

潮汐潮流資料処理のためのデジタルフィルター

佐藤 敏 : 海洋情報課

Digital Filters for Processing Data of Tides and Tidal Currents

Satosi Sato: Oceanographic Data and Information Division

1. はじめに

潮汐, 潮流データの解析は毎時値を扱うことが多く, 原資料(アナログ, デジタルとも)を平滑化して毎時値をサンプリングしている。原資料のサンプリング時間間隔は, デジタル記録される観測機器を用いた場合, 観測者が観測期間と観測機器の電池容量, 記録媒体の容量等を勘案して決定しているのが現状である。したがって, 適当に定められているサンプリング間隔に対応して, それぞれに応じた平滑化の方法が必要となっている。

次節では, 原資料を平滑化し, 毎時値をサンプリングするためのデジタルフィルターを Thompson (1983)の方法に基づいて作成したものを示す。そして, それ以下の節では日平均資料作成のためのデジタルフィルター, さらにそれ以上の長期間の平均値資料作成のためのデジタルフィルターを示す。

2. 毎時値作成のためのデジタルフィルター

潮汐, 潮流の調和分解を行うための毎時値をサンプリングするためには, エイリアジング効果による偽波動を生じさせないように, 短周期成分(この節の毎時値作成の場合には2時間以下の周期)を除去しなければならない。この除去のためには一般的に対称デジタルフィルターが用いられる。単位時間間隔でサンプリングされた資料 $\{x(t)\}$ から, 対称デジタルフィルターを用いて短周期成分を除去し, 長周期成分 $\{y(t)\}$ や取り出す操作は次式による,

$$y(t) = \sum_{k=-N}^N W_k x(t + k\Delta t) \quad (1)$$

ここで, Δt はサンプリング時間間隔, W_k は重み係数である。信号の位相を保つために, 時間的に対称であるという条件及び, 出力信号の大きさを保つための条件,

$$W_{-k} = W_k, \quad \sum_{k=-N}^N W_k = 1 \quad (2)$$

が課される。

Thompson (1983)の論文は, 日平均資料を得るためのタイドクリアフィルターと呼ばれるデジタルフィルターの論文であり, フィルターは海洋の時系列資料に顕著に現われる潮汐周期と慣性周期の信号を完全にゼロにするという条件を課して設計されている。そのような条件はこの節の趣旨とは異なるが, その論文の設計法はどのような周期に対しても適用できるので用いることにした。この節では完全にゼロにするという条件は全く課すことなく, カット・オフ時間を2時間として, デジタルフィルターを設計している。

第3表 サンプリング時間間隔5分の資料から毎時値資料を作成するための
デジタルフィルターの重み係数

K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)
0	0.062456688										
1	0.042031417	2	0.060766809	3	0.058696088	4	0.055873400	5	0.052372023	6	0.048281945
7	0.043706908	8	0.038761072	9	0.033565316	10	0.028243455	11	0.022918381	12	0.017708360
13	0.012723552	14	0.008062929	15	0.003811646	16	0.000038965	17	-0.003203192	18	-0.005881057
19	-0.007979169	20	-0.009499897	21	-0.010462357	22	-0.010900816	23	-0.010862609	24	-0.010405766
25	-0.009596372	26	-0.008505663	27	-0.007207388	28	-0.005774959	29	-0.004278955	30	-0.002784865
31	-0.001351163	32	-0.000027790	33	0.001144931	34	0.002136918	35	0.002928525	36	0.003510307
37	0.003882384	38	0.004053510	39	0.004039829	40	0.003863471	41	0.003551005	42	0.003131852
43	0.002636718	44	0.002096124	45	0.001539075	46	0.000991927	47	0.000477488	48	0.000014358
49	-0.000383469	50	-0.000706741	51	-0.000950866	52	-0.001115592	53	-0.001204535	54	-0.001224548
55	-0.001185009	56	-0.001097050	57	-0.000972780	58	-0.000824537	59	-0.000664221	60	-0.000502696

