Progress report on upgrade VERA for EAVN and GVLBI

Tomoaki Oyama

2019/12/13

VERA-UM

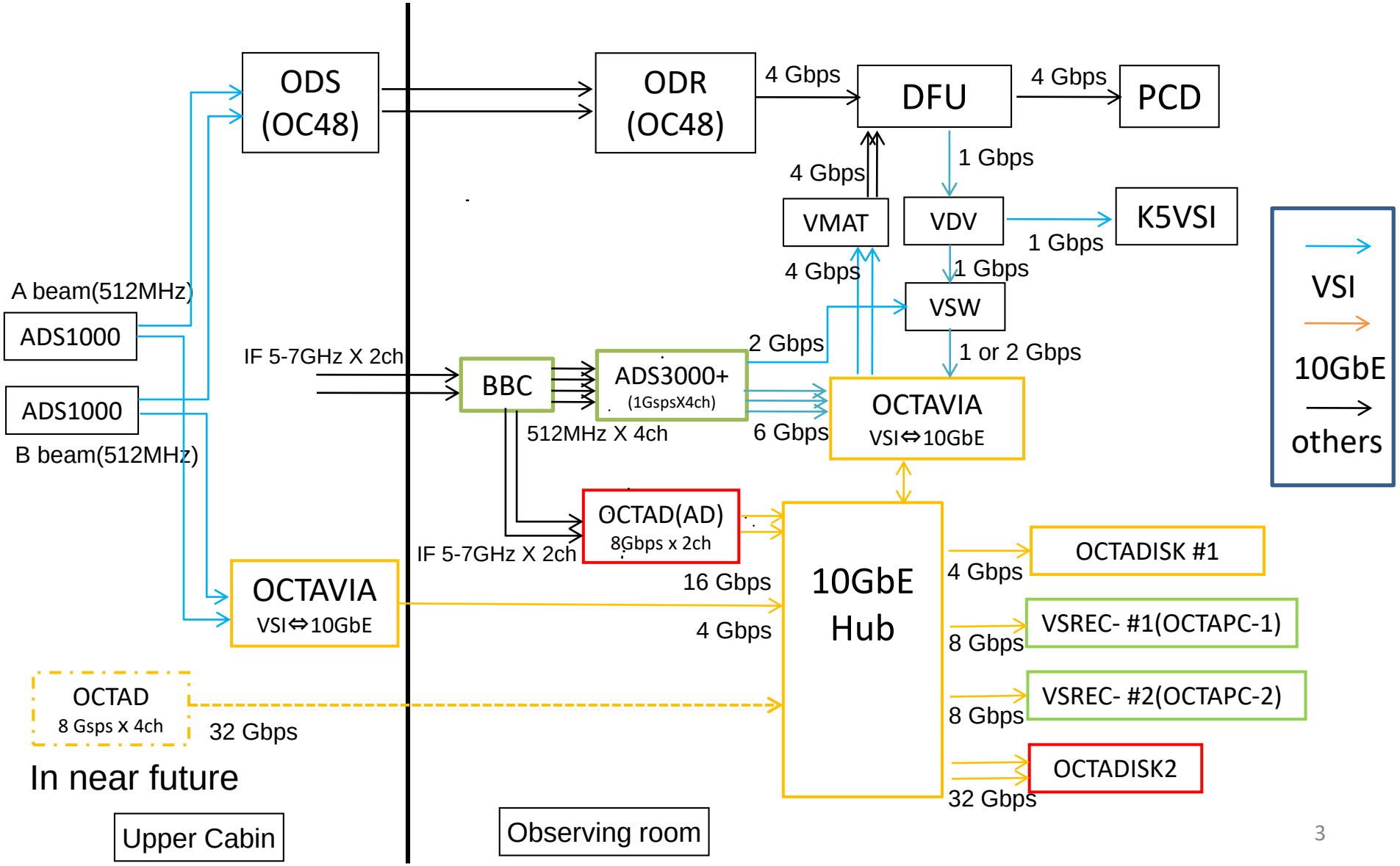
VERA upgrade : past and future

- 1st Phase　:　2008-2015
  - Replace
    - Mitaka-FX　　→Mizusawa Soft correlator（2015～）
    - DIR2000 recorder→ OCTAVIA、OCTADISK（2014～）

- 2nd Phase　:　2010-2017
  - VERA、VSOP 、JVN等各種プロジェクトサイエンス目的のupgrade
    - 広帯域化　　→2-12Gbps（ADS1k, ADS3k、OCTADISK、VSREC)
    - K,Q両偏波化（水沢、入来のみ）

- 3rd Phase　:　2015～2020
  - 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：4～9.2 GHz（KVN、HINOTORI、Brand-EVN、SKA-Band5C対応）
    - K,Q両偏波化、同時受信
    - 統合RF,IFスイッチの導入
    - ソフト相関器高速化→GPU化

2nd Phase：Block diagram（2017/10）



広帯域（ph2）観測運用状況

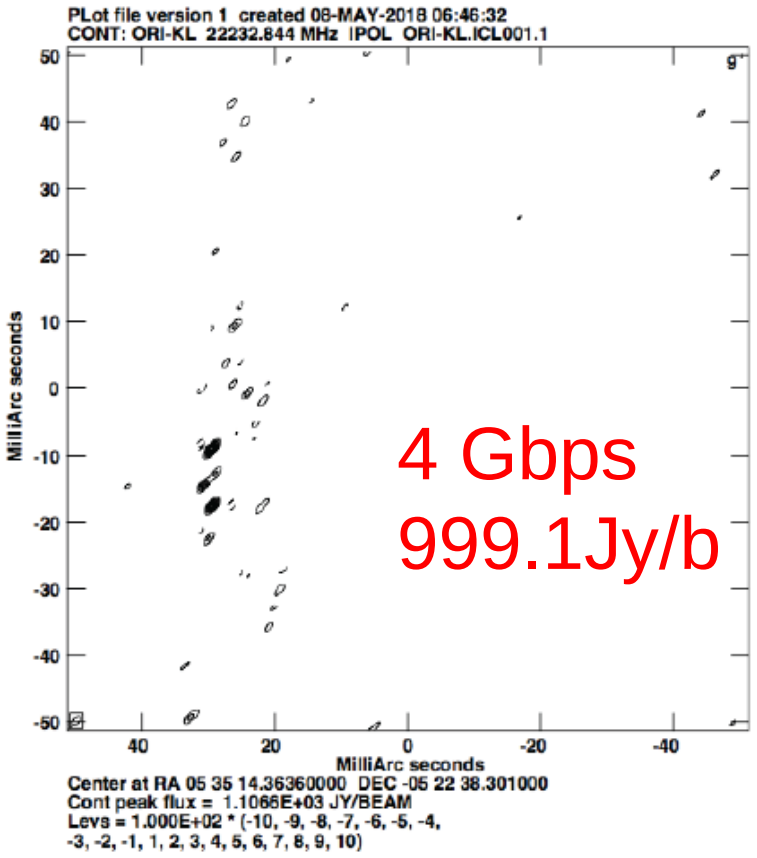
- 1Gbps :定常運用開始（2014/9~、2015/9）
- 2Gpbs x 2ch（A&B or L&R） :定常運用開始（2017/9~）
- 4-12Gbps（A&B=2+2+8 Gbps） :定常運用開始（2018/9~）

				ADS3K	ADS1K	VERA	JVN	
	10-12 G	8G	6G	4G	2Gx2	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
2017/9~	32	30	3	16	47	15	0	163
2018/9~	50	13	0	16	69	8	7	163

