

高精度軌道決定を目的とした VLBI観測研究の現況

(1)市川隆一、(1)関戸衛、(1)竹内央、(1)小山泰弘、(1)近藤哲朗、
(2)望月奈々子、(2)村田泰宏、(2)吉川真、(3)大西隆史

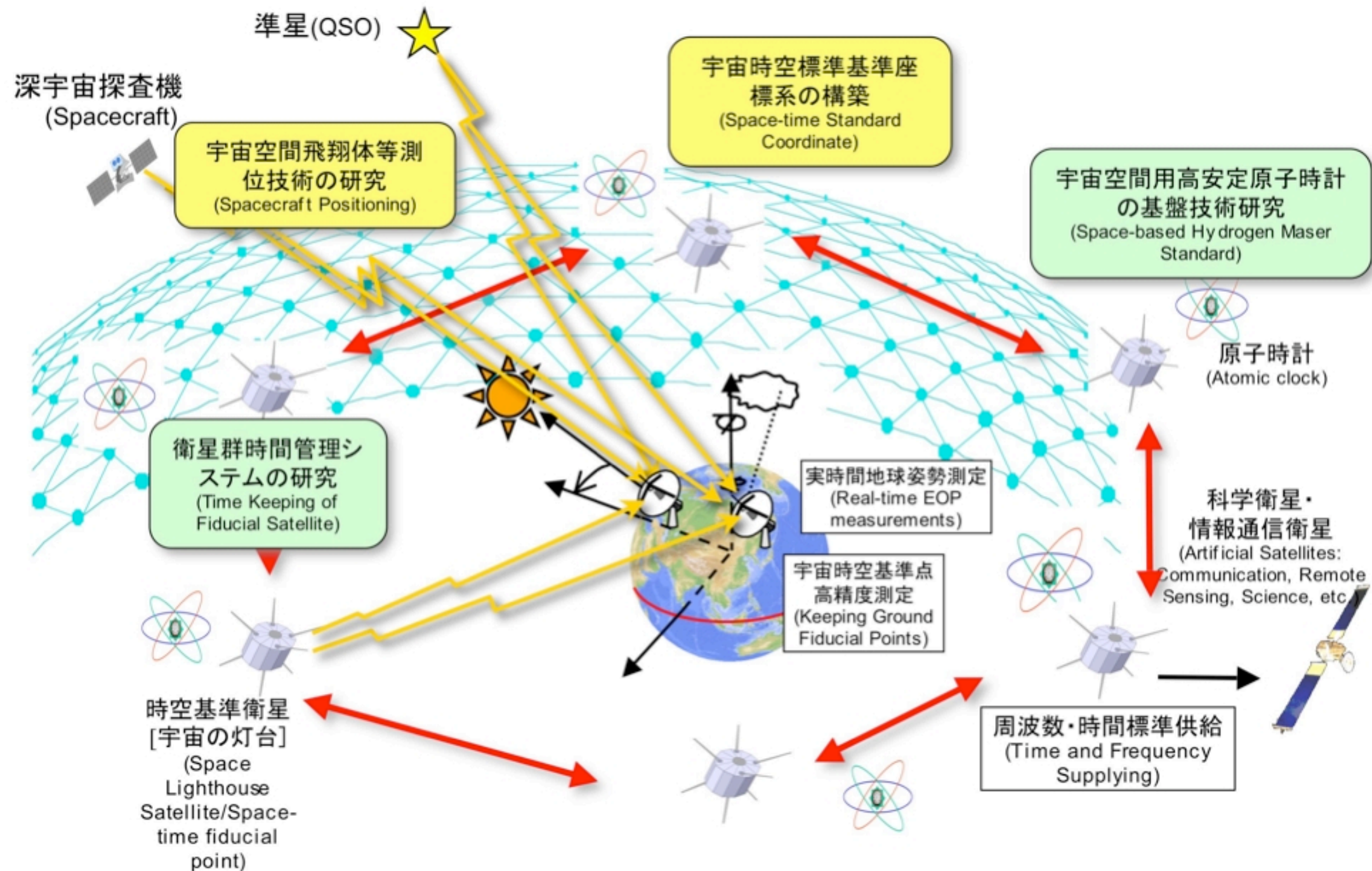
(1) 情報通信研究機構鹿島宇宙通信研究センター

(2) ISAS/JAXA

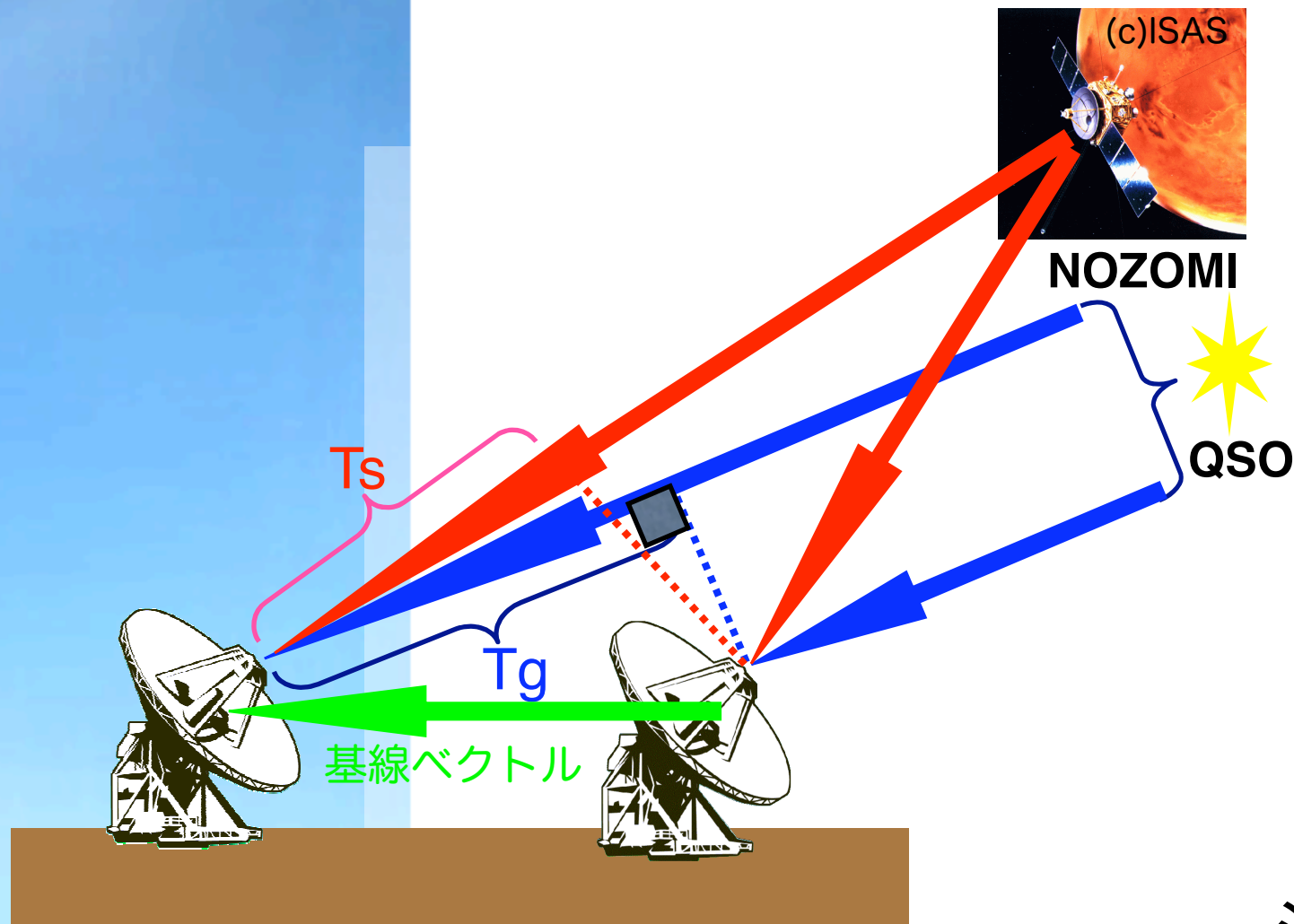
(3) 富士通（株）

はじめに

宇宙における時空標準基盤技術の研究



相対VLBI観測



宇宙飛翔体とQSO
が近傍にあれば、遅
延時間差の差分を取
ることで電離層、大
気などの伝搬遅延誤
差を除去できる

準リアルタイム(まず
は24時間以内)での位
置決定をめざす

飛翔体VLBI観測の特徴

- **e-VLBI技術を駆使**
- **K5/VSSPシステムを使用**
 - PCとIP-VLBIボードで安価で容易な観測システム構築
 - ソフトウェア相関
- **ネットワークでのデータ伝送**
 - 高速ネットワーク(ex. GALAXY)
 - 通常回線を使用した場合でも迅速なFTチェックに多大な寄与
- **有限距離VLBIモデル**(Sekido&Fukushima, 2005)

