

## 3. 潮汐・潮流

## [潮位の変動]

## (1) 有明海について

## ア) 潮位の状況

有明海では1日2回の満潮と干潮を迎える際の潮位差が大きく、特に湾奥部では大潮期には最大約6mに達する。

潮汐は主に月と太陽の引力から生じる異なる周期を持つ分潮で構成され、 $M_2$ 分潮（主太陰半日周潮）、 $S_2$ 分潮（主太陽半日周潮）、 $O_1$ 分潮（主太陰日周期）、 $K_1$ 分潮（日月合成日周期）を主要4分潮と呼ぶ。月の引力による分潮（主要4分潮では、 $M_2$ 、 $K_1$ 、 $O_1$ ）は月の軌道の昇交点の周期変動（約18.6年周期）の影響を受けて振幅や位相が毎年変動する。有明海では湾口部から湾奥部に向かって潮位差は増大するが（表3.3.1）、これは有明海の固有振動周期が半日周期に近く、半日周期の外洋の潮汐振幅と湾内水が共振現象を起こすためである。有明海の最も大きな分潮成分は $M_2$ 分潮であり、 $S_2$ 分潮がこれに次ぐ（表3.3.2）。湾奥部の潮位差の増大には湾の固有振動による半日周潮（ $M_2$ 分潮+ $S_2$ 分潮）の増幅が大きく関与する。なお、有明海の潮位変動の解析に際しては以下の点に留意する必要がある。

- ① 環境問題との関係を見るには、実際の振幅変化（分潮振幅に18.6年周期の変動（係数 $f^i$ ）を含めたもの）を考える必要があること
- ② 実際の潮位には気象・海象等の要因が加わり、潮汐変動以外に特異な変動が含まれること
- ③ 潮汐振幅の長期変化の要因については、1)海水面積の減少、2)平均潮位の上昇、3)外洋の潮汐振幅の減少の3つの要因に整理されて議論されていること

表 3.3.1 有明海各地点の潮位差

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

表 3.3.2 主要分潮の潮汐調和定数（振幅）

地名	分潮	$M_2$		$S_2$		$K_1$		$O_1$	
		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

注) 上記地名の位置は図 3.3.1 に示すとおりである。

出典：気象庁（1974）「有明海・八代海海象調査報告書」

i) 係数 $f$ ： $M_2$ 分潮は1979年頃と1997年頃に極大、1988年頃と2006年頃に極小を迎える。一方、 $K_1$ 及び $O_1$ 分潮は $M_2$ 分潮とは逆位相で、 $M_2$ 分潮が極大のときに極小を迎えるが、有明海では $M_2$ 分潮の振幅が卓越しているため、実際の潮汐の18.6年周期の変動は、ほぼ $M_2$ 分潮の係数 $f$ の変動で表される。なお、 $S_2$ 分潮には18.6年周期の変動はない。

