

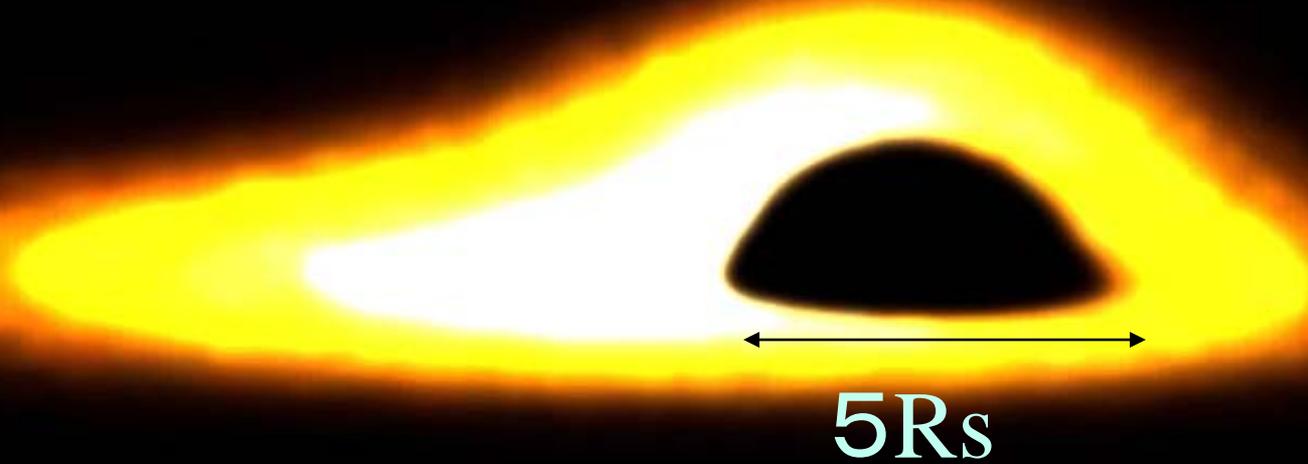
Towards the study of black hole using VLBI in Japan

Makoto Miyoshi

NAOJ

ブラックホール近傍が見えたら面白い。

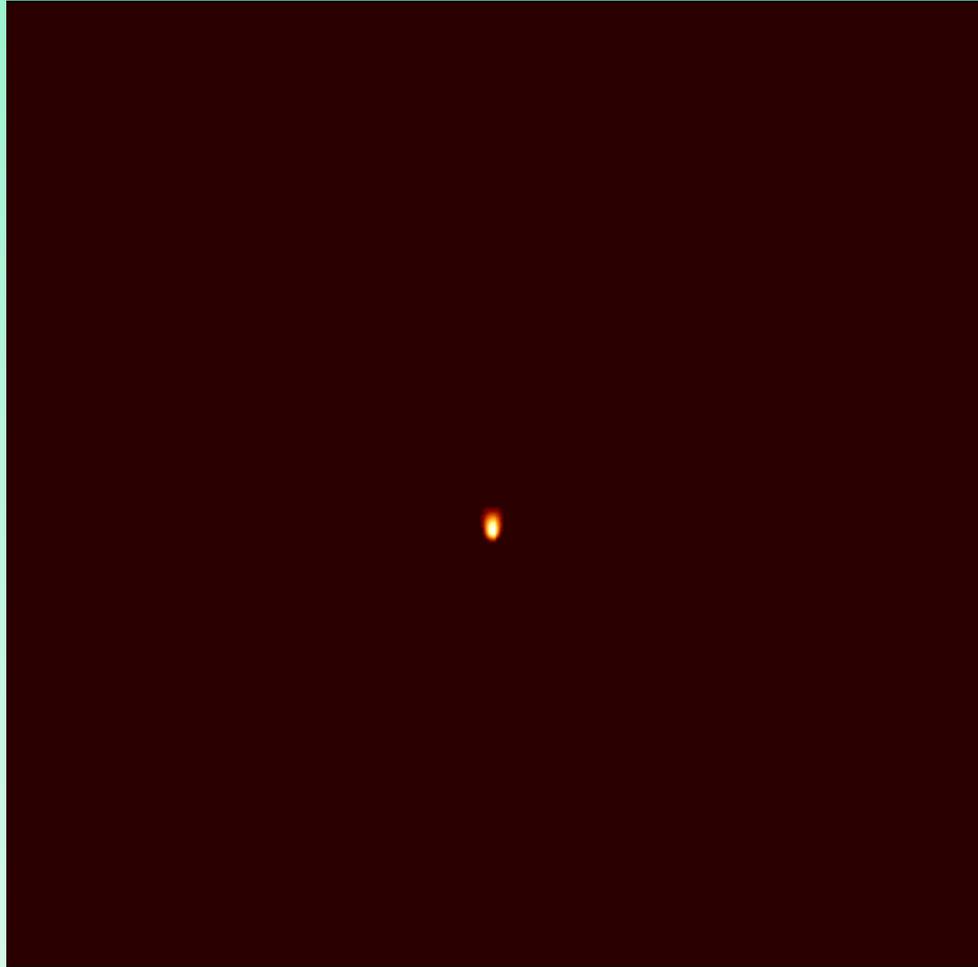
How to observe black hole?



