

S I P (戦略的イノベーション創造プログラム)

自動走行システムの実現に向けた
諸課題とその解決の方向性に関する
調査・検討における衛星測位活
用に向けた基礎評価に関する調査
報告書

平成 27 年 3 月 6 日

衛星測位活用検討コンソーシアム
代表機関：アイサンテクノロジー
共同機関：宇宙航空研究開発機構、
東京海洋大学、衛星測位利用推進センター

目次

第1章 概要.....	6
1.1 目的.....	6
1.2 実施内容.....	6
1.3 体制と分担.....	6
第2章 走行実験.....	8
2.1 走行実験の概要.....	8
2.2 使用機器の構成.....	8
2.2.1 受信機に関して.....	9
2.2.2 アンテナに関して.....	10
2.2.3 MMS に関して.....	13
2.2.4 その他の機器.....	14
2.3 走行実験内容.....	15
2.4 走行実験手順.....	15
2.5 走行実験コース.....	16
2.5.1 都市部一般道.....	17
2.5.2 都市高速道路.....	18
2.5.3 郊外高速道路.....	19
第3章 評価対象と評価のポイント.....	20
3.1 利用する衛星システム.....	26
3.1.1 GPS.....	27
3.1.2 QZSS.....	28
3.1.3 GLONASS.....	29
3.1.4 BeiDou.....	30
3.1.5 Galileo.....	31
3.1.6 IRNSS.....	32
3.2 測位方式.....	35
3.2.1 コード測位受信機での測位.....	36
3.2.2 コード位相測位（1周波、2周波）.....	38
3.2.3 L1-SAIF.....	42
3.2.4 2周波搬送波位相測位（RTK）.....	45
3.2.5 CMAS.....	49
3.2.6 MADOCA-PPP.....	55

第4章	評価方式	59
4.1	参照座標	59
4.1.1	MMSによる計測結果	59
4.1.2	MMS計測の精度検証	62
4.2	位置精度の評価	73
4.2.1	位置情報の評価手法	73
第5章	解析評価結果および考察	76
5.1	総合評価	76
5.1.1	評価対象の受信機および測位方式	76
5.1.2	走行コースごとの総合評価	76
5.2	評価ポイント別のまとめ	254
5.2.1	測位環境ごとによる差異	254
5.2.2	高速道路における自動走行への衛星測位利用の可能性	260
5.2.3	速度による測位精度への影響	263
5.2.4	コード測位受信機	264
5.2.5	高さ方向の精度	266
5.2.6	測位精度への地図へのマッピングによるインテグリティ判定の検討	267
5.2.7	マルチパスの影響とその影響とその低減方法	268
5.2.8	ハイブリッド測位	274
第6章	まとめと課題	287
6.1	マルチGNSS効果と補強効果	287
6.2	マルチパス低減方法についての検討	287
6.3	測位中断箇所/精度悪化箇所の状況の把握	287
参考	CMASに関する補足情報：一周波におけるCMAS補正情報の利用	289

第1章 概要

1.1 目的

近年、米国の GPS や日本の準天頂衛星をはじめ、複数の衛星測位システム（マルチGNSS）の利用が可能となっており、精度や可用性はこの数年で著しく進展している。また日本国が2018年の実用サービス開始に向け整備を進めている準天頂衛星については、各種の精度向上(補強)方式が計画されている。本調査では、これらの衛星測位技術が、自動車の高精度な位置特定手段としてどこまで利用可能かを見極めることを目的とする。

1.2 実施内容

- マルチGNSSによる効果を、移動体(自動車)で評価を実施した。
 - 高精度リファレンスを用い、位置精度を定量的に評価。
 - 市街地でのマルチパス低減効果を確認。
- 準天頂衛星の補強方式を含む、各種測位方式で包括的な評価を実施した。
- 評価にあたり、カーメーカから利用シーン等の要件のヒアリングを行い、実験条件および評価方法に反映させた。
- 今後の研究開発の基礎データとすべく、取得データ・解析結果のデータ公開を行うための整理を行った。

1.3 体制と分担

内閣府より委託された本業務は、株式会社アイサンテクノロジーをリーダーとして独立行政法人 宇宙航空研究開発機構(JAXA)、一般財団法人 衛星測位利用推進センター(SPAC)、東京海洋大学がコンソーシアムを結成、独立行政法人 衛星航法研究所(ENRI)が一部業務を再委託、カーメーカが参画する特定非営利活動法人 ITS Japan の準天頂衛星利活用検討会から助言を得ながら推進する体制となっている。また、実験に使用する受信機等の機材については、古野電気株式会社、株式会社コア、ユーブロックス ジャパン株式会社の協力を得ている。

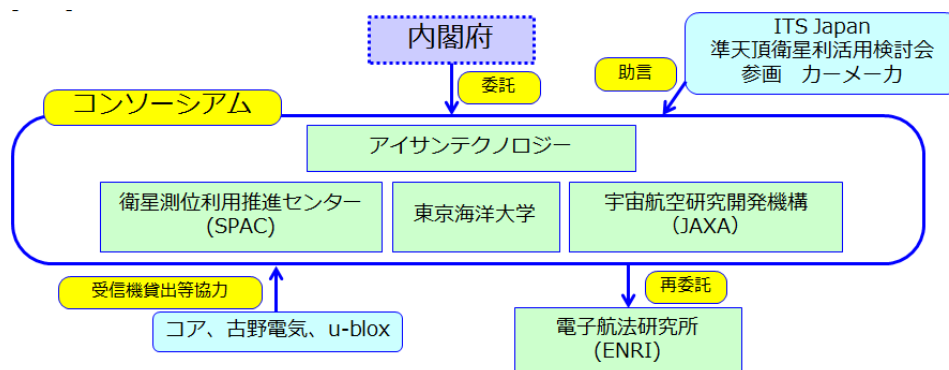


図 1.1 体制図

コンソーシアムのメンバーの役割分担は下表のようになっている。

表 1.1 役割分担表

会社・組織	役割
アイサンテクノロジー	コンソーシアムの代表機関、自動車による計測実施、計測車両の準備・運転等、実験機材提供
JAXA	実験計画立案、MADOCA 方式の解析、実験解析とりまとめ
SPAC	自動車による計測とりまとめ、実験機材提供、CMAS 方式の解析及び L1-SAIF 方式の解析サポート
東京海洋大学	データ解析(RTK-GPS 方式等)、データ整理、実験機材提供
ENRI	データ解析(L1-SAIF 補強方式)

第2章 走行実験

2.1 走行実験の概要

自動走行システムの実現に向けた諸課題とその解決の方向性に関する調査/検討として、衛星測位技術が自動車の高精度な位置特定手段としてどこまで利用可能か見極めるため、以下の要領で走行実験を実施した。

- ①種々の衛星、測位方式による精度の比較を行う。
- ②精度評価は、MMS(Mobile Mapping System : 高精度 GPS 移動計測装置)にて取得した座標をリファレンスとする。
- ③測位は、実際に道路を走行して行う。コースはアンダーパス、マルチパス等、種々の場面を想定した、都内一般道、都内高速道、郊外高速道路の3つのコースで行う。
- ④衛星の配置状況を考慮し、1つのコースを午前と午後の2回走行してデータを取得する。
- ⑤今後の研究開発の基礎データとすべく、取得データ・解析結果をデータベース化する。

2.2 使用機器の構成

すべての機器を MMS 機能を持った車に搭載。

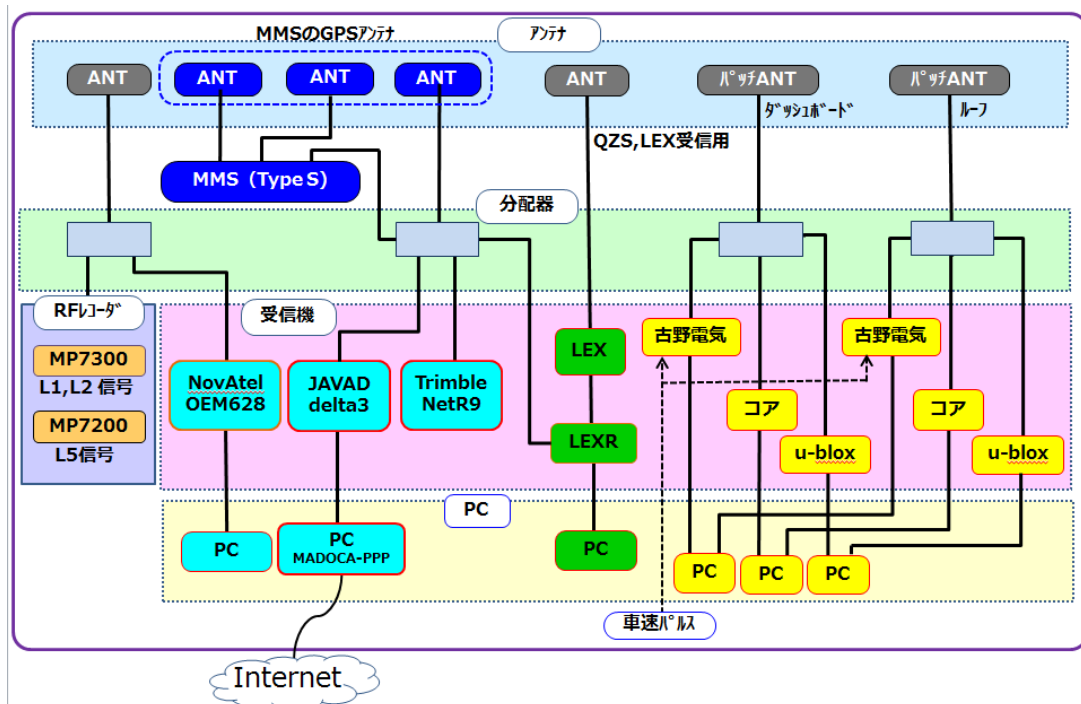


図 2.1 実験機器構成


2.2.1 受信機に関して

受信機は、高精度受信機、低速移動体端末（LEXR）、コード測位受信機の3種を使用した。高精度受信機については、一般的に測量に使用されるもので、特にメジャーとされるJAVAD、Trimble、NovAtelの3社のマルチGNSS対応の受信機とした。


表 2.1 高精度受信機

衛星システム	信号	JAVAD	Trimble	NovAtel
GPS	L1 C/A	○	○	○
	L2P	○	○	○
QZS	L1 C/A	○	○	○
	L1 SAIF	○	○	○
	L2C	○	○	○
	LEX	○	-	-
GLONASS	L1	○	○	○
	L2	○	○	○
Galileo	E1	○	○	○
Beidou	B1	-	○	○
SBAS	L1 C/A	○	○	○


JAVAD Delta3



Trimble NetR9



NovAtel OEM628



Reference:各メーカーカタログから外観抜粋

低速移動体端末（LEXR）は、利用実証用センチメートル級測位補強システムが生成した補強情報を、LEX 信号（準天頂衛星の L6 信号）受信機経由で入手し、これを用いることで、LEXR 内の GPS2 周波搬送波受信機に接続したアンテナ位置を精密に計測して位置情報を出力するものである。

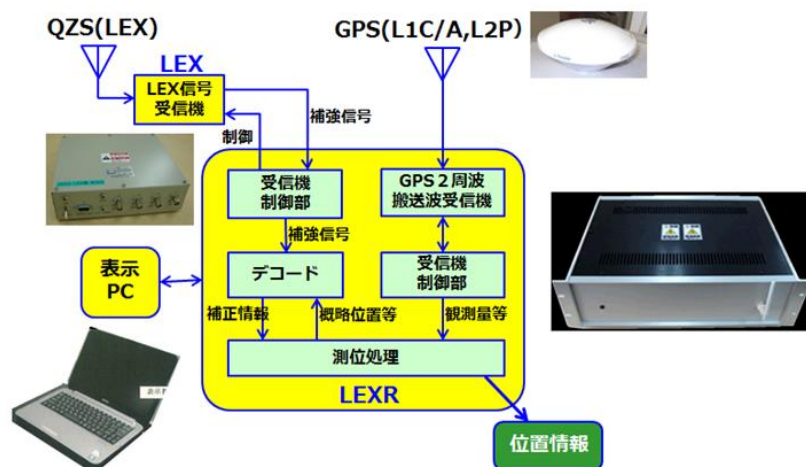


図 2.2 低速移動体端末

コード測位受信機については、各々特徴を持った、古野電気株式会社、株式会社コア、及び u-blox の 1 周波単独測位の受信機を使用した。古野電気株式会社の VN-87/86 は、RAW データを取得可能であり、また、デッドレコニング(推測航法)機能がある。この機能は車速パルスを取り込むことにより実現する。株式会社コアの QZNAV は準天頂衛星の補強 L1-SAIF に対応しており、10Hz で測位可能である。u-blox の EVK-M8M は、BeiDou と GLONASS が受信可能である。なお、BeiDou、GLONASS は択一である。

表 2.2 コード測位受信機

衛星システム	信号	古野電気 VN-87/86	コア QZNAV	u-blox EVK-M8N
GPS	L1 C/A	○	○	○
QZS	L1 C/A	○	○	○
	L1-SAIF	—	○	—
GLONASS	L1OF	○	—	□
BeiDou	B1	—	—	□
測位周期		1Hz	10Hz	1Hz
特徴		デッドレコニング (推測航法)機能 あり	QZS補強 L1-SAIFに 対応 測位周期は 10Hz	BeiDouを 受信可能 (GLONASSと 択一)



Reference:各メーカーカタログから外観抜粋

2.2.2 アンテナに関して

アンテナは、MMS の天板に設置された 3 つの GPS アンテナ、及び、高精度受信機用とコード測位受信機用のパッチアンテナを使用した。パッチアンテナについては、ルーフ部とダッシュボード部の 2 か所に設置した。アンテナで受信した信号は、分配器経由で各受信機に供給される。

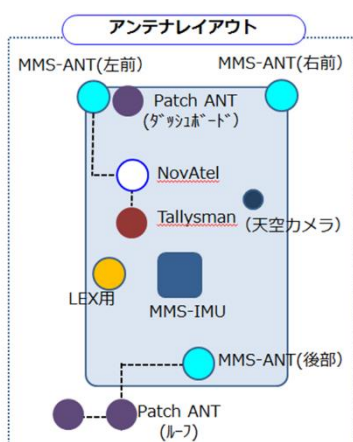


図 2.3 アンテナのレイアウト



図 2.4 各種アンテナ

実際の配線系は 2.1 項全体の機器構成を参照。

尚、NovAtel 等のアンテナは高性能ではあるが高価であり、現状は主に測量用途に利用されている。今後、利用分野拡大による数量増による低価格化、小型化は大いに期待しているが、アンテナによる効果検証の為、廉価（約 1/10 の低価格）2 周波対応アンテナであるタリスマン製アンテナを準備し、同ルート走行し利用の可能性を検証するようにした。

以下、アンテナ形状・仕様等について以下に説明する。

Patch アンテナ



チタン酸バリウム、チタン酸マグネシウム等からなる誘電体セラミックスを構造体に持ち、上下に電極を形成し、給電ピンを取り付けた構成。

アンテナ部重量 約 40g

// 寸法 約 35mm×40mm×8

図 2.5 Patch アンテナ

図 2.6 NovAtel アンテナ



PERFORMANCE

3 dB Pass Band

L1/B1/E1 1580.0 ± 28.5 MHz (typical)

L2/L3/L5/B2/E5/E5a/E5b

1210.0 ± 45.0 MHz (typical)

Out-of-Band Rejection

L1 ± 100 MHz 30 dBc (typical)

L2 ± 200 MHz 50 dBc (typical)

LNA Gain 29 dB (typical)

Gain at Zenith (90°)

GPS L1 +5.0 dBic (minimum)

GPS L2 +3.0 dBic (minimum)

GPS L5 +3.0 dBic (minimum)

Gain Roll-Off (from Zenith to Horizon)

GPS L1 12 dB

GPS L2 13 dB

GPS L5 13 dB

Noise Figure 2.0 dB (typical)

VSWR ≤2.0 : 1

L1-L2 Differential Propagation Delay 5 ns (maximum)

Nominal Impedance 50 Ω

Altitude 9,000 m

PHYSICAL AND ELECTRICAL

Dimensions 185 mm diameter¹ × 69 mm

Weight 500 g



TW3870 GPS L1&L2 + GLONASS
G1&G2 Antenna

図 2.7 Tallysman アンテナ

Architecture Twin Dual, Quadrature Feeds
 Bandwidth L1: 34 MHz, L2: 48MHz
 Antenna Element Gain (100mm ground plane)
 L2: 3 dBic min. L1: 4.5 dBic min.
 Axial Ratio (over full bandwidth) < 1 dB typ., 2 dB max . at Zenith

LNA Gain 35 dB typ, 32 dB min, each of L1 and L2 bands
 LNA Noise Figure 2dB max at 25C
 Out-of-Band Rejection

L1	L2
< 1500 MHz >50dB	<1184MHz >50 dB
< 1550 MHz >36 dB	<1200MHz >30 dB
> 1640MHz >60 dB	> 1284MHz >32 dB

VSWR (at LNA output) < 1.5:1

Mechanical Size,

Ground Plane 66 mm dia. x 21 mm, see drawing on Datasheet

Weight 185 g



図 2.8 Trimble アンテナ

Broad GNSS Frequency Tracking Band Including:

- GPS: L1, L2, L5
- GLONASS: L1, L2, L3
- Galileo: E1, E2, E5, E6
- SBAS: WAAS, EGNOS, QZSS, Gagan, MSAS, and OmniStar
- Quality signal tracking, even below 5 degrees elevation
- Four point antenna feed for phase center stability and enhanced polarization
- TNC female signal connector
- Small cross-sectional area to reduce wind loading
- 13 dB amplifier margin supports cable runs of over 60 m without special coaxial cable or in-line amplifiers
- North orientation marking on exterior
- 50 dB signal gain for reliable tracking in difficult environments
- Low voltage, low power consumption
- Integral low noise amplifier
- 5/8" x 11 female threaded stainless steel mount point
- Powered by GNSS receiver via coaxial cable
- Advanced LNA (low noise amplifier) to reduce jamming by high power out-of-band transmitters

34.3 cm diameter x 7.6 cm height
 1.36 kg (3 lb)

Reference:

NovAtel <http://www.novatel.com/products/gnss-antennas/>

Tallysman <http://www.tallysman.com/TW3870.php>

Trimble

<http://www.trimble.com/infrastructure/zephyr-geodetic-antennas.aspx?dtID=support>

2.2.3 MMS に関して

MMS (Mobile Mapping System : 高精度 GPS 移動計測装置) は、三菱電機株式会社製であり、ベースはトヨタ自動車のアルファードである。MMS に GPS アンテナ、IMU、カメラ、レーザースキャナーを一体化したユニットを天板上に装備する。トライアングルに配置した 3 台の GPS が高精度に車両姿勢を捉え、GPS 可視区間で道路面と道路周辺の 3 次元空間を高精度で計測が可能であり、これにより計測された位置情報を実験のリファレンスとして用いた。



図 2.9 MMS 外観



図 2.10 MMS 天井部のアンテナ



図 2.11 レーザースキャナの画像

2.2.4 その他の機器

上記の機器以外に、RF レコーダ/プレーヤ、及び、天空カメラを設置した。

RF レコーダ/プレーヤは受信した実環境下の RF 信号をストレージに記録し、複雑な現地の条件を正確に再現可能であり、受信機の評価、性能向上等のために繰り返し使用することができる。今回は、L1,L2,L5 信号を受信して記録した。

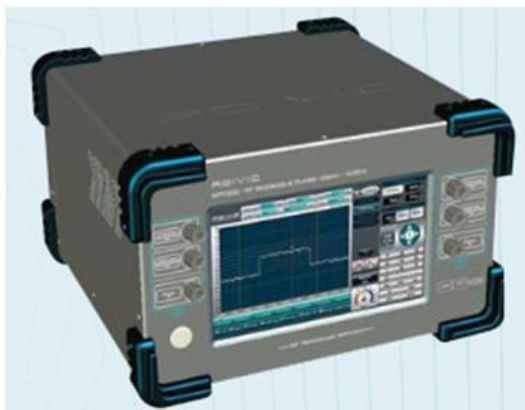


図 2.12 RF レコーダ/プレーヤ

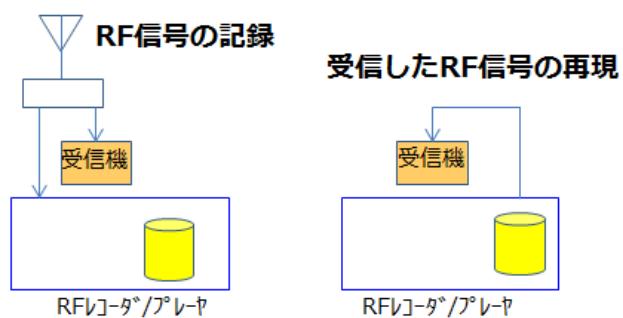


図 2.13 RF レコーダ/プレーヤの機能

天空カメラは、天板に取り付け、天空の状況を録画した。ゆりかもめの高架下、高層ビル街等で、天空の状況がどのようなになっているか記録し、解析時に参考とした。



図 2.14 MMS に取り付けられた天空カメラ



ゆりかもめ高架下 大手町高層ビル街

図 2.15 天空カメラ画像

2.3 走行実験内容

走行実験では、走行コース、時間帯、アンテナ、受信機、測位/補強方式、衛星システムについて、種々の組み合わせにてデータを採取し、MMS で取得したデータとの比較を行った。

走行コース		時間帯		アンテナ	
C1	市街地一般道	T1	衛星数多(DOP良)	高精度受信機用	
C2	都市高速	T2	衛星数少(DOP悪)	MMSアンテナ	
C3	郊外高速道路			パッチアンテナ(パッチサポート)	
				パッチアンテナ(レフ)	

受信機		測位/補強方式		衛星システム	
搬送波受信機	Trimble	M1	1周波コード測位	GPS	
	JAVAD	M2	2周波コード測位	GPS+QZS	
	NovAtel	M3	L1-S AIF(サブm級)	GPS+GLO	
	LEXR	M4	MADCCA+PPP	GPS+QZS+GLO	
コード測位受信機	古野電気	M5	CMAS(センチm級)	GPS+QZS+BDS	
	コア	M6	キネマティック(基線解析)		
	U-blox	M7	SBAS		
		M8	デッドレコング(推測航)		

図 2.16 走行実験内容

2.4 走行実験手順

3日間に亘り、都市部一般道、都市高速道路、郊外高速道路を実走し以下の3つのデータを採取する。

- ①MMS ②受信機 ③RF レコーダ

MMS から採取したデータは、リファレンス座標として各受信機の測位データと比較し、精度評価を行う。各受信機から採取するデータは、受信機側で測位結果として出力するNMEA形式と、受信結果の生データをRAW形式として出力する2つがある。

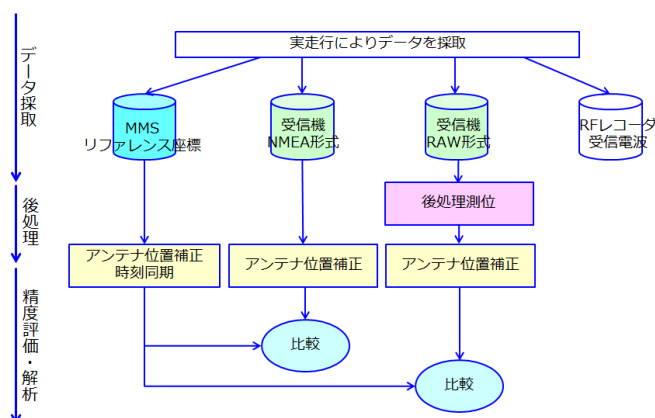


図 2.17 走行実験手順

NMEA 形式についてはアンテナ位置補正を施した後に、MMS のリファレンス座標と比較評価を行う。RAW 形式のデータについては、後処理として、測位に使用する衛星を選択したり、補強方式を加味して測位データを生成する。RF レコーダにて採取した受信電波は今回の実験では、ストレージに記録するにとどまる。

2.5 走行実験コース

走行実験コースは、アンダーパス、マルチパス等、種々の場面を想定し、都内一般道、都内高速道、郊外高速道路の 3 つのコースで行う。

2.5.1 都市部一般道

都内一般道は、越中島の東京海洋大学を起点とし、上部鉄骨構造物がある相生橋、側道からの合流がある初見橋交差点南側、都道 304 号のオープンスカイの橋梁（南下、北上）、左右に首都高速の高架がある場所、ゆりかもめ直下、ビル街がある勝どき橋、日比谷のアンダーパス、丸の内の高層ビル街を経由し、東京海洋大学に戻る 18.5km のルートである。

海洋大→有明→日比谷→丸の内→海洋大 (18.5Km)

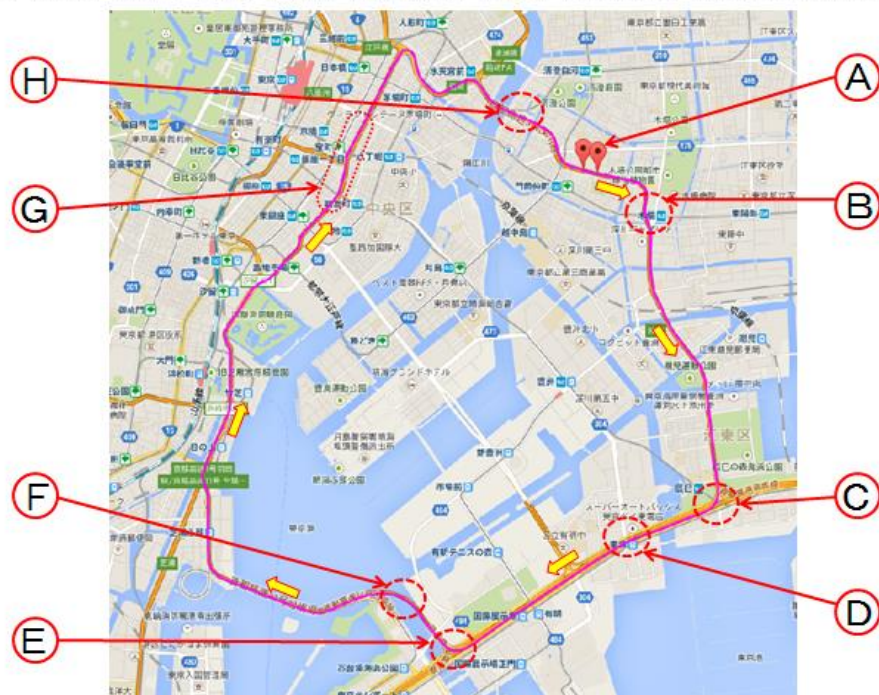


図 2.18 都内一般道の走行ルート

2.5.2 都市高速道路

都内高速道は、首都高速の福住 IC から防音壁のある木場、上部が複雑な高速道路となっている辰巳、オープンスカイを南東に進む東雲、やはり上部が複雑な高速道路となっている有明、オープンスカイを北東に進む海浜公園、遮蔽物が多い京橋、オープンスカイを南東に進む門前仲町を經由し、木場 IC までの 17.8km のルートである。

福住IC→木場→辰巳→東雲→有明→海浜公園→京橋→門前仲町→木場IC(17.8km)



A 福住IC



B 木場:防音壁



C 辰巳:高架下



D 東雲:オープンスカイ



F 有明:高架下



G 海浜公園オープンスカイ



H 京橋:遮蔽物



I 門前仲町オープンスカイ



図 2.19 都内高速道の走行ルート

2.5.3 郊外高速道路

郊外高速道路は、つくばのJAXAを起点とし、桜土浦ICより常磐自動車道に入り、つくばJCTから首都圏中央連絡自動車道を北上、つくば中央ICにて高速道路を一旦降りて折り返し、つくば中央ICより首都圏中央連絡自動車道を南下、つくばJCTにて再び常磐自動車道に入り、谷田部ICにて折り返し桜土浦ICに戻る31.8kmのルートである。



① 桜土浦ETCゲート



② つくばJCT (MMSのレーザースキャナ画像)



③ つくば中央IC



④ 谷田部IC→つくばJCT(陸橋下)



⑤ 谷田部IC→つくばJCT(工事中でレーンチェンジ)



図 2.20 郊外高速道路の走行ルート

第3章 評価対象と評価のポイント

評価の対象、試験方法や、データ取得後の評価着目点については、ITS Japan 準天頂衛星利活用検討会参加の自動車メーカーと打合せを実施の上、決定している。以下に評価対象（走行経路、時間帯、測定対象）についての考え方、評価時の着目点についてまとめる。

（1）評価項目・対象選定の考え方

【走行経路（環境、走行シーンの違い）】

将来自動走行の需要が想定される走行シーンを鑑み、走行経路設定を行った。マルチパスの影響を受けることが想定される①都市部の一般道、②首都高速、および、③都市間高速道路(出入口の ETC ゲートを含む)の3つの走行コースとし、2章に示すような、道路上の構造物により上空視界が遮られる場所（橋梁支持構造、都市高速高架、ゆりかもめ高架、歩道橋などの跨線橋、日比谷アンダーパス）や、周囲を高層ビルや防音壁などで囲まれた場所など、衛星測位には厳しい環境を含むようなコース設定を行った。

3つの走行コースにはそれぞれ特徴的な環境を含んでおり、コース全体での可視衛星数、測位精度、測位率の統計データに加えて、コース内のオープンスカイから衛星測位にとって厳しい条件の環境まで、複数のシーンを区間として切り出した評価も実施した。各コースに含まれるシーンについては2章を参照のこと。

【時間帯（衛星配置）】

衛星測位システムは、衛星配置(衛星の位置関係)により精度が変動するため、実験実施日の衛星配置を調査し、比較的衛星配置が悪い時間帯および良い時間帯を選定し、それぞれの時間帯について同じコースを走行しデータ取得を行うことをとしたが、実際は、セットアップに予定以上の時間を要したことや、交通状況によってコース出発地点までに時間を要するなど、当初予定の時間通りには走行することができなかつたため、各実験日において、1回目と2回目の走行の間を1時間以上空け、できるだけ異なる衛星配置で2回目の走行を行うことにした。

図 3.1 は 3 日間の実験実施日の東京における GPS の衛星配置の良し悪しを示すインデックス (Dilution of Precision (DOP)) の変動を示している。仰角マスクは 10 度とし、仰角 10 度以上の衛星を用いて DOP、可視衛星数を算出した。DOP は衛星が方位角、仰角に広く偏りなく分散している方が小さく、衛星が偏って配置している場合には大きな値を示し、小さい DOP の方が測位精度が良い。図中に 3 日間の走行実験実施時間帯を示す。今回の 3 日間の走行試験では、3 日目の都市間高速走行 1 回目は比較的 DOP の悪い時間帯であるが、1 日目、2 日目の都市部での走行試験では、DOP という観点ではほぼ同じレベルでの走行となった。しかしながら、図の可視衛星や DOP の変化は、仰角マスク 10 度でオープンスカイを想定したものであり、実際の走行環境においては、上空を遮る障害物や、ビルなど

の周辺の障害物が多く、これらの障害物に対する衛星配置の変化という観点では、十分な変化が見られており試験条件としては当初の目的に合致したデータ取得ができたと考える。

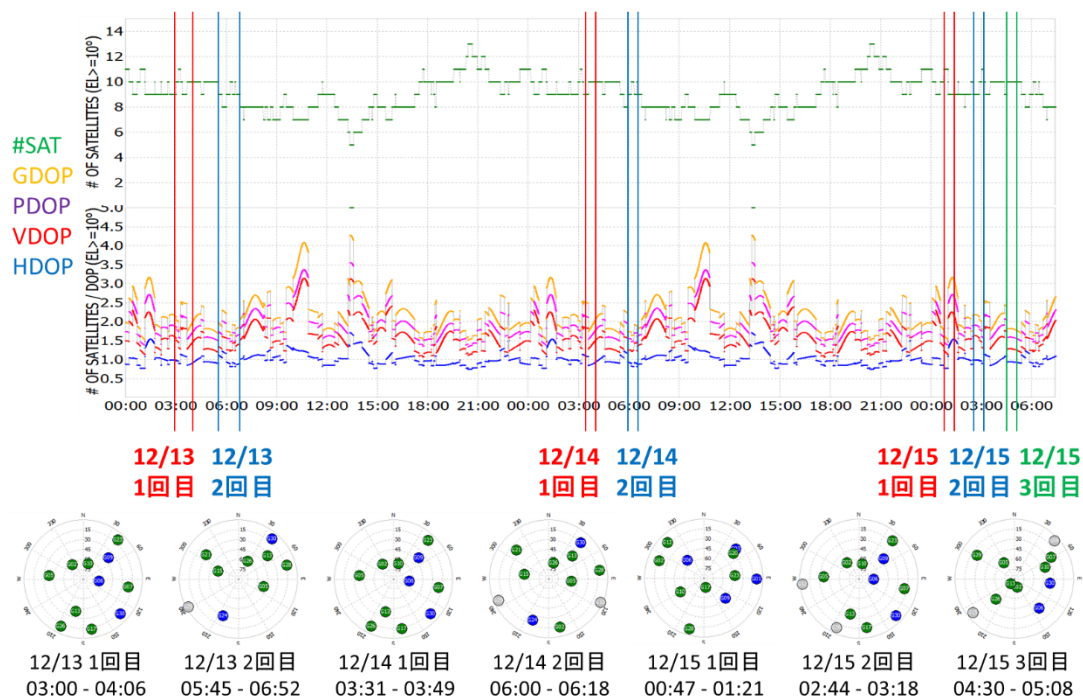


図 3.1 実験期間中の東京における DOP 及び可視衛星の変動 (上段)
実験走行中の衛星配置 (下段)

【受信機 (測位方式 (コード位相測位と搬送波測位)、受信機機種の違い)】

測位方式の差異として、コード位相測位と搬送波位相測位の差異を評価するため、それぞれに必要な受信機を、各方式ごと複数機種を用いてデータ取得を実施した。コード測位受信機は、古野電気、コア、u-Blox の 3 社の製品を、高精度受信機は、Trimble、Novatel、Javad の 3 社の受信機を選定した。各受信機の仕様については 2 章を参照のこと。コード位相測位、搬送波位相測位の測位方式については本章にて後述する。(3.2 項参照)

また、高精度受信機は計測した観測値を基に測位結果を出力するだけでなく、観測結果を生データとして出力する機能を持っており、出力された観測値を用いて、後処理にて複数の測位方式、GPS 単独利用と複数 GNSS 利用測位結果の比較を行う。

【複数 GNSS 利用による効果】

各国が競って衛星測位システムの開発・整備に取り組んでおり、我が国でも 2018 年までに準天頂衛星システムの 4 機体制による実用サービスが開始される。複数 GNSS 利用による利用可能衛星数の増加は、これまで衛星測位が苦手としてきた周囲を障害物に囲まれた

上空視界が限られた場所においても測位を可能とし、かつ、従来よりも測位精度の劣化が少なくより精度の高い測位が可能となることが期待されている。GPS 単独利用に対し、QZSS、GLONASS、BeiDou の3つのシステムを追加、異なる組合せとして、

S1 : GPS のみ

S2 : GPS+QZSS

S3 : GPS+QZSS+GLONASS

S4 : GPS+QZSS+BeiDou

S5 : GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou

の組合せに対して、受信機によって可能な組合せで評価を行うこととした。

各衛星測位システムについては後述の 3.1 項に概要とそれぞれの単独測位結果をまとめる。なお、欧州の Galileo については、観測できる時間、衛星機数が限られていることから、今回の調査では評価対象とすることを見送ることとした。

【測位補強方式の差異】

準天頂衛星システムの特色として、GPS や GNSS と相互運用性のある測位信号を送信し、GNSS 衛星のプラスアルファとして機能する補完機能に加えて、他測位衛星システムを含む衛星測位信号の誤差に対する補正情報を配信する機能（補強機能）がある。本調査では、この準天頂衛星を用いた補強方式として、コード位相測位に対する広域ディファレンシャル補正方式である L1-SAIF 方式、搬送波位相測位方式に対する補強方式として、ネットワーク型 RTK 方式の一方式である CMAS 方式、単独搬送波測位方式（Precise Point Positioning : PPP 方式）の3方式について評価を行う。各測位補強方式は、他のコード位相測位方式、搬送波位相測位方式と合わせ以下の6つの測位方式が本調査の評価対象である。

M1 : 1 周波コード位相測位

M2 : 2 周波コード位相測位

M3 ; L1-SAIF（1 周波コード位相測位補強）

M4 : MADOCA-PPP（2 周波単独搬送波位相測位補強）

M5 : CMAS（2 周波搬送波位相相対測位補強）

M6 : RTK（2 周波搬送波位相相対測位）

それぞれの測位方式について、3.2 項で概説と、定点測位の結果を紹介する。

【アンテナ（設置場所またはアンテナ種別の違い）】

1) コード測位受信機

アンテナはパッチアンテナ（u-blox 社製 EVK-M8N(品番)）を使用、アンテナの設置場所を、ルーフトップと、ダッシュボードの2カ所に設定しデータ取得を行った。

2) 高精度受信機

アンテナの設置場所は、ルーフトップで共通とするが、測量用の搬送波位相測位アンテナ (Novatel 社製 702GG (品番)) と、搬送波位相測位用ではあるものの、廉価版アンテナ (Tallysman 社製 TW3870) の2種類のアンテナを用いてデータ取得を行うこととし、廉価版アンテナについては、実験 3 日目の都市間高速コースの3回目の走行時に、測量用アンテナの代わりに使用した。現時点での2周波搬送波位相測位導入コストの低減の可能性を探るのが目的である。(各アンテナの仕様については2章を参照のこと)

上述の評価項目について、コード測位受信機を用いた評価ケースの組合せを図 3.2 に、高精度受信機を用いた評価ケースの組合せを図 3.3 に示す。一部、設定誤りなどで取得できなかったデータ取得組合せもあり、最終的に取得したデータの組合せを別紙に表としてまとめる。

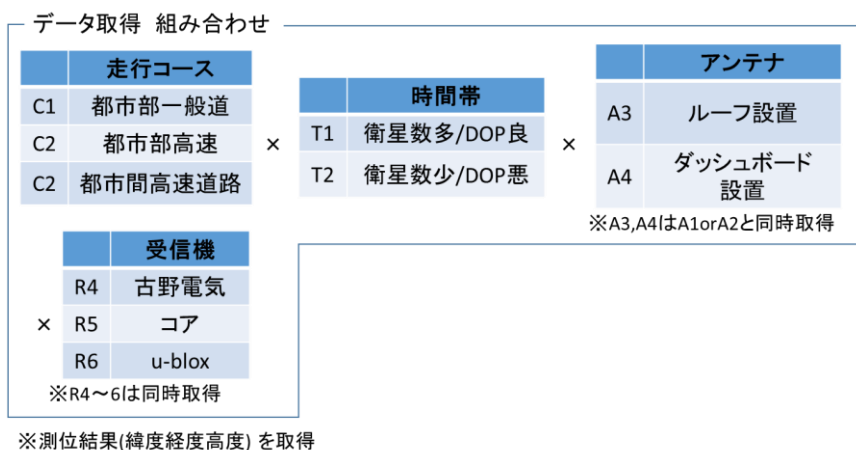


図 3.2 コード測位受信機によるデータ取得組合せ

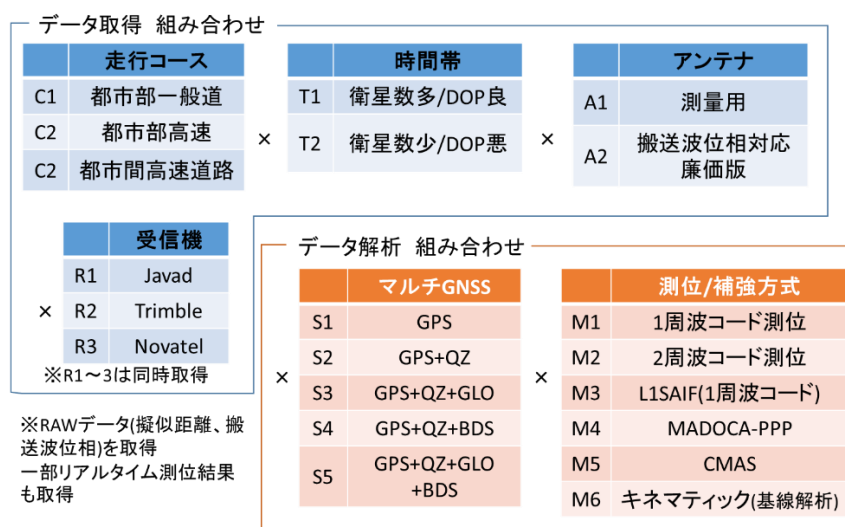


図 3.3 高精度受信機によるデータ取得組合せ

(2) 評価にあたっての着目点、評価の実施方針

データ取得後に、評価の着目点をどこに置くかについて、ITS ジャパン準天頂衛星利活用推進委員会メンバーとの意見交換も踏まえ、評価にあたって着目すべき視点をまとめた。本報告書の5章において以下の着目点に応じ、評価並びに考察を行う。

1. まずは高速道路で自動走行に使えるのか、使えそうなのかをまとめること

環境による精度への影響評価については、本調査が自動走行に向けた衛星測位システムの利用可能性の調査を目的としていることから、国の方針として、高速道路本線上については2020年を目標に自動走行を実現することとなっており、まずは高速道路本線上での自動走行の可能性についてを重点的に評価することとする。以下の方針にて評価を行った。

- 本線走行期間だけを切り出しての評価を行う。
- 精度の分布がわかるようにする。(ヒストグラム化)
- 高速道路上での障害物(高架道路、切通しなど)と精度の相関がわかるように示す。(精度が悪化する要因を分析すること)
- ジャンクション(直線ではなくループした区間)での振る舞い、走行中の車線変更時の振る舞いを分析すること。

2. 環境以外の要因が測位精度に影響を及ぼすか?速度による影響を静止観測との差異から考察を行うこと

自動車は静止状態から高速道路上の走行状態までさまざまなダイナミクスで運動を行う。衛星測位でも、正確にその運動をトレースしなければならない。今回の走行実験に置いて評価できる範囲として、3日目都市間高速走行時のオープンスカイ条件での走行時と同時間帯の基準点静止観測データの精度分布の比較評価を行う。

3. 初期化時間、測位中断後、高架通過時の精度劣化後の復帰までの時間の評価を行うこと

測位中断が発生した場所、精度が荒れた場所を抽出し、その後の測位再開、精度復帰までの時間を評価するとともに、各測位方式として必要な初期化時間を整理する。

- 高速道路上での高架道路をくぐった際に精度が荒れて復帰するまでの時間
- 日比谷アンダーパス、京橋の測位中断後の復帰時間

4. 安価なコード測位受信機でどこまでの性能が得られるのか?受信機の差異による性能の違いについて明確にすること

5. 併走または交差する高さの違う道路を識別可能か?高さ方向の精度とその改善について評価すること

6. 本調査の成果は、自動走行に必要なインフラ整備の効率化やセンサ統合時に衛星測位結果の正確性、インテグリティ判定に活用することは可能か？移動による周囲環境の逐次変化と精度変化の相関（パターン）の分析を行うこと

トンネルなど、衛星測位が利用できない場所、衛星測位だけでは精度劣化が激しく精度的に使えないエリアは、複数 GNSS 利用により使用可能衛星数が増加したとしても残る。そのようなエリアには、画像センサによる位置特定を支援するためのマーカーなど、地上インフラとして整備する必要がある。衛星測位の利用可否を判別するためのマップが生成できれば、これらのインフラの整備範囲を特定、整備コスト低減に効果があると考えられる。

7. 精度劣化要因の分析として、補強では除去できないマルチパス影響の評価と、マルチパス信号を識別する方式の検討を行うこと

以下、3.1 項及び 3.2 項に本調査で利用する衛星システム及び測位方式について説明する。

3.1 利用する衛星システム

衛星測位システムは地上のユーザが衛星からの信号を受信することで地球上のどの位置にいるかを知るためのシステムであり、2014 年現在、衛星測位システムはアメリカの GPS (Global Positioning System)、ロシアの GLONASS (Global Navigation Satellite System)、中国の Beidou、欧州の Galileo、インドの IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System) などが整備、運用されている。我が国においても 2010 年 9 月 11 日に準天頂衛星システム (QZSS : Quasi-Zenith Satellite System) 初号機「みちびき」が打ち上げられ 2011 年 6 月 22 日に測位信号のサービス提供を開始した。現在多くの測位衛星が地球を周回し、測位信号を送信することで、世界中で衛星測位サービスを楽しむことが可能になっている。図 3.1.1 は 2020 年に想定される世界地図上での可視測位衛星数である。中国の Beidou や地域的な測位システムであるインドの IRNSS や日本の QZSS の衛星数の増加により、アジア・オセアニア地域は世界のどの地域よりも多くの GNSS の信号を利用することができる。

図 3.1.2 には各衛星測位システムが利用する周波数配置を示す。各衛星測位システムにおいてメッセージ仕様の共通化、中心周波数やスペクトラムの共通化により相互運用性を高める取り組みがなされている。

以下に各衛星システムの開発状況等について簡単に説明する。[3-1]

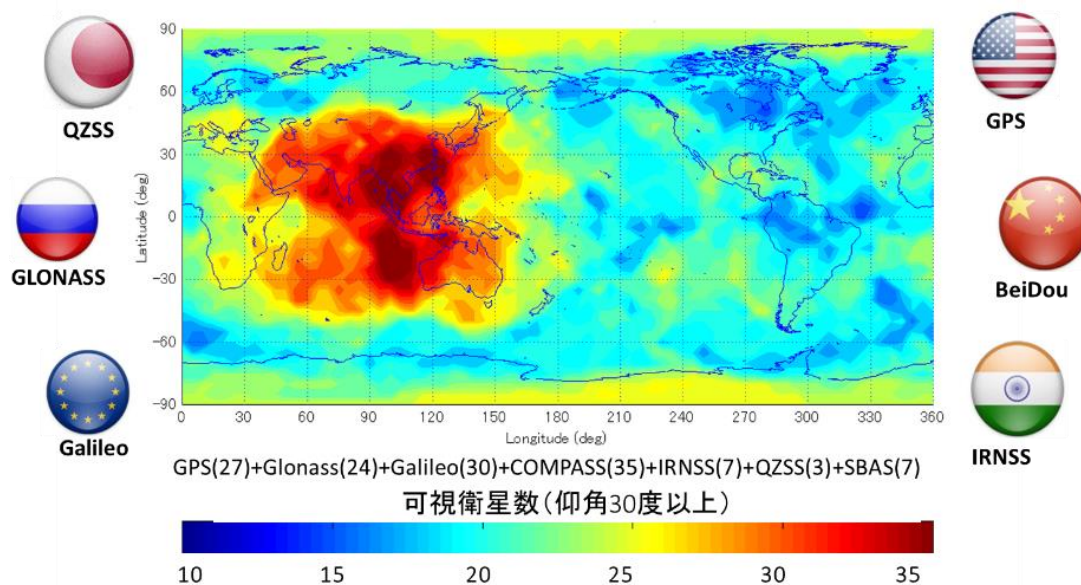


図 3.1.1 2020 年における仰角 30 度以上の可視衛星数予測

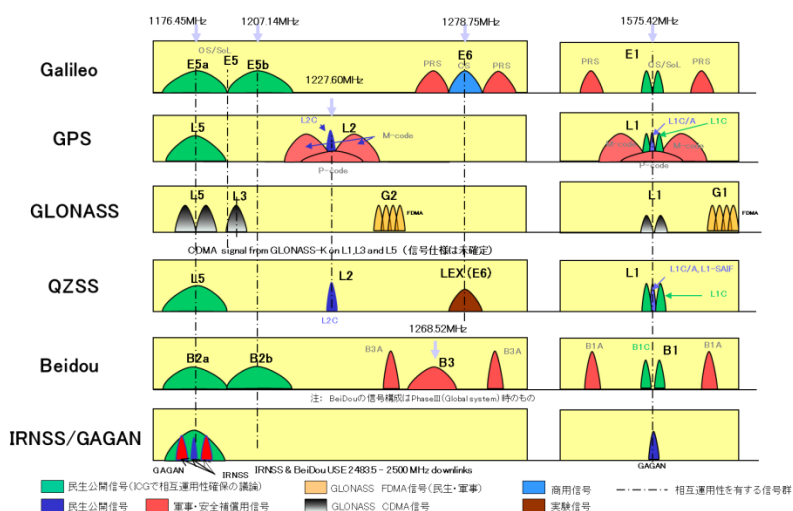


図 3.1.2 各衛星測位システムの信号の周波数

3.1.1 GPS

米国が開発、運用する GPS は、初号機が 1978 年に打ち上げられ、現在では予備基を含めて 39 基の衛星が軌道上に在りサービスが継続運用されている。基本のコンステレーションは図 3.1.3 に示すような 24 基体制が基本配置であり、高度約 20,220km の準同期軌道で、昇交点経度が 60 度ごととなる 6 面の軌道毎に 4 基ずつ配置されている。地上システムとしては、図 3.1.4 に示す通り、マスターコントロール局に加え、追跡管制局を 12 局及び 16 の観測局を使用しており、SIS-URE (Signal-In-Space User-Range-Error) については図 3.5 に示すように年々向上している。GPS 衛星の近代化として新たな衛星への入れ替えが計画されており、衛星の設計寿命やアベイラビリティやインテグリティの向上を図って GPS Block III 衛星の開発が進められ、2016 年より随時打ち上げが予定されている。[3-2]

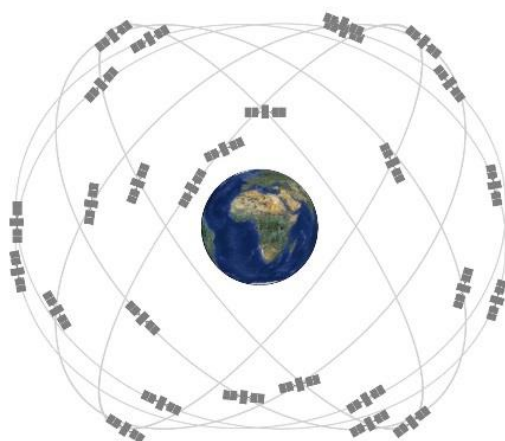


図 3.1.3 GPS の軌道配置

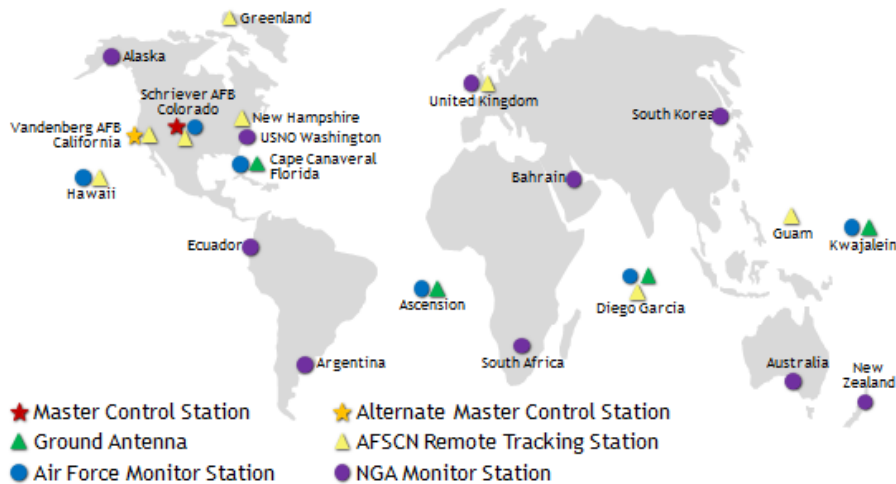


図 3.1.4 GPS の地上システム配置

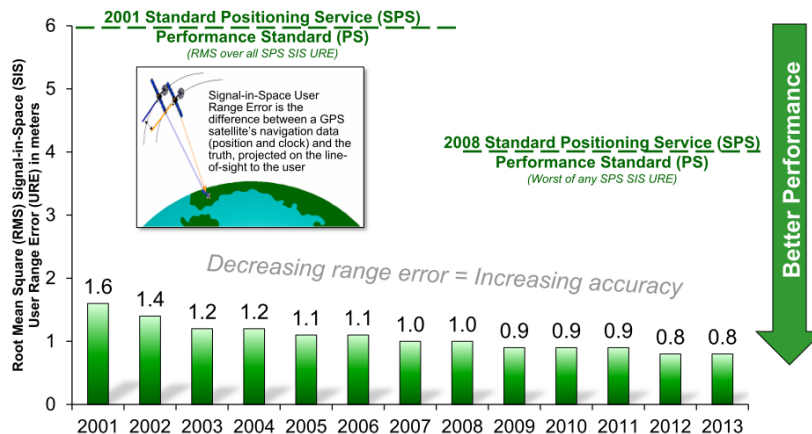


図 3.1.5 GPS の SIS-URE

3.1.2 QZSS

2015 年現在、日本では JAXA や関連研究機関が開発実証した準天頂衛星初号機「みちびき」1 基が測位サービスを提供している。「みちびき」の軌道は対地同期軌道の 1 種である準天頂軌道（高度約 32,000km から約 38,000km の楕円軌道）で、日本の天頂付近に長時間滞在できるように設計されており、地表面では日本をはじめ、インドネシア、パプアニューギニア、オーストラリアの上空を 8 の字を描くように通過する。準天頂衛星システムの地上システム配置を図 3.1.6 に示す。筑波のマスターコントロール局、沖縄の追跡管制局及び国内外 9 局のモニタ局から構成される。SIS-URE の長期評価結果を図 3.1.7 に示す。所定の精度 (2.6m) 以下である時間率は 99.999% で、当該期間の RMS は約 0.38m である。

現在、内閣府により実用準天頂衛星システムの整備が進められており、2017 年までに新たに 3 基の衛星が打上げられ、2018 年より 4 基体制で実用サービスが開始される予定である。また宇宙基本計画では 2023 年度を目途に 7 基体制でサービスの運用が実施される予定である。

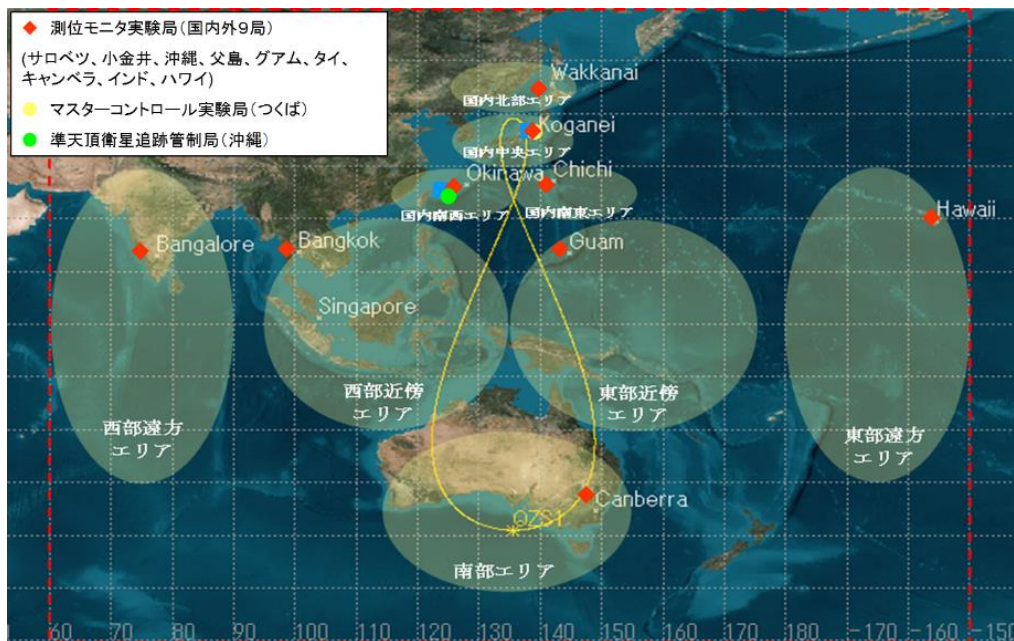


図 3.1.6 準天頂衛星システムの地上システム

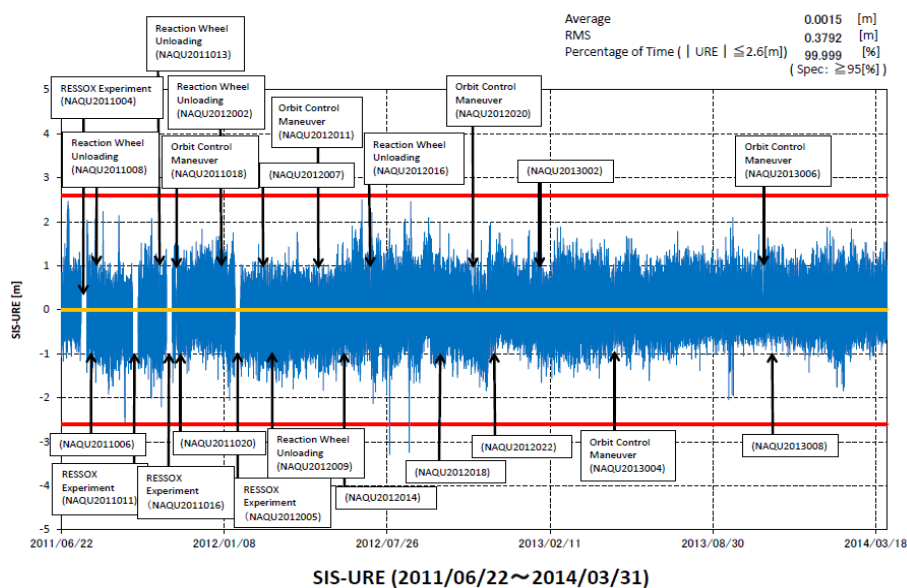


図 3.1.7 準天頂衛星初号機「みちびき」の SIS-URE

3.1.3 GLONASS

ロシアが開発、運用する GLONASS は 24 基体制を基本とし、現在予備基を含めて約 30 基の衛星が図 3.1.8 に示すような軌道の上に配置され、サービスが継続運用されている。SIS-URE は図 3.1.9 に示す通りで、2014 年では約 2.7m で今後改善される計画である。ま

た、GLONASS では衛星の更新が実施され、GLONASS-M 衛星に加えて新型衛星の GLONASS-K の打上げが開始された。衛星の設計寿命の向上が図られ、相互運用性の向上のために FDMA 方式の信号に加え CDMA 方式の信号の追加が予定されている。
[3-3][3-4]

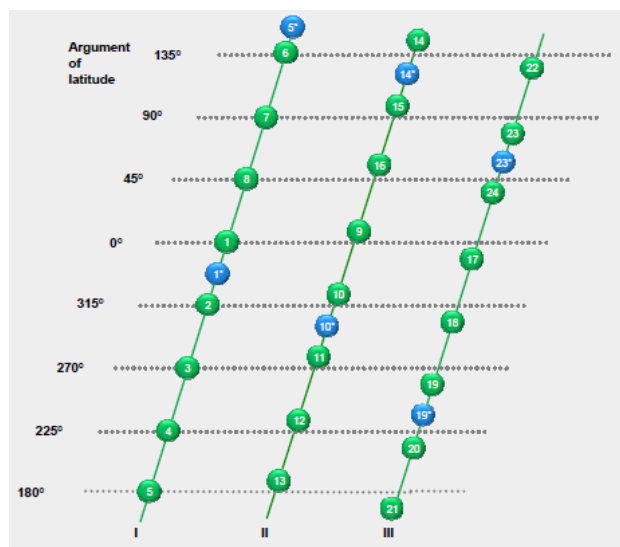


図 3.1.8 GLONASS の予備基を含めた軌道配置

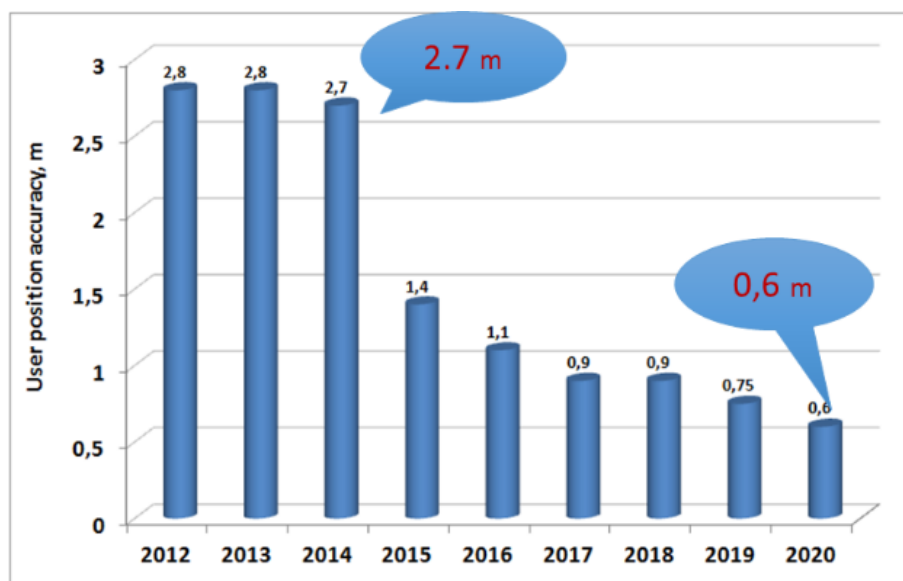


図 3.1.9 GLONASS の SIS-URE

3.1.4 BeiDou

2007 年に初号機を打ち上げ、2012 年に地域限定でサービスを開始した中国の Beidou は、現在中高度軌道（約 21,500km）に 4 基、静止軌道に 5 基、傾斜対地同期軌道に 5 基の計 14 基が各軌道上に在る。将来的には図 3.1.10 に示すような合計 35 基のコンステレーション

ョンになる計画である。SIS-URE は図 3.1.11 に示すように約 1.0m~1.5m である。また BeiDou は、補強信号の配信やショートメッセージサービスを含めたグローバルサービスが 2020 年を目途に開始される予定である。[3-5]

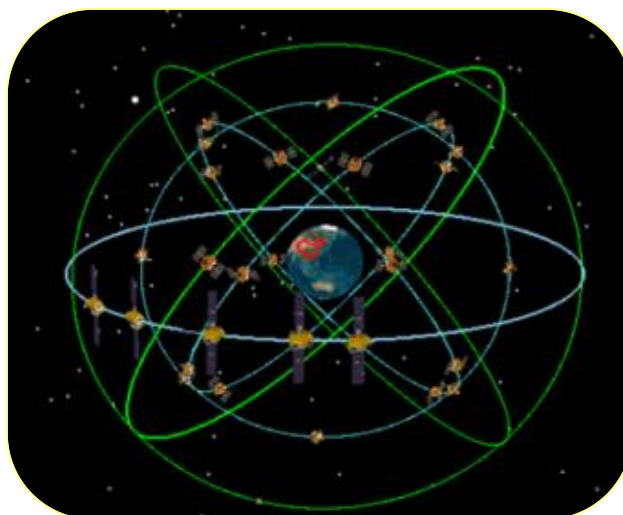


図 3.1.10 BeiDou の軌道配置

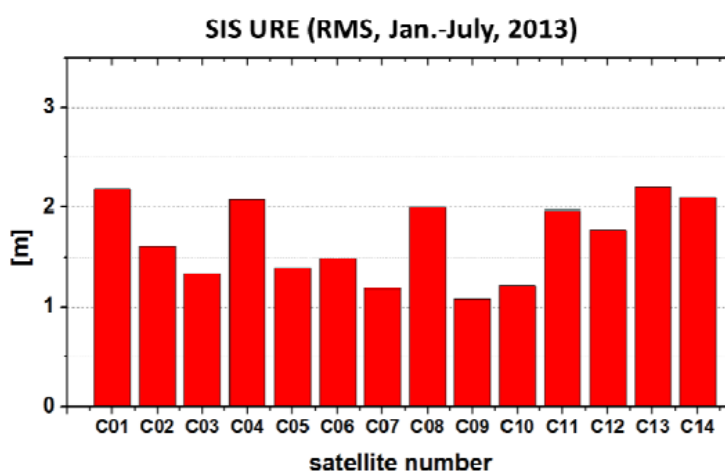


図 3.1.11 BeiDou の SIS-URE

3.1.5 Galileo

欧州の Galileo は 2005 年に初号機が打ち上げられ、2014 年末現在で 6 基打ち上げられている。高度約 23,222km の 3 面の軌道毎に予備基含め 10 基が配備され、2018 年に約 30 基体制となる予定である。Galileo は民生での利用を意識して設計されており、誰もが利用可能であるオープンサービスに加え、運輸事業のための高信頼性の信号の配信や、有償で高精度信号のサービス、また救援活動のためのサーチアンドレスキューのサービスの整備も予定している。

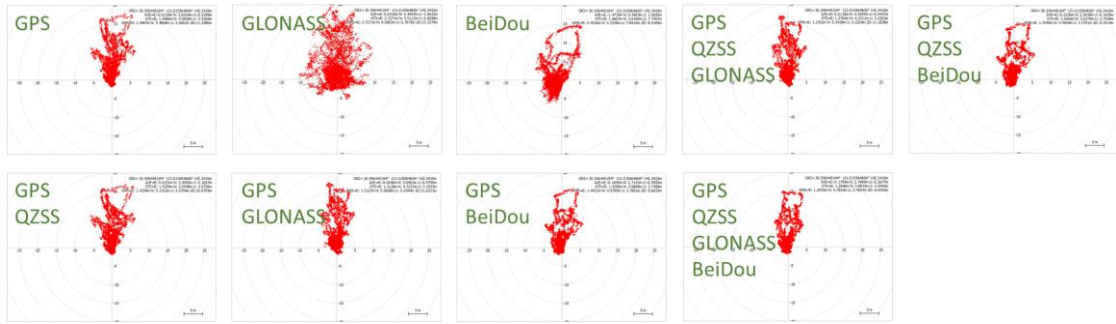
3.1.6 IRNSS

インドの IRNSS は 2013 年に初号機が打ち上げられ、2014 年末現在では 3 基の衛星がインド周辺の地域に対しサービス提供を行っている。計画上 SIS-URE はインド洋周辺で 20m 以内、インド国土の主要部で 10m 以内とされている。2016 年には静止軌道 3 基を含めた計 7 基の衛星が配備される予定である。[3-5]

本調査ではこれらの衛星測位システムのうち、GPS、QZSS、GLONASS 及び Beidou を対象としてデータの取得を行った。参考情報として、図 3.1.12 にこれらのシステムそれぞれを用いて単独測位を行った結果と、それらの組み合わせで単独測位を行った結果の例を示す。(単独測位については 3.4 項を参照。) なお、観測場所は増田宇宙通信所内の定点とし、対象時間帯は 2014/12/13 からの 72 時間(UTC)とした。

対象期間中の GPS、GLONASS 及び BeiDou の可視衛星数及び DOP の変動と、ある時間 (2014/12/14 の 04:30:00) における各システムのスカイプロットをそれぞれ図 3.1.13 及び図 3.1.14 に示す。GPS は衛星の入れ替わりが多いが配置がよいため DOP が低く、また図 3.1.5 に示すように SIS-URE も良好な値をとり、結果として図 3.1.12 の左上の図のような測位結果を得た。GLONASS も衛星の入れ替わりが多いが配置がよいため、GPS には劣るものの DOP も比較的低い値で安定しているが、図 3.1.9 に示すように SIS-URE が GPS ほど良くないため、測位結果は図 3.1.12 の上段中央の図のように荒れたものとなった。BeiDou は準天頂衛星のような地域的な衛星を含むため日本での観測では衛星の配置の偏りが生じ、DOP が比較的高い値であったが、SIS-URE が GLONASS と比較して良好であり、このことと衛星の入れ替わりが少ないことによる相乗効果で測位結果は GLONASS と比較して良好であった。

また、当該データは、上空が開けていて衛星信号を遮蔽するものが少ない好条件下での測位の結果であるため、複数の衛星システムを組み合わせることで (=マルチ GNSS 利用) の寄与は然程大きくはないものの、測位精度の向上を確認することができる。都市部や山間部のような遮蔽物が多い環境の下で測位を行う場合は、マルチ GNSS の効果はより顕著に現れる。



RMS (m)	G	R	B	GQR	GQB
水平	5.7	6.7	4.5	5.4	4.7
RMS (m)	GQ	GR	GB	GQRB	
水平	5.3	5.8	4.8	4.8	

図 3.1.12 使用する衛星システム別の単独測位の結果

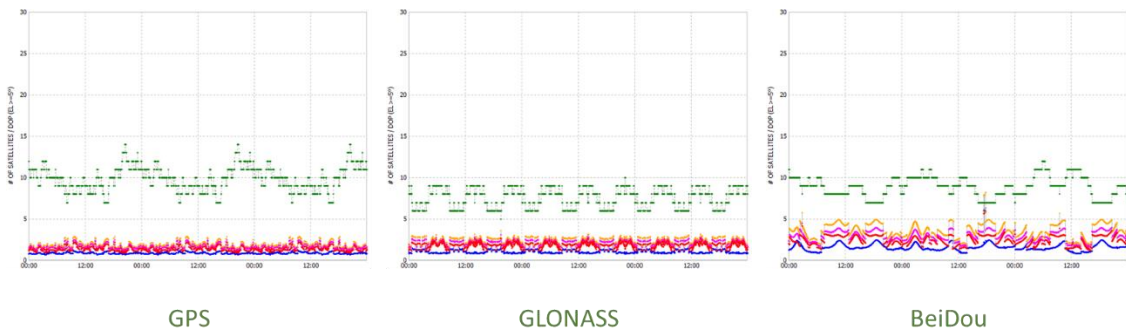


図 3.1.13 対象期間内の GPS、GLONASS 及び BeiDou の可視衛星数及び DOP の変動

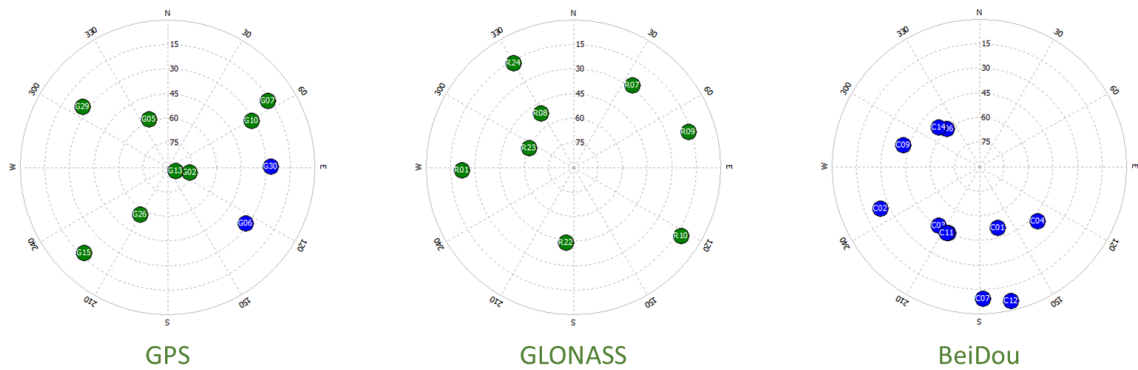


図 3.1.14 GPS、GLONASS 及び BeiDou のスカイプロット図
(2014/12/14 04:30:00 (GPST))

Reference

[3-1] International Committee on GNSS 2014

[3-2] <http://www.gps.gov/systems/gps>

[3-3] Prospects for Status and Development of GLONASS System Space Complex , JSC
“M.F. Reshetnev “Information Satellite Systems”,9 – 14 of November 2013 , Dubai, UAE

[3-4] <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/en/index.php>

[3-5] <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions>

3.2 測位方式

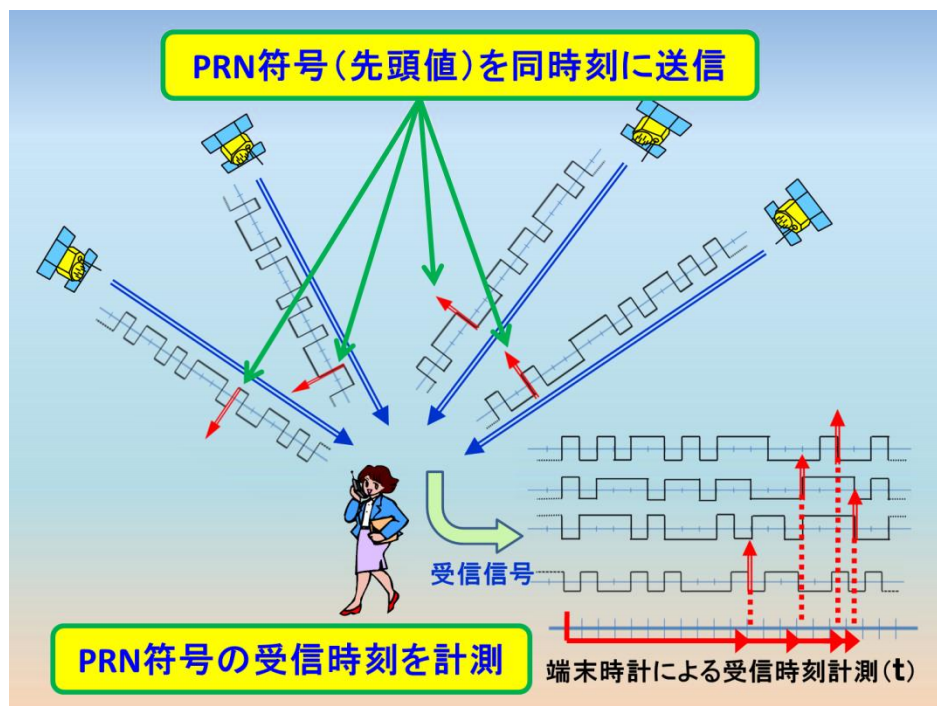
本調査では、マルチ GNSS を利用した包括的な評価を行うために、コード測位受信機と高精度受信機を用いてデータを取得したが、このうち、高精度受信機で取得した RAW データを用いて以下の測位方式によって解析を実施した。

- 1 周波コード位相測位
- 2 周波コード位相測位
- L1-SAIF 補強
- MADOCA-PPP
- CMAS
- キネマティック（基線解析）

本項では以下に、各測位方式の特徴をまとめるとともに、本調査実験期間内に走行データとは別に取得した静止定点観測データを使った各測位結果を示す。

3.2.1 コード測位受信機での測位

衛星測位の基本は4個以上の衛星位置とその擬似距離から受信位置（測位点）の座標（X,Y,Z）と時刻（T）を幾何学計算で算出することにある。前提として測位衛星は正確な原子時計を搭載していること、測位衛星の軌道情報をユーザが利用することで初めて測位計算が実行できる。



図

3.2.1 コード受信概要説明

一般に受信機は下記に示す様にチップと、それをコアとするモジュールで構成される。

右図の例(古野電気製)

チップ(eRideOPUS6/7)外観は

7mm×7mm

モジュール(GV-87)外観は

12.2mm × 16.0mm × 2.8mm

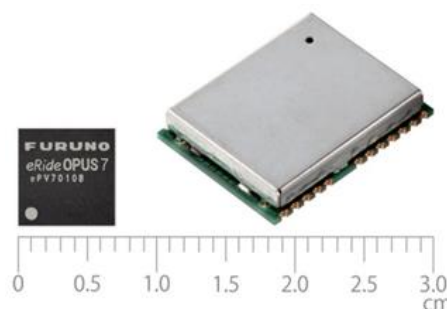


図 3.2.2 チップ/モジュール外観

Reference: <http://www.furuno.com/jp/gnss/>

受信ブロック図の代表例を下記する。

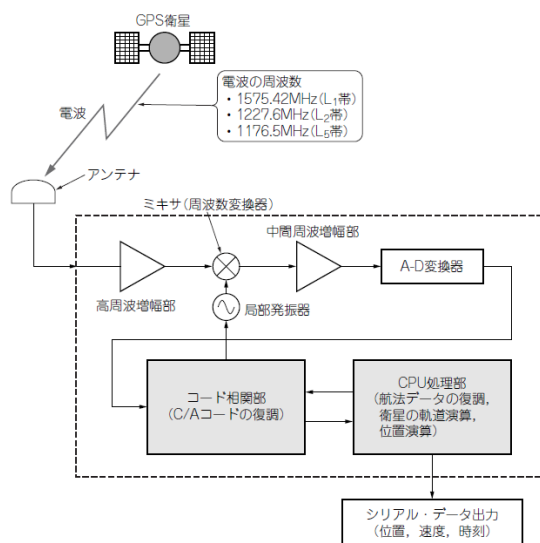


図 3.2.3 受信ブロック例

Reference: トランジスタ技術 2008年2月号 P132

概ねチップのコストは@1,000以下のものが多く、さらに低価格志向となっている。また、ソフトウェア受信機能をシステムCPUに組み込むものもある(代表事例:Qualcomm製品)。製品搭載ユーザからのチップへの要求は、低下価格化、小型化、低消費電力化に集中(例:携帯電話))している。

コード測位受信機による静止定点観測結果を下記に示す。

日時: 2015年2月24日 9:00~12:00(30分観測)

1mメッシュ

場所: 名古屋市白川公園

供試品: QZPOD

測位結果

GPS単独測位: 橙色

(GPS+QZS)L1-SAIF: 緑色

VRS測位点

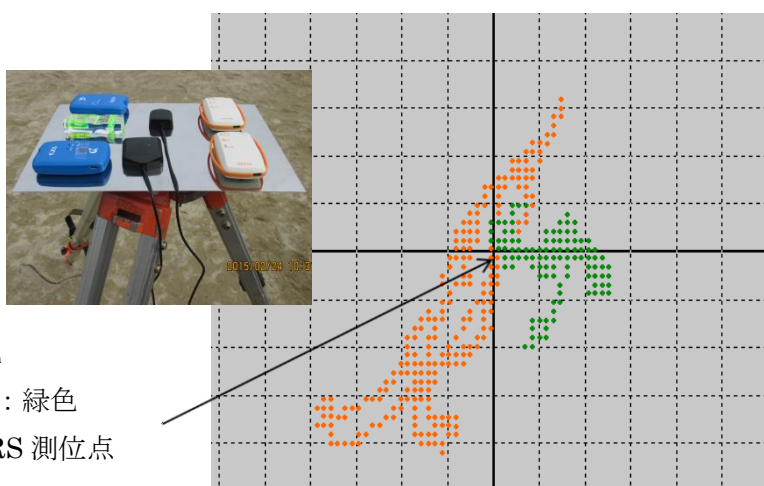


図 3.2.4 コード測位受信観測結果

3.2.2 コード位相測位（1周波、2周波）

コード位相測位とは、測位衛星より受信した擬似距離観測値を用い、単独測位を行う最も基本的な手法である。ある程度の衛星からの測位信号が受信できる環境にあれば、受信機単体で測位が完結する。上記より、比較的安価に測位が可能であり、極めて広い応用範囲に利用が可能である。

一方、コード位相測位では擬似距離観測値を主な演算要素とするため、搬送波位相観測値や補正情報を用いた他の測位に比較し、測位精度は劣化しやすく、おおよそ 10 数 m 程度である。そこで様々な測位精度向上のための手法が存在する。

3.2.2.1 単独測位

単独測位では、受信機位置及び受信機時計誤差を未知数とし、未知数以上の擬似距離観測値を用いた演算処理により測位解を算出する。またマルチ GNSS として複数の衛星システム系を混合して利用する場合は、各々のシステム時刻を統一させた演算が必要となり、別途修正する必要がある。

擬似距離観測値には測位信号が衛星から受信機に到達する間の様々な誤差が含まれている。主な測位誤差の要因として以下が挙げられる。

- ① 衛星軌道誤差
- ② 衛星時計バイアス
- ③ 電離層遅延
- ④ 対流圏遅延
- ⑤ マルチパス

上記の誤差のうち、①、②は航法メッセージより補正のためのパラメータが与えられており、ほぼ補正が可能である。③、④に関してはそれぞれ補正のためのモデルが存在する。⑤に関しては受信機環境に依存するため、補正は難しい。

今回は測位誤差に最も影響を与える誤差のうち③電離層遅延量について 2 種の補正手法により解析を行った。モデルによる補正（1周波コード測位）及び、2周波観測値を用いた推定値による補正（2周波コード位相測位）である。

3.2.2.2 1周波コード位相測位

電離層遅延量は、空間、時間に応じ変化するため、測位信号の経路に応じた補正が必要である。1周波コード位相測位では電離層遅延量をモデル（Klobuchar Model）により補正する。補正のためのパラメータ値は航法メッセージにより放送されている。受信機では測位信号の経路とパラメータよりおおよその電離層遅延補正值を算出、補正している。このことにより 1周波による擬似距離観測値のみを用いた測位が可能である。

3.2.2.3 2周波コード位相測位

電離層遅延量は前項のモデルによるおおよその推定が可能である一方、実際にはこのモデルによる推定は50%程度の信頼性しか保てないという問題がある。また、電離層遅延量は通過する信号の周波数の二乗に反比例する性質がある。そこで周波数の異なる2周波の観測値を線形結合することにより電離層遅延量を推定、補正する。(電離層フリー線形結合) この電離層補正により精度の向上が見込まれる。

3.2.2.4 擬似距離観測値におけるキャリアスムージング

キャリアスムージングとは擬似距離観測値の雑音低減のため、搬送波位相観測値を用いて擬似距離をスムージング(平滑化)する手法である。観測された擬似距離観測と前回観測された擬似距離観測値及び搬送波位相観測値変化量を用い、現在の擬似距離の算出を行う。推定演算にはハッチフィルタが用いられている。一般的にキャリアスムージングでは擬似距離観測値の雑音が低減され、擬似距離雑音とコードマルチパスのスムージングが期待される。一方でサイクルスリップと呼ばれる搬送波位相観測値の不連続を起因とした精度劣化が見込まれるため、サイクルスリップの多い環境においてはフィルタの更新を行うことから、大きな効果が期待できない。

3.2.2.5 コード位相測位による静止定点観測結果

本項ではコード位相測位による静止定点観測解析結果を示す。解析概要は以下のとおりである。

場所: 東京海洋大学 越中島キャンパス第4実験棟5階 (障害物のない開けた静止点)
日時: 2014年12月13日

結果はコード位相測位のそれぞれ1-1:1周波コード位相測位による結果、1-2:1周波コード位相測位による結果(キャリアスムージングあり)、2-1:2周波コード位相測位による結果、2-2:2周波コード位相測位による結果(キャリアスムージングあり)を示す。それぞれのグラフの原点は静止定点の真値である。

1-1 1周波コード位相測位による静止定点観測結果

使用受信機: Trimble Net R9

使用衛星システム系: GPS

実験日時において以下の2種の時間帯において解析を行った。それぞれ初めの試験をT1、2度目の試験をT2と示す。

■T1: 03:00:00.0~04:06:12.0 (UTC) 1Hz

■T2: 05:45:58.0~06:52:22.0 (UTC) 1Hz

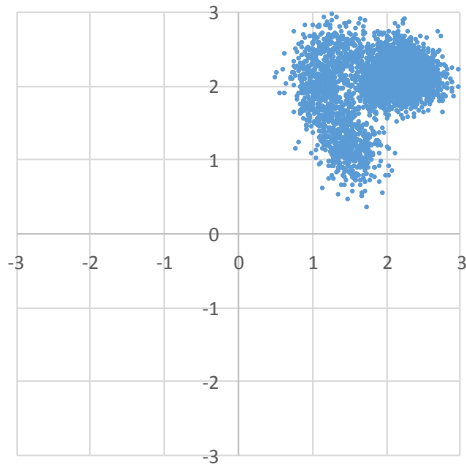


図 3.2.2.1 1周波コード位相測位 T1

T1: バイアス = 2.80m、標準偏差 = 0.49m

T2: バイアス = 1.54m、標準偏差 = 0.39m

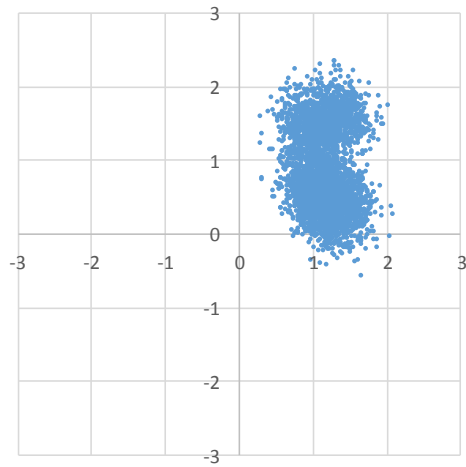


図 3.2.2.2 1周波コード位相測位 T2

1-2 1周波コード位相測位（キャリアスムージングあり）による静止定点観測結果

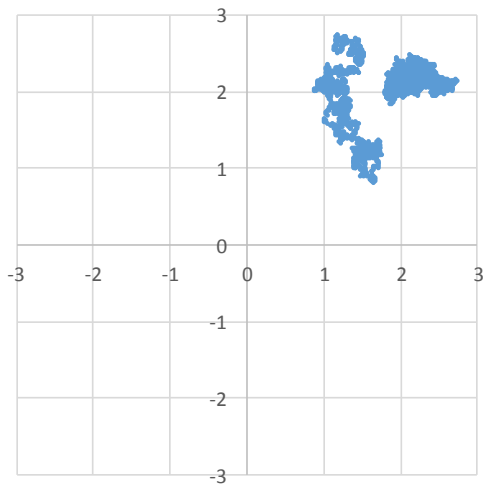


図 3.2.2.3 1周波コード位相測位 (CS) T1

T1: バイアス = 2.81m、標準偏差 = 0.47m

T2: バイアス = 1.54m、標準偏差 = 0.36m

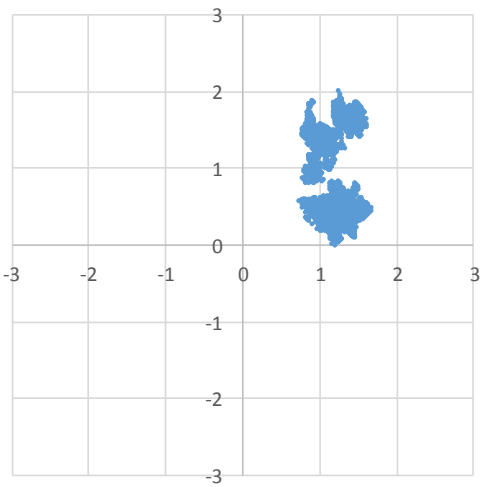


図 3.2.2.4 1周波コード位相測位 (CS) T2

2-1 2周波コード位相測位による静止定点観測結果

使用受信機： JAVAD

使用衛星システム系： GPS

実験日時において以下の2種の時間帯において解析を行った。それぞれ初めの試験を T1、2度目の試験を T2 と示す。

■ T1： 03:00:00.0～04:06:12.0 (UTC) 10Hz

■ T2： 05:45:58.0～06:52:22.0 (UTC) 10Hz

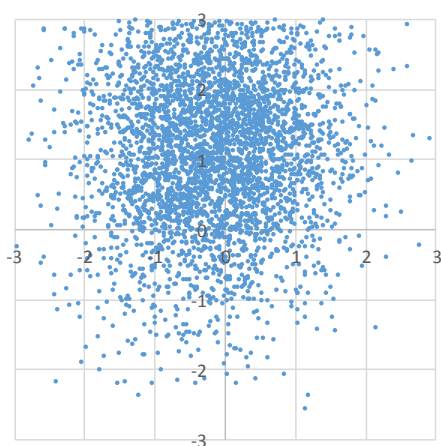


図 3.2.2.5 2周波コード位相測位 T1

T1： バイアス = 1.78 m、標準偏差 = 0.96m

T2： バイアス = 0.80m、標準偏差 = 0.38m

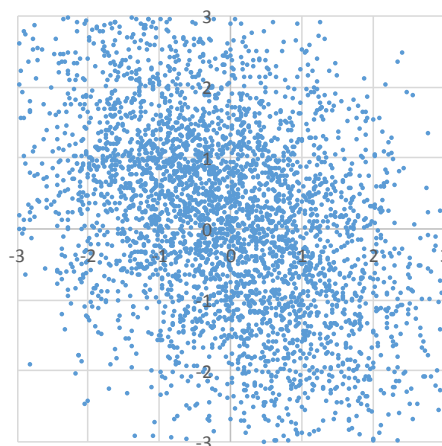


図 3.2.2.6 2周波コード位相測位 T2

2-2 2周波コード位相測位による静止定点観測結果

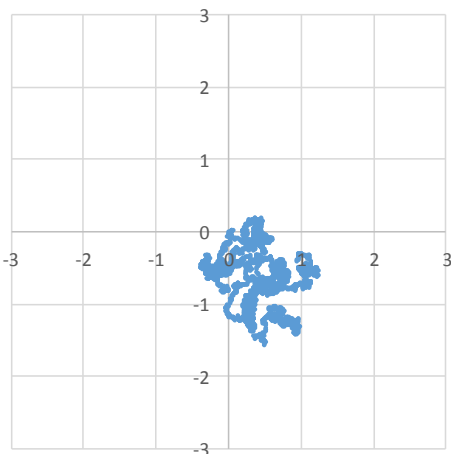


図 3.2.2.7 2周波コード位相測位 (CS) T1

T1： バイアス = 0.80m、標準偏差 = 0.38m

T2： バイアス = 0.70m、標準偏差 = 0.33m

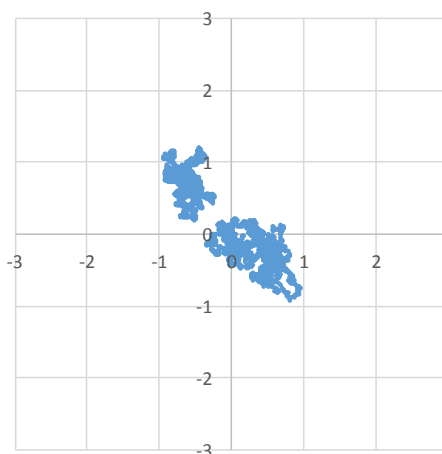


図 3.2.2.8 2周波コード位相測位 (CS) T2

全てのデータにおいて測位率は 100%であった。1 周波コード位相測位による結果では真値から大きなバイアスがあるのに比較し、2 周波コード位相測位による結果ではバイアスは低減している。このことから 2 周波による電離層遅延量の補正の効果は大きいといえる。反面、電離層フリー線形結合によるノイズの増加がみられる

3.2.3 L1-SAIF

3.2.3.1 サブメータ級補強測位

準天頂衛星システムが放送する測距信号のうち、サブメータ級の補強信号である L1-SAIF (Submeter-class Augmentation with Integrity Function) は、ICAO (国際民間航空機関) による補強信号の国際標準規格 SBAS (satellite-based augmentation system : 静止衛星型衛星航法補強システム) をベースとして、広域ディファレンシャル補正情報を提供するものである。特徴としては以下のような点が挙げられる。

① 単独測位

1 台の L1 一周波数対応受信機でサブメータ級の測位ができ、ユーザ側では基準局受信機は不要である。

② 広範囲で利用可能

ユーザ測位精度の地域依存性が少なく、日本全国で利用できる。

③ GPS L1 信号との親和性

GPS L1 信号と同一の周波数及び変調方式にて放送されるので、受信機フロントエンド及びアンテナは共用できる。

3.2.3.2 信号形式

L1-SAIF 信号は GPS と同一の L1 周波数 (1575.42 MHz) にて準天頂衛星 QZS-1 より放送されており、GPS と同じ 1.023 Mcps の C/A コードによる拡散変調方式が採用されている。PRN 番号の割当ては表 3.2.3.1 のとおりで、QZS-1 の L1-SAIF 信号は PRN183 である。

補強情報の符号化方式は SBAS と同一である。すなわち、データ速度は GPS の 50 bps に対して 250 bps と高速化されている。すべての L1-SAIF メッセージは図 3.2.3.1 のように 250 ビットから構成されており、毎秒 1 メッセージが放送される。メッセージの先頭ビットの送出タイミングは、GPS のサブフレーム (6 秒毎) 先頭に一致する。

L1-SAIF メッセージには 0~63 のタイプが定義されており、それぞれのフォーマットに従って補正情報が収容される。タイプ 0~28、62~63 は SBAS と同一の基本メッセージであり、ディファレンシャル補正情報は高速補正、長期補正、電離層遅延補正に分けられ、それぞれ衛星クロック (変化の速い成分)、衛星軌道及びクロック (変化が遅い成分)、電

離層伝搬遅延の補正に用いる。タイプ 52~60 は L1-SAIF 独自の拡張メッセージで、大気遅延補正の高精度化や QZS 自身の軌道情報を放送する実験に用いる。

L1-SAIF 信号の詳細な仕様は、他の補完信号とともに IS-QZSS として規定されている。IS-QZSS には、信号形式及びメッセージ内容の定義に加えて、ユーザ受信機側の処理アルゴリズムも記載されている。これは補正情報の利用手順をあらかじめ詳細に定めることで補正情報の解釈に起因する誤りを防止するためで、GPS IS や SBAS SARP_s とも同様である。以上のとおり、L1-SAIF 信号の RF 形式及び変調方式は GPS と同一、メッセージ形式は SBAS と同一となっており、その関係は図 3.2.3.2 のように表される。

表 3.2.3.1 準天頂衛星 L1 周波数の PRN 番号

PRN	信号名	衛星
183~187	L1-SAIF	QZS #1~5
188~192	L1-SAIF	予備
193~197	L1 C/A	QZS #1~5
198~202	L1 C/A	予備

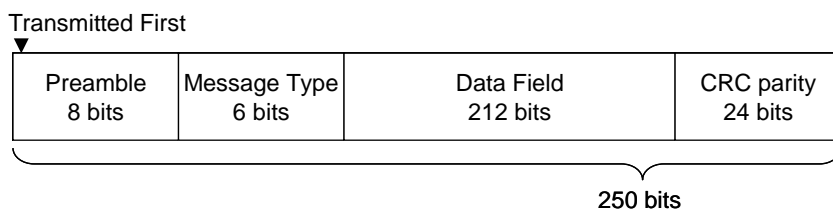


図 3.2.3.1 L1-SAIF メッセージの伝送フォーマット

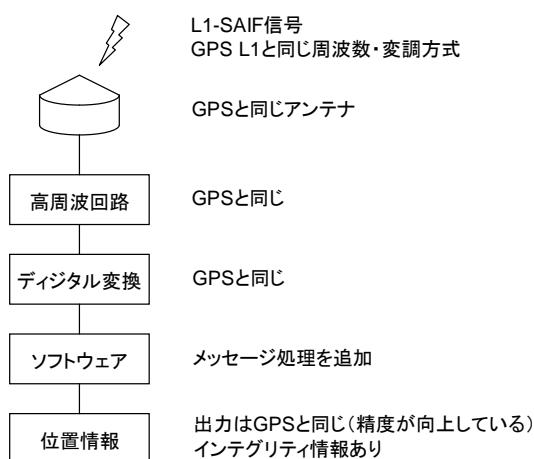


図 3.2.3.2 L1-SAIF と GPS の共通性

3.2.3.3 L1-SAIF 実験局

準天頂衛星が放送する L1-SAIF 信号に乗せられる補強メッセージについては、L1-SAIF 実験局 (L1SMS : L1-SAIF Master Station) にて生成される。L1SMS が生成したメッセージは JAXA 筑波宇宙センターに設置されている準天頂衛星の主制御局 (MCS : Master Control Station) に送信され、MCS により準天頂衛星にアップリンクされる。

L1SMS による補強メッセージの生成には、サービスエリア内の複数地点における GNSS 測定データが必要であり、このためには通常は国土地理院の電子基準点ネットワーク (GEONET) を利用している。

全体の構成は、図 3.2.3.3 のとおりである。L1-SAIF 実験局は GEONET の GNSS 測定データを受信・処理し、生成した補強メッセージを JAXA MCS に送信する。このメッセージは L1-SAIF 信号に乗せられてユーザに向けて放送される。

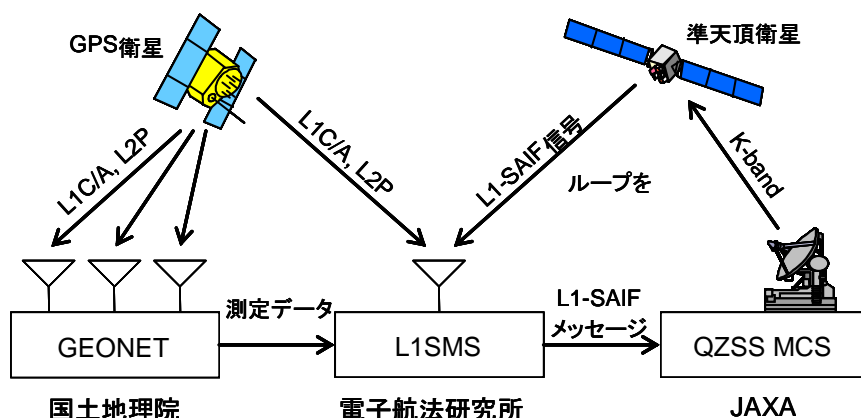


図 3.2.3.3 準天頂衛星補強系の全体構成

なお、本プロジェクトにおける L1-SAIF メッセージの生成には、表 3.2.3.2 の GEONET 局による観測データを使用した。

表 3.2.3.2 使用した GEONET 局

観測局 ID	緯度 (度)	経度 (度)	高度 (m)	名称
950128	42.971376846	141.290333454	204.8118	札幌
950214	36.800305072	140.753935779	75.6078	北茨城
93011	35.925504522	139.464292347	62.9463	川越
950356	34.686987758	135.172289771	84.7684	神戸中央
940087	33.730719729	130.476770118	49.1040	古賀
960745	26.168605953	127.826184282	97.1534	知念

3.2.3.4 定点観測における L1-SAIF の結果

東京海洋大学構内建屋屋上にて取得した静止観測データと、当日の L1-SAIF による補強を施した場合の測位結果を図 3.2.3.4 に示す。評価対象時間帯は、2.3 項の C1（市街地一般道）走行日時のうちの T1 及び T2 の時間帯（2014/12/13 の 03:00:00~04:06:12 及び 05:45:58~06:52:22 (UTC)）とし、使用している衛星システムは GPS、QZSS 及び GLONASS である。T1 及び T2 の時間帯での水平/垂直の RMS 値は、それぞれ 58.8 cm / 78.2 cm 及び 68.7 cm / 105.4 cm であった。

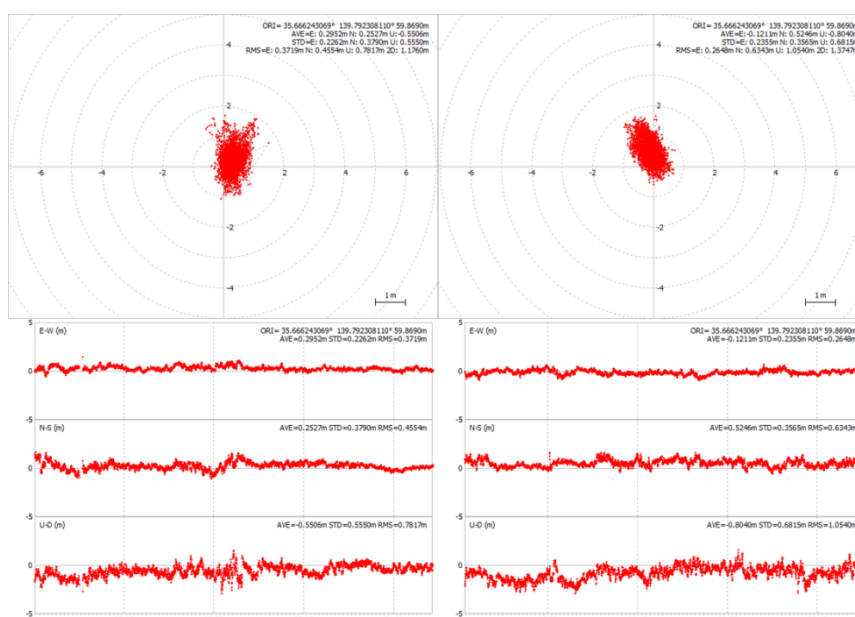


図 3.2.4.3 T1（左）、T2（右）における L1-SAIF 補強メッセージによる測位結果

3.2.4 2 周波搬送波位相測位（RTK）

搬送波位相測位（RTK：Real Time Kinematic）とは測位衛星より受信した擬似距離観測値に加え、より緻密な搬送波位相観測値を主に用いた精密測位である。基準局ならびに移動局、各々の受信機において測位信号を受信、解析することにより cm 級の精度で測位が可能である相対測位の手法である。移動局では測位信号の受信及び基準局からの補正データを取得することで、他のセンサーなどを用いることなく高精度測位が可能であることから、測量など様々な分野に利用されている。

一方、移動局では補正データの受信が必要となること、また基準局と移動局の間の距離である基線長による精度の劣化が問題となる。

3.2.4.1 搬送波位相測位 (RTK)

RTK は、基準局と移動局の双方により受信された観測値を用い、2 地点間及び 2 衛星間の観測値の二重差を計算する。このことにより基準局および移動局の観測値に含まれる共通の誤差である、受信機依存誤差、衛星依存誤差を消去する相対測位である。搬送波位相観測値からこれらの誤差を相殺した新たな観測値より整数値バイアスを求めることにより cm 級の精度で測位が可能となる。すなわち搬送波位相観測値よりできる限り誤差を除去することでアンビギュイティ決定が容易となり、cm 級の測位が可能となる。相殺されず残存する誤差は、衛星軌道誤差、電離層遅延、対流圏遅延である。中でもより大きな誤差要因である、電離層遅延量と対流圏遅延量は信号経路により誤差量が変化する。通常の短基線 RTK では上記の誤差は基準局、移動局共に大差ないため二重差をとることでほぼ除去できる。一方で 20km を超える中基線 RTK の場合、誤差が多く残存することにより信頼性、利便性共に大きく劣化する

今回は短基線 RTK と長基線 RTK それぞれ異なる手法で解析を行った。

① 短基線 RTK

可視衛星のうち、各々の衛星システム系内で主衛星を決定、2 周波の搬送波位相観測値を用い、二重差の計算を行った。整数値バイアスを求めるアンビギュイティ決定方法では LAMBDA 法を用いた。逐次エポックで整数値バイアスを求め、得られた解の信頼性検定として RATIO テストを用いた。閾値は 3.0 以上で FIX 解と判定した。

② 長基線 RTK

市販解析ソフトである Trimble Business Center を用いた。Trimble 受信機により取得した生データ及び、RINE を用いた解析に対応している。解の信頼性はきわめて高い有償のソフトである。

3.2.4.2 2 周波搬送波位相測位による静止定点観測結果

本項では 2 周波搬送波位相測位による静止定点観測解析結果を示す。①短基線 RTK の結果と②長基線 RTK の結果をそれぞれ示す。

①短基線 RTK

場所：東京海洋大学 越中島キャンパス第 4 実験棟 5 階 (障害物のない開けた静止点)

日時：2014 年 12 月 13 日

使用受信機：Trimble Net R9 (基準局) , JAVAD (移動局)

使用衛星システム系：GPS

実験日時において以下の 2 種の時間帯において解析を行った。それぞれ初めの試験を T1、2 度目の試験を T2 と示す。

■T1：03:00:00.0～04:06:12.0 (UTC) 1Hz

■T2：05:45:58.0～06:52:22.0 (UTC) 1Hz

基線長ゼロとなる同一アンテナによる2周波搬送波位相測位を行った。

それぞれのグラフの原点は静止定点の真値である。

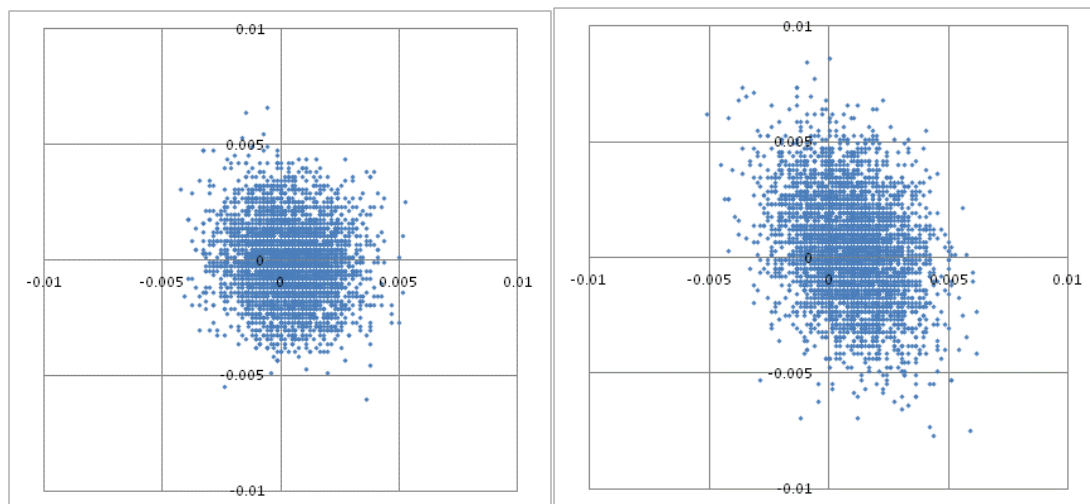


図 3.2.4.1 2周波搬送波位相測位 T1

図 3.2.4.2 2周波搬送波位相測位 T2

T1: バイアス = 0.35mm、標準偏差 = 2.18mm

T2: バイアス = 0.99mm、標準偏差 = 2.77mm

全てのデータにおいて測位率は100%であった。基線長による影響もないため、バイアス、標準偏差共に1cm以内という非常に良好な結果である。

②長基線 RTK

基準局場所：東京海洋大学 越中島キャンパス第4実験棟5階

移動局場所：JAXA 筑波宇宙センター

基準局、移動局共に障害物のない開けたビルの屋上にアンテナが設置されている。移動局データはJAXA 筑波宇宙センターより放送されているリアルタイムストリームによる観測データを受信、利用した。基線長はおおよそ54kmである。

日時：2014年12月15日

使用受信機：Trimble Net R9（基準局）1Hz, Trimble Net R9（移動局）10Hz

使用衛星システム系：GPS, QZS

01:00:00.0~02:00:00 (UTC) 10Hz

観測点の座標後処理RTKにて別途算出した。以下のとおりである。

- 緯度：36.070586042
- 経度：140.127391985
- 高度：66.8267

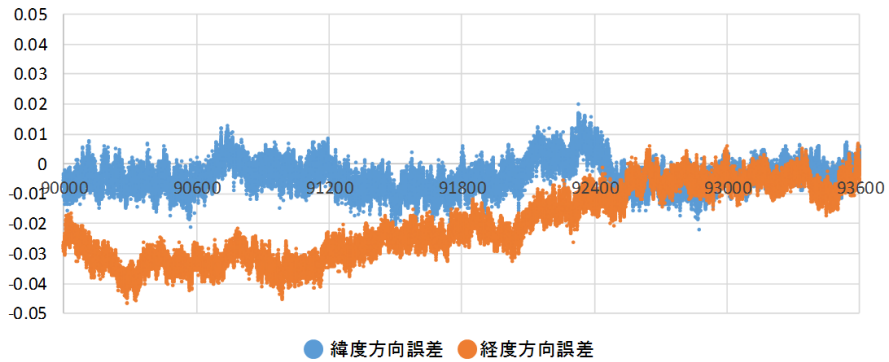


図 3.2.4.3 2 周波搬送波位相-長基線 RTK 時系列 2 次元方向誤差

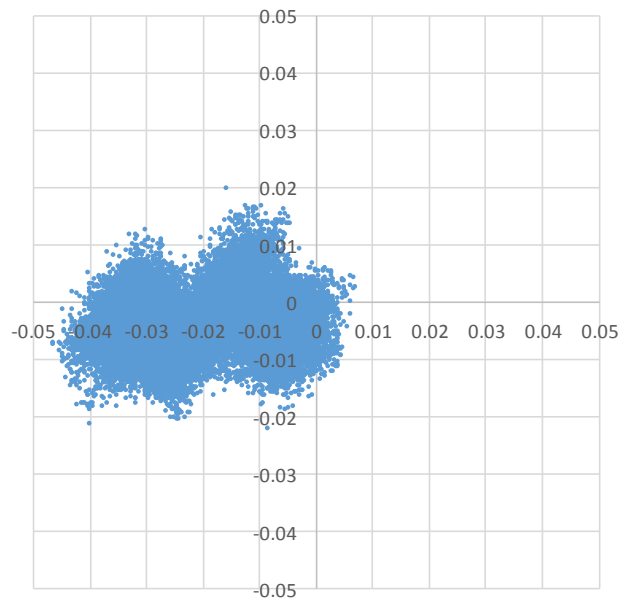


図 3.2.4.4 2 周波搬送波位相-長基線 RTK

図 3.2.4.3 は観測点座標との比較を行い、2次元各方向の誤差について示した。2時間 10Hz の解析であったが、測位率は 99.99%と良好であった。解の精度も基線長が 54km には良く、シングルエポックのみの観測データの結果のため信頼性も高いものであるといえる。