第4表 サンプリング時間間隔10分の資料から毎時値資料を作成するための
デジタルフィルターの重み係数

K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)
0	0.124827107										
1	0.121453215	2	0.111683131	3	0.096525381	4	0.077513583	5	0.056508813	6	0.035465328
7	0.016193822	8	0.000155465	9	-0.011685711	10	-0.018934582	11	-0.021755598	12	-0.020789724
13	-0.017014770	14	-0.011576492	15	-0.005614201	16	-0.000110710	17	0.004216090	18	0.006967898
19	0.008065533	20	0.007700707	21	0.006254253	22	0.004198693	23	0.002003314	24	0.000056993
25	-0.001381125	26	-0.002199280	27	-0.002421363	28	-0.002173063	29	-0.001635923	30	-0.001000072

第5表 サンプリング時間間隔15分の資料から毎時値資料を作成するための
デジタルフィルターの重み係数

K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)
0	0.195061728										
1	0.182204388	2	0.146915460	3	0.097981425	4	0.046898095	5	0.004367506	6	-0.022674710
7	-0.032530120	8	-0.028354879	9	-0.016287913	10	-0.002938312	11	0.006779791	12	0.010769540
13	0.009634507	14	0.005634006	15	0.001317432	16	-0.001557846	17	-0.002469848	18	-0.001927509
19	-0.000885368	20	-0.000142810								

第1表から第5表には、それぞれ原資料のサンプリング時間間隔が1分、2分、5分、10分、15分の場合のデジタルフィルターの重み係数を示している。サンプリング時間間隔が1分の場合は前後300個ずつの資料と自分自身 ($k=0$)、あわせて全部で601個の資料を使用して平滑化するデジタルフィルターとなっている。その他のデジタルフィルターも前後300分ずつの資料を使うフィルターとなっている。

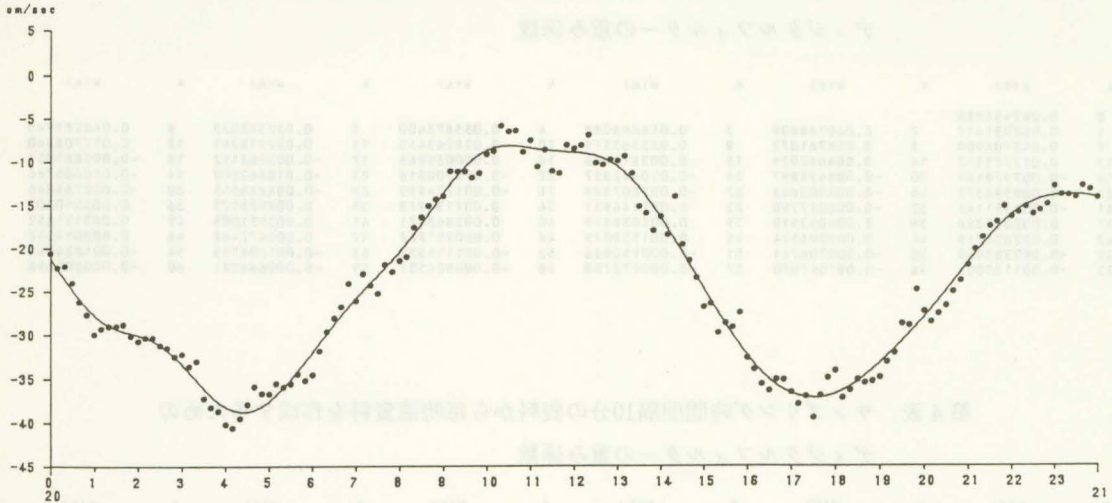
なお、デジタルフィルターの設計方法の詳細については説明を省略したが、それに関しては原論文を参照されたい。

第1図は、10分間隔でサンプリングされた潮流資料を第4表に示したデジタルフィルターを用いて平滑化した例である。

3. 日平均資料作成のためのデジタルフィルター

日平均値を使って資料解析をする際の、日平均値としてはエイリアジング効果による偽波動の発生を避けるために、48時間以下の周期の短周期成分を除去することが望まれる(花輪, 三寺1985)。

