

### 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<br>cm | 大潮差<br>cm | 小潮差<br>cm |
|-----|----|------------|-----------|-----------|
| 富岡  | 間  | 192        | 278       | 106       |
| 口之津 | ノ  | 208        | 290       | 126       |
| 柳ノ瀬 | 戸  | 238        | 338       | 138       |
| 三島  | 角  | 250        | 354       | 146       |
| 大竹  | 原  | 294        | 406       | 182       |
| 三竹  | 浦  | 315        | 453       | 178       |
| 若津  | 崎  | 316        | 454       | 178       |
| 住ノ江 | 池  | 318        | 456       | 180       |
|     | 津  | 322        | 458       | 186       |
|     | 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<sup>1)</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、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<sup>2)</sup>。

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

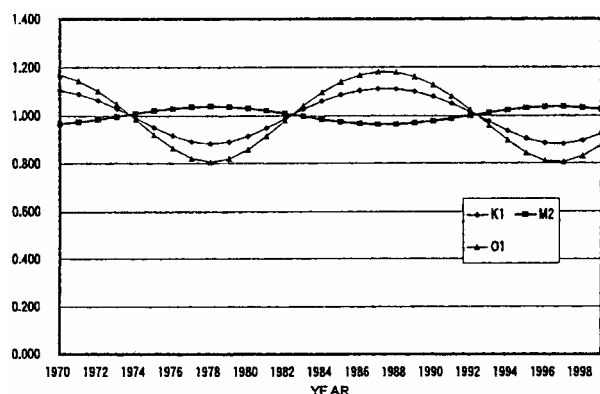
要因<3>：外洋潮汐振幅の減少

#### 【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.51<sup>st</sup>，pp.27-30

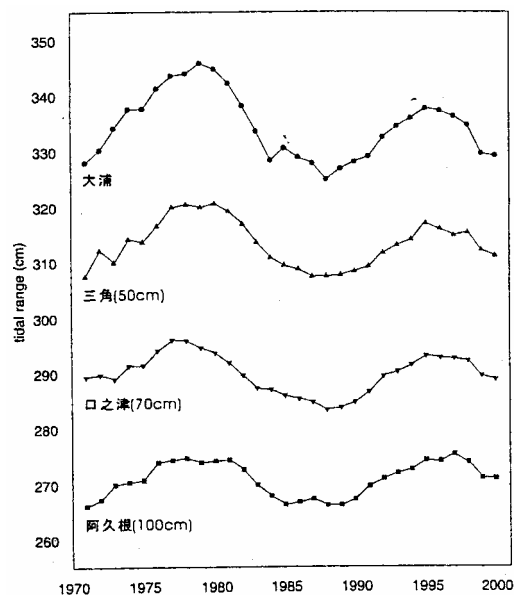
## 2) 潮位差の比較

- ・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）。



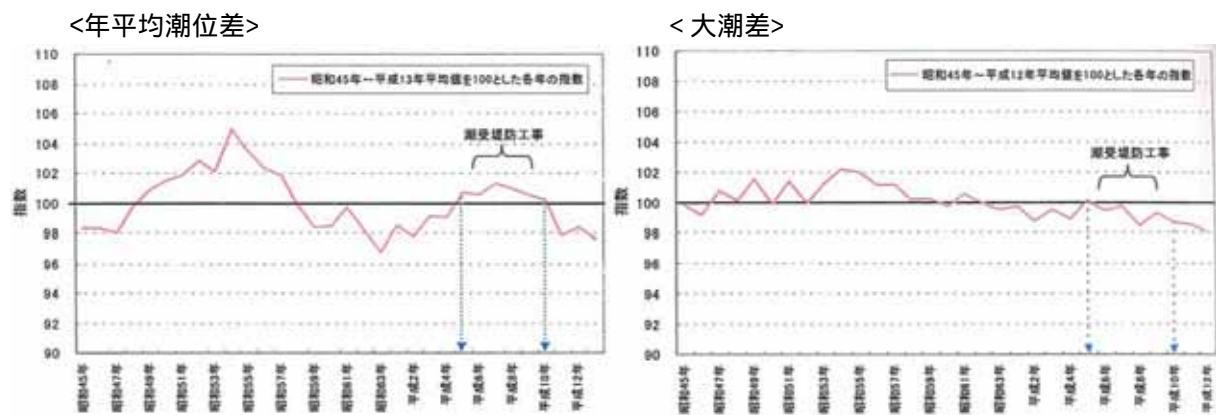
出典：武岡英隆[愛媛大 沿岸環境科研セ](2003)：有明海における  $M_2$  潮汐の変化に関する論議へのコメント，沿岸海洋研究，VOL. 41，NO. 1，pp.61-64

