

(79) 街路移動体測位における SNR 値の 差分を用いた車両挙動別の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 (Corresponding Author)

² 正会員 日本大学教授 理工学部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 理工学部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環境や上空が植生に覆われた環境においては、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、移動局で観測された SNR 値と、別日に上空視界が良好な地点にて定点観測で取得した SNR 値との差分を求め、設定閾値に該当する衛星を測位計算から除外する方策を行なった。その結果、測位解、Fix 解の取得率の向上効果があることを確認した。

Key Words: GNSS, vehicle behavior, positioning rate, fix rate, SNR

1. はじめに

近年の衛星測位システムは GNSS (Global Navigation Satellite System: 全球測位衛星システム)、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。

また、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。そのようななかで、車両の位置特定ならびに基盤構築には GNSS の活用も期待されている¹⁾。

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では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²⁾。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、移動体測位におけるマルチパスの発生は、移動することに伴い、測位環境が複雑に変化するため、その発生は不規則であり、精度劣化の要因解析や精度向上方策の構築が必要とされている。

例として、精度向上方策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³⁾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⁴⁾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など、マルチパスフェージングが要因であると想定される事例を確認した。変動した SNR 値に対し、SNR マスクを生成することで測位率は向上したが、Fix 率に関しては移動体の走行方向で可視衛星数や衛星配置に差があることなどが要因で、効果に違いがあるこ

とを確認した。上記先行研究を元に、本研究では、上空視界が異なる地域で観測された SNR 値を比較する。移動局で観測した SNR 値から、安定した衛星捕捉が行えている他地点で観測された SNR 値の差分を算出する。その際、車両挙動別の時間帯で SNR 値を分割・平均化し、その差分からマルチパスの影響を受けていると考えられる衛星の判別を行う。最後に、測位計算に使用する衛星の選択を行い、その時の測位率・Fix 率の向上効果について検証する。

2. 実験・解析概要

(1) 観測データ取得方法

本研究における対象の走行区間を図-1 に示す。日本時間 2020 年 11 月 16 日 12:48:24~16:20:35 に観測を行った東京都新宿エリアは、車道沿いに高層ビルや商業施設が建ち並ぶ測位環境である。この区間で東西方向に各 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）。新宿区間移動局は車両のルーフ部分にアンテナを固定した状態で走行を行った。基線長は約 7.3km であった。次に、差分を算出するための正確な SNR 値の観測は日本時間 2020 年 10 月 28 日 10:00:00~2020 年 10 月 29 日 10:00:00、日本大学理工学部船橋キャンパスの上空視界が良好な地点にて 24 時間観測を行った（図-3）。受信機は全ての観測地点で Trimble 社の NetR9 で統一とし、アンテナは新宿区走行区間の基準局では Trimble Zephyr 2、移動局および船橋キャンパス観測地点では Trimble Zephyr 3 を用いた。新宿区間及び船橋キャンパス地点では、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

観測および解析に用いる衛星測位システムは、GPS+GLONASS+QZSS+Galileo の 4 つを用いる。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、測位解の種別は Forward 解のみに、測位演算に悪影を与える衛星を排除するアルゴリズム RAIM FDE は OFF に設定した。

車内前方に設置した GoPro HERO 6 で走行の様子を記録し、映像から各セッションにおける車両挙動の判別を行った。衛星選択による測位解・Fix 解の取得率の評価にあたり、測位率（測位解が得られた時間[s]/計測時間



