

# NICTにおける広帯域・ 高感度VLBI技術開発

関戸衛  
情報通信研究機構  
鹿島宇宙技術センター





パラボラはかせ

# 川口さんと鹿島VLBIグループ

関戸衛  
情報通信研究機構  
鹿島宇宙技術センター



# 1966年～天文台—RRL



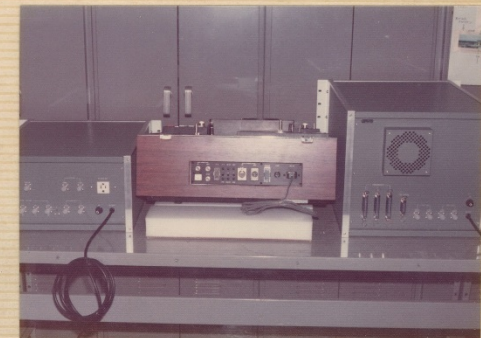
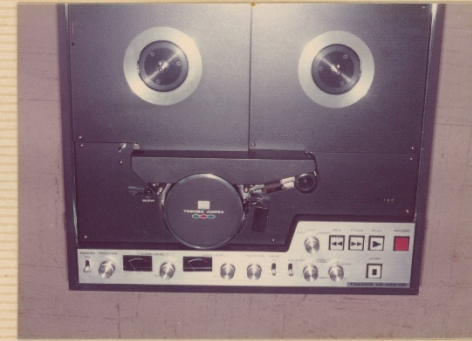
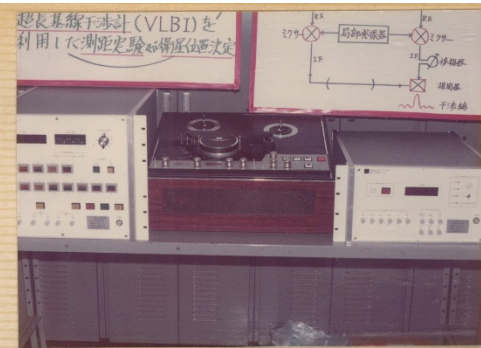
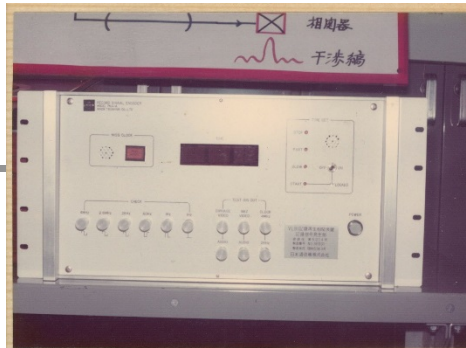
# 鹿島の

- S49年(1974年)
  - K-1システム
- S52年(1977年)
  - 鹿島26m
  - 初VLBI実験



- S54 -- 59年(1979 -- 83年)
  - K-3システムの開発
- S59 -63年(1984 - 1988年)
  - 日米実験、米国CDP~1991年

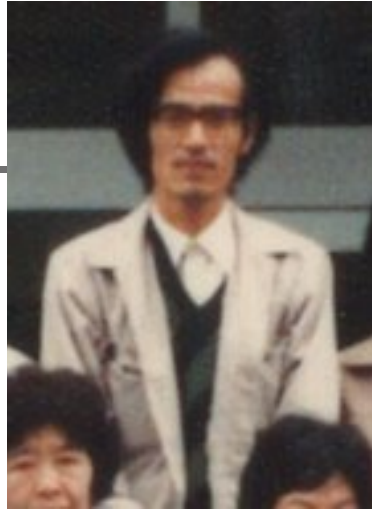
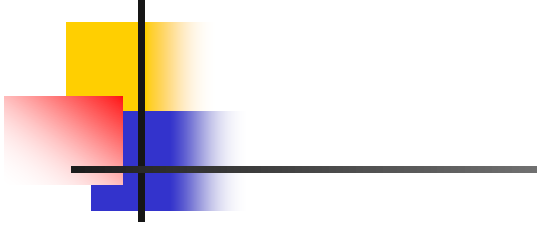
# K-1 VLBI システム



# 1978年 (36年前)



NEAC 3100 撤去  
1978. 2. 8~9  
(不別大会 2/8)





# 鹿島のVLBI研究

---

- 1987 – 1989 年 西太平洋干渉計プロジェクト開始
  - 鹿島34m、南鳥島10m 運用開始
- 1984 – 1991年
  - K-4(カセットテープ型)システムの開発
- それ以後：
  - 1995年～KSP(首都圏地殻変動観測)
  - 1999年～K-5(ディスク記録、IPVLBI形)の開発
  - 2011年～広帯域VLBIシステムの開発開始



# 川口さんが残してくれた 34m アンテナができるまで

2000年



2013年11月

# 34m建設前

# 1987年10月

# 18mアンテナの解体

(1971年～VHF-2GHz 電離層観測衛星打ち上げ追尾など)



# 18mアンテナの解体

1987年10月28日



87.10.28

# 18mアンテナの解体



RRLニュース 1987年12月第141号

で年間各々約70日の通信実験を計画している。航空機実験は、成田とアンカレッジ間の太平洋路線で62年度10回、63年度14回の飛行実験を計画している。可搬型のメッセージ通信機及び陸上移動地球局の通信実験は1月より開始される。

## 電界強度校正装置等の野外実験実施

標準測定部校正検定課では、選択受信方式標準アンテナ装置と船舶レーダアンテナパターン測定の野外実験を行った。

当所におけるVHF・UHF帯電界強度測定器の校正は、現在水平偏波のみで実施しているが、垂直偏波での校正も行えるようにするため、昭和62年9月28日から5日間富士山麓朝霧高原において、電界強度標準器を使用して校正装置の校正実験を行った。これにより、昭和63年度から垂直偏波の校正が実施可能となった。

また、船舶用レーダアンテナパターン測定実験は、当所の型式検定試験場における電波擾乱特性を検討し、型式検定試験法の改善に資する目的で実施したもので、電波擾乱の少ない山梨県の山中湖において、10月26日から5日間行った。

この実験は、昭和61年10月に行った9GHz帯レーダアンテナによる測定に続くもので、今回は3GHz帯レーダアンテナを用いて行った。これにより、周波数帯の違いによる差異も含めたデータの取得が行われた。

## 18mφパラボラアンテナ、使命を終える

鹿島支所の管制センター構内にそびえていた直径18mのパラボラアンテナは、老朽化のため去る10月27日に解体、撤去された。このアンテナは周回衛星の追尾が容易なX-Yマウント形式（受信周波数VHF帯～S帯、ただしS帯は後で付加）で、昭和46年に建設されて以来電離層等の観測衛星ISS-b、ISIS、DE-1等の観測データの受信を行ってきた。また、我が国の実用衛星や科学衛星の打ち上げ時には、衛星の追跡支援もしばしば行った。このほか米国の静止衛星ATS-1を利用しての管制実験では、衛星軌道制御の情報を含むハウスキーピングデータの受信を担当した。この実験はわが国初の静止衛星打ち上げ以前に行われて成功しており、意義深い。このようにして運用した衛星数は20個余りに達した。解体数日前、アンテナの傍には多数の関係者が集い、今まで活躍したアンテナの労をねぎらうとともに、

最後の別れを惜しんだ。なお、跡地には現在、大型アンテナを建設中である。



## 第29次南極観測隊出発

昭和62年11月14日午前11時、第29次南極地域観測隊52名を乗せた観測船「しらせ」は東京湾海埠頭を出港した。今次隊では、海洋観測衛星1号（MOS-1）などのデータ受信のための衛星受信機及び11mパラボラ



