

第9回『ブラックホール磁気圏勉強会』研究会

平成28年3月4日(金)

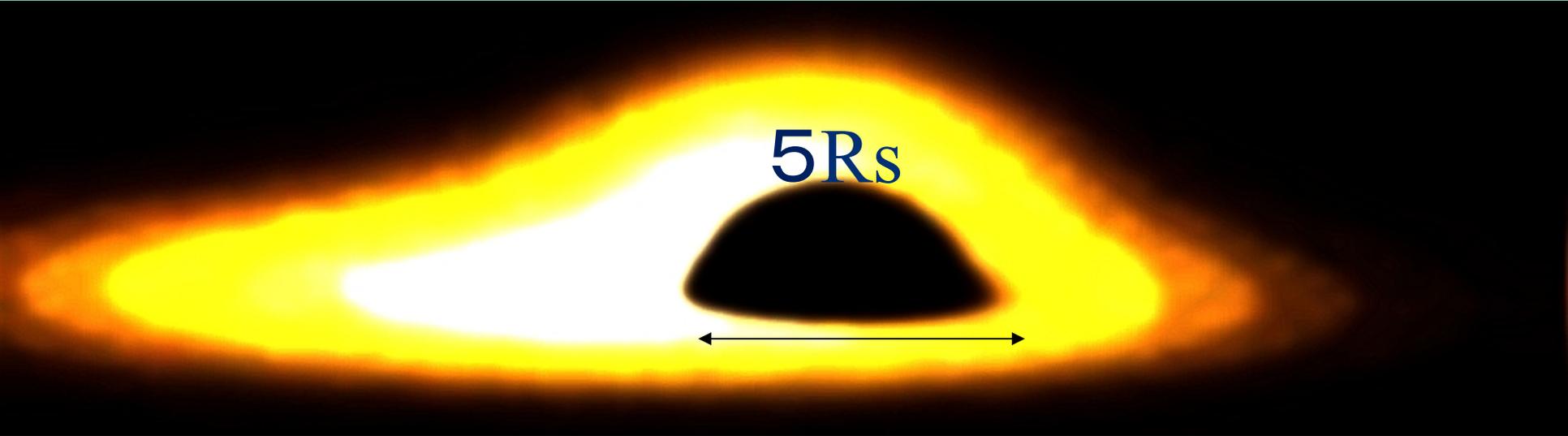
北海道夕張市

(サブミリでなく)ミリ波VLBIによる ブラックホール撮像はどれくらい可 能性があるか？

Speaker : 三好真(国立天文台)

Abstract : ブラックホール周辺像は周囲を取り巻くプラズマの影響があるため、散乱を受けてぼやけてしまう。この効果は電波では観測波長の自乗に依存するので波長の短いサブミリ波帯でのVLBI観測によればブラックホール周辺像は正しく撮像できる。では、一歩手前のミリ波では、どうであろうか？その観測可能性、直面する困難の解決法について述べる。

下) 理論的計算からのブラックホール像 (福江ら)



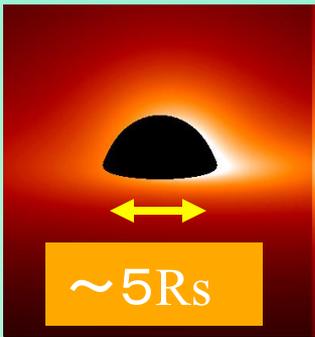
サブミリ波帯のVLBIなら、本当に見えるBH降着円盤
事象の地平線を示すブラックホール・シャドー

その形状はブラックホール・メトリックのみで決まる

⇒ミリ秒パルサー(=弱い重力場での相対論検証)をしのぐ

強重力場における一般相対論の直接観測検証場

図 : <http://quasar.cc.osaka-kyoiku.ac.jp/~fukue/>より。



距離が遠いと天体小さく見える（見かけの角度）。
 質量が大きいと、比例してブラックホール半径も大きくなる。両方の効果をかんがえると、見かけ上最も大きいブラックホールは**SgrA***の50マイクロ秒角。

ブラックホール名	質量(太陽の)	距離	ブラックホール半径？ (Schwarzschild半径)	その見かけ	黒い穴の差し渡し
架空のBH	1倍	3光年	3 km	0.02 マイクロ秒角	0.10マイクロ 秒角
NGC4258	3900万倍	2300万 光年	1.2×10^{11} km	0.11 マイクロ秒角	0.55マイクロ 秒角
M87	30億倍	5300万 光年	9.4×10^{13} km (6天文単位)	3.90 マイクロ秒角	19.5マイクロ 秒角
SgrA*	400万倍	2万4千 光年	1.1×10^{10} km	10 マイクロ秒角	50マイクロ 秒角

我々の銀河中心SgrA*が断然、
“見える”ブラックホールの候補。

(見かけの半径の大きさ、
1Rs=10マイクロ秒角)

だから、これまでも重要視され、
観測されてきた。

で、その結果はどうだったか？

SgrA*のセンチ波からミリ波のVLBI観測が過去に行われてきた。
波長が短くなると小さくなっていくが、黒い穴はまだみえない。

43GHz(波長7mm)

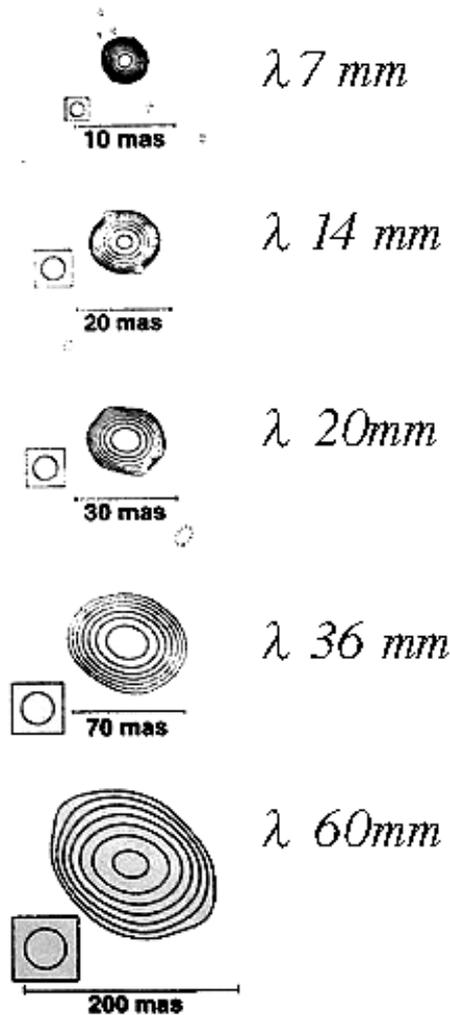


←東西に0.7mas→

核周プラズマによる電波散乱により、低い周波数では電波像がにじんでしまいます。

にじみ方は観測波長 λ^2 に比例して大きくなる。

VLBI images of the SgrA* from 5GHz to 43GHz (Lo et al '99)

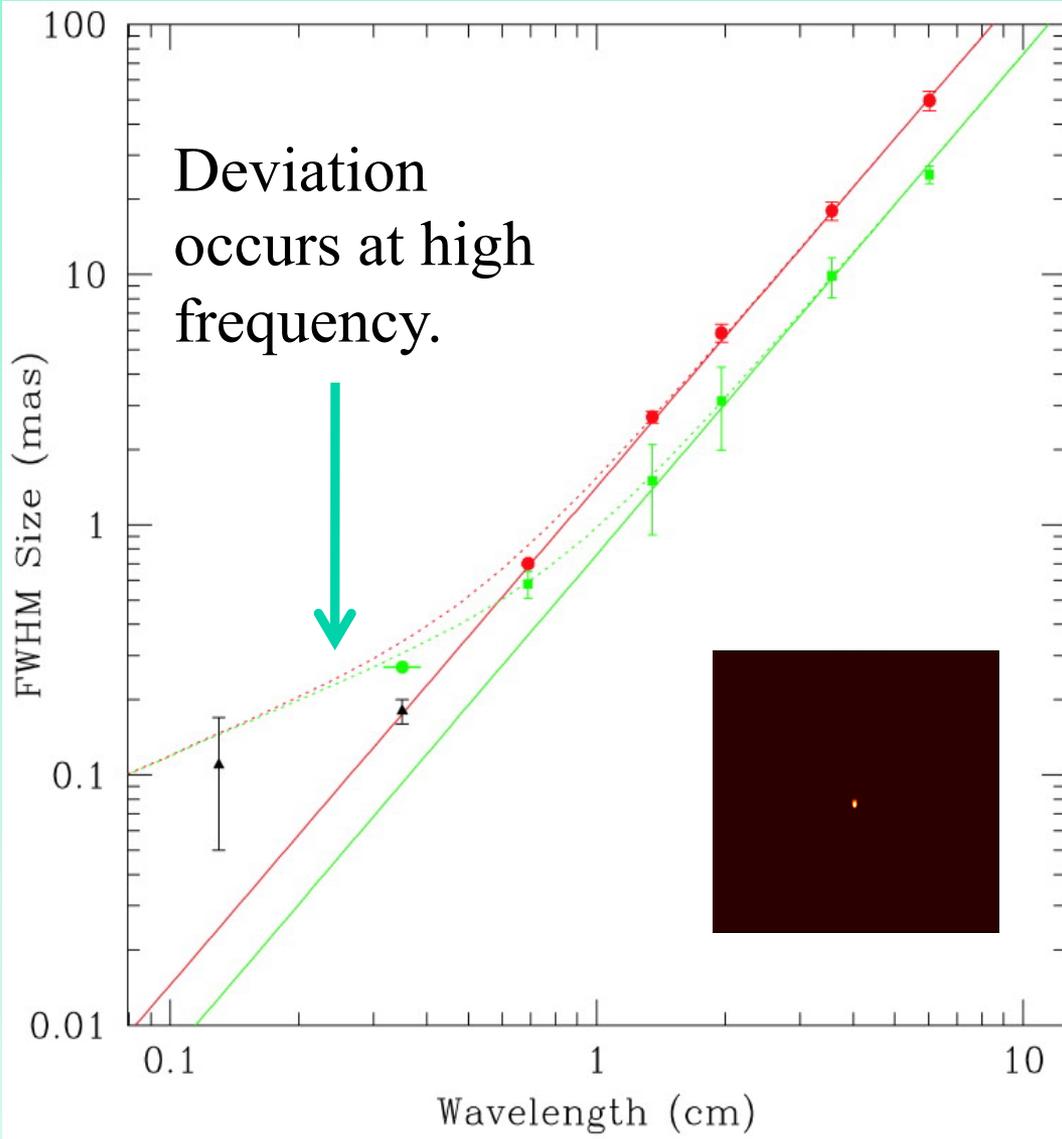


The intrinsic image is blurred and broadened because of scattering effect by circum-nuclear plasma.チャンネルが間違っていた！



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 \sim 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 $2 \text{ mJy beam}^{-1} \times (-2, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256)$.

VLBA, 86GHz (3.5mm)
Shen et al. (2004 or later)



Doelman et al. (2001)

**Apparent Size of
SgrA***

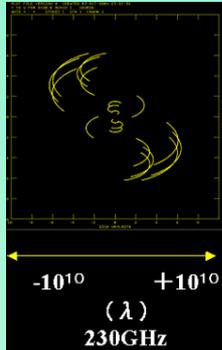
**Free from Scattering
Effects by Plasma
($\propto \lambda^2$)**

**At sub-mm wave
length !**

**So we can expect
observe the intrinsic
image at mm-, sub-
mm wave length.**

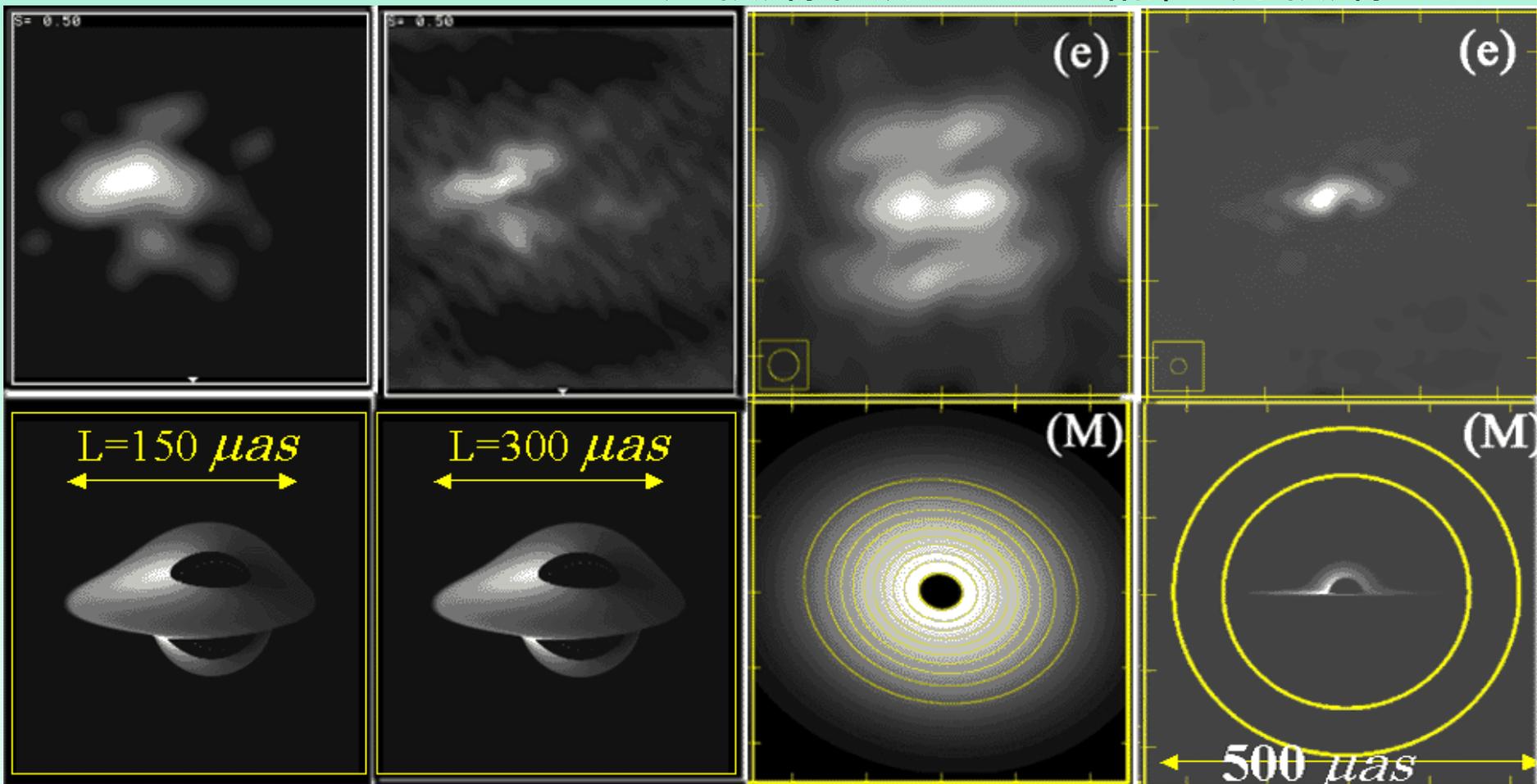
サブミリ波～THzが
ブラックホールの
見えるチャンネル。
(散乱なくなるから)
→高周波数のVLBI
をすればいい。

既存のサブミリ波望遠鏡でのVLBIでは、uvカバーに問題あり。「ブラックホール・ホライズン」の確認はかなり困難。



ハワイ,
CARMA,
ALMA,
SEST,
Huancayo
でのuvカバー

(上段) 像合成simulation結果 (下段) 像モデル

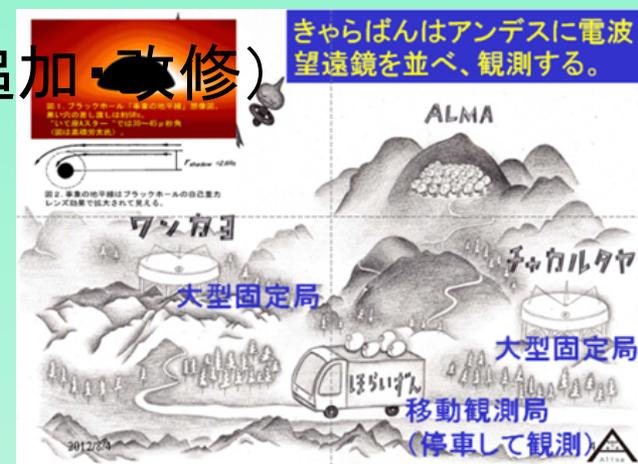


(MM他2004,2007)

現状のサブミリ波望遠鏡の配置では、uvカバー不足で撮像にならない。

2014年11月25日(4月小委員会提出後,修正・追加・改修)

キャラバン・サブミリ (Caravan-Submm)



大型固定局2, 移動VLBI局1の 3局の230GHz帯VLBIネットをアンデスに。**BH解像に不可欠な1~2千km程度の短基線を実現。**

日本の測地VLBIで実績ある移動VLBI法を応用して、移動局1局で数局分相当のuv面を埋める。

銀河系中心ブラックホールのホライズン、降着円盤の世界初の撮像検出を目指す。低コストでユニークな装置。

短基線によりサブミリ波帯メーザ観測も可能。多様な共同利用に展開できる。

三好 真(国立天文台)

