GNSS 測位解の安定性に関する研究（第 1 年次）

実施期間　令和 3 年度～令和 4 年度
地理地殻活動研究センター
宇宙測地研究室　古屋　智秋
測地観測センター衛星測地課　山尾　裕美
交流研究員　日本測量協会　馬場　靖幸

1. はじめに

衛星測位では，観測点の上空を遮る建造物や山等により反射（マルチパス）・回折した品質の悪い信号（以下「NLOS 信号」といい，直達した信号を「LOS 信号」という.）が観測データに含まれた場合，その影響を受け，測位精度が悪化することがある．しかし，この測位精度の悪化は，反射・回折を発生し得る樹木や建造物等の位置を方位角・仰角で示した非等方性の仰角マスク（以下単に「仰角マスク」という.）により品質の悪い信号を排除することで軽減することができる（多田ほか，2018）．仰角マスクの作成には，魚眼レンズを用いて当該観測点の上空を撮影することで得られる上空写真を用いることが最適ではあるが，観測点の上空を巡る環境は時間とともに変化することから，連続観測をしている観測点では上空写真を定期的に取得する必要があり，例えば観測点数が多い電子基準点では上空を定期的に撮影することには多大な労力が必要である．そこで，国土地理院では，令和 2 年度に「測量の生産性を向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」において，「周辺状況の写真と観測データから効率的に仰角マスクを作成する技術」を公募・試行し，上空写真ではなく GNSS の観測データの品質情報から仰角マスクを作成し，その仰角マスクを使用して観測データを編集するツールを開発した（古屋ほか，2021）.

本研究では，昨年度開発された GNSS の観測データの品質情報から仰角マスクを作成するツールの有効性を調査するために，国土地理院構内に設置した観測点における観測データにこのツールを適用し，測位への効果を検証した.

2. 研究内容

2.1 仰角マスク作成方法の概要

仰角マスクの作成には，まず観測データを LOS 信号と NLOS 信号に分類する各品質情報（信号強度及びマルチパス）の閾値を，基準となる観測点において以下の手順で決定する必要がある.

① 上空写真から空と遮蔽物の境界を識別した真値となる仰角マスク（以下「写真マスク」という.）を作成する.

② 写真マスクから観測データを LOS 信号と NLOS 信号に分類し，各品質情報の頻度分布を衛星ごと・周波数帯ごとに求める（図-1）.

③ 各頻度分布を基に NLOS 信号の存在確率が 50%を超える分岐点の階級を各品質情報の閾値とする（図-1）.

その後，測位したい観測点の観測データから各品質情報の空間（方位角・仰角で 1 度刻みに分割されたグリッド）での分布を求め，前述した閾値により当該グリッドの信号が NLOS 信号かどうかを判定する．判定は，まず周波数帯ごとに行い，同一グリッドに複数の衛星が時間をおいて飛来している場合は，それら全ての衛星の信号が NLOS 信号と判定された際に，当該グリッドを遮蔽物がある領域

（以下「NLOS 領域」という.）とする．その後，各グリッドの 3 つの周波数帯（L1，L2，L5）の判定において，いずれかで NLOS 領域と判定されているグリッドをその観測点における最終的な NLOS 領域として特定する．こうして得られる NLOS 領域に基づき，各品質情報における仰角マスクを作成する．仰角マスクは，信号強度によるものとマルチパスによるものとの二つが作成されるが，それらが競合する領域に対して一つ抜き交差検定を実施し，当該領域の衛星を含めることで測位劣化していると判定される割合が一定の閾値を超過する領域を NLOS 領域として一つの仰角マスクに合成する．

