

# 有明海湾奥部における潮位観測と潮汐の調和解析および潮汐表の作成

伊賀田邦義・首藤俊雄

## Observation and Harmonic Analysis of Tide in the Inner Part of Ariake Sea and Creation of Tide Table for Nori Farming

Kuniyoshi IGATA and Toshio SHUTO

### はじめに

有明海湾奥部には、筑後川や六角川をはじめとする大小の河川が流れ込み、これら河川によってもたらされる土砂と有明海特有の潮流により広大な干潟が発達している。また、大潮時には干満差が最大約6mにも達し、有明海に面した多くの河川からは豊富な栄養塩類が供給されている。このような海域特性により、同海域は全国有数の支柱式ノリ養殖漁場となっている。

支柱式ノリ養殖におけるノリ網の張り込み水位の決定は、健苗育成、病害予防等のために重要な養殖管理技術の一つであり、三池港潮汐表を基に作成された住ノ江港潮汐表を参考にして行われてきた。この住ノ江港潮汐表の干潮・満潮の潮時と潮位は、三池の検潮所と住ノ江の検潮所の観測結果に基づき、所定の方法により計算<sup>1)</sup>されたものであり、住ノ江の検潮所が六角川河口約5km上流にあることを考えると、住ノ江港潮汐表とノリ養殖漁場の実

際の潮汐には誤差が生じると考えられる。

そこで、佐賀県のノリ養殖漁場内に設置した潮位計により観測されたデータを用いて調和解析を行い、潮汐の調和定数と平均潮位を求めた。さらに、ノリ養殖漁場における実際の潮汐に近似するような潮汐表の作成を試みた。

### 1. 潮位計の設置と観測および潮位データの管理

#### 1) 潮位計の設置と観測

図1に示すように、ノリ養殖漁場内の3つの観測塔(タカツ局, 六角局, 浜局)に鶴見精機製TS-TD型潮位計(水圧式)を設置し、1cmの単位で潮位観測を行った。観測頻度は、基本的には各局とも1時間に1回とし、タカツ局の観測を正時(:00)として、六角局, 浜局と順に1分のタイムラグを設けた。さらに、満潮および干潮には正時観測を中心に10分間隔で前後6回の観測を行った。観測開始時期は六角局が1998年10月10日、浜局が1998年12月10日、タカツ局が1999年12月24日であった。なお潮位計は、観測の際に波浪の影響を受けないように、観測塔に取り付けられた塩ビパイプの中に設置した。

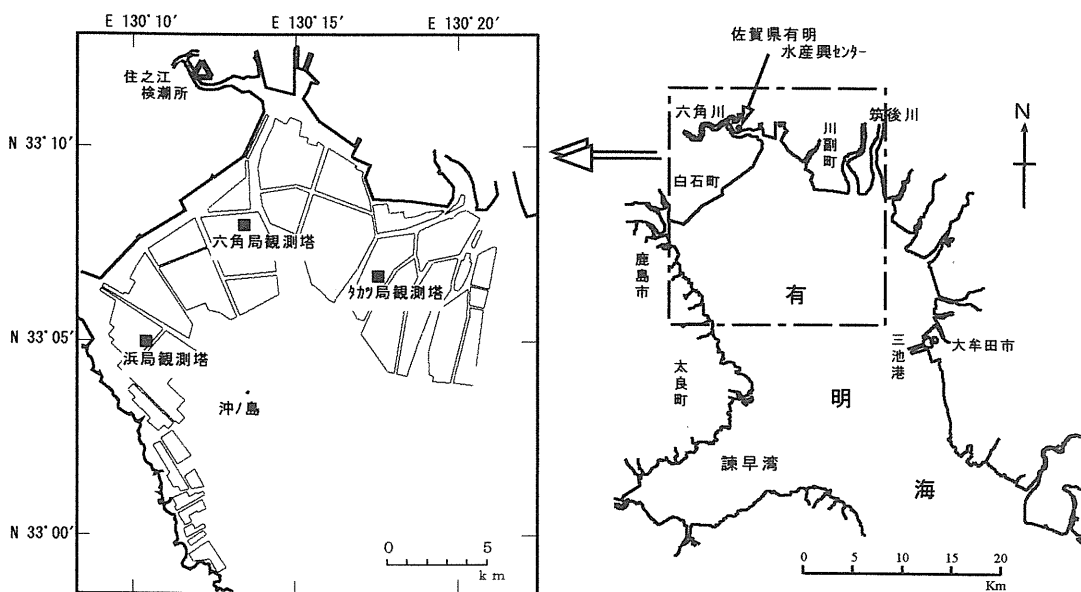


図1 自動海況観測塔の位置

## 2) 潮位データの管理

### (1) 潮位計の閾値と基準面の設定

各局に設置された潮位計の閾値と各種の基準面については、潮位観測を行う際に定めておく必要があるため、潮位データの処理に先立ち簡単に触れた。

#### (ア) 潮位計の閾値

潮位計を立てた容器に徐々に現場海水を満たしていくと、水深がある深さ以上になった時点で潮位センサーが反応し出力値(観測値)に変化がみられるようになる。この時の出力値をここでは潮位計の閾値と定めた。測定の結果、タカツ局4cm、六角局0cm、浜局4cmであった。

潮位計を設置した観測塔が干満差の大きい浅海域にあることから、局によっては極低潮時の観測データの信頼性が低くなる場合がある。このような時、潮位計の閾値は潮位データの取舍判断の基準として必要となる(後述)。また、閾値は、同一型式の潮位計であっても若干の個体差があるため、各観測塔ごとに測定を行う必要があり、同一の潮位計であっても修理、点検を行った際には再度測定が必要である。

#### (イ) 基準面

潮位計の取上げ点検、更新、さらには将来観測塔そのものの立て替え等により、観測データの連続性が損なわれるおそれがある。また、潮位データの活用を円滑にするためにも、観測データを各種基準面に準拠した数値に変換しておくことが必要となる。ここで決定した基準面は以下のとおりである。

##### ・フィールド基準面(field line : FL)

各観測塔周辺のノリ養殖現場において、観測潮位あるいは潮汐表に記載された潮位をノリ養殖管理に適用する際に基準面を定める必要がある。ここではこれをフィールド基準面(FL)と呼ぶこととし、図2に示すように観測塔の下層作業フロア面と定めた。

##### ・観測基準面(datum line : DL)

観測基準面(DL)は個々の検潮所における潮位観測の基準面(潮位計値=0m)である。通常は、観測潮位が負にならないように、干潮時でも干上がらないレベルを設定する<sup>2)</sup>が、ここでは潮位計設置場所が浅海域にあることと、潮位計が塩ビパイプの中にあり直接測量することが困難なことから次のように定めた。満潮前後の10分間隔観測時に、FLから海面までの距離を測り、この距離とその時の観測潮位の和を平均した値だけFLから下がった面をDLと定めた。測定の結果、タカツ局ではFLから635cm(sd=0.9cm)、六角局では619cm(sd=1.9cm)、浜局では644cm(sd=0.4cm)下がった面となった。

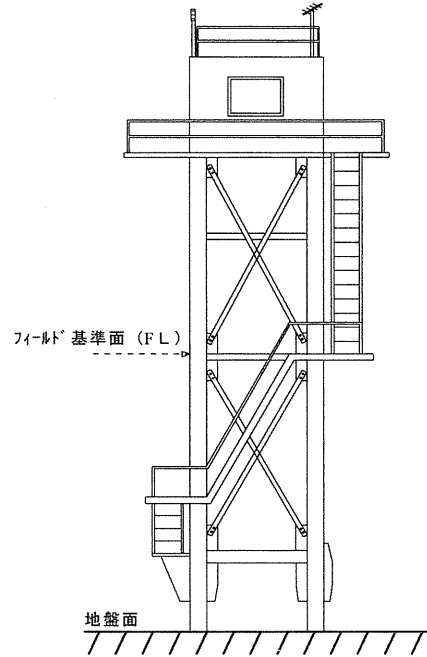


図2 観測塔側面図とフィールド基準面

##### ・潮汐表基準面(reference level of Tide Table : TT)

通常は、その地点の平均海面から4大分潮( $O_1$ ,  $K_1$ ,  $M_2$ ,  $S_2$ )の振幅和の分だけ下がった面が採用される<sup>2)</sup>。しかし、ここではまず六角局の潮汐表基準面(TT)を観測塔が建っている地盤面とし、DLから35cm下がった面と定めた。TTと海図の基準面である基本水準面(chart datum level: CDL)は同じ概念で決められているが、六角局観測塔が建っている地盤面はほぼCDLに等しい。他の2局については、表1に示したように各局の潮位データと六角局の潮位データの間には極めて高い相関が認められたので、これらの潮位データの差に基づいてタカツ局ではDLよりも10cm、浜局では23cm下がった面とした。4-2)で述べるように、本報告では潮汐表を六角局の潮位データを用いて作成したため、ここで定めたタカツ局、浜局のTTはこれら2局の潮位データと潮汐表を比較するための基準面となる。

