

小型アンテナ同士の基線に於ける 新しいVLBI基線測位法の検証: その2

Evaluation of the new approach
to improving compact-compact antenna baseline in VLBI: Part2

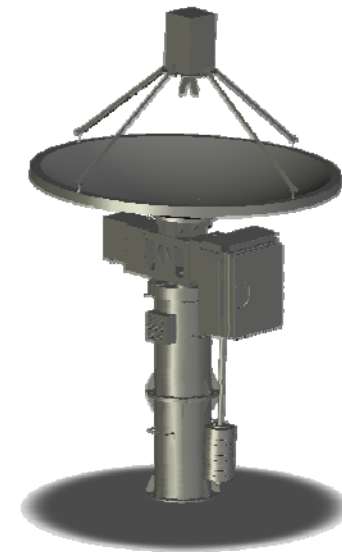


石井 敦利^{1,2,3}, 瀧口 博士², 市川 隆一²,
小山 泰弘², 栗原 忍¹

¹国土地理院 (GSI), ²情報通信研究機構 (NICT), ³(株)エイ・イー・エス (AES)

内容

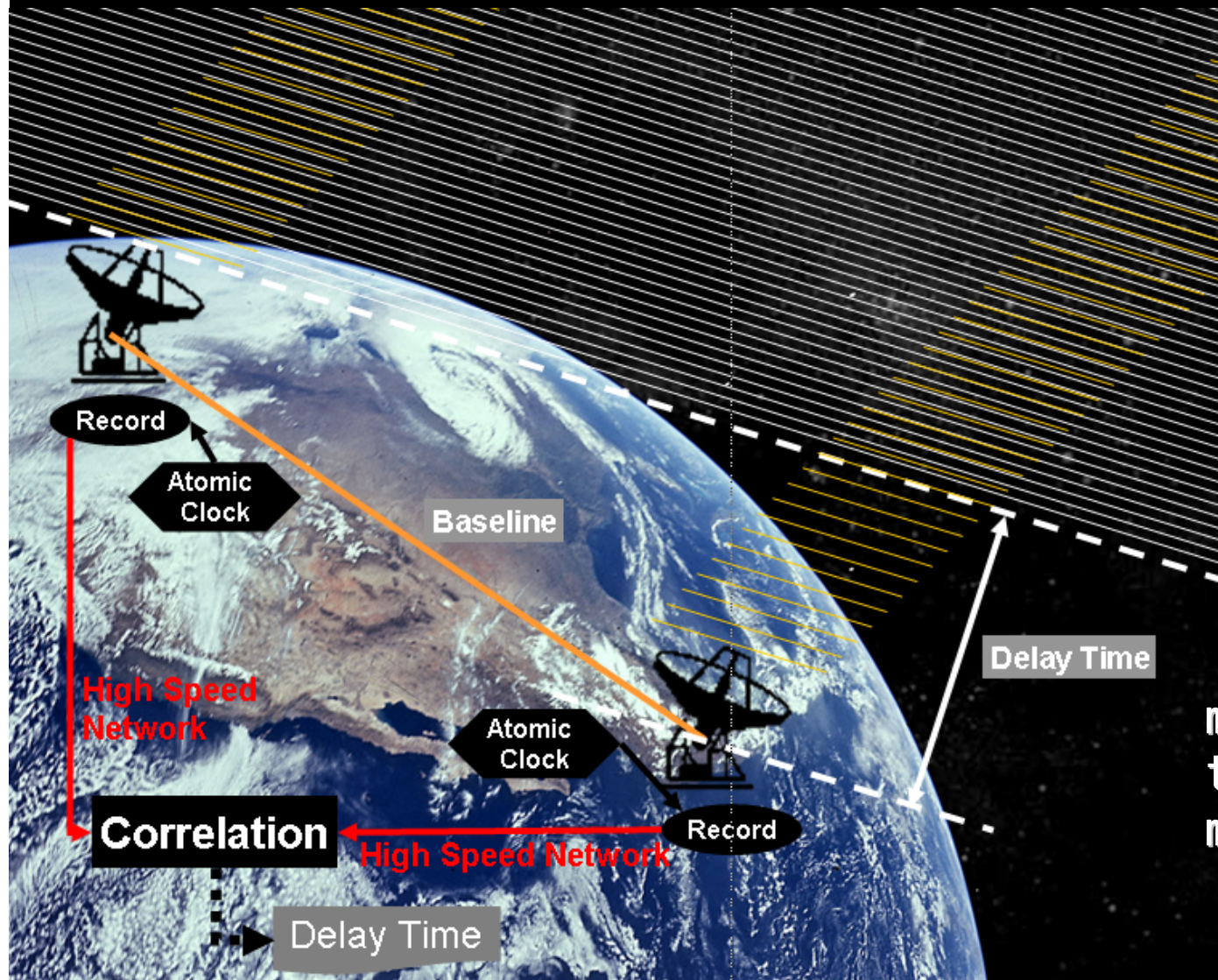
- 背景
- MARBLEコンセプト
- 実験・解析
- まとめ
- 今後の課題





VLBI

Very Long Baseline Interferometry



measure the arrival time delays between multiple station

背景 1/3

観測する電波星の強度が著しく弱い
⇒ アンテナの受信感度を上げる
⇒ 大型化



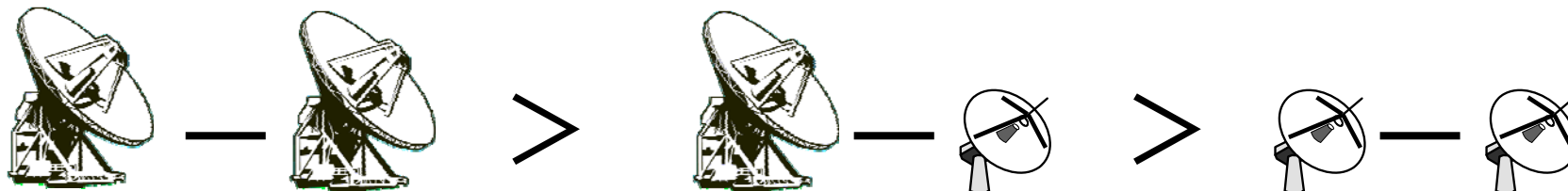
VLBI

2つのアンテナの直径積が集光力を決める
信号対雑音比(SNR)は比例

$$SNR \propto D_1 D_2$$

遅延決定精度(σ)は反比例

$$\sigma \propto \frac{1}{SNR}$$



背景 2/3

大型アンテナ

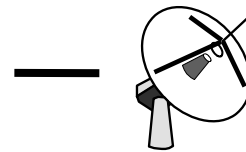
コスト(建設費, 維持費), 目的が限定

小型VLBIアンテナの開発

大型ー小型の組合せであれば、測地VLBI可能

目安はアンテナ直径の積が 50 以上

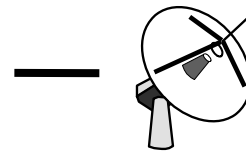
筑波32mー口径1.6m = 51.2



背景 3/3

小型アンテナの利点を生かした測位法、
基線解析手法を開発したい

利点：熱、重力変形が小さい
持ち運びが容易



コンセプト

1局:大型アンテナ + 2局:小型アンテナ
(小型アンテナ同士ではFRINGEが出なくても可)

