

光結合推進室のパラダイムシフト (日本列島光結合からサブミリ波VLBIへ)

小山友明

国立天文台VERA観測所

Contents

- 過去～現在
 - 1) 記録レート128 Mbpsに対してGbitの高感度観測
 - 2) ATM, IP, 10 GbE 技術的發展
 - 3) 日本全国 Gbit観測網構築

- 今後の展開
 - 4) インフラとしての光結合
 - 5) 10 Gbit > の高感度サブミリ波VLBI観測

後半部は9/5 VLBAシンポとほぼ同様

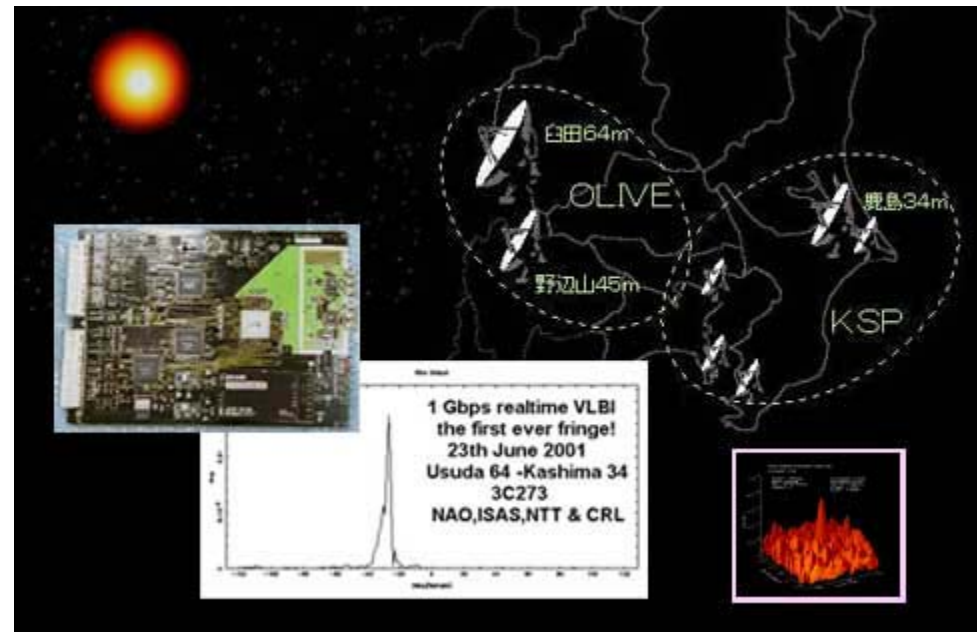
光結合(その1)

- OLIVE (Optical LInked VLBI Experiment)
 - 1995~、1998/1 First Fring
 - NRO、USUDA→NTT武蔵野研究所、そして三鷹相関局・宇宙研相模原「はるか」運用室へと光ファイバが敷設
 - 256Mbps(回線2Gbps)
 - リアルタイムフリンジ(インフラ的)

- 国立天文台 川口則幸 Kawaguchi Noriyuki
- 小林秀行 Kobayashi Hideyuki
- 藤沢健太 Fujisawa Kenta
- 井口 聖 Iguti Satoru
- 俎徠和夫 Sorai Kazuo
- 宇宙科学研究所 平林 久 Hirabayashi Hisasi
- 村田泰宏 Murata Yasuhiro
- NTT情報流通プラットフォーム研究所 魚瀬尚郎
- 岩村相哲 Iwamura Sotetsu
- NTTアドバンステクノロジー株式会社 星野隆資

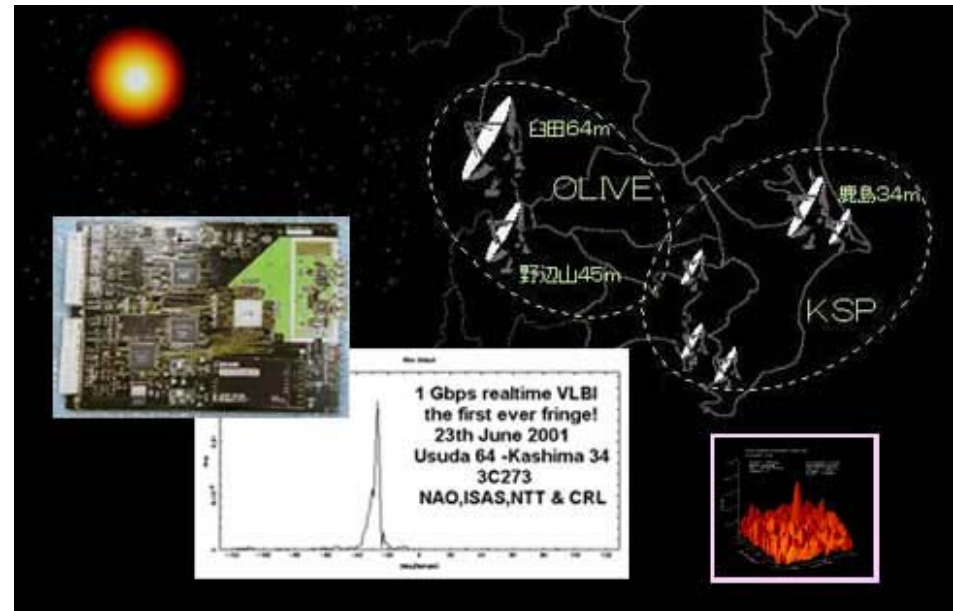
HPより

<http://veraserver.mtk.nao.ac.jp/evlbi/olive/outline/index.ht>



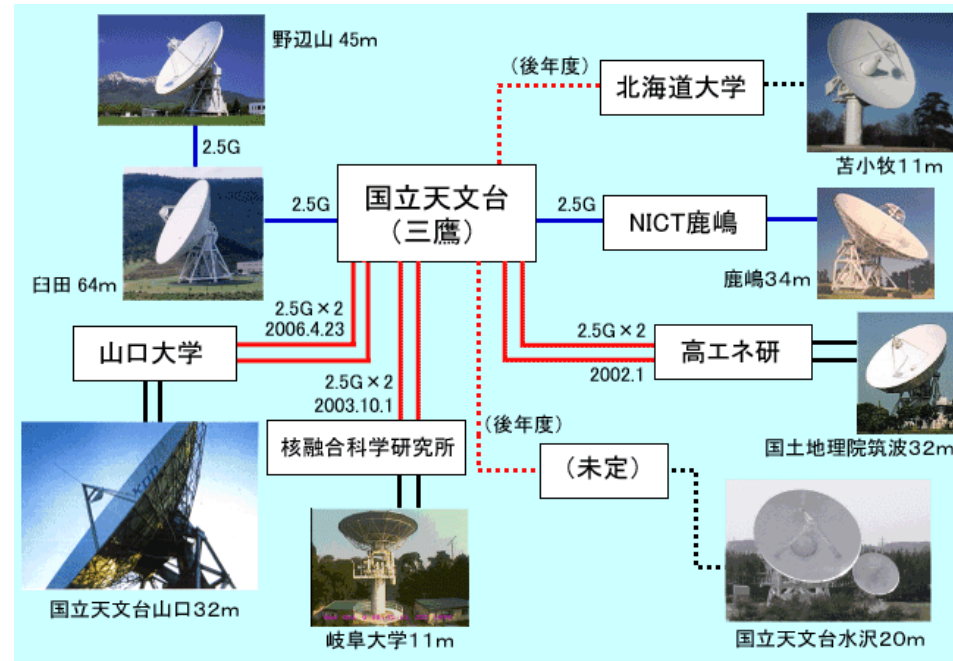
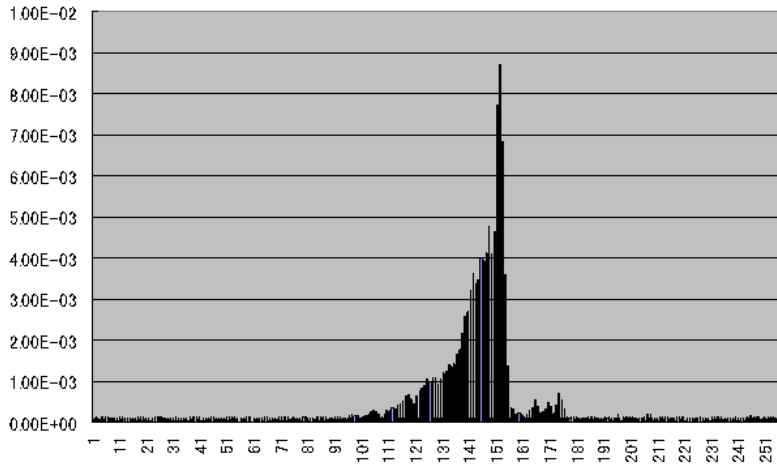
光結合（その2）

- Galaxy
 - OLIVE+KSP (基線長拡張)
 - 1998～ (256Mbps)
 - 2001～ (1 Gbps)



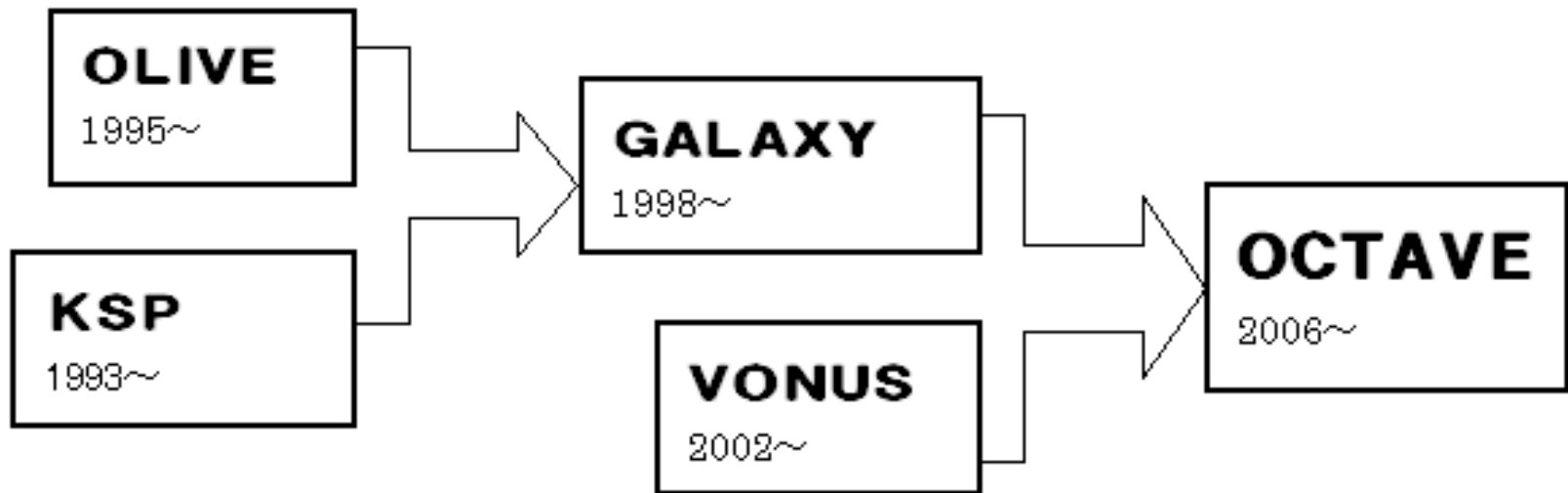
光結合(その3)

- VONUS (Vlbi Optically linked Network Using **SINET**)
 - 2002~ スタート
 - 2002年12月11日 初FRING (臼田64-つくば32)
 - **2 Gbps観測**
 - **イメージング試験スタート**



光結合(その4)

- OCTAVE (Optically Connected Array for VLBI Exploration)



