

船舶航行における衛星利用の 技術展望について



海洋と宇宙に関する産学連携セミナー
2015年4月21日 東京海洋大学越中島キャンパス

東京海洋大学 海事システム工学科 久保信明

発表の概要

- 様々な場面で船舶で利用されるようになった米国のGPSは、他国の測位衛星の打ち上げが近年活発になり**マルチGNSS**と呼ばれるようになりました
- 目的地に向かうナビゲーションはもとより、**AISでの位置情報利用**や**漁業分野での位置利用**なども重要な分野
- 海洋との関連に目を向けると、**津波検知**や**水蒸気量の精密測定**にも利用され始めています。津波検知や水蒸気量の精密な測定では1cm程度の精度で位置を出すことが求められます
- 自動車分野では**自律航行がホット**な話題となっています。船舶においても、自律航行が適している領域があるかもしれません。実際に自律航行の必要なアプリケーションがどのあたりにありそうか等ご意見を頂ければ幸いです

位置と通信の重要性

-タイタニック遭難事故-

- マクスウェルが電磁波を予言(1864)
- ヘルツが送受信に成功(1888)
- マルコーニが無線通信(大西洋横断)に成功(1901)
- **タイタニック遭難事故(1912)**

(このときの位置特定手法は? 送信機は火花放電式、受信機はコヒーラ検波器)

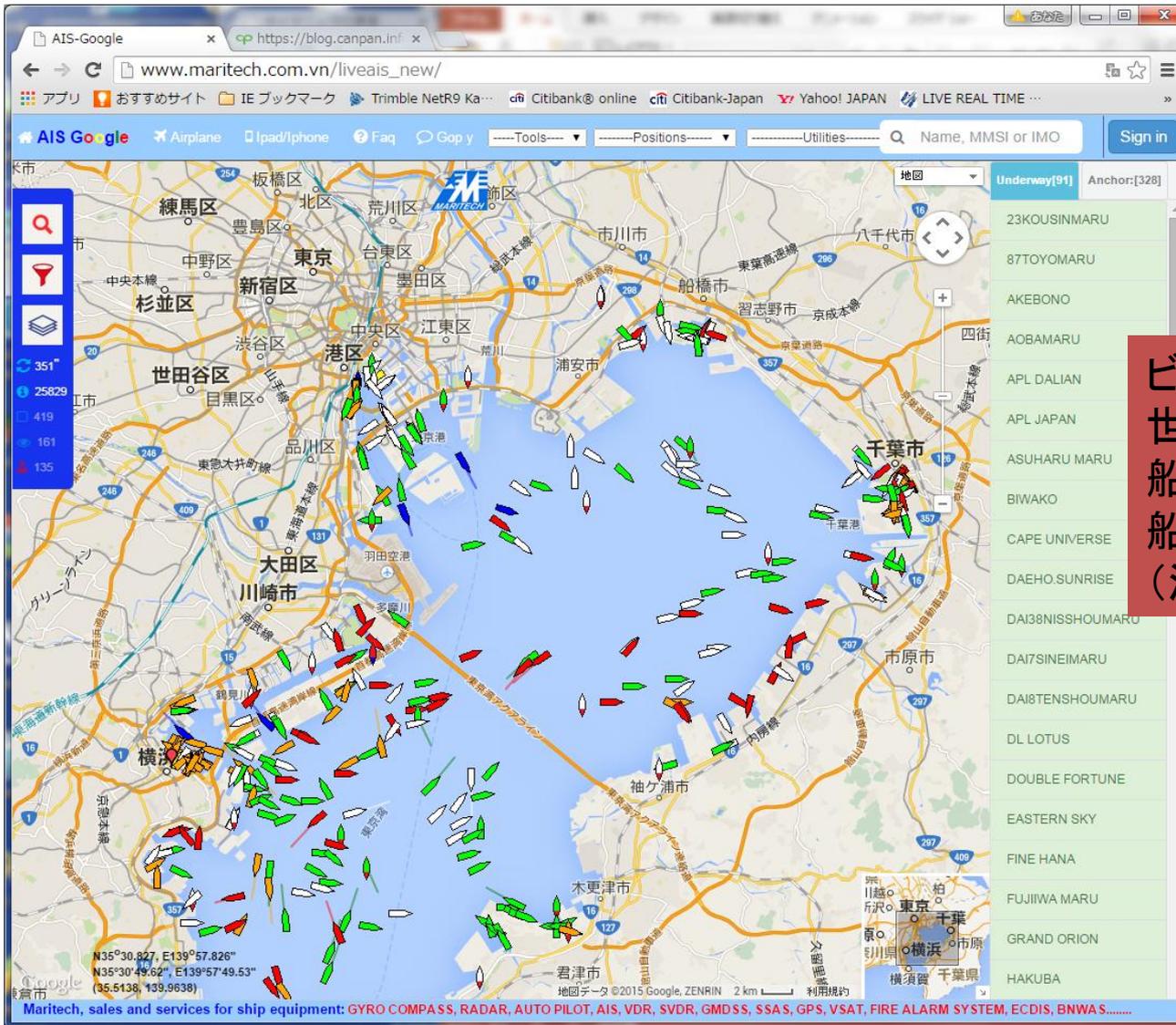


氷山の位置の把握
→正確な地図

- 米国がGPSの初号機を打ち上げ(1978)
- GPSの正式運用開始(1995)
- 衛星を利用した遭難救援システム: GMDSS(1999)

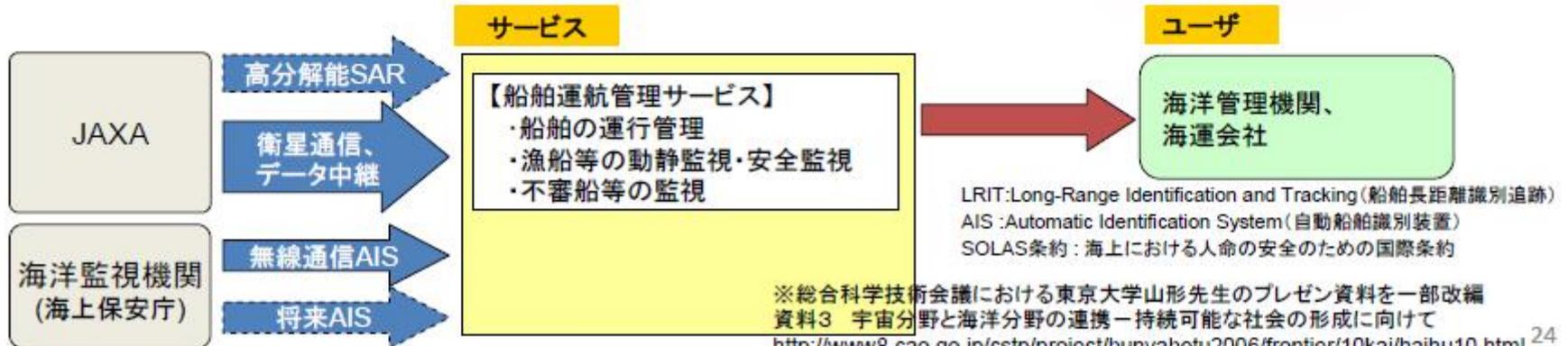
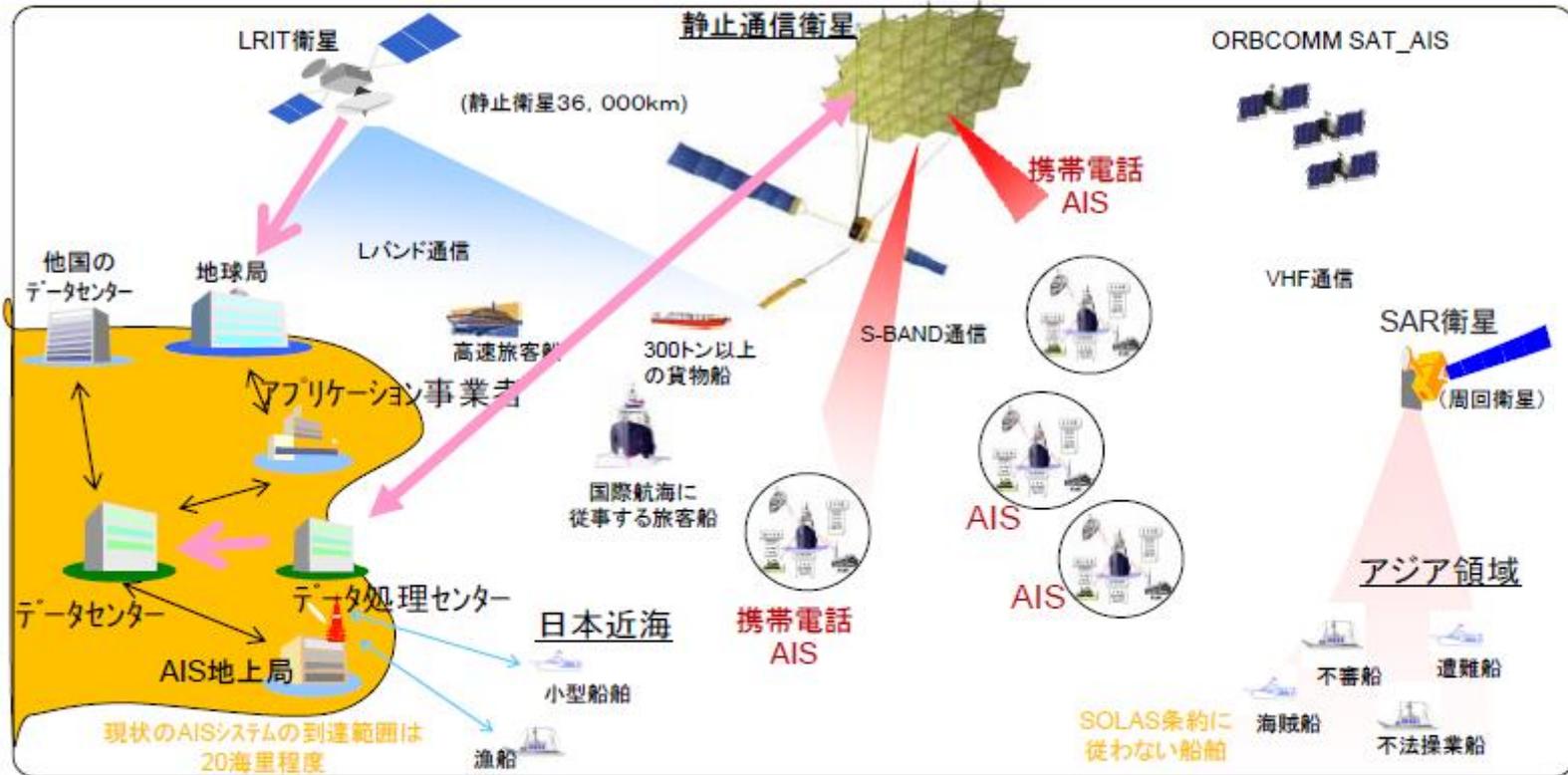
AIS (船舶自動識別装置)

-ポイントは位置と通信-



ビッグデータとしての可能性
世界中の船舶動向把握
船舶の安全向上
船舶のセキュリティ向上
(海賊対策?)