大型アンテナ-小型アンテナ間の
遅延量を求める

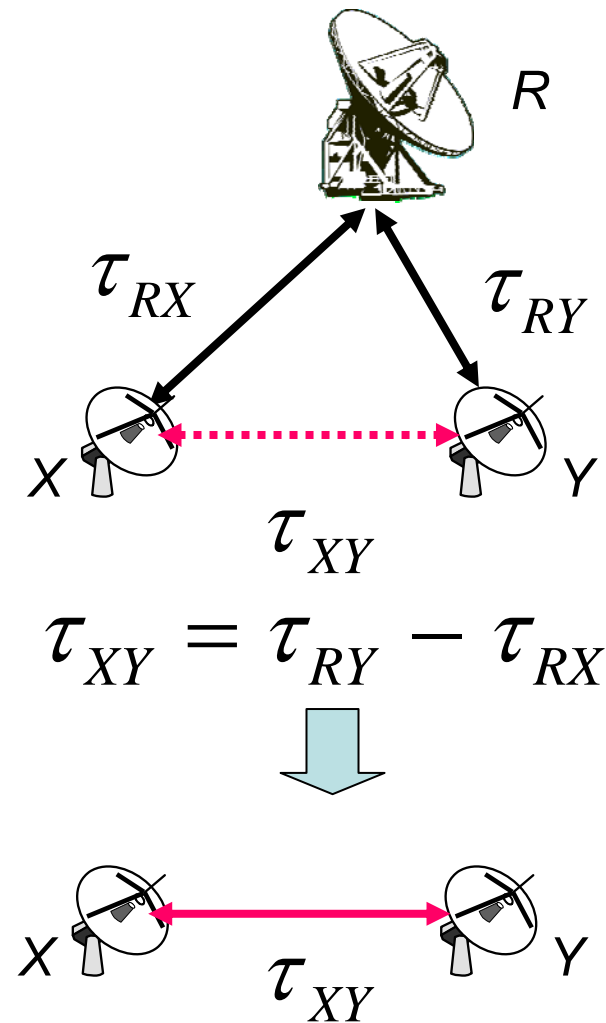
» 小型アンテナ間の遅延
= 大型-小型アンテナ間の遅延の差

検証

メリット

大型アンテナとの遅延の差を取るため
重力、熱変形などの影響をキャンセル

小型アンテナ同士が近ければ
大気遅延の影響もキャンセルできる



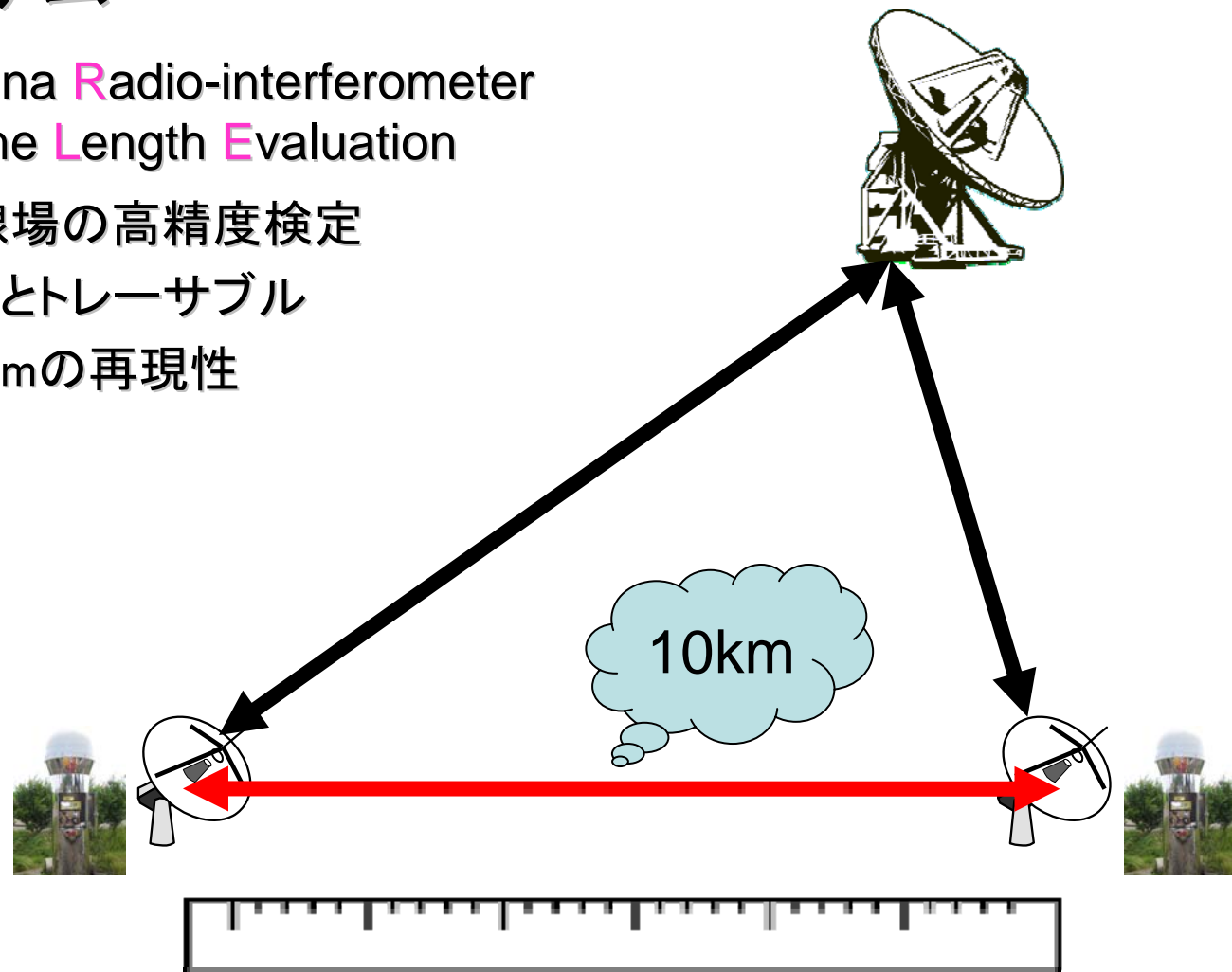
MARBLE システム

Multiple Antenna Radio-interferometer
for Baseline Length Evaluation

測地用比較基線場の高精度検定

長さの国家標準とトレーサブル

10kmでRMS: 2mmの再現性



詳しくはポスター： P-6 “1m級アンテナを用いた基線場検定用VLBIシステム・・・” 参照

MARBLE変換

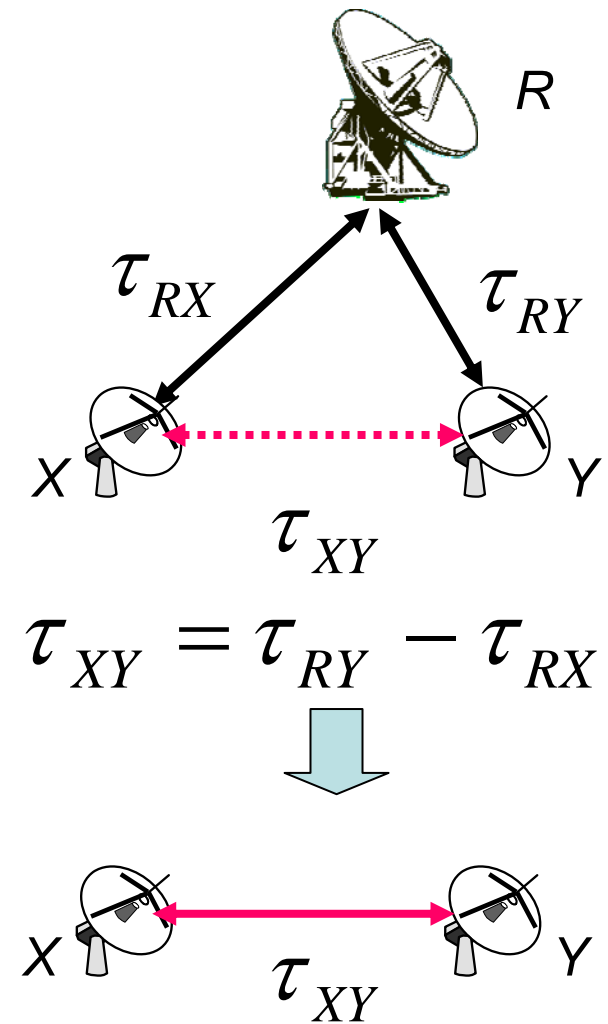
2つの大-小基線データから
小-小基線のデータを作成

変換対象

観測遅延量, 観測遅延変化率

遅延誤差, 遅延変化率誤差

SNR



実験・解析



解析方法・評価

解析ソフトウェア

Calc/Solve Release 2007.10.19

解析方法

(1) 解析に用いる観測量

観測遅延量 (遅延変化率は使用しない)

(2) クロック, 位置の基準局 (位置, クロックパラメータの推定をしない局)

小型局X

(3) 推定パラメータ

