

公共測量のためのマルチ GNSS 測量マニュアル (案) の制定 Publication of a draft manual on Multi-GNSS Surveying

測地観測センター

山尾裕美・鎌苅裕紀・万所求¹・古屋智秋・辻宏道・後藤清

Geodetic Observation Center

Hiromi YAMAO, Yuki KAMAKARI, Motomu MANDOKORO,
Tomoaki FURUYA, Hiromichi TSUJI and Kiyoshi GOTO

要 旨

国土地理院では、平成 23 年度から平成 26 年度までの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」の研究成果や外部有識者による検討を踏まえ、GPS, GLONASS, Galileo 及び準天頂衛星システムといった GNSS の信号を単独もしくは複数組み合わせる用いる測量により、新点である基準点の位置を定める作業方法を示した「マルチ GNSS 測量マニュアル (案) -近代化 GPS, Galileo 等の活用-」を制定した。

本稿では、マルチ GNSS 測量マニュアル (案) の概要等について報告する。

1. はじめに

近年、米国の GPS だけでなく、ロシアの GLONASS、欧州連合の Galileo、日本の準天頂衛星システム (以下「QZSS」という。) といった各国の衛星測位システム (GNSS) (以下「衛星系」という。) の利用が可能になり、複数の測位衛星や新たな周波数帯の信号が利用できる「マルチ GNSS」の環境が整いつつある。

測量分野でも、こうしたマルチ GNSS の信号を賢く活用することで、ビル街や山間部等といった上空視界に制約があり GPS だけでは測量が難しい地域でも、測量できる場所や時間の拡大が期待されている。また、新しい L5 周波数帯の信号 (以下「L5」という。) を利用して 3 周波測位を行うことで、従来と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ている。

このような期待に応えるべく、国土地理院が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)」(国土地理院, 2014) (以下「総プロ」という。) において行った技術開発や実証実験に基づき、現在配備中の GNSS や L5 の今後の利用の進展を想定し、GPS, GLONASS, Galileo 及び QZSS といったマルチ GNSS の信号を単独若しくは複数組み合わせる用

いる測量 (以下「マルチ GNSS 測量」という。) により、新点である基準点の位置を定める作業方法を示すために平成 27 年 5 月 29 日にマルチ GNSS 測量マニュアル (案) (国土地理院, 2015) (以下「マニュアル案」という。) を制定した。さらに、その後日本の準天頂衛星システムを明示するため、平成 27 年 7 月 22 日に一部改正した。

2. マニュアル案の概要

2.1 マニュアル案制定の背景

総プロでは、GLONASS の系統誤差を除去する方法、近代化 GPS 及び QZSS の系統誤差を除去する方法、異なる衛星系間で発生する受信機の系統誤差を除去する方法、新しい周波数帯 (L5) の信号を利用する解析手法等の開発を行った。また、学術用の解析ソフトウェア RTKLIBver2.4.2 (Takasu, 2013) をベースに上記の技術を実装するマルチ GNSS 解析ソフトウェア GSILIB を開発した (古屋ほか, 2014)。以上の結果を公共測量に適用するため、本マニュアル案を制定した。

2.2 マニュアル案の目的

本マニュアル案は、公共測量作業規程の準則 (国土交通省, 2013) (以下「準則」という。) 第 17 条 (機器等及び作業方法に関する特例) 第 3 項に規定されるもので、マルチ GNSS 測量の標準的な作業方法を定め、その規格を統一するとともに、必要な精度を確保することを目的としている。

2.3 マニュアル案の特徴

本マニュアル案では、準則で使用可能な GPS, QZSS 及び GLONASS に加えて、Galileo の使用についても規定している。これにより使用可能衛星数が増加することによる測位精度の向上や、ビル街等で可視衛星数が増加することによる測量可能な場所や時間帯の拡大が期待される。

また、L1, L2 の 2 つの周波数帯の信号に加えて、新たに L5 の使用についても規定している。L5 を使用することにより、Galileo を用いた測量においても

