

1C17 準天頂衛星の測量利用に向けた取り組み –L5 帯の利用–

○古屋智秋, 酒井和紀, 万所求, 鎌苅裕紀, 辻宏道, 宮川康平,
佐藤雄大, 畑中雄樹, 宗包浩志, 川元智司 (国土交通省国土地理院)

Status report of the approach for geodetic survey using QZSS signals
Tomoaki Furuya, Kazuki Sakai, Motomu Mandokoro, Yuki Kamakari, Hiromichi Tsuji, Kohei Miyagawa,
Yudai Soto, Yuki Hatanaka, Hiroshi Munekane and Satoshi Kawamoto (GSI)

Key Words: GEONET, multi-GNSS, L5, Geodetic survey

Abstract

GSI is developing and standardizing new precise positioning techniques which deal with multiple GNSS constellations, GPS, QZSS, GLONASS, and Galileo, in order to mainly encourage effective surveys at places where are currently difficult to carry out them using only GPS satellites. In the developments, we examined analysis methods to deal with L5 signal and correct Inter System Bias for using single/double differences between GPS and other GNSS. We developed the new analysis software named GSILIB based on RTKLIB developed by Mr. T.Takasu.

1. はじめに

衛星測位については、既にカーナビ等で利用されている GPS をはじめ、準天頂衛星、GLONASS、Galileo 等の整備・運用が進められているところであり、衛星測位システムの一層の充実が今後期待される。こうした状況において、これらの衛星測位システムを個別ではなく一体的に利用することで、上空視界が限られ GPS のみでは衛星数が確保できず、測位が困難なビル街や山間部等でも測位が可能となることが期待される。また、測量作業等においては、衛星数や測位信号が増加することで観測時間が短縮され、作業の効率化につながることが期待される。

こうしたことから、国土地理院では、国土交通省総合技術開発プロジェクト「高度な国土管理のための複数の衛星測位システム (マルチ GNSS) による高精度測位技術の開発 (平成 23~26 年度)」(以下、「技術開発」という。)として、準天頂衛星を含む複数の衛星測位システムを統合的に利用する技術等の開発を実施し、公共測量に適用するための標準化に取り組んでいる¹⁾。

2. L5 帯を利用した解析

Block IIF 以降の近代化 GPS 及び準天頂衛星は、従来の L1, L2 帯に加えて L5 帯の信号 (以下、「L5」という。)を送信している。L5 はマルチパス耐性が強く、観測点周辺の影響を受けづらい。さらに、L5 が加わることで衛星 1 機から得られる情報量が増加

するため、同じ精度をより短い観測時間で達成することも期待される。図 1 は、L5 を利用した解析結果であり、L5 含む 3 周波を利用することで、2 周波よりも FIX 解が得られるまでの時間が短縮することが確認できる。なお、L1, L2, L5 を送信する衛星は 2014 年 8 月現在、GPS6 機、準天頂衛星 1 機の合計 7 機であり、実観測データでは L5 を使った測位の比較が難しいことから、図 1 の解析には GPS のみのシミュレーションデータを使っている。

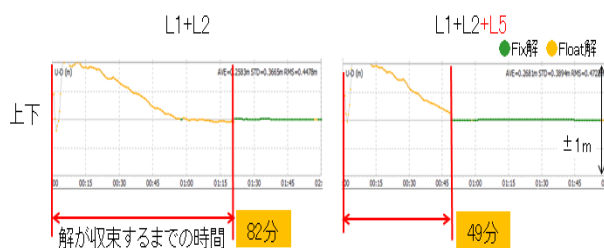


図 1 L5 の効果 (スタティック)

左: L1+L2 右: L1+L2+L5 衛星系: GPS
緑: FIX 解 黄: FLOAT 解 基線長: 126km

3. 衛星系を組み合わせる技術

図 1 の解析は、GPS のみを用いた解析であるが、これに準天頂衛星を加える場合、衛星系間受信機ハードウェアバイアス (Inter System Bias. 以下、「ISB」という。), L2P(Y)-L2C 間の 1/4 周期のずれの補正を行う必要がある。ISB は、受信機の各衛星系回路間の遅延差に起因して発生するバイアスであり、異なる

衛星系間で位相差を取る場合に補正する必要がある。ISB は、擬似距離で発生する擬似距離 ISB と、搬送波位相で発生する搬送波位相 ISB に分けられ、それぞれバイアスの大きさが異なる。

