

VERA広帯域化とOCTAVE+

(ディスクバッファ併用型光結合VLBI観測網)

小山友明 (水沢VERA観測所、光結合VLBIチーム)

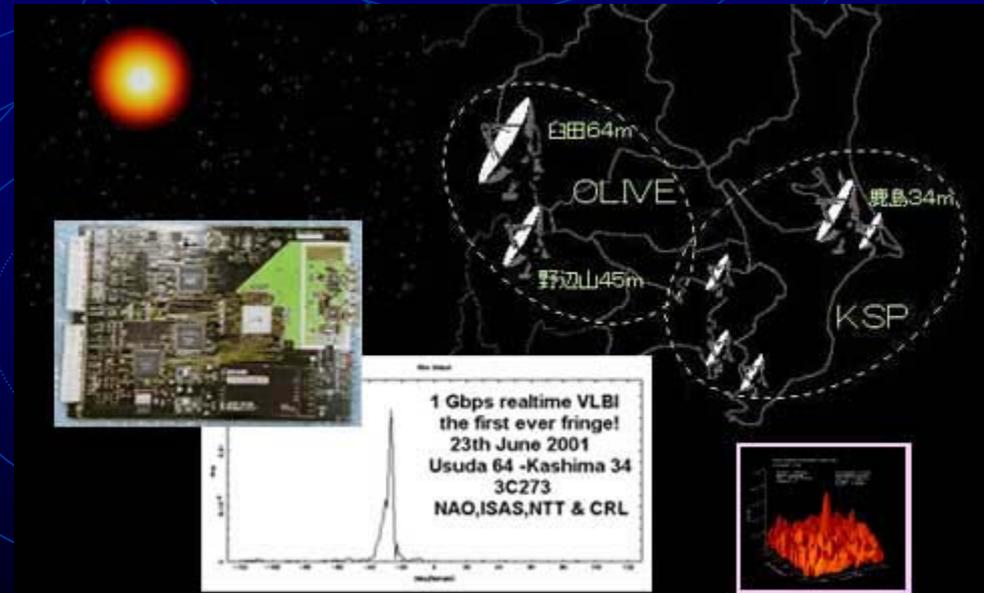
光結合(その1)

- OLIVE (Optical LInked VLBI Experiment)
 - 1995~、1998/1 First Fring
 - NRO、USUDA→NTT武蔵野研究所、そして三鷹相関局・宇宙研相模原「はるか」運用室へと光ファイバが敷設
 - 256Mbps (回線2Gbps)
 - リアルタイムフリッジ(インフラ的)

- 国立天文台 川口則幸 — Kawaguchi Noriyuki
- 小林秀行 Kobayashi Hideyuki
- 藤沢健太 Fujisawa Kenta
- 井口 聖 Iguti Satoru
- 俣徠和夫 Sorai Kazuo
- 宇宙科学研究所 平林 久 Hirabayashi Hisasi
- 村田泰宏 Murata Yasuhiro
- NTT情報流通プラットフォーム研究所 魚瀬尚郎
- 岩村相哲 Iwamura Sotetsu
- NTTアドバンステクノロジー株式会社 星野隆資

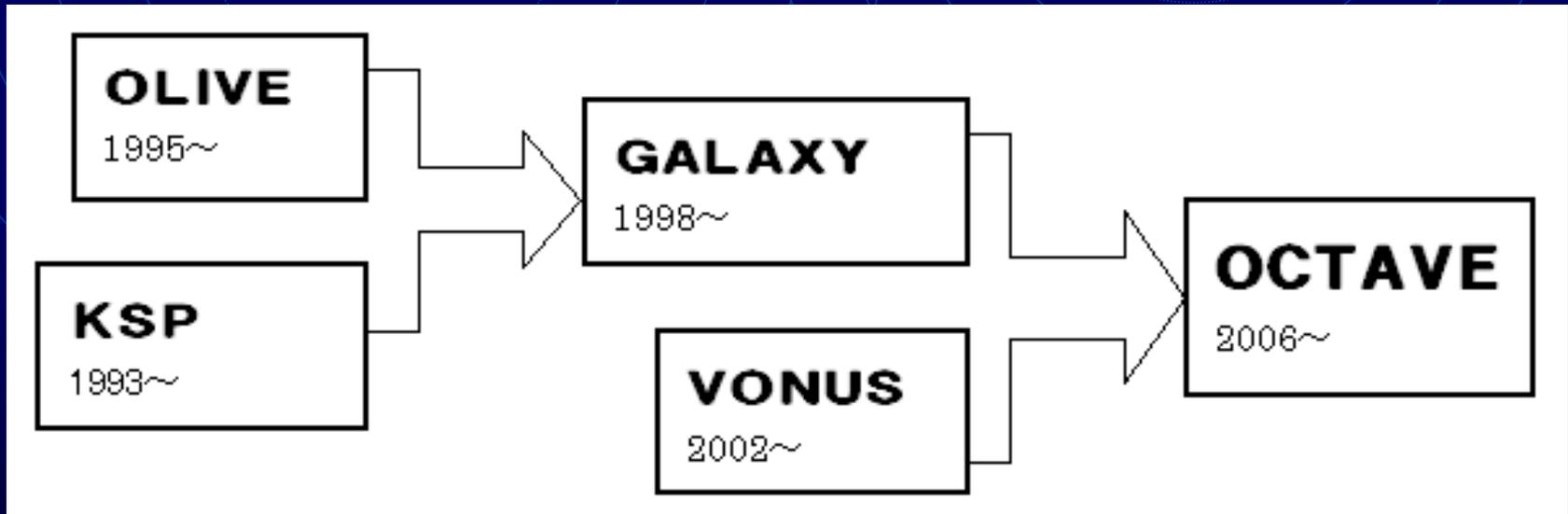
HPより

<http://veraserver.mtk.nao.ac.jp/evlbi/olive/outline/index.ht>



光結合（その2）

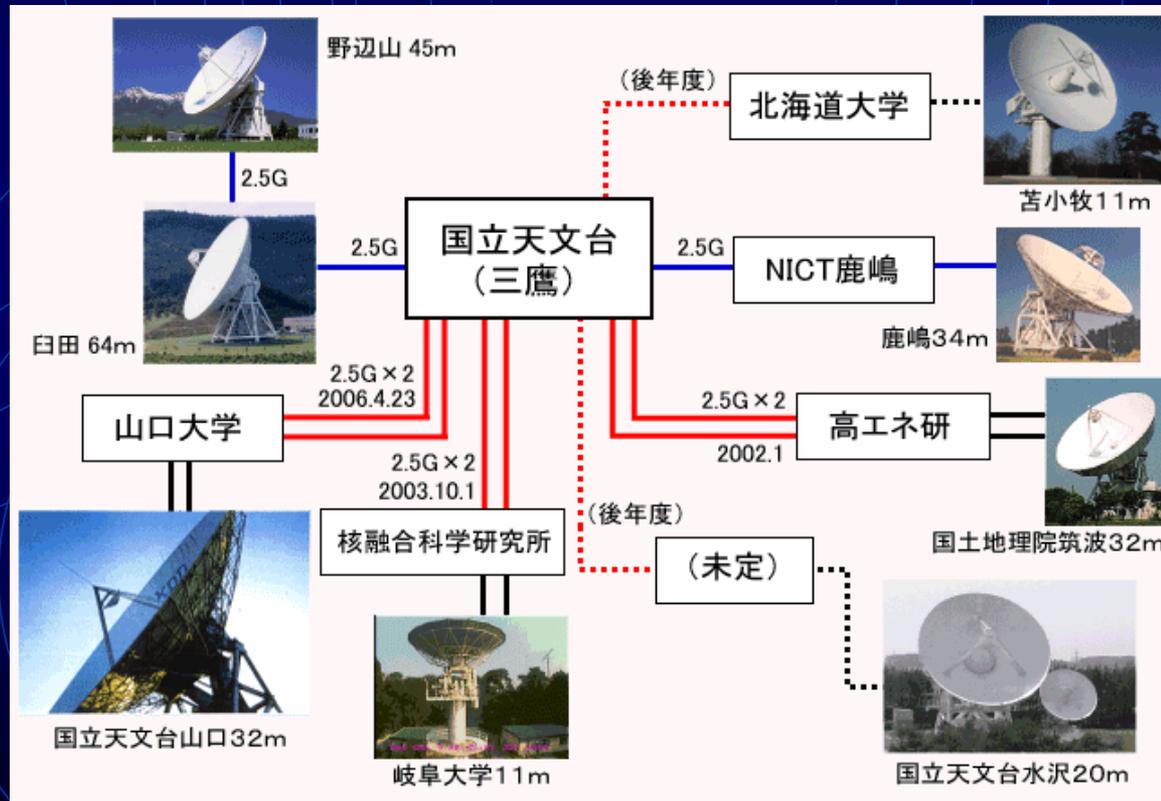
- OCTAVE (Optically Connected Array for VLBI Exploration)



OCTAVE

(Optically Connected Array for VLBI Exploration)

- 4 Gbps
(山口、岐阜、筑波、鹿島)
- 2 Gbps
(苫小牧)
- Kband(山口、岐阜、筑波、
鹿島、苫小牧)
- Xband(山口、筑波、鹿島)
- 今後
(高萩 4Gbps、臼田 数Gbps)



