

デジタルデータによる潮位の自動平滑化処理システムの構築

The establishment of automatic calculation system of tidal levels with the time series digital data

渥美洋一 *・石澤健志 **・國田淳 **・西村修一 ***・北原宏之 ****

Youichi Atsumi, kenji Ishizawa, Atsushi Kunita, Shuichi Nisimura and Hiroyuki Kitahara

Abstract

In the present measuring system, sea water levels is stored as digital data or indicated in real time by computer system in addition to analogue recording chart. The tidal levels could automatically be calculated from the time series digital data of sea water levels contained variously short time period fluctuations. The tidal levels and the appearance times at high or low tide obtained from the digital data almost coincide with the values read from analogue recording chart by manual operation. As compared with the results of calculation and manual operation, over eighty percent of the time differences in appearance times at high or low tide were less than fifteen minutes. And over eighty percent of the level differences at high or low water levels were less than one centimeter.

Keywords : tidal level, digital and analogue data, high and low tide

1. はじめに

現在、我国の沿岸域では防災や海岸工事のため、多くの地点において様々な機関によって潮位観測が行われている。これらの地点で得られる潮位記録は、設置地点特有の副振動や波浪等による短い周期変動を伴っているのが普通である。また、潮位の記録方法は自記紙によるアナログ記録はもちろんであるが、通信事情の進展に伴い、リアルタイムオンライン観測が主流となりつつある。このような状況であっても、これまで短周期の振動を取り除いて得られた平滑化潮位はアナログ記録紙から得られたものが用いられてきた。これは自記紙上に描かれた水位の時系列に対して人間の手でスムーズな曲線を引いた後、毎正時の潮位および満潮干潮の時刻と潮位を読み取る、といった方法であるが、この方法は多大な時間と労力を要する上に、個人差や誤りが生じることもある。このため、本研究では苫小牧西港における 1996 年 10 月の潮位のデジタルデータを使用して平滑化潮位を計算し、かつ満潮干潮位及びその起時も同時に得る方法についての研究を行った。

2. 方法

本研究における潮位の平滑化は、基本となる生データからいくつかの中間段階のデータを作成し、これらをもとに平滑化潮位を得ると同時に満潮干潮位及びその起時も同時に得ることができるものとした。この自動決定システムの流れ図を次項に示す。

計算の流れについては、基本データから 2 つのデータセットを作成した後、満潮干潮時刻の決定、満潮干潮位の決定、最後に平滑化潮位の決定、という手順を用いた。また、満潮干潮位および時刻、平滑化潮位の決定後、計算値とアナログ記録紙からの読み取り値との比較による精度検証を行なった。

