

# 港湾や河川における船舶の 自律航行に向けた基礎研究

2016年2月8日

海事システム工学科 4年

岩嶋 恭子

指導教員: 久保 信明 准教授

# 発表の流れ

1. 研究背景
2. 目的
3. 統合手法
4. 実験概要、結果
5. まとめ

# 1. 研究背景

- 自律航行船
- EU 「MUNIN」
- ロールスロイス 無人輸送船
- DNV-GL ReVoltプロジェクト



大型かつ商船向け

目的: 事故の削減や人員削減

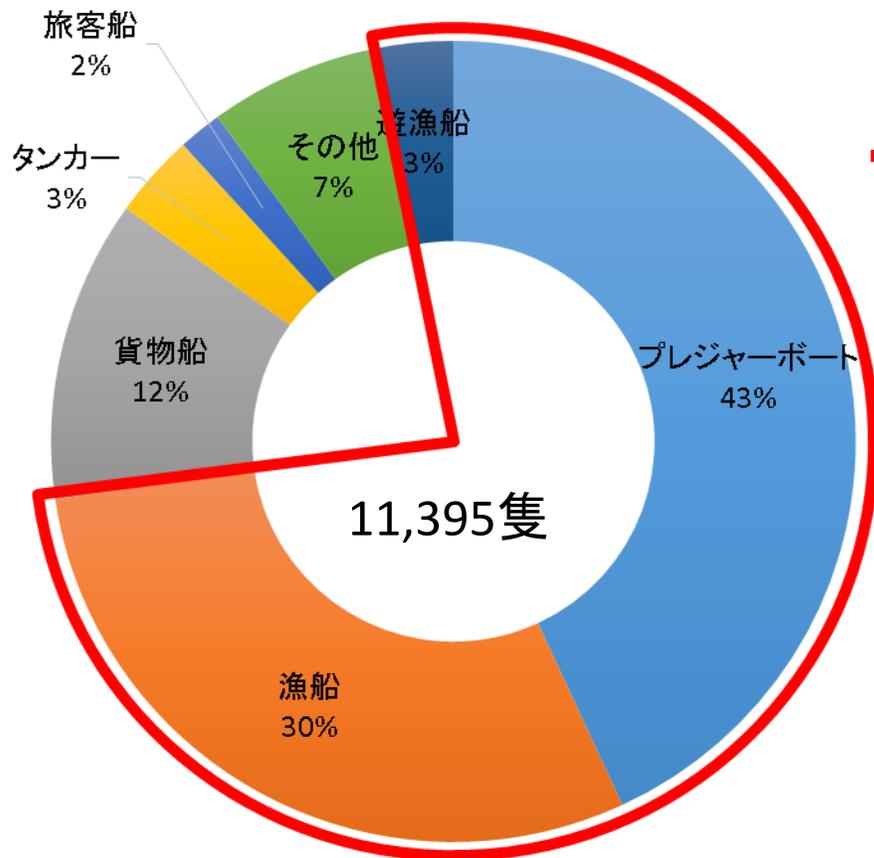


ロールスロイスによる無人輸送船のイメージ  
<http://ascii.jp/elem/000/001/026/1026014/>



DNV-GL <https://www.dnvgl.com/technology-innovation/revolt/>

# 1. 研究背景



全体の76%が  
小型船舶の事故

小型船舶の自律航行を検討

船舶事故の発生件数、船舶種類別(過去5年間)

海上保安庁「海難の現況と対策について」平成27年度版

## 2.目的

- 自律航行
- センサによる自船位置認識、周辺状況判定

### 必要だと考えられるもの

- GNSS/IMU:絶対位置
- レーダー、カメラ:相対位置や環境認識
- 精密地図

# 精密地図

海上保安庁交通部による情報提供  
<http://www.kaiho.mlit.go.jp/info/mics/>

海の安全情報  
海上保安庁  
東京海上保安部

船名	航路	航路	航路	航路
東海丸	東京	3m	--	--
東海丸	東京	4m	--	--
東海丸	東京	3m	100%	--
東海丸	東京	4m	--	--
東海丸	東京	4m	--	--
東海丸	東京	5m	--	--
東海丸	東京	5m	--	--

日出没情報  
東京

日付	日没/日	時刻	時刻	時刻
2017/02/02	日没	17:11	2017/02/02	02:51
2017/02/03	日没	17:12	2017/02/03	02:52
2017/02/04	日没	17:13	2017/02/04	02:53
2017/02/05	日没	17:14	2017/02/05	02:54

動的情報  
他船の位置、航行状況  
危険物、危険海域  
気象、海象

重ね合わせ



静的情報  
航路、航路標識  
沿岸の地形、ランドマーク



- 今後、ネットワーク経由の位置情報が衝突回避に利用されると考えられる
- 高精度な地図による位置が必要

ライブ船舶マップ  
<https://www.marinetraffic.com/>

## 2.目的

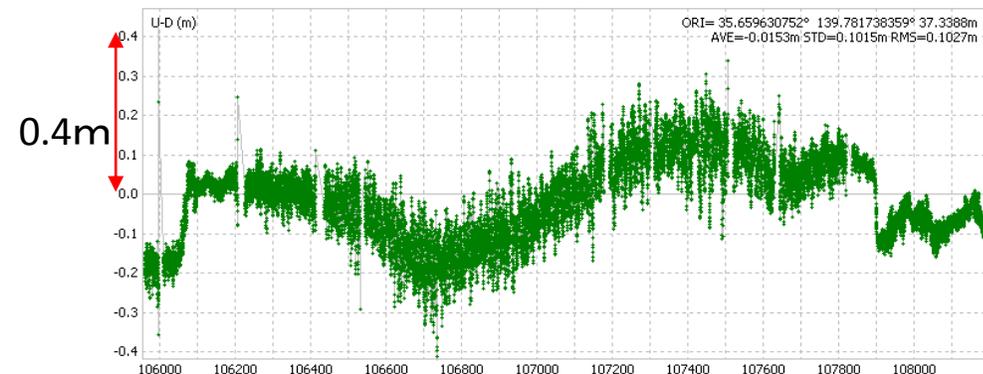
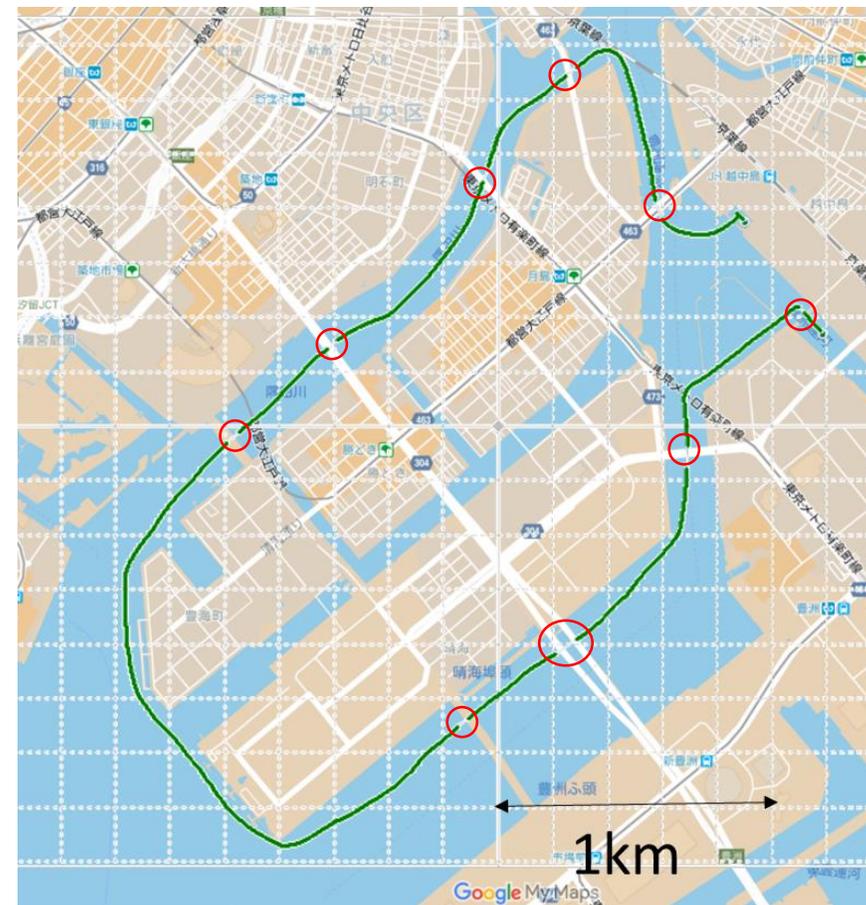
- 自律航行
- センサによる自船位置認識、周辺状況判定

