

キャラバンの現状と展望・

サブミリ波など

今後VLBIができる

天文学への貢献

三好 真(国立天文台)

2014年6月3日

今後VLBIができる

天文学への貢献:

キャラバンの現状と展望

(サブミリ波VLBI)など

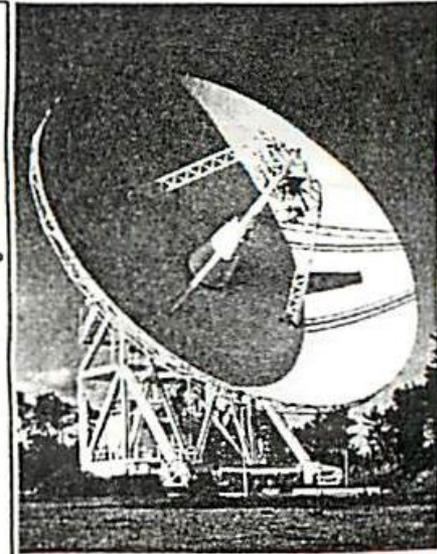
三好 真(国立天文台)

2014年6月3日

ミリ波 VLBI をきりひらく, KNIFE



▲野辺山 45m 鏡.



▲鹿島 34m 鏡.

▲鹿島—野辺山間は東西約 200km, 波長 7mm の電波では空間分解能 0.007 秒が得られる.

川口さん国立天文台赴任後、最初の仕事

高周波数・43GHzのVLBIを立ち上げ、天文観測(星メーザ)を!



巨大ブラックホールの解像へ



銀河系の構造・ダイナミクスへ

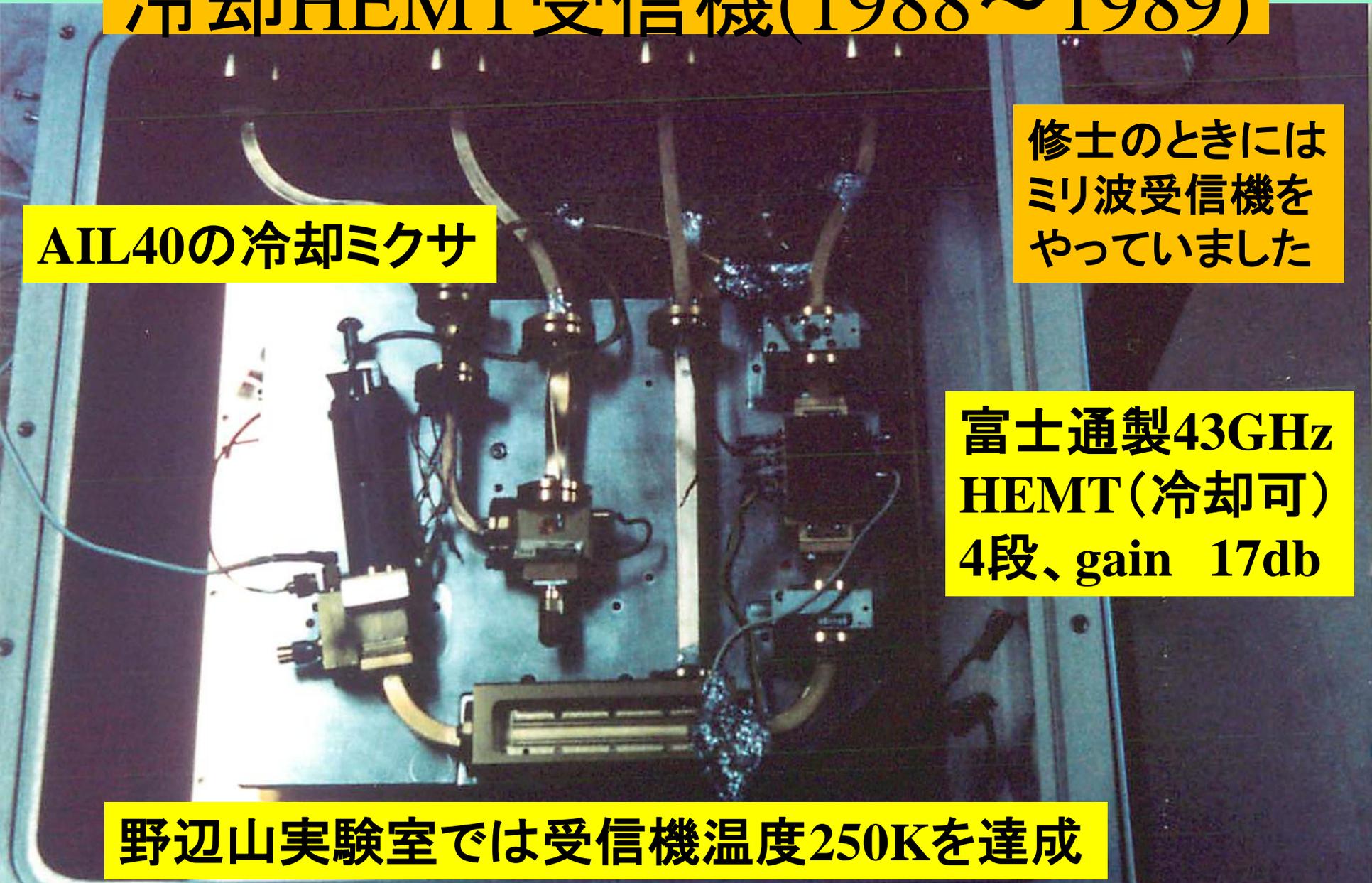
世界初のアンテナ搭載43GHz 冷却HEMT受信機(1988~1989)

AIL40の冷却ミクサ

修士のときには
ミリ波受信機を
やっていました

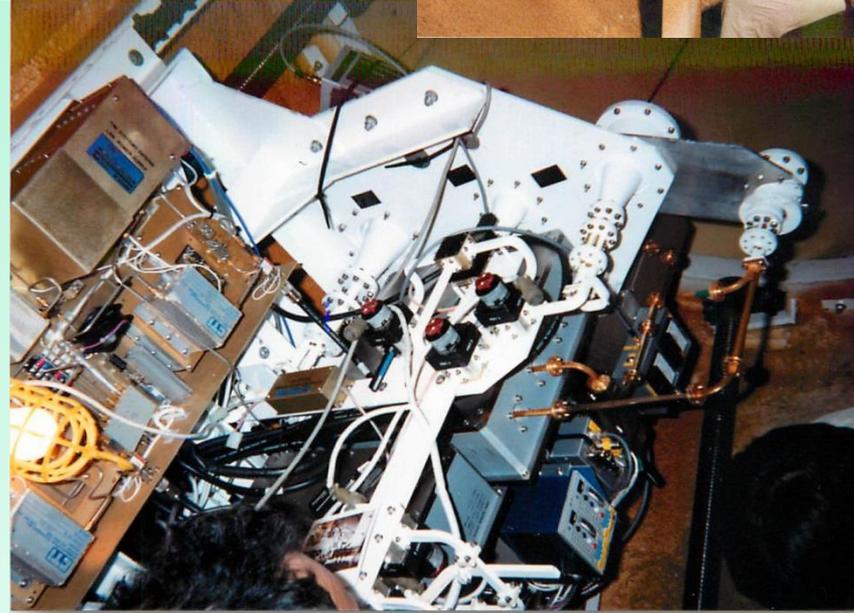
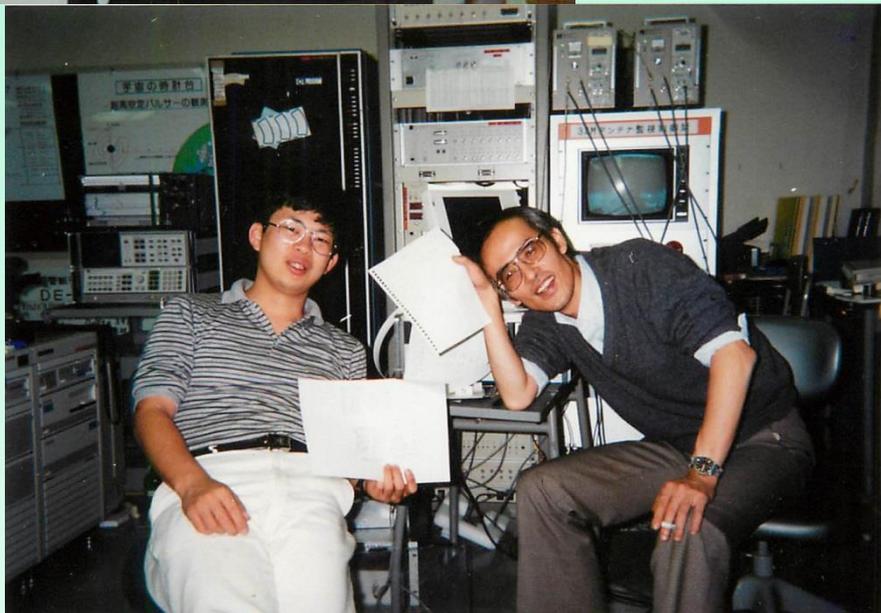
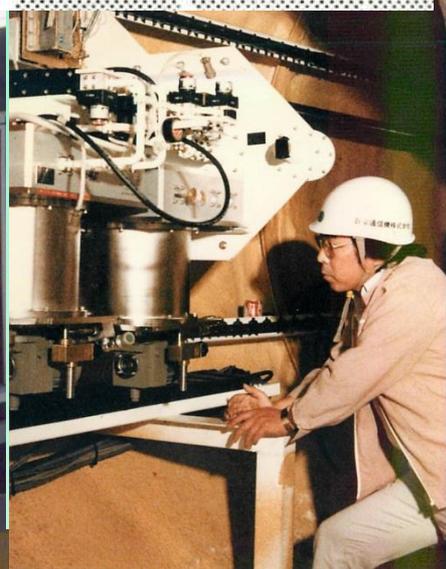
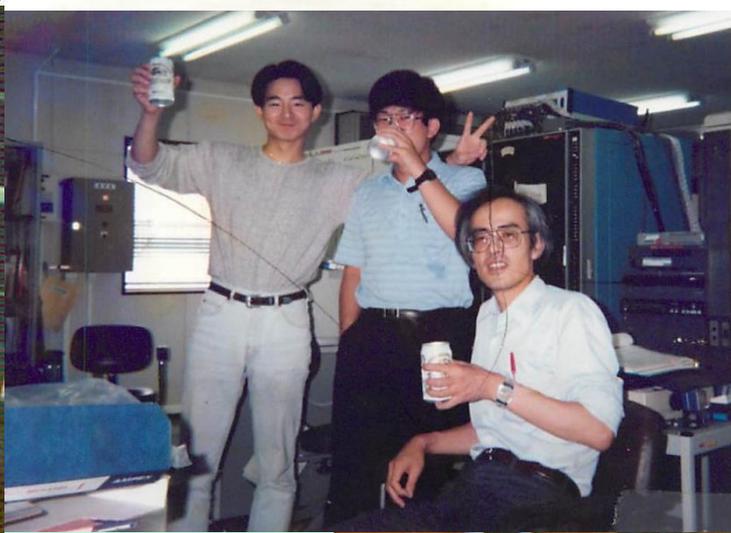
富士通製43GHz
HEMT(冷却可)
4段、gain 17db

