

## 電波式験潮儀の導入に向けた試験観測 Test Observation to Innovate Electric Tide Gauge

測地観測センター 七海仁美・大脇温子・菅原準

Geodetic Observation Center

Hitomi NANAUMI, Atsuko OOWAKI and Jun SUGAWARA

### 要旨

国土地理院では全国 25 験潮場で潮位の連続観測を実施し、取得した潮位データを土地の高さの基準の確認や地殻変動を監視する手段として活用している。測地観測センターでは潮位を観測するにあたり長年フロート式験潮儀を使用してきたが、現在潮位観測に関するシステム全体の見直しを進めている。現用のフロート式験潮儀をメンテナンスが容易である電波式験潮儀へ交換可能かどうかを検証するため、勝浦験潮場において試験観測を実施した。その結果、電波式験潮儀は現用の験潮儀と同等の観測ができることを確認したため、今後老朽化した験潮儀から順次電波式験潮儀に切り替えていく方針を定めた。ただし、電波式験潮儀とフロート式験潮儀の潮位差が一定となっておらず、潮位 2,350mm 及び 3,350mm 付近にピークを持つ分布となっている原因は不明である。そのため、今後はこの現象のメカニズム解明を進め、験潮場ごとの適切な設置調整方法を確立することが重要である。

### 1. はじめに

国土地理院では、明治 24 年から現在に至るまで全国 25 か所において潮位の連続観測を実施している(図-1)。25 か所の験潮場のうち、油壺験潮場(神奈川県三浦市)、細島験潮場(宮崎県日向市)、輪島験潮場(石川県輪島市)、忍路験潮場(北海道小樽市)の 4 験潮場においては、100 年以上の潮位観測データを蓄積している。平成 28 年には輪島験潮場が国土地理院の測量標として初めて「登録有形文化財(建造物)」に登録された。

験潮場で観測した潮位データは、土地の高さの基準の確認や地殻変動を監視する手段(加藤・津村, 1979)として活用されている。また、近年では験潮場に併設された GNSS 連続観測点のデータと組み合わせることにより、地盤上下変動を補正した海面水位変化を算出し(三浦・川元, 2013)、海面変動トレンド及び標準偏差をウェブページにおいて公開している([http://www.gsi.go.jp/kanshi/tide\\_sl\\_trend.html](http://www.gsi.go.jp/kanshi/tide_sl_trend.html))。

潮位データはウェブページにおいて提供される(大瀧ほか, 2000)ほか、国土交通省防災情報提供センターに集約され津波や高潮などの防災情報としても提供・利用されている。そのため、安定して連

続観測を行う必要がある。

現在測地観測センターでは潮位観測に関するシステム全体の見直しを進めており、その一環として現在のフロート式験潮儀を壊れにくくメンテナンスが容易である電波式験潮儀へ交換することを検討している。