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



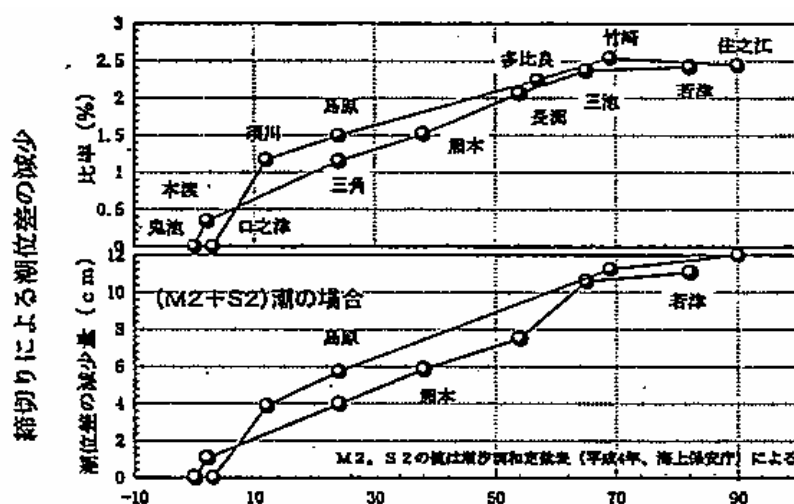
出典：武岡英隆[愛媛大 沿岸環境科研セ](2003)：有明海における  $M_2$  潮汐の変化に関する論議へのコメント，沿岸海洋研究，VOL. 41，NO. 1，pp.61-64

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) $M_2$ 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  $M_2$  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。 $M_2$  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  $M_2$  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。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(図 3.6.5 参照)。
  - 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))と堤防締め切り(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(図 3.6.6 参照)。
  - 口之津を 1 とした場合の大浦の  $M_2$  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(図 3.6.7 参照)。
- ・  $M_2$  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 3.6.3 参照)。

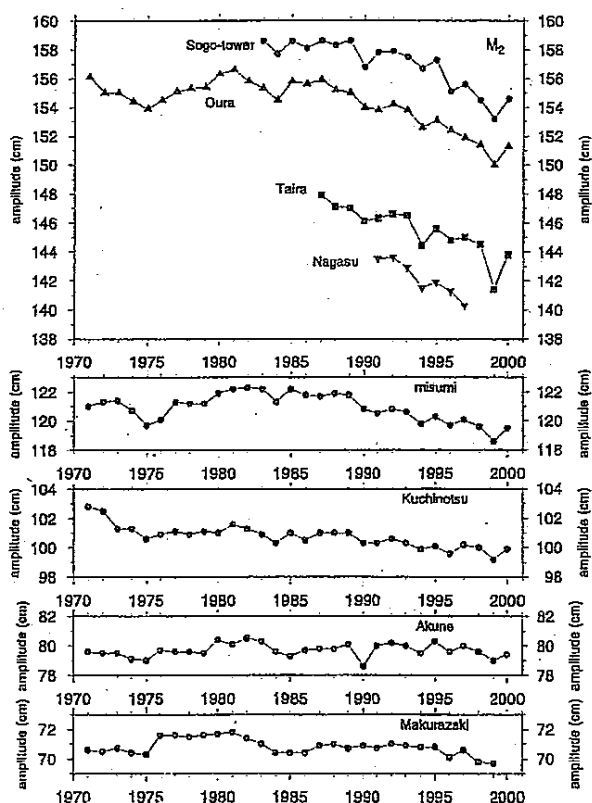
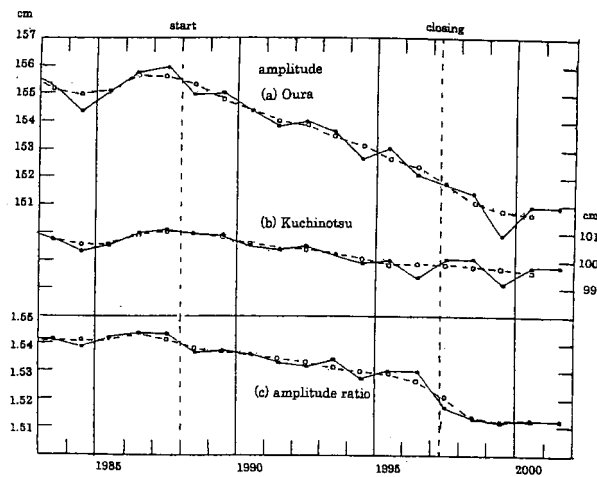


