

(70) 都市遮蔽環境下での GNSS 測位における 測位信号の受信動向解析と衛星除外効果の検証

宮澤 壘¹・佐田 達典²・江守 央³

¹ 学生会員 日本大学大学院 理工学研究科交通システム工学専攻

(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

E-mail: csru20015@g.nihon-u.ac.jp

² 正会員 日本大学教授 交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

E-mail: sada.tatsunori@nihon-u.co.jp

³ 正会員 日本大学准教授 交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

E-mail: emori.hisashi@nihon-u.ac.jp

自動運転など次世代 ITS の技術開発には、測位衛星システムによる位置特定技術が必要である。衛星測位システムは、高層ビルが建ち並ぶアーバンキャニオン環境下において、捕捉可能な測位衛星の数が少なくなることや反射波や回折波といったマルチパスの影響を受ける信号により、測位精度が大きく低下する。本研究では、マルチパス発生時における観測データの動向を解析し、さらに、欠落した観測データの目視判別と信号強度の変化量の差を用いて、衛星除外の測位率・Fix 率向上効果を検証した。その結果、どちらの衛星除外パターンも測位率の増加効果は確認できたが、Fix 率の増加効果は得られなかった。

Key Words: GNSS, urban canyon, positioning rate, fix rate

1. はじめに

近年、自動運転をはじめとする次世代 ITS (Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム) の構築を目指した研究開発が急速に進んでいる。自動運転には、センサや人工知能等のシステムの搭載が必須であり、かつ、3次元デジタル地図の構築など事前の基盤構築も必要とする。このような技術の中で、車両の位置特定ならびに基盤構築には GNSS (Global Navigation Satellite System: 全球測位衛星システム) の活用が期待されている¹⁾。

近年の衛星測位システムは、米国の GPS、日本の QZSS (Quasi-Zenith Satellite System: 準天頂衛星システム) をはじめ、ロシアの GLONASS、EU の Galileo、中国の Beidou など、各国で運用が行われており、利用可能な衛星も増加していることから、容易に高精度な位置情報を取得することが可能となっている。

一般的に、衛星測位システムは、高層ビルが建ち並ぶアーバンキャニオン環境下において、上空視界が開けておらず、捕捉可能な測位衛星の数が少なくなることや、反射波や回折波といったマルチパスの影響を受ける信号の受信により、測位精度が大きく低下する。近年の利用

可能な衛星の増加に伴い、精度改善が期待できるが、移動体測位でのマルチパスの発生は非常に不規則であり、精度劣化の要因解析や精度向上策の構築が必要とされている。

精度向上策の一つとして、マルチパス判別手法の報告が行われているが、回折波、反射波に着目した手法として、池田²⁾による基準局と移動局で観測された同衛星の信号強度の差を利用した方法ならびに、信号間の搬送波位相変化量の差を利用した手法がある。この報告では、高層ビル街といわれるようなマルチパスが多発する環境での検証は行っていない。また、筆者ら³⁾は移動体の挙動に着目し、移動体が停車した際に、観測衛星数が急増し、信号強度が大幅に変動したこと、またその際に測位計算が中断していたことを確認した。しかし、基準局と比較し、同時刻に同信号を受信できていたかなどの確認はできていない。そこで本研究では、アーバンキャニオン環境下での移動体測位において、マルチパスの影響を受けている際の信号の受信動向の解析を行い、影響を受けていると考えられる信号を観測データの目視での判別や信号強度の変化量の差を用いて衛星の除外を行い、その効果について検証する。

2. 実験概要

(1) 観測データ取得方法

日本時間 2019 年 6 月 17 日 13:41:30～16:22:58 に図-1 に示す沿道沿いに高層ビルや商業施設が建ち並ぶ東京都新宿エリアにおいて、東西方向に各 8 セッション走行実験を実施した。株式会社フィールドテック東京本社（台東区台東 2-24-28）の上空視界が良好な屋上に基準局を設置した（図-2）。基線長は約 7.3km であった。また、移動局は車両のルーフ部分にアンテナを固定し、移動局として走行を行った（図-3）。受信機は基準局・移動局ともに Trimble 社の NetR9 を用いて、キネマティック測位にて観測データを RINEX 形式により 1Hz で取得した。

