東京海洋大学 学位論文公開発表会 2020/8/17

3Dマップを用いた 衛星測位の性能予測と改善に関する研究

東京海洋大学大学院 海洋科学技術研究科 応用環境システム学専攻 古川玲





- 1. 序章
 - ・研究の背景
 - 先行研究
 - ・研究の目的
- 2.3Dマップを用いた衛星測位シミュレーション
- 3.3Dマップを用いた衛星測位の性能予測
 - 日比谷における信号品質予測
- 4.3Dマップを用いた衛星測位の性能向上
 - ・ 東京駅付近における静止点評価
 - 東京駅付近における走行評価
- 5. まとめ, 今後の課題



GNSS=Global Navigation Satellite System RTK=Real Time Kinematic

・研究の背景

- ・人工衛星を用いた測位システム(GNSS*)の普及
 - RTK-GNSS*などの高精度測位も様々な分野で利用
 - 土木分野にて利用が進む、自動運転分野にて検討が進む
 - 多くの衛星測位システムが利用可能に。信号品質の良い衛星を選択的に利用可

衛星システム	衛星数	中心周波数	軌道半径	周回周期	信号形式
GPS (米国)	31	1575.42 MHz(L1) 1227.6 MHz(L2) 1176.45 MHz((L5)	26561km	11h58m	CDMA
GLONASS (ロシア)	24	1602 MHz(L1)*1 1246 MHz(L2) *2	25510km	11h15m	FDMA
QZS (日本)	4	1575.42 MHz(L1) 1227.6 MHz(L2) 1176.45 MHz(L5)	42000km	23h56m	CDMA
Beidou (中国)	35	1561.098 MHz(B1) 1207.14 MHz(B2) 1268.52 MHz (B3)	27905km 42000km	12h53m	CDMA
Galileo (欧州)	30	1575.42 MHz(E1) 1191.8 MHz(E5) 1207.1 MHz(E5b)	29600km	14h4m	CDMA

*1 衛星毎に0.5625 MHz 周波数がシフトする *2衛星毎に0.4375 MHz 周波数がシフトする





1. 序章

- ・研究の背景
 - 擬似距離と搬送波位相で測位を実施
 - 誤差要素の多く基準局との差分演算により除去
 - 都市部:
 - 建物による見通しの遮蔽,反射によりマルチパス誤差が大
 - 見通しの遮蔽により搬送波位相が観測出来ない
 - ・建物による見通し, 遮蔽・反射は3Dマップにより推定可





 $r: 受信機 s: 衛星 <math>\rho_r^s: 幾何学的距離 c: 光速 \delta t_r: 受信機クロック誤差 \delta t^s: 衛星クロック誤差 <math>\epsilon$: 擬似距離のマルチパス誤差 4 $\delta r^s: 相対論効果 I_r^s: 電離層誤差 T_r^s: 大気圏誤差 <math>\lambda B_r^s: 搬送波位相バイアス d_r^s: その他誤差 \epsilon_{\phi}: 搬送波位相のマルチパス誤差$



• 先行研究

- •都市部:建物によるマルチパス誤差が衛星測位の性能に大きく影響
 - 3Dマップなどを用いたマルチパス誤差の推定を行う研究*
 - 都市部の**衛星測位の性能予測**:マルチパス誤差の少ない衛星数より予測
 - 都市部の衛星測位の性能向上:マルチパス誤差の多い衛星の除去,計算済みの周辺の見通しマッチングし位置の推定(シャドウマッチング)