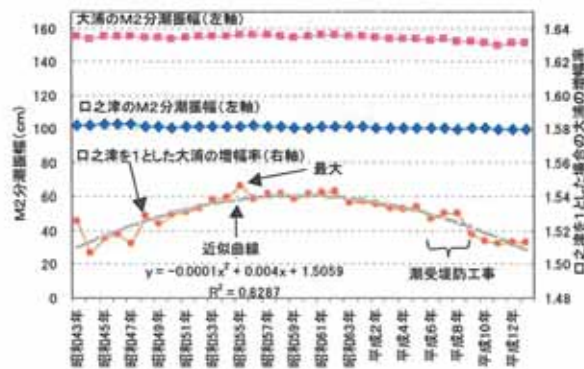
図 3.6.5  $M_2$  分潮の調和定数(振幅)の経年変動

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



注) 1. (a)は大浦、(b)は口之津の  $M_2$  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  $M_2$  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  $M_2$  分潮振幅と増幅率の経年変化

表 3.6.3  $M_2$  分潮振幅減少に関する各要因の寄与率

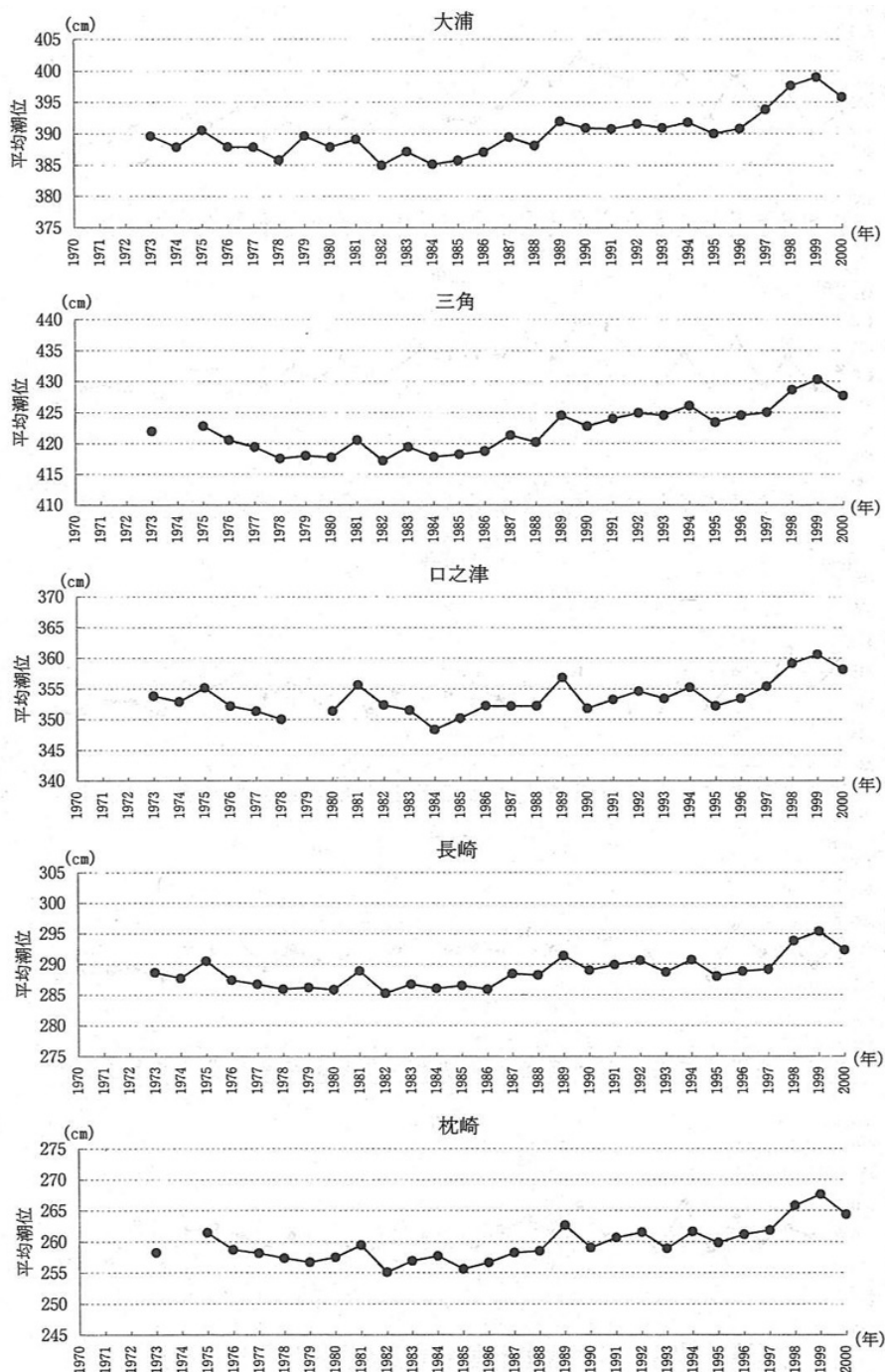
| 見解<br>要因        | 見解 1 | 見解 2   | 見解 3              | 見解 4                |
|-----------------|------|--------|-------------------|---------------------|
| <1>有明海内の海水面積の減少 | 50%  | 40～50% | 潮受堤防の締切<br>10～20% | 諫早堤防：24%<br>熊本新港：2% |
| <2>平均水位の上昇      | 10%  | 極めて小さい | -                 | 0%                  |
| <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( $M_2$  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。」
- 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、 $M_2$  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。
- 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  $M_2$  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。
- 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  $M_2$  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。