ブラックホールは見えないが、その重力による光の屈折によって、中心部分に暗がりができる。またブラックホールの周囲の円盤(=ブラックホールに落ちてきた物質が作る)はドップラー効果で左側の明るさが変わる上、光の屈折(重力レンズ効果)のため、右側の円盤部分がせり上がって、見えてしまう重力による蜃気楼で向こう側が浮き上がって見える!

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

より高周波、submm波なら、nuclear plasma散乱をavoid、black hole近傍像が、observable.



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

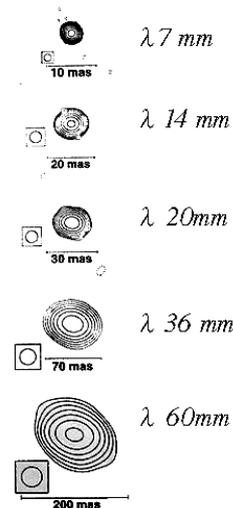


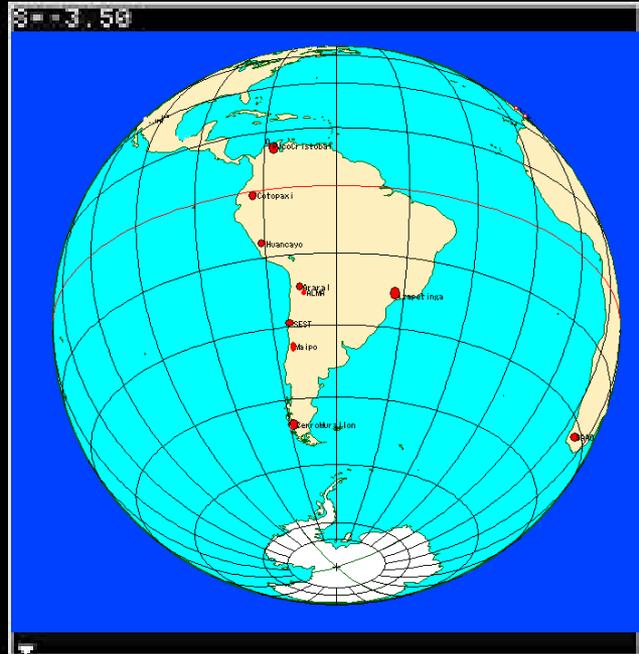
Figure 3. VLBA images of Sgr A* at wavelengths 6.0, 3.6, 2.0, 1.35 cm and 7 mm made with DIFMAP. These images are smoothed to a circular beam of FWHM = $2.62 \lambda^2$ mas as shown on the left-bottom corner on each image. At 7 mm, FWHM beam = 1.5 mas \sim mean synthesis beam size; and at 6 cm FWHM beam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

Lo他
1999

SgrA* (SgrA*観測に最適化した南半球中心のアレイの場合)

230GHz
モデル像

南半球サブミリ波
ほらいずん望遠鏡



$250 \mu\text{as}$

10局stations, 8000kmの広がり展開すれば、ブラックホール近傍像はよく観測できる。

高い周波数のVLBI

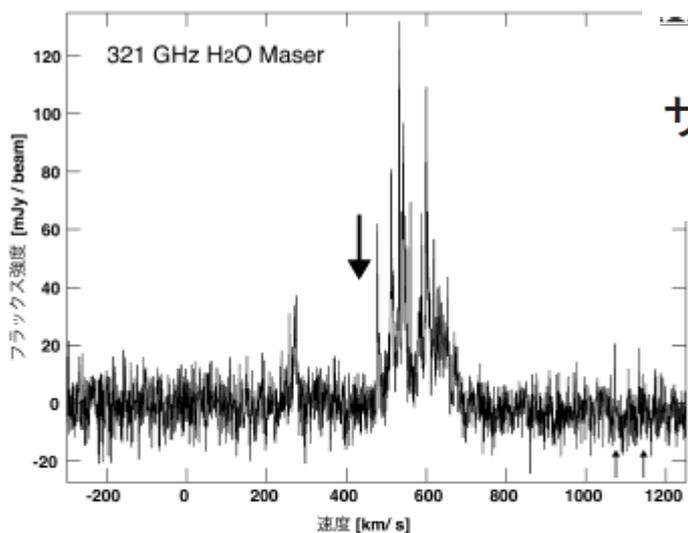
1) black holeの近傍空間の解像image

相対論的降着円盤disk・宇宙ジェットjetの生成場

本当に曲がった空間(強重力場)があるのか?