飛翔体VLBI実験

- 様々な宇宙飛翔体からの信号を受信してのVLBI実験を実施
 - 火星探査機「のぞみ」
 - 小惑星探査機「はやぶさ」
 - 磁気圏探査衛星「GEOTAIL」
 - その他、「Cassini」、「Huygens」も観測
- VLBIデータとしては群遅延、及び位相遅延それぞれで解析法を検討中

相対VLBI法で期待される 飛行体位置決定精度

角度分解能	100mas (1.35nrad)	1mas (13.5prad)
静止衛星(36,000km)	17.5m	17.5cm
GEOTAIL(100,000km)	48.5m	0.485m
NOZOMI(5,000,000km)	2.42km	242m
HAYABUSA(350,000,000km)	170km	1.70km
Huygens(1,400,000,000km)	679km	6.79km

100mas: 1000km基線で1.6nsecの群遅延精度必要

NICTにおける2003年11月以降の 飛翔体VLBI実験(関連実験を含む)

実験日時	観測コード	内容
2003年11月26日	hy3330	「はやぶさ」 VLBI初観測(「はやぶさ」 初フリンジ検出成功、 R&RRデータと比較)
2004年5月19日	hy4140	「はやぶさ」 地球スイングバイ観測
2004年5月27日	hy4147	「はやぶさ」 VLBI観測
2004年6月25日	ca4177	カッシーニ試験観測(フリンジ検出成功)
2004年6月28日	hy4180	「はやぶさ」 ギガビット&DBBC試験VLBI観測(「はやぶさ」 フリンジ未検出の一方、 ギガビットで「はやぶさ」 近傍の微弱電波源評価)
2004年7月1日	hy4183	内之浦初VLBI観測(QSO、「はやぶさ」 とともに内之浦の絡む基線でフリンジ検出成功)
2004年10月16日	hy4290	内之浦局参加の「はやぶさ」 相対VLBI観測(「はやぶさ」 とQSOのスイッチング観測)
2004年10月18日	hy4292	内之浦局参加の「はやぶさ」 相対VLBI観測(「はやぶさ」 とQSOのスイッチング観測)
2004年11月1,2日	u04306	内之浦局測地VLBI観測(3次元的に1cm程度の精度で内之浦局位置決定)
2004年11月17日	gg057b	ホイヘンスリハーサル観測
2004年12月14日	gg057c	ホイヘンス受信を想定した2040MHz試験観測～鹿島34-上海
2005年1月14日	gg057c	ホイヘンス本観測
2005年2月7日	ge5038	「GEOTAIL」 VLBI観測(観測後24時間以内の飛翔体位置決定に成功)
2005年3月30日	hy5089	「はやぶさ」 レプリカ信号取得VLBI観測