##### ・東京湾平均海面(mean sea level of Tokyo Bay : TP)

この面は標高0mにあたり、DLが異なる各地の検潮所間

表1 六角局とタカツ局、浜局間の潮位データの関係

	タカツ-六角	浜-六角
相関係数	0.9950	0.9998
観測潮位差	mean	25cm
	sd	6.2cm
データ期間	1999/12/24~	1998/12/10~
	2000/9/15	2000/8/31
データ数	5,223	14,140

の潮位データを比較する時の基準面となる<sup>2)</sup>。同一検潮所においても、DLに変更があったような場合には観測データの連続性を維持するためにも必要な基準面である。3つの観測塔のうち、現在TP値が求められているのは六角局だけである(2000年3月1日測量)。ただ、六角局においてもFLのTP値(+361cm)は実測値であるが、DLとTTのTP値(各々-258cm, -293cm)は推定値である。

以上のように定めた各局の基準面の関係については図3に示した。

## (2) 潮位データの処理

観測された潮位データは水温、塩分等のデータとともに本センター内の陸上局に送信されてくる。送信されてきた潮位データの処理は、マイクロソフト社の表計算ソフトExcel97により、(イ)異常データの検出と削除、(ロ)データ削除部および欠測部へのデータの内挿、(ハ)点検済みデータの保存の3段階に従って行った。

### (イ) 異常データの検出と削除

台風時のような異常潮位が記録される状況でないにも拘わらず、観測されたデータが不自然な場合は異常データの可能性がある。このような場合には、①潮位計の閾値との比較、②潮位データの時系列グラフの利用、③同時刻の3局の潮位データの比較、④3局の潮位データの時系列パターンの比較等により異常か否かを判断し、異常と判断した場合はそのデータを削除した。

なお、異常データの原因としては、潮位計そのものの異常、潮位計の設置状況の不備、センサー部への付着生物の着生、送受信機器の異常、低潮観測時における船舶の航行などが考えられる。

### (ロ) データ削除部および欠測部へのデータの内挿

調和解析を行うにあたって、特に干潮、満潮の前後に

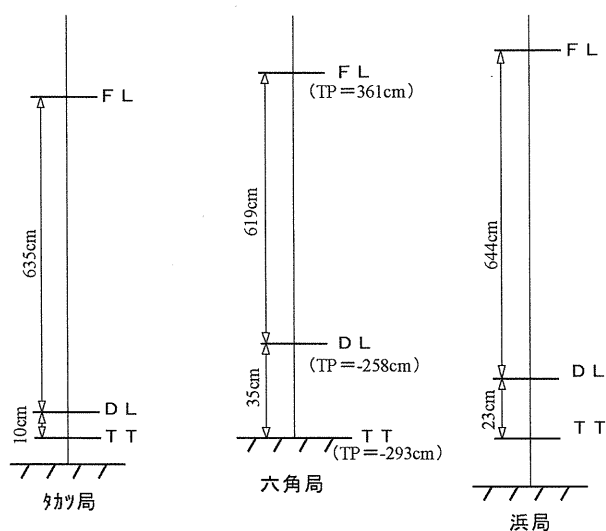


図3 各局観測塔の基準面

データの欠落があると振幅が小さく算出されたり、平均潮位が高め或いは低めに偏ることが考えられる。また、解析期間のデータ数、データ時刻間隔を一定にしておく、調和解析を行う際に正規方程式の係数行列を作成する手間を省くことができる<sup>3)</sup>。このような理由から、削除部・欠測部の潮位データは、①中間潮位のときは1次補間、②干潮、満潮前後2時間程度のときなら最小自乗法による2次補間、③他の2局の潮位データとの回帰による推定により内挿した。

### (ハ) 点検済みデータの保存

点検が終わった潮位データは、観測塔別に1月分を1つのファイルとして保存し、さらにそのファイルから正時のデータのみを抜き取って別のファイルとして保存した。解析に使用した期間のデータについても、別のファイルとして保存した。

## 2. 潮位データの調和解析

### 1) 解析データ

解析に用いたのは、1998年10月10日～2000年3月31日の六角局正時観測データ(539日間, 12,936個のデータ数)である。通常、潮位予測のための解析には1年間程度の潮位データが用いられる<sup>4)</sup>ので、このデータ期間の中から、まず1998年10月10日0時01分を先頭にした365日間のデータを1回分の解析データとした。さらに約1ヶ月ずらして同様に1回分の解析データとし、順次同様に7回分の解析データを取り出し、後述の4段階の最小自乗法による調和解析を7回行った。

### 2) 解析方法

潮汐の調和解析の方法には最小自乗法、ダーウィン法、T.I.法、フーリエ解析法などがあるが、理論的仮定の明確さやコンピュータの普及により最小自乗法がよく用いられている<sup>5)</sup>。本報告でも最小自乗法による調和解析を行い、気象庁<sup>3)</sup>や海上保安庁<sup>6)</sup>で行われている方法に準じ、表2に示す60分潮の分離を試みた。解析計算には潮位データの処理と同様にExcel97を使用した。

一般的な最小自乗法による調和解析の概略は以下のとおり<sup>7)</sup>である。

解析期間中の時刻 $t$ (解析開始時を $t=0$ とする。)の実測潮位を $\eta_t$ 、推算潮位を $\eta(t)$ 、 $i$ 番目の分潮潮高を $\eta_m(t)$ 、平均潮位を $z_0$ 、誤差を $\varepsilon_t$ とすると、

$$\eta_t = \eta(t) + \varepsilon_t \quad \dots \text{式(1)}$$

$$\eta(t) = z_0 + \sum_i \eta_i(t) \quad \dots \text{式(2)}$$

と書ける。式(2)において $\eta_i(t)$ は、その分潮の角速度 $\sigma_i$ (°/hr)と2個のパラメータ $a_i$ 、 $b_i$ により、

$$\eta_i(t) = a_i \cdot \cos \sigma_i t + b_i \cdot \sin \sigma_i t \quad \dots \text{式(3)}$$

