

## (34) 街路走行時の高精度測位における QZSS の併用効果の検証

中島 和希<sup>1</sup>・佐田 達典<sup>2</sup>・江守 央<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> 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

<sup>3</sup> 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

本研究は高層ビルが立ち並ぶ街路を走行した際の GNSS 測位において、QZSS を併用することによる精度向上効果を検証することを目的とする。実験を行った 2018 年 10 月 10 日時点では QZSS は 4 機運用中で、解析では使用する衛星の組み合わせ、周辺環境の異なる区間、時間帯、往路と復路による違いに着目した Fix 率の比較を行った。その結果、GPS に QZSS を併用することで走行実験全体で約 12% の向上がみられ、最も効果の大きい区間では約 36% 向上した。また、同じ区間でも時間帯によって Fix 率に最大で約 36% の差が出ることも、同じ区間における往路と復路で Fix 率に最大で約 27% の差が出ることも確認された。これらのことから QZSS の併用効果は明らかに認められるが、街路走行時における高精度測位では様々な条件が測位精度に強い影響を与えることが確認できた。

**Key Words:** QZSS, GPS, positioning accuracy

### 1. はじめに

現在、自動運転の実用化を目指し多くの国において技術開発が進められている。自動運転の実用化に向けては位置特定技術や認識技術、人工知能、通信技術、予測技術など、様々な最先端技術が必要とされている。このような技術の中でも位置特定技術において GNSS (Global Navigation Satellite System) はその中核を担っている。従来は GPS のみであったが、現在ではそれに加えロシアの GLONASS、EU の Galileo、中国の BeiDou、そして日本の準天頂衛星システム QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) などの使用できる測位衛星が増加したことにより、GNSS を利用できる範囲や時間帯が拡大し、測位の可能性が高まることが期待されている。その中でも、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」は特に注目されている。準天頂衛星とは準天頂軌道を描く衛星のことであり、QZSS は準天頂軌道の衛星と静止軌道の衛星で構成されている。

2010 年 9 月に QZSS 初号機が打ち上げられ、各種の利

用実証実験<sup>1)</sup>が実施されてきた。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<sup>3)</sup>。

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。この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るので、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<sup>4)</sup>。

このように GNSS を利用できる範囲は QZSS によって拡大してきているが、高層ビルの多く存在する都市部ではマルチパスの影響も強く、測位精度を安定させるのは難しいとされている。

そこで本研究では QZSS を併用することによる高層ビルの多く存在する都市部での街路走行時における測位精度変化を検証するため、使用する衛星の組み合わせをはじめとして、周辺環境の異なる区間、時間帯、往路と復路の違いによる解析を行った。また、それぞれ Fix 率の変化を対象とし比較を行った。

## 2. 実験方法

日本時間 2018 年 10 月 10 日 13:47~15:13 に周囲に高層ビルが多く存在する東京都新宿エリアにおいて、走行実験を実施した。基準局を株式会社フィールドテック東京本社屋上、移動局を走行実験車両とし、Trimble 社製の GNSS 受信機である NetR9 を設置し、衛星の電波信号をキネマティック測位モードで 1 秒間隔で取得した。

新宿での走行ルートを図-1 に示し、移動局として使用した車両を図-2 に、アンテナの設置状況を図-3 に示す。本実験では地点 1 から順に地点 11 までの走行を 3 周繰り返しており、それぞれの地点の通過時刻を表-1 に示す。ただし、3 周目は地点 10 までで走行を終えている。



図-1 走行ルート (出典:GoogleMap より作成)



図-2 走行実験車両



図-3 アンテナ設置状況

表-1 地点通過時刻 (日本時間)

1周目		2周目		3周目	
地点	時刻	地点	時刻	地点	時刻
1	13:47:27	1	14:17:56	1	14:44:14
2	13:49:32	2	14:19:10	2	14:45:49
3	13:51:33	3	14:20:23	3	14:48:32
4	13:52:56	4	14:20:52	4	14:50:50
5	13:53:43	5	14:21:43	5	14:51:41
6	13:55:55	6	14:25:10	6	14:54:31
7	13:56:43	7	14:26:16	7	14:55:37
8	14:10:21	8	14:37:36	8	15:09:20
9	14:11:32	9	14:39:17	9	15:09:56
10	14:13:40	10	14:40:31	10	15:12:28
11	14:15:51	11	14:42:31	11	