本稿では、電波式験潮儀とフロート式験潮儀の比較を目的として勝浦験潮場(千葉県勝浦市)で実施した試験観測の結果について報告する。

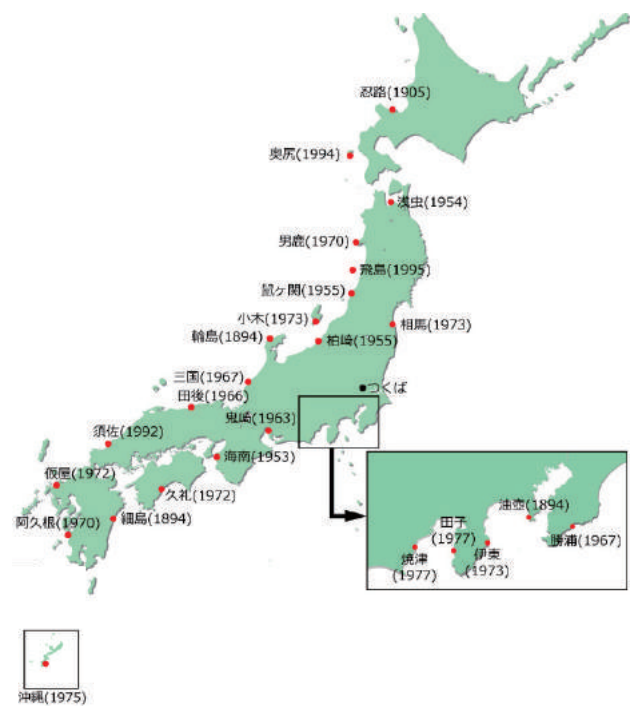


図-1 験潮場位置図(括弧内は開設年)

### 2. 国土地理院の潮位観測

国土地理院の主な験潮場の構造を図-2に示す。験潮場は直接海面の上下変動を観測するのではなく、波浪の影響を取り除くために、数～数十 m の導水管を備えた構造となっている。この導水管により井戸内に海水を導き入れることで、安定した水面を観測できるようになるので、高さの基準となる高精度なデータが取得できる。

験潮場で使用しているフロート式験潮儀は、フロート、ワイヤー、錘、滑車、角度検出器及びロガーで構成されており、井戸内の水面に浮かべたフロー

トの上下の動きを角度検出器（ロータリーエンコーダ）で読み込み、角度を長さに変換することで潮位を観測している（写真-1）。この方式はmm精度を確保できる一方で、構成器材が多いためそのどれかに不具合が発生すると即座に観測値に影響が出るという問題点があった。実際に東北地方太平洋沖地震では多くの験潮場で津波を観測したが、井戸内に勢いよく流入した海水により対流が発生し、フロートが急上昇しながら前後左右に動き回った影響で、ワイヤーが滑車のガイドから外れて絡まり観測ができなくなる験潮場もあった（写真-2）。そのため、フロート式験潮儀は安定したデータを取得する上での不安定要因の一つであった。



写真-2 ワイヤーが絡まり観測が停止した油壺験潮場

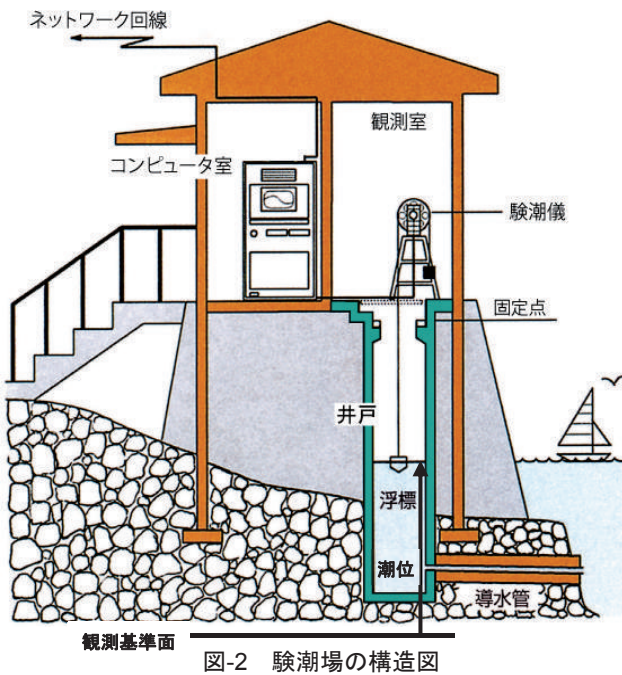


図-2 験潮場の構造図

### 3. 電波式験潮儀について

電波式験潮儀はレベル計及びロガーで構成（写真-3）される。レベル計から発射したマイクロ波が水面で反射して戻ってくるまでの時間（伝播時間）を用いて水面までの距離を求めることで、潮位を観測する機器である。電波式験潮儀はフロート式験潮儀と比較して構成器材を圧倒的に少なくでき、海面と非接触のため海水の影響による機器の損傷も大幅に軽減できることから、メンテナンス頻度が少なくなるといった利点がある。さらに近年、フロート式験潮儀と同等精度の観測が可能な機種が開発されており、優れた代替機器として期待されている。

