九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

日本沿岸域におけるM_2潮汐振幅の季節変動および経年変動

遥山, 誠
九州大学大学院総合理工学研究科大気海洋環境システム学専攻

増田, 章
九州大学応用力学研究所力学シミュレーション研究センター

吉川, 裕
九州大学応用力学研究所力学シミュレーション研究センター

奥野, 章
九州大学応用力学研究所力学シミュレーション研究センター

https://doi.org/10.15017/16742

出版情報：九州大学大学院総合理工学報告. 26 (3), pp.365-372, 2004-12. 九州大学大学院総合理工学府
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

九州大学大学院総合理工学報告
第26巻 第3号 365 - 372 頁 平成16年12月

Engineering Sciences Reports, Kyushu University
(KYUSHU DAIGAKU SOGORIKOGAKU HOKOKU)
Vol. 26, No. 3 pp. 365 - 372 DEC. 2004

日本沿岸域におけるM_2潮汐振幅の季節変動および経年変動

遥山 誠[*1,†] ・ 増田 章[*2] ・ 吉川 裕[*2] ・ 奥野 章[*2]

(平成16年10月29日 受理)

Seasonal and interannual variability of M_2 tide around Japan

Makoto HARUYAMA, Akira MASUDA, Yutaka YOSHIKAWA and Akira OKUNO
[†]E-mail of corresponding author: *harumako@riam.kyushu-u.ac.jp*

Seasonal and interannual variability of M_2 tide is investigated by the harmonic analysis of the sea level observed at 63 tide stations along the coast of Japan for about 40 years. The amplitude of M_2 tide turned out to have a distinct seasonal modulation that differs from one area to another. The approximate magnitude of the seasonal modulation relative to the long-term average of the amplitude of M_2 tide is (a) 4% along the coast of the Tsushima Strait, (b) 10% along the coast facing the Japan Sea, (c) 2–3% along the northeast coast of Honshu facing the Pacific, (d) 2% in Ariake Bay, and (e) 6% in Osaka Bay. This means that, in a crudest sense, the seasonal variation of the amplitude of M_2 tide is proportional to its long-term average. The amplitude attains its maximum in (a) March along the coast of the Tsushima Strait, (b) February along the coast facing the Japan Sea, (c) August along the northeast coast of Honshu facing the Pacific, (d) June in Ariake Bay, and (e) December in Osaka Bay. Seasonal variability of M_2 tide is not clear around the Ryukyu Islands and along the coast from southeast of Honshu to south Kyusyu facing the Pacific. As regards interannual variability, the amplitude of M_2 tide mostly showed a long-term decrease at a rate of 0.5% a year or less in the past 20 years. This trend of decrease has been reported in recent articles on the tide of Ariake Bay, Tokyo Bay, and so on. Moreover that trend was often overlaid by a conspicuous though slight modulation of 4% or less with periods of 10 to 20 years. Similar decadal oscillations are observed for the mean sea level as well, which has been inferred to be associated with a decadal change of climate on a global scale. The decadal modulation of the amplitude of M_2 tide was found in antiphase with that of the mean sea level at more than 70% of the tide stations analyzed here. As a whole, various characteristics of the amplitude of M_2 tide, either mean or variability, have one extreme along the coast facing the Japan Sea and the other along the coast facing the Pacific.

Key words : *M_2 tide around Japan, seasonal variability, interannual variability, decadal variability*

1. 緒　　言

月や太陽などの天体が海水に及ぼす起潮力によって起こる海面の上昇・下降運動及び付随する流れを潮汐という．天体の運行はよく分かっているので，起潮力は時間及び天体の軌道要素の関数として正確に表すことができる．これによれば，起潮力は天体の運行に関係する様々な周期の振動の重ね合わせである．各周期の起潮力成分に対する応答の大きさや位相の遅れは場所により異なる．しかし特定地点で適当な期間潮位を観測し，調和解析という手法を用いれば，各周期の起潮力成分に応ずる振動（分潮という）の位相と振幅すなわちその場所の応答特性が分かる．上のようにして各分潮の応答特性が一旦既知となれば任意の時刻の潮汐が分かるというのが潮汐予報の考え方である．この場合，起潮力に対する場所ごとの応答特性は常に同じということが前提になっている．

しかし，実際には潮汐の季節変動・経年変動がある．例えば，Kang et al. (1995) は対馬海峡から朝鮮半島周辺海域において，M_2 潮汐の季節変動を報告している[1]．また，近年有明海をはじめ，瀬戸内海，東京湾などの潮汐振幅が経年変化しているとの指摘もある[2)3)]．このような季節・経年変動は潮汐予報の考え方と矛盾する．

M_2 潮のような短周期の分潮が，季節・経年変動を示す理由は分からない．Kang el al. (1995) は季節変動の原因を海流と潮汐との「相互作用」に求めている．また，有明海等での潮汐振幅のゆっくりした経年減少には，埋め立てなど沿岸開発による地形変化に加え，外洋潮汐の変化が寄与している可能性を示唆する論文もある．

