

準天頂衛星による高精度測位補正に関する技術開発（第5年次）

実施期間 平成15年度～平成19年度
地理地殻活動研究センター
宇宙測地研究室 黒石 裕樹 畑中 雄樹
宗包 浩志 矢来 博司

1. はじめに

準天頂衛星システム（QZSS：Quasi-Zenith Satellite System）は、静止軌道を約45度傾けた軌道に、3機の衛星を120度ずつずらして配置することにより、常に1つの衛星が日本の天頂付近に可視となる衛星測位システムであり、平成21年度の第1号機打ち上げを目指して開発・研究が進められている。高仰角衛星のため建物等による遮蔽が少なく、測位可能率を改善するものとして期待されている。QZSSの研究開発は関係省庁と民間の協力によって進められることになっており、国土交通省では、QZSSを利用する高精度測位システムに関する技術開発のうち、地上系システムとの組み合わせによるセンチメートル級の高精度測位サービスの実現および搬送波を利用した高精度測位技術の移動体への適応を実現するための研究開発を行っている。

2. 研究概要

国土地理院は、国土政策技術総合研究所と協力して、国土交通省「総合技術開発プロジェクト」における課題として、QZSSの測位・測量への応用研究開発を行う。当課題の研究開発は、以下の3つに大きく分けられている。

- 1) QZSS（および次世代衛星測位システム）の精密測量への応用研究（国土地理院担当）
- 2) 次世代電子基準点に関する研究開発（国土地理院担当）
- 3) 移動体への高精度測位技術の適用（国土政策総合研究所担当）

3. 平成19年度実施内容

3.1 「次世代測位衛星等を用いた測量作業規程（案）」策定作業

本年度は、次世代測位衛星等を用いた測量の例として、準天頂衛星とGPSを併用して観測した場合のスタティック法による基準点測量に関し、数値模擬実験による測量精度予測を通じて測量作業規程（案）の策定作業を行う。そのため、H18年度に策定した「次世代測位衛星等を用いた測量作業規程（案）検討のためのシミュレーション作業指針」に基づき、衛星測位シミュレータを用いた数値模擬実験を行い、その結果について、準天頂衛星の補完効果の観点からとりまとめるとともに、PDOP、基線解残差の標準偏差、最低高度角等の指標について、観測の運用基準としての設定が可能かどうか検討を行い、観測の運用基準（案）を「次世代測位衛星等を用いた測量作業規程（案）」としてとりまとめる。

3.2 準天頂衛星による高精度測位補正情報の生成・配信に関する技術開発（その3）

一周波GPS受信機を用いて放送方式のネットワーク型RTK-GPS測量を実施するために必要となる補

正情報の生成・配信方法について、平成 17 年度に行った基礎技術の設計（アルゴリズム開発、プロトタイプソフトウェア開発）、平成 18 年度に行った補正情報生成・配信装置および受信・測位装置のプロトタイプの開発に引き続き、前年度に開発した補正情報生成・配信装置および受信・測位装置のプロトタイプを改良し、実用ソフトウェア及び装置として完成させ、それが要求性能を満たすことを実証するための測位実験を行う。

