

**船舶運航者の高精度測位に対する  
意識調査および  
海上における高精度単独測位の精度評価  
と防災対策への応用提案**

**1455020 齊藤詠子**

**指導教員 久保信明准教授**

# 目次

1. はじめに
2. PPPの測位方法と検証
3. 船舶運航者の高精度測位に対する意識調査
4. 船舶によるPPPの精度評価
5. 海上への応用提案
6. おわりに

# 1. はじめに

## ・ GPS/GNSSによる高精度測位を活用した取り組み

### ① 自動車

小暮聡・吉川和宏：2014年内閣府SIP「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」概要, 日本航海学会誌Navigation, 第194号, p.23, 2015.10.

### ② 航空機

国土交通省：航空機のオートパイロットシステムに関する概要,  
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/autopilot/pdf/02/9.pdf>, 2016.4.



運転者や操縦士の特性を踏まえた上で、  
自動走行システムやオートパイロット  
の実証が進行中



# 1. はじめに

- 海上におけるGPS/GNSSの高精度測位を活用した取組み

Esa Jokioinen : Towards Remote Controlled Ships, MUNIN Workshop at SMM, 2014.10.9.



- 先行研究で検討が不十分な点

① 船舶運航者の特性を踏まえた自動運航の実証が進んでいない

② 海上でのGPS/GNSSの高精度化に向けた研究は極めて少ない

# 1. 目的

## • 第一の目的

GPS/GNSSを活用した船舶運航者の特性から、GPS/GNSSの高精度化に対する船舶運航者の意識を調査し、船舶運航者の意識からみえたGPS/GNSSの海洋利用可能性についての分析

## • 第二の目的

PPP(高精度単独測位：Precise Point Positioning)に着眼し、陸上定点と船舶(海技教育機構練習船銀河丸、総トン数：6,185)でのPPPの精度評価を比較検討することにより、錨泊中の船舶による海上ブイの代替またはデータ補間と防災・減災対策につながる提案

# 2. PPPの測位方法と検証

## 各種誤差の正確な推定

(衛星位置・衛星時計・電離層遅延・対流圏遅延) → 測位精度向上が可能

各種誤差	特徴
①精密暦と精密衛星時計	精密暦とは精密衛星軌道を示し、衛星位置を10cm以下の精度で提供 精密衛星時計は0.1ns(約3cm)程度の精度で提供
②二周波観測値による電離層フリー結合	電離層遅延はほぼ搬送波周波数の二乗に反比例するため、二周波の搬送波位相に適切な係数を掛け加算することで影響の大部分を消去
③全地球電離層分布図(IONEX)	地球上空に自由電子からなる極めて薄い殻が存在するとみなし、電離層のVTEC(垂直電子数: Vertical Total Electron Content)を2次元グリッドの形により記述することで補正
④対流圏遅延量	モデルにより計算を行い、天頂方向の対流圏遅延量はSaastamoinenによる算出式(乾燥項と水蒸気項に分けて計算)
⑤衛星側のコードバイアス	異なる種類のコードと周波数は、異なるハードウェアバイアスを引き起こすため、これらのバイアスを考慮
⑥位置計算	最小二乗法を使用

# 2.1 各種誤差要因を考慮した単独測位の検証

受信機	Trimble NetR9
アンテナ	Trimble Zephyr Geodetic 2
使用衛星	GPS , QZSS
使用周波数	L1とL2の二周波
測位時間	24時間
測位間隔	1秒
仰角マスク	15度
CN(Carrier to Noise)のスレッショルド	30 dB
精密暦と精密衛星時計	QZSS Final
電離層	Case 1. Klobuchar Model Case 2. 電離層フリー結合 Case 3. IONEX Final