しらせ船上の井口、森永（筑波大）、大塚隊員



当所隊員とその家族

# 34mアンテナ 建設予定地



# 34mアンテナ建設

## 1988年3月

1988年3月30日

1988年4月6日

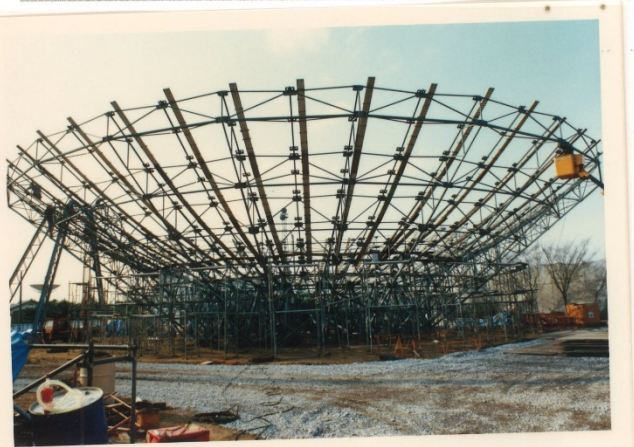
千原成生と前にも孔 橋之



E2 新モーター廻り台3



サゲル カイコ



# 34mアンテナ建設

## 1988年4月

1988年4月9日



88.4.9

# 34mアンテナ建設

## 1988年4月

1988年4月10日

88.4.10



サグレット 取り付け





# 34mアンテナ建設

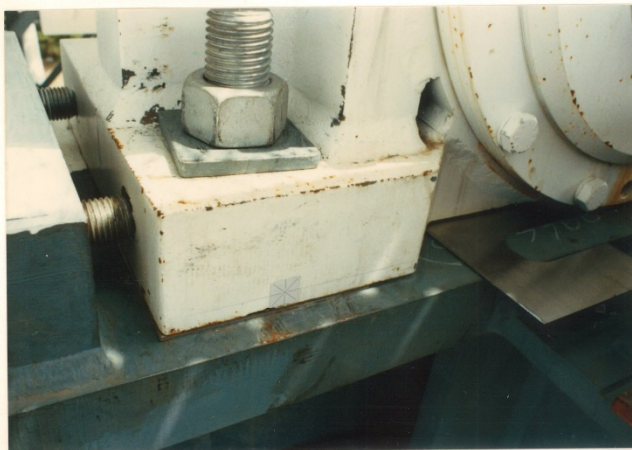
## 1988年4月

1988年4月21日

油圧ポンプの加圧部



スパーサー

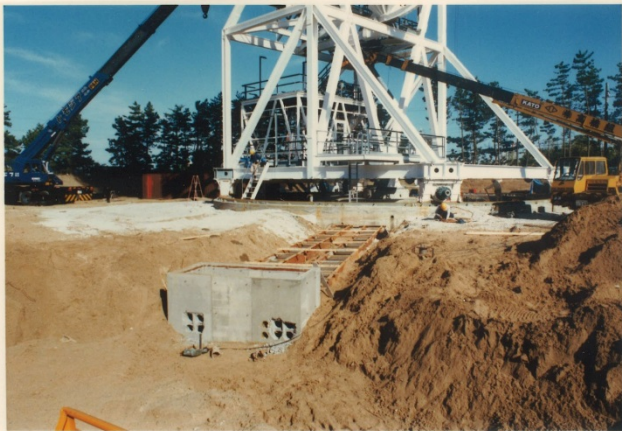


主鏡取り付け部の調整



# 34mアンテナ建設 1988年5月

88.5.13



88.5.31



測距儀の説明会

88.5.10



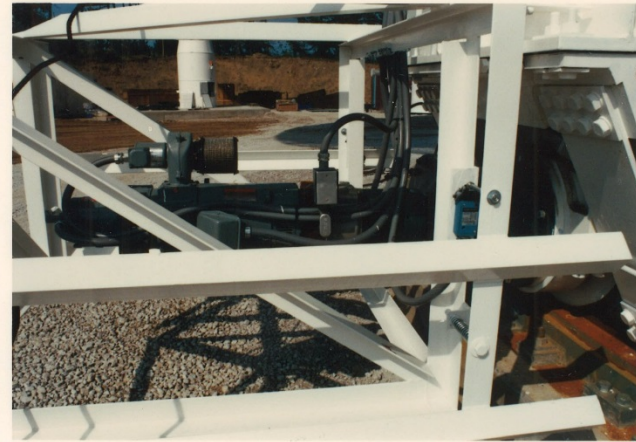
# 34mアンテナ建設

1988年4月

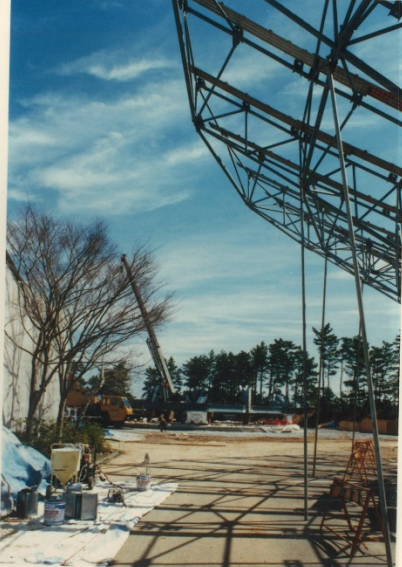
1988年6月



AZ 駆動モーター



88. 3. 24



