

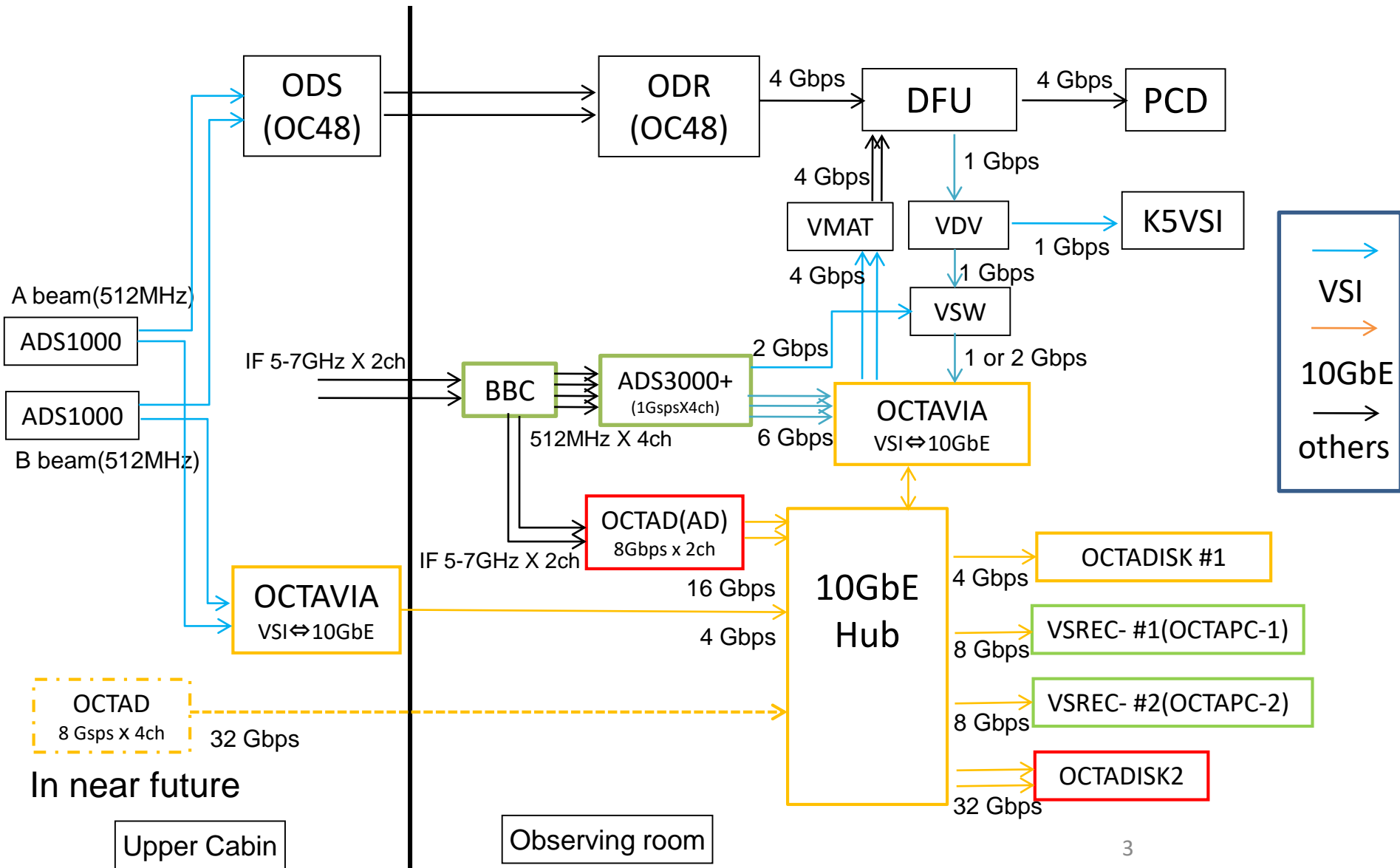
Present status and future plan of VERA-upgrade for SKA Era

Tomoaki Oyama

VERA Upgrade

- 1st Phase : 2008-2015
 - Replace
 - Mitaka-FX → Mizusawa Soft correlator (2015~)
 - DIR2000 recorder → OCTADISK (2014~)
→ COTSベースのPCIバスをFPGA制御、ソフトウェア関連の技術を蓄積 → SKA CSP-VLBI
- 2nd Phase : 2010-2017
 - VERA、VSOP、JVN等各種プロジェクト性能向上、replace (JVN, 45m)、付随したupgrade
 - 広帯域 4-12Gbps (ADS1K、3K、VSREC) → 4Gbps定常運用開始 (2017/9~)
 - K-band 両偏波化 (水沢、入来)
→ COTSベースの汎用サーバーを用いたリアルタイムDSP、記録の技術を蓄積 → SKA-CSP, VLBI
- 3rd Phase : 2015~
 - SKA、KaVA、EAVN時代に向けた(汎用化)アレイ構築、基礎開発、将来計画
 - 超広帯域 > 9216MHz、40Gbps (OCTAD、OCTADISK2全局配備 2018/3)
→ KVN超広帯域化、Brand-EVN、SKA-Band5C
 - K,Q両偏波化 (VERA全局) → 水沢、入来DC配備 (2018/1) → EAVN
 - K,Q同時受信 (VERA全局) → 全局配備 (2018/1) → KaVA
 - 低周波 (L-Sband) 広帯域、基礎開発、将来計画検討 (DSP、SKA、気球)

2nd Phase : Block diagram (2017/10)