3.2.5 CMAS

本調査に用いたセンチメートル級測位補強システム（CMAS：CentiMeter-class Augmentation System）は、補強情報の生成、配信および補強情報を用いた測位を含む総合システムであり、以下に各々の方式を示す。

3.2.5.1 測位方式

CMAS で生成された補正情報は、国際機関の海事無線技術委員会（RTCM：Radio Technical Committee for Maritime Services）が制定した RTCM 標準 10403.2 で定義、現在規格化作業中の SSR フォーマットを用いてユーザに伝送される。

ユーザは、衛星クロック (Satellite Clock)、衛星軌道 (Satellite Orbit)、衛星コードバイアス (Satellite Code Bias)、電離層遅延 (Ionospheric Slant TEC)、対流圏遅延 (Tropospheric)、衛星位相バイアス (Satellite Phase Bias) に対する補強情報を用いて測位を行う（表 3.2.5.1 参照）。CMAS は、下表「RTK-PPP」に分類される。

本報告は、明示的に与えられた上述の補強情報を用いて実施したフィールドにおける測位試験の結果を示したものである。なお、現時点では、具体的な測位処理アルゴリズムは公開していない。

表 3.2.5.1 測位方式の分類

精密単独測位の分類		RTK-PPP Real-Time Kinematic PPP	DF-RT-PPP Dual Frequency Real-Time PPP	SF-RT-PPP Single Frequency Real-Time PPP
補強情報	衛星クロック誤差	○	○	○
	衛星軌道誤差	○	○	○
	信号バイアス	○	○	—
	電離層遅延誤差	○	—	○
	対流圏遅延誤差	○	—	○
測位の種別		搬送波位相測位	搬送波位相測位/コード測位	コード測位
正確度*		3cm 程度	10cm 程度	30cm 程度
初期位置算出時間		1分	数十分	15秒

(注) *: 衛星数と配置が良好で、電離層・対流圏等の伝搬路の状態が平穏であり、マルチパス誤差の影響が無視できる場合

従来の RTK は基準局の観測データを用いた相対測位により測位解を求めていたが、RTK-PPP では補強情報を生成し、明示的に測位端末に与えることにより、単独で精密な測位ができる測位方式である。

3.2.5.2 センチメートル級測位補強システム (CMAS)

CMAS の機能システムを図 3.4.5-1 に示す。測位端末に補強情報を与えるために CMAS が用いている補強情報生成方式および補強情報表現方式について以下に示す。

(1) 補強情報生成方式

国土地理院が日本全国に約 1,300 点整備している電子基準点のうち、250~300 点を基準局とし、ネットワーク型 RTK 法によって図 3.2.5-1 に示す各誤差要因毎に補強情報を生成している。

(2) 補強情報表現方式

補強情報 (補正データ) の表現の方式には観測空間表現 (OSR : Observation Space Representation) と状態空間表現 (SSR : State Space Representation) がある。補正データの配信に用いる LEX 信号は 2000bps と回線容量が小さいため補正データを極小化できる SSR 方式 を用いている。



図 3.2.5.1 センチメートル級測位補強システムの概要

3.2.5.3 測位補強システムの測地系

(1) 日本の測地系

各国では法律により測地系を定めているが、日本では測量法によって図 3.2.5-2 に示すように測地系を規定している。

2001 年度末までは、日本測地系 (Tokyo Datum) と呼ばれる測地系を用いてきた。これは局所座標系に属する測地系であり、世界測地系に対し東京付近で 400m 程度のズレが存在した。そこで、2002 年度から世界測地系に属する日本測地系 2000 が採用され、その後、東日本大震災 (東北地方太平洋沖地震) の発生により、2011 年 10 月 31 日に日本測地系 2011 へ移行した。

なお、現在用いられている日本測地系 2011 は、スタティック測地系であり各地形・地物の座標は、現在の座標ではなく、元期の座標で規定されている。

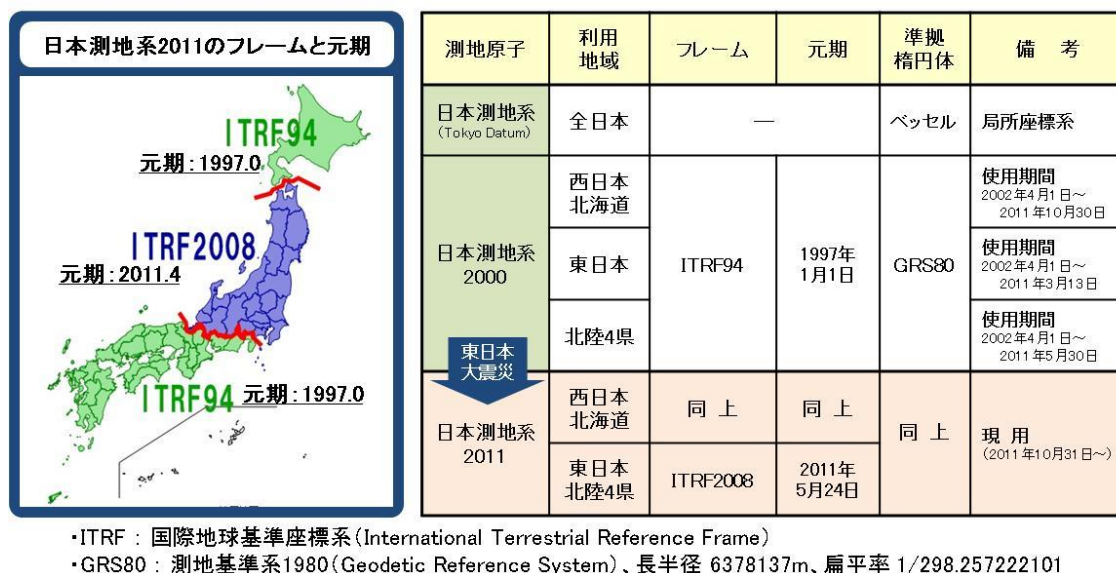


図 3.2.5.2 日本の測地系

(2) CMAS における位置の基準

CMAS は電子基準点を基準局にしているため、補強情報を用いて得られる測位結果は IGS05 に基づく現在座標である。従って、日本測地系 2011 に基づく地図との整合性を確保するためには、電子基準点の日々の座標値 (F3) の変動履歴を用いて地殻変動補正を行う必要がある。

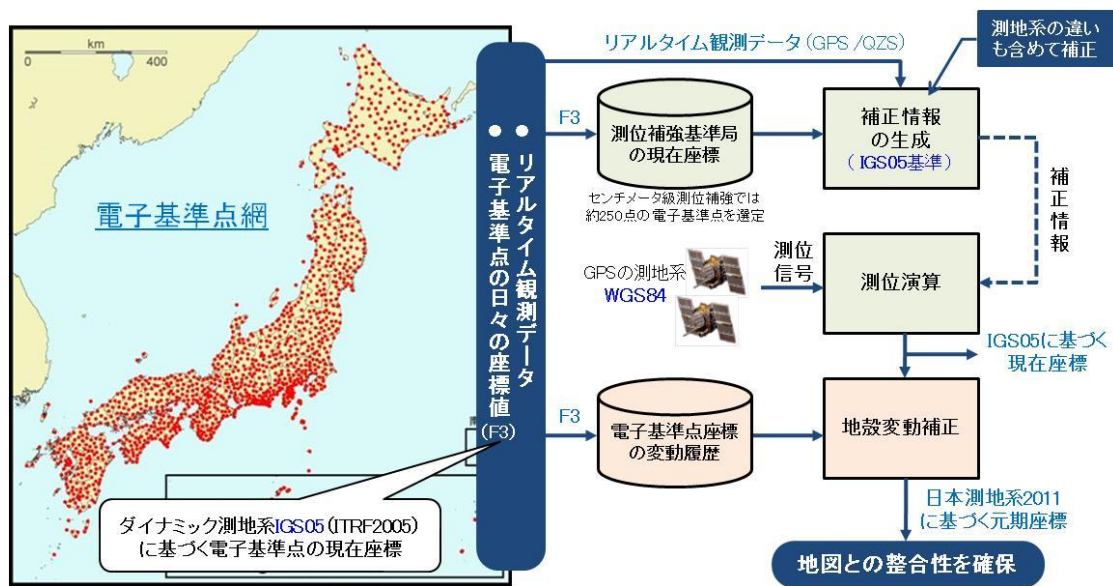


図 3.2.5.3 測位補強システムの測地系

3.2.5.4 静止定点における位置の品質評価結果

静止定点における位置の品質評価結果を示す。時間帯 T2 では衛星配置が劣化し標準偏差が大きくなっているが、いずれの時間帯も CMAS の開発目標である水平 3cm(rms)、垂直 6cm(rms)を満足している。

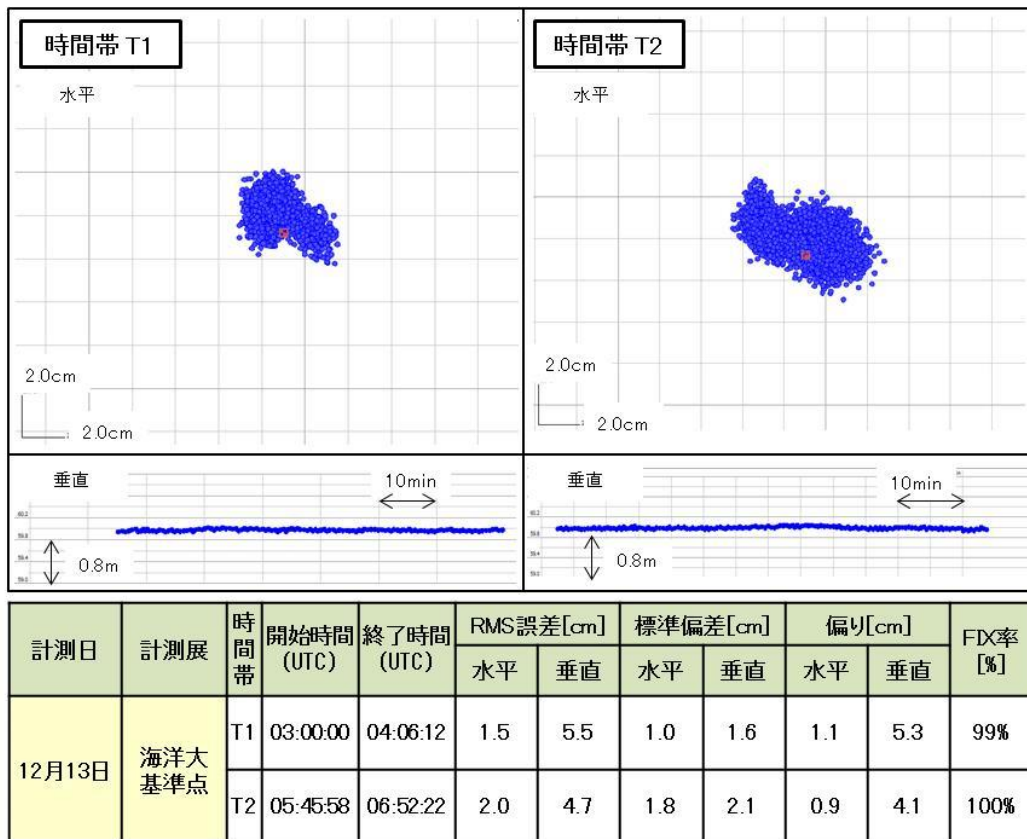


図 3.2.5.4 静止定点における位置の品質評価結果

なお、CMAS は移動体測位に適合するよう、初期位置算出時間(TTFF: Time To First Fix)を短縮し得る二周波搬送波位相測位（開発目標：60 秒以下）を基本としているが、この補強情報は一周波測位にも適用可能である。詳細は巻末の参考 2「CMAS に関する補強情報：一周波における CMAS 補正情報の利用」を参照されたい。

3.2.5.4 CMAS のレイテンシー（遅延）について

準天頂衛星初号機の設計当時には、数十センチ以下の移動体測位のニーズが十分顕在化していなかったため、実験信号である LEX 信号は伝送遅延を持っている。本報告ではこれを考慮し、実用システムにおける伝送遅延時間を 8 秒に設定して処理を行った。なお、現在使用している実験信号では 17 秒程度を要している。

図 6.4.2.1 に補強情報の伝送遅延時間と水平方向の正確度との関係を示す。偏りはほぼ一定であり伝送遅延時間には依存していないが、正確度すなわち RMS 誤差は伝送遅延時間が大きいと劣化することが確認できる。従って実用システムでは適切な伝送遅延時間になるよう設計することが必要である。

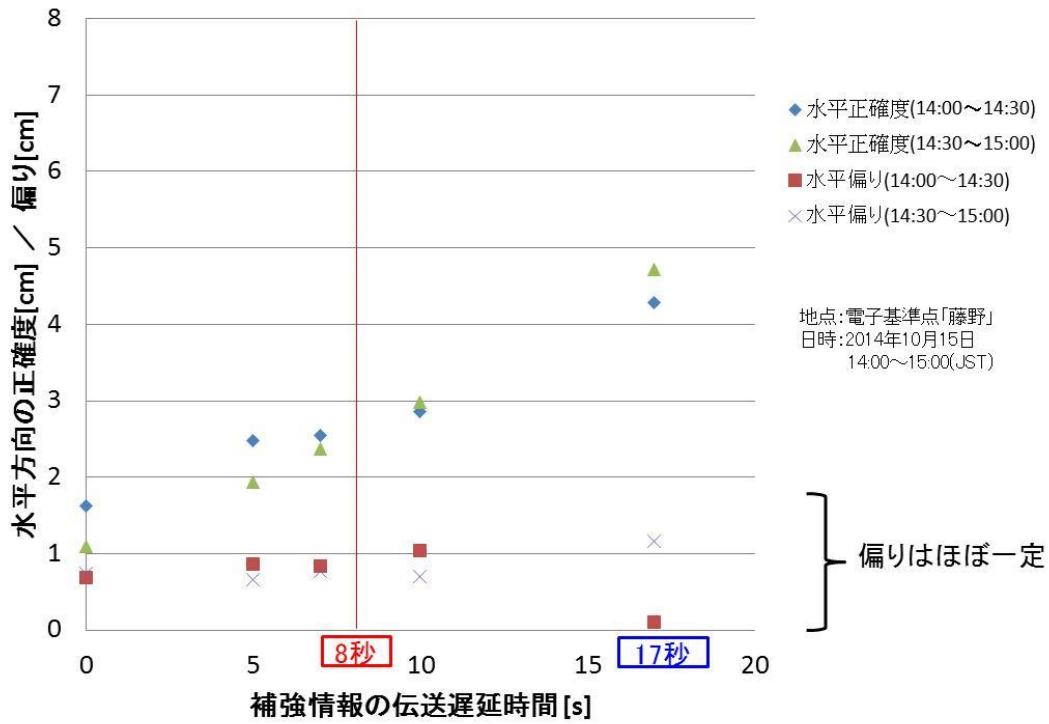


図 3.2.5.5 補強情報の伝送遅延時間と水平方向の正確度との関係

センチメートル級測位補強システムでは、衛星クロック誤差等に対する高速補正情報は 5 秒毎に配信するのが通例である。そのため、伝送遅延時間が 8 秒もあると、高速補正は十分な効果を発揮することができない。実用準天頂衛星システムにおいて L6 信号を用いた補強情報の伝送遅延時間は、理想的には 5 秒以下にすべきである。

3.2.6 MADOCA-PPP

3.2.6.1 単独搬送波位相測位

PPP（単独搬送波位相測位；Precise Point Positioning）とは、世界中に配置したモニタ局の観測データを元に高精度に測位衛星の軌道及び時刻等を推定し、この結果を元にした補正情報を利用することで、搬送波位相観測値を用いた精密単独測位を行う手法である。特徴としては以下のような点が挙げられる。

① 単独測位

1 台の複数周波数対応受信機で高精度な測位ができるため、ベース受信機の設置が困難な洋上測位や地殻変動モニタリングなどの分野での活躍が期待されている。

② グローバルなシステム

ユーザ測位精度の地域依存性が少なく、補正情報を取得できればどこでも高精度な測位を行うことができる。

③ cm 級の高精度測位

最新のモデルと補正情報を採用することで、搬送波位相観測値を用いた測位演算を行うことで cm 級の測位を実現できる。

PPP は地上の基準点に依存せずに広範囲のユーザに高精度測位サービスを提供することが可能なため、精密農業、津波ブイ、地殻変動監視、GNSS 気象学等をはじめとする多数の理学・工学応用が期待されている。

PPP 用の測位補強情報の生成には先述の通り広域の地上基準局の観測データを使った高精度な衛星軌道・時計決定が必須となる。そのため、JAXA は、この PPP を実施するために必要なシステムとして、複数 GNSS に対応したリアルタイム GNSS 基準局網「MGM-net」及び高精度軌道・時刻推定用ソフトウェア「MADOCA」を整備している。

3.2.6.2 MGM-Net

高精度で軌道・時刻を推定するためには、定常的にデータを取得するモニタ局の数と配置が重要になるが、「みちびき」を受信可能な局は、JAXA が保有する準天頂衛星システムのモニタ局(MS)では国内外の 9 局(国内：サロベツ、小金井、沖縄、父島、国外：ハワイ、キャンベラ、グアム、インド、タイ)に限られてしまう。

そこで、国際協力の下、高精度軌道・時刻推定に必要なモニタ局ネットワークとして、「MGM-net」(Multi-GNSS Monitoring Network)の構築を 2011 年度より進めている。各国の宇宙機関や測位関連機関等とのコラボレーションにより 2015 年 3 月現在では構築中の局も含めて 102 局のネットワーク網を構築しており(図 3.2.6.1 参照)、本調査実験時には、そのうち信号品質や局配置を十分に考慮した 85 局からのリアルタイム観測データを軌道・時刻推定に使用した。

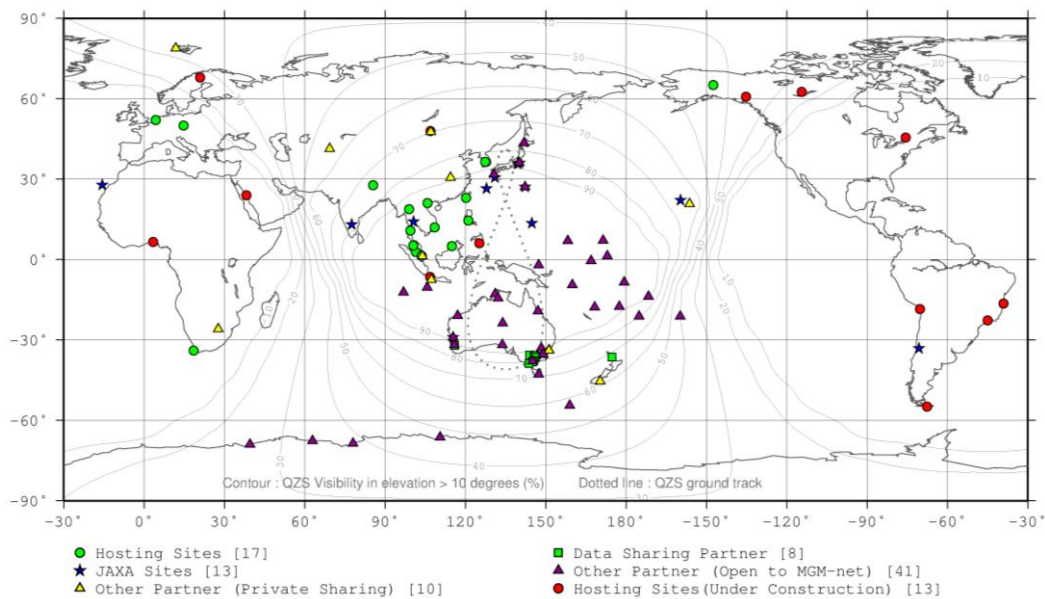


図 3.2.6.1 MGM-Net 網

3.2.6.3 MADOCA

MADOCA とは複数 GNSS 対応高精度軌道・時刻推定ツール (Multi-GNSS Advanced Demonstration tool for Orbit and Clock Analysis)のことで、PPPに必要な複数 GNSS の軌道・時刻を高精度に推定するツールである。2011 年度に後処理での推定機能(オフライン機能)、2012 年度にリアルタイムでの推定機能が整備された。MADOCA でリアルタイムに推定された補正情報は「みちびき」の LEX 信号(※1) 経由またはインターネット経由で配信される。前者については、補正情報から LEX メッセージを生成する機能 LMG(LEX Message Streamer)によって LEX フォーマットとなり、準天頂衛星地上システムであるマスタコントロールステーション (MCS) から沖縄にある追跡管制局へ送信され、「みちびき」の LEX 信号経由でユーザへ PPP 用補強情報としてリアルタイムに配信される。後者については、補正情報を RTCM SSR(Radio Technical Commission for Maritime services / State Space Representation)フォーマットとして NTRIP(Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) Caster 経由で配信される。図 3.2.6.2 に MADOCA の補正情報を利用したリアルタイム PPP のシステム概要を示す。

※1 LEX 信号(1278.75MHz/2kbps)とは、測位の精度や信頼性を高める“GPS 補強”を目的とした「みちびき」独自の実験用信号であり、現在、JAXA と SPAC で時分割配信しながら補強実証実験を行っている

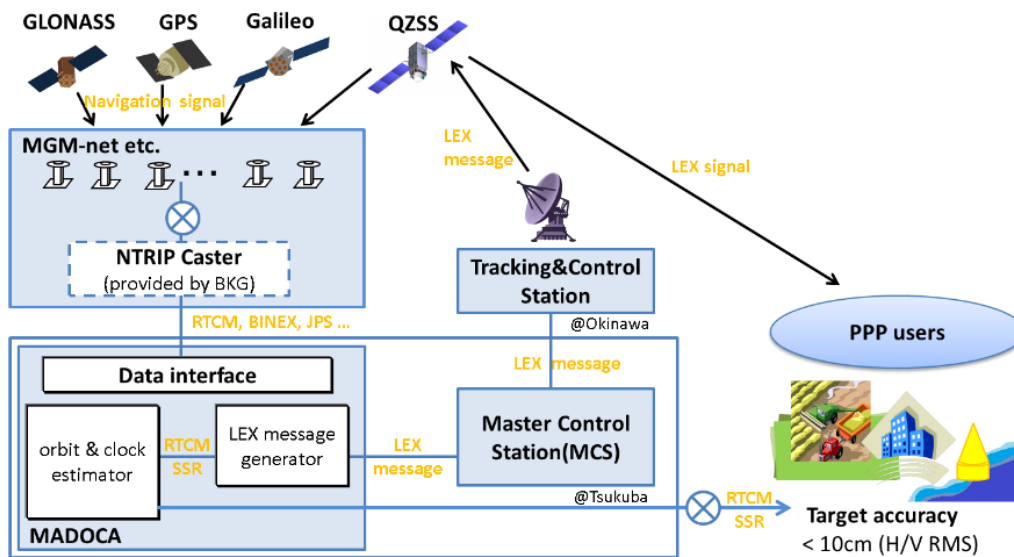


図 3.2.6.2 リアルタイム MADCOA-PPP のためのシステム概要

3.2.6.4 定点観測における MADCOA-PPP の結果

東京海洋大学構内建屋屋上にて取得した静止観測データと、当日 MADCOA によってリアルタイムに推定された補正情報を用いて MADCOA-PPP を実施した結果を図 3.2.6.3 に示す。評価対象時間帯は、2.3 項の C1（市街地一般道）走行日時のうちの T1 及び T2 の時間帯（2014/12/13 の 03:00:00~04:06:12 及び 05:45:58~06:52:22 (UTC)）とし、使用している衛星システムは GPS、QZSS 及び GLONASS である。

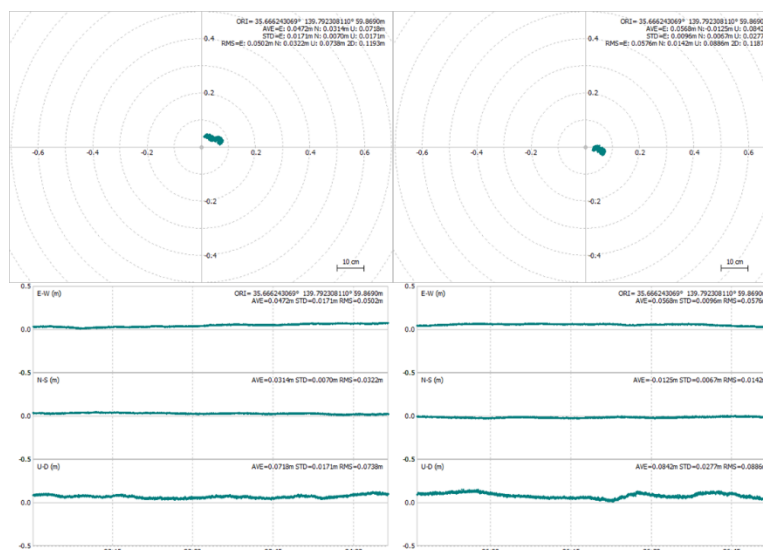


図 3.2.6.3 T1(左)、T2(右)における MADCOA-PPP 結果
(上段が水平方向プロット、下段が東西/南北/垂直方向の時間変位)

T1 及び T2 の時間帯での水平/垂直の RMS 値はそれぞれ 6.0 cm / 7.4 cm 及び 5.9 cm / 8.8 cm であった。なお、PPP は搬送波の波数や対流圏遅延、受信機内のクロック誤差等をはじめとする種々のパラメータをカルマンフィルタによって推定しながら測位解を出力するが、これらのパラメータを精度よく推定し、測位解が数 cm の精度を達成するまでに 20~30 分の収束時間を要する。今回、測位演算は当該日 24 時間分の観測データを使用したため、当該評価対象時間帯に至るまでに十分に収束をしている点にご留意いただきたい。信号の遮断やサイクルスリップが発生すると上記パラメータが初期化され、再収束過程に入ってしまうため、現在 JAXA ではこの収束時間を短縮し、信号遮断後も cm 級の測位精度を安定的に得るための研究開発を進めている。

第4章 評価方式

4.1 参照座標

4.1.1 MMS による計測結果

4.1.1.1 計測結果

- ① 計測日： 平成 26 年 12 月 13・14・15 日
- ② 計測車両： 三菱 MMS-S220

表 4.1.1 走行 ID・シーンとコース・時間帯の対応表

走行ID	シーン	コース		時間帯
0503_201412131150	S02	C1	一般道	T1
0503_201412131419	S02	C1		T2
0503_201412141026	S01	C1		T3
	S03	C2	首都高速	T1
0503_201412141416	S01	C2		T2
0503_201412150857	S01	C3	都市間高速	T1
0503_201412151112	S01	C3		T2
	S02	C3		T3

『走行 ID とシーンについて』

MMS 計測において走行 ID とは GNSS 測位の初期化から計測終了までの一連のデータ記録の単位であり、シーンとはその中で記録開始から終了までの複数作成可能な計測単位である。

表 4.1.2 取得実績表

走行ID			取得年月日		取得時間	
シーン名	路線長[m]	開始時刻	終了時刻	天候	平均速度[km/h]	最低速度[km/h]
0503_201412131150			平成26年12月13日		11:57~13:05	
S01	93	11:57	11:58	晴れ	8	0
S02	18400	11:59	13:05	晴れ	17	0
0503_201412131419			平成26年12月13日		14:28~15:51	
S01	2214	14:28	14:34	晴れ	23	0
S02	18406	14:44	15:51	晴れ	16	0
0503_201412141026			平成26年12月14日		10:46~12:58	
S01	19454	10:48	11:42	晴れ	21	0
S02	195	12:14	12:16	晴れ	7	0
S03	24141	12:19	12:58	晴れ	37	0
0503_201412141416			平成26年12月14日		14:48~15:28	
S01	24119	14:48	15:28	晴れ	37	0
0503_201412150857			平成26年12月15日		9:39~10:29	
S01	39003	9:39	10:29	晴れ	46	0
0503_201412151112			平成26年12月15日		11:38~14:15	
S01	38957	11:38	12:25	晴れ	50	0
S02	38908	13:23	14:15	晴れ	46	0

4.1.1.2 MMS 計測における精度指標

① MMS 計測精度指標

1 車両自己位置の絶対正確度：水平 XY=±6cm 以内・高さ Z=±15cm 以内

② ランドマークアップデート処理（調整処理）

以下の作業を行うことにより、絶対正確度を大幅に向上させることが可能である：

- 計測ルートへの定量的な GCP 点（Grand Control Point）の設置と高精度計測
- GCP 点を利用したランドマークアップデート処理による高精度解析の実施

4.1.1.3 解析結果の評価

① 標準解析結果の評価基準

要求精度範囲：

本計測において適用した精度指標は『移動計測車両による測量システムを用いる数値地形図データ作成マニュアル（案）』の第6条1項に掲げられている表を指標としている。

地図情報レベル・・・500（水平位置と標高点の標準偏差：0.25m 以内）

② 標準解析結果の評価

MMS の精度評価の一つとして、GNSS 基線解析結果による誤差予測値があり、以下がコース・時間帯に対する誤差予測値の標準偏差の表である。

表 4.1.3 誤差予測値の標準偏差
(0.25m 以上は黄色)

コース	時間帯	X(East)	Y(North)	Z
C1	T1	0.498	0.656	0.307
	T2	1.630	1.146	0.720
	T3	1.253	1.188	0.599
C2	T1	0.633	0.961	0.473
	T2	1.164	1.428	0.703
C3	T1	0.008	0.008	0.029
	T2	0.026	0.024	0.064
	T3	0.036	0.034	0.085

表 4.1.3 から見て取れるように、コース C1、C2 で取得したデータは精度劣化をしている。具体的にどの場所が精度劣化を起こしているのかを視覚的に捉えるため、車両自己位置（走行軌跡）を誤差予測値で色分け（誤差予測値が 0.25m 以上なら赤、それ以外なら青）したものを以下に表示する。

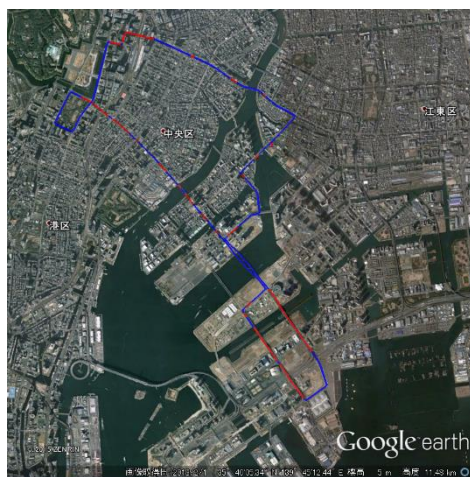


図 4.1.4.1 走行軌跡(C1-T1)

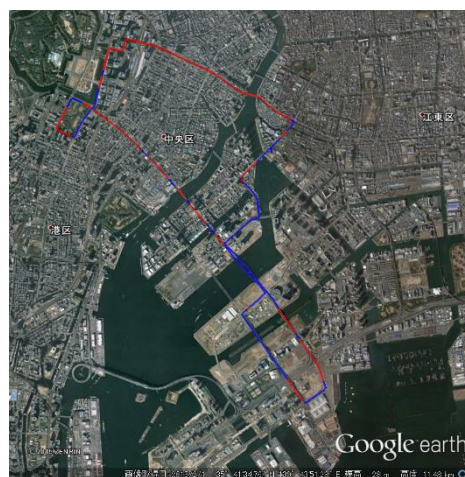


図 4.1.4.2 走行軌跡(C1-T2)

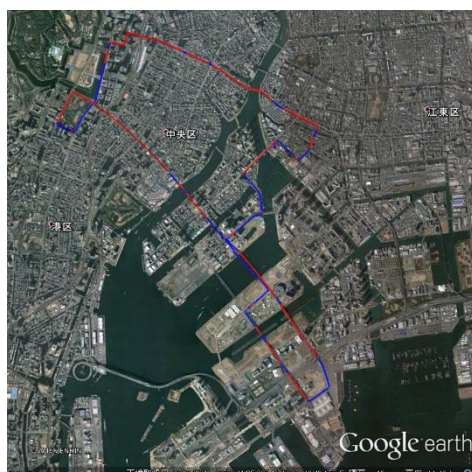


図 4.1.4.3 走行軌跡(C1-T3)

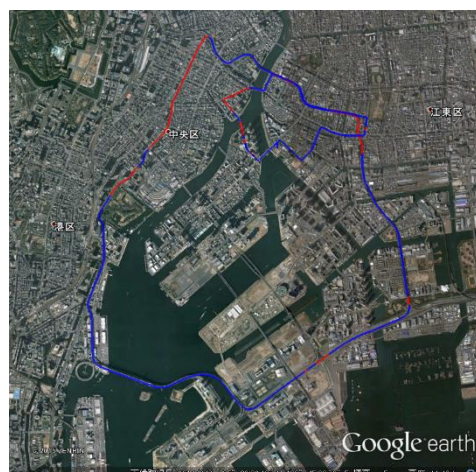


図 4.1.4.4 走行軌跡(C2-T1)



図 4.1.4.5 走行軌跡(C2-T2)

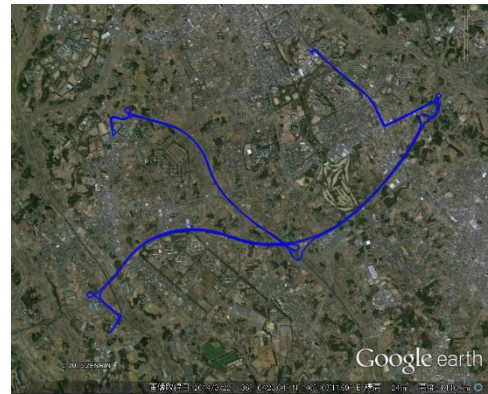


図 4.1.4.6 走行軌跡(C3-T1)

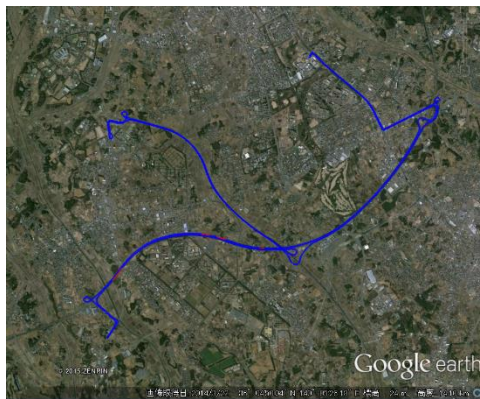


図 4.1.4.7 走行軌跡(C3-T2)

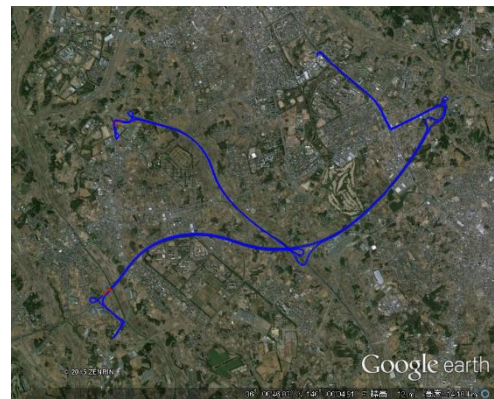


図 4.1.4.8 走行軌跡(C3-T3)

コース C1 を例にとると、図 4.1.4.1～3 よりお台場、丸の内方面で精度の低下が顕著であることが分かり、コース C1 に調整処理を実施する必要があることが確認できる。コース C2 も精度低下があるが大部分が首都高速であり、標定点の観測ができないため、調整処理には含めない。

4.1.2 MMS 計測の精度検証

解析結果からコース C1 に対して、調整処理が必要であったため、点検測量による精度評価を実施し、要求精度に収まらない部分に関しては調整処理を実施した。

4.1.2.1 点検測量による精度検証

点検箇所は図 4.1.5 の通り、丸の内とお台場の2カ所とした。

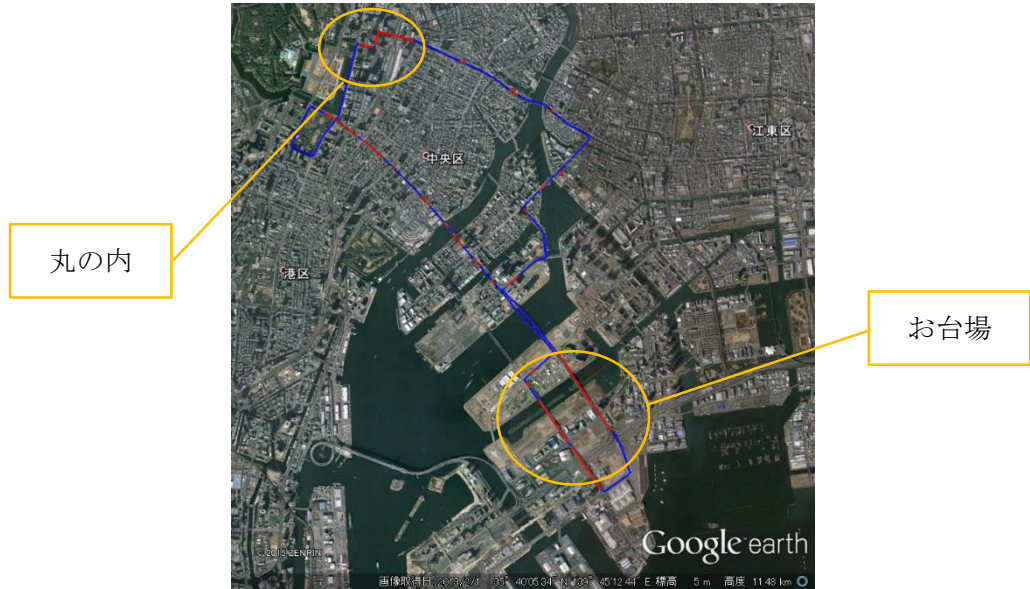


図 4.1.5 点検箇所(C1-T1)

標定点として、白線、横断歩道、マンホール、グレーチングなどの地物を利用し、点検を実施した。表 4.1.6.1～4 がその結果である。X、Y、H はそれぞれ平面直角座標系の X 座標、Y 座標、標高を表し、較差 dXY と dH の値が要求精度の $0.25m$ を超える場合、背景を黄色とした。

表 4.1.6.1 点検測量精度管理表(C1-T1 お台場)

No.	点名	計測値			点検値(基準点測量値)			較差			
		X	Y	H	X	Y	H	dX	dY	dXY	dH
1	A01	-39071.418	-3969.964	7.732	-39071.409	-3969.959	7.588	0.009	0.005	0.010	0.144
2	P26	-39106.989	-3942.458	7.873	-39107.090	-3942.598	7.625	0.101	0.140	0.173	0.248
3	A03	-39143.651	-3916.301	7.981	-39143.752	-3916.415	7.695	0.101	0.114	0.152	0.286
4	A04	-39181.187	-3891.541	7.888	-39181.290	-3891.664	7.560	0.103	0.123	0.161	0.328
5	A05	-39218.973	-3867.109	7.786	-39219.059	-3867.231	7.428	0.086	0.122	0.150	0.358
6	A06	-39257.946	-3844.665	8.079	-39258.042	-3844.788	7.661	0.096	0.123	0.156	0.418
7	A09	-39536.362	-3678.059	10.660	-39536.278	-3678.217	10.018	0.084	0.158	0.179	0.642
8	A11	-39594.119	-3638.586	7.478	-39593.994	-3638.715	6.950	0.125	0.129	0.180	0.528
9	P25	-39675.895	-3581.164	4.785	-39675.820	-3581.290	4.572	0.075	0.126	0.146	0.213
10	P24	-39939.749	-3406.025	4.045	-39939.648	-3406.111	4.117	0.101	0.086	0.133	0.072
11	P23	-39959.329	-3392.274	4.536	-39959.276	-3392.318	4.584	0.053	0.044	0.069	0.048
12	A49	-40195.896	-3240.148	10.339	-40195.828	-3240.170	10.426	0.068	0.022	0.071	0.087
13	A50	-40238.581	-3218.233	9.150	-40238.554	-3218.231	9.202	0.027	0.002	0.027	0.052
14	A51	-40281.291	-3203.197	7.558	-40281.232	-3203.196	7.577	0.059	0.001	0.059	0.019
15	A52	-40322.981	-3187.699	6.225	-40322.958	-3187.718	6.254	0.023	0.019	0.030	0.029
16	P22	-40371.298	-3172.843	6.074	-40371.261	-3172.839	6.122	0.037	0.004	0.037	0.048
17	P21	-40414.660	-3160.482	5.954	-40414.604	-3160.511	6.003	0.056	0.029	0.064	0.049
18	A55	-40451.898	-3149.845	5.831	-40451.824	-3149.881	5.875	0.074	0.036	0.083	0.044
19	P03	-40607.111	-3598.810	7.986	-40606.938	-3598.324	7.667	0.173	0.486	0.516	0.319
20	P02	-40579.229	-3615.315	8.485	-40579.131	-3614.769	7.942	0.098	0.546	0.555	0.543
21	P04	-40554.854	-3630.315	9.297	-40554.742	-3629.792	8.745	0.112	0.523	0.535	0.552
22	A28	-40534.975	-3643.659	10.112	-40534.829	-3643.184	9.566	0.146	0.475	0.497	0.546
23	A29	-40506.869	-3664.695	11.171	-40506.857	-3664.179	10.714	0.012	0.516	0.516	0.457
24	P05	-40480.355	-3681.398	11.907	-40480.214	-3681.010	11.590	0.141	0.388	0.413	0.317
25	A31	-40244.741	-3834.872	4.291	-40244.897	-3834.737	4.104	0.156	0.135	0.206	0.187
26	A32	-40213.552	-3857.746	3.726	-40213.669	-3857.680	3.707	0.117	0.066	0.134	0.019
27	P06	-40170.530	-3885.840	3.497	-40170.499	-3885.919	3.502	0.031	0.079	0.085	0.005
28	A34	-40146.839	-3900.336	3.639	-40146.847	-3900.392	3.478	0.008	0.056	0.056	0.161
29	A35	-40116.226	-3922.252	3.727	-40116.357	-3922.212	3.468	0.131	0.040	0.137	0.259
30	P07	-40069.840	-3949.107	4.314	-40070.012	-3949.075	3.938	0.172	0.032	0.175	0.376
31	P08	-40041.995	-3971.530	4.418	-40042.181	-3971.483	4.083	0.186	0.047	0.192	0.335
32	P09	-40034.575	-3976.449	4.455	-40034.740	-3976.429	4.114	0.165	0.020	0.167	0.341
33	P10	-40004.837	-3996.186	4.548	-40005.034	-3996.132	4.177	0.197	0.054	0.204	0.371
34	A39	-39973.983	-4012.652	4.781	-39974.211	-4012.690	4.368	0.228	0.038	0.231	0.413
35	P11	-39937.391	-4036.939	5.589	-39937.582	-4037.002	5.168	0.191	0.063	0.201	0.421
36	A41	-39905.714	-4061.789	6.353	-39905.905	-4061.869	5.960	0.191	0.080	0.207	0.393
37	P12	-39873.924	-4086.512	7.410	-39874.085	-4086.577	7.077	0.161	0.065	0.174	0.333
38	P13	-39834.017	-4111.983	9.571	-39834.149	-4112.088	9.241	0.132	0.105	0.169	0.330
39	P14	-39818.265	-4121.992	10.334	-39818.428	-4122.086	10.019	0.163	0.094	0.188	0.315
								点数	39	39	
								最大値	0.555	0.642	
								最小値	0.010	0.005	
								平均値	0.191	0.272	
								RMS誤差	0.241	0.324	

表 4.1.6.2 点検測量精度管理表(C1-T2 お台場)

No.	点名	計測値			点検値(基準点測量値)			較差			
		X	Y	H	X	Y	H	dX	dY	dXY	dH
1	A01	-39071.302	-3970.111	7.606	-39071.409	-3969.959	7.588	0.107	0.152	0.186	0.018
2	P26	-39107.035	-3942.522	7.630	-39107.090	-3942.598	7.625	0.055	0.076	0.094	0.005
3	A03	-39143.702	-3916.403	7.683	-39143.752	-3916.415	7.695	0.050	0.012	0.052	0.012
4	A04	-39181.236	-3891.629	7.510	-39181.290	-3891.664	7.560	0.054	0.035	0.064	0.050
5	A05	-39219.055	-3867.174	7.439	-39219.059	-3867.231	7.428	0.004	0.057	0.057	0.011
6	A06	-39258.026	-3844.745	7.692	-39258.042	-3844.788	7.661	0.016	0.043	0.046	0.031
7	A09	-39536.409	-3678.308	9.989	-39536.278	-3678.217	10.018	0.131	0.091	0.159	0.029
8	A11	-39594.110	-3638.789	6.941	-39593.994	-3638.715	6.950	0.116	0.074	0.138	0.009
9	P25	-39675.834	-3581.298	4.585	-39675.820	-3581.290	4.572	0.014	0.008	0.016	0.013
10	P24	-39939.671	-3406.135	4.637	-39939.648	-3406.111	4.117	0.023	0.024	0.033	0.520
11	P23	-39959.225	-3392.336	5.178	-39959.276	-3392.318	4.584	0.051	0.018	0.054	0.594
12	A49	-40195.740	-3240.099	11.197	-40195.828	-3240.170	10.426	0.088	0.071	0.113	0.771
13	A50	-40238.516	-3218.190	9.984	-40238.554	-3218.231	9.202	0.038	0.041	0.056	0.782
14	A51	-40281.210	-3203.183	8.246	-40281.232	-3203.196	7.577	0.022	0.013	0.025	0.669
15	A52	-40322.963	-3187.744	6.815	-40322.958	-3187.718	6.254	0.005	0.026	0.026	0.561
16	P22	-40371.310	-3172.909	6.551	-40371.261	-3172.839	6.122	0.049	0.070	0.086	0.429
17	P21	-40414.664	-3160.558	6.316	-40414.604	-3160.511	6.003	0.060	0.047	0.076	0.313
18	A55	-40451.878	-3149.913	6.083	-40451.824	-3149.881	5.875	0.054	0.032	0.063	0.208
19	P01	-40778.999	-3477.019	6.144	-40778.837	-3477.168	6.177	0.162	0.149	0.220	0.033
20	P03	-40607.060	-3598.379	7.534	-40606.938	-3598.324	7.667	0.122	0.055	0.134	0.133
21	P02	-40579.201	-3614.816	8.076	-40579.131	-3614.769	7.942	0.070	0.047	0.084	0.134
22	P04	-40554.815	-3629.798	8.908	-40554.742	-3629.792	8.745	0.073	0.006	0.073	0.163
23	A28	-40534.833	-3643.169	9.753	-40534.829	-3643.184	9.566	0.004	0.015	0.015	0.187
24	A29	-40506.806	-3664.110	10.894	-40506.857	-3664.179	10.714	0.051	0.069	0.086	0.180
25	P05	-40480.115	-3680.940	11.736	-40480.214	-3681.010	11.590	0.099	0.070	0.121	0.146
26	A31	-40244.885	-3834.756	3.996	-40244.897	-3834.737	4.104	0.012	0.019	0.023	0.108
27	A32	-40213.688	-3857.677	3.607	-40213.669	-3857.680	3.707	0.019	0.003	0.019	0.100
28	P06	-40170.504	-3885.923	3.430	-40170.499	-3885.919	3.502	0.005	0.004	0.007	0.072
29	A34	-40146.903	-3900.379	3.400	-40146.847	-3900.392	3.478	0.056	0.013	0.057	0.078
30	A35	-40116.363	-3922.249	3.455	-40116.357	-3922.212	3.468	0.006	0.037	0.038	0.013
31	P07	-40070.053	-3949.068	3.841	-40070.012	-3949.075	3.938	0.041	0.007	0.041	0.097
32	P08	-40042.242	-3971.483	4.087	-40042.181	-3971.483	4.083	0.061	0.000	0.061	0.004
33	P09	-40034.833	-3976.434	4.150	-40034.740	-3976.429	4.114	0.093	0.005	0.093	0.036
34	P10	-40005.141	-3996.188	4.247	-40005.034	-3996.132	4.177	0.107	0.056	0.121	0.070
35	A39	-39974.248	-4012.696	4.411	-39974.211	-4012.690	4.368	0.037	0.006	0.037	0.043
36	P11	-39937.589	-4037.031	5.197	-39937.582	-4037.002	5.168	0.007	0.029	0.030	0.029
37	A41	-39905.964	-4061.954	6.047	-39905.905	-4061.869	5.960	0.059	0.085	0.104	0.087
38	P12	-39874.179	-4086.576	7.184	-39874.085	-4086.577	7.077	0.094	0.001	0.094	0.107
39	P13	-39834.177	-4112.065	9.279	-39834.149	-4112.088	9.241	0.028	0.023	0.036	0.038
40	P14	-39818.461	-4122.038	10.044	-39818.428	-4122.086	10.019	0.033	0.048	0.058	0.025
								点数	40	40	
								最大値	0.220	0.782	
								最小値	0.007	0.004	
								平均値	0.072	0.173	
								RMS誤差	0.087	0.280	

表 4.1.6.3 点検測量精度管理表(C1-T1 丸の内)

No.	点名	計測値			点検値(基準点測量値)			数差			
		X	Y	H	X	Y	H	dX	dY	dXY	dH
1	M001	-35107.979	-6379.245	2.710	-35107.929	-6379.152	2.758	0.050	0.093	0.106	0.048
2	M002	-35118.637	-6340.671	2.852	-35118.342	-6340.528	2.773	0.295	0.143	0.328	0.079
3	M003	-35123.764	-6321.344	2.898	-35123.390	-6321.169	2.809	0.374	0.175	0.413	0.089
4	M004	-35130.745	-6288.617	2.817	-35130.401	-6288.450	2.861	0.344	0.167	0.382	0.044
5	M005	-35133.541	-6276.226	2.717	-35133.244	-6276.040	2.763	0.297	0.186	0.350	0.046
6	M006	-35145.937	-6227.280	2.632	-35145.895	-6227.185	2.641	0.042	0.095	0.104	0.009
7	M007	-35157.189	-6185.638	2.730	-35157.270	-6185.606	2.795	0.081	0.032	0.087	0.065
8	M008	-35151.131	-6174.274	2.986	-35151.151	-6174.294	2.992	0.020	0.020	0.029	0.006
9	M009	-35119.710	-6168.559	3.084	-35119.898	-6168.716	2.921	0.188	0.157	0.245	0.163
10	M010	-35105.239	-6164.547	3.158	-35105.405	-6164.742	2.957	0.166	0.195	0.256	0.201
11	M011	-35090.726	-6160.543	3.164	-35090.901	-6160.777	2.952	0.175	0.234	0.292	0.212
12	M012	-35047.420	-6148.645	3.168	-35047.612	-6148.905	3.009	0.192	0.260	0.324	0.159
13	M013	-35024.314	-6142.365	3.064	-35024.435	-6142.553	2.992	0.121	0.188	0.224	0.072
14	M014	-34987.363	-6124.456	3.039	-34987.615	-6124.433	3.014	0.252	0.023	0.253	0.025
15	M015	-34966.753	-6105.344	2.855	-34967.175	-6105.268	2.966	0.422	0.076	0.429	0.111
16	M016	-34971.529	-6087.188	2.992	-34971.925	-6087.175	2.990	0.396	0.013	0.396	0.002
17	M017	-34983.108	-6043.764	3.147	-34983.473	-6043.769	3.000	0.365	0.005	0.365	0.147
18	M018	-34986.814	-6029.187	3.054	-34987.130	-6029.196	2.924	0.316	0.009	0.316	0.130
19	M019	-34992.701	-6006.157	2.922	-34993.015	-6006.079	2.827	0.314	0.078	0.323	0.095
20	M020	-35001.008	-5973.608	2.617	-35001.261	-5973.456	2.702	0.253	0.152	0.296	0.085
21	M021	-35003.108	-5963.603	2.636	-35003.342	-5963.491	2.676	0.234	0.112	0.260	0.040
22	M022	-35013.057	-5924.961	2.678	-35013.159	-5924.900	2.597	0.102	0.061	0.119	0.081
23	M023	-35020.819	-5895.906	2.815	-35020.902	-5895.931	2.696	0.083	0.025	0.087	0.119
24	M024	-35028.711	-5869.830	2.991	-35028.744	-5869.887	2.808	0.033	0.057	0.065	0.183
25	M025	-35033.632	-5855.552	3.061	-35033.669	-5855.559	2.840	0.037	0.007	0.038	0.221
26	M026	-35043.844	-5817.831	3.223	-35043.838	-5817.806	2.972	0.006	0.025	0.025	0.251
27	M027	-35051.499	-5789.044	3.217	-35051.527	-5788.999	2.969	0.028	0.045	0.053	0.248
28	M028	-35060.207	-5758.274	3.384	-35060.188	-5758.218	3.144	0.019	0.056	0.060	0.240
29	M029	-35075.538	-5709.693	3.654	-35075.551	-5709.629	3.455	0.013	0.064	0.065	0.199
30	M030	-35085.255	-5672.198	3.640	-35085.297	-5672.095	3.546	0.042	0.103	0.111	0.094
31	M031	-35086.383	-5661.831	3.576	-35086.383	-5661.760	3.544	0.000	0.071	0.071	0.032
								点数	31	31	
								最大値	0.429	0.251	
								最小値	0.025	0.002	
								平均値	0.209	0.113	
								RMS誤差	0.247	0.136	

表 4.1.6.4 点検測量精度管理表(C1-T2 丸の内)

No.	点名	計測値			点検値(基準点測量値)			数差			
		X	Y	H	X	Y	H	dX	dY	dXY	dH
1	M001	-35107.612	-6380.671	2.108	-35107.929	-6379.152	2.758	0.317	1.519	1.551	0.650
2	M002	-35118.183	-6342.096	2.276	-35118.342	-6340.528	2.773	0.159	1.568	1.576	0.497
3	M003	-35123.355	-6322.735	2.316	-35123.390	-6321.169	2.809	0.035	1.566	1.566	0.493
4	M004	-35130.537	-6289.987	2.308	-35130.401	-6288.450	2.861	0.136	1.537	1.543	0.553
5	M005	-35133.475	-6277.612	2.211	-35133.244	-6276.040	2.763	0.231	1.572	1.589	0.552
6	M006	-35146.495	-6228.887	2.043	-35145.895	-6227.185	2.641	0.600	1.702	1.805	0.598
7	M007	-35158.205	-6187.398	2.034	-35157.270	-6185.606	2.795	0.935	1.792	2.021	0.761
8	M008	-35152.107	-6175.994	2.254	-35151.151	-6174.294	2.992	0.956	1.700	1.951	0.738
9	M009	-35120.771	-6170.540	2.241	-35119.898	-6168.716	2.921	0.873	1.824	2.022	0.680
10	M010	-35106.253	-6166.713	2.352	-35105.405	-6164.742	2.957	0.848	1.971	2.145	0.605
11	M011	-35091.699	-6162.837	2.375	-35090.901	-6160.777	2.952	0.798	2.060	2.210	0.577
12	M012	-35048.258	-6151.301	2.562	-35047.612	-6148.905	3.009	0.646	2.396	2.482	0.447
13	M013	-35025.052	-6145.093	2.519	-35024.435	-6142.553	2.992	0.617	2.540	2.614	0.473
14	M014	-34988.168	-6127.071	2.343	-34987.615	-6124.433	3.014	0.553	2.638	2.695	0.671
15	M015	-34967.803	-6107.829	2.276	-34967.175	-6105.268	2.966	0.628	2.561	2.637	0.690
16	M016	-34972.705	-6089.642	2.461	-34971.925	-6087.175	2.990	0.780	2.467	2.587	0.529
17	M017	-34984.488	-6046.196	2.694	-34983.473	-6043.769	3.000	1.015	2.427	2.631	0.306
18	M018	-34988.231	-6031.611	2.643	-34987.130	-6029.196	2.924	1.101	2.415	2.655	0.281
19	M019	-34994.194	-6008.521	2.576	-34993.015	-6006.079	2.827	1.179	2.442	2.712	0.251
20	M020	-35002.586	-5975.923	2.474	-35001.261	-5973.456	2.702	1.325	2.467	2.801	0.228
21	M021	-35004.715	-5965.958	2.446	-35003.342	-5963.491	2.676	1.373	2.467	2.823	0.230
22	M022	-35014.720	-5927.529	2.256	-35013.159	-5924.900	2.597	1.561	2.629	3.057	0.341
23	M023	-35022.646	-5898.668	2.119	-35020.902	-5895.931	2.696	1.744	2.737	3.245	0.577
24	M024	-35030.666	-5872.620	2.417	-35028.744	-5869.887	2.808	1.922	2.733	3.341	0.391
25	M025	-35035.660	-5858.320	2.504	-35033.669	-5855.559	2.840	1.991	2.761	3.404	0.336
26	M026	-35045.858	-5820.594	2.599	-35043.838	-5817.806	2.972	2.020	2.788	3.443	0.373
27	M027	-35053.427	-5791.795	2.441	-35051.527	-5788.999	2.969	1.900	2.796	3.381	0.528
28	M028	-35062.106	-5761.030	2.792	-35060.188	-5758.218	3.144	1.918	2.812	3.404	0.352
29	M029	-35074.579	-5711.678	3.008	-35075.551	-5709.629	3.455	0.972	2.049	2.268	0.447
30	M030	-35087.346	-5675.029	3.107	-35085.297	-5672.095	3.546	2.049	2.934	3.579	0.439
31	M031	-35088.504	-5664.624	3.136	-35086.383	-5661.760	3.544	2.121	2.864	3.564	0.408
								点数	31	31	
								最大値	3.579	0.761	
								最小値	1.543	0.228	
								平均値	2.558	0.484	
								RMS誤差	2.641	0.506	

4.1.2.2 調整処理

調整処理は点検で用いた標定点を調整点として用い、ランドマークアップデート処理を実施した。

4.1.2.3 調整結果の点検

調整処理結果の点検として調整点を用い、調整処理結果との較差を確認し以下の調整処理精度管理表に取りまとめた。点検の結果、調整処理により評価基準を満たすことを確認した。

表 4.1.7.1 調整処理精度管理表(C1-T1 お台場(1))

No.	点名	標定点			補正座標			差				標定点の用途	備考
		X	Y	H	X	Y	H	dX	dY	dXY	dH		
1	P26	-39107.090	-3942.598	7.625	-39107.035	-3942.520	7.682	0.055	0.078	0.096	0.057	点検	
2	A03	-39143.752	-3916.415	7.695	-39143.770	-3916.402	7.694	0.018	0.013	0.022	0.001	調整	
3	A04	-39181.290	-3891.664	7.560	-39181.306	-3891.652	7.559	0.016	0.012	0.021	0.001	調整	
4	A05	-39219.059	-3867.231	7.428	-39219.055	-3867.244	7.427	0.004	0.013	0.014	0.001	調整	
5	A06	-39258.042	-3844.788	7.661	-39258.029	-3844.791	7.667	0.013	0.003	0.013	0.006	調整	
6	A09	-39536.278	-3678.217	10.018	-39536.277	-3678.225	10.017	0.001	0.008	0.008	0.001	調整	
7	A11	-39593.994	-3638.715	6.950	-39593.987	-3638.721	6.953	0.007	0.006	0.009	0.003	調整	
8	P25	-39675.820	-3581.290	4.572	-39675.781	-3581.294	4.392	0.039	0.004	0.040	0.180	点検	
9	P03	-40606.938	-3598.324	7.667	-40606.942	-3598.327	7.668	0.004	0.003	0.005	0.001	調整	
10	P02	-40579.131	-3614.769	7.942	-40579.093	-3614.746	7.947	0.038	0.023	0.045	0.005	調整	
11	P04	-40554.742	-3629.792	8.745	-40554.717	-3629.852	8.732	0.025	0.060	0.065	0.013	調整	
12	A28	-40534.829	-3643.184	9.566	-40534.802	-3643.074	9.596	0.027	0.110	0.113	0.030	調整	
13	A29	-40506.857	-3664.179	10.714	-40506.807	-3664.200	10.706	0.050	0.021	0.054	0.008	調整	
14	P05	-40480.214	-3681.010	11.590	-40480.223	-3681.011	11.586	0.009	0.001	0.009	0.004	調整	
								点数		14	14		
								最大値		0.113	0.180		
								最小値		0.005	0.001		
								平均値		0.037	0.022		
								RMS誤差		0.049	0.051		

表 4.1.7.2 調整処理精度管理表(C1-T1 お台場(2))

No.	点名	標定点			補正座標			差				標定点の用途	備考
		X	Y	H	X	Y	H	dX	dY	dXY	dH		
15	A34	-40146.847	-3900.392	3.478	-40146.822	-3900.376	3.509	0.025	0.016	0.030	0.031	調整	
16	A35	-40116.357	-3922.212	3.468	-40116.333	-3922.252	3.473	0.024	0.040	0.047	0.005	調整	
17	P07	-40070.012	-3949.075	3.938	-40069.987	-3949.100	3.938	0.025	0.025	0.036	0.000	調整	
18	P08	-40042.181	-3971.483	4.083	-40042.145	-3971.527	4.073	0.036	0.044	0.057	0.010	点検	
19	P09	-40034.740	-3976.429	4.114	-40034.730	-3976.442	4.113	0.010	0.013	0.016	0.001	調整	
20	P10	-40005.034	-3996.132	4.177	-40005.023	-3996.182	4.176	0.011	0.050	0.052	0.001	調整	
21	A39	-39974.211	-4012.690	4.368	-39974.172	-4012.700	4.360	0.039	0.010	0.040	0.008	調整	
22	P11	-39937.582	-4037.002	5.168	-39937.565	-4037.012	5.163	0.017	0.010	0.020	0.005	調整	
23	A41	-39905.905	-4061.869	5.960	-39905.866	-4061.894	5.953	0.039	0.025	0.047	0.007	調整	
24	P12	-39874.085	-4086.577	7.077	-39874.100	-4086.582	7.068	0.015	0.005	0.016	0.009	調整	
25	P13	-39834.149	-4112.088	9.241	-39834.153	-4112.105	9.232	0.004	0.017	0.018	0.009	点検	
26	P14	-39818.428	-4122.086	10.019	-39818.429	-4122.077	10.020	0.001	0.009	0.009	0.001	調整	
27								0.000	0.000	0.000	0.000		
28								0.000	0.000	0.000	0.000		
								点数		12	12		
								最大値		0.057	0.031		
								最小値		0.000	0.000		
								平均値		0.028	0.006		
								RMS誤差		0.036	0.011		

表 4.1.7.3 調整処理精度管理表(C1-T2 お台場)

No.	点名	標定点			補正座標			差				標定点の用途	備考
		X	Y	H	X	Y	H	dX	dY	dXY	dH		
1	P24	-39939.648	-3406.111	4.117	-39939.633	-3406.111	4.118	0.015	0.000	0.015	0.001	調整	
2	P23	-39959.276	-3392.318	4.584	-39959.249	-3392.329	4.595	0.027	0.011	0.029	0.011	調整	
3	A49	-40195.828	-3240.170	10.426	-40195.825	-3240.161	10.429	0.003	0.009	0.009	0.003	調整	
4	A50	-40238.554	-3218.231	9.202	-40238.585	-3218.190	9.202	0.031	0.041	0.051	0.000	調整	
5	A51	-40281.232	-3203.196	7.577	-40281.255	-3203.180	7.579	0.023	0.016	0.027	0.002	調整	
6	A52	-40322.958	-3187.718	6.254	-40322.985	-3187.680	6.257	0.027	0.038	0.047	0.003	調整	
7	P22	-40371.261	-3172.839	6.122	-40371.289	-3172.826	6.129	0.028	0.013	0.031	0.007	調整	
8	P21	-40414.604	-3160.511	6.003	-40414.630	-3160.489	6.017	0.026	0.022	0.034	0.014	調整	
9	A55	-40451.824	-3149.881	5.875	-40451.835	-3149.884	5.935	0.011	0.003	0.011	0.060	点検	
10								0.000	0.000	0.000	0.000		
11								0.000	0.000	0.000	0.000		
12								0.000	0.000	0.000	0.000		
13								0.000	0.000	0.000	0.000		
14								0.000	0.000	0.000	0.000		
								点数	9		9		
								最大値	0.051		0.060		
								最小値	0.000		0.000		
								平均値	0.018		0.007		
								RMS誤差	0.032		0.021		

表 4.1.7.4 調整処理精度管理表(C1-T1 丸の内(1))

No.	点名	標定点			補正座標			差				標定点の用途	備考
		X	Y	H	X	Y	H	dX	dY	dXY	dH		
1	M002	-35118.342	-6340.528	2.773	-35118.348	-6340.540	2.769	0.006	0.012	0.014	0.004	点検	
2	M003	-35123.390	-6321.169	2.809	-35123.384	-6321.177	2.810	0.006	0.008	0.010	0.001	調整	
3	M004	-35130.401	-6288.450	2.861	-35130.372	-6288.435	2.834	0.029	0.015	0.033	0.027	点検	
4	M005	-35133.244	-6276.040	2.763	-35133.259	-6276.067	2.772	0.015	0.027	0.031	0.009	調整	
5	M006	-35145.895	-6227.185	2.641	-35145.910	-6227.209	2.672	0.015	0.024	0.029	0.031	点検	
6	M009	-35119.898	-6168.716	2.921	-35119.800	-6168.702	2.939	0.098	0.014	0.099	0.018	点検	
7	M010	-35105.405	-6164.742	2.957	-35105.358	-6164.749	2.963	0.047	0.007	0.047	0.006	調整	
8	M011	-35090.901	-6160.777	2.952	-35090.822	-6160.776	2.962	0.079	0.001	0.079	0.010	点検	
9	M012	-35047.612	-6148.905	3.009	-35047.553	-6148.905	3.013	0.059	0.000	0.059	0.004	調整	
10	M013	-35024.435	-6142.553	2.992	-35024.389	-6142.555	2.948	0.046	0.002	0.046	0.044	点検	
11	M014	-34987.615	-6124.433	3.014	-34987.614	-6124.433	3.021	0.001	0.000	0.001	0.007	調整	
12	M015	-34967.175	-6105.268	2.966	-34967.113	-6105.300	2.861	0.062	0.032	0.070	0.105	点検	
13	M016	-34971.925	-6087.175	2.990	-34971.914	-6087.172	2.992	0.011	0.003	0.012	0.002	調整	
14	M017	-34983.473	-6043.769	3.000	-34983.456	-6043.797	3.032	0.017	0.028	0.033	0.032	点検	
								点数	14		14		
								最大値	0.099		0.105		
								最小値	0.001		0.001		
								平均値	0.040		0.022		
								RMS誤差	0.049		0.034		

表 4.1.7.5 調整処理精度管理表(C1-T1 丸の内(2))

No.	点名	標定点			補正座標			差				標定点の用途	備考
		X	Y	H	X	Y	H	dX	dY	dXY	dH		
15	M018	-34987.130	-6029.196	2.924	-34987.135	-6029.209	2.928	0.005	0.013	0.014	0.004	調整	
16	M019	-34993.015	-6006.079	2.827	-34992.996	-6006.131	2.868	0.019	0.052	0.055	0.041	点検	
17	M020	-35001.261	-5973.456	2.702	-35001.270	-5973.499	2.710	0.009	0.043	0.044	0.008	調整	
18	M021	-35003.342	-5963.491	2.676	-35003.350	-5963.494	2.709	0.008	0.003	0.009	0.033	点検	
19	M025	-35033.669	-5855.559	2.840	-35033.689	-5855.511	2.872	0.020	0.048	0.052	0.032	点検	
20	M026	-35043.838	-5817.806	2.972	-35043.831	-5817.780	2.979	0.007	0.026	0.027	0.007	調整	
21	M027	-35051.527	-5788.999	2.969	-35051.509	-5788.983	2.981	0.018	0.016	0.024	0.012	点検	
22								0.000	0.000	0.000	0.000		
23								0.000	0.000	0.000	0.000		
24								0.000	0.000	0.000	0.000		
25								0.000	0.000	0.000	0.000		
26								0.000	0.000	0.000	0.000		
27								0.000	0.000	0.000	0.000		
28								0.000	0.000	0.000	0.000		
								点数	7		7		
								最大値	0.055		0.041		
								最小値	0.000		0.000		
								平均値	0.016		0.010		
								RMS誤差	0.036		0.024		

表 4.1.7.6 調整処理精度管理表(C1-T2 丸の内(1))

No.	点名	標定点			補正座標			差				標定点の用途	備考
		X	Y	H	X	Y	H	dX	dY	dXY	dH		
1	M001	-35107.929	-6379.152	2.758	-35107.915	-6379.204	2.767	0.014	0.052	0.054	0.009	調整	
2	M002	-35118.342	-6340.528	2.773	-35118.334	-6340.526	2.812	0.008	0.002	0.009	0.039	点検	
3	M003	-35123.390	-6321.169	2.809	-35123.399	-6321.178	2.819	0.009	0.009	0.013	0.010	調整	
4	M004	-35130.401	-6288.450	2.861	-35130.399	-6288.421	2.839	0.002	0.029	0.029	0.022	点検	
5	M005	-35133.244	-6276.040	2.763	-35133.238	-6276.065	2.769	0.006	0.025	0.025	0.006	調整	
6	M006	-35145.895	-6227.185	2.641	-35145.888	-6227.177	2.648	0.007	0.008	0.010	0.007	調整	
7	M007	-35157.270	-6185.606	2.795	-35157.282	-6185.624	2.796	0.012	0.018	0.021	0.001	調整	
8	M008	-35151.151	-6174.294	2.992	-35151.165	-6174.236	2.976	0.014	0.058	0.060	0.016	点検	
9	M009	-35119.898	-6168.716	2.921	-35119.845	-6168.733	2.931	0.053	0.017	0.055	0.010	調整	
10	M010	-35105.405	-6164.742	2.957	-35105.389	-6164.768	2.986	0.016	0.026	0.030	0.029	点検	
11	M011	-35090.901	-6160.777	2.952	-35090.856	-6160.785	2.964	0.045	0.008	0.046	0.012	調整	
12	M012	-35047.612	-6148.905	3.009	-35047.566	-6148.902	3.059	0.046	0.003	0.046	0.050	点検	
13	M013	-35024.435	-6142.553	2.992	-35024.452	-6142.559	3.007	0.017	0.006	0.018	0.015	調整	
14	M014	-34987.615	-6124.433	3.014	-34987.609	-6124.442	3.016	0.006	0.009	0.011	0.002	調整	
								点数	14		14		
								最大値	0.060		0.050		
								最小値	0.009		0.001		
								平均値	0.031		0.016		
								RMS誤差	0.035		0.021		

表 4.1.7.7 調整処理精度管理表(C1-T2 丸の内(2))

No.	点名	標定点			補正座標			差				標定点の用途	備考
		X	Y	H	X	Y	H	dX	dY	dXY	dH		
15	M015	-34967.175	-6105.268	2.966	-34967.157	-6105.343	2.876	0.018	0.075	0.077	0.090	点検	
16	M016	-34971.925	-6087.175	2.990	-34971.927	-6087.151	2.994	0.002	0.024	0.024	0.004	調整	
17	M017	-34983.473	-6043.769	3.000	-34983.460	-6043.718	3.034	0.013	0.051	0.052	0.034	点検	
18	M018	-34987.130	-6029.196	2.924	-34987.140	-6029.137	2.929	0.010	0.059	0.059	0.005	調整	
19	M019	-34993.015	-6006.079	2.827	-34992.990	-6006.023	2.816	0.025	0.056	0.061	0.011	点検	
20	M020	-35001.261	-5973.456	2.702	-35001.255	-5973.397	2.705	0.006	0.059	0.060	0.003	調整	
21	M021	-35003.342	-5963.491	2.676	-35003.335	-5963.424	2.684	0.007	0.067	0.067	0.008	点検	
22	M022	-35013.159	-5924.900	2.597	-35013.154	-5924.880	2.617	0.005	0.020	0.021	0.020	調整	
23	M023	-35020.902	-5895.931	2.696	-35020.898	-5895.887	2.695	0.004	0.044	0.044	0.001	調整	
24	M024	-35028.744	-5869.887	2.808	-35028.721	-5869.847	2.817	0.023	0.040	0.046	0.009	調整	
25	M025	-35033.669	-5855.559	2.840	-35033.673	-5855.524	2.892	0.004	0.035	0.035	0.052	点検	
26	M026	-35043.838	-5817.806	2.972	-35043.841	-5817.769	2.983	0.003	0.037	0.038	0.011	調整	
27	M027	-35051.527	-5788.999	2.969	-35051.506	-5789.001	2.804	0.021	0.002	0.021	0.165	点検	
28	M028	-35060.188	-5758.218	3.144	-35060.178	-5758.202	3.152	0.010	0.016	0.019	0.008	調整	
								点数	14		14		
								最大値	0.077		0.165		
								最小値	0.019		0.001		
								平均値	0.045		0.030		
								RMS誤差	0.048		0.054		

表 4.1.7.8 調整処理精度管理表(C1-T2 丸の内(3))

No.	点名	標定点			補正座標			差				標定点の用途	備考
		X	Y	H	X	Y	H	dX	dY	dXY	dH		
15	M029	-35075.551	-5709.629	3.455	-35075.561	-5709.604	3.461	0.010	0.025	0.027	0.006	調整	
16	M030	-35085.297	-5672.095	3.546	-35085.296	-5672.089	3.547	0.001	0.006	0.006	0.001	調整	
17	M031	-35086.383	-5661.760	3.544	-35086.454	-5661.697	3.580	0.071	0.063	0.095	0.036	点検	
18								0.000	0.000	0.000	0.000		
19								0.000	0.000	0.000	0.000		
20								0.000	0.000	0.000	0.000		
21								0.000	0.000	0.000	0.000		
22								0.000	0.000	0.000	0.000		
23								0.000	0.000	0.000	0.000		
24								0.000	0.000	0.000	0.000		
25								0.000	0.000	0.000	0.000		
26								0.000	0.000	0.000	0.000		
27								0.000	0.000	0.000	0.000		
28								0.000	0.000	0.000	0.000		
								点数	3		3		
								最大値	0.095		0.036		
								最小値	0.000		0.000		
								平均値	0.009		0.003		
								RMS誤差	0.057		0.021		

4.2 位置精度の評価

4.2.1 位置情報の評価手法

4.2.1.1 評価用データについて

評価用データとは、MMS で取得した自己位置(付属アンテナ位置)をリファレンスとし、各受信機で得られた位置情報と比較して、得られる各種差分を纏めたものである。評価用データファイル(.csv)のフォーマットは表 4.2.1 で定める。

表 4.2.1 評価用データのフォーマット表

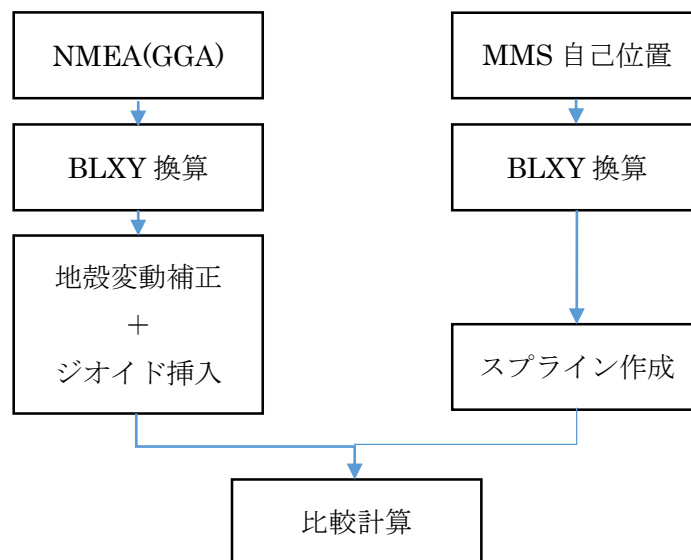
列	内容	単位
1	UTC 時刻	hhmmss
2	リファレンス X 座標(平面直角座標系 9 系)	m
3	リファレンス Y 座標(平面直角座標系 9 系)	m
4	リファレンス標高(H)	m
5	比較対象 X 座標(平面直角座標系 9 系)	m
6	比較対象 Y 座標(平面直角座標系 9 系)	m
7	比較対象標高(H)	m
8	リファレンスと比較対象の X 座標の差分	m
9	リファレンスと比較対象の Y 座標の差分	m
10	リファレンスと比較対象の標高(H)の差分	m
11	リファレンスと比較対象の進行方向差分	m
12	リファレンスと比較対象の左右方向差分	m
13	リファレンスと比較対象の水平方向距離差分	m
14	推定速度	m/s
15	GPS Quality indicator	
16	Number of satellites in use	
17	HDOP	

注意：差分は比較対象の値からリファレンスの値を引いたものとする。

注意：表 4.2.1 の列 11、12 は進行方向を Y 軸とする測量系直交座標での値とする。

4.2.1.2 評価用データ計算方法

表 4.2.2 計算フロー



- **BLXY 換算**

平面直角座標系で比較するために、GGA センテンスの緯経度から XY 値へ換算する必要がある。計算式は国土地理院の測量計算サイト「平面直角座標への換算」に準拠する。

- **地殻変動補正とジオイド挿入**

AT パラメータ（アイサン独自のパラメータ：後述）を使用し、計測時の座標から測地成果 2011 元期へ変換する。ジオイドの挿入は地殻変動補正後の XY 値からその地点でのジオイドを求め、標高の地殻変動補正前の値に計算で求めたジオイドを差し替えて、その後、標高の変動補正值を加える。ジオイドの計算は国土地理院「日本のジオイド 2011 (Ver.1)」に準拠する。

注意：CMAS は地殻変動補正、ジオイド挿入を行っていない。

注意：MADOCA-PPP はジオイド挿入を行っていない。

AT パラメータ

変換する点の近傍における電子基準点の移動量（F3 解）を用いて、逆距離加重法（Inverse Distance Weighting : IDW）で補正を掛けたものである。本実験では、リファレンスの XY 値の中心から半径 30km 圏内の電子基準点を用いて計算している。

- **スプライン作成**

受信機の位置情報と同時刻のリファレンスを決定するための補間方法として、X, Y, 標高 H ごとに、時間をパラメータとした自然な 3 次スプライン曲線を採用する。

- **比較計算**

比較計算は以下の手順①～⑤で計算する：

- ① GGA センテンスの UTC 時刻と同時刻のリファレンスと MMS の進行方向を決定する。
- ② 各アンテナのオフセット量を加える。
- ③ リファレンスから見た比較対象との X, Y, 標高 H の平面直角座標系における差分を求める。
- ④ 進行方向をリファレンスの（時刻が）連続する 2 点の差分ベクトルとして求める。
- ⑤ ②を進行方向と左右方向に成分分解した値（進行方向差分、左右方向誤差）を求める。
- ⑥ リファレンスと比較対象の水平方向での距離を求める。
- ⑦ エポック間における MMS の推定速度を求める。

第5章 解析評価結果および考察

5.1 総合評価

総合評価においては、自動走行および走行支援を考慮し、リファレンスとなる MMS の自己位置との進行方向における左右の誤差に注目して実施している。

左右誤差の検出方法は、10Hz で取得したリファレンス座標を、三次元区間曲線を用いて補完したしたうえに、各受信機で得られた位置情報を時刻同期することで行っている。

5.1.1 評価対象の受信機および測位方式

5.1.1.1 コード測位受信機の評価

同時に利用できる衛星システムの制約等により、マルチ GNSS の評価には 2 種類の受信機を使用している。

GPS、GPS+QZSS、GPS+GLONASS および GPS+QZSS+GLONASS は同じ受信機を利用し、あと解析により利用衛星を変えて計算を行っている。

GPS+QZSS+BeiDou は上記とは別のコード測位受信機を利用している。このため、GPS+QZSS+BeiDou と他の衛星システムの比較の際は、受信機自体の性能差を含むことに留意する必要がある。

5.1.1.2 高精度受信機を用いたコード測位の評価

高精度受信機で取得したデータを利用し、後処理によるコード測位計算を実施している。様々な処理の入るコード測位受信機に対して、衛星測位そのものの実力値を知ることが可能となる。

また、L1-SAIF により補強に関しても評価している。

5.1.1.3 高精度測位方式の評価

高精度測位の評価対象として、RTK のほか、MADOCA-PPP および CMAS による測位結果を評価対象としている。CMAS については、現状衛星経由で 17 秒程度を要する伝送遅延を、後処理で仮想的に 8 秒程度に短縮して処理を行った。

5.1.2 走行コースごとの総合評価

5.1.2.1 都心一般道（1回目）

遮蔽物およびマルチパスの発生個所の多い都心一般道においてはマルチ GNSS を利用することで、従来の GPS のみの衛星測位と比較し測位率の改善及び測位精度の改善の評価を行った。

5.1.2.1.1. コード測位

計測情報

測位方式：コード測位（後処理）

補強方式：L1-SAIF

計測経路：都心一般道（コース1）

計測時刻：2014/12/13 3:00:00 ~ 4:06:12（UTC）

使用機材：受信機：NovAtel

アンテナ：NovAtel／Roof設置（MMSと同一）

取得衛星システム：GPS／GPS+QZSS／GPS+GLONASS／GPS+QZSS+GLONASS
／GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou

左右方向誤差MAP

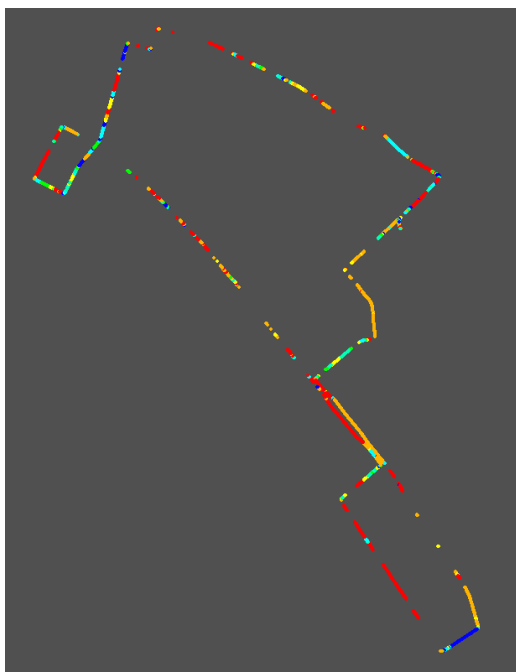
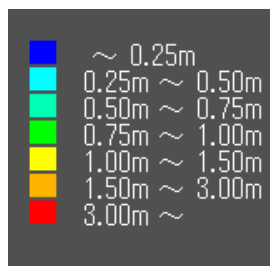


図 5.1 左右方向誤差MAP
都心一般道／1回目
GPS

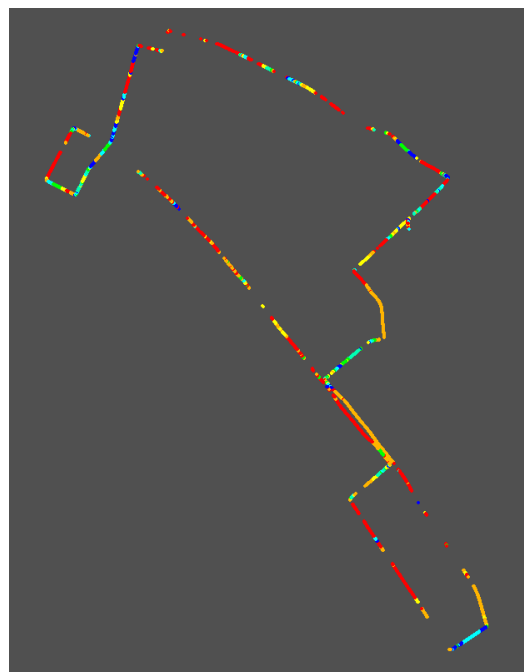


図 5.2 左右方向誤差MAP
都心一般道／1回目
GPS+QZSS

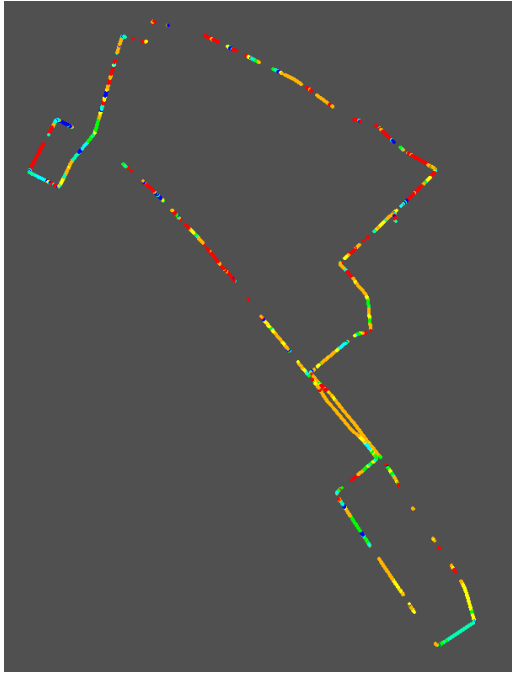


図 5.3 左右方向誤差 MAP
都心一般道／1回目
GPS+GLONASS

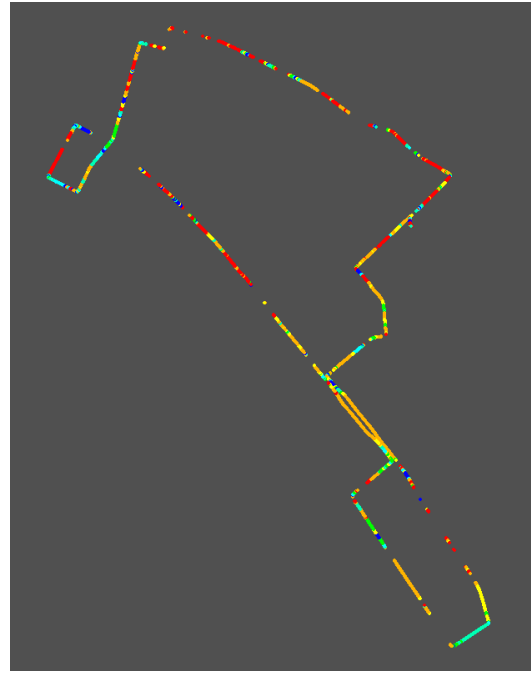


図 5.4 左右方向誤差 MAP
都心一般道／1回目
GPS+QZSS+GLONASS

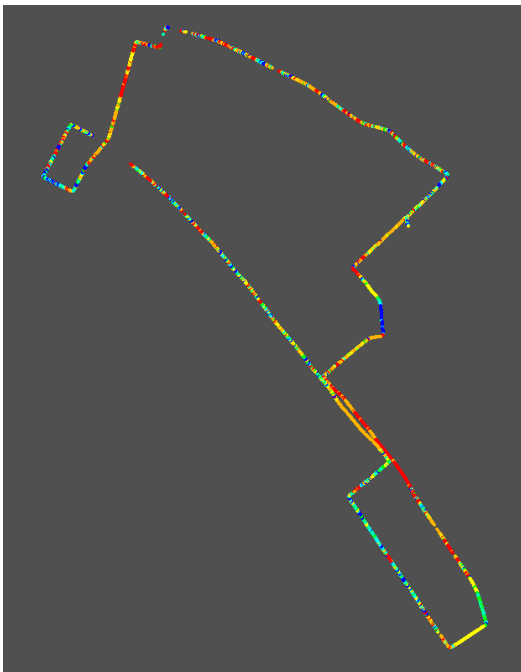


図 5.5 左右方向誤差 MAP
都心一般道／1回目
GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou

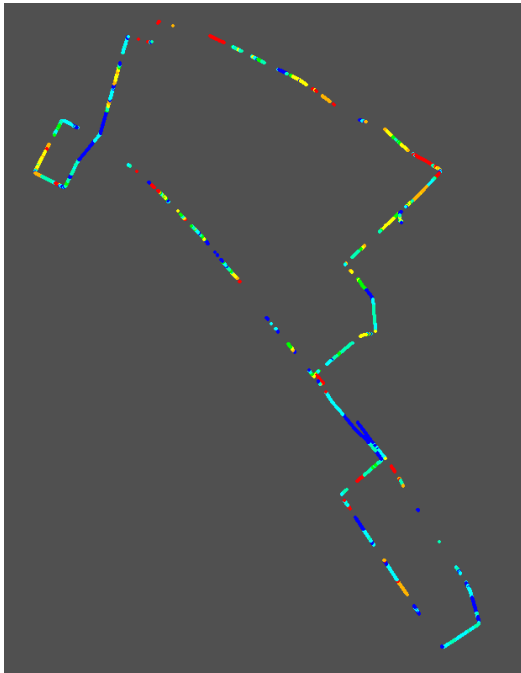


図 5.6 左右方向誤差 MAP
都心一般道／1 回目
【L1-SAIF】 GPS

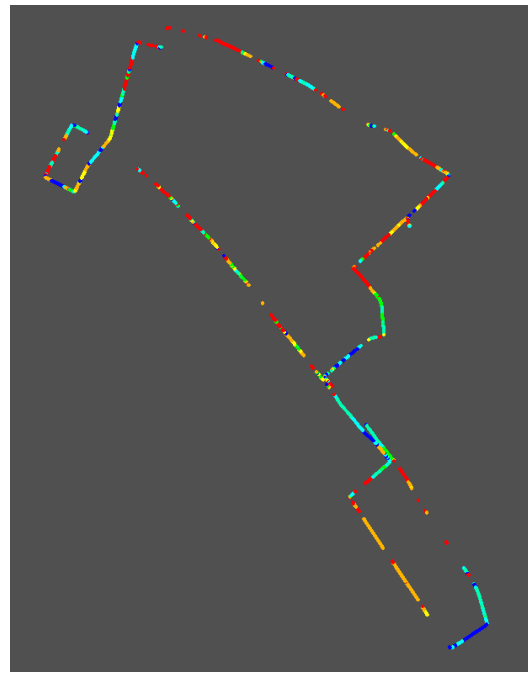


図 5.7 左右方向誤差 MAP
都心一般道／1 回目
【L1-SAIF】 GPS+QZSS

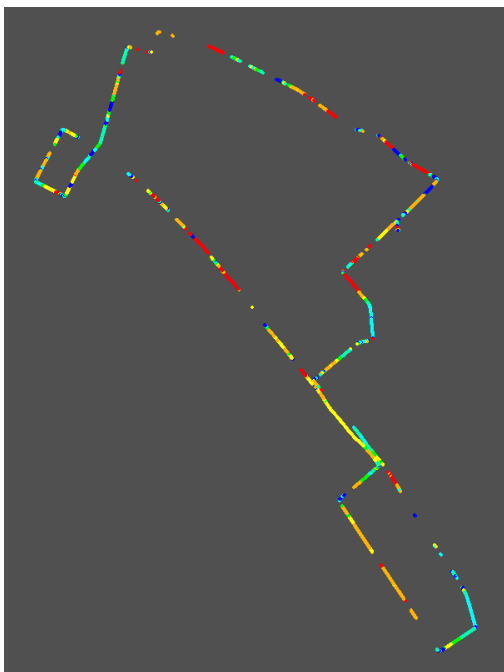


図 5.8 左右方向誤差 MAP
都心一般道／1 回目
【L1-SAIF】 GPS+GLONASS

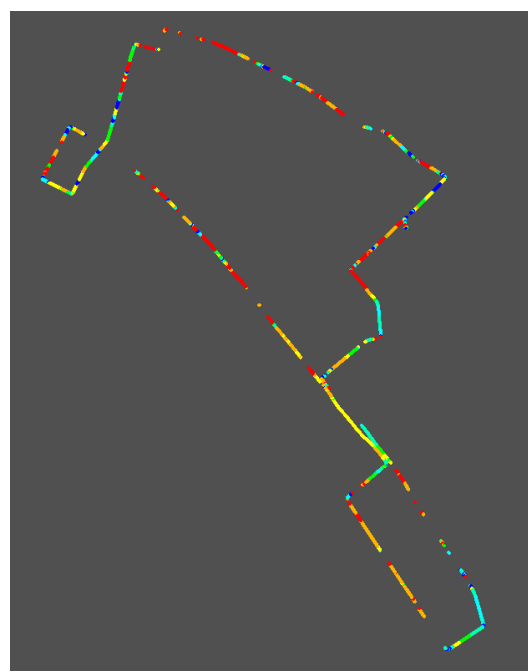


図 5.9 左右方向誤差 MAP
都心一般道／1 回目
【L1-SAIF】 GPS+QZSS+GLONASS

推移グラフ

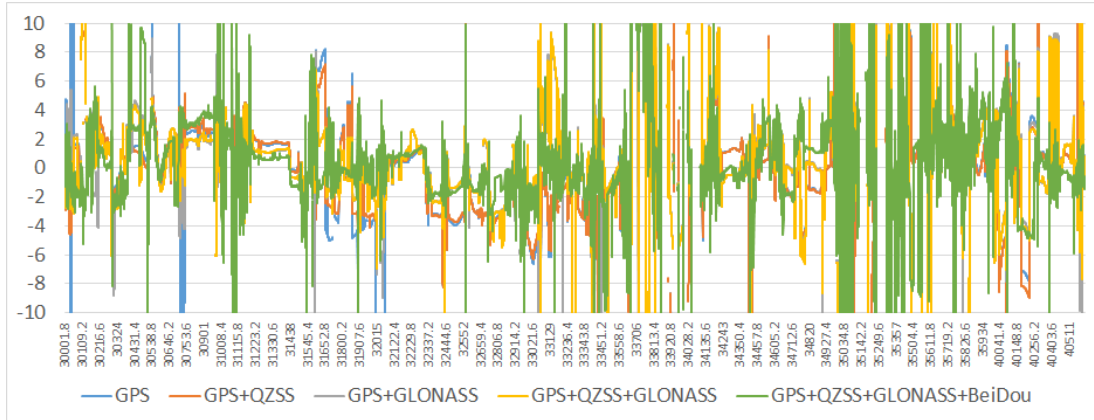


図 5.10 左右方向誤差の推移：都心一般道／1 回目

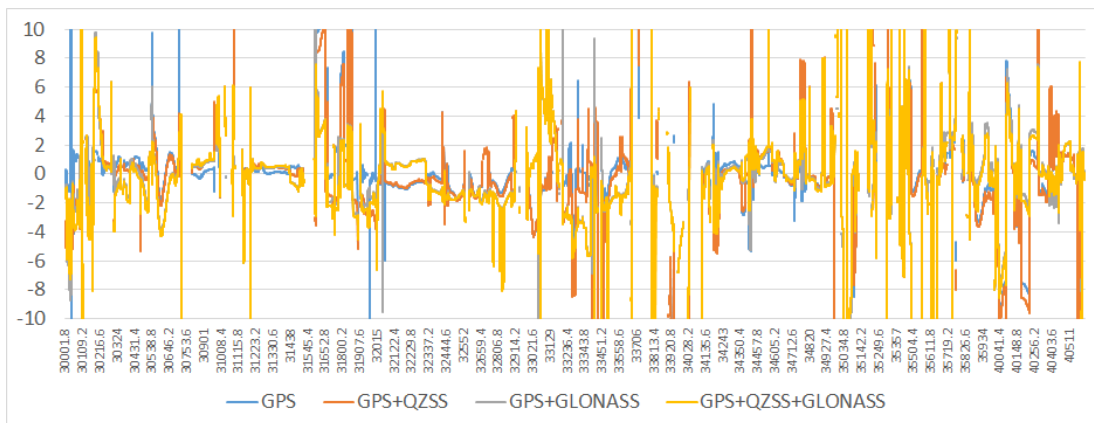


図 5.11 左右方向誤差の推移：都心一般道／1 回目【L1-SAIF】

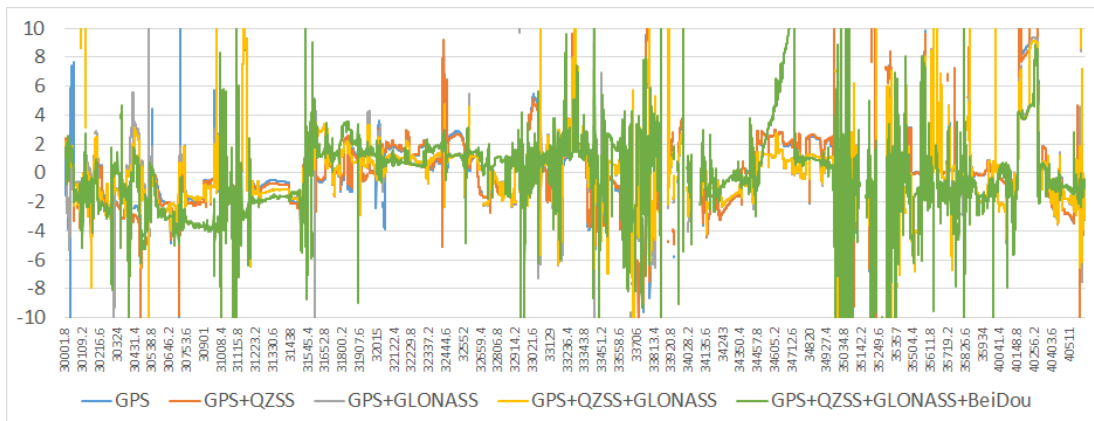


図 5.12 進行方向誤差の推移：都心一般道／1 回目

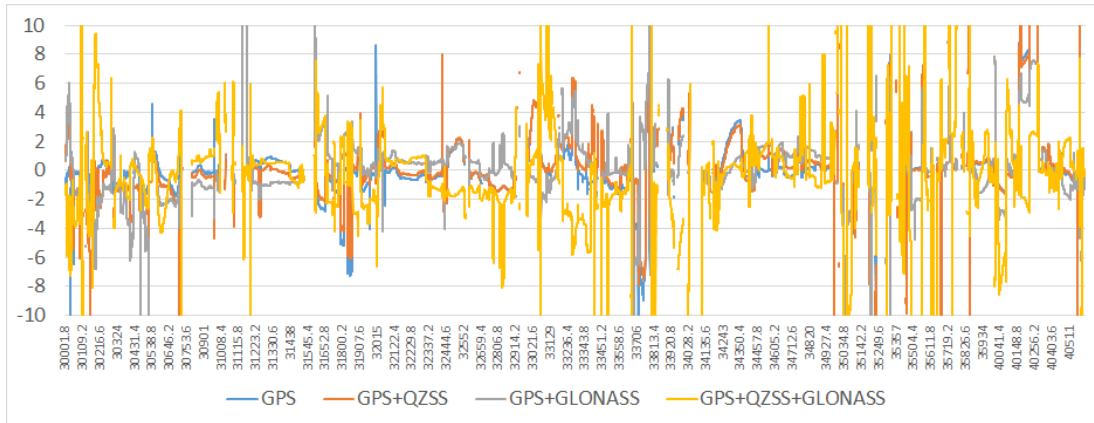


図 5.13 進行方向誤差の推移：都心一般道／1 回目【L1-SAIF】

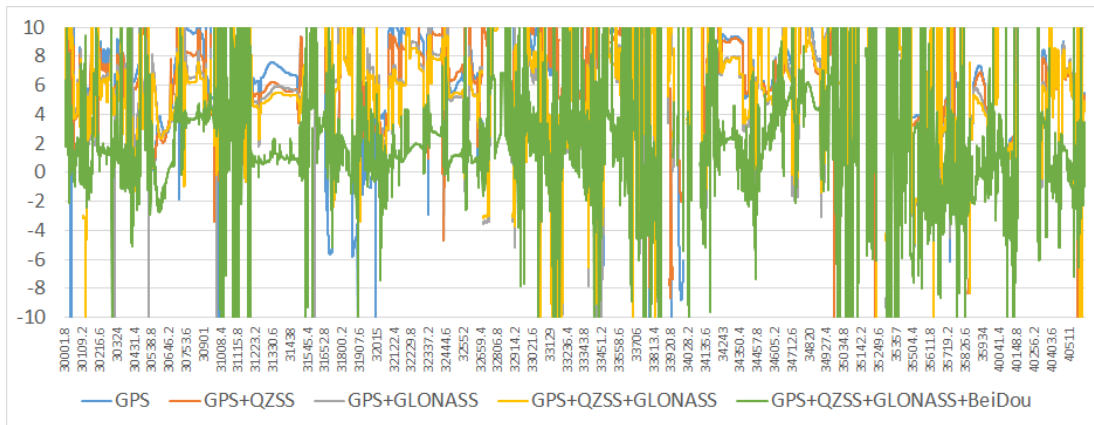


図 5.14 高さ方向誤差の推移：都心一般道／1 回目

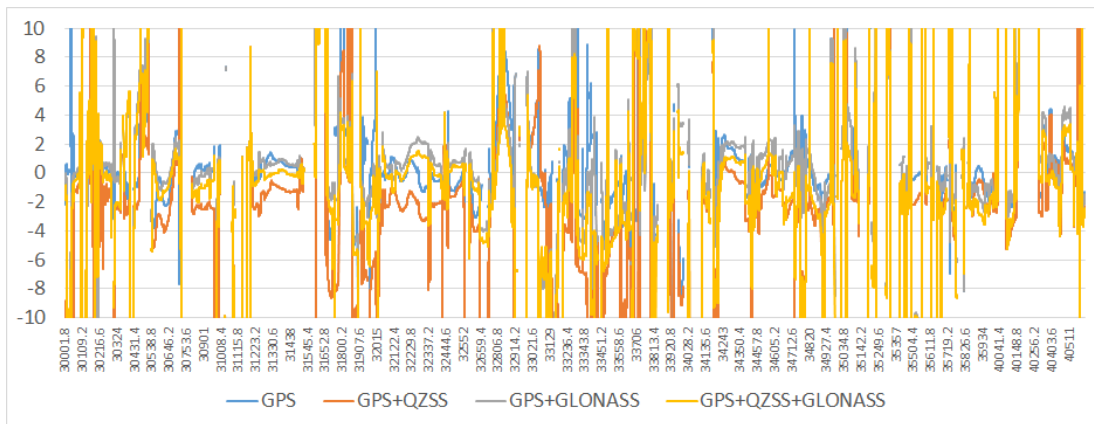


図 5.15 高さ方向誤差の推移：都心一般道／1 回目【L1-SAIF】

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

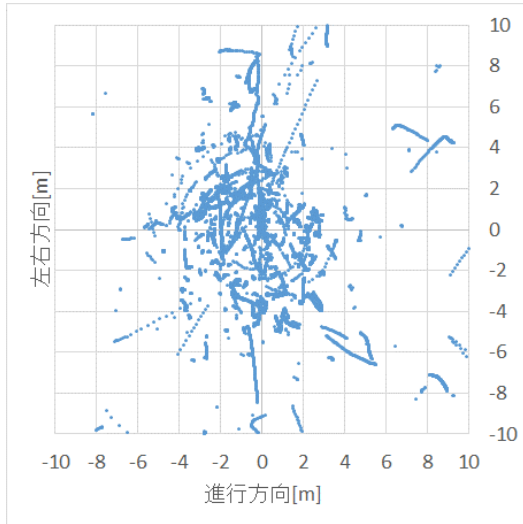


図 5.16 誤差分布
都心一般道／1 回目
GPS

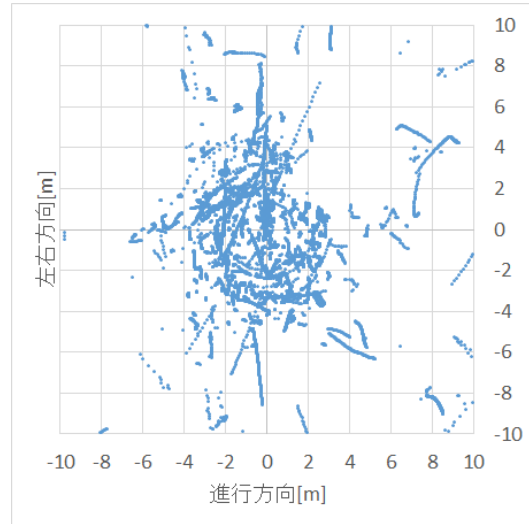


図 5.17 誤差分布
都心一般道／1 回目
GPS+QZSS

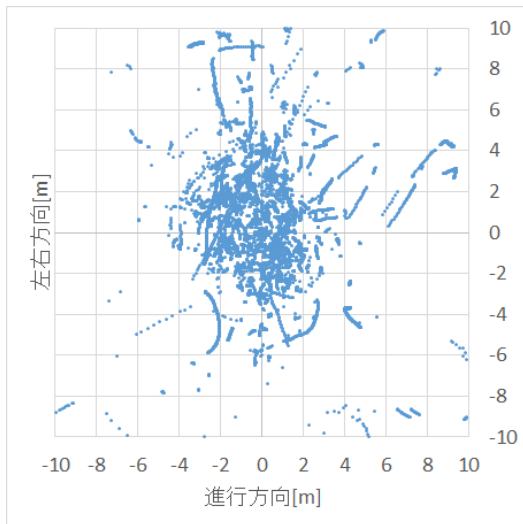


図 5.18 誤差分布
都心一般道／1 回目
GPS+GLONASS

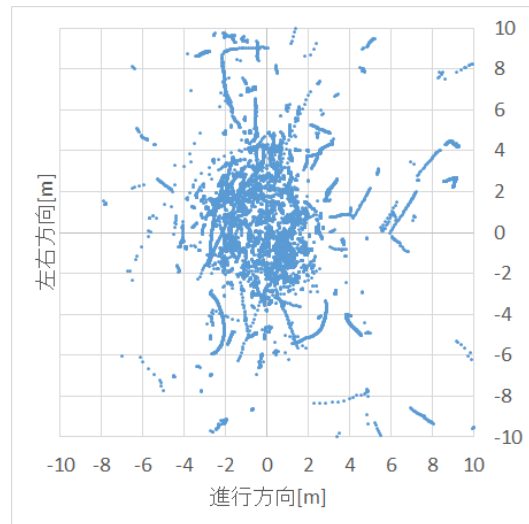


図 5.19 誤差分布
都心一般道／1 回目
GPS+QZSS+GLONASS

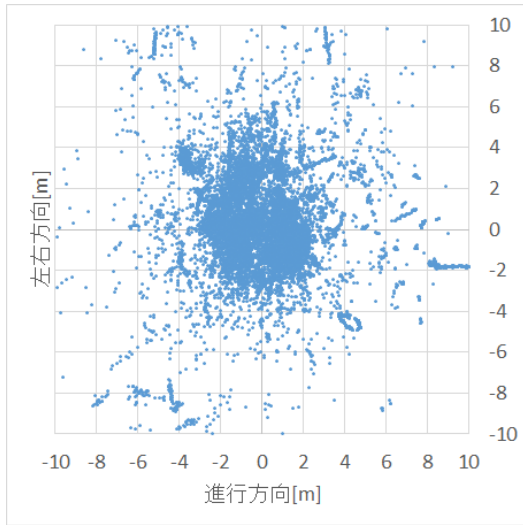


図 5.20 誤差分布
都心一般道／1 回目
GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou

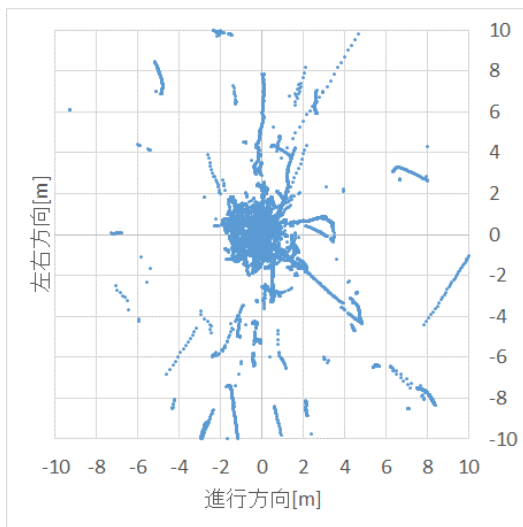


図 5.21 誤差分布
都心一般道／1 回目
【L1-SAIF】GPS

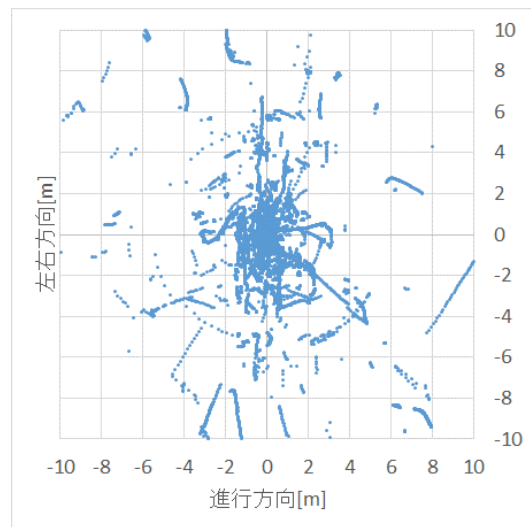


図 5.22 誤差分布
都心一般道／1 回目
【L1-SAIF】GPS+QZSS

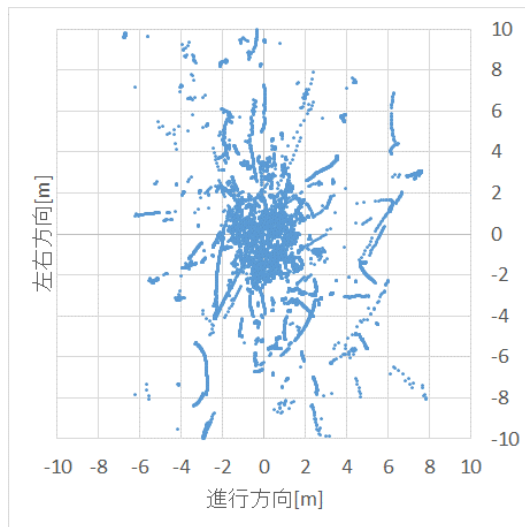


図 5.23 誤差分布
都心一般道／1 回目
【L1-SAIF】GPS+GLONASS

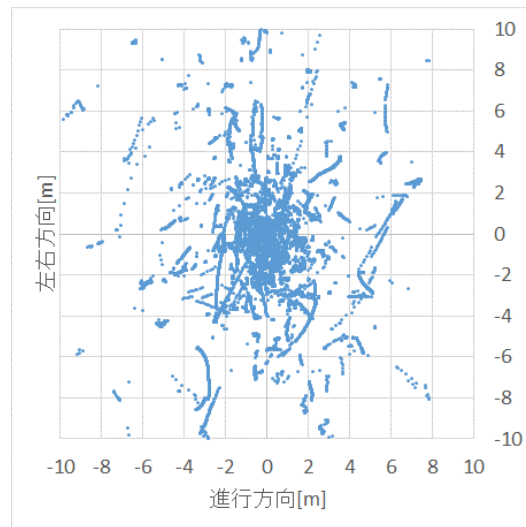


図 5.24 誤差分布
都心一般道／1 回目
【L1-SAIF】GPS+QZSS+GLONASS

誤差のヒストグラム

表 5.1 左右誤差発生数：都心一般道／1 回目

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+GLONASS	GPS+QZSS+ GLONASS	GPS+QZSS+ GLONASS+BeiDou
0.25	857	911	931	1058	1814
0.50	1311	1075	1020	1097	1536
0.75	1165	1234	1533	1572	1928
1.00	756	972	1292	1364	1565
1.25	984	1074	1579	1289	1348
1.50	917	1148	1203	1344	1603
1.75	1370	1238	1124	1271	1310
2.00	568	720	965	1003	1069
2.25	401	484	721	854	471
2.50	539	463	689	717	446
2.75	501	711	514	517	557
3.00	411	612	473	389	570
3.25	518	804	467	381	555
3.50	409	717	225	276	473