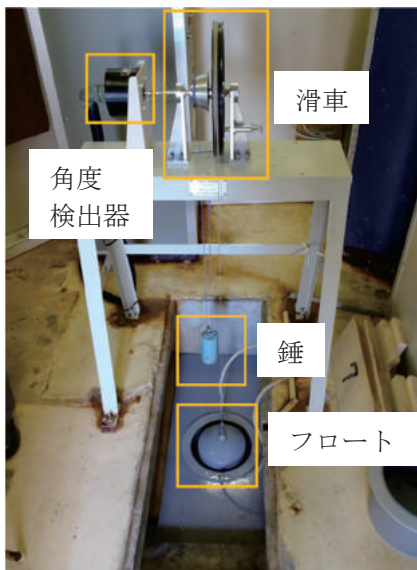


写真-1 フロート式験潮儀各部の名称

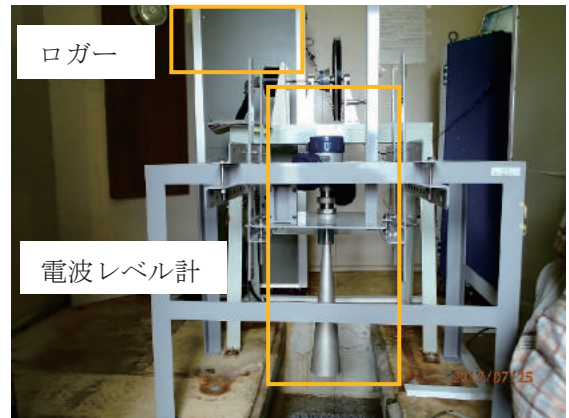


写真-3 電波式験潮儀の構成

#### 3.1 性能仕様と構成

並行観測に使用した電波式験潮儀のレベル計はLRG-10（東京計器社製）で、性能仕様は表-1のとおりである。このレベル計はマイクロ波を使用しており、測定精度が±2mmと高精度となっている。レベル計で観測した潮位信号はアナログ値として得られ、ロガーにおいてデジタル値に変換される（図-3）。

表-1 LRG-10（東京計器社製）の性能仕様

測定方式	マイクロ波パルスレーダー方式
中心周波数	26GHz
照射角度	8°
測定精度	±2mm
測定範囲	15m
出力信号	アナログ出力 DC4~20mA
測定間隔	1秒

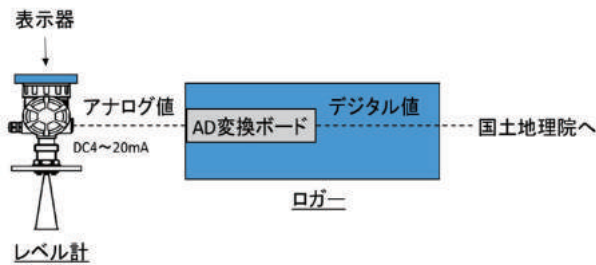


図-3 電波式験潮儀のデータの流れ

### 3.2 基準合わせ

図2で示したとおり、国土地理院の験潮場には標高が取り付けられた固定点が存在し、この固定点から一定距離下方に仮想的な観測基準面を設定している。潮位はこの観測基準面の高さを0として測定する。観測基準面の高さは測定した潮位の値が常に正の符号となるように充分低く設定されており、勝浦験潮場の場合には固定点の5,000mm下方としている。

電波式験潮儀の基準合わせに関しては、固定点と同じ高さの水面を一時的に用意し、その水面の高さを測定する原子測定作業を実施し、その値をフロート式験潮儀の基準値と同一である5,000mmとして設定した（写真-4、図-4）。