表2 分離を試みた60分潮

分 潮			角速度 $\sigma(^{\circ}/hr)$	周 期 T(hr)	分 潮			角速度 $\sigma(^{\circ}/hr)$	周 期 T(hr)
No	記号	分潮名			No	記号	分潮名		
1	Sa	太陽年周潮	0.0410686	8765.821	31	M <sub>2</sub>	主太陰半日周潮	28.9841042	12.4206
2	Ssa	太陽半年周潮	0.0821373	4382.905	32	MKS <sub>2</sub>	M <sub>2</sub> +K <sub>2</sub> -S <sub>2</sub>	29.0662415	12.3855
3	Mm	太陰月周潮	0.5443747	661.3092	33	$\lambda_2$	副太陰出差潮	29.4556253	12.22177
4	MSf	S <sub>2</sub> -M <sub>2</sub>	1.0158958	354.3671	34	L <sub>2</sub>	副太陰楕率潮	29.5284789	12.19162
5	Mf	太陰半月周潮	1.0980331	327.859	35	T <sub>2</sub>	主太陽楕率潮	29.9589333	12.01645
6	2Q <sub>1</sub>		12.8542862	28.00622	36	S <sub>2</sub>	主太陽半日周潮	30	12
7	$\sigma_1$		12.9271398	27.84839	37	R <sub>2</sub>	副太陽楕率潮	30.0410667	11.9836
8	Q <sub>1</sub>	主太陰楕率潮	13.3986609	26.86836	38	K <sub>2</sub>	日月合成半日潮	30.0821373	11.96723
9	$\rho_1$		13.4715145	26.72305	39	MSN <sub>2</sub>	M <sub>2</sub> +S <sub>2</sub> -N <sub>2</sub>	30.5443747	11.78613
10	O <sub>1</sub>	主太陰日周潮	13.9430356	25.81934	40	KJ <sub>2</sub>	K <sub>1</sub> +J <sub>1</sub>	30.626512	11.75452
11	MP <sub>1</sub>	M <sub>2</sub> -P <sub>1</sub>	14.0251729	25.66813	41	2SM <sub>2</sub>	2S <sub>2</sub> -M <sub>2</sub>	31.0158958	11.60695
12	M <sub>1</sub>	副太陰楕率潮	14.4920521	24.8412	42	MO <sub>3</sub>	M <sub>2</sub> +O <sub>2</sub>	42.9271398	8.386303
13	$\chi_1$		14.5695476	24.70907	43	M <sub>3</sub>		43.4761563	8.280401
14	$\pi_1$	主太陽楕率潮	14.9178647	24.13214	44	SO <sub>3</sub>	S <sub>2</sub> +O <sub>1</sub>	43.9430356	8.192424
15	P <sub>1</sub>	主太陽日周潮	14.9589314	24.06589	45	MK <sub>3</sub>	M <sub>2</sub> +K <sub>1</sub>	44.0251729	8.17714
16	S <sub>1</sub>		15	24	46	SK <sub>3</sub>	S <sub>2</sub> +K <sub>1</sub>	45.0410686	7.992706
17	K <sub>1</sub>	日月合成日周潮	15.0410686	23.93447	47	MN <sub>4</sub>	M <sub>2</sub> +N <sub>2</sub>	57.4238337	6.269174
18	$\psi_1$	副太陽楕率潮	15.0821353	23.8693	48	M <sub>4</sub>	M <sub>2</sub> +M <sub>2</sub>	57.9682084	6.210301
19	$\phi_1$	2次太陽日周潮	15.1232059	23.80448	49	SN <sub>4</sub>	S <sub>2</sub> +N <sub>2</sub>	58.4397295	6.160193
20	$\theta_1$		15.5125897	23.20696	50	MS <sub>4</sub>	M <sub>2</sub> +S <sub>2</sub>	58.9841042	6.103339
21	J <sub>1</sub>	小太陰楕率潮	15.5854433	23.09848	51	MK <sub>4</sub>	M <sub>2</sub> +K <sub>2</sub>	59.0662415	6.094852
22	SO <sub>1</sub>	S <sub>2</sub> -O <sub>1</sub>	16.0569644	22.42018	52	S <sub>4</sub>	S <sub>2</sub> +S <sub>2</sub>	60	6
23	OO <sub>1</sub>	2次太陰日周潮	16.1391017	22.30607	53	SK <sub>4</sub>	S <sub>2</sub> +K <sub>2</sub>	60.0821373	5.991797
24	OQ <sub>2</sub>	O <sub>1</sub> +Q <sub>2</sub>	27.3416964	13.1667	54	2MN <sub>6</sub>	2M <sub>2</sub> +N <sub>2</sub>	86.407938	4.166284
25	MNS <sub>2</sub>	M <sub>2</sub> +N <sub>2</sub> -S <sub>2</sub>	27.4238337	13.12727	55	M <sub>6</sub>	3M <sub>2</sub>	86.9523127	4.1402
26	2N <sub>2</sub>	2次太陰楕率潮	27.8953548	12.90537	56	MSN <sub>6</sub>	M <sub>2</sub> +S <sub>2</sub> +N <sub>2</sub>	87.4238337	4.11787
27	$\mu_2$	太陰二均差潮	27.9682084	12.87176	57	2MS <sub>6</sub>	2M <sub>2</sub> +S <sub>2</sub>	87.9682084	4.092388
28	N <sub>2</sub>	主太陰楕率潮	28.4397295	12.65835	58	2MK <sub>6</sub>	2M <sub>2</sub> +K <sub>2</sub>	88.0503457	4.08857
29	$\nu_2$	主太陰出差潮	28.5125831	12.626	59	2SM <sub>6</sub>	2S <sub>2</sub> +M <sub>2</sub>	88.9841042	4.045666
30	OP <sub>2</sub>	O <sub>1</sub> +P <sub>1</sub>	28.9019669	12.4559	60	MSK <sub>6</sub>	M <sub>2</sub> +S <sub>2</sub> +K <sub>2</sub>	89.0662415	4.041935

と表せる。

ここで $\sigma_i$ は既知であるので、誤差 $\varepsilon_t$ の自乗和が最小になるように $z_0$ ,  $a_i$ ,  $b_i$ を定める。即ち、

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sum_t (\varepsilon_t)^2}{\partial z_0} &= 0 \\ \frac{\partial \sum_t (\varepsilon_t)^2}{\partial a_i} &= 0 \\ \frac{\partial \sum_t (\varepsilon_t)^2}{\partial b_i} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \text{式(4)}$$

$$i = 1 \sim n \quad (n \text{ は分潮数})$$

であり、これより正規方程式 $(2n+1)$ 連の連立方程式一が得られ、平均潮位( $z_0$ )と $n$ 個の分潮のパラメタ組( $a_i$ ,  $b_i$ )が求まる。そして、解析期間における各分潮の振幅 $R_i$ と、 $t=0$ からその分潮が満潮になるまでの位相の遅れ $\zeta_i(^{\circ})$ は、 $a_i$ ,  $b_i$ により、

$$R_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \quad \dots \text{式(5)}$$

$$\zeta_i = \tan^{-1}(b_i / a_i) \quad \dots \text{式(6)}$$

$$0 \leq \zeta_i < 360$$

と求まるので式(3)は、

$$\eta_i(t) = R_i \cdot \cos(\sigma_i t - \zeta_i) \quad \dots \text{式(7)}$$

と書ける。

以上が一般的な最小自乗法による調和解析の方法であるが、60分潮を分離するためには121連の連立方程式を解く必要がある。言い換えれば121次の逆行列の計算をすることになる。しかし、計算に用いたExcel97の逆行列関数では121次の逆行列の計算はできず、一度に60分潮の振幅(R)と位相の遅れ( $\zeta$ )を求めることができなかった。そこで、本報告では次に述べるような方法をとった。

最小自乗法による調和解析は、式(3)からわかるように $\cos \sigma_i t$ と $\sin \sigma_i t$ を説明変数とする重回帰分析である。重回帰分析においては求める偏回帰係数(パラメタ)の値は、取り込む説明変数の組み合わせにより変わり、特に取り込んだ説明変数間に相関があると、その組み合わせごとに計算される偏回帰係数は大きく変動する<sup>8)</sup>。当然のことながら、周期の近い分潮(例えば $i$ 番目と $j$ 番目の分潮)の $\cos \sigma_i t$ と $\cos \sigma_j t$ ,  $\sin \sigma_i t$ と $\sin \sigma_j t$ の間には高い相関のあることが予想され、計算の進め方によっては求まった分潮の振幅と位相遅れが不安定になることが考えられた。このようなことから、①周期が近い分潮は一括して説明

変数として取り込む、②一度に出来るだけ多くの分潮を説明変数として取り込むことの2点に留意して解析を行った。

まず、周期の長さにより60分潮を4つのグループに分け、周期の長い分潮組から順次最小自乗法により分離した(この方法を「4段階の最小自乗法」と呼ぶこととする)。即ち図4に示すように、元の潮位データを1次潮位とし、これから長期周潮のSa~Mfの5分潮を分離した。次に1次潮位から5分潮の潮高(1次潮高)を差し引いた1次残差を2次潮位とし、これから1日周潮である2Q<sub>1</sub>~O<sub>1</sub>の18分潮を分離し、同様に半日周潮(O<sub>2</sub>~2S<sub>2</sub>M<sub>2</sub>の18分潮)、1/3~1/6日周潮(MO<sub>3</sub>~MS<sub>6</sub>K<sub>6</sub>の19分潮)を順次分離した。そして、最後の分潮分離により求められた残差平均を平均潮位とした。なお、解析開始時刻は0:00ST(ST:観測地点の標準時刻を表す)とすべきであり、0:00と24:00の間に解析開始時刻がある場合は式(8)により、その分潮の角速度と0:00からの時間の遅れを考慮して $\zeta_i$ を求める必要がある。しかし、六角局の遅れ時間は僅か1分と無視できる大きさであるので、この補正は行わなかった。

$$\zeta_i = \text{Mod}(\sigma_i * x + \zeta_{ix}, 360) \quad \dots \text{式(8)}$$

x: 解析開始時刻(0:00 < x < 24:00)

$\zeta_{ix}$ : 解析開始時刻が $x$ 時の場合の位相の遅れ

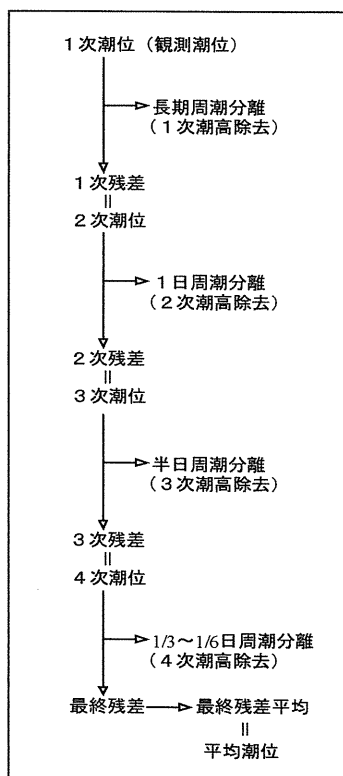


図4 4段階の最小自乗法の概要

### 3) 解析結果

解析結果を表3に示した。

7回の解析結果の誤差範囲は、最大で100.4cm、最小で-49.4cmとやや大きかった。ただ、急激な気象変化等の非調和要素の影響が大きい場合(1999年9月24日の台風18号襲来等)を除けば75cm~-40cmの範囲であり、しかも残差標準偏差は9.69cm~10.06cmであったので、解析結果はほぼ満足できるものと考えられた。従って、ここで用いた4段階の最小自乗法は、市販の表計算ソフトにより60分潮を分離する際に有効な方法になり得ると考えられた。

