

## 搬送波位相の距離変化を用いた高精度測位における利用衛星の選択に関する研究

日本大学 学生会員 ○池田 隆博  
日本大学 正会員 佐田 達典

## 1. はじめに

GPS (Global Positioning System) 衛星の搬送波位相を用いた高精度測位 (干渉測位) は、基準点測量等の公共測量のほか、実時間で結果が得られる RTK 測位により、移動体を主とした建設機械等の誘導にも適用されている。しかし、常に高精度な測位結果が得られるわけではなく、観測可能な衛星数の減少に加えて、マルチパス、電離層による伝搬遅延等の衛星電波の受信環境の悪化により、精度が劣化するという側面がある。

したがって、高精度な衛星測位を安定して運用するには、衛星電波の特性を事前に把握し、利用衛星の選択手法を検討することが求められる。従来手法としては、搬送波の信号強度を用いた方法が提案されているが、本研究では、電離層遅延による搬送波位相の変化量を用いた方法を確認するため、周囲に遮蔽物のない環境で測位を実施し検討したのでその結果を報告する。

## 2. 搬送波位相による高精度測位の概要

干渉測位とは、既知点と未知点の 2 つに受信機を設置し、双方の観測量の差分処理を行うことで、点間の基線ベクトルを求める方式である。衛星と受信機間の距離は搬送波の波数に波長を乗じることで求められるが、瞬間に観測できるのは波数の小数部の値であり、整数部の値は不明である。この未知数を整数値バイアスと呼び、確定することで高精度な測位が可能となる。

なお、GPS 衛星の搬送波は L1 (1575.42MHz) と L2 (1227.60MHz) の 2 つの周波数帯に分類でき、衛星と受信機間の共通経路を異なる電波の速度で通過している。このとき、電離層内の電波の屈折率は周波数に依存するため、2 周波受信機を使用することで電離層遅延を推定することが可能となる。

## 3. 搬送波の受信環境に関する検討

各 GPS 衛星の位置に応じた搬送波の電離層遅延を検討するため、2 周波受信機による観測データの取得を実施した。使用した受信機はニコン・トリンプル社製 Trimble NetR8 基準局受信機であり、RINEX 形式による

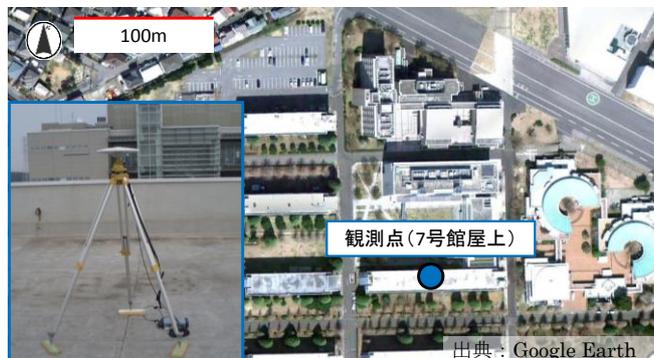


図-1 観測点の位置と実験状況

L1 と L2 の搬送波位相および信号強度データを 1Hz で記録した。実験は、図-1 に示す日本大学理工学部船橋キャンパス 7 号館屋上の観測点で実施し、測位は 2011 年 11 月 5 日の 10:00~16:30 の時間帯で行った。

## 4. 実験結果

### (1) 解析方法

電離層遅延については、得られた L1 と L2 の搬送波位相の変化から双方の距離変化を算出し、その較差を求めることで検討を行った。なお、各搬送波の距離変化については (1) の式で算出した。

$$L = (\phi_{t-1} - \phi_t) \frac{c}{f} \quad (1)$$

L : 距離変化,  $\phi$  : 搬送波位相, t : 時刻

c : 光速, f : 搬送波周波数

### (2) 解析結果

衛星位置に対する電離層遅延を調べるため、1 分間毎 (データ数 : 60) に距離変化較差の平均値を求めた。図-2 より各衛星の高度との関係を確認すると、衛星高度が高いほど、較差が 0mm に近くなることがわかる。一方、衛星高度が低い場合、高度に対する各衛星の較差の大きさに関連性は見られず、図-3 より方位 90°~270°の範囲で観測される低高度の衛星で較差は大きくなることが確認された。電離層遅延は伝搬経路の総電子数に比例するため、衛星と受信機間の距離の長さが影響したものと推察される。

次に、衛星位置に対する信号強度を調べるため、距

キーワード GPS, 電離層遅延, 搬送波, 信号強度, 測位精度

連絡先 〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1 日本大学理工学部 空間情報研究室 TEL047-469-8147

