



RTK測位を用いた河川・海上でのジオイド高さと 潮汐の測定

日本写真測量学会令和5年次学術講演会

5月18日

東京海洋大学大学院 ○小森健史 久保信明



目次

- 研究背景・目的
- 導入 ジオイドとRTK測位
- 実験1-1 河川におけるジオイド高測定
- 実験1-2 海上におけるジオイド高測定
- 実験2 GNSS測位による潮汐測定
- まとめ

背景

- 近年海上/臨海部の開発が盛んにおこなわれている。
- 一方で、建設業においては人手不足と労働環境改善が課題となっている。
- 海上工事においてもBIM/CIMを活用したICT施行の導入が進んでいる。

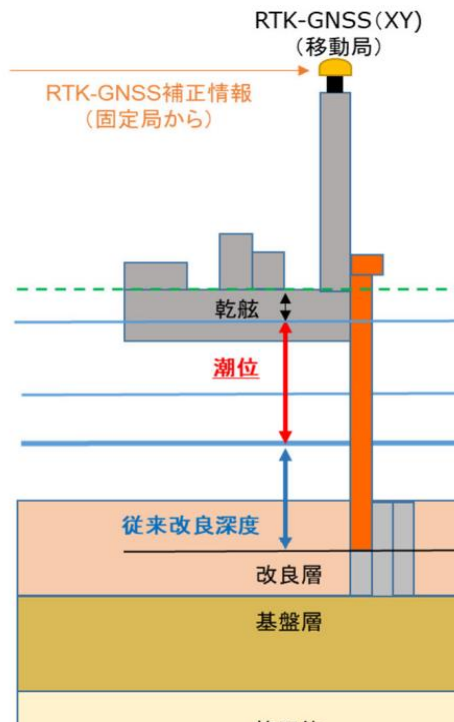
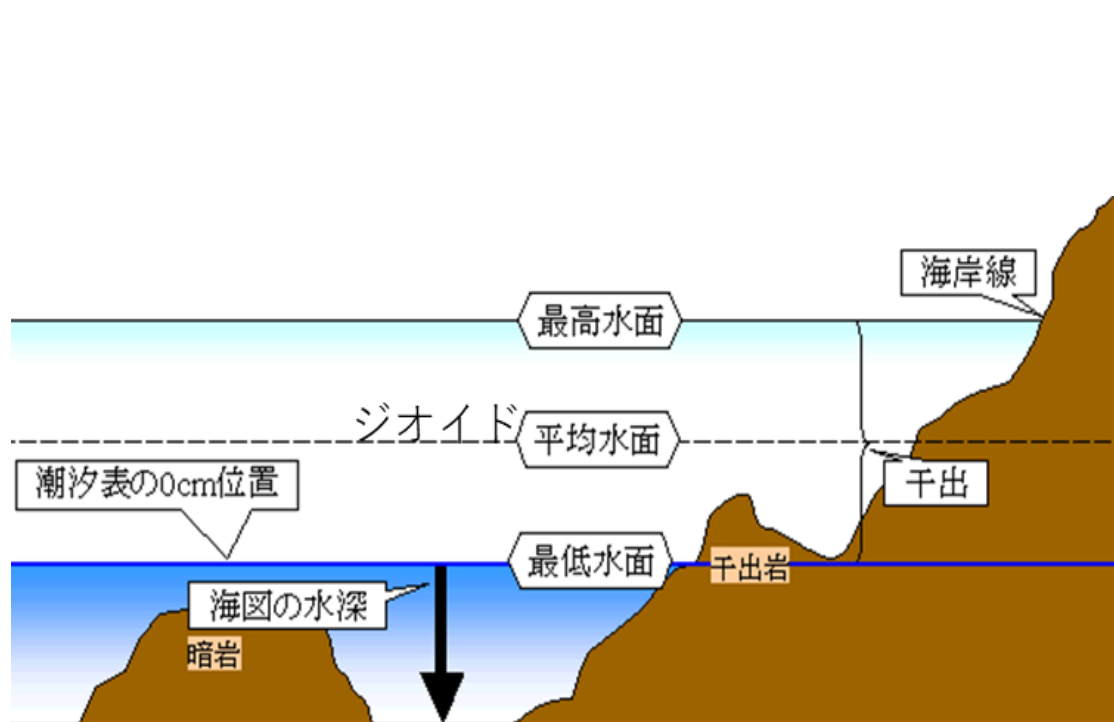
上図:洋上風力発電設備の建設
引用:[洋上風力建設分野で欧州有力企業とアライアンス | 清水建設 \(shimz.co.jp\)](#)

下図:大阪万博会場(夢洲)イメージ
引用:経済産業省HP



背景・問題提起

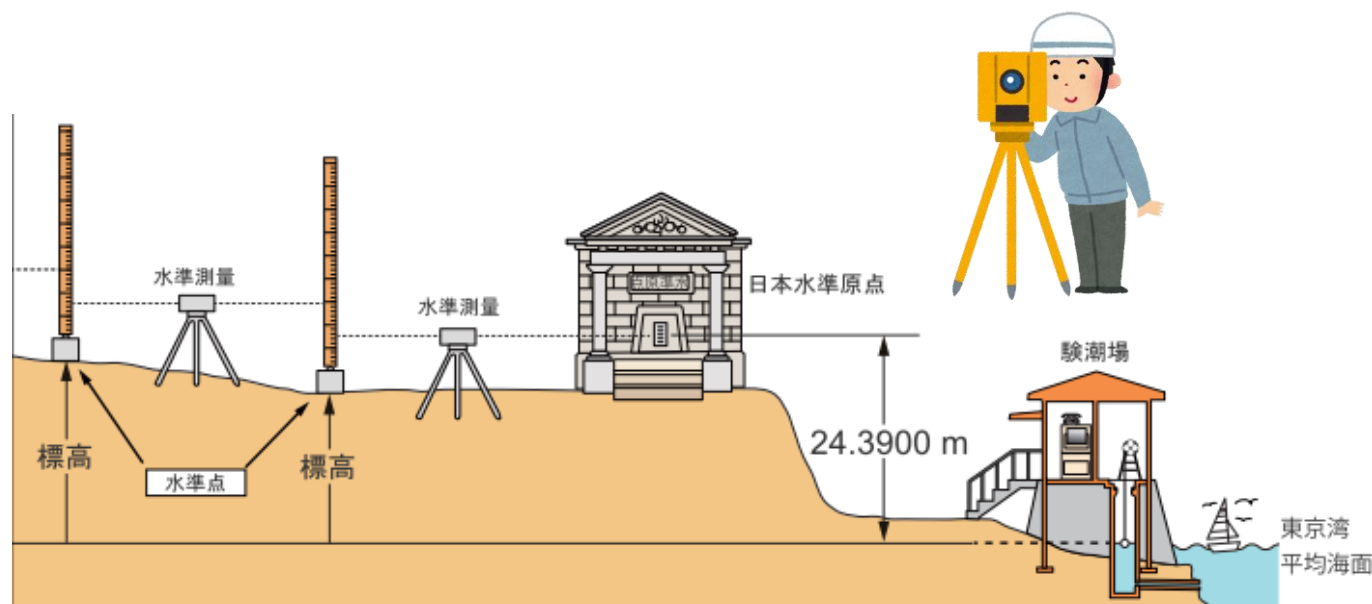
- BIM/CIMの適用のためには高精度な3次元モデルを用意した上で作業船の3次元位置を正確に把握することが必要不可欠である。
- 正確な位置(緯度/経度/楕円体高度)はRTK測位により容易に取得できる。
- 正確な**標高**を知るためには正確な**ジオイドデータ**と**潮位**が必要。





目的 実験1

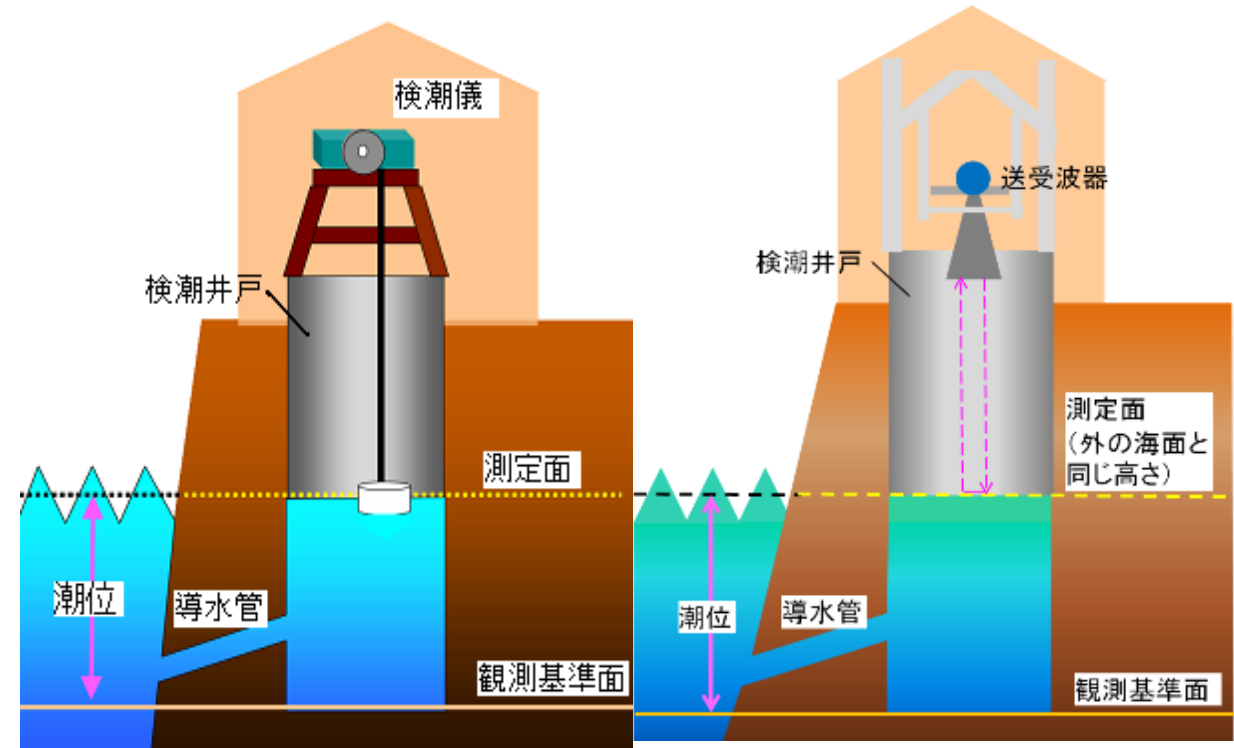
- 従来は水準測量や重力測量によってジオイドや標高を測定していた
→ **人手と時間がかかる** & **水上では測定不可能**
- 水上において、ジオイド・標高を正確に測定する新手法として「船に設置したGNSSアンテナによる測量」を提案する。