### 3. 潮汐調和定数の計算

#### 1) 計算方法

各分潮の周期は天体の運動により一定であるが、振幅と位相は観測地点によって異なっている。i番目の分潮の潮高 $\eta_i$ は、

$$\eta_i = f_i H_i \cos(V_i + u_i - \kappa_i) \quad \dots \text{式(9)}$$

により表される。 $V_i(^{\circ})$ は一定の速さで変化する量で、月の平均黄経(s)、太陽の平均黄経(h)、月の近地点の平均黄経(p)、太陽の近地点の平均黄経( $p_s$ )から求まる。 $u_i(^{\circ})$ 、 $f_i$ は月の近地点の平均黄経、月の昇交点の平均黄経(N)から求まり、18.6年の周期で変化する。Hはこの間の平均振幅であり、 $\kappa_i(^{\circ})$ は分潮を引き起こす仮想天体が南中した時から平衡潮汐に達するまでの遅れを意味する。Hを分潮の振幅、 $\kappa$ を遅角と呼び、両者を併せて潮汐調和定数という<sup>5)</sup>。グリニッジの0:00UT(UT:世界時を表す)におけるs, h, p, N,  $p_s$ 算出のための近似式は、西暦2000年1月1日0:00UTを紀元時として次のようになる<sup>4)</sup>。

$$\begin{cases} s(^{\circ}) = 218.316656 + 13.17639647754 * (d - 0.5) \\ \quad \quad \quad + 0.001330 * (T - 0.5 / 36525)^2 \\ h(^{\circ}) = 280.466449 + 0.985647360 * (d - 0.5) \\ \quad \quad \quad + 0.0003036 * (T - 0.5 / 36525)^2 \\ p(^{\circ}) = 83.353243 + 0.11140352392 * (d - 0.5) \\ \quad \quad \quad + 0.010324 * (T - 0.5 / 36525)^2 \\ N(^{\circ}) = 125.044556 - 0.05295376276 * (d - 0.5) \\ \quad \quad \quad + 0.002076 * (T - 0.5 / 36525)^2 \\ p_s(^{\circ}) = 282.937348 + 0.0000470783 * (d - 0.5) \\ \quad \quad \quad + 0.0004597 * (T - 0.5 / 36525)^2 \end{cases} \quad \dots \text{式(10)}$$

d: 2000年1月1日0:00UTからの時間経過を日単位で測ったもの。

T: 2000年1月1日0:00UTからの時間経過を36525日単位で測ったもの。この項は式(10)から省いても大きな影響はない。

式(10)により求まるs, h, p, Nを基に、グリニッジの0:



$$\begin{aligned}
 & +0.0006*\cos3N \quad \dots\text{式(15)} \\
 f_{J1} &= 1.0129 + 0.1676*\cos N - 0.0170*\cos 2N \\
 & + 0.0016*\cos 3N \\
 f_{OO1} &= 1.1027 + 0.6504*\cos N + 0.0317*\cos 2N \\
 & - 0.0014*\cos 3N \\
 f_{M2} &= 1.0004 - 0.0373*\cos N + 0.0002*\cos 2N \\
 f_{K2} &= 1.0241 + 0.2863*\cos N + 0.0083*\cos 2N \\
 & - 0.0015*\cos 3N \quad \dots\text{式(12)}
 \end{aligned}$$

・  $u_{L2}$ ,  $f_{L2}$  について

$$\begin{aligned}
 f_{L2}*\cos u_{L2} &= 1 - 0.2505*\cos 2p - 0.1102*\cos(2p - N) \\
 & - 0.0156*\cos(2p - 2N) - 0.0370*\cos N \\
 f_{L2}*\sin u_{L2} &= -0.2505*\sin 2p - 0.1102*\sin(2p - N) \\
 & - 0.0156*\sin(2p - 2N) - 0.0370*\sin N \quad \dots\text{式(13)}
 \end{aligned}$$

より

$$\begin{cases}
 f_{L2} = \sqrt{\{(f_{L2}*\cos u_{L2})^2 + (f_{L2}*\sin u_{L2})^2\}} \\
 u_{L2} = \tan^{-1} \{(f_{L2}*\sin u_{L2}) / (f_{L2}*\cos u_{L2})\}
 \end{cases} \quad \dots\text{式(14)}$$

・  $u_{M1}$ ,  $f_{M1}$  について

$$\begin{cases}
 f_{M1}*\cos u_{M1} = 2*\cos p + 0.4*\cos(p - N) \\
 f_{M1}*\sin u_{M1} = \sin p + 0.2*\sin(p - N)
 \end{cases}$$

より

$$\begin{cases}
 f_{M1} = \sqrt{\{(f_{M1}*\cos u_{M1})^2 + (f_{M1}*\sin u_{M1})^2\}} \\
 u_{M1} = \tan^{-1} \{(f_{M1}*\sin u_{M1}) / (f_{M1}*\cos u_{M1})\}
 \end{cases} \quad \dots\text{式(16)}$$

ここで、式(7)と式(9)を比較すると、

$$R_i = f_i H_i \quad \dots\text{式(17)}$$

$$\sigma_i t - \zeta_i = V_i + u_i - \kappa_i \quad \dots\text{式(18)}$$

となる。式(17)、(18)において  $t = 0$ 、即ち調和解析開始時(解析開始日の0:00)の  $f_i$  を  $f_{i0}$ 、 $V_i$  を  $V_{i0}$ 、 $u_i$  を  $u_{i0}$  と置けば、式(19)と式(20)により  $i$  番目の分潮の潮汐調和定数(振幅  $H_i$  と遅角  $\kappa_i$ ) が求まる<sup>6)</sup>。

$$H_i = R_i / f_{i0} \quad \dots\text{式(19)}$$

$$\kappa_i = V_{i0} + u_{i0} + \zeta_i \quad \dots\text{式(20)}$$

$$(0 \leq \kappa_i < 360)$$

ただし、式(10)~式(16)及び表4により計算される  $V_{i0} + u_{i0}$  はグリニッジにおける0:00UTに対する値—これを  $(V_i + u_i)_{g,OUT}$  と表す—である。これとある観測点における  $V_{i0} + u_{i0}$ —これを  $(V_i + u_i)_{l,OST}$  と表す—の間には式(21)の関係がある<sup>5)</sup>ので、ある観測地点の遅角は式(22)により求める。 $f_{i0}$  については、グリニッジにおける0:00UTに対しての値でよい。

$$(V_i + u_i)_{l,OST} = (V_i + u_i)_{g,OUT} - q * L + \sigma_i * L_0 \quad \dots\text{式(21)}$$

