

GPS/PPP 解析における視線大気遅延量精密推定による補正効果 Impact of Atmospheric Delay Reduction using precise ray-traced slant delay estimation on GPS/PPP Analysis

(¹)市川 隆一、(¹)トーマス ホビガー、(¹)小山 泰弘、(¹)(²)近藤 哲朗
(1)情報通信研究機構、(2)亞州大学

(¹)ICHIKAWA Ryuichi, (¹)Thomas HOBIGER, (¹)KOYAMA Yasuhiro, and (¹)(²)KONDO Tetsuro
(1) National Institute of Information and Communications Technology (NICT), Japan
(2) Department of Space Survey and Information Technology, Ajou University, Suwon, Republic of Korea

1. はじめに

我々は、GPS や VLBI などの宇宙測地計測技術の精度向上を目指して、数値気象予報データを用いて波線追跡法により視線遅延量を計算するツール“KARAT(KAshima RAYtracing Tools)”の開発を進めてきた。予備的な解析では、現行の3時間毎に出力される気象庁 10km メソスケール客観解析データ(MANAL データ)を用いることにより、最新のマッピング関数である VMF1(Vienna Mapping Function)に勾配推定を組み合わせた大気遅延除去法とほぼ同程度の補正効果が確認できている。

これまでの比較では、KARAT の視線遅延計算機能のうち、推定精度と計算速度のバランスが最も良い Thayer によるモデルに基づく推定法を用いてきた。一方、KARAT には、例えば前線や台風の通過によって生じるような顕著な大気の大気水平変動をより正確に取り込むことが可能な Eikonal 方程式を用いた視線遅延計算機能も組み込み済みである。

この機能は、特に、将来高時空分解能の数値気象予報データが使用可能となった場合に威力を発揮すると考えられるが、Thayer モデルを使用した場合に比べて 40 倍近くの計算時間を要するため、まだ十分な評価がなされていない。現行の MANAL データを用い、Eikonal 方程式による遅延量推定の補正効果を見極めることは、今後の KARAT の開発方針を決定する上で重要である。そこで今回は、GEONET 観測点のデータに Eikonal 方程式による遅延量除去を施し、これの PPP 解析結果を従来のマッピング関数を使用した場合の解析結果と比較した。

2. 精密視線遅延量推定

そもそも KARAT は図 1 に示すように、伝搬経路を(1)直線近似、(2)Thayer[1967]による指数関数近似モデル、(3)Eikonal 方程式、の3通りの方法で計算し、遅延量を求めることが出来る。後の方法ほど遅延量の推定精度が高くなる一方、計算時間はこの順番で増大し、(2)は(1)の約 2 倍、

(3)は(1)の約 40 倍の計算時間を要する。Eikonal 方程式を用いた推定では、先の 2 つの方法では再現できない小スケールの大気の大気空間変動も取り込めるため、従来の勾配マッピング関数を凌ぐ補正効果が期待できる。そこで、国土地理院 GEONET から図 2 に示す 66 観測点を選び、2008 年 1 年分のデータについて Eikonal 方程式を用いた遅延量除去を施し、PPP 解析による測位結果の再現性でその効果を評価した。この解析には Takasu and Kasai による GPStools Ver.0.64 を用いた。

3. 解析結果

図 3 に、今回解析した GEONET 66 観測点すべての 2008 年 1 年間にわたる測位結果の再現性を示した。比較のために、Global Mapping Function(GMF)、及び VMF1 を用いて大気推定を行った場合の結果を併せて示した。これらについては、勾配推定の有無についても比較した。さらに、Thayer モデルを用いた場合の KARAT の結果も示した。

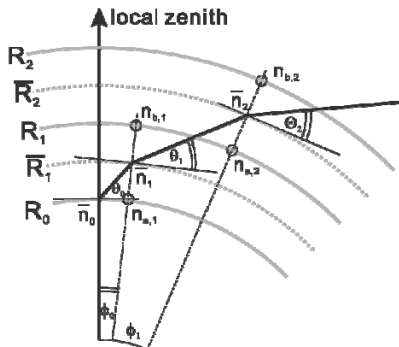
図に示されるように、GMF、及び VMF1 による解析結果に比べて、勾配推定の有無に関わらず、特に東西成分と鉛直成分について KARAT による測位結果の方が再現性で優れていることがわかる。ただ、KARAT による解析では、Thayer モデルと Eikonal 方程式との差はほとんど見られない。ここで示したのは、1 年分の解析結果を平均化した結果であるため、大気の大気微細な水平変動が測位結果に与える影響が見えにくくなっている可能性がある。また、今回の解析では、Elevation Cut Off を 10 度としたため、低仰角域での水平変動のより顕著な影響を受けにくい結果となったことも示唆される。

これまでの評価で GPS/PPP 解析における KARAT の有効性はほぼ確認できたと考えられ、今回の報告で一つの区切りとしたい。今後は、Hobiger らによる InSAR データへの応用について示す本講演会の別講演にもあるように、GPS 以外への応用を進めるほか、数値気象予報データの時空分解能の向上や全球データへの適用、またグ