表-2 衛星測位システムの図表での表記

衛星	表記
GPS	G
Galileo	E
GLONASS	R
QZSS	J

## 3. 解析方法と結果・考察

本研究では RTKLIB ver2.4.3 を用いてキネマティック解析を 1 秒ごとに行い、移動局の Fix 率を求めた。解析に使用した衛星は仰角  $15^{\circ}$  ~  $90^{\circ}$  の衛星であり、図-1 の区間 7~8 は高架下であるため、解析では除いている。また、図表では衛星測位システムを表-2 のように表記する。

### (1) 使用する衛星の組み合わせによる Fix 率の変化

#### a) 解析方法

図-1 の 1~11 全ての地点を対象とし、走行を 3 周繰り返した際の衛星の組み合わせによる Fix 率の変化を比較する。組み合わせは GPS, GPS+QZSS, GPS+Galileo+GLONASS, GPS+Galileo+GLONASS+QZSS の 4 種類とした。

#### b) 解析結果

表-3 に衛星の組み合わせによる Fix 率を示し、図-4 に Fix 率の変化を図化したものを示す。表-3 によると、GPS に QZSS を併用することで Fix 率が約 12% 増加している。次に、GPS+Galileo+GLONASS をみると GPS と比較した際の Fix 率が約 6% 増加している。また、GPS+QZSS と比較した際、Fix 率は約 5% 減少している。更に、ここへ QZSS を併用すると Fix 率が約 9% 増加した。これらのことから、QZSS の併用効果が高いことと、多くの衛星を使用することで Fix 率が最も高くなっていることがわかる。よって、周囲に遮蔽となる高層ビルが立ち並ぶ新宿エリアにおいても衛星数の増加による測位精度向上効果が大きくなることが考えられる。

表-3 衛星の組み合わせごとのFix率 (3周分)

使用衛星	Fix率 (%)
G	0.03
G+J	14.97
G+E+R	9.46
G+E+R+J	18.43

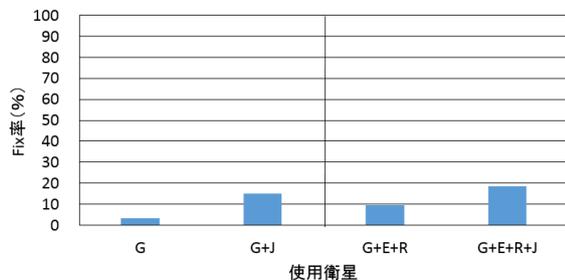


図-4 QZSS 併用時のFix率の変化 (1周目)

表-4 衛星の組み合わせにおける区間ごとのFix率

使用衛星	Fix率 (%)									
	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	8~9	10~11		
G	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	5.63	0.76		
G+J	0.00	9.92	9.64	4.26	1.52	2.08	29.58	12.21		
G+E+R	1.60	4.13	10.84	2.13	0.76	8.33	28.17	9.16		
G+E+R+J	8.80	17.36	9.64	21.28	3.79	35.42	40.85	13.74		