3Dマップによる 電波伝搬シミュレーション

3Dマップによる評価時の一般的な課題:推定の際に受信機位置が必要

・先行研究:都市部における**衛星測位の性能予測**

・ 実際に近い都市環境を模擬し, RTK-GNSSの性能予測を行った研究はない

種別	信号品質の推定手法	ターゲット	実測比較	研究グループ	備考
衛星測位の性能予測	3Dマップによる見通し	測位の可否	\bigcirc	村木ら,2004	DOPの検証
	3Dマップによる 電波伝搬シミュレーション	GNSSの予測		Karenら,2014	
	3Dマップによる 電波伝搬シミュレーション	GNSSの予測	\bigcirc	徐,2005	測位結果の検証
	3Dマップによる 電波伝搬シミュレーション	GNSSの予測	\bigcirc	Chapuis ம்,2014	測位結果の誤差が生じるタ イミングの検証
	3Dマップによる 電波伝搬シミュレーション	観測情報の推定	0	小松ら,2016	見通し波が存在する場合の マルチパス誤差推定
	3Dマップによる見通し	RTK-GNSSの予測	\bigcirc	平山ら,2010	簡易的な3Dモデル、PDOP 検証
	3D点群と画像による見通し	RTK-GNSSの予測	\bigcirc	福森ら,2010	RTKの検証. 目視による判 定を含む



- ・先行研究:都市部における衛星測位の性能向上
 - ・ <u>実際に近い都市環境を模擬し、RTK-GNSSの性能向上</u>を行った研究はない
 ・ <u>3Dマップを利用する際の概算位置の要求精度</u>にフォーカスした研究はない

種別	信号品質の推定手法	ターゲット	実測比較	研究グループ	備考
衛星測位の性能向上	3Dマップによる 電波伝搬シミュレーション	単独測位の精度向上	0	三浦ら,2016	
	3Dマップによる電波伝搬シミュレーション, センサ	歩行者の測位精度向上	0	Liら,2016	
	3Dマップによる電波伝搬シミュレーション, RAIM	歩行者の測位精度向上	0	Liら,2015	
	3Dマップによる電波伝搬シミュレーション, パーティクルフィルタ	単独測位の精度向上	0	鈴木ら,2013	
	3Dマップによる見通し	カルマンフィルタの精度向上	\bigcirc	Bourdeauら,2012	
	3Dマップによる見通し,信号強度の機械学 習	カルマンフィルタの精度向上		Ivan ອໍ,2020	
	3Dマップによるシャドウマッチング	相対測位の精度向上	0	Svenら,2013	
	3Dマップによる見通し,シャドウマッチン グ,尤度推定	複合測位の精度向上	\bigcirc	Grovesら,2019	

- •本研究における研究目的とターゲット
 - •目的1:都市部の衛星測位の性能予測手法の確立
 - ・3Dマップを用いて都市環境を模擬、RTK-GNSSの性能予測
 - ・目的2:都市部の衛星測位の性能向上手法の確立
 - ・3Dマップを用いて衛星選択,実測データのRTK-GNSSの性能向上
 - ・概算位置を用いて3Dマップを利用するケースについて評価

2. 3Dマップを用いた衛星測位シミュレーション

・3Dマップに関して

階高が掲載されてるデータ



建物の高さが概ね正確なデータ



本研究で利用したデータ

建物の高さ、詳細形状が 概ね正確なデータ



(a) 建物高:階高から変換して算出 建物形状:高さ方向に一様 **誤差:**大、安価

※航空写真出典:国土地理院 本ページのポリゴンは基盤地図情報より作成した。 次スライド以降のポリゴンはNTT空間情報 GEOSPACE 3Dを加工したものである。

建物高:標準偏差で±1.5m程度 建物形状:高さ方向に一様 **誤差**:複雑な形状の建物、 屋上に構造物がある場合は大

(b)

建物高:標準偏差で±1.5m程度 建物形状:高さ方向に加工 **誤差:**データに含まれない 更新がおいついてない場合大 編集:現地調査の上で編集した

(c)

2.3Dマップを用いた衛星測位シミュレーション

- •3Dマップを用いた衛星測位シミュレーションの手順
 - 1. 受信機の位置と日時の決定
 - 2. 衛星軌道情報より衛星位置の決定
 - 3.3Dマップにより各衛星の見通し,電波伝搬経路,受信信号強度の推定
 - 4. 各衛星の状態を時刻毎, 受信機毎に集計



2.3Dマップを用いた衛星測位シミュレーション

- ・3Dマップを用いた衛星測位シミュレーションの補足
 - ・衛星位置の予測精度*1(未来のシミュレーション)
 - 過去のエフェメリス、現在のエフェメリスによる衛星位置の推定精度の差

