

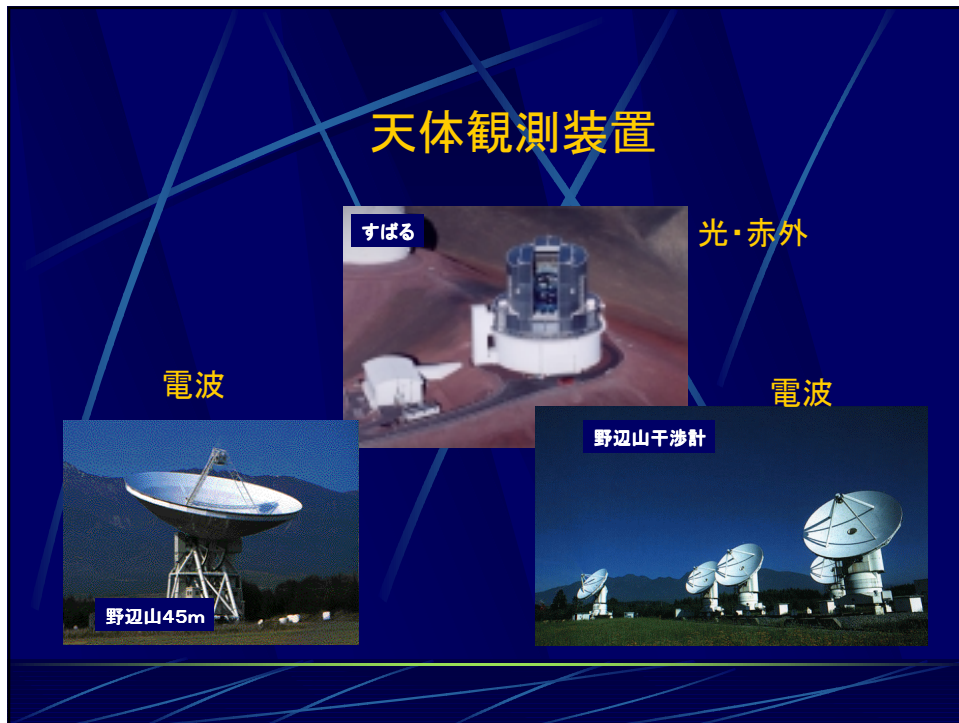
スーパーSINETを利用した 光結合型電波干渉計の開発計画

国立天文台 川口則幸

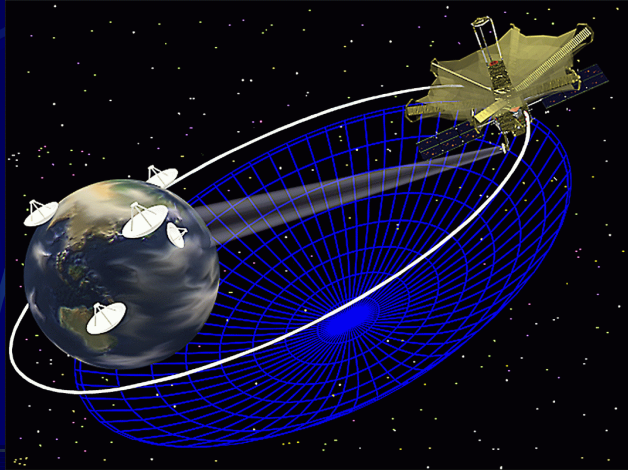
SS研
2001.10.31

観測天文学

観測装置	波長	電波	光学・赤外	X線	重力波
		45m	すばる	あすか	TAMA
単一鏡		◎	◎	◎	○
干渉計		◎	○	×	×
超長基線干渉計 (VLBI)		○	×	×	×