OCTAVEの帯域幅ごとのSNR

Band-Width	鹿島	臼田	山口
80	420	420	350
324	780	780	700

帯域幅4倍
感度約2倍

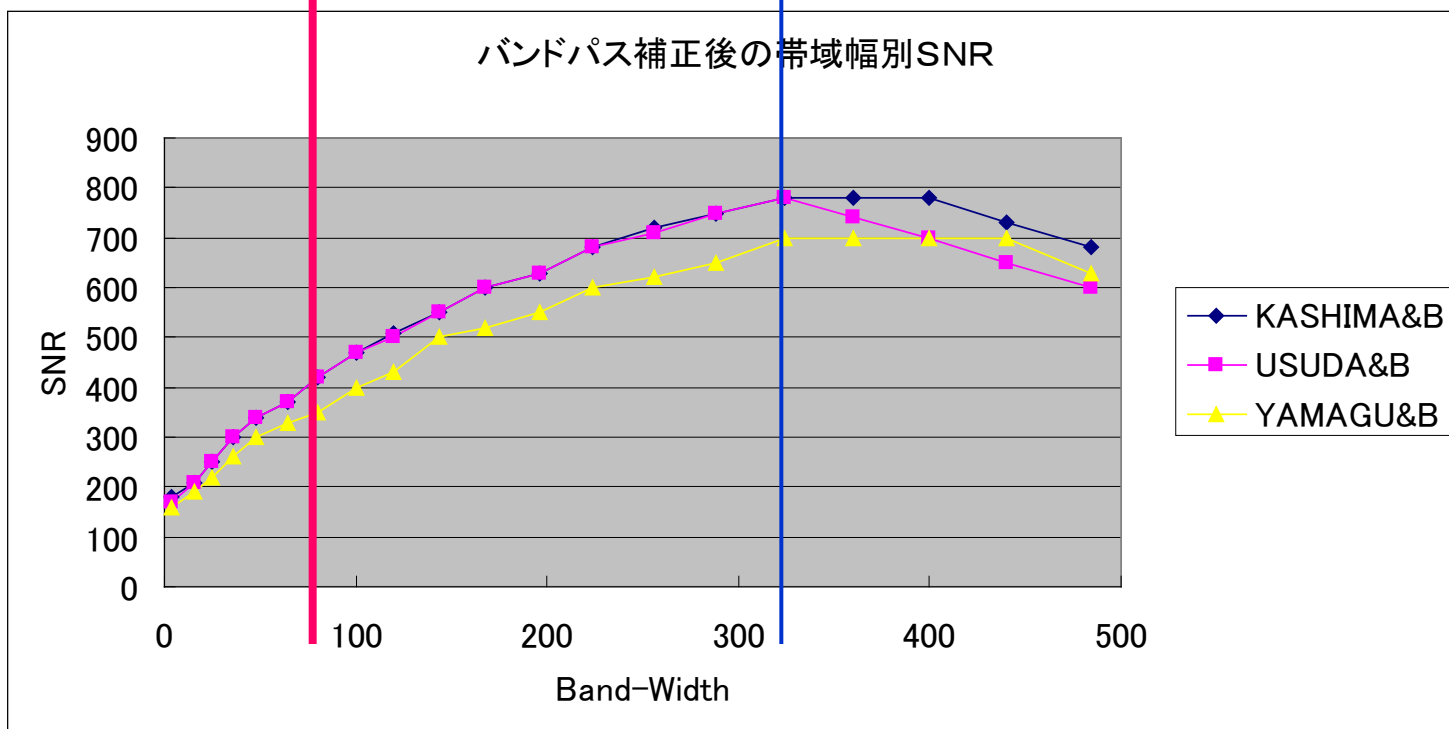


表 5.2 OCTAVE と DIR1000 の SNR 比較

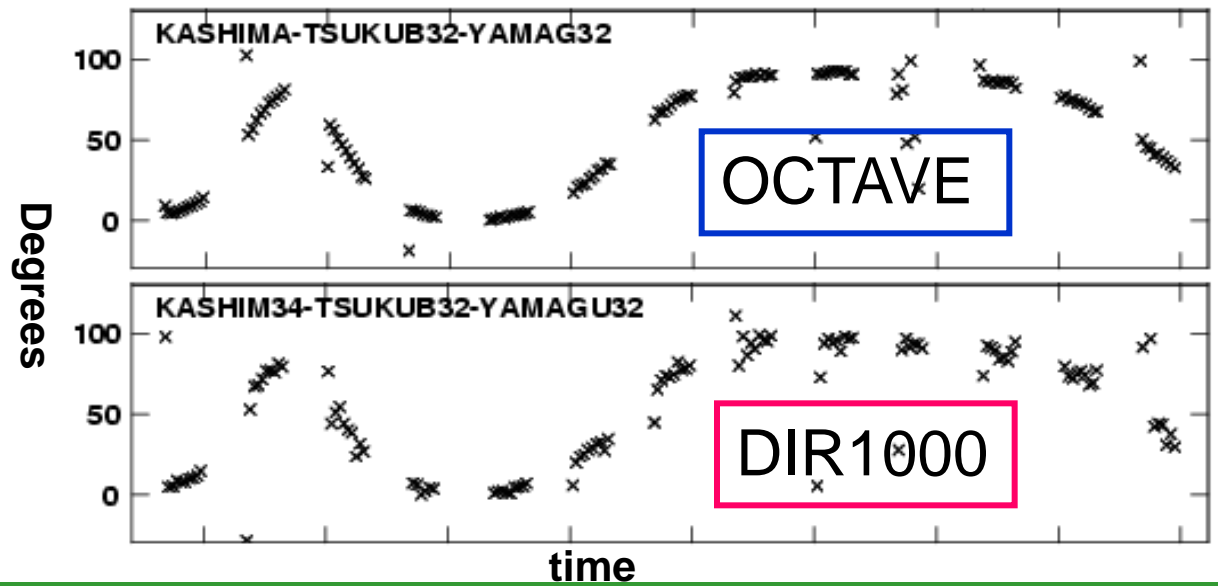
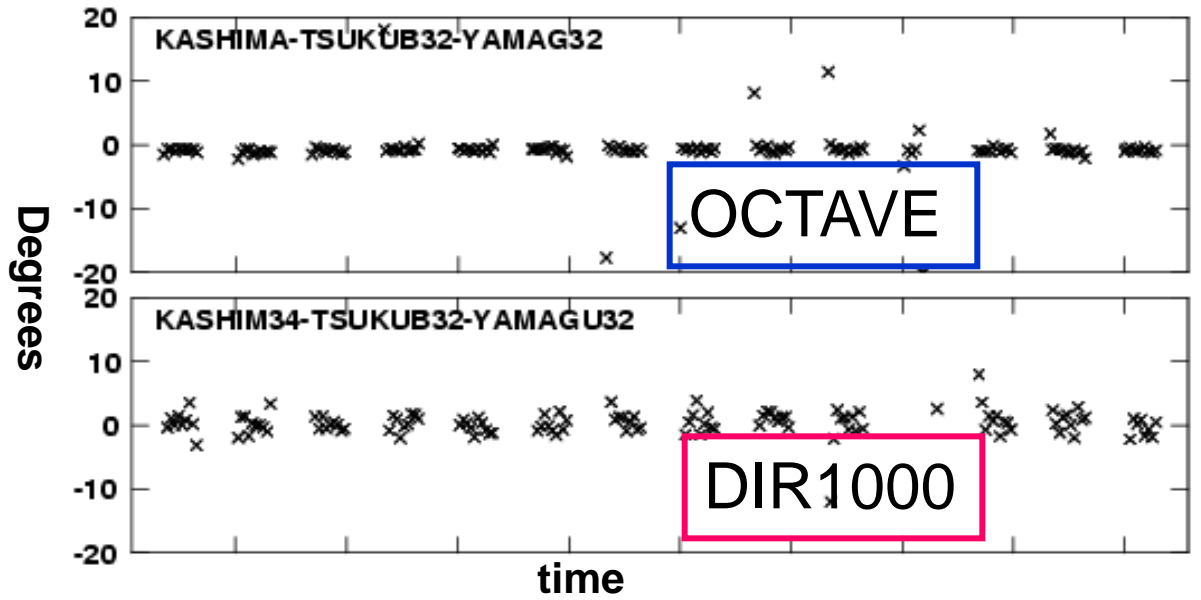
装置	周波数帯域幅(MHz)	鹿島(SNR)	臼田(SNR)	山口(SNR)
1000	16	60	65	60
OCTAVE	16	95	95	85

基線感度OK
1 mJy @ 60秒

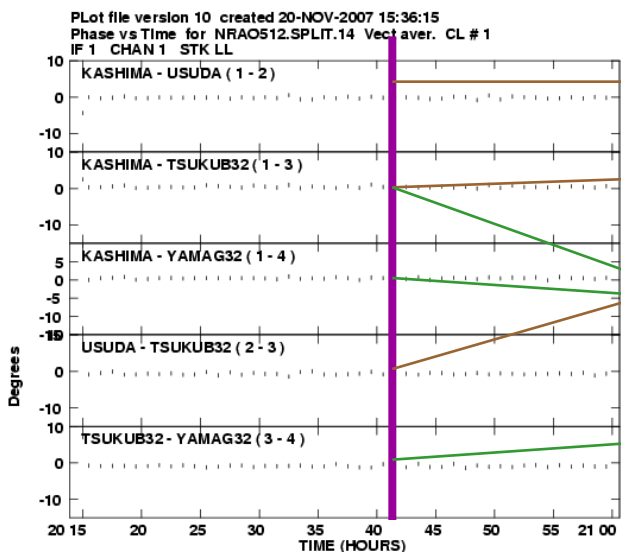
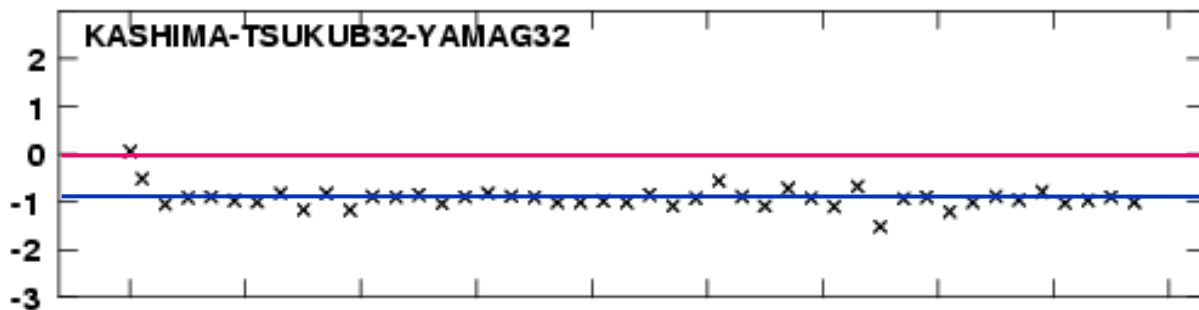
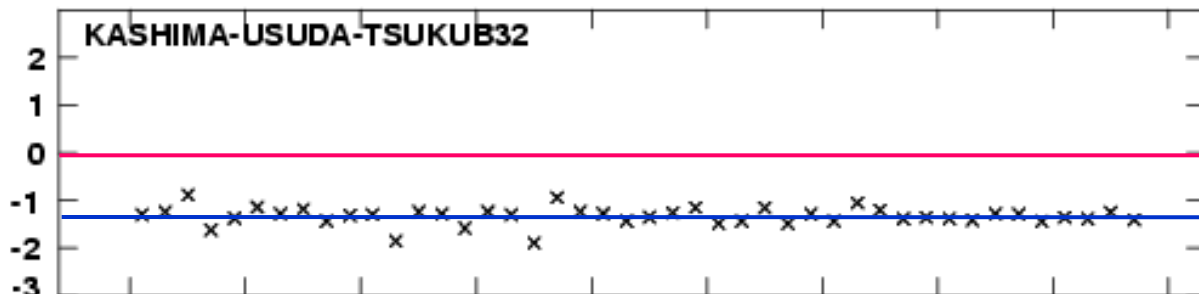
1329+315

CLOSURE PHASES 比較

4C32.44

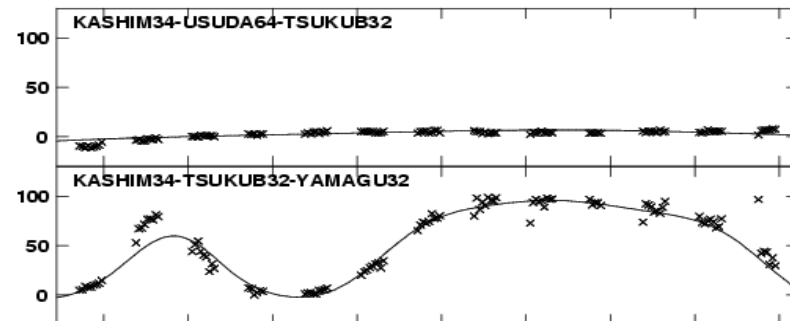
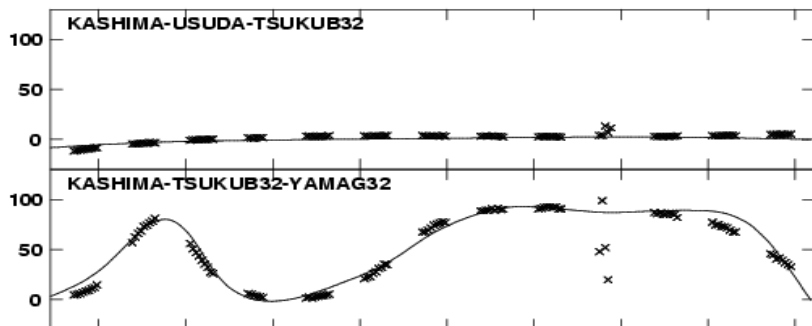
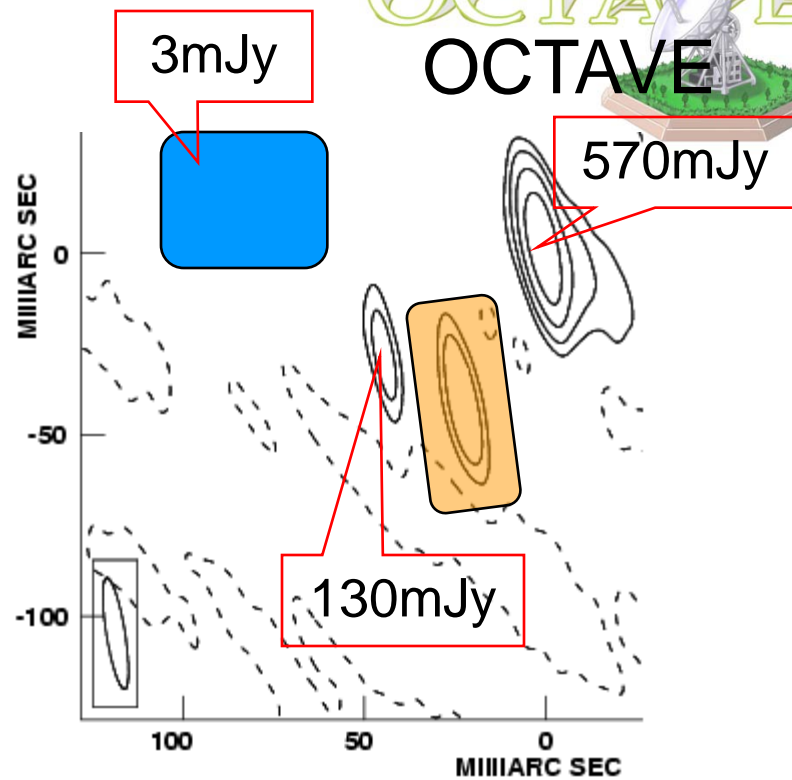
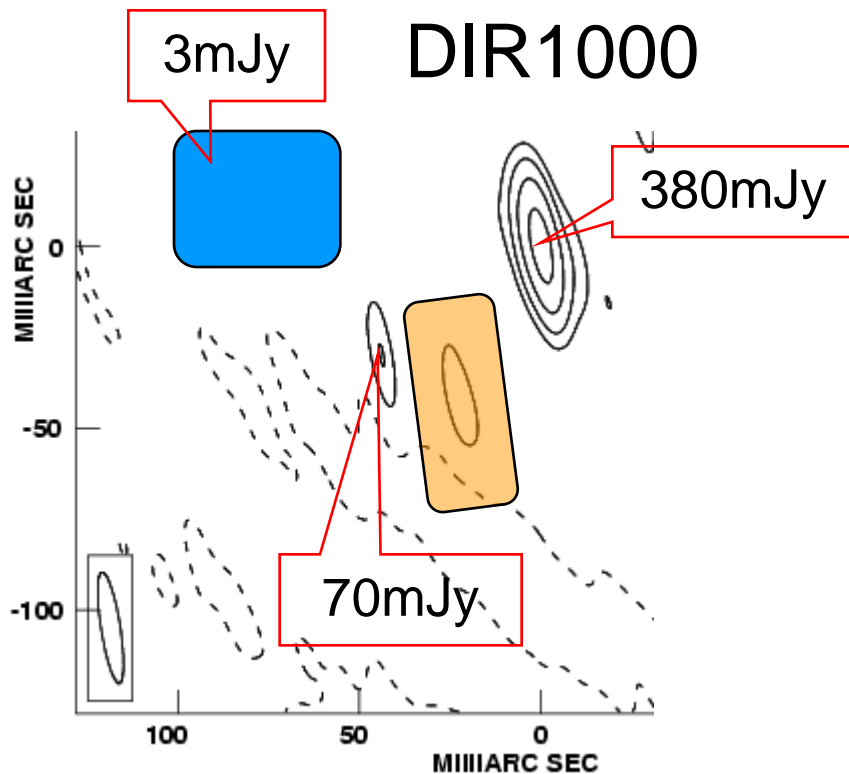


強い光源(点源)を用いてのCLOSURE PHASE検証



鹿-臼	臼-つ	つ-鹿	合計
-0.1	-0.9	-0.5	-1.5
鹿-つ	つ-山	山-鹿	合計
0.5	-0.8	-0.5	-0.8

イメージング結果(DIR1000)との比較

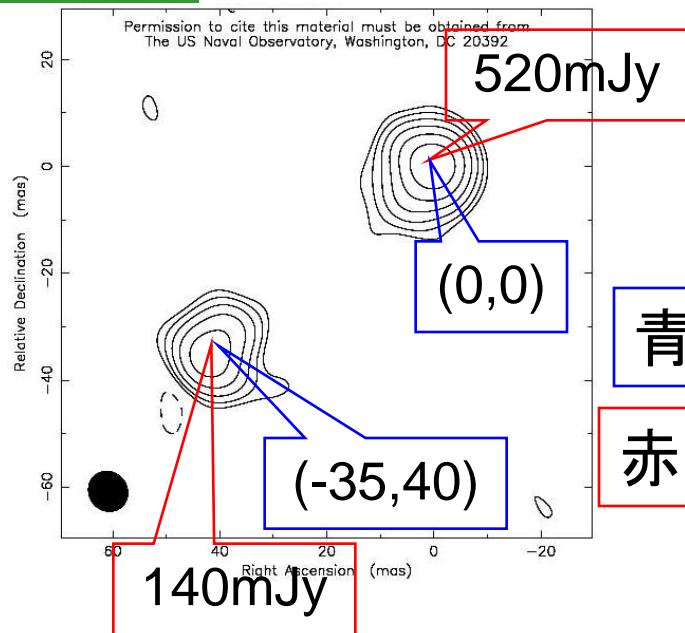


イメージング結果(VLBAとの比較)

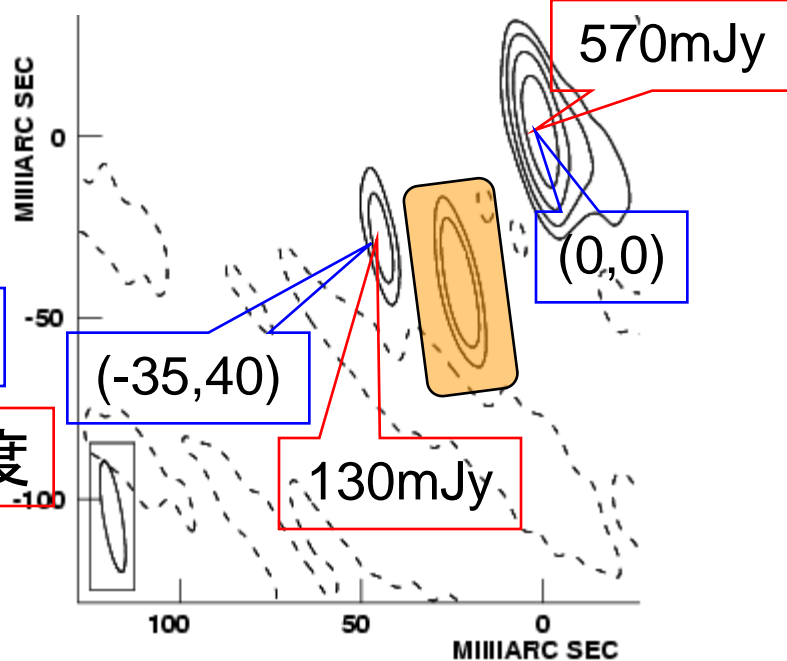


4C32.44

VLBA



OCTAVE



ディスク記録装置の進展(2005～)

