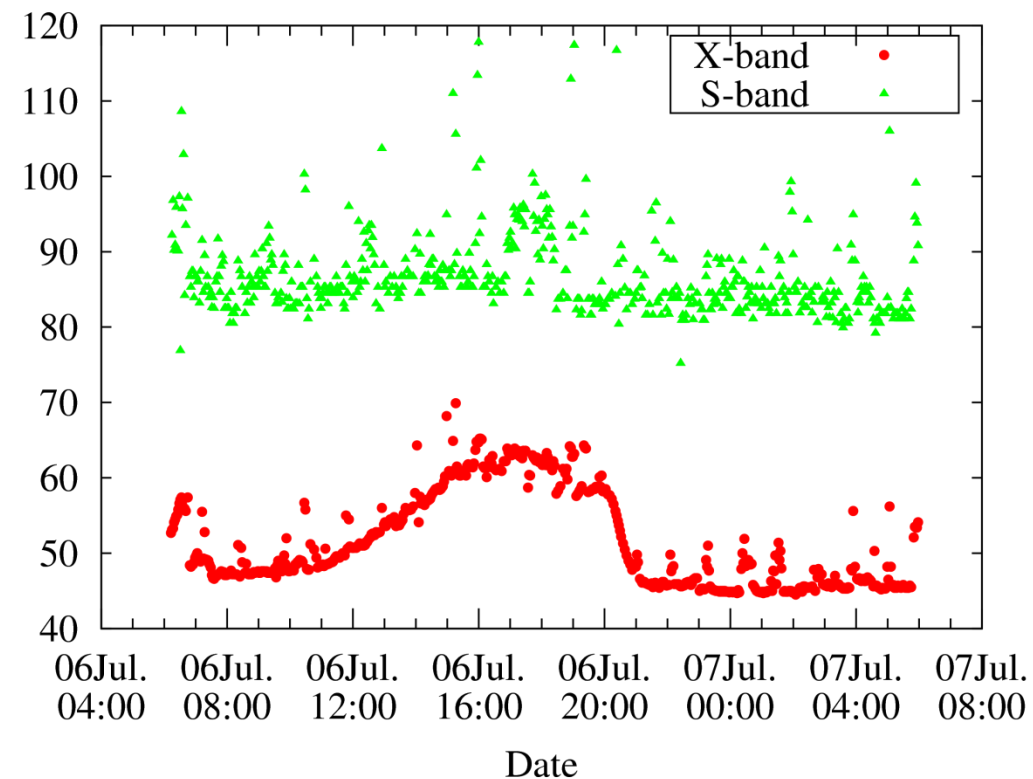


Figure 1.5: Examples of gain-elevation curves, $g(z)$, for the Effelsberg secondary focus receivers and 6cm system temperature measurements vs. airmass. TOW2015の資料(Bach)より