3.1 擬似距離 ISB

実観測データより推定した GPS-準天頂衛星間の擬似距離 ISB を表 1 に示す。また、擬似距離 ISB の補正值を変えて基線解析を行い、FIX 率への影響を調査した結果を図 2 に示す。図 2 より、擬似距離 ISB を補正する際に 3m 以上の差が FIX 率に影響を与えることがわかる。表-3 の JAVAD DELTA-G3T②の値、Trimble NetR9①と②同士の差は、この 3m を大きく下回ったため、擬似距離 ISB は受信機種で一定と考えられ、同じ受信機種間の解析では補正が不要である。これに対して、異なる受信機種間の差は周波数によっては 3m 以上であり、異なる受信機種間の解析では補正が必要である。

表 1 JAVAD DELTA-G3T①に対する各受信機の GPS-準天頂衛星間の擬似距離 ISB (単位：m)

周波数	受信機				
	JAVAD DELTA-G3T ②	JAVAD SIGMA-G3T	Trimble NetR9 ①	Trimble NetR9 ②	TOPCON NET-G3A
L1	0.031	0.155	-1.309	-1.301	0.153
L2	0.007	-0.274	-4.722	-4.614	-0.396
L5	-0.002	-0.179	-1.720	-1.725	0.033

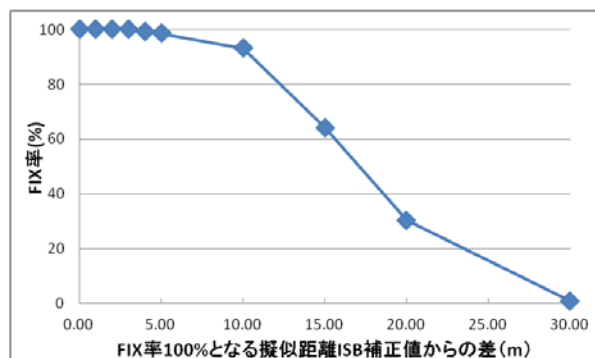


図 2 擬似距離 ISB 補正值と FIX 率の関係
測位方式：キネマティック 基線長：0m

次に、補正方法を検討するために以下の観測条件で推定した JAVAD DELTA-G3T に対する Trimble NetR9 の擬似距離 ISB を表 2 に示す。

- アンテナ交換：JAVAD DELTA-G3T のアンテナを JAVAD RingAnt-DM に固定し、Trimble NetR9 のアンテナを JAVAD RingAnt-DM から Trimble GNSS Choke Ring Antenna に交換
- 受信機再起動：JAVAD DELTA-G3T と Trimble

NetR9 を再起動

- 受信機 FW 変更：Trimble NetR9 のファームウェアのバージョンを 4.81 から 4.61 に変更
- 受信機高温：受信機を収納箱に入れ、収納箱の温度を 55 度に保持

擬似距離 ISB は、各観測条件で大きな変化はなく、この傾向は観測に使用した他の受信機種でも同様であった。そのため、擬似距離 ISB は、あらかじめ受信機種の組み合わせ毎に推定しておいた値を使って補正が可能である。

表 2 JAVAD DELTA-G3T に対する Trimble NetR9 の GPS-準天頂衛星間の擬似距離 ISB。表 1 からの差分 (単位：m)

周波数	観測条件			
	アンテナ交換	受信機再起動	受信機 FW変更	受信機高温(55度)
L1	-0.06	-0.01	0.00	-0.05
L2	0.09	0.01	0.00	-0.06
L5	0.01	0.03	0.04	0.06

3.2 搬送波位相 ISB

擬似距離 ISB と同じデータを用いて推定した GPS-準天頂衛星間の搬送波位相 ISB を表 3 に示す。また、搬送波位相 ISB の補正值を変えて基線解析を行い、FIX 率への影響を調査した結果を図 3 に示す。図 3 より、搬送波位相 ISB を補正する際に 0.03m 以上の差が FIX 率に影響を与えることがわかる。表 3 の値は、全ての受信機種でこの 0.03m を下回り、ほぼゼロであり、観測条件でも変化しなかったため、技術開発においては、GPS-準天頂衛星間の搬送波位相 ISB は補正が不要であると判断している。なお、GPS-GLONASS 間や GPS-Galileo 間では、GPS-準天頂衛星間とは異なる振る舞いをしており、補正が必要である²⁾。

表 3 JAVAD DELTA-G3T①に対する各受信機の GPS-準天頂衛星間の搬送波位相 ISB (単位：m)

周波数	受信機				
	JAVAD DELTA-G3T ②	JAVAD SIGMA-G3T	Trimble NetR9 ①	Trimble NetR9 ②	TOPCON NET-G3A
L1	0.000	0.002	0.002	0.002	0.002
L2	0.001	0.005	0.005	0.005	0.002
L5	0.000	0.002	0.002	0.002	0.000