#### 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。

## ( 2 ) 潮流の変動について

### 1) 潮流の状況

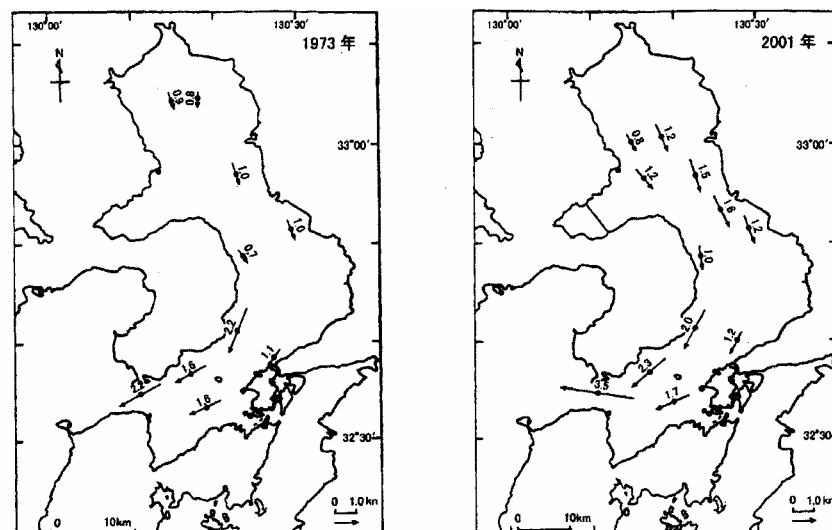
- ・有明海の潮流は、潮汐による海面昇降を起こす海水の水平方向の往復運動であり、潮汐と同様な周期成分で構成される。沿岸では、周囲海水が同じ密度であるときには、上層から下層まで同じ方向にほぼ同じ潮流が流れるが、密度成層が発達していると、上層と下層で異なる流れとなる。潮流により運ばれる水粒子は、一周期終わっても元の位置に戻らず、実際の湾ではややずれた位置にたどり着くが、この一周期後にずれた位置にまで到る流れを潮汐残差流と呼ぶ。長期の物質輸送には、潮汐残差流などの一方向流が重要な役割を果たす。内湾の一方向流は、河川からの流入水による流れ、湾内を吹き渡る風による流れ、上下層の密度差による流れ等も寄与し、恒流や平均流と呼ばれる。また、岸近くの干潟部などでは、みお筋に沿った流出入が起きるなど、地形の影響を強く受ける。
- ・海上保安庁の資料<sup>2)</sup>によると大潮平均流速分布は湾口部の早崎瀬戸で最大7ノット(1ノット=51.4cm/s)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ノットに達している。湾奥部に至っても強い流速を伴っているのは、潮汐の場合と同様に定在波と固有振動の共鳴による振動増幅ならびに水深減少のためと考えられている<sup>3)</sup>。また、浅海部の観測<sup>1)</sup>によると、湾奥河口域ではみお筋に速い流れが出現している。
- ・有明海では河川流入水の変動が大きく、恒流については不明な点も多いが、海上保安庁が作成した夏の表層での恒流の分布図<sup>2)</sup>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<sup>4)</sup>でも見いだされている。湾南部では全般的に湾口に向かう流れとなっている。
- ・有明海の流動は大きな潮位差に引き起こされる卓越した潮流が特徴的である。恒流としては島原半島側の南下流が明瞭で、湾全体として反時計回りの恒流が推察される。
- ・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。干満差は湾奥で4m以上となり、このため長島瀬戸での潮汐流速は、大潮時には約8ノットにもなる。<sup>5)</sup>

