

キャラバン・サブ (Caravan-Sub)

三好 真、
高橋真聡、
坪井昌人

2012年9月24日

- 1) 長期展望(~30から40年先まで)
- 2) 計画骨子
- 3) これまでの装置開発
小型移動局アンテナのコストダウン研究
 - a. 複合鏡方式等の検討。
 - b. へら絞り法による鏡面作成
 - c. 架台部の検討
- 4) 装置開発は移動局ゼロ号機に集中。
- 5) サーベイから、適切サイトを選定中。
- 6) 撮像simulations(時間があれば)

最終目標、「銀河系中心ブラックホール解像モニタ望遠鏡」へのロードマップ(案)

ステップ0:

国内外の既存装置による観測。銀河中心大爆発の研究。解像的ブラックホール物理学・天文学の研究分野を観測家＋理論家で構成。

ステップ1:

移動VLBI局(キャラバンサブの一部)による短基線の確保。シャドーの存在をvisibilityへのモデルフィットから。ALMA・他局との協同観測から撮像に挑戦。

3

最終目標、「銀河系中心ブラックホール解像モニタ望遠鏡」へのロードマップ(案)

ステップ2:

南米・日本主導の観測可能な観測ネットワーク(きゃらばん・サブ3局)、南米VLBIの構築。欧米に対し圧倒的な立場、実績。

ステップ3:

日本主導の国際協力、10局規模の地上・ほらいずん望遠鏡で銀河系中心ブラックホール解像モニタ望遠鏡を。ガス落下でSgrA*が輝く期間(最長30年?)のうちに実現。

or/and

衛星ベースの観測(スペースサブミリ波VLBI)の構築へ。

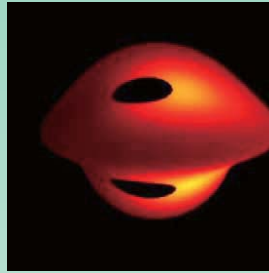
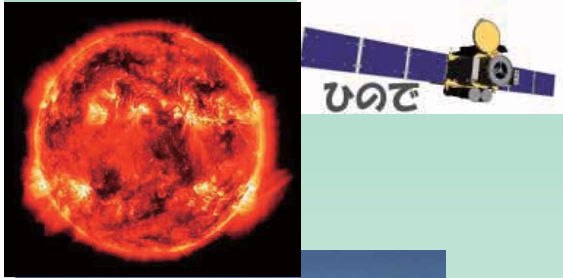
4

もっとも詳しく観測できるブラックホールをモニタ 「銀河系中心ブラックホール解像モニタ望遠鏡」

太陽型の運営形態:

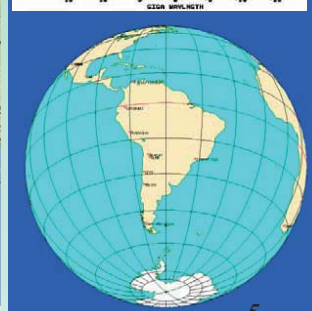
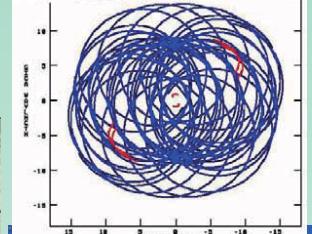
モニター→データを世界の研究者へ→多彩な科学成果

太陽ではモニタ型共同
利用装置が活躍



宇宙空間サブミリ波
VLBI(朝木など)

地上3局のみ(赤)に比べ、低軌道観測局があれば
u-vカバーは圧倒的に増加(青)



野辺山電波ヘリオグラフ

南半球サブミリ波VLBI

1) 長期展望(~30から40年先まで)

2) 計画骨子

3) これまでの装置開発

小型移動局アンテナのコストダウン研究

- 複合鏡方式等の検討。
- へら絞り法による鏡面作成
- 架台部の検討

4) 装置開発は移動局ゼロ号機に集中。

5) サーベイから、適切サイトを選定中。

6) 撮像simulations(時間があれば)

装置概念図(ポンチ絵)

2012. 9. 23付け

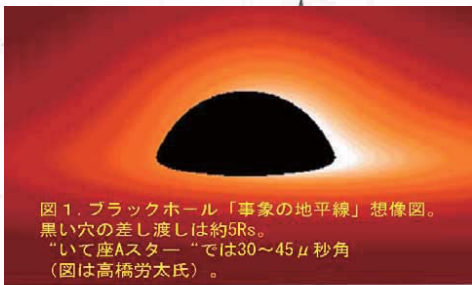


図1. ブラックホール「事象の地平線」想像図。
黒い穴の差し渡しは約5Rs。
“いて座Aスター”では30~45μ秒角
(図は高橋芳太氏)。

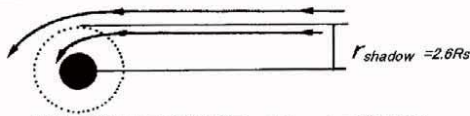
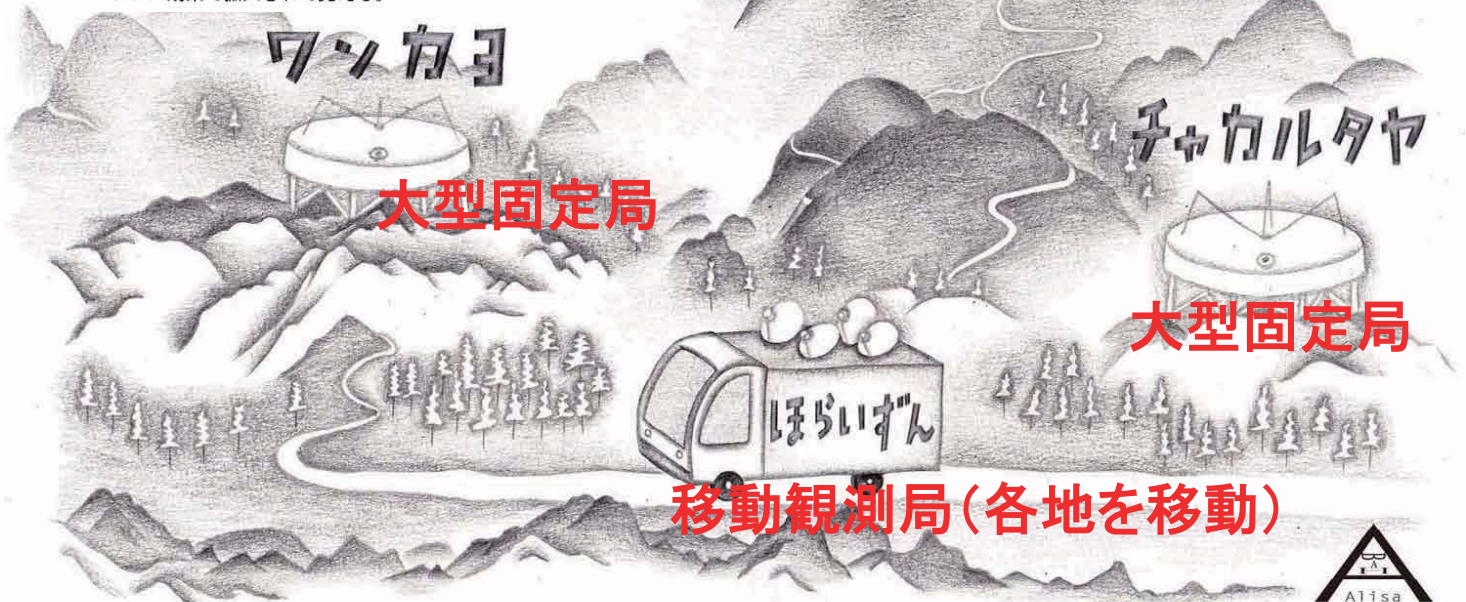


図2. 事象の地平線はブラックホールの自己重力
レンズ効果で拡大されて見える。



きゃらばん・サブ, 銀河中心ブラックホール 検出・高画質撮像装置

きゃらばん-サブ(CARAVAN-SUB)はアンデス高地2カ所に設置した固定VLBI局と小型移動VLBI局で構成されるVLBI撮像装置である。日本の測地VLBIで実績のある移動VLBI法を用いてu-v面を埋め、従来の固定局だけのVLBIでは到達しえなかった高画質高分解能撮像を目指す。最初の目標は銀河系中心SgrA*の撮像である。これによりブラックホール近傍が撮像されれば、ブラックホール・ホライズンの様子を明らかにでき、強重力場における一般相対論検証に道を拓き、ブラックホール近傍観測天文学が興る。さらに国際共同ALMAとの協力はこの装置に高感度を付加する。日本主導でブラックホール研究の更なる成果が期待できる。

きゃらばん-サブ、銀河中心ブラックホール 検出・高画質撮像装置

目的 ブラックホール近傍観測天文学の開拓

特徴 移動VLBI観測局により、良好な観測サイトであるアンデス高地において自在なuv面を確保

装置

観測局

- ・固定大型局(15m級アンテナ)、2局
ペルー地球物理観測所ワンカイヨ観測所(標高3300m)近辺
ボリビア・ラパス、チャカルタヤ宇宙線観測所(標高5300m)
- ・小型移動局(5m級アンテナ)、1局
ペルー・ボリビア・チリ等のアンデス高地を車載移動、
観測地点を変え、VLBI観測する。

観測周波数 230GHz帯

(地上でVLBI観測が可能な、ほぼ最高周波数帯)

きゃらばん-サブ、銀河中心ブラックホール 検出・高画質撮像装置

年次計画 (概算要求、予算がついたとして)

第1年次 アンテナ製作、固定局建設工事

第2年次 アンテナ製作、固定局アンテナ組み立て、設置、
移動局整備、試験観測

第3年次 アンテナ組立、調整、観測システム調整、試験観測

予算規模

固定大型局、アンテナ20億円、付帯設備5億円、2局で50億円
小型移動局装置5億円、その他を含めて設備費総額60億円程度。
運営費は年間6億円程度。

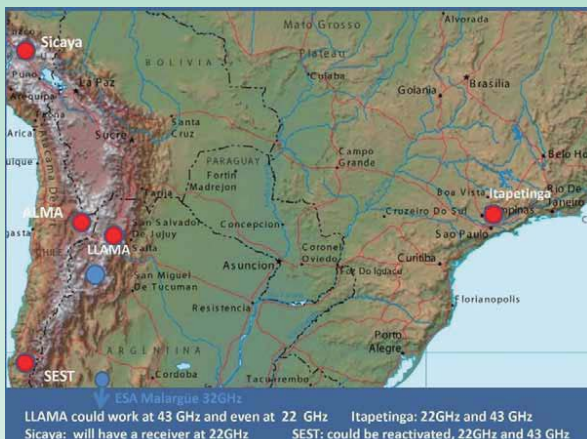
きゃらばん-サブ、銀河中心ブラックホール 検出・高画質撮像装置

期待される成果

- 初めてブラックホール・ホライズン(事実上の事象の地平面)の検出。強重力場に於ける一般相対性理論検証の実験場が初めて実現。
- ブラックホール降着円盤の撮像、ジェット生成等の撮像的ブラックホール観測天文の開始。
- 世界初のサブミリ波帯メーザー源のVLBI高分解能観測が可能。
- ALMA extended計画(恒星面撮像)のパイロット的試験を分担、国際共同ALMAの中での日本の主導権の確保に貢献。
- 南米VLBI網計画への参加。ペルー、ボリビア、ブラジル、アルゼンチンの電波天文学に貢献。
- 本格的な銀河中心ブラックホールモニター観測装置(南米中心10局規模もしくはスペースサブミリ波VLBI)への足がかりとなる。

