

## 験潮デジタル処理により何が変わったか<sup>†</sup>

佐藤 敏\*

What has been changed by the digital processing of sea level data?<sup>†</sup>

Satoshi SATO\*

### Abstract

In the 20<sup>th</sup> century, tidal curves were recorded on papers at most of the tide stations. The times in the records were not accurate mainly due to the unreliable handling of the recording paper. The hourly heights of the sea level were derived from the smoothing curves, which were drawn on tidal curves by the personnel. The data quality of the hourly heights depended on the capability of the personnel in charge of the data processing at the tide stations.

At present, sea level data at most of tide stations are recorded and processed digitally. The times of records are now accurate and high frequency components are removed by digital low-pass filters. The data quality of the hourly heights does not depend on the capability of the personnel and has become better than ever. The digital processing of sea level data may have increased the quality of the records produced at the tide stations.

In this paper, the improvement of the data quality of hourly heights is shown by comparing the differences in the hourly heights between neighboring tide stations in the past and the present.

### 1 はじめに

海上保安庁では、1981年に第三管区海上保安本部管内の4験潮所（八丈島、三宅島、神津島、南伊豆）がテレメータ化された（遠藤、1983）のを皮切りに、デジタルデータ処理が始まり、その後、他の管区についても験潮所のテレメータ化が進められ、1993年からは海上保安庁が所管する全ての験潮所においてデータがデジタルで処理されるようになった。

それまでは、験潮記録紙にペンで記された験潮記録から毎時潮高と毎日の高低潮の高さと時刻を

読み取っていた。験潮記録には様々な周期の変動が含まれているが、毎時潮高を調和分解して潮汐調和定数を求めるため、エイリアシングの影響を排除する必要がある。このため、Fig. 1の験潮記録に示すように平滑曲線を描き、2時間程度よりも短い周期成分を除去していた。

このようなかつてのアナログデータ処理にあたっては、読み取りを行う者が平滑曲線を手で描くことが求められることや、験潮記録紙の紙送りに遅速があるために読み取りの際に時刻補正が必要となる等、誤差を発生させる要因がいくつも存

