

## 複数の準天頂衛星を併用することによる測位精度の向上効果に関する研究 Study on Improvement Effect of Positioning Accuracy by Using Multiple QZSS

○天野遼太<sup>1</sup>, 佐田達典<sup>2</sup>, 江守央<sup>2</sup>\*Ryota Amano<sup>1</sup>, Tatsunori Sada<sup>2</sup>, Hisashi Emori<sup>2</sup>

Abstract: In recent years, technology using position information by satellite positioning have been developed. Japan has developed QZSS, and operations will be started with four satellites from fiscal 2018. In this study, we verified the improvement effect of the positioning accuracy by using GPS and QZSS. As a result, it was confirmed that the positioning accuracy was most improved when using GPS and three QZSS, and that it is important to use multiple QZSS in high elevation angle.

### 1. はじめに

近年、カーナビゲーションシステムや自動運転、国土交通省による取り組みである i-Construction (アイ・コンストラクション)<sup>[1]</sup> など、衛星測位による位置情報を用いた技術開発が進められている。衛星測位を行う上で、高仰角に衛星が位置している場合、マルチパスや電離層による誤差の影響を小さくすることができ、測位精度は向上するとされている。しかし、GPS 衛星のみでは高仰角での衛星数が限られており、高精度の位置情報を安定的に取得することができない。そこで、日本では準天頂衛星システム QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) を開発、整備し、高い精度での位置情報取得を目指している。QZSS は上空を 8 の字で飛行する準天頂軌道と静止軌道の 2 種類の衛星で構成されており、準天頂軌道は日本のほぼ真上で長時間留まることが可能である。2010 年 9 月のみちびき初号機から始まり、2017 年 10 月にはみちびき 4 号機が打ち上げられ、2018 年度からは 4 機体制での運用が開始される<sup>[2]</sup>。本研究では、QZSS を使用した場合の測位精度の向上効果について、GPS のみを使用し QZSS を用いない場合、GPS と QZSS を併用した場合、GPS と複数の QZSS を併用した場合について比較し検証を行うことを目的とする。

### 2. 実験概要

#### (1) 使用するデータ

本研究では、日本時間 2018 年 3 月 6 日 12:00~3 月 7 日 12:00 に日本大学理工学部船橋キャンパス 7 号館屋上に基準局 A と移動局 B を設置し行った、データ取得間隔 1 秒のキネマティック測位のデータを用いる。屋上で実験を行ったことから、天空に遮蔽物はほぼ存在しない。なお、受信機は Trimble 社の NetR9 を使用した。

#### (2) 解析手順

RTKLIB ver. 2.4.2 を使用し、24 時間データから移動局 B の 1 秒ごとの座標データを仰角マスク 15° で求めた。算出した移動局 B の座標について、平均値からのばらつきを示す標準偏差、参照値からのばらつきを示す RMS 誤差、HDOP、VDOP、各座標の分布図などをもとに精度の検証を行った。また、精度が向上した要因について、QZSS の仰角に着目し考察した。

### 3. 解析結果と評価

#### (1) 統計値

解析によって得られた統計値を Table 1. に示す。Fix 率はどのパターンにおいてもほぼ 100% に近い値となった。標準偏差、RMS 誤差を見ると、各座標とも QZSS の衛星数が増えるごとに値が小さくなっており、解析値のばらつきが小さくなっていることが確認できる。特に標高については、X 座標や Y 座標と比べ、大きく精度が向上していると言える。

Table 1. Statistics of analysis result

		① GPS のみ	② QZSS 1 機	③ QZSS 2 機	④ QZSS 3 機
Fix 率 (%)		99.985	99.984	99.976	99.980
標準 偏差	X 座標 (m)	0.00170	0.00157	0.00140	0.00128
	Y 座標 (m)	0.00136	0.00132	0.00130	0.00129
	標 高 (m)	0.00391	0.00339	0.00307	0.00278
RMS 誤差	X 座標 (m)	0.00177	0.00172	0.00164	0.00163
	Y 座標 (m)	0.00311	0.00304	0.00304	0.00300
	標 高 (m)	0.00393	0.00347	0.00321	0.00297

Table 2. Average of HDOP / VDOP

平均値	① GPS のみ	② QZSS 1 機	③ QZSS 2 機	④ QZSS 3 機
HDOP	1.226	1.157	1.110	1.070
VDOP	2.095	1.901	1.759	1.643

(2) VDOP・HDOP

水平方向の精度劣化を示す水平精度劣化率 HDOP (Horizontal Dilution of Precision) と、鉛直方向の精度劣化を示す鉛直精度劣化率 VDOP (Vertical DOP) について、各平均値を Table 2. に示す。HDOP と VDOP を比較すると、VDOP に比べ HDOP の平均値が小さいことから、鉛直方向と比べ水平方向の精度が高いことがわかる。QZSS の衛星数で比較すると、QZSS の衛星数が増加するとともに DOP の平均値は小さくなっており、精度が向上していることがわかる。

