

## 潮流・潮汐 WG の検討結果

- 目 次 -

I. 潮位の変動について.....	1
1. 有明海の潮位の状況.....	1
2. 潮位差の比較 (p39 付図 1 参照) .....	5
3. $M_2$ 分潮振幅の比較 (p40 付図 2 参照).....	10
4. 潮位の上昇.....	18
5. 潮位に関する提言.....	20
II. 潮流の変動について.....	21
1. 有明海の潮流の状況.....	21
2. 潮流の比較 (p41 付図 3 参照) .....	22
3. 潮流流速の変化要因とその影響 (p41 付図 3 参照) .....	28
4. 潮流に関する提言.....	38
参考 1 固有周期振動.....	(1)
参考 2 有明海の潮汐振幅減少の要因に関する状況 .....	(3)
参考 3 諫早湾口と有明-長洲ラインの流速の計算方法 .....	(4)
潮流・潮汐に関する図表の整理の出典文献一覧 .....	(8)

注)「 . 潮位の変動について」の「2. 潮位の比較」「3.  $M_2$ 分潮振幅の比較」「4. 潮位の上昇」、 「 . 潮流の変動について」の「2. 潮流の比較」「3. 潮流流速の変化要因とその影響」の箇条書き部分の凡例は以下のとおりである。

：文献の本文（結論）より引用した内容  
：文献の要約、概要より引用した部分

なお、文献等の引用した文章で、具体的な説明等がないためにわかりにくい箇所については、適宜、文献の他の箇所の表現を引用している。

# 1. 潮位の変動について

## 1. 有明海の潮位の状況

月と太陽の引力を主要な力（起潮力）として生ずる海面の昇降を潮汐と呼ぶ。海面の昇降を起こすための海水の水平移動を潮流と呼ぶ。潮汐は、月・太陽の運行による異なる周期の規則的な昇降の和として表すことができる。特定の周期を持った構成成分を分潮と呼ぶ。第1表に主要な8つの分潮とその周期を示す。さらにこのうち、相対的な起潮力が大きい $M_2$ 分潮、 $S_2$ 分潮、 $O_1$ 分潮、 $K_1$ 分潮を主要4分潮（第2表参照）と呼ぶ。 $M_2$ 分潮、 $S_2$ 分潮は約半日の周期を持ち、 $O_1$ 分潮、 $K_1$ 分潮は約一日の周期を持つ。分潮には、半月周期、半年周期、一年周期などの長周期の分潮もある。なお、 $M_2$ 分潮などの月の引力に起因する分潮は、月の昇交点の黄経の長周期変動（約18.6年の周期）の影響を受け毎年振幅や位相が変動している。外洋に比べて沿岸の湾は小さく湾内で引力の差が殆ど生じないため、内湾における潮汐や潮流は外洋から押し寄せる潮汐運動（潮汐波）の内湾における応答として考えられる。

第1表 主要8分潮<sup>1)</sup>

記号	分潮の名称	角速度 (度/hr)	周期 (hr:min)	起潮力の最大の大きさ (相対値)
$M_2$	主太陰半日周潮	28.98	12.25	0.454
$N_2$	主太陰長円潮	28.44	12.39	0.088
$S_2$	主太陽半日周潮	30.00	12.00	0.212
$K_2$	日月合成半日周潮	30.08	11.58	0.058
$O_1$	主太陰日周潮	13.94	25.49	0.189
$P_1$	主太陽日周潮	14.96	24.04	0.088
$K_1$	日月合成日周潮	15.04	23.56	0.266
$M_f$	太陰半月周潮	1.10	13日15.52	0.078

第2表 起潮力の大きい主要4分潮の角速度と周期<sup>2)</sup>

記号	名称	1時間の角速度	周期	調和定数記号	
		角度	平時	半潮差	遅角
$M_2$	主太陰半日周期	28.9841042	h	$H_m$	$K_m$
$S_2$	主太陽半日周期	30.0000000	12.0000000	$H_s$	$K_s$
$O_1$	主太陰日周期	13.9430356	25.8193417	$H_o$	$K_o$
$K_1$	日月合成日周潮	15.0410686	23.9344697	$H'$	$K'$

有明海は幅18km、奥行き96km、面積1,700km<sup>2</sup>、平均水深20mで、東京湾、伊勢・三河湾、大阪湾などと同規模だが、幅が狭く奥行きが長いという地形上の特性を持っている。口之津・鬼池地先の早崎瀬戸を経て西に開口し天草灘に連なり、さらに東シナ海へと通じている。三角・柳・本渡などの狭い瀬戸により、南側の八代海（不知火海）ともわずかに通じている。有明海の大きな潮汐は、主として早崎瀬戸から進入する外洋の潮汐波に誘起されたものである。天草諸島間の瀬戸における八代海の潮汐との相互作用は、観測や数値実験の結果からも極めて小さいことが明らかにされている<sup>3)</sup>。

湾外の富岡と湾口の口之津から湾奥に向かう順に各地点の潮位差（満潮時の水位と干潮時の水位の差）を第3表に示す。大潮平均をみると、湾口で3m、湾南部で3.5m、竹崎～三池間付近で4.5m、湾奥で4.9mと奥へ向かって潮位差は大きくなっている。最大潮位差は湾口から順に4m、5m、5.8mを示し、佐賀県六角川河口部では6.8mに達することもあ

る。このように湾奥に向かって潮位差の著しい増大がみられるのは、東シナ海から進入した潮汐の潮位差が湾口で既に大きい上に、有明海の固有振動周期が、わが国においては最も長く、半日周期の外洋潮汐が湾内に入ってきたときに湾内水がこれに共鳴現象を起こすためであり、その結果、有明海はわが国の内湾の中でも潮汐が最も大きい湾となっている。

第3表 有明海各地点の潮位差<sup>3)</sup>

地名	潮差	平均潮差 cm	大潮差 cm	小潮差 cm
富岡	岡	192	278	106
口之津	津	208	290	126
柳ノ瀬	瀬	238	338	138
三島	角	250	354	146
島大	原	294	406	182
竹	浦	315	453	178
三	崎	316	454	178
若	池	318	456	180
住	津	322	458	186
住	ノ江	344	494	194

各地点の潮汐調和定数（各分潮の振幅）について第4表をしてみる。潮汐の最も大きな成分は $M_2$ 分潮（太陰半日周潮）で、 $S_2$ 分潮（太陽半日周潮）がこれに次いでいる。潮型として、主要日周潮（ $K_1$ 分潮+ $O_1$ 分潮）と主要半日周潮（ $M_2$ 分潮+ $S_2$ 分潮）の比をみると、湾口部で0.3あまり、湾内では0.25以下で、半日周潮が極めて卓越している。富岡では $K_1$ 分潮、 $O_1$ 分潮の振幅は $S_2$ 分潮の0.6倍及び0.5倍にすぎない。次いで、湾外の富岡と最も湾奥の住之江（六角川河口）の潮汐をみってみる。富岡では、半日周潮（ $M_2$ 分潮+ $S_2$ 分潮）の振幅は139cm、日周潮（ $K_1$ 分潮+ $O_1$ 分潮）の振幅は47cmで、前者は後者の約3倍になっている。一方、住之江では半日周潮の振幅は247cm、日周潮は49cmで、前者は後者の5倍の振幅を示している。さらに、住之江と富岡の $K_1$ 分潮と $O_1$ 分潮の振幅の和は両地点ではほとんど差が無いが、半日周潮では住之江は富岡の1.8倍の振幅を示している。以上のように富岡と住之江の両地点の潮汐の比較から、湾奥ほど潮位差が増大するのは、卓越潮である半日周潮の増大が大きく寄与しているからであることが解る。半日周潮の増大には湾の固有振動が大きく関与している。なお、湾が浅くて広く、潮位差が大きい本湾では浅海分潮もかなり発達している。