3.75	488	595	260	201	385
4.00	519	256	177	199	275
4.25	196	224	224	309	240
4.50	257	240	274	225	203
4.75	230	202	192	134	192
5.00	217	158	174	241	167
5m 以上	2467	2629	2234	2451	1872
unfix	4770	3384	3580	2959	1272

表 5.2 左右誤差発生数：都心一般道／1 回目【L1-SAIF】

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+GLONASS	GPS+QZSS+GLONASS
0.25	2745	1874	1364	1330
0.50	2300	2371	2207	1893
0.75	2464	2062	1868	1859
1.00	1430	1493	1379	1471
1.25	1476	941	1223	1033
1.50	738	1052	1121	1111
1.75	485	856	1000	786
2.00	245	487	623	934
2.25	125	337	763	635
2.50	151	256	449	713
2.75	97	315	327	552
3.00	120	233	436	437
3.25	125	186	339	264
3.50	87	193	389	289
3.75	46	166	205	292
4.00	78	192	131	173
4.25	89	184	122	189
4.50	85	100	103	120
4.75	35	59	65	98
5.00	43	108	90	76
5m 以上	1911	2791	1938	2528
unfix	4976	3595	3709	3068

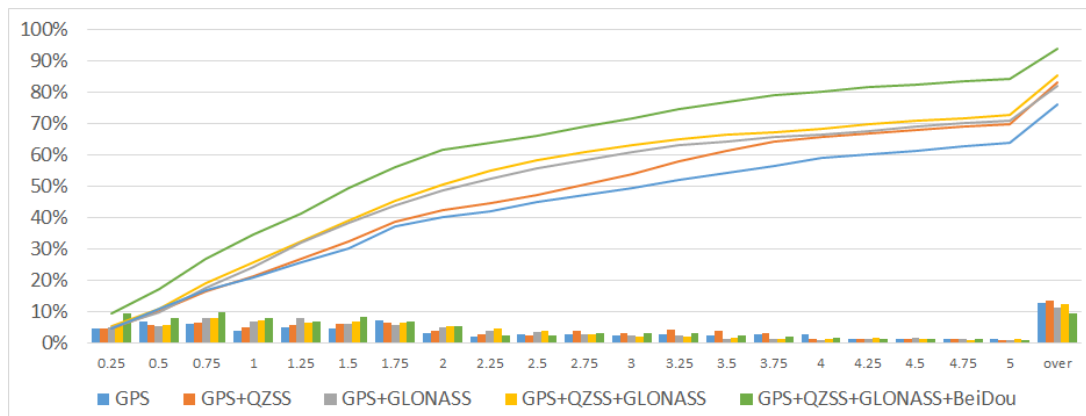


図 5.25 左右誤差ヒストグラム：都心一般道／1 回目

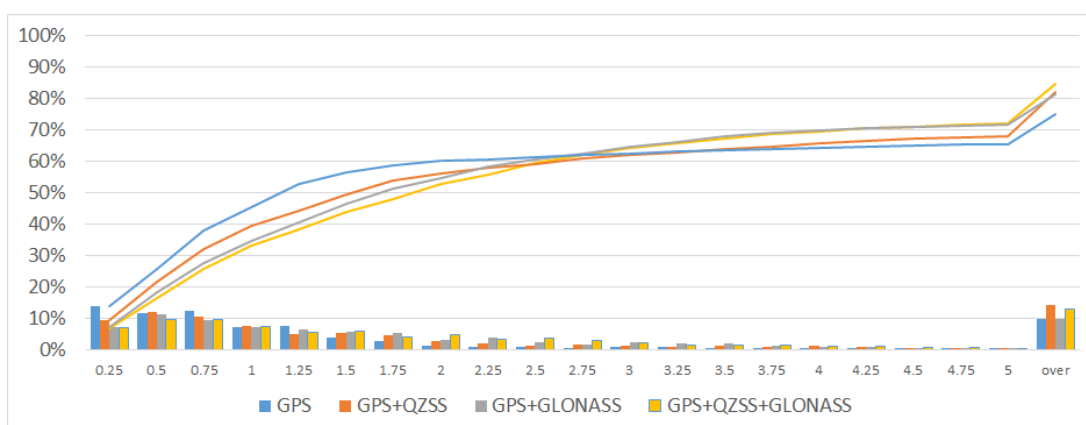


図 5.26 左右誤差ヒストグラム：都心一般道／1 回目 【L1-SAIF】

5.1.2.1.2. コード測位受信機

計測情報

測位方式：コード測位

補強方式：SBAS※GPS+QZSS+BeiDouのみ使用

計測経路：都心一般道（コース1）

計測時刻：2014/12/13 3:00:00 ～ 4:06:12 (UTC)

使用機材：受信機：コード測位受信機

アンテナ：Roof 設置

取得衛星システム：

GPS／GPS+QZSS／GPS+GLONASS／GPS+QZSS+GLONASS

GPS+QZSS+BeiDou

左右方向誤差 MAP

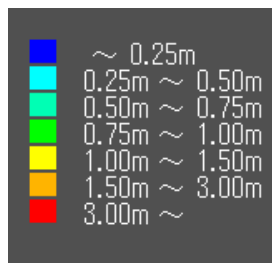


図 5.27 左右方向誤差 MAP
都心一般道／1回目
GPS

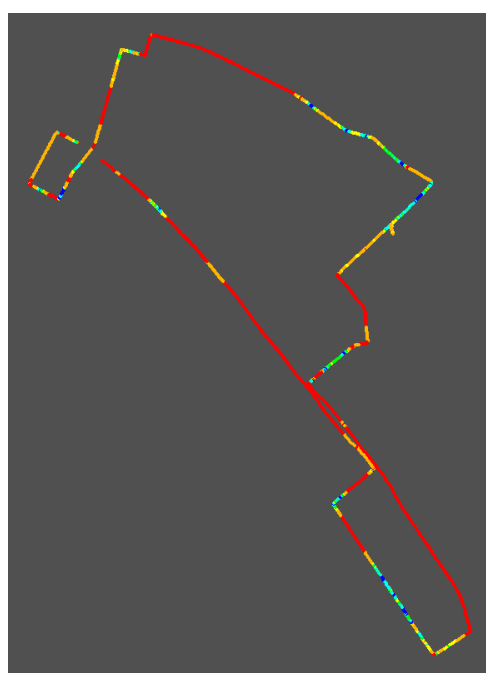


図 5.28 左右方向誤差 MAP
都心一般道／1回目
GPS+QZSS



図 5.29 左右方向誤差 MAP
都心一般道／1回目
GPS+GLONASS



図 5.30 左右方向誤差 MAP
都心一般道／1回目
GPS+QZSS+GLONASS



図 5.31 左右方向誤差 MAP
都心一般道／1回目
【SBAS】GPS+QZSS+BeiDou

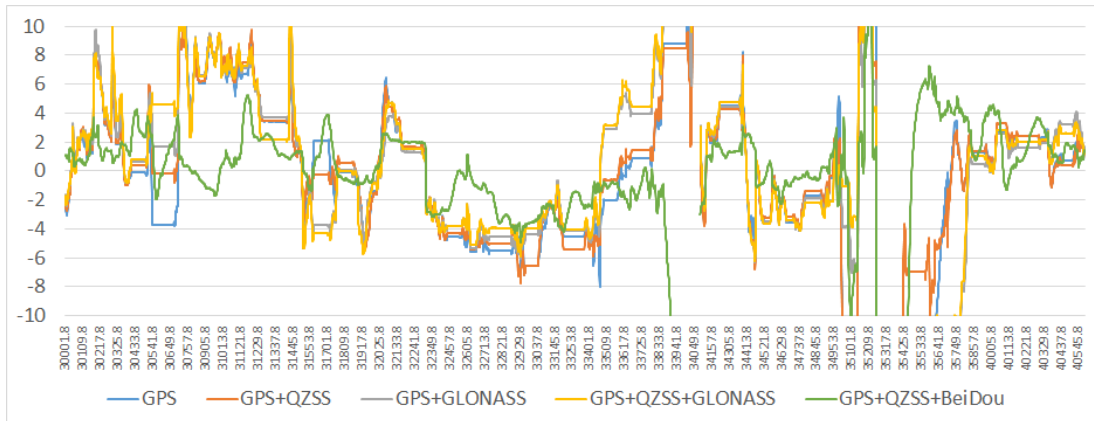


図 5.32 左右方向誤差の推移：都心一般道／1 回目

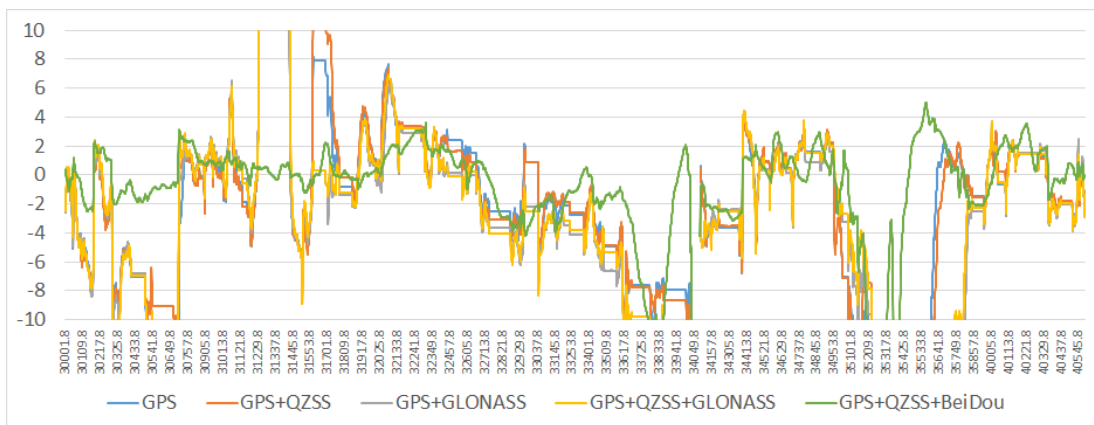


図 5.33 進行方向誤差の推移：都心一般道／1 回目

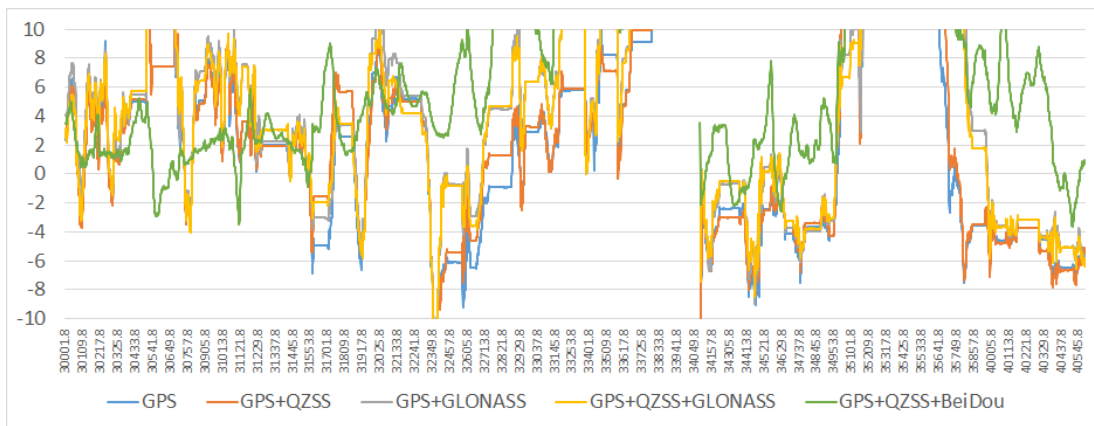


図 5.34 高さ方向誤差の推移：都心一般道／1 回目

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

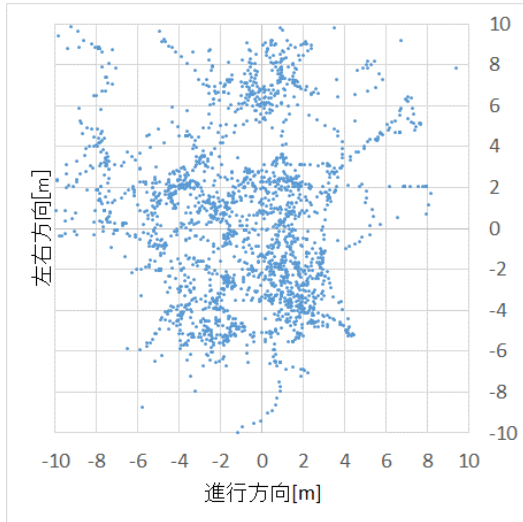


図 5.35 誤差分布
都心一般道／1回目
GPS

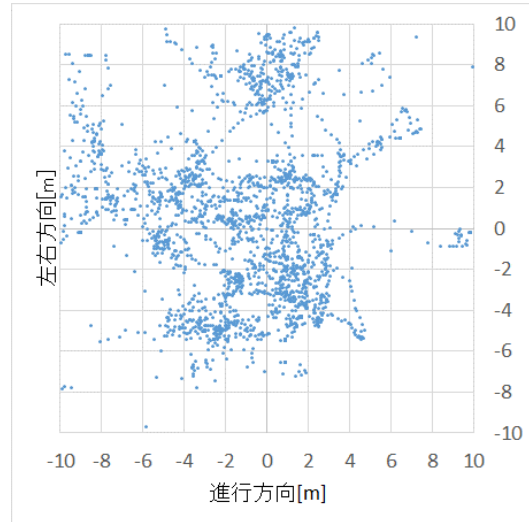


図 5.36 誤差分布
都心一般道／1回目
GPS+QZSS

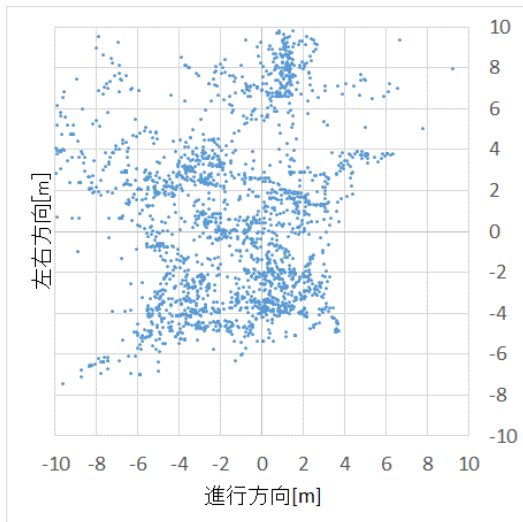


図 5.37 誤差分布
都心一般道／1回目
GPS+GLONASS

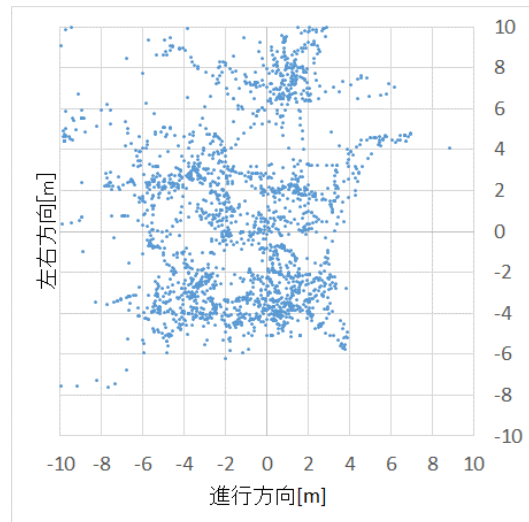


図 5.38 誤差分布
都心一般道／1回目
GPS+QZSS+GLONASS

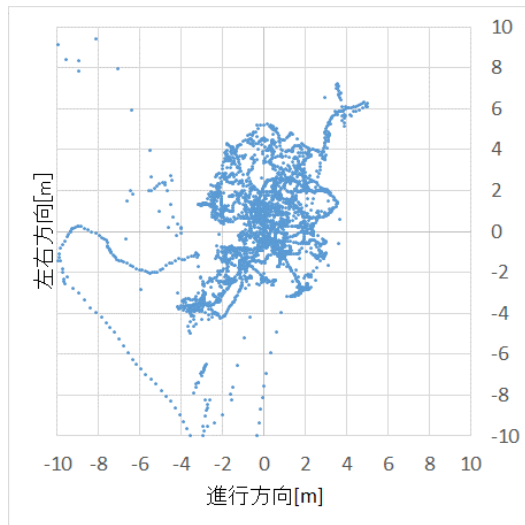


図 5.39 誤差分布
都心一般道／1 回目
【SBAS】GPS+QZSS+BeiDou

誤差のヒストグラム

表 5.3 左右誤差発生数：都心一般道／1 回目

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+GLONASS	GPS+QZSS+ GLONASS	【SBAS】 GPS+QZSS+BeiDou
0.25	180	214	119	117	205
0.50	95	213	115	60	265
0.75	140	221	139	69	309
1.00	174	106	57	125	398
1.25	71	74	53	119	370
1.50	166	271	143	55	321
1.75	221	174	232	120	169
2.00	108	105	163	171	229
2.25	239	132	118	305	187
2.50	216	196	100	117	228
2.75	80	91	146	161	149
3.00	103	73	150	124	108
3.25	109	121	117	155	112
3.50	184	205	156	138	95

3.75	184	75	252	104	118
4.00	56	55	293	287	122
4.25	54	128	141	180	73
4.50	84	135	172	213	49
4.75	251	75	156	240	33
5.00	56	90	58	39	23
5m 以上	1177	1194	1068	1049	379
unfix	22	22	22	22	28

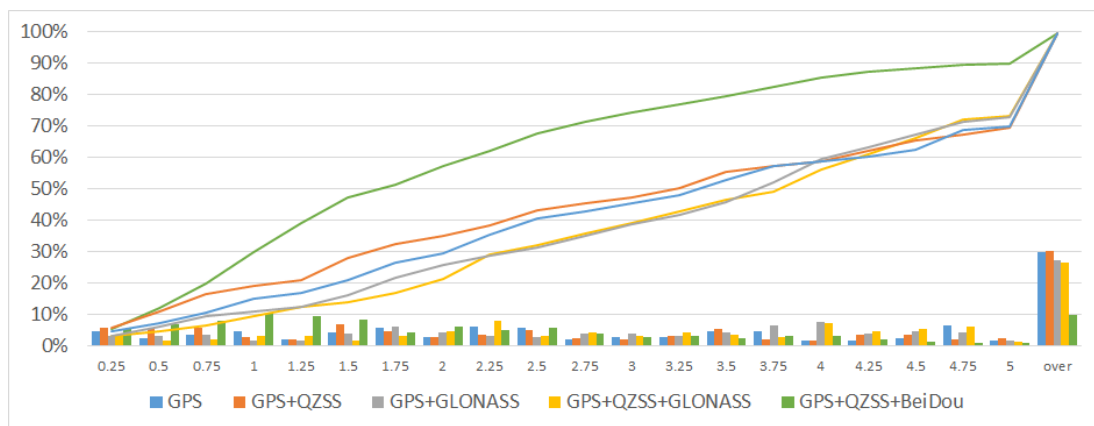


図 5.40 左右誤差ヒストグラム：都心一般道／1回目

5.1.2.1.3. 搬送波位相測位 (RTK)

計測情報

測位方式：搬送波位相測位 (RTK)

補強方式：

計測経路：都心一般道 (コース 1)

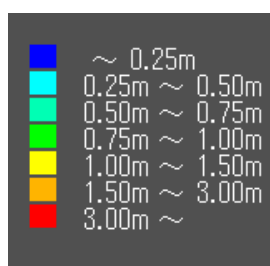
計測時刻：2014/12/13 3:00:00 ~ 4:06:12 (UTC)

使用機材：受信機：Trimble

アンテナ：NovAtel／Roof 設置 (MMS と同一)

取得衛星システム：GPS+GLONASS+BeiDou

左右方向誤差 MAP



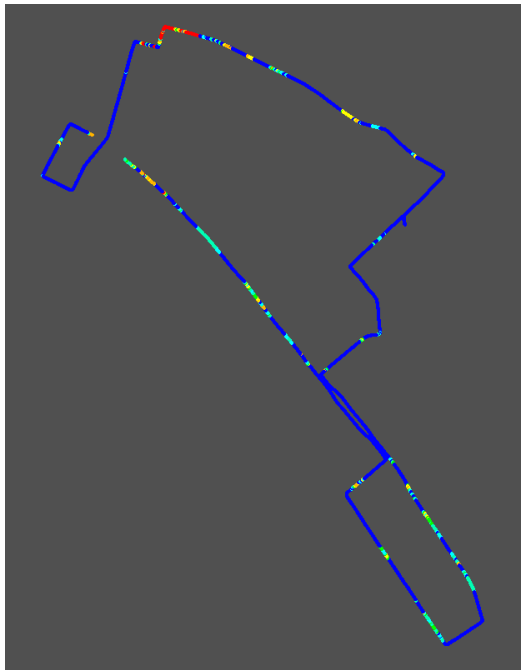


図 5.41 左右方向誤差 MAP
都心一般道／1 回目

GPS+GLONASS+BeiDou (Float+Fix)



図 5.42 左右方向誤差 MAP
都心一般道／1 回目

GPS+GLONASS+BeiDou (Fix)

推移グラフ

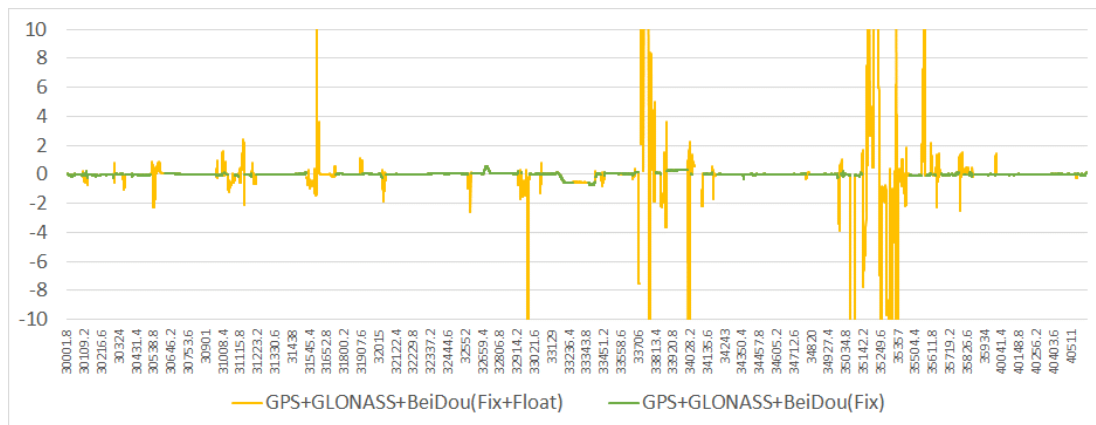


図 5.43 左右方向誤差の推移：都心一般道／1 回目

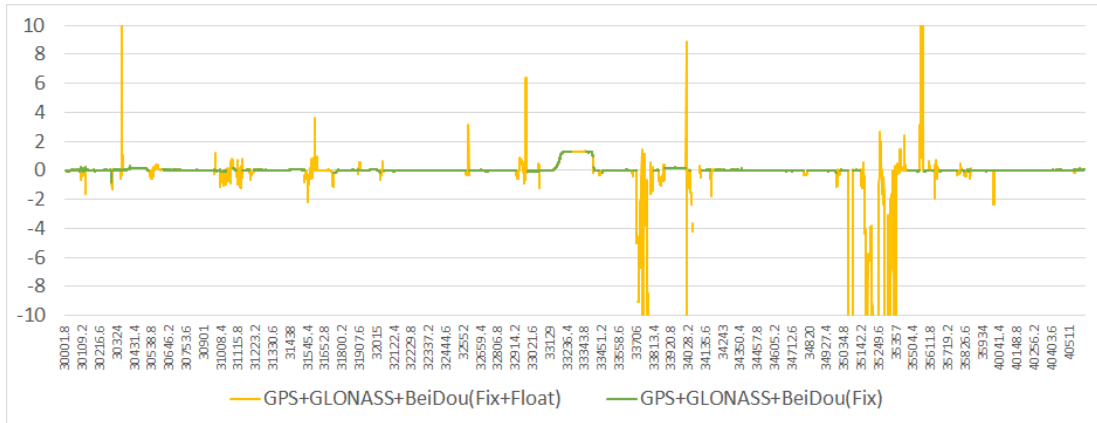


図 5.44 進行方向誤差の推移：都心一般道／1 回目

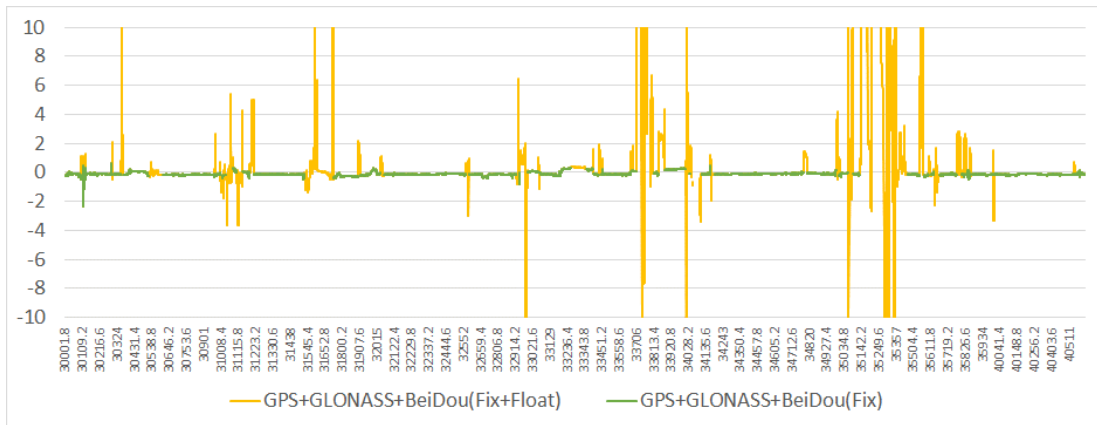


図 5.45 高さ方向誤差の推移：都心一般道／1 回目

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

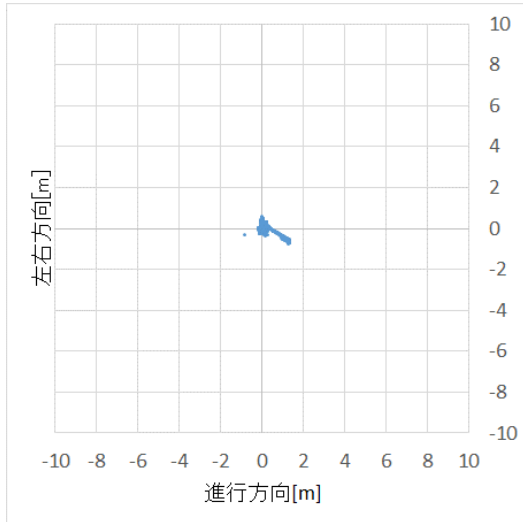


図 5.46 誤差分布
都心一般道／1回目

GPS+GLONASS+BeiDou (Float+Fix)

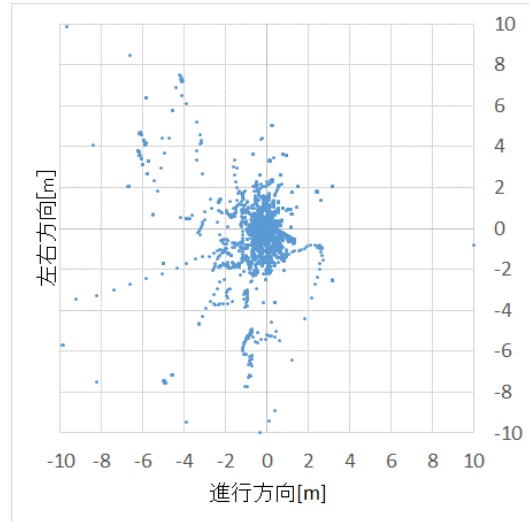


図 5.47 誤差分布
都心一般道／1回目

GPS+GLONASS+BeiDou (Fix)

誤差のヒストグラム

表 5.4 左右誤差発生数：都心一般道／1回目

誤差[m]	GPS+GLONASS+BeiDou (Float+Fix)	GPS+GLONASS+BeiDou (Fix)
0.25	15551	14206
0.50	1041	507
0.75	1079	346
1.00	274	0
1.25	203	0
1.50	187	0
1.75	137	0
2.00	96	0
2.25	91	0
2.50	29	0
2.75	27	0
3.00	14	0
3.25	25	0
3.50	29	0

3.75	48	0
4.00	11	0
4.25	21	0
4.50	30	0
4.75	20	0
5.00	5	0
5m 以上	771	0
unfix	162	4792

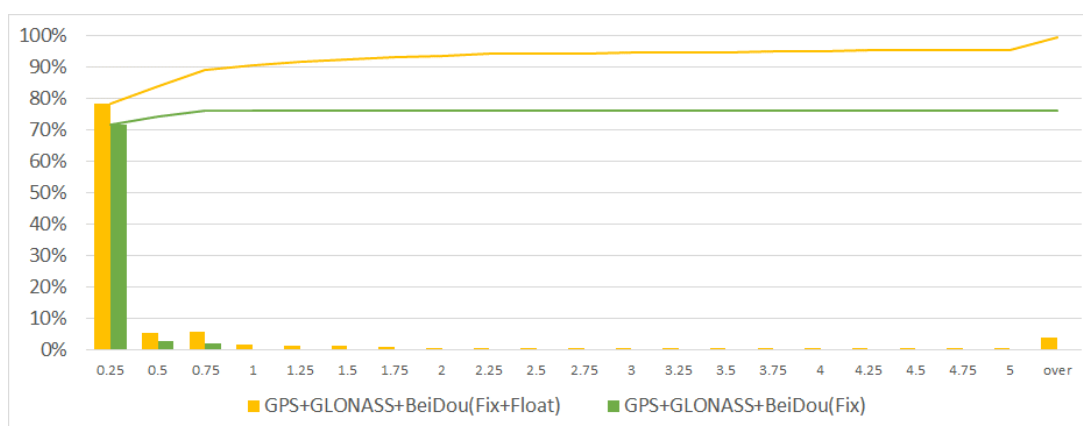


図 5.48 左右誤差ヒストグラム：都心一般道／1回目

5.1.2.1.4. CMAS

計測情報

測位方式：搬送波位相測位

補強方式：CMAS

計測経路：都心一般道（コース1）

計測時刻：2014/12/13 3:00:00 ~ 4:06:12 (UTC)

使用機材：受信機：LEXR/LEXRx

アンテナ：NovAtel/Roof 設置 (MMS と同一)

取得衛星システム：GPS/GPS+QZSS

左右方向誤差 MAP

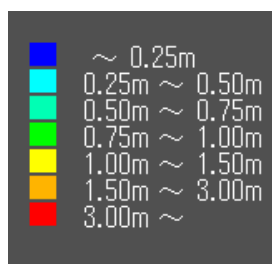




図 5.49 左右方向誤差 MAP
都心一般道／1 回目
【CMAS】 GPS

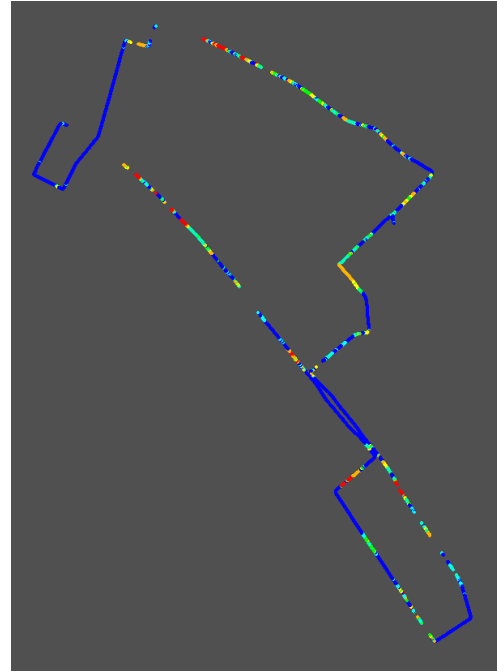


図 5.50 左右方向誤差 MAP
都心一般道／1 回目
【CMAS】 GPS+QZSS



図 5.51 左右方向誤差 MAP
都心一般道／1 回目
CMAS/GPS (Fix 解のみ)

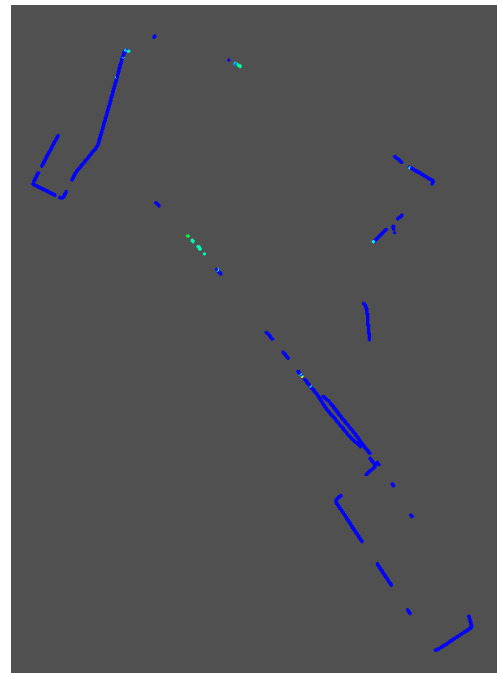


図 5.52 左右方向誤差 MAP
都心一般道／1 回目
CMAS/GPS+QZSS (Fix 解のみ)

推移グラフ

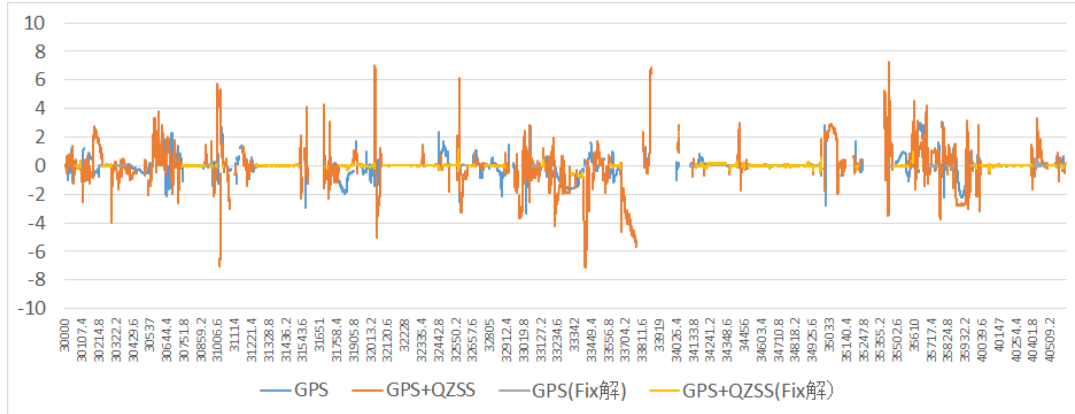


図 5.53 左右方向誤差の推移：都心一般道／1 回目【CMAS】

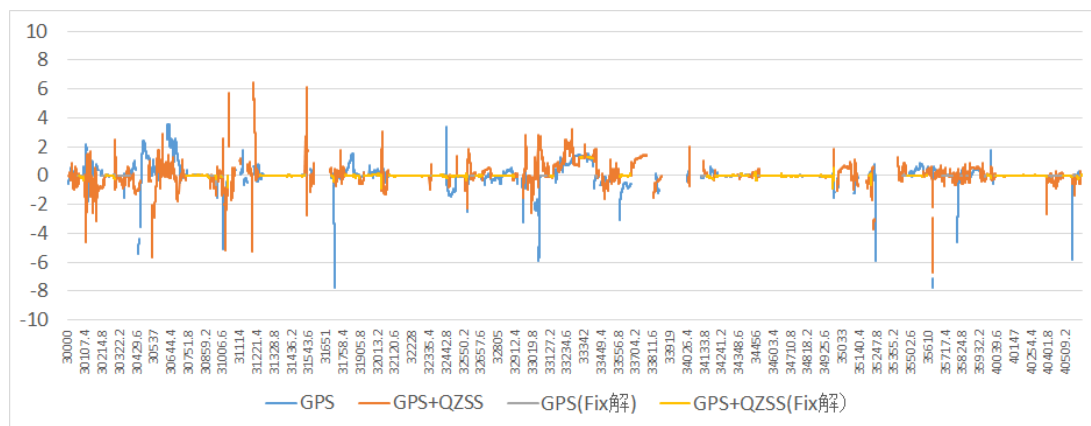


図 5.54 進行方向誤差の推移：都心一般道／1 回目【CMAS】

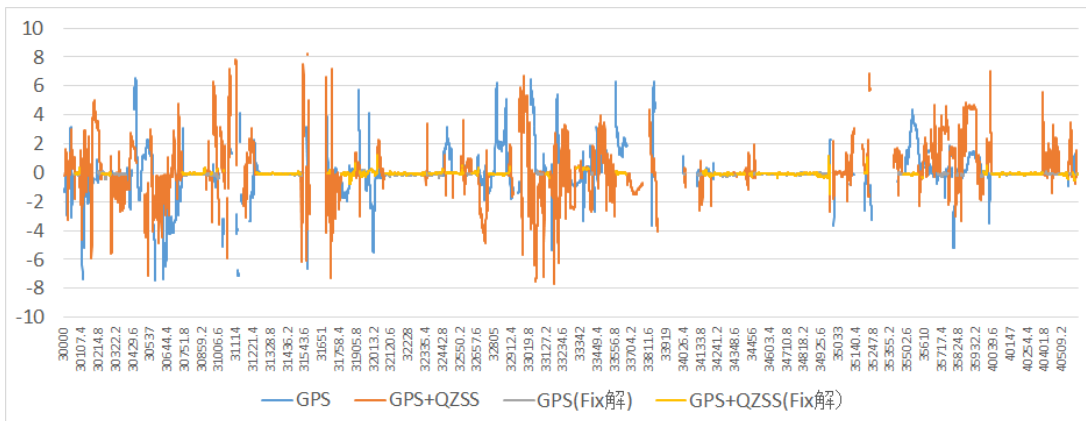


図 5.55 高さ誤差の推移：都心一般道／1 回目【CMAS】

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

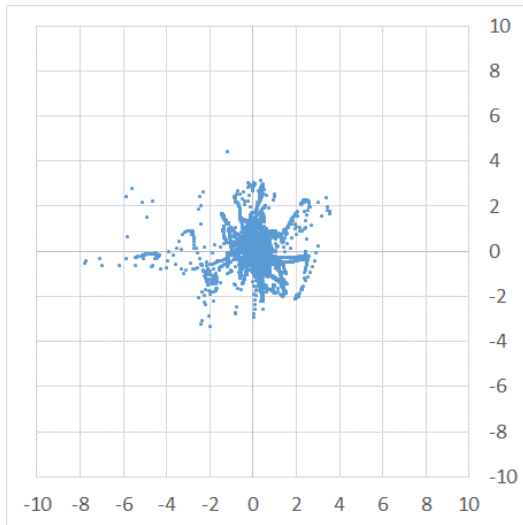


図 5.56 誤差分布
都心一般道／1回目
【CMAS】 GPS

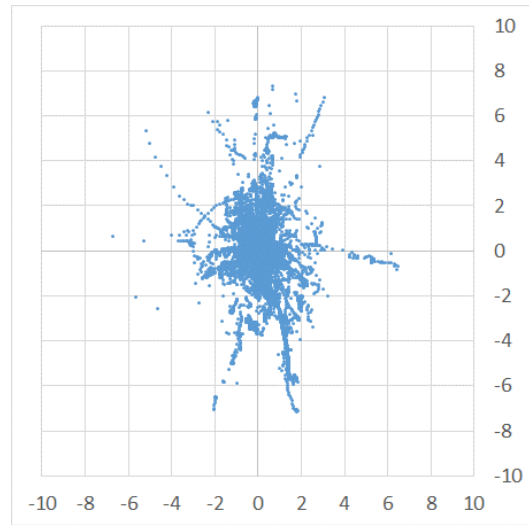


図 5.57 誤差分布
都心一般道／1回目
【CMAS】 GPS+QZSS

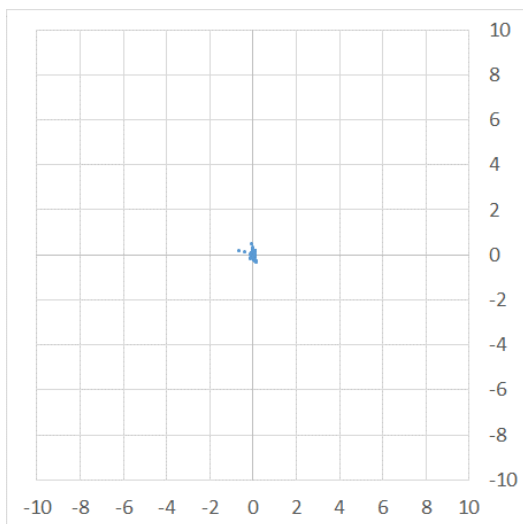


図 5.68 誤差分布
都心一般道／1回目
【CMAS】 GPS (Fix 解)

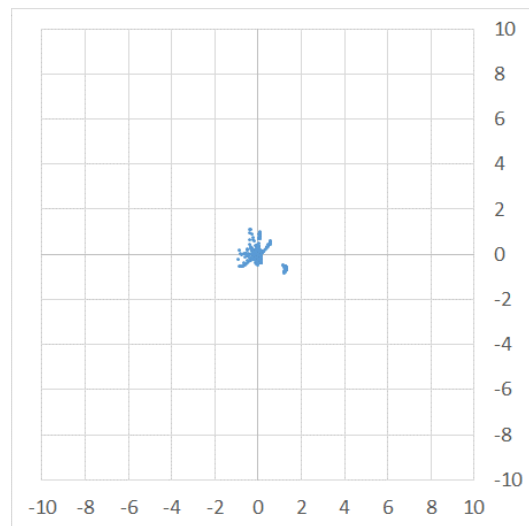


図 5.69 誤差分布
都心一般道／1回目
【CMAS】 GPS+QZSS (Fix 解)

誤差のヒストグラム

表 5.5 左右誤差発生数：都心一般道／1 回目【CMAS】

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS(Fix 解)	GPS+QZSS(Fix 解)
0.25	10793	22273	7989	16604
0.50	1340	2092	8	79
0.75	1025	2319	0	212
1.00	639	1502	0	20
1.25	410	897	0	2
1.50	383	592	0	0
1.75	391	534	0	0
2.00	186	648	0	0
2.25	116	439	0	0
2.50	37	400	0	0
2.75	33	657	0	0
3.00	35	337	0	0
3.25	4	194	0	0
3.50	2	212	0	0
3.75	0	133	0	0
4.00	0	68	0	0
4.25	0	41	0	0
4.50	1	135	0	0
4.75	0	87	0	0
5.00	0	103	0	0
5m 以上	0	283	0	0
unfix	4466	5775	11864	22804

※Fix 解の[unfix]は Float 解を含んでいます。

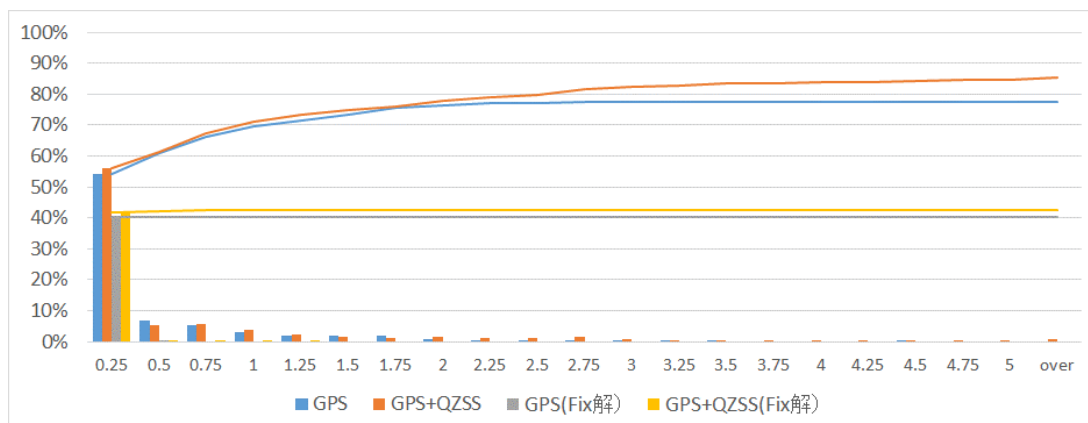


図 5.60 左右誤差ヒストグラム：都心一般道／1 回目【CMAS】

5.1.2.1.5. MADOCA-PPP

計測情報

測位方式：搬送波位相測位

補強方式：MADOCA-PPP

計測経路：都心一般道（コース1）

計測時刻：2014/12/13 3:00:00 ~ 4:06:12 (UTC)

使用機材：受信機：JAVAD

アンテナ：NovAtel/Roof 設置（MMS と同一）

取得衛星システム：GPS/GPS+QZSS/GPS+QZSS+GLONASS

左右方向誤差 MAP

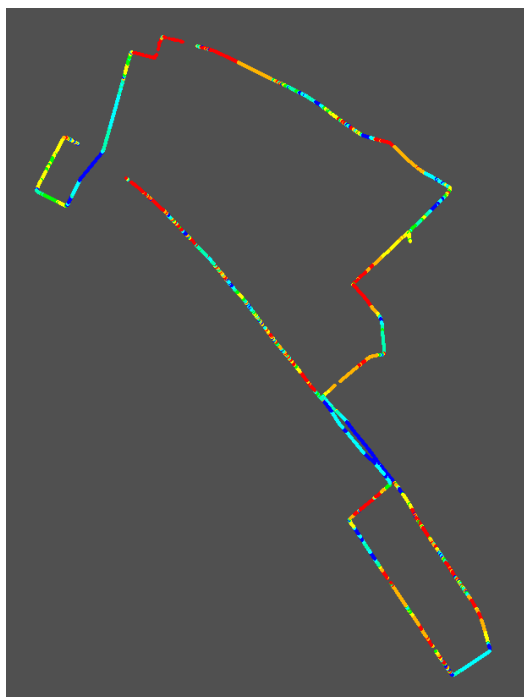
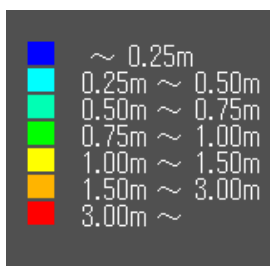


図 5.61 左右方向誤差 MAP
都心一般道 / 1 回目
GPS
(単独測位解+PPP 解)

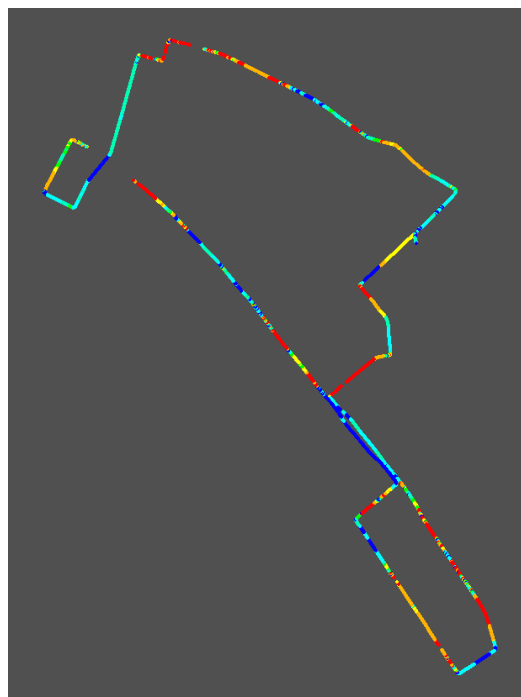


図 5.62 左右方向誤差 MAP
都心一般道 / 1 回目
GPS+QZSS
(単独測位解+PPP 解)



図 5.63 左右方向誤差 MAP
 都心一般道／1 回目
 GPS+QZSS+GLONASS
 (単独測位解+PPP 解)

推移グラフ

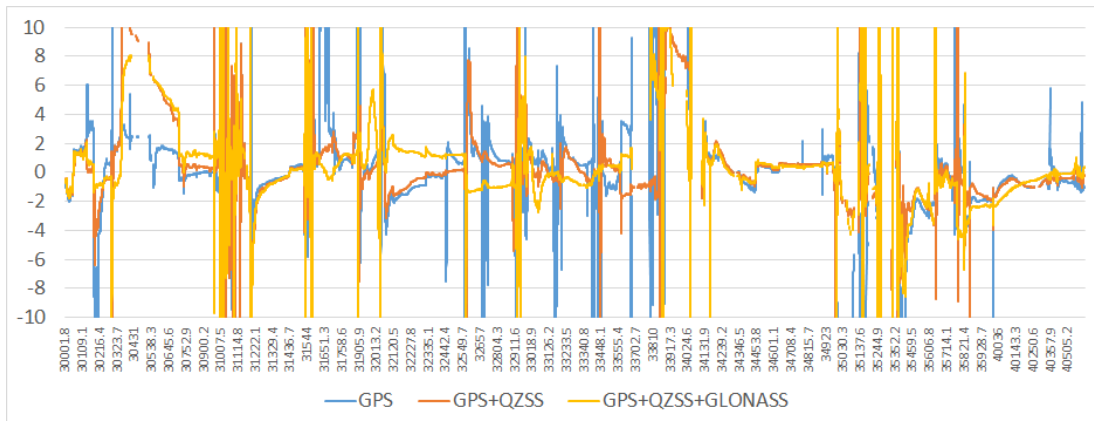


図 5.64 左右方向誤差の推移：都心一般道／1 回目 (単独測位解+PPP 解)

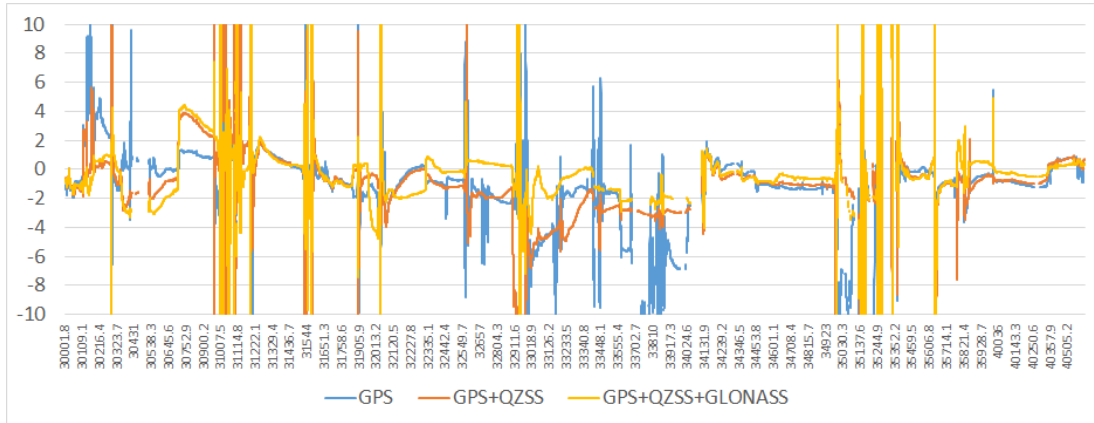


図 5.65 進行方向誤差の推移：都心一般道／1 回目（単独測位解+PPP 解）

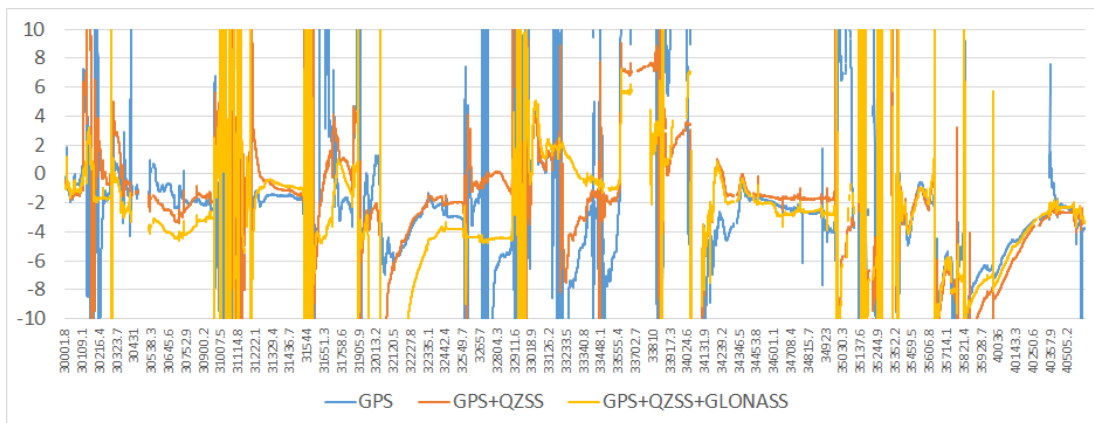


図 5.66 高さ方向誤差の推移：都心一般道／1 回目（単独測位解+PPP 解）

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

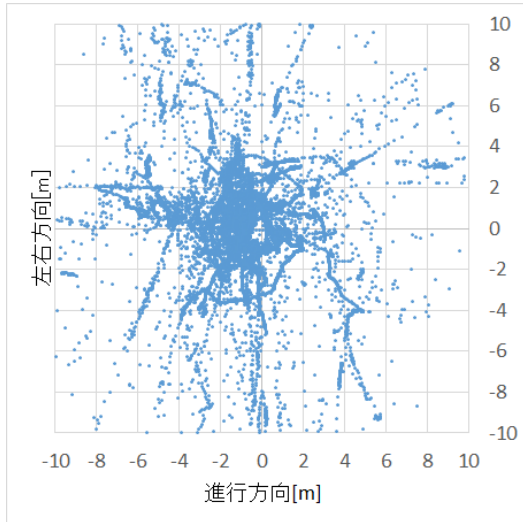


図 5.67 誤差分布
都心一般道／1回目
GPS
(単独測位解+PPP 解)

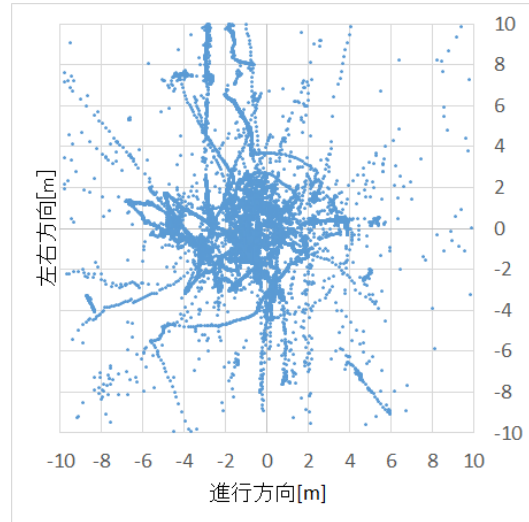


図 5.68 誤差分布
都心一般道／1回目
GPS+QZSS
(単独測位解+PPP 解)

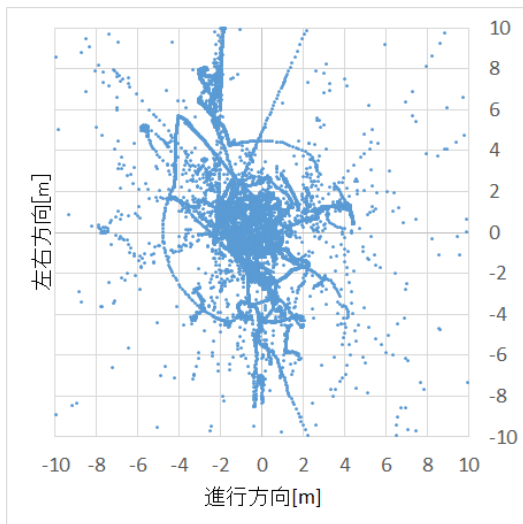


図 5.69 誤差分布
都心一般道／1回目
GPS+QZSS+GLONASS
(単独測位解+PPP 解)

誤差のヒストグラム

表 5.6 左右誤差発生数：都心一般道／1 回目

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+QZSS+GLONASS
0.25	3314	4674	3630
0.50	4990	6833	5547
0.75	4865	5853	4073
1.00	4032	3197	3071
1.25	3242	2576	5160
1.50	1772	2047	3190
1.75	1881	1932	1159
2.00	1673	954	726
2.25	870	893	727
2.50	968	617	1400
2.75	631	605	361
3.00	620	283	221
3.25	522	208	192
3.50	453	231	225
3.75	188	289	280
4.00	150	173	148
4.25	304	140	273
4.50	114	137	441
4.75	70	139	180
5.00	63	152	142
5m 以上	3951	3185	3020
unfix	5029	4584	5536

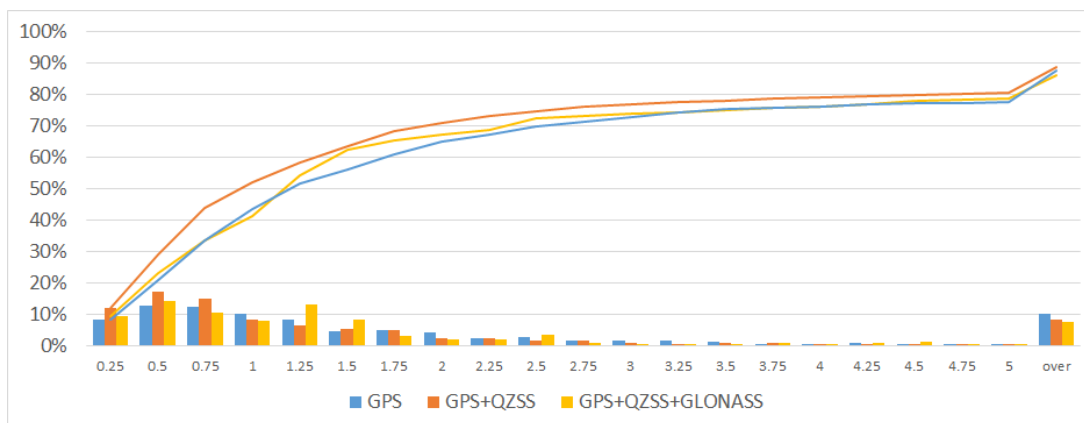


図 5.70 左右誤差ヒストグラム：都心一般道／1 回目

5.1.2.2 都心一般道 (2 回目)

5.1.2.2.1. コード測位

計測情報

測位方式：コード測位 (後処理)

補強方式：L1-SAIF

計測経路：都心一般道 (コース 1)

計測時刻：2014/12/13 5:45:58 ~ 6:52:22 (UTC)

使用機材：受信機：NovAtel

アンテナ：NovAtel/Roof 設置 (MMS と同一)

取得衛星システム：GPS/GPS+QZSS/GPS+GLONASS/GPS+QZSS+GLONASS

左右方向誤差 MAP

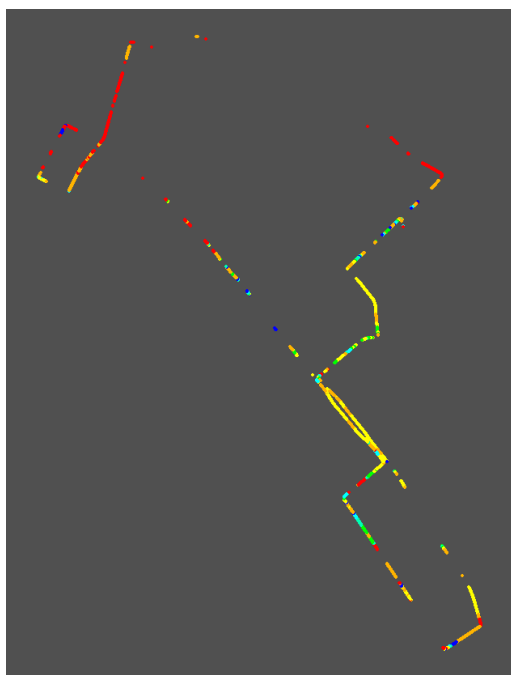
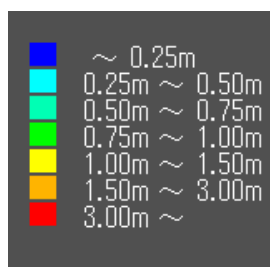


図 5.71 左右方向誤差 MAP

都心一般道 / 2 回目

GPS

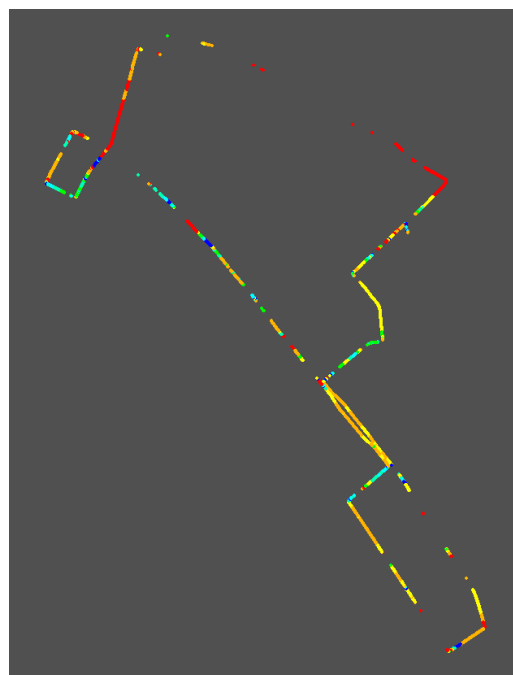


図 5.72 左右方向誤差 MAP

都心一般道 / 2 回目

GPS+QZSS

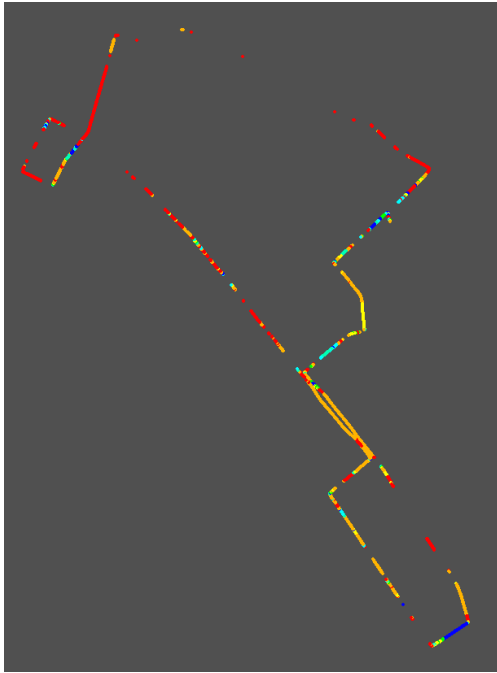


図 5.73 左右方向誤差 MAP
都心一般道／2 回目
GPS+GLONASS

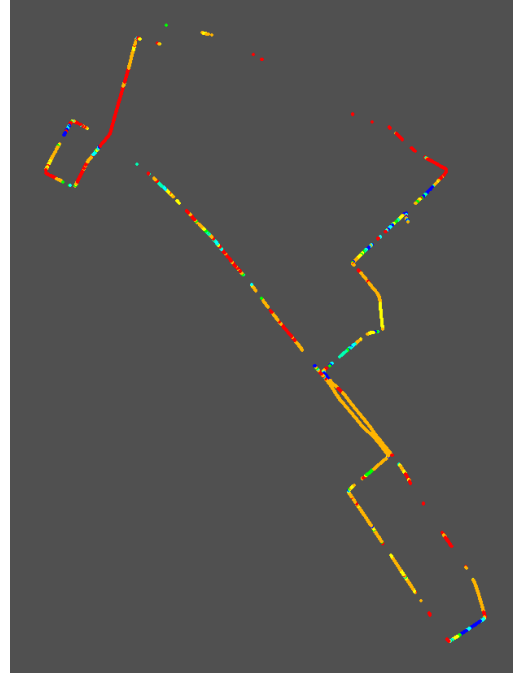


図 5.74 左右方向誤差 MAP
都心一般道／2 回目
GPS+QZSS+GLONASS

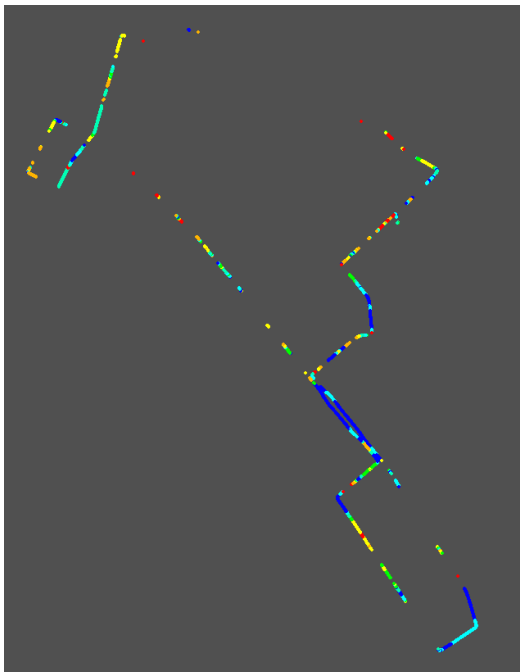


図 5.75 左右方向誤差 MAP
都心一般道／2 回目
【L1-SAIF】GPS

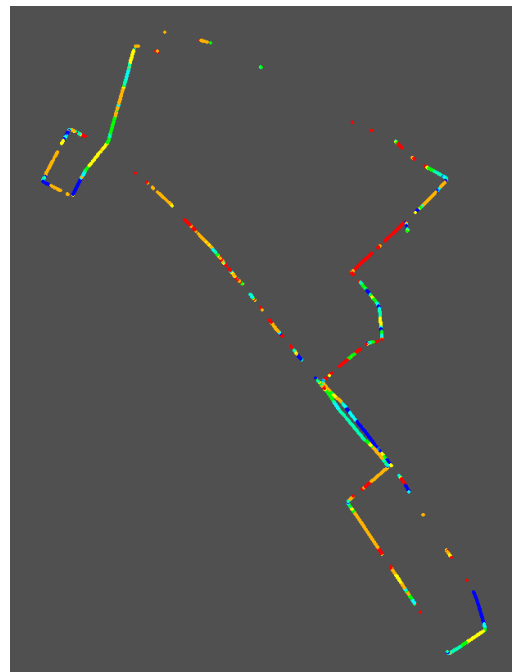


図 5.76 左右方向誤差 MAP
都心一般道／2 回目
【L1-SAIF】GPS+QZSS

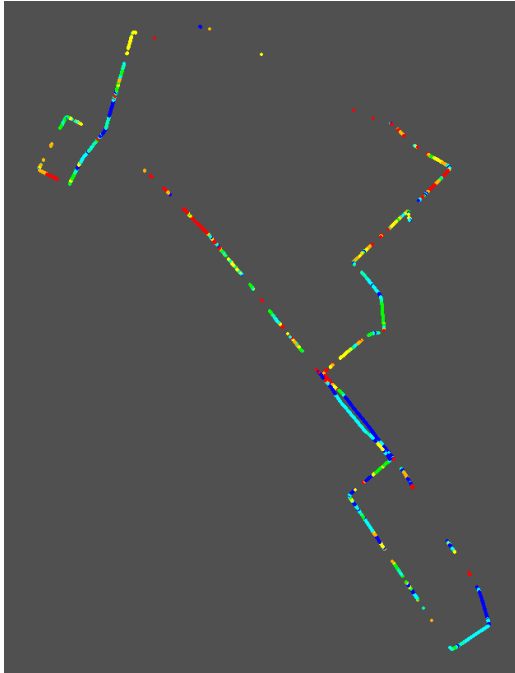


図 5.77 左右方向誤差 MAP
都心一般道／2 回目
【L1-SAIF】GPS+GLONASS

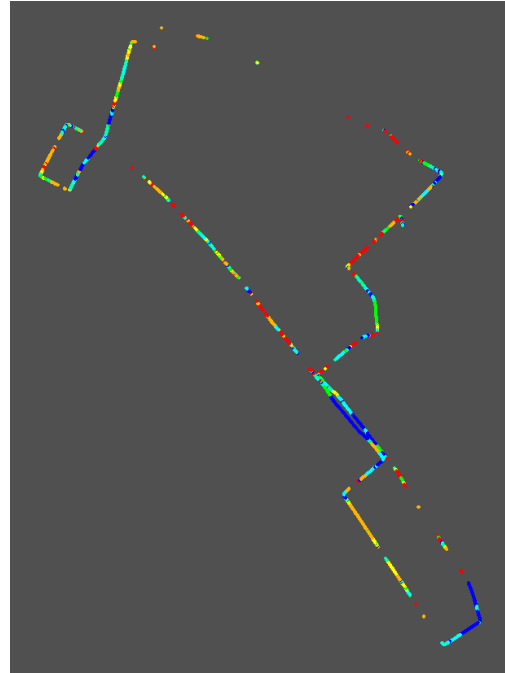


図 5.78 左右方向誤差 MAP
都心一般道／2 回目
【L1-SAIF】GPS+QZSS+GLONASS

推移グラフ

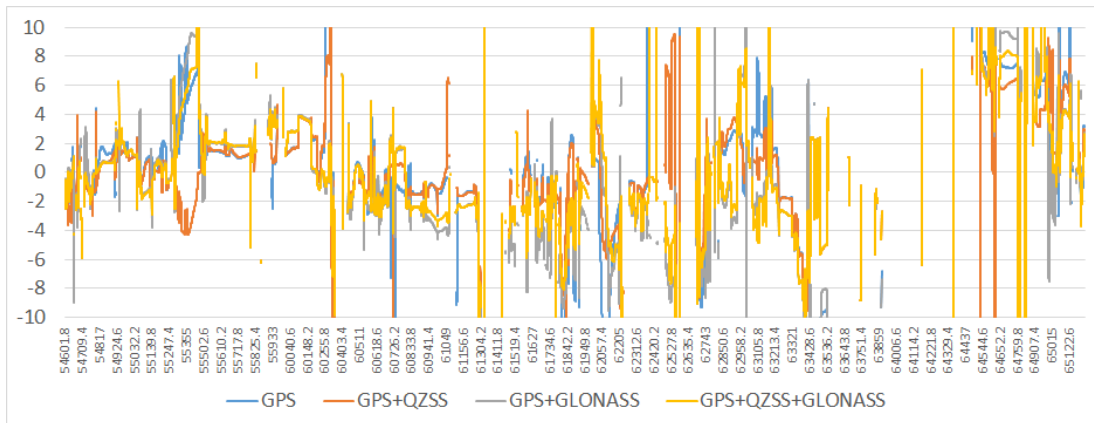


図 5.79 左右方向誤差の推移：都心一般道／2 回目

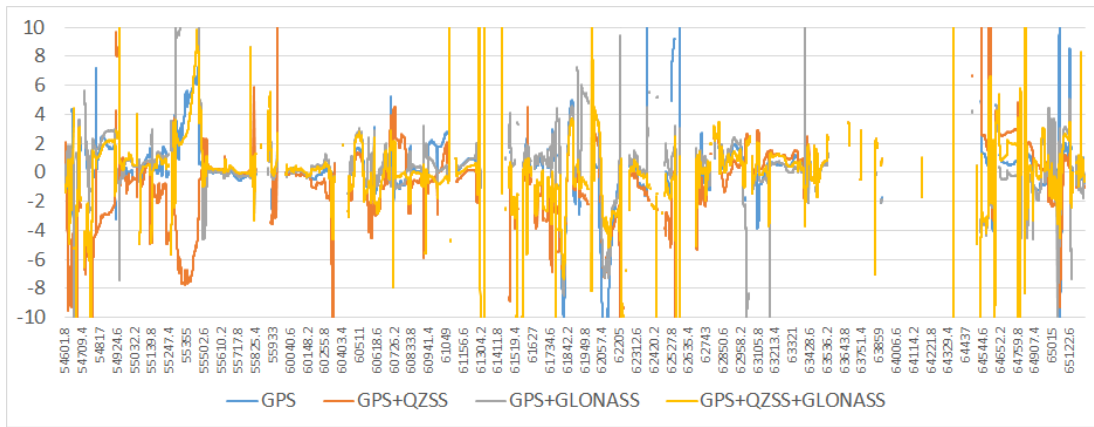


図 5.80 左右方向誤差の推移：都心一般道／2 回目【L1-SAIF】

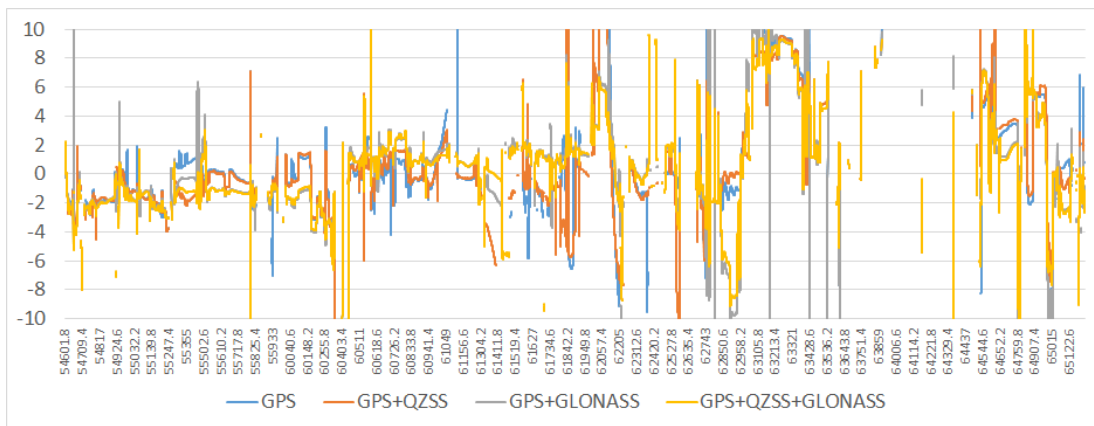


図 5.81 進行方向誤差の推移：都心一般道／2 回目

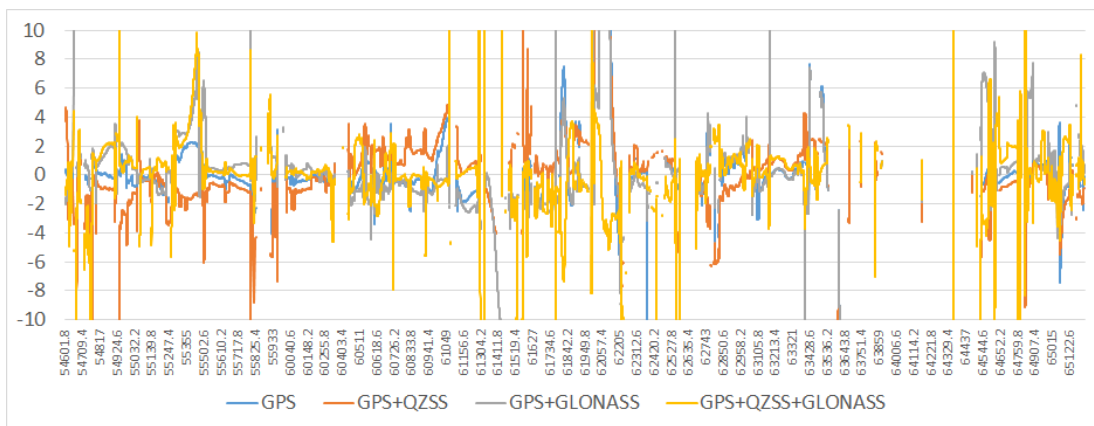


図 5.82 進行方向誤差の推移：都心一般道／2 回目【L1-SAIF】

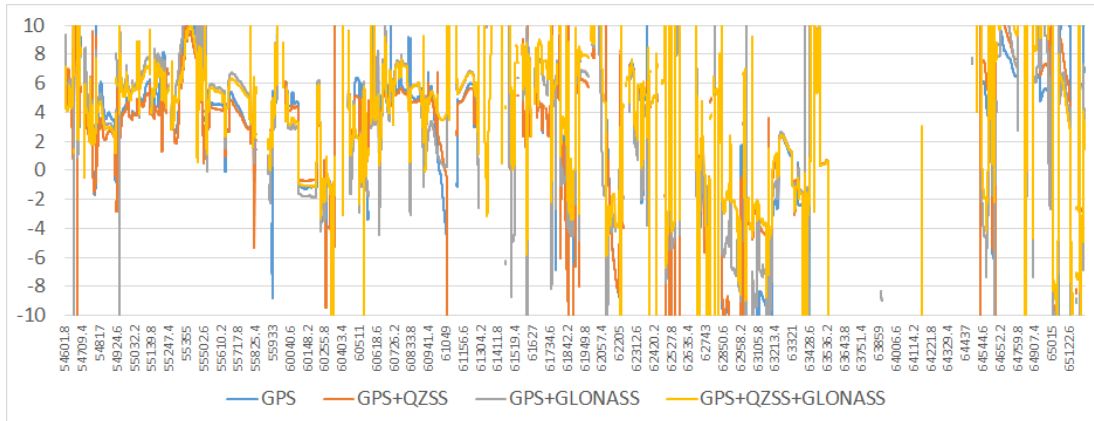


図 5.83 高さ方向誤差の推移：都心一般道／2 回目

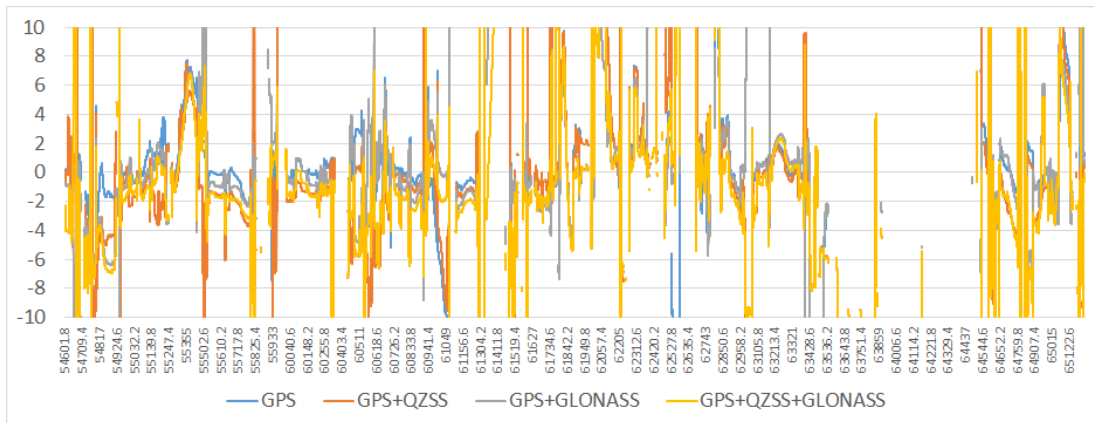


図 5.84 高さ方向誤差の推移：都心一般道／2 回目 【L1-SAIF】

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

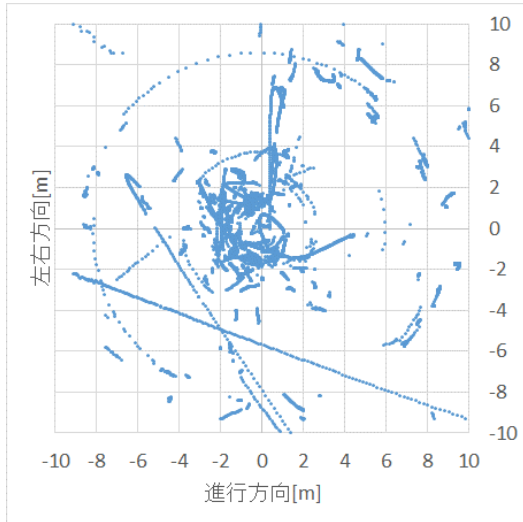


図 5.85 誤差分布
都心一般道／2回目
GPS

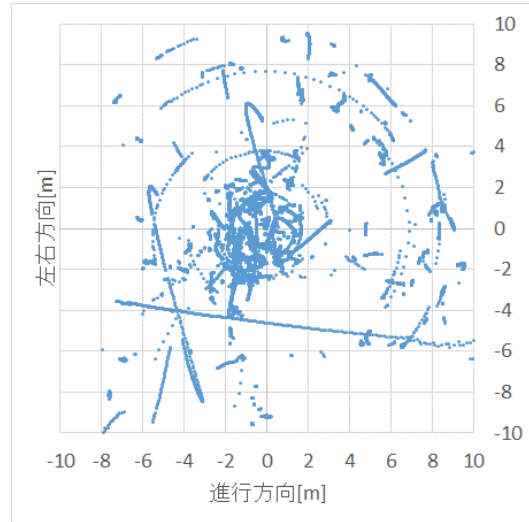


図 5.86 誤差分布
都心一般道／2回目
GPS+QZSS

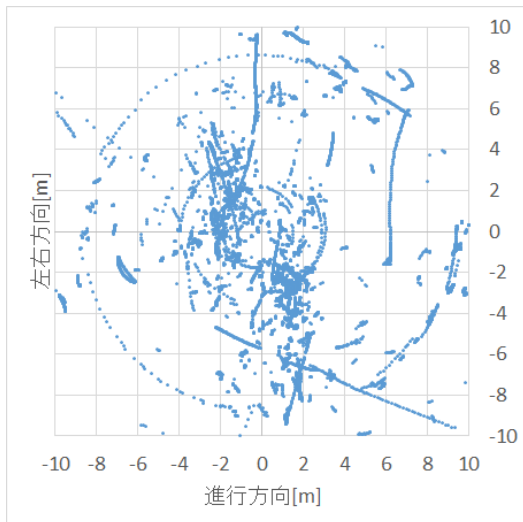


図 5.87 誤差分布
都心一般道／2回目
GPS+GLONASS

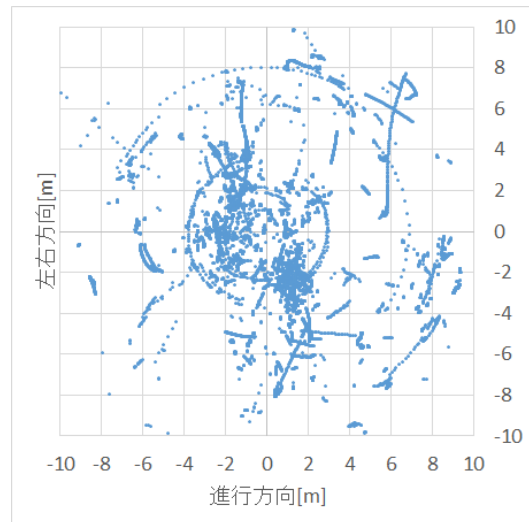


図 5.88 誤差分布
都心一般道／2回目
GPS+QZSS+GLONASS

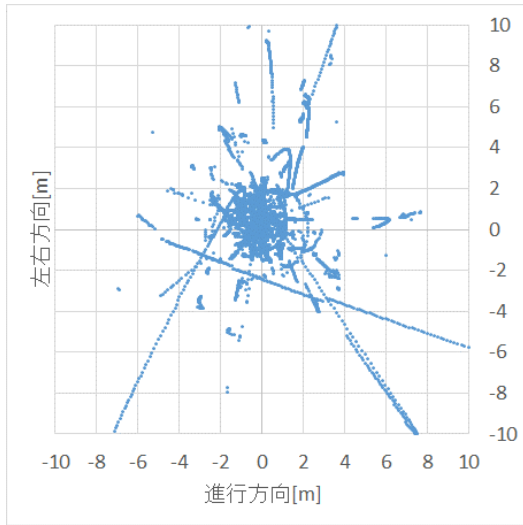


図 5.89 誤差分布
都心一般道／2回目
【L1-SAIF】GPS

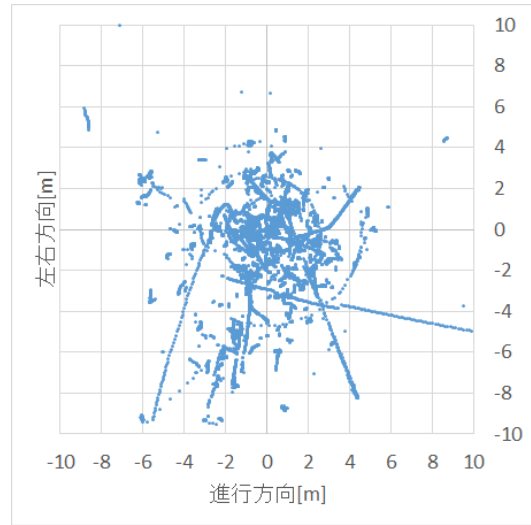


図 5.90 誤差分布
都心一般道／2回目
【L1-SAIF】GPS+QZSS

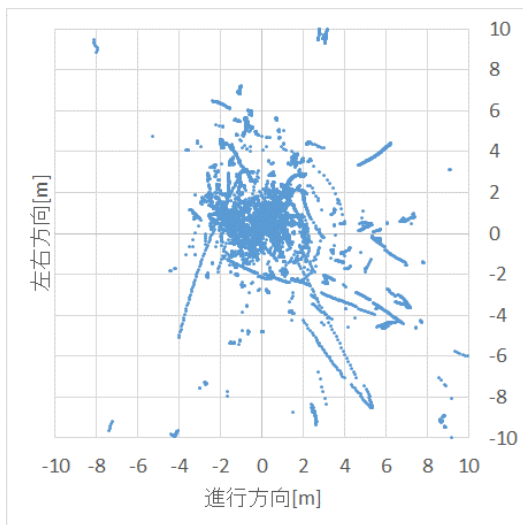


図 5.91 誤差分布
都心一般道／2回目
【L1-SAIF】GPS+GLONASS

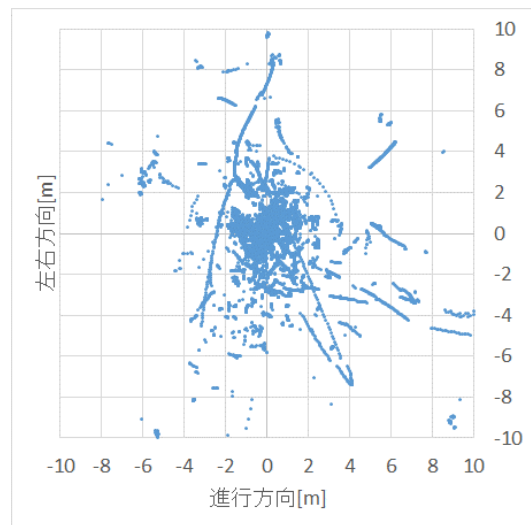


図 5.92 誤差分布
都心一般道／2回目
【L1-SAIF】GPS+QZSS+GLONASS

誤差のヒストグラム

表 5.7 左右誤差発生数：都心一般道／2 回目

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+GLONASS	GPS+QZSS+GLONASS
0.25	371	770	573	627
0.50	393	746	452	607
0.75	557	944	697	731
1.00	841	1025	465	471
1.25	1052	1256	406	553
1.50	1785	1389	446	626
1.75	1060	1254	728	726
2.00	447	731	776	982
2.25	440	481	802	1164
2.50	331	469	750	873
2.75	324	317	521	719
3.00	346	236	757	695
3.25	167	222	329	397
3.50	85	305	347	314
3.75	213	452	339	466
4.00	219	200	488	394
4.25	68	164	289	215
4.50	71	236	298	265
4.75	54	68	213	175
5.00	56	77	116	221
5m 以上	3069	2626	3874	3335
unfix	7952	5933	6235	5345

表 5.8 左右誤差発生数：都心一般道／2回目【L1-SAIF】

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+GLONASS	GPS+QZSS+GLONASS
0.25	2615	2378	2611	2946
0.50	1876	1286	2144	2355
0.75	1718	1353	1492	1370
1.00	1224	1146	1385	1157
1.25	840	1010	852	1028
1.50	524	646	628	407
1.75	624	495	438	338
2.00	479	492	435	599
2.25	249	512	350	706
2.50	146	570	317	483
2.75	125	579	198	358
3.00	84	613	375	264
3.25	83	151	125	214
3.50	88	195	145	269
3.75	70	159	169	229
4.00	93	108	88	124
4.25	29	85	88	117
4.50	45	158	127	94
4.75	74	109	61	72
5.00	69	125	67	70
5m 以上	894	1776	1582	1347
unfix	7952	5955	6224	5354

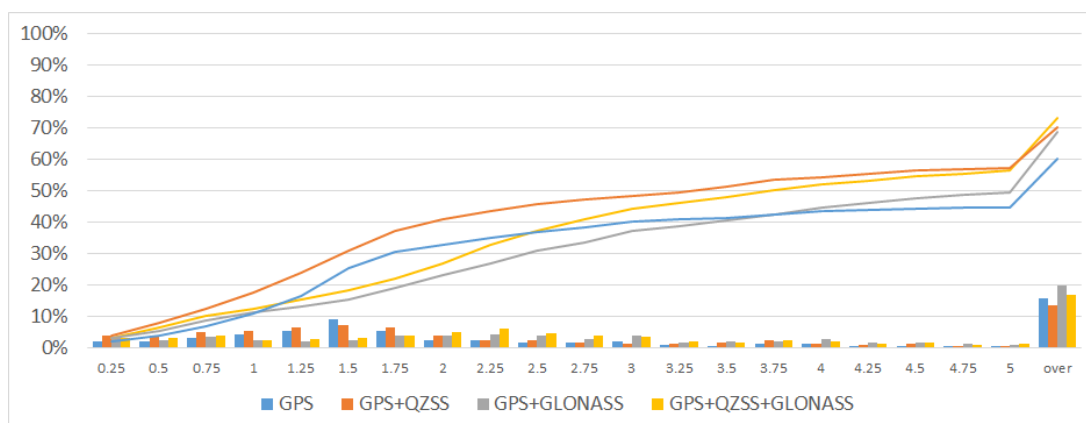


図 5.93 左右誤差ヒストグラム：都心一般道／2回目

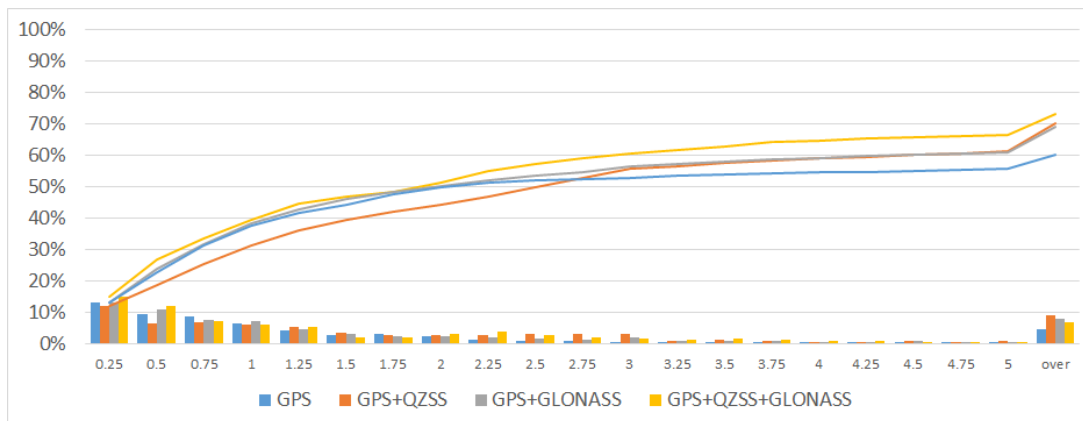


図 5.94 左右誤差ヒストグラム：都心一般道／2 回目【L1-SAIF】

5.1.2.2.2. コード測位受信機

計測情報

測位方式：コード測位

補強方式：SBAS※GPS+QZSS+BeiDou のみ使用

計測経路：都心一般道（コース 1）

計測時刻：2014/12/13 5:45:58 ～ 6:52:22 (UTC)

使用機材：受信機：コード測位受信機

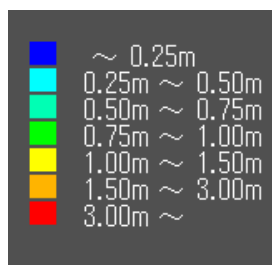
アンテナ：Roof 設置

取得衛星システム：

GPS／GPS+QZSS／GPS+GLONASS／GPS+QZSS+GLONASS

GPS+QZSS+BeiDou

左右方向誤差 MAP



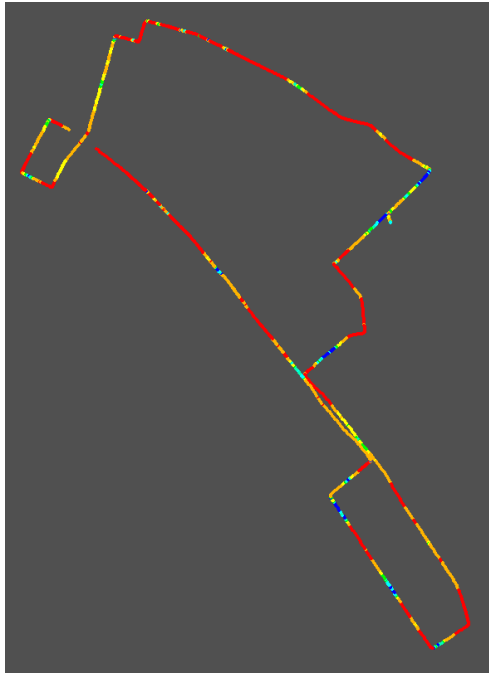


図 5.95 左右方向誤差 MAP
都心一般道 / 2 回目
GPS



図 5.96 左右方向誤差 MAP
都心一般道 / 2 回目
GPS+QZSS



図 5.97 左右方向誤差 MAP
都心一般道 / 2 回目
GPS+GLONASS

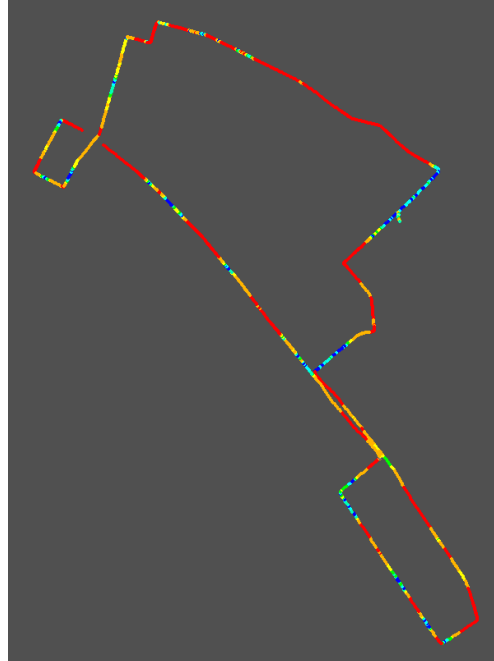


図 5.98 左右方向誤差 MAP
都心一般道 / 2 回目
GPS+QZSS+GLONASS



図 5.99 左右方向誤差 MAP
都心一般道／2 回目
【SBAS】 GPS+QZSS+BeiDou

推移グラフ

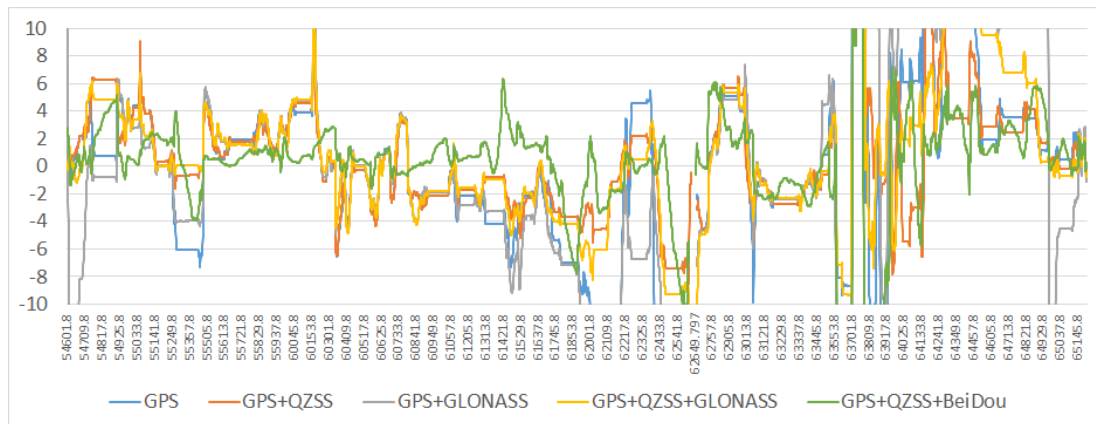


図 5.100 左右方向誤差の推移：都心一般道／2 回目

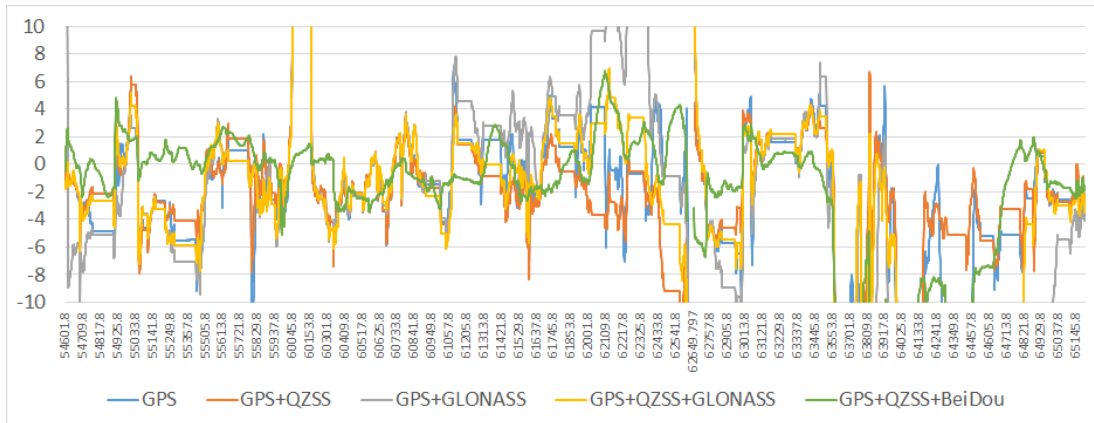


図 5.101 進行方向誤差の推移：都心一般道／2回目

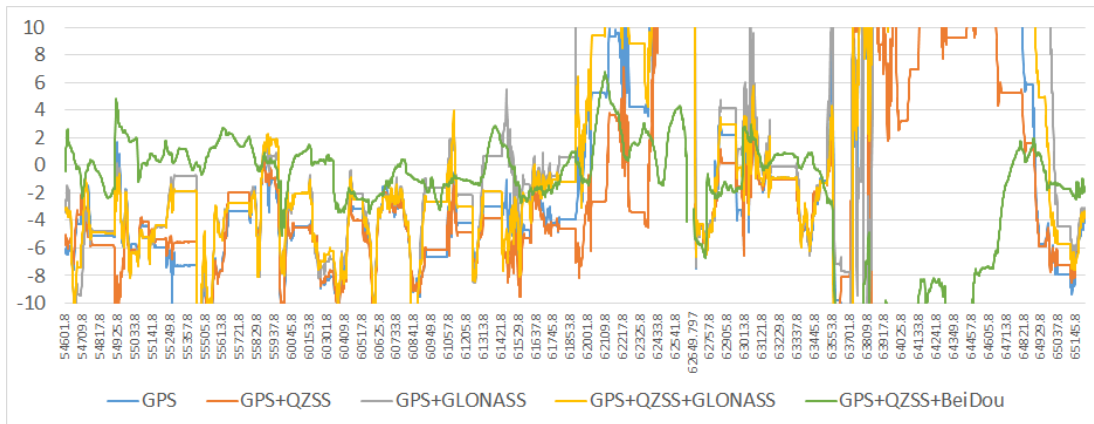


図 5.102 高さ方向誤差の推移：都心一般道／2回目

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

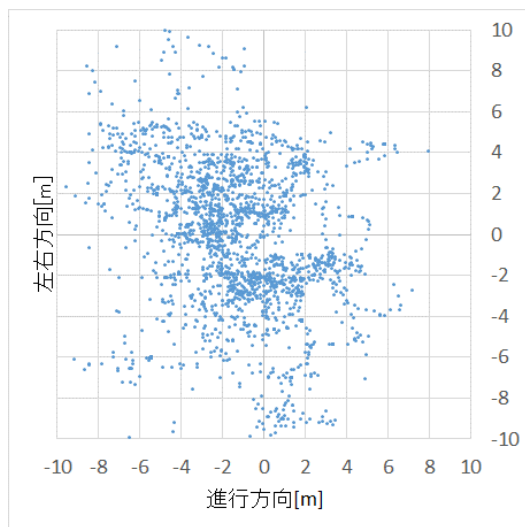


図 5.103 誤差分布
都心一般道／2回目
GPS

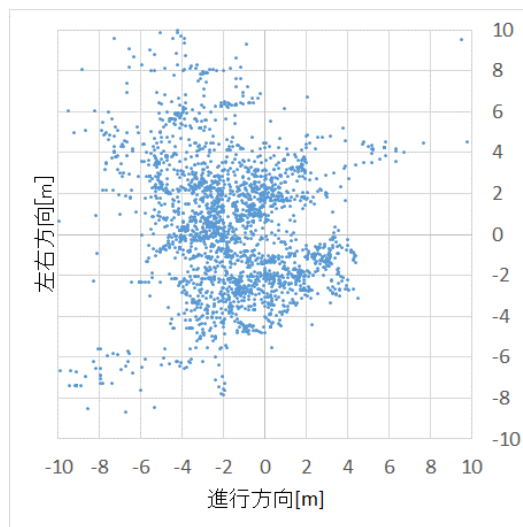


図 5.104 誤差分布
都心一般道／2回目
GPS+QZSS

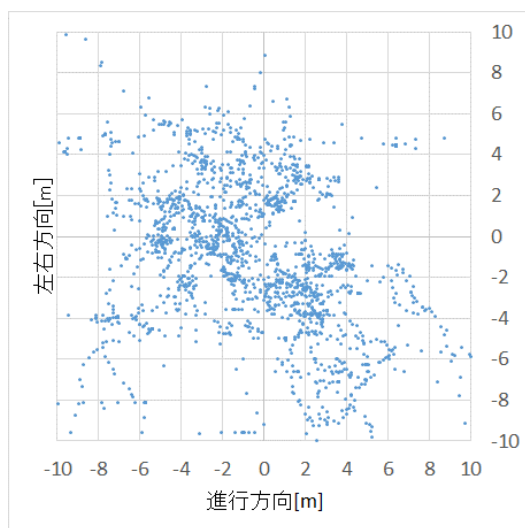


図 5.105 誤差分布
都心一般道／2回目
GPS+GLONASS

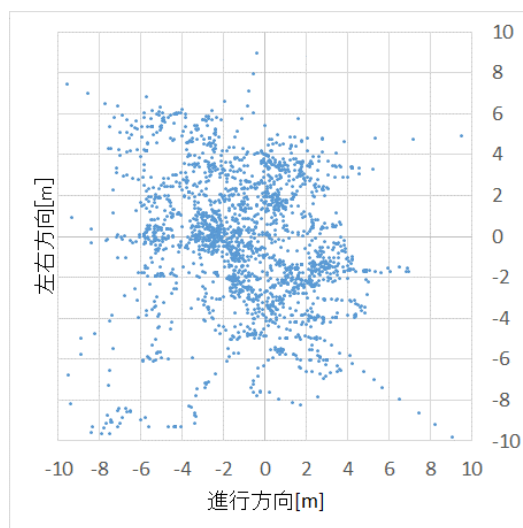


図 5.106 誤差分布
都心一般道／2回目
GPS+QZSS+GLONASS

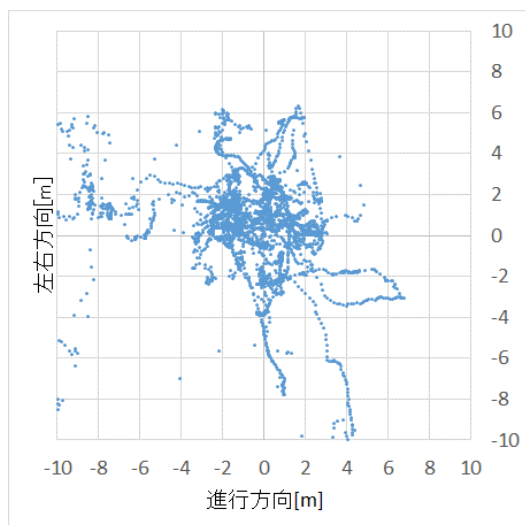


図 5.107 誤差分布
都心一般道／2回目
【SBAS】GPS+QZSS+BeiDou

誤差のヒストグラム

表 5.9 左右誤差発生数：都心一般道／2回目

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+GLONASS	GPS+QZSS+ GLONASS	【SBAS】 GPS+QZSS+BeiDou
0.25	151	189	156	341	388
0.50	166	177	91	287	424
0.75	166	236	149	159	400
1.00	113	190	142	204	297
1.25	166	180	67	104	243
1.50	141	141	115	124	271
1.75	91	187	181	273	249
2.00	313	204	165	235	257
2.25	211	308	79	126	181
2.50	119	233	171	199	154
2.75	178	219	80	78	118
3.00	113	190	157	118	95
3.25	72	108	49	82	66
3.50	109	169	136	108	59
3.75	161	137	75	89	48

