

(69) QZSS の仰角に応じた GPS・QZSS 測位の精度変化検証

中島 和希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: cskal8008@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.ac.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

本研究では、GPS と QZSS を併用した場合の仰角の違いによる測位精度を比較して精度変化を検証することを目的とする。実験を行った 2017 年 12 月 8 日時点では QZSS 初号機と 2 号機のみが運用中であったため、GPS と QZSS1 機、GPS と QZSS2 機の 2 つのパターンを解析した。また、QZSS の仰角が 75° ~ 90° の高仰角、60° ~ 90° の中高仰角、45° ~ 75° の中仰角、45° ~ 15° の低仰角に衛星が存在する場合の 4 つのパターンを解析し比較を行なった。QZSS の増加に伴う標準偏差を比較したところ、それぞれの値が減少していた。また、仰角が高い位置に衛星が存在すれば精度が良くなる傾向にあるが、受信衛星数や DOP 値によってはその限りではない。

Key Words: QZSS, GPS, positioning accuracy, elevation angle

1. はじめに

わが国が開発運用を進めている準天頂衛星システム「みちびき」は、英語では QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) と表記され、準天頂軌道の衛星と静止軌道の衛星で構成される。

2010 年 9 月に QZSS の初号機が打ち上げられ、各種の利用実証実験が実施されてきた。2017 年 6 月に 2 号機が打ち上げられ、同年 8 月には 3 号機、同年 10 月には 4 号機が打ち上げられた。また、初号機、2 号機、4 号機は準天頂軌道であり、3 号機は静止軌道である。

QZSS は 3 機が順番に日本の天頂付近に位置するように配置され、1 日 24 時間ほぼ常時天頂付近に滞留する。天頂付近に常に衛星がいることは、測位の安定と高精度化に大きく寄与すると期待されている。天頂付近の衛星から送信される電波は、上空が遮断されていない限りどこからでも受信でき、その利用可能性が高まるとともにマルチパスの影響も少なく、測位精度の向上が期待される。

そこで本研究では QZSS の仰角における測位精度変化を検証することを目的とする。実験を行った 2017 年 12 月 8 日時点では QZSS 初号機と 2 号機が運用中であった

ため、GPS と QZSS1 機、GPS と QZSS2 機の 2 つのパターンを解析した。

2. 実験方法

日本時間 2017 年 12 月 8 日 9:00 ~ 12 月 9 日 9:00 に日本大学理工学部船橋校舎 7 号館屋上にて基準局 A と移動局 B に Trimble 社製の GNSS 受信機である NetR9 を設置し、GPS と QZSS の電波信号をキネマティック測位モードで 1 秒間隔で 24 時間取得した。また、その様子を図-1 に示す。

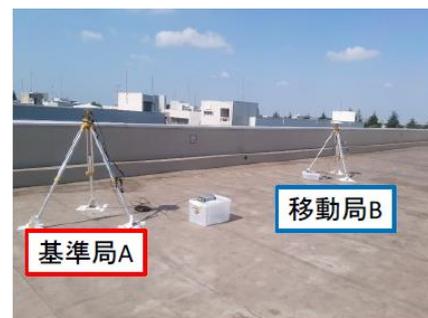


図-1 実験状況

3. 解析方法

本研究ではRTKLIB ver2.4.2を用いてキネマティック解析を1秒ごとに24時間行い、移動局Bの座標を求めた。また、解析のパターンを以下に示す。なお、解析に使用した衛星は仰角 15° ～ 90° の衛星であり、GPSのみを利用した場合のX座標、Y座標、標高の平均値を参照値とし、それと仰角ごとにおけるQZSSを併用した場合の精度を比較していく。

GPSとQZSS初号機では、表-1に示す仰角ごとの3つの組み合わせで解析を行い、精度の比較を行う。また、時間は図-4の天空図から判断した。

GPSとQZSS初号機、2号機では、表-2に示す仰角ごとの5つの組み合わせで解析を行い、精度の比較を行なう。また、時間は図-5の天空図から判断した。

4. 解析結果

表-1にGPSとQZSS初号機の場合のそれぞれの仰角ごとの時間と測位結果の統計値、データのサンプル数、受信衛星数、VDOP、HDOPの平均値を示し、表-2にはGPSとQZSS初号機、2号機の場合を示す。なお、DOPとは衛星の配置状態を指標化したものであり、値が小さいほど測位精度が高い傾向を示す。衛星の幾何学的配置の垂直成分の劣化度を指標化したものがVDOP、水平成分の劣化度を指標化したものがHDOPである。また、縦軸を標準偏差とし、グラフ化したものを図-2、図-3に示す。