強重力場strong gravity fieldにおける相対論検証
relativity test

2) sub-mm波帯でのmaser観測も



ALMA 特集

サブミリ波系外水メーザーの観測研究

—活動銀河中心核周囲の新たなプローブを求めて

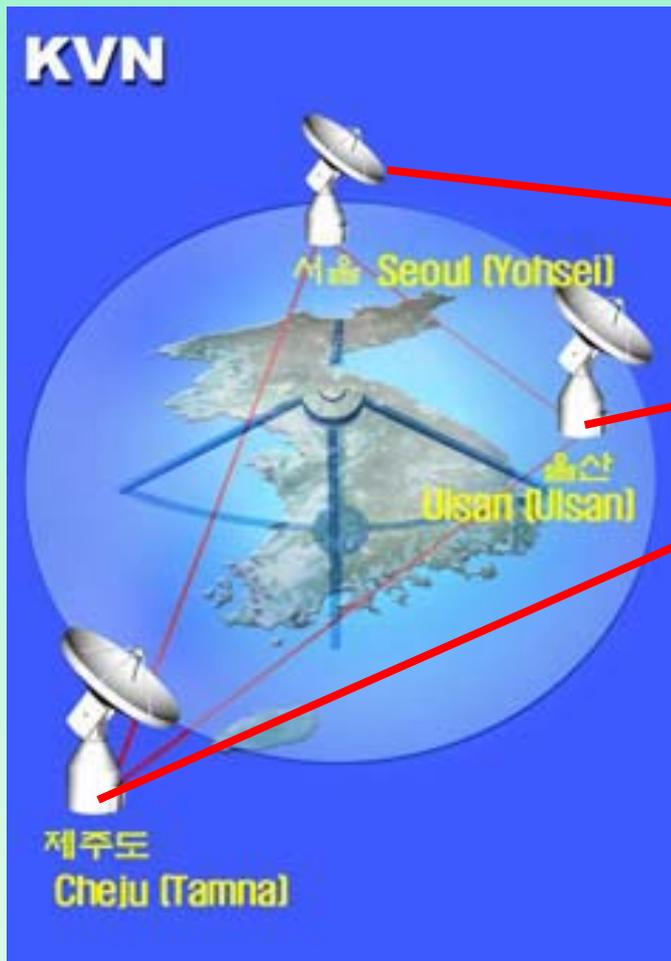
Hagiwara他 (図は月報2013年10月号)

図1 Circius銀河から検出した321 GHz水メーザーのスペクトル¹⁾. 横軸は視線速度(周波数から換算), 縦軸はメーザーのフラックス強度. 下向き矢印は銀河の系統速度(433 km/s)を示

日本でミリ波～サブミリ波VLBIを展開するには？

86~130GHz前後のVLBI

maximum129GHzの観測が可能



NRO野辺山45m



世界最大のmm波電波望遠鏡

基線長1000kmの高感度mm波VLBIに。
SiO (J=2-1,3-2), SgrA*などの観測が面白い。

日本でミリ波～サブミリ波VLBIを展開するには？

230GHzのVLBIは？

野辺山45m



Unstable pointing at 230 GHz
ポインティングビーム不安定でも
いいなら230GHz、できなくもない

共同利用望遠鏡： 原理的には誰にでも使う権利がある。Open use

日本でミリ波～サブミリ波VLBIを展開するには？

230GHzのVLBIは？



府大SPART望遠鏡
(NMA旧F号機)