背景・目的 実験2

- 現在港湾工事において、仮設の水位計によって任意地点の潮汐を測定することがある。
- 水上の浮体を測位することによる、潮汐の簡易的な測定ができないか検証。



フロート式検潮儀

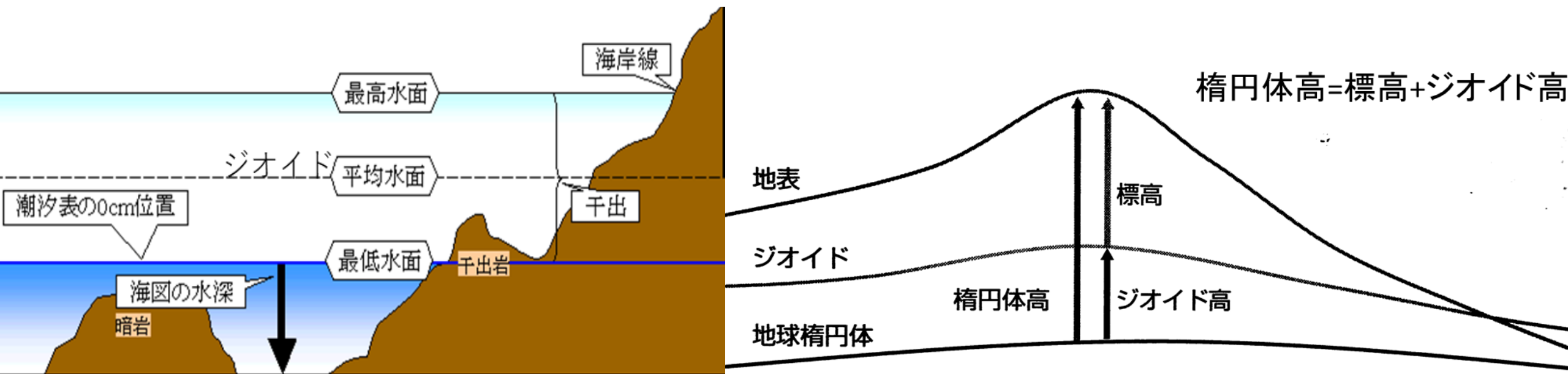
電波式検潮儀

引用: [気象庁 | 潮汐・海面水位の知識 潮汐観測の仕組み \(jma.go.jp\)](http://jma.go.jp)



導入 ジオイド

- ジオイドとは地球重力の等ポテンシャル面であり、地球全体の平均海面に最もよく整合する。
- 楕円体高はWGS84の準拠楕円体(GRS80)からアンテナまでの高さ。
-GNSS測位結果は(緯度、経度、楕円体高)で求まる。
- ジオイド高は楕円体面からジオイドまでの高さ。
- 日本の標高の基準は東京湾の平均海水面





導入 RTK測位

- GNSS高精度測位/相対測位手法の1つ。
- RTK測位では搬送波位相の二重位相差を使って基準点からユーザへの精密な相対ベクトルを計算。
- 測位精度はオープンスカイ環境だと水平方向で1cm以内。

衛星 1 (基準) $\phi_{rov}^{sv1} = \rho_{rov}^{sv1} + c(dt_{sv1} - dT_{rov}) + ion_{rov}^{sv1} + tropo_{rov}^{sv1} + N_{rov}^{sv1} + mp_{rov}^{sv1} + noise_{rov}^{sv1}$

衛星 2 $\phi_{rov_ref}^{sv1_sv2} = (\phi_{rov}^{sv1} - \phi_{ref}^{sv1}) - (\phi_{rov}^{sv2} - \phi_{ref}^{sv2})$

$$= \rho_{rov}^{sv1} + c(dt_{sv1} - dT_{rov}) + ion_{rov}^{sv1} + tropo_{rov}^{sv1} + N_{rov}^{sv1} + mp_{rov}^{sv1} + noise_{rov}^{sv1}$$

$$- [\rho_{ref}^{sv1} + c(dt_{sv1} - dT_{ref}) + ion_{ref}^{sv1} + tropo_{ref}^{sv1} + N_{ref}^{sv1} + mp_{ref}^{sv1} + noise_{ref}^{sv1}]$$

$$- [\rho_{rov}^{sv2} + c(dt_{sv2} - dT_{rov}) + ion_{rov}^{sv2} + tropo_{rov}^{sv2} + N_{rov}^{sv2} + mp_{rov}^{sv2} + noise_{rov}^{sv2}]$$

$$+ [\rho_{ref}^{sv2} + c(dt_{sv2} - dT_{ref}) + ion_{ref}^{sv2} + tropo_{ref}^{sv2} + N_{ref}^{sv2} + mp_{ref}^{sv2} + noise_{ref}^{sv2}]$$

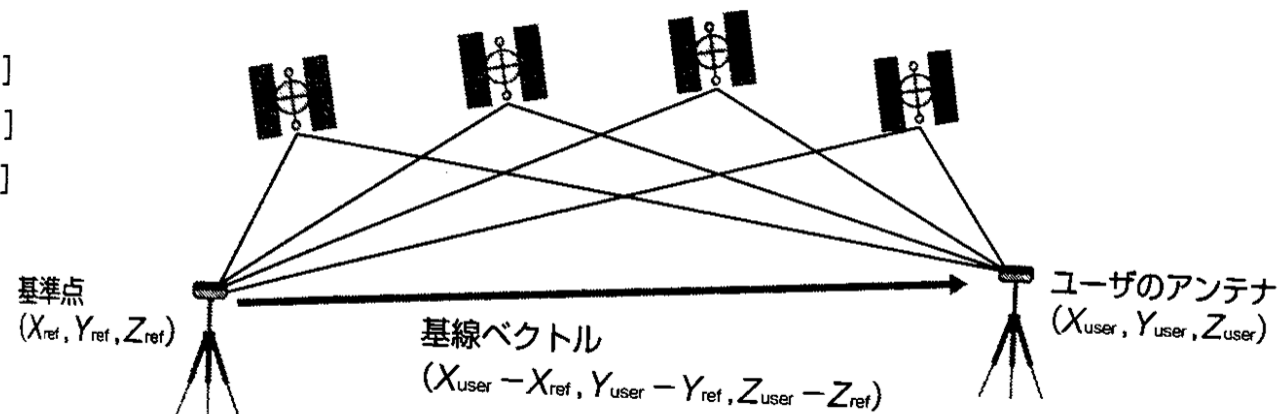
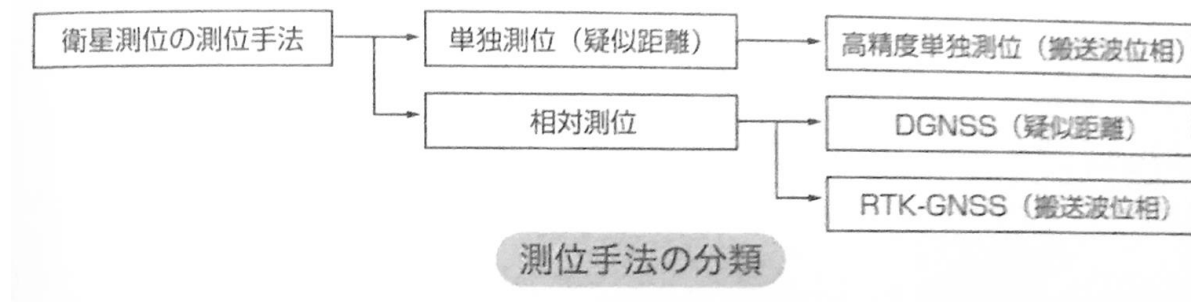
ほぼ完全に消去 10~20 km 以内でほぼ 0

$$= \rho_{rov}^{sv1} - \rho_{ref}^{sv1} + \rho_{rov}^{sv2} - \rho_{ref}^{sv2} + N_{rov}^{sv1} - N_{ref}^{sv1} + N_{rov}^{sv2} - N_{ref}^{sv2}$$

$$+ (mp_{rov}^{sv1} + noise_{rov}^{sv1}) - (mp_{ref}^{sv1} + noise_{ref}^{sv1})$$

$$- (mp_{rov}^{sv2} + noise_{rov}^{sv2}) + (mp_{ref}^{sv2} + noise_{ref}^{sv2})$$

衛星 1 (基準) ユーザ局 基準局





実験1-1 河川におけるジオイド高さ測定

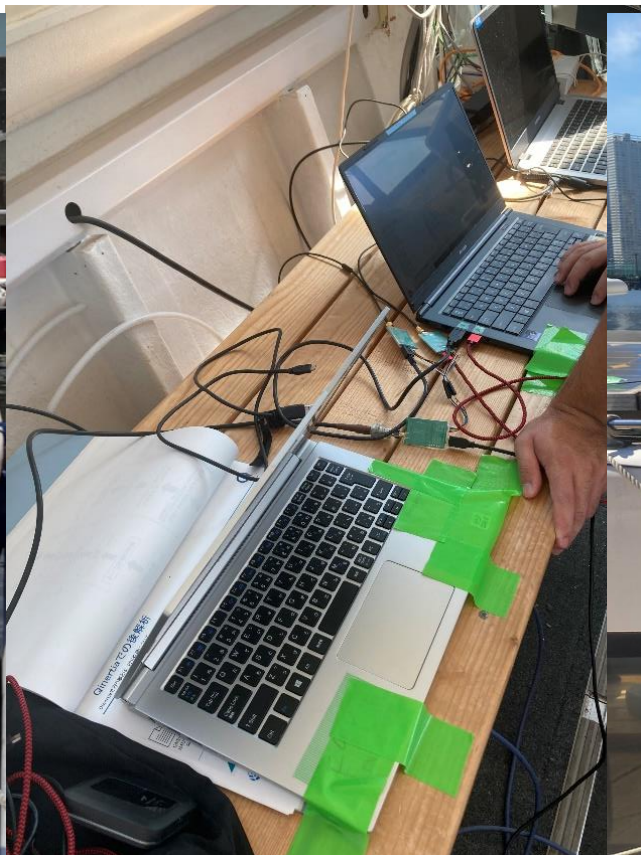




方法

GNSS測位について

- 東京海洋大学清水研究室が保有している小型船舶「らいちょう」にGNSSアンテナを取り付けた。
- 楕円体高度はZED-F9P受信機のRTK測位計算結果(Fix解のみ)を用いた。
-測位周期は5Hz