図-4、図-5にはGをGPS、JをQZSSとした天空図、縦軸がX座標（南北）、横軸がY座標（東西）とした測位結果の平面分布図、縦軸が標高、横軸を時間とした標高の時系列変動図を示す。また、天空図はRTKLIB ver2.4.2を使用して作成した。

表-1 測位結果の統計値 (GPSとQZSS初号機)

解析パターン		A	B	C
仰角	初号機	$15^{\circ} \sim 45^{\circ}$	$45^{\circ} \sim 75^{\circ}$	$75^{\circ} \sim 90^{\circ}$
	時間	9:00～15:00	7:00～8:50	0:00～6:00
標準偏差	X座標(m)	0.0019	0.0008	0.0016
	Y座標(m)	0.0015	0.0009	0.0014
	標高(m)	0.0045	0.0026	0.0033
サンプル数		21600	6601	20996
平均受信衛星数		7.94	8.57	8.52
平均HDOP		1.12	1.13	1.37
平均VDOP		1.86	2.01	1.61

表-2 測位結果の統計値 (GPSとQZSS初号機、2号機)

解析パターン		D	E	F	G
仰角	初号機	$15^{\circ} \sim 45^{\circ}$	$45^{\circ} \sim 75^{\circ}$	$75^{\circ} \sim 90^{\circ}$	$75^{\circ} \sim 90^{\circ}$
	2号機	$75^{\circ} \sim 90^{\circ}$	$75^{\circ} \sim 90^{\circ}$	$15^{\circ} \sim 45^{\circ}$	$45^{\circ} \sim 75^{\circ}$
時間		9:00～15:00	7:00～8:50	0:00～4:10	4:10～6:00
標準偏差	X座標(m)	0.0013	0.0008	0.0014	0.0014
	Y座標(m)	0.0013	0.0009	0.0012	0.0016
	標高(m)	0.0040	0.0021	0.0029	0.0040
サンプル数		21600	6601	14400	6596
平均受信衛星数		10.35	10.75	9.94	9.20
平均HDOP		1.00	1.02	0.97	1.29
平均VDOP		1.42	1.37	1.61	1.88

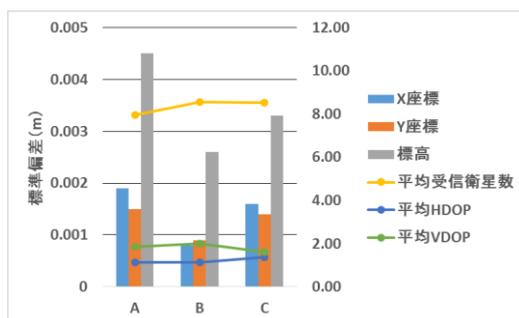


図-2 測位結果の解析データ (GPSとQZSS初号機)

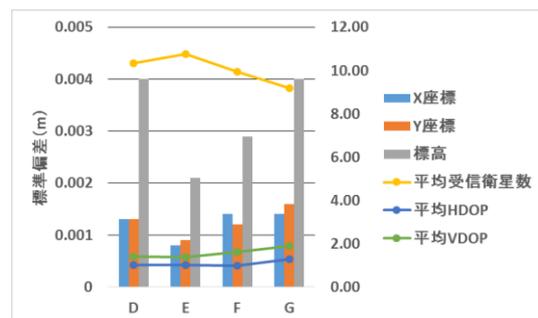


図-3 測位結果の解析データ (GPSとQZSS初号機、2号機)

5. 考察

GPS と併用する QZSS の数を変化させた際の精度変化を比較するため、それぞれの標準偏差の平均値を表-3 に示す。ここから、併用する QZSS を増やすことで測位精度は良くなる傾向にあり、特に標高の精度変化が顕著であることが分かる。

GPS と QZSS 初号機の組み合わせについて、図-2 を見ると、平均 VDOP 以外の値が他のパターンと比べて小さくなっているのが、最も精度が良いのは B であると分かる。しかし、B は仰角の最も高いパターンではない。このことから、測位精度には仰角以外にも重要な要素があると考えられる。そこで、受信衛星数を見ていくと、最も精度の良かった B は受信衛星数が最も多く、最も精度の悪かった A は受信衛星数が最も少ないことが分かる。このことから、受信衛星数が多いほど、測位精度は良くなると考えられる。また、平均 HDOP について見ていくと、精度の良かった B は最低値ではないが最低値とほ