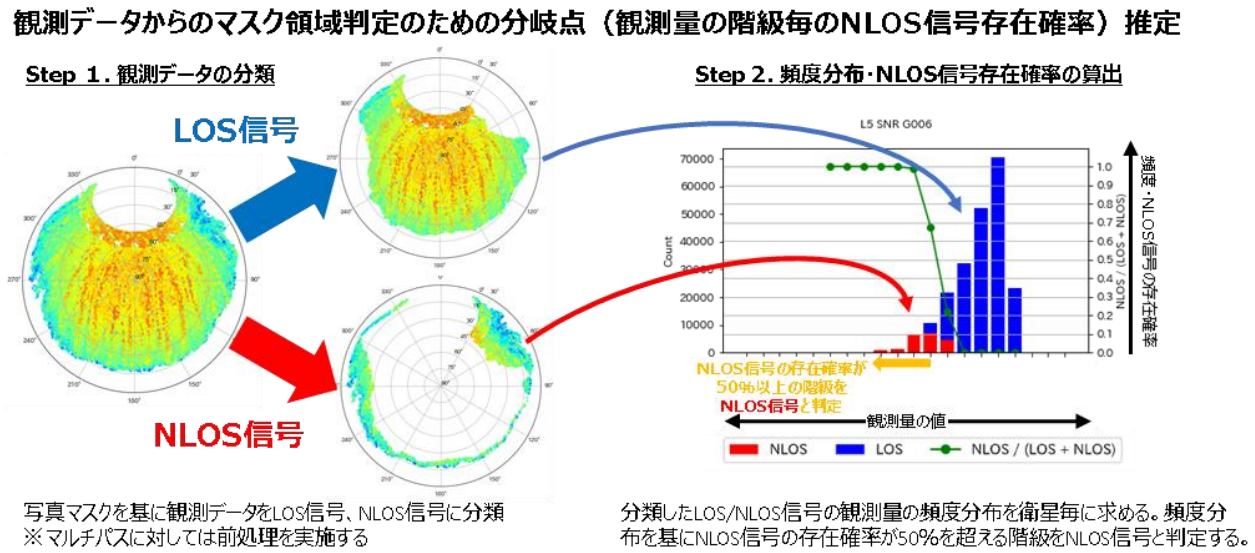

図-1　各品質情報の閾値決定のイメージ

2.2 使用した観測データ

上記手法の適用性評価を行う観測点としては，周辺に樹木や建造物等がある場所が望ましく，国土地理院構内の重力測定棟を選定した（図-2）．観測を 2021 年 6 月 9 日～22 日に行い，6 月 16 日～22 日の観測データを用いて仰角マスクを作成し，その仰角マスクを用いて 6 月 9 日～15 日の観測データを解析した．なお，観測データを LOS 信号と NLOS 信号に分類する閾値の決定には，同時期に国土地理院構内の周辺に樹木がある別の観測点における観測データを用いた．

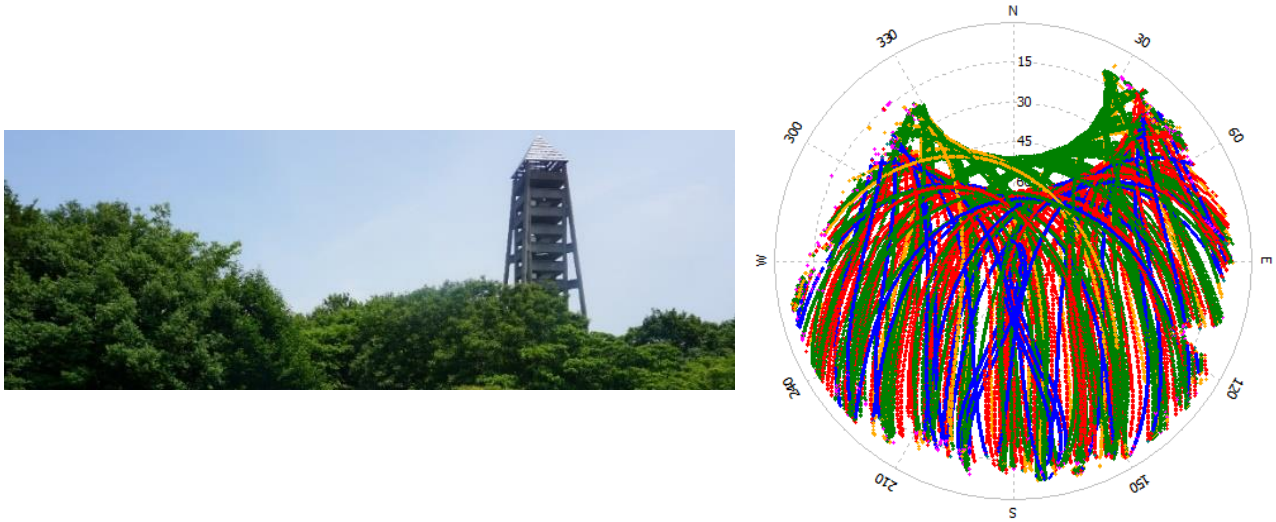

図-2　観測点周辺写真（東）とスカイプロット

2.3 仰角マスクの作成

作成した仰角マスクを図-3 に示す．図-3 の赤線は，検証のために作成した写真マスクの上端の仰角を表しており，仰角マスクは写真マスクと比較して仰角がやや低いマスクとなっている．これは，当該観測点と，LOS 信号と NLOS 信号に分類する閾値の決定をした観測点の環境が異なるために発生していると考えられる．