2019年11月　1G（KaVA）＝15、1G（VERA）＝11、2Gx2（VERA)＝9、12G（VERA）=2

Broad band system : Phase-ref Image Comparison bet 4G VS 12G (Orion-KL)

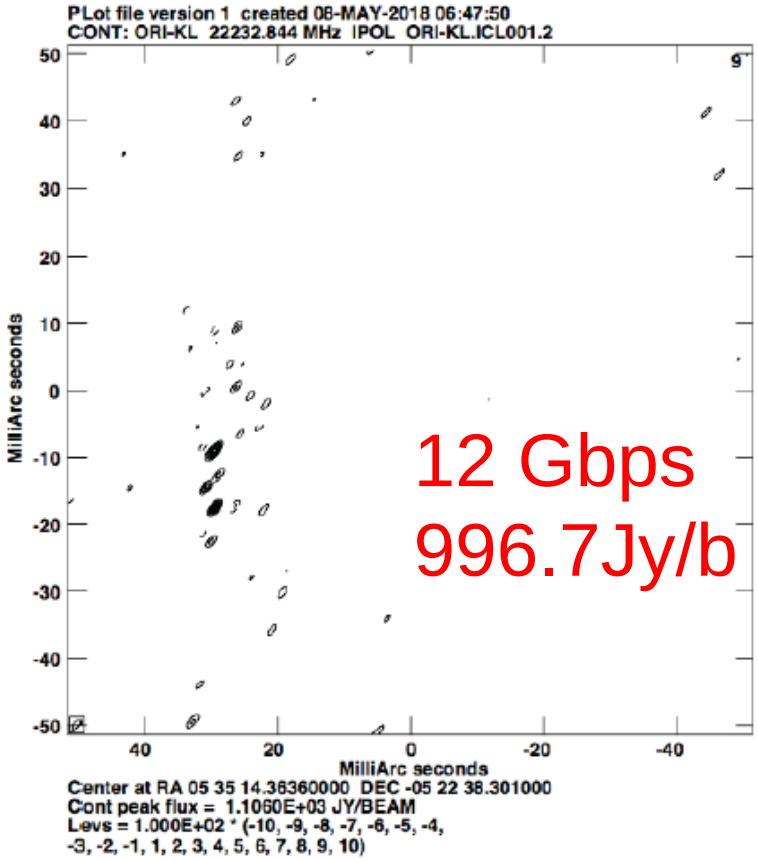
ORION-KL (4G)



4 Gbps
999.1Jy/b

peak = 999.11 Jy/beam
rms = 27.39 Jy/beam

ORION-KL (12G)

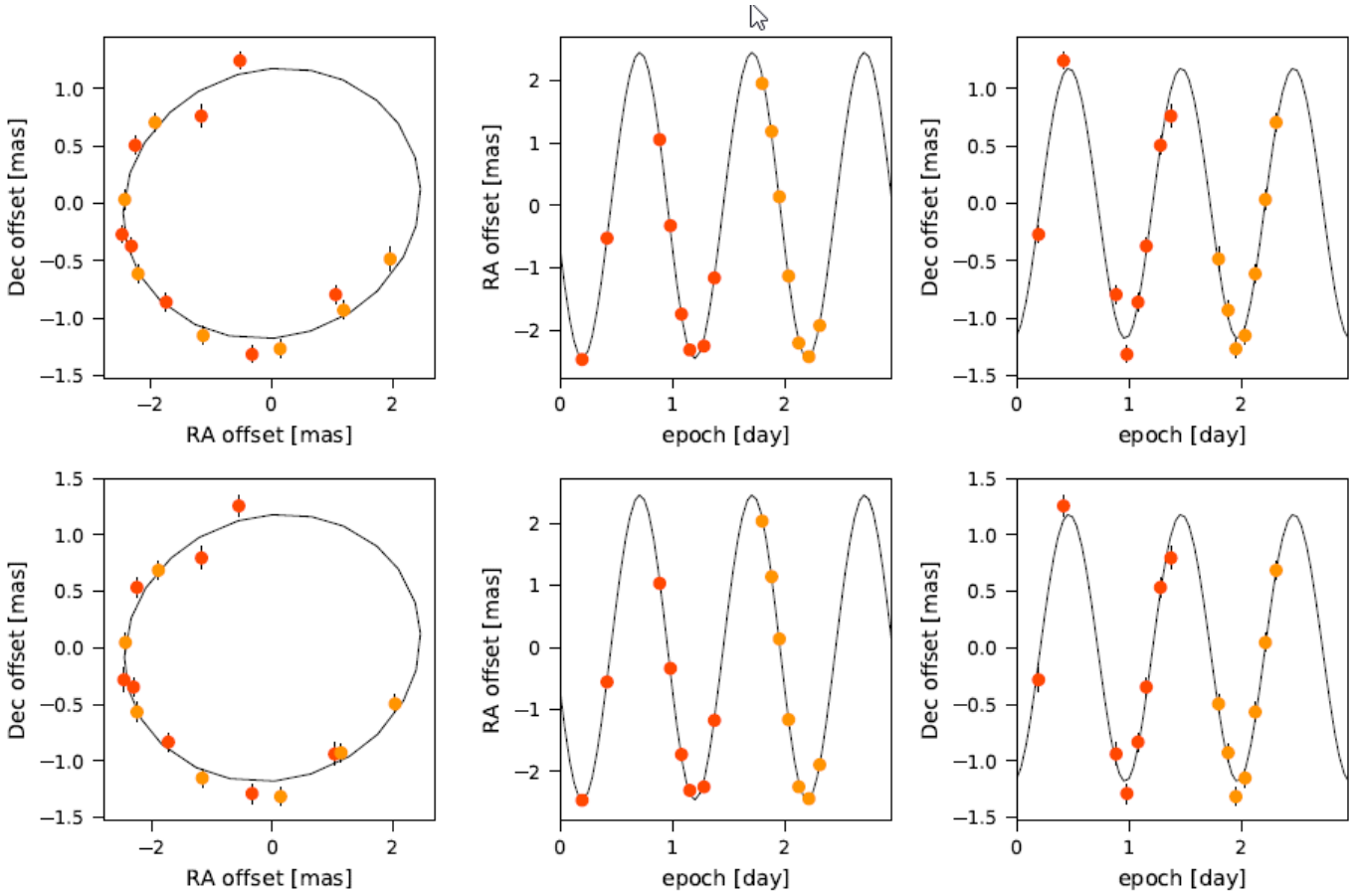


12 Gbps
996.7Jy/b

peak = 999.66 Jy/beam
rms = 27.87 Jy/beam

By Kim

Broad band system : Parallax
Comparison bet 4G VS 12G (Orion-KL)



