GSILIB の開発
Development of Multi-GNSS Analysis Software GSILIB

測地観測センター
古屋智秋・酒井和紀[1]・万所求・辻宏道
Geodetic Observation Center
Tomoaki FURUYA, Kazuki SAKAI, Motomu MANDOKORO and Hiromichi TSUJI
地理地殻活動研究センター
畑中雄樹・宗包浩志・川元智司
Geography and Crustal Dynamics Research Center
Yuki HATANAKA, Hiroshi MUNEKANE and Satoshi KAWAMOTO

要　旨

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，マルチ GNSS による高精度測位技術を公共測量に適用するための標準化に取り組んでいる．この技術開発の中で，マルチ GNSS のデータを統合利用する際に考慮すべきバイアスやその補正方法の検証を行い，マルチ GNSS の効果を確認するためのソフトウェア GSILIB の開発を進めている．GSILIB は，本技術開発における実証実験の他，電子基準点データの解析を含む測地学や測量分野での利用や緊急時の地殻変動把握のためのツールとしての利用も想定している．

1. はじめに

近年，カーナビ等で幅広く利用されている米国の GPS の近代化をはじめ，日本の準天頂衛星（以下，「QZSS」という.），ロシアの GLONASS，欧州連合の Galileo 等の整備・運用が着実に進められ，各衛星測位システム（以下，「衛星系」という.）の間の互換性や相互運用性についても調整が進んでいる．こうした中，複数の衛星系を組み合わせて一体のものとして利用することにより，ビル街や山間部といった上空視界が限られ GPS だけでは衛星数が不足して測位できない地域でも，衛星測位が可能になることが期待されている．

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，「総プロ」という.）として，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っている．総プロでは，各衛星系のデータを，個別ではなく，自由自在に組み合わせて統合的に利用する高精度測位（以下，「マルチ GNSS による高精度測位」という.）技術を公共測量に適用するための標準化に取り組んでいる（国土地理院，2014）．その技術開発の過程において，検証用の解析ソフトウェア（GNSS Survey Implementation Library．以下，「GSILIB」という.）の開発を進めており，本稿では, GSILIB に実装されている特徴的な機能を示しつつ，マルチ GNSS のデータを統合利用する際に考慮すべきバイアスやその補正方法等について述べる．なお，GSILIB は学術用の解析ソフトウェア RTKLIB ver2.4.2（Takasu, 2013）（以下，「RTKLIB」という.）をベースに必要な拡張を加えたものであり，GSILIB の原型となる GSILIB プロトタイプは平成 25 年 11 月 14 日にオープンソースライセンスの下, 国土地理院ホームページより公開している（国土地理院，2013）．

2. GSILIB の機能

GNSS データを処理する解析ソフトウェアには，測量機器メーカーが受信機とともに提供するソフトウェアの他に，大学や研究機関が開発した Bernese や GAMIT 等の汎用の学術ソフトウェアがある．主な解析ソフトウェアの GNSS 対応状況を表-1 に示す．

RTKLIB を除き，いずれの解析ソフトウェアも GPS に加え GLONASS への対応は進んでいるが，QZSS や Galileo 等の新しい衛星系への対応はまだ十分ではない．

現所属：[1] 文部科学省研究開発局

表-1 主な解析ソフトウェアの GNSS 対応状況．各ソフトウェアの HP 又は国土地理院登録機種一覧簿により調査（平成 26 年 7 月現在）

開発者		ソフトウェア名	対応する衛星系
測量用	トプコン	GNSS-PRO v7.52	GPS, GLONASS
	ニコン・トリンブル	TBC-Japan Survey Lite v1.4.1.0	GPS, GLONASS
	Leica	Geo Office v8.3	GPS, GLONASS
	JAVAD	Justin Ver.1.102.136.1	GPS, GLONASS
学術用	Bern大学	Bernese version 5.2	GPS, GLONASS, Galileo
	MIT, Scripps海洋研究所	GAMIT/GLOBK Release 10.5	GPS
	JPL	GIPSY-OASIS II	GPS, GLONASS
	東京海洋大学（高須知二氏）	RTKLIB ver.2.4.2	GPS, QZSS, GLONASS, Galileo, BeiDou

