

### 水路測量に係る平均水面の求め方の問題点<sup>†</sup>

佐藤 敏\*

Issues related to the computation of the mean sea level for hydrographic surveys<sup>†</sup>

Satoshi SATO\*

#### Abstract

The chart datum is defined as the value  $Z_0$  under the mean sea level. The mean sea level is determined by the average of longterm sea level data.

In the hydrographic survey in Japan, the mean sea level is usually deduced from the short term mean sea level during the survey, by comparing it with the mean sea level at the neighboring tide station of the same duration. It used to be thought that the seasonal variation of the sea level is removed by this computation, but little analysis has been done on the degree of error generated by this computational method.

In this paper, it is shown that the errors for the estimation of the mean sea level based on this computational method, which compare the short-term mean sea level with the monthly mean sea levels of neighboring tide stations, are almost all within 0.10 m. This means that the errors are within an acceptable range.

However, some problems exist in operation regarding to this estimation of the mean sea level. The biggest problem is that the mean sea level is sometimes computed by this method, even though there is a tide station at the survey site, which has been monitoring the sea level for a long time. Because this computational method has some error, the mean sea level should be determined only by the data of the tide station at that site.

#### 1 はじめに

日本では、明治時代の後半（19 世紀末頃）にインド大低潮面を海図の基準面に採用し（佐藤, 2010）、現在でもそれを基準面としている。インド大低潮面とは、平均水面から潮汐の主要 4 分潮の振幅の和だけ下げた高さである。日本がインド大低潮面を海図の基準面に採用した理由は、その当時の日本の海図の基準面である大低潮平均水面

を最短 15 日間の潮汐観測で算出できると誤解したことである。実際、インド大低潮面採用後 20 年程度は、日本は自らの海図の基準面を大低潮平均水面と称していた。ちなみに、大低潮とは大潮の低潮を意味し、大低潮平均水面は大潮の低潮の水位の平均で、現在はこれを大潮平均低潮面と称している。

最短 15 日間の観測で主要 4 分潮の振幅の和は

<sup>†</sup> Received August 22, 2019; Accepted October 2, 2019

\* 海洋情報課 Oceanographic Data and Information Division

得られるが、長期間の観測から得られる平均水面の高さを15日間の潮汐観測で得ることは出来ない。したがって、基準面を決定するためには、何らかの方法で15日間の平均水位から長期間の平均水面を推定することが必要となる。

1926年に開催された第2回国際水路会議において、日本はインド大低潮面を海図の基準面の国際基準とするという提案文書を提出している。会議では、日本は専門家を会議に参加させなかったため、提案理由の説明も行わなかったが、提案文書の中では、測量地での短期間の平均水面について、付近の験潮所の水位の季節変化との比較から、許容できる精度で年平均水面の算出が可能だと述べている。

大正時代の終わり頃には、短期の潮汐観測の場合、平均水面を算出するためには、季節変化分の補正が必要だということを認識していたことを示すものではあるが、常設験潮所の数が少なかった当時どのような補正を行っていたのかは不明である。

それから100年近く経過した現在も、測量地での潮汐観測が短期間であった場合は、近傍の常設験潮所における同期間の験潮記録と比較することにより、季節変化による補正值を求め、それにより平均水面を算出している。その典型的な算出方法は以下のとおりである。

測量地での潮汐観測はおおよそ1ヶ月間実施されることが多い。測量地の約1ヶ月間の平均水位を $A_1'$ とし、付近の常設験潮所における同一期間の平均水位を $A_0'$ とする。その験潮所における過去5年間の平均水面を $A_0$ 、測量地における平均水面を $A_1$ としたときに、常設験潮所における平均水面と測量期間の平均水位との偏差( $A_0 - A_0'$ )と、測量地における偏差( $A_1 - A_1'$ )が同じであると仮定して、測量地の平均水面 $A_1$ を求めるものである。

これにより、測量地の平均水面は以下のとおりとなる。

$$A_1 = A_1' + (A_0 - A_0') \cdots (1)$$

比較の対象となる付近の常設験潮所は基準験潮

所と呼ばれる。

この方法は確かに短期間の潮汐観測から季節変化分の修正を行って、一定の精度で平均水面を算出できる方法であり、測量地に常設験潮所が存在せず、簡易験潮器の設置が必要な場合は、平均水面を推定する方法としては有効な方法だと考えられる。しかし、近年は、測量地に常設験潮所が存在し、潮高改正にその常設験潮所のデータを使う場合に、測量地の常設験潮所の長期の験潮データが存在するにもかかわらず、基準験潮所との測量期間の水位の比較から測量地の平均水面を算出することが数多く行われている。

測量地の常設験潮所の長期間の平均水面と、基準験潮所の短期間の平均水位との比較により推定される平均水面の高さは当然ながら異なる。以下では、その差がどの程度であるかを実際の例をもとに示す。

## 2 各地での基準験潮所との水位比較による平均水面算出事例

### 2.1 佐渡島小木の事例

2018年8月の小木港水路測量では、常設験潮所である小木験潮場(国土地理院所管)の験潮データにより潮高改正を行うものの、最低水面の高さについては、粟島験潮所(海上保安庁所管)を基準験潮所として1ヶ月の平均水位の比較を行って算出している。