- #5 (2000系記録)
S/X 筑波、鹿島

OCTAVEの帯域幅ごとのSNR

Band-Width	鹿島	臼田	山口
80	420	420	350
324	780	780	700

帯域幅4倍
感度約2倍

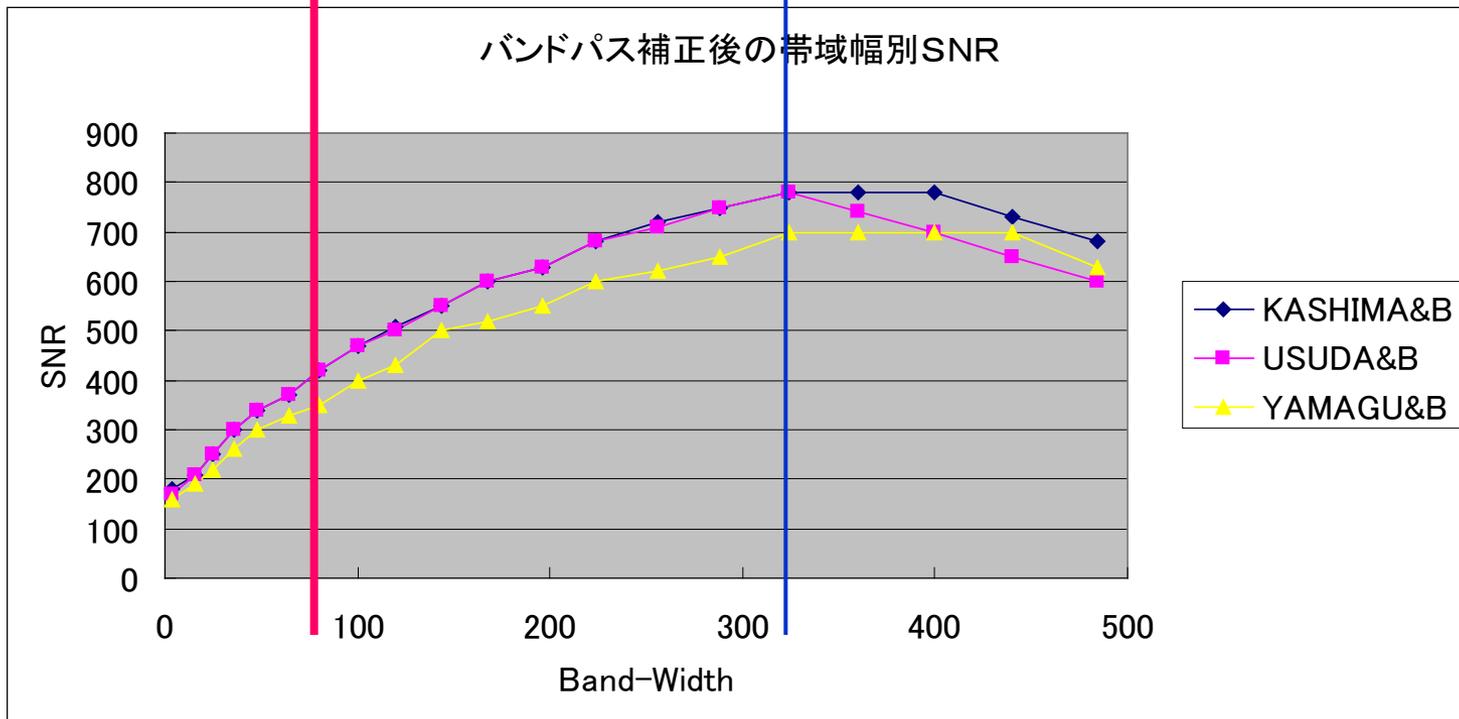


表 5.2 OCTAVE と DIR1000 の SNR 比較

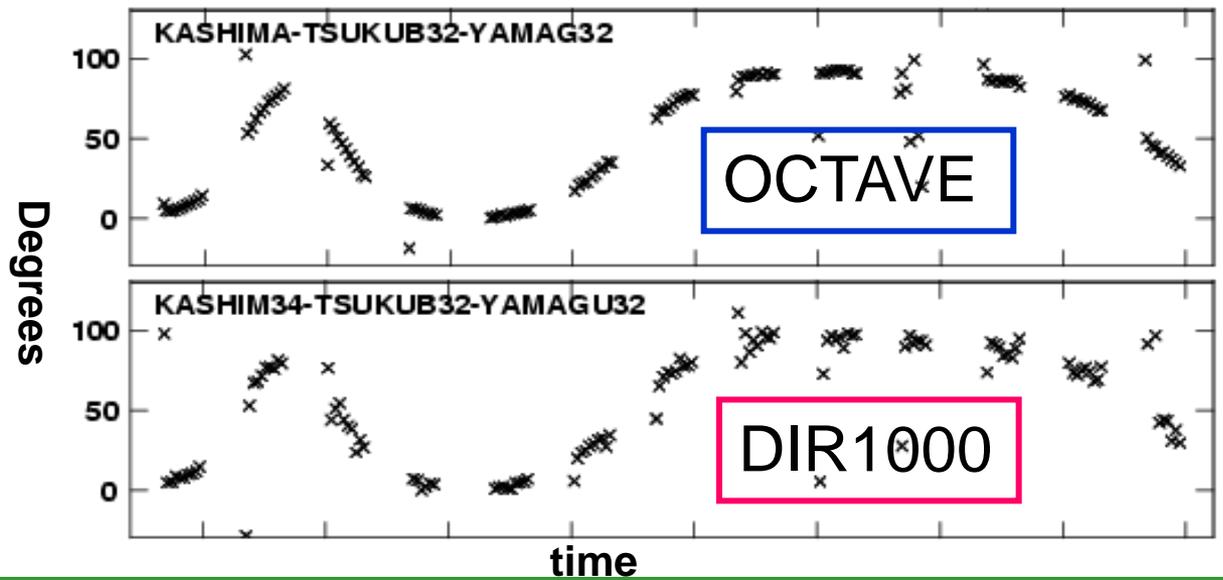
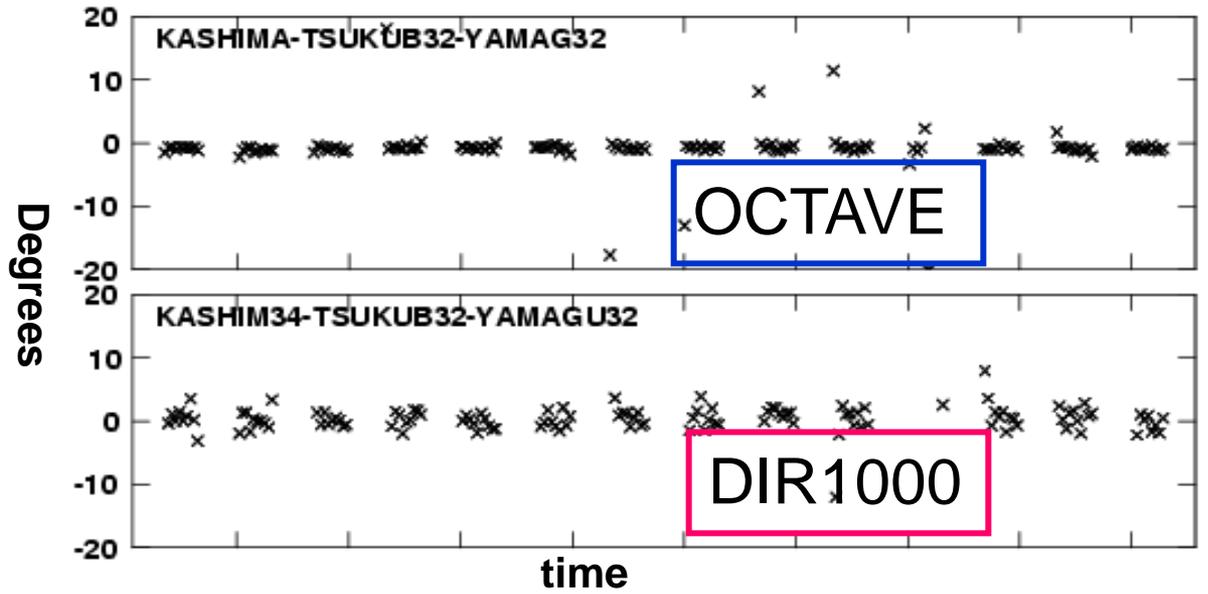
装置	周波数帯域幅(MHz)	鹿島(SNR)	臼田(SNR)	山口(SNR)
1000	16	60	65	60
OCTAVE	16	95	95	85

基線感度OK
1 mJy @ 60秒

1329+315

CLOSURE PHASES 比較

4C32.44



ディスク記録装置の進展(2005~)



- HD単体記録速度向上

- 20Mbyte/s(1999)→100Mbyte/s(現在)
 - 24台RAID→8Gbps可能
- Byte単価減少(1Gbyte/7Yen)
 - DIR2000(600Gbyte)→4200円
 - VERA全テープ交換(1200万)



Fantech

- Disk Buffer開発

- RVDB(VDB2000、KJJVC用)
 - 4 Gbps/DDB
 - 24時間記録/DDB@2Gbps
- ファンテック、Mark5B,C, K5VSI
 - 2 or 4 Gbps/DDB
 - 24時間記録/DDB@2Gbps



RVDB(VDB2000)

光結合（現状）



- Gbit観測網の構築継続
 - 解析系整備
 - 光伝送10GbE汎用回線、ディスクバッファ
 - 広帯域観測に必要なアナログ系、サンプラー、Gbit相関器、解析系も整備（開発）
- 光伝送を含めた上記技術開発が各プロジェクトの発展に寄与（VERA、KVN、VSOP2、EAVN）

サイエンスと技術の両輪

技術的な追求は継続

サイエンス、アレイからの要求は変化

光結合これから(1)

(広帯域高感度、萌芽的な観点)



- センチ波では比帯域10% 数GHzを達成
- 10GbE汎用回線、フレーム
- EVLA、eEVN、eMERLIN

SKA?

- 大容量光伝送(1 Tbyte/s 大陸間)
- RF サンプリング技術

サブミリ波?