- HD単体記録速度向上
 - 20Mbyte/s(1999)→100Mbyte/s(現在)
 - 24台RAID→8Gbps可能
 - Byte単価減少(1Gbyte/100Yen)
 - DIR2000(600Gbyte)→6000円
 - VERA全テープ交換(1800万)



Fantech

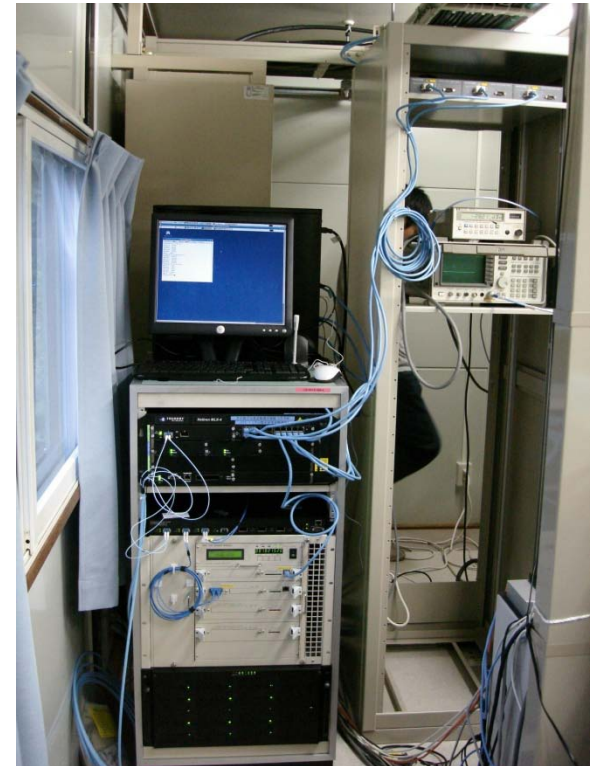
- Disk Buffer開発
 - RVDB(VDB2000、KJJVC用)
 - 4 Gbps/DDB
 - 24時間記録/DDB@2Gbps
 - Fantech
 - 2 Gbps/DDB
 - 24時間記録/DDB@2Gbps
 - カートリッジタイプ



RVDB(VDB2000)

光結合(その6)OCTAVE以降

- 10GbE化(小金井一鹿島)
- 臼田局 2008/8月
 - 光空間伝送実験
 - VDB2000(ディスクバッファ)設置
 - 光結合バックアップ(4Gbps記録可)
- 苫小牧局 2008/8月
 - リンクアグリゲーション
 - 1Gbps × 3 > 2 Gbps
 - VDB2000(ディスクバッファ)設置
 - 光結合バックアップ(4Gbps記録可)



2008年8月20日 苫小牧11m

現状

- 苫小牧(08/08/20)、臼田局(08/08/06)光結合、Disk Bufferの導入によるGbps化完了
 - 相関局ディスクバッファ一整備完了
 - VDB-2000(RVDB)、Fantech、K5/VSI、Mark5B
- 光結合＋Disk Buffer
- 日本列島Gbit VLBI観測網構築完了(萌芽的)
- イメージング試験、精度検証(Closure 1度offset)

光結合いまままで

- Gbit観測網の構築ほぼ完了（高感度）
- ATM専用線から光伝送10GbE汎用回線化
- 広帯域観測に必要なアナログ系、サンプラー、Gbit相関器、解析系も整備（開発経験を積む）

→光伝送を含めた上記技術開発が各プロジェクトの発展に寄与

（VERA、KVN、VSOP2、EAVN）

今後は今までとは異なるフェイズになる事は明らか

光結合これから(1) (インフラ的な観点)

- 従来の光結合アレイは運用ベースに
 - 大学連携のサブアレイ(プロポーザル)
 - リアルタイムは数局、高感度観測はJVN Gbit観測
- VSOP2、EAVN、東アジアへの発展
 - 簡易なデータ転送
 - リアルタイムFRINGEチェック

光結合これから(2)

(広帯域高感度、萌芽的な観点)

- センチ波では比帯域10% 数GHzを達成
- ATM専用線から10GbE汎用回線
- EVLA、eEVN、eMERLIN

SKA?

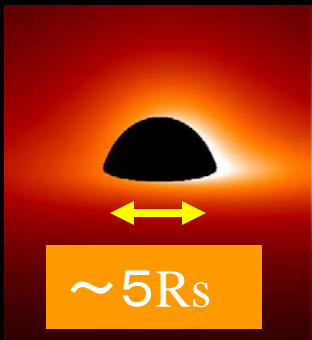
- 大容量光伝送(1Tbyte/s 大陸間)
- RF サンプリング技術

サブミリ波?

- 比帯域ではフロンティア($350\text{GHz} \times 10\% = 35\text{GHz}$ 帯域)
- VLBI観測自体がフロンティア

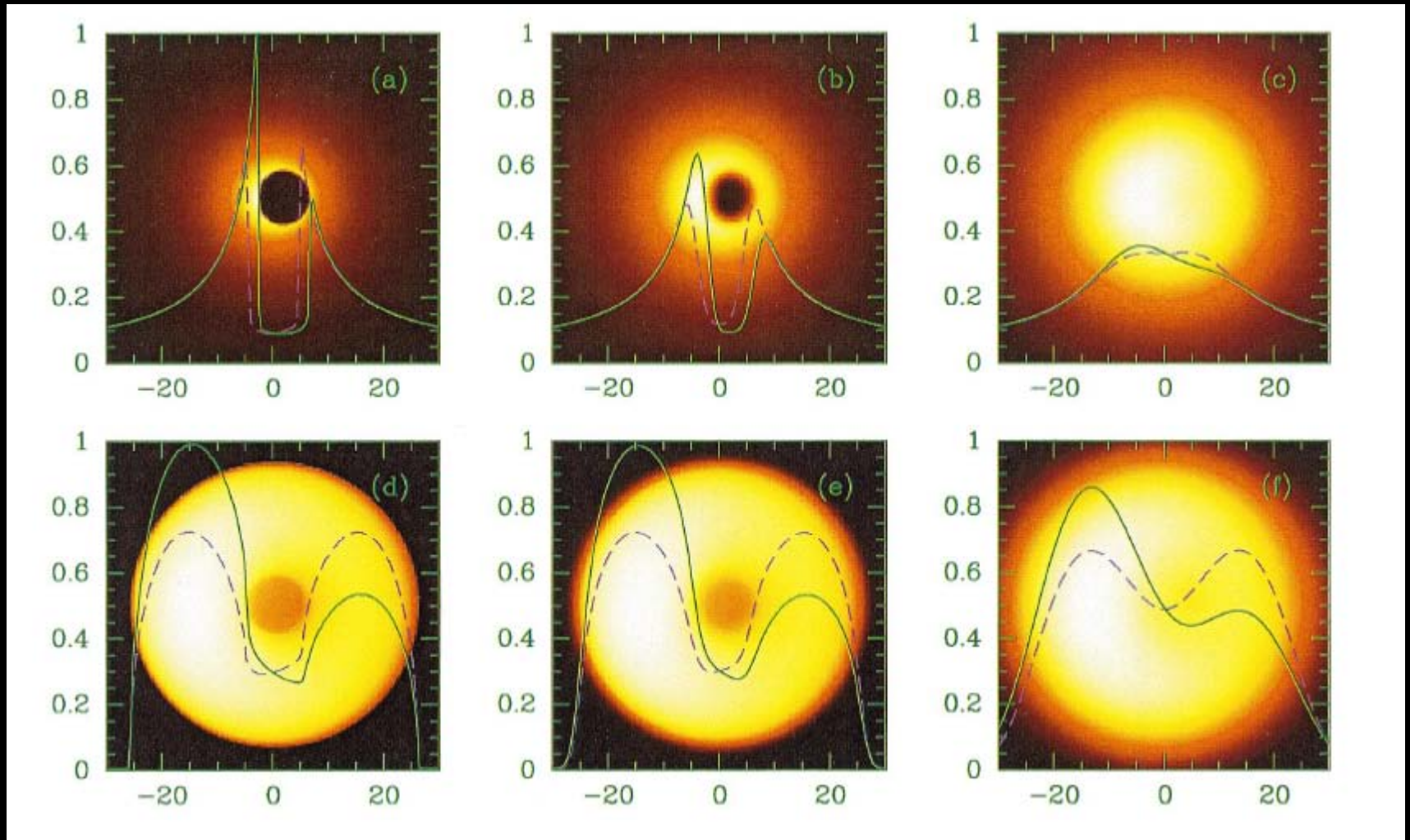
何故Sgr A* でサブミリ?

~5Rs



	Mass (Msun)	D (kpc)	(m)	Rs (au)	(μas)	Shadow Size (μas)
StellarBH@pc	1.00E+00	0.001	2.95E+03	1.97E-08	0.02	0.10
M82	1.00E+06	3700	2.95E+09	1.97E-02	0.01	0.03
SgrA#@GC	2.60E+06	8	7.67E+09	5.11E-02	6.39	31.96
SgrA#@GC	3.70E+06	8	1.09E+10	7.28E-02	9.10	45.48
M31	3.50E+07	800	1.03E+11	6.88E-01	0.86	4.30
NGC4258	3.90E+07	7200	1.15E+11	7.67E-01	0.11	0.53
M87	3.20E+09	16100	9.44E+12	6.29E+01	3.91	19.54

サブミリ波VLBI (Sgr A*)

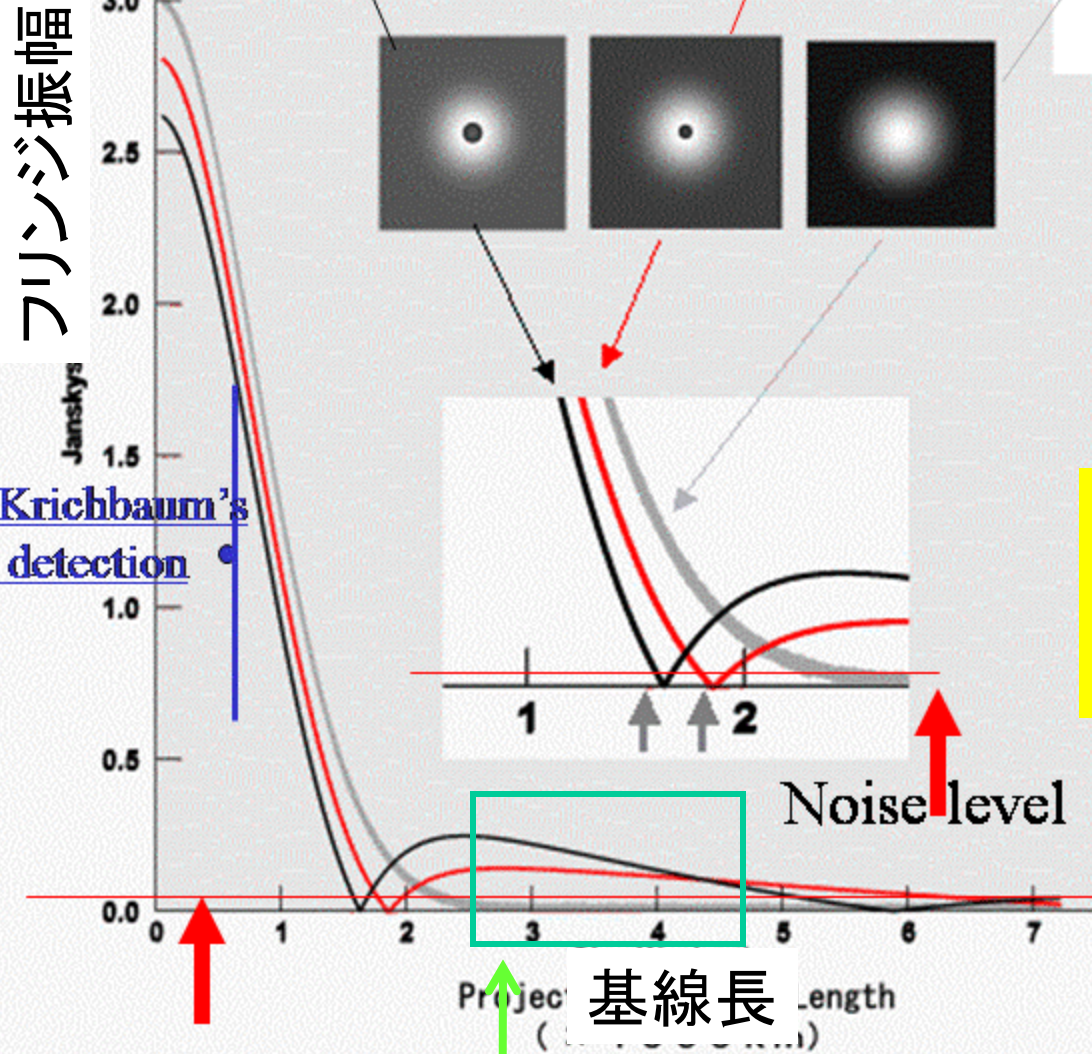


An Example of the relation of Visibility Amplitudes and Structure of SgrA* (230GHz)

BH $3.7 \times 10^6 M_{\odot}$
 $D_s = 44 \mu\text{as}$

BH $2.6 \times 10^6 M_{\odot}$
 $D_s = 30 \mu\text{as}$

NO Black
 hole
 NO Shadow



実は
 1000~2000km
 の短基線が重要

フリンジ振幅の基線長に
 対する変動から
 SgrA*の形状が推定できる

内緒の数字: SgrA*
 350万太陽質量、
 スピン0.4、傾斜角70°
 (Kato・Miyoshi in

長基線も重要 (Flux はモデル依存) prep.)

イメージングシミュレーション

<u>2004PThPS.155..186M</u>	Miyoshi et al
<u>2004ApJ...611..996T</u>	Takahashi et al
<u>2005MNRAS.363..353B</u>	Broderick et al
<u>2006ApJ...636L.109B</u>	
<u>2006ApJ...638L..21B</u>	
<u>2006MNRAS.367..905B</u>	
<u>2007MNRAS.379..833H</u>	Huang et al
<u>2007Publ. Natl Astron 10.15-23</u>	Miyoshi et al

Direct Imaging of the Massive Black Hole, SgrA*

Makoto MIYOSHI,^{1,*} Jose K. ISHITSUKA,¹ Seiji KAMENO,¹ Zhi-Qiang SHEN²
and Shinji HORIUCHI³

¹*National Astronomical Observatory Japan, Tokyo 181-8588, Japan*

²*Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences,
Shanghai 200030, China*

³*Center for Astrophysics and Supercomputing,
Swinburne University of Technology, Hawthorn, Victoria, 3122, Australia*

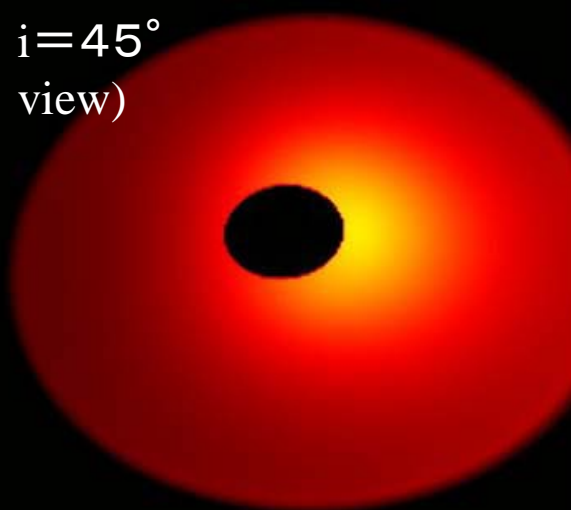
230GHz

SgrA*

Kerr

ADAF(H=1)、
Axis
symmetric

$i=45^\circ$
view)