花輪, 三寺(1985)は、前後120時間ずつ、自分自身も含めて合計241個の毎時値を用いて日平均資料をサンプリングするためのデジタルフィルターを、同じThompson(1983)の方法に基づいて設計して



第1図 10分間隔のサンプリングの潮流資料を平滑化した例

いる。その241個の資料を使うデジタルフィルターの場合、少しギブス現象が発生するので、ここでは、前後192個ずつの毎時値、合計では385個の毎時値を用いるフィルターを設計した。M2, S2, K2, N2, K1, O1, Q1の7分潮の周期と北緯35.5度における慣性周期（東京湾を対象とした）の信号がゼロとなる条件を課し、カット・オフ時間を48時間として設計した。第6表にそのデジタルフィルターの重み係数を示した。

第6表 サンプリング時間間隔1時間の資料から日平均資料を作成するためのデジタルフィルターの重み係数

K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)
0	0.034398108								
1	0.034330454								
6	0.032003595								
11	0.026722709								
16	0.019429465								
21	0.011372229								
26	0.003853854								
31	-0.002042111								
36	-0.005693275								
41	-0.006930082								
46	-0.006088578								
51	-0.003872484								
56	-0.001122704								
61	0.001350492								
66	0.002990791								
71	0.003528002								
76	0.003013591								
81	0.001799682								
86	0.000335020								
91	-0.000949430								
96	-0.001757058								
101	-0.001965525								
106	-0.001593835								
111	-0.000852838								
116	-0.000028750								
121	0.000643056								
126	0.001005654								
131	0.001042792								
136	0.000794641								
141	0.0003711474								
146	-0.000052046								
151	-0.000374982								
156	-0.000518388								
161	-0.000487168								
166	-0.000336955								
171	-0.000117066								
176	0.000056013								
181	0.000159607								
186	0.000194749								
191	0.000162845								
2	0.034127866	3	0.033791470	4	0.033323216	5	0.032725972		
7	0.031161007	8	0.030204184	9	0.029140127	10	0.027976746		
12	0.025387287	13	0.023980173	14	0.022511352	15	0.020991008		
17	0.017837157	18	0.016224628	19	0.014602516	20	0.012981501		
22	0.009785177	23	0.008230498	24	0.006717849	25	0.005256230		
27	0.002518073	28	0.001255355	29	0.000071319	30	-0.001029208		
32	-0.002963926	33	-0.003791811	34	-0.004523556	35	-0.005157632		
37	-0.006130563	38	-0.006470490	39	-0.006714996	40	-0.006866950		
42	-0.006908867	43	-0.006808394	44	-0.006634217	45	-0.006392231		
47	-0.005729588	48	-0.005321753	49	-0.004871727	50	-0.004386318		
52	-0.003337286	53	-0.002787812	54	-0.002231074	55	-0.001673879		
57	-0.000583583	58	-0.000062028	59	0.000437010	60	0.000909139		
62	0.001757672	63	0.002127698	64	0.002457975	65	0.002746281		
67	0.003190137	68	0.003343468	69	0.003450526	70	0.003511691		
72	0.003501131	73	0.003433345	74	0.003327380	75	0.003186327		
77	0.002812678	78	0.002587200	79	0.002340783	80	0.002077066		
82	0.001512276	83	0.001218494	84	0.000921977	85	0.000626320		
87	0.000051402	88	-0.000221448	89	-0.000480756	90	-0.000724100		
92	-0.001155060	93	-0.001339627	94	-0.001502039	95	-0.001641418		
97	-0.001848395	98	-0.001915017	99	-0.001956692	100	-0.001973425		
102	-0.001933659	103	-0.001878898	104	-0.001802717	105	-0.001706973		
107	-0.001465691	108	-0.001325048	109	-0.001174448	110	-0.001016244		
112	-0.000686363	113	-0.000518839	114	-0.000352178	115	-0.000188218		
117	0.000124472	118	0.000269755	119	0.000405515	120	0.000530337		
122	0.000742799	123	0.000829024	124	0.000901508	125	0.000960304		
127	0.001037914	128	0.001057453	129	0.001064605	130	0.001059642		
132	0.001014311	133	0.000974559	134	0.000924096	135	0.000863749		
137	0.000718171	138	0.000635943	139	0.000515886	140	0.000460993		
142	0.000282398	143	0.000194799	144	0.000109468	145	0.000027012		
147	-0.000127181	148	-0.000197790	149	-0.000117444	150	-0.000322487		
152	-0.000419928	153	-0.000456816	154	-0.000485411	155	-0.000505804		
157	-0.000523779	158	-0.000522707	159	-0.000515886	160	-0.000503906		
162	-0.000465878	163	-0.000440108	164	-0.000409901	165	-0.000375399		
167	-0.000295222	168	-0.000251145	169	-0.000205901	170	-0.000160791		
172	-0.000075776	173	-0.000037652	174	-0.000003034	175	0.000028090		
177	0.000081164	178	0.000103953	179	0.000124643	180	0.000143262		
182	0.000173299	183	0.000183902	184	0.000191063	185	0.000194635		
187	0.000191820	188	0.000186484	189	0.000179465	190	0.000171429		
192	0.000153890								

