

TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

歩行者でのGNSSの測位精度評価に関する研究

メタデータ	言語: ja 出版者: 公開日: 2024-05-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 姚, 凝致 メールアドレス: 所属:
URL	https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/2000177

修士学位論文

歩行者での GNSS の
測位精度評価に関する研究

2023 年度
(2024 年 3 月)

東京海洋大学大学院

海洋科学技術研究科

海運ロジスティクス専攻

姚凝致

修士学位論文

歩行者での GNSS の
測位精度評価に関する研究

2023 年度
(2024 年 3 月)

東京海洋大学大学院

海洋科学技術研究科

海運ロジスティクス専攻

姚凝致

目次

第1章 はじめに	1
1.1. 概要	1
1.2. 研究背景	2
1.3. 研究目的	8
第2章 GNSS の測位原理とスマートフォンでの利用可能性	9
2.1. 単独測位	9
2.2. DGNSS	9
2.3. RTK	9
2.4. PPP	10
2.5. 衛星配置による影響	11
第3章 スマートフォンでの位置精度	14
3.1. 屋上データ	14
3.1.1. 実験概要	14
3.1.2. 実験結果	16
3.2. 大学構内データ	17
3.2.1. 実験概要	17
3.3. 都内複数個所でのデータ	27
3.3.1. 実験概要	27
実験結果	28
第4章 交通事故の多い交差点でのデータ	30
4.1. 死亡事故発生現場	30
4.1.1. 実験方法	30
4.1.2. 実験結果	31
4.2. 指定した交差点	46
4.2.1. 実験方法	46
4.2.2. 実験結果	47
第5章 結論	54
5.1. まとめ	54
5.2. 歩行者の交通事故防止とスマートフォン利用の可能性	54

5.2. 今後の課題	55
参考文献.....	55

第1章 はじめに

1.1. 概要

近年、スマートフォンの普及が進み、位置情報技術がさまざまな分野で利用されている。その一つとして、交通事故の低減にスマートフォンが活用できるかどうかが本研究の目標である。過去2年間の交通人身事故データによると、都内の交通死亡事故は自動車の単独事故より、歩行者や自転車、二輪車と自動車の衝突事故が多数を占めている。令和2年都内の交通事故死者155人中141人、令和3年都内の交通事故死者133人中116人、約9割を占めている。自動車の位置推定の研究は多くされているが、歩行者や自転車の位置推定の研究はあまりされていない現状がある。位置情報は交通事故抑制のために利用できる可能性を秘めており、本研究ではスマートフォンを利用した場合の現段階での位置精度がどの程度のものかを調査する。スマートフォンのGlobal Navigation Satellite System（以下、GNSS）測位精度評価結果を元に、歩行者や自転車利用者に対する安全対策に適用可能な位置情報技術の向上を目指す。

まず、日本国内の交通事故の現状について分析する。2020年には、交通事故発生件数が309,178件、負傷者数が369,476人、死者数が2,839人（以降、発生より24時間以内とする）であった。2021年には、発生件数が305,196件、負傷者数が362,131人、死者数が2,636人であった。さらに、2022年には発生件数が301,193件、負傷者数が356,419人、死者数が2,610人である。これらのデータの内訳を調査することで、歩行者や自転車利用者の安全対策が重要であることを示す。

次に、スマートフォンのGNSS測位精度を実験結果元に詳細に調査する。実験では、一般道の交差点や東京海洋大学越中島キャンパス構内において、歩行時の測位精度をレファレンスとなるRTK測位と同時に実施することで検証した。ここでは測位精度に影響を与える要因について考察した。交差点については、交通事故が多い交差点を東京都内でいくつか抽出した。キャンパス構内では、ビル周辺と比較的開けた環境でのデータを取得した。これらのデータより、スマートフォンの実際の測位精度を明らかにした。スマートフォンを歩行中に持つまたは置く位置による精度の違いについても明らかにした。自転車での測位精度の評価は、研究室のメンバーで自転車通勤をしている方に依頼し、通勤経路での測位精度をおおよそ検証した。ここまでは、スマートフォンの内蔵GNSSチップによる測位精度を評価してきたが、現状スマートフォンではRTK測位等の補正データは利用されていない。そのため、スマートフォンにGNSSの補正データが適用できた場合の精度について検証した。具体的には、スマートフォンより観測データを取得し、別の測位エンジンを利用して、単独測位、DGNSS、RTKの測位精度を評価した。これらの結果より、現状のスマートフォンに補正データを適用できた場合の将来の測位精度をおおまかに予測した。

本研究により、スマートフォンによる位置情報の測位精度をある程度明らかにすることができた。これら情報を活用して交通事故低減策の可能性を測ることができ、今後の安全対策やシステム開発に役立つ情報が得られることが期待される。また、近未来に補正データ等を利用することができるようになるとスマートフォンの測位精度がより向上することが期待される。特に、歩行者や自転車利用者が関与する交通事故の割合が高いことから、実際にどのようにお互いの位置情

報を連携していくかが今後重要なテーマとなる。本研究成果が、その一助となればと考えている。

1.2. 研究背景

近年、交通事故の発生件数は徐々に減少しているものの、歩行者や自転車利用者を巻き込む事故は依然として高い割合を占めている。特に、都市部の交通事故では、自動車同士の衝突よりも歩行者や自転車、二輪車と自動車の衝突事故が多く発生しており、それらによる死亡事故も多い。このような背景から、歩行者や自転車利用者の安全対策が急務となっている。

交通事故（死傷事故）は年々減少傾向にあるが、依然として約 30 万件が発生し、多くの人々が交通事故による被害を受けている。特に、横断歩道を渡っている歩行者（以下、横断歩行者）と四輪車の間での重大事故が多数発生しており、政府は運転者に対する横断歩道に関するルールの再認識と、歩行者の優先順位を徹底させるための周知活動を推進している。これは横断歩道の安全性向上に対する関心が高まっていることを示している。

まず近年の日本における交通事故数と死亡人数の傾向を検討するため、過去数年間の公式統計データを分析する。

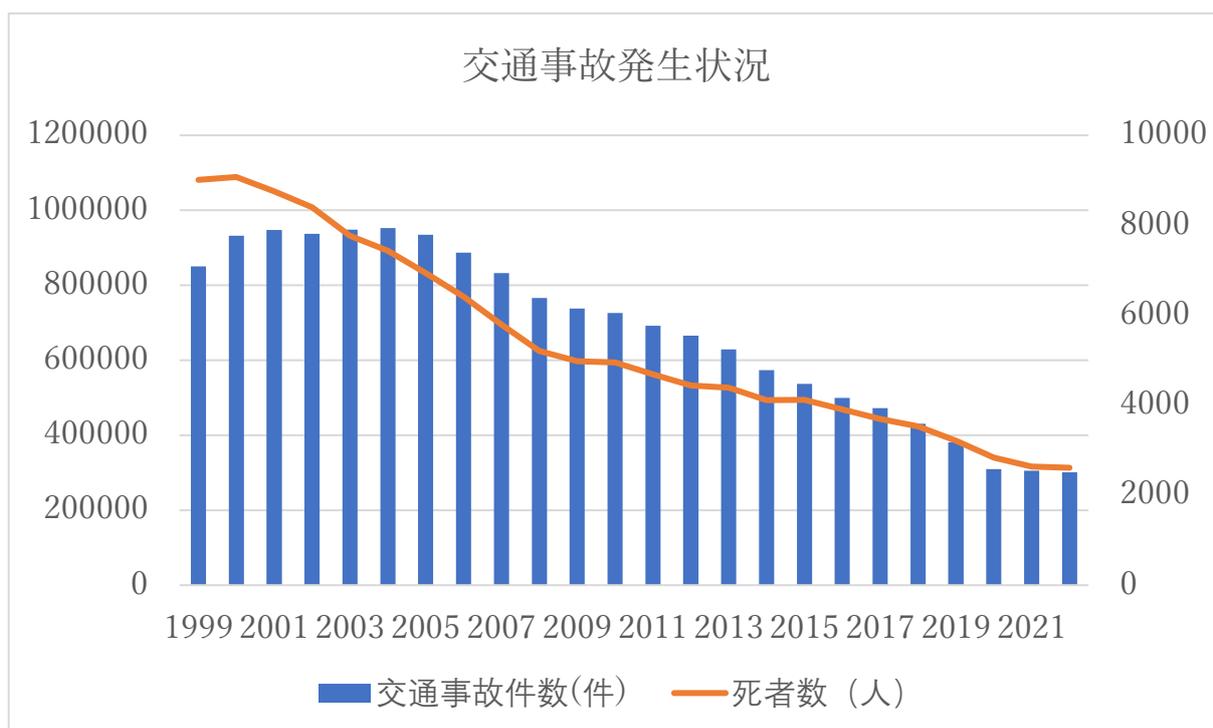


図 1.1 交通事故発生状況
(1999 年～2022 年合計)

(出典) <https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/toukeihyo.html>

交通事故数は過去数年間で比較的安定しており、年間約 30 万件の事故が発生している。これは、安全対策の施行や交通インフラの改善などが一定の効果を発揮していると考えられるが、依然として大量の事故が発生し、多くの被害者が出ている現状が改善されていないことを示している。

一方、交通事故による死亡者数は少しずつではあるが減少傾向にある。2020年の死亡者数は2,839人、2021年は2,636人、そして2022年は2,610人となっている。これは、自動車の安全技術の進歩、ドライバーの安全意識の向上、交通法規の厳格化などが影響していると考えられる。

しかしながら、交通事故による死亡者数が年々減少しているとはいえ、一人でも多くの命を救うためには、さらなる対策の強化と取り組みが必要である。特に、歩行者や自転車利用者と自動車との衝突による事故が多いことから、これらの交通参加者に対する安全対策の重要性が示唆される。その一環として、スマートフォンの位置情報を活用した新たな安全対策の可能性について本研究では探求する。

特に、四輪車と横断歩行者との間で発生した死亡事故の数は、事故発生場所によると、全体の約91%が交差点で発生しており、その中でも約69%が信号交差点で発生している。このことから、信号交差点での横断歩行者と自動車との事故防止が急務であることが明らかとなる。

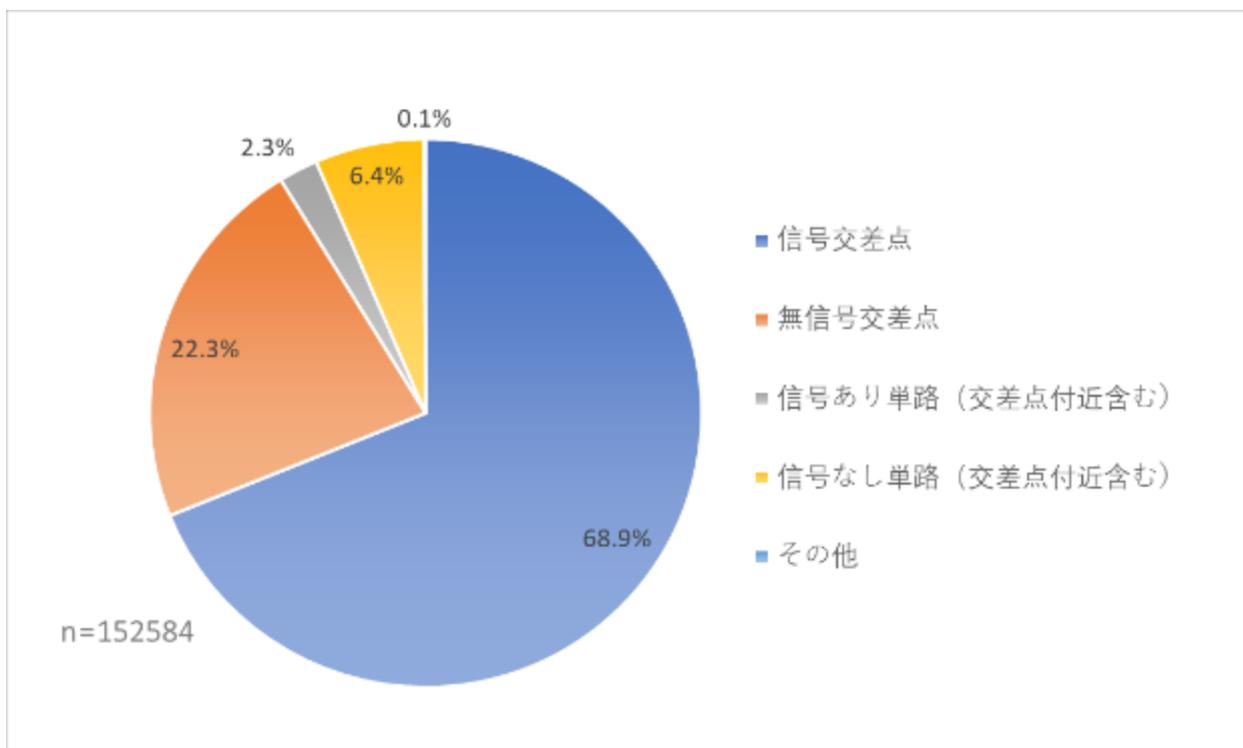


図 1.2 発生場所別四輪車対横断歩行者事故件数
(2011年～2020年合計)

(出典) <https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/toukeihyo.html>

過去数年の交通事故統計データに基づくと、日本全体の交通事故による死者数は一般的に減少傾向にある。しかしながら、歩行者が亡くなる事故による死者数の割合は依然として高く、さらに上昇傾向にあるという事実は深刻な懸念を引き起こしている。

具体的には、歩行者を含む非自動車利用者（歩行者、自転車利用者、二輪車利用者）が交通事故の当事者となるケースが多いことが明らかになっている。特に、歩行者が事故の当事者となるケースにおいては、全体の死者数に占める割合が高い。これは、自動車と比較して非自動車利用者

が事故時の物理的保護が不足していること、また、非自動車利用者の存在や動きが自動車運転者にとって予測しにくいことなどが原因として考えられる。

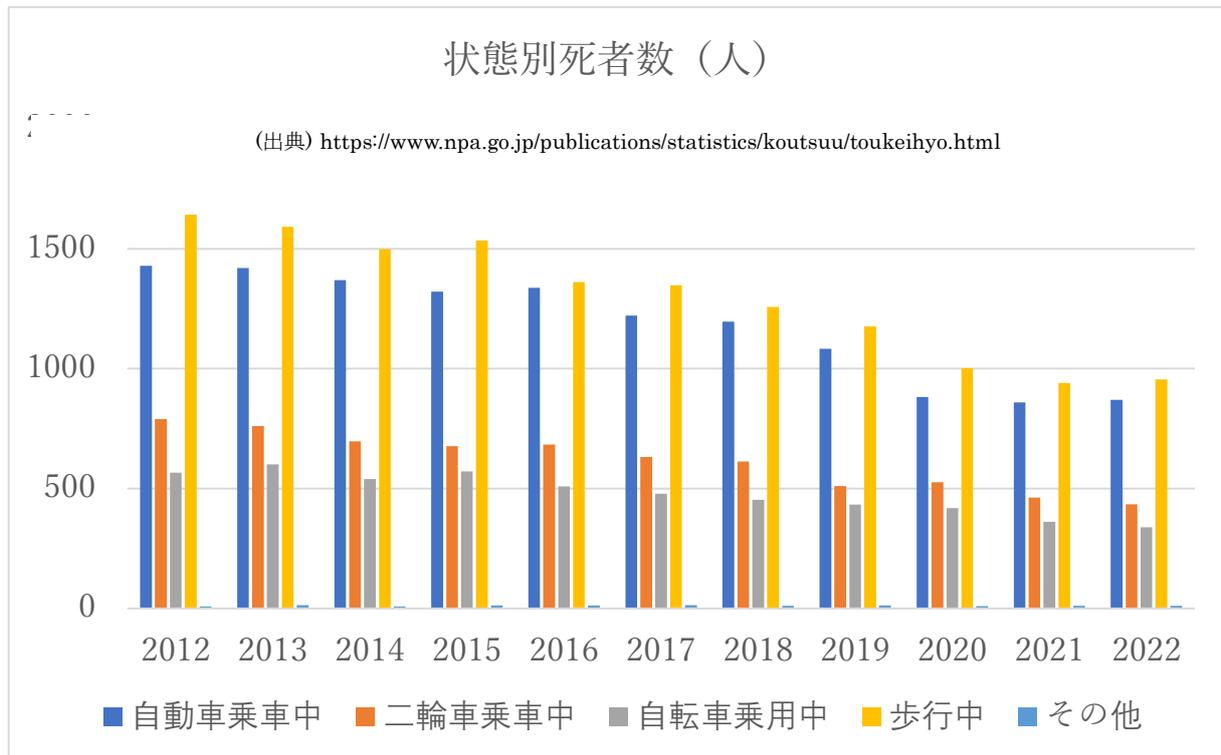


図 1.3 状態別死者数
(2012年～2022年合計)

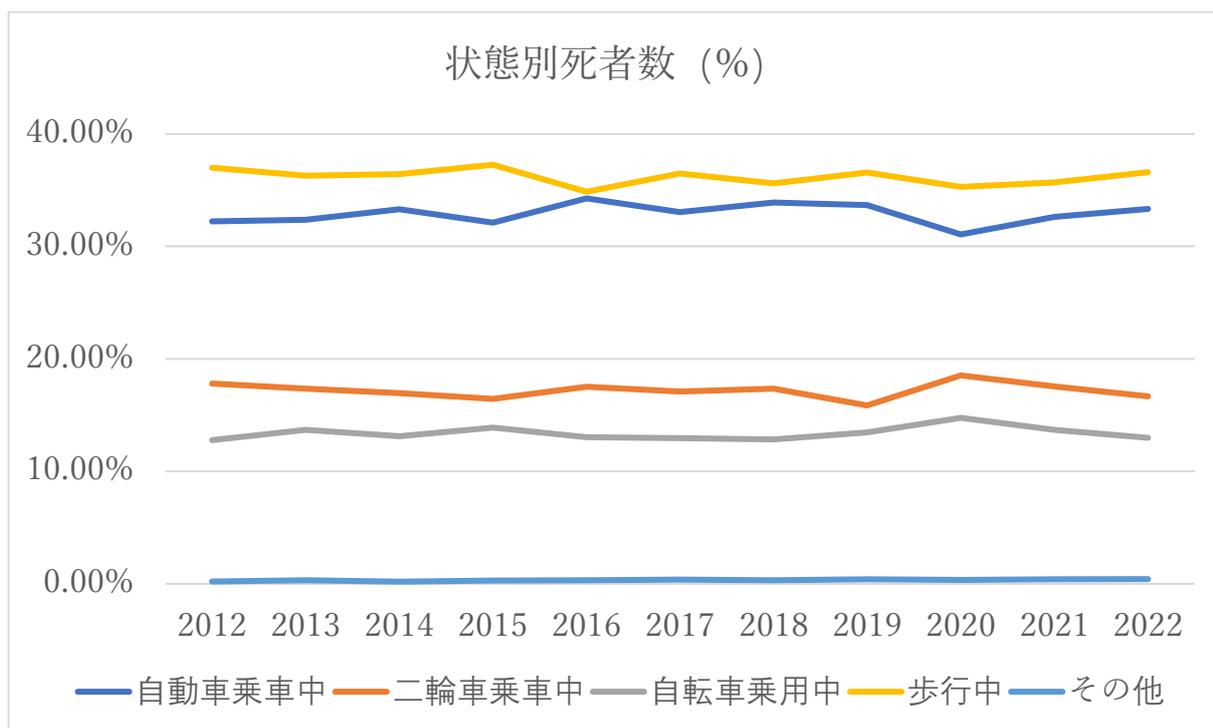


図 1.4 状態別死者数%
(2012年～2022年合計)

(出典) <https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/toukeihyo.html>

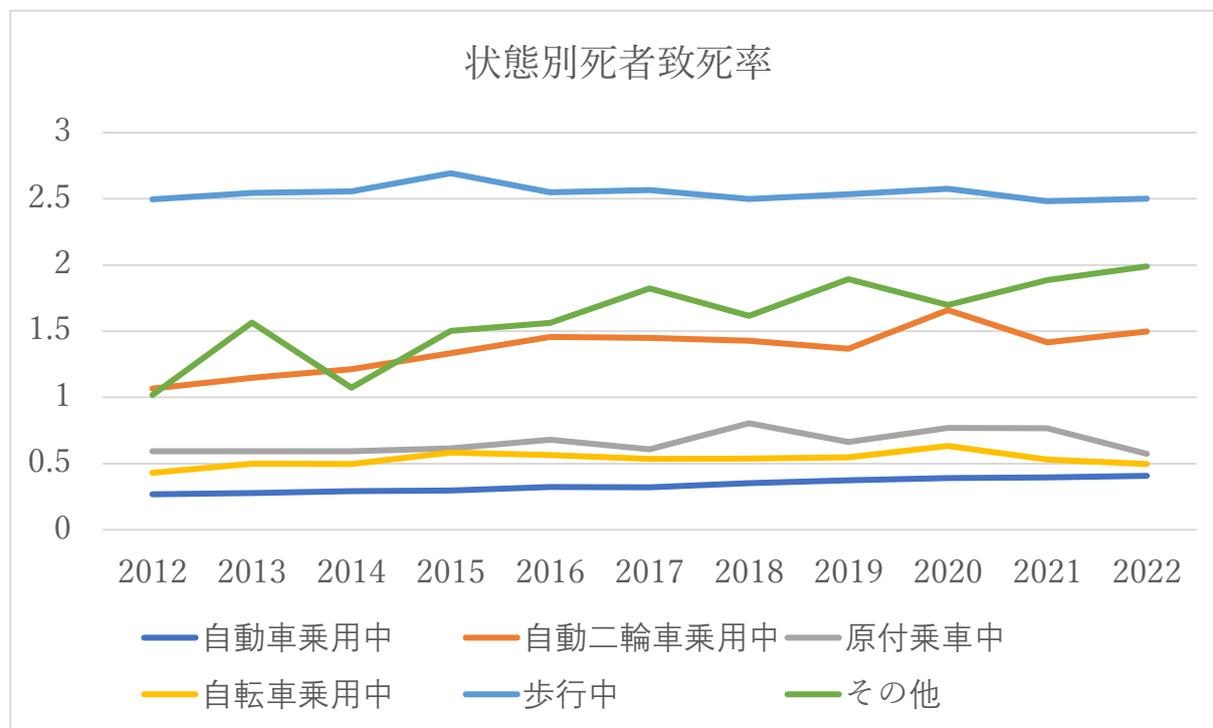


図 1.5 状態別死者致死率
(2012年～2022年合計)