2周波測位が可能となるほか、L1、L2及びL5の3周波測位を行うことにより、従来の2周波測位と同等の精度をより短い観測時間で達成することが可能となる。

本マニュアル案に基づく測量において使用可能な衛星系と周波数帯を以下に示す(図-1)。

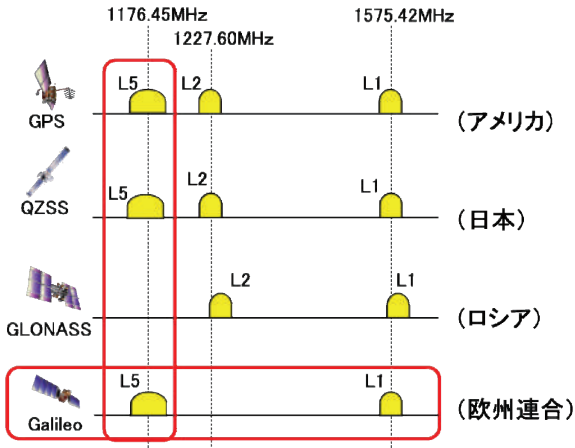


図-1 本マニュアル案で使用可能な衛星系と周波数帯。(赤枠内が新たに使用可能となった衛星系と周波数帯。)

さらに本マニュアル案では、従来の同じ衛星系間でのみ位相差をとる解析(以下「混合処理」という。)に加えて、上空視界に制約があるビル街等の観測条件の厳しい場所での利用を想定した、異なる衛星系間で位相差をとる解析(以下「統合処理」という。)についても規定している。混合処理で複数の衛星系を利用する場合、各衛星系の衛星を最低2機観測する必要があるため、GPS3機とGalileo1機で計4機の衛星を観測できたとしてもGalileoを測位に利用することができず、合計3機となり、測位ができない。これに対して統合処理で複数の衛星系を利用する場合は、合計4機以上の衛星が観測できればよい。そのため、統合処理を導入することにより、上空視界の制限が厳しく可視衛星数が極めて限られた環境であっても測位できる可能性が拡大することが期待される。

2.4 マルチGNSSの利用により期待される効果

前項で述べたように、GPS、QZSS及びGLONASSに加えてGalileoを使用することで利用可能な衛星数が増加するため、上空視界に制約がありGPSだけでは測量が難しい地域でも、測量できる場所や時間が拡大することが期待される。さらに統合処理を行うことにより、上空視界の制限が極めて厳しい状況においても測位が可能となることが期待される。マルチGNSSの利用により期待される効果について、

都市部で行った試験観測による実証結果を以下で紹介する。

写真-1は、上空視界に制約のある都市部の約1.5km離れた2地点において試験観測を行ったときの、観測地点における上空状況の写真である。

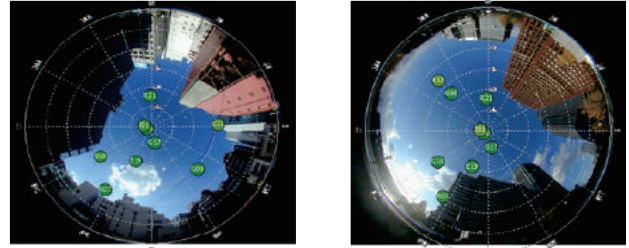


写真-1 都市部における試験観測時の上空状況。

写真-1から、高層ビルにより上空視界が制限されている状況を確認できる。また、2地点において共通で観測されたGalileoは1衛星だけであった。

写真-1の2地点における試験観測データを用いた検証結果を図-2、図-3及び図-4に示す。解析手法はL1のみを用いたキネマティック法を実施し、信号強度マスクを用いてマルチパスの影響を受けた信号を除去するなど、誤差要因を取り除く処理を行っている。

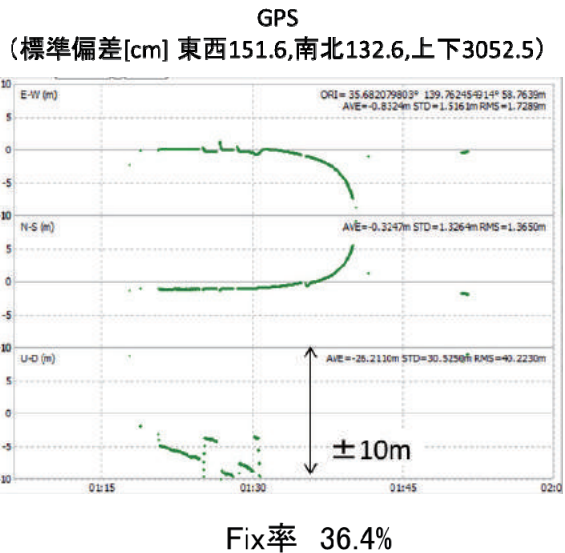
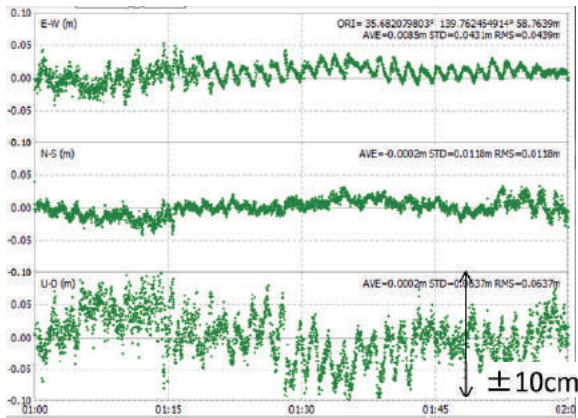