230GHz帯で惑星大気をモニタ中

野辺山45m

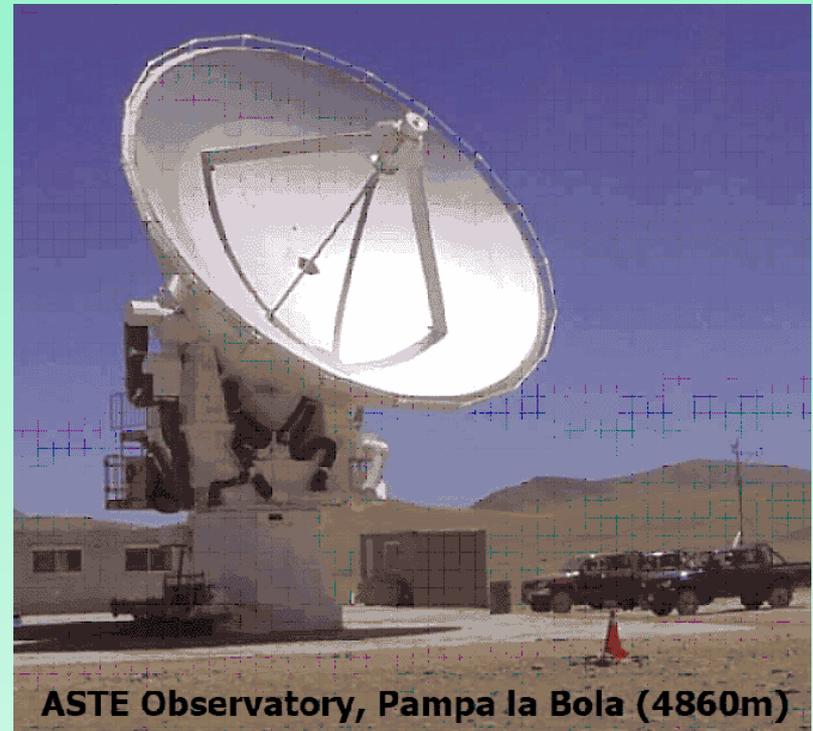


ポインティングビーム不安定でも
いいなら230GHz、できなくもない

日本でミリ波～サブミリ波VLBIを展開するには？

230GHzのVLBIは？

ASTE10m鏡



性能的には230G-RXは搭載できる。

共同利用望遠鏡： 原理的には
誰にでも使う権利がある。

日本でミリ波～サブミリ波VLBIを展開するには？

230GHzのVLBIは？

最近とんでもない話が！

JCMT15m MITヘイシュタックのEHTネットの主要局だった。



NAOJも出資するので、
日本人も当然、使える。

EACOA and the UK and Canadian communities have agreed their intention to form a new partnership to operate the JCMT (the interest from Purple Mountain has been subsumed within EACOA). **EACOA will be the lead partner.** Funding initiatives are underway in the UK and Canada to support the continued participation of those communities. (JCMTのweb pageから)

JCMT15m



SPART望遠鏡 (old-F element)



ここで、1基線の230GHz VLBI
を考えよう。

SPART(野辺山)-
JCMT(ハワイ)
VLBI基線は
約6000km。
 $\lambda/B = 40\mu\text{asec}$
@230GHz

最小フリンジ間隔40マイクロ秒角 (230GHz)

