

3. 潮汐・潮流

[潮位の変動]

(1) 有明海

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¹⁾（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
三ノ角		250	354	146
三ノ原		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	岡	96	230	43	252	27	208	20	190
口之津	津	104	254	41	290	28	216	21	192
柳ノ瀬戸	瀬戸	119	252	50	287	28	220	20	197
三ノ角	角	125	254	52	295	26	220	19	201
三ノ原	原	147	258	56	299	25	219	20	204
大浦	浦	158	266	69	302	29	222	22	201
竹崎	崎	158	259	69	299	29	220	22	203
三池	池	159	259	69	299	27	219	21	198
若津	津	161	262	68	301	25	228	20	193
住ノ江	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。

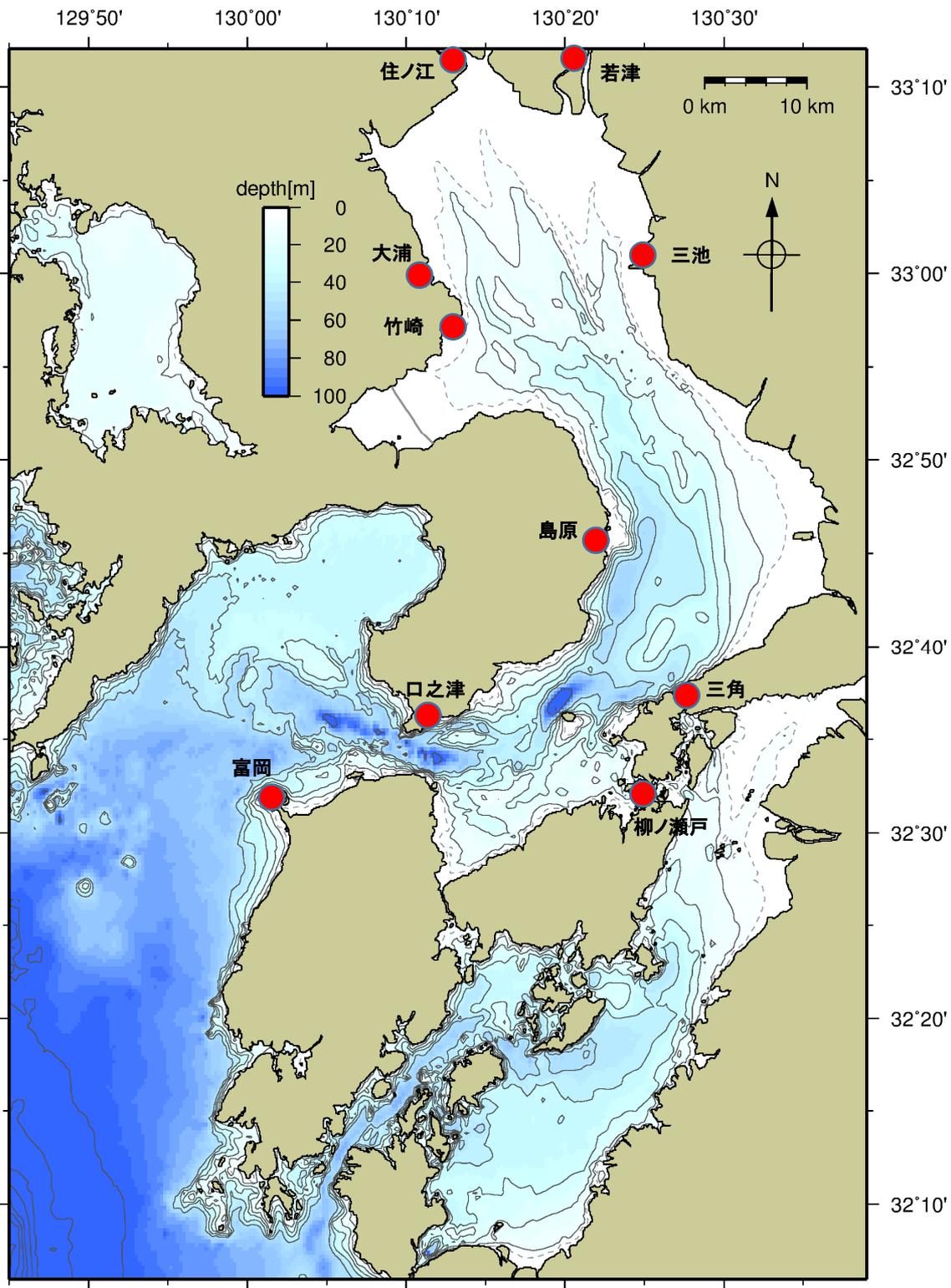
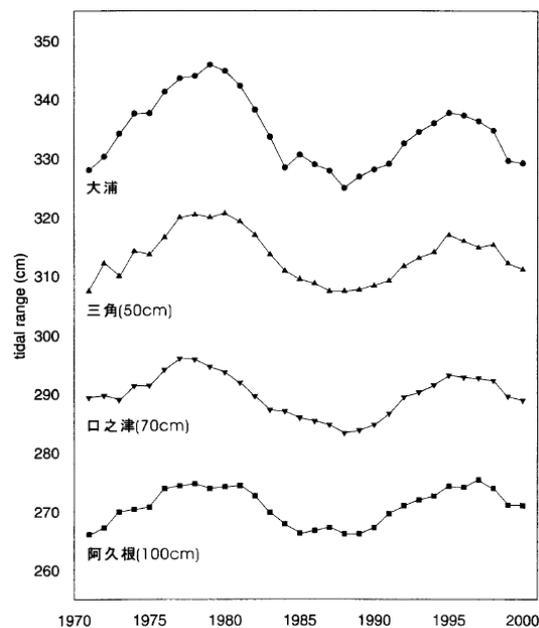


図 3.3.1 表 3.3.1 及び表 3.3.2 の潮位観測の地名の位置

イ) 潮位差の比較

武岡（2003）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²⁾（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³⁾、2015年頃に再び極大を迎えたと考えられる（図 3.3.3）。

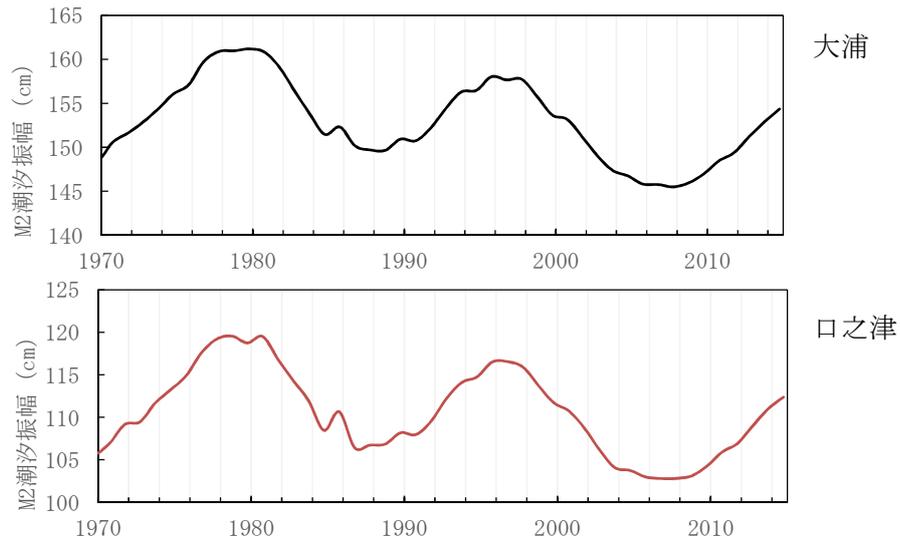


図 3.3.3 大浦及び口之津の M_2 潮汐振幅の経年変化 (月昇交点位置変化の影響を含む)

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) 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⁴⁾ (図 3.3.4) と滝川・田淵 (2002) 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⁵⁾ が示されている⁶⁾ (図 3.3.5)。