上に述べたように潮汐の季節変化，経年変化を個々の

*1 大気海洋環境システム学専攻
*2 応用力学研究所力学シミュレーション研究センター

測点で指摘した論文は多い．しかし，潮汐の季節・経年変動を広範囲に全体として調べ論じた研究は殆どない．

そこで，本研究は個々の地点に留まらず広く日本周辺海域における潮汐の季節・経年変動特性を明らかにすることを目的とする．そのために，過去約 40 年間の日本周辺海域における潮位記録を解析した．

なお，後で示すように季節変動も経年変動も数% に過ぎない．正体不明の小さな変調を検出するには振幅の大きいものが望ましい．そこで本研究では振幅最大の分潮である M_2 潮のみを解析対象とした．

2. 解析手法

なるべく長期の検潮記録を公開している検潮所を選びその毎時潮位記録を日本海洋データセンター (JODC) と国土地理院から入手した．Fig. 1 にその 63 の検潮所の位置を示す．各検潮所には，有明海から始めて日本沿岸を概ね時計周りにまわる向きに通し番号を付けている．この通し番号に対応する検潮所名を Table 1 に示す．Table 1 には併せてその地点における検潮記録の期間と 11 に分類した海域を示す．以後の解析はこの期間で行った．

入手した潮位資料を調和解析し分潮の調和定数を求めた．1 年間の潮位データからは Table 2 に挙げた 60 分潮を，1ヶ月間の潮位データからは 60 分潮のうち丸印のついた 23 分潮を算出する．なお欠測値・異常値の多い月・年は欠測扱いとする．

ここで用いた最小自乗法による調和解析では月の昇交

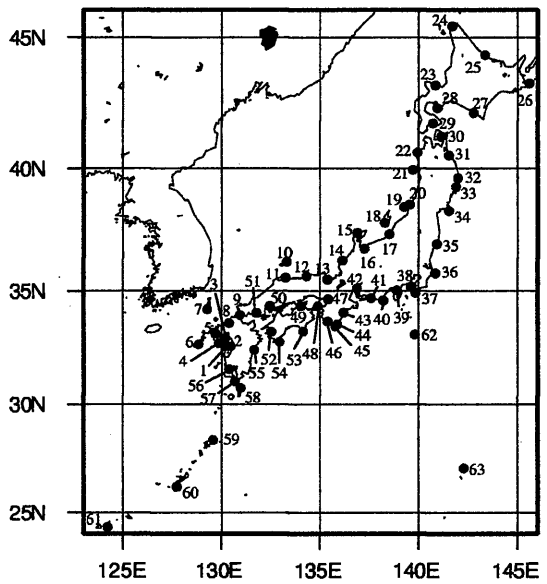

Fig. 1 Map of the tide stations the sea level at which was investigated in this study (see Table 1 for more details). Each station is assigned a number in the order circulating Japan clockwise beginning from Ariake Bay.

Table 1 The tide stasions anlyzed in this study. The numbers assigned to each station are the same as those in Fig. 1. Indicates (a)–(k) refer to the areal group the station belongs to, where the areal classification is given in the legend of Fig. 4. The last column indicates the period of the record.

No.	Area	Location	Period
1	(a)	Kuchinotsu	1968–2002
2	(a)	Misumi	1961–2002
3	(a)	Oura	1968–2002
4	(b)	Nagasaki	1968–2002
5	(b)	Sasebo	1950–2003
6	(b)	Fukue	1967–2002
7	(b)	Izuhara	1947–2003
8	(b)	Hakata	1966–2003
9	(b)	Moji	1958–2003
10	(c)	Saigou	1961–2002
11	(c)	Sakai	1969–2002
12	(c)	Tajiri	1967–2003
13	(c)	Maizuru	1947–2003
14	(c)	Mikuni	1968–2003
15	(c)	Wajima	1933–2003
16	(c)	Toyama	1972–2002
17	(c)	Kashiwazaki	1956–2003
18	(c)	Ogi	1974–2003
19	(c)	Awashima	1965–2003
20	(c)	Nezugaseki	1956–2003
21	(c)	Oga	1971–2003
22	(c)	Fukaura	1972–2002
23	(c)	Oshoro	1933–2003
24	(d)	Wakkanai	1967–2002
25	(d)	Monbetsu	1955–2003
26	(e)	Hanasaki	1967–2002
27	(e)	Urakawa	1965–2003
28	(e)	Muroran	1967–2003
29	(f)	Hakodate	1969–2002
30	(f)	Ominato	1952–2003
31	(e)	Hachinohe	1969–2002
32	(e)	Miyako	1967–2002
33	(e)	Kamaishi	1953–2003
34	(e)	Ayukawa	1968–2002
35	(e)	Onahama	1967–2002
36	(e)	Choshi-Gyoko	1981–2002
37	(g)	Mera	1968–2002
38	(g)	Aburatsubo	1936–2003
39	(g)	Uchiura	1961–2002
40	(g)	Omaezaki	1961–2002
41	(g)	Maisaka	1967–2002
42	(g)	Nagoya	1961–2002
43	(g)	Owase	1967–2002
44	(g)	Uragami	1974–2002
45	(g)	Kushimoto	1961–2002
46	(g)	Shirahama	1968–2002
47	(h)	Osaka	1961–2002
48	(h)	Sumoto	1965–2002
49	(i)	Takamatsu	1969–2002
50	(i)	Hiroshima	1952–2003
51	(i)	Tokuyama	1950–2003
52	(i)	Uwajima	1967–2002
53	(g)	Murotomisaki	1969–2002
54	(g)	Tosashimizu	1961–2002
55	(g)	Hosojima	1933–2003
56	(g)	Kagoshima	1969–2002
57	(g)	Odomari	1965–2003
58	(g)	Nishinoomote	1965–2003
59	(j)	Naze	1957–2003
60	(j)	Naha	1966–2002
61	(j)	Ishigaki	1969–2002
62	(k)	Hachijyojima	1951–2003
63	(k)	Chichijima	1975–2002