4. 得られた成果

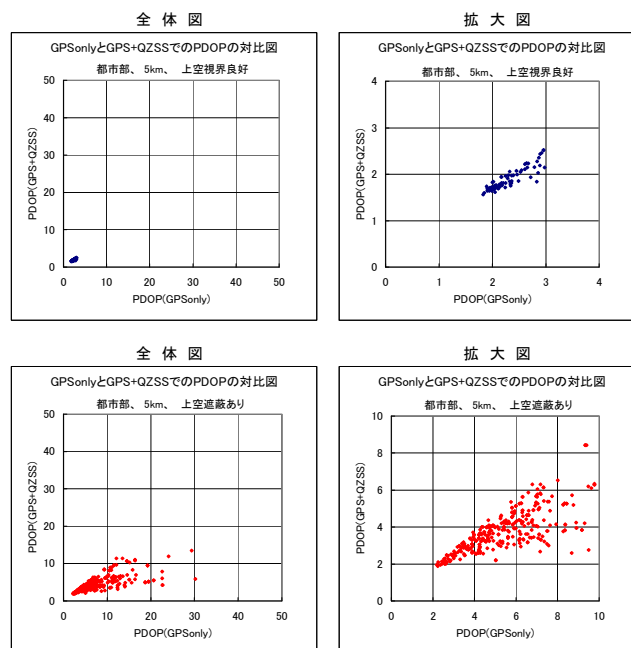
4. 1 「次世代測位衛星等を用いた測量作業規程（案）」策定作業

数値模擬実験により、準天頂衛星の GPS 補完効果についての評価を行った。

最初に、観測の幾何学条件について検討した。その評価基準としては、PDOP 値を用いた。都市部の高層ビルによる遮蔽効果がみられる場所において、GPS のみの場合と準天頂衛星が加わった場合との PDOP 値を比較した結果を図－1 に示す。上空視界がよい地点（上段）では、準天頂衛星が加わっても PDOP 値はそれほど改善が見られないが、上空視界が悪い地点（下段）では、PDOP 値の改善が顕著である。従って、幾何学条件についての準天頂衛星の補完効果は、上空視界が悪い条件の際に顕著に現れるといえる。

次に、静的干渉測位方式による測位精度について予測を行った。ここでは、作業規程に定められた許容範囲〔水平（N, E）成分 20mm, 上下（U）成分 30mm〕に入る観測総数を異常値除去後の観測数で割ったものを「有効観測率」とし、これを評価に用いた。都市部のビル遮蔽環境下での比較結果を図－2 に示す。全ての設定条件において、準天頂衛星を併用した場合（図中の青色の棒グラフ）に有効観測率が高くなっており、準天頂衛星による補完効果が明瞭である。なお、電離層や大気の状態が静穏な時や、上空視界がよい地点では、有効観測率の改善はあまり顕著ではなかった。大気擾乱、電離層擾乱や上空視界が悪いなど、観測条件が悪い場合には、準天頂衛星の補完効果により有効観測率が大きく改善されるという予測結果が得られた。

GPSOnlyとGPS+QZSSでのPDOPの対比図
都市部



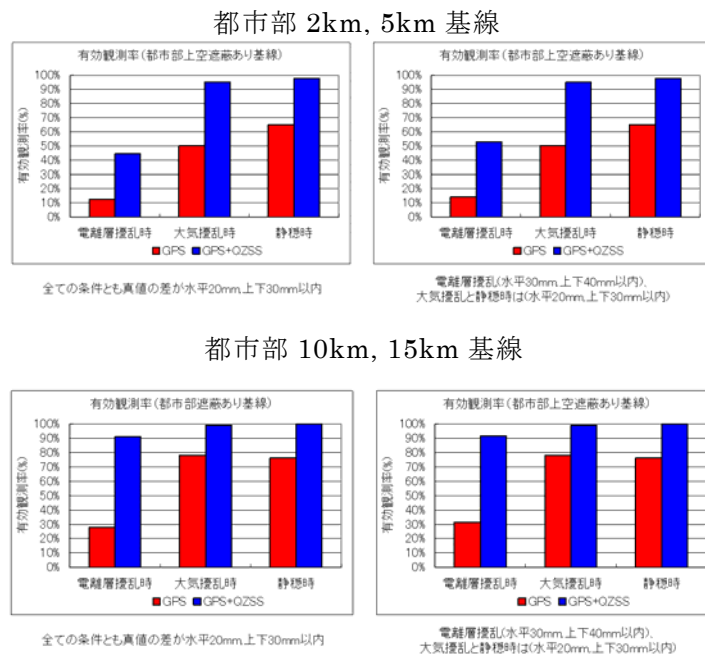
図－1 GPS のみの場合と準天頂衛星が加わった場合との PDOP の比較. 上空視界が悪い条件(下段)では、準天頂衛星が加わることによる PDOP 値の改善が顕著である。

つづいて、PDOP、基線解残差の標準偏差、衛星高度角について、観測の運用基準としての設定が可能かどうか検討した。ここで言う観測の運用基準とは、観測時にその条件を満たすことで高い有効観測率（80%以上）が確保されるものとした。