これらに対して，GSILIB は，GPS，QZSS，GLONASS，Galileo の信号を利用した解析が可能であり，各衛星系を組み合わせて高精度測位を行う際に考慮すべき，GLONASS 受信機チャンネル間バイアス，衛星系間受信機ハードウェアバイアス，L2P(Y)-L2C 間の 1/4 周期のずれ等の補正を行うことができる．また，L5 帯を利用した解析，精密単独測位と呼ばれる固定点が不要な解析（以下，「PPP」という.），PPP においてアンビギュイティを決定する PPP-AR, 複数の観測点を同時に解析する複数基線解析等も可能である．しかし，GSILIB はあくまで実験用のソフトウェアであり，特に測量におけるマルチ GNSS 対応のソフトウェアは測量機器メーカーによる開発を期待したい．

3. 測位信号の特性の違いによる影響の補正

GSILIB は，マルチ GNSS の信号を利用した解析をすることができ，さらに，異なる衛星系間でも位相差を取る解析（以下，「統合解析」という.）が可能である．統合解析は，QZSS と GPS を解析する場合を除き，多くのソフトウェアが行っている同じ衛星系間でのみ位相差を取る解析（以下，「混合解析」という.）と比較して衛星測位の可能領域を広げることが可能である．具体的には，混合解析で 2 つの衛星系を利用する場合，各衛星系の衛星を最低 2 機観測している必要がある．つまり，GPS 3 機＋GLONASS 1 機のように合計 4 機の衛星が観測できている場合でも， GPS と GLONASS で位相差を取らないため，測位ができないことになる．これに対して統合解析では，どの衛星系の組み合わせでも合計 4 機を観測できればよく，測位可能領域がさらに広がることになる．

しかし，統合解析の実現のためには，各衛星系の測位信号の特性の違いにより受信機に生じる影響を補正する必要があり，ここでは，今までの総プロの成果を基に，各衛星系を組み合わせて高精度測位を行う際に考慮すべき事項について述べる．

3.1 GLONASS 受信機チャンネル間バイアス

GLONASS データを処理する場合には，まず GLONASS 受信機チャンネル間バイアス（Inter Frequency Bias. 以下，「IFB」という.）の補正が必要となる．IFB は，GLONASS 特有の FDMA 方式（衛星によって信号の周波数を少しずらし，衛星番号を識別する方式）で送信される信号を受信した際，受信機の群遅延特性の周波数依存性に伴い発生するバイアスであり，その大きさは受信機種によって異なる（Wanninger, 2011）．そのため，異なる受信機種間における GLONASS を含む解析では補正をする必要がある．

実観測データより 5 機種 7 台の受信機について推定した IFB を表-2 に示す．IFB の推定には 24 時間の基線長 0m で行った観測データを用いている（山田ほか，2011）．また，IFB の補正値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-1 に示す．図-1 より，IFB を補正する際に 0.10cm/チャンネル以上の差が FIX 率に影響を与えることがわかる．表-2 の JAVAD DELTA-G3T，Trimble NetR9 同士の差は，この 0.10cm/チャンネルを下回ったため，IFB 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 0.10m/チャンネル以上であり、異なる受信機種間の解析では補正が必要である。

補正方法の一つとしては，総プロの試験観測において，IFB が温度や観測時間等の観測条件によって大きく変化しないことを確認しており，あらかじめ受信機種の組み合わせ毎に推定しておいた IFB を使って補正を行う方法があり，GSILIB にはその補正方法が実装されている．

表-2 JAVAD DELTA-G3T①に対する各受信機の IFB（単位：cm/チャンネル）

受信機	JAVAD DELTA-G3T ②	JAVAD SIGMA-G3T	Trimble NetR9 ①	Trimble NetR9 ②
L1	0.06	−0.08	−0.77	−0.77
L2	−0.03	−0.10	−0.92	−0.91