$\delta +40^\circ$ の天体に対して

M87 ($\delta +12^\circ$) に対して

SgrA* ($\delta -30^\circ$) に対して

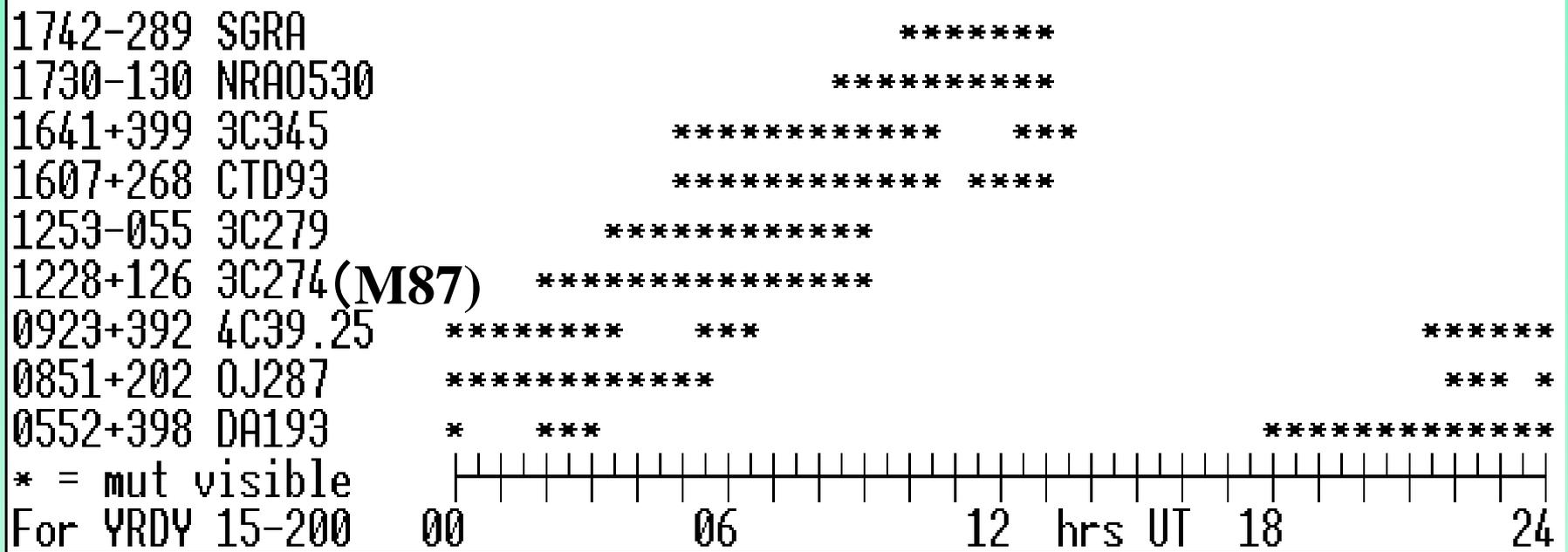
Giga Wavelength

Giga Wavelength

当たり前だが
どの天体に対しても
40 μ asecの観測が
できる。

Minimum Fringe
Spacing :
40 micro arcsec

JCMT-野辺山基線のuvカバー

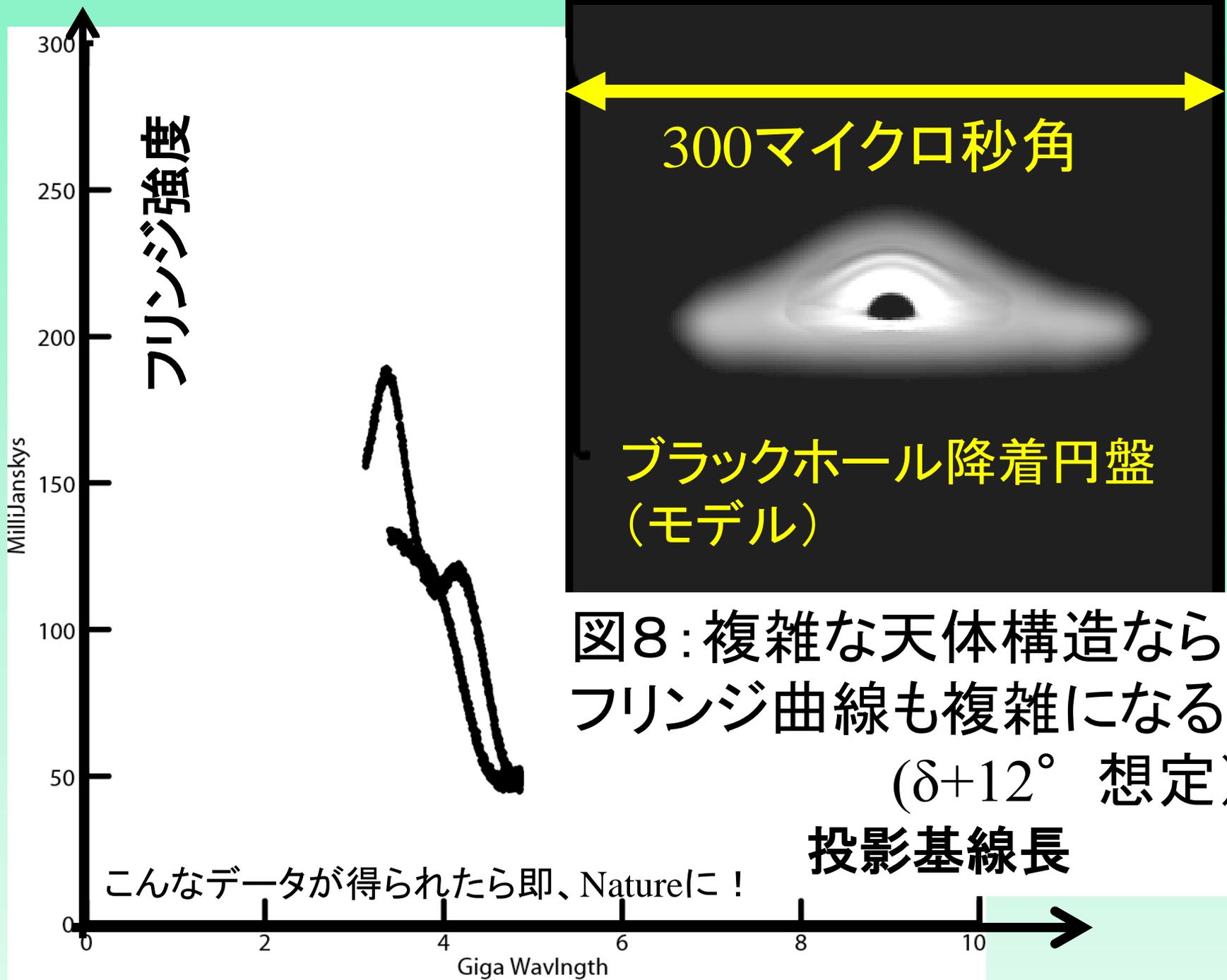


ハワイ・野辺山での同時観測可能時間

Common view time both Hawaii and Nobeyama

SgrA*も3hoursの観測時間がとれる。

$\delta+30\sim+40^\circ$ の天体 (3C345,4C39.25,DA193など) の構造を探る観測に向いている。Suitable for objects at $\delta+30\sim+40^\circ$