以下にこの方法と結果を詳しく述べる。

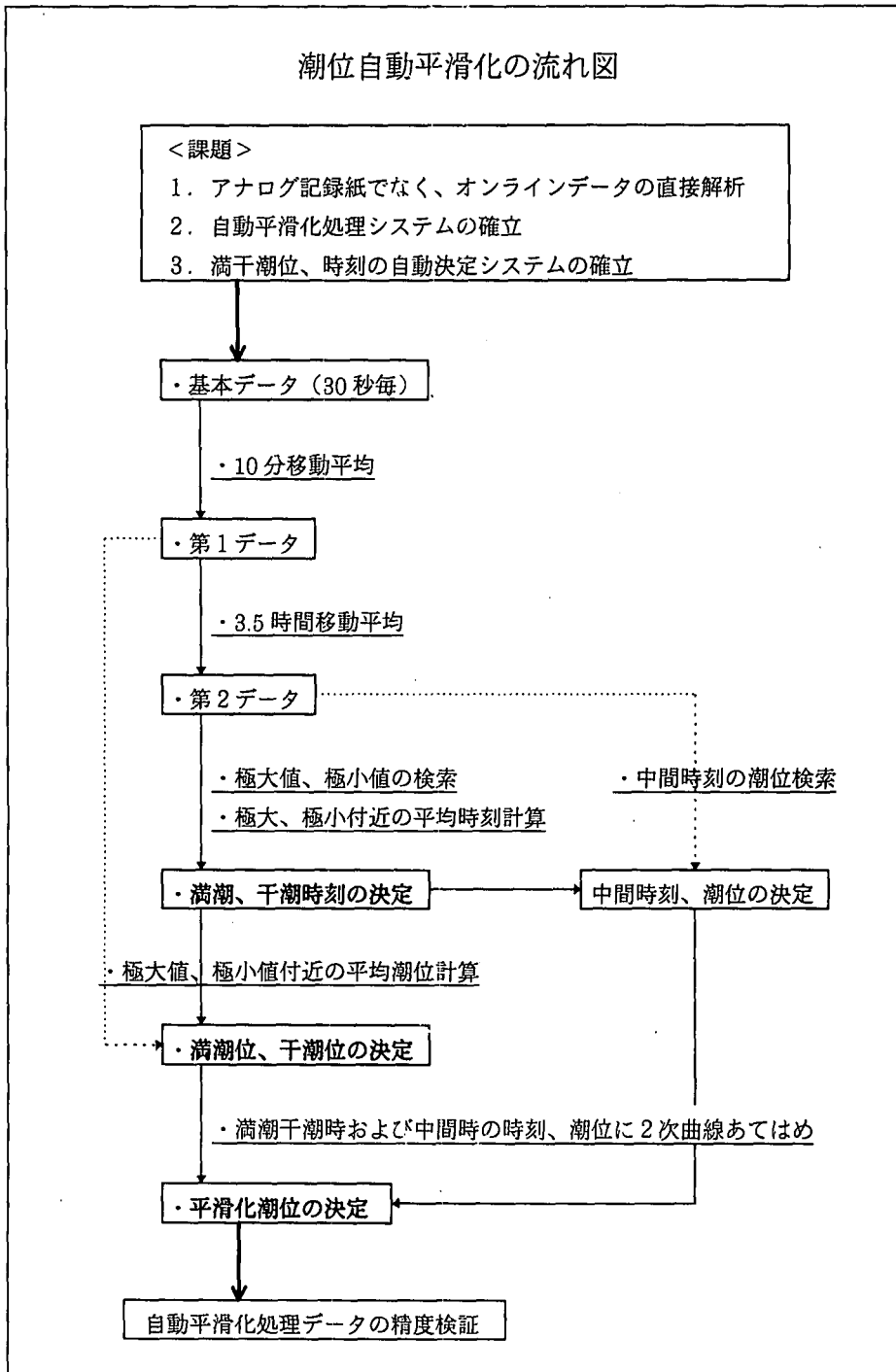
* 正会員 北海道開発局室蘭開発建設部 苫小牧港湾建設事務所

** 北海道開発局室蘭開発建設部 苫小牧港湾建設事務所

*** 正会員 (財) 日本気象協会

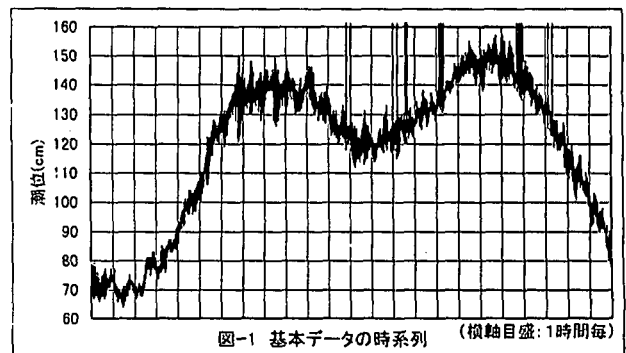
**** (財) 日本気象協会

潮位自動平滑化の流れ図



2-1. 基本データ

平滑化に使用される基本データは、現在広く普及しつつある潮位観測システムの計算機内ハードディスクに収納されたオンラインデジタルデータである。このデータは以前から広く使用されているフース型検潮器にポテンシャルメーターを取り付け、電気信号を取り出すことで得られている。また、これらのデータは基本的には5秒毎の5秒平均潮位と平滑化された値が記録されているが、本研究では30秒毎に記録された5秒平均潮位を生データとして使用した。



しかし、このデータは潮汐による潮位変動の他に設置地点特有の副振動や波浪等の短周期の変動が多く含まれており、深浅測量や港湾工事その他に用いる潮位変動としてそのまま使用することはできない。基本となる生データの例を図-1に示す。短周期の細かい振動がかなり含まれているが、これは電気信号のノイズによるものではなく実際の水位変動を捉えたものである。ただし、図に時々見られる非常に大きな値は欠測によるものである。