具体的には、(1)式における $A_0$ を粟島の2013年から2017年までの5年間の平均水面(=1.136 m)、 $A_0'$ を粟島の2018年8月の平均水位(=1.287 m)、 $A_1'$ を小木の2018年8月の平均水位(=1.654 m)として、小木の平均水面 $A_1$ を求めている。

$$\begin{aligned} A_1 &= 1.654 + (1.136 - 1.287) \\ &\doteq 1.50 \text{ m} \end{aligned}$$

となり、この値から $Z_0$ (=0.19 m)を減じた小木験潮場の観測基準面上1.31 mという値は、海上保安庁がホームページで公表している平均水面等一覧に掲載されている小木の最低水面の値に一致するとしている。

国土地理院海岸昇降検知センターが公開してい

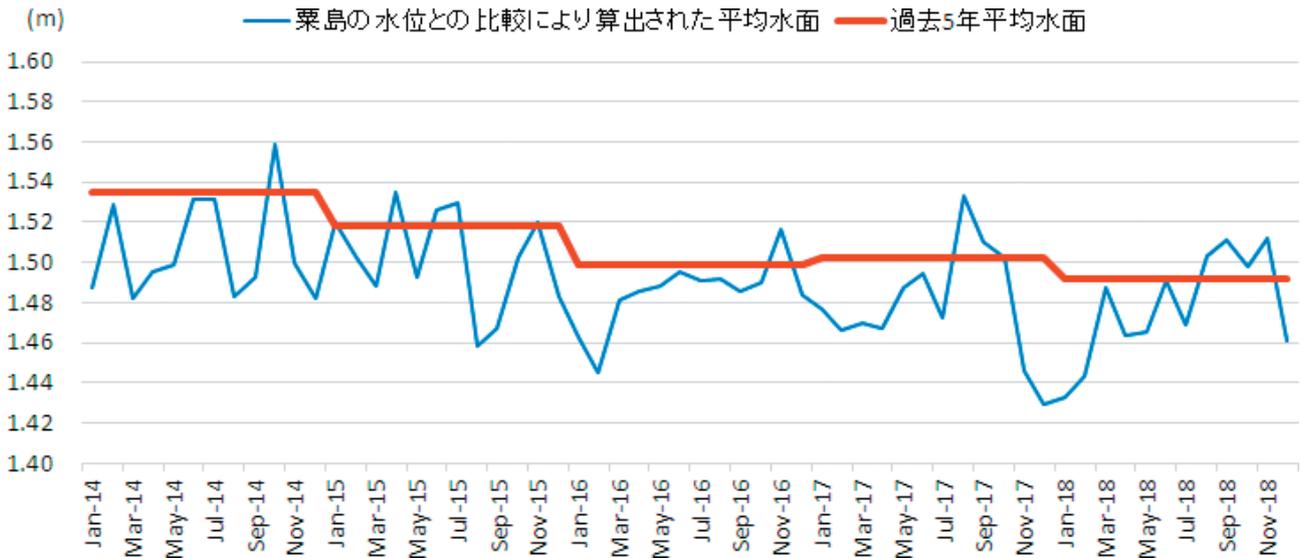


Fig. 1. Estimated mean sea level at Ogi from the year 2014 to 2018. Blue line is estimated by comparing monthly mean sea level with that at Awashima. Red line is the average of monthly mean sea level at Ogi for the past 5 years.

図1. 2014年から2018年までの小木における推定平均水面. 青線は粟島の月平均潮位との比較により推定された平均水面. 赤線は過去5年の小木の月平均水位の平均.

る潮位年報に掲載されている小木と粟島の毎月の月平均水位を使えば、同様の計算を容易に行うことができる。2014年から2018年までの各月の月平均水位を使って、粟島との月平均水位の比較により算出した小木の平均水面を Fig. 1 に示した。青線が (1) 式により粟島の月平均水位との比較から算出した平均水面で、赤線が小木の過去5年間（2017年8月であれば、2012年から2016年までの5年間）の平均水面を示している。その地の常設験潮所のデータだけで平均水面を求める場合、通常は赤線で示した過去5年平均水面が平均水面として扱われる。

5年間の小木と粟島の各月の月平均水位の比較により算出した小木の平均水面の最大値は2014年11月の月平均水位を用いて算出した1.56 mである。最小値は2017年12月の月平均水位を用いた1.43 mで、最大と最小の差は0.13 mとなっている。2018年8月の測量で小木の平均水面は1.50 mであったが、その前月に測量を行ってれば、平均水面は1.47 mであり、前年の12月であれば、平均水面は1.43 mと測量した月により平均水面は変動することになる。

通常平均水面である過去5年間の平均水面と

月平均水位の比較により算出された平均水面との差の最大値は0.07 mで、0.10 m未満であるが、小木では、そこに設置されている験潮所の記録だけで平均水面の算出が可能なので、基準験潮所との短期間の水位比較によって算出する必要は全くない。

また、Fig. 1を見ると青線で示した基準験潮所との比較により算出された平均水面は赤線よりも下方にあることが見られる。Fig. 2は2009年から2018年までの小木と粟島の年平均水位の経年変化を示したものであるが、近年の小木における

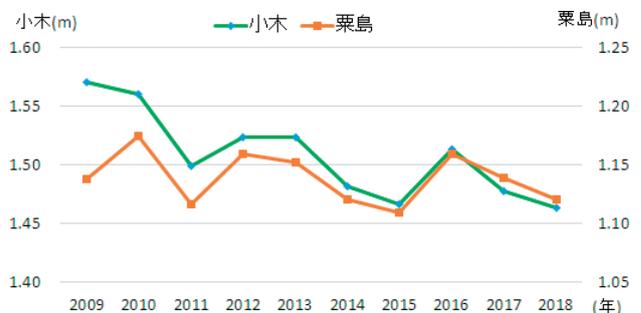


Fig. 2. Annual mean sea level at Ogi (green line) and Awashima (orange line) from the year 2009 to 2018.

