

# GEONET/PPP 解析における KARAT による大気伝搬遅延除去効果 An Evaluation of Ray-traced Troposphere Delay Correction for PPP Processing of GSI/GEONET data

情報通信研究機構  
NICT

市川 隆一、トーマス ホビガー、後藤 忠広、小山 泰弘、近藤 哲朗  
ICHIKAWA Ryuichi, Hobiger Thomas, GOTOH Tadahiro, KOYAMA  
Yasuhiro, and KONDO Tetsuro

## 1. はじめに

我々は、これまでに VLBI や GNSS 技術で重大な誤差要因となる大気遅延を数値天気予報データを用いて推定、および除去するツール KARAT (KAshima RAYtracing Tools) の開発を進めてきた [Hobiger ら, 2008a, 2008b]。KARAT は、気温、気圧、水蒸気分圧といった各気象要素の変動に応じて、現実の大気に即した遅延量計算ができることに最大の利点がある。Hobiger ら [2008a] によれば、東アジア周辺域の IGS 観測点 16 カ所の 4 ヶ月間のデータを用い、KARAT と GMF マッピング関数 [Boehm ら, 2006] のそれぞれによる大気遅延除去を行って測位解の短期再現性を比較したところ、特に鉛直成分について KARAT が GMF に対して 10% 程度向上、ないしは遜色ない結果が得られた。そこで、今回は従来のマッピング関数と KARAT との比較をより詳細に評価するために、マッピング関数と KARAT との比較、及び国土地理院の GEONET データ全観測点の解析を行った。

## 2. 最近のマッピング関数

Niell による NMF [Niell, 1996] が発表されて以降、実際の GNSS や VLBI のデータ解析に使用されるマッピング関数としては、IMF (Isobaric Mapping Function, Niell ら [2001])、VMF (Vienna Mapping Function, Boehn and Schuh [2004])、及び先に触れた GMF などがある。これらのうち特に IMF 以降は、数値天気予報データを用いて大気構造の時間変化に応じて係数を決め、より精度の高い天頂遅延量推定を目指したものである。特に VMF は 6 時間ごとの ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) データに基づいて逐次計算され、IVS と IGS の全観測局での計算結果は WEB でも公開されている。一方、GMF はいわば VMF の簡易版とも言うべきモデルであり、ECMWF データで得られた平均的な大気構造に基づいて関数の係数を決定する。その分精度は多少低下するが、比較的簡便に数値予報デ

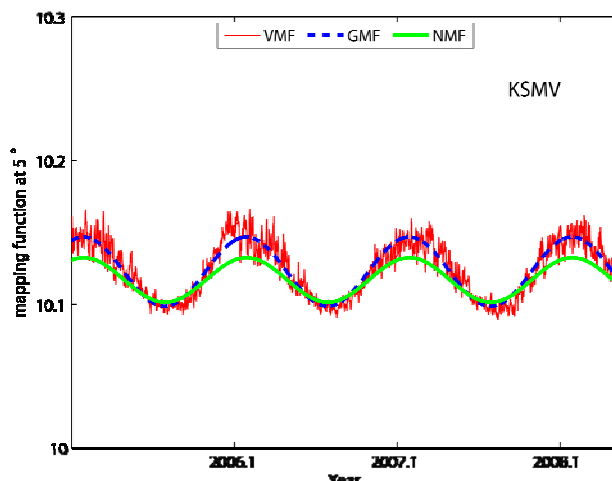


図1 IGS観測点KSMV(NICT鹿島宇宙技術センター)における各マッピング関数の時間変化(2005年1月~2008年6月)。細い実線がVMF、破線がGMF、太実線がNMFをそれぞれ示す。これらは仰角5度での値である。

ータ利用の利点を生かした補正が可能である。これらのマッピング関数の特徴を示す例として、IGS 観測点 KSMV (NICT 鹿島宇宙技術センター) における仰角 5 度での 2005 年から 2008 年 6 月までの各関数の値の時系列を図 1 に表した。図中で、太実線で示した NMF は、緯度依存性と季節変化のみを考慮すれば良く、観測点近傍の気象データなしで使用できるため、発表から 10 年以上経過した現在でも多くの GPS・VLBI 解析ソフトウェアで使用されている。細実線は 6 時間毎の ECMWF データより計算で求めた VMF の時系列を示し、より短周期の変動が表現されている。破線の GMF は、いわば VMF にローパスフィルタをかけて長周期成分のみを取り出しているため、これを反映して大局的には VMF と一致する。これまでの評価では、NMF と VMF・GMF との間に、この図で冬季に示されるように 0.015 にも及ぶ系統差が生じることがわかっている。この差は、測位解の鉛直成分に換算すると 15mm に達し、無視できない大きさである。

## 3. 解析と結果

KARAT の補正効果がどの程度になるか評価するために、国土地理院 GPS 観測網 GEONET 全点のデータを用いて実際に PPP 解析を行った。解析では、Takasu and Kasai による GPS 解析ソ

ソフトウェア“GPSTools[Takasu and Kasai, 2005]”を用い、(1)KARAT により推定した大気遅延を除去した RINEX データによる PPP 解析、(2)GMF と勾配マッピング関数を用いた解析、及び(3)GMF のみ、の 3 通りの計算を行い、各々の測位解の短期再現性を調べてみた。

全観測点の測位解の個々の成分について、短期再現性の頻度分布を示したのが図2である。この図から、KARAT による鉛直成分の再現性は  $3.4 \pm 4.1\text{mm}$  と求められ、(3)の  $4.4 \pm 4.9\text{mm}$  よりは顕著に向上するものの、GMF と勾配マッピング関数を用いた場合には  $2.7 \pm 3.5\text{mm}$  であり、KARAT による結果に勝る。