2-2. 第1データの作成

最初に作成される第1データは、基本データに含まれている変動幅の大きい数十秒～数分の短周期の振動を取り除くため、図-1に示した30秒毎の基本データに10分間移動平均を施し、それを10分毎に抽出したものである。その処理を施した第1データの例を図-2に示す（期間は図-1と同じ）。図-2に示されるようにこの処理によって10分以下の短周期振動はかなり取り除かれていることがわかる。また、この第1データは、後で説明するが、満潮位および干潮位の決定に重要な意味をもっている。しかし、この段階のデータではまだ多くの短周期の振動が残っており、平滑化潮位としては使用することができないため、第2データの作成を行なった。

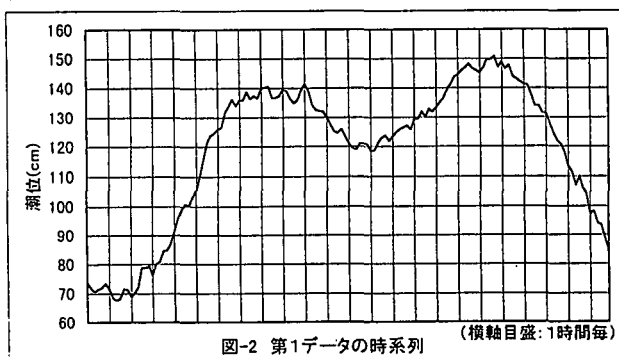


図-2 第1データの時系列

(横軸目盛: 1時間毎)

2-3. 第2データの作成

次に作成される第2データは、第1データに含まれる数十分～数時間周期の振動を取り除くため、第1データである10分移動平均データに3.5時間の移動平均を施し、10分毎に抽出したデータである。この第2データの例を図-3に示す（期間は図-1、図-2と同じ）。ここで設定された移動平均の3.5時間という時間は、苫小牧西港のデジタルデータを用い、様々な時間設定を行なってテストランを繰り返した結果、経験的に得られた最良の値であり、設置地点ごとに適切な値をあらかじめ検討しておく必要がある。

図-3には、同時に得られているアナログ記録紙から読み取られた1時間毎の平滑化潮位も●印で点として表示してある。第2データにおける時系列は図-3からわかるようになんかなり読み取り値に近い変動を示すようになってきている。しかし、図-3では明瞭でないがこの段階のデータでもまだわずかの短周期水位変動を伴っている。さらに、第2データの値は全期間にわたって満潮位付近では実際よりも潮位が低く、干潮位付近では実際より潮位が高いという傾向が現れる。干潮位、満潮位の時刻についてはほとんど一致しているようにみえるが、潮位、時刻ともに短周期振動やノイズの影響を受けることがあるため、最高値と最低値およびその時間を抽出しただけでは満潮、干潮の潮位および時刻に一致しないこともあり、何らかの補正が必要となる。そこで、以下に述べる方法によって満潮時刻および水位を求めた。

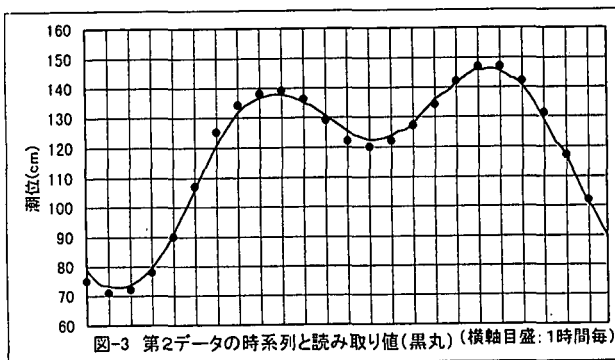


図-3 第2データの時系列と読み取り値(黒丸)

(横軸目盛: 1時間毎)

2-4. 満潮、干潮時刻の決定

まず、第1ステップとして第2データから満潮時、干潮時に該当させるための最高値と最低値およびその時刻を検出する。ここで検出された最高値および最低値の時刻を中心にして前後50分ずつ、計1時間40分以内の10分毎のデータの中から、最高値もしくは最低値との潮位差が0.3cm以内となる全ての時刻を検索し抽出する。抽出された全ての時刻を平均して得られた時刻を満潮もしくは干潮時刻とし、同様の方法で連続して計算する。