2014年11月25日

* 本計画は今年発表された、学術会議 天文分科会の「天文学・宇宙物理学の将来計画報告」にも記載されている。

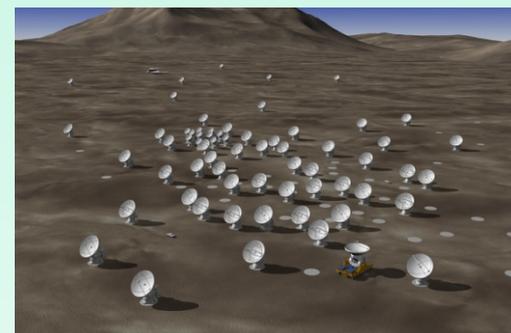
「きゃらばん・サブミリ」



ワンカイヨ観測所



チャカルタヤ観測所



ALMA観測所

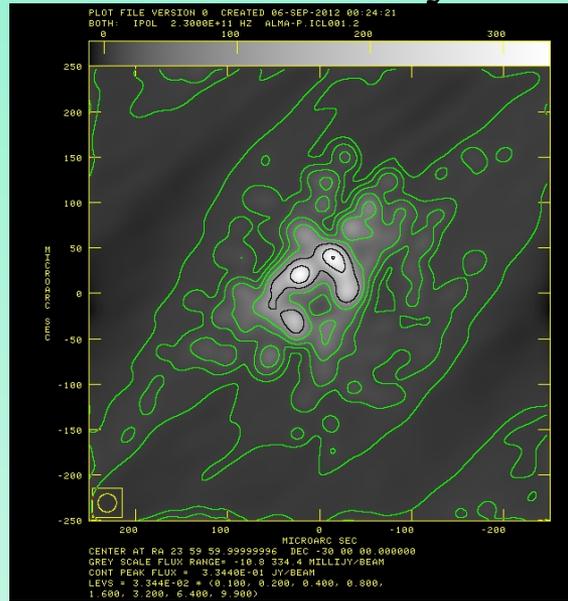
Phased ALMAの 有無で比較(1)

(MMなど2012)

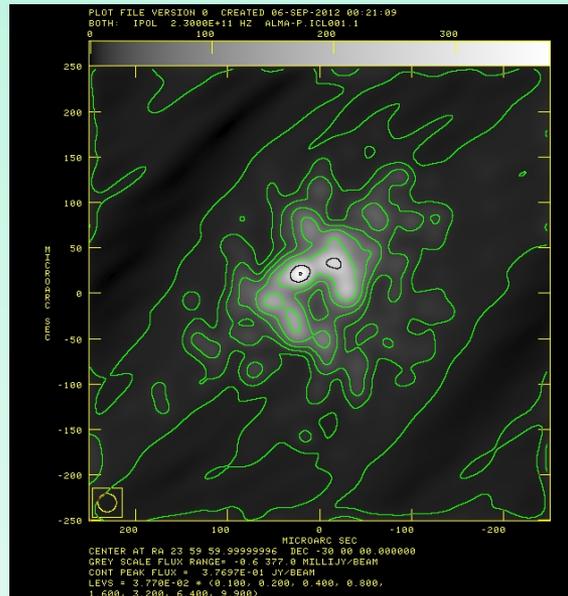
U-V面を埋めること
が重要。

像モデル:
降着円盤中心のみ明るい

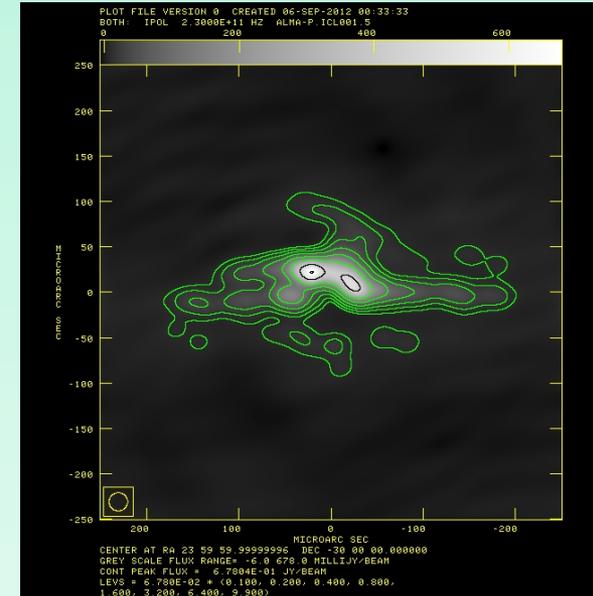
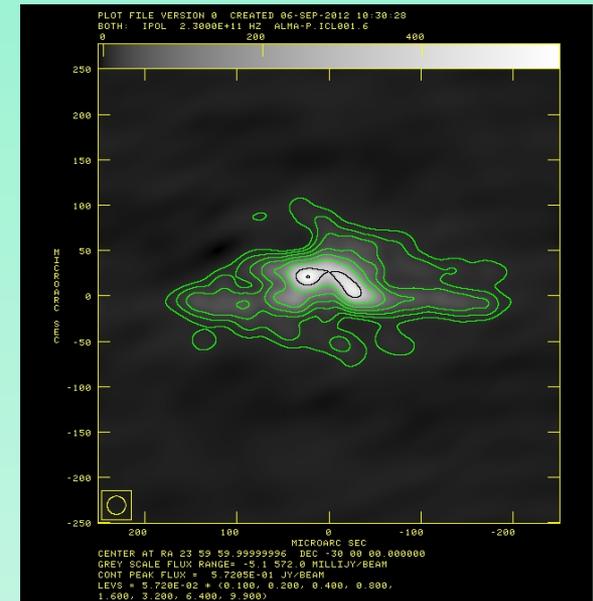
Without pALMA



With pALMA



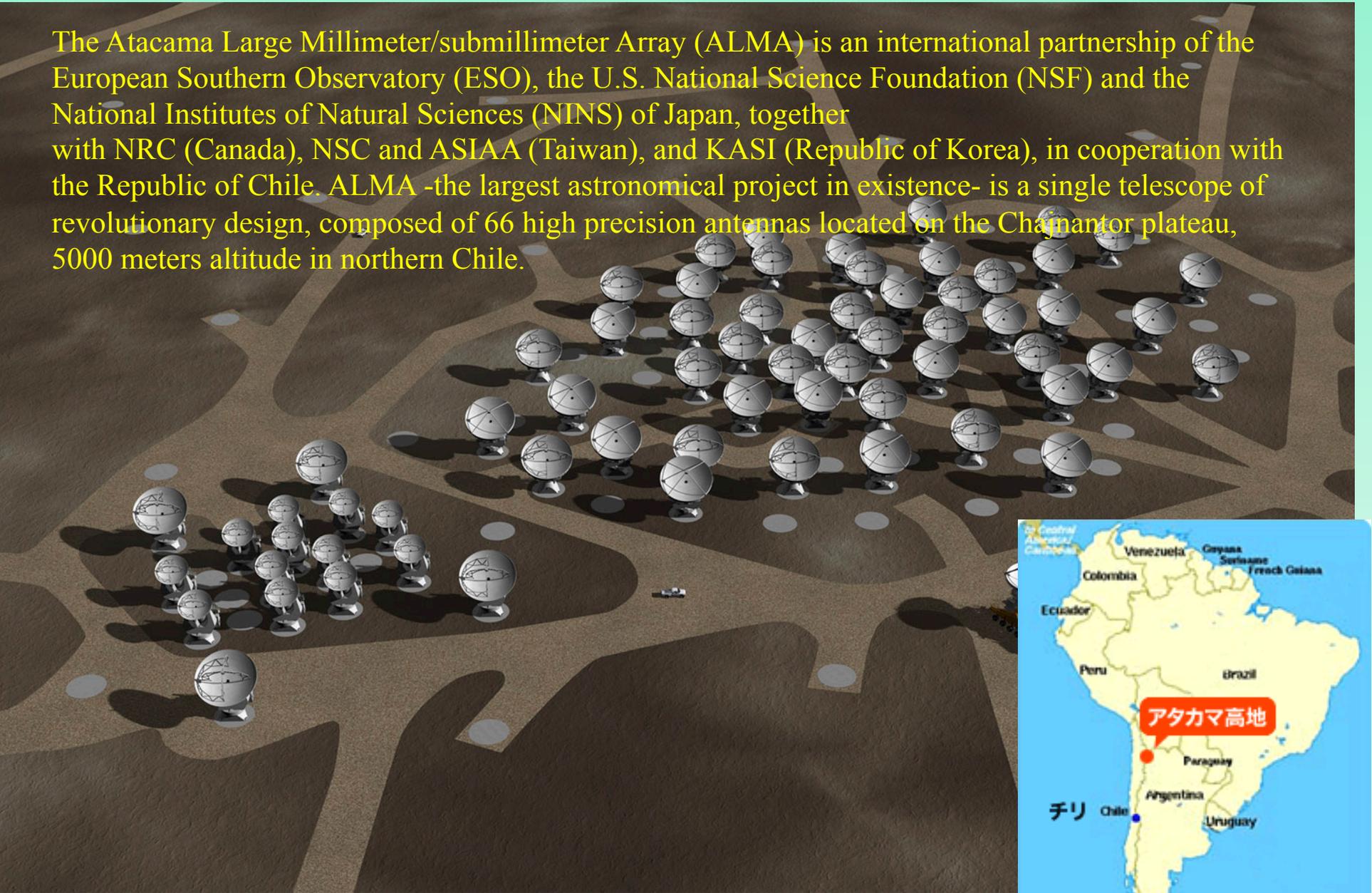
EHT&CARAVAN



EHT(超長基線構成)では、あたかもシャドーが見えたかのような像になるが、
間違った構造を示す。そこにCARVAN(短基線uv)が参加すれば、相当に改善される。

ALMAが稼働を始め、
次の観測セッション(Cy04)より
VLBIの観測も可能になった。

The Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) is an international partnership of the European Southern Observatory (ESO), the U.S. National Science Foundation (NSF) and the National Institutes of Natural Sciences (NINS) of Japan, together with NRC (Canada), NSC and ASIAA (Taiwan), and KASI (Republic of Korea), in cooperation with the Republic of Chile. ALMA -the largest astronomical project in existence- is a single telescope of revolutionary design, composed of 66 high precision antennas located on the Chajnantor plateau, 5000 meters altitude in northern Chile.



Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA)

ALMACy04: ALMAを含んだVLBI観測提案を受け付ける

Forthcoming Observations: May 19 – 25, 2016

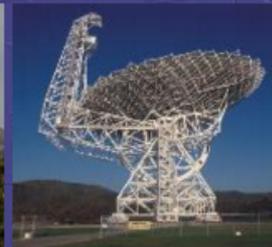
Last Observations: Sep. 24–26, 2015

Planned for 2016: May 19 – 25 (session 1), September 29 – October 03 (session 2)

Next Proposal Deadline : Feb. 1, 2016

for observations in Autumn 2016

Recent News



Clicking on the the telescope images will lead you to the web pages of the Institute that operates each telescope.

For comments which help to improve this page, please contact [H. Sturm](#) or [T.P. Krichbaum](#)

Recent developments/improvements for GMVA

last update: 06.01.2016

Jan. 2016 : GMVA proposal call now also including KVN and ALMA. LMT will participate on a best effort basis. Initial GMVA observations with ALMA are planned for Spring 2017.

3mm VLBI with ALMA is presently limited to sources with flux of at least 500 mJy.

Dec. 2015: ALMA issued a VLBI proposal pre-announcement, ALMA +GMVA VLBI observations could be proposed via the normal GMVA proposal chain, proposal deadline is February 1st, 2016. The same proposal has to be submitted to ALMA for the AO4 deadline in April 2016. Earliest 3mm VLBI observations with ALMA could happen in Spring 2017.

86GHzでSgrA*観測提案しています。

- 1) 形状を像合成で確認
- 2) あわよくば円盤振動を。

提案の筋

- 像simulation: 降着円盤があればその輪郭く
らいは把握できる。
- VERICA: データ較正を確認する方法を開発:
信頼できる像合成がミリ波VLBIでもできる。
- SMI(slit modulation imaging):
短期周期変化を検出する方法の開発。
uvカバーを均質にして影響を排除、QPOを画
像から検出できる。
→だから観測させてね。

8VLBA+GBT+E2+ALMA+LMT、 13局

Figure1. Imaging Simulations.

For SgrA* at 86 GHz

Thermal Noise Only

No Scattering Case

RIAF Disk Model

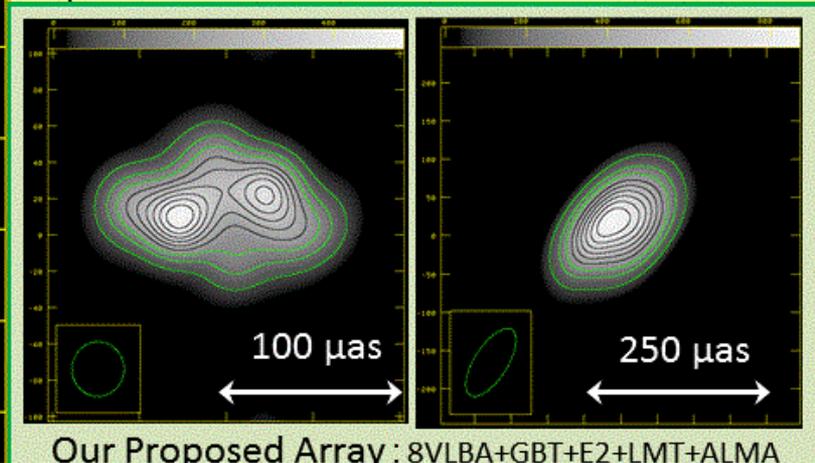
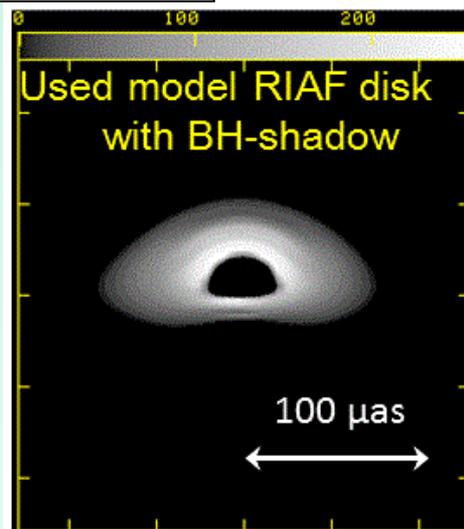
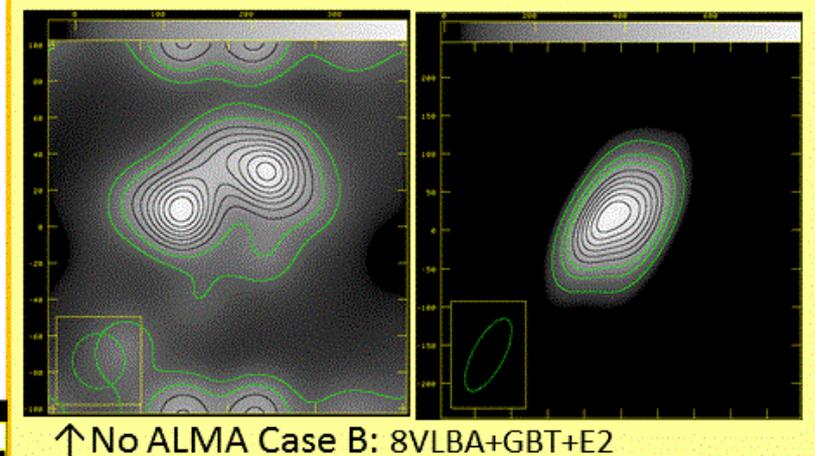
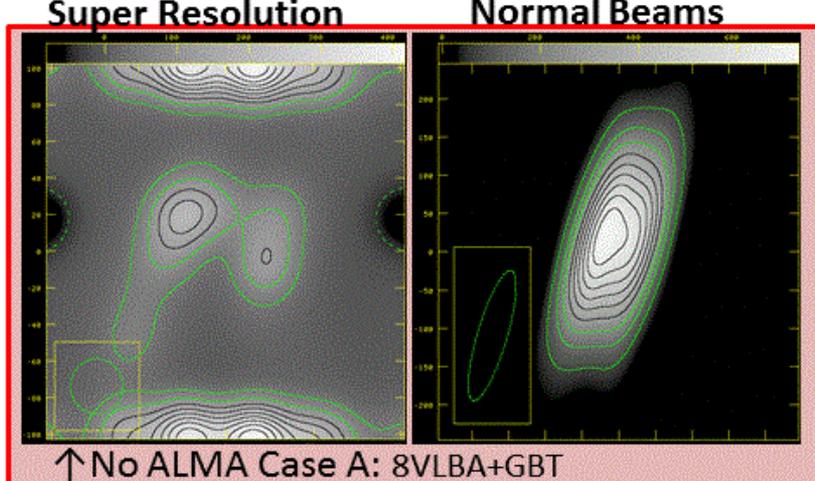
Flux Density 2 Jy

Restoring Beams are Normal ones

and Super Resolution (20 μas). If

calibrations are well performed, the

resolution is less than 100 μas .



