

3. 主な論点に関する議論の整理

3.1 問題点の概況、原因・要因・論点等の整理

3.2 水質（水温、塩分、COD、栄養塩、SS 及び透明度）の変化

3.3 河川の影響

3.4 汚濁負荷の変遷

3.5 藻場・干潟

3.6 潮流・潮汐

(1) 潮位の変動について

1) 有明海の潮位の状況

- ・潮汐は月と太陽の引力を主要な力（起潮力）として生じ、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。
- ・これらの特定の周期を持った構成成分を分潮といい、起潮力が大きい 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（主太陽日周期）を主要 4 分潮と呼ぶ。 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 年周期）の影響を受け毎年振幅や位相が変動している。
- ・湾外の富岡と湾口の口之津から湾奥に向かう各地点の潮位差（満潮時と干潮時の水位の差）を表 3.6.1 に示す。湾奥に向かって潮位差の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。

表 3.6.1 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	岡	192	278	106
口之津	津	208	290	126
柳ノ瀬戸	戸	238	338	138
三島	角	250	354	146
大島	原	294	406	182
大竹	浦	315	453	178
三竹	崎	316	454	178
三若	池	318	456	180
住津	津	322	458	186
住ノ江	江	344	494	194

出典：気象庁(1974)：有明海・八代海海象調査報告書

- ・有明海の各地点の潮汐調和定数（各分潮の振幅）は表 3.6.2 に示すとおりであり、潮汐の最も大きな成分は M_2 分潮であり、 S_2 分潮がこれに次いでいる。湾奥の潮位差の増大には、卓越潮である半日周潮（ M_2 分潮 + S_2 分潮）の増大が大きく寄与しており、この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。

表 3.6.2 各地点における主要分潮の潮汐調和定数

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

出典：気象庁(1974)：有明海・八代海海象調査報告書

- ・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、18.6年周期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、海水密度の変化等がない限り変化しない観測点に固有の値となる。一方、実際の潮位の変動は、係数 f という18.6年周期の変化分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¹⁾。

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、その要因の設定の仕方（議論の仕方）に混乱があることから、以下のような整理がなされている²⁾。

要因<1>：有明海内の海水面積の減少

要因<2>：平均水位の上昇

要因<3>：外洋潮汐振幅の減少

【参考資料】

- 1) 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)
- 2) 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.51st，pp.27-30

2) 潮位差の比較

- ・有明海の潮位差は極小、極大を繰り返しながら変動している（図 3.6.1、図 3.6.2 参照）

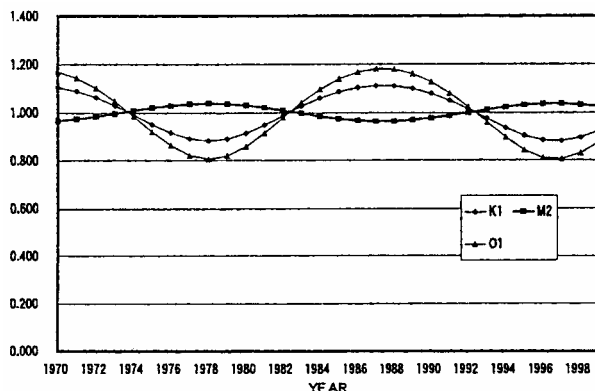
有明海の潮位差の経年変化をみると、湾奥ほど潮位差の年平均値とその変動幅は大きく、大浦の潮位差は 1979 年(昭和 54 年、潮位差約 345cm)頃と 1995 年(平成 7 年、潮位差約 337cm)頃に極大、1988 年(昭和 63 年、潮位差約 325cm)頃に極小をもつ変動がみられる。

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。

- ・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の存在により潮位差は減少し、その影響は湾奥に行くほど大きいという報告もある。