図-1 走行区間（出典：Google Earth より作成）



図-2 新宿走行区間基準局および移動局



図-3 船橋キャンパス観測地点

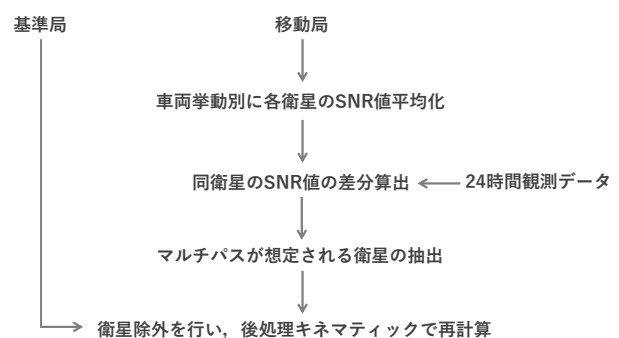


図-4 解析フロー

[s]）、Fix 率（Fix 解が得られた時間[s]/計測時間[s]）を用いる⁹⁾。解析フローを図-4 に示す。

(3) SNR 値の差分の算出方法

車両挙動ごとに平均化した移動局での SNR 値と船橋キャンパス地点で観測された SNR 値から算出する同衛

星の SNR 値の差分 (Difference of Signal Strength : 以下 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 SNR 値の差分, SS_{RSAV} は移動局において観測した各衛星ごとの SNR 値を, 車両挙動時間中に区切って平均した値 (dB-Hz), SS_{BSAV} は船橋キャンパス地点で観測した同衛星の SNR 値の 24 時間分の平均 (dB-Hz) を指す.

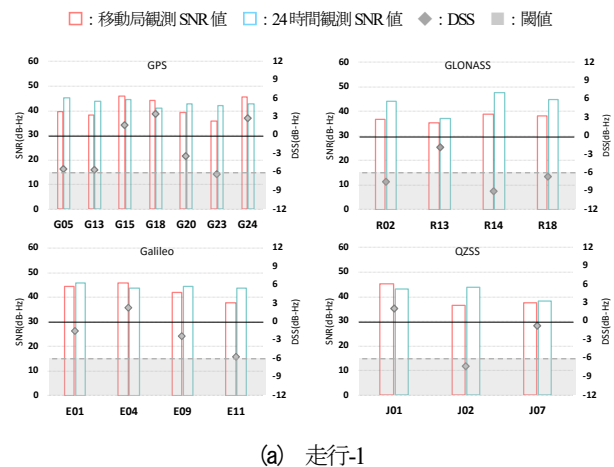
(4) DSS による衛星選択の閾値設定

先行研究での DSS の場合, 回析モデルより得られる見通し線と遮蔽物先端が交わる際の回析損 6dBHz を参考⁷⁾に(1)式より得られる値が -6dBHz を下回る場合, 基線解析から対象衛星を排除しているため, 本研究においても同様とする.

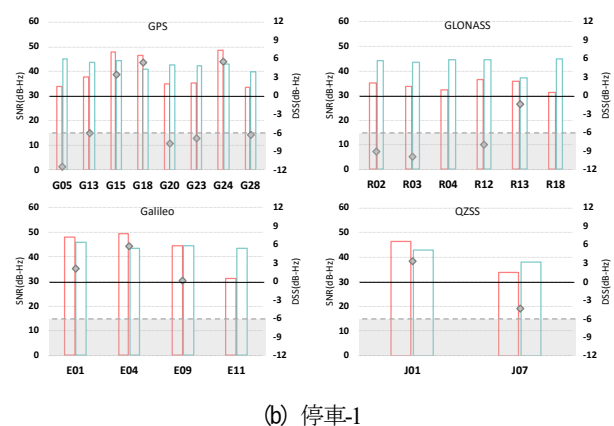
3. DSS による衛星除外効果の解析結果

解析結果の一例として新宿走行区間の内, 12:48:24~12:50:51 で東方向に向かって走行した 1 セッション分を示す. このセッションは計測時間 147s のうち, 走行 2 回, 停車 1 回を行なったため, 車両挙動として走行-1, 停車-1, 走行-2 と分別する.