ゆくゆくはLLAMA (Long Latin American Milimetric Array) に 組みこみ、南米の電波天文を支援！

- すでにペルーIGP (Dr. Ishitsuka) とは深く連携。
- きゃらばん・サブはアンデス、ブラジル高地へと移動観測する。地元とのつながりが成功の鍵。



共同利用:

移動局1局完成後

サブミリ波帯メーザVLBI観測、ALMA extended試験、など、SgrA*以外のVLBI観測・実験に提供できる。

きゃらばん・サブ3局完成後

サブミリ波帯メーザを含む、VLBI観測一般にALMAともども共同利用できる。

「銀河系中心ブラックホール解像モニタ望遠鏡」

“太陽型”の共同利用運営:
モニター→データを世界の研究者へ→多彩な科学成果

13

- 1) 長期展望(~30から40年先まで)
- 2) 計画骨子
- 3) これまでの装置開発
- 小型移動局アンテナのコストダウン研究
 - a. へら絞り法による鏡面作成
 - b. 複合鏡方式の検討。
 - c. 架台部の検討
- 4) 装置開発は移動局ゼロ号機に集中。
- 5) サーベイから、適切サイトを選定中。
- 6) 撮像simulations(時間があれば)

- 1) 長期展望(~30から40年先まで)
 - 2) 計画骨子
 - 3) これまでの装置開発
- ## 小型移動局アンテナのコストダウン研究
- a. 複合鏡方式等の検討。
 - b. へら絞り法による鏡面作成
 - c. 架台部の検討
- 4) 装置開発は移動局ゼロ号機に集中。
 - 5) サーベイから、適切サイトを選定中。
 - 6) 撮像simulations(時間があれば)

小型移動局アンテナのコストダウン研究

- 5m級のアンテナの製造法を検討した。

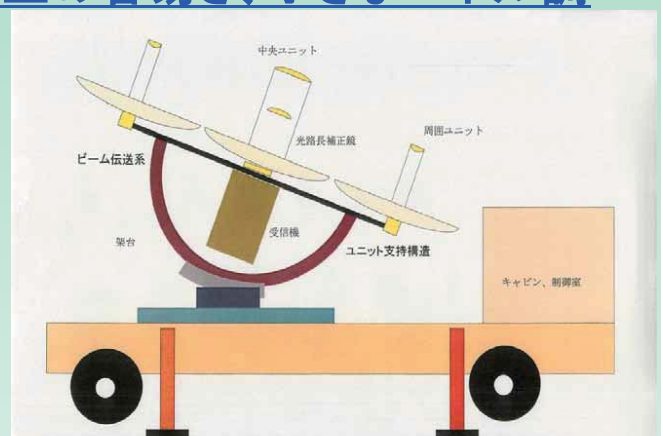
1) 分割パラボラ鏡 すでに30GHz程度までは衛星に搭載できるものまでである。実現性が一番高いと考えられる。

2) 複合鏡 これまで述べたへら絞り鏡がそのまま利用できる可能性もある。

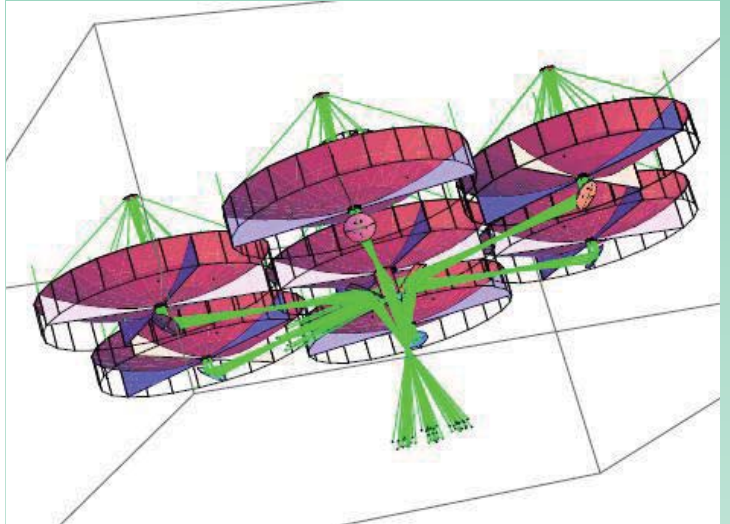
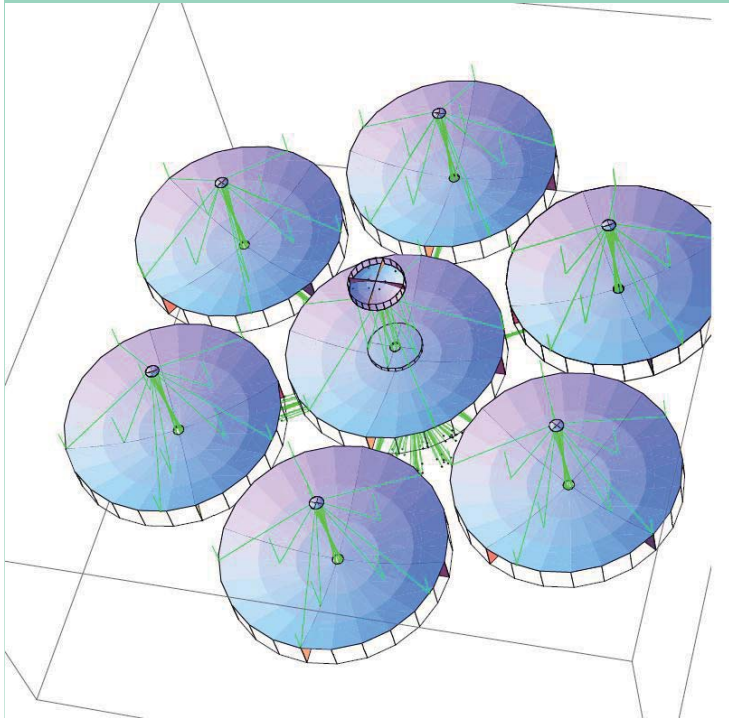
1)と違い、現在はメーカーでは開発されていない。今回はこの検討を行った。ユニット化による組立の容易さ、小さなパネル調整不要がメリットである。

車載アンテナの概念図

“車上観測”or“地面基礎設置”？
要検討。



複合鏡：光学設計中(春日、氏原)



ビームの合成方式が技術的課題。
低雑音化、高効率化が難しいことが判っているが
低コストとのトレードオフをして考えたい。

コストダウンアンテナの検討

へら絞り法 (北嶋絞り製作所):

安価に(製作費、4万円/90cm口径、20万円/180cm口径)

高精度アンテナ面 (60 μ m/全面, 30 μ m/78%, 17 μ m/40% @90cm口径)
が製作できる。

面精度は金型の面精度を強く反映(180cm口径を2枚作成、再現確認)。
アンテナ面は軟弱なので、保持機構(バックストラクチャ)は必要。

国立天文台
技術センタ三次元
測定機による
面精度測定



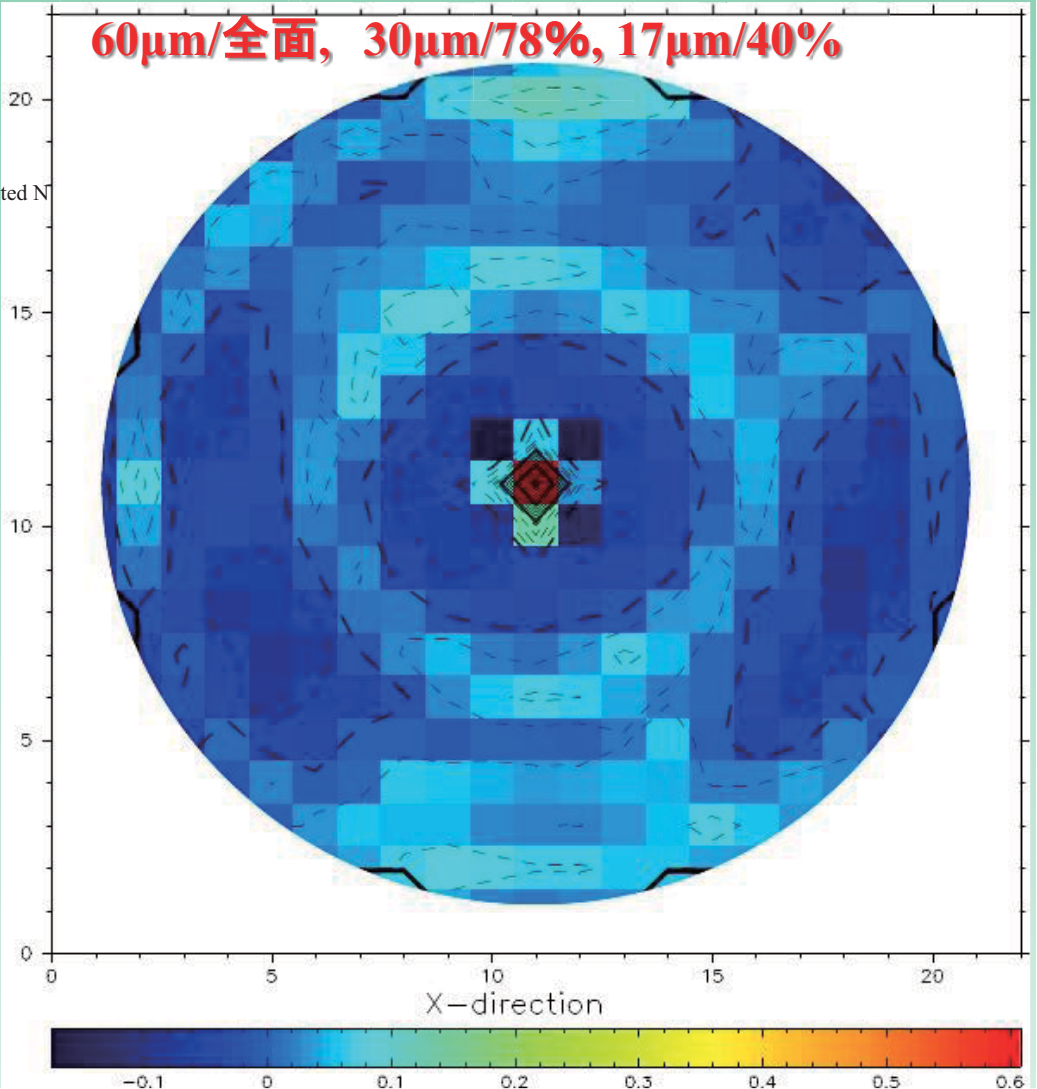
北嶋絞り製作所: 既存金型による
パラボラ面製作

data= 20120828-CCant28.out
ndata= 349
highest(mm)= 0.60838 (sig=10.732)
lowest(mm)=-0.17403 (sig=-3.070)
average(mm)= -0.663434E-04
rms (mm)= 0.05669
Within Sigma rms"(mm) used DATA(%) ejected N