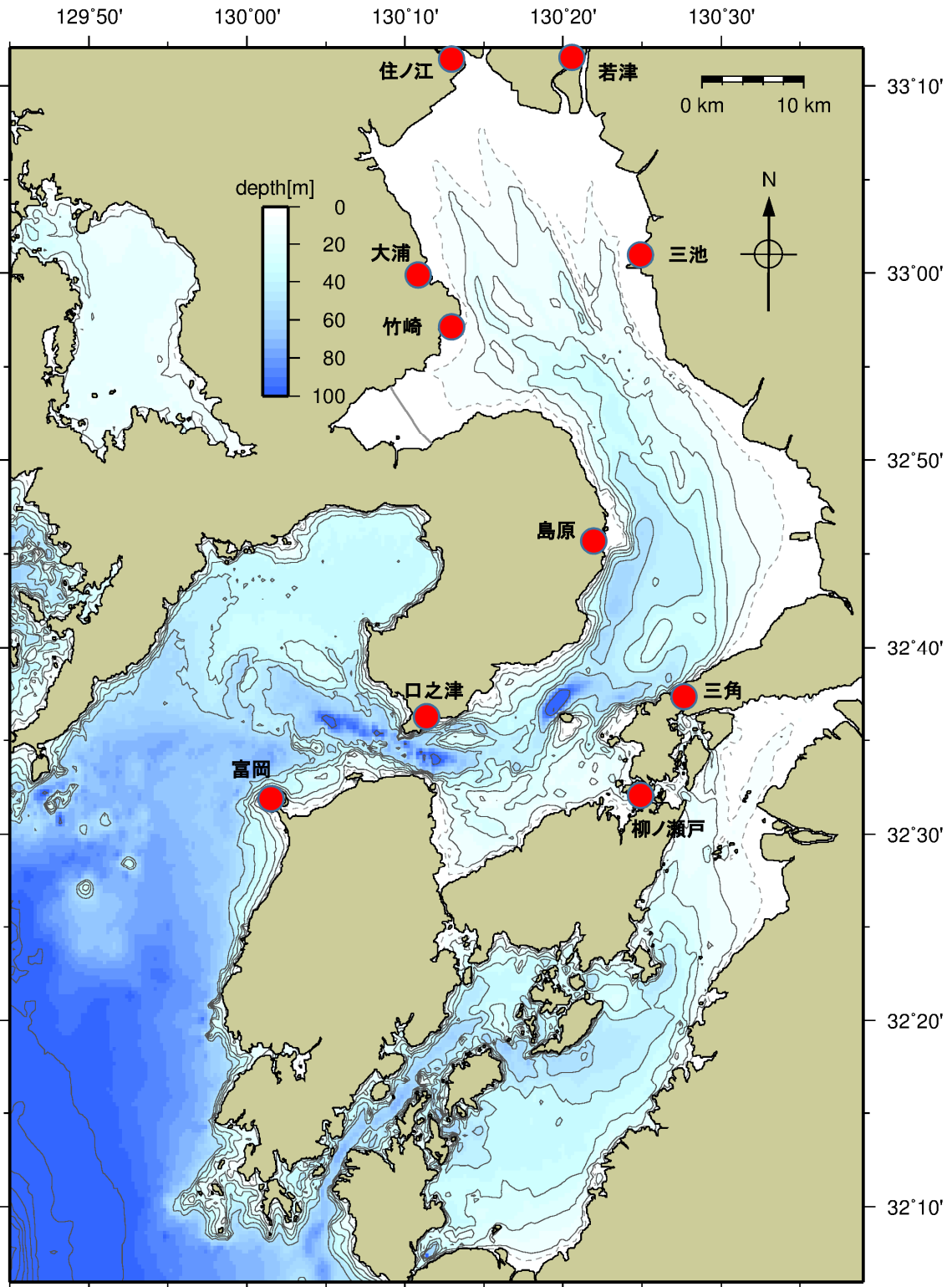
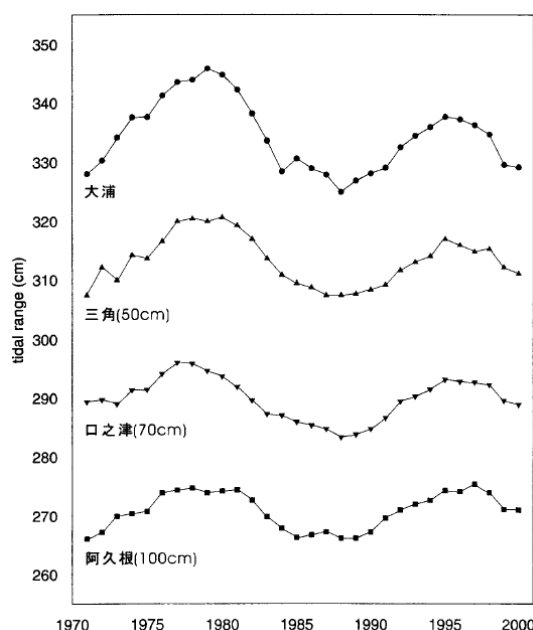


図 3.3.1 表 3.3.1 及び表 3.3.2 の潮位観測の地名の位置

## イ) 潮位差の比較

武岡 (2003)<sup>1)</sup>によると、有明海は湾奥ほど年平均潮位差が大きく、大浦の潮位差は1979年頃(潮位差約345cm)と1995年頃(同337cm)に極大、1988年頃(同325cm)に極小をもつ変動がみられる。また、外洋に面している阿久根の潮位差は1979年頃(同175cm)と1997年頃(同175cm)に極大、1988年頃(同166cm)に極小をもつ変動がみられる(図3.3.2)。大浦における年平均潮位差の変動は、 $M_2$ 分潮の $f$ と振幅自体の変動でほぼ説明でき、1979年頃の極大と1988年の極小の差(20cm強)は、 $M_2$ 分潮振幅と係数 $f$ の変化(3.7%)から期待される変化とほぼ一致する。また、1979年頃の極大と1995年頃の極大の差(約9cm、 $M_2$ 分潮振幅の2.9%に相当)は、大浦における $M_2$ 分潮振幅の減少率でほぼ説明できる。



注) 三角、口之津及び阿久根での値は図中のカッコ内の値を加えている。

図 3.3.2 有明海内外の観測点における年平均潮位差の経年変化

出典：武岡英隆 (2003)：有明海における  $M_2$  潮汐の変化に関する論議へのコメント，沿岸海洋研究，第41巻，第1号，pp.61-64

大浦における1970年から現在までの  $M_2$  分潮振幅は、全体としては減少傾向にあり、この中で、周期的な増減を示し、外洋により近接する口之津においても同様の变化傾向がみられる。月昇交点位置変化の影響を含む長期的な  $M_2$  分潮振幅の増減は、いずれも1979年頃と1995年頃に極大となった後、2007年にかけて減少し、その後再び増加しており、2015年頃に再び極大を迎えると考えられる(図3.3.3)。

