

測地VLBI技術による高精度時刻比較 - 第二報 -

Precise Time Transfer by Means of Geodetic VLBI Technique – Part II -

瀧口 博士*1, 小山 泰弘*1, 市川 隆一*1, 後藤 忠広*1, 石井 敦利*1,2,3, Thomas Hobiger*1

*1情報通信研究機構, *2国土地理院, *3(株)エイ・イー・エス

Hiroshi Takiguchi*1, Yasuhiro Koyama*1, Ryuichi Ichikawa*1, Tadahiro Gotoh*1,

Atsutoshi Ishii*1,2,3 and Thomas Hobiger*1

*1National Institute of Information and Communications Technology

*2Geographical Survey Institute, *3AES Co. Ltd.

1. はじめに

小山・他 (2007) により日本地球惑星科学連合大会において、測地 VLBI の手法で行う時刻比較と、GPS を用いた時刻比較の結果を比較する実験を行い、VLBI による時刻比較結果と GPS による時刻比較結果が調和的である事、得られた結果のバラつきは VLBI の方が GPS に比べ小さい事が報告された。その後、鹿島 11m 局を含む基線では、アンテナと鹿島局の周波数標準が約 200m 離れている事により、周波数安定度が 30000 秒付近で低下する事が解った。鹿島 34m - 小金井 11m 基線で改めて長期間連続の実験を行った。また、2007 年 1 月のデータも再解析を行ったので、その結果について報告する。

2. 測地VLBI実験



図1. 鹿島局の配置図

これまで行った時刻比較を目的とした測地 VLBI 実験の詳細を表1に示す。比較の為の GPS 観測は、k07011, k07022, k07059 実験では時刻比較用の GPS 受信機 (Ashtech Z-XII3T) を使用し、k07166 実験では測地用受信機 (Ashtech Z-XII3) を使用した。鹿島局側の GPS アンテナは、k07059 実験までは鹿島 11m アンテナ近傍で、k07166 実験では 34m 庁舎屋上に設置して観測を行った。配置を図1に示す。また、鹿島 11m アンテナと周波数標準とは、直線距離で約 200m 離れている。通常の測地 VLBI 解析 (Calc/Solve) を行い、鹿島局を基準とした小金井局のクロックオフセットを求めた。推定誤差の平均は 53ps であった。アンテナ口径が大きく、システム感度の

高い K5/VSSP32 システムでの実験 (k07166) では、データの質から k07166B を除くと 26ps の推定誤差となった。

3. GPS時刻比較との比較

3.1. 時系列比較

VLBI と GPS を比較した図を示す (図2)。時刻比較用の受信機を使用した k07011, k07022, k07059 実験では、VLBI と GPS の時刻比較結果は調和的であり、およそ ±500ps 内で一致した。k07166 実験では、VLBI と GPS の時刻比較結果の差は ±1ns 以上と大きい。受信機の性能差が原因であると考えられるが、使用した受信機の個体差が大きかった事も疑われ、現在調査中である。

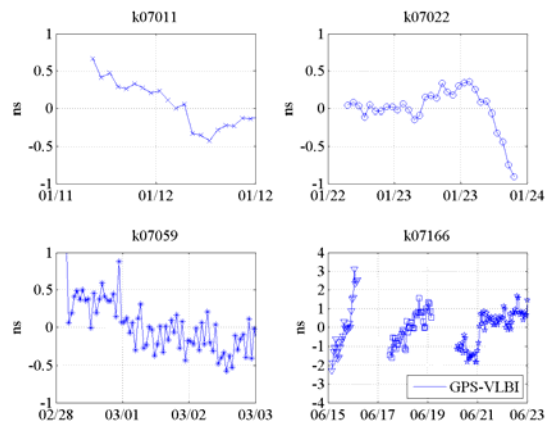


図2. VLBI, GPS 時刻比較で求められた、鹿島局を基準とした小金井局のクロックオフセット時系列の差

3.2. 安定度評価

VLBI 時刻比較の結果と共に、GPS 時刻比較、GPS 時刻比較と VLBI 時刻比較の差、周波数標準についてアラン分散を計算した結果を図3に示す。

鹿島 11m - 小金井 11m 基線

k07022, k07059 実験の安定度を見てみる。GPS と VLBI の安定度を比較すると、3600 秒から 10000 秒の間は明らかに VLBI 時刻比較の安定度の方が良い。しかし、

10000 秒以降, 両方の安定度が低下する傾向が見られる. VLBI 時刻比較だけで見ると, 30000 秒でピークとなる盛り上がりが見られる. GPS と VLBI の差(共通するノイズを取り除いた測定系の安定度)を見てみると, この盛り上がりが見えておらず, GPS および VLBI 時刻比較の測定系のノイズが原因でない事が解る. 測定系のノイズでは無く, 共通に影響を及ぼす要因として周波数標準からの距離が考えられる. 先述の様に, 鹿島 11m と周波数標準は直線距離で約 200m 離れている. 図 3 には, メーザー室での周波数標準(水素メーザー)の安定度, 11m 庁舎での安定度も示している. VLBI と同様に, 30000 秒でピークとなる盛り上がりが見られる. 時刻比較目的での VLBI 実験では, 鹿島 11m を含む基線は適切では無い事が解った.