図-2 GPSのみによる解析結果。

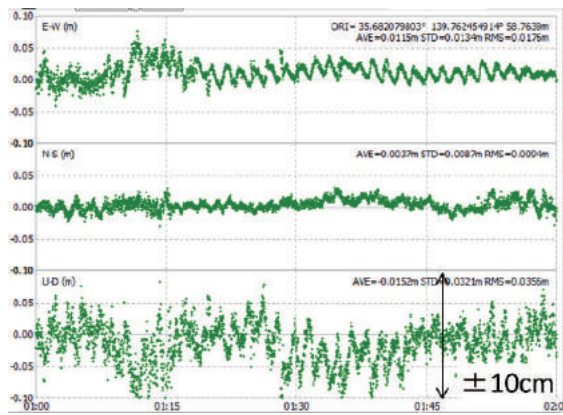
GPS+GLONASS+QZSS
 (標準偏差[cm] 東西4.3,南北1.2,上下6.4)



Fix率 99.7%

図-3 マルチ GNSS を用いて混合処理を行った場合の解析結果.

GPS+GLONASS+QZSS+Galileo
 (標準偏差[cm] 東西1.3,南北0.9,上下3.2)



Fix率 99.9%

図-4 マルチ GNSS を用いて GPS-Galileo 間で統合処理を行った場合の解析結果.

図-2 は GPS のみによる解析結果, 図-3 はマルチ GNSS (GPS, GLONASS, QZSS 及び Galileo) を用いた解析 (混合処理) を行った場合の解析結果, 図-4 はマルチ GNSS (GPS, GLONASS, QZSS 及び Galileo) を用いた解析 (GPS-Galileo 間に統合処理を適用) を行った場合の解析結果である. なお, 本試験観測において 2 地点で共通して観測した Galileo は 1 機しかなかったため, 結果的に図-3 の混合処理において Galileo は使用されていない.

GPS のみによる解析では全観測時間のうち半分程度しか測位ができていないが, マルチ GNSS を用いた解析 (混合処理) を行うことにより, ほぼ全ての

観測時間において測位結果を得られることが確認できた.

さらに統合処理を行うことにより, 共通して観測した Galileo が 1 機しかない場合でも解析に使用することができ, 位相差をとる組み合わせが増えたため標準偏差が改善した.

3. マニュアル案に規定する内容の検討

マニュアル案に規定する内容については, マルチ GNSS 測量マニュアル案作成に関する検討委員会を設置し, GNSS 比較基線場等における試験観測の結果を踏まえて技術的な検討を行った.

3.1 GNSS 比較基線場等における試験観測の概要

マニュアル案に規定する内容について精度検証等を行うため, つくば市にある国土地理院長距離 GNSS 比較基線場及び短距離 GNSS 比較基線場 (図-5) において, 測量機器性能検定要領に基づく検定に準じた観測・解析を実施し, 結果を基線場の成果と比較して検証した. 試験観測は, 公共測量に適用することを想定し, 準則第 37 条第 2 項第二号イで規定されている観測方法について実施した. ただし, ネットワーク型 RTK 法については検証していない.

観測データの解析は, GSILIB 又は Galileo の混合処理が可能な RTKLIB 改造版を用いて行った. 解析結果は GNSS 比較基線場の公称成果値と比較して, 表-1 の許容範囲内かどうかを評価した.

