

GNSS/PPP 時間・周波数比較における解析戦略の検討

Evaluation of Processing Strategy for Time and Frequency Transfer using GNSS Precise Point Positioning Technique

#市川隆一¹、ホビガートーマス^{1,4}、後藤忠広¹、瀧口博士¹、雨谷純²、宮内結花³、成田秀樹¹、今村國康¹、関戸衛³

1: 情報通信研究機構; 2: 情報通信研究機構沖縄電磁波技術センター;

3: 情報通信研究機構鹿島宇宙技術センター

4: チャルマース工科大学

ICHIKAWA Ryuichi¹, HOBIGER Thomas¹, GOTOH Tadahiro¹, TAKIGUCHI Hiroshi¹,
AMAGAI Jun², MIYAUCHI Yuka³,

NARITA Hideaki¹, IMAMURA Kuniyasu¹,

1: NICT; 2: Okinawa Electromagnetic Technology Center, NICT;

3: Kashima Space Technology Center, NICT

4: Chalmers University of Technology

1. はじめに

GNSS技術を用いた時間・周波数比較は高精度比較手法の一つとして実用段階にある。特に、測地分野で実績のある高精度単独測位解析 (PPP; precise point positioning) を用いた時間・周波数比較は、GNSS時間・周波数比較技術の中で最も高安定・高精度が期待できる手法であり[1]、国際度量衡委員会(BIPM)での国際原子時(TAI)の比較においても、衛星双方向方式と並んで主流となりつつある。将来的には、PPP法による時間・周波数比較が定常運用されることが想定されるが、それを見越して最適な解析戦略を確立させることは重要である。前回の測地学会においては、特に中性大気遅延の推定法の違いによる時間・周波数比較結果を評価したが、今回は、使用する軌道情報や海洋潮汐モデルの違いによる解析結果の違いについても調べた。

2. GPS時間・周波数比較

昨年の報告でも述べたが、GNSS時間・周波数比較とは、図1に示すように、GNSS衛星を介して距離を隔てた2地点間の時計を比較する手法を言う。PPP解析では、受信機時刻オフセット、観測局位置、及び大気遅延を未知パラメータとして同時推定するが、この処理において時間・周波数比較と測地解析で本質的な違いはなく、得られる推定値の内、時間・周波数比較では受信機時刻オフセットを評価に用いるだけの違いである。

3. データと解析

本研究で使用したGNSS観測点の配置を図2に示す。これらは、いずれも情報通信研究機

構(NICT)の

拠点であり、沖縄電磁波技術センター、鹿島宇宙技術センター、及び2箇所の標準電波送信所の概念図

観測点が設置されている。いずれの観測点も、2周波対応の測地用GNSS受信機が設置されている。これらには、水素メーザ、あるいはCs原子時計から供給される高安定標準信号が入力され、受信機内部のクロックはこれに同期している。観測点の内、小金井設置のKGN2、及びSEPBIは、NICT時空標準研究室がNICT小金井本部で生成する協定世界時(UTC(NICT))に直接同期する。また、小金井のGS観測点KGNIIは、UTC(NICT)を生成する場所から200m離れた位置にあるが、両者の間にはNICTで開発した位相補償周波数信号伝送装置[2]により光ファイバーで結ばれ、共通の標準信号を原振とする。おたかどや山のSEPF、及びはがね山のSEPQと小金井との間では、GPS、及び衛星双方向方式により常時時刻比

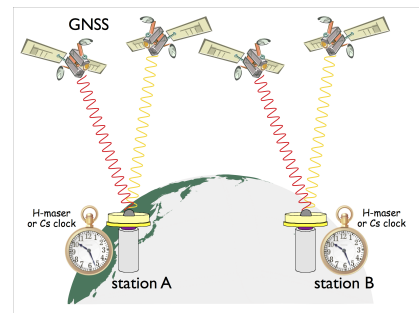


図2 GNSS/PPP 時間・周波数比較の概念図

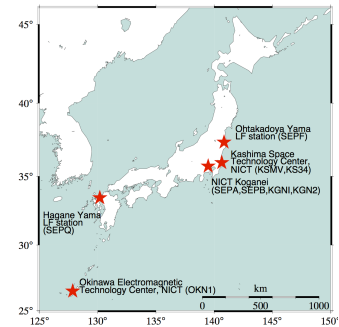


図1 本研究での観測点配置

構(NICT)の拠点であり、沖縄電磁波技術センター、鹿島宇宙技術センター、及び2箇所の標準電波送信所の概念図

観測点が設置されている。いずれの観測点も、2周波対応の測地用GNSS受信機が設置されている。これらには、水素メーザ、あるいはCs原子時計から供給される高安定標準信号が入力され、受信機内部のクロックはこれに同期している。観測点の内、小金井設置のKGN2、及びSEPBIは、NICT時空標準研究室がNICT小金井本部で生成する協定世界時(UTC(NICT))に直接同期する。また、小金井のGS観測点KGNIIは、UTC(NICT)を生成する場所から200m離れた位置にあるが、両者の間にはNICTで開発した位相補償周波数信号伝送装置[2]により光ファイバーで結ばれ、共通の標準信号を原振とする。おたかどや山のSEPF、及びはがね山のSEPQと小金井との間では、GPS、及び衛星双方向方式により常時時刻比