4 Gbps
408±5 pc

12 Gbps
407±7pc

精度

→12 Gbps sci-observation is now open from 2018/9

By Kim

Results: Image of Sgr A* and calibrator using 8 Gbps system

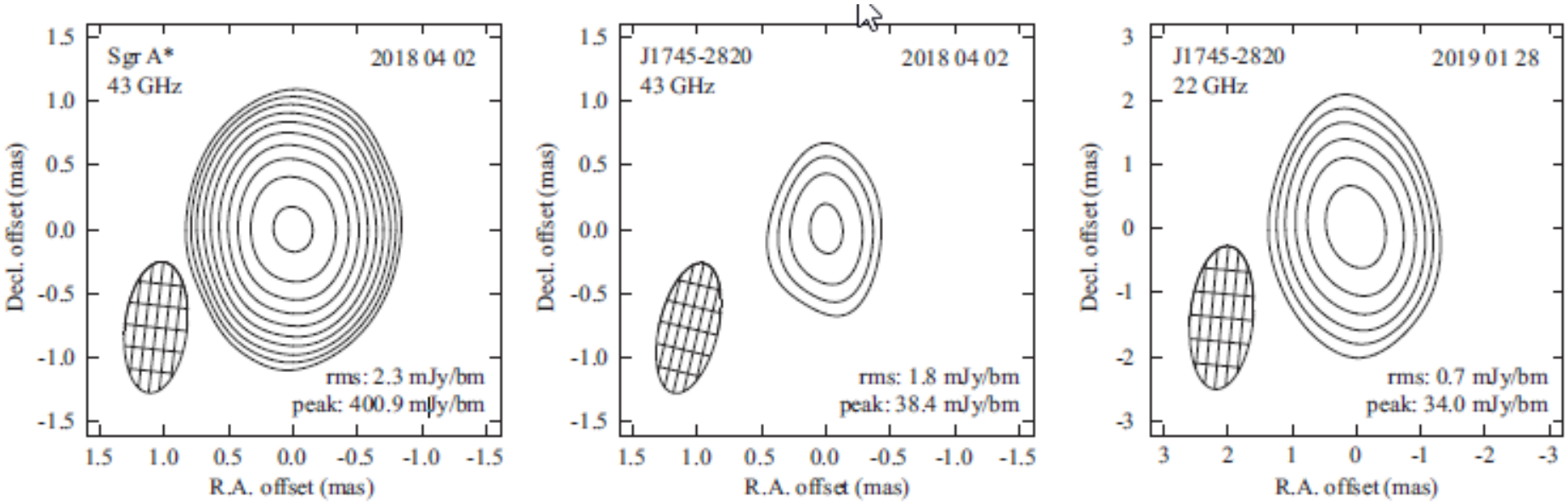


Fig. 3. Image of Sgr A* 43 GHz (left), J1745-2820 43 GHz (middle), and J1745-2820 22 GHz (right). The contours are plotted at the level of $5\sigma_{\rm rms} \times \sqrt{2}^n (n = 1, 2, 3, \cdots)$, where rms noise level, $\sigma_{\rm rms}$, is shown in bottom right corner of each panel.

By Nagayama, Sakai

Results: Measured positional variation of Sgr A* relative to J1745-2820

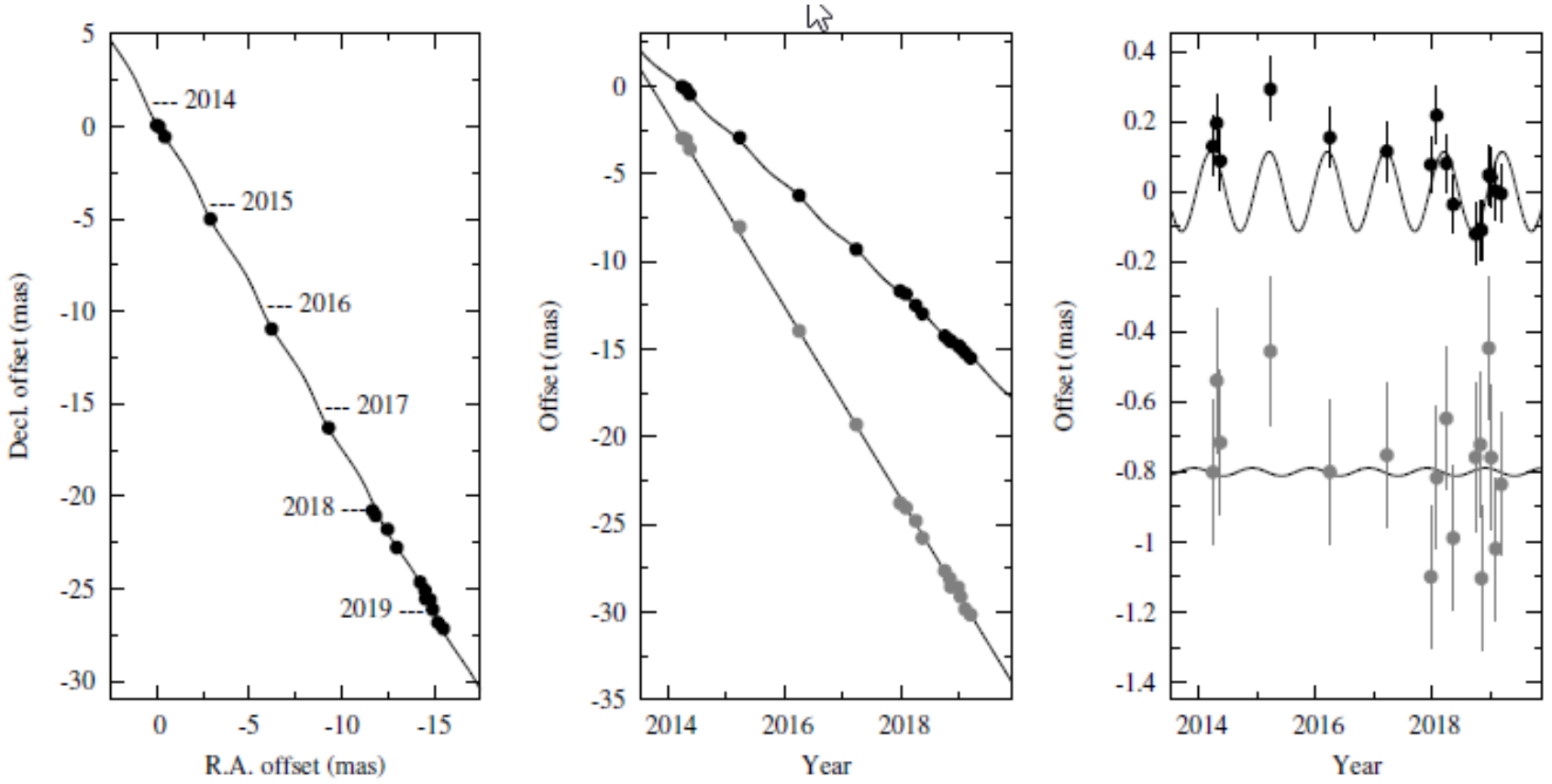


Fig. 4. Measured positional variation of Sgr A* relative to J1745−2820. (left): Positions on the sky. (middle): R.A. (black circles) and Decl. (gray circles) position versus time. Decl. data are offset for clarity. (right): Residual offset with the best-fit proper motion removed. The sinusoidal curves show the fixed parallax of 0.125 mas corresponding to the distance of 8 kpc.

By Nagayama

Discussion and Conclusion

- Non-Acceleration of Sgr A*
  - VERA（Our result）

    μl cosb = -6.307 ± 0.025 mas / yr、 μb = -0.214 ± 0.017 mas / yr

  - VLBA（1995 to 2003 by Reid & Brunthaler 2004）
    - μl cosb = -6.379±0.026 mas / yr、 μb = -0.202 ± 0.019 mas /yr

These are consistent with each other within 1% level , Comparing with two measurements whose time gap is δt ＝ 17 years, we can strongly limit the acceleration of Sgr A*. The upper limit of the acceleration is estimated to be 0.004 mas /yr^2≒ 0.2km/s/yr for combination. This upper limit is one of magnitude smaller than the previous estimations of 0.3 mas /yr^2 for VLA (Backer, & Sramek 1999) and 0.03 mas/yr^2 for VLBA (Reid & Brunthaler 2004)

Discussion and Conclusion

- Non-Peculiar Motion of Sgr A*
  - The apparent motion in Galactic longitude direction

    $\mu l \cos b = -6.307 \pm 0.025$ mas / yr

    $\Omega 0 = 28.38 \pm 0.12$ km/s/kpc and $\Theta 0 = 227.0 \pm 1.0$ km /s

    (R0 = 8 kpc and the solar motion is 12.2 km/s)

    These are consistent with value estimated using the VLBI astrometric results of 160 star-forming regions (VERA Collaboration) and using Gaia DR2 data (Eilers et al. 2019).