(出典) <https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/toukeihyo.html>

このような状況を改善するためには、歩行者の安全を向上させるための取り組みが不可欠である。特に、道路利用者間の位置情報の共有を可能にする技術の開発が求められている。それにより、自動車運転者が歩行者の存在や動きを早期に認識し、適切な対応を取ることが可能になる。これにより、歩行者の交通事故による死傷のリスクが大幅に軽減されることが期待される。

以下はスマートフォンを利用した交通事故防止に向けた企業の取り組みの紹介である。

KDDI 株式会社（本社：東京都千代田区、代表取締役社長：高橋 誠、以下 KDDI）、株式会社出前館（本社：東京都渋谷区、代表取締役社長：藤井 英雄、以下 出前館）、三井住友海上火災保険株式会社（本社：東京都千代田区、代表取締役社長：舩曳 真一郎、以下 三井住友海上）、MS&AD インターリスク総研株式会社（本社：東京都千代田区、代表取締役社長：中村光身、以下 MS&AD インターリスク総研）は 2023 年 2 月 1 日から 2023 年 2 月 28 日まで、公道においてスマートフォンの位置情報を活用し、運転手に車両の存在を通知し安全運転を支援する実証実験（以下 本実証）を実施します。

本実証はトヨタ自動車株式会社（本社：愛知県豊田市、代表取締役社長：豊田 章男、以下 トヨタ自動車）、日本交通株式会社（本社：東京都千代田区、代表取締役社長：若林 泰治、以下 日本交通）と連携し取り組みます。

本実証に向け KDDI はトヨタ自動車と共に、GNSS で計測したスマートフォンの位置情報をもとに、自転車・原動機付自転車・自動車が同じ交差点に接近した際にそれぞれの運転手のスマートフォンへ自動通知する機能（以下 本機能）を開発しました。交差点の死角に隠れている自転車・原動機付自転車・自動車の存在を、安全面に配慮した通知によってそれぞれの運転手が事前に把握することができます。



図 1.6 本機能のイメージ

本実証は東京都板橋区の公道で実施します。出前館、日本交通が本機能を搭載したスマートフォンを通常業務の中で利用し、本機能による事故削減効果や受容性を検証します。自転車・原動機付自転車の運転手に対しては運転後に、運転中に潜んでいた危険をフィードバックし、従業員への適切な運転指導を支援します。

三井住友海上とMS&AD インターリスク総研は、事故の削減・被害軽減効果のデータ提供・検証、およびリスクマネジメント支援などを通じて本実証を支援します。

今後各社は、本実証で得られた成果をもとに自転車・原動機付自転車と自動車の事故削減に向けた取り組みを継続していきます。また、本機能の普及に向けさまざまなパートナー企業と連携し、本機能の社会実装を目指します。

■背景

コロナ禍によるデリバリーサービスの需要増加に伴い、自転車・原動機付自転車と自動車の交通事故が増加しています。

また、自動車・原付の対自動車の事故形態は「信号の無い交差点における出会い頭事故」が、それぞれ、24,166件、5,141件と最も多くを占めています。主な事故原因として、自転車・原動機付自転車が建物などの死角に隠れてしまい発見が遅れることが考えられています。そのような中、現在の自動車のセンサーでは検知できない死角を補うことを目的に本機能を開発しました。

■本実証について

1. 概要

(1) 自転車・原動機付自転車と自動車の出会い頭情報提供機能の検証

- ・スマートフォンの位置情報を活用し、自転車・原動機付自転車・自動車の位置情報をトラッキングサーバーに定期的にアップロードします。見通しの悪い交差点付近において、自転車・原動機付自転車・自動車が接近したことをトラッキングサーバーが予測・検知すると、通知音・バイブレーション・警告画面を通じてそれぞれの運転手に自動通知します。
- ・道路や交差点の形状、乗り物の種類に応じて、通知のタイミングを個別に設定しているため、精度の高い事故防止を実現します。
- ・アプリ上の位置情報を活用するため、au回線以外でも利用可能です。

(2) 運転後の自転車・原動機付自転車の運転結果フィードバック機能の検証

- ・運転後には、一時停止違反や急ブレーキの実施などの運転結果を自転車・原動機付自転車の運転手へフィードバックすることで運転意識の向上を図ります。

2. 各社の役割

社名	役割
KDDI	自転車・原動機付自転車の存在通知機能、運転結果フィードバックの提供（スマホ、クラウドの機能配置、アーキテクチャ検討、実装、運転結果分析）
出前館	機能の評価、配達員（自転車・原動機付自転車）の位置情報の提供
三井住友海上	事故の削減・被害軽減効果のデータ提供・検証
MS&AD インター リスク総研	リスクマネジメント施策・リスクアセスメント支援
トヨタ自動車	自転車・原動機付自転車の存在通知機能、運転結果フィードバックの提供（ドライバーへの通知方法、フィードバック項目検討）
日本交通	機能の評価、ドライバーの位置情報の提供

- 注1) Global Navigation Satellite System（全球測位衛星システム）の略。
- 注2) 交通事故総合分析センターの事故データ（2019年）を基に独自に分析

（出典）<https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2023/01/30/6519.html>

1.3. 研究目的

本研究の目的は、スマートフォンを用いたGNSS測位精度の評価を通じて、都市部における歩行者と自転車利用者の安全性を向上させることである。具体的には、次の目標を達成する：

スマートフォンを利用したGNSS測位精度の現状調査：本研究は、現代のスマートフォンにおけるGNSSの測位精度を、都市環境および様々な条件下で詳細に評価する。屋上、大学構内、都内の複数の場所での測位精度を比較し、GNSS技術の利用可能性を明確にする。

交通事故の多い交差点での測位精度の評価：交通事故発生地点として特定された交差点でのスマートフォンによるGNSS測位精度を調査し、その結果から交通安全への直接的な応用を探る。

スマートフォンの位置精度評価とその応用：実験によって得られたデータに基づき、スマートフォンの位置精度を総合的に評価する。これをもとに、歩行者の交通事故防止への応用を具体的に論じ、今後の安全対策やシステム開発に役立つ情報を提供する。

これらの目的を達成することにより、都市部における交通安全の向上に寄与し、特に歩行者と自転車利用者の安全性を高めることを目指す。また、本研究の成果は、スマートフォンの測位技術の進化に対する理解を深め、将来の安全対策の開発に貢献する。

第2章 GNSSの測位原理とスマートフォンでの利用可能性

GNSS (Global Navigation Satellite System) は、地球上の任意の位置や速度を測定するためのシステムで、これまでに4つの主要な測位原理が確立されている。

2.1. 単独測位

単独測位 (Single Point Positioning, SPP) は、最も基本的なグローバルナビゲーション衛星システム (GNSS) 測位手法である。この手法では、受信機は最低4つの衛星からの信号を受信し、それぞれの衛星からの距離 (擬似距離) を計算する。擬似距離は、信号が送信された時刻と受信時刻の差から求められる。しかし、受信機と衛星の時刻同期が完全ではないため、時刻誤差が生じる。このため、4つ目の衛星信号を利用して、時刻誤差を補正する。測位には衛星位置情報が必要であり、これは衛星から送信されるナビゲーションメッセージに含まれる。ナビゲーションメッセージには、衛星の軌道要素 (エフェメリス) や時刻情報、衛星の健康状態などが含まれる。受信機が4つの衛星からの擬似距離と衛星位置情報を取得すると、三次元空間での自身の位置 (X, Y, Z座標) と時刻誤差を同時に求めることができる。主に最小二乗法やカルマンフィルタなどのアルゴリズムを用いて計算する。単独測位の精度は、通常、メートルレベルである。

2.2. DGNSS

ディファレンシャル GNSS (DGNSS) は、単独測位の精度を向上させる手法である。DGNSS では、基準局と呼ばれる固定された既知の位置にある受信機から補正情報 (通信手段が必要) を移動局 (ユーザーの受信機) に送信する。移動局は、受信した補正情報を用いて、自身の位置を測位する。この過程で、双方の受信機で観測される共通の誤差 (例えば、大気遅延や衛星位置・時計誤差) が相殺されるため、高い精度が得られる。DGNSS によって、測位精度は1メートル未満のレベルまで向上することが可能である。DGNSS と似た測位手法に SBAS と SLAS がある。SBAS は衛星より補正データを放送するシステムのことで、主に航空機用に GPS のみで利用されている。おそらく今後他の測位システムも利用できるようになるだろう。SLAS は日本で利用できる測位方法で、国内の14局の基準局データより GPS と QZSS の補正データが準天頂衛星で放送されている。精度はおおむね DGNSS と同等である。

2.3. RTK

リアルタイム・キネマティック (RTK) は、DGNSS の一種であり、高い測位精度を提供する手法である。RTK では、搬送波位相を用いた測位が行われる。搬送波位相は、衛星から送信される電波の位相情報であり、その測距精度はミリメートルレベルである。RTK では、基準局より補正情報 (通信手段が必要) が送信され移動局で精密な測位が行われる。この過程で、双方の受信機で観測される共通の誤差 (例えば、大気遅延や衛星位置・時計誤差) が相殺されるため、高い精度が得られる。RTK 測位の精度は、通常、水平方向で1センチメートル程度である。ただし、RTK の利用にはいくつかの制約がある。まず、基準局と移動局間の距離は10km未満程度

が望ましく、長くなると、誤差の相殺効果が低下し、測位精度が悪化する。

2.4. PPP

高精度単独測位 (Precise Point Positioning, PPP) は、RTK とは異なるアプローチを用いた高精度測位手法である。PPP では、基準局が必要なく、単一の受信機で高精度な測位が可能である。PPP では、衛星の軌道誤差や時刻誤差を一般的に衛星経由で送信し、大気遅延などの誤差を精密に推定することで、高い測位精度を実現する。PPP の精度は、水平方向で数センチメートル、垂直方向で 10 センチメートルである。ただし、精度が 10 cm 未満に安定するまでの収束時間が長いという欠点がある。収束時間とは、測位開始から高精度な位置情報が得られるまでの時間を指す。PPP では、収束時間が数分から数十分かかることが一般的である。昨今は PPP-RTK と呼ばれる測位手法も確立しており、RTK と PPP の中間程度の精度が得られる。PPP-RTK の手法は、RTK の手法に近く、搬送波位相の整数アンビギュイティを FIX させることが通常である。また収束時間はおおむね 1 分以内であり、高架下を通過直後は数秒で収束する。日本国内での PPP-RTK のサービスは CLAS と呼ばれ、2018 年より正式に運用されており、準天頂衛星経由で補正データを受信できる。

グローバルナビゲーション衛星システム (GNSS) の精度と利便性は電波環境に大きく依存する。電波伝播は、地形、建物、気象条件、衛星の配置など、さまざまな要因によって影響を受け、これらの要素は全て測位精度に直接影響を及ぼす。特に、都市環境ではビルや構造物によるマルチパス効果が生じ、測位誤差を増加させる可能性がある。以下の表 2.1 は、単独測位、ディファレンシャル GNSS (DGNSS)、リアルタイム・キネマティック (RTK)、および高精度単独測位 (PPP) の 4 つの主要な GNSS 測位手法が、さまざまな環境条件下でどの程度の精度を達成できるかを示している。

各精度に幅がある原因は、GNSS の測位精度は周囲の電波環境によって大きく変化するためである。ここにあげた測位手法以外にも、上記で述べた通り、SLAS や PPP-RTK があり、SLAS は DGNSS の性能に近く、PPP-RTK は RTK と PPP の中間に位置するものと考えられる。

	単独測位	DGNSS	RTK	PPP
オープンスカイ	数 m 未満	1m 未満	1cm	10cm 未満
	100%	100%	100%	99%
住宅街	数 m～10m	1m～数 m	1cm	10cm 未満
	100%	100%	90～100%	90～99%
中低層ビル街	数 m～10m 超	1m から 10m 超	数 cm	10cm～1m
	100%	100%	80～90%	80～90%
高層ビル街	数 m～100m 超	数 m～100m 超	数 cm～10cm	?
	80～100%	80～100%	50～70%	?

表 2.1 GNSS 測定技術の精度比較表

2.5. 衛星配置による影響

衛星の配置は GNSS 測位精度に大きな影響を与える。GNSS による位置推定精度は、距離の測定精度と（DOP：Dilution of Precision）の積で表される。次のように表現される。

$$\text{位置推定精度} = \text{距離の測定精度} \times \text{DOP}$$

ここで、DOP は衛星の配置を示す指標であり、その値が大きいほど測位誤差が増加する。HDOP（Horizontal Dilution of Precision）は、水平面上の測位精度に影響を与える DOP である。したがって、水平精度は次のように表現される。

$$\text{水平精度} = \text{測定精度} \times \text{HDOP}$$

これらの式は、測位精度を理解するために重要な概念であり、上記以外では、衛星のエフェメリス誤差（衛星の軌道情報の誤差）も考慮する必要がある。特に衛星位置の誤差のうち、視線方向成分の誤差が効いてくる。測位精度を最適化するためには、距離測定精度の向上、DOP 値の最小化、そしてエフェメリス誤差の低減が必要である。エフェメリス誤差の低減は運用側の課題であり、ユーザ側はできるかぎり良い距離測定値と良い衛星配置であることが求められる。

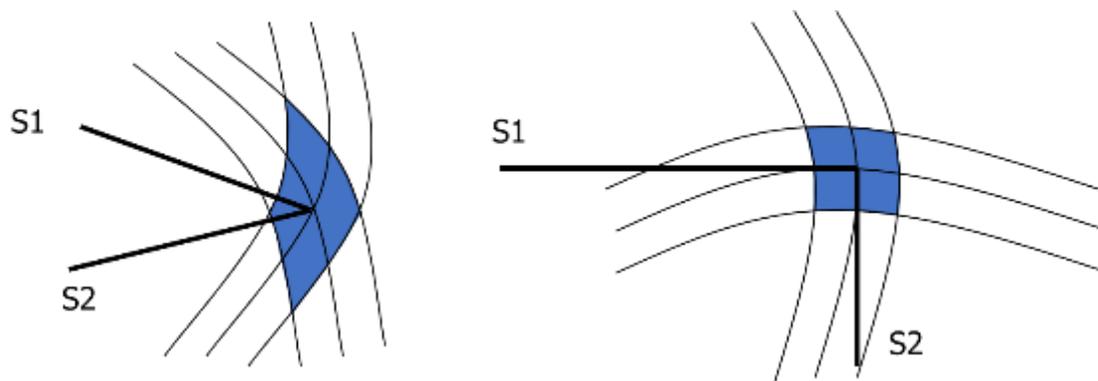


図 2.2 衛星配置

衛星の配置も、GNSS による速度情報の取得精度に対して大きな影響を与える。速度情報は、各衛星からの距離の変化率によって計算されるため、その精度は距離測定の精度（測定精度 × DOP）に直接依存する。速度推定も単独測位と同様に、最低でも 4 機の衛星が必要である。これは、自身の速度ベクトルが 3 つ（X、Y、Z 軸方向の速度）と、自身の周波数オフセットが 1 つ、合計 4 つの未知数を解くためである。

以下は Google Pixel 5 スマートフォンを使用し、DOP の簡易評価を行った。スマートフォンの設置場所は図に示した通りであり、2023 年 6 月午後 3 時頃に開始し、約 1 時間にわたってデータを取得した。



図 2.3 スマートフォンの設置場所

以下の図 2.4 はこのときの水平方向の描画結果である。Google Map の地図は真上方向が北を示し、図 2.4 の結果も真上方向が北を示す。測位分布を見るとわかるように、通常の屋上での結果と比較して、測位誤差の分布が設置した壁の垂直方向に広がっていることが見て取れる。この壁方向の誤差は約 3m 程度で大きくはなかったが、これはスマートフォン内蔵の測位エンジンにフィルタリングの処理がなされているからであると予想される。

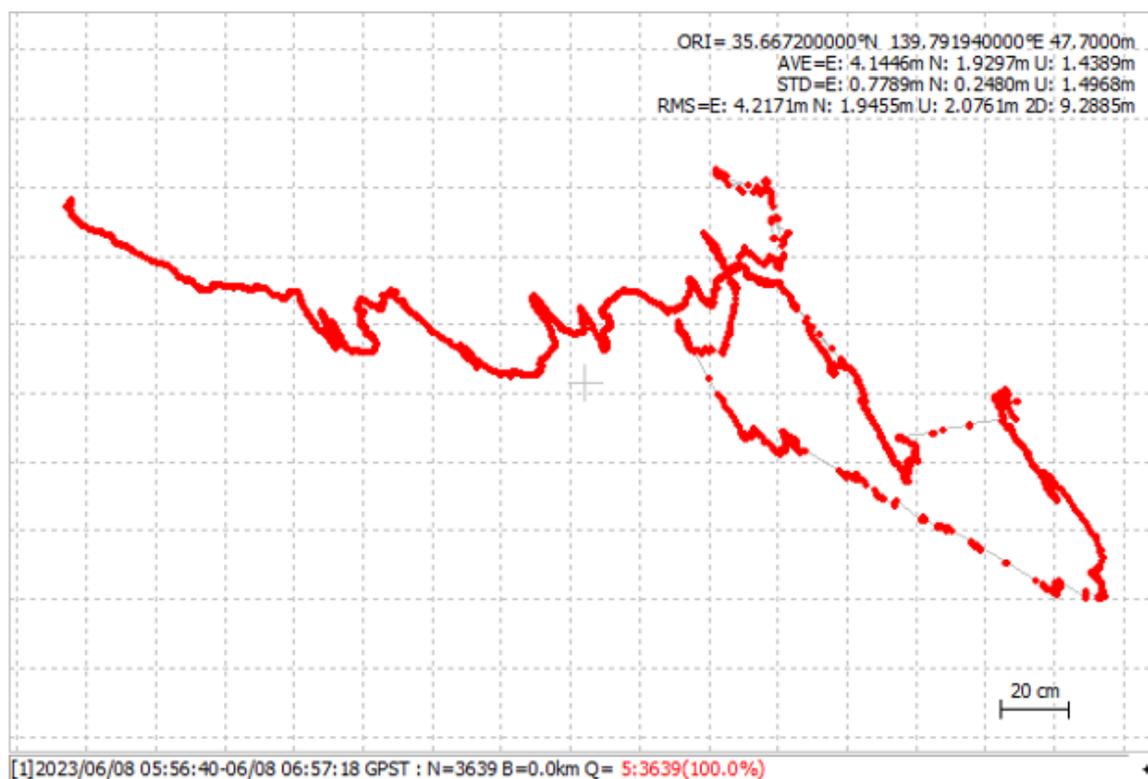


図 2.4 RTK PLOT による描画結果

第3章 スマートフォンでの位置精度

本研究におけるスマートフォンを用いた測位実験手法は、以下の手順により展開した。

選択スマートフォン：本研究では、GNSS（全球衛星ナビゲーションシステム）をサポートしている HUAWEI MATE 40 PRO を選択した。スマートフォンの選択においては、GNSS 信号の取得能力や処理能力、さらにはそのスマートフォンが採用可能な測位手法などを考慮に入れた。

GNSS データログ取得：位置情報取得に必要なソフトウェアとして、GNSS Logger アプリケーションを採用した。このアプリケーションは、GNSS（グローバルナビゲーションサテライトシステム）を利用して、スマートフォンやタブレット上で位置情報を記録し、追跡するためのツールであり、GPSをはじめとする様々な衛星測位システムのデータを利用して、精度の高い位置情報を提供している。

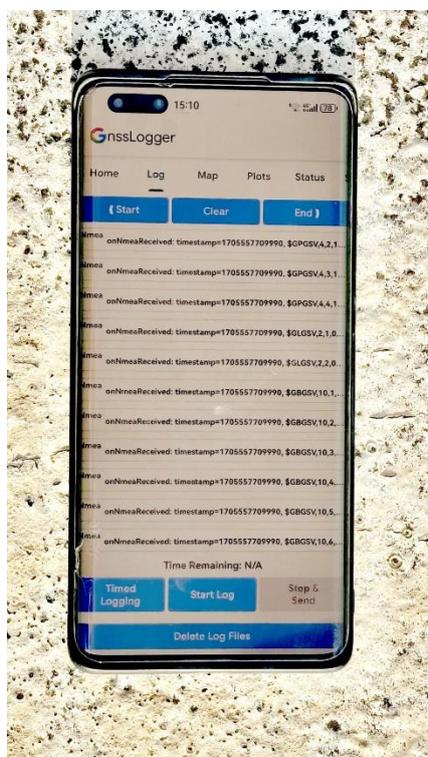


図 3.1 GNSS Logger

3.1. 屋上データ

屋上での固定位置精度比較：本実験は、スマートフォンの精度検証を目的としている。スマートフォンを屋上で20分間静置し、GNSS LoggerでNMEAを記録した。このデータ取得期間中、天候や衛星の位置などの影響を受ける可能性があるため、十分な長さの時間を確保した。その後、RTKLIBというソフトウェアを使用して得られたデータの単独測位とRTKで取った精密位置との比較を行った。

3.1.1. 実験概要

本研究では、2023年5月、F9Pのデータを基準局として使用し、Google Pixel 4Aのスマート

フォンで屋上（図 3.2）で静止状態の GNSS データを約 20 分間取得した。このデータは「GNSS Logger」アプリケーションを用いて記録され、後に RTKLIB の単独測位と DGNSS の方法で比較分析された。アンテナは図に示すように 4 つの位置に配置され、2 台のスマートフォンで精密位置を取得し、異なる配置が位置精度に及ぼす影響を評価した。