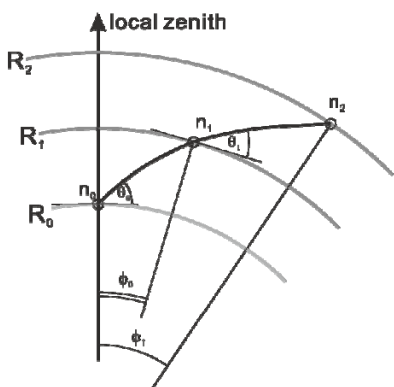
ラフィックプロセッサ(GPU)を用いた計算の高速化などの開発を継続していく予定である。

謝辞

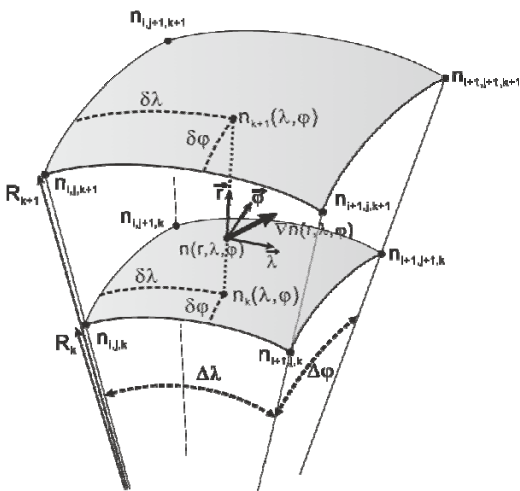
今回の解析では、国土地理院の匿名サーバから提供される GEONET 全観測点のデータを用いた。ここに記して感謝の意を表す。



(1) piece-wise linear approach



(2) Thayer approach



(3) Eikonal solution

図 1 KARAT に組み込まれた波線追跡計算スキームの概念図。上から(1)直線近似、(2)Thayer モデル、及び(3)Eikonal 方程式。

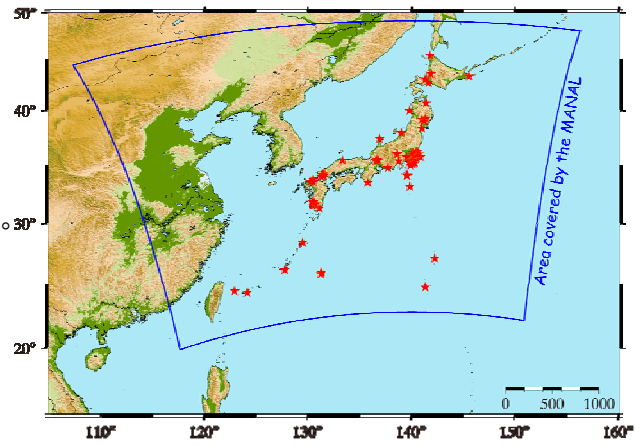


図 2 KARAT の計算可能な領域と、本研究で解析を行った GEONET 観測点の配置。

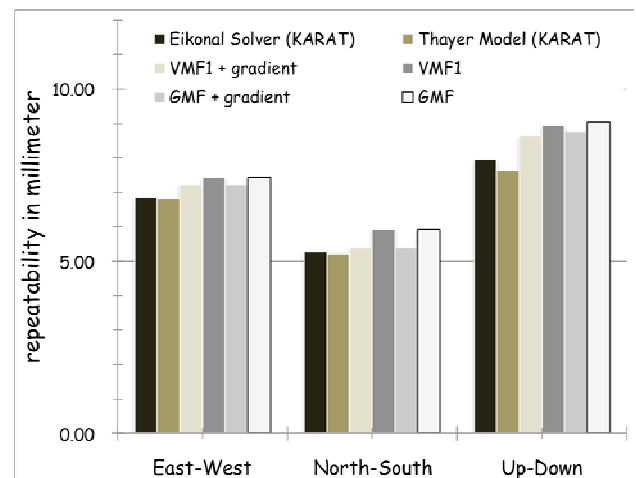


図 3 GEONET から選んだ 66 観測点の 2008 年 1 年分の測位解析結果の再現性(単位:mm)。

参考文献

- (1) Boehm, J. and H. Schuh, Vienna Mapping Functions in VLBI analyses, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L01603, doi:10.1029/2003GL018984, 2004.
- (2) 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.
- (3) 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.
- (4) 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.
- (5) ホビガー他, InSAR における高精度大気伝搬遅延補正の重要性について、本講演会発表。
- (6) Takasu, T. and S. Kasai, Evaluation of GPS Precise Point Positioning (PPP) Accuracy, *IEIC Technical Report*, 105(208), 40-45, 2005.
- (7) Thayer, G. D., A rapid and accurate ray tracing algorithm for a horizontally stratified atmosphere, *Radio Sci.*, 1(2), 249-252, 1967.