  - The apparent motion in Galactic latitude direction

    $\mu b = -0.217 \pm 0.017$ mas / yr or -8.1 ± 0.6 km /s for R0 = 8 kpc

    This is consistent with the inverse of the solar motion of W. = 7.3 ± 0.9 km/s (Schonrich et al. 2010)

  - The peculiar motion of Sgr A*

    $(\Delta v l \cos b, \delta v b) = (3.2 \pm 2.5, -0.8 \pm 1.1$ km/s)

    The peculiar motion of Sgr A* with respect to the barycenter of the Galactic rotation on a global Galactic scale. This result shows Sgr A* is more stationary in the Galactic Center.

    （18 ± 7 km/s , -0.4 ± 0.9 km/s Reid et al. 2004)

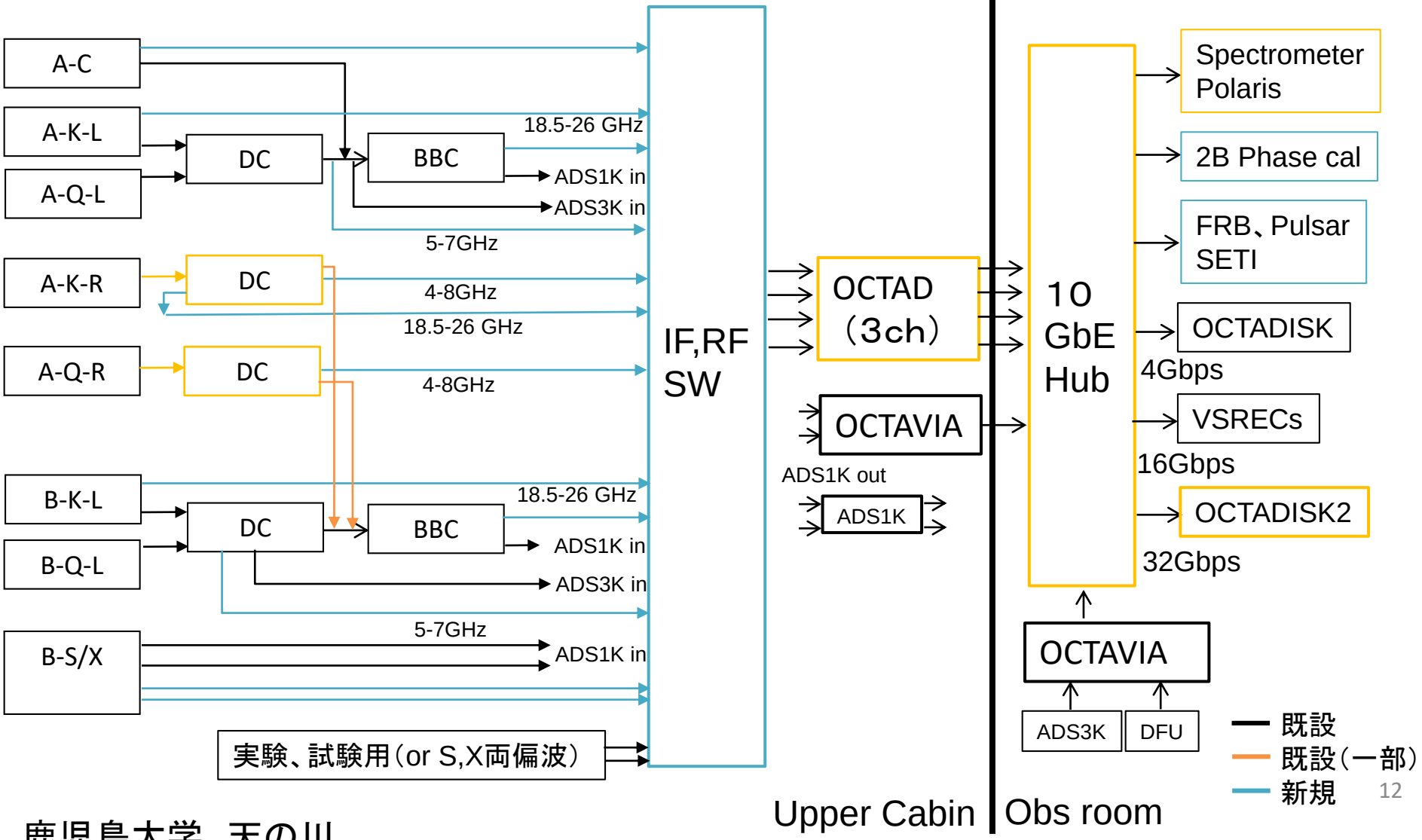
VERAシステム問題点と改善（Ph2>Ph3）

・要望、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
- 両偏波、KQ同時受信（両モード同時動作）→4 IF化、統合スイッチ、OCTAD対応
- KQ同時受信観測時の偏波不一致　→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）
  → OCTAD-RF A/D
- 両偏波観測時の2ビーム観測不可　→3> IF化、OCTAD-RF A/D
- KQ同時受信時の2ビーム観測不可　→3> IF化、OCTAD-RF A/D
- スイッチの乱立（両偏波K, Q, C)　→統合スイッチの整備

・将来計画へ向けた拡張
- 超広帯域、RF帯直接観測→アンモニア、メタノール、SiO Mulit line、WVR
  →KaVA、Hinotori、eEVNとの観測帯域(>32Gbps）の一致
- SKA（Band5c）、GVLBIに向けたテストベッド　→LS-band受信機、超広帯域

両偏波、KQ同時受信、4IF、RF-IF統合スイッチ導入、＞32Gbps観測システムの導入

Brock diagram（3rd Phase）



各局配備状況

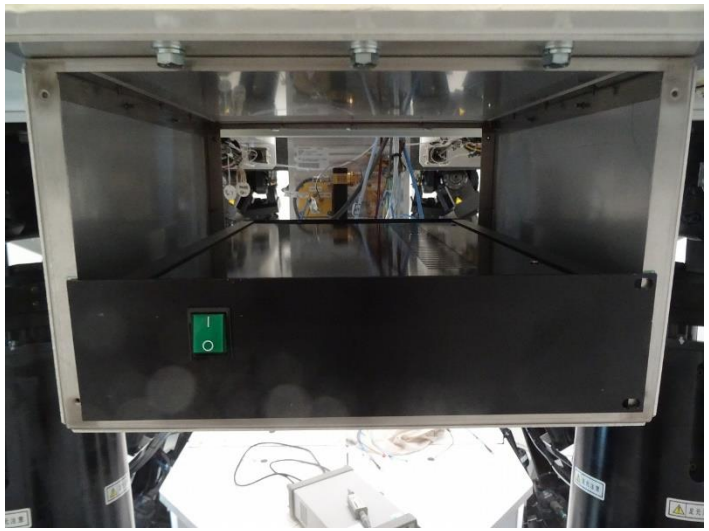
	MIZ	IRK	OGA	ISG
Reciver（R pol）	○	○	○	○
K-DC（for R）	○	○	○2019/7	○2019/2
Q-DC（for R）	○	○	○2019/7	○2019/2
Mirror（for K/Q）	○	○	○	○
RF-IF、Switch	△	△	△2019/8	△2019/7
OCTAD	△（観測棟）	△（観測棟）	○（上部）	△（観測棟）
OCTADISK2	○	○	○	○
Low freq（L-S）	○2019/1			○2019/1