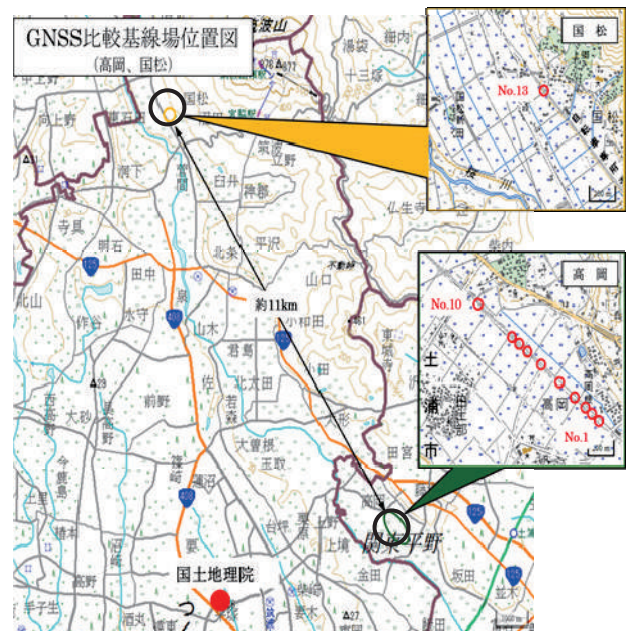


図-5 国土地理院長距離 GNSS 比較基線場及び短距離 GNSS 比較基線場位置図.

表-1 GNSS 比較基線場における試験観測の許容範囲

基線ベクトル	区分	許容範囲
	水平 ($\Delta N \cdot \Delta E$)	15mm
	高さ (ΔU)	30mm

検証は、以下の項目について行った。

- GPS と Galileo の組み合わせ (混合処理)
- GPS と Galileo の組み合わせ (統合処理)
- L5 を用いた 1 周波解析及び 2 周波解析
- 3 周波解析
- GPS と GLONASS の組み合わせ (統合処理)
- GLONASS の単独利用

3.2 Galileo の利用について

Galileo は平成 27 年 7 月現在 3 機が使用可能となっているが、2016 年に 16 機体制、2017 年には 26 機体制で運用されることが計画されている。今後数年以内に多数の衛星が利用可能になると期待されるため、公共測量における利用可能性について検討を行った。

3.2.1 GPS と Galileo の組み合わせ (混合処理)

Galileo を利用する場合の標準的な手法として、GPS との混合処理を行った場合の測位精度を検証した (表-2)。

表-2 GPS と Galileo の混合処理を行った場合の検証結果

観測方法	周波数	成果から差の絶対値 平均		
		dN(m)	dE(m)	dU(m)
スタティック 1級2周波 (11.7km)	L1+L5	0.006	0.009	0.023
スタティック 1級1周波 (1km)	L1	0.006	0.004	0.001
スタティック 2級1周波 (500m)	L1	0.001	0.002	0.001
スタティック 3級1周波 (200m)	L1	0.002	0.001	0.003
スタティック 4級1周波 (30m)	L1	0.001	0.001	0.002
短縮スタティック 3級1周波 (200m)	L1	0.002	0.001	0.004
キネマティック 3級1周波 (200m)	L1	0.003	0.002	0.002
RTK 3級1周波 (200m)	L1	0.003	0.001	0.003

試験観測は、Galileo が 2 機以上観測できる時間帯に行い、2 周波の解析 (L1+L5) には GPS BLOCK IIF と Galileo を、1 周波の解析 (L1) には全ての GPS と Galileo を利用した。全ての観測方法において、GNSS 比較基線場の公称成果値との較差の絶対値の平均値が許容範囲内であることが確認できたため、GPS と Galileo の混合処理を本マニュアル案に規定した。

3.2.2 GPS と Galileo の組み合わせ (統合処理)

上空視界に制限があるなど、より観測条件が厳しい場合に採用する手法として、統合処理を行った場合の測位精度についても検証した (表-3)。

表-3 GPS と Galileo の統合処理を行った場合の検証結果

観測方法	周波数	成果からの絶対値 平均		
		dN(m)	dE(m)	dU(m)
スタティック 1級2周波 (11.7km)	L1+L5	0.012	0.015	0.017
スタティック 1級1周波 (1km)	L1	0.003	0.003	0.004
スタティック 2級1周波 (500m)	L1	0.002	0.001	0.002
スタティック 3級1周波 (200m)	L1	0.001	0.001	0.003
スタティック 4級1周波 (30m)	L1	0.002	0.001	0.004
短縮スタティック 3級1周波 (200m)	L1	0.001	0.001	0.003
キネマティック 3級1周波 (200m)	L1	0.002	0.002	0.002
RTK 3級1周波 (200m)	L1	0.003	0.002	0.003