や日本、
、
は
に レ フ
や 日
と ア
や 日
と ア
や 日
と ア
や 日
と ア
や 日
と ア
や 日
と ア
や 日
と ア
や 日
と ア
や 日
と ア
や 日
と ア
や 日
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と
の
と

• 60日後で0.3度程度の誤差であり、3Dマップを用いた予測には十分

計算条件*1:

・GPSの全衛星の誤差を集計

単生乳担 1 乳による 単生 単し 伸 上 相 反			
	推定精度		
推定時期	仰角[deg]	方位角[deg]	
1日後	0.001	0.0003	
15日後	0.05	0.07	
30日後	0.1	0.2	
60日後	0.2	0.3	

計算条件^{*2}: ・2回反射、1回回折、 3D建物考慮範囲500mほど

- ・計算時間:電波伝搬シミュレーション*2では1衛星1秒ほど
 - 見通し判定の高速化手法*3:見通しを事前計算し、自己位置から参照することで1衛星あたり10msec





- 1. 序章
 - ・研究の背景
 - 先行研究
 - •研究の目的

2.3Dマップを用いた衛星測位シミュレーション

- 3.3Dマップを用いた衛星測位の性能予測
 - 日比谷における信号品質予測
- 4. 3Dマップを用いた衛星測位の性能向上
 - ・東京駅付近における静止点評価
 - 東京駅付近における走行評価
- 5. まとめ, 今後の課題

本章は以下の研究により構成される:原著論文査読あり

古川 玲, 久保 信明,"電波伝搬シミュレーションによるマルチパス環境におけるRTK-GNSS測位のFIX状況予測, " 測位航法学会論文誌, 2019 年,10巻,2号,pp. 13-22,Aug.2019.



- ・3Dマップを用いた衛星測位の性能予測と実測の比較による検証
 - ・ 衛星測位の性能予測
 - ・ 信号品質の良い衛星数よりRTK-GNSSの予測評価
 - ・ 衛星の信号品質の推定方法
 - 3Dマップ:見通しおよび見通しの継続により品質を推定した
 - •実測:二周波観測データの有無および*1,擬似距離残差*2により品質を推定

*1 信号品質が悪化した場合にも、二周波観測データを出力する受信機もある 本評価においてはTrimble社の高精度受信機を用いたため、妥当な評価指標と考えられる *2 擬似距離残差による品質の推定は4章において検証する

- ・3Dマップを用いた衛星の信号品質の推定手法
 - ・見通し衛星:見通し(LoS)の衛星を信号品質が良い衛星
 - •見通し継続衛星:見通し(LoS)の状態が一定時間継続する衛星を信号品質が良い衛星



実測:2周波の擬似距離,搬送波位相の観測値が出力される状態を 信号品質が良い衛星

- ・ 衛星測位の性能予測手法
 - ・信号品質の良い衛星数よりRTK-GNSSの性能を予測



・日比谷における信号品質予測 評価シナリオ

評価シナリオ

項目	值		
衛星システム	GPS, GLONASS, QZS, BeiDou ^{*1}		
評価時間	2016年12月8日23:27:40 ~2016年12月8日23:57:09		
衛星位置	エフェメリス		
受信機	Trimble NetR9		
受信機位置	POSLV*1によるリファレンス位置		

シミュレーション諸元

項目	值
建物物性值	コンクリート(比誘電率6.76 導 電率2.3e-3,厚さ0.1m)
周波数	各衛星システムの送信信号の中 心周波数に,衛星のドップラ周 波数を加えた
レイトレーシング法の	2回反射,最大1回回折,1回反
電波伝搬経路検索条件	射&1回回折,1回反射,直接波
受信電力の閾値	-170dBm



シミュレーションに用いた3Dマップと走行コース

16

*1 2016年の測定のためGalileoのデータは含まれない *2 POSLV(Position Land Vehicle): IMUとGNSSにより、 都市部においても正確な位置を算出する機器

SNRによる評価

- 3Dマップを用いた見通し、2周波数観測データの出力 3Dマップを用いたSNR、観測データL1のSNRを比較
- 全衛星に対して、レイトレース法でSNR[40dB/Hz]以上となる衛星、●実測における信号 品質の良い衛星の一致率82%

G02におけるSNR,見通し,信号品質判定結果







・SNRの変化の傾向は模擬できた ・細かな変動は模擬できなかった ⇒3Dマップに含まれない樹木や建物の影響, 周辺の車両の影響.

