

# 隠岐諸島周辺海域における自律型海洋観測装置 (AOV) の GNSS 観測データを用いた LAT の算出<sup>†</sup>

五味渕有花<sup>\*1</sup>, 松永智也<sup>\*1</sup>, 土屋主税<sup>\*2</sup>, 伊能康平<sup>\*3</sup>, 杉山伸二<sup>\*1</sup>, 藤田栞菜<sup>\*1</sup>, 金 敬洋<sup>\*1</sup>

Calculation for Lowest Astronomical Tide using GNSS observation data of  
Autonomous Ocean Vehicle (AOV) in the waters around the Oki islands<sup>†</sup>

Yuka GOMIBUCHI<sup>\*1</sup>, Tomoya MATSUNAGA<sup>\*1</sup>, Chikara TSUCHIYA<sup>\*2</sup>, Kouhei INOU<sup>\*3</sup>,  
Shinji SUGIYAMA<sup>\*1</sup>, Shiona FUJITA<sup>\*1</sup>, and Takahiro KON<sup>\*1</sup>

## Abstract

The Japan Coast Guard's Hydrographic and Oceanographic Department has been conducting tidal observations to precisely determine datum level by using Autonomous Ocean Vehicle (AOV) and calculates the Lowest Astronomical Tide (LAT) from tide level data. In this paper, we introduce the methods of calculation for the ellipsoid height of LAT by AOV observation data and show an example of LAT computation results using AOV observation data conducted around the Oki islands. Moreover, we compare the LAT calculated from AOV observation data and Saigo tide station data to evaluate the accuracy of this method. The results show both LAT are almost the same, which reveal that this analysis method is appropriate for calculation of LAT.

## 1 はじめに

海洋情報部では、我が国周辺の海上交通の安全の確保並びに海洋権益の確保を目的として精密な最低水面の調査を行っている。調査能力向上のために 2016 年度から西日本海域を中心に自律型海洋観測装置 (AOV: Autonomous Ocean Vehicle, 以降 AOV と称す) の運用を開始した。AOV は波の上下動を動力源として自律的に移動する無人観測機器であり、複数の観測機器を搭載し、海象・気象の観測を行っている (西村・他, 2017; 松永・他, 2018; 伊能・他, 2021)。AOV の外観お

よび搭載機器の概要をそれぞれ Fig. 1 と Table 1 に示す。AOV は米国製のウェーブライダー (Wave glider) (Liquid Robotics 社製) を採用し、2024 年度現在、第七管区海上保安本部管内、第十管区海上保安本部管内及び第十一管区海上保安本部管内で各 1 基を海上運用し、精密な最低水面の調査を行っている。運航オペレーションや観測データの転送には衛星通信を使用し、24 時間リアルタイムで観測データを取得しており、各管区海上保安本部はホームページに 30 分毎に取得データの速報値を掲載している。

<sup>†</sup> Received September 10, 2024; Accepted November 12, 2024

\* 1 沿岸調査課 Coastal Surveys Division

\* 2 技術・国際課 Technology Planning and International Affairs Division

\* 3 企画課 Administration and Planning Division

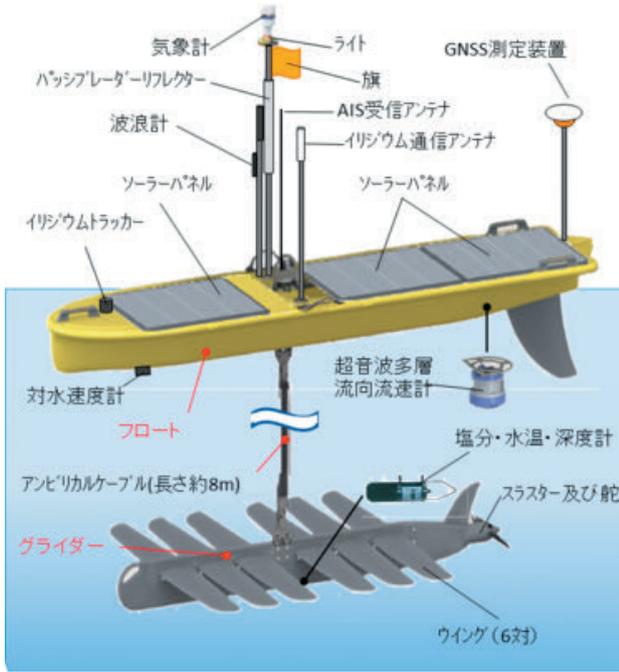


Fig. 1. Appearance of the AOV.

図 1. AOV の外観.

Table 1. Technical specifications of the AOV.

表 1. AOV の寸法, 重量, 平均移動速度, 搭載機器.