さらにレベル計自体の測定距離が正しいことを確認するため、レーザー距離計（Leica社製DISTOTM D210）を用いてレベル計と同時に井戸水面を測定し、その値が一致することを確認した。



写真-4 原子測定作業の様子

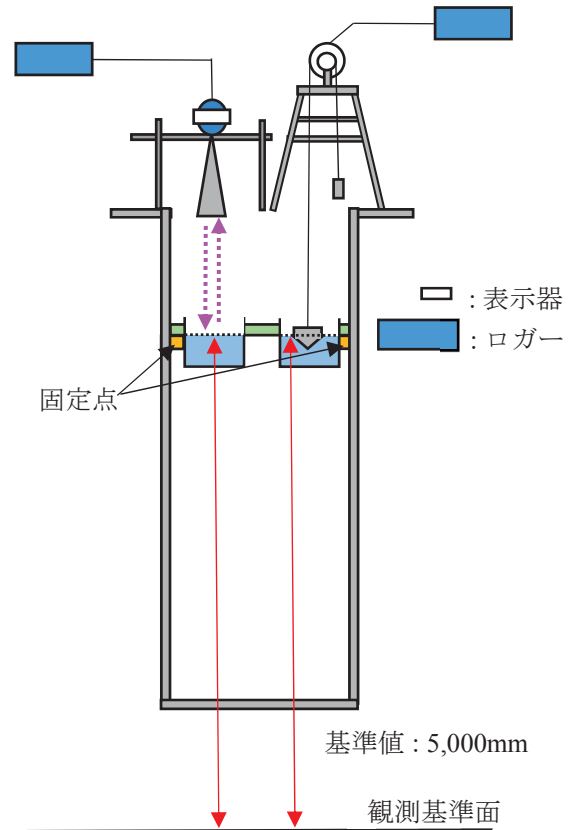


図-4 原子測定作業

（左：電波式験潮儀、右：フロート式験潮儀）

### 4. 電波式験潮儀とフロート式験潮儀の並行観測

電波式験潮儀の有効性を確認するためフロート式験潮儀の隣に電波式験潮儀を設置し、平成29年1月26日～9月12日の約8か月間、同じ井戸での並行観測を実施した（写真-5）。設置場所については、太平洋側に位置し潮位変化が大きく、並行観測が可能な井戸の大きさを持ち、国土地理院（茨城県つくば市）からも近い勝浦験潮場とした。その際、電波式験潮儀は潮位が低くなる干潮時にも電波の照射範囲にフロートが入り込まない位置に設置した。

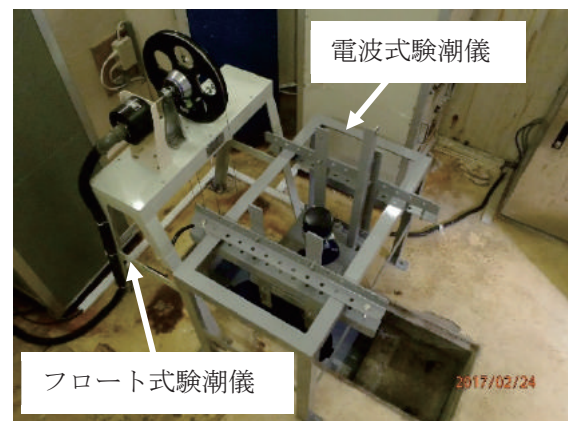


写真-5 並行観測の様子

#### 4.1 並行観測結果

勝浦験潮場における約8か月間の並行観測のうち、観測開始1か月間の結果を図-5に示す。電波式験潮儀とフロート式験潮儀の潮位差(30秒値)は同じ井戸で同じ水面を観測しているため理想的には0になるはずだが、実際には-10~+5mmの間で変動していた。それぞれ平均計算を行って比較した結果、日平均潮位の差(電波式験潮儀-フロート式験潮儀)は-3.9mmであった(表-2)。