図 3.2 実験場所 (Google Map)



図 3.3 スマホの配置

3.1.2. 実験結果

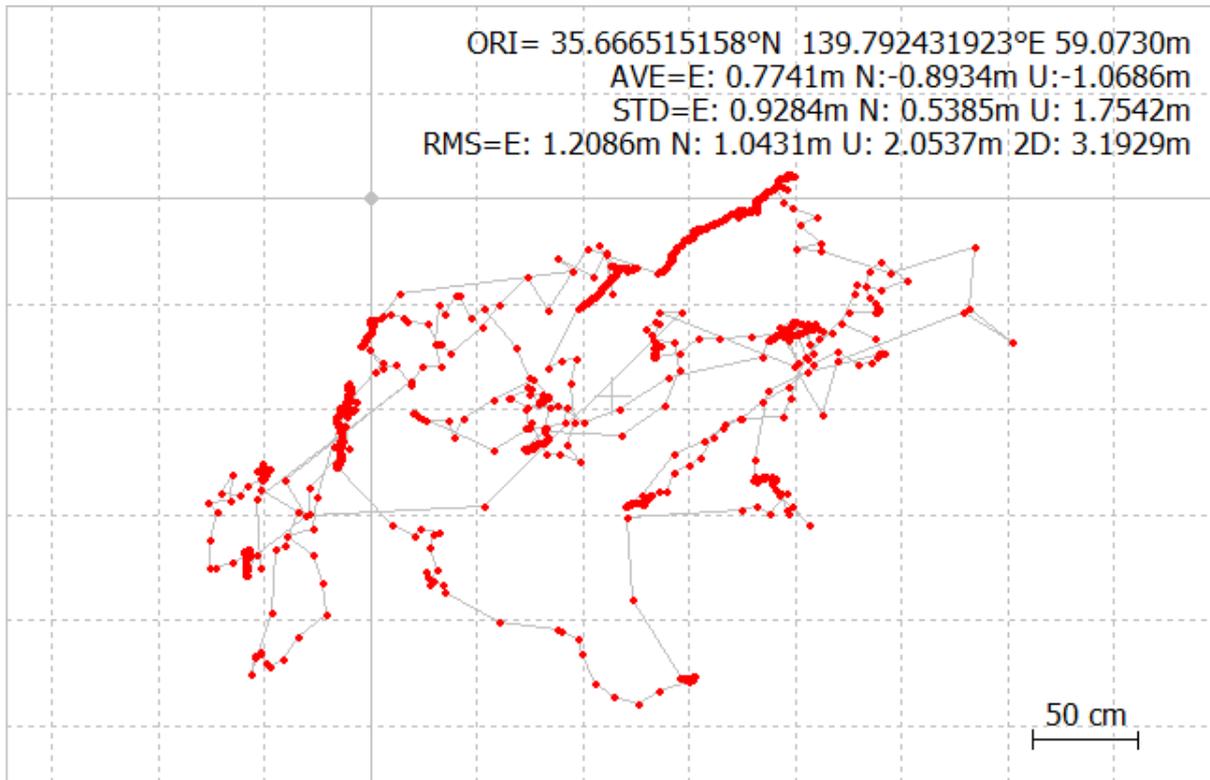


図 3.4 水平プロット

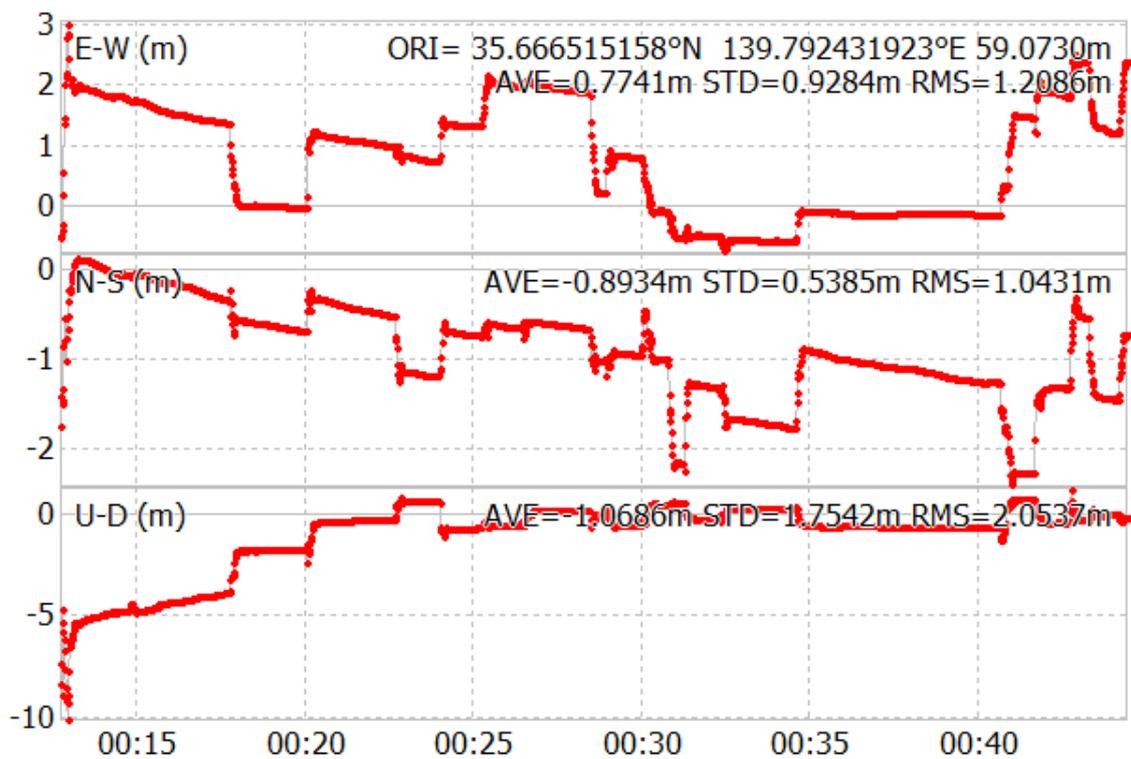


図 3.5 時系列の 3 軸方向

3.2. 大学構内データ

校内の移動中の精度比較：本実験は、異なる状態で動きながらのスマートフォンによる測位と RTK の精度比較を目的としている。

3.2.1. 実験概要

本実験では、2022年10月、12時から17時までの毎時、3号館（図 3.7、図 3.8）を反時計回りと時計回りで一周し、14時には運動場（図 3.9）も時計回りと反時計回りに一周した。これらの動きの中で、スマートフォンと RTK の位置情報を連続的に記録した。スマートフォンは手持ち、ポケット内（図 3.11）、リュック内（図 3.12）という3つの異なる携行方法で使用した。それぞれの状況下での測位精度を評価するためである。RTK のアンテナは全ての実験を通じて手持ちで携行した。スマートフォンと RTK 端末のアンテナの位置関係については、精度に影響を及ぼさないように、具体的には、スマートフォンと RTK 端末のアンテナは同一水平面に持っている。

	手	ポケット内	リュック内
3号館 一回目	12:01:43-12:05:01	12:05:10-12:08:42	12:08:56-12:12:34
3号館 二回目	13:04:02-13:07:13	13:07:20-13:10:39	13:10:52-13:14:18
3号館 三回目	14:06:26-14:09:44	14:09:51-14:13:08	14:13:20-14:16:42
3号館 四回目	15:11:16-15:14:33	15:14:39-15:17:56	15:18:06-15:21:31
3号館 五回目	16:17:28-16:20:29	16:20:31-16:23:38	16:23:48-16:27:01
3号館 六回目	17:24:22-17:27:28	17:27:33-17:30:43	17:30:50-17:34:08
運動場	14:41:47-14:45:00	14:45:12-14:48:26	14:48:37-14:51:57

表 3.6 実験の詳細

この実験は一時間ごとに6回行われ、それぞれのパターンにおける結果を評価したが、ここでは一回目の実験結果のみを示す。比較のため、RTKPLOTによる描画結果と各パターンにおける誤差範囲が以下の図に示されている。



図 3.7 実験場所 (Google Map)



図 3.8 3号館



図 3.9 実験場所 (Google Map)



図 3.10 オープンスカイ



図 3.11 ポケット



図 3.12 リュック

3号館 1回目 12時 手に持つ

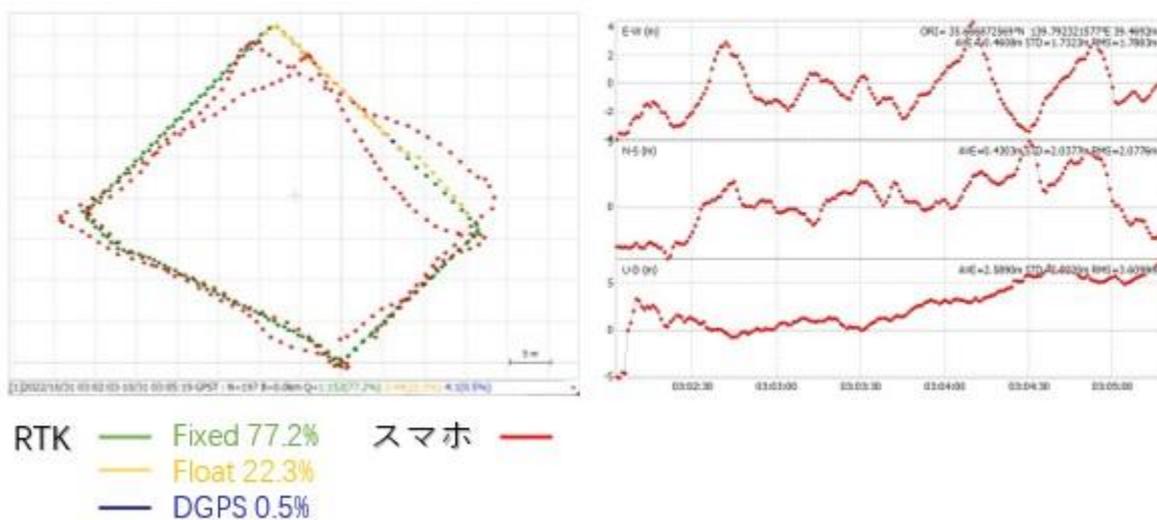


図 3.13 3号館手持ち1回目 RTKPLOT

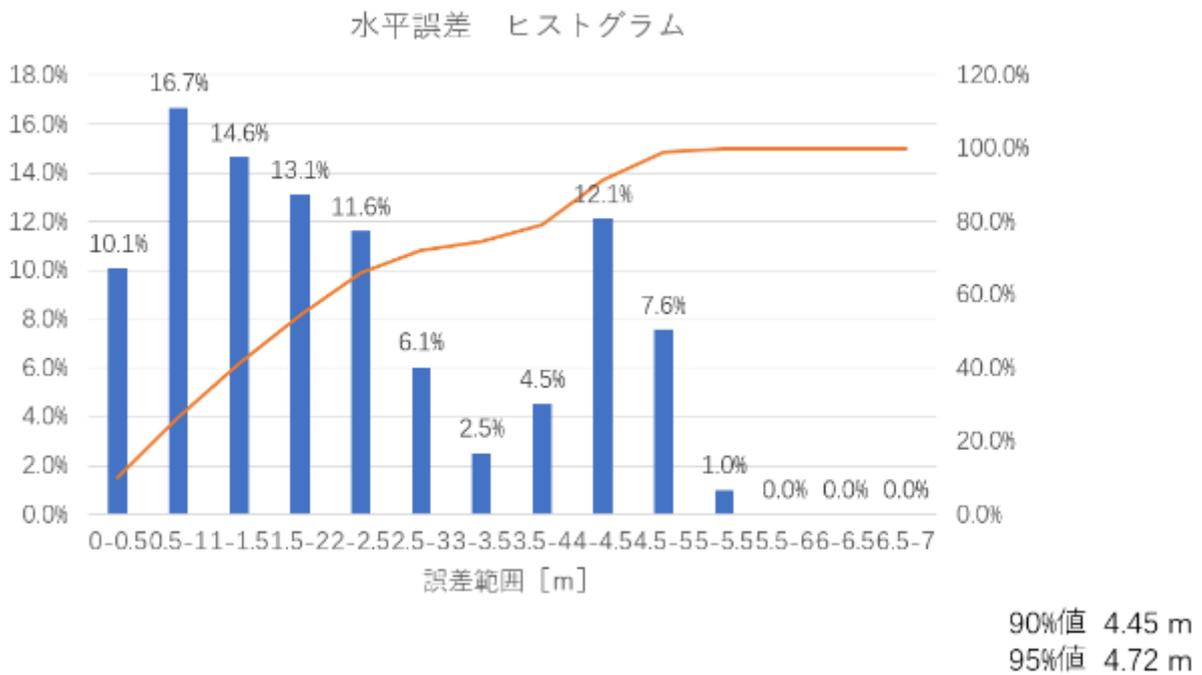


図 3.14 3号館手持ち1回目 誤差範囲

3号館 1回目 12時 ポケット

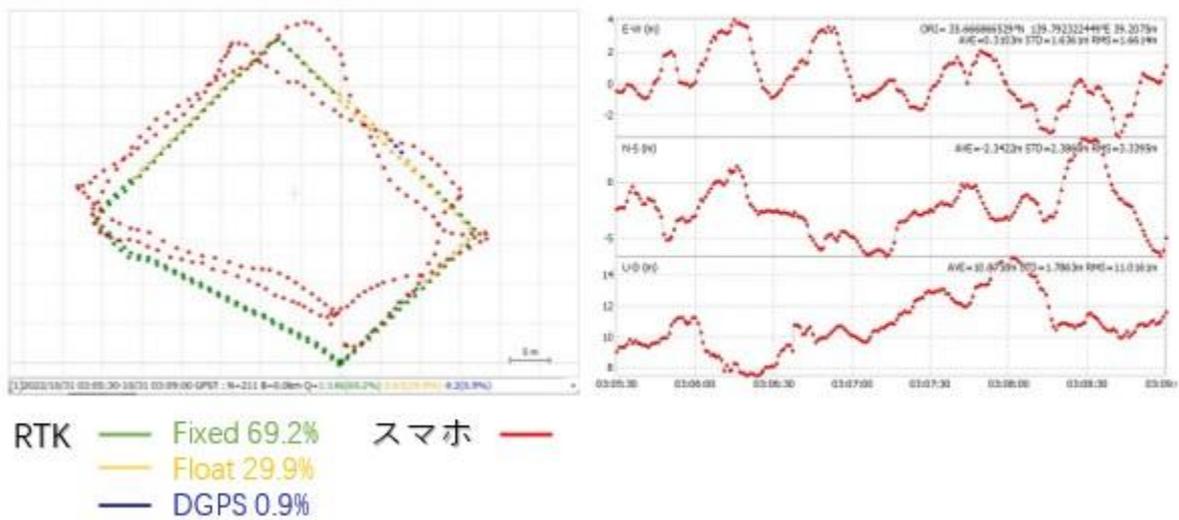


図 3.15 3号館ポケット内1回目 RTKPLOT

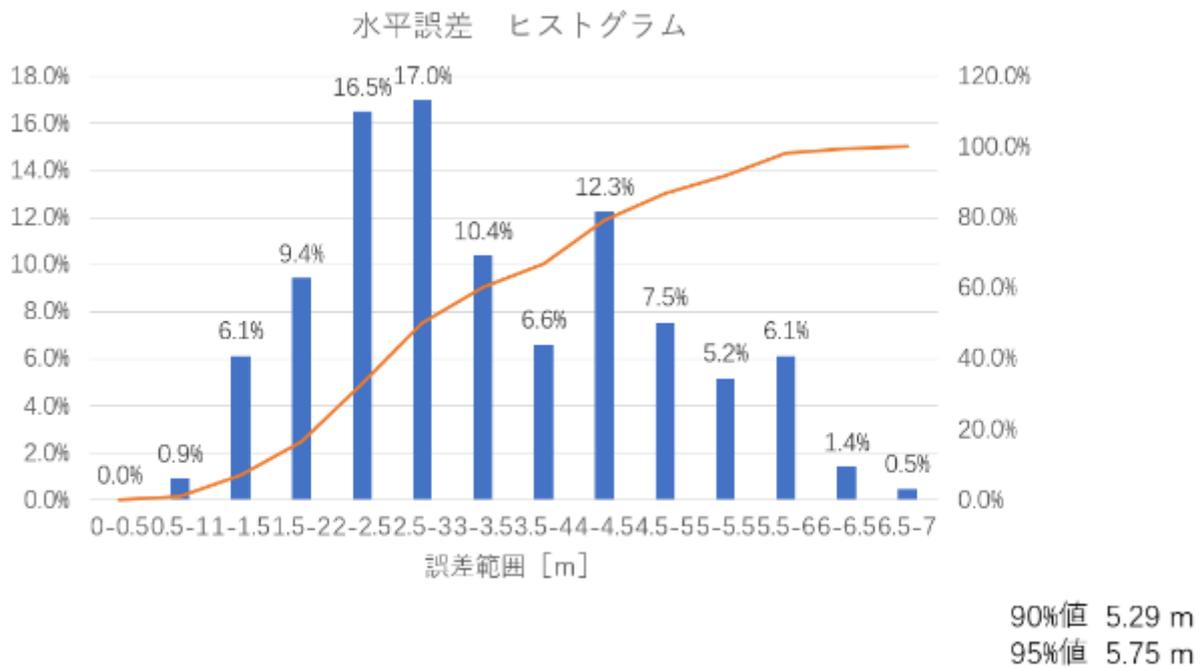


図 3.16 3号館ポケット内1回目 誤差範囲

3号館 1回目 12時 リュック

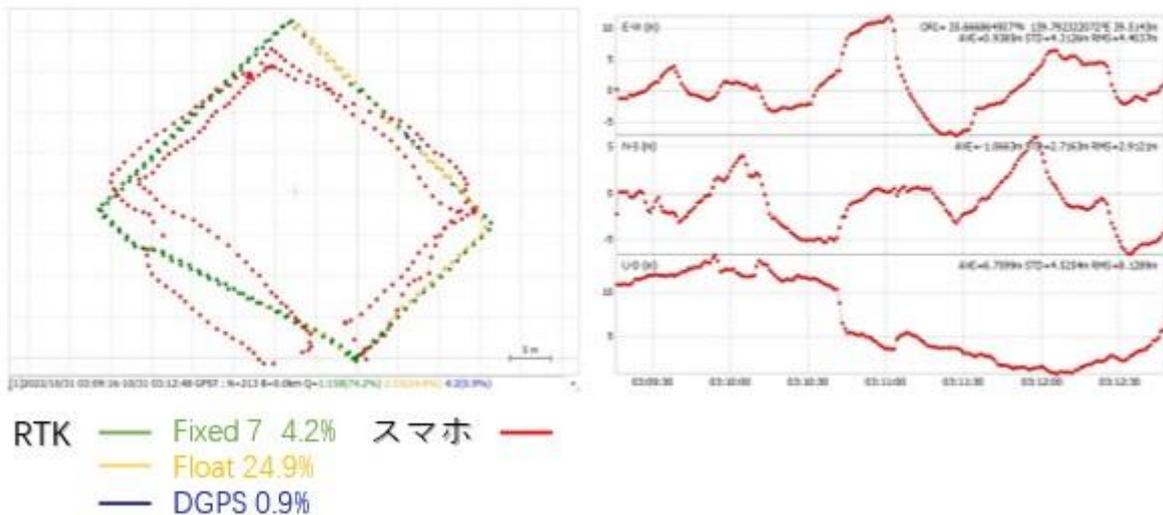


図 3.17 3号館リュック内1回目 RTK PLOT

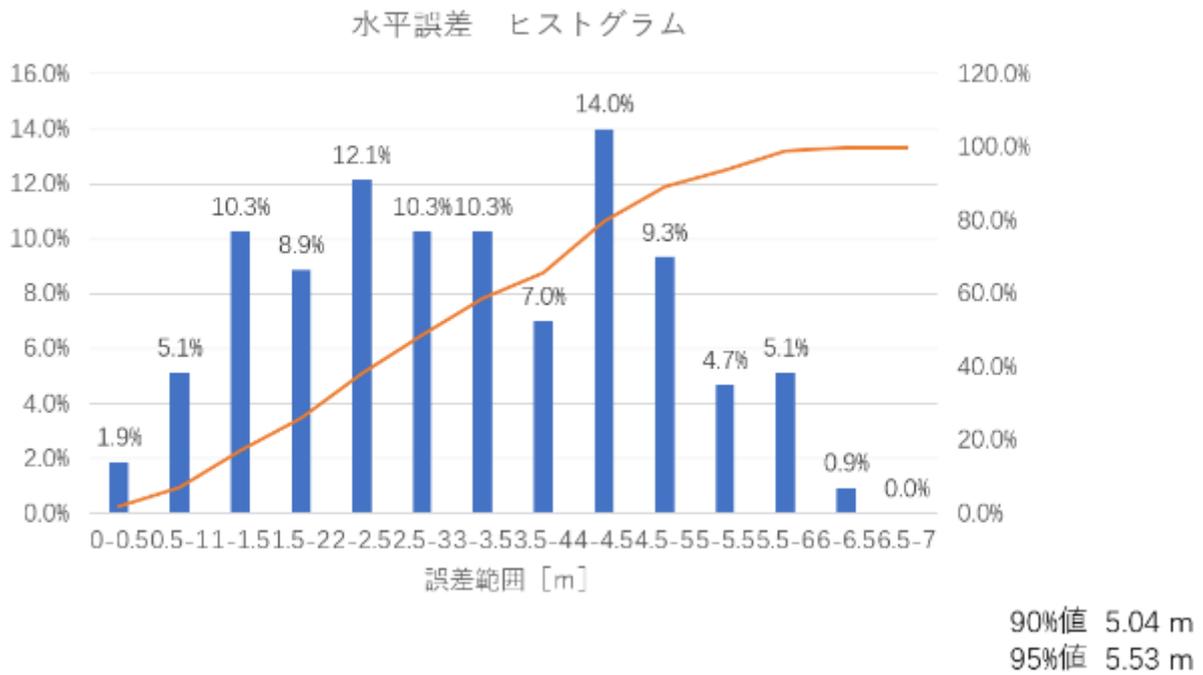


図 3.18 3号館リュック内1回目 誤差範囲

さらに、同じ3種類のパターンを使用して、オープンスカイの条件下での歩行時の測位精度を評価する。この評価の結果は図 3.25 に示されている。これらの結果から、歩行状況と端末の保持方法が測位精度にどのように影響を及ぼすかについて深く理解することができる。