- 比帯域ではフロンティア($350\text{GHz} \times 10\% = 35\text{GHz}$ 帯域)
- VLBI観測自体がフロンティア

サブミリ波VLBIにおける光結合



- 光結合の高データレートはサブミリ波VLBIでこそ威力を発揮するのは自明
- 100Gbps@500GHz × 10%を媒体で？ (eALMA？)
- フリンジを検出するのも困難、トラブル多い
 - VSOPの初期と似ている？
 - サブミリ波VLBIでこそリアルタイムフリンジ重要？
- 光空間伝送 (サブミリ望遠鏡は山の上)
- 水素メーザー共有 (ASTE, APEX, ALMA)

ASTE-APEX-ALMA

- ・リアルタイムフリンジチェック
 - ・源振伝送
- (検討開始2009/05、MPI、MIT)



定規

直線 パス

長さ: 7.50 キロメートル

マウス ナビゲーション 消去

光結合これから(2) (インフラ的な観点)



- ファイバー接続局の増加(川口さん)
- 従来の光結合アレイは運用ベースに
 - 大学連携のサブアレイ(プロポーザル)
 - リアルタイム、高頻度モニター観測は光結合
 - 高感度観測はDISKサーバー含めたハイブリット
- VERA、VSOP2、EAVN、東アジアへの発展
 - 簡易なデータ転送
 - リアルタイムFRINGEチェック

Why do we need?

Technically

1) 様々なレート、方式の異なる回線で観測局を繋げる必要性

ex) リンクアグリゲート(北大他)、VERA、Dante(欧州回線)、バースト観測対応

2) 相関器による制限(現有5局10基線相関器)

ex) 高萩、北大局増加、マルチパス相関処理(廣田)

3) VSOP2地上局、JVN、EAVN対応

Scientific

1) アレイ増加→VERA: **広帯域高感度観測**での短基線補強

ex) 共同利用観測での野辺山、鹿島Gbit化、近傍メーザー、Sgr A

2) 光結合VLBIでのサイエンス

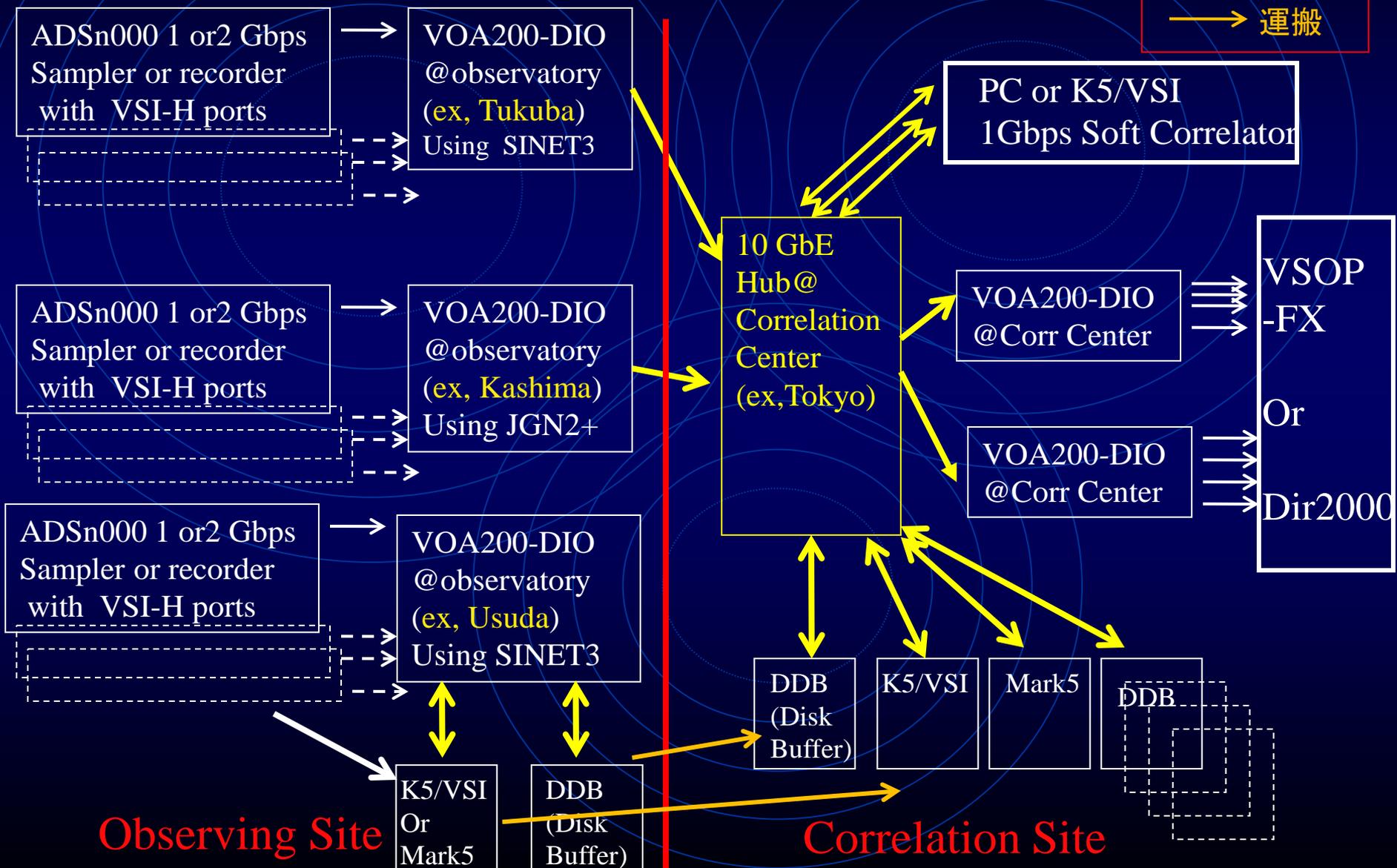
Bal QSO(S13a 土居他)、星形成領域非熱的電波源(廣田、梅本他)

ex) 臼田局、野辺山

3) 2 Gbps4局のアレイを**早急**に立ち上げ、サイエンスにしばらく

集中し地力を蓄える(次のプロジェクトに備える)(SWG 基本方針)

Data flow (10 GbE)



Observing Site

Correlation Site

三鷹相関局の状況

- ・ すべてのOCTAVE各局のデータは三鷹に伝送し集中処理
(現状帯域の半分しか用いていない)
- ・ VLBI用ディスクバッファの大型整備(2008年度)
 - ・ K5/VSI(バックアップ相関器用)
 - ・ VDB-2000(KJJVC用試験+バックアップ相関器増強用)⇒18 Gbps(K5/VSI)+24 Gbps(VDB-2000)のトータル記録レート
216時間記録@2 Gbps(200 Tbyte)
- ・ K5/VSI⇔VDB2000⇔Mark5B データ変換可能予定(2008年中)
(工場試験、RVDB⇒K5/VSI(PC) 500Mbps)
⇒Mark5B、K5/VSI、VDB2000すべての記録に対応可能予定

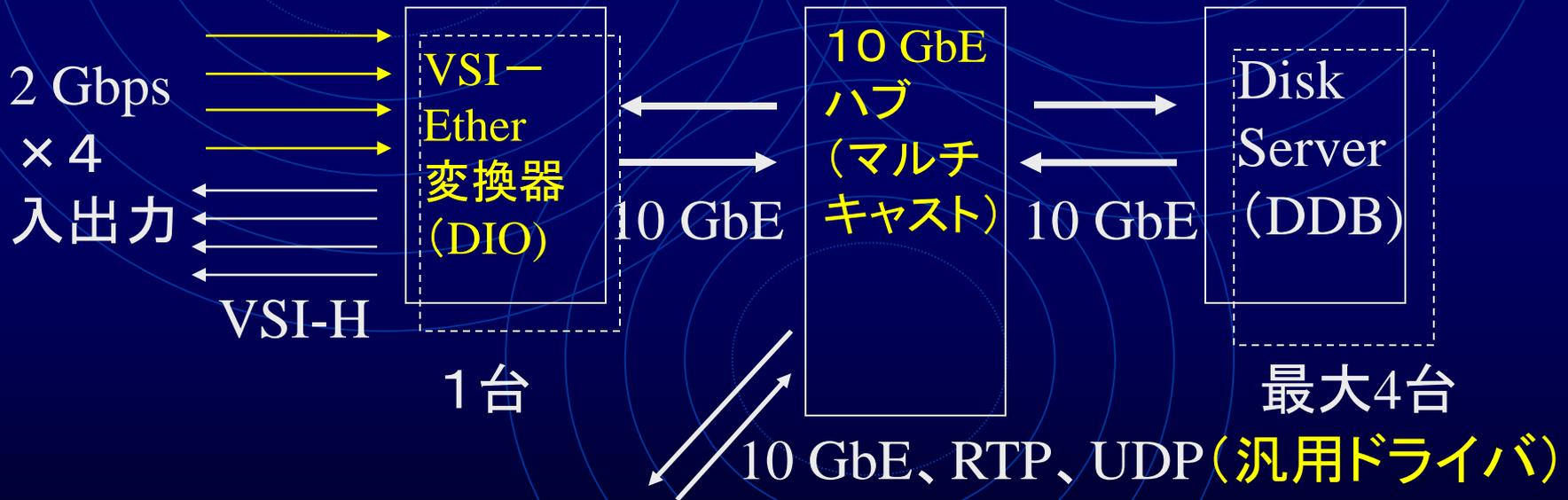
上記装置群を用いてOCTAVE+を構築できないだろうか

OCTAVE+ (ソフト相関器)

- 2005-2009 K5-VSIシステム導入 (18 Gbps)
1, 2 Gbps 安定記録試験 (バグ取り)
- 2008/3 VDB-2000導入 (16 Gbps)
- 2008/1-3 VDB-2000⇒光結合相関器
- 2008/4-8 VDB-2000⇒DIR1K and 2K記録試験
- 2008/7 三鷹相関局レイアウト変更
- 2008/8 臼田局VDB-2000導入 (試験的)
- 2008/12 VSOP2用2偏波試験4Gbps記録 (臼田、山口、鹿島)
- 2008-2009/3 ソフト相関器改修、拡張化 (混合相関、偏波)
- 2009/8-2010/4 ソフト相関器前後処理改修拡張
- 光結合相関器FITSGEN: 両偏波化
- GICO3ソフト相関器対応