寸法	フロート	305 cm × 81 cm × 23 cm
	グライダー	213 cm × 142 cm × 21 cm
重量	約170 kg	
平均移動速度	約1.3 kn	
搭載機器	種類	観測項目
	気象計	風向・風速, 気温, 気圧
	超音波多層流向流速計 (ADCP)	流向・流速
	波浪計	有義波高, 波向, 周期
	GNSS測定装置	高精度位置情報, 潮位
	塩分・水温・深度計 (CTD)	水温・塩分
その他搭載機器	種類	用途
	対水速度計	移動補助
	AIS受信アンテナ	安全対策
	ライト	視認性向上
	スラスター及び舵	航行制御
	ハッシブレーダーリフレクター	安全対策
	イリジウム通信アンテナ	通信
	イリジウムトラッカー	安全対策

搭載した観測機器への電力を太陽光発電により供給しているため、無補給で長期間の海象観測が可能である。AOVは、GNSSアンテナを搭載し、GNSSアンテナの上下動から潮位を観測することで験潮器の設置が困難な外洋に面した自然海岸付近や離島周辺での潮汐観測を可能としている。一方で、AOVの運用については、荒天時の観測海域からの避航や冬季の電力不足に伴う観測データの欠測が課題として挙げられてきた（伊能・他、

2021）。伊能・土屋（2022）では観測の中断期間中に1日～数日程度のスポット観測を行うことで真値に近い潮汐調和定数（以下、調和定数）を算出でき、長期間連続的に欠測した場合は翌年に中断期間と同様の期間で観測を行うことで調和定数が真値に近づくと報告されている。このように1年以上の連続した潮汐観測が困難であるという課題については、それに応じた対応をとることで解消でき、観測データの効率的な活用につながった。

海上保安庁が行う精密な最低水面の調査では、天文最低低潮面（Lowest Astronomical Tide, 以下、LAT）を求め、LATの楕円体高（地球楕円体からの高さ）を算出している。LATとは、一般的に考えられる天文状況と平均的な気象状況の組み合わせのもとで起こると推定される最も低い海面と定義され、1年間以上の潮汐観測から得られる調和定数を用いて算出した19年以上の潮位推算値のうち最も低い値を採用する（佐藤・熊谷, 2017）。LATの算出に用いる調和定数は、AOVのGNSS観測データに加えて、データの評価のために観測海域付近の常設験潮所、または簡易水位計の潮位データも利用している。GNSS観測データについては、GNSS連続観測システムGARD（日立造船株式会社、現：カナデビア株式会社製）で精密単独測位（PPP-AR: Precise Point Positioning with Ambiguity Resolution）を用いた解析を行うことで精密な楕円体高が求められる。本稿では、AOVが観測したGNSS観測データからLATを求め、LATの楕円体高を算出する過程（Fig. 2）及び隠岐諸島周辺海域での算出結果を紹介し、解析手法の評価を行う。そして、AOVの運用において抱える課題や今後の展望について述べる。

## 2 GNSS観測データを使用したLATの算出方法

### 2.1 GARDの機能

はじめに、GNSS観測データの1秒値をGARDに登録し、PPP-AR解析を行う。PPP-AR解析とは、陸上の基準局のデータから生成される補正情報を用いて整数不確定性を推定する機能が追加さ

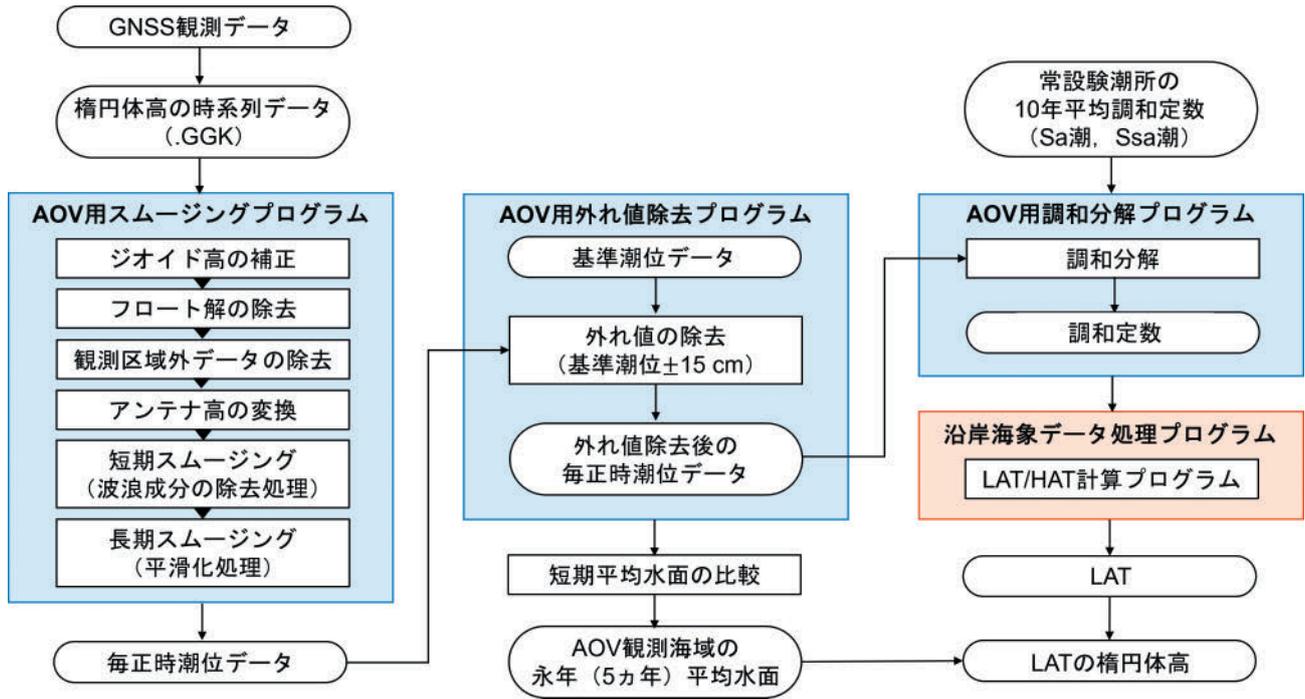


Fig. 2. Flow diagram for calculating the LAT from GNSS observation data of the AOV.