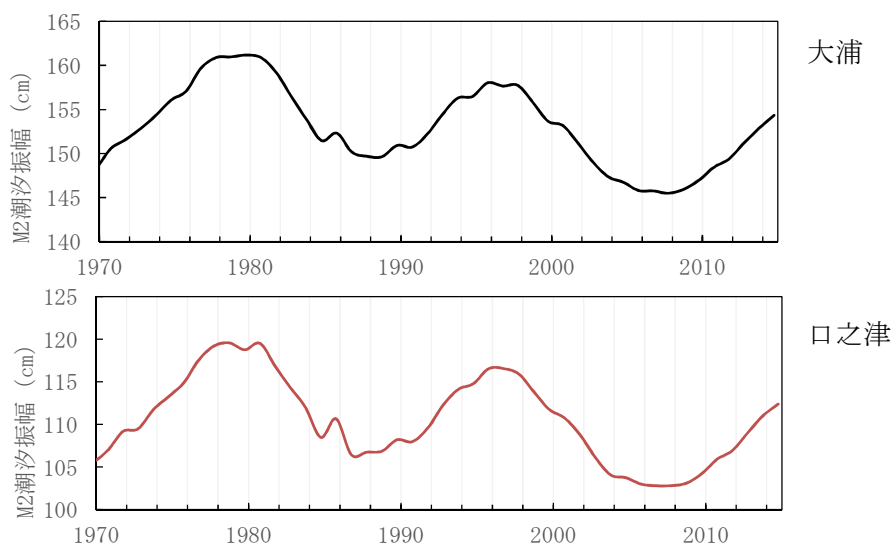


図 3.3.3 大浦及び口之津の  $M_2$  潮汐振幅の経年変化 (月昇交点位置変化の影響を含む)

出典：JODC オンラインデータ提供システム「気象庁潮位観測資料 大浦・口之津毎時潮位」をもとに環境省が作成した。

有明海・八代海総合調査評価委員会報告（2006）においては、潮位差減少と諫早湾の潮受堤防との関係について、実測とシミュレーションの知見として、それぞれ、農林水産省（2003）<sup>2)</sup> による1970（昭和45）～2001（平成13）年の大浦の年平均潮位差、大潮差の経年変化から明らかな変化はみられなかったという報告（図3.3.4）と滝川・田淵（2002）<sup>3)</sup> の数値シミュレーションでは、潮受堤防により潮位差は減少し、その影響は湾奥ほど大きく、最奥の住ノ江では潮位差の約2.5%の減少になるという報告が示されている（図3.3.5）。

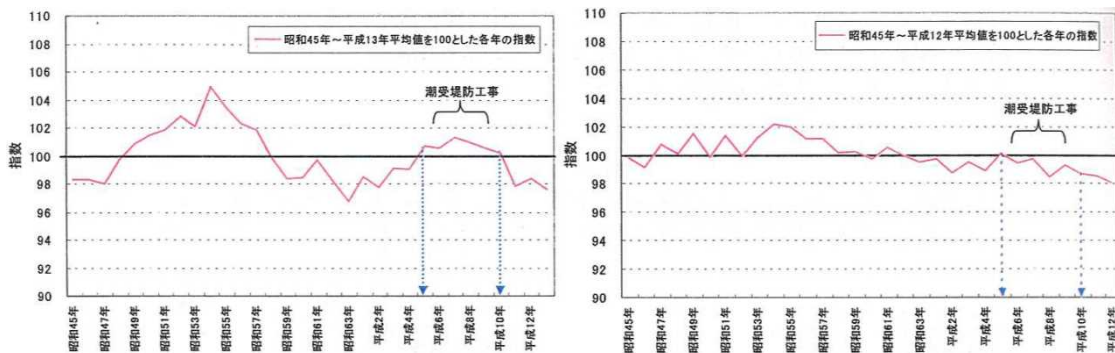


図 3.3.4 大浦検潮所における年平均潮位差と大潮差の推移

出典：農林水産省九州農政局（2003）「諫早湾干拓事業開門総合調査報告書」

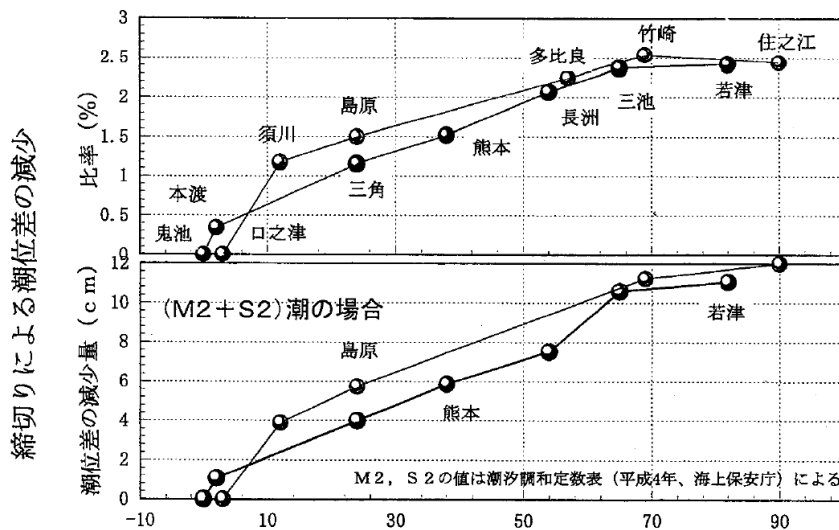


図 3.3.5 諫早湾縮切りの潮位差への影響

出典：滝川清, 田淵幹修（2002）：有明海の潮汐変動特性と沿岸構造物の影響, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.1061-1065