Table 2 The component tides to be analyzed from hourly records for one year. Monthly harmonic analysis was made for the 23 tides denoted by a circle.

	Symbol	Freq. (cph)		Symbol	Freq. (cph)
	S_a	0.000114	○	M_2	0.080511
	S_{sa}	0.000228		MKS_2	0.080740
	M_m	0.001512		λ_2	0.081821
	MS_f	0.002822		L_2	0.082024
	M_f	0.003050		T_2	0.083219
	$2Q_1$	0.035706	○	S_2	0.083333
	σ_1	0.035909		R_2	0.083447
○	Q_1	0.037218		K_2	0.083561
	ρ_1	0.037421		MSN_2	0.084845
○	O_1	0.038731		KJ_2	0.085074
	MP_1	0.038959	○	$2SM_2$	0.086155
	M_1	0.040256	○	MO_3	0.119242
	χ_1	0.040471	○	M_3	0.120767
	π_1	0.041438		SO_3	0.122064
	P_1	0.041553	○	MK_3	0.122292
	S_1	0.041667	○	SK_3	0.125114
○	K_1	0.041781	○	MN_4	0.159511
	ψ_1	0.041895	○	M_4	0.161023
	ϕ_1	0.042009		SN_4	0.162333
	θ_1	0.043091	○	MS_4	0.163845
○	J_1	0.043293		MK_4	0.164073
	SO_1	0.044603	○	S_4	0.166667
○	OO_1	0.044831		SK_4	0.166895
○	OQ_2	0.075949	○	$2MN_6$	0.240022
	MNS_2	0.076177	○	M_6	0.241534
○	$2N_2$	0.077487		MSN_6	0.242844
	μ_2	0.077689	○	$2MS_6$	0.244356
○	N_2	0.078999		$2MK_6$	0.244584
	ν_2	0.079202	○	$2SM_6$	0.247178
	OP_2	0.080283		MSK_6	0.247406

点補正を最初から組み込んでいる．また，気圧補正をしてみても解析結果に殆ど差が無かった．よって本解析では気圧補正をしない．

2.1 季節変動の抽出

M_2 潮振幅の季節変動を抽出する手順には特に注意を払ったので以下に詳しく述べる．この抽出方法は、Kang el al. (1995) に基づく[1]．

まず，普通に 1ヶ月間の潮位データを 23 分潮で調和解析し M_2 潮の振幅を求める．これを OBS(Observed harmonic constant の意) と呼ぶ (Fig. 2 の実線，OBS の時系列の例)．但し，1ヶ月間という短い時系列では M_2 潮の周波数に近い周波数をもつ分潮を M_2 潮と分離できない．そのため，OP_2 潮，MKS_2 潮という二つの隣接分潮 (Table 2 参照) による潮位変動が M_2 潮の振幅に紛れ込む (M_2 潮から分理するには潮位データが最低半年は必要となる)．

詳しく言えば次のようになる．季節変動のない M_2 潮振幅 $\overline{A}$ に何らかの季節変動 A_{sm} が加わっているものとする．しかし，1ヶ月間の潮位データを用いる通常の解析では

$$\mathrm{OBS} = (\overline{A} + A_{sm}) + A' + \epsilon \qquad (1)$$

となってしまう．ここで A' は他の分潮 (隣接する OP_2 潮，MKS_2 潮が殆ど) のために生じる項であり，ϵ はそれ以外の諸々の誤差を表す．

真の季節変動 A_{sm} だけを見るために次のようにして A' を除去する．1 年間の潮位データから前に述べた 60 分潮の調和定数を求める．この 60 分潮から合成した潮位で 1 年の時系列を作る．その合成した時系列を 1ヶ月ごとに分け，その 1ヶ月間の潮位データを主要な 23 分潮で調和解析する．こうして得た M_2 潮の振幅を EST(Estimated harmonic constant の意) とする (Fig. 2 の点線，EST の時系列の例)．

