

3B17 近代化測位信号による測位性能向上

久保信明（東京海洋大学）
吉富進、沢辺幹夫、小暮聡（宇宙航空研究開発機構）
小野剛（日本電気株式会社）
柴田智哉（NEC 東芝スペースシステム株式会社）
○浦谷知恵（日本電気航空宇宙システム株式会社）

Improvement of Positioning Accuracy utilizing Modernized Positioning Signals

Nobuaki Kubo (Tokyo University of Marine Science and Technology)
Susumu Yoshitomi, Mikio Sawabe, Satoshi Kogure (Japan Aerospace Exploration Agency)
Takeshi Ono (NEC Corporation)
Tomoya Shibata (NEC TOSHIBA Space Systems, Ltd.)
Chie Uratani (NEC Aerospace Systems, Ltd.)

Key Words: GPS, QZSS, Precise Point Positioning, LEX

Abstract

The modernization of GPS will provide new signals: L5, L1C and L2C. These signals are expected to be effective for positioning accuracy improvement. As for the positioning technique, the method called PPP (Precise Point Positioning) is recently receiving attention. This paper first summarizes the result of the experiment in PPP utilizing orbit and clock data of several accuracy grades, followed by some discussion on the effect of data accuracy to positioning accuracy. This paper also discusses the predicted advantage and possibility to the positioning accuracy improvement gained by the modernized GPS signals and LEX signal of QZSS (Quasi Zenith Satellite System).

1. はじめに

GPS の近代化に伴い、新たな民生用測位信号として L5 帯が追加され、3 周波信号の利用が可能になりつつある。また将来的には、L1 の新信号である L1C も利用可能になる予定であり、準天頂衛星による高精度測位実験システムでは、L1C の送信についても計画されている。特に、L5 帯は高チップレートで、かつ受信レベルが高いため、L5 信号利用による測位精度改善が期待されている。また、近年、1 台の受信機で擬似距離、及び搬送波位相を観測することにより、数 cm～数十 cm の精度で測位可能である、高精度単独測位と呼ばれる手法が注目されている。この手法は、2 台の受信機を必要とする従来の相対測位とは異なり、1 台の受信機のみで高精度の測位が可能である。

本稿では、この高精度単独測位に注目し、一般公開されている高精度な衛星軌道・時計情報、電離層遅延補正データを用いて誤差要因を補正し、測位計

算を行った。特に、衛星軌道・時計情報の精度の違いによる測位精度への影響について評価した。また、その結果を受け、高精度単独測位への近代化 GPS 信号利用による利点や課題、更に準天頂衛星より送信予定の LEX 信号利用による高精度単独測位の精度改善予測について述べる。

2. 1 周波高精度単独測位

2-1 使用データ

現在、民生用として使用できる GPS 信号は、L1C/A である。そこで本稿では、まず L1C/A のみを使用した高精度単独測位の検討を行った。ただし、本検討はオフラインデータ処理に基づく結果である。

高精度単独測位において誤差要因となるのが、使用する衛星軌道・時計情報の精度、また電離層遅延、対流圏遅延誤差である。本稿では、衛星軌道・時計情報は IGS が提供する軌道暦（表 1）、電離層遅延補正データは CODE が提供する電離層電子分布データ

GIM (表 2)、対流圏遅延量は Saastamoinen モデルを使用し、1 周波による高精度単独測位を行った(表 3)。観測データは、国土地理院の電子基準点“筑波 1”における L1 帯擬似距離のみを使用し、通常の単独測位と同様の手法で測位計算を行った。

表 1 IGS 提供軌道暦

軌道・時計	精度 (軌道/時計)	更新	サンプル 間隔 (軌道/時計)
超速報暦 (予測)	~0.1m /~5ns	4/日	15 分
超速報暦 (実測)	<0.05m /~0.2ns	4/日	15 分
速報暦	<0.05m /0.1ns	1/日	15 分 /5 分
最終暦	<0.05m /<0.1ns	1/週	15 分 /5 分

表 2 CODE 提供 GIM

GIM	リアルタイム	内容
予測	○	00:00~24:00 の 2 時間毎の MAP。(13 枚/日) 緯度 2.5 度、経度 5 度刻みの 2 次元グリッドを想定し、高度 450km における各格子点の TEC 値を提供。
速報	12 時間後	
最終	3 日後	

表 3 単独測位と高精度単独測位の比較

	通常の 単独測位	1 周波高精度 単独測位
軌道	放送暦	IGS 軌道暦
時計	放送暦	IGS 軌道暦
電離層遅延 補正	放送暦 (Klobuchar モデル)	CODE 提供 GIM
対流圏遅延 補正	Saastamoinen モデル	Saastamoinen モデル
TGD	○	○
DCB (L1C/A-L1P)	—	○