### 必要だと考えられるもの

- GNSS/IMU:絶対位置
- レーダー、カメラ:相対位置や環境認識
- 精密地図

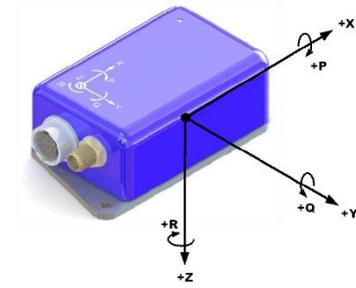
# GNSS

- RTK (Real Time Kinematic)-GNSS
- cm精度で位置が求まる
- 橋の通過等により電波が遮蔽されると精度劣化または測位できない
- 通信により補正情報を受け取る必要がある



大学周辺航行時のRTK結果

# IMU (慣性計測装置)

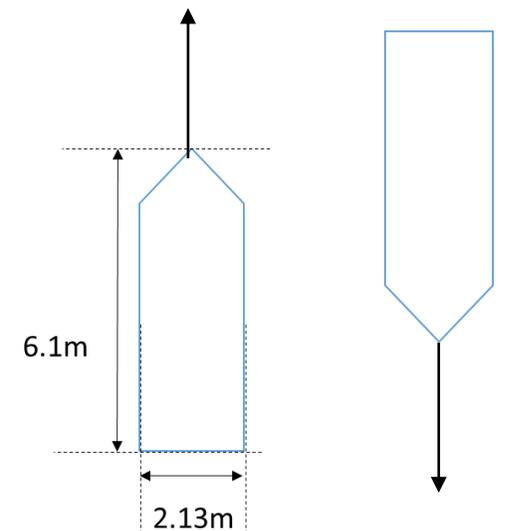
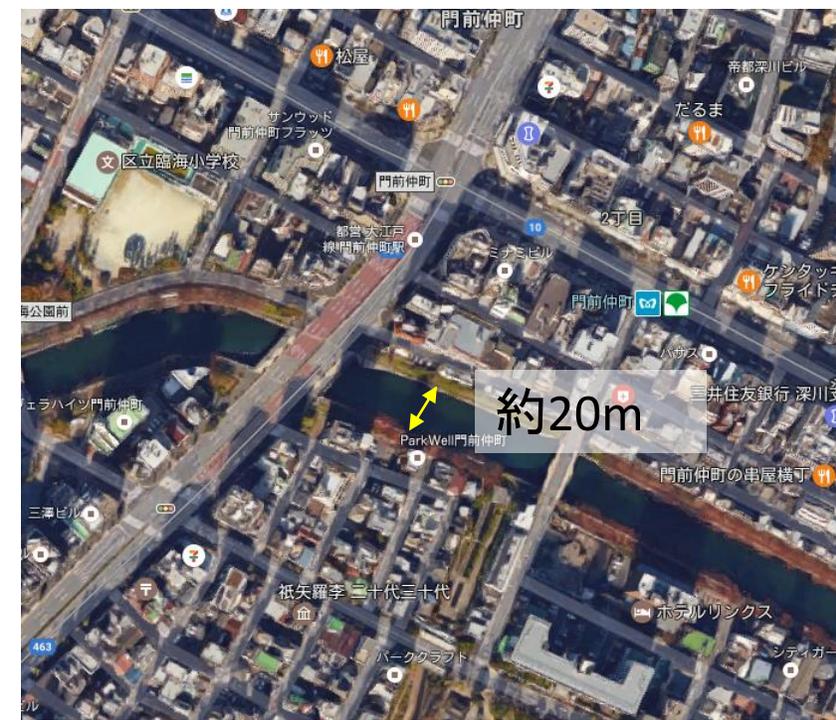