<sup>†</sup> Received October 2, 2017; Accepted November 10, 2017

\* 海洋情報課 Oceanographic Data and Information Division

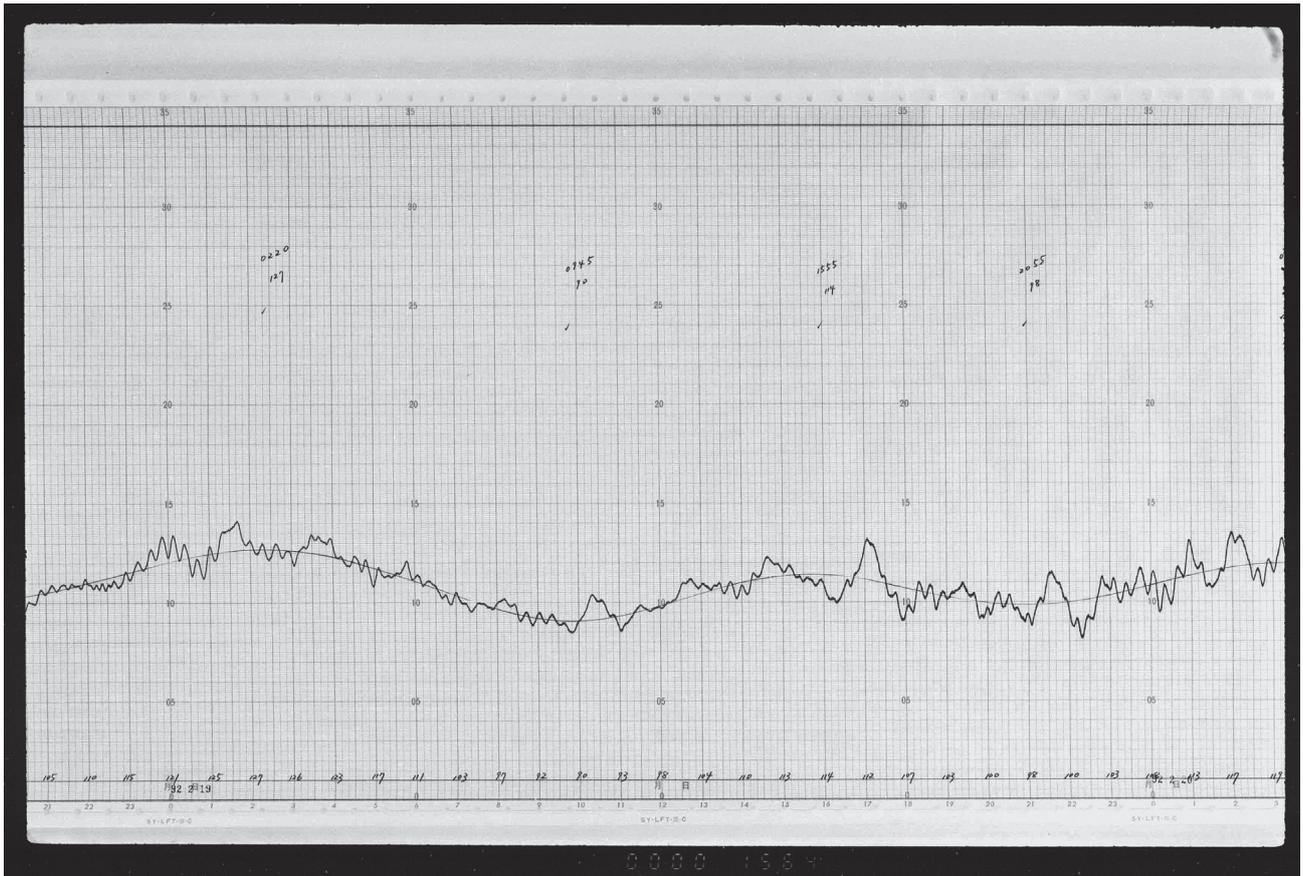


Fig. 1. Tidal curve and smoothing curve at the Maizuru Tide Station of the Japan Coast Guard on February 19<sup>th</sup>, 1992.

図1. 海上保安庁所管舞鶴験潮所における1992年2月19日の験潮曲線と平滑曲線.

在していた。

1990年代以降には、海上保安庁だけではなく、他の機関が所管する験潮所もテレメータ化が進められ、2017年9月現在、国土交通省の防災情報提供センターのサイトでは、189カ所の験潮所の潮位がリアルタイムで表示されている。当然のことながら、これらの験潮所のデータはデジタルで処理されるようになっていく。

デジタルデータ処理では、正確な時刻にデータが取得されるようになり、ローパスデジタルフィルタにより短周期成分が除去されるため、均一な方法で正確な毎時潮高が求められるようになった。アナログ処理からデジタル処理に移行したことによりデータ処理に個人の力量を求められることはなくなり、いずれの機関においても質の高い毎時潮高が得られるようになったと考えられる。

この論文では、験潮所で計測される潮位データ

がデジタル処理されることにより、以前よりも正確な毎時潮高が得られるようになったことを述べるとともに、しっかりとした験潮所の管理により正確なデータが産み出されることを示すものである。

## 2 解析方法

験潮所の潮位データの処理においては毎時潮高を読み取ることが行われており、日本海洋データセンターにおいても、各機関の験潮所の毎時潮高データを収集して、潮汐データとして広く一般に提供している。

毎時潮高データについては、アナログデータを処理していた時は平滑曲線を験潮記録用紙の上に描くことにより、また、現在は短い間隔（海上保安庁では30秒間隔）でサンプリングされたデータに対してデジタルローパスフィルタを用いるこ

とにより、短周期の変動成分が除去されている。短周期成分は空間的にも短波長となるため、隣接した験潮所間でも水位に差が生じるが、長周期の変動成分は空間的にも長波長となるため、空間的に近い験潮所では同じように水位が上下することになる。つまり、隣接した験潮所においては短周期成分が除去された毎時潮高は似たような変化をするので、毎時潮高に大きな差がある場合には、いずれかの験潮所か、または両方の験潮所のデータが誤差を含んでいることになる。