図 2. AOV の GNSS 観測データから LAT の楕円体高算出のフロー図。

```

$PTNL,GGK,040000.00,030617,3617.7090626,N,13326.6643506,E,3,08,2.11,EHT35.6596,M*46
$PTNL,GGK,040001.00,030617,3617.7090106,N,13326.6639335,E,3,08,2.11,EHT34.8360,M*49
$PTNL,GGK,040002.00,030617,3617.7089004,N,13326.6635802,E,3,08,2.11,EHT34.6511,M*4C
$PTNL,GGK,040003.00,030617,3617.7089603,N,13326.6631540,E,3,08,2.11,EHT34.0945,M*48
$PTNL,GGK,040004.00,030617,3617.7091314,N,13326.6626181,E,3,08,2.11,EHT33.9196,M*42
$PTNL,GGK,040005.00,030617,3617.7091739,N,13326.6620317,E,3,08,2.11,EHT33.8555,M*49
$PTNL,GGK,040006.00,030617,3617.7093488,N,13326.6615433,E,3,08,2.11,EHT33.9460,M*40
$PTNL,GGK,040007.00,030617,3617.7094581,N,13326.6612015,E,3,08,2.11,EHT34.3339,M*4F
$PTNL,GGK,040008.00,030617,3617.7095333,N,13326.6607903,E,3,08,2.11,EHT34.5263,M*4C
$PTNL,GGK,040009.00,030617,3617.7095419,N,13326.6607515,E,3,08,2.11,EHT34.6208,M*47
$PTNL,GGK,040010.00,030617,3617.7095715,N,13326.6607517,E,3,08,2.10,EHT35.0021,M*4D
    
```

Fig. 3. An example of a GGK file. The second row from the left; UTC time, UTC date, latitude, North or South, longitude, East or West, 2: float or 3: fix, the number of the fixed satellites, dilution of precision and height above ellipsoid.

図 3. GGK ファイルの一例。2 列目から UTC 時刻 (hhmmss), UTC 日付 (ddyymm), 緯度, 北緯・南緯, 経度, 東経・西経, 2: フロート解・3: フィックス解, フィックスした衛星数, 精度低下率, 楕円体高を示す。

れた PPP である。海洋情報部では国土地理院から毎月提供される電子基準点データを使用し本庁職員が補正值を作成し、管区職員がその補正值を用いて解析を行う。解析結果は AOV に設置された GNSS アンテナの楕円体高の時系列データが 1 時間ごとに GGK ファイルとして出力される。GGK ファイルのフォーマットは UTC 時刻, UTC 日付, 緯度, 経度, フロート解またはフィックス

解の表記, フィックスした衛星数, 精度低下率, 楕円体高の 1 秒値である (Fig. 3)。

## 2.2 AOV 用スムージングプログラムによる毎正時潮位データの取得

2.2 節から 2.4 節の処理は海洋情報部職員が作成した一連の解析用 Python プログラムによって行う。毎正時潮位データの取得には AOV 用ス

ムービングプログラムを使用する (Fig. 2).

### 2.2.1 ジオイド高の補正

まず、2.1 節で得た楕円体高の時系列データに観測区域内のジオイド高 (ジオイド面の地球楕円体からの高さ) の補正をかける。AOV の観測区域は約 5 km 四方に設定され、AOV は観測区域内を八の字に移動しながら観測を実施している。GNSS 観測では楕円体高が得られるが、平均的な水面は地球楕円体ではなく概ねジオイド面と平行である (流れが無視できる海域に限る)。潮汐の解析のためには平均的な水面からの変位をとらえたい。ジオイド面と地球楕円体は平行ではないため、ジオイド高は場所によって異なり、一例を挙げれば 2020 年度に宮古島東方沖で行った観測では、観測区域内でジオイド高に最大約 0.3 m の差があった。平均的な海面からの変位を見るため、AOV の位置に応じて観測海域の中心地点からのジオイド高の変位分を除去する。

2024 年 7 月現在、この補正には国土地理院が作成した重力ジオイドモデル「JGEOID2008」を使用している。JGEOID2008 は、同じく国土地理院が作成した「日本のジオイド 2011」と比較して精度は落ちるが日本周辺海域を広くカバーしている。

### 2.2.2 フロート解の除去、観測区域外のデータの除去並びにアンテナ高の変換

GGK ファイルのデータについて、フィックス解かフロート解かで得られた座標の精度が異なる。フィックス解の方が精度の良い座標である。LAT を算出する際には、精度の高いフィックス解のみ使用することになっているため、フロート解を除去する。

次に、楕円体高の時系列データから AOV が指定の観測区域から外れた範囲のデータを除去する。

そして、GARD で求めた楕円体高の位置は GNSS アンテナであるため、水面の楕円体高に換算する。AOV では共通して、アンテナポールが 60 cm、フロート上面から水面が 3 cm であるこ