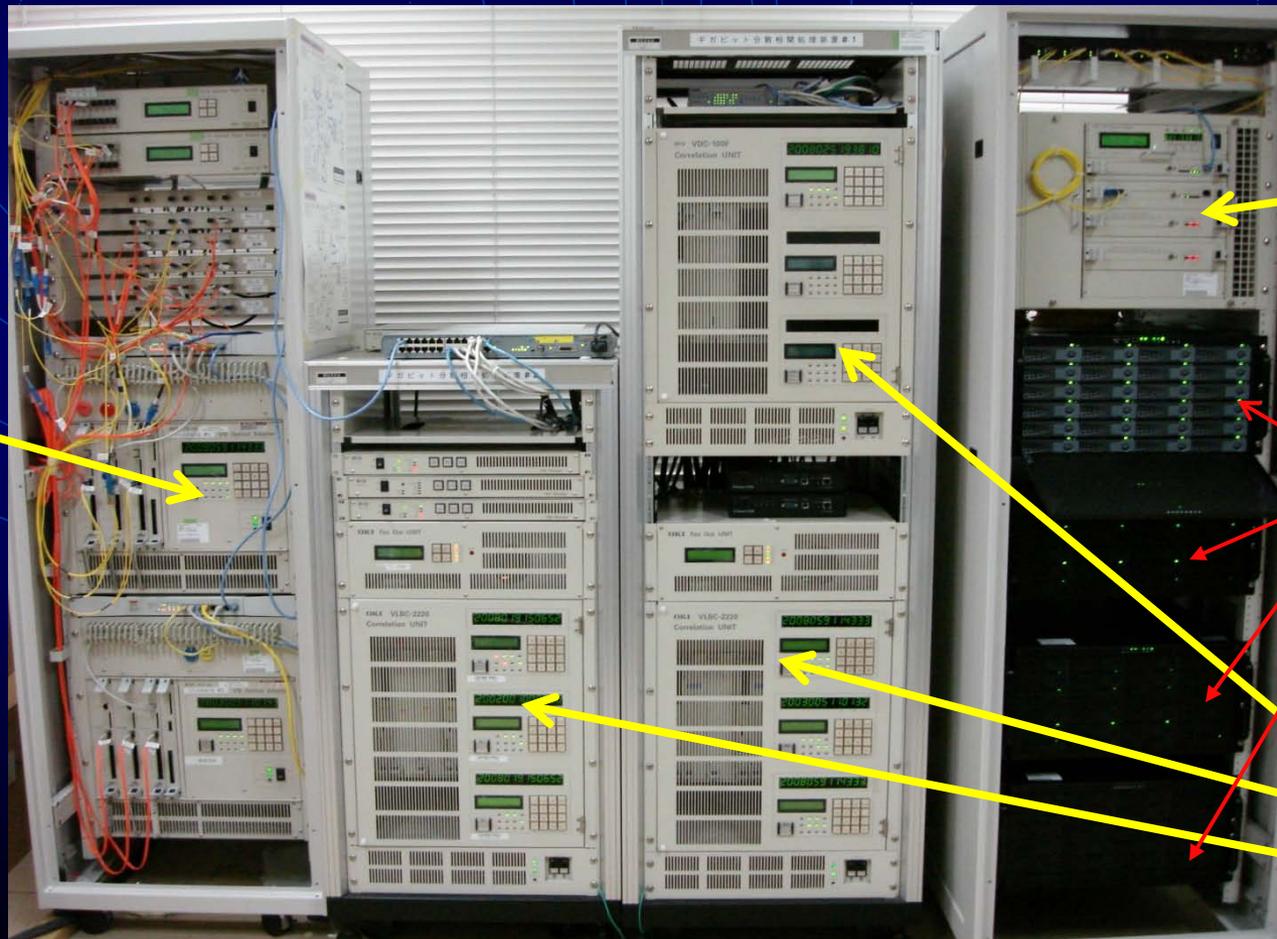
KJJVC用ディスクバッファ(VDB2000)

- 基本構成 **VSI-10GbEther変換器 + Disk Buffer** (将来的には10GbEに統一)
- DIO (VSI I/F) (1 or 2 Gbps 入出力) × 8 port
- DDB (ディスクバッファ) 2 Gbps 入出力 or 4 Gbps 出力 or 入力
記録容量 8~24 Tbyte (2 Gbps × 8~24 時間) / 1台
- 複数のDisk ServerとVSI I/F間のIF: **10 GbE**、ハブ



PC、Optical Fiber、Sampler、ハード関連器
ソフト関連、データチェック、

VDB-2000 and eVLBI Correlator at Mitaka (Japanese eVLBI network)



VOA100
(ATM)

VOA200
(10GbE)

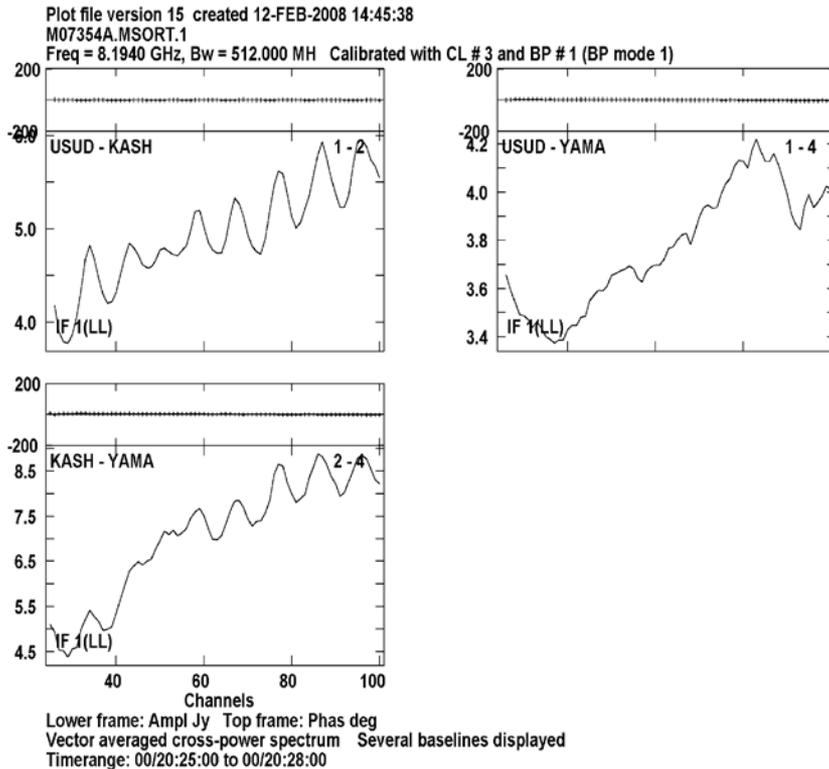
DDB
(Disk
Buffer)

Giga bit
Correlator
(5stations)

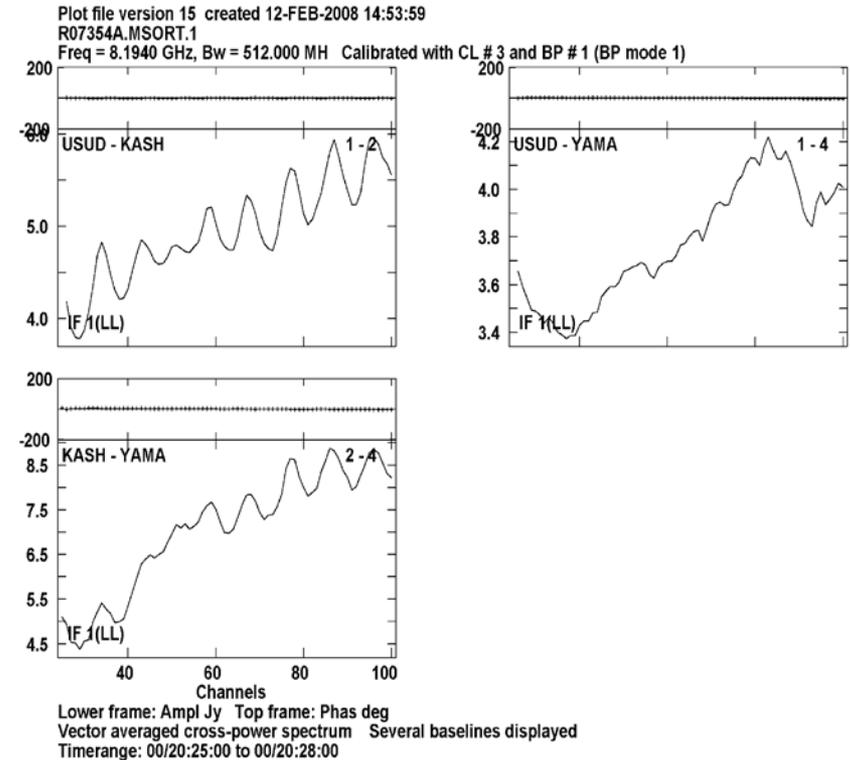
A result of test eVLBI Observation using VDB-2000

- Sites : Usuda(64m), Kashima(34m), Yamaguchi(32m)
- Date : 2007 Dec 20, 2008 Jan 19
- Target s : J0721+71(Target), J0642+67, J0726+79(calibrator)
- Band : X band
- Band width : 512MHz
- Sampling : 2bit , 1Gbps (ADS1000 developed by NICT)
- Recording : VDB-2000 (Three DDBs were used)
- Correlation : Real time and playback correlation have done using the Gigabit Correlator at Mitaka correlation center.
- Output data : **FITS Format**
- Analysis : AIPS