$i=80^\circ$ (almost edge on

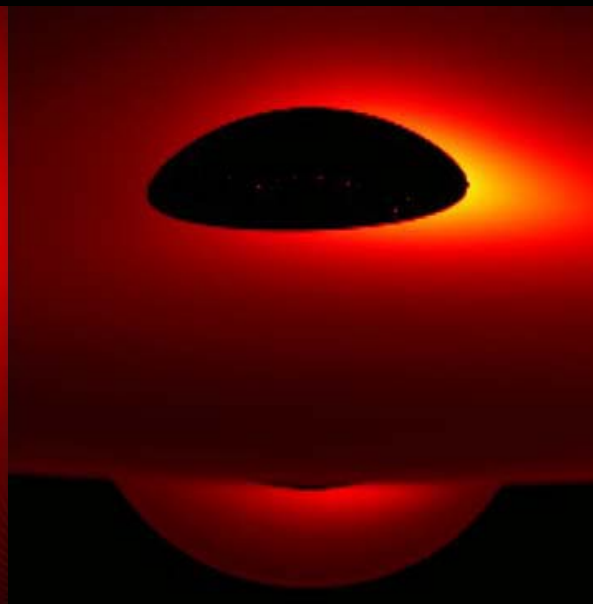
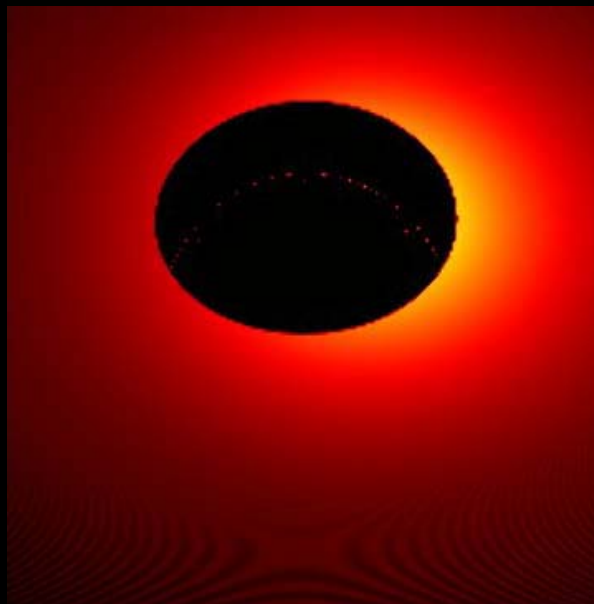


Schwarzschild

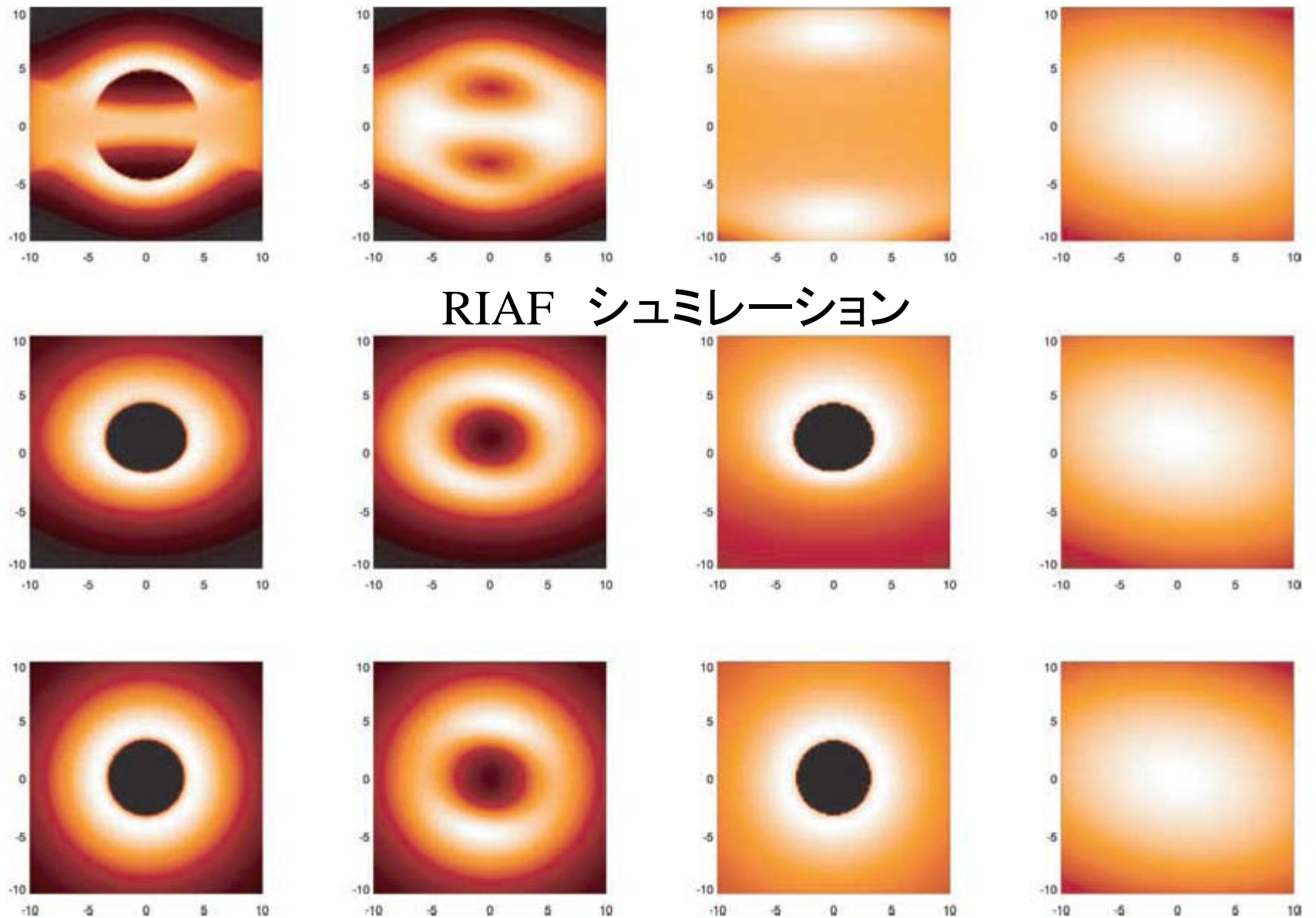
ADAF
(H=1)

Axis symmetric

Takahashi
et al. (04)

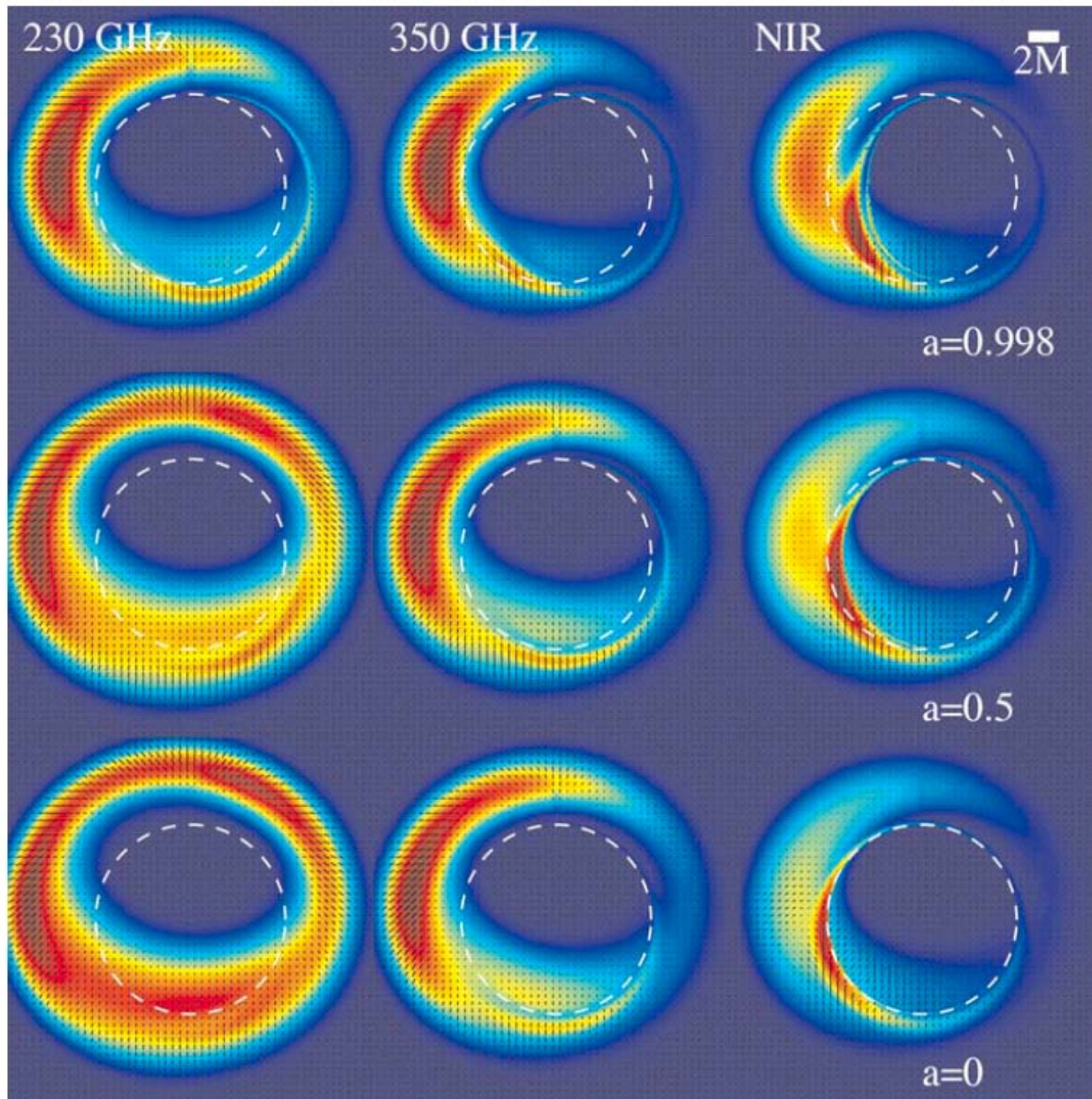


Shadowの形状はブラックホールの質量、スピン、電荷が
決めている(メトリックがわかる)。(R. Takahashi)



RIAF シミュレーション

Figure 2. Simulated images of the RIAF of Sgr A* with $\Theta = 0^\circ$ and $i = \pi/2, \pi/4, 0$ (from top to bottom) at wavelengths of 1.3 mm (left two columns of panels) and 3.5 mm (right two columns of panels). For each of the two columns at two wavelengths, right-hand one is obtained by convolving the left-hand one (GR ray-tracing result) with the interstellar scattering. In each panel, the intensity is normalized to itself to show detailed structure. The units in the X- and Y-axes are gravitational radius r_g , which is 6×10^{11} cm or $5 \mu\text{as}$ for Sgr A* with $4 \times 10^6 M_\odot$ mass at 8 kpc distance. Huang et al 2007



Hot spot model
シミュレーション

Figure 10. Comparison of the orbit-averaged, disc-subtracted images of a spot for two radio frequencies (at which opacity is important) and in the infrared (at which the disc is transparent). For reference, the photon-capture cross-section for a Schwarzschild black hole is shown by the dashed white line.

Broderick et al 2006

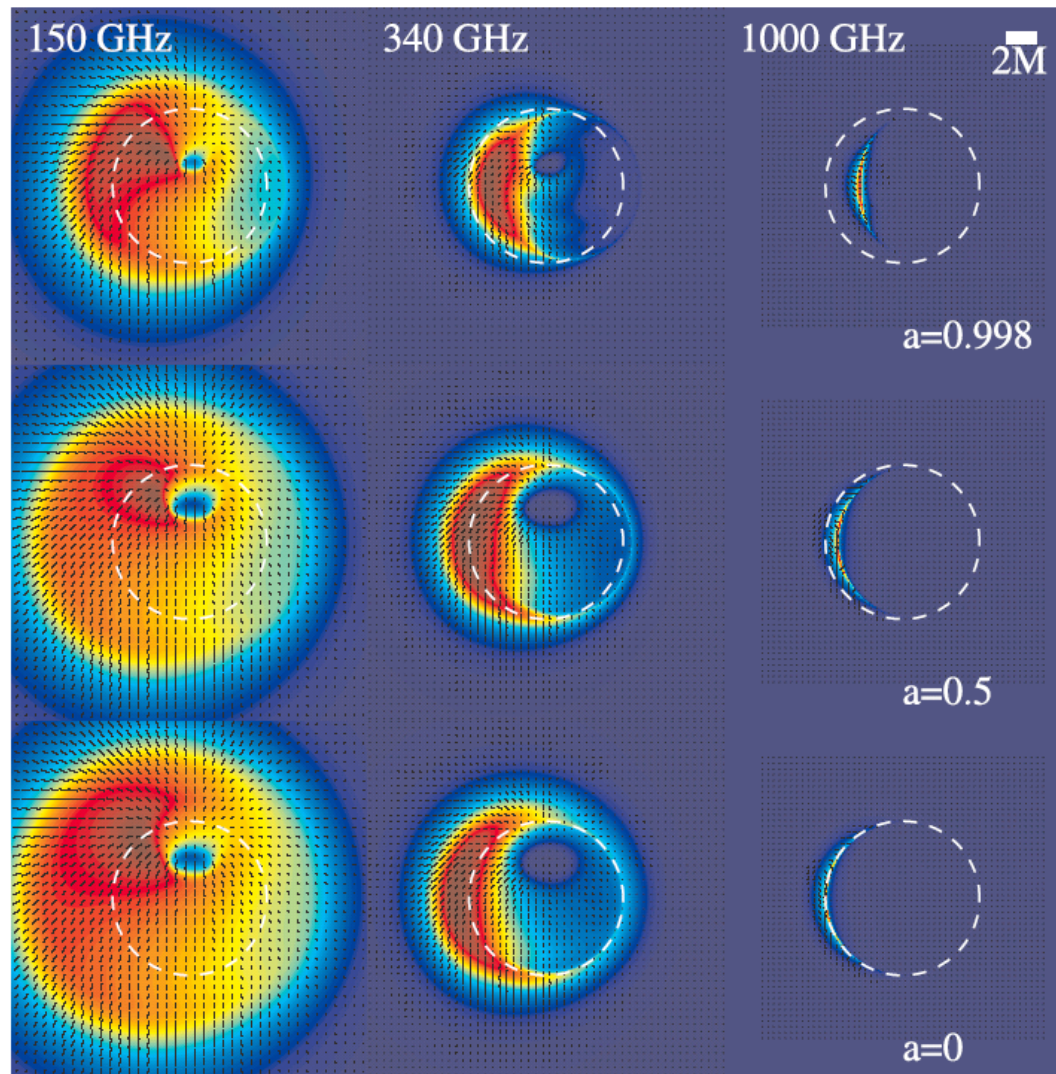


FIG. 1.—Images of an accretion disk around a nonrotating (*bottom*), moderately rotating (*middle*), and maximally rotating (*top*) black hole at 150 GHz (*left*), 340 GHz (*middle*), and 1000 GHz (*right*) viewed at an angle of 45° relative to the spin axis. Polarization tick marks are overlaid, the lengths of which are indicative of the amount of polarized intensity (*not* polarization fraction). The bar in the upper right-hand corner indicates the scale $2M$ ($\sim 10 \mu\text{as}$). For reference, the photon-capture radius of a nonrotating black hole is delineated by the dashed white circle. The intensity scale (red being bright and blue being faint) is linear, normalized separately for each image, and the vertical axis is aligned with the black hole spin. The increasing asymmetry in the images is primarily due to the special relativistic effects, which become more significant at the ISCO for a rapidly rotating black hole. The dim region near the center of the 150 GHz images is due to the funnel region of the thick disk, *not* due to the black hole “shadow.” The high-frequency emission, arising from closest to the black hole, is significantly offset between $a = 0$ and $a = 0.998$.

