

MADDOCA信号を利用した 高精度単独測位の精度評価と 統合測位への応用

海事システム工学科 情報コース

学籍番号:1221052

八田大典

指導教員:久保信明 准教授

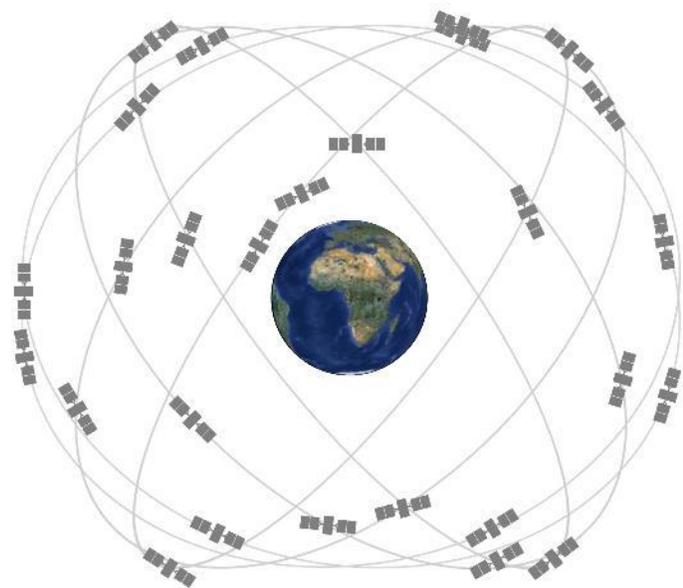
目次

1. はじめに
2. 衛星測位の概要
3. MADOCA-PPPの性能
4. 統合測位
5. PPPの再収束時間短縮への応用
6. まとめ

はじめに



QZSS 3Dモデル
出典:みちびきウェブサイト



GPS Constellation 概念図
出典:NASA公式ウェブサイト



左:DJI製ドローンMavic Pro (出典:DJI公式HP)



中央:北海道大学が製作した自動運転トラクター(出典:みちびき公式サイト)



右:ロールスロイスとフィンフェリーの自律運行船(出典:ロールスロイス公式HP)

目的

- 第一の目的
準天頂衛星から配信されているLEX信号を利用した
MADOCA-PPP(高精度単独測位)について精度評価を行う
- 第二の目的
IMUやSPEEDセンサと統合することでPPPが利用不可能または精度低下する場所での測位性能向上を目指す

衛星測位の概要

伝搬時間 t [s] \times 光速 c [m/s] = 疑似距離 R [m]