- 3軸の角速度および加速度センサで構成
- 短時間では精度がよい
- バイアス誤差が蓄積する

## 2.目的

# GNSS/IMUによる絶対位置

→ 50cm ~ 数m で必要だと予想



実験に使用したボートの  
サイズ

## 2.目的

- 小型船舶導入、利用を考えた低コストなシステム

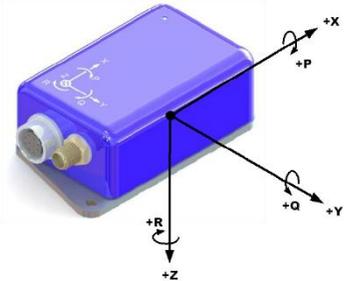


- 1周波GNSS受信機によるRTK-GNSS

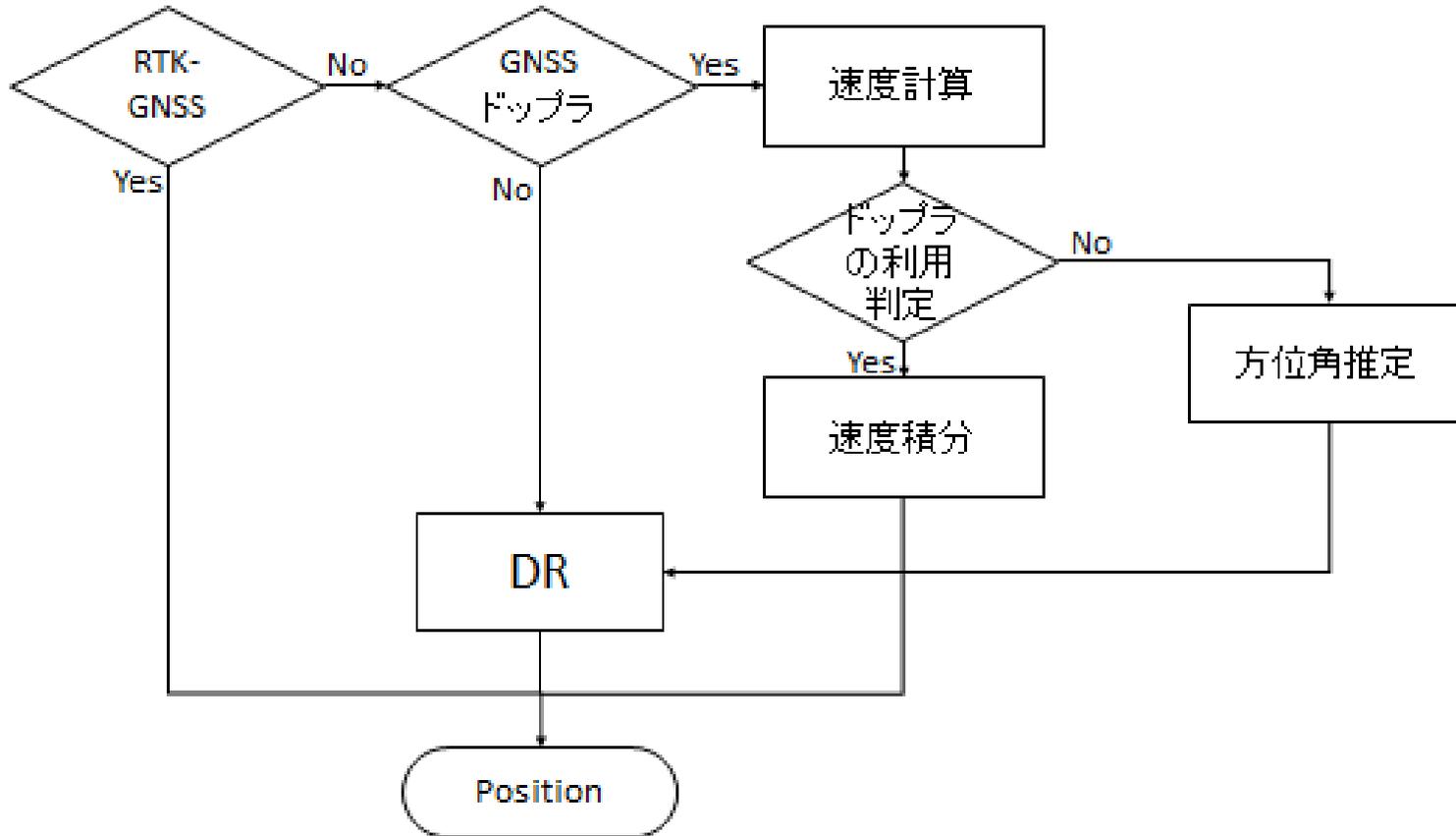
- IMU -3軸角速度、加速度センサ

の統合によって

航行中の全時間帯、測位を50cm～数m精度で行う



# 3.統合手法



RTK-GNSS+IMUの統合

1.RTK-GNSSの解

2.GNSSドップラ

3.速度、方位角を用いて  
DR(推測航法)

# GNSSドップラ

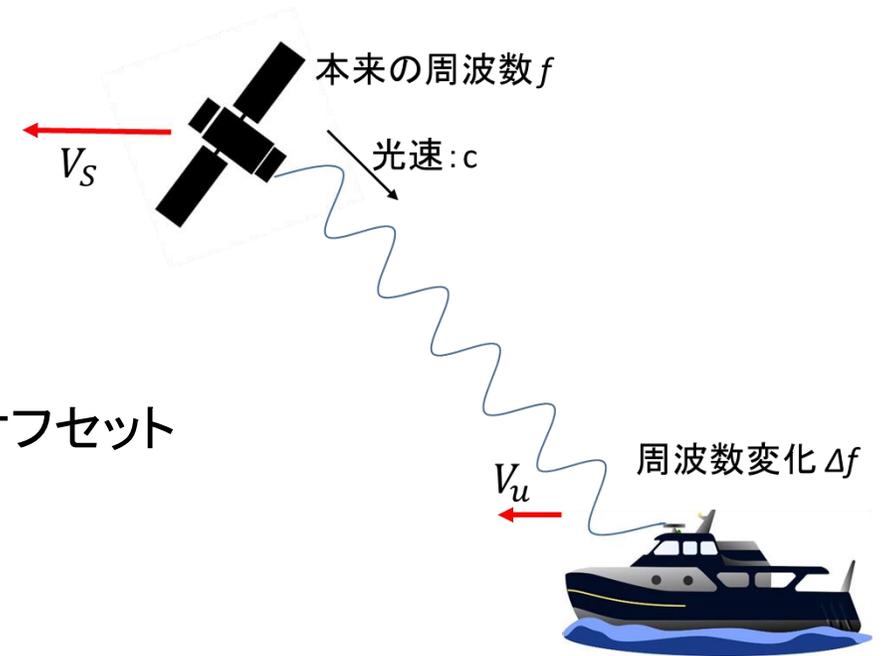
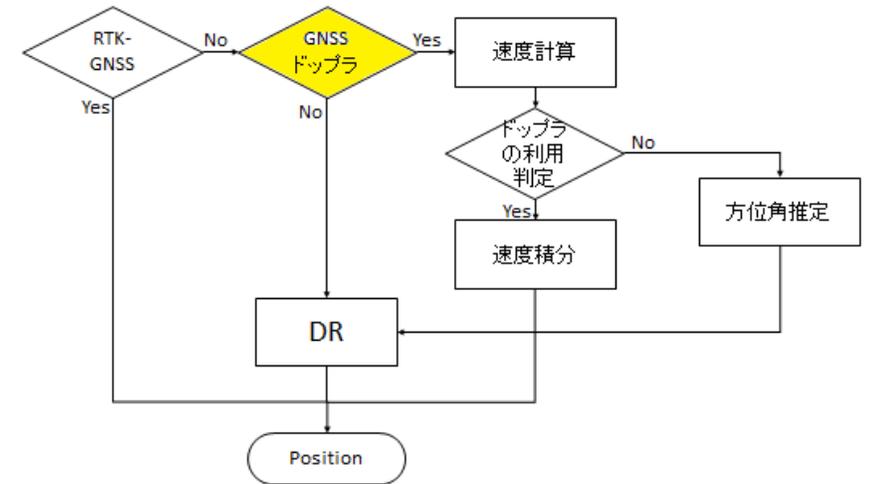
- GNSSを観測するとドップラ効果が起こる
- ドップラ効果による周波数変化量は