こうして求めた EST は，1 年間を通して変化しない (定数) $\overline{A}$ および M_2 以外の分潮の寄与 A' から成る．

$$\mathrm{EST} = \overline{A} + A' \qquad (2)$$

よって

$$\mathrm{RES} \equiv \mathrm{OBS} - \mathrm{EST} = A_{sm} + \epsilon \qquad (3)$$

とすれば隣接分潮による見かけの季節変動 A' が消えて M_2 潮振幅の真の季節変動 A_{sm} が残る．$\mathrm{RES} = A_{sm} + \epsilon$

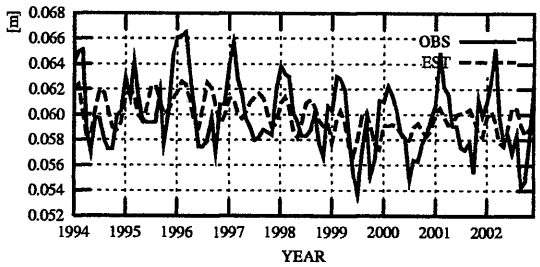

Fig. 2 Time series of the seasonal variability of the amplitude of M_2 tide at Saigo (station number 10): OBS (solid line) and EST (dashed line).

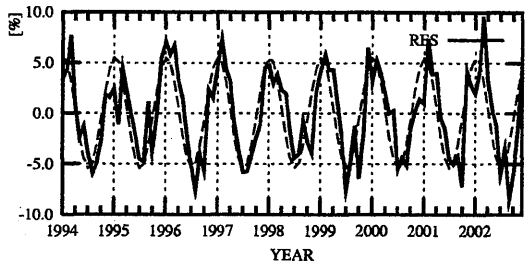

Fig. 3 Time series of RES (= OBS − EST) for M_2 tide normalized by the long-term average of the amplitude of M_2 tide at Saigo (solid line). The dashed curve indicates a sinusoidal function with a period of 1 year that was determined as the best-fit to RES, where the correlation between them is 0.77.

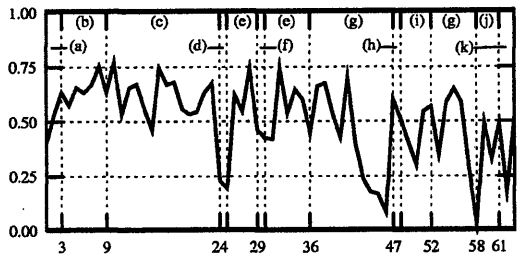

Fig. 4 Correlation coefficient between RES of M_2 tide and the sinusoidal function that is determined so as to fit it to RES by the least-square method, where the abscissa denotes the number of the 63 tide stations labeled in Fig. 1. The correlation measures how the seasonal modulation of the amplitude of M_2 tide (RES) is represented by a single sinusoidal function with a period of 1 year. As shown the Table 1, the indices (a)–(k) in the figure classify the tide stations into areal groups: (a) Ariake Bay, (b) the Tsushima Strait, (c) the Japan Sea, (d) the Okhotsk Sea, (e) northeast Honshu facing the Pacific, (f) the Tsugaru Strait, (g) southeast of Honshu to south Kyusyu (h) Osaka Bay, (i) the western part of the Seto Inland Sea and the Bungo Channel, (j) the Ryukyu Islands, (k) Hachijyo Island and Chichi Island.

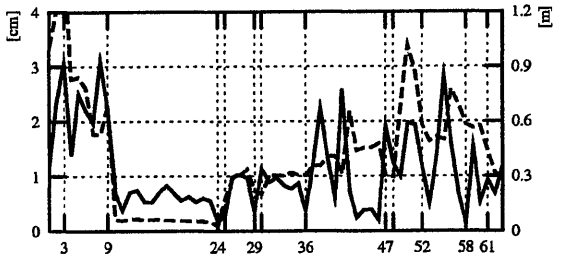

Fig. 5 Two magnitudes with respect to M_2 tide against the station number: the double amplitude of the seasonal variation of RES with a period of 1 year (solid line) and the long-term average of the amplitude of M_2 tide (dashed line). The unit and range are shown on the left vertical axis for the former and on the right one for the latter.

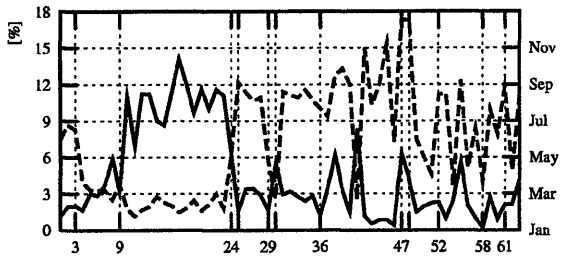

Fig. 6 Seasonal variability of M_2 tide against the station number: the double amplitude of the seasonal variation of RES with a period of 1 year normalized by the long-term average of the amplitude of M_2 tide (solid line) and the month when RES becomes the largest in a year (dashed line). The unit and range are shown on the left vertical axis for the former and on the right one for the latter.