Hobiger ら[2008a]による 4 ヶ月にわたる東アジア域の IGS 観測点データを用いた解析結果によれば、KARAT 適用での測位解再現性が GMF+勾配マッピング関数によるものと遜色ないか、10-12%程度良くなることが示され、KARAT の優位性を結論付けている。一方、我々が解析に選んだ期間中、九州から四国にかけての西日本では、梅雨前線と台風4号の影響で集中豪雨に見舞われ、場所によっては 1 日で 500-1100mm にも及ぶ降水量を観測した。MANAL データの時間分解能は 3 時間にすぎないが、集中豪雨をもたらす積乱雲の発達から消長までは 1 時間程度以下であるため、KARAT による補正効果が充分ではなかったことが考えられる。これに対し、測位解の水平成分についてみると、勾配マッピング関数を使わなかった場合の結果に比べ、KARAT の結果の優位性がわずかながら確認できた。今後、より確かな評価のため、より長期間にわたる同様の比較を行う必要がある。

## 謝辞

今回の解析では、国土地理院の匿名サーバから提供される GEONET 全観測点のデータを用いた。ここに記して感謝の意を表する。

## 参考文献

- (1) Hobiger, T., Ichikawa R., Takasu T., Koyama Y., and Kondo T., Ray-traced troposphere slant delays for precise point positioning, *Earth Planets Space*, 60, e1-e4, 2008a.
- (2) Hobiger, T., R. Ichikawa, Y. Koyama and T. Kondo, Fast and accurate ray-tracing algorithms for real-time space geodetic applications using numerical weather models, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2008JD010503, 2008b.
- (3) Boehm, J., A. Niell, P. Tregoning, and H. Schuh, Global Mapping Function (GMF): A new empirical mapping function based on numerical weather model data, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L07304, 2006.
- (4) Niell, A. E., Global mapping functions for the

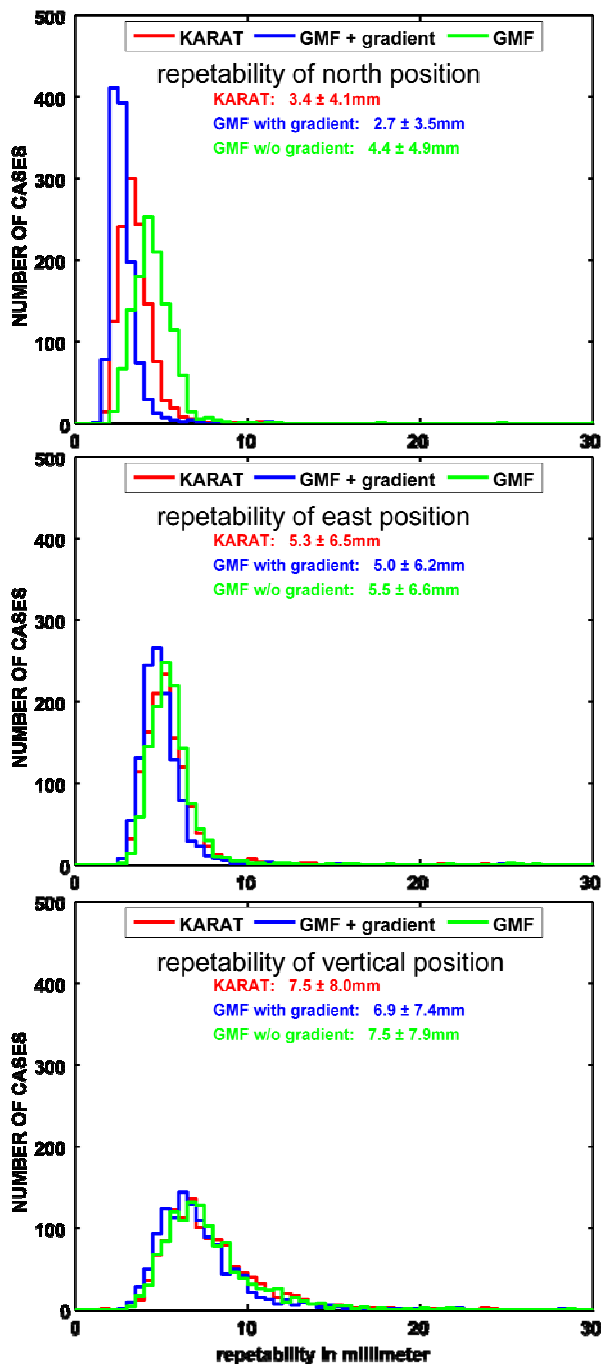


図2 2007年7月9~23日のGEONETデータから得られた測位解の短期再現性を示したヒストグラム。上から南北、東西、鉛直の各成分を示す。

- atmosphere delay at radio wavelengths. *J. Geophys. Res.*, 101, 3227-3246, 1996
- (5) Niell, A. E., A. J. Coster, F. S. Solheim, V. B. Mendes, P. C. Toor, R. B. Langley, and C. A. Upham, Comparison of measurements of atmospheric wet delay by radionsonde, water vapor radiometer, GPS, and VLBI, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 18, 830-850, 2001.
- (6) Boehm, J. and H. Schuh, Vienna Mapping Functions in VLBI analyses, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L01603, doi:10.1029/2003GL018984, 2004.
- (7) Takasu, T. and S. Kasai, Evaluation of GPS Precise Point Positioning (PPP) Accuracy, IEIC Technical Report, 105(208), 40-45, 2005.