

グループ化最小自乗法による潮汐・潮流調和分解

小田巻 実：沿岸調査課

Harmonic Analysis for Short Period Tide and Tidal Current Data Using Grouped Least Square Method

Minoru Odamaki : Coastal Surveys and Cartography Division

1. はじめに

潮流観測や港湾測量に伴う潮汐観測は長くても数カ月程度の作業であり、観測期間が十分には取れないためきちんとした調和分解を行うことは難しい。そこで、1昼夜、数昼夜、15昼夜調和分解、あるいはT. I.法とかダーウィン法と称する1ヶ月程度の便宜的な調和分解が行われる。すなわち、現在、実用的に用いられている調和法の計算では、Doddsonによる1年程度までの潮汐ポテンシャルの展開にもとづいており、数カ月程度ではGroup、数日程度ではSpecies程度までしか分解能がないため、1年以上の変化を表現するのに必要なConstituent段階の調和定数を求めることができない。そこで「各調和定数の振幅比を平衡潮汐の関係に設定する」などの仮定を設けて、Constituent段階まで求めておくことが行われる。各種の短期調和分解計算は、見かけ上いろいろ異なった印象を与えるが、この困難を越えるための仮定の設定の違いに過ぎない。

一方、最近の潮流観測では、「観測期間が長ければ長いほど良い？」というドグマにあぐらをかいて、小数の点で長期観測するだけで事足りりとする傾向が見られる。しかしながら、潮流観測に求められているのは、航行に重要な点における潮流予報に必要な調和定数を求めることと同時に、その海域の航路設定に必要な潮流の流況分布パターンを描くことであり、そのためには空間的に散らばった多くの観測点が必要である。もちろん、多数の点で長期の観測を行うことは不可能であるとともに非効率的でもある。そこで、従来から潮流観測では、数点の代表点で15日から30日程度の長期観測、その周りの観

測点では大潮の時期に数点ずつ1昼夜観測を行い、代表点での精度の良い調和定数とその周りの流況分布を効率よく調査する戦略が採用されてきた。そして、前者から得られる調和定数に対し、大幅な仮定を設けて後者から算出したConstituent段階の調和定数を「準定数」と呼び、両者を統合して潮流図などの調製が行われてきているわけである。

港湾測量などにおいては、基本水準面の設定のために短期の潮汐観測が行われ、平均水面については最寄りの基準験潮所との比較により短期平均水面から永年平均水面に補正することが行われる。短期調和分解そのものについても、基準験潮所の調和定数を参照することにより、前述の困難に対する仮定を適切に設定することが考えられる。このように、今後とも短期調和分解は実用的な潮汐・潮流の解析手法として残ってゆくと考えられることから、1昼夜から1ヶ月程度の短期調和分解に用いる仮定の表現を整理し、統一的な計算ができる方法の開発を試みた。

2. グループ化最小自乗法

地球潮汐などノイズが少なく、長期にデータが得られるものに関しては、統計数理解析研究所と国立天文台の研究グループによって“BAYTAP”と呼ばれる解析手法がほぼ確立されている(石黒ほか1984)。その要点は、長期トレンドにはベイズ型統計を用い、潮汐成分にはspeciesでGroupingし、グループ内の各分潮の振幅・遅角が「滑らか」に変化しているとした仮定にある。15日とか1ヶ月程度の短期データでは十分な統計解析は望めないもので、本プログラムでは、相互の分離ができない分潮に対し

て振幅・遅角の関係をあらかじめ仮定することによって分解することにした。従って、分潮相互の振幅と遅角の関係が適切に設定できるならば、1日のデータから60分潮を求めることさえ可能である。これは、TI法やダーウィン法などの調和分解において、主要分潮の分解に対して後から副次分潮の算出・補正を施す手法を一般化したものである。計算式その他については、小田巻(1981)の15昼夜調和分解とほぼ同じである。

プログラムは、できるだけサブルーチン化して計算機能をわかりやすくした。また、改造のし易さや教育用にも用いることを考えてBASICで組んだ。構成は以下のとおり。

〈プログラムの構成〉

Main Program

—Group化最小自乗法による調和分解—

* HARMSHRT

Sub Programs

(1) データと各分潮のパラメータの入力

* TIDE.DATA.FILEIN

* TIDE.TABLE 1

* TIDE.ASTRO

* TIDE.TABLE 2

(2) 標準点の調和定数群の入力

* REF.TIDE.HCFLIN

* TIDE.ASTRO

(3) 調和分解期間に合わせた分潮グループのセット

* GROUPING.TIDE

* TIDE.INITV0

* GROUP.TIDE.SET

(4) 最小自乗法の正規行列、観測ベクトルを計算し、解を求める、

* LEAST.MATRIX

* OBS.VECT

* GAUSS.SEIDEL

(5) グループ毎に元の分潮成分を求める

* HARMONIC.CONSTANT.CONVERSION

* HC.OUTPUT

(6) 観測値—推算値の計算

* TIDE.PREDICTING.HARMONIC.CON-

STANT.SET

* TIDE.PREDICTION

* OBS.PRE.ERROR

(7) チェックのための図示

* TIDE.CURVE.DRAW

2.1 分潮グループ分け

2.1.1 (1年:G0)