表 4 解析条件

基準局	国土地理院 電子基準点 筑波 1
解析時間	2006 年 6 月 25 日 (1 日分)
観測データ	L1 帯擬似距離

2-2 ケース設定

各ケースにおいて、衛星軌道・時計情報と電離層遅延補正データは、以下の組合せを使用した(表 5)。ここで、ケース 1 が通常の単独測位に相当する。

表 5 ケース設定

ケース	衛星軌道/時計 情報	電離層遅延 補正データ
1	放送暦	Klobuchar モデル
2	放送暦	GIM
3	超速報暦 (予測)	GIM
4	速報暦	GIM
5	最終暦	GIM

2-3 評価結果

図 1~図 6に、各ケースにおける測位結果を示す。また、各ケースにおける標準偏差を表 6に示す。結果より、衛星軌道/時計情報の精度が良いものほど、水平、高度方向とも誤差が小さくなっていることがわかる。ただし、速報暦と最終暦においては、ほぼ同等の結果が得られた。また、電離層遅延補正データに関しては、Klobucharモデルより、GIMデータを用いたほうが良い結果となった。

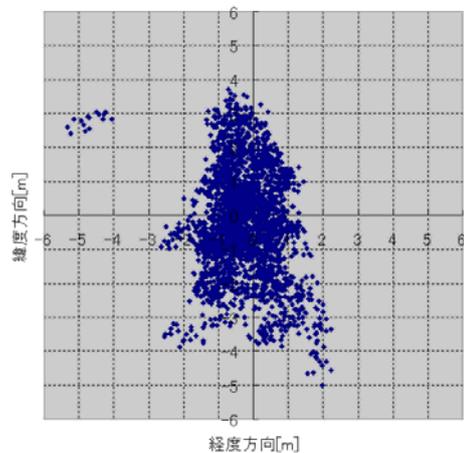


図 1 ケース 1 の結果 (水平方向)

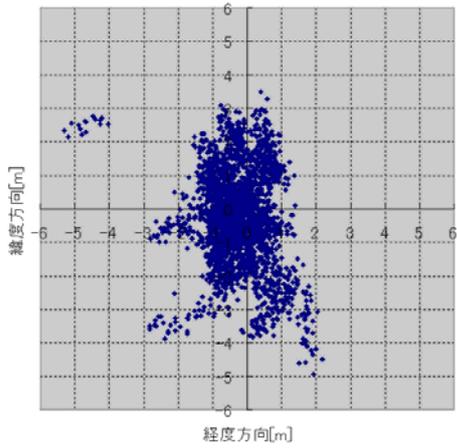


図 2 ケース 2 の結果 (水平方向)

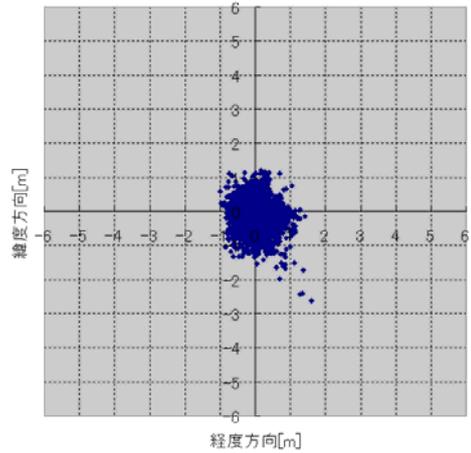


図 5 ケース 5 の結果 (水平方向)

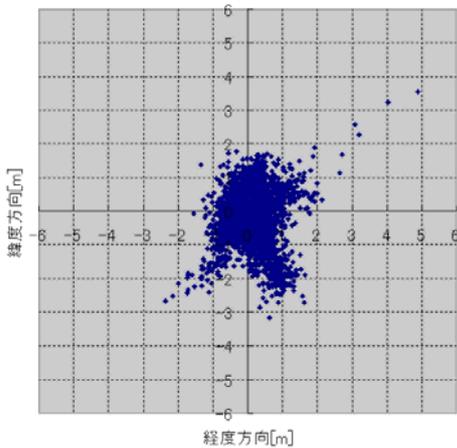


図 3 ケース 3 の結果 (水平方向)