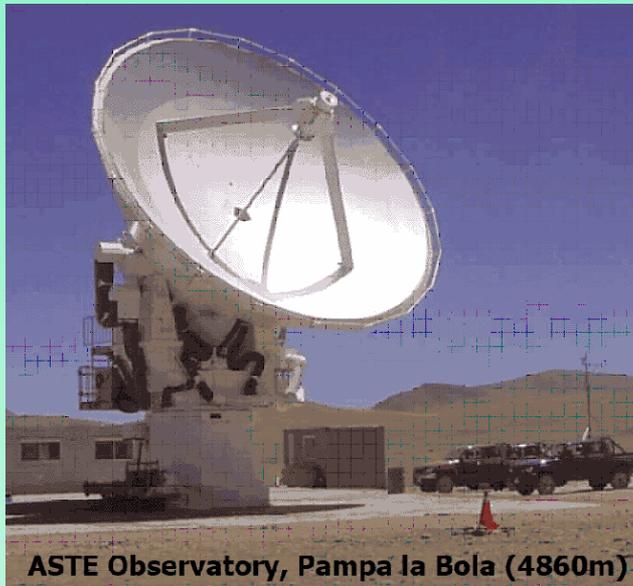


JCMT-SPART基線で成果 (Natureとか) でたら、230GHz帯での多基線展開を！

JCMT15m



ASTE10m



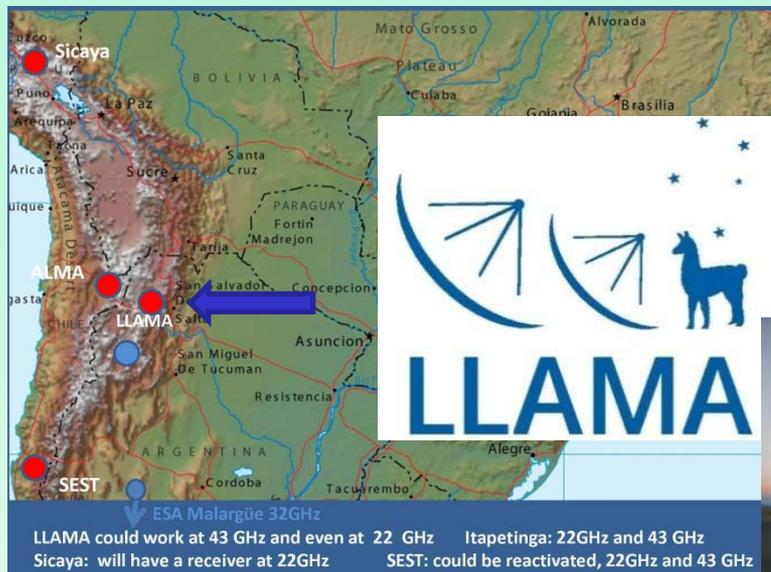
国際政治には
まらず
日本主導で
グローバル
サブミリ波
VLBIが実現

ASTE Observatory, Pampa la Bola (4860m)

SPART望遠鏡(旧F号機)



アルジェンチン12m、RXを送る



180kmの
短基線が
できる！

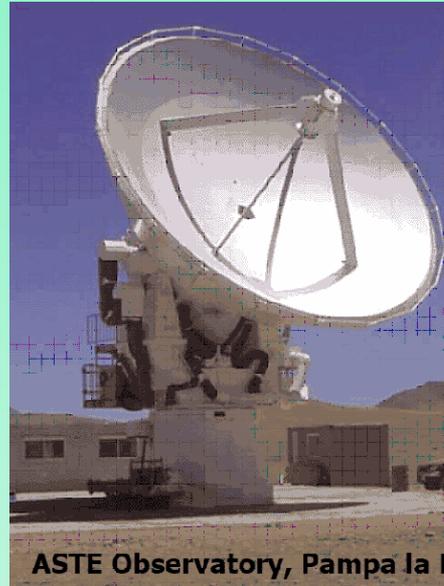


JCMT-SPART基線で成果 (Natureとか) でたら、230GHz帯での多基線展開を！

JCMT15m

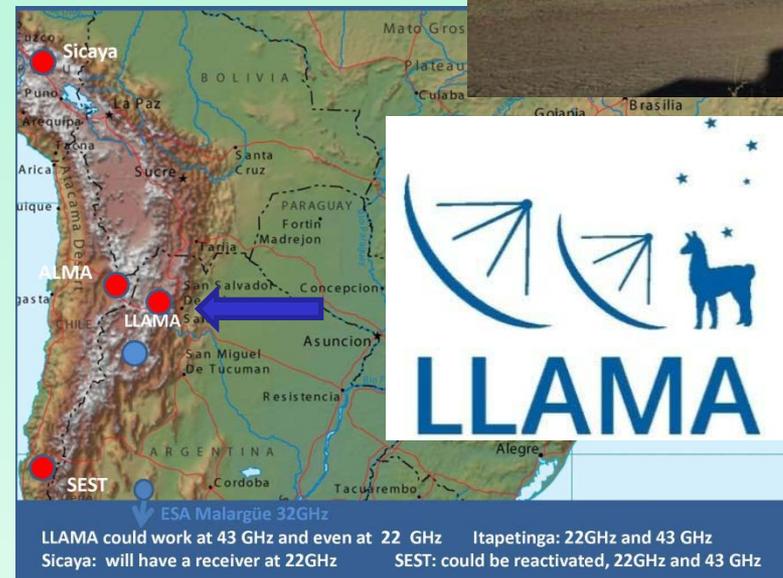
ASTE10m

GLT12mも



SPART望遠鏡

アルジェンチン



180kmの短基線ができる！



JCMT-SPART基線で成果 (Natureとか) でたら、230GHz帯での多基線展開を！

JCMT15m

ASTE10m

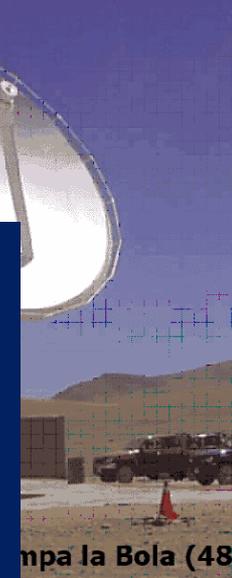
GLT12mも

SEST15mも修理



SEST 15m telescope at Li Silla Chili is still alive though closed at 2003. (our visit 2009.11.09)