- ・3Dマップによる見通しと2周波の観測データの比較
 - ・3Dマップによる見通しと実測の信号品質が良い衛星は81%が一致
 - SNRによる判定よりやや一致率が低いが同程度



Time of Week[s]

Simulation of LoS Satellite
 Measurement of Good Signal Satellite

c)

- ・ 見通し継続衛星の検討
 - •一定時間見通し状態が継続しないと、搬送波位相が受信出来ない
 - ・ 搬送波位相の出力に最低限必要な見通し継続時間
 - ・ GPS,QZS,BDSとGAL:6秒,GLONASS:2秒

今回のデータにおける各衛星システムの見通し継続時間と実測の信号品質の良い衛星の一致率



3Dマップによる見通し継続衛星と2周波の観測データの比較
 ・見通し継続衛星との一致率は88%となり、レイトレース法を上回った



0

d

- RTK-GNSSの予測
 - ・信号品質の良い衛星数が一定数以上でRTK-GNSSがFIXすると仮定
 - ・9機以上でRTK-GNSSがFIXする場合:84%の一致率

見通し継続/二周波衛星数	一致率	見通し継続/二周波衛星数	一致率
5	82.5%	11	81.8%
6	82.6%	12	78.1%
7	83.1%	13	66.6%
8	83.5%	14	58.5%
9	83.9%	15	52.5%
10	83.5%	_	_

- 閾値の検討において以下は考慮していない
 - ・ 実際の受信機が出力するRTK-GNSSの測位解との比較
 - 観測衛星にしめるNLOS衛星数の割合

- ・日比谷における信号品質予測(RTK-GNSSの予測)
 - ・見通し継続衛星が9機以上の場合に、FIXすると仮定した場合の比較結果を示す



信号品質の良い衛星数の予測およびRTK-GNSSのFIX状況の傾向予測が出来た

・まとめ

- ・信号品質の良い衛星を約88%の精度で推定
- ・見通し継続衛星数によるRTK-GNSSでFIX状況の推定は約84%の精度で予測

• 課題

- ・ 見通し継続時間の最適な値の検討
- ・RTK-GNSSの性能予測の高度化
 - RTKのアルゴリズムの影響の考慮
 - 観測衛星にしめるNLOS衛星数の割合
 - ・実際の受信機が出力するRTK-GNSSの測位解との比較
 - ・ 観測データの2周波で十分でない状況
 - ・ 走行状態の考慮
 - 多様な場所における評価



- •研究の背景
- 先行研究
- •研究の目的
- 2. 3Dマップを用いた衛星測位シミュレーション
- 3. 3Dマップを用いた衛星測位の性能予測 ・日比谷における信号品質予測
- 4.3Dマップを用いた衛星測位の性能向上
 - 東京駅付近における静止点評価
 - ・東京駅付近における走行評価
- 5. まとめ, 今後の課題

本章は以下の研究により構成される:レター論文査読あり(採録手続き中)

Furukawa, R. Kubo, N, Ahmed, El, "Verification of GNSS Multipath and Positioning in Urban Areas Using 3D maps, IEICE Communication Express.

国際会議査読あり

Furukawa, R. Kubo, N, Ahmed, El, "Prediction of RTK-GNSS Performance in Urban Environments Using 3D Model and Continuous LoS Method, "Proceedings of the 2020 International Technical Meeting of The Institute of Navigation, 2020, San Diego. Jan, 2020.