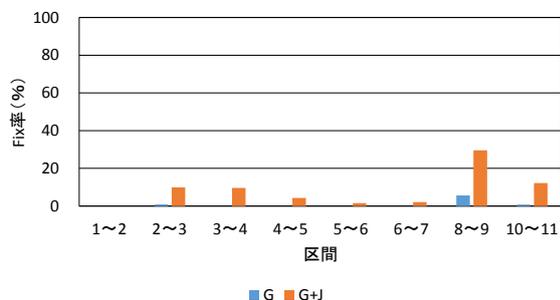


図-5 GPS, GPS+QZSS における区間ごとのFix率

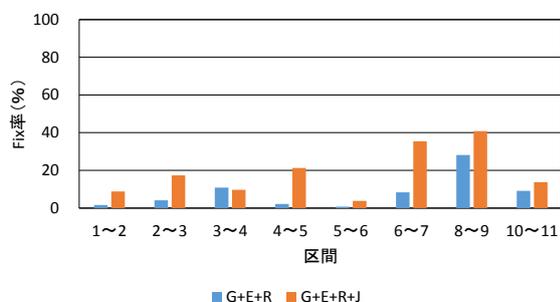


図-6 GPS+Galileo+GLONASS, GPS+Galileo+GLONASS+QZSS における区間ごとのFix率

## (2) 区間におけるFix率の変化

区間ごとに解析範囲を区切り、3周繰り返し行った走行の内1周目を対象に解析を行った。

表-4 に衛星の組み合わせにおける区間ごとのFix率を示す。また、図-5 にGPS, GPS+QZSS における区間ごとのFix率を、図-6 にGPS+Galileo+GLONASS, GPS+Galileo+GLONASS+QZSS における区間ごとのFix率を示す。図-5 をみると、全ての区間でQZSSを併用した際にFix率が向上しており、最も併用効果の大きい区間8~9ではQZSSを併用することで約24%の向上が確認できる。次に図-6 をみると、こちらの場合でも全ての区間でQZSSを併用した際にFix率が向上しており、最も併用効果の大きい区間は区間6~7となっている。どちらの組み合わせの場合でも、QZSSを併用することで全ての区間でFix率の向上がみられ、QZSSの併用効果は大きいことが考えられる。

## (3) 時間帯の違いによる区間ごとのFix率

表-5 に時間帯の違いによる区間ごとのFix率を示し、その中でも最も多くの衛星を使用している組み合わせを図化したものを図-7に示す。

図-7 をみると、5つの区間で1周目のFix率が最も低くなっている。さらに、5つの区間で3周目のFix率が最も高くなっていることがわかり、他の衛星の組み合わせでも似た傾向がみられる。今回の実験では、QZSSを併用する際には3周目の時間で最も効果が大きく、1周目の時間で最も効果が小さい。

図-8 に天空図と平均HDOP, 平均VDOPを示す。天空図には全ての衛星を示しており、色は信号の違いを示している。緑色はL1/2, 黄色はL1, ピンク色はL2, 青色はL1/2/5, 赤色はL1/5, 黄緑色はL5となっている。また、仰角15°以下の衛星は使用していないため灰色で示している。図-8 をみるとJ01が常に天頂付近に存在しており、これによりQZSSを併用した際の測位精度が高くなることが考えられる。また、QZSSは実験を行った13:47~15:13の間では大きく動いていないことがわかり、この時間帯では同じ方向から安定して電波を受信できることが考えられる。次に、衛星の配置状態を指標化したDOPに着目する。ただし、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であり、値が小さいほど測位精度が高い傾向を示す。平均HDOPと平均VDOPはともに、2周目の値が最も小さくなっており衛星の配置状態が良好であることが確認できる。しかし、今回の解析では区間ごとに詳しく平均DOPの算出を行ったわけではないため、正確な考察を行うことは難しい。そのため、今後の解析では区間ごとに解析の時間を区切り、平均DOPを求めたい。

表-5 時間帯の違いによる区間ごとのFix率

使用衛星	周数	Fix率(%)								
		1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	8~9	10~11	
G	1周目	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	5.63	0.76	
	2周目	0.00	0.00	3.45	0.00	0.48	4.55	8.91	15.00	
	3周目	2.11	4.91	7.97	7.84	1.76	6.06	2.78		
G+J	1周目	0.00	9.92	9.64	4.26	1.52	2.08	29.58	12.21	
	2周目	4.05	0.00	6.90	17.65	5.31	16.67	39.60	27.50	
	3周目	18.95	11.66	43.48	35.29	11.18	21.21	27.78		
G+E+R	1周目	1.60	4.13	10.84	2.13	0.76	8.33	28.17	9.16	
	2周目	6.76	1.37	3.45	5.88	1.93	19.70	39.60	20.00	
	3周目	3.16	6.75	12.32	5.88	4.71	28.79	5.56		
G+E+R+J	1周目	8.80	17.36	9.64	21.28	3.79	35.42	40.85	13.74	
	2周目	9.46	5.48	10.34	23.53	5.31	25.76	39.60	26.67	
	3周目	14.74	11.04	36.23	27.45	12.35	42.42	41.67		

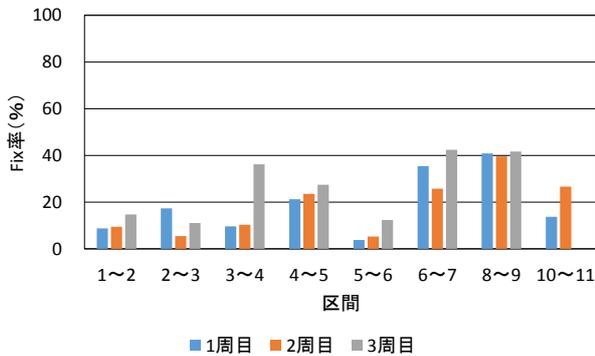


図-7 時間帯の違いによる区間ごとのFix率 (GPS+Galileo+GLONASS+QZSS)