従来解析の場合

基準局 (小型局X) の天頂大気遅延

大型局R の位置, クロックパラメータ, 天頂大気遅延

小型局 Y の位置, クロックパラメータ, 天頂大気遅延

MBL変換後解析の場合

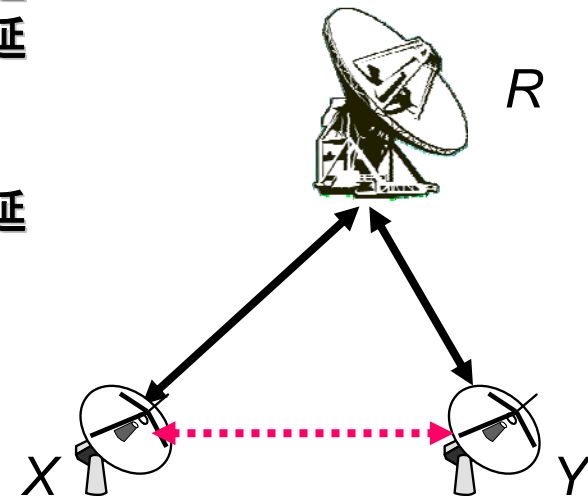
基準局 (小型局X) の天頂大気遅延

小型局 Y の位置, クロックパラメータ, 天頂大気遅延

評価

(1) 遅延残差

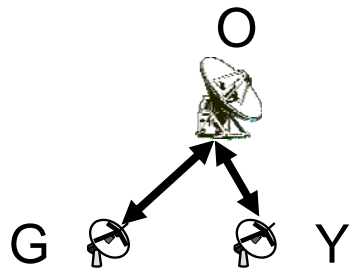
(2) 小型局Y位置の推定誤差



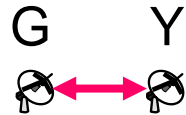
KSP 99NOV16

大型：鹿島34m (O)

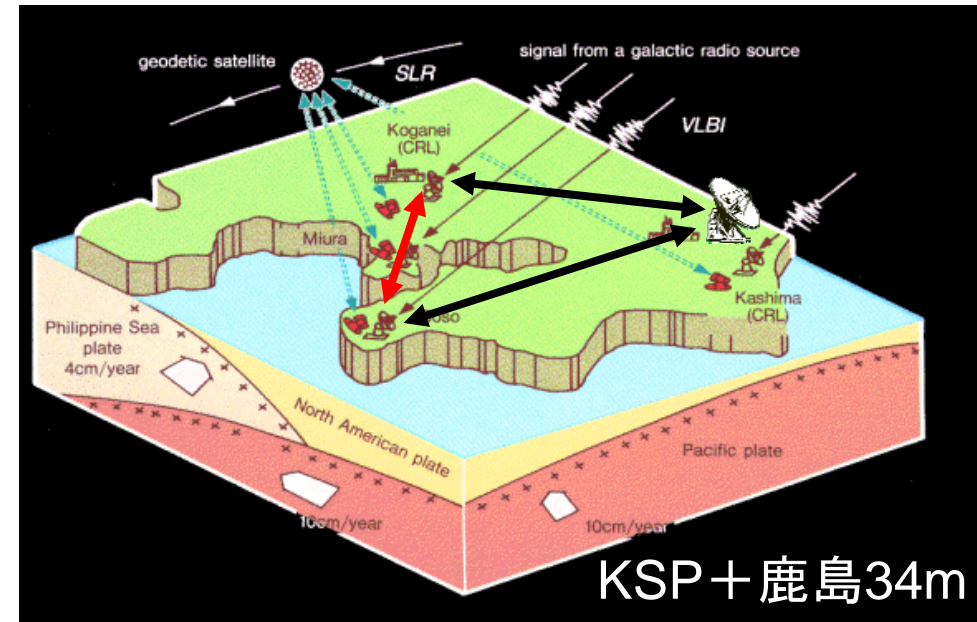
小型：小金井11m (G), 館山11m (Y)



従来解析



MBL変換後
解析



KSP+鹿島34m

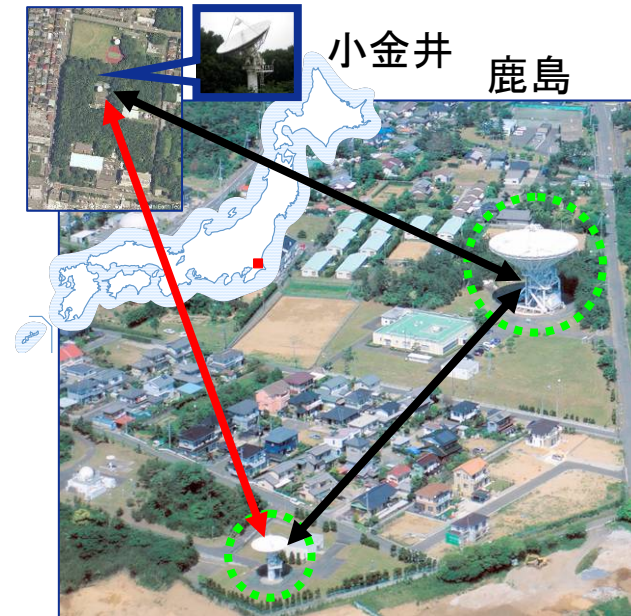
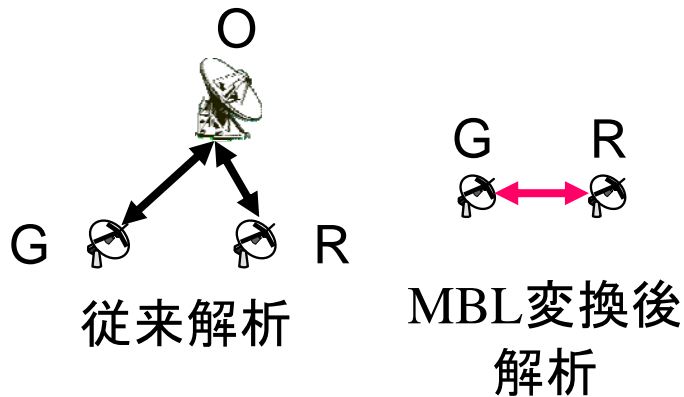
	全観測数	解析に 使用した 観測数	遅延残差 W RMS (pesc)	館山位置 推定誤差 (mm)			G-Y基線 (mm)	
				dU	dE	dN	基線長	誤差
従来解析	502	473	41.7	15.4	2.3	3.3	91870995.2	3.2
MBL変換後解析	237	223	25.2	7.5	1.3	2.2	91870994.4	2.3