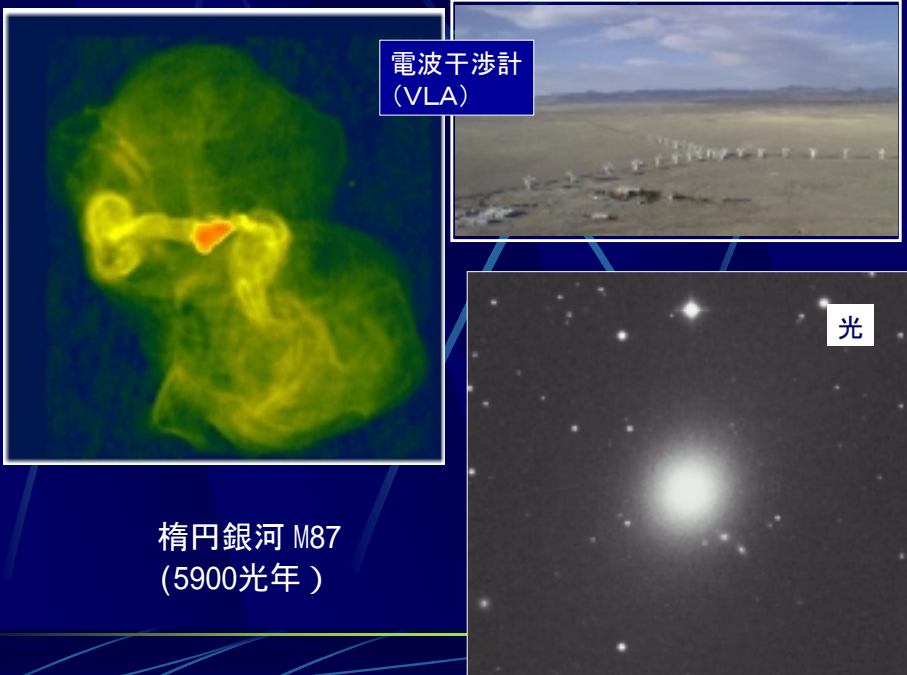


宇宙空間VLBI



宇宙電波望遠鏡
「はるか」
97年2月打ち上げ

The diagram illustrates the 'Haruka' space VLBI system. It shows the Earth with several ground-based radio telescope stations. A satellite with a radio telescope is in orbit around the Earth. A blue grid represents the virtual radio telescope array formed by the combination of the ground stations and the satellite. The background is a dark space with stars.



電波干渉計
(VLA)

光

楕円銀河 M87
(5900光年)

This block shows three different observations of the elliptical galaxy M87. On the left is a radio image from the Very Large Array (VLA) showing the galaxy's structure in green and yellow. On the top right is a photograph of the VLA radio telescope array in a desert landscape. On the bottom right is an optical image of the galaxy, showing a bright central core and surrounding stars, labeled '光' (light).

遠くを細かく調べる望遠鏡 - VLBI -

- 光学望遠鏡より高い分解能
 - 波長／口径 = 0.8 μm ／8 m (すばる望遠鏡)
= 1 cm／100 km (VLBI)
- 数10億光年先の銀河の中心部
 - 銀河の典型的なサイズは10万光年
 - 1／1000に分解するためには100光年の分解能が必要
 - 100光年／10億光年 = 1 cm／100 km = 20ミリ秒角

信号の合成

$$(x+y)^2 = x^2 + y^2 + 2xy$$

合成結果を最大化するためには
 $\langle xy \rangle$ を最大化する合成処理を行えばよい。

相互相関関数の最大化

相互相関の検出

時間遅れのある信号 $y(t) = x(t - \tau_g)$

時間変化する遅延時間 $\tau_g = \tau_{g0} + \dot{\tau}_g \times t$

- 必要な処理

- 遅延追尾(クロック単位で遅延追尾)
- フリンジ回転処理(残留遅延による位相回転補正)

- 処理方式

- フーリエ変換してかけ算(FX型相関器)
- かけ算してフーリエ変換(XF型相関器)

相関処理装置

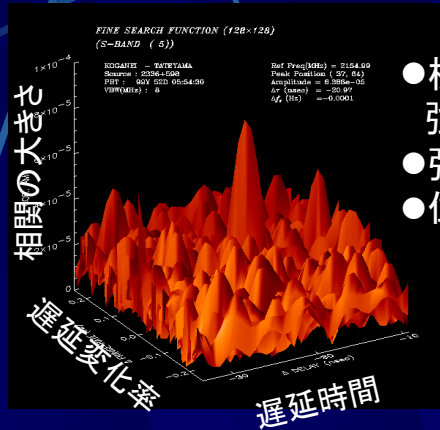


FX型
(10局45基線)

XF型(1基線)



検出された相互相関



- 検出された相関には強度と位相の情報
- 強度情報は天体の輝度
- 位相情報は天体の位置

磁気記録による干渉計—VLBI

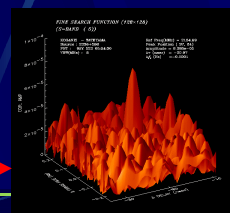
Since 1967
(日本では1977)

望遠鏡間が100km以上

- 超高分解能を達成する。(天文)
- アンテナ間の距離を精密に計測する。(地球物理学)



磁気テープ



磁気テープ



VLBI観測技術の発展

年代	観測レート	測地精度	主な成果
1960	300 kbps	1 m	可干渉の検証
1970	4 Mbps	10 cm	超光速ジェット現象
1980	64 Mbps	2 cm	プレート運動検出
1990	256 Mbps	1 cm	ブラックホール発見
2000	1 Gbps	3 mm?	銀河回転運動?