$$\Delta f = \frac{\rho}{c} \cdot f$$

$$(V_s - V_u)S_i + \Delta\rho = \rho_i$$

$\rho$ : 相対速度、 $s_i$ : 衛星 $i$ とユーザ間の視線単位ベクトル、 $\Delta\rho$ : クロックオフセット

- ドップラ現象による周波数変化量 $\Delta f$ を観測
- 衛星の速度 $V_s$ は計算可



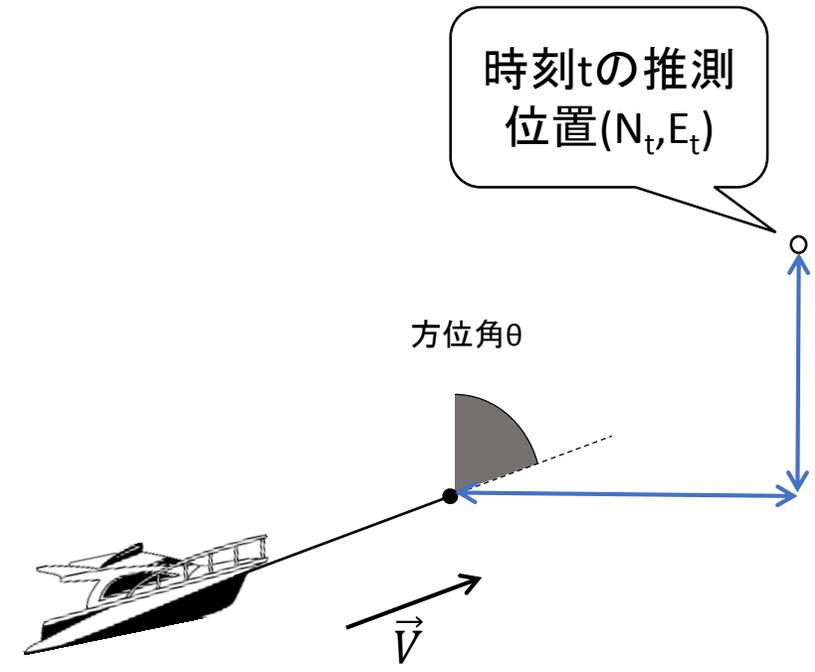
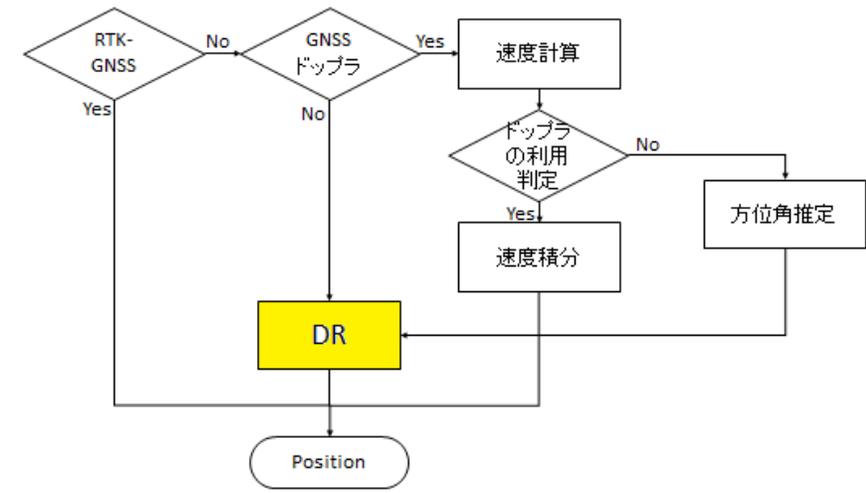
# DR (推測航法)

前時間の測位結果からの移動量を求めることにより現在位置を推定

速度および方位角を用いると位置 $N_t, E_t$ は

$$N_t = N_{t-1} + \frac{\sin(\theta_{t-1}) V_{t-1} + \sin(\theta_t) V_t}{2} \Delta t$$

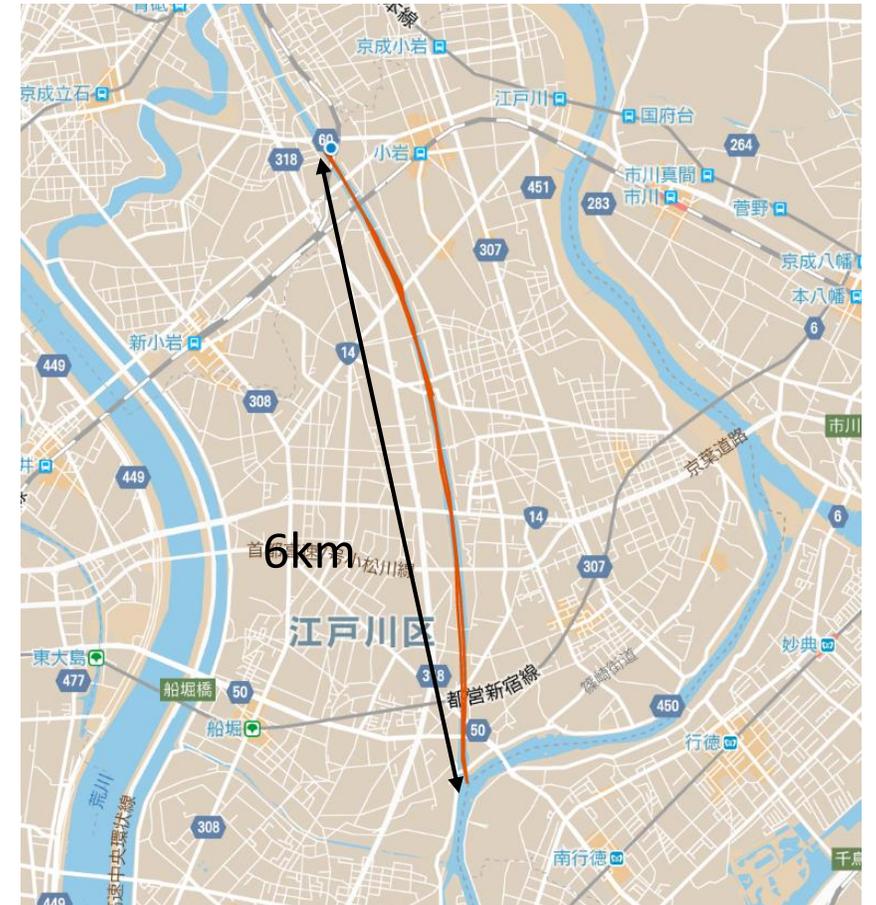
$$E_t = E_{t-1} + \frac{\cos(\theta_{t-1}) V_{t-1} + \cos(\theta_t) V_t}{2} \Delta t$$



# 4. 実験概要

日時	2016年12月19日	
対象船舶	レンタルボート(全長 6.1m、幅2.13m)	
航行域	新中川流域(江戸川区)	
アンテナ	TrimbleZephyr2/NovAtel 703GGG	
	GNSS	IMU
受信機	1周波受信機 u-blox NEO-M8T × 2	東京航空計器株式会社 CSM-MG100CS
測位周期	5Hz	100Hz
使用衛星系	GPS,Beidou,QZSS	
レファレンス	2周波受信機 Trimble SPS855	
使用衛星系	GPS,Beidou,GLONASS,QZSS	
測位周期	10Hz	