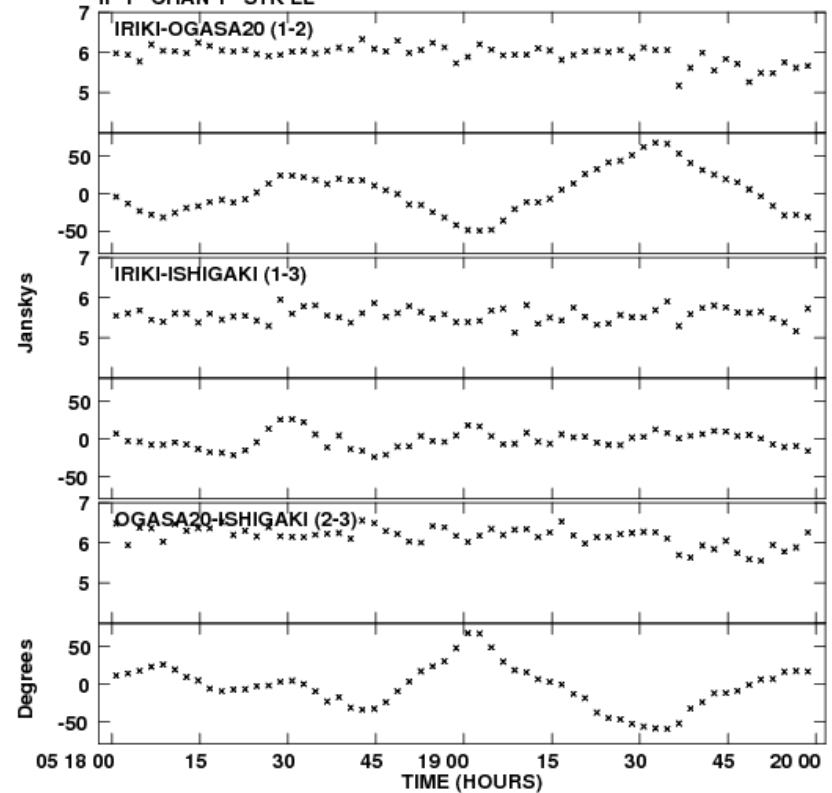
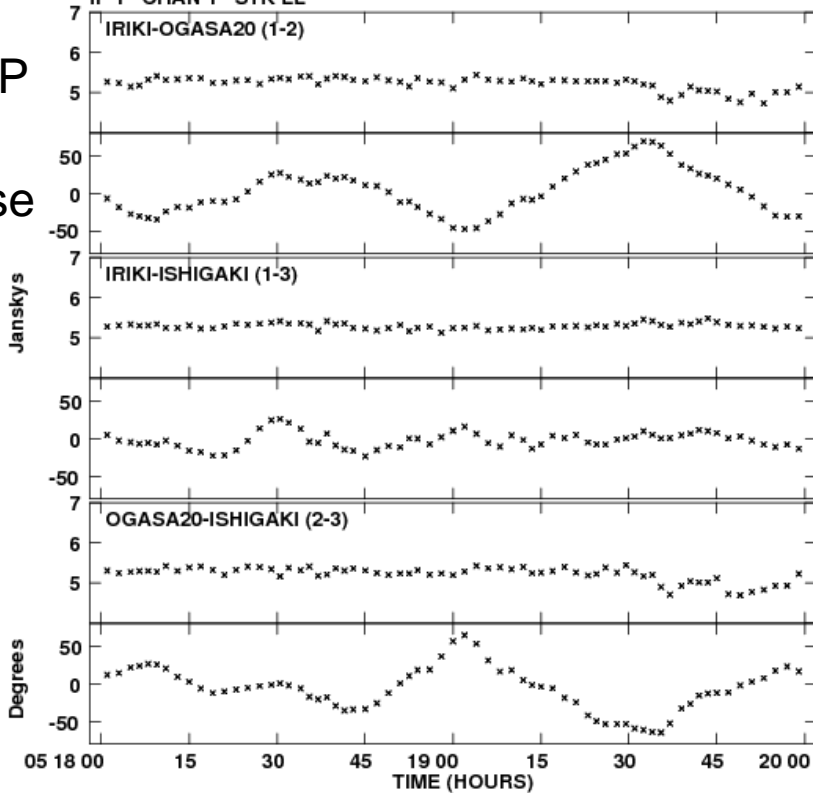
Verification: Amp & Phase

1 Gbps VS 8Gbps

PLot file version 1 created 06-JAN-2013 16:21:37
 Amplitude and Phase vs Time for BLLAC.SPLIT.3 Vect aver.
 IF 1 CHAN 1 STK LL

PLot file version 1 created 06-JAN-2013 16:21:39
 Amplitude and Phase vs Time for BLLAC.SPLIT.4 Vect aver.
 IF 1 CHAN 1 STK LL

AMP
phase



Wide band (512MHz X 4 ch 積分)

DIR2K-FX (16MHz X 16 ch 積分)

Phase: で一一致、 SNR: 3.5-3.6倍

AMP 12-14% の差異は再量子化ロス (DF 使用)、バンドエッジの形状等による

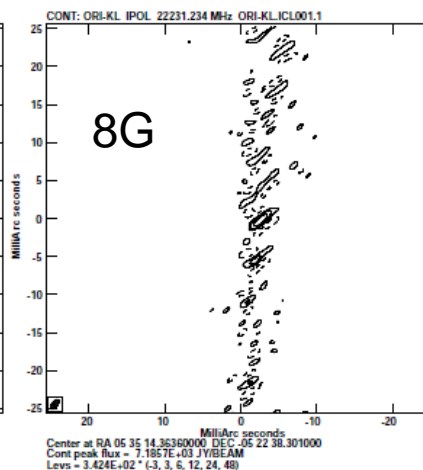
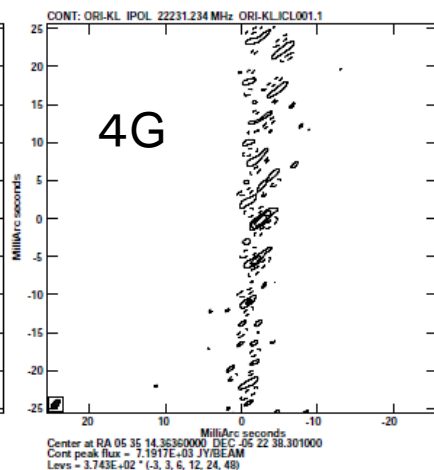
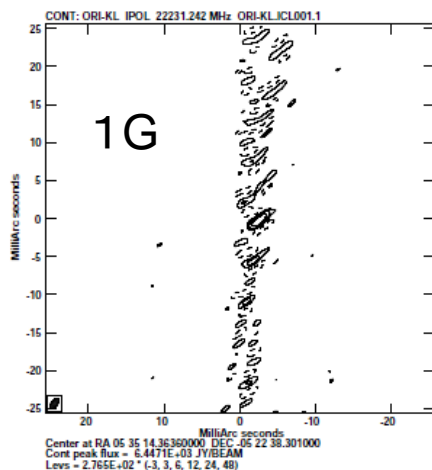
Verification of Phase-reference (10-12Gbps)

▪ 60 μ の精度で一致 (Orion) by Nagayama

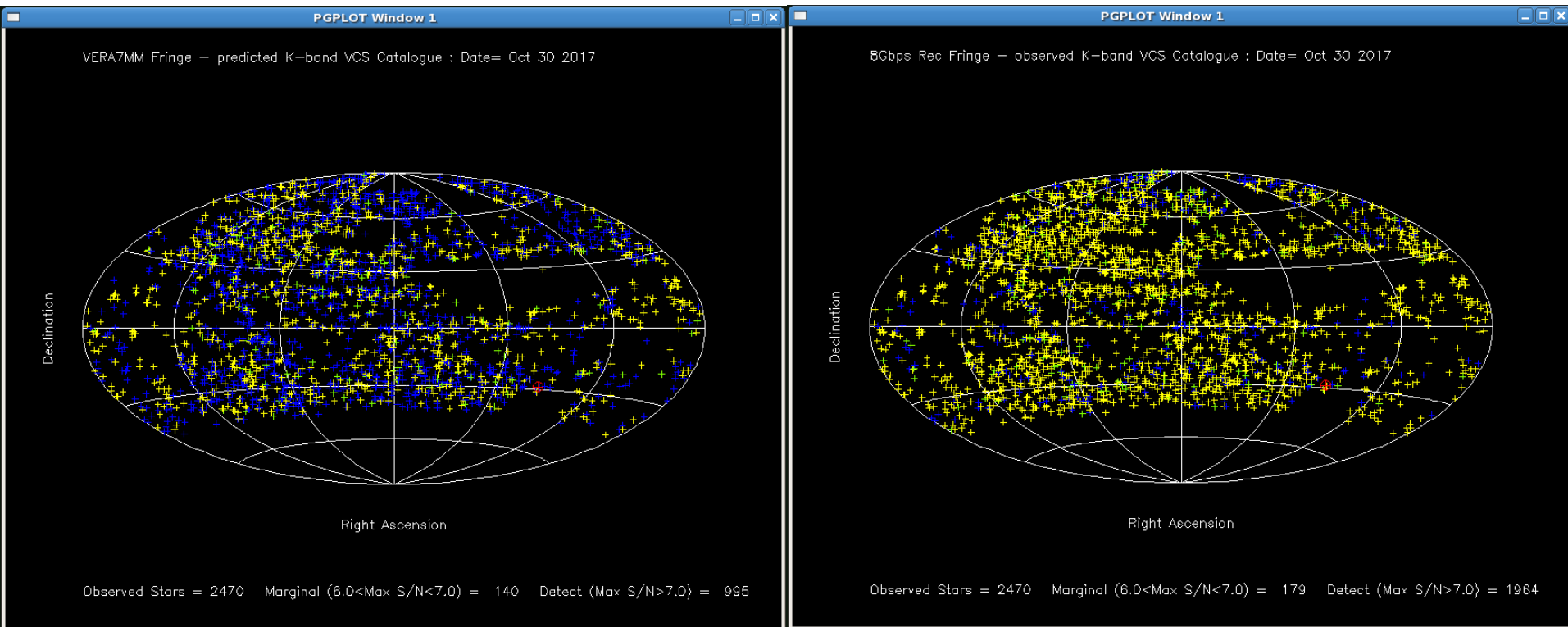
→ developing post processing system、evaluation skill → SKA-AIV (VLBI)