野辺山実験室では受信機温度250Kを達成



天文学の現場から

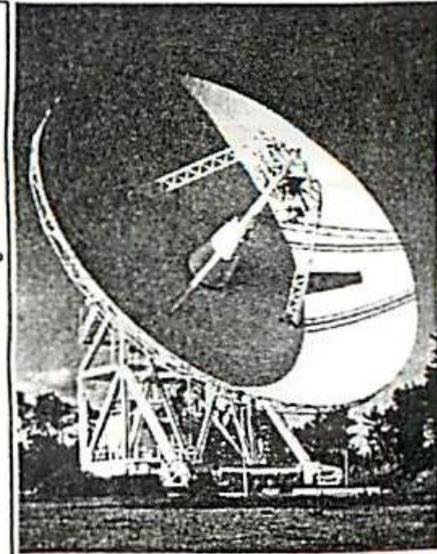
ミリ波 VLBI をきりひらく, KNIFE



ミリ波 VLBI をきりひらく, KNIFE



▲野辺山 45m 鏡.



▲鹿島 34m 鏡.

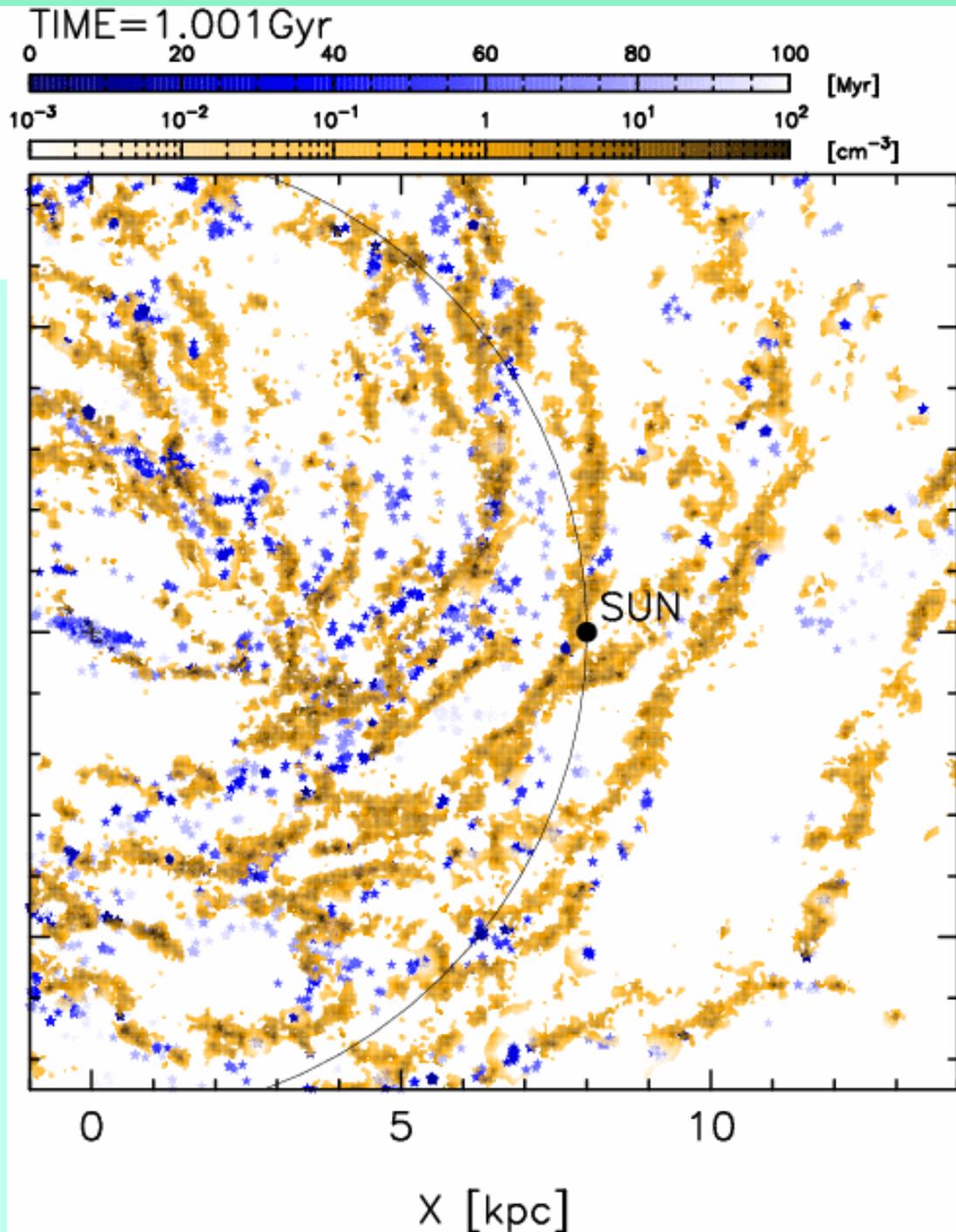
▲鹿島—野辺山間は東西約 200km, 波長 7mm の電波では空間分解能 0.007 秒が得られる.

川口さん国立天文台赴任後、最初の仕事

高周波数・43GHzのVLBIを立ち上げ、天文観測(星メーザ)を!



巨大ブラックホールの解像 **銀河系の構造・ダイナミクスへ**



「銀河系の腕などの構造がなぜできるのか？」が観測から明かにできる。

VLBIは銀河系内天体の距離と運動を計測できる唯一の観測装置。

銀河系の教科書を書き換える程度の仕事はできる！

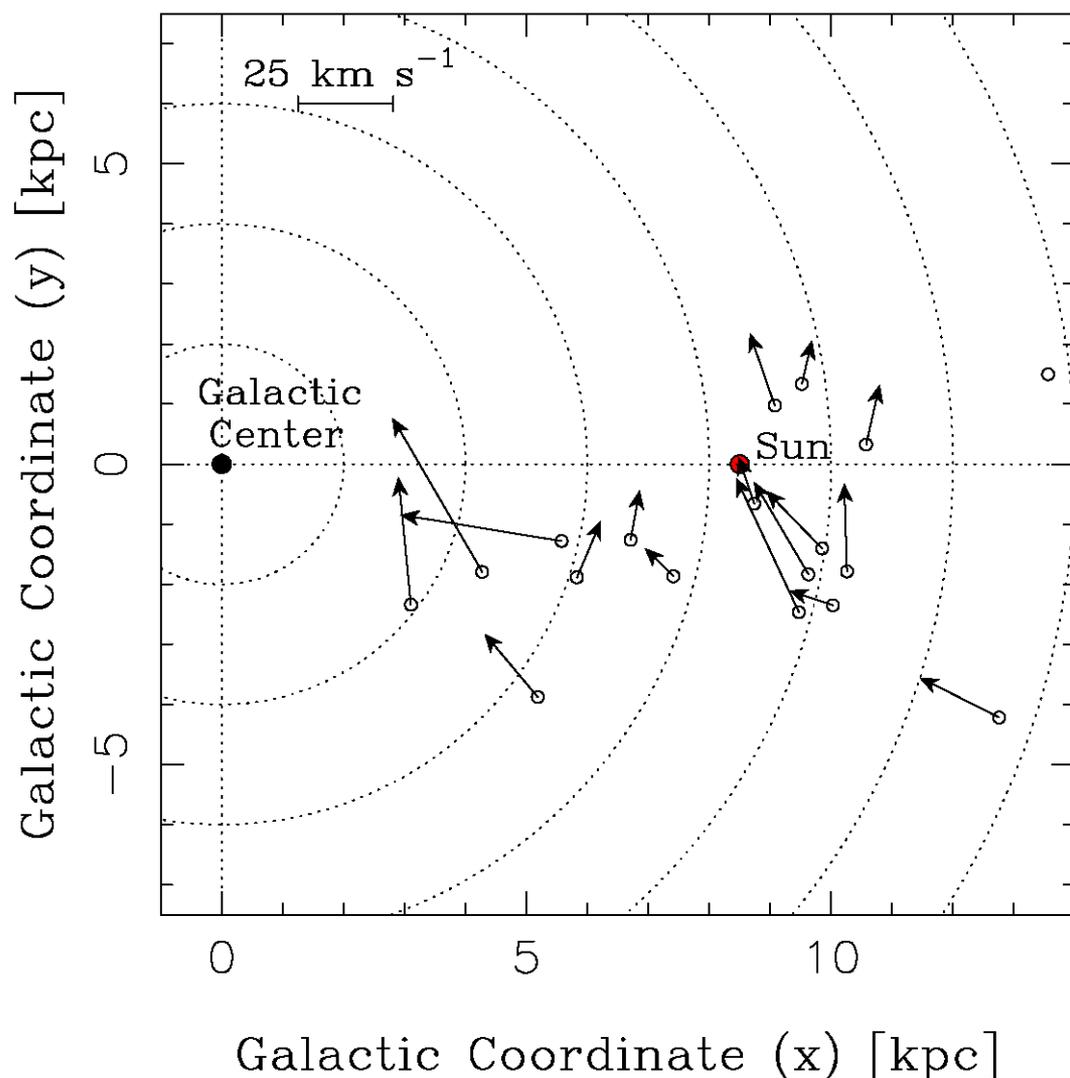
Baba他(2009)のsimulation→

VLBIで既にみえている！

欧米のお歴々は気がついていない(Linden Bellは別)。

日本で戦略をもって取り組めば、『銀河系の教科書を書き換える仕事』は日本の成果になる。

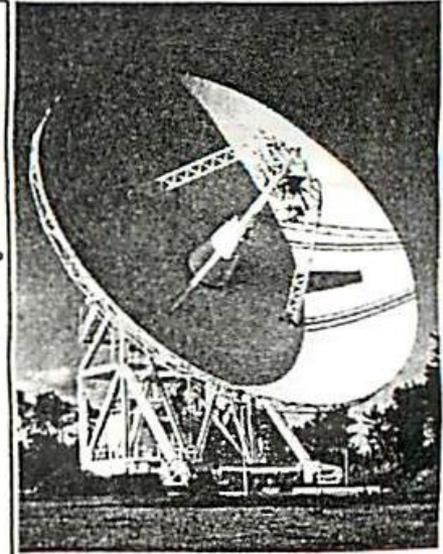
小林さんは副台長は辞めるべき！
(天文台より天文学が大事)。



ミリ波 VLBI をきりひらく, KNIFE



▲野辺山 45m 鏡.