#### 【参考資料】

- 1) 日本海洋学会沿岸海洋研究部会編(1985): 日本全国沿岸海洋誌、日本海洋学会沿岸海洋研究部会、p.838-843
- 2) 海上保安庁(1978): 有明海・八代海の潮流図(第6217号)もしくは、上記文献1)のpp.840-843を引用
- 3) 海上保安庁(1974): 有明海・八代海海象調査報告書、39p.+別冊15p.を引用
- 4) 例えば、小田巻実ら(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、33-61
- 5) 滝川清[熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター]、田中健路[熊本大学工学部](2005): 八代海の物理環境特性、月刊海洋、Vol.37, No.1, pp.12-18

## 2) 有明海における潮流の一斉調査

- ・潮流の一斉観測については、海上保安庁が1973年(昭和48年)と2001年(平成13年)の2回実施している。この2回の観測結果に明確な変化傾向は見られなかったが、島原半島に沿って南下する沿岸流の流速<sup>1)</sup>は約1/3となっており、各測点の潮流鉛直分布についても特徴的な変化<sup>2)</sup>が現れていたため、この観測結果の違いは、淡水流入条件による重力循環流(密度流)の違いによる可能性が大きいこと、淡水流入は時期的に大きく異なり、この流れの違いが経年的な長期変化かどうか判断できないこと等が報告されている。また、平均流については、場所によって15日平均よりも数日程度の短期変動の方が大きく、上下層での違いが顕著になる場合もあり、この変動が何に起因するのか検討する必要があること、場所や水深による違いも大きいと考えられるので、3次元的な考察を進める必要があることが指摘されている(図3.6.9~図3.6.10参照)。この2回の観測結果では、河川流入量や水温などの相違により重力循環流の効果が異なっていたおそれがあること等から、地形の変化のみの効果を取り出して評価するところまで至っていないと考えられる。
- ・一方、西海区水産研究所が実施した2001年(平成13年)2月の観測によると、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)の流速は約12%低い値を示したことが報告されているが、両者の測定方法等が異なるので単純に比較はできないと推測(図3.6.11参照)。