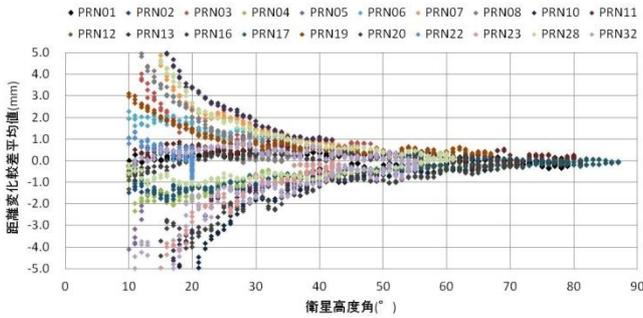


図-2 衛星高度角と距離変化較差の平均値

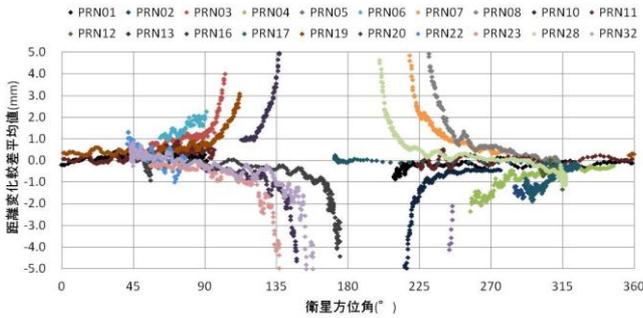
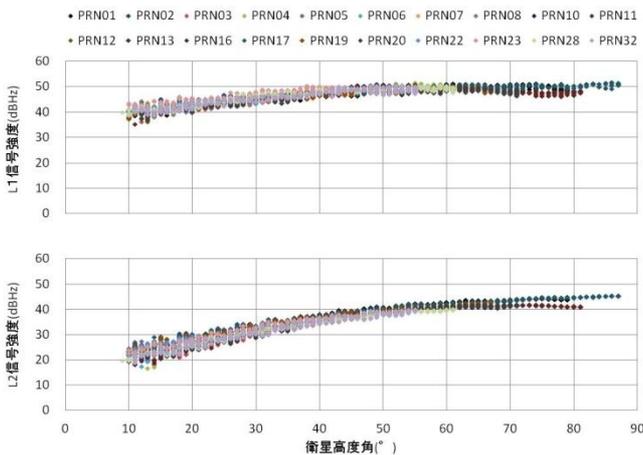


図-3 衛星方位角と距離変化較差の平均値



上：L1 周波数帯 下：L2 周波数帯

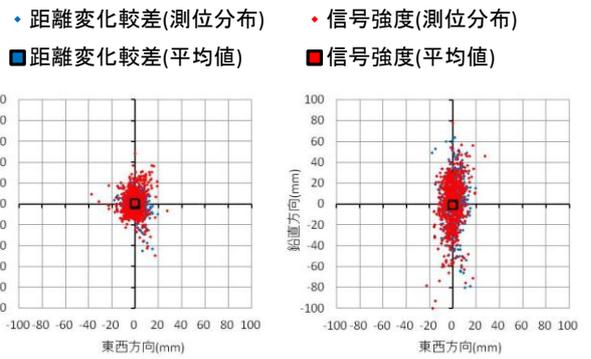
図-4 衛星高度角と信号強度の平均値

距離変化較差と同様に 1 分間毎に平均値を求めた。図-4 より各衛星の高度との関係を確認すると、L1, L2 周波数帯ともに、信号強度は衛星高度に依存する傾向が見られる。このとき、観測された衛星の PRN 番号に関わらず、低高度では信号強度が小さくなるため、図-2 に示す各衛星の距離変化較差との関連性は、ほとんどないものと推察される。そのため、信号強度の小さい衛星を電離層遅延の大きい衛星と判断した場合、遅延の小さい衛星も対象となる可能性が考えられる。

これらの結果より、搬送波の距離変化較差から電離層遅延の影響を判別した場合、低高度の衛星も測位に利用できる可能性が考えられる。

5. 衛星選択手法別による精度検証

搬送波の距離変化較差から利用衛星を判別する手法



左：南北 - 東西 右：鉛直 - 東西

図-5 衛星判別手法別による測位分布

表-1 衛星判別手法毎の標準偏差 (単位: mm)

衛星判別手法	南北方向	東西方向	鉛直方向
距離変化較差	8.5	5.5	21.1
信号強度	11.7	6.6	27.7

の有用性を検証するため、信号強度により衛星を判別する手法と精度比較を行った。利用衛星の判別条件については、衛星高度 30° 以上の場合における図-2, 4 の結果を参考とし、距離変化較差による手法では較差が 2.0mm 以内、信号強度による手法では L2 周波数帯が 30dBHz 以上とした。なお、解析方法としては、電子基準点(千葉花見川: 0225)の観測データと本実験の観測データについてキネマティックによる処理を行った。

衛星判別手法別で得られた解の分布を図-5 に示す。距離変化較差による判別で得られた解の平均値を基準とし、双方の平均値の差を比較すると、南北方向で 2mm、東西方向で 0mm、鉛直方向で 1mm となり、大きな差は確認されなかった。一方、解の分布を比較すると、信号強度により衛星を判別した場合の方が解のばらつきは大きくなる傾向が見られ、標準偏差により比較すると、3 方向ともに距離変化較差で衛星を判別した場合の方が値は小さくなる傾向が見られた(表-1)。信号強度による判別では、低高度の衛星を測位に利用できない場合が多く、その影響を受けたものと考えられる。

6. 結論

本研究では、L1, L2 の搬送波の距離変化較差から利用衛星を選択する手法を検討した。その結果、信号強度を用いて衛星を判別する方法と比較した場合、低高度の衛星も測位に利用でき、解の分布も小さくなる傾向が確認された。今後は、マルチパスによる影響も考慮するため、周囲に遮蔽物を含む環境で検討を行う予定である。

謝辞: 本研究は平成 23 年度科学研究研究費助成金(基盤研究 C) 20560495 を受けた。ここに記して謝意を申し上げる。