Case 1.の  
Klobuchar Model は  
従来の単独測位で使用

場所：  
東京海洋大学  
越中島キャンパス  
第4実験棟屋上定点

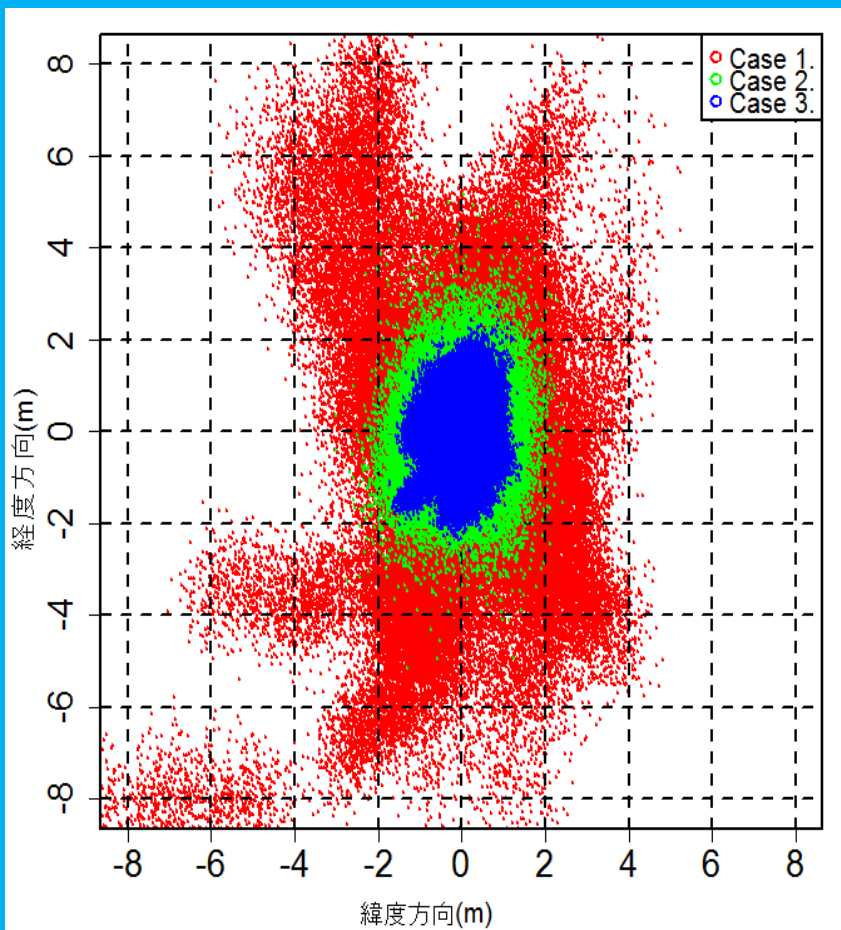


# 2.1 各種誤差を考慮した単独測位の検証

相対測位解：RTK(Real Time Kinematic)のFIX解(F3解：2014年12月14日計算)

基準点：東京海洋大学越中島キャンパス第4実験棟屋上

## 相対測位解との比較における 水平方向測位誤差分布



## 測位精度

	評価項目	緯度方向 [m]	経度方向[m]	高さ方向[m]
Case 1. Klobuchar Model	標準偏差	3.148	1.867	8.480
	平均値	-0.326	-0.163	2.962
	RMS	3.165	1.874	8.982
Case 2. 電離層 フリー 結合	標準偏差	0.639	0.871	1.799
	平均値	-0.059	-0.045	0.255
	RMS	0.642	0.873	1.817
Case 3. IONEX Final	標準偏差	0.693	0.463	1.360
	平均値	0.099	-0.016	-0.089
	RMS	0.700	0.463	1.363



# 2.2 PPPの検証

## PPPで考慮すべき誤差要因

- PPPでは擬似距離に加え、搬送波位相を使用
  - 1cm級の誤差要因の推定が必要
- ①位相ウィンドアップ補正
  - ②衛星アンテナ偏差
  - ③アンテナ位相中心



## PPPの検証

受信機	Trimble SPS855
アンテナ	Trimble Zephyr Geodetic 2
使用衛星	GPS, GLONASS, QZSS, BeiDou
使用周波数	L1とL2の二周波
測位時間	24時間
測位間隔	1秒
仰角マスク	10度
実験場所	東京海洋大学第4実験棟 屋上