表 3: ORI-KL の位相補償の位置、Peak intensity, rms, SNR。

	EPOCH	X (mas)	err (mas)	Y (mas)	err (mas)	Peak (Jy/b)	err (Jy/b)	SNR
1G	r17072a	-2.539	0.027	-0.197	0.022	7290	273	26.7
4G	w17072a	-2.567	0.030	-0.191	0.026	8573	367	23.4
10G	t17072a	-2.577	0.028	-0.194	0.023	8562	336	25.5
4G-1G	w-r	-0.028	0.003	0.006	0.004	1.18	1.34	0.88
10G-1G	t-r	-0.038	0.001	0.003	0.001	1.17	1.23	0.96
4G-1G	w-t	0.010	0.002	0.003	0.003	1.00	1.09	0.92



Survey of calib sources (K-band)



1 Gbps

995 detect / 2470 obs = 40%

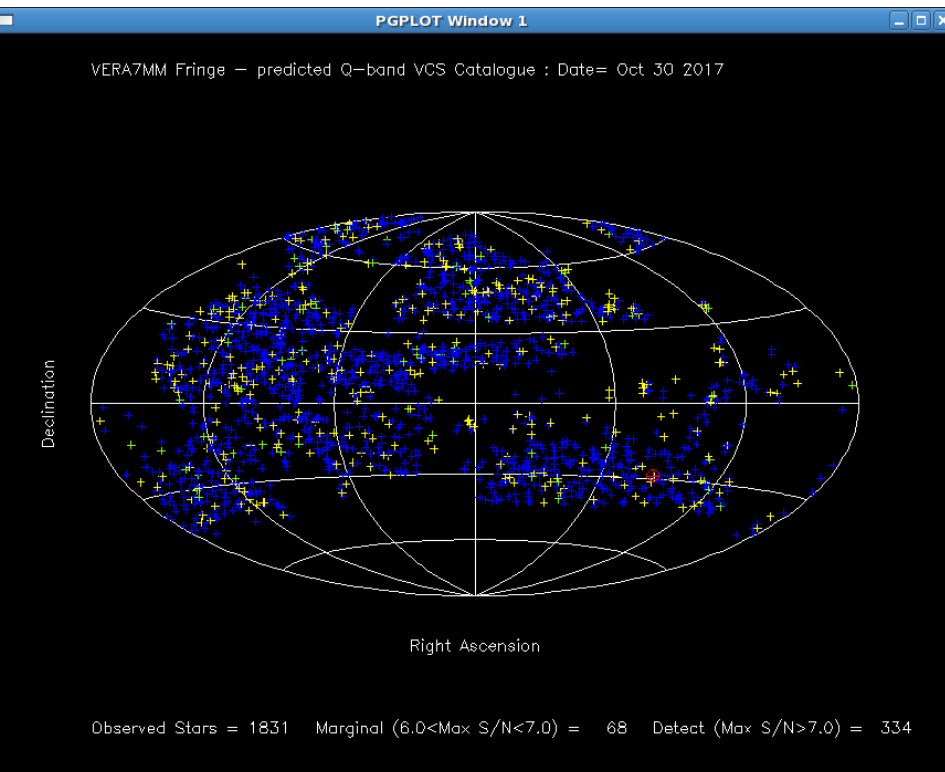
8Gbps

1964 detect / 2470 obs = 80%

必要(2度以内に1個)参照電波源数=約2400
VCSカタログ(北天)=約4000個→2度以内に必ず参照源が存在(Tsys=600K)

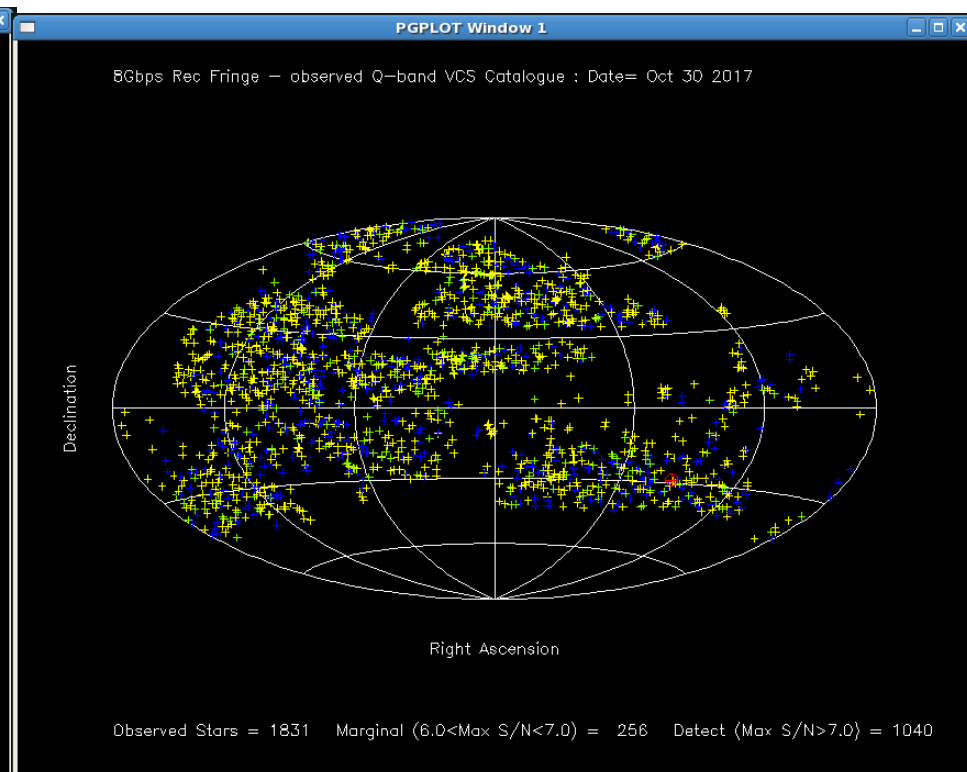
最適化スケジューリング、データ解析:測地的手法を応用 by 寺家

Survey of calib sources (Q-band)



1Gbps (VERA7MM)