提案の筋

- 像simulation: 降着円盤があればその輪郭く
らいは把握できる。
- VERICA: データ較正を確認する方法を開発:
信頼できる像合成がミリ波VLBIでもできる。
- SMI(slit modulation imaging):
短期周期変化を検出する方法の開発。
uvカバーを均質にして影響を排除、あれば
QPOを画像から検出できる。
→だから観測させてね。

「データ較正が (十分には)できない」

- SgrA*、ミリ波VLBIでは、較正ができないのでマップが難しい。という常識。
- SgrA*の構造はミリ波くらいでは(見え)ない、という常識。
- たぶんGCWS1998で形成されたのだろう。

**THE CENTRAL PARSECS OF THE GALAXY
GALACTIC CENTER WORKSHOP**

Proceedings of a meeting held at
Tucson, Arizona, USA
7-11 September, 1998

Edited by

Heino Falcke
Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn, Germany

Angela Cotera
*Steward Observatory, The University of Arizona, Tucson, Arizona, USA
SETI Institute, Mountain View, California, USA*

Wolfgang J. Duschl
*Institut für Theoretische Astrophysik, Heidelberg, Germany
Sonderforschungsbereich 328, Evolution of Galaxies, Universität Heidelberg
Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn, Germany*

Fulvio Melia
*Physics Department and Steward Observatory, The University of Arizona
Tucson, Arizona, USA*

and

Marcia J. Rieke
Steward Observatory, The University of Arizona, Tucson, Arizona, USA

VLBA Imaging at 7 mm and Linear Polarimetric Observations at 6 cm and 3 mm of Sgr A*

Geoffrey C. Bower and Heino Falcke

Max Planck Institut für Radioastronomie, Bonn, Germany

Don C. Backer and Melvyn Wright

Radio Astronomy Laboratory, UC Berkeley, Berkeley, CA

SgrA*のミリ波VLBIデータはデータ較正が十分できない (Bower 1998)

1) **The North-South resolution of the VLBA is inadequate to resolve the scattering size at 7mm.** The extreme southern declination of Sgr A* combined with the northern latitudes of the VLBA produces very poor North-South resolution. In Figure 2 we show the baselines on which we made detections to Sgr A*. The visibilities that contribute predominantly to the minor axis size are limited to three baselines, two of which involve the Brewster station, one of the VLBA's worst millimeter sites. The maximum North-South resolution of $\sim 100M\lambda$ on a single baseline is considerably smaller than the FWHM of the minor axis scattering size $\sim 190M\lambda$. In fact, the size scale of interest — the difference between the scattered and non-scattered minor axis sizes — is more than 10 times smaller than the beam size in that direction.

2) **Observations of Sgr A* with the VLBA are performed at very low elevation and are difficult to calibrate.** Variable atmospheric opacity

due to water vapor in the troposphere makes amplitude calibration particularly difficult at 7 mm. Atmospheric coherence times can be very short and variable, as well. These effects increase as $\sec z$ with increasing zenith angle, z . Further, *a priori* gain curves at low elevation with VLBA antennas are suspect. The Brewster antenna, which provides the two longest North-South baselines on Sgr A*, never gets above 13° elevation. Hence, it is always looking through at least 4.5 atmospheres. Transferring gains from a compact calibrator, J1730-13 or J1924-29, for example, can improve amplitude calibration but a substantial uncertainty remains due to the large difference in contemporaneous elevation. Amplitude self-calibration is not accurate, either, since the density of visibilities in the (u, v) plane is low.

One can consider the combined effect of the lack of resolution and difficulty in amplitude calibration by plotting the amplitudes as a function of the North-South spatial frequency v , after the amplitudes have been corrected for the East-West structure (Figure 3). If the North-South axis were unresolved, the residual amplitude would be unity. The considerable scatter in the data indicates

Higher frequency observations are plagued by the same problems of difficult calibration and poor North-South resolution. These are discussed in more detail by Doeleman et al. (1999) and Krichbaum et al. (1999).

データ較正できないと、
正しい撮像はできません。(当たり前)

- ではどうするかというと、
クロージャ位相(系統誤差は自動キャンセルされている)に対して

モデルフィットして、構造を推定する、というのが「対策」となっている。

- Bowerら(2004), Shenら(2005)ともにクロージャへのモデルフィットでSgrA*のサイズを求めている。

- **これは撮像じゃない！**

of a complex structure. Closure phase Φ_{ABC} of a triangle composed of antennas A, B, and C is defined as follows.

$$\Phi_{ABC} \equiv \theta_{AB}^{obs} + \theta_{BC}^{obs} + \theta_{CA}^{obs}$$

where, $\theta_{AB}^{obs} = \theta_{AB} + (\phi_A - \phi_B)$, $\theta_{BC}^{obs} = \theta_{BC} + (\phi_B - \phi_C)$, and $\theta_{CA}^{obs} = \theta_{CA} + (\phi_C - \phi_A)$. θ_{XY}^{obs} is the observed fringe phase of the baseline between stations X and Y. ϕ_X is antenna based phase error. θ_{XY} is the intrinsic phase due to the observed source structure. If we substitute these in the equation,

$$\begin{aligned}\Phi_{ABC} &= \theta_{AB}^{obs} + \theta_{BC}^{obs} + \theta_{CA}^{obs} \\ &= \theta_{AB} + (\phi_A - \phi_B) + \theta_{BC} + (\phi_B - \phi_C) + \theta_{CA} + (\phi_C - \phi_A) \\ &= \theta_{AB} + \theta_{BC} + \theta_{CA}\end{aligned}$$

In the closure phase Φ_{ABC} , the antenna based phase errors are canceled, and the value of Φ_{ABC} is defined only by the phases due to the structure of the observed source. (Noted that a baseline based error, if such exists, is not canceled). The closure phase is an observable quantity, totally free from instrumental delay or phase error at respective antennas, and is defined only by the structure of the ob-

日経サイエンス 2015年12月号

特集：一般相対論100年

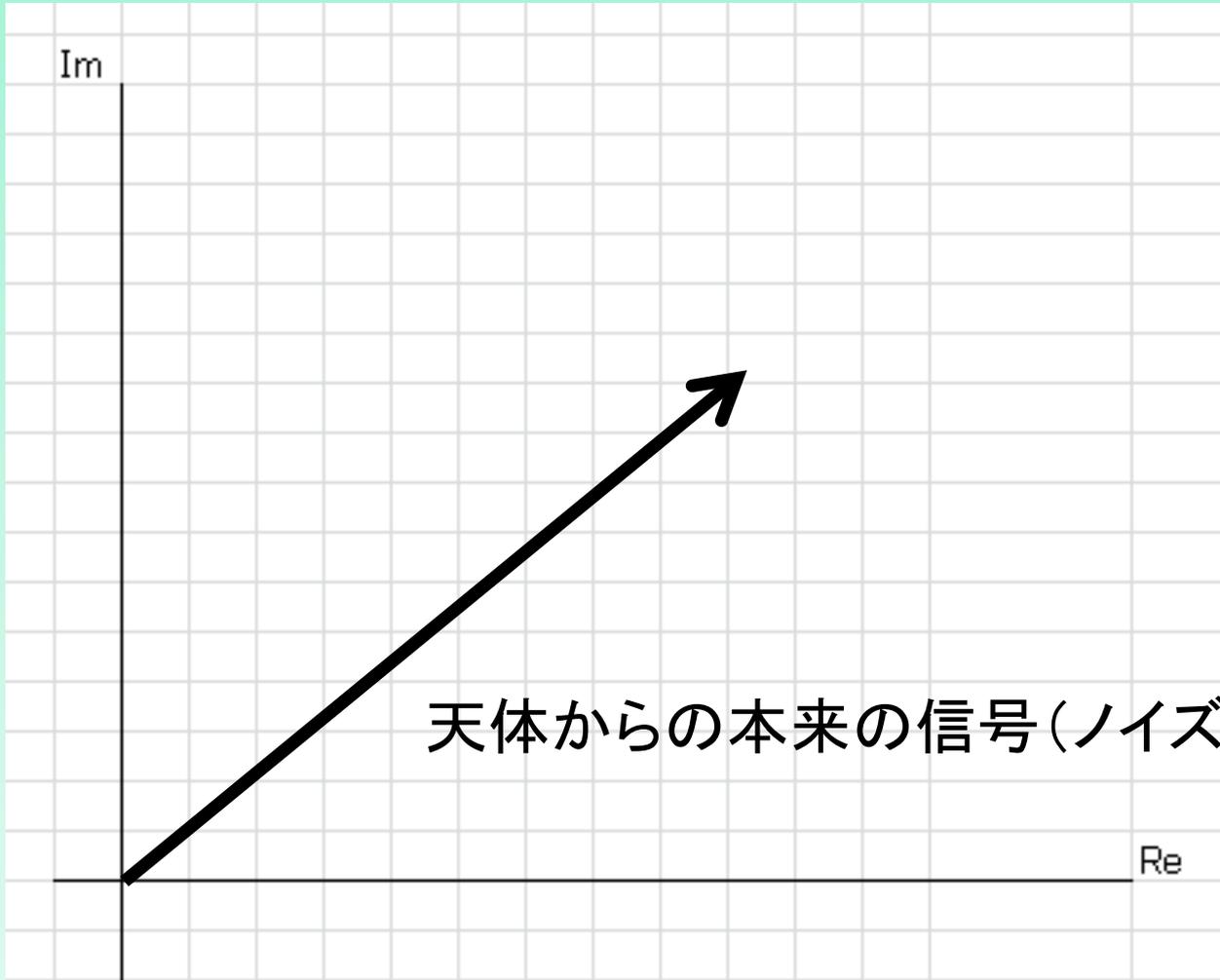
ブラックホールで一般相対論を検証

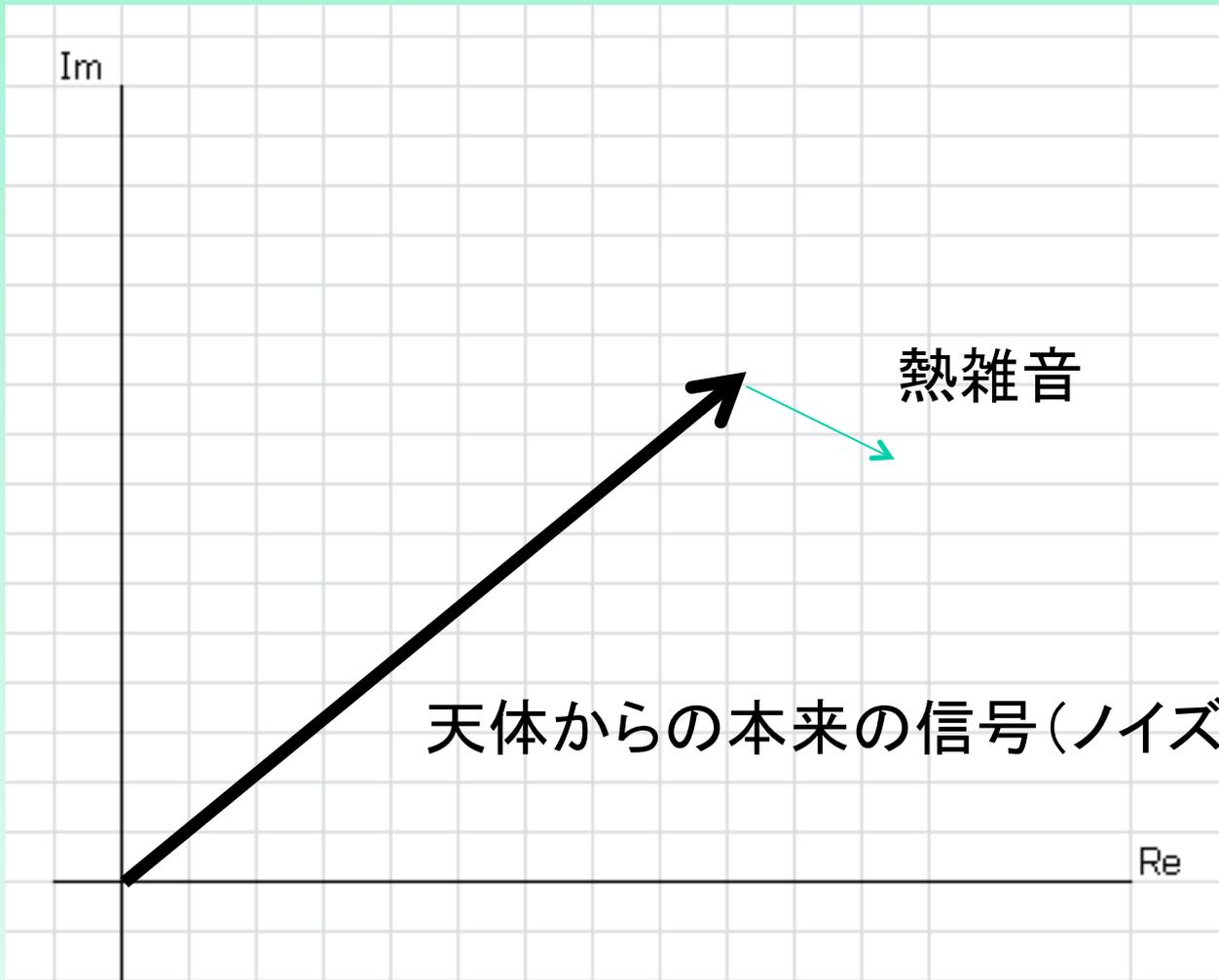
D. サルティス(アリゾナ大学) S. S.ドールマン(マサチューセッツ工科大学)

サブミリ波帯でも
同じ事情：
「クロージャー位相を
使って調べる」、
とか書いてある。



でも、我々は較正をverifyする
方法を見つけてあります。



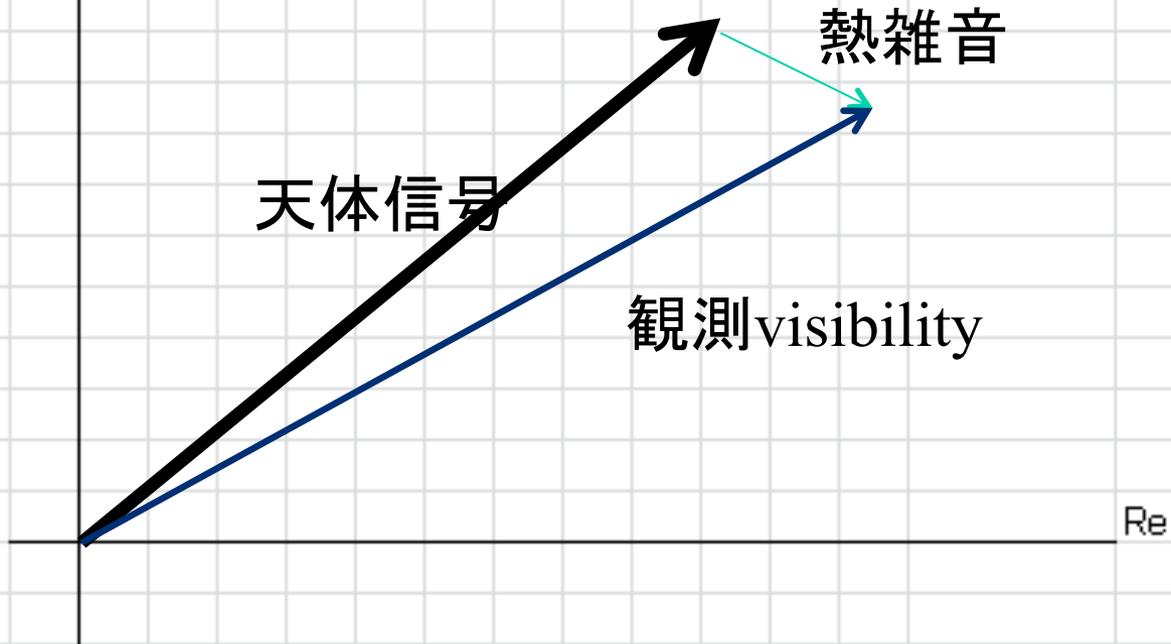


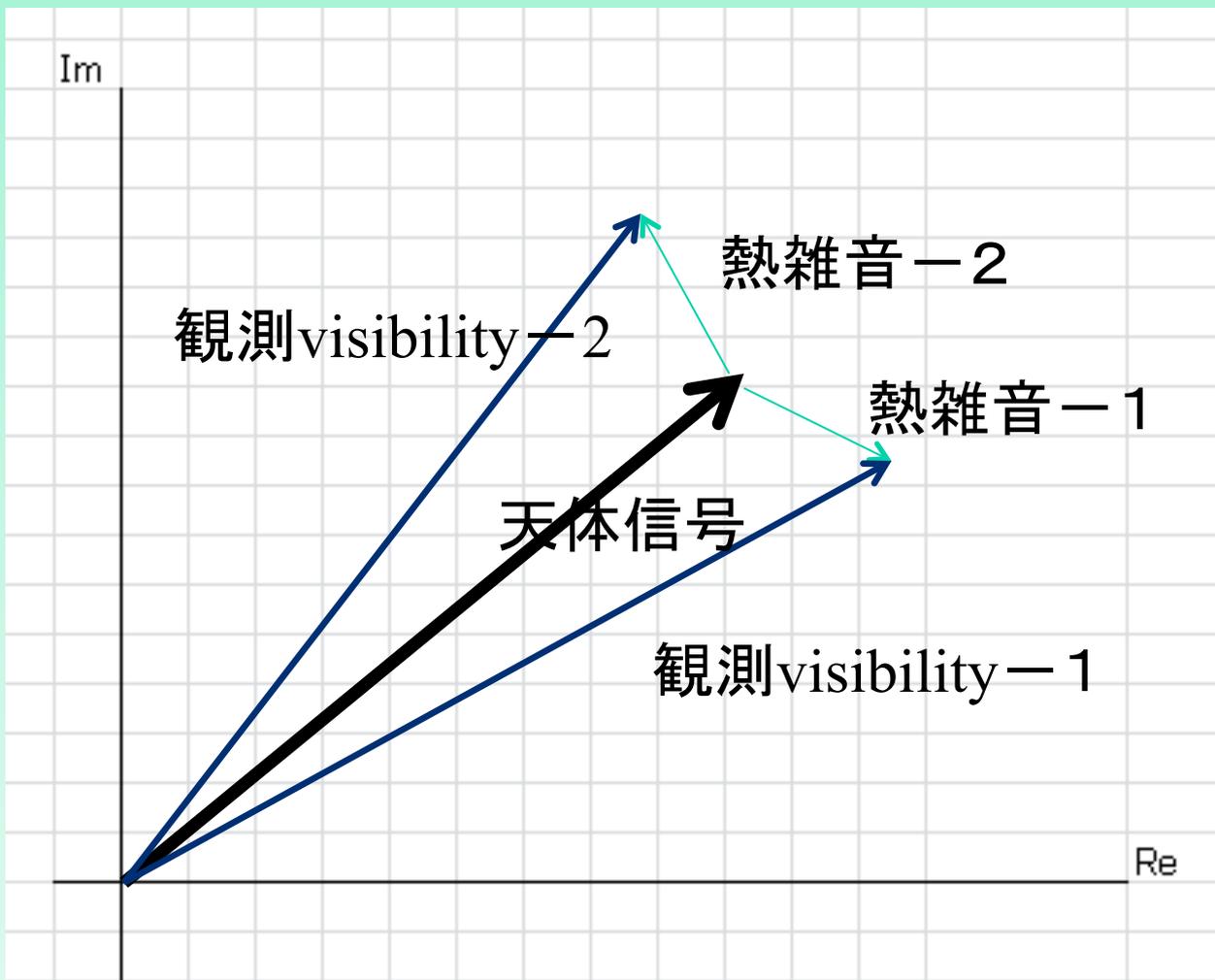
天体からの本来の信号(ノイズゼロ)