ぼ同じ値となっている。平均 VDOP は最も大きい値となっているが、3 を下回っているため概ね良好な値であると考えられる。

GPS と QZSS 初号機、2 号機の組み合わせについて、図-3 を見ると、平均 HDOP 以外の値が他のパターンと比べて小さくなっているのが、最も精度が良いのは E であると分かる。E は今回設定したパターンの中、最も仰角の高いものである。しかし、G も衛星が入れ替わっただけで仰角の条件は同じであるにもかかわらず、それぞれの標準偏差は最も大きくなっている。そこで、受信衛星数を見ていくと、ここでも最も精度の良い E の受信衛星数が多いことが分かる。このことから、受信衛星数が多いほど測位精度は良くなると考えられる。また、平均 HDOP について見ていくと、精度の良かった E は最低値ではないが最低値とほぼ同じ値となっている。平均 VDOP は最も小さくなっていることが分かる。

表-3 標準偏差の平均値

解析パターン		GPSとQZSS1機	GPSとQZSS2機
標準偏差	X座標 (m)	0.0014	0.0012
	Y座標 (m)	0.0013	0.0013
	標高 (m)	0.0035	0.0033

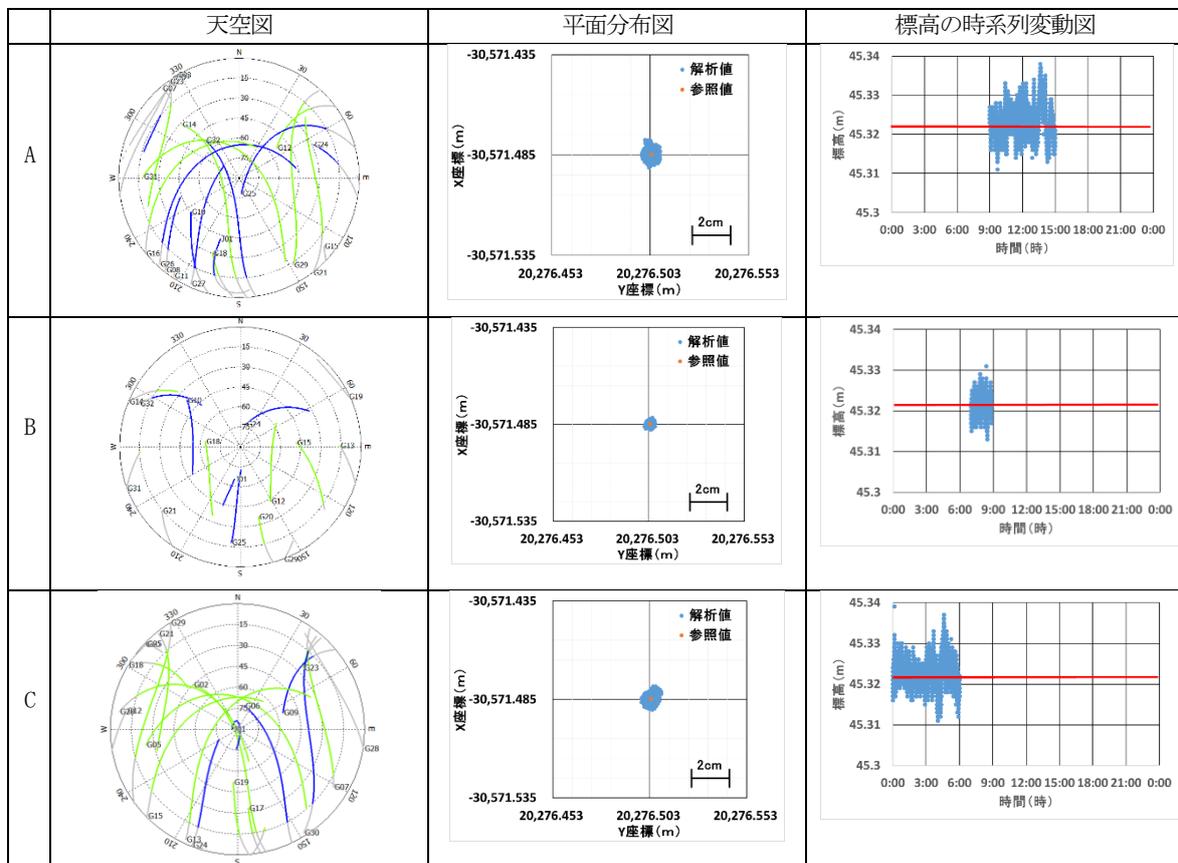


図-4 GPS と QZSS 初号機の解析結果 (天空図は RTKLIB で作成)