したがって、アナログで記録されていた時代とデジタルで処理されるようになった時代の隣接した験潮所の毎時潮高を比較することによって精度が向上したかどうか判断できると考えられる。

毎時潮高データについては、日本海洋データセンターのサイトから2016年10月にダウンロードしたデータを使った。但し、呉と広島は2016年の毎時潮高データは2017年にダウンロードしている。毎時潮高データの単位はcmで、整数で記録されている。

隣接する験潮所の毎時潮高データを比較するにあたっては、それぞれ年平均水面を算出して、その値をそれぞれのデータのゼロ値として比較することとした。但し、毎時潮高データはcmで小数のない離散的な値で記録されているので、比較も小数のないcm単位で行っている。Fig. 2は京都府舞鶴市の海上保安庁と気象庁それぞれの験潮所

の毎時潮高の差の頻度分布を示しているが、年平均水面を算出するときの四捨五入の関係で、差が正の場合と負の場合とが同数存在するわけではない。

このようにして求めた隣接する験潮所の毎時潮高の差が $\pm 2$  cm以内の割合が年々どのように変化しているのかを次節で示す。毎時潮高の差の比較を行ったのは3組の隣接する験潮所のデータである。1組目は東京港の芝浦にあった海上保安庁の験潮所とそこから直線距離で2 km離れた晴海にある気象庁の験潮所である。2組目は、Fig. 2に潮位差の頻度分布を示した舞鶴にあった海上保安庁の験潮所と直線距離で約7 km離れた地点にある現在も運用されている気象庁の験潮所である。3組目は、直線距離にして約15 km離れているものの似通った潮位の変化が見られる海上保安庁が所管する広島県の広島験潮所と呉験潮所である。

### 3 隣接する験潮所の毎時潮高の比較

#### 3.1 東京港

東京港の晴海には気象庁所管の験潮所が設置されている。また、そこから直線距離で約2 km離れた芝浦では2008年3月まで海上保安庁の験潮所が運用されていた (Fig. 3)。海上保安庁の験潮所は1982年にテレメータ化され、1983年の途中からデジタルデータを処理して毎時潮高データが作成されるようになったようである。一方、気象庁は1997年4月からデジタルデータを処理して毎時潮高データを作成するようになった。

以上の2つの験潮所の毎時潮高を前節の方法で比較して年間の潮位差2 cm以内の比率を求め、1971年から2007年までのその変化をFig. 4に示した。いずれかの験潮所の毎時潮高が欠測となっている期間が年間で1ヶ月程度以上の場合は年間の比率を計算しておらず、グラフではその年の値は空白となっている。

両験潮所においてアナログでデータが記録されていた時には、年間の潮位差2 cm以内の比率は90%未満であったが、海上保安庁が年間を通じて

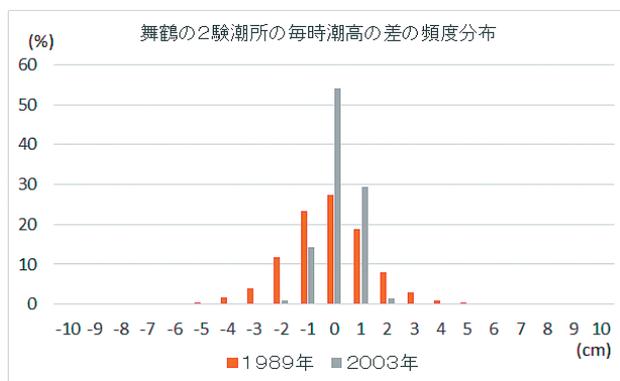


Fig. 2. Distributions of sea level differences between two tide stations in Maizuru in 1989 and 2003.