熱雑音

Im

観測される(系統誤差のない)visibility
= 天体からの本来の信号(ノイズゼロ) + 熱雑音





位相の較正についておかしい結果ではない、を言う方法：
CH間の位相差の分布をみる
(位相差はゼロを平均とする或る分布をする



IF間位相差分布の例

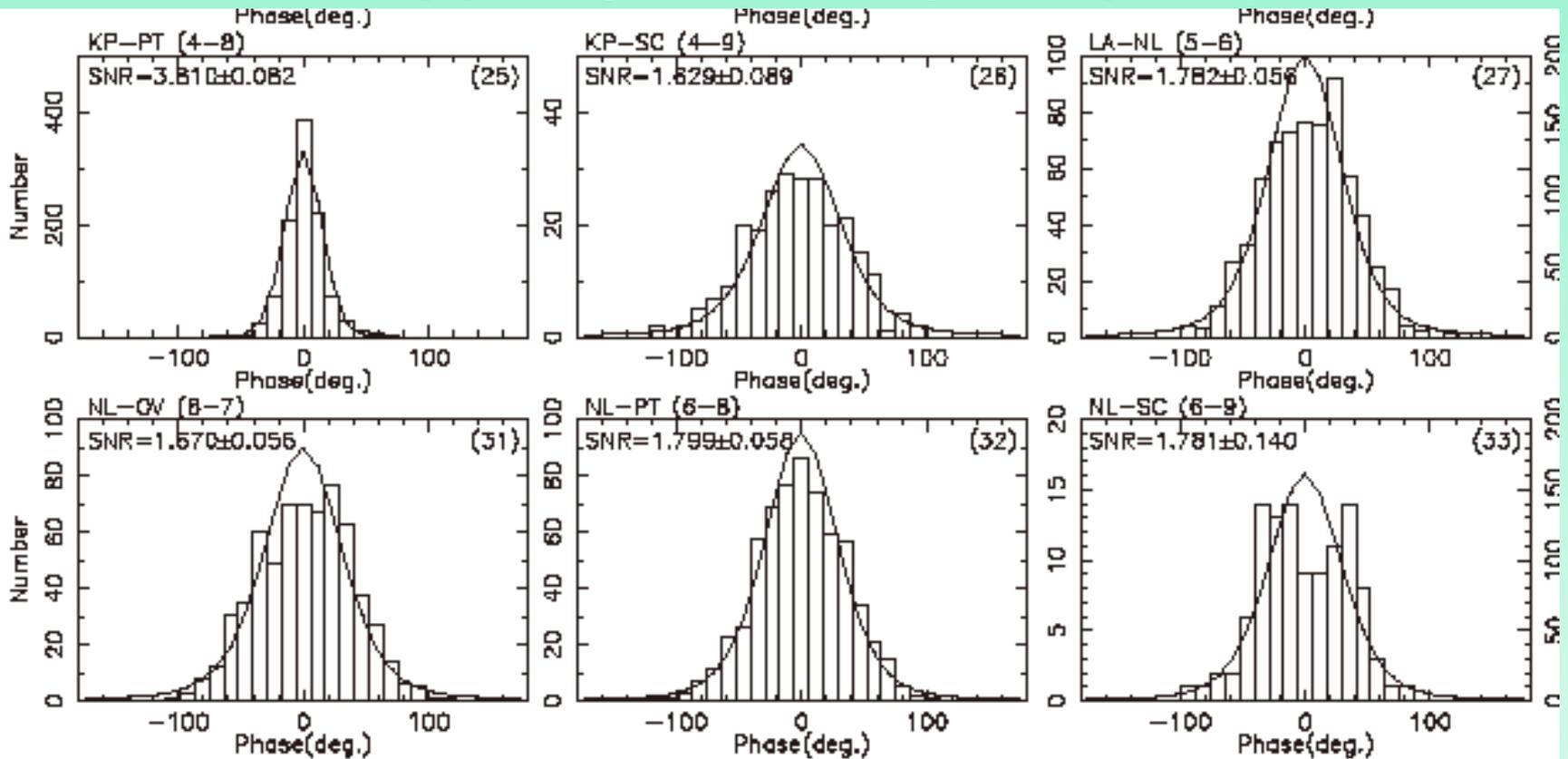
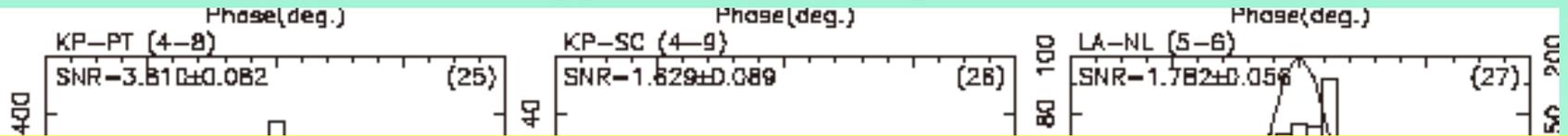


Fig. 8. Histogram of phase differences of visibility
Miyoshiら2011から

同一観測時刻・同一基線の異なるIFデータ間で校正visibilityデータの差をとった。
位相差分布は熱雑音でのそれと矛盾しない:位相較正に誤りはない(はず)。

IF間位相差分布の例



長基線 (>5千km) の位相の振る舞いから、これは熱雑音ではなく、信号を含んでいることが明らかになった。

低SNRのデータ(長基線)を活かし、これまで(=1mas)にない高分解能を達成、像合成している。

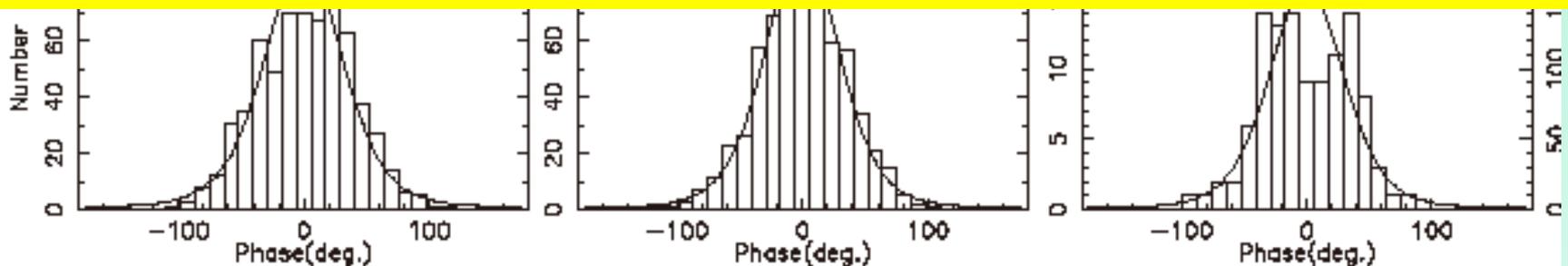
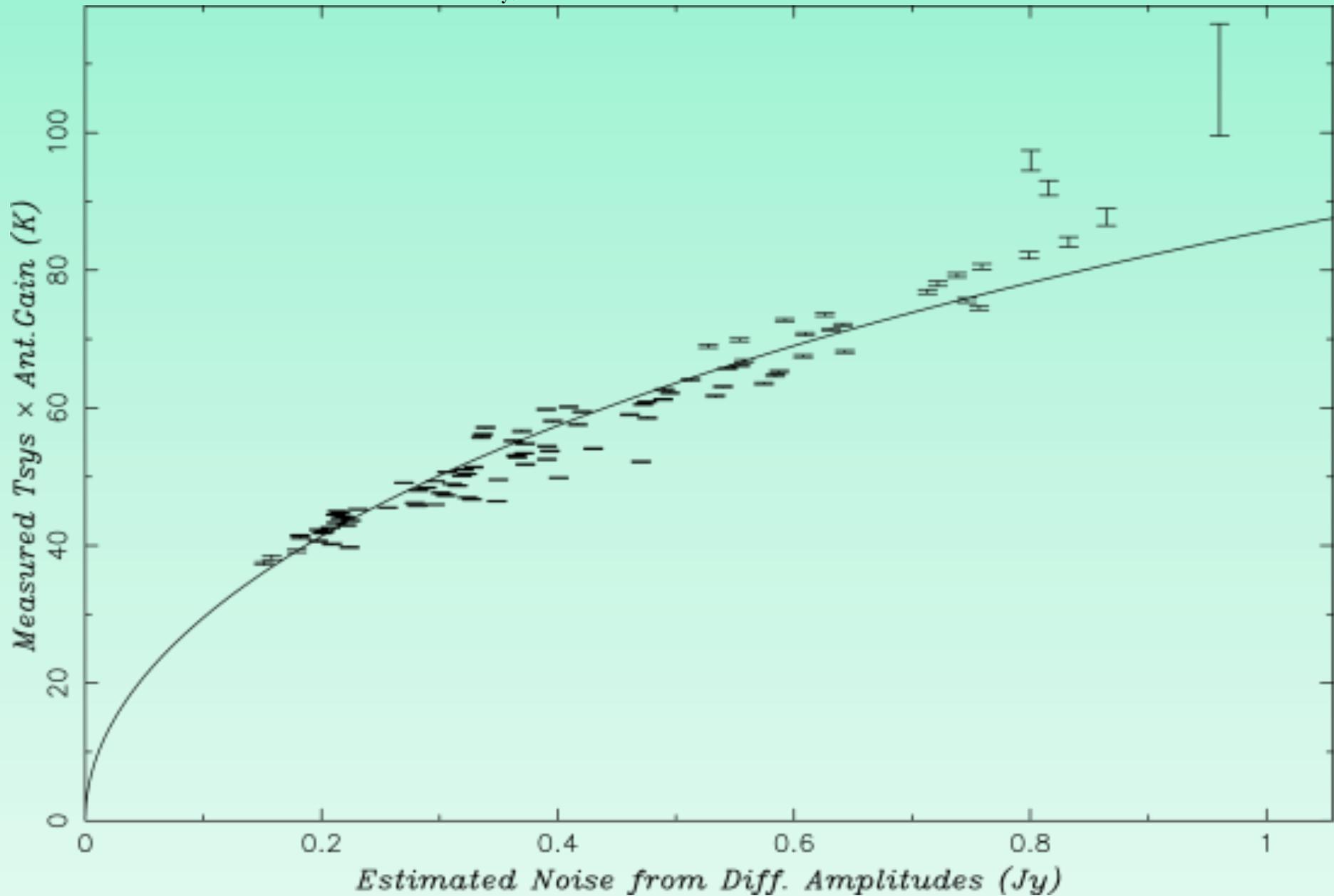


Fig. 8. Histogram of phase differences of visibility
Miyoshiら2011から

同一観測時刻・同一基線の異なるIFデータ間で較正visibilityデータの差をとった。
位相差分布は熱雑音でのそれと矛盾しない: 位相較正に誤りはない(はず)。

T-3. Estimated Noise & Measured $T_{\text{sys}} * \text{Gain}$



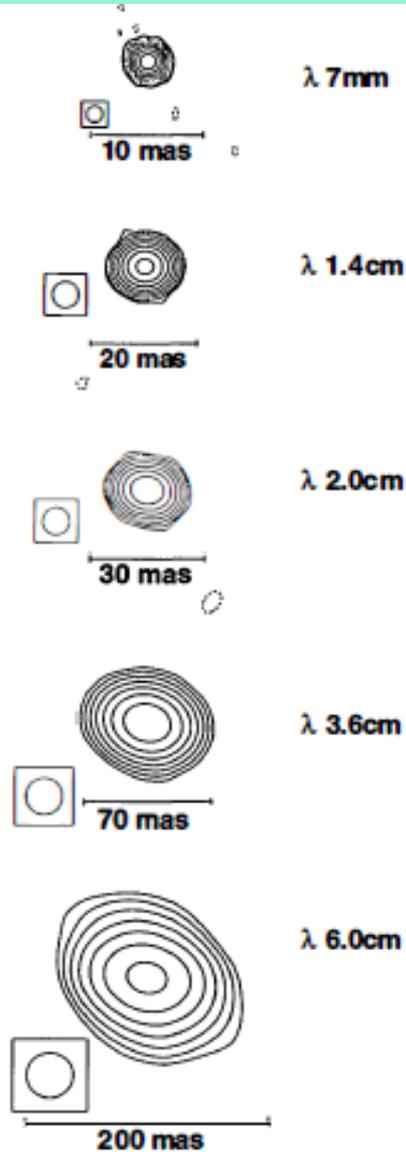


Figure 3. VLBA images of Sgr A* at wavelengths 6.0, 3.6, 2.0, 1.35 cm and 7 mm made with DIFMAP. These images are smoothed to a circular beam of FWHM = $2.62 \lambda_{\text{cm}}^{1.5}$ mas as shown on the left-bottom corner on each image. At 7 mm, FWHM beam = 1.5 mas \sim mean synthesis beam size; and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

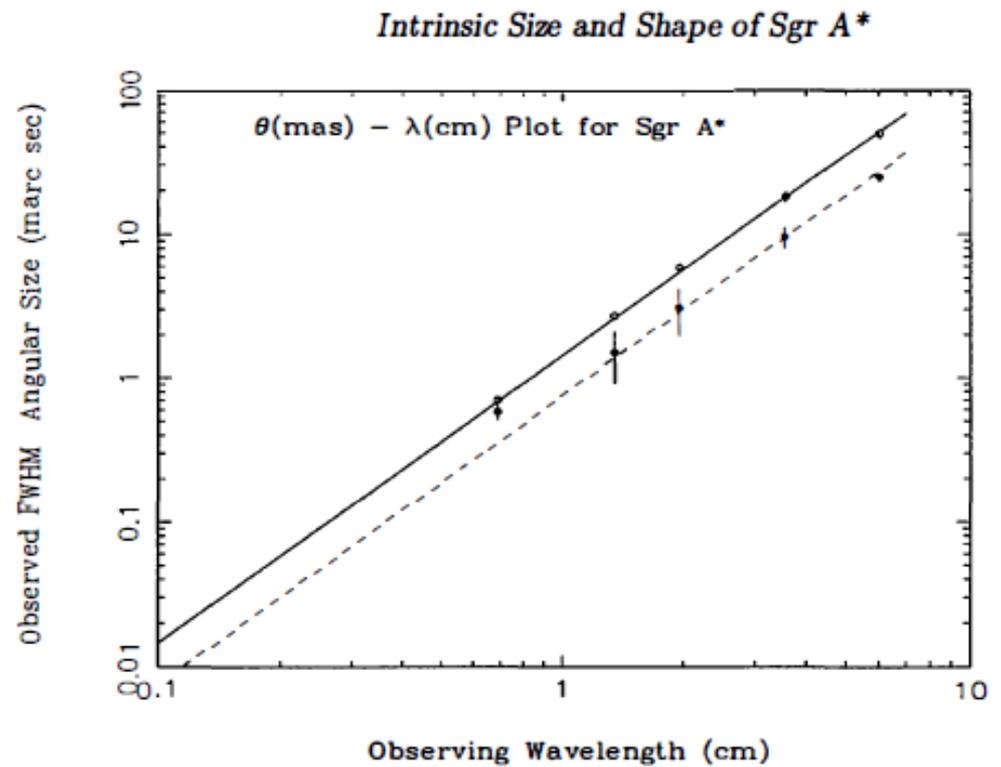


Figure 2. A log-log plot of measured (FWHM) source size versus observing wavelength for Sgr A* (7- 14 February 1997). The solid line represents a $1.43 \lambda^{1.99}$ fit to the major axis sizes (open circles), while the dashed line a $0.76 \lambda^{2.0}$ fit to the minor axis sizes (filled circles).

散乱で像はぼけている、
という常識(Lo1998)

8VLBA+GBT+E2+ALMA+LMT、 13局

Figure1. Imaging Simulations.