オープンスカイ 14時 手に持つ

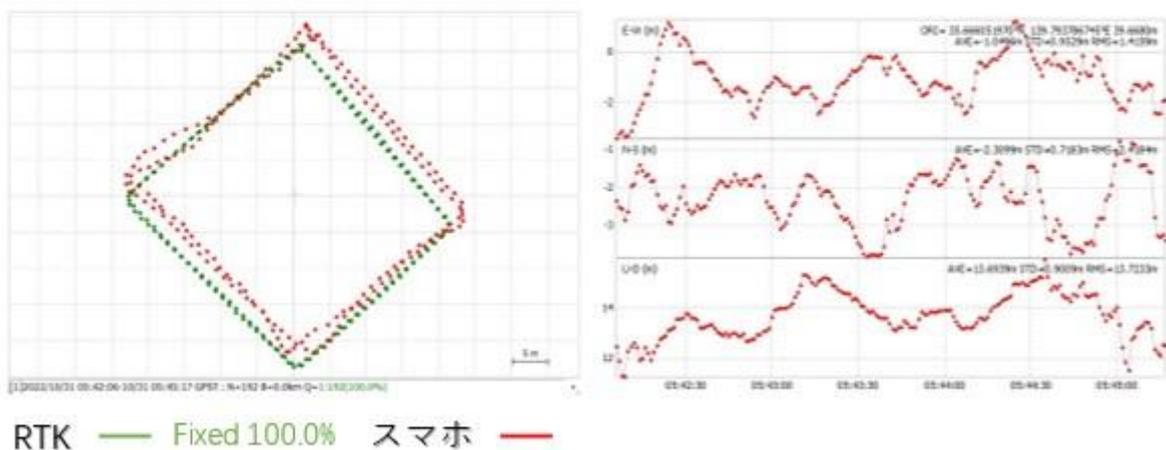
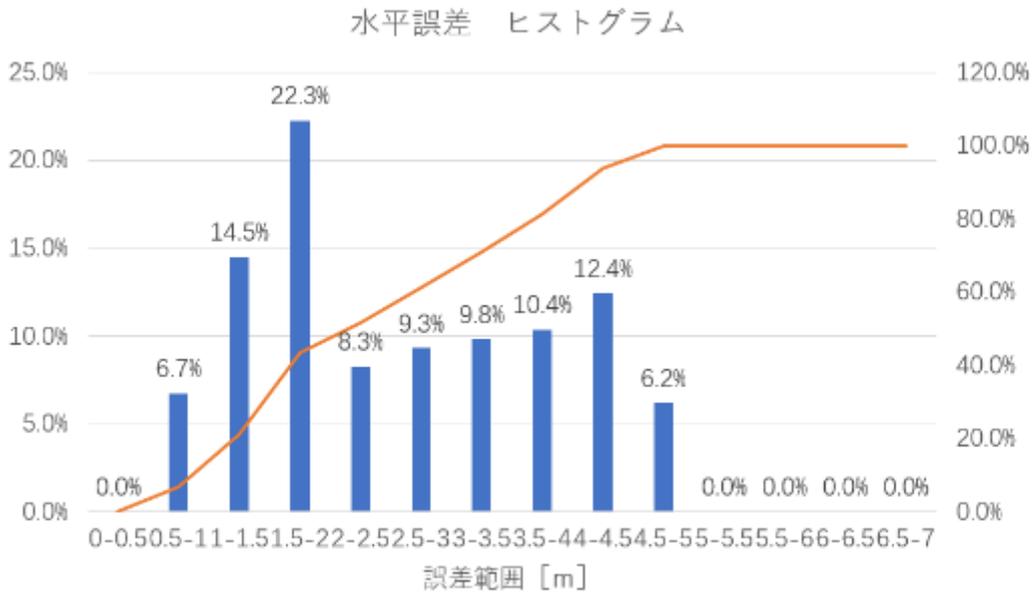


図 3.19 オープンスカイ手持ち1回目 RTK PLOT



90%値 4.36 m
95%値 4.55 m

図 3.20 オープンスカイ手持ち 1 回目 誤差範囲

オープンスカイ 14時 ポケット

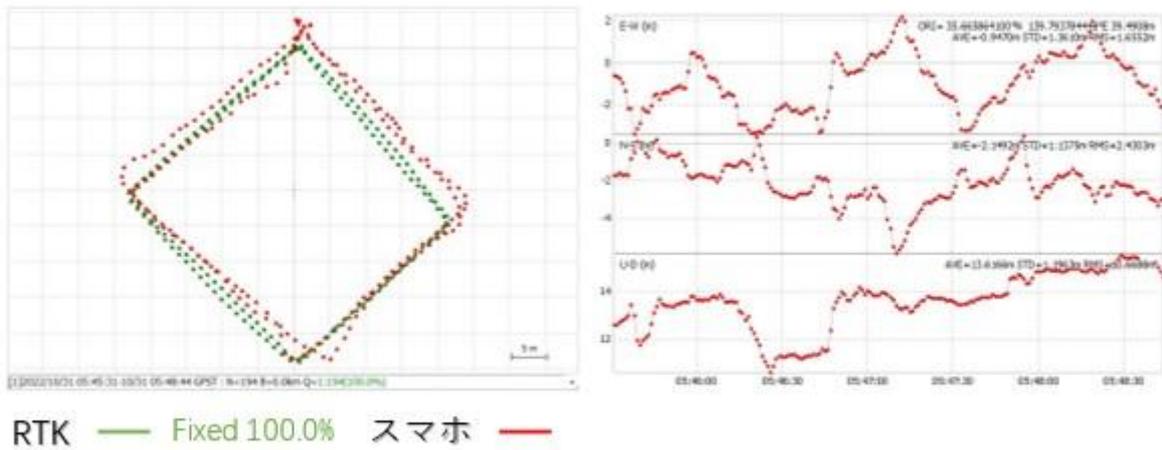


図 3.21 オープンスカイポケット内 1 回目 RTKPLOT

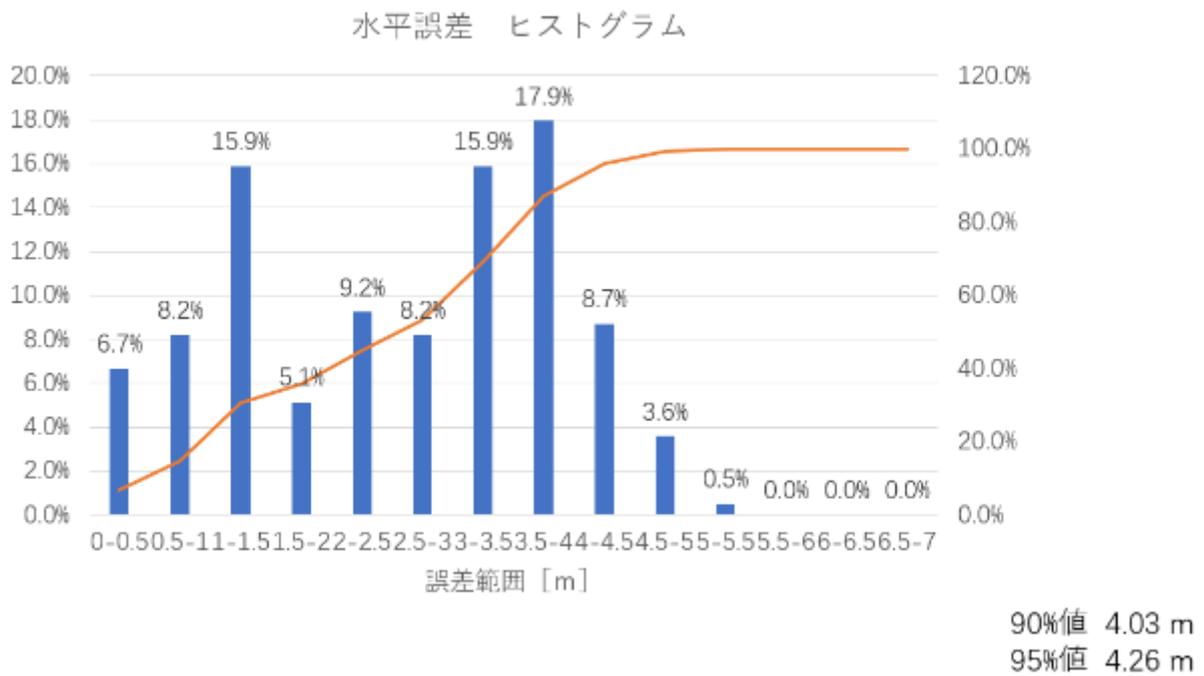


図 3.22 オープンスカイポケット内 1回目 誤差範囲

オープンスカイ 14時 リュック

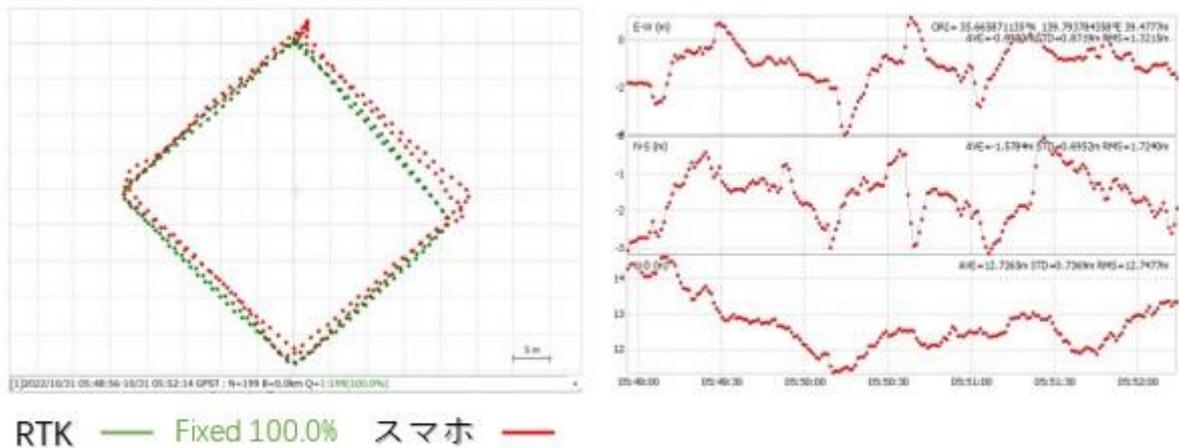
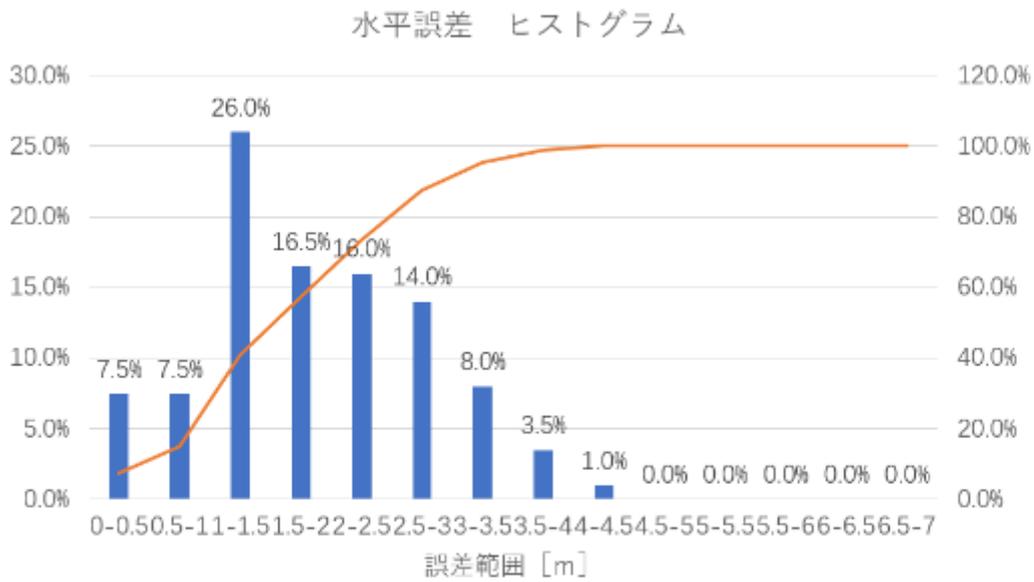


図 3.23 オープンスカイリュック内 1回目 RTK PLOT



90%値 3.10 m
95%値 3.33 m

図 3.24 オープンスカイリュック内 1回目 誤差範囲

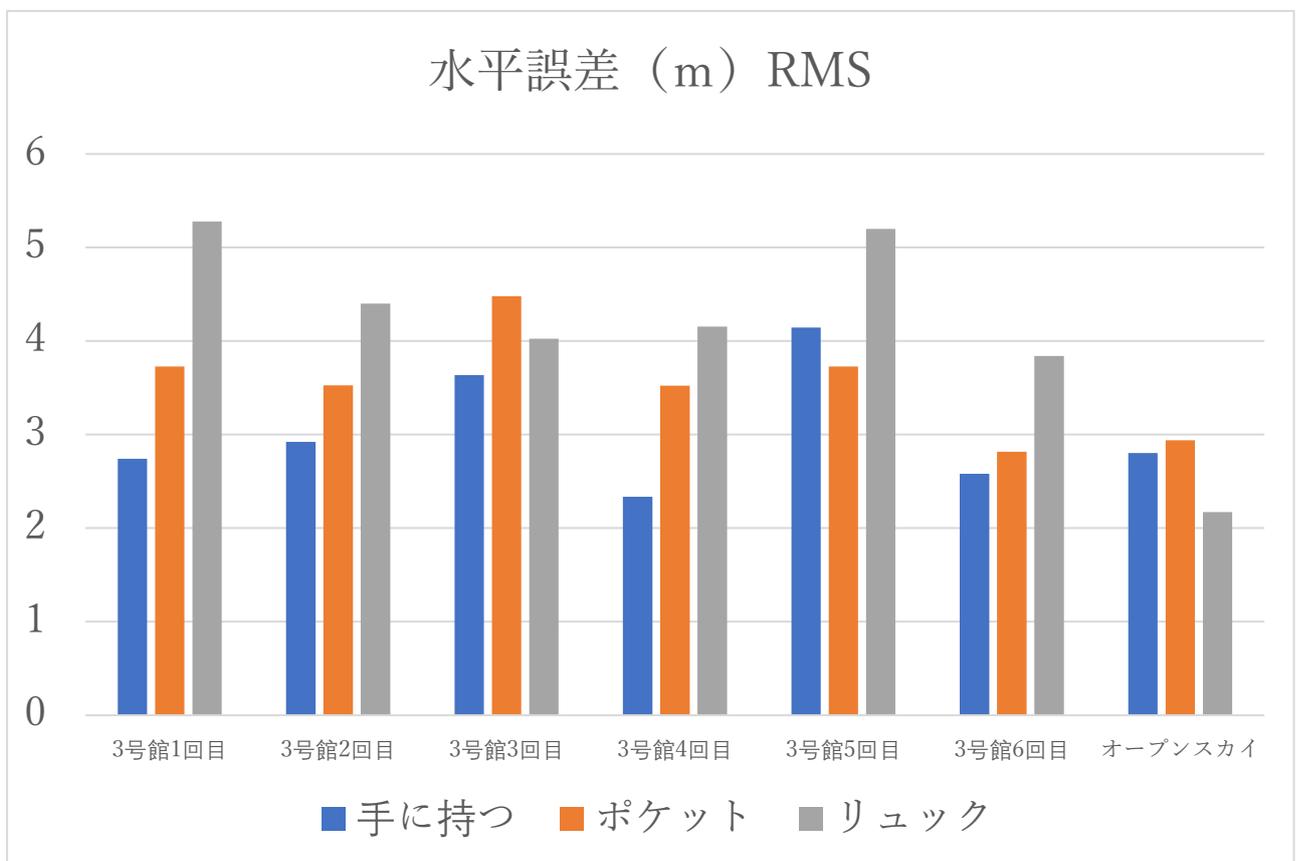


図 3.25 水平誤差の比較 (RMS)

3.3. 都内複数個所でのデータ

3.3.1. 実験概要

都内複数個所での精度：オープンスカイ、住宅街、ビル街の3つの異なる環境で位置精度を測定する実験を行った。各場所で、二回の実験を行った。データ収集には、Google Pixel 6 Pro、Xiaomi 11T、Google Pixel 4Aのスマートフォンを使用した。住宅街においては、異なる環境特性を持つ2箇所で測定を実施し、これらの機器から収集されたデータを用いて、各デバイスの測位精度と環境要因が測位精度に与える影響を評価した。

環境	場所	測定日
オープンスカイ	有明（理想環境）	2023/05/26 2023/06/21
住宅街	両国	2023/06/01 2023/06/23
	越中島	2023/06/01 2023/06/23
ビル街	丸の内	2023/06/01 2023/06/30

表 3.26 測定場所と測定時間

実験結果の分析に際しては、リファレンス機器と評価機器のデータをGNSS時刻に基づき同期させた。分析対象は動的データに限定し、リファレンスの速度が0.5m/s以上であり、かつ両データに方位の出力がある（0°ではない）場合に定義される。評価機器の設置位置はリファレンス機器の位置に対するオフセットとして考慮され、オフセット量を基に分析を実施した。

解析結果の節では、以下の指標を用いて測位誤差を評価した。水平誤差はリファレンス座標と評価座標との距離の大きさ、高度誤差はリファレンス高度と評価高度との差の絶対値、方位誤差はリファレンス方位と評価方位との差の絶対値、速度誤差はリファレンス速度と評価速度との差の絶対値にて定義される。これらの各誤差に対して95%信頼区間の閾値を算出した。水平アキュラシィは、リファレンス座標と評価座標との間の水平距離の精度を、高度アキュラシィはリファレンスと評価データ間の高度差の精度を、方位アキュラシィは両者の方位差の精度を、速度アキュラシィは速度差の精度をそれぞれ評価するものである。

実験結果

	有明 2023/05/26 (オープンスカイ)				有明 2023/06/21 (オープンスカイ)		
	水平(m)	高度(m)	速度		水平(m)	高度(m)	速度
Pixel6pro	1.6	10.9	0.1	Pixel6pro	4.1	8.5	0.2
Xiaomi11T	2.5	5.7	0.1	Xiaomi11T	3.3	7.4	0.1
Pixel4A	3.7	8.3	0.1	Pixel4A	3.6	4.5	0.1
	両国 2023/06/01 (住宅街)				両国 2023/06/23 (住宅街)		
	水平(m)	高度(m)	速度		水平(m)	高度(m)	速度
Pixel6pro	18.8	16.6	0.5	Pixel6pro	12.1	6.4	0.5
Xiaomi11T	18.1	31.2	0.3	Xiaomi11T	11.7	11.3	0.4
Pixel4A	12.5	6.8	0.4	Pixel4A	11.3	19.7	0.4
	越中島 2023/05/26 (住宅街)				越中島 2023/06/23 (住宅街)		
	水平(m)	高度(m)	速度		水平(m)	高度(m)	速度
Pixel6pro	3.7	4.6	0.2	Pixel6pro	5.6	14.5	0.3
Xiaomi11T	5.7	13.5	0.2	Xiaomi11T	4.0	18.6	0.2
Pixel4A	20.8	21.3	0.4	Pixel4A	6.3	12.1	0.2
	丸の内 2023/05/26 (ビル街)				丸の内 2023/06/30 (ビル街)		
	水平(m)	高度(m)	速度		水平(m)	高度(m)	速度
Pixel6pro	4.7	12.9	0.1	Pixel6pro	10.4	16.2	0.2
Xiaomi11T	3.8	15.0	0.1	Xiaomi11T	16.4	40.4	0.1
Pixel4A	45.8	58.4	0.7	Pixel4A	34.4	86.2	0.3

表 3.27 解析結果の 95%値 (理想状態+異なる場所での実験)

	理想 2023/05/26				理想 2023/06/21		
	水平(m)	高度(m)	速度		水平(m)	高度(m)	速度
Pixel6pro	1.6	10.9	0.1	Pixel6pro	4.1	8.5	0.2
Xiaomi11T	2.5	5.7	0.1	Xiaomi11T	3.3	7.4	0.1
Pixel4A	3.7	8.3	0.1	Pixel4A	3.6	4.5	0.1
	手 2023/05/26 (有明)				手 2023/06/21		
	水平(m)	高度(m)	速度		水平(m)	高度(m)	速度
Pixel6pro	3.9	10.4	0.1	Pixel6pro	4.0	9.4	0.2
Xiaomi11T	2.7	12.9	0.1	Xiaomi11T	1.9	9.3	0.2
Pixel4A	2.8	5.1	0.2	Pixel4A	5.6	5.4	0.2
	ポケット 2023/05/26				ポケット 2023/06/21		
	水平(m)	高度(m)	速度		水平(m)	高度(m)	速度
Pixel6pro	4.7	9.8	0.2	Pixel6pro	8.3	11.6	0.2
Xiaomi11T	2.3	9.0	0.2	Xiaomi11T	3.2	7.6	0.2
Pixel4A	5.8	7.0	0.3	Pixel4A	10.2	9.9	0.4
	かばん 2023/05/26				かばん 2023/06/21		
	水平(m)	高度(m)	速度		水平(m)	高度(m)	速度
Pixel6pro	1.9	19.7	0.2	Pixel6pro	3.3	10.7	0.2
Xiaomi11T	2.0	8.1	0.2	Xiaomi11T	2.8	7.7	0.2
Pixel4A	2.0	9.0	0.2	Pixel4A	4.0	7.2	0.2