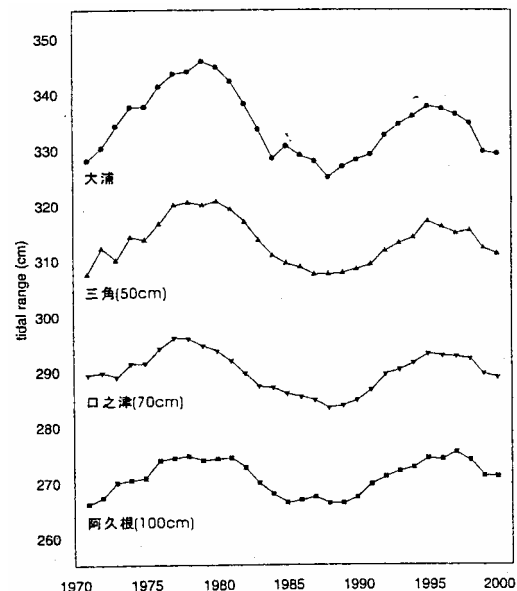
1970 年(昭和 45 年)～2001 年(平成 13 年)の大浦地点の潮位観測データから得られた年平均潮位差、大潮差の経年変化からは、潮受堤防の工事期間及び最終締切時の前後で明らかな変化は読みとれなかった（図 3.6.3 参照）。

数値シミュレーションにより、潮受堤防締切による潮位差の減少割合は、湾奥に行くほど大きく、最奥の住ノ江では約 2.5%の減少である。また、平均水位の上昇を 20cm として計算すると、潮位差の減少は住ノ江で約 1.2%である（図 3.6.4 参照）。



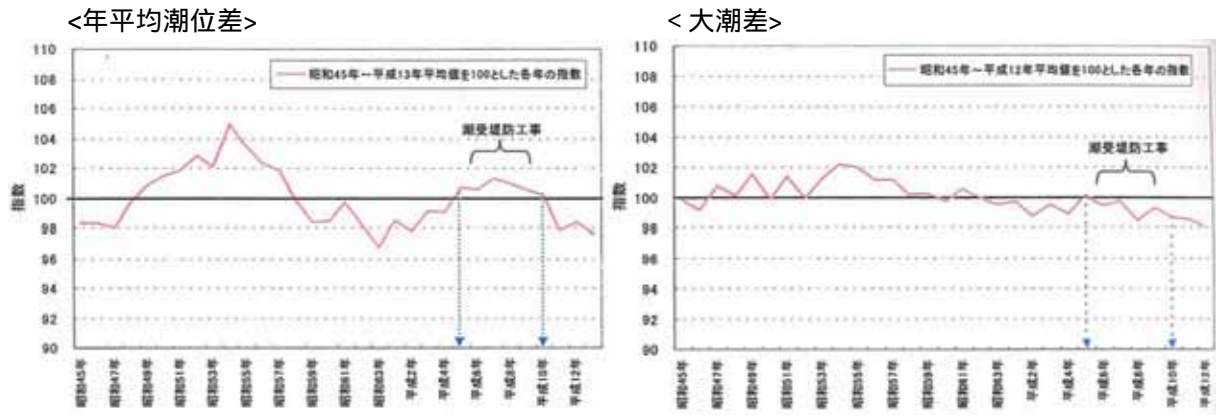
出典：武岡英隆[愛媛大 沿岸環境科研セ](2003)：有明海における M_2 潮汐の変化に関する論議へのコメント，沿岸海洋研究，VOL. 41，NO. 1，pp.61-64