船舶運行管理



宇宙漁法

宇宙開発利用大賞

豊かな地球、ひろがる未来。
こたえは宇宙にありました。



第1回内閣総理大臣賞

人工衛星による 魚群探索技術

人工衛星から得られる
海水温等のデータを活用し、
効率的に漁場を探索。

第1回宇宙政策担当大臣賞

農機ガイダンス 自動走行システム

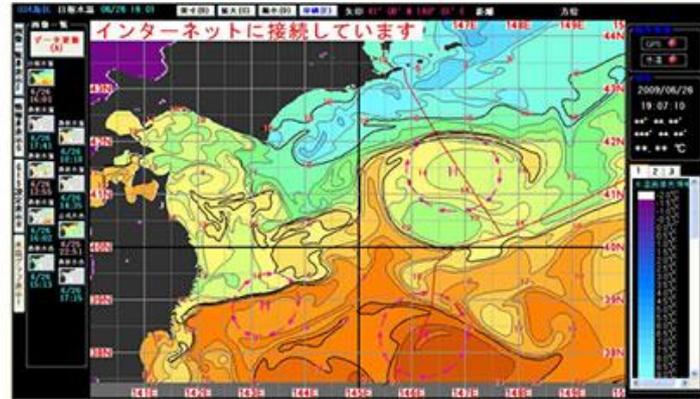
準天頂衛星の信号を
利用し、農機のガイダンス
走行を実証。



第1回JAXA理事長賞

大気圏 再突入観測システム

宇宙機が大気圏再突入にて
燃え尽きていく様子の撮影、
データ取得に成功。



一般社団法人漁業情報サービスセンター

衛星からの位置情報と海面水温の情報を
組み合わせた漁場の探索 技術を確立。
海況情報を広く漁業者へ提供することで、
勘と経験に頼っていた漁業の 世界に先端技術
を駆使した効果的・効率的な「宇宙漁法」を普及
させて、漁業の近代化をもたらした。

「ここに行けば魚がよくとれる」という情報が
事前にわかることで、「宇宙漁法」の導入前後
と比較して高騰する燃油が16.1%節約になった
ほか、漁業の近代化により船頭を志す若者の
数が増え、漁業の最大の課題である後継者
の育成にも大いに寄与した。

平成27年春/第2回募集開始

大賞概要

(予定)

宇宙開発利用の推進に多大な貢献をした事例に対し、その功績をたたえることにより、我が国の宇宙開発利用の
更なる進展や宇宙開発利用に対する国民の認識と理解の醸成に寄与することを目的とした表彰制度です。
総理、宇宙、総務、文科、経済、国土、環境、防衛の各大臣賞及びJAXA理事長賞があります。

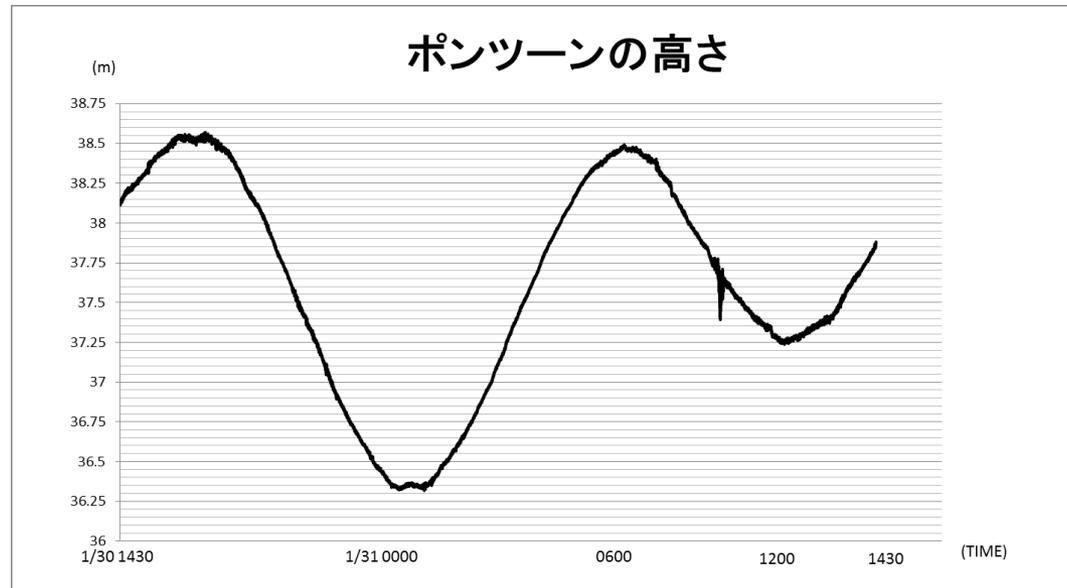
宇宙開発利用大賞 検索 URL : www.s.cao.go.jp/space/prize/prize

内閣府

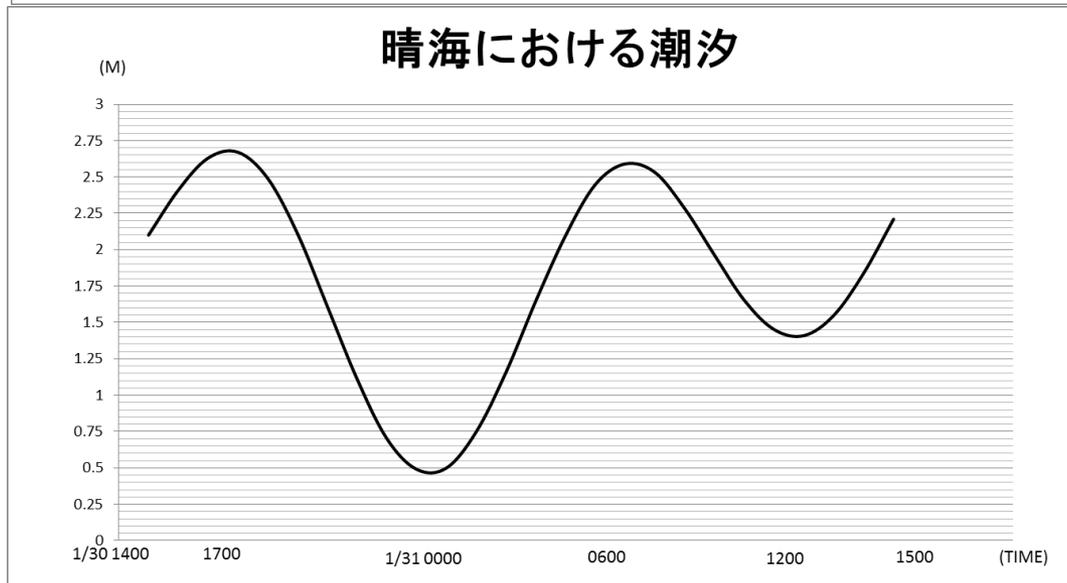
GPSで潮汐を調べる(海洋大越中島)



RTK-GPSの観測結果と気象庁データ



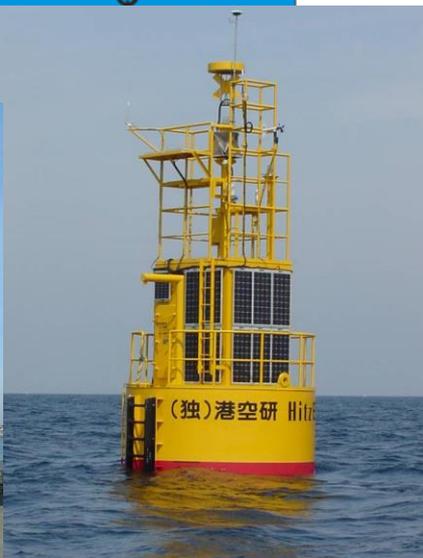
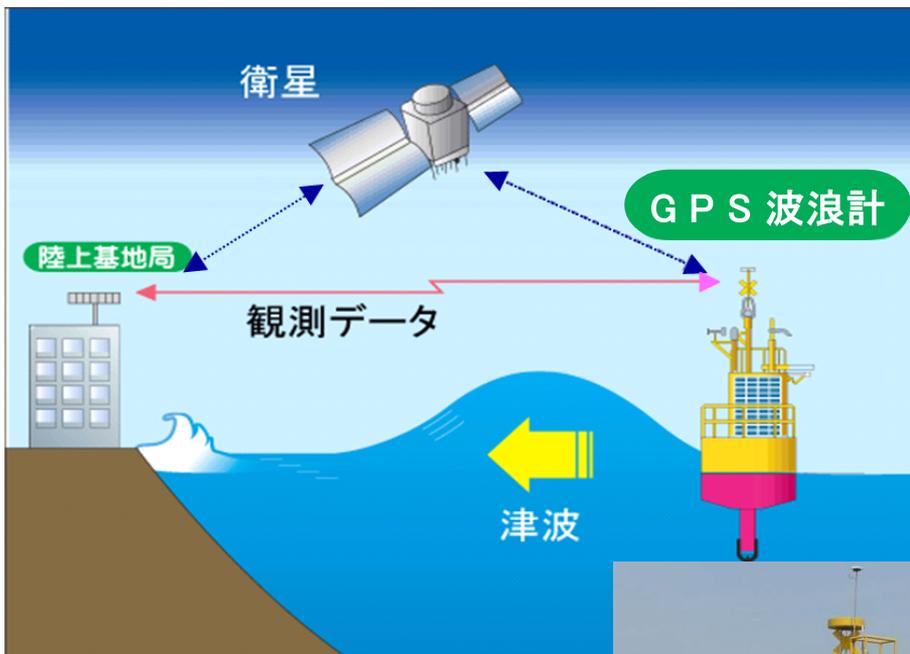
楕円体高