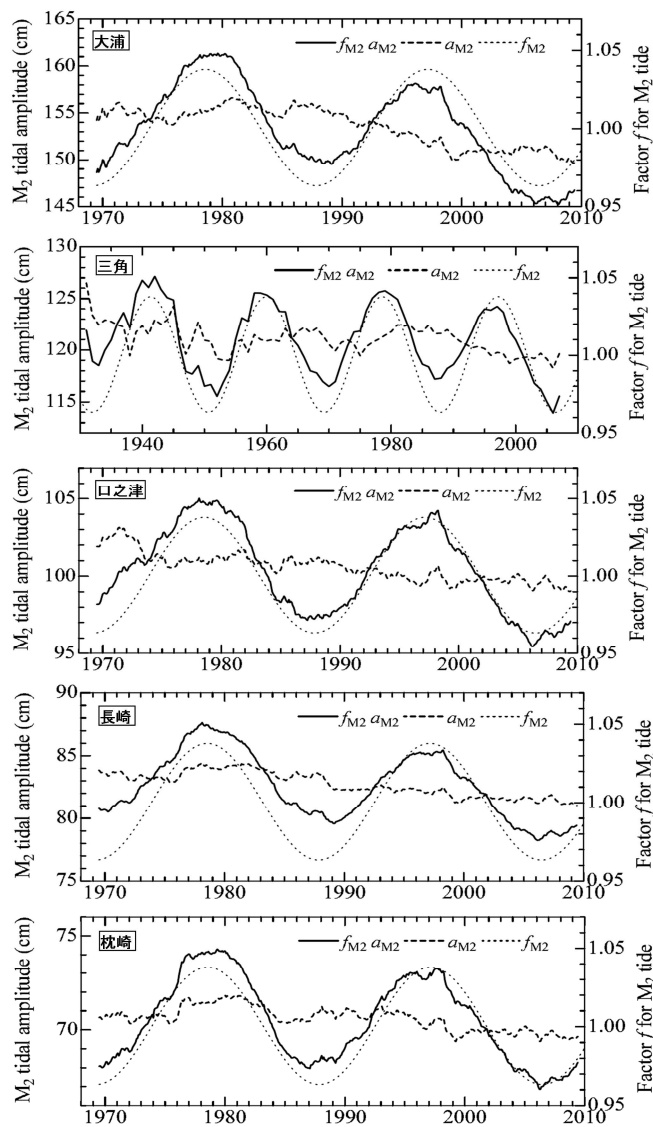
### ウ) $M_2$ 分潮振幅の比較

有明海で最も大きな分潮成分である  $M_2$  分潮振幅の変動に関する知見を整理した。

田井ら (2010) <sup>4)</sup> によると、大浦の  $M_2$  分潮振幅は 1980～1999 年の間に約 4%減少しているが、この減少は口之津のほか外洋でもみられる。

月昇交点位置変化の影響を除いた  $M_2$  分潮振幅は、過去約 40 年間で減少しており、それが前述イ) で示した極大年の年平均潮位差の減少 (1979 年頃 > 1995 年頃) の主な要因と考えられる (図 3.3.6)。

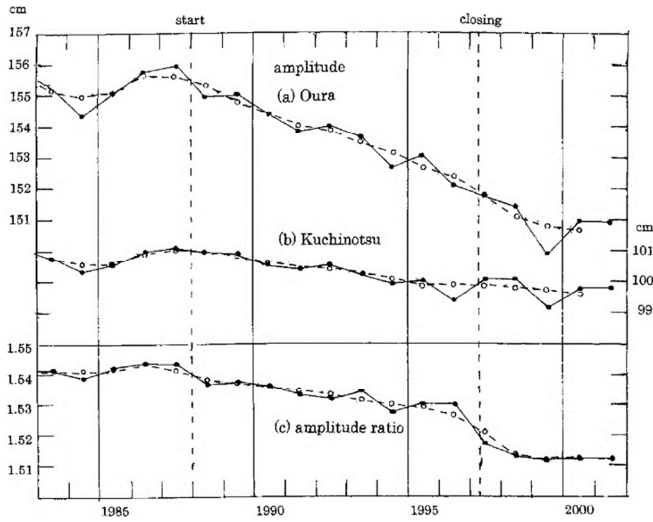
諫早干拓事業開始から潮受堤防締切りまでの間に大浦から口之津に至る  $M_2$  分潮振幅の増幅率が 1.54 から 1.52 に減少しており、この減少は干拓事業に伴う地形変化が原因との報告<sup>5)</sup> がある (図 3.3.7) 一方、口之津を 1 とした場合の大浦の  $M_2$  分潮振幅の増幅率に明らかな変化はみられなかったとの報告もある (図 3.3.8) <sup>2)</sup>。なお、田井・矢野 (2008) <sup>6)</sup> によると、諫早湾の潮受堤防締切りによる有明海内の  $M_2$  分潮振幅の増幅率は、外洋の潮汐振幅に依存するため、外洋の潮汐振幅が等しい場合を比較する必要があることが報告されている。



注)  $f_{M_2} a_{M_2}$ : 昇交点運動の変化を含めた振幅、 $a_{M_2}$ : 昇交点運動の変化を取り除いた振幅

図 3.3.6  $M_2$  分潮の調和定数 (振幅) と  $f$  値の経年変化

出典: 田井明, 斎田倫範, 矢野真一郎, 小松利光 (2010): 潮汐振幅の全球的な長期変化, ながれ, 第 29 巻, pp. 427-431



注) 1. (a) は大浦、(b) は口之津の M<sub>2</sub> 分潮振幅を示し、(c) は振幅比、すなわち増幅率を示す。  
 2. 実線は観測値、破線は 3 年間の移動平均値 (短周期ノイズを消すために実施) である。  
 3. 縦の破線は、諫早湾干拓事業の開始と潮受