とから、ここまでに得られた値から 63 cm 下げた値を水面とする。

### 2.2.3 スムージング処理

本プログラムでは、潮汐の解析の下準備として、FIR ローパスフィルターを用いてスムージングを行っている。波浪成分の除去を目的とした短期スムージングと、AOV の動揺やアンテナのふらつき等、潮汐以外の様々な成分の除去を目的とした長期スムージングの 2 段階のスムージングを行っている。

短期スムージングで使用しているフィルターは、データに 1 秒でも欠測があると計算できずデータ取得率が低下するため、フィルターをかける前に、連続 10 個未満の欠測に対して直前 2 分間の平均値を挿入するという補完を行っている。

波浪は数十秒程度の周期を持つため、短期スムージングでは、補完処理後の 1 秒間隔の水面の楕円体高に、1 分未満の周期を除去する FIR ローパスフィルターをかけることで波浪成分を除去し、30 秒値を作成する。

次に、長期スムージングでは、作成した 30 秒値に 110 分未満の周期を除去する FIR ローパスフィルターをかけることで潮汐以外の成分を除去し、毎正時潮位データを作成する。

## 2.3 AOV 用外れ値除去プログラムによる毎正時潮位データの補正及び AOV 観測海域の平均水面の取得

毎正時潮位データの補正及び平均水面の取得には AOV 外れ値除去プログラムを使用する (Fig. 2)。

上記のスムージング処理を行っても、衛星の軌道誤差、衛星時計の誤差、大気遅延など GNSS 観測に起因すると考えられる誤差は残っている。そのため、AOV の観測海域から近隣の常設験潮所 (常設験潮所が存在しない場合は近隣に設置した簡易水位計) の潮位データを基準潮位データとし、2.2 節で作成した毎正時潮位データについて、基準潮位データから或る値以上外れた値を除去する。除去後、AOV 観測から取得した毎正時潮位

データと基準潮位データの短期平均水面を比較し、AOV 観測海域の永年（5 年）平均水面の楕円体高を算出する。永年平均水面の楕円体高から  $Z_0$  分下げて、最低水面の楕円体高を算出する。 $Z_0$  は、「平均水面、最高水面及び最低水面一覧表」の値を使用した。

## 2.4 AOV 用調和分解プログラムによる調和定数の決定

調和定数の取得には AOV 用調和分解プログラムを使用する (Fig. 2)。

LAT の算出には、60 分潮の調和定数が必要である。2.3 節で得た毎正時潮位データを調和分解し調和定数を求める。一般的に潮位データが長期間であればあるほど分解できる周波数間隔が狭くなり、精度よく調和分解できる。年周期成分  $S_a$  潮及び半年周期成分  $S_{sa}$  潮は年変動が大きいため長期間の潮位データを調和分解して求める必要がある。しかし、AOV による観測では長期間の連続した潮位データがないため、 $S_a$  潮及び  $S_{sa}$  潮については常設験潮所の 10 年平均の調和定数を用いることが望ましい (土屋, 2020)。 $S_a$  潮及び  $S_{sa}$  潮を除く調和定数は調和分解プログラムを利用して算出する。土屋 (2020) では潮位データのうち連続する欠測期間が 20% 以下であれば調和定数の算出への影響は小さいことが明らかになっている。そのため、潮位データについて最も長い連続欠測期間が観測期間全体の 20% 以下であることを確認し、解析の精度が担保できるか確認する。精度が担保された場合、最小二乗法を用いた調和分解を行うことで調和定数を求める。

## 2.5 沿岸海象データ処理プログラムによる LAT の算出

LAT の算出には沿岸海象データ処理プログラムの LAT/HAT 計算プログラムを利用する (Fig. 2)。本プログラムは、調和定数から指定した 19 年間の潮位推算を行い、その中で一番低い潮位を LAT として算出する。潮位推算の推算時期は AOV の観測期間が 19 年間の中間となるように設

定している。この LAT/HAT 計算プログラムで得られる LAT は、最低水面を基準としているため、3 節で算出した最低水面の楕円体高から減ずることによって、LAT の楕円体高を算出する。

## 3 観測データ

本稿で紹介する観測データは、第八管区の AOV である「SV3-138 (ほたるいか 1 号)」, 「SV3-141 (ほたるいか 2 号)」, 「SV3-233 (ほたるいか 3 号)」, 「SV3-234 (ほたるいか 4 号)」が隠岐諸島周辺海域 (Fig. 4) で観測したものであり、観測は 2017 年度から 2022 年度の調査期間で行われた (Table 2)。隠岐諸島東方海域では全観測期間、隠岐諸島西方海域では 2022 年度のみ観測を行ったが、西方海域で運用した SV3-234 において GNSS 観測データが収集できない不具合が発生したため、東方海域の観測データのみを解析対象と