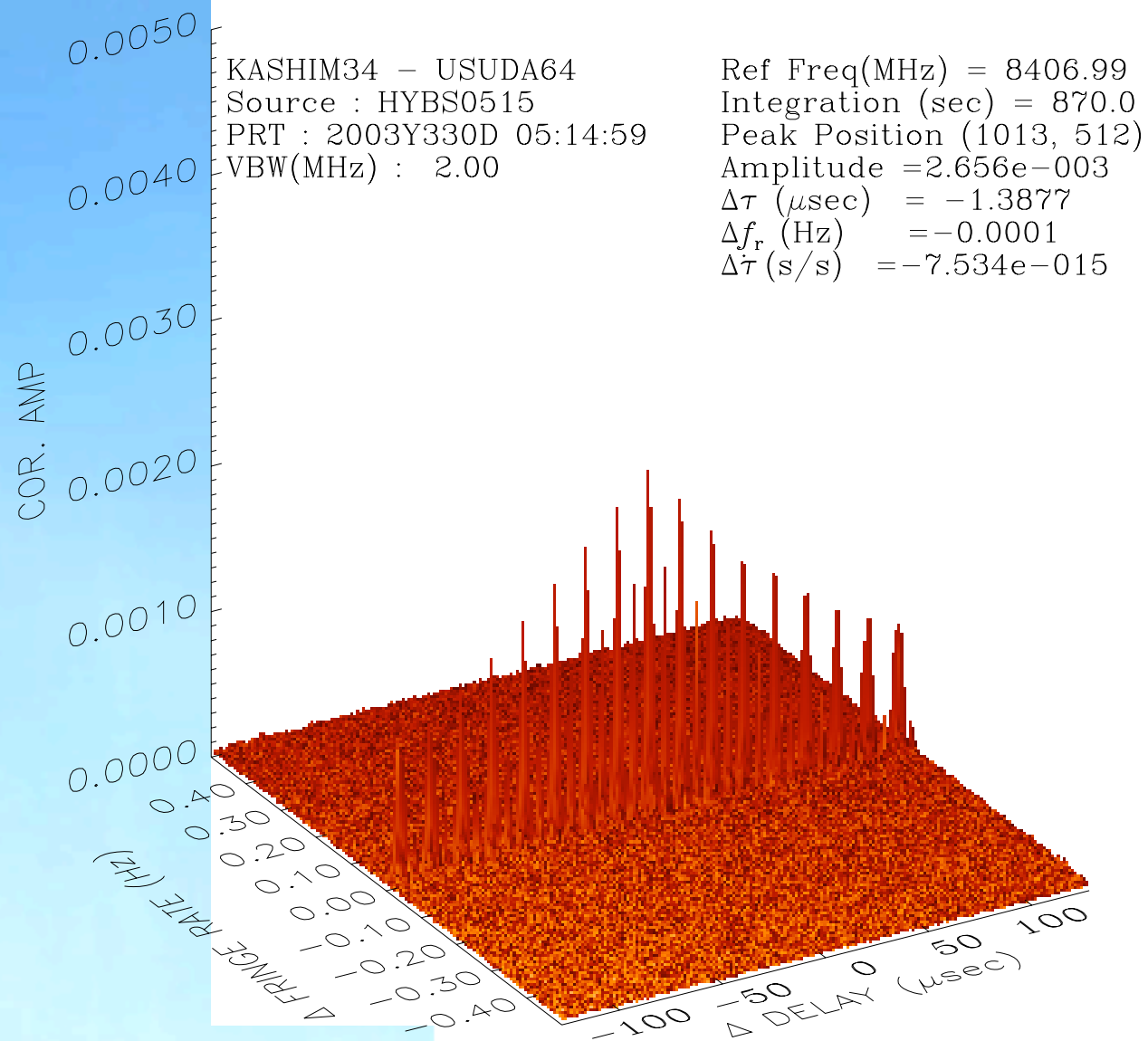
群遅延データの評価

hy3330実験(2003.11.26) 相関処理結果

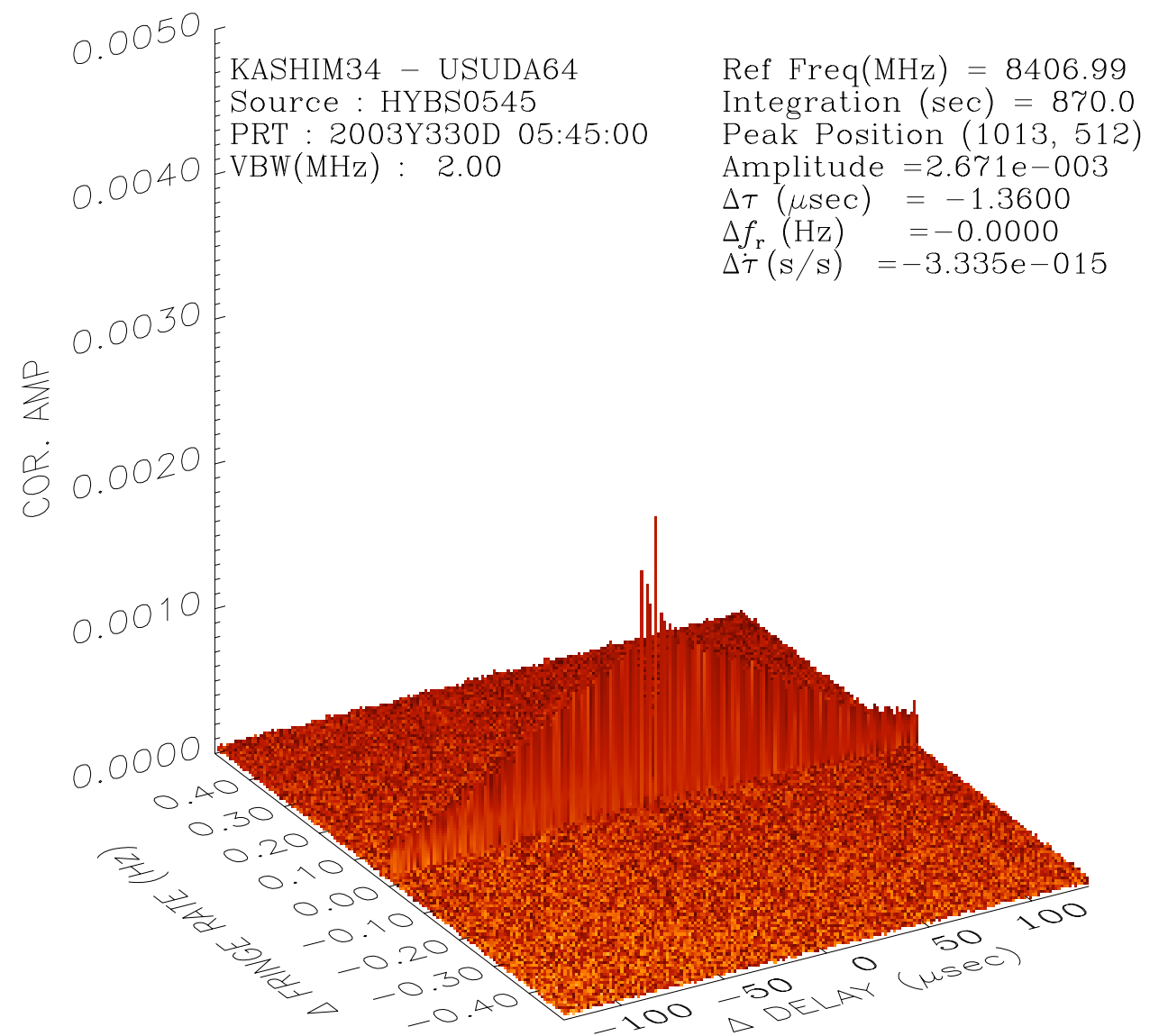


検出された「はやぶさ」信号のフリンジ

Telemetry信号

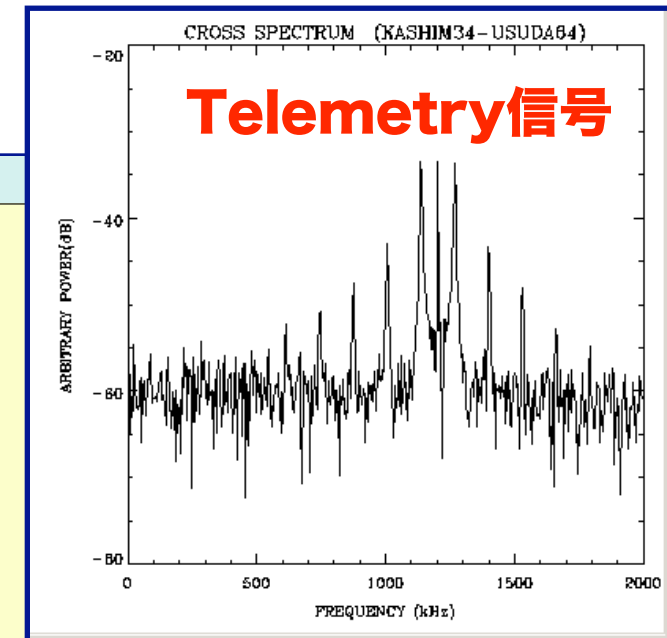
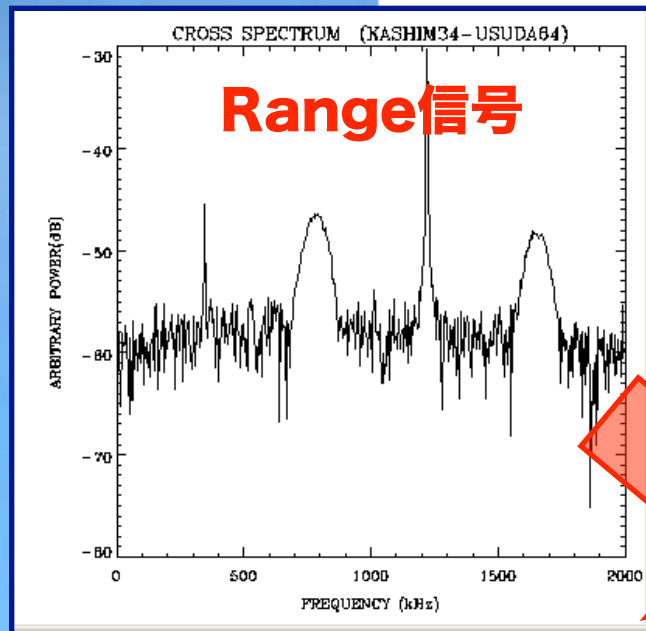