各衛星との疑似距離 R_i

衛星位置 = $x_i y_i z_i$ 受信機位置 = $x_p y_p z_p$

Δt = 受信機の時計オフセット

b_i = 衛星の時計オフセット

$$R_i = \sqrt{(x_i - x_p)^2 + (y_i - y_p)^2 + (z_i - z_p)^2} + c\Delta t + b_i$$

未知なのは受信機位置 $x_p y_p z_p$ と Δt なので
4元連立方程式を立てることで受信機位置が求まる



R_2



R_3

R_4

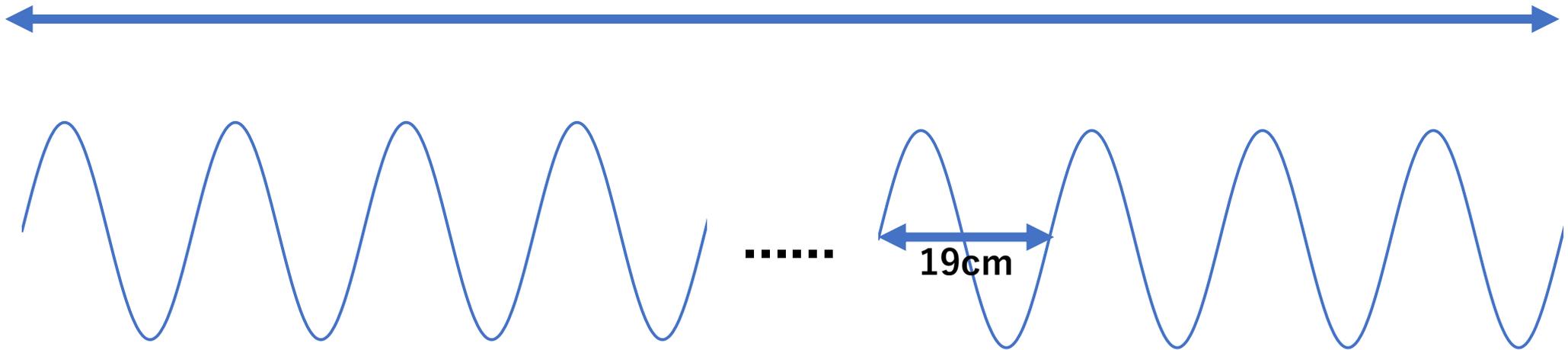


PPP測位の概要

高精度測位では擬似距離ではなく搬送波位相を観測することで精度向上を図る

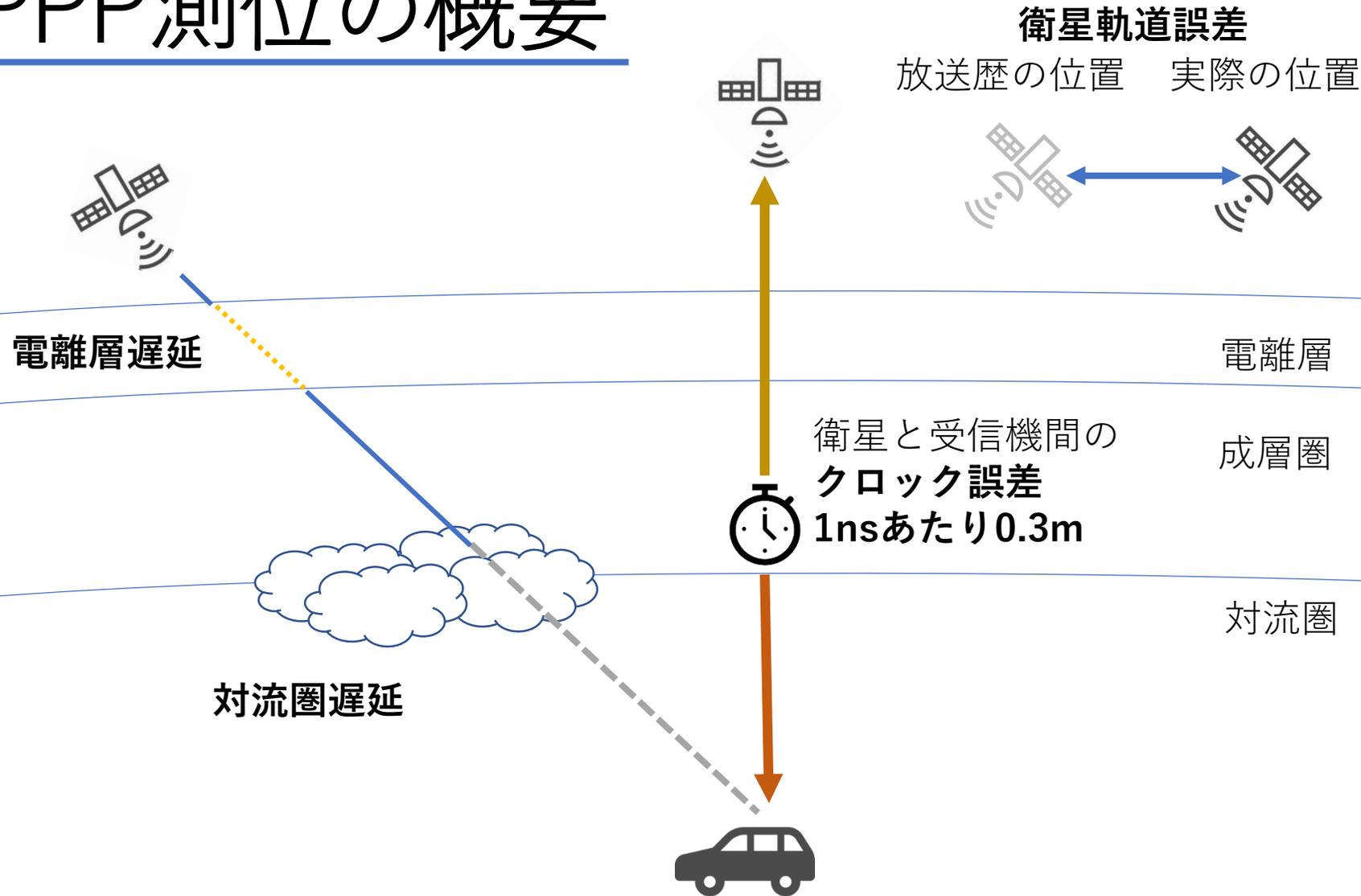
GPSのL1信号の場合

周波数 1575.42MHz

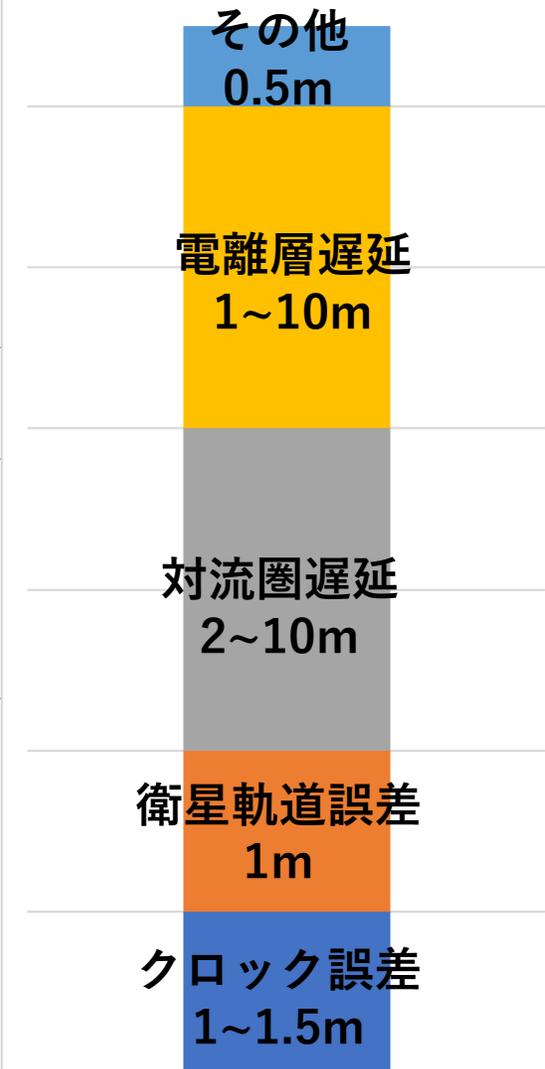


距離 = 受信した波数 * 波長(19cm) + 現在受信中の波の位相(0~19cm)

PPP測位の概要



主な誤差要因



*条件によって誤差は変動

海上でのGNSS利用時の問題



問題点

船舶は陸地から非常に遠い距離にいるため陸地の基準局やインターネット回線から補正情報を受け取ることが困難

数100km以上

数10km~100km程度

ユーザー側はGNSS受信機と衛星からの信号のみで測位を行う必要がある



基地局

MADOCA-PPP

JAXAが実証試験中の高精度単独測位用 補正情報サービス
精密歴(クロックと軌道)を放送

Multi-GNSS
Advanced
Demonstration tool for
Orbit and
Clock
Analysis



精密歴の種類と特徴

スマートフォン等の一般受信機は放送暦を使用している

			衛星クロック精度	IGS更新間隔 (軌道/クロック)	MADOCA更新間隔 (軌道/クロック)
放送暦	リアルタイム	100cm	5ns	1日/1日	
超速報暦(予測)	リアルタイム	5cm	3ns	15分/15分	
超速報暦(実測)	6時間	3cm	150ps	15分/15分	15分(軌道のみ)
速報暦	1日	2.5cm	75ps	15分/5分	15分/5分
最終暦	2~3週間	2.5cm	75ps	15分/30秒	15分/5分