SPART望遠鏡



mpa la Bola (486



チン12m、RXを込る



ESA Malargüe 32GHz
LLAMA could work at 43 GHz and even at 22 GHz Itapetinga: 22GHz and 43 GHz
Sicaya: will have a receiver at 22GHz SEST: could be reactivated, 22GHz and 43 GHz

180kmの短基線ができる！



きゃらばん含めると超短基線～地球サイズのサブミリVLBI網ができてしまう

JCMT15m

ASTE10m

GLT12mも

SEST15mも修理



SPART望

telescope at Li Silla Chile is still alive though 03. (our visit 2009.11.09)

、RXをやる



180kmの短基線ができる！

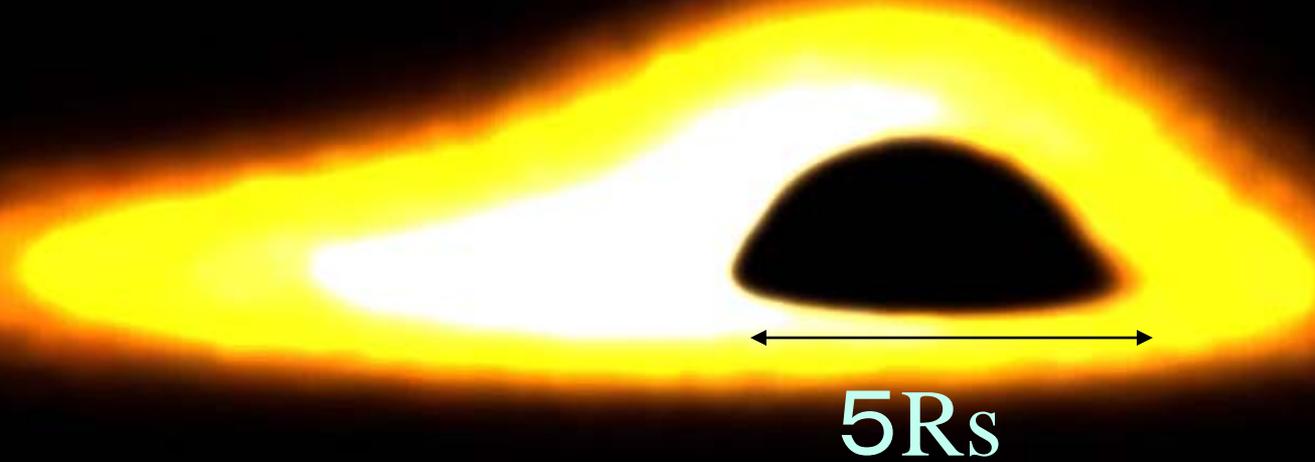
ESA Malargüe 32GHz
 LLAMA could work at 43 GHz and even at 22 GHz Itapetinga: 22GHz and 43 GHz
 Sicaya: will have a receiver at 22GHz SEST: could be reactivated, 22GHz and 43 GHz



日本・アジア主導でグローバル サブミリ波VLBIネットワークを 作ろう！

- * 我々には、日本主導で色々なVLBI網展開の実績がある（VSOP、VERA、JVN、EAVNなど）。
- * phase-up ALMA (=日本は400億円超も出資)はプロポーザル提案で観測時間の確保ができる！
(欧米と対等の戦いが可能)
- * 日本のBH理論研究の実績 + 自ら作る観測装置

ブラックホールを計算機で初めて見たのは日本人(福江さん)。



ブラックホールは見えないが、その重力による光の屈折によって、中心部分に暗がりができる。またブラックホールの周囲の光(ブラックホールに落ちた物体が作る)はドップラー効果で左右の明るさが変わる上、光の屈折(重力レンズ効果)のため、向こう側の円盤部分がせり上がって、見えてしまう重力による蜃気楼で向こう側が浮き上がって見える!