は季節変動分と誤差を表すので、その年平均は消える．こうして求めた RES の時系列の例を Fig. 3 に示す．この図では縦軸を季節変動割合幅としたことに注意してほしい．「季節変動割合幅」とは，季節変動 RES の両振幅を年平均値 $\overline{A}$ で除することにより規格化した値である．

2.2　経年変動

1 年間の潮位記録を 60 分潮で調和解析して得られる M_2 分潮の振幅をその 1 年間の M_2 潮振幅とする．これに 5 年間の移動平均を掛けたものを時系列にしたのが Fig. 7 である．ただし縦軸は経年変動割合を表す．「経年変動割合」とは，各年の M_2 潮振幅からその解析期間全体の平均値を差し引き後者で規格化した値をいう．

3.　結　　果

M_2 以外の分潮の解析も進めているところであるが，以下では M_2 潮の振幅に関する結果のみを記す．

3.1　季節変動

季節変動は 1 年周期だが正弦関数で表されるとは限らない．1 年周期の高調波振動を含んでもよい．しかし，Fig. 3 にあげた例からから分かるように，季節変動を表す RES には 1 年周期が卓越していることが多い．また一般に半年周期成分など高調波振動には大きな誤差がつきもので信頼性が落ちる．そこで，ここでは 1 年周期の正弦関数様の季節変動のみを取り出す．それには 1 年周期の正弦関数を RES の時系列に適合させる．これはフーリエ解析で 1 年周期成分を取り出すことに相当する．

RES の変動をどの程度 1 年周期の正弦関数様季節変動が表現するかを判定するには適合させた正弦関数と RES との相関係数 (全変動に対する 1 年周期成分の寄与) を見ればよい．Fig. 4 は検潮所番号を横軸にしてこの相関係数を表示したものである．オホーツク海沿岸 (d)，関東から四国にかけての太平洋沿岸域 (g) と，南西諸島 (j) では相関係数が低い．言い換えればこれらの地点では 1 年周期の正弦関数様季節変動が明瞭でない．それ以外の地点については概ね高い相関を示しているので 1 年周期の正弦関数様季節変動が卓越しており有意と見る．

上のようにして RES の時系列に適合させた 1 年周期の正弦関数の振幅・位相という二つの量が M_2 潮振幅の季節変動を表現する．この正弦関数が最大になる季節ないし月を「振幅最大時季」と呼ぶことにする．また，その両振幅を「季節変動幅」で表す．同様に「季節変動割合幅」とは「季節変動幅」を年平均 M_2 潮振幅で規格化したものを指すことにしよう．季節変動幅，季節変動割合幅，振幅最大時季を見ると海域毎の季節変動の特徴が

明らかになってくる．

Fig. 5 に各解析地点における M_2 潮振幅の季節変動幅を示す (実線)．この図では長期間平均の M_2 潮振幅 (破線) も併せて表示している．後者に既に海域特性が現れている．季節変動をより良く理解するために，平均振幅の海域特性をまとめておこう．M_2 潮振幅は (1) 有明海で極めて大きい，(2) 対馬海峡沿いは有明海に次ぐ大きさをもつ，(3) 日本海沿岸では北海道西岸に至るまで極めて小さい，(4) 宗谷海峡を抜けてオホーツク海沿いから北海道東岸にかけては日本海より大きい，(5) 更に東北沖から九州南岸に向けて少しずつ増大する，(6) 琉球付近は九州南岸程度，父島では東北沖程度である，(7) 大阪湾では東北沖と同程度だが瀬戸内海では対馬海峡程度に大きい．

この図から年平均振幅の大きいところほどその季節変動幅も大きいことが分かる．つまり季節変動にはこの意味の海域特性がある．しかし子細に見ると，長期平均振幅は大きいのに季節変動幅は小さい海域と長期平均振幅は小さいのに季節変動幅は大きい海域がある．前者の例は東海から南紀にかけて，後者の例は日本海沿岸沿いに見られる．この特性をより詳しく見るために，各解析地点における季節変動割合幅を Fig. 6 に示す．この図には振幅最大時季も破線で表している．

先ず季節変動割合幅に注目する。対馬海峡沿岸域 (b) では約 4%，東北から関東にかけての太平洋沿岸域 (e) では 2–3%，瀬戸内海西部と豊後水道周辺 (i) では約 2%，有明海 (a) では約 2%，大阪湾 (h) では約 6%の季節変動割合幅がある．以上の海域では多少の差があるにせよ 3 %前後の季節変動割合幅になっている．ところが日本海沿岸域 (c) では季節変動割合幅が 10 %前後に達し，他の海域に比べて倍以上もある．日本海沿岸は測点の数が多いし全体として揃っているので有意な結果だろう．一方，東海から南紀にかけては季節変動割合幅が小さい値に揃っている．Fig. 4 によれば，後者では 1 年周期の正弦関数様季節変動が明瞭でなかったことを注意しておく．