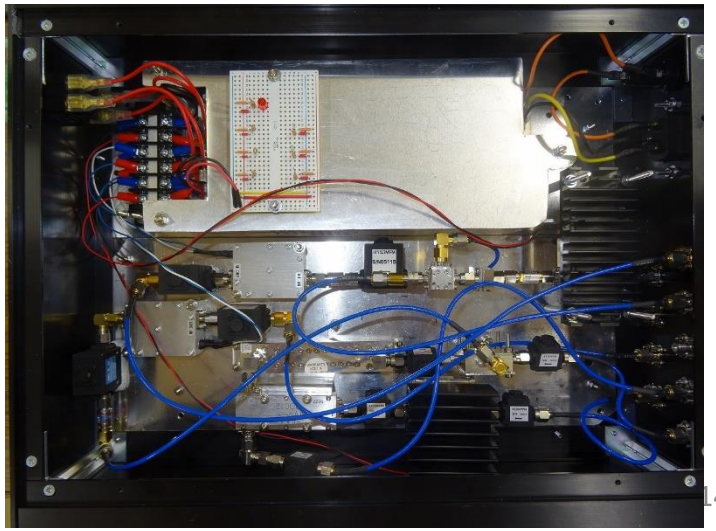
K,Q両偏波化 RHCP用Down Converter搭載（小笠原局）

- 2019.7.27-8.15
- K, Q RHCP Down Converter

- Tsys（搭載時）
  - K-LHCP　294K
  - K-RHCP　314K（B beam 303K）
  - Q-LHCP　252K
  - Q-RHCP　338K（B beam 321K）

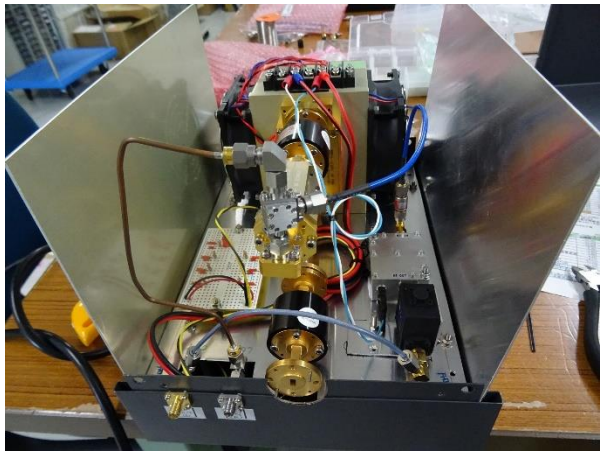
- First light
  - W49N（H2O Maser
  - Orion（SiO Maser）





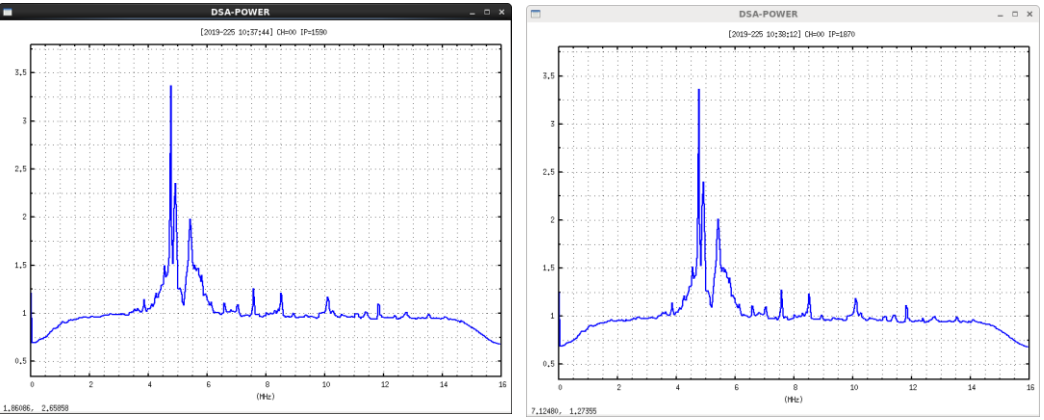
K,Q両偏波化 RHCP用Down Converter搭載（石垣島局）

- 2019.2.7-11（Q-band）
  2019.7.1-12（K-band）
- K, Q RHCP DC
  （分離型）

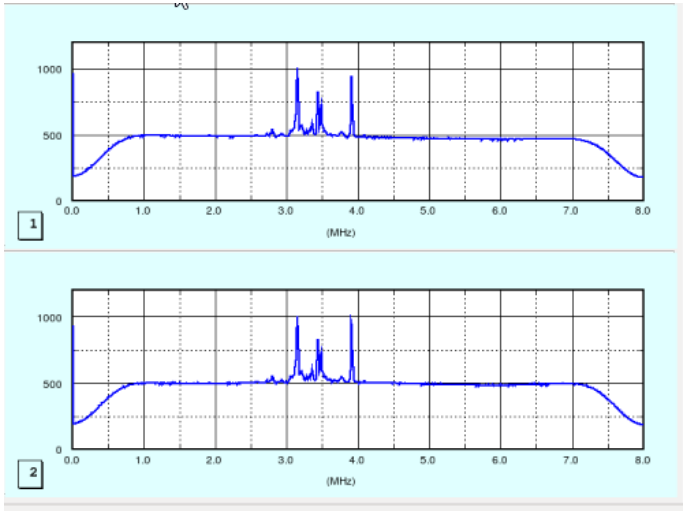


- Tsys(搭載時）
  - K-LHCP　319K（B 306K)
  - K-RHCP　334K
  - Q-LHCP　285K（B 318k）
  - Q-RHCP　369K
- FIRST light
  - W49N（H2O Maser）
  - W-Hya（SiO Maser）