1988年3月23日



4月4日



4月14日



5月5日

88. 5. 9

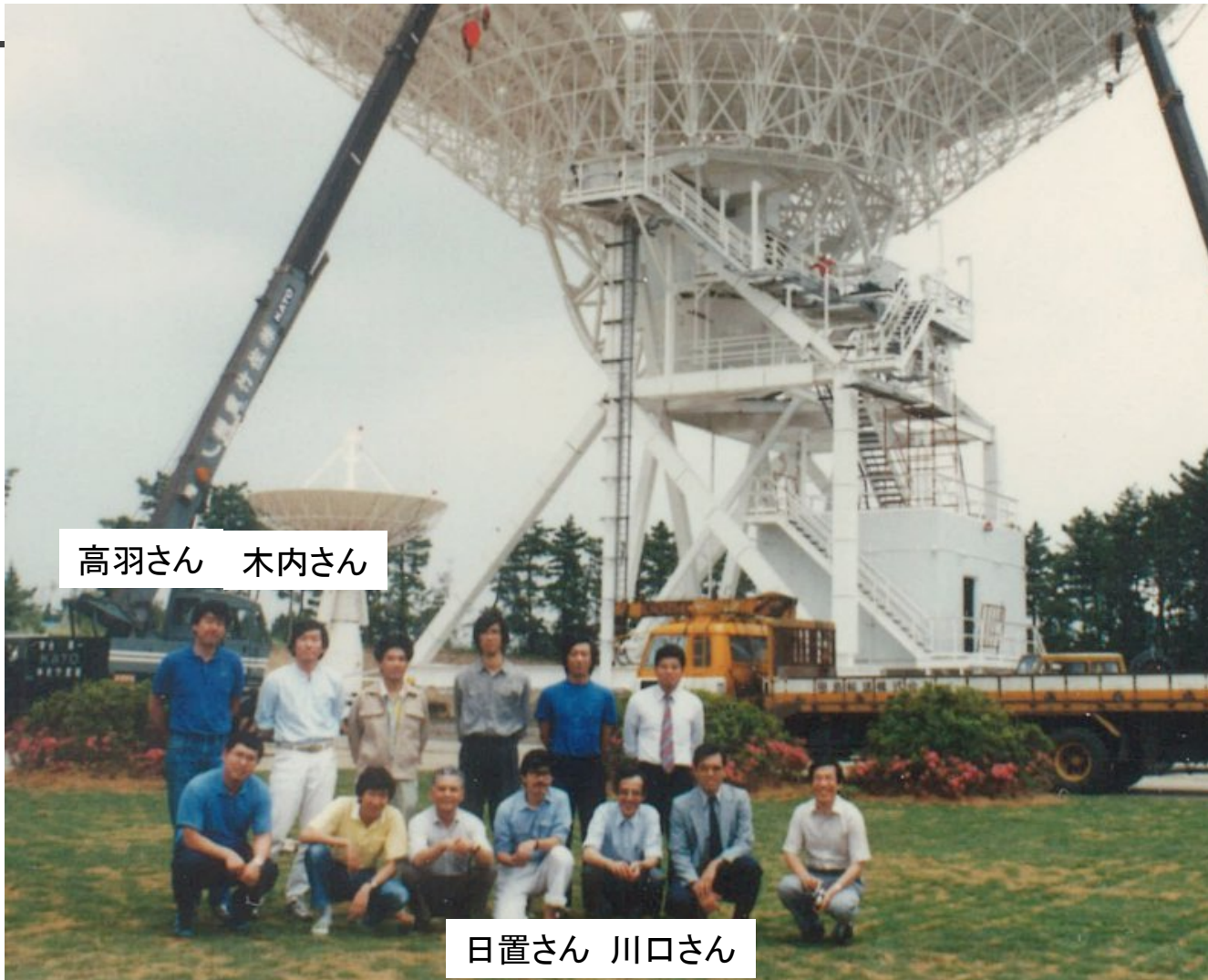


6月15日

# 34mアンテナ建設

1988年6月

1988年6月



# 34mアンテナ建設

1988年7月

1988年7月

88



# 34mアンテナ建設

## 1988年9月

1988年9月

NRO 経-14機

88.9.6

アンテナの組み立て

88.9.9



# 34mアンテナ 完成！

1988年12月

木内、黒岩、日置、金子、高橋、高羽  
雨谷、小山、川口、野口、浜





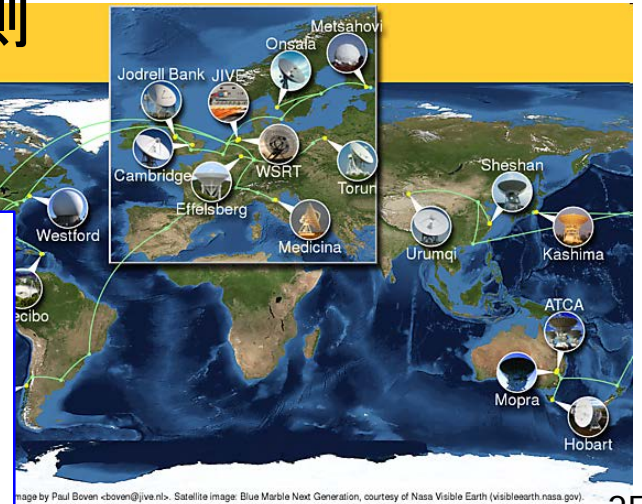
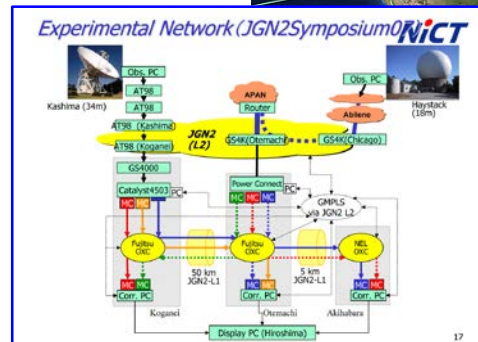
# 34mアンテナのおかげで・・・ 多くの研究が行われてきました。

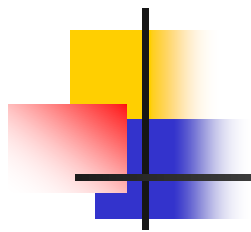


博士号取得

鈴山、木内、関戸、小山、杉本、...

- KNIFE (Kashima Nobeyama Interferometer)
- 測地VLBI/(K4,K5,K6)、Gbit開発
- E-VLBI・ソフトウェア相関器の開発
- J-NET 大学連携
- スペースVLBI (VSOP) 参加
- パルサー観測





# 閑話休題

# 光周波数標準器

- Cs原子時計:

- その定義は「セシウム133原子の基底状態の2つの超微細準位間の遷移に対応する放射の9 192 631 770周期の継続時間」

- 確度: 15桁

- 光の遷移周波数による秒の定義へ

- $4.3e14$  Hz
- 確度: 16→18桁

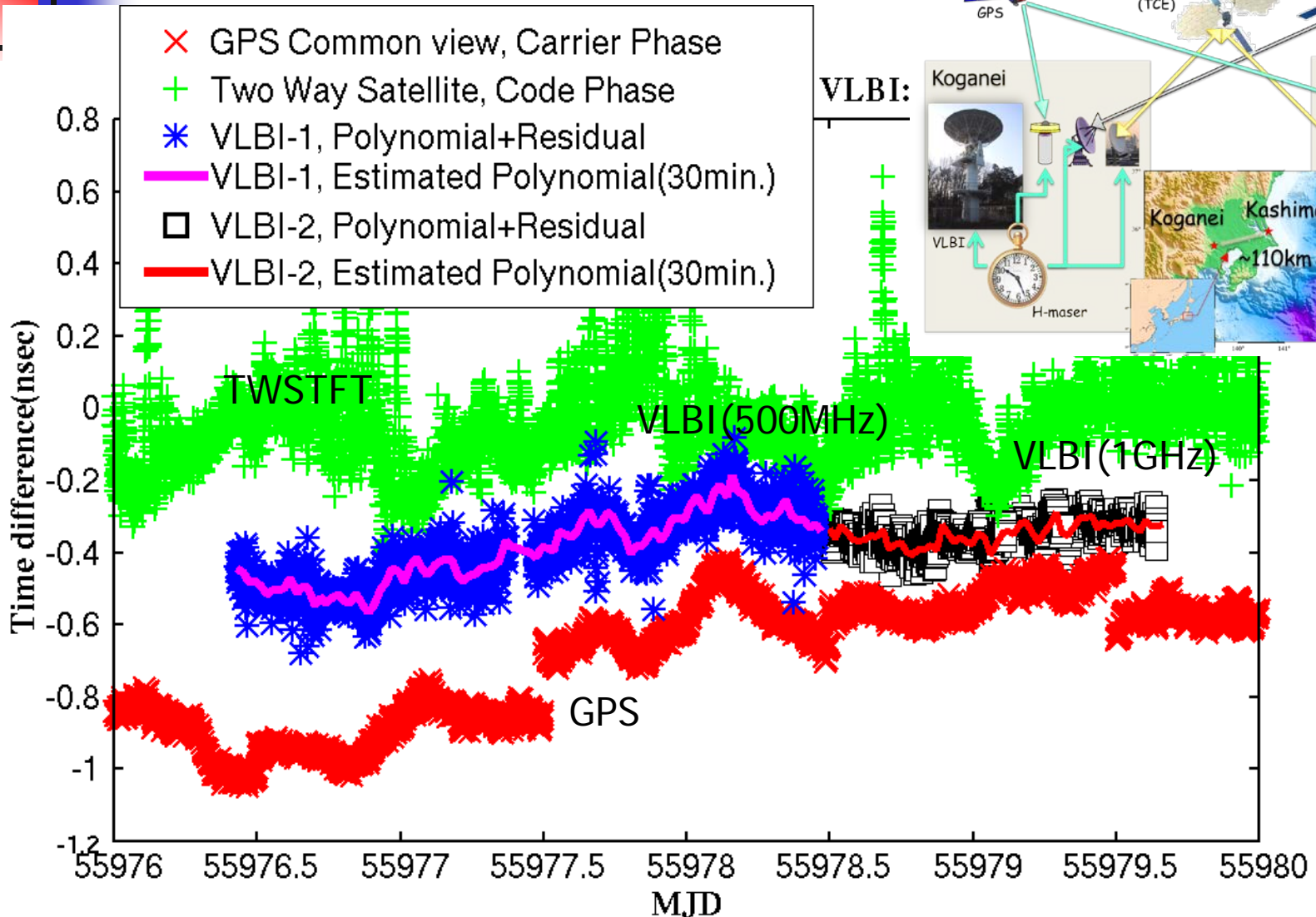


ストロンチウム光格子時計

# Comparison of TWSTFT, GPS, VLBI

## Exp. on 19-22 Feb. 2012

Comparison of Frequency Transfer Techniques  
Experiment on 100 km baseline



# VLBI 技術を使った周波数比較

小型アンテナを使ったVLBI

どこにでも移設・設置できる  
周波数比較システム

感度改善  $\propto \sqrt{B}$

B: 帯域幅(1GHz) : 従来の $\sqrt{30}$ 倍

精度向上  $\propto 1/[EBW]^{1.5}$

EBW:有効帯域幅 (~3GHz): 従来の10倍

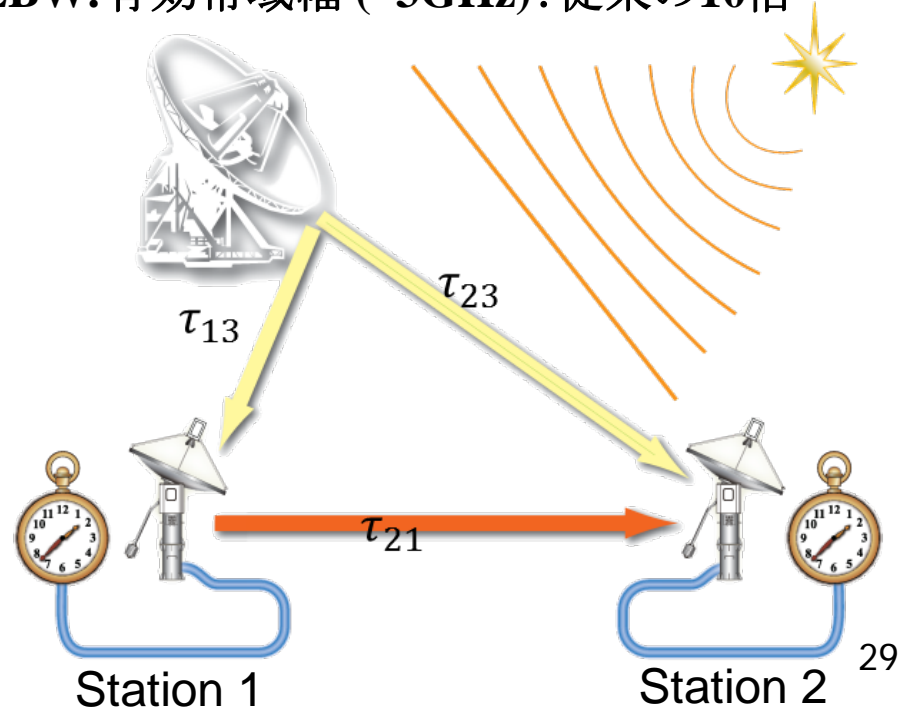
広帯域システム

互換性

次世代測地VLBI  
システムVGOS

開発課題

- 広帯域フィードの開発(氏原)
- 高速サンプラ[デジタルフィルタ](岳藤)
- 超広帯域バンド幅合成



# VLBIの遅延計測精度



つくば 32m 小金井 1.5m

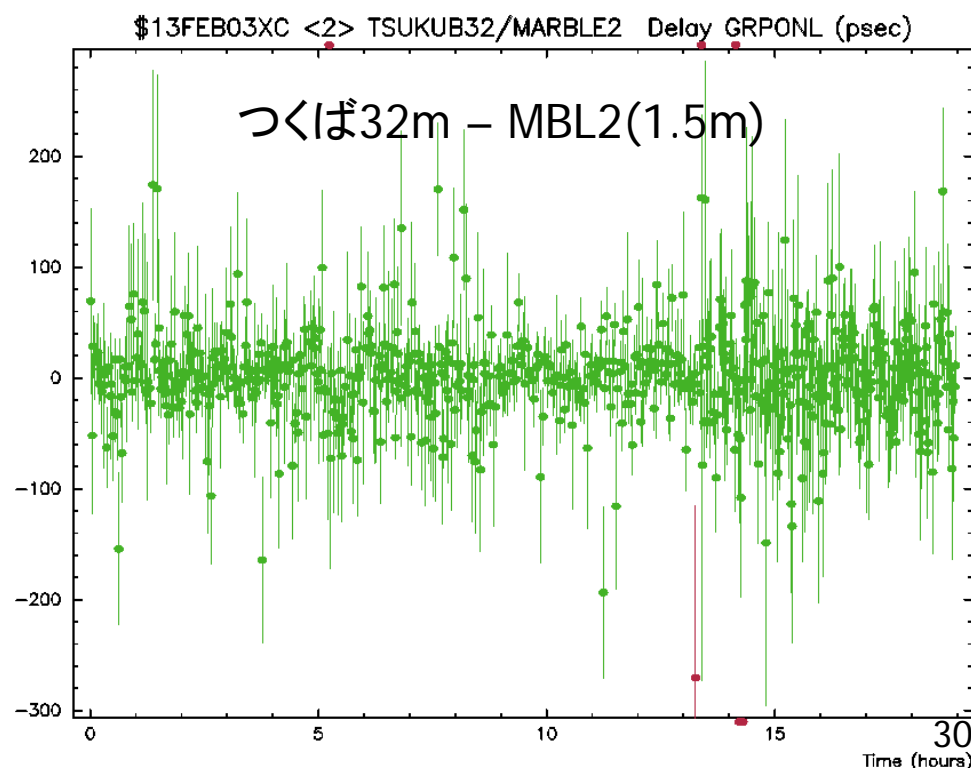
～2013年2月のX-band実験～