66分潮。従来の60分潮の調和分解は1年間の毎時データを対象にしていたので、この場合、仮定を導入する必要はない。6分潮は、人工的に1/5日周潮群を追加したもの。

2.1.2 (1ヶ月~:G1)

35分潮群。長周期分潮はMmとMsf。Sa, Ssaの影響は、平均水面(定数項)に出て来る。日周潮・半日周潮のうち、 $K_1(+P_1)$, $\mu_2(+2N_2)$, $N_2(+v_2)$, $S_2(+T_2+K_2)$ 分潮については、()内の分潮との関係の仮定を導入している。

2.1.3 (15日~:G2)

14分潮群。長周期分潮はすべて定数項(平均水面)に含まれる。日周潮3, ただし $K_1(+P_1)$ 。半日周潮3, ただし $S_2(+K_2)$ 。1/3日, 1/4日, 1/6日, 1/5日分潮, それぞれ2成分ずつの構成。

2.1.4 (1日~:G3)

3分潮群。1日($K_1+O_1+P_1+Q_1$)、半日($M_2+S_2+K_2+N_2$)、1/4日(M_4+MS_4)。

2.1.5 (その他)

分潮のグループ分けについては、最小自乗法の係数行列が不安定を起こさない範囲で任意に設定可能。不安定になるようならば、最寄りの分潮の振幅・遅角に対して相互関係の仮定を導入して未知数から落とし、次数を下げる。ただし、自動ではないので、* HGTABLE 1 と * GROUPING.TIDEのパラメータ設定を変更すること。

2.2 分潮相互の振幅・遅角の関係の仮定

2.2.1 標準点 (Referenced port or stn.)

分潮分離の基準となる標準港または潮流標準地点の位置及び調和定数をファイルから入力。ファイル名は、地点名+".HCT"となっている。

2.2.2 平衡潮 (Astronomical)

観測点の緯度などから平衡潮に基づく各分潮の振

幅比を計算して設定。遅角については、すべて同じ(0°)としている。

2.2.3 仮定無し (Not referred)

1年の調和解のようにデータ長と算出する分潮群が適当に設定されているならば、仮定を必要としない。1年より短いデータに対する計算(G1, G2, G3)では、副次分潮が入っているので、必ず関係の仮定が必要。

3. 調和解結果の検討

計算プログラムのチェックとして、あらかじめわかっている潮汐調和定数による名古屋港の毎時推算値を調和解し、再帰性を調べた。

〈1昼夜調和解〉

24個のデータに対して、名古屋港の潮汐調和定数を分潮分離の基準(2.2.1)とした場合と平衡潮を基準(2.2.2)とした場合を計算した。元のデータ(Obs.)と得られた調和定数による推算値(Pre.)との差の標準偏差(Obs.-Pre.)は、当然のことながら、前者の方が良い。前者をもとの調和定数と比較すると、日周潮($Q_1+O_1+P_1+K_1$)では1割ほど大きく、半日周潮($N_2+M_2+S_2+K_2$)では1割ほど小さくなっている。遅角では、日周潮はほぼ元のものと同じであるが、半日周潮では10°ほど遅れている。一方、後者では、各分潮群($Q_1+O_1+P_1+K_1$, $N_2+M_2+S_2+K_2$, M_4+MS_4)内では遅角の差を0においているので、各分潮群の遅角はすべて同じになり、振幅では、日周潮は2倍、半日周潮では2割減になっている。

〈15昼夜調和解〉

名古屋港を基準とした場合と平衡潮を基準とした場合の推算誤差 Obs.-Pre.は、両方とも3.39cmで、ほとんど違いがない。これは、分潮分離のための仮定を必要としたのが K_1+P_1 と S_2+K_2 の二つだけであり、他の分潮は単独で算出されているからである。

〈30昼夜調和解〉

名古屋港基準と平衡潮基準の Obs.-Pre.を比べると、1.49cmと1.52cmで後者の方が若干悪くなっている。これは、データの期間が長くなったと同時に分潮数が増えて、仮定を必要とする分潮が、 K_1+P_1 ,

$2N_2+Mu_2$, N_2+Nu_2 , $S_2+K_2+T_2$ などに増えたからである。それぞれの調和定数には大きな違いは見られず、元の調和定数と比較してもほとんどの調和定数には違いは見られないが、近傍の周波数帯域に S_1 や SO_3 などの有意な振幅の分潮が隠れている。 K_1+P_1 や MK_3 などには差が残るようである。