2-5. 満潮位、干潮位の決定

先の2-4において第2データから満潮及び干潮時刻が決定されているが、先に述べたように第2データの満潮時(干潮時)の潮位は読み取り値よりも低く(高く)現れる。このため、満潮時、干潮時の潮位を求めるために再び第1データに戻り、先に決定された満潮あるいは干潮時刻を中心として前後計50分間の平均潮位を計算する。この結果得られた平均値をそれぞれ満潮時および干潮時の潮位とした。

なお、2-4.において検索の際に用いる時間(50分)、潮位差(0.3cm)、2-5.における潮位決定の平均時間(50分)という個々の値はテストランの繰り返しの結果、最良の値として得られた経験値である。

2-6. 平滑化潮位の決定

研究の結果、1時間毎の平滑化潮位は、満潮時と干潮時における各時刻および各潮位を基準としてその間の潮位を計算によって補完する方法を用いることにした。これは先に述べたように基本データから移動平均によって得られたデータは満潮時に低く、干潮時に高くなるほか、短周期振動が残る場合がある。そこで以下の方法でより適切な平滑化潮位を得ることにした。

まず最初に、満潮(干潮)と干潮(満潮)の時刻からこの中間時刻を求める。次に、満潮と干潮の中間付近では移動平均により起こるずれが少ないことを利用し、この中間時刻に対応した潮位を第2データから抽出する。このように同様の手順を連続して行ない、満潮時—中間時—干潮時—中間時—満潮時—と、満潮時、干潮時および中間時における潮位と時刻が次々と得られていく(例として図-4参照、●印は満潮時もしくは干潮時の潮位、◇印は中間時刻における潮位、例として干潮時から次の干潮時までを示してある。図-1~図-8の期間とは一致していない)。

最後に、これらの各点における時刻と潮位をもとに2点の区間ごとに(干潮時....中間時, 中間時....満潮時, 満潮時....中間時, 中間時....干潮時, ...)適切な2次関数を用いた曲線を当てはめる。図-5は、図-4の各点を通る適切な曲線を当てはめた潮位の時系列である。図-5に示すように①~④の各区間における曲線は、満潮時もしくは干潮時を頂点、中間時刻を1つの点として計2点を通る2次関数であり、以下の①~④の式に示すようにそれぞれが独立した関数を計算する。

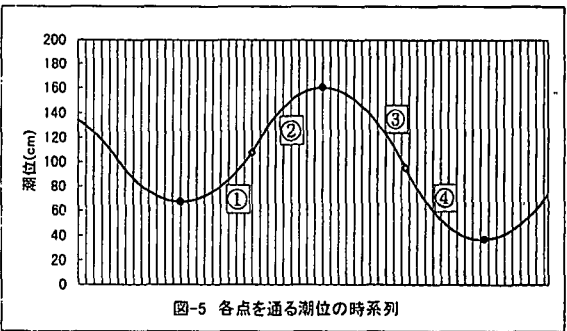
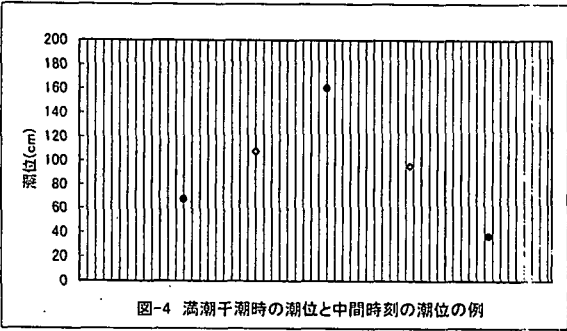
$$Y = a_1 X^2 + b_1 X + c_1 \cdot \cdot \cdot \text{①}$$

$$Y = a_2 X^2 + b_2 X + c_2 \cdot \cdot \cdot \text{②}$$

$$Y = a_3 X^2 + b_3 X + c_3 \cdot \cdot \cdot \text{③}$$

$$Y = a_4 X^2 + b_4 X + c_4 \cdot \cdot \cdot \text{④}$$

すなわち、満潮(干潮)時から次の満潮(干潮)時までの曲線を表すためには計4つの式を用い、同様の方法で後の満潮時、干潮時の値を使用して次々に連続計算して得られる時系列を平滑化潮位の値とした。