アンテナ口径	残差 RMS
11m-11m	～ 30 ps
32m-11m	～ 20 ps
32m-1.5m	～ 30 ps

主な誤差要因

1. 大気の推定誤差
2. 熱雑音誤差  $\propto (\text{SNR} \times \text{BW})^{-1}$

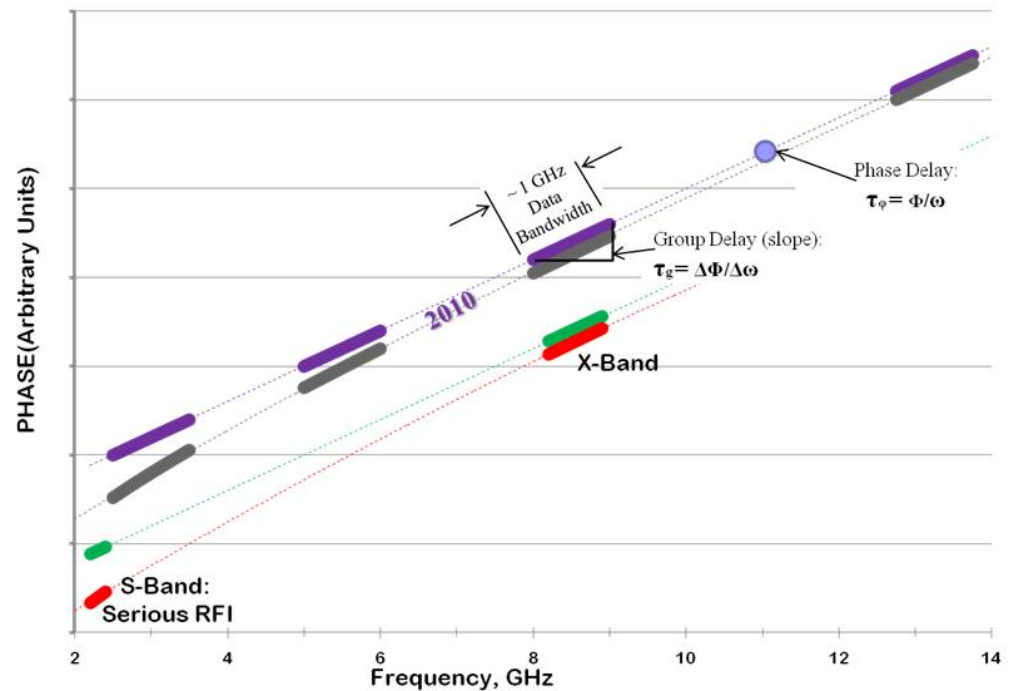
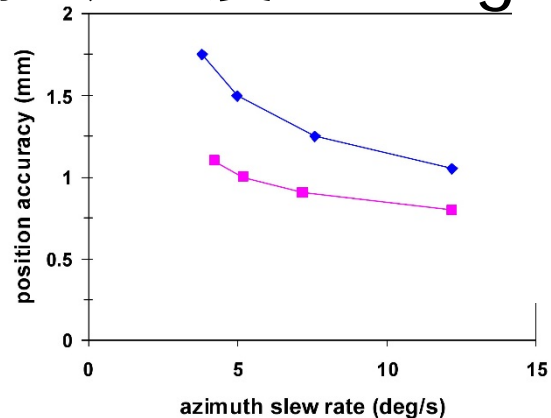
VLBI解析 遅延残差の例



# VGOS (VLBI2010 Global Observing System)

## ■ VLBI2010

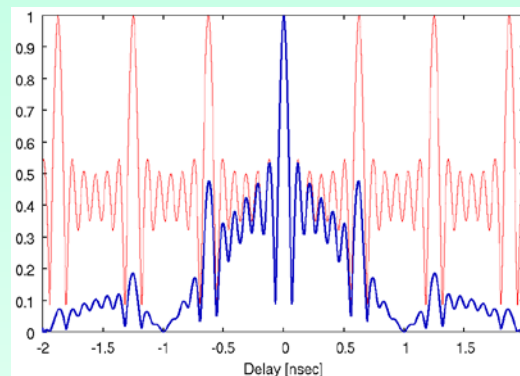
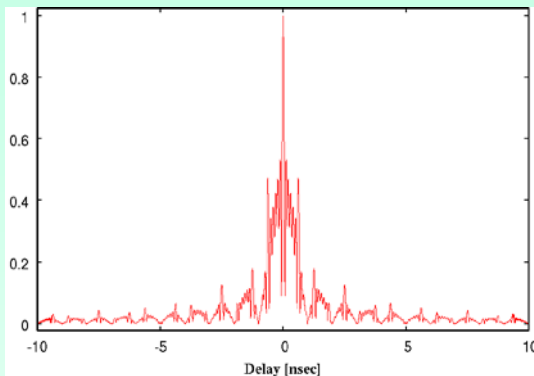
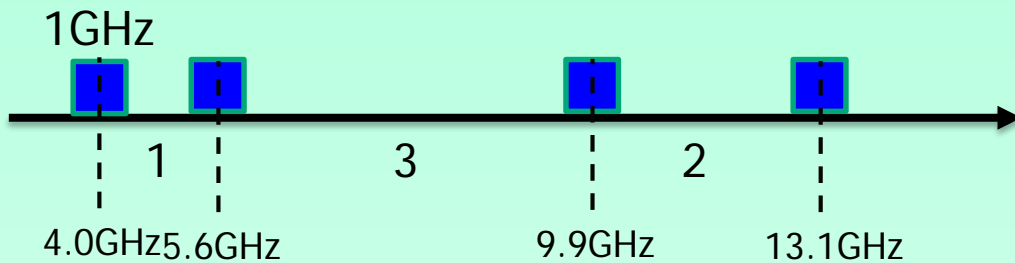
- Freq.: 2-14GHz
- 遅延精度: 1ps
- 測地精度: 1mm
- 駆動速度: 12deg/s



# Gala-V プロジェクト 概要

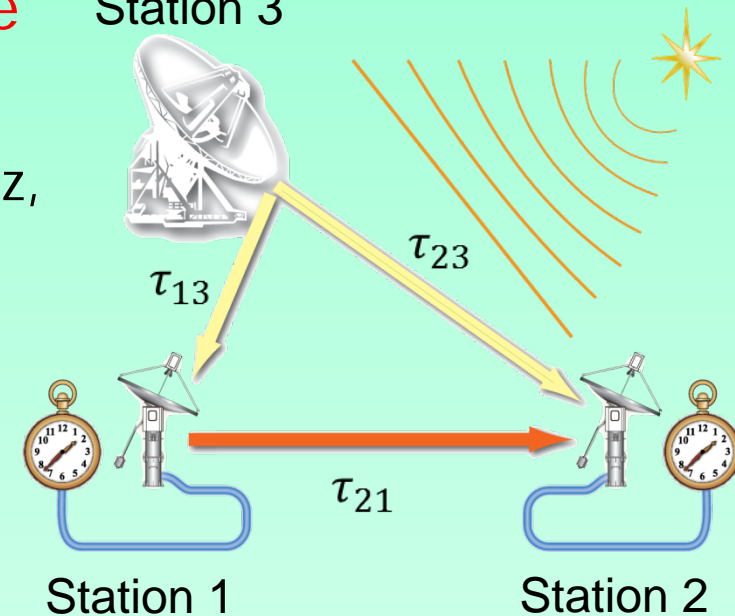
ターゲット遅延計測精度: 現状30 ps  $\rightarrow$  10 ps

- 観測周波数: 3-14GHz Freq. Range
- 帯域: 4 band (1024MHz)
  - $F_c = 4.0\text{GHz}, 5.6\text{GHz}, 9.9\text{GHz}, 13.1\text{GHz}$ ,
  - Effective BW: 3.8GHz