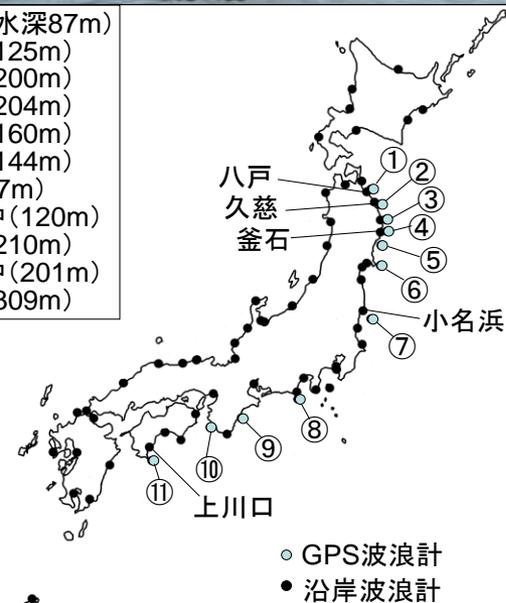
観測基準面からの高さ

海洋での利用例(潮位計)

GPS波浪・津波計測システム



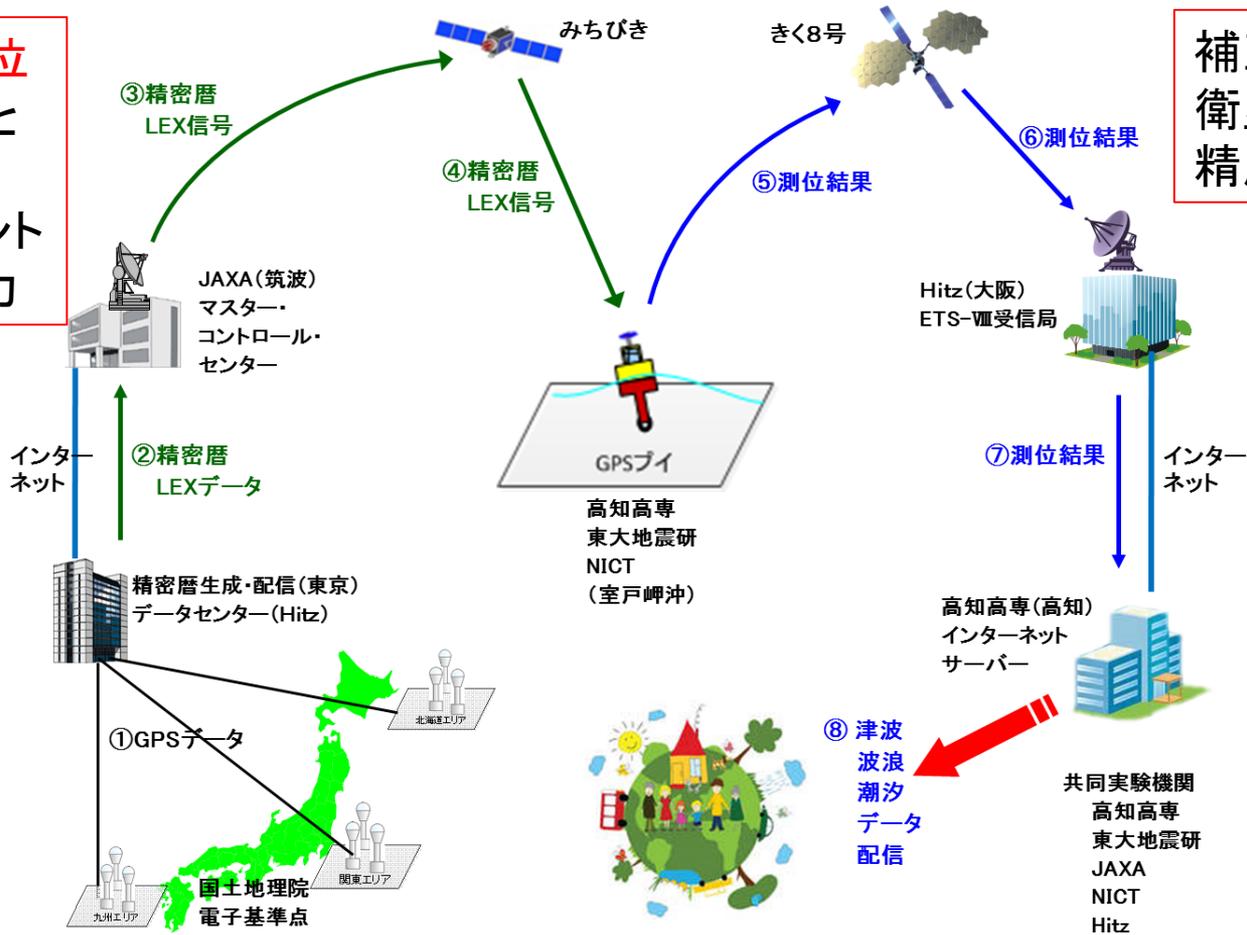
- ①青森東岸沖(水深87m)
- ②岩手北部沖(125m)
- ③岩手中部沖(200m)
- ④岩手南部沖(204m)
- ⑤宮城北部沖(160m)
- ⑥宮城中部沖(144m)
- ⑦福島県沖(137m)
- ⑧静岡御前崎沖(120m)
- ⑨三重尾鷲沖(210m)
- ⑩和歌山南西沖(201m)
- ⑪高知西部沖(309m)



GPS津波計の沖合いへの展開

高精度単独測位
衛星の精密暦と
精密クロックが
本方式のポイント
→海洋大も協力

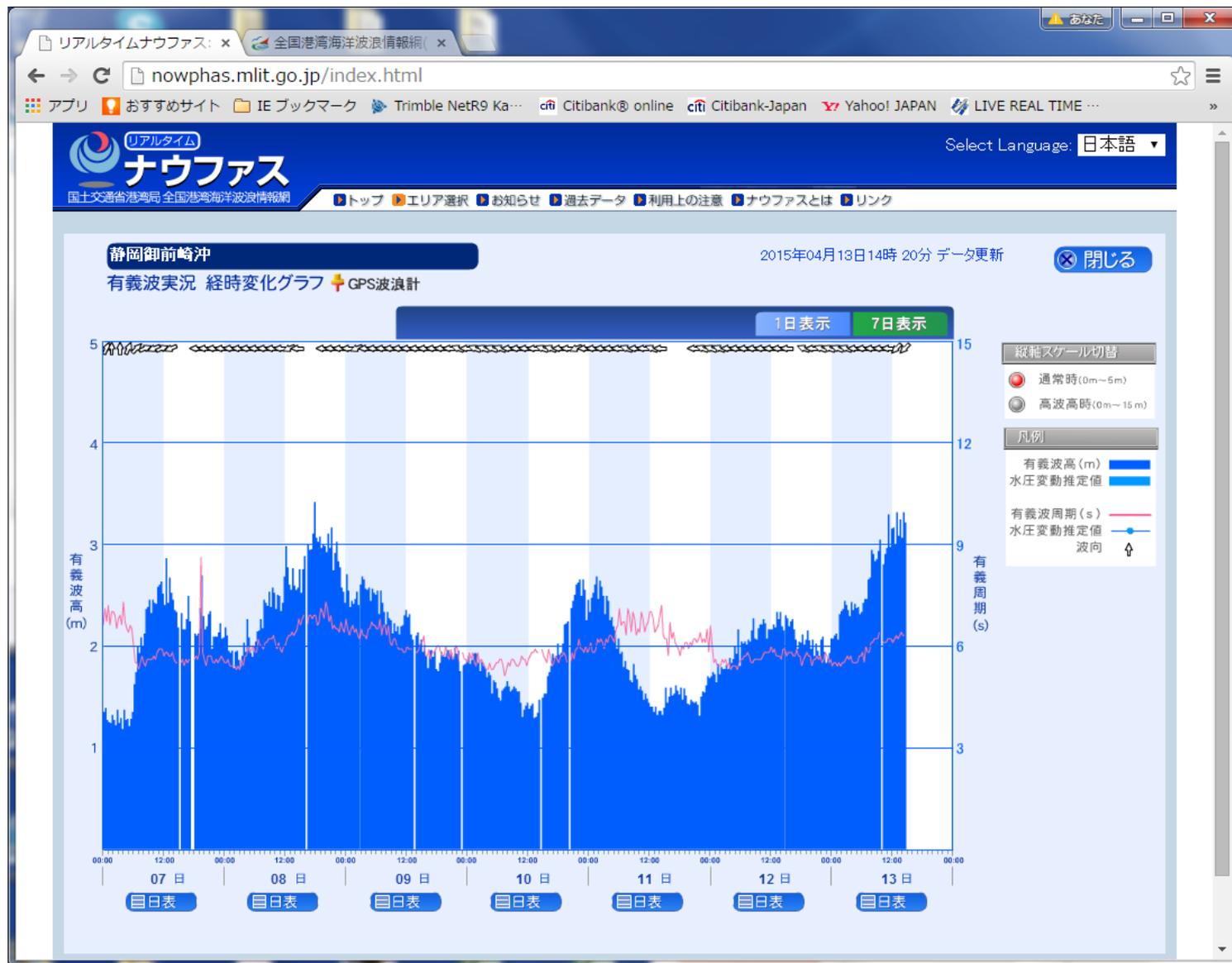
補正データは
衛星経由でもOK
精度は数cm



いつでも だれでも どこからでも

既存方式: 陸上基準局からの距離が20km程度に限定される課題
本方式では衛星のサービスエリア内であれば距離の制約がない
陸上の大規模な停電に際して陸上の通信網だけに依存しない方式