湾内の潮時差（満潮になる時刻の地点間の時間差）は、富岡と口之津の間で40分前後の位相の遅れがあるが、口之津を基準としてみると、島原と対岸の熊本県河内を結んだ海域までは約10分、三池～大浦までは約15分、湾奥の住之江で23分（河川内ではややずれが大きい）、宇土半島先端の三角で3～5分、天草下島の本渡は口之津とほぼ同時である。このように潮時差は湾口から湾奥に至るまで小さく、潮汐による海面の昇降は全域でほとんど同時に起こっている。

第4表 各地点における主要分潮の潮汐調和定数<sup>3)</sup>

地名	分潮	M <sub>2</sub>		S <sub>2</sub>		K <sub>1</sub>		O <sub>1</sub>	
		Hcm	K'	Hcm	K'	Hcm	K'	Hcm	K'
富	岡	96	230	43	252	27	208	20	190
口	之津	104	254	41	290	28	216	21	192
柳	ノ瀬戸	119	252	50	287	28	220	20	197
三	角	125	254	52	295	26	220	19	201
島	原	147	258	56	299	25	219	20	204
大	浦	158	266	69	302	29	222	22	201
竹	崎	158	259	69	299	29	220	22	203
三	池	159	259	69	299	27	219	21	198
若	津	161	262	68	301	25	228	20	193
住	ノ江	172	267	75	306	27	221	22	206

以上のような有明海の特性を踏まえた潮位の変動を解析するためには、以下の要因を踏まえる必要がある。

月に関する分潮の振幅は、月軌道の昇交点の18.6年周期変動によって変動する。各分潮の振幅は、この変動部分を除いたもので定義され、地形変化や外海の潮汐変化、海水密度の変化等ない限り変化しない観測点に固有の値となる。一方、18.6年周期の変化分は係数fによって表現される。武岡(2003)によると、潮位について議論をする際には、月軌道の昇交点の変動(18.6年周期)に留意する必要があると述べている。また、実際の潮位の変動はfという係数の掛かった振幅で起こっているはずなので、環境問題との関係を考えるにはfを含んだ振幅を考える必要があるとも述べている<sup>4)</sup>。

実際の潮位の状況は、風や気圧等の気象要因が加わり、さらに特異な変動を示すことに留意する必要がある。

有明海の潮汐振幅減少に関する議論について、潮汐振幅減少要因の設定の仕方(議論の仕方)が研究者によってまちまちであることによる混乱があることから、灘岡(2002)は既往の議論を整理し、以下のように分類している<sup>5)</sup>。

要因<1>：有明海内の海水面積の減少

埋立・干拓、港湾建設により有明海の水水面積が減少した結果、有明海の共振が弱まり(有明海の湾の長さが短くなり、固有振動周期が小さくなって共振条件から離れるため)、有明海内部の潮汐振幅が減少する。

要因<2>：平均水位の上昇

有明海内の平均水位上昇により、有明海の共振が弱まることにより(有明海の水深が深くなり、湾の固有振動周期が小さくなって共振条件から離れるため)、有明海内部の潮汐振幅が減少する。

要因<3>：外洋潮汐振幅の減少

広域的な平均水位上昇により、東シナ海全体の共振が弱まり(東シナ海全体での固有振動周期が小さくなるため)、外洋の潮汐振幅が減少する。

【参考資料】

- 1) 気象庁 (1959) : 昭和 35 年潮汐表、気象庁、p. 399
- 2) 海上保安庁(2002) : 平成 15 年 潮汐表 第 1 巻、財団法人 日本水路協会、 p. 435
- 3) 気象庁(1974) : 有明海・八代海海象調査報告書
- 4) 武岡英隆 (2003) 「有明海における  $M_2$  潮汐の変化に関する議論へのコメント」沿岸海洋研究 第 41 巻 第 1 号、pp. 61-64)
- 5) 灘岡和夫(2002) : 有明海の潮汐・流動・水質変化と諫早湾締切の影響, 理論応用力学講演会講演論文集, Vol. 51<sup>st</sup>, pp. 27-30

## 2. 潮位差の比較 (p39 付図 1 参照)

(1) 潮位差は極小、極大を繰り返しながら変動している。

有明海の潮位差の経年変化をみると、湾奥ほど潮位差の年平均値とその変動幅は大きく、大浦の潮位差は1979年(昭和54年、潮位差約345cm)頃と1995年(平成7年、潮位差約337cm)頃に極大、1988年(昭和63年、潮位差約325cm)頃に極小をもつ変動がみられ、1996年(平成8年、潮位差約337cm)～2000年(平成12年、潮位差約329cm)にかけて減少傾向である。この2つの極大値を比較すると、大浦、三角、口之津では、1995年(平成7年)頃の極大値が1979年(昭和54年)頃の極大値より小さい。(文献1)

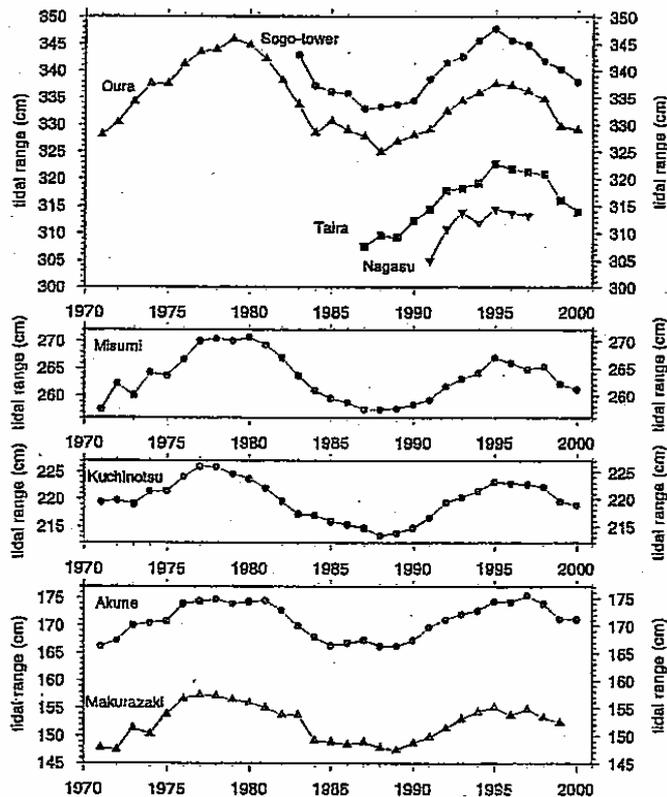


図2. 潮差の経年変動

出典:文献1

有明海における  $M_2$  潮汐振幅の減少が、近年の環境問題との関係で注目されているが、実際の有明海の潮汐振幅は、干拓事業開始直前の1987年(昭和62年)、1988年(昭和63年)と潮受堤防締切の1997年(平成9年)の期間でみると、月軌道の昇交点の変動(18.6年周期)による係数  $f$  の増加でむしろ増加している。大浦の年平均潮位差の変動は  $M_2$  の  $f$  の変動と  $M_2$  潮汐振幅自体の変動でほぼ説明できる。すなわち、1979年(昭和54年)の極大と1988年(昭和63年)の極小の差(20cm強)は、 $M_2$  潮汐の振幅と係数  $f$  の変化(3.7%)から期待される変化とほぼ一致する。また、1979年(昭和54年)の極大と1995年(平成7年)の極大の差(9cm、 $M_2$  潮汐振幅 2.9%に相当)は、大浦における  $M_2$  潮汐振幅の減少率でほぼ説明できる(文献31)。