For SgrA* at 86 GHz

Thermal Noise Only

No Scattering Case

RIAF Disk Model

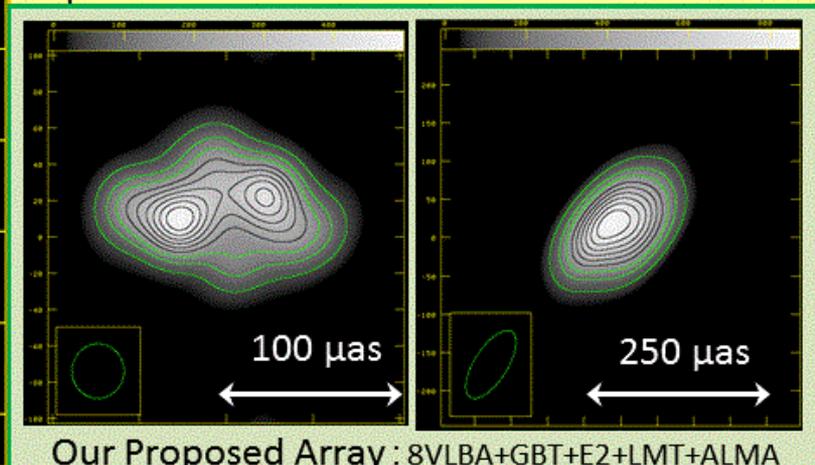
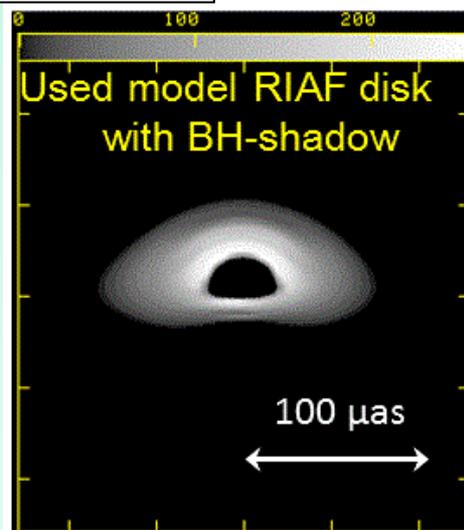
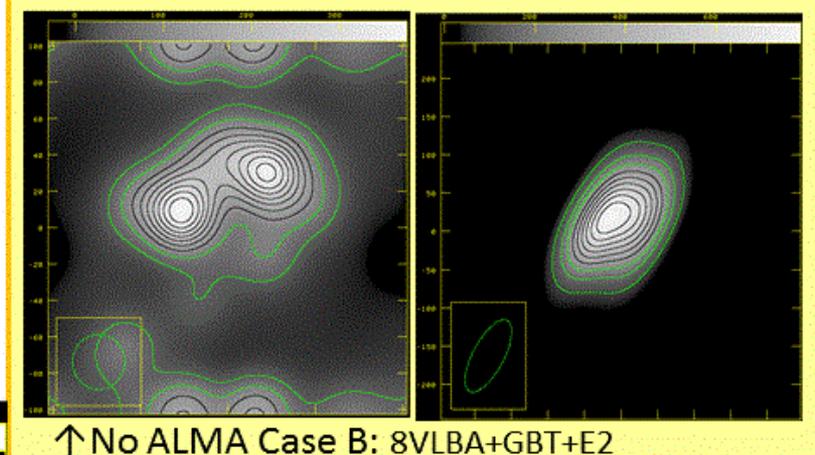
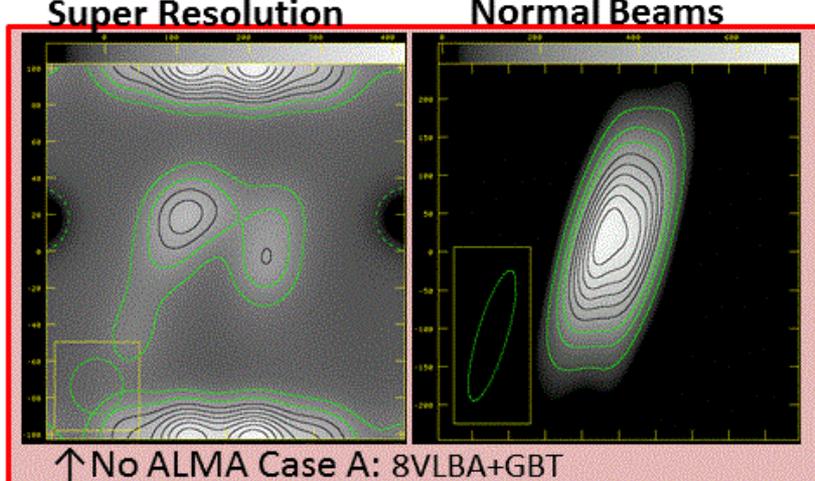
Flux Density 2 Jy

Restoring Beams are Normal ones

and Super Resolution (20 μas). If

calibrations are well performed, the

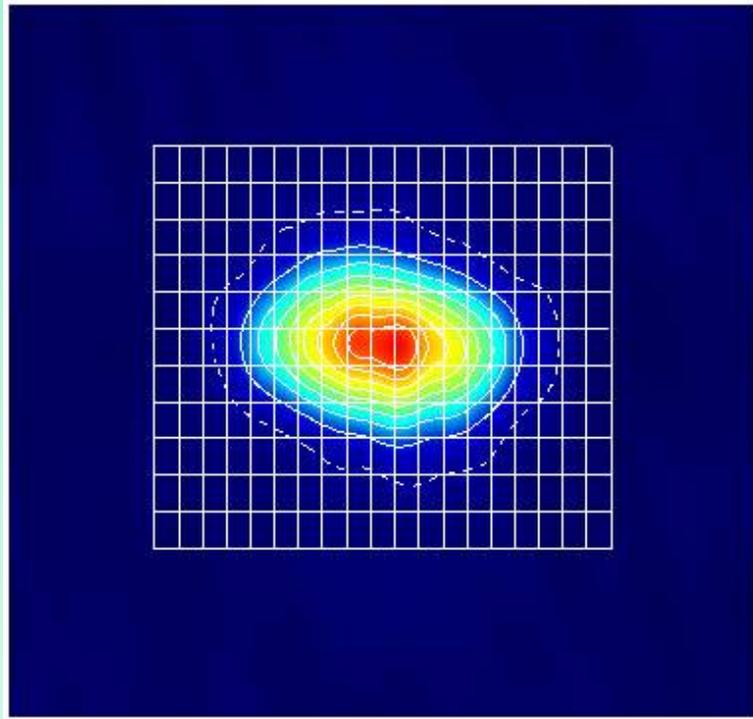
resolution is less than 100 μas .



提案の筋

- 像simulation: 降着円盤があればその輪郭く
らいは把握できる。
- VERICA: データ較正を確認する方法を開発:
信頼できる像合成がミリ波VLBIでもできる。
- SMI(slit modulation imaging):
短期周期変化を検出する方法の開発。
uvカバーを均質にして影響を排除、QPOを画
像から検出できる。
→だから観測させてね。

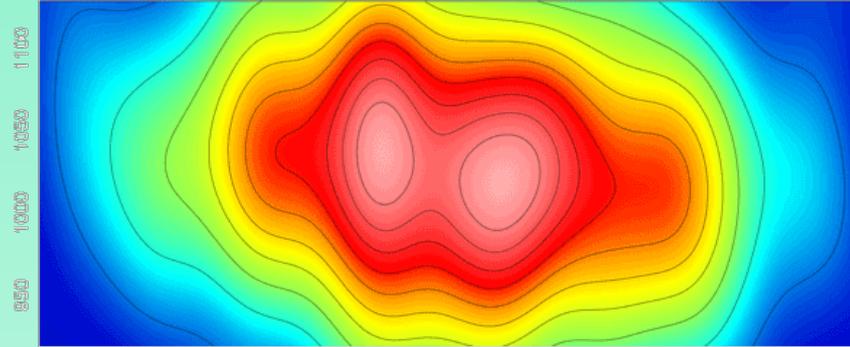
「銀河中心ブラックホールSgrA*の円盤振動」



SgrA*のVLBA43GHzにおける像
細分化して各部分の強度の時間変化
を調べてみよう(2004年暮れ)。。。。

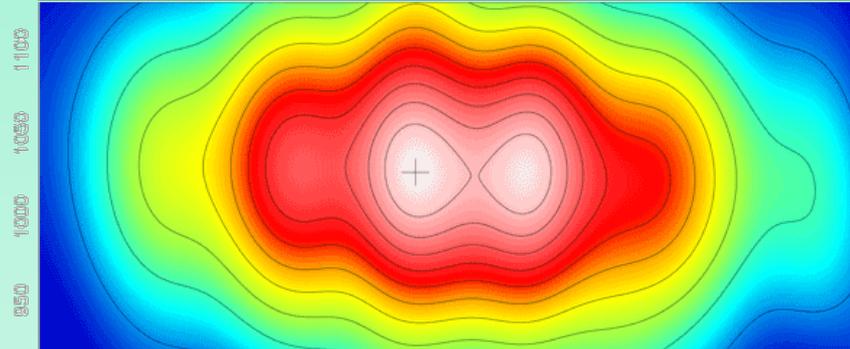
三好 真
小山友明
加藤成晃
(国立天文台)
高橋 芳太
(苫小牧高専)
Z. Shen
(上海天文台)

SMI(Ndiv=8)
P=16.8min
m=1



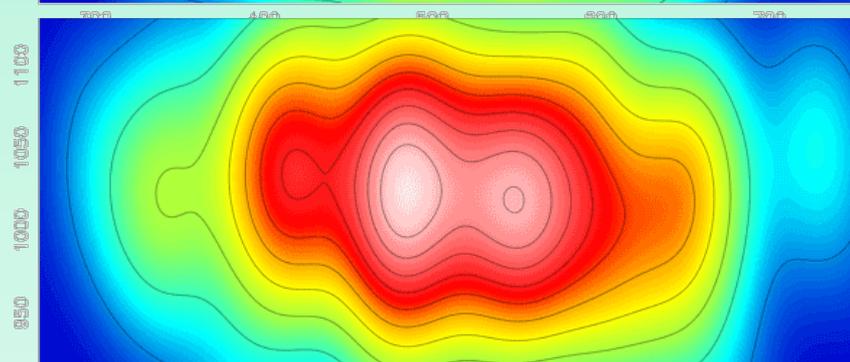
幾つかの
周期では
変動模様
に特徴がある。

P=22.2min
m=1
(反対回り)



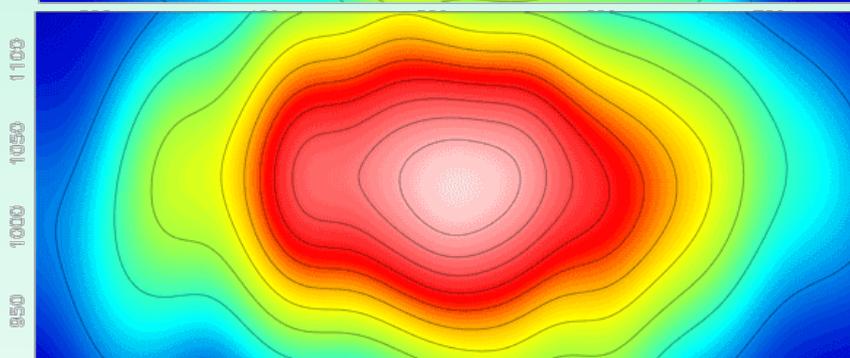
周期
は整数比に
3:4:6:10

P=31.35min
m=3



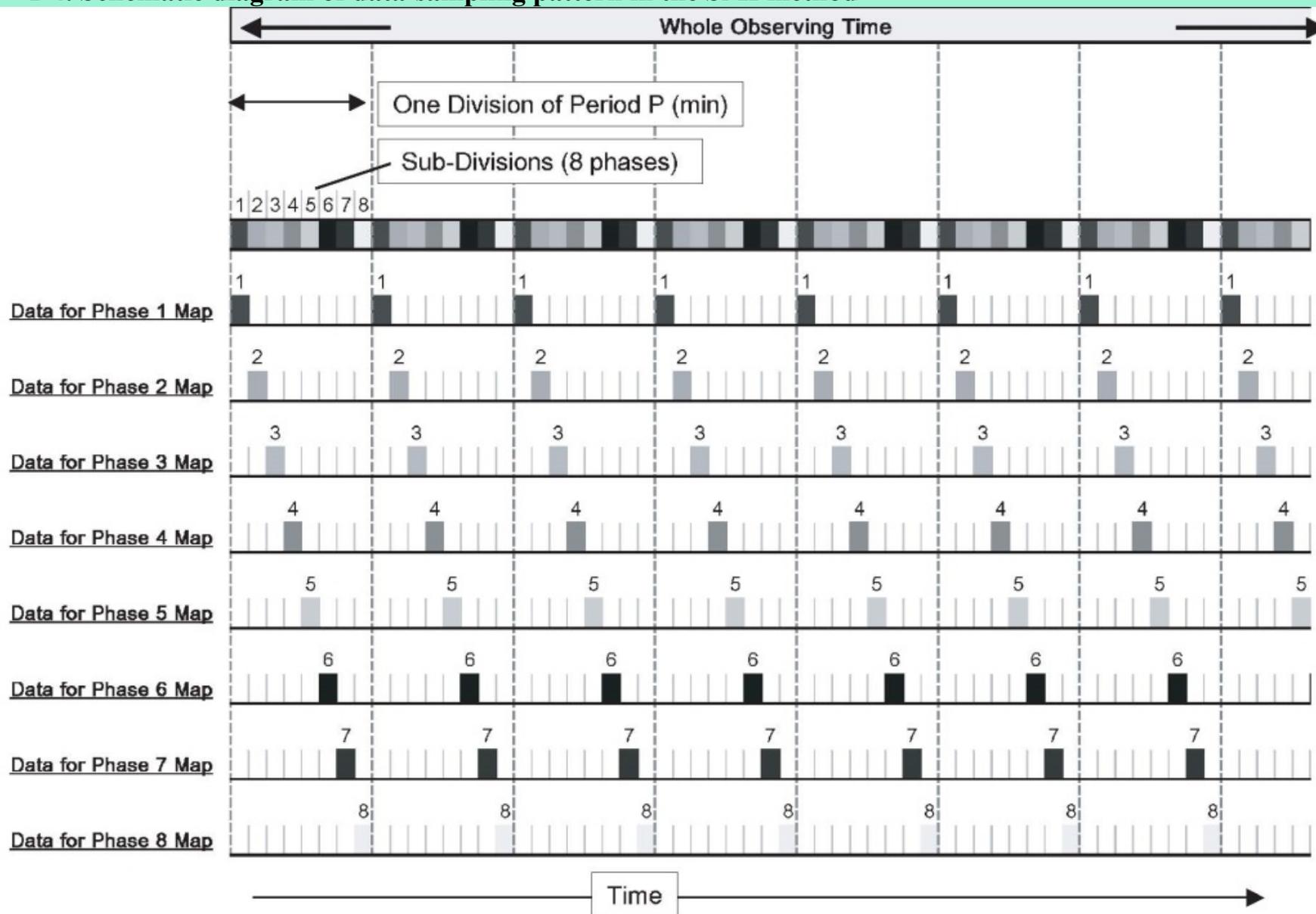
円盤振動理論
によると、
400万質量
spin0.4になる。

P=56.35min
中心部分が
明滅



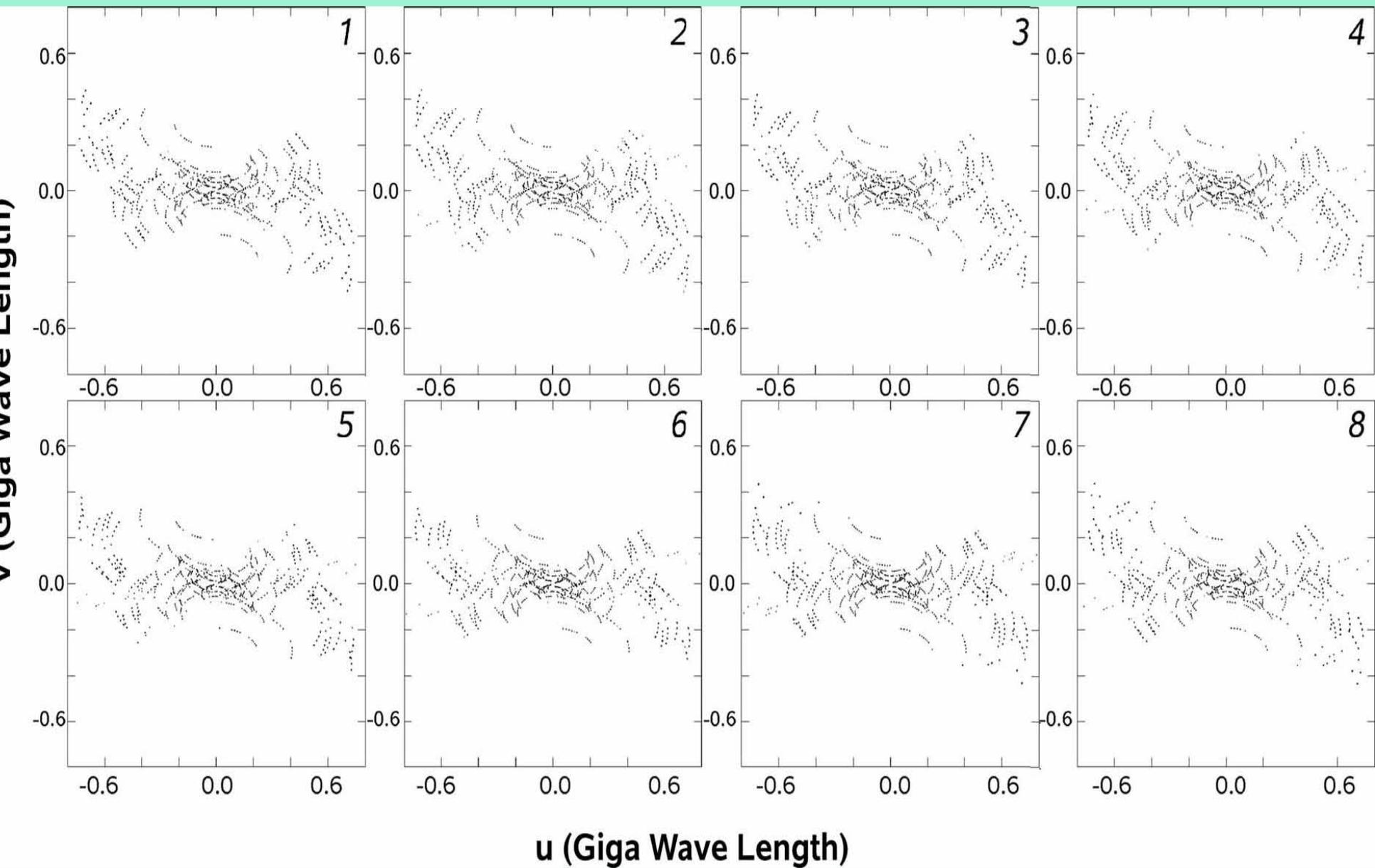
円盤振動の観
測成功！
(2006年暮れ)