誤差は 1σ をあらわす, 大気遅延とクロックパラメータは折れ線近似で1時間毎に推定位置, クロックの基準局は小金井11m (G)

mc9241 (09AUG29)

大型: 鹿島34m (O)

小型: 小金井11m (G), 鹿島11m (R)



	全観測数	解析に 使用した 観測数	遅延残差 W RMS (pesc)	鹿島11m位置 推定誤差 (mm)			G-R基線 (mm)	
				dU	dE	dN	基線長	誤差
従来解析	724	670	18.3	7.6	1.7	1.8	109099626.8	1.8
MBL変換後解析	366	315	30.4	7.7	1.8	1.8	109099631.1	1.8

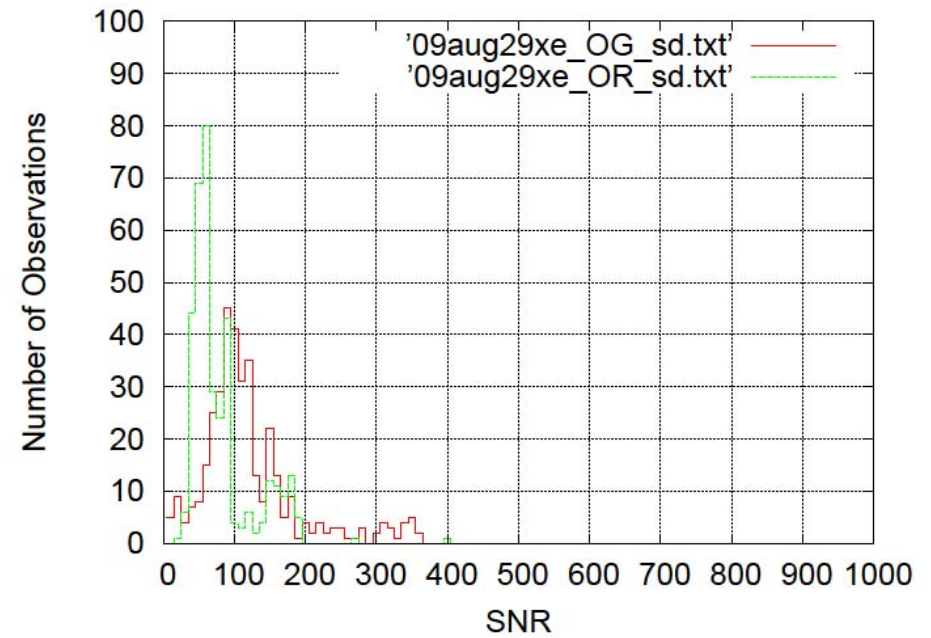
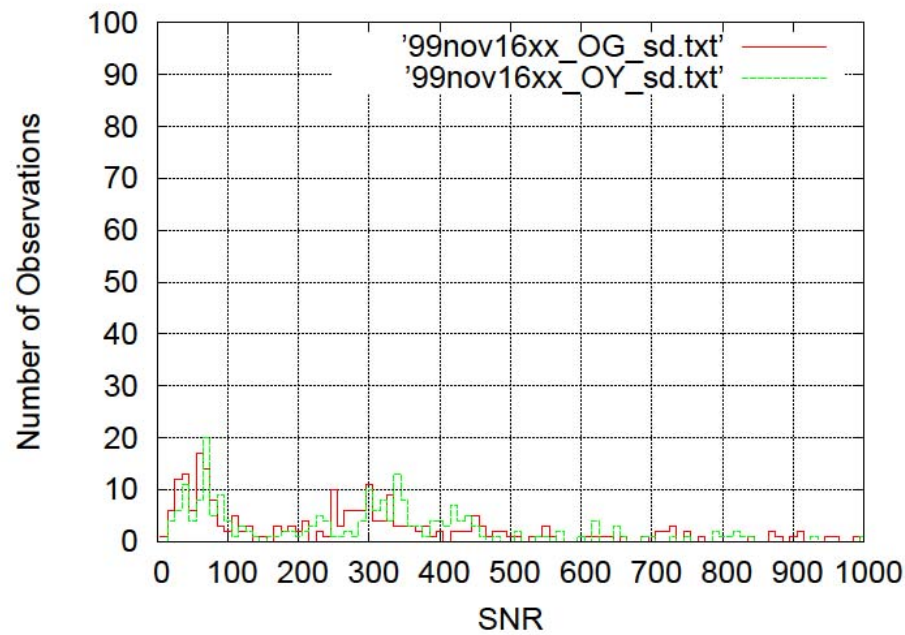
誤差は 1σ をあらわす, 大気遅延は折れ線近似で1時間毎に推定

クロックパラメータは折れ線近似で30分毎に推定

位置, クロックの基準局は小金井11m (G)

KSP 99NOV16 vs mc9241 (09AUG29)

各実験のSNR分布



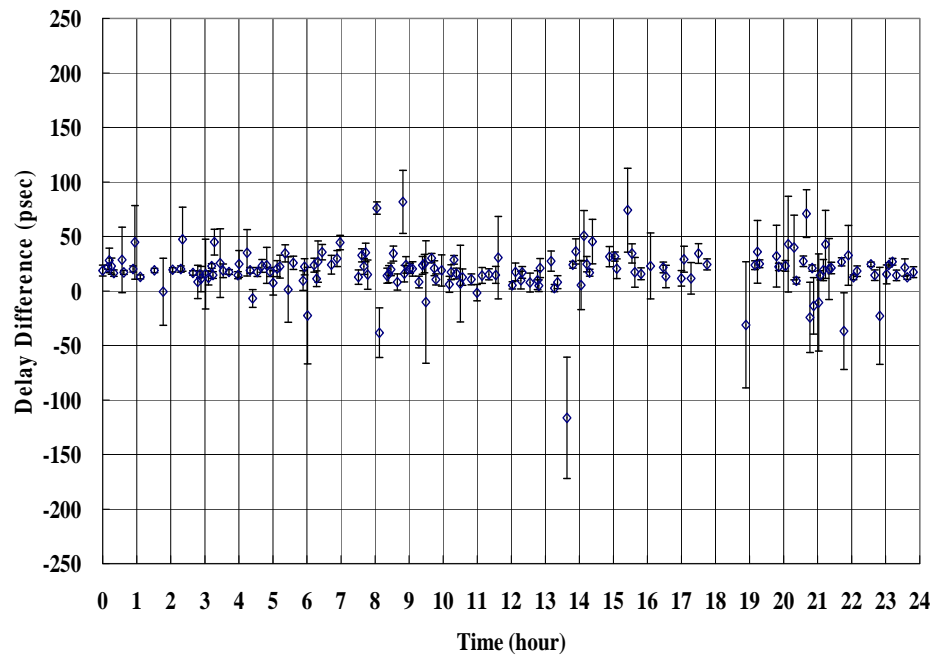
KSP 99NOV16 vs mc9241 (09AUG29)