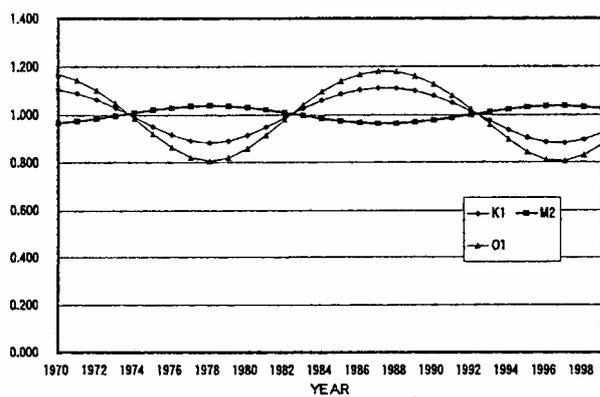


Fig. 1 Year-to-year variations of a factor  $f$  related to lunar nodical cycle (18.6 years) for three major tidal constituents ( $M_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ ).

出典 :文献 31

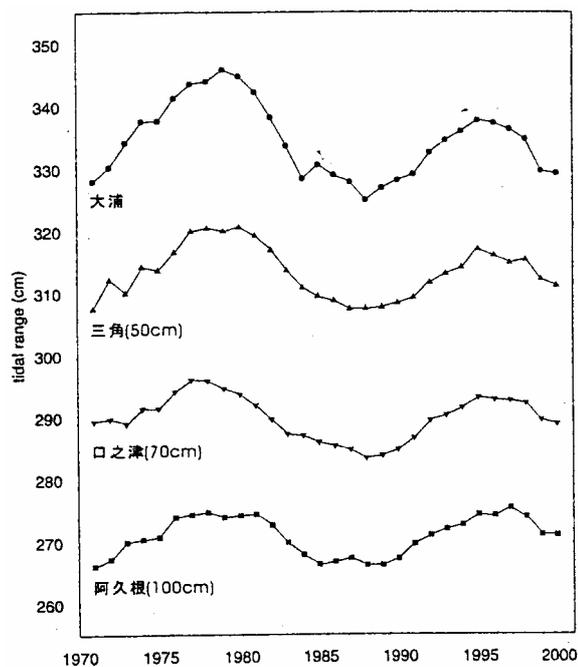


Fig. 2 Year-to-year variations of yearly average tidal range at the stations in and out of Ariake Sea<sup>7)</sup>.

1993年(平成5年)と2003年(平成15年)の大浦における観測結果から、大浦の潮位変動のR.M.S(二乗平均平方根)は約2.4%小さくなっている(1993年(平成5年)1.27m、2003年(平成15年)1.24m)(文献21)

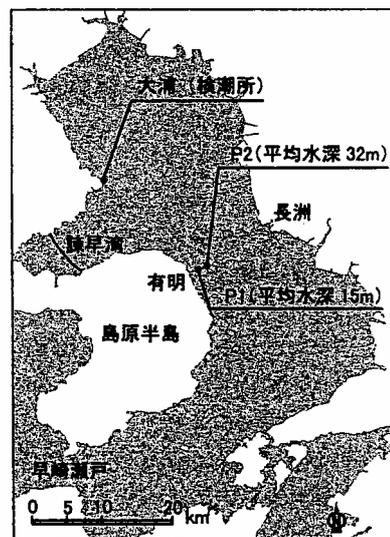


図-1 観測実施位置の概略図

出典 :文献 21

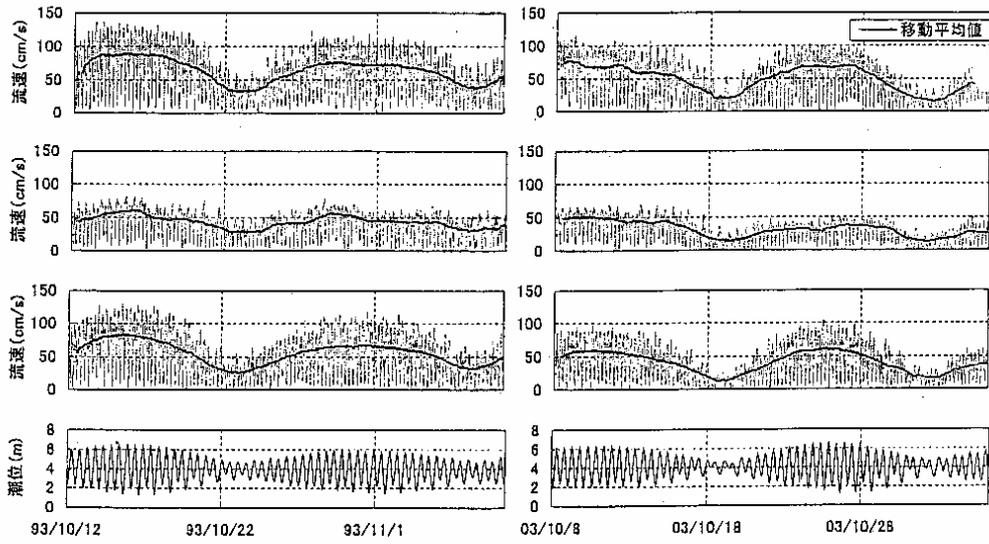


図-6 観測結果の時系列 (左図:1993年10月12日~11月10日,右図:2003年10月9日~11月7日)  
 (上段より,P1(水深5m),P2(水深5m),P2(水深20m)における水平流速の絶対値,潮位)

出典:文献21

(2) 潮位差の減少に関する潮受堤防の影響については、観測結果からは明らかな変化は読みとれなかったという報告がある。また、数値シミュレーションでは堤防が存在することにより潮位差は減少しており、その影響は湾奥に行くほど大きいという報告もある。

1970年(昭和45年)~2001年(平成13年)の大浦地点の潮位観測データから得られた年平均潮位差、大潮差の経年変化からは、潮受堤防の工事期間及び最終締切時の前後で明らかな変化は読みとれなかった。(文献6)