なお、どうしてこのようなデジタルフィルターが必要なのかについては、花輪、三寺（1985）の論文に詳しいので参照されたい。

4. もっと長い時間の平均資料作成のためのデジタルフィルター

地震予知連絡会会報第41巻の国土地理院の報告「4-7伊豆大島の地殻変動」には、伊豆大島の岡田検潮所と相模湾周辺の油壺、布良、南伊豆の各験潮所との月平均潮位を比較して、「1986年11月の噴火時に岡田は約5cm沈降したが、以来その沈降が回復する兆候は認められない。」と記述している。地震関係でどのような言葉が一般的な意味以外で使用されるのかについて筆者は詳しく知らないのですが、沈降という言葉が普通の日本語の用法なのか、潮位差があれば全て沈降、隆起といった表現になるのかわからない。ただ、岡田と油壺、布良の潮位差に1986年11月に変動が生じているが、南伊豆との比較ではそれほどの変化がないので、沈降という言葉は大雑把に使われていると想像されるが、ひょっとしたら現実に沈降していると考えているのかも知れない。

地殻の鉛直変動を見積るために、近くの験潮所間の潮位差を調べることが行われている。これは、潮汐の場合、種々の目的で各地で観測が実施されており、正確な時系列資料が他の観測に比べてはるかに安価に得られることが原因であると考えられる。そして、地殻の長期的な鉛直変動を見る場合には、実際に非常に有効な方法であると考えられる。

しかし、はたして潮汐観測は短期的な変動を調べるには有効なのであろうか。いささか古い論文になるが、潮汐観測による地殻変動の検出を扱った論文（加藤、津村1979）の中で、海況変動に関連して短期的変動の検出については「将来の研究に俟たねばならない」との表現で少なくとも現在は無理だと、その方面の専門家も表明している。

また、地震予知関係で扱われる潮位の資料は月平均値のみであり、数カ月といった短期的変動を調べるには、この小論で取り扱っている平滑化の面から見ると欠点がある。潮位を月平均値で比べることは、少なくとも1ヶ月以下の周期での変動を検討対象からはずすことを意味している。ところが、月平均では1ヶ月以下の周期の変動が必ずしも除去しきれないという欠点がある。第2図は日平均潮位31日間移動平均をプロットしたものである。明らかに短い周期の変動がノイズとして残っている。但し、ノイズの大きさ自体は1～