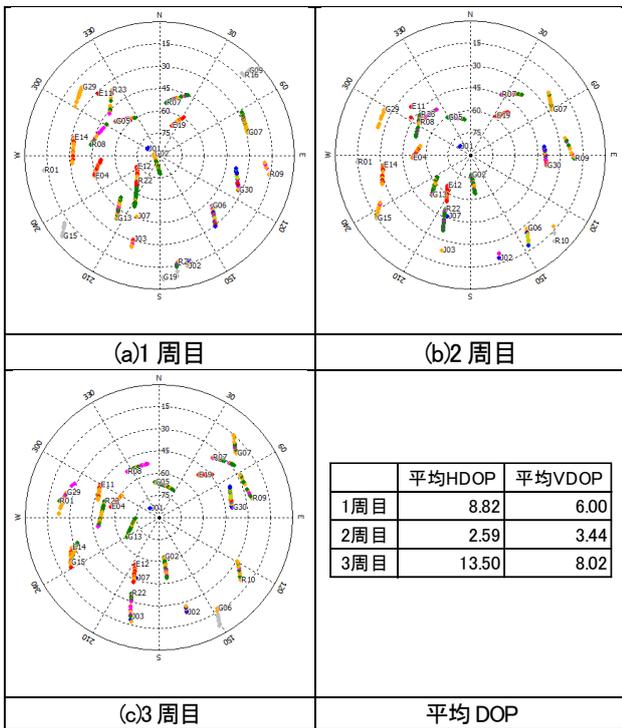


図-8 天空図と平均DOP (天空図はRTKLIBで作成)

(4) 往路と復路の違いによるFix率

区間6~7と区間8~9は同じ道であり、往路と復路の関係になっているにもかかわらず、表-5をみるとFix率に大きな違いがみられることから、周囲の遮蔽環境だけでなく、定められた区間へ入る前の状況が影響しているのではないかと考えられるため、原因を考察していく。

区間6~7に入る前はビルが立ち並んでおり、区間8~9に入る前は周りをビルに囲まれながらも高架下という衛星測位には厳しい環境であることがわかる。しかし、Fix率としては区間8~9の方がFix率は良好であるため、考慮されるのは周囲の遮蔽環境だけでなく、区間に入るまでの距離も関わってくるのではないかと考えられる。区間8~9に入る前は高架下ではあるものの長い距離を走行しており、厳しい環境ながらも衛星の状況を取得できたのではないかと考えられる。

4. おわりに

本研究では使用する衛星の組み合わせ、区間の違い、時間帯の違い、往路と復路の違いといった4つの視点からみたFix率について解析、考察を行った。その結果、GPSにQZSSを併用することで走行実験全体で約12%の向上がみられ、最も効果の大きい区間では約36%向上した。また、同じ区間でも時間帯によってFix率に最大で約36%の差が出ることで、同じ区間における往路と復路でFix率に最大で約27%の差が出ることも確認された。

QZSSを併用した高精度測位では時間の変化に伴う衛星配置と周囲の遮蔽環境の関係に強い影響を受けることが明らかになった。往路と復路の違いでは周囲の遮蔽環境が変わらない同じ道でも、道に入る前の状況が精度に影響を与えている可能性があることがわかった。これらのことからQZSSの併用効果は明らかに認められるが、街路走行時における高精度測位では様々な条件が測位精度に強い影響を与えることが確認された。

参考文献

- 1) 酒井昂紀, 佐田達典, 江守央: 準天頂衛星の併用によるGPS搬送波位相測位における鉛直方向精度の向上効果に関する研究, 土木学会論文集F3, vol.73, No.2, pp.155-163, 2017.
- 2) 中島和希, 佐田達典, 江守央: QZSSの機数と仰角に応じたGPS・QZSS測位の精度変化検証, 土木学会論文集F3, vol.74, pp.63-70, 2018.
- 3) 内閣府: みちびき (準天頂衛星システム), <<http://qzss.go.jp/>>, (入手 2018.3.10) .
- 4) 佐田達典, 準天頂衛星システム「みちびき」への期待, 測量, Vol.68, No.4, pp.6-7, 2018.