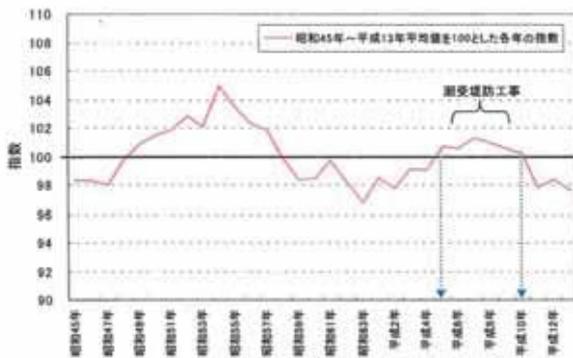


図 6-4 大浦検潮所における年平均潮差の推移

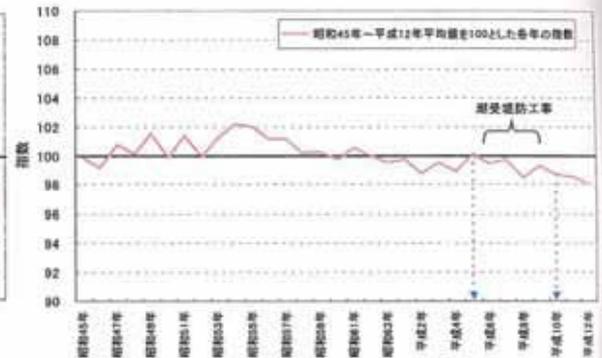


図 6-5 大浦検潮所における大潮差の推移

出典:文献6

有明海の検潮所で観測された22年分の潮位データを分析した結果、潮位変動の標準偏差と1/50最大波高は有明海内外で長期的な減少傾向(潮位変動の標準偏差の回帰直線傾斜:大浦  $-1.12\text{mm/y}$ 、口之津  $-0.02\text{mm/y}$ )にあることがわかる。但し、口之津の標準偏差は減少傾向を示さず、大浦の潮位変動の標準偏差と1/50最大波高の減少率は枕崎よりやや高い。有明海内外の平均海面は22年間に約0.1m直線的に上昇してきており、この影響が水深の浅い湾奥に強く現れ、潮位応答を減少させたものと推定される。大浦のデータでは1995年(平成7年)以降の標準偏差の減少率がやや高まっているが、1/50最大波高の減少率は22年間の平均的な値と変わっていない。以上から、堤防設置に伴う大潮期の潮位差変化は観測値に明瞭には現れていないと結論した。(文献33)

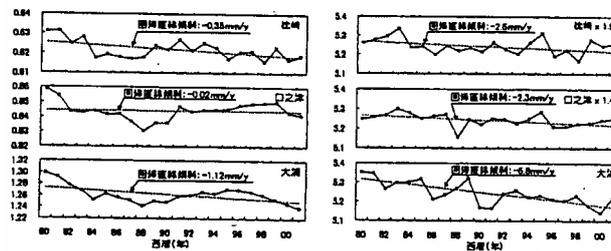


図-2 潮位変動の標準偏差(m) 図-3 1/50最大波高(m)

出典:文献33

数値シミュレーションにより、諫早湾の堤防締め切りによる潮位差の減少割合は、湾奥に行くほど大きく、湾の最奥の住ノ江では約 2.5% ( $M_2$  潮+ $S_2$  潮換算での潮位差の減少量は約 12cm) の減少である。また、平均水位の上昇が 20cm あるとして計算すると、潮位差の減少は住ノ江で約 1.2% ( $M_2$  潮+ $S_2$  潮換算での潮位差の減少量は約 6cm) である。  
(文献 7)

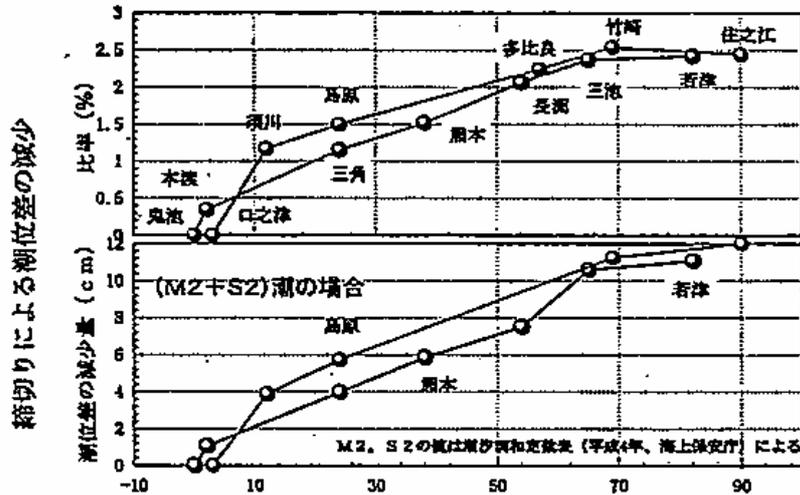


図-3 諫早湾締め切りの潮位差への影響

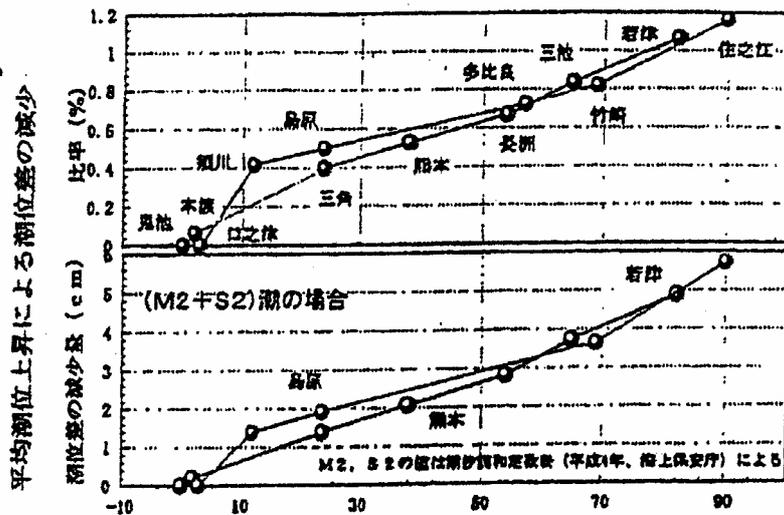


図-4 平均潮位上昇 (20 cm) の潮位差への影響

出典：文献 7

### 3. $M_2$ 分潮振幅の比較 (p40 付図 2 参照)

(1) 月軌道の昇交点の 18.6 年周期を考慮した  $M_2$  分潮の振幅は増減を繰り返しているが、調和定数は 1980 年代後半以降それまでに比べ減少傾向にある。

なお、 $M_2$  分潮振幅が 1980 年代後半以降減少した原因の 1 つとして諫早湾の干拓や潮受堤防の締め切りが挙げられている報告がある。一方で、データ解析結果、数値シミュレーションからは工事の前後における変化傾向は明らかではなかったという報告もある。

[ 月軌道の昇交点の 18.6 年周期変動 (係数  $f$ ) を分離せず解析している見解 ]

観測値に基づく有明海の潮汐振幅の内部要因 (有明海内部の地形変化など) は、場所によって異なっており、大浦では 1.3cm ([(1987 年 (昭和 62 年) までの観測値を用いて作成した  $M_2$  潮汐に対する  $f$  の変化 ( $f_{M_2}$ ) に対する  $M_2$  潮汐振幅 ( $H_{M_2}$ ) の近似直線より求めた内部要因の減少量 1.3cm) / (実際の  $M_2$  潮汐振幅減少量 5.2cm)  $\times$  100] = 25%) の減少、三角では 0、口之津では 0.7cm ([(1987 年 (昭和 62 年) までの観測値を用いて作成した  $M_2$  潮汐に対する  $f$  の変化 ( $f_{M_2}$ ) に対する  $M_2$  潮汐振幅 ( $H_{M_2}$ ) の近似直線より求めた内部要因の減少量 2.3cm) / (実際の  $M_2$  潮汐振幅減少量 1.6cm)  $\times$  100 - 100] = 44%) の増大となっている。(文献 27)

**Table 2.** Estimated outer and inner effect of decay of  $M_2$  tidal amplitude at the stations in Ariake Bay based on the observational data. ( $\blacktriangle$  denotes negative sign)

