

(72) 3D都市モデルを用いた衛星の可視性評価に基づく衛星選択による測位精度向上手法

江守 央¹・佐田 達典²

¹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@trpt.cst.nihon-u.ac.jp

²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.ac.jp

現在, GNSS (Global Navigation Satellite System) は, 土木施工などの建設分野などへの活用が期待されている。今後は, 都市部での活用も考えられるが, GNSSは高層建築物などの遮蔽物が存在する場所では精度が低下する傾向がある。本研究では, このような遮蔽環境下において車両走行中における高精度マルチGNSSデータの精度向上を目指して, 3次元都市モデルを用いた可視性評価に基づいた衛星選択方法の検証を目的としている。遮蔽環境における取得データをFix解の割合から分析した結果, 天頂付近の可視衛星のみを用いた場合, 概ね精度向上が確認された。また, 遮蔽物間が40m以下の道路では効果が低いなどの結果を得た。

Key Words : *global navigation satellite system, 3D city model data, urban area, positioning accuracy*

1. はじめに

現在, 高精度で計測できるGNSS (Global Navigation Satellite System) は, 土木施工の無人化や自動運転化などの分野に関わる技術としての活用が期待されている。このような, 自動運転化にはGNSSを利用する方法があり, GNSSは米国のGPS, ロシアのGLONASS, EUのGalileo, 中国のBeiDou, そして日本のQZSSと, 我が国で利用できる衛星は増加傾向にあるが, 正確な自己位置を把握するためには利用する衛星を適正に選択する必要がある。また, 今後活用が拡大されていく可能性がある都心部では, 高層建築物などの遮蔽物が多く存在するが, 衛星からの電波を受信する際の遮蔽となる可能性が高くマルチパス精度低下の原因になり, 特に衛星選択が重要である。このように走行中に衛星選択をするには何らかの手法が必要となるが, 移動中は常に走行環境が異なり, 衛星測位をする環境は変わり続ける。そのため, 走行位置に応じた最適な衛星選択方法が求められている。

2. 既往研究と研究目的

衛星の組み合わせ別で測位精度向上を検証した研究として, 久保ら (2015) は, マルチGNSS時代の高精度測

位¹⁾において, 東京都江東区, 中央区周辺を自動車で走行しながらマルチGNSS衛星測位を行った。その結果, 全体的にFix率は大幅増加したが, 丸の内付近の超高層ビル街では精度が若干下がったという結論が出た。しかし, この研究では比較的広幅な選択しているため, 都心部の幹線道路での結果しか示せていないことが課題として残されている。また, GPSとマルチGNSSという分けをしており, 具体的な衛星組み合わせの検証は行っていない。

江守ら (2017) は, 高精度マルチGNSSによる衛星遮蔽環境下における走行位置精度検証²⁾において, 高層ビルが多い新宿区内で車線を単位とし, 様々な遮蔽環境で10通りのGNSS組み合わせによる精度検証を行い, 最適な組み合わせを明らかにした。

しかし, 都心部での最適な衛星組み合わせは実証しているが, 遮蔽物の定義が曖昧であること, また遮蔽物の有無や高さに関しては解析で触れていないため, 遮蔽物が精度にどの程度影響しているかは検証していない。

一方, 地上からの衛星可視・不可視によって測位精度の検証を行った研究として, 国土地理院 (2017) では屋外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³⁾において, 大都市ビル街で上空写真, 3次元モデル, ドップラーを用いて各ポイントを移

動しながら衛星測位し、遮蔽物と衛星位置が被る衛星を解析から排除し、精度改善の有無を検証している。移動局を移動させ、各観測ポイントで5分間停止しながら衛星測位を行った結果、天空図、3次元モデル、ドップラー、何れの手法でも精度が向上したことを明らかにした。

しかし、移動局を移動する際、歩行していること、各観測ポイントでは5分間停止していることから自動車への適用有無については検証していないこと、観測中に移動している結果を示していない課題がある。

そこで本研究は、車両走行中における高精度マルチGNSSデータの精度向上を目指して、3次元都市モデルを用いた可視性評価に基づいた衛星選択方法の検証を目的としている。