Range信号



ISAS/JAXAによる「はやぶさ」VLBIデータ評価結果

-R&RR解析結果に対するO-C-



delay residual

-200

03/11/26 4:00:00

03/11/26 8:00:00

TIME

- KAS34-USD64
- ▣ KAS34-TKB32
- ▲ USD64-TKB32

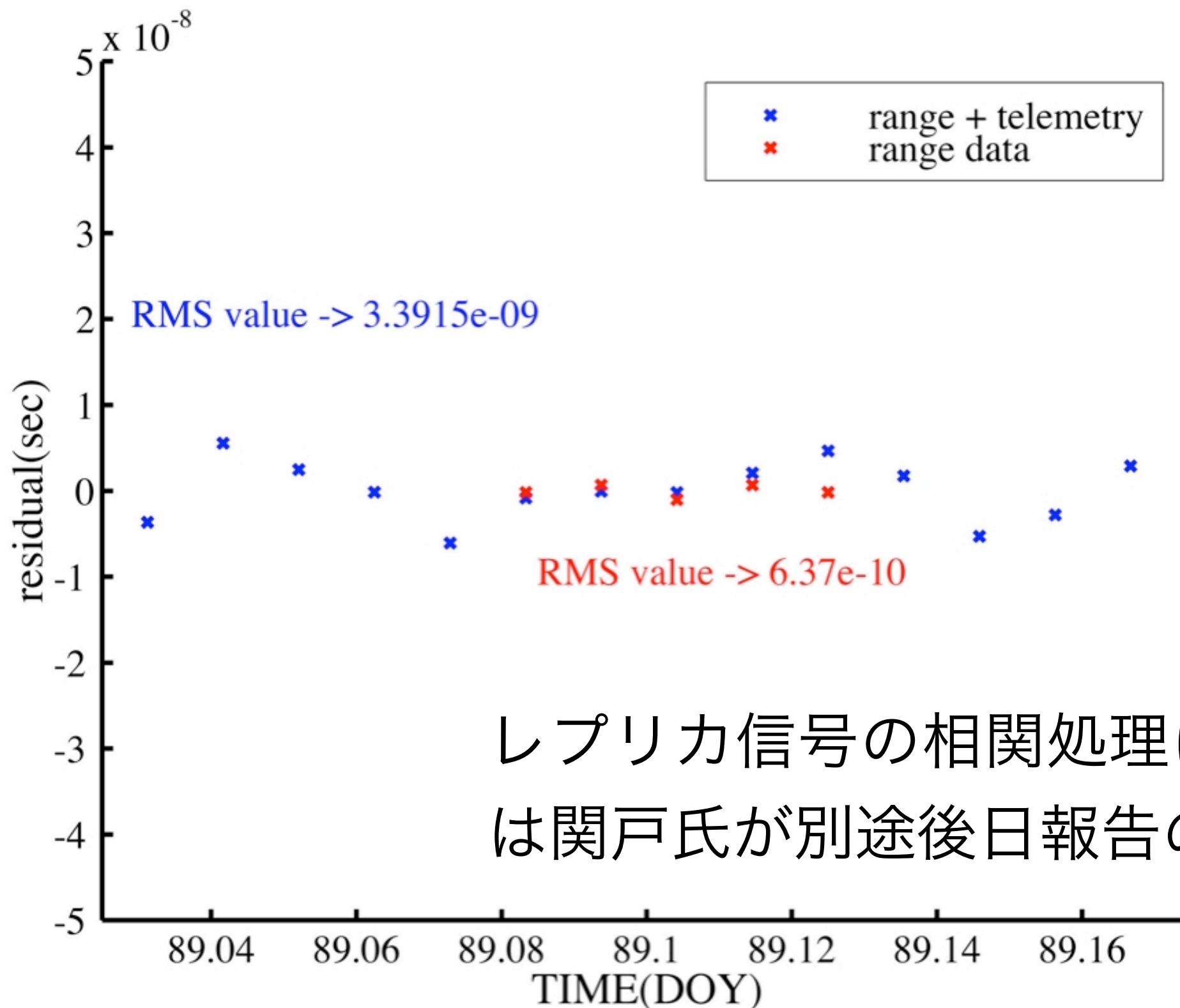
相関処理結果の評価

-信号形態による違い-

群遅延データの時系列に対して多項式近似をかけた後の残差のRMS

	Telemetry&Range	Range
KAS34-USD64	<i>19nsec</i>	<i>0.7nsec</i>
KAS34-TKB32	<i>47.8nsec</i>	<i>2.2nsec</i>
USD64-TKB32	<i>28.4nsec</i>	<i>0.9nsec</i>

「はやぶさ」 レプリカ信号観測(HY5089)