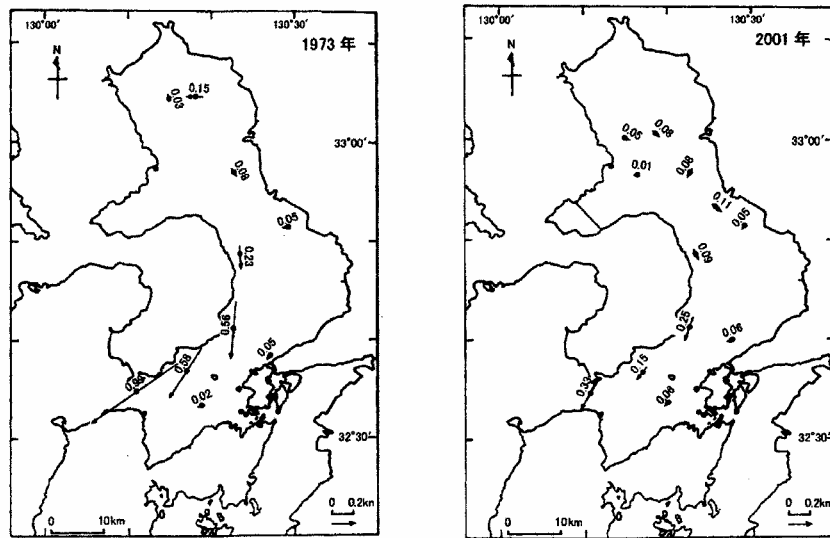
注) 各地点の潮流は平均流を含まず、平均大潮に換算されている。

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 3.6.9 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

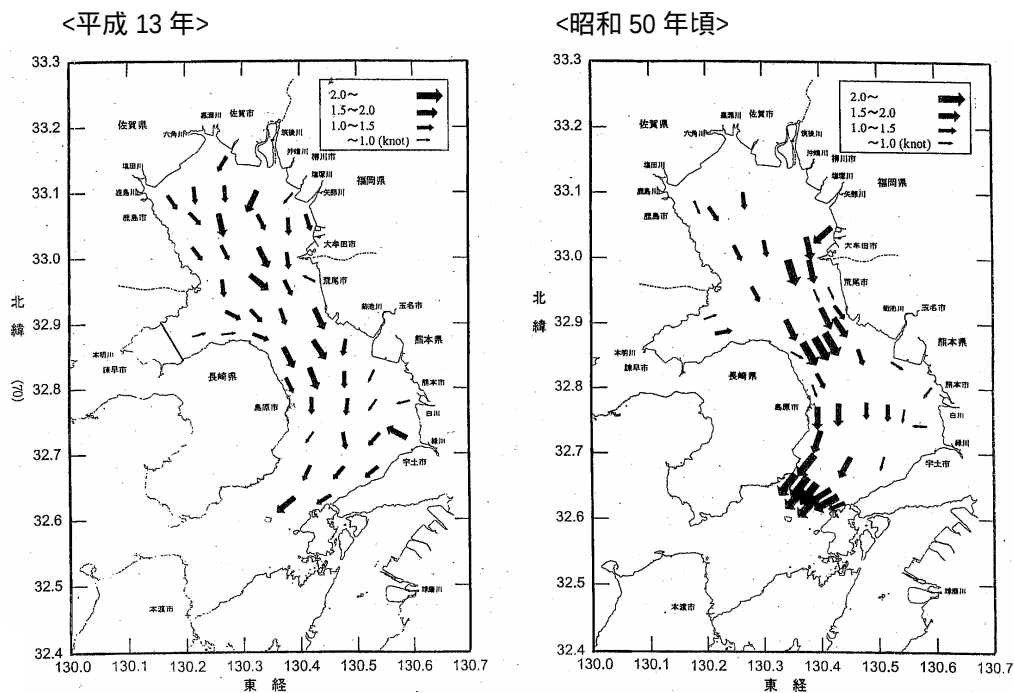
1) 流速は15日間の平均流速(恒流)である。

2) 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など、明らかな変化がみられた。測点4(三池沖)の潮流では、昭和48年では下層ほど増大するのに対し、平成13年では下層ほど減少していた。



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 3.6.10 1973 年と 2001 年の 15 昼夜観測の平均流の比較