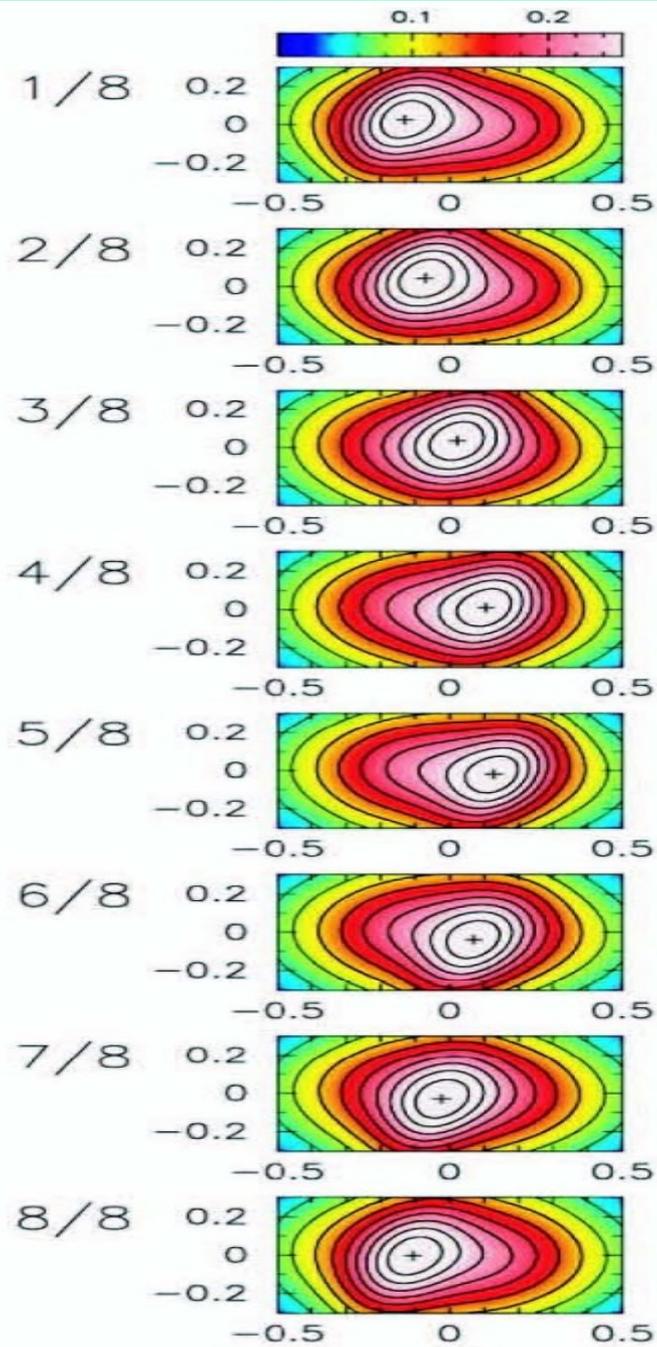
T-4. Schematic diagram of data-sampling pattern in the SMI method



T-5. U-V coverage of the 8-phase SMI maps for Sgr A* ($\delta = -30^\circ$) at 43 GHz by VLBA. $N_{\text{div}} = 8$, $P_{\text{trial}} = 16.8$ min (Miyoshi et al. 2011).

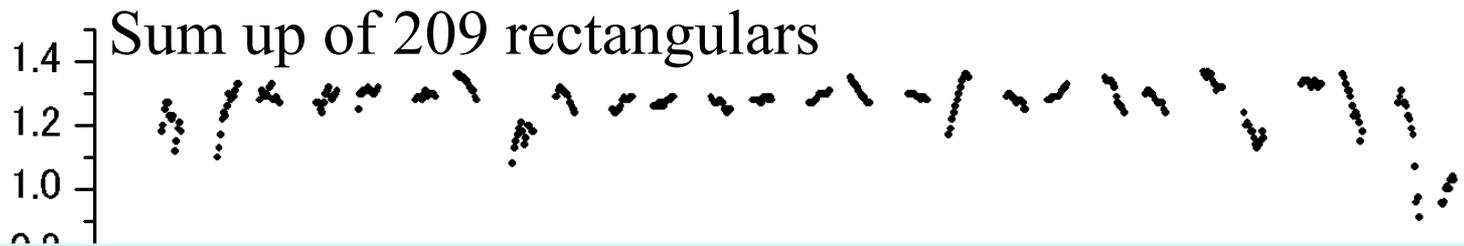
T-5. U-V coverage of the 8-phase SMI maps for Sgr A* ($\delta = -30^\circ$) at 43 GHz by VLBA. $N_{\text{div}} = 8$, $P_{\text{trial}} = 16.8$ min (Miyoshi et al. 2011).



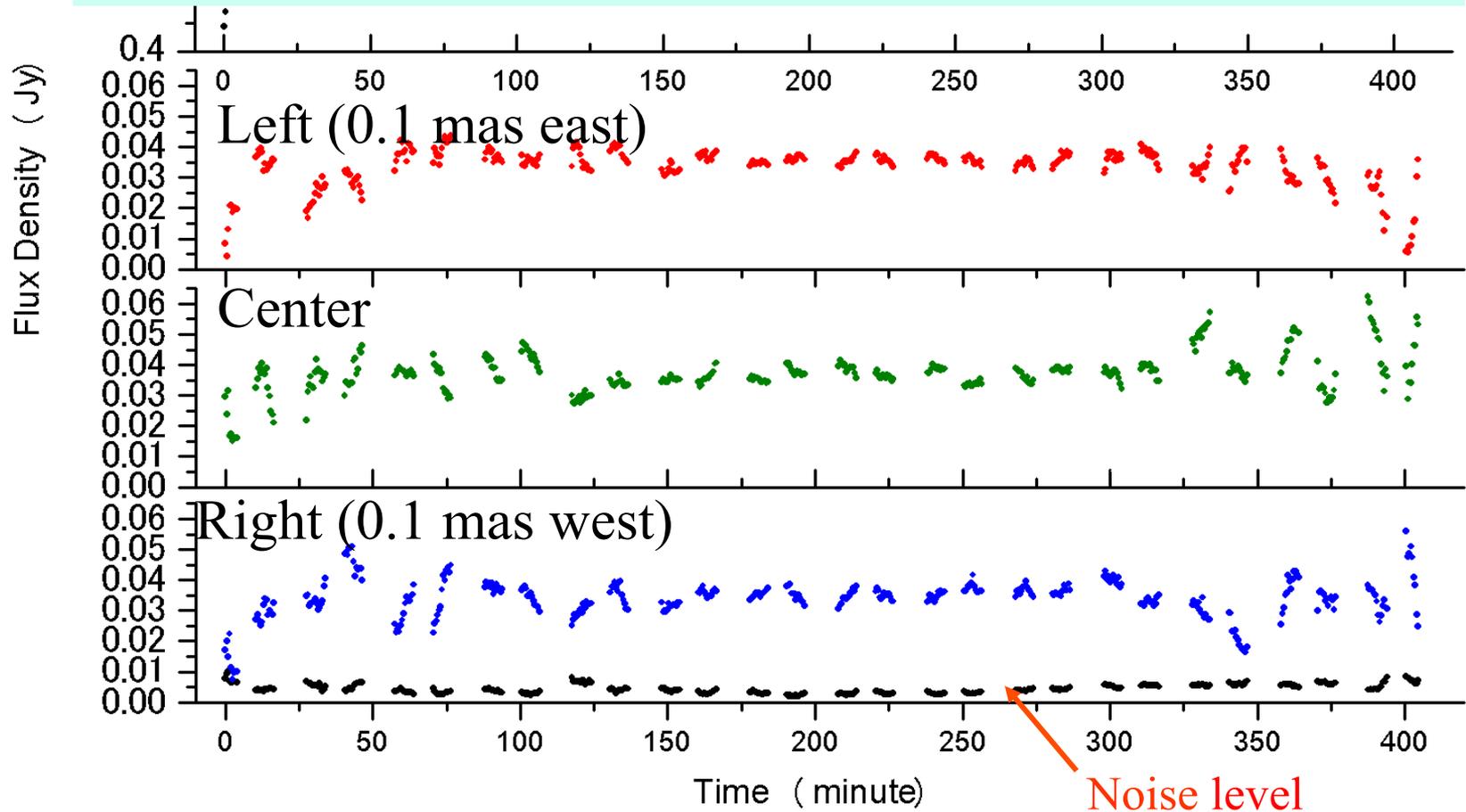


simulation
P=16.8min

2006年秋季年会(J30a)において発表した銀河中心ブラックホールSgrA*のブラックホール降着円盤の振動現象について、遂にデータ校正の妥当性を示したので報告する。VLBA,43GHzの観測から構造変化を伴ったQPOを検出した。SMI法(Miyoshi2008)では周期16.8, 22.2, 31.4, 56.4分,およそ3:4:6:10の整数比となるこれらの周期において特徴的な変動模様が現れる。前2者では互いに逆回転となる東西方向の回転を、31.4分ではあたかも $m=3$ の腕構造を真横からみているかのような変動になる。56.4分においては中心部50マイクロ秒角がこの周期で明滅しているように見える。SMI像をフーリエ変換して得た、それらの振幅は各々22,24,25,20mJyであり、これはSgrA*の強度(1Jy@43GHz)の2%にあたる。X線で観測されるQPOにおける振幅と同程度の強度比となる。4周期を円盤振動と解釈することによって、SgrA*ブラックホールはスピン0.44, 質量420万太陽質量と推定される。VLBIデータは複数のビデオチャンネルとして記録される。校正後の異なるチャンネルのデータの同時刻位相差を調べたところ、位相差は平均0、熱雑音による散らばりに従うことを確認した。従来のSgrA*のVLBIデータ解析では基線長2千km(分解能1mas相当)までしか活かせなかった。SgrA*の平均像をセルフキャリブレーション・モデルとして利用する我々の校正法(Miyoshiら2009)は、その3倍、基線長6千kmまでのデータを有効に利用し、今回の結果を得たことになる。「SgrA*の電波像は核周プラズマによって散乱されている」という定説は間違っていないが、43GHzではぼやけながらも本来の構造情報を残していると考えるのが妥当である。



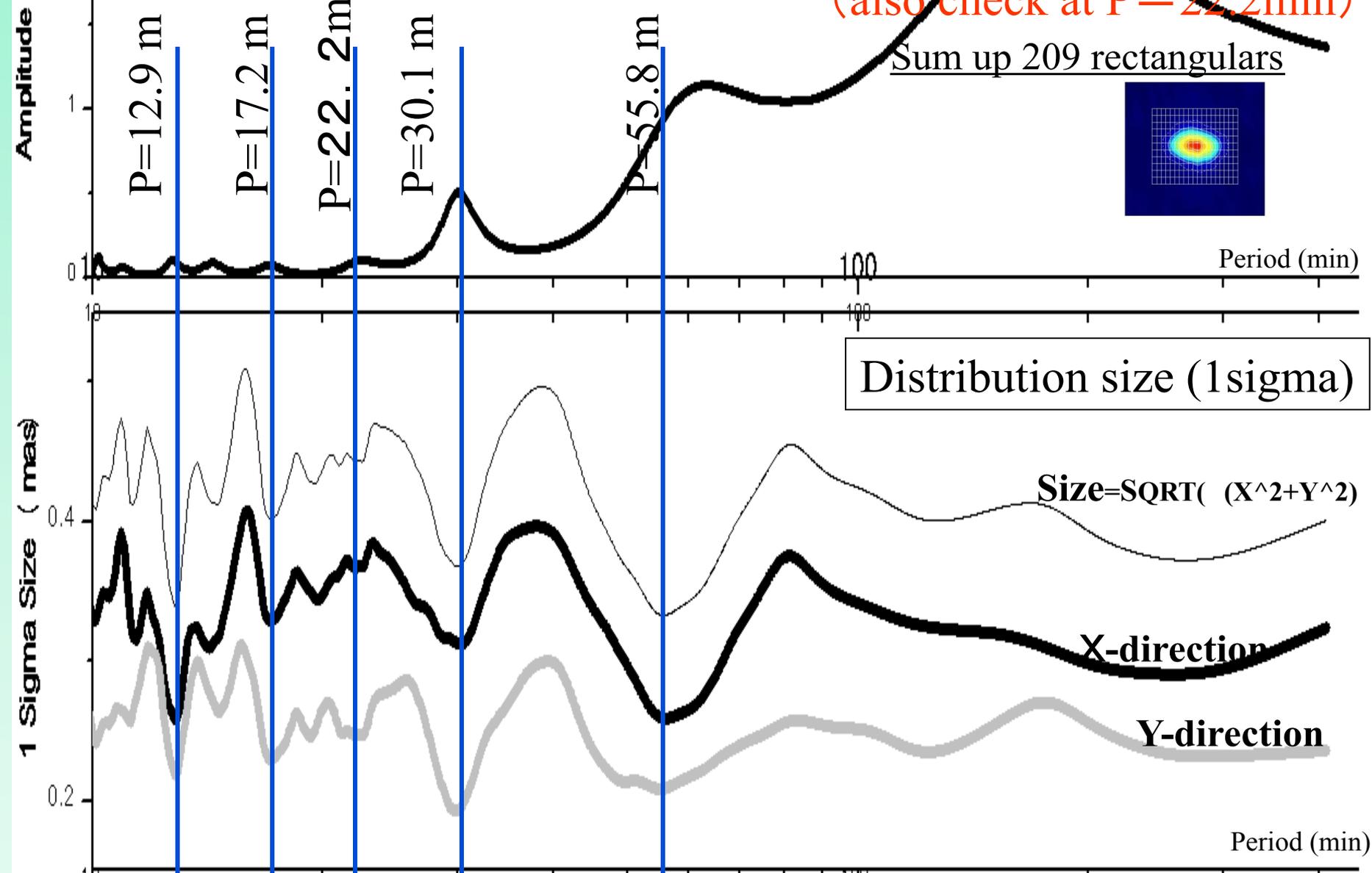
この観測データ、なんか短期変動してるぞ！(2005年1月見つける)



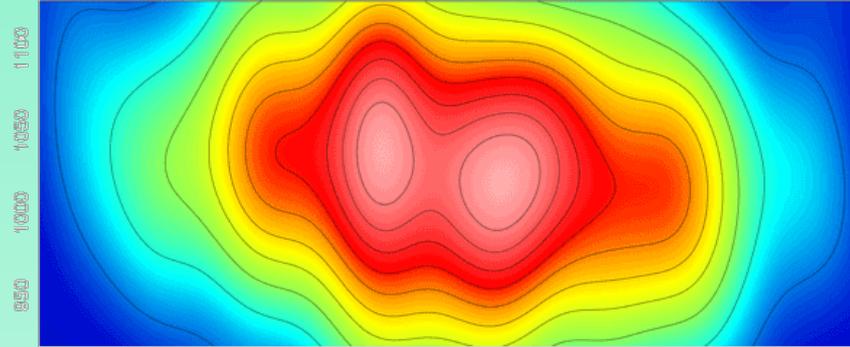
Time variations of flux densities in the central 3 rectangulars, & sum-up

(SNRの大きい)像の中心で、周期成分の強度は大きくなる。

Strong confinements occur around $P=12.9, 17.2, 30.1, \& 55.8$ min.
(also check at $P=22.2$ min)

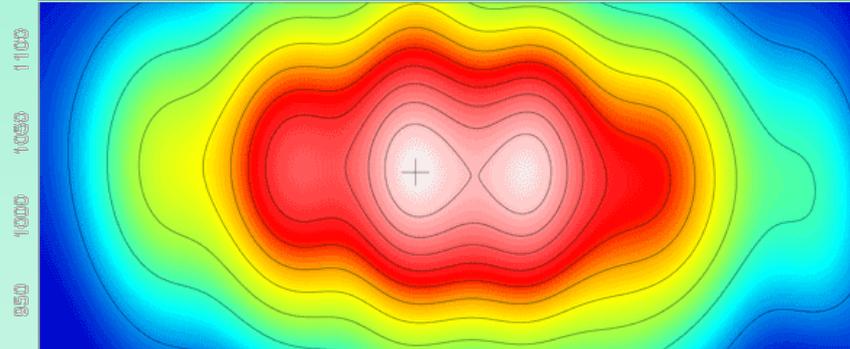


SMI(Ndiv=8)
P=16.8min
m=1



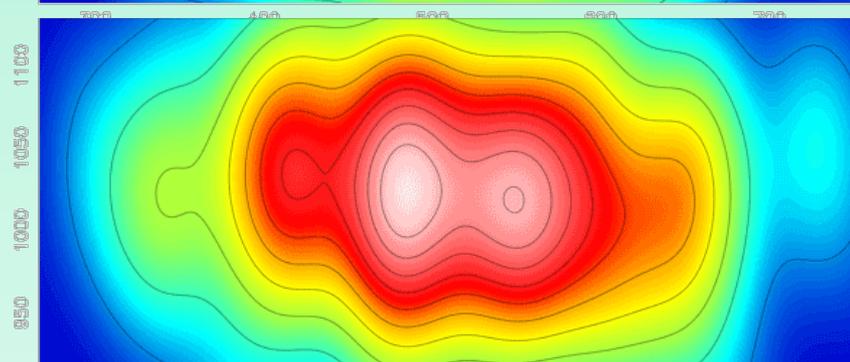
幾つかの
周期では
変動模様
に特徴がある。

P=22.2min
m=1
(反対回り)