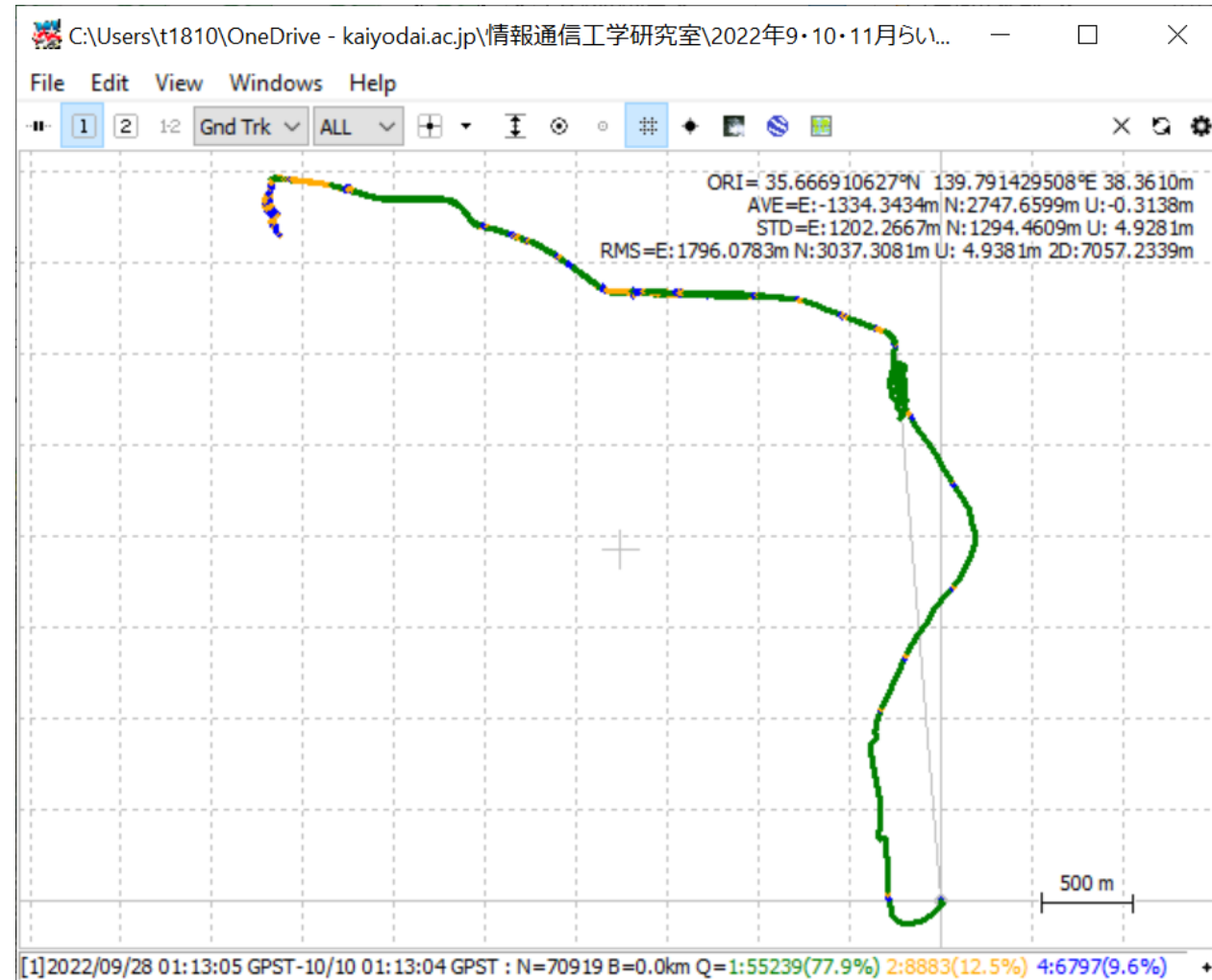
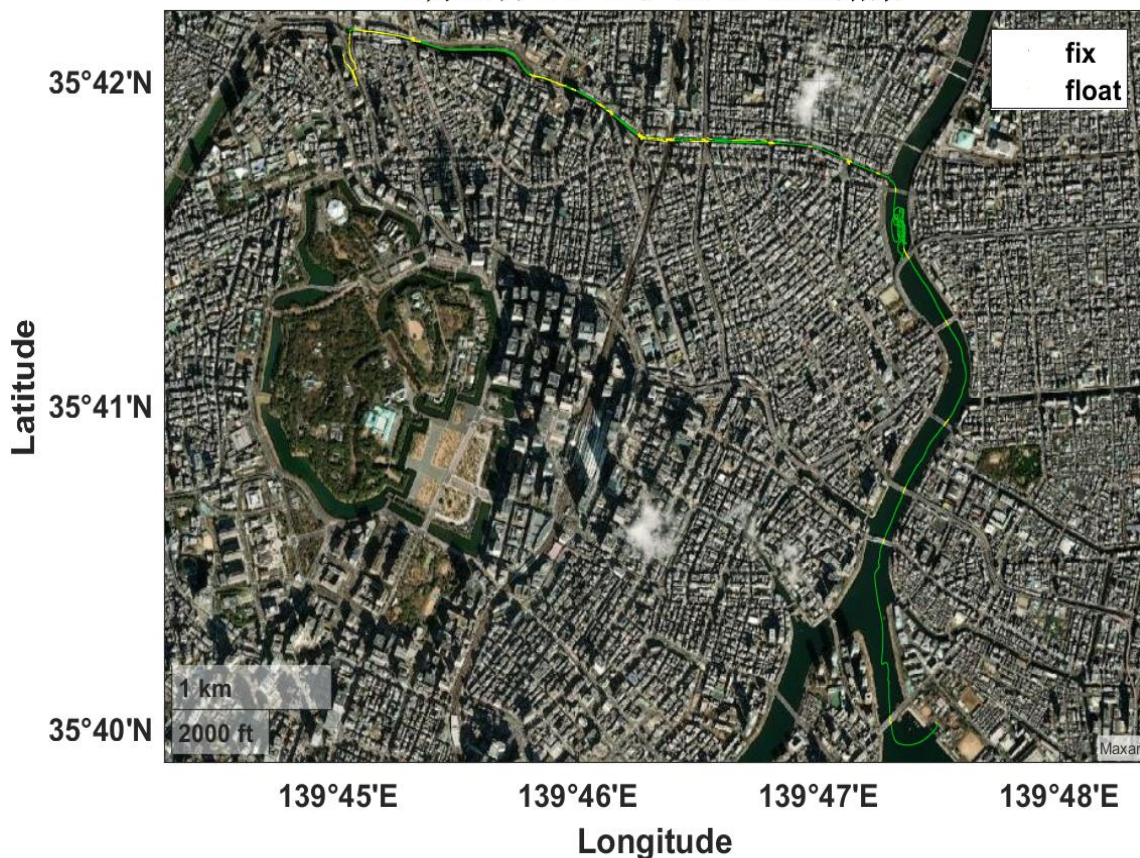


結果

F9P受信機によるRTK測位結果

- Fix解を緑点、Float解を黄点、DGNSS解を青点で示す。橋梁通過時・通過後はFixしていない。
- Fix率は77.9%だった。

9月28日らいちょうF9P-RTK結果





方法 潮汐のdataについて

- ・ 潮汐のデータは気象庁の東京における潮汐観測資料を用いた。

毎時潮位 2022年9月 東京

[先月](#)

[翌月](#)

日	時刻																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
26	-34	-13	19	55	83	95	87	62	29	-7	-39	-60	-63	-43	-6	36	71	90	88	65	30	-6	-35	-53
27	-57	-43	-12	29	66	88	87	69	40	7	-24	-50	-62	-54	-23	21	62	88	91	73	43	10	-22	-49
28	-66	-65	-40	0	45	79	94	89	68	38	7	-22	-43	-46	-26	12	54	86	98	86	58	23	-13	-42
29	-62	-68	-54	-23	18	59	87	94	84	64	38	9	-18	-31	-23	5	43	76	92	88	69	41	9	-24

満潮・干潮 2022年9月 東京

[先月](#)

[翌月](#)

日	満潮								干潮							
	時刻	潮位	時刻	潮位	時刻	潮位	時刻	潮位	時刻	潮位	時刻	潮位	時刻	潮位	時刻	潮位
26	5:05	95	17:23	92	*	*	*	*	11:37	-65	23:44	-57	*	*	*	*
27	5:30	90	17:38	92	*	*	*	*	12:08	-62	*	*	*	*	*	*
28	6:13	95	18:00	98	*	*	*	*	0:26	-68	12:39	-48	*	*	*	*
29	6:53	94	18:17	93	*	*	*	*	0:48	-68	13:10	-31	*	*	*	*



東京検潮所
@晴海ふ頭



方法 ジオイド高さの求め方

- 国土地理院の提供しているソフトを用いて計算したジオイド高を真値(比較基準)として用いる。
 - 「日本のジオイド2011」(Ver2.1)に基づいている。

ジオイド高計算

トップページ	ジオイド高について	操作方法	お問い合わせ
------------------------	---------------------------	----------------------	------------------------