4.00	144	81	161	88	71
4.25	145	78	53	121	45
4.50	67	91	107	40	39
4.75	118	160	61	49	41
5.00	51	36	170	205	33
5m 以上	1164	645	1598	934	475
unfix	21	21	17	16	26

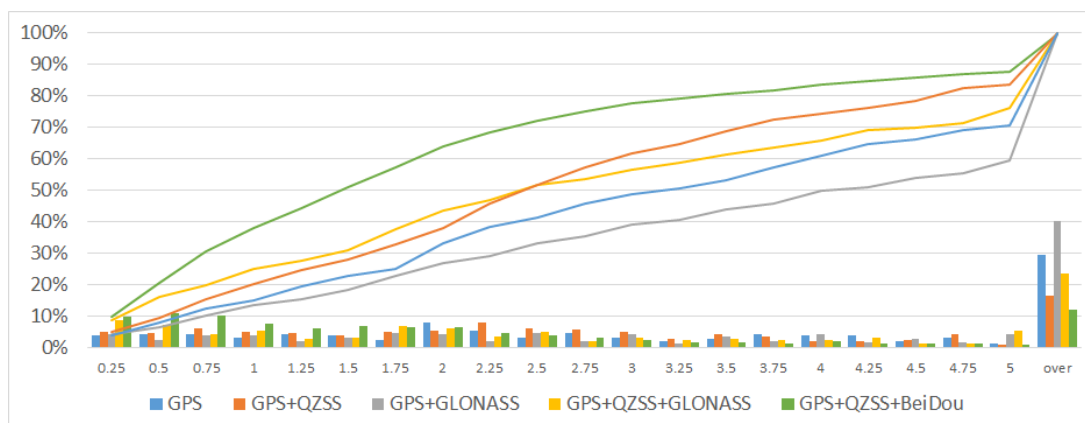


図 5.108 左右誤差ヒストグラム：都心一般道／2 回目

5.1.2.2.3. 搬送波位相測位 (RTK)

計測情報

測位方式：搬送波位相測位 (RTK)

補強方式：

計測経路：都心一般道 (コース 1)

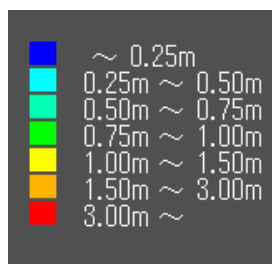
計測時刻：2014/12/13 5:45:58 ~ 6:52:22 (UTC)

使用機材：受信機：Trimble

アンテナ：NovAtel／Roof 設置 (MMS と同一)

取得衛星システム：GPS／GPS+ GLONASS+BeiDou

左右方向誤差 MAP



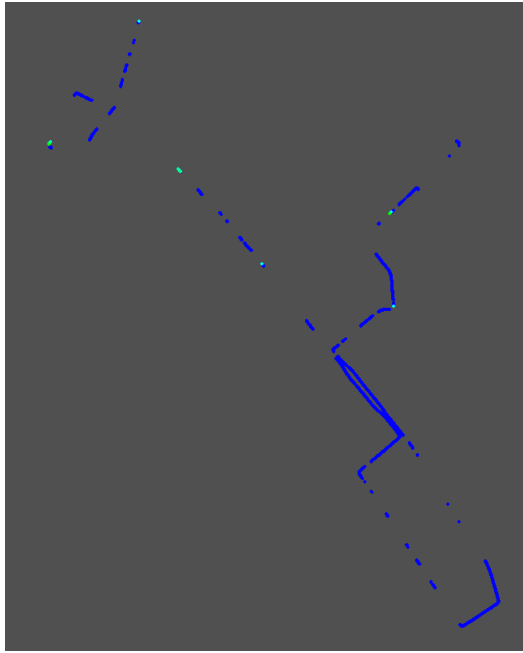


図 5.109 左右方向誤差 MAP

都心一般道／2 回目

GPS (Fix)



図 5.110 左右方向誤差 MAP

都心一般道／2 回目

GPS+GLONASS+BeiDou (Float+Fix)



図 5.111 左右方向誤差 MAP

都心一般道／2 回目

GPS+GLONASS+BeiDou (Fix)

推移グラフ

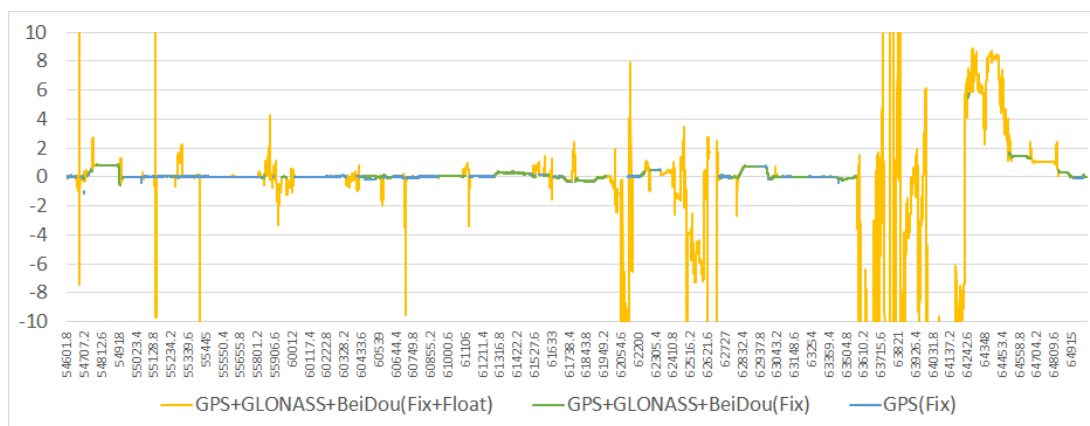


図 5.112 左右方向誤差の推移：都心一般道／2 回目

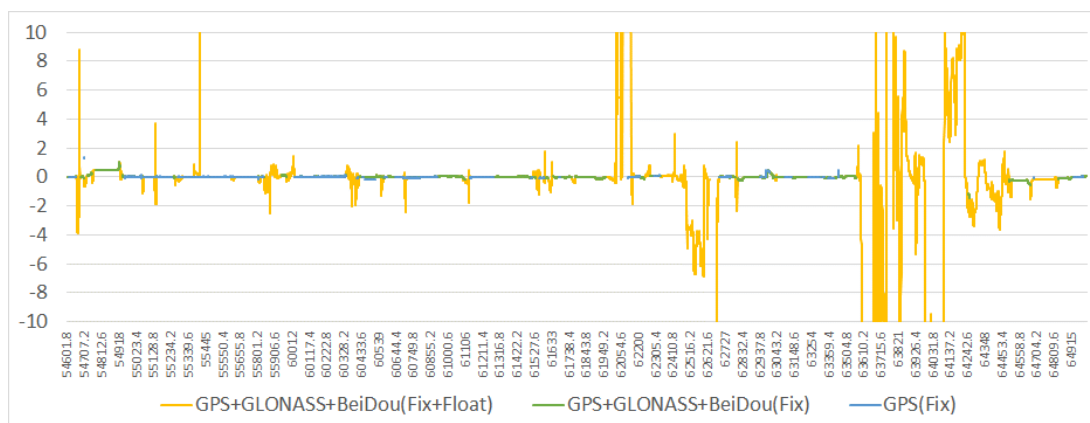


図 5.113 進行方向誤差の推移：都心一般道／2 回目

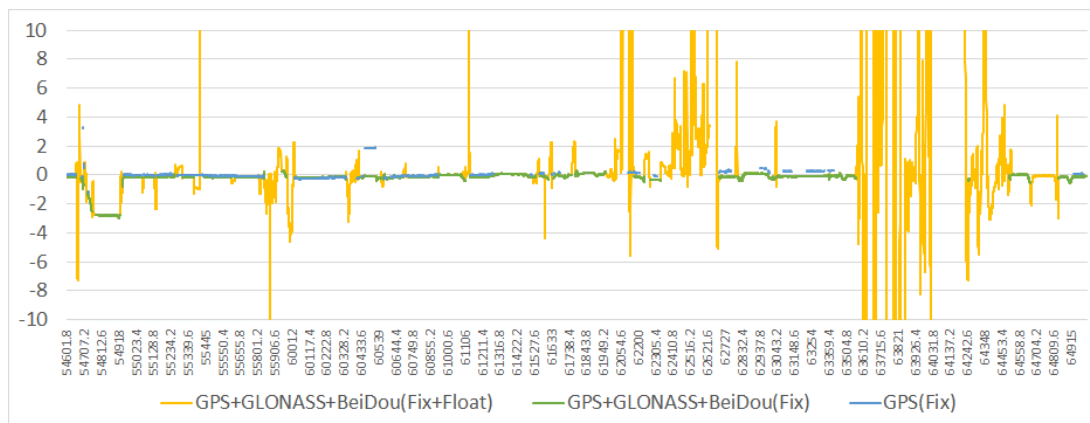


図 5.114 高さ方向誤差の推移：都心一般道／2 回目

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

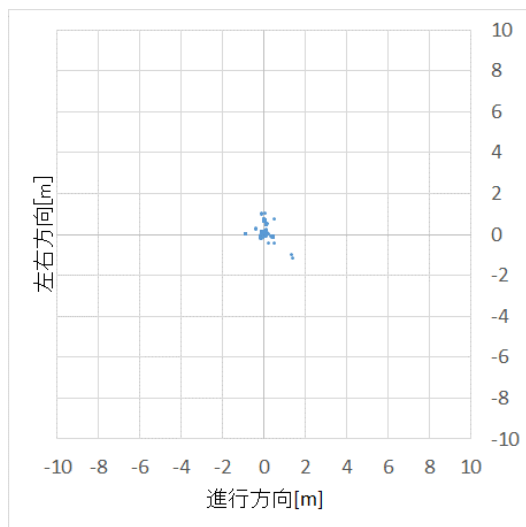


図 5.115 誤差分布
都心一般道／2回目
GPS (Fix)

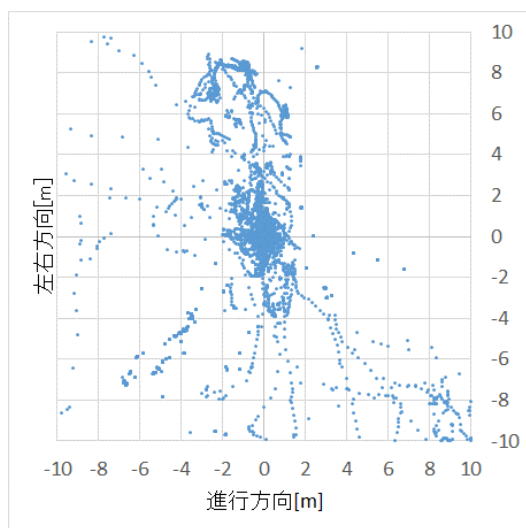


図 5.116 誤差分布
都心一般道／2回目
GPS+GLONASS+BeiDou (Float+Fix)

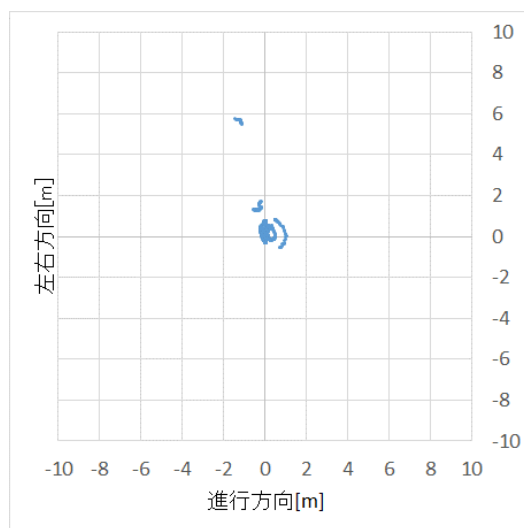


図 5.117 誤差分布
都心一般道／2回目
GPS+GLONASS+BeiDou (Fix)

誤差のヒストグラム

表 5.10 左右誤差発生数：都心一般道／2回目

誤差[m]	GPS(Fix)	GPS+GLONASS+BeiDou(Float+Fix)	GPS+GLONASS+BeiDou(Fix)
0.25	6068	10532	9357
0.50	21	1790	1249
0.75	85	1037	581
1.00	2	755	446
1.25	4	691	0
1.50	0	604	340
1.75	0	182	14
2.00	0	125	0
2.25	0	93	0
2.50	0	95	0
2.75	0	81	0
3.00	0	49	0
3.25	0	50	0
3.50	0	82	0
3.75	0	58	0
4.00	0	96	0
4.25	0	45	0
4.50	0	44	0
4.75	0	80	0
5.00	0	48	0
5m 以上	0	2567	20
unfix	13075	151	7248

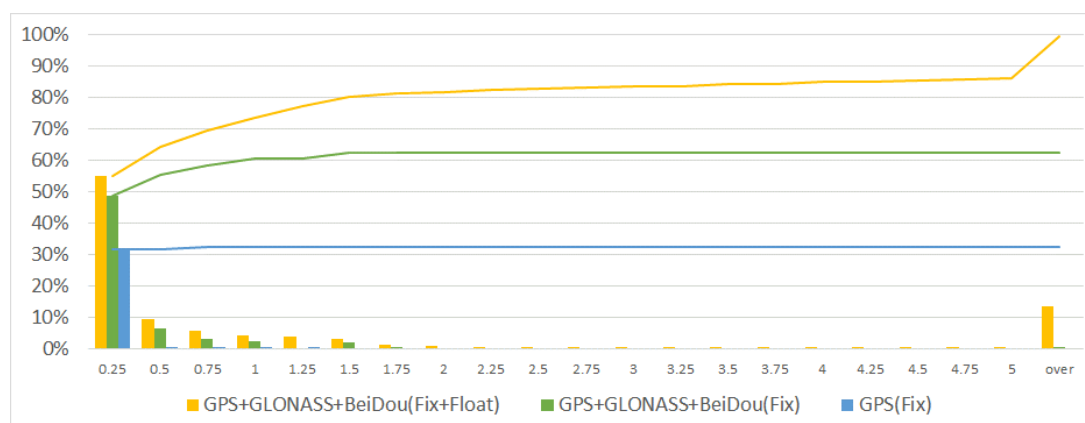


図 5.48 左右誤差ヒストグラム：都心一般道／2回目

5.1.2.2.4. CMAS

計測情報

測位方式：搬送波位相測位

補強方式：CMAS

計測経路：都心一般道（コース1）

計測時刻：2014/12/13 5:45:58 ~ 6:52:22 (UTC)

使用機材：受信機：LEXR/LEXRx

アンテナ：NovAtel/Roof 設置 (MMS と同一)

取得衛星システム：GPS/GPS+QZSS

左右方向誤差 MAP

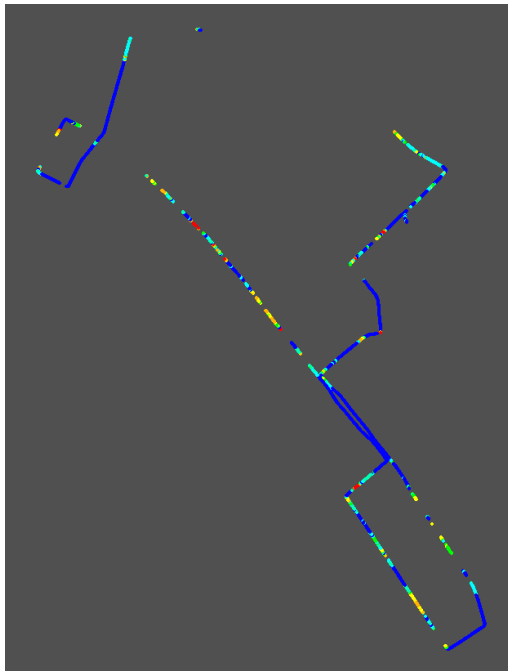
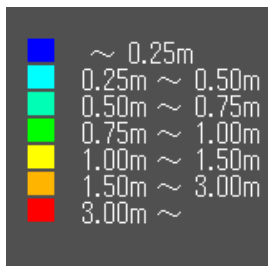


図 5.119 左右方向誤差 MAP
都心一般道/2回目
【CMAS】 GPS

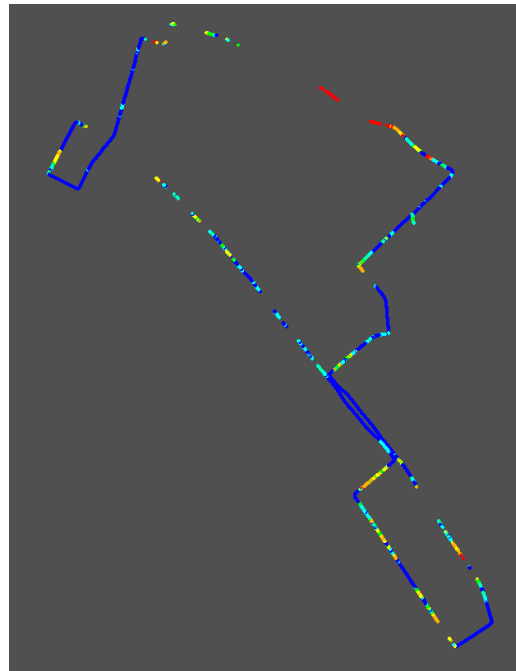


図 5.120 左右方向誤差 MAP
都心一般道/2回目
【CMAS】 GPS+QZSS

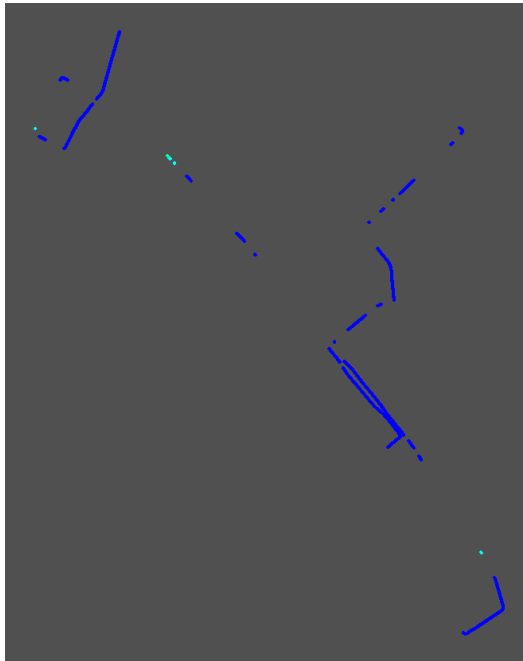


図 5.121 左右方向誤差 MAP
都心一般道／2 回目
CMAS/GPS (Fix 解のみ)

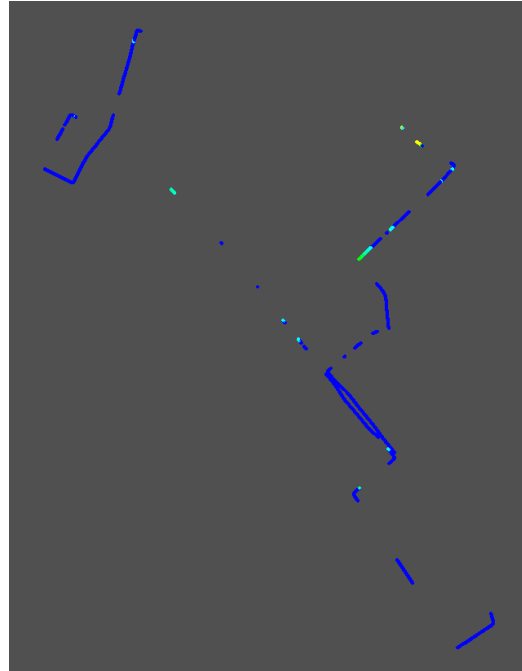


図 5.122 左右方向誤差 MAP
都心一般道／2 回目
CMAS/GPS+QZSS (Fix 解のみ)

推移グラフ

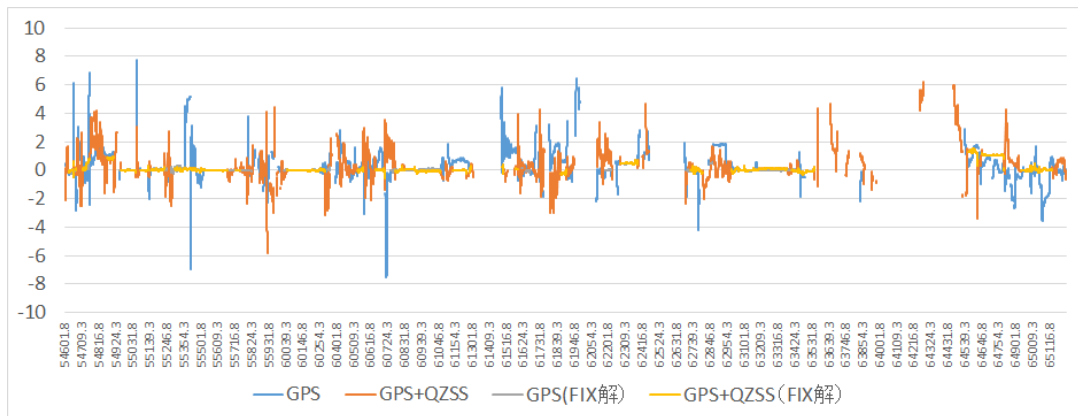


図 5.123 左右方向誤差の推移：都心一般道／2 回目【CMAS】

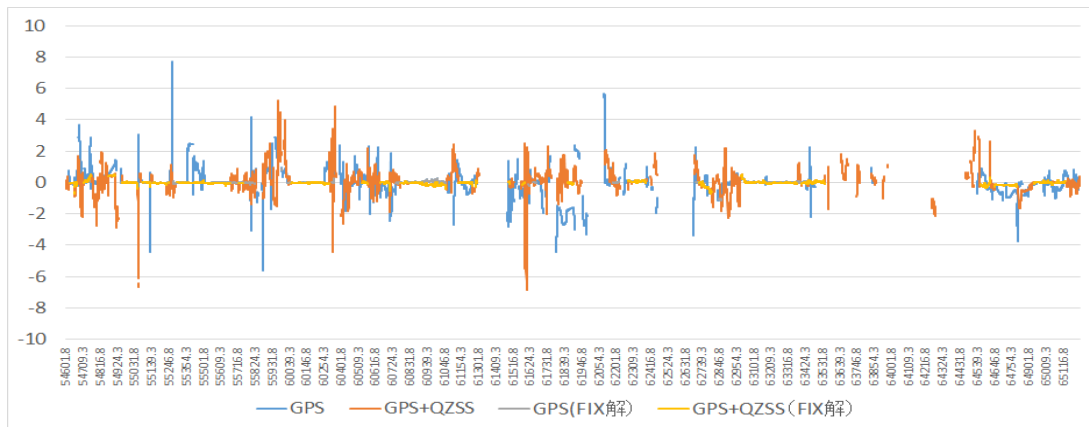


図 5.124 進行方向誤差の推移：都心一般道／2 回目【CMAS】

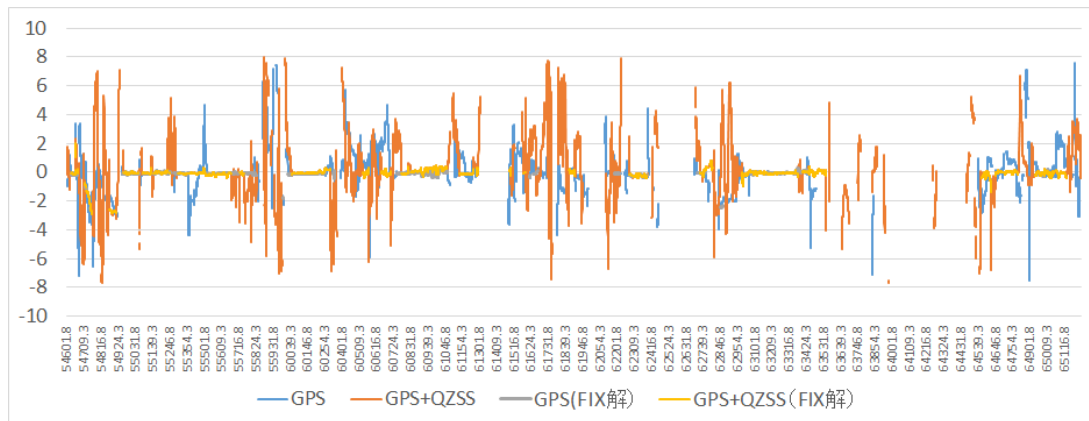


図 5.125 高さ誤差の推移：都心一般道／2 回目【CMAS】

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

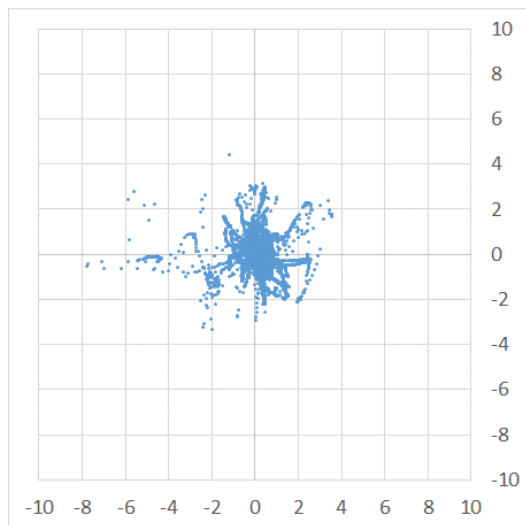


図 5.126 誤差分布
都心一般道／2 回目
【CMAS】 GPS

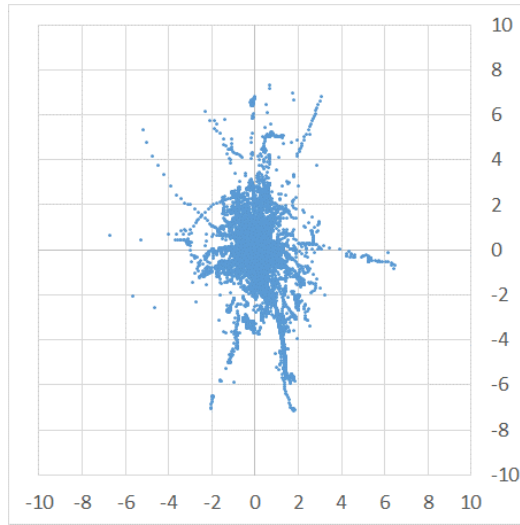


図 5.127 誤差分布
都心一般道／2 回目
【CMAS】 GPS+QZSS

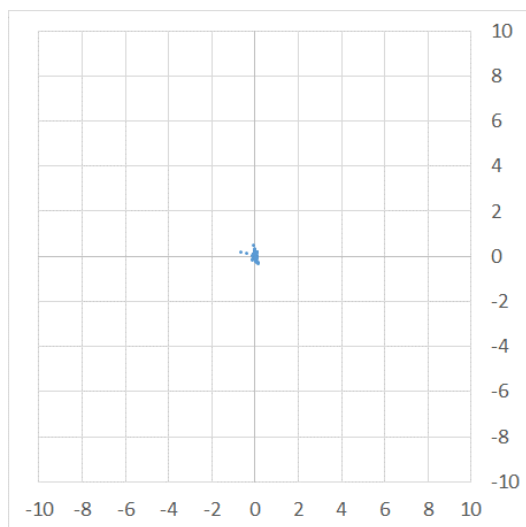


図 5.128 誤差分布
都心一般道／2 回目
【CMAS】 GPS (Fix 解)

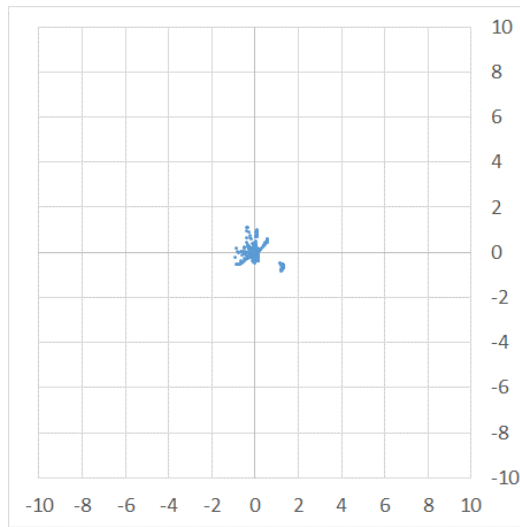


図 5.129 誤差分布
都心一般道／2 回目
【CMAS】 GPS+QZSS (Fix 解)

誤差のヒストグラム

表 5.11 左右誤差発生数：都心一般道／2 回目【CMAS】

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS(Fix 解)	GPS+QZSS(Fix 解)
0.25	7350	17321	5412	13362
0.50	1570	3168	383	709
0.75	1439	1780	35	284
1.00	591	1503	0	242
1.25	585	1770	0	941
1.50	397	914	0	276
1.75	443	502	0	24
2.00	464	293	0	0
2.25	109	289	0	0
2.50	61	279	0	0
2.75	52	157	0	0
3.00	28	141	0	0
3.25	19	118	0	0
3.50	12	55	0	0
3.75	15	55	0	0
4.00	18	32	0	0
4.25	18	47	0	0
4.50	29	29	0	0
4.75	16	31	0	0
5.00	37	42	0	0
5m 以上	78	129	0	0
unfix	6590	11186	14091	24003

※Fix 解の[unfix]は Float 解を含んでいます。

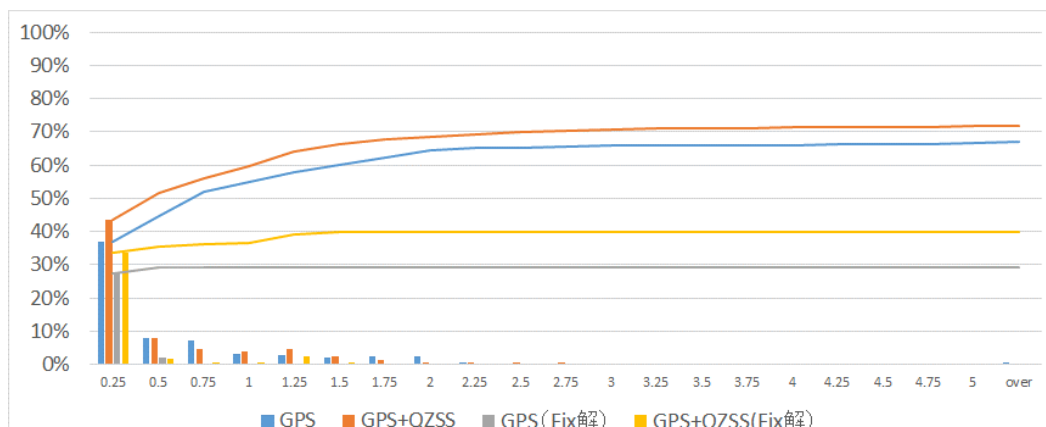


図 5.130 左右誤差ヒストグラム：都心一般道／2 回目【CMAS】

5.1.2.2.5. MADOCA-PPP

計測情報

測位方式：搬送波位相測位

補強方式：MADOCA-PPP

計測経路：都心一般道（コース1）

計測時刻：2014/12/13 5:45:58 ~ 6:52:22 (UTC)

使用機材：受信機：JAVAD

アンテナ：NovAtel/Roof 設置 (MMS と同一)

取得衛星システム：GPS/GPS+QZSS/GPS+QZSS+GLONASS

左右方向誤差 MAP

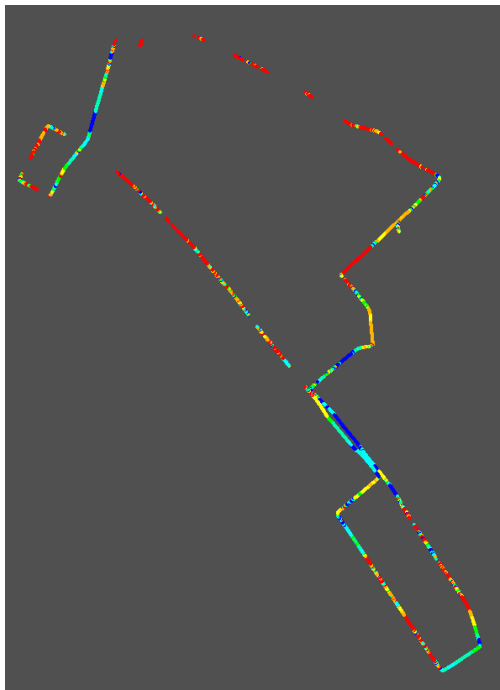
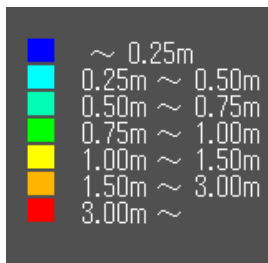


図 5.131 左右方向誤差 MAP
都心一般道/2 回目
GPS
(単独測位解+PPP 解)

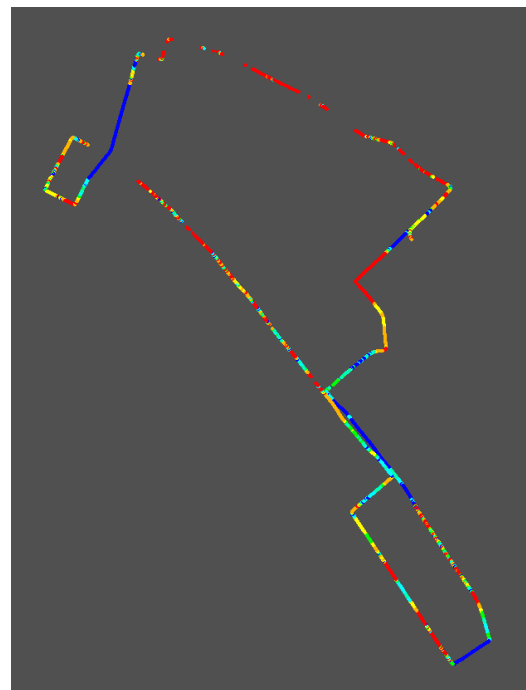


図 5.132 左右方向誤差 MAP
都心一般道/2 回目
GPS+QZSS
(単独測位解+PPP 解)



図 5.133 左右方向誤差 MAP
都心一般道／2 回目
GPS+QZSS+GLONASS
(単独測位解+PPP 解)

推移グラフ

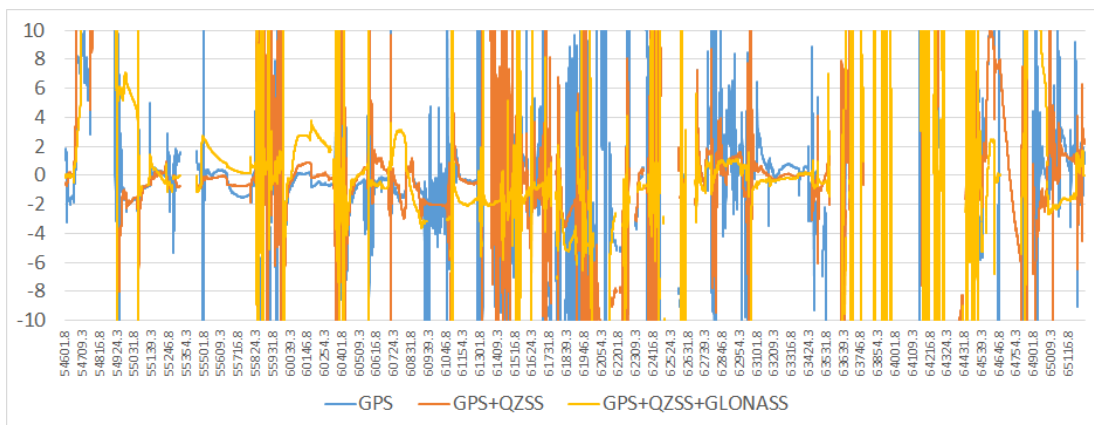


図 5.134 左右方向誤差の推移：都心一般道／2 回目 (単独測位解+PPP 解)

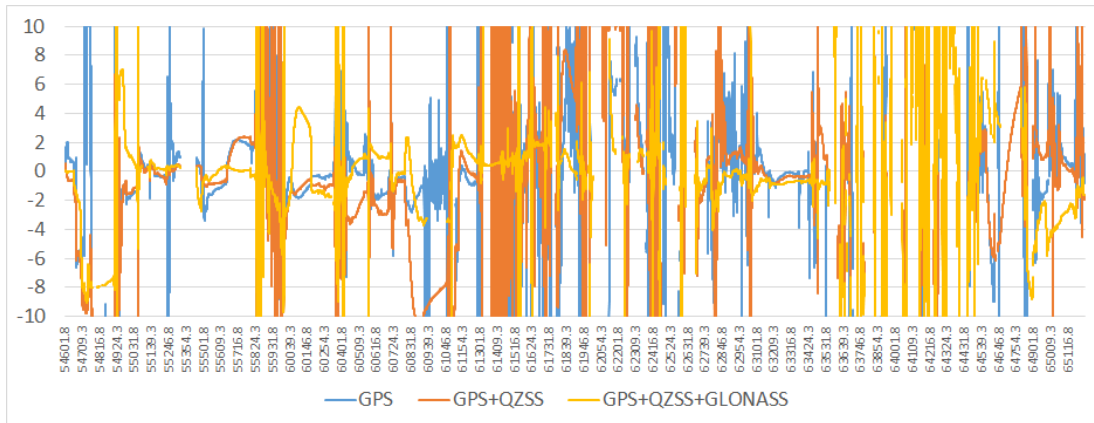


図 5.135 進行方向誤差の推移：都心一般道／2 回目（単独測位解+PPP 解）

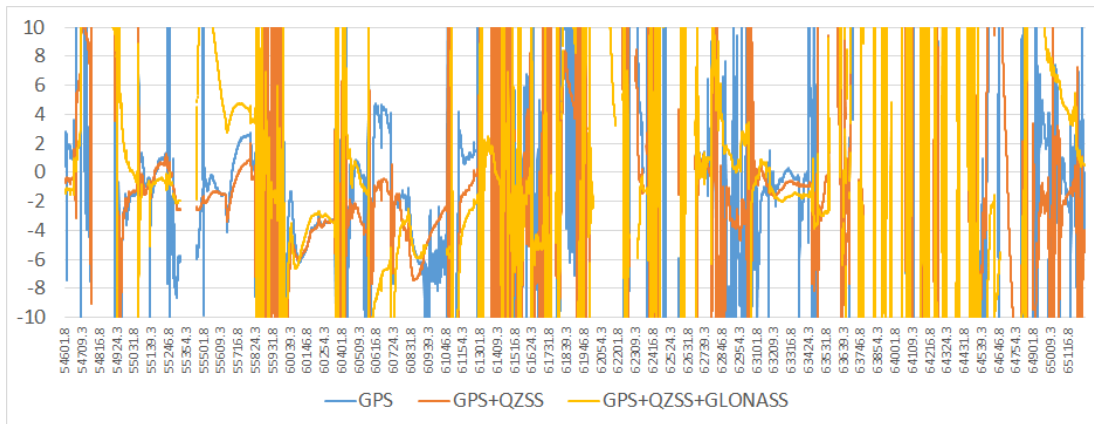


図 5.136 高さ方向誤差の推移：都心一般道／2 回目（単独測位解+PPP 解）

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

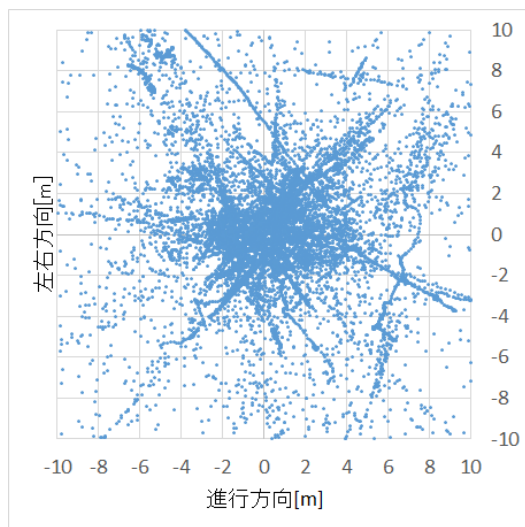


図 5.137 誤差分布
都心一般道／2 回目
GPS
(単独測位解+PPP 解)

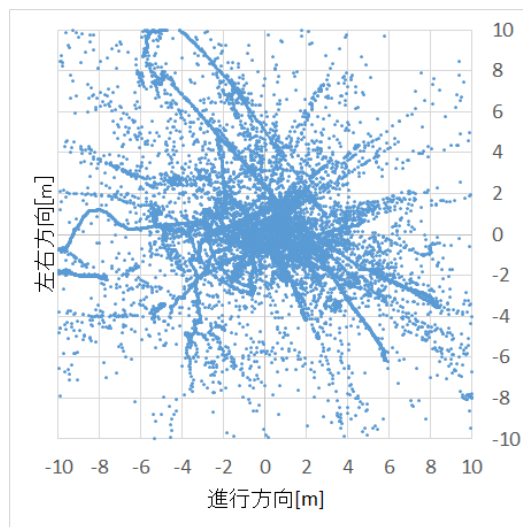


図 5.138 誤差分布
都心一般道／2 回目
GPS+QZSS
(単独測位解+PPP 解)

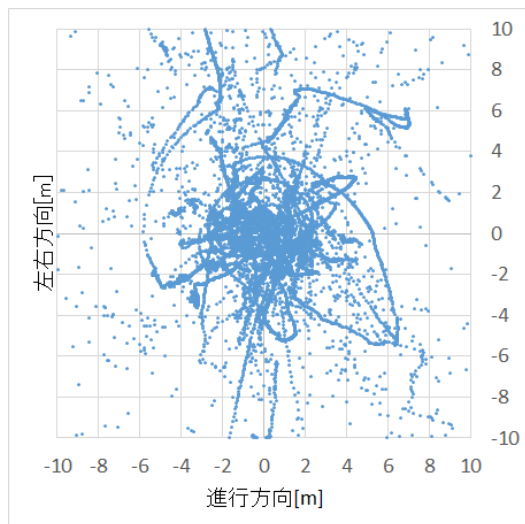


図 5.139 誤差分布
都心一般道／2 回目
GPS+QZSS+GLONASS
(単独測位解+PPP 解)

誤差のヒストグラム

表 5.12 左右誤差発生数：都心一般道／2 回目

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+QZSS+GLONASS
0.25	3239	5814	3838
0.50	3450	2863	2924
0.75	3133	3487	3191
1.00	1848	1973	2576
1.25	1540	1758	1380
1.50	1736	1150	953
1.75	1414	1225	1570
2.00	899	1112	1521
2.25	638	1361	1212
2.50	537	583	862
2.75	576	519	863
3.00	500	496	635
3.25	486	387	752
3.50	322	403	304
3.75	298	300	222
4.00	249	246	186
4.25	246	246	220
4.50	236	230	222
4.75	245	241	222
5.00	182	206	207
5m 以上	7202	7748	6160
unfix	10826	7454	9782

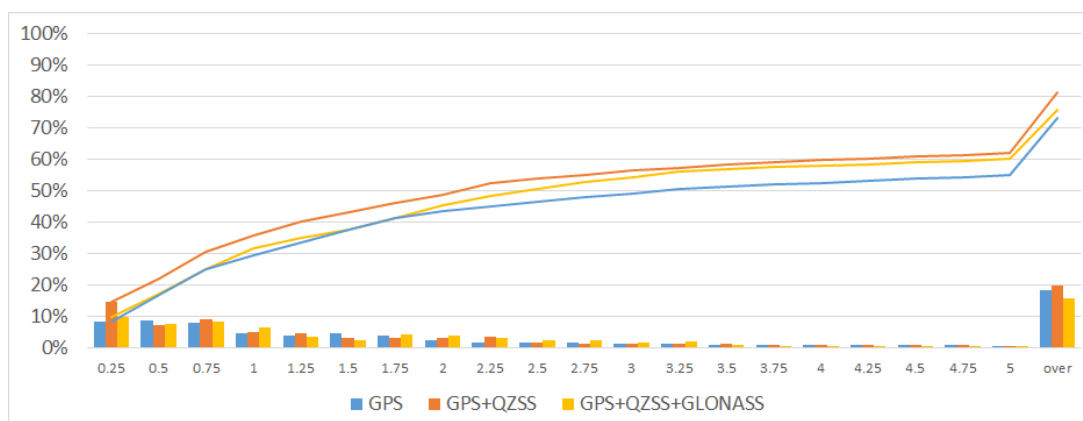


図 5.140 左右誤差ヒストグラム：都心一般道／2 回目

5.1.2.3 都市高速 (1 回目)

5.1.2.3.1. コード測位

計測情報

測位方式：コード測位 (後処理)

補強方式：L1-SAIF

計測経路：首都高速 (コース 2)

計測時刻：2014/12/14 3:31:06 ~ 3:49:38 (UTC)

使用機材：受信機：NovAtel

アンテナ：NovAtel/Roof 設置 (MMS と同一)

取得衛星システム：GPS/GPS+QZSS/GPS+GLONASS/GPS+QZSS+GLONASS
/GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou

左右方向誤差 MAP

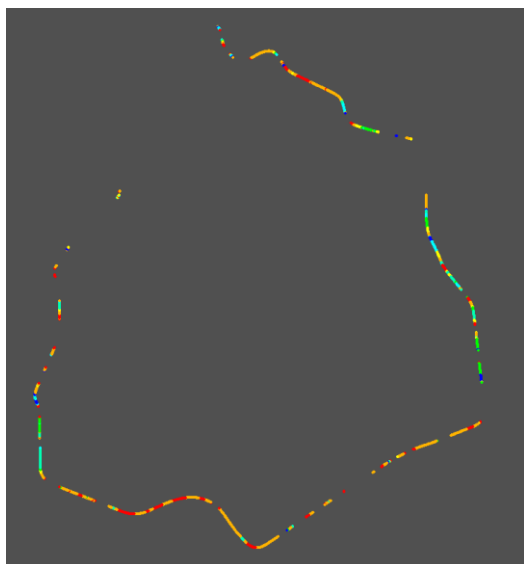
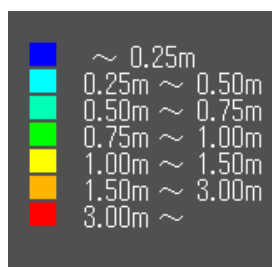


図 5.141 左右方向誤差 MAP
首都高速/1 回目
GPS

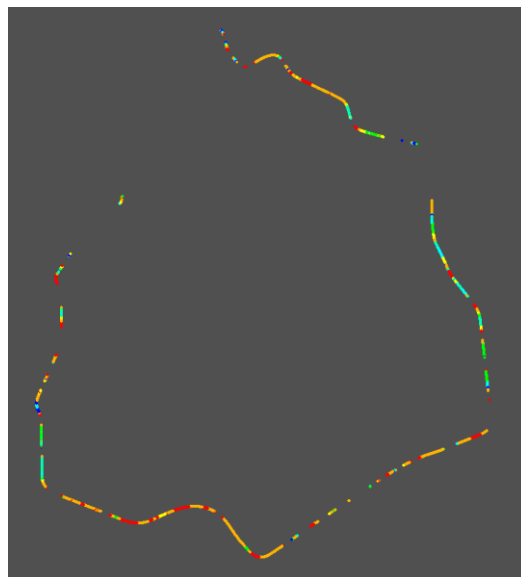


図 5.142 左右方向誤差 MAP
首都高速/1 回目
GPS+QZSS

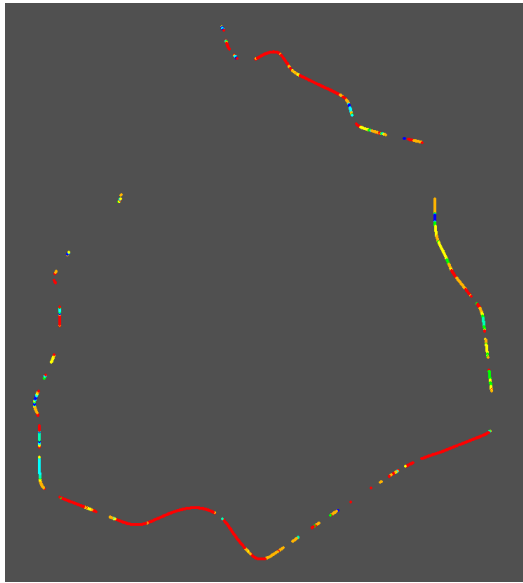


图 5.143 左右方向誤差 MAP
首都高速/1 回目
GPS+GLONASS

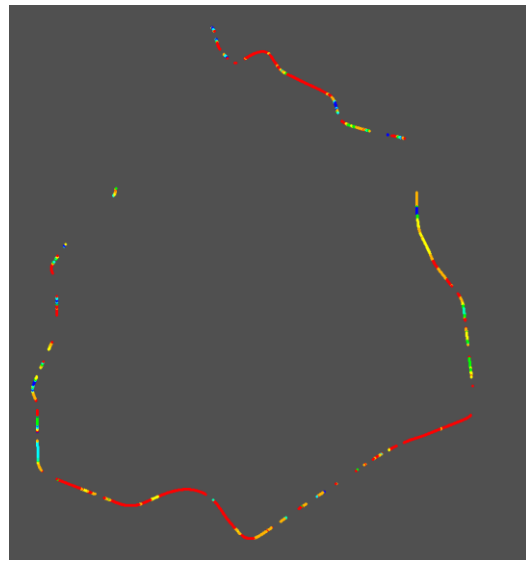


图 5.144 左右方向誤差 MAP
首都高速/1 回目
GPS+QZSS+GLONASS

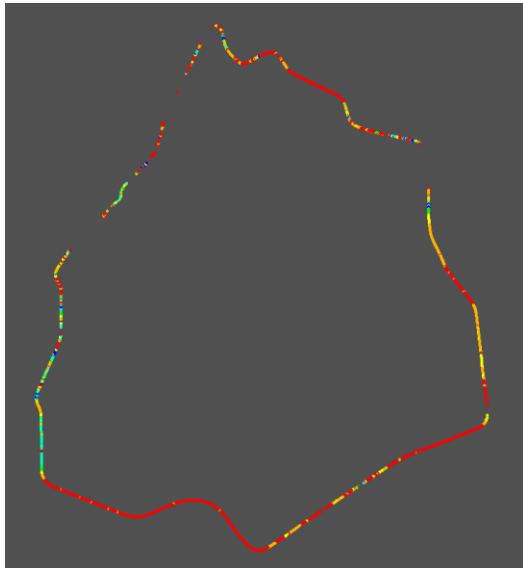


图 5.145 左右方向誤差 MAP
首都高速/1 回目
GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou

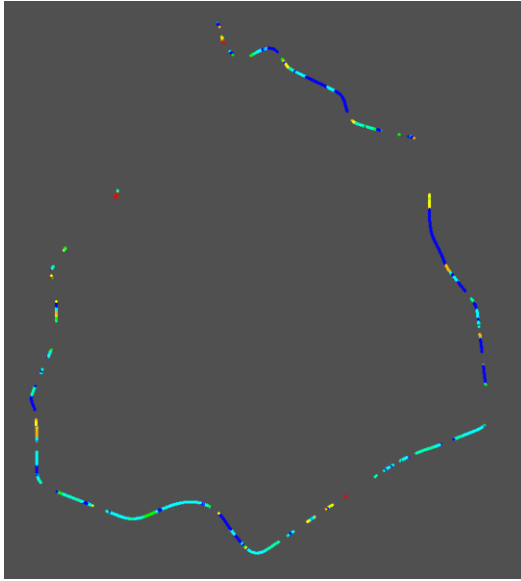


図 5.146 左右方向誤差 MAP
首都高速／1 回目
【L1-SAIF】GPS

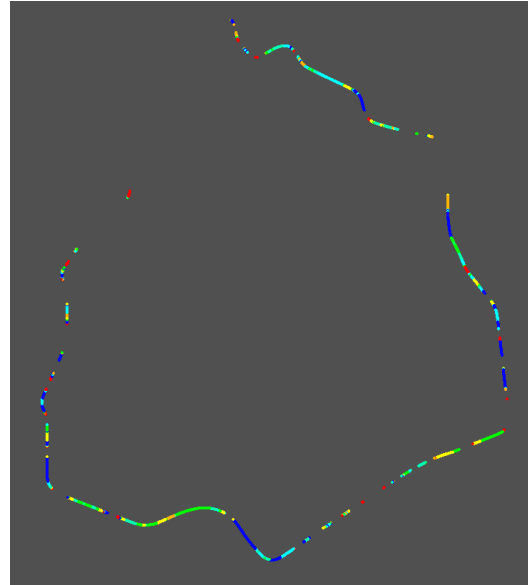


図 5.147 左右方向誤差 MAP
首都高速／1 回目
【L1-SAIF】GPS+QZSS

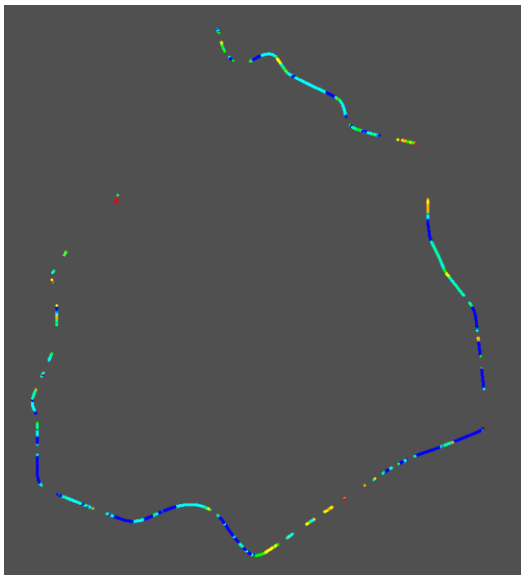


図 5.148 左右方向誤差 MAP
首都高速／1 回目
【L1-SAIF】GPS+GLONASS

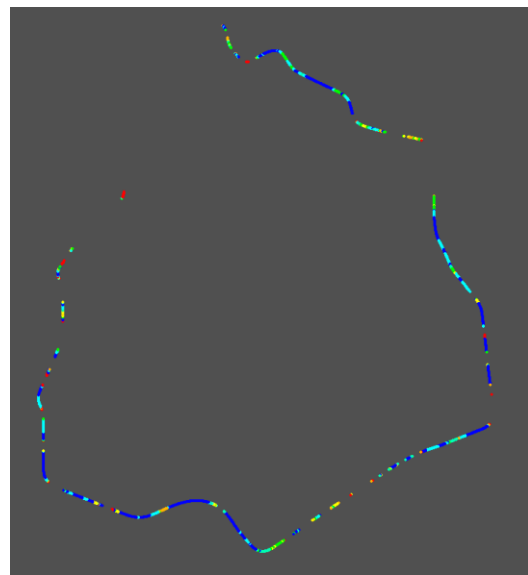


図 5.149 左右方向誤差 MAP
首都高速／1 回目
【L1-SAIF】GPS+QZSS+GLONASS

推移グラフ

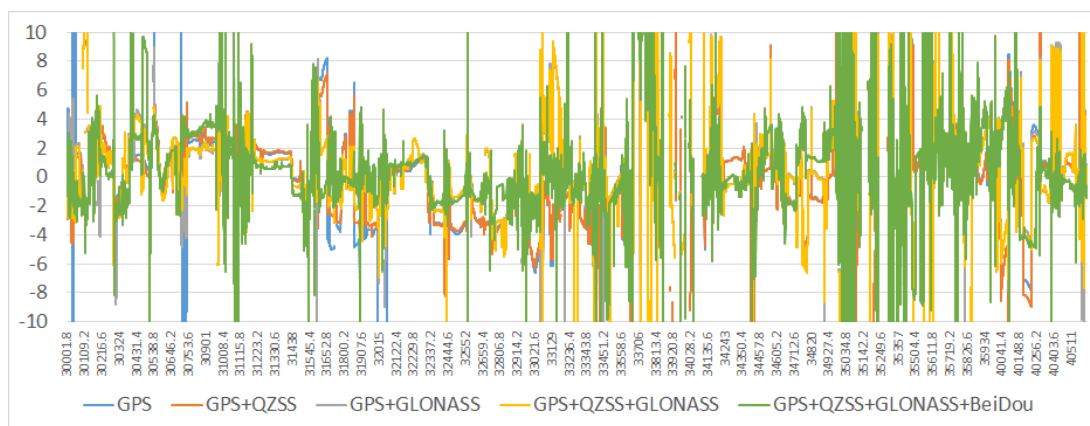


図 5.150 左右方向誤差の推移：首都高速／1 回目

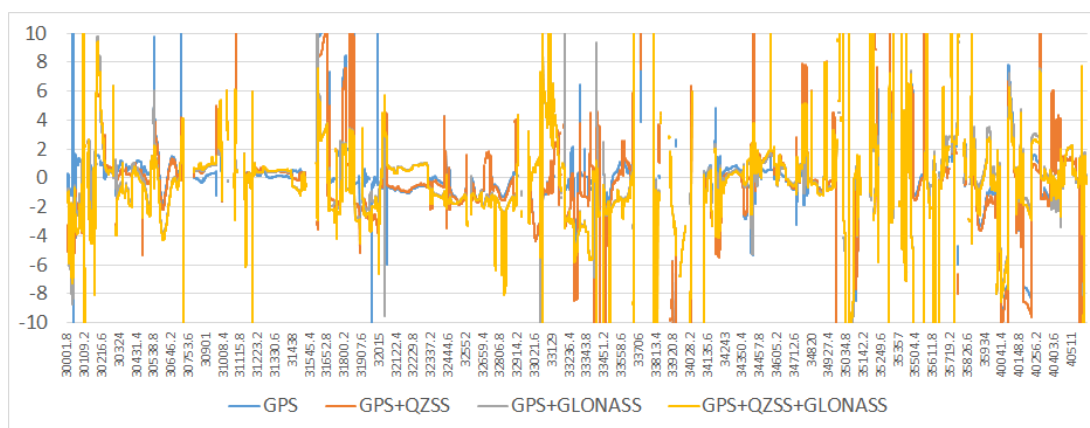


図 5.151 左右方向誤差の推移：首都高速／1 回目【L1-SAIF】

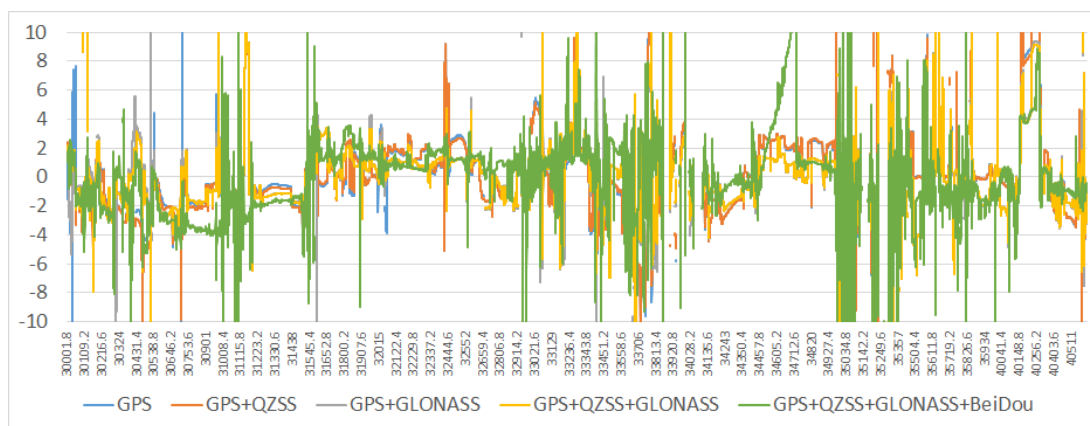


図 5.152 進行方向誤差の推移：首都高速／1 回目

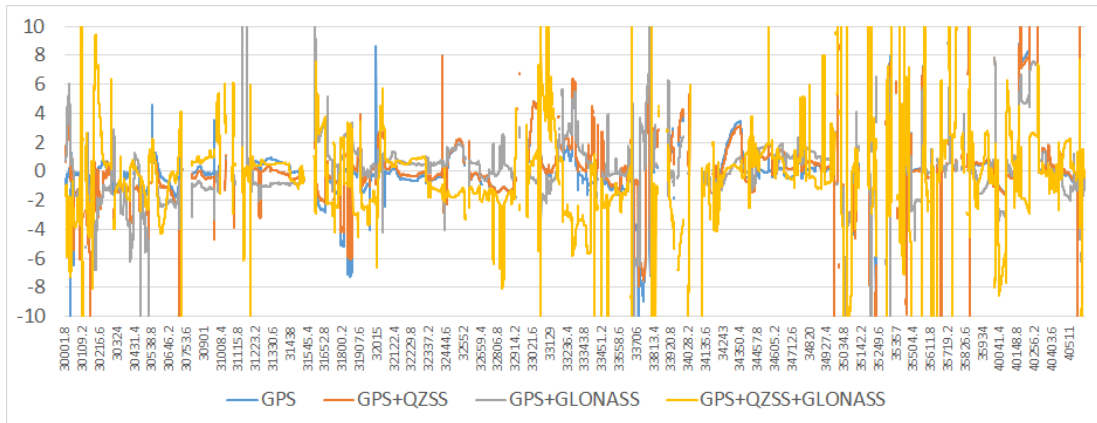


図 5.153 進行方向誤差の推移：首都高速／1 回目【L1-SAIF】

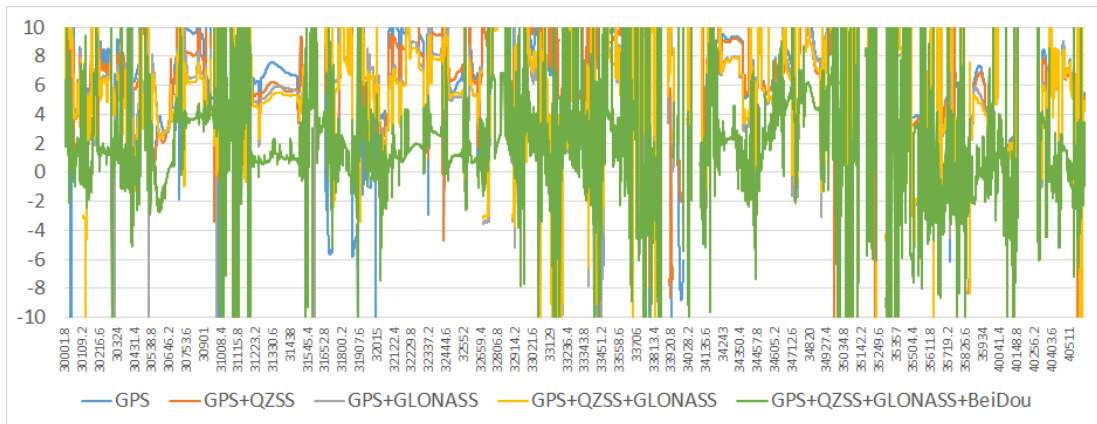


図 5.154 高さ方向誤差の推移：首都高速／1 回目

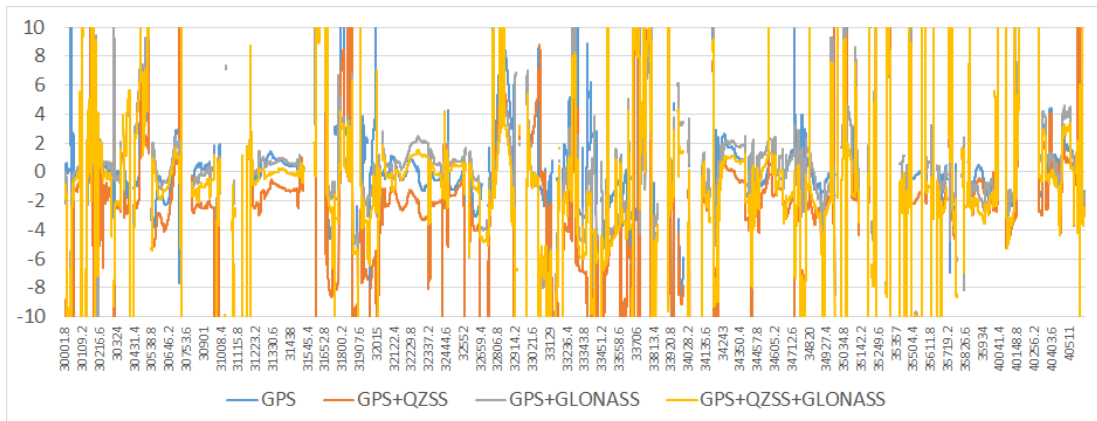


図 5.155 高さ方向誤差の推移：首都高速／1 回目【L1-SAIF】

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

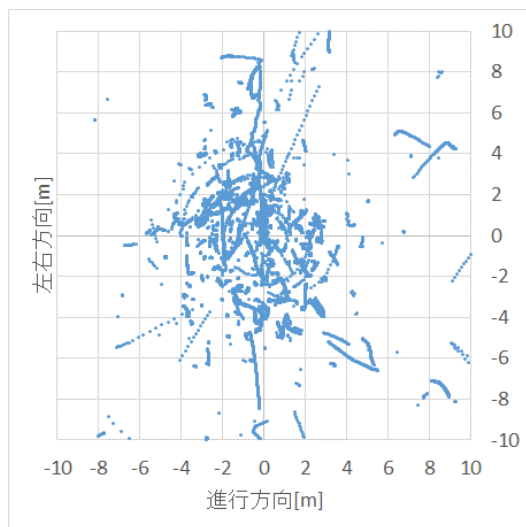


図 5.156 誤差分布
首都高速／1 回目
GPS

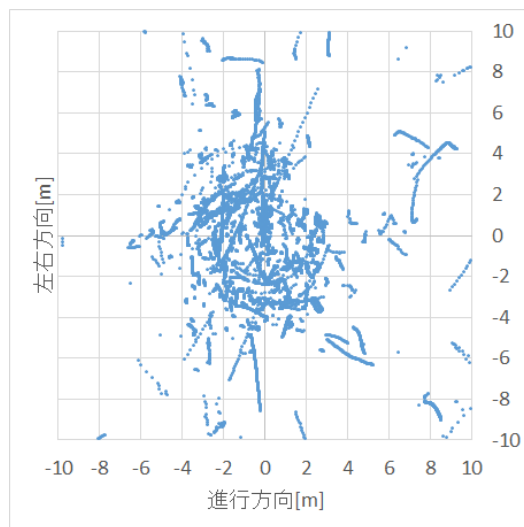


図 5.157 誤差分布
首都高速／1 回目
GPS+QZSS

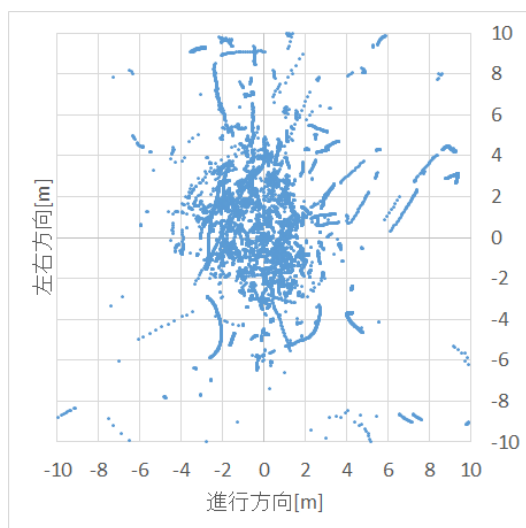


図 5.158 誤差分布
首都高速／1 回目
GPS+GLONASS

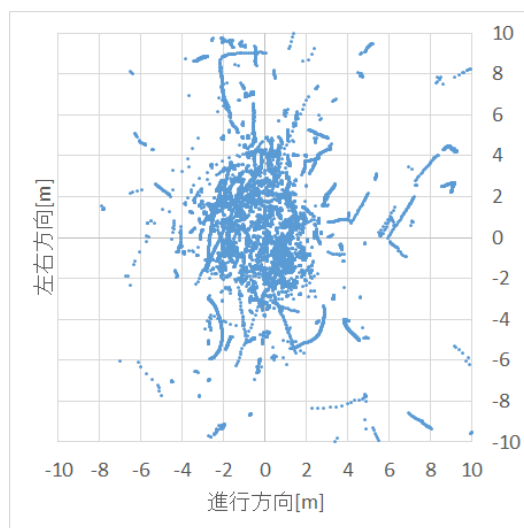


図 5.159 誤差分布
首都高速／1 回目
GPS+QZSS+GLONASS

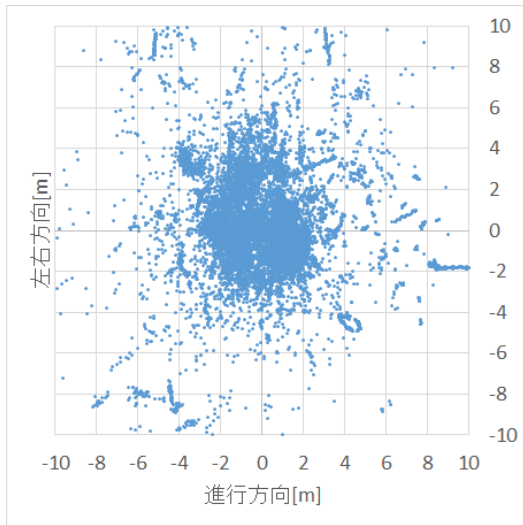


図 5.160 誤差分布
 首都高速/1回目
 GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou

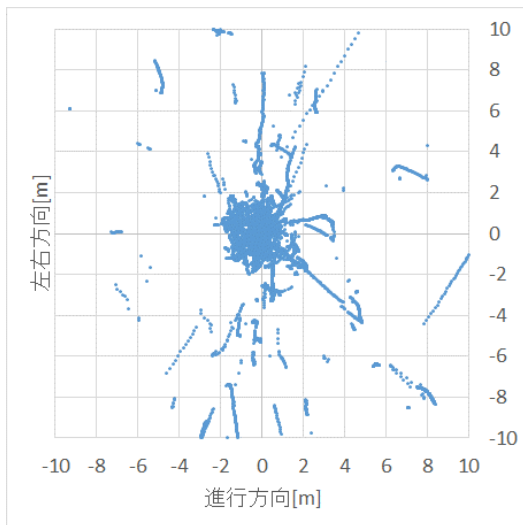


図 5.161 誤差分布
 首都高速/1回目
 【L1-SAIF】 GPS

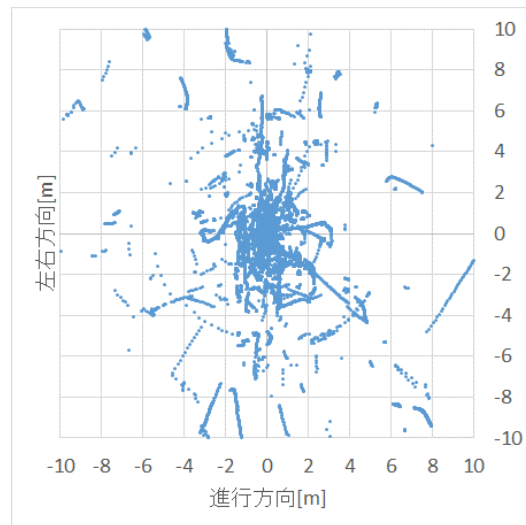


図 5.162 誤差分布
 首都高速/1回目
 【L1-SAIF】 GPS+QZSS

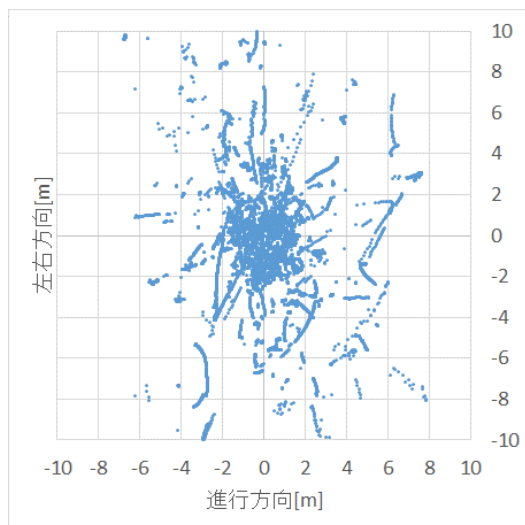


図 5.163 誤差分布
首都高速／1 回目
【L1-SAIF】GPS+GLONASS

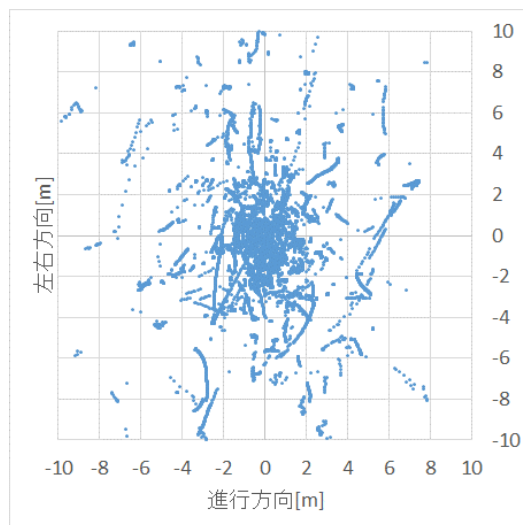


図 5.164 誤差分布
首都高速／1 回目
【L1-SAIF】GPS+QZSS+GLONASS

誤差のヒストグラム

表 5.13 左右誤差発生数：首都高速／1 回目

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+GLONASS	GPS+QZSS+ GLONASS	GPS+QZSS+ GLONASS+BeiDou
0.25	107	94	87	114	125
0.50	157	160	150	140	150
0.75	251	281	104	87	217
1.00	243	279	145	210	174
1.25	99	131	208	155	150
1.50	82	87	100	156	199
1.75	109	125	62	94	288
2.00	160	206	121	124	183
2.25	206	147	91	97	162
2.50	268	278	122	134	137
2.75	172	174	131	108	152
3.00	377	381	71	84	155
3.25	247	265	88	97	170
3.50	73	91	202	218	238
3.75	35	45	173	180	321

4.00	25	14	213	202	202
4.25	12	10	103	98	297
4.50	5	1	43	44	129
4.75	4	3	69	70	267
5.00	11	13	97	109	186
5m 以上	86	84	479	467	579
unfix	2782	2642	2652	2523	1030

表 5.14 左右誤差発生数：首都高速／1 回目【L1-SAIF】

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+GLONASS	GPS+QZSS+GLONASS
0.25	996	767	1130	1446
0.50	881	475	747	655
0.75	411	376	460	181
1.00	143	538	204	299
1.25	119	283	144	124
1.50	50	89	46	58
1.75	55	68	65	27
2.00	30	34	28	11
2.25	10	19	9	17
2.50	8	19	3	21
2.75	0	20	2	21
3.00	2	11	3	9
3.25	0	5	1	5
3.50	0	6	0	2
3.75	1	2	0	1
4.00	2	19	0	17
4.25	2	3	2	3
4.50	1	5	2	7
4.75	1	4	1	4
5.00	1	0	1	0
5m 以上	16	126	14	80
unfix	2782	2642	2649	2523

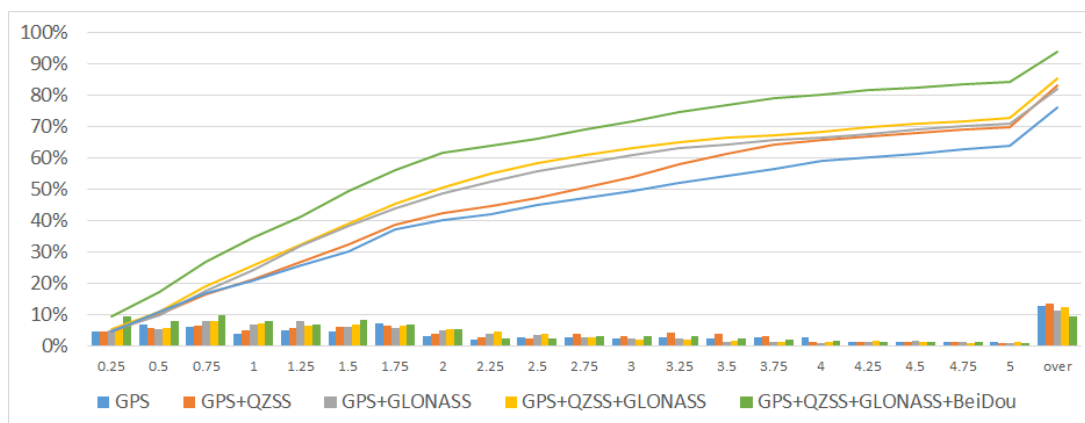


図 5.165 左右誤差ヒストグラム：首都高速／1 回目

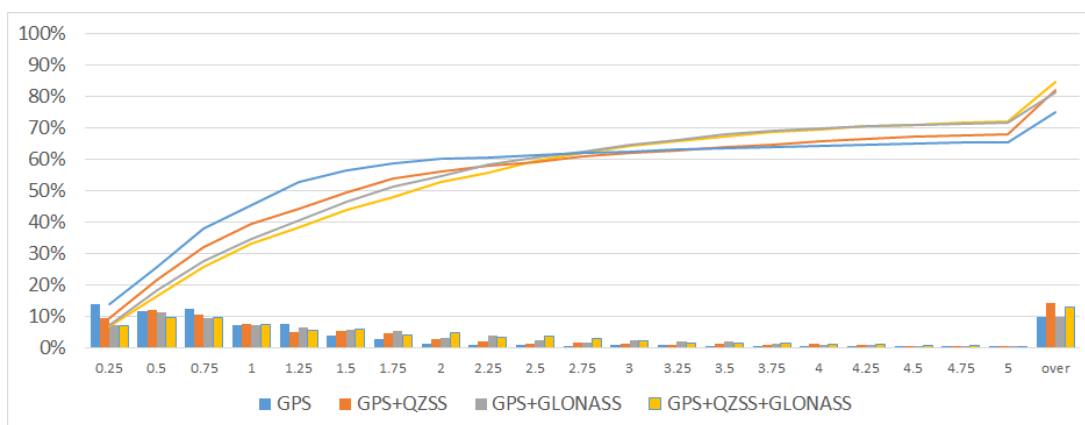


図 5.166 左右誤差ヒストグラム：首都高速／1 回目【L1-SAIF】

5.1.2.3.2. コード測位受信機

計測情報

測位方式：コード測位

補強方式：SBAS※GPS+QZSS+BeiDouのみ使用

計測経路：首都高速（コース2）

計測時刻：2014/12/14 3:31:06 ~ 3:49:38 (UTC)

使用機材：受信機：コード測位受信機

アンテナ：Roof 設置

取得衛星システム：

GPS／GPS+QZSS／GPS+GLONASS／GPS+QZSS+GLONASS

GPS+QZSS+BeiDou

左右方向誤差 MAP

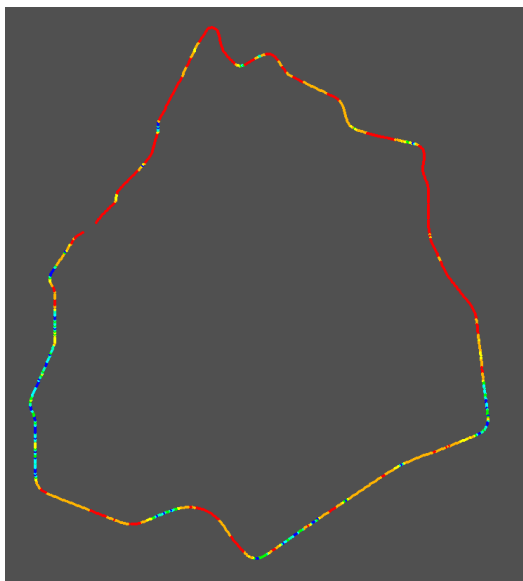
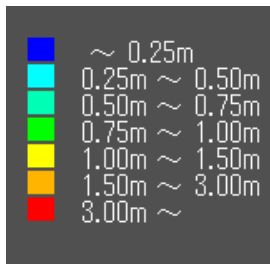


図 5.167 左右方向誤差 MAP
首都高速/1回目
GPS

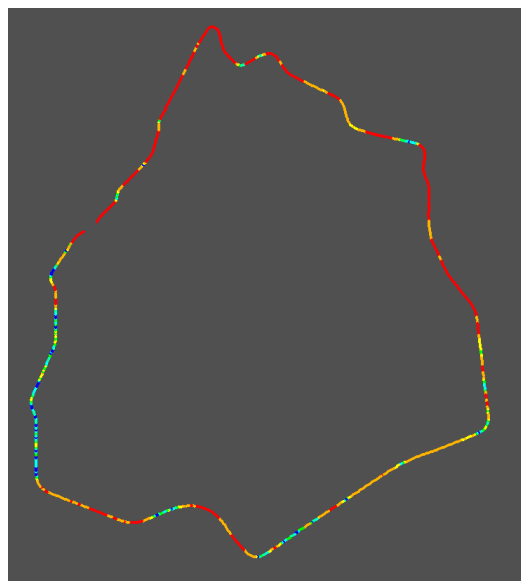


図 5.168 左右方向誤差 MAP
首都高速/1回目
GPS+QZSS

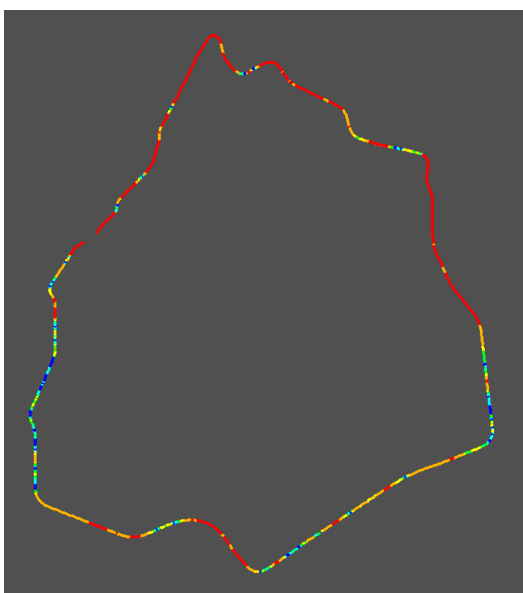


図 5.169 左右方向誤差 MAP
首都高速/1回目
GPS+GLONASS

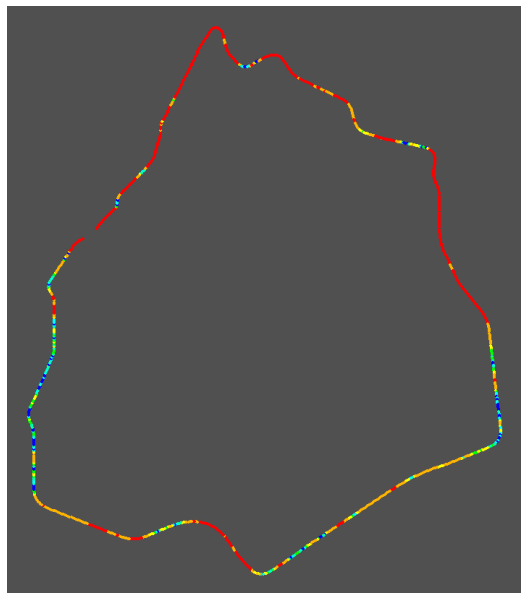


図 5.170 左右方向誤差 MAP
首都高速/1回目
GPS+QZSS+GLONASS

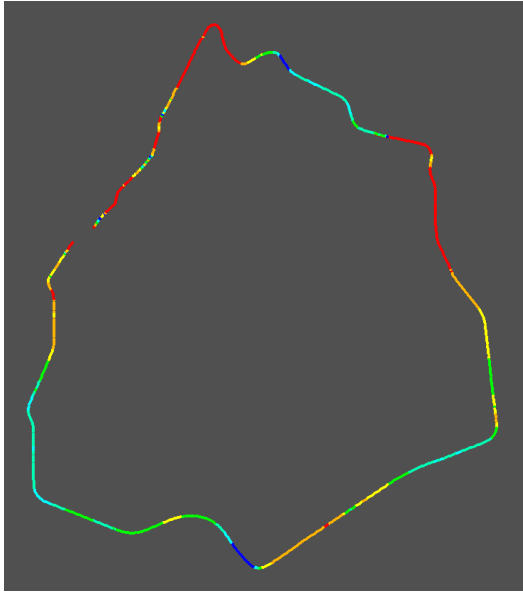


図 5.171 左右方向誤差 MAP
 首都高速／1 回目
 【SBAS】GPS+QZSS+BeiDou

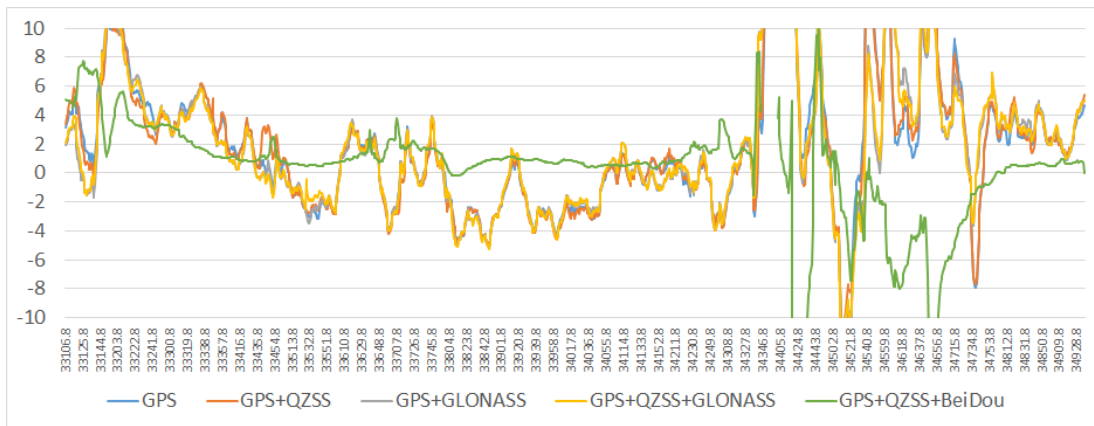


図 5.172 左右方向誤差の推移：首都高速／1 回目

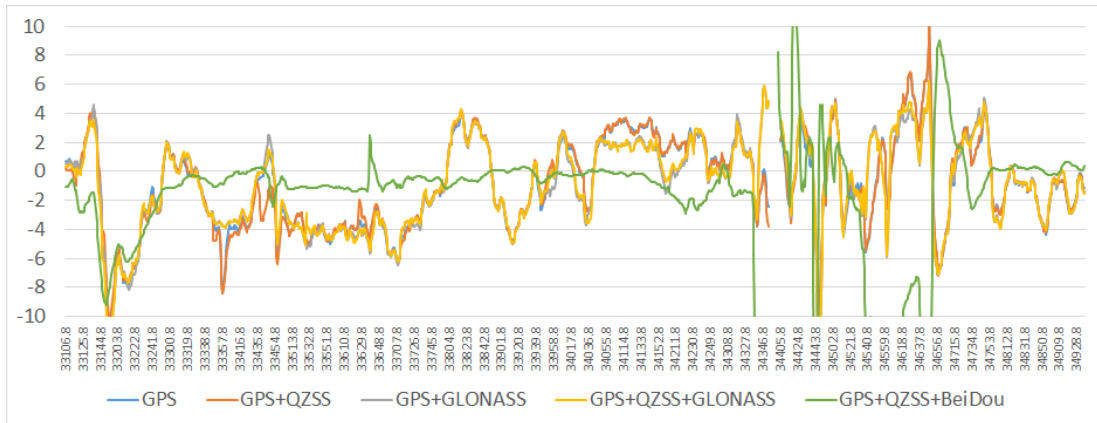


図 5.173 進行方向誤差の推移：首都高速／1 回目

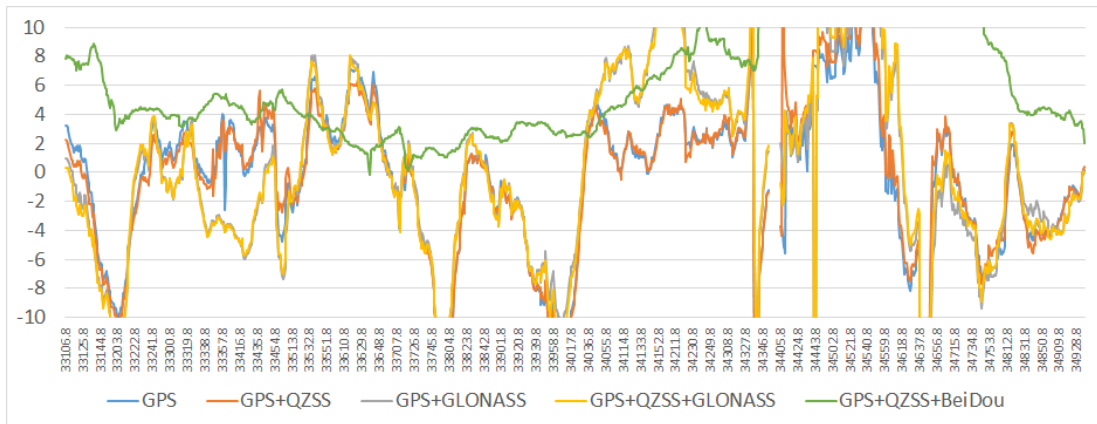


図 5.174 高さ方向誤差の推移：首都高速／1 回目

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

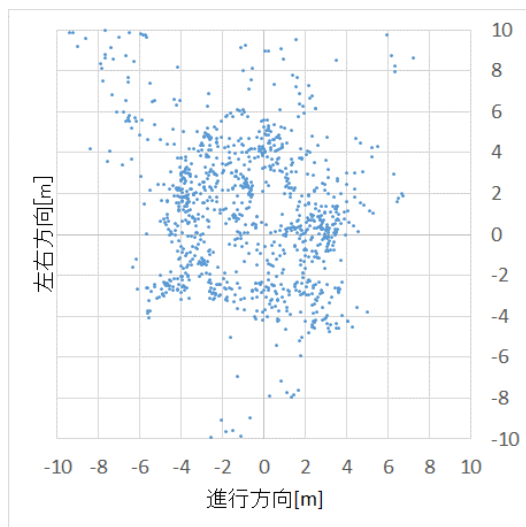


図 5.175 誤差分布
首都高速／1 回目
GPS

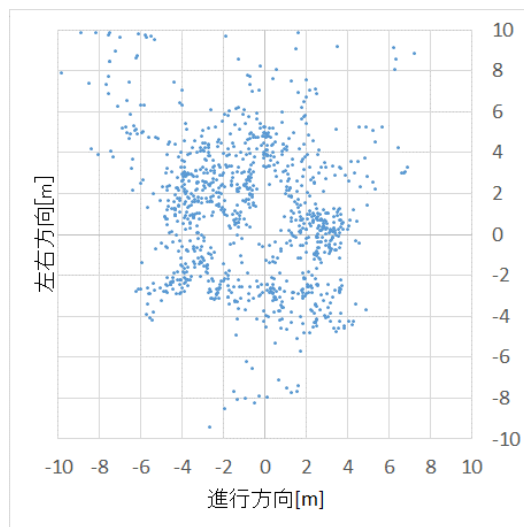


図 5.176 誤差分布
首都高速／1 回目
GPS+QZSS

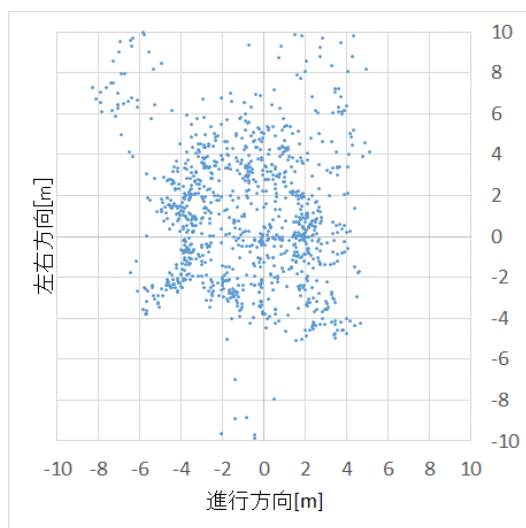


図 5.177 誤差分布
首都高速／1 回目
GPS+GLONASS

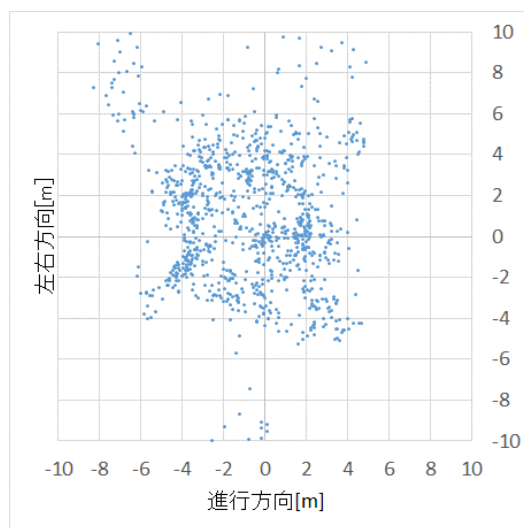


図 5.178 誤差分布
首都高速／1 回目
GPS+QZSS+GLONASS

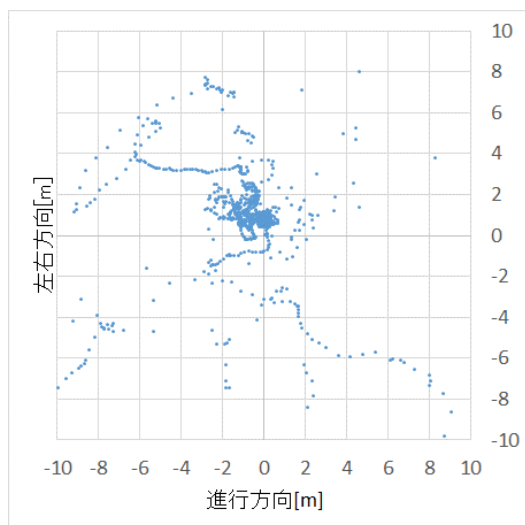


図 5.179 誤差分布
 首都高速／1回目
 【SBAS】GPS+QZSS+BeiDou

誤差のヒストグラム

表 5.15 左右誤差発生数：首都高速／1回目

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+GLONASS	GPS+QZSS+ GLONASS	【SBAS】 GPS+QZSS+BeiDou
0.25	66	47	75	70	40
0.50	51	51	56	55	82
0.75	57	63	50	60	199
1.00	57	59	64	56	182
1.25	39	45	51	49	88
1.50	43	41	51	47	59
1.75	38	36	27	44	71
2.00	46	35	59	46	38
2.25	48	55	58	65	23
2.50	72	60	46	34	22
2.75	63	68	53	51	17
3.00	58	71	45	44	6
3.25	57	55	44	59	39
3.50	24	36	56	50	32
3.75	34	30	38	33	14

4.00	26	38	29	36	8
4.25	47	36	29	35	4
4.50	32	34	31	29	11
4.75	29	24	23	27	10
5.00	16	28	17	20	10
5m 以上	196	187	197	189	139
unfix	12	12	12	12	19

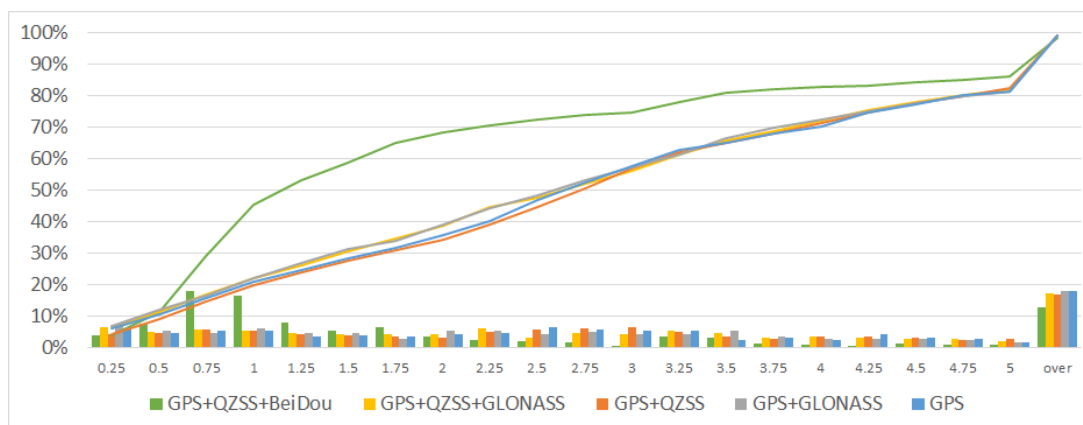


図 5.180 左右誤差ヒストグラム：首都高速／1 回目

5.1.2.3.3. 搬送波位相測位 (RTK)

計測情報

測位方式：搬送波位相測位 (RTK)

補強方式：

計測経路：首都高速 (コース 2)

計測時刻：2014/12/14 3:31:06 ~ 3:49:38 (UTC)

使用機材：受信機：Trimble

アンテナ：NovAtel／Roof 設置 (MMS と同一)

取得衛星システム：GPS／GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou

左右方向誤差 MAP

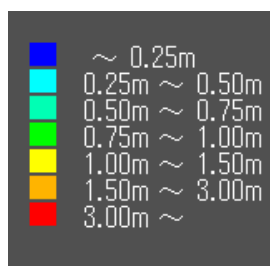




图 5.181 左右方向誤差 MAP
 首都高速/1 回目
 GPS (Fix)

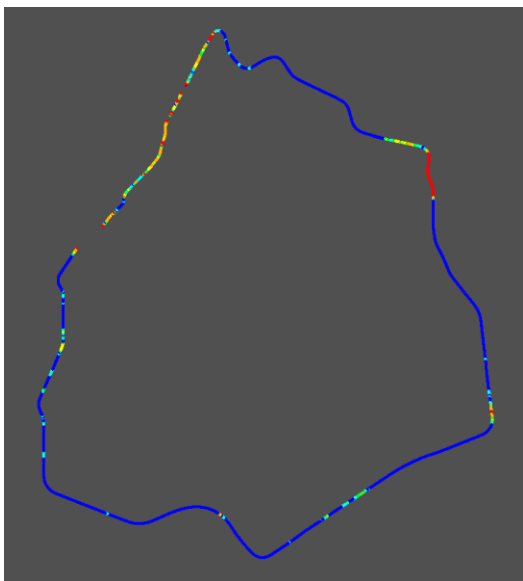


图 5.182 左右方向誤差 MAP
 首都高速/1 回目
 GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou
 (Float+Fix)



图 5.183 左右方向誤差 MAP
 首都高速/1 回目
 GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou
 (Fix)

推移グラフ

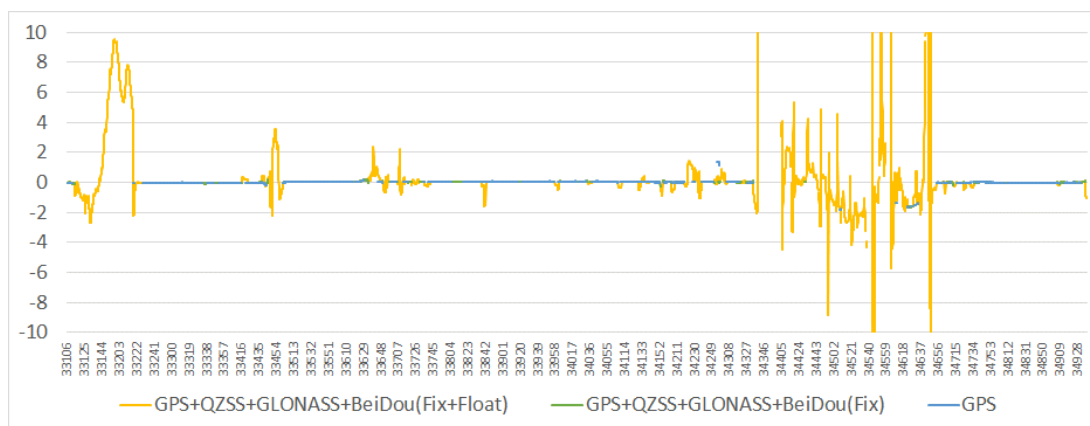


図 5.184 左右方向誤差の推移：首都高速／1 回目

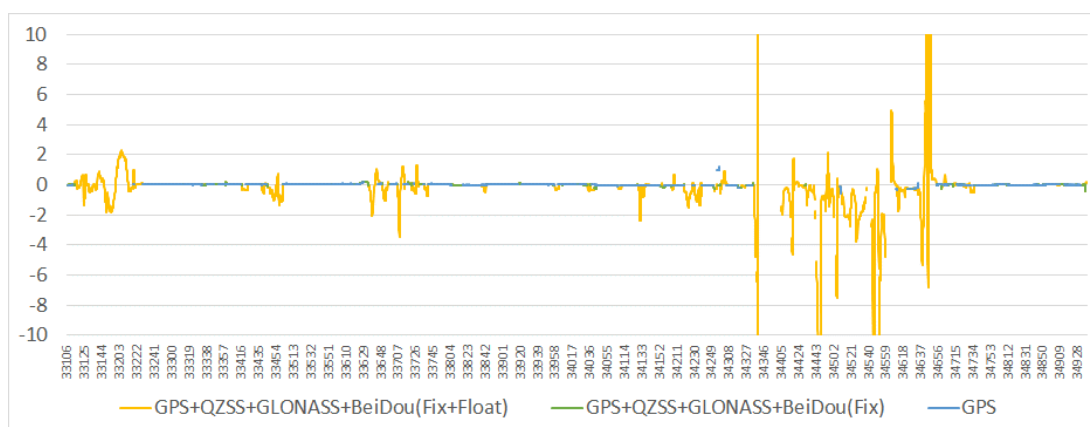


図 5.185 進行方向誤差の推移：首都高速／1 回目

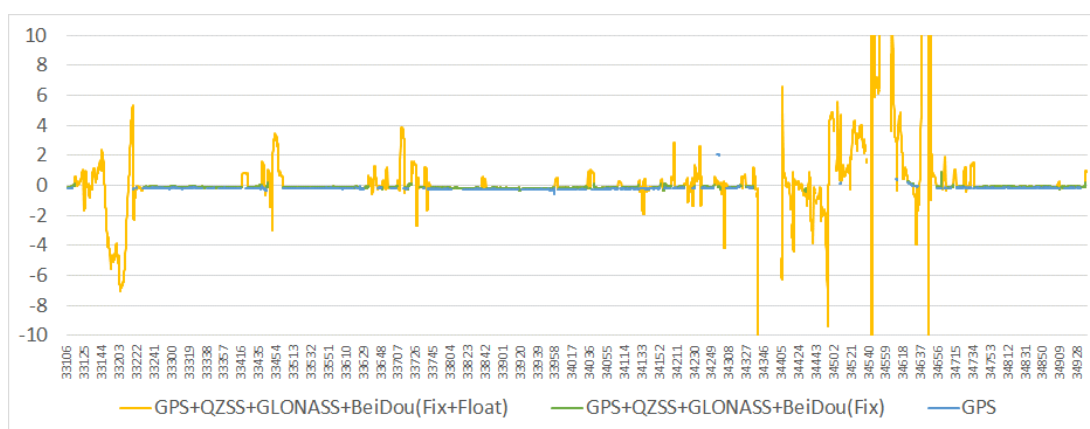


図 5.186 高さ方向誤差の推移：首都高速／1 回目

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

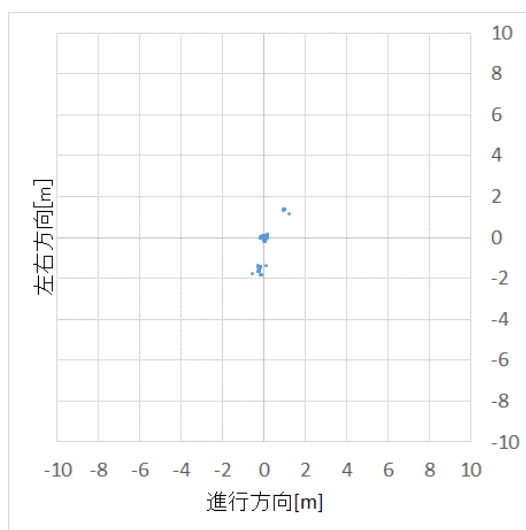


図 5.187 誤差分布
首都高速／1 回目
GPS (Fix)

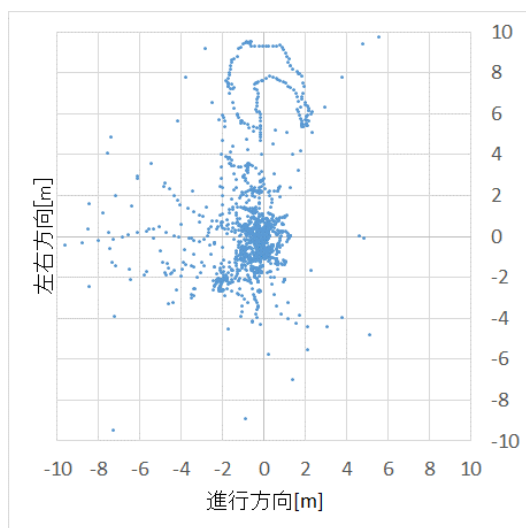


図 5.188 誤差分布
首都高速／1 回目
GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou
(Float+Fix)

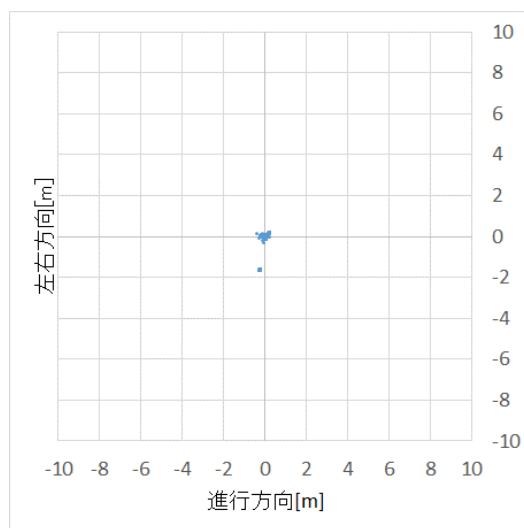


図 5.189 誤差分布
首都高速／1 回目
GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou
(Fix)

誤差のヒストグラム

表 5.16 左右誤差発生数：首都高速／1 回目

誤差[m]	GPS (Fix)	GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou (Float+Fix)	GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou (Fix)
0.25	3136	10532	9357
0.50	0	1790	1249
0.75	0	1037	581
1.00	0	755	446
1.25	1	691	0
1.50	31	604	340
1.75	28	182	14
2.00	5	125	0
2.25	0	93	0
2.50	0	95	0
2.75	0	81	0
3.00	0	49	0
3.25	0	50	0
3.50	0	82	0
3.75	0	58	0
4.00	0	96	0
4.25	0	45	0
4.50	0	44	0
4.75	0	80	0
5.00	0	48	0
5m 以上	0	2567	20
unfix	2359	151	7248

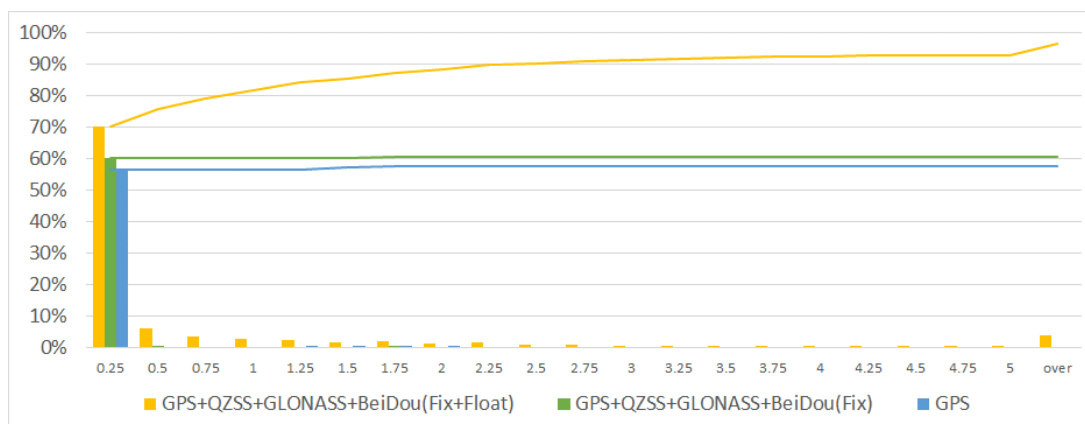


図 5.190 左右誤差ヒストグラム：首都高速／1 回目

5.1.2.3.4. CMAS

計測情報

測位方式：搬送波位相測位

補強方式：CMAS

計測経路：首都高速（コース2）

計測時刻：2014/12/14 3:31:06 ~ 3:49:38 (UTC)