	~1987 (cm)	1988~ (cm)	Actual declining (cm)	Inner effect (cm)	Outer effect (%)	Effect by dike
Oura	$\blacktriangle$ 3.9	$\blacktriangle$ 3.5	$\blacktriangle$ 5.2	$\blacktriangle$ 1.3	75	decrease
Misumi	$\blacktriangle$ 2.9	$\blacktriangle$ 2.8	$\blacktriangle$ 2.9	$\blacktriangle$ 0.0	100	non
Kuchinotsu	$\blacktriangle$ 2.3	$\blacktriangle$ 2.5	$\blacktriangle$ 1.6	+0.7	144	increase

出典 文献 27

湾奥の大浦における計算結果では、 $f$  値は 1997 年 (平成 9 年) に最大値をとり、それ以降減少するのに対し、 $M_2$  周期の海面変動振幅は 1996 年 (平成 8 年) に最大値をとりそれ以降減少している。このような  $f$  値からのズレは湾口に近くなるほど小さくなっている。 $S_2$  分潮振幅については近年やや減少気味であるが、その変化は  $M_2$  分潮程顕著ではなく、 $K_1$  及び  $O_1$  分潮の海面変動振幅は顕著な経年変動は見られない。(文献 32)

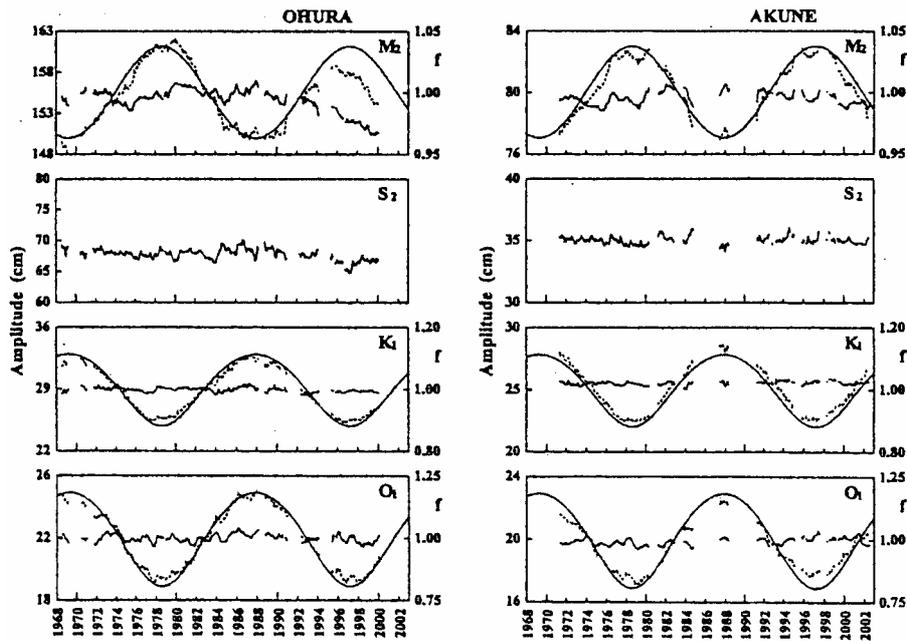


Fig. 2

出典: 文献 32

〔月軌道の昇交点の 18.6 年周期変動（係数  $f$ ）を分離して解析している見解〕

データ解析からは、大浦における  $M_2$  分潮の調和定数が 1980 年（昭和 55 年）～1999 年（平成 11 年）の間に約 4% 減少している（昭和 55 年 約 157cm 平成 11 年 約 151cm）（文献 1, 諫早湾干拓事業 中・長期開門調査検討会議報告書, 2003）

1980 年（昭和 55 年）以降の  $M_2$  分潮振幅の減少は口之津の他外海でもみられる。（文献 1）

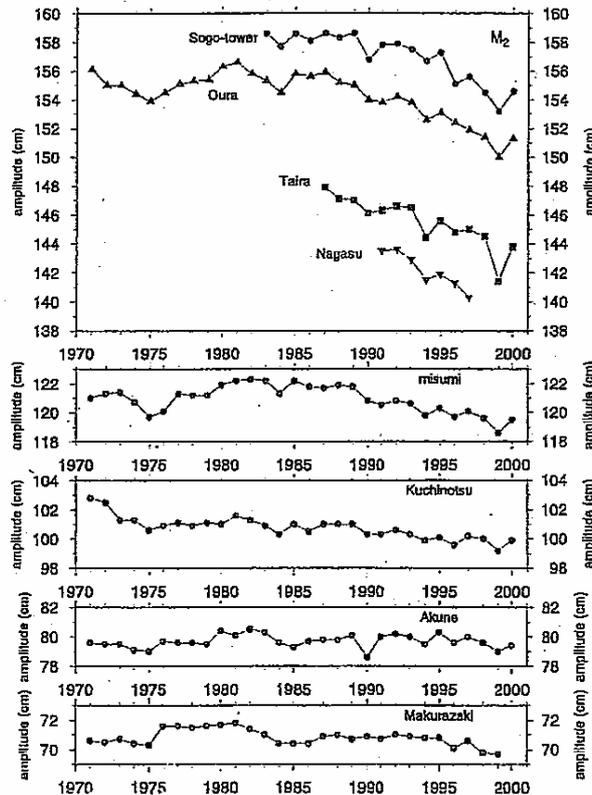


図3.  $M_2$  分潮の調和定数（振幅）の経年変動

出典: 文献 1

1987年(昭和62年)~2000年(平成12年)にかけて、 $M_2$ 分潮の振幅は大浦では5.0cm(当初振幅の3.2%)、三角では2.5cm(同2.1%)、口之津では1.3cm(同1.3%)減少している。半日周期の振幅の減少は、干拓に伴う地形変化等により湾の振動特性が変化し共振潮汐が弱まったためと考えられる。(文献2)

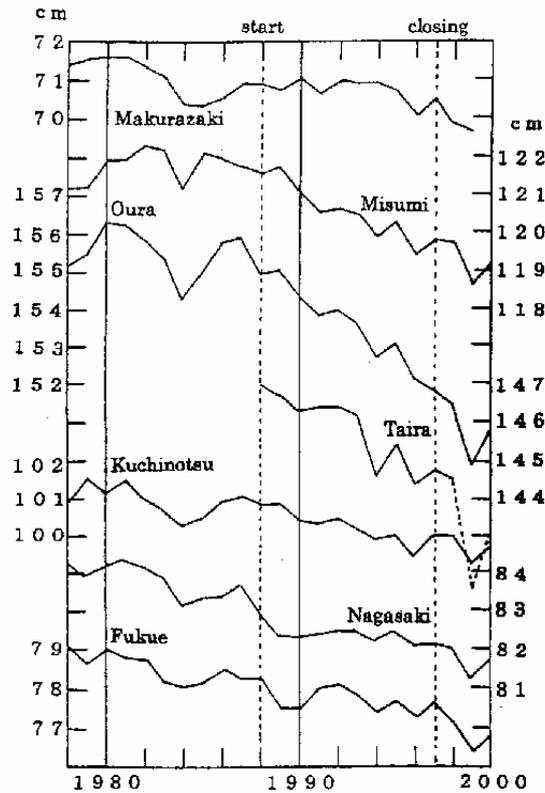


Fig. 3 Secular change of the amplitude of  $M_2$  constituent. Two vertical dotted lines indicate the start of the reclamation project and the closing of reclaimed area by the sea dike, respectively.