図2. 2009年から2018年までの小木（緑線）と粟島（橙線）の年平均水面.

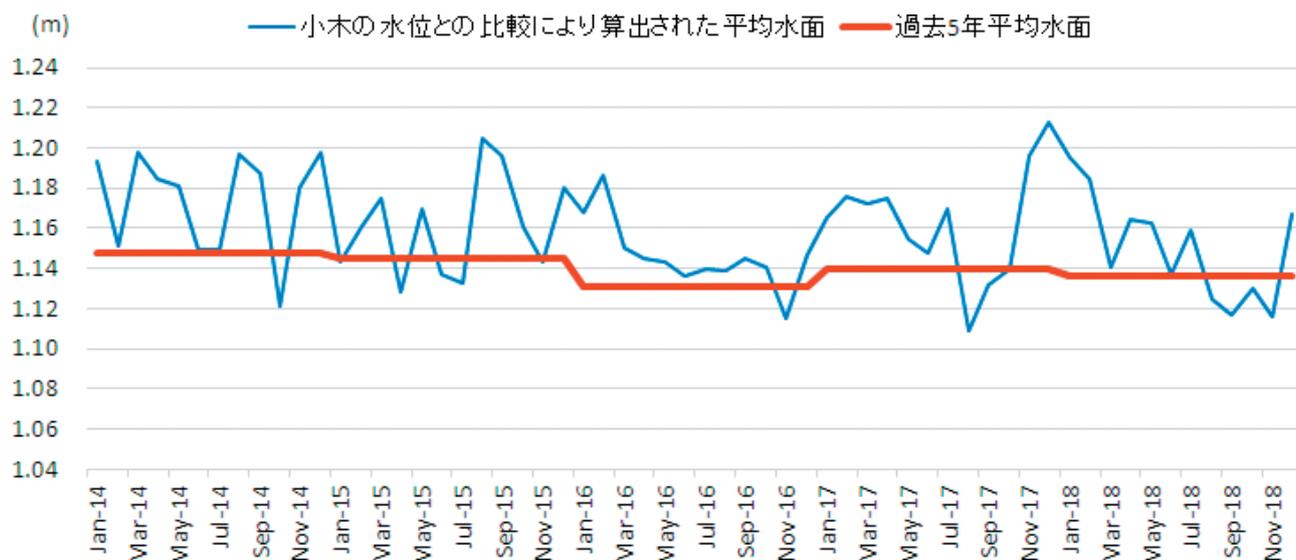


Fig. 3. Estimated mean sea level at Awashima from the year 2014 to 2018. Blue line is estimated by comparing monthly mean sea level with that at Ogi. Red line is the average of monthly mean sea level at Awashima for the past 5 years.

図3. 2014年から2018年までの粟島における推定平均水面. 青線は小木の月平均潮位との比較により推定された平均水面. 赤線は過去5年の粟島の月平均水位の平均.