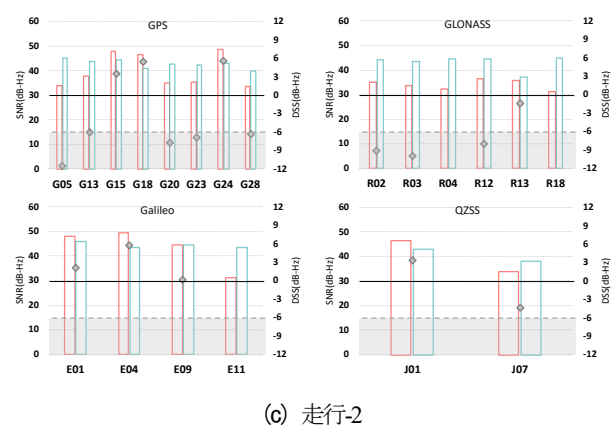
図-5 に車両挙動別の DSS を算出したグラフを示す. 図-6 には移動局観測時の衛星配置と -6dBHz を算出した衛星を示す. GPS は衛星配置によって DSS の値がどの車両挙動パターンでも大幅に変動していることが読み取れる. 特に, 停車-1 では, G05 が走行-1 から停車-1 にかけて 6dBHz 減衰しているなど, その変動具合は走行前後で顕著であり, 停車中にマルチパスの影響をより受けていることが考えられる. GLONASS は DSS がどの車両挙動パターンでも正の値を取ることはなく, どの衛星も常にマルチパスによる損失を受けているため, 測位計算に少なからず悪影響を及ぼしていると想定される. Galileo と QZSS はこの時間帯での観測衛星数が高衛星測位システムに比べ大きく劣る. E11 のような車両挙動パターンごとで観測有無があり, 衛星配置が低仰角に位置する衛星は極めて低い DSS であるが, その他の衛星は, GPS と GLONASS に比べると変動具合は低い. 上記変動傾向からそれぞれ, 走行-1 では 5 機, 停車-1 では 11 機, 走行-2 では 4 機ずつ測位計算から除外される対象となった. 図-6 より, 除外対象となった衛星は, W-E の進行方向に対し, N 側に衛星がやや寄る配置となっている. これは E 方向に左車線で走行したため, N 側の遮蔽が S 側よりも厳しくなったことが 1 つ考えられる.



(a) 走行-1



(b) 停車-1



(c) 走行-2

図-5 車両挙動別 DSS

表-1 には, 全衛星を使用して基線解析を行なった「衛星選択前」と, DSS から -6dBHz での閾値判定を行い, 対象衛星を除外し, 再度基線解析を行なった「衛星選択後」の両パターンでの測位率・Fix 率, 加えて, 選択前後での変化率「向上効果」を示す. 表より, 基線解析において, 全衛星を使用した場合より, DSS を用いた閾値判別による衛星除外を行なった場合の方が測位解及び Fix 解の取得率がどの車両挙動パターンでも向上していることが確認できる. 特に, 停車時の場合の効果は非常に大きく, 停車時の測位計算の中断を回復させることにつながった. この結果より, 別日に取得した観測データで差分を算出し, 閾値判別を行

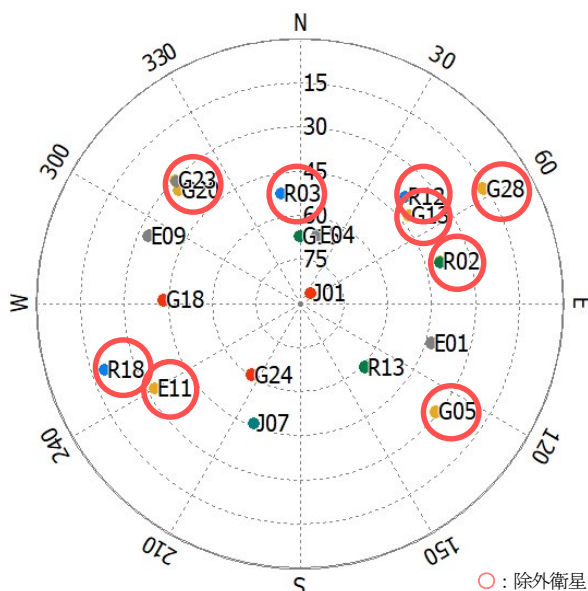


図-6 移動局衛星配置図及び除外衛星

表-1 衛星選択前後の測位解・Fix 解の取得率(%)