MADOCA-PPP

衛星経由のリアルタイム補正情報は
データ容量を圧縮するためにSSRという形式に変換している

更新間隔を分けることで精度を下げずに圧縮

精密時刻 = 放送暦 + **高速時刻補正**

名称	更新間隔
軌道補正	30秒
衛星コードバイアス	3時間
URA	30秒
高速時刻補正	2秒
搬送波位相バイアス	900秒

LEX信号に乗せて
精密歴を放送

2kbpsしか使えない



PPP測位計算に利用

MADOCA-PPPの性能



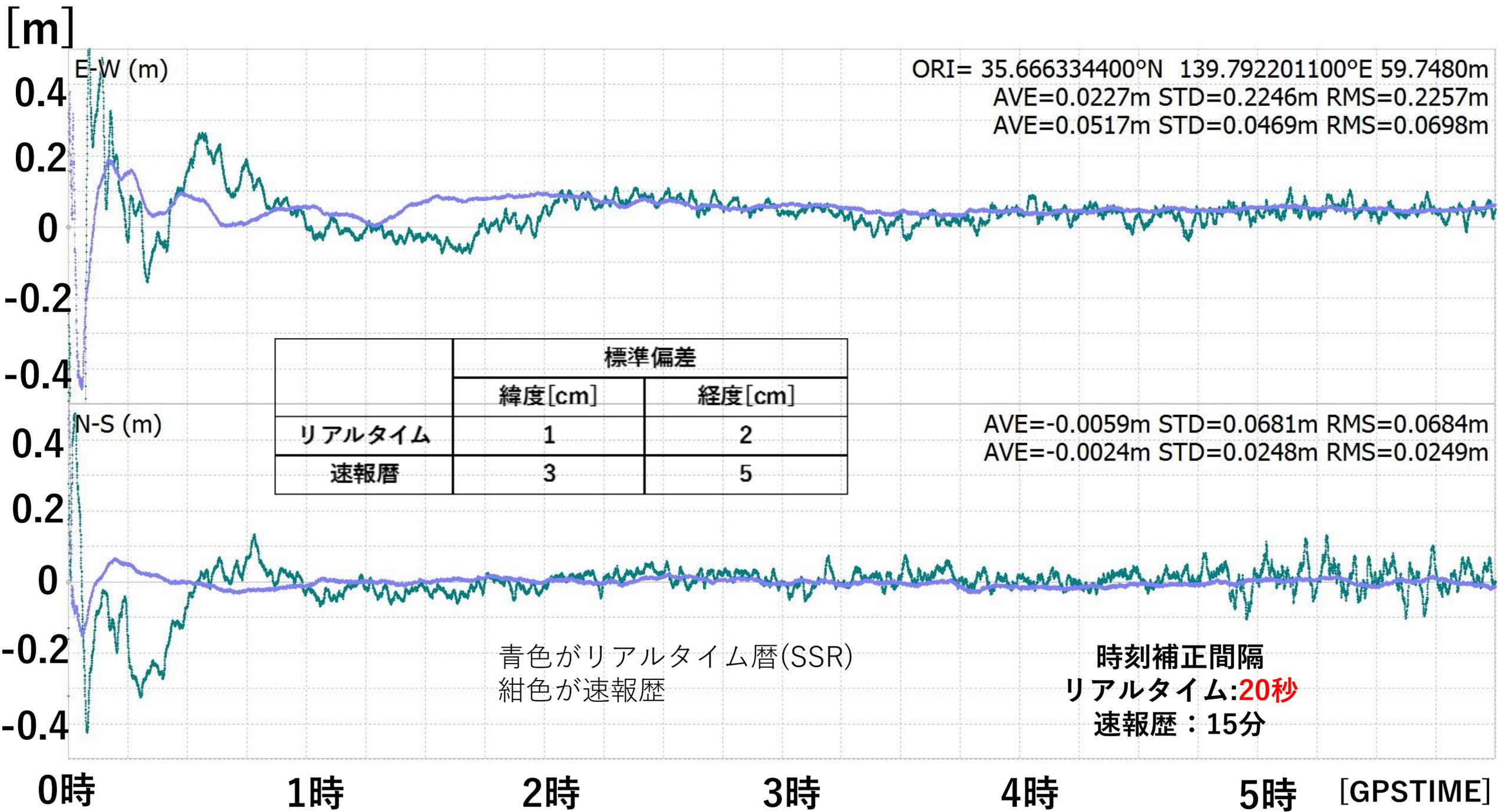