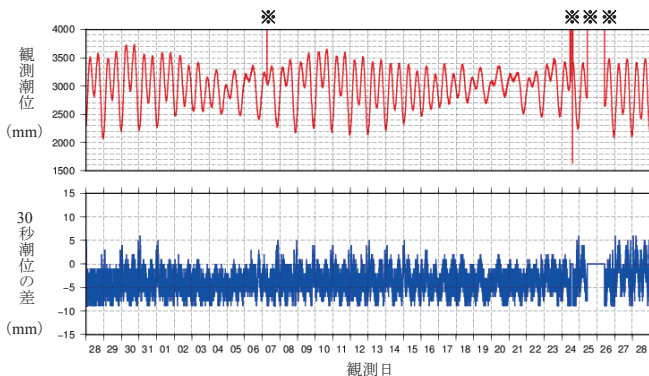


図-5 フロート式験潮儀で観測した潮位(上)と潮位差(電波式験潮儀-フロート式験潮儀)(下)  
(期間:平成29年1月28日~2月28日、  
※印はメンテナンス実施時)

表-2 潮位差の標準偏差及び平均計算結果の比較

	1月28日 ~ 2月24日 (調整前)	7月25日 ~ 8月7日 (調整後)
バイアスを除いた潮位差の標準偏差(30秒値)	2.2mm	1.9mm
日平均潮位 差の平均	-3.9mm	-0.9mm

※計算にはメンテナンス実施前後のデータは含めていない。

#### 4.2 問題点とその対処

この約1か月間の並行観測により、いくつかの問題点が判明したため、その問題を解消するための対処を実施した。その結果、フロート式験潮儀と電波式験潮儀の潮位差(30秒値)は-7~+6mmの間で変動し、日平均潮位の差は-0.9mmとなり、調整前と比較して非常に小さくなった。

次項より、この並行観測で見られた問題点とその対処方法について詳細に述べる。

#### 4.2.1 表示器とロガーに記録される値の違い

観測開始から約1か月後、並行観測開始時に基準合わせ作業を実施したにも関わらず、電波式験潮儀のロガーに記録された記録値がフロート式験潮儀の記録値に対して平均-4mm程度のずれがあることを確認した。調査の結果、電波式験潮儀のレベル計表示器に表示される値は基準値と一致しているが、電波式ロガーの記録値が基準値と一致していないことがわかった。電波式験潮儀の表示器とロガーの数値が一致しなかった原因として、レベル計から出力された電流信号をロガー側で正確にAD変換できていないことが判明した。このため、ロガー側でレベル計から出力される電流信号の範囲を再調整したところ、レベル計の表示値とロガーの記録値の差はほぼ解消した。

メーカーから得たロガーの性能仕様情報によると、ロガーに内蔵のAD変換基板の抵抗が温度変化の影響を受け、社内実験では10℃の温度変化に対して2mm程度の誤差を確認したとのことである。これをふまえて、今後は温度変化の影響を受けないような仕様変更について再検討する必要があると考える。

#### 4.2.2 潮位2,350mm及び3,350mm付近にピークの見られる潮位差

表-2に示したように電波式験潮儀の測定値はフロート式験潮儀の測定値に比べて平均で3.9mm低い値となったが、両者の差は一定ではなく潮位2,350mm及び3,350mm付近にピークを持つ分布をしている(図-6及び図-7)。なお、これらのピークにおいては電波式験潮儀の方がフロート式験潮儀よりも高い値となっている。

この原因がフロート式験潮儀にあるのか電波式験潮儀にあるのかを切り分けるため、平成29年2月25日~3月3日までフロート式験潮儀、電波式験潮儀に加え、水圧式センサを井戸内に設置した。まず、電波式験潮儀の電波照射範囲にフロートが入ることで電波式験潮儀の観測に影響を与えることが懸念されたため、2月25日~26日にかけて井戸内からフロートを引き上げた。しかし、この期間について電波式験潮儀と水圧式センサの潮位差にも同様のピークが発生しており(図-8)、フロートの影響では無いことが確認された。また、電波式験潮儀と水圧式センサの潮位差で発生していた不自然なピークはフロート式験潮儀と水圧式センサとの比較観測では発生していなかったため(図-8)、電波式験潮儀の観測に何らかの原因があることが判明した。なお、これらのグラフには一定の傾きが見られるが、これは水圧式センサのデータを潮位に換算する際に用いた係数が不正確であるためと推定される。