表 3.28 解析結果の 95%値 (有明オープンスカイ+スマホが異なる状態)

本研究では、東京都内の複数の場所でスマートフォンのGNSS測位精度を実験し、特に水平方向の精度に焦点を当てた。実験には複数の機種を使用した。Xiaomi11TとPixel6proが同等の精度で安定していることが確認された。この報告では、Xiaomi11Tのデータを基に結果を述べる。

理想的な条件下での実験結果は、有明と越中島のテストコースで特に良好であった。これらの場所では、水平方向の95%信頼区間の値が2.5mから4.0mの範囲に収まり、高い精度が確認された。一方、両国では95%信頼区間の値が11.7mと18.1mに達し、丸の内では3.8mから16.4mの範囲であった。これらの結果から、両国と丸の内ではマルチパスの影響が顕著に見られることが示された。

有明オープンスカイでの実験では、設置場所による精度の違いはほとんど観測されなかった。全データにおいて、水平方向の95%信頼区間の値は1.9mから3.3mと非常に良好であった。この結果は、開けた空間においてはGNSS測位の精度が高いことを示している。

本研究により、東京都内の複数の場所でスマートフォンのGNSS測位精度が検証された。機種別においては、Xiaomi11TとPixel6proが高い精度で安定していることが確認され、特に開けた場所では非常に高い精度が達成できることが明らかになった。しかし、ビルの密集する地域ではマルチパスの影響により精度が低下する傾向が見られた。これらの知見は、都市部におけるGNSS測位技術の応用において重要な意味を持ち、特にビル街での精度向上に向けた今後の研究の方向性を示唆している。

第4章 交通事故の多い交差点でのデータ

4.1. 死亡事故発生現場

都内で2021年9月から12月までに発生した交通死亡事故の現場より、東京海洋大学越中島キャンパスより近い地点10カ所を選んだ。

4.1.1. 実験方法

本実験は、2021年12月から2022年1月に実施した。実験の測定場所と測定日を表4.1に列挙した。一部場所を除き、ほぼ交通量の多い場所であった。選んだ地点に、高架下の場所はなかったが、ビル街の場所は多かった。スマートフォンとRTKのアンテナを発泡スチロールの土台に置いた状態(図4.2)で、交差点周辺を10周、10~20分歩行しながらデータを収集した。

測定場所	測定日	測定場所	測定日
江東区北砂7丁目	2021/12/09	江戸川区南小岩3丁目	2022/01/18
台東区柳橋1丁目	2021/12/09	墨田区東向島1丁目	2022/01/18
千代田区九段南1丁目	2021/12/09	杉並区宮前1丁目	2022/01/20
豊島区西池袋3丁目	2021/12/09	杉並区上高井戸1丁目	2022/01/20
江戸川区西小岩4丁目	2022/01/18	渋谷区上原2丁目	2022/01/20