10.732	0.056688	349(100.0)	0
9.500	0.046431	348(99.7)	1
9.000	0.046431	348(99.7)	1
8.500	0.046431	348(99.7)	1
8.000	0.046431	348(99.7)	1
7.500	0.046431	348(99.7)	1
7.000	0.046431	348(99.7)	1
6.500	0.046431	348(99.7)	1
6.000	0.046431	348(99.7)	1
5.500	0.046431	348(99.7)	1
5.000	0.046431	348(99.7)	1
4.500	0.046431	348(99.7)	1
4.000	0.046431	348(99.7)	1
3.500	0.046431	348(99.7)	1
3.000	0.045567	347(99.4)	2
2.500	0.044858	346(99.1)	3
2.000	0.043422	343(98.3)	6
1.500	0.041104	334(95.7)	15
1.000	0.031737	274(78.5)	75
0.500	0.016449	148(42.4)	201
0.250	0.008074	68(19.5)	281

最初に作った丸い縁、1.5mm厚。
中心部に4つ穴を開けたもの。

60μm/全面, 30μm/78%, 17μm/40%



へら絞りアンテナ面の保管の状況：
2年以上、4枚を重ね置き。

“**粗略な扱い**”



それぞれの
面精度は
変わらず！

コストダウンアンテナの検討

へら絞り法(北嶋絞り製作所)：

安価に(製作費、4万円/90cm口径、20万円/180cm口径)

高精度アンテナ面(60 μ m/全面, 30 μ m/78%, 17 μ m/40% @90cm口径)
が製作できる。

面精度は金型の面精度を強く反映(180cm口径を2枚作成、再現確認)。
アンテナ面は軟弱なので、保持機構(バックストラクチャ)は必要。
しかし、かなり“**粗略な扱い**”をしても、面精度は維持される。

精度の良い金型を製作(NCによる切削)、口径2mクラスを作る。

課題は保持機構。絞りアンテナ面は軽量(20kg @180cm)なので、保持機構も難しくない(と想像)。

- 1) 長期展望(~30から40年先まで)
- 2) 計画骨子
- 3) これまでの装置開発
小型移動局アンテナのコストダウン研究
 - a. 複合鏡方式等の検討。
 - b. へら絞り法による鏡面作成
 - c. 架台部の検討
- 4) 装置開発は移動局ゼロ号機に集中。
- 5) サーベイから、適切サイトを選定中。
- 6) 撮像simulations(時間があれば)

移動局(試作ゼロ号機) 設計・製作開始します。

2012年10月以降、

- ・名大Z研・佐藤修二氏のご厚意により、栗田氏ら開発の架台を後利用、小型移動VLBI局の製作を始める。
 - ・町屋修太郎(機械工学・大同大)を中心に架台を立ち上げる。佐藤修二、栗田光樹夫氏ら、京都西村製作所の協力のもと、初期作業は名大において行う。
 - ・改修を行い、口径4~5m相当のアンテナを載せる。
- 国内で115 or 230GHz帯のVLBI観測実験を行う。今後1~2年のうち。

4トン車で架台は運搬できる。
0.1秒追尾性能、5トン搭載可。



きやらばん局架台部
(名大Z研、栗田式
光学2.5m鏡用架台
を貸して頂けること
になりました)。
2012.7.31

名大Z研で

栗田光樹夫氏開発

運搬



以下、数枚の写真は
栗田光樹夫氏プレゼンから

運搬



栗田光樹夫氏プレゼンから

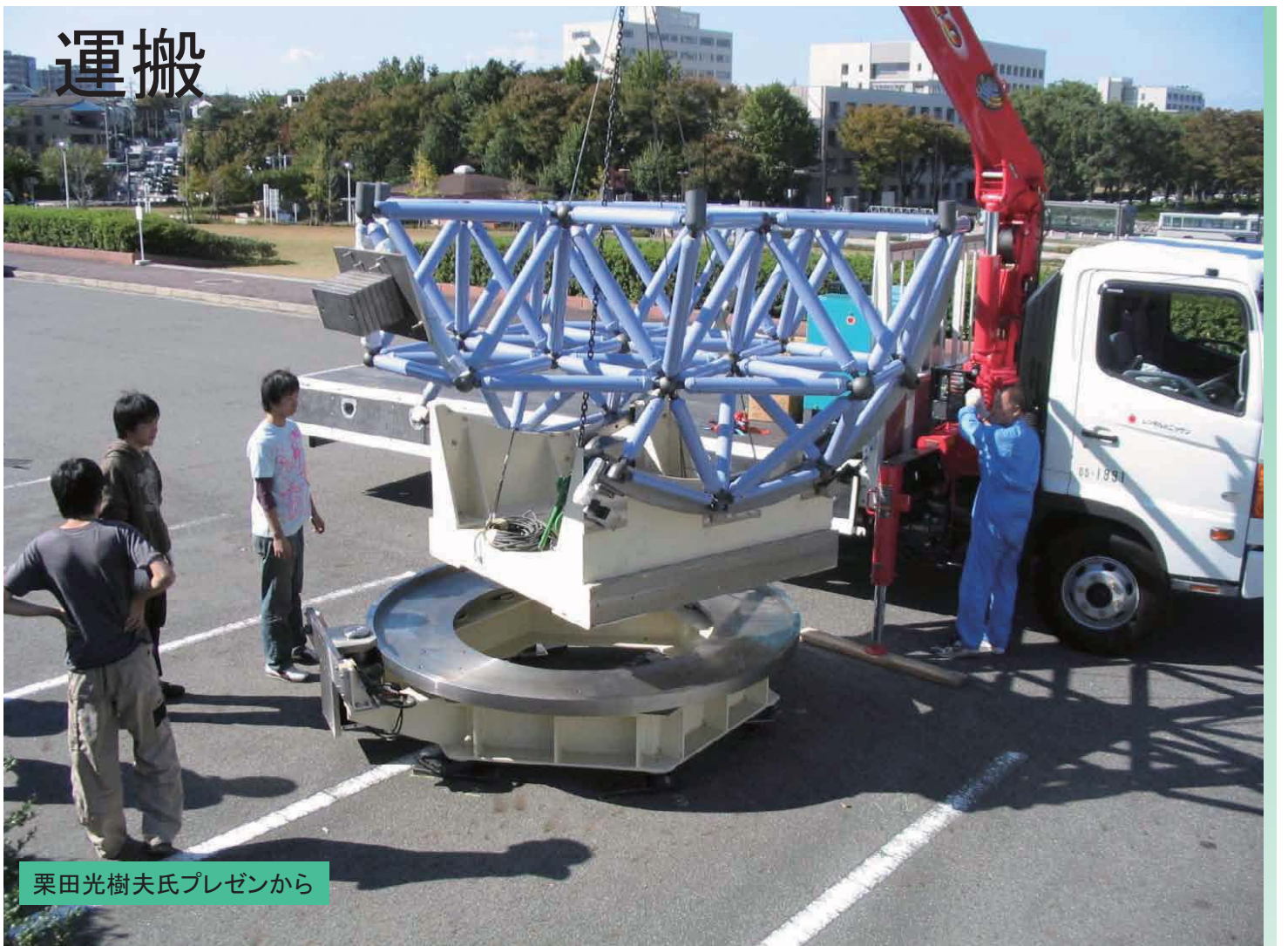
運搬



栗田光樹夫氏プレゼンから



栗田光樹夫氏プレゼンから



運搬

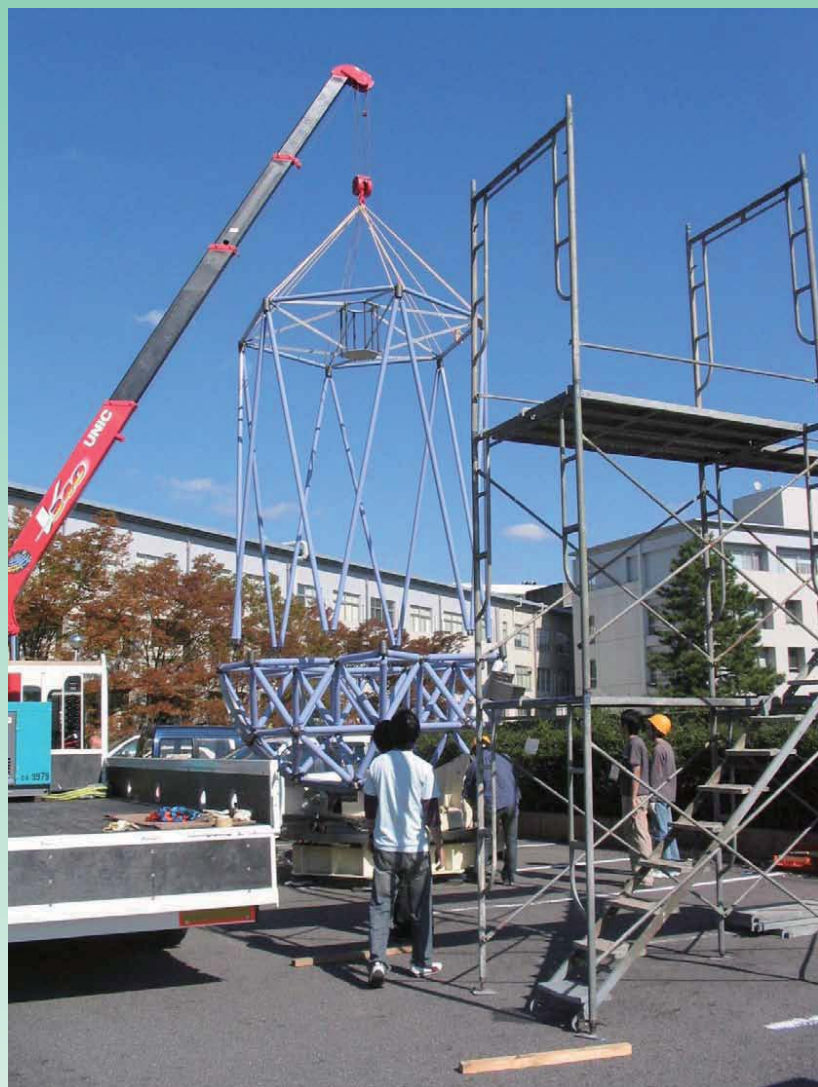
栗田光樹夫氏プレゼンから

運搬



栗田光樹夫氏プレゼンから

運搬



写真は
栗田光樹夫氏プレゼンから

運搬



栗田光樹夫氏プレゼンから

栗田架台 (ULT-1)

- 口径2.5mの光学望遠鏡をもくろんで設計。
- 設計当初より、移動容易であることを考慮。
- トラス構造による軽量化 (5ton以下、従来比1/10)。
- コストダウン (3千万円、従来比1/10)。
- 追尾精度0.1秒角、実証済み。
- 発展型が京大3.8m望遠鏡計画の架台。

移動型ミリ波電波望遠鏡が必要とするスペックをほぼ満たしている

- 1) 長期展望(~30から40年先まで)
- 2) 計画骨子
- 3) これまでの装置開発
小型移動局アンテナのコストダウン研究
 - a. 複合鏡方式等の検討。
 - b. へら絞り法による鏡面作成
 - c. 架台部の検討
- 4) 装置開発は移動局ゼロ号機に集中。
- 5) サーベイから、適切サイトを選定中。
- 6) 撮像simulations(時間があれば)