入力値

1点毎の計算一括計算

座標値の入力方法 ☒ 数値入力 ☐ 地図上で選択

座標値の入力 地図上で確認

緯度	360613.5893
経度	1400516.2782

入力単位選択 ☒ 度分秒 ☐ 十進法度単位

【緯度・経度の値の入力例(度分秒)】

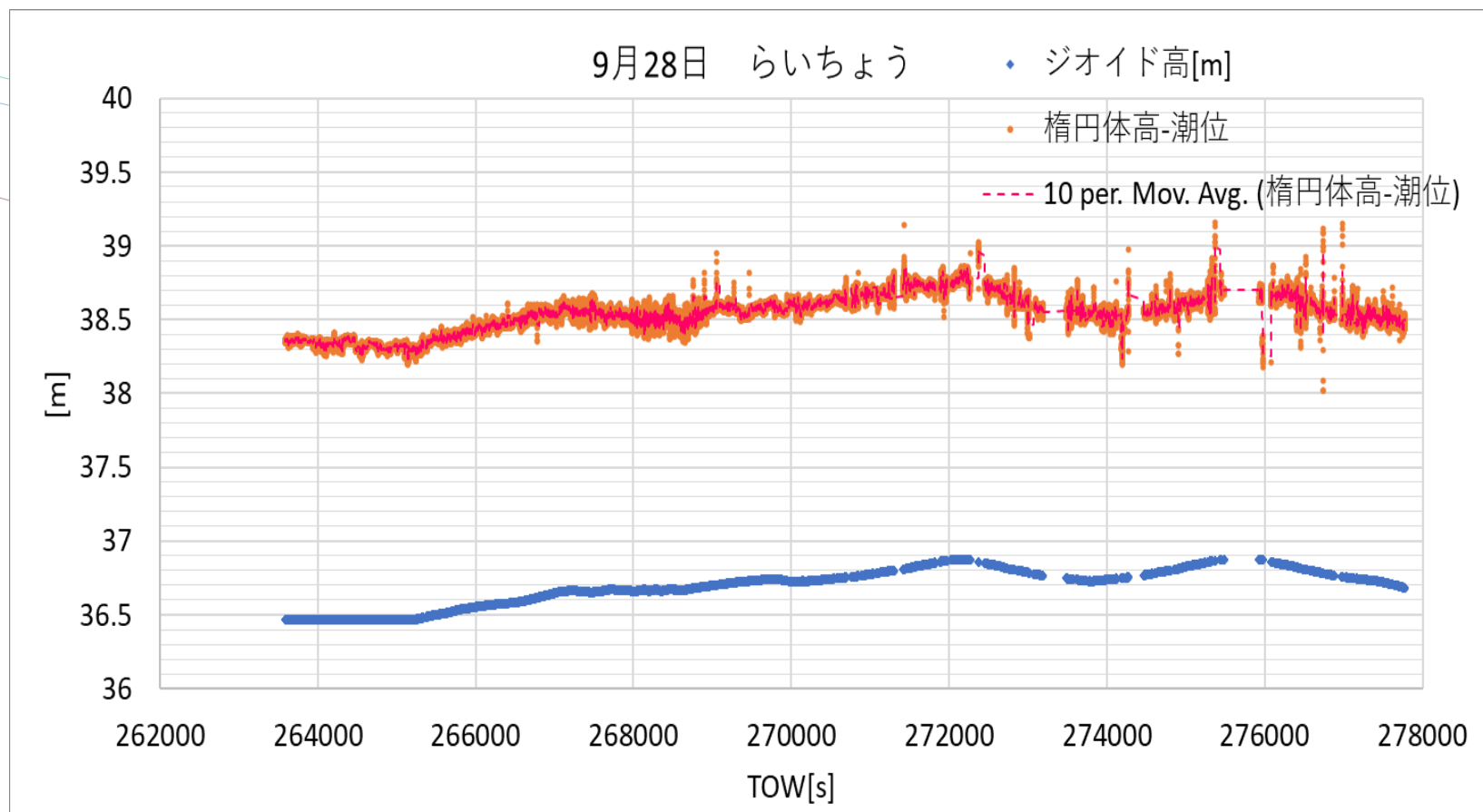
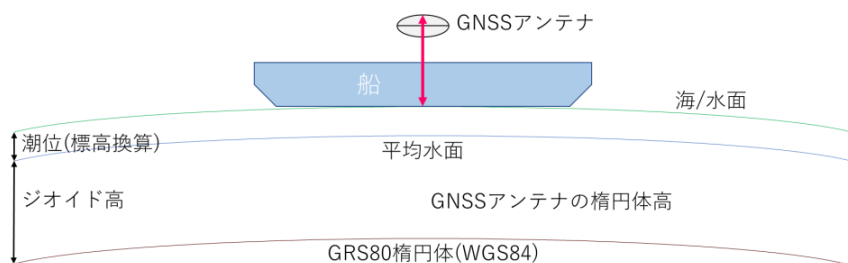
緯度 36° 6'13.5893" → 360613.5893
経度 140° 5'16.2782" → 1400516.2782
ddd mm ss.s → dddmmss.s

計 算 実 行

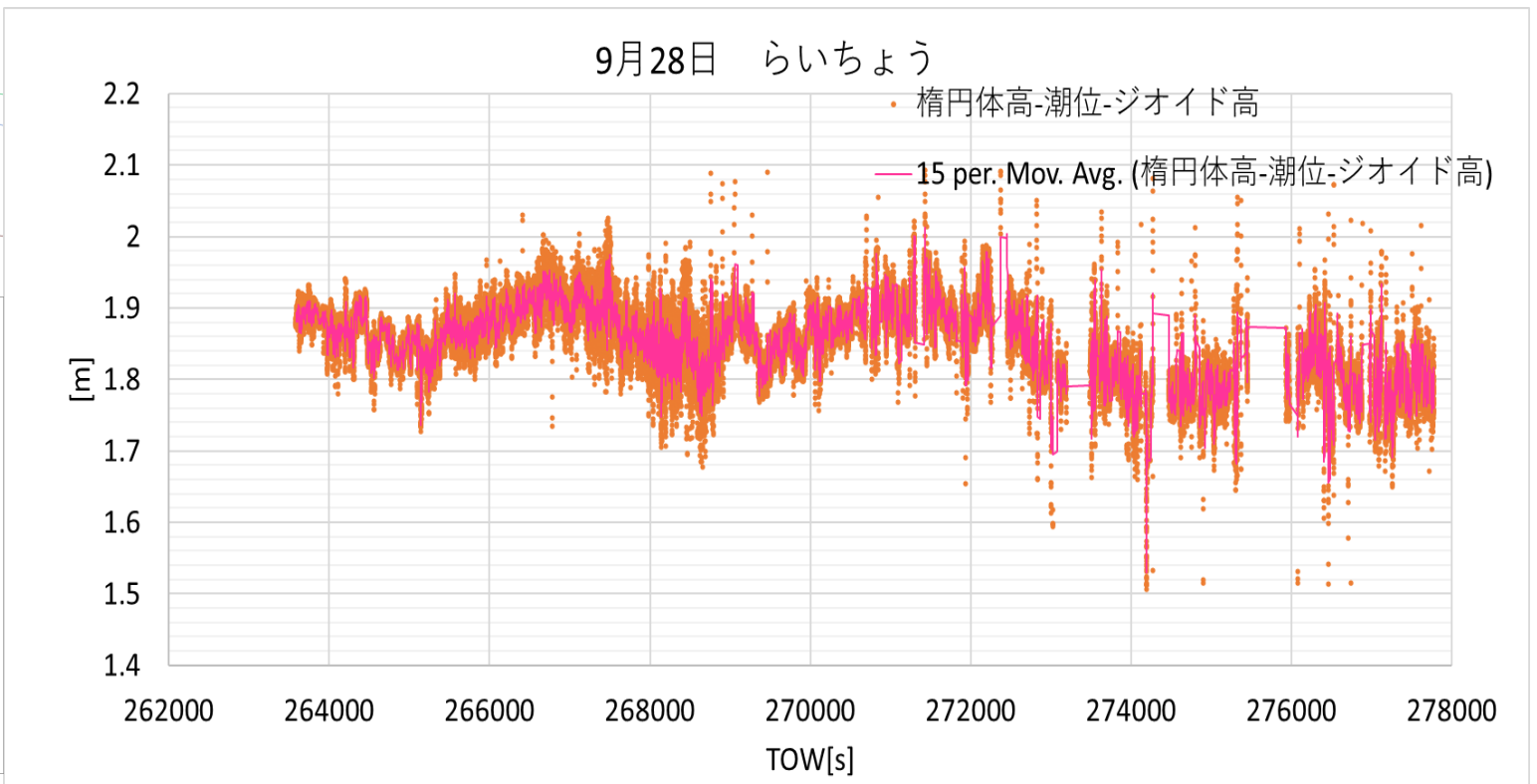
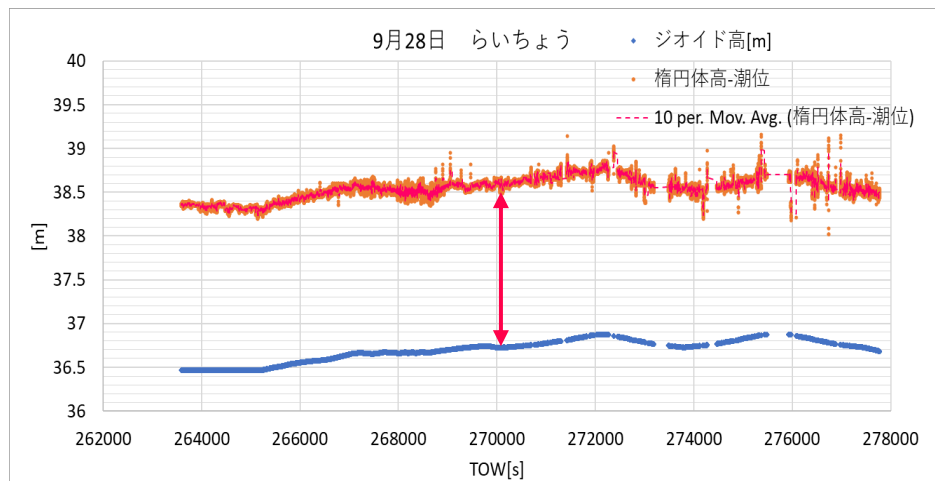
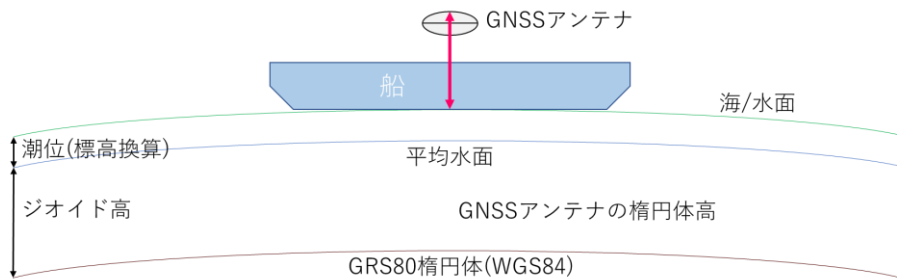
計算結果

結果

- ジオイド高と 楕円体高-潮位 の変化傾向はほぼ一致している。
- 楕円体高-潮汐値の結果は船の動揺等ではらつきがある。



- 楕円体高から潮位とジオイド高を引いた値のグラフ。
- 平均値は1.853[m]、標準偏差は0.052[m]



実験1-2 海上におけるジオイド高さ測定





方法

GNSS測位について

- GNSSアンテナは汐路丸のレーダマストに設置されているものを用いた。
- 教室内で再放射された電波を受信する。
- 楕円体高度はZED-F9P受信機のRTK測位結果(Fix解のみ)を用いた。
-測位周期は1Hz