		衛星選択前	衛星選択後	向上効果
走行-1	測位率	100	100	±0.0
	Fix率	21.2	24.2	+3.0
停車-1	測位率	0	100	+100.0
	Fix率	0	74.6	+74.6
走行-2	測位率	81.4	83.7	+2.3
	Fix率	34.9	44.4	+9.5

なった本手法で、マルチパスの影響を含む信号を除去できたといえる。一方で、停車時に Fix 率 74.6%に対し、その前後はその値には大幅に離れている。周辺遮蔽環境は、対象区間内で大きく異なるわけではないため、遮蔽環境による除外対象である衛星数が、走行-1 では5機、停車-1 では11機、走行-2 では4機と走行時と停車時で倍以上の衛星数の違いがあるため、よりマルチパスの影響を含む衛星を除外できたことが考えられ、1つの要因であると考えられる。

4. おわりに

本研究では、都市部遮蔽環境下で移動体測位の際に、マルチパスの影響を受けていると考えられる衛星の除外効果について検証を行うため、移動局で観測された SNR 値と、別日に上空視界が良好な地点で 24 時間観測にて取得した SNR 値を各衛星ごとに平均化したデータとの差分を求め、設定した閾値に該当する衛星を測位計算から除外するという方策を行なった。また、その結果どの程度の測位解、Fix 解の取得率の向上効果があるかを確認した。結果を以下にまとめる。

・GPS は衛星配置によって DSS の値がどの車両挙動パ

ターンでも大幅に変動している。停車中にマルチパスの影響をより受けていることが考えられる。

・GLONASS は DSS がどの車両挙動パターンでも正の値を取ることはなく、どの衛星も常にマルチパスによる損失を受けているため、測位計算に少なからず悪影響を及ぼしていると想定される。

・走行-1 では5機、停車-1 では11機、走行-2 では4機ずつ測位計算から除外される対象となり、停車中にマルチパスの影響をより受けていることが考えられる。

・基線解析において、全衛星を使用した場合より、DSS を用いた閾値判別による衛星除外を行なった場合の方が測位解及び Fix 解の取得率がどの車両挙動パターンでも向上していることが確認できた。

・停車時の場合の効果は非常に大きく、停車時の測位計算の中断を回復させることにつながった。

以上のことから、他地点で 24 時間観測した良好な SNR 値を各衛星ごとに平均化したデータと比較し、一定値よりも減衰した衛星を除外することで、測位解、Fix 解の取得率に向上効果があることが本研究よりわかった。車両挙動パターンごとでその向上効果に差があるため、今後は、その詳細な要因の解析を行う。

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：官民 ITS 構想ロードマップ 2020,<https://www.katei.go.jp/singi/it2/kettei/pdf/20202020/2020_roadmap.pdf>, (入手 2021.3.6) .
- 2) 内閣府政策統括官（科学技術・イノベーション担当）：戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）自動運転（システムとサービスの拡張）研究開発計画, <https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku2/4_-jidoo-oko.pdf>, (入手 2020.8.26) .
- 3) 久保信明：都市部移動体における GNSS 技術の測位精度, GPS/GNSS シンポジウム, 2007.
- 4) 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.
- 5) 宮澤聖, 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, pp.79-87, 2020.
- 6) アイサンテクノロジー株式会社：平成 28 年度戦略的イノベーション創造プログラム調査報告書, <https://www.meti.go.jp/meti_lib/rport/H28FY/000295.pdf>, (入手 2020.08.26) .
- 7) 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.