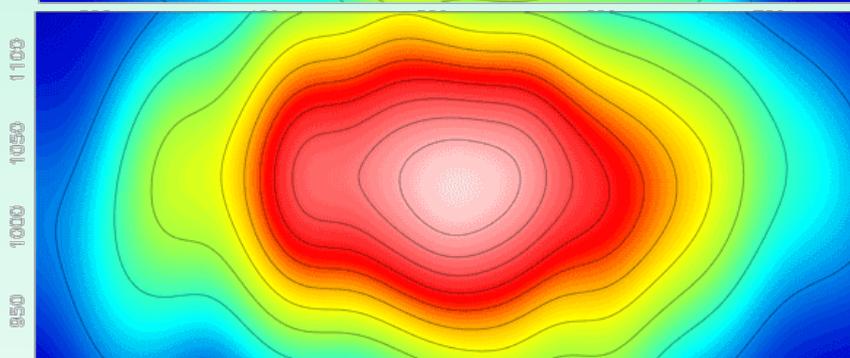
周期
は整数比に
3:4:6:10

P=31.35min
m=3



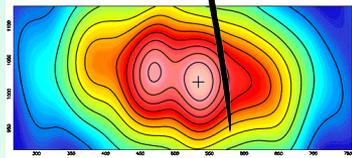
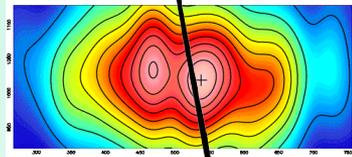
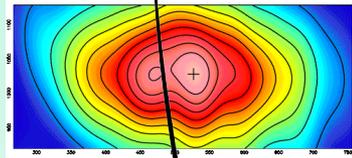
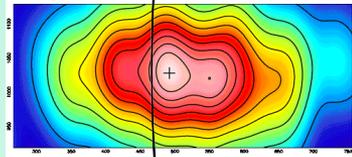
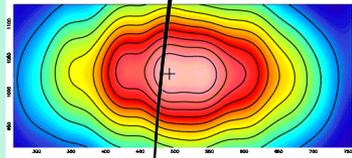
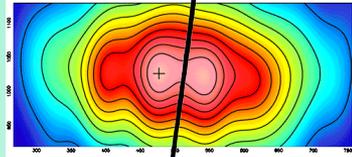
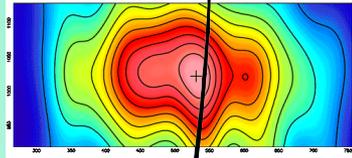
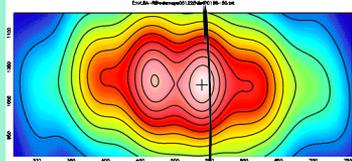
円盤振動理論
によると、
400万質量
spin0.4になる。

P=56.35min
中心部分が
明滅



円盤振動の観
測成功！
(2006年暮れ)

P=16.8min

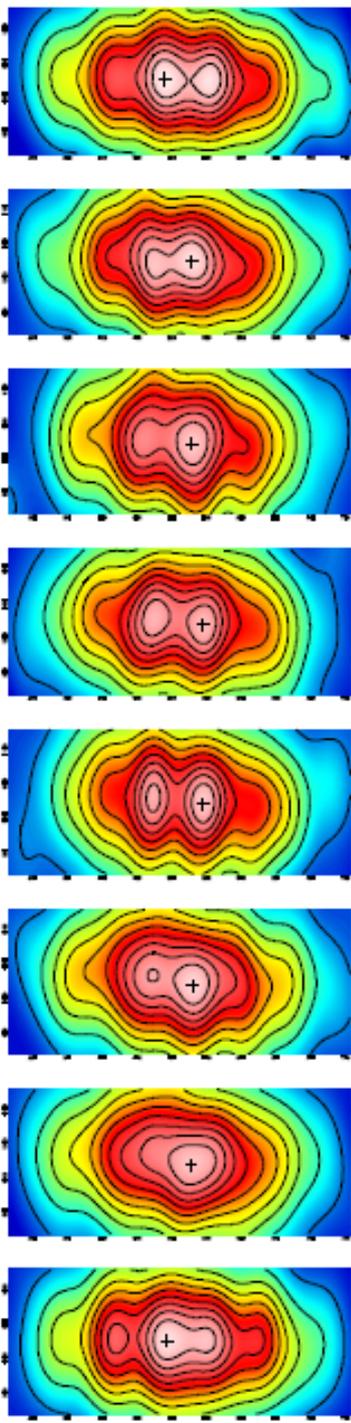


- ① Peak at right side
- ② Peak at center side
- ③ Peak at left side
- ④ Peak at left side
- ⑤ Peak at left side
- ⑥ Peak at center
- ⑦ Peak at right side
- ⑧ Peak at right side

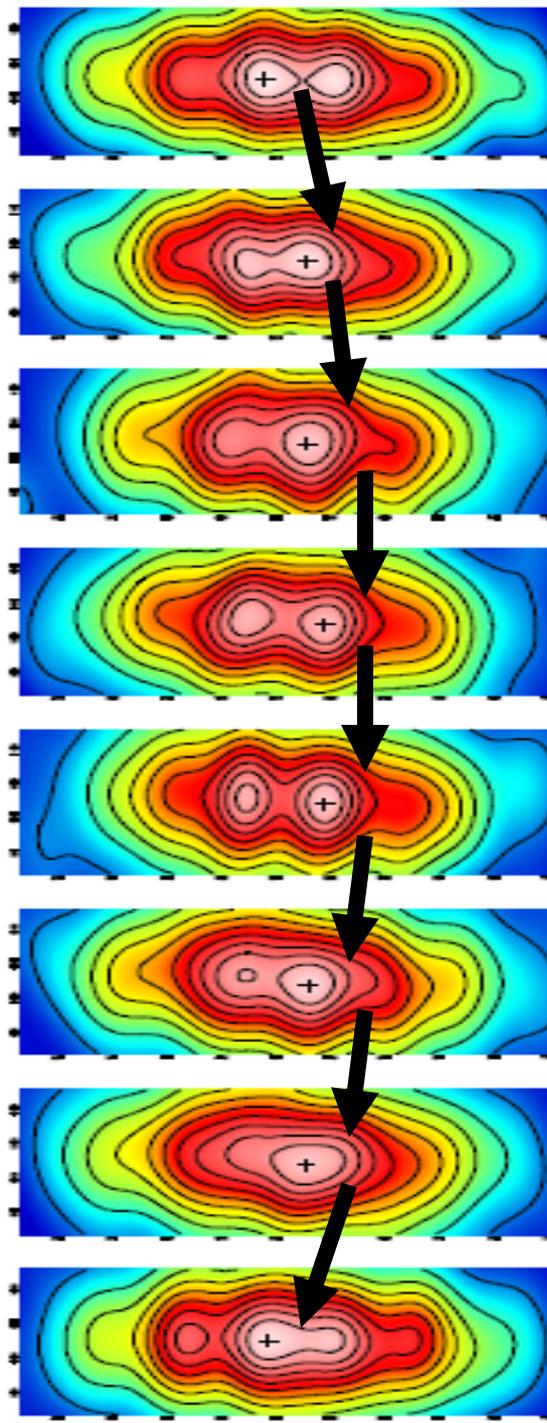
Periodic Structure
change pattern
of the P=16.8 min

The peak position
seems to move with
the period.
This can be explained
with one arm structure
pattern rotating with
the period.
And we observe it
from edge-on .

P=22.2min



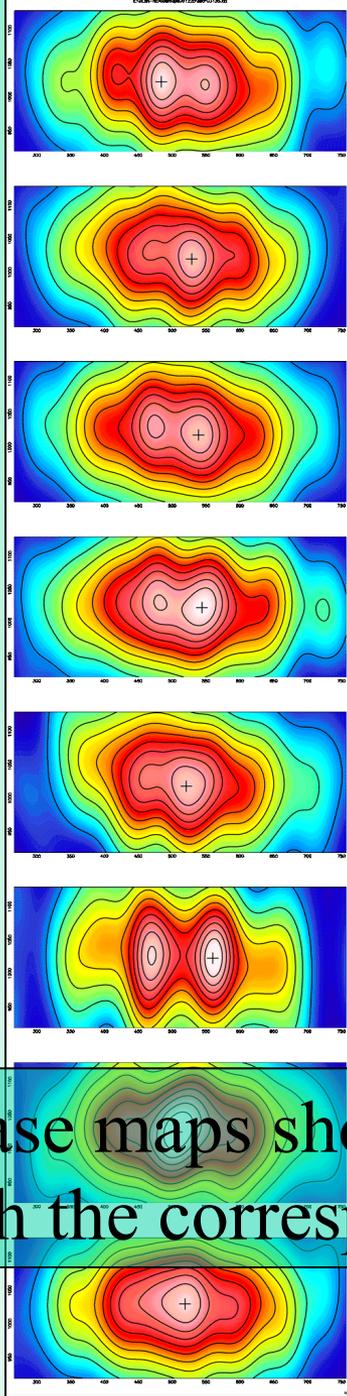
enlarged images along east-west direction



Periodic Structure
change pattern
of the P=22.2 min

Peak is the cross in
the figure.
Peak position moves
along east-west
direction
with the period.

This become clearer
at P=16.8 min case.



① 2 peaks

② 1 peak

③ 2 peaks

④ 2 peaks

⑤ 1 peak

⑥ 2 peaks

⑦ 1 peak

⑧ 1 peak

Periodic Structure
change pattern
of the $P=31.35$ min

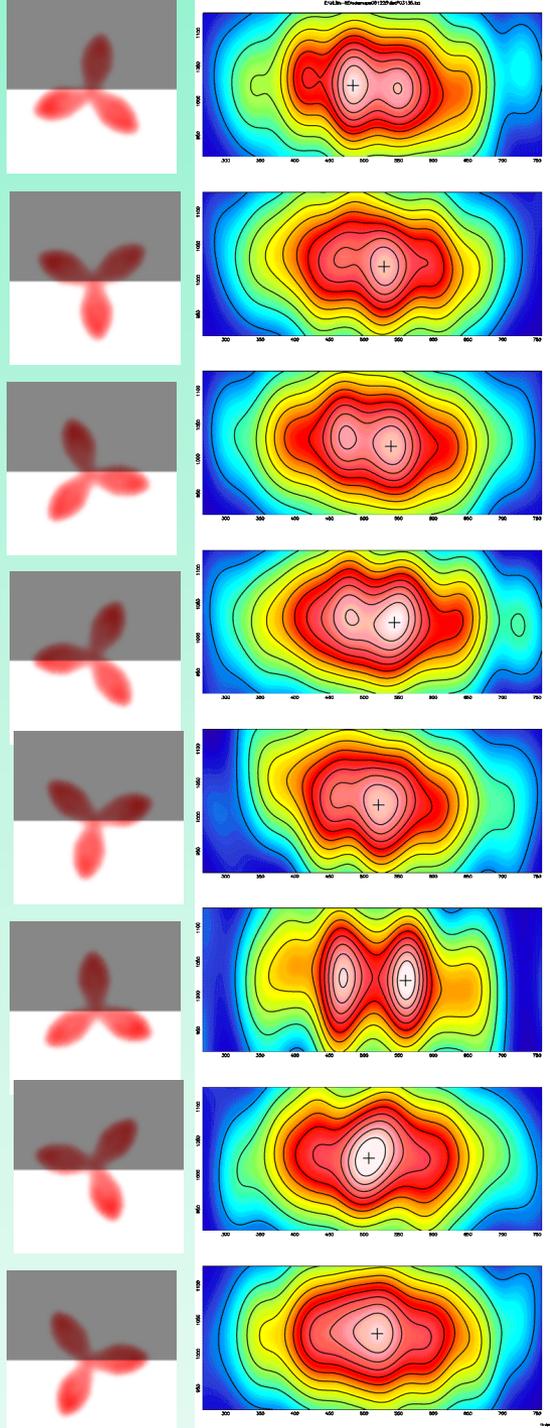
Opposite

Opposite

Opposite

Opposite

All Phase maps show different opposite peak number with the corresponding map half periods apart.



① 2 peaks

② 1 peaks

③ 2 peaks

④ 2 peaks

⑤ 1 peak

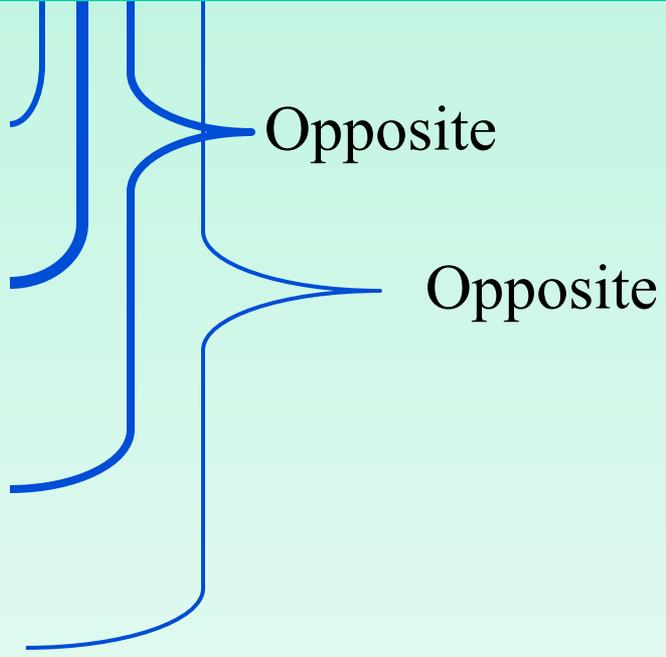
⑥ 2 peaks

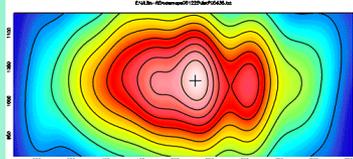
⑦ 1 peak

⑧ 1 peak

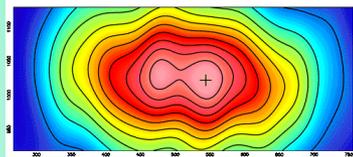
Periodic Structure
change pattern of
the P=31.35 min

This can be explained
with 3 bright arms model.
We observe the pattern
motion from edge-on
angle. Far side is unseen.

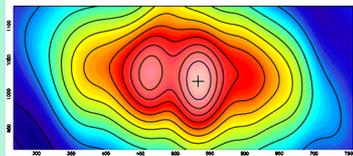




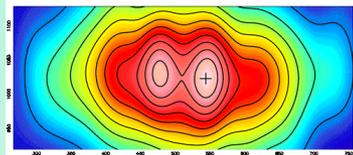
① 1 peak



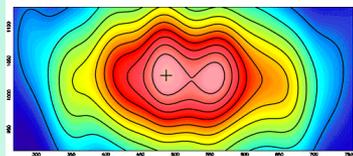
② 2 peaks



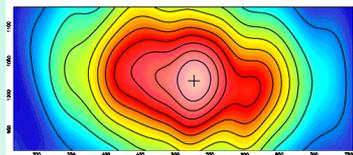
③ 2 peaks



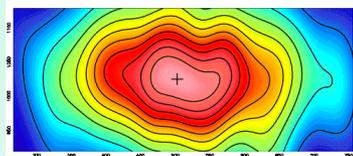
④ 2 peaks



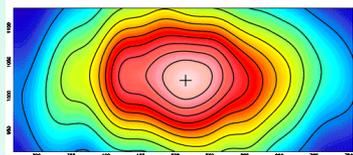
⑤ 2 peaks



⑥ 1 peak



⑦ 1 peak

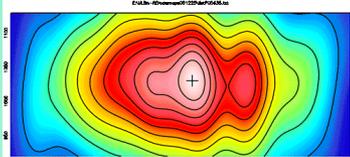


⑧ 1 peak

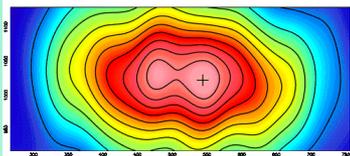
Periodic Structure
change pattern
of the $P=56.35$ min

2 peaks appear
during the half period.

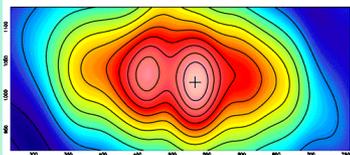
1 peak appears during
the other half period.