Cross Power



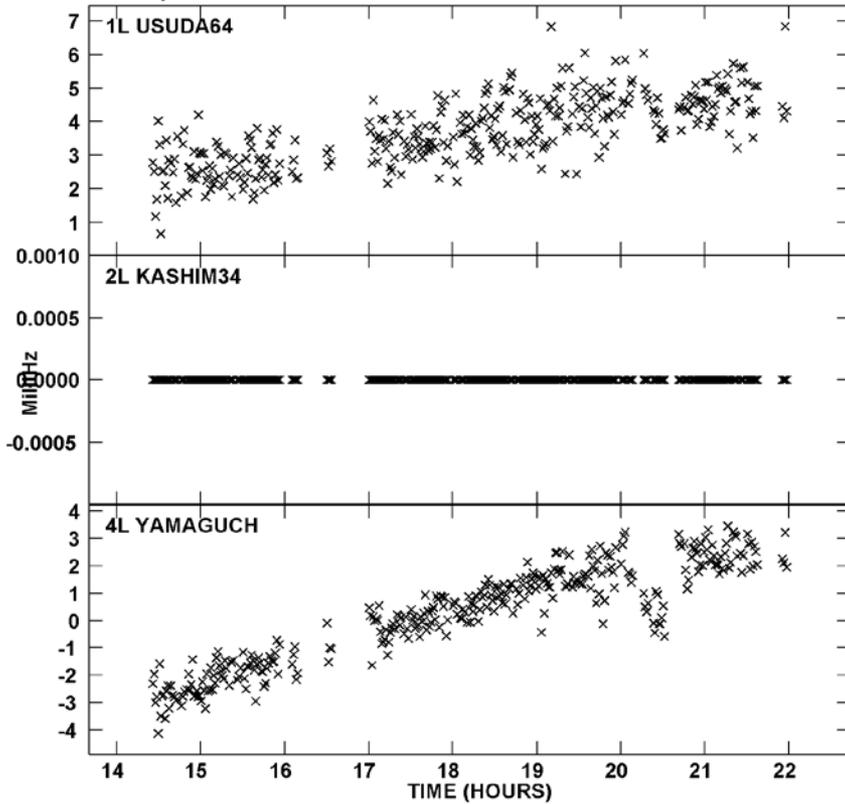
Real time correlation



After recording , Playback correlation

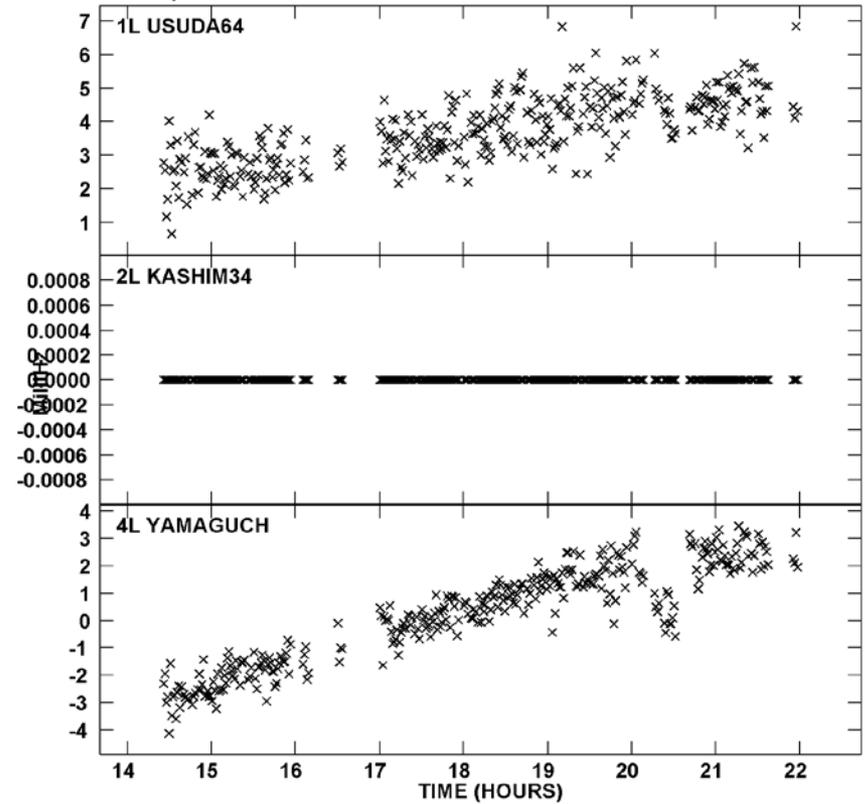
Rate

Plot file version 6 created 12-FEB-2008 14:26:10
Rate vs UTC time for M07354A.MSORT.1
SN 2 Lpol IF 1



Real time correlation

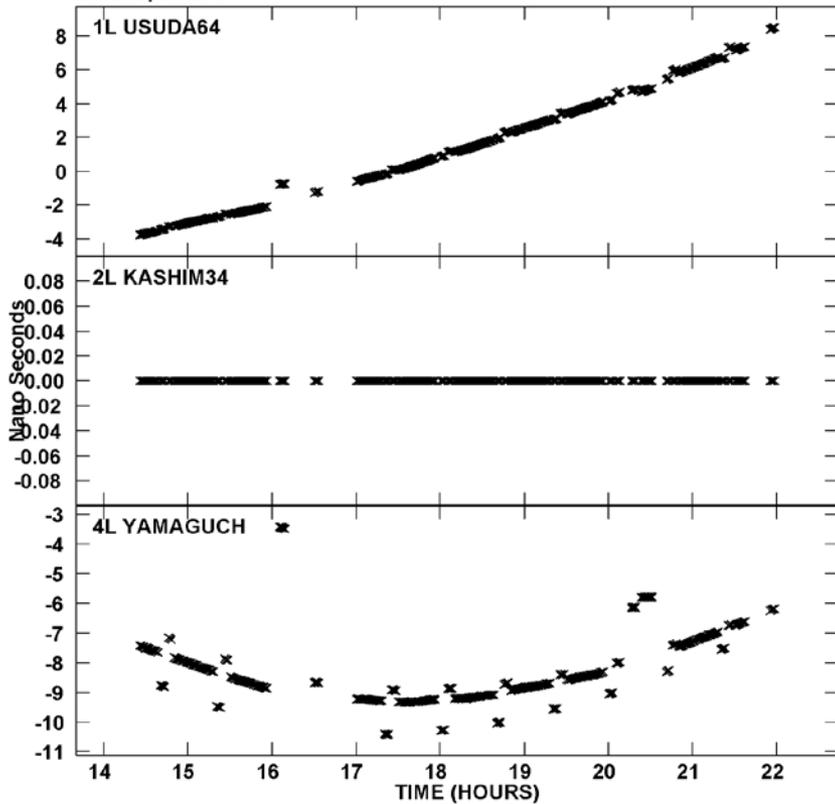
Plot file version 6 created 12-FEB-2008 14:17:51
Rate vs UTC time for R07354A.MSORT.1
SN 2 Lpol IF 1



After recording , Playback correlation

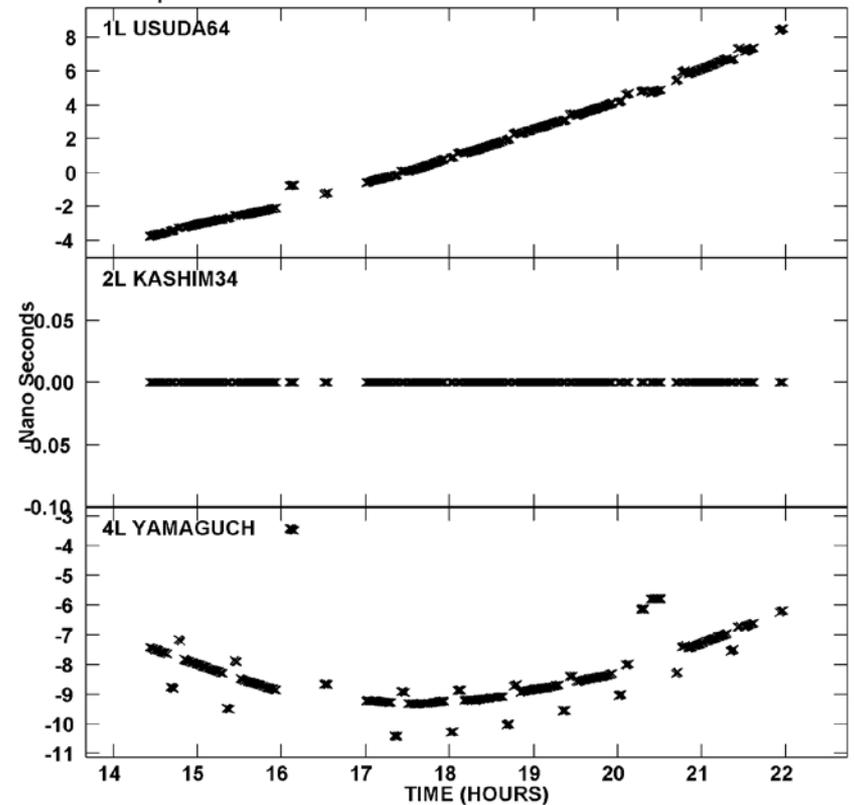
Delay

Plot file version 5 created 12-FEB-2008 14:26:09
Delay vs UTC time for M07354A.MSORT.1
SN 2 Lpol IF 1