試験観測は、Galileo が 1 機以上観測できる時間帯に行い、2 周波の解析 (L1+L5) には GPS BLOCK IIF と Galileo を、1 周波の解析 (L1) には全ての GPS と Galileo を利用した。全ての観測方法において、GNSS 比較基線場の公称成果値との較差の絶対値の平均値が許容範囲内となることが確認できたため、GPS と Galileo の統合処理を本マニュアル案に規定した。

なお、異なる受信機間で統合処理を行う場合、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。)を補正する必要がある。GPS-Galileo 間の ISB は受信機の組み合わせ毎にあらかじめ推定しておいた値を用いて補正することが可能であるため、マニュアル案では観測着手前及び全観測完了後の計 2 回、受信機間の ISB を推定し、推定結果に大きな差異が無いことを確認した上で、観測着手前に推定した ISB を用いて統合処理を行うこととした。ISB の推定方法は本マニュアル案の解説で詳細に説明されている。

3.3 L5 の利用について

平成 27 年 7 月現在、L5 を発信している衛星は全部で 13 機ある。その内訳は、GPS BLOCK IIF9 機、QZSS1 機、Galileo3 機となっている。現状では、L1 及び L5 を発信する衛星を 4 機以上観測できる時間は 1 日約 15 時間、L1、L2 及び L5 を発信する衛星を 4 機以上観測できる時間は 1 日約 9 時間である。

しかし数年後には L5 を発信する衛星が多数利用可能になると期待されるため、公共測量における L5

の利用可能性について検討を行った。

3.3.1 L5 を用いた 1 周波解析及び 2 周波解析

L5 は信号強度が強いためマルチパス耐性が高く、観測点周辺環境の影響を受けづらいという利点がある。また L5 を使用することにより、Galileo を用いた測量においても 2 周波解析が可能となる。そこで L5 を用いた 1 周波解析及び 2 周波解析の測位精度について、公共測量での利用を想定した検証を行った（表-4）。

表-4 L5 を用いた 1 周波解析及び 2 周波解析の検証結果

観測方法	周波数	成果からの絶対値_平均		
		dN(m)	dE(m)	dU(m)
スタティック 1級2周波 (11.7km)	L1+L5	0.006	0.005	0.020
スタティック 1級1周波 (1km)	L5	0.004	0.005	0.006
スタティック 2級1周波 (500m)	L5	0.001	0.001	0.005
スタティック 3級1周波 (200m)	L5	0.003	0.002	0.005
スタティック 4級1周波 (30m)	L5	0.002	0.001	0.002
短縮スタティック 3級1周波 (200m)	L5	0.004	0.002	0.008
キネマティック 3級1周波 (200m)	L5	0.004	0.001	0.004
RTK 3級1周波 (200m)	L5	0.008	0.003	0.001

試験観測は Galileo が 1 機以上観測できる時間帯に行い、GPS BLOCK IIF, QZSS 及び Galileo を用いて解析を行った。なお、Galileo は他の衛星系と統合処理を行っている。表-4 の検証結果より、全ての観測方法において、GNSS 比較基線場の公称成果値との較差の絶対値の平均値が許容範囲内であることが確認できた。

上述の GNSS 比較基線場での試験観測は、各観測方法における標準的な点間距離を想定して行っているが、L5 は、L1 及び L2 に比べて周波数が低いため電離層の影響を受けやすいという懸念があることから、電子基準点データを用いて 1 周波測位の上限である点間距離約 10km の基線における検証も併せて行った。結果を以下に示す（表-5）。

表-5 電子基準点間（基線長 10km 前後）におけるスタティック 1 周波解析結果と、F3 解から計算した基線ベクトルとの較差の絶対値の平均

基線長	F3からの絶対値_平均					
	L5			L1		
	dN(m)	dE(m)	dU(m)	dN(m)	dE(m)	dU(m)
10.3km	0.005	0.007	0.019	0.004	0.004	0.016
9.3km	0.007	0.005	0.010	0.005	0.004	0.005
9.6km	0.010	0.007	0.014	0.007	0.006	0.009