オープンソースソフトウェアRTKLIBを利用した
後処理MADOCA-PPPの性能評価実験

性能評価 実験概要

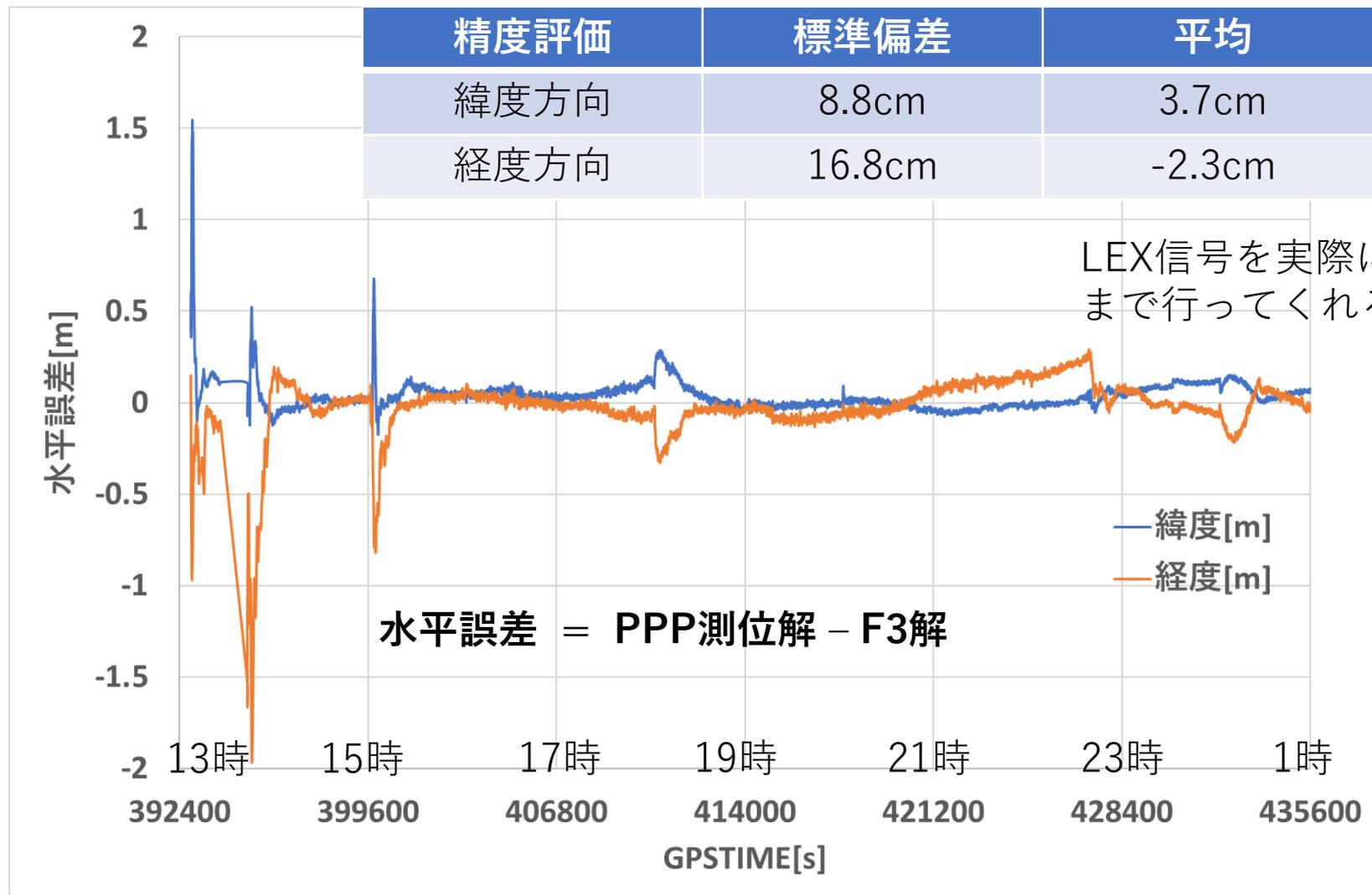
実験状況	静止実験
実験日時	2018年11月18日
実験場所	越中島キャンパス 第四実験棟屋上
受信機	Trimble NetR9(1Hz)
アンテナ	Trimble製アンテナ
使用した補正データ	リアルタイム暦と速報歴
使用衛星	GPS QZSS GLONASS
真値	F3解