使用機材：受信機：LEXR/LEXRx

アンテナ：NovAtel/Roof 設置 (MMS と同一)

取得衛星システム：GPS/GPS+QZSS

左右方向誤差 MAP

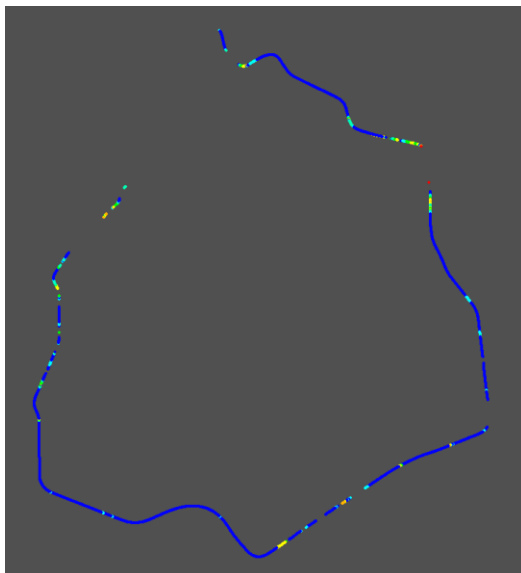
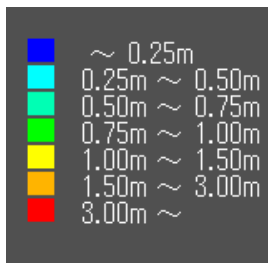


図 5.191 左右方向誤差 MAP
首都高速/1 回目
【CMAS】 GPS

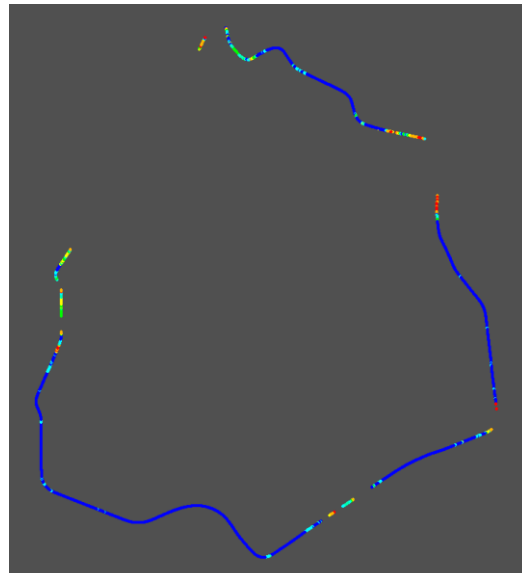


図 5.192 左右方向誤差 MAP
首都高速/1 回目
【CMAS】 GPS+QZSS

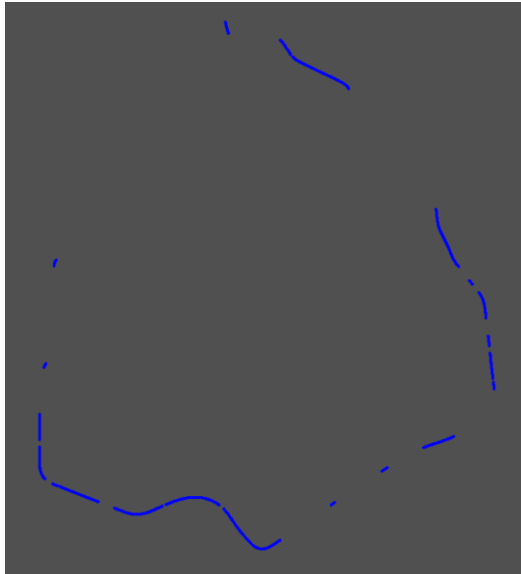


図 5.193 左右方向誤差 MAP
首都高速／1 回目
CMAS/GPS (Fix 解のみ)

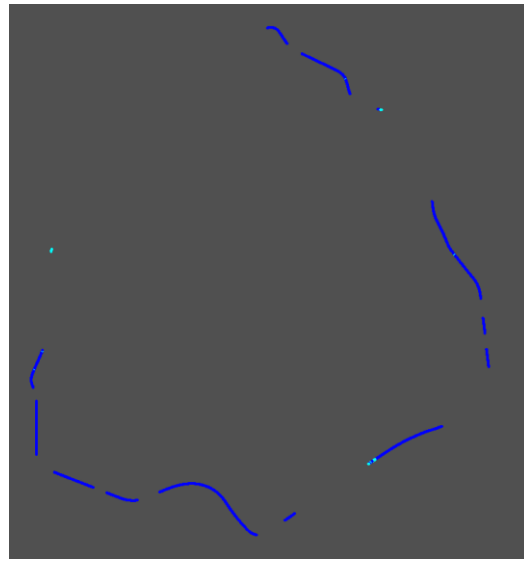


図 5.194 左右方向誤差 MAP
首都高速／1 回目
CMAS/GPS+QZSS (Fix 解のみ)

推移グラフ

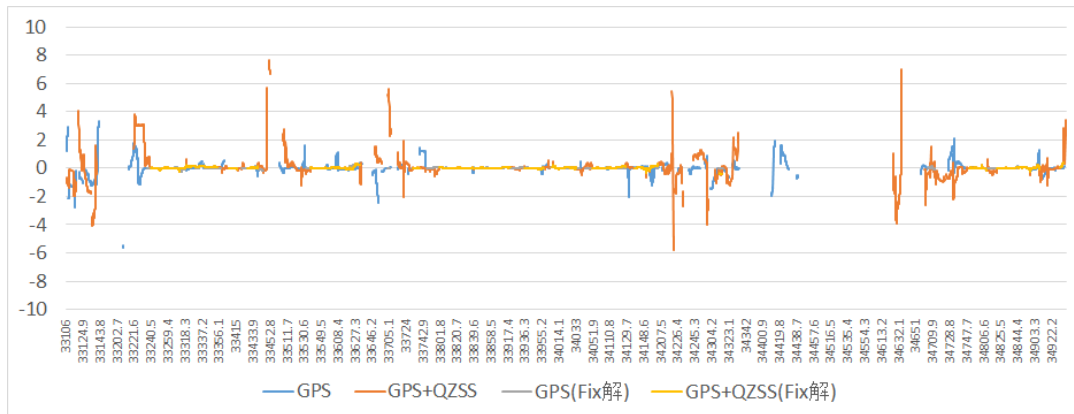


図 5.195 左右方向誤差の推移：首都高速／1 回目【CMAS】

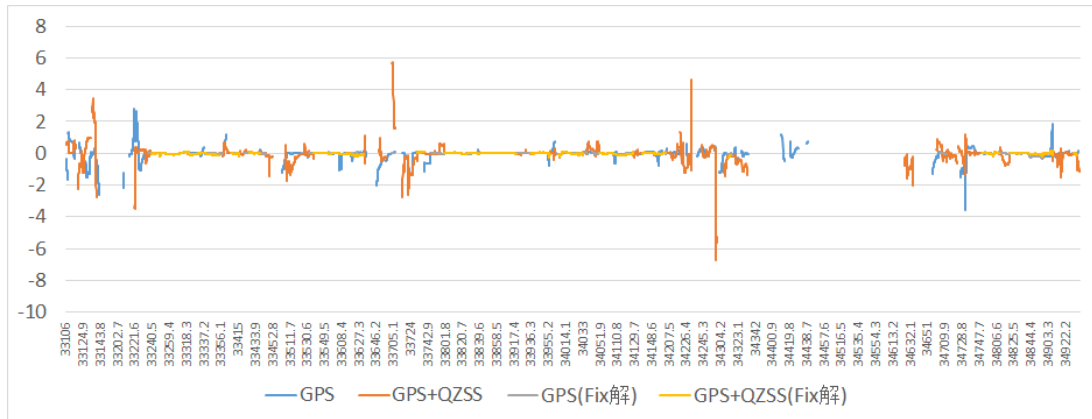


図 5.196 進行方向誤差の推移：首都高速／1 回目【CMAS】

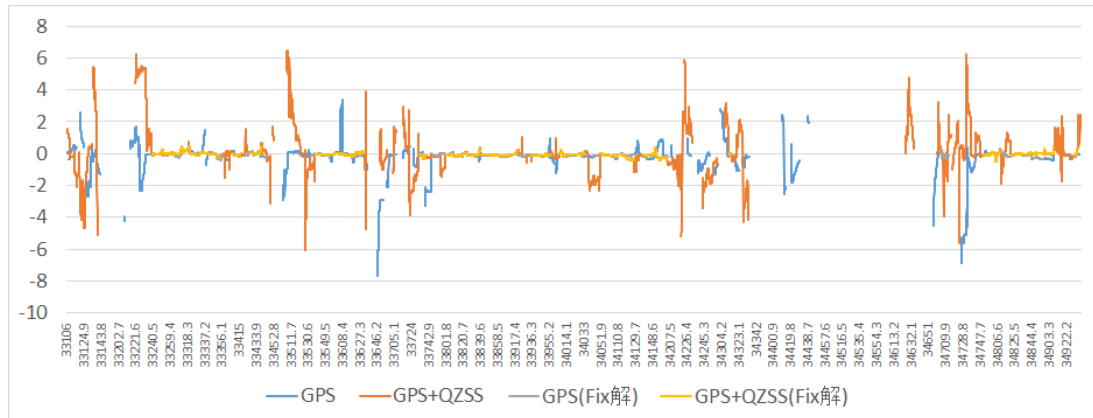


図 5.197 高さ誤差の推移：首都高速／1 回目【CMAS】

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

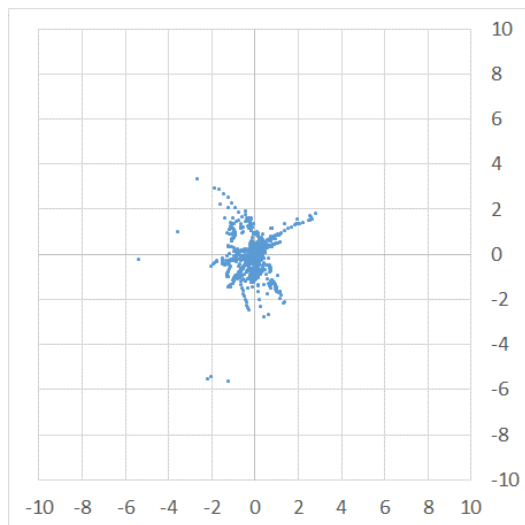


図 5.198 誤差分布
首都高速／1回目
【CMAS】 GPS

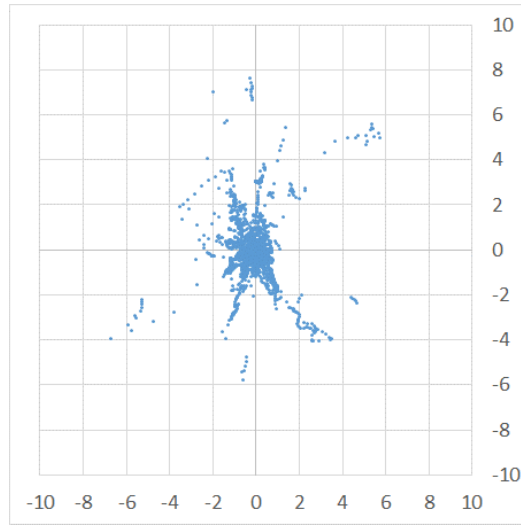


図 5.199 誤差分布
首都高速／1回目
【CMAS】 GPS+QZSS

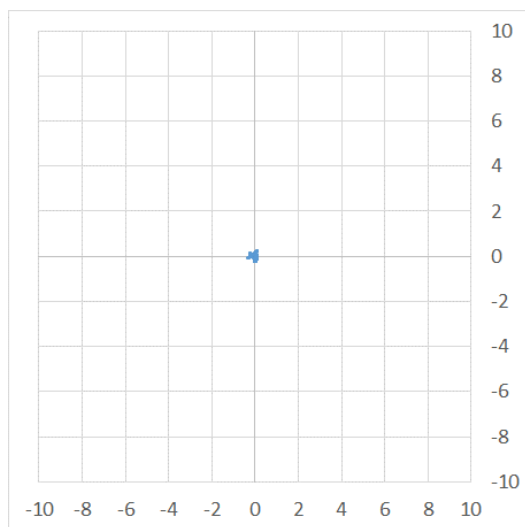


図 5.200 誤差分布
首都高速／1回目
【CMAS】 GPS (Fix 解)

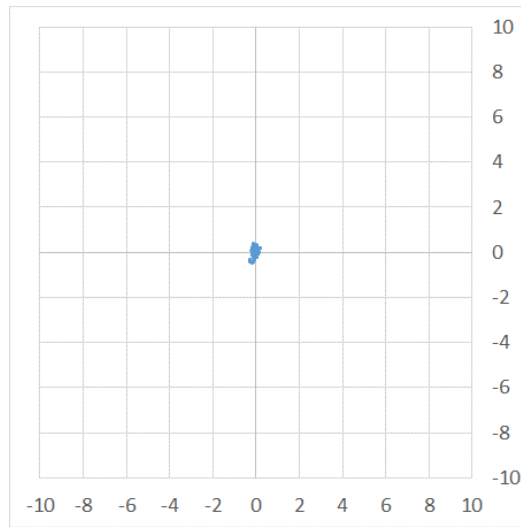


図 5.201 誤差分布
首都高速／1回目
【CMAS】 GPS+QZSS (Fix 解)

誤差のヒストグラム

表 5.17 左右誤差発生数：首都高速／1回目【CMAS】

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS(Fix 解)	GPS+QZSS(Fix 解)
0.25	3276	6037	1955	4135
0.50	209	674	0	69
0.75	134	284	0	0
1.00	101	288	0	0
1.25	112	163	0	0
1.50	60	85	0	0
1.75	25	85	0	0
2.00	7	58	0	0
2.25	9	38	0	0
2.50	4	35	0	0
2.75	3	36	0	0
3.00	3	36	0	0
3.25	0	90	0	0
3.50	1	25	0	0
3.75	0	16	0	0
4.00	0	9	0	0
4.25	0	5	0	0
4.50	0	2	0	0
4.75	0	2	0	0
5.00	0	8	0	0
5m 以上	3	26	0	0
unfix	1614	3119	3606	6917

※Fix 解の[unfix]は Float 解を含んでいます。

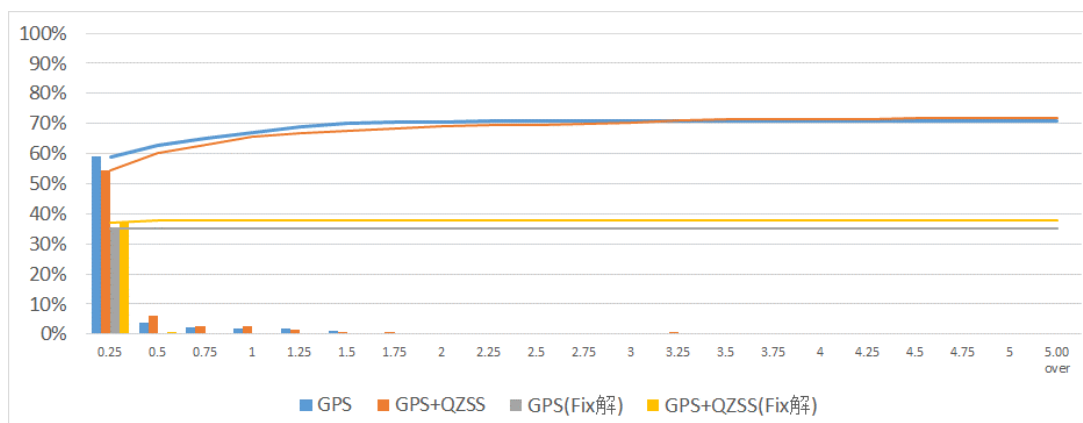


図 5.202 左右誤差ヒストグラム：都市高速／1回目【CMAS】

5.1.2.3.5. MADOCA-PPP

計測情報

測位方式：搬送波位相測位

補強方式：MADOCA-PPP

計測経路：首都高速（コース 2）

計測時刻：2014/12/14 3:31:06 ~ 3:49:38 (UTC)

使用機材：受信機：JAVAD

アンテナ：NovAtel／Roof 設置（MMS と同一）

取得衛星システム：GPS／GPS+QZSS／GPS+QZSS+GLONASS

左右方向誤差 MAP

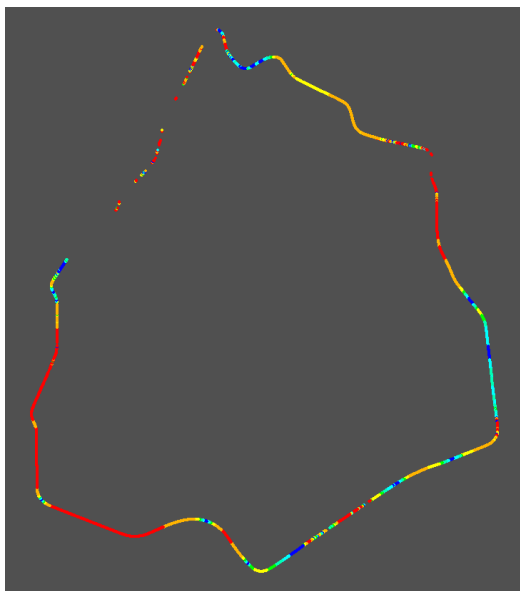
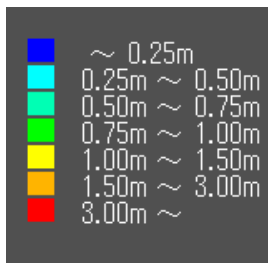


図 5.203 左右方向誤差 MAP
首都高速／1 回目
GPS
(単独測位解+PPP 解)

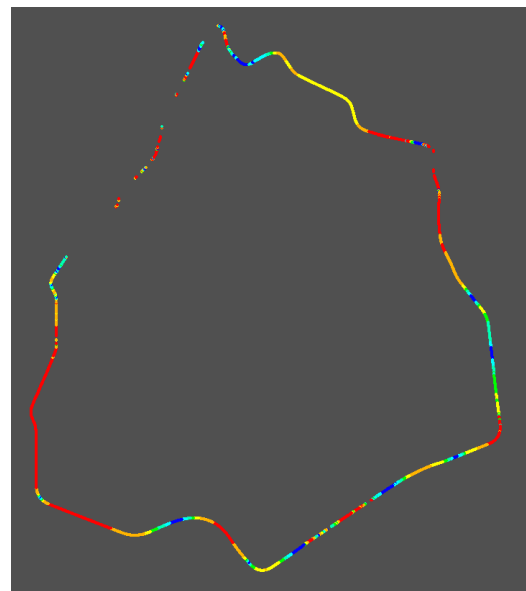


図 5.204 左右方向誤差 MAP
首都高速／1 回目
GPS+QZSS
(単独測位解+PPP 解)

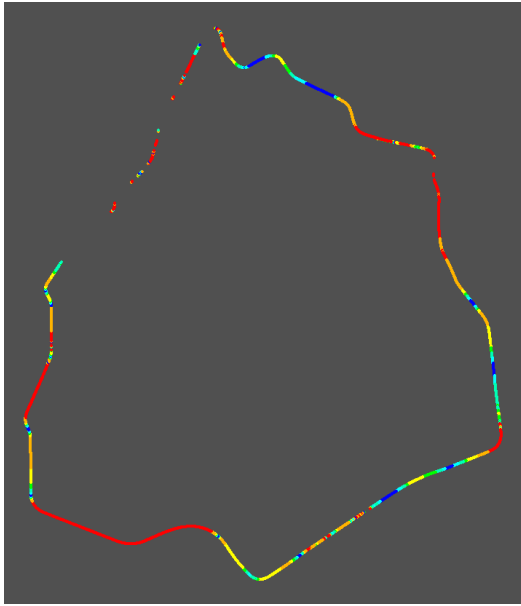


図 5.205 左右方向誤差 MAP
 首都高速／1 回目
 GPS+QZSS+GLONASS
 (単独測位解+PPP 解)

推移グラフ

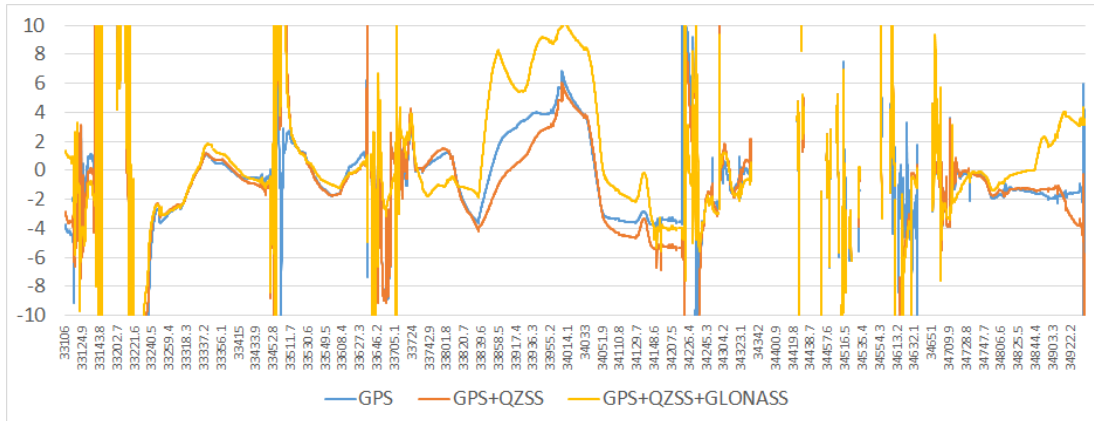


図 5.206 左右方向誤差の推移：首都高速／1 回目 (単独測位解+PPP 解)

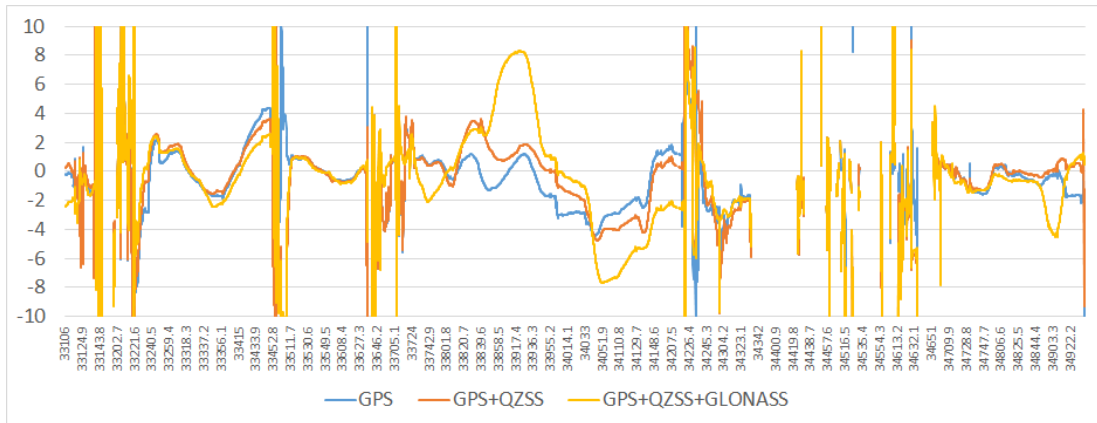


図 5.207 進行方向誤差の推移：首都高速／1 回目（単独測位解+PPP 解）

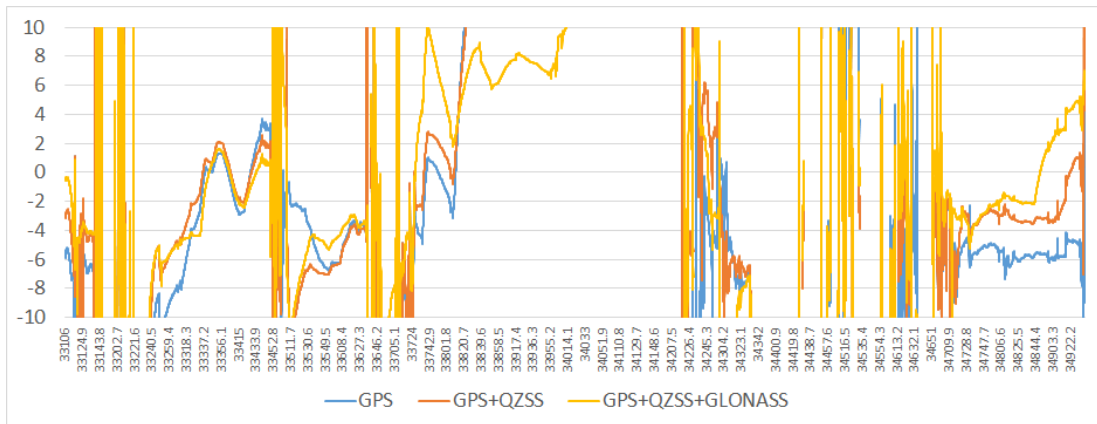


図 5.208 高さ方向誤差の推移：首都高速／1 回目（単独測位解+PPP 解）

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

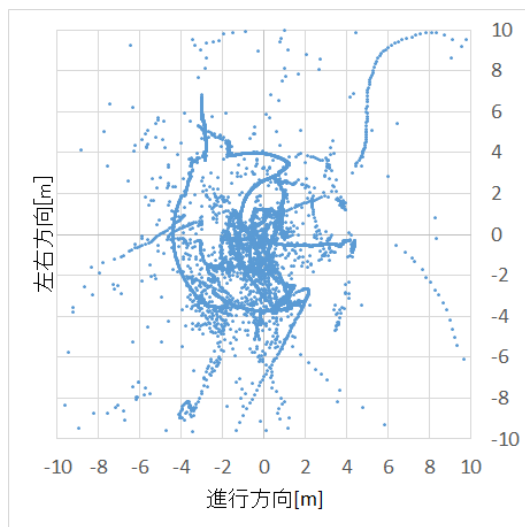


図 5.209 誤差分布
首都高速／1 回目
GPS
(単独測位解+PPP 解)

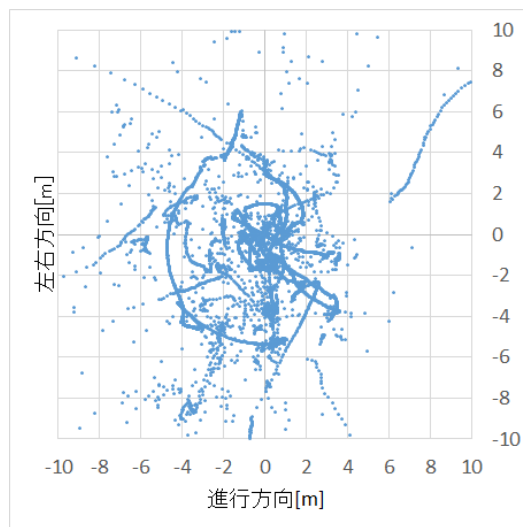


図 5.210 誤差分布
首都高速／1 回目
GPS+QZSS
(単独測位解+PPP 解)

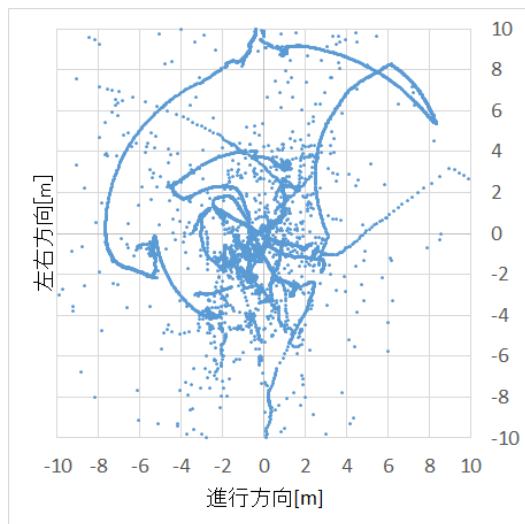


図 5.211 誤差分布
首都高速／1 回目
GPS+QZSS+GLONASS
(単独測位解+PPP 解)

誤差のヒストグラム

表 5.18 左右誤差発生数：首都高速／1 回目

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+QZSS+GLONASS
0.25	767	832	814
0.50	849	706	626
0.75	644	637	768
1.00	490	593	691
1.25	533	571	847
1.50	561	964	480
1.75	834	538	433
2.00	448	214	386
2.25	201	188	285
2.50	228	268	315
2.75	278	268	218
3.00	304	283	233
3.25	256	267	211
3.50	639	231	176
3.75	505	307	181
4.00	368	274	280
4.25	127	201	191
4.50	143	226	72
4.75	86	240	77
5.00	66	121	61
5m 以上	871	1302	1970
unfix	1923	1890	1806

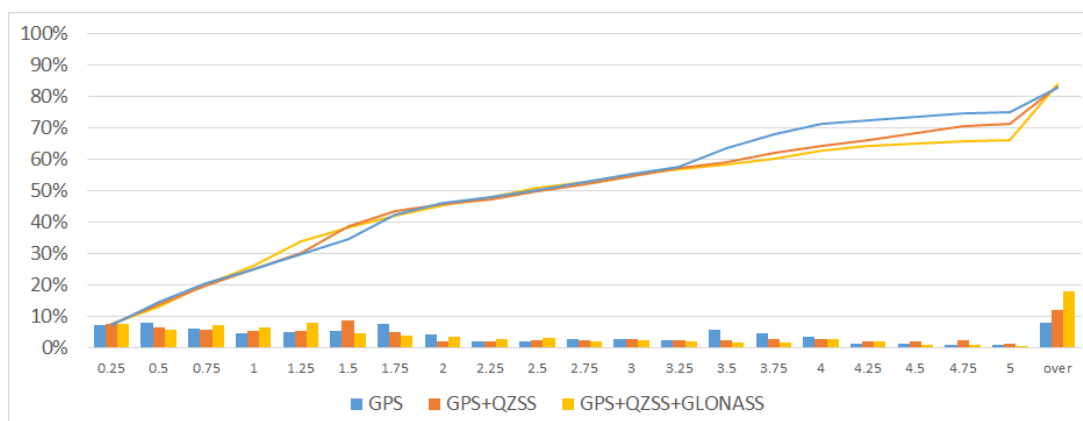


図 5.212 左右誤差ヒストグラム：首都高速／1 回目

5.1.2.4 都市高速 (2 回目)

5.1.2.4.1. コード測位

計測情報

測位方式：コード測位 (後処理)

補強方式：L1-SAIF

計測経路：首都高速 (コース 2)

計測時刻：2014/12/14 6:00:22 ~ 6:18:40 (UTC)

使用機材：受信機：NovAtel

アンテナ：NovAtel/Roof 設置 (MMS と同一)

取得衛星システム：GPS/GPS+QZSS/GPS+GLONASS/GPS+QZSS+GLONASS

左右方向誤差 MAP

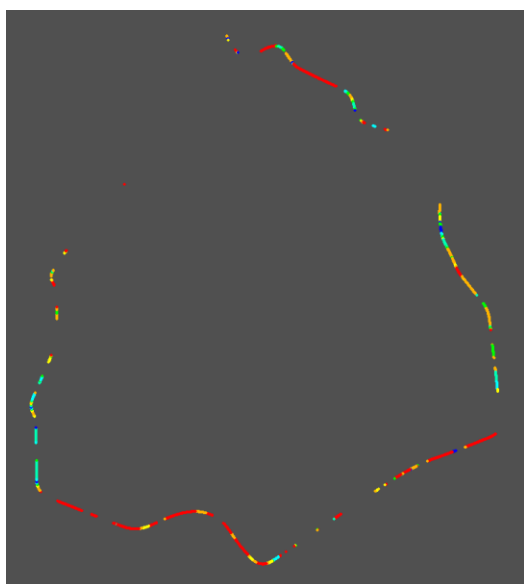
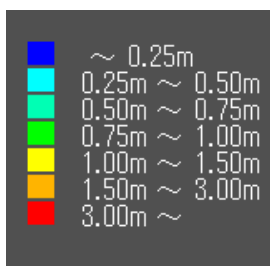


図 5.213 左右方向誤差 MAP
首都高速/2 回目
GPS

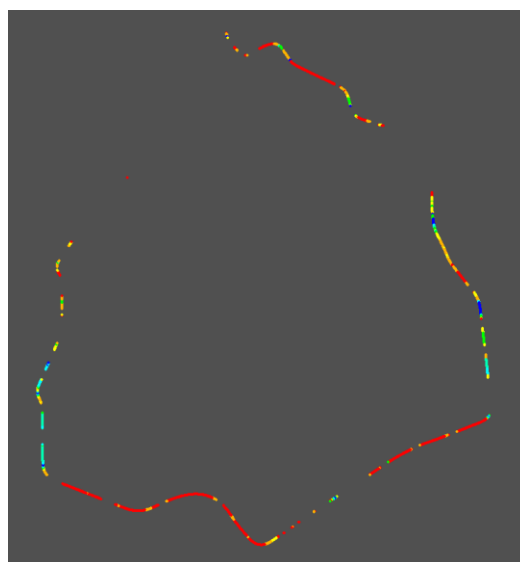


図 5.214 左右方向誤差 MAP
首都高速/2 回目
GPS+QZSS

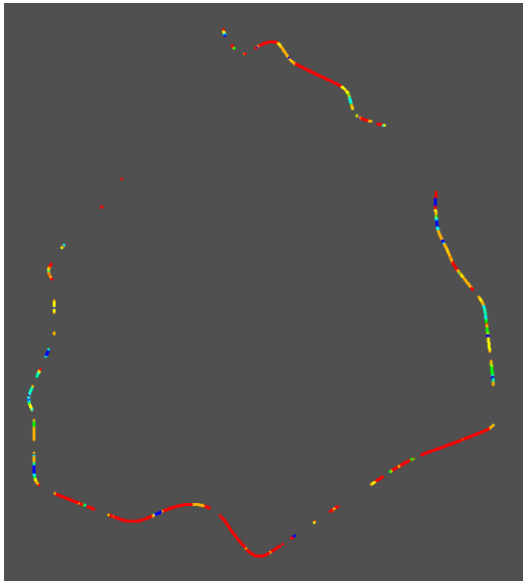


图 5.215 左右方向誤差 MAP
首都高速／2 回目
GPS+GLONASS

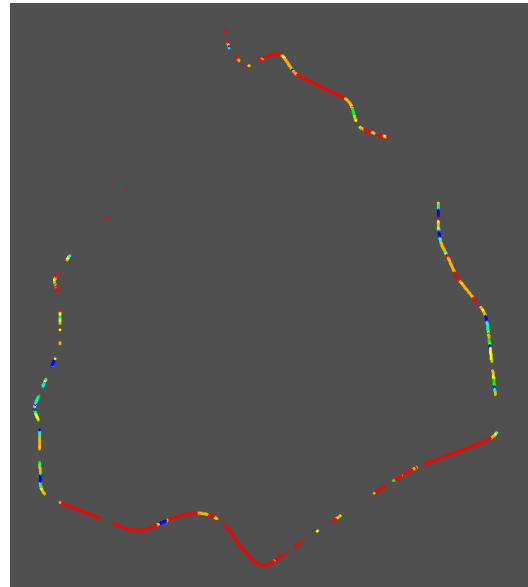


图 5.216 左右方向誤差 MAP
首都高速／2 回目
GPS+QZSS+GLONASS

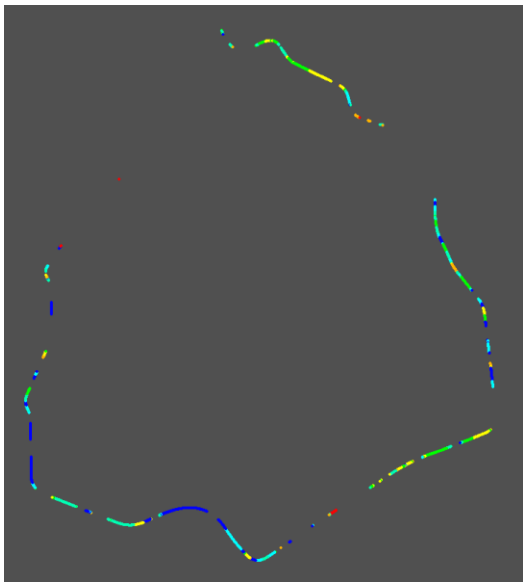


图 5.217 左右方向誤差 MAP
首都高速／2 回目
【L1-SAIF】 GPS

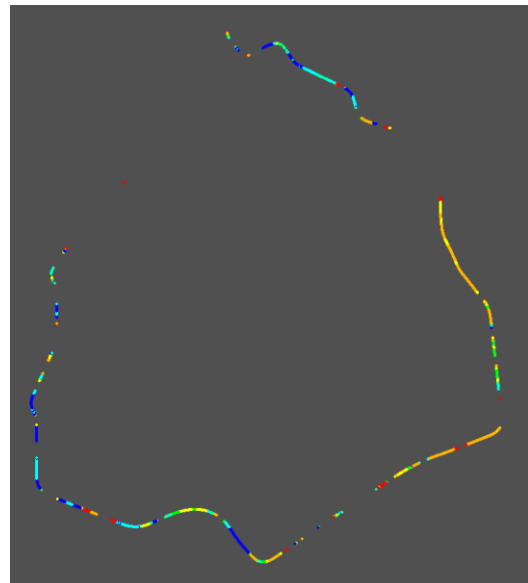


图 5.218 左右方向誤差 MAP
首都高速／2 回目
【L1-SAIF】 GPS+QZSS

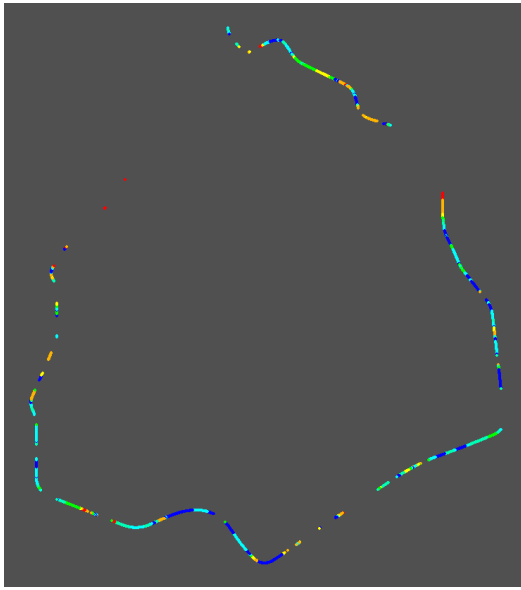


図 5.219 左右方向誤差 MAP
首都高速／2 回目
【L1-SAIF】GPS+GLONASS

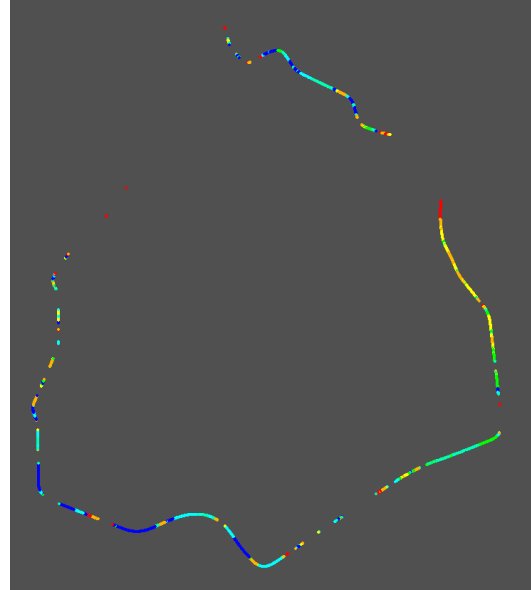


図 5.220 左右方向誤差 MAP
首都高速／2 回目
【L1-SAIF】GPS+QZSS+GLONASS

推移グラフ

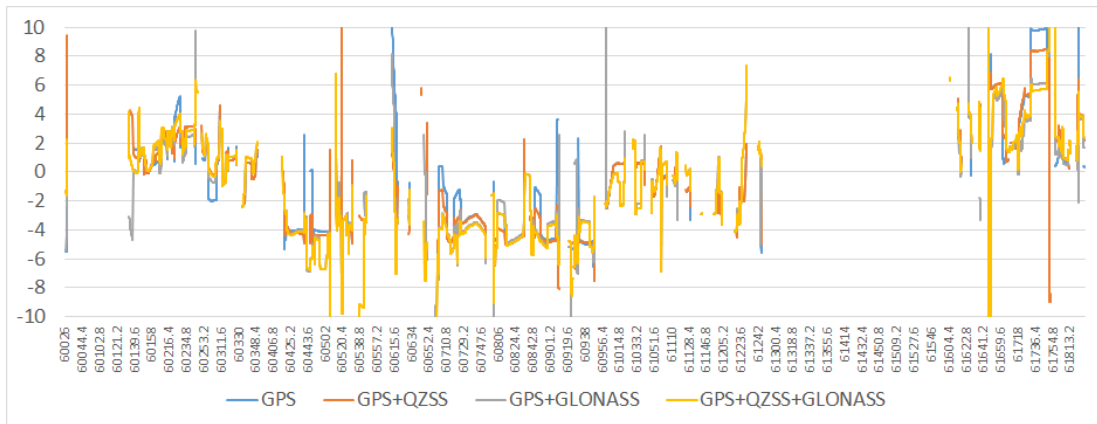


図 5.221 左右方向誤差の推移：首都高速／2 回目

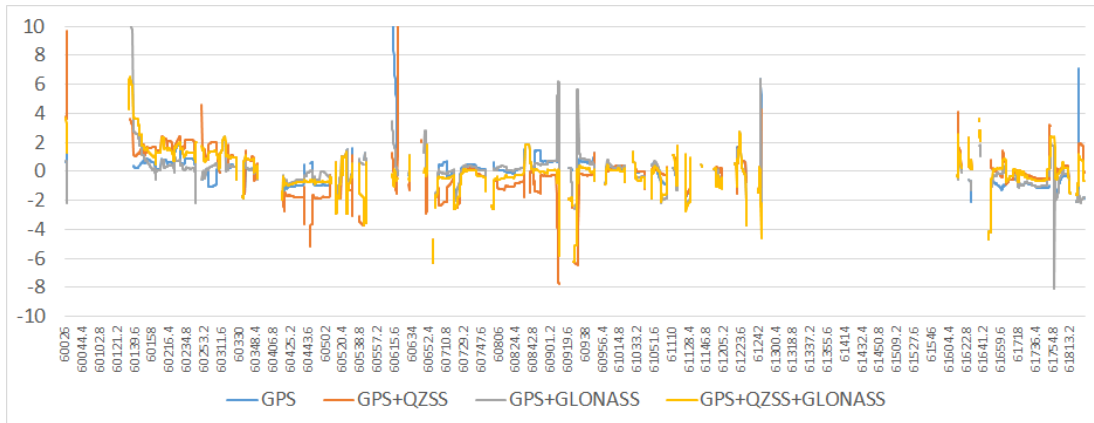


図 5.222 左右方向誤差の推移：首都高速／2 回目【L1-SAIF】

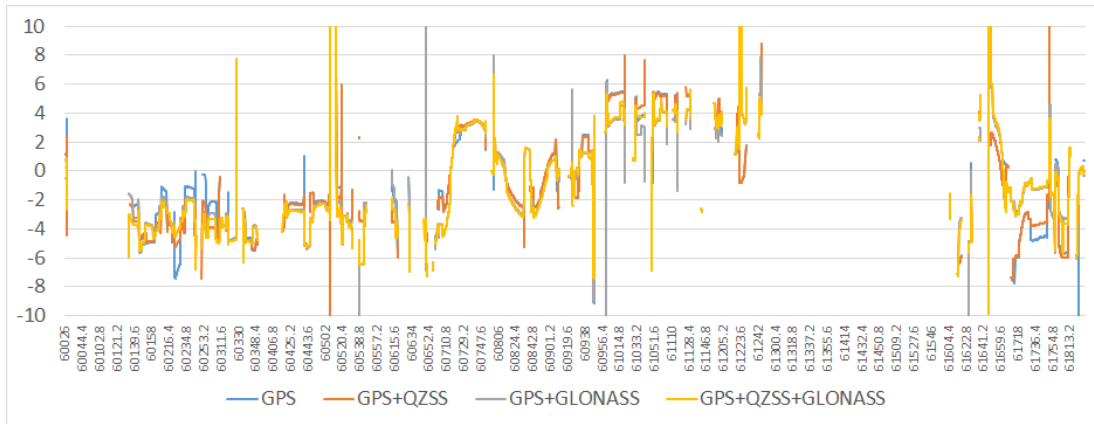


図 5.223 進行方向誤差の推移：首都高速／2 回目

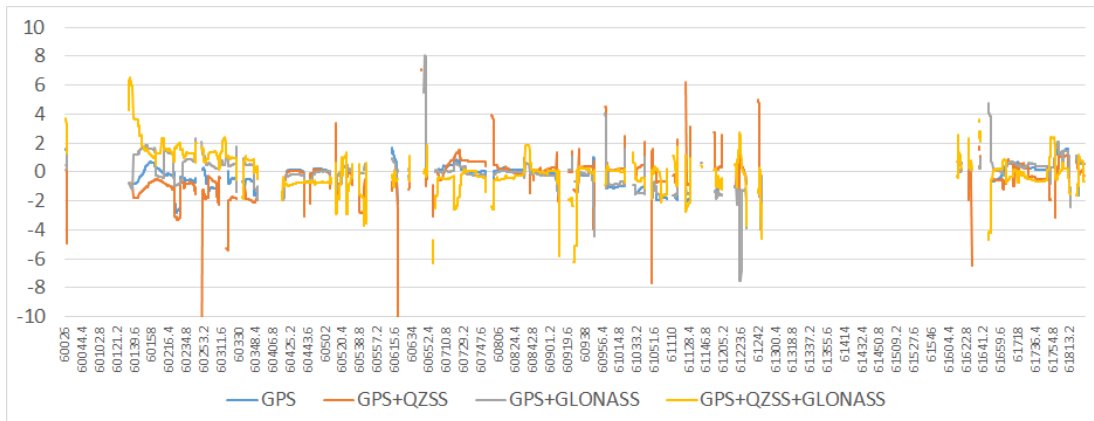


図 5.224 進行方向誤差の推移：首都高速／2 回目【L1-SAIF】

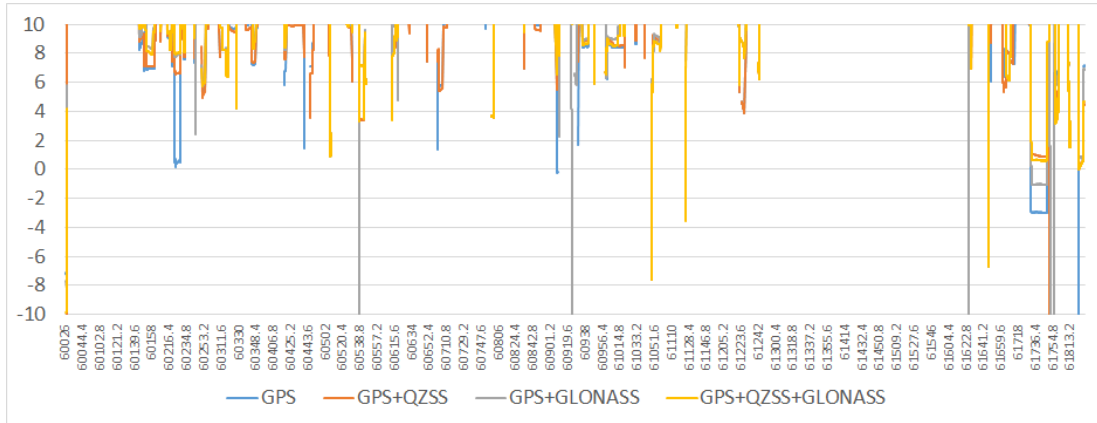


図 5.225 高さ方向誤差の推移：首都高速／2 回目

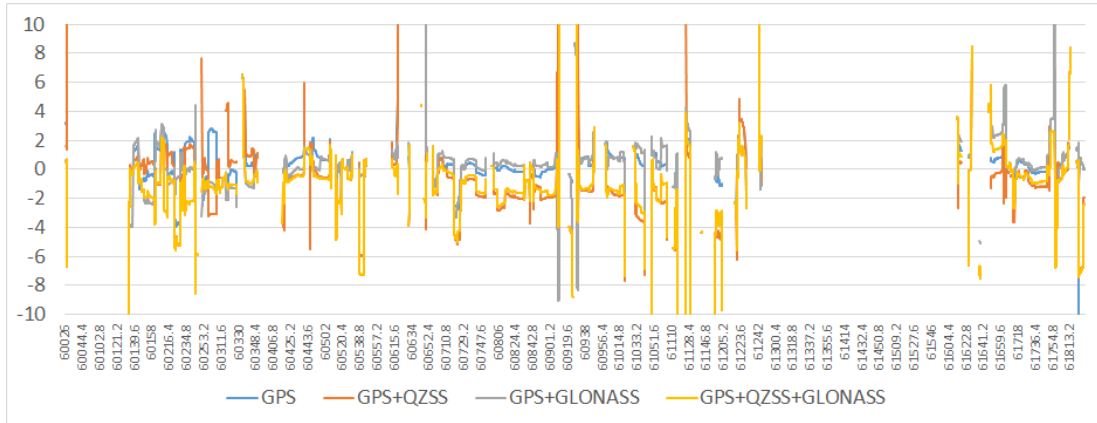


図 5.226 高さ方向誤差の推移：首都高速／2 回目【L1-SAIF】

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

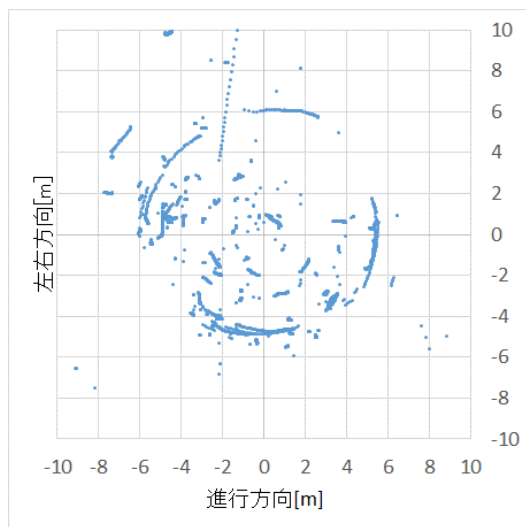


図 5.227 誤差分布
首都高速／2 回目
GPS

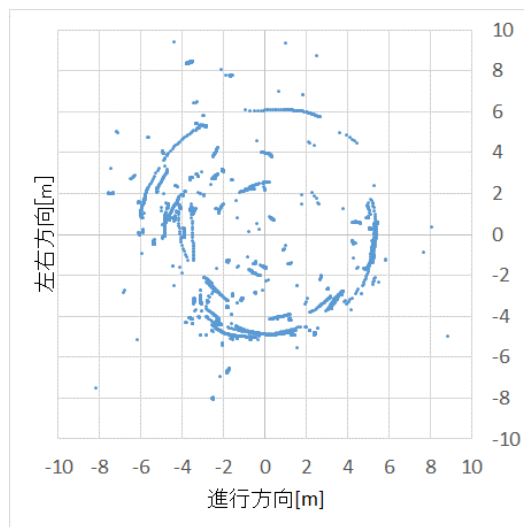


図 5.228 誤差分布
首都高速／2 回目
GPS+QZSS

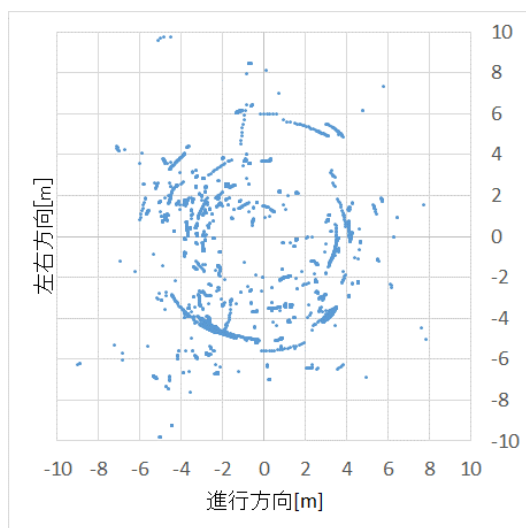


図 5.229 誤差分布
首都高速／2 回目
GPS+GLONASS

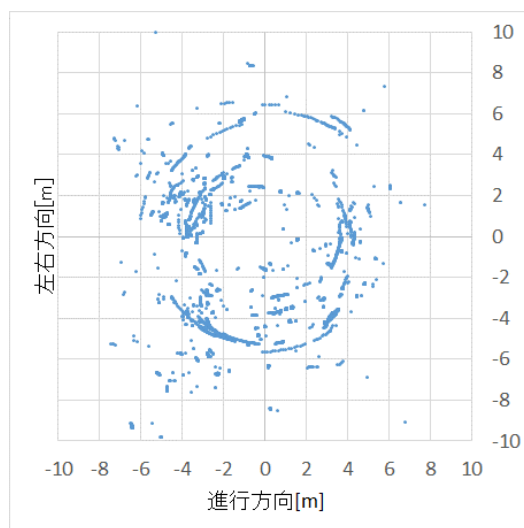


図 5.230 誤差分布
首都高速／2 回目
GPS+QZSS+GLONASS

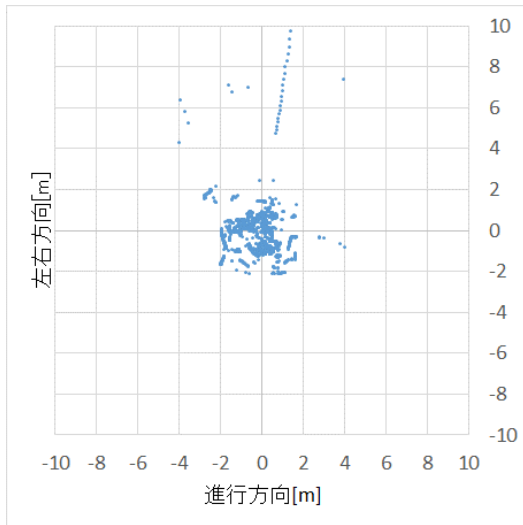


図 5.231 誤差分布
首都高速/2回目
【L1-SAIF】GPS

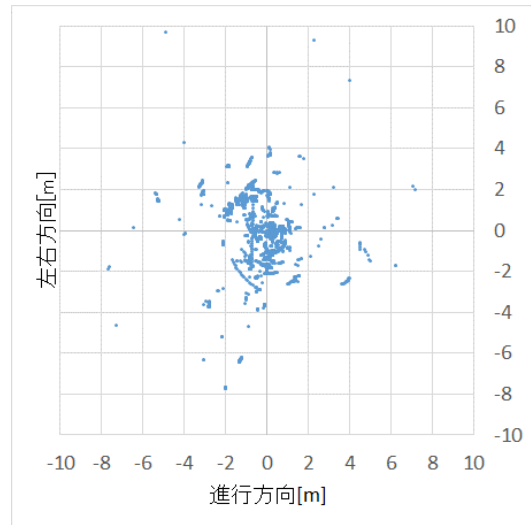


図 5.232 誤差分布
首都高速/2回目
【L1-SAIF】GPS+QZSS

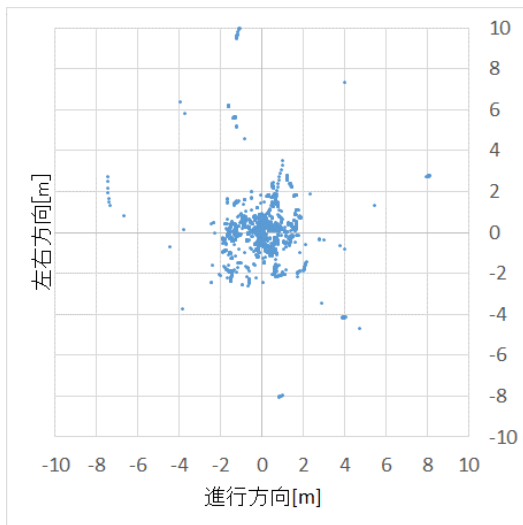


図 5.233 誤差分布
首都高速/2回目
【L1-SAIF】GPS+GLONASS

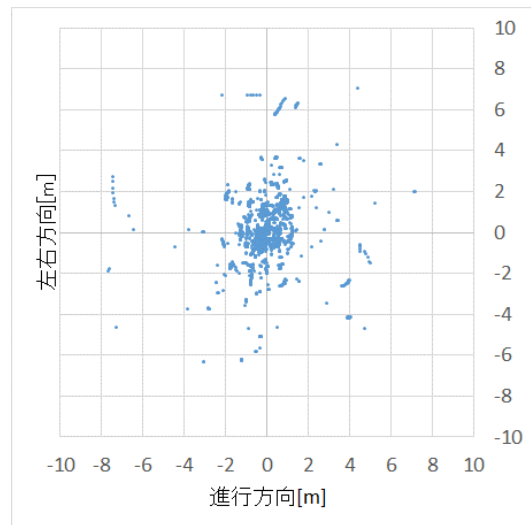


図 5.234 誤差分布
首都高速/2回目
【L1-SAIF】GPS+QZSS+GLONASS

誤差のヒストグラム

表 5.19 左右誤差発生数：首都高速／2 回目

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+GLONASS	GPS+QZSS+GLONASS
0.25	63	105	178	177
0.50	132	111	104	93
0.75	237	170	119	112
1.00	175	152	124	116
1.25	72	106	134	134
1.50	106	147	108	92
1.75	117	81	142	124
2.00	96	56	95	67
2.25	47	79	105	81
2.50	33	51	91	107
2.75	47	68	79	74
3.00	187	150	80	179
3.25	90	179	53	75
3.50	63	86	142	82
3.75	54	72	187	165
4.00	80	65	122	152
4.25	148	143	150	154
4.50	55	146	105	131
4.75	167	98	81	80
5.00	140	249	67	80
5m 以上	299	293	494	562
unfix	3007	2808	2655	2578

表 5.20 左右誤差発生数：首都高速／2 回目【L1-SAIF】

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+GLONASS	GPS+QZSS+GLONASS
0.25	619	547	774	690
0.50	370	373	689	482
0.75	497	221	418	446
1.00	454	198	310	306
1.25	248	189	120	132
1.50	89	188	58	207
1.75	50	225	59	173
2.00	30	254	133	89
2.25	16	146	48	53
2.50	2	85	36	83
2.75	0	17	31	27
3.00	0	21	11	15
3.25	0	17	1	10
3.50	0	20	3	15
3.75	0	48	1	39
4.00	0	11	0	0
4.25	0	2	9	9
4.50	1	1	0	1
4.75	0	3	2	4
5.00	2	0	0	0
5m 以上	30	45	57	59
unfix	3007	2804	2655	2575

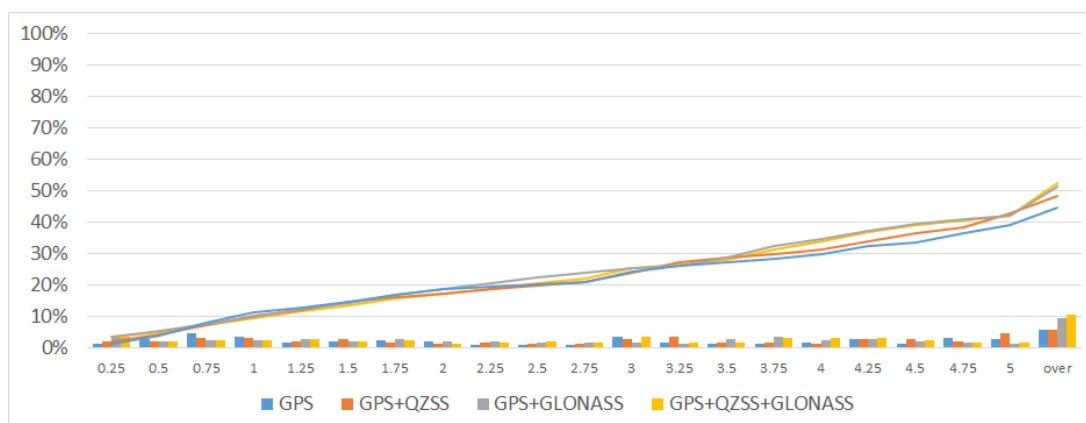


図 5.235 左右誤差ヒストグラム：首都高速／2 回目

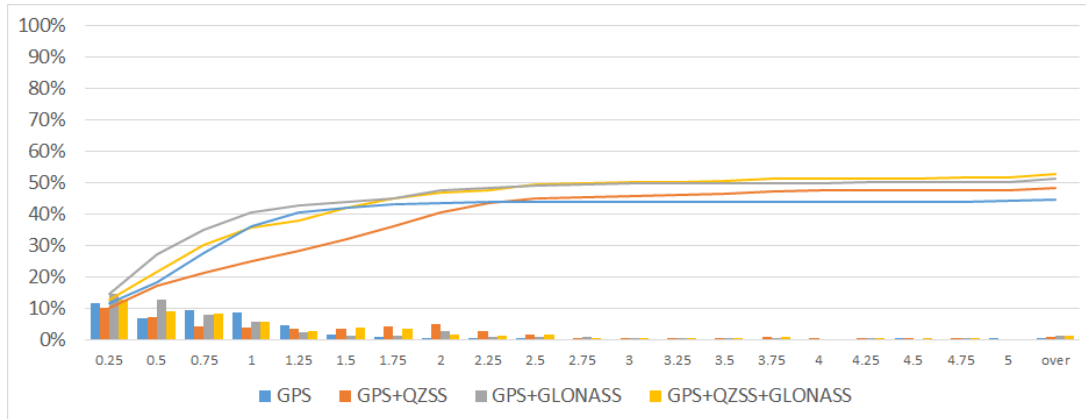


図 5.236 左右誤差ヒストグラム：首都高速／2 回目【L1-SAIF】

5.1.2.4.2. コード測位受信機

計測情報

測位方式：コード測位

補強方式：SBAS※GPS+QZSS+BeiDou のみ使用

計測経路：首都高速（コース 2）

計測時刻：2014/12/14 6:00:22 ～ 6:18:40 (UTC)

使用機材：受信機：コード測位受信機

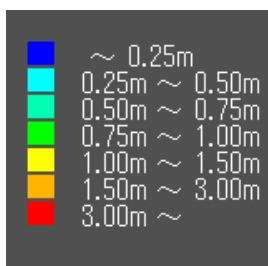
アンテナ：Roof 設置

取得衛星システム：

GPS／GPS+QZSS／GPS+GLONASS／GPS+QZSS+GLONASS

GPS+QZSS+BeiDou

左右方向誤差 MAP



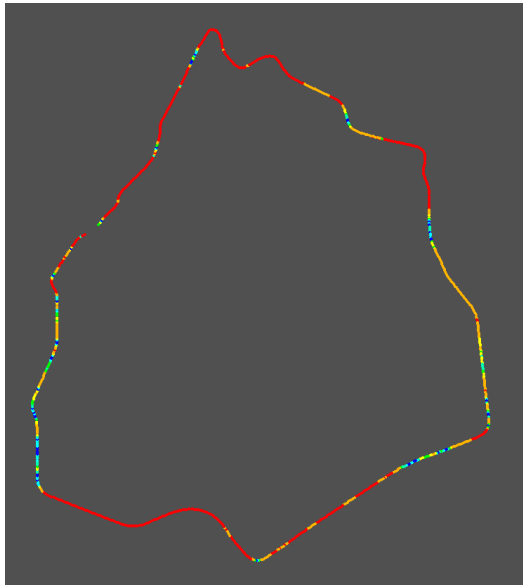


图 5.237 左右方向誤差 MAP
首都高速 / 2 回目
GPS

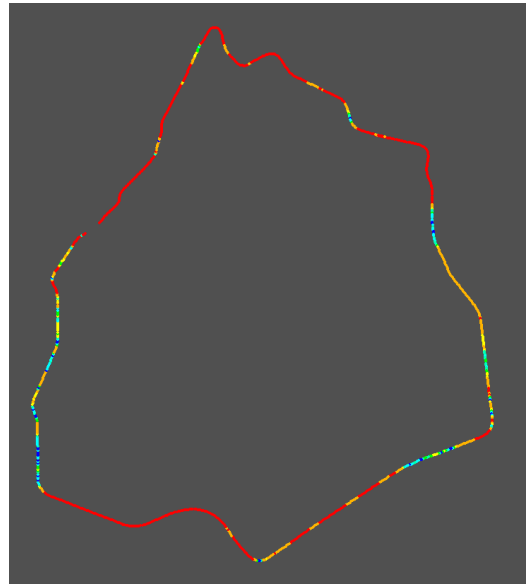


图 5.238 左右方向誤差 MAP
首都高速 / 2 回目
GPS+QZSS

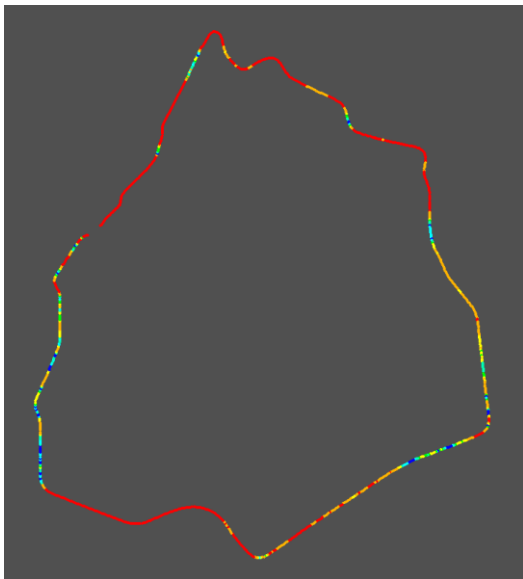


图 5.239 左右方向誤差 MAP
首都高速 / 2 回目
GPS+GLONASS

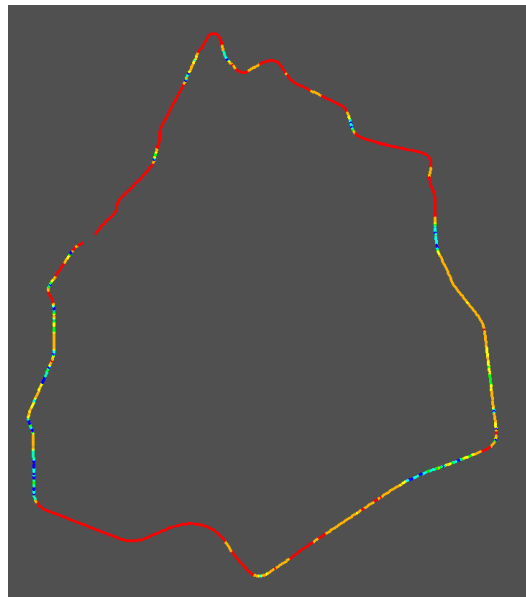


图 5.240 左右方向誤差 MAP
首都高速 / 2 回目
GPS+QZSS+GLONASS

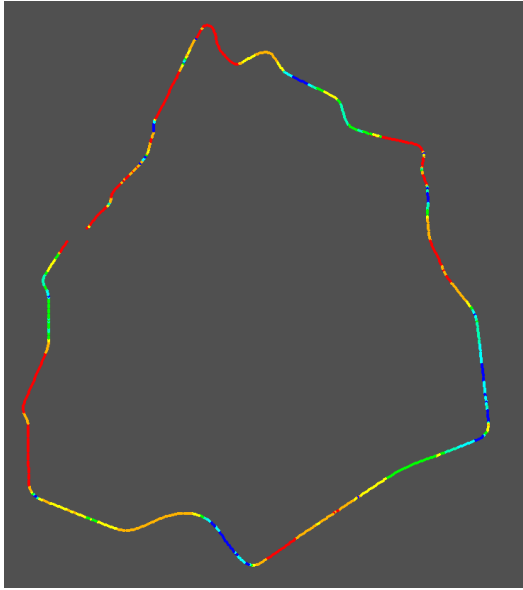


図 5.241 左右方向誤差 MAP
 首都高速 / 2 回目
 【SBAS】GPS+QZSS+BeiDou

推移グラフ

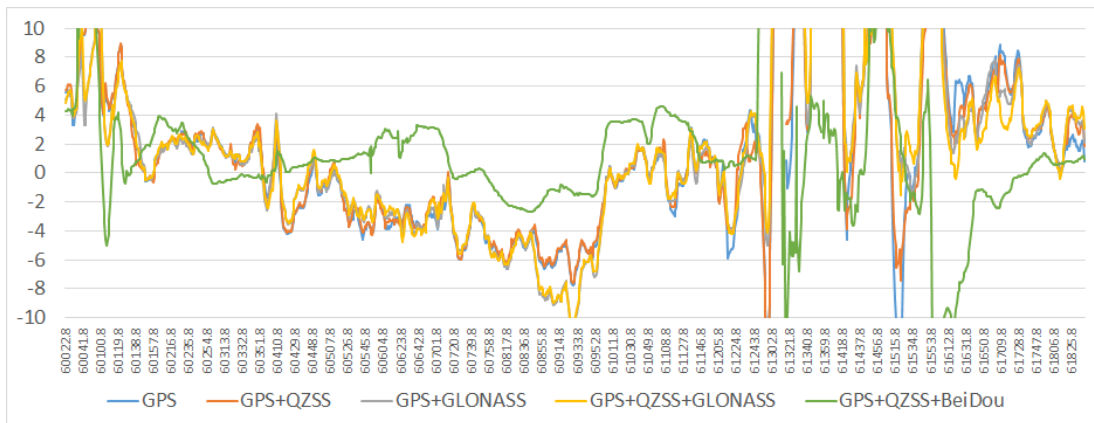


図 5.242 左右方向誤差の推移：首都高速 / 2 回目

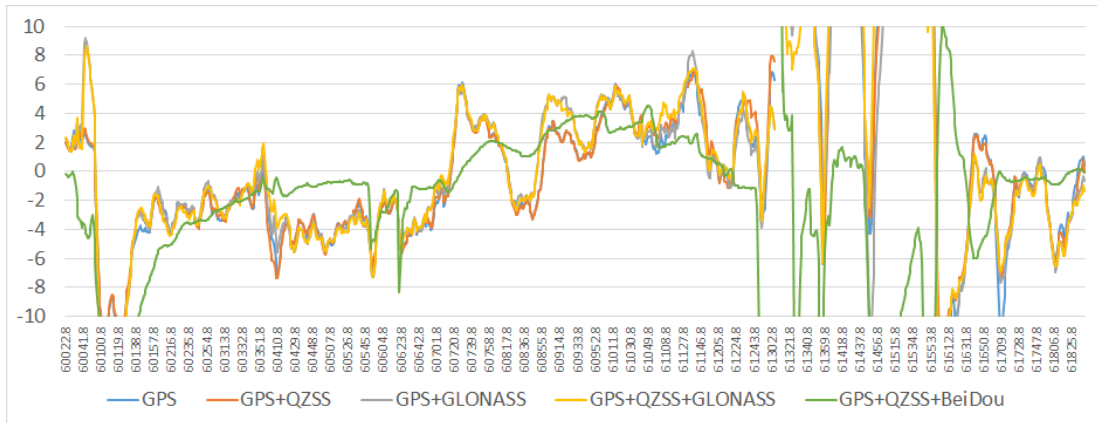


図 5.243 進行方向誤差の推移：首都高速／2 回目

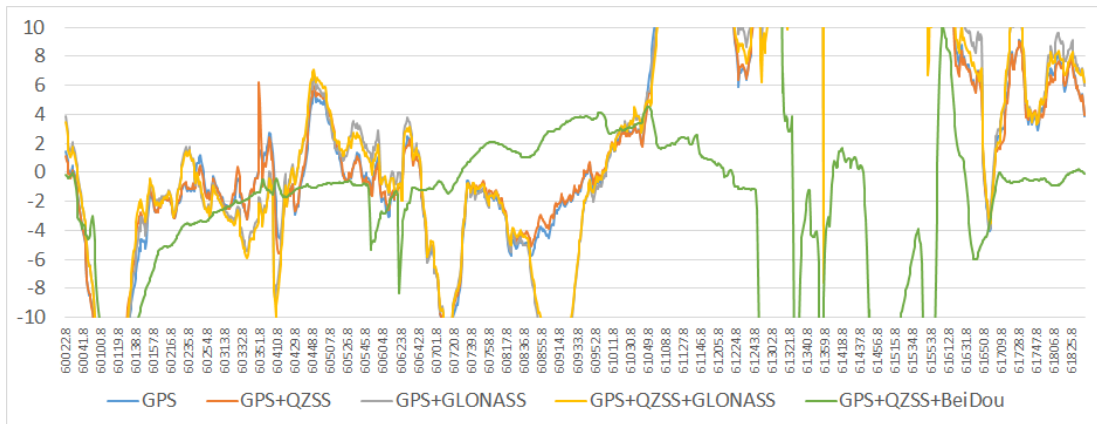


図 5.244 高さ方向誤差の推移：首都高速／2 回目

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

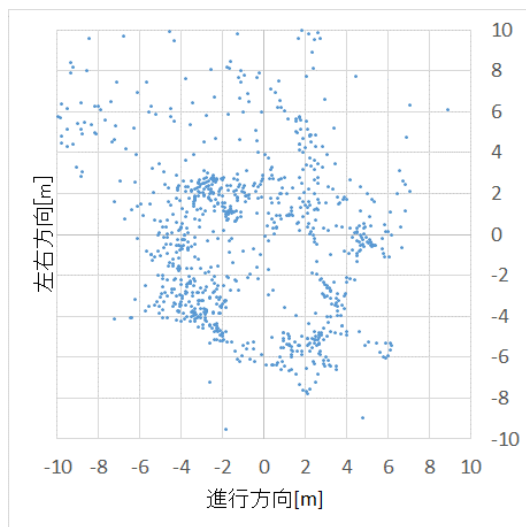


図 5.245 誤差分布
首都高速／2回目
GPS

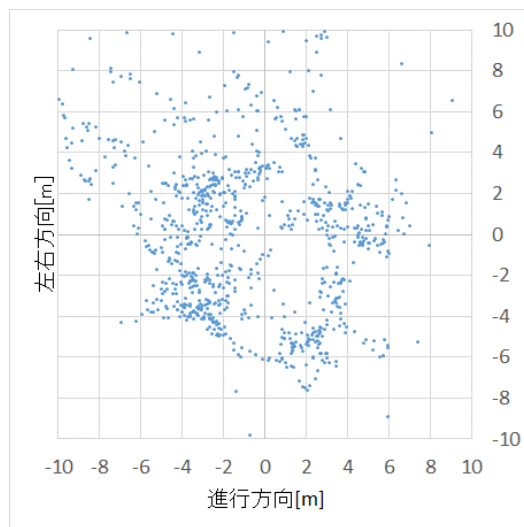


図 5.246 誤差分布
首都高速／2回目
GPS+QZSS

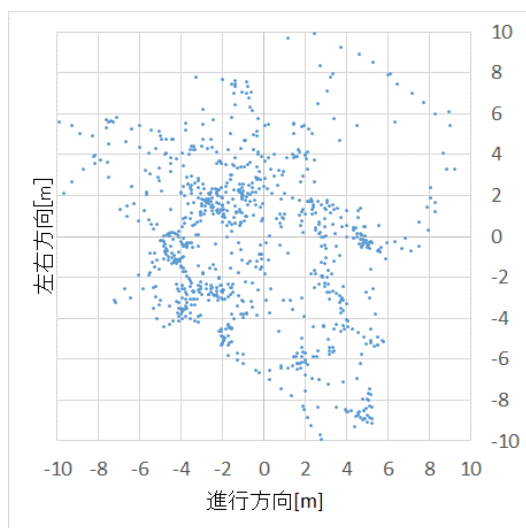


図 5.247 誤差分布
首都高速／2回目
GPS+GLONASS

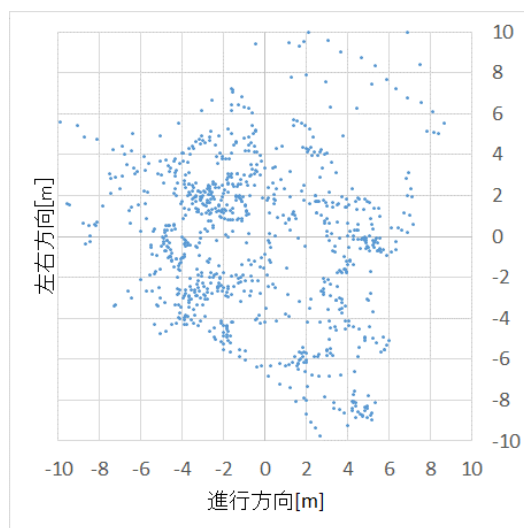


図 5.248 誤差分布
首都高速／2回目
GPS+QZSS+GLONASS

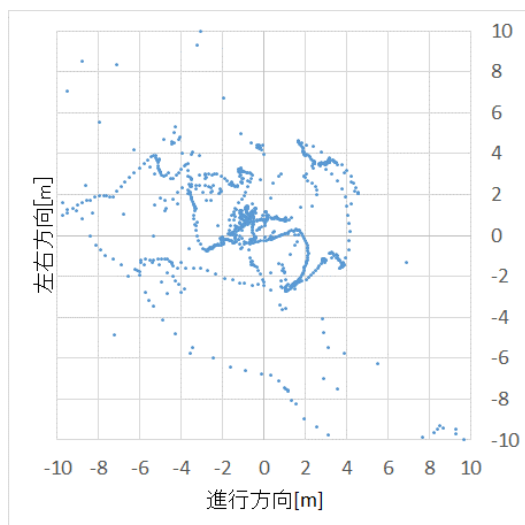


図 5.249 誤差分布
 首都高速 / 2 回目
【SBAS】GPS+QZSS+BeiDou

誤差のヒストグラム

表 5.21 左右誤差発生数：首都高速 / 2 回目

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+GLONASS	GPS+QZSS+ GLONASS	【SBAS】 GPS+QZSS+BeiDou
0.25	47	34	45	48	95
0.50	45	66	49	42	79
0.75	45	44	52	47	82
1.00	42	39	42	36	116
1.25	43	29	48	48	73
1.50	21	31	45	41	75
1.75	43	43	50	55	41
2.00	39	41	43	63	33
2.25	52	44	35	44	36
2.50	45	58	50	42	51
2.75	53	41	47	47	41
3.00	39	31	35	43	36
3.25	34	43	35	38	45
3.50	29	39	28	25	23
3.75	25	35	27	22	58

4.00	32	39	34	23	19
4.25	26	30	29	38	16
4.50	19	24	27	33	17
4.75	25	33	25	18	16
5.00	37	30	14	24	8
5m 以上	344	311	326	309	122
unfix	12	12	11	11	17

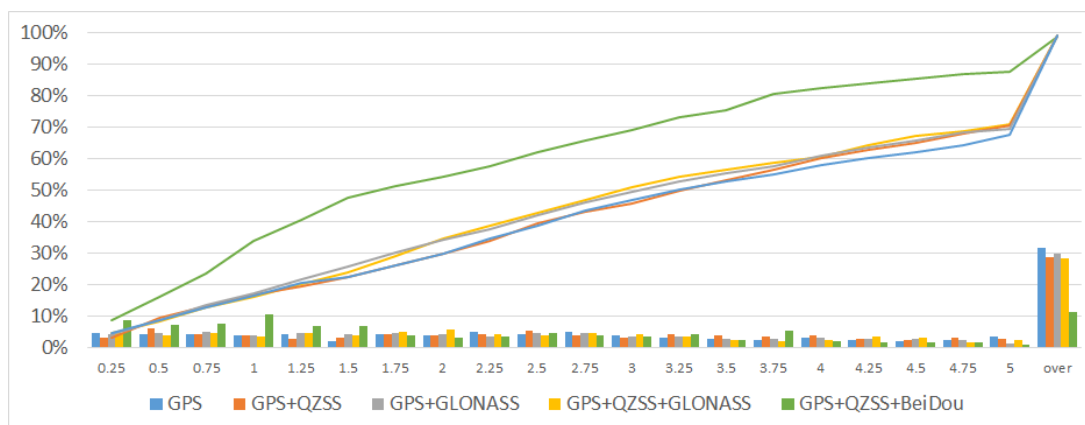


図 5.250 左右誤差ヒストグラム：首都高速／2 回目

5.1.2.4.3. 搬送波位相測位 (RTK)

計測情報

測位方式：搬送波位相測位 (RTK)

補強方式：

計測経路：首都高速 (コース 2)

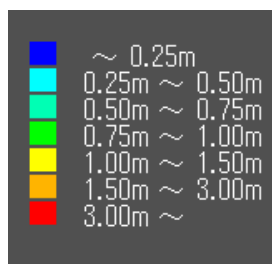
計測時刻：2014/12/14 6:00:22 ~ 6:18:40 (UTC)

使用機材：受信機：Trimble

アンテナ：NovAtel／Roof 設置 (MMS と同一)

取得衛星システム：GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou

左右方向誤差 MAP



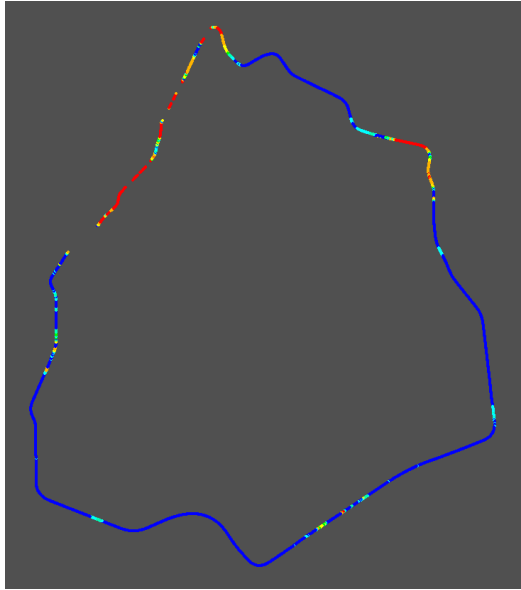


図 5.251 左右方向誤差 MAP
 首都高速／2 回目
 GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou
 (Float+Fix)



図 5.252 左右方向誤差 MAP
 首都高速／2 回目
 GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou
 (Fix)

推移グラフ

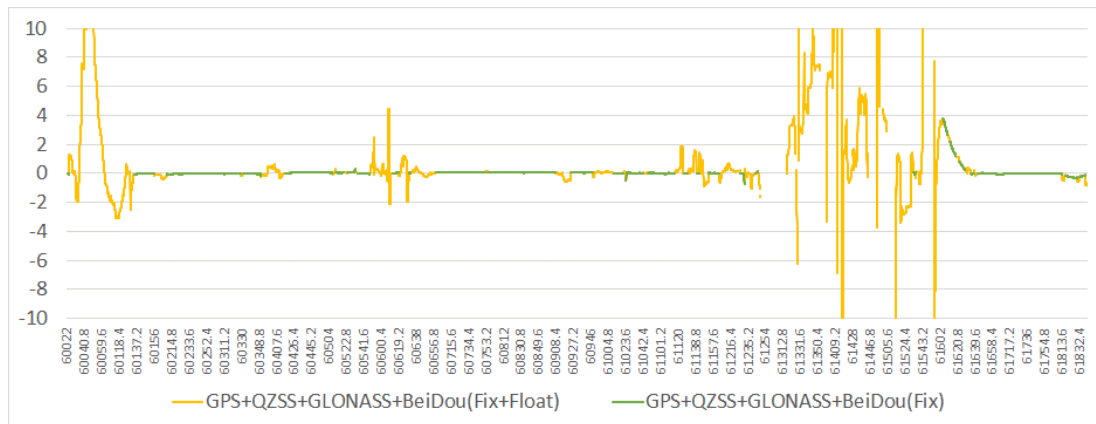


図 5.253 左右方向誤差の推移：首都高速／2 回目

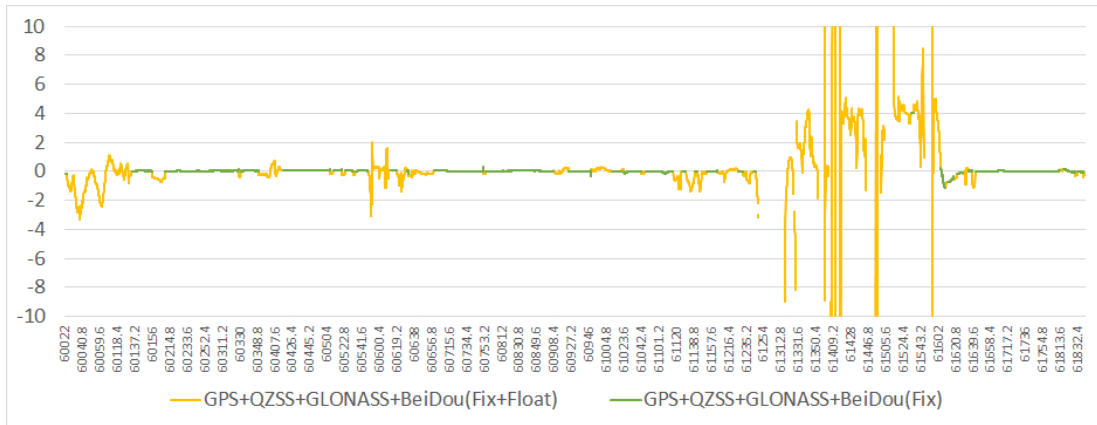


図 5.254 進行方向誤差の推移：首都高速／2 回目

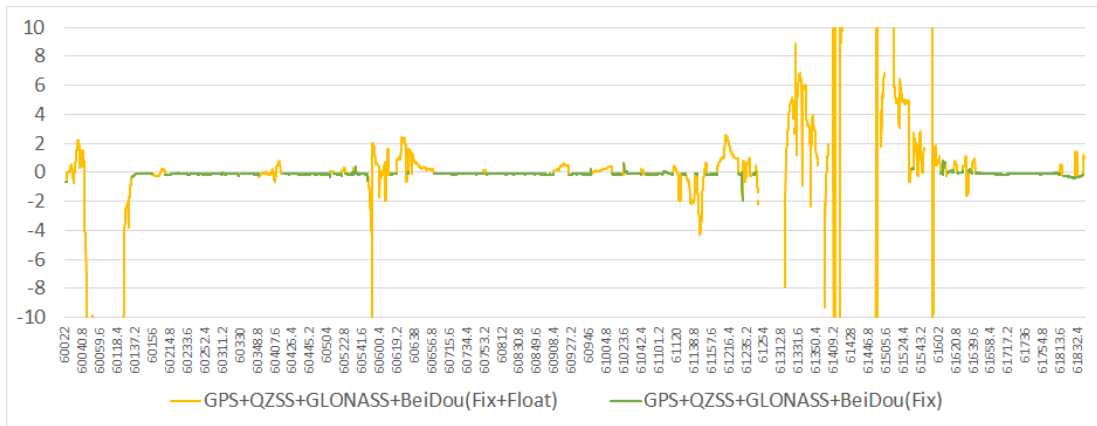


図 5.255 高さ方向誤差の推移：首都高速／2 回目

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

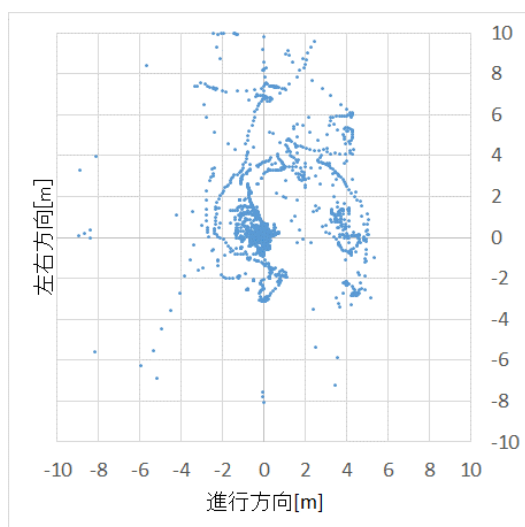


図 5.256 誤差分布

首都高速／2回目

GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou
(Float+Fix)

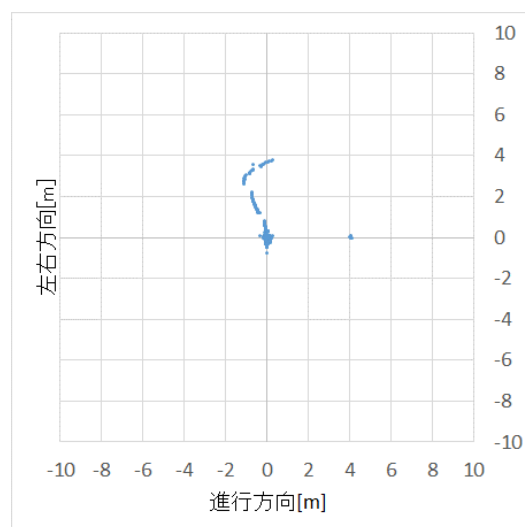


図 5.257 誤差分布

首都高速／2回目

GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou
(Fix)

誤差のヒストグラム

表 5.22 左右誤差発生数：首都高速／2回目

誤差[m]	GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou (Float+Fix)	GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou (Fix)
0.25	3639	2765
0.50	334	68
0.75	170	13
1.00	76	3
1.25	88	3
1.50	67	11
1.75	44	8
2.00	60	6
2.25	43	5
2.50	36	0
2.75	45	3
3.00	56	6
3.25	38	5

3.50	43	4
3.75	33	8
4.00	15	2
4.25	17	0
4.50	20	0
4.75	13	0
5.00	10	0
5m 以上	280	0
unfix	363	2580

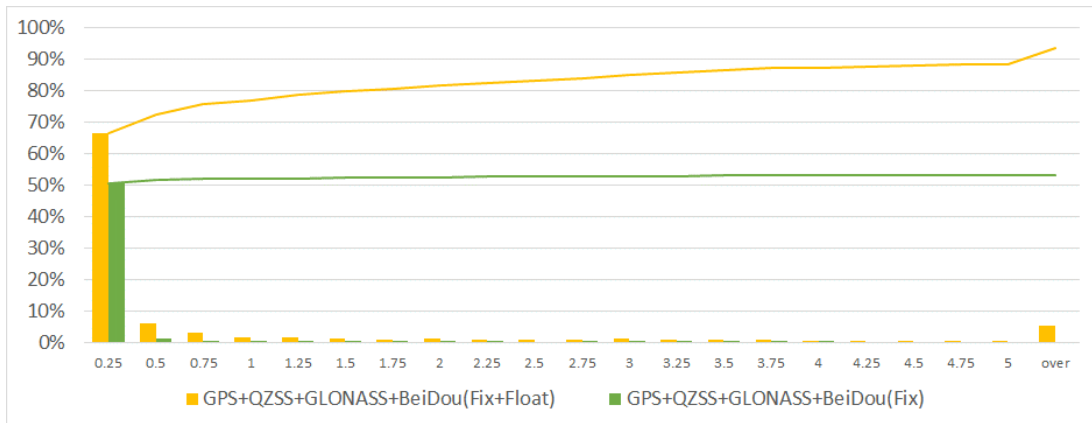


図 5.258 左右誤差ヒストグラム：首都高速/2 回目

5.1.2.4.4. CMAS

計測情報

測位方式：搬送波位相測位

補強方式：CMAS

計測経路：首都高速（コース 2）

計測時刻：2014/12/14 6:00:22 ~ 6:18:40 (UTC)

使用機材：受信機：LEXR/LEXRx

アンテナ：NovAtel/Roof 設置（MMS と同一）

取得衛星システム：GPS/GPS+QZSS

左右方向誤差 MAP

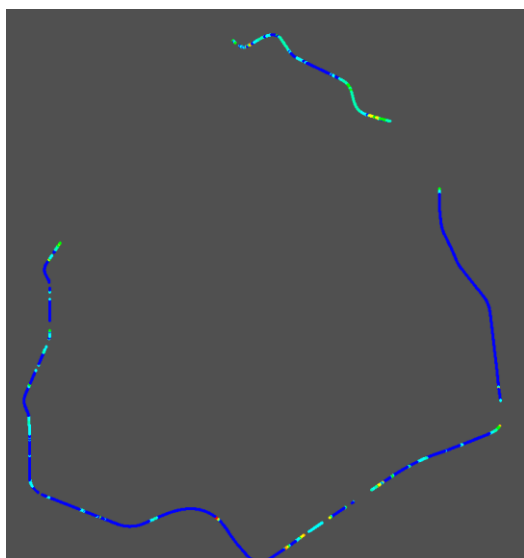
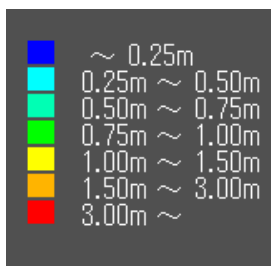


図 5.259 左右方向誤差 MAP
首都高速/2 回目
【CMAS】 GPS

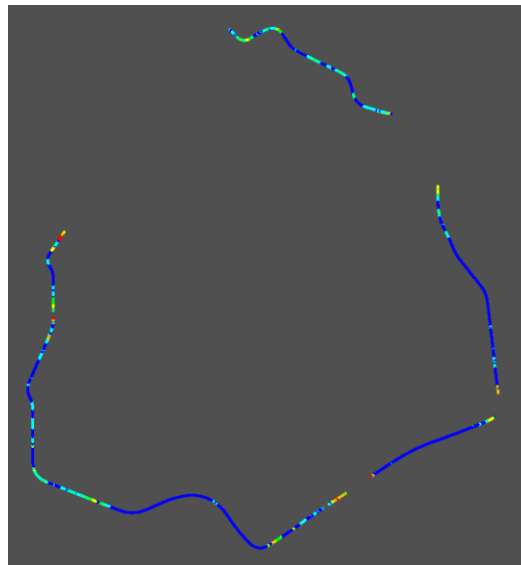


図 5.260 左右方向誤差 MAP
首都高速/2 回目
【CMAS】 GPS+QZSS



図 5.161 左右方向誤差 MAP
首都高速/2 回目
CMAS/GPS (Fix 解のみ)

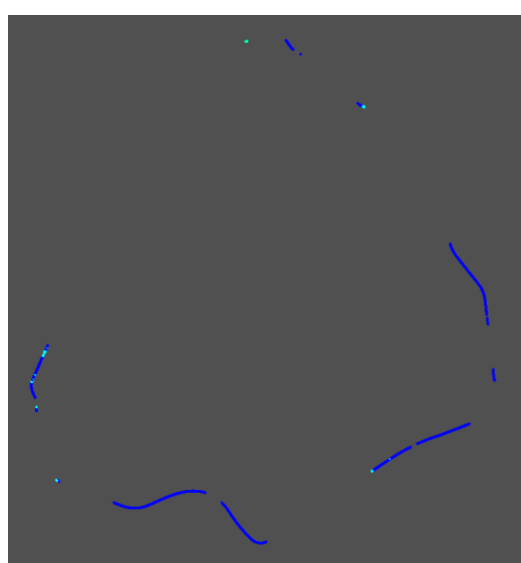


図 5.262 左右方向誤差 MAP
首都高速/2 回目
CMAS/GPS+QZSS (Fix 解のみ)

推移グラフ

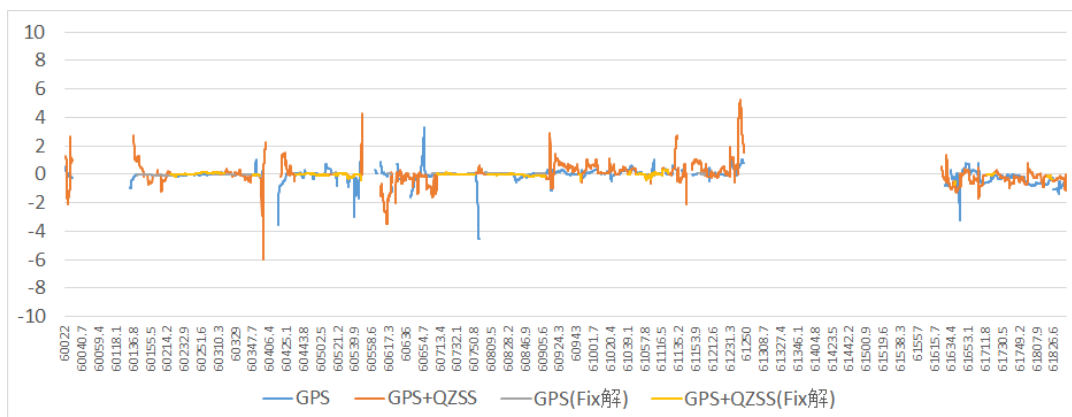


図 5.263 左右方向誤差の推移：首都高速／2 回目【CMAS】

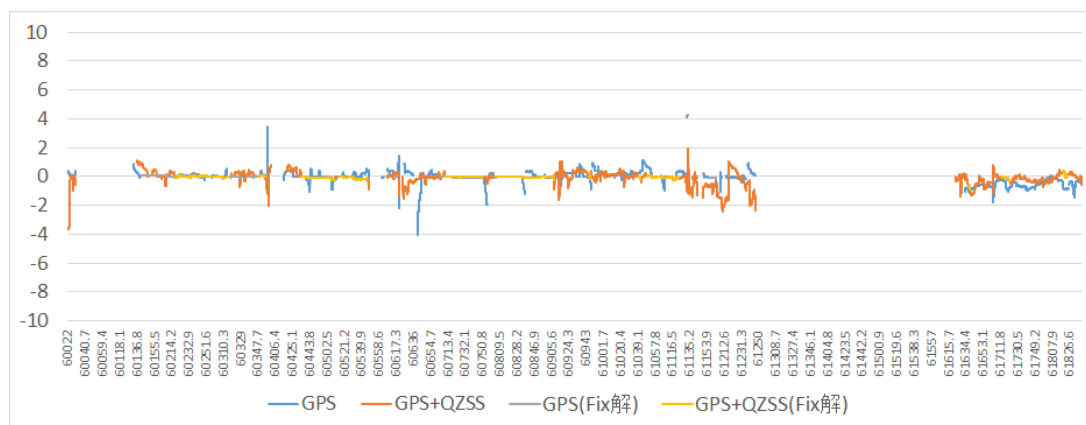


図 5.264 進行方向誤差の推移：首都高速／2 回目【CMAS】

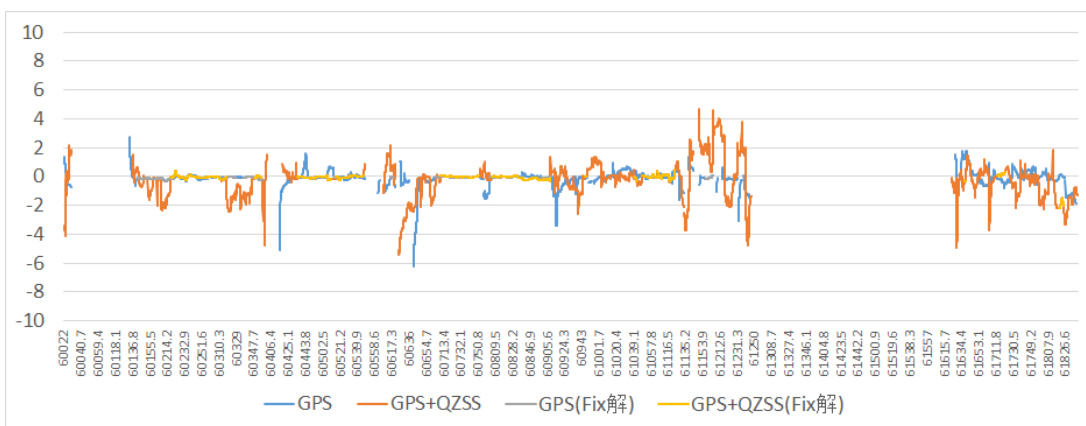


図 5.265 高さ誤差の推移：首都高速／2 回目【CMAS】

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

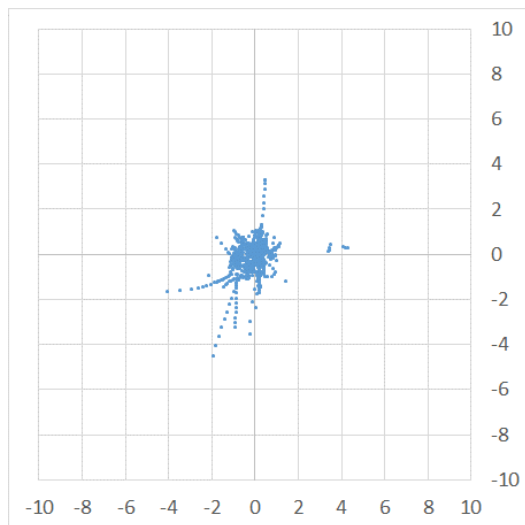


図 5.266 誤差分布
首都高速／2 回目
【CMAS】 GPS

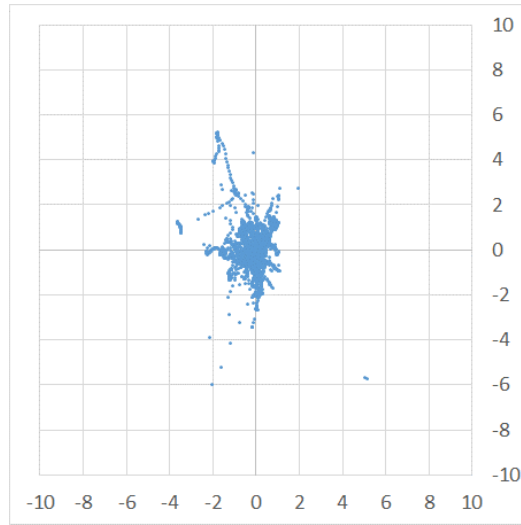


図 5.267 誤差分布
首都高速／2 回目
【CMAS】 GPS+QZSS

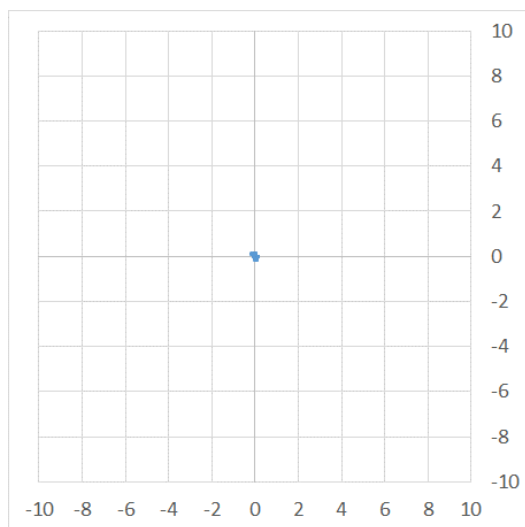


図 5.268 誤差分布
首都高速／2 回目
【CMAS】 GPS (Fix 解)

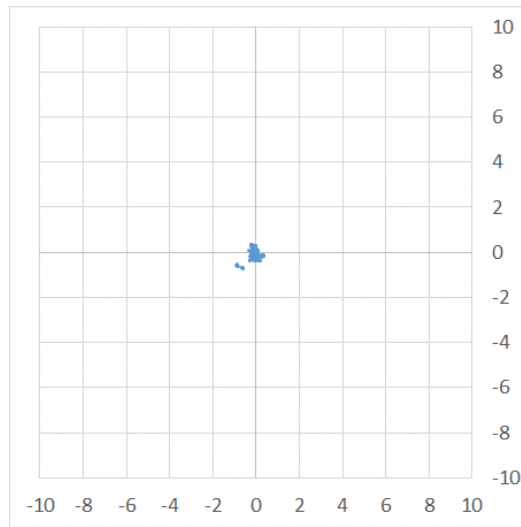


図 5.269 誤差分布
首都高速／2 回目
【CMAS】 GPS+QZSS (Fix 解)

誤差のヒストグラム

表 5.23 左右誤差発生数：首都高速／2 回目【CMAS】

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS(Fix 解)	GPS+QZSS(Fix 解)
0.25	2646	4894	988	2811
0.50	493	1154	0	80
0.75	297	634	0	11
1.00	113	366	0	0
1.25	51	248	0	0
1.50	18	114	0	0
1.75	11	65	0	0
2.00	3	46	0	0
2.25	4	20	0	0
2.50	3	20	0	0
2.75	3	40	0	0
3.00	4	4	0	0
3.25	3	3	0	0
3.50	3	7	0	0
3.75	2	2	0	0
4.00	0	7	0	0
4.25	1	5	0	0
4.50	0	5	0	0
4.75	1	4	0	0
5.00	0	5	0	0
5m 以上	0	14	0	0
unfix	1835	3324	4503	8079

※Fix 解の[unfix]は Float 解を含んでいます。

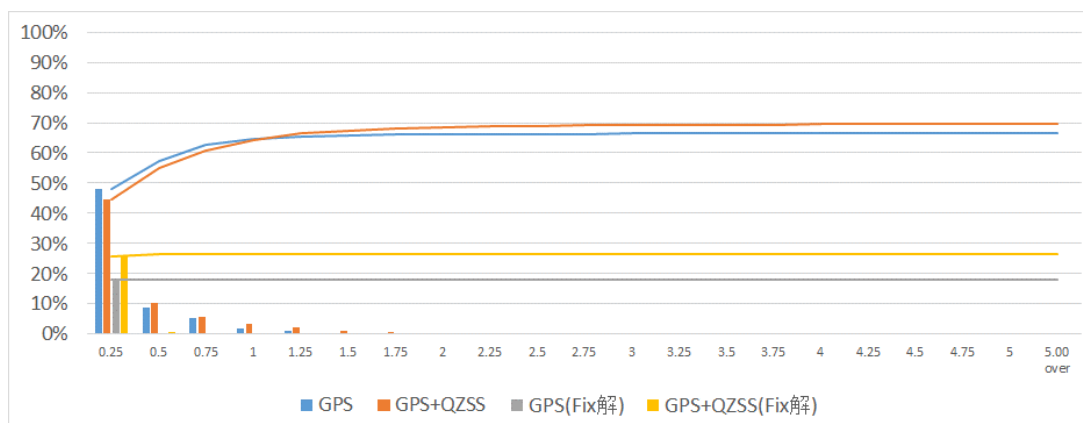


図 5.270 左右誤差ヒストグラム：都市高速／2 回目【CMAS】

5.1.2.4.5. MADOCA-PPP

計測情報

測位方式：搬送波位相測位

補強方式：MADOCA-PPP

計測経路：首都高速（コース2）

計測時刻：2014/12/14 6:00:22 ~ 6:18:40 (UTC)

使用機材：受信機：JAVAD

アンテナ：NovAtel/Roof 設置（MMS と同一）

取得衛星システム：GPS/GPS+QZSS/GPS+QZSS+GLONASS

左右方向誤差 MAP

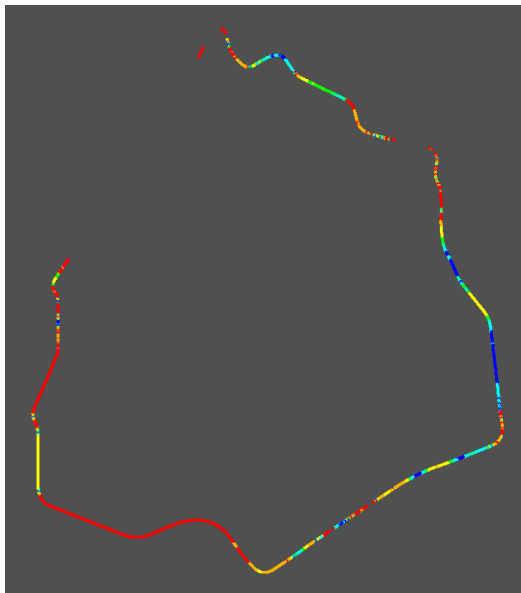
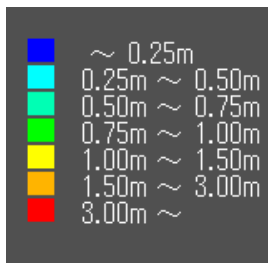


図 5.271 左右方向誤差 MAP

首都高速/2 回目

GPS

(単独測位解+PPP 解)