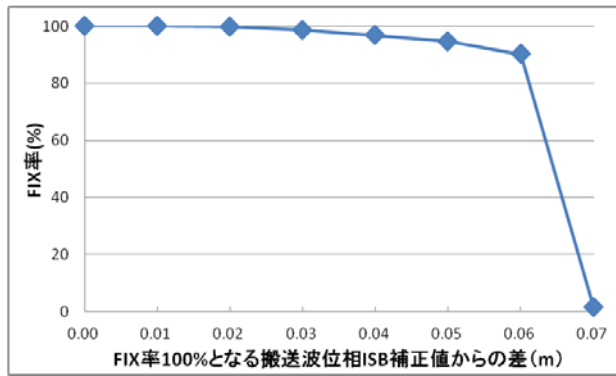


図3 搬送波位相 ISB 補正值と FIX 率の関係
測位方式：キネマティック 基線長：0m

3.3 L2P(Y)-L2C 間の 1/4 周期のずれ

近代化 GPS では L2P(Y) と L2C を、準天頂衛星は L2C を送信している。この L2P(Y) と L2C は、信号強度が異なるだけでなく、位相を 1/4 周期ずらして送信されている。この 1/4 周期のずれは、受信機種によって処理が異なり、内部で補正したり、出力する際に符号を調整したりしている。そのため、この扱いが異なる受信機種間で解析を行うためには、受信機種に合わせて 1/4 周期のずれを補正する必要がある。図 4 は、GPS の L2P(Y) と L2C、QZSS の L2C を混在して解析したものである。1/4 周期のずれを補正することによって、FIX 率が大幅に向上したことがわかる。

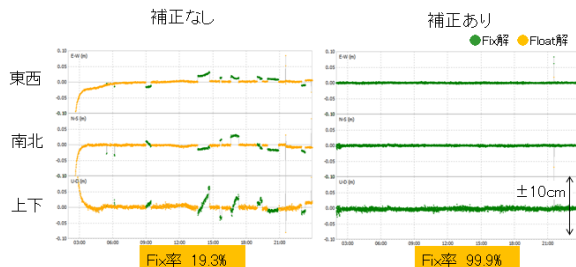


図4 1/4 周期のずれの補正効果
受信機：TOPCON NET-G3A-Timble NetR9
測位方式：キネマティック 基線長：0m

4. マルチ GNSS 解析システム

2.及び 3.の開発結果を基に、GPS、準天頂衛星、GLONASS、Galileo の L1、L2、L5 を利用した測量計算が可能なマルチ GNSS 解析システム（「GSILIB」と命名。）を開発した。GSILIB は、研究用のオープンソースソフトウェアである RTKLIB v2.4.2³⁾をベースに必要な拡張を加えたものである。

5. まとめ

国土地理院では、複数の衛星系を統合的に利用し、短時間で高精度測位を行うために必要となる技術開発を行い、公共測量に適用するための標準化に取り組んでいる。この技術開発の過程において、L5 の利用方法や ISB をはじめとする様々なバイアスの補正方法を検討し、その結果を実装した検証用の解析ソフトウェア GSILIB を開発した。

今後、GSILIB を用いた現地実証実験等により、観測地点の条件に応じた最適な衛星の組み合わせやデータ補正方法といったマルチ GNSS 高精度測位に必要な観測・解析方法を検証し、測量分野等での活用に向けた取りまとめ実施する予定である。

謝辞

本開発にあたっては、次の有識者から貴重な助言を頂いた：綾田春樹・渋谷彰氏（衛星測位利用推進センター）、市川隆一氏（情報通信研究機構）、大坪俊通教授（一橋大学）、加藤照之教授（東京大学地震研究所）、河口星也・細谷素之氏（電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会）、小暮聡氏（宇宙航空研究開発機構）、坂井丈泰氏（電子航法研究所）、杉本明・橋本靖彦氏（日本測量機器工業会）、長谷川浩司氏（日本測量調査技術協会）、日置幸介教授（北海道大学）、安田明生氏（東京海洋大学）。また総プロの実施にあたっては、以下の組織の協力を得た：朝日航洋株式会社、株式会社パスコ、東京海洋大学、日本電気株式会社、日立造船株式会社、富士通株式会社、三菱スペース・ソフトウェア株式会社、立命館大学。ここに記して感謝する。

参考文献

- 1) 国土地理院：高度な国土管理のための複数の衛星測位システム（マルチ GNSS）による高精度測位技術の開発，
http://www.gsi.go.jp/eiseisokuchi/gnss_main.html
(accessed 1 Sep. 2014)
- 2) 古屋智秋，酒井和紀，万所求，辻宏道，畑中雄樹，宗包浩志，川元智司：GSILIB の開発，国土地理院時報，No.125，125-131，2014
- 3) Takasu, T：RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning，
<http://www.rtklib.com> (accessed 1 Sep. 2014)