次に、レベル計の設置高を100mm上方にずらし

て基準合わせを再度行った上で、約1か月間の観測を実施した。もし原因がレベル計そのものにあるならば、ピークの位置も100mm上方に変化するはずである。しかし、結果はピークの位置は変化しなかったため(図-9)、レベル計固有の問題ではなく、その潮位を測定する時に井戸内で水面以外からの反射等、井戸の構造による何らかの影響を受けている可能性が高いことが判明した。

ピークの原因が井戸の構造による影響だと仮定した場合、レベル計から照射されるマイクロ波は直線偏波であるため、障害物に対して垂直に照射させ障害物からの反射波を最小にすることで障害物の影響を軽減させることが可能である。このことを念頭に、レベル計の鉛直方向を変えずに水平回転させることにより、マイクロ波の振動方向を変化させ、水面以外からの不要な反射波の影響を可能な限り受けにくい位置を調査した。調査の結果、勝浦験潮場の場合はマイクロ波の振動方向を最も近い井戸壁面に対して垂直にすると影響を受けにくいことが判明した(図-10)。調整後、電波式験潮儀とフロート式験潮儀の日平均潮位の差は-0.9mmに軽減され、2,350mm及び3,350mmのピークはともにほぼ解消された(図-9)。

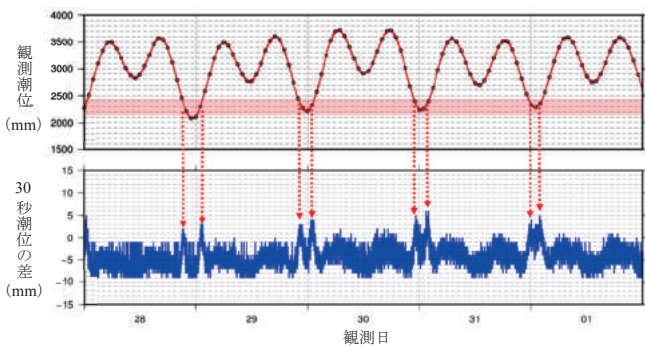


図-6 図5のグラフの拡大図  
(期間：平成29年1月28日～2月1日)

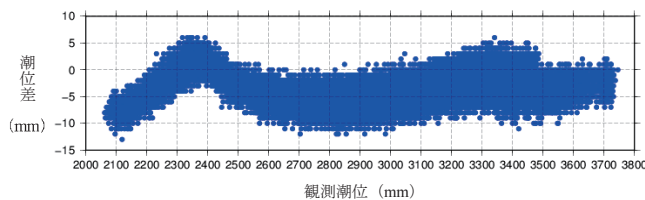


図-7 観測潮位と潮位差(電波式験潮儀-フロート式験潮儀)の相関  
(期間：平成29年1月28日～2月28日)

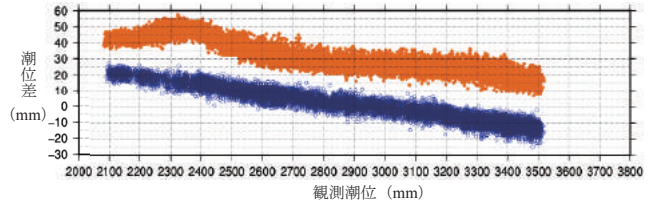


図-8 観測潮位と潮位差の相関  
 橙色：電波式験潮儀-水圧式センサ(30mmオフセット加算)  
 (期間：平成29年2月25日～3月3日)  
 青色：フロート式験潮儀-水圧式センサ  
 (期間：平成29年2月27日～3月3日)