図 3.3.7 大浦と口之津の M<sub>2</sub> 分潮振幅の経年変化

出典：宇野木早苗 (2004)：有明海の潮汐・潮流の変化に関わる科学的問題と社会的問題，沿岸海洋研究，第 42 卷，第 1 号，pp.85-94

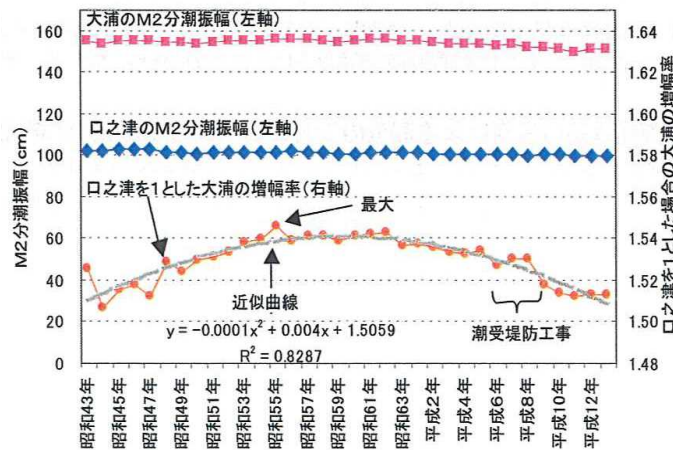


図 3.3.8 口之津検潮所と大浦検潮所の M<sub>2</sub> 分潮増幅率の経年変化

出典：農林水産省九州農政局 (2003)「諫早湾干拓事業開門総合調査報告書」



M<sub>2</sub>分潮振幅（月昇交点変化の影響を含まない）については、大浦で約20年の間に約6cmの減少がみられる（図3.3.6）。このM<sub>2</sub>分潮振幅の減少要因としては、有明海内の海水面積の減少（内部効果）、平均潮位の上昇（外部効果）、外洋の潮汐振幅の減少（外部効果）等が挙げられているが、その影響度合いに関する見解は異なっている（表3.3.3）。

表 3.3.3 M<sub>2</sub>分潮振幅の減少に関する各要因の寄与率に関する見解

要因 \ 見解	見解1	見解2	見解3	見解4	見解5
有明海内の海水面積の減少	50%	40～50%	潮受堤防の 締め切り 10～20%	諫早堤防：24% 熊本新港：2%	—
平均潮位の上昇	10%	極めて 小さい	—	0%	—
外洋潮汐振幅の 減少	40%	50～60%	—	76%	過去80年間では、 M <sub>2</sub> 分潮振幅減少 の大部分は干拓 等の海岸線の変 化ではなく、外海 のM <sub>2</sub> 分潮振幅の 減少である。

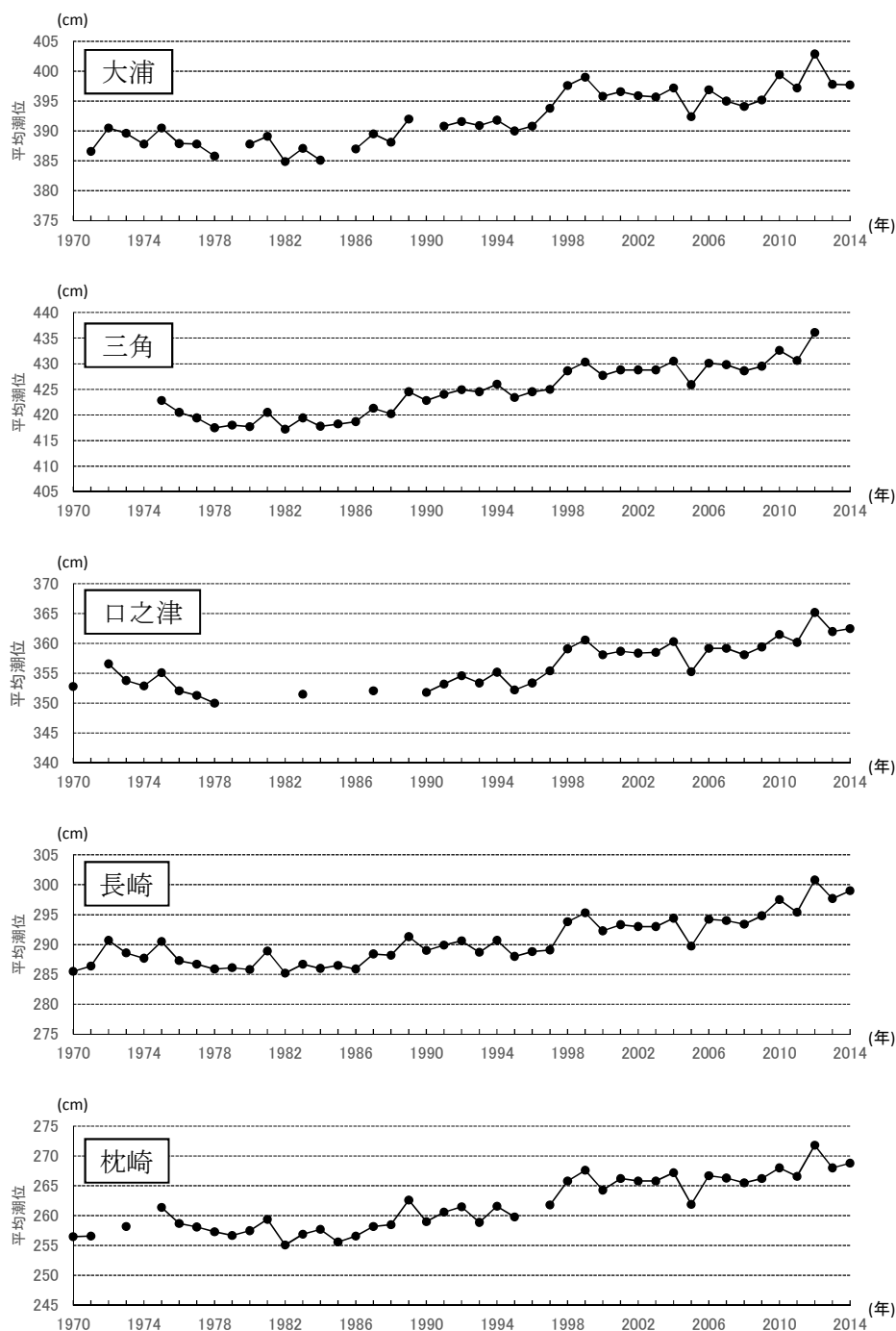
注) 各見解にかかる解析の条件、方法等は、それぞれ異なることから単純に比較ができないことに留意が必要である。