3. 研究方法

本研究では、図-1に示すようにアンテナおよびニンコン・トリンブル社製のGNSS受信機NetR9⁴⁾を設置した実験車両によって、道路を走行しながらGPS、GLONASS、Galileo、QZSS、BeiDouの各衛星を観測した。このデータを用いて、基線解析ソフトウェアRTKLIB ver2.4.2を使用し、後処理解析を行う。なお、可視性評価については株式会社ゼンリンの3D都市モデルを用いて図-2に示すように、走行位置から見上げた衛星配置と構造物の位置関係から可視性評価を行い衛星の可視・不可視を判定する。さらに遮蔽物の高さや遮蔽物間の距離の計測についてもこの3D都市モデルを用いて行う。また、遮蔽物間の距離は図-3に示すように、走行位置を挟む両側の遮蔽物同士の距離を遮蔽物間の距離としている。



図-1 アンテナを設置した実験車



図-2 衛星配置と構造物の合成図

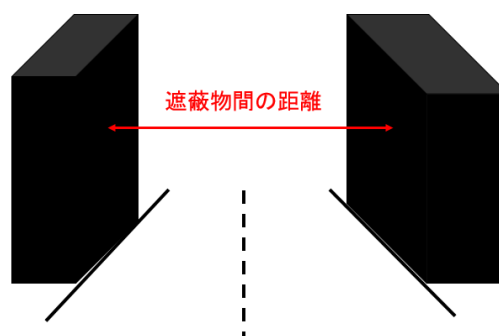


図-3 遮蔽物間の距離について

(1) 3D都市モデルについて

株式会社ゼンリンが提供している現実の街並みを詳細地図情報専用車両で計測したデータによる現実の街並みを再現したデスクチャ付きの3D地図データ⁵⁾である。3Dデータは一年に一度更新されており、樹木、標識、中央分離帯、歩道、信号機、路面ペイントなどが忠実に再現されている。建物の高さや距離等を指定した位置で計測することができ、視点も自らで操作できる。3D都市モデルはFBX形式のデータで、Autodesk社のNavisworksを使い操作する⁶⁾。

表-1に示す仕様の3D都市モデルはゼンリンの詳細地図情報専用車両で計測したデータによって現実の街並みを再現したデスクチャ付きの3D地図データである。そのため、3Dの情報を使用して遮蔽状況を詳細に確認するためには、最適であると考え解析に用いた。

(2) 計測実験と計測環境について

計測実験は、高層建築物が多く存在する新宿西口地区で日本時間2016年7月16日(土)の18時頃～20時頃

(UTC時間9～11時)表-2に示すように様々な遮蔽環境化の道路を想定して図-4に示した地点を走行して行った(3周分のデータを本研究では使用)。実験時刻は、QZSS衛星の効果を考慮し、QZSS衛星が高仰角に位置する時間帯を選択した。高精度測位(干渉測位)に必要な基準局は、表-3に示す東京都台東区の株式会社フィールドテック東京本社屋上に設置した。

表-1 3D都市モデル仕様

3D都市モデルデータ	
エリア	東京23区全域、大阪市内全域、政令指定都市中心部
地図鮮度	年1回
単位	1パーセル約625m四方
形式	FBX形式
デスクチャ	主要交差点・ランドマーク：車両撮影デスクチャ その他：汎用デスクチャ
地図標高	50mメッシュ数値標高データ
座標系	世界測地系 平面直角座標系
容量	1パーセルあたり約20MB～300MB

(3) 解析方法

本研究では、道路を車両で走行しながらニコン・トリニブル社製のGNSS受信機NetR9¹⁾を使用して、GPS、GLONASS、Galileo、QZSS、BeiDouの各衛星の観測データを取得する。測位データの解析は後処理型基線解析ソフトウェアRTKLIBを使用し、解析する。この実験で得られた測位解は、次の3種類に大別できる。

- 1) Fix解：精度2cm以下
- 2) Float解：精度数10cm～数m
- 3) 単独測位解：精度約10m程度

本研究では、GPS、GLONASS、Galileo、QZSS、BeiDou全ての衛星を用いた際の結果と、可視性評価に基づき衛星選択をしたFix解・Fix率で比較する。Fix率を出す際、母数が合致している必要がある。しかし、Fix解・Float解・単独測位解の合計を母数にすると、衛星選択前後で、母数が異なることがあるため、各地点では通過前後の秒数で比較を行う（通過前後15秒ずつ＋通過した時刻1秒）。その際、取得できていない秒については「取得なし」として扱う。よって、Fix率は「Fix率＝（Fix解の個数＋Float解の個数＋単独測位解の個数＋取得できなかった個数（秒数））／31秒」で算出する。また、解析時は仰角マスク15度、使用する電波はL1＋L2＋L5で解析を行い、データ取得間隔は全て1秒である。