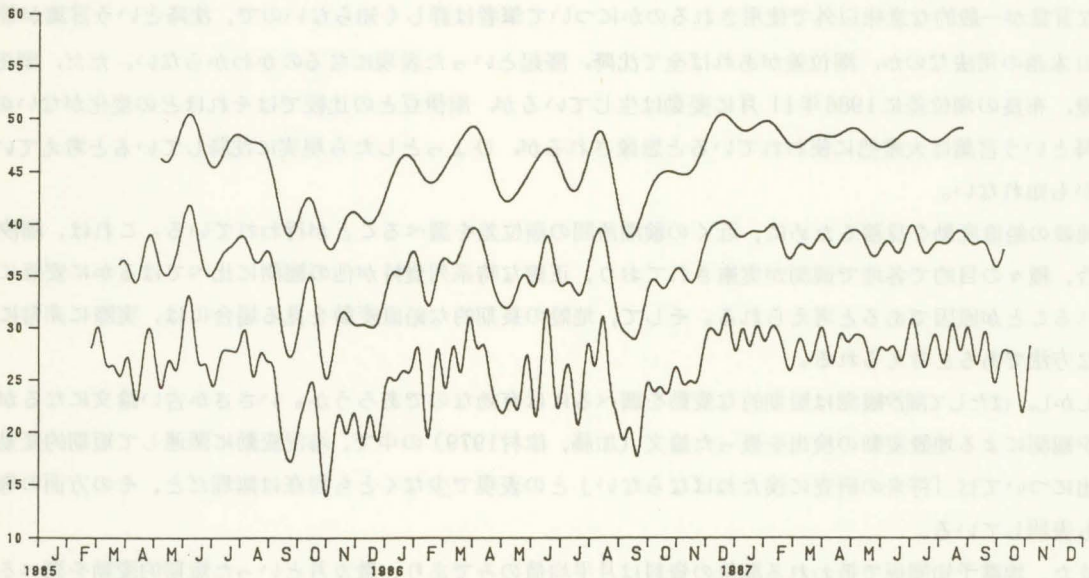


第2図 布良の31日間移動平均潮位

2 cm程度で目くじらをたてるほどの大きさではないが、何年の何月に何cm隆起したというような言い方をする場合には問題となるであろう。

潮汐記録による地殻の変動の検出を困難にしているのは、上にも挙げた海流等の海況変動をはじめとした要因による平均水面自体の変動である。すなわち、地殻の変動か水面が変動しているのか区別できないということである。

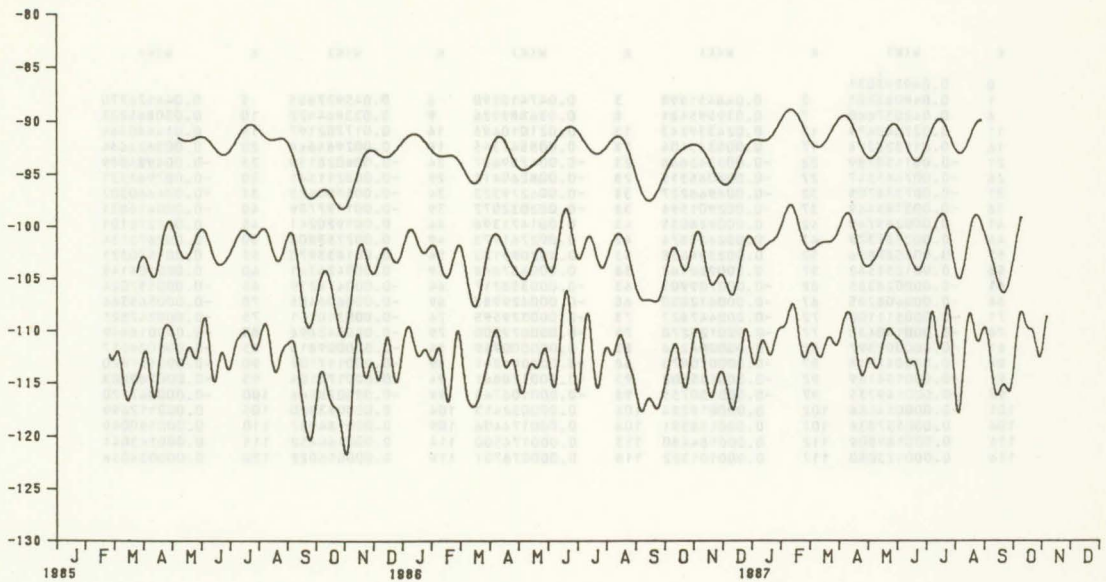
第3図は、岡田と布良の平均潮位の比較図である。前節の日平均資料を前節までと同じ方法で設計したデ