図2. 1989年と2003年の舞鶴の2ヵ所の験潮所の潮位差の分布。

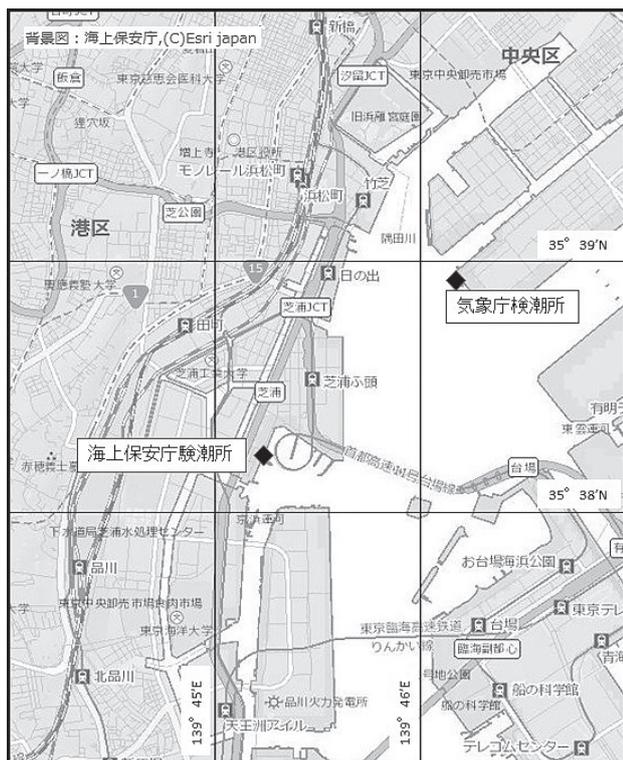


Fig. 3. Locations of 2 tide stations at Port of Tokyo.  
 図3. 東京港の2ヶ所の験潮所の位置.

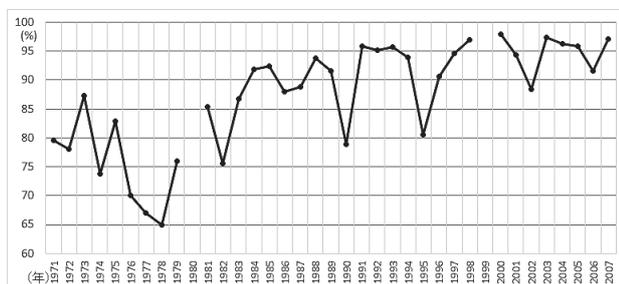


Fig. 4. Ratio of sea level difference within 2 cm between two tide stations in Tokyo Port from 1971 to 2007.

図4. 1971年から2007年までの東京港の2ヶ所の験潮所の潮位差2 cm以内の比率.

デジタルデータ処理を行うようになった1984年に初めて年間の比率が90%を超えた。その後は年によって変動はあるものの、それまでよりは高い比率を維持し、気象庁が年間を通じてデジタルデータを処理するようになった1998年には比率は96%を超え、海上保安庁の験潮所が廃止されるまで高い比率がほぼ継続することとなる。

### 3.2 舞鶴港

Fig. 5に示すように舞鶴港の西側の第1区では海上保安庁が2008年3月まで験潮所を運用していた。東側の第2区には気象庁の験潮所が設置されており、現在も継続して潮汐観測が行われている。2つの験潮所は直線距離で約7 km、湾の海岸線に沿うと約10 km離れて位置している。

海上保安庁では1993年の初めからデジタルデータ処理で毎時潮高データを作成し、気象庁では東京港と同じ1997年4月からデジタルデータの処理を行っている。

Fig. 6に1975年から2007年までの両験潮所の潮位差2 cm以内の年間の比率の推移を示した。日本海に面した舞鶴では潮差が小さいため、両験潮所の潮位差は東京港の験潮所の潮位差に比較すれば小さい。それでも両験潮所のデータがアナログで記録され、それを読み取っていたときには潮位差2 cm以内の年間の比率が95%を超えることはなかったが、海上保安庁がデジタルで処理を行うようになった1993年に初めて95%を超え、気象庁が年間を通じてデジタルで処理を行うようになった1998年から2003年までは2000年を除いて98%以上、特に、2001年からの3年間は潮位差2 cm以内の比率はほぼ100%という高率となる。