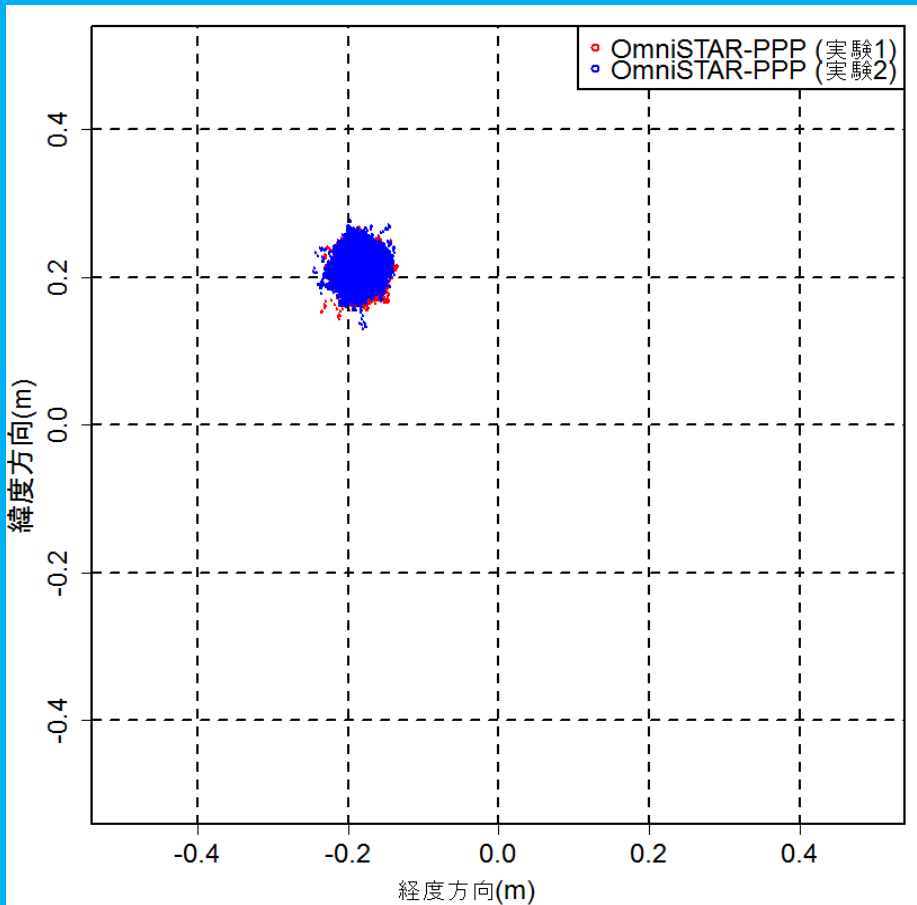
# 2.2 PPPの検証

相対測位解：RTK(Real Time Kinematic)のFIX解(F3解：2014年12月14日計算)

基準点：東京海洋大学越中島キャンパス第4実験棟屋上

## 相対測位解との比較における 水平方向測位誤差分布

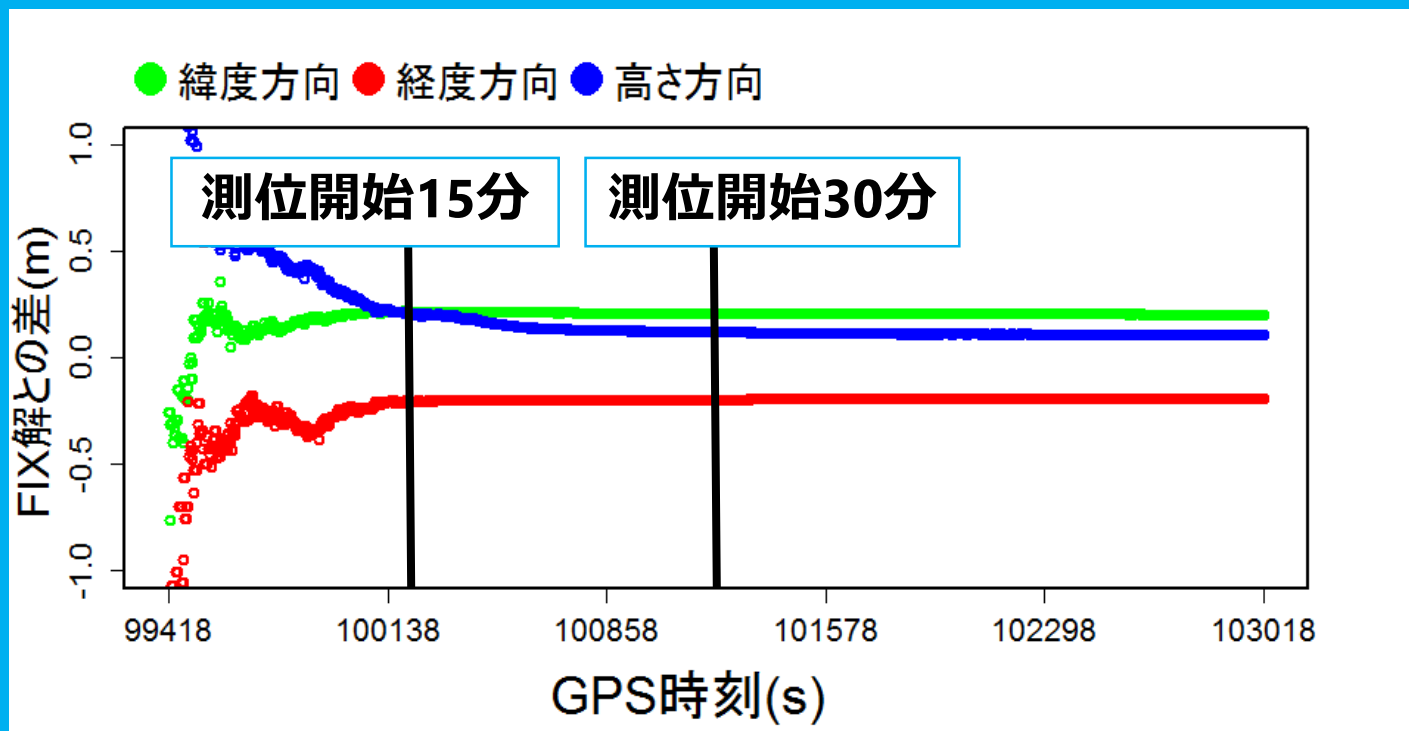
## 測位精度



実験	評価項目	緯度方向 [m]	経度方向 [m]	高さ方向 [m]
実験1	標準偏差	0.013	0.011	0.037
	平均値	0.208	-0.181	0.113
	RMS	0.208	0.182	0.119
実験2	標準偏差	0.014	0.012	0.032
	平均値	0.209	-0.183	0.107
	RMS	0.210	0.183	0.112