表-2 各区間の遮蔽環境の条件

区間名	遮蔽環境の条件
区間A	周辺が高層の多い2車線道路
区間B	周辺が超高層の多い4車線道路
区間C	周辺が高層・および低層の4車線道路
区間D	周辺が低層の6車線道路（南側に遮蔽）
区間E	周辺が低層の6車線道路（北側に遮蔽）
区間F	周辺が高層の多い6車線道路

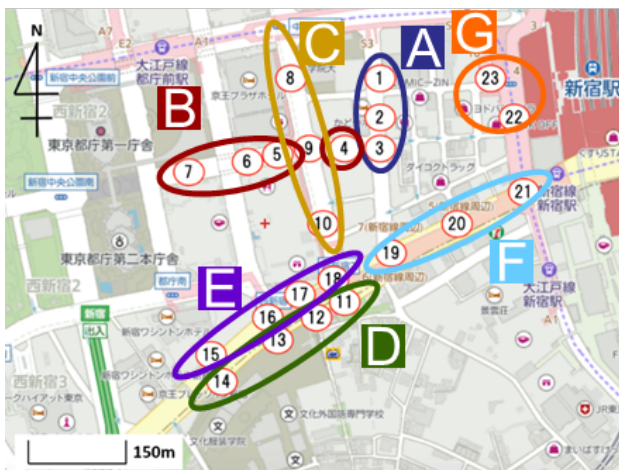


図-4 走行ルート（出典：Google Map）

表-3 基準局の概要

項目		詳細
基準局設置場所		株式会社フィールドテック東京本社屋上
住所		東京都台東区台東2-24-8
座標	緯度（度 分 秒）	35 42 12.596930
	経度（度 分 秒）	139 46 42.168820
	楕円体高（m）	54.466
座標値算出に用いた電子基準点		足立（局番号93016）
新宿（新宿駅）までの直線距離		約7.3km

4. 解析結果

衛星測位精度の比較はFix率で行い、GPS、GLONASS、Galileo、QZSS、BeiDouの全衛星を用いたときの結果と、遮蔽物による影響を受けていると見られる衛星を排除した時の結果をFix率で比較する。3周全てのFix率の平均を地点別で表-4に示す。Fix率で比較すると、本手法により23地点中15地点で精度が向上している。しかし8地点では効果がない、あるいは減少していることが伺える。

(1) Fix率が特に改善された地点

図-5には特に改善された地点16の遮蔽環境を示す図、図-6には地点21のFix率を表す図である。地点16は甲州街道沿いの広幅道路でかつ走行車線側を走行している。衛星を使う数が多ければ誤差を打ち消すことができるため、遮蔽物間の距離が広い地点で本手法による衛星選択をすると、精度は改善されやすいことがわかった。

地点21では遮蔽物位置と重なる衛星は各周1つずつだが、3周目はG02を減らすとFix率が29%上がるため、両側を高層ビルで挟まれる地点、遮蔽物が少ない地点を除けば反射する衛星を1つ減らすだけでも精度は改善されることがわかった。

表-4 各地点3周平均の衛星選択別Fix率（%）

地点番号	全衛星使用	天空図選択	地点番号	全衛星使用	天空図選択
1	48.4	52.7	13	44.1	46.2
2	57.0	54.8	14	47.3	49.5
3	48.4	49.5	15	34.4	34.4
4	21.5	5.4	16	50.5	62.4
5	4.3	8.6	17	61.3	63.4
6	4.3	6.5	18	64.5	66.7
7	5.4	5.4	19	65.6	69.9
8	44.1	43.0	20	65.6	76.3
9	53.8	57.0	21	78.5	88.2
10	35.5	46.2	22	72.0	78.5
11	33.3	32.3	23	73.1	73.1
12	37.6	36.6	全体	45.7	48.1

*全衛星使用：受信されている衛星を全て利用した場合
天空図選択：天空図によって衛星選択した場合



図-5 地点16の周辺遮蔽環境

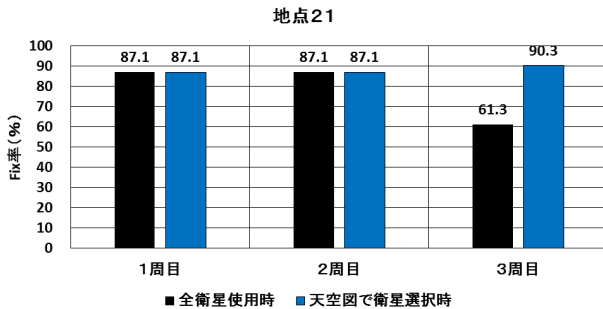


図-6 地点 21 の周辺遮蔽環境

(2) Fix率が改善されない地点

区間B（地点4から7）と区間D（地点11から14）では図-7、8に示すように特に改善されない地点が存在した。区間Bは両側に超高層ビルがあり、精度に関わらず受信できていないため、本手法による精度改善はできなかった。一方、区間Dでは天頂付近に遮蔽物が少ない地点のため天頂付近の衛星が存在する場合は選択の必要性がないことがわかった。