受信機	TOPCON NET-G3A	Leica GRX1200+ GNSS
L1	−0.48	2.71
L2	−0.48	2.77

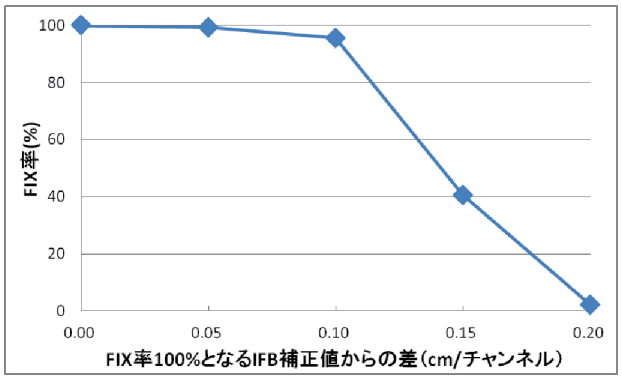

図-1　IFB 補正値と FIX 率の関係（衛星系：GPS+GLONASS．解析：統合解析．測位方式：キネマティック．基線長：0m）

図-2 は，基線長 1m で行った観測データを IFB 補正あり，なしのそれぞれで解析を行った際の FIX 率を示したものである．IFB を補正することで，FIX 率の向上が確認できる．特に Leica GRX1200+GNSS との組み合わせでは IFB 補正の効果が高い．なお，TOPCON NET-G3A との組み合わせでは IFB を補正することで FIX 率が若干減少しているが，これは IFB の推定精度が悪かったためと推測される．

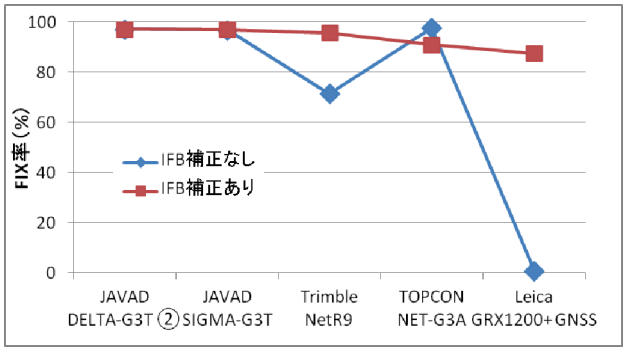

図-2　IFB 補正の効果．JAVAD DELTA-G3T①間との基線解析の FIX 率を示す（衛星系：GLONASS．解析：混合解析．測位方式：キネマティック．基線長：1m）

3.2 衛星系間受信機ハードウェアバイアス

受信機ハードウェアバイアス（Inter System Bias．以下，「ISB」という．）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る(Cai and Gao, 2007)．ISB は，混合解析においては二重位相差で消去できるが，統合解析においては複数の衛星系間で位相差を計算する必要があるためにその影響を消去できない．したがって，統合解析を行うためには，ISB を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．

3.2.1 擬似距離 ISB

実観測データより推定した GPS-QZSS 間，GPS-GLONASS 間, GPS-Galileo 間の擬似距離 ISB を表-3 に示す．また，擬似距離 ISB の補正値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，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-G3T，Trimble NetR9 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-3　JAVAD DELTA-G3T①に対する各受信機の擬似距離 ISB（単位：m）（観測に使用した JAVAD SIGMA-G3T と TOPCON NET-G3A は Galileo, Leica GRX1200+ GNSS は QZSS の観測ができないため，それら衛星系を含む値は推定していない）

衛星系	周波数	受信機			
		JAVAD DELTA-G3T ②	JAVAD SIGMA-G3T	Trimble NetR9 ①	Trimble NetR9 ②
GPS-QZSS	L1	0.031	0.155	−1.309	−1.301
	L2	0.007	−0.274	−4.722	−4.614
	L5	−0.002	−0.179	−1.720	−1.725
GPS-GLONASS	L1	−0.275	−0.970	−3.700	−3.684
	L2	−0.200	−2.072	−13.585	−13.452
GPS-Galileo	L1	0.032	−	−2.009	−1.969
	L5	0.003	−	−6.335	−6.338

衛星系	周波数	受信機	
		TOPCON NET-G3A	Leica GRX1200+ GNSS
GPS-QZSS	L1	0.153	−
	L2	−0.396	−
	L5	0.033	−
GPS-GLONASS	L1	−30.497	16.707
	L2	−36.934	15.961
GPS-Galileo	L1	−	16.801
	L5	−	19.218