334 detect /1831 obs = 18%



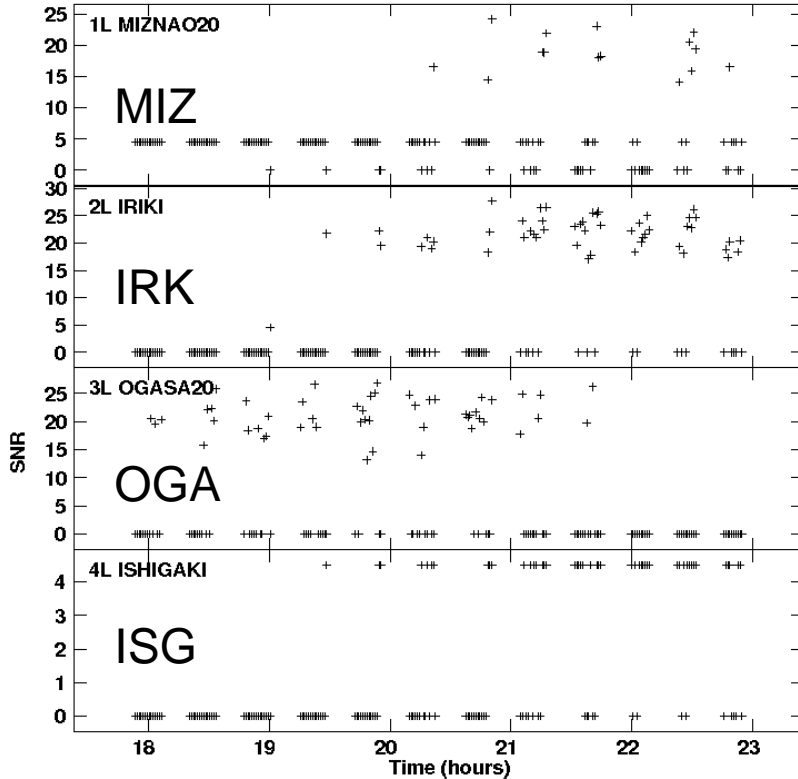
8Gbps

1964 detect /2470 obs = 80%

Sgr A* (Q-band Fringe Search results)

Comparison bet 1Gbps VS 8Gbps

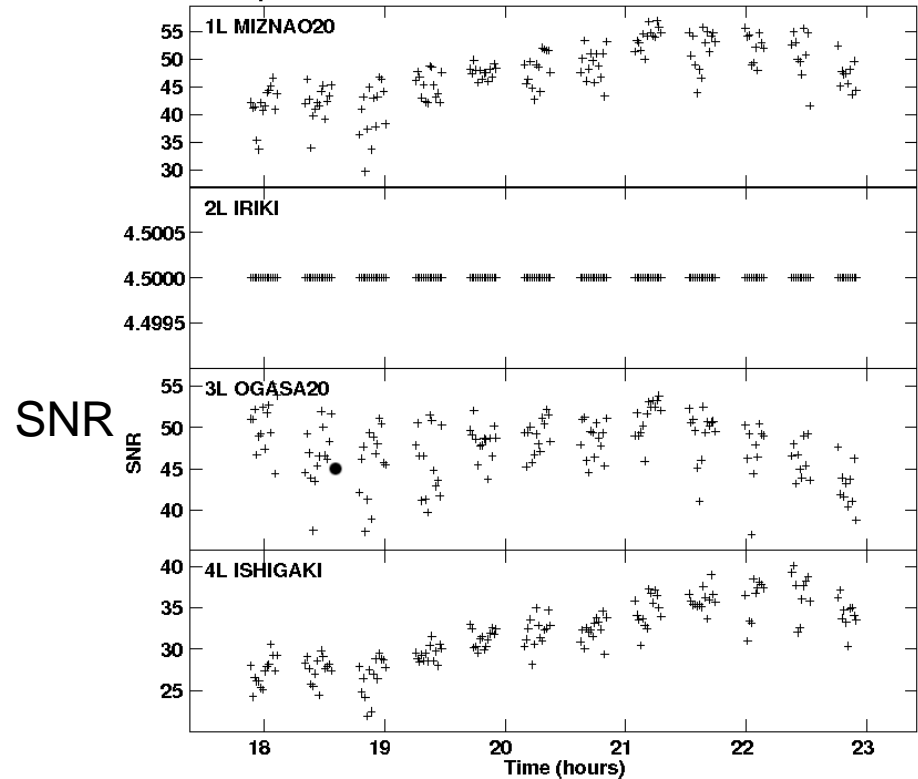
Plot file version 5 created 02-SEP-2013 20:06:07
SNR vs UTC time for R13084B-2.MSORT.1
SN 6 Lpol IF 2



Time(hours)

1Gbps

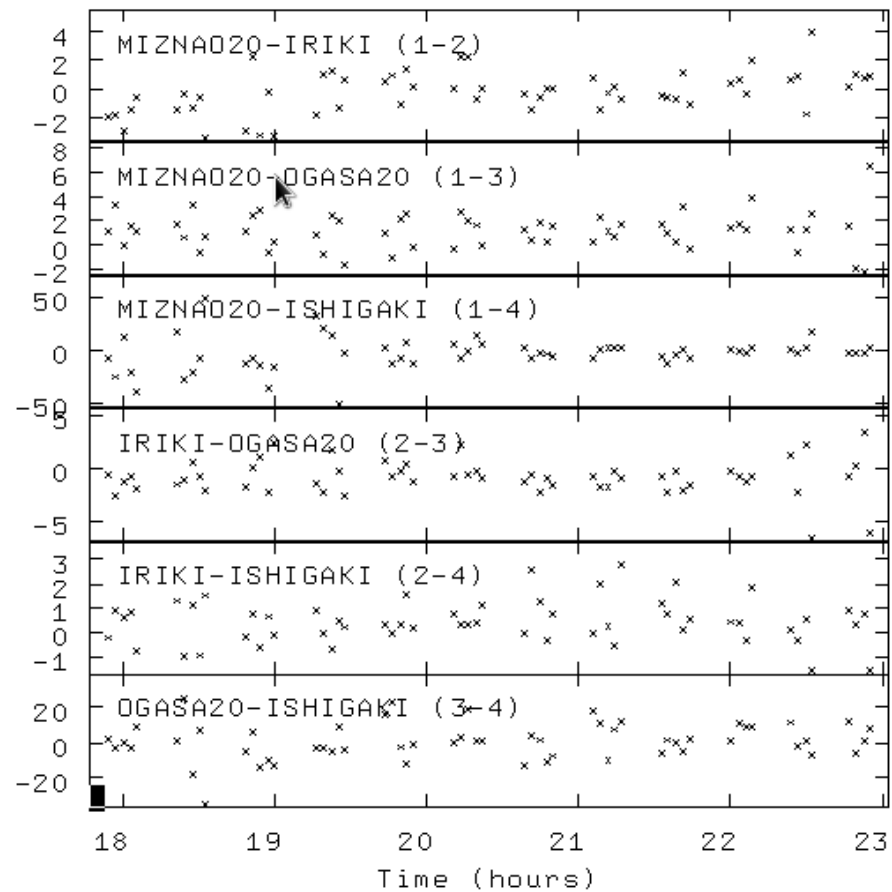
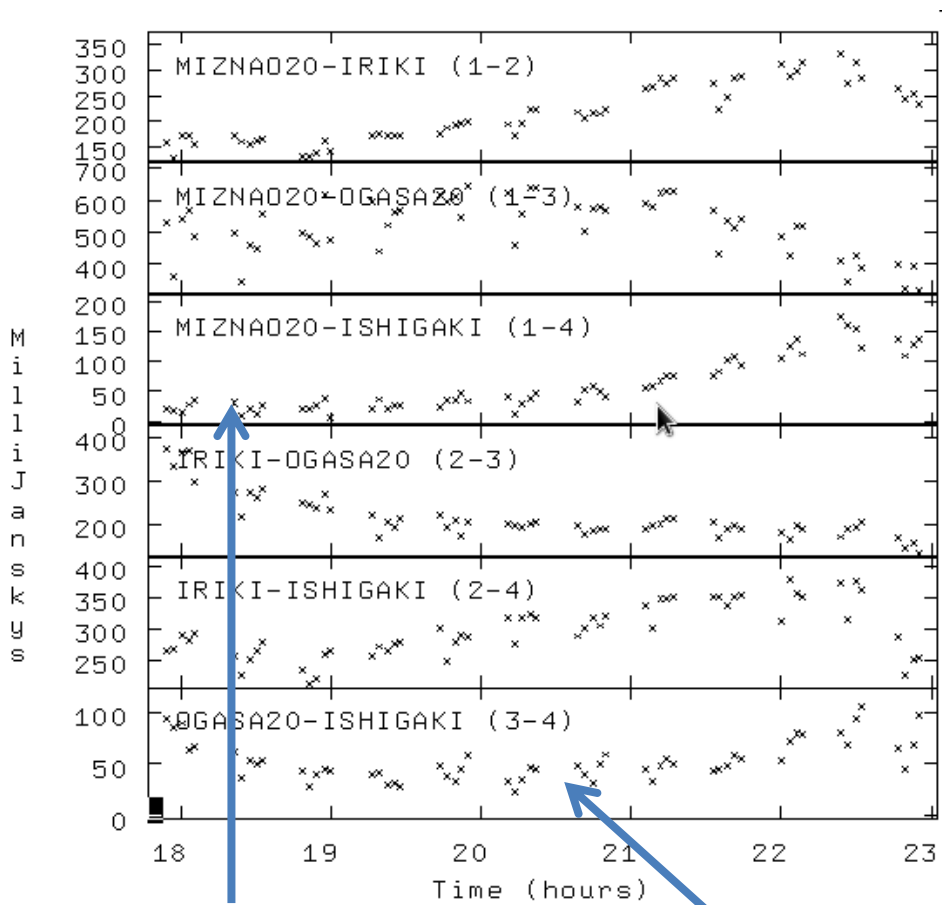
Plot file version 2 created 02-SEP-2013 20:01:52
SNR vs UTC time for T13084B.AVSP8.1
SN 6 Lpol IF 2