次に振幅最大時季を見よう．対馬海峡沿岸域 (b) では 3 月頃に，日本海沿岸域 (c) では 2 月頃に M_2 潮振幅が最大となる．他方，東北から関東にかけての太平洋沿岸域 (e) では 8 月頃に最大となる．概ね，日本海沿岸域と太平洋沿岸域とでは M_2 潮振幅が最大となる季節が逆になっている．瀬戸内海西部と豊後水道周辺 (i) は 3–4 月頃で日本海沿岸域と似ている．また，内湾のためと考えられるやや特殊な季節変動もあった．有明海 (a) では 6 月下旬頃に，大阪湾 (h) では 12 月中旬頃にそれぞれ M_2 潮振幅が最大となる．

季節変動割合幅，振幅最大時季のいずれについても，対馬海峡と日本海の境目および日本海とオホーツク海の境界で急変する様子がこの図からよく分かる．これは長期平均の海域特性と共通することを強調しておきたい．また，対馬海峡は九州南方と日本海の季節変動特性を滑らかにつなぐ役割を果たしているようである．番号 29 で示す津軽海峡でも，日本海沿岸と太平洋側東北地方沿岸の中間の特性が見える．尤もらしくもあり興味深い．

3.2　経年変動

解析を行った多くの地点で M_2 潮振幅が減少傾向にあり，有明海，東京湾などで言われている近年の潮汐減衰傾向と一致した[2]．また，10–20 年周期の変動も顕著であった．全球規模の海況変動と関係する可能性があるので 10–20 年周期を有すると言われる水位変動と比較したところ，逆相関になる地点が多かった[4]．

3.2.1　M_2 潮振幅の増加・減少傾向

解析を行った多くの地点で M_2 潮振幅が減衰傾向にあった．Fig. 7 に 1965 年から 2001 年までの M_2 潮振幅及び平均潮位の時系列を示す．M_2 潮振幅の増減率を見積るため，図中の地点名右横に最近 20 年間 (1982-2001 年) における M_2 潮振幅の増減傾向を表す回帰直線を載せる．また，Fig. 8 は回帰直線より求めた各解析地点における最近 20 年間の M_2 潮振幅の増加率 (負値は減少率) を示す．Fig. 8 によると，M_2 潮振幅が減少傾向を示している地点が 8 割近くあり，広く日本沿岸域における M_2 振幅は減少傾向にあると言える．海域ごとに見ると，有明海 (a)，対馬海峡沿岸 (b)，日本海沿岸 (c) は減少傾向であり，特に日本海沿岸で減少率が大きい．太平洋側では，東北太平洋沿岸 (e) と瀬戸内海西部・豊後水道 (i) は減少傾向にあるが，それ以外の関東から四国にかけての太平洋沿岸域 (g) と南西諸島 (i)，八丈島・父島 (k) は増減なしまたは増加傾向にあることが分かる．

この図でも，日本海沿岸が他の海域と異なる経年変動特性を持つというのは興味深い．日本海沿岸以外で減少傾向にある地点・海域は何らかの意味で日本海に隣接していることを注意しておく．

3.2.2　10–20 年周期変動

Fig. 7 に示した M_2 潮振幅の経年変動に注目する．各地点で，長期減少傾向に加えて 10–20 年周期の振動が乗っているように見える．対馬海峡 (b) から日本海沿岸域 (c) にかけてはほぼ同位相で変動している．1960 年代後半に極大となり，70 年代前半に極小，80 年前後に極大，80 年代後半に極小，95 年頃に再び極大となっている．大阪湾 (h) では，地点番号 47 の大阪，48 の洲本の両地点が揃って振動している．M_2 潮振幅が極大となる時期が，1970 年前半，80 年前半，95 年頃であり，ややずれがあるものの，日本海側の振動に同調しているように見える．瀬戸内海西部・豊後水道 (i) では，地点番号 50 の広島，51 の徳山，52 の宇和島が同位相で振動している．この海域も M_2 潮振幅が極大となる時期が，1970 年頃，80 年前半，95 年頃であり，日本海側の経年変動と位相が