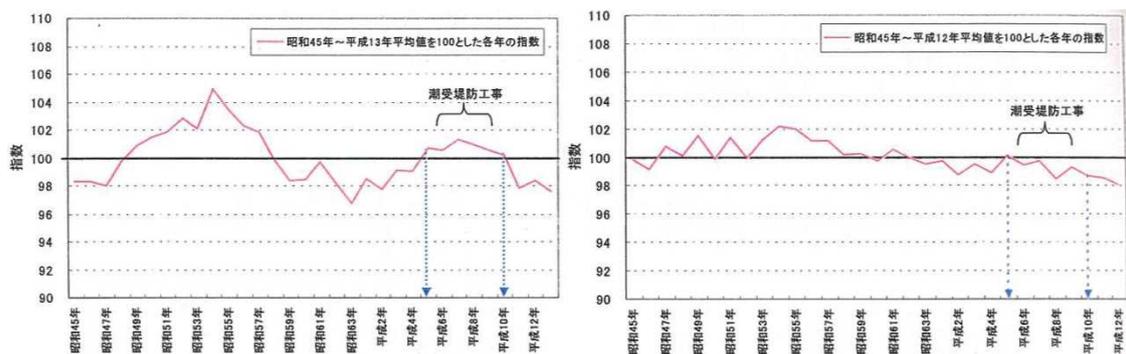


図 3.3.4 大浦検潮所における年平均潮位差と大潮差の推移

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」

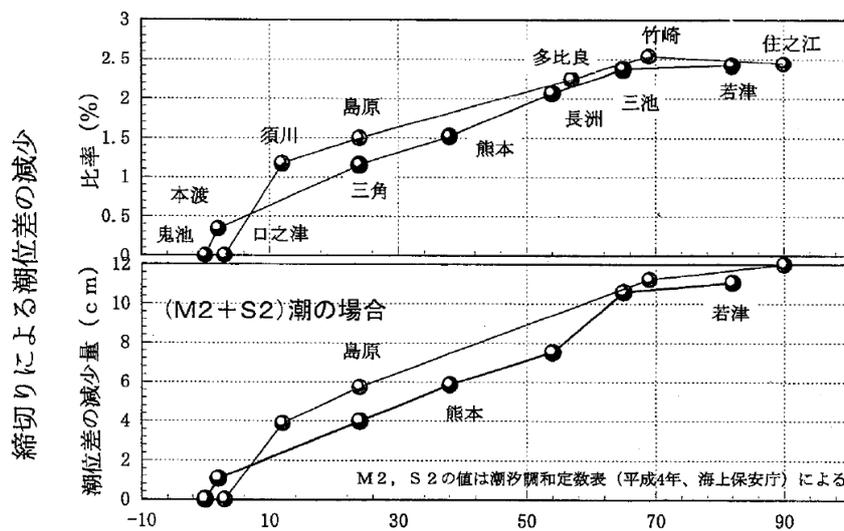


図 3.3.5 諫早湾縮切りの潮位差への影響

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

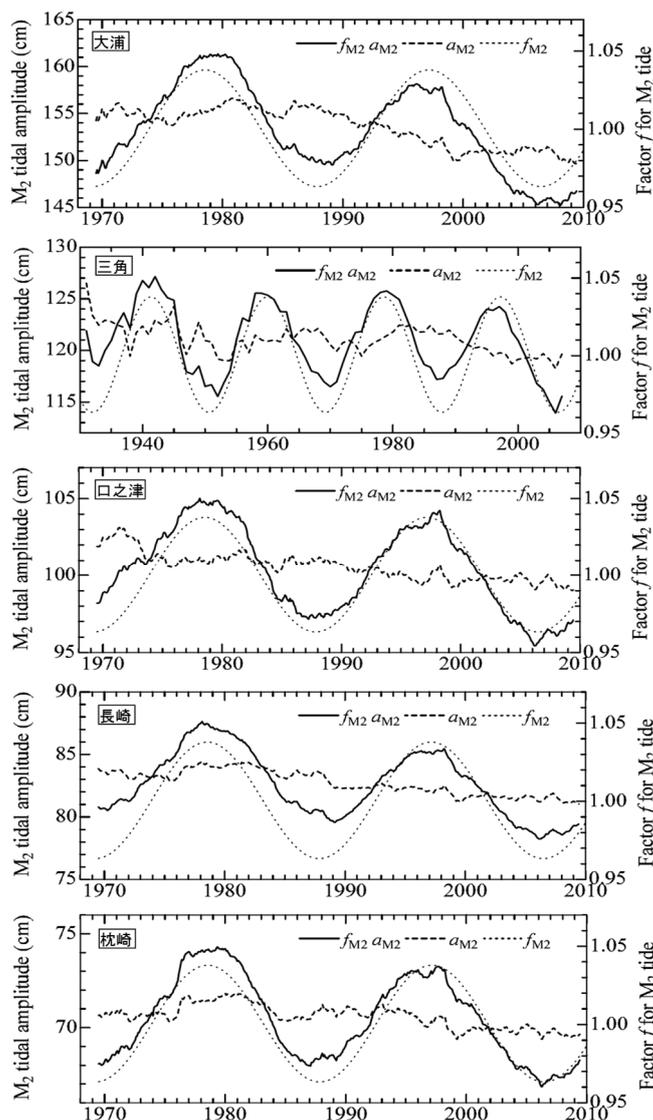
ウ) M_2 分潮振幅の比較

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) 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⁷⁾。

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)。

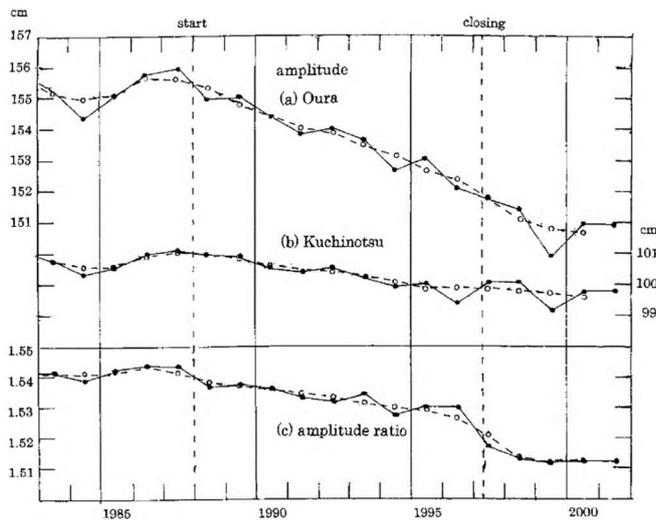
諫早干拓事業開始から潮受堤防縮切りまでの間に大浦から口之津に至る M_2 分潮振幅の増幅率が 1.54 から 1.52 に減少しており、この減少は干拓事業に伴う地形変化が原因との報告がある⁸⁾ (図 3.3.7) 一方、口之津を 1 とした場合の大浦の M_2 分潮振幅の増幅率に明らかな変化はみられなかったとの報告もある⁴⁾ (図 3.3.8)。なお、田井・矢野 (2008) によると、諫早湾の潮受堤防縮切りによる有明海内の M_2 分潮振幅の増幅率は、外洋の潮汐振幅に依存するため、外洋の潮汐振幅が等しい場合を比較する必要があることが報告されている⁹⁾。



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，齋田倫範，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 M₂ 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 M₂ 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 巻，第 1 号，pp.85-94

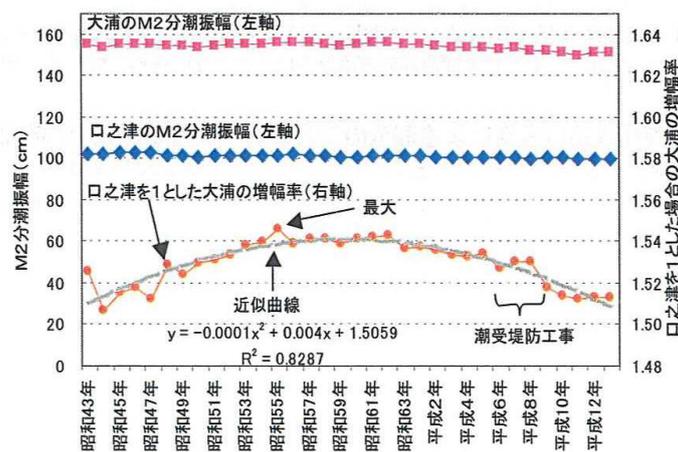


図 3.3.8 口之津検潮所と大浦検潮所の M₂ 分潮増幅率の経年変化

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」

M₂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M₂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^{10)、11)、12)、13)、14)}（表3.3.3）。

表 3.3.3 M₂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 ₂ 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 ₂ 分潮振幅の 減少である。

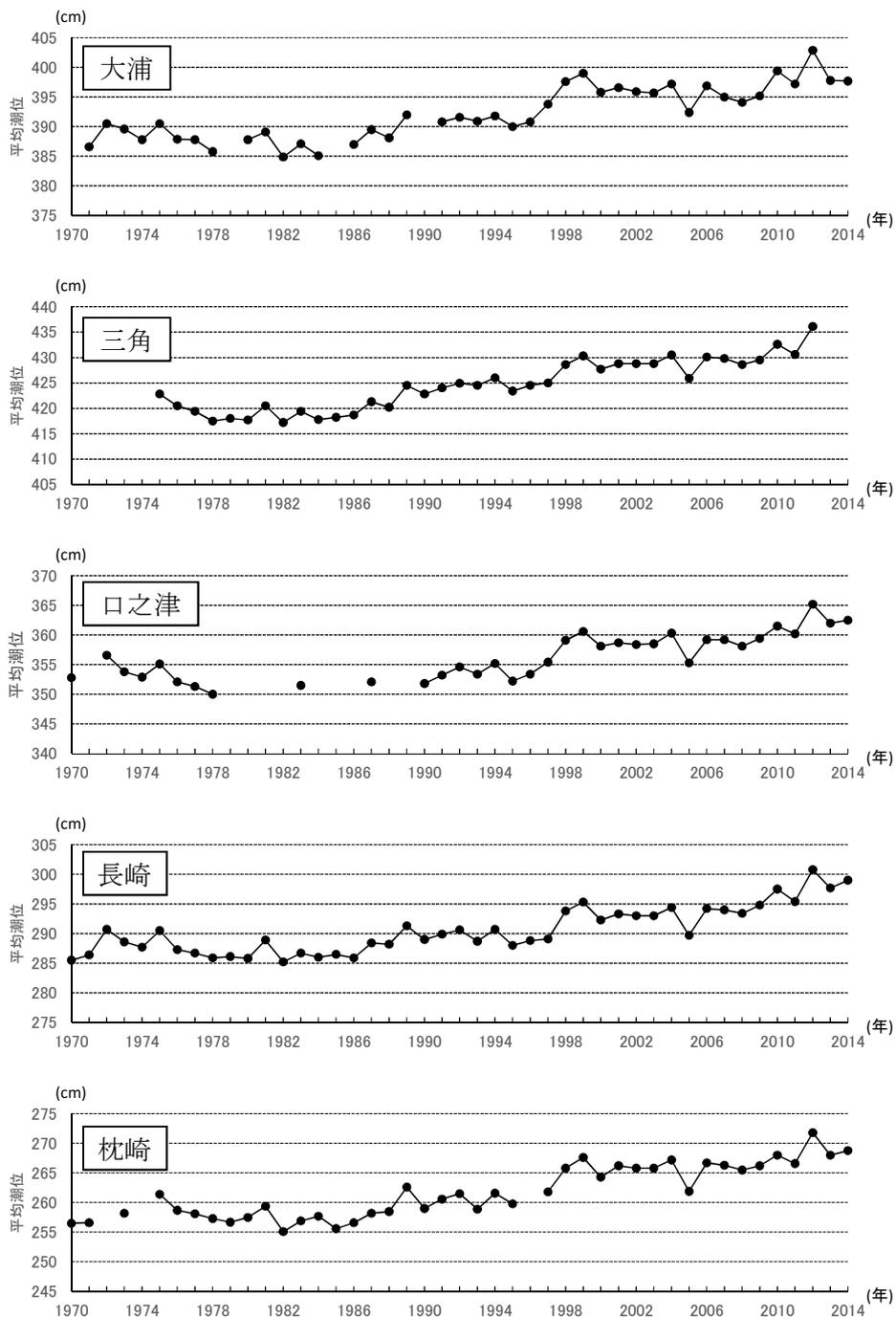
注) 各見解に係る解析の条件、方法等は、それぞれ異なることから単純に比較ができないことに留意が必要である。