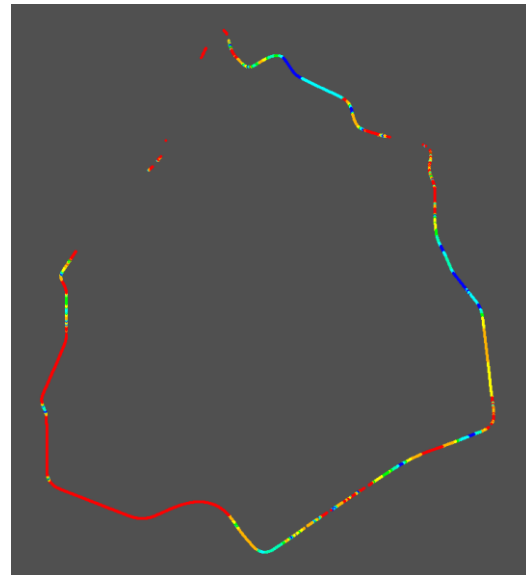


図 5.272 左右方向誤差 MAP

首都高速/2 回目

GPS+QZSS

(単独測位解+PPP 解)

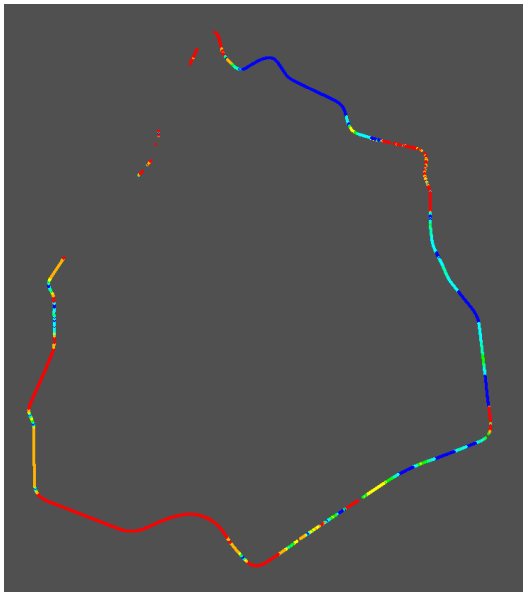


図 5.273 左右方向誤差 MAP
 首都高速／2 回目
 GPS+QZSS+GLONASS
 (単独測位解+PPP 解)

推移グラフ

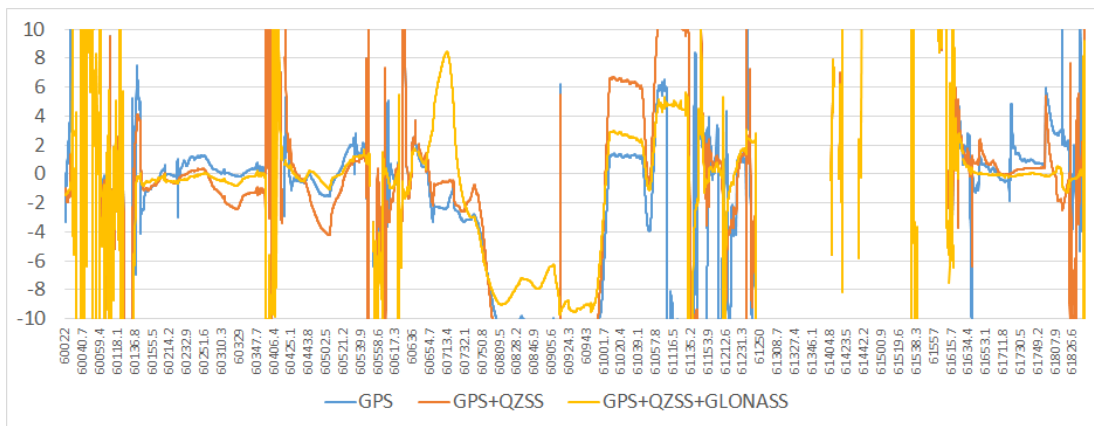


図 5.274 左右方向誤差の推移：首都高速／2 回目 (単独測位解+PPP 解)



図 5.275 進行方向誤差の推移：首都高速／2 回目（単独測位解+PPP 解）

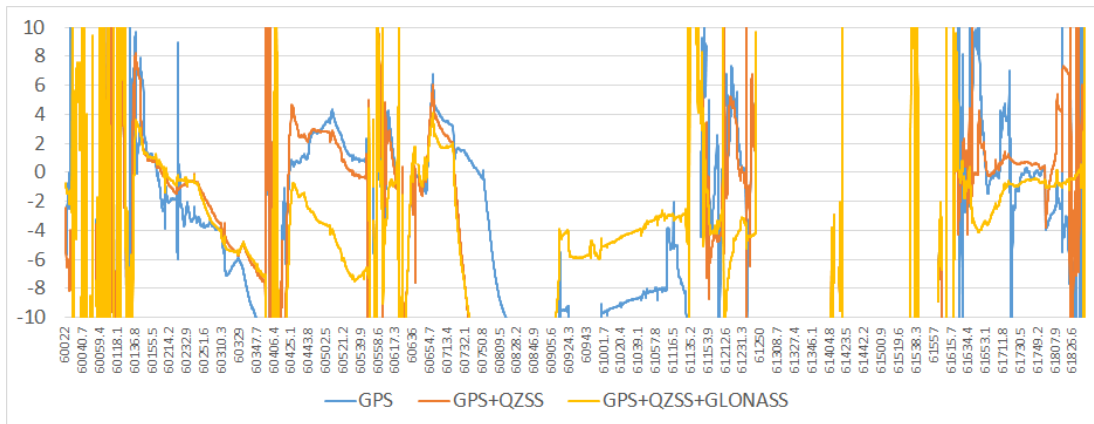


図 5.276 高さ方向誤差の推移：首都高速／2 回目（単独測位解+PPP 解）

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

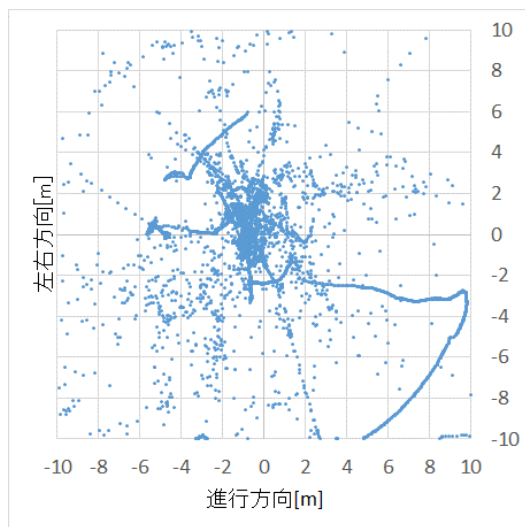


図 5.277 誤差分布
首都高速／2 回目
GPS
(単独測位解+PPP 解)

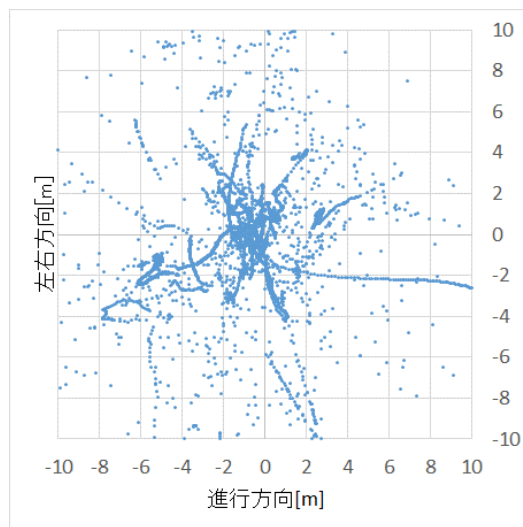


図 5.278 誤差分布
首都高速／2 回目
GPS+QZSS
(単独測位解+PPP 解)

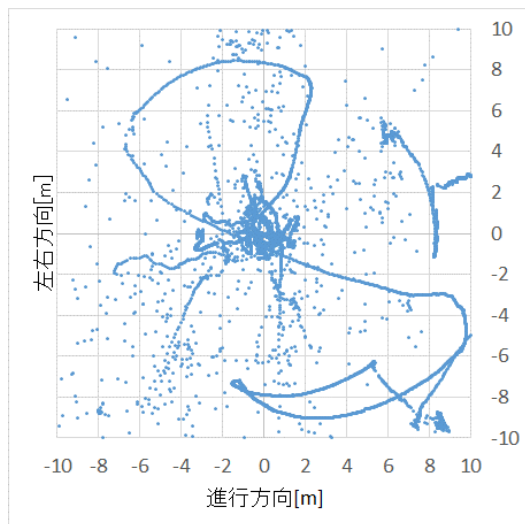


図 5.279 誤差分布
首都高速／2 回目
GPS+QZSS+GLONASS
(単独測位解+PPP 解)

誤差のヒストグラム

表 5.24 左右誤差発生数：首都高速／2 回目

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+QZSS+GLONASS
0.25	877	691	2038
0.50	754	845	1004
0.75	577	658	672
1.00	502	508	458
1.25	667	518	332
1.50	540	467	199
1.75	210	289	173
2.00	242	310	103
2.25	203	286	133
2.50	321	263	216
2.75	198	162	233
3.00	224	93	230
3.25	240	107	78
3.50	108	102	53
3.75	84	109	58
4.00	100	103	43
4.25	57	122	48
4.50	49	53	86
4.75	46	28	182
5.00	55	32	146
5m 以上	2451	2798	2441
unfix	2476	2437	2055

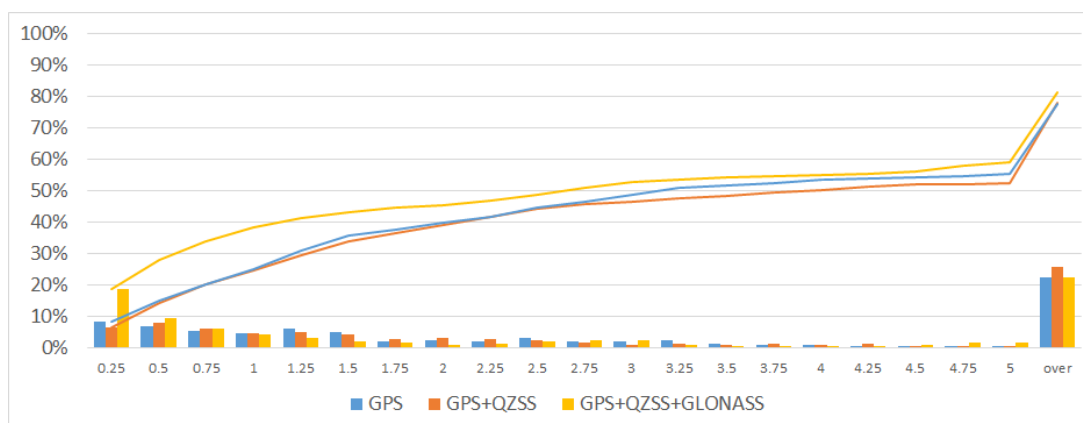


図 5.280 左右誤差ヒストグラム：首都高速／2 回目

5.1.2.5 都市間高速（1回目）

5.1.2.5.1. コード測位

計測情報

測位方式：コード測位（後処理）

補強方式：L1-SAIF

計測経路：都市間高速（コース3）

計測時刻：2014/12/15 0:47:25 ～ 1:21:39（UTC）

使用機材：受信機：NovAtel

アンテナ：NovAtel／Roof設置（MMSと同一）

取得衛星システム：GPS／GPS+QZSS／GPS+GLONASS／GPS+QZSS+GLONASS
／GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou

左右方向誤差 MAP

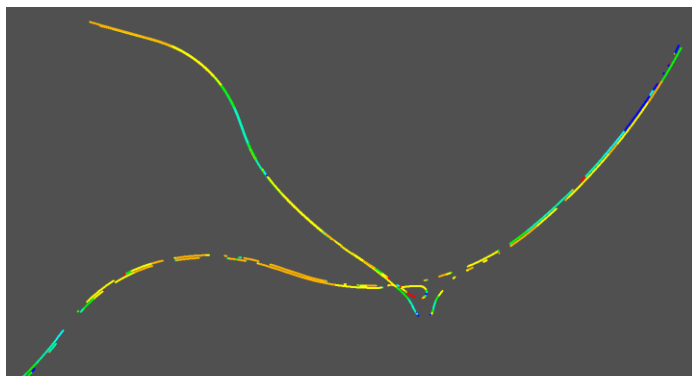
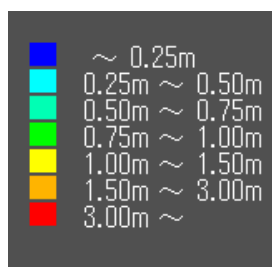


図 5.281 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1回目
GPS

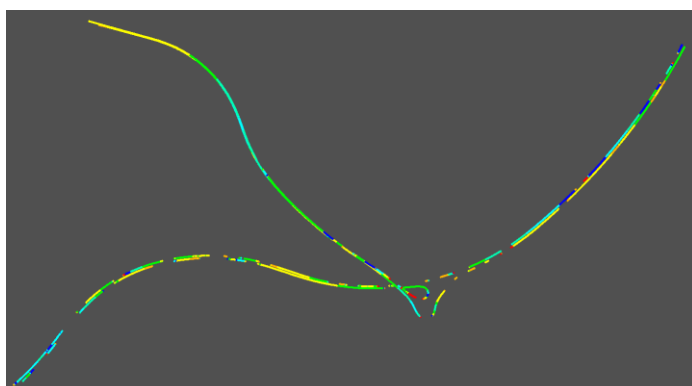


図 5.282 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1回目
GPS+QZSS

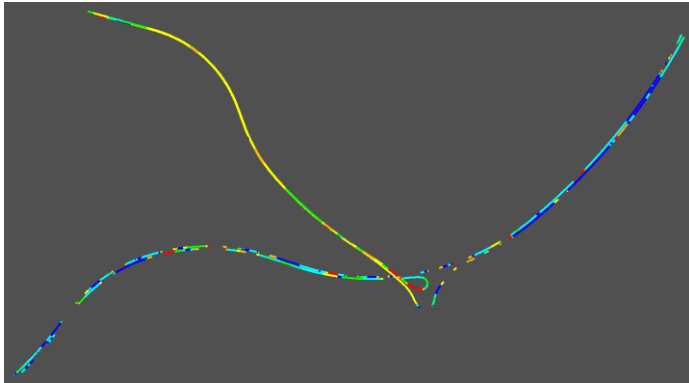


図 5.283 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1 回目
GPS+GLONASS

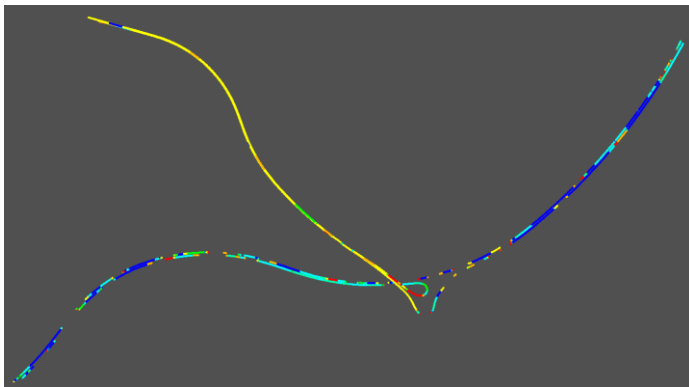


図 5.284 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1 回目
GPS+QZSS+GLONASS

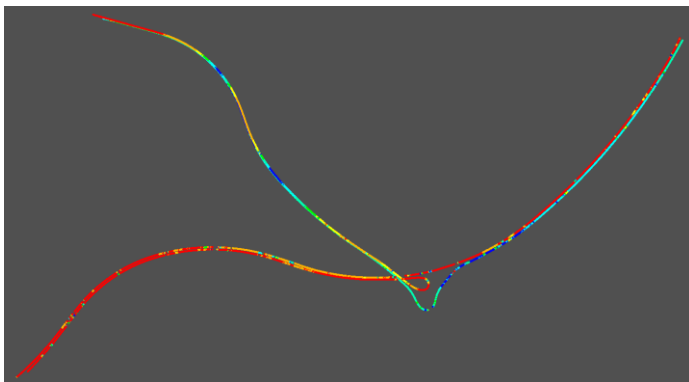


図 5.285 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1 回目
GPS+QZSS+GLONASS+
BeiDou

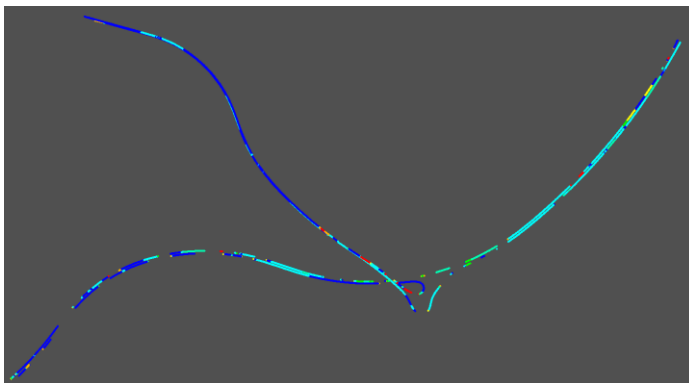


図 5.286 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1 回目
【L1-SAIF】GPS

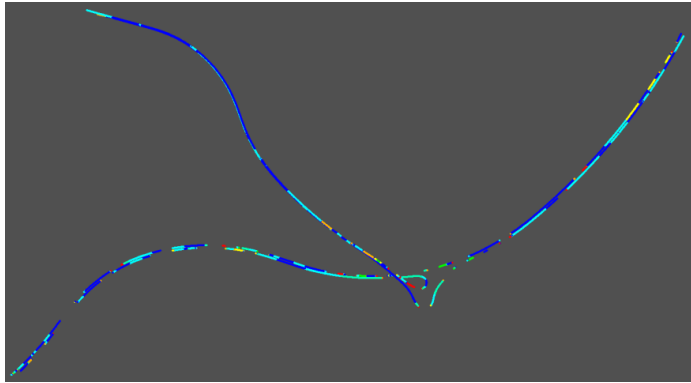


図 5.287 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1 回目
【L1-SAIF】 GPS+QZSS

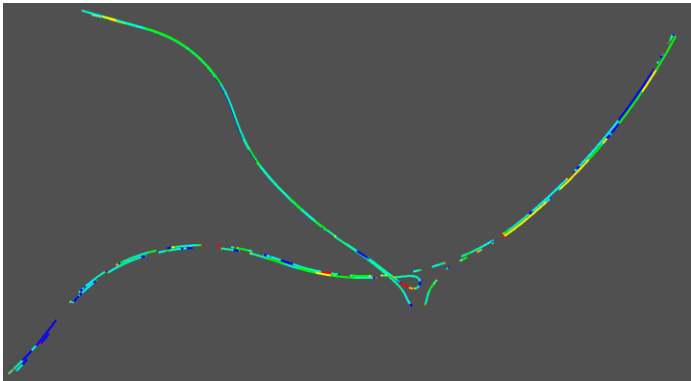


図 5.288 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1 回目
【L1-SAIF】
GPS+GLONASS

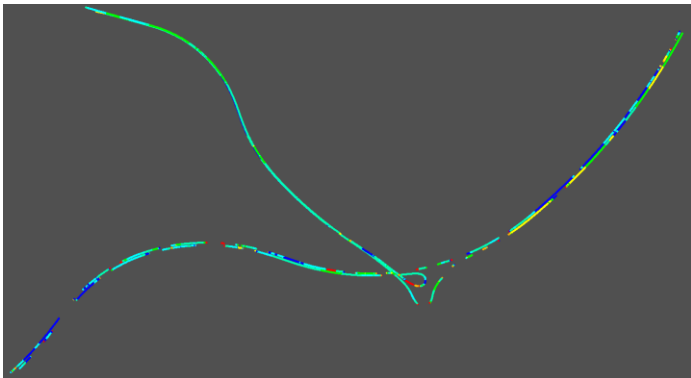


図 5.289 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1 回目
【L1-SAIF】
GPS+QZSS+GLONASS

推移グラフ

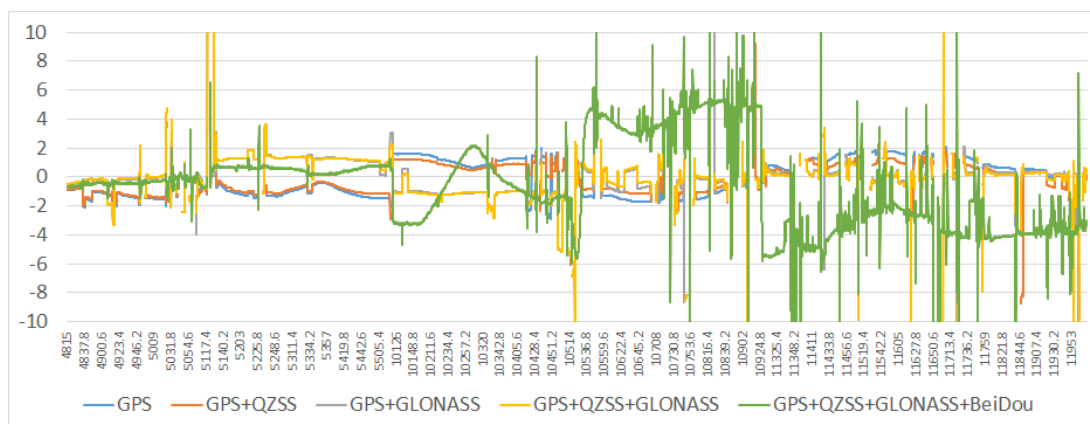


図 5.290 左右方向誤差の推移：都市間高速／1 回目

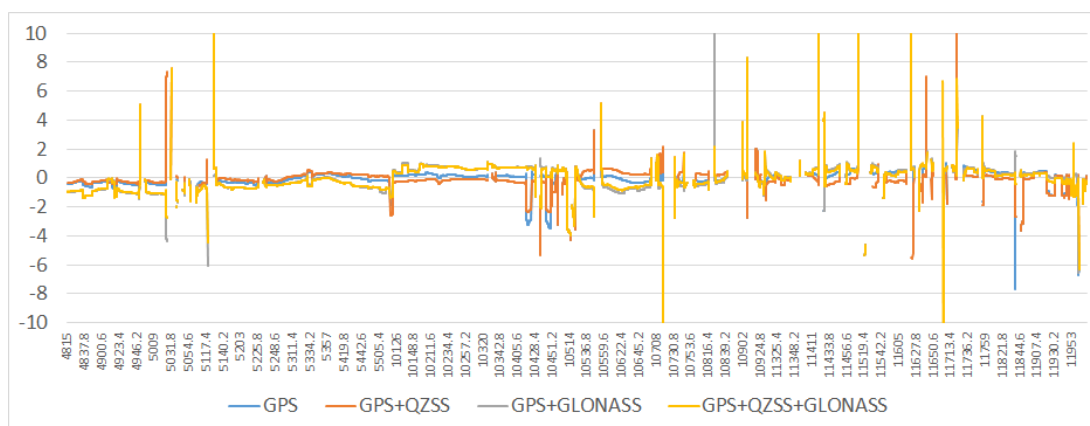


図 5.291 左右方向誤差の推移：都市間高速／1 回目【L1-SAIF】

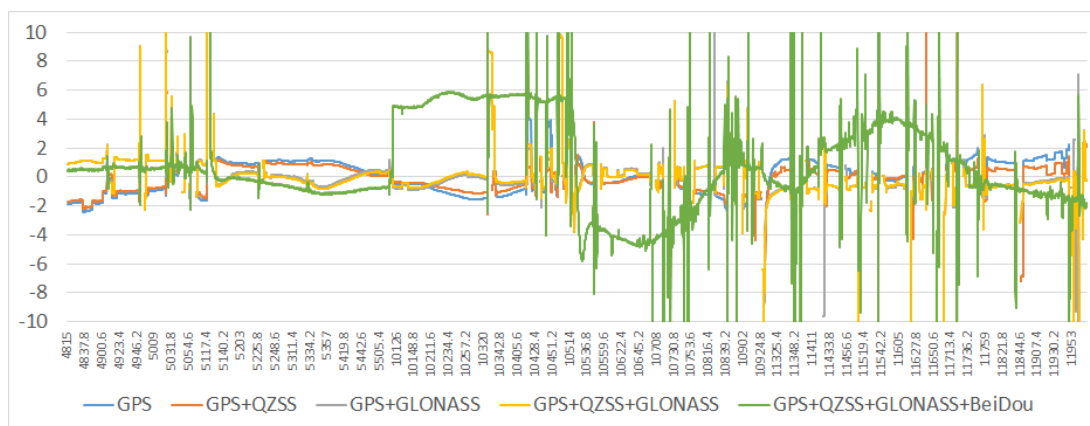


図 5.292 進行方向誤差の推移：都市間高速／1 回目

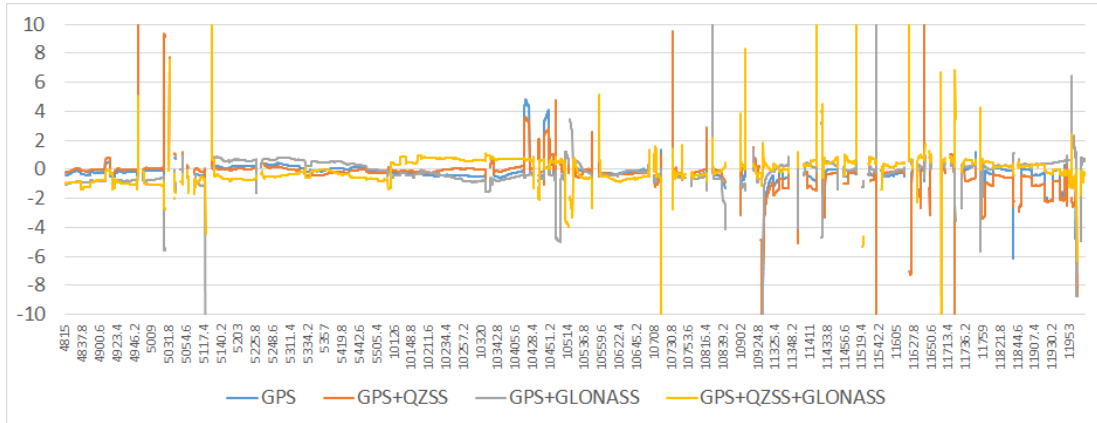


図 5.293 進行方向誤差の推移：都市間高速／1 回目【L1-SAIF】

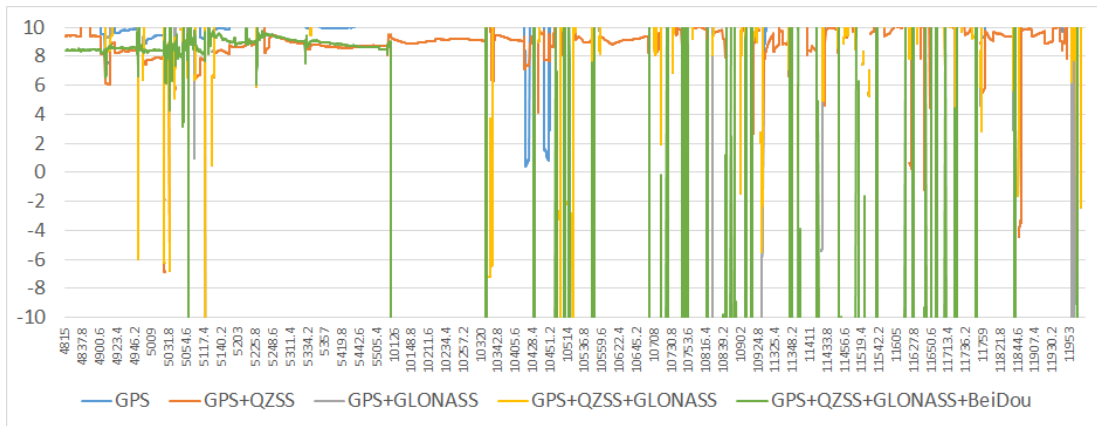


図 5.294 高さ方向誤差の推移：都市間高速／1 回目

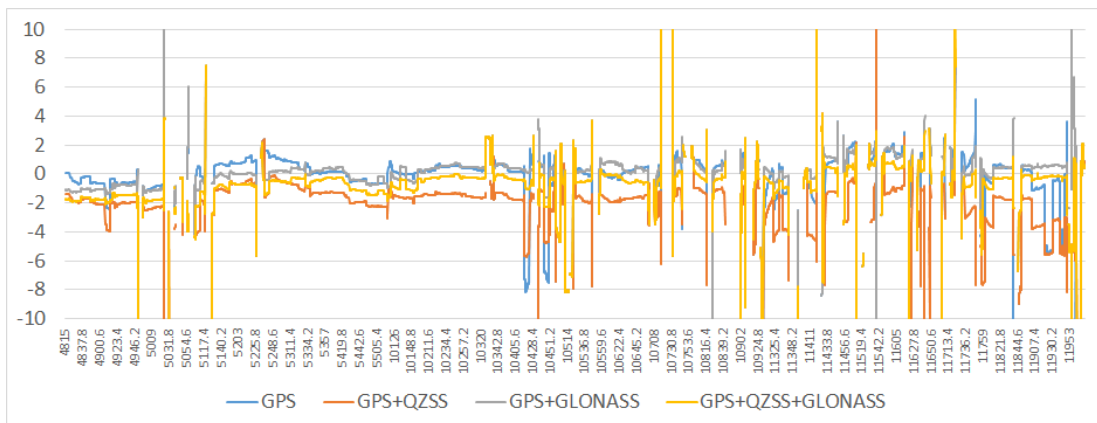


図 5.295 高さ方向誤差の推移：都市間高速／1 回目【L1-SAIF】

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

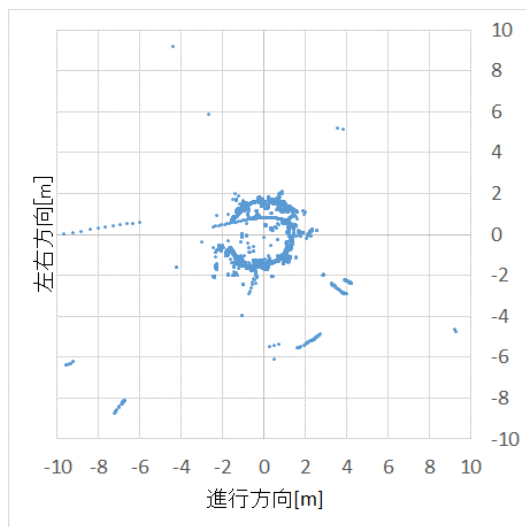


図 5.296 誤差分布
都市間高速／1 回目
GPS

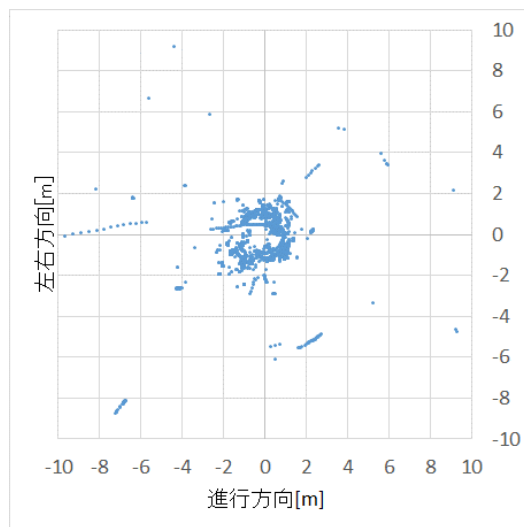


図 5.297 誤差分布
都市間高速／1 回目
GPS+QZSS

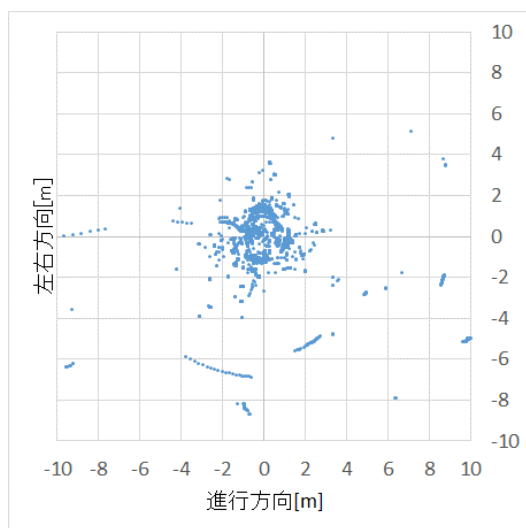


図 5.298 誤差分布
都市間高速／1 回目
GPS+GLONASS

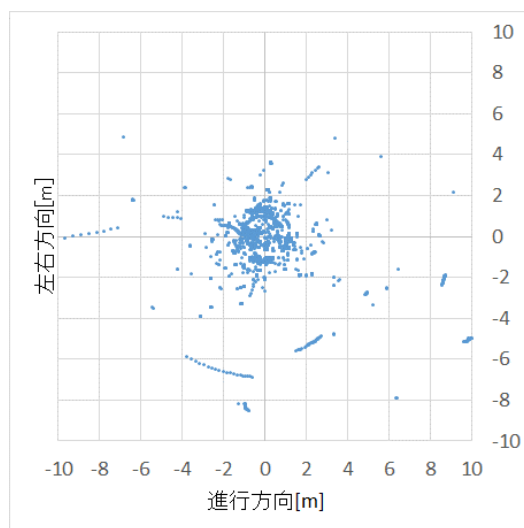


図 5.299 誤差分布
都市間高速／1 回目
GPS+QZSS+GLONASS

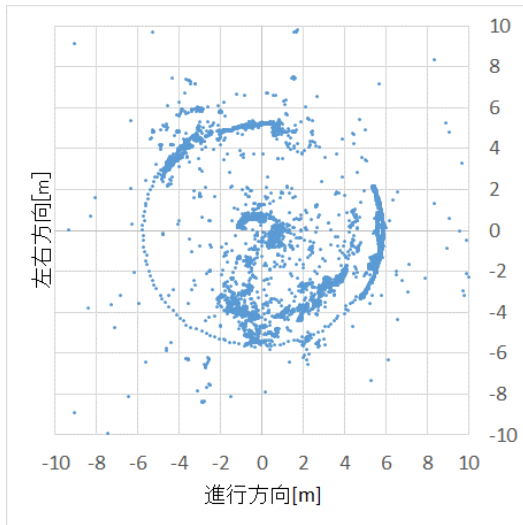


図 5.300 誤差分布
都市間高速／1 回目
GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou

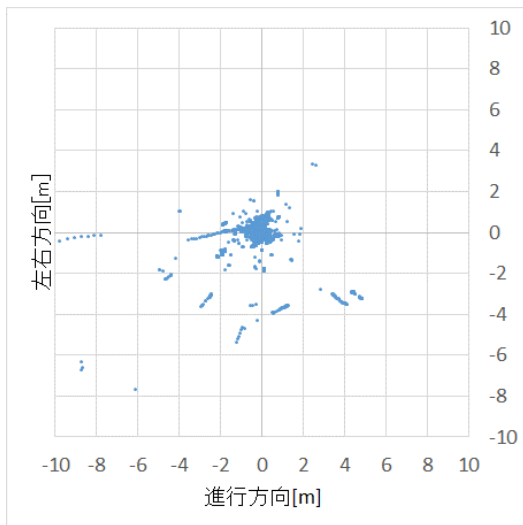


図 5.301 誤差分布
都市間高速／1 回目
【L1-SAIF】 GPS

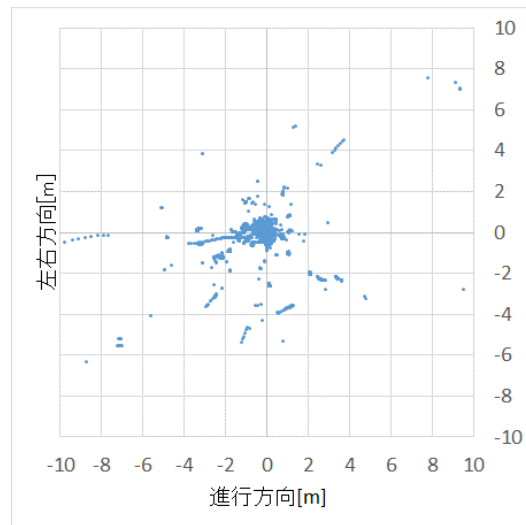


図 5.302 誤差分布
都市間高速／1 回目
【L1-SAIF】 GPS+QZSS

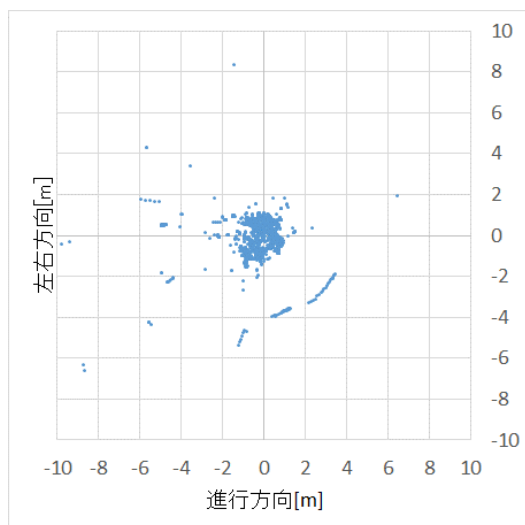


図 5.303 誤差分布
都市間高速／1 回目
【L1-SAIF】GPS+GLONASS

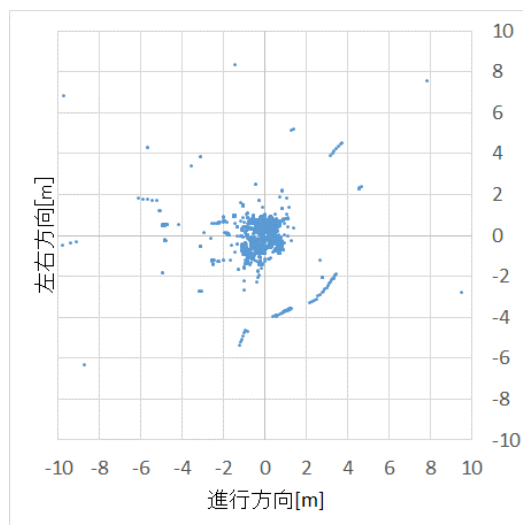


図 5.304 誤差分布
都市間高速／1 回目
【L1-SAIF】GPS+QZSS+GLONASS

誤差のヒストグラム

表 5.25 左右誤差発生数：都市間高速／1 回目

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+GLONASS	GPS+QZSS+ GLONASS	GPS+QZSS+ GLONASS+BeiDou
0.25	202	363	1069	1431	460
0.50	307	664	1122	878	824
0.75	650	740	333	401	962
1.00	648	1398	556	252	313
1.25	838	1405	1063	1311	111
1.50	1285	420	663	625	228
1.75	1000	112	221	99	173
2.00	124	60	111	165	184
2.25	63	18	34	40	169
2.50	46	25	35	58	149
2.75	10	19	8	14	201
3.00	15	25	15	12	168
3.25	0	3	34	6	294
3.50	0	6	12	22	243
3.75	0	1	12	11	258

4.00	2	1	8	6	359
4.25	0	0	0	0	368
4.50	0	0	0	3	138
4.75	2	3	0	0	118
5.00	5	6	18	20	222
5m 以上	54	48	127	127	588
unfix	1462	1396	1272	1232	183

表 5.26 左右誤差発生数：都市間高速／1 回目【L1-SAIF】

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+GLONASS	GPS+QZSS+GLONASS
0.25	2553	2836	867	992
0.50	1986	1690	1131	1276
0.75	352	328	1811	1901
1.00	92	72	1015	819
1.25	83	119	424	260
1.50	7	44	67	80
1.75	8	9	18	15
2.00	37	23	10	11
2.25	6	34	11	12
2.50	2	46	5	10
2.75	0	18	4	8
3.00	20	2	3	4
3.25	39	12	3	3
3.50	21	5	2	2
3.75	24	23	16	16
4.00	7	10	8	11
4.25	0	4	3	3
4.50	1	3	3	5
4.75	2	3	2	3
5.00	2	2	2	2
5m 以上	9	34	36	48
unfix	1462	1396	1272	1232

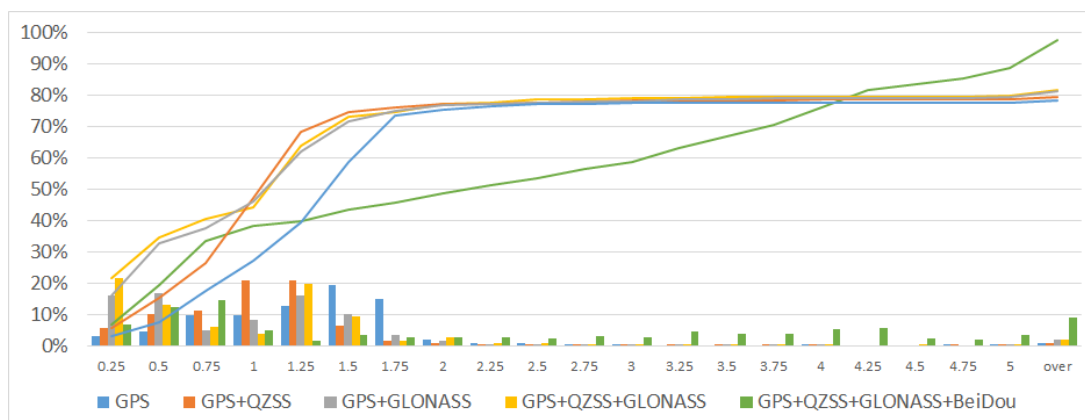


図 5.305 左右誤差ヒストグラム：都市間高速／1回目

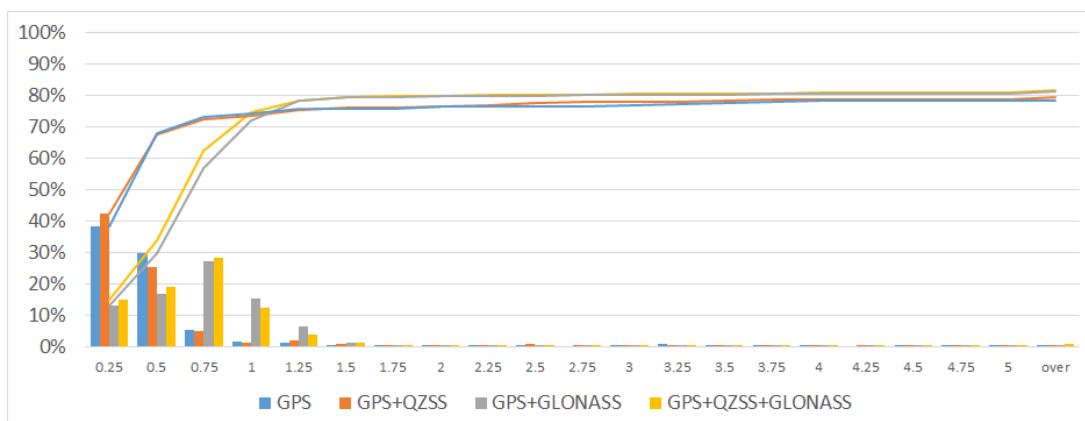


図 5.306 左右誤差ヒストグラム：都市間高速／1回目【L1-SAIF】

5.1.2.5.2. コード測位受信機

計測情報

測位方式：コード測位

補強方式：SBAS※GPS+QZSS+BeiDouのみ使用

計測経路：都市間高速（コース3）

計測時刻：2014/12/15 0:47:25 ~ 1:21:39 (UTC)

使用機材：受信機：コード測位受信機

アンテナ：Roof設置

取得衛星システム：

GPS／GPS+QZSS／GPS+GLONASS／GPS+QZSS+GLONASS

GPS+QZSS+BeiDou

左右方向誤差 MAP

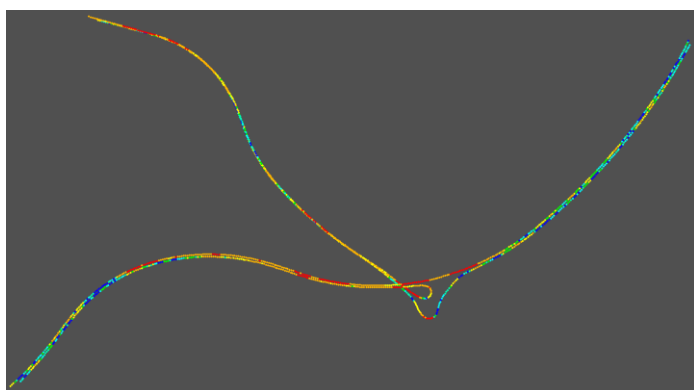
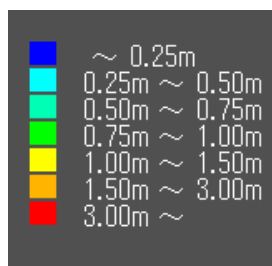


図 5.307 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1回目
GPS

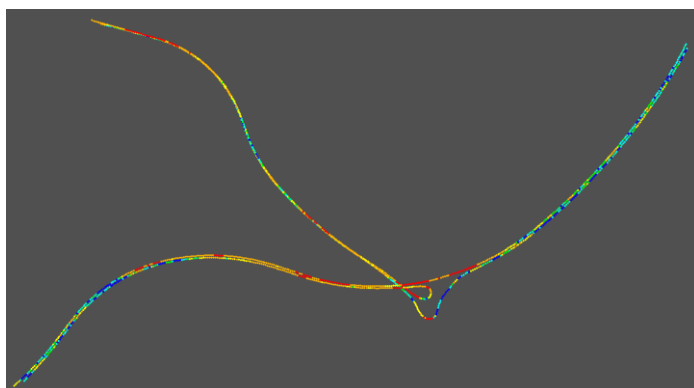


図 5.308 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1回目
GPS+QZSS

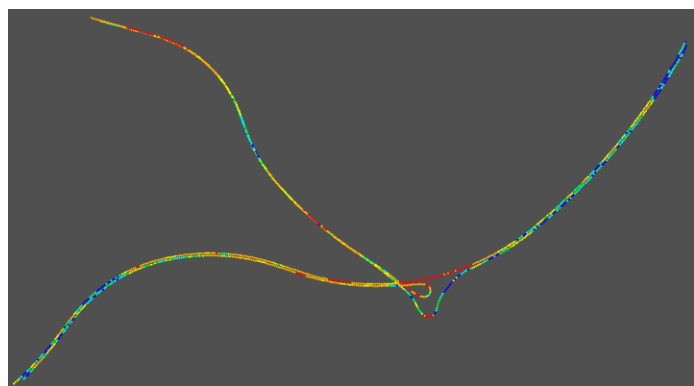


図 5.309 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1回目
GPS+GLONASS

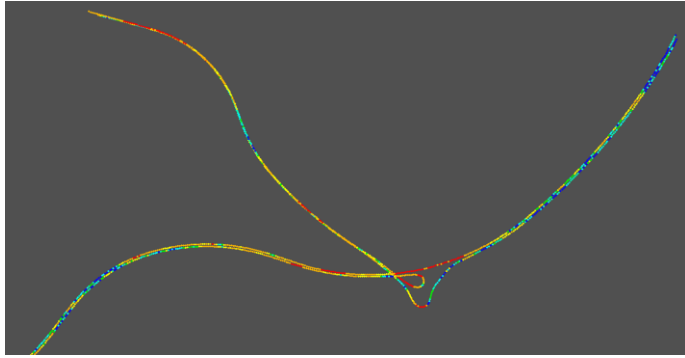


図 5.310 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1 回目
GPS+QZSS+GLONASS

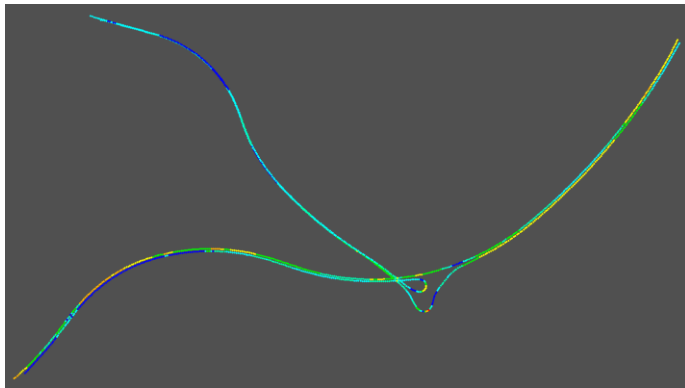


図 5.311 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1 回目
【SBAS】
GPS+QZSS+BeiDou

推移グラフ

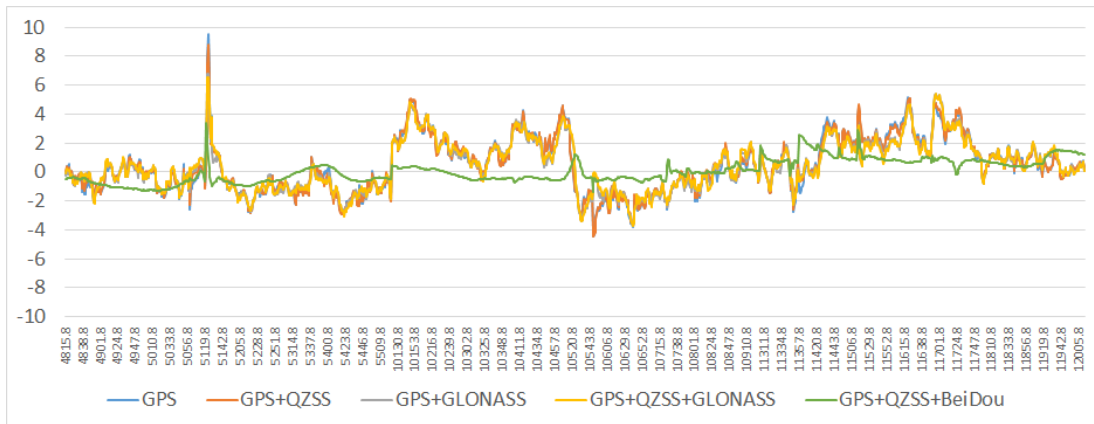


図 5.312 左右方向誤差の推移：都市間高速／1 回目

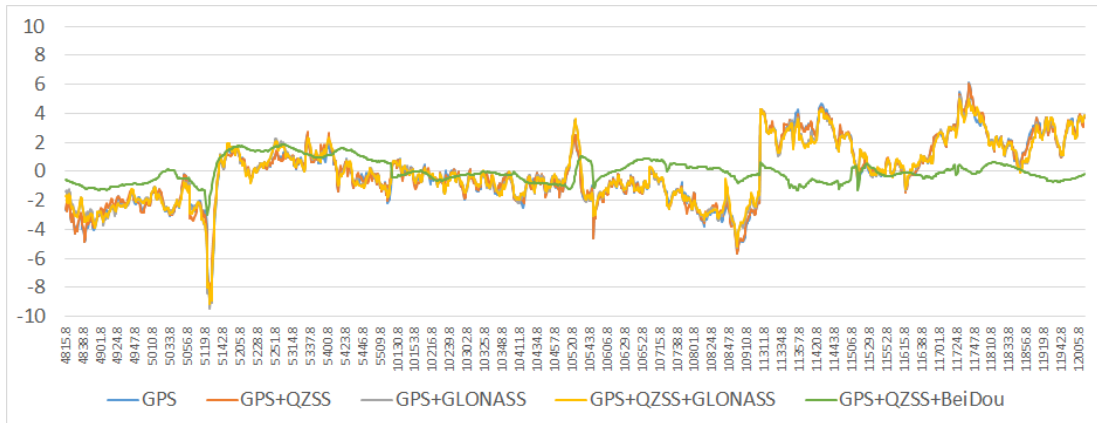


図 5.313 進行方向誤差の推移：都市間高速／1 回目

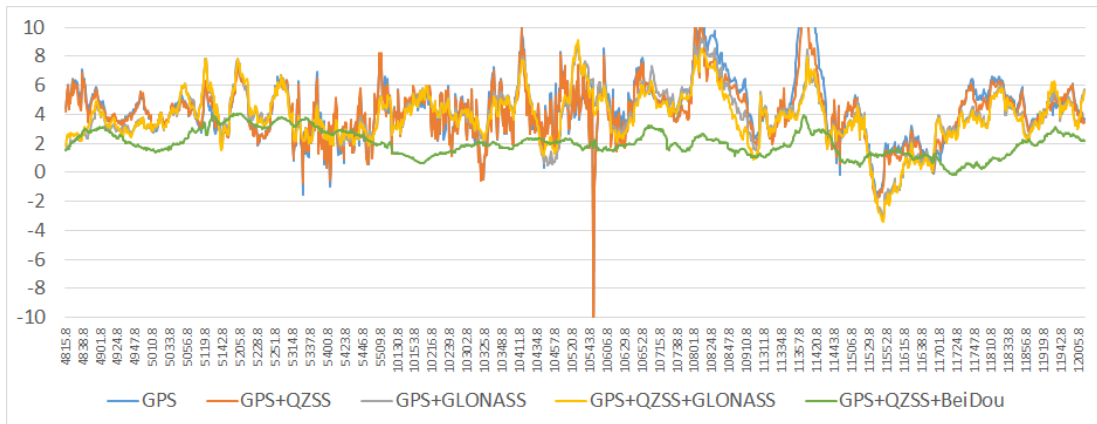


図 5.314 高さ方向誤差の推移：都市間高速／1 回目

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

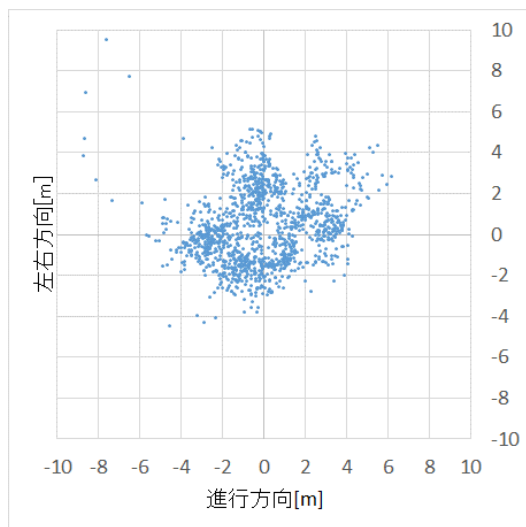


図 5.315 誤差分布
都市間高速／1 回目
GPS

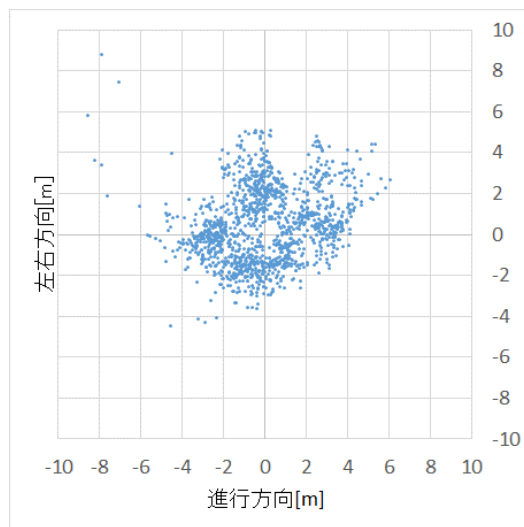


図 5.316 誤差分布
都市間高速／1 回目
GPS+QZSS

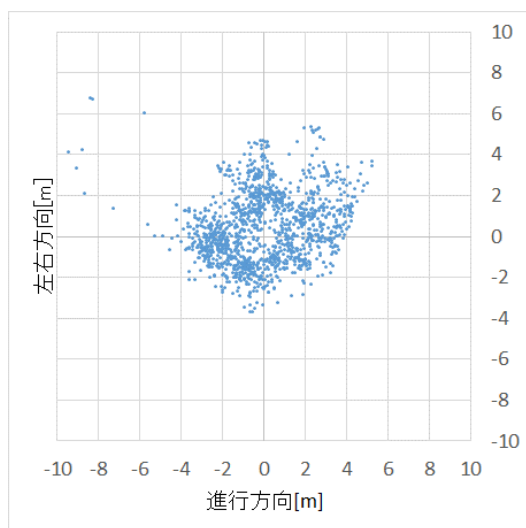


図 5.317 誤差分布
都市間高速／1 回目
GPS+GLONASS

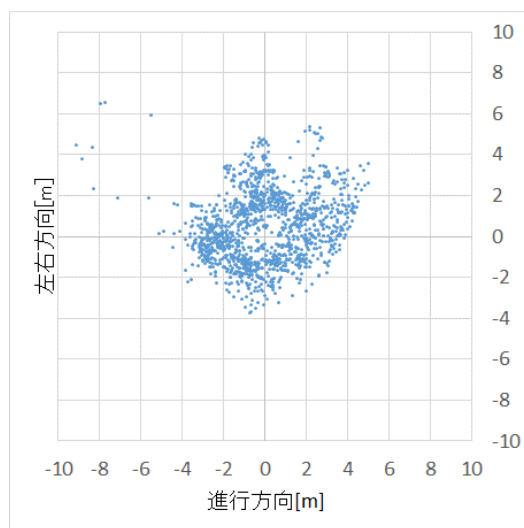


図 5.318 誤差分布
都市間高速／1 回目
GPS+QZSS+GLONASS

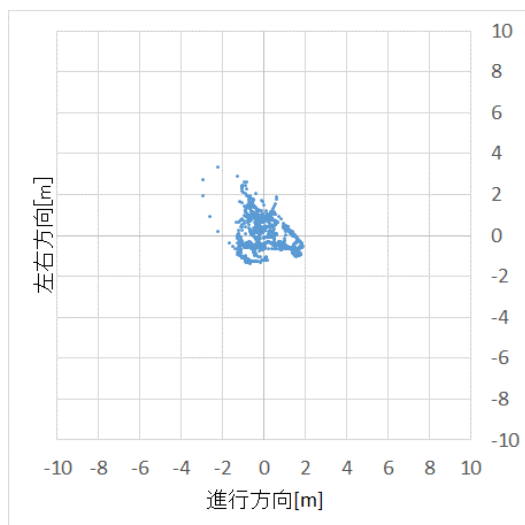


図 5.319 誤差分布
都市間高速／1 回目
【SBAS】 GPS+QZSS+BeiDou

誤差のヒストグラム

表 5.27 左右誤差発生数：都市間高速／1 回目

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+GLONASS	GPS+QZSS+ GLONASS	【SBAS】 GPS+QZSS+BeiDou
0.25	137	149	144	134	212
0.50	143	141	133	132	385
0.75	111	132	144	137	296
1.00	122	103	110	112	208
1.25	120	116	144	147	119
1.50	140	135	157	161	79
1.75	90	94	98	120	17
2.00	83	81	86	84	13
2.25	72	78	89	74	4
2.50	58	62	43	43	7
2.75	58	54	35	37	3
3.00	60	54	40	38	1
3.25	34	35	39	48	0
3.50	25	24	25	23	1
3.75	26	25	16	10	0

4.00	22	9	5	10	0
4.25	10	15	5	3	0
4.50	8	14	8	7	0
4.75	9	4	8	8	0
5.00	6	9	3	4	0
5m 以上	8	8	10	10	0
unfix	0	0	0	0	0

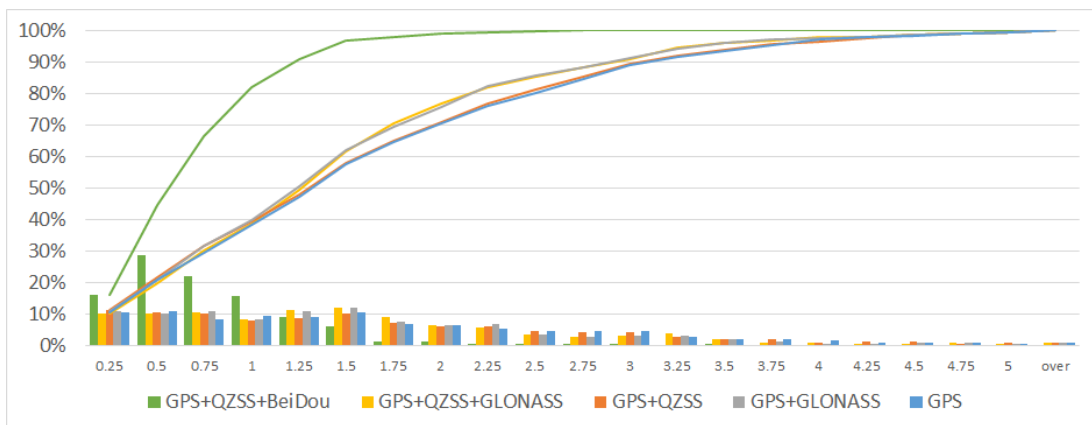


図 5.320 左右誤差ヒストグラム：都市間高速／1 回目

5.1.2.5.3. 搬送波位相測位 (RTK)

計測情報

測位方式：搬送波位相測位 (RTK)

補強方式：

計測経路：都市間高速 (コース 3)

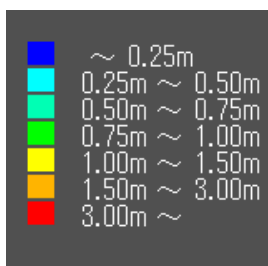
計測時刻：2014/12/15 0:47:25 ~ 1:21:39 (UTC)

使用機材：受信機：Trimble

アンテナ：NovAtel／Roof 設置 (MMS と同一)

取得衛星システム：GPS／GPS+QZSS／GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou

左右方向誤差 MAP



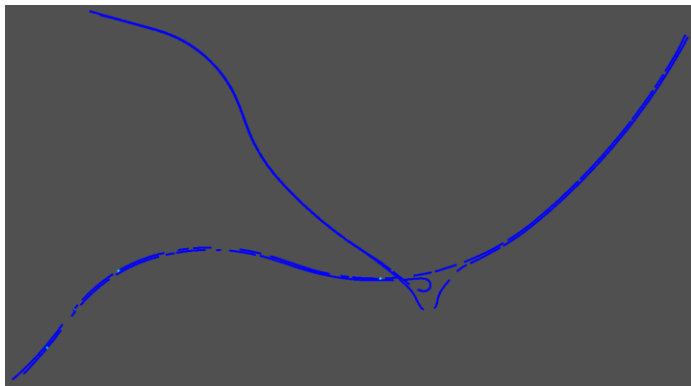


図 5.321 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1 回目
GPS (Fix)

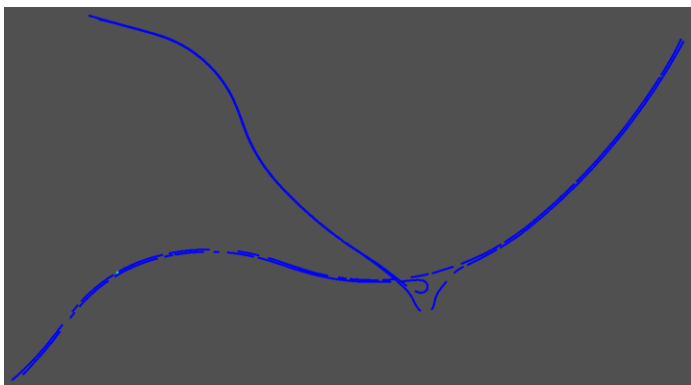


図 5.322 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1 回目
GPS+QZSS (Fix)

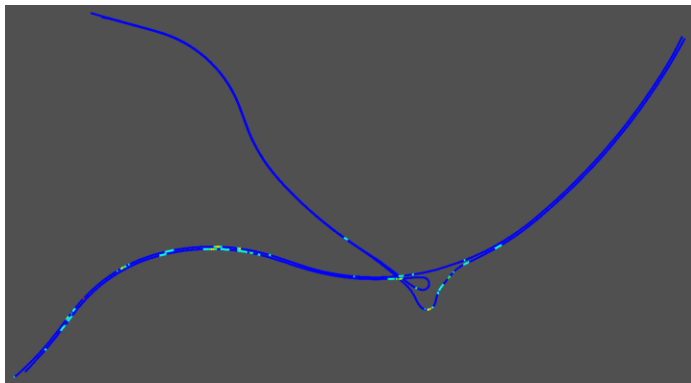


図 5.323 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1 回目
GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou
iDou
(Float+Fix)

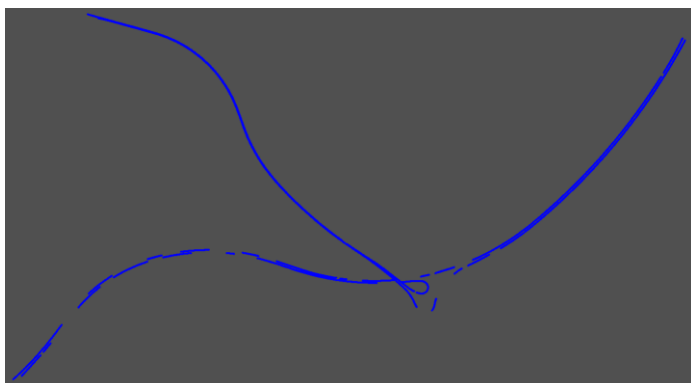


図 5.324 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1 回目
GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou
iDou
(Fix)

推移グラフ

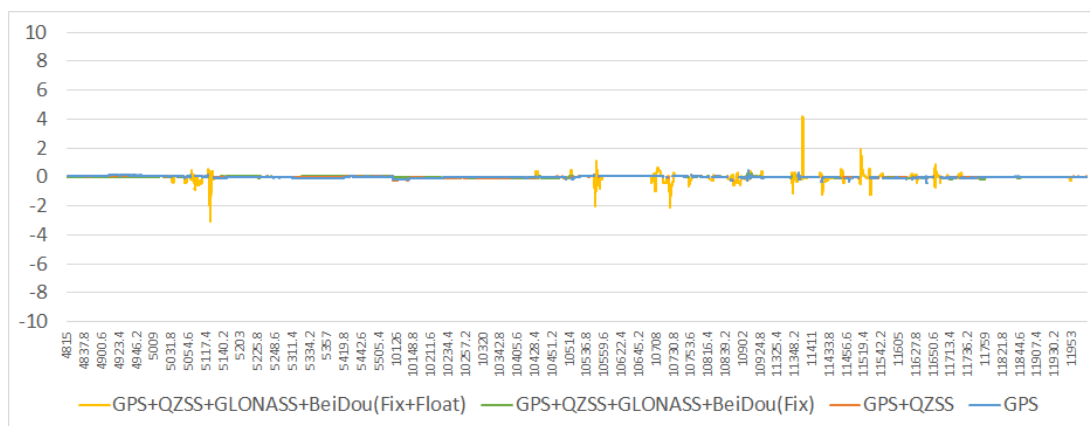


図 5.325 左右方向誤差の推移：都市間高速／1 回目

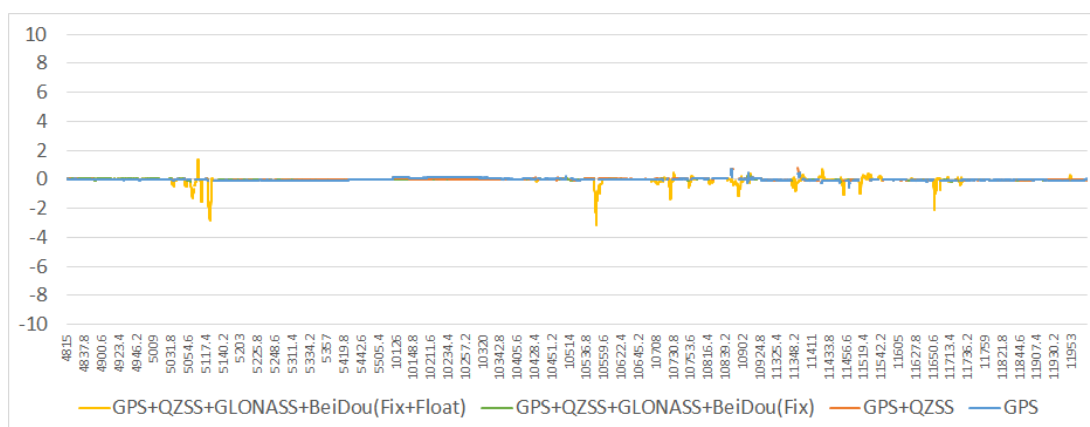


図 5.326 進行方向誤差の推移：都市間高速／1 回目

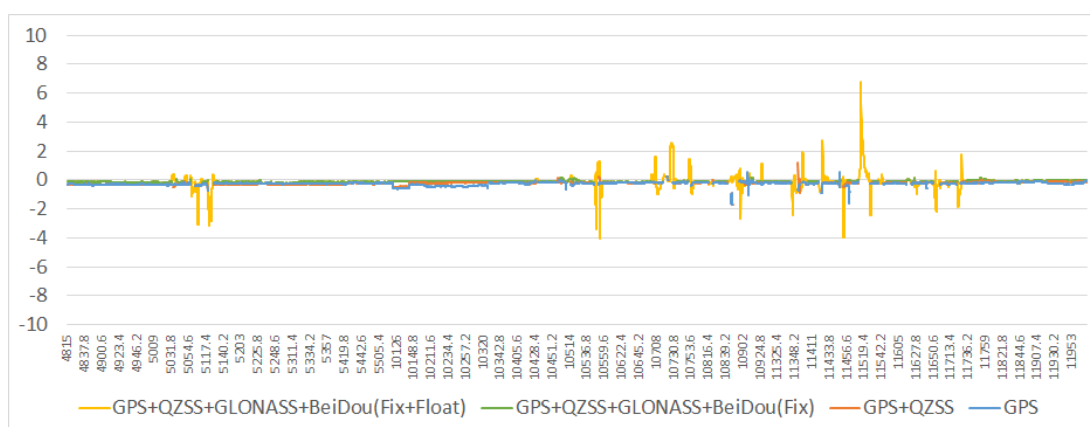


図 5.327 高さ方向誤差の推移：都市間高速／1 回目

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

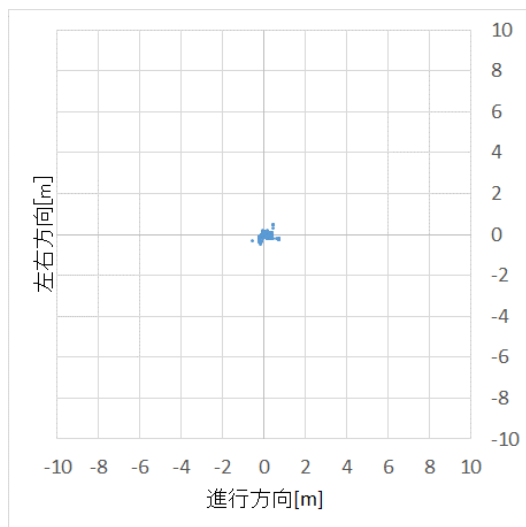


図 5.328 誤差分布
都市間高速／1回目
GPS (Fix)

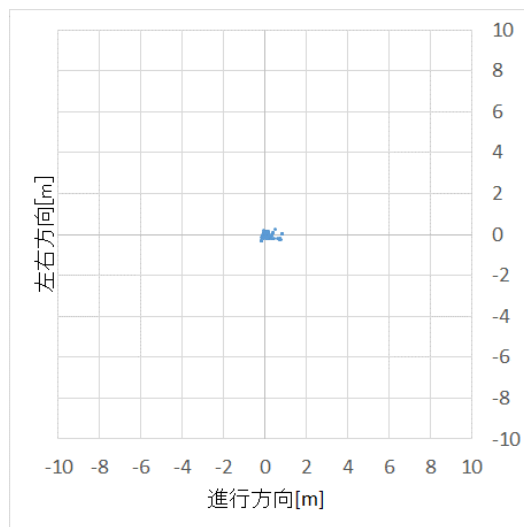


図 5.329 誤差分布
都市間高速／1回目
GPS+QZSS (Fix)

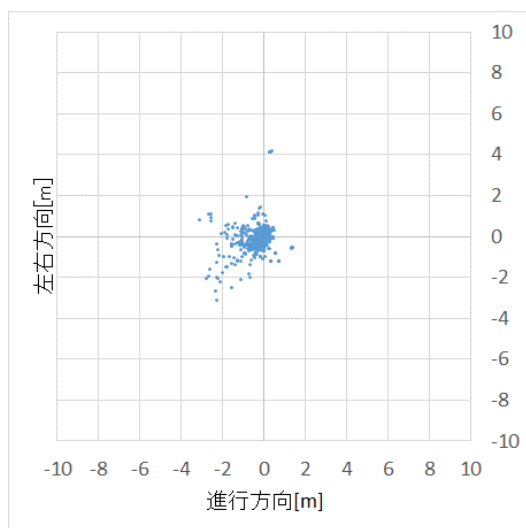


図 5.330 誤差分布
都市間高速／1回目
GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou
(Float+Fix)

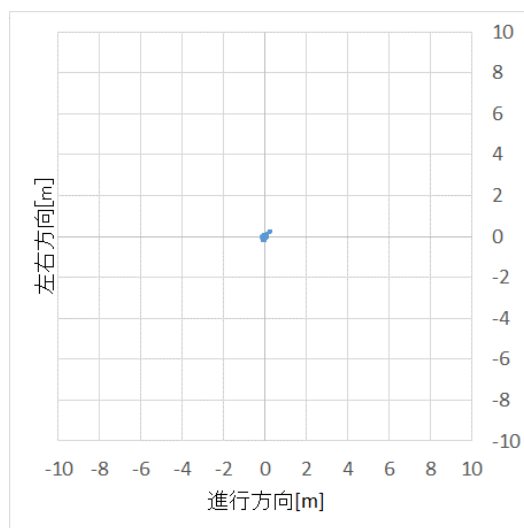


図 5.331 誤差分布
都市間高速／1回目
GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou
(Fix)

誤差のヒストグラム

表 5.28 左右誤差発生数：都市間高速／1回目

誤差[m]	GPS (Fix)	GPS+QZSS (Fix)	GPS+QZSS+GLONASS +BeiDou(Float+Fix)	GPS+QZSS+GLONASS +BeiDou(Fix)
0.25	5907	6014	6246	5496
0.50	13	6	305	0
0.75	2	0	73	0
1.00	0	0	36	0
1.25	0	0	24	0
1.50	0	0	8	0
1.75	0	0	2	0
2.00	0	0	5	0
2.25	0	0	4	0
2.50	0	0	0	0
2.75	0	0	2	0
3.00	0	0	0	0
3.25	0	0	1	0
3.50	0	0	0	0
3.75	0	0	0	0
4.00	0	0	0	0
4.25	0	0	5	0
4.50	0	0	0	0
4.75	0	0	0	0
5.00	0	0	0	0
5m 以上	0	0	0	0
unfix	791	693	2	1217

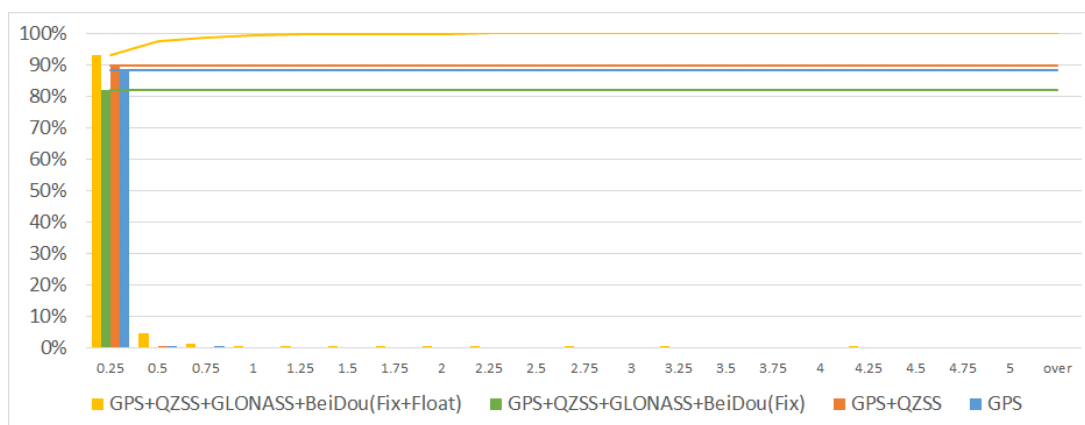


図 5.332 左右誤差ヒストグラム：都市間高速／1回目

5.1.2.5.4. CMAS

計測情報

測位方式：搬送波位相測位

補強方式：CMAS

計測経路：都市間高速（コース 3）

計測時刻：2014/12/15 0:47:25 ~ 1:21:39 (UTC)

使用機材：受信機：LEXR/LEXRx

アンテナ：NovAtel/Roof 設置 (MMS と同一)

取得衛星システム：GPS/GPS+QZSS

左右方向誤差 MAP

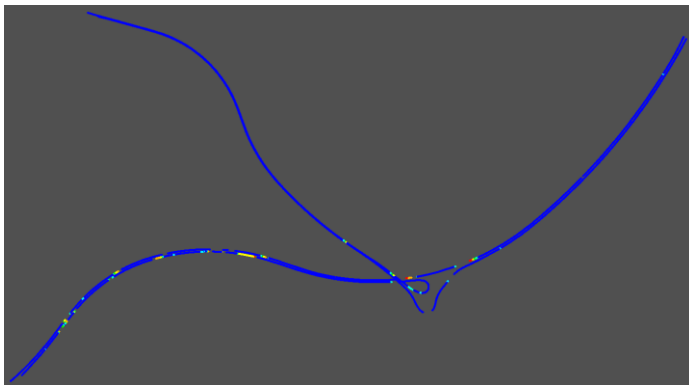
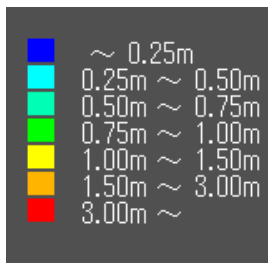


図 5.333 左右方向誤差 MAP
都市間高速/1回目
【CMAS】GPS

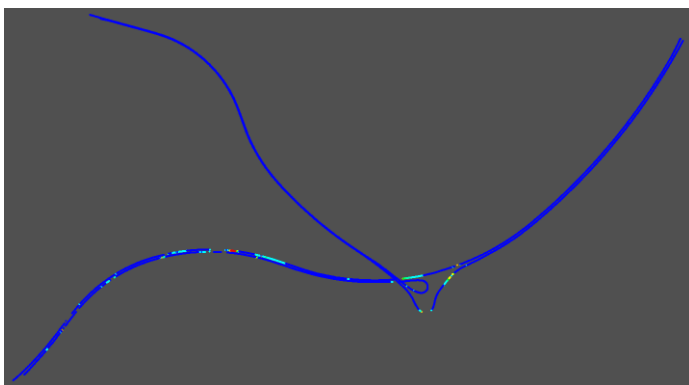


図 5.334 左右方向誤差 MAP
都市間高速/1回目
【CMAS】GPS+QZSS

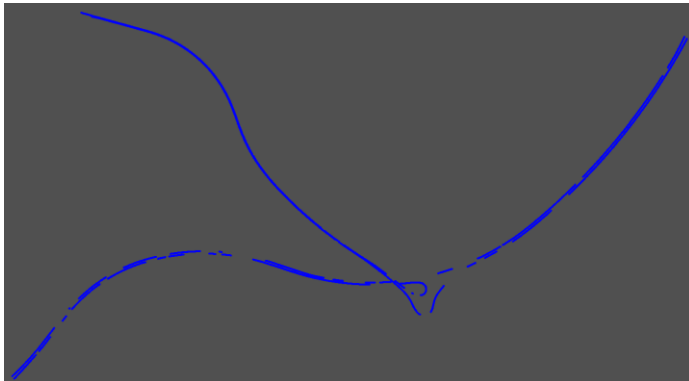


図 5.335 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1回目
【CMAS】GPS

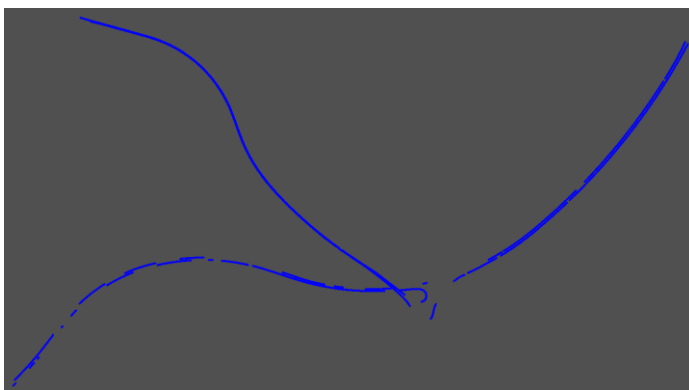


図 5.336 左右方向誤差 MAP
都市間高速／1回目
【CMAS】GPS + QZSS

推移グラフ

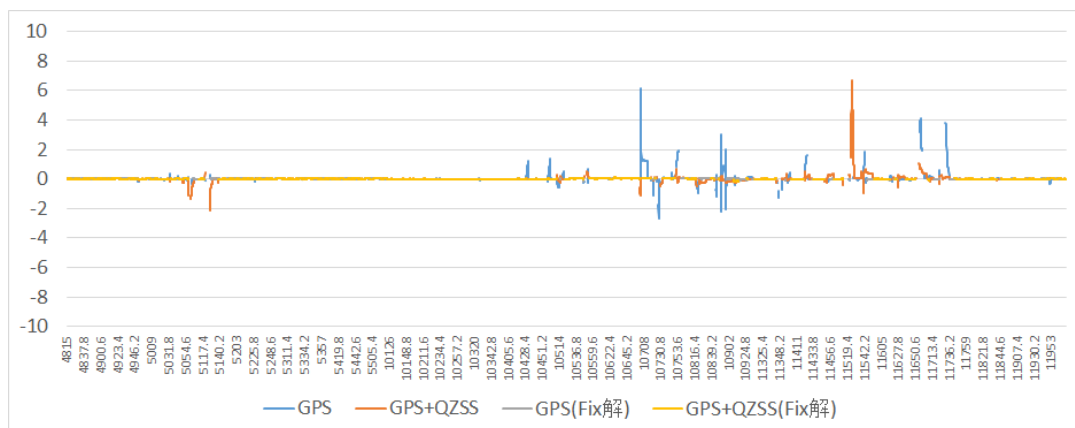


図 5.337 左右方向誤差の推移：都市間高速／1回目 【CMAS】

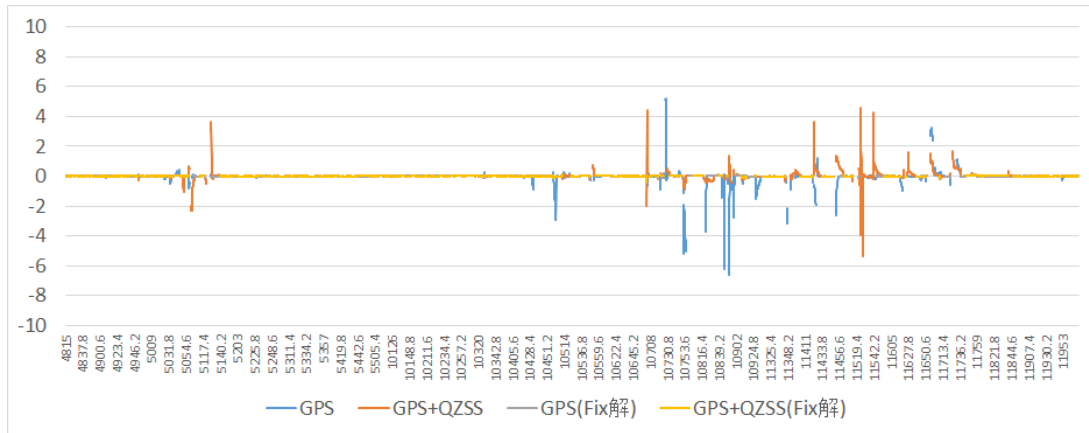


図 5.338 進行方向誤差の推移：都市間高速／1 回目【CMAS】

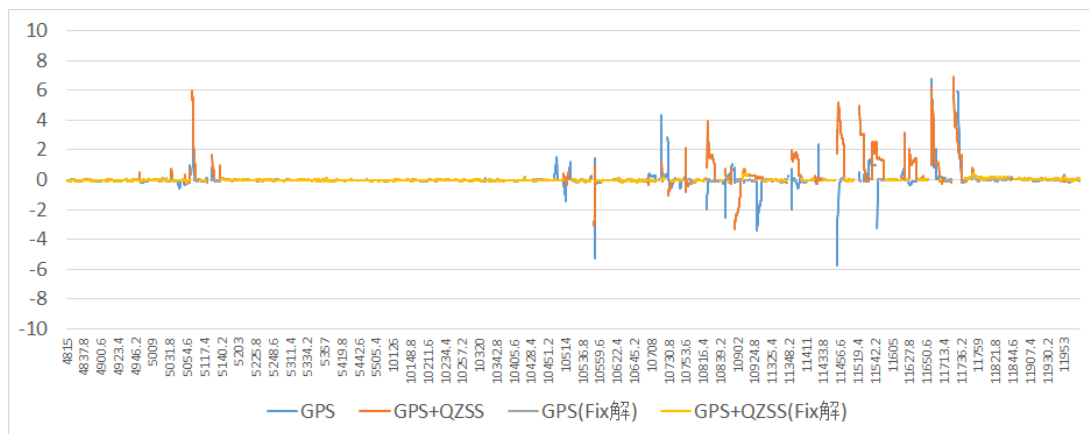


図 5.339 高さ誤差の推移：都市間高速／1 回目【CMAS】

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

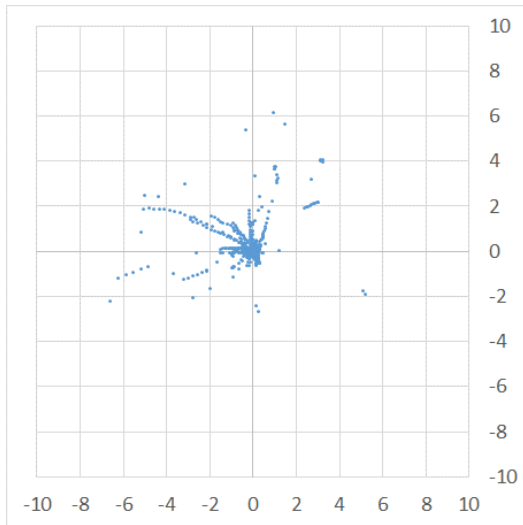


図 5.340 誤差分布
都市間高速／1 回目
【CMAS】 GPS

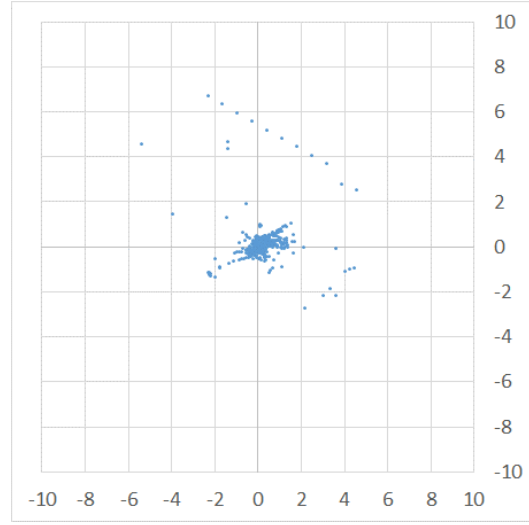


図 5.341 誤差分布
都市間高速／1 回目
【CMAS】 GPS+QZSS

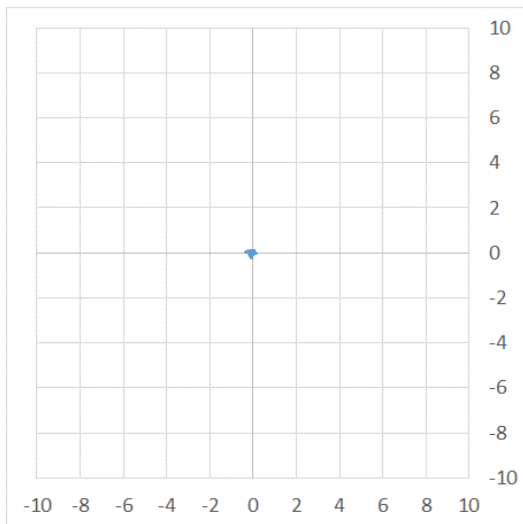


図 5.342 誤差分布
都市間高速／1 回目
【CMAS】 GPS (Fix 解)

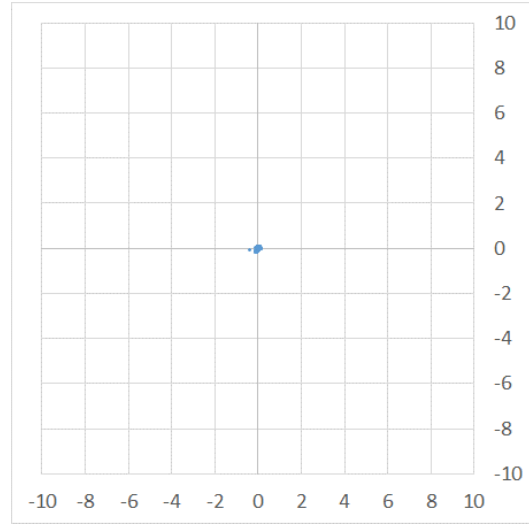


図 5.343 誤差分布
都市間高速／1 回目
【CMAS】 GPS+QZSS (Fix 解)

誤差のヒストグラム

表 5.29 左右誤差発生数：都市間高速／1 回目【CMAS】

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS(Fix 解)	GPS+QZSS(Fix 解)
0.25	6084	6128	5287	5141
0.50	77	221	0	0
0.75	41	37	0	0
1.00	31	14	0	0
1.25	42	11	0	0
1.50	30	5	0	0
1.75	10	0	0	0
2.00	15	2	0	0
2.25	9	2	0	0
2.50	4	0	0	0
2.75	1	2	0	0
3.00	1	1	0	0
3.25	4	0	0	0
3.50	2	0	0	0
3.75	3	1	0	0
4.00	3	0	0	0
4.25	3	1	0	0
4.50	0	2	0	0
4.75	0	2	0	0
5.00	0	1	0	0
5m 以上	3	5	0	0
unfix	350	278	1426	1572

※Fix 解の[unfix]は Float 解を含んでいます。

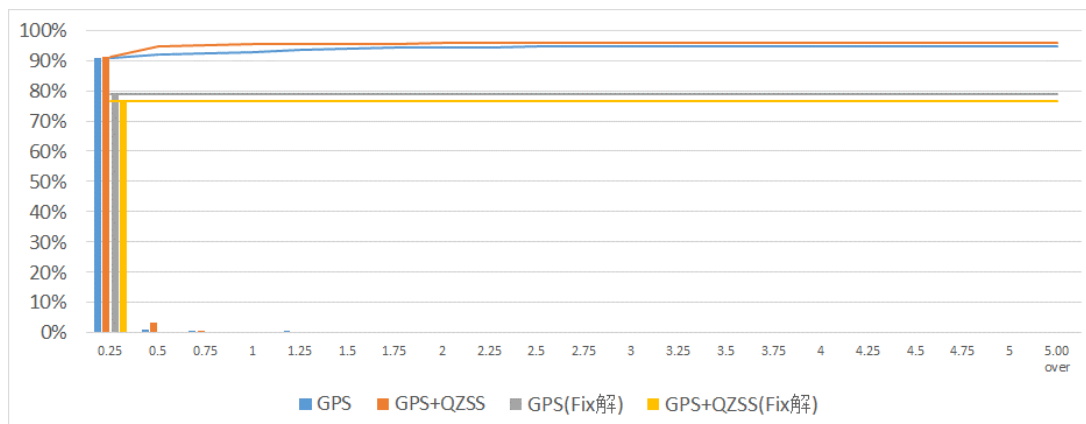


図 5.344 左右誤差ヒストグラム：都市間高速／1 回目【CMAS】

5.1.2.5.5. MADOCA-PPP

計測情報

測位方式：搬送波位相測位

補強方式：MADOCA-PPP

計測経路：都市間高速（コース 3）

計測時刻：2014/12/15 0:47:25 ~ 1:21:39 (UTC)

使用機材：受信機：JAVAD

アンテナ：NovAtel / Roof 設置 (MMS と同一)

取得衛星システム：GPS / GPS+QZSS / GPS+QZSS+GLONASS

左右方向誤差 MAP

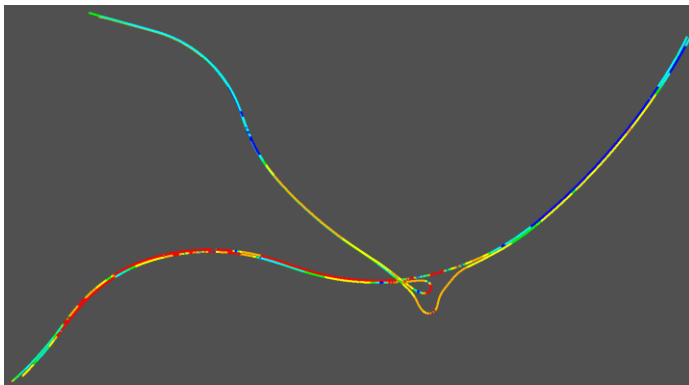
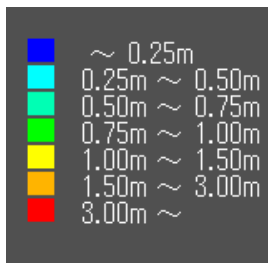


図 5.345 左右方向誤差 MAP
都市間高速 / 1 回目
GPS
(単独測位解+PPP 解)

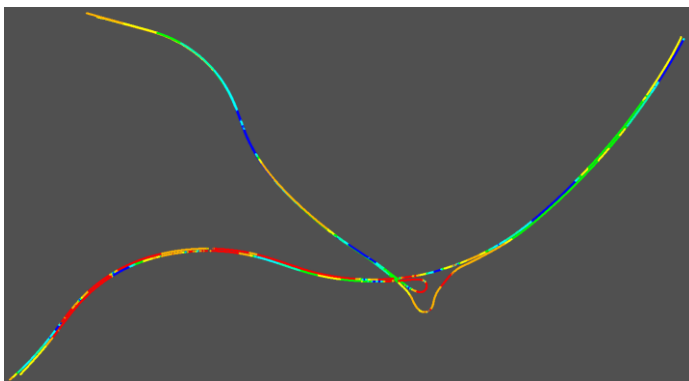


図 5.346 左右方向誤差 MAP
都市間高速 / 1 回目
GPS+QZSS
(単独測位解+PPP 解)

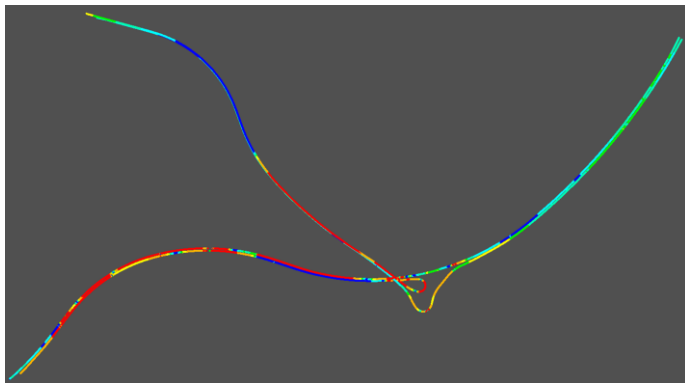


図 5.347 左右方向誤差 MAP
都市間高速 / 1 回目
GPS+QZSS+GLONASS
(単独測位解+PPP 解)

推移グラフ

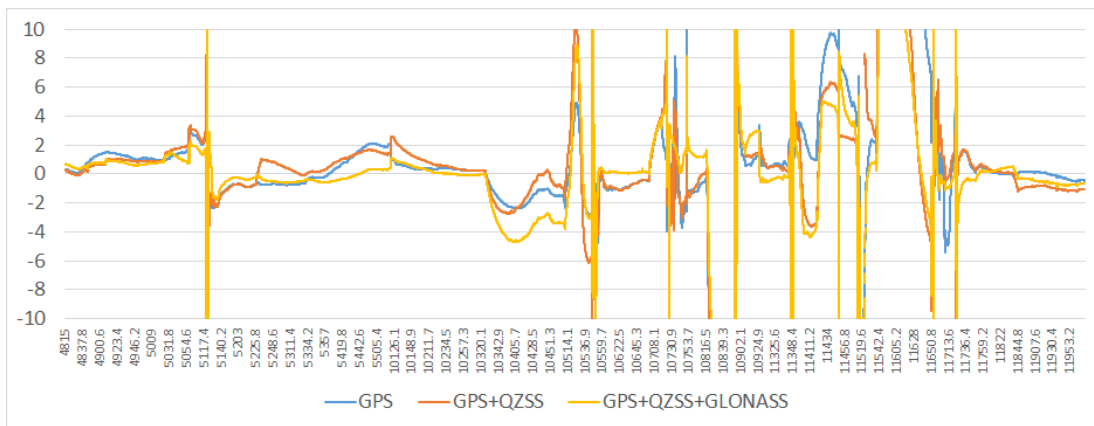


図 5.348 左右方向誤差の推移：都市間高速 / 1 回目 (単独測位解+PPP 解)

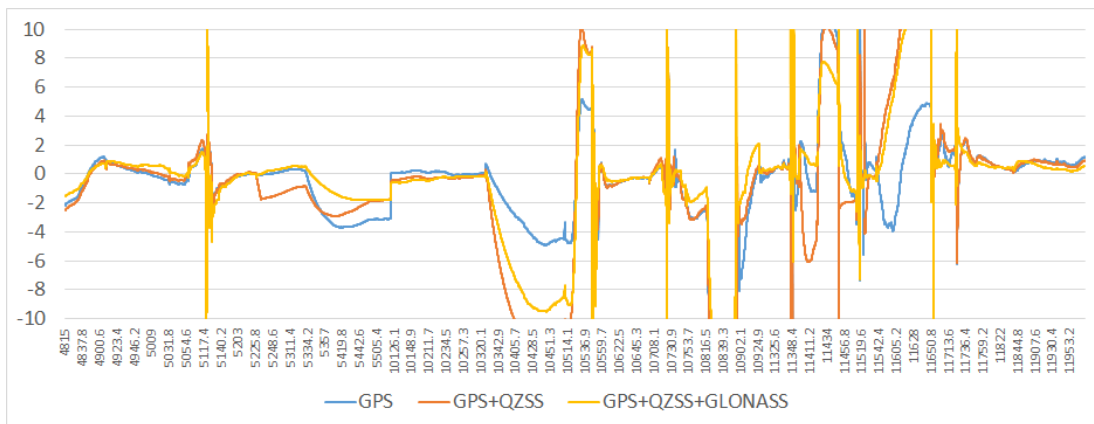


図 5.349 進行方向誤差の推移：都市間高速 / 1 回目 (単独測位解+PPP 解)

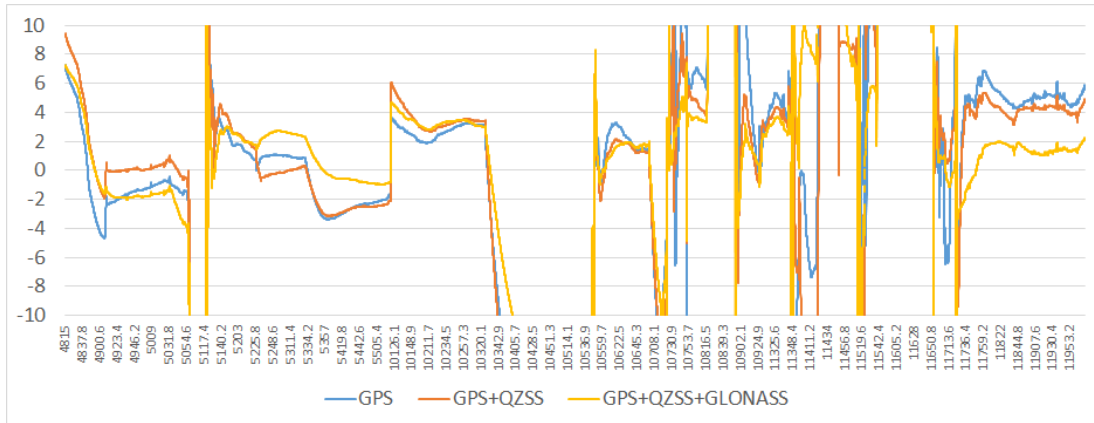


図 5.350 高さ方向誤差の推移：都市間高速／1回目（単独測位解+PPP解）

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

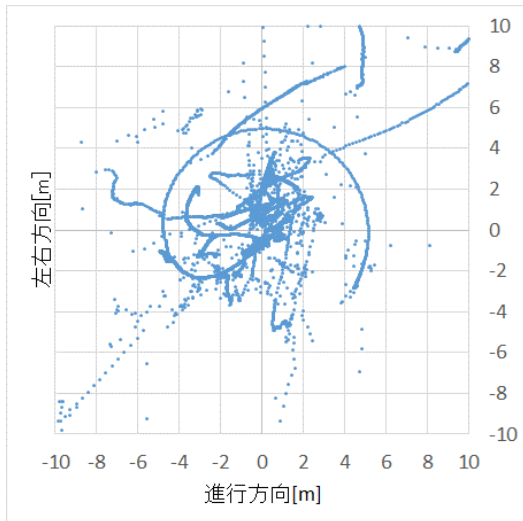


図 5.351 誤差分布
都市間高速／1回目
GPS
(単独測位解+PPP解)

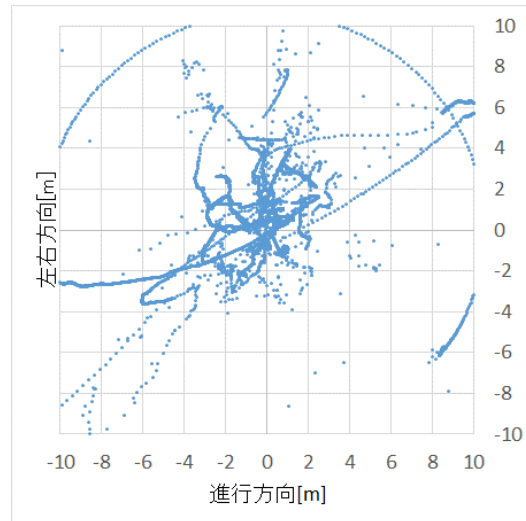


図 5.352 誤差分布
都市間高速／1回目
GPS+QZSS
(単独測位解+PPP解)

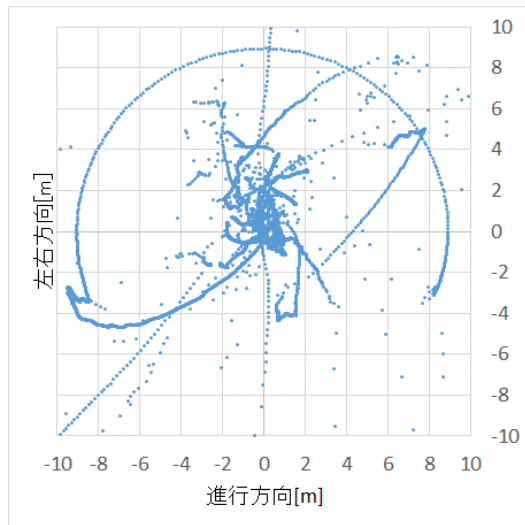


図 5.353 誤差分布
都市間高速 / 1 回目
GPS+QZSS+GLONASS
(単独測位解+PPP 解)

誤差のヒストグラム

表 5.30 左右誤差発生数：都市間高速 / 1 回目

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+QZSS+GLONASS
0.25	1607	1638	2219
0.50	1955	1186	2663
0.75	1690	1312	2203
1.00	1112	2324	1119
1.25	1387	1261	412
1.50	1056	798	386
1.75	489	708	295
2.00	415	424	226
2.25	551	293	155
2.50	407	379	131
2.75	240	469	181
3.00	175	167	319
3.25	92	187	226
3.50	93	130	357

3.75	65	149	149
4.00	44	94	131
4.25	38	51	264
4.50	51	78	194
4.75	71	49	283
5.00	97	33	158
5m 以上	1647	1549	1230
unfix	141	144	122

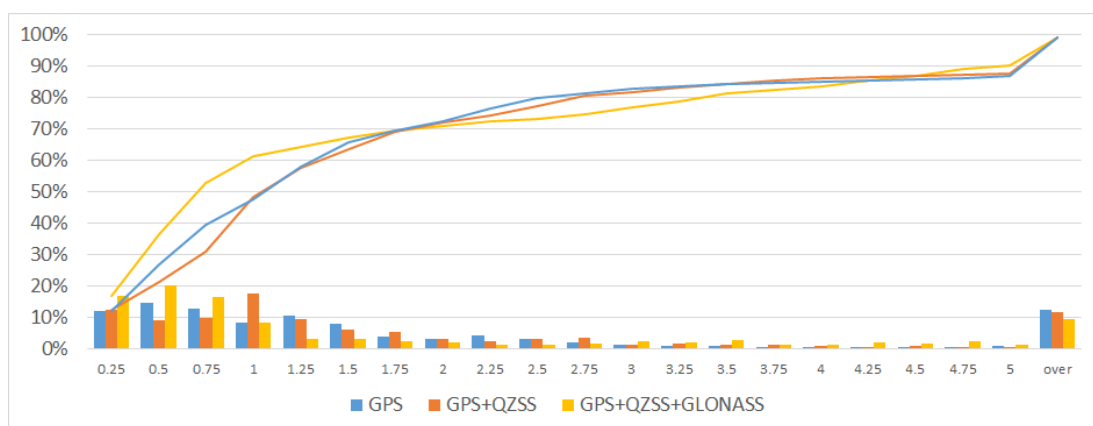


図 5.354 左右誤差ヒストグラム：都市間高速／1回目

5.1.2.6 都市間高速（2回目）

5.1.2.6.1. コード測位

計測情報

測位方式：コード測位（後処理）

補強方式：L1-SAIF

計測経路：都市間高速（コース3）

計測時刻：2014/12/15 2:44:33 ~ 3:18:04 (UTC)

使用機材：受信機：NovAtel

アンテナ：NovAtel／Roof設置（MMSと同一）

取得衛星システム：GPS／GPS+QZSS／GPS+GLONASS／GPS+QZSS+GLONASS
／GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou

左右方向誤差 MAP

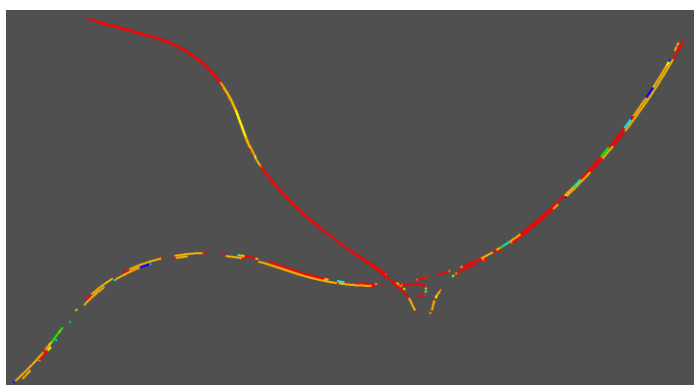
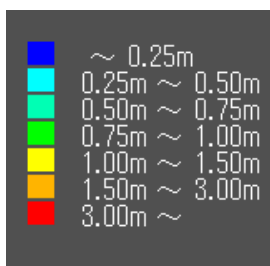


図 5.355 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2回目
GPS

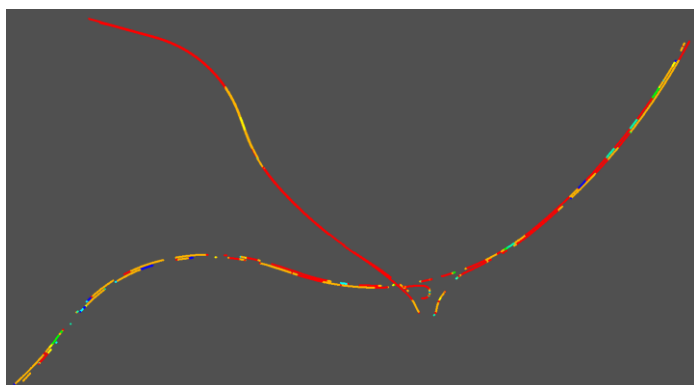


図 5.356 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2回目
GPS+QZSS

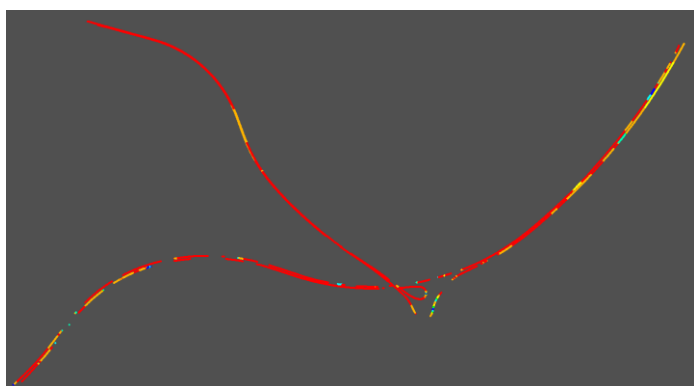


図 5.357 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2回目
GPS+GLONASS

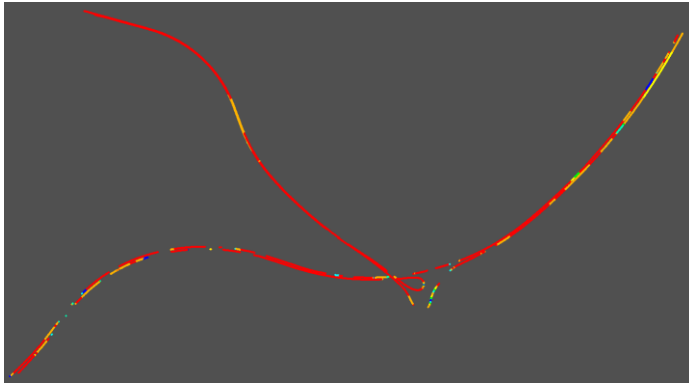


図 5.358 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2 回目
GPS+QZSS+GLONASS