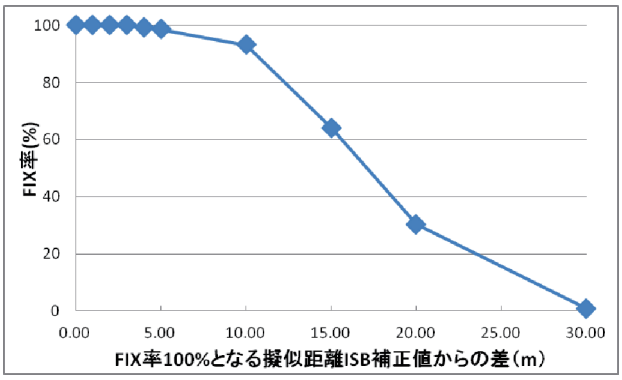

図-3　擬似距離 ISB 補正値と FIX 率の関係（衛星系：GPS+GLONASS．解析：統合解析．測位方式：キネマティック．基線長：0m）

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-4 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，衛星系の組み合わせによって挙動が異なり，GPS-QZSS 間と GPS-Galileo 間は各観測条件で大きな変化はないが，GPS-GLONASS 間はアンテナ交換や受信機温度で変化した．また，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．

表-4　JAVAD DELTA-G3T に対する Trimble NetR9 の擬似距離 ISB．表-3 の値からの差分（単位：m）

衛星系	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)
GPS-QZSS	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
GPS-GLONASS	L1	0.72	0.02	0.04	−0.29
	L2	1.08	0.09	0.08	−0.28
GPS-Galileo	L1	−	0.00	−	0.01
	L5	−	0.00	−	0.03

そのため，擬似距離 ISB は，GPS-QZSS 間と GPS-Galileo 間が，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のに対し，GPS-GLONASS 間は，さらにアンテナ等の組み合わせも考慮して推定しておいた値での補正，もしくは解析時に擬似距離 ISB を推定しての補正が必要である．ただし，総プロにおいて確認した観測条件では，擬似距離 ISB の観測条件による変化が，擬似距離 ISB が FIX 率に影響を与える 3m を大きく下回ったため，GPS-GLONASS 間も GPS-QZSS 間や GPS-Galileo 間と同様の補正方法でも影響は少ないと考えられる．

以上の成果より，GSILIB には，衛星系の組み合わせに関わらず，あらかじめ受信機種の組み合わせ毎に推定しておいた擬似距離 ISB を使っての補正と解析時に擬似距離 ISB を推定しての補正の 2 つの方法が実装されている．なお，後者の場合は推定するパラメータ数が増えるため，必要衛星数が 1 つ増えることになる．

3.2.2 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-QZSS 間，GPS-GLONASS 間，GPS-Galileo 間の搬送波位相 ISB を表-5 に示す．また，搬送波位相 ISB の補正値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-4 に示す．図-4 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-5 の GPS-QZSS 間は，全ての受信機間でこの 0.03m を下回り，ほぼゼロであったため，総プロにおいては，GPS-QZSS 間の搬送波位相 ISB は補正が不要であると判断している．これに対して、GPS-GLONASS 間と GPS-Galileo 間は 0.03m 以上であり、GPS-GLONASS 間と GPS-Galileo 間では補正が必要である。

表-5　JAVAD DELTA-G3T①に対する各受信機の搬送波位相 ISB（単位：m）

衛星系	周波数	受信機			
		JAVAD DELTA-G3T ②	JAVAD SIGMA-G3T	Trimble NetR9 ①	Trimble NetR9 ②
GPS-QZSS	L1	0.000	0.002	0.002	0.002
	L2	0.001	0.005	0.005	0.005
	L5	0.000	0.002	0.002	0.002
GPS-GLONASS	L1	0.003	−0.076	0.025	0.027
	L2	−0.104	−0.037	−0.058	−0.058
GPS-Galileo	L1	−0.001	−	0.037	0.037
	L5	0.001	−	−0.002	−0.002

衛星系	周波数	受信機	
		TOPCON NET-G3A	Leica GRX1200+ GNSS
GPS-QZSS	L1	0.002	−
	L2	0.002	−
	L5	0.000	−
GPS-GLONASS	L1	−0.200	0.093
	L2	−0.339	0.133
GPS-Galileo	L1	−	0.118
	L5	−	0.142