## 2.2 PPPの課題とその検証

- PPPは解の収束に時間を要する→**30分程度**
- 測位開始後15分におけるFIX解との差  
緯度方向22cm 経度方向-20cm 高さ方向20cm
- 測位開始後30分におけるFIX解との差  
緯度方向21cm 経度方向-19cm 高さ方向13cm で安定



### 3. 船舶運航者の高精度測位に対する意識調査

- 海技教育機構の船舶運航者51名(船長12名・一等航海士18名・二等航海士7名・三等航海士14名)へアンケート用紙を送付
- 実施時期：平成27年5月～平成27年10月
- 質問内容

#### 航海計器を活用する避航操船時に焦点をあてる

- 選択肢は以下の3つ

#### 1.GPSの情報を基に動作する航海計器

レーダ

ECDIS(電子海図表示システム：Electronic Chart Display and Information System)

AIS(船舶自動識別装置：Automatic Identification System)

#### 2.GPS

#### 3.双眼鏡

# 3.1 アンケートの質問

## ・質問1. 役職について

船長・一等航海士・二等航海士・三等航海士

## ・質問2. 避航操船で使用する航海計器

避航操船時、レーダ・ECDIS・AIS・GPS・双眼鏡の中で、最も優先して使用する航海計器を第1位とし、第5位まで順位をつけてもらう

## ・質問3. GPS/GNSSの海上における応用性

将来GPS/GNSSの高精度化が進んだ場合、海上ではどのような分野で活用されるのが望ましいか、船舶運航・海洋開発・環境モニタリング・防災対策・洋上監視の中で、最も望ましい分野を第1位とし、第5位まで順位をつけてもらう

## 3.2 調査結果と考察

船舶運航者**51名**のうち、

**回答者39名(回収率76.5%)・有効回答数34名(有効回答率66.7%)**

有効回答数内訳：

船長11名・一等航海士12名・二等航海士4名・三等航海士7名

・質問2について

回答不可の理由：船長1名の記述より

様々な状況が想定され、それにより順位が変わりますので回答が困難です。



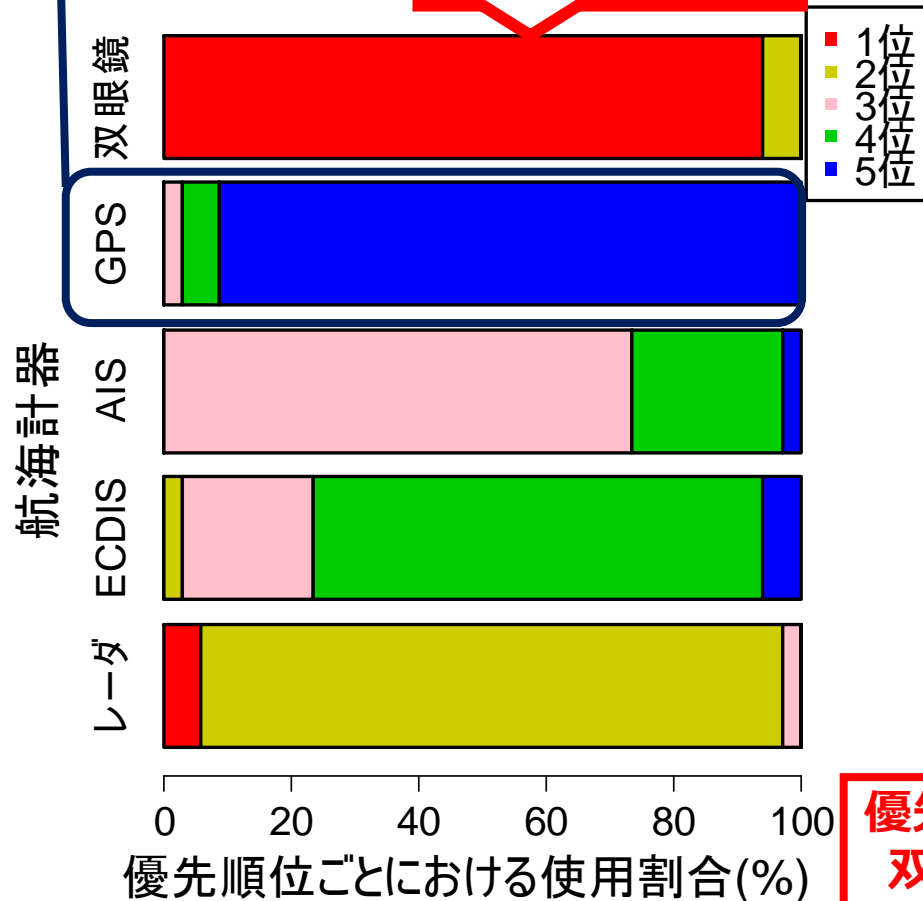
**避航操船を行う場合、船舶の輻輳海域や船舶の少ない沖合航行時などの様々な状況が想定されるので、状況によって優先順位が変化することを留意すべき**