表4 各分潮のグリニッジ0:00UTにおけるV, u, fの計算

分潮		$V_0$ を求めるためのs, h, pの係数、定数				$u_0$	$f_0$	波数	分潮		$V_0$ を求めるためのs, h, pの係数、定数				$u_0$	$f_0$	波数
No	記号	s	h	p	定数				No	記号	s	h	p	定数			
1	Sa	0	1	0	0	0	1	0	31	M <sub>2</sub>	-2	2	0	0	$u_{M2}$	$f_{M2}$	2
2	Ssa	0	2	0	0	0	1	0	32	MKS <sub>2</sub>	-2	4	0	0	$u_{M2+K2}$	$f_{M2+K2}$	2
3	Mm	1	0	-1	0	$u_{Mm}$	$f_{Mm}$	0	33	$\lambda_2$	-1	0	1	180	$u_{M2}$	$f_{M2}$	2
4	MSf	2	-2	0	0	$u_{M2}$	$f_{M2}$	0	34	L <sub>2</sub>	-1	2	-1	180	$u_{L2}$	$f_{L2}$	2
5	Mf	2	0	0	0	$u_{Mf}$	$f_{Mf}$	0	35	T <sub>2</sub>	0	-1	0	283	0	1	2
6	2Q <sub>1</sub>	-4	1	2	270	$u_{O1}$	$f_{O1}$	1	36	S <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	1	2
7	$\sigma_1$	-4	3	0	270	$u_{O1}$	$f_{O1}$	1	37	R <sub>2</sub>	0	1	0	257	0	1	2
8	Q <sub>1</sub>	-3	1	1	270	$u_{O1}$	$f_{O1}$	1	38	K <sub>2</sub>	0	2	0	0	$u_{K2}$	$f_{K2}$	2
9	$\rho_1$	-3	3	-1	270	$u_{O1}$	$f_{O1}$	1	39	MSN <sub>2</sub>	1	0	-1	0	0	$(f_{M2})^2$	2
10	O <sub>1</sub>	-2	1	0	270	$u_{O1}$	$f_{O1}$	1	40	KJ <sub>2</sub>	1	2	-1	180	$u_{K1+uJ1}$	$f_{K1+uJ1}$	2
11	MP <sub>1</sub>	-2	3	0	90	$u_{M2}$	$f_{M2}$	1	41	2SM <sub>2</sub>	2	-2	0	0	$u_{M2}$	$f_{M2}$	2
12	M <sub>1</sub>	-1	1	0	90	$u_{M1}$	$f_{M1}$	1	42	MO <sub>3</sub>	-4	3	0	270	$u_{M2+uO1}$	$f_{M2+uO1}$	3
13	$\chi_1$	-1	3	-1	90	$u_{J1}$	$f_{J1}$	1	43	M <sub>3</sub>	-3	3	0	180	$3/2 * u_{M2}$	$(f_{M2})^{3/2}$	3
14	$\pi_1$	0	-2	0	193	0	1	1	44	SO <sub>3</sub>	-2	1	0	270	$u_{O1}$	$f_{O1}$	3
15	P <sub>1</sub>	0	-1	0	270	0	1	1	45	MK <sub>3</sub>	-2	3	0	90	$u_{M2+K1}$	$f_{M2+K1}$	3
16	S <sub>1</sub>	0	0	0	180	0	1	1	46	SK <sub>3</sub>	0	1	0	90	$u_{K1}$	$f_{K1}$	3
17	K <sub>1</sub>	0	1	0	90	$u_{K1}$	$f_{K1}$	1	47	MN <sub>4</sub>	-5	4	1	0	$2 * u_{M2}$	$(f_{M2})^2$	4
18	$\psi_1$	0	2	0	167	0	1	1	48	M <sub>4</sub>	-4	4	0	0	$2 * u_{M2}$	$(f_{M2})^2$	4
19	$\phi_1$	0	3	0	90	0	1	1	49	SN <sub>4</sub>	-3	2	1	0	$u_{M2}$	$f_{M2}$	4
20	$\theta_1$	1	-1	1	90	$u_{J1}$	$f_{J1}$	1	50	MS <sub>4</sub>	-2	2	0	0	$u_{M2}$	$f_{M2}$	4
21	J <sub>1</sub>	1	1	-1	90	$u_{J1}$	$f_{J1}$	1	51	MK <sub>4</sub>	-2	4	0	0	$u_{M2+K2}$	$f_{M2+K2}$	4
22	SO <sub>1</sub>	2	-1	0	90	$u_{O1}$	$f_{O1}$	1	52	S <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	1	4
23	OO <sub>1</sub>	2	1	0	90	$u_{OO1}$	$f_{OO1}$	1	53	SK <sub>4</sub>	0	2	0	0	$u_{K2}$	$f_{K2}$	4
24	OQ <sub>2</sub>	-5	2	1	180	$2 * u_{O1}$	$(f_{O1})^2$	2	54	2MN <sub>6</sub>	-7	6	1	0	$3 * u_{M2}$	$(f_{M2})^3$	6
25	MNS <sub>2</sub>	-5	4	1	0	$2 * u_{M2}$	$(f_{M2})^2$	2	55	M <sub>6</sub>	-6	6	0	0	$3 * u_{M2}$	$(f_{M2})^3$	6
26	2N <sub>2</sub>	-4	2	2	0	$u_{M2}$	$f_{M2}$	2	56	MSN <sub>6</sub>	-5	4	1	0	$2 * u_{M2}$	$(f_{M2})^2$	6
27	$\mu_2$	-4	4	0	0	$u_{M2}$	$f_{M2}$	2	57	2MS <sub>6</sub>	-4	4	0	0	$2 * u_{M2}$	$(f_{M2})^2$	6
28	N <sub>2</sub>	-3	2	1	0	$u_{M2}$	$f_{M2}$	2	58	2MK <sub>6</sub>	-4	6	0	0	$2 * u_{M2+K2}$	$(f_{M2})^2 * f_{K2}$	6
29	$\nu_2$	-3	4	-1	0	$u_{M2}$	$f_{M2}$	2	59	2SM <sub>6</sub>	-2	2	0	0	$u_{M2}$	$f_{M2}$	6
30	OP <sub>2</sub>	-2	0	0	180	$u_{O1}$	$f_{O1}$	2	60	MSK <sub>6</sub>	-2	4	0	0	$u_{M2+K2}$	$f_{M2+K2}$	6

q: 分潮の波数(表4参照)

L: 観測地点の経度(°: 東経なら負数)

$L_0$ : 観測地点の標準子午線の経度(時: 東経なら負数. 日本では $L_0 = -9$ )

$$\kappa_i = (V_i + u_i)_{g, OUT} - q * L + \sigma_i * L_0 + \zeta_i \quad \dots \text{式(2)}$$

## 2) 計算結果

以上の方法により, 7回の解析結果それぞれについて六角局における60分潮の調和定数を計算した。計算結果をとりまとめて, 振幅は平均潮位とともに表5-1に, 遅角は表5-2に示し, 参考として三池検潮所の60分潮の調和定数(1951年)を表6に示した。

表5-1, 表5-2から, 日本近海における4大分潮である $O_1$ ,  $K_1$ ,  $M_2$ ,  $S_2$ 分潮<sup>9)</sup>の振幅は他の分潮に比べ大きく, 遅角ともに安定していることがわかる。4大分潮以外では,  $\mu_2$ ,  $N_2$ ,  $K_2$ 分潮が大きく, かつ安定している。このことは, 有明海湾内においては, 半日周潮が約12時間の周期を有する湾内水の自由振動と共鳴を起こし, 半日周潮

が極めて卓越する<sup>10)</sup>ことと一致する。また, これら7つの分潮の調和定数は, 表6に示した三池検潮所の値に近いものとなった。長周期潮では $S_a$ 分潮の振幅が20.5cmと大きかった。一般的には, 分潮周期に対して観測期間が短い場合には, 求めた調和定数の信頼性は乏しくなるが, 三池検潮所の $S_a$ 分潮の調和定数と比べてみると, ここで求めた $S_a$ 分潮の調和定数は信頼できると思われた。なお表5-2の $\phi_1$ の遅角については, 計算結果が極めて不安定であったため値範囲は示さなかった。

調和定数全般についてみると, 振幅が大きい分潮ほど算出される振幅, 遅角とも安定している傾向が認められた。これは, 一つには解析過程の計算においてある程度必然的に発生する問題であり, 避けがたいものであろう。もう一つ考えられるのは, 気象変化等の非調和要素が潮位に影響を与えたことによるものである。気象変化のうち, 1年周期や1日周期でみられる変化については分潮の中に含めて取り扱われている<sup>11)</sup>ので, ここで問題となるの

表5-1 六角局における60分潮調和定数(振幅H:cm)と平均潮位( $Z_0$ : cm)