▲鹿島 34m 鏡.

▲鹿島—野辺山間は東西約 200km, 波長 7mm の電波では空間分解能 0.007 秒が得られる.

川口さん国立天文台赴任後、最初の仕事

高周波数・43GHzのVLBIを立ち上げ、天文観測(星メーザ)を！



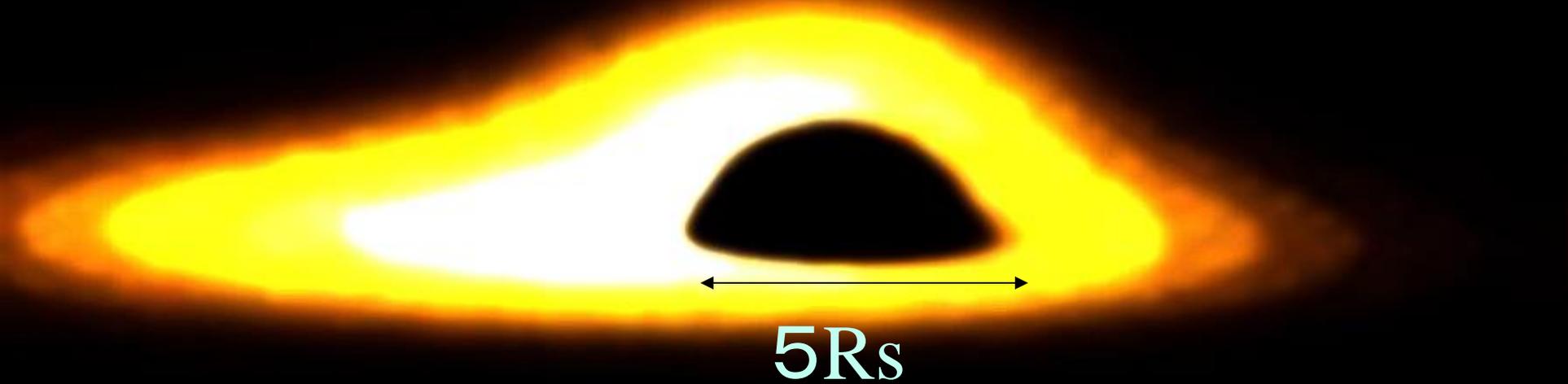
巨大ブラックホールの解像への可系の構造・ダイナミクスへ

アンデスサブミリ波VLBI:

きゃらばん・submm

(Caravan-Submm)

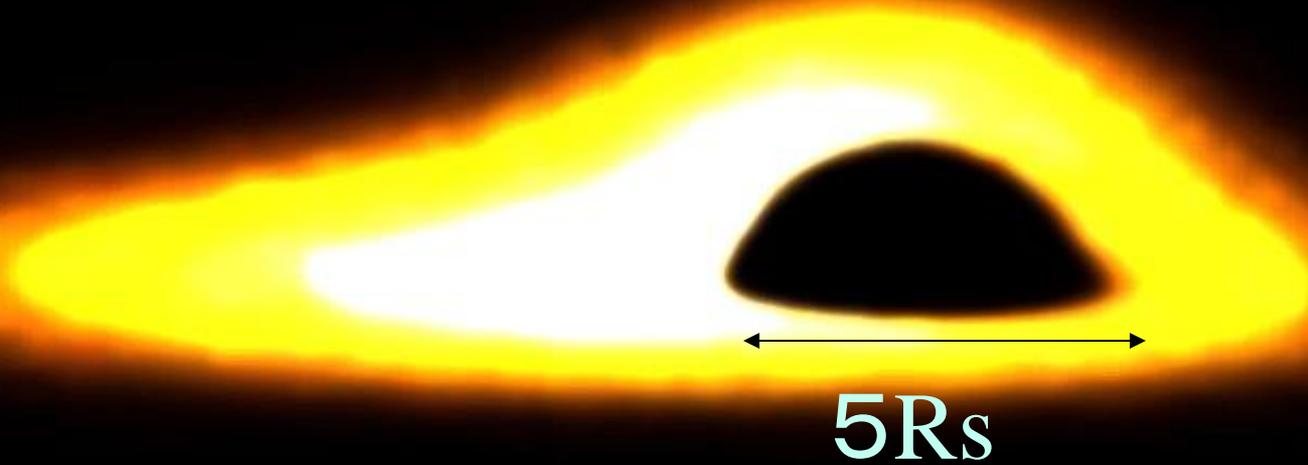
ブラックホール近傍が見えたら面白い。



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。

ブラックホール近傍が見えたら面白い。



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!

^{2012/8/4}
<http://quasar.cc.osaka-kyoiku.ac.jp/~fukue/>より。

“CARAVAN”はCRL(現NiCT)が元祖

CRL 鹿島 VLBI ニュース

第89号 平成 14年 12月 19日

通信総合研究所鹿島宇宙通信研究センター
宇宙電波応用グループ発行
TEL 0299-84-7137 FAX 0299-84-7159
WWW URL <http://www.crl.go.jp/kaisudoastro/index-J.html>

CARAVAN小型電波望遠鏡, 25億光年果ての受信に成功

CARAVAN (Compact Antenna for Radio Astronomy VLBI Adapted for Network)

“キャラバン”と名付けた超小型電波望遠鏡が完成しました。このような小型の電波望遠鏡は集光力が不足することからこれまで実用的ではありませんでしたが、通信総合研究所のギガビットVLBI技術により、中口径の電波望遠鏡と組み合わせれば多数の電波天体が観測可能になります。2002年11月には銀河系内のメーザー天体を皮切りに、なんと約25億光年離れたクエーサ、3C273の受信に成功しました。キャラバンはわずか65cmの大きさで、世界で一番小さいながら一番遠くを観測したことになります。この小さな望遠鏡の特徴は何処へ移動しても観測ができることで、ネットワーク研究においてギガビット以上の観測データを流し、途中で処理しながら伝送する研究、通信用パラボラに併せた研究、大学や電波望遠鏡が無い国でも電波観測に参加する研究が可能になります。また、受信システムには茨城大学の常温低雑音受信機が使用されています。現在カセグレン方式の2号機も製作中ですが、我々のグループでは、ホンダの“アシモ”のように“キャラバン”をCRLのマスコットパラボラにしたいと考えています。IY・JN記



図1: キャラバン電波望遠鏡。小型赤道儀にコリメーション用の光学望遠鏡と同架されている。



図2: 3.4mアンテナと同時観測するキャラバン

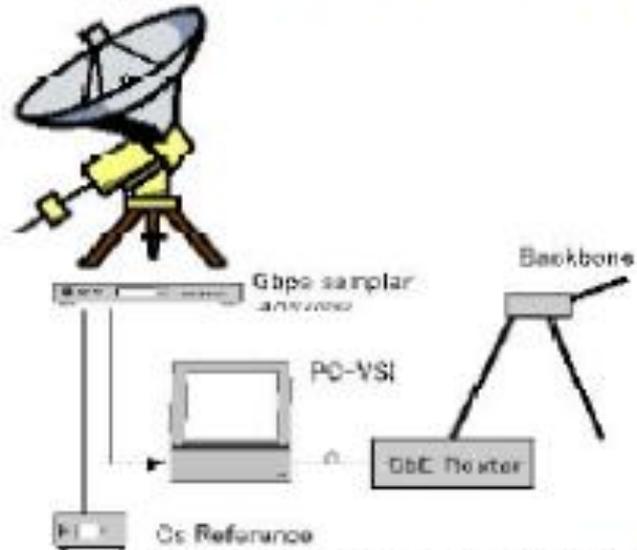


図3: CARAVANをネットワークにつないだ研究

きゃらばんはアンデスに電波望遠鏡を並べ、観測しよう。

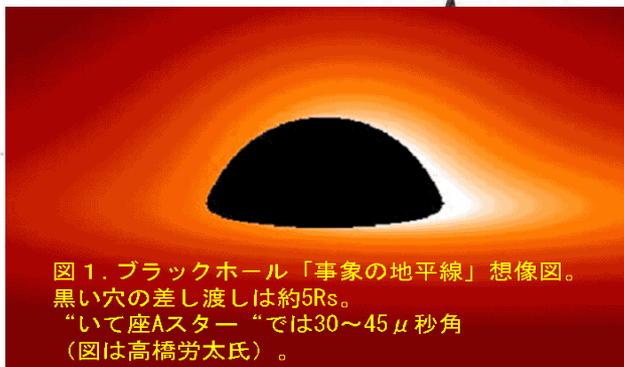


図1. ブラックホール「事象の地平線」想像図。
黒い穴の差し渡しは約5Rs。
“いて座Aスター”では30~45μ秒角
(図は高橋 勇太氏)。

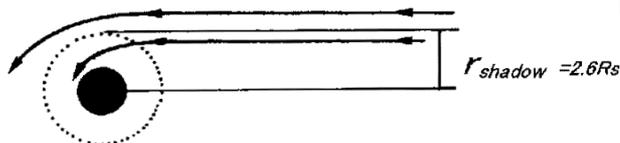


図2. 事象の地平線はブラックホールの自己重力
レンズ効果で拡大されて見える。



ALMA

ワンカヨ

大型固定局

チャカルタヤ

大型固定局



移動観測局

(停車して観測)

2012/8/4



アンデスだけだと2000kmの広がりのVLBIになる。

ワンカヨ32m
センチ波(通信アンテナ)