電波における天体観測能力

	分解能		感度	
	△	D=45 m λ=3 mm	◎	1600 m ² 13000 mas
単一鏡 (NRO45m)	1		1	
干渉計 (VLA)	○	D=20 km λ=1 cm	○	13000 m ² 100 mas
VLBI (VLBA)	◎	D=8 Mm λ=6 cm	△	5000 m ² 2 mas
	6000		2000	

磁気記録速度が感度に制約

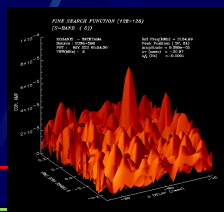
- 現在は256Mbps
- 今後10年間は1024Mbps
- 光結合型VLBIが最大のブレークスルー
 - 1Gbpsから8Gbpsへ
 - 光学観測におけるCCDと同様のインパクト

磁気記録の制約を超えて

- 実時間処理が可能
- 大量情報の取得が可能



光ファイバ通信



光ファイバ通信

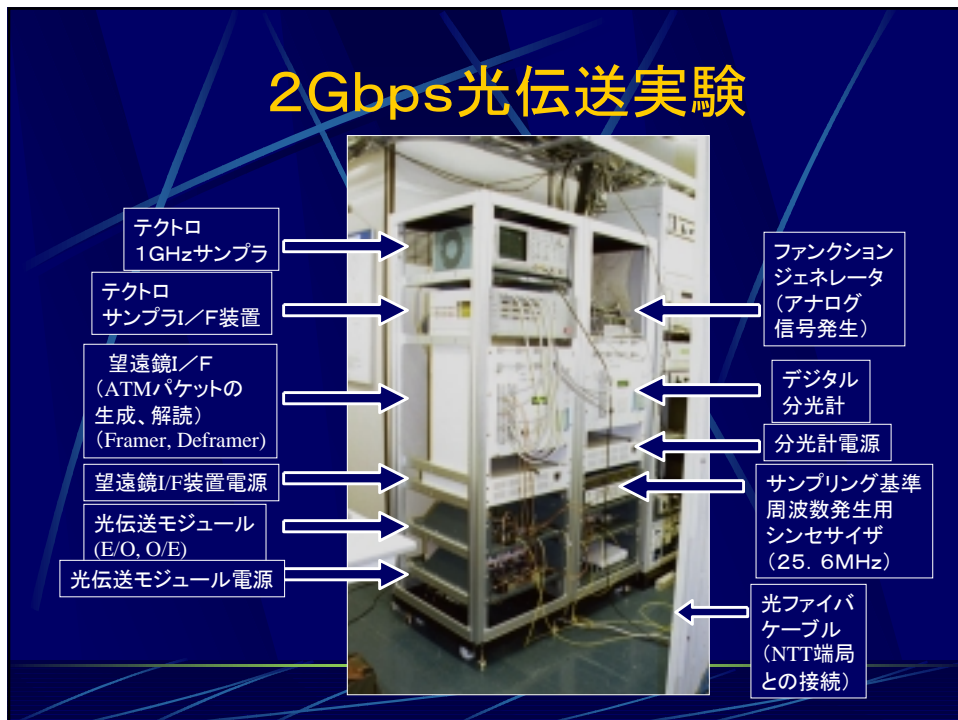
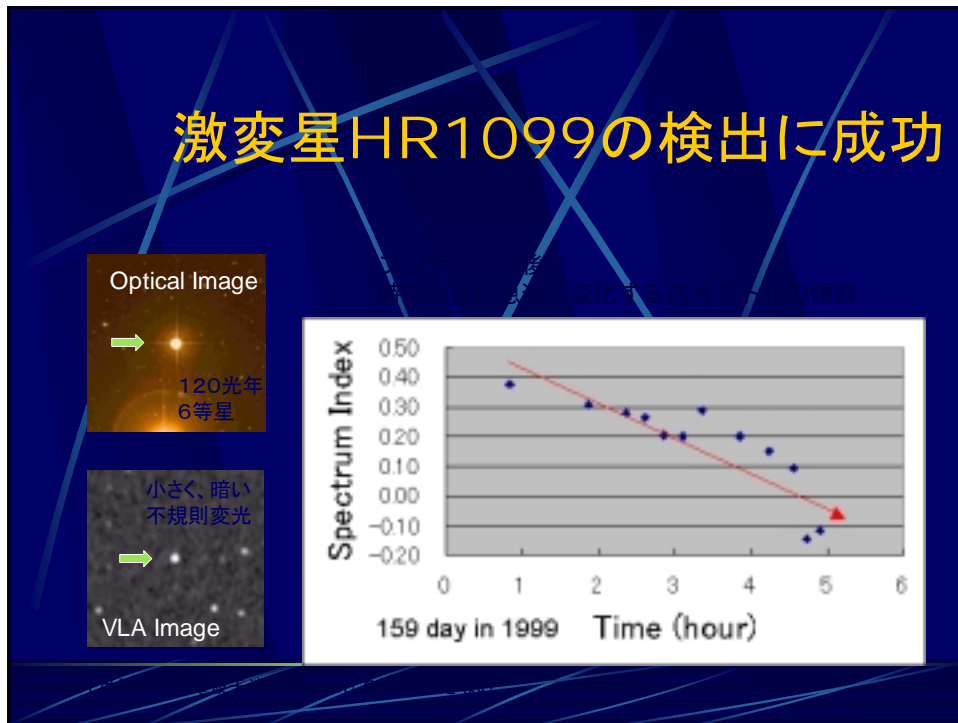