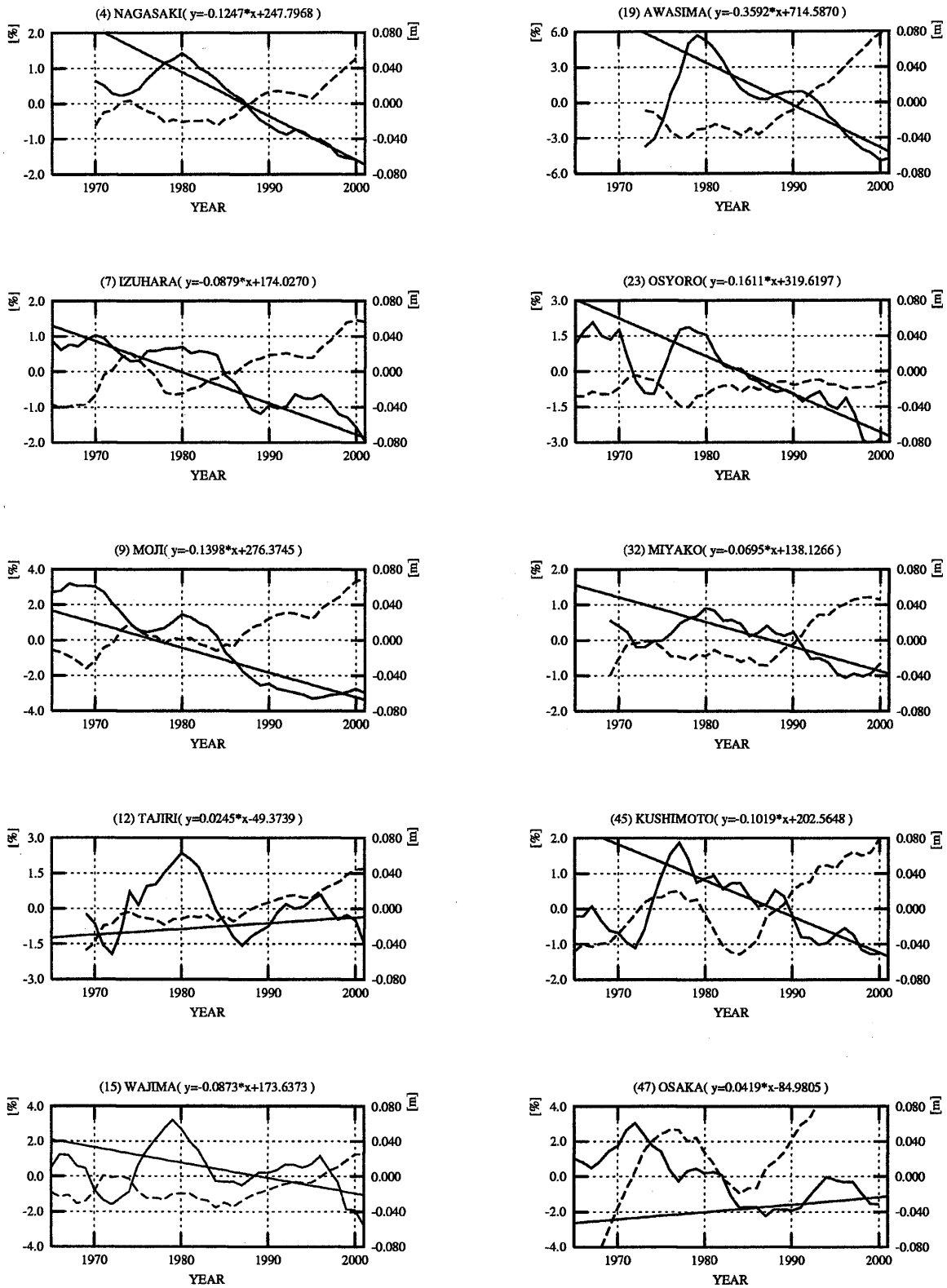

Fig. 7 Time series of the annual-mean amplitude of M_2 tide (solid line) and annual-mean sea level (dashed line) in the period of 1965-2001. At the top of each panel are the number and name of the tide station along with the regression formula, which is indicated by a solid straight line in the panel.

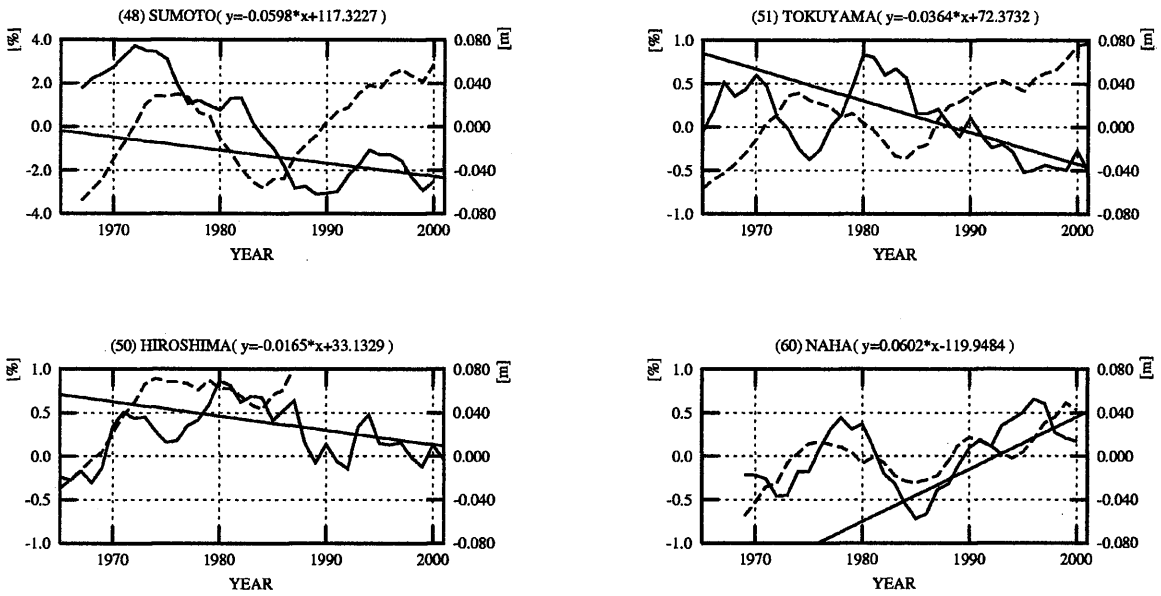

Fig. 7 Continued.