出典：

- 見解1) 宇野木早苗(2003)：有明海の潮汐減少の原因に関する観測データの再解析結果，海の研究，第12巻，第3号，pp.307-312
- 見解2) 灘岡和夫，花田岳(2002)：有明海の潮汐振幅減少要因の解明と諫早堤防締め切りの影響，海岸工学論文集，第49巻，pp.401-405
- 見解3) 塚本秀史，柳哲雄(2002)：有明海の潮汐・潮流，海と空，第78巻，第1号，pp.31-38
- 見解4) 藤原孝道，経塚雄策，濱田考治(2004)：有明海における潮汐・潮流減少の原因について，海の研究，第13巻，第4号，pp.403-411
- 見解5) 田井明，齋田倫範，橋本彰博，矢野真一郎，多田彰秀，小松利光(2010)：有明海および八代海における半日周期潮汐の長期変化について，水工学論文集，第54巻，pp.1537-1542

## エ) 有明海の平均潮位の上昇

平均潮位は、湾奥部に位置する大浦、より外洋に近接した口之津で共に 1990 年頃から上昇しており、外洋の長崎や枕崎においても同様の傾向で上昇している (図 3.3.9)。

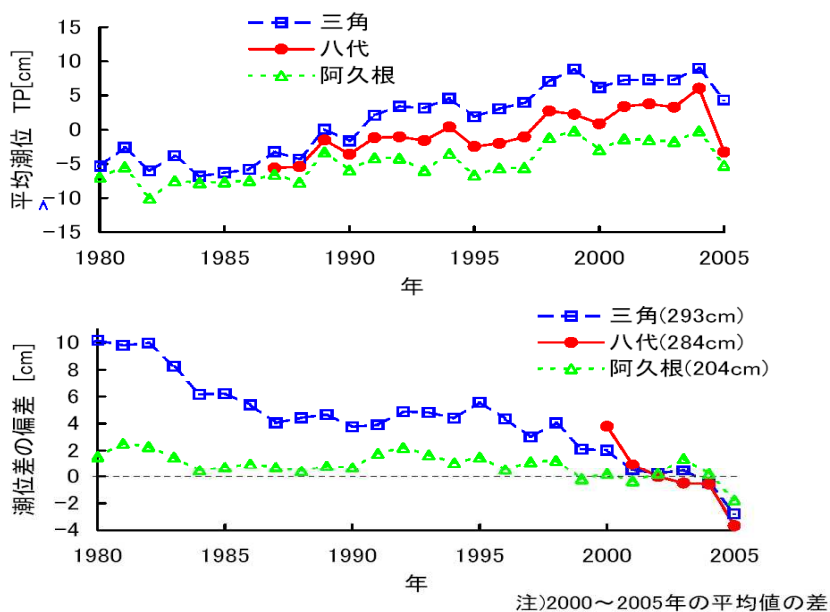


- 注) 1. 本図は、環境省有明海・八代海総合調査評価委員会 (2006) 「委員会報告」の図 3.5.7 に海岸昇降検知センターHP: 日本列島沿岸の年平均潮位 (1894年～) の2001年以降の値を追加している。  
2. 平均潮位データは、験潮場の地盤を基準とした海面変化であり、地殻上下変動に伴う験潮場の標高の変化は加味されていない。

図 3.3.9 年間の平均潮位の推移

(2) 八代海について

八代海の潮位観測点は有明海に比べて数少ないが、1980年以降、有明海と同様に平均潮位の上昇と潮位差の減少傾向が観測されている(図 3.3.10)。八代海の潮位変動特性(湾振動)に関わる詳細な知見は少ないが、外洋からの入射波周期に対する八代海の各点での振動応答を2次元の数値計算より算定した結果によると(図 3.3.11)、八代海の湾振動周期は約3時間であり、これが八代海の長軸方向の固有振動周期である。また、9時間以上の振動応答は、有明海の固有周期による影響であり、八代海と有明海の潮汐流動の調査に際しては相互の影響についても考慮する必要がある<sup>7)</sup>。