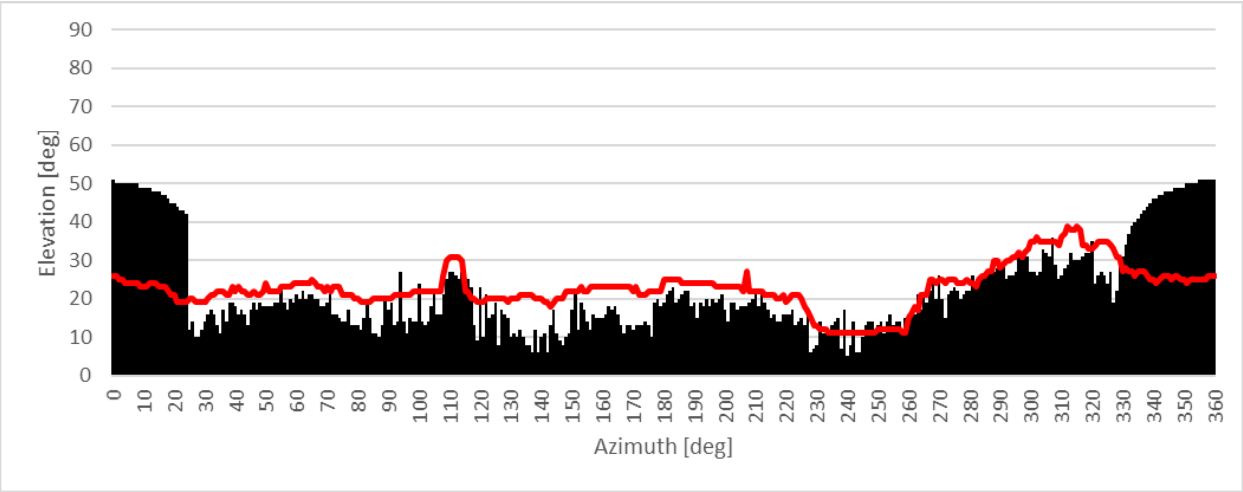

図-3　仰角マスク（赤線は写真マスクの上端の仰角．北方向に存在する NLOS 領域は測位衛星が飛来しない領域を反映したもの）

2.4 仰角マスクを適用した PPP による検証

2.2 で述べた観測データに 2.3 で作成した仰角マスクを適用し，30 秒間隔の精密単独測位（PPP）を行い，得られた座標値 3 成分の日々の標準偏差を図-4 に，その標準偏差において仰角マスクの適用による改善量が最も大きかった 6 月 12 日の時系列グラフを図-5 に示す．図-4 から，ほぼ全ての日付で元のデータよりも仰角マスクの適用により座標の精度が向上していることが確認できる．また図-5 から，座標の精度向上の要因は 0:00～4:00 や 14:00～18:00 の系統誤差の軽減が大きいことがわかり，これは当該時間帯に遮蔽物の方向に位置する衛星が仰角マスクにより除外されたためと考えられる．