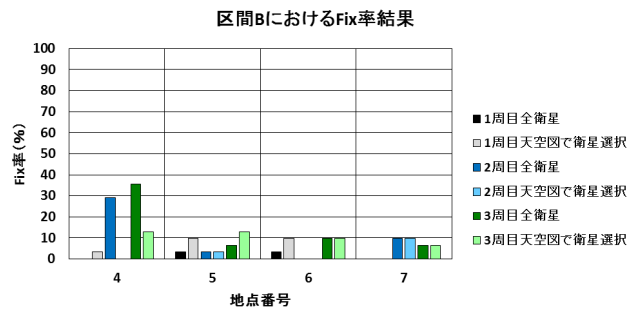


図-7 区間Bの全周回・衛星選択別の比較

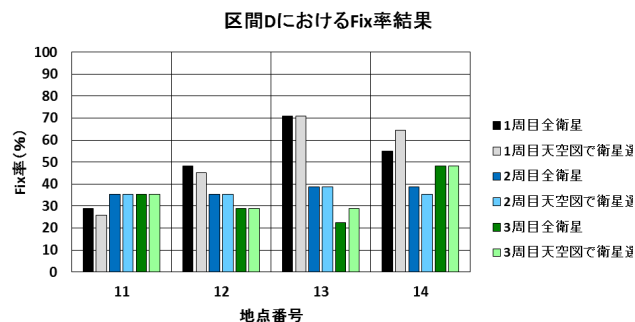


図-8 区間Dの全周回・衛星選択別の比較

5. おわりに

本研究では、3次元都市モデルを用いた可視性評価を用いて遮蔽物位置から不可視衛星を解析から除くことで測位精度が改善されるかを検証し、遮蔽物間が40m以下で両側に高層ビルがある地点、遮蔽物の高さが6m程度の低層な地点では本手法での効果がみられなかった。しかし、その他の地点では衛星選択によってFix率が増加した。また、以下のことが考察できる。

- 遮蔽物の位置と衛星位置が重なる衛星を解析から除去することで、23地点中15地点でFix率が増加した。
- 遮蔽物間の距離が広く、天頂付近に遮蔽物が多い広幅な道路では、特に衛星選択でFix率が増加する。
- b)の地点では遮蔽物と重なる位置にある衛星をわずかに減らすことで大幅に効果が得られる場合がある。
- 両側で100mを超える高層建築物に囲まれている地点、付近の遮蔽物が10m未満の低層な建物で、衛星測位にほとんど影響しないような地点では、現状本手法で測位精度を上げることは困難である。

今後は、5種類の衛星系全てを利用することから精度が良くなる衛星系の組み合わせを用いた、さらに可視性評価に基づく衛星選択手法の検証が課題となる。また、QZSSが4機体制となることによる検証も必要と考える。

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の村山盛行氏、福森秀晃氏、元日本大学理工学部の秋元優太郎氏に心より謝意を表します。

参考文献

- 久保信明：マルチGNSS時代の高精度測位、システム制御情報学会誌、Vol.59(4)、pp.120-125、2015。
- 江守央・菊田和雄・佐田達典・酒井昂紀：高精度マルチGNSSによる衛星電波遮蔽環境下における走行位置精度検証、土木情報学シンポジウム講演集、Vol.42、pp.241-242、2017。
- 国土交通省国土地理院：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、< <http://www.zenrin.co.jp/product/service/3d/index.html> >（入手2018.1.10）。
- 株式会社ニコン・トリンプルホームページ：「Trimble NetR9」GNSS基準局用受信機、< http://www.nikon-trimble.co.jp/products/gnss/trimble_net9.html >（入手2017.1.10）。
- 株式会社ゼンリン：3D都市モデルデータ、< <http://www.zenrin.co.jp/product/service/3d/index.html> >（入手2017.12.22）。
- オートデスク株式会社：NAVISWORKS、< <https://www.autodesk.co.jp/products/autodesk/autodesk> >（入手2017.12.22）。