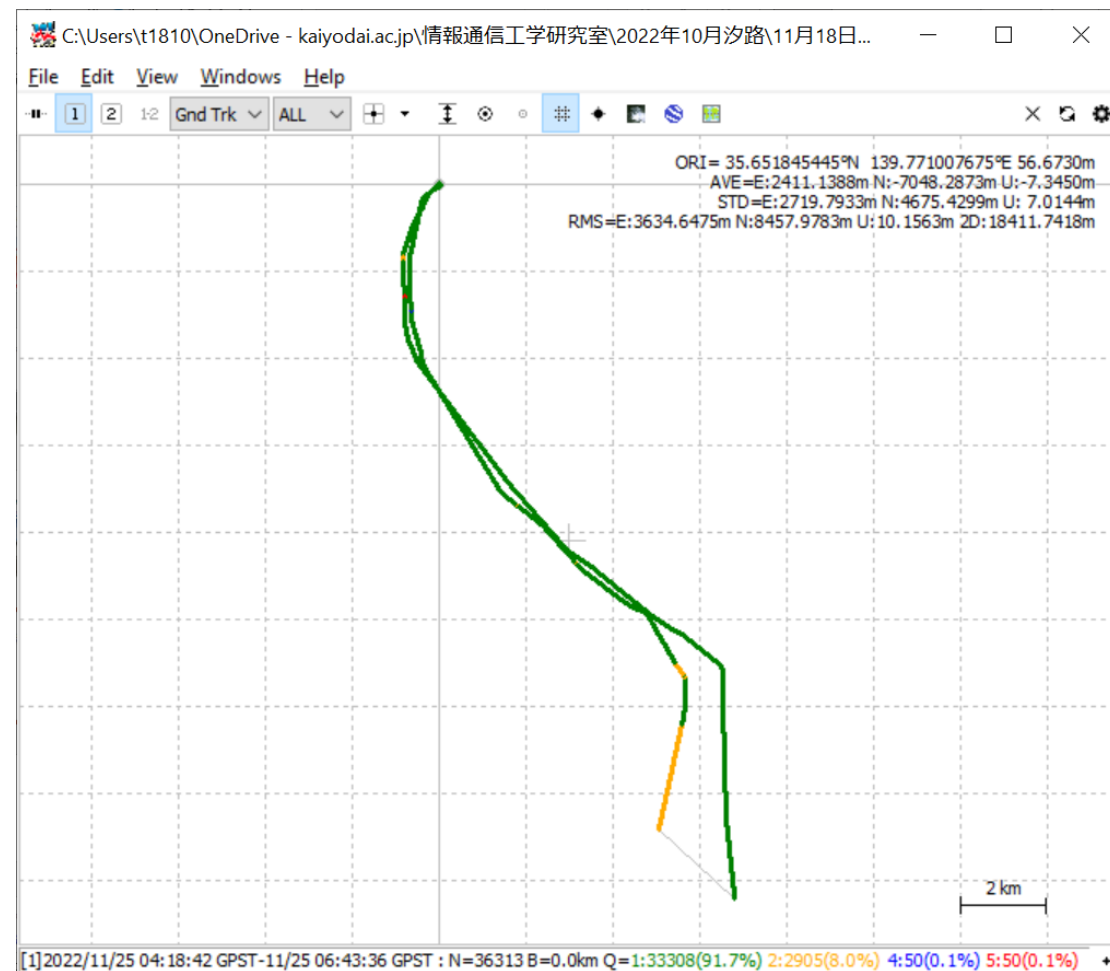




結果

F9P受信機によるRTK測位結果

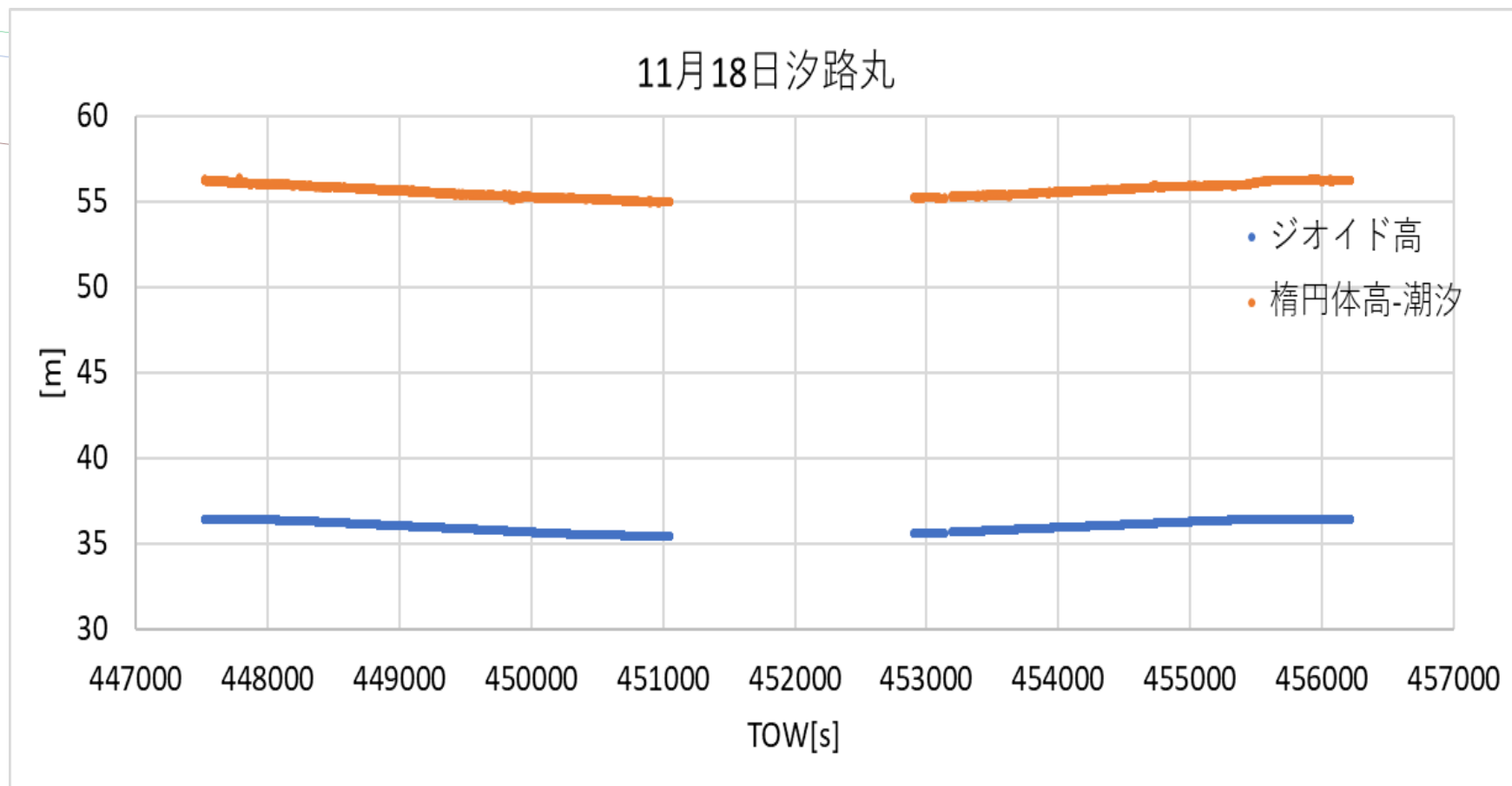
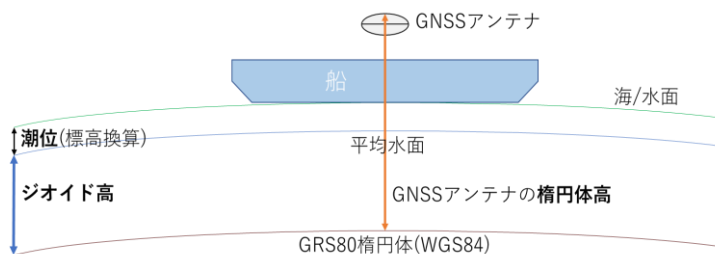
- Fix解を緑点、Float解を黄点で示す。
- Fix率は91.7%だった。
- 途中、測位を1回中断している。





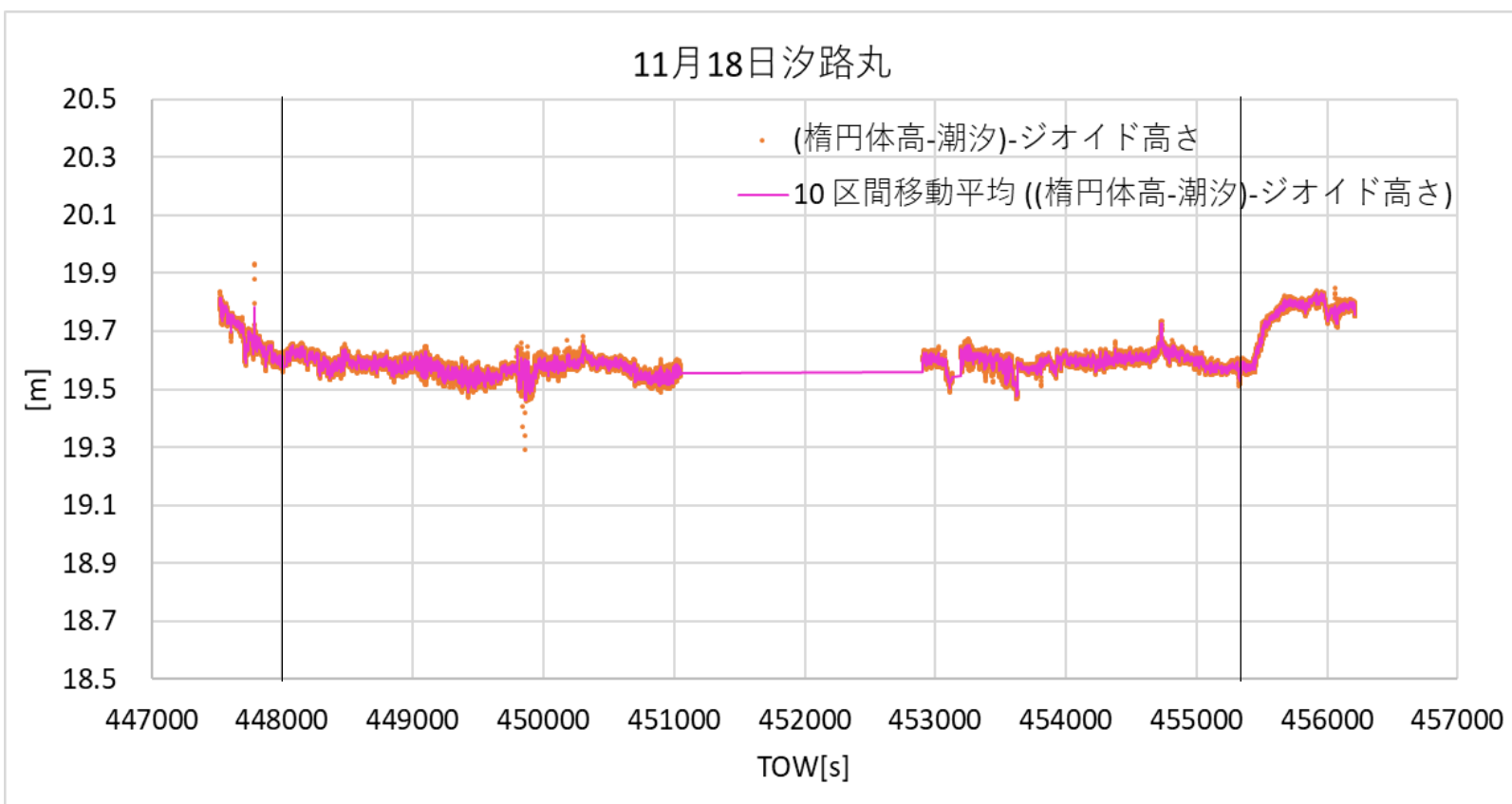
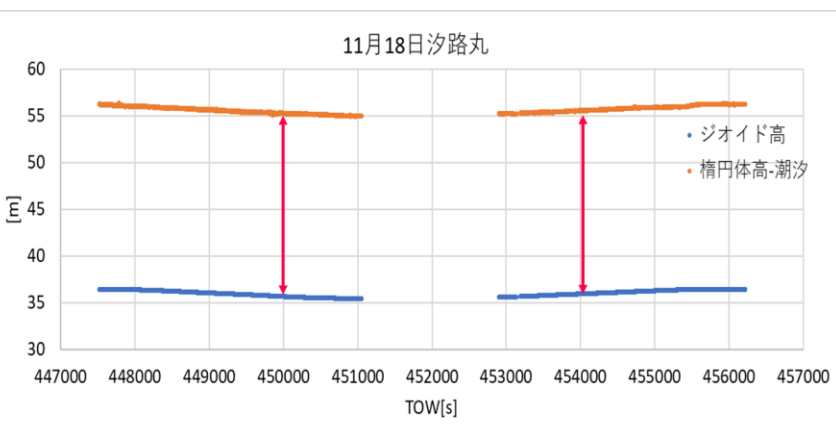
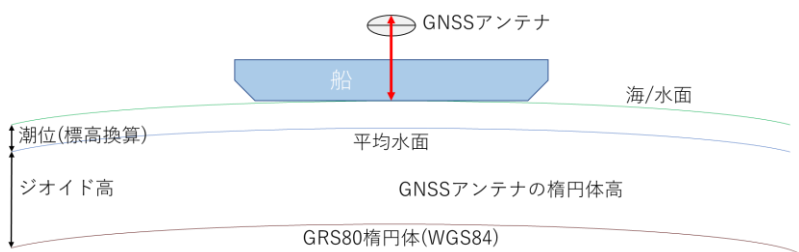
結果