実験に使用したアンテナ



MADOCA-PPPの性能



LEX信号を実際に受信してデコードし測位演算まで行ってくれる**唯一の市販受信機**



市販受信機概観

GNSSの問題点



橋の下やトンネルの下、高層ビル街等では測位不能になったり精度低下が発生する

統合測位とは

IMU



得られるデータ

姿勢・方位

GNSS/Doppler



得られるデータ

位置・速度・方位

SPEED

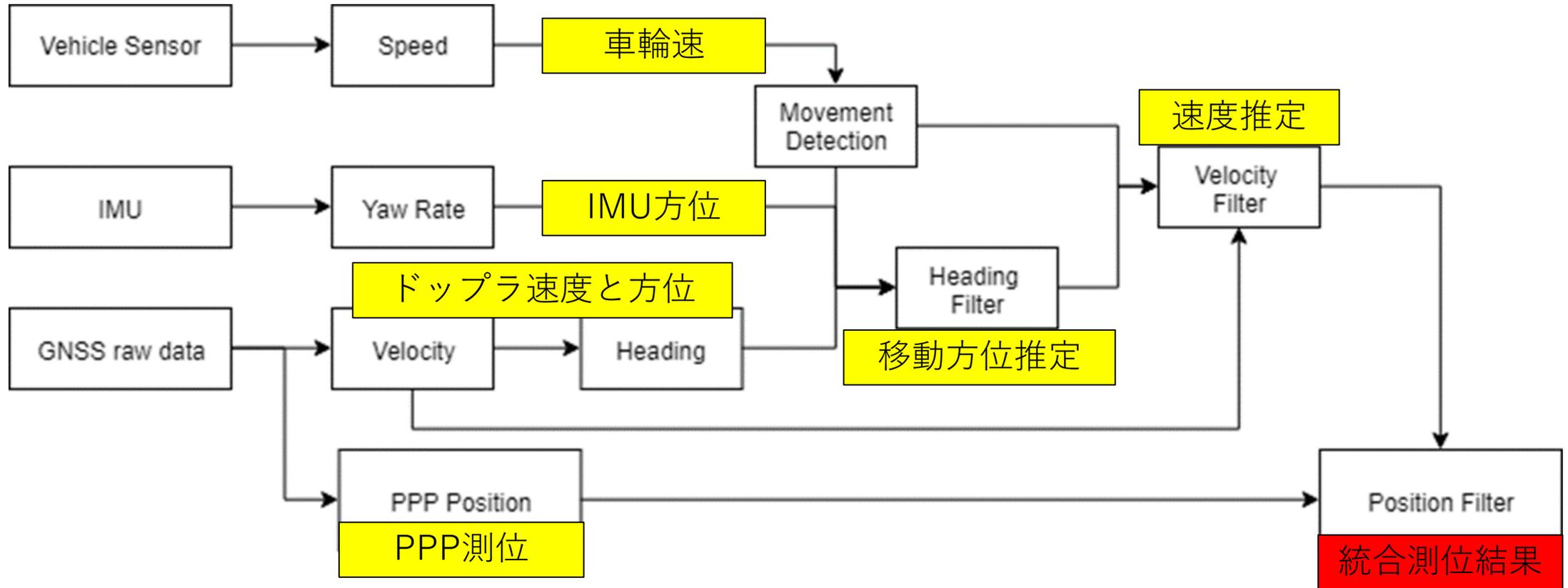


得られるデータ

車輪速

それぞれのセンサに特徴や欠点があるため相互に補いあうことで正しい値を得る

統合測位手法



カップリングアルゴリズム

オープンスカイ環境での実験

- 比較的オープンスカイ環境の首都高速で実験を行った
- 本実験はトリンブル社製の受信機を使ったPPPを利用した統合測位実験

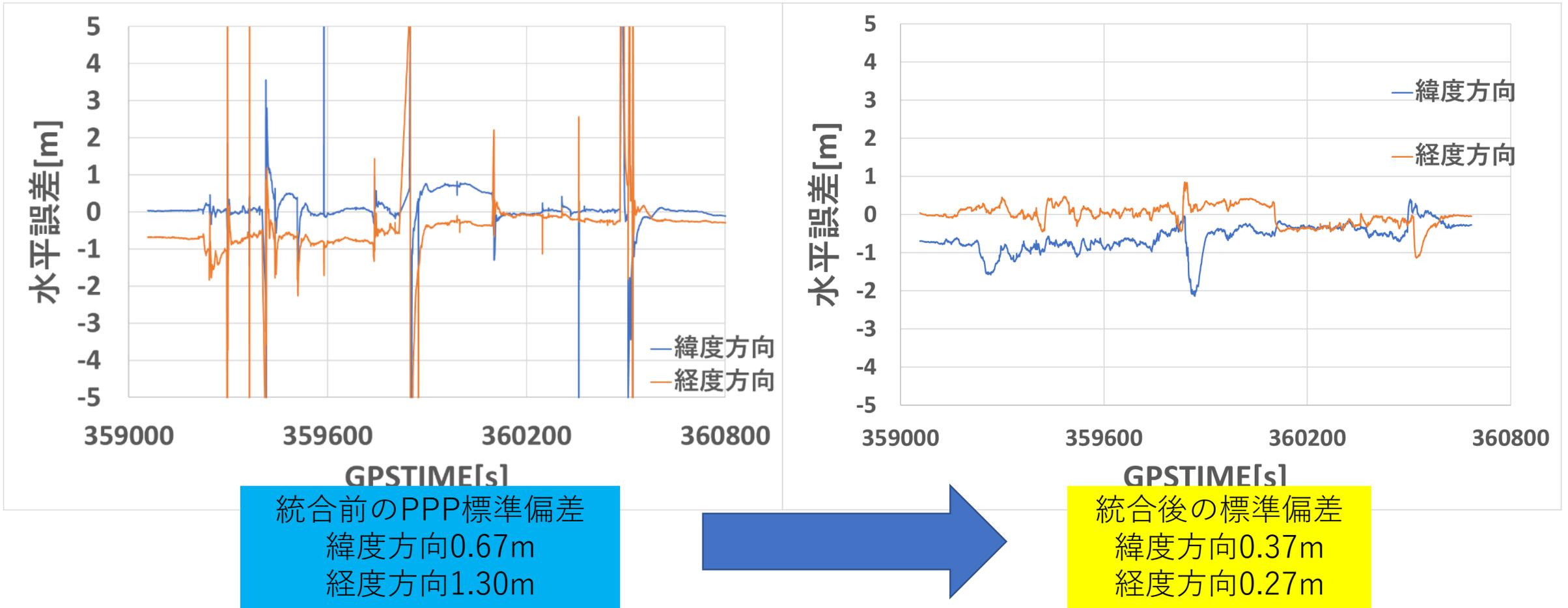
実験場所	首都高速上
実験日時	2018年9月6日 約27分
使用受信機	基準局がトリンブル製NetR9(1Hz) 移動局がトリンブル製APX-15v2 (5Hz)
利用衛星	GPS QZSS BEIDOU GALILEO
アンテナ	JAVAD製GrAnt-G5T(移動局)
IMU	東京航空計器 CSM-MG100(100Hz)
SPEED	POSLVX車輪速(100Hz)
精密位置	APPLANIX製POSLVXにて同時取得