ペルー
ワンカヨ
3300m



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

チャカルタヤ

ALMA

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。

2000km

1000km

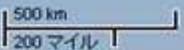


キャラバン型移動局

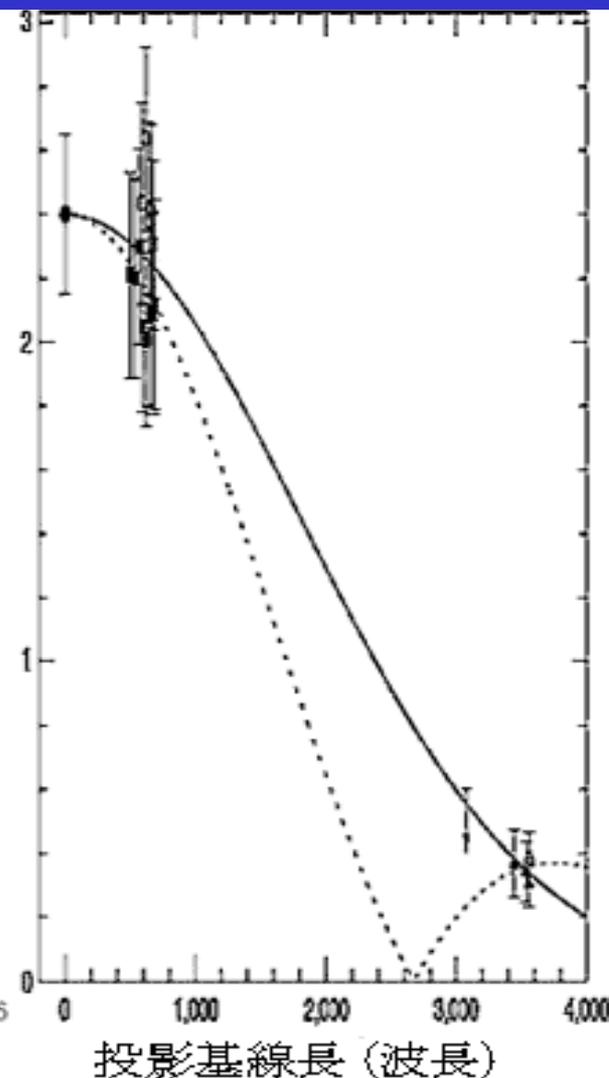
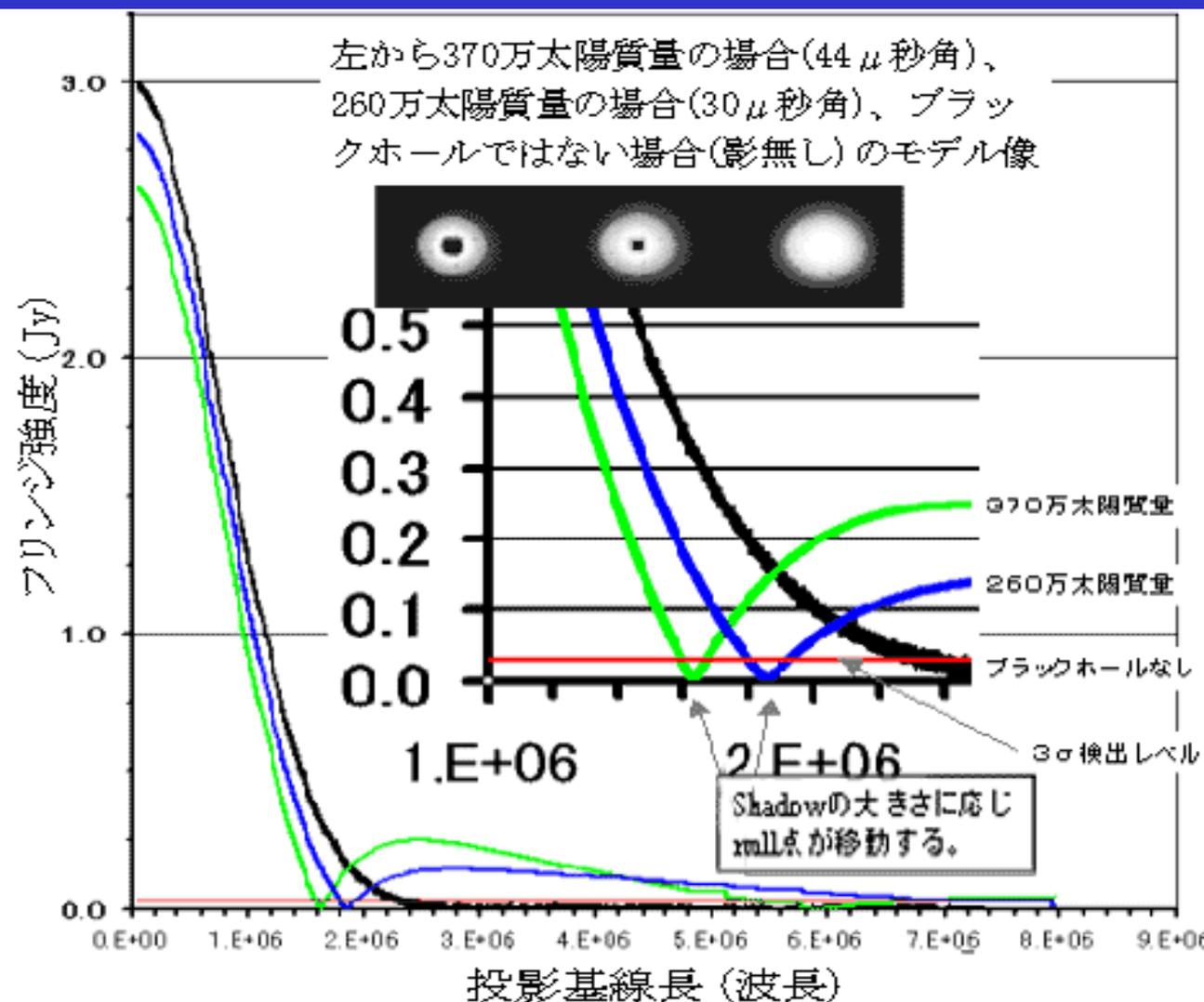


機念ながら閉鎖

ラシラ
2400m SEST15m鏡



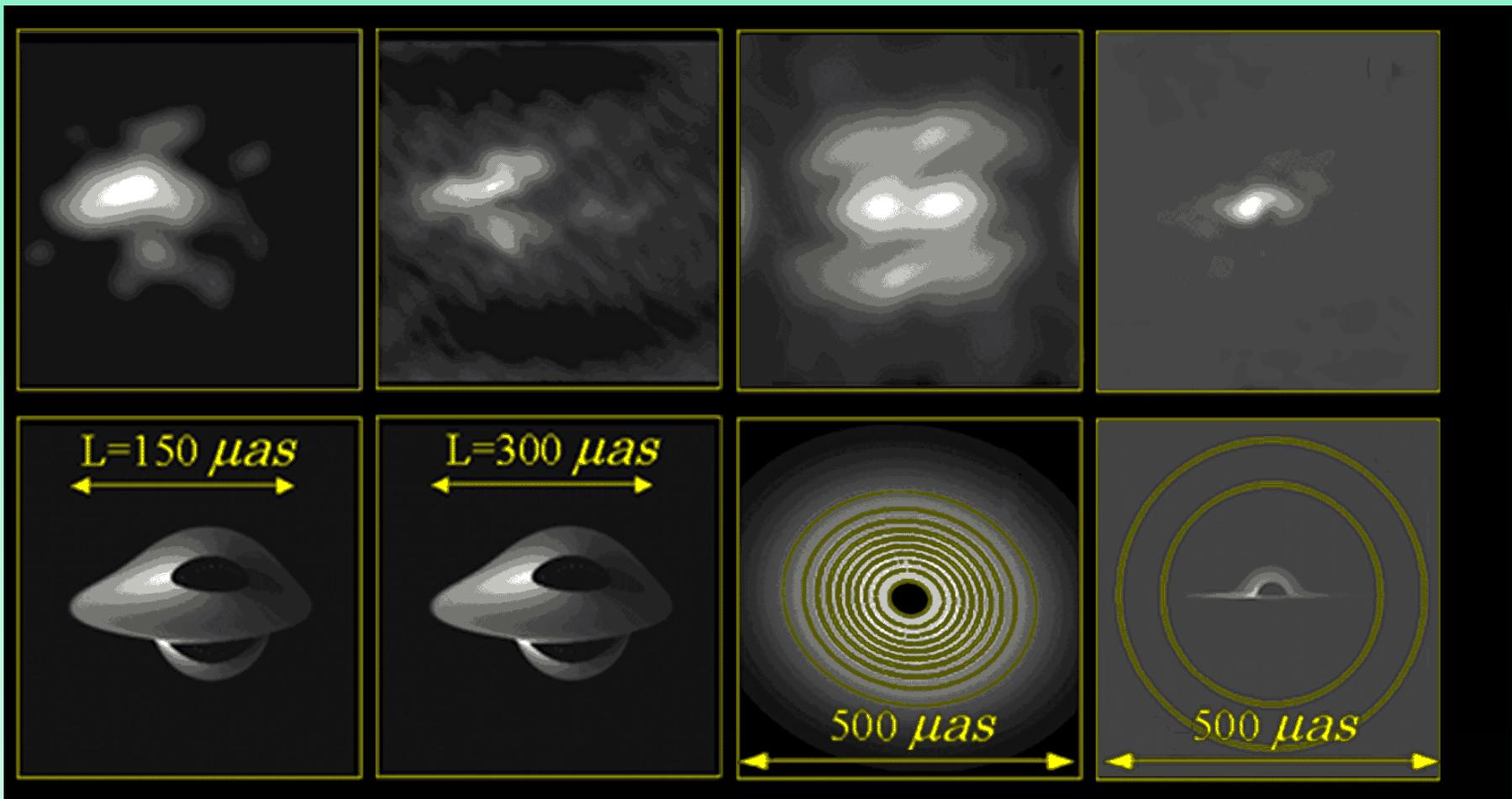
単独観測：モデルフィットでSgrA*のシャドールの存在に制限を強くかける。



(左) Miyoshi et al. (04, 07) より改変

(右) Doeleman (08) の図 1 より

さらに世界の電波
望遠鏡と協力すれ
ば、きやらぼんの
短基線が活きて良
い撮像ができる



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)

Phased ALMAの 有無で比較(1)

