

F1-7

BeiDou の3種の衛星軌道とその組み合わせが測位に与える影響に関する研究 Study on the influence of three satellite orbits of BeiDou and their combination on positioning

○吉田賢史¹, 佐田達典², 江守央², 宇野敬太³*Satoshi Yoshida¹, Tatsunori Sada², Hisashi Emori², Keita Uno³

Abstract: In recent years, China's BeiDou satellite positioning system has been rapidly developed and is expected to be widely used in Japan. In this study, we verified the positioning accuracy of three satellite orbits and their combination, which are the characteristics of BeiDou. As a result, it was found that the combination of GEO (stationary orbit) and IGSO (inclined ground synchronous orbit) showed similar results when using satellites of all orbits. This is probably because the number of satellites in the MEO (medium-altitude orbit) is small and does not affect the results.

1. はじめに

現在、衛星測位システムは自動運転や自動施工など様々な場面で活用されている。その中でも近年、中国の衛星測位システムである BeiDou は急激に整備が進められており、日本でも広く活用されることが期待されている。BeiDou の特徴として、衛星測位システムの中で唯一、MEO (中高度軌道)、GEO (静止軌道)、IGSO (傾斜対地同期軌道) の3種の衛星軌道で構成されているものであり、2020年9月現在、それぞれ29機、9機、12機の合計50機が打ち上げられている^[1]。

本研究では、その BeiDou の3種の軌道とそれらの組み合わせが測位においてどのような特性や影響があるのかを明らかにし、日本で BeiDou を使用する際の条件設定等に活用することを目的とする。

2. 既存研究

雪山ら^[2]は搬送波移送測位における BeiDou と GPS の精度の違いについて明らかにしたが、これは BeiDou と他の衛星測位システムを比較して測位精度を明らかにしたものであり、BeiDou の特徴が測位に与える影響については明らかにしていない。

前田ら^[3]は BeiDou の衛星配置と測位精度の関係について検討を行ったが、これは衛星配置が測位に与える影響について解析したものであり、衛星軌道が与える影響については検討されていない。

3. 解析に用いるデータについて

本研究では前田ら^[3]が解析を行ったものと同じデータを用いた。

このデータを取得した実験内容は GPS, BeiDou, 準天頂衛星などの信号を受信することのできる Trimble 社の NetR-9 を使用し、1秒毎のキネマティック観測を

行いデータを取得した。実験は2018年3月6日12時から観測を開始し、翌3月7日12時まで24時間実施した。千葉県船橋市にある日本大学理工学部船橋校舎7号館の周囲に遮蔽物のない屋上で実施した^[3]。

4. 解析方法

解析は2018年3月6日の24時間の測位データを後処理基線解析ソフトウェア RTKLIB を用いて、3種の衛星軌道 MEO, GEO, IGSO それぞれと、それらの組み合わせ”MEO と GEO”, ”MEO と IGSO”, ”GEO と IGSO”, すべての衛星軌道を用いる場合のパターンごとに行った。測位における Fix 解 (誤差 5mm~20mm) の割合を示す Fix 率と Fix 解の平面分布図、衛星の軌跡を示す天空図、測位可能衛星数 NSAT、衛星配置による水平方向の位置精度劣化度を示す HDOP、衛星配置による垂直方向の位置精度劣化度を示す VDOP を求めた。また、RTKLIB で出力したデータから、参照値からのバラつきを示す RMS 誤差を平面直角座標IX系の X 座標、Y 座標と標高について求めた。

5. 解析結果と考察

(1) 衛星軌道ごと

Table1.にすべての衛星を用いた場合と衛星軌道ごとの各解析値の解析結果を示す。MEO と GEO に関しては NSAT が3機以下となる時間帯が多く見受けられ、解析値が出力できないことがあった。また、MEO は11時~21時(GPST)の間のみ観測された。IGSO はほとんどの時間帯で4機以上が観測され、RMS 誤差の解析が可能であった。Figure1.は時間ごとの IGSO の各 RMS 誤差の変化を示すグラフである。これより IGSO 単体では RMS 誤差が小さい時間帯と大きな時間帯が周期的に発生することが分かった。これは IGSO が狭い範

1 : 日大理工・学部・交通 2 : 日大理工・教員・交通 3 : 日大理工・院 (前)・交通

圏を周回する衛星軌道であり、一定範囲に衛星が集中してしまい、測位精度が低下したと考えられる。

Table1. Results of analysis for each satellite orbit
(Average excluding outliers)

	ALL	MEO	GEO	IGSO
Fix rate(%)	97.6			71.0
NSAT(Min./Avg./Max.)	7/9/11	1/2/3	3/4/4	3/4/5
VDOP(Min./Avg./Max.)	2.1/3.1/4.2		37.0/66.1/1917.1	1.4/8.0/162.1
HDOP(Min./Avg./Max.)	1.2/1.9/2.7		50.9/90.2/3329.0	1.1/6.5/142.3
RMSE(x axis)(Min./Avg./Max.)(m)	0.002/0.003/0.005			0.003/0.013/0.080
RMSE(y axis)(Min./Avg./Max.)(m)	0.003/0.004/0.006			0.010/0.024/0.358
RMSE(Height)(Min./Avg./Max.)(m)	0.006/0.010/0.016			0.020/0.024/0.451
Observable time(GPST)	3:00~3:00(Next day)	11:00~21:00	3:00~3:00(Next day)	3:00~3:00(Next day)