1998/10/10~2000/3/31の潮位データに対して行った7回の調和解析結果からの算出値を集計

分潮		振幅H:cm					分潮		振幅H:cm				
No	記号	mean	sd	cv(%)	max	min	No	記号	mean	sd	cv(%)	max	min
1	Sa	20.4	0.46	2.3	21.5	19.6	31	M <sub>2</sub>	157.2	0.11	0.1	157.4	157.1
2	Ssa	4.6	0.58	12.4	5.6	3.8	32	MKS <sub>2</sub>	2.4	0.14	5.7	2.6	2.1
3	Mm	1.8	0.13	7.4	2.0	1.6	33	$\lambda_2$	4.5	0.15	3.3	4.7	4.3
4	MSf	2.0	0.26	12.5	2.6	1.8	34	L <sub>2</sub>	7.4	0.25	3.4	7.6	6.9
5	Mf	2.6	0.22	8.2	3.0	2.1	35	T <sub>2</sub>	5.1	0.10	2.0	5.3	5.0
6	2Q <sub>1</sub>	0.5	0.20	42.4	0.8	0.2	36	S <sub>2</sub>	70.2	0.15	0.2	70.4	70.0
7	$\sigma_1$	0.6	0.13	22.9	0.7	0.3	37	R <sub>2</sub>	2.7	0.25	9.0	3.0	2.4
8	Q <sub>1</sub>	4.6	0.13	2.8	4.8	4.4	38	K <sub>2</sub>	20.2	0.21	1.0	20.5	19.8
9	$\rho_1$	0.7	0.07	9.4	0.9	0.6	39	MSN <sub>2</sub>	3.2	0.04	1.2	3.3	3.1
10	O <sub>1</sub>	22.4	0.09	0.4	22.5	22.3	40	KJ <sub>2</sub>	1.3	0.07	5.2	1.4	1.3
11	MP <sub>1</sub>	0.9	0.14	15.9	1.1	0.7	41	2SM <sub>2</sub>	5.4	0.05	0.9	5.4	5.3
12	M <sub>1</sub>	0.9	0.02	2.7	1.0	0.9	42	MO <sub>3</sub>	2.8	0.07	2.5	2.9	2.7
13	$\chi_1$	0.4	0.06	15.4	0.5	0.3	43	M <sub>3</sub>	1.6	0.04	2.3	1.7	1.6
14	$\pi_1$	0.3	0.06	18.2	0.5	0.3	44	SO <sub>3</sub>	1.8	0.04	2.0	1.8	1.7
15	P <sub>1</sub>	8.8	0.06	0.7	8.9	8.7	45	MK <sub>3</sub>	1.2	0.03	2.5	1.3	1.2
16	S <sub>1</sub>	0.9	0.16	16.9	1.2	0.6	46	SK <sub>3</sub>	1.6	0.05	2.9	1.7	1.5
17	K <sub>1</sub>	29.2	0.06	0.2	29.3	29.2	47	MN <sub>4</sub>	0.8	0.02	2.5	0.9	0.8
18	$\psi_1$	0.3	0.09	31.0	0.4	0.1	48	M <sub>4</sub>	1.8	0.01	0.7	1.9	1.8
19	$\phi_1$	0.3	0.16	50.8	0.6	0.1	49	SN <sub>4</sub>	0.2	0.03	12.5	0.3	0.2
20	$\theta_1$	0.5	0.23	48.9	0.7	0.1	50	MS <sub>4</sub>	0.9	0.03	3.5	0.9	0.8
21	J <sub>1</sub>	1.6	0.05	3.0	1.7	1.3	51	MK <sub>4</sub>	0.5	0.04	7.8	0.5	0.4
22	SO <sub>1</sub>	2.0	0.11	5.5	2.1	1.8	52	S <sub>4</sub>	0.2	0.02	10.4	0.2	0.1
23	OO <sub>1</sub>	0.9	0.23	25.5	1.2	0.6	53	SK <sub>4</sub>	0.2	0.03	11.6	0.3	0.2
24	OQ <sub>2</sub>	0.7	0.13	20.4	0.8	0.5	54	2MN <sub>6</sub>	0.4	0.01	3.3	0.4	0.4
25	MNS <sub>2</sub>	2.9	0.12	4.2	3.0	2.7	55	M <sub>6</sub>	0.9	0.02	2.1	0.9	0.9
26	2N <sub>2</sub>	1.8	0.24	13.5	2.3	1.4	56	MSN <sub>6</sub>	0.4	0.02	6.0	0.4	0.3
27	$\mu_2$	12.5	0.13	1.0	12.7	12.3	57	2MS <sub>6</sub>	1.2	0.04	2.9	1.3	1.2
28	N <sub>2</sub>	27.9	0.15	0.5	28.0	27.6	58	2MK <sub>6</sub>	0.3	0.05	15.1	0.4	0.3
29	$\nu_2$	4.9	0.08	1.7	5.0	4.8	59	2SM <sub>6</sub>	0.4	0.01	1.8	0.4	0.4
30	OP <sub>2</sub>	2.3	0.23	10.1	2.7	1.9	60	MSK <sub>6</sub>	0.4	0.01	3.3	0.4	0.3
平均潮位Z <sub>0</sub>		267.9	0.36	0.1	268.4	267.4							



は不規則に起こる気象変化である。非調和要素としてはこれ以外にも、降雨による河川水量の変動等が考えられる。有明海の海況は、潮汐、河川水、気象等により複雑な変化を示し<sup>10)</sup>、潮位観測地点がこのような海況環境にあるかぎり、信頼できる調和定数を求めるためには気象や河川流量のデータも取り込み、潮位データからこれら非調和要素の影響を取り除く処理を行わなければならない。

平均潮位は268cmで、TP値に換算すると+10cmとなった。安井ら(1954年)<sup>11)</sup>によると、三池よりも湾奥では平均潮位には余り差がなく、長期間の資料から求めた三池の平均潮位はTP値で+32cmである。従って、ここで求めた六角局の平均潮位との間には22cmもの差があることになる。1-2)-(1)で述べたように、六角局のDLのTP値はFLからの推定値であるが、これを求めたときの標準偏差は1.9cmであったので、FLからDLを推定したことにより、DLのTP値に大きな誤差を与えたとは考え難い。また、潮位データの管理には万全を期しており、調和解析の方法

についても特に不備があったとは考えられない。平均潮位は、水温や塩分により決まる海水密度の変化、河川からの流入量や降水・蒸発による水量の増減、外海の流れの影響等多くの要因により左右される<sup>9),11)</sup>ので、これらのことについても検討する必要がある。

#### 4. 潮汐表の作成

##### 1) 潮位予測の方法

潮位予測の方法には、調和法、潮汐改正数による方法、非調和法、応答法等がある<sup>12)</sup>が、このうち前者2者が用いられることが多い。

調和法は、潮汐調和定数が求められている地点において用いられている一般的な計算方法である。計算方法は式(23)、式(24)に示すように、潮汐調和定数を用いて各分潮のある日の任意時刻の潮高( $\eta_i(D \cdot t)$ )を計算し、採用した分潮の潮高の和に平均潮位を加えて潮位( $\eta(D \cdot t)$ )を推算<sup>3),12)</sup>する。式(24)中の $f_{i(D \cdot 0)}$ 、 $(V_i + u_i)_{i(D \cdot 0 \cdot ST)}$ については3-1)と同様に求める。この方法により潮汐表を作成する場

表5-2 六角局における60分潮調和定数 (遅角  $\kappa$  : °)  
1998/10/10~2000/3/31の潮位データに対して行った7回の調和解析結果からの算出値を集計

分 潮		遅角 $\kappa$ : °				分 潮		遅角 $\kappa$ : °			
No	記号	mean	max	min	範囲	No	記号	mean	max	min	範囲
1	Sa	149.8	151.4	148.3	3.1	31	M <sub>2</sub>	257.9	258.0	257.81	0.2
2	Ssa	3.3	354.4	7.7	13.4	32	MKS <sub>2</sub>	29.6	32.0	25.38	6.6
3	Mm	357.2	336.5	18.8	42.3	33	$\lambda_2$	224.4	225.7	221.45	4.2
4	MSf	44.1	50.8	32.2	18.7	34	L <sub>2</sub>	231.0	233.6	228.57	5.0
5	Mf	202.9	208.6	198.8	9.8	35	T <sub>2</sub>	307.9	309.1	306.18	2.9
6	2Q <sub>1</sub>	176.8	193.3	158.3	35.0	36	S <sub>2</sub>	293.2	293.4	293.01	0.3
7	$\sigma_1$	249.2	258.6	235.9	22.7	37	R <sub>2</sub>	280.5	284.5	274.49	10.0
8	Q <sub>1</sub>	185.7	188.0	182.4	5.6	38	K <sub>2</sub>	288.0	288.6	287.07	1.5
9	$\rho_1$	179.2	183.8	173.8	10.0	39	MSN <sub>2</sub>	75.6	77.9	73.63	4.3
10	O <sub>1</sub>	199.0	199.2	198.5	0.7	40	KJ <sub>2</sub>	171.6	177.3	160.29	17.0
11	MP <sub>1</sub>	292.0	297.6	284.2	13.4	41	2SM <sub>2</sub>	91.7	92.4	90.85	1.5
12	M <sub>1</sub>	204.5	211.4	196.9	14.5	42	MO <sub>3</sub>	137.2	138.9	134.22	4.7
13	$\chi_1$	2.0	328.4	39.8	71.4	43	M <sub>3</sub>	7.0	8.5	4.12	4.4
14	$\pi_1$	295.2	339.3	245.2	94.1	44	SO <sub>3</sub>	172.0	174.1	168.90	5.2
15	P <sub>1</sub>	223.9	224.9	223.2	1.7	45	MK <sub>3</sub>	151.1	156.6	146.38	10.2
16	S <sub>1</sub>	243.2	250.4	234.4	16.0	46	SK <sub>3</sub>	204.0	207.2	199.47	7.8
17	K <sub>1</sub>	220.5	220.9	220.2	0.7	47	MN <sub>4</sub>	59.4	62.4	56.67	5.7
18	$\psi_1$	189.0	328.8	100.5	*	48	M <sub>4</sub>	74.5	76.6	71.13	5.5
19	$\phi_1$	187.3	229.7	143.9	85.7	49	SN <sub>4</sub>	133.6	147.5	119.52	28.0
20	$\theta_1$	256.6	282.3	227.5	54.8	50	MS <sub>4</sub>	132.4	137.9	126.38	11.5
21	J <sub>1</sub>	263.7	266.2	260.9	5.3	51	MK <sub>4</sub>	102.7	107.9	95.42	12.4
22	SO <sub>1</sub>	2.7	353.2	11.5	18.3	52	S <sub>4</sub>	123.8	128.1	118.10	10.0
23	OO <sub>1</sub>	270.1	296.4	250.7	45.7	53	SK <sub>4</sub>	70.5	83.0	65.50	17.5
24	OQ <sub>2</sub>	170.0	187.4	150.5	36.9	54	2MN <sub>6</sub>	149.6	151.2	147.74	3.5
25	MNS <sub>2</sub>	324.4	327.3	322.1	5.1	55	M <sub>6</sub>	144.9	146.4	142.65	3.8
26	2N <sub>2</sub>	222.2	237.5	212.0	25.5	56	MSN <sub>6</sub>	199.9	208.1	191.96	16.1
27	$\mu_2$	318.8	320.1	317.5	2.6	57	2MS <sub>6</sub>	172.7	174.0	171.35	2.7
28	N <sub>2</sub>	255.3	255.7	254.9	0.8	58	2MK <sub>6</sub>	182.5	186.9	176.32	10.6
29	$\nu_2$	238.3	240.4	235.0	5.4	59	2SM <sub>6</sub>	233.6	234.7	231.17	3.5
30	OP <sub>2</sub>	183.4	201.1	170.4	30.8	60	MSK <sub>6</sub>	211.1	219.0	206.30	12.7