Time(hours)

8Gbps

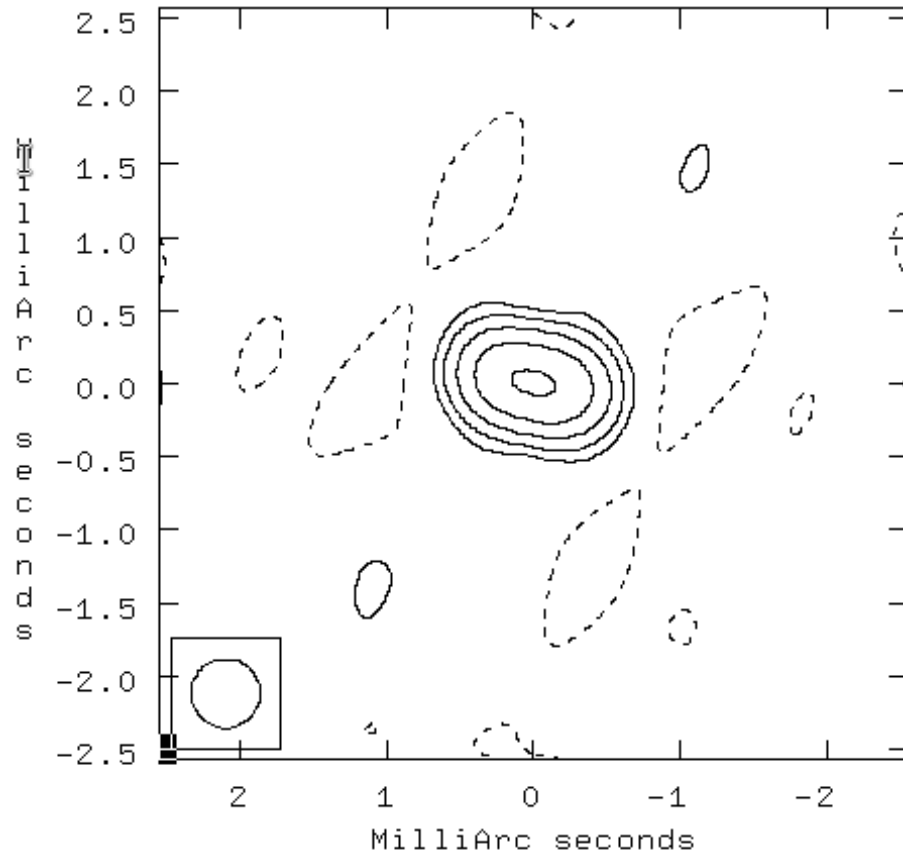
SgrA* (Q-band) : amp & phase



8 Gbps first Image

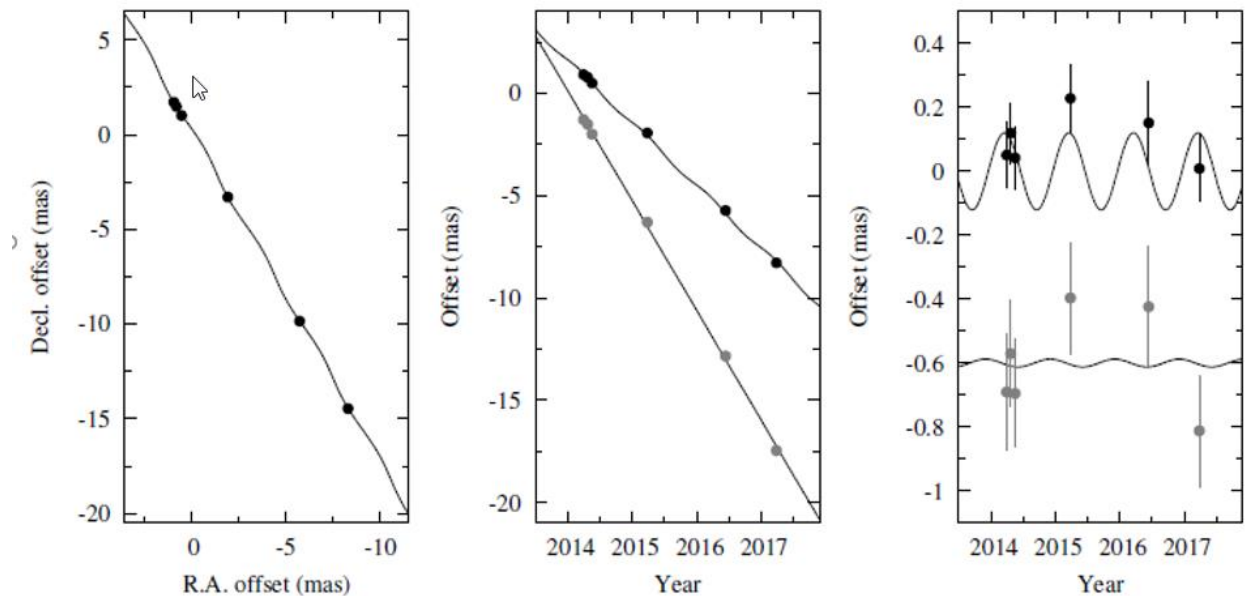
Sgr A* :T13084a

PLot file version 1 created 08-JUL-2013 21:18:49
CONT: SGRA IPOL 43182.938 MHZ 084BSGRAS3.ICL001.3