移動局ゼロ号機的设计・製作を重視した計画シナリオ。

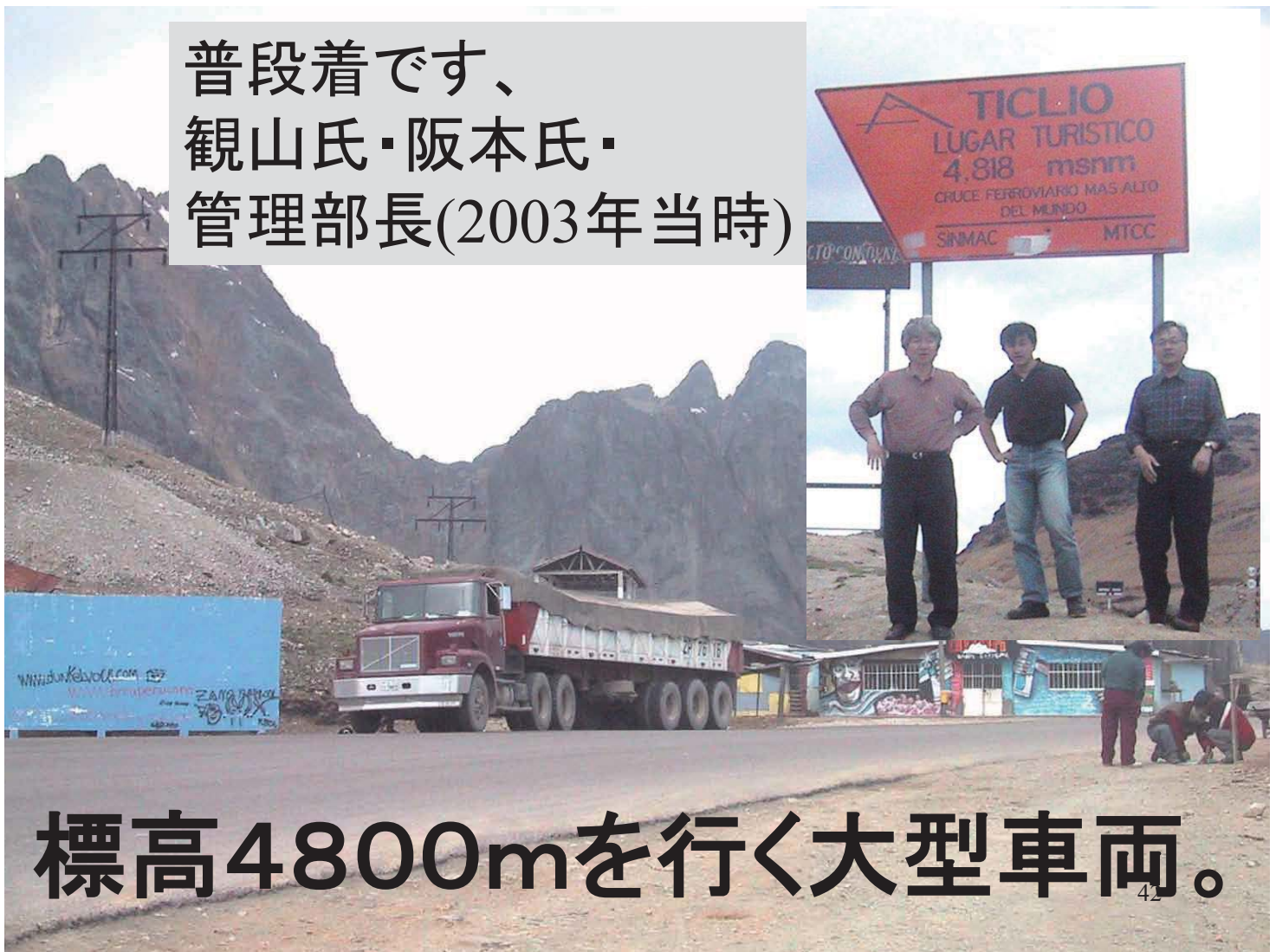
2012/09/18作成											
項目 \ 年度	2003~04	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017以降
サイトサーベイ関連	ペルー・ボリビア アンデス高地はチリアタカマとは違い、文明がある。電気・道路等のインフラが存在。ただし大気環境はアタカマに劣ると思われるので、その調査が必要。	ペルー・ワンカイヨ域 踏査(三好・イシツカ)	ペルー・ボリビア高地・チリSE ST調査(井上・三好・イシツカ)			赤外線水蒸気メータによるサイトサーベイ(ペルー/ボリビア・チリ) 岡・高遠ら協同。 230GHz帯ラジオメータの製作	静止衛星電波利用の大気位相モニターの製作/測定 赤外線水蒸気メータによるサイトサーベイ1, 定置点モニター				
小型移動局	移動して、UVカバーを多様にサンプルできる。SgrA*撮像に必須の1~2千km基線を構成		春日(法政)による絞りアンテナ作成・測定開始	絞り90cm鏡、面精度100μm→60μm確認	絞りアンテナ面研究。金型に精度は依存。既存金型で80μm達成。良い金型を製作すれば、高精度・安価な鏡面製作は可能。	名大佐藤研、栗田架台を借受け、移動局ゼロ号機作成進む。	90cmを用いた22GHz小型VLBI局デモ(再現実験。NIGTIに成功例あり) 栗田架台改修、アンテナ設計製作、国内でゼロ号機単一鏡立ち上げ。	国内、ゼロ号機230GHzVLBI実験へ。	南米移設、単一鏡として立ち上げ、VLBI実験へ	移動局+他局でSgrA*観測。ALMA利用で1~2千km基線観測	きやらばん・サブ、固定大型2局を実現、SgrA*の常時モニター、本格的観測を
固定大型2局1基線	常に同じuv値で観測することで、SgrA*の構造、強度変化を知る。予算潤沢なら15m級アンテナを既存設計で発注。球面鏡はコストダウンのため。			早稲田・那須観測所大型球面鏡の調査、ラフな光学系設計		当面、移動局製作に集中し、大型固定局は既成品購入を前提とする。					
関連する動き	SgrA*ブラックホール撮像simulation。その撮像には8千kmの広がり、10局規模必要。1~2千km基線のヌル点検出が重要	ドールマン、SgrA*230GHzVLBI フリンジ検出	SgrA*特化型のきやらばん・サブの構想(天文学会、月報)	きやらばん・サブ、BH2010にて、Fabianの絶賛を受ける	MITヘイスタック先導のEHT観測網					アインシュタイン一般相対性理論発表より100年(まにあう！)	

NAOJプロジェクト化等で十分な予算・人員がある場合。
ない場合、達成はおそらく、'20年以降に

- 1) 長期展望(~30から40年先まで)
 - 2) 計画骨子
 - 3) これまでの装置開発
- ## 小型移動局アンテナのコストダウン研究
- a. 複合鏡方式等の検討。
 - b. へら絞り法による鏡面作成
 - c. 架台部の検討
- 4) 装置開発は移動局ゼロ号機に集中。
 - 5) サーベイから、適切サイトを選定中。
 - 6) 撮像simulations(時間があれば)

ペルー・ボリビア アンデスに 道路あり。

普段着です、
観山氏・阪本氏・
管理部長(2003年当時)



標高4800mを行く大型車両。



南米大陸東西縦貫道路が整備されつつある。

43

水素メーザ、運搬OK

- ・ハイエースで運んだ！ ---NICT鹿島実績
- ・立ち上げ後1時間でVLBIに使用可能な安定度
- ・走行中でもVLBI観測は可能な安定度。
--アンリツ・水素メーザ技術者待鳥氏
搬送中であっても安定度(for VLBI)は保たれる。

移動での、時計を始めとする機器への影響を検討、今後、工学的に研究をする(JAXA・アンリツ・ソフトバンク等と協同)。

実施サイトサーベイ

2012年6月実施(約2週間)