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

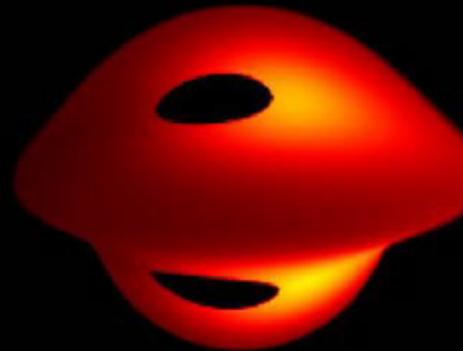
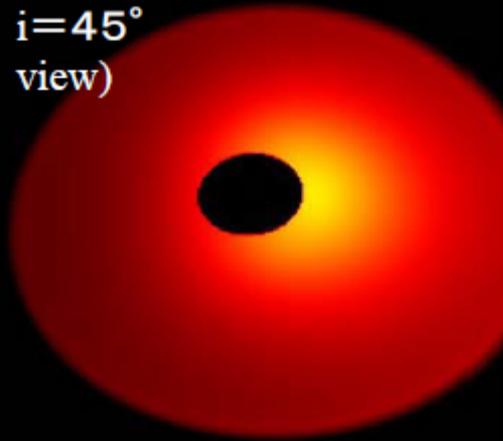
230GHz
SgrA*

$i=45^\circ$
view)

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

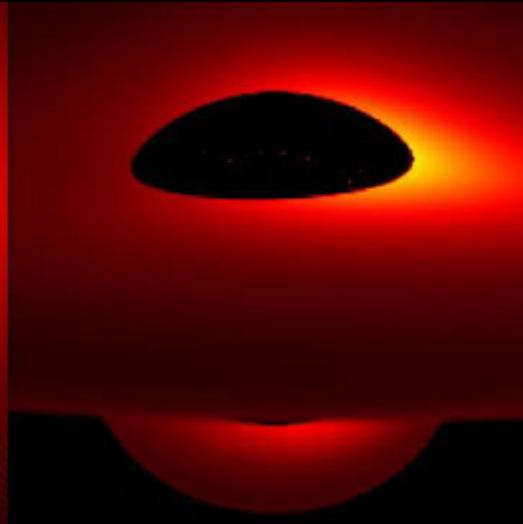
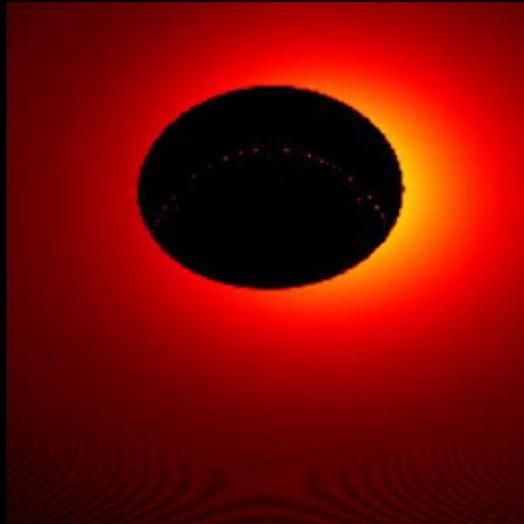
Kerr

ADAF (H=1),
Axis
symmetric



Schwarzschild
ADAF
(H=1)
Axis symmetric

Takahashi
et al. (04)

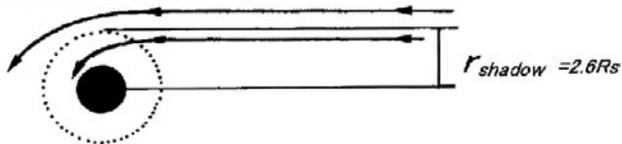
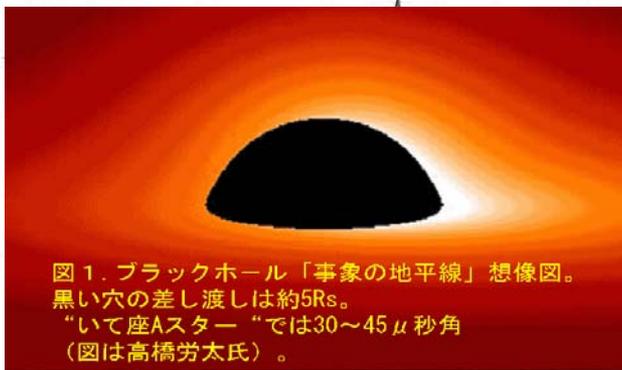


**Shadowの形状はブラックホールの質量、スピン、電荷が
決めている(メトリックがわかる)。(R. Takahashi)**

日本のブラックホール理論研究の実績は十分。

装置概念図(ポンチ絵)

2012. 9. 23付け



ワッカヨ

大型固定局

ALMA

チャカルタヤ

大型固定局



移動観測局(各地を移動)

ワンカヨ32m
センチ波(通信アンテナ)



ワンカヨには低周波用アンテナと地球物理観測所が、チャカルタヤには宇宙線観測所がある。これらに「サブミリ波」固定球面鏡を設置。さらに移動局の採用で様々な基線ベクトル(UVカバー)を展開する。

1000km
2000km

ボリビア・ラパス近郊 5300m
世界最高所のスキー場、宇宙線研究所
ALMA チャカルタヤ



2400m SEST15m鏡



Uruguay

500 km
200 マイル