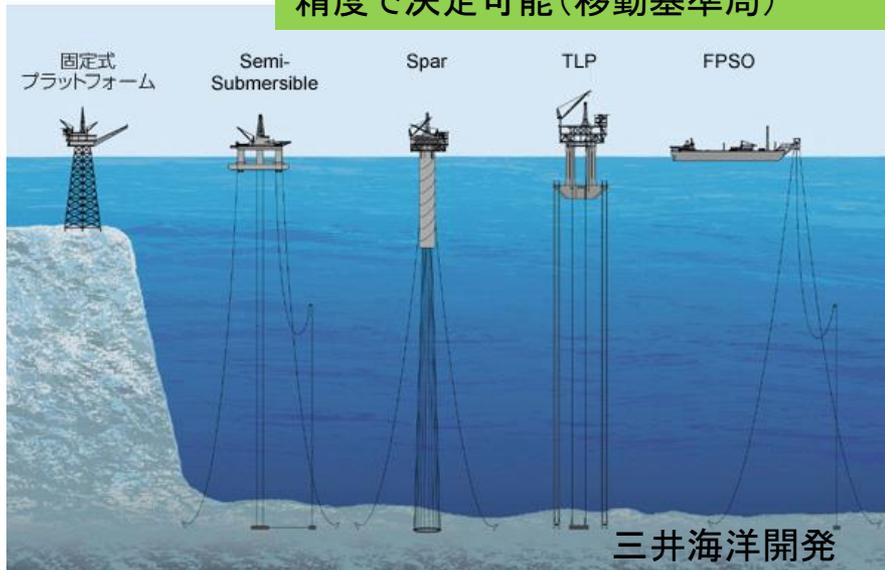
リアルタイムナウファス (沿岸の波浪情報網)



船舶を基準局として利用

- 海洋開発や沿岸部での工事において高精度測位が利用される場面がある(誘導、設置、深浅測量)
- このようなときに、船舶のRTK用受信機を基準局として、周囲で精密位置を必要とする受信機に補正データを送信する
- 船舶同士の位置決定にも利用できる

海洋石油・ガス生産設備

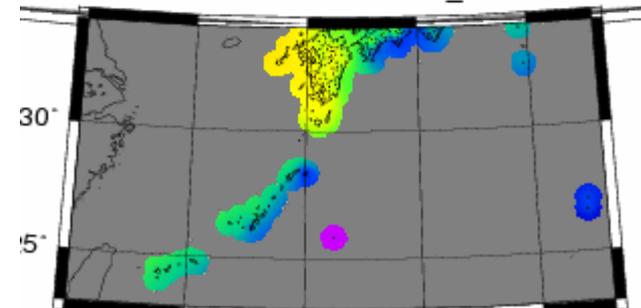
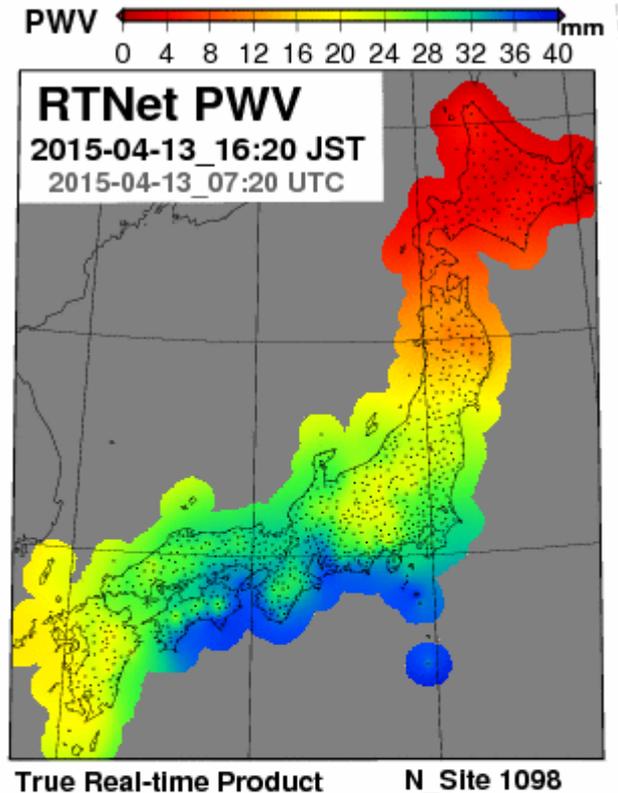
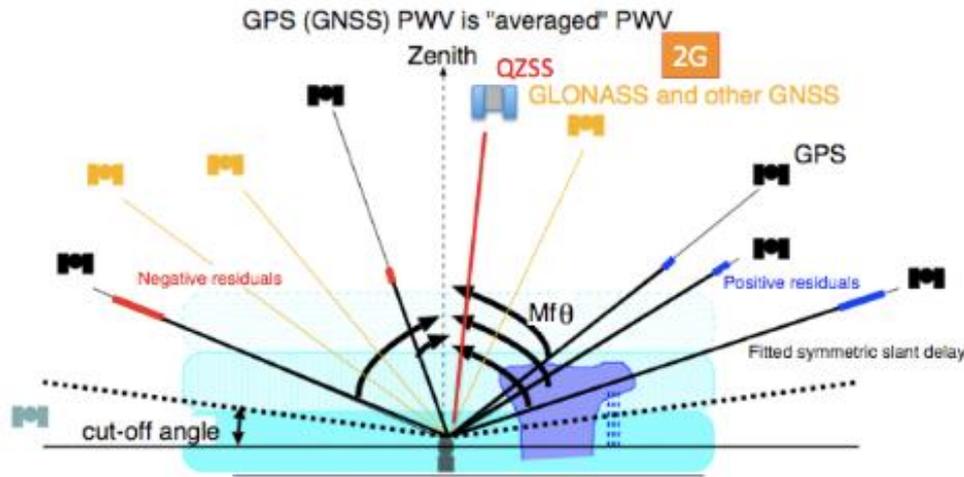


船舶位置さえ高精度に決定できればその位置を基準局として周囲も数cm精度で決定可能(移動基準局)



GNSS気象学(水蒸気量の推定)

- GNSS測量において、大気遅延を精度良く推定できれば、その情報を気象学に利用できる。現在、GNSS解析で推定される大気遅延は、その気圧に依存する成分を取り除き水蒸気に起因する遅延量に変換された後「可降水量」に変換され、日本をはじめ、世界の主要な気象研究機関で、数値予報の初期場の作成に利用され、降水の予報精度向上に寄与している。



観測船搭載 GNSS による水蒸気解析実験

Water vapor analysis experiment from shipborne GNSS measurements

小司禎教
Yoshinori Shoji

気象研究所
Meteorological Research Institute

1. はじめに

GPS と Glonass を使い、海洋気象観測船に搭載した GNSS 受信機から、予備解析ながら RMS3mm 未満でゾンデ観測と一致することを確認した。

周囲を海に囲まれた日本では、海洋上の水蒸気分布を把握できれば、気象予報の精度向上が期待できる。 船舶等移動体に搭載した GPS による水蒸気観測に関する先行研究、Fujita et al.(2008)では観測船に搭載した GPS の解析を行い、精密暦 (GPS 衛星の位置と時計情報) を用いた事後解析で高層ゾンデ観測と比較し、可降水量 (PWV: 鉛直積算水蒸気量) で RMS3.02mm と陸上の GPS 解析と遜色ない一致度での解析に成功している。

小司ほか(2010)は、室戸沖の GPS 津波計のデータを使い、やはり精密暦を用いた解析を行い、観測衛星数が 10 個以上の場合、陸上 GPS の解析結果と可降水量 3mm 程度で一致する結果を得た。しかし、実験では観測された GPS 衛星の数と精度に相関関係が確認され、観測衛星数の増加が精度の安定化には不可欠であることがわかった。米国の GPS 以外の衛星測位システム (Glonass、Galileo、準天頂衛星) の電波も受信できるアンテナ・受信機による観測、及び解析手法の開発の必要性が確認された。

2. 海洋気象観測船での GNSS 観測と解析実験

2012 年、気象庁の 2 隻の海洋気象観測船に GPS、Glonass、QZSS の観測が可能なシステムをそれぞれ 1 つずつ搭載し、観測を開始した (凌風丸: 7月 25 日, 啓風丸:

大気解析ツールとしての有効性を示している。

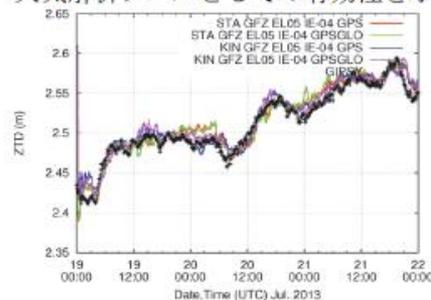


図1. 国土院の電子基準点"3047"の ZTD 時系列。2013 年 7 月 19-21 日。黒)GIPSY 解析 (暦は IGS)。赤線) RTKLIB による static PPP 解析 (GPS のみ使用)。緑線) RTKLIB による static PPP 解析 (GPS と GLONASS 使用)。青線) RTKLIB による kinematic PPP 解析 (GPS のみ使用)。薄紫線) RTKLIB による kinematic PPP 解析 (GPS と GLONASS 使用)。

次に、RTKLIB による Kinematic PPP 解析による凌風丸の ZTD から、気温と気圧を用いて変換した PWV について、同船の高層ゾンデ観測結果と比較した。図 2 に時系列、図 3 に散布図を示す。