MARBLE変換のチェック (答えあわせ)

G-Y基線で直接観測した遅延

—

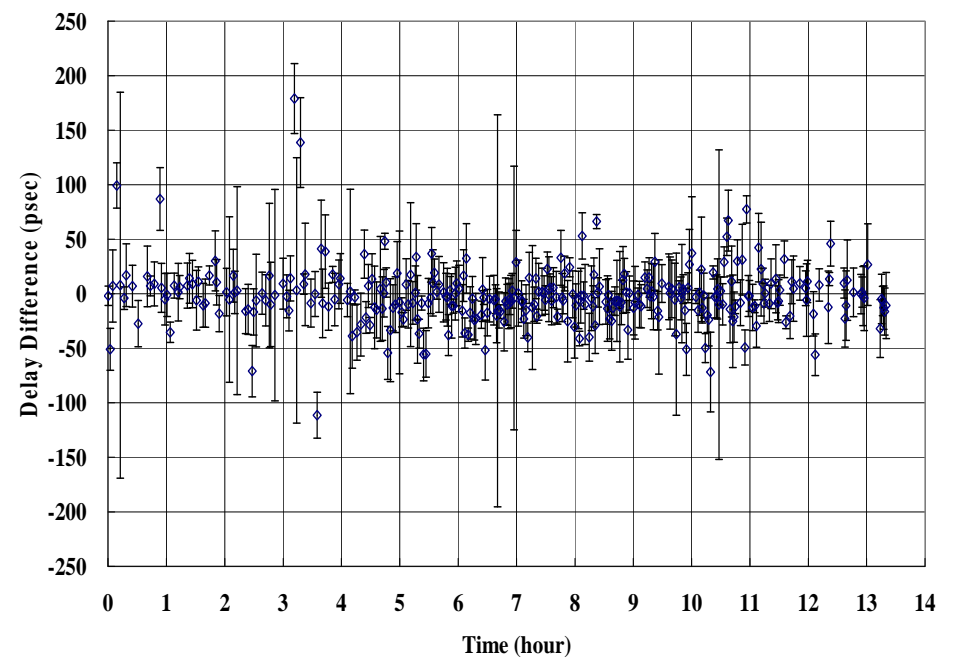
MBL変換により求めたG-Y基線の遅延



G-R基線で直接観測した遅延

—

MBL変換により求めたG-R基線の遅延



まとめ1

□ MARBLE変換前後で

KSP 99 NOV16実験: 推定誤差, 残差ともに**改善**

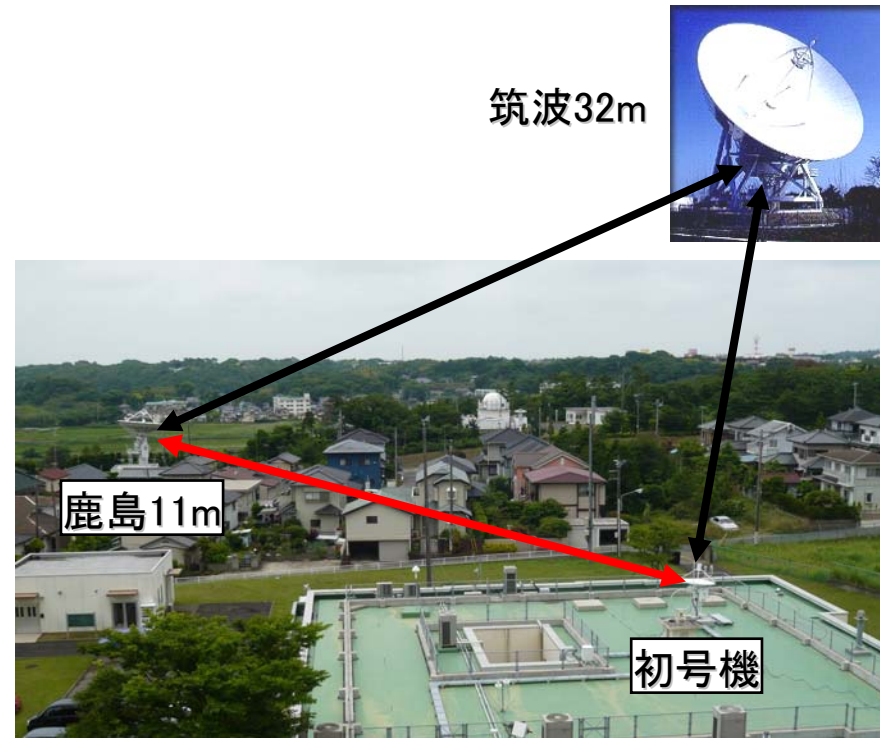
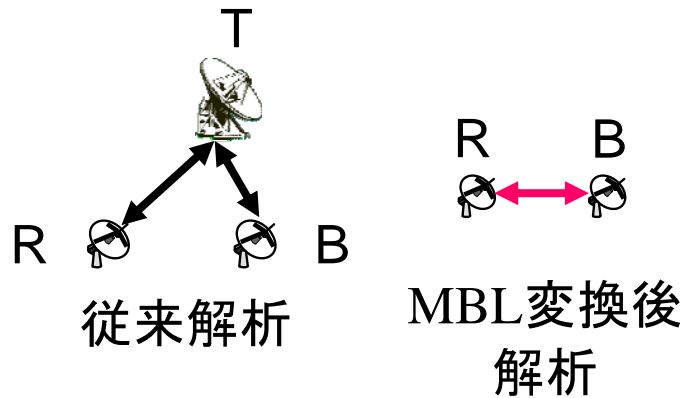
m9241実験 : 推定誤差は変化なし, 残差**悪化**

SNR (=観測スケジュール) に依存する可能性が高い

mb9176 (09JUN25)

大型: 筑波32m (T)

小型: 鹿島11m (R), MARBLE初号機 (B)



	全観測数	解析に 使用した 観測数	遅延残差 W RMS (pesc)	MBL初号機 推定誤差 (mm)			G-R基線 (mm)	
				dU	dE	dN	基線長	誤差
従来解析	591	502	25.7	14.8	3.0	4.1	193845.5	3.1
MBL変換後解析	299	214	57.7	6.2	2.7	3.5	193845.7	2.4

誤差は1 σ をあらわす, 大気遅延とクロックパラメータは折れ線近似で1時間毎に推定位置, クロックの基準局は鹿島11m (R)

MBL変換後の解析では天頂大気遅延は推定していない

mb9176 (09JUN25)

パラメータ間の相関係数 (絶対値)

従来解析

	クロックパラメータ			
	CL0 0h	CL0 1h	CL0 2h	CL0 3h
X	0.6	0.6	0.5	0.4
Y	0.7	0.6	0.5	0.5
Z	0.7	0.6	0.5	0.4

MARBLE変換後 解析

	クロックパラメータ			
	CL0 0h	CL0 1h	CL0 2h	CL0 3h
X	0.4	0.3	0.3	0.1
Y	0.4	0.3	0.2	0.2
Z	0.3	0.2	0.2	0.1

全てMARBLE1局のパラメータ

まとめ2

□ MARBLE変換前後で

KSP 99 NOV16実験: 推定誤差, 残差ともに**改善**

m9241実験 : 推定誤差は変化なし, 残差**悪化**

観測スケジュール (= SNR) に依存する可能性が高い

mb9176実験 : 推定誤差は**改善**, 残差**悪化**

小型同士が短基線の場合には共通誤差を相殺できる

残差が悪化したのは推定パラメータの減少による

(大気遅延を推定していない)