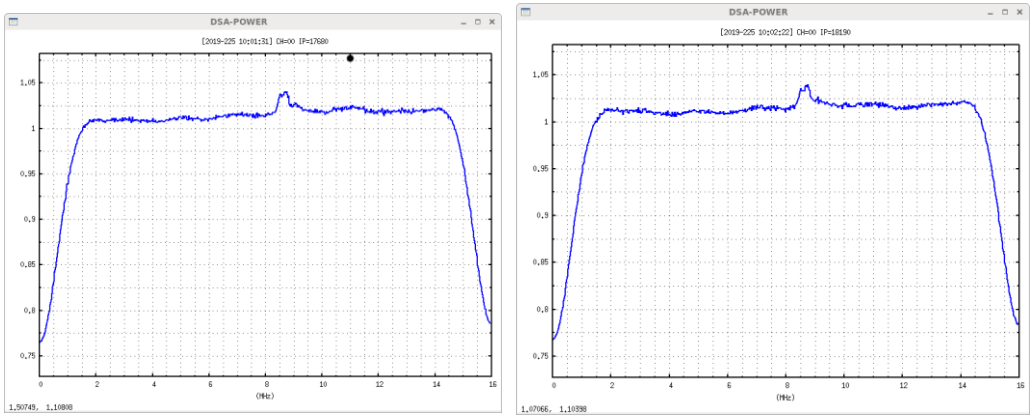
K,Q RHCP First Light（小笠原、石垣局



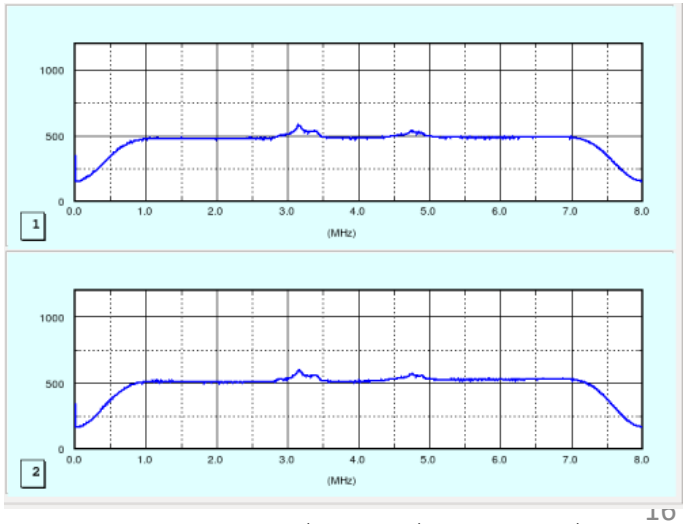
W49N K-band LHCP（Left）、RHCP（right)、OGA



Ori-KL、K-band LHCP（Upper）、RHCP（Lower)、ISG



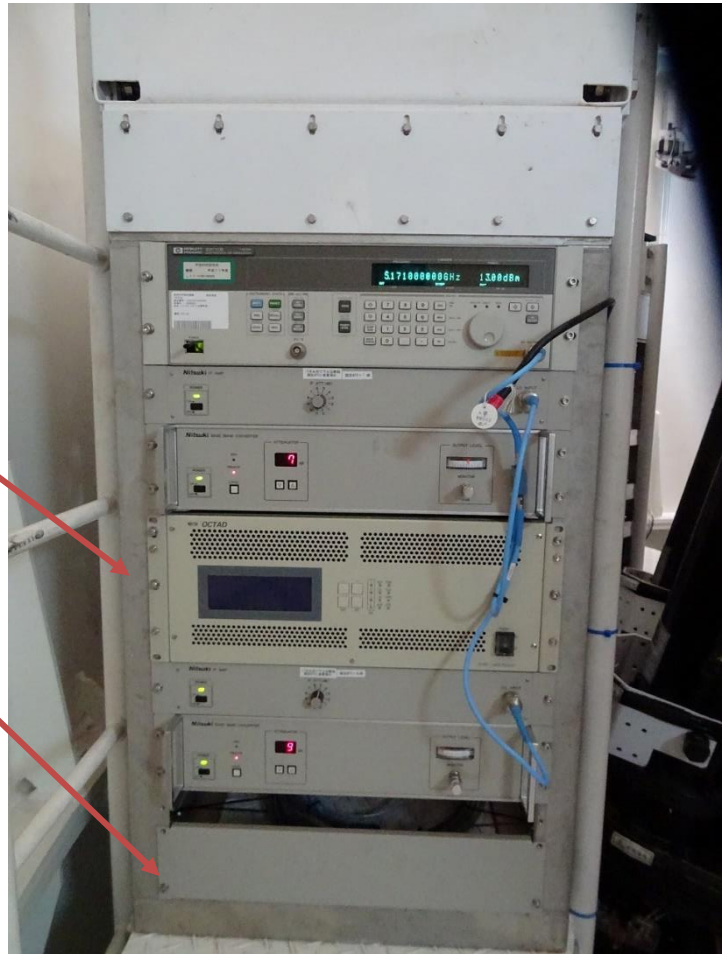
W-Hya Q-band LHCP（Left）、RHCP（right)、OGA



Ori-KL、Q-band LHCP（Upper）、RHCP（Lower)、ISG

RF-Direct A/D OCTAD

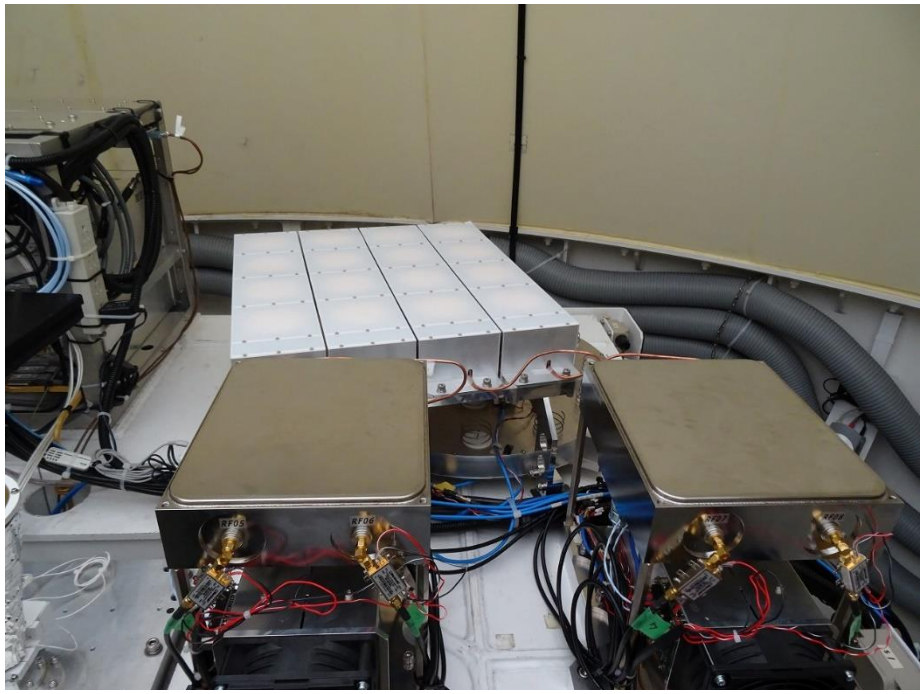
- VERA全局 観測棟設置（2017/8）
  ＞IF A/D available
- OGA 上部機器室移設（2019/8）
  ＞ IF and RF A/D available
- RF, IF Switch was installed
- WVR、no DC→Simple System
- Freq ：20 -24 GHz＞18-27 GHz
- Broad band：2048MHz ＞ 9216MHz
- Input Ch： 2(4)
- Under verification（~2020/9）
- Upgrade at other stations（~2020/8）