4. まとめ

従来、短期の調和解としては、1ヶ月、15昼夜、数昼夜、1昼夜などデータの期間毎に独特の計算手法が使われてきた。しかし、見かけはいろいろ違っても、完全な分潮の分離を行うことができないので何らかの仮定を導入している面からは、いずれも同じである。

もともと1昼夜の計算では、1日を基本周期とするフーリエ級数展開によって、speciesレベルの日周潮、半日周潮、1/4日周潮が算出されるが、日によって著しく変わるので調和定数としては物足りない。そこで、潮流図を編集する際などには、各点の1昼夜資料をある標準の状態における値に換算しておけば、異なる日の観測であっても統一的に使えるのである。この換算は、大潮改正計算と称され、古来、いろいろなやり方が工夫されてきた(例えば、小倉伸吉1932)。この換算には、本稿で論じたのと同様、平衡潮または基準となる港などの調和定数の構造(分潮相互の振幅比と遅角差)が必要とされた。この換算が異常に適用され出すと、大潮への換算に留まらず、準定数などと称され、意味のあるものかのようになら始める。たった1日のデータから1年の潮汐変化を表すようなものを作り出すのだから、仮定や計算の危うさも拡大する危険性に十分留意しておく必要があると思われる。数昼夜、15昼夜、1ヶ月の調和解でも事情は同じであるが、1ヶ月を基本周期とする太陰に基づく分潮は独立して分離できるようになるので、潮汐現象に対する月と太陽の軽重を考えれば、1昼夜に比べよほど危うさは少なくなる。

今回のグループ化最小自乗法による調和解計算では、分潮の取捨選択や仮定の導入がほぼ任意に換えられるので、計算上の困難はほぼ解消したといえ

る。

5. 追記

その後、半日周潮が小さくなる大阪湾から明石海峡付近のデータなどで試してみたところ、分潮群内の組み合わせ次第では思わしくない結果が出るのがわかり、30昼夜は Doodson の29分潮、15昼夜は水路部の10分潮などの伝統的なものにもどした。第1表に、呉と神戸のデータで1カ月の調和分解を行った例を示す。

今回は、十分に検討することができなかったが、調和分解についての基本的に再検討しておくべき課題として浅海潮汐が残されている。これは、潮汐波が沿岸浅海域に入ってきたときに流体力学的な非線形変形を受けて歪むことである。第1図は、広島湾の呉の潮汐の例であるが、潮汐曲線が尖って三角波のように変形している。このような変形を考慮して精度を上げるため、倍潮・複合潮といった高次分潮をどのように選択・導入するのかが沿岸域の調和分解のキーポイントとなっている。ちなみに、Doodson の29分潮や60分潮では3次までの倍潮・複合潮が考慮されている。第1表の呉や神戸では、1/3、1/4、1/6日周潮に数 cm の振幅が現れている。

実は、日本ではあまり行われていないが、浅海における潮汐波形の歪を補正するには、一旦推算された高低潮の時刻と潮高をさらに補正する浅海補正 (Harmonic Shallow Water Correction) が施さ

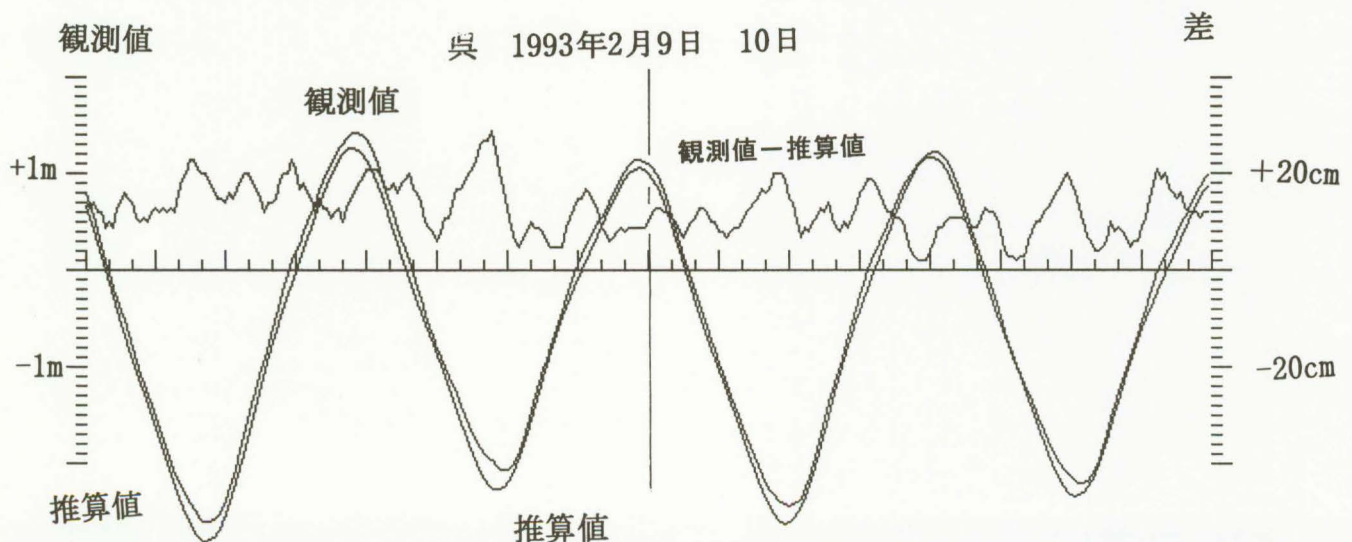
れる。高次分潮を増やして HSWC と比較する試みが為されたが、いまのところ HSWC を越える手法は見つかっていない (M. Amin 1977)。この一つの原因は、各分潮の振幅や遅角が日によって揺らぎ (?), 線スペクトルが裾野を持つようになって連続スペクトルの様になるものと言われており、分潮数を増やしたところで推算精度が上がるとは限らず、かえって悪くなることも考えられる (B. Zetler 1991)。現在の所、このような連続スペクトルを持つような潮汐現象を推算する手法は無さそうであるが、多くの験潮所はテレメータ化されており、今後、準リアルタイムのデータを使った調和分解・推算などの可能性も含めて検討してゆくこととしたい。