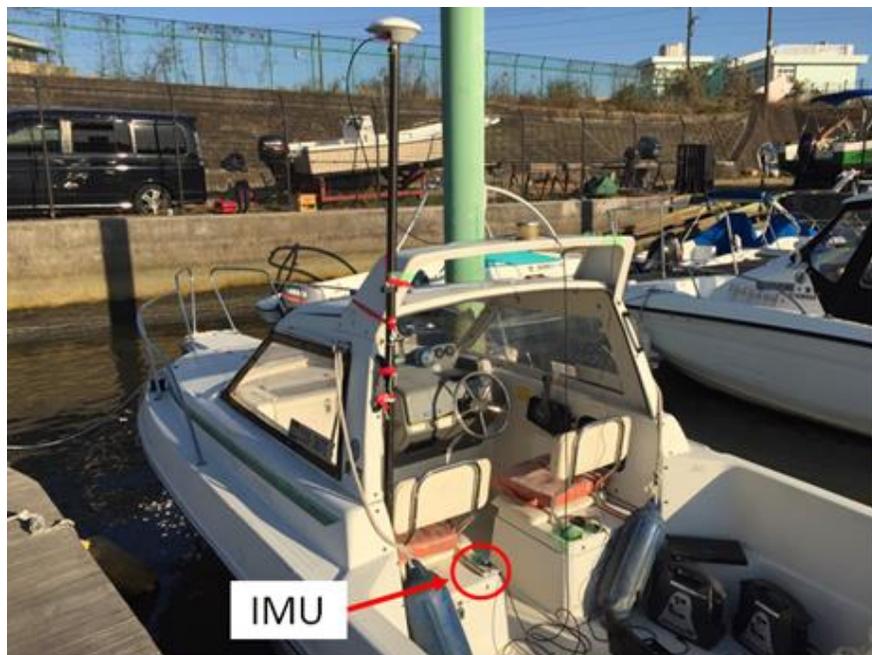
## 航行ルート



# 4. 実験概要



対象船舶



IMU取付位置

## 基準局(マリーナ)



1周波  
受信機

## 移動局 (ボート)



分配器

1周波  
受信機

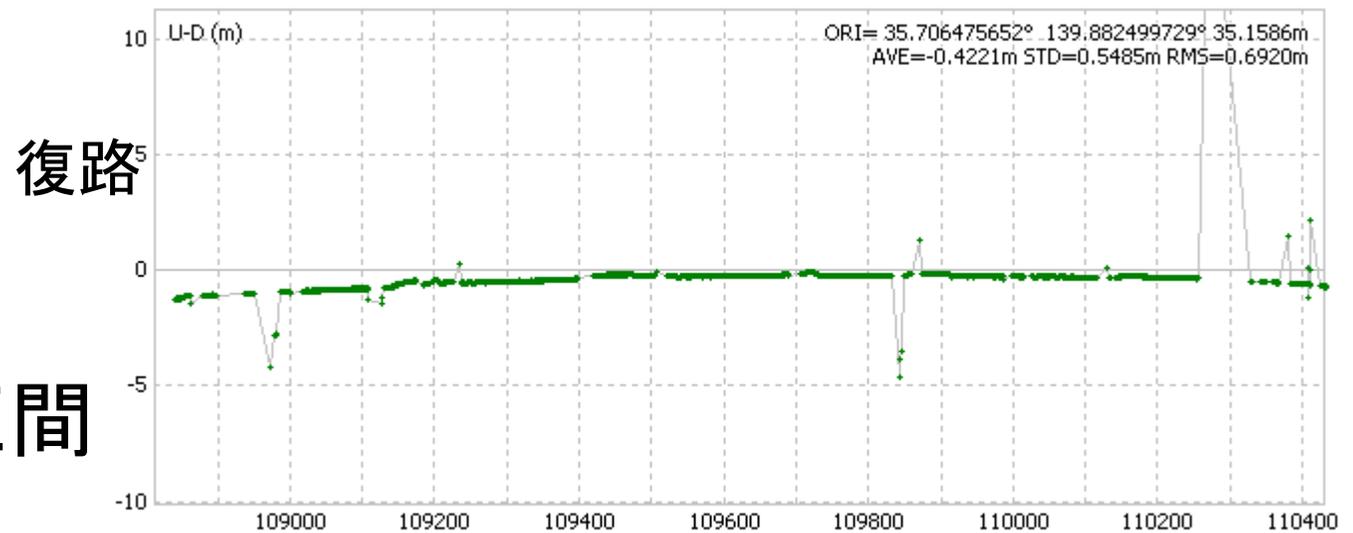
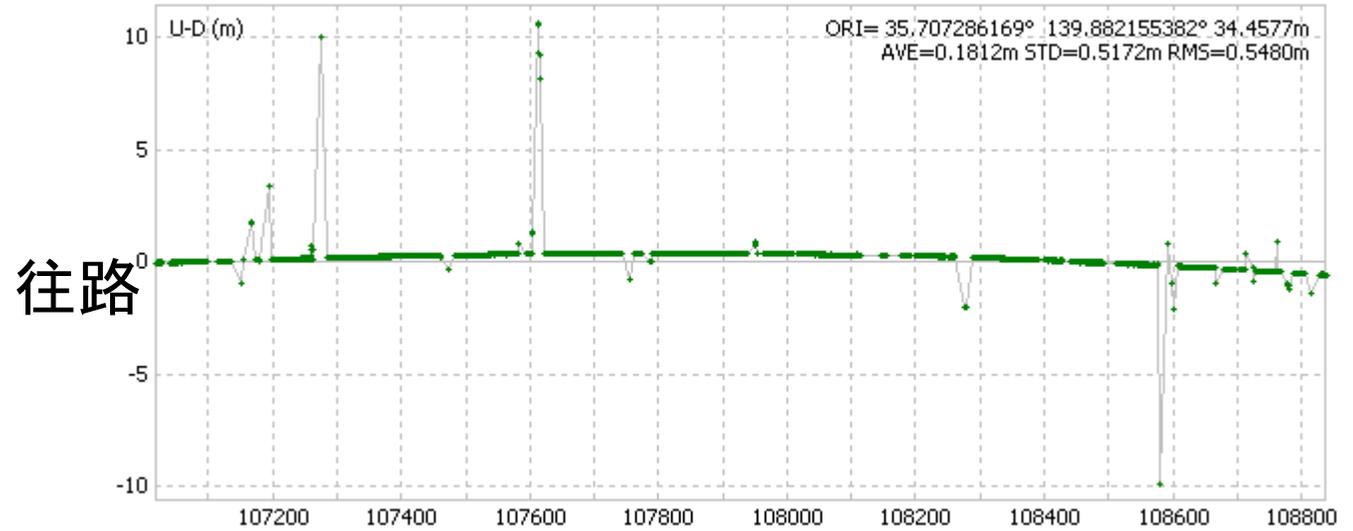
2周波  
受信機

IMU

# 4.結果 RTK-GNSS

使用衛星系	航行全時間	測位率	ミス FIX
GPS	107015～ 110468	37.4%	
GPS,QZSS, Beidou	107015～ 110468	71.8%	5