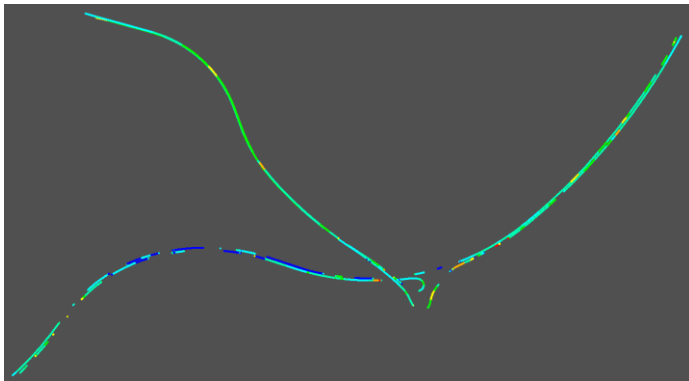


図 5.359 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2 回目
【L1-SAIF】GPS

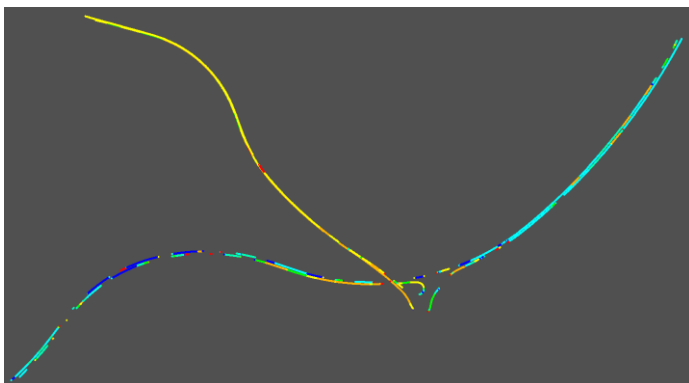


図 5.360 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2 回目
【L1-SAIF】GPS+QZSS

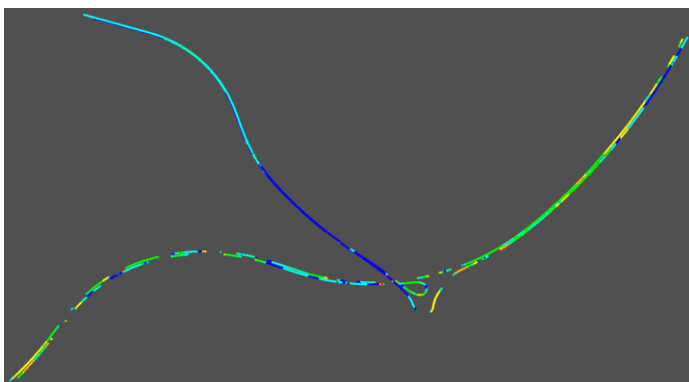


図 5.361 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2 回目
【L1-SAIF】
GPS+GLONASS

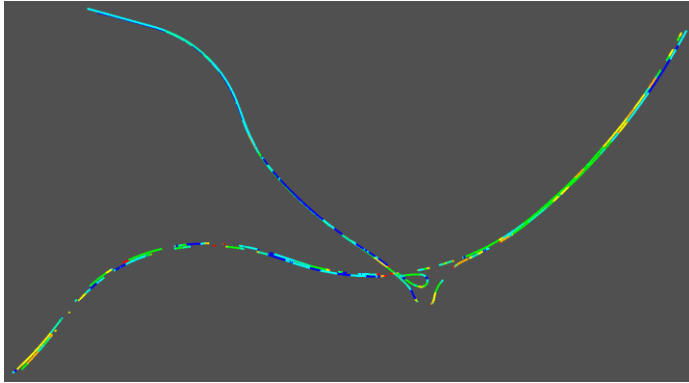


図 5.362 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2 回目
【L1-SAIF】
GPS+QZSS+GLONASS

推移グラフ

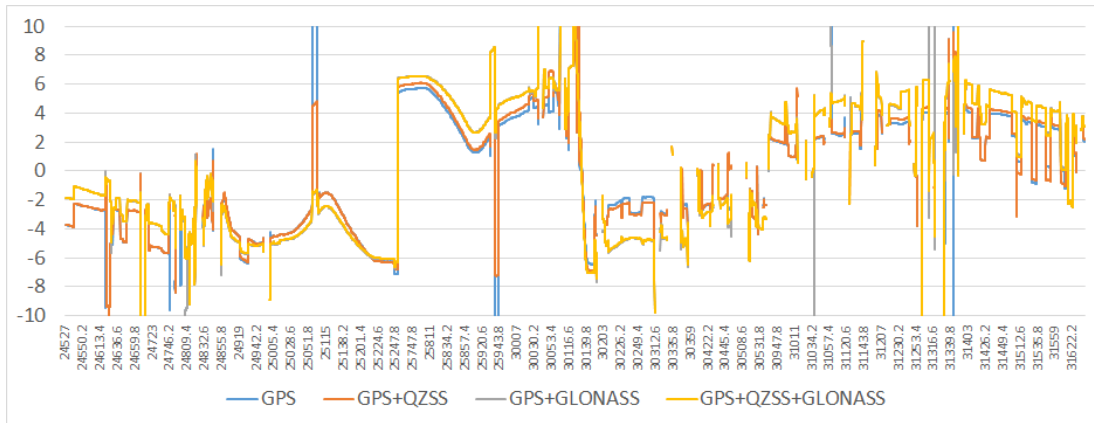


図 5.363 左右方向誤差の推移：都市間高速／2 回目

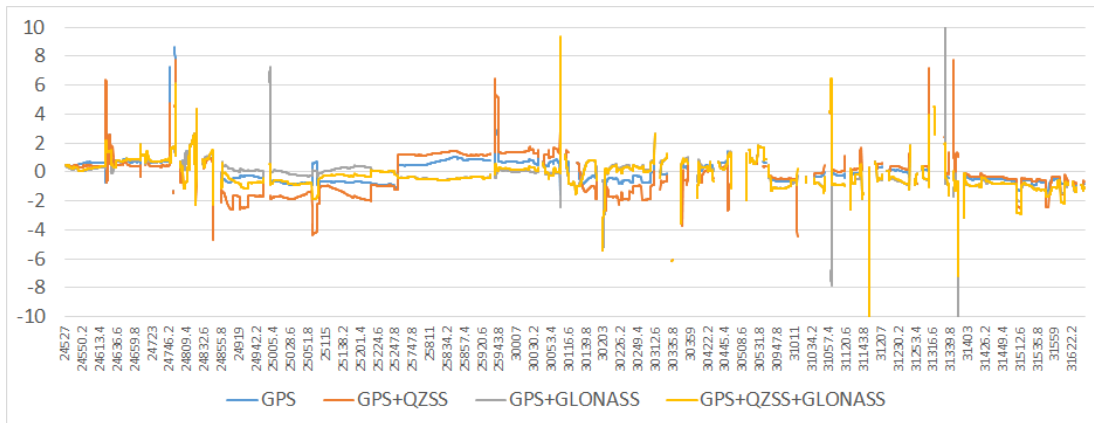


図 5.364 左右方向誤差の推移：都市間高速／2 回目 【L1-SAIF】

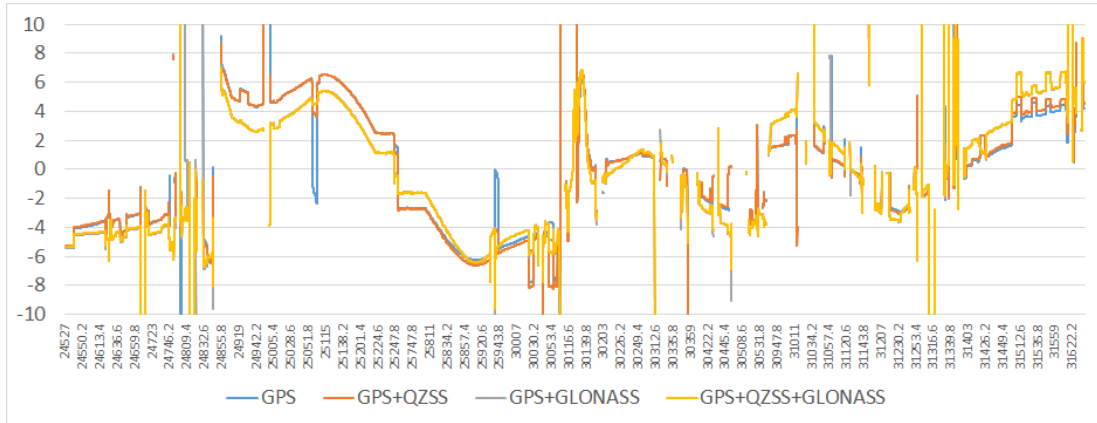


図 5.365 進行方向誤差の推移：都市間高速／2 回目

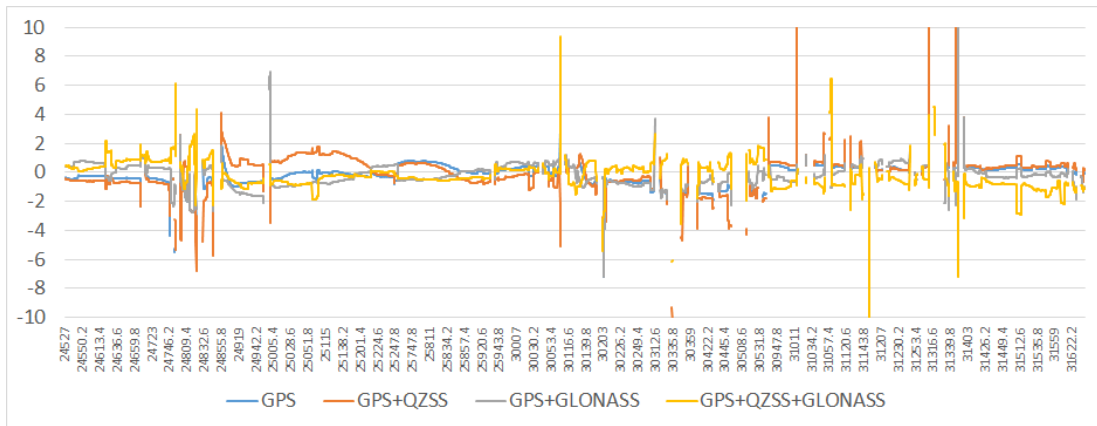


図 5.366 進行方向誤差の推移：都市間高速／2 回目【L1-SAIF】

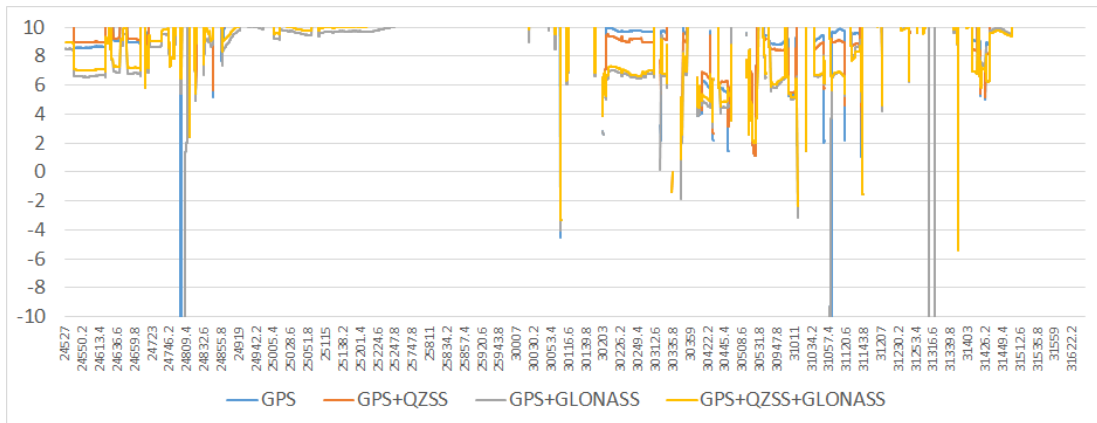


図 5.367 高さ方向誤差の推移：都市間高速／2 回目

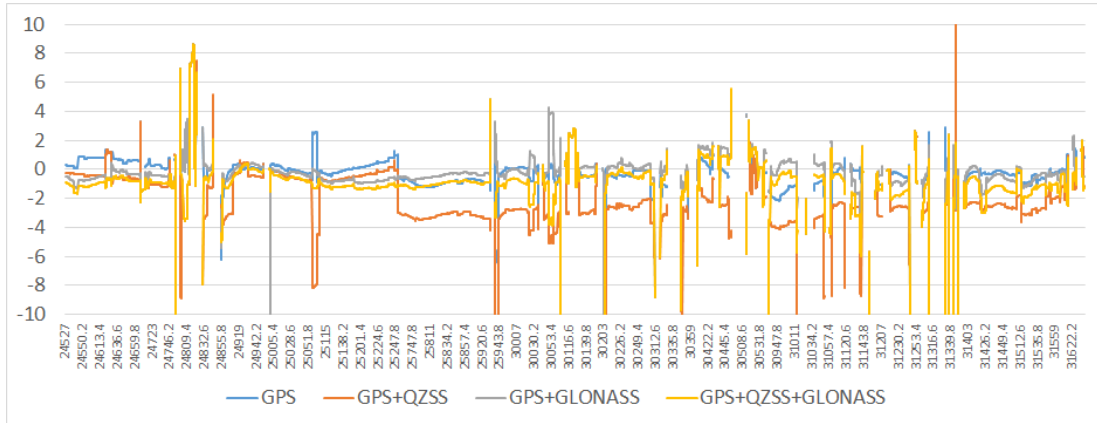


図 5.368 高さ方向誤差の推移：都市間高速／2 回目【L1-SAIF】

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

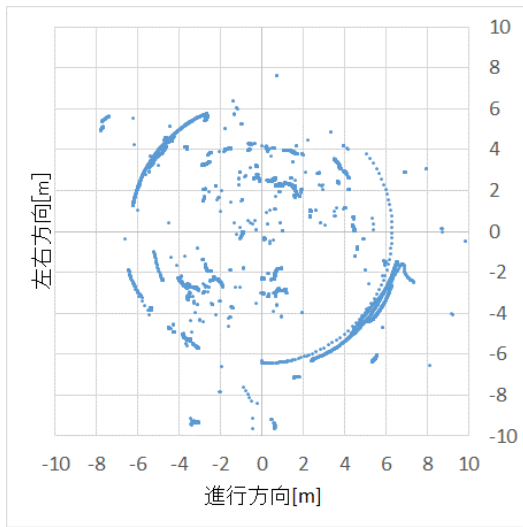


図 5.369 誤差分布
都市間高速／2 回目
GPS

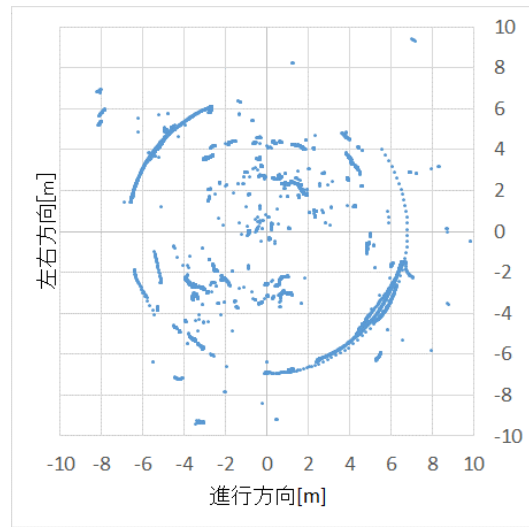


図 5.370 誤差分布
都市間高速／2 回目
GPS+QZSS

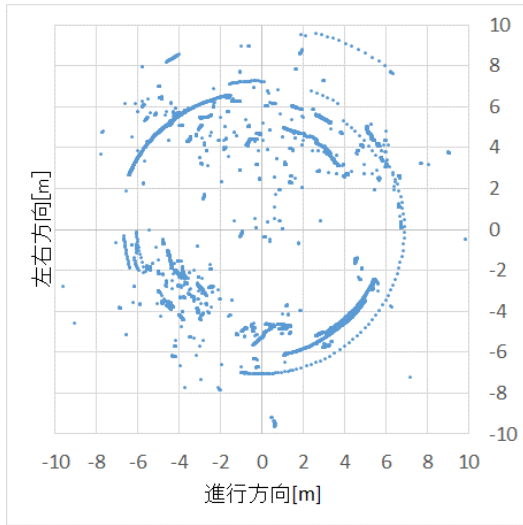


図 5.371 誤差分布
都市間高速／2 回目
GPS+GLONASS

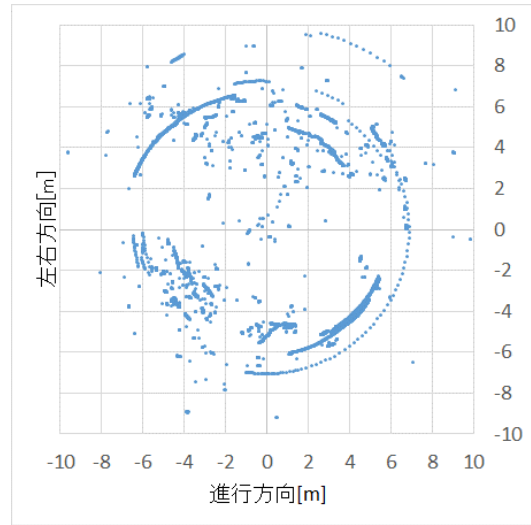


図 5.372 誤差分布
都市間高速／2 回目
GPS+QZSS+GLONASS

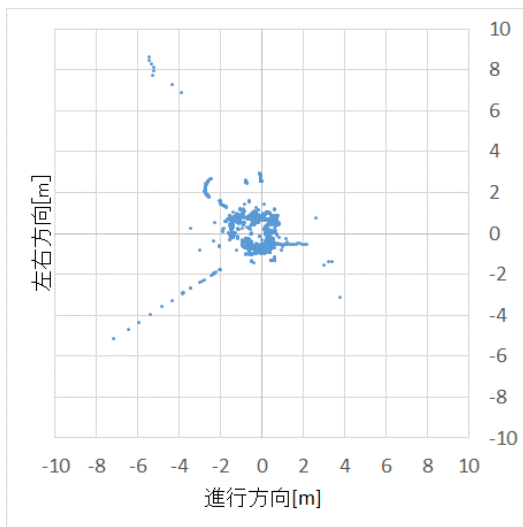


図 5.373 誤差分布
都市間高速／2 回目
【L1-SAIF】 GPS

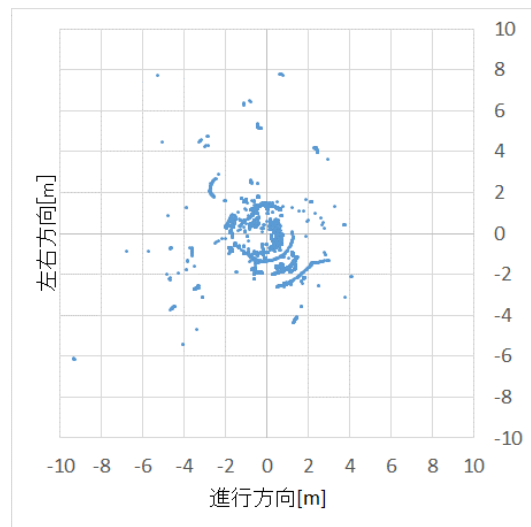


図 5.374 誤差分布
都市間高速／2 回目
【L1-SAIF】 GPS+QZSS

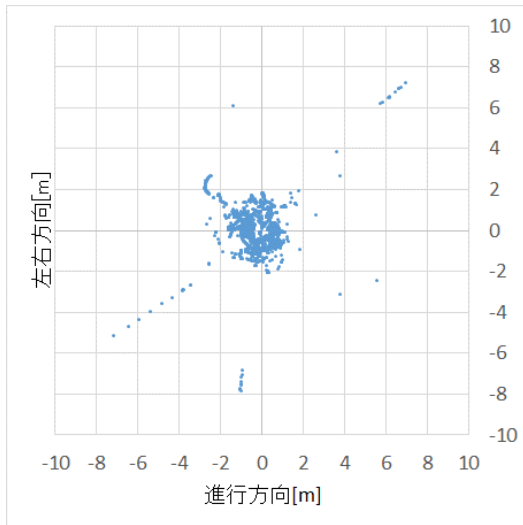


図 5.375 誤差分布
都市間高速／2 回目
【L1-SAIF】GPS+GLONASS

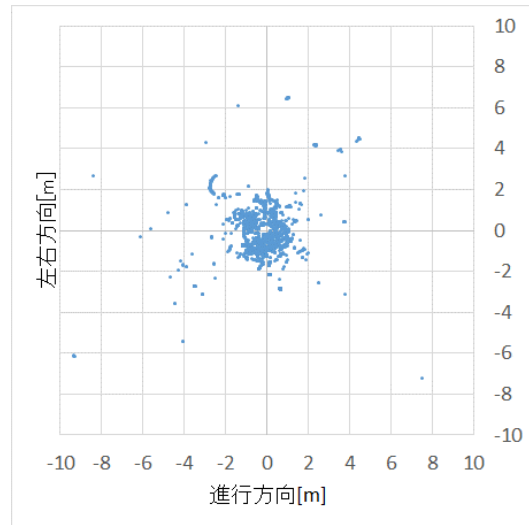


図 5.376 誤差分布
都市間高速／2 回目
【L1-SAIF】GPS+QZSS+GLONASS

誤差のヒストグラム

表 5.31 左右誤差発生数：都市間高速／2 回目

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+GLONASS	GPS+QZSS+GLONASS
0.25	75	106	41	77
0.50	70	47	48	33
0.75	56	101	47	51
1.00	87	91	12	34
1.25	41	47	96	78
1.50	108	65	96	110
1.75	182	199	142	131
2.00	321	198	145	138
2.25	261	297	160	173
2.50	506	476	138	198
2.75	394	559	251	232
3.00	351	185	186	181
3.25	249	289	206	220
3.50	264	176	173	220
3.75	183	351	247	247
4.00	383	171	193	170

4.25	272	336	261	261
4.50	228	342	329	310
4.75	157	190	489	604
5.00	149	178	445	384
5m 以上	1097	1125	1984	1918
unfix	1379	1284	1124	1043

表 5.32 左右誤差発生数：都市間高速／2 回目【L1-SAIF】

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+GLONASS	GPS+QZSS+GLONASS
0.25	488	468	1650	1138
0.50	1102	1397	1403	1413
0.75	2348	494	650	908
1.00	1106	411	1102	1265
1.25	119	722	393	408
1.50	51	666	202	174
1.75	8	538	76	122
2.00	18	376	41	68
2.25	8	40	19	38
2.50	11	131	8	10
2.75	36	65	9	22
3.00	10	1	3	26
3.25	1	5	1	5
3.50	1	0	1	0
3.75	1	16	1	2
4.00	1	3	2	4
4.25	0	34	0	8
4.50	1	15	1	6
4.75	1	6	1	2
5.00	0	1	0	0
5m 以上	9	42	25	20
unfix	1493	1382	1225	1174

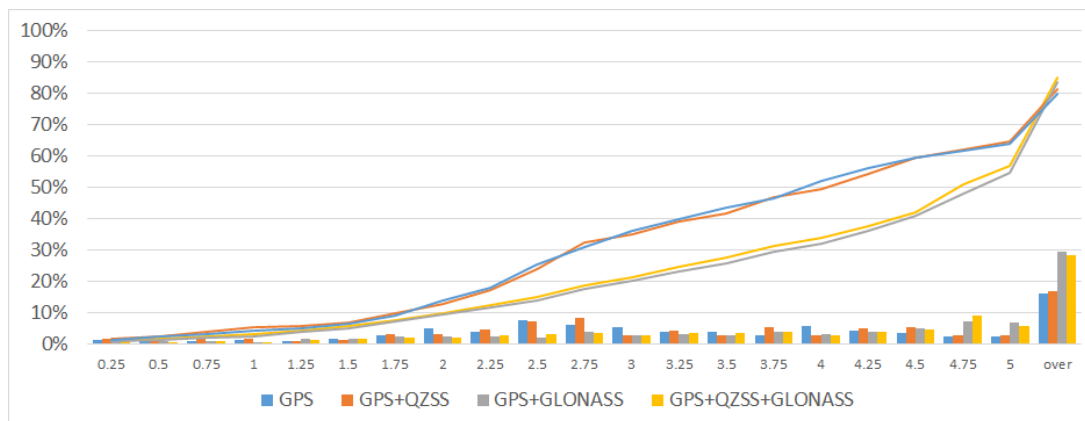


図 5.377 左右誤差ヒストグラム：都市間高速／2 回目

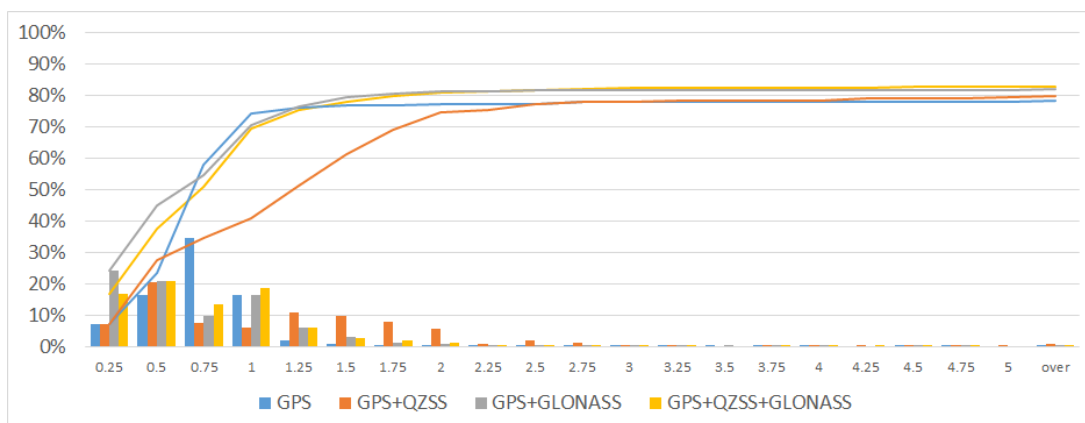


図 5.378 左右誤差ヒストグラム：都市間高速／2 回目【L1-SAIF】

5.1.2.6.2. コード測位受信機

計測情報

測位方式：コード測位

補強方式：SBAS※GPS+QZSS+BeiDou のみ使用

計測経路：都市間高速（コース 3）

計測時刻：2014/12/15 2:44:33 ~ 3:18:04 (UTC)

使用機材：受信機：コード測位受信機

アンテナ：Roof 設置

取得衛星システム：

GPS／GPS+QZSS／GPS+GLONASS／GPS+QZSS+GLONASS

GPS+QZSS+BeiDou

左右方向誤差 MAP

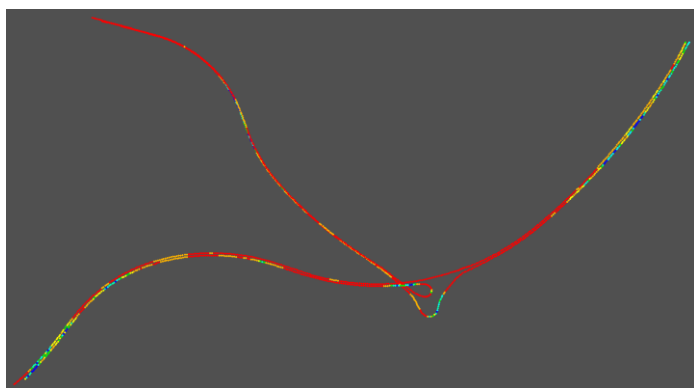
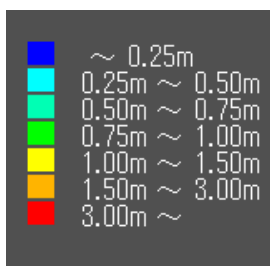


図 5.379 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2 回目
GPS

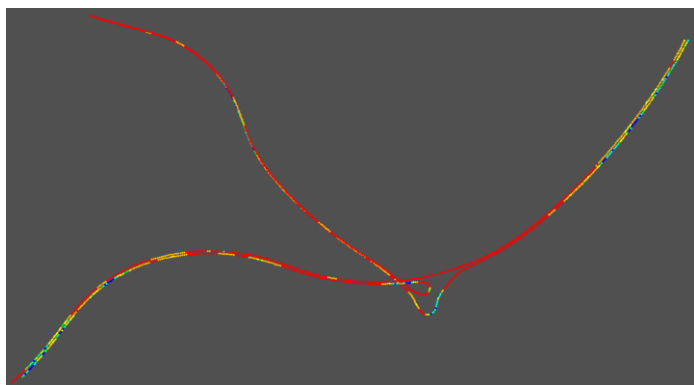


図 5.380 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2 回目
GPS+QZSS

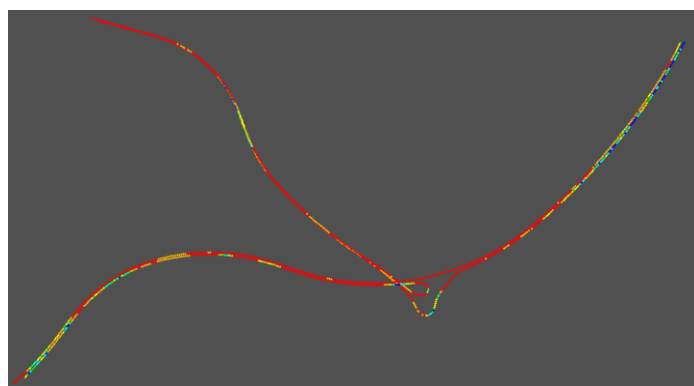


図 5.381 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2 回目
GPS+GLONASS

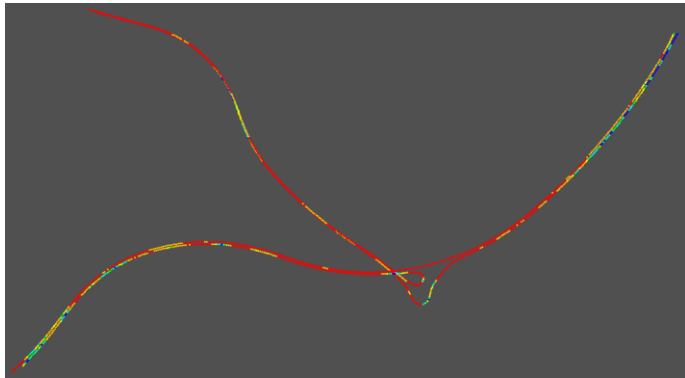


図 5.382 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2 回目
GPS+QZSS+GLONASS

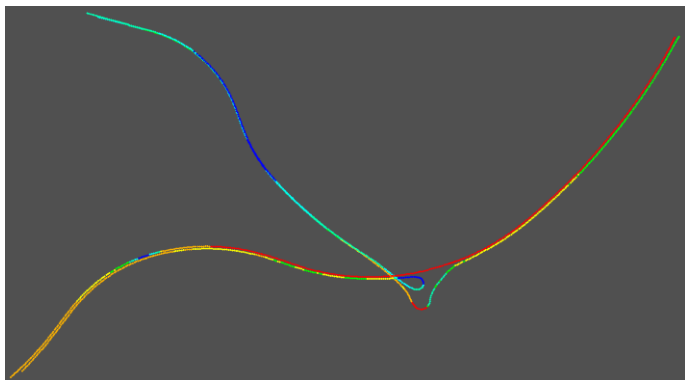


図 5.383 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2 回目
【SBAS】
GPS+QZSS+BeiDou

推移グラフ

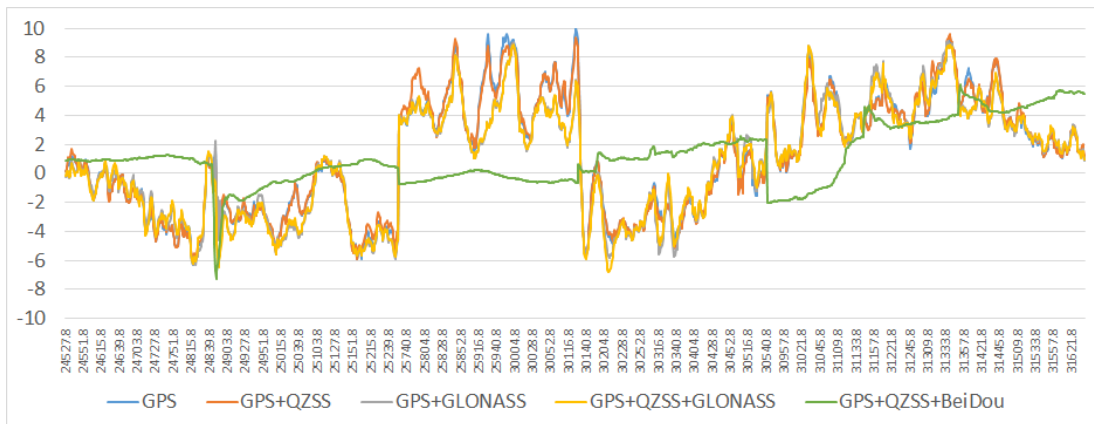


図 5.384 左右方向誤差の推移：都市間高速／2 回目

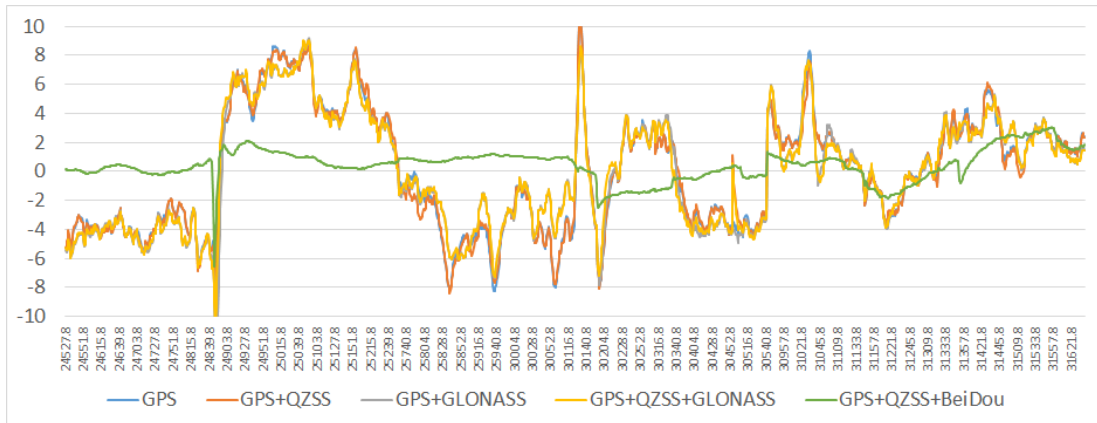


図 5.385 進行方向誤差の推移：都市間高速／2 回目

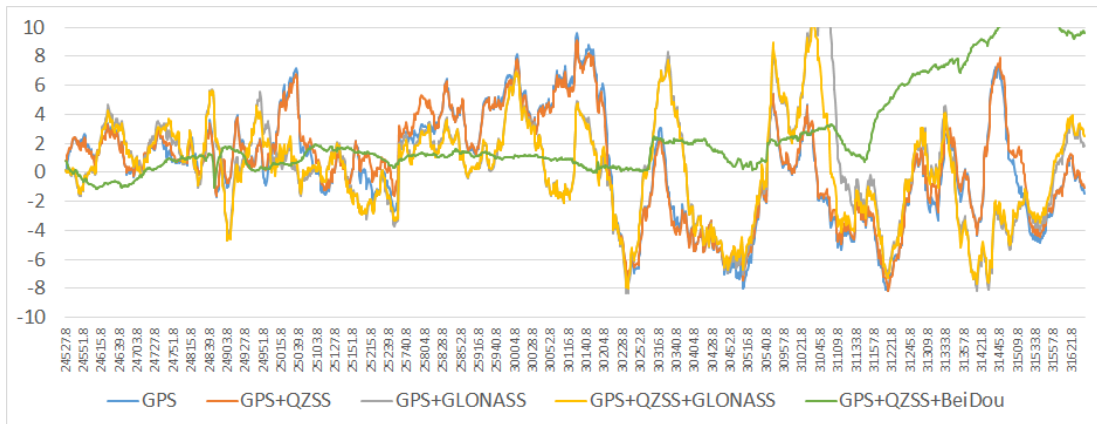


図 5.386 高さ方向誤差の推移：都市間高速／2 回目

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

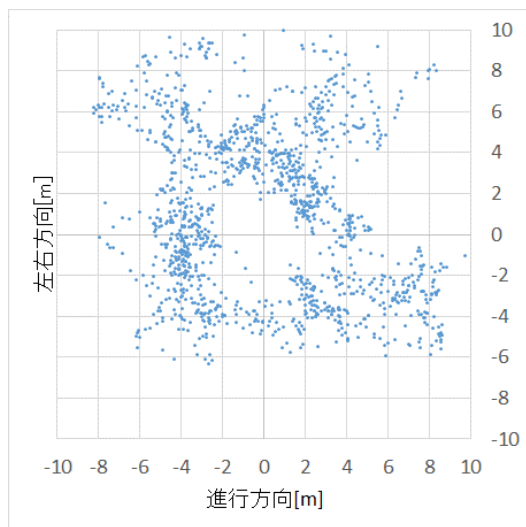


図 5.387 誤差分布
都市間高速／2 回目
GPS

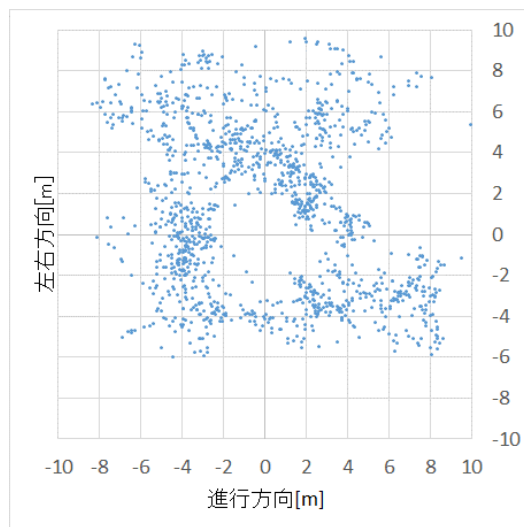


図 5.388 誤差分布
都市間高速／2 回目
GPS+QZSS

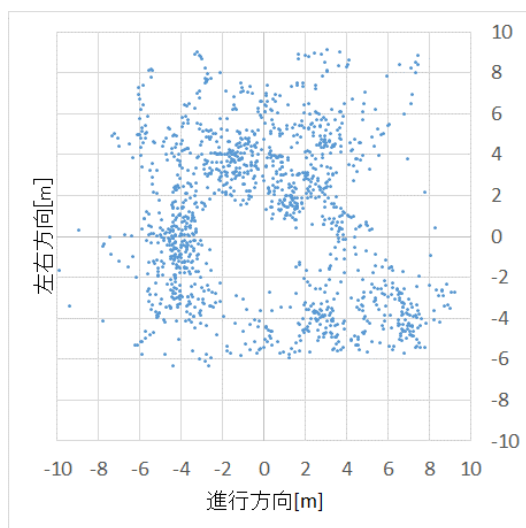


図 5.389 誤差分布
都市間高速／2 回目
GPS+GLONASS

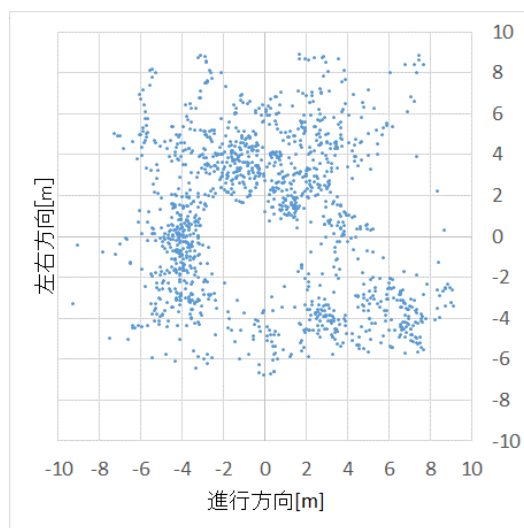


図 5.390 誤差分布
都市間高速／2 回目
GPS+QZSS+GLONASS

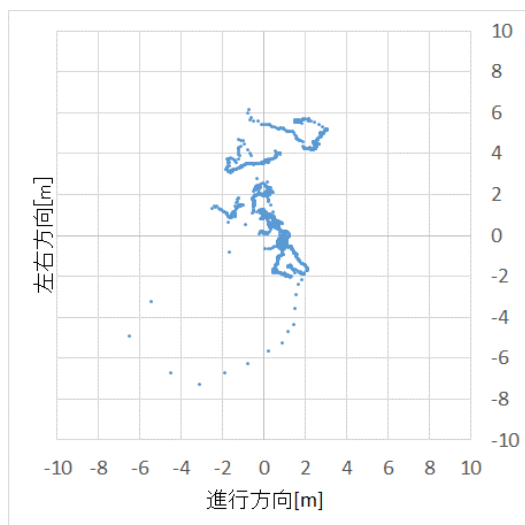


図 5.391 誤差分布
都市間高速／2 回目
【SBAS】 GPS+QZSS+BeiDou

誤差のヒストグラム

表 5.33 左右誤差発生数：首都高速／2 回目

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+GLONASS	GPS+QZSS+ GLONASS	【SBAS】 GPS+QZSS+BeiDou
0.25	49	52	47	49	127
0.50	42	39	52	47	130
0.75	52	50	38	48	188
1.00	53	42	47	38	182
1.25	42	52	43	37	133
1.50	48	57	43	41	69
1.75	46	34	57	55	50
2.00	34	39	38	45	79
2.25	66	47	45	50	53
2.50	49	56	52	39	43
2.75	46	55	51	56	3
3.00	56	69	59	66	2
3.25	56	44	67	73	20
3.50	67	70	74	70	31
3.75	67	63	59	60	45

4.00	66	60	74	78	14
4.25	65	67	75	74	29
4.50	47	62	58	67	30
4.75	51	45	64	67	27
5.00	43	35	56	56	16
5m 以上	317	324	263	246	94
unfix	0	0	0	0	0

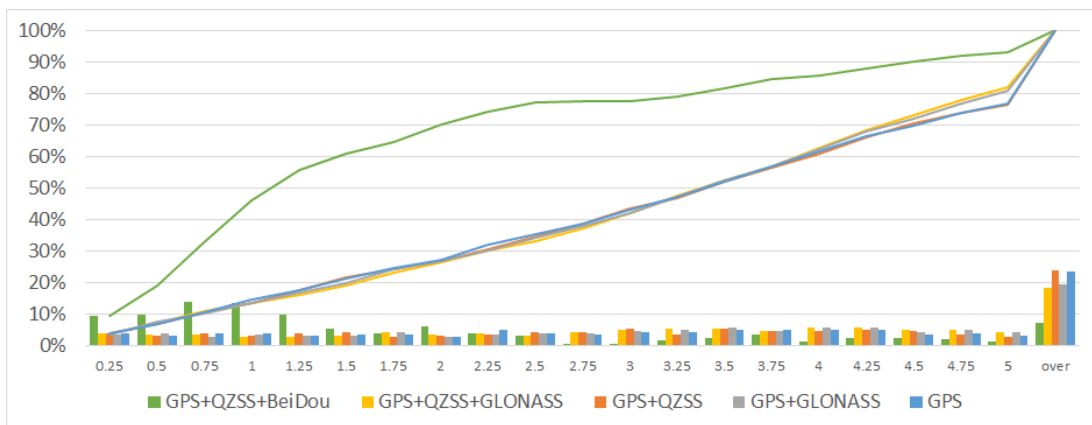


図 5.392 左右誤差ヒストグラム：都市間高速／2 回目

5.1.2.6.3. 搬送波位相測位 (RTK)

計測情報

測位方式：搬送波位相測位 (RTK)

補強方式：

計測経路：都市間高速 (コース 3)

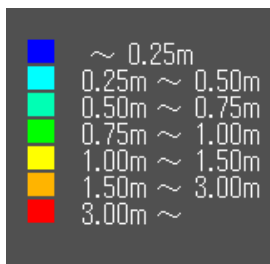
計測時刻：2014/12/15 2:44:33 ~ 3:18:04 (UTC)

使用機材：受信機：Trimble

アンテナ：NovAtel／Roof 設置 (MMS と同一)

取得衛星システム：GPS／GPS+QZSS／GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou

左右方向誤差 MAP



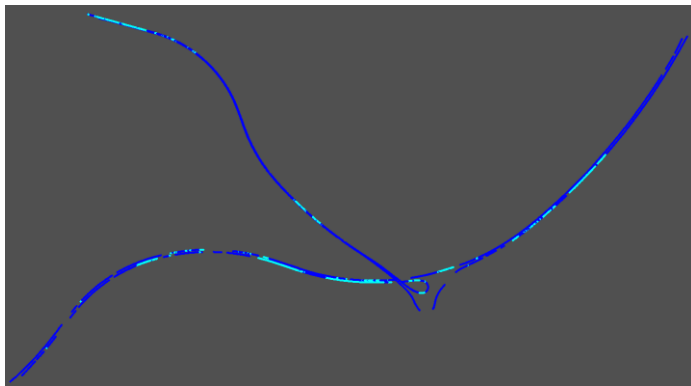


図 5.393 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2 回目
GPS (Fix)

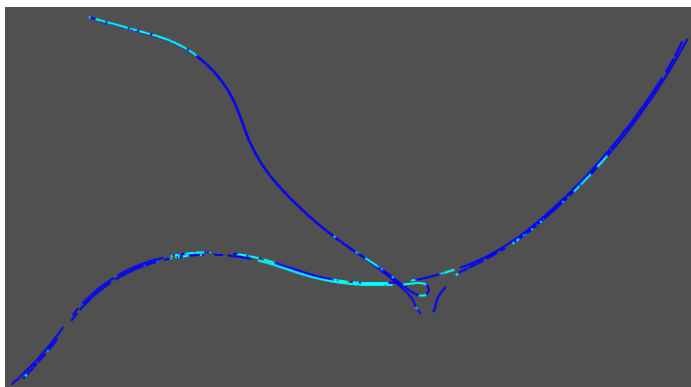


図 5.394 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2 回目
GPS+QZSS (Fix)

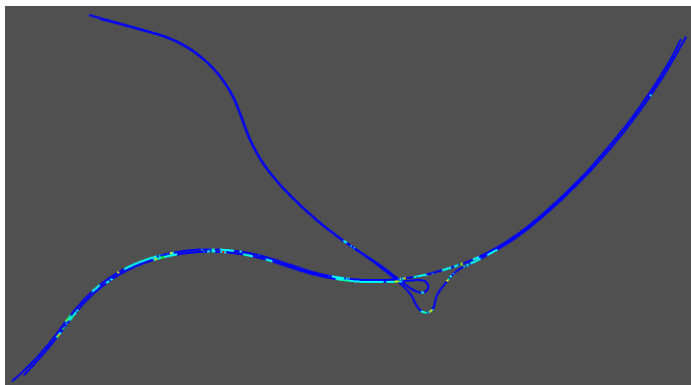


図 5.395 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2 回目
GPS+QZSS+GLONASS+Be
iDou
(Float+Fix)

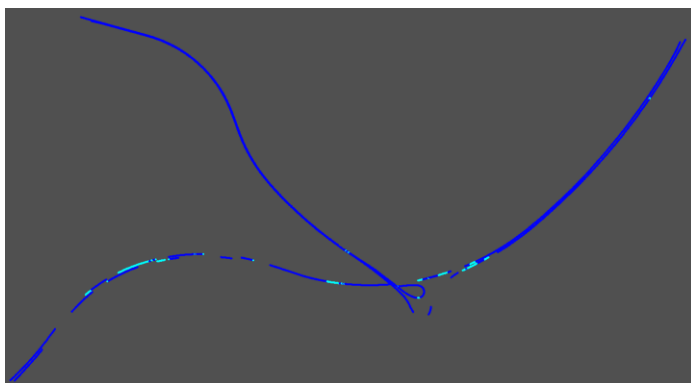


図 5.396 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2 回目
GPS+QZSS+GLONASS+Be
iDou
(Fix)

推移グラフ

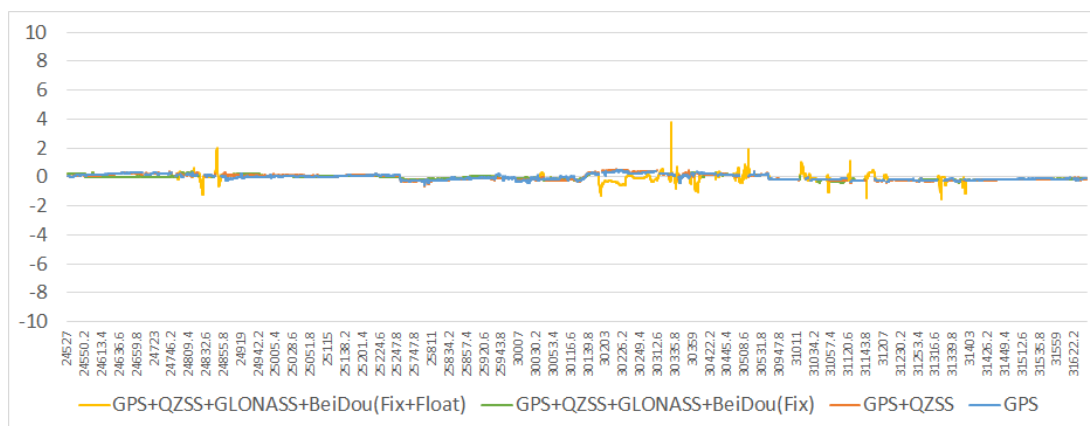


図 5.397 左右方向誤差の推移：都市間高速／2 回目

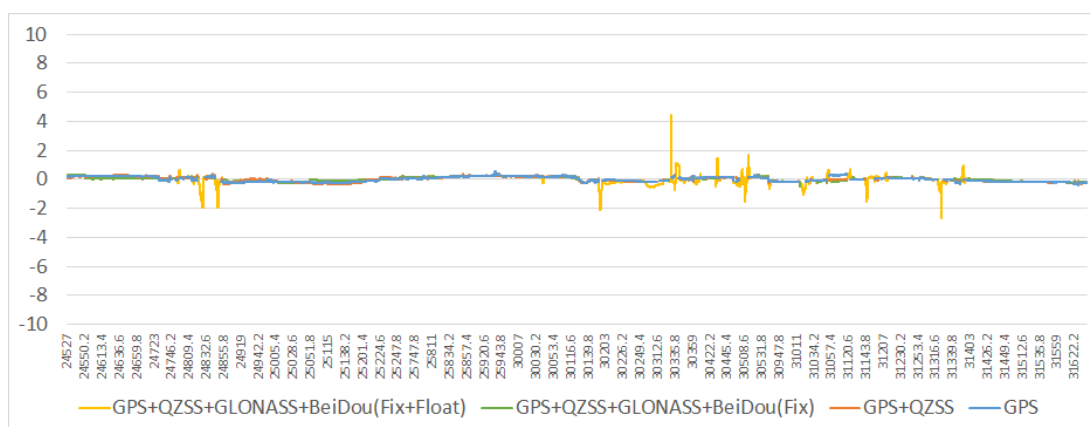


図 5.398 進行方向誤差の推移：都市間高速／2 回目

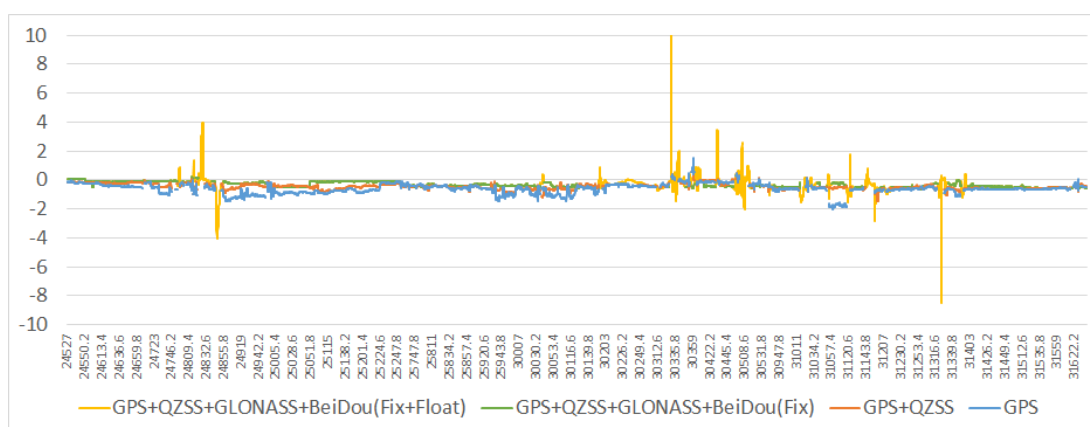


図 5.399 高さ方向誤差の推移：都市間高速／2 回目

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

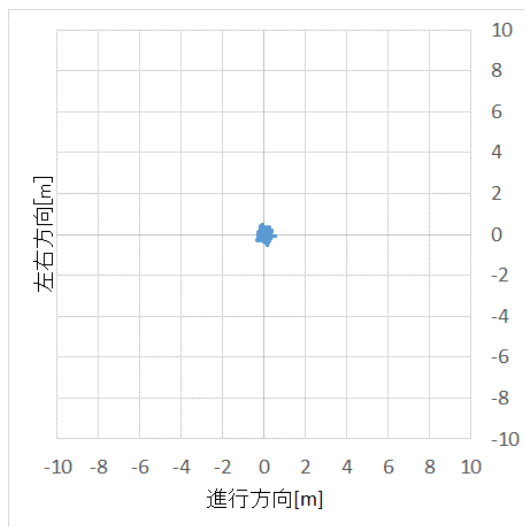


図 5.400 誤差分布
都市間高速／2 回目
GPS (Fix)

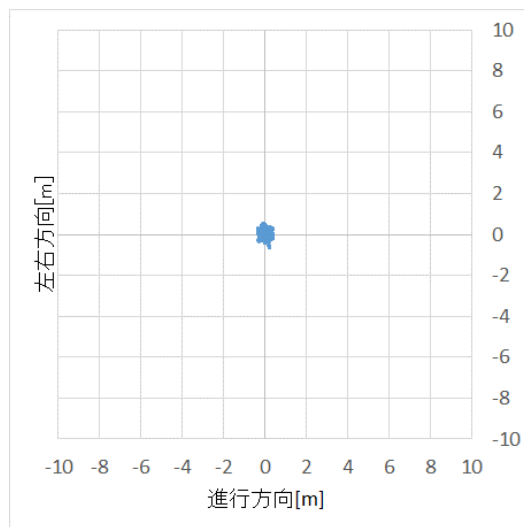


図 5.401 誤差分布
都市間高速／2 回目
GPS+QZSS (Fix)

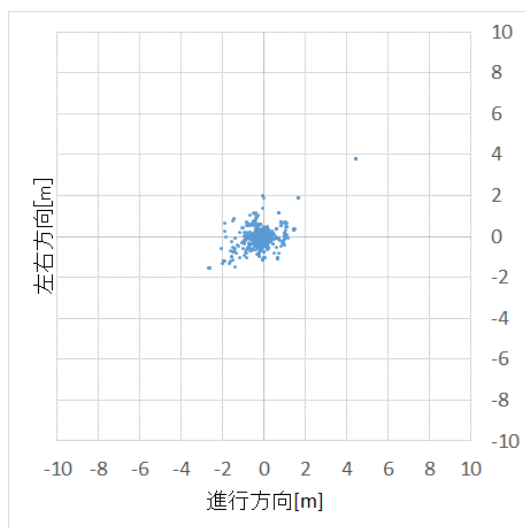


図 5.402 誤差分布
都市間高速／2 回目
GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou
(Float+Fix)

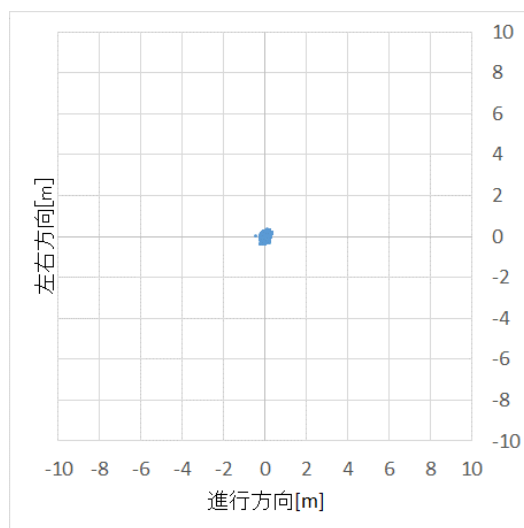


図 5.403 誤差分布
都市間高速／2 回目
GPS+QZSS+GLONASS+BeiDou
(Fix)

誤差のヒストグラム

表 5.34 左右誤差発生数：都市間高速／2 回目

誤差[m]	GPS (Fix)	GPS+QZSS (Fix)	GPS+QZSS+GLONASS +BeiDou(Float+Fix)	GPS+QZSS+GLONASS +BeiDou(Fix)
0.25	5097	4845	5909	5050
0.50	1012	1264	696	303
0.75	5	24	122	0
1.00	0	0	27	0
1.25	0	0	36	0
1.50	0	0	4	0
1.75	0	0	5	0
2.00	0	0	6	0
2.25	0	0	1	0
2.50	0	0	0	0
2.75	0	0	0	0
3.00	0	0	0	0
3.25	0	0	0	0
3.50	0	0	0	0
3.75	0	0	0	0
4.00	0	0	5	0
4.25	0	0	0	0
4.50	0	0	0	0
4.75	0	0	0	0
5.00	0	0	0	0
5m 以上	0	0	0	0
unfix	699	680	2	1460

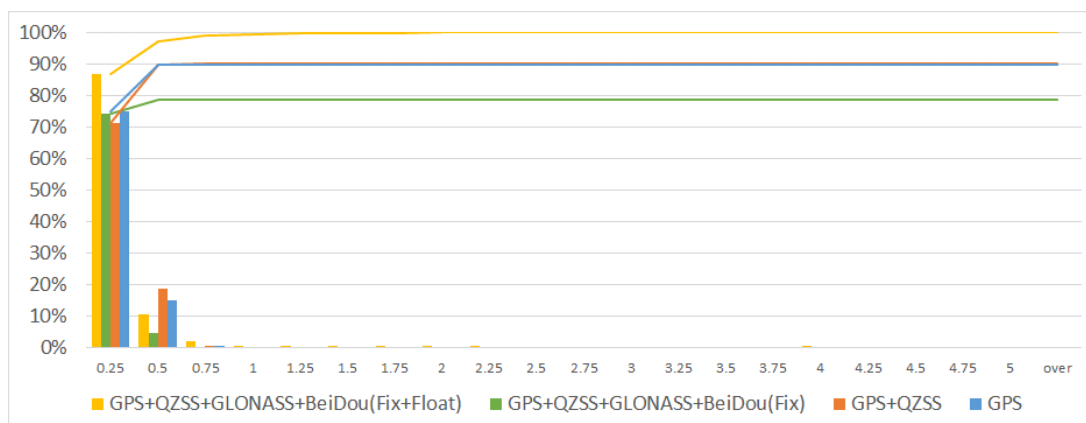


図 5.404 左右誤差ヒストグラム：都市間高速／2 回目

5.1.2.6.4. CMAS

計測情報

測位方式：搬送波位相測位

補強方式：CMAS

計測経路：都市間高速（コース3）

計測時刻：2014/12/15 2:44:33 ~ 3:18:04 (UTC)

使用機材：受信機：LEXR/LEXRx

アンテナ：NovAtel/Roof 設置 (MMS と同一)

取得衛星システム：GPS/GPS+QZSS

左右方向誤差 MAP

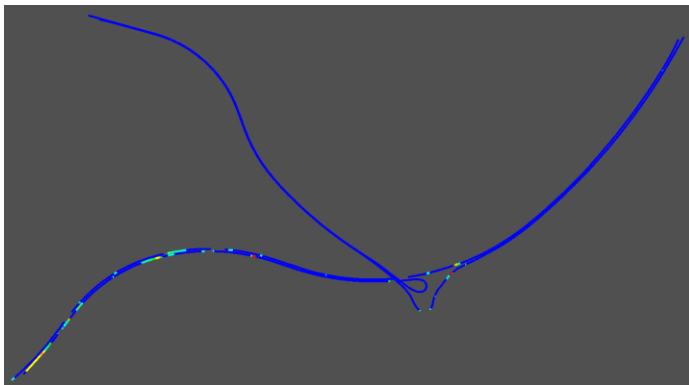
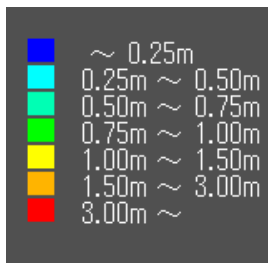


図 5.405 左右方向誤差 MAP
都市間高速/2回目
【CMAS】GPS

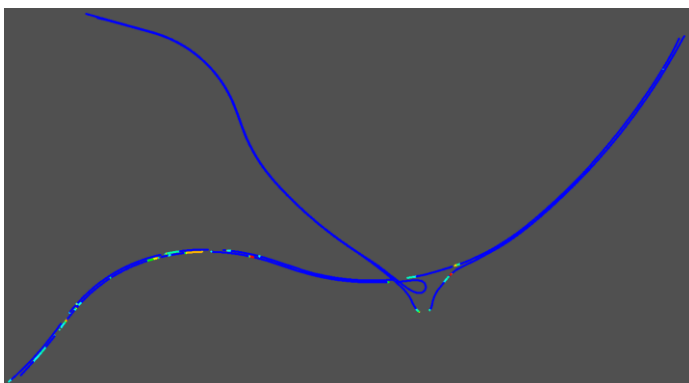


図 5.406 左右方向誤差 MAP
都市間高速/2回目
【CMAS】GPS+QZSS

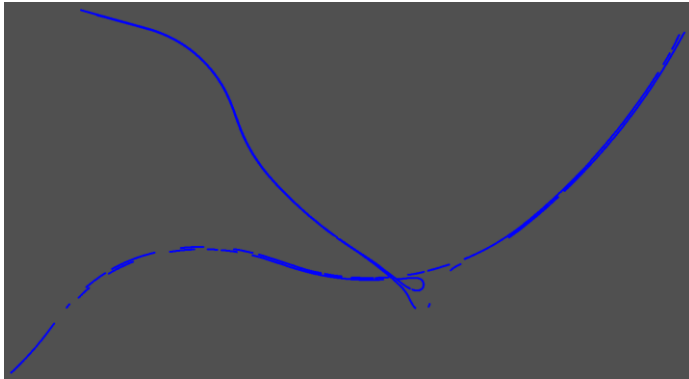


図 5.407 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2 回目
【CMAS】 GPS
(Fix 解)

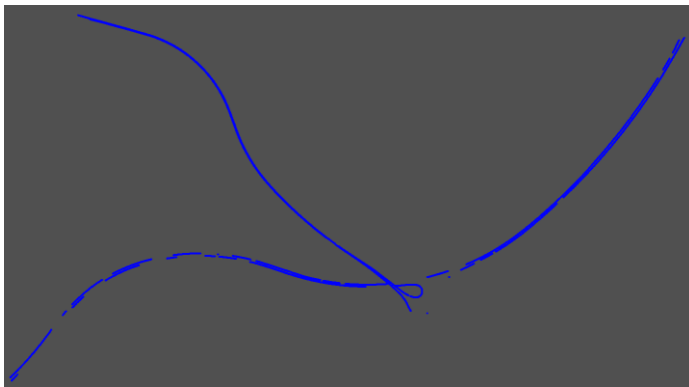


図 5.408 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2 回目
【CMAS】 GPS + QZSS
(Fix 解)

推移グラフ

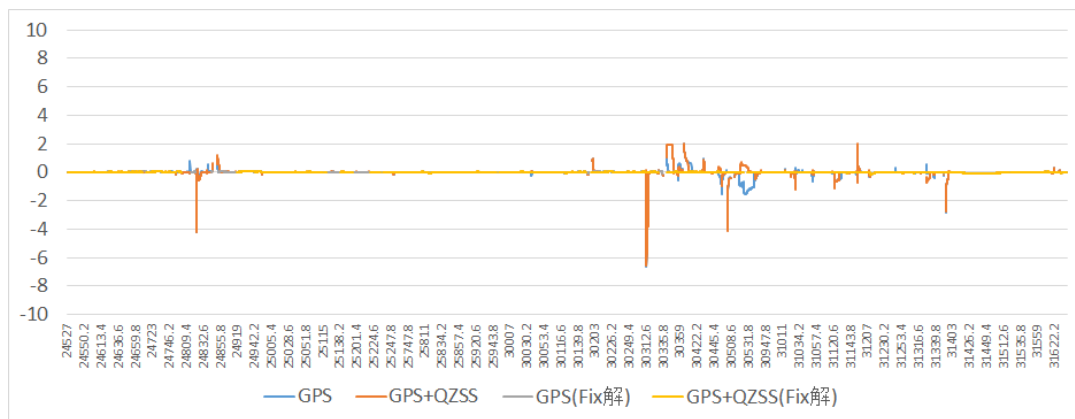


図 5.409 左右方向誤差の推移：都市間高速／2 回目 【CMAS】

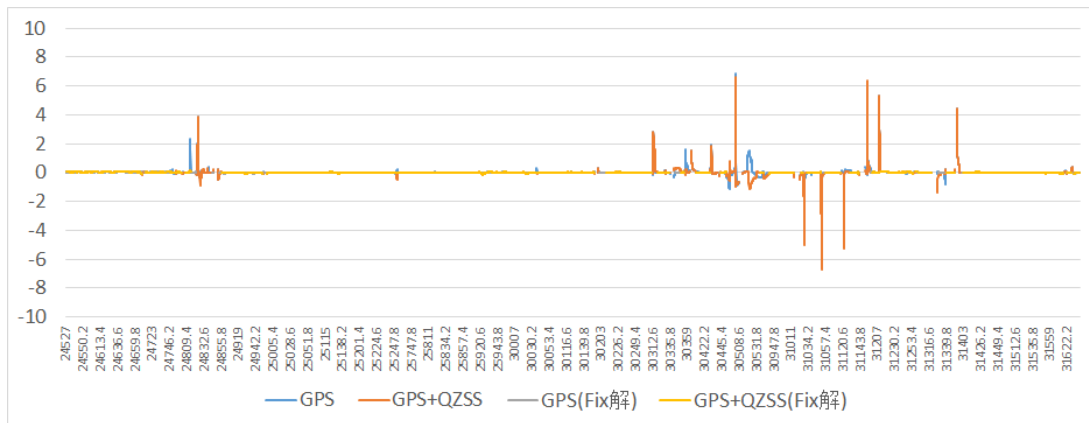


図 5.410 進行方向誤差の推移：都市間高速／2 回目【CMAS】

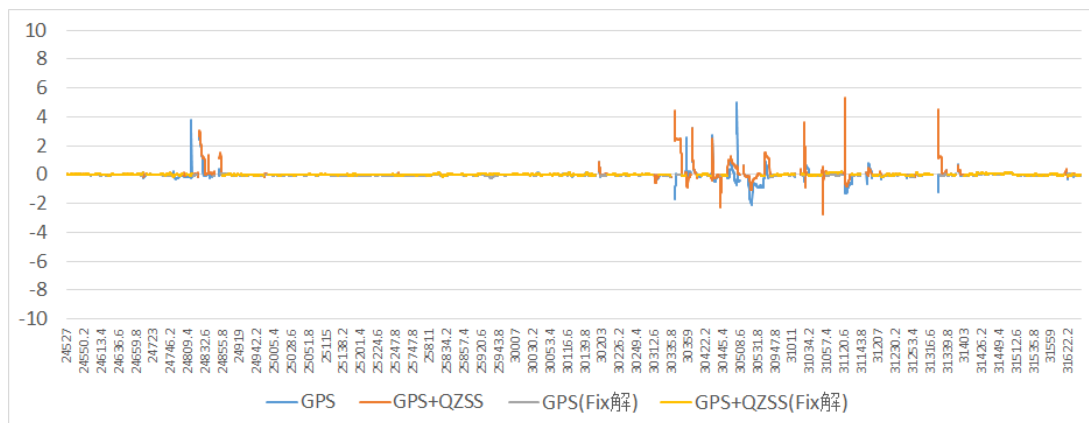


図 5.411 高さ誤差の推移：都市間高速／2 回目【CMAS】

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

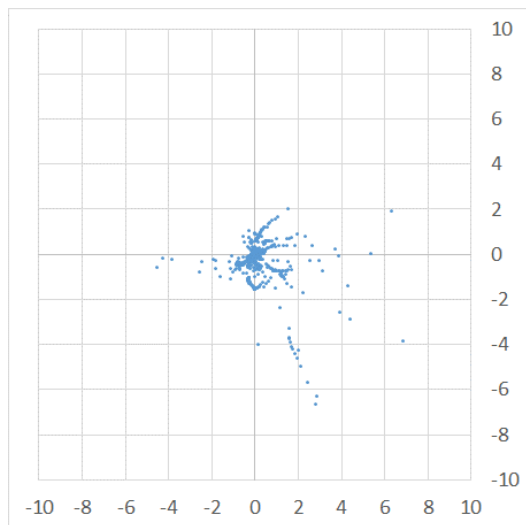


図 5.412 誤差分布
都市間高速／2 回目
【CMAS】 GPS

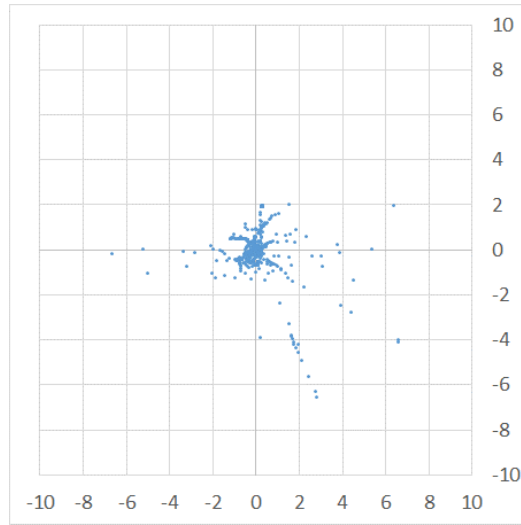


図 5.413 誤差分布
都市間高速／2 回目
【CMAS】 GPS+QZSS

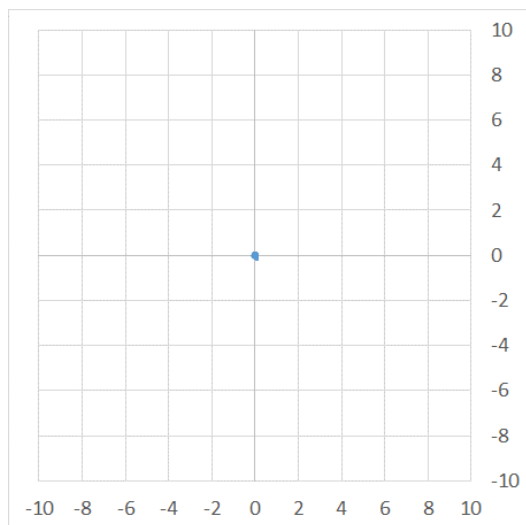


図 5.414 誤差分布
都市間高速／2 回目
【CMAS】 GPS (Fix 解)

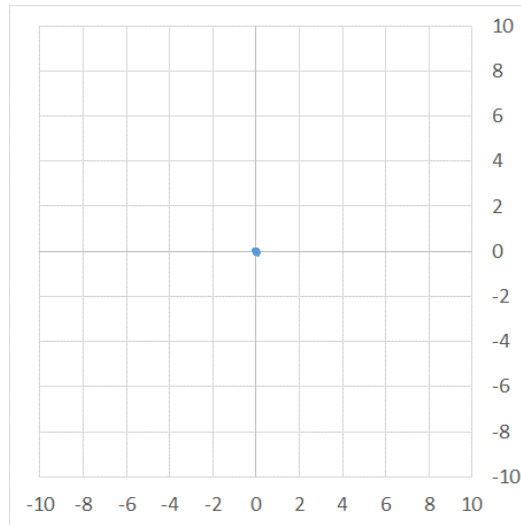


図 5.415 誤差分布
都市間高速／2 回目
【CMAS】 GPS+QZSS (Fix 解)

誤差のヒストグラム

表 5.35 左右誤差発生数：都市間高速／2 回目【CMAS】

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS(Fix 解)	GPS+QZSS(Fix 解)
0.25	6138	6178	5423	5440
0.50	108	135	0	0
0.75	132	104	0	0
1.00	40	31	0	0
1.25	51	20	0	0
1.50	36	10	0	0
1.75	14	5	0	0
2.00	1	40	0	0
2.25	1	1	0	0
2.50	1	2	0	0
2.75	1	0	0	0
3.00	1	1	0	0
3.25	0	0	0	0
3.50	1	1	0	0
3.75	1	0	0	0
4.00	3	5	0	0
4.25	4	4	0	0
4.50	1	1	0	0
4.75	1	1	0	0
5.00	1	1	0	0
5m 以上	3	3	0	0
unfix	274	270	1390	1373

※Fix 解の[unfix]は Float 解を含んでいます。

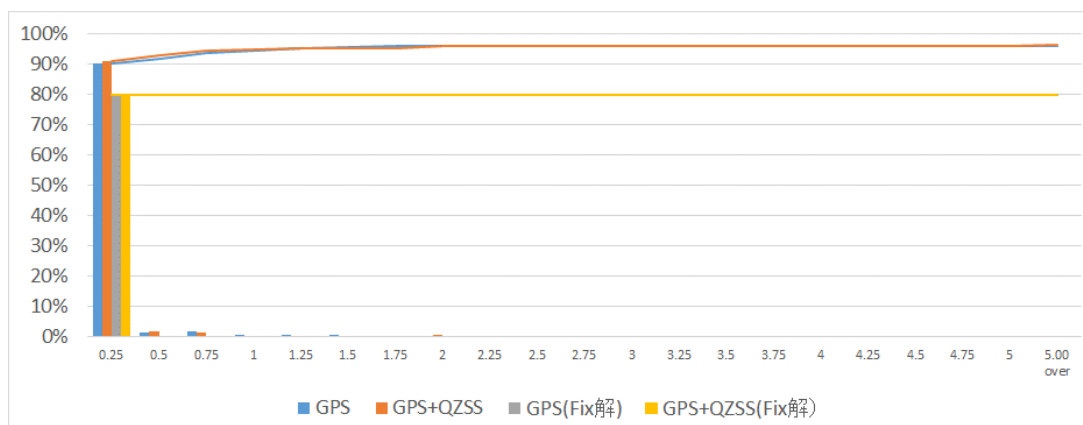


図 5.416 左右誤差ヒストグラム：都市間高速／2 回目【CMAS】

5.1.2.6.5. MADOCA-PPP

計測情報

測位方式：搬送波位相測位

補強方式：MADOCA-PPP

計測経路：都市間高速（コース 3）

計測時刻：2014/12/15 2:44:33 ~ 3:18:04 (UTC)

使用機材：受信機：JAVAD

アンテナ：NovAtel/Roof 設置 (MMS と同一)

取得衛星システム：GPS/GPS+QZSS/GPS+QZSS+GLONASS

左右方向誤差 MAP

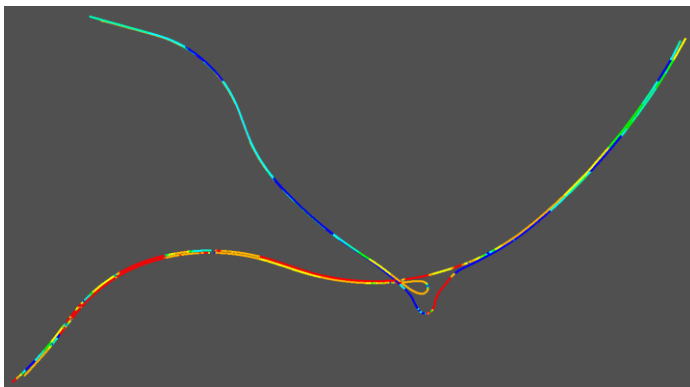
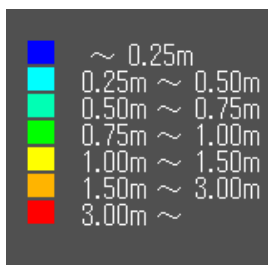


図 5.417 左右方向誤差 MAP
都市間高速/2 回目
GPS
(単独測位解+PPP 解)

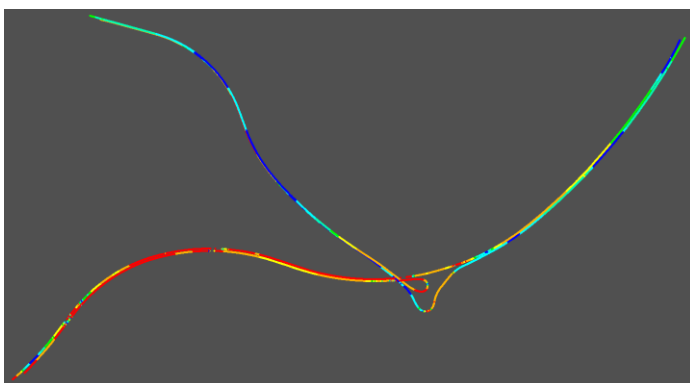


図 5.418 左右方向誤差 MAP
都市間高速/2 回目
GPS+QZSS
(単独測位解+PPP 解)

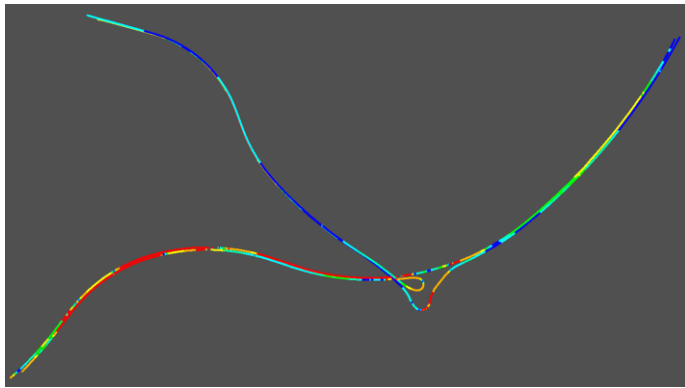


図 5.419 左右方向誤差 MAP
都市間高速／2回目
GPS+QZSS+GLONASS
(単独測位解+PPP 解)

推移グラフ

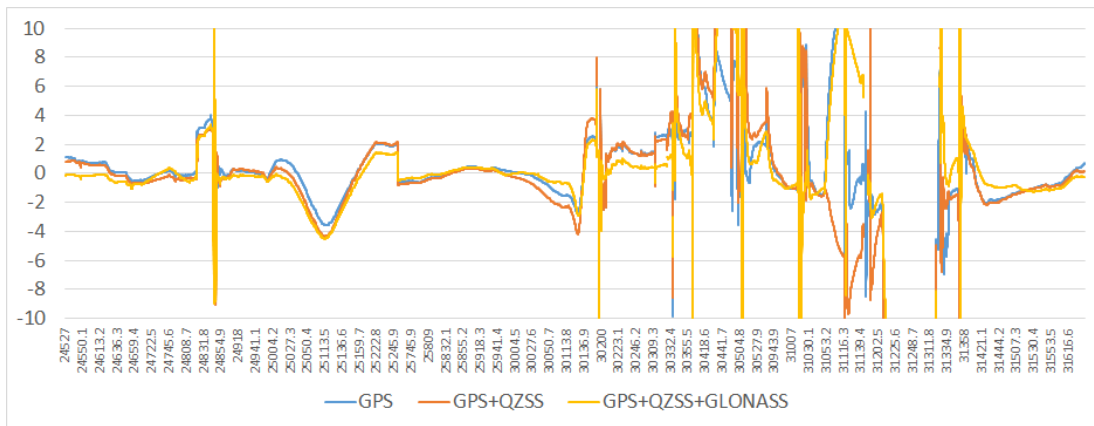


図 5.420 左右方向誤差の推移：都市間高速／2回目（単独測位解+PPP 解）

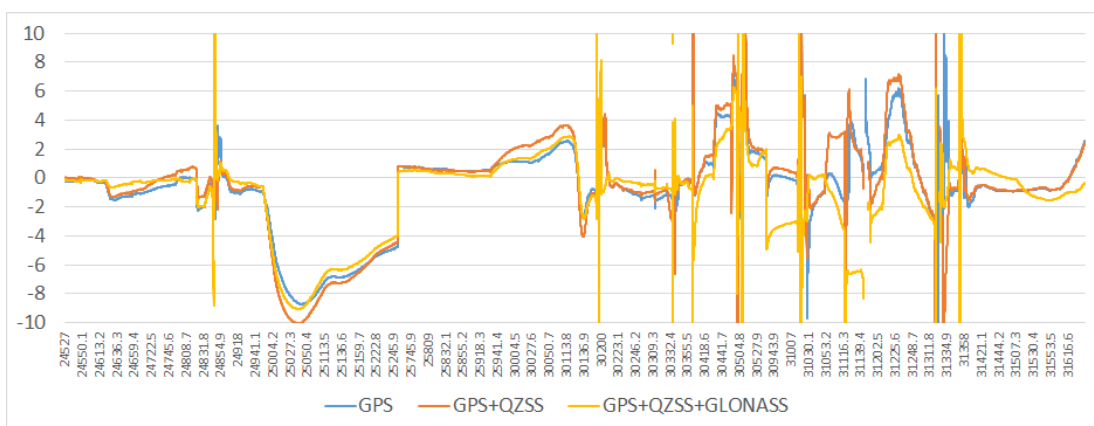


図 5.421 進行方向誤差の推移：都市間高速／2回目（単独測位解+PPP 解）

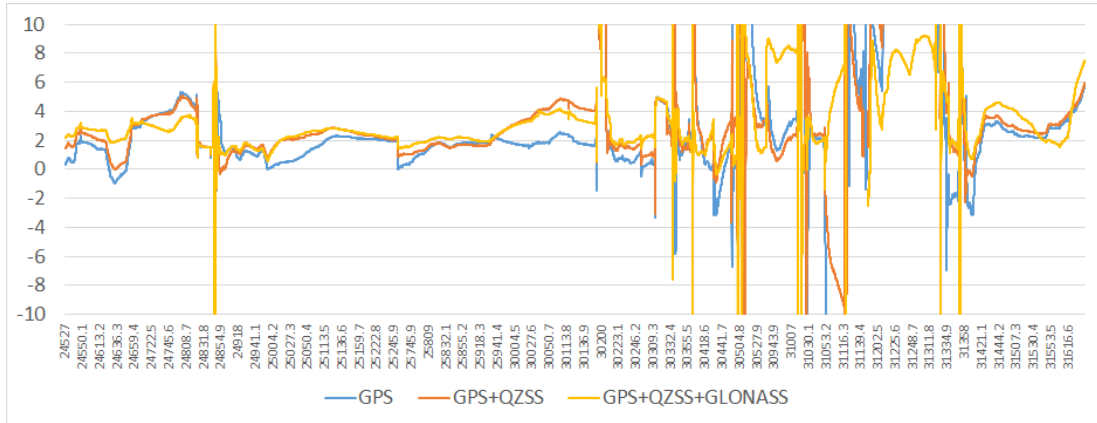


図 5.422 高さ方向誤差の推移：都市間高速／2 回目（単独測位解+PPP 解）

誤差分布図（横軸：進行方向誤差／縦軸：左右方向誤差）

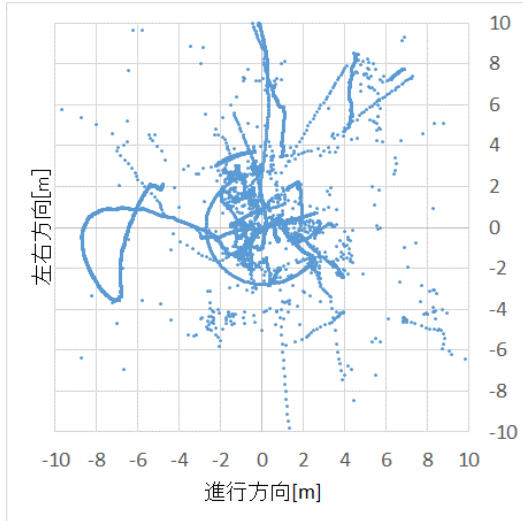


図 5.423 誤差分布
都市間高速／2 回目
GPS
(単独測位解+PPP 解)

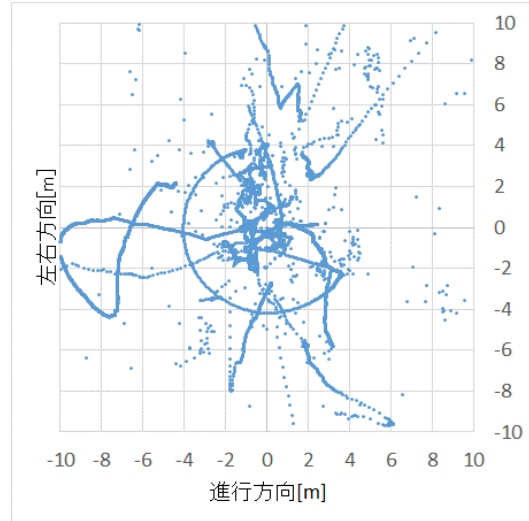


図 5.424 誤差分布
都市間高速／2 回目
GPS+QZSS
(単独測位解+PPP 解)

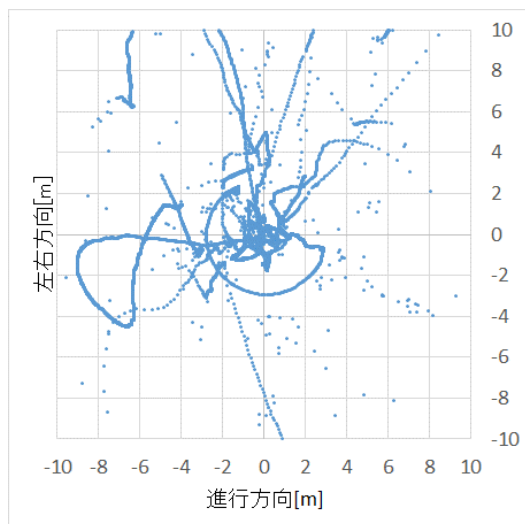


図 5.425 誤差分布
都市間高速／2 回目
GPS+QZSS+GLONASS
(単独測位解+PPP 解)

誤差のヒストグラム

表 5.36 左右誤差発生数：都市間高速／2 回目

誤差[m]	GPS	GPS+QZSS	GPS+QZSS+GLONASS
0.25	2558	2016	2864
0.50	1624	1772	2393
0.75	1261	1424	1447
1.00	1025	901	1253
1.25	838	605	914
1.50	875	758	680
1.75	646	568	241
2.00	753	544	180
2.25	523	752	218
2.50	261	375	220
2.75	435	369	216
3.00	251	271	185
3.25	196	167	140
3.50	154	213	106
3.75	194	236	112
4.00	58	173	104

4.25	57	184	129
4.50	53	129	169
4.75	50	36	60
5.00	46	43	44
5m 以上	1603	1871	1745
unfix	162	216	203

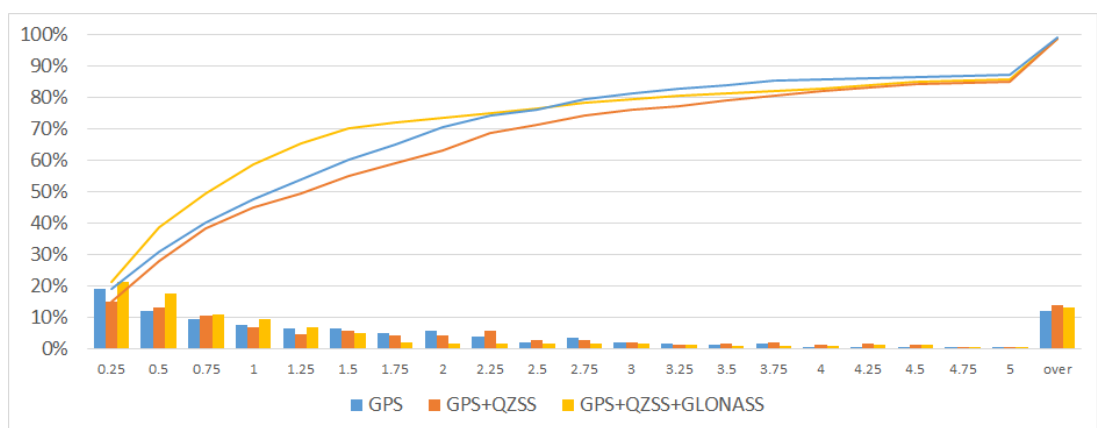


図 5.426 左右誤差ヒストグラム：都市間高速／2 回目

5.2 評価ポイント別のまとめ

5.2.1 測位環境ごとによる差異

測位環境による衛星測位への影響を調査するために、各コースに地上環境毎のシーンを設定し、詳細な評価を実施する。

シーンは上空視界の遮蔽状況、周辺環境、走行方向および、その環境の継続距離を考慮している。また、信号遮断からの測位復帰等のシナリオを設定した上で、コース全体と合わせて 28 カ所のシーンを選定している。

また、衛星の配置の異なる時間帯での走行を行っており、測位環境変化も合わせると 65 シーンでの評価を行っている。

5.2.1.1 測位瞬断からの復帰：都心一般道／日比谷アンダーパス

日比谷アンダーパス通過時には衛星不可視状態となる。コード測位受信機における衛星不可視状態への遷移と、アンダーパス通過後の測位復帰までの状況を評価した。

MMS のスキャナ情報およびカメラ情報により、走行位置と時刻の紐付けを行い、その紐付けされた時刻と各受信機の時刻を同期させたうえで評価を実施している。

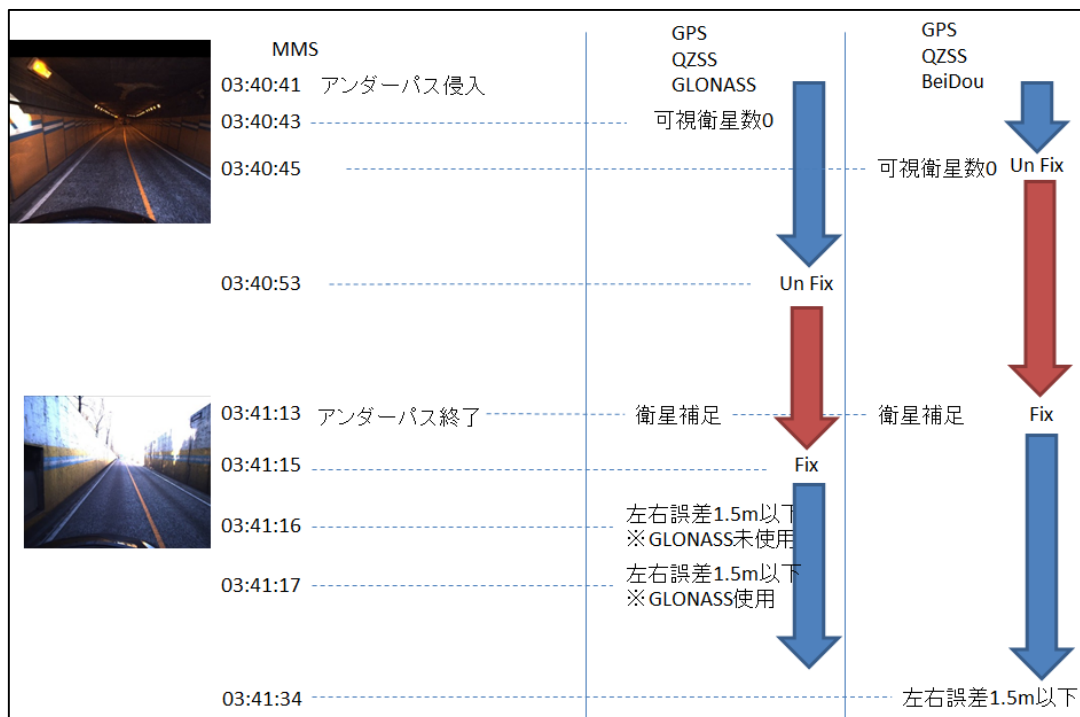


図 5.247 日比谷アンダーパス通過時の時間フロー

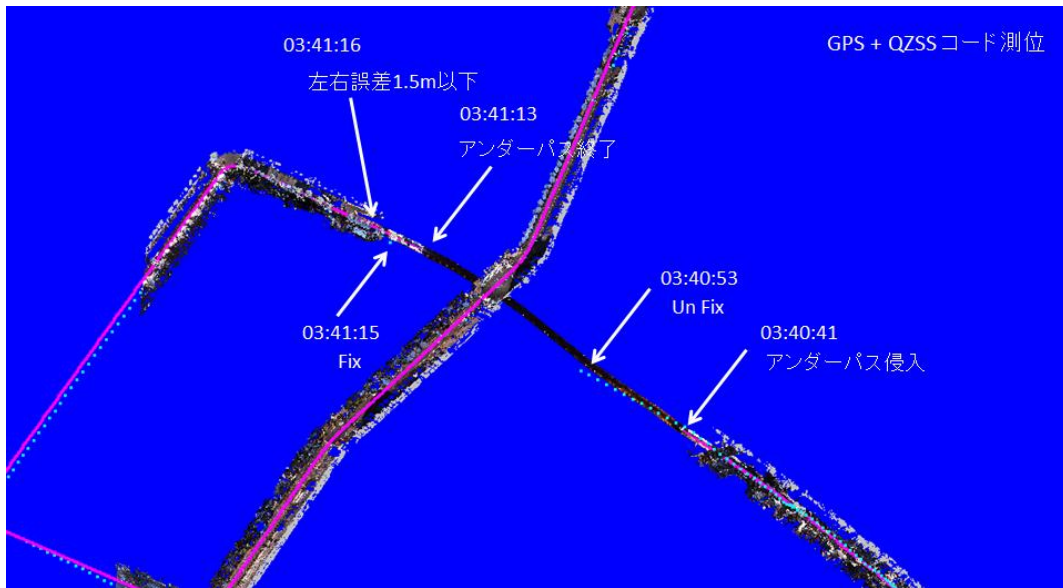


図 5.248 GPS+QZSS での日比谷アンダーパスでの動作

アンダーパス侵入時と同時に突然衛星数は「0」となる。しかしながら、一部のコード測位受信機では 10 秒ほど測位状態が維持されている。

この時の可視衛星数がない状態での測位結果は大きく誤差が増加する傾向があると同時に、連続する測位点は直線的な移動経路となる。

測位アンダーパス終了直後には測位に十分な量の可視衛星数となり、2 秒後には測位が開始されている。その直後には通常の測位精度に復帰している。

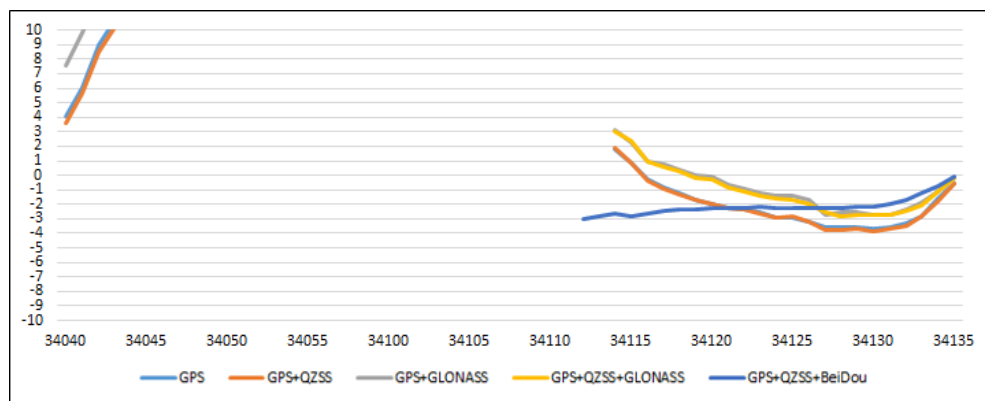


図 5.249 日比谷アンダーパス前後の左右方向誤差量の変化

5.2.1.2 ビル街：都心一般道／丸の内

ビル街においては、遮蔽空間であると同時にマルチパスの発生しやすい環境であることが想定される。本調査意においても、以下のデータより以下のことが確認できる。

- ・上空視界が狭いにも関わらず、可視衛星数が多い。
- ・進行方向および左右方向において大きく片側に引っ張られるような誤差が発生している。

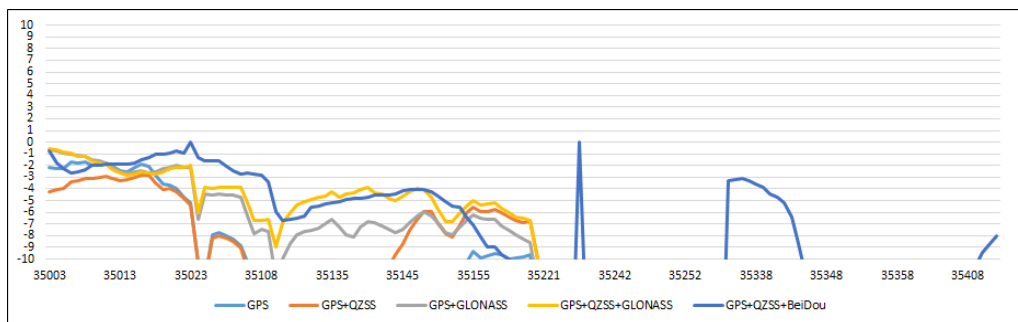


図 5.250 進行方向誤差量の変化：丸の内

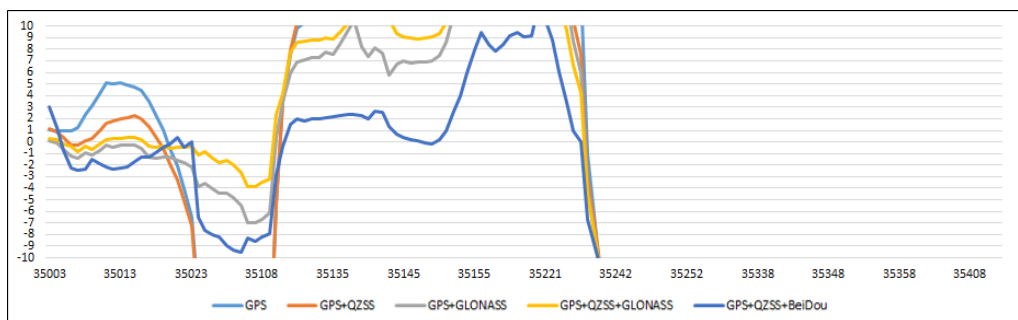


図 5.251 左右方向誤差量の変化：丸の内

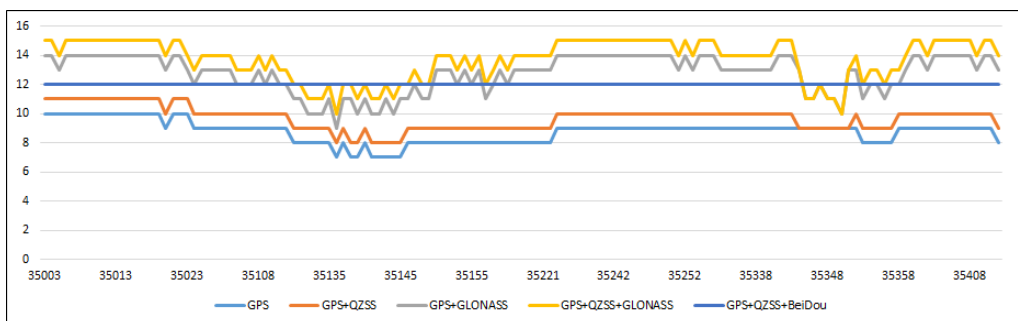


図 5.252 可視衛星数の変化：丸の内

今回の調査では様々な衛星測位システムの組み合わせで計測を実施しており、マルチGNSS ごとの軌道のずれ方を提示する。

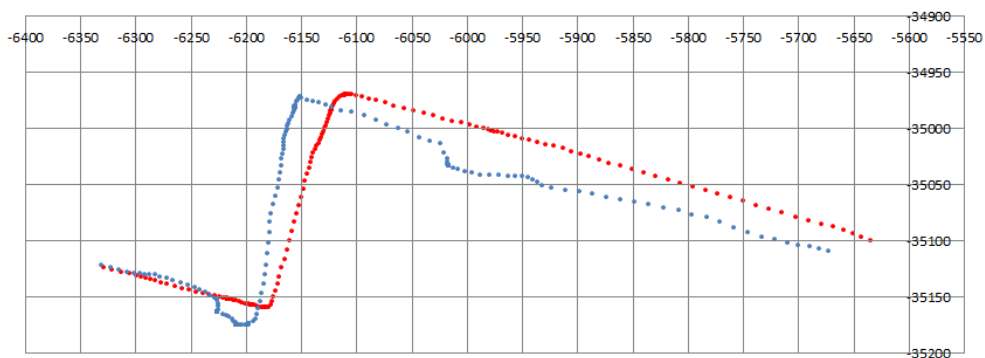


図 5.253 丸の内 GPS 測位の軌跡

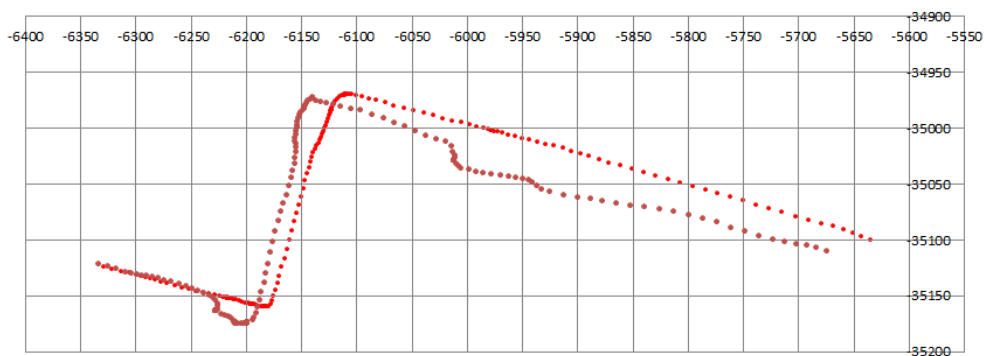


図 5.254 丸の内 GPS+QZSS 測位の軌跡

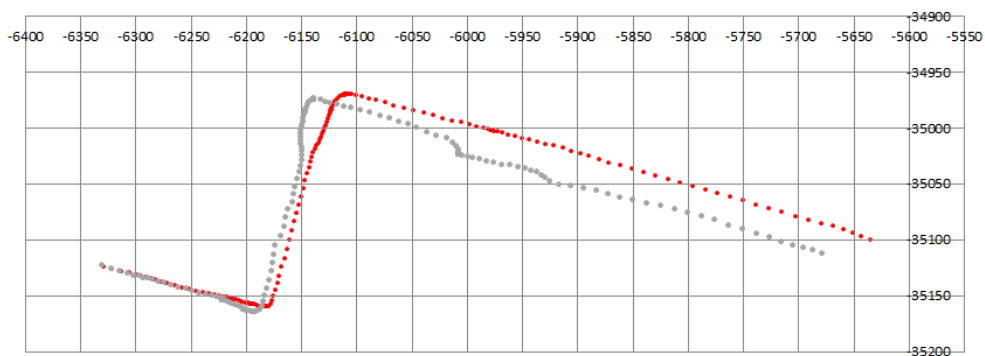


図 5.255 丸の内 GPS+GLONASS 測位の軌跡

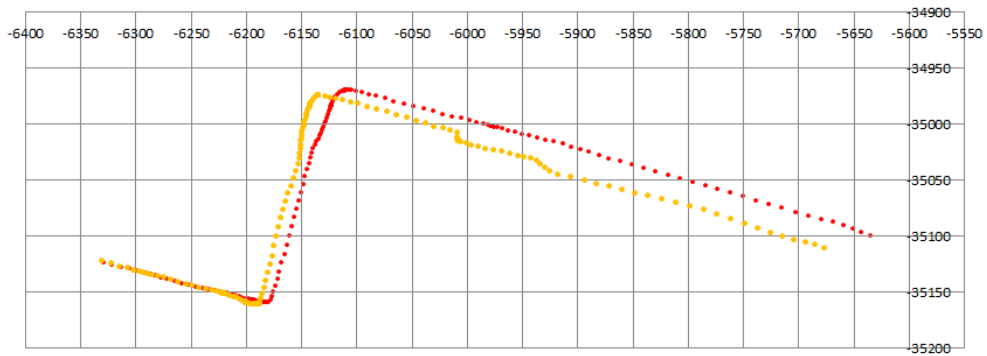


図 5.256 丸の内 GPS+QZSS+GLONASS 測位の軌跡

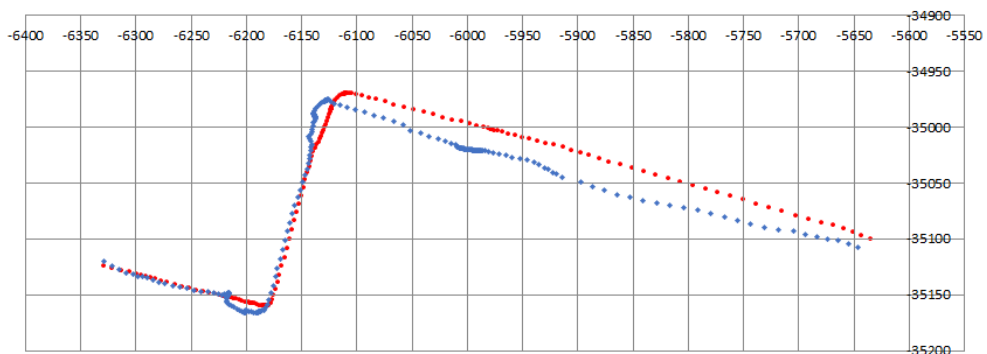


図 5.257 丸の内 GPS+QZSS+BeiDou 測位の軌跡

従来の GPS のみの衛星測位方式に比べ複数の衛星測位システムを組み合わせることで、誤差が軽減されることがわかる。しかしながらまだ十分な精度とは言い難い。今後より衛星数が増えることで、マルチパスの影響の無い衛星を利用することが可能になるため、各衛星測位システムの整備が進むことでより改善されることが期待される。

5.2.1.3 測位補強 (L1-SAIF) の効果：都市間高速／つくば JCT～つくば中央 IC

比較的上空視界の良好な都市間高速においては地上環境による測位精度への影響と同等に、電波遅延や衛星軌道誤差等の影響を考慮することで、精度の向上が期待できる。

今回の調査においても、L1-SAIF による補強による精度向上が確認できている。

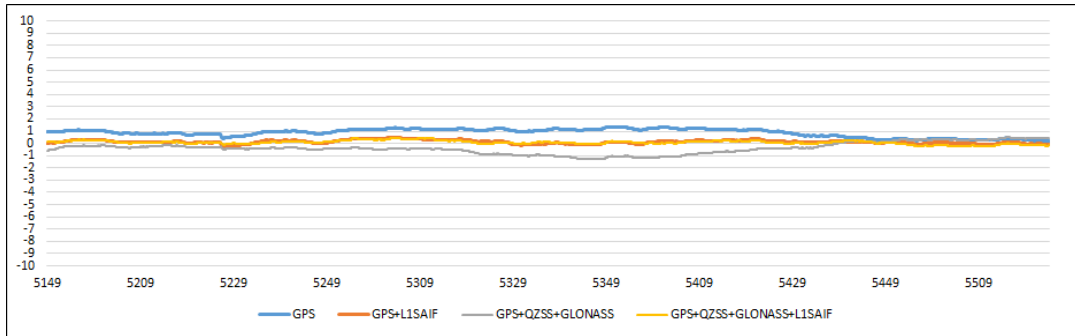


図 5.258 進行方向誤差の推移：都市間高速
(つくば JCT~つくば中央 IC)