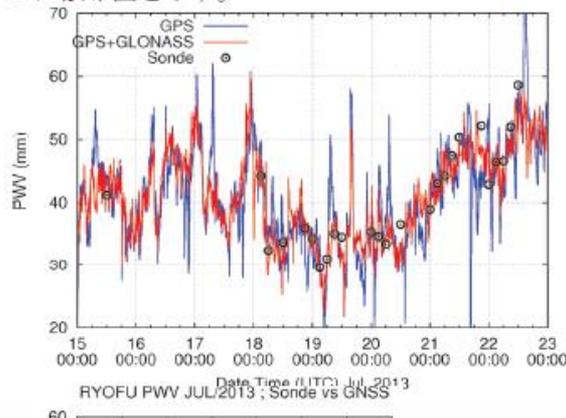
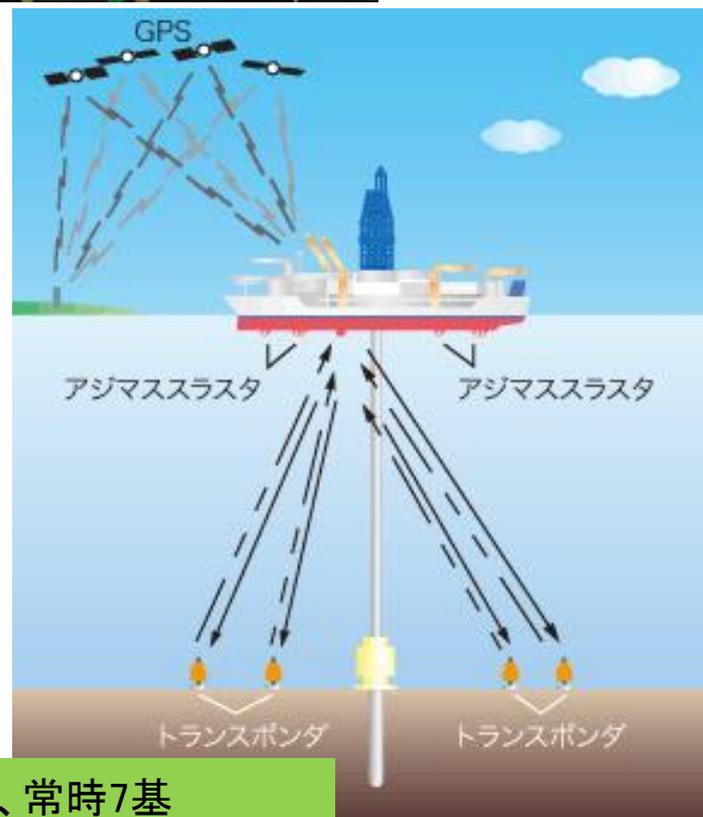
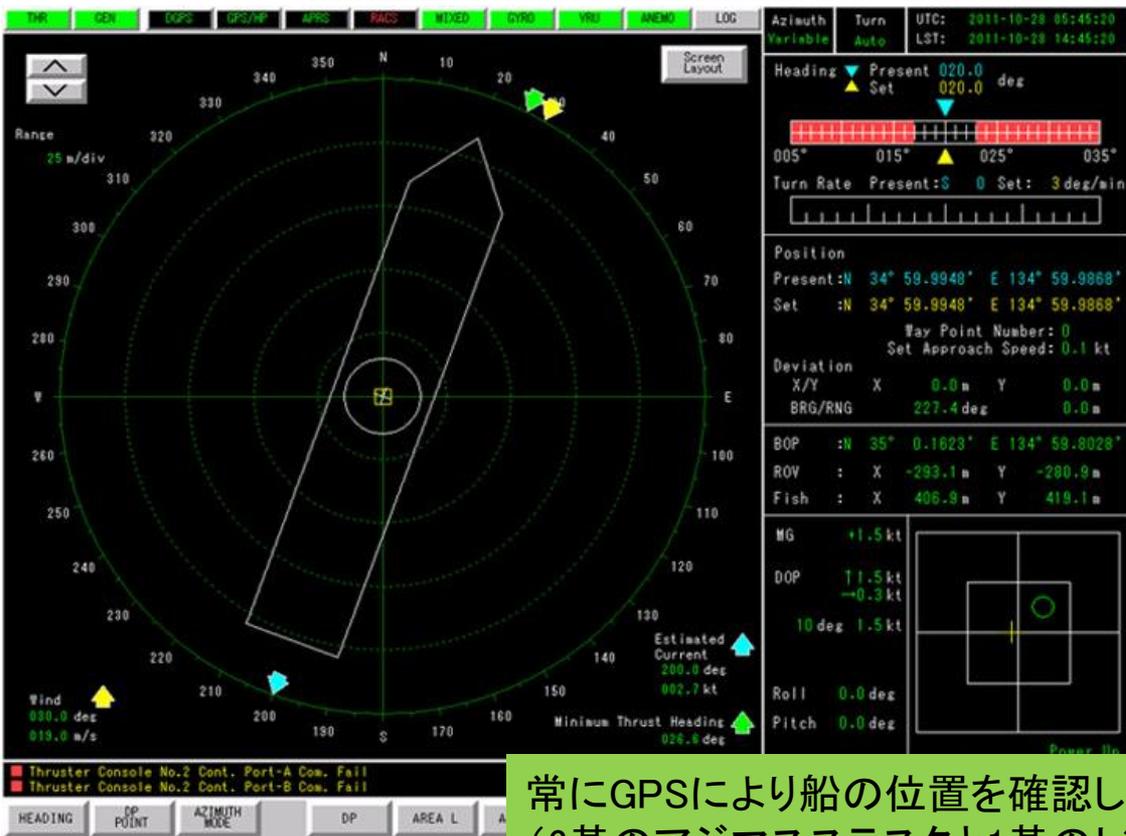


図 2. 凌風丸上空の PWV 時系列。2013 年 7 月 15-22 日。青) GPS のみを使用、赤) GPS と GLONASS を使用。黒丸)ゾンデ観測。

風と波と潮で揺れる海上で 位置を保持する高度な技術 DPS (自動船位保持システム)

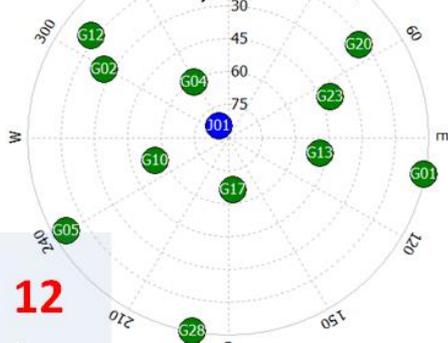
2011年12月掲載



常にGPSにより船の位置を確認し、常時7基
(6基のアジマススラストと1基のトンネルスラスト)
のスラストの推進方向を360度変え、風や潮流等に
流されることなく、船体の位置を一定に保持します

GPS→GNSSの時代へ

Satellites position at TOKYO
Green : GPS, Blue : QZSS



12
to
32



Yellow : GLONASS

Red : BeiDou

Pink : Galileo

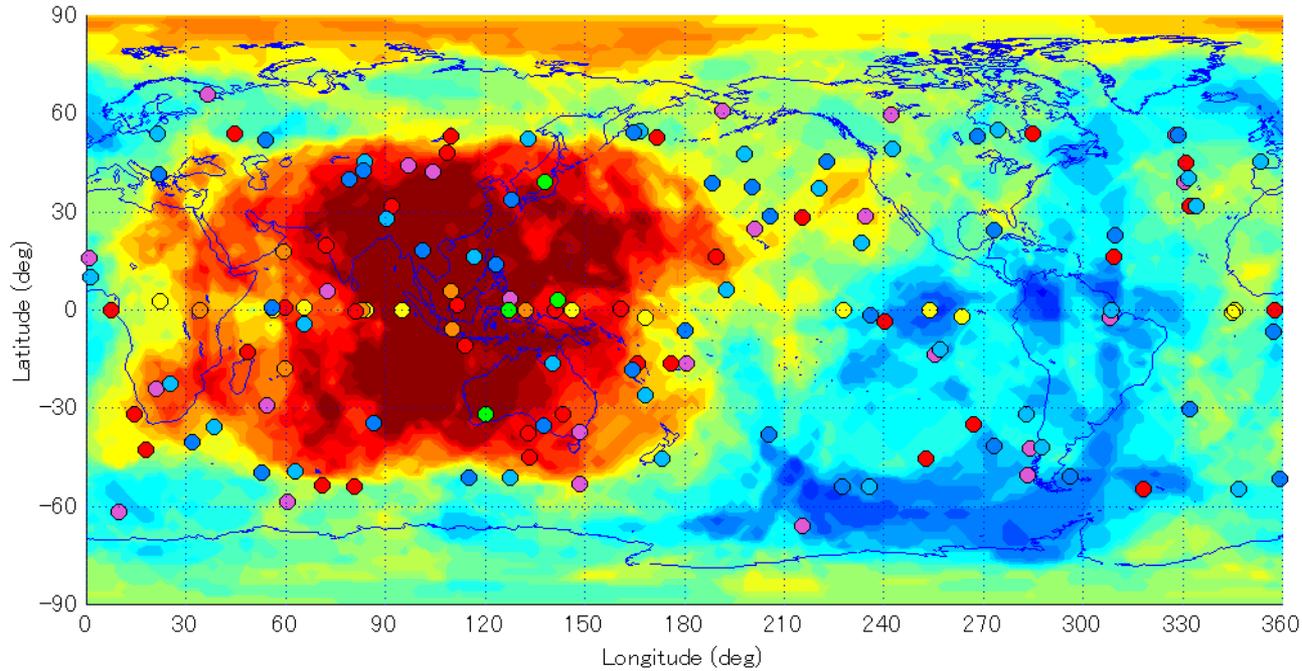
- ロシアの**GLONASS**はGPSと同様に利用できる(ここ数年復活)
- 中国の**BEIDOU**とヨーロッパの**GALILEO**がこの2-3年で利用できるようになった。国産の**準天頂衛星**は2010年より
- 単純に水平線以上の可視衛星数が12機から32機へ

約2年前の衛星配置の1ショットですが、2年程度で大きく変化しないのがGNSSの特徴

New GNSS Era : many more satellites

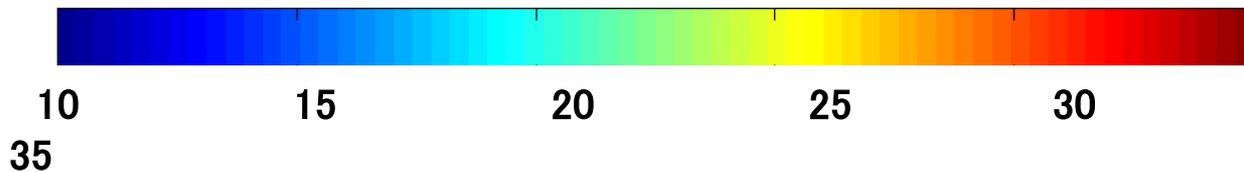
-アジアの時代-

Visible satellite number (mask angle 30 degrees) 24 hours Disp.