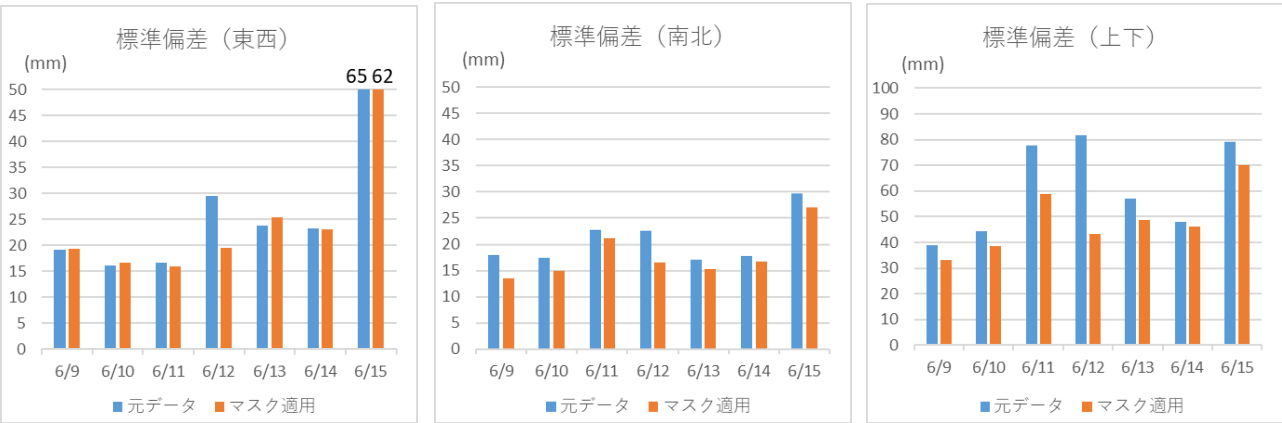

図-4　PPP 座標解 3 成分の標準偏差（青：元データ，橙：マスク適用）

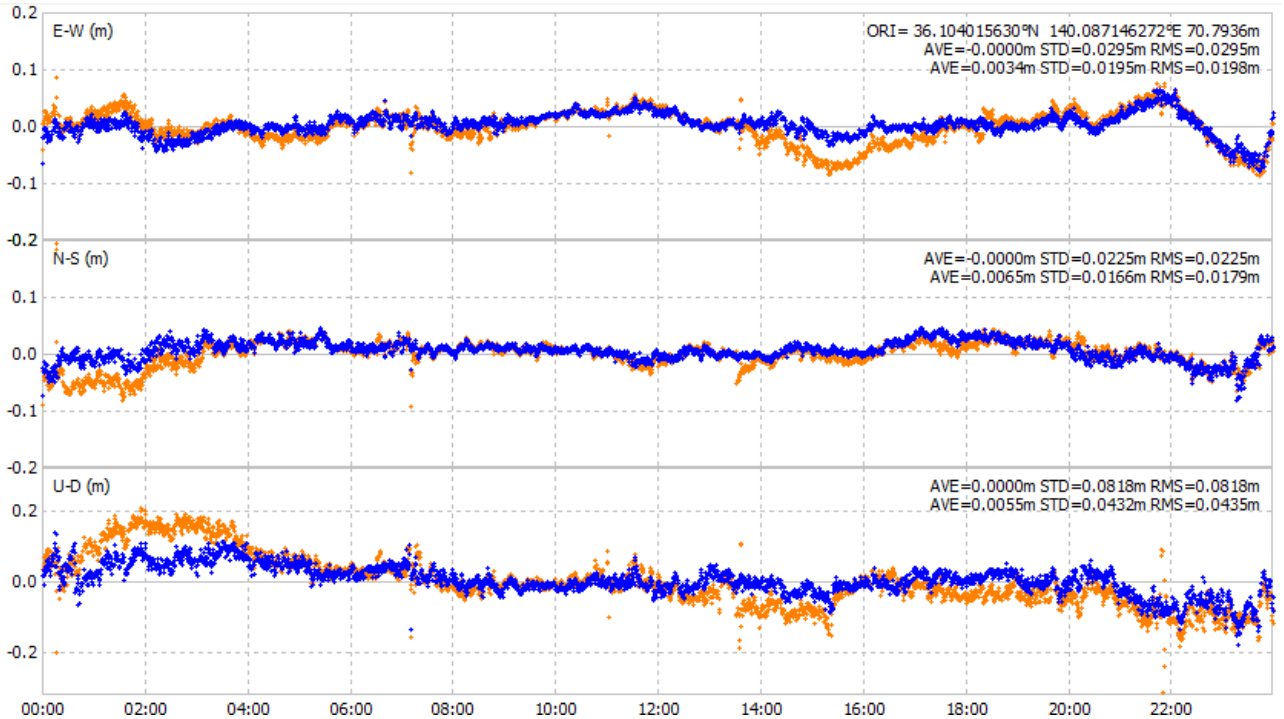

図-5　6 月 12 日の PPP の時系列グラフ（橙：元データ，青：マスク適用）

4. まとめ

今回の検証では，観測データの品質情報を基に作成した仰角マスクを PPP に適用することで，測位精度が改善することを確認した．一方で，測位を実施した観測点と，LOS 信号と NLOS 信号に分類する閾値の決定をした観測点が異なったことによると思われる，作成された仰角マスクの写真マスクに対するずれの存在も確認した．ただし，ツールの汎用性を考えると，手法適用においては，個々の観測点において LOS 信号と NLOS 信号に分類する閾値の決定を行うことは想定されず，仰角マスクの誤差は一定程度発生することは避けることができない．今後は，この誤差を最小限にするため，誤差が発生する要因の分析や，連続観測点の観測データを用いた長期間における測位への効果の検証を実施する予定である．

参考文献

古屋智秋，齋田宏明，村松弘規，髙松直史，影山勇雄，山中雅之，熊谷光起，都筑三千夫（2021）：GEONET の次世代化（第 2 年次），国土地理院令和 2 年度調査研究年報，102-106.

多田直洋，大中泰彦，宮川康平，酒井和紀，古屋智秋，鎌苅裕紀，山尾裕美，檜山洋平，畑中雄樹（2018）：屋外 3 次元空間における高精度衛星測位の適用範囲拡大のための技術開発，国土地理院時報，130，109-117.