Combination of Small and Large Diameter antennas

Station 3



遅延分解関数: 遅延計測精度を決める相互相関関数の波形



# 1.6/1.5m and 34m VLBI antenna



1.5m compact antenna



Kashima 34m antenna

- VLBI2010 仕様に 部分準拠
  - 1 GHz x 4 band 3-15GHz Frequency Range



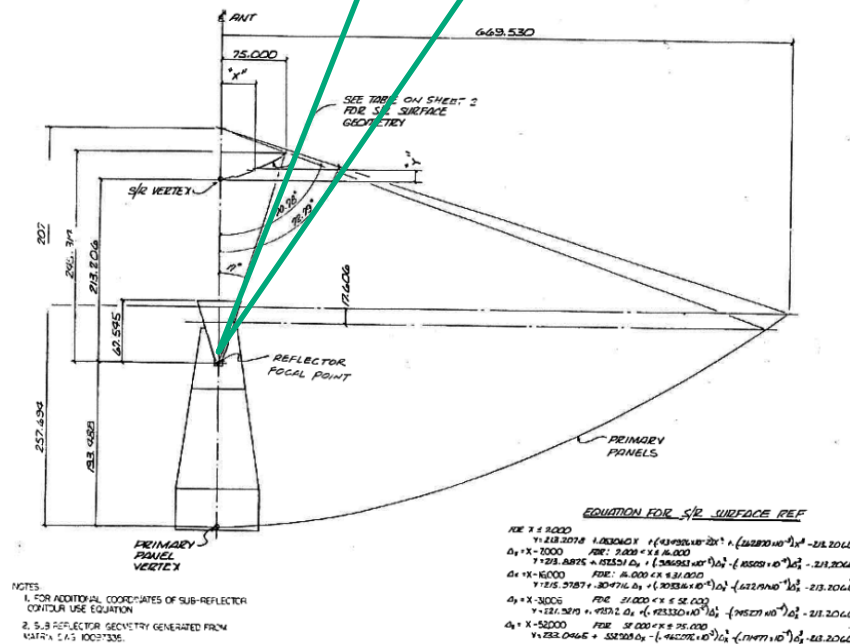
# “Iguana” Feed

副反射鏡見込み角 35 度

## 要求性能:

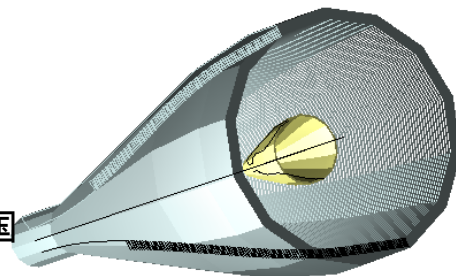
- 35 度. ビーム幅 for 3-14GHz

鹿島34mに搭載されたIguana Feed(氏原)と常温 LNA



周波数帯域6.4-14GHz 次機は 2.2-18 GHz の見込み

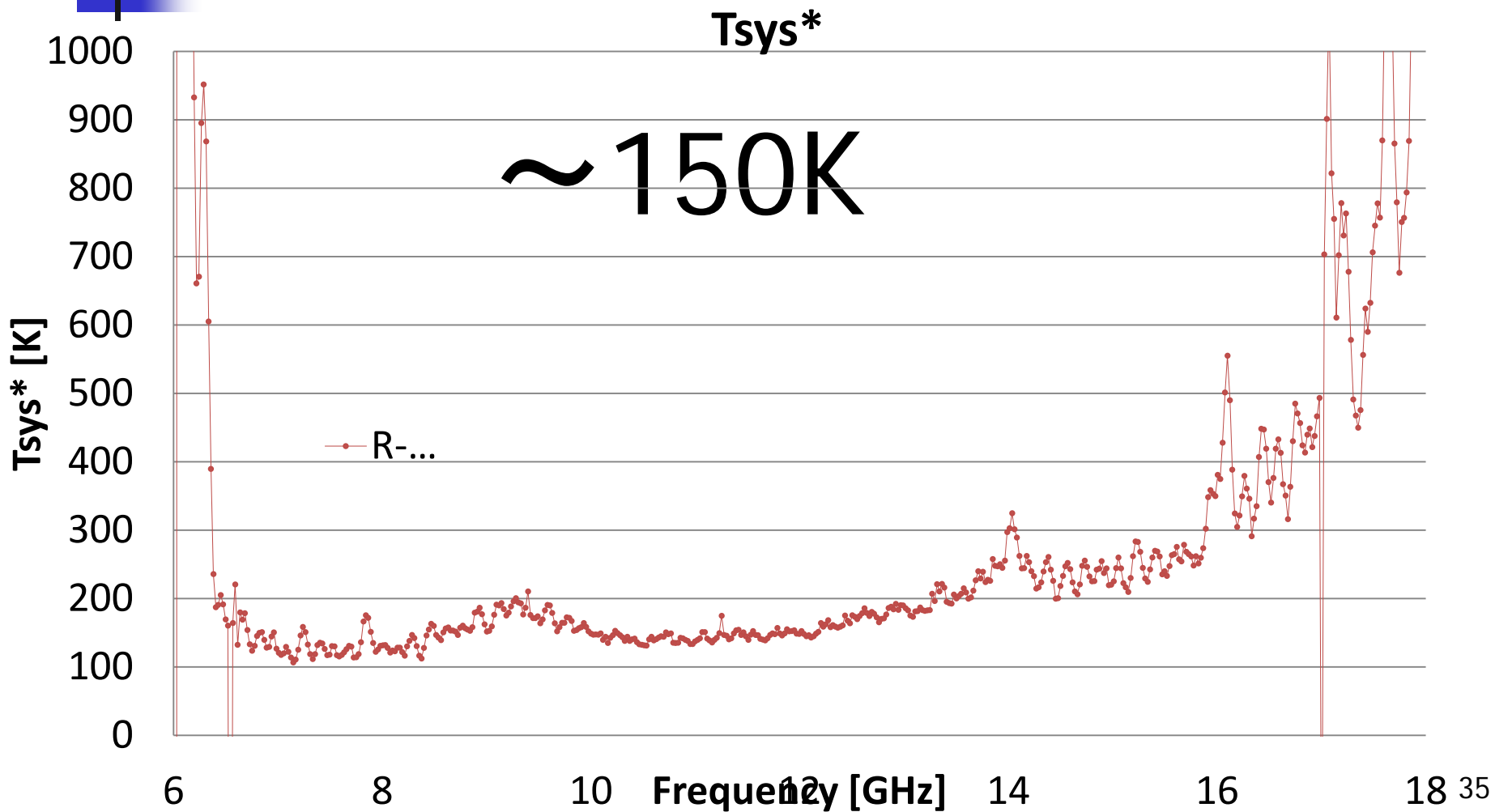
広帯域フィード‘Iguana’の開発には国立天文台の共同研究開発ファンドに支援を頂いており、応募代表者の山口大学 藤澤さん、天文台 本間さん、松本さんに感謝します。