第3図 岡田-布良の潮位差 (1985-1987)

ィジタルフィルターで平滑化した潮位差である。図に曲線は3本あるが下より順にカット・オフ時間を12日、18日、30日にして設計したフィルターによって平滑化したものである。一番上のカット・オフ時間30日によるフィルターによって平滑化した曲線が月平均の潮位差に対応するものとなる。各々の曲線とも岡田が沈降すれば曲線は上方に移動することになる。縦軸の一目盛りは5 cmである。なお、この小論は平均水面の変化について厳密な議論を行うものではないので、気圧補正等の処理は行っていない。第4図には岡田と南伊豆の潮位差を示した。第3図と同様にカット・オフ時間が12日、18日、30日のフィルターで平滑化した曲線を下から順に並べており、岡田が沈降すると曲線は上向く。カット・オフ時間が12日、18日、30日のデジタルフィルターの重み係数は第7表から第9表に示した。

平滑化の方法の違いにより、当然のことながら潮位差の変動は異なっており、潮位差の変動はいろんな周期で存在することがわかる。変動のほとんどが海況変動に起因するものだと考えられるが、もし地殻変動があったとしてもどの部分が地殻変動に起因するかを判別するのは困難なことである。ここではカット・オフ時間が30日までの曲線しか示していないが、カット・オフ時間を多少伸ばした平滑化曲線でも判別が困難なことには変わりがない。すなわち、潮汐記録から容易に地殻変動を検出できるのは、かなりの長期間にわたって単調に変化しているような場合などに限られるのではなかろうか。第5図に岡田と神津島の験潮所の潮



第4図 岡田-南伊豆の潮位差 (1985-1987)

第7表 日平均資料を平滑化するためのデジタルフィルターの重み係数 (カット・オフ時間12日)

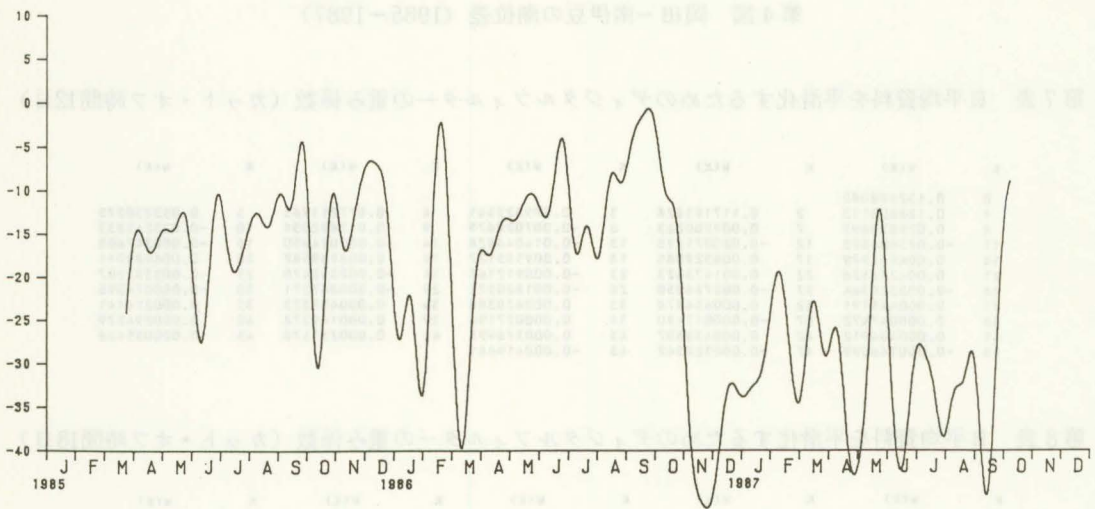
K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)
0	0.132828080	2	0.117193828	3	0.099329541	4	0.077211765	5	0.053230275
1	0.128803113	7	0.009200223	8	-0.007020679	9	-0.017892039	10	-0.023242233
6	0.029832695	12	-0.020071225	13	-0.014046828	14	-0.007024950	15	-0.000347608
11	-0.023606893	17	0.008329085	18	0.009585127	19	0.008969582	20	0.006988011
16	0.004967929	22	0.001473623	23	-0.000912165	24	-0.002552470	25	-0.003331207
21	0.004278528	27	-0.002726850	28	-0.001820521	29	-0.000867271	30	-0.000074096
26	-0.003320564	32	0.000654878	35	0.000620388	34	0.000437323	35	0.000216141
31	0.000441191	37	-0.000017490	38	0.000027194	39	0.000149272	40	0.000294279
36	0.000047472	42	0.000438307	43	-0.000376997	44	0.000231578	45	0.000035426
41	0.000404912	47	-0.000328542	48	-0.000419681				
46	-0.000166099								