出典：1. 「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”[独立行政法人水産総合研究センター 西海区水産研究所発表資料]  
 2. 第10回有明海・八代海総合調査評価委員会“参考 「第9回有明海・八代海総合調査評価委員会」における行政特報報告への滝川委員の質問への回答”[独立行政法人水産総合研究センター 西海区水産研究所発表資料]

図 3.6.11 平成 13 年と昭和 50 年頃の下げ潮時の流速水平分布図

### 3) 潮流流速の変化要因とその影響

#### ア) 潮流流速の変化要因とその影響の概況

- ・ 有明海の潮流に関して全体的な影響を及ぼす要因としては、1) 干拓・埋立等による海面の減少、2) 東シナ海全体の平均水位の上昇に伴う有明海湾内の平均水位の上昇、3) 外海の潮汐振幅の減少があげられる。
- ・ 近年の有明海においては、干拓、埋立等による有明海の海表面積の減少、有明海湾内の潮汐振幅（潮位差）の減少等から、流体力学の基本原理である連続条件（体積保存則）を満足するため、有明海における潮流流速は平均的に減少しなければならない。例えば、諫早湾は締切により海面面積が約 33%減少するので、諫早湾の湾口断面において諫早湾への入退潮量が1潮汐で 33%程度（時間・断面平均的な流速として約 6.3cm/s の減少）減少することになる。諫早湾の外部である有明海についても、湾軸に対して横断方向に断面を取った場合に、同じことが成り立つ。有明 - 長洲ラインより奥部の面積減少率を約 4.9%とすると、これらの各断面における入退潮量の変化による潮流流速の減少は、湾奥に行くに従い潮汐振幅が増加することを考慮して断面平均でそれぞれ 5.0%程度（時間・断面平均的な流速として約 2.4 cm/s の減少）程度の減少と概算される。

#### イ) 潮受堤防による潮流流速への影響

- ・ 潮受堤防による潮流流速への影響についてみると、諫早湾内では観測結果及び数値シミュレーションより潮流流速が減少している。諫早湾外では観測結果及び数値シミュレーションから、諫早湾口北側の潮流流速は増加する一方で、島原半島沖の潮流流速は減少している、また、有明海全体では潮流流速の変化は非常に小さいとの報告がある。
  - 諫早湾における環境モニタリング結果から、諫早湾内の湾奥部と湾央部では、堤防締切り前の 1989 年(平成元年)の流速に対して、1998 年(平成 10 年)以降は明らかに流速が低下している。湾口では、湾奥部や湾央部ほど顕著ではないが、流速が低下する傾向がみられる。また、諫早湾外では観測年によるデータのばらつきが大きくなる傾向が認められ、（流速の低下又は増加という）変化の傾向も異なっている（図 3.6.12 参照）。
  - 数値シミュレーションにより、下げ潮時の流速は潮受堤防設置により諫早湾口北側で増加、湾内から島原半島に沿った広い領域では減少している（図 3.6.13 参照）。
  - 潮受堤防建設前後(1993 年(平成 5 年)と 2003 年(平成 15 年))の島原半島沿岸部の潮流観測結果より、潮流流速は大きく減少（約 21～27%）している。この減少率は締切により減少した面積（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%）と比較して非常に大きいこと

から、諫早湾への水塊の流入が島原半島沿岸において集中的に生じていることが示唆された（図 3.6.14 参照）。

- 潮受堤防による最大潮流速度の変化を調べたが、堤防前面で  $0.3 \sim 0.4 \text{ m/s}$  の減少があり、諫早湾外北側の地点で僅かに増速 ( $0.0 \sim 0.1 \text{ m/s}$ ) 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こと ( $0.0 \sim 0.1 \text{ m/s}$  の減速) が分かる（図 3.6.15 参照）。