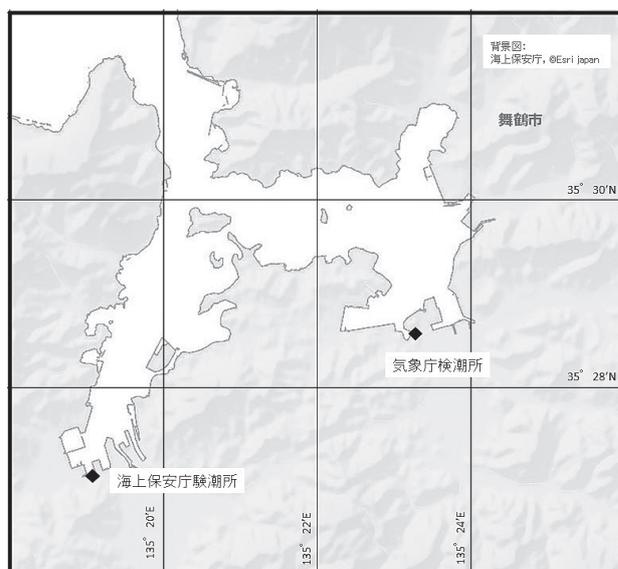


Fig. 5. Locations of 2 tide stations in Maizuru Bay.  
 図5. 舞鶴湾の2ヶ所の験潮所の位置.

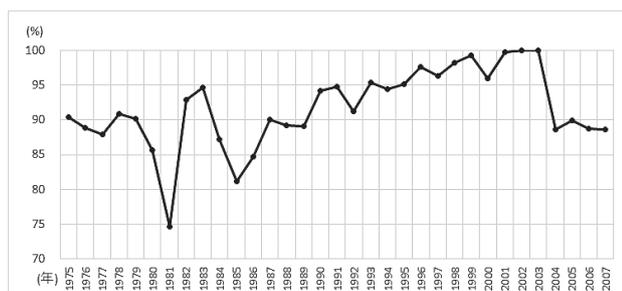


Fig. 6. Ratio of sea level difference within 2 cm between two tide stations in Maizuru Bay from 1975 to 2007.

図 6. 1975 年から 2007 年までの舞鶴湾の 2 ヲ所の験潮所の潮位差 2 cm 以内の比率.

しかし、2004 年から海上保安庁の験潮所が廃止されるまでの 4 年間の潮位差 2 cm 以内の年間の比率は 90% 程度に低下し、アナログデータ処理の時代の比率に逆戻りしてしまう。

2004 年に海上保安庁ではデータ処理システムを改修し、いくつかのデジタルローパスフィルタからひとつのフィルタを選択して短周期変動を除去するようにしたが、その中のひとつのフィルタが潮汐周期の変動を取り出すような解析には適していないフィルタで、潮汐の周期付近の利得が 0.9 程度のものであった。舞鶴のデータの処理にこのデジタルローパスフィルタが使われたために、潮位差 2 cm 以内の比率が下がったのではないかと考えられる。

Fig. 7 に 2005 年 2 月 22 日から 5 日間の海上保安庁と気象庁の験潮所の毎時潮位とその差（海上保安庁の毎時潮位から気象庁の毎時潮位を引いたもの）を示した。高潮時に潮位差は負で海上保安庁の潮位が低く、低潮時に潮位差が正で海上保安庁の潮位が高くなっている傾向が見える。つまり、海上保安庁の験潮所の潮汐周期の変動が気象庁のそれよりも小さいことを示しており、使用したデジタルローパスフィルタの影響を受けたであろうことを示している。