偏波

Broderick et al 2006

VLBI検出の試み

- Lo et al. 1985 elongated structure, size < 20 AU @ 3.6 cm
- Jauncey et al. 1989 64m parks and Tidbinbilla @ 8.4 GHz
- Marcaid et al. 1992
- Lo et al 1993
- Krichbaum et al. 1993 First 43 GHz VLBI detection, **VLBA 4 antenna**
- Alberdi et al. 1993 First 22 GHz VLBI image, **VLBA 5 antenna + phase VLA**
- Rogers et al 1994 **3mm** observation, **Incoherent fringe search**
- Bower et al 1998 43 GHz , **Full VLBA** observations
- Lo et al 1998 Intrinsic size of Sgr A*, 72 R_{sc}
- Krichbaum et al 1998 **86, 215 GHz obs**, fringe detect , $110 \pm 60 \mu\text{as}$
- Doeleman et al 2001 86 GHz obs, **Closure Quantities**
- Bower et al 2004(science) Closure amplitude
- Shen et al 2005(nature) 86 GHz detection, **512 Mbps** obs , 1 au size

銀河中心は**新アレイ、新技術、新解析手法**が活躍

より中心へ



5, 8, 15, 32, and 43 GHz でみたSgrA*の見かけの大きさ
<http://www.astro.ru.nl/~falcke/bh/sld10.html>

核周プラズマによる電波散乱により
低い周波数では像がぼける。ボケは
観測波長 λ^2 で効く

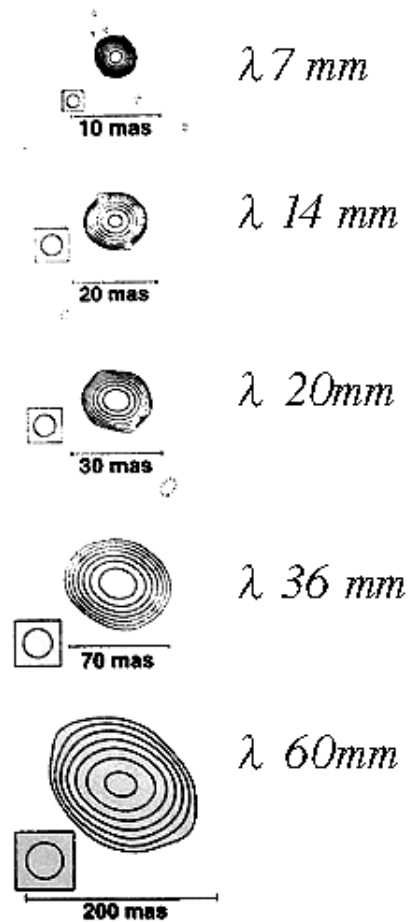
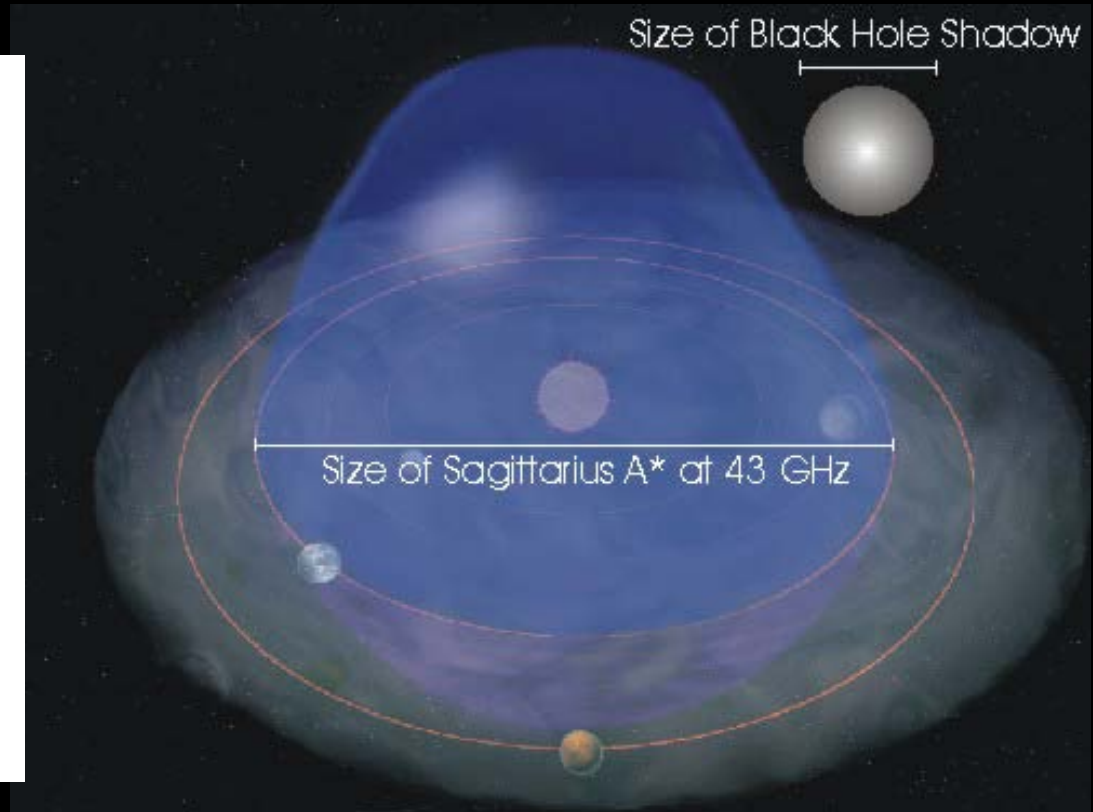
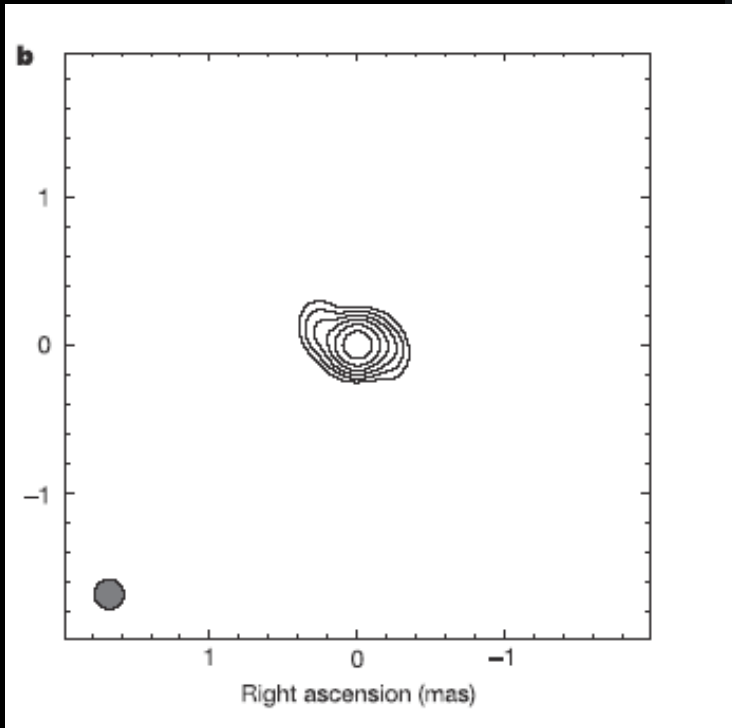


Figure 3. VLBA images of Sgr A* at wavelengths 6.0, 3.6, 2.0, 1.35 cm and 7 mm made with DIFMAP. These images are smoothed to a circular beam of FWHM = $2.62 \lambda_{\text{cm}}^{1.5}$ mas as shown on the left-bottom corner on each image. At 7 mm, FWHM beam = 1.5 mas ~ mean synthesis beam size; and at 6 cm FWHM beam = 38 mas that is close to the mean scattering size at this wavelength. The contours are $2 \text{ mJy beam}^{-1} \times (-2, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256)$.

Lo他1999



VLBA 86GHz **512Mbps**

A size of ~ 1 AU

Shen et al 2005(Nature)

Sgr A* VLBI検出の試み

- Lo et al. 1985 elongated structure, size < 20 AU @ 3.6 cm
- Jauncey et al. 1989 64m parks and Tidbinbilla @ 8.4 GHz
- Marcaid et al. 1992
- Lo et al 1993
- Krichbaum et al. 1993 First 43 GHz VLBI detection, **VLBA 4 antenna**
- Alberdi et al. 1993 First 22 GHz VLBI image, **VLBA 5 antenna + phase VLA**
- Rogers et al 1994 **3mm** observation, **Incoherent fringe search**
- Bower et al 1998 43 GHz, **Full VLBA** observations
- Lo et al 1998 Intrinsic size of Sgr A*, 72 R_{sc}
- Krichbaum et al 1998 **86, 215 GHz obs**, fringe detect, $110 \pm 60 \mu\text{as}$
- Doeleman et al 2001 86 GHz obs, **Closure Quantities**
- Bower et al 2004 (science) Closure amplitude
- Shen et al 2005 (nature) 86 GHz detection, **512 Mbps** obs, 1 au size

Doeleman et al 2008 (nature) 230 GHz detection. **4 Gbps recording**
(2008年9月4日)、(URSI 2008年8月13日)

Event horizon-scale structure in the super-massive black hole Candidate at the Galactic Centre

Doeleman et al. 2008

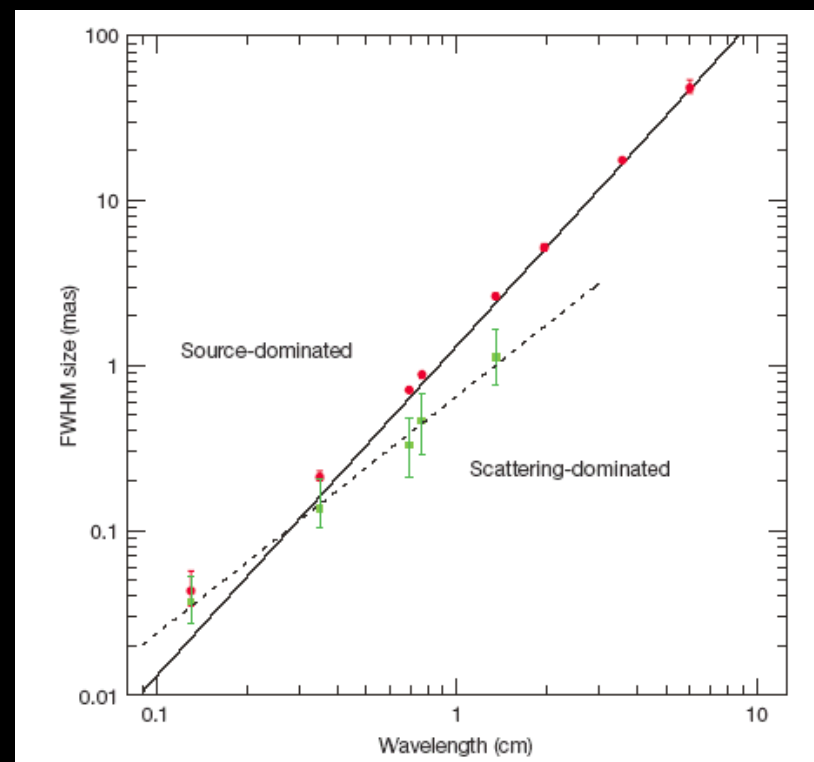
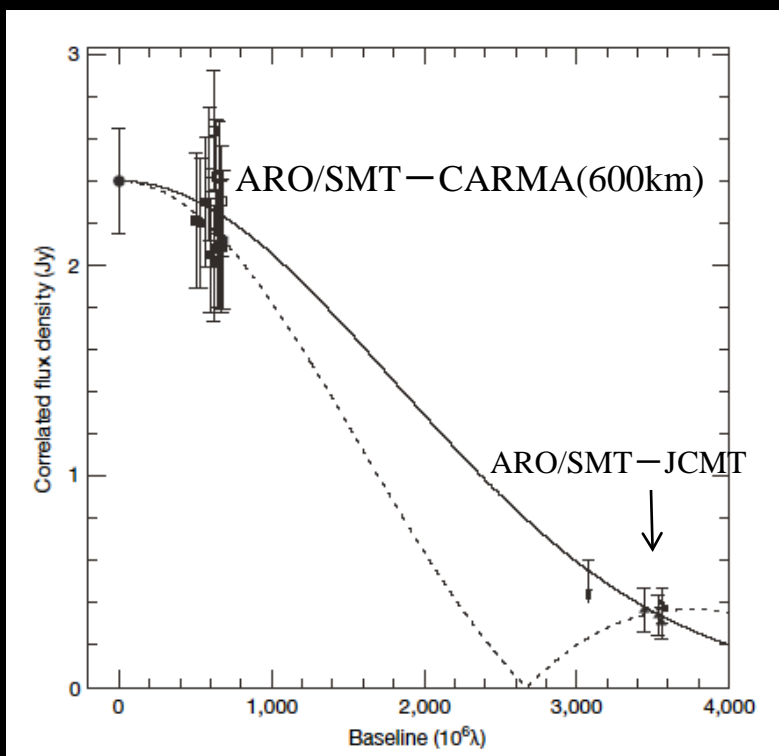
Table 1 | VLBI detections of Sgr A* on the ARO/SMT-JCMT baseline at 1.3 mm wavelength

Date (UT)	Correlated flux density (Jy)	SNR	Residual delay (ns)	Residual delay rate (ps s ⁻¹)	Projected baseline length (10 ⁶ λ)
10 April 2007 12:20	0.38	5.8	-4.9	-0.29	3,558
11 April 2007 11:00	0.37	5.0	-7.2	-0.25	3,443
11 April 2007 11:40	0.34	5.4	-7.9	-0.21	3,535
11 April 2007 12:00	0.31	5.8	-8.0	-0.19	3,556

SNR ≐ 5

@ 4Gbps

3500km



- $37\mu \pm (16, 10)$ Intrinsic diameter of Sgr A* (obs 43μ)
- Non detection on the JCMT-CARMA (3075km)

Doeleman et alの結果

- Intrinsic diameter of Sgr A* : $37\mu \pm (16,10) \rightarrow$ **まだ 3σ (obs 43μ)**
- Implies that Sgr A* is offset from SMBH
- 1.3 mm VLBI confirms 4 Rsch diameter for Sgr A*

最先端の技術成果

- 4 Gbit/s recording (2Gbit \times 2)
しかし SNR = 5 (10分積分) 3500km \rightarrow **さらなる広帯域観測要**
- Incoherent Fringe Search (Triple Product or Bispectrum)
(Rogers 1995、TMS 329p)

URSI 2008

- Mark5C upgrade by early 2009: x4 in sensitivity over current VLBA sustainable rate
- Move to 345GHz and **dual polarization**

日本(光結合、VERA)からの**具体的な**貢献方法は？

シミュレーションによる貢献

Mon. Not. R. Astron. Soc. **367**, 905–916 (2006)

doi:10.1111/j.1365-2966.2006.10152.x

Imaging optically-thin hotspots near the black hole horizon of Sgr A* at radio and near-infrared wavelengths

Avery E. Broderick^{*} and Abraham Loeb^{*}

Institute for Theory and Computation, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, 60 Garden Street, MS 51, Cambridge, MA 02138, USA

Accepted 2005 December 19. Received 2005 December 17; in original form 2005 September 8

imaging. Within the next decade, it is expected that a Very Long Baseline Array (VLBA) of submillimetre telescopes will exist, providing 20- μ as resolution imaging capabilities (Doeleman & Bower 2004; Miyoshi et al. 2004). Thus, theoretical efforts to compute the images of realistic accretion flows are warranted. In Broderick &

It is expected that a VLBI of submm telescopes will exist, Providing 20- μ as resolution imaging capabilities (Doeleman 2004, Miyoshi et al 2004). Thus, theoretical Efforts to compute the images of realistic accretion flows are warranted.