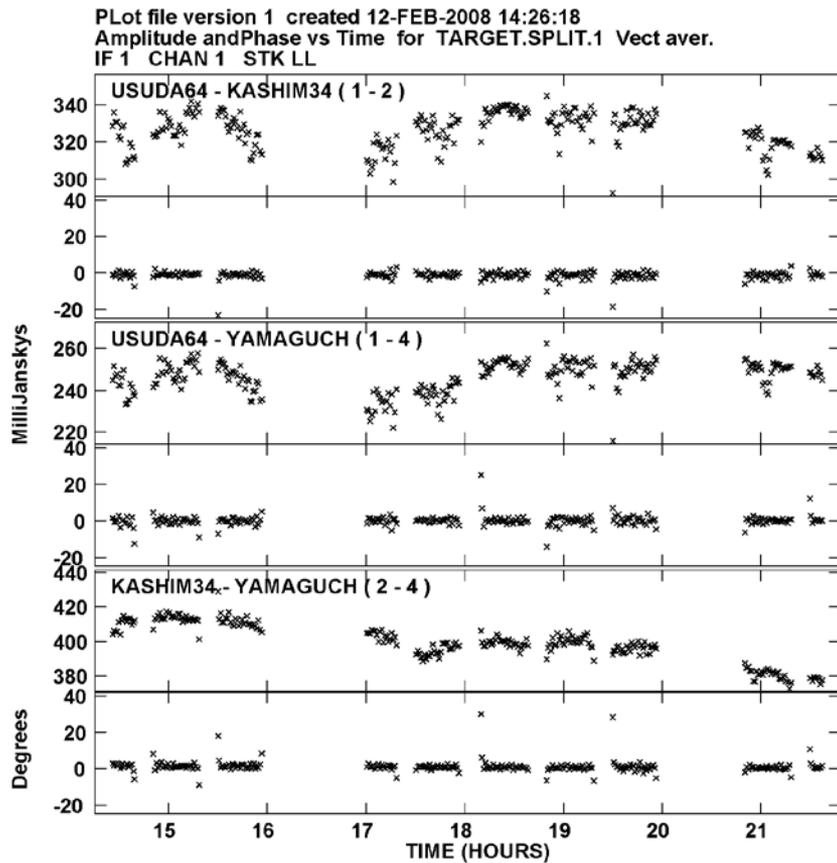
Real time correlation

Plot file version 5 created 12-FEB-2008 14:17:51
Delay vs UTC time for R07354A.MSORT.1
SN 2 Lpol IF 1

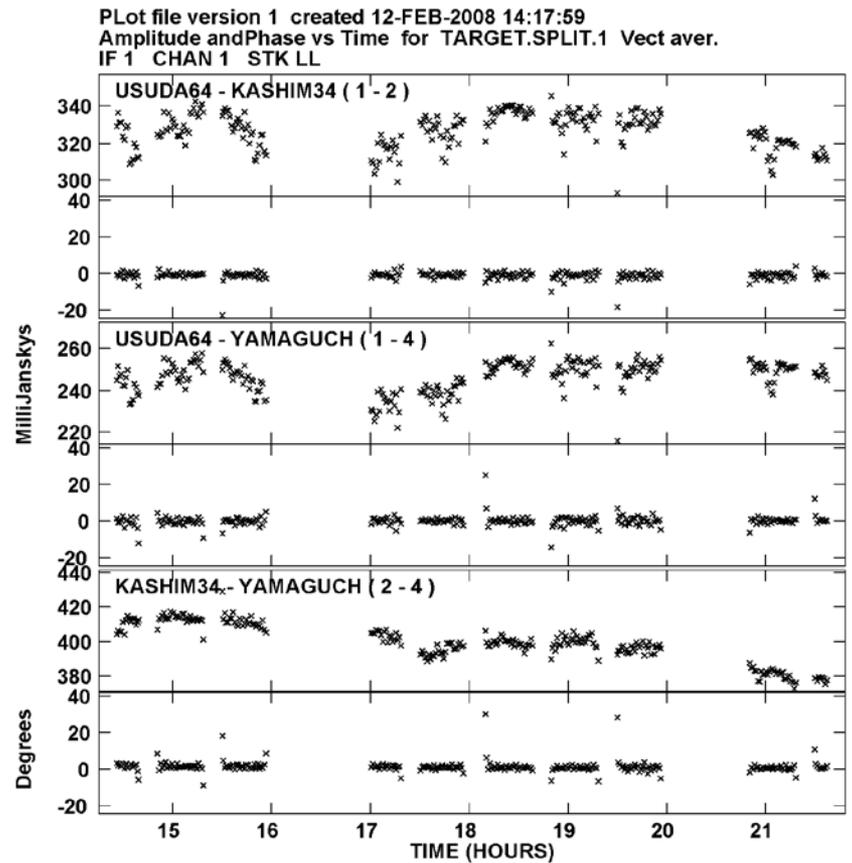


After recording , Playback correlation

Amplitude & Phase



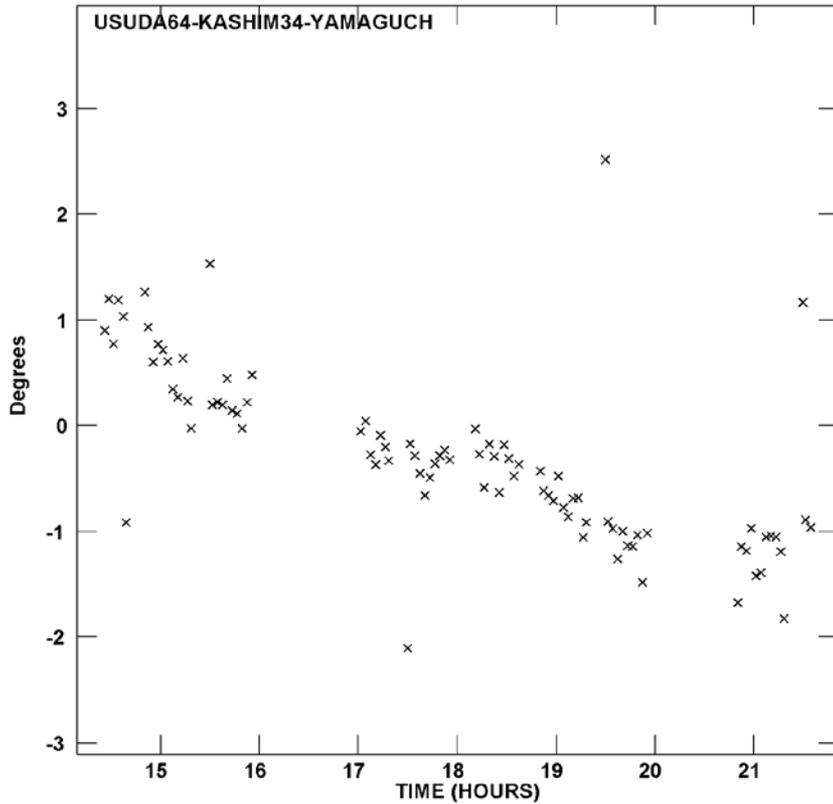
Real time correlation



After recording , Playback correlation

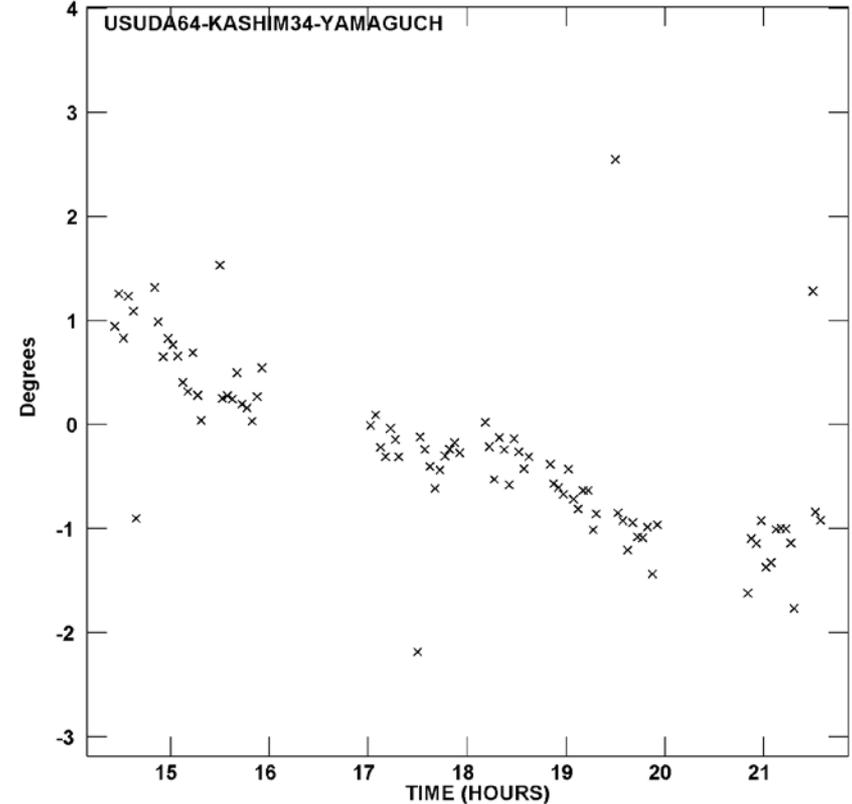
Closure Phase

Plot file version 2 created 12-FEB-2008 14:26:20
Closure Phase vs Time for TARGET.SPLIT.1
IF 1- 1 CH 1- 1 STK I CC ver 0



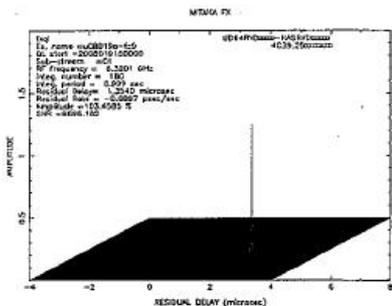
Real time correlation

Plot file version 2 created 12-FEB-2008 14:18:00
Closure Phase vs Time for TARGET.SPLIT.1
IF 1- 1 CH 1- 1 STK I CC ver 0