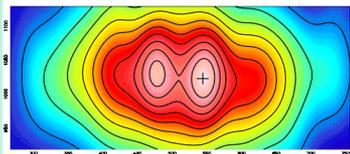
① 1 peak



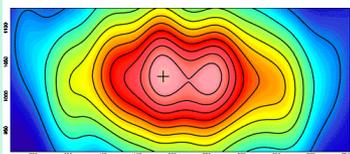
② 2 peaks



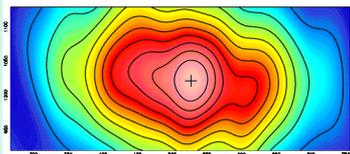
③ 2 peaks



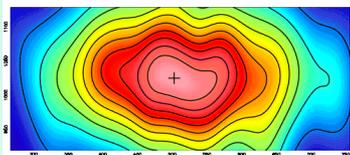
④ 2 peaks



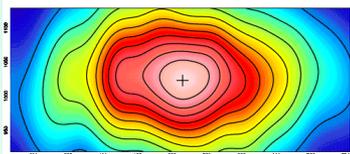
⑤ 2 peaks



⑥ 1 peak



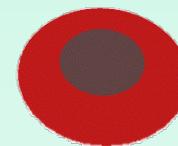
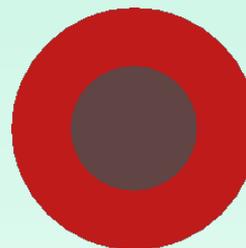
⑦ 1 peak



⑧ 1 peak

Periodic Structure
change pattern
of the $P=56.35$ min

This seems as if the
central intensity of the
period is larger than those
of next outer radii.
We observe the change
with edge-on angle.

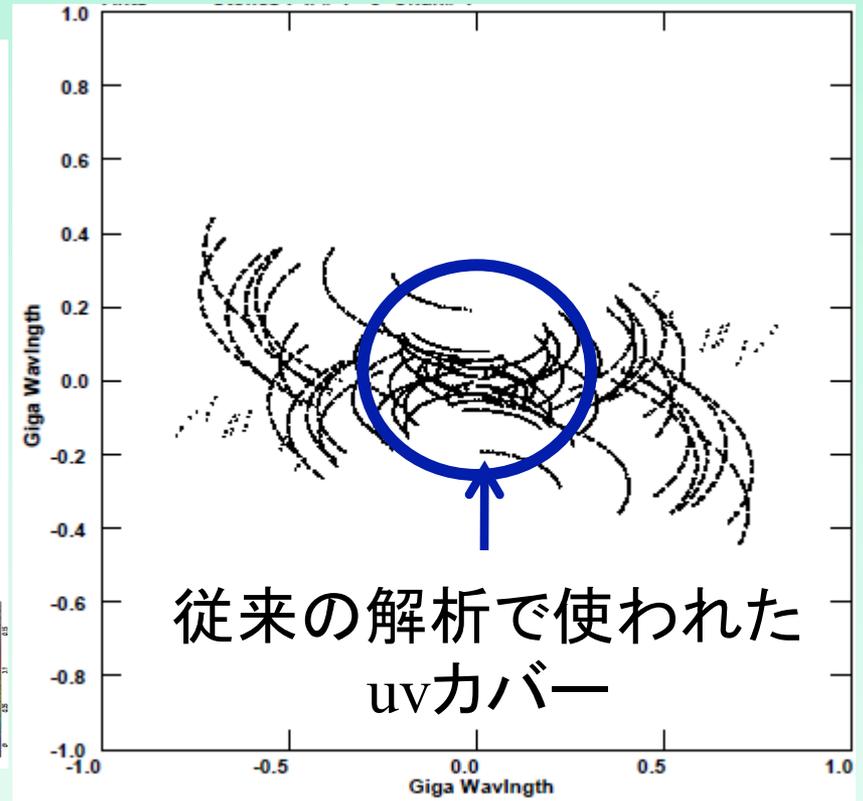
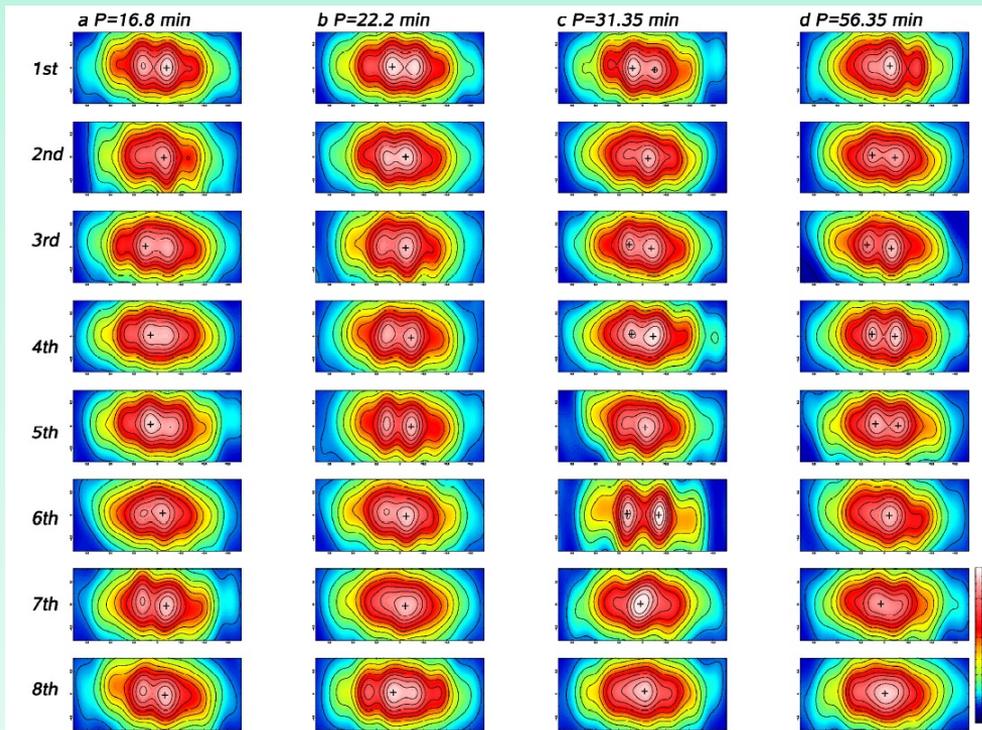


というわけで

この観測結果を、あやまりと即断するのは、無理

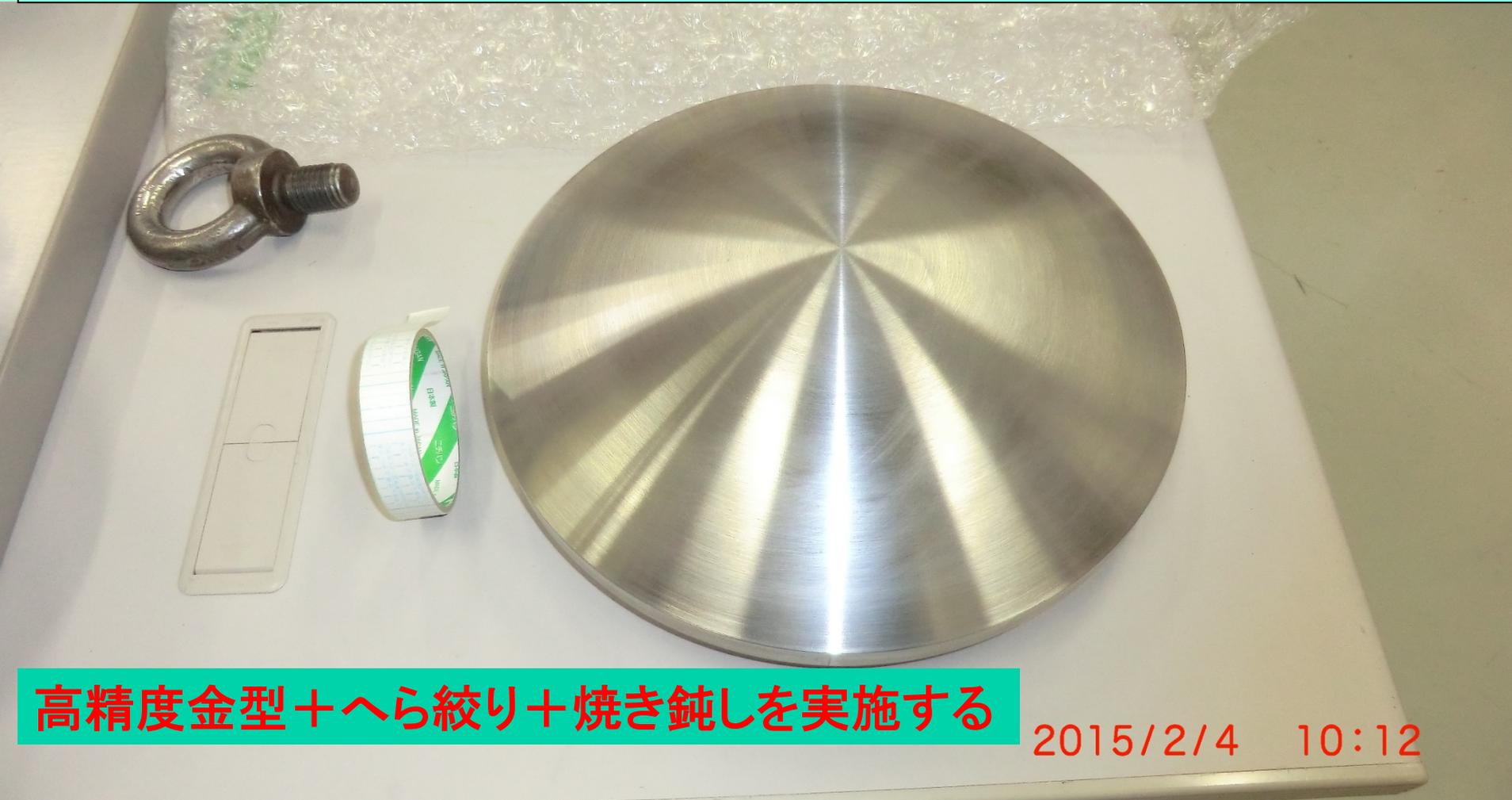
(3倍分解能が上がれば、これくらい見える)

(SgrA*は短期の構造変動している—だから干渉計における合成像が収束しない—データの較正ができないと勘違い。)



面精度の高い金型を、へら絞りに利用する

高精度金型 (30cm) を作成。

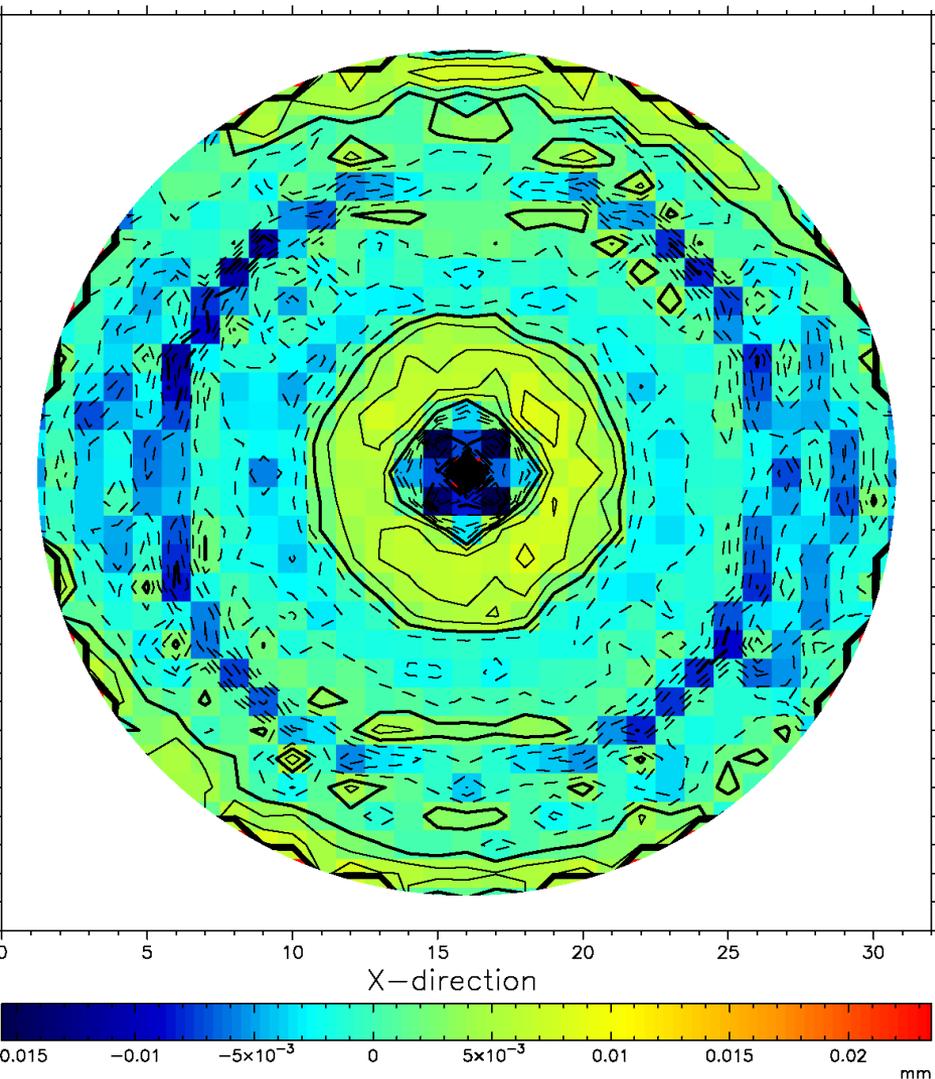


高精度金型 + へら絞り + 焼き鈍しを実施する

2015/2/4 10:12

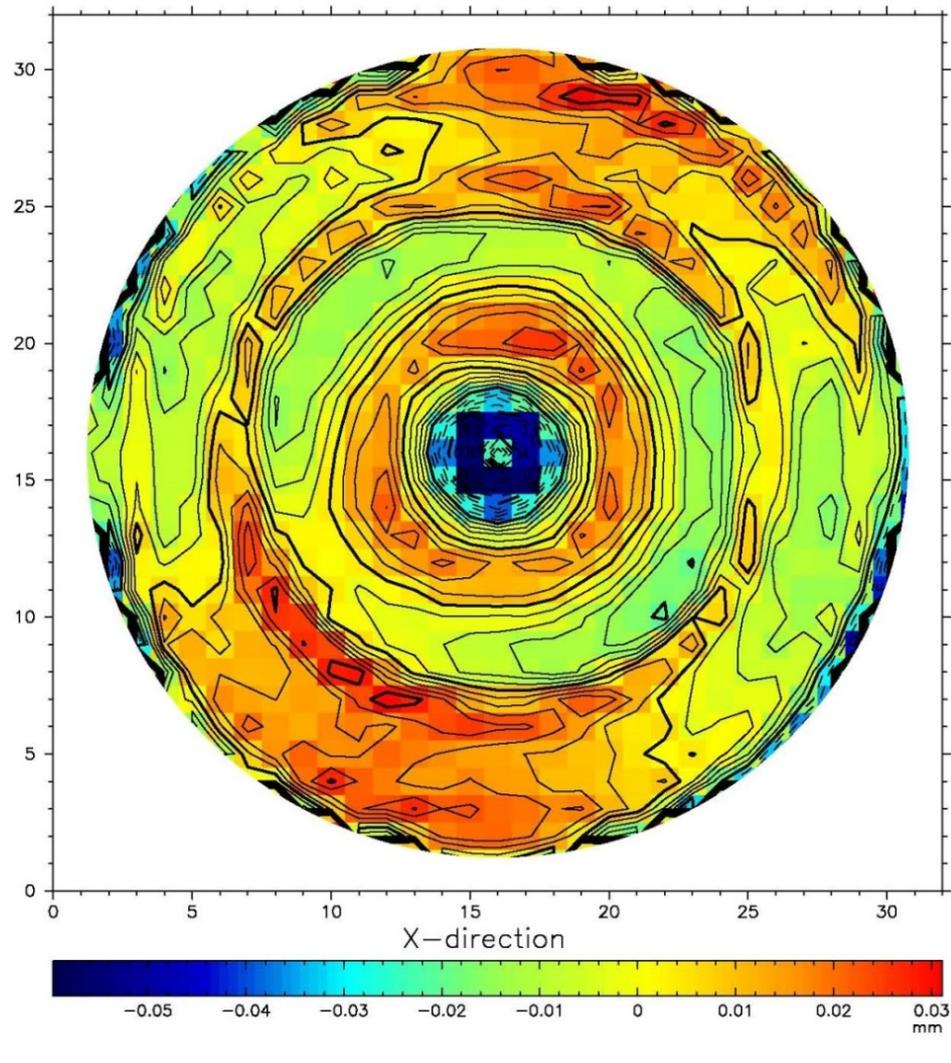
作成金型面の形状：
3.94 μm r.m.s
同心円状の高低はある。

20150204ArantFIN.out



アンテナ面の形状：
15 μm r.m.s を達成！
そっくりの同心円状の高低

20150226-CrantFIN.out



まとめ：へら絞りで口径2mのサブ
ヘルツ用アンテナ(面)が安く製作で

- 素材アルミ板、^{きる}残留応力による反り：
焼き鈍しで除去すればよい。
- 「へら絞り」加工における工作精度：
数ミクロンr.m.s.より小さくできる。
- 金型面の精度：
金型をミクロン精度で作れば良い。

本研究では国立天文台技術センタ、岡田則夫氏、三ツ井健司氏、松尾宏氏らの協力を得た。感謝します。

60

TBS

番組表

TBS サイト内検索



検索

ドラマ・映画

バラエティ・音楽

生活・情報

報道・ドキ

ご意見・お問い合わせ

ENGLISH

News |

ワザビト



BRIDGE

日本の下町・ 町工場の技術

- ・社会貢献は順調。
- ・加工精度の調査としては完成。

BRIDGE OF DREAMS

北嶋さんの職人技を見込んで移動式の電波望遠鏡作りを依頼。
世界で初めてブラックホールが見られる望遠鏡を目指している。



ワザビトたちの夢

世界のどこへでも携帯できる天体望遠鏡を作って今まで見えなかった世界を見たい！