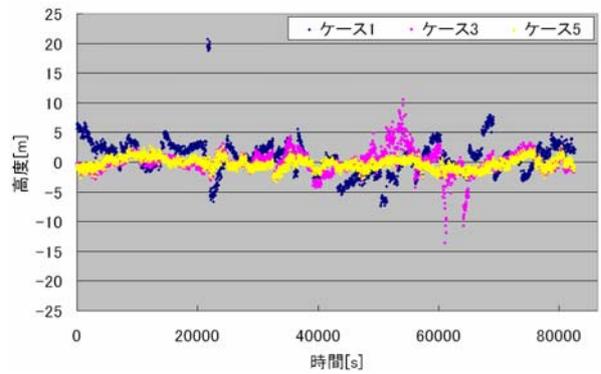


図 6 ケース 1、3、5 の結果 (高度方向)

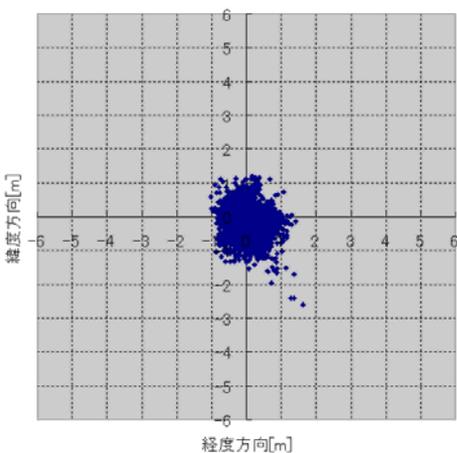


図 4 ケース 4 の結果 (水平方向)

表 6 各ケースの標準偏差 [m]

ケース	水平方向	高度方向
1	1.75	2.90
2	1.60	2.89
3	1.00	1.89
4	0.61	0.95
5	0.60	0.95

以上のことより、今回評価を行った場所と日時では、電離層補正データを放送暦から外部提供メッセージ (CODE の GIM) に置き換えることより、軌道・時計データを IGS 提供軌道暦に置き換えることの方が、より測位精度への改善効果が大いことがわかった。しかし、電離層の活動状態が異なる日時では、電離層の補正方法の変更が精度改善に対して支配的に寄与する場合もあると考えられる。

また、図 7、図 8に、IGSの最終暦と超速報暦における衛星時計の差を示す。24 時間前の予測情報では、

最後の方で差が 10m以上の大きさになっているのに対し、6 時間前の予測情報では、ほぼ 5m以内におさまっていることがわかる。

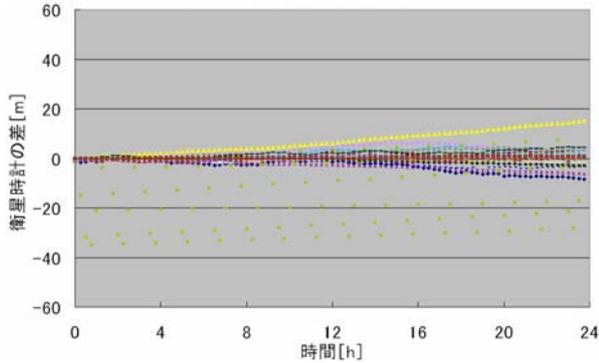


図 7 衛星時計の比較 1

(最終暦と 24 時間前の超速報暦(予測))

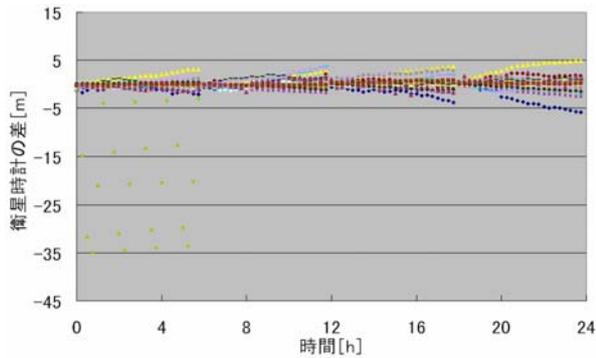


図 8 衛星時計の比較 2

(最終暦と 6 時間前の超速報暦(予測))

3. 近代化 GPS 信号を用いた高精度単独測位の利点・精度改善予測と課題

次に、GPS 近代化による新しい民生用測位信号の利用が可能になった場合の高精度単独測位の性能向上について考察する。

1 周波の単独測位において、信号改良に基づくレンジング精度向上という観点から見ると、L5 の利用による精度向上が最も期待できる。これは、L5 の信号の受信レベルが現在の L1C/A より高く、同じ受信環境での C/N0 の改善効果以外に、PRN コードのチップレートが 10 倍になったことによるコードノイズやマルチパスの低減という利点加わるからである。L5 と同じチップレートの PRN コードをレンジングに用いる手段として、現在は P(Y)コードのコードレス利用が行われているが、L5 と比較した場合