表-5 は、点間距離が 10km 前後の電子基準点間の基線における 1 周波解析の結果と、日々の座標値(以下「F3 解」という。)から計算した基線ベクトルの値の較差の絶対値の平均を求めた結果である。比較のため、L5 を用いた 1 周波解析の結果に加えて L1 を用いた 1 周波解析の結果についても示してある。

L5 を用いた 1 周波解析の結果は、L1 を用いた 1 周波解析の結果と比べると F3 解との較差が大きく、各日間のバラつきも大きいことが分かった。これは、L5 を発信する衛星の数が少ないことに加えて、L5 が L1 に比べて電離層の影響を受けやすいことに起因すると考えられる。

L5 を用いた 1 周波解析が L1 を用いた 1 周波解析に比べて電離層の影響を受けやすいと考えられること、L5 を発信している衛星は L1 も発信しているため同じ衛星を用いて L1 の 1 周波解析が可能であり、L5 の 1 周波解析の必要性が低いことから、L5 を用いた 1 周波解析についてはマニュアル案への規定を見送った。L1 及び L5 を用いた 2 周波解析については、表-4 の結果から精度に問題ないことが確認されており、Galileo を用いる測量において 2 周波解析を行う必要性もあることから、本マニュアル案に規定した。

3.3.2 L5 を用いた 3 周波解析

L1, L2 及び L5 を用いた 3 周波解析は L1 及び L2 を用いた 2 周波解析の拡張として規定するため、1 級基準点測量で基線長が 10km 以上の場合に適用される観測方法のみにおいて検証した（表-6）。

表-6 基線場（基線長約 11.7km）における従来の 2 周波解析(L1+L2)と L5 を加えた 3 周波解析(L1+L2+L5)の比較結果

スタティック i級複周波 (11.7km)		L1+L2		L1+L2+L5			
組み合わせ	観測日時	dN(m)	dE(m)	dU(m)	dN(m)	dE(m)	dU(m)
Trimble-Trimble (No.13-No.1)	9月8日 2:00~4:00	-0.010	0.000	0.022	-0.009	-0.002	0.019
	9月10日 1:00~3:00	0.004	-0.002	0.002	0.004	-0.002	-0.002
	9月11日 1:00~3:00	0.003	-0.003	0.028	0.003	-0.002	0.023
	9月14日 1:20~3:20	0.011	0.002	0.022	0.012	0.002	0.020
	9月15日 1:00~3:00	-0.002	-0.003	0.025	-0.001	-0.003	0.023
	9月16日 1:00~3:00	0.006	0.013	-0.013	0.007	0.009	-0.015
	9月17日 1:00~3:00	0.004	0.006	-0.007	0.005	0.004	-0.003

試験観測は GPS BLOCK IIF 及び QZSS が合計 4 機以上観測される時間帯に実施した。また解析には GPS BLOCK IIF 及び QZSS を用いた。いずれの解析結果も許容範囲内におさまっていること、L1, L2 及び L5 を用いた 3 周波解析は、従来の L1 及び L2 を用いた 2 周波解析と同等の精度が得られることを

確認できた。

さらに解の収束に要する時間を確認するため、基線長約 10km 前後の基線において解析時間 120 分で得られた座標値との差の RMS を解析時間毎に整理した (表-7 及び図-6)。

表-7 GNSS 比較基線場 (基線長約 11.7km) における L5 を加えた 3 周波解析 (L1+L2+L5) の解の収束状況。

解析時間	観測時間120分での座標値からの差の絶対値_rms		
	dN(m)	dE(m)	dU(m)
120分	0.000	0.000	0.000
110分	0.001	0.001	0.007
100分	0.002	0.002	0.010
90分	0.002	0.003	0.010
80分	0.005	0.005	0.012
70分	0.006	0.006	0.016
60分	0.013	0.005	0.060