(2) 解析方法

解析は、GPS+GLONASS+QZSS+Galileo+Beidou を用いた後処理キネマティック解析を実施した。その際、使用したソフトウェアは RTKLIB ver. 2.4.3 であり、使用する周波数を L1+L2+L5、仰角マスクを 15°、すべての衛星系に対してバイアス推定を実施する Instantaneous（瞬時整数バイアス決定を行う）に設定した。また、対流圏遅延、電離層遅延の推定の設定をそれぞれ Saastamoinen、Broadcast に設定した。

3. 解析結果

本稿では、解析結果の一例として図-4 に、東方向の 1 セッション目の基準局・移動局におけるそれぞれの観測データを示す。基準局・移動局における捕捉衛星数はそれぞれ 42 機と 41 機で大きな差はない。しかし、移動局の観測データは基準局と比較して、連続的に取得できておらず、部分的に欠落している観測データが多くある。移動体観測では、時々刻々と測位環境が変化しているため、オクルージョンの影響を受けやすいことが、データの欠落が生じる要因であると考えられる。さらに、移動局の観測データの中には、基準局で観測している測位信号とは異なる周波数帯の測位信号を受信している観測データがみられる。GPS において、基準局では G03・G30 で L1/2/5 信号、G28 で L1/2 信号を観測しているが、移動局では同じ測位衛星番号から L1/5 信号と L1 信号を観測しており、共通して L2 信号が観測できていないことが確認できる。また、GLONASS においても同様に移動局で受信する信号が基準局とは異なる。さらに、図-5 に示す Beidou においては、基準局では C04～C13 で L1/2 信号、C19～29 で L1 信号を観測しているが、移動局では同じ測位衛星番号から L1/2/5 信号、L1/5 信号を観測している。基準局で捕捉できていなかった L5 信号を遮蔽



図-1 走行ルート（出典：Google Earth より作成）



図-2 基準局

図-3 走行車両



図-4 東方向1セッション目測位信号

環境下の移動局で捕捉できているといった、上記の GPS、GLONASS とは相反する事例が確認できる。上記 GPS の場合、マルチパスによる反射波・回折波の干渉による信号の欠損または信号の誤認識が考えられ、Beidou の場合においても、信号の干渉による信号強度変化による信号の誤認識が考えられる。そのため、測位計算においても影響を及ぼしている可能性が考えられる。図-6 は基準局と移動局で観測された同衛星の信号強度を算出し、得られた信号強度の差（Difference of Signal Strength：以下

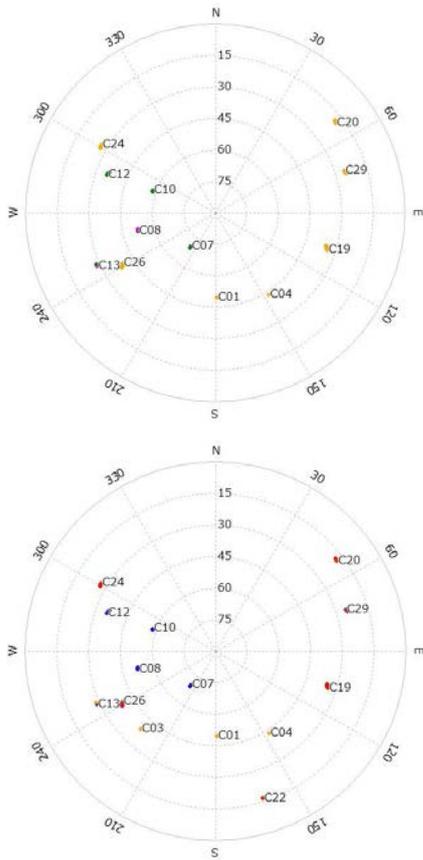


図-5 東方向1セッション目 Beidou 衛星配置図

DSS) を各衛星ずつ図示したものである。また、 DSS は(1)式で求めるものとする。

$$DSS = SS_{RSAV} - SS_{BSAV} \quad (1)$$

ここで DSS は信号強度の差 (dBHz) , SS_{RSAV} は移動局で得られた信号強度の平均 (dBHz) , SS_{BSAV} は基準局で得られた信号強度の平均 (dBHz) を指す。一般的に移動局における信号強度はマルチパスの影響を受け、基準局での信号強度より減衰するが、図-6 より多くの測位衛星で DSS の値が6dBHzを上回るほど高くなっていることが確認できる。また、基準局と移動局でL2信号が観測できていないG03, G28, G30については0dBHzを下回る低い値をとっていることや、移動局においてL5信号を観測したBeidouは各衛星が高い DSS 値を観測している。0dBHzを下回る信号については、回析の影響を受けて強度が減衰したものと想定される。6dBHz以上の DSS 値を算出している衛星は、信号干渉で強度が変動し、増幅した値で観測された可能性が考えられる。