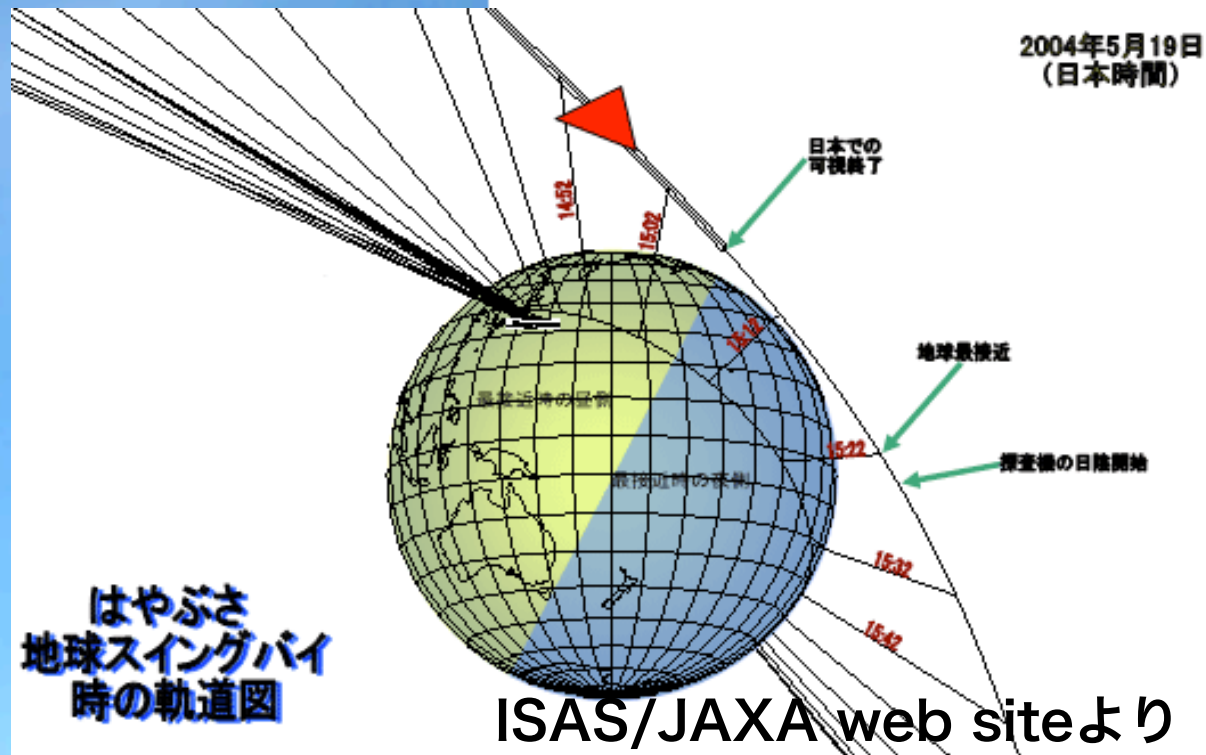


レプリカ信号の相関処理については関戸氏が別途後日報告の予定

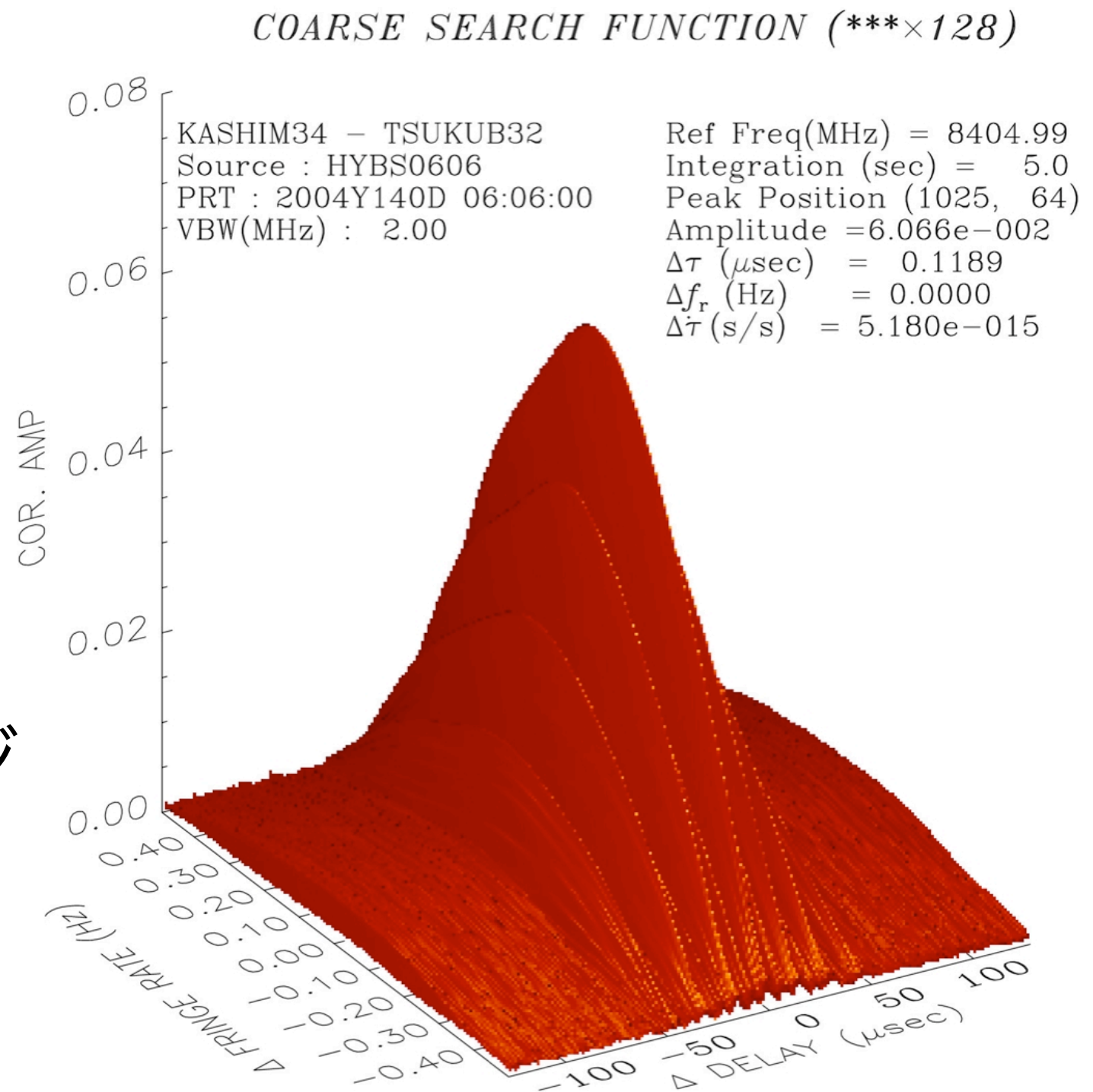
地球近傍での有限距離 VLBIモデルの有効性

「はやぶさ」 地球スイングバイ観測

(2004.5.19)

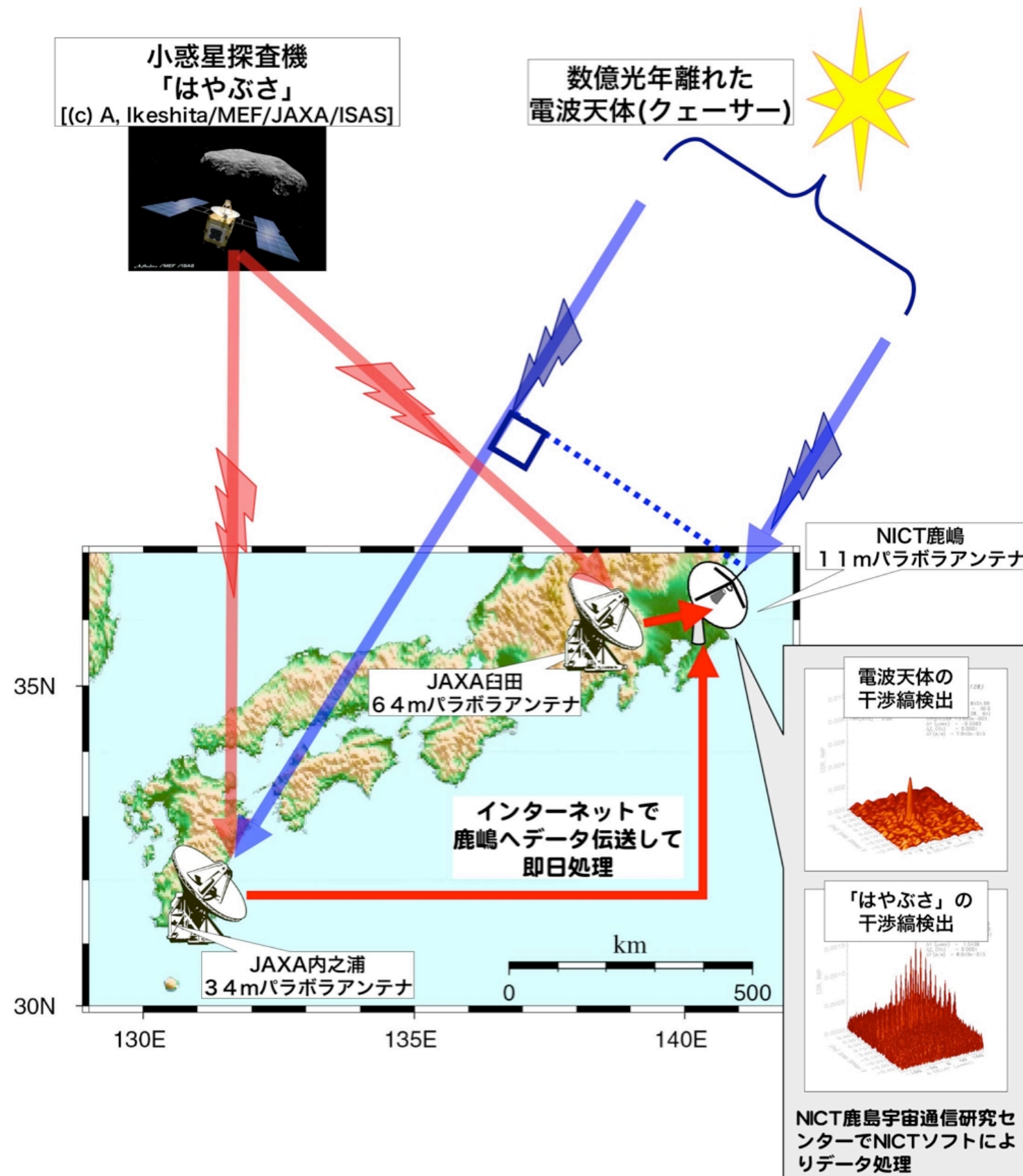


スイングバイ直前の
「はやぶさ」信号のフリンジ
(鹿島34 - つくば32)
地球からの距離～約10000km



内之浦34m局参加のVLBI観測と スイッチング観測

内之浦初VLBI観測(2004.7.1)