今後の課題

□1回の実験の推定誤差のみで評価するのは限界

→ 同様の実験を複数回実施し再現性で評価

□MARBLE小型VLBIアンテナが2台揃った

→ これらを利用して実証実験を進める

P-6 “1m級アンテナを用いた基線場検定用VLBIシステムの開発状況 その3” 参照



初号機@NICT鹿島

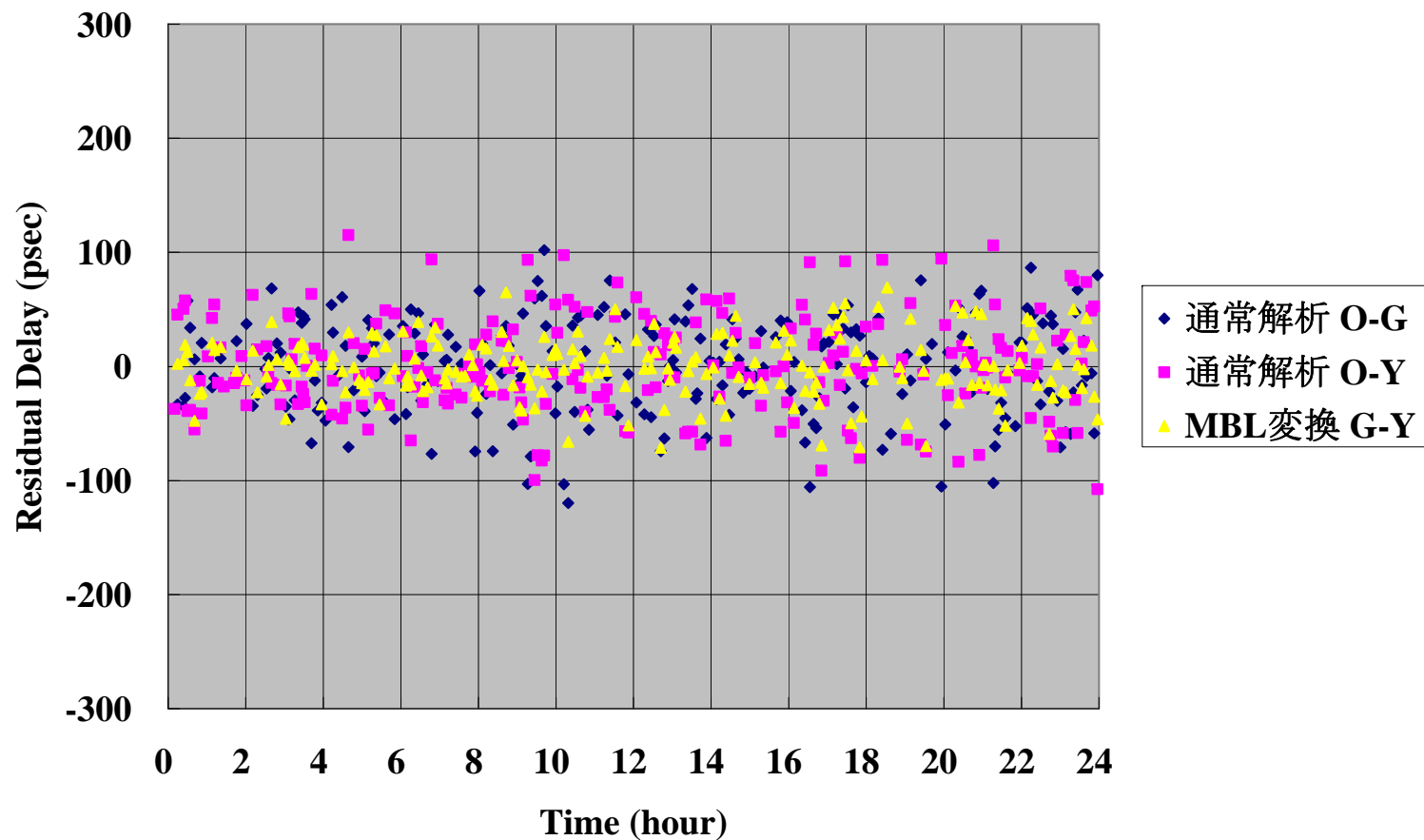


2号機@国土地理院

実験名	KSP 99NOV16
実験日	1999/11/16/23:00 - 17/23:00 UT
解析に使用した観測局	KASHIM34 (O) , KOGANEI (G) , TATEYAMA (Y)
観測周波数, ch 数	8 MHz/ch, X-band 10ch, S-band 6ch
サンプリングレート	16 MHz/ch, 1-bit sampling
観測数	502
観測時間	23.9 h

	フリッジ 検出され た観測数	解析に 使用した 観測数	遅延残差 W RMS (pesc)	TATEYAMA 位置 推定誤差 (mm)			G-Y 基線 (mm)	
				dU	dE	dN	基線長	誤差
通常解析	502	473 O-G 240 O-Y 233	41.7	15.4	2.3	3.3	91870995.2	3.2
MARBLE 変換後	237	223	25.2	7.5	1.3	2.2	91870994.4	2.3
確認解析 (G-Y)	249	159	22.5	9.5	1.7	3.0	91870988.0	3.2

KSP 99NOV16



KSP 99NOV16

パラメータ間の相関係数（絶対値）

従来解析

	クロックパラメータ			
	CL0 0h	CL0 1h	CL0 2h	CL0 3h
X	0.7	0.7	0.6	0.5
Y	0.7	0.7	0.6	0.5
Z	0.6	0.7	0.6	0.5