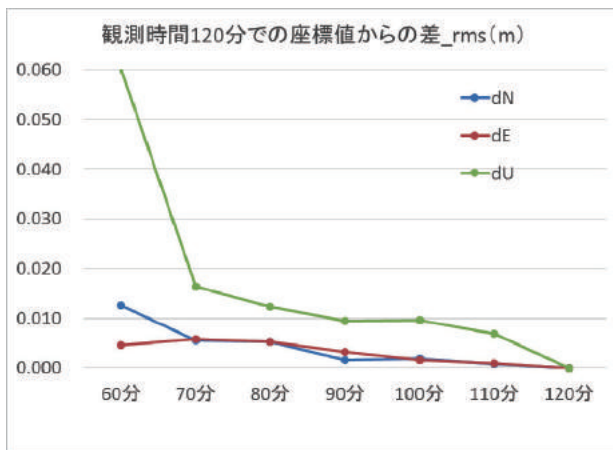


図-6 GNSS 比較基線場 (基線長約 11.7km) における L5 を加えた 3 周波解析 (L1+L2+L5) の解の収束状況。

表-7 及び図-6 の結果から、L1、L2 及び L5 を用いた 3 周波解析により得られる座標値は、解析時間 90 分以上であれば解析時間 120 分で得られる座標値との差が各成分 1cm 未満となることが確認できた。

L1、L2 及び L5 を用いた 3 周波解析については、L1 及び L2 を用いた 2 周波解析と同等の精度を得られることに加え、解の収束に要する時間が短いこと、標準的な観測時間を 90 分以上として本マニュアル案に規定した。

3.4 GLONASS の利用について

現行の準則には、GPS と GLONASS の統合処理や、GLONASS 単独での利用については規定されていな

いが、現在 GLONASS は 24 機が運用可能となっているため、それらの公共測量における利用可能性について検討を行った。なお、GLONASS の信号を処理する場合に問題となる GLONASS 受信機チャンネル間バイアス (Inter Frequency Bias. 以下「IFB」という。) は市販のソフトウェアを用いる場合は自動的に補正されるが、検証に用いた GSILIB には自動補正機能がないため、あらかじめ受信機の組み合わせ毎に推定しておいた IFB を用いて基線解析を行った。

3.4.1 GPS と GLONASS の組み合わせ (統合処理)

GPS-GLONASS 間で統合処理を行った場合の検証結果を以下に示す (表-8)。なお、異機種受信機間で統合処理を行う場合は ISB の補正が必要になるが、GPS-GLONASS 間においては、ISB は受信機再起動により変動するなど受信機の組み合わせ毎の ISB の値が一定ではなく、変動の要因も不明である。このため本試験観測においては ISB が受信機再起動により変動しないことが確認されている受信機のみを用いて観測したデータの統合処理を行った。

表-8 GPS と GLONASS 間の統合処理を行った場合の検証結果

観測方法	周波数	成果からの絶対値_平均		
		dN(m)	dE(m)	dU(m)
スタティック 1級2周波 (11.7km)	L1+L2	0.008	0.003	0.023
スタティック 1級1周波 (1km)	L1	0.002	0.003	0.005
スタティック 2級1周波 (500m)	L1	0.002	0.001	0.003
スタティック 3級1周波 (200m)	L1	0.002	0.001	0.003
スタティック 4級1周波 (30m)	L1	0.002	0.001	0.003
短縮スタティック 3級1周波 (200m)	L1	0.002	0.001	0.004
キネマティック 3級1周波 (200m)	L1	0.002	0.001	0.005
RTK 3級1周波 (200m)	L1	0.002	0.001	0.005

解析は GPS と GLONASS を用いて行った。表-8 の検証結果より、全ての観測方法において、GNSS 比較基線場の公称成果値との較差の絶対値の平均値が許容範囲内であることが確認できた。しかし ISB が受信機再起動により変動する要因が不明確であることから、本マニュアル案で GPS-GLONASS 間の統合処理について規定することは見送った。

3.4.2 GLONASS の単独利用について

GLONASS を単独で使用した場合について、公共測量での利用を想定し、各観測方法における標準的な点間距離で検証を行った結果を以下に示す (表-9)。

表-9 GLONASS を単独で利用した場合の検証結果

観測方法	周波数	成果からの絶対値_平均		
		dN(m)	dE(m)	dU(m)
スタティック 1級2周波 (11.7km)	L1+L2	0.009	0.005	0.016
スタティック 1級1周波 (1km)	L1	0.002	0.004	0.004
スタティック 2級1周波 (500m)	L1	0.000	0.001	0.010
スタティック 3級1周波 (200m)	L1	0.001	0.000	0.007
スタティック 4級1周波 (30m)	L1	0.002	0.001	0.005
短縮スタティック 3級1周波 (200m)	L1	0.002	0.001	0.006
キネマティック 3級1周波 (200m)	L1	0.003	0.001	0.010
RTK 3級1周波 (200m)	L1	0.005	0.002	0.014