最後に、データの提供・整理を手伝ってくれた沿岸調査課解析担当の平岩恒広・瀬尾徳常両氏に感謝する。

なお、本研究の一部は、平成6年度笹川記念海上保安教育援助基金による研究「浅海潮汐波の解析手法による研究」の成果に基づいている。

参 考 文 献

- (1) 小倉伸吉1932「軍艦淀の黄海に於ける潮汐及潮流の観測結果に就いて」水路要報第11年 (昭和7年), 185-203.
- (2) 小田卷実1981「最小自乗法による潮汐・潮流の短期調和分解の一つの試み」水路部研究報告16号, 71-82.



第1図 呉の潮汐の観測値・推算値・その差

(3) 石黒真木夫・佐藤忠弘・田村良明・大江昌嗣
 1984「地球潮汐データ解析—プログラム
 BAYTAP—の紹介」統計数理解析研究所彙
 報32-1, 71-85.

(4) M. Amin 1977 : Some Recent Investigations
 Into the Harmonic Shallow Water Correc-
 tion Method of Tidal Predictions, I. H. R.,
 LIV (1), 87-108.

(5) B. D. Zetler 1991 : A Necessary Constraint
 On The Use of Extended Harmonic Analy-
 sis For The Predictions, I. H. R. LXVIII (2),
 109-111.

第1表

位置	呉	神戸
	34°14'N	34°41'N
	132°33'E	135°12'E
S ₀	264.2cm	329.0cm
分潮		
1 Mm	2.8cm 353.0°	4.4cm 4.0°
2 MSf	3.3 140.7	2.6 337.4
3 Q ₁	4.4cm 199.6°	3.2cm 160.0°
4 O ₁	25.0 196.9	20.5 180.8
5 M ₁	0.7 203.0	1.3 186.6
6 P ₁	10.6 219.1	9.1 202.8
7 K ₁	32.0 219.1	27.5 202.8
8 J ₁	1.7 243.2	0.9 240.4
9 OO ₁	2.9 272.5	1.1 331.8
10 Mu ₂	1.1cm 156.5°	4.5cm 149.9°
11 N ₂	18.3 268.6	7.0 204.7
12 Nu ₂	3.5 268.6	1.3 204.7
13 M ₂	103.3 278.5	30.6 216.3
14 L ₂	5.8 275.4	1.0 192.8
15 S ₂	45.3 309.4	18.1 231.4
16 K ₂	12.3 309.4	4.9 231.4
17 2SM ₂	1.7 195.4	1.1 290.3
18 MO ₃	0.8cm 187.6°	2.0cm 309.7°
19 M ₃	0.4 348.9	1.0 237.3
20 MK ₃	0.2 264.5	0.7 14.1
21 MN ₄	0.5cm 94.1°	0.1cm 147.6°
22 M ₄	1.4 18.9	1.4 13.6
23 SN ₄	0.4 44.0	0.3 27.5
24 MS ₄	1.6 81.6	1.6 65.1
25 2MN ₆	2.0cm 157.7°	0.4cm 165.3°
26 M ₆	3.4 146.4	1.4 214.4
27 MSN ₆	0.9 169.5	0.6 236.2
28 2MS ₆	4.3 199.5	2.2 256.4
29 2SM ₆	1.3 265.0	0.9 256.3