表 4.1 測定場所と測定日



図 4.2 スマホとアンテナの設置方

4.1.2. 実験結果



図 4.3 江東区北砂 7 丁目

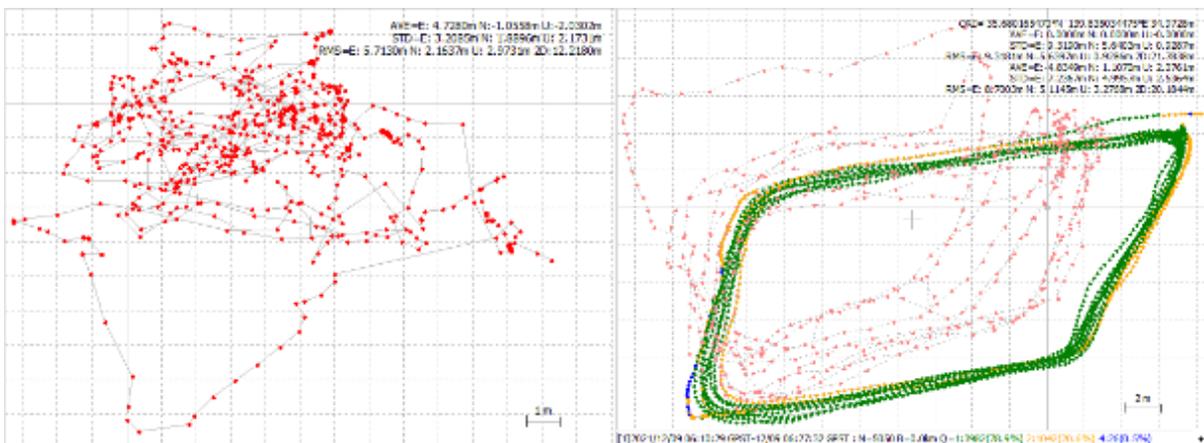


図 4.4 水平誤差とプロット図

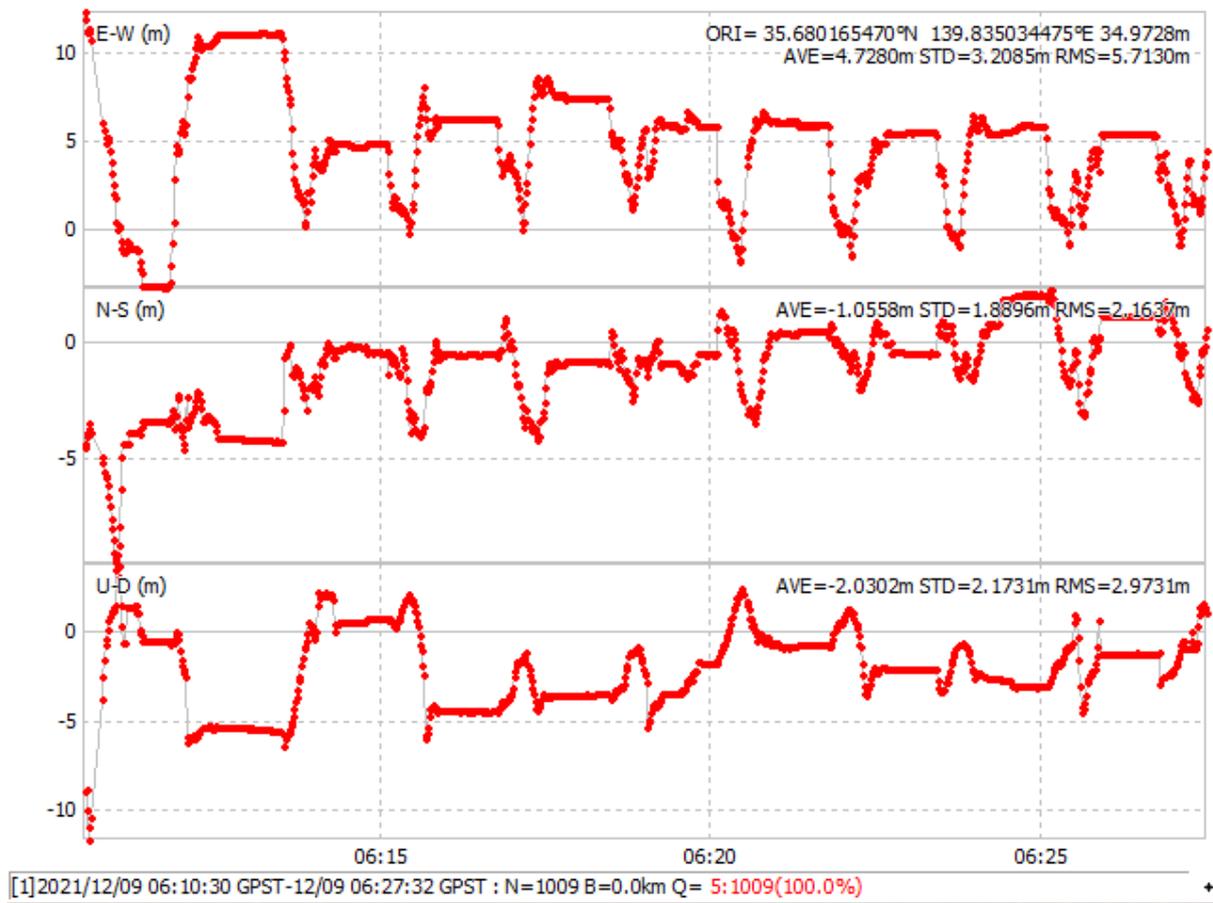


图 4.5 時系列誤差

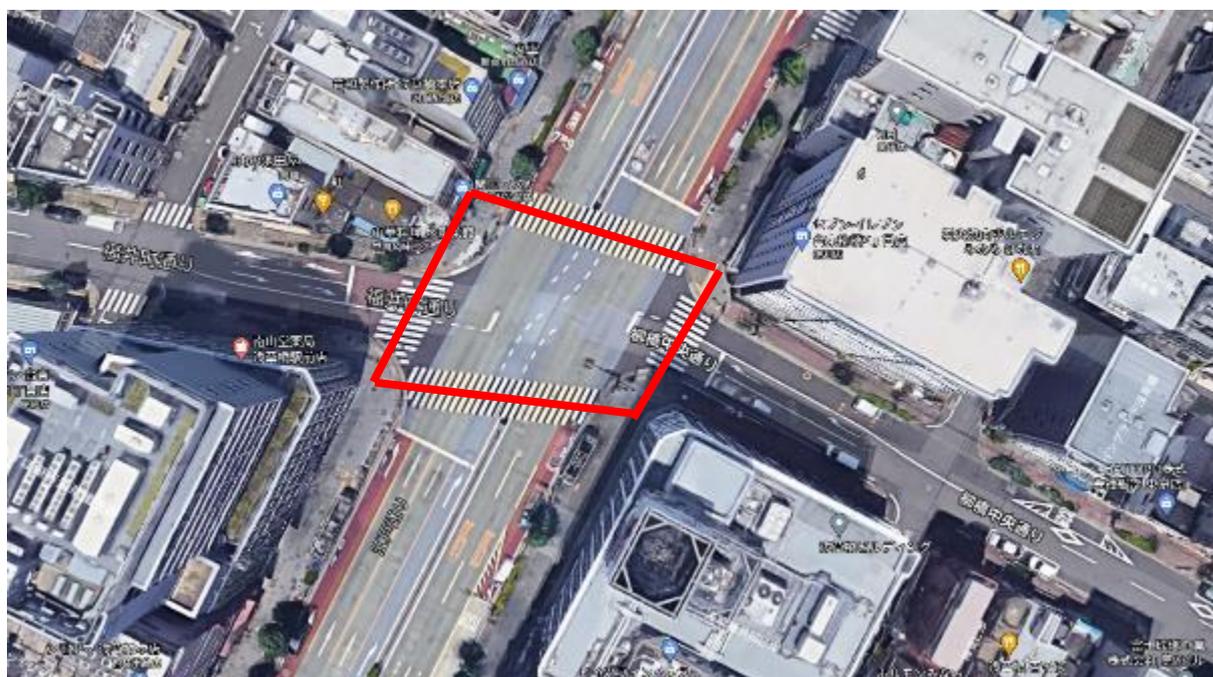


图 4.6 台東区柳橋 1 丁目

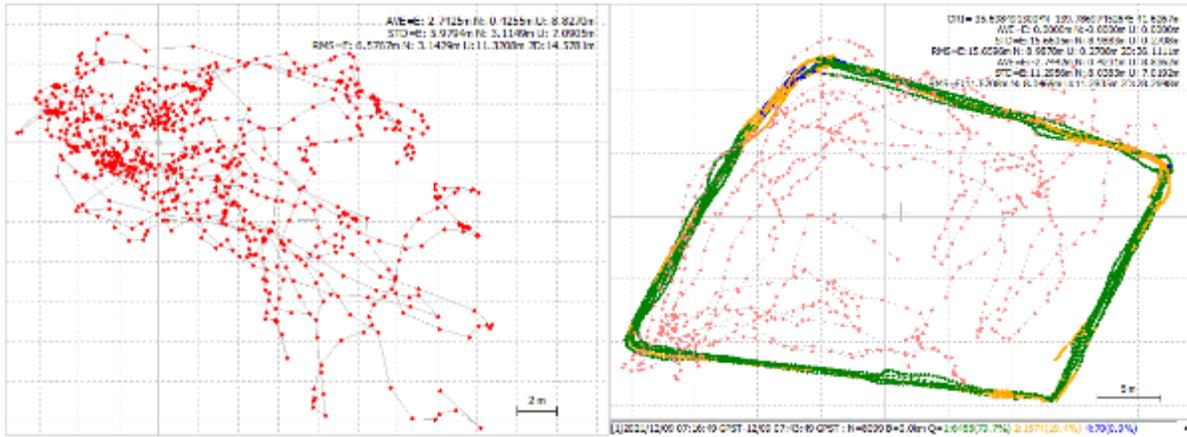


図 4.7 水平誤差とプロット図

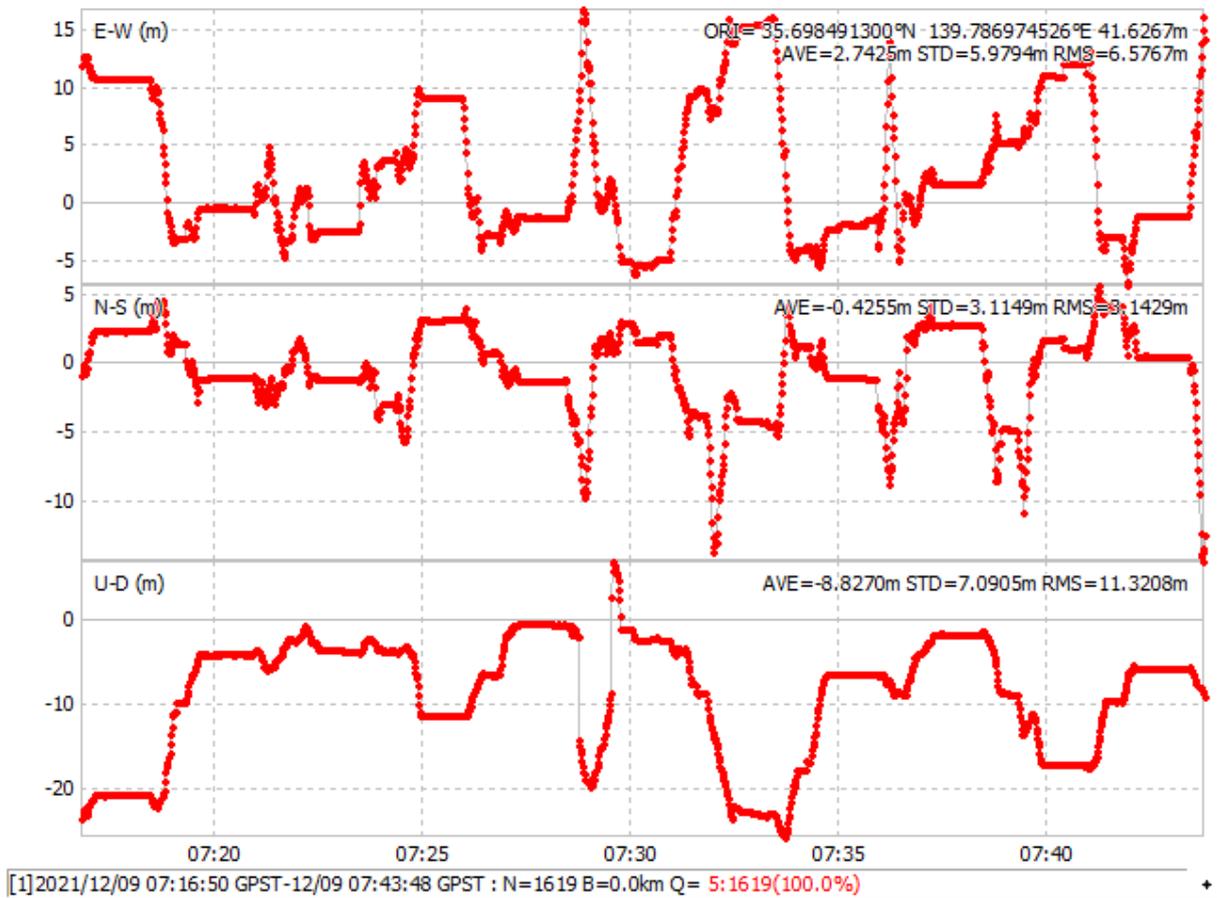


図 4.8 時系列誤差



図 4.9 千代田区九段南 1 丁目

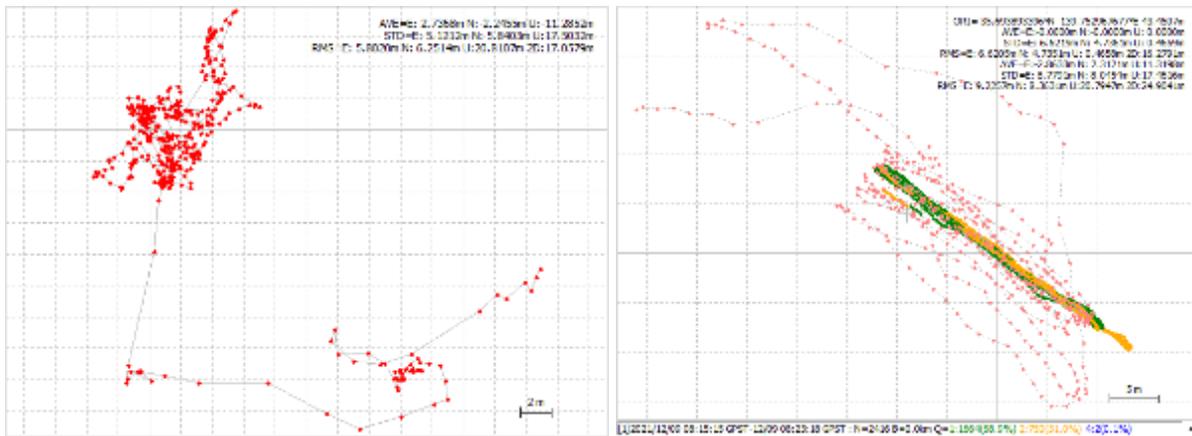


図 4.10 水平誤差とプロット図

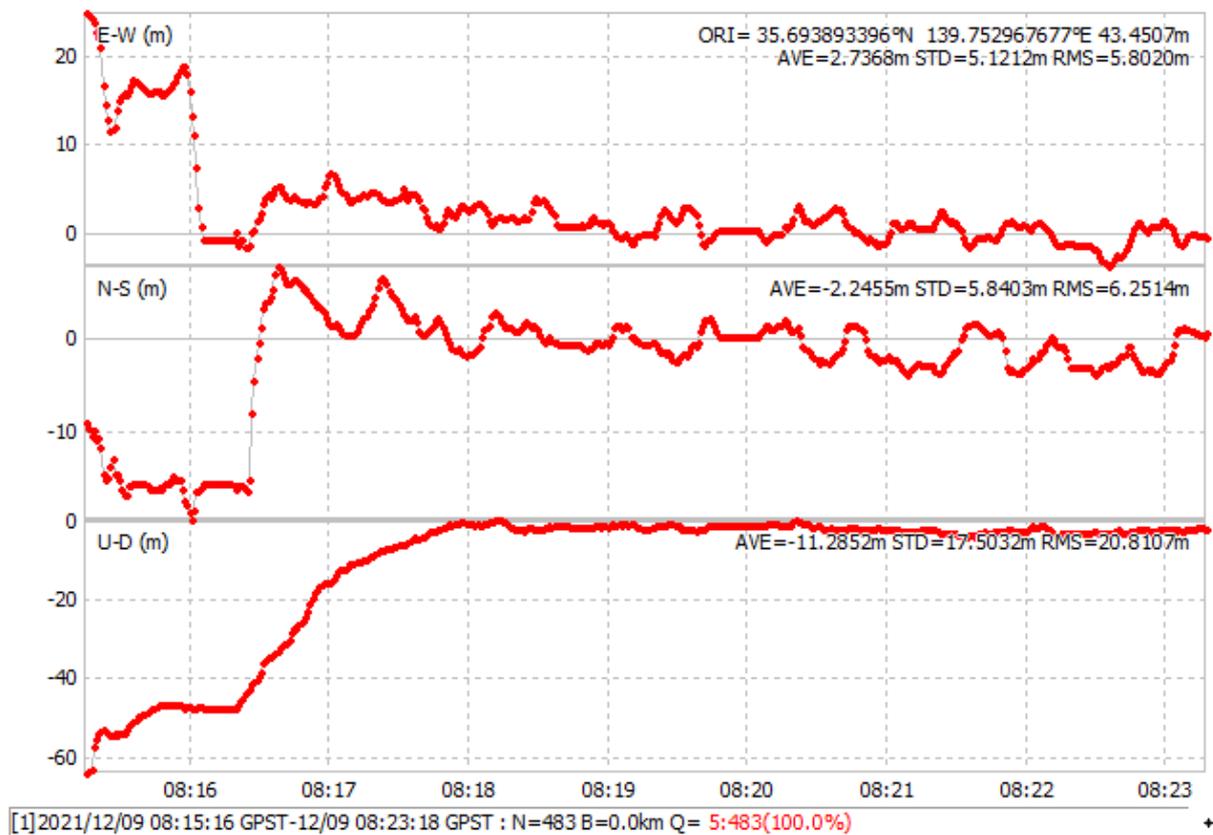


図 4.11 時系列誤差



図 4.12 豊島区西池袋3丁目

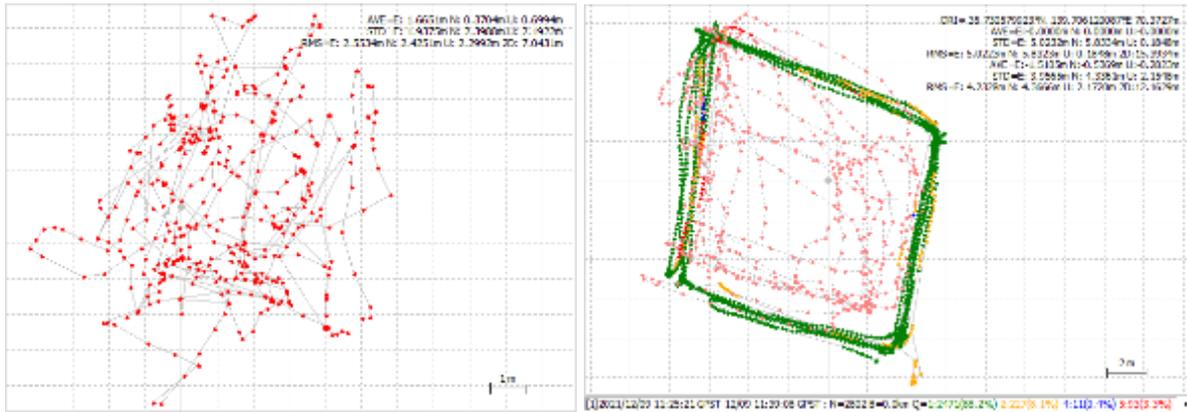


図 4.13 水平誤差とプロット図

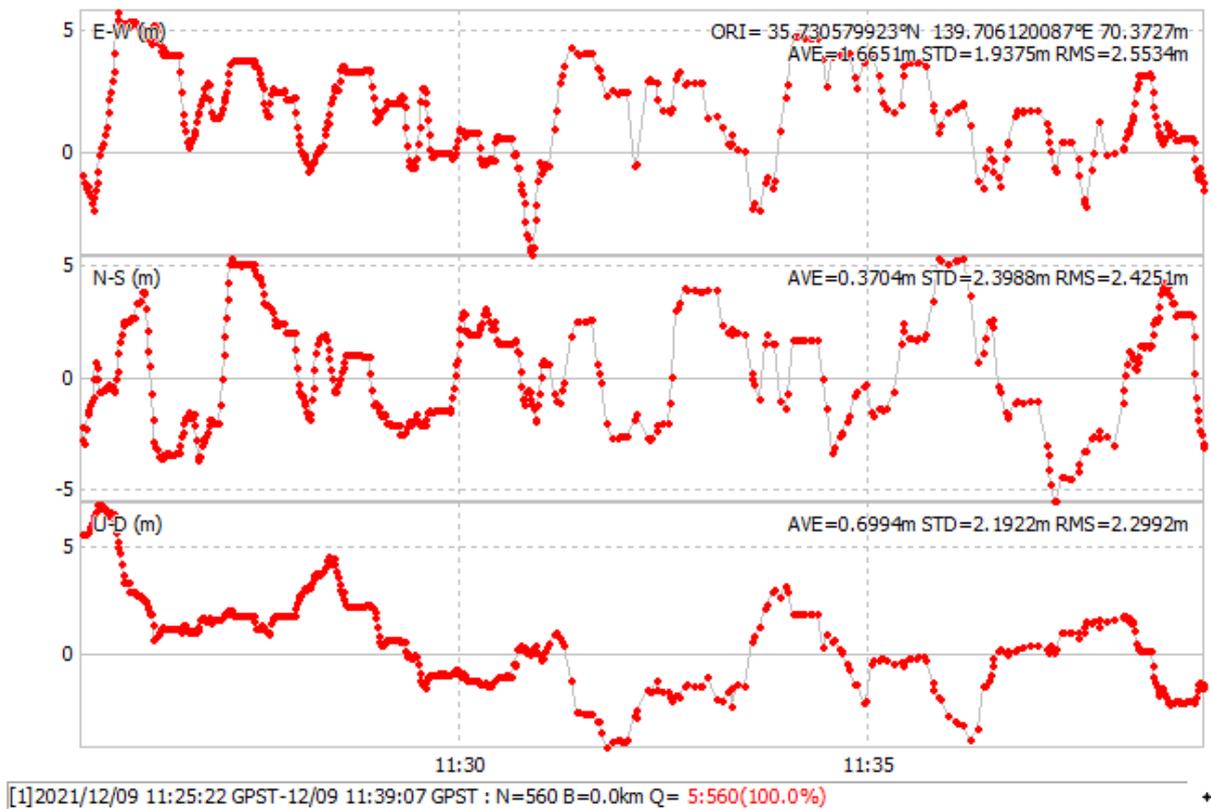


図 4.14 時系列誤差



図 4.15 江戸川区西小岩 4 丁目

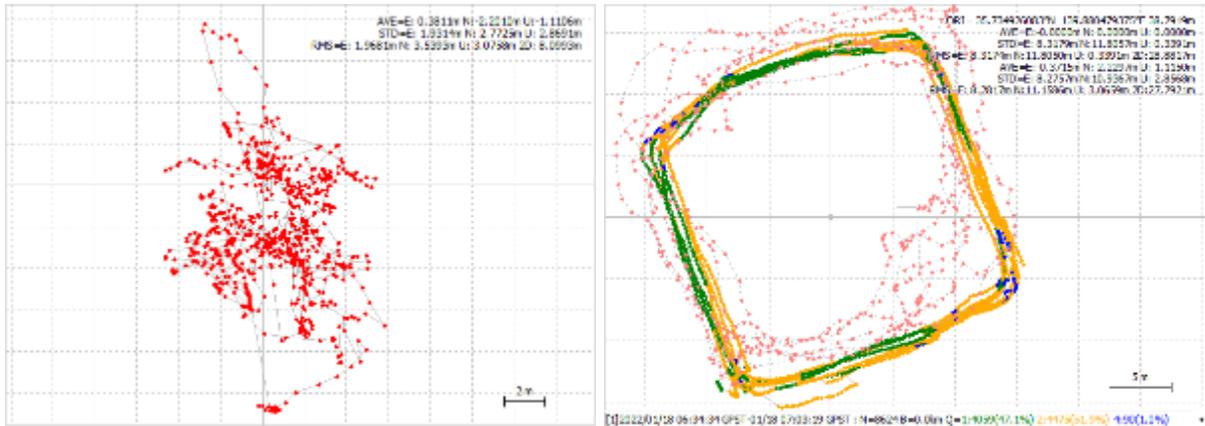


図 4.16 水平誤差とプロット図

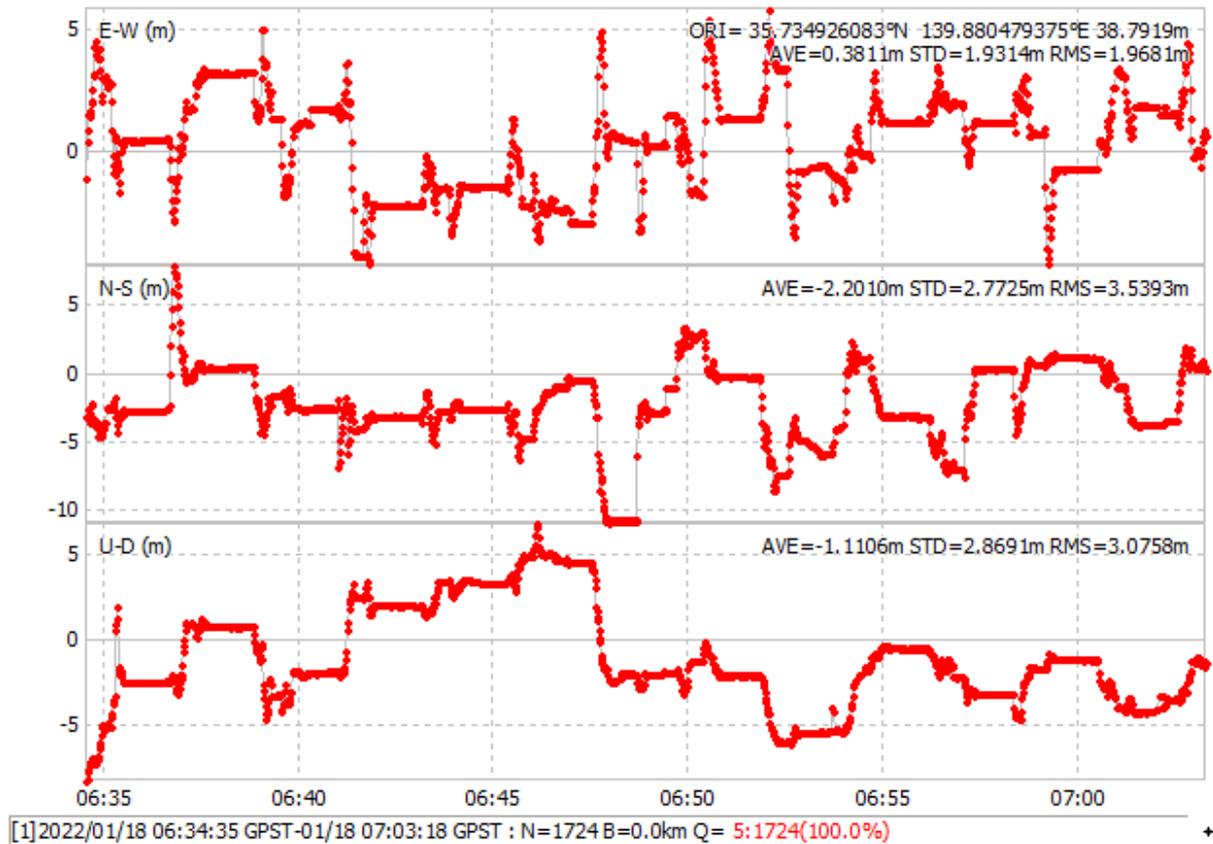


図 4.17 時系列誤差



図 4.18 江戸川区南小岩3丁目

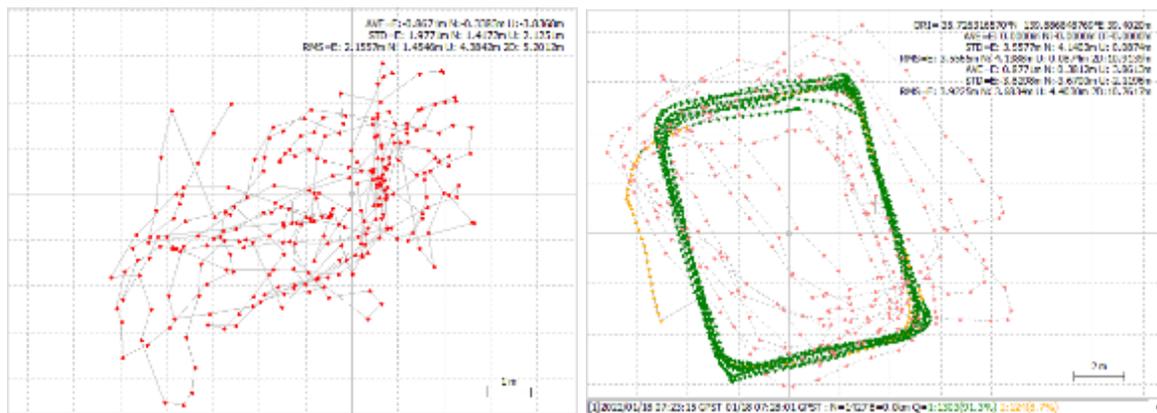


図 4.19 水平誤差とプロット図

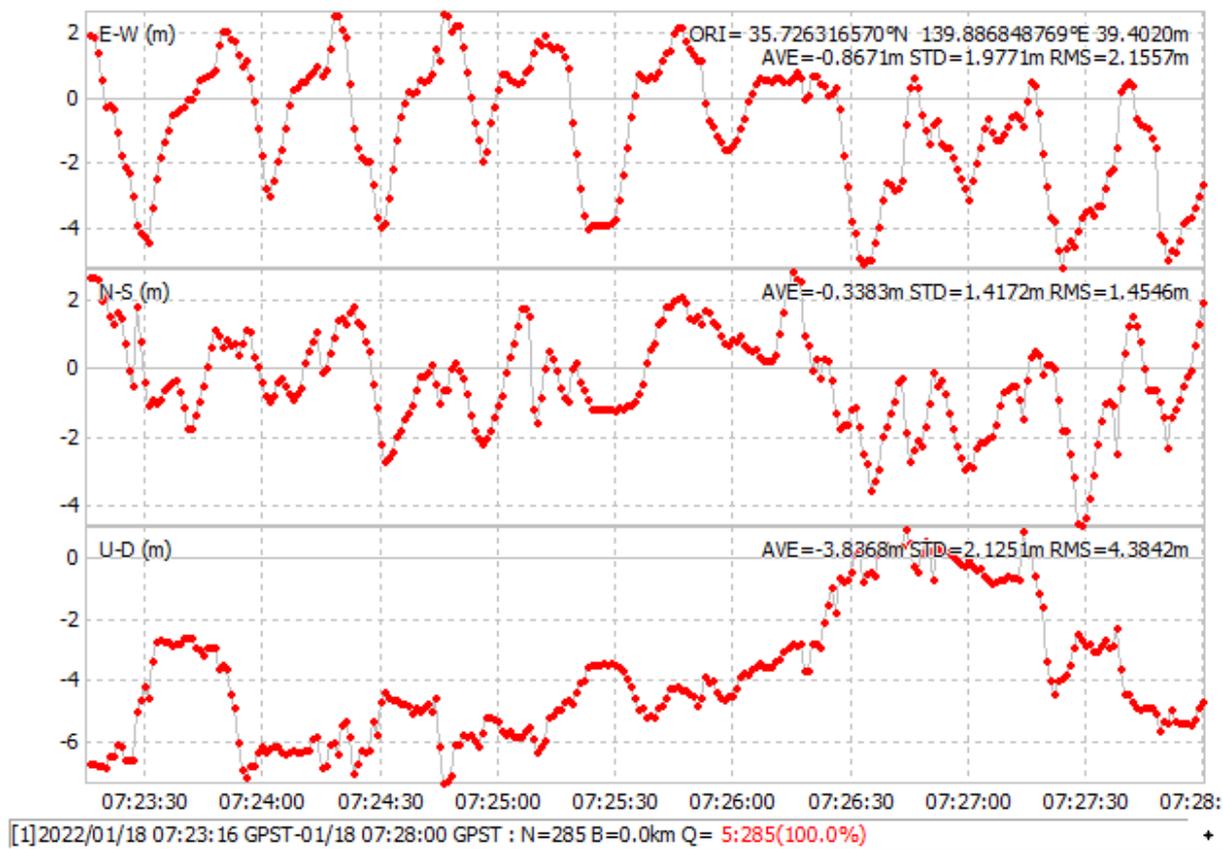


図 4.20 時系列誤差

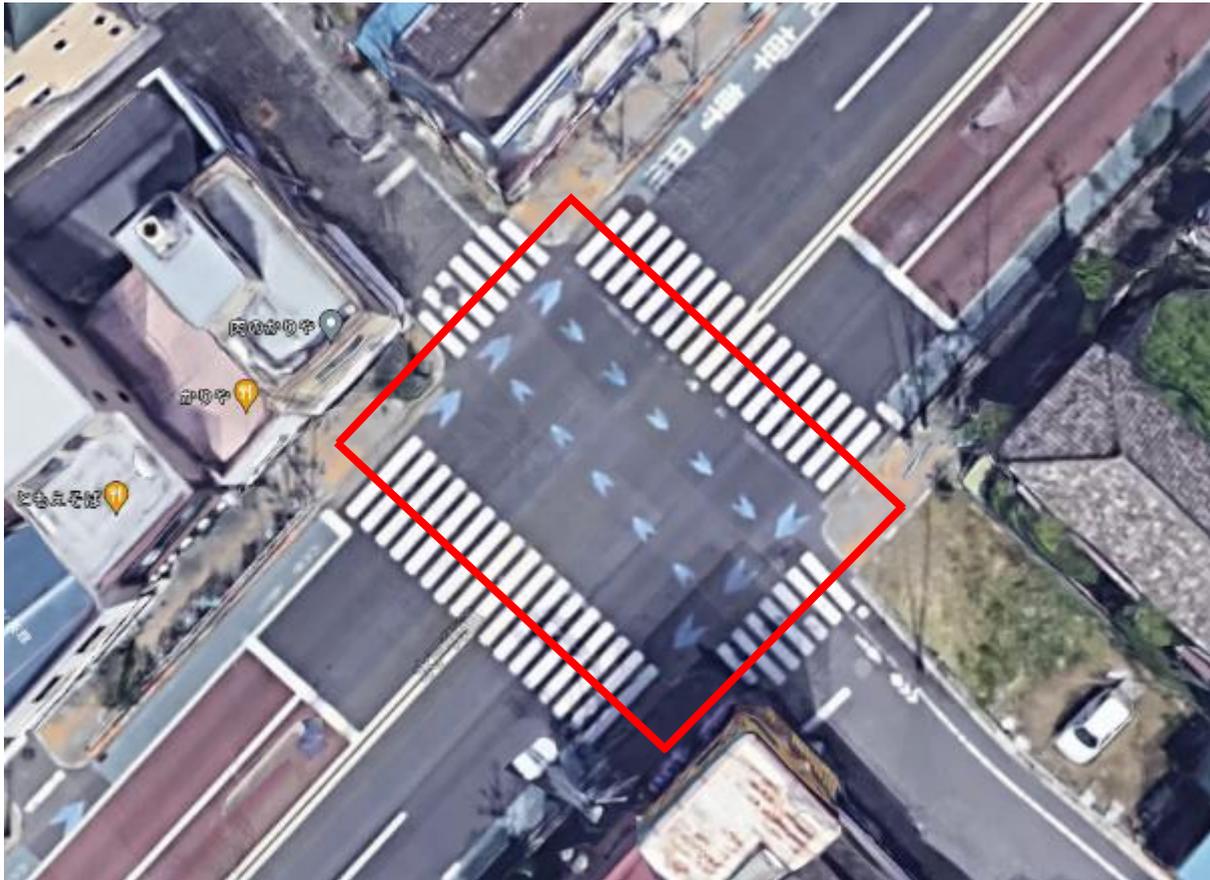


図 4.21 墨田区東向島 1 丁目

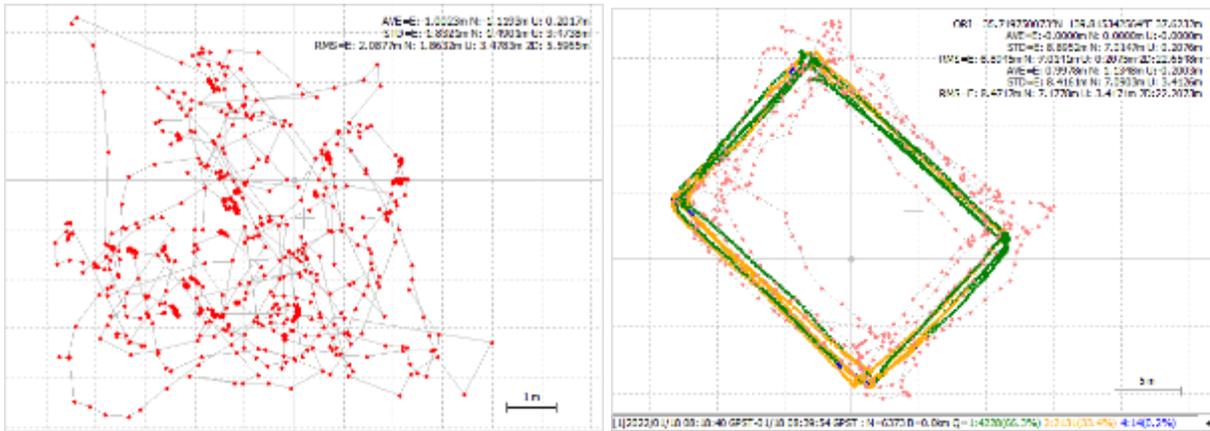


図 4.22 水平誤差とプロット図

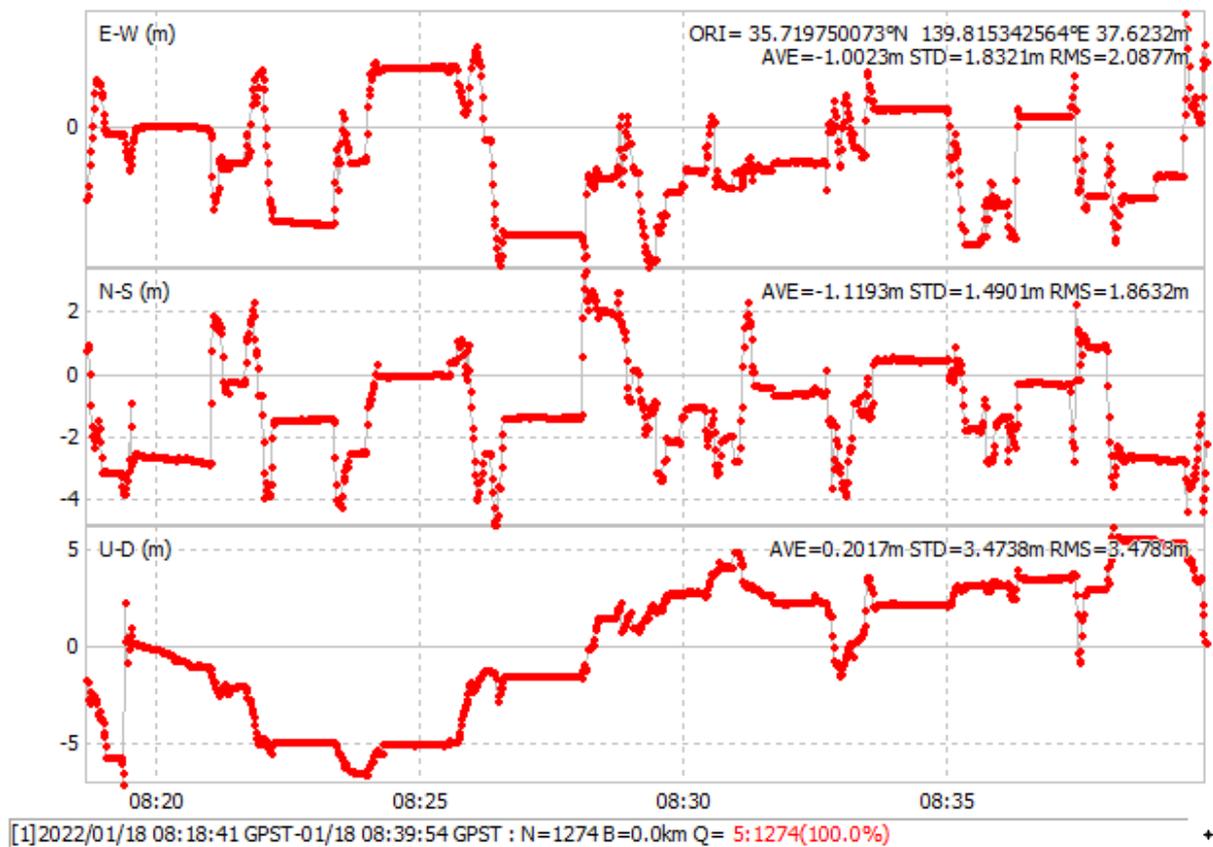


図 4.23 時系列誤差



図 4.24 杉並区宮前1丁目

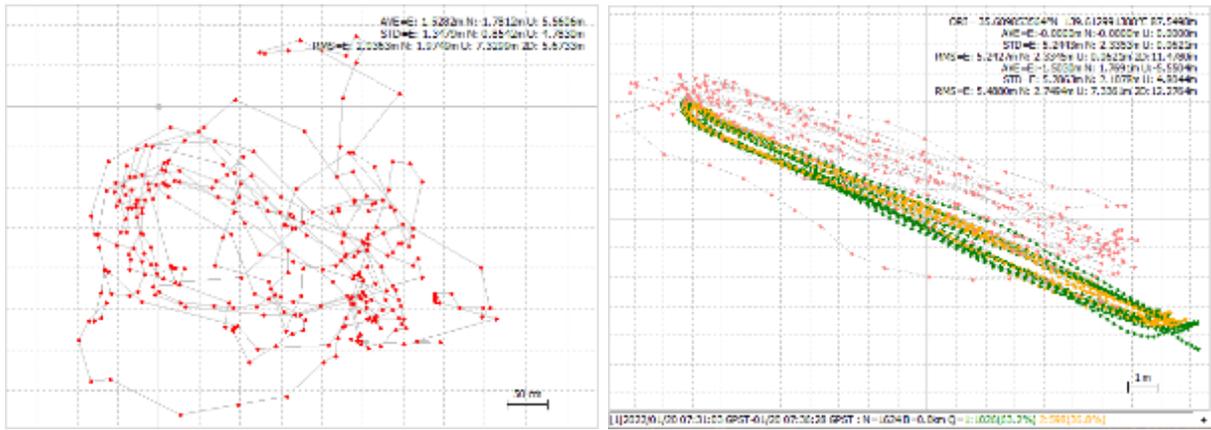


図 4.25 水平誤差とプロット図

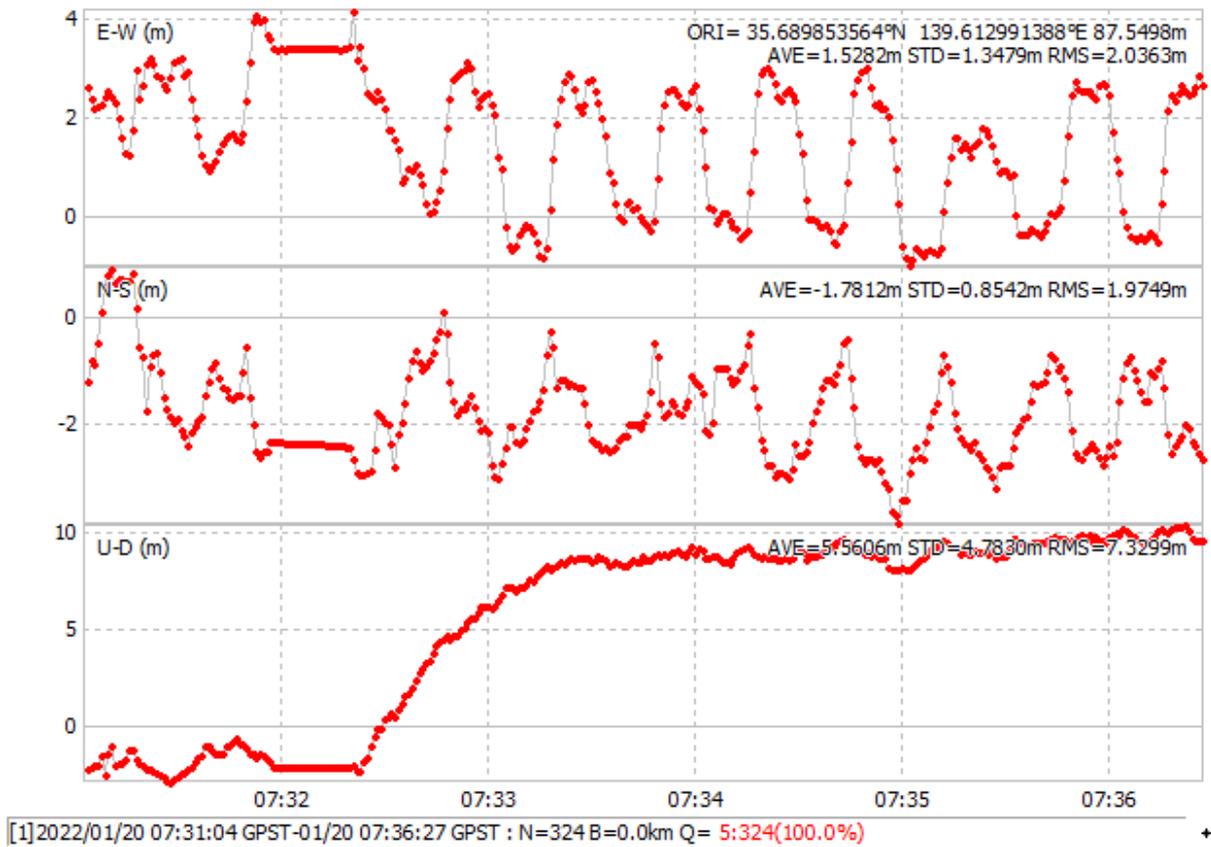


図 4.26 時系列誤差



図 4.27 杉並区上高井戸1丁目

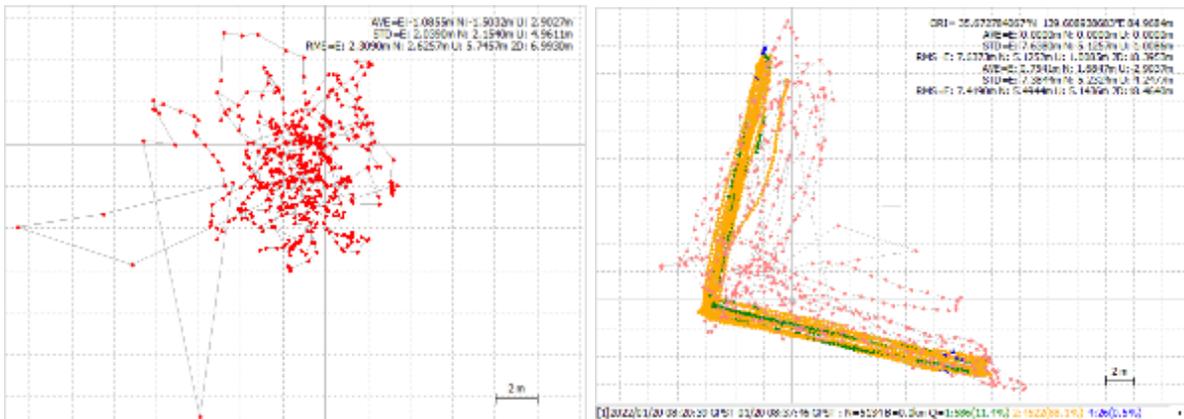


図 4.28 水平誤差とプロット図