「はやぶさ」 相対VLBI観測

-高速アンテナによるスイッチング観測-

- 位相接続が有効なスイッチング間隔の評価
- 電離層、中性大気による伝搬遅延誤差の相殺効果の評価

<観測概要>

#HY4290

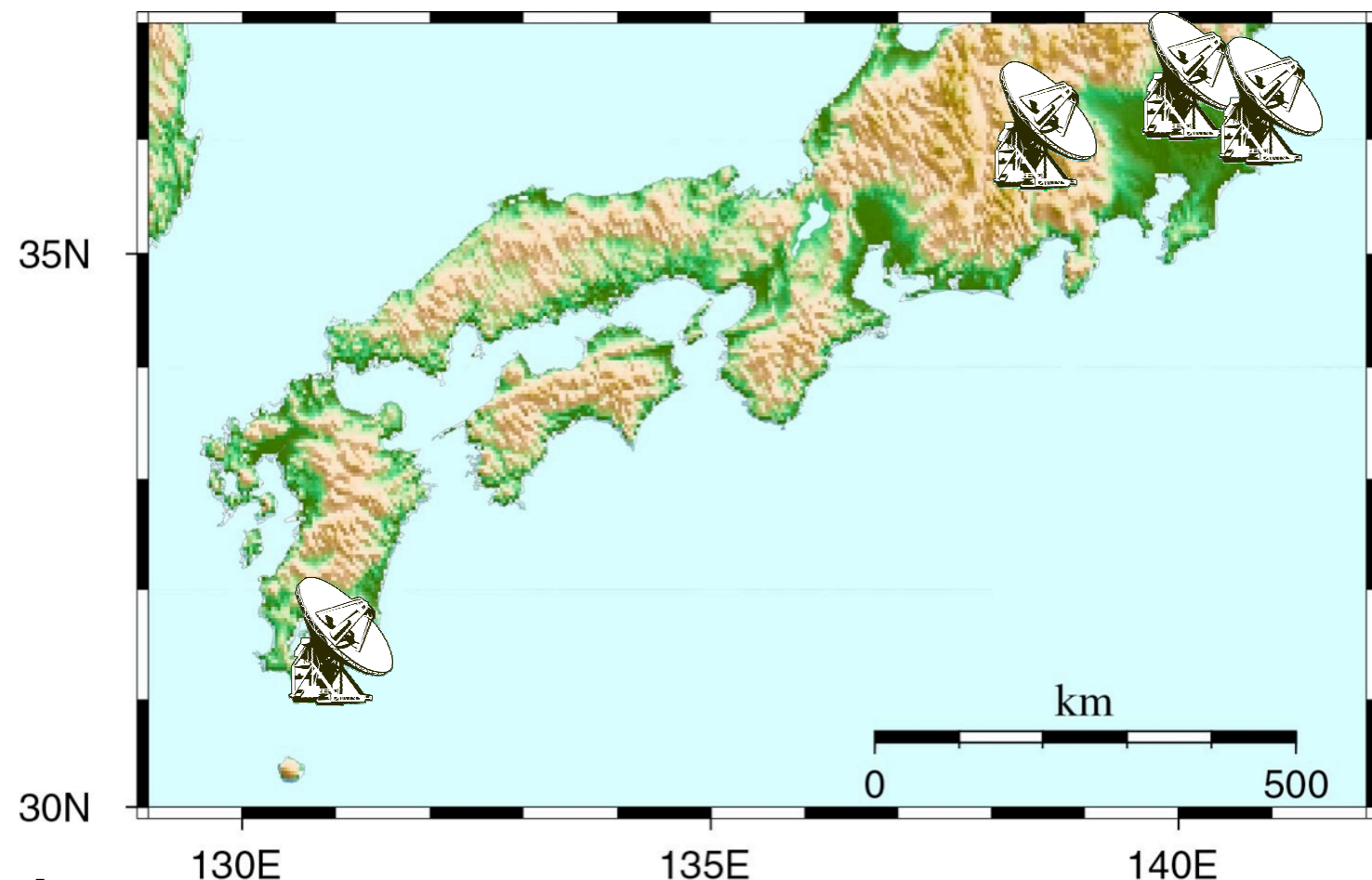
2004/10/16 07:00-14:00UT

#HY4292

2004/10/18 07:00-14:00UT

#参加局

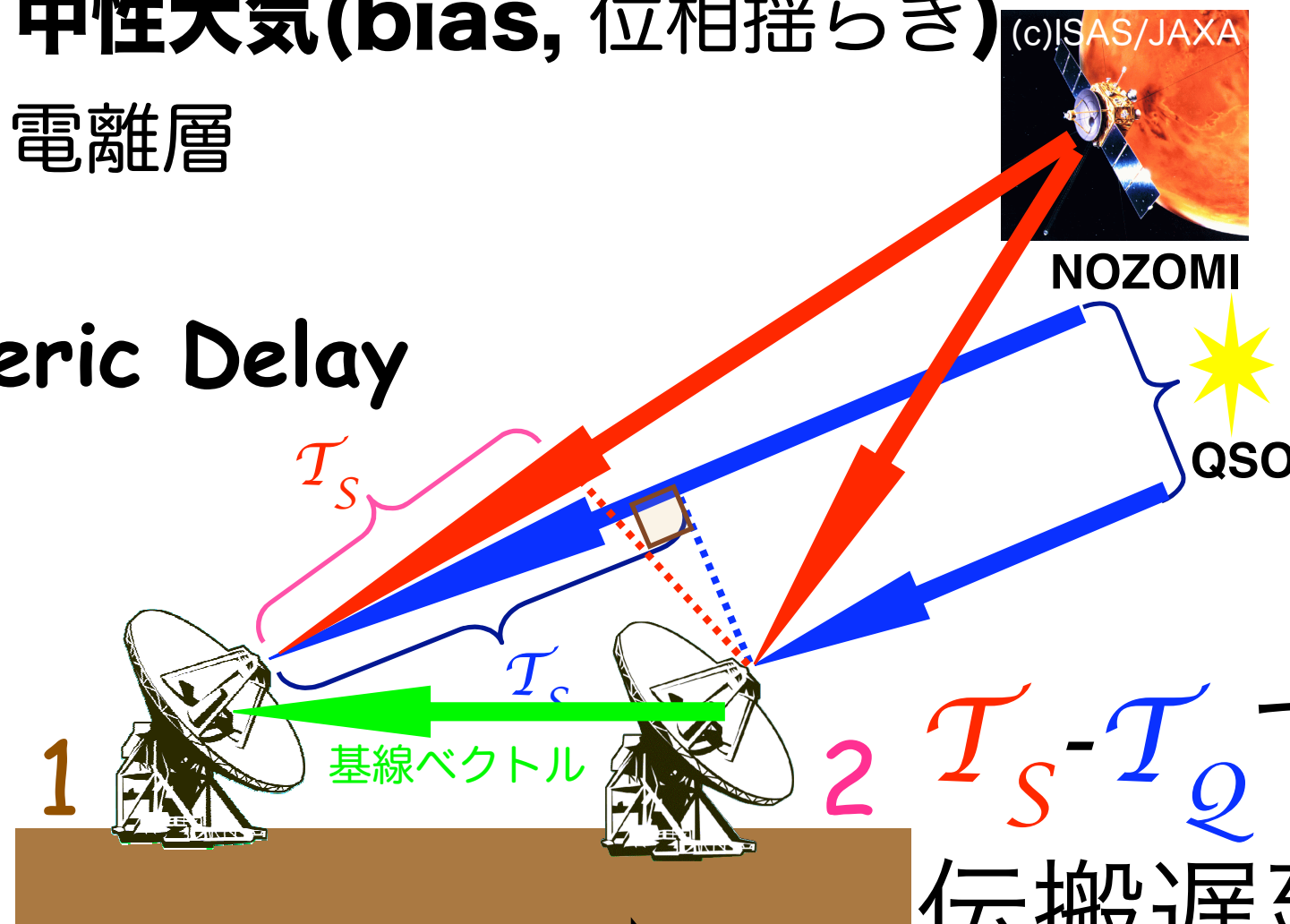
鹿島34m、つくば32m、内之浦34m



相対VLBI法で期待される効果

- 特に宇宙飛行体の位置推定において
- 差を取ることで電波伝搬遅延を取り除く
- 中性大気(bias, 位相揺らぎ)
- 電離層

D: Atmospheric Delay