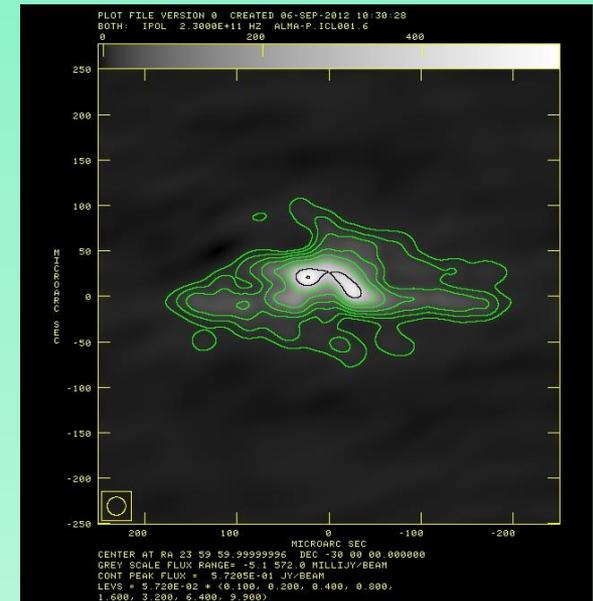
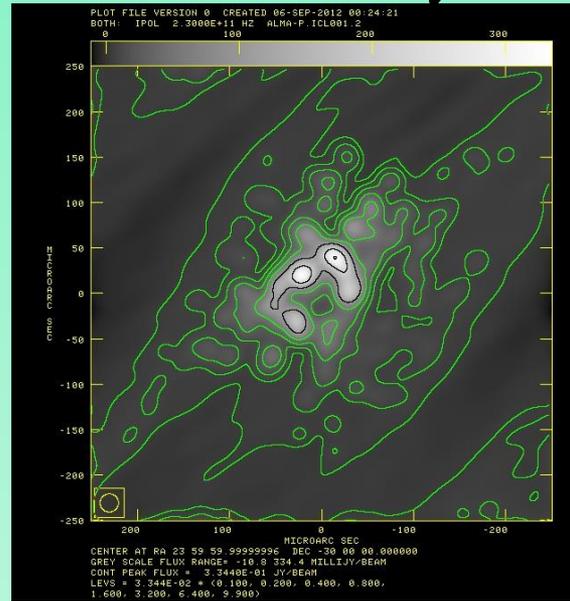
EHT only

EHT&CARAVAN

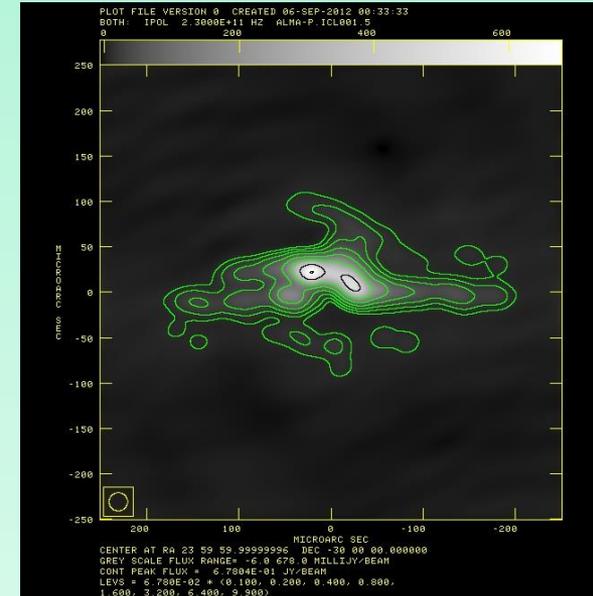
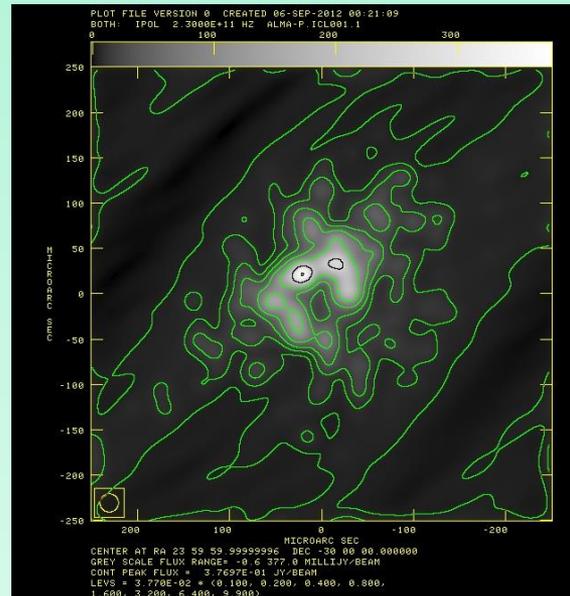
U-V面を埋めることが重要。

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。

きゃらばんはアンデスに電波望遠鏡を並べ、観測しよう。

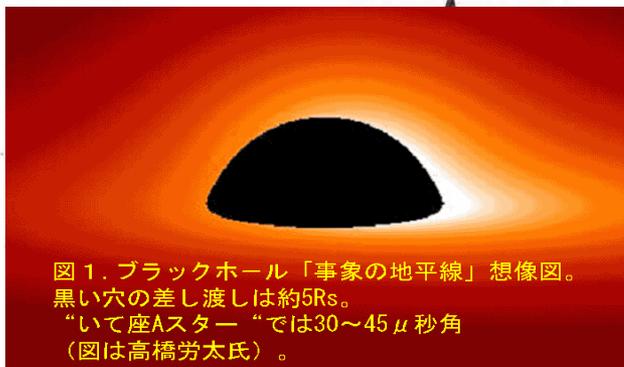


図1. ブラックホール「事象の地平線」想像図。
黒い穴の差し渡しは約5Rs。
“いて座Aスター”では30~45μ秒角
(図は高橋 勇太氏)。

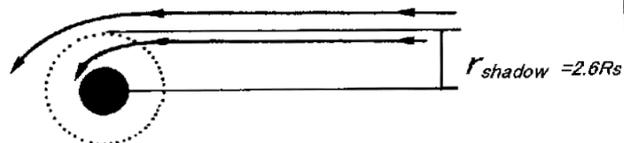


図2. 事象の地平線はブラックホールの自己重力レンズ効果で拡大されて見える。

ALMA

ワンカヨ

大型固定局

チャカルタヤ

大型固定局



移動観測局

(停車して観測)

大型固定局 サイト候補

ボリビア・ラパス、チャカルタヤ宇宙線観測所(5300m)

ペルー・地球物理観測所(IGP)、ワンカヨ観測所(3370m)近辺

既にインフラがある。

Chacaltaya Cosmic ray Observatory

At 5300 m (La Pas, Bolivia)

Here we wish to build a new radio telescope.

宇宙線研究で日本と長らく交流がある。東大・宇宙線研と協定あり。今後、宇宙線研・東工大のグループと組み、まず、サイトモニターを行う。



PWV \sim 1.5mmを既に計測。



理研と結んだ協力協定の銘板



2012/6/20 14:03



ボリビア・チャカルタヤ宇宙線観測所



2012/5/27(31に加筆)



Observatorio de *Huancayo*, IGP

Instituto Geofísico del Perú

Sector Educación

Latitud: -12.037875 N -1.80 N

Longitud: 284.681633 E -3.46 E

Altitud: 3336.0 m.s.n.m.



32-m telecommunication antenna
-- Not for sub-mm observation --

Huancayo観測所でのサイトサーベイ風景(3300m, 06/15~06/22)