‘Iguana’ feedのイメージ



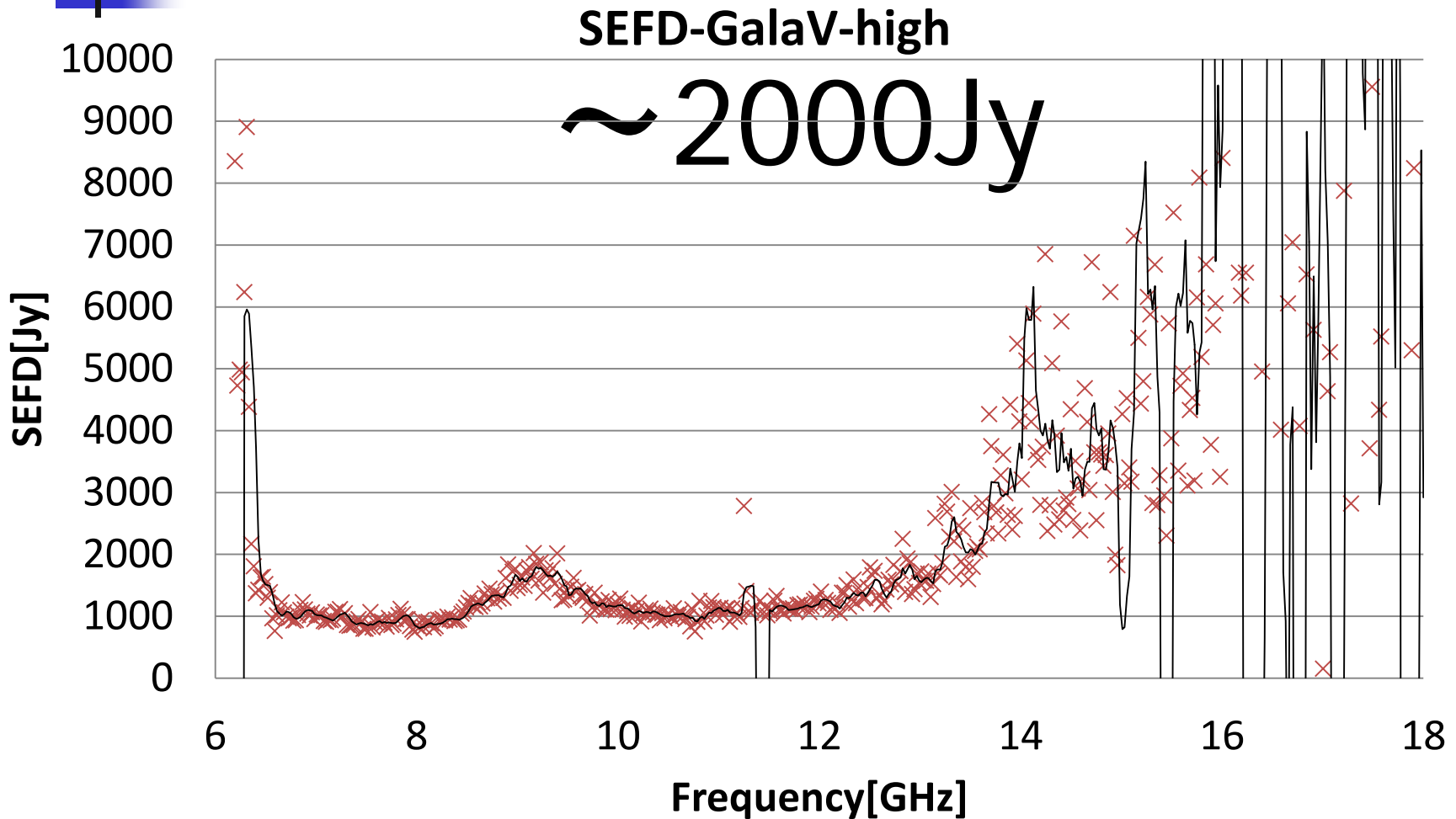
# 修正システム雑音温度 $T_{sys}^*$





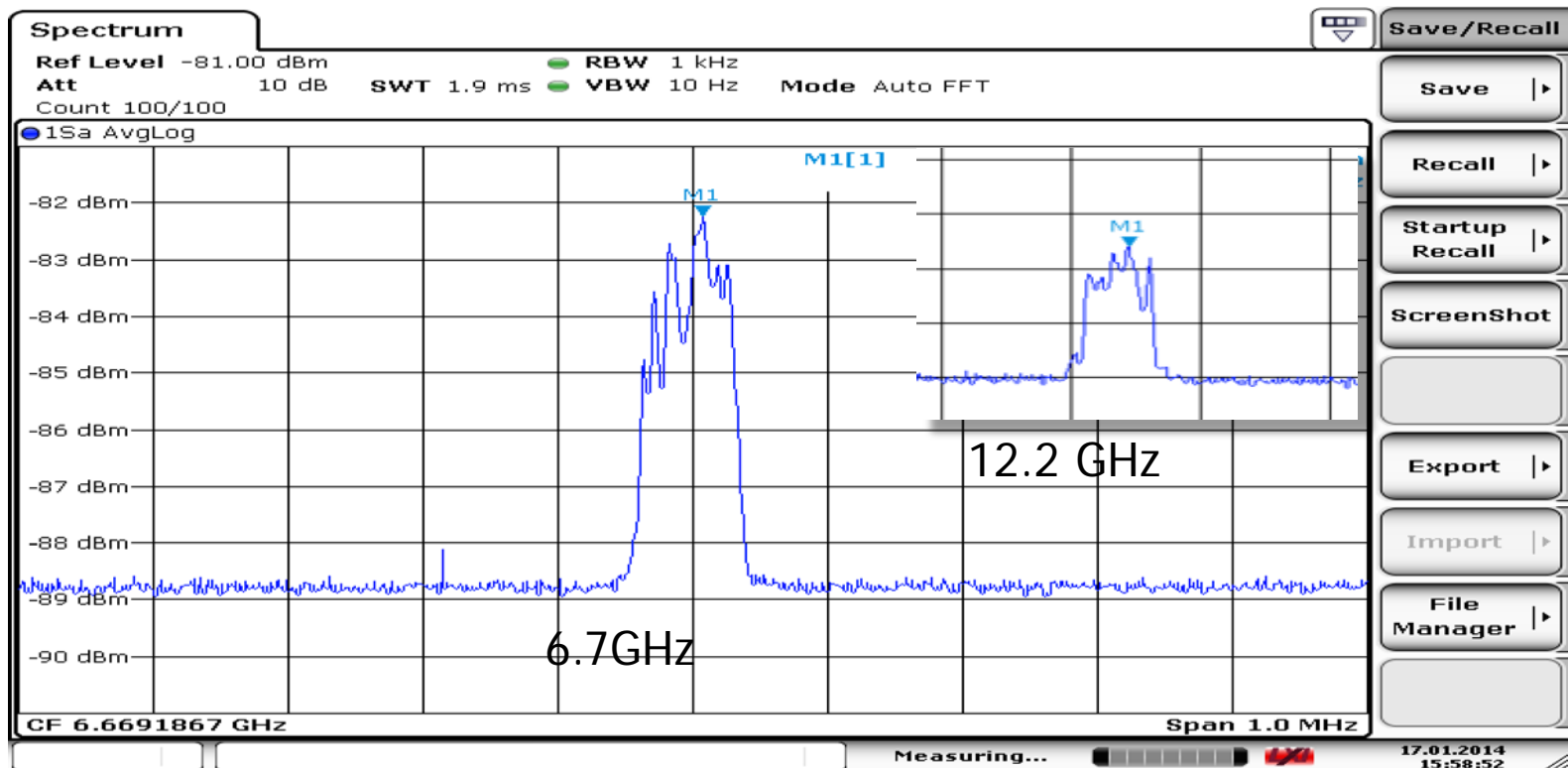
# SEFD

SEFD: システム等価フラックス密度 = アンテナ性能の指標



# メタノールメーザ 6.7GHz 12.2GHz の同時受信成功

- W30Hなど複数の天体について、メタノールメーザ 6.7GHz、12.2GHz の同時受信に成功しました(16 Jan.2014.) このような観測ができるのは現在鹿島34mのみ。