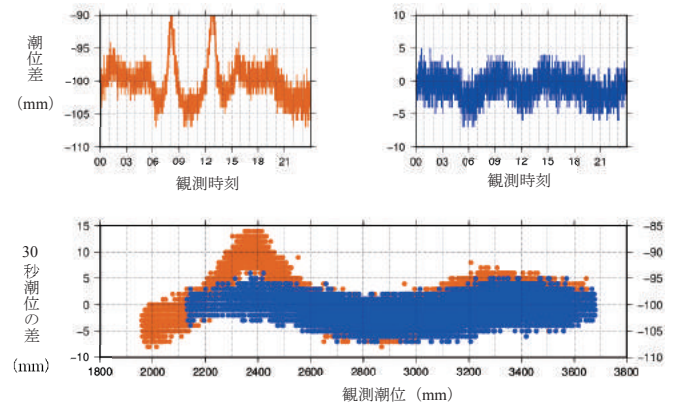


図-9 潮位差(電波式験潮儀-フロート式験潮儀)のピーク拡大図(上)と観測潮位と潮位差の相関(下)  
 上左：10cm上へ設置時(7月23日 大潮)  
 上右：全ての調整終了後(8月6日 大潮)  
 下図：橙色は10cm上への設置時、青は全ての調整終了後

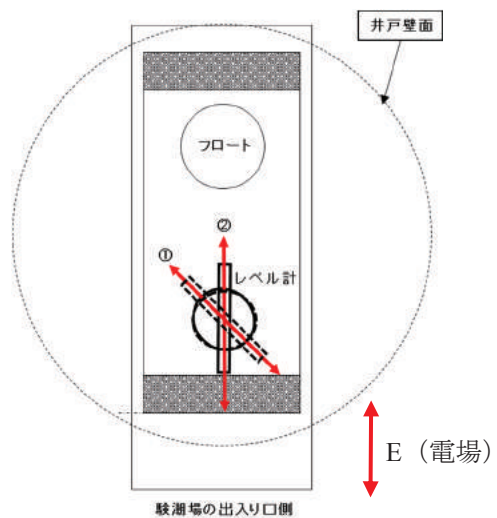


図-10 レベル計の水平角度回転の様子  
(①：回転前，②：回転後)

## 5. まとめ

電波式験潮儀の有効性を検証するため、勝浦験潮場において電波式験潮儀とフロート式験潮儀の並行観測を実施した。その結果、調整を実施することで、フロート式験潮儀と電波式験潮儀の日平均潮位の差は $-0.9\text{mm}$  にすることができた。電波式験潮儀のバイアスは十分小さいことから、老朽化した験潮儀を順次電波式験潮儀に切り替えていく方針を定めた。

ただし、両者の差は一定ではなく、潮位  $2,350\text{mm}$  及び  $3,350\text{mm}$  付近にピークを持つ分布となってい

る。電波式験潮儀を調整することによりこの現象を軽減できることがわかったが、他の験潮場でも同様の調整が有効かどうかは不明である。したがって、今後はこの現象のメカニズムの解明を進め、験潮場ごとの適切な設置調整方法を確立することが重要である。

(公開日：平成 29 年 12 月 21 日)

## 参考文献

- 大瀧茂，宮崎孝人，谷澤勝，金子英樹，吉川忠男，高原正勝（2000）：明治 27 年験潮場開設以来の潮位観測データベースの完成，国土地理院時報，94，87-91.
- 加藤照之・津村建四朗（1979）：潮位記録から推定される日本の垂直地殻変動（1951～1978），地震研究所彙報，54，559-628.
- 三浦優司，川元智司（2013）：験潮場の GPS 連続観測点を用いた潮位データ解析手法の検討，国土地理院時報，123，21-33.