実験コース

後処理PPPとの統合結果

バイアスを取り除くことは困難だが、測位解をスムーズにすることは成功した



IMUとSPEEDセンサをGNSS(PPP)測位結果と統合した結果

測位精度評価

	最大誤差	標準偏差	1 σ	誤差1.5m以内に収まる割合
PPPのみ	約26m	約1.4m	約55%	約92%
統合測位	約2.8m	約0.36m	約80%	約97%

絶対水平誤差[m]

30
25
20
15
10
5
0

359000

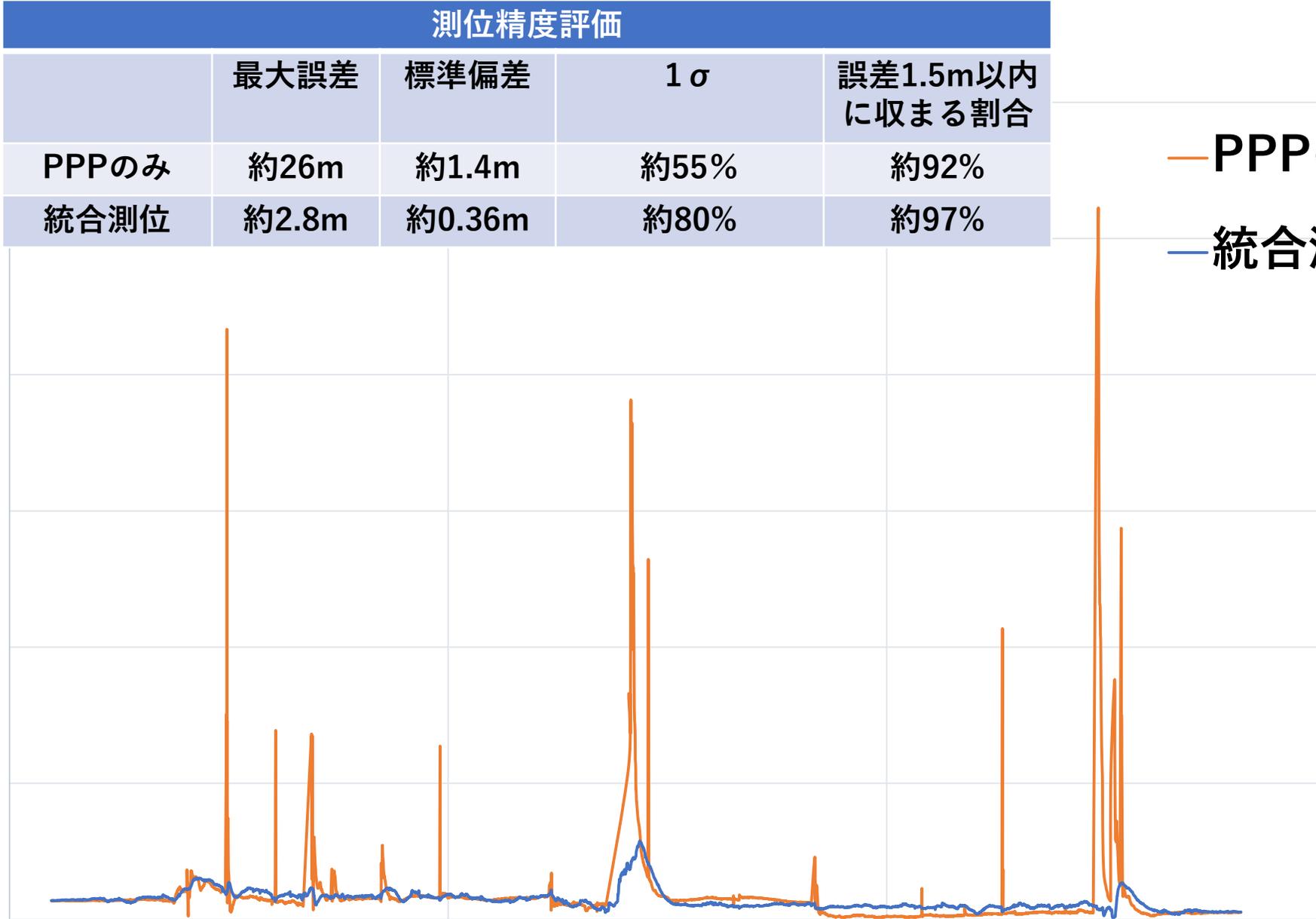
359600

360200

360800

GPSTIME[s]

— PPPのみ
— 統合測位



PPPの2つの問題点 (収束時間とバイアス)