Date: 17.JAN.2014 15:58:51

# MARBLE小型アンテナのRF-BOX



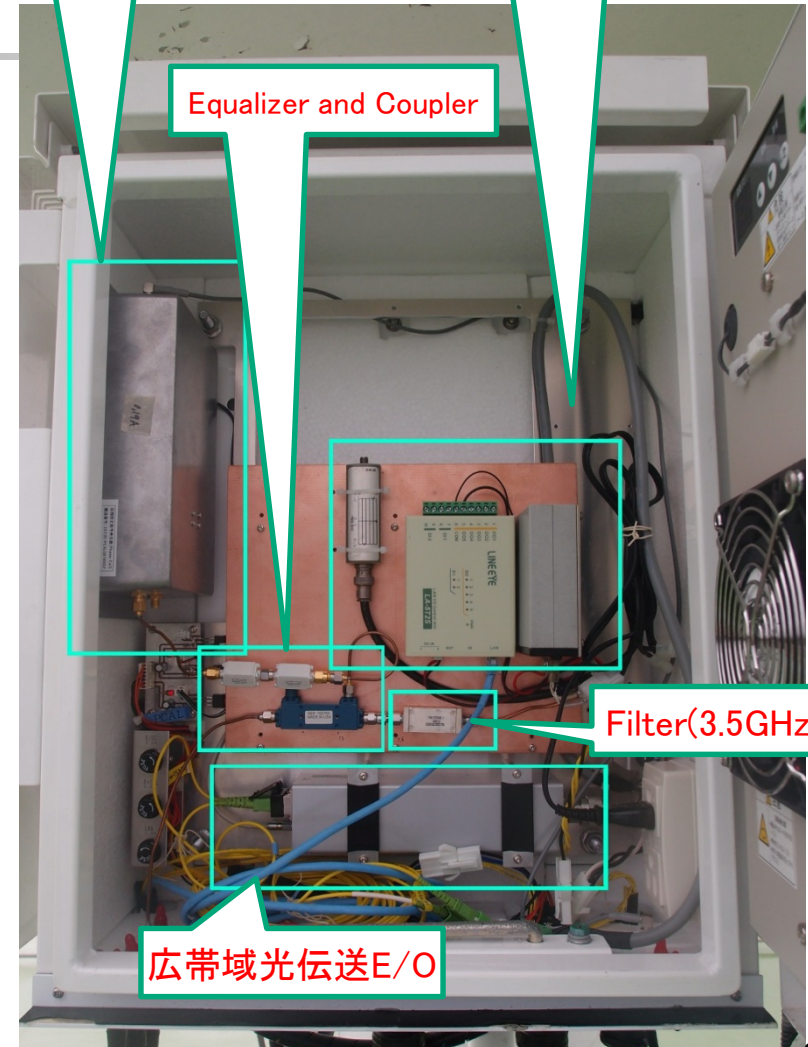
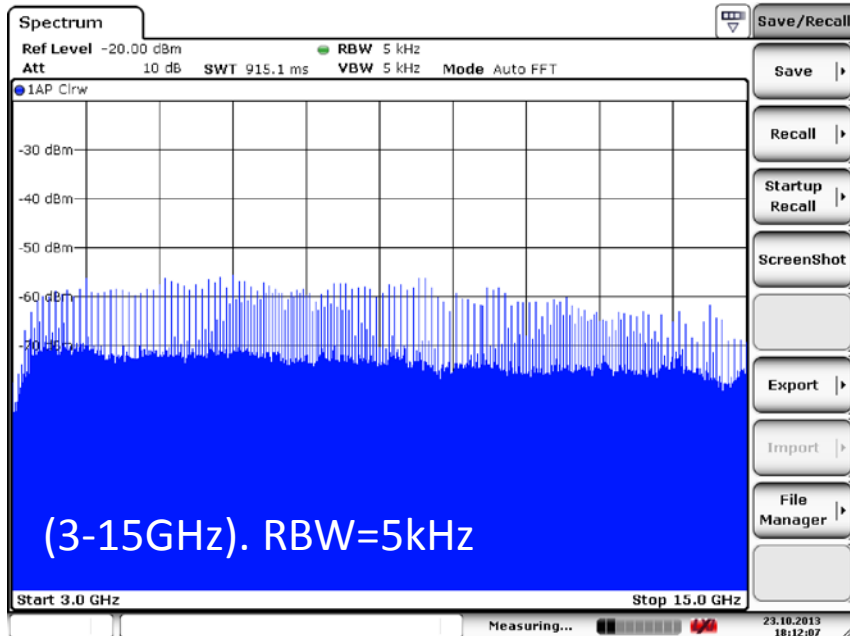
珀ルチェクラー

PCAL (COMB) 発生器

Noise-Cal 制御部

Equalizer and Coupler

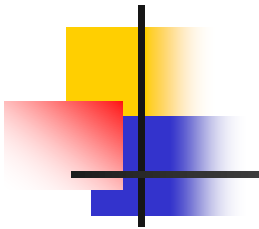
バンド幅合成に大切なPCAL信号の品質  
(位相)確認が必要



Filter(3.5GHz)

広帯域光伝送E/O

# 産総研 3-7棟 屋上へのMarble1アンテナの設置



# Webcamモニタ 遠隔観測操作



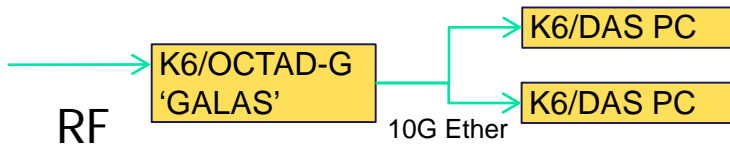
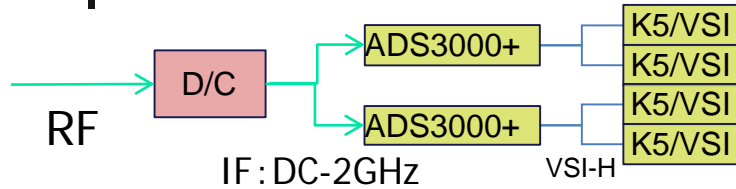


# データ収集系: 1GHz x 4 Ch

2つのアプローチ

1. アナログ Down Converter と “ADS3000+”
2. Direct Sampler “GALAS”

任意の 1MHz step 周波数でデジタルフィルタ+周波数変換。



ADS3000+ Sampler

Direct Sampler “GALAS”  
DBBC(BW=1024MHz)



# VLBI2010 Global Observing System VGOS



スペイン

- 観測周波数; 2-14GHz
- 帯域幅1GHz x 4
- 位置計測精度 1mm



石岡 アンテナ  
国土地理院

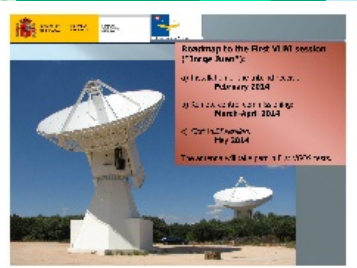


Wettzell  
Germany/BKG



Russia Badary/IAA

MIT Haystack  
Westford



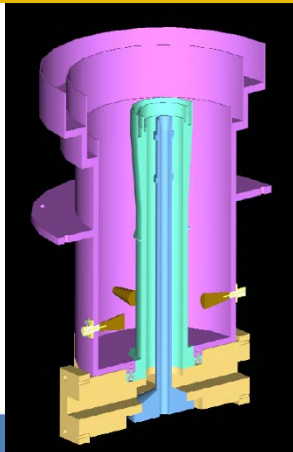
More stations below 15°N latitude

- IVS Site
- Cooperating VLBI Site
- Former IVS Site
- Forthcoming IVS Site
- Planned or proposal in preparation
- Proposal submitted
- Funded
- Operational
- Locations not decided
- Twin telescope
- Under construction



# Analog Technologies – Feeds

S/X/Ka Triband



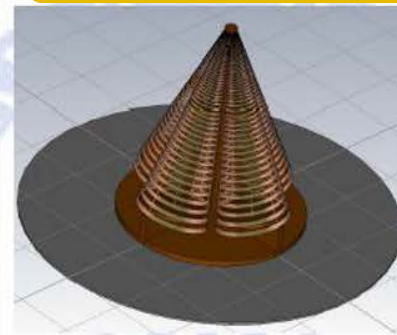
開発が遅延



JPL開発、  
MIT,NASA



スペイン独自開発中



	Eleven	QRFH	Yebes-Feed
Frequency range (GHz)	1.2-14	2.2-14	2.2-14
Polarization	Dual-Linear	Dual-Linear	Dual-Circular
Port Configuration	Differential	Single-Ended	Differential
LNAs per Polarization	4	1	1
LNAs per Feed	8	2	4
Calibration Signal Injection	Radiated or post-LNA	Radiated, pre-LNA, or post-LNA	-
Aperture Efficiency	See Next Slide		65% - 13.2m Telescope
Size	Diameter 210mm height 65 mm	diameter 160mm height 150mm	height 169 mm
Cost (USD)	33K (TBC)	15K	TBD

# 世界のVGOS局 受信機状況

国名	観測局	Broadband	S/X/Ka
米国	Westford(MIT)	○ QRFH(JPL)	--
	GGAO(NASA)	○ QRFH(JPL)	--
	Kokee(USNO)	△ QRFH(JPL)	--
ドイツ	Wettzell(BKG)	△ElevenFeed	○Triband
スペイン	Yebes(IGN)	△Yebes—Feed	○Triband
ロシア	Badary(IAA)	--	○Russian Triband
日本	石岡(GSI)	△ QRFH(JPL) △ElevenFeed	○Triband
	鹿島(NICT)	○Iguana	--

現在観測可能なアンテナはMITとNASAのアンテナのみ。  
NICTの34mアンテナと 長基線の広帯域VLBI観測を実施したい。

# 現在の鹿島のグループ





ありがとうございました。

---