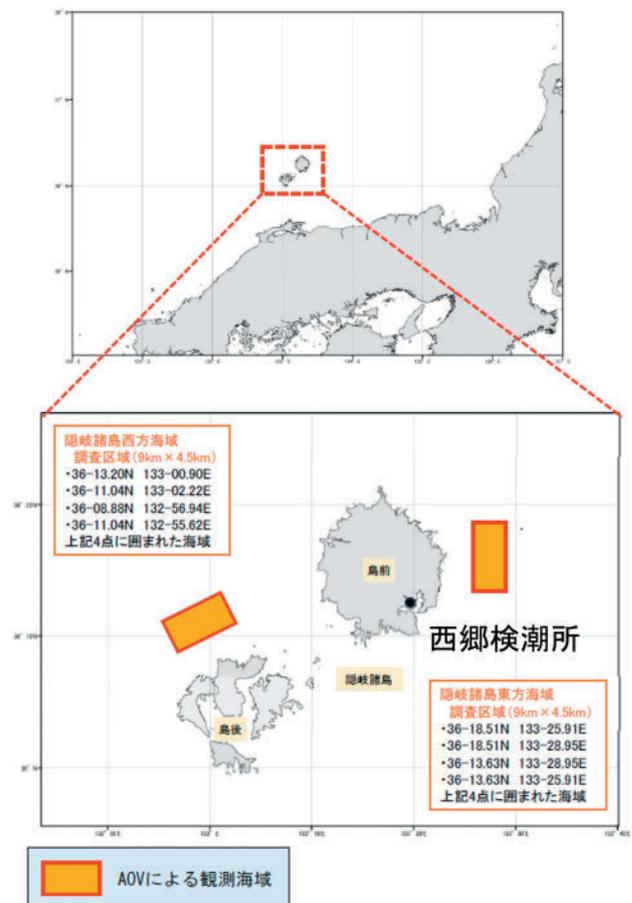


Fig. 4. Observation area around the Oki Islands.  
図 4. 隠岐諸島周辺での観測海域。

Table 2. Survey period of each AOV.

表 2. 各 AOV の調査期間.

隠岐諸島東方海域	
SV3-138 (ほたるいか1号)	2017年5月30日～2022年6月17日のうち461日間
SV3-141 (ほたるいか2号)	2018年9月21日～2022年8月25日のうち270日間
SV3-233 (ほたるいか3号)	2019年6月13日～2022年11月21日のうち127日間
SV3-234 (ほたるいか4号)	2020年7月3日～2022年10月3日のうち303日間
隠岐諸島西方海域	
SV3-234 (ほたるいか4号)	2022年6月16日～2022年8月24日の70日間

した.

## 4 結果

### 4.1 AOV が観測した潮位データと基準験潮所との比較

AOV の潮位データから外れ値を除去するため、島根県隠岐諸島島後にある気象庁所管の西郷検潮所の潮位データを楕円体高に変換し、基準潮位データとした。外れ値の条件は、通常、基準潮位データから  $\pm 30$  cm に設定しているが、隠岐諸島周辺海域は潮位変動の小さい海域であるため、本件では基準潮位データから  $\pm 15$  cm 以上を外れ値とした。外れ値の除去後、AOV と西郷検潮所の潮位データの短期平均水面を算出して比較した。西郷検潮所の Sa 潮及び Ssa 潮と、AOV 観測から得た 58 分潮で、60 分潮の調和定数とした。西郷検潮所の Sa 潮及び Ssa 潮は、気象庁のホームページに掲載されている分潮一覧表の値を引用した。

各 AOV の観測期間は Table 2 のとおり。観測データのうち調査区域内かつ GARD でフィックス解が得られた割合を Table 3 に示す。最も高かったのは 76.90% の SV3-234 だった。SV3-141 が最も低く 59.28% であった。全体的には GNSS 観測データの約 6 割以上が解析対象であった。

AOV 外れ値除去プログラムで解析を行った結果、除去されたデータの数は解析対象の全毎正時潮位データ数の 5366 個のうち 82 個で全体の 1.47% となった (Table 4)。解析結果において一致度が高い結果と外れ値を多く含み一致度が低い結果の一例を Fig. 5 に示す。Fig. 5 (a) は 2022

Table 3. Percentage of the fix and the float solutions.

表 3. フィックス解とフロート解の割合.

	フィックス解	フロート解
SV3-138	63.32%	36.68%
SV3-141	59.95%	40.05%
SV3-233	59.28%	40.07%
SV3-234	76.90%	23.10%

Table 4. The number of accepted values and unaccepted values.

表 4. フィックス解の全解析対象データに対する採用値と外れ値の個数.

	全データ数	採用値	外れ値
毎正時の潮位データ(個)	5366	5284	82
(%)		98.47	1.53

年 3 月 19 日 18 時から 24 日 18 時にかけての SV3-138 が観測した毎正時潮位データと西郷検潮所の基準潮位データの比較であり、両者の潮位がよく一致していることが確認できる。一方で、Fig. 5 (b) は 2018 年 6 月 18 日 18 時から 23 日 18 時にかけての SV3-138 の観測データによる潮位である。AOV の毎正時潮位データには一部欠測が含まれるが、6 月 20 日 13 時から 21 時まで外れ値が連続しており、同日 5 時から 9 時までには許容範囲内ではあるものの基準潮位データから 10 cm 以上低い潮位が連続していることが確認できる。Fig. 5 (c), (d) はそれぞれ Fig. 5 (a) と (b) の観測期間における基準験潮データと AOV が観測した毎正時潮位データの散布図である。Fig. 5 (a) と (b) の場合において AOV の毎正時潮位データと基準験潮データの差の標準偏差を求めた結果、(a) の標準偏差は 3.17 cm であったのに対し、(b) の標準偏差は 7.47 cm であった。土屋・佐藤 (2021) では、西郷検潮所と鳥取県の境検潮所との潮位差の標準偏差は 5.00 cm と報告されており、(a) の標準偏差はこれよりも小さいため、適切な期間を抜粋すれば、データの解析手順は妥当であると考えられる。隠岐諸島周辺海域で観測したデータのほとんどは Fig. 5 (a) のように基準潮位データと同様の潮位変動を捉えてい