Center at RA 17 45 40.03890000 DEC -29 00 28.157000
Cont peak flux = 2.0729E-01 JY/BEAM
Levs = 2.000E-03 * (-3, 6, 12, 24, 48, 96, 192,
384, 756)

Sgr A* Proper motion, distance



	$\mu\alpha(\text{mas/yr})$	$\mu\delta$	$\mu l \cos b$	$\mu b \cos b$	$\Omega_0 (\text{km/s/Kpc})$
Sgr A*(VERA)	-3.006 ± 0.037	-5.374 ± 0.064	-5.868 ± 0.058	0.005 ± 0.045	27.81 ± 0.27
Sgr A*(VLBA)	-3.151 ± 0.018	-5.547 ± 0.026	-6.060 ± 0.024	-0.012 ± 0.020	28.72 ± 0.11
144 star					28.99 ± 0.39

Sgr A 中心距離

- 8.0 ± 0.3 (Camarillo et al. 2017) : 2011-17年までの27論文の統計解析 (6.72-8.92 kpc)
- 8.33 ± 0.35 (Gillessen et al. 2009) : Geometric distance (S2, VLT)
- 7.86 ± 0.14 (Boehle et al. 2016) : Geometric distance (S2, S38, Kech)

→ **Geometric Distance**ですら決定されているとは言いがたい。

広帯域（試験）運用状況と今後

- 1Gbps : 定常運用開始（2014/9～、2015/9）
- 2Gbps x 2ch（A&B or L&R） : 定常運用開始（2017/9～）
- 4-12Gbps : 部分的定常運用開始（共同PI）

				ADS3K	ADS1K	VERA	JVN		
	10G	8G	6G	4G	4G	2G	2G	観測 総数	
2012/9～	0	6	0	11	3	2	0	22	
2013/9～	13	3	1	4	15	4	0	40	
2014/9～	10	0	2	3	12	2	5	34	
2015/9～	3	24	9	20	7	5	13	81	
2016/9～	12	44	6	14	7	16	11	110	

3rd Phase Contents

- 受信機、観測システム、アレイ構築関連

- K,Q両偏波化

- 受信機部全局整備完了、DC水沢、入来完了

- DC製作(小笠原、石垣)、RF-A/D OCTAD検討中

- K,Q同時受信

- 水沢、入来、石垣整備完了(2017/12)

- 今後:小笠原、試験、スイッチ、OCTAD

- 広帯域化(>9.2GHz,40Gbps)

- RF-Direct A/D OCTAD、OCTADISK2の整備完了

- (2018/3) →定常化に向けた試験

- C帯両偏波化、冷却化

- 超広帯域受信機開発(6.5-26.5) →科研費

- SKAをにらんだ低周波受信機

- 新型S-band受信機、10m試験

- 相関器関連

- 高速化(広帯域、両偏波対応)

- GPU化 →SKA-CSP

- 基礎開発

- OCTAD upgrade

- 広帯域化(9.2GHz、15.5GHz)、水蒸気ラジオメーター

- DSP追加

- ・ デジタルイコライザー(Phase,amp)

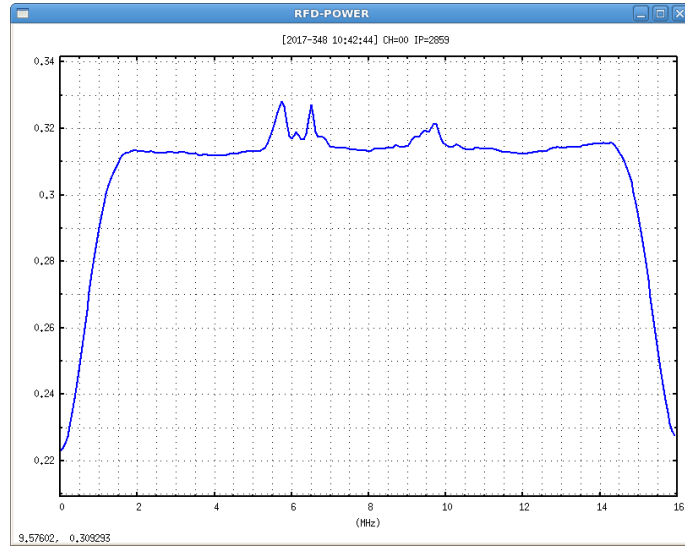
- ・ 偏波変換(直線→円)、Phase-up、beamforming¹³⁾

VERA Upgrade plan (Dual pol)

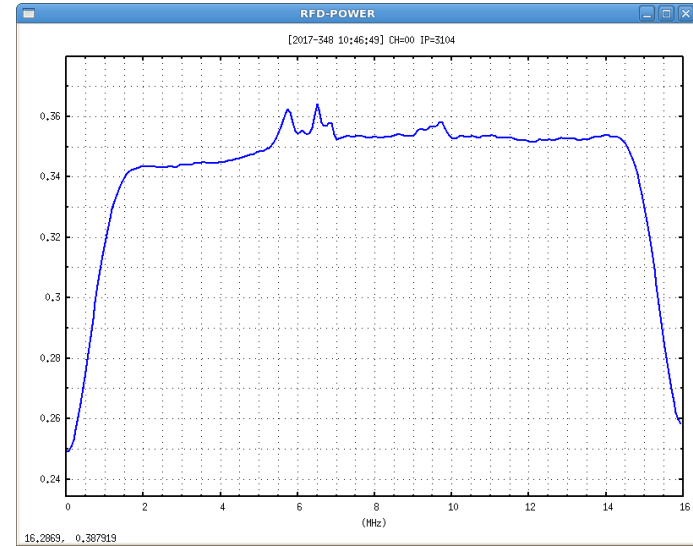
- Dual Polarization
 - Present and Future Status
 - K、Q Receiver (by Hagiwara、Sunada、mentG)
 - Miz、IRK→completed(2012)
 - OGA、ISG→completed(2017/7)
 - K-band Down Converter (by Hagiwara、Kono、Suzuki)
 - MIZ、IRK : completed(2012)
 - OGA、ISG : 2018 or 19
 - OGA、ISG→RF A/D using OCTAD (2019~2020)
 - Q-band Down Converter (by Suzuki, Uga、matueda)
 - Miz : completed(2017/12)、IRKI: 2018/1
 - OGA、ISG : will be setup (2018-2019)

