

# 宇宙飛翔体の相対 VLBI 観測における遅延計測精度評価

○ 関戸衛、市川隆一 (NICT)、吉川真、竹内 央、市川勉、竹内央 (JAXA)

## Evaluation of delay measurement accuracy in Delta-VLBI for spacecraft navigation

○ Mamoru SEKIDO, Ryuichi ICHIKAWA (NICT), Makoto YOSHIKAWA, Hiroshi TAKEUCHI, Takaji KATO, Tsutomu ICHIKAWA (JAXA)

**Abstract:** Delay calibration accuracy for Delta-VLBI observation of spacecraft (SC) was evaluated with phase delay observable. Calibration of phase delay observable for SC with phase delay of reference radio source (QSO) was applied in this paper. As the result, there was an improvement in ionospheric delay modeling, though total calibration accuracy has not been improved significantly in contrast to the phase delay (SC) calibration with group delay (QSO). The reason may be due to correlation between parameters, and remaining phase ambiguity in quasar's phase delay.

## 1 目的および背景

昨年 (2006 年) の自動計測制御学会 SI 部門講演会では、宇宙探査機ハヤブサが小惑星イトカワに接近した時期の VLBI 観測データを使って、HAYABUSA の位相遅延に対してクエーサの群遅延量による相対 VLBI 遅延補正の精度評価について報告した [1]。その結果、ほぼ数 100ps の精度で遅延補正が可能であることを報告したが、電離層の厚い父島を含む基線のデータでは、補正によりさらに結果が悪くなる、という現象が確認された。これは群遅延量を用いて、位相遅延量の補正を行ったため、電離媒質の遅延の影響が 2 倍の誤差として影響したことによるものと推測された。そこで今回は、参照電波源についてもフリンジ位相を抽出し、これを接続した位相遅延量を使うことにより、相対 VLBI の遅延補正を行った。位相遅延量は時間分解能が高く電離層についても精度のよい遅延補正ができると期待された。

## 2 クエーサの位相遅延量による補正

2005 年の HAYABUSA のイトカワ接近時の VLBI 観測データは X-band の観測で 1ch あたりの帯域幅は 4MHz, クエーサ 8ch で観測を行った。クエーサは広帯域の連続波電波源であるので、位相遅延量とがどの周波数における位相が直感的にはわかりにくい、が、相関処理の式をたどると、観測帯域の平均位相で定義されることがわかる [3]。実際のデータ処理では、クエーサを観測した 8ch の信号を時間軸方向、および周波数方向にコヒーレントに積分して [4]、フリンジ位相を算出する。このフリンジ位相を 2 秒毎に算出し、位相を不定性なく接続した後、帯域全体の中心周波数で割って遅延量残差とする。こうして得られたクエーサの位相遅延量と、バンド幅合成で得られる群遅延量をあわせて、クロック、大気、電離層のモデルを推定し、HAYABUSA に対する遅延量として補正を行った。相対 VLBI の遅延補正

のは前回と同様の方法 [2] をとり、電離層のマッピング関数

$$f m_{\text{ion}}(El, H) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{R}{R+H} \cos El\right)^2}} \quad (1)$$

を使って天頂方向の電離層の厚さ  $\tau_{\text{ion},x}, \tau_{\text{ion},y}$  を連続折れ線関数でモデル化し、推定パラメータに含めた。ここで  $R, H$  はそれぞれ地球の半径、観測地点の高さ、 $El$  は仰角である。詳細については文献 [3] を参照されたい。こうしてクエーサの位相遅延を新たに加えて補正した結果の例を図 1 に示す。クエーサの群遅延だけを使った場合には補正しきれなかった電離媒質に起因する遅延が改善できていることがわかる。しかし、総合的な補正後の残差は大きな改善がみられなかった。その原因としては、モデルパラメータ間の相関が大きくなったことなどが挙げられる。今回、0.1ns のオーダでは電離層の寄与も無視できないことが観測的に明らかとなり、今後の電離層遅延の対策として 2/8GHz の 2 周波同時観測を行うことで電離媒質の影響を観測的に取り除くことが考えられる。

## 参考文献

- [1] 関戸 衛、他、"Itokawa 接近時の HAYABUSA の相対 VLBI 観測による遅延補正精度の評価", 第 7 回自動計測制御学会システムインテグレーション部門講演会 3H2.6, 1201-1202, 2006.
- [2] 関戸 衛、他、"イトカワ接近時の HAYABUSA を使った相対 VLBI 観測の精度評価" 宇宙科学技術連合講演会 2007/11/8-10 3G14, 1910-1915, 2006.
- [3] 関戸 衛、他、"位相遅延量を使った相対 VLBI 補正の検証", 第 51 回宇宙科学連合講演会、1I10, 2007.
- [4] Rogers, A. E. E, "Very Long Baseline Interferometry with Large Effective Bandwidth for Phase-Delay Measurements", *Radio Science*, 5,1239-1247, 1970.