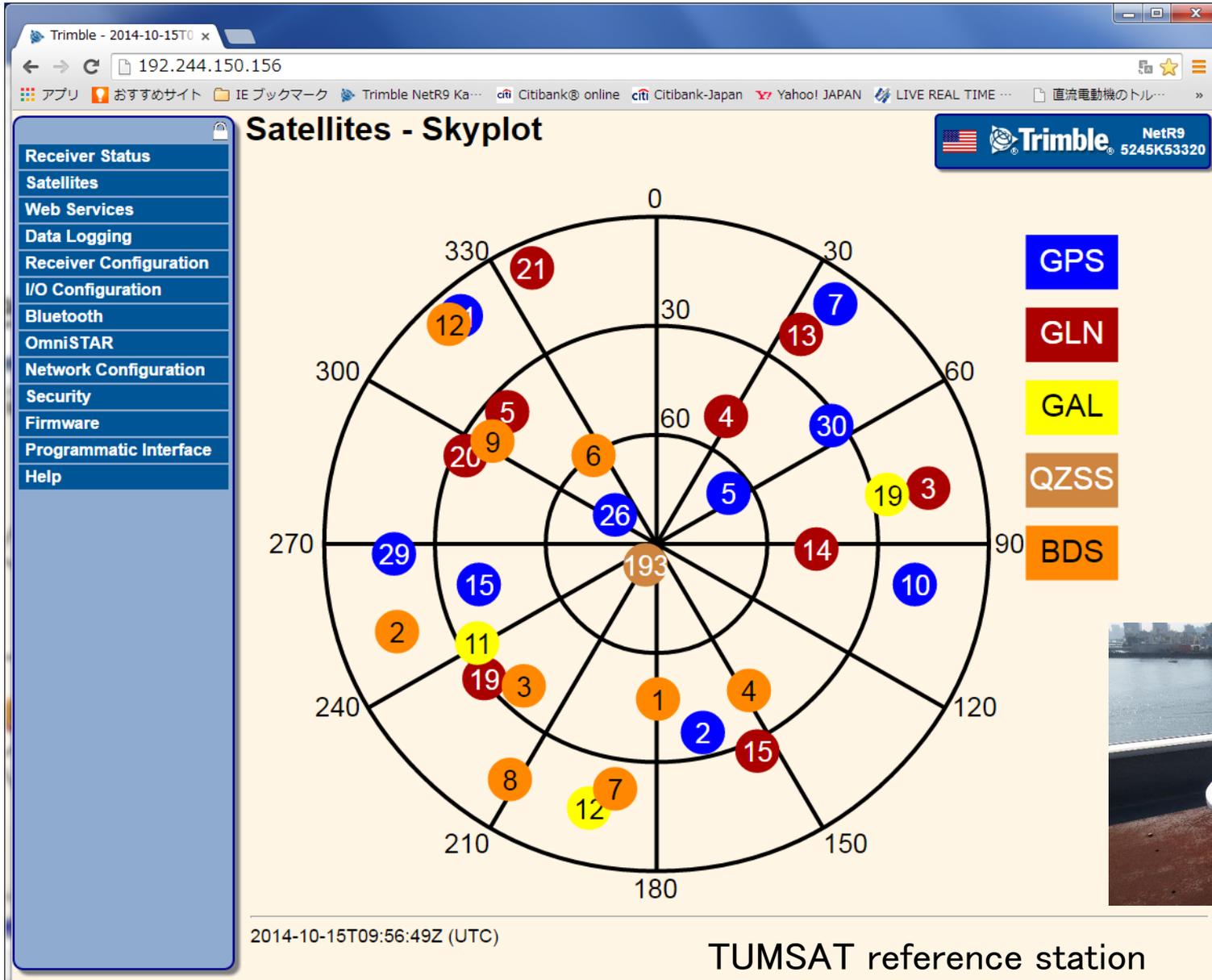


2020:

○ GPS(32)+ ● Glonass(24)+ ● Galileo(30)+ ● BeiDou(35)+ ● QZSS(4)+ ● IRNSS(7)+ ● SBAS(13)