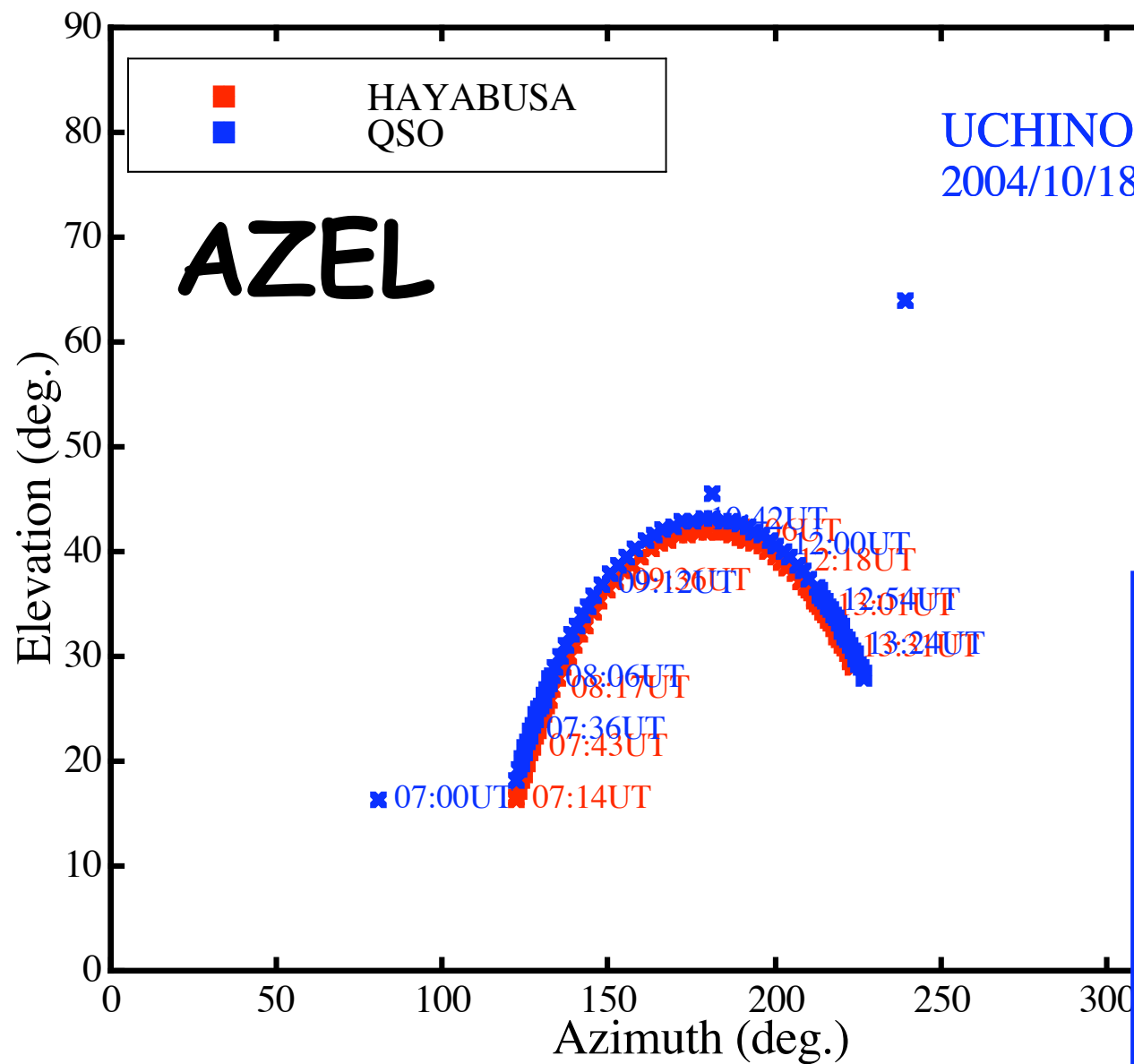


$$dL = (D_S^1 - D_S^2) - (D_Q^1 - D_Q^2) \rightarrow 0?$$

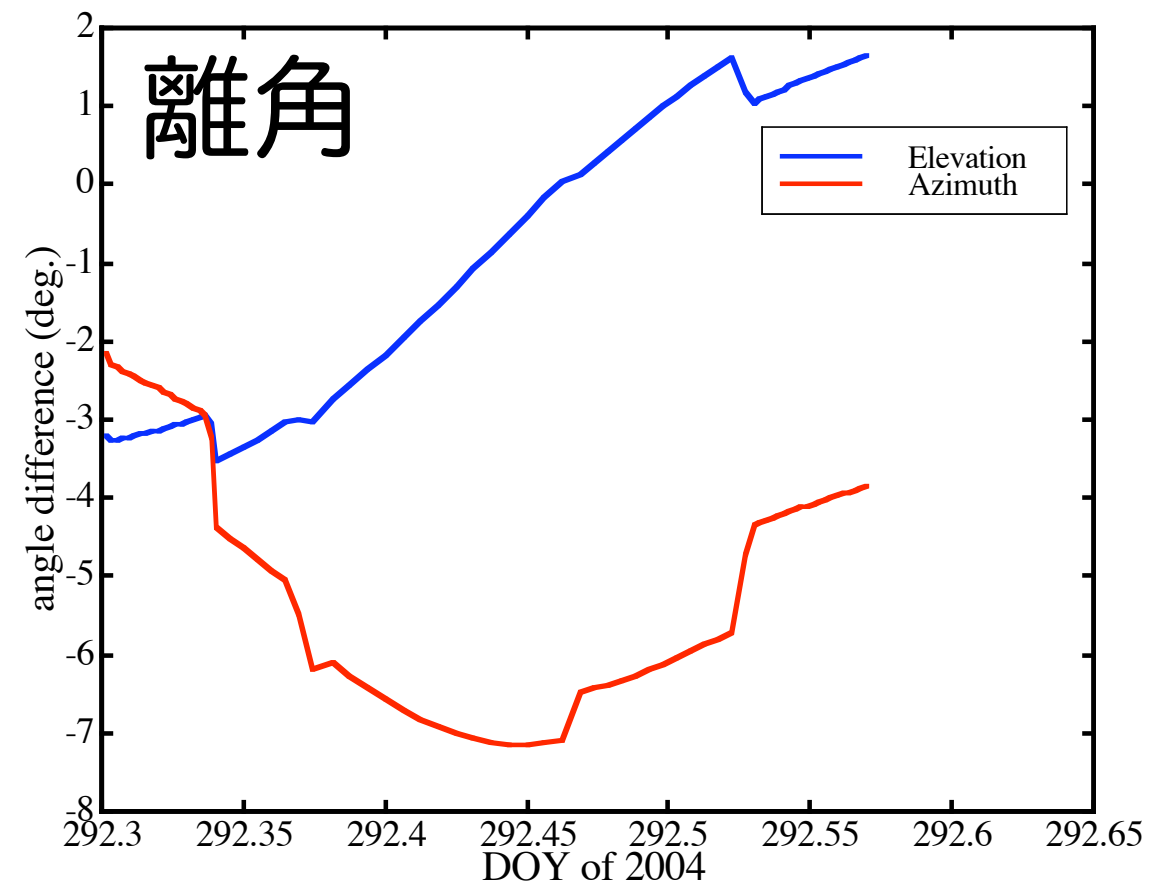
$T_S - T_Q$ でちゃんと
伝搬遅延誤差が消
えてくれるか？

「はやぶさ」スイッチング観測

- hy4290,hy4292 -

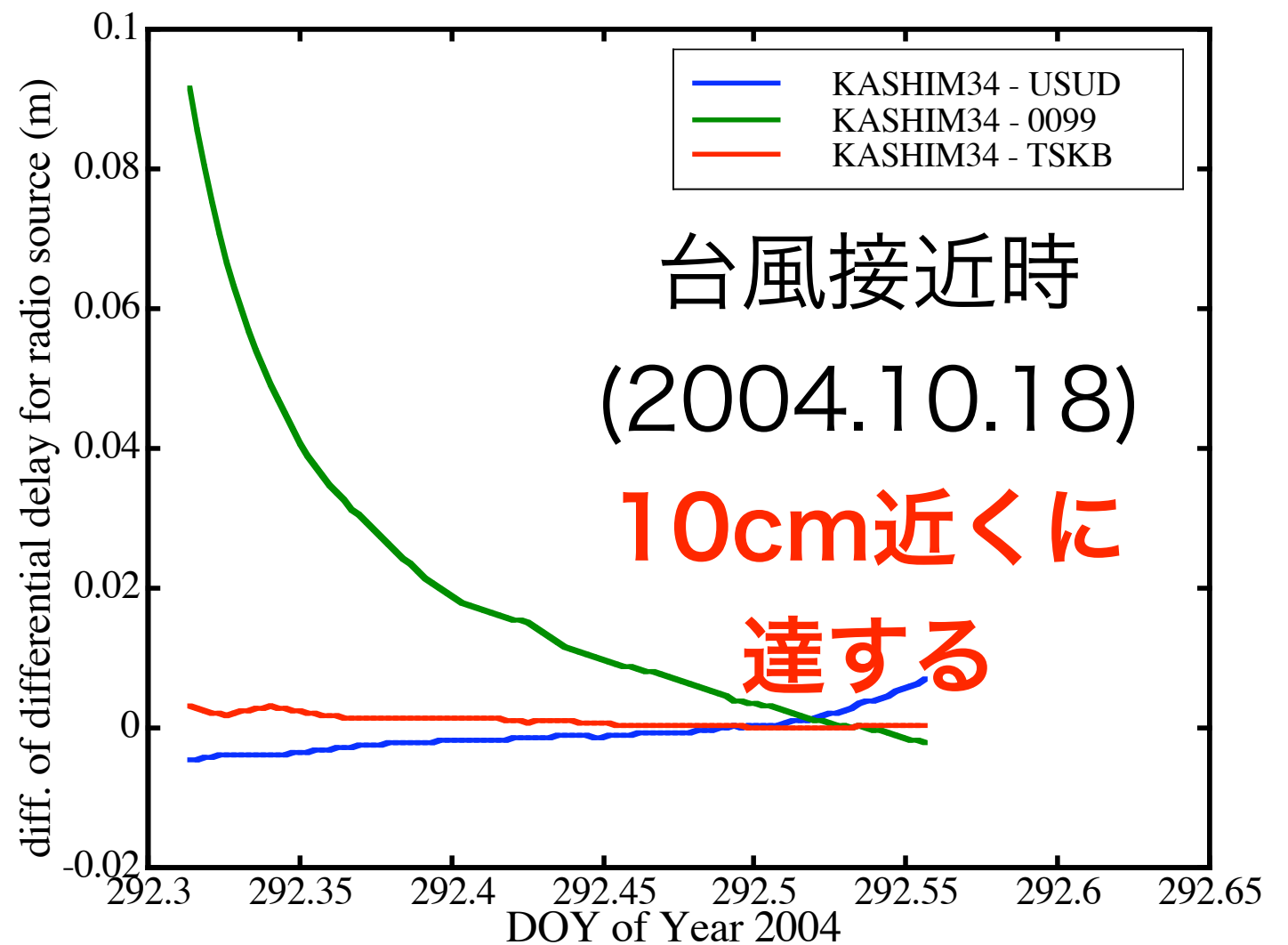
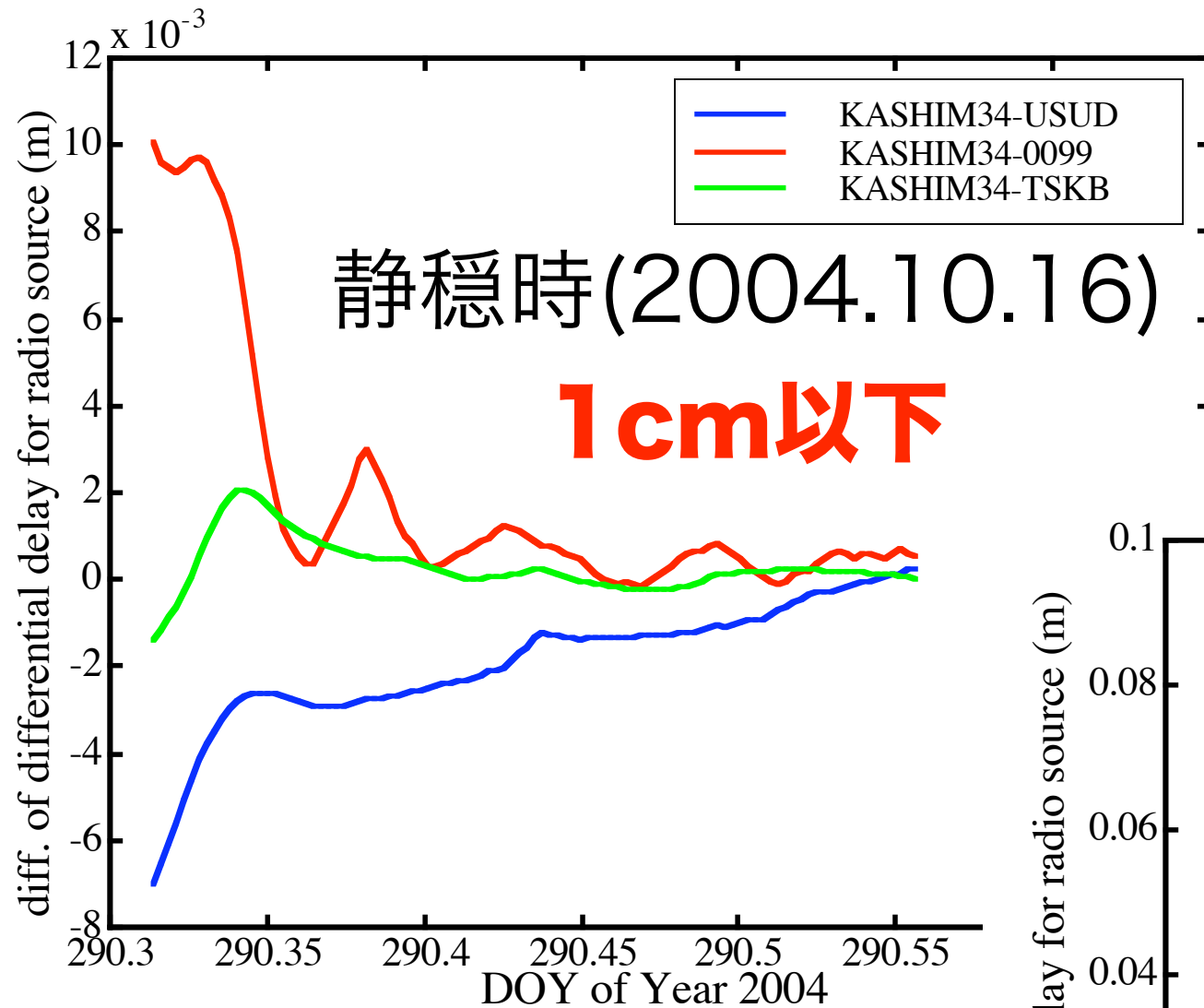


内之浦におけるQSOと
「はやぶさ」のAZEL、
および双方の離角



GPS大気伝搬遅延量差の差

-QSOと「はやぶさ」、それぞれのAZELでの遅延量差でさらに差を取る-



観測後24時間以内での 位置推定

観測後24時間以内での位置推定

- 準リアルタイムでの飛翔体位置推定が目標
- 2005年2月7日にGEOTAILをターゲットに観測
- 鹿島11mー小金井11m基線
- 一連の流れ
 - 観測時間： 7時間
 - データ伝送： 1時間半
 - 相関処理： 9時間半(10CPU)
 - 解析： 1時間半
 - 観測後12時間半、トータルで19時間半

今後の予定

- 今年8月に予定される「はやぶさ」のイトカワ接近などを視野に今後も宇宙飛翔体VLBI観測を実施
- 群遅延
 - レプリカ信号観測の評価を急ぐ
- 位相遅延
 - スイッチング観測での位相接続
- 相対VLBIによる飛翔体位置決定について統合システムの試作を目指す
 - 観測立案
 - 観測
 - データ伝送
 - 相関処理
 - 処理結果の品質管理
 - 伝搬遅延の除去
 - 位置推定