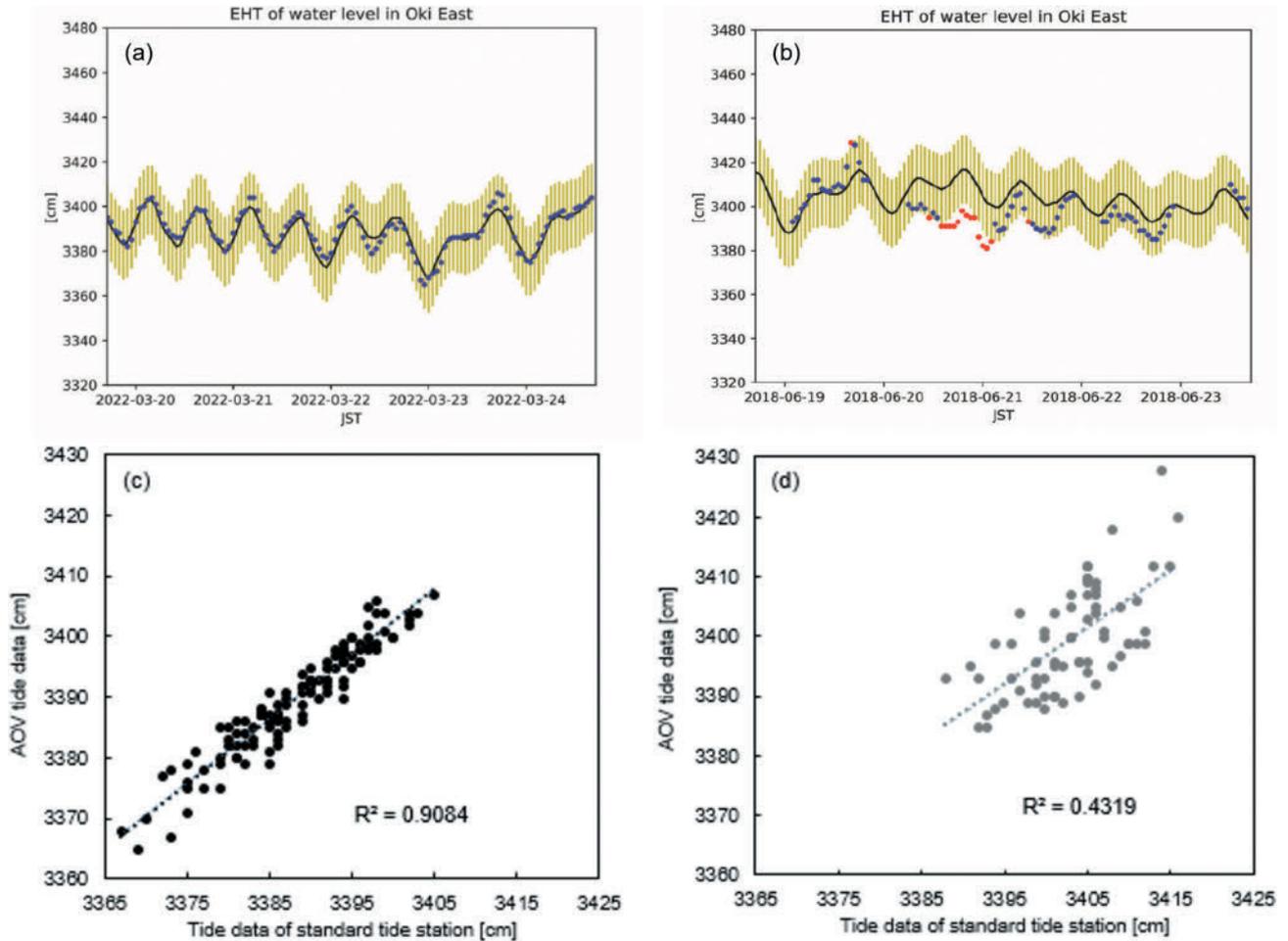


Fig. 5. (a), (b) are the tide data observed by the standard tide station and AOV. Black line shows tide data of the standard tide station. Blue dots show accepted value. Red dots show unaccepted value. Green lines show the range within 15 cm from tide data of the standard tide station. (c) is the scatter plot of tide data observed by the standard tide station and AOV in case (a). Similarly, (d) is the scatter plot in case (b).

図 5. (a), (b) は基準験潮所の潮位データ (実線・黒) と AOV の潮位データ (青点又は赤点) の比較. 青点は採用値, 赤点は不採用値. 緑線は基準験潮所の潮位データから  $\pm 15$  cm の範囲を示す. (c) は (a) の基準験潮所の潮位データと AOV の潮位データの散布図を表しており, 同様に (d) は (b) の場合を表している.

た. ただし, Fig. 5 (b) のように基準潮位データとの相関が悪い期間も存在していたことに留意が必要である.