MARBLE変換後 解析

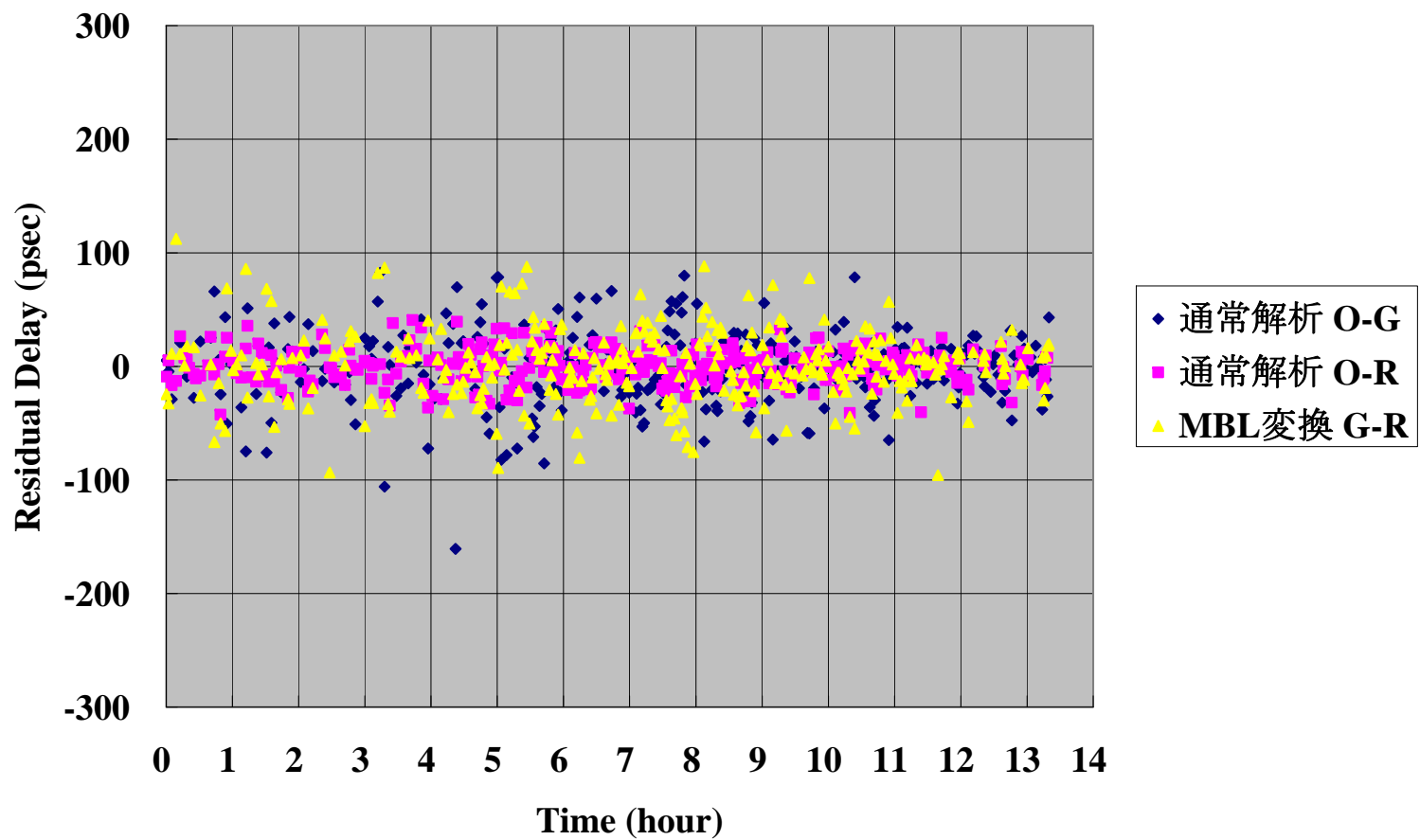
	クロックパラメータ			
	CL0 0h	CL0 1h	CL0 2h	CL0 3h
X	0.5	0.6	0.4	0.3
Y	0.5	0.6	0.4	0.3
Z	0.5	0.5	0.4	0.3

全てTATEYAMA局のパラメータ

実験名	mc9241
実験日	2009/08/29/05:00 – 29/17:20 UT
観測局	KASHIM34 (O), KASHIM11 (R), KOGANEI (G)
観測周波数, ch 数	8 MHz/ch, X-band 10ch, S-band 6ch
サンプリングレート	16 MHz/ch, 1-bit sampling (K5/VSSP32 にて記録)
FRINGE検出された観測数	724
観測時間	13.3 h

	FRINGE 検出され た観測数	解析に 使用した 観測数	遅延残差 W RMS (pesc)	KASHIM11 位置 推定誤差 (mm)			G-R 基線 (mm)	
				dU	dE	dN	基線長	誤差
通常解析	724	670 O-R 331 O-G 339	18.3	7.6	1.7	1.8	109099626.8	1.7
MARBLE 変換後	366	315	30.4	7.7	1.8	1.8	109099631.1	1.8
確認解析 (G-R)	354	347	35.2	8.7	2.0	2.1	109099629.1	2.0

mc9241 (09AUG29)



mc9241 (09AUG29)

パラメータ間の相関係数 (絶対値)

従来解析

	クロックパラメータ			
	CL0 0h	CL0 0.5h	CL0 1.0h	CL0 1.5h
X	0.7	0.7	0.6	0.5
Y	0.7	0.7	0.6	0.5
Z	0.6	0.7	0.6	0.5

MARBLE変換後
解析

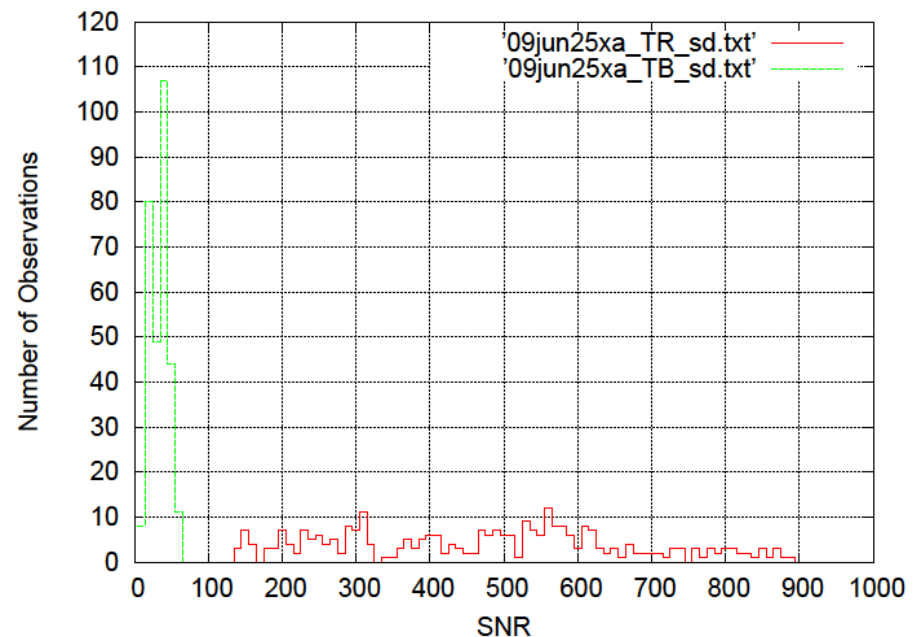
	クロックパラメータ			
	CL0 0h	CL0 0.5h	CL0 1.0h	CL0 1.5h
X	0.6	0.7	0.6	0.5
Y	0.6	0.7	0.6	0.5
Z	0.6	0.7	0.6	0.5