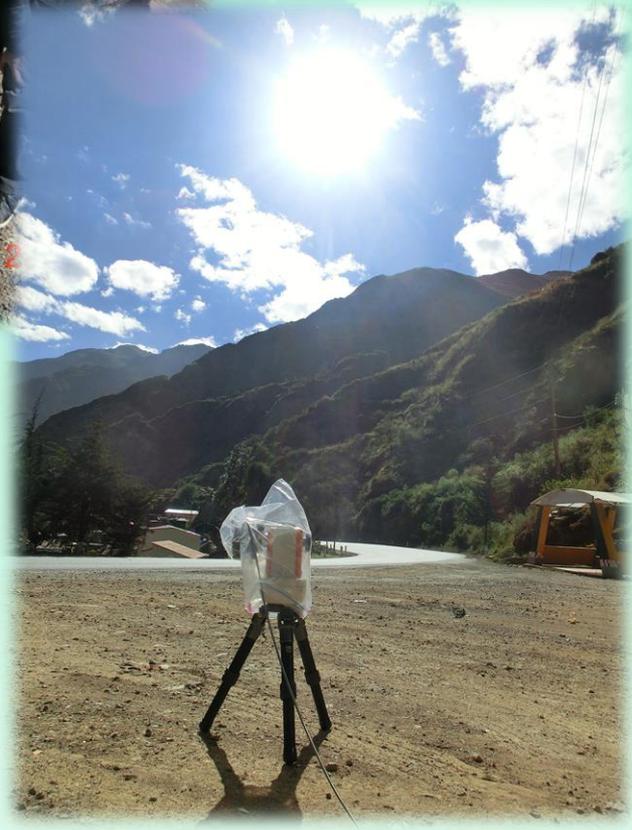
ワンカイヨも研究施設インフラあり。

2008年6月
研究会。
記念写真



ペルー・ボリビアのサイト調査も

高遠式近赤外水蒸気メータ



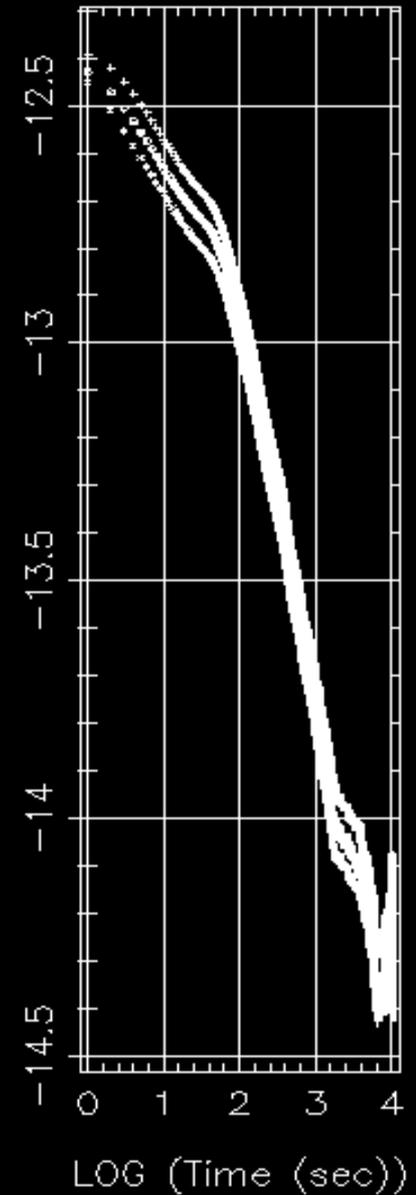
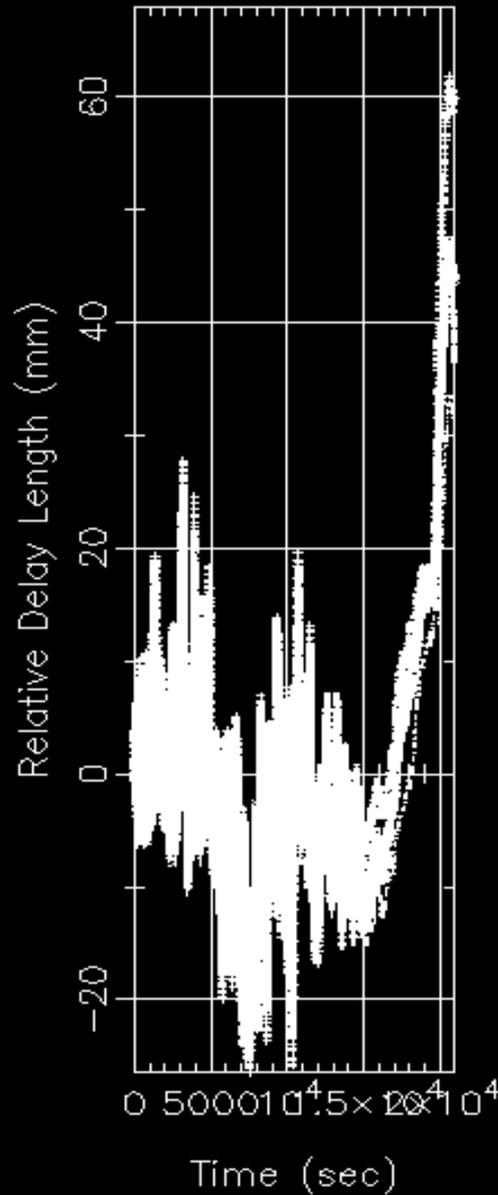
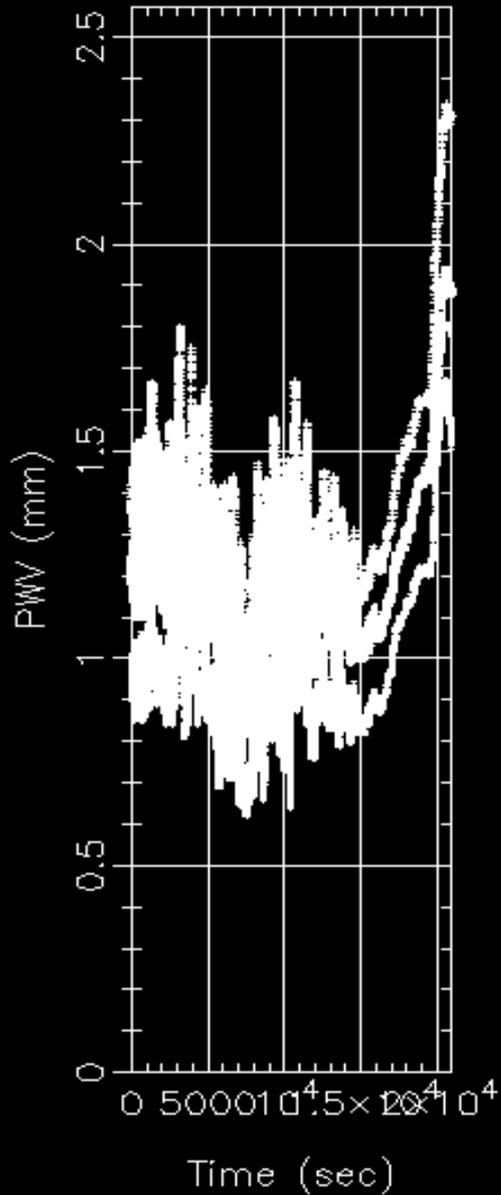
チャカルタヤ(5200m)での大気位相変動

mdataPWV_619_rose_chacartaya.dat

Allan S.D.

1 99999 20940

1340122590.000000 1.28 1.36 0.93 1.19 2012 06 19 16 16 30.4



Puno

Mt.Chacaltaya (5253m)

Average PWV (mm)

950nm : 1.3982

1150nm : 1.4669

1400nm : 1.2289

PC : 621-104 (3874m)

Average PWV (mm)

950nm : 3.8500

1150nm : 4.4504

1400nm : 3.8286

PC : 622-106 (4609m)

Average PWV (mm)

950nm : 1.2687

1150nm : 1.2604

1400nm : 1.0851

Tacna

ボリビア.
チャカルタヤニ
ペルー・モケグア



きゃらばんはアンデスに電波望遠鏡を並べ、観測しよう。

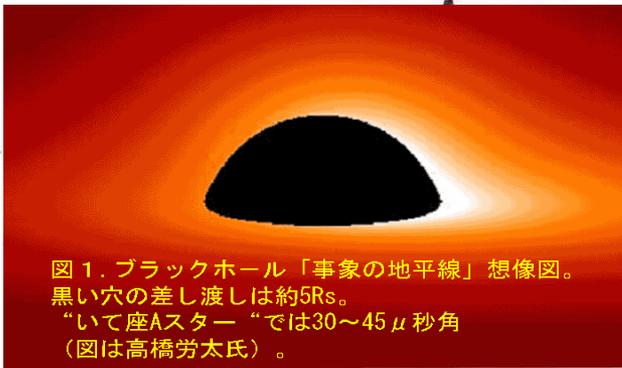


図1. ブラックホール「事象の地平線」想像図。
黒い穴の差し渡しは約5Rs。
“いて座Aスター”では30~45μ秒角
(図は高橋 勇太氏)。

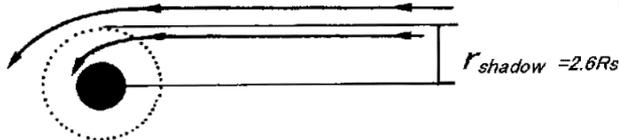


図2. 事象の地平線はブラックホールの自己重力
レンズ効果で拡大されて見える。

ALMA

ワンカヨ

大型固定局

チャカルタヤ

大型固定局



移動観測局

(停車して観測)

2012/8/4

小型移動局とそのコストダウン

検討

移動電波望遠鏡は可能か？

- これまでの実績
 - 現地の環境
 - 方式の検討、鏡面、架台部の検討
- 簡単ではないが、作れないようなものでもない。。。

これまでの実績

移動型電波望遠 鏡、測地VLBI では常識。

高周波数用を頻繁に移動させるための工夫は必要。

Geodetic VLBI mobile station was developed by NICT

NICT 鹿島VLBIニュース

第115号 平成19年12月 5日

独立行政法人情報通信研究機構鹿島宇宙技術センター
IVS技術開発センター発行
TEL 0299-84-7142 FAX 0299-84-7159
URL <http://www2.nict.go.jp/w/w114/stsi/index.html>

CARAVAN2400のS/X化に成功！！



図1 新フロントエンドを搭載したCARAVAN2400。かつてサブレフがあった場所に広帯域クワッドリッジホーンアンテナ、高性能常温LNA、ダイプレクサ等を収めている。

新型フロントエンド



図2 2007年12月5日に実施したフリンジテストの様子。手前が新フロントエンドを搭載したCARAVAN2400、後方が34mアンテナ。

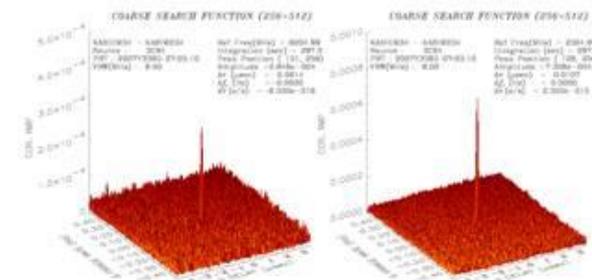


図3 2007年12月5日のVLBI実験で検出されたクワッドリッジホーンアンテナによるS/X初フリンジ(左がXバンド、右がSバンド)。

本VLBIニュース107号でも紹介しましたが、NICTは国土地理院と共同で、GPS比較基線場検定用の超小型VLBIシステムの開発を進めています。このシステムは、大型アンテナと組み合わせたVLBI観測を行い、超小型アンテナどうして結ばれる約10kmの基線長をRMS2mmで決定することを目指しています。この測定精度を達成するためには、できるだけ既知の誤差要因を取り除くことが重要で、その意味で電離層内での位相速度が周波数に依存して変化する“伝播遅延誤差”軽減のため、フロントエンドのS/X化が不可欠です。

これまでに、CARAVAN2400をテストベッドとして、広帯域クワッドリッジホーンアンテナ(図1)と超小型で高性能の常温LNAを用いたフロントエンドの開発を進め、2007年12月5日に34mアンテナとCARAVAN2400との間で、S/X双方での初フリンジ検出に成功しました(図2、3)。今後、開発したフロントエンドを用いた測地実験の実現に向けてさらに開発を進めていく予定です(RI&A記)。

超小型VLBI観測システム 移動実験

- 超小型VLBI観測システムによる移動測地VLBI実験
 - 小金井: 1988年9月20日、1992年3月19日、5月14日、10月15日、11月26日、1995年1月15日、17日
 - 稚内: 1988年10月5日
 - 沖縄: 1989年2月3日、1990年10月23日
 - 南大東島: 1990年11月26日、28日、1991年12月3日、5日
- フィリピン海プレートの運動をはじめて直接的に測定

これまでの実績

水素メーザ、運搬OK

- ・ハイエースで運んだ！何度も。----NICT鹿島実績
- ・立ち上げ後1時間でVLBIに使用可能な安定度
- ・走行中でさえも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

水素メーザ：開発から40年経過、枯れた装置

昔から日本では測地(移動)VLBI実験で運んできた。

ペルー・ボリビア
アンデスに
道路あり。

このへんはインカ帝国の都会。望遠鏡移動にあたって戦車・装甲車などの特殊車両は必要ありません。

現地の環境

普段着です、観山・阪本両氏と
管理部長(2003年当時)