#### 4.2 LAT の算出結果と評価

最低水面の推算期間を 2008 年から 2026 年に設定して LAT を算出した結果, 最低水面を基準として  $-19$  cm (2020 年 2 月 10 日, 2024 年 2 月 10 日) であった. この値の精度を評価するため, 西郷検潮所の潮位データから算出した LAT と比較した. 西郷検潮所の調和定数は気象庁がホームページに掲載している西郷の分潮一覧表の値を使

用した (Table 5). 推算期間を AOV の潮位データの推算期間と同期間の 2008 年から 2026 年に設定し潮位推算を行った結果, LAT は  $-19$  cm (2023 年 2 月 19 日, 2023 年 2 月 20 日, 2024 年 2 月 10 日) であり, AOV 観測から得られた LAT と一致した.

本 AOV 観測による LAT を楕円体高にすると  $33.62$  m だったが, 西郷検潮所単独で求めた LAT の楕円体高は  $33.81$  m であり,  $0.19$  m の差があった (Table 6). この差が妥当であるかを検討するため, 「ジオイド 2024 日本とその周辺」(試行版) を用いて AOV 観測海域の中心部と西郷検潮所の

Table 5. Comparison of the harmonic Constants derived from the AOV tide data and Saigo's from TIDE-JAPAN.2023.

表 5. AOV の潮位データから調和分解して求めた調和定数と TIDE-JAPAN.2023 記載の西郷の調和定数の比較.

	AOV		西郷検潮所		差 (cm)
	振幅 (cm)	遅角 (deg)	振幅 (cm)	遅角 (deg)	
Sa	16.35	160.32	16.35	160.32	0.00
Ssa	0.42	186.45	0.42	186.45	0.00
Mm	0.77	108.56	0.39	103.78	-0.38
MSf	0.52	269.33	0.24	327.30	-0.28
Mf	1.92	196.86	0.98	203.73	-0.94
2Q1	0.25	324.89	0.27	292.24	0.02
SIG1	0.29	219.51	0.18	259.68	-0.11
Q1	1.01	313.67	1.38	305.76	0.37
RHO1	0.20	332.04	0.28	310.72	0.08
O1	5.97	323.58	5.52	324.31	-0.45
MP1	0.20	349.77	0.13	157.39	-0.07
M1	0.20	86.31	0.23	332.72	0.03
CHI1	0.57	234.32	0.07	353.77	-0.50
PI1	0.37	190.92	0.04	269.84	-0.33
P1	1.22	344.31	1.66	342.78	0.44
S1	1.22	236.54	0.06	17.62	-1.16
K1	5.71	343.23	5.00	347.45	-0.71
PS1	0.68	353.77	0.27	359.88	-0.41
PHI1	0.20	114.03	0.06	44.15	-0.14
THE1	0.13	157.19	0.03	28.67	-0.10
J1	0.09	304.71	0.24	6.60	0.15
SO1	0.16	251.23	0.09	137.36	-0.07
OO1	0.51	297.22	0.22	14.22	-0.29
OQ2	0.31	71.03	0.04	196.87	-0.27
MNS2	0.21	309.72	0.07	338.44	-0.14
2N2	0.13	39.53	0.25	22.87	0.12
MU2	0.54	356.90	0.47	14.36	-0.07
N2	1.40	40.78	1.51	52.00	0.11
NU2	0.24	76.81	0.22	54.60	-0.02
OP2	0.06	5.61	0.10	333.37	0.04
M2	5.49	61.88	5.65	63.59	0.16
MKS2	0.03	285.26	0.03	339.37	0.00
LAM2	0.08	344.31	0.03	341.78	-0.05
L2	0.27	131.80	0.07	39.61	-0.20
T2	0.05	346.85	0.15	78.17	0.10
S2	1.80	65.41	1.98	78.40	0.18
R2	0.26	66.62	0.06	3.38	-0.20
K2	0.63	62.26	0.56	69.47	-0.07
MSN2	0.29	118.33	0.02	143.73	-0.27
KJ2	0.06	183.54	0.03	229.83	-0.03
2SM2	0.27	223.62	0.03	171.70	-0.24
MO3	0.19	14.57	0.04	167.13	-0.15
M3	0.17	211.25	0.08	30.85	-0.09
SO3	0.09	30.21	0.04	203.37	-0.05
MK3	0.10	198.09	0.05	196.95	-0.05
SK3	0.04	145.13	0.05	271.48	0.01
MN4	0.13	1.67	0.13	35.30	0.00
M4	0.23	82.30	0.25	57.65	0.02
SN4	0.02	57.32	0.02	74.75	0.00
MS4	0.05	35.42	0.10	106.89	0.05
MK4	0.06	283.27	0.05	85.21	-0.01
S4	0.17	143.42	0.02	198.85	-0.15
SK4	0.10	340.88	0.00	73.26	-0.10
2MN6	0.05	65.10	0.02	237.12	-0.03
M6	0.10	190.64	0.03	247.93	-0.07
MSN6	0.09	186.91	0.02	278.11	-0.07
2MS6	0.12	317.60	0.05	301.67	-0.07
2MK6	0.15	275.76	0.02	279.05	-0.13
2SM6	0.06	34.71	0.02	357.63	-0.04
MSK6	0.09	321.92	0.01	355.38	-0.08

Table 6. LAT, the earth ellipsoid height of LAT and the geoid height.