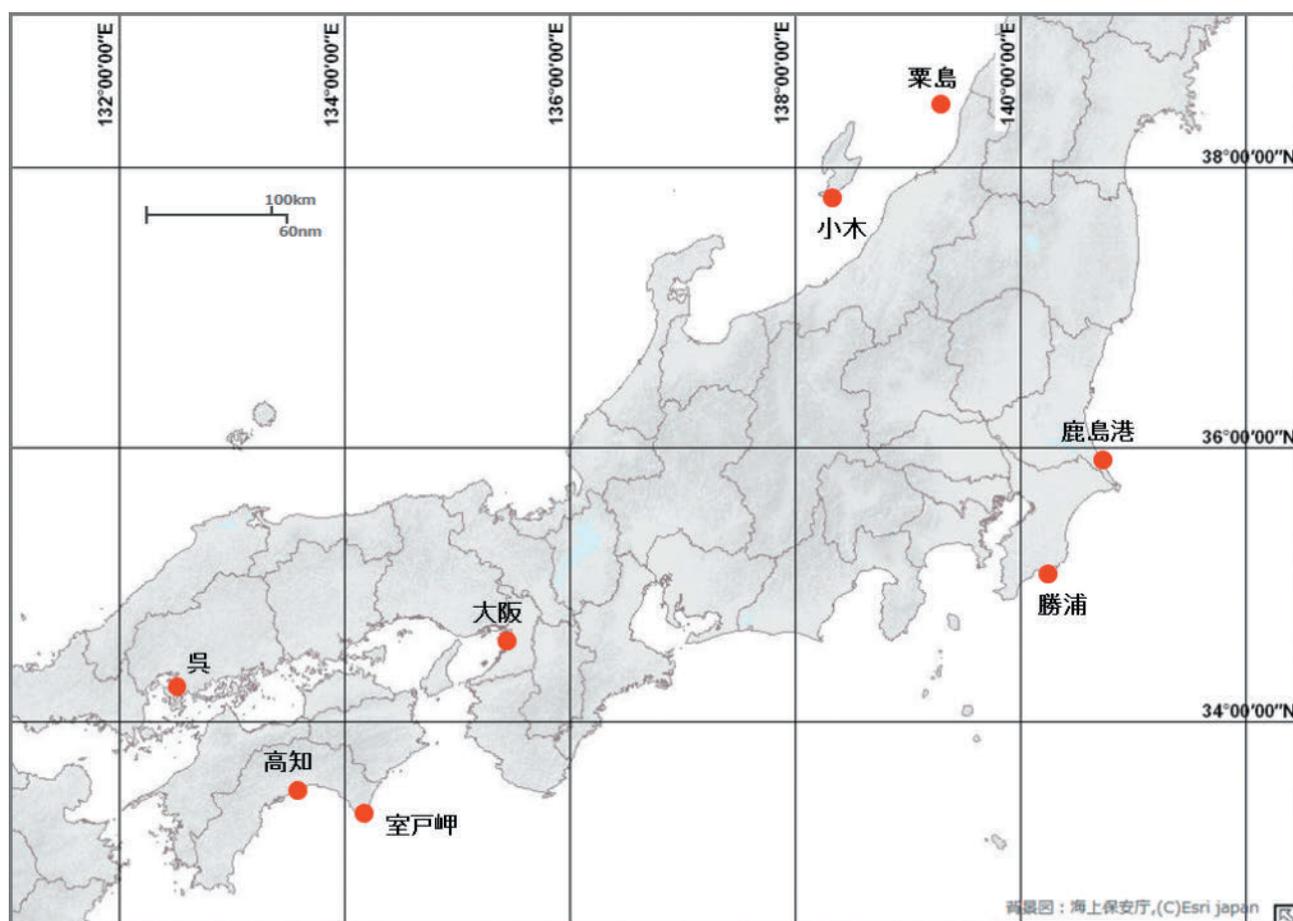


Fig. 4. Locations of Ogi, Awashima, Kochi, Murotomisaki, Kashima-ko, Katsuura, Kure, and Osaka.

図4. 小木, 粟島, 高知, 室戸岬, 鹿島港, 勝浦, 呉, 大阪の位置.

年平均水位は下降傾向である。青線が下方にずれるのは、この小木の水位の下降傾向に起因するものである。(1)式では測量地と基準験潮所における当該月の水位と平均水面との差が同じと仮定しているため、測量地の水位  $A_1'$  が下がれば、その平均水面  $A_1$  も下がることになる。これは傾向を先取りしているとも考えられるが、基準験潮所の水位に上昇または下降傾向があった場合にも、その水位との比較により算出される測量地の平均水面が下がる、または、上がることになる。

粟島と小木の場合、測量地の験潮所と基準験潮所の役割を入れ替えて計算することは可能である。つまり、水位が下降傾向にある小木を基準験潮所として、(1)式を用いて、小木と粟島の各月の月平均水位の比較から粟島の平均水面を算出することもできる。Fig. 3の青線は、2014年から2018年までの月平均水位の比較から算出した粟島の平均水面であり、赤線は粟島の過去5年間の平均水面である。

Fig. 3のグラフは、Fig. 1の上下をひっくり返したようなグラフになっており、基準験潮所の水位が長期的に下降傾向にあるとき、月平均水位の比較により算出された測量地の平均水面は押し上げられることを示すものである。

なお、小木と粟島の位置及びこのあと示す事例の地点の位置については Fig. 4 に示した。

## 2.2 高知の事例

1995年以來、高知での水路測量では高知験潮所（気象庁所管）の験潮データを潮高改正に使用し、室戸岬験潮所（気象庁所管）を基準験潮所として短期間の平均水位の比較を行って平均水面を求めて、その値に基づき最低水面の高さの算出を行っている。

Fig. 5に高知と室戸岬の2009年から2018年までの年平均水位を示した。測量地の高知の水位は下降傾向、基準験潮所の室戸岬は上昇傾向にある。つまり、いずれの水位の傾向も、月平均水位の比較から算出される測量地の平均水面を押し下げる傾向を有していることになる。

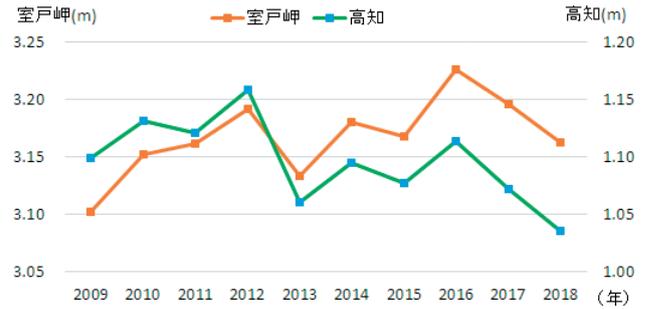


Fig. 5. Annual mean sea level at Kochi (green line) and Murotomisaki (orange line) from the year 2009 to 2018.