標高4800mを行く大型車両。

現地の環境



南米大陸東西縦貫道路も整備されつつある。

方式の検討、鏡面、架台部の検討

アンテナ面のコストダウン検討

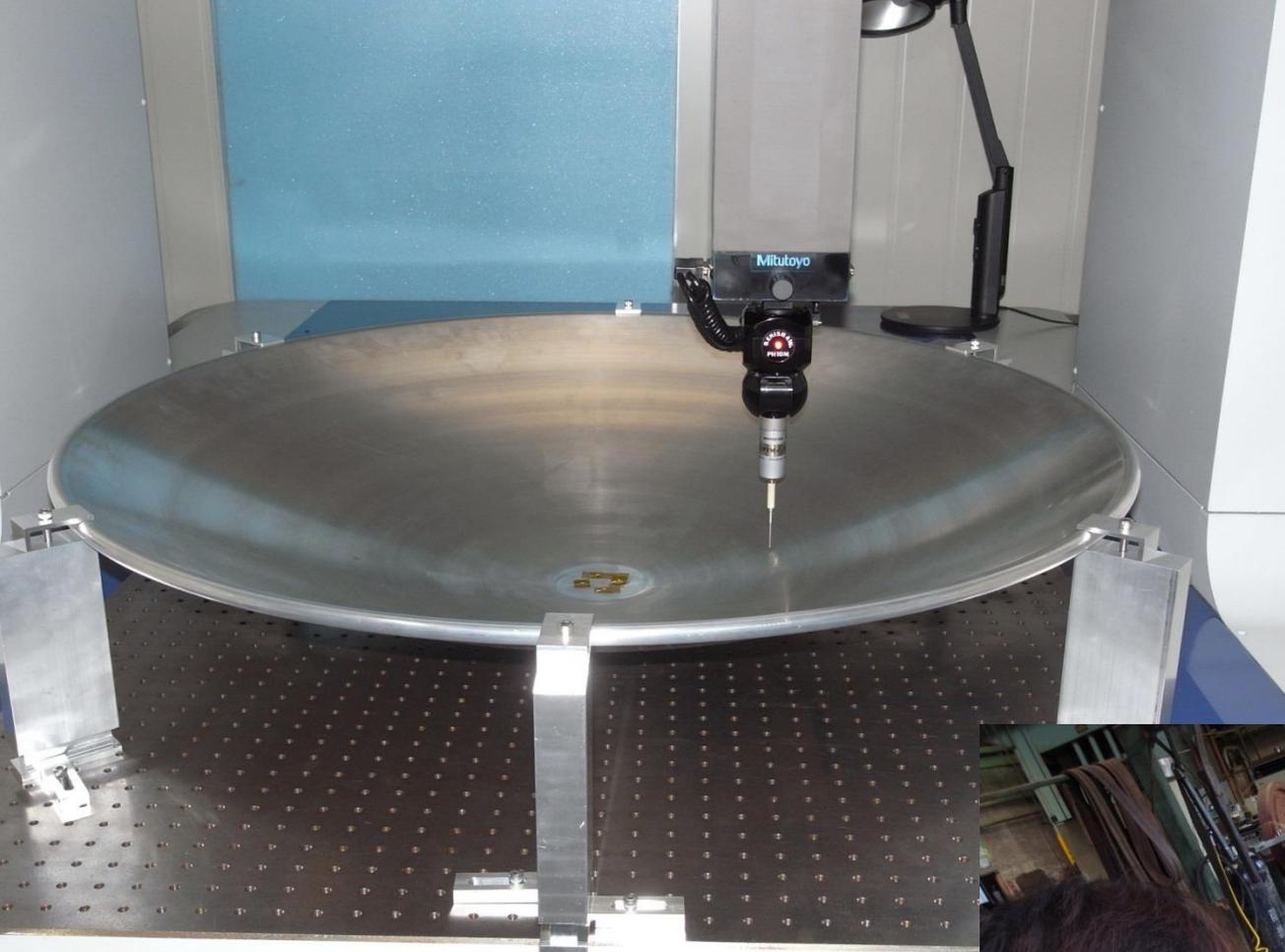
へら絞り法 (北嶋絞り製作所):

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
技術センター三次元
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

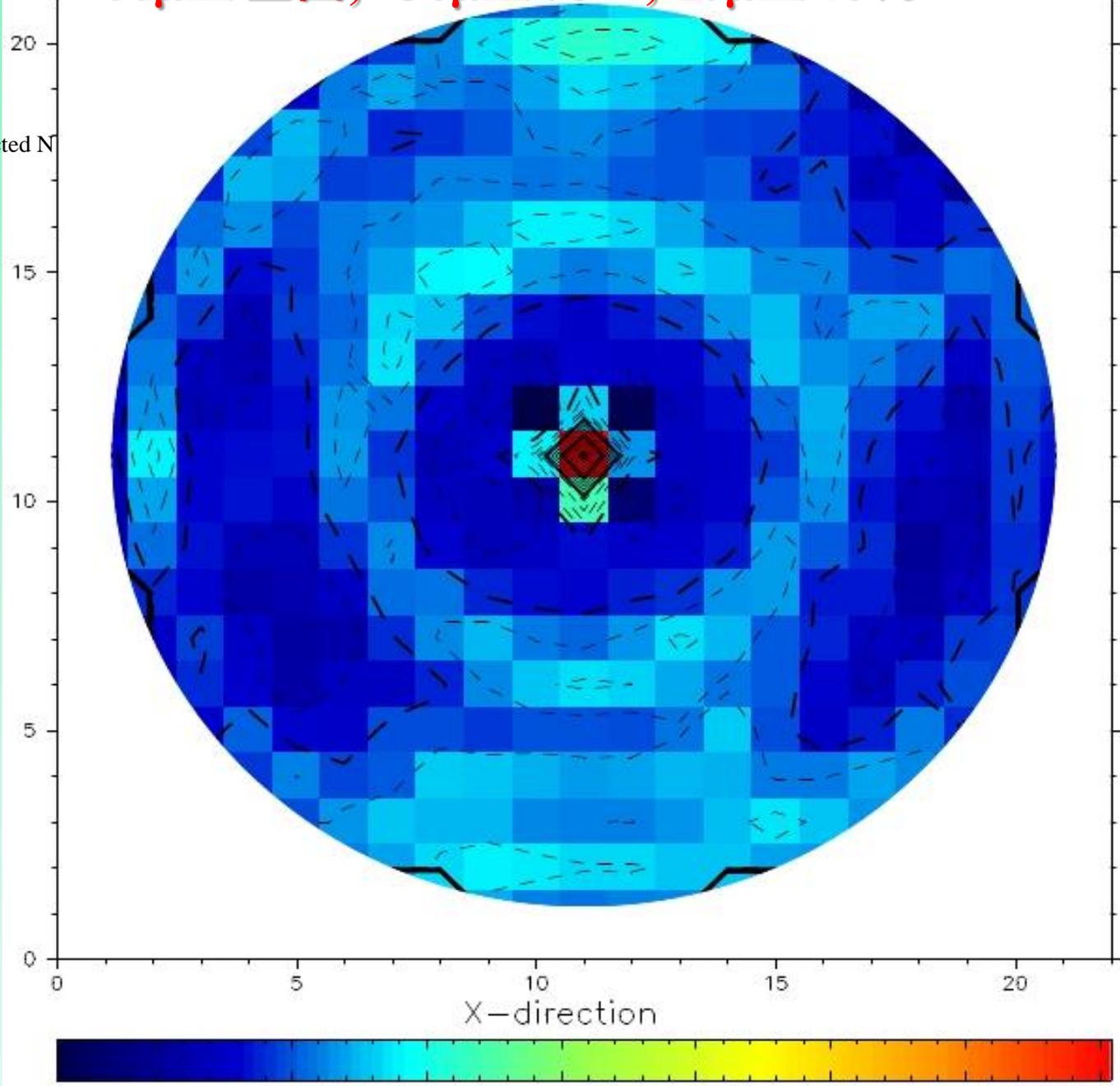
rms (mm)= 0.05669

Within Sigma rms"(mm) used DATA(%) ejected N

<u>10.732</u>	<u>0.056688</u>	<u>349(100.0)</u>	<u>0</u>
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。