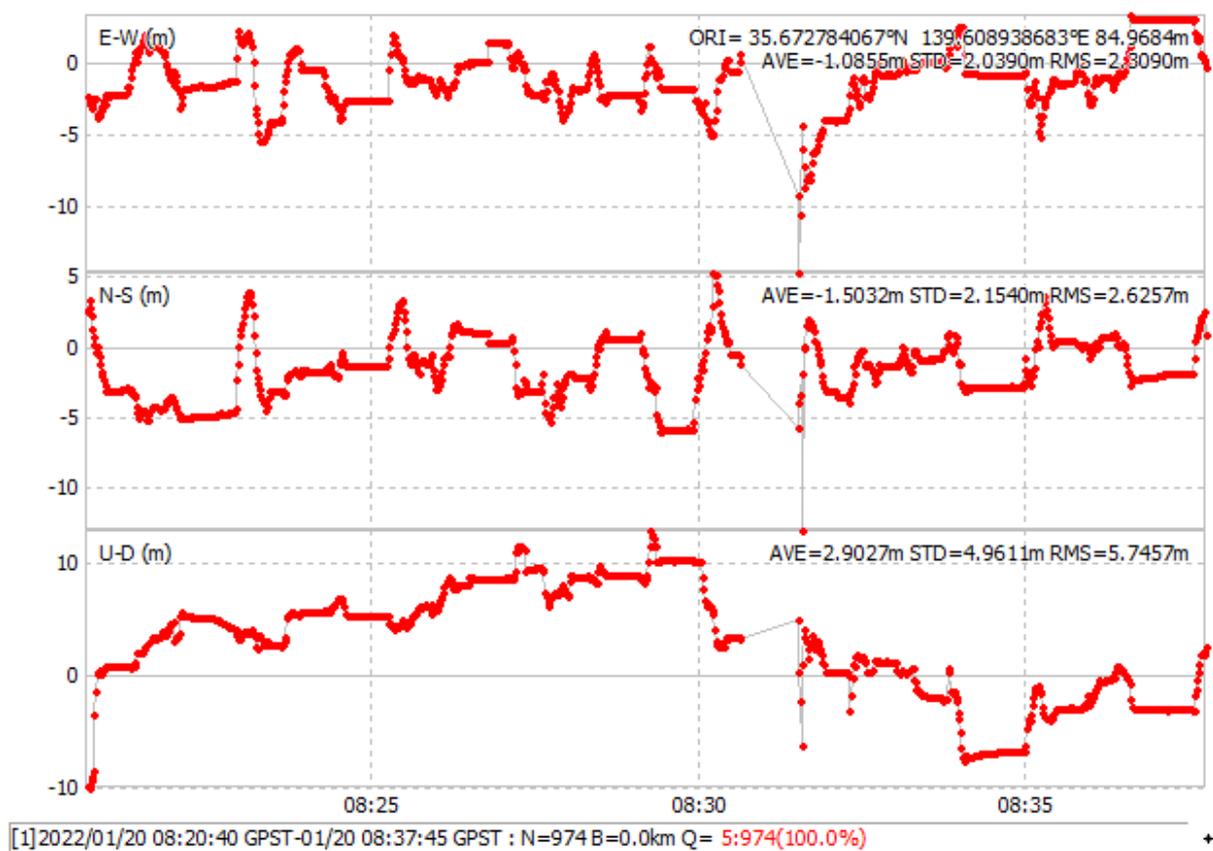


图 4.29 時系列誤差

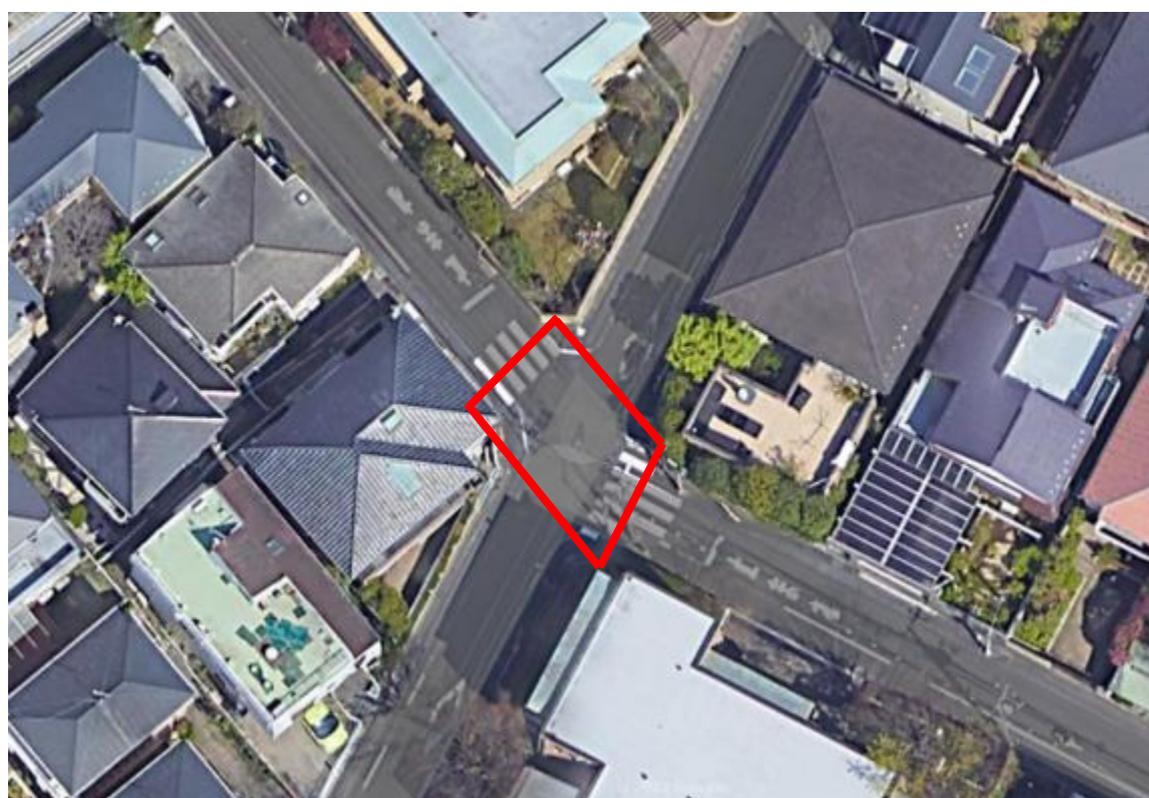


图 4.30 渋谷区上原 2 丁目

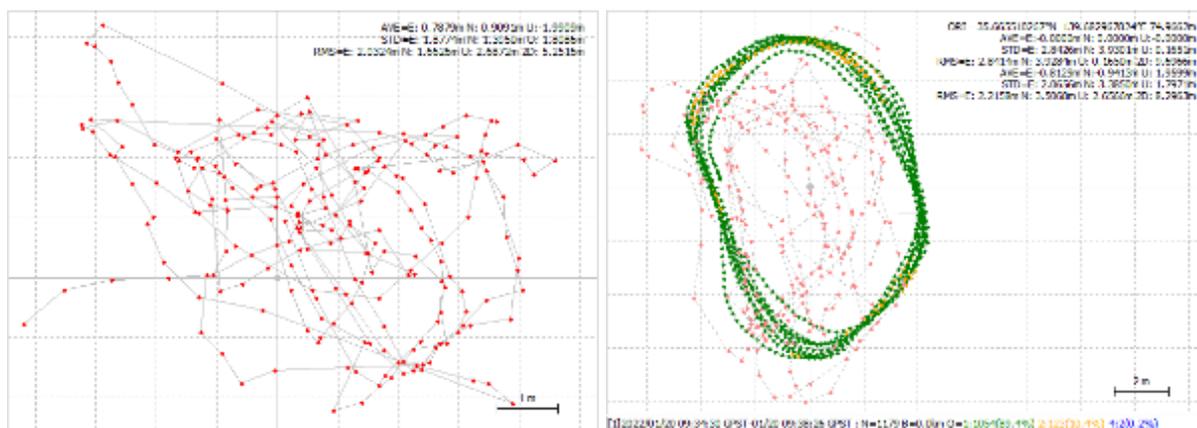


図 4.31 水平誤差とプロット図

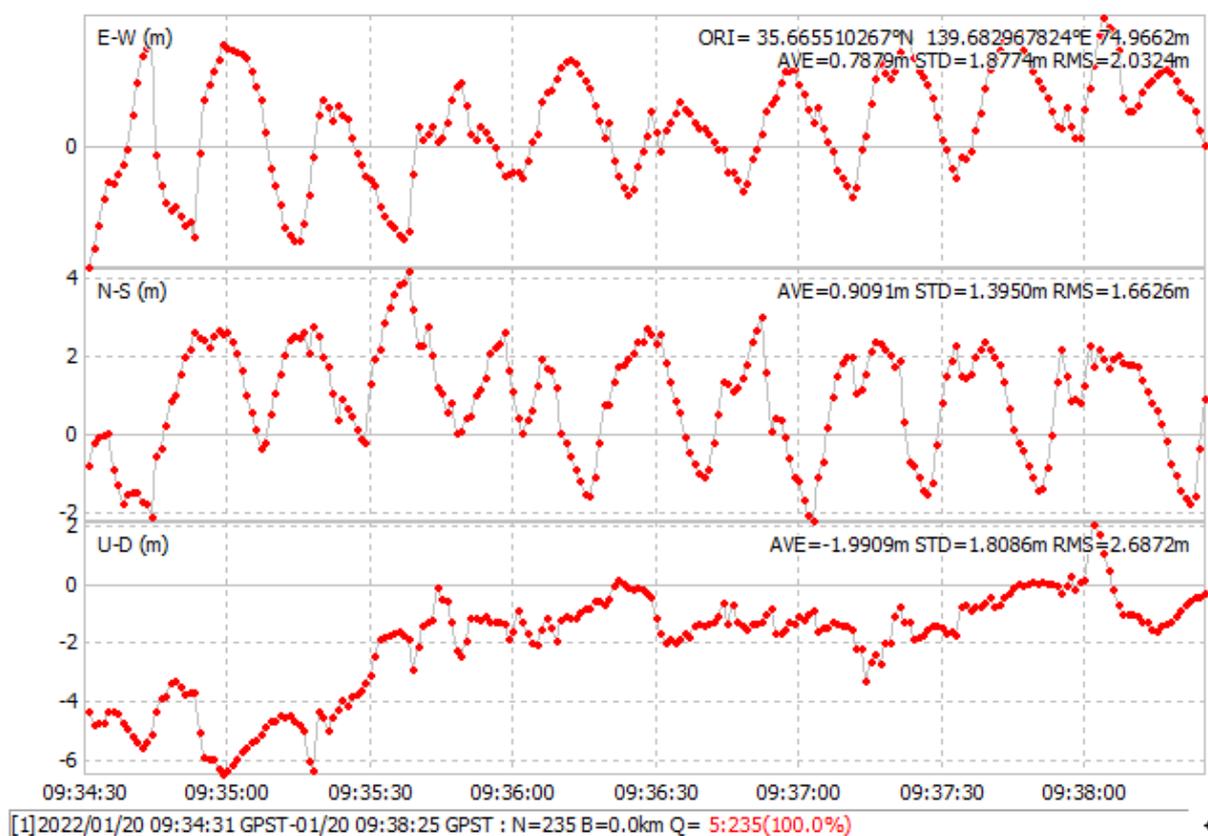


図 4.32 時系列誤差

レファレンス（誤差を算出するための精密位置）の生成について、RTK はおおむね 75%程度で FLOAT 解とあわせてほぼ 95%以上である。なお、今回の誤差の算出において、FLOAT 解のデータも利用しており、自身が実際に歩行した経路から大きく逸脱していないデータを利用した。（RTKPLOT で確認し、1m 以内であることを確認）スマートフォンの位置精度が予想よりも良いことがわかった。

本研究では、東京都内の都市部に位置する複数の交差点において、スマートフォンのGNSS測位精度を評価した。特に、水平方向の精度に注目し、RMS値を用いて測定した結果、3mから8mの範囲の精度が得られた。この結果は、スマートフォンのGNSS測位技術が都市部においても有効であることを示している。しかし、全ての測定地点で均一な精度が得られたわけではない。

具体的に、北砂、柳橋、九段南の3か所の測定地点での測位精度が他の地点に比べて劣っていることが明らかになった。これらの地点で観測された低精度は、ビルの密集度、通信環境の違い、さらには地形的な要因による可能性が考えられる。これらの地点では、GPS信号の反射や遮蔽が顕著に影響しており、測位精度の低下を招いていると推測される。

さらに興味深いことに、これらの測定地点では、他の地点に比べて死亡事故の発生確率が高いことが確認された。これは、測位精度の低下が交通事故のリスクを高める一因となっている可能性を示唆している。特に、歩行者や自転車利用者といった脆弱な交通参加者の安全性を確保する上で、高精度の測位情報が重要である。

このように、都内の特定の交差点におけるスマートフォンの測位精度が他の地点に比べて劣っていることが確認された。これは、特定の地理的、環境的条件下でのGNSS測位技術の限界を浮き彫りにしている。今後、これらの地点での測位精度を向上させることは、死亡事故の発生率を減少させる上で極めて重要である。そのためには、測位技術の改善、マルチパス効果の低減、さらには補助技術の利用など、複合的なアプローチが必要となる。この研究結果は、都市部における交通安全向上のための技術開発において、重要な指針を提供する。

4.2. 指定した交差点

本研究では、交通事故が多い交差点での測位実験を行うことにより、スマートフォンの位置精度が実際の交通事故現場でどの程度有効であるかを検証する。実験に使用する交差点として、東京都内の2つの代表的な交差点、門前仲町と月島を選定した。これらの交差点は、学校の近くに位置しており、アクセスが容易であるため、実験の実施が効率的である。