[出典]  
 三角、阿久根: JODC  
 八代: 国土交通省九州地方整備局  
 (データは日平均値の年間平均)

図 3.3.10 八代海における平均潮位及び潮位差の年変動

出典: 大和田紘一, 本城凡夫[八代海検討グループ] (2006)「第 23 回有明海・八代海総合調査評価委員会 資料 2-3 八代海に関する検討」

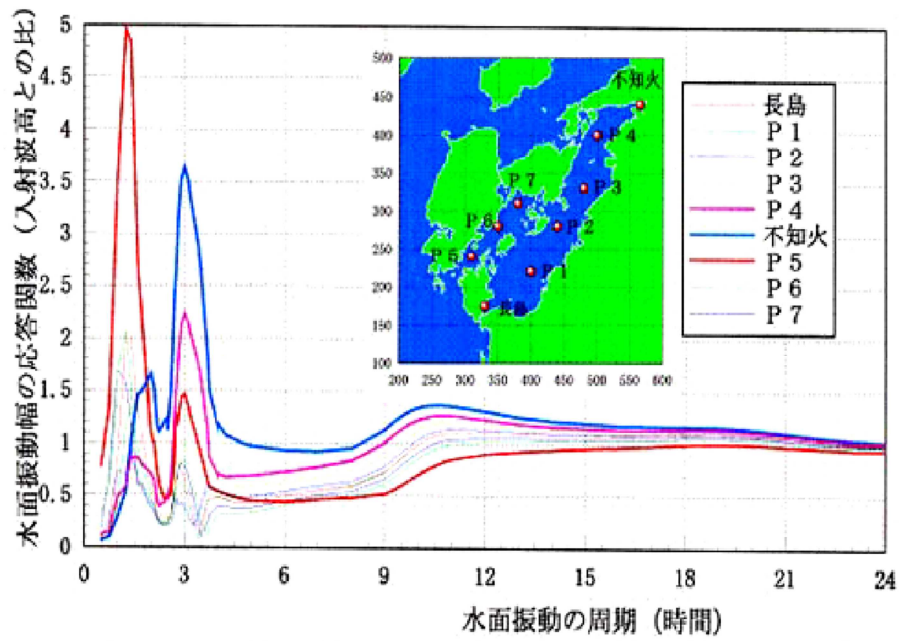


図 3.3.11 八代海における水面振動幅の応答関数

出典：滝川清，田中健路，森英次，渡辺枢，外村隆臣，青山千春（2004）：八代海の環境変動の要因分析に関する研究，海岸工学論文集，第51巻，pp.916-920

## [潮流の変化]

海域の流れは、潮流と平均流（恒流）に分類され、潮流は潮汐による海面昇降を起こす海水の水平方向の往復運動であり、潮汐と同様な周期成分で構成される。

次に、平均流は潮流を除いた、潮汐残差流、河川からの淡水流入等によって引き起こされる密度流、風によって生じる流れ等を総称したものである。平均流のひとつである潮汐残差流は、潮流の非線形性によって生じる一方向の流れで、潮流により運ばれる水粒子は、一周期終わっても元の位置に戻らず、実際の湾ではややずれた位置にたどり着くことがあり、これは潮汐残差流によるものである。この潮汐残差流を含む平均流は、長期の物質輸送に重要な役割を果たす。

また、岸近くの干潟部等では滲筋に沿った流出入が起きる等地形の影響を強く受ける。

### (1) 有明海の潮流について

#### ア) 潮流・平均流の状況

##### a) 潮流の状況

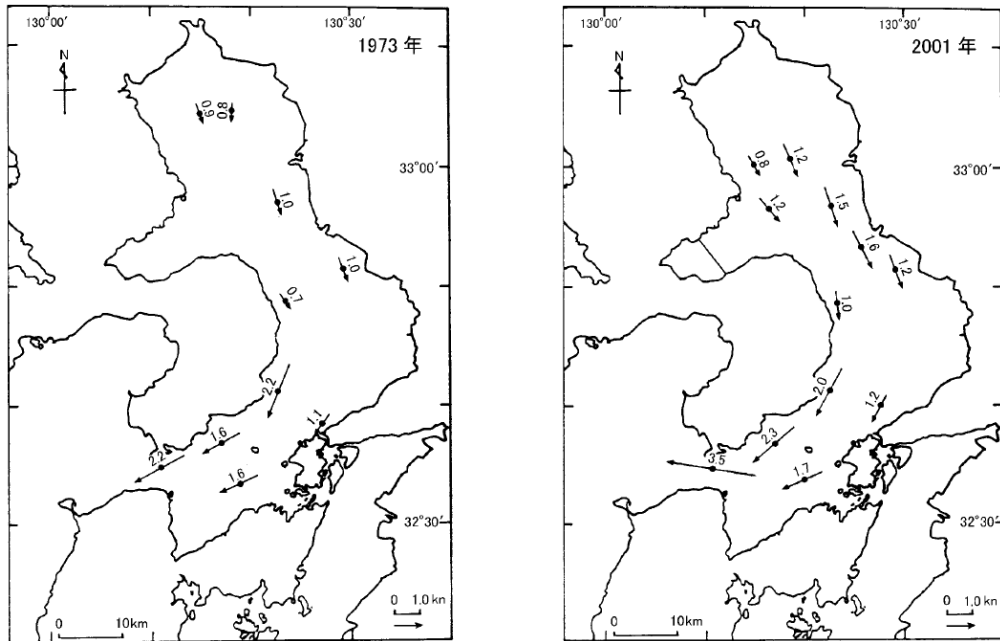
大潮平均流速は湾口部の早崎瀬戸で最大7ノットを超え、湾南部で2~3ノット、湾中央部で1.5~2ノット、湾奥部と沿岸部でも1~1.5ノットに達する。湾奥部でも強い流速を有するのは潮汐と同様に湾の共振による振動増幅及び水深減少のためと考えられている。また、浅海部の観測によると、湾奥部河口域では滲筋に速い流れが出現している。