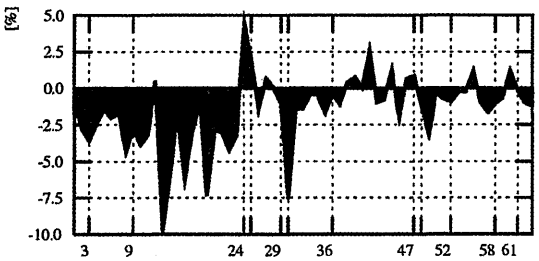

Fig. 8 Long-term trend of the amplitude of M_2 tide during the period 1982-2001 normalized by its long-term average. The abscissa denotes the station numbers in Fig. 1.

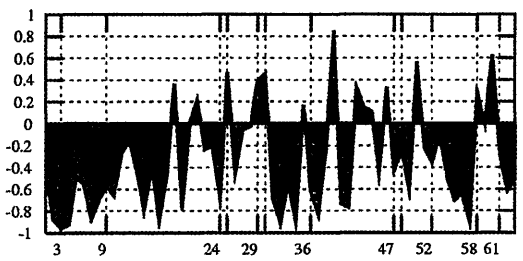

Fig. 9 Correlation coefficient between the interannual change of the amplitude of M_2 tide and the yearly mean sea level against the number of the tide stations.

合っているように見える．しかし，上記以外の東北太平洋沿岸 (e)，関東から九州南部にかけての太平洋沿岸 (g) では変動がばらつき位相が揃っているようには見えない．

3.2.3 M_2 潮振幅と平均潮位の相関

上の解析で 10–20 年周期変動がよく見えた．10–20 年周期といえば大気海洋系の全球規模変動として気候要素の諸相に現れるらしい．例えば平均水位も 10–20 年周期の振動を有すると言われている[4]．そこで水位変動と M_2 潮振幅の経年変動とを比較してみた．但し平均潮位と M_2 潮振幅にどのような力学上の関係があるのかは不明である．

Fig. 9 に各解析地点における，年平均 M_2 潮振幅と年平均潮位との相関係数を示す．負の相関を示す地点が全体の 75 %を占め，日本沿岸域では M_2 潮振幅と平均潮位の変動に逆の相関がある地点が多い．しかし，地点番号 60 の那覇のように高い正の相関を示す地点もある．相関係数については海域特性が明瞭でなくばらつきが大きい．日本海から対馬海峡にかけて見られる負の相関はその中では揃っている．

4. 結　　言

過去約 40 年間の日本周辺海域における 63 地点の潮位記録から M_2 潮振幅を解析したところ，その多くの地点で数 % 程度の小さいが否定しがたい季節変動・経年変動が見られた．しかも M_2 潮振幅の季節変動・経年変動特性は海域毎に揃っている。誤差は小さくないだろうが，この結果は信頼して良いものと考える．

注目すべきは，季節変動特性による海域区分と経年変動特性による海域区分がほぼ共通することである．平均振幅による海域区分にも良く通じる．大きくは日本海沿岸域と太平洋沿岸域を両極とする変動特性が見える．その境界は宗谷岬と九州南端である．内湾では，有明海，大阪湾が独自の変動特性をもち，瀬戸内海から豊後水道にかけては日本海沿岸域に近い変動特性が見られた．両隣の海域の性格を持つ海域があるというのも尤もらしい．例えば対馬海峡の潮汐には日本海と相通じるところがある．

本研究では日本沿岸の M_2 潮位のみを扱った．同様の季節変動・経年変動及びその海域特性が存在することは，日本沿岸に限らず，ほかの分潮についても，また水位だけでなく潮流についても予想される．今後は，解析範囲を広げ潮汐全般の季節変動・経年変動の実態を更に明確にするとともに，その原因・仕組みの解明を進めたいと考えている．その際，外洋潮汐の長期変動は大気海洋系の全球規模変動と関係すると考えられるのでことは潮汐に留まらない．

謝　辞

本研究を進めるにあたり，貴重な潮位データを提供して頂いた日本海洋データセンター (JODC)，国土地理院に深く感謝する．また，有益な助言をしてくださった関係者に感謝したい．

参考文献

1) Kang et al.(1995): Seasonal variability of the M_2 tide in the seas adjacent to Korea. Continental Shelf Research, Vol.15, No.9, pp.1087-1113

2) 柳 哲雄，塚本 秀史 (2004): 有明海における潮汐振幅の経年変動．海の研究，13(3)，295-300

3) 吉田 みゆき，高杉 由夫 (2001): 沿岸開発に伴う瀬戸内海の潮汐変動．海の研究，10(2)，123-135

4) Senjyu, T., M. Matsuyama, and N. Matsubara(1999): Interannual and Decadal Sea-Level Variations along the Japanease Coast. Journal of Oceangraphy, Vol.55, pp.619-633