表 6. LAT, LAT の楕円体高及びジオイド高.

	LAT(m)	LATの楕円体高(m)	ジオイド高(m)
西郷	-0.19	33.81	34.12
隠岐諸島東方海域	-0.19	33.62	33.90
差	0	0.19	0.22

ジオイド高を取得した. その結果, 観測海域中心は 33.90 m, 西郷検潮所は 34.12 m であり, ジオイド高の差は 0.22 m であった (Table 6). 西郷検潮所側が高くなるジオイドの傾斜が存在していることから, 前述の LAT の楕円体高の差はジオイド高の差に起因すると考えられる.

以上の結果から, 今回の AOV 観測による精密な最低水面調査の LAT の解析手法は妥当であったと考えられる. ただし, 潮差が比較的小さい隠岐諸島周辺海域であるため, LAT の値も一致しやすいという要素もある. 今後は潮差の大きい瀬戸内海や九州西岸部においても AOV と近隣の験潮所にどの程度の差が生じるか検証する必要がある.

### 5 結論

本稿では, AOV 観測による LAT の算出方法と, その実例として 2017 年度から 2022 年度に行った隠岐諸島周辺海域での精密最低水面調査の結果を紹介した. AOV の導入により, 験潮器の設置が困難な海上での潮汐観測が可能となった. AOV の GNSS 観測データを GARD で PPP-AR 解析にかけフロート解を除去したのちにスムージング処理を施すことで毎正時潮位データが取得される. 毎正時潮位データの精度を評価するため近隣験潮所の潮位データを基準潮位データとし, 外れ値の除去を行った. 得られた毎正時潮位データから調和定数を算出し, LAT を計算した. この AOV による LAT の楕円体高を, 西郷検潮所による LAT の楕円体高と比較したところ, ジオイド傾斜とはほぼ一致しており, 本稿で紹介した LAT の算出方法は妥当であると考えられる.

2024 年 7 月現在, AOV による観測は, 第八管区及び第九管区では完了したが, 第七管区, 第十

管区及び第十一管区では継続している。今後も精密最低水面調査を進め、日本海から南西海域を中心にLATの調査を行っていく。

## 謝 辞

本稿の作成にあたりAOV観測に携わった第八管区海上保安本部の皆様には現場作業及び資料整理に尽力していただきましたこと厚くお礼申し上げます。最後に、匿名の査読者には、適切で丁寧なご助言をいただきました。ここに感謝の意を表します。

## 文 献

- 伊能康平・杉山伸二・金 敬洋・土屋主税・野澤理香・小河原秀水・吉 宣好・中山浩一郎・永蔵克己・内村 忍 (2021) 自律型海洋観測装置 (AOV) の運用と観測の現状, 海洋情報部研究報告, 59, 126-142.
- 伊能康平・土屋主税 (2022) 潮汐調和分解のための最適観測パターン, 海洋情報部研究報告, 60, 51-73.
- 海上保安庁 (2023) 平均水面, 最高水面及び最低水面一覧表, <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/TIDE/datum/index.pdf>.
- 気象庁, 分潮一覧表 西郷, <https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/harms60.php?stn=SA&year=2024&tyear=2024>.
- 国土地理院 (2024) 日本のジオイド 2024 日本とその周辺 (試行版).
- 松永智也・山崎哲也・糸井洋人・加藤弘紀・増田貴仁・西村一星・土屋主税・佐藤勝彦・田中友規・野坂琢磨・石田雄三・下田 力・楠本仁麦 (2018) 自律型海洋観測装置 (AOV) の運用, 海洋情報部研究報告, 56, 68-78.
- 中川弘之・宮原伐折羅・宗包浩志 (2020) 精密単独測位 (PPP-AR) を用いたGNSS定常解析システムの開発, 国土地理院時報, 133, 77-86.
- 西村一星・増田貴仁・糸井洋人・土屋主税・加藤弘紀・松坂真衣・佐藤勝彦・田中友規・野坂

琢磨・石田雄三 (2017) 自律型海洋観測装置 (AOV) の運用に向けて, 海洋情報部研究報告, 54, 74-83.

佐藤 敏・熊谷 武 (2017) 日本沿岸のLowest Astronomical Tideについて, 海洋情報部研究報告, 54, 84-94.

土屋主税 (2020) 欠損の多い潮位データの最小二乗法による調和分解, 海洋情報部研究報告, 58, 109-125.

土屋主税・佐藤 敏 (2021) 潮高改正に単一の常設験潮所を使用できる範囲, 海洋情報部研究報告, 59, 190-203.

## 要 旨

海上保安庁海洋情報部では, 精密な最低水面を調査するため自律型海洋観測装置AOVによる潮汐観測を行っており, 得られた潮位データから天文最低低潮面LATを算出している。本稿ではAOVによるGNSS観測データからLATの楕円体高を算出する手法及び隠岐諸島周辺海域での観測データを用いたLATの算出結果を示した。また, AOVによるLATの精度を検討するため, 西郷験潮所の潮位データから算出したLATと比較を行った。その結果, LATはほぼ一致しており, 実施したAOVのGNSS観測データを用いたLATの解析手順が妥当であることを示した。