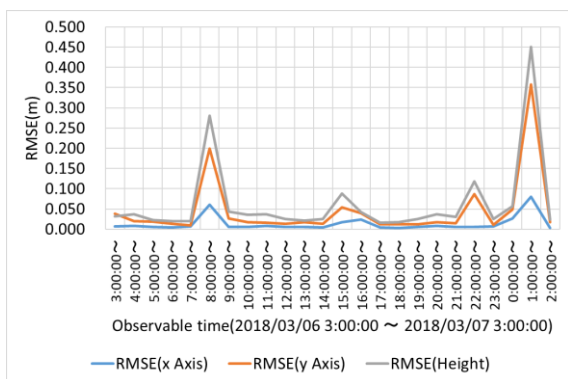


Figure1. Time series variation diagram of the IGSO RMSE

(2) 2種の衛星軌道の組み合わせ

Table2.はすべての衛星を用いた場合と衛星軌道 2種の組み合わせの各解析値の解析結果であるが、MEOを用いる組み合わせは 11 時~21 時(GPST)の間のみ解析となっているが、その観測時間内では Fix 率が良好であった。また、各 DOP や RMS 誤差に関しても比較的良好的な値になっているが、MEO の衛星の観測数が減少するにつれて結果が悪くなる傾向にあった。

GEO+IGSO の組み合わせは、Table.2 よりすべての衛星を使った場合の各指標の値と似た解析結果を示すことが分かった。また、Figure2.は MEO 単体と GEO 単体以外の Fix 解の平面分布図であるが、すべての衛星を用いた場合と GEO+IGSO の組み合わせの平面分布図が同様な形となっていることが分かった。これは観測できる MEO の機体数が少なく、観測可能時間も短いため、測位精度に影響を与えにくいと考えられる。

Table2. Results of analysis for each combination of satellite orbits

	ALL	MEO+GEO	MEO+IGSO	GEO+IGSO
Fix rate(%)	97.6	93.0	87.6	97.5
NSAT(Min./Avg./Max.)	7/9/11	5/6/7	5/6/7	7/8/9
VDOP(Min./Avg./Max.)	2.1/3.1/4.2	2.7/4.8/8.5	2.7/5.6/9.3	3.0/3.4/4.2
HDOP(Min./Avg./Max.)	1.2/1.9/2.7	1.9/2.7/4.6	1.7/4.0/8.5	1.9/2.2/2.8
RMSE(x axis)(Min./Avg./Max.)(m)	0.002/0.003/0.005	0.002/0.008/0.046	0.002/0.004/0.006	0.002/0.003/0.005
RMSE(y axis)(Min./Avg./Max.)(m)	0.003/0.004/0.006	0.004/0.004/0.005	0.003/0.007/0.017	0.003/0.004/0.006
RMSE(Height)(Min./Avg./Max.)(m)	0.006/0.010/0.016	0.009/0.019/0.036	0.009/0.014/0.024	0.008/0.012/0.020
Observable time(GPST)	3:00~3:00(Next day)	11:00~21:00	11:00~21:00	3:00~3:00(Next day)

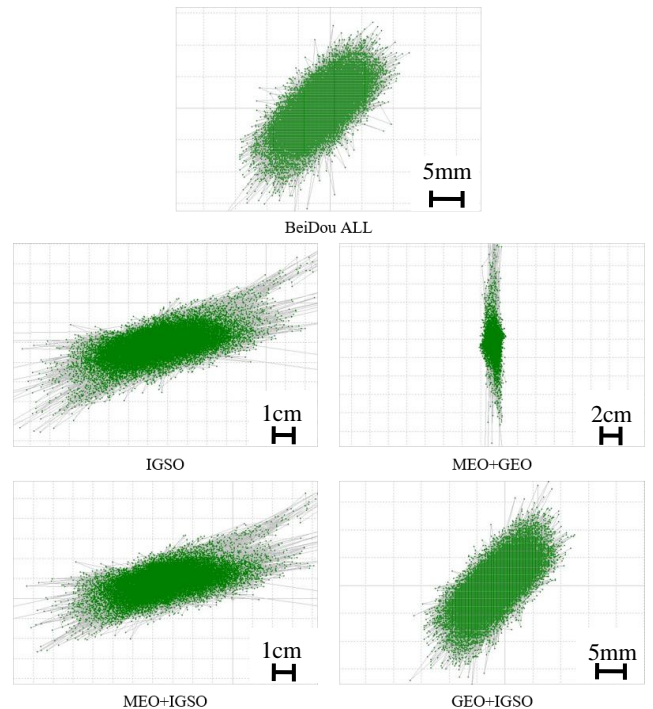


Figure2. Planar distribution of the Fix solution
(Note that the scale is different.) (Created with RTK-LIB)

6. まとめと今後の予定

本研究ではBeiDouの3種の衛星軌道が日本での測位においてどのような影響を与えるかについての研究を行った。それにより、2018年3月現在のBeiDouではMEOの機数が少なく、それに伴い測位精度に与える影響が少ないということが分かった。

しかし、BeiDouは2018年3月から2020年9月の間に26機の衛星が打ち上げられており、測位精度が改善している可能性がある。特にMEOは18機も増加しており、24時間連続で観測が可能になっていると考えられるため、新たにデータを取得し、解析を行う必要がある。

7. 参考文献

[1] 内閣府宇宙開発戦略推進事務局:「各国の測位衛星」, < <https://qzss.go.jp/technical/satellites/index.html> > (入手 2020.09.26)

[2] 雪山大地, 佐田達典, 江守央:「搬送波位相測位におけるBeiDouとGPSの精度比較に関する研究」, 平成 28 年度 日本大学理工学部 学術講演会予稿集, pp.342-343, 2016

[3] 前田大稀, 佐田達典, 江守央:「BeiDouの衛星配置と測位精度の関係に関する研究」, 平成 30 年度 日本大学理工学部 学術講演会予稿集, pp.385-386, 2018