光結合型VLBIの技術課題

- 実時間相関技術
 - 信頼性
 - 実時間表示
- 超高速サンプリング技術
 - サンプリングジッタを抑える
 - ビットメイク、スリップは致命的
- ネットワーク利用技術
 - 大量情報の伝送(毎秒数ギガビット)
 - 望遠鏡と基幹ネットワークとの接続(ラストワンマイル)

首都圏光結合実験



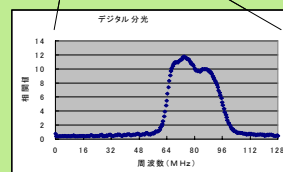
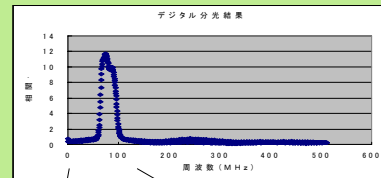


2Gbps光伝送実験結果



オリジナルアナログ雑音スペクトル
(0-120MHz部拡大)

光データ伝送後のデジタル
分光処理結果
上: 0-512 MHz
下: 0-128MHz



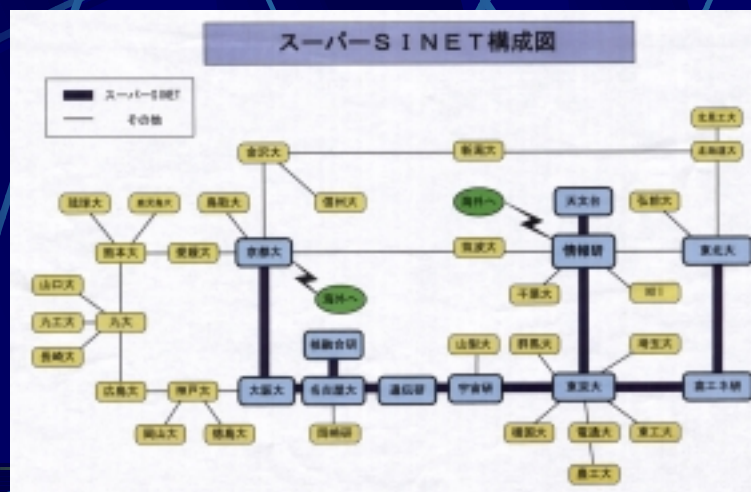
スーパーサイネット計画

