

複数 GNSS 対応高精度軌道時刻推定ツール MADOCA の開発 Development of multi-GNSS precise orbit and clock determination tool MADOCA

高須 知二^{1*}, 安田 明生¹, 小暮 聡², 中村 信一², 三吉 基之², 河手 香織², 曾我 広志³, 平原 康孝³

Tomoji Takasu^{1*}, Akio Yasuda¹, Satoshi Kogure², Shinichi Nakamura², Motoyuki Miyoshi², Kaori Kawate², Hiroshi Soga³, Yasutaka Hirahara³

¹ 東京海洋大学, ² 宇宙航空研究開発機構, ³ 日本電気

¹Tokyo University of Marine Science and Technology, ²Japan Aerospace Exploration Agency, ³NEC Corporation

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) は準天頂衛星 (QZSS) の LEX (Lバンド実験) 信号チャンネルを使った測位補強情報による、単独搬送波位相測位 (PPP) 実験の計画を進めている。この PPP 測位補強の目標精度は 10 cm RMS 以下であり、サービスエリアは QZSS の放送信号が受信できる太平洋上を含んだアジア・オセアニア地域全域である。測位補強対象の衛星系は GPS、GLONASS、QZSS および Galileo である。

PPP は地上の基準点に依存せずに広範囲のユーザに高精度測位サービスを提供することが可能なため、精密農業、津波ブイ、地殻変動監視、GNSS 気象学等をはじめとする多数の理学・工学応用が期待されている。PPP 用の測位補強情報の生成には広域の地上基準局の観測データを使った高精度な衛星軌道・時刻決定が必須である。本プロジェクトでは、そのために複数 GNSS 対応のリアルタイム GNSS 基準局網 (MGM-net) を整備すると共に、高精度軌道・時刻推定用ソフトウェアをスクラッチから開発するものとした。ここで開発したソフトウェアを MADOCA (Multi-GNSS advanced demonstration tool for orbit and clock Analysis) と呼んでいる。

MADOCA の開発は二段階で実施され、平成 23 年度には GPS、GLONASS および QZSS 用オフライン解析機能の実装と評価、平成 24 年度にはリアルタイム解析機能の実装およびオフライン解析機能の Galileo 対応拡張が行われた。MGM-net、MADOCA および QZSS LEX を使用した PPP 実験自体は平成 25 年度から実施される予定である。

MADOCA の開発にあたっては、新規開発した衛星太陽輻射圧モデルや衛星姿勢モデルを含んだ精密軌道力学モデル、IERS Conventions 2010 や電離層高次項補正等を取り入れた最新の測地学・大気モデル、整数値バイアス決定や受信機バイアス推定等の複数 GNSS 対応の GNSS 衛星精密軌道・時刻決定技術が導入されている。パラメータ推定手法としては、オフライン推定では逐次最小二乗法、リアルタイム推定では拡張カルマンフィルタ (EKF) が使用される。最大 90 機に及ぶ GNSS 衛星の軌道・時刻決定時間の短縮と数値計算安定化も大きな技術課題であり、そのための行列演算アルゴリズムの最適化を行った。軌道力学モデル、測地学・大気モデル等の大部分のモデルはモジュール化・標準ライブラリ化され、容易に拡張・交換可能とすると共に、オフライン推定およびリアルタイム推定の両方で共用される。データ形式としては標準的な GNSS データ規格である、RINEX 2、SINEX、IONEX、ANTEX 等を取り扱うと共に、最新規格である RINEX 3、RTCM SSR (state space representation)、RTCM MSM (multi-signal message) (一部ドラフト) 等もサポートされる。

軌道・時刻推定結果は、GPS および GLONASS に関しては IGS 最終暦との比較、QZSS および Galileo に関してはオーバラップ、SLR 残差、ESA 暦および DLR 暦との比較によりその精度が評価された。パラメータチューニングやモデル改良により、オフライン軌道・時刻に関しては、概ね IGS 解析センター最終暦と同程度の性能 (GPS 3 cm 以下、GLONASS 5 cm 以下、3DRMS) を達成している。リアルタイム軌道・時刻に関しては現在精度評価中である。

本報告では以上 MADOCA の以上の技術概要を紹介すると共に、現時点での MADOCA の性能評価結果、今後の拡張計画について述べる。

キーワード: GNSS, QZSS, 精密単独測位, LEX, 軌道決定

Keywords: GNSS, QZSS, PPP, LEX, orbit determination