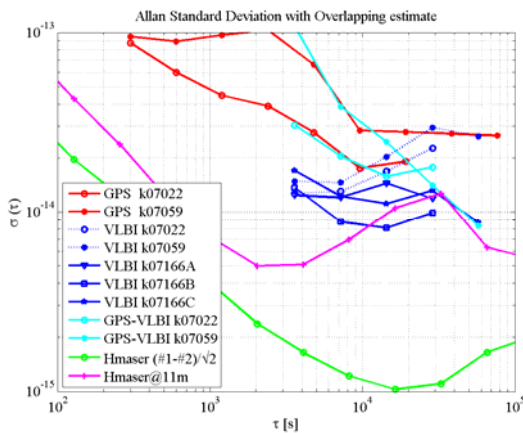


図 3. VLBI 時刻比較, GPS 時刻比較, GPS 時刻比較と VLBI 時刻比較の差, 周波数標準のアラン分散

鹿島 34m - 小金井 11m 基線

鹿島 34m と小金井 11m の基線である k07166 実験の結果では, 鹿島 11m と小金井 11m の基線で見られる顕著な影響は見られなくなった. 実験期間が同じではないが, 過去の GPS 時刻比較との比較では, VLBI 時刻比較の安定度の方が明らかに良い. 3600 秒以上 60000 秒以下の時間では, VLBI 時刻比較の方が安定であると言える.

図 4 に, 不等間隔“遅延残差 + クロックオフセット”時系列を, 60 秒毎に補間して計算したアラン分散を示す (Takiguchi et al., 2007). GPS 時刻比較の結果と比較すると, 1000 秒以上 2000 秒以下の時間で, 安定度の良さが逆転する結果となった. 総合的に, 2000 秒以上 60000 秒

以下の時間では, VLBI 時刻比較の方が GPS 時刻比較よりも安定であると言える.

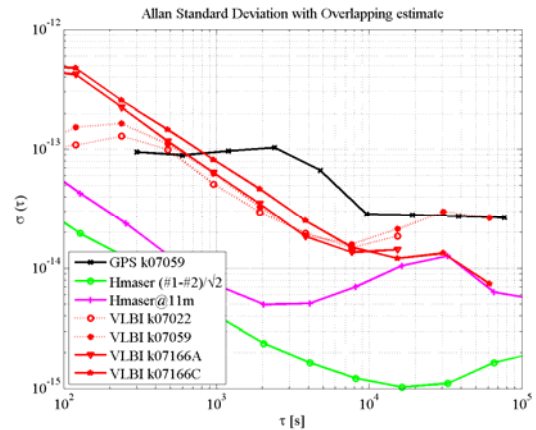


図 4. 60 秒間隔で補間した“遅延残差 + クロックオフセット”時系列から計算したアラン分散

4. まとめ

時刻比較を目的とした測地 VLBI 実験を 4 回実施し, GPS 時刻比較 (Carrier Phase 法) と結果を比較した. 測地 VLBI 解析によってクロックオフセットを 1 時間毎に推定した場合の推定誤差は, K5/VSSP32 システムの実験の場合平均で 26ps であった. 時刻比較用受信機を使用した場合, VLBI, GPS 両者の時刻比較結果は調和的で, ± 500 ps 内で一致する事を示した. アラン分散による安定度の評価では, 2000 秒以上 60000 秒以下の時間では, VLBI 時刻比較の方が GPS 時刻比較よりも安定である事が解った.

10 月には, 鹿島 34m - 鹿島 11m - 小金井 11m の三基線での時刻比較実験を予定している. 講演では, その結果についても報告する予定である.

参考文献

- 小山・他, 測地 VLBI 技術による高精度時刻比較, 日本地球惑星科学連合大会要旨, D106-002, 2007.
- Takiguchi, H., et al., Comparison with GPS Time Transfer and VLBI Time Transfer, IVS NICT-TDC News, 28, pp.10-15, 2007.

表 1. 測地 VLBI 実験の詳細

実験コード	期間 (UT)	基線	観測モード	観測システム
k07011	1/11 9:00 12 15:00	鹿島 11m-小金井 11m	4Mbps/ch, 1bit, 16ch, 64Mbps	K5/VSSP
k07022	1/22 10:00 23 16:00	鹿島 11m-小金井 11m	4Mbps/ch, 1bit, 16ch, 64Mbps	K5/VSSP
k07059	2/28 15:00 3/3 15:00	鹿島 11m-小金井 11m	4Mbps/ch, 1bit, 16ch, 64Mbps	K5/VSSP
k07166	6/15 2:00 23 3:00	鹿島 34m-小金井 11m	16Mbps/ch, 1bit, 16ch, 256Mbps	K5/VSSP32