Broderick et al 2006

実際にサブミリ波VLBIに参加できるか？ (作業仮説)

- ・ 現実にはグローバルサブミリ波VLBIに参加する事から経験を積む
ASTE, ACAによる参加はどうか(ミリ波グローバルVLBI、J-NET)
プロジェクトの乱立にはならないのでは？
- ・ 超高速サンプラー(8 Gsps)、8 Gbpsレコーダ、水素レーザー
高安定ローカル、ソフト相関、位相補償、
自主開発解析ソフトの技術(VEDA)、解析手法SMI(Miyoshi et al 2008)
- ・ ASTE10m
- ・ ACA(Phased array)

手持ちの武器はこれだけ揃っている。(アメリカ以外日本のみ)
使えるかどうか？

一刻を争う！

どう使う？

Visibility amp

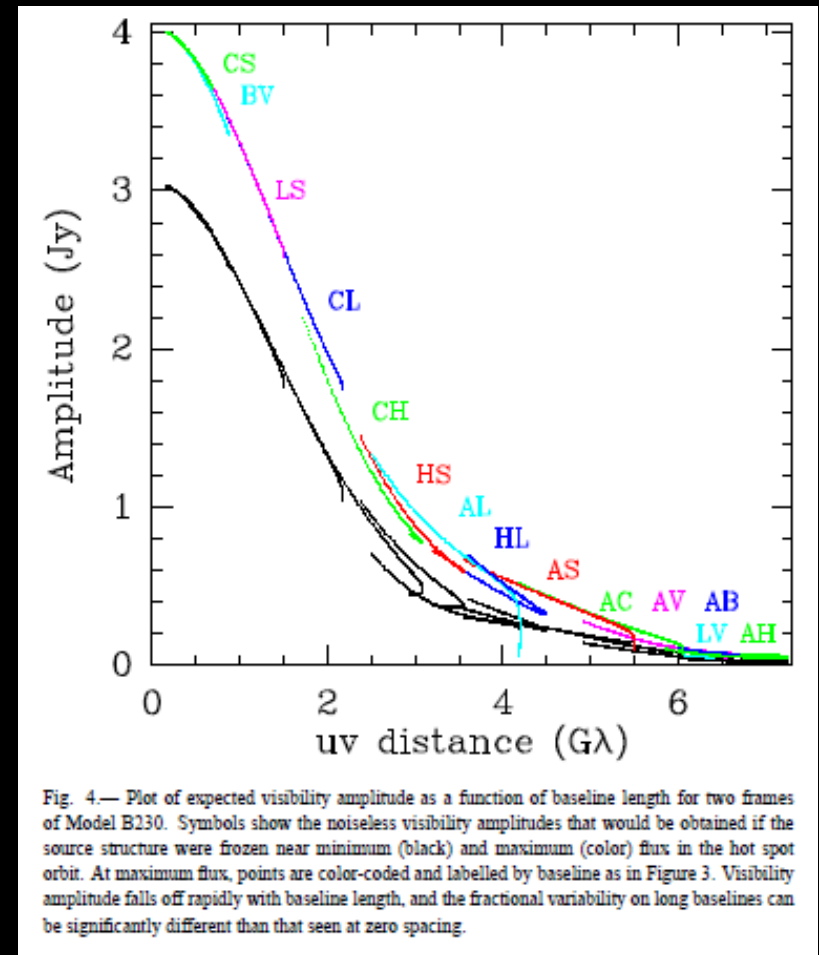
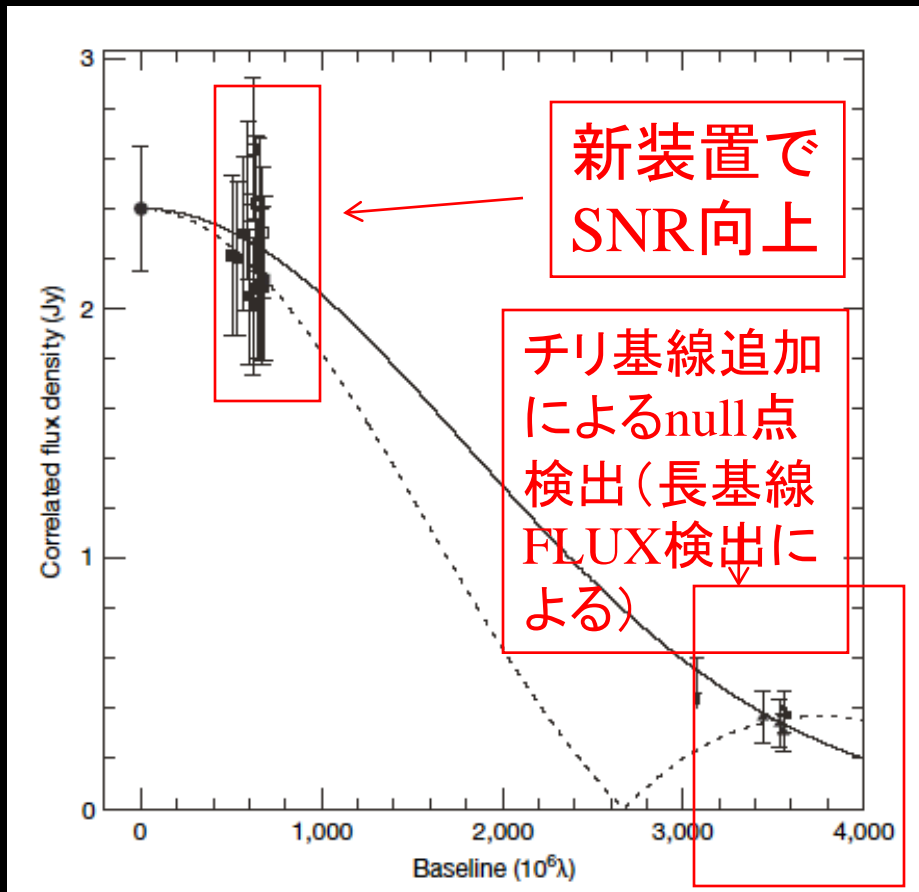


Fig. 4.— Plot of expected visibility amplitude as a function of baseline length for two frames of Model B230. Symbols show the noiseless visibility amplitudes that would be obtained if the source structure were frozen near minimum (black) and maximum (color) flux in the hot spot orbit. At maximum flux, points are color-coded and labelled by baseline as in Figure 3. Visibility amplitude falls off rapidly with baseline length, and the fractional variability on long baselines can be significantly different than that seen at zero spacing.

どう使う？

230GHz Closure phase (Hot Spot model) Fish et al. 2008

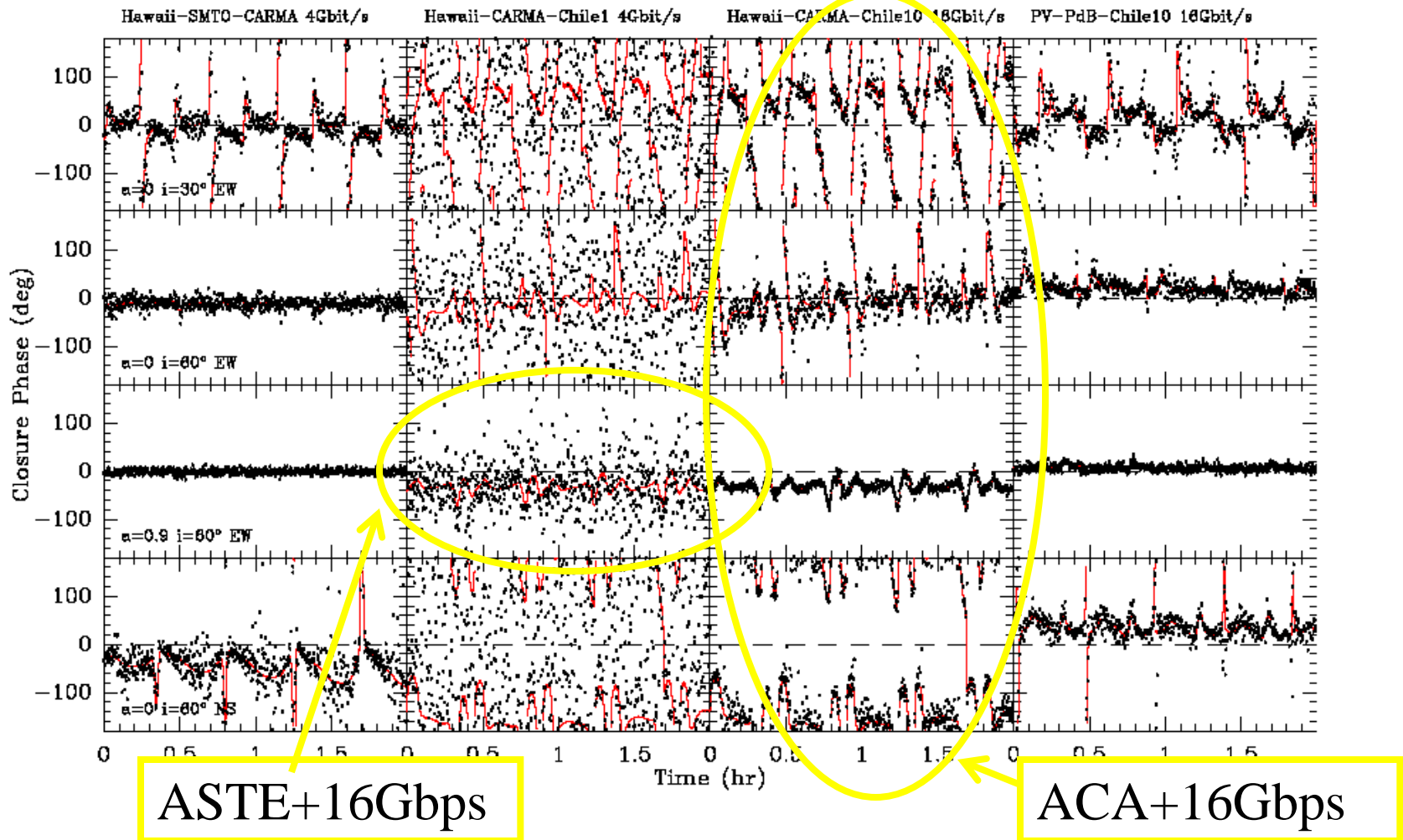


Figure 1: Simulated data at 230 GHz (points), with noiseless models in red. Models are denoted by black hole spin ($a = 0$ or 0.9 times maximal), inclination of spin axis to line of sight, and projected major axis orientation. The hotspot orbits at the innermost stable circular orbit for $a = 0$ and a comparable radius at $a = 0.9$. Two hours of data, corresponding to 4.5 periods, are shown. The second and third columns illustrate why Chile-10 may be important.

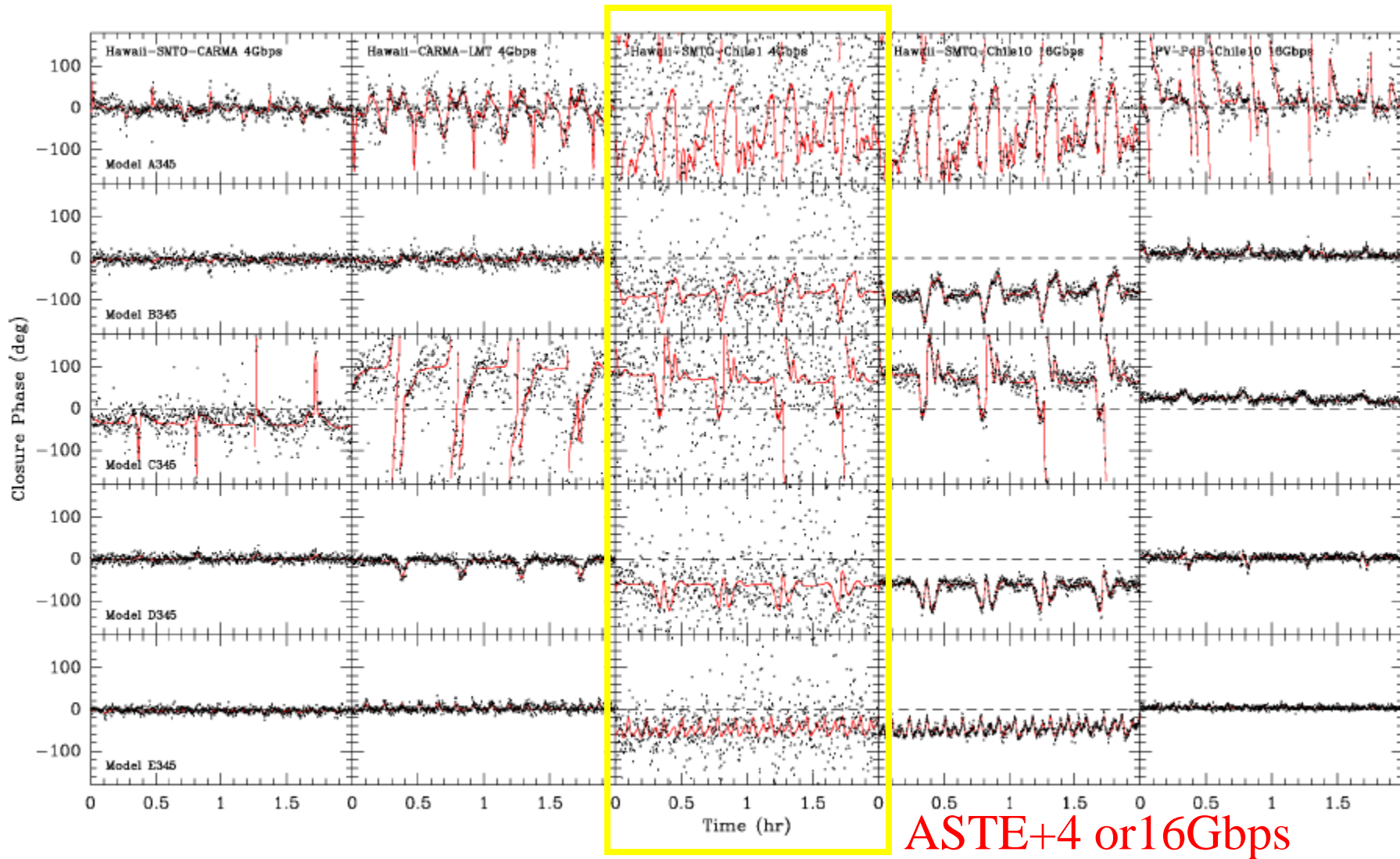


Fig. 6.— Closure phases on selected triangles at 345 GHz. See Figure 5 for details.

Net offset exist (non zero), ASTE+4Gbpsでもオフセットは検出可能

230 GHz Closure Amplitude (Hot Spot model) Doeleman et al. 2008

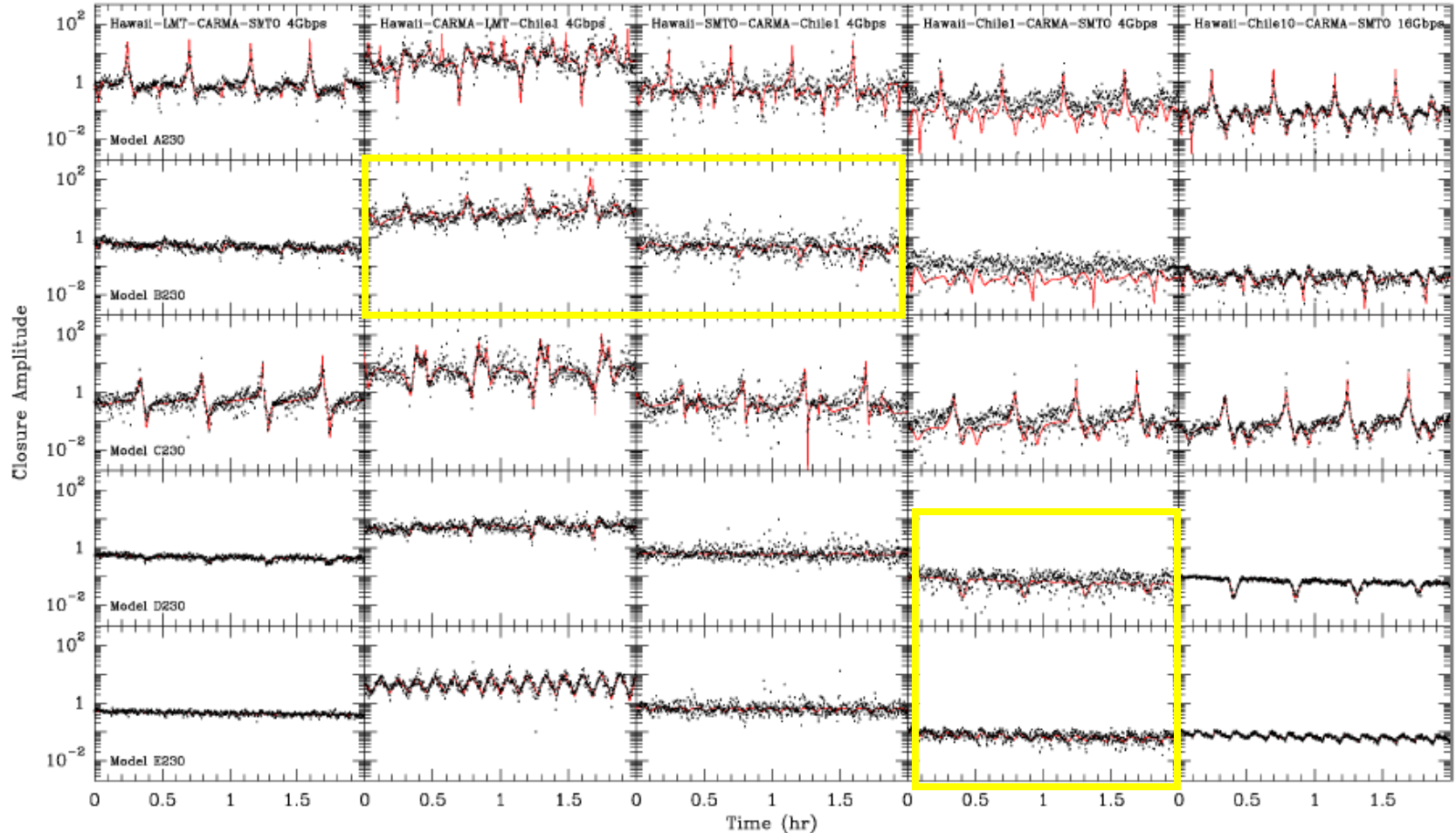
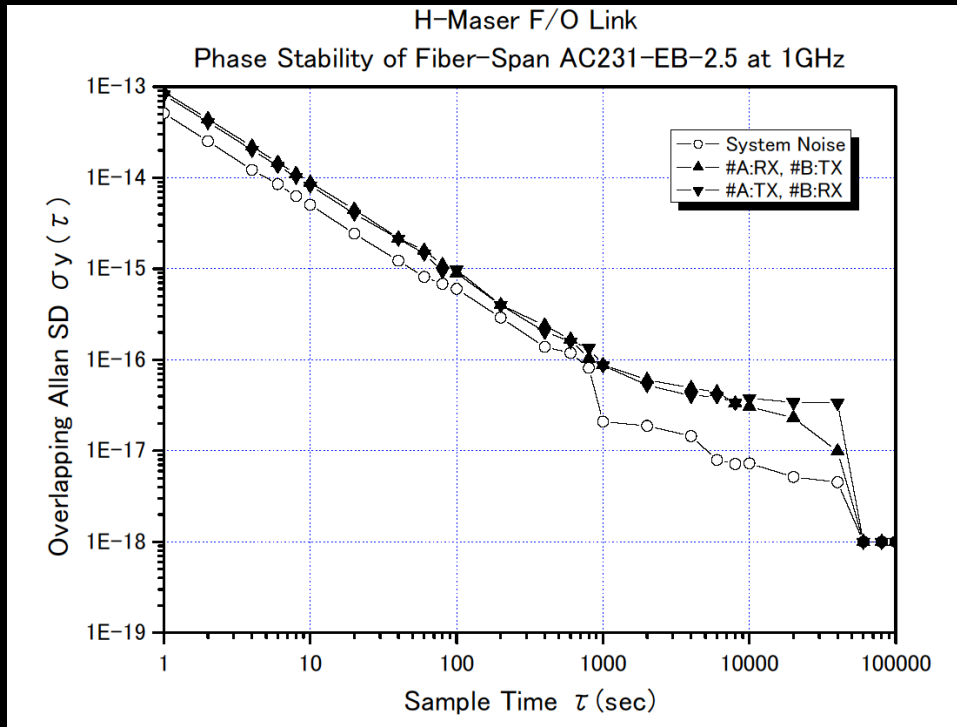


Fig. 7.— Closure amplitudes on selected quadrangles at 230 GHz. See Figure 5 for details.