3. 精度検証

ここで本研究で得られた成果を以下に述べるように精度検証を行なった。ここでは全てデジタルデータによる計算値とアナログ記録紙からの読み取り値とを比較することで検証する。まず、両者の1時間毎の値を抽出した時系列を図-6に示す。図-6の時系列から両者にはわずかな違いが見られるが、読み取り値には記録紙読み取りの際の誤差や欠測が含まれていることを考慮すれば、両者の潮位に差はないものと考えられる。次に、満干潮時における読み取り潮位と計算潮位の差の頻度分布を図-7に、満干潮出現時刻における読み取り時刻と計

算時刻の差の頻度分布を図-8 に示す。満干潮位については 60%以上が $\pm 1.0\text{cm}$ の誤差範囲内、出現時刻については 80%以上が ± 15 分の誤差範囲内にある。

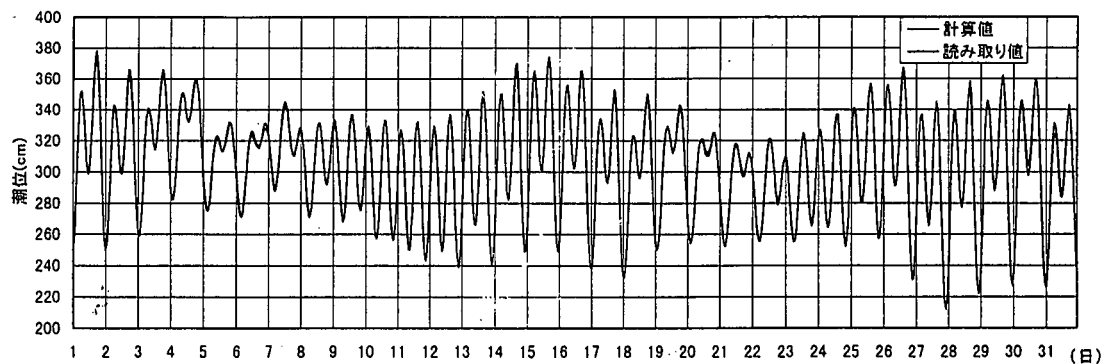


図-6 1時間毎に抽出した平滑化潮位の時系列

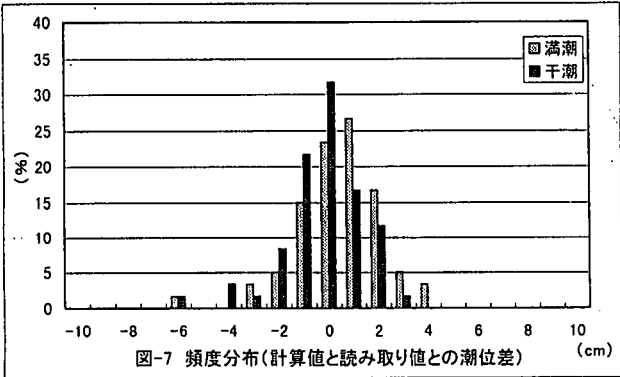


図-7 頻度分布(計算値と読み取り値との潮位差)

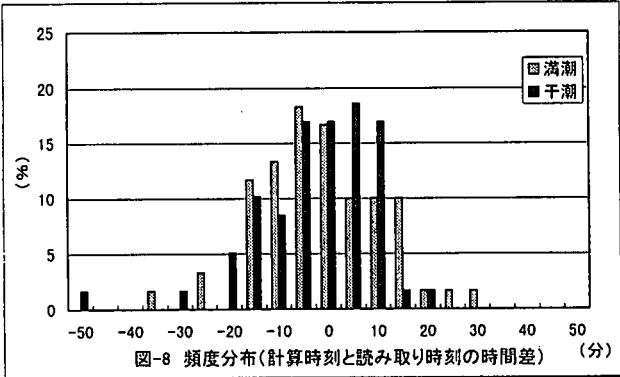


図-8 頻度分布(計算時刻と読み取り時刻の時間差)

ここで図-8をみると最大で満潮時に 35 分、干潮時に 50 分の大きなずれが存在することがわかる。しかし、この大きなずれの原因を検証すると以下のようなことが考えられる。表 1 の 6 日 11 時と表 2 の 20 日 15 時 10 分に着目し、この時刻における両日の自記紙（図-9、図-10）をみると、この時刻は満潮時と干潮時の潮位差が非常に小さいことがわかる。このような場合は、記録紙読み取りの際のずれが大きだけでなく計算の際にもわずかな潮位の違いで満干潮の時刻が左右されるために、読み取り時刻と計算時刻の差が大きくなったものと考えられ、この場合は時間の違いに対し潮位の違いが非常に小さく問題にはならない。すなわち、アナログ記録紙からの読み取り値とデジタルデータを用いた計算値との違いは誤差の範囲内に十分含まれる範囲内に収まっており、計算値による値を使用しても差し支えないことがわかる。