### 3.3 広島と呉の験潮所

海上保安庁では Fig. 8 に示した広島と呉において験潮所を運用している。2 つの験潮所は 1989

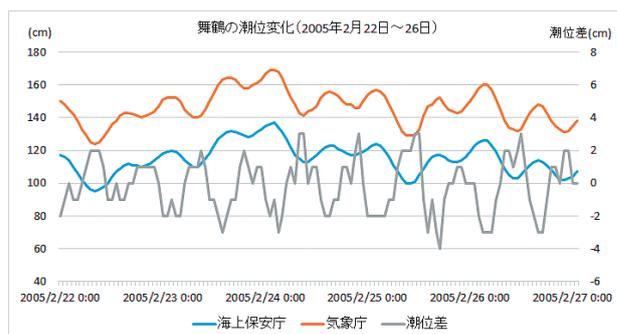


Fig. 7. Time variations of sea levels at two tide stations in Maizuru Bay and sea level difference between these tide stations from February 22<sup>nd</sup> to 26<sup>th</sup>, 2005.

図 7. 2005 年 2 月 22 日から 26 日までの舞鶴の 2 ヲ所の験潮所の潮位と両験潮所の潮位差の時間変化.

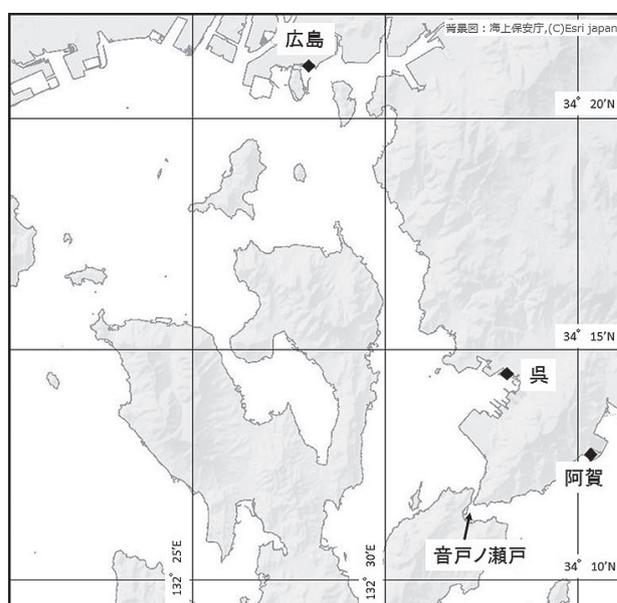


Fig. 8. Locations of the Hiroshima Tide Station and the Kure Tide Station.

図 8. 広島験潮所と呉験潮所の位置.

年にテレメータ化されてデジタルデータ処理による毎時潮位の作成が開始された（於保・桑木野, 1989）。

Fig. 9 には 1971 年から 2016 年までの潮位差 2 cm 以内の年間の比率の推移を示した。テレメータ化が行われデジタルデータ処理に移行した 1989 年頃は何らかの問題があったのか欠測も多く比率も低い、その前後の記録紙を読み取っていた時代とデジタルデータ処理の時代を比較すると、潮位差 2 cm 以内の年間の比率は、前者では

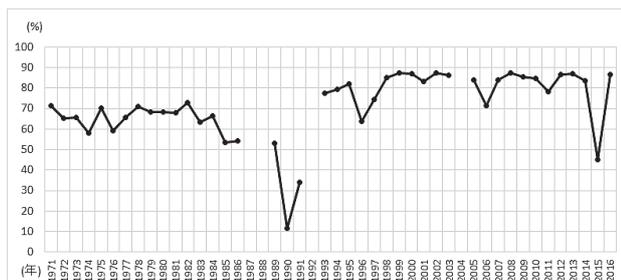


Fig. 9. Ratio of sea level difference within 2 cm between Hiroshima and Kure from 1971 to 2016.

図9. 1971年から2016年までの広島と呉の潮位差2 cm 以内の比率.