4. 衛星選択による測位率・Fix率の変動

衛星選択による測位解・Fix解の取得率の評価にあた

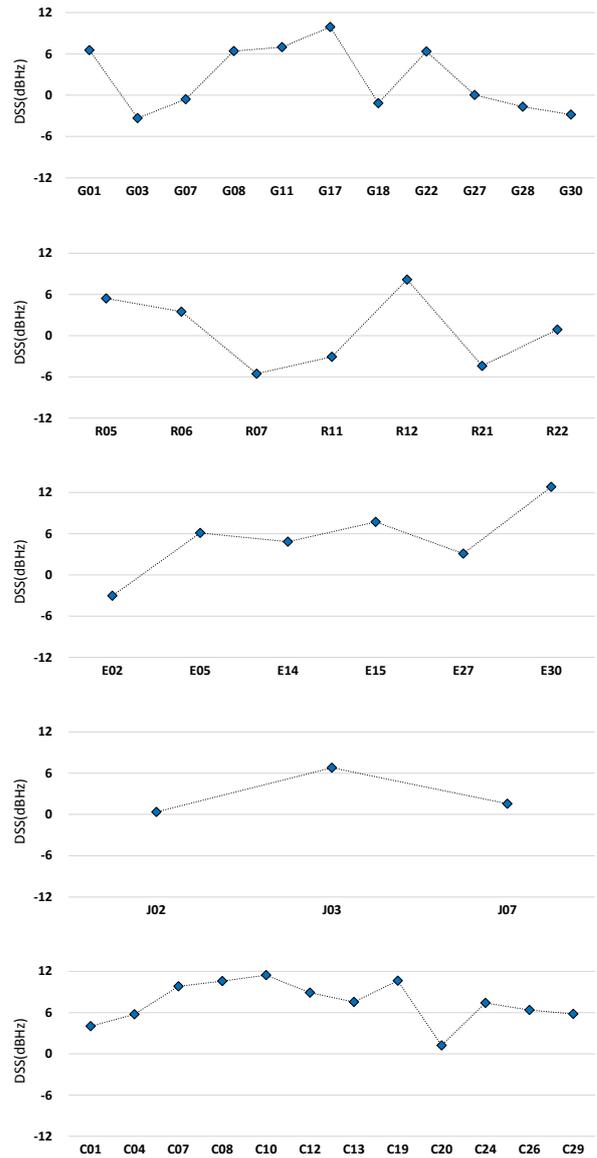


図-6 各測位衛星における DSS

り、測位率 (測位解が得られた時間[s]/計測時間[s]) , Fix率 (Fix解が得られた時間[s]/計測時間[s]) を用いる。基線解析から除外する衛星の選択・除外パターンは①全測位衛星使用、②基準局・移動局で同信号を受信していない衛星を図-4より目視で除外する：信号目視選択、③ DSS が0dBHz以下で算出される衛星を除外する： DSS の3パターンで衛星の除外及び基線解析を行い、測位率・Fix率の変動を検証する。

図-7には、各衛星選択パターンにおける測位解・Fix解・使用衛星数を時系列に示した。全衛星選択では、停車中において測位計算が中断しているため、区間全体の測位率を大幅に低下させていることが確認できる。衛星除外パターン②では、停車中における測位計算が回復し、測位率は90.5%まで増加していることが確認できる。測位衛星を誤認識している可能性がある衛星を基線解析から除外したことが要因であると考えられる。しかし、