図5. 2009年から2018年までの高知（緑線）と室戸岬（橙線）の年平均水面。

Fig. 6は、海岸昇降検知センターが公表している2014年から2018年までの高知と室戸岬の各月の月平均水位を使って、その比較により算出した高知の平均水面について示したグラフである。Fig. 1と同様に青線が室戸岬の月平均水位との比較により算出した平均水面で、赤線が高知の過去5年間の平均水面である。青線には季節変化が明瞭に現れており、室戸岬との比較では季節変化分の修正が十分に行うことができないことが示されている。

また、常に青線は赤線の下に位置している。その差は最大で0.07 mとなっている。これは、高知の水位が下降傾向にあり、基準験潮所の室戸岬の水位が上昇傾向にあることに起因すると考えられる。

(1)式では、基準験潮所の水位が上昇傾向にあれば、月平均水位の比較により算出される測量地の平均水面を押し下げることになる。過去5年と現在の時間差の効果である。測量地である高知の水位の下降傾向とあわせて、室戸岬の水位の上昇傾向は、Fig. 6の青線を押し下げることになる。

基準験潮所の水位の上昇または下降傾向が測量地の平均水面に影響を与えることは問題であるので、水位の上昇または下降傾向が顕著な地域の常設験潮所を基準験潮所とするのは不適切である。

## 2.3 鹿島港の事例

現在、鹿島港の水路測量では、鹿島港験潮所

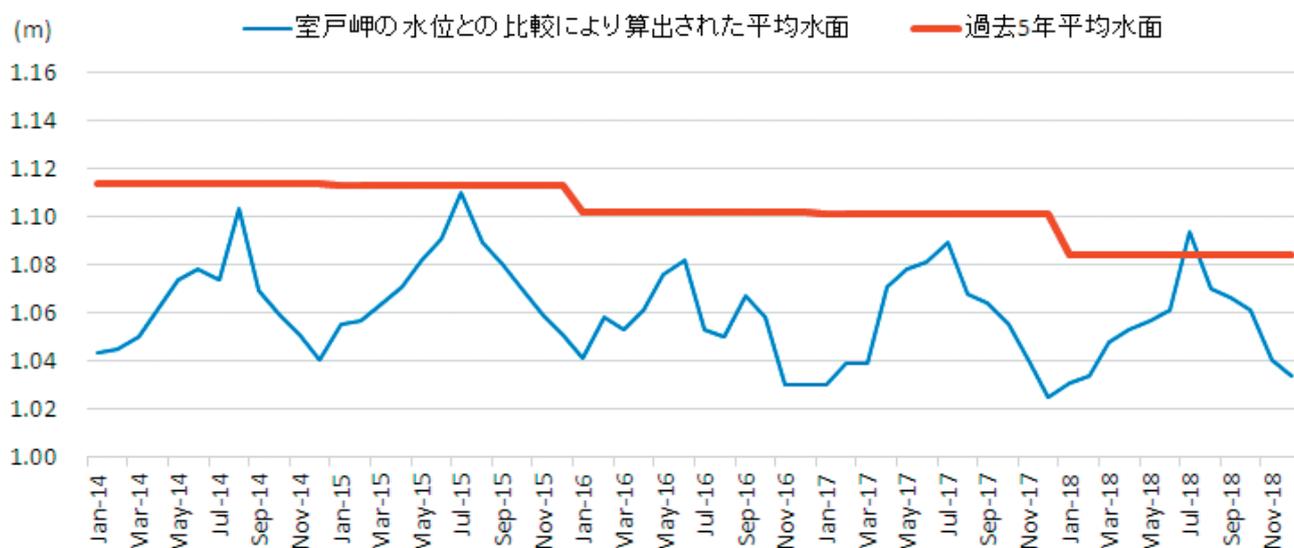


Fig. 6. Estimated mean sea level at Kochi from the year 2014 to 2018. Blue line is estimated by comparing monthly mean sea level with that at Murotomisaki. Red line is the average of monthly mean sea level at Kochi for the past 5 years.

図 6. 2014 年から 2018 年までの高知における推定平均水面。青線は室戸岬の月平均潮位との比較により推定された平均水面。赤線は過去 5 年の高知の月平均水位の平均。

(関東地方整備局所管) の験潮データを潮高改正に使用するものの、最低水面については、勝浦験潮場(国土地理院所管)を基準験潮所として短期平均水面比較を行って算出している。

2012 年から 2017 年までの勝浦と鹿島港の月平均水位を Fig. 7 に示した。なお、2012 年 1 月と 2 月の鹿島港は 2011 年の東北地方太平洋沖地震による津波の影響で欠測となっている。鹿島港と比較すると、勝浦の月平均水位は季節変化が小さい一方、短い周期の変動が顕著である。黒潮に洗われる房総半島南部の勝浦ではその影響で短い周期

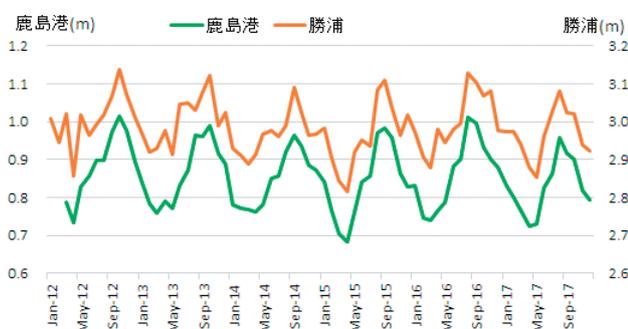


Fig. 7. Monthly mean sea level at Kashima-ko (green line) and Katsuura (orange line) from the year 2012 to 2017.