\*: 計算結果が極めて不安定であったので値範囲は示していない。

合、推算された潮位から2次補間等により満潮、干潮の潮時と潮位(潮候曲線の山と谷)を求める<sup>3),12)</sup>ため若干手間がかかる。

$$\eta(D \cdot t) = z_0 + \sum_i \eta_i(D \cdot t) \quad \dots \text{式(23)}$$

$$\eta_i(D \cdot t) = f_{i(D \cdot 0)} * H_i * \cos \{ (V_i + u_i) t_{i(D \cdot 0ST)} + \sigma_{it} - \kappa_i \} \quad \dots \text{式(24)}$$

注) 式(23), (24)中の「D・t」は潮位を求める日と時刻を表し、「D・0ST」はその日の0:00STを表す。

潮汐改正数による方法は、すでに潮汐表などにより潮位予報が行われている港を基準港として、潮時改正数と潮高比および両地点の平均潮位により、ある地点の潮時と潮位を予測する方法<sup>12)</sup>である。調和法によるよりも簡単に潮汐表が作成できるが、この方法は潮汐の型が似ている場合に適用できたもので、基準港の選定に当たっては注意を要する。

ある地点のM<sub>2</sub>分潮とS<sub>2</sub>分潮について潮汐調和定数がわかっている場合、その地点の潮時は式(25)により求まる潮時改正数を、基準港の時刻に加えて定める。また、潮高比を式(26)により求め、潮位は式(27)により予測する。

$$\text{潮時改正数} = (\kappa'(M_2) - \kappa(M_2)) / 29 + (E - E') * 2 / 29 \quad \dots \text{式(25)}$$

$$\begin{aligned} \kappa(M_2) &: \text{基準港}M_2\text{分潮の遅角} \\ \kappa'(M_2) &: \text{ある地点の}M_2\text{分潮の遅角} \\ E &: \text{基準港の東経}(\text{°}) \quad E' : \text{ある地点の東経}(\text{°}) \\ \text{潮高比} &= (H'(M_2) + H'(S_2)) / (H(M_2) + H(S_2)) \quad \dots \text{式(26)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H(M_2) &: \text{基準港}M_2\text{分潮の振幅} \\ H'(M_2) &: \text{ある地点の}M_2\text{分潮の振幅} \\ H(S_2) &: \text{基準港}S_2\text{分潮の振幅} \\ H'(S_2) &: \text{ある地点の}S_2\text{分潮の振幅} \\ \text{予測潮位} &= (\eta - z_0) * \text{潮高比} + z_0' \quad \dots \text{式(27)} \end{aligned}$$

$\eta$  : 基準港の予測潮位  
 $z_0$  : 基準港の平均潮位  $z_0'$  : ある地点の平均潮位

2) 六角局観測塔潮汐表の作成

3-2)において、六角局と三池検潮所の主要な分潮の調和定数が近似していたことから、三池港と六角局の潮汐の型は類似していると考えられる。また、住ノ江港の潮汐表をはじめ、有明海湾奥部で使われている潮汐表は、三池港を基準港として潮汐改正数による方法により作成されている<sup>1)</sup>ことから、今回作成を試みた六角局観測塔の潮汐表は、三池港を基準港とした潮汐改正数による方法によった。平成12年の三池港潮汐表に用いられたM<sub>2</sub>分潮、S<sub>2</sub>分潮の調和定数および平均潮位と、今回求めた六角局のM<sub>2</sub>分潮、S<sub>2</sub>分潮の調和定数および平均潮位を表7に示した。これらの値から潮時改正数は、

$$\text{潮時改正数} = (257.89 - 256.68) / 29 + (130.417 - 130.223) * 2 / 29 = 3\text{分}18\text{秒} \quad \dots \text{式(28)}$$

となり、有明海では湾口から湾奥にいたるまで潮汐による海面の昇降はほぼ同時に起きる<sup>10)</sup>ことを裏付けたものとなった。潮高比は、  

$$\text{潮高比} = (157.20 + 70.21) / (149.98 + 64.90) = 1.058 \quad \dots \text{式(29)}$$

となり、六角局の潮時と予測潮位は、

表7 三池港と六角局の位置、調和定数、平均潮位(平成12年)

	三池港	六角局
東経(°)	130.417	130.223
振幅H (cm)	M <sub>2</sub> 149.98*	157.20
	S <sub>2</sub> 64.90*	70.21
遅角κ (°)	M <sub>2</sub> 256.68*	257.89
	S <sub>2</sub> 292.67*	293.19
平均潮位Z <sub>0</sub> (cm)	280	303**

\*海上保安庁水路部からの聞き取り

\*\*3-2)で求めた268cmに35cmを加えた値

表6 三池検潮所の潮汐調和定数(1951年)

計算機関: 海上保安庁水路部  
 計算方法: T. I. 法

分潮		振幅H (cm)	遅角κ (°)	分潮		振幅H (cm)	遅角κ (°)
No	記号			No	記号		
1	Sa	20.7	139.2	31	M <sub>2</sub>	155.4	259.3
2	Ssa	4.0	352.7	32	MKS <sub>2</sub>	0.6	24.6
3	Mm	1.5	119.7	33	λ <sub>2</sub>	4.7	230.1
4	MSf	1.0	218.6	34	L <sub>2</sub>	5.8	245.6
5	Mf	4.9	55.9	35	T <sub>2</sub>	4.3	296.9
6	2Q <sub>1</sub>	0.6	156.5	36	S <sub>2</sub>	68.1	295.0
7	σ <sub>1</sub>	0.6	252.3	37	R <sub>2</sub>	2.3	305.0
8	Q <sub>1</sub>	4.4	185.2	38	K <sub>2</sub>	19.2	287.7
9	ρ <sub>1</sub>	1.1	201.7	39	MSN <sub>2</sub>	3.9	80.1
10	O <sub>1</sub>	22.0	199.2	40	KJ <sub>2</sub>	1.0	135.8
11	MP <sub>1</sub>	1.1	277.9	41	2SM <sub>2</sub>	5.6	92.2
12	M <sub>1</sub>	0.7	233.4	42	MO <sub>3</sub>	2.7	165.5
13	χ <sub>1</sub>	0.1	281.3	43	M <sub>3</sub>	2.2	13.1
14	π <sub>1</sub>	0.9	229.8	44	SO <sub>3</sub>	1.9	117.7
15	P <sub>1</sub>	8.8	221.6	45	MK <sub>3</sub>	1.1	222.8
16	S <sub>1</sub>	0.6	133.3	46	SK <sub>3</sub>	1.7	213.9
17	K <sub>1</sub>	29.0	218.7	47	MN <sub>4</sub>	0.9	16.6
18	ψ <sub>1</sub>	0.3	11.9	48	M <sub>4</sub>	1.4	6.6
19	φ <sub>1</sub>	0.7	227.8	49	SN <sub>4</sub>	0.6	122.4
20	θ <sub>1</sub>	0.3	318.5	50	MS <sub>4</sub>	0.7	129.7
21	J <sub>1</sub>	1.9	244.8	51	MK <sub>4</sub>	0.2	93.8
22	SO <sub>1</sub>	1.3	342.3	52	S <sub>4</sub>	0.4	57.8
23	OO <sub>1</sub>	0.5	272.5	53	SK <sub>4</sub>	0.1	213.5
24	OQ <sub>2</sub>	1.2	174.1	54	2MN <sub>5</sub>	0.6	92.9
25	MNS <sub>2</sub>	2.3	327.7	55	M <sub>5</sub>	1.1	119.7
26	2N <sub>2</sub>	5.4	207.4	56	MSN <sub>5</sub>	0.4	171.6
27	μ <sub>2</sub>	11.2	318.9	57	2MS <sub>5</sub>	1.5	137.5
28	N <sub>2</sub>	28.3	258.1	58	2MK <sub>5</sub>	0.1	172.4
29	ν <sub>2</sub>	5.1	241.1	59	2SM <sub>5</sub>	0.3	196.4
30	OP <sub>2</sub>	1.0	260.3	60	MSK <sub>5</sub>	0.4	260.0