まず、PDOP 値について検討したところ、測位解の真値との差との間にはほとんど相関が見られず、これを観測の運用基準として設定することは困難であることが分かった。

次に、基線解残差の標準偏差と測位精度との関係について調査したところ、両者にあまり強い相関がなく、これを観測の運用基準として設定することも困難であることが分かった。

最後に、衛星高度角の確保要件について検討した。解析において、遮蔽高度角の最大値を 30° から 50° まで 5° ずつ変化させた条件において、有効観測率、真値との差と遮蔽高度角との関係を調査した。その結果、準天頂衛星が加わった場合では、ほとんどにおいて、遮蔽高度角を現行の緩和可能範囲である 30° から 40° にまで引き上げても、有効観測率 80%以上の要件を満たすことが分かった。そのことから、準天頂衛星を併用した際には、衛星高度角制限を 40° まで緩和（現在は 30°）することが可能と予測される。運用基準の設定については、今回の数値模擬実験の結果を踏まえて実測調査を行い、効率的にとりまとめを行うことが期待される。



図－2 有効観測率の比較. 赤が GPS のみの場合、青が準天頂衛星を併用した場合の有効観測率を示す. 上段が基線長 2km, 5km (1 周波解析), 下段が基線長 10km, 15km (2 周波解析) の結果. 左図は全ての条件で作業規程の許容範囲を判断基準に適用した場合, 右図は電離層擾乱時のみ許容範囲を緩和した場合のそれぞれの結果を示す.

4. 2 準天頂衛星による高精度測位補正情報の生成・配信に関する技術開発 (その 3)

前年度に設計された各補正情報について、1695bit 単位の packets に分割整理し、この単位で 1 秒ごとに配信を行うという、準天頂衛星の L 帯実験信号の配信仕様に適合させ、配信方式を完成させた。さらに、前年度に開発した、補正情報を生成・配信するためのソフトウェアと装置、および、受信・測位するソフトウェアと装置を改良・調整し完成させた。

完成されたネットワーク型 RTK-GPS 方式のシステム概要は次のとおりである。測位方式は、全国を

12の領域に分割し、領域毎に1点の参照基準点を設け、参照基準点との間で相対測位を行うものである。まず、補正情報を生成・配信する装置において、参照基準点の観測データ、衛星軌道情報、衛星時計情報、対流圏遅延モデル、電離層遅延モデルからなる補正情報を全国の電子基準点等から生成し、準天頂衛星の放送機能（またはその他の通信手段）を用いて配信する。衛星軌道情報については、IGS超速報暦（IGU暦）から観測時点を中心とする13エポック分を切り出して用いる。また、全国に分布する約20点の電子基準点のデータから衛星時計誤差を推定し、その結果を用いた精密単独測位法により、対流圏遅延量を全国の電子基準点毎に推定する。対流圏遅延量のうち、静水圧遅延による部分はモデルで除去し、Niellマッピング関数を用いて推定した水蒸気遅延量だけを補正モデルとして配信する。さらに、観測点ごとにGPSの2周波のデータから各衛星の視線方向の電離層遅延量を推定し、グリッド化して衛星ごとの電離層補正モデルを作成する。測量ユーザーは、補正情報受信および測位のための装置を用い、上記の補正情報を受信し、1周波受信機で取得されたGPSデータと合わせて解析を行い、座標値を推定する。その場合、時刻情報を持つ、これら4種類の補正情報から、観測時点および位置に応じて時間・空間内挿処理を行い、補正に用いる必要がある。

開発されたシステムを用いて、補正情報の生成・配信および受信・測位のリアルタイム実証実験を、2地区（関東および沖縄）において行った。その結果、全体の観測数のうち、90%以上の観測において測位誤差（水平成分）が2cm以下となり、システムが要求性能を満たしていることが実証された。

5. まとめ

昨年度とりまとめられたシミュレーション作業指針に基づき、数値模擬実験により次世代測位衛星等を用いた測量作業規程（案）がとりまとめられた。また、補正情報生成・配信および受信・測位装置のプロトタイプに改良を加え、有効観測率の向上を図りつつ実用に耐えうるシステムを開発し、実験を通じて品質を実証した。