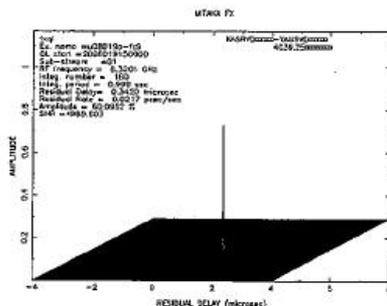


After recording , Playback correlation

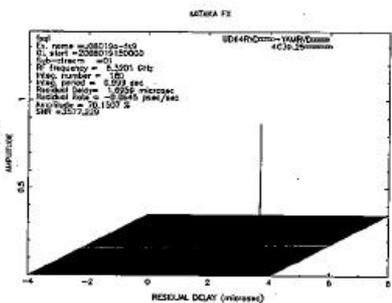
VDB-2000 ⇒ DR2K 全基線FRINGE検出



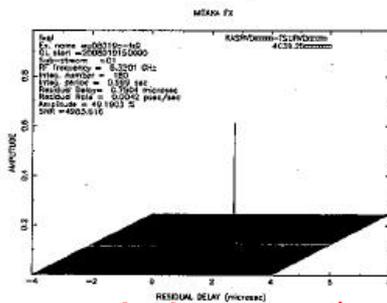
白田 - 鹿嶋



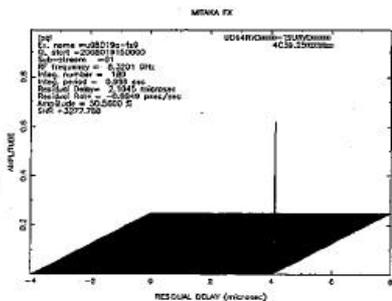
鹿嶋 - 山口



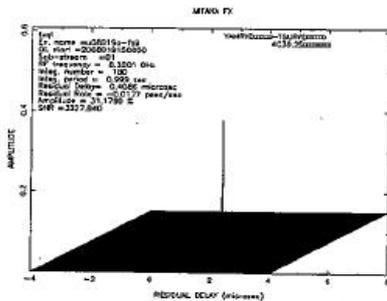
白田 - 山口



鹿嶋 - つくば



白田 - つくば



山口 - つくば

《SNR比較》

鹿嶋 - つくば

DR1K局 (VSOPT)	: 1339
DR1K(VDB-2000)	: 1685
DR2K(VDB-2000)	: 4983

DR1K / DR1K局	: 1.25倍
DR2K / DR1K	: 2.95倍

ほぼ理論どおりの
良好な結果が得られた

VERA広帯域化(高感度化)

- 位置精度向上(離角小、SNR向上)

$$\textcircled{1} \Delta p = 0.5 \theta_f (\text{分解能}) / \text{SNR}$$

SNR=30, B=1500 km, f=22GHz, $\theta_f = 2$ deg

SNR=15, B=1500 km, f=43GHz, $\theta_f = 2$ deg

SNR=100, B=1500 km, f=6.7GHz, $\theta_f = 2$ deg

$$\textcircled{2} \Delta p \sim \theta_s (\text{離角}) \Delta \tau_a / B$$

天頂大気遅延残差

[$\sec(z) \tan(z) = 0.0$ at $z=0^\circ$; 3.5 at $z=60^\circ$; 8.0 at $z=70^\circ$]

$\delta \tau_a = 4$ mm, $Z=40$, $\delta z=1$ deg, $B=1500$ km

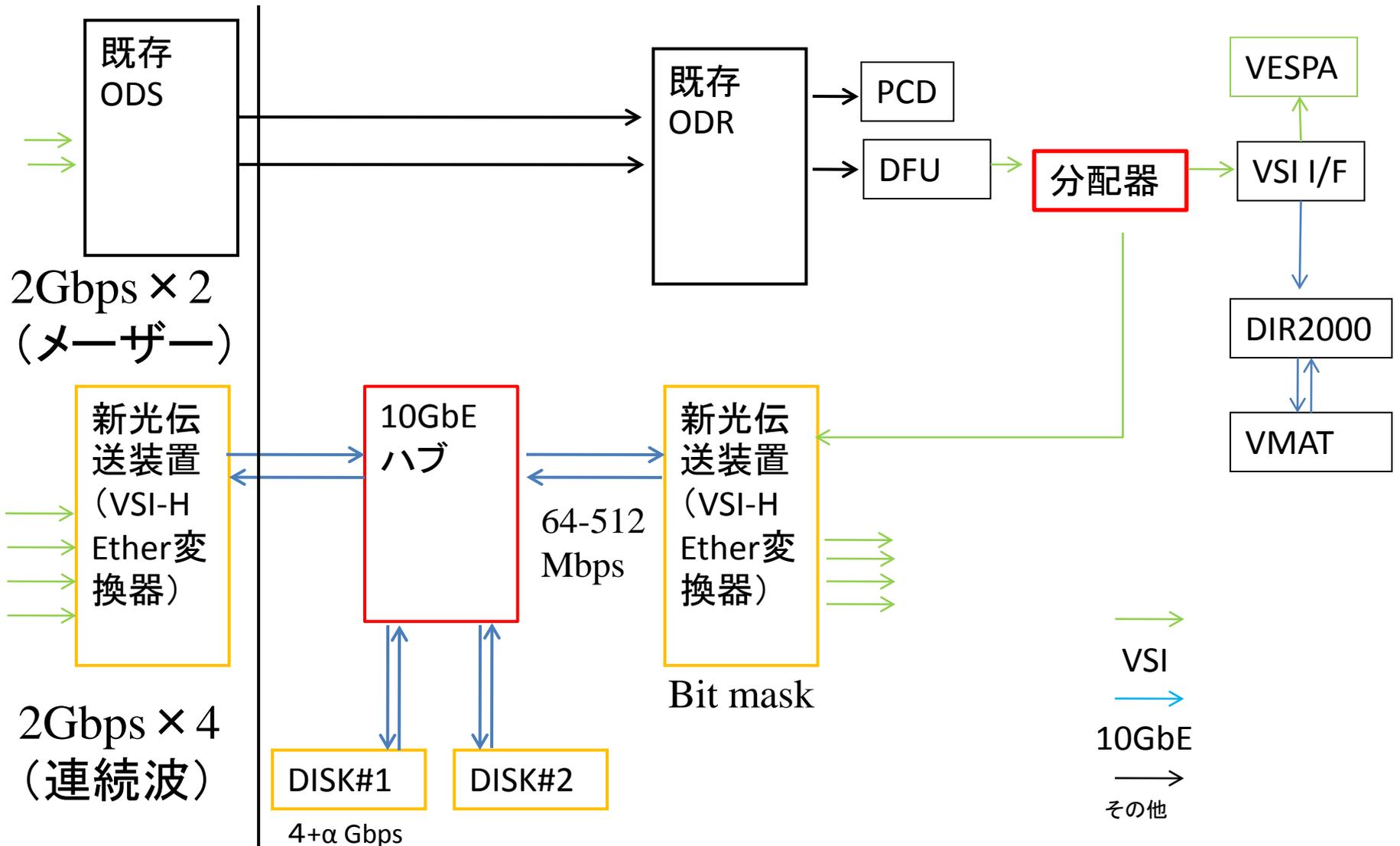
$\delta \tau_a = 2$ mm, $Z=70$, $\delta z=0.3$ deg, $B=1500$ km

$\delta \tau_a = 10$ mm, $Z=60$, $\delta z=0.1$ deg, $B=1500$ km

Etc (short time variation)、Structure

- 参照電波源数増加
- DIR2000¹リプレース

8 Gbps & DIR2000 → DISK記録あり



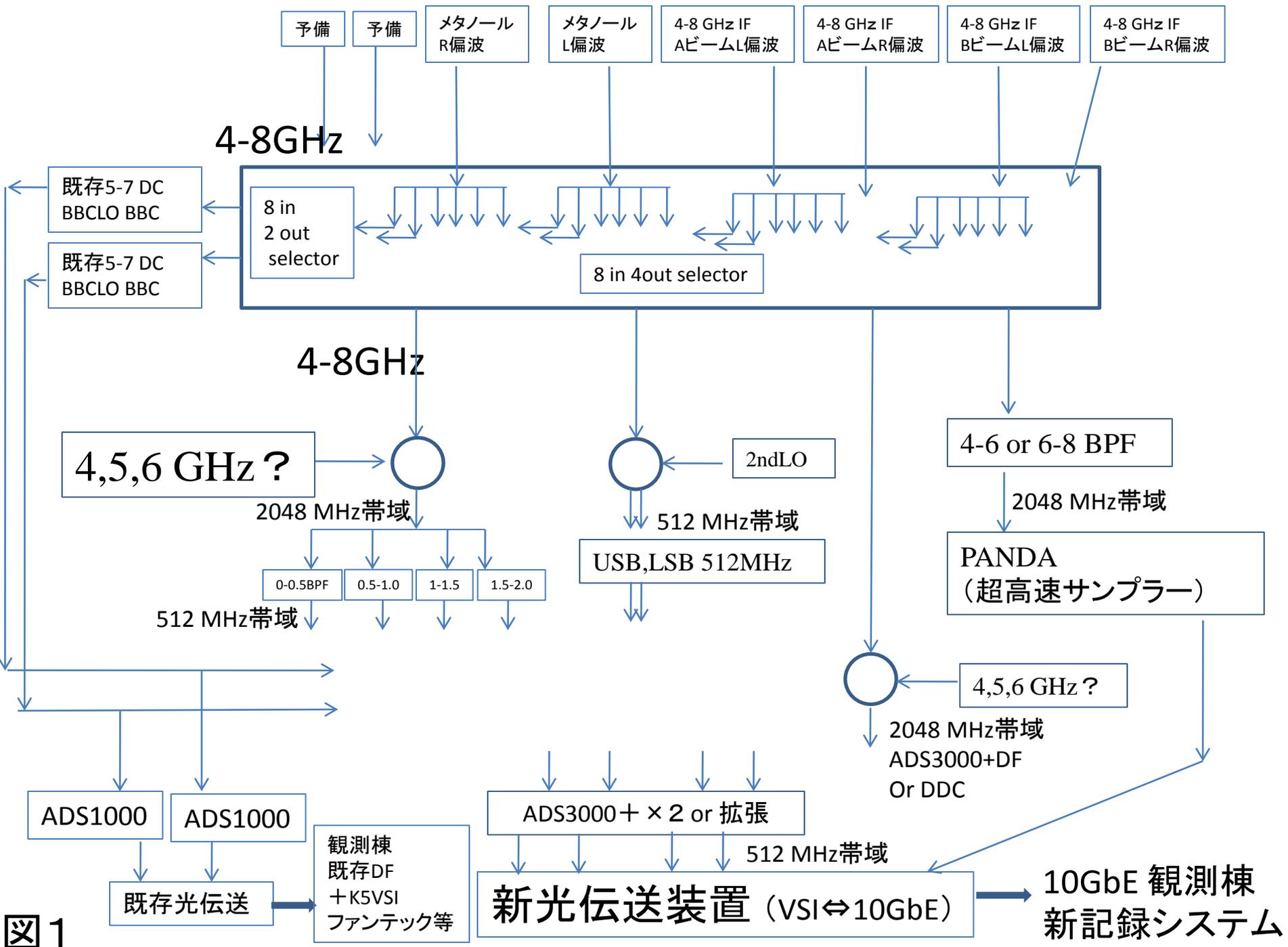


図 1

バックアップ相関器 (GICO3) 改修、拡張 (2008－2009年継続中)