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，斎田倫範，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、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

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¹⁵⁾ (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¹⁶⁾。

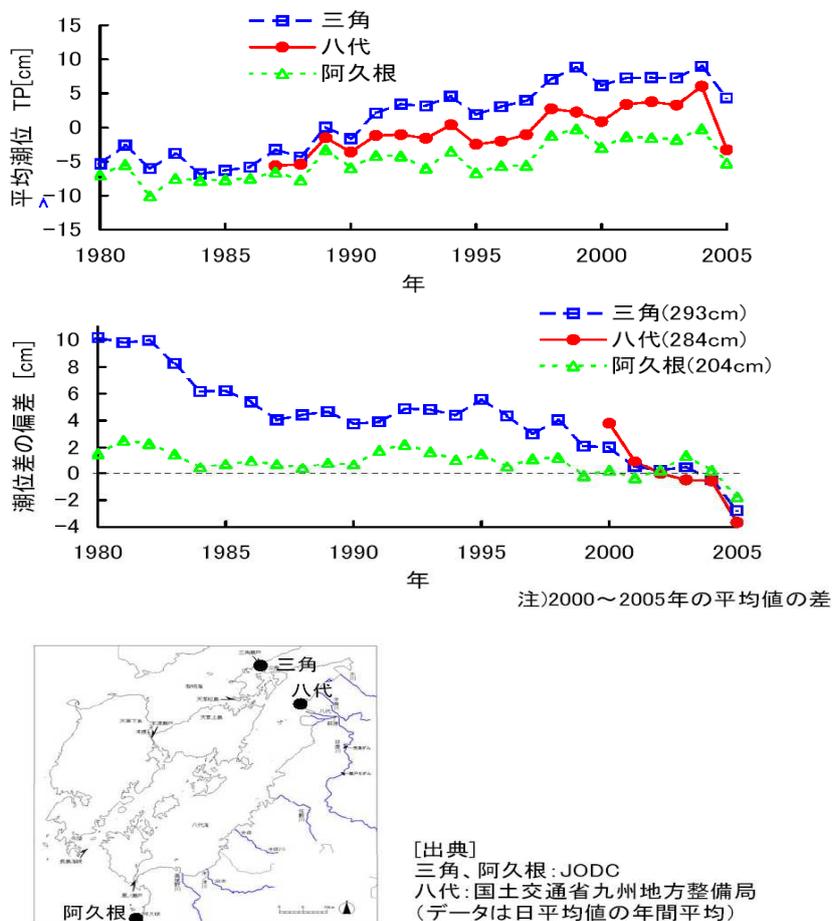


図 3.3.10 八代海における平均潮位及び潮位差の年変動

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」

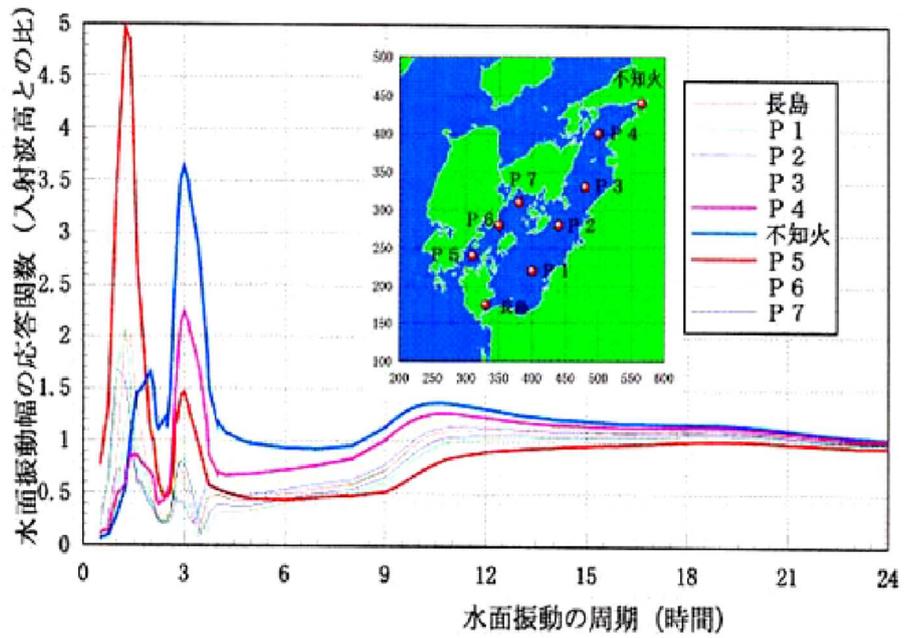


図 3.3.11 八代海における水面振動幅の応答関数

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

ア) 潮流・平均流の状況

a) 潮流の状況

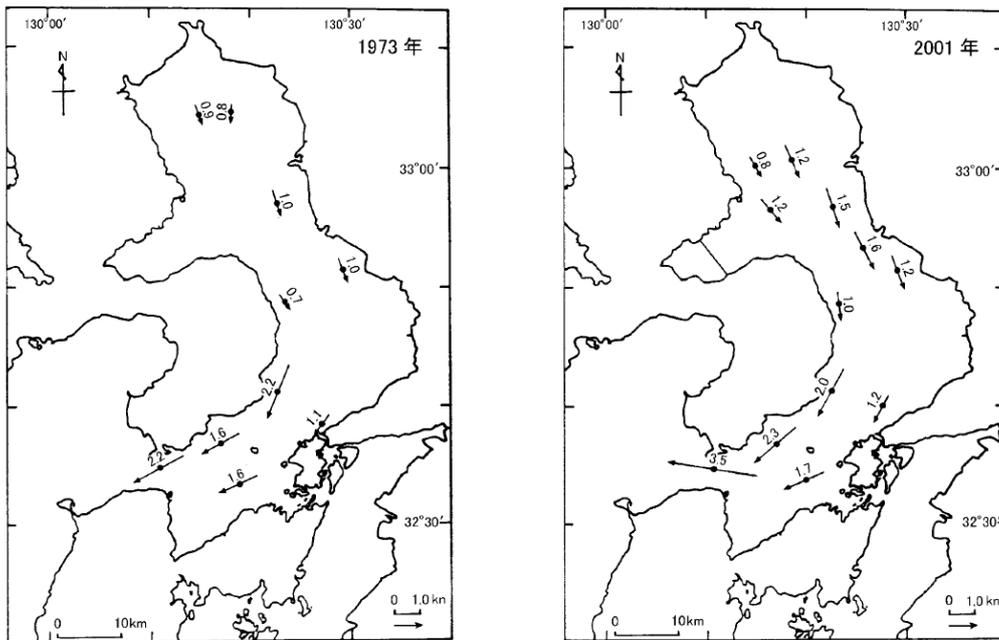
大潮平均流速は湾口部の早崎瀬戸で最大 7 ノットを超え、湾南部で 2~3 ノット、湾中央部で 1.5~2 ノット、湾奥部と沿岸部でも 1~1.5 ノットに達する。湾奥部でも強い流速を有するのは潮汐と同様に湾の共振による振動増幅及び水深減少のためと考えられている。また、浅海部の観測によると、湾奥部河口域では滲筋に速い流れが出現している。

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）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¹⁷⁾。

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ⁱ⁾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¹⁸⁾。しかしながら小松ら（2006）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¹⁹⁾。

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²⁰⁾（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

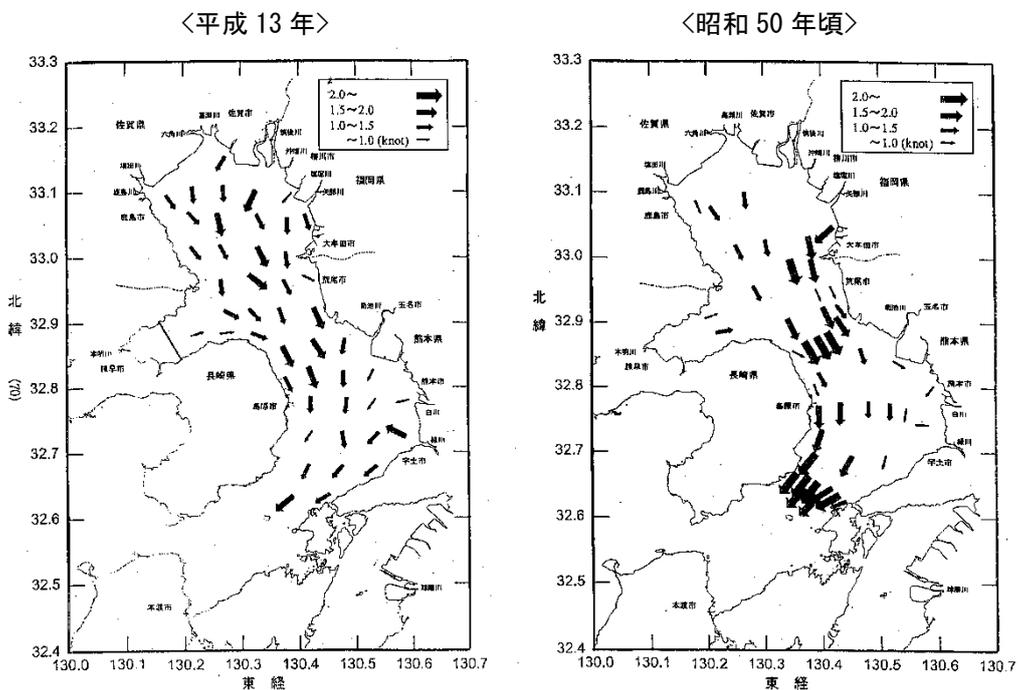


図 3.3.13 2001（平成13）年と1975（昭和50）年頃の下げ潮時の流速水平分布

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

b) 平均流の状況

平均流については、有明海では河川流入水の変動や風が平均流に与える影響が大きく、長期的な変化については不明な点も多い。

海上保安庁が作成した夏期の表層での平均流の分布図によると、湾内には、湾南部、湾中央部、湾奥部にそれぞれ独立した流れが形成されている。湾奥部では東部の三池沖に北向きの流れが存在し、湾奥になるにしたがって北西に向きが変わり、全体として反時計回りの環流がみられるとされている。湾中央部では島原市北方と長洲町沿岸には湾奥部に向かって 0.4 ノットの流入がみられる。一方、島原半島の沿岸で 0.2~0.6 ノット程度の明瞭な南下流が形成されている。この強い南下流は、その後の観測でも見いだされている。湾南部では全般的に湾口部に向かう流れとなっている。