4.3Dマップを用いた衛星測位の性能向上

- ・ 衛星測位の性能向上手法
 - ・信号品質の良い衛星を3Dマップにより選択することでRTK-GNSSのFIX率*1や測 位精度を向上させる



4章の評価においては、高感度受信機を用いてる。

4.3Dマップを用いた衛星測位の性能向上

- ・ 衛星測位の性能向上手法の検証として以下を行った
 - •静止点における評価
 - ・東京駅付近における静止点評価(評価環境その1)
 - 擬似距離残差による妥当性検証
 - RTK-GNSS FIX率向上の検証
 - ・東京駅付近における静止点評価(評価環境その2)
 - ・ DGNSS測位精度向上の検証
 - 走行評価
 - ・東京駅付近における走行評価(評価環境その3)※
 - RTK-GNSS FIX率向上の検証
 - ・東京駅付近における走行評価(評価環境その4)※
 - RTK-GNSS FIX率向上の検証
 - ・東京駅付近における走行評価(評価環境その5)
 - ・ DGNSS測位精度向上の検証

※評価環境その3とその4は割愛する

・2020年4月3日8:25:00 (GPST)における衛星配置,見通しと残差



- 31機の衛星が観測された
 - 3DマップでLOSと判定された衛星:17機
 - 残差が15m未満の衛星は16機
 - 3DマップでNLOSと判定された衛星:14機
 - 残差が15m以上の衛星は12機



28機/31機中の衛星の信号品質の予測が一致

・擬似距離残差と伝搬経路種別の評価



全衛星の伝搬路種別と擬似距離残差の比較

ID	Path type	Rate	Pseudo-range residua		
			below 10	below 20	over 20
			m	m	m
1	LOS	43.4%	73.9 %	97.2 %	2.8 %
2	LOS + 1 Reflection	2.7%	22.7 %	22.7 %	77.3 %
3	NLOS	16.9%	18.0 %	34.3 %	65.7 %
4	NLOS + 1 Reflection	30.0%	16.0 %	18.0 %	82.0 %
5	NLOS + 2 Reflections	7.0%	1.7 %	3.0 %	97.0 %

- ・LOSに反射波が含まれる場合、残差が大
- ・衛星選択時に除外すべき*

*静止状態であることも影響している

・概算位置と3Dマップを用いたRTK-GNSSのFIX率の検証



候補位置の配置

- ・道路上の区画程度の位置が既知であるこ とした
- ・道路上のいずれかの候補位置に受信機が ある仮定した
- ・それぞれの評価点で3Dマップによる衛星 選択を行った
- ・衛星の位置と電波の伝搬経路は30秒ごと* に計算した



・概算位置と3Dマップ:LOS衛星に限定を用いたRTK-GNSSのFIX率の検証



・3DマップでLOS衛星に限定
 ・真値:FIX率33.8%
 ・真値に近い評価地点:FIX率33.9%
 ・真値から10mほど:7~20%のFIX率

・3Dマップを使わない:FIX率0%

以下が分かった

- ・正確な位置を利用しなくても3Dマップによる衛星選 択は有効に働く
- ・真値から離れるにつれて徐々にFIX率が下がる傾向

3DマップによりLOS衛星を選択した場合の各評価地点の RTK-GNSSのFIX率



• 検証内容

- ・擬似距離残差による3Dマップを用いた信号品質推定の妥当性検証
- ・概算位置を与えた場合のRTK-GNSS FIX率向上の検証

μŢΙ	Щマ ノ ソ ユ		
項目	值		
衛星システム	GPS, GLONASS, BDS, QZSS, Galileo L1/L2		
評価時間	2020年4月3日8:15:00 ~2020年4月3日8:35:00		
衛星位置	エフェメリス		
受信機位置	固定		
レイトレース条件	反射2回,反射1回&回折1回,反射1回, 回折1回,		
測位手法	RTK continuous (RTKLIB v2.4.3b31) 仰角に応じたSNRマスク、3Dマップ		
GNSS受信機	u-blox ZED-F9P 1Hz		