First Simultaneous receive Q-Dual pol

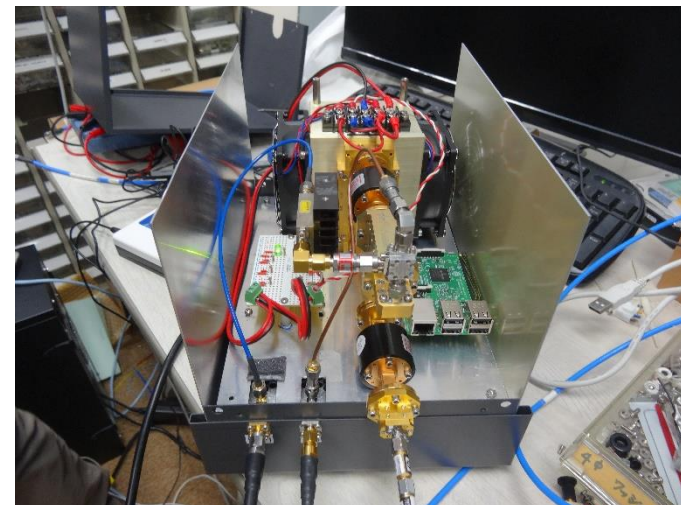
2017/12/14



L: Ori-KL



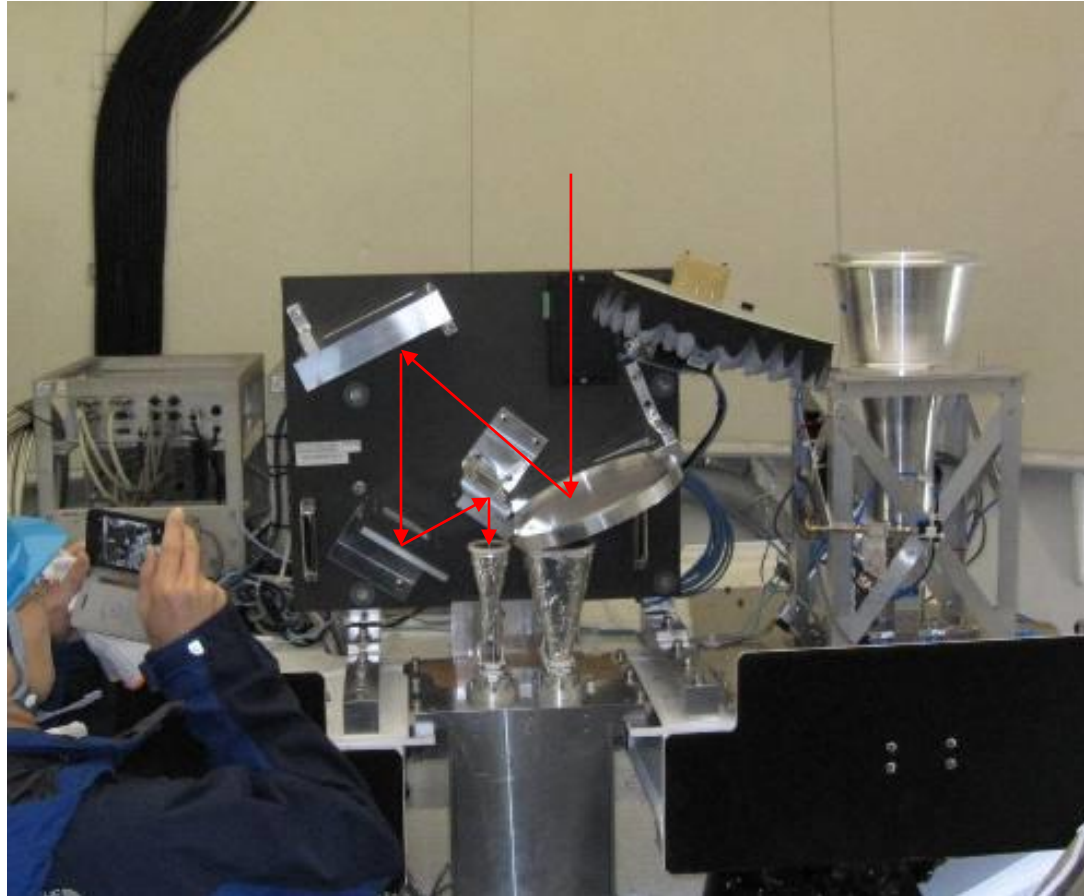
R: Ori-KL



VERA Upgrade plan (K&Q同時受信)

- K,Q 同時受信(by Shibata, Sunada, Kameya, Nakagawa, operationG
 - KVN方式 (Han et)
 - Present Status
 - K、Q 同時受信
 - MIZ、IRK 試験実施 (2015/12、16/1)、同時受信成功
 - DC LO K,Q同時出力化 (2016/3)
 - R-sky小型化改修完了: 水沢、入来搭載 (2017/7)、
石垣局搭載 (2017/12)、小笠原局 (2018/1 予定)
 - 2018年前半 VERA4局でのK&Q同時受信試験実施予定
 - Future
 - VFS制御システム構築
 - IF帯改修 (dual pol、Broad band込み)
 - NRO45(Hinotori)、KVN 試験観測 (2018～)

Dual Freq optics test@mizsawa 2015/12



Seog-Tae Han, Jung-Won Lee, Jiman Kang, Mareki Honma, Osamu Kameya,
Katunori Shibata, Kazuyoshi Sunada, Akiharu Nakagawa, Kagoshima Univ,