60%から70%で推移するが、後者では時々比率が下がる年があるものの多くは比率80%以上となっており、デジタルデータ処理により毎時潮高データの品質が向上したものと考えられる。

2000年以降で潮位差2 cm 以内の比率が前後の年に比べて落ち込んでいるのが、2001年、2006年、2011年、2015年である。2000年以降で呉験潮所の井戸清掃が実施された年は2001年、2006年、2011年、2015年であり、比率が前後の年と比較して下がった年と一致する。これは、呉験潮所が験潮井戸の導通の悪化等何らかの理由で記録されるデータの品質が劣化した頃に井戸清掃が行われてデータの品質が回復していることを示唆するものである。年間の比率が40%台まで低下している2015年の場合、11月に井戸清掃が行われているが、12月の1ヶ月の潮位差2 cm 以内の比率を求めると、87.8%と高い比率になっており、井戸清掃によりデータの品質が回復したことを示している。

呉験潮所の場合、データの品質を維持するためにはより多くの頻度で井戸清掃を行うことが必要であろう。

#### 4 毎時潮高の問題点

Fig. 10に東北地方整備局が管理する青森港の験潮所と国土地理院が管理する浅虫の験潮所の位置を示した。いずれの験潮所も陸奥湾に面しており、直線距離で10 kmあまり離れている。Fig. 11に2011年3月11日からの5日間の毎時潮高

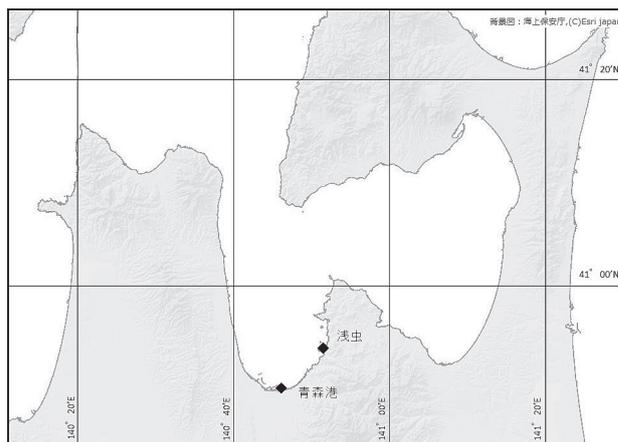


Fig. 10. Locations of the Asamushi Tide Station and the Aomori Ko Tide Station.

図10. 浅虫験潮場と青森港験潮所の位置.

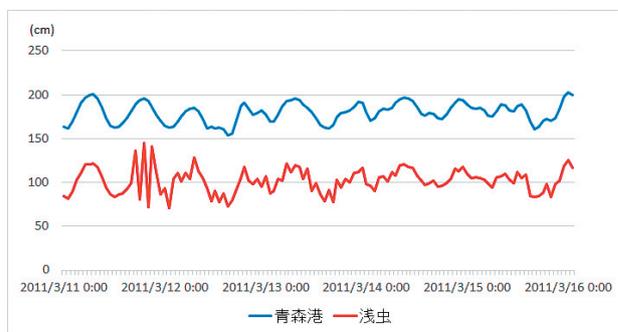


Fig. 11. Variations of hourly value of sea level at the Asamushi and Aomori Ko Tide stations from March 11<sup>th</sup> to 15<sup>th</sup>, 2011.

図11. 2011年3月11日から15日までの浅虫と青森港の毎時潮高の変化.

の変化を示した。2011年3月11日は東北地方太平洋沖地震が発生した日で、巨大津波が東日本を襲い、陸奥湾にも津波が侵入した。

Fig. 11の浅虫の毎時潮高データの変動には明らかに津波の影響が見える一方、青森港の毎時潮高にはそのような変化は見られない。青森港でも30 cm以上の高さの津波が観測されたと記録されており(気象庁, 2011), 青森港に津波が来なかったわけではない。2ヵ所の験潮所の毎時潮高の変動が異なる原因のひとつに、毎時潮高を作成するために用いるデジタルローパスフィルタのカットオフ周波数の違いがあると考えられる。2009年に聞き取った情報では、地方整備局が管理する験潮所のデータ処理では、気象庁と同じデ

デジタルローパスフィルタが使われており、2時間よりも短い周期の変動はほぼ完全に遮断されているとのことだった。一方、国土地理院ではかなり短い周期の変動まで透過するフィルタを使用していると考えられる。2ヵ所の隣接した験潮所の毎時潮高の変化が大きく異なった一因はデジタルローパスフィルタの性質にあると考えられる。