4.2.1. 実験方法

次に、本研究では学校周辺の2つの交差点、具体的には門前仲町と月島で測位実験を行った。これらの地点は、交通事故が頻発する都市部の典型的な交差点として選定された。本実験の目的は、都市環境における複雑な交通状況でスマートフォンを用いたGNSS測位の精度と信頼性を評価することである。

具体的な実験手順は以下の通りである。まず、実験者がRTK測位装置を手持ちで、各交差点を時計周りに一周する。同時に、GPS-studioというソフトウェアを使用したスマートフォンによるシミュレーションも行われる。この際、RTK測位装置は連続的に位置情報を収集し、そのデータを保存する。一方、GPS-studioは同じ時間帯にスマートフォンから収集したデータを用いて模擬的な位置情報を生成する。

収集したデータは後処理され、RTKデータとGPS-studioによるシミュレーションデータとを

比較する。これにより、スマートフォンのGNSS測位がどの程度の精度を提供し、交差点周辺の複雑な環境が測位精度にどのような影響を及ぼすかを評価することが可能となる。

4.2.2. 実験結果

GPS-studio におけるシミュレーション設定は、実験時間に同期して行われ、反射回数を 2 回、実行回数を同じく 2 回とし、建物のフィルタリング範囲を 200 メートルに設定した。この設定により、都市環境下での GNSS 測位精度と信頼性を効果的に評価するための基盤を確立することを目的としている。

- ・ 門前仲町

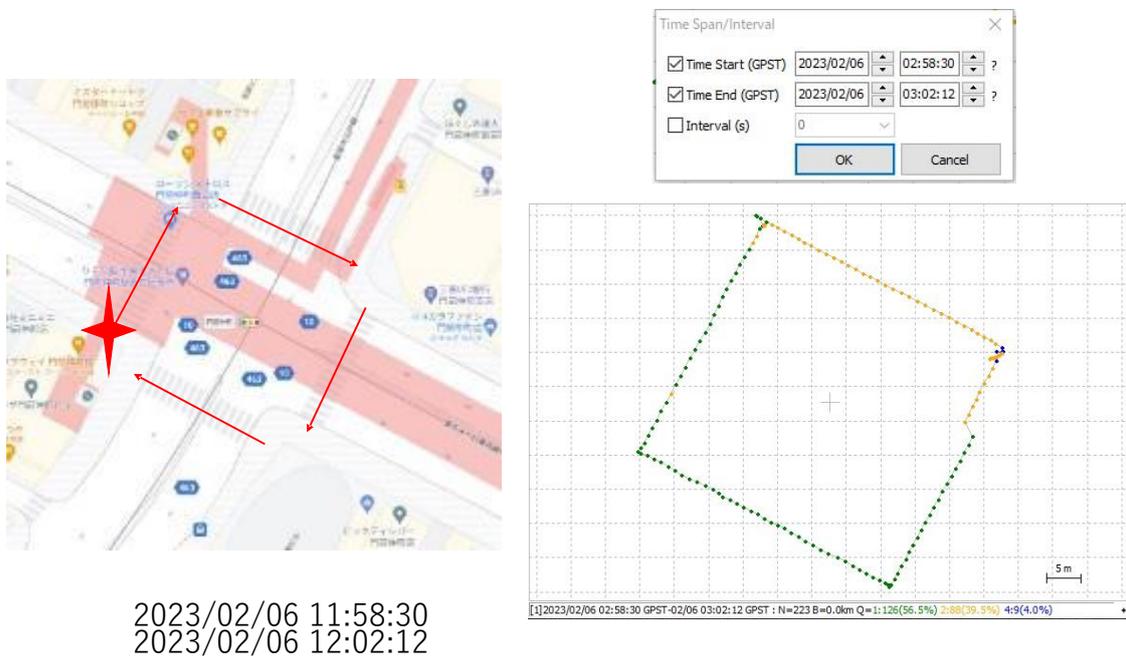
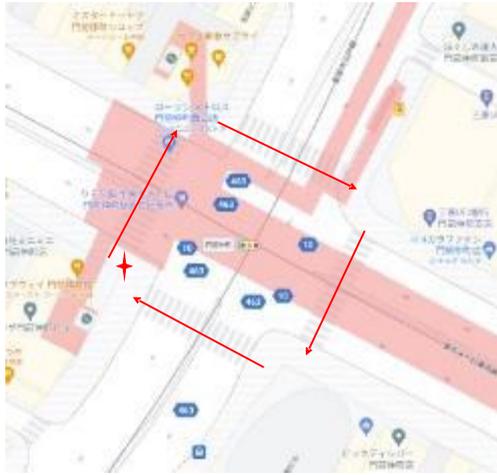


図 4.33 RTKPLLOT での結果（一回目）



2023/02/06 15:21:05
2023/02/06 15:25:09

Time Span/Interval			
<input checked="" type="checkbox"/> Time Start (GPST)	2023/02/06	06:21:05	?
<input checked="" type="checkbox"/> Time End (GPST)	2023/02/06	06:25:09	?
<input type="checkbox"/> Interval (s)	0		
		OK	Cancel

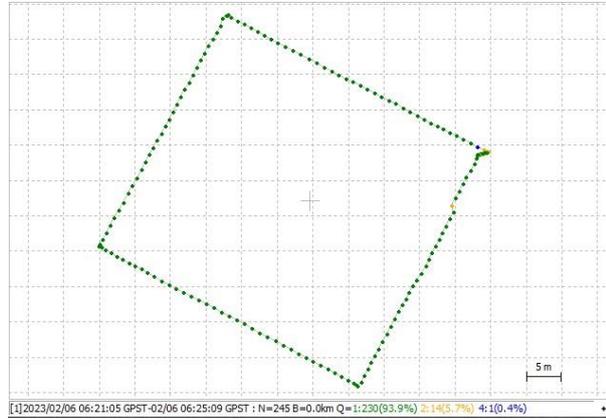
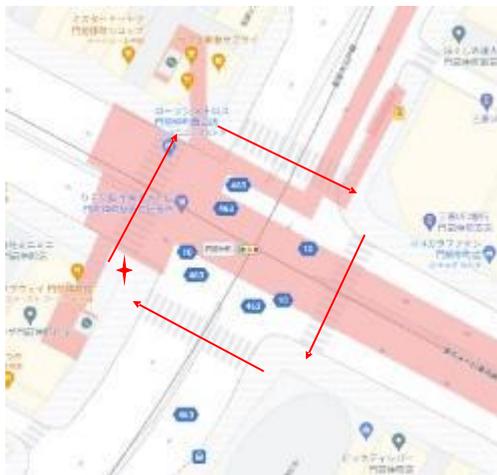


図 4.34 RTK PLOT での結果 (二回目)



2023/02/06 18:25:22
2023/02/06 18:29:27

Time Span/Interval			
<input checked="" type="checkbox"/> Time Start (GPST)	2023/02/06	09:25:22	?
<input checked="" type="checkbox"/> Time End (GPST)	2023/02/06	09:29:27	?
<input type="checkbox"/> Interval (s)	0		
		OK	Cancel

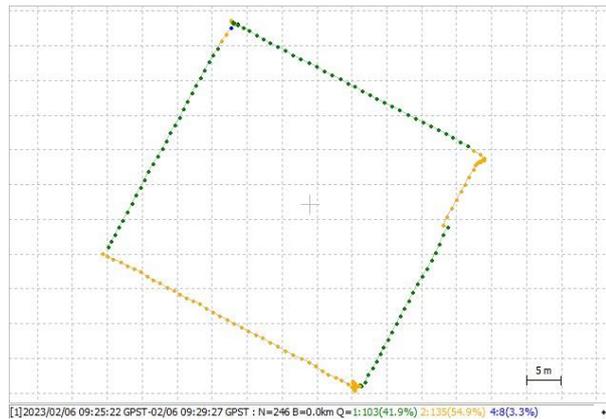


図 4.35 RTK PLOT での結果 (三回目)

信号レベルの比較 G28

12時



図 4.36 信号レベルの比較 (一回目)

信号レベルの比較 G7

15時半



図 4.37 信号レベルの比較 (二回目)

信号レベルの比較 G14

18時半



図 4.38 信号レベルの比較 (三回目)

・月島

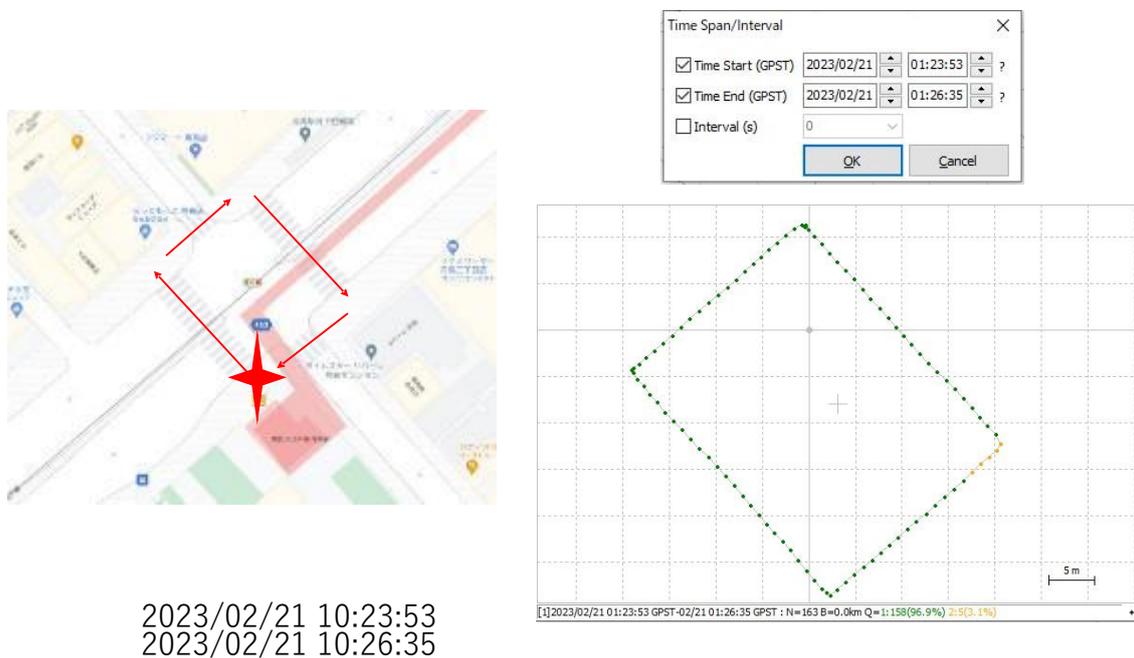
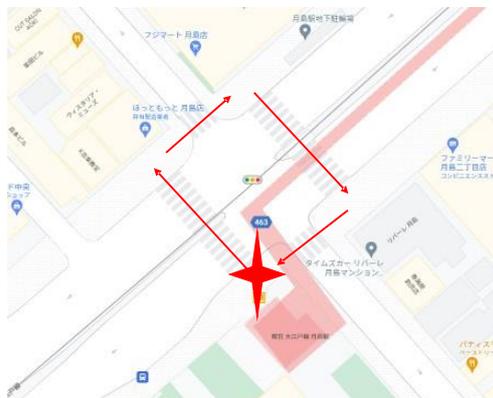


図 4.39 RTKplot での結果 (一回目)



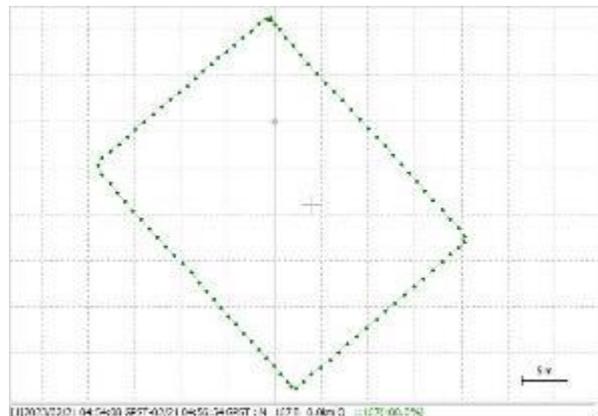
Time Span/Interval

Time Start (GPST) 2023/02/21 04:54:08 ?

Time End (GPST) 2023/02/21 04:56:54 ?

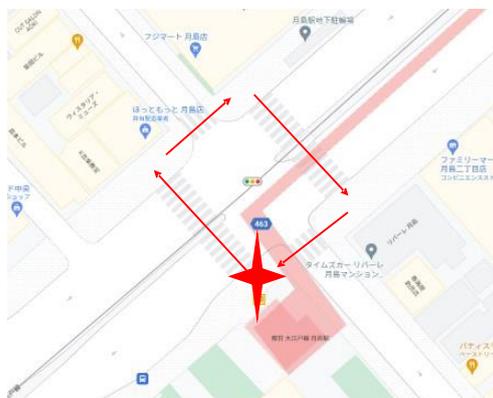
Interval (s) 0

OK Cancel



2023/02/21 13:54:08
2023/02/21 13:56:54

図 4.40 RTK PLOT での結果 (二回目)



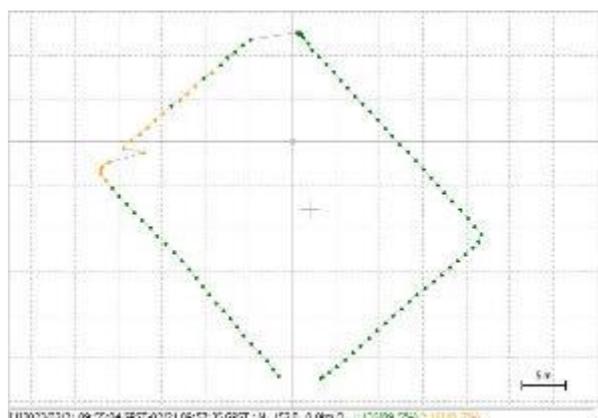
Time Span/Interval

Time Start (GPST) 2023/02/21 09:55:04 ?

Time End (GPST) 2023/02/21 09:57:35 ?

Interval (s) 0

OK Cancel



2023/02/21 18:55:04
2023/02/21 18:57:35

図 4.41 RTK PLOT での結果 (三回目)

信号レベルの比較 G32

10時半

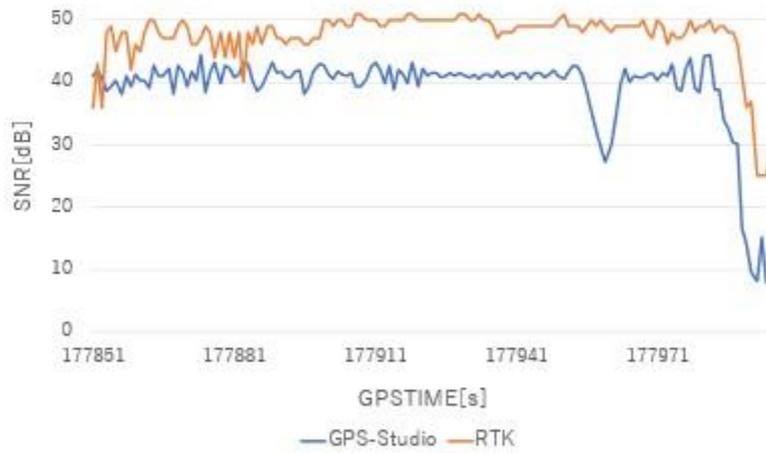


図 4.42 信号レベルの比較 (一回目)

信号レベルの比較 G8

14時

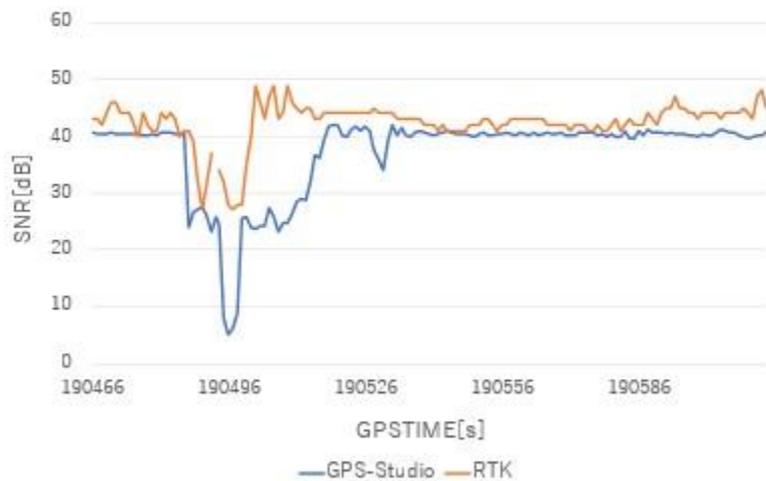


図 4.43 信号レベルの比較 (二回目)

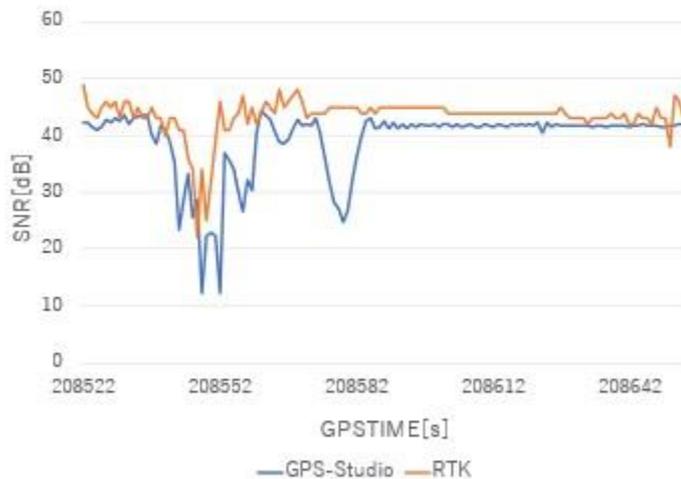


図 4.44 信号レベルの比較（三回目）

信号レベルの比較に際して、各時間帯から特に差異が明確な例を選択した。

GPS-studio によるシミュレーション結果は、一般的に実際のデータに比べて若干小さいものの、全体的な傾向は実測値と大きくは異なる。これは、GPS-studio がかなり高い精度を持っていることを示している。しかしながら、実際には SNR が 0 になる場所でも GPS-studio が値を出力していることから、システムの設計にはまだ改善の余地があると考えられる。これらの結果は、GPS-studio の性能評価において重要な指標となり、都市環境下での GNSS 測位のさらなる精緻化を目指す上で参考となる。

第5章 結論

5.1. まとめ

本研究においては、スマートフォンのGNSS測位精度の評価を行い、その適用可能性について検討した。屋上での実験においては、水平RMSで約1.6mの精度を達成し、越中島キャンパス構内およびグラウンドでの実験では、水平RMSで約2mから5mの精度が得られた。これらの実験において、持ち方（手で持つ、ポケットに入れる、リュックに入れる）による精度の違いは小さかった。

さらに、東京都内の4つの異なる場所で取得したデータに基づくと、比較的開けた場所において水平95%値で2.5mから4mの精度が得られた一方で、両国や丸の内のような都市部では10mを超える場合もあった。交通死亡事故が発生した交差点10箇所における調査では、水平RMSで3mから8mの精度が記録された。

これらの結果から、スマートフォン単体でのGNSS測位精度は、一定の条件下では高い精度を実現可能であることが示された。特に、開けた場所では比較的高い精度を保つことができるが、都市部のような複雑な環境下では精度が低下することが確認された。これまでスマートフォン単体での実現場での精度実力はあまり評価されていなかったが、本研究によりその実力を明らかにすることができた。精度だけを考えれば、一定の条件下では高信頼のアプリケーションへの利用も可能であると考えられる。

以上の知見は、スマートフォンを用いた位置情報サービスの開発や、交通安全支援システムの設計において有用な指標を提供する。特に、交通事故の低減を目指すアプリケーションの開発において、これらの測位精度のデータは重要な考慮事項となるであろう。今後も引き続き、さらなる研究と技術の発展が期待される。

5.2. 歩行者の交通事故防止とスマートフォン利用の可能性

1. 応用範囲の拡大

本研究で確認されたスマートフォンのGNSS測位精度は、多くの応用分野において極めて有用であることが示された。例えば、徘徊傾向のある高齢者や子どものリアルタイム位置追跡にスマートフォンを活用することが考えられる。特にビルが密集していない地域では、約5m以内の精度での位置特定が可能であり、これは家族や介護者が安全を常に監視する上で非常に役立つ。

2. 車両との連携

また、追跡された位置情報を自動車のナビゲーションシステムやスマートフォンアプリに統合し、高リスクの歩行者が近くにいる場合にドライバーに警告するシステムの構築も有望である。日本のようにビル街の割合が比較的少ない地域では、この技術は歩行者とドライバーの双方の安全を向上させる可能性を持つ。

3. 交差点での安全性向上

現在の技術水準では自動車の自動制御には至らないが、ドライバーへの警告システムの構築は可能である。カーナビ地図等を用いてビル街を事前に識別し、ビル街を除外した場合の5m未満の精度を活用することで、交差点などでの出会い頭の事故抑制が期待できる。ここで重要となる

のは、効率的な通信手法の開発である。

5.2. 今後の課題

本研究で明らかにされた成果にもかかわらず、いくつかの課題が残されている。特に、ビル街などの複雑な環境下での精度向上は、今後の研究で解決すべき重要な課題である。また、プライバシー保護やセキュリティ、法的な規制など、技術的な進歩と同時に、社会的な受容に関する課題も解決していく必要がある。

スマートフォンのGNSS測位技術は、今後の社会においてさまざまな応用が期待される。そのためには、技術的な課題の解決とともに、社会的な受容を高めるための努力が求められる。本研究の成果が、これらの課題への解決策を見出す一助となることを期待する。

参考文献

[1] 警察庁 HP

<https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/toukeihyo.html>

[2] スマホ位置情報で公道での事故を防止 ～出前館、日本交通と実証 死角の車両の存在を運転手へ自動通知～

<https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2023/01/30/6519.html>