(3) 分布図

24 時間のデータより求めた解析値と参照値をもとに、座標の各分布図を作成した。ここでは、GPS のみを用いた場合と、QZSS を 3 機併用した場合について Table 3. に示す。a) は平面座標、b) は立面座標、c) は時間ごとの標高の変動を示している。どの分布図においても GPS のみの場合と比べ、QZSS を 3 機併用した場合においてばらつきが小さくなっていることがわかる。

Table 3. Scatter plot of coordinates

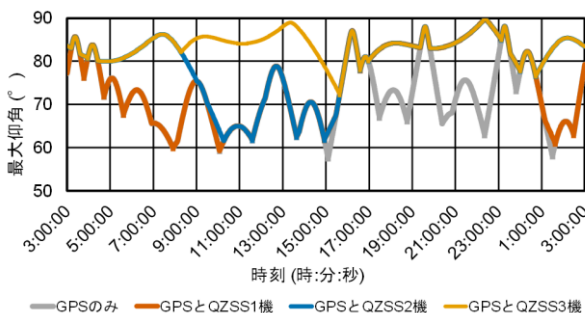
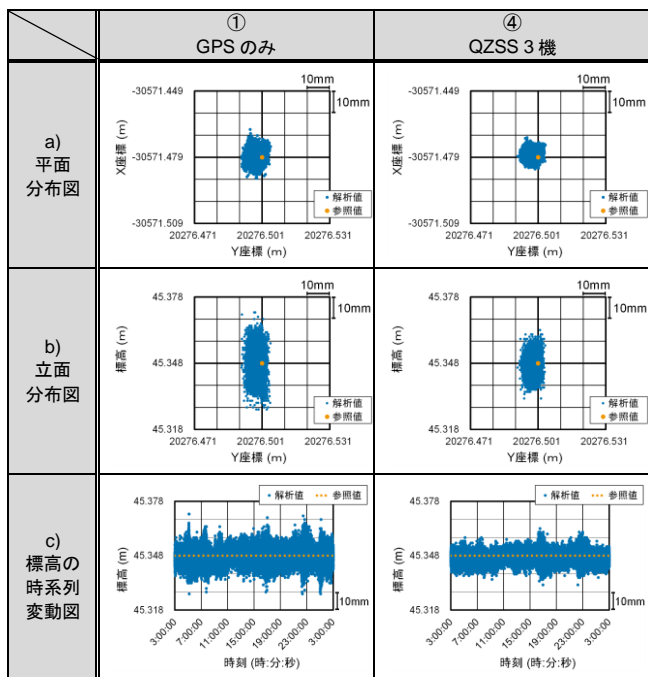


Figure 1. Maximum elevation angle

4. 測位精度に関する考察

Figure 1. は各時間帯で観測できる衛星のうち仰角が最も大きいものを抽出し、その仰角を時系列で示したものである。GPS のみを使用した場合と比較すると、QZSS が増えるごとに最大仰角が大きくなっていることがわかる。本実験時には、24 時間を通して最大仰角 70° 以上となることが確認できた。酒井ら<sup>[3]</sup>の研究より、70° 以上の高仰角に位置している QZSS を使用することで鉛直方向の精度向上効果が高くなる可能性が示されている。よって、本研究においても、GPS のみを用いた場合に対し、QZSS を複数併用した場合に精度向上効果が高くなることが考えられる。

5. まとめ

本研究では、QZSS の衛星数増加に伴う精度向上効果についての研究を行い、以下のことが明らかとなった。

- QZSS を 3 機併用した場合において最も測位精度が向上することが確認できた。
- QZSS の衛星数増加に伴って、高仰角に現れる衛星が増えることが確認できた。特に QZSS を 3 機併用した場合には、24 時間を通して仰角 70° 以上に衛星が現れることがわかった。
- 高仰角に位置する複数の QZSS を併用することにより、高い精度向上効果が得られると考えられる。

なお、今回使用したデータは建物の屋上で観測したものであることから、天空を遮蔽する障害物がない状況であった。今後、天空に遮蔽物がある状況での観測も行い、精度向上について検証する必要がある。また、QZSS 4 機体制での精度の検証も行っていきたい。

謝辞

実験にご協力いただいた株式会社ジェノバ (前 日本大学理工学部交通システム工学科) 池田隆博氏に心より御礼申し上げます。

参考文献

[1] 国土交通省:「i-Construction」, < <http://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/index.html> >, (入手 2018.5.30).

[2] 内閣府 宇宙開発戦略推進事務局:「準天頂衛星システム『みちびき』パンフレット」, < [http://qzss.go.jp/overview/download/isos7j0000000bl4-att/qzss\\_pamphlet\\_201803a.pdf](http://qzss.go.jp/overview/download/isos7j0000000bl4-att/qzss_pamphlet_201803a.pdf) >, (入手 2018.5.30).

[3] 酒井昂紀・佐田達典・江守央:「準天頂衛星の併用による GPS 測位の鉛直方向精度の向上効果に関する研究」, 応用測量論文集, Vol.28, pp.109-119, 2017.