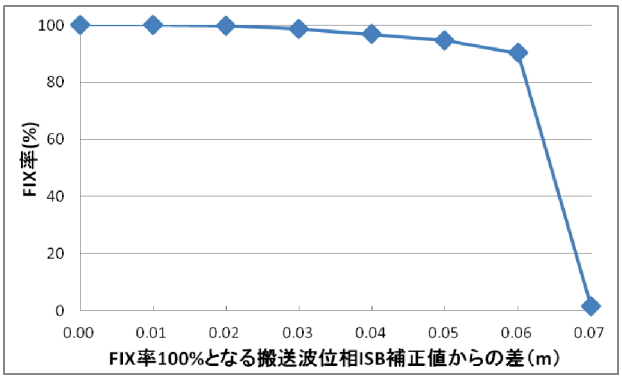

図-4　搬送波位相 ISB 補正値と FIX 率の関係（衛星系：GPS+GLONASS．解析：統合解析．測位方式：キネマティック．基線長：0m）

表-6　JAVAD DELTA-G3T に対する Trimble NetR9 の搬送波位相 ISB．表-5 の値からの差分（単位：m）

衛星系	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)
GPS-QZSS	L1	0.000	0.000	0.000	0.000
	L2	−0.001	−0.001	−0.001	0.000
	L5	0.000	0.000	0.000	−0.001
GPS-GLONASS	L1	0.001	−0.102	−0.001	−0.001
	L2	0.008	0.114	0.000	0.000
GPS-Galileo	L1	−	0.001	−	0.002
	L5	−	0.002	−	−0.001

次に、補正方法を検討するために表-4 と同様の観測条件で推定した JAVAD DELTA-G3T に対する Trimble NetR9 の搬送波位相 ISB を表-6 に示す．

搬送波位相 ISB は，擬似距離 ISB 同様に GPS-QZSS 間と GPS-Galileo 間は各観測条件で大きな変化がみられないが，GPS-GLONASS 間は受信機再起動で大きく変化した．この変化量は，搬送波位相 ISB が FIX 率に影響を与える 0.03m よりかなり大きく，さらに再起動する度にランダムで変化することも確認している．また，この傾向は Trimble NetR9 を除く他の受信機種でも同様であるため，同じ受信機種であっても，搬送波位相 ISB は同じではなかった．

したがって，搬送波位相 ISB は，GPS-QZSS 間はほぼゼロであるため，補正の必要がなく，GPS-Galileo 間が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の補正が可能であることに対して，GPS-GLONASS 間は，受信機再起動でランダムに変化するため，あらかじめ推定しておいた値を使っての補正が困難であり，解析時に搬送波位相 ISB を推定しての補正が必要である．

以上の成果より，GSILIB には，擬似距離 ISB の補正と同様に，あらかじめ受信機種の組み合わせ毎に推定しておいた搬送波位相 ISB を使っての補正と解析時に搬送波位相 ISB を推定しての補正の 2 つの方法が実装されている．なお，後者の場合は，擬似距離 ISB と同様に，必要衛星数が 1 つ増えることになる．

3.2.3 ISB 補正の効果

図-5 は，衛星系の組み合わせ毎の統合解析に対する ISB 補正の効果を示したものである．どの組み合わせにおいても ISB を補正することで，FIX 率の向上が確認できる．なお，図-5 では確認しづらいが，GPS-QZSS 間は擬似距離 ISB を補正することで FIX 率が 98.9%から 99.5%とわずかに向上している．

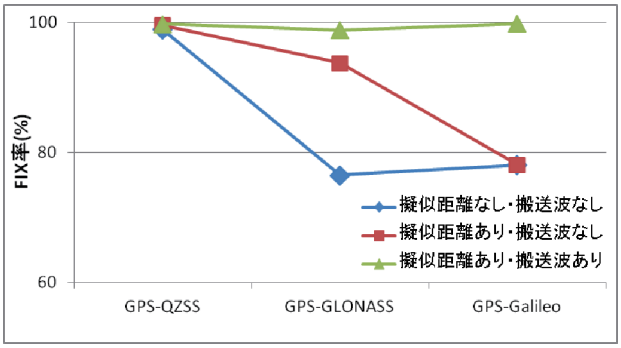

図-5　ISB 補正の効果．JAVAD DELTA-G3T と Trimble NetR9 の基線解析結果（擬似距離：擬似距離 ISB 補正，搬送波：搬送波位相 ISB 補正．解析：統合解析．測位方式：キネマティック）

図-5 は GPS-GLONASS 間で，あらかじめ推定しておいた擬似距離 ISB と当該データから推定した搬送波位相 ISB で補正して統合解析したものであるが，搬送波位相 ISB についても，あらかじめ推定しておいた値で補正した統合解析の結果を図-6 に示す．受信機再起動の時に FIX 率がほぼ 0%になっているが，これは表-6 に示したように受信機再起動によって，搬送波位相 ISB があらかじめ推定した値から大きく変化したためである．