潮時 = 三池港の潮時 + 3分 …式(30)

予測潮位 (cm) = (三池港潮位 - 280) \* 1.058 + 303

…式(31)

により求めた。なお、平成12年の住ノ江港における潮時改正数は+25分、潮高比は1.15、平均潮位は296cmとなっている。

### 5. 六角局観測塔潮汐表の評価

平成12年7月～9月中旬までの2ヶ月半にわたり、4-2)により作成した潮汐表と、六角局における観測潮位から2次補間により推定した実況潮汐の比較を行った。潮時、潮位について実況値－潮汐表値を計算し、その時系列を図5に示した。計算結果は満潮、干潮ごとに集計し表8に示した。

潮時差をみると、満潮は平均で-0:03(潮汐表値の方が3分遅い)、干潮は-0:02であった。潮時差の範囲は満潮-0:24～+0:10(sd=0:05)、干潮は-0:29～+0:12(sd=0:07)であった。潮位差は、満潮は平均で-7.9cm(潮汐表値の方が7.9cm高い)、干潮は-13.2cmであった。潮位差の範囲は、満潮-35cm～+25cm(sd=12.14cm)、干潮-40cm～+27cm(sd=11.83cm)であった。

このように、平成12年7月～9月中旬の実況潮汐と潮汐表の比較結果をみると、この期間については潮時につい

表8 六角局における実況潮汐と潮汐表の比較 (2000/7/1～9/16)

	満 潮		干 潮	
	潮時差	潮位差(cm)	潮時差	潮位差(cm)
mean	- 0:03	-7.9	- 0:02	-13.2
max	+ 0:10	25	+ 0:12	27
min	- 0:24	-35	- 0:29	-40
s.d.	0:05	12.14	0:07	11.83

てはやや遅め、潮位についてはやや高め、特に干潮位が高く予測されたことになる。しかし、一般的には実況値と予測値の差は異常気象等の場合を除き、潮時では20～30分以内、時には1時間以内、潮位では約30cm以内といわれている<sup>1)</sup>ので、ここでみられたような差は実用上はあまり問題にならない程度であろう。従って、今回作成した六角局観測塔の潮汐表は、干潮時の潮位予測の精度が若干落ちるもののノリ養殖場に適用できると考えられた。ただ、実況潮汐と潮汐表の比較期間が僅か2ヶ月半と短かったため、今後もモニタリングを続け検討を重ねる必要がある。

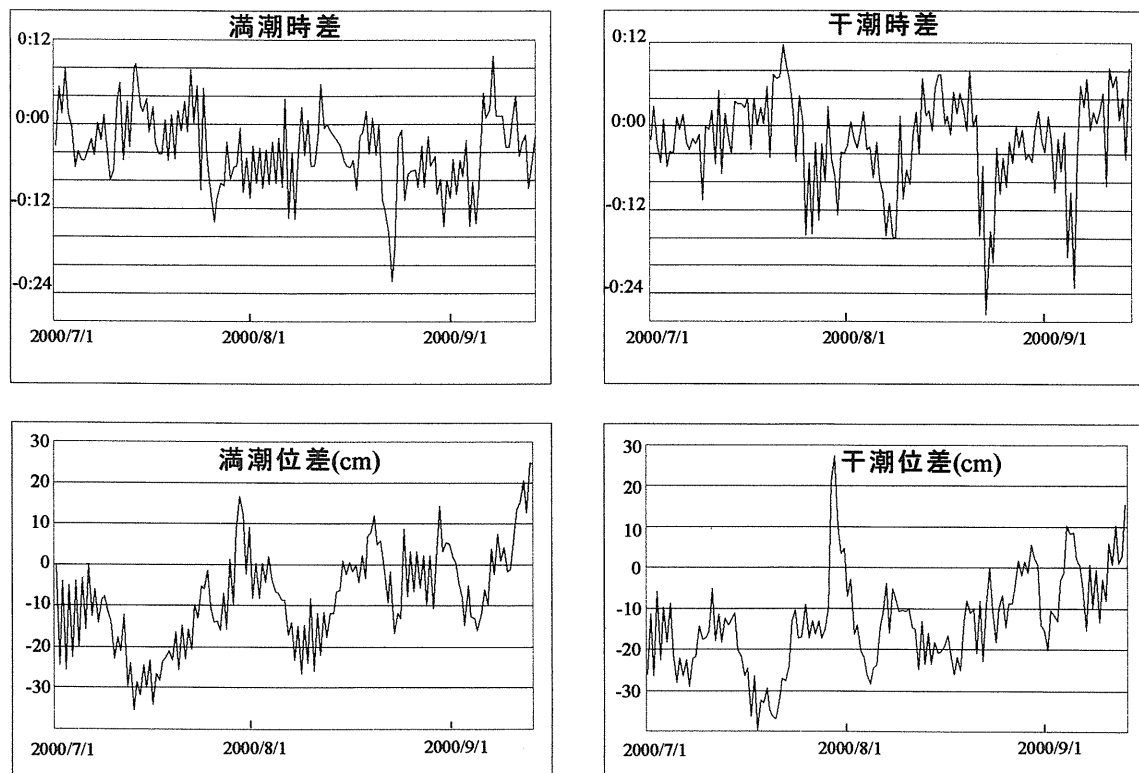


図5 六角局における実況潮汐と潮汐表の比較  
(実況値－潮汐表値)

## おわりに

平成12年10月～12月には六角局観測塔の潮汐表を作成し、佐賀県有明海漁連を通じ県内のノリ養殖業者に試験的に配付した。さらに平成13年の潮汐表についても作成し配付した。しかし、気象庁が行っている潮位予測で用いられる調和定数は、各年の潮位観測データから得られる調和定数の10年間の平均値が、平均潮位は5年間の平均値が用いられている<sup>2),3)</sup>。また、諫早湾干拓が開始された1980年代後半以降、気象庁大浦検潮所の観測結果からM<sub>2</sub>分潮の振幅が徐々に減少し、この10年間で約5cm小さくなったことが示されている<sup>13)</sup>。このようなことから、今後もデータの蓄積とデータの処理方法の改善に努め、より信頼できる数字に基づいた潮位予測を行わなければならない。

## 文 献

- 1) 海上保安庁水路部 1975：改正数・非調和定数. 書誌第781号 潮汐表第1巻日本及び付近.
- 2) 気象庁編 1999：潮汐観測. 海洋観測指針（第2部）, 44-45.
- 3) 気象庁編 1999：潮汐の推算と調和分析. 海洋観測指針（第2部）, 83-90.
- 4) 海上保安庁水路部 1992：潮汐計算略説. 書誌第782号 日本沿岸潮汐調和定数表, 242-245.
- 5) 和達清夫監修 1987：潮汐の調和分析. 海洋大事典. 東京堂出版, 351-353.
- 6) 海上保安庁水路部 1983：調和定数の利用法. 書誌第782号 日本沿岸潮汐調和定数表, 169-171.
- 7) 藤本昌宣 1997：有明海における潮汐について. 平成9年度公開講座「有明海沿岸域の自然と文化」. 佐賀大学農学部環境情報工学系, 1-6-1-9.
- 8) 応用統計ハンドブック編集委員会 1980：回帰と相関. 応用統計ハンドブック. 養賢堂, 135-136.
- 9) 農林土木学会水産土木研究会編 1980：水位の推算. 水産土木ハンドブック. 緑書房, 44-47.
- 10) 井上尚文 1980：有明海の物理環境. 海洋科学, 12-(2). 海洋出版, 116-126.
- 11) 安井善一・赤松英雄・中村勲 1954：有明海の潮汐と潮流について. 有明海の総合開発に関連した海洋学的研究(I). 長崎海洋气象台, 12-29.
- 12) 和達清夫監修 1987：潮汐の予報. 海洋大事典. 東京堂出版, 353-356.
- 13) 宇野木早苗 2001：湾域の環境を決める海水の流れ. 科学, 岩波書店, (827), 912-920