- 楕円体高度についてはFix解のみを用いた
- ジオイド高さと 楕円体高さ-潮位 の変化傾向はほぼ一致している。

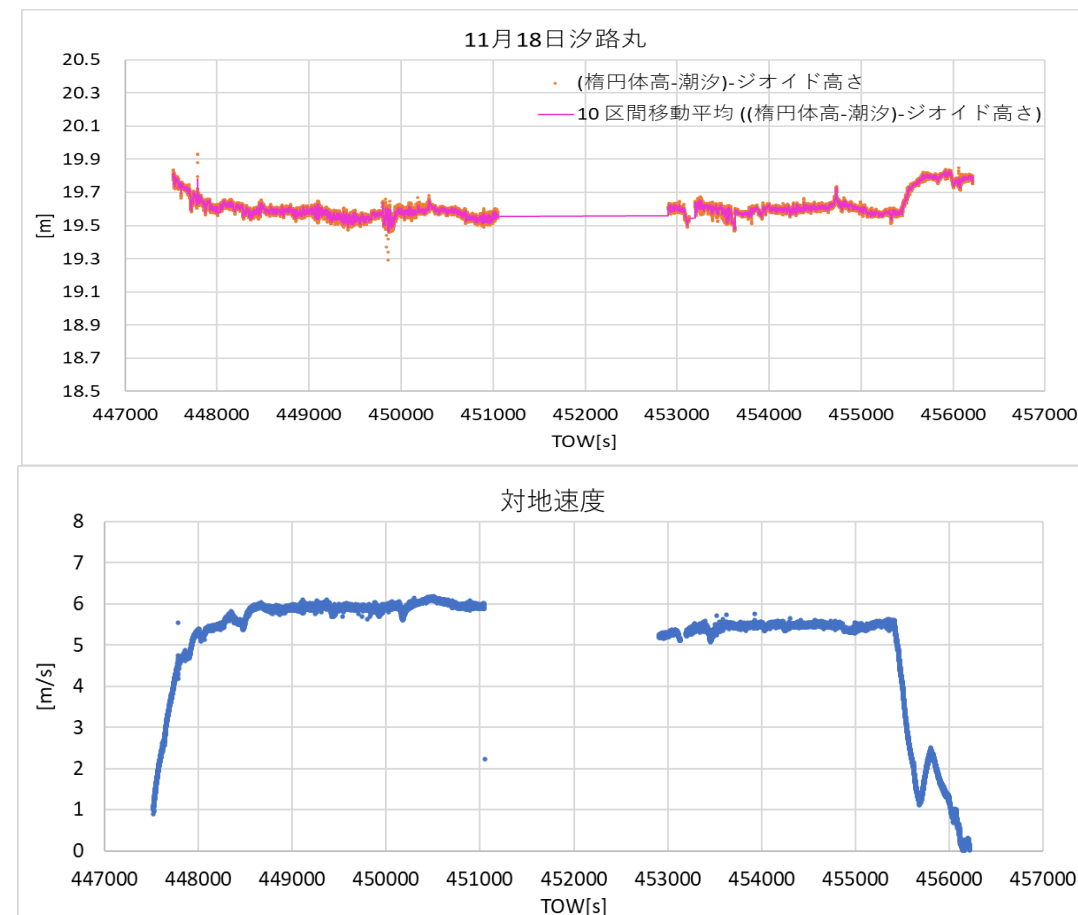
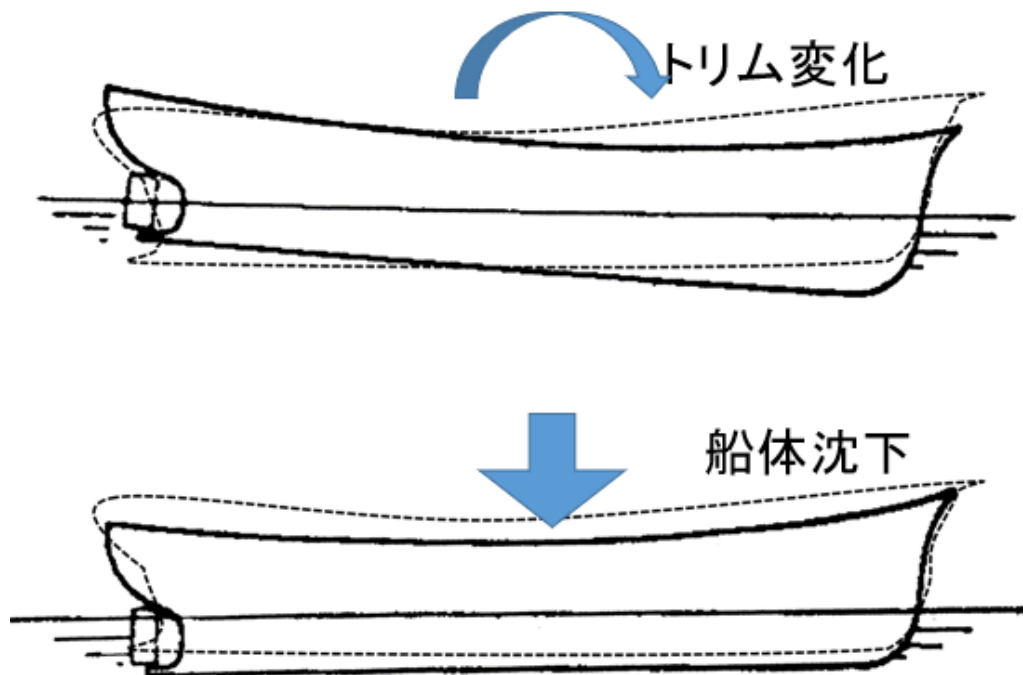


結果

- 楕円体高から潮位とジオイド高を引いた値のグラフ。
- TOW=448000~455400における平均値は 19.584[m]、標準偏差は 0.030[m]



- 船速が大きく/小さくなるにつれて、アンテナの標高(/楕円体高さ)が15cm程度小さく/大きくなっている。
- 船速が大きくなった時の船体沈下もしくはトリム変化が標高の減少として表れているのではないだろうか？





実験2 GNSS測位による潮汐測定



概要

- 12月1日から14日まで海洋大ポンド内浮棧橋にパッチアンテナを設置して、SoftbankのRTK測位端末であるichimillで測位を行う。
 - 浮棧橋は潮汐の変化に応じて上下動する仕組みとなっている。
- アンテナの楕円体高さをを使って潮汐の変化を測定することを試みる。