# 質問2. 避航操船で使用する航海計器の優先順位

## 船舶運航者全体

**GPS :  
第5位91%**

**双眼鏡 :  
第1位94%**



	レーダ	ECDIS	AIS	GPS	双眼鏡
レーダ	1.00				
ECDIS	-0.28	1.00			
AIS	0.28	<b>-0.75</b>	1.00		
GPS	-0.03	-0.27	-0.34	1.00	
双眼鏡	<b>-0.83</b>	0.10	-0.15	<b>0.08</b>	1.00

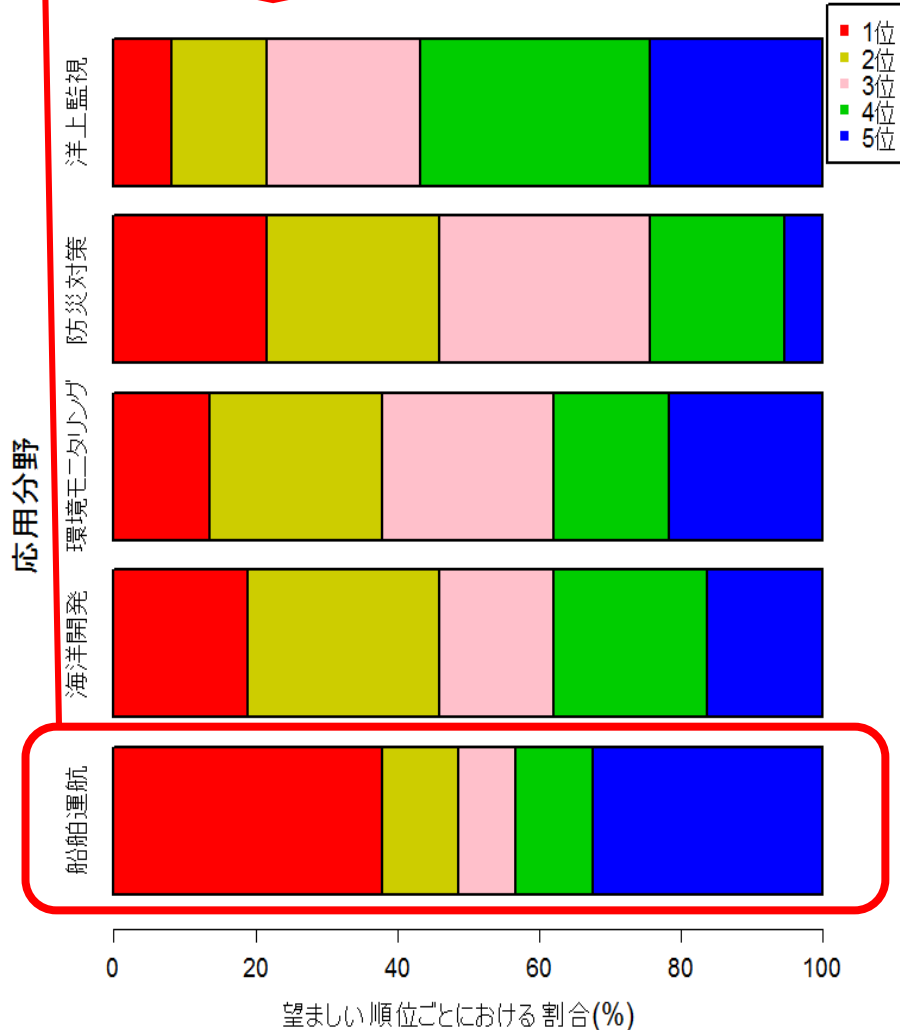
優先順位が遠い航海計器同士の相関は弱い

優先順位が近い航海計器同士の相関は強い  
双眼鏡とレーダの優先順位は上位に集中

# 質問5. 海上における各応用分野の優先順位

## 船舶運航者全体

船舶運航：  
第1位**38%** 第5位**32%**



望ましい分野の順位が近い相関はやや強い

	船舶運航	海洋開発	環境モニタリング	防災対策	洋上監視
船舶運航	1				
海洋開発	-0.21	1			
環境モニタリング	<b>-0.57</b>	-0.03	1		
防災対策	<b>-0.44</b>	-0.31	0.05	1	
洋上監視	-0.14	<b>-0.49</b>	-0.23	-0.02	1



# 4. 船舶によるPPPの精度評価

## ・実験のねらい

高精度な海面変動の計測が必要となるような、  
海上ブイの代替またはデータ補間 および  
錨泊中の船舶による防災・減災対策を目的とした  
新たな応用提案の可否を判断



**OmniSTARを用いて、錨泊中および航行中の船舶で  
PPPの精度評価を比較する実験を実施**

OmniSTAR :