RTKが切断される時間帯は69区間



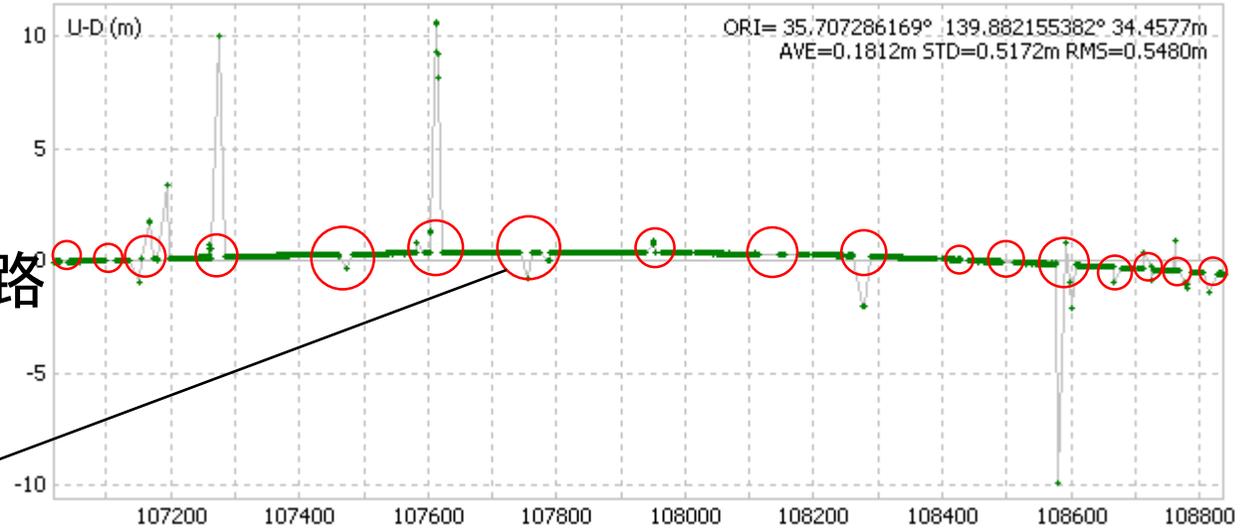
測位結果(高度方向)

# 4.結果 RTK-GNSS

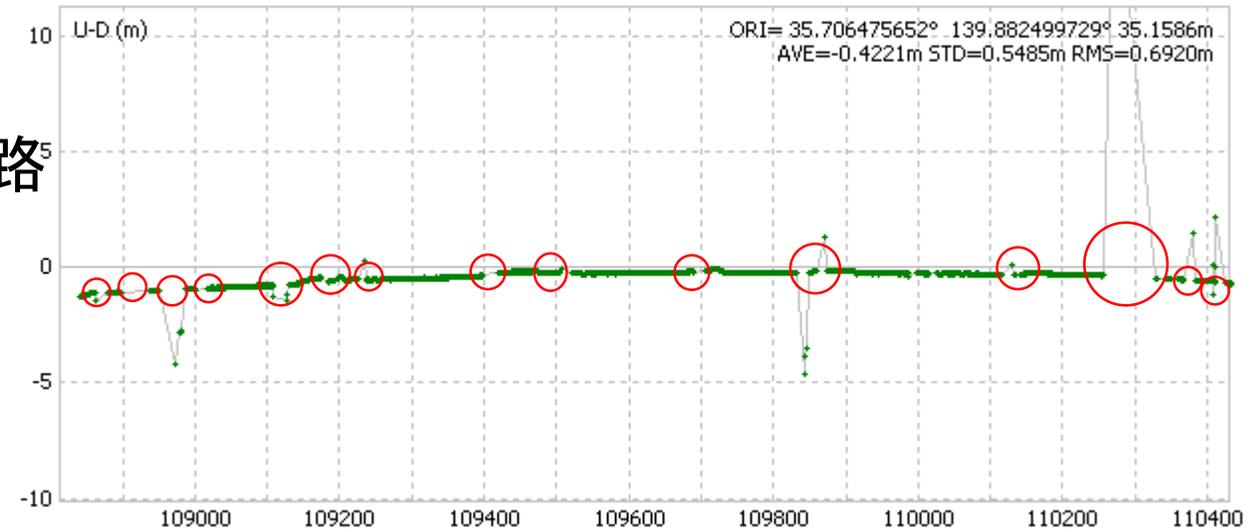


航行時間の11.7%は橋の下通過

往路

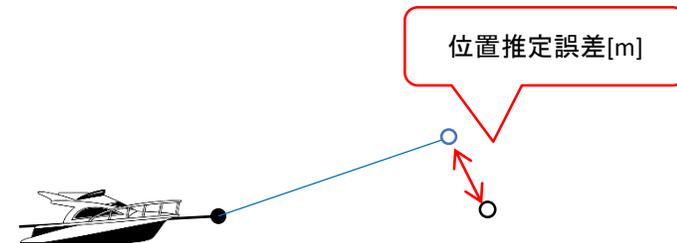


復路

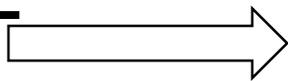


測位結果(高度方向)

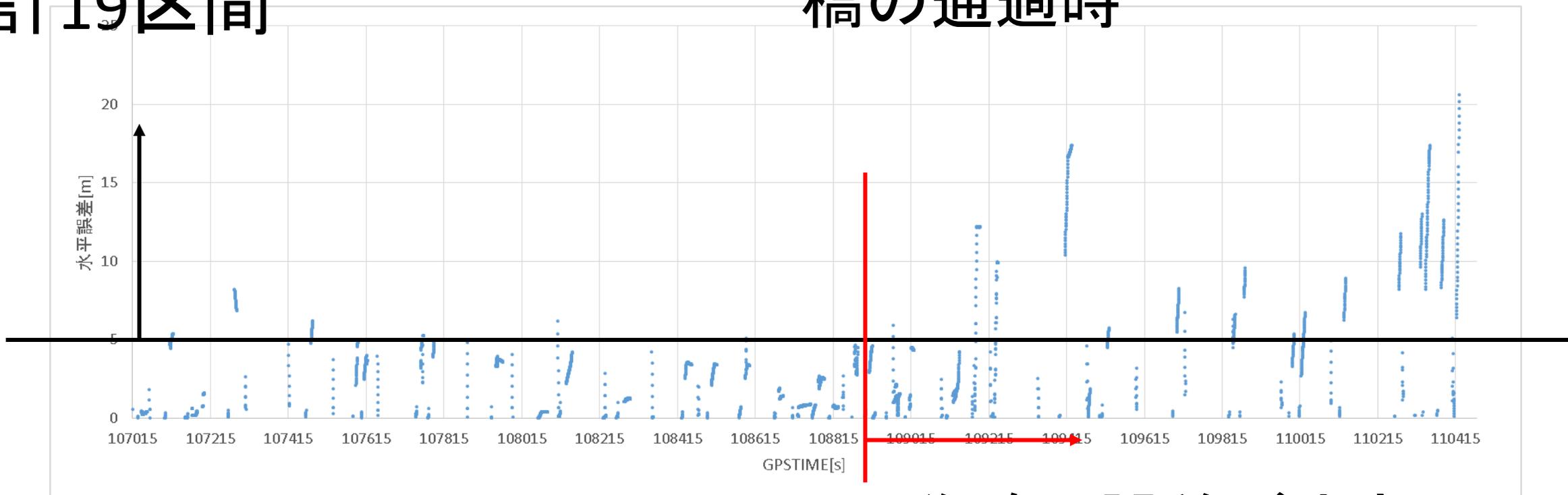
# 4.結果 DR(推測航法)