図 3.6.1 M_2 、 K_1 、 O_1 の各分潮の f の値の経年変化



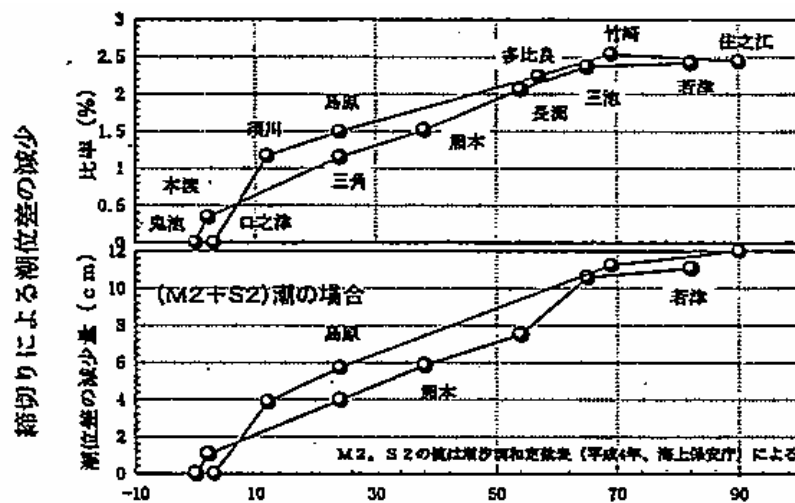
出典：武岡英隆[愛媛大 沿岸環境科研セ](2003)：有明海における M_2 潮汐の変化に関する論議へのコメント，沿岸海洋研究，VOL. 41，NO. 1，pp.61-64

図 3.6.2 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：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 3.6.3 大浦検潮所における年平均潮位差と大潮差の推移



出典：滝川清[熊本大沿岸環境科学教研セ], 田淵幹修[熊本大工](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

図 3.6.4 諫早湾締め切りの潮位差への影響

3) M₂分潮振幅の比較

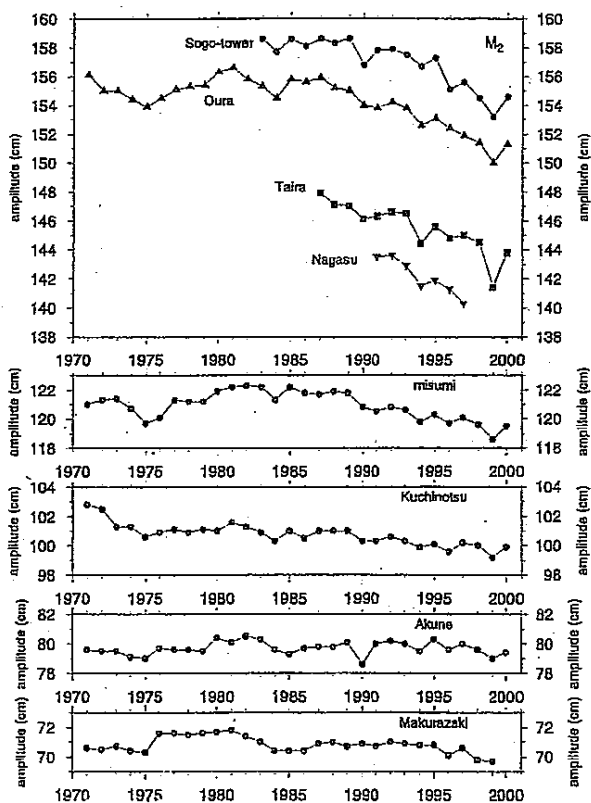
- ・月軌道の昇交点の18.6年周期を考慮したM₂分潮の振幅は増減を繰り返しているが、調和定数は1980年代後半以降それまでに比べ減少傾向にある。M₂分潮振幅が1980年代後半以降減少した原因の1つとして諫早湾の干拓や潮受堤防の締め切りを挙げている報告がある一方で、データ解析結果、数値シミュレーションからは工事前後における変化傾向は明らかではないという報告もある。

データ解析からは、大浦におけるM₂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。1980年(昭和55年)以降のM₂分潮振幅の減少は口之津の他外海でもみられる(図3.6.5参照)。

有明海におけるM₂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))と堤防締め切り(1997年(平成9年))の間に大浦と口之津におけるM₂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(図3.6.6参照)。