便利な機能2：観測スケジュール

proc 定義ファイルによるプロシージャ定義

veps11kb.prc

Operator Input Window

source=azeluncr,270d,56d

caltsys

Tsys 測定

source=3c273b,122906.70,+020308.6,2000.0

casa

hpib=p1

GPiBでパワーメータの値取得

standby

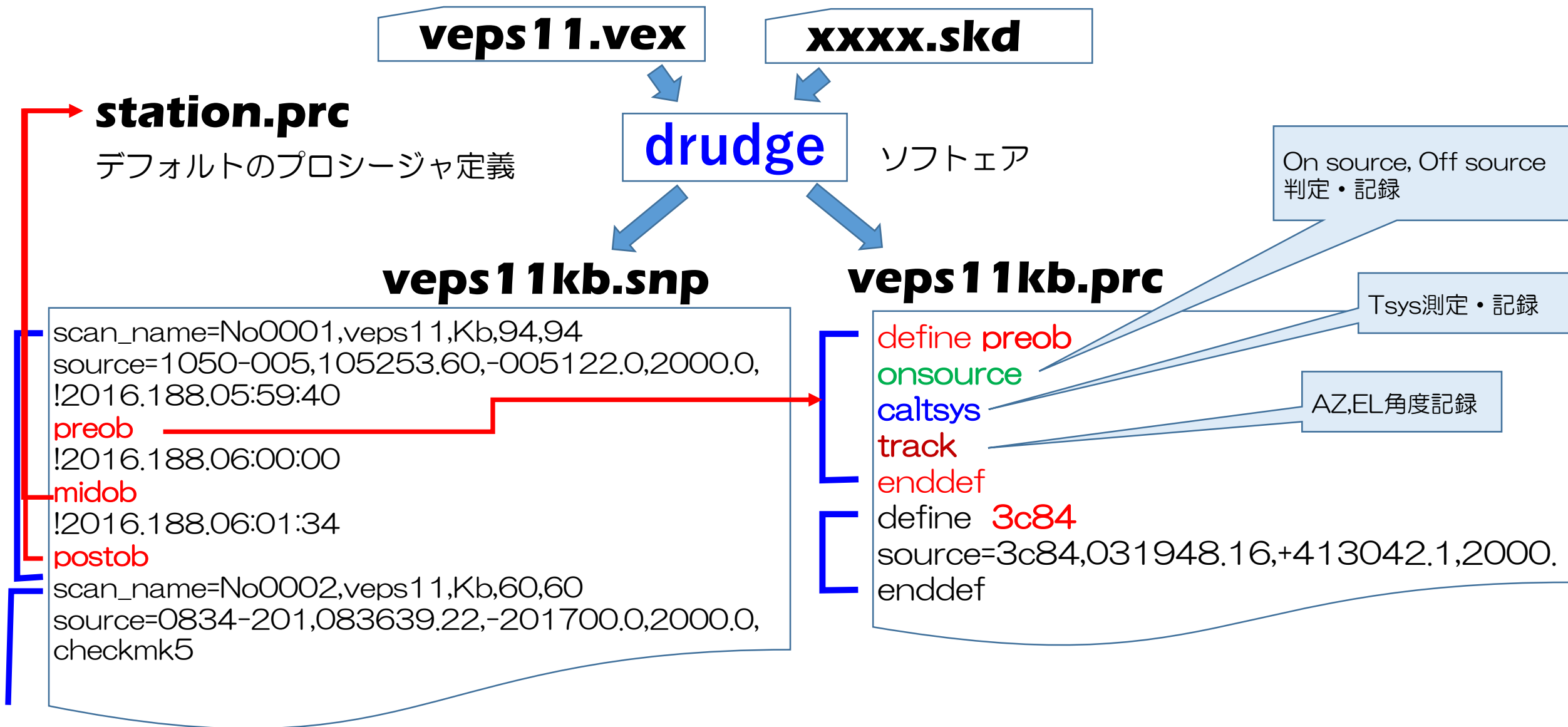
ブレーキをかける

terminate

FS9終了

```
define casa      000000000000
"source=cas-a,232109.,583230,1950.
source=casa,232324.8,+584859.,2000.
enddef
```

便利な機能2 : snap, proc 観測スクリプト例



便利な機能3：リモート制御

ssh等でログインすればshared memory を通してモニタ・制御が可能

```
m...
id
R. monan@fs9kas11.nict
Dec. +90:00:00

Offsets
AzEl 0,000 0,000
RaDc 0,000 0,000

2016-190 13:29:10.01
L.A.S.T. 17:59:31.2
Eq. of Equinox -0.3

Az El
Cmd -0,000 -0,000
Act 0,000 0,000
Err -0,016 -0,002
Communication Error
Cor 0,000 0,000
Ref 0,000
Wrap: Neutral (CW)
```