5m以上の誤差発生  
計19区間

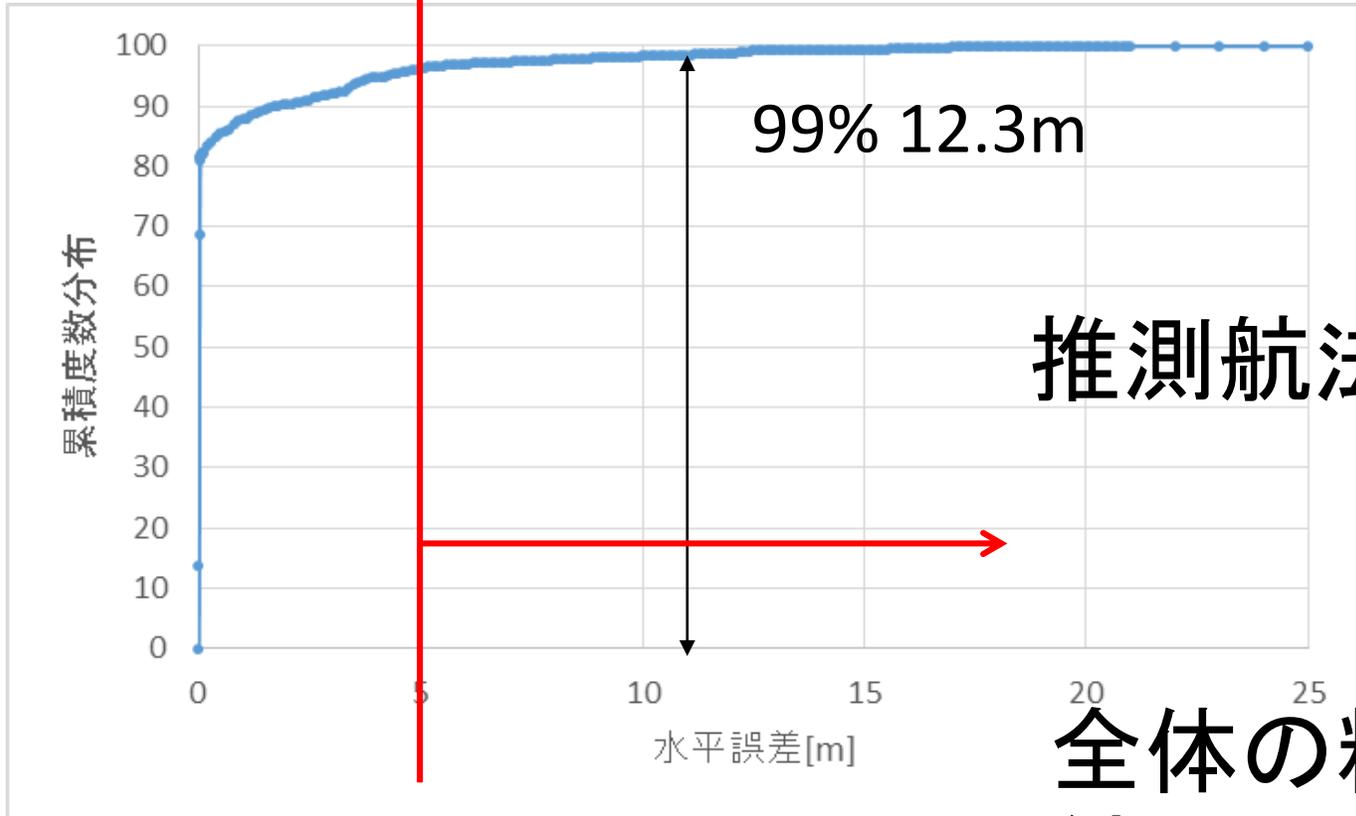
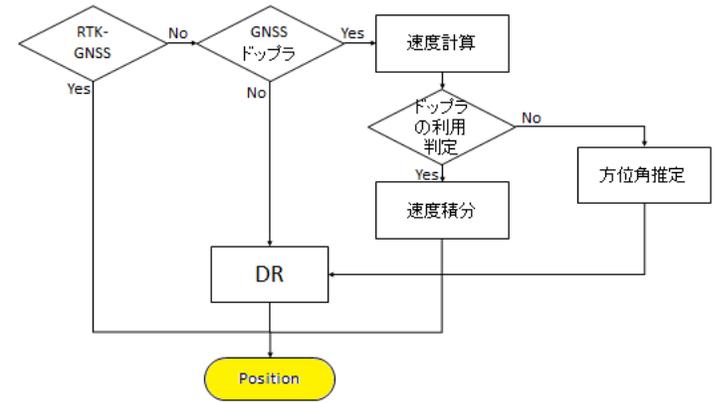