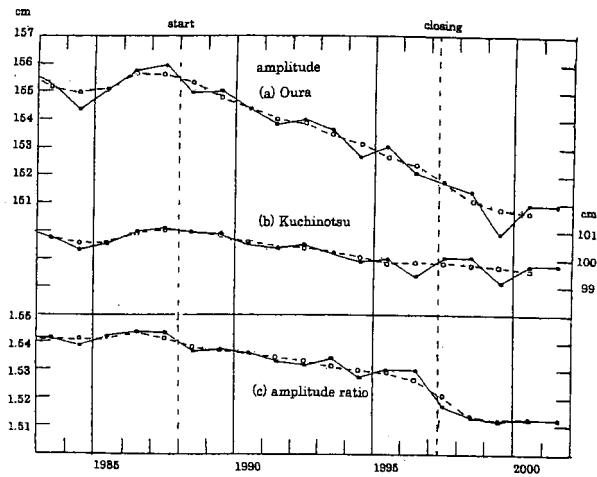
口之津を1とした場合の大浦のM₂分潮の振幅の増幅率の経年変化から、潮受堤防の工事期間及び最終締め切りの前後の比較を行ったが、観測データからは明らかな変化は読みとれなかった(図3.6.7参照)。

- ・M₂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3.6.3参照)。



出典：種子田雄、森永健司、中川倫寿[西海区水産研究所]：海水流動、潮位、水温、塩分等の海洋環境変動過程の把握，平成13年度行政対応特別研究

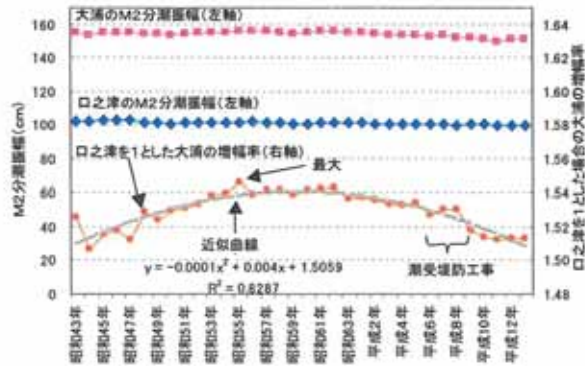
図 3.6.5 M₂分潮の調和定数(振幅)の経年変動



- 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、諫早湾干拓事業の始まりと終わり(堤防による締め切り)である。

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, VOL.42, NO.1, pp.85-94

図 3.6.6 大浦と口之津のM₂分潮振幅の経年変化



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

図 3.6.7 口之津検潮所と大浦検潮所のM₂分潮振幅と増幅率の経年変化

表 3.6.3 M₂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%

【参考資料】

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3号，pp.307-312

<結果の概要>

データ解析(M₂分潮の振幅差に対する2000年(平成12年)の寄与率)によると、M₂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。」

見解 2：灘岡和夫[東京工大]，花田岳[野村総合研究所](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，Vol.49，pp.401-405

<結果の概要>

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、M₂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。

見解 3：塚本秀史[弓削商船高等専門学校]，柳哲雄[九州大学](2002)：有明海の潮汐・潮流，海と空，第78巻，第1号，pp.31-38

<結果の概要>

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M₂分潮の振幅減少の寄与率は10%～20%程度(M₂潮汐振幅減少4.3cmに対して)である。