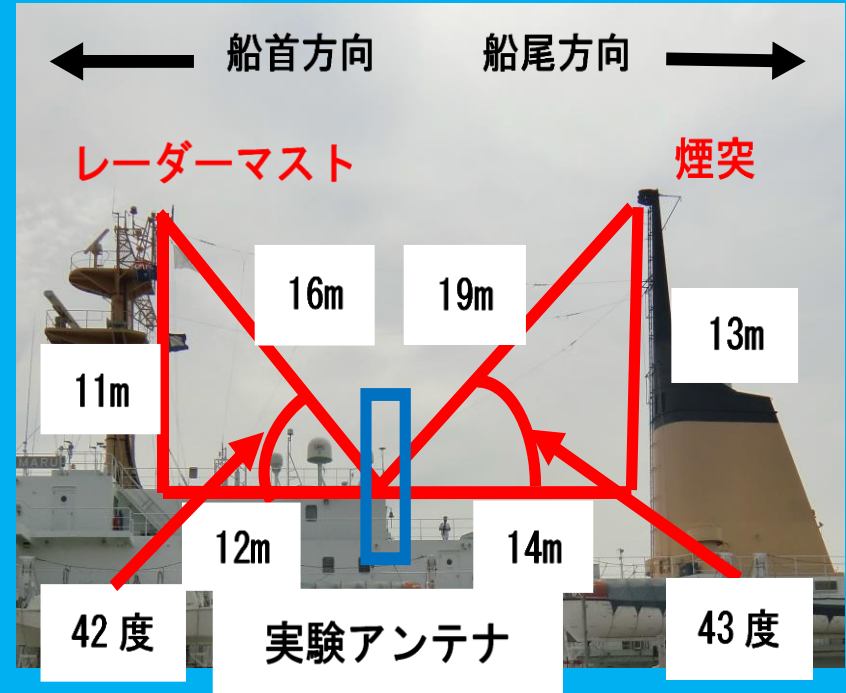
全陸地の90%以上で補正情報を得ることができ、単独測位の精度向上が見込めるサービスのひとつ

# 4.1 船上測位実験

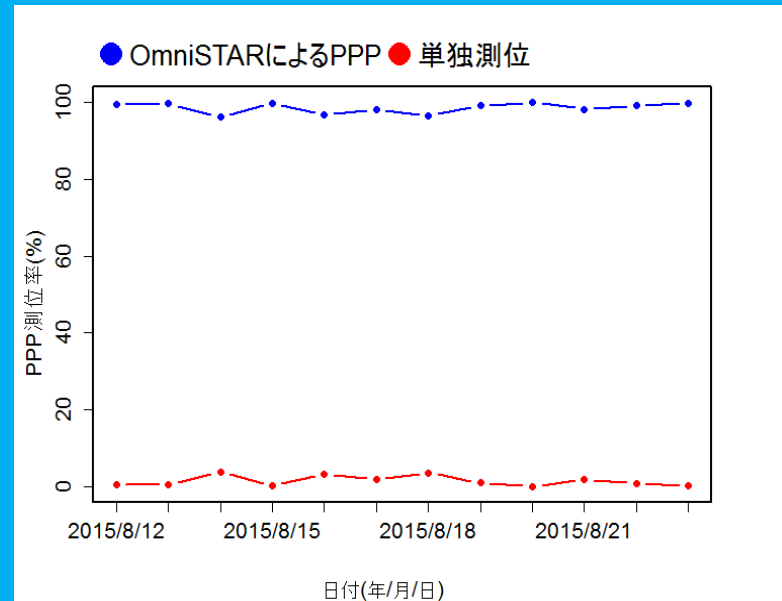
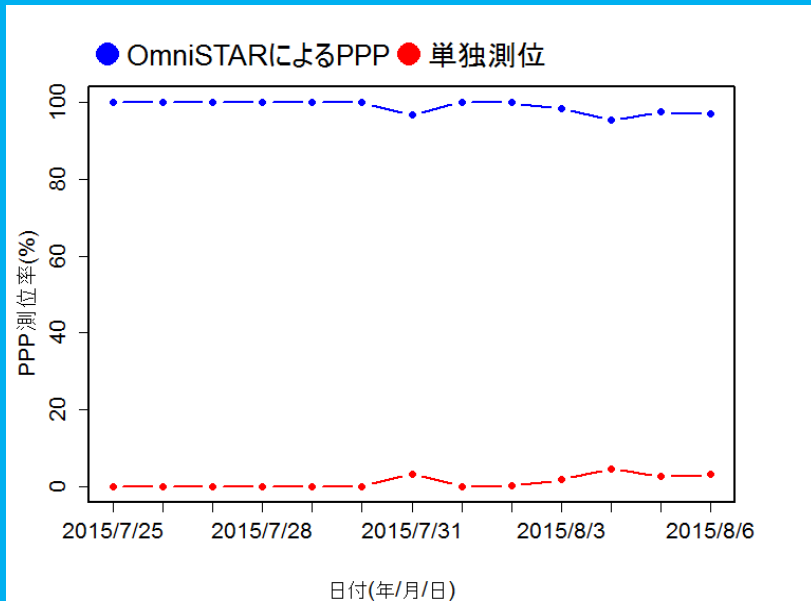
- 実験時期：  
2015年7月～2015年9月
- 海域：  
東京～ケアンズ～シンガポール～神戸
- 船舶：銀河丸  
(総トン数：6,185トン、全長：116.40m)