河価シナリナ

ge			
3			
114m 168m	15m		40
	isom	35m 1	1120
0 - 20m 20 - 40m 40 - 60m 60 - 80m 80 - 100m		5m 35m	174m
100- 120m 120- 140m 140- 160m 160- 180m 180- 200m	in the second second	EHTH	64m
200- m	62m	- F 1	20m

シミュレーションに用いた3Dマップと受信機位置

 ・概算位置と3Dマップ:LOS衛星に限定し反射波を除去したRTK-GNSSの FIX率の検証



3DマップによるLOS衛星+反射波を除去 各評価地点のRTK-GNSSのFIX率 3DマップによりLOS衛星+反射波を除去 各評価地点のRTK-GNSSの ミスFIX解の割合

- ・概算位置と3Dマップ:LOS衛星に限定し反射波を除去したRTK-GNSSのFIX率の検証
- ・ 地点33と地点15の比較



DGNSSの精度評価

・測定地点は評価環境その1やや北側の異なる位置

項目	值			
衛星システム	GPS, GLONASS, BDS, QZSS, Galileo L1/L2	²⁰⁶ m	63 69 70 63 64 65	60
評価時間	2020年6月23日7:06:00 ~2020年6月23日7:26:00	15	57 53 59 60 51 52 53 54 55 60 67 69 69	61 56
衛星位置	エフェメリス	210-22	40 41 42 43 44 45 3 40 41 42 43 44 45	
受信機位置	固定		9 35, 37 36 35 33 39	
レイトレース条件	反射2回,反射1回&回折1回,反射1回, 回折1回,	1.040 - 20.000 20.000 - 40.000	34 33 32 31 30 35/m 29 28 27 26 25 24 29 09 01 09 10	
测位手法	DGNSS (RTKLIB v2.4.3b33) 仰角に応じたSNRマスク、3Dマップ	40.000 - 60.000 60.000 - 80.000 80.000 - 100.000 100.000 - 120.000 120.000 - 140.000	35m 23 22 21 20 19 13 18 17 16 15 14 12 11 10 9 8	
GNSS受信機	u-blox ZED-F9P 5Hz	140.000 - 160.000 160.000 - 180.000 180.000 - 200.000 200.000 - 200.000 62.00	7 6 5 4	

評価シナリオ

評価対象とする測位手法(DGNSS)
 (1)仰角に応じたSNRマスク
 シミュレーションに用いた3Dマップと受信機位置
 (2)仰角に応じたSNRマスク+3Dマップによる見通し衛星選択
 (3)仰角に応じたSNRマスク+3Dマップによる見通し衛星選択+反射波を受信している衛星の除外

- ・真値付近の地点19におけるDGNSSの測位結果と精度
 - ・3Dマップを用いた衛星選択:DGNSSの水平方向の誤差の範囲が縮小
 - •反射波衛星を除去:水平方向の誤差の範囲がより縮小



- ・全地点における水平RMS誤差
 - ・真の位置付近の精度が高い傾向
 - ・北東の地点67は東側の建物の配置が真値付近と似て、衛星選択が似た結果精度が高い



(a) 3DMAP(見通し衛星)+仰角に応じたSNRマスク

(b) 3DMAP(見通し衛星+反射波除去)
 (b) +仰角に応じたSNRマスク

c)

- ・全地点における水平RMS誤差
 - ・全ての地点において,見通し衛星選択反射波除去を行うと精度が向上.

■3DMAP(見通し)+仰角に応じたSNRマスク ■3DMAP(見通し+反射波除去)+仰角に応じたSNRマスク





4.東京駅付近における静止点評価まとめ

- •本評価におけるFIX率、測位精度および概略位置の要求精度
 - RTK-GNSSのFIX率0%⇒34%(40%)
 - DGNSSの水平RMS誤差35.7m⇒約3m
 - 3Dマップに用いる概略位置の精度:
 - 距離41m×幅14mほどの道路の区画が特定出来る精度で十分
 - ・ 真値より10m程度以内の範囲内にて、最も妥当な衛星選択
- •課題
 - 衛星選択アルゴリズムの高度化
 - RTKのアルゴリズムの考慮
 - 反射波の除外:受信機の種類、走行状態に依存する
 - 高感度受信機では反射波の影響は大きい
 - 高精度受信機では反射波の影響は少ない
 - 静止状態では反射波の影響は大きい
 - ・ 走行状態では反射波の影響は少ない