図 7. 2012 年から 2017 年までの鹿島港と勝浦の月平均水位。

での水位変動が起こっていると考えられる。

これまでと同様に (1) 式を用いて、2013 年から 2017 年までの勝浦と鹿島港の各月の月平均水位の比較から算出した鹿島港の平均水面を Fig. 8 の青線で示した。なお、Fig. 8 の赤線は、2012 年に鹿島港の欠測があるので、これまでと異なり 2013 年から 2017 年までの 5 年間の鹿島港の平均水面を示している。

鹿島港と勝浦の水位の季節変化が異なるために、Fig. 8 の青線には季節変化が見られるとともに、勝浦の水位の短い周期の変動の影響で、同様の変動も見られる。5 年間の最大値は 2013 年 8 月の月平均水位の比較から求められた 0.93 m で、最小値は 2016 年 4 月の 0.77 m であり、その差は 0.16 m となっている。5 年間の平均水面との差の最大は、0.08 m で 0.10 m を下回っている。

鹿島港も現在は常設験潮所での地震後の十分な期間のデータがあるので、勝浦を基準験潮所としなくとも平均水面は求められる。

### 3 瀬戸内海における平均水面の算出

山田 (1966) は、1962 年 6 月から 9 月までの 4 ヶ月間の大阪 (大阪湾)、男木島 (備讃瀬戸)、

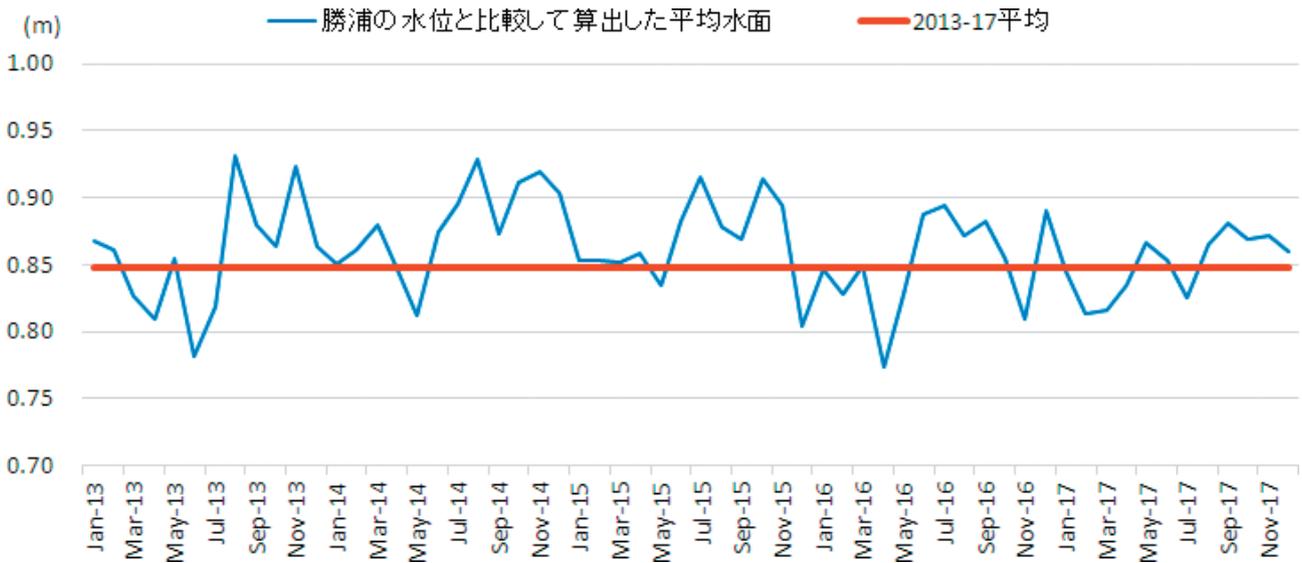


Fig. 8. Estimated mean sea level at Kashima-ko from the year 2013 to 2017. Blue line is estimated by comparing monthly mean sea level with that at Katsuura. Red line is the average of monthly mean sea level at Kashima-ko from the year 2013 to 2017.