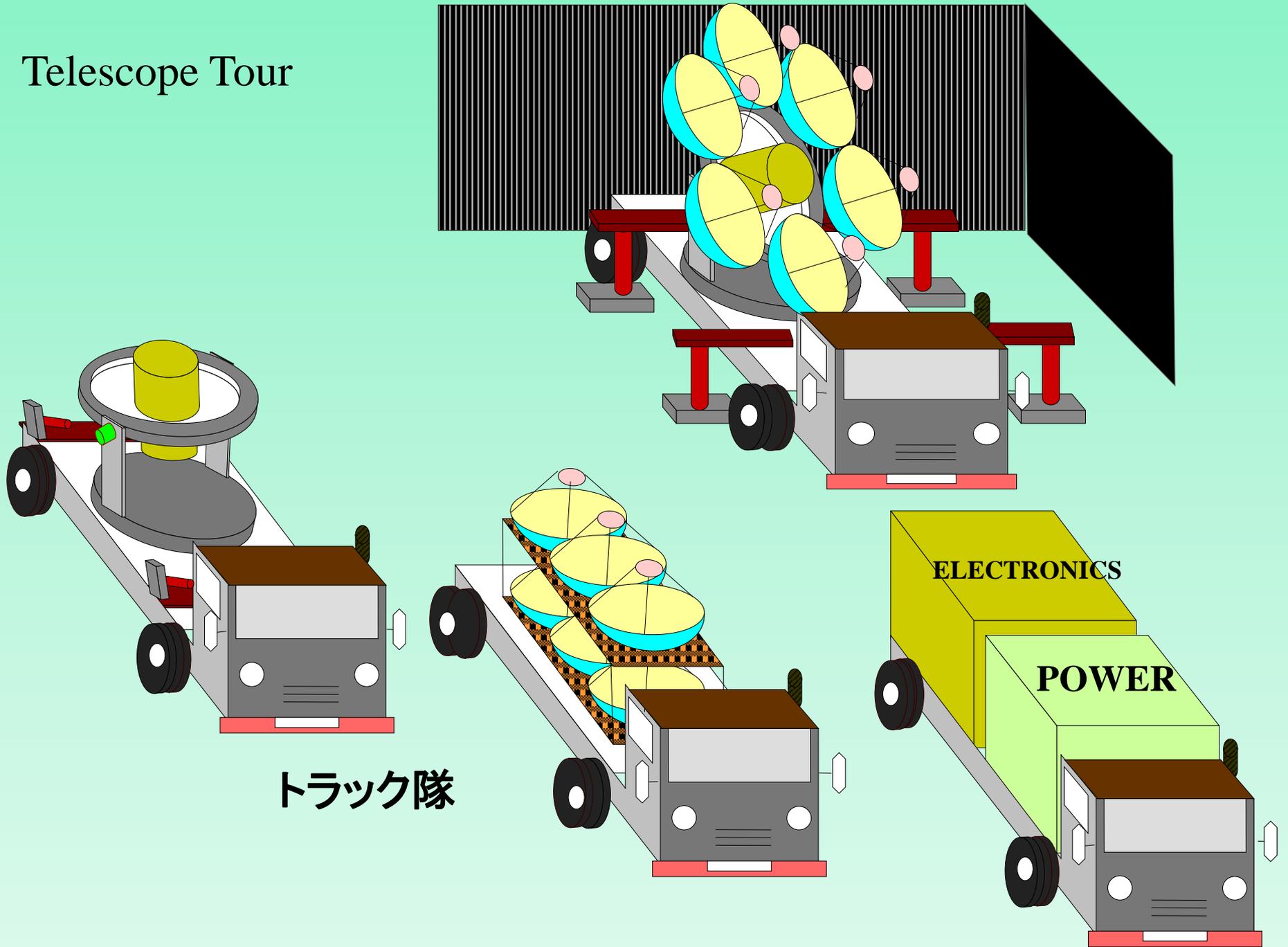
60 μ m/全面, 30 μ m/78%, 17 μ m/40%



小型移動局アンテナはどうなるかは不定

- 230GHzの通る、4m級単一鏡は(安くは)作れない。
- そうなると、実は複合鏡方式が実際の解？

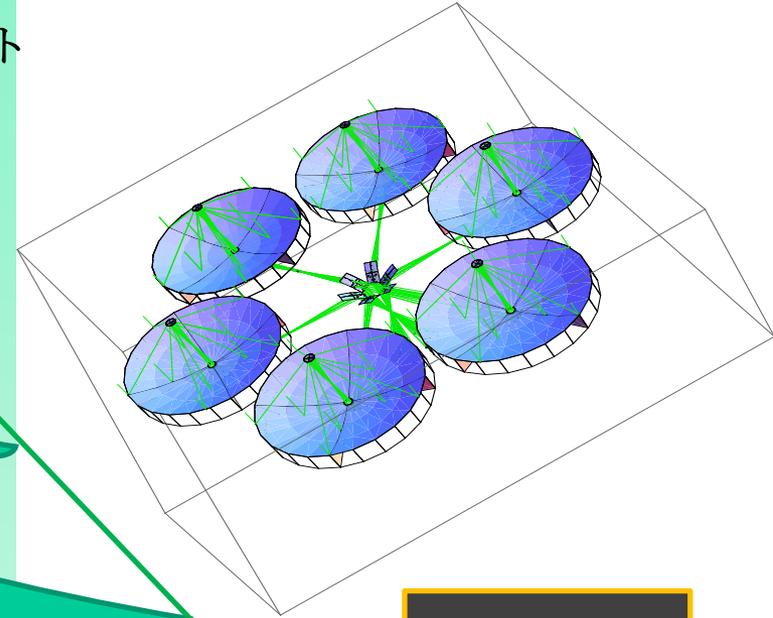
Telescope Tour



2012年までの春日案

アンテナユニット
6枚

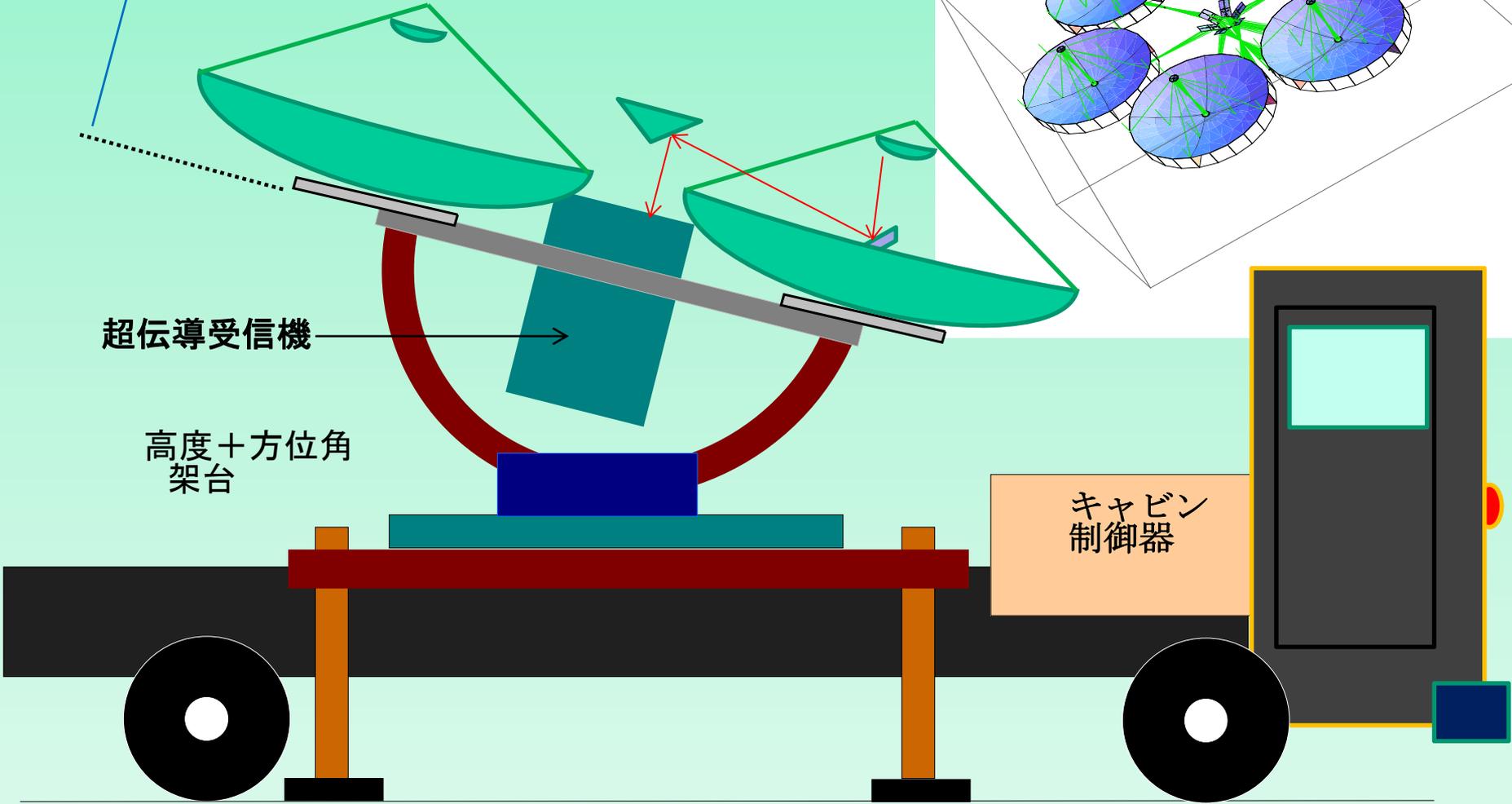
運搬時
上部アンテナユニットを分離



超伝導受信機

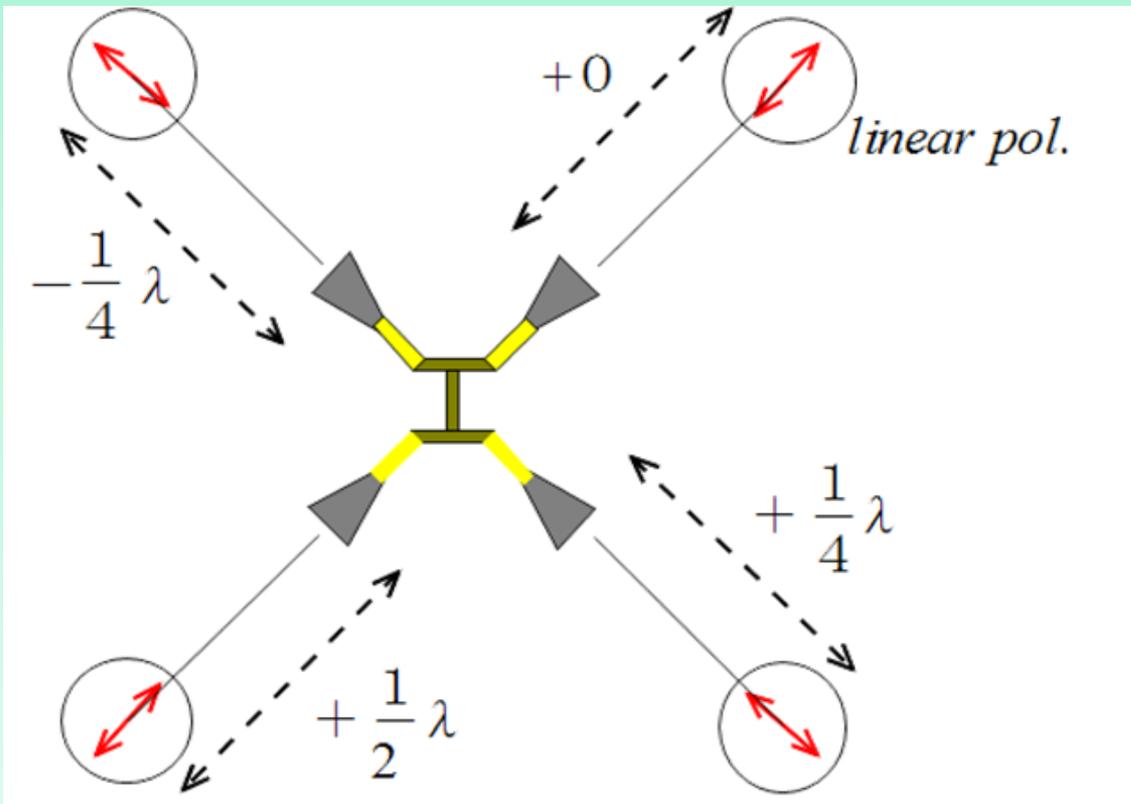
高度+方位角
架台

キャビン
制御器



3. 低損失のビーム合成法を考案

- 各光路を遅延シフトさせることで、線偏波から円偏波への変換が可能。損失の大きい円偏波変換器は不要となった(春日)。
- ALMAで開発された導波管コンバイナーの設計をもとに設計・製作すれば、コストダウンが可能となる。



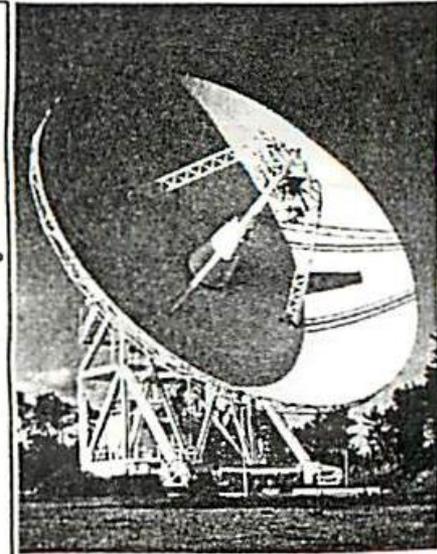
各小アンテナからの光路長に遅延シフトを与える。各小アンテナは線偏波で受信するが、1台の複合鏡としては円偏波の受信特性をもつ。

複合鏡方式において懸念されていた損失問題に解決の道筋⁴⁷!

ミリ波 VLBI をきりひらく, KNIFE



▲野辺山 45m 鏡.



▲鹿島 34m 鏡.

▲鹿島—野辺山間は東西約 200km, 波長 7mm の電波では空間分解能 0.007 秒が得られる.

川口さん国立天文台赴任後、最初の仕事

高周波数・43GHzのVLBIを立ち上げ、天文観測(星メーザ)を！



巨大ブラックホールの解像へ



銀河系の構造・ダイナミクスへ