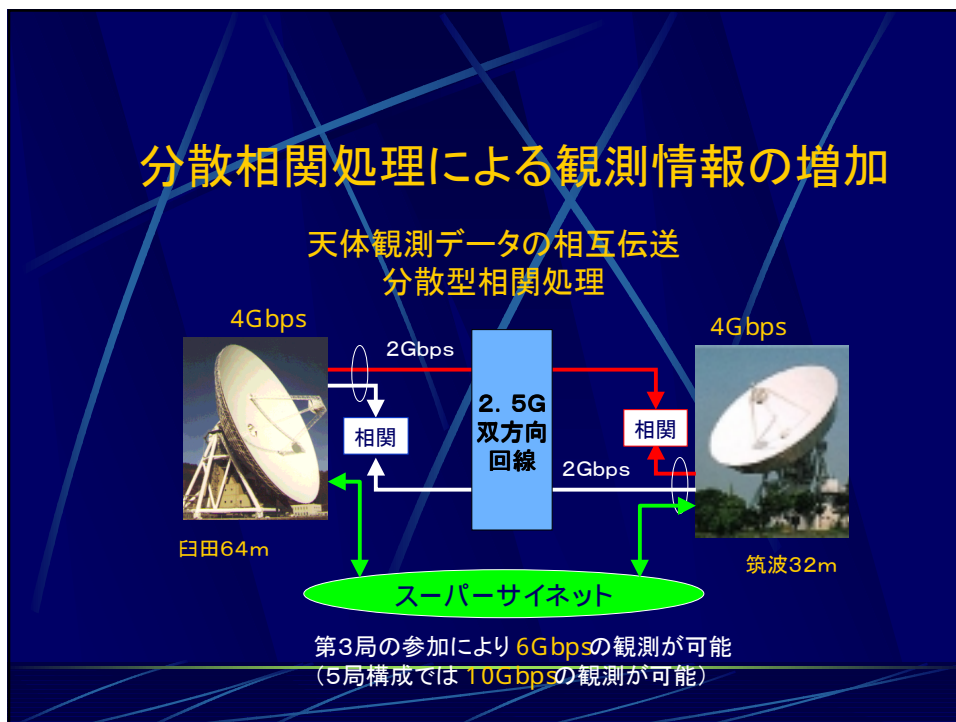
- スーパーサイネット計画(国立情報学研究所)
 - 現学術情報ネットワークのギガビット化
 - 幹線の伝送量は10Gbps
- 5大学、5研究機関、5研究テーマでスタート
 - 東北大、東京大、名古屋大、京都大、大阪大
 - 高エネ研、核融合研、遺伝研、**宇宙研**、**天文台**
 - 「高エネルギー物理」、**宇宙**、**天文**、「遺伝子」、「ナノテクノロジー」、「スパコン連動」

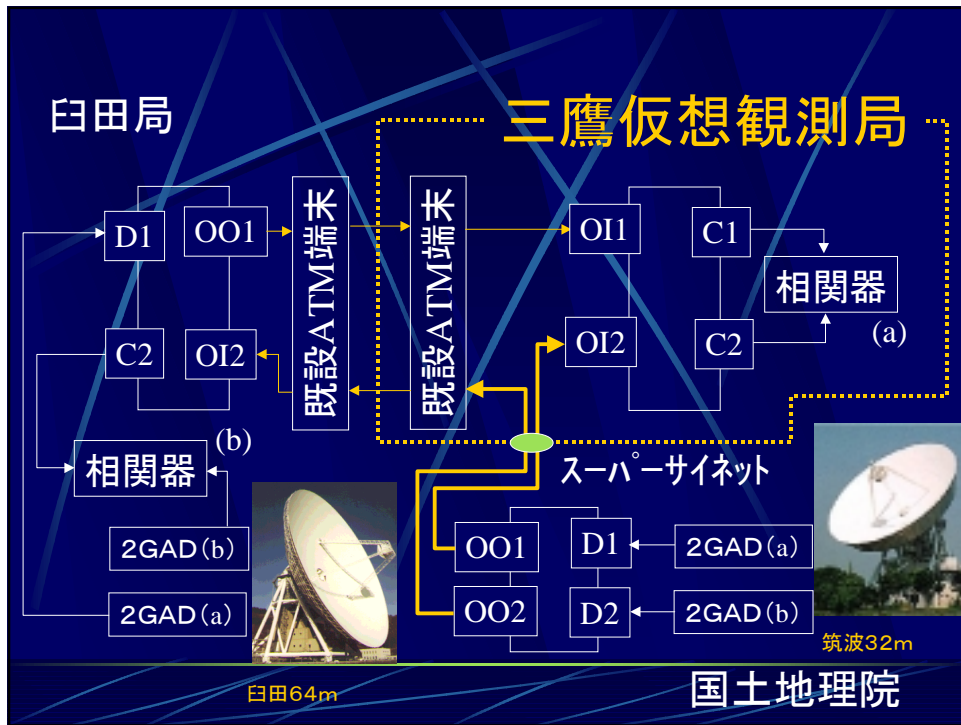
宇宙・天文の研究

- 2研究テーマ
 - 国立天文台を中心とする研究
 - 光結合VLBI
 - 天文台、高エネ研、宇宙研、東北大、名大、九大
 - 宇宙科学研究所を中心とする研究
 - 宇宙関連情報のデータベース
 - 宇宙研、東北大、東大、天文台、名大、京大