解析は GLONASS のみを用いて行った。表-9 の検証結果より、全ての観測方法において、GNSS 比較基線場の公称成果値との較差の絶対値の平均値が許容範囲内であることが確認できた。

さらに表-9 の検証に加えて、電子基準点データを用いて 1 周波測位の上限である点間距離約 10km の基線における検証も併せて行った (表-10)。

表-10 電子基準点間 (基線長 10km 前後) における GLONASS を用いたスタティック 1 周波解析結果と、F3 解から計算した基線ベクトルとの較差の絶対値の平均

基線長	F3からの絶対値_平均					
	GLONASS L1			GPS L1		
	dN(m)	dE(m)	dU(m)	dN(m)	dE(m)	dU(m)
10.3km	0.001	0.002	0.006	0.001	0.002	0.009
9.3km	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.002
9.6km	0.010	0.008	0.007	0.007	0.007	0.009

表-10 は、点間距離が 10km 前後の電子基準点間の基線における GLONASS を用いた 1 周波解析の結果と、F3 解から計算した基線ベクトルの値の較差の絶対値の平均を求めた結果である。比較のため、GLONASS を用いた 1 周波解析の結果に加えて GPS を用いた 1 周波解析の結果についても示してある。結果は全て許容範囲内であり、GLONASS を用いた 1 周波解析と GPS を用いた 1 周波解析の精度に差がないことが確認できた。

表-9 及び表-10 の結果から、GLONASS の単独利用について精度に問題ないことが確認されたため、本マニュアル案に規定した。

4. まとめ

国土地理院では、平成 23 年度から平成 26 年度までの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」の研究成果や外部有識者による検討を踏まえ、GPS, GLONASS, Galileo 及び QZSS といった GNSS の信号を単独もしくは複数組み合わせる用いる測量により、新点である基準点の位置を定める作業方法を示したマルチ GNSS 測量マニュアル (案) を制定し、平成 27 年 5 月 29 日に施行・公開した。なお、その後日本の準天頂衛星システムを明示するため、平成 27 年 7 月 22 日に一部改正した。本マニュアル案では、Galileo の使用、L5 の使用に加えて異なる衛星系間で位相差をとる統合処理についても新たに規定している。本マニュアル案を活用することにより、ビル街等で使用可能な可視衛星数が増加することによる測量可能な場所や時間の拡大、新しい周波数帯の信号を利用することによる測量作業の効率化が実現すると期待される。また、本マニュアル案に基づくマルチ GNSS 測量の円滑な実施に資するため、本マニュアル案を使用する場合の手続きやマルチ GNSS 測量の技術的な解説に加え、本マニュアル案の条文に準則の条文を補完した「解説」も国土地理院ホームページで公開している。

今後は本マニュアル案に基づく実証作業を重ね、精度の検証やマニュアル案の普及に努めていく。

謝辞

本マニュアル案の作成にあたっては、次の有識者から貴重な助言をいただいた (五十音順、平成 27 年 3 月 31 日現在) : 五百竹義勝氏 (電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会利用促進 WG 座長)、枝克夫氏 (全国測量設計業協会連合会技術委員会特別委員)、木寺幸司氏 (日本測量協会測量技術センター測地基準情報部部長代理)、久保信明准教授 (東京海洋大学海洋工学部)、小松崎弘道氏 (日本測量調査技術協会位置情報・応用計測部会副部会長)、佐田達典教授 (日本大学理工学部交通システム工学科)、橋本靖彦氏 (日本測量機器工業会 GPS 測量機器部門会委員)、森下淳氏 (国土交通省大臣官房技術調査課課長補佐)。ここに記して感謝する。

(公開日 : 平成 27 年 9 月 1 日)

参考文献

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 (2014) : GSILIB の開発, 国土地理

院時報, 125, 125-131.

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 21 Jul. 2015).

国土地理院 (2015) : マルチ GNSS 測量マニュアル (案) —近代化 GPS, Galileo 等の活用— 及び同解説.

国土交通省 (2013) : 作業規程の準則 (平成 20 年国土交通省告示第 413 号[最終改正平成 25 年 3 月 29 日国土交通省告示第 286 号]).

Takasu, T. (2013): RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS positioning, <http://www.rtklib.com/rtklib.htm> (accessed 21 Jul. 2015).