C/N0 が低く、レンジング精度が劣る。また、L5 のデータレスチャンネルをレンジングに用いることによる精度改善効果も考慮すると、一層 L5 の利用が待たれる。一方、高精度の軌道・時計情報の利用可能性という面から考えると、新信号利用について現在の IGS 軌道暦利用と同じ精度は必ずしも保障されない。L5 が本格利用できるようになった時期に、世界の IGS 局に L5 の受信機が整備され、他の周波数と組み合わせられた電離層フリー線形結合の観測データに基づく高精度軌道・時刻情報の入手可能性については未知のものがある。現在得られている L1P(Y) と L2P(Y)の電離層フリー線形結合ベースの軌道・時計情報を、L2C や L5、また L1C 利用での高精度単独測位に利用する場合には、GPS のコントロールセグメントが提供する近代化航法メッセージ中の TGD や ISC の精度が十分であるか、あるいはこのような衛星周波数間バイアスの推定情報が他機関から与えられる必要がある。前者は、GPS の地上部分の近代化の中でどの程度考慮されているかは、現在のところ十分な情報が得られていない。後者の場合においても、実現する時期についての予測は難しい。1 周波利用の場合の電離層の補正情報についても、同様の事が言える。やはり、基準となる衛星時計情報に加えて、衛星の周波数間バイアスが安定であるか、あるいは変動するなら変動分を精密に、できるだけ情報遅延時間なしに得る手段が望まれる。しかし、ガリレオの登場による衛星測位の利用拡大やシステム間の競争に伴って、このような情報の利用についても、予想以上に早期実現する可能性も大きい。わが国においても、準天頂衛星による高精度測位実験の成果等により、このような情報提供に貢献したいと考えている。

4. LEX 信号による高周波軌道・時計送信と近代化 GPS 信号との組み合わせによる高精度単独測位の可能性検討

準天頂衛星では、将来の衛星測位システムの発展に向けて、GPS の民生用信号と互換な信号 (L1C/A、L1C、L2C、L5) 以外に、L バンドの実験信号 (LEX 信号) の送信が計画されている。LEX 信号については、関連研究機関の利用も含めて詳細は調整中であるが、航法メッセージの送信データレートが 2kbps と高いので、GPS も組み合わせた測位性能を向上させるための様々な利用可能性を有している。LEX 信号を補正データの放送手段として利用する場合、高精度単独測位では以下に示すような可能性が考えら

れる。

- ・ 放送暦より高精度な GPS のリアルタイムの軌道・時計情報をユーザに配信できれば、本報告に示したような測位精度改善が可能となる。
- ・ 電離層補正のための予報データを GPS からの放送パラメータ (Klobuchar Model Parameter) より精度良くユーザに配信できれば、本報告に示したような測位精度改善が可能となる。
- ・ 3. に示した課題を解決するために、近代化 GPS として放送される予定の衛星の信号間バイアス補正 (ISC) を、LEX 信号によって GPS が放送するものより精度良く配信することができれば、L1C、L2C や L5 等の近代化 GPS 民生用信号を用いた測位の精度をより向上させることができる。2 周波以上の近代化民生用信号を用いて電離層補正を行う単独測位でも、同様な精度向上が期待できる。

5. おわりに

本稿では、現在使用可能な民生用 GPS 信号である L1C/A を用いた 1 周波による高精度単独測位において、外部提供データ使用による精度改善について検討を行った。その結果、衛星軌道・時計情報、電離層補正データとして、IGS 提供軌道暦と CODE の GIM データを使用することにより、測位精度が大きく改善されることがわかった。特に、今回の 1 周波利用の例では、衛星軌道・時計情報の精度の向上が、測位精度改善に大きな影響があることがわかった。しかし、電離層の活動が活発な状況下や 2 周波単独測位による電離層遅延量補正を行った場合については、別の評価が得られる可能性もあり、今後検討を実施して行きたい。また、準天頂衛星で放送する GPS 近代化信号や LEX 信号を利用した測位精度向上の方法について、引き続き検討を詳細化する予定である。

参考文献

- [1] T.Beran, D.Kim and R.B.Langley : High-Precision Single-Frequency GPS Point Positioning, Proc. of ION GPS/GNSS 2003, pp. 1192-1200, 2003.
- [2] A.Q.Le : Achieving Decimetre Accuracy with Single Frequency Standalone GPS Positioning, Proc. of ION GNSS 2004, pp. 1881-1892, 2004.