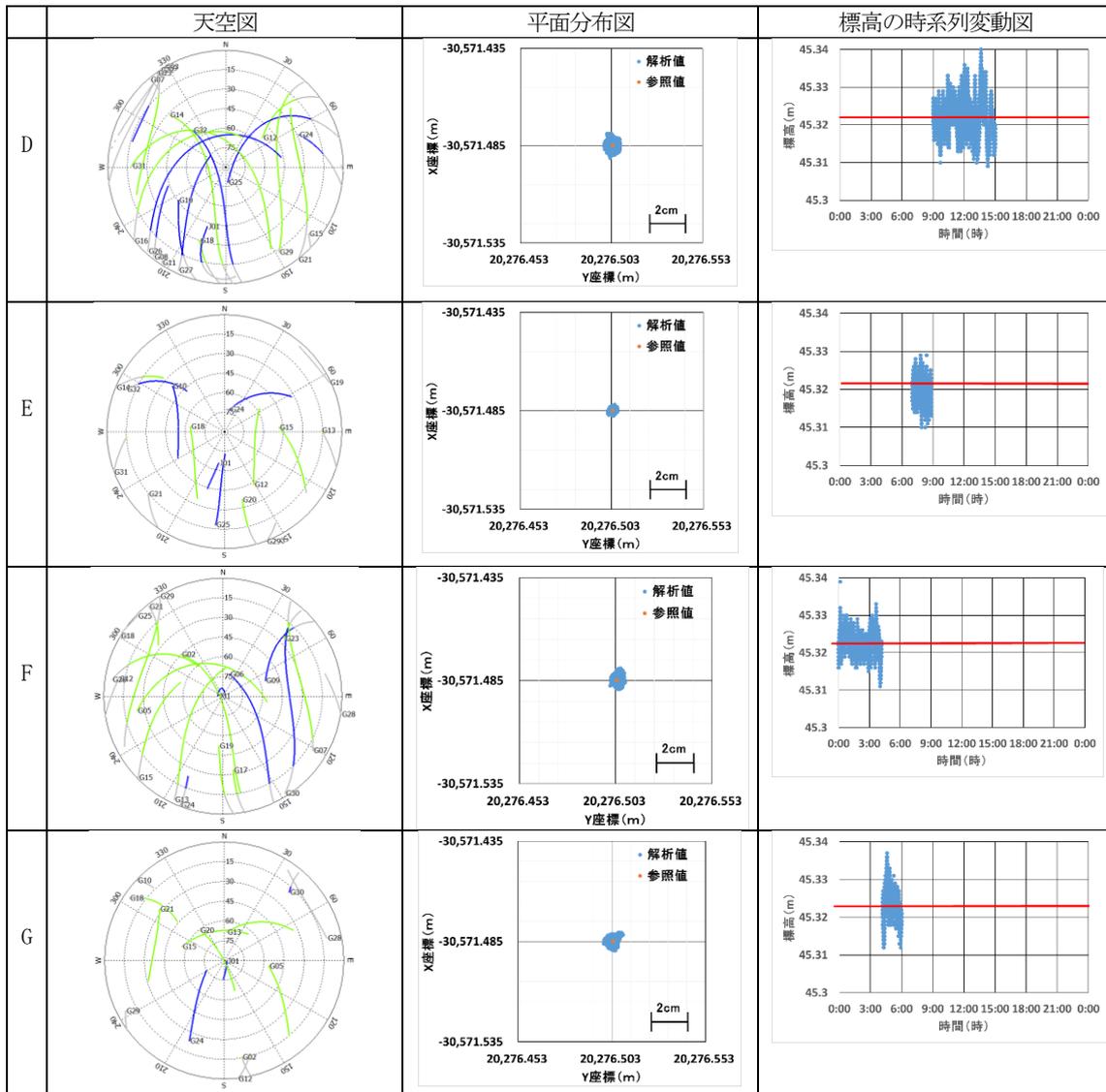


図-5 GPSとQZSS初号機、2号機の解析結果（天空図はRTKLIBで作成）

6. おわりに

本研究では、QZSSの仰角における測位精度変化を検証してきたが、基本的には仰角が高い方が測位精度が良いことが分かった。しかし、仰角が高くても受信衛星数が少ない場合測位精度は劣化してしまう傾向にあった。また、併用するQZSSの数においては1機よりも2機の方が測位精度が良くなる傾向にあり、その中でも特に標高の測位精度変化が顕著であった。

そこで、今後の課題としては、QZSSが4機体制となった際にも測位精度が向上しているのかどうかの検証やその中でも標高の測位精度が特に向上しているのかどうかの検証をしていきたい。今回の結果から、受信衛星数

が重要なのではないかと、ということが分かったので、それに着目した実験や解析をより細かく行い、それ以外の要因によっても精度が変化する条件をより細かく分析していきたい。

参考文献

- 1) 内閣府宇宙開発戦略促進事務局：みちびき（準天頂衛星システム）、
www.gsi.go.jp/eiseisokuchi/eiseisokuchi600006.html, (入手 2018.3.10) .
- 2) 酒井昂紀, 佐田達典, 江守央：測位に使用する衛星の配置と鉛直方向精度に関する研究, 土木学会論文集F3, vol.73, No.2, pp.155-163, 2017.