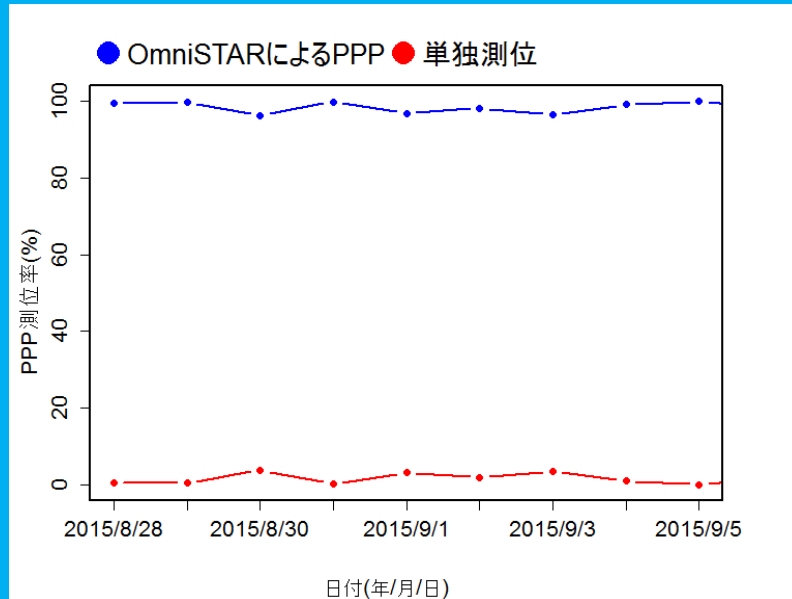
## • 船上の実験環境



# 4.2 PPP測位率の推移



東京～ケアンズ



ケアンズ～シンガポール

PPP測位率は95%以上で推移

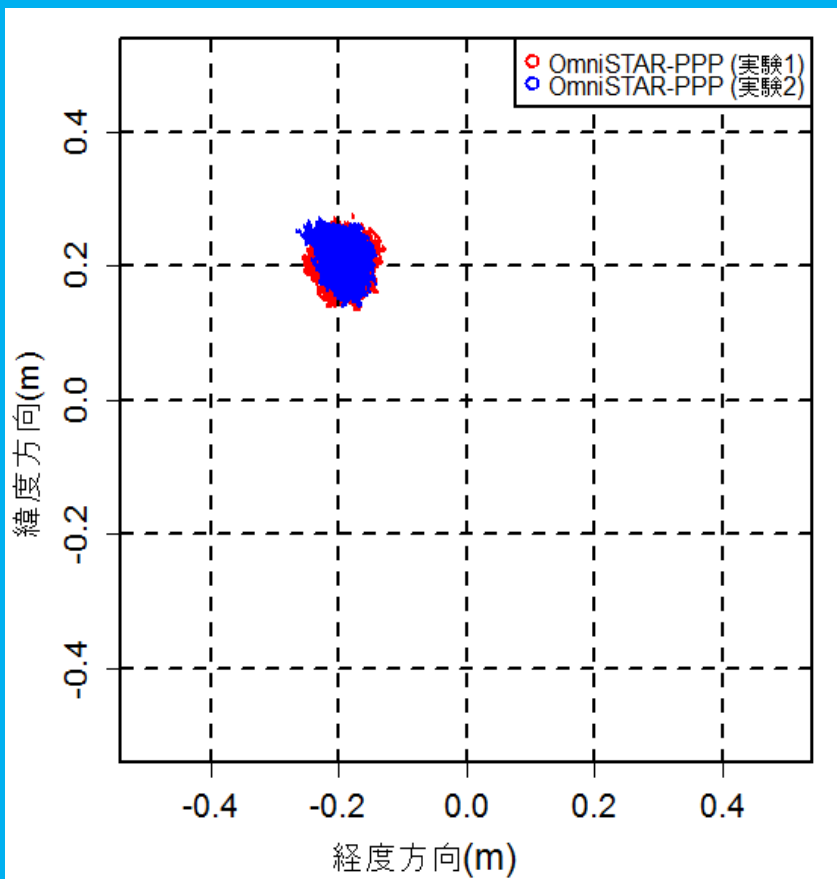
シンガポール～神戸

# 4.3 船上測位実験の検証(錨泊時)：東京湾

相対測位解：RTK(Real Time Kinematic)のFIX解(F3解：2014年12月14日計算)

基準点：東京海洋大学越中島キャンパス第4実験棟屋上

## 相対測位解との比較における 水平方向測位誤差分布



## 測位精度

実験	評価項目	緯度方向 [m]	経度方向 [m]	高さ方向 [m]
実験1	標準偏差	0.016	0.015	0.058
	平均値	0.201	-0.191	0.173
	RMS	0.202	0.192	0.173
実験2	標準偏差	0.016	0.013	0.037
	平均値	0.205	-0.191	0.170
	RMS	0.205	0.191	0.173