出典:文献2

2次元数値流動解析の結果より、有明海の潮位応答には明瞭な振幅依存性があり、外海の潮位振幅が増加すると湾奥の応答振幅比は減少することが判明した。(文献33)

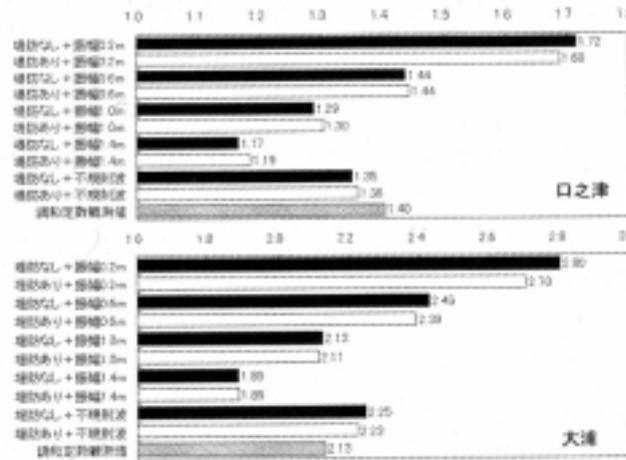


図-6 口之津と大浦のM<sub>2</sub>潮振幅比(沖境界の入力振幅に対する応答振幅比)

出典:文献33

口之津を1とした場合の大浦のM<sub>2</sub>分潮の振幅の増幅率の経年変化から、潮受堤防の工事期間及び最終締切時の前後の比較を行ったが、観測データからは明らかな変化は読みとれなかった。(文献6)

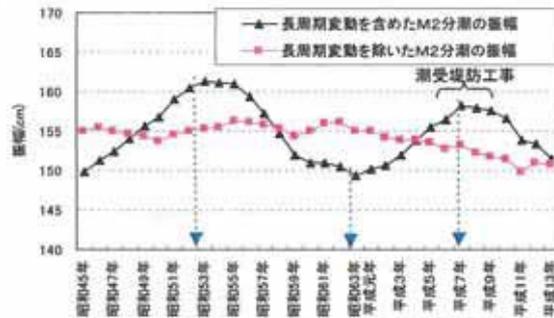


図 6-6 大浦検潮所のM<sub>2</sub>分潮振幅の経年変化

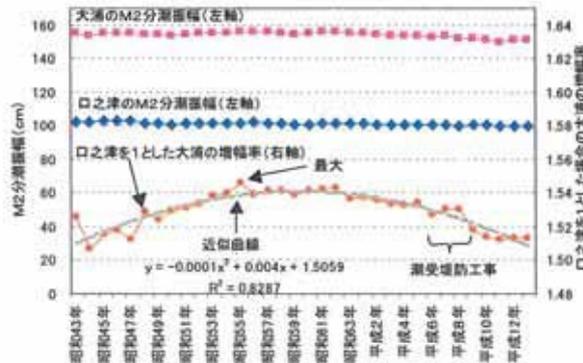


図 6-7 口之津検潮所と大浦検潮所のM<sub>2</sub>分潮振幅と増幅率の経年変化

出典:文献6

有明海における  $M_2$  分潮の増幅率の経年変化をみると、干拓事業開始（1988 年（昭和 63 年））と堤防締切り（1997 年（平成 9 年））の間に大浦と口之津における  $M_2$  分潮振幅の増幅率は約 1.54 から約 1.52 へ減少しており、締め切りの際に急激に減少していることから、干拓事業に伴う地形変化が潮汐に及ぼす効果は極めて明瞭である。（文献 28）

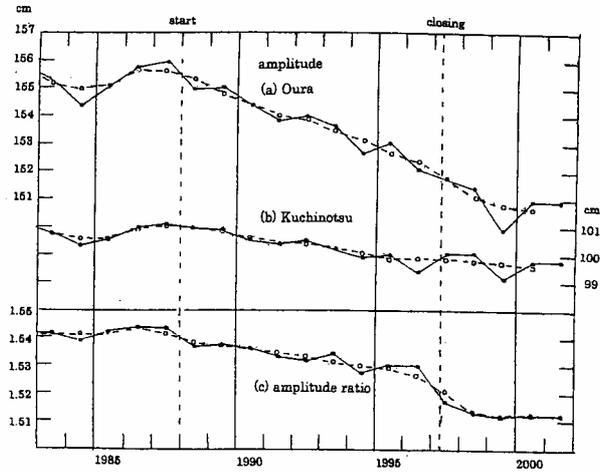


Fig. 2 Secular change of the amplitude of the  $M_2$  constituent at Oura (a) and Kuchinotsu (b) in Ariake Bay; solid lines indicating observed values and broken lines smoothed ones. Figure (c) gives the amplification factor; Oura to Kuchinotsu. Two vertical broken lines indicate the start of the reclamation project and the closing of the reclamation area by the sea dike, respectively; after Unoki<sup>7)</sup>.

出典 文献 28

(2)  $M_2$ 分潮振幅減少の要因としては、<1>有明海内の海水面積の減少（内部効果）、<2>平均水位の上昇（外部効果）、<3>外洋潮汐振幅の減少（外部効果）などが挙げられているが、その影響度合いの評価は様々である。また、検討方法がデータ解析であるか、シミュレーションであるか等によってもその影響度合いは異なっている。

表1  $M_2$ 分潮振幅減少に関する各要因の寄与率

見解 要因	見解1	見解2	見解3	見解4
<1>有明海内の海水面積の減少	50%	40~50%	潮受堤防の締切 10~20%	諫早堤防：24% 熊本新港：2%
<2>平均水位の上昇	10%	極めて小さい	-	0%
<3>外洋潮汐振幅の減少	40%	50~60%	-	76%

見解1 データ解析( $M_2$ 分潮の振幅差に対する2000年(平成12年)の寄与率)によると、 $M_2$ 分潮の振幅減少の寄与率は、内部効果(要因<1>)約50%、水深効果(要因<2>)10%、外部効果(要因<3>)40%である。(文献4)

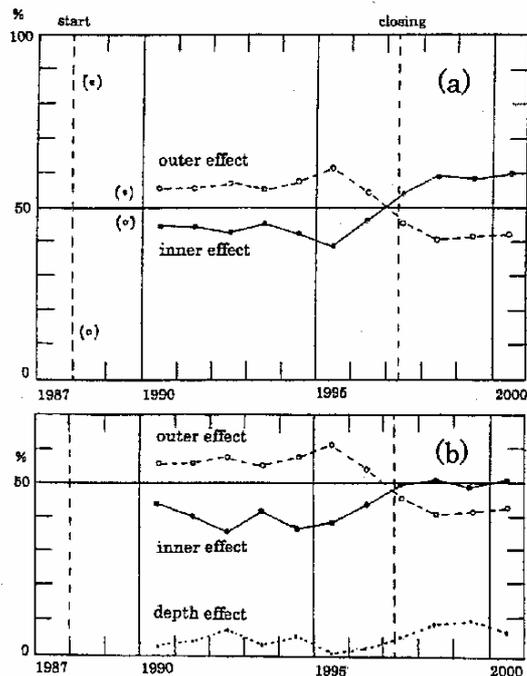


Fig. 3. The upper (a): same as Fig. 2, but for based on the smoothed data (broken lines in (a) and (b) of Fig. 1). The lower (b): same as (a) above but for including the effect of depth change in the bay, attributed to the change of mean sea level in the outer sea.