較がなされ、安定した標準電波の放送を確保している。

本研究では、これらの観測点から得られたGNSSデータとIGSが提供する軌道情報を用いて通常のGNSS/PPP測位解析を行い、未知パラメータとして3次元局位置、大気遅延、受信機クロックを同時推定した。解析には、NICT、一橋大学、及び宇宙航空研究開発機構(JAXA)が共同で開発した統合測地解析ソフトウェア“c5++[3]”を用いた。今回は、解析条件として、

- (1) 軌道情報
- (2) 海洋潮汐モデル
- (3) 大気遅延除去モデル

の3通りを様々に変えてみて結果を比較した。まず、軌道情報については、IGSが提供する、超高速暦(IGU)、速報暦(IGR)、最終暦(IGS)の3種類、海洋潮汐モデルについては、IERS Conventions 2010で推奨されるFES2004[4]、比較的最近のモデルであるOSU12[5]、定評のあるNAO99[6]の3種類で比較した。なお、暦の違いの比較では、各軌道情報に対応する衛星時計データを解析に用いている。また、大気遅延除去の条件としては、(1)数値気象予報データに基づく波線追跡ツール“KARAT”[7]、(2)GMF2マッピング関数[8]、(3)GMF2マッピング関数と大気勾配推定マッピング関数、及び(4)VMF1マッピング関数[9]と大気勾配推定マッピング関数、の4通りで比較した。なお本研究では、2013年8月～10月に取得されたデータを用いたが、複数回の欠測があるため、連続でデータ取得できた二週間、ないし20日間のデータを使用した。

4. 解析結果

一例として、小金井SEPB局と鹿島KS34局との間で、軌道情報を変えて解析した結果を図3に示す。これらは、2地点間の受信機クロック推定値差分の時系列データから計算した周波数安定度を修正アラン分散で表現している。横軸には受信機クロックの推定値の平均化時間を、縦軸にはその平均化時間での安定度を示す。これから、一見して2つの特徴がわかる。一つはIGR暦を用いた場合の結果がIGS暦による結果と遜色なく、ほぼ同程度の安定度を示すこと、二つ目は、IGU暦による結果がIGR暦、

及びIGS暦による結果に比べてほぼ1桁程度劣ることである。これらの結果は、IGSが公式に示す各軌道情報の精度、特に衛星時計データの精度と調和的である。一方、図には示さないが、大気遅延補正手法や海洋潮汐モデルの違いはそれほど顕著には見られない。

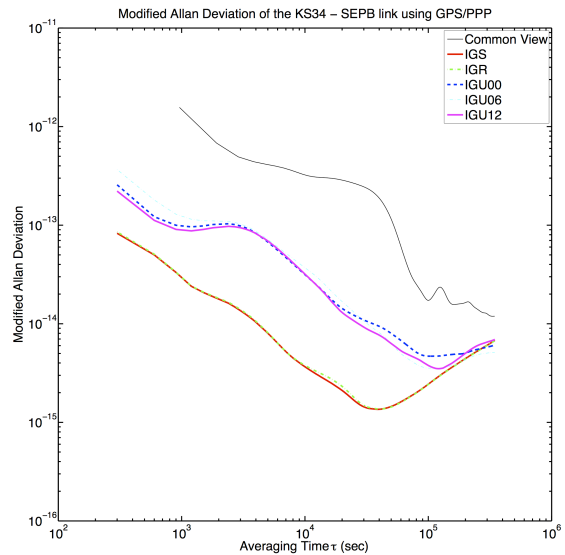


図3 軌道情報の違いによる周波数安定度の比較

5. まとめ

GNSS時間・周波数比較における最適な解析戦略の確立を目的として、NICTが運用する各地の観測局のデータを用いた解析を行った。予備的な解析では、軌道情報による顕著な差が見られる一方で、大気遅延除去モデルや海洋潮汐モデルによる違いは極めて小さい。

6. 参考文献

- [1] Lahaye et al, GNSS geodetic techniques for time and frequency transfer applications, 2011.
- [2] Fujieda et al, Coherent Microwave Transfer Over a 204-km Telecom Fiber Link by a Cascaded System, 2010.
- [3] Hobiger et al, c5++ - Multi-technique Analysis Software for Next Generation Geodetic Instruments, 2010.
- [4] Hobiger et al, Fast and accurate ray-tracing algorithms for real-time space geodetic applications using numerical weather models, 2008.
- [5] Matsumoto, K, Takanezawa, T, and Ooe, M, Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model Around Japan, 2000.
- [6] Letellier, T, Etude des ondes de marée sur les plateaux continentaux. Thèse doctorale, Université de Toulouse III, Ecole Doctorale des Sciences de l'Univers, de l'Environnement et de l'Espace, 237pp, 2004.
- [7] Fok, HS, CK, Shum, Y, Yi, HB, Iz, K, Matsumoto, Improved coastal ocean tide modeling using satellite altimetry, 20 years of Progress in Radar Altimetry, 2012.
- [8] Boehm et al, Global Mapping Function (GMF): A new empirical mapping function based on numerical weather model data, 2006.
- [9] Boehm and Schuh, Vienna Mapping Functions in VLBI analyses, 2004.