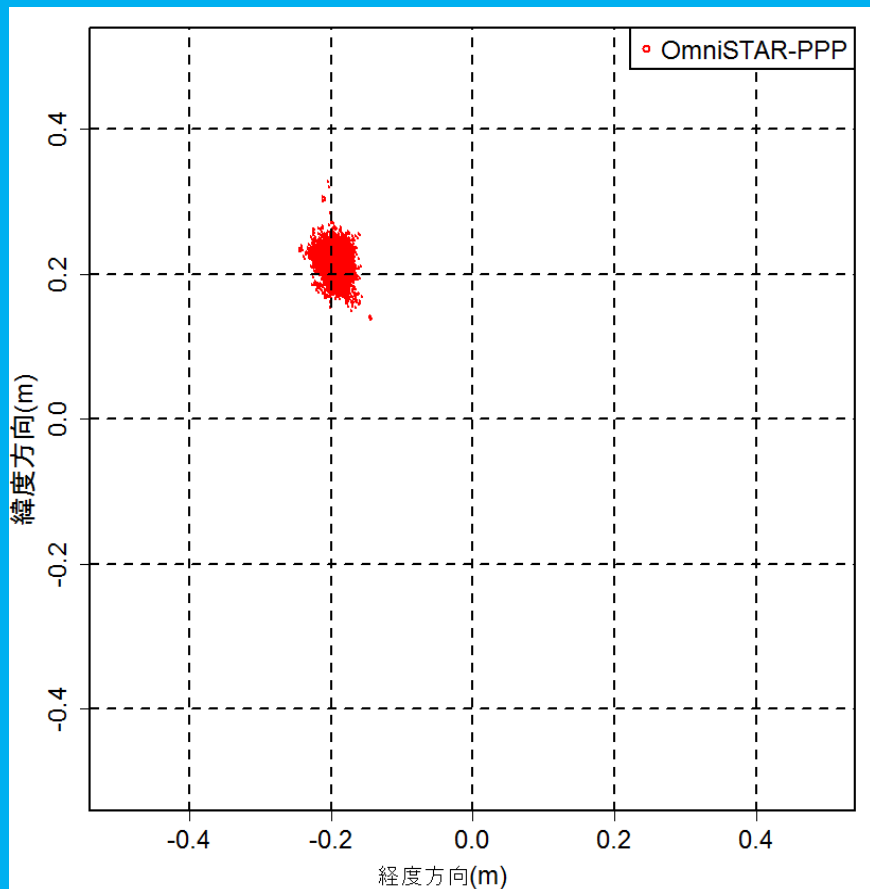
# 4.4 船上測位実験の検証(航行時)：東京湾

相対測位解：RTK(Real Time Kinematic)のFIX解(F3解：2014年12月14日計算)

基準点：東京海洋大学越中島キャンパス第4実験棟屋上

## 相対測位解との比較における 水平方向測位誤差分布

## 測位精度



	評価項目	緯度方向 [m]	経度方向 [m]	高さ方向 [m]
実験	標準偏差	0.016	0.012	0.043
	平均値	0.214	-0.194	0.141
	RMS	0.215	0.194	0.147

# 5. 海上への応用提案

- ・ 海上ブイの代替・データ補間：大型船の場合

## 気象観測装置

計測項目：

波浪、潮位、津波、  
風向・風速、  
水温、流向・流速、  
気温、気圧

## 衛星通信設備

船内計測結果を  
陸上へ伝送

船内での計測

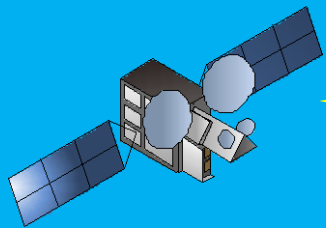


陸上への  
データ伝送

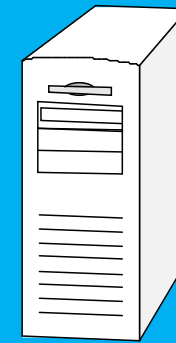
# 5. 海上への応用提案

## ・ 錨泊中の船舶による防災・減災対策

海面変動データを船内設置のパソコンへ常時出力



Sea Level Anomaly Detection Support System	
Time	10:23:18Z
Lat	3534.799409N
Lon	13953.90128E
Sea Level	-00.006
<input type="button" value="Start"/>	



システムサーバ

### ① 海面の異常変位を検知

データ取得継続

当直航海士に通報

大きな音で警報を通知

### ② 海面の異常変位が検知されず

データ取得継続

# 6. おわりに

- GPS/GNSSの高精度化に対する船舶運航者の意識は低い  
→船舶運航者の特性を高精度なGPS/GNSSからの情報でサポートできれば、GPS/GNSSの船舶運航時における幅広い利用に寄与
- 多様な分野でGPS/GNSSが活用されることによって、船員や船舶のみならず、人々の生活が豊かになることが望ましい
- 船上においても、RTKとの間に系統誤差は発生しているものの、高精度な測位が可能
- 自船で完結できる防災・減災対策システムは船舶および船員という貴重な財産を守るためにも必要であり、海上輸送の安全確保に寄与