海洋大研究室屋上設置の基準局

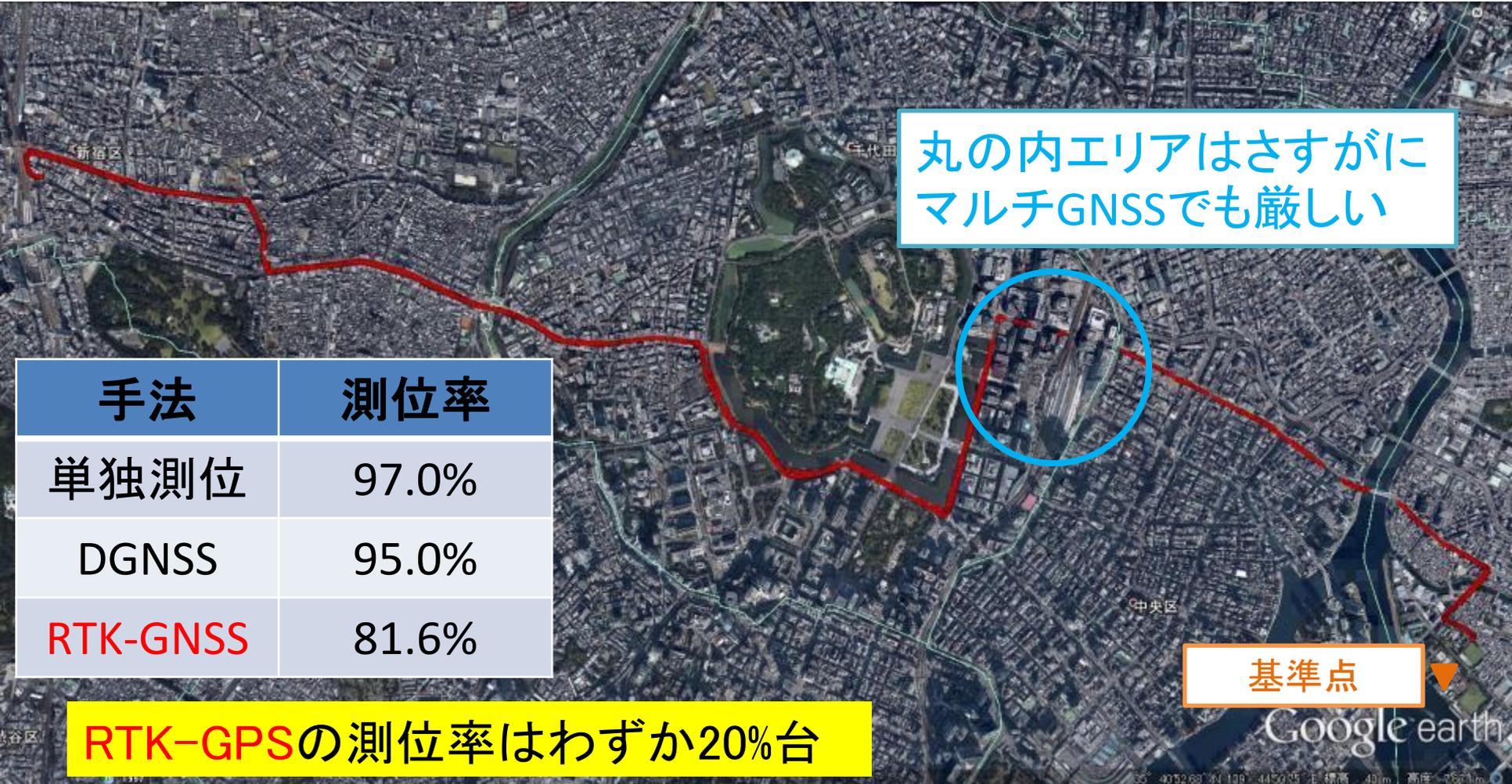


GPS : 32
GLN : 23
BEI : 14
GAL : 3
QZS : 1



マルチGNSSになり何が変わったか？

自動車で海洋大-新宿を往復すると

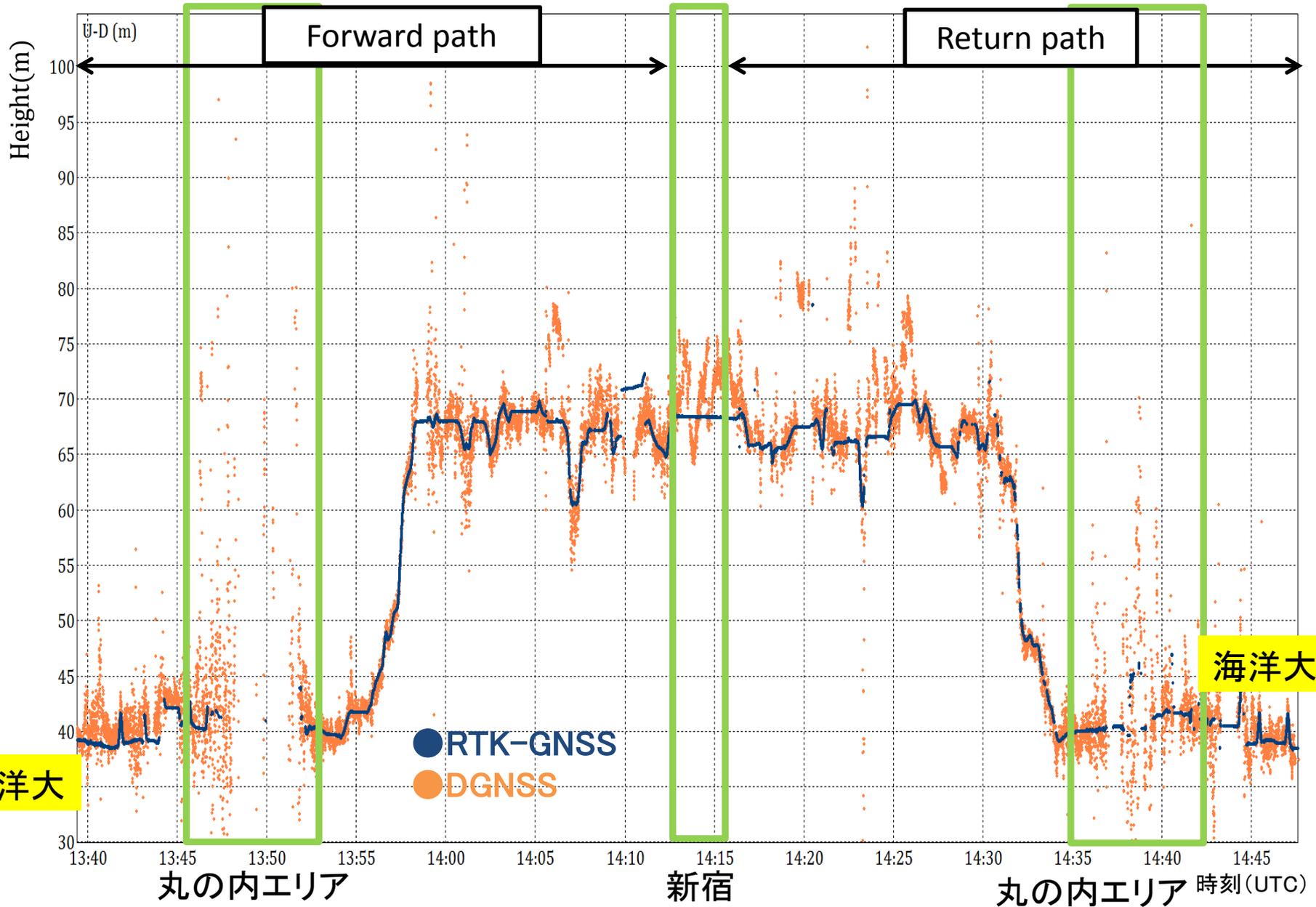


新宿

主に国道20号を走行

TUMSAT

高度方向の測位結果



自動車の自動運転の現状

- 遠い先の話しだと思っていた自動運転分野がアドバールーンではなく真のターゲットになってきた
- Googleは勝手に自動車(プリウス等)を改良して(というか勝手にできた)実道路を試験中
- 各種センサにより自動停止や高速道路等でのACC(前の車の自動追尾)やレーン制御がすでに搭載されはじめた
- 交差点等の見通しの悪い場所での出合頭事故を防ぐ車々間通信も搭載→絶対位置(GNSS)は必要
- 自動運転の領域が多くなってくると絶対位置または車両同士の正確な位置差が必要となる→GNSSの可能性を検証
- RTKを利用すると地図そのものの精度を一新する必要がある
- 自動車だけでなく自転車や歩行者の位置精度を向上させる取り組みも活発

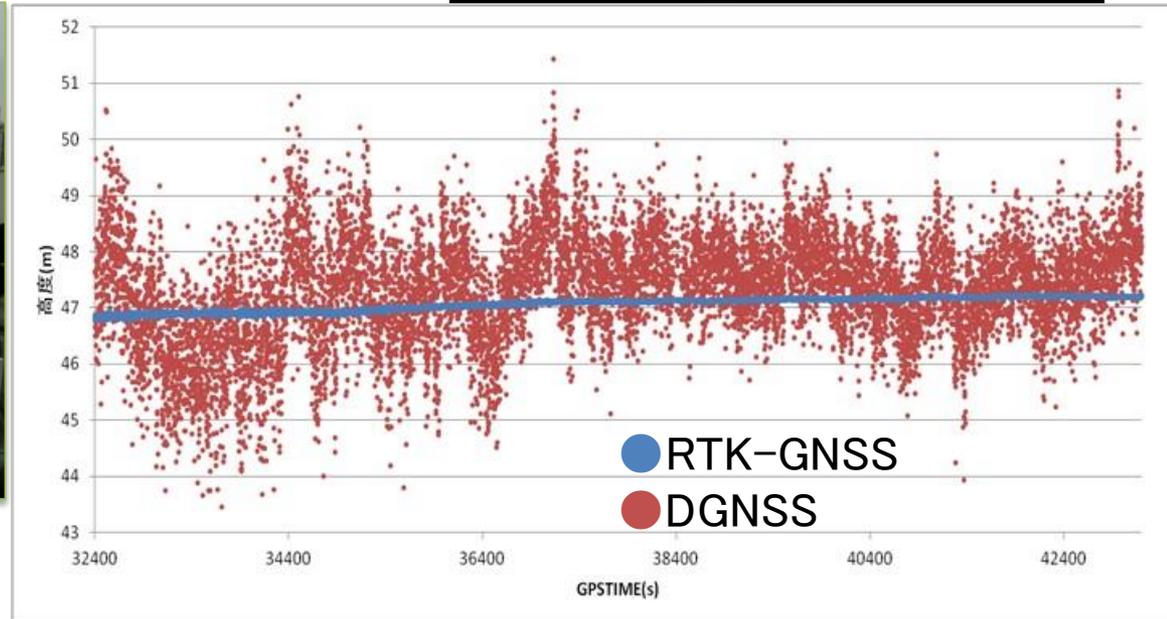
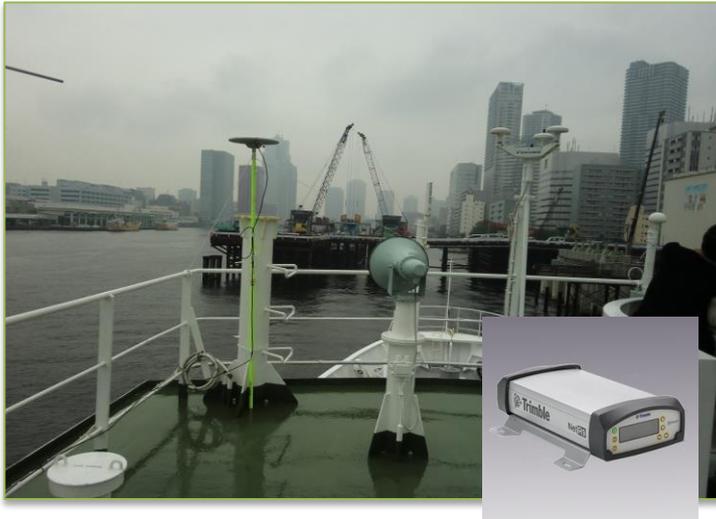
船舶での精密測位とマルチGNSSの効果

- 実際に船舶でどの程度の精度がでるのか検証
- マルチGNSSの効果は海上でもでるはず
- 精密位置を利用するアプリケーションの検討
- 補正データを受信する通信のいらぬ高精度単独測位の出現

実験船汐路丸での精密測位

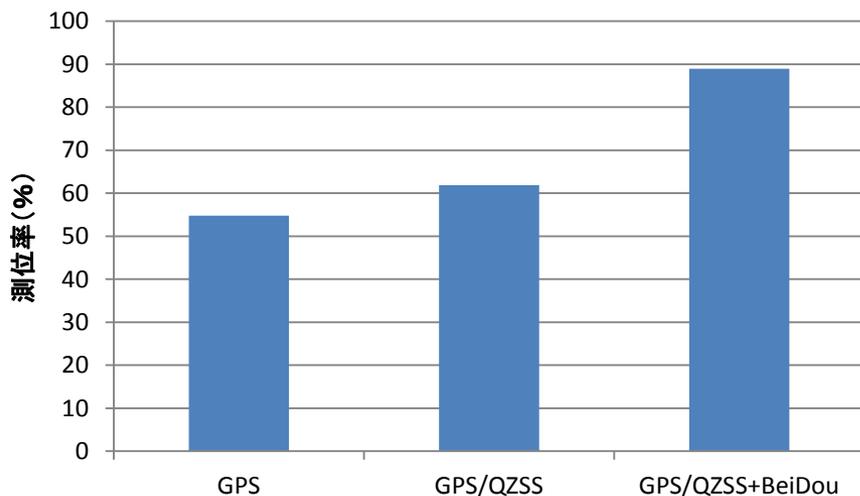
- 勝どきに停泊中の実験結果(2013)
- 基準局は研究室屋上
- 移動側の環境は写真(周囲環境は良くはない。船自身の突起物)
- GPS/QZS/BeiDouで評価

汐路丸側のアンテナ環境
勝どきでの天頂写真



勝どき停泊データの結果 (RTK-GNSS)

	RTK精密測位率(%) (1エポック:瞬時RTK)		
	GPS	GPS/QZSS	GPS/QZSS+BeiDou
7月26日	40.9	49.1	90.3
7月27日	50.3	60.8	87.6
7月28日	62.2	68.5	91.7
7月29日	64.7	70.3	92.5
7月30日	55.7	60.7	82.7



QZSS+BeiDouを加えた場合



一日を通して見ても効果があることは明白
+QZSで5-10%、+BeiDouで20%以上

マルチGNSSの効果は明らか

海洋大実験船での移動体 高精度測位実験

- ・ 汐路丸、やよい、らいちょうSで実験実施

	やよい	汐路丸	らいちょうS
実験日	2014 10/09	2015 01/20	2015/01/23
測位時間	1時間	4時間	約20分
実験場所	東京湾	晴海-館山沖	海洋大近辺
全長 型幅	17.8m 4.28m	49.33m 10.00m	8.04m 2.24m
FIX率 (数cmの割合)	91%	94%	88%

やよいでの東京湾航行(91%)

描画は5Hzを0.5Hzにまびいた



大井埠頭付近
着岸支援?