出典:文献4

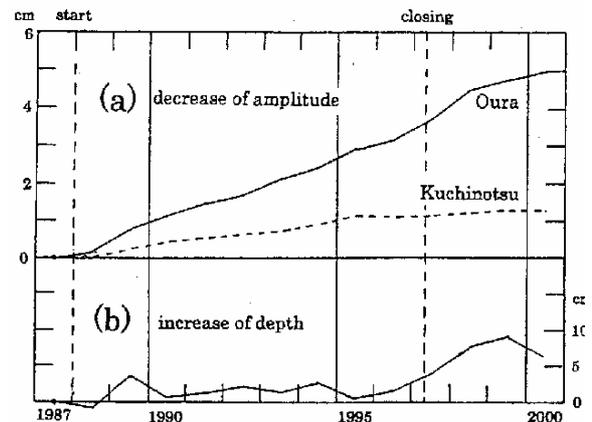


Fig. 4. The upper (a) indicates the decrease of amplitude at two tidal stations since 1987, one year before the start of the reclamation project, and (b) the increase of mean depth in Ariake Bay.

見解2 シミュレーション(1991年と1997年、1991年と1999年との比較)によると、 $M_2$ 分潮の振幅減少の寄与率は、有明海内の海水面積の減少(要因<1>)が40~50%、外洋潮汐振幅の減少(要因<3>)が50~60%であり、平均水位の上昇の寄与(要因<2>)は極めて小さい。(文献18)

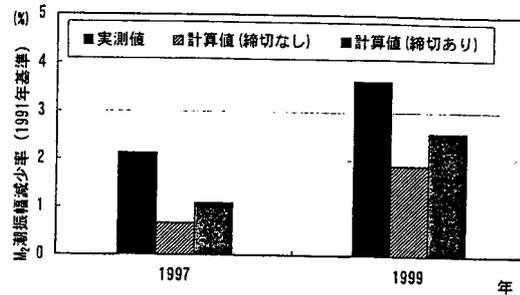


図-4 有明海湾奥(大浦)における $M_2$ 分潮減少率の計算結果(前報)

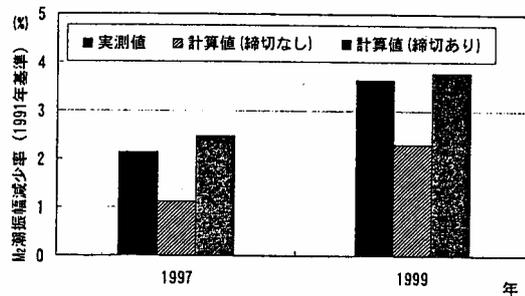


図-5 有明海湾奥(大浦)における $M_2$ 分潮減少率の計算結果(本論文)

出典:文献18

見解3 シミュレーション(1985年と1999年との比較)によると、潮受堤防の締め切り(要因<1>の一部)による $M_2$ 分潮の振幅減少の寄与率は10%~20%程度( $M_2$ 潮汐振幅減少4.3cmに対して)である。(文献5)

Table 1 Calculated and observed  $M_2$  tidal amplitude at Ora in Ariake Bay.

Case	amplitude along open boundary (cm)	mean sea level rise (cm)	Isahaya Sea Dike	Amplitude at Ora (cm)	Observed value (cm)
1	80.0	0	-	154.5	155
2	77.5	10	Yes	150.2	150
3	80.0	0	Yes	153.8(16%)	
4	80.0	10	-	154.7(-4.7%)	
5	77.5	0	-	150.8(86%)	

- Case1) 1985年の境界条件で、有明海内の平均水位上昇がなく、諫早湾潮受け堤防締め切りがない場合
- Case2) 1999年の境界条件で、有明海内で10cmの平均水位上昇があり、諫早湾潮受け堤防が締め切られた場合
- Case3) 1985年の境界条件で、有明海内の平均水位上昇がなく、諫早湾潮受け堤防が締め切られた場合
- Case4) 1985年の境界条件で、有明海内で10cmの平均水位上昇があり、諫早湾潮受け堤防締め切りがない場合
- Case5) 1999年の境界条件で、有明海内の平均水位上昇がなく、諫早湾潮受け堤防締め切りがない場合

出典:文献5

見解 4 計算により得られた大浦における  $M_2$  分潮の減少 (5.1cm) に対する寄与率は、諫早堤防 (要因<1>の一部) 24%、熊本新港 (要因<1>の一部) 2%、平均水位上昇 (要因<2>) 0%、外海要因 (要因<3>) 76% となり、この結果は潮汐観測値から求めた結果とほぼ完全に一致した。有明海の  $M_2$  分潮は、干拓事業 (諫早湾内 25% 以上、湾中央 5% 程度、湾奥変化無し) と外洋の潮汐振幅の減少 (湾内全域 2.9%) の影響によってほぼ全域で減少したが、諫早湾から有明海中央部では  $f$  による変動幅以上の影響を受けている。(文献 27)

Table 3. Calculation cases and amplitude at open boundary.

Case	Topography and sea level	Amplitude at open boundary [North~South] (m)
1	1981	0.87~0.845
2	Case 1 + Isahaya dike	0.87~0.845
3	Case 1 + Kumamoto new port	0.87~0.845
4	Case 1 + Mean sea level rise (10cm)	0.87~0.845
5	1981	0.845~0.82
6	2001	0.845~0.82

Case1 : 1981 年の有明海  
Case2 : 諫早湾干拓事業を考慮する場合  
Case3 : 熊本新港事業を考慮する場合  
Case4 : 10cm の平均水位上昇を考慮する場合  
Case5 : 外海での潮汐振幅減少を考慮する場合  
Case6 : 2001 年における Case2~6 を考慮する場合

Table 4. Calculated and observed  $M_2$  tidal amplitude at (a) Oura, (b) Misumi and (c) Kuchinotsu. (▲ denotes negative sign)

(a) Oura

Cal. case No.	1	2	3	4	5	6
Cal. (cm)	156.1	154.9	156.0	156.1	152.2	151.0
Cal. variation (cm)	-	▲1.2	▲0.1	0	▲3.9	▲5.1
ratio (%)	-	24%	2%	0%	76%	-
Obs. (cm)	156.1	-	-	-	-	150.9
Obs. variation (cm)	-	-	-	-	*▲3.9	▲5.2

\*estimated value from analysis of Obs.

(b) Misumi

Cal. case No.	1	2	3	4	5	6
Cal. (cm)	126.0	126.1	126.0	126.1	123.0	123.0
Cal. variation (cm)	-	0.1	0	0.1	▲3.0	▲3.0
ratio (%)	-	-3%	0%	-3%	100%	-
Obs. (cm)	122.1	-	-	-	-	119.2
Obs. variation (cm)	-	-	-	-	*▲2.9	▲2.9

\* estimated value from analysis of Obs.