条件

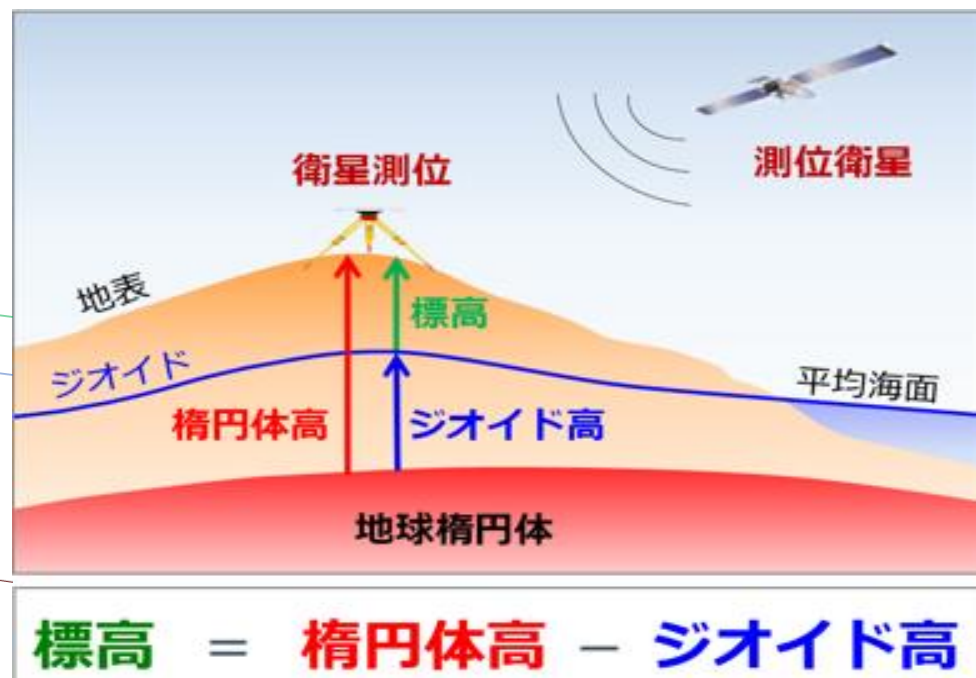
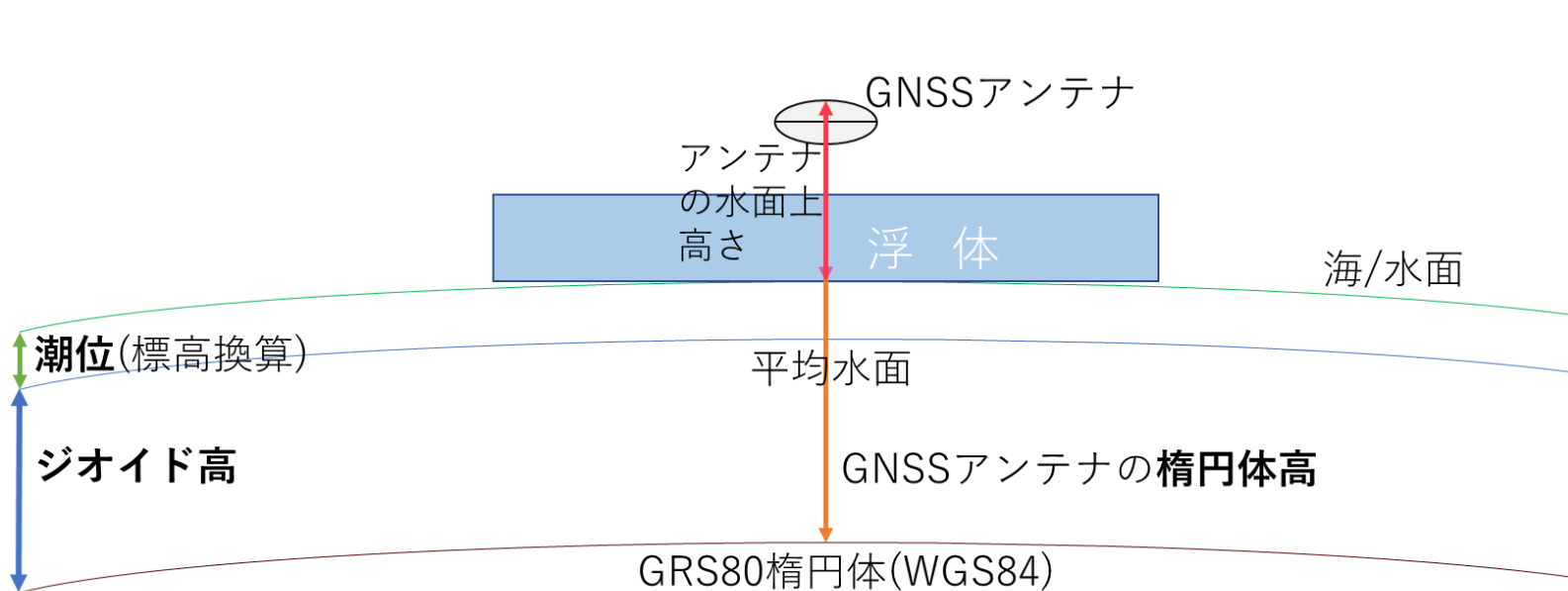
- 測定場所は東京海洋大学越中島キャンパスポンド内の浮棧橋
 - ポンドは運河/川を経て東京湾に接続。
 - 測定地点のジオイド高さは36.4449m
- アンテナの水面上高さは1.59m
- 利用したアンテナはu-blox ANN MB-00
- 使用した受信機(端末)はSoftbankのichimill
 - 測位周期は1Hz
 - 基準局はSoftbankが独自に設置したものを用いる。





方法 潮位の算出

- アンテナ楕円体高(GNSS測位結果)からアンテナの水面上高さ・測定地点のジオイド高を引いて潮位(高さ)を求める。



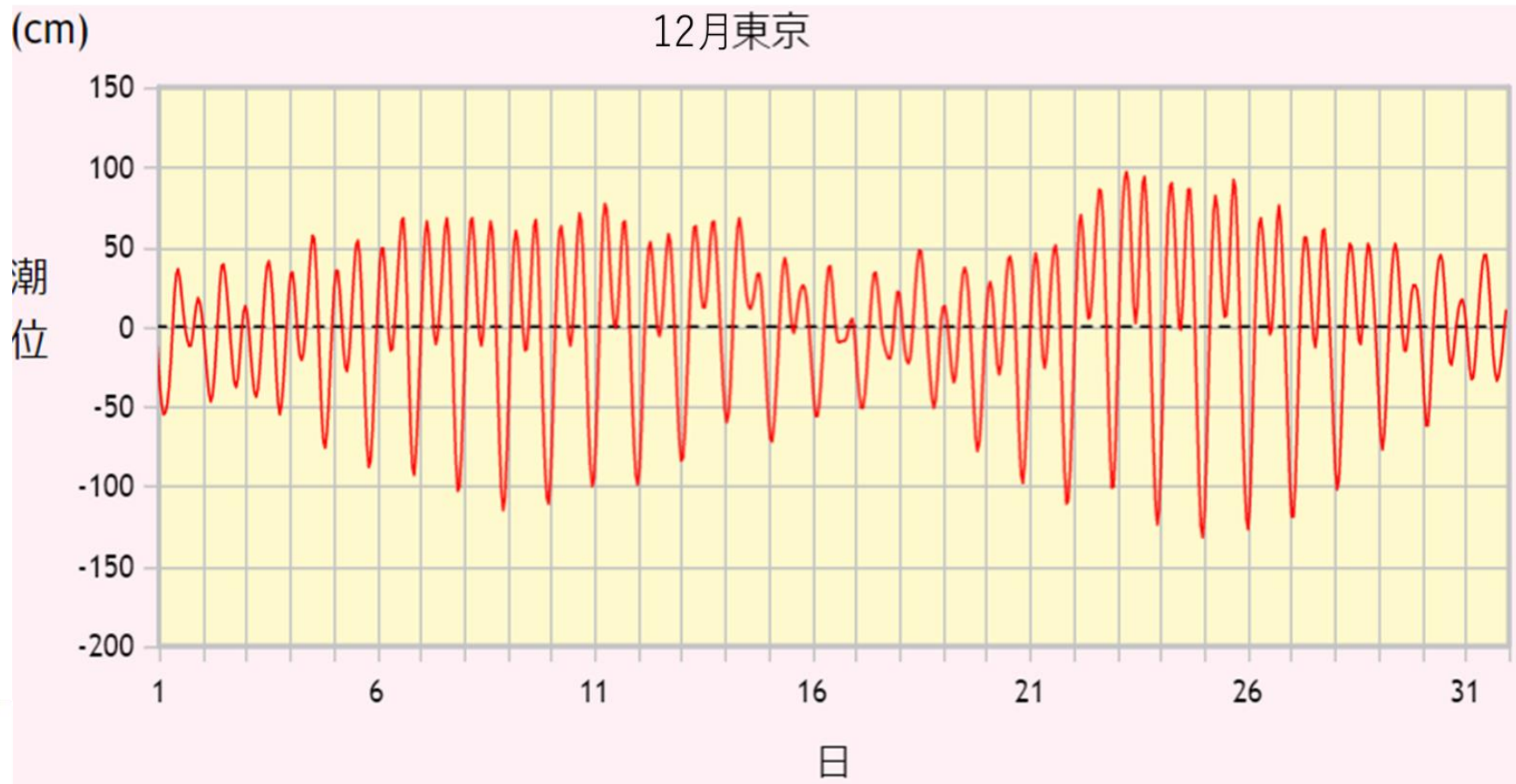
図引用:

気象庁 | 潮汐・海面水位のデータ 潮位表 解説 (jma.go.jp)