ASTE + 4 Gbpsでも優位性あり！ Closure amplitudeは4局以上必須

武器は使える？ (Capability) 水素メーザー OK?

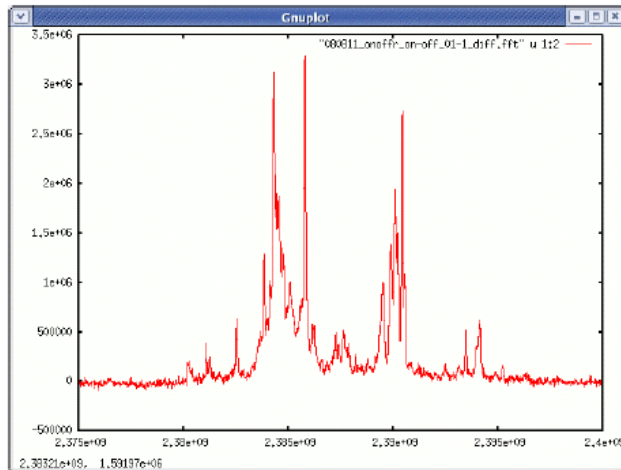


VERA小笠原水素メーザー予備は地理院のメーザー信号を伝送
→予備品チリへ？、 科研費、他に借りれるか？

武器は使える？(Capability) 8Gsp/s サンプラーは？

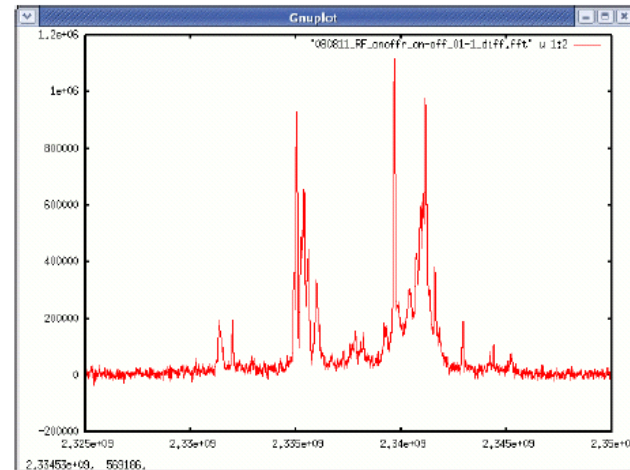
超高速サンプリング 野辺山45mで試験を行った。

BB スペクトル



LO=(16.85+3)GHzで周波数変換し、
2.2-2.6GHzのIF帯に変換してから
8.192GHzでサンプリング、512K点
FFTを行った。図は一部の拡大

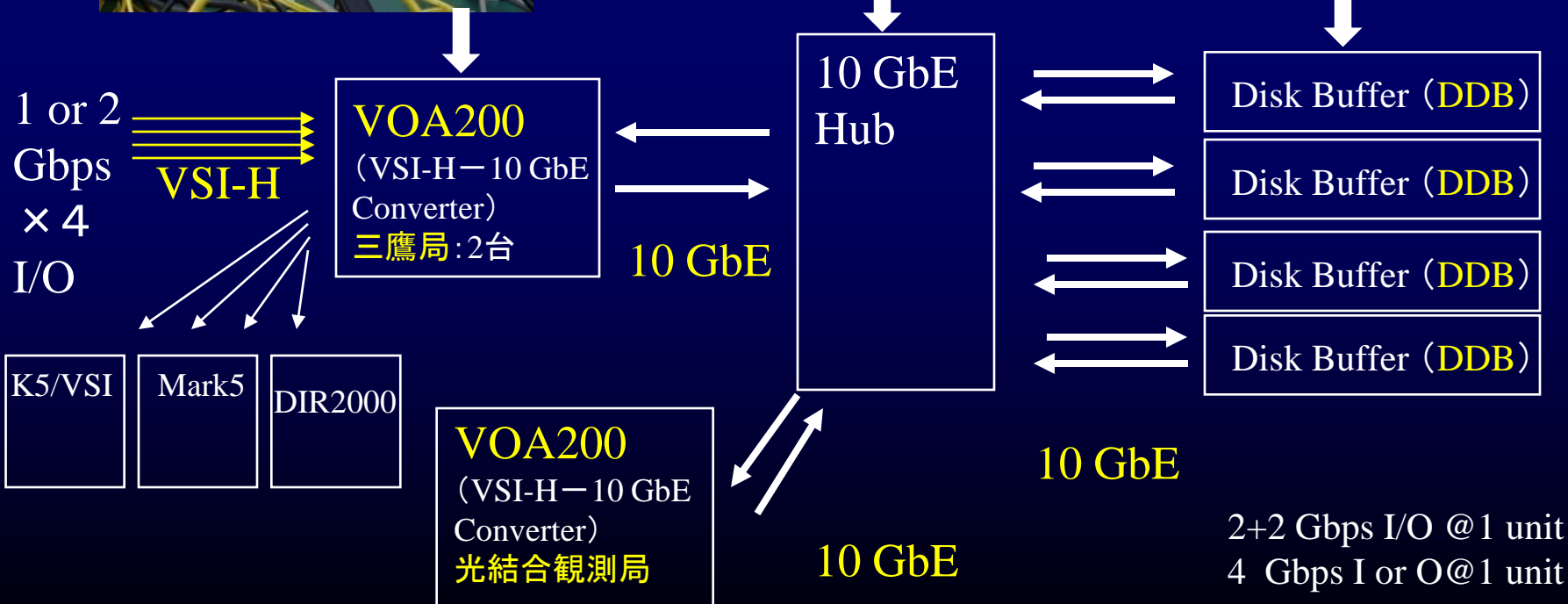
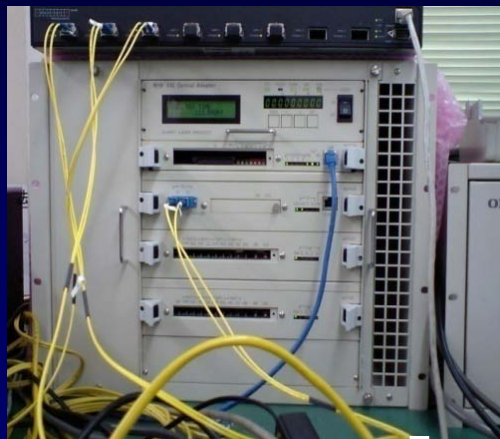
RF スペクトル



20.480-24.576GHz(帯域幅4.096GHz)を
直接8.192GHzでサンプリングし、512K点
FFTを行った。図は一部の拡大
スペクトルは逆順になっている。

光結合推進室、野辺山観測所共同開発(新型観測システム)、ASTEに導入？
→出力は10GbE、RVDB(KJVC用バッファ)改修要
すぐに持ち込むにはADS1000×8台か？(10GbE連続観測用に使用→チリ？)

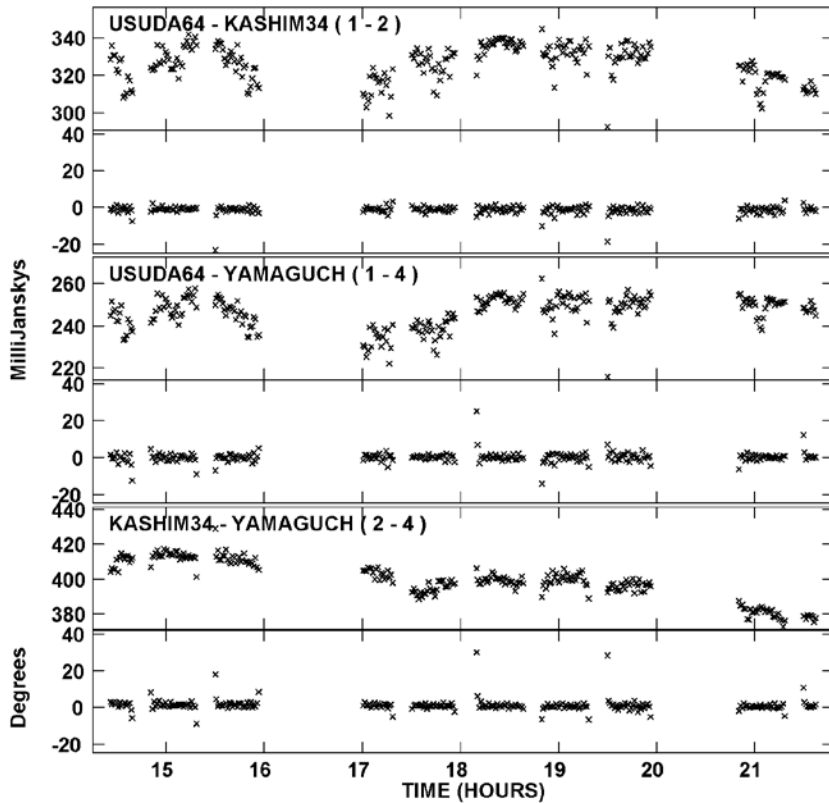
武器は使えるか？ 8 Gbpsレコーダ VDB-2000 (RVDB)



Amplitude & Phase

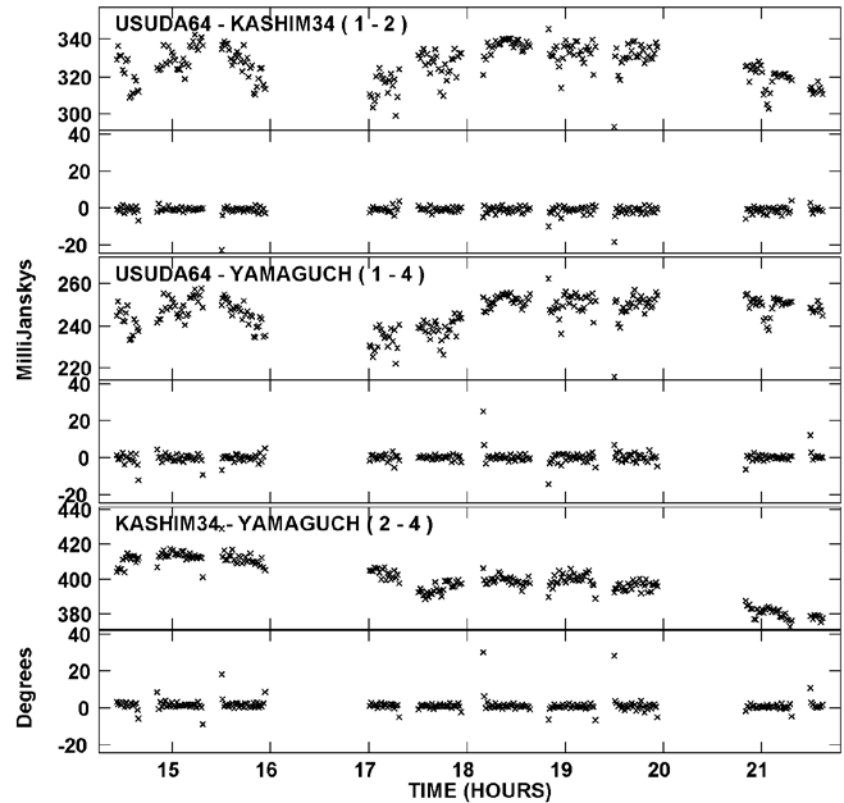
VDB2000 test observation results

Plot file version 1 created 12-FEB-2008 14:26:18
Amplitude and Phase vs Time for TARGET.SPLIT.1 Vect aver.
IF 1 CHAN 1 STK LL



Real time correlation

Plot file version 1 created 12-FEB-2008 14:17:59
Amplitude and Phase vs Time for TARGET.SPLIT.1 Vect aver.
IF 1 CHAN 1 STK LL

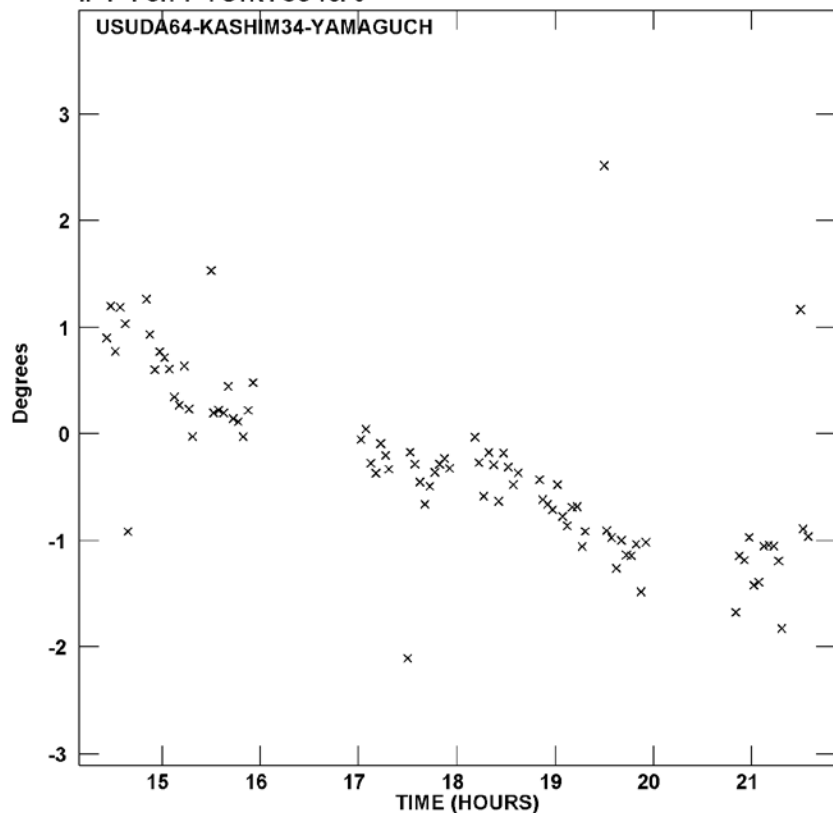


After recording , Playback correlation

Closure Phase

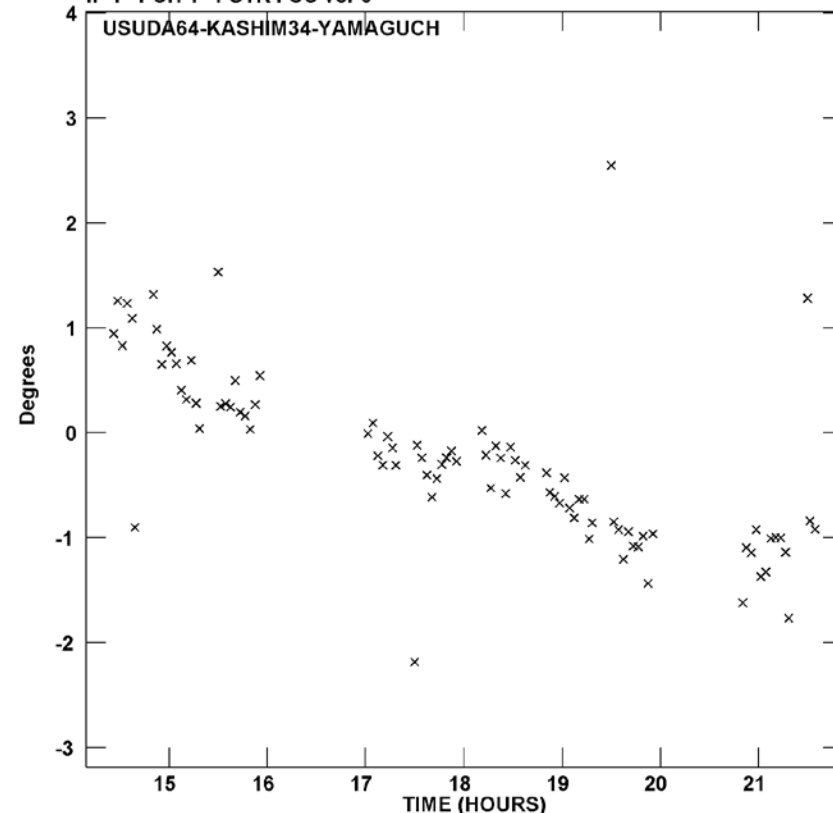
VDB2000 test observation results

PLot file version 2 created 12-FEB-2008 14:26:20
Closure Phase vs Time for TARGET.SPLIT.1
IF 1- 1 CH 1- 1 STK I CC ver 0