河川流入水の影響について、淡水が流入すると鉛直方向に流れの変化が生じ、夏期を中心に上層で流出、下層で流入のエスチュアリー循環（密度流）が発達する。

風の影響については、季節平均で検討した万田ら（2006）の有明海中央部における解析結果では、吹送流の流速が最大となる秋期でもその大きさは密度流に比べて一桁小さいことが報告されている²¹⁾。また、出水時を含めた1週間程度の期間を対象に検討した井下ら（2016）によると、有明海湾奥部では出水や潮流に加えて吹送流の影響も大きいことが示されている²²⁾。

海上保安庁による観測結果では、1973年と2001年の2回の結果を比較すると、後者では島原半島を南下する沿岸流の平均流の流速が約1/3になっていた¹⁸⁾（図3.3.14）。

ただし、平均流は、地形等の場所毎の条件に加え、河川水の流入、水温、風等の変動の影響を受けるため、長期的な変化とその要因を単純に評価することはできない。

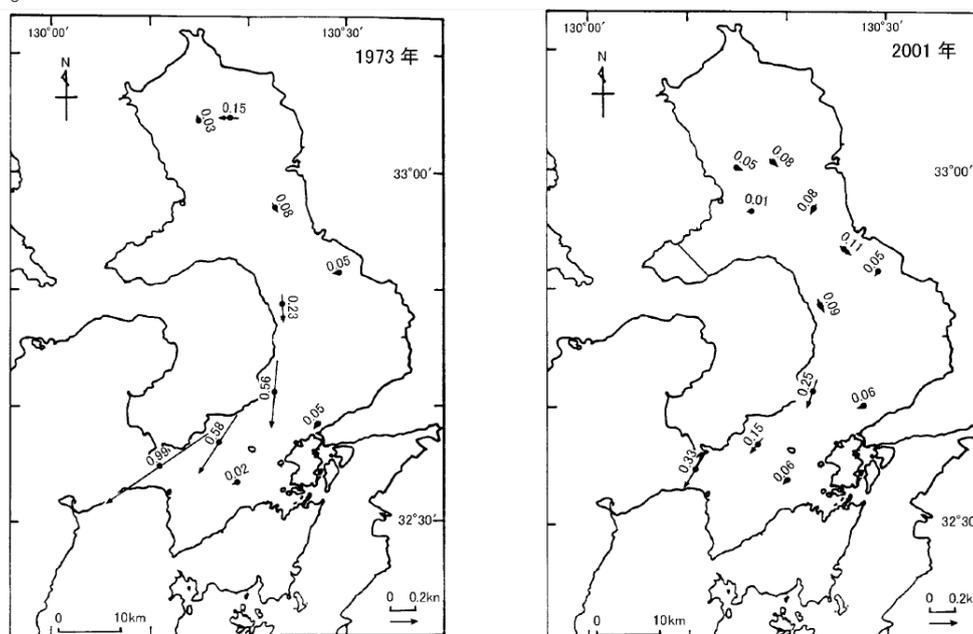


図 3.3.14 1973年と2001年の15昼夜観測の平均流の比較

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

イ) 潮流流速の変化の主な要因とその影響

有明海の潮流に全体的な影響を及ぼす要因としては、1) 干拓・埋立て等による海水面積の減少並びに地形の変化、2) 東シナ海全体の平均潮位の上昇に伴う有明海湾内の平均潮位の上昇、3) 外洋の潮汐振幅の減少が挙げられる。

これは、前述の潮汐振幅に与える影響要因と同様であり、流体力学の基本原理である連続条件（体積保存則）から、潮汐振幅が減少すると潮流流速は減少していなければならないことに起因する。上記 1) については、有明海では、干拓・埋立て、海岸線の人工化（護岸化）、港湾等の人工構造物の構築、ノリ網の敷設（柵数は 1970 年頃をピークに減少）がなされてきた。上記 2) 及び 3) については、前述のとおり、外洋の平均潮位の上昇に伴って、有明海の内湾でも平均潮位の上昇がみられ、外洋の M_2 分潮振幅も内湾と同様に 1970 年から現在までの過去 40 年間で、全体としては減少傾向がみられる。

なお、実際の内湾では、潮流は潮位差により生じるもののほか、気象による影響や密度差による影響も複雑に関係するため、潮流の観測結果の比較は容易ではないが、上記 1) に関しては、これまでの複数の研究や観測結果が報告されていることから、以下のとおり知見を整理した。

① 干拓・埋立てによる潮流流速への影響

1970 年以降、有明海では佐賀県白石地区、福岡県三池港北部、熊本県長洲港北部、諫早湾等の干拓、熊本新港建設による埋立てが行われている。有明海における潮流流速は、東シナ海全体の平均潮位の上昇に伴う有明海湾内の平均潮位の上昇、外洋の潮汐振幅の減少の影響とともに、過去の様々な開発行為の影響を受けていると考えられるが、この内、調査・研究報告がみられる事例について、以下のとおり整理した（熊本港建設による影響は別途後述）。

諫早湾内における潮流調査の実測結果から、諫早湾の湾奥部と湾央部では堤防締切り後に潮流流速が低下し、諫早湾の湾口部でも湾奥部や湾央部ほど顕著ではないものの、流速が低下する傾向がみられたが、諫早湾外では観測年によるデータのばらつきが大きく、変化の傾向も異なった²³⁾（図 3.3.15）。また、シミュレーションによると、下げ潮時の潮流流速は潮受堤防設置により諫早湾口部北側の一部海域で増加、湾内から島原半島に沿った広い領域では減少するとの結果が得られている¹¹⁾（図 3.3.16）。

矢野ら（2014）によると、諫早湾内の表層での潮流流速の変化量（潮受堤防がない場合とある場合）を数値シミュレーションにより解析した結果、潮受堤防による諫早湾の容量の減少により潮流流速が全体的に減少し、下げ潮最強から干潮にかけて、島原半島沿いに帯状の増速域と減速域がみられる²⁴⁾。これは、潮受堤防の有無による諫早湾から有明海湾口部へ流出する入退潮量の違いにより、島原半島沿いに流下する下げ潮流の流速が変化し、その結果として慣性力が変化し、流軸がずれたために起こったと考えられる（図 3.3.17）。

次に、矢野ら（2015）は、3 次元シミュレーションによる解析によって、諫早湾の潮受堤防建設による鉛直混合能の変化が塩淡成層の発達に対して与えた影響は、大潮期では堤防の影響が顕著であるが小潮期では小さいこと、また、その影響は諫早湾内と島原半島沿岸で強く、北部有明海ではほとんど無いことを報告している²⁵⁾。

西ノ首ら (2004) によると、観測データとしては、島原半島沿岸部の観測結果 (1993年と2003年) から、潮流流速は大きく減少 (約21~27%) し、この減少率は締切りで減少した面積 (約3,667ha) が北部有明海 (有明-長洲ライン以北、約75,435ha) に占める割合 (約5%) と比して大きく、諫早湾への水塊の流出入が島原半島沿岸で集中的に生じることが示唆されるとの報告がある²⁶⁾ (図3.3.18)。(ただし、これについては前述の矢野ら (2014) が報告しているように²⁴⁾、流れの分布の変化が影響した可能性も無視できない。)

千葉・武本 (2002) の数値シミュレーションによると、潮受堤防による最大潮流速度の変化は、堤防前面で0.3~0.4m/sの減少、諫早湾外北側の地点で僅かに増速 (0.0~0.1m/s) する部分がある以外は、有明海全体で最大潮流速度の変化は非常に小さい (0.0~0.1m/sの減速) とされている²⁷⁾ (図3.3.19)。

また、長期的、短期的な地形変化に伴う潮流流速の変化にシミュレーションから、

- (a) 有明海湾奥部の干拓 (1970年以前) に伴う地形変化により、湾奥部を中心に潮流流速は10~30%減少する、
- (b) 諫早湾干拓に伴う地形変化により、諫早湾内で潮流流速は20~60%減少し、有明海中央部で潮流流速は5%減少する、

との結果が得られている⁶⁾ (図3.3.20)。

また、田井・田中 (2014) は、数値シミュレーションにより、潮流への諫早湾干拓事業の影響は諫早湾から島原半島沿いに限られ、有明海湾奥部においては諫早湾干拓事業より前 (1900年頃~) に行われた干拓によって流速が大きく減少しており、湾奥部に関して諫早湾干拓事業による湾奥部の流速の変化は月の昇交点運動による潮汐振幅の変動の影響に比べて非常に小さいことを示している²⁸⁾ (図3.3.21)。