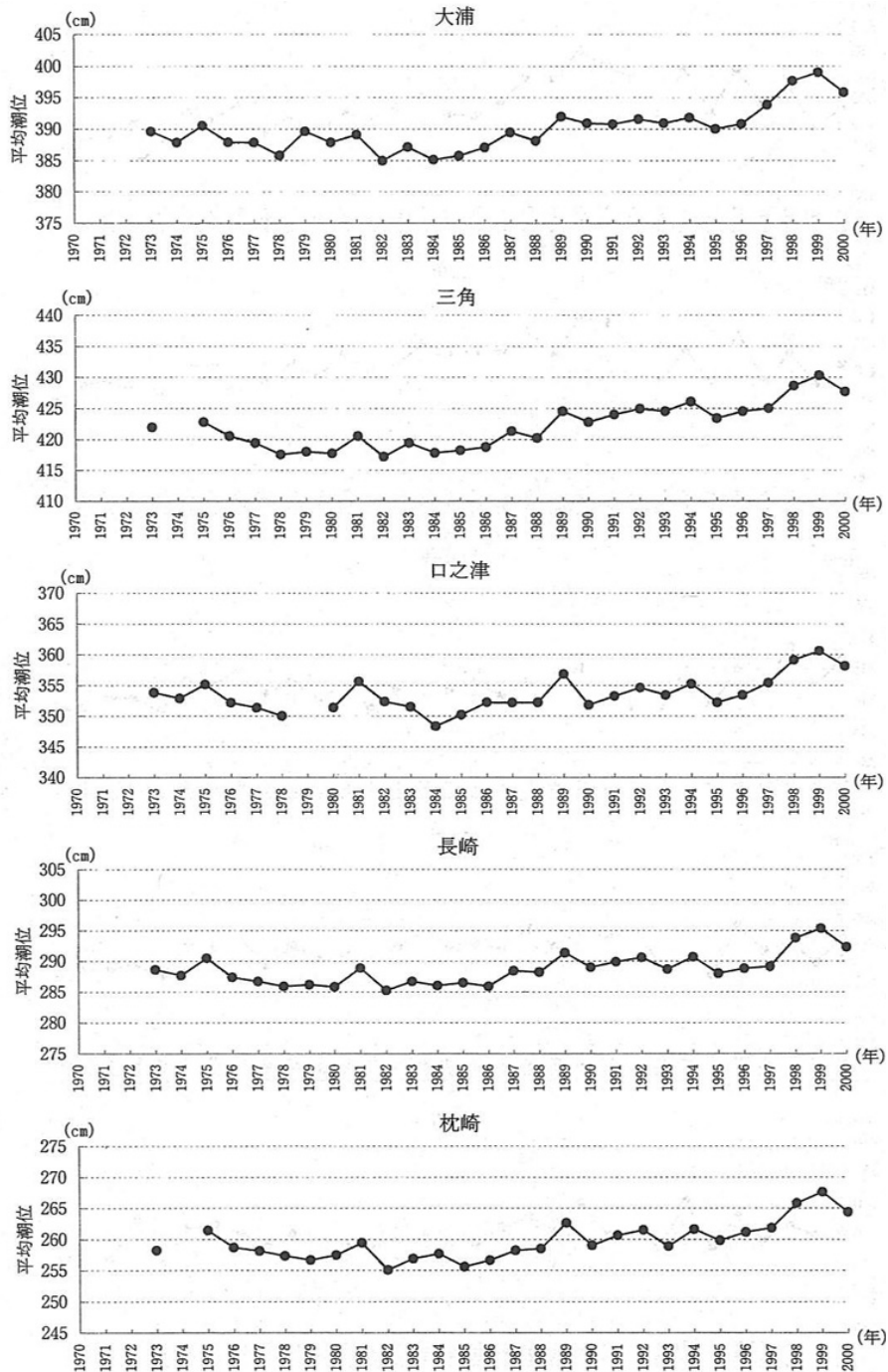
見解 4：藤原孝道，経塚雄策，濱田孝治[九州大学大学院](2004)：有明海における潮汐・潮流減少の原因について海の研究，VOL.13，NO.4，pp.403-411

<結果の概要>

計算により得られた大浦におけるM₂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M₂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。

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。(図3.6.8参照)



(出典：気象庁、潮汐概況・潮汐観測原簿・気象庁データより)

出典：農林水産省水産庁、農林水産省農村振興局、経済産業省資源エネルギー庁、国土交通省河川局、国土交通省港湾局、環境省環境管理局(2003)：平成14年度国土総合開発事業調整費 有明海海洋環境調査報告書(概要版)

図 3.6.8 年間の平均潮位の水位

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年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の評価するためには、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、実海域で見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。