参加: 国立天文台・慶應大学・

ペルー地球物理観測所

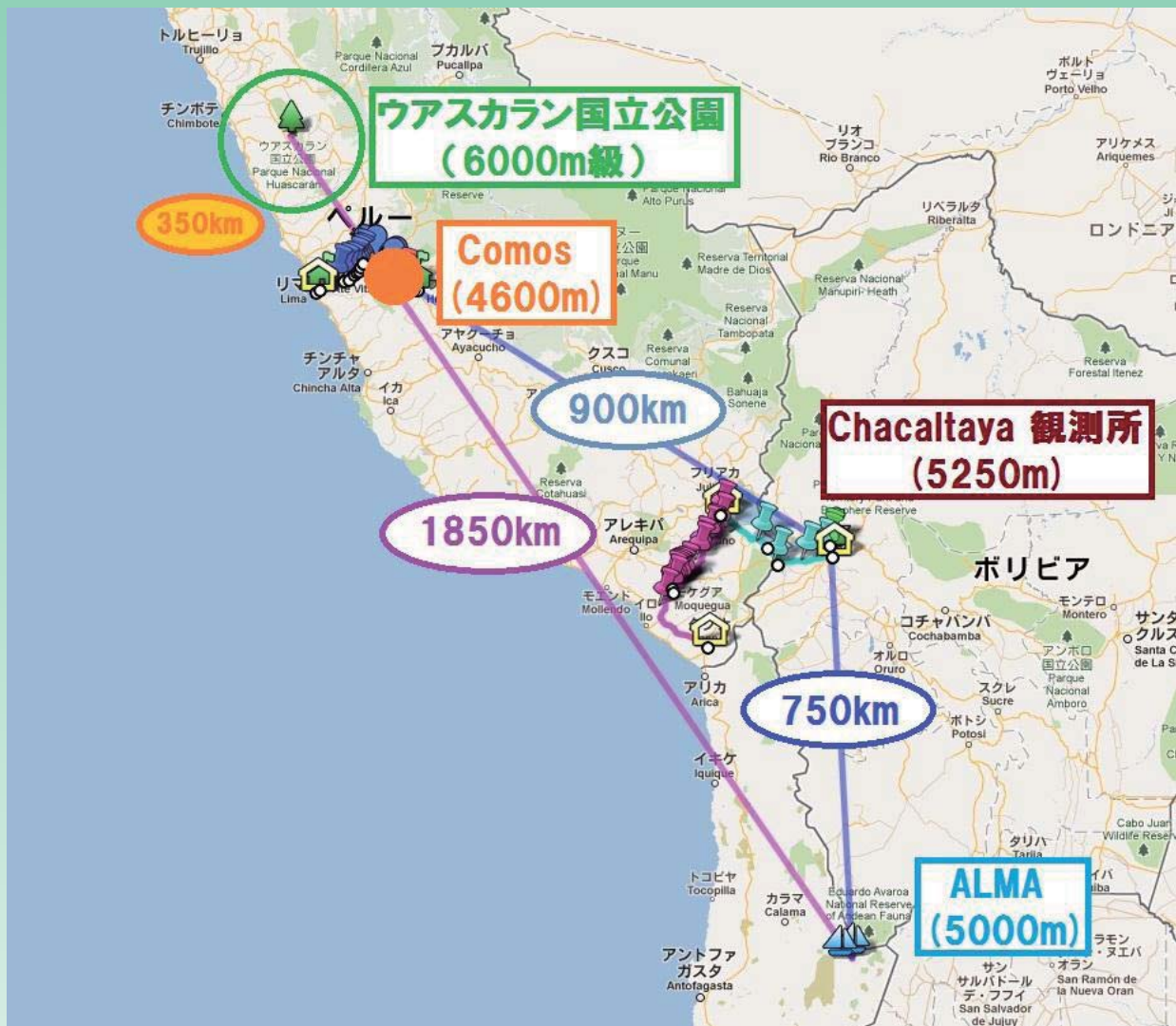
機器: 近赤外水蒸気メータ

(NAOJ・ハワイ観測所・高遠氏製作)による。

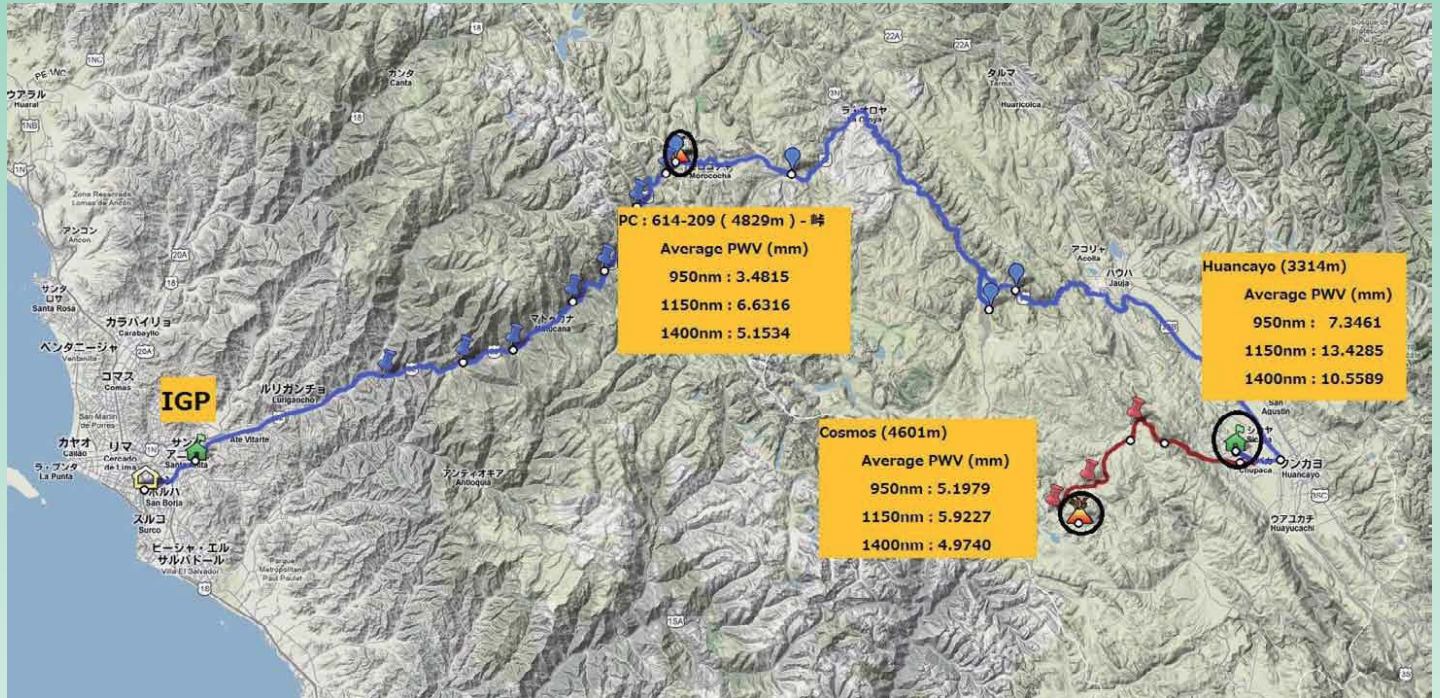
サーベイ域

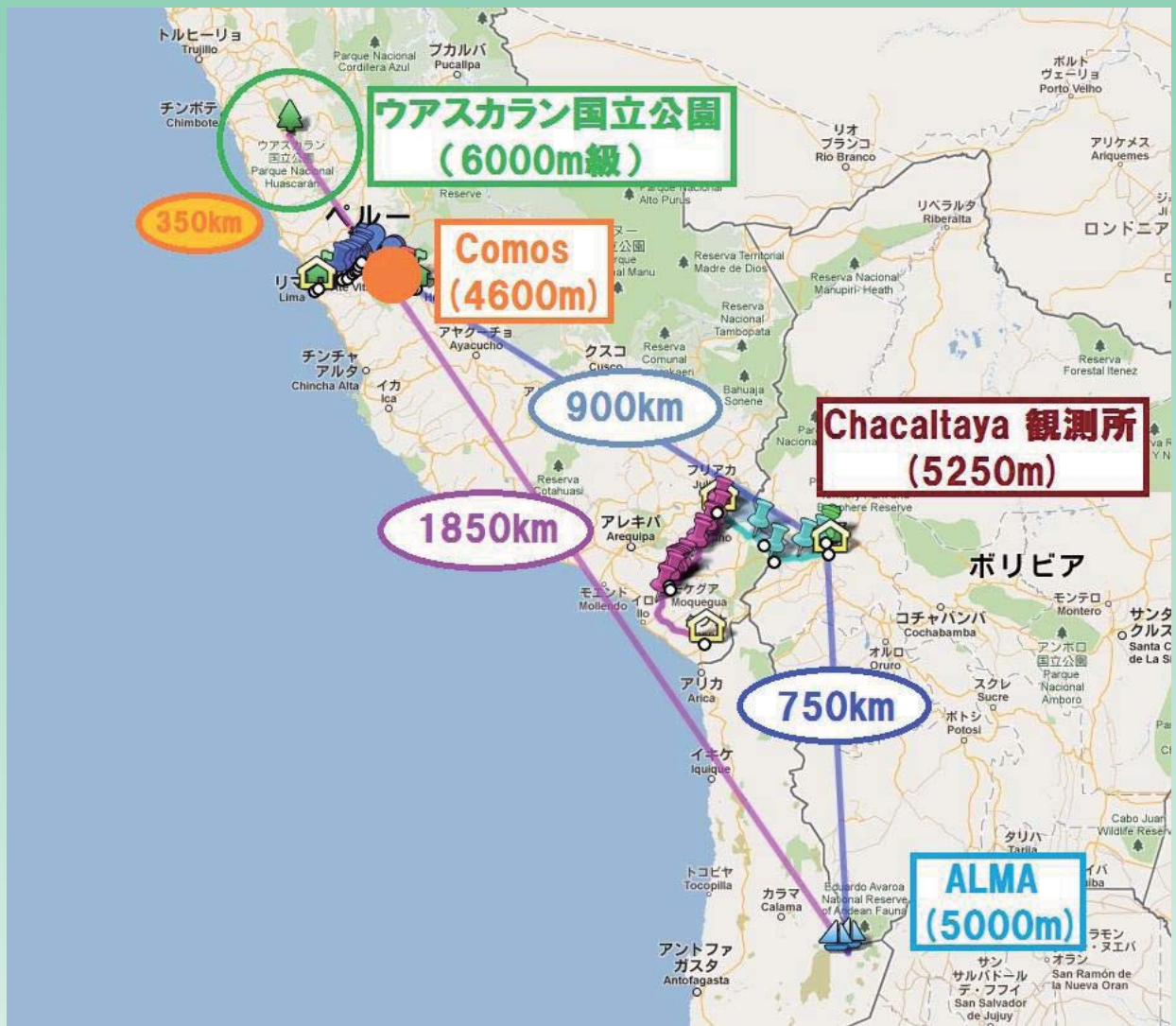
(1) リマーワンカイヨ(ペルー)

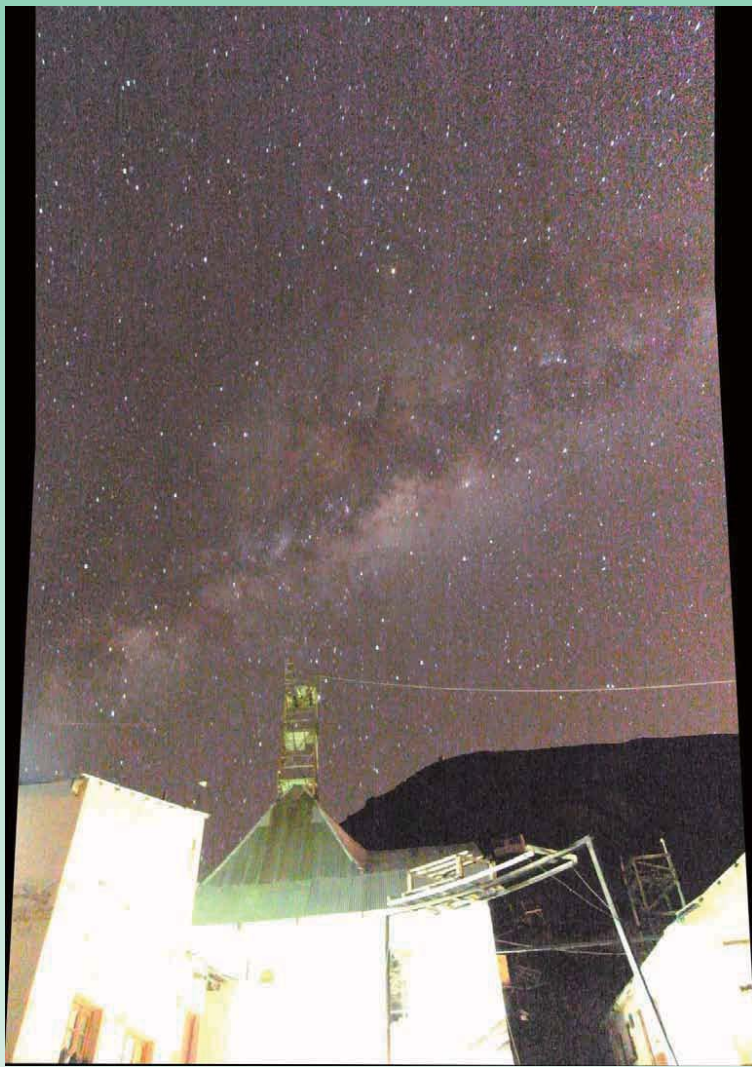
(2) ラパス(ボリビア)ータクナ(ペルー南端)



ペルー、リマ=ワンカイヨ







チャカルタヤ観測所と銀河中心

5300mで一泊(寝付きは悪い)。
30時間超滞在。

51



52

1) 長期展望(~30から40年先まで)