有明海の流動は、大きな潮位差によって引き起こされる卓越した潮流が特徴的である。ただし、坪野ら(2009)<sup>8)</sup>によると、夏期の諫早湾口部周辺においては潮位差だけでなく海陸風の影響も日周期の流れに対してみられると報告している。

海上保安庁による1973年と2001年の2回の観測結果より(図3.3.12)、平均大潮期の下げ潮流では、三池港沖では1.0ノットから1.5ノット、島原沖では0.7ノットから1.0ノット、深江沖では2.2ノットから2.0ノットと増減は様々である。また、各測点の潮流の鉛直分布も特徴的な変化<sup>i)</sup>が現れており、これは淡水流入条件による密度構造の違いによる可能性が大きいこと等が報告されている<sup>9)</sup>。しかしながら小松ら(2006)<sup>10)</sup>によるとこの2回の観測結果は、観測した季節が同じでなく、河川流入量や水温等の違いにより密度構造の効果が異なっていたおそれがあること等から、地形変化のみの効果を取り出して評価するまでに至っていないと考えられる。

西海区水産研究所が実施した2001(平成13)年2月の下げ潮時の観測によると、25年前の同時期の推定値と比較して、有明海全体(熊本県大矢野島諏訪原と島原半島有家町石田を結ぶ線以北)の潮流流速は約12%低い値を示したことが報告されている<sup>11)</sup>(図3.3.13)。

i) 測点7(島原沖)の10m層の潮流は顕著な変化はないものの、3m層では流速が増加する等、明らかな変化がみられた。測点4(三池沖)の潮流では、1973年では下層ほど増大するのに対し、2001年では下層ほど減少していた。



注) 各地点の潮流は平均流を含まず、平均大潮に換算されている。

図 3.3.12 1973年と2001年の平均大潮時の海面下3mにおける下げ潮流の比較

出典：小田巻実，大庭幸広，柴田宣昭（2003）：有明海の潮流新旧比較観測結果について，海洋情報部研究報告，第39号，pp.33-61

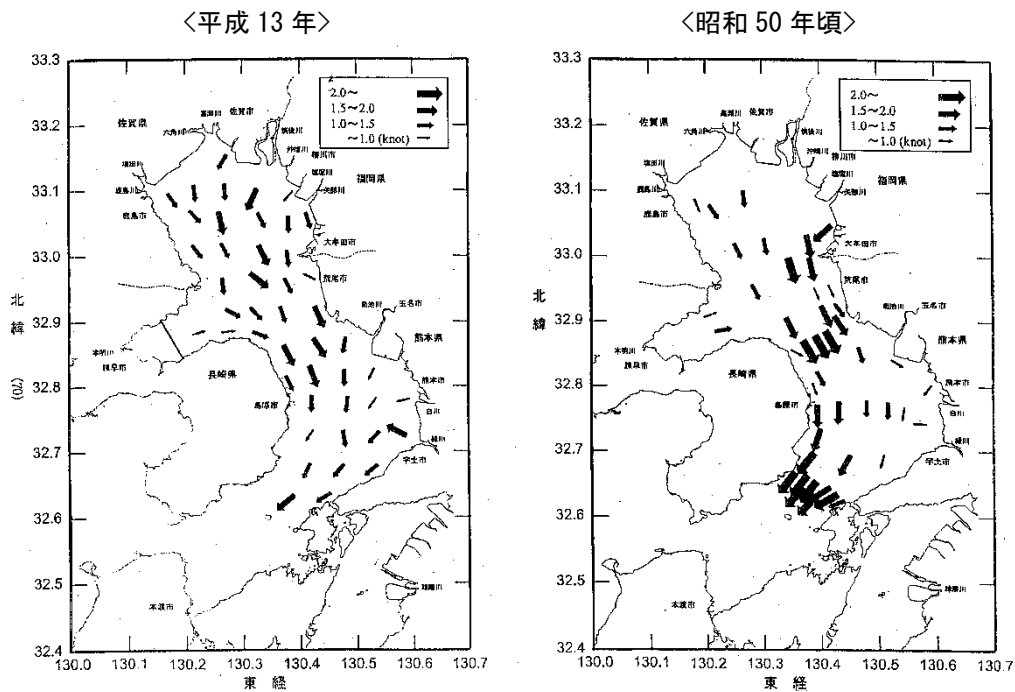


図 3.3.13 2001（平成13）年と1975（昭和50）年頃の下げ潮時の流速水平分布

出典：独立行政法人水産総合研究センター 西海区水産研究所（2004）「第9回有明海・八代海総合調査評価委員会 資料-2 行政特別研究 有明海の海洋環境の変化が生物生産に及ぼす影響の解明について」ほか