- ・真値を与えずに,走行データの概算位置から3Dマップを用いた測位を行った
 - ・DGNSSの評価:RTK-GNSSの評価は設定により大きく結果が変わるため,
 - ・走行ルート上に予め3Dマップによる衛星の見通し選択の結果を保持
 - ・概算位置を元に3Dマップによる見通し衛星選択を参照

項目	值		
衛星システム	GPS, GLONASS, BDS, QZSS,		
	Galileo L1/L2		
評価時間	2020年5月30日1:30:00-1:50:00		
衛星位置	エフェメリス		
受信機位置	概算位置		
測位手法	RTLIB 2.4.3b33 DGNSS		
	仰角に応じたSNRマスク、		
	3Dマップ		
GNSS受信機	u-blox ZED-F9P 1Hz		

評価シナリオ



シミュレーションに用いた3Dマップと走行コース



- ・3Dマップによる衛星選択の評価地点の設定
 - ・走行ルート上に3m間隔に評価地点を設定した
 - ・各評価地点は2分毎の衛星の見通し情報を保持している







- ・3Dマップによる衛星選択の評価地点の選択
 - ・走行時の概算位置より,周辺に東西南北に6mの評価地点を使用する.
 - ・ 衛星選択結果を用いてDGNSSで測位を行い, 概算位置に最も近い地点を測位解





評価点



(b)

- ・3Dマップによる衛星選択の評価
 - ・道路上の測位解とその割合を示す.
 - 3DマップとSNRマスクを用いることで,道路上の測位解は37.3%から58.3%に向上した.



SNRマスクを用いたDGNSS測位結果



3DMAPとSNRマスクを用いたDGNSS測位結果



5. まとめ

- ・研究目的① 都市部における3Dマップを用いた衛星測位の性能予測
 - 3Dマップを用いた衛星測位の性能予測手法を構築
 - 見通しの継続と実測データを比較検証
 - ・ 信号品質の良い衛星: 推定精度約88%
 - ・見通し継続衛星数によるRTK-GNSSでFIX状況の推定:推定精度約84%
- ・研究目的②都市部における3Dマップを用いた衛星測位の性能向上
 - ・3Dマップを用いた衛星測位の性能向上手法を構築
 - ・実測データによる性能検証
 - ・静止データ: 概算位置+3Dマップを用いた見通し+反射波除去衛星選択
 - RTK-GNSSのFIX率0%⇒34%(40%)
 - DGNSSの水平RMS誤差35.7m⇒約3m
 - 走行データ:測位解+3Dマップを用いた見通し衛星選択
 - DGNSSの解が道路上となる割合37.3%⇒58.3%
 - 3Dマップに用いる概略位置の精度:
 - 距離41m×幅14mほどの道路の区画が特定出来る精度
 - ・ 真値より10m程度以内の範囲内に最も妥当な衛星選択

5.今後の課題

・都市部における3Dマップを用いた衛星測位の性能予測

- 見通し継続時間の最適な値の検討
- RTK-GNSSの性能予測の高度化
 - RTKのアルゴリズムと影響の考慮
 - 観測衛星にしめるNLOS衛星数の割合
 - 実際の受信機が出力するRTK-GNSSの測位解との比較
 - ・ 観測データの2周波で十分でない状況
 - 走行状態の考慮
- 都市部における3Dマップを用いた衛星測位の性能向上
 - 衛星選択アルゴリズムの高度化
 - RTKのアルゴリズムの考慮
 - 反射波の除外:受信機の種類、走行状態に依存
- ・ 全体を通じた課題
 - 提案手法の多様な場所における性能評価
 - ・ 衛星配置の将来予測時の精度低下の影響の評価
 - 衛星選択のリアルタイム処理の適用時の精度低下の影響の評価
 - 3Dマップの精度による性能への影響の評価と調達方法の検討