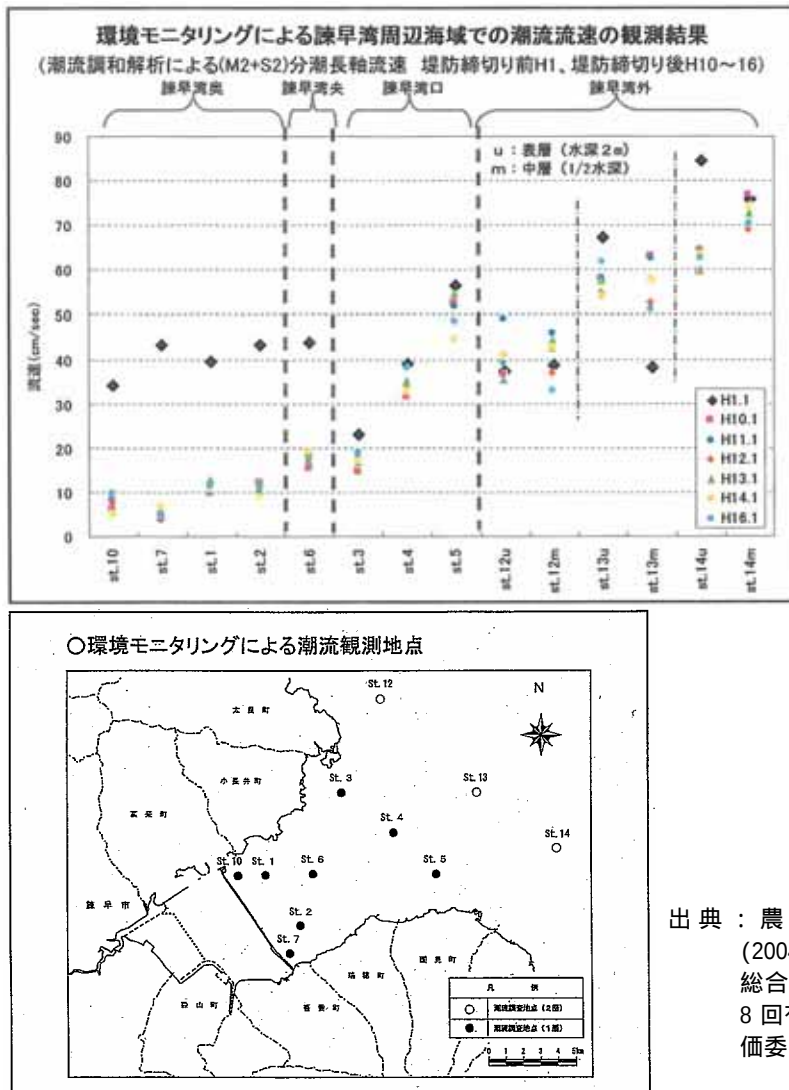
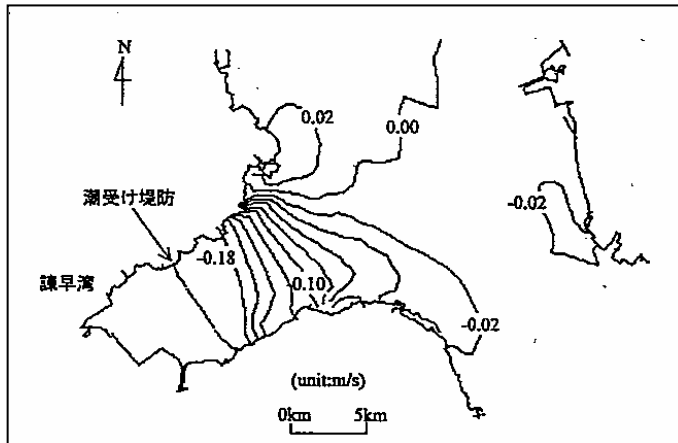
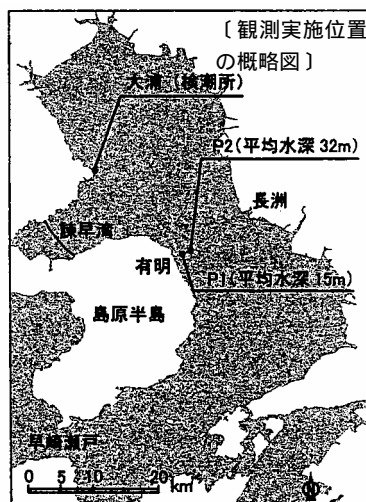