図 8. 2013 年から 2017 年までの鹿島港における推定平均水面。青線は勝浦の月平均潮位との比較により推定された平均水面。赤線は 2013 年から 2017 年までの鹿島港の月平均水位の平均。

糸崎（備後灘）、呉（広島湾）の瀬戸内海の 4 海域の 4 地点の日平均水位の比較から、瀬戸内海の平均水面の計算にあたって、30 日間の資料があれば、基準験潮所が瀬戸内海のどこに位置しているとしても計算誤差は 0.05 m 以内に収まるとい

う結論を出している。

他機関の験潮資料の入手が容易ではなかった当時に 4 ヶ月間のデータを手入して比較を行うことは大変なことであったと思われるが、そのような結論を得るには解析したデータの期間があまりに

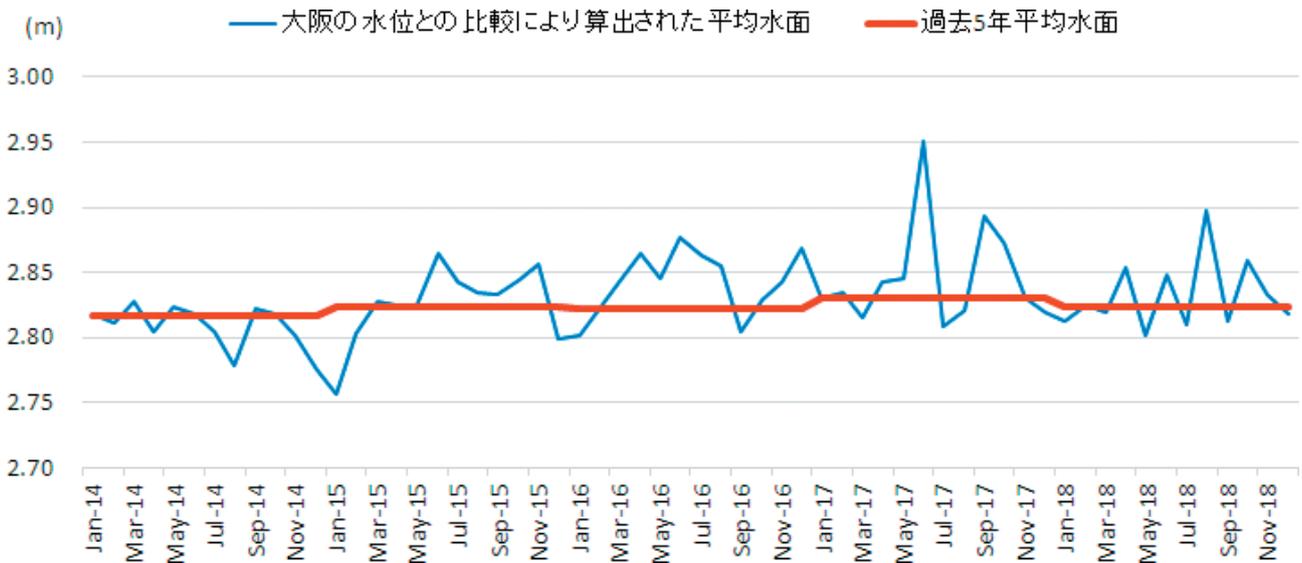


Fig. 9. Estimated mean sea level at Kure from the year 2013 to 2017. Blue line is estimated by comparing monthly mean sea level with that at Osaka. Red line is the average of monthly mean sea level at Kure from the year 2013 to 2017.

図 9. 2013 年から 2017 年までの呉における推定平均水面。青線は大阪の月平均潮位との比較により推定された平均水面。赤線は 2013 年から 2017 年までの呉の月平均水位の平均。

も短すぎたのではないと思われる。

これまでと同様に (1) 式を用いて、大阪検潮所 (気象庁所管) を基準験潮所として、呉験潮所 (海上保安庁所管) の平均水面を、それぞれの 2014 年から 2018 年までの月平均水位を用いて算出した結果を Fig. 9 の青線で示した。赤線は呉験潮所の験潮記録による過去 5 年間の平均水面である。

Fig. 9 の青線と赤線の差が 0.05 m を超えるのは 5 回あり、大阪を基準験潮所とすると年に 1 回は誤差が 0.05 m に収まらないことが生じるということである。

また、青線と赤線の値の差の最大は 0.12 m となっていることから、瀬戸内海であっても基準験潮所はどこでも良いというわけではなく、基準験潮所との比較により平均水面を算出することが必要な場合、基準験潮所は同じ海域の常設験潮所を選択すべきである。

#### 4 結論

Fig. 10 は海上保安庁海洋情報部のホームページで提供を行っている潮汐リアルタイムデータのうち、2019 年 8 月 15 日の千葉と横浜のグラフを

示した。それぞれ、上段のグラフに実測値を黒の実線で、推算値を赤の実線で表示し、下段のグラフに実測値と推算値の差を表示している。

この日、横浜では実測値と推算値がほぼ一致するのに対して、千葉では実測値が推算値に対しておよそ 0.1 m 高くなっている。これは千葉の水位が横浜に比べて約 0.1 m 高くなっているのではない。海上保安庁では海図の基準面を決定したときの平均水面を、次に基準面を変更するまで平均水面としているので、港によって平均水面を決めた時期が異なることになる。したがって、隣接する港で平均水面が 0.1 m 程度異なることがあっても不思議ではない。

現在の千葉の平均水面が横浜のそれに比べて 0.1 m 程度低く設定されているため、Fig. 10 のような差が生じているのである。

2 に示した事例は平均水面の算出に際して比較的大きな誤差が発生する可能性の高い基準験潮所を選択している事例だと考えられるが、それでも誤差は 0.10 m 未満であることから、現在、海上保安庁が運用している平均水面の実態から考えると、この算出方法による誤差は十分に許容できる範囲に収まっていると考えられる。