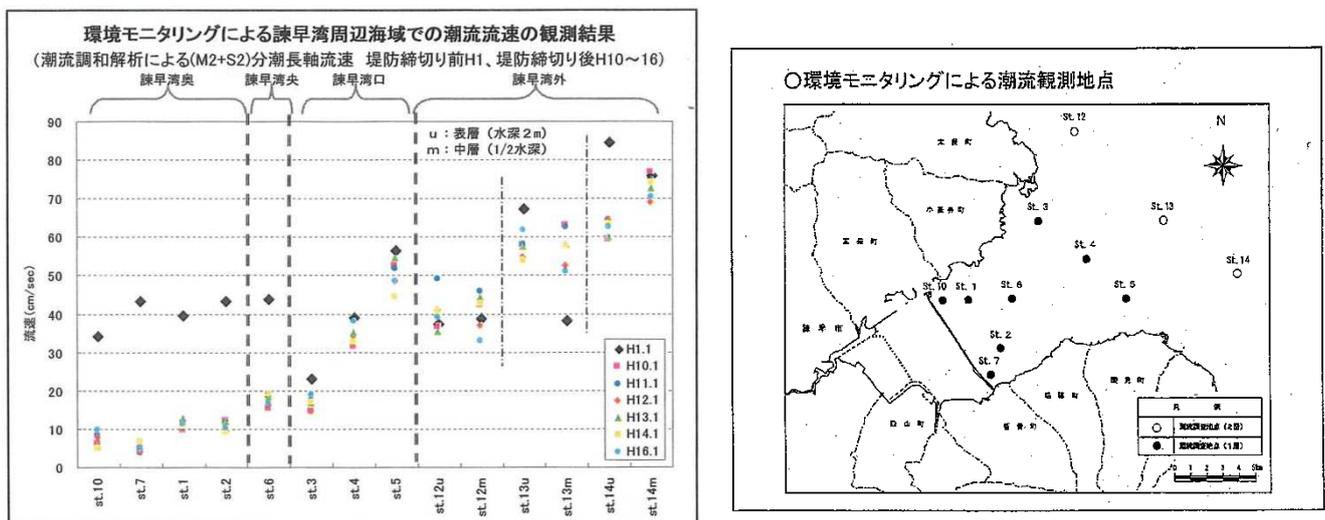


図 3.3.15 潮流調査による諫早湾周辺海域での潮流流速の観測結果

出典：農林水産省農村振興局 (2004)「第8回有明海・八代海総合調査評価委員会 資料-3 諫早湾干拓事業 開門総合調査に係る補足説明」

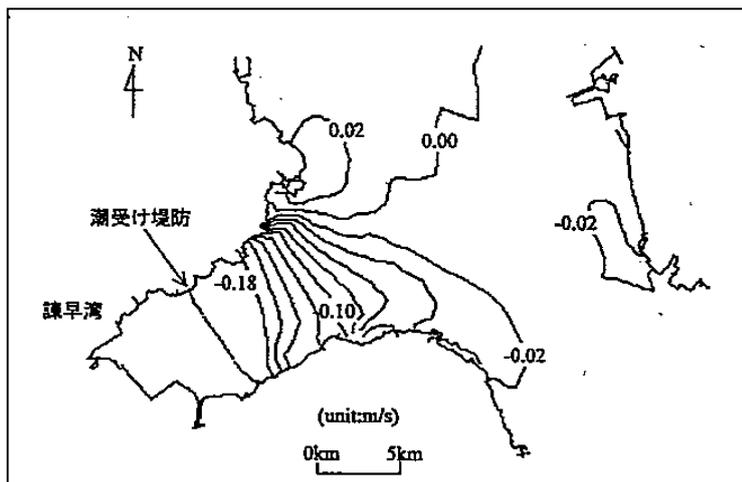
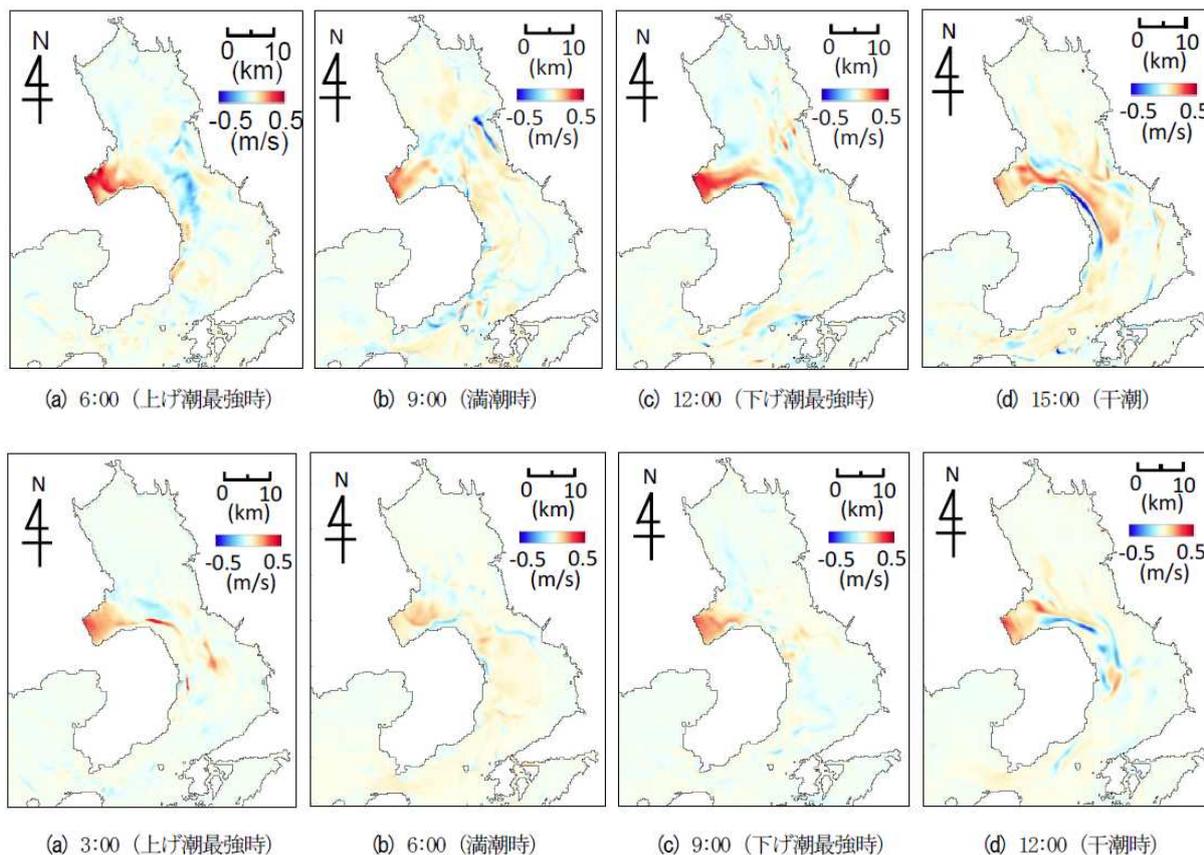


図 3.3.16 下げ潮時の流速強度に関する閉め切り前後の差

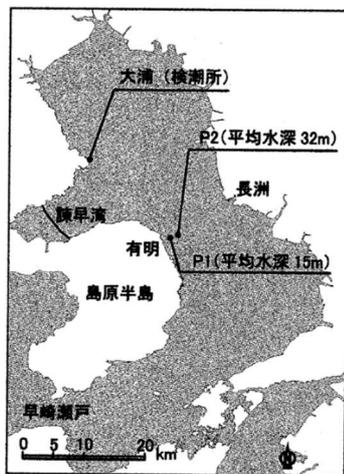
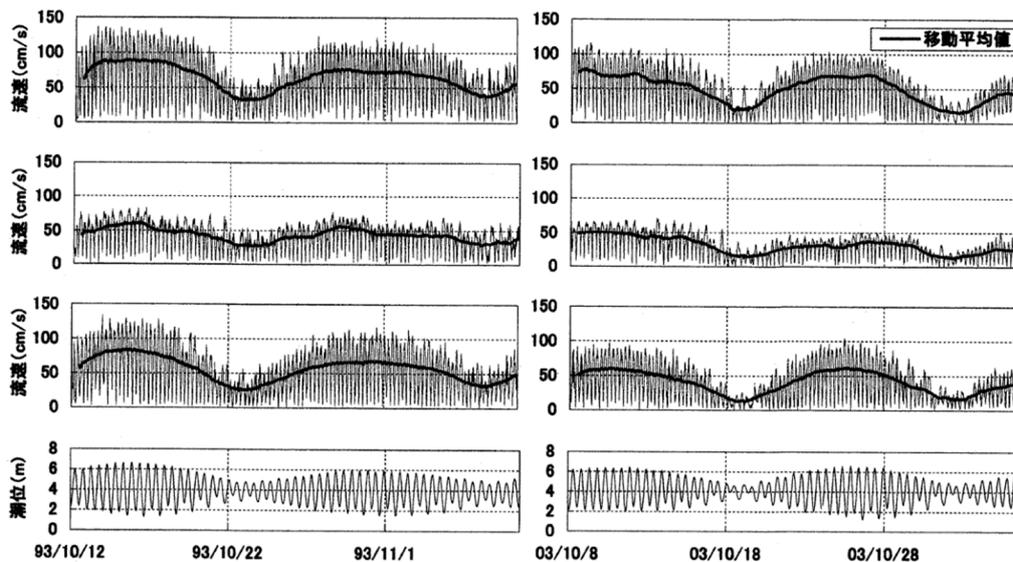
出典：灘岡和夫, 花田岳 (2002)：有明海における潮汐振幅減少要因の解明と諫早堤防締め切りの影響, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.401-405



注) 上段は出水のあった時期の大潮期 (2006年7月26日)、下段は出水のない大潮期 (2006年6月9日) の状況を表した計算結果である。

図 3.3.17 表層での流速の変化量 ([潮受堤防がない場合]-[潮受堤防がある場合])

出典：矢野真一郎, 西村圭右 (2014)：諫早湾干拓事業が与えた有明海の塩淡水バロクリニック構造への影響に関する検討, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 70, No. 2, pp.1134-1139



〔観測実施位置の概略図〕

注) 1. 左図は 1993 年 10 月 12 日～11 月 1 日、右図は 2003 年 10 月 9 日～11 月 7 日
 2. 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

図 3.3.18 観測結果の時系列

出典：西ノ首英之, 小松利光, 矢野真一郎, 斎田倫範 (2004)：諫早湾干拓事業が有明海の流動構造へ及ぼす影響の評価, 海岸工学論文集, 第 51 巻, 第 1 号, pp. 336-340

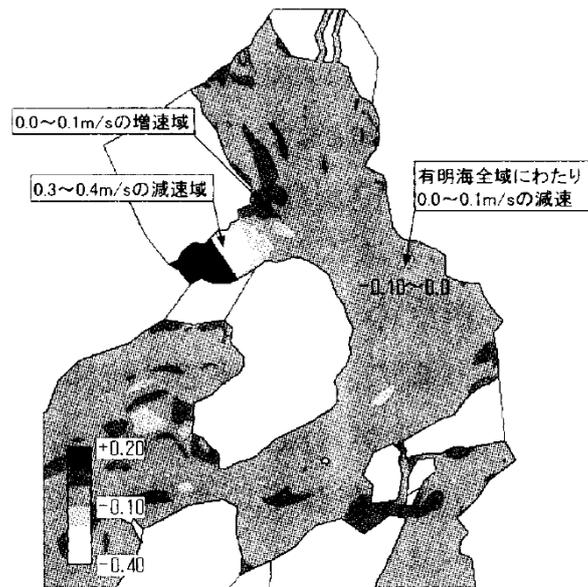


図 3.3.19 最大潮流速度の偏差分布 (潮受堤防の影響)