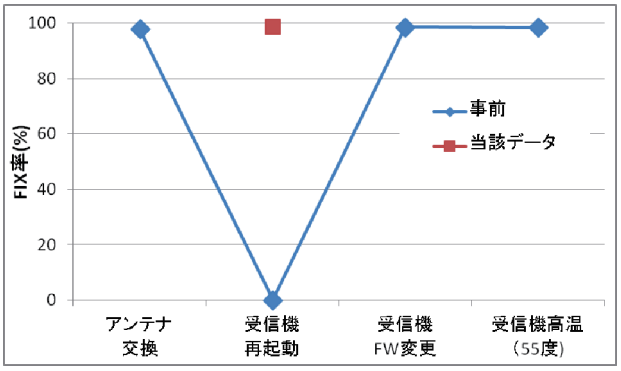

図-6　ISB 補正の観測条件による効果．JAVAD DELTA-G3T と Trimble NetR9 の基線解析結果（事前：事前推定した搬送波位相 ISB で補正，当該データ：当該データから推定した搬送波位相 ISB で補正．衛星系：GPS+GLONASS．解析：統合解析．測位方式：キネマティック）

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，QZSS 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

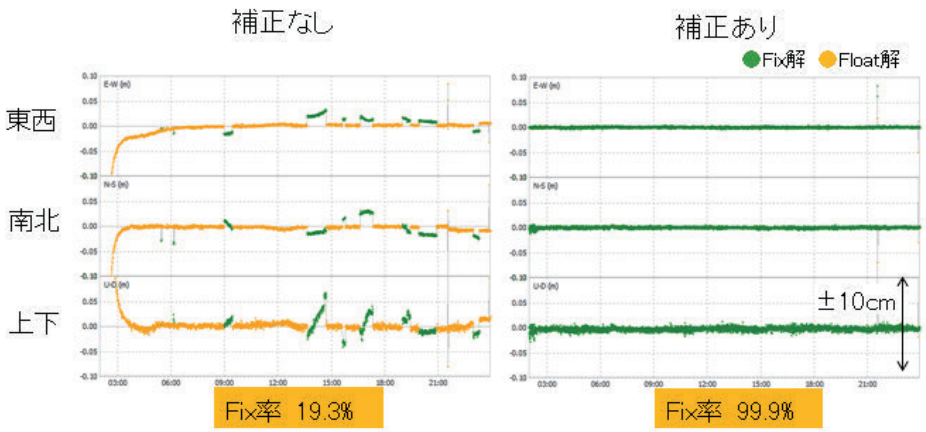

図-7　1/4 周期のずれの補正効果．TOPCON NET-G3A と Trimble NetR9 の基線解析結果（衛星系：GPS+QZSS．解析：統合解析．測位方式：キネマティック．基線長：0m）

種に合わせて 1/4 周期のずれを補正する必要があり，GSILIB には，受信機種ごとのずれをテーブルで与えることで補正する方法が実装されている．

図-7 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．

4. L5 帯を利用した解析

Block IIF 以降の近代化 GPS 及び QZSS は，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．GSILIB は，L5 を利用した解析が可能であり，その解析結果を図-8 に示す．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いことが確認できる．なお，L1，L2，L5 を送信する衛星は 2014 年 7 月現在，GPS6 機，QZSS1 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-8 の解析にはシミュレーションデータを使っている．

5. 今後の GSILIB 利用の計画

GSILIB は，以上の機能の他，PPP や PPP においてアンビギュイティを決定する PPP-AR，複数の観測点を同時に解析する複数基線解析等の機能が実装されており，平成 26 年度中にオープンソースライセンスの下で公開し，電子基準点データの解析を含む測地学や測量分野での利用を想定している．

また，総プロにおいては，GSILIB を用いた実証実験により，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・解析方法を検証する．さらに，緊急時における迅速な地殻変動の把握のため，測位精度の安定性及び信頼性を確保しつつ，GEONET のような 1000 点を超える大規模観測網にも適用可能な高精度測位技術の開発も進めており，その解析エンジンとして GSILIB の利用も計画している．

6. 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，マルチ GNSS による高精度測位技術を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，検証用の解析ソフ