小笠原、上部機器室受信機ラック@190809

超電導フィルター搭載新型 LS-band受信機

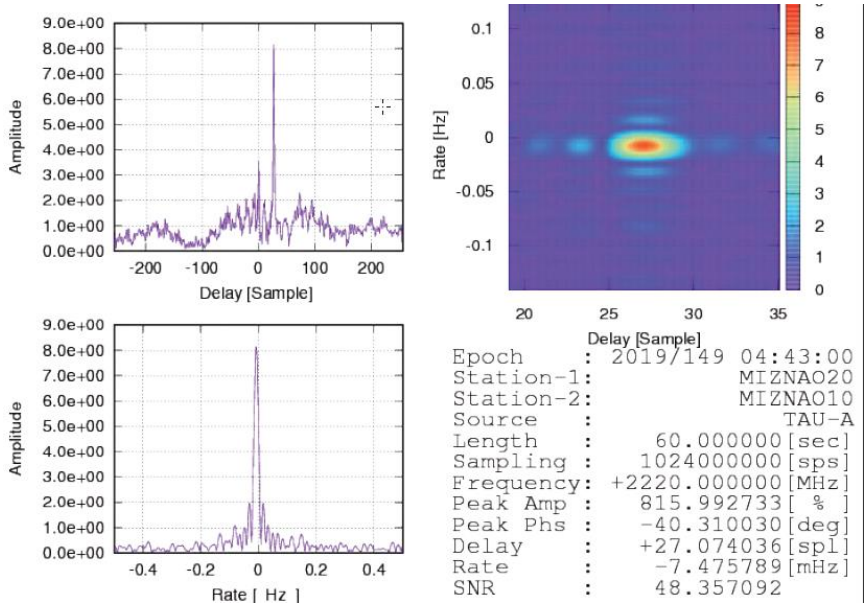
- 衛星通信と電波天文の共用化（総務省、東芝ホクトプロジェクト）
- 目的：1.612GHz帯保護バンドと1.618GHzイリジウム通信帯との共用化を超電導フィルターを用いて検証する
- 目標受信帯域：1.4-2.3GHz
- 受信機雑音温度（~50K）
- 16素子パッチアンテナ
- 水沢、石垣搭載（2019/1-2）



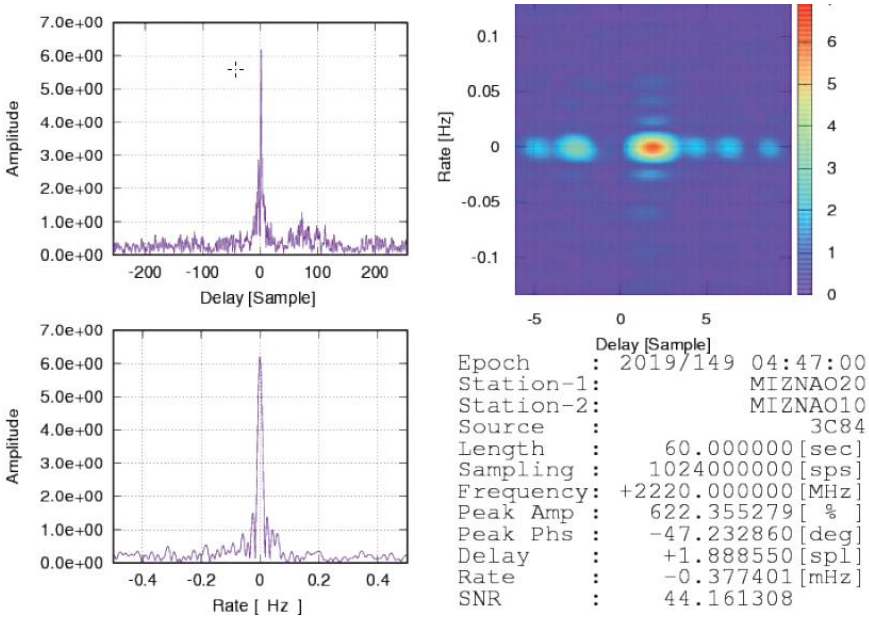
- FRB、Pulsar、SETI
- VLBI（EAVN、FAST）

超電導フィルター搭載新型 LS-band受信機（フリンジ試験）

- 水沢10m-20m zero-baseline fringe test
  - Date : 2019/5/29
  - Freq ： 2020-2532MHz
  - Target ：TauA、3C84、DA193
  - 太陽を用いてポインティング補正
  - フリンジ検出