2) 計画骨子

3) これまでの装置開発

小型移動局アンテナのコストダウン研究

a. 複合鏡方式等の検討。

b. へら絞り法による鏡面作成

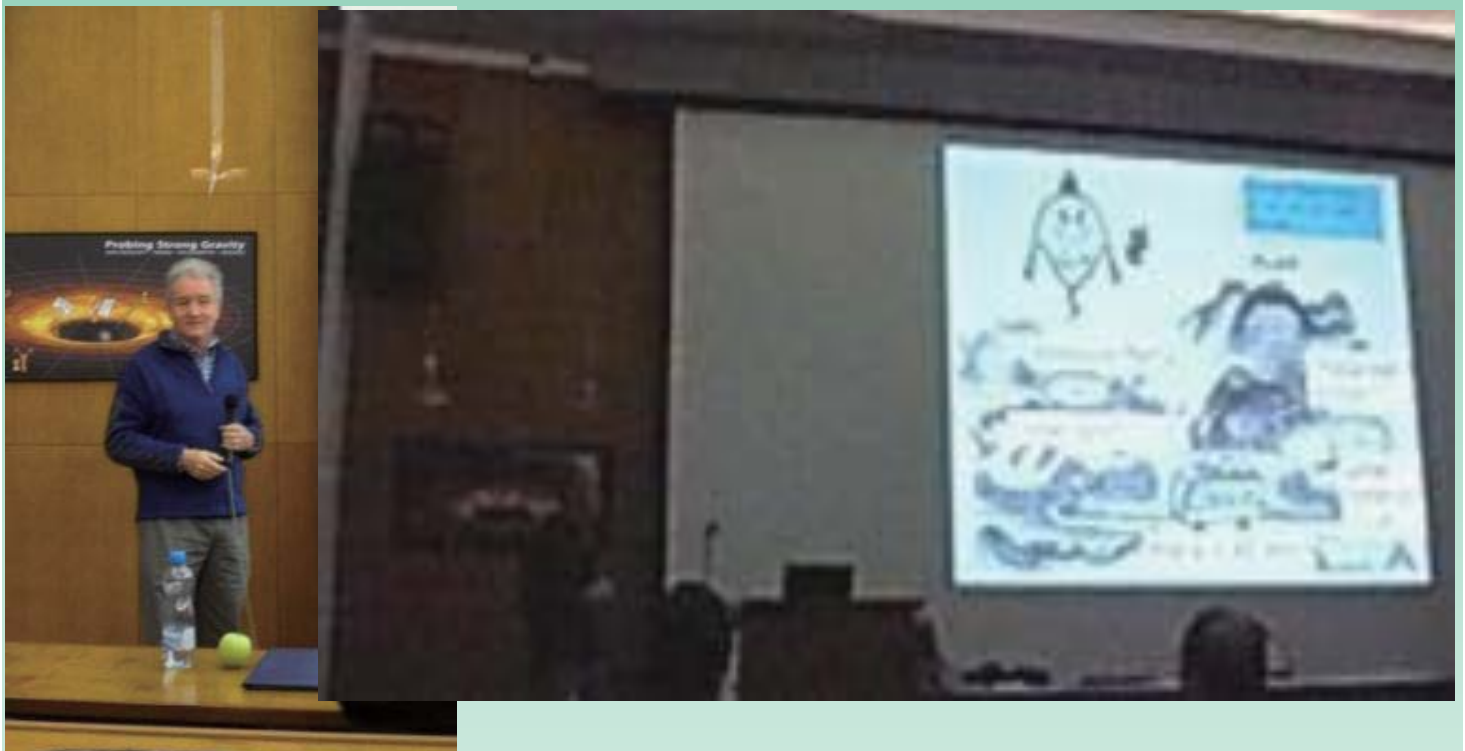
c. 架台部の検討

4) 装置開発は移動局ゼロ号機に集中。

5) サーベイから、適切サイトを選定中。

6) 撮像simulations(時間があれば)

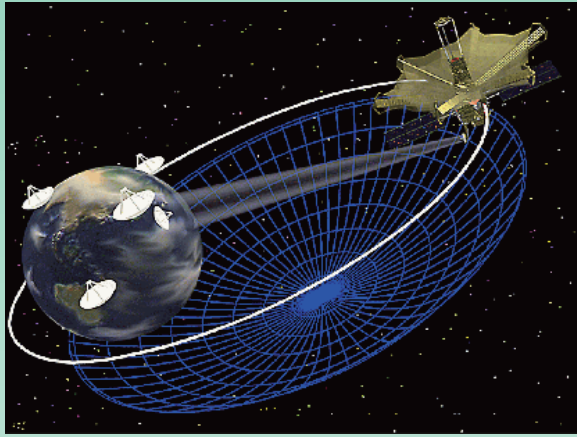
ブラックホールの専門家は絶賛。



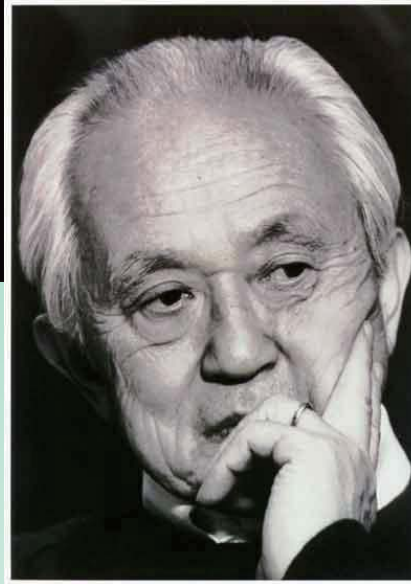
↑BH2010@プラハ、2010年2月サマリ・トーク:
Fabian, A.先生

銀河中心ブラックホールモニタ装置へ

最終的にはTHz帯スペースVLBI



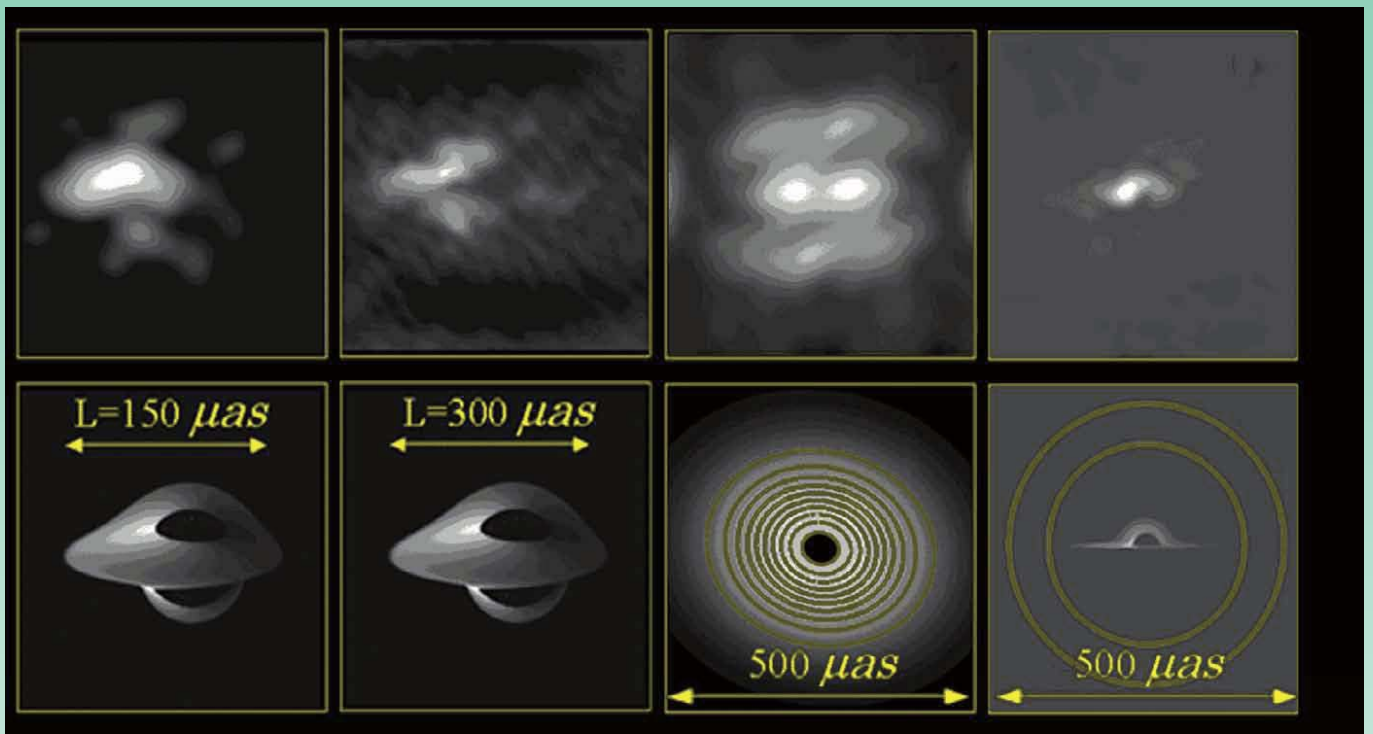
元祖・スペースVLBI
HALCA(1997)



小田稔・森本雅樹らが考えた方向は“長期”展望で有効。
(スペースからのVLBIは地道に検討を早々に再開、進めてゆくべき)

- 1) 長期展望(~30から40年先まで)
- 2) 計画骨子
- 3) これまでの装置開発
小型移動局アンテナのコストダウン研究
 - a. 複合鏡方式等の検討。
 - b. へら絞り法による鏡面作成
 - c. 架台部の検討
- 4) 装置開発は移動局ゼロ号機に集中。
- 5) サーベイから、適切サイトを選定中。
- 6) 撮像simulations(時間があれば)

きゃらばんの取得
する短基線u-vは
どのくらい有効？
撮像 simulation:



地球規模の超長基線(5局以下)では撮像はうまくいかない。2000km以下の短基線こそが重要。

Miyoshiら (2004,2007)

既存長基線局群

vs./and

きゃらばん、

with/without ALMA

No	緯度	経度	h	D	eff	Tsys	bit	Station Name			
1	-16.3445	-68.1255	5300	20	0.5	150		2 Chakaltaya, LaPaz, Bolivia	きゃらばん固定局		
2	-12.0143	-75.2792	3370	20	0.5	150		2 Sycaya, Huancayo, IGP,(Peru)	きゃらばん固定局		
3	-29.2500	-70.7330	2400	20	0.5	150		2 SEST		7局	
4	-23.0000	-67.4000	5000	70	0.7	80		2 Phased ALMA			
5	-11.5248	-75.8987	4000	4	0.6	150		2 La Oroya	きゃらばん移動点	LMT 含む	
6	-12.1461	-75.6126	4800	4	0.6	150		2 COSMOS	きゃらばん移動点		
7	-33.7340	-69.8801	6000	4	0.6	150		2 Sanchago Cerro Marmolejo Chirri	きゃらばん移動点		
8	-16.3988	-71.5369	3000	4	0.6	150		2 Arequipa	きゃらばん移動点		
9	-20.4341	-41.7966	2890	4	0.6	150		2 Pico De Bandeira Brazil	きゃらばん移動点		
10	-13.5898	-72.8030	4000	4	0.6	150		2 Avancay	きゃらばん移動点		
11	-11.9182	-75.0464	5450	4	0.6	150		2 A	きゃらばん移動点		
12	-11.5224	-75.9066	3800	4	0.6	150		2 B	きゃらばん移動点		
13	-11.6080	-76.2280	4800	4	0.6	150		2 C	きゃらばん移動点		
14	-17.4383	-65.6148	4000	4	0.6	150		2 D	きゃらばん移動点		
15	19.8265	-155.4744	4200	6	0.7	150		2 SM SMA			○
16	-18.0497	-70.2768	400	10	0.8	150		2 TK Peru,Takna	きゃらばん移動点		
17	-15.8433	-70.0236	4000	10	0.8	150		2 PU Peru, Puno,Titicaca	きゃらばん移動点		
18	-23.9900	-65.4000	4200	10	0.8	150		2 LL LLAMA-1,Argentina	きゃらばん移動点	○	
19	-81.5000	-80.3700	4100	10	0.8	150		2 DA Dome Argus (南極)			
20	18.9778	-98.3087	4600	50	0.3	150		2 LM LMT, Mexico Puebla, Sierra Negra		○	
21	34.7416	-111.4013	1700	10	0.3	150		2 AR SMT, Arizona Radio Observatory		○	
22	36.5100	-120.7618	2160	10	0.3	150		2 CA CARMA,Cedar Flat 7200feet		○	
23	34.7416	-111.4014	2250	15	0.5	150		2 Pd 15m, Plateau de Bure interferometer		○	
24	38.8026	-116.4200	2850	30	0.5	150		2 IR 30m, IRAM, Pico Veleta		○	