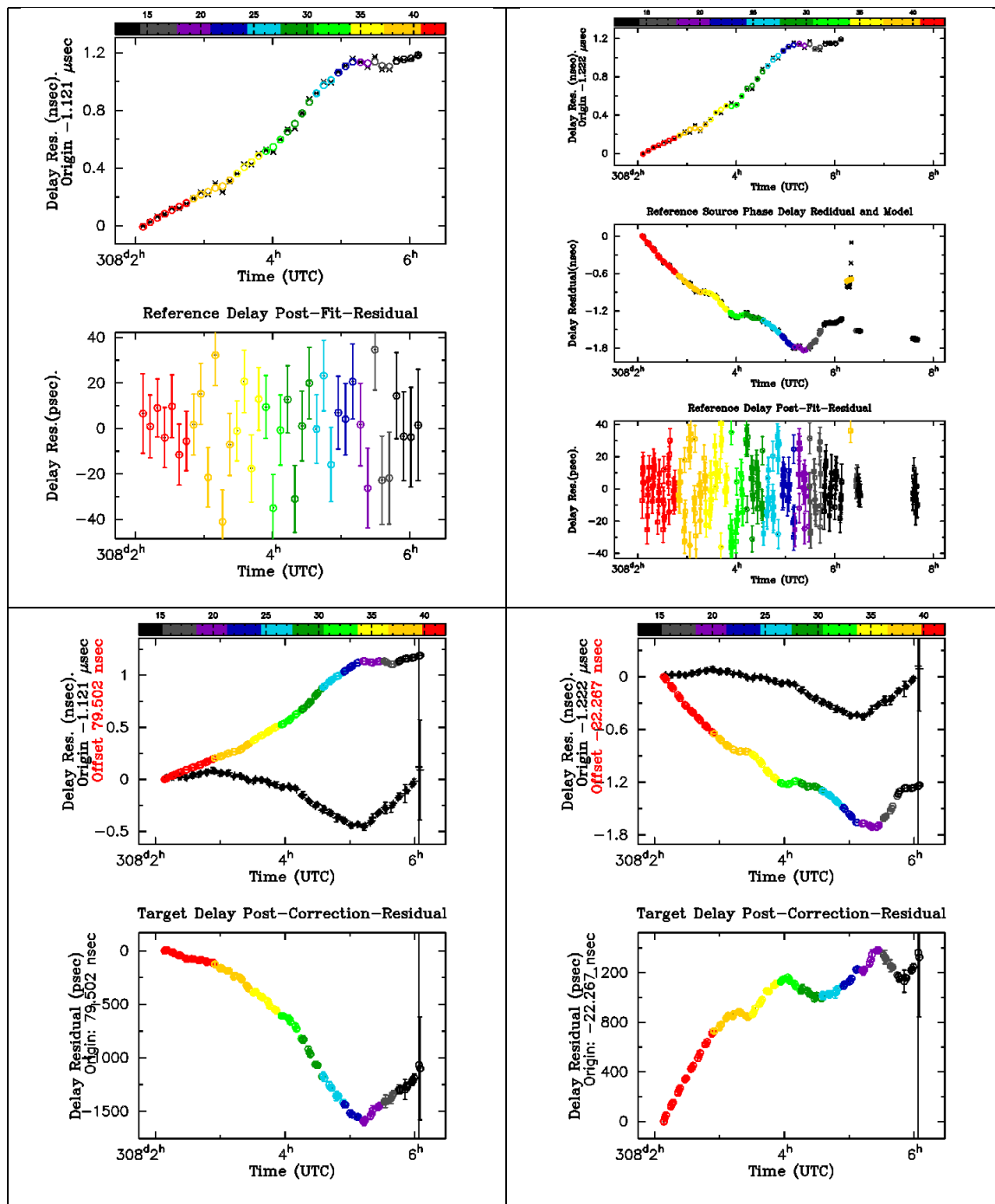


図 1: 相対 VLBI 法の適用結果例 (つくば-父島基線 2005/11/4). 上の段の図は、基準電波源の遅延量 (O-C) へのモデルフィッティング結果であり、下の段は推定で得たパラメータをハヤブサの遅延量 (O-C) への適用した結果を示す。ここで O は観測量 C は幾何学的遅延量と地上の気象データから予測される中性大気の遅延量の計算値である。左側の列は基準電波源のデータとして群遅延量だけを用いた場合 (昨年報告)、右側の列は群遅延量と位相遅延量を併用してパラメータ推定を行い、ハヤブサの遅延量に適用した例である。角欄のパネルは右上段の欄を除き、上側のパネルが遅延残差とパラメータフィットの結果、下側にその差分 (Post fit residual) を示している。右上段の欄の上のパネルは群遅延量、真ん中の図は位相遅延量の O-C とそれへのモデルフィット結果であり、一番下に post-fit 残差を群遅延、位相遅延あわせてプロットしている。仰角 (両局の仰角の小さい方の値) をカラーマップで表示しており、赤い色は高い仰角、暗い色は低い仰角を示す。父島を含む基線では、群遅延を使った補正 (位相 - 群遅延校正: 左側の列) ではハヤブサの遅延残差と補正量が逆傾向を示し、補正後に残差が大きくなる現象があったが、位相遅延量を加えて補正することにより、逆センスの傾向は見られなくなり、補正量が改善されている。