出典：千葉賢, 武本行正 (2002) : 諫早湾潮受け堤防の影響評価のための潮位観測値の分析と流況数値解析, 四日市大学環境情報論文, 第5巻, 第1・2号合併号, pp.39-70

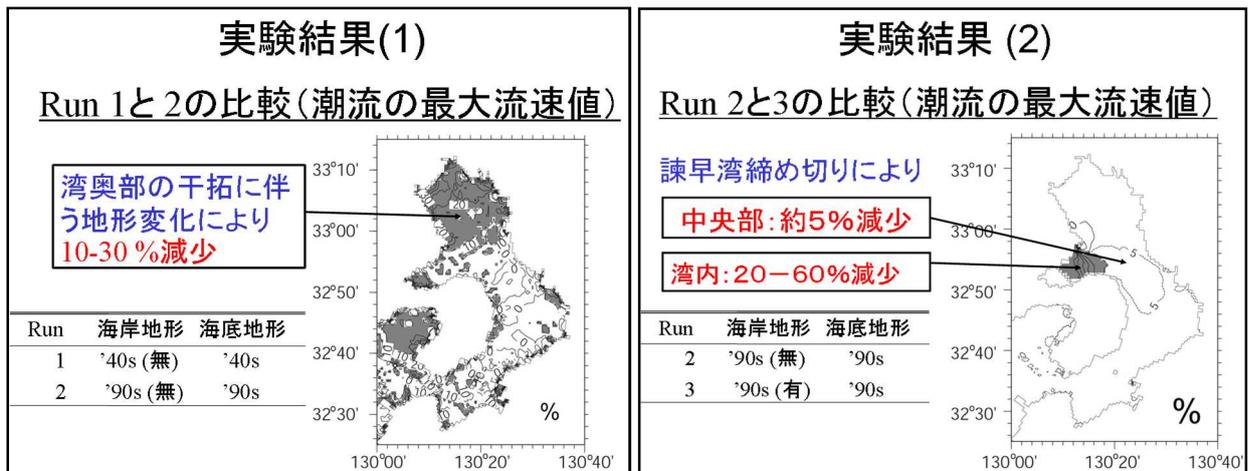
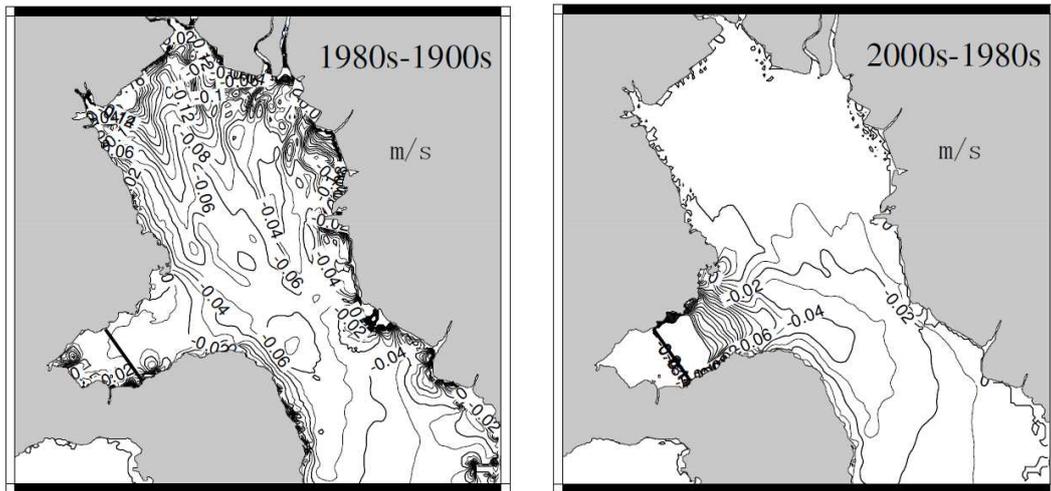
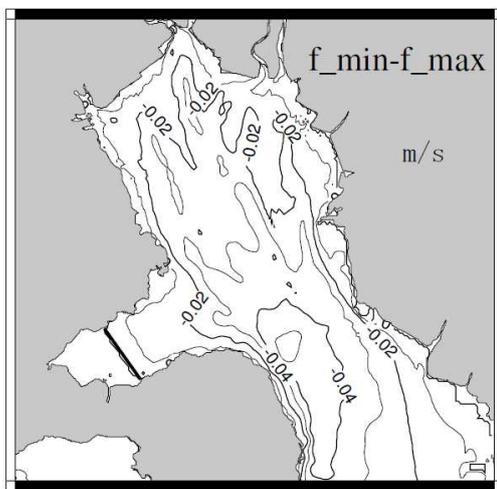


図 3.3.20 潮流流速の数値シミュレーション結果

出典：有明海・八代海総合調査評価委員会 (2006) 「委員会報告」



(a) 諫早湾干拓事業以前の干拓による流速の変化 (b) 諫早湾干拓事業による流速の変化



(c) 月の昇交点運動による潮汐振幅の極大期と極小期の流速の変化

図 3.3.21 数値シミュレーションによる各要因による流速の変化

出典：田井明，田中香（2014）：有明海の物理環境に関する漁業者を対象としたヒアリング結果と科学的知見の比較，土木学会論文集B3（海洋開発），Vol. 70，No. 2，pp. 1014-1019

② 港湾による潮流流速への影響

滝川・田淵（2002）によると、熊本港建設による影響については、数値シミュレーションの結果、港の周辺で20~30cm/sの潮流流速の変化があり、潮位差への影響は港の周辺で±2cm程度との報告がある⁵⁾。

③ ノリ養殖施設による潮流流速への影響

滝川・田淵（2002）によると、ノリ養殖施設の影響については、数値シミュレーションの結果、湾中央部から湾奥部にかけての海水の流動が小さくなる傾向にあること（図 3.3.22）、最大潮流流速はノリ網設置地域で0.3~0.5m/sの減少、湾奥中央部で0~0.1m/sの増加が報告されている⁵⁾。また、有明海湾奥部における潮流と浮泥輸送に関する数値実験結果から、ノリ養殖域やその沖側前面部分ではノリ養殖施設の流体抵抗によって、潮流流速や浮泥濃度が低減、抵抗が小さい船通し部分で上昇し、ノリ養殖施設が潮流や浮泥輸送の空間構造に影響している可能性が示されている。なお、ノリ網の柵数については1960年代に急激に増加したのち、1970年以降は減少傾向にある。

山口ら（2009）は、1985~1998年の早津江川河口沖の観測データによる解析で、同観測地点における潮流の変化にはノリ養殖の影響が大きく、養殖期には平均で潮流流速が約23%弱まると報告している²⁹⁾。

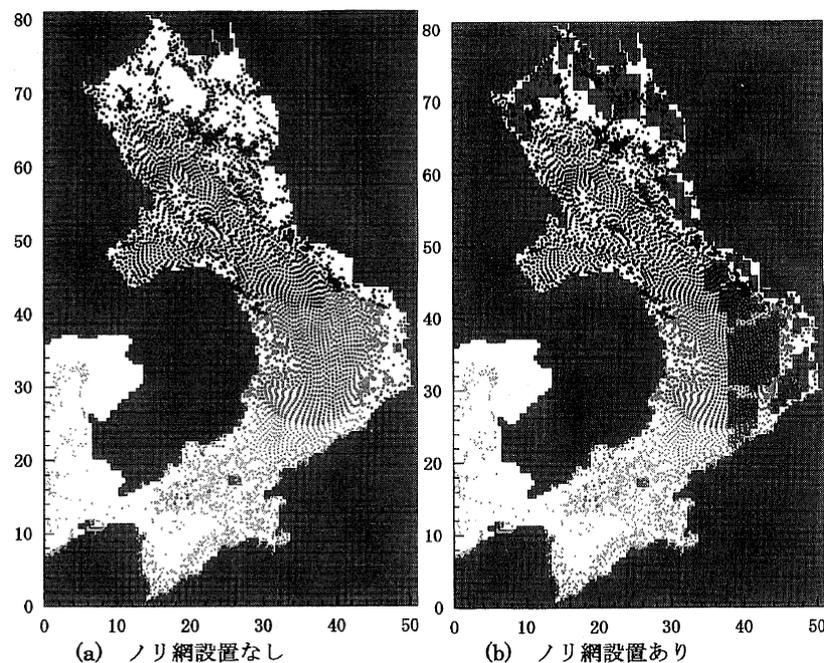


図 3.3.22 ノリ網設置の有無による流況変化（粒子追跡開始3潮汐後）

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

(2) 八代海

八代海は九州本土と天草諸島・長島に囲まれ、本渡瀬戸・三角瀬戸・満越瀬戸を通じて有明海と繋がり、長島瀬戸や黒之瀬戸を通じて東シナ海と繋がっている。外洋水は長島瀬戸と黒之瀬戸から流入し、流入量は黒之瀬戸に比べて長島瀬戸は4倍である。有明海と通じる三角瀬戸、満越瀬戸、本渡瀬戸では海水の交流は少ない。干満差は湾奥部で4m以上となり、このため長島瀬戸での潮流流速は、大潮時には約8ノットにもなる。また、東流及び西流時に長島瀬戸等の湾口部で潮流流速が早く、北部海域ではその数分の1程度の潮流流速である。

数値シミュレーションによる夏期の平均流（2001～2006年の各8月の平均場）をみると、表層では八代海湾中央部の東岸から湾奥部での平均流の流速が小さく、海水が停滞する傾向にあり、南西部の長島海峡からの流出と黒之瀬戸からの流入量が大い³⁰⁾（図3.3.23）。