第8表 日平均資料を平滑化するためのデジタルフィルターの重み係数 (カット・オフ時間18日)

K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)
0	0.084234120	2	0.080149242	3	0.075222467	4	0.068649200	5	0.060730679
1	0.083200753	7	0.042317407	8	0.032616878	9	0.023115399	10	0.014176342
6	0.051823143	12	-0.000819781	13	-0.006448634	14	-0.010674269	15	-0.013478177
11	0.006114278	17	-0.015112702	18	-0.014242220	19	-0.012520640	20	-0.010186142
16	-0.014916799	22	-0.004646845	23	-0.001890108	24	0.000608104	25	0.002710105
21	-0.007483077	27	0.005403403	28	0.005946974	29	0.005991097	30	0.005603483
26	0.004323795	32	0.003905853	33	0.002805035	34	0.001673088	35	0.000599395
31	0.004874123	37	-0.001105759	38	-0.001656367	39	-0.001987617	40	-0.002110239
36	-0.000344014	42	-0.001845004	43	-0.001537561	44	-0.001172910	45	-0.000793361
41	-0.002050339	47	-0.000126513	48	0.000114521	49	0.000279436	50	0.000368967
46	-0.000435240	52	0.000360896	53	0.000294421	54	0.000210155	55	0.000125000
51	0.000391475	57	0.000003862	58	-0.000017022	59	-0.000009201	60	0.000023671
56	0.000052940	62	0.000134921	63	0.000194652	64	0.000244703	65	0.000274786
61	0.000074695	67	0.000273422	68	0.000234930	69	0.000175756	70	0.000015106
66	0.000287829	72	-0.000063342	73	-0.000138827	74	-0.000200797	75	-0.000244486
71	0.000019247								
76	-0.000267155								

第9表 日平均資料を平滑化するためのデジタルフィルターの重み係数 (カット・オフ時間30日)