Antena Monitor Window

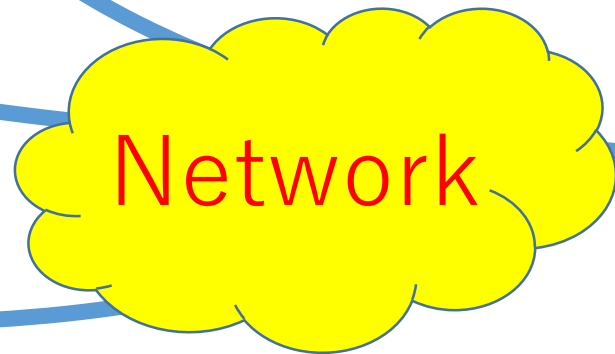
```
monit2@fs9kas11.nict.go.jp
KASHIM11 2016.190.13:31:00 UT TEMP 24.0C idle TRACKING
MODE RATE 13:34:50 NEXT HUMID 97.60% RA 00h00m 0.0s
k4 4,00 SCHED=none LOG=station PRES 1011.1mb DEC 00d00m (-1.)
SEQUENCE TABLE 0.000000s AZ 0.0 EL 0.0

NO CHECK: rx
```

Status Window

```
oprin@fs9kas11.nict.go.jp
>hpiB=pm
>hpiB=pm
>hpiB=pm
>
```

Operator Input Window



便利な機能3：リモート制御

ssh等でログインすればshared memory を通してモニタ・制御が可能

```
m...
id
R. monan@fs9kas11.nict
Dec. +90:00:00

Offsets
AzEl 0,000 0,000
RaDc 0,000 0,000

2016-190 13:29:10.01
L.A.S.T. 17:59:31.2
Eq. of Equinox -0,3

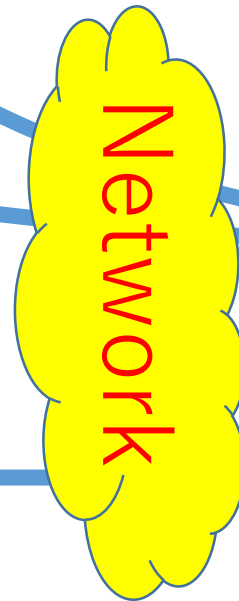
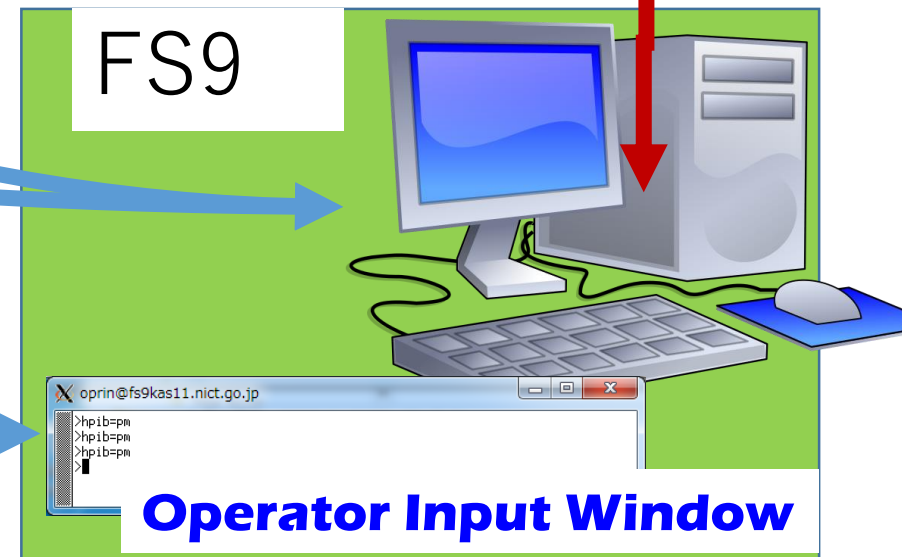
Az El
Cmd -0,000 -0,000
Act 0,000 0,000
Err -0,016 -0,002
Communication Error
Cor 0,000 0,000
Ref 0,000 0,000
Wrap: Neutral (CW)
```