① バイアスの問題は、こちらのソフトの問題である可能性が高い。原因を調査しているが他のデータではほぼ散見されない

② 高架下等での測位中断時における再収束の問題

再収束が発生する理由

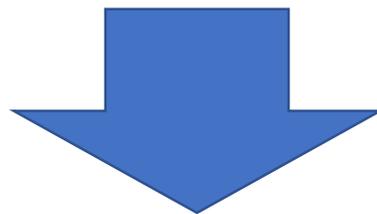
PPPは搬送波位相をメインで利用しており、測位中断時に、カルマンフィルタで推定している搬送波位相のFLOAT値（または整数値）対流圏遅延推定値電離層遅延推定値等が初期化されてしまう
→カルマンフィルタでは当たり前の課題

PPPの再収束時の対応

- **搬送波位相のスリップ量**については、そもそも高架下では実データを観測できないため、**GNSSだけで推定は困難**

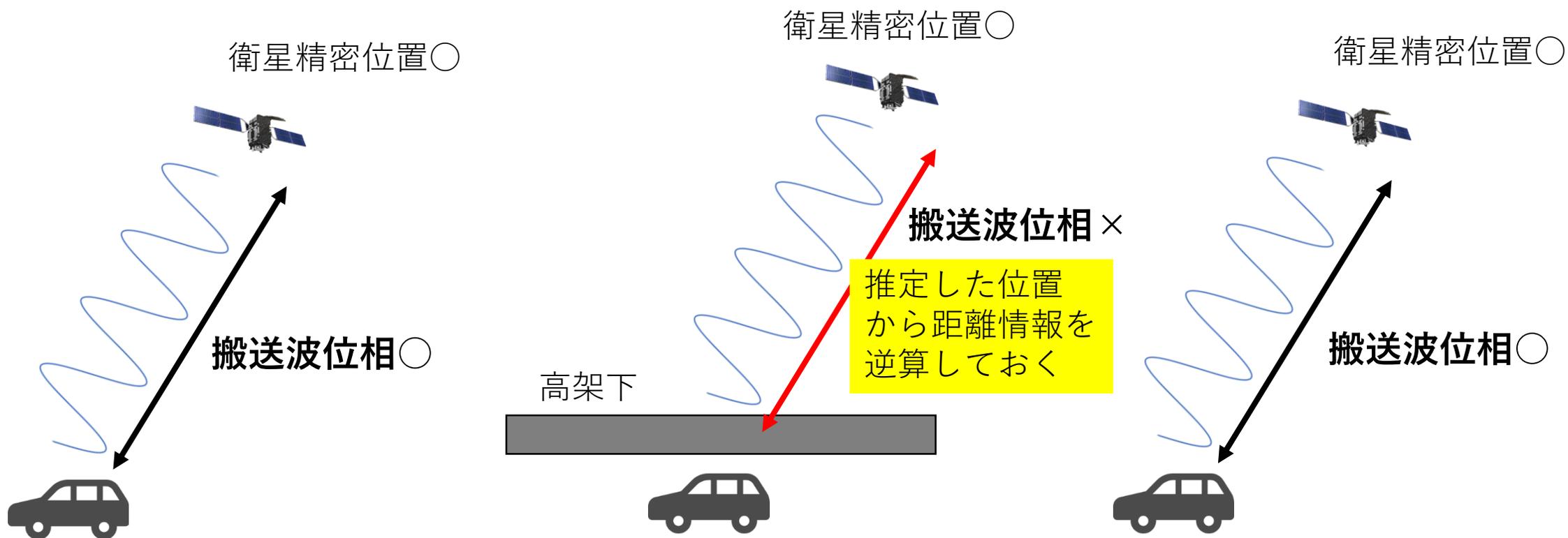
(搬送波位相のスリップは高架下だけでなく木の茂みや大きな看板でも発生します)

- 一方、対流圏や電離層遅延量は、高架下に入る直前の良好な推定値が10秒～20秒（1分でも問題ない）で変化することはない→
よって、高架下に入る直前の推定量をそのまま利用すればよい
(誤差として数cm以内)



搬送波位相のスリップ量については、**IMUや速度パルスでGNSSが利用できない時簡帯でも自身の位置を算出することは可能**なので、逆にこのGNSS以外で算出した位置から搬送波位相の連続量を継続して推定する

PPPの再収束時間短縮への応用



収束に要する時間
通常のPPP測位× → 数分以上
距離情報逆算手法○ → ほぼ瞬時

IMUや速度パルス
より算出した位置△
10秒程度だと10cmの精
度キープ可能

通常のPPP測位○

← 進行方向

まとめ

- MADOCA-PPPのリアルタイム暦を利用して高精度の後処理PPPが実施可能
- PPPを統合測位に利用した場合、バイアスを取り除くことはできないが、最大誤差を減らして測位解をスムーズにすることは成功した

今後の課題

PPPの再収束問題については統合測位結果を利用することで短縮することが可能かもしれない

参考文献

- Phil Kim著 (2011)Kalman Filter for Beginners
- 宇宙航空研究開発機構 (2016~2017)MADOCA-SEADインターフェース仕様書