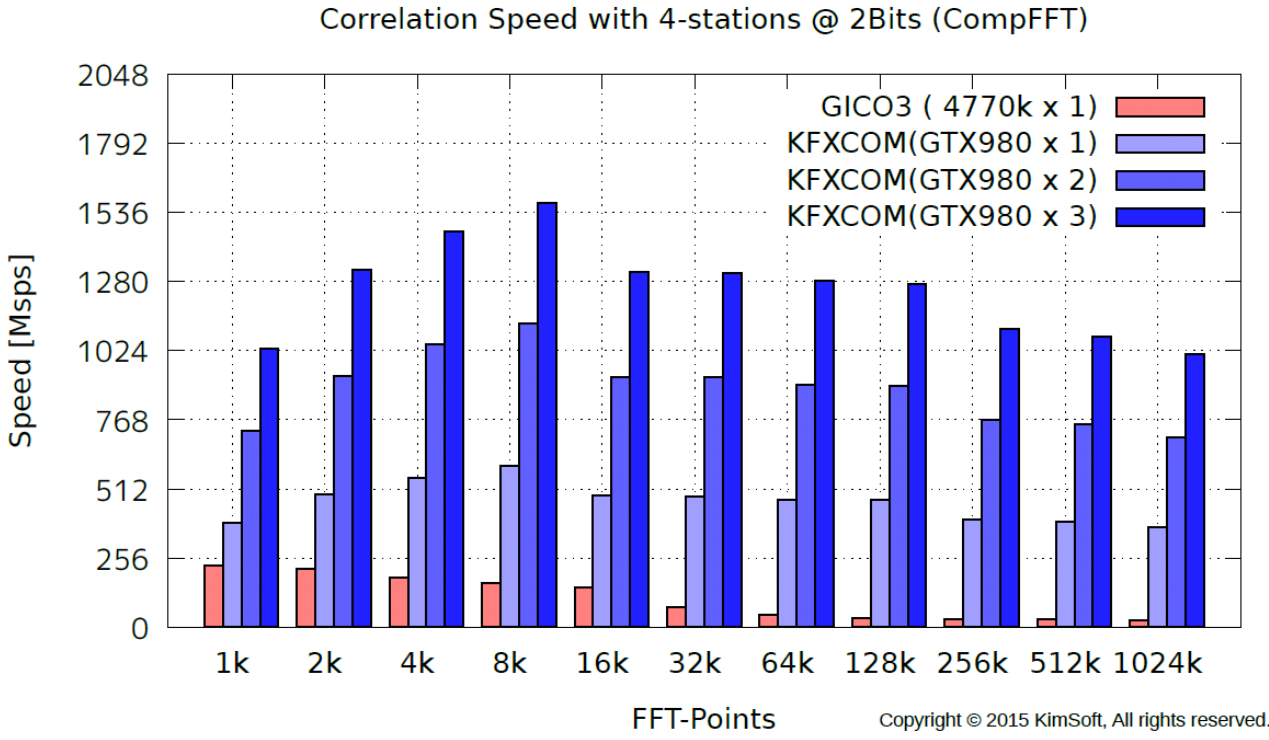


TauA



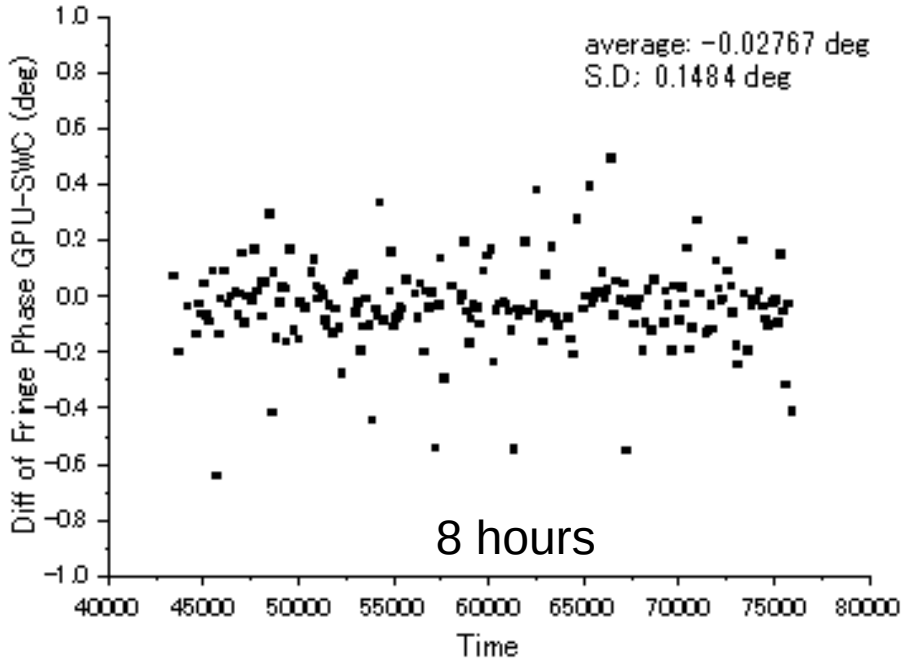
3C84

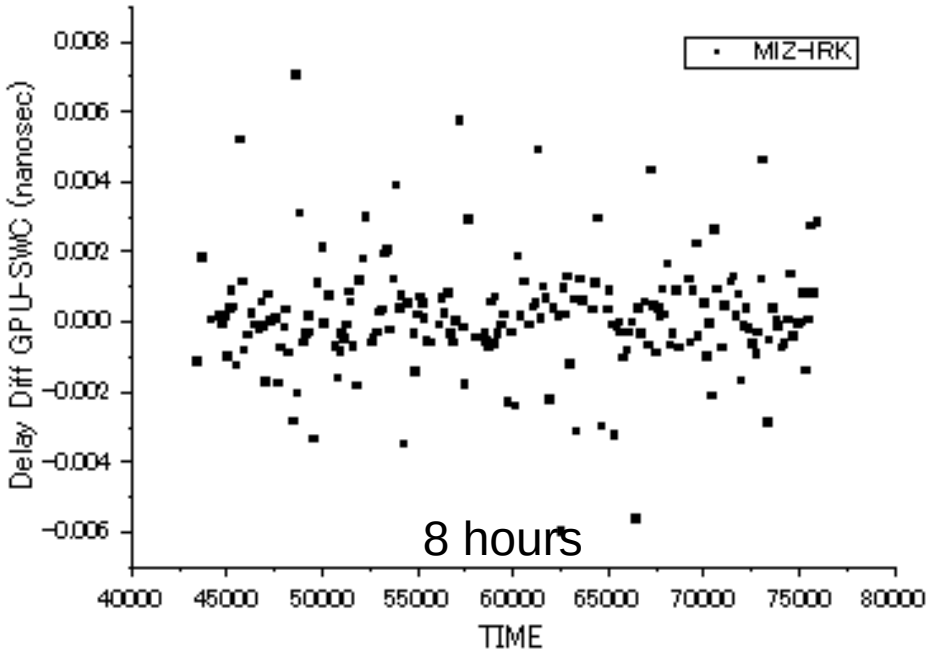
GPU Correlator
KFXCOM（GPU）VS GICO3（CPU）



1Gsps obs

Comparison btw GPU and CPU





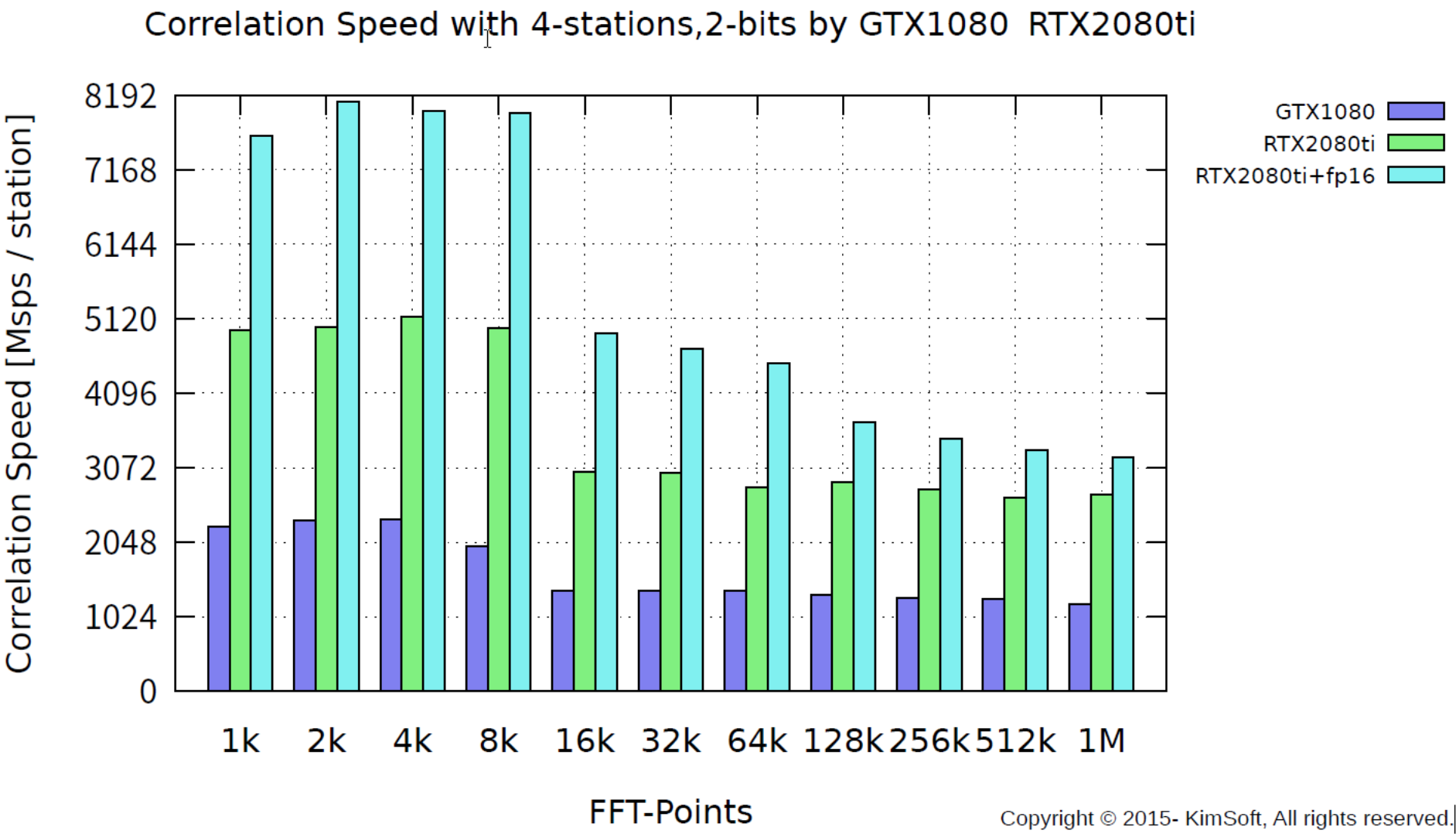
Phase (deg)

Delay (nsec)

Phase STD ＝ 0.15 deg
Delay STD ＝ 1.16 psec

good consistent

GPU（RTX2080)相関器



Summary

- K, Q Dual polarization obs start（All stations)
- OCTAD、RF-IF switch system all installed at upper Cabin（Oga)
- Low frequency (L-S)observing system was installed at Miz and ISG and is under verification
- GPU correlator under verification（open 2020/4）
- Pathfinder VERA　for SKA