13回
移動

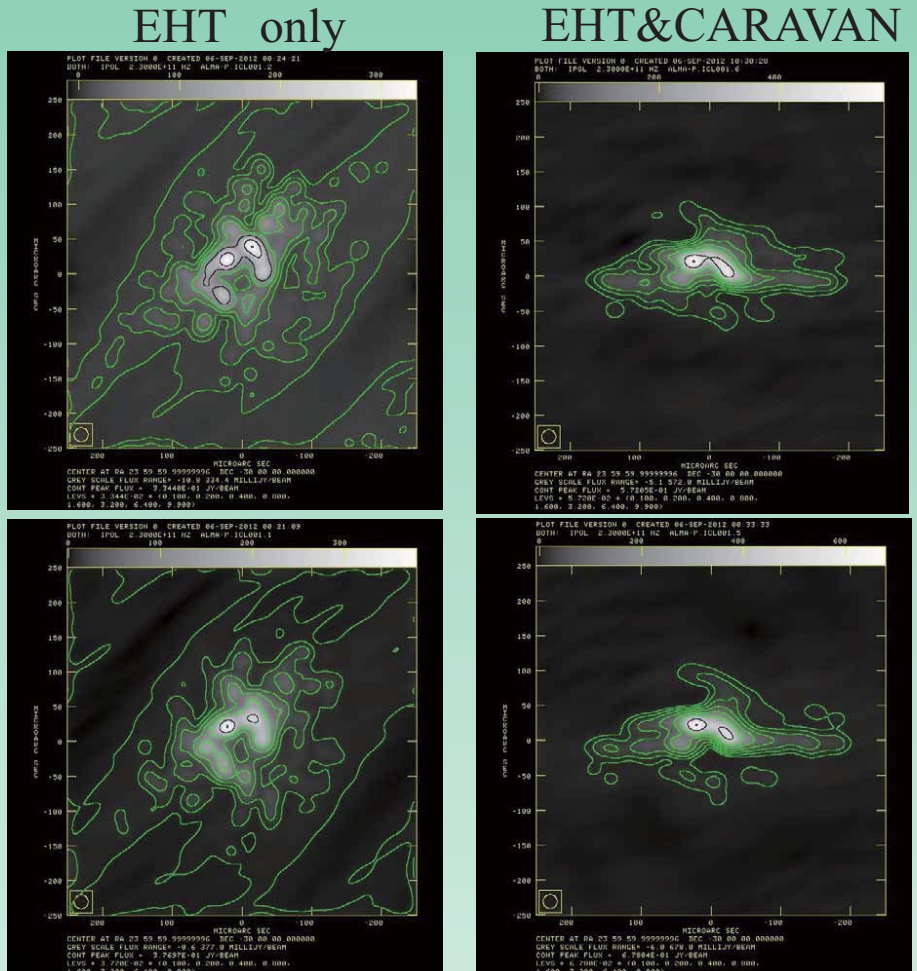
Phased ALMAの
有無で比較(1)

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(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。

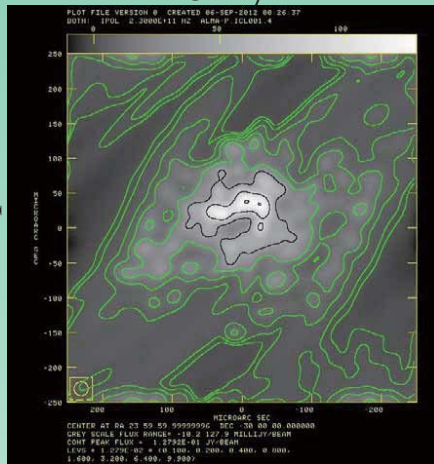
Phased ALMAの 有無で比較(2)

像モデル:
降着円盤全体が明るい

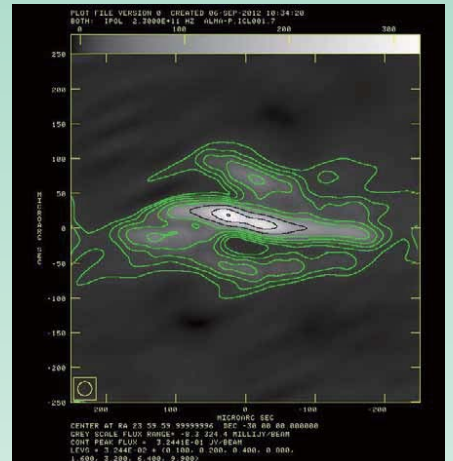
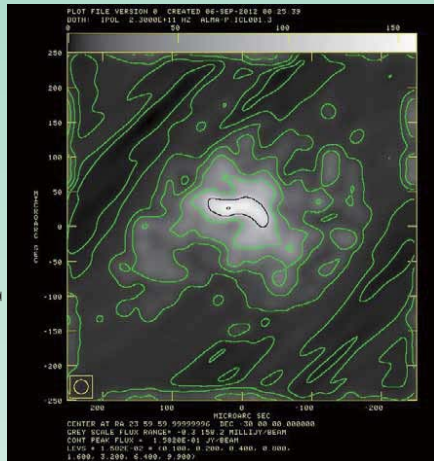
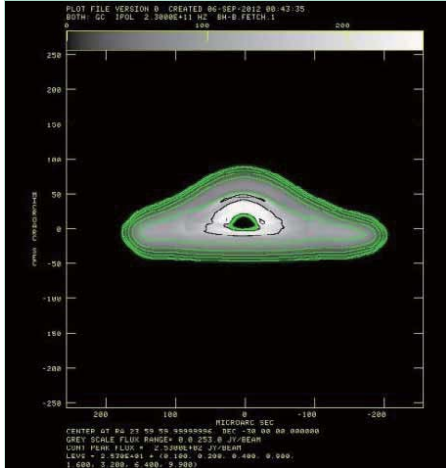
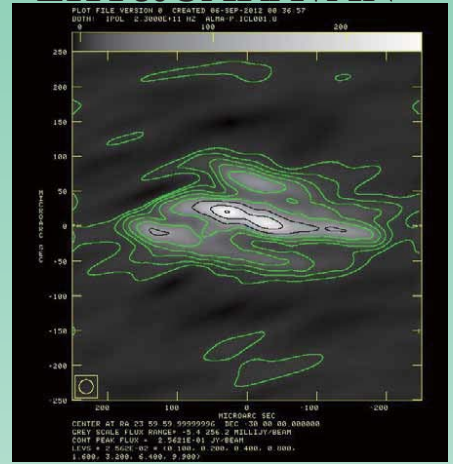
Without pALMA

With pALMA

EHT only

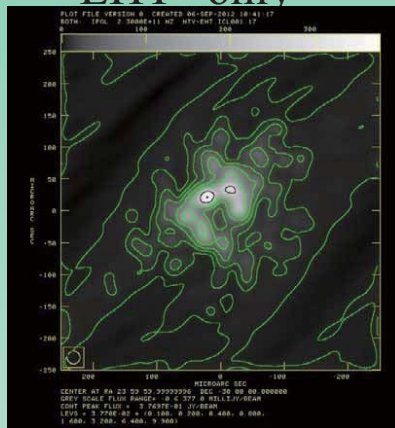
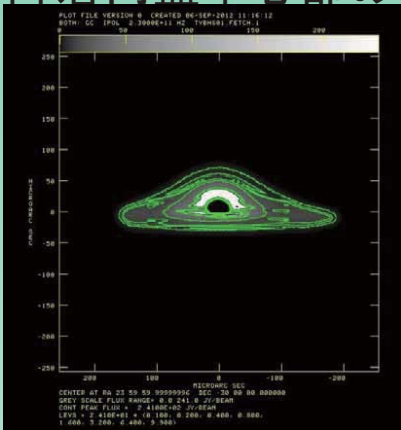


EHT&CARAVAN

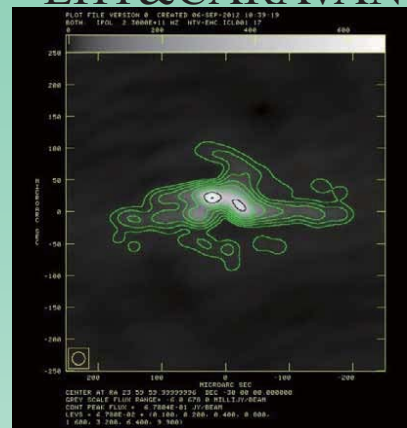


EHT(超長基線構成)では、あたかもシャドーが見えたかのような像になるが、間違った構造を示す。そこにCARAVAN(日本)が参加すれば、相当に改善される。

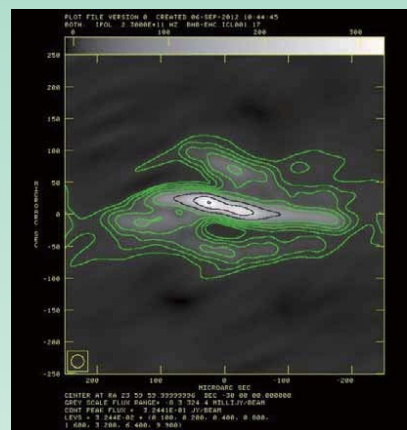
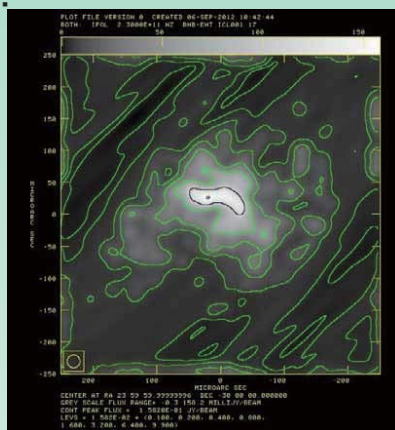
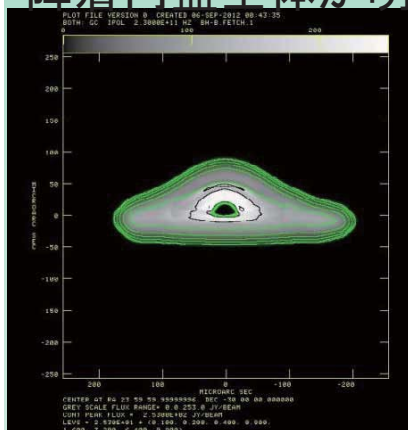
降着円盤中心部のみ明るいEHT only