すべて  
橋の通過時



復路で誤差が大きい

# 4.統合結果



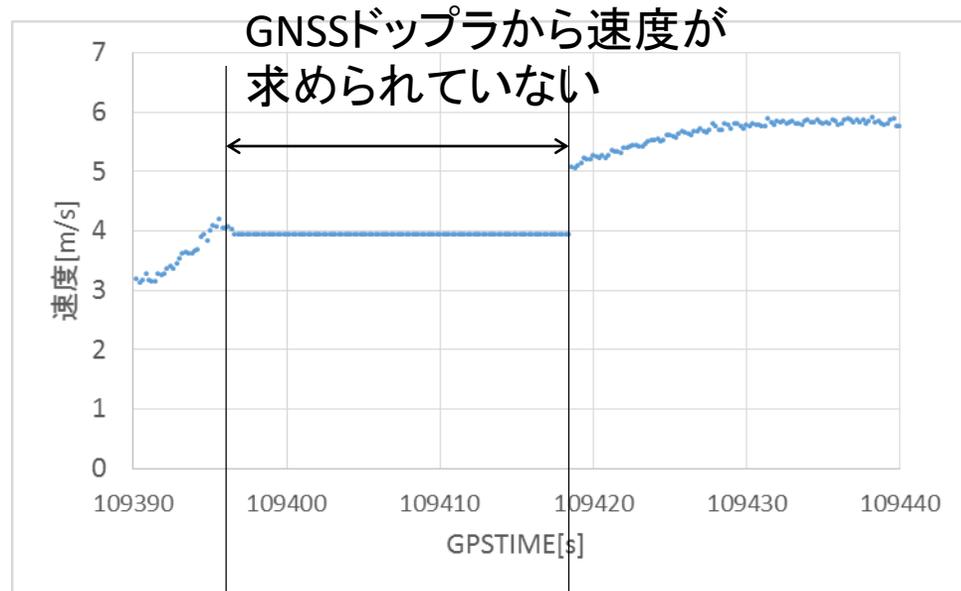
推測航法をしているときの誤差



全体の精度悪化も推測航法の結果による

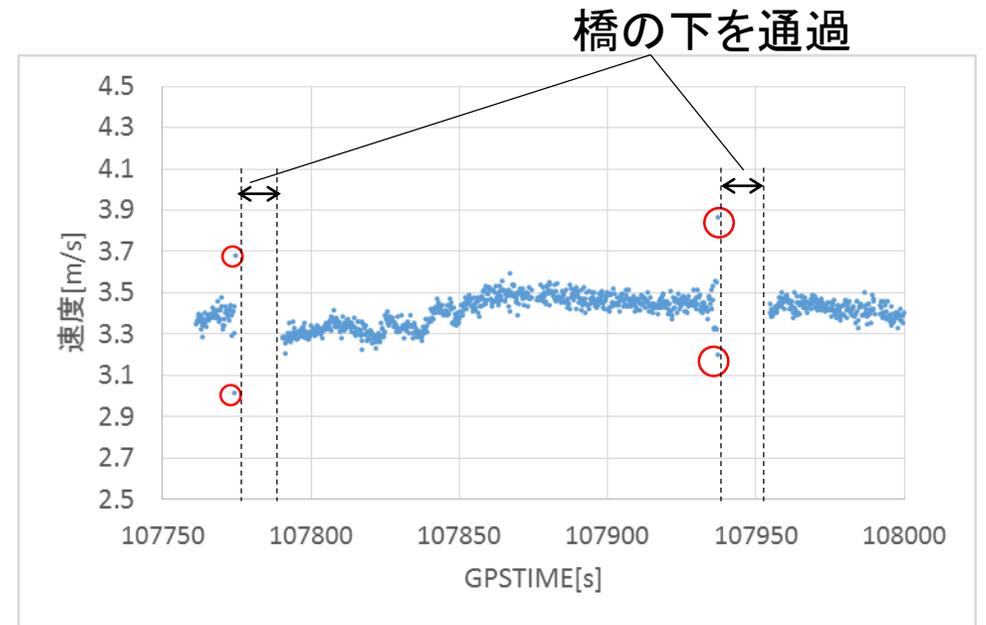
# 速度推定誤差

- GNSSドップラによる速度が求まらない間、一定速度で航行していると仮定している



推測航法で利用している速度

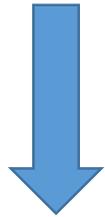
- 橋の直前のGNSSドップラによる速度が正しくないことがある



GNSSドップラから求めた速度

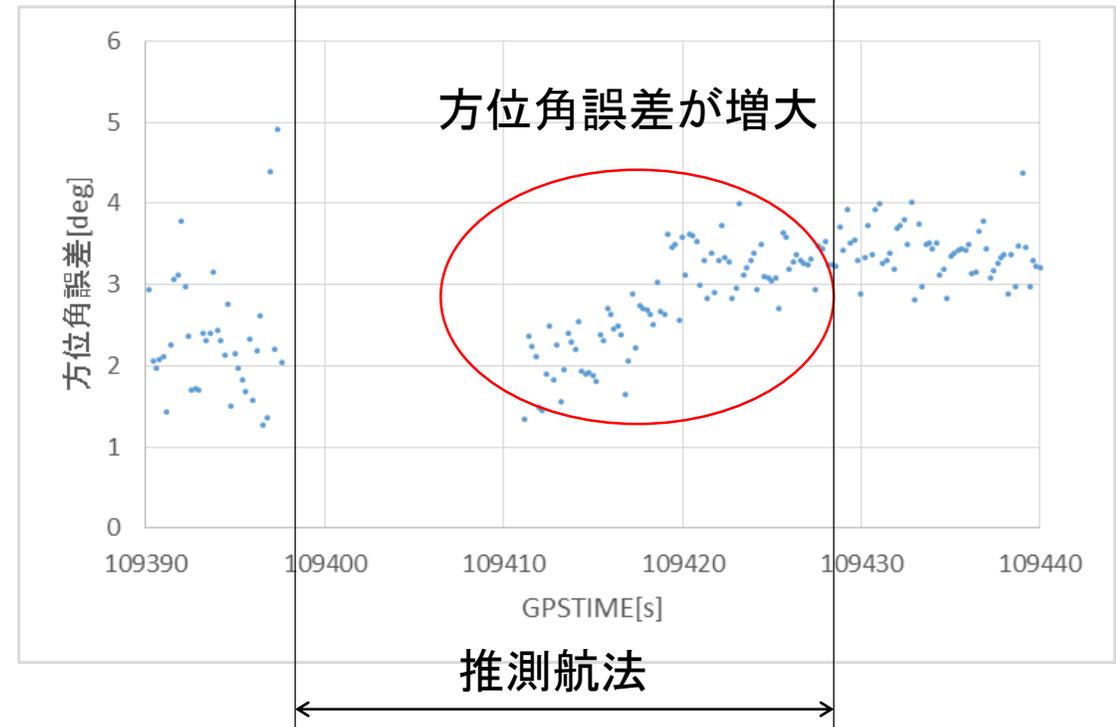
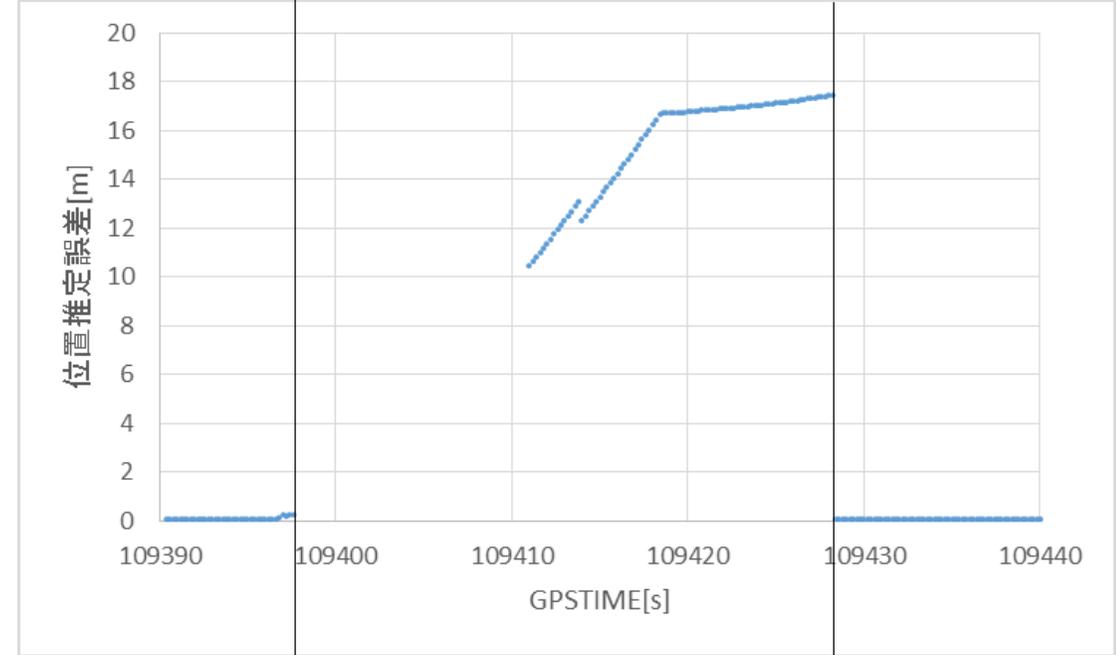
# 方位角推定誤差

- IMUのドリフト等による誤差が蓄積されている
- 補正の効果が表れていない



## 解決策

RTK解2点から方位角を  
求めて補正



## 5.まとめ

- 1周波受信機でRTKによる解が得られたとき、誤差数cm以内で利用できた
- GNSSドップラによる速度が橋の直前から大きく計測される傾向があり、橋の下での速度が正しくないことから誤差増大につながった
- 今後はドップラースピードログ等によって対地速度を計測し、船の正しい速力を用いることで精度改善につなげたい



ご清聴ありがとうございました

# GNSSドップラ補足

- 衛星位置 $(P_{S_i}^x, P_{S_i}^y, P_{S_i}^z)$ , 移動体位置 $(P_u^x, P_u^y, P_u^z)$ であるとき
- $S_i = \frac{1}{r_i} \cdot (P_{S_i}^x - P_u^x, P_{S_i}^y - P_u^y, P_{S_i}^z - P_u^z)$
- $\Delta\rho$ はクロック誤差