ity of M 国土地理院HP

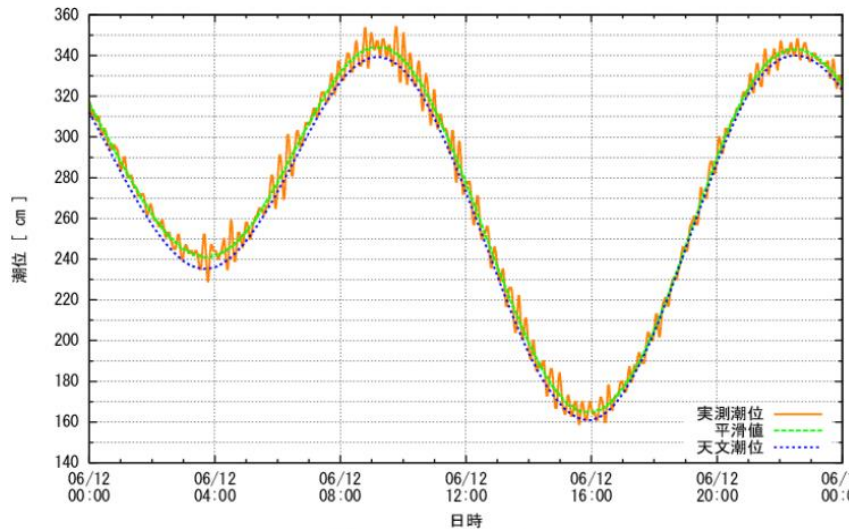
方法 比較基準となる潮位

- 気象庁の東京検潮所における潮汐解析値と大学内でGNSS測位によって求めた潮位を比較する。



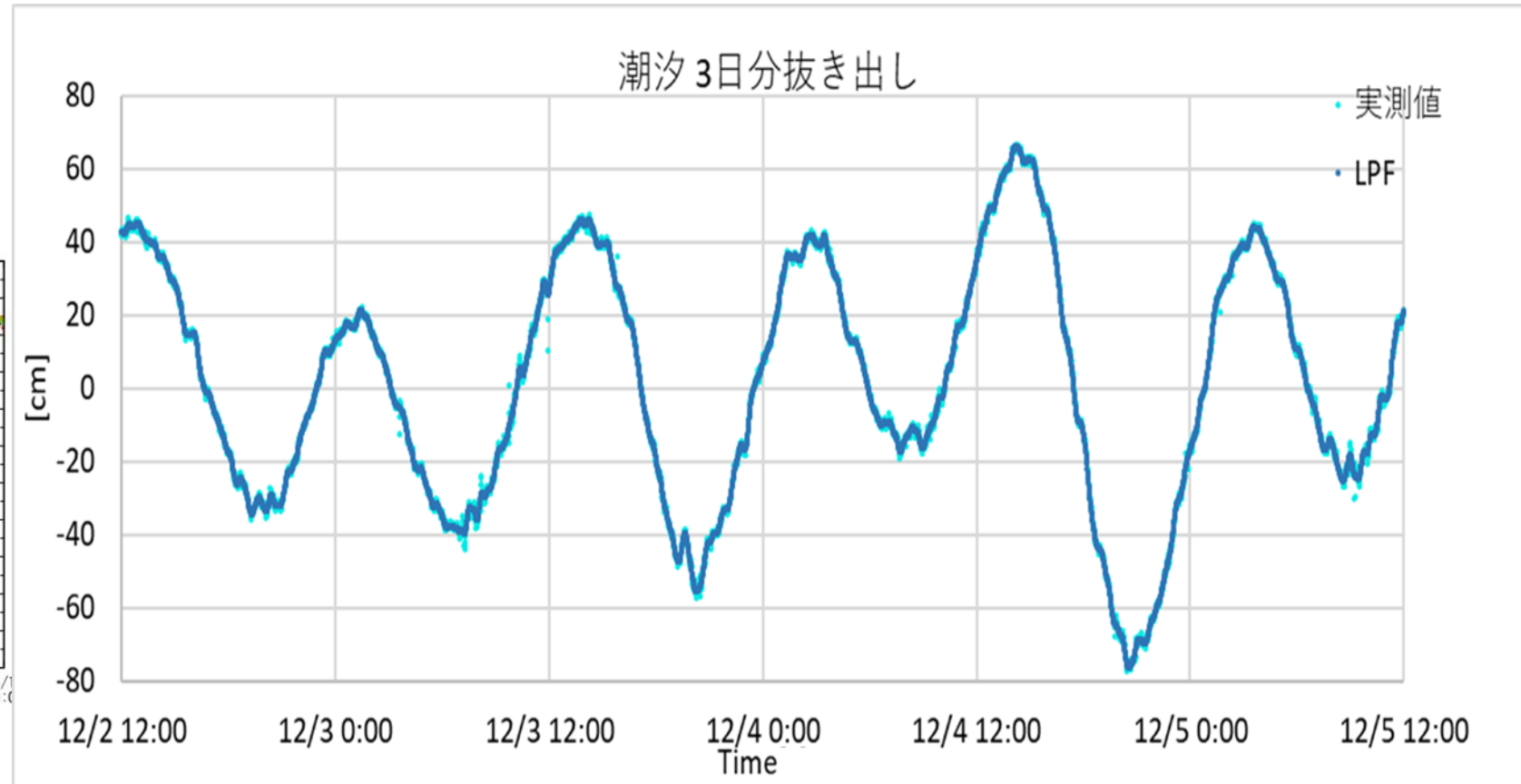
方法 潮位求め方

- 気象庁の潮汐解析値は実測潮位から副振動や津波、波浪などの周期が約3時間までの成分を除いた潮位である。
- この実験では標高観測値からLow Pass Filterを用いて周期が3hまでの成分を取り除く。



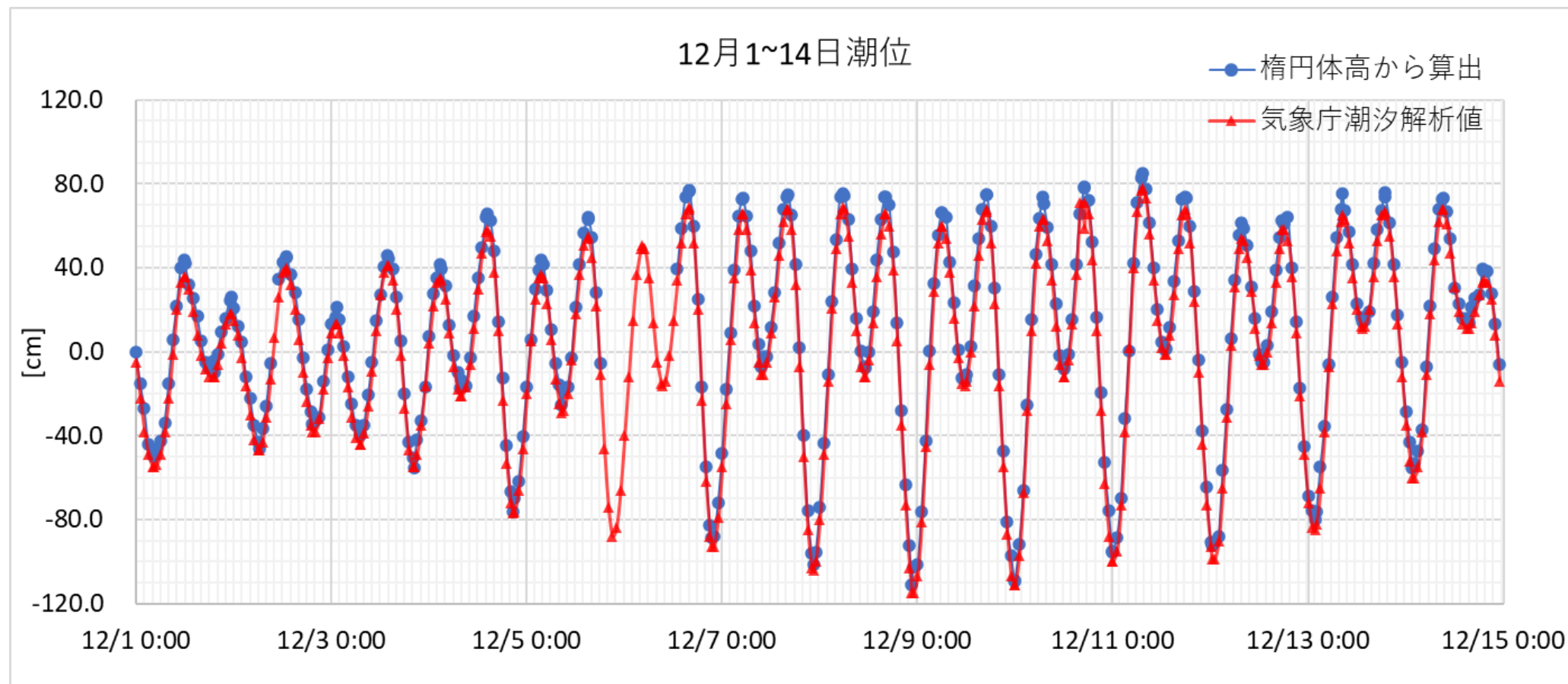
平滑化の例 2009年6月12日 枕崎

引用:気象庁 | 潮汐・海面水位のデータ 潮汐観測資料 解説
(jma.go.jp)



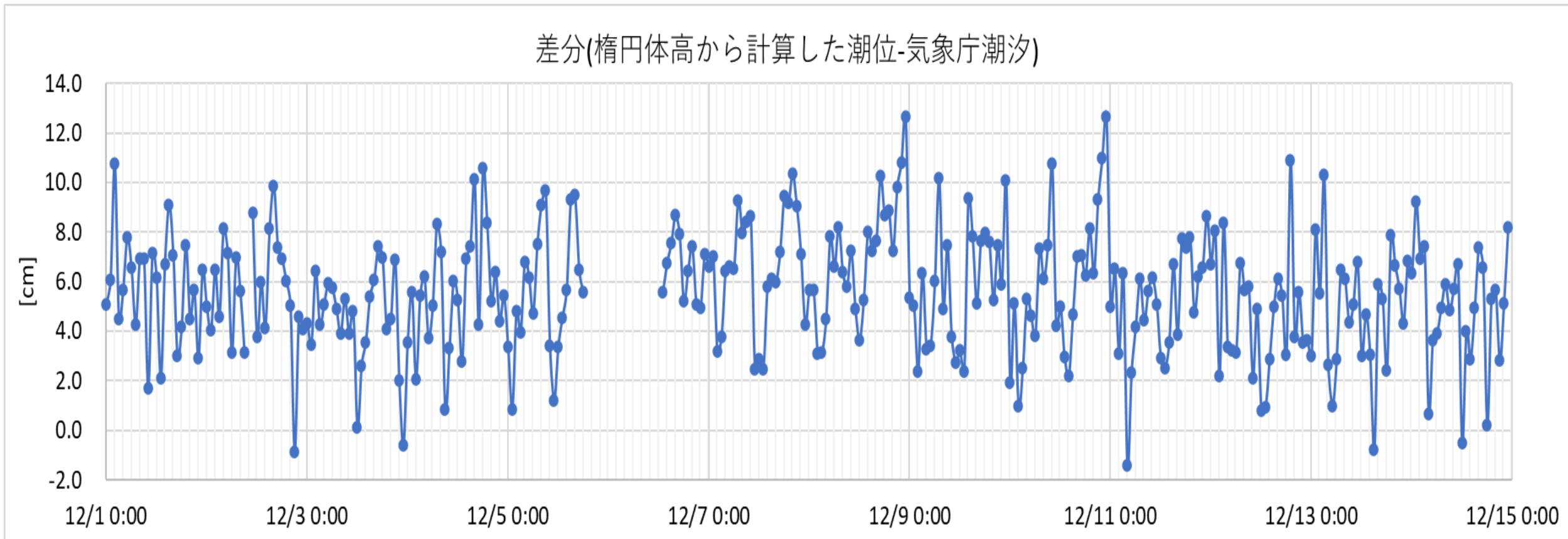
実験2結果 12月1~14日の潮位

- GNSS測位結果である橢円体高から計算した潮位と気象庁の潮汐解析値の1h毎の値のグラフ。



実験2結果 1h毎の値での比較 12/1~/14

- 楕円体高から計算した潮位と気象庁の潮位の差。
- 2つの差の平均値(オフセット)は5.58cm、標準偏差は 2.43cmだった。



実験1

- 船に設置したGNSSアンテナの楕円体高とジオイド高は互いに連動していた。
- アンテナの水面上高さ(=楕円体高-潮位-ジオイド高)が3~5cmの精度
→ アンテナの水面上高さを正確に測定しておけば or
→ ある地点でのジオイド高真値がわかれば、
GNSS測位によって3~5cmの精度でジオイド測定が可能

実験2

- 浮体の楕円体高から求めた潮汐と気象庁の潮汐解析値は2.5cm以内の精度で一致していた。
→ RTKの一般的な測位精度と同等
→ 水位計がmmレベルで測定できることに比べれば、精度は劣る
→ 要求精度の低い工事ではこの測定法が利用できるのでは



- 「港湾における i-Construction 推進委員会第5回 委員会資料」.国土交通省.2022年
- 「海上工事におけるGNSS測位利用について ～GNSS ／ Z値関連／現状等」.国土交通省.2022年
- 「図解 よくわかる衛星測位と位置情報」.久保信明 .2019年
- 「潮汐観測資料」.気象庁.
<https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/genbo>
- 「ジオイド高計算ソフト」.国土地理院.
<https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/geoid/calcgh/calcframe.html>

ご清聴ありがとうございました。