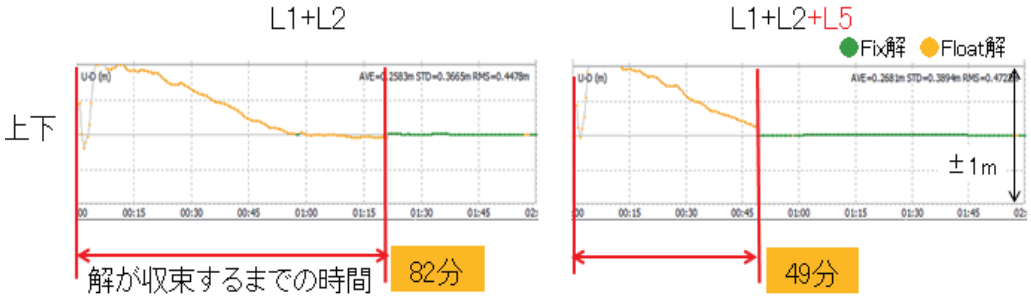

図-8　L5 の効果．（衛星系：GPS．測位方式：スタティック．基線長：126km）

トウェアGSILIBの開発を進めており，GSILIBにはマルチGNSSを用いた統合解析の実現に向けたIFB, ISBをはじめとする様々なバイアスの補正方法やL5を利用した解析方法等が実装されている．

なお, GSILIBにも実装されている統合解析については､総プロにおいて, GPS-QZSS間及びGPS-Galileo間はISBをあらかじめ推定しておいた値で補正することで統合解析が可能であること，GPS-GLONASS間はISBが観測条件により変化する(搬送波位相ISBが受信機再起動により変化する）ため，あらかじめ推定しておいた値でISBを補正し統合解析を行うことは困難であることを確認している．

今後，GSILIBは，オープンソースライセンスの下で公開し，様々な利用を想定しているが，国土地理院ではマルチGNSSによる高精度測位技術を公共測量に適用するための標準化に向けた実証実験や緊急時の地殻変動把握のためのツールとして利用を進めていく予定である．

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），安田明生名誉教授（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・ソフトウエア株式会社，立命館大学．ここに記して感謝する．

（公開日：平成26年8月11日）

参 考 文 献

AIUB: Bernese GNSS Software, http://www.bernese.unibe.ch (accessed 10 Jul. 2014)

Cai, C., and Gao, Y. (2007): Precise point positioning using combined GPS and GLONASS observations, Journal of Global Positioning System, 6(1), 13-22.

古屋智秋，酒井和紀，万所求，辻宏道，宮川康平，畑中雄樹，宗包浩志，川元智司（2013）：GNSS解析ソフトウェアのマルチGNSS対応，写真測量とリモートセンシング，52(4)，159-164.

JAVAD: Justin, http://javad.com/jgnss/products/software/justin.html (accessed 10 Jul. 2014)

JPL: GIPSY-OASIS, https://gipsy-oasis.jpl.nasa.gov (accessed 10 Jul. 2014)

国土地理院（2013）：マルチGNSS解析ソフトウェア「GSILIBプロトタイプ」の公開, http://terras.gsi.go.jp/geo_info/gsilib/gsilib_p.html (accessed 10 Jul. 2014)

国土地理院（2014）：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 10 Jul. 2014)

国土地理院：登録機種一覧簿，http://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/kihon/kisyu/index.htm (accessed 10 Jul. 2014)

ライカジオシステムズ株式会社：LGO (ライカ・ジオ・オフィス)，http://www.leica-geosystems.co.jp/jp/LGO_4611.htm (accessed 10 Jul. 2014)

MIT: GAMIT-GLOBK, http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgk (accessed 10 Jul. 2014)

株式会社ニコン・トリンブル：Trimble Business Center – Japan Survey Lite, http://www.nikon-trimble.co.jp/products/software/business_center_japan_survey_lite.html (accessed 10 Jul. 2014)

Takasu,T. (2013): RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning, http://www.rtklib.com/rtklib.htm (accessed 10 Jul. 2014).

辻宏道，宮川康平，山口和典，矢萩智裕，大島健一，山尾裕美，古屋智秋（2013）：電子基準点のGNSS対応，国土地理院時報，124，139-148.

Wanninger, L. (2011): Carrier-phase inter-frequency biases of GLONASS receivers, Journal of Geodesy, 86, 139-148.

山田英輝，高須知二，久保信明，安田明生（2011）：チャネル間ハードウェアバイアス較正によるRTK-GPS/GLONASS測位の性能評価，日本航海学会論文集，124，103-110.