Antena Monitor Window

```
monit2@fs9kas11.nict.go.jp
KASHIM11 2016.190.13:31:00 UT TEMP 24.0C idle TRACKING
MODE RATE 13:34:50 NEXT HUMID 97.60% RA 00h00m 0.0s
k4 4,00 SCHED=none LOG=station PRES 1011,1mb DEC 00d00m (-1.)
SEQUENCE TABLE 0,000000s AZ 0,0 EL 0,0

NO CHECK: rx
```

Status Window



X Terminal

Inject_snap <snp cmd>

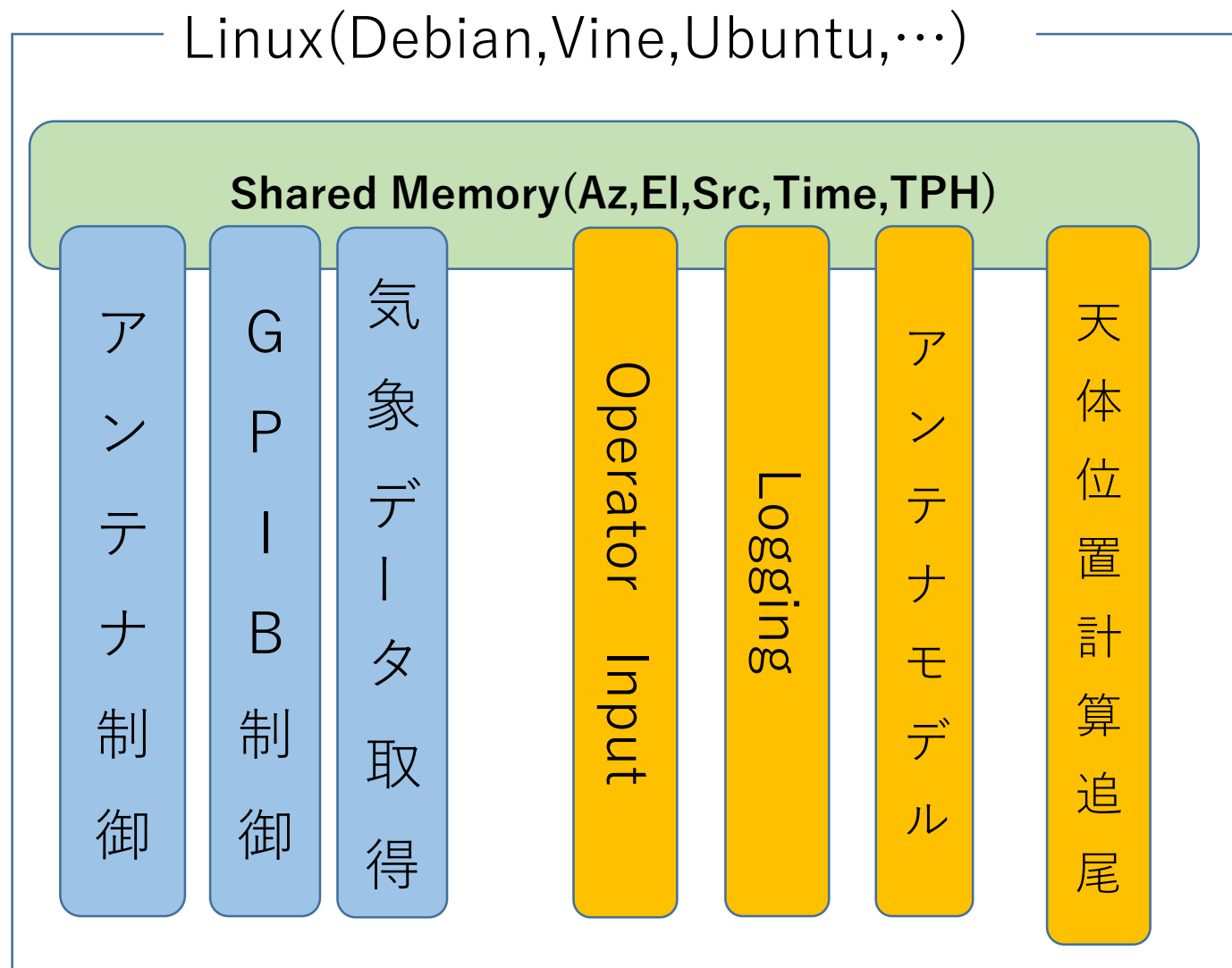
FS9の仕組み: Shared Memory で情報共有

ディレクトリ構造

<code>/usr2/fs/</code>	・・・FS9ソフト本体(共通)
<code>/st/</code>	・・・FS9ソフト(局依存)
<code>/control/</code>	・・・FS9 設定ファイル
<code>/sched/</code>	・・・skd, snpスケジュール
<code>/proc/</code>	・・・プロシージャファイル
<code>/log/</code>	・・・観測ログファイル

- Fort77, Gcc でコンパイル
- たいていのLinux OSで動作可能
- アンテナ依存(/st/)部分だけ修正すればどのアンテナでもOK(AZEL, XY,)

使用言語：元々Fortran, 現在はC言語



まとめ

- FS9を使うことで
 - 簡単に軸較正観測(acquire)が可能で、軸較正解析(pdplt)可能
 - NDが利用可能なら Onoffにより SEFD測定、ANTAB作成可能
 - 世界のVLBI局と共同観測に有利
- TOWのWSで感じること
 - JIVE・EVNはFS9のログを使って丁寧なTcal較正、GainCalを実施しているよう。
 - 相関処理局のLOG解析⇒公開⇒**観測局へのフィードバック**
 - →JVN、EAVNの発展に重要
 - 「標準」(インタフェース)を決めることで、それ以外の部分を効率的に分業できる。←→開発屋と観測屋

参考情報

- NASA/GSFCの FS9サイト
 - http://lupus.gsfc.nasa.gov/software_fs_main.htm
- マニュアル類
 - http://lupus.gsfc.nasa.gov/software_fs_docs.htm
 - <ftp://gemini.gsfc.nasa.gov/pub/fsdocs/>