現在のVERA システム問題点と改善案

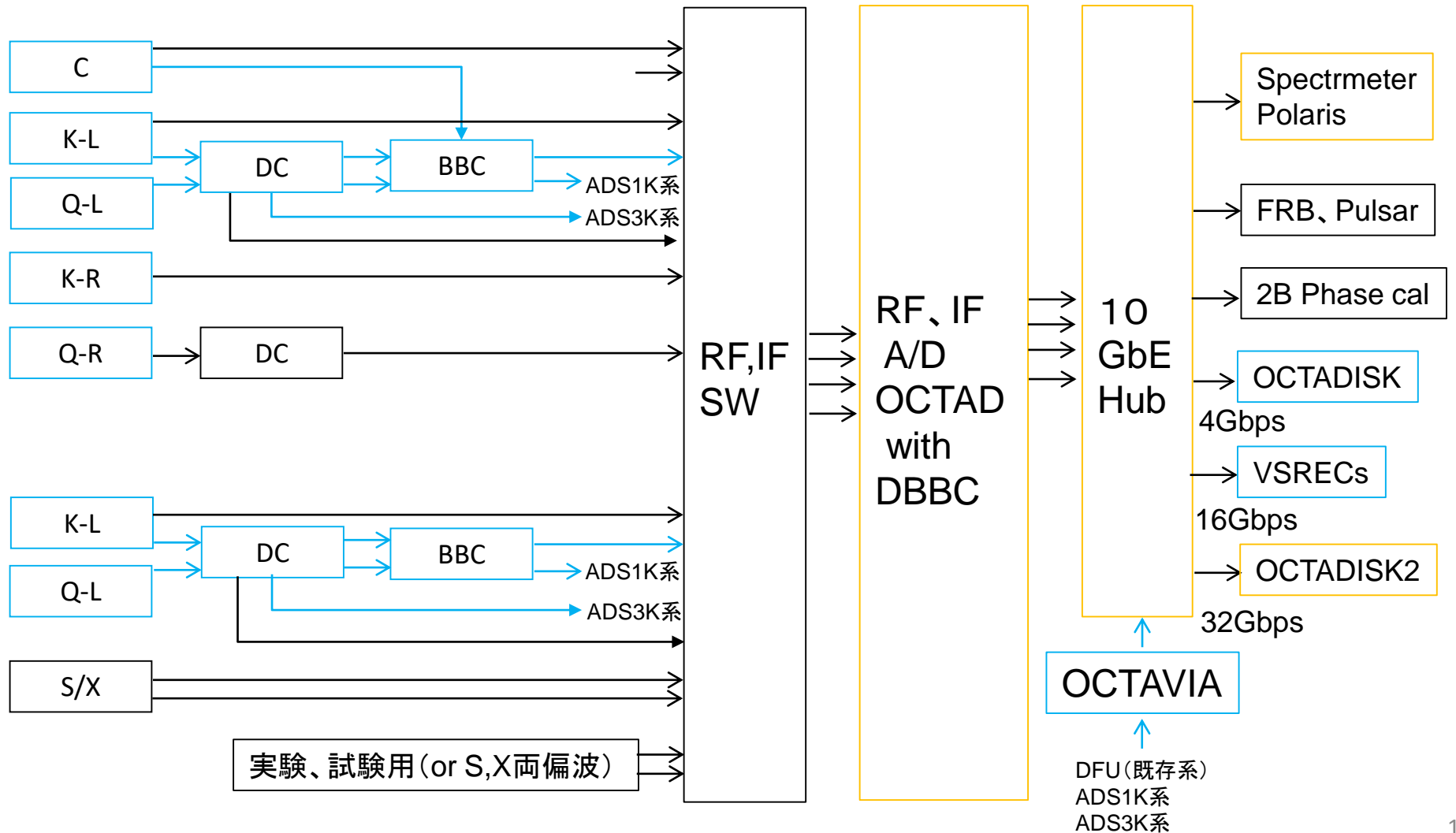
・問題点と改善方法

- ADS1K(16-18年)、ADS3K(8-10年)の**メーカーメンテ終了** → OCTAD(A/D)へ更新
- スイッチの乱立(両偏波K, Q, C) → 統合スイッチの整備
- 両偏波観測時の**2ビーム観測不可** → 3 IF化、OCTAD-RF A/D or 既存系併用
- KQ同時受信時の**2ビーム観測不可** → 3 IF化、OCTAD-RF A/D or 既存系併用
- KQ同時受信観測時の**偏波不一致** → DC追加(改修) or OCTAD-RF A/D
- KQ同時受信観測時の**周波数選択問題**(現状KとV=1のみ観測可能)
→ BBCLO追加 or OCTAD-RF A/D

・将来計画へ向けた拡張

- 超広帯域観測 → アンモニア、メタノール、SiO複数ラインが観測可能(汎用化)、高感度化
→ KaVA、eEVNとの観測帯域の一致
- SKA(Band5c)に向けたテストベッド

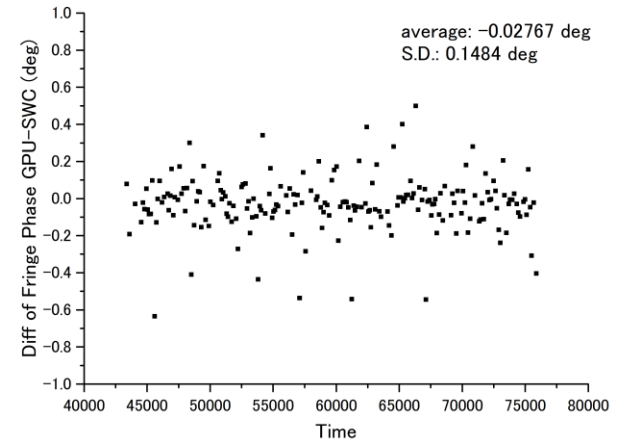
Brock diagram using OCTAD at Upper Cabin



GPU Correlator

現状

- 試作器製作完了
- 1次性能評価完了(既存Soft VS GPU 比較)
 - Delay: STD 1.16 psec
 - Phase :STD 0.15 deg
- 測地8時間観測において上記精度で一致(By 寺家)
- 実機製作、インストール、実運用試験開始
- 既存ソフト相関器(GICO3)と比較し6-10倍高速化達成



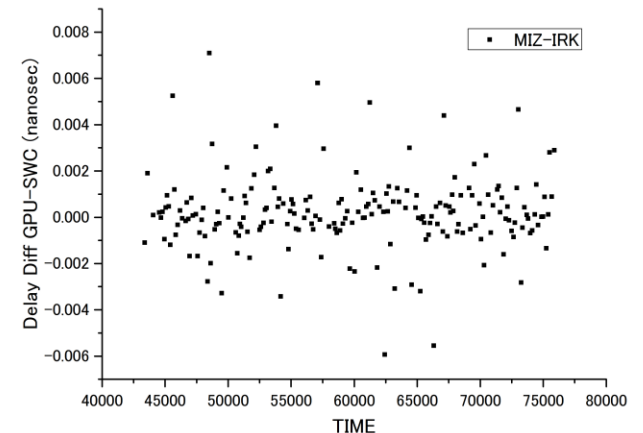
Phase, STD 0.15 deg

将来

- リアルタイム実時間相関器(光結合)
- 複視野相関器(FFT後に位相追尾)



By Kim Soft



Delay, STD 1.16 psec

GPU/CPU Correlator for SKA Era

SKA時代に向けて: マルチビーム広視野相関器
→KJCC2 ? (32beam, 320Gbps)

- 安価(性能比)
 - アルゴリズム : DiFX比較で1.5-数倍(GICO3, CPUのみ)
 - **アーキテクチャ**(ソフト): SSE, AVX, AVX512,
 - **アーキテクチャ**(ハード): Quad memory、Overclock、Multi CPU、NFS、
サーバークラスタ
- 実運用(性能): 水沢相関局にて定常運用(共同利用)
観測システム(広帯域)全系を通した評価スキル→SKA AIV
- **安定性**(長期稼働): 水沢相関局にて長期運用(~2030年)

基礎開発（デジタル系）

- OCTAD
 - Ultra Broad band
 - Variable Sampling clock (4-20 GHz)
 - New A/D Chip 30Gsps
 - Polarization conversion (Linear→circular)
 - Digital Equalizer (amp、 phase)
 - Nobeyama 45 (SIS)
 - Phase-up
 - SKA-CSP-VLBI
 - 10m-20m experiment
 - Beamforming
 - S-band new receiver (4 element)
 - SKA2

基礎開発(アナログ系)

- S-band新型受信機(2018~)
 - 共同研究開発(東芝、総務省)
 - 1.4-2.4GHz
 - 超電導冷却フィルター搭載受信機(70K)
 - 4素子パッチアンテナ or WBSPF
 - 受信機部担当(東芝)
 - デジタル受信機部担当(天文台)
 - OCTAD(ビームフォーミング)
 - タイとのVLBI試験
- 試験用超電導フィルター受信機搭載(水沢10m、2017/12/10)

Summary

- 2nd Phase (プロジェクト目的) の開発が終了
 - 2Gx2ch (A&B、L&R)モード: 定常運用、共同利用オープンへ
 - 4-12Gbpsモード: 部分定常運用開始(共同PI)
- 3rd Phase (SKA時代に対応した汎用化) の開発スタート
 - 両偏波: K、Qband(水沢、入来 2018/1完了)、小笠原石垣次年度以降
 - K/Q同時: VERA全局配備完了(2018/1)
 - 超広帯域受信系 (>9.2GHz、40Gbps): OCTAD、OCTADISK2全局配備完了
 - 統合システムの構築、検討開始
- 基礎研究開発
 - GPUデジタル信号処理
 - 偏波合成、Phase-up、Beamforming
 - 低周波(S-band)新型受信機