また、これらの流況は、河川流入水によっても変動し、河川流量がある場合、満越瀬戸や長島瀬戸を通じて流出するような残差流となる。

なお、八代海については、1970年頃以降の潮流の変化を示す経年的な実測データは無かった。

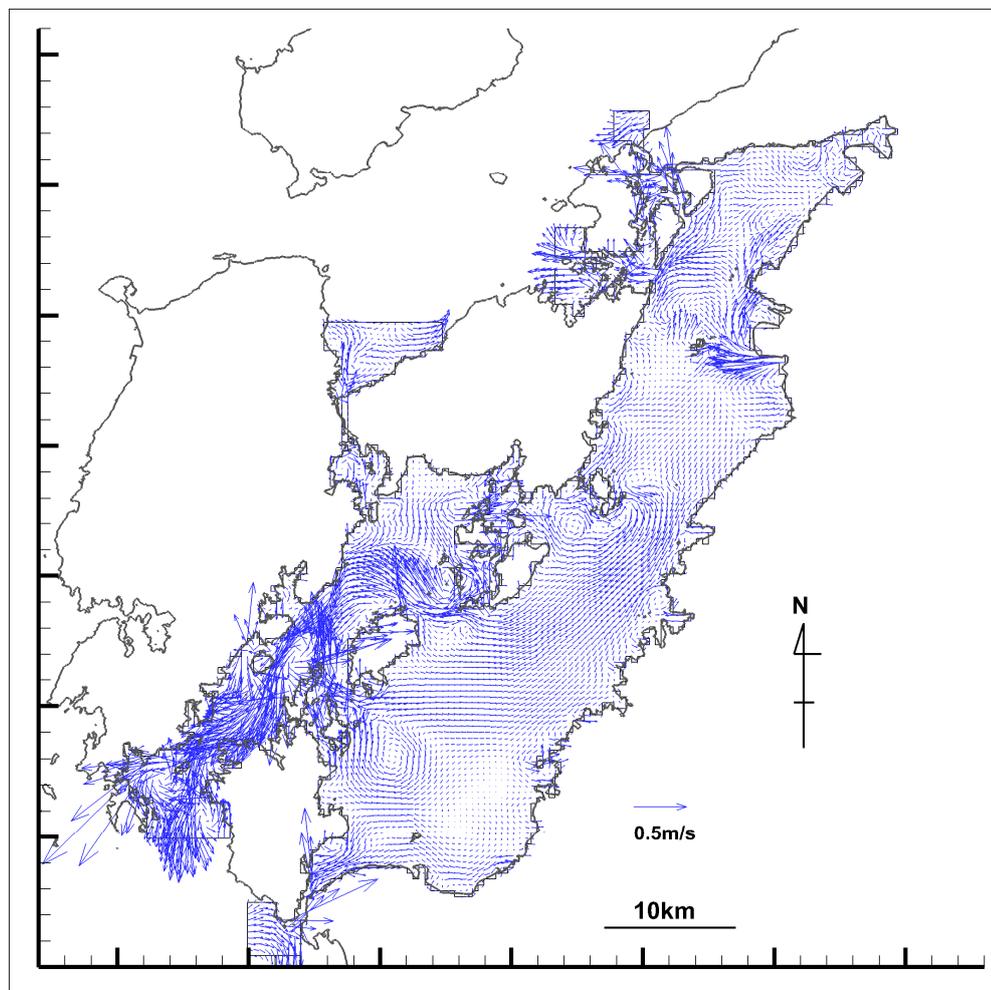


図 3.3.23 八代海における表層の平均流（平均的な夏期1ヶ月間：8月）

出典：いであ（株），熊本大学（2016）「平成27年度八代海における環境管理方策の検討業務報告書」

田井ら（2011）によると、数値シミュレーションを用いて八代海における1900年代から2000年代の海岸線の改変に伴う潮流の変化について検討がなされた結果、湾内全域で潮流流速が低下しており、湾奥部で30%程度、南部海域で5~10%程度の減少が明らかとなった³¹⁾（図 3.3.24）。

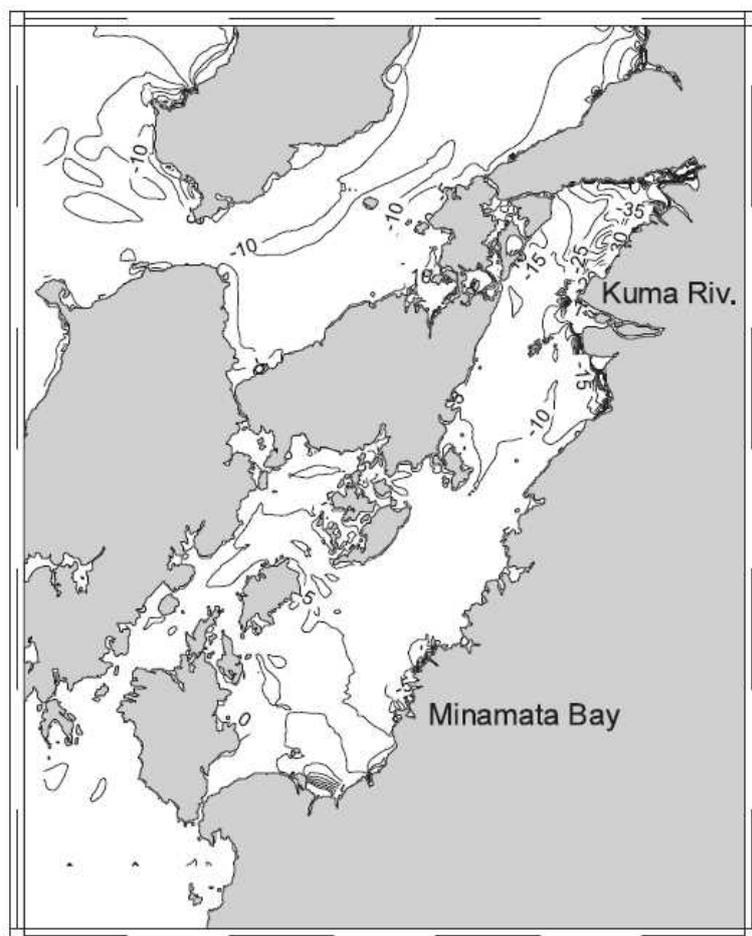


図 3.3.24 1900年代～2000年代の潮流振幅の変化率（%）

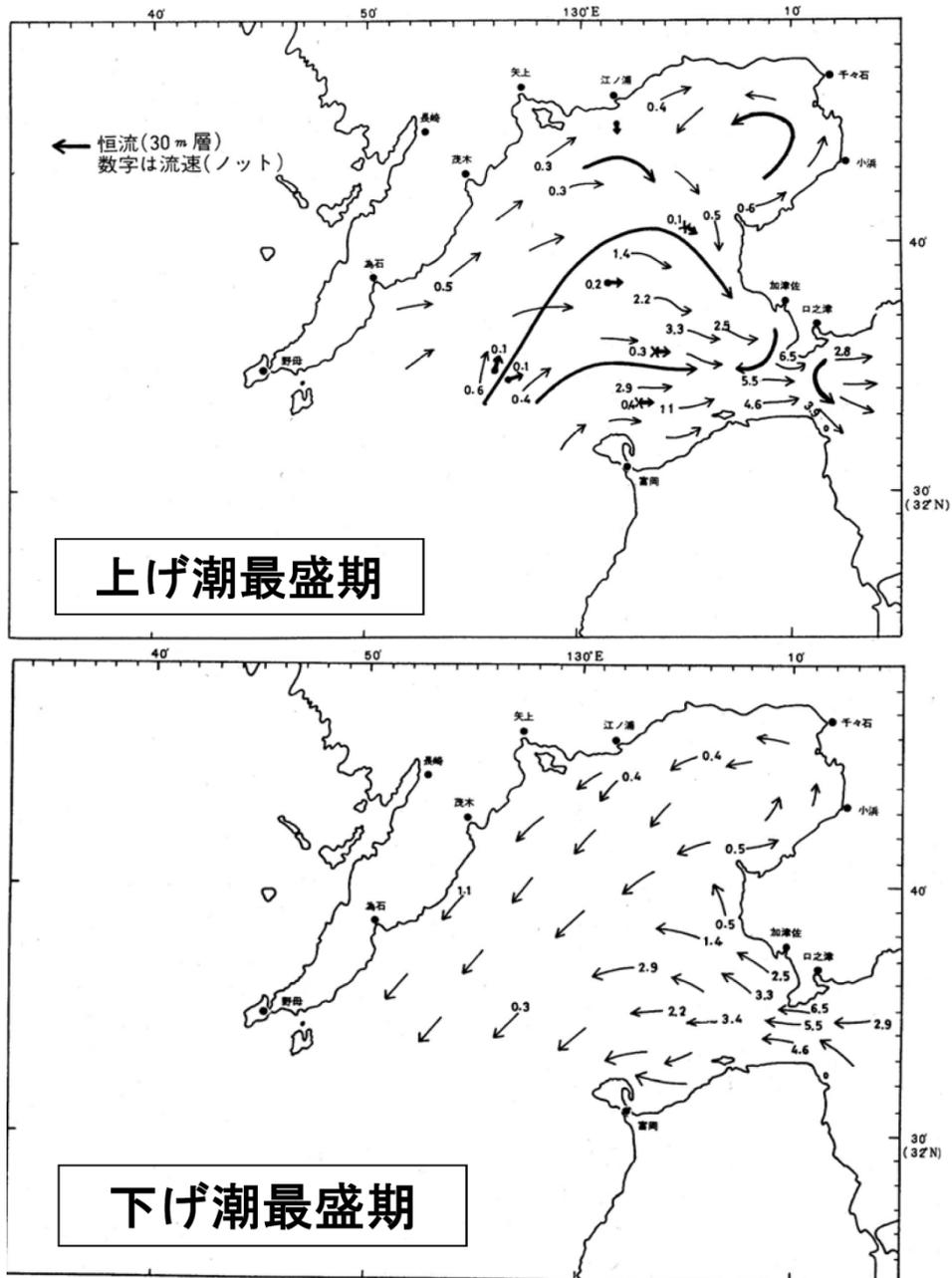
出典：田井明, 矢野真一郎, 多田彰秀, 上久保祐志, 矢野康平, 齋田倫範, 橋本彰博, 石原拓也（2011）：八代海における夏季の低塩分水塊の挙動ならびに過去の海岸線の変化による物理場の変化, 土木学会論文集 B2（海岸工学）, Vol. 67, No. 2, pp. 341-345