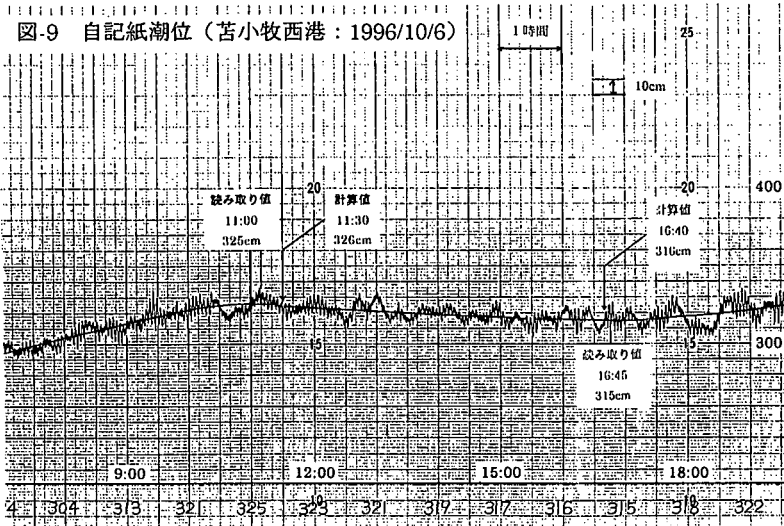


表 1. 満潮時刻および潮位

日	読み取り時刻	計算値	差(分)	読み取り潮位	計算値	差(cm)
1	5:35	5:50	15	353	352	-1
	16:50	17:00	10	375	378	3
2	6:15	6:30	15	344	342	-2
	17:30	17:20	-10	365	366	1
3	7:05	7:20	15	341	341	0
	18:15	18:00	-15	364	366	2
4	8:45	8:40	-5	351	350	-1
	18:30	18:20	-10	360	360	0
5	9:45	10:10	25	323	322	-1
	19:30	19:20	-10	331	332	1
6	11:00	11:30	30	325	326	1
	21:45	21:30	-15	329	331	2
7	12:25	12:00	-25	343	345	2
	23:45	23:20	-25	327	328	1
8	13:35	13:30	-5	331	332	1
	0:55	0:50	-5	331	333	2
9	13:40	13:40	0	339	337	-2
	1:35	1:50	15	327	329	2
10	14:10	14:10	0	353	354	1
	2:10	2:00	-10	327	327	0
11	14:45	14:30	-15	332	332	0
	3:00	3:00	0	328	329	1
12	15:05	15:00	-5	336	337	1
	3:55	3:40	-15	339	341	2
13	15:20	15:10	-10	350	353	3
	4:30	4:30	0	350	351	1
14	15:45	15:40	-5	367	371	4
	5:10	5:00	-10	364	365	1
15	16:05	15:50	-15	373	375	2