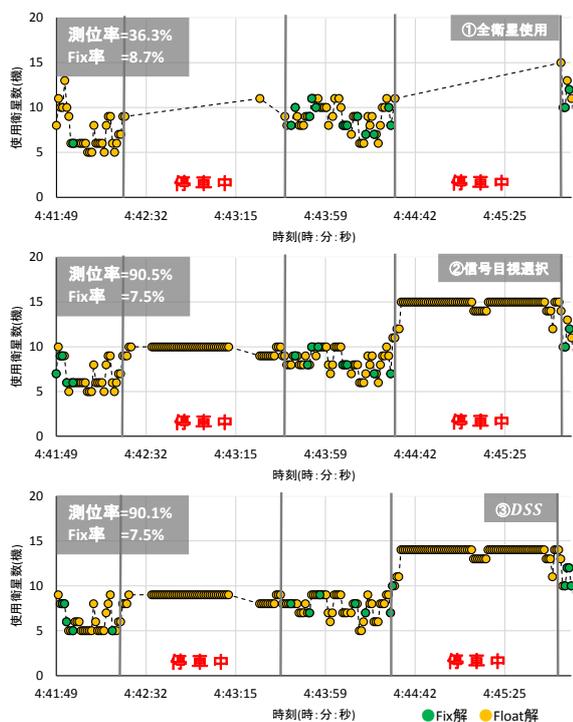


図-7 衛星選択による測位率・Fix率

表-1 衛星除外パターンごとの除外衛星

目視選択	DSS
G03 G07 G28 G30	G03 G07 G18 G28 G30
R05 R07 R11 R20	R07 R11 R21
Beidou	E02

Fix 率が増加はみられないことがわかった。また、DSS が 0dBHz 以下の衛星を基線解析から除外する衛星除外パターン③では、パターン②と同様の結果が生じた。停車中における測位計算が回復し、測位率 90.1%に増加したが、Fix 率の増加効果はないことがわかる。使用衛星数は各衛星除外パターンによる違いでは、大きく変わっていないことが確認できる。表-1 に衛星除外パターンごとの除外衛星を示す。パターンの違いによる除外衛星は、G11, R05, E02 及び Beidou の有無である。Beidou の有無でも使用衛星数に変動がないため、全衛星選択及びDSS 時に Beidou が使用されていないと考えられる。

5. おわりに

本研究では、アーバンキャニオン環境下での移動体測位において、マルチパスの影響を受けている際の信号の受信動向の解析基準局と移動局を比較してを解析を行い、影響を受けていると考えられる信号を観測データの目視での判別や信号強度の変化量の差を用いて衛星を除外することで測位解・Fix 解の取得率が向上可能か、その検証を行った。その結果、以下の点が明らかとなった。

1) 移動局の観測データは基準局と比較して、連続的に

取得できておらず、部分的に欠陥している観測データが多くある。移動体観測では、時々刻々と測位環境が変化しているため、オクルージョンの影響を受けやすいことが要因であると考えられる。

- 2) 移動局の観測データには、基準局で観測している測位信号とは異なる周波数帯の測位信号を受信している観測データがみられる。中には Beidou のように、基準局で観測できていなかった L5 信号を移動局で観測できている事例が見られた。
- 3) 多くの測位衛星で DSS の値が 6dBHz を上回るほど高くなっていることが確認できた。また、基準局で観測できていなかった L5 信号を移動局で観測した Beidou は各衛星が高い DSS 値を観測していることが確認され、信号の干渉による強度の増幅の可能性が考えられる。
- 4) 衛星除外パターン②では、停車中における測位計算が回復し、測位率は 90.5%まで増加していることが確認されたが、Fix 率の向上効果はないことがわかった。同様に、衛星除外パターン③でも、停車中における測位計算が回復し、測位率 90.1%に増加したが、Fix 率の増加効果はないことが確認された。衛星の除外を行っても使用衛星数に変動がないことから、測位計算に使用されている衛星番号にも変動がないため、衛星除外による Fix 率の増加効果がないと考えられる。

以上の結果より、高層ビル街等の遮蔽環境下では、基準局と移動局で受信する信号が異なることが懸念され、観測データでの目視判別や信号強度の差を利用し、衛星を除外することで、測位率の向上は確認できたが、Fix 率の向上効果はないことがわかった。今後の課題としては、高層ビル街のような遮蔽環境下でも Fix 率が向上する簡易的な手法の構築及び検証が必要である。また、ITS への実用化を見据えて、リアルタイムでの手法の検証も行っていく必要がある。

謝辞：実験にご協力いただいた、株式会社フィールドテック東京本社様に心より謝意を表す。

参考文献

- 1) 首相官邸ホームページ：官民 ITS 構想ロードマップ 2019, <<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20-190607/siryou9.pdf>> (入手 2019.12.15) .
- 2) 池田隆博：移動時の高精度測位におけるマルチパス判別手法を用いた衛星除去効果に関する研究，土木学会論文集 F3 (土木情報学)，Vol.72, No.2, I_200-I_208, 2016.
- 3) 宮澤壘，佐田達典，江守央：高層ビル街における車両挙動がもたらす GNSS 精度劣化要因の分析と SNR マスクの有用性の検討，応用測量論文集，Vol.31, 2020.
- 4) 細矢良雄，唐沢好男：電波伝搬ハンドブック，リアライズ社，pp.23-24, pp.125-126, 1999.