以上のように毎時潮高を求めるためのデジタルローパスフィルタについては、それぞれの機関が独自に採用しているため、津波等の短周期の大きな海面変動を観測した場合、管理する機関によって験潮所の毎時潮高が異なる可能性がある。

現在、験潮所の記録については毎時潮高データを作成することが標準になっており、日本海洋データセンターでも毎時潮高データのアーカイブを行っている。

アナログで記録されていた時代のデータを読み取る手間や、能力の乏しい計算機や手計算で調和分解を行っていたことを考えると、さらに短い時間間隔の潮汐データを作成することは過重な作業を行うことになり、少ないデータ量で潮汐周期の変動を十分に表すことができる毎時潮高データを作成することは当時としては極めて適切なデータ処理の方法であったと考えられる。

しかしながら、デジタルで潮位が記録され、計算機の能力が飛躍的に向上した現在、毎時潮高データ作成を標準としなければならない根拠はない。毎時潮高データを作成すれば、過去のアナログ時代の記録と同じ形式のデータなので海面の変動に関わる現象の比較が容易になることと、毎時潮高データを処理するための考え方や、その処理のために作られたソフトウェアを利用できるといった利点があることが、毎時潮高データの作成が引き続き標準となっている理由であろう。

しかし、アーカイブが毎時潮高データのみとなると、数時間程度よりも短い周期の現象の記録が全て消えてなくなってしまうことになる。このため、海上保安庁の験潮所のデータについては、1996年10月以降の30秒間隔のデータがNEAR-GOOS地域遅延モードデータベースで、国土地

理院の験潮所のデータについては、2006年以降の30秒間隔のデータが国土地理院のサイトでそれぞれ公開されている。

## 5 まとめ

験潮記録用紙に記載された験潮カーブから毎時潮高を読み取っていた時代には、滑らかな平滑曲線を描き、用紙送りの遅速による時刻のずれの修正を行う職員の能力に毎時潮高データの品質は依存していたと考えられる。

しかし、デジタルデータを処理する時代になり、主として正確な時刻で測定されることになったことから、データの品質は全般的に向上した。毎時潮高の品質は職員の能力に依存することはなくなり、験潮井戸の定期的清掃等、如何に適切に施設としての験潮所を維持しているか、適切な方法でデータ処理を行っているかといった総合的な験潮所の管理に依存するようになった。

データ処理を行う職員の能力に毎時潮高データの品質が依存しなくなった現在、高い品質のデータを作り出す験潮所は日本全国で大幅に増大したものと考えられる。

## 謝 辞

毎時潮高データと験潮曲線画像を日本海洋データセンターから提供いただきました。感謝の意を表します。

## 文 献

- 遠藤宏 (1983) 集中監視遠隔験潮装置の概要, 水路部技報, 1, 113-120.
- 気象庁 (2011) 【災害時地震・津波速報】平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震, 224pp., 気象庁, 東京.
- 於保正敏・桑木野文章 (1989) 験潮テレメータ観測システム, 水路部技報, 8, 51-62.

## 要 旨

20世紀の多くの験潮所では紙に験潮曲線が記録されていた。主に記録紙の送りが一定でないた

めに、時刻は不正確であった。また毎時潮高は担当者が験潮曲線上に引いた平滑曲線から読み取られた。毎時潮高の品質はその験潮所のデータを処理する担当者の能力に依存していたのである。

現在、多くの験潮所では潮位データはデジタルで記録され処理されている。記録の時刻は正確になり、短周期成分はデジタルローパスフィルタで除去されるようになった。これにより、毎時潮高の品質は担当者の能力に依存することはなくなり、品質は向上した。潮位データがデジタルで処理されるようになり、高品質のデータを記録する験潮所が増えたと考えられる。

この論文では、過去と現在の隣接する験潮所の毎時潮高の差を比較することにより、データの品質が向上したことを示す。