スーパーサイネット網







ベテルギウス (オリオン座の赤色巨星)

直径	60 mas
距離	650 光年
明るさ	0等星 (M1型)
温度	3、500K
電波強度	2.5 mJy (17、000K)

Atmosphere of Betelgeuse
PRC96-04 - ST Sci OPO - January 15, 1995 - A. Dapree (CIA), NASA

HST - FOC

ハッブル望遠鏡でとらえた太陽以外の最初の恒星像

米国立電波天文台の開発状況

Fiber Connection

50MHz x 4
Analog Signal Transmission
December 15, 1998



104 km

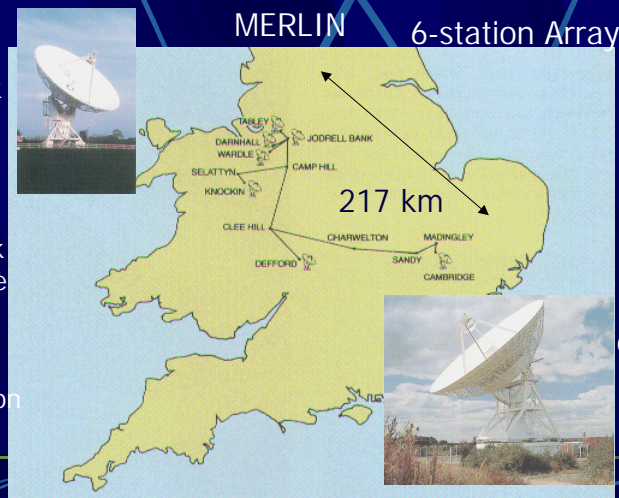
英国の開発状況

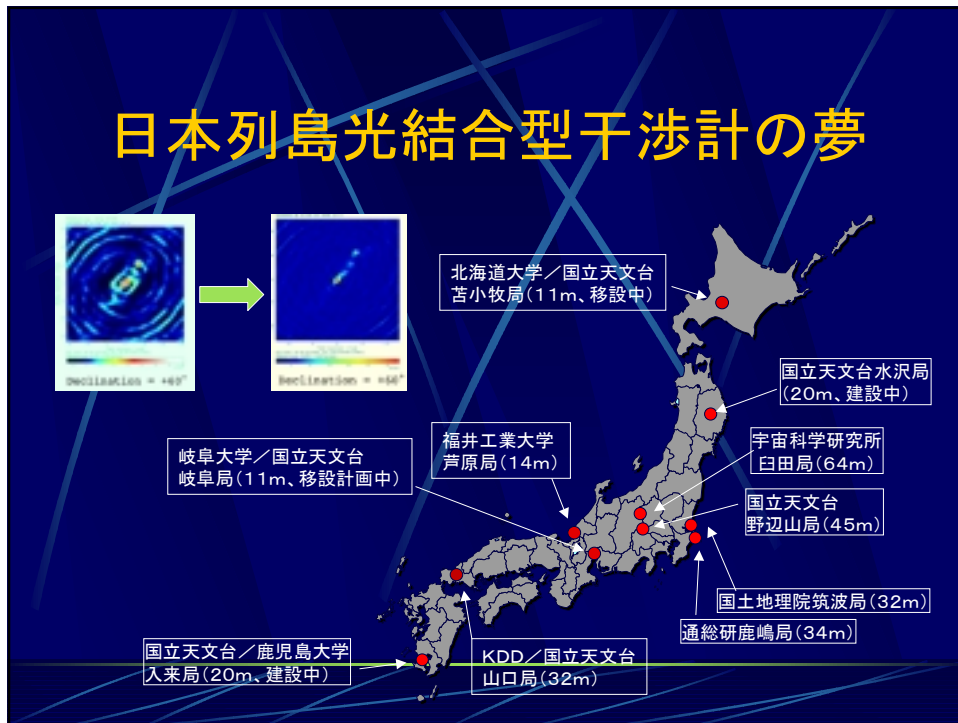
Jodrell Bank
25m



Microwave Link
of 15-MHz wide

Planned
Fiber Connection





まとめ

- VLBI観測は光結合の時代へ
- 超高感度、超高分解能を達成
- 超高速計算機による分散相関処理