Real time correlation

PLot file version 2 created 12-FEB-2008 14:18:00
Closure Phase vs Time for TARGET.SPLIT.1
IF 1- 1 CH 1- 1 STK I CC ver 0



After recording , Playback correlation

使用可能、三鷹に16 Gbps分、K5VSI、ファンテック合わせ10 Gbps分

武器は使えるか？ ソフト相関器

観測局: VERA4局

観測データ: 2003/328 01:40:00-02:40:00

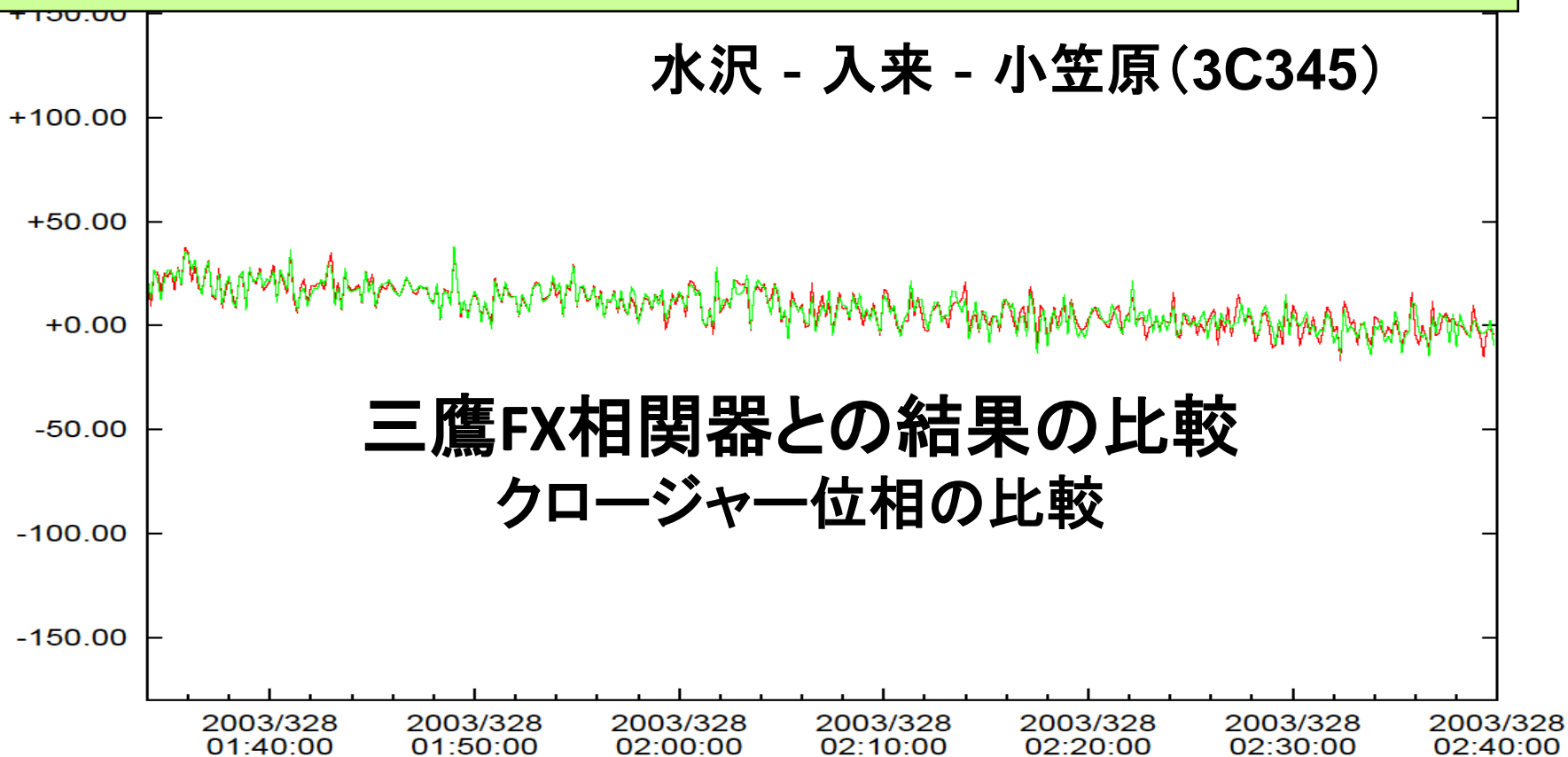
観測天体: 3C345/NRAO512 (2ビームモード)

観測モード: VERA-1(A-beam:256Msps/2bit × 1ch、B-beam:256Msps/2bit × 1ch)

15

クロージャ位相度

水沢 - 入来 - 小笠原(3C345)



FRINGE位相追尾速度等確認要だが、とりあえずOK

武器は使える？(Capability)

- 解析ソフト→VEDA(VERA用解析ソフト) OK
- SMI Method(三好 2008 PASJ Accept)
- 位相補償？(ラジオメーター？)
- ASTE(230GHz、345GHz、LO等改修で可能)
- ACA Phase up(機能あり)

脈々と開発実験を行っている事が活かせる
コミュニティの皆さんの知恵を結集する必要

武器が動作可能でも (Capability) 使用できるのか？ (using)

- 武器があっても運送部隊(司令官)の合意なくば運搬できず
- 武器があっても前線部隊(司令官)の合意なくば搭載できず
- 武器があっても戦略部隊(司令官)の合意なくば使用できず

合意形成急速に進展(9月中)

ASTEチーム

国際チーム (Doeleman、Mirabel)

メリット

- ASTE, ALMAグループとの共同研究
- 国際的なハード開発グループとの協力
- サブミリ波に明るくなる (ALMA時代見据え)
- 技術的にもフロンティア、**検討する事も多い**
(例 $4 \text{ GHz} / 345 \text{ GHz} = 200 \text{ MHz} / 22 \text{ GHz}$)
- 既存開発プロジェクトの向上 (Motiv、性能)
- 巨大プロジェクトの中の萌芽的研究
(cf 電波望遠鏡を作る 海部著、星の手帳93冬 躍進する電波天文学)
- **装置サイエンティスト育成**
(装置が切り開くサイエンス)

デメリット

- マンパワー、予算分散による既存プロ(VERA含む)への影響

(しかしながらきちんとグループを形成すれば科研費でまかなえる?)

日本のコミュニティとしてどうするべきか？

- 1、VERA、VSOP2、EAVN、ALMAやるべき事は目白押し
- 2、次期大型計画との兼ね合いは？
- 3、VLBA支援との比較は？(比較必要？)

実際にやりたい人はいるのか？

(やって欲しい人はたぶん多数)

(昨今のVLBIコミュニティにはサブミリ波出身の方も増えてきた？)

やりたい人は具体的に集まってきている。9月以降

(小山、本間、川口、宮崎、河野、三好他)

やれるか？(兼務多い)他には？

武器は国立天文台に集中、キックオフだけでも天文台で行うべきでは？

パラダイムシフト？

光結合推進室



サブミリ波VLBI推進室へ

ALMAと現有装置のバランス

近田義広

国立天文台

2002-07 NRO UM

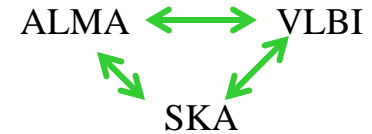
ALMAと現有装置（野辺山）

- これまで議論されてきた
- 「ALMA最優先、

そのほかは"best effort"(risk-share)」

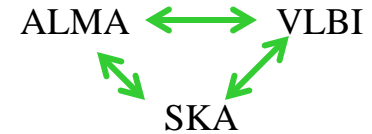
着想の良さで隙間をねらってやってきた
日本の天文学が、
大手スーパーの真向かいで
体力勝負の商売することになった。

考えるべきこと



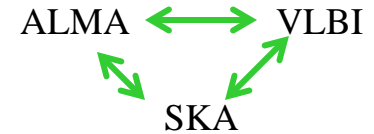
- 若手の養成
- グループ間の協力の推進
 - 国立天文台—大学
 - ALMA—VLBI
- 近未来(10—15年)の展望
 - SKA (Square Kilometer Array, 2016) は
数十GHz以下をすべてカバー？
 - 日本のVLBIの未来は？
 - ALMAと現有設備の関係を考えているだけでは完結しない。

若手の養成



- ALMAは2, 3年以内に全デザインを決定。あとは10年突っ走る。
- ALMAは今後十年間、**新しい着想を抑圧**する機構としても機能する。
- ですから、わたしたちは組織のどこかに、**着想を培養**できる場所を持っておく必要がある。

若手の養成



- 着想を培養できる場所を持つておく必要がある。
 - VLBIグループとの協力
 - 大学との協力
 - ASTE
 - 45m, NMA

VLBIコミュニティは？

- プロジェクト制、VERA, VSOP2, EAVN
- ALMA同様新しい着想を抑制する機構が働きつつある？（若干の若手除く）
- 光結合VLBI推進室は着想を培養できる場所？
 - VLBAシンポ、VERAUMでのこの発表を行う事ができるのは光結合推進室のおかげです。
- サブミリ波VLBIも**体力勝負**になるつつある。
（体制、国際協力）

まとめると(小山)

- プロジェクト制の中の萌芽的研究
 - 着想を培養するには→他のグループが鍵
 - ALMAとVLBI
 - VLBIにとっては光結合？
 - (少なくとも単純に看板の架け替えが良いといえない?)
- サブミリ波VLBI
 - SKA等の電波部将来プロジェクト候補のプレプロ？
 - ALMAにとってのVLBI(諸刃の剣)
 - プロジェクトをまたぐプロジェクト(電波部プロジェクト)

サブミリ波VLBIにおける光結合

- 光結合の高データレートはサブミリ波VLBIでこそ威力を発揮するのは自明
- 100Gbps@500GHz × 10%を媒体で？
- フリンジを検出するのも困難、トラブル多い
 - VSOPの初期と似ている？
 - サブミリ波VLBIでこそリアルタイムフリンジ重要では
(ASTE-APEX-ALMAのフリンジモニター)
- 光空間伝送(サブミリ望遠鏡は山の上)
- 基準信号(メーザー)共有(ASTE, APEX, ALMA)



APEX

ALMA

ASTE

定規

直線

長さ: 7.50 キロメートル

マウス ナビゲーション

Participating EXPReS Telescopes

Status of the e-EVN



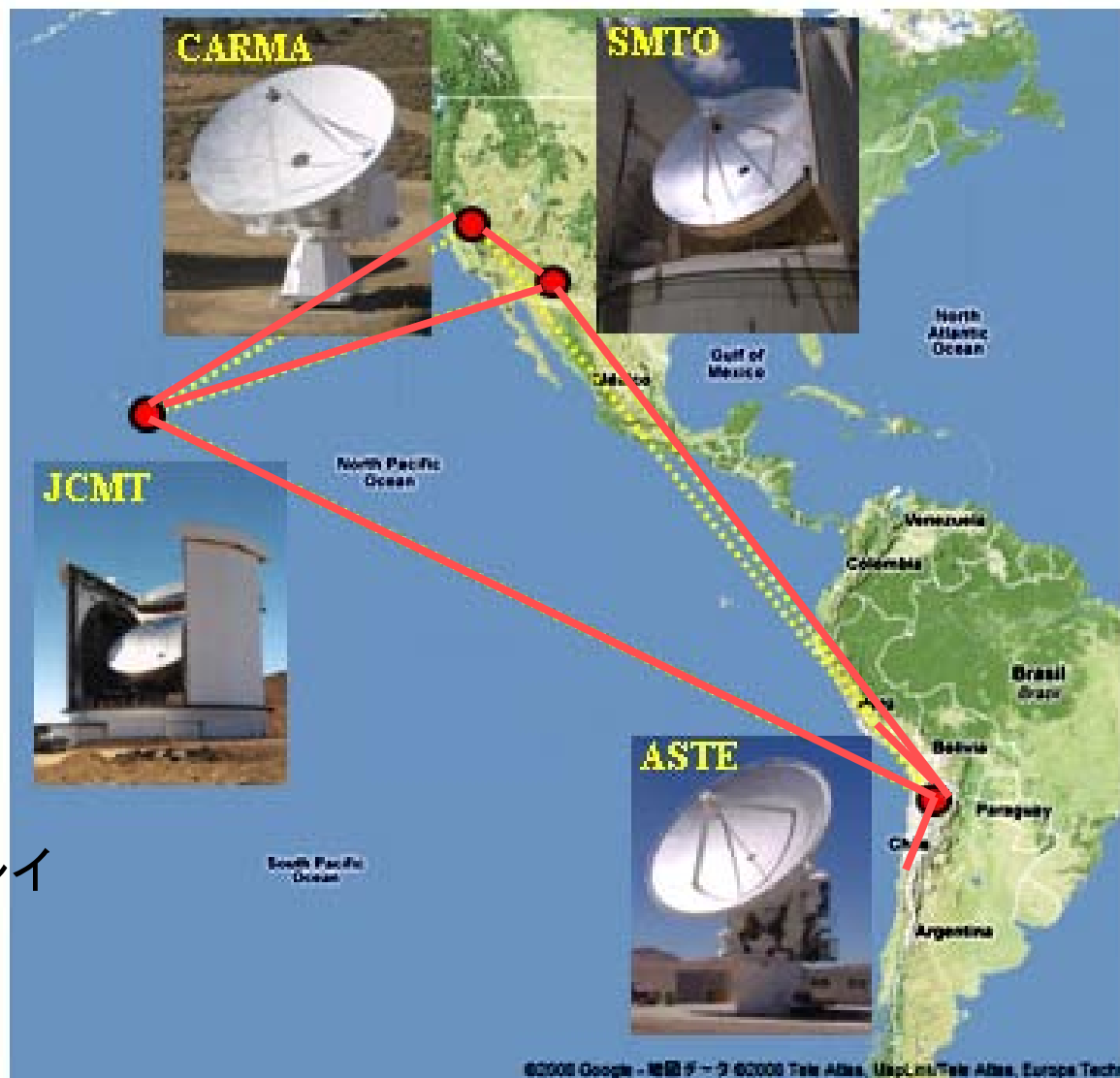
Network status as per 2007-08-21, image created by Paul Boven <boven@jive.nl>. Satellite image: Blue Marble Next Generation, courtesy of NASA Visible Earth (visibleearth.nasa.gov).



高感度光結合サブミリ波VLBI

- Sgr A* 以外
- M87、CenA
- LLAGN
- その他
- サイエンスドライブ

- 技術的観点
- 南米光結合サブミリ波アレイ
(SEST, ALMA, Peru、、)



パラダイムシフト

インフラとして

- 日本列島Gbit観測網構築→運用、保守
→東アジア、オーストラリア、サブミリ波望遠鏡へ

サイエンスとして

- VLAとVLBAの狭間、高感度、速報性
 - 星本体、星形成コア、スターバースト銀河、、
→実運用、プロポーザル化
 - 高感度サブミリVLBIの利点？
 - SKA？

今すぐの単純な看板の架け替えではなく、
まだ検討する事(楽しい事)が多数あると思う。(新しい着想の培養)
(ただしマンパワー等の問題は大きい)