EHT&CARAVAN



降着円盤全体が明るい:



図はPhased ALMA込み: CARAVAN(日本)の参加が有効策

変動像simulation

ブラックホール降着円盤が時間変動した場合。
きゃらばんの取得visibilityからどんな像が得られるか？

(元々,2000km規模のuvのみでは, horizonの画像は難しい)

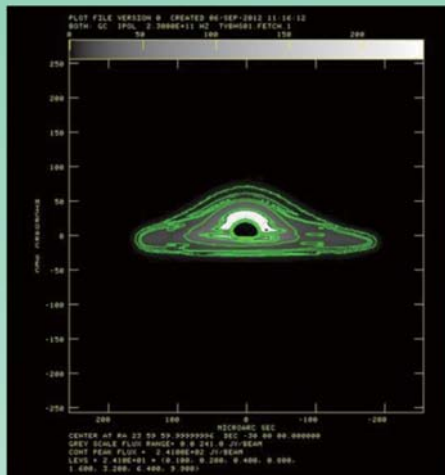
10%強度(構造も)変動する100マイクロ秒角
サイズの降着円盤:
その存在、傾き、大きさ、は撮像からわかる。
さらにvisibilityへのモデルフィットで、詳しく検討。

円盤振動
($m=1$)
全体強度
10%

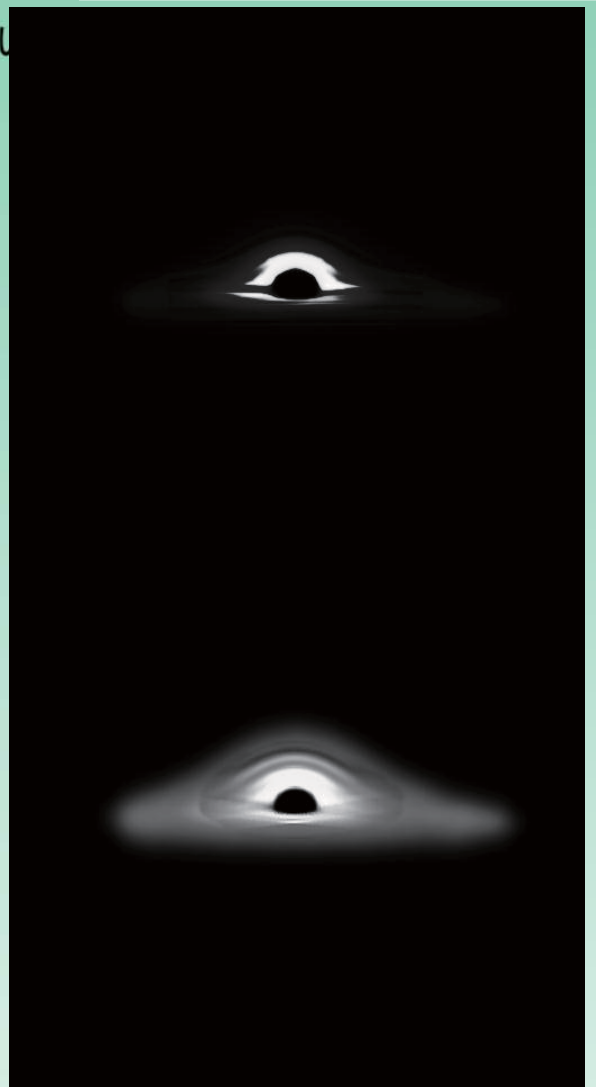
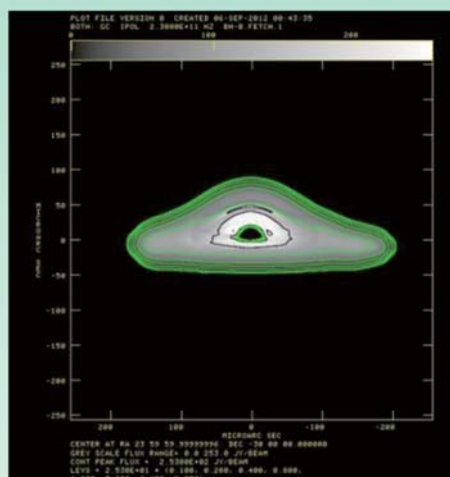
ブラックホール
シャドーサイズ
40マイクロ秒角

円盤サイズ
100マイクロ秒角
(最高輝度の半
分の強度になる
範囲で)

降着円盤中心部のみ明るく



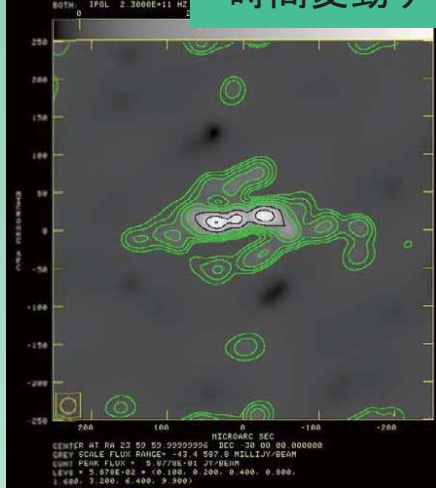
降着円盤全体が明るい:



降着円盤中心部のみ明るい

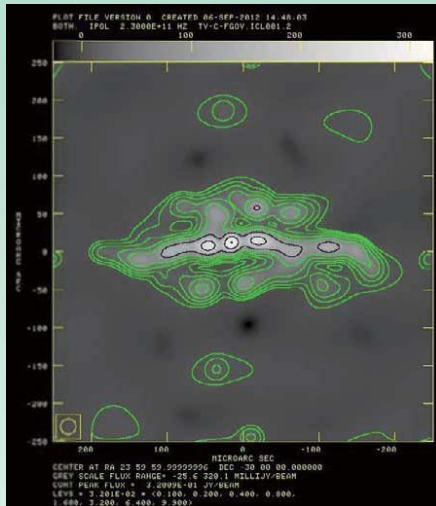
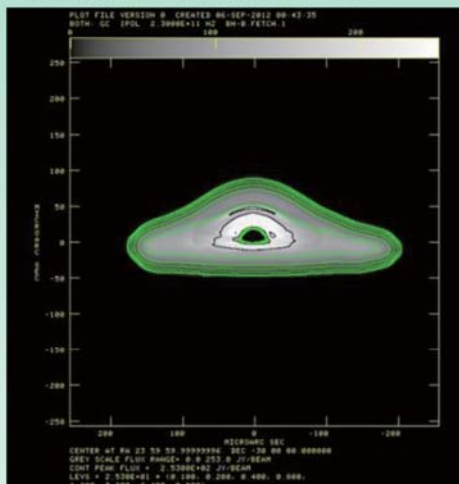


時間変動する降着円盤を撮像できるか



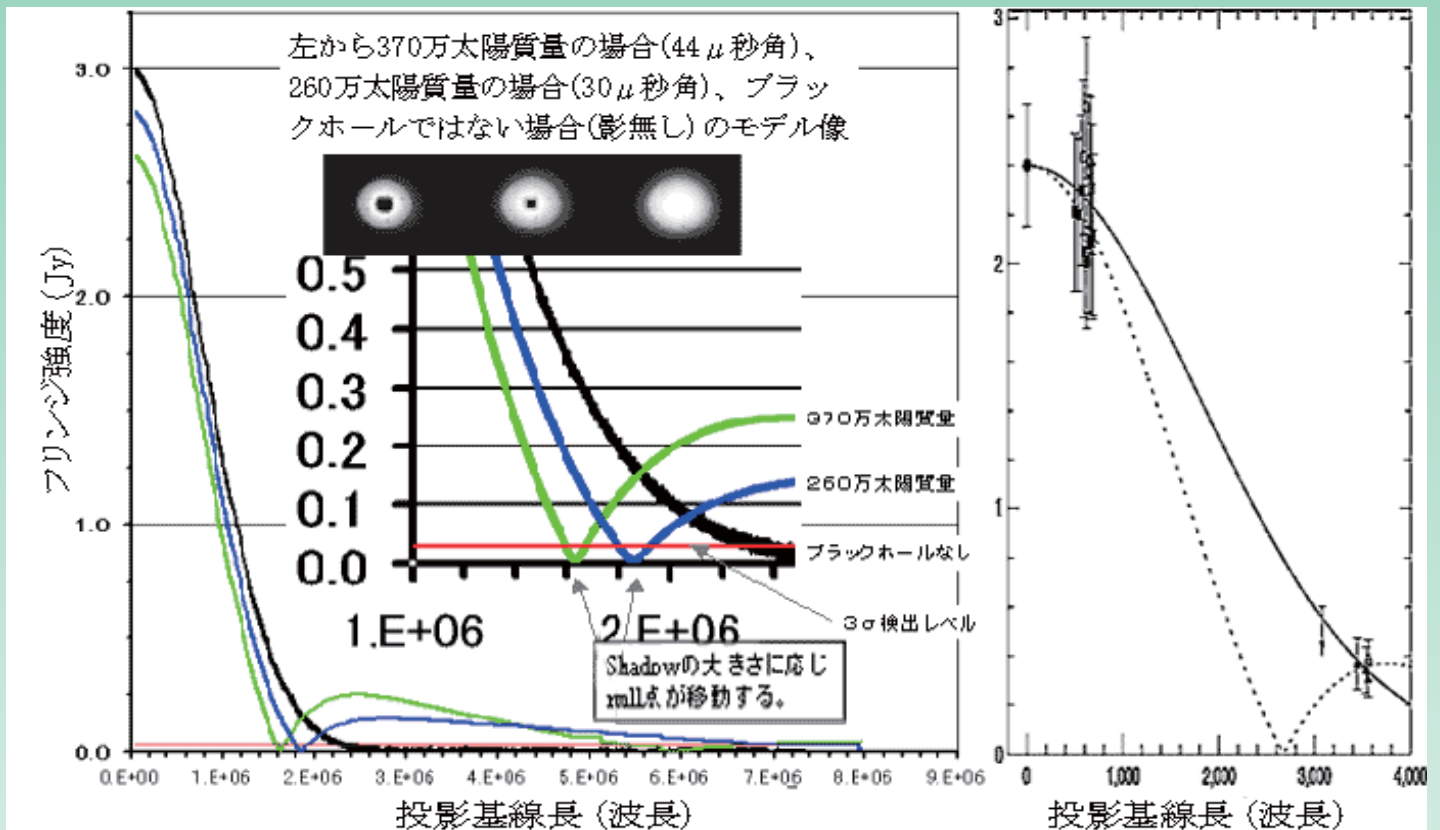
100マイクロ秒角
 サイズ円盤:
 存在、大きさ
 傾きは合成像から判
 断できる。
 その上でvisibilityへ
 のモデルフィットで構
 造について解析する
 ことになる。

降着円盤全体が明るい:



13観測地点移動。
 重複uvの刈り込み。
 固定基線(チャカルタ
 ヤーワンカイヨ)での
 振幅が大きく異なる観
 測データはflagした。

詳細解析はvisibilityへの像モデル フィット(単純な像モデルの場合)



(左) Miyoshi et al. (04, 07) より改変 (右) Doeleman (08) の図 1 より