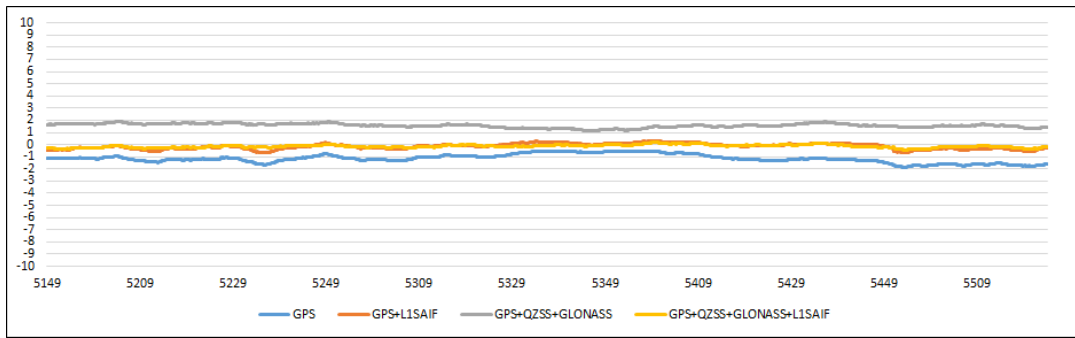


図 5.259 左右方向誤差の推移：都市間高速
(つくば JCT~つくば中央 IC)

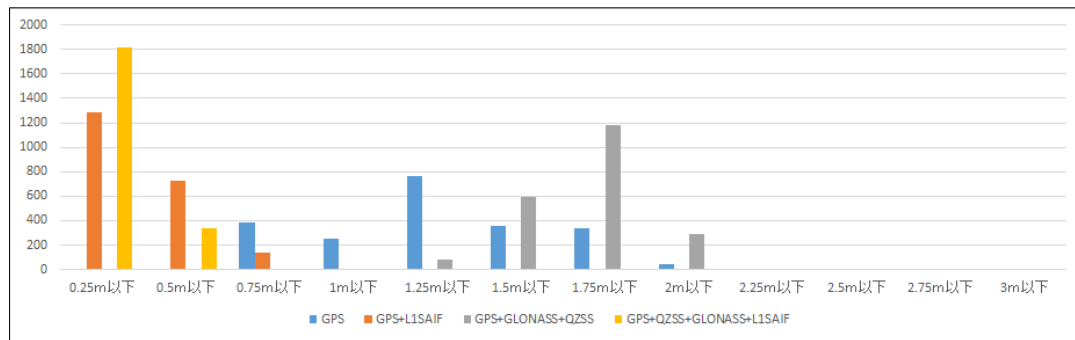


図 5.260 左右方向誤差ヒストグラム：都市間高速
(つくば JCT~つくば中央 IC)

L1-SAIF による補強を実施することで、大幅に精度が向上していることが、ヒストグラムよりわかる。特にマルチ GNSS での補強効果は大きく、50cm 以内に 100%入っている。

5.2.2 高速道路における自動走行への衛星測位利用の可能性

GPSのみではなくマルチGNSSや補強情報の利用によってコード測位でもレーン判別等に活用ができる可能性がある。図 5.2.2.1 に都市間高速における L1-SAIF 補強の左右方向誤差 MAP 及び左右誤差ヒストグラムを示す。GPS に QZSS を加え、L1-SAIF 補強を行った結果、左右誤差 1.0m 以内の割合は 70%以上、1.5m 以内の割合は約 76%に達した。

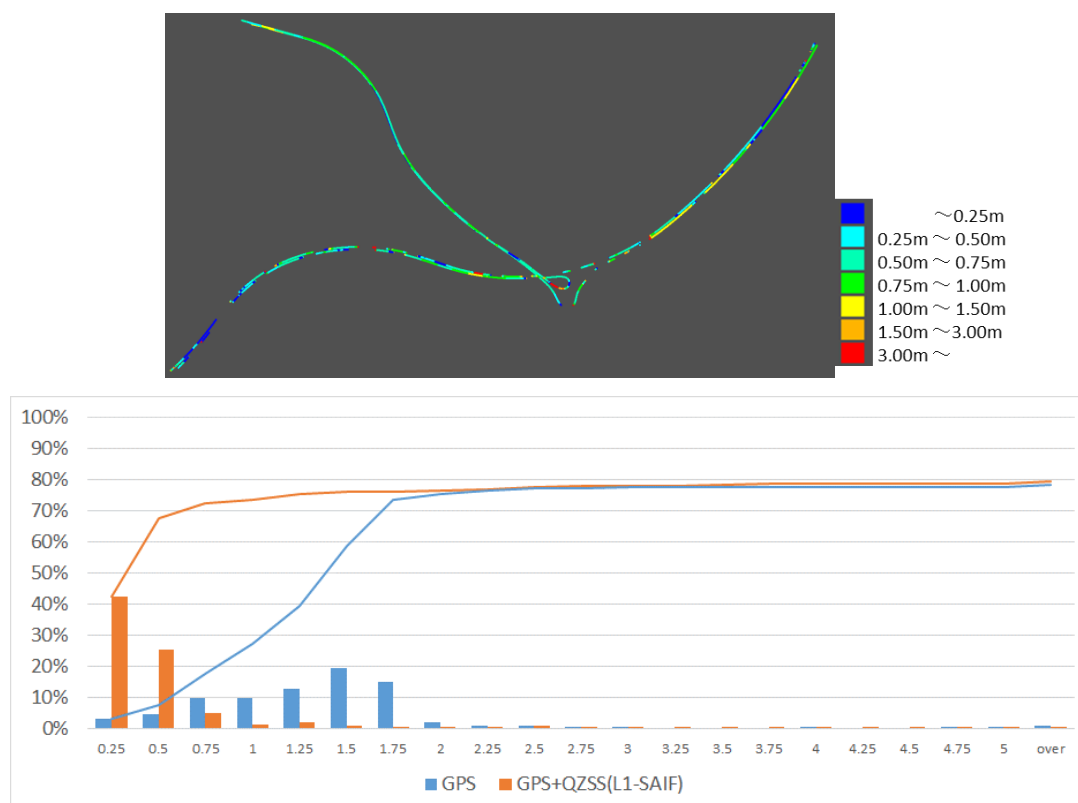


図 5.2.2.1 左右方向誤差 MAP（上図）及び左右方向誤差ヒストグラム（下図）
都市間高速（L1-SAIF 補強）

搬送波測位については、都市間高速では約 50km 基線の RTK で FIX 率が 90%を超える結果等が得られるなど、レーン判別等に活用できる可能性があることを確認した。各データについては 5.1 を参照されたい。

高速道路上の障害物が測位精度に影響を与える箇所について、図 5.2.2.2 及び図 5.2.2.3 に都市間高速及び首都高速の左右誤差増加箇所/測位不可箇所とその周辺環境をまとめたものを示す。ジャンクション等による上空遮蔽時及びその前後、防音壁や大きめの車両との併走等により信号が遮断される結果、誤差が大きくなる或いは測位が不可能となる。また、高速道路ではないが、本調査で走行した都心一般道での走行データにおいても同様に図 5.2.2.4 に示す。なお、これらの図では結果の一例として GPS+QZSS の L1-SAIF 補強の結果を用いている。

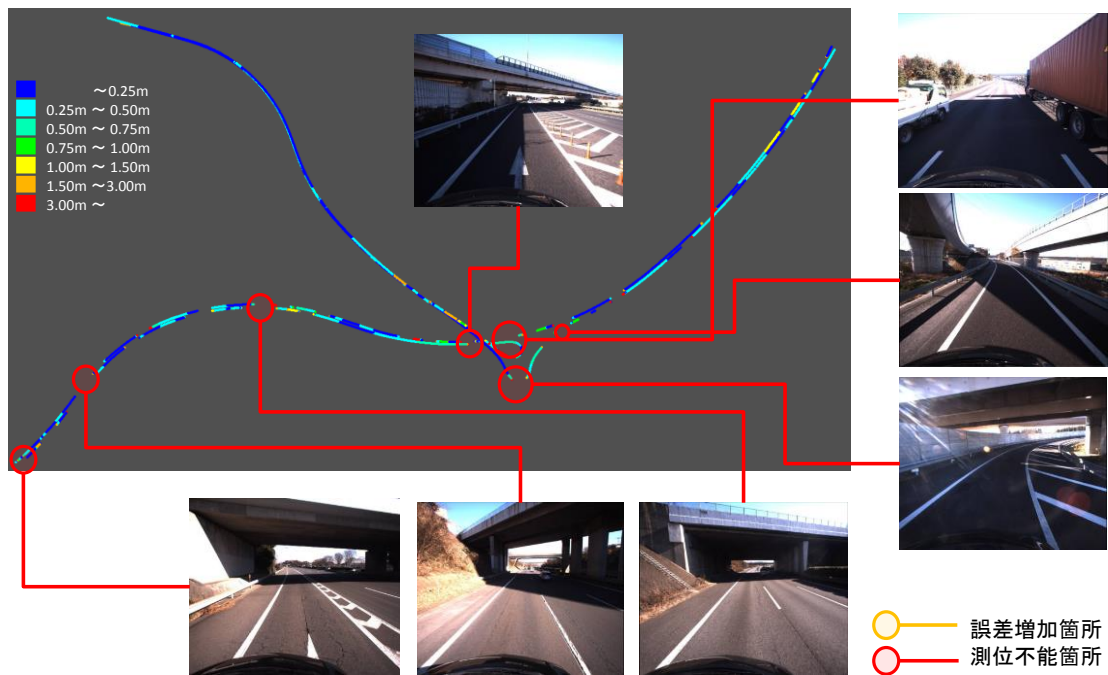


図 5.2.2.2 都市間高速における左右誤差増加/測位不能箇所とその周辺環境(L1-SAIF 補強)

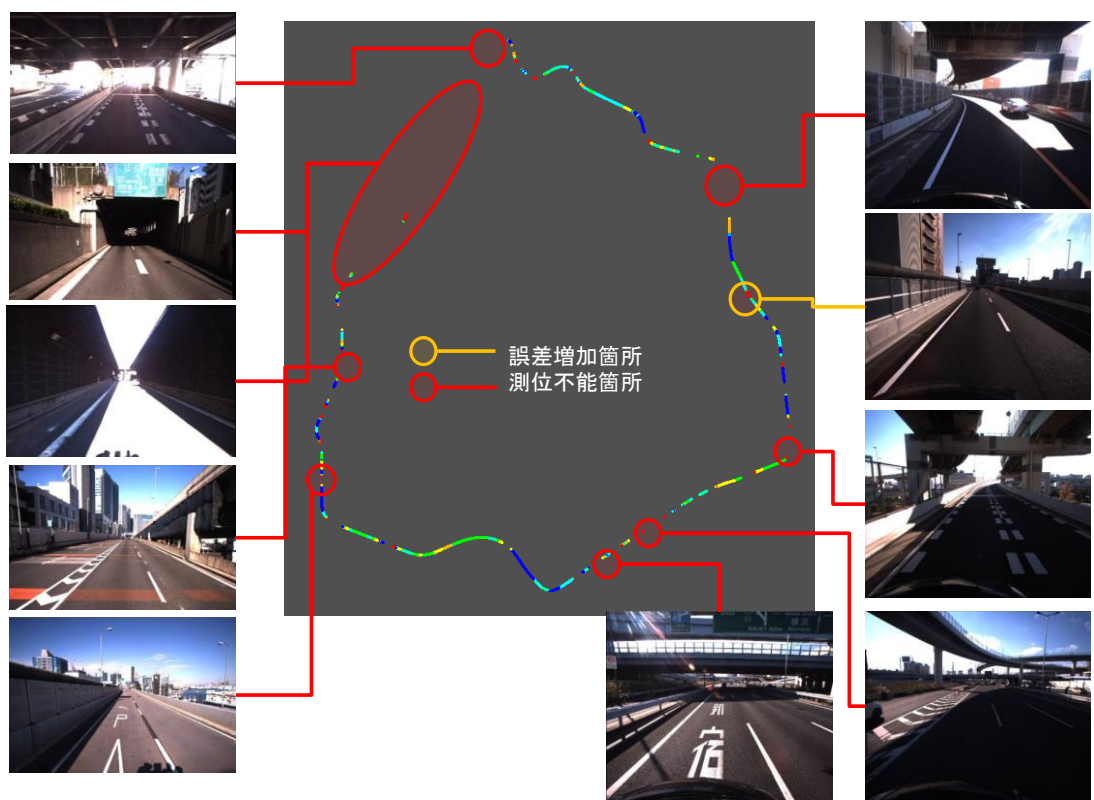


図 5.2.2.3 首都高速における左右誤差増加/測位不能箇所とその周辺環境(L1-SAIF 補強)

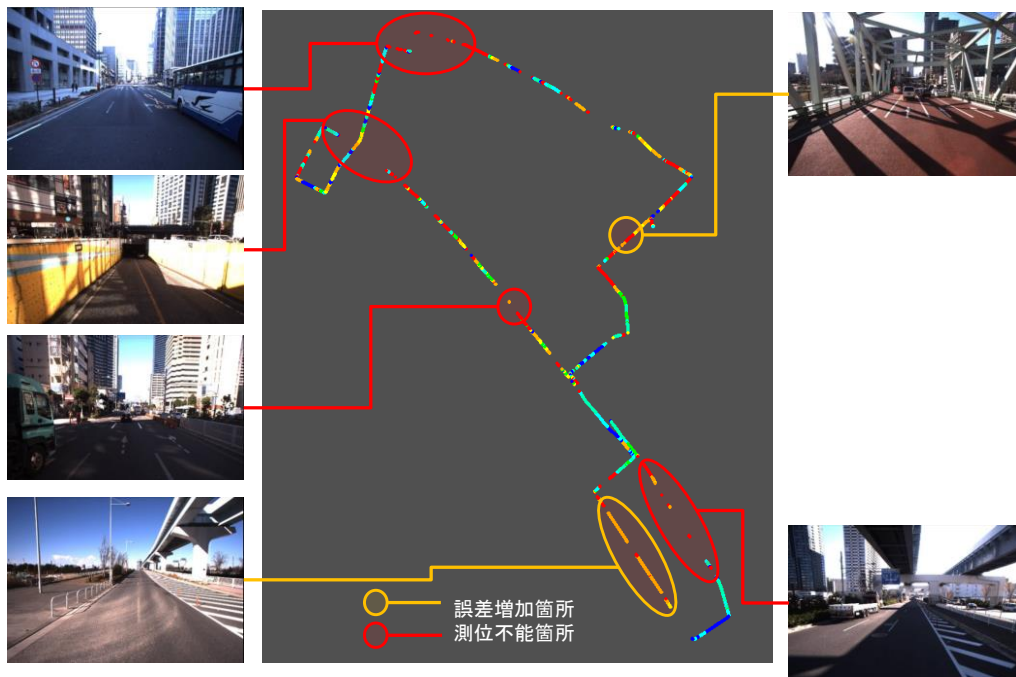


図 5.2.2.4 都心一般道における左右誤差増加/測位不可箇所とその周辺環境(L1-SAIF 補強)

高速道路上の障害物による測位への影響の例として、図 5.2.2.5 につくばジャンクションにおける高架下通過による測位中断及びその後の振る舞いを示す。

コード測位受信機での測位結果（左上図）では、測位の中断は発生していないが、通過時に誤差が増加し、その後しばらくそのままの状態が継続した。コード測位受信機では、できる限り測位解を出力させるような設計になっていると考えられるため、中断が発生しないものと推察される。また、高架下通過後に衛星信号を十分に受信してもしばらく誤差が残っていたが、これはコード測位受信機内で大きな測位飛びを低減させるためにフィルタが強めに効いているためと推察される。

RTK（左下図）では、高架下通過直後にわずかに誤差が増え、その後短時間(0.4 秒)で精度が改善した。マルチ GNSS を使用していること、また相対測位であることから短時間でアンビギュイティの整数値推定 (=FIX) が可能である。

CMAS（右上図）では、測位が中断し、高架下通過後に一旦フロート解を経て約 3 秒後に FIX 解を得た。マルチ GNSS に対応していないこと、また FIX 判定のための閾値を厳しく設計しているために RTK と比較すると再 FIX までに要する時間がやや長い。

MADOCA-PPP（右下図）では、測位復帰後に再収束過程に入っているが、図に示す範囲では収束後同等の精度には復帰できていない。現状の PPP が持つ課題、所定の測位精度に収まるまでの収束時間の課題が表れている。

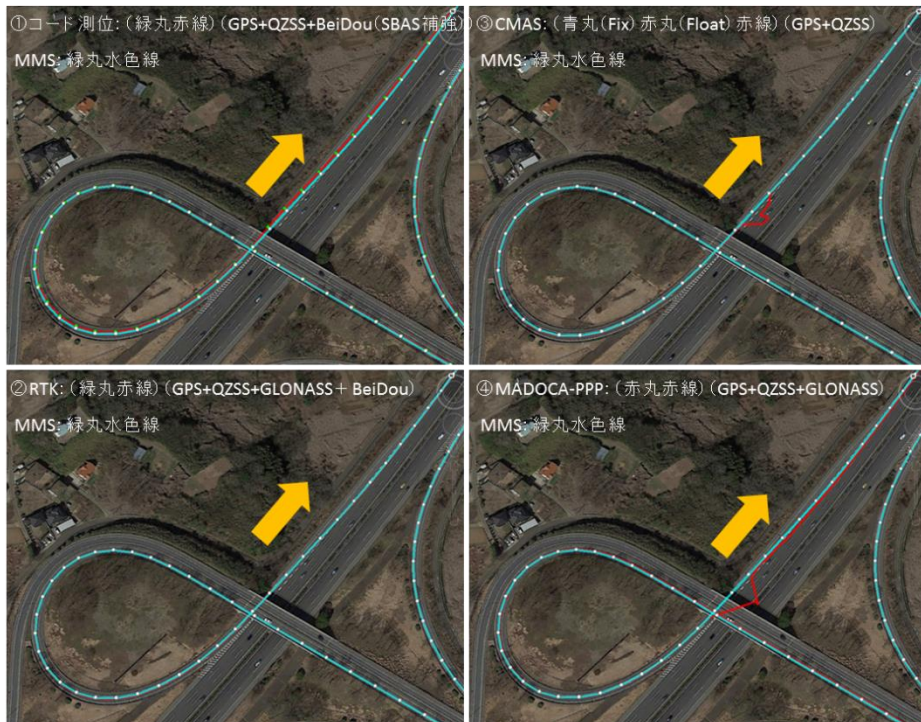


図 5.2.2.5 都市間高速高架下通過時の測位結果変動（つくばジャンクション）

5.2.3 速度による測位精度への影響

測位精度は、ビルや高架等の周辺環境や電離層の状況（※）などに依存するが、移動速度には依存しない。（※二周波を用いて測位をする場合は、それぞれの観測量の線形結合により電離層の影響を除外することができる。）位置の算出には衛星・地上受信機間の距離を測る（測距）必要がある。測距は、衛星の送信時刻と受信機の受信時刻の差に光速（およそ時速 3.0×10^8 m）を乗じて算出する。慣性系において、衛星は高速（秒速数 km）で移動しているためにその時刻情報は相対論効果を考慮する必要があるが、自動車の移動速度（～秒速 50m 程度）は十分に小さいため、本調査ではこの影響を考慮する必要はなく、測位精度への影響はほとんどない。

本調査での走行試験時間帯と同一時間帯におけるオープンスカイ定点での測位結果と、比較的オープンスカイが続く都市間高速走行区間での測位精度を比較し、測位解の精度に大きな差がないことを確認した。その結果を表 5.2.3.1 に示す。移動体の場合は、前述のとおり高架下通過やビル、或いは大型車両との併走等による“時々刻々と変化する周辺環境の影響”のため、理想的な環境であるオープンスカイ定点と比較してある程度の精度劣化は認められるが、“移動速度の影響”は生じない。

表 5.2.3.1 定点測位と移動体測位の精度比較

RMS	コード測位 (単独測位)	搬送波位相測位 (RTKのFix解)
定点	2.8 m	0.024 m
移動体	3.0 m	0.076 m

5.2.4 コード測位受信機

コード測位受信機は、高精度受信機に比べ、高感度で測距精度は悪くても可能な限り信号を受信・追尾、位置を算出する設計になっていると推察される。高精度受信機では測位が継続できなかつた箇所（コース2の京橋付近など）において測位ができており、測位率自体は90%以上に改善しているが、左右方向の誤差分布はばらつきが大きい。SBAS補正に加えてBeiDouも利用することができる受信機（B社）では、都市間高速において、誤差1m以内の割合が約81.9%、1.5m以内で96%と高い性能を示した。首都高速においては、B社のGPS+QZS+BeiDou（SBAS補正）では左右誤差1.5m以内の割合が、A社のGPSのみでの約30%に対し約60%に達し、マルチGNSSの効果やSBASによる効果が確認された。都心一般道においては、同じくBeiDouを加えることによる測位率の向上、及びSBAS補強も組み合わせた精度向上を確認することができた。なお、GLONASSについては、今回比較した範囲では追加による精度改善効果がほとんど見られなかつた。軌道・クロック補正なしではGLONASSの使用は逆に精度を劣化させる一因にもなるため、コンシューマ向けのコード測位受信機では限定的な利用となっているのではないかと推察される。

以下、各コースにおける左右誤差MAP及び左右誤差量ヒストグラムを図5.2.4.1から図5.2.4.6に示す。

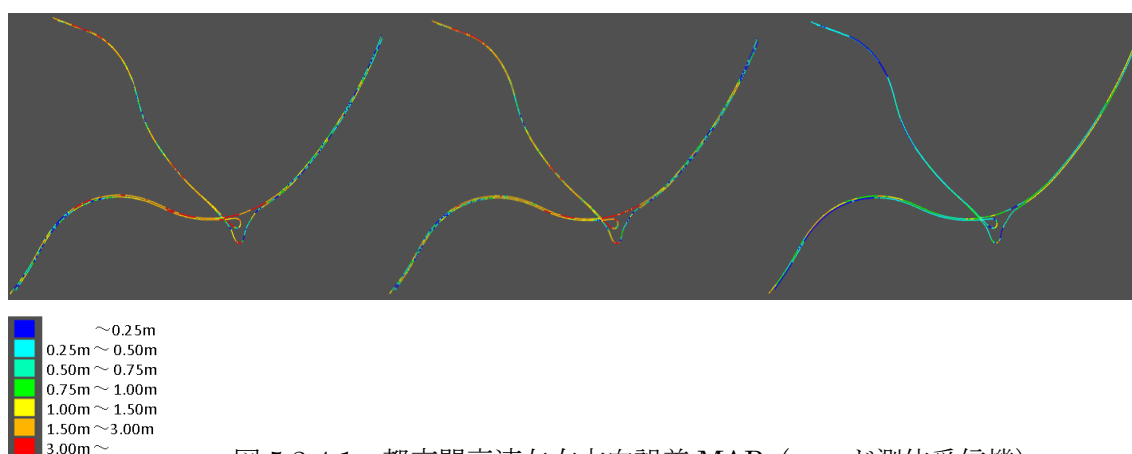


図 5.2.4.1 都市間高速左右方向誤差 MAP（コード測位受信機）

（左から GPS のみ(A 社)、GPS+QZ+GLO(A 社)、GPS+QZ+BeiDou(SBAS 補強)(B 社)）

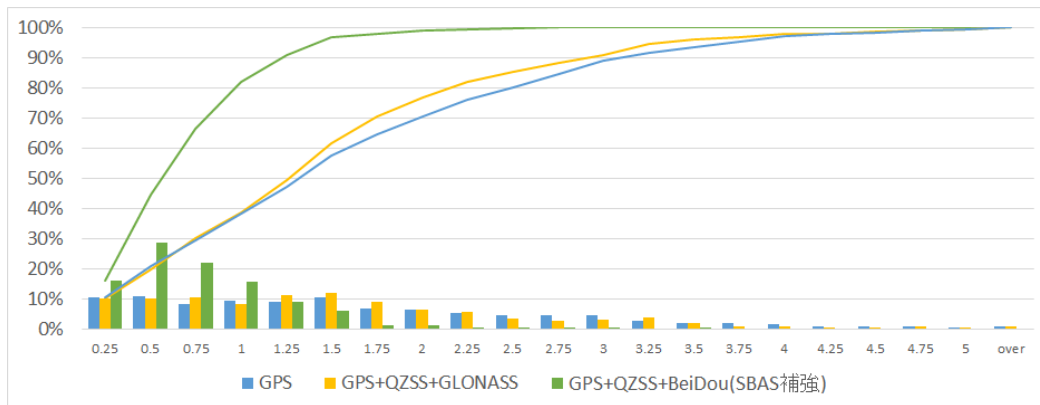


図 5.2.4.2 都市間高速左右誤差量ヒストグラム (コード測位受信機)

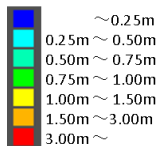
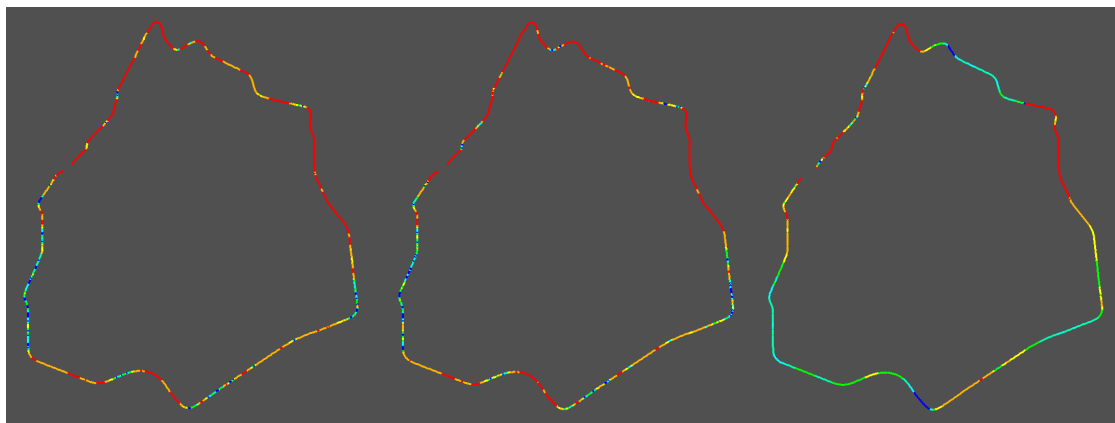


図 5.2.4.3 首都速左右方向誤差 MAP (コード測位受信機)

(左から GPS のみ(A 社)、GPS+QZ+GLO(A 社)、GPS+QZ+BeiDou(SBAS 補強)(B 社))

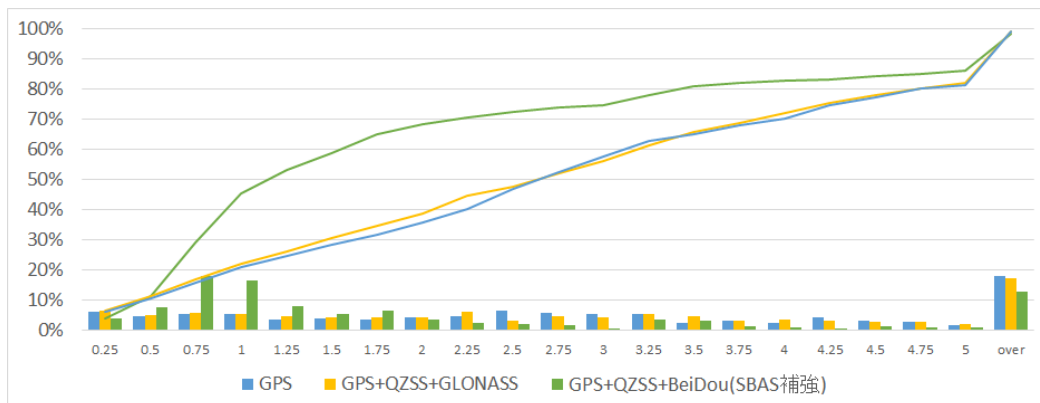


図 5.2.4.4 首都高速左右誤差量ヒストグラム (コード測位受信機)

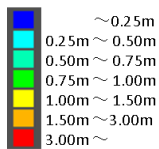
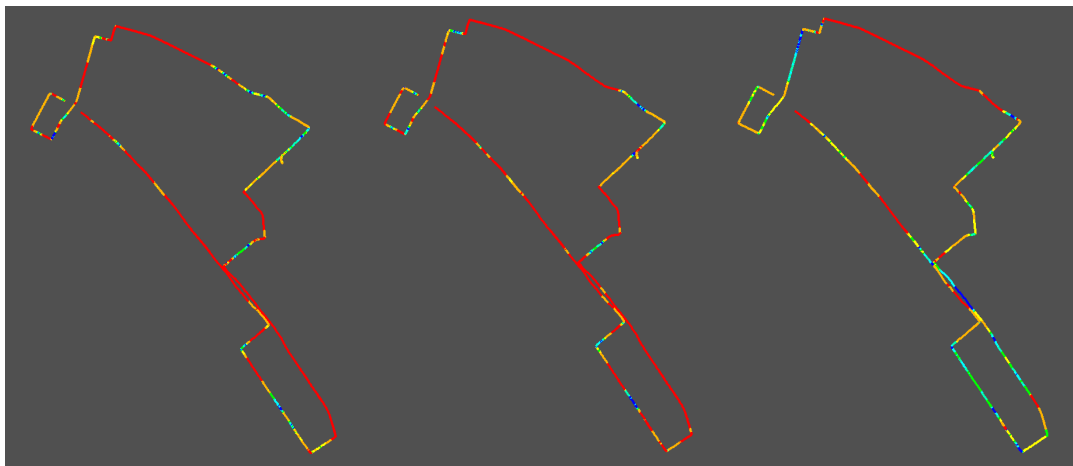


図 5.2.4.5 都心一般道左右方向誤差 MAP (コード測位受信機)

(左から GPS のみ(A 社)、GPS+QZ+GLO(A 社)、GPS+QZ+BeiDou(SBAS 補強)(B 社))

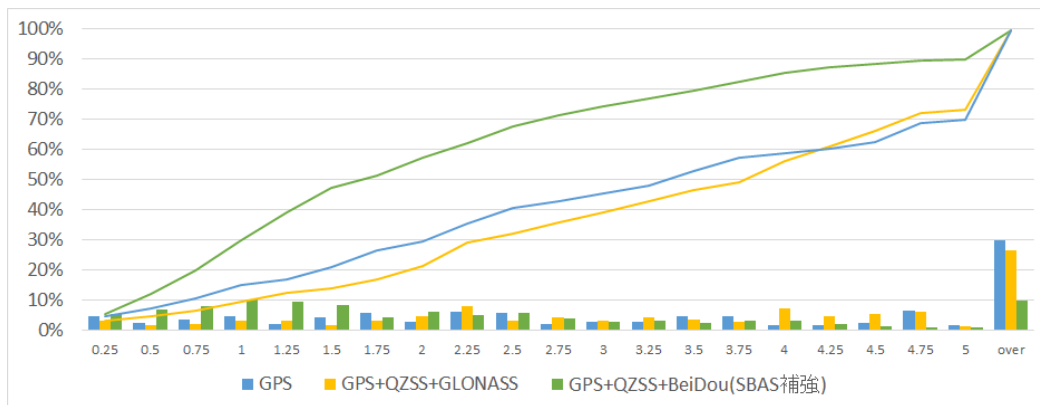


図 5.2.4.6 都心一般道左右誤差量ヒストグラム (コード測位受信機)

5.2.5 高さ方向の精度

高さ方向の精度について、詳細データは 5.1 を参照されたい。本項ではそのうちの一例について取り上げる。

図 5.2.5.1 に都市間高速におけるコード測位の高さ方向の結果を示す。補強無しでは精度が悪く識別が困難な場合もあるが、L1-SAIF での補強により測距補正効果で精度改善がなされ、併走または交差する高さの違う道路を識別できる可能性があることを確認した。

図 5.2.5.2 には都市間高速における CMAS の高さ方向の結果を示す。Fix 解では 10cm 程度以内の精度が得られており、併走または交差する高速道路と走行中の道路の識別は可能であると考えられる。

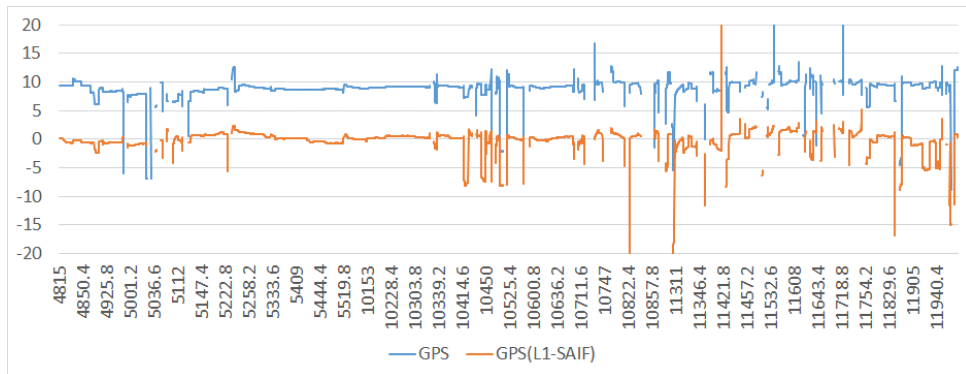


図 5.2.5.1 都市間高速における高さ方向誤差（コード測位/L1-SAIF 補強）

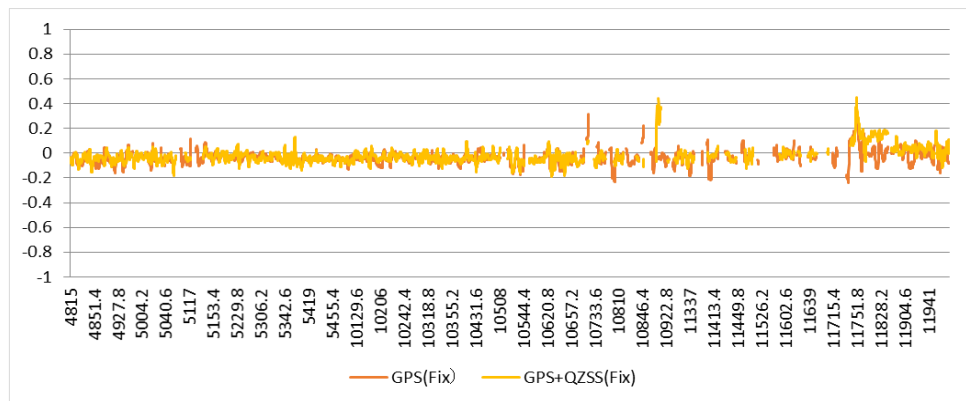


図 5.2.5.1 都市間高速における高さ方向誤差（CMAS 補強）

5.2.6 測位精度への地図へのマッピングによるインテグリティ判定の検討

トンネルなど、衛星測位が利用できない場所、衛星測位だけでは精度劣化が激しく精度的に使えないエリアは、複数 GNSS 利用により使用可能衛星数が増加したとしても残る。そのようなエリアには、画像センサによる位置特定を支援するためのマーカーなど、地上インフラとして整備する必要がある。衛星測位の利用可否を判別するためのマップが生成できれば、これらのインフラの整備範囲を特定、整備コスト低減に効果があると考えられる。これらを踏まえ、測位誤差、特に進行方向に対する左右方向の誤差については地図上へのマッピングを行った。これらは 5.1 に示しているので参照されたい。図 5.2.6.1 にはその一例を示す。

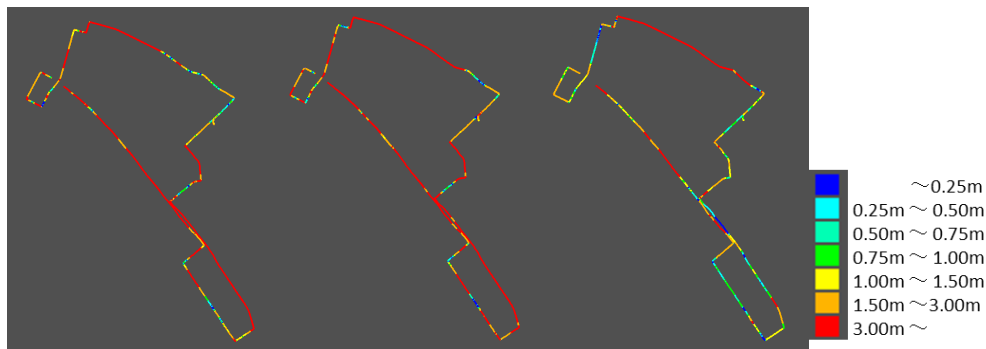


図 5.2.6.1 都心一般道左右方向誤差
(コード測位：左から GPS のみ、GPS+QZ+GLO、GPS+QZ(L1-SAIF 補強))

5.2.7 マルチパスの影響とその影響とその低減方法

都市部などのビル街においては精度が劣化する。その要因の一つはマルチパスの影響であると考えられる。本調査ではマルチパスの影響に対して、その低減方法について検討を行った。

上述の通り、都市部のビルをはじめとする構造物付近を走行すると衛星測位ではマルチパスの影響を受け、その結果精度が劣化することは知られている。本項では、本調査で取得した走行データの中で、マルチパスの影響を受けていると思われる箇所を部分的に切り出し、オフラインにてその影響を除去する方法について検討した結果について述べる。

・ケース 1【都市部における走行時】

日時：2014年12月13日 06:30頃 (GPST)

場所：晴海付近

対象測位方式：1周波コードディファレンシャル測位

対象衛星：GPS、QZSS、GLONASS、BeiDou

状況：低速～中速走行時に 20m を超える誤差が発生

マルチ GNSS を利用したディファレンシャル測位の結果（水平方向 2 次元誤差の時間変化）を図 5.2.7.1 に示す。図中の青プロットは素のディファレンシャル測位の結果、赤プロットはディファレンシャル測位で得られた結果のうち移動速度が 50cm/s 以下のエポックを除外した結果である。（除外されたエポックは値が”0”として図示されている。）

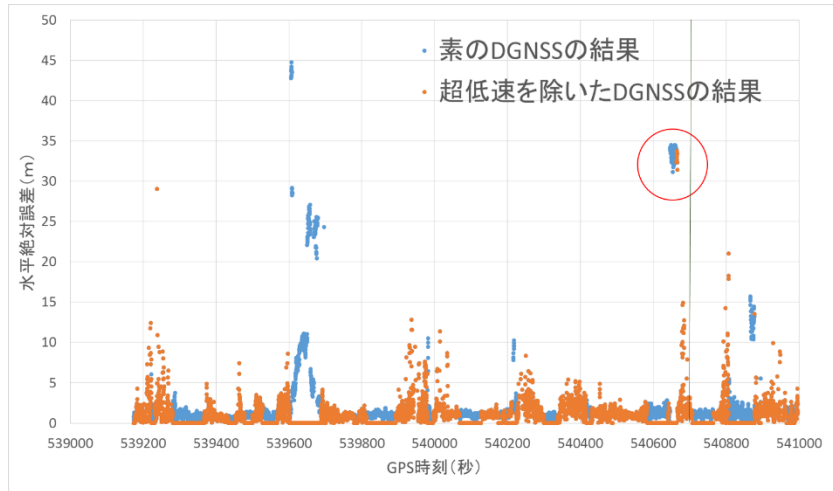


図 5.2.7.1 コードディファレンシャル測位の結果（水平方向誤差の時間変化）

歩行速度程度以下になると多くの受信機ではマルチパスの影響を受けやすくなることが知られている。図 5.2.7.2 より、測位解の飛びや荒れは低速走行時に頻発していることが確認できる。低速時を除外してもなお残存する大きな誤差（図 5.2.7.1）発生時間帯を拡大したものを図 5.2.7.2 に示す。

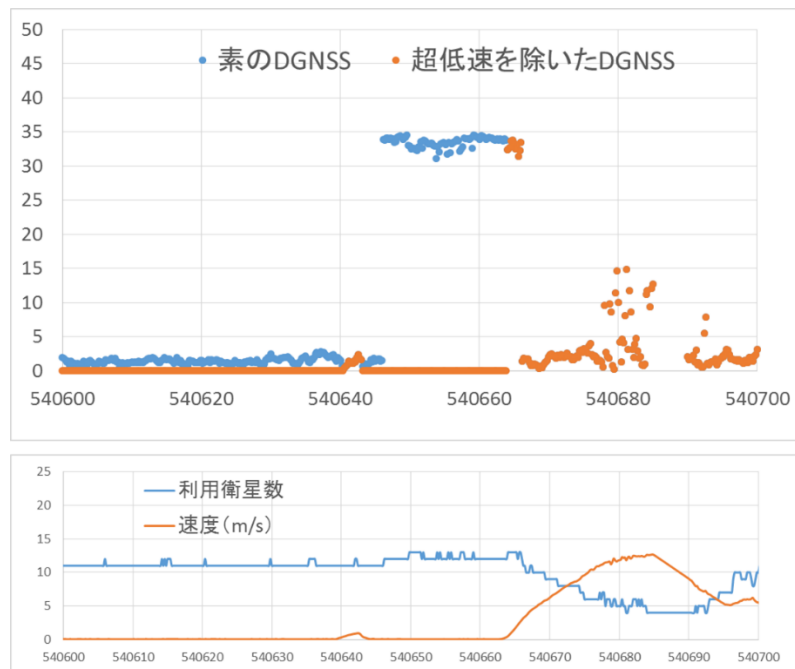


図 5.2.7.2 誤差発生時間帯の水平誤差拡大図（上）及び利用衛星数と移動速度（下）

図 5.2.7.2 より、動き出した直後は 50cm/s の低速であるため除外されているが、その閾値を超えた瞬間に大きな誤差を持った解が出力されていることが確認できる。このとき

GLONASS22 番の擬似距離観測残差が 300m を越えており、この GLONASS22 番を選択的に除外して同様の測位を行うと、この大きな誤差は発生しないことが確認できた。このようなデータは十分な衛星数を観測できているとき、受信機内の RAIM 機能により排除することが可能である。

上記時間帯の位置情報と GoogleMap のストリートビュー機能を使って周辺の環境を確認した。(図 5.2.7.3 参照) GLONASS22 番衛星は方位角 221 度仰角 20 度の方向に観測されていたが、左側の建物が約方位角 225 度の方向(仰角 20 度以上)にあるため、直接波は遮断されており、右側のビルによる反射波を受信した可能性が高いことが判明した。



図 5.2.7.3 周辺環境及び R22 の受信機への推定経路

・ケース 2【都市部における信号待ち(停車中)】

日時：2014 年 12 月 13 日 06:14 頃 (GPST)

場所：勝どき駅前の交差点より南東に約 150m

対象測位方式：1 周波コード測位

対象衛星：GPS、QZSS、GLONASS、BeiDou

状況：信号待ちによる停車中(約 1 分)に測位解に荒れが見られる

図 5.2.7.4 に当該時間帯の通常の単独測位の結果を示す。なお、利用衛星システムは GPS、QZSS、GLONASS 及び BeiDou である。

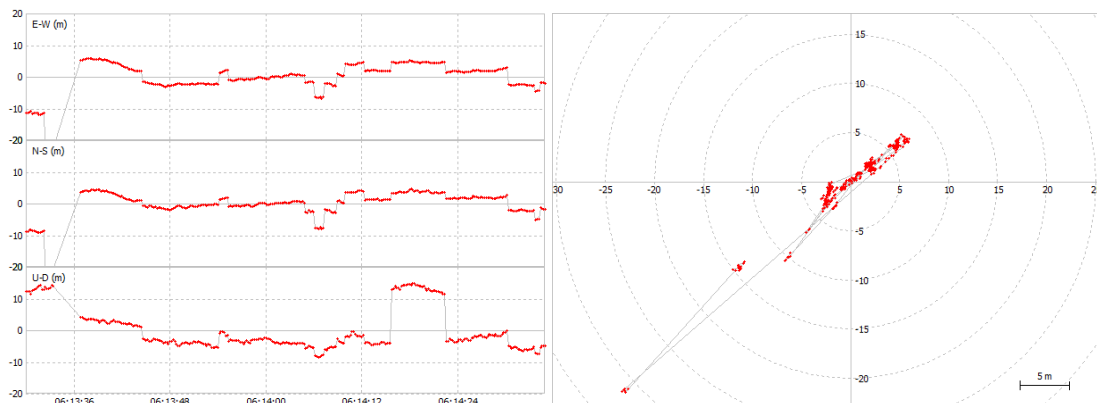


図 5.2.7.4 停車中の単独測位の結果

(左図変位はそれぞれ、上段：東西方向、中段：南北方向、下段：上下方向)

このとき測位に使用していた各衛星の擬似距離残差を確認すると、複数の衛星で残差値が極端に大きいことが判明し、さらにこれらの衛星のほとんどにおいて擬似距離残差が正常値である衛星と比較して信号強度が低いことと相関があることが確認された。なお、当該時間帯の可視衛星は図 5.2.7.5 のようであった。また周辺環境を GoogleMap によって確認した。(図 5.2.7.6)

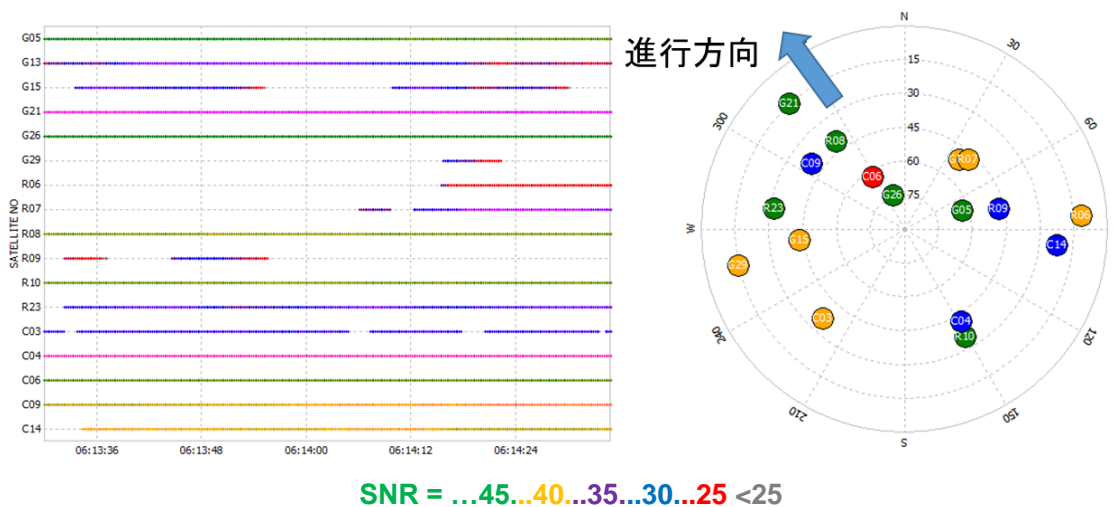


図 5.2.7.5 可視衛星の時間変化及びスカイプロット (停車中)

図 5.2.7.6 より、停車位置の周辺には中高層ビルが立ち並んでいることがわかる。また図 5.2.7.5 右図より、ビルによって不可視である衛星の信号を受信していることが確認できる。これらはビルからの反射波を受信している可能性が非常に高く、これらによりマルチパスが生じ精度劣化の要因となっていると予想ができる。擬似距離残差値が大きい衛星を図 5.2.7.5 上に印を付したものを図 5.2.7.7 として示す。



図 5.2.7.6 停車位置及び周辺環境

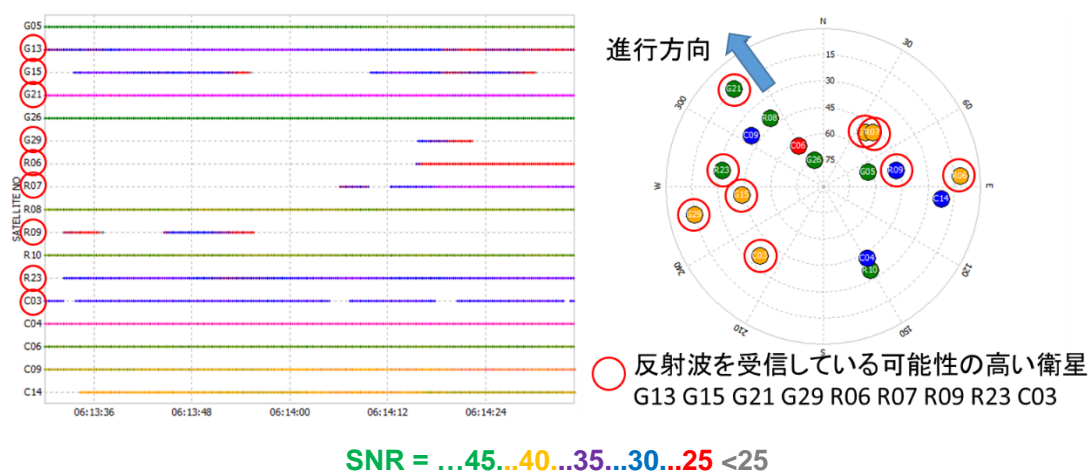


図 5.2.7.7 可視時間帯の可視衛星及び擬似距離残差値が大きい衛星

以上の確認より、この場所ではマルチパスの影響を受けて測位解に荒れが生じていると予想できるため、図 5.2.7.7 右図で丸印を付している衛星を利用せずに(選択的に除去して)単独測位を行った。この結果を図 5.2.7.8 に示す。これらにより選択的に 9 基を除外して測位した結果、荒れが大きく改善され、マルチパスの影響によると思われる測位精度劣化を大幅に抑えることができた。

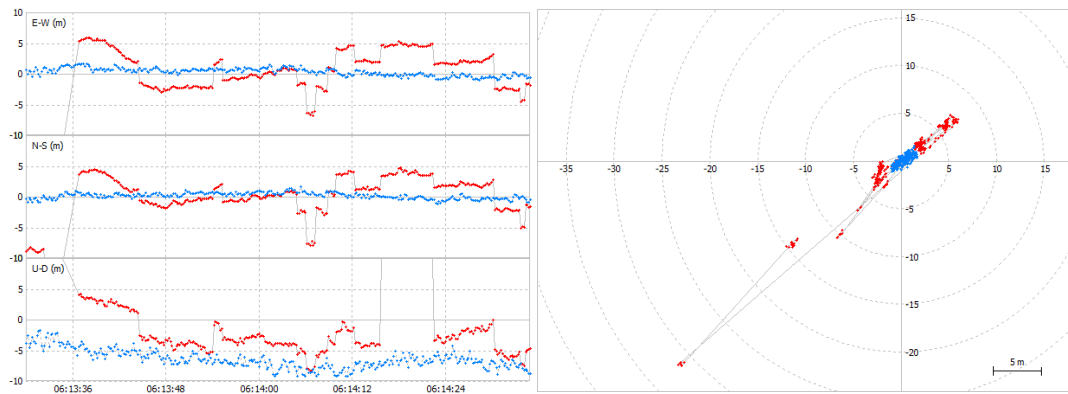


図 5.2.7.8 選択的に衛星を除外して単独測位を行った結果（青）と除外無しの結果（赤）

以上より、ビルによる反射を受けたと予想される衛星信号を除外することで測位精度の劣化を防ぐことが可能であることが確認できた。なお、今回除外した衛星信号は、除外されていない衛星信号に比べて信号強度が低いことが確認されているが（一例として、図 5.2.7.9 に除外対象である GPS13 番と非除外対象である GLONASS08 番の信号強度及び仰角の時間変化図を示す。）このことは、マルチパスの影響を受けている衛星信号の信号強度が低いことを表しており、信号強度を測位に使用するか否かの判断をする指標にすることができることを示唆している。

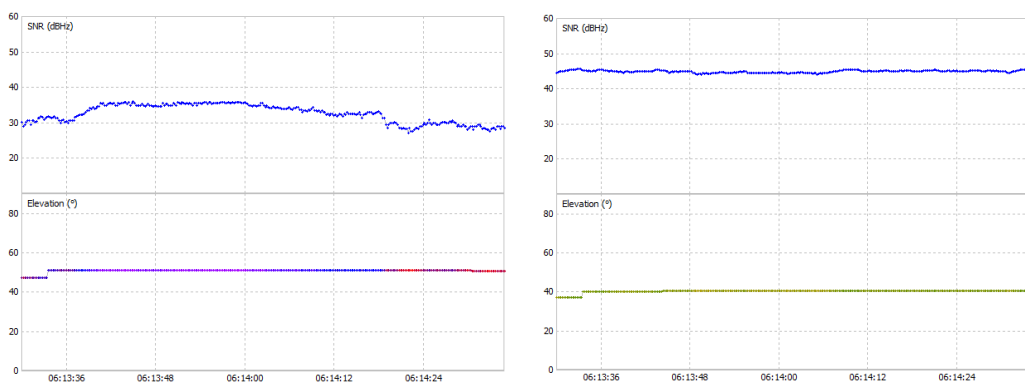


図 5.2.7.9 除外衛星（左：G13）及び使用衛星（右：R08）の信号強度（上）と仰角（下）

図 5.2.7.10 には、衛星を選択的に除去することなく、信号強度に除外衛星の閾値を設けた場合の測位結果を示す。今回は 40dBHz を下回る信号強度の衛星は測位演算から除外するように設定した。

信号強度に閾値を設けることで、マルチパスの影響を受けていると思われる衛星信号を選択的に除去した場合と同等の結果が得られることが確認できる。

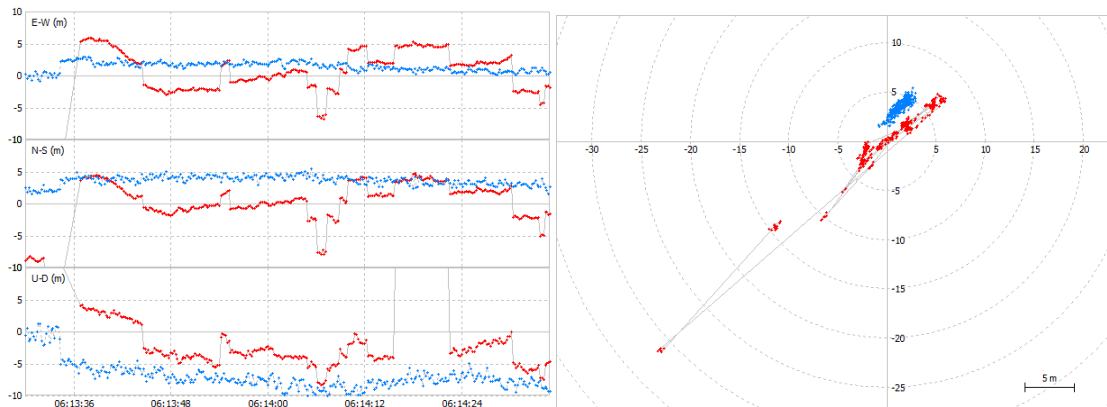


図 5.2.7.10 信号強度閾値(40dBHz)を設定した場合の結果 (青) と設定無しの場合の結果 (赤)

マルチパスの影響について停車中のある一場面を切り取って調査した結果、合計 9 基の衛星の選択的な除外または 40dBHz の信号強度の閾値設定によって適切に精度劣化を回避できたが、別の場面では全く同様の対処をしても同様の結果が得られるとは限らない。実環境においては、その場その瞬間の周辺環境や電波環境等によってリアルタイムに適切にマルチパスの影響を低減させる手法、例えば、受信機で受信した情報を元に信号品質をチェックして除外する衛星を選ぶことやダイナミックにかつ衛星ごとに信号強度の閾値を変化させることなどが必要となる。

本調査において、9 基もの衛星を除外してでも依然 8 基からの良品質な衛星信号を利用して測位精度劣化を抑制することができたのは、マルチ GNSS を利用しているからこそなせる業であり、衛星が増えるだけ選択肢も増えて最適なチューニングが可能となる。この恩恵は今後さらに大きくなるものと思われる。

5.2.8 ハイブリッド測位

高架下+両サイド建物、アンダーパスのような環境では衛星測位が利用できないため、実用の場面においては測位不可区間の補完や、測位可能になってからの速やかな初期測位時間の短縮が要求される。これらの要求を鑑み、現状使用可能衛星数が GPS 及び QZSS に限られている CMAS 方式と、マルチ GNSS 対応ではあるが収束時間に課題を持つ MADOCA-PPP 方式の 2 方式において、本調査で取得したデータを用いてハイブリッド測位 (※) について検討を行った。(※慣性航法装置等を利用した、自己位置特定手段により衛星測位を補完し、より高可用性高信頼性のある位置情報を与える。)

5.2.8.1 CMAS : 慣性航法装置等の出力との複合の効果

5.1 で前述のとおり、CMAS は RTK 等と比較して使用可能な衛星が少なく測位率が低いですが、慣性航法装置等を複合してハイブリッド測位を行うと 100%に近い測位率を得ることが

できる。その代表例を以下に示す。

まず、RTK-PPP による位置の品質評価結果をまとめる。本項では①FIX 解および②FIX+FLOAT 解の 2 ケースを評価している。なお、本項において FIX 解とは、搬送波の整数値バイアスを決定した測位解をいう。

補強対象として利用する衛星システムが GPS のみの場合と、GPS+QZS の場合について位置の品質評価結果を比較する。表 5.2.8.1 に FIX 解による位置の品質評価結果を示す。また、地図上に測位結果をプロットした図を図 5.2.8.1～12 に示してある。

表 5.2.8.1 FIX 解による位置の品質評価

計測日	エリア	I D	衛星 システム	時間 帯	開始時間 (UTC)	終了時間 (UTC)	RMS誤差[cm]		標準偏差[cm]		偏り[cm]		測位率 [%]
							水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	
12月13日	一般道 (S1)	1	GPS	T1	03:00:00	04:06:12	3.1	10.9	3.0	5.3	0.9	-9.6	40.4
		2	GPS+QZS				5.7	9.5	5.6	6.5	1.0	-6.8	43.6
		3	GPS	T2	05:45:58	06:52:22	6.0	10.3	5.9	6.6	0.3	-8.0	29.6
		4	GPS+QZS				7.7	11.3	7.6	9.7	1.4	-5.9	39.8
12月14日	首都 高速 (S2)	5	GPS	T1	03:19:35	03:58:36	5.9	12.3	5.8	8.6	0.6	-8.8	5.9
		6	GPS+QZS				7.7	11.7	7.7	10.0	0.8	-6.1	7.7
		7	GPS	T2	05:49:00	06:26:47	7.3	10.0	5.2	6.1	5.1	-8.0	7.3
		8	GPS+QZS				11.1	12.2	10.9	12.1	2.2	-1.5	11.1
12月15日	都市間 高速 (S2)	9	GPS	T1	00:38:07	01:29:21	3.4	7.0	2.9	5.8	1.7	-3.8	78.5
		10	GPS+QZS				3.4	7.2	3.0	6.6	1.6	-2.9	81.0
		11	GPS	T2	02:38:27	03:25:50	3.6	5.7	2.8	4.9	2.2	-3.0	71.6
		12	GPS+QZS				3.9	5.1	3.4	5.1	2.0	-0.5	75.6

12月13日の一般道における評価結果をみると、準天頂衛星を補強対象衛星に付加することによって、ビルや高架の近傍における FIX 率（以下、本項では「整数値バイアスの決定した測位の比率」を意味する）が向上することが確認できた。

12月14日の首都高速における評価結果においても、準天頂衛星の効果によってビルの近傍における FIX 率が向上することを確認した。

12月15日の都市間高速における評価結果では、準天頂衛星の効果による性能の向上はみられるが、もともと GPS 衛星数が多いので、その寄与率が高いとはいえない。

表 5.2.11.2 に FIX+FLOAT 解による位置の品質評価結果を示す。また、前頁と同じく地図上に測位結果をプロットした図を図 5.2.8.1~12 に示している。

12月13日の一般道における評価結果をみると、準天頂衛星を補強対象衛星に付加することによって、ビルや高架の近傍における測位率が向上することを確認した。特に衛星配置のよくない午後の時間帯に市街地における測位率が向上している。

12月14日の首都高速における評価結果においても、前頁同様、準天頂衛星の効果によってビルの近傍における FIX 率が向上することを確認した。

12月15日の都市間高速における評価結果では、前頁と同じく準天頂衛星の効果による性能の向上はみられるが、もともと GPS 衛星数が多く受信できているので、その寄与率が高いとはいえない。

表 5.2.8.2 FIX+FLOAT 解による位置の品質評価

計測日	エリア	I D	衛星 システム	時間 帯	開始時間 (UTC)	終了時間 (UTC)	RMS誤差[cm]		標準偏差[cm]		偏り[cm]		測位率 [%]
							水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	
12月13日	一般道 (S1)	1	GPS	T1	03:00:00	04:06:12	83.1	121.9	83.0	121.9	4.1	-3.3	78.2
		2	GPS+QZS				126.4	135.5	124.1	135.1	23.8	10.3	88.4
		3	GPS	T2	05:45:58	06:52:22	108.0	113.1	105.3	113.0	23.7	-4.0	71.2
		4	GPS+QZS				84.0	154.7	83.9	154.3	3.9	10.0	76.9
12月14日	首都 高速 (S2)	5	GPS	T1	03:19:35	03:58:36	85.8	116.3	84.9	113.7	12.6	-24.6	68.1
		6	GPS+QZS				116.9	163.4	116.1	163.0	13.6	12.1	79.8
		7	GPS	T2	05:49:00	06:26:47	143.7	119.0	130.3	112.5	60.5	-38.7	77.6
		8	GPS+QZS				114.7	166.4	109.8	163.4	33.2	-31.8	80.6
12月15日	都市間 高速 (S2)	9	GPS	T1	00:38:07	01:29:21	49.1	42.1	49.0	41.9	1.0	-3.8	96.3
		10	GPS+QZS				32.0	56.9	32.0	56.3	0.8	8.5	97.7
		11	GPS	T2	02:38:27	03:25:50	40.7	55.2	40.7	55.1	1.7	3.4	96.1
		12	GPS+QZS				40.7	51.1	40.6	49.9	2.3	11.0	97.4

試験条件：C1-T1-A1-S1-M5
補強対象：GPS



図 5.2.8.1 一般道（12月13日）午前の測位結果（ID-1）

試験条件：C1-T1-A1-S2-M5
補強対象：GPS+QZS

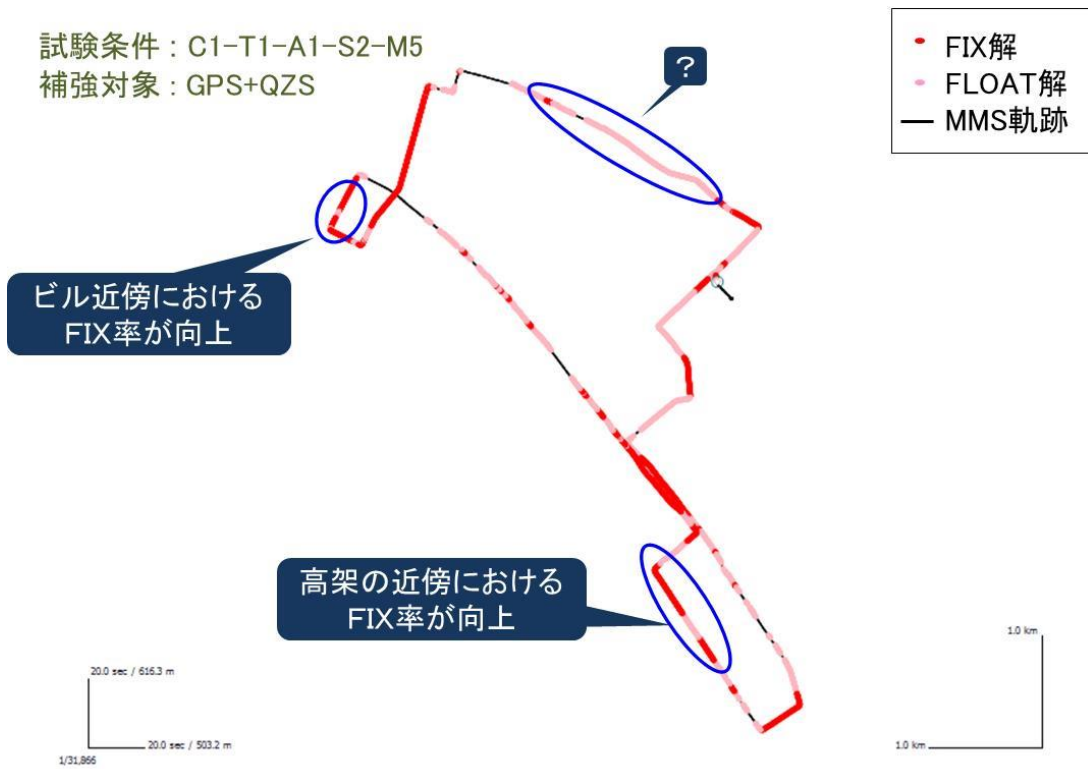


図 5.2.8.2 一般道（12月13日）午前の測位結果（ID-2）

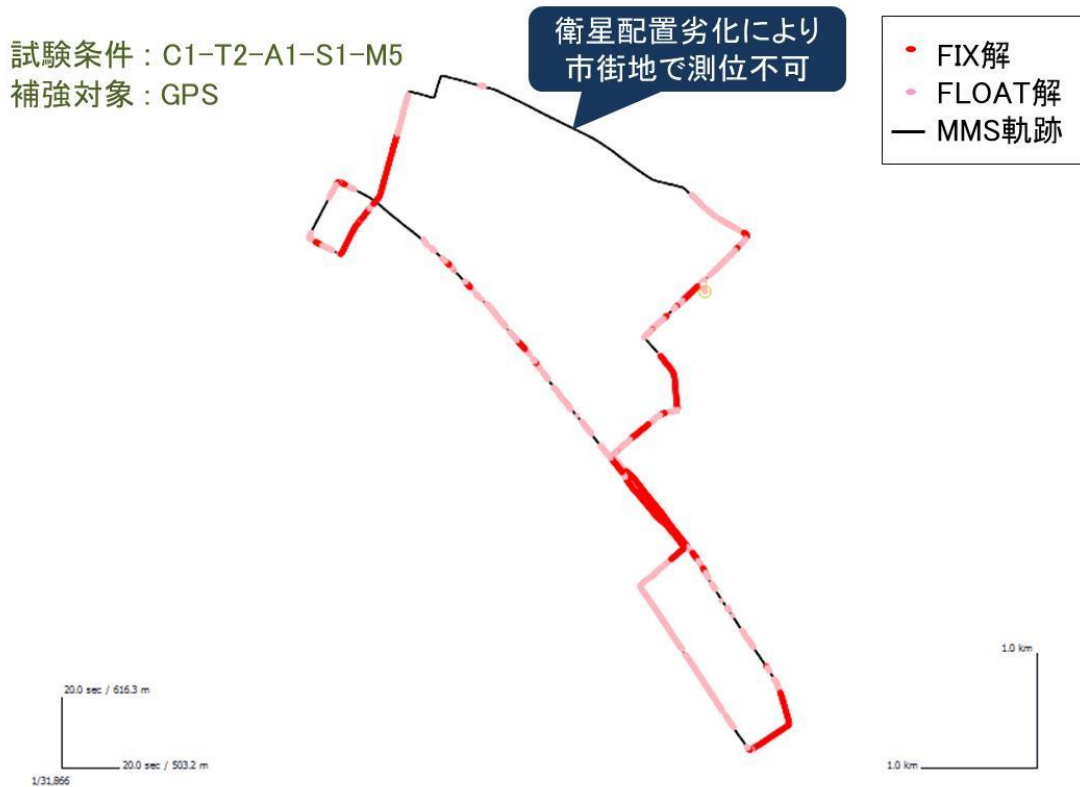


図 5.2.8.3 一般道（12月13日）午後の測位結果（ID-3）

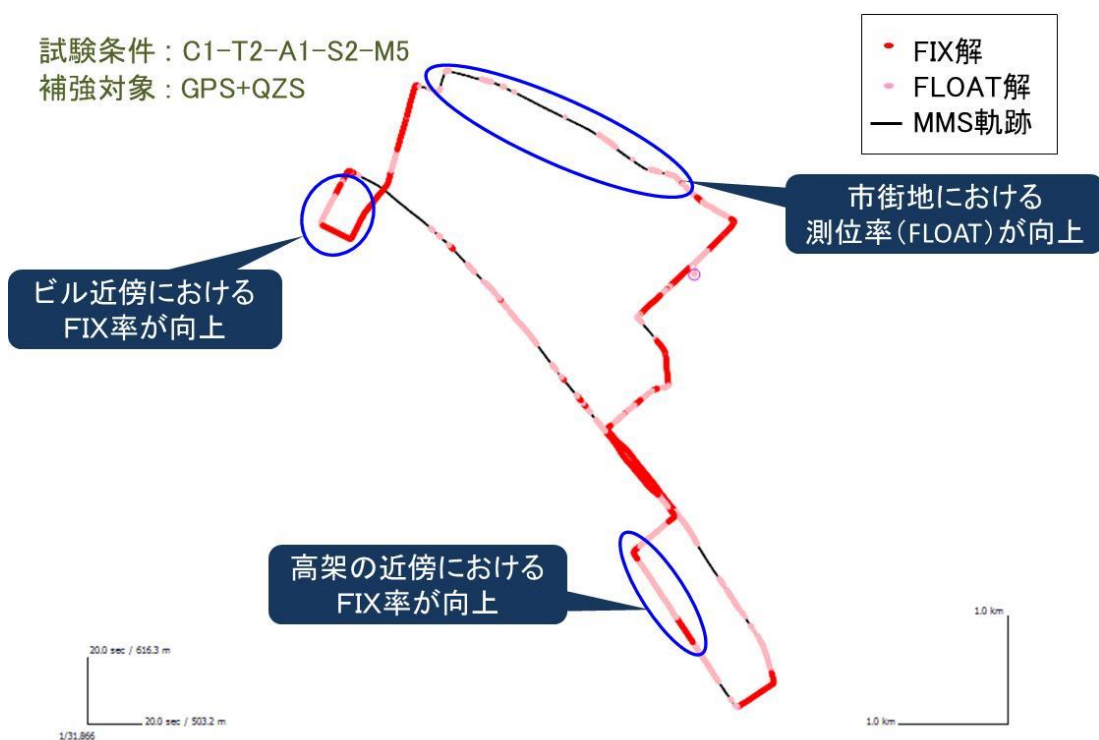


図 5.2.8.4 一般道（12月13日）午後の測位結果（ID-4）

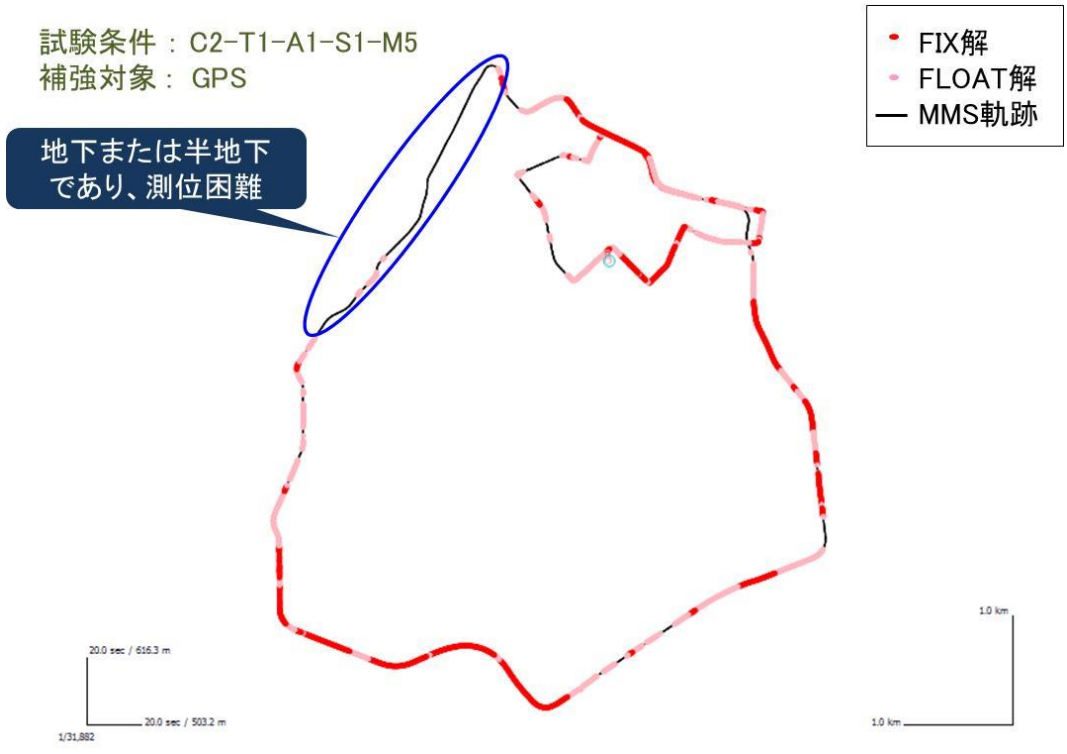


図 5.2.8.5 首都高速 (12月14日) 午前の測位結果 (ID-5)

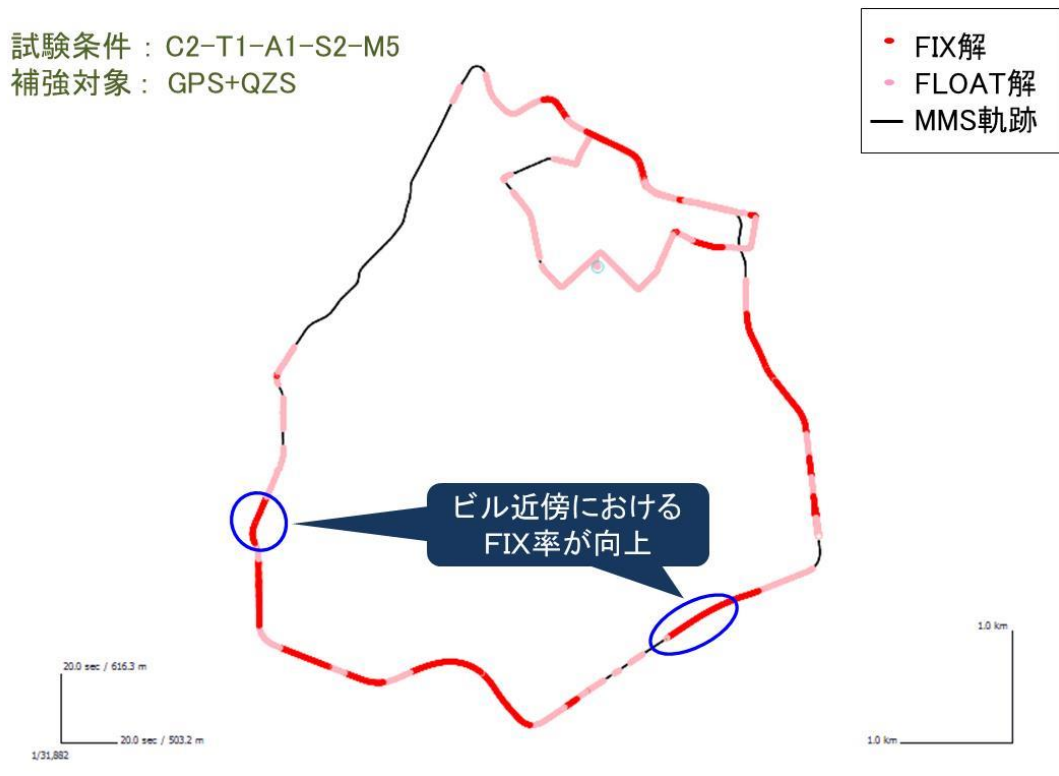


図 5.2.8.6 首都高速 (12月14日) 午前の測位結果 (ID-6)

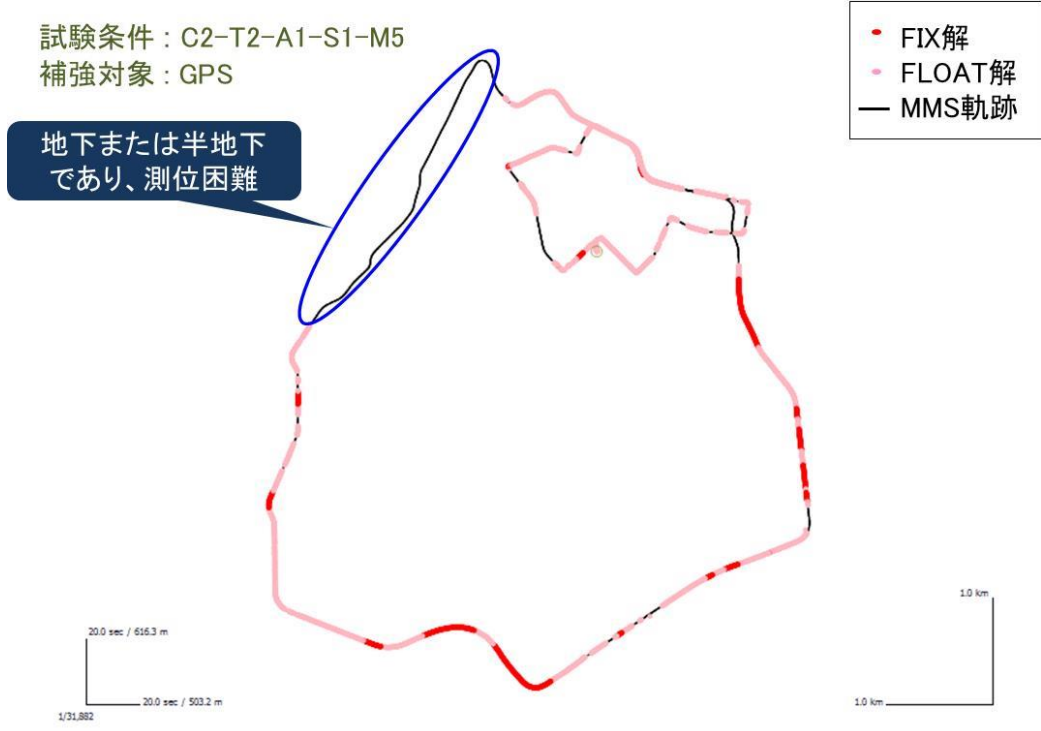


図 5.2.8.7 首都高速（12月14日）午後の測位結果（ID-7）

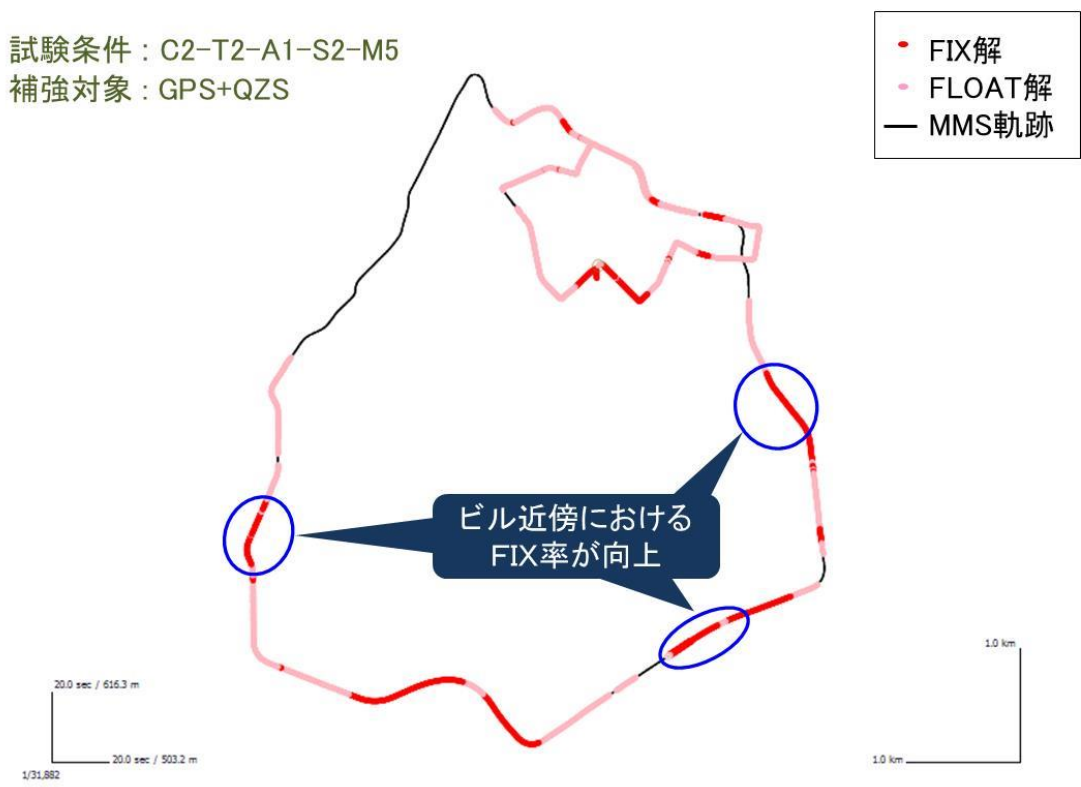


図 5.2.8.8 首都高速（12月14日）午後の測位結果（ID-8）

試験条件：C2-T1-A1-S1-M5
補強対象：GPS

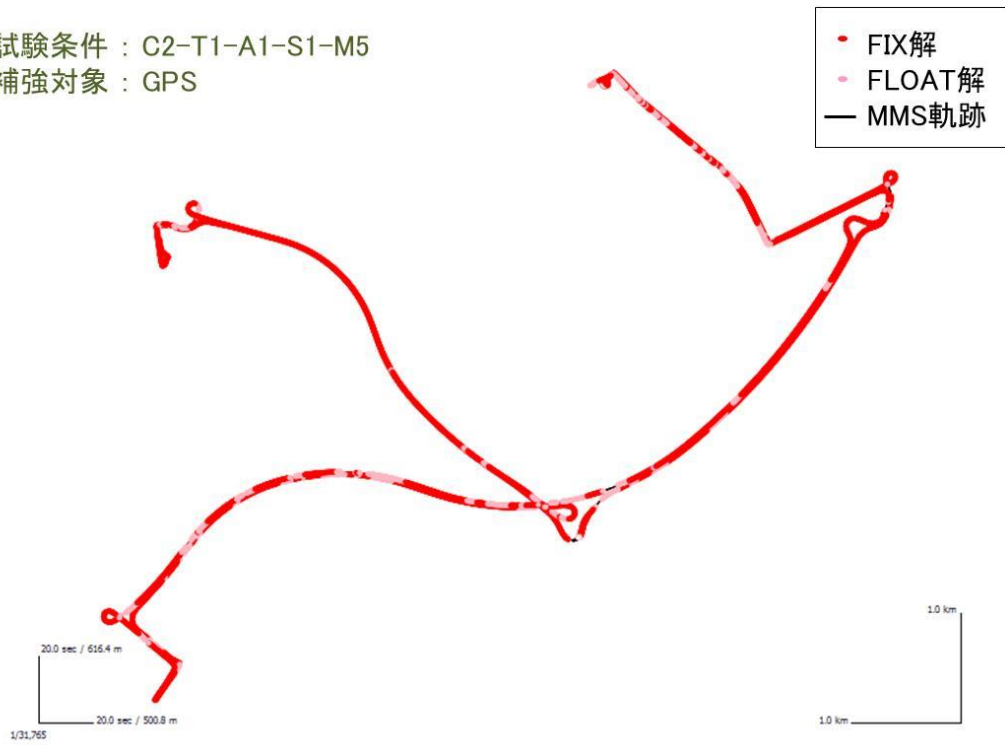


図 5.2.8.9 都市間高速（12月15日）午前の測位結果（ID-9）

試験条件：C2-T1-A1-S2-M5
補強対象：GPS+QZS

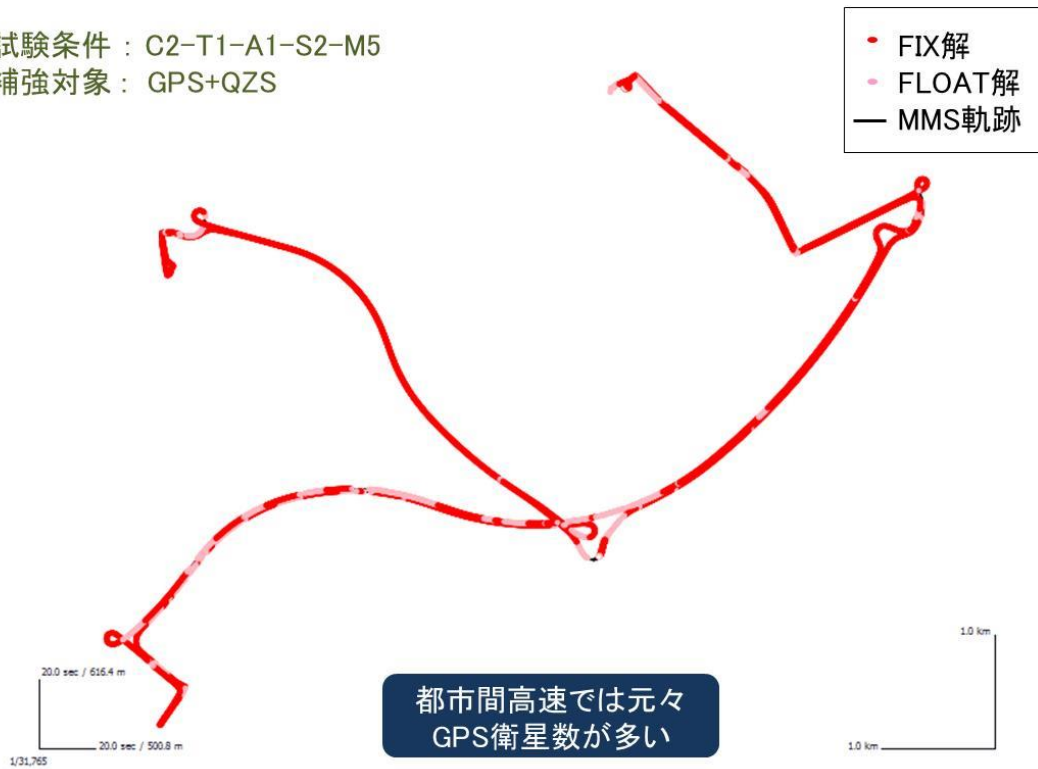


図 5.2.8.10 都市間高速（12月15日）午前の測位結果（ID-10）

試験条件：C2-T2-A1-S1-M5
補強対象：GPS

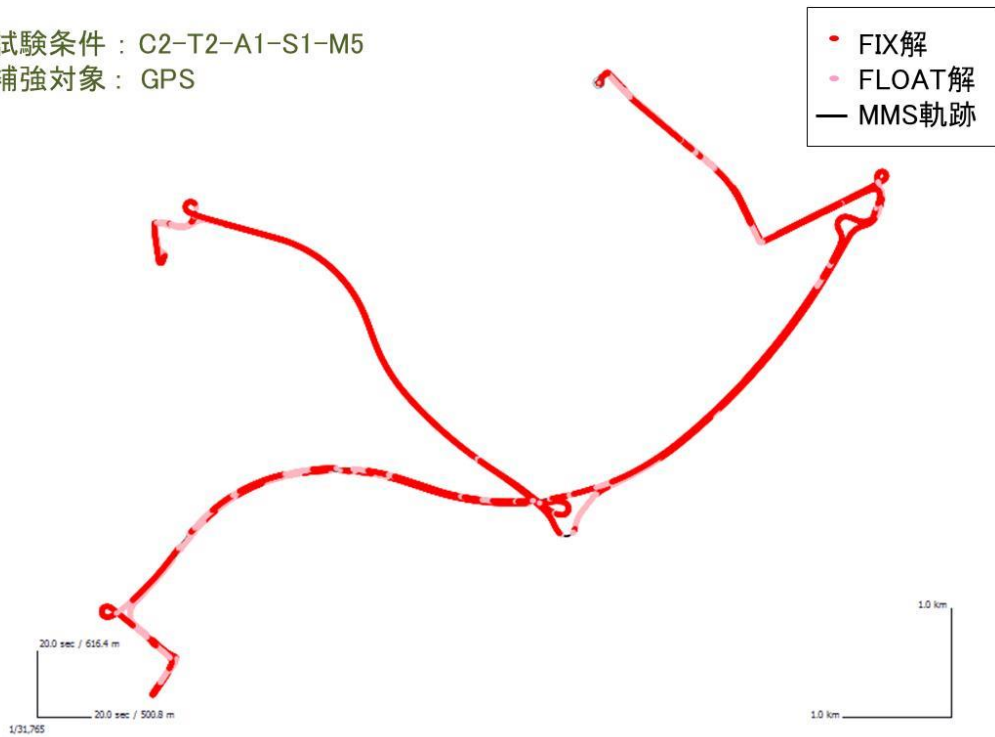


図 5.2.8.11 都市間高速（12月15日）午後の測位結果（ID-11）

試験条件：C2-T2-A1-S2-M5
補強対象：GPS+QZS

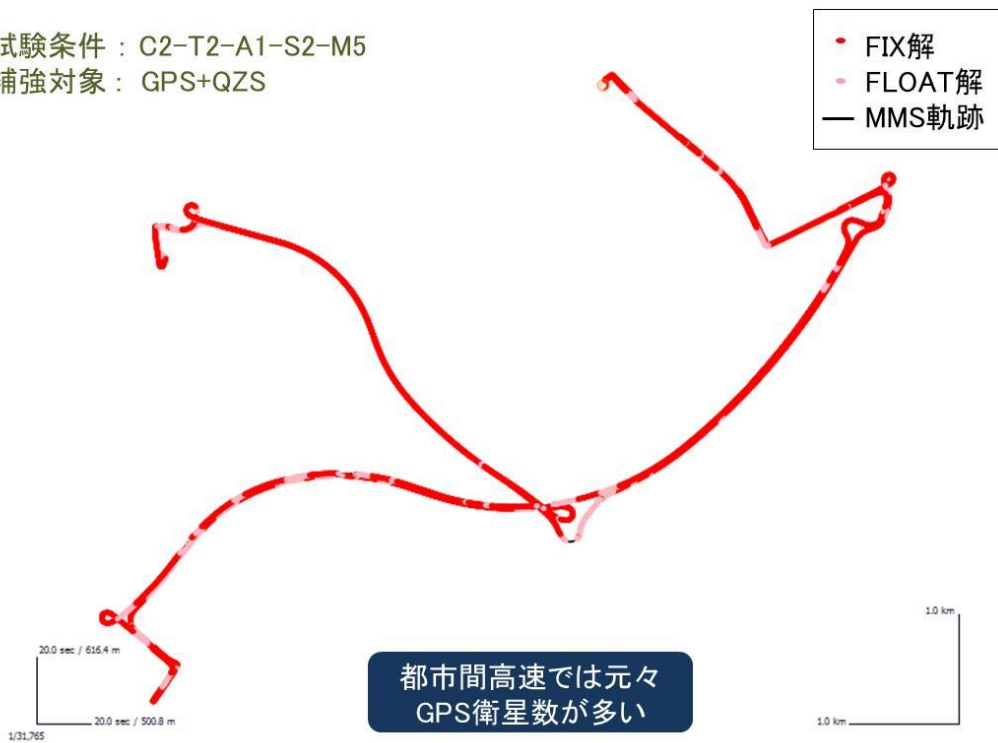


図 5.2.8.12 都市間高速（12月15日）午後の測位結果（ID-12）

場所	区間長(A)	最大誤差(B)		区間10m当りの誤差(B÷A)	
		水平	垂直	水平	垂直
1	15 m	0.12 m	0.07 m	0.08 m	0.05 m
	35 m	0.08 m	0.20 m	0.02 m	0.06 m
2	330 m	1.05 m	1.41 m	0.03 m	0.04 m
3	370 m	2.15 m	1.56 m	0.06 m	0.04 m

(注) 区間長：衛星測位のみでは位置が計測できなかった道路長

表 5.2.8.3 に示すとおり、ハイブリッド測位を行った場合、衛星測位ができない区間における最大誤差は、区間 10m 当たり数 cm 程度である。

ハイブリッド測位では、衛星測位の弱みであるマルチパス誤差の影響を避けることができる。一方で、絶対位置が得られない慣性航法区間では累積誤差が発生するという課題がある。ここでは、十数～数十mの区間で 10cm 程度の水平誤差が発生している。

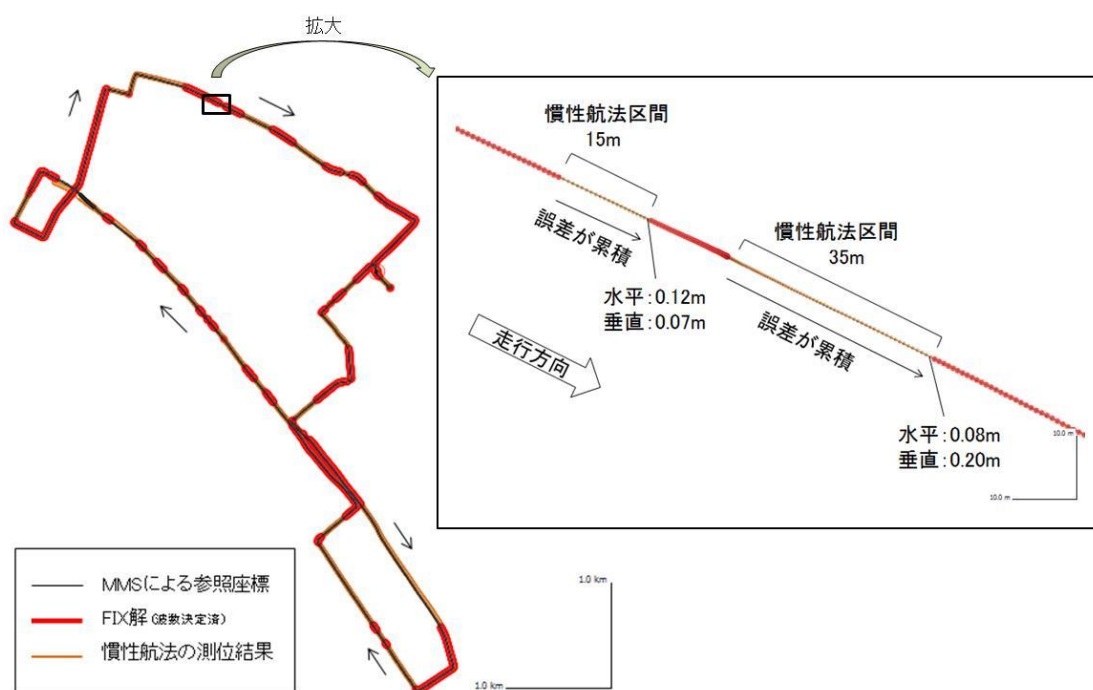


図 5.2.8.14 ハイブリッド測位における位置の品質評価結果

5.2.8.2 MADOCA-PPP：再収束の改善

現状の PPP 方式は収束に約 30 分程度の時間を要するという課題がある。測位が中断した後の復帰時にはアンビギュイティの再推定が必要であり、これにより再収束過程に入ってしまう。このため、走行中に再収束過程に入った場合には十分に収束するまで所定の精度が得られず、特に再収束過程中に高架下の通過等による測位中断が発生することが繰り返され、収束することができない場面が多い。この課題の克服の方式の一例を紹介する。

測位復帰時の収束時間を短縮するためには推定パラメータの正しい初期値を与えることが有効である。推測航法その他の手段で測位不可区間の位置を求めることが可能であれば、測位復帰時にこれを推定パラメータの初期値として再収束を行うことで、測位解の乱れを低減し精度を改善することができる。また、両サイド建物のような環境では衛星からの信号が建造物等に反射してアンテナへ到達するマルチパスが発生し所定の精度が得られない。これらの影響を受けている期間を推定して測位不可として除くことで測位率は低下するものの精度の改善を見込める。

図 5.2.8.15 及び図 5.2.8.16 に、都市間高速における MADOCA-PPP 測位に関し、当該手法を使用した場合及び使用していない場合の結果（RTK 測位との差）を示す。ここでは自己位置特定手段として RTK 測位結果を使用した。また、双方の測位率（アベイラビリティ）と測位精度（RMS）を表 5.2.8.4 に示す。

この手法の採用により、水平方向の誤差は RMS 値で約 2.0m から 0.08m へ改善した。なお、再収束実施までの測位不可時間が増加するため測位率は低下するが、車載センサを用いた推測航法による補完や、使用衛星の選択に関するチューニング等を行うことで向上するものと考えられる。また、現状 MADOCA-PPP におけるアンビギュイティ推定は実数値で行っているため FIX 解が存在しないが、2015 年中には整数値推定が可能となり、FIX 解が得られることで精度の向上が見込まれている。

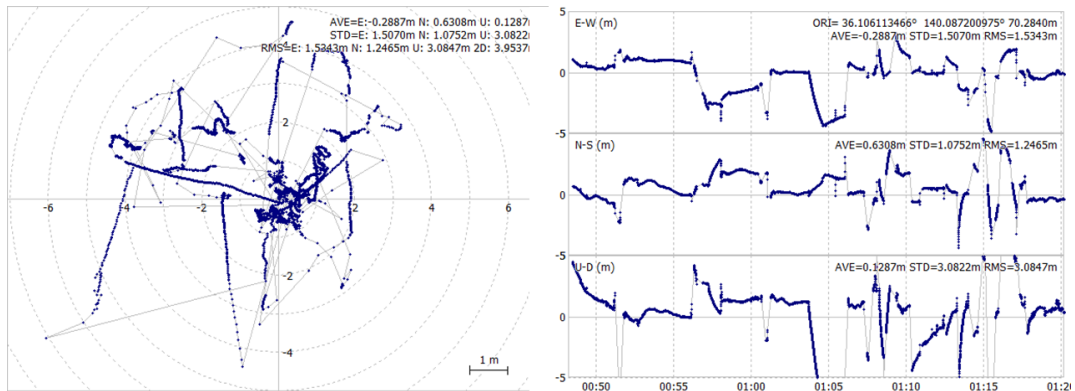


図 5.2.8.15 再収束改善手法不使用時の MADOCA-PPP の結果
(左図：平面誤差 右図：東西/南北/上下誤差の時間変移)

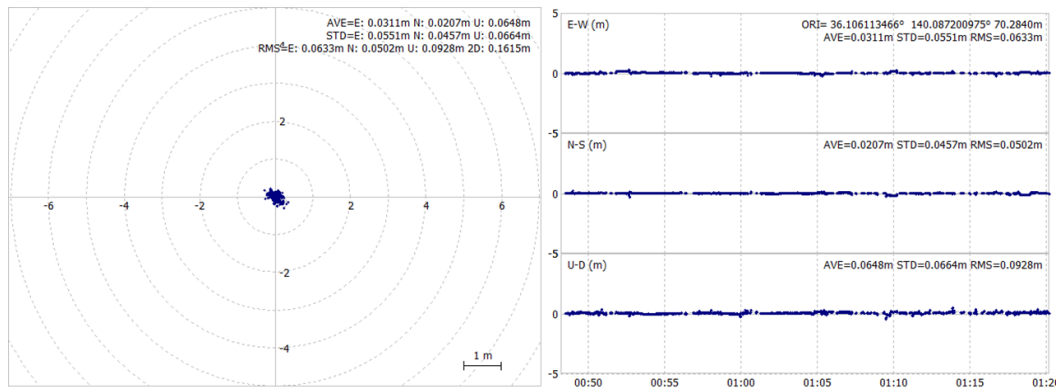


図 5.2.8.16 再収束改善手法使用時の MADOCA-PPP の結果
(左図：平面誤差 右図：東西/南北/上下誤差の時間変移)

表 5.2.8.4 MADOCA-PPP の再収束改善手法使用前後の結果比較

方式	アベイラビリティ		測位精度(RMS)	
	測位可	測位不可	水平	垂直
MADOCA-PPP (改善前)	99.5%	0.5%	1.976m	3.085m
MADOCA-PPP (改善後)	77.2%	22.8%	0.081m	0.093m

第6章 まとめと課題

6.1 マルチ GNSS 効果と補強効果

都市間高速では、マルチ GNSS や補強情報の利用によりコード測位でもレーン判別に活用できる可能性がある。GPS+QZSS に L1-SAIF 補強を加えることで左右誤差 0.5m 以内の割合は 80%以上、1.5m 以内の割合は 95%以上に向上するなど、補強効果が大きく表れていることを確認した。コード測位受信機においても、GPS+QZS+BeiDou (SBAS 補強) で左右誤差 1.5m 以内の割合が 96%に達した。都市部では、遮蔽による信号数の減少やマルチパスの影響により測位率や精度が劣化するが、マルチ GNSS の利用によって測位率や Fix 率が改善された。測位中断時の振る舞いについては、マルチ GNSS の利用により測位復帰までの時間が短縮されることを確認した。現状、補強対象のシステム、信号が限定されているため、今後の課題としては、補強対象の衛星システムや信号の拡充が挙げられる。BeiDou は日本国内では衛星配置が偏っているものの安定して信号が受信できるため、BeiDou の利用効果は高く、また、本調査では評価対象外であった Galileo については、GPS や QZSS との相互運用性が高く、今後の衛星数増加も期待できることから、これらの衛星システムも補強対象に追加するべきである。一方 GLONASS は暦の精度が悪く、他衛星システムとの測位信号多重化方式に差異がある等の制約があり精度改善への寄与が小さいが、GLONASS の利用効果を最大化するためにも補強情報の追加や測位方式の検討を実施するべきである。さらに、補強対象衛星の増加により、ユーザが高品質な信号の衛星を選択的に使用できるようなアルゴリズムの開発検討が必要である。

6.2 マルチパス低減方法についての検討

取得したデータを用いて後処理によりマルチパスを低減する方法の検討を実施し、マルチ GNSS の利用がマルチパスの低減に有効であることを確認した。都市部ではマルチパスや反射波の影響をいかに除去できるかが精度改善に寄与するが、リアルタイムにこれらの影響を除去する手法の確立と実用化へ向けた検討が必要である。また、受信機内の信号処理やアンテナの工夫に加え、直接波受信可能な衛星数の増加を前提としたマルチパス除去アルゴリズムの開発と検証を実施するべきである。

6.3 測位中断箇所/精度悪化箇所の状況の把握

今後の分析、受信機の改善、他の位置特定手段が必要な場所の把握につながるデータ取得、検討素材を収集した。高架下や両側が建物で囲まれている環境、あるいはアンダーパスのような環境は衛星測位利用ができない。このような測位不可区間において衛星測位を

補完する技術や、測位可能になってからの速やかな初期測位時間短縮が必要である。また、マルチパス環境下での衛星測位解の信頼性判断のための手法の確立が重要である。また、インフラ整備の効率化やセンサ統合時に衛星測位結果の正確性、インテグリティ判定への本調査成果の活用に向けた検討を実施するべきである。例えば、受信レベル、受信衛星数、搬送波位相ーコード擬似距離差、疑似距離残差などから、周辺環境判定に有用なデータを識別、走行経路上にマッピングして分析することが有効であると考えられる。

参考 CMAS に関する補足情報：一周波における CMAS 補正情報の利用

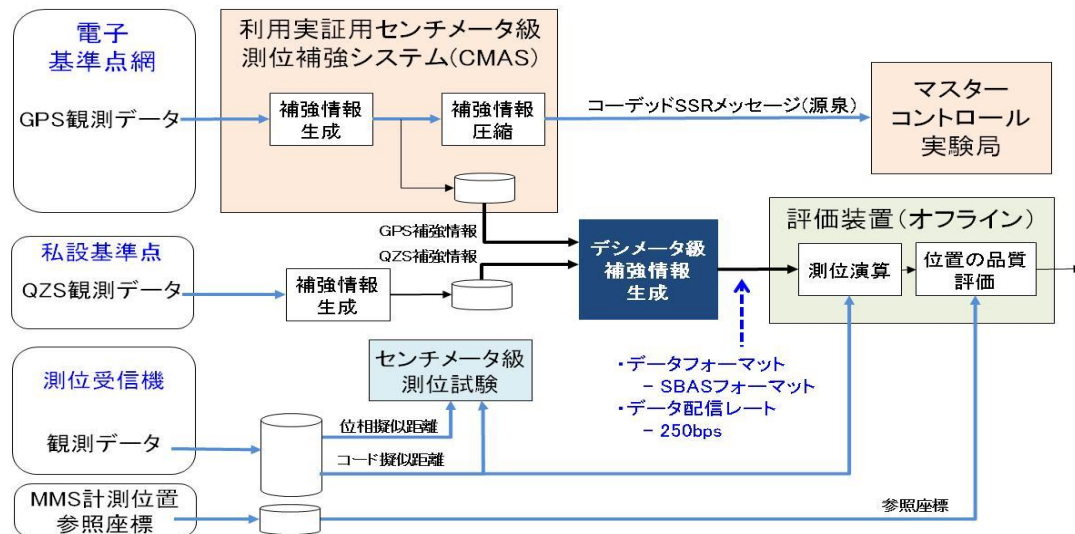
CMAS は移動体測位に適合するよう、初期位置算出時間(TTFF：Time To First Fix)を短縮し得る二周波搬送波位相測位（開発目標：60 秒以下）を基本としているが、この補強情報は一周波測位にも適用可能である。本項でその事例を示す。

(1) 一周波搬送波位相測位

TTFF が若干長くても許容できる用途では、一周波搬送波位相測位のニーズがある。CMAS で計測した結果、TTFF は 2~4 分程度であるが、位置の品質は二周波搬送波位相測位と同等である。

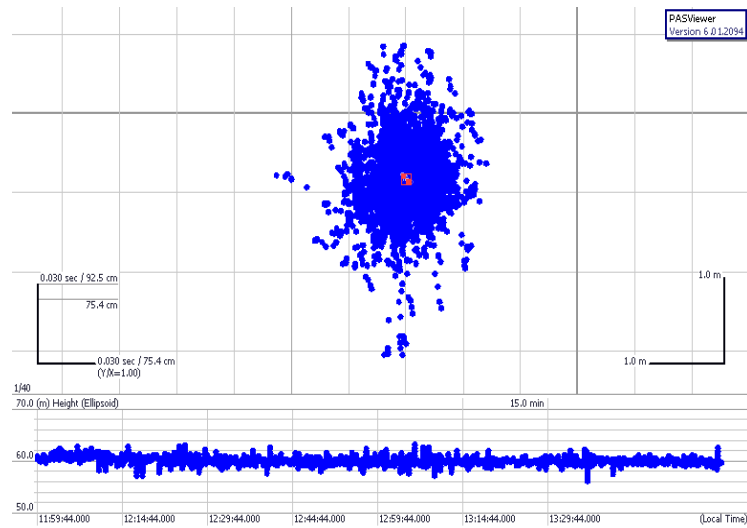
(2) 一周波コード測位

CMAS で生成したセンチメートル級補強情報を用い、データフォーマットと配信レートを SBAS 規格に整合させたデシメータ級補強情報を生成した。このデシメータ級補強情報を用いて、一周波コード受信機(キャリアスムージング機能付)で行った測位における位置の品質を評価した。



図参 2-1 CMAS 補強情報を活用した一周波コード測位の評価方法

図 3.4.5-4 に示した二周波搬送波位相測位と同一の測位信号を用い、この一周波コード測位を行った結果、水平の RMS 誤差は 0.3m（偏り 0.2m、標準偏差 0.2m）と、デシメータ級の測位が実現できた。



図参 2-2 CMAS 補強情報を活用した一周波コード測位の評価結果

デシメータ級測位は比較的安価な受信機（キャリアスミージング機能付）で実現できるため、様々な用途に活用される可能性がある。また、搬送波位相測位では、高速に整数値バイアスを決定するためには、少なくとも衛星が5機以上必要であるが、一周波コード測位では最少4機で測位可能であり、測位率が向上する。