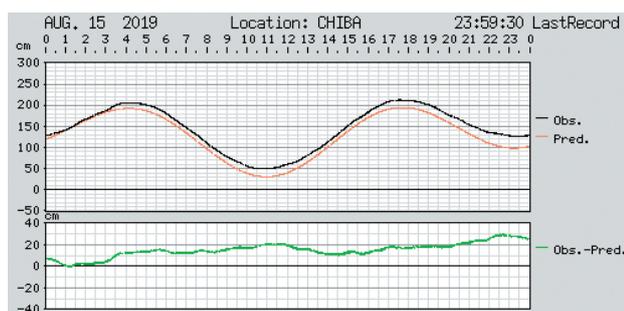


Fig. 10a. Tidal curve at Chiba on Aug. 15<sup>th</sup>, 2019. Upper graph shows observation (black line) and prediction (red line). Lower graph shows the difference between observation and prediction. Courtesy of Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard.

図 10a. 2019 年 8 月 15 日の千葉における験潮曲線。上段は実測値と推算値を示し、下段は実測値と推算値の差を示す。海上保安庁海洋情報部ホームページより。

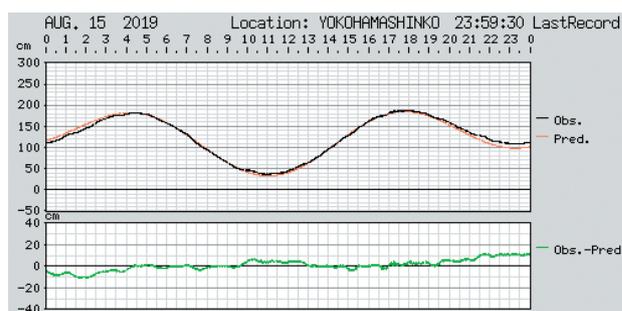


Fig. 10b. Tidal curve at Yokohama on Aug. 15<sup>th</sup>, 2019. Upper graph shows observation (black line) and prediction (red line). Lower graph shows the difference between observation and prediction. Courtesy of Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard.

図 10b. 2019 年 8 月 15 日の横浜における験潮曲線。上段は実測値と推算値を示し、下段は実測値と推算値の差を示す。海上保安庁海洋情報部ホームページより。

しかし、許容できるとは言え、全く問題がないと言えるものではない。運用上、特に大きな問題と考えられるのは、長期間データが得られている常設験潮所が存在する港で、潮高改正にそのデータを利用しているにもかかわらず、最低水面の算出にあたって、基準験潮所との短期間の平均水位の比較により平均水面を推定している点である。上に示したとおり、この方法で得られる最低水面には0.10 mに近い値の誤差が含まれている可能性があり、最低水面の0.10 mの変化を云々できるような算出方法ではない。常設験潮所における信頼できる1年以上の連続した験潮データが利用できるのであれば、そのデータだけで平均水面を算出すべきである。

もう1点指摘したい。常設験潮所が測量地から離れた地点にしか存在せず、簡易験潮器の設置を余儀なくされる場合、基準験潮所との測量期間の平均水位の比較によって平均水面の高さは算出することになる。この場合、算出された平均水面に基づく最低水面の高さが海上保安庁のホームページで公示されている値と0.10 m以上異なるとしても、慌てて最低水面の変更を行うことは厳に慎むべきであると考えられる。

実際は、慌てて変更の手続きを進めるよりも、しばらくその推移を見守るとして、最低水面を公示されている値のままで測量成果を作成することのほうが多いが、短期間の平均水位の比較により算出される平均水面の値には0.10 mに近い誤差がある可能性を考えれば、この対応はきわめて賢明な対応だと評価される。

基準験潮所との測量期間の水位比較の手法で推定される測量地の平均水面にはある程度の誤差が含まれている可能性が高いことを常に認識していることが必要である。

## 謝 辞

国土地理院海岸昇降検知センターが潮位年表として公開している各地の月平均水位を利用させていただいた。ここに感謝の意を表す。

## 文 献

- 佐藤敏 (2010) : 明治の水路部の験潮, 海洋情報部研究報告, 46, 47-61.  
 山田紀男 (1966) : 瀬戸内海における日平均潮位の地域偏差について, 水路部研究報告, 1, 47-52.

## 要 旨

海図の基準面は平均水面から  $Z_0$  だけ下げた高さだと定義される。平均水面は長期間の水位データの平均により決定される。

日本の水路測量では、平均水面は、通常、短期の測量期間の平均水面と近くの常設験潮所の同期間の平均水位を比較することにより推定される。そして、この算出方法により水位の季節変動は除去されると考えられてきた。しかし、この算出方法によりどの程度の誤差が生じるかについてはほとんど評価されてこなかった。

本論文では、常設験潮所の月平均潮位の比較からこの算出方法による誤差は凡そ0.10 m以内に収まることを示した。これは誤差が許容範囲内であることを意味する。

しかし、この平均水面の算出方法の運用にあたっての問題は存在する。最も大きな問題は、測量地に長期間のデータを取得している常設験潮所があるにもかかわらず、この算出方法により平均水面が推定される場合があることである。この算出方法には一定の誤差があることから、そのような測量地では、その地に存在する験潮所のデータだけで平均水面を決定すべきである。