- ソフト相関器 (GICO3) with NICT 木村
 - 偏波処理未対応⇒対応化
 - 混合相関処理 (512、256、128MHz帯域)
 - 10GbE VDB2000対応化 (未定)
- 前後処理ソフトの制限 with 富士通
 - VSOP-FXハードウェアに依存
 - PP積分時間、フレーム周期、FFTセグメント長整数倍⇒任意設定
 - 前後処理ソフトウェアはVERAモードに依存
 - 局数 (最大5局) ⇒基本的に制限なし (16)
 - 1 or 2bit 対応
 - 処理可能モードIF数 (VERAモードのみ) ⇒基本的に制限なし (32)
 - FFT点数 (最大16KFFT 1024点出力 × 2) ⇒制限なし (4M)
 - 入力速度 (1Gbps固定) ⇒制限なし (64Gbps)

新観測モード（VERAモード以外）

入力速度	IF数	帯域幅 (MHz)	コメント
1 Gbps	1	256	VLBI1 (DF)
2 Gbps	1, 2	512, 256	VSOP2、ADS1000
4 Gbps	1, 2, 4	1024, 512, 256	ADS1000、ADS3000+
8 Gbps	1, 2, 4	2048, 1024, 512	ADS3000+、PANDA
16 Gbps	1, 2, 4, 8	4096, 2048, 1024, 512	ADS3000+、PANDA
32 Gbps	1, 2, 4, 8, 16	8192, 4096, 2048, 1024, 512	ADS3000+、PANDA

FFT点数: IF毎任意、FX相関器用FITSGEN動作確認要

光結合FITSGEN改修

- 両偏波対応 (VSOP2) : 2009年度中
- GICO3ソフト関連器対応 : 2009年度中
- 複数IF (未定) : 未定

データ取得～FITS

➡ 新規
➡ 既存

VERA 相関処理系

Optical (2Gbps)

VDB2000 (2Gbps)

Digital Filter (1Gbps)

DIR2000、K5/VSI

VERA用相関前処理 (5局10基線)

バックアップ相関器

三鷹FX

相関後処理 FITS化 (1Gbps)

OCTAVE 相関処理系

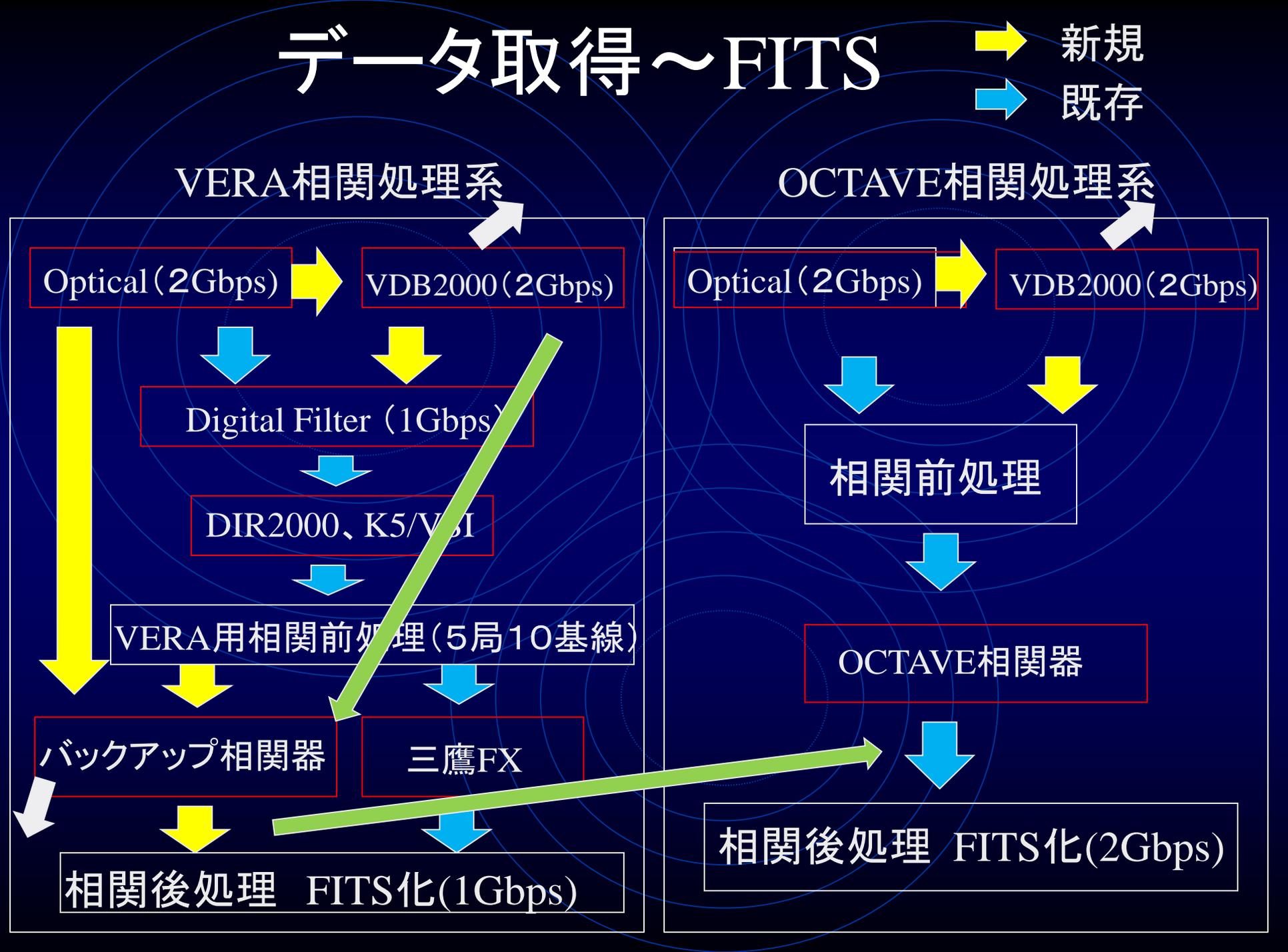
Optical (2Gbps)

VDB2000 (2Gbps)

相関前処理

OCTAVE相関器

相関後処理 FITS化 (2Gbps)



e-VLBI はサブアレイ。マンパワー不足

- 重複開発・重複機能の回避、機能必要度を意識した計画立案を考える材料

機能面 (バージョンアップは回数少なくステップ大きく、eVLBI基線で枯らしてメインに導入例) 光結合の広帯域IF系+DAS系をJVNの広帯域化で使用

	記録 or 光結合	必要(未完)事項	相関処理	必要(未完)事項
JVN (VSOP2対応) 1or 2 Gbps化	<ul style="list-style-type: none"> ・K5 or Mark5B+ or 次世代相関器 (2 Gbps可能) ・アナログ系整備 (512MHz) (256MHz×2) 	<ul style="list-style-type: none"> ・K5 2Gbps記録試験 ・Mark5B+の試験 ・次世代相関器バッファ性能評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・ソフト相関器 ・次世代相関器 (2009) 	<ul style="list-style-type: none"> ・VERA用バックアップ相関器拡張化性能評価 ・立ち上げ試験
光結合2Gbpsアレイ (リアルタイム)	<ul style="list-style-type: none"> ・既存5局は実績あり (512MHz) 	<ul style="list-style-type: none"> ・VERA局、苫小牧等の接続要 小笠原(2011年) 	<ul style="list-style-type: none"> ・分散相関器+ 分散FX相関器 	<ul style="list-style-type: none"> ・FITS作成機能 ・性能評価
EAVN 8Gbpsアレイ	<ul style="list-style-type: none"> ・10GbE or Disk並列化 ・サンプラー(4GHz バンド幅)開発中 ・アナログ系整備 	<ul style="list-style-type: none"> ・10GbE装置実用化 開発試験開始 (光結合G) 	<ul style="list-style-type: none"> ・次世代相関器 (2009)、8Gbps処理は偏波、多視野のみの可能性あり。要検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・立ち上げ試験

赤 : 実績あり
 オレンジ : 実施中
 黄色 : 開発中
 白 : 未定or検討中

Summary

- ファイバー接続局の増加
- OCTAVE+の定常運用化(OK)
- バックアップ相関器(GICO3)との融合(2010)
- VERA広帯域化との融合(2010-2012)
- 8 Gbps、FFT点数4M、IF(4-8GHz)

- 定常運用はKJJVC相関器
- JVN, EAVN, VSOP2地上局との連携