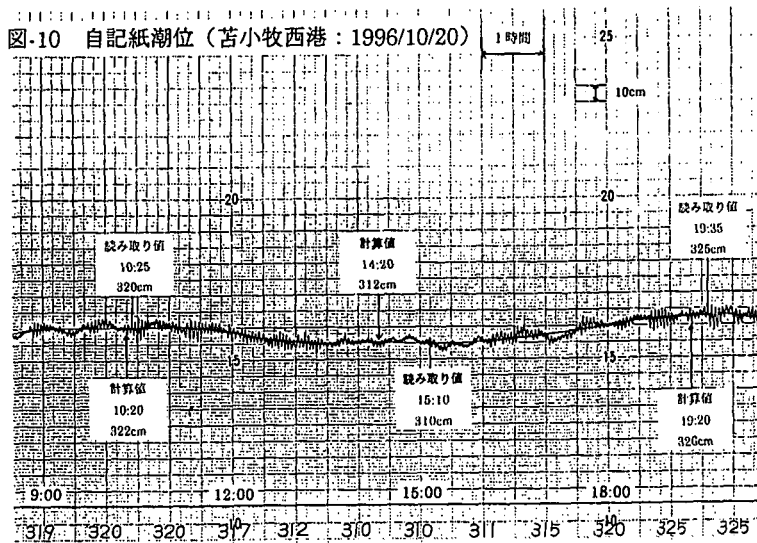


表2. 干潮時刻および潮位

日	読み取り時刻	計算値	差(分)	読み取り潮位	計算値	差(cm)
16	11:00	11:10	10	302	302	0
17	23:35	23:40	5	238	238	0
17	11:40	11:40	0	283	283	0
18	0:15	0:10	-5	232	232	0
18	12:10	12:00	-10	298	298	0
19	1:00	1:10	10	250	250	0
19	13:00	13:10	10	312	313	1
20	2:15	2:10	-5	255	254	-1
20	15:10	14:20	-50	310	312	2
21	3:40	3:30	-10	252	252	0
21	17:25	17:10	-15	298	297	-1
22	5:10	4:50	-20	258	255	-3
22	18:20	18:30	10	279	281	2
23	6:25	6:10	-15	255	255	0
23	19:05	19:00	-5	267	265	-2
24	7:10	7:00	-10	265	264	-1
24	19:50	19:50	0	252	253	1
25	7:35	7:50	15	278	281	3
25	20:20	20:30	10	258	258	0
26	8:30	8:20	-10	291	290	-1
26	21:25	21:20	-5	230	230	0
27	9:10	9:10	0	269	265	-4
27	21:40	21:50	10	213	211	-2
28	9:45	9:50	5	278	277	-1
28	22:15	22:20	5	223	221	-2
29	10:10	10:10	0	290	289	-1
29	22:50	23:00	10	228	227	-1
30	10:55	10:50	-5	304	299	-5
30	23:35	23:40	5	229	228	-1
31	11:25	11:30	5	287	283	-4

4. まとめ

本研究では、潮位の自動平滑化、満干潮位および満干潮時刻の自動決定システムの構築を目的とし、苫小牧西港のデジタルデータを用いて、アナログデータからの読み取り値と比較しながら、最適値を得るための方法、パラメータ値の決定についての検討を行なった。その主な結論は、以下に示す通りである。

- (1) 計算の流れは、1.満干潮時刻の決定、2.満干潮位の決定、3.得られた満干潮位および時刻からその間の潮位を計算する、方法とした。
- (2) 計算に使用するデータは、短周期振動の除去と移動平均による値のずれの補正を目的として、10分移動平均（第1データ）と、テストランの繰り返しの結果得られた3.5時間移動平均（第2データ）の、計2つのデータセットを用いることにした。
- (3) 満干潮位、時刻の決定には、まず第2データから該当する極大値および極小値を検索し、この時刻付近の平均から最終的な時刻を計算、次にこの時刻をとる第1データの平均潮位から最終的な潮位を計算したものをを用いた。
- (4) 平滑化潮位の決定は、(3)で得られた満干潮位、時刻を用いてこの間にそれぞれ適切な2次曲線を連続して当てはめ、その結果を最終的な値とした。
- (5) 本研究で得られた平滑化潮位と記録紙からの読み取り値との比較を行なった結果、両者の値はかなり一致していた。満潮位、干潮位についてはその60%以上が $\pm 1.0\text{cm}$ 以内、満潮、干潮出現時刻については80%以上が ± 15 分以内の誤差範囲にある。また、アナログ記録紙からの読み取り値にも誤差が生じていることを考慮すれば、この結果は十分使用できるものと考えられる。

5. おわりに

上記の結果からアナログ記録紙からの読み取り値とデジタルデータを用いた計算値との差は十分無視できる範囲内にあることが確認できた。すなわち潮位観測システムに今回の成果を組み込むことにより、自動的かつ短時間で平滑化潮位を得られ、効率よく統計処理を進めていくことができる。今後の課題としては、基となるデータに欠測が多数見られる時にデータ補完による精度の低下もしくは平滑化潮位の欠測が考えられるが、その場合の適切な判定基準および処理方法を確立する必要がある。また、ルーチンの統計処理にはデジタルデータによる計算値が非常に有効であるが、連続した細かな変動を捕らえることのできるアナログデータによる記録も並行して行なっていく必要がある。