K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)	K	W(K)
0	0.049295031								
1	0.049083283								
6	0.042037660								
11	0.027640479								
16	0.011328214								
21	-0.001458789								
26	-0.007665547								
31	-0.007538705								
36	-0.003785469								
41	0.000295749								
46	0.002527329								
51	0.002529896								
56	0.001258542								
61	-0.000028335								
66	-0.000608785								
71	-0.000511100								
76	-0.000180438								
81	-0.000001397								
86	-0.000047518								
91	-0.000154169								
96	-0.000149735								
101	-0.000014486								
106	0.000137836								
111	0.000189809								
116	0.000123050								
2	0.048451598								
7	0.039595481								
12	0.024339243								
17	0.008345404								
22	-0.003265648								
27	-0.008085315								
32	-0.006968227								
37	-0.002901596								
42	0.000928055								
47	0.002688874								
52	0.002334838								
57	0.000968162								
62	-0.000209903								
67	-0.000632030								
72	-0.000447827								
77	-0.000125270								
82	0.000004216								
87	-0.000070878								
92	-0.000165402								
97	-0.000130755								
102	0.000019224								
107	0.000158591								
112	0.000184480								
117	0.000101322								
3	0.047410590								
8	0.036889926								
13	0.021010495								
18	0.005547345								
23	-0.004789627								
28	-0.008260418								
33	-0.006279323								
38	-0.002032072								
43	0.001471396								
48	0.002761973								
53	0.002099123								
58	0.000687668								
63	-0.000358717								
68	-0.000629987								
73	-0.000379595								
78	-0.000079000								
83	0.000000969								
88	-0.000094841								
93	-0.000170861								
98	-0.000106765								
103	0.000052413								
108	0.000174406								
113	0.000174500								
118	0.000078701								
4	0.045977685								
9	0.033964422								
14	0.017702197								
19	0.002964644								
24	-0.006028139								
29	-0.008211561								
34	-0.005500625								
39	-0.001197789								
44	0.001920241								
49	0.002753808								
54	0.001833970								
59	0.000424341								
64	-0.000474219								
69	-0.000606405								
74	-0.000310151								
79	-0.000042696								
84	-0.000009815								
89	-0.000117701								
94	-0.000170104								
99	-0.000078666								
104	0.000083920								
109	0.000184937								
114	0.000160452								
119	0.000056022								
5	0.044176770								
10	0.030865223								
15	0.014460364								
20	0.000622664								
25	-0.006984089								
30	-0.007962331								
35	-0.004660307								
40	-0.000416831								
45	0.002272101								
50	0.002673134								
55	0.001550321								
60	0.000184145								
65	-0.000557024								
70	-0.000565366								
75	-0.000242821								
80	-0.000016849								
85	-0.000026557								
90	-0.000137920								
95	-0.000163003								
100	-0.000047520								
105	0.000112699								
110	0.000190049								
115	0.000143041								
120	0.000034056								



第5図 岡田-神津島の潮位差 (1985-1987)

位差を示している。日平均資料をカット・オフ時間30日のデジタルフィルターを用いて平滑化した潮位の差である。この図でも岡田が沈降していれば曲線は上に向かうことになるが、1986年11月頃から曲線は下に向かっている。つまり、この図からだけならば、逆に、岡田が1986年11月の噴火時に隆起したと結論づけることが可能なのである。

以上のことから、月平均潮位差だけの情報で何々島が隆起したとか、沈降したと判断するのは危険であることがわかる。そして、1986年11月の伊豆大島の噴火時に大島(あるいは岡田)が沈降したことはないと言ってよいのではなかろうか。

5. おわりに

Thompson (1983) の論文に基づいていろいろなデジタルフィルターを作成した。第2節から第4節に分けて書いたが、それぞれに現われたフィルターは全く性質の同じものであり、サンプリング時間間隔に関係なく使うことが出来る。例えば、第7表のデジタルフィルターの場合、サンプリング間隔が1日でカット・オフ時間が12日で設計したものであるが、サンプリングが5分間隔の資料の場合、カット・オフ時間が1時間になるだけのことである。

フィルターの設計は簡単なプログラムで可能であり、原論文中で設計に関する部分はほぼ1ページに過ぎず、1日もあれば、色々なフィルターが簡単に設計できるので興味のある方は設計されたい。

参 考 文 献

- Thompson, R. O. R. Y. : Low-pass filters to suppress inertial and tidal frequencies. *Journal of Physical Oceanography*, 13, p. 1077-1083, (1983)
- 花輪公雄, 三寺史夫: 海洋資料における日平均値の作成について—日平均値を扱う際の留意点—, 沿岸海洋研究ノート, 23, p. 79-87, (1985)
- 国土地理院: 伊豆大島の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 41, p. 303-308, (1989)
- 加藤照之, 津村建四朗: 潮位記録から推定される日本の垂直地殻変動 (1951~1978), 東京大学地震研究所報, 54, p. 559-628, (1979)

報 告 者 紹 介



Satoshi Sato

佐藤 敏 平成元年12月現在,
本庁水路部海洋情報課海洋情報官付