着岸時動画 動画

[戻る](#)



自身の操舵を上空から俯瞰的に
みることによる着岸支援

汐路丸での実験航行(勝どき→館山)(94%)

描画は10Hzを0.5Hzにまびいた

海洋大基準局の補正データを利用したRTKのため、海上ではE-mobileの通信が途絶えることが少なからずあった。
(補正データの遅れが10秒を越えると×)
そのときに解を出せていないケースが多く、それ以外ではほぼOK

現状のマルチGNSSを利用すれば基準点から60-70kmまでリアルタイムで数cmの精度で位置を決定可能
(日本沿岸で高精度が必要か)



らいちょうSでの海洋大周辺水路(88%)

緑がRTK解
黄色がFLOAT解
青がDGNSS解

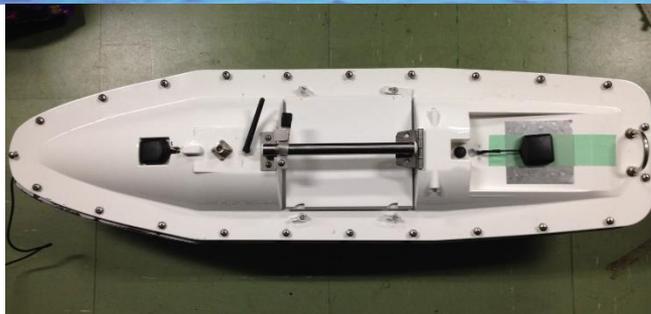
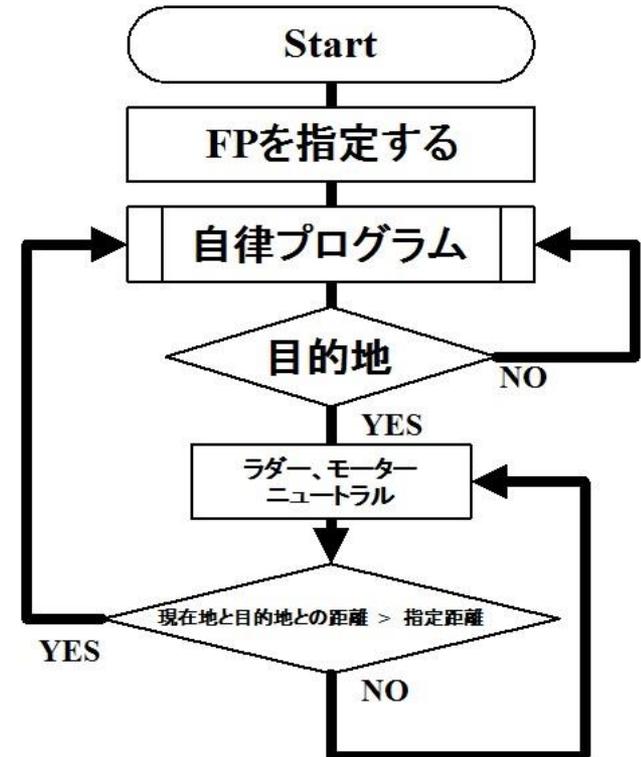
高精度な地図があれば、このような水路でもWP航行に利用可能か
(橋下等だけ他センサで)



小型ボートでの自律航行実験

- Waypoint航行に関する調査
- エリア保持(モニタリング)に関する調査
- アルゴリズムの検証を目的とした実験

制御フローチャート

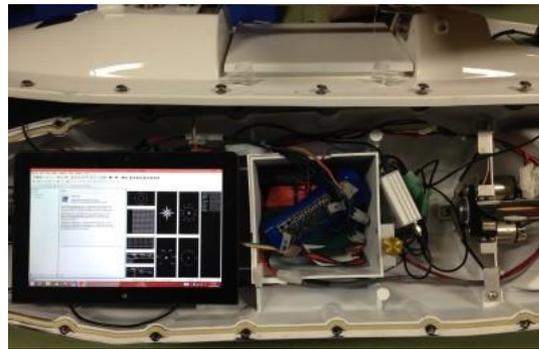
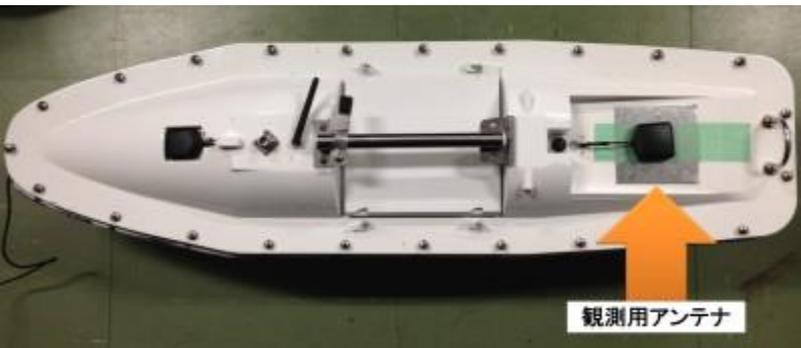


WP誘導とエリア保持実験結果

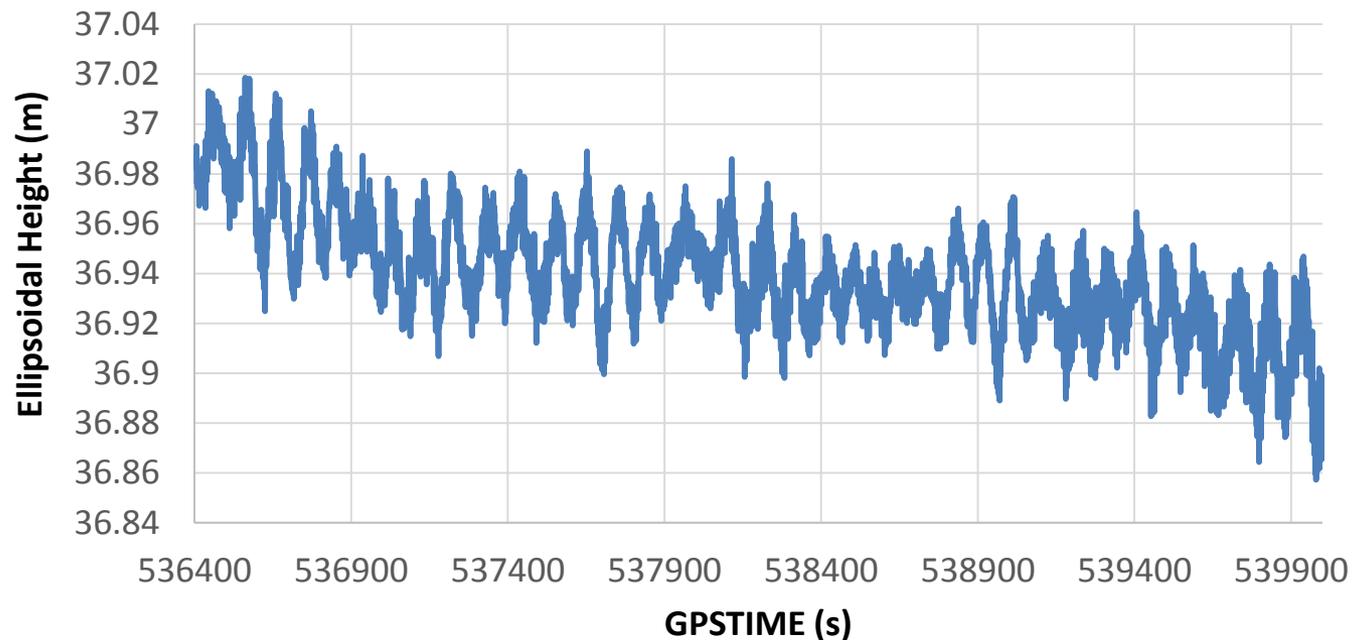


低コスト受信機での小型ボート試験

-1周波 GPS/QZS/BeiDou RTK-



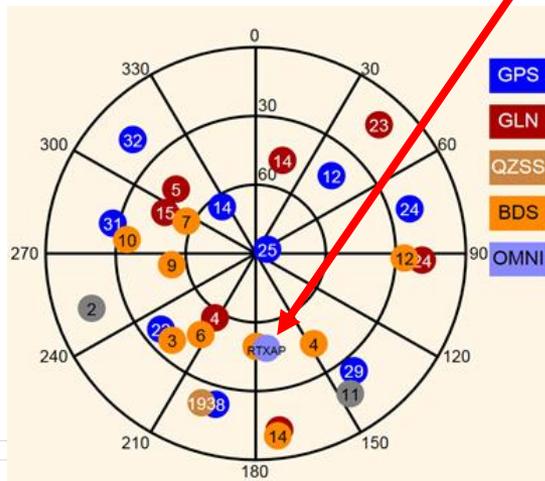
Height Determination of Small Boat on the Sea (1hour)



高精度単独測位の実験

(RTKでネックとなる地上通信回線は必要ない→衛星経由なので世界中どの場所でも利用できる)

- 30分間の静止 + 15分間の移動
- 高精度市販受信機のソフト
- RTK解との比較
- 精密暦とクロック等の情報がオムニスター経由
- 基本周囲の開けた場所



周囲の開けた晴海を走行



まとめ

- 近年の衛星測位分野の概況とマルチGNSSによる効果を示しました
- AISでの位置等の情報利用(ビックデータ)や漁業分野での位置利用について紹介しました
- 海洋関連で、津波検知や水蒸気量の精密測定(重要なセンサの役割)及び海洋開発での利用の仕方について紹介しました
- 海洋大実験船での高精度測位実験を通して、数cmの精度がより身近であることがわかってきました
- 自動車分野では自律航行がホットな話題。船舶においても、自律航行等が適している領域があるかもしれません

ご清聴ありがとうございました