- IVS-TOWのサイト・資料
 - <http://ivscc.gsfc.nasa.gov/meetings/tow2015/>
 - <http://ivscc.gsfc.nasa.gov/meetings/tow2015/#Notebook>

34mアンテナの現状

- 34m アンテナを活用した科学的観測に積極的に協力・活用したい。
- パルサータイミング観測を立ち上げたい、願望を持っています。
 - 時空間の計測～
 - 日本国内の数少ないパルサー観測に適した低周波観測施設



Band	Freq. [MHz]	SEFD [Jy]	Pol.
L-band	1405-1440MHz, 1600-1720MHz	200	L or R
S-band	2150-2350MHz	400	L or R
X-band	8180-9080MHz	250-300	LR
K-band	22GHz - 24GHz	1000	L
Q-band	42.3GHz- 44.9GHz	4000	
Broad	3.2-14GHz	2000	V (H)

‘Onoff’ が使用するFlux情報

/usr2/control/flux.ctl

```
*          freq MHz  ---- flux 10** ----  "  FS
* source  type  min  max  log  log(f)  2log(f)  size  model
  3c48    c    500 23780 2.465 -0.004 -0.1251  1.5  gauss 100 1s
  3c123   c    500 23780 2.525  0.246 -0.1638  23  gauss 100 23s 5s
  3c147   c    500 23780 2.806 -0.140 -0.1031  1  gauss 100 1s
  3c161   c    500 10550 1.250  0.726 -0.2286  3  gauss 100 3s
  3c218   c    500 10550 4.729 -1.025  0.0130  47  gauss 100 47s 14s
  oriona  p   2020  2520 2.64345 0  0  240  gauss 100 4m
  oriona  p   8080  9080 2.53147 0  0  240  gauss 100 4m
  3c84    p   2020  2520 1.60205 0  0  1  gauss 100 1s
  3c84    p   8080  9080 1.69987 0  0  1  gauss 100 1s
```