全てKASHIM11局のパラメータ

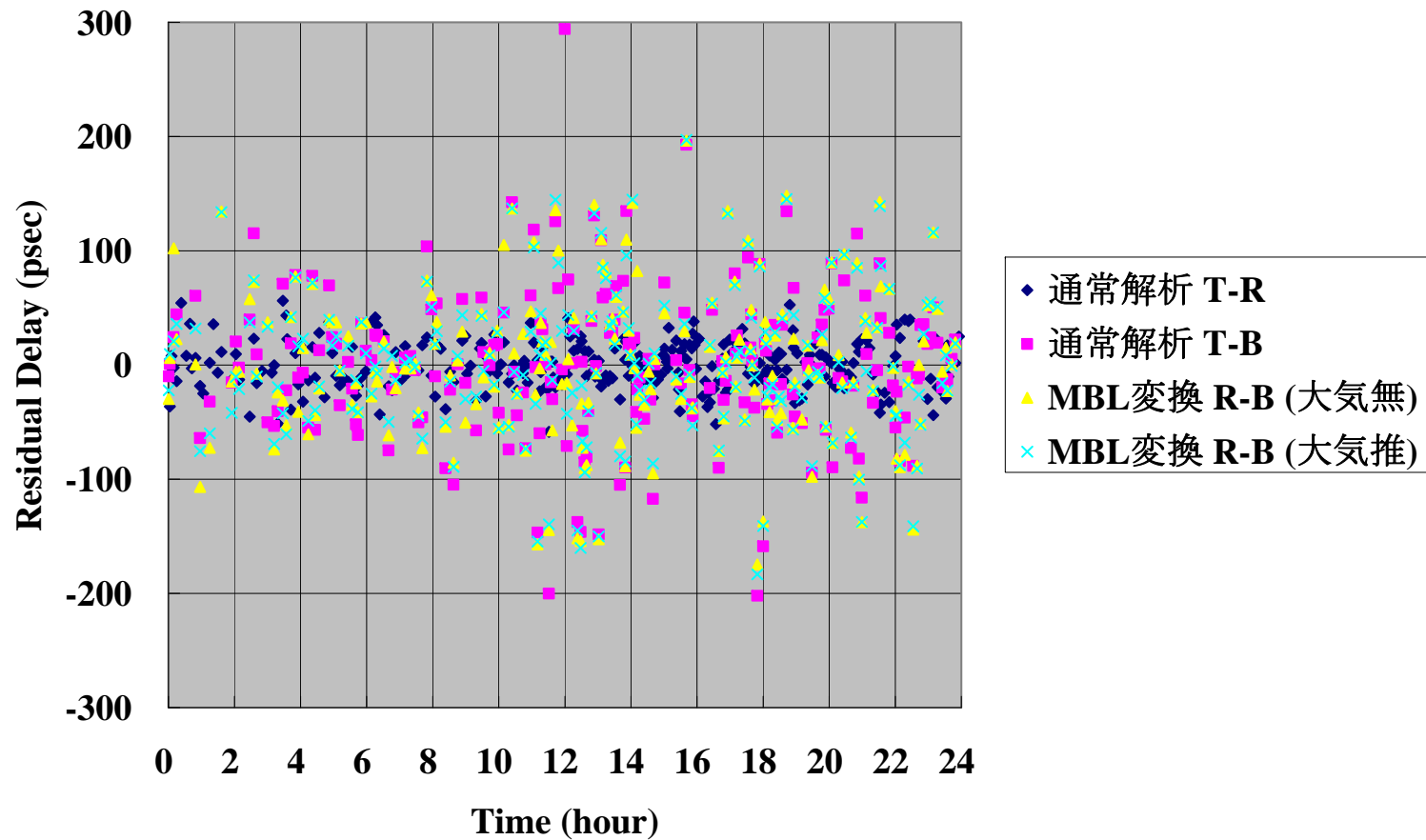
実験名	mb9176
実験日	2009/06/25/02:00 – 26/02:00 UT
観測局	MARBLE1 (B), TSUKUB32 (T), KASHIM11 (R)
観測周波数, ch 数	16 MHz/ch, X-band 10ch, S-band 6ch
サンプリングレート	32 MHz/ch, 1-bit sampling (K5/VSSP32 にて記録)
観測数	598
観測時間	23.9 h

	フリッジ 検出され た観測数	解析に 使用した 観測数	遅延残差 W RMS (pesc)	MARBLE1 位置 推定誤差 (mm)			R-B 基線 (mm)	
				dU	dE	dN	基線長	誤差
通常解析	591	502 T-R 290 T-B 212	25.7	14.8	3.0	4.1	193845.5	3.1
MARBLE 変換後 (大気推定あり)	299	214	55.2	14.6	3.5	4.0	193844.0	3.5
MARBLE 変換後 (大気推定無し)	299	214	57.7	6.2	2.7	3.5	193845.7	2.4

実験名	mb9176
実験日	2009/06/25/02:00 – 26/02:00 UT
観測局	MARBLE1 (B), TSUKUB32 (T), KASHIM11 (R)
観測周波数, ch 数	16 MHz/ch, X-band 10ch, S-band 6ch
サンプリングレート	32 MHz/ch, 1-bit sampling (K5/VSSP32 にて記録)
観測数	598
観測時間	23.9 h

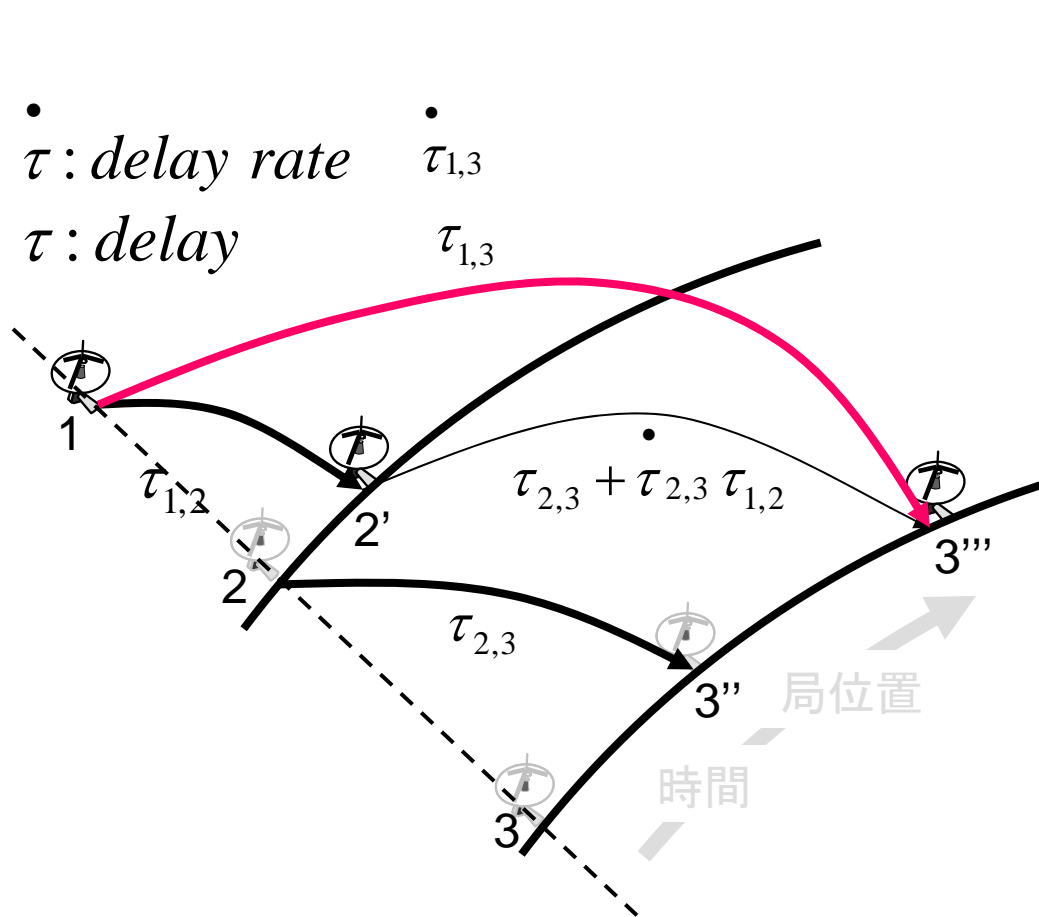


mb9176 (09JUN25)



観測遅延量の求め方

遅延変化率による補正が必要



$$\tau_{1,3} = \tau_{1,2} + \tau_{2,3} + \tau_{2,3} \tau_{1,2}$$

$$\tau_{1,3} = \tau_{1,2} + \tau_{2,3} + \tau_{2,3} \tau_{1,2}$$

τ は無視

上式を基本に、使用する2基線のリファレンス局、求めたい基線のリファレンス局を考慮して式を変換