(3) 橘湾

橘湾は、有明海と外海水とを連結する海域であり、有明海から流出する河川系水の変動の影響を大きく受ける。

図 3.3.25 に示すとおり、下げ潮時に有明海から流出した海水は島原半島に沿って橘湾の湾奥部を左回りの環流となって通過していることがわかる³²⁾。

このほか、橘湾の流況を示す研究はいくつかみられるものの（例えば、藤家ほか（2004）³³⁾、玉置ら（2009）³⁴⁾等）、橘湾内の海洋構造（水塊構造）の変動実態は解明されていないのが現状である。



注) 上図の細矢印は上げ潮最盛期の流況を表し、太矢印は1昼夜平均の恒流を表す。
下図の細矢印は下げ潮最盛期の流況を表す。

図 3.3.25 橘湾における潮流と平均流（30m層）の概況

出典：中田英昭（2012）「第30回有明海・八代海総合調査評価委員会 資料-3 橘湾の海洋特性について」

[まとめ]

海水面積の減少、平均潮位の上昇ならびに潮汐振幅の減少は、潮流流速の減少につながる。

以下に示すとおり、潮汐・潮流の長期変化の主な要因としては月昇交点位置変化による影響が大きい。それ以外の変化については、1) 干拓・埋立て等による海水面積の減少並びに地形の変化、2) 平均潮位の上昇、3) 外洋の潮汐振幅の減少等様々な要因が複合的に作用することから、実際の潮汐・潮流の変化に及ぼす各種要因の影響の程度は明らかとなっていない。

[潮位の変動]

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、潮位差は湾口部から湾奥部に向かって増大し、湾奥部では大潮期には最大約6mに達する。年平均潮位差は湾奥部ほど大きく、例えば、湾奥部に位置する大浦の年平均潮位差は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（1979年頃の極大と1988年頃の極小の差は20cm強、1988年頃の極小と1995年頃の極大の差は約12cm）が観測され、1979年頃と1995年頃の極大時を比較すると年平均潮位差が約9cm減少していた。

年平均潮位差の極大時と極小時の値の差（上述の20cm強、約12cmの差）には、月の軌道の昇交点の18.6年周期の変化（月昇交点位置変化）が最も大きな影響を及ぼしている。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によると、月昇交点位置変化の影響を除いた M_2 分潮振幅は、1970年代から現在までの過去40年間で減少しており、これが上述の極大年（1979年頃、1995年頃）における年平均潮位差の減少の主な要因と考えられる。

なお、 M_2 潮汐振幅の長期変化の要因については、1) 有明海内の海水面積の減少（内部効果）、2) 平均潮位の上昇（外部効果）、3) 外洋潮汐振幅の減少（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。

平均潮位は、1970年以降、有明海及び外洋で上昇傾向が観測されており、八代海においても、データのある1980年以降、有明海と同様に平均潮位の上昇が観測されている。

[潮流の変化]

有明海の潮流に影響を及ぼす要因としては、1) 干拓・埋立て等による海水面積の減少並びに地形の変化、2) 平均潮位の上昇、3) 外洋の潮汐振幅の減少が挙げられる。これは、潮汐振幅に与える影響要因と同様であり、流体力学の基本原理である連続条件（体積保存則）から、潮汐振幅が減少すると潮流流速が減少していなければならないことに起因する。

有明海では、干拓・埋立て、海岸線の人工化（護岸化）、港湾等の人工構造物の構築、ノリ網の敷設（柵数は1970年頃をピークに減少）がなされてきた。

前述のとおり、外洋の平均潮位の上昇に伴って、有明海の内湾でも平均潮位の上昇がみられ、外洋の M_2 分潮振幅も内湾と同様に過去40年間で減少がみられる。

干拓による潮流流速への影響については、諫早湾から島原半島沿岸での流速の低下を示す次のようなモニタリング又はシミュレーションによる観測結果や研究報告の知見がある。

- ・諫早湾内の潮流調査の実測結果（1989（平成元）年及び1998（平成10）～2004（平成16）年）から、諫早湾の湾奥部、湾中央部及び湾口部では堤防締切り後に潮流流速が低下する傾向がみられた。
- ・島原半島沿岸部の観測結果（1993年と2003年）から、潮流流速は約21～27%減少した。（ただし、これについては流れの分布の変化が影響した可能性も無視できない。）
- ・数値シミュレーションによると、潮流への諫早湾干拓事業の影響は諫早湾から島原半島沿いに限られ、有明海湾奥部に関しては諫早湾干拓事業による湾奥部の流速の変化は月の昇交点運動による潮汐振幅の変動の影響に比べて非常に小さい。

熊本港建設による影響については、数値シミュレーションの結果、港の周辺で20～30cm/sの潮流流速の変化があり、潮位差への影響は港の周辺で±2cm程度との報告がある。

ノリ養殖施設の影響については、有明海湾奥部における潮流流速の観測から、早津江川河口沖では養殖期に平均で流速が約23%弱まるとの報告がある。なお、ノリ網の柵数については1960年代に急増したのち、1970年以降は減少傾向にある。

平均流については、有明海では河川水の流入量の変動や風の影響が大きい。湾奥部では、全体として反時計回りの環流がみられ、夏期を中心に上層で流出、下層で流入のエスチュアリー循環（密度流）が発達し、上層では湾奥部から湾口部、下層では湾口部から湾奥部への流れとなっている。風による影響については、吹送流に関する既存の報告では、検討の対象期間によって、その影響の程度が異なる場合がある。

平均流は、地形等の場所毎の条件に加え、河川水の流入、水温、風等の変動の影響を受けるため、長期的な変化とその要因を単純に評価することはできない。

八代海については、1970年頃以降の潮流・平均流の経年的な変化を示す実測データは無かった。

参考文献

- 1) 気象庁（1974）「有明海・八代海海象調査報告書」
- 2) 武岡英隆（2003）：有明海におけるM₂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
- 3) 日本海洋データセンター「JODC オンラインデータ提供システム（J-DOSS）」
- 4) 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」
- 5) 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
- 6) 有明海・八代海総合調査評価委員会報告（2006）「委員会報告」
- 7) 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
- 8) 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巻，第1号，pp. 85-94
- 9) 田井明，矢野真一郎（2008）：外海を基準とした有明海のM₂潮増幅率の変動特性と諫早湾潮受け堤防建設による影響，海の研究，17（3），pp. 205-211

- 10) 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
- 11) 灘岡和夫, 花田岳 (2002) : 有明海における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
- 12) 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
- 13) 藤原孝道, 経塚雄策, 濱田孝治 (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
- 14) 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
- 15) 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」
- 16) 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
- 17) 坪野孝樹, 吉井匠, 松山昌史, 坂井伸一, 多田彰秀 (2009) : 海陸風と海洋レーダで観測された諫早湾口周辺の表層の日周期潮流速, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. B2-65, No. 1, pp. 401-405
- 18) 小田卷実, 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
- 19) 小松利光, 矢野真一郎, 齋田倫範, 田井明 (2006) : 有明海の潮流ならびに物質輸送の変化に関する研究, 海岸工学論文集, 第53号, pp. 326-330
- 20) 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
- 21) 万田敦昌, 兼原壽生, 青島隆, 筒井博信, 木下宰, 中田英明, 柳哲雄 (2006) : 有明海中央部における物質輸送過程の季節変動, 海の研究, 15 (6) , pp. 465-477
- 22) 井下恭次, 藤家亘, 矢永純一, 武元将忠, 小野英治, 白谷栄作 (2016) : 有明海湾奥部に流入した筑後川河川水の挙動に及ぼす吹送流の影響について, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol. 72, No. 2, pp. 688-693
- 23) 農林水産省農村振興局 (2004) 「第8回有明海・八代海総合調査評価委員会 資料-3 諫早湾干拓事業 開門総合調査に係る補足説明」
- 24) 矢野真一郎, 西村圭右 (2014) : 諫早湾干拓事業が与えた有明海の塩淡バロクリニック構造への影響に関する検討, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol. 70, No. 2, pp. 1134-1139
- 25) 矢野真一郎, 西村圭右, Camilla RANLUND (2015) : 諫早湾干拓締め切堤による鉛直混合能の変化が有明海の塩淡成層構造に与えた影響, 土木学会論文集B2(海洋工学), Vol. 71, No. 2, pp. 1243-1248
- 26) 西ノ首英之, 小松利光, 矢野真一郎, 齋田倫範 (2004) : 諫早湾干拓事業が有明海の流動構造へ及ぼす影響の評価, 海岸工学論文集, 第51巻, 第1号, pp. 336-340
- 27) 千葉賢, 武本行正 (2002) : 諫早湾潮受け堤防の影響評価のための潮位観測値の分析と流況数値解析, 四日市大学環境情報論文, 第5巻, 第1・2号合併号, pp. 39-70
- 28) 田井明, 田中香 (2014) : 有明海の物理環境に関する漁業者を対象としたヒアリング結果と科学的知見の比較, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol. 70, No. 2, pp. 1014-1019
- 29) 山口創一, 濱田孝治, 速水祐一, 瀬口昌洋, 大串浩一郎 (2009) : 有明海奥部筑後川河口沖における流れの季節および経年変動, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 65, No. 1, pp. 436-440
- 30) いであ株式会社, 熊本大学 (2016) 「平成27年度八代海における環境管理方策の検討業務報告書」
- 31) 田井明, 矢野真一郎, 多田彰秀, 上久保祐志, 矢野康平, 齋田倫範, 橋本彰博, 石原拓也 (2011) : 八代海における夏季の低塩分水塊の挙動ならびに過去の海岸線の変化による物理場の変化, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 67, No. 2, pp. 341-345
- 32) 中田英昭 (2012) 「第30回有明海・八代海総合調査評価委員会 資料-3 橘湾の海洋特性に

ついて」

- 33) 藤家亘, 柳哲雄, 玉置昭夫, 松野健 (2004) : 富岡干潟におけるハルマンスナモグリ幼生の回帰戦略の数値モデルによる解析, 海の研究, 13 (4), pp. 371-387
- 34) 玉置昭夫, 万田敦昌, 大橋智志, Sumit Mandal, 浜口昌巳 (2009) : 橘湾および有明海湾口部の砂質干潟に生息するハルマンスナモグリ (十脚甲殻類スナモグリ科)・イボキサゴ (腹足類ニシキウズガイ科) 幼生の輸送, 沿岸海洋研究, 第46巻, 第2号, pp. 119-126