(c) Kuchinotsu

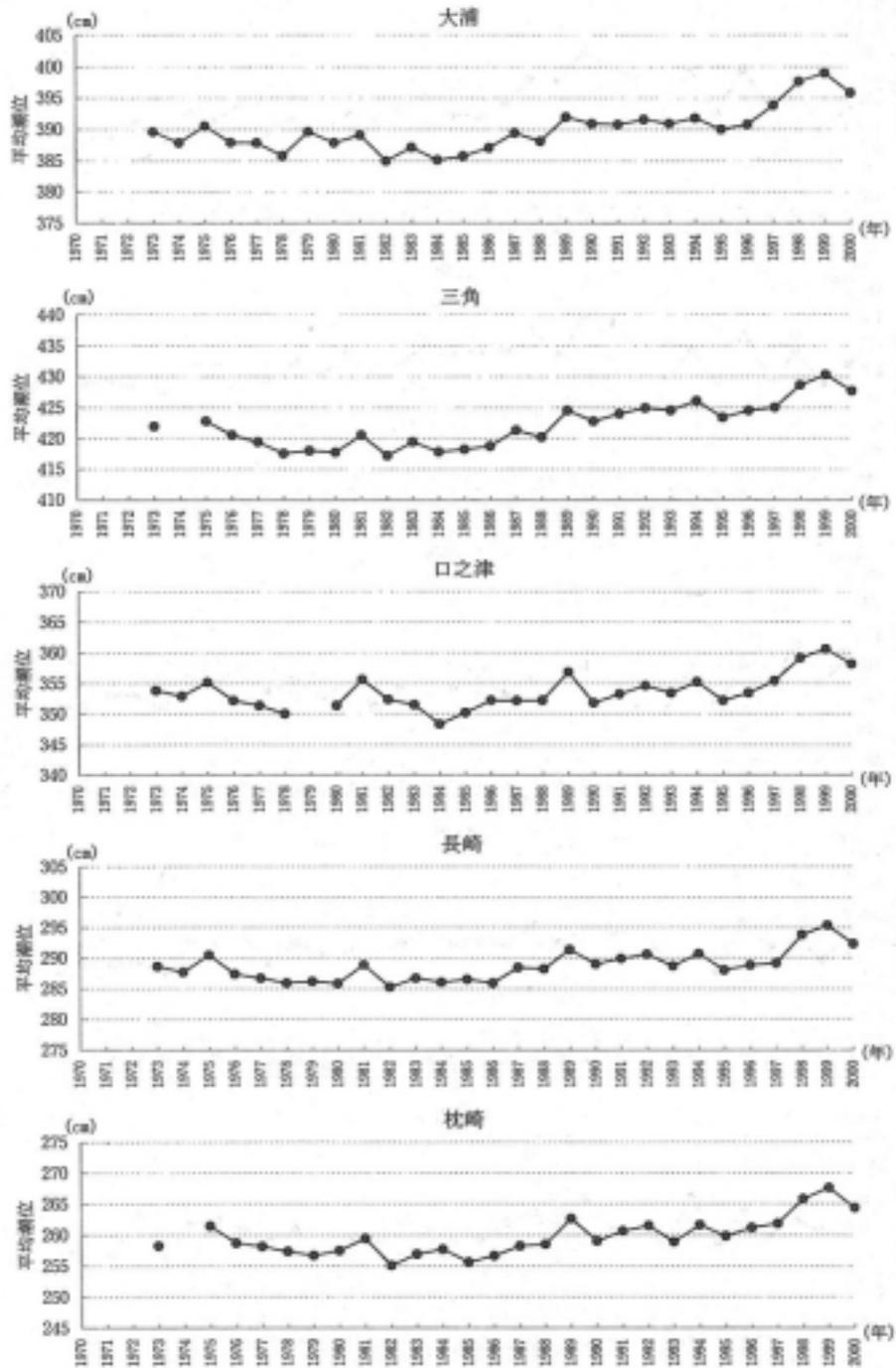
Cal. case No.	1	2	3	4	5	6
Cal. (cm)	103.4	104.0	103.4	103.5	100.9	101.5
Cal. variation (cm)	-	0.6	0	0.1	▲2.5	▲1.9
ratio (%)	-	-32%	0%	-5%	132%	-
Obs. (cm)	101.3	-	-	-	-	99.7
Obs. variation (cm)	-	-	-	-	*▲2.3	▲1.6

\* estimated value from analysis of Obs.

出典 文献 27

#### 4. 潮位の上昇

有明海及び外洋の広い海域において、1985年(昭和60年)以降、平均海面が上昇している。平均潮位は、有明海及び外洋の長崎や枕崎(鹿児島県)でも近年上昇している。(文献8)



(出典：気象庁、潮汐概況・潮汐観測原簿・気象庁データより)

図 2.2.2.15 年間の平均潮位の水位

出典：文献8

有明海を含む広い海域において平均海面が上昇している。この上昇は、1985年(昭和60年)頃から始まっていて、上昇量は10cm程度である。(文献40)

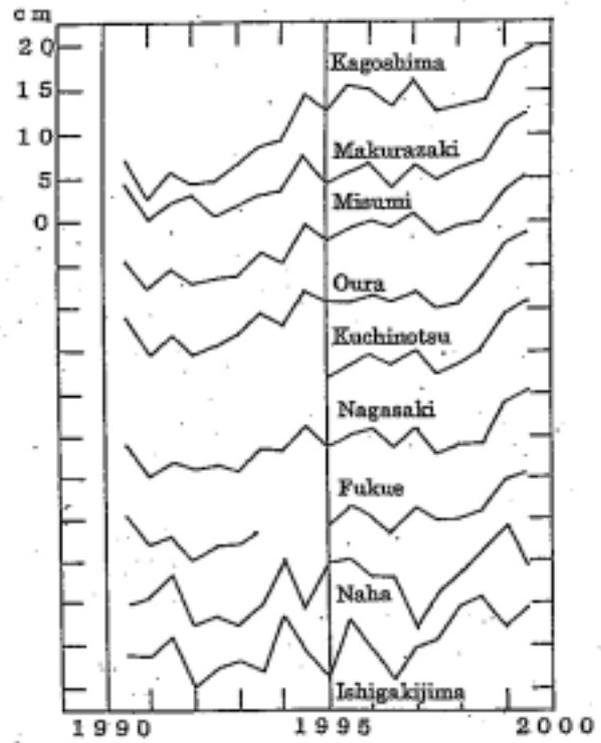


Fig. 3. Secular change of mean sea level.

出典：文献40

## 5. 潮位に関する提言

- 1) 口之津を基準とした潮位変動について議論をする場合、外海である橘湾の振幅等を考慮する必要がある。このため、有明海へ影響を及ぼす外海の潮位データ等の状況が取得できる観測地点の設置が必要である。  
これに加え、外海の影響以外の要因の状況を検知するために重要（必要）な観測地点で連続的な潮位データが取得できるよう、国、関係県、大学等を含めた組織的な観測体制の充実が求められる。また、長期的な変動をみるためには、観測体制の適切な管理運営や周辺海域を含めた地盤沈下、海底地形の変化等の観測も行う必要がある。
- 2) 現実の潮位差は、18.6周期変動や気象等のノイズ等により大きく変動しており、環境と潮位差との関係进行评估するためには、分潮やノイズの大きさ及び変動幅を踏まえた議論を行う必要がある。
- 3) 干拓事業以外の、ノリ網の影響、熊本新港等の内部要因の影響について定量的な検討が必要である。
- 4) 現状を適切に反映した海底地形等を把握し、シミュレーションの精度の向上、数値モデルの高度化を図る必要がある。この海域で、非線形性が強く出る現象を扱う場合には、境界条件、初期条件の与え方及び結果の評価の仕方について配慮する必要がある。なお、潮位変動をシミュレーションで再現する際の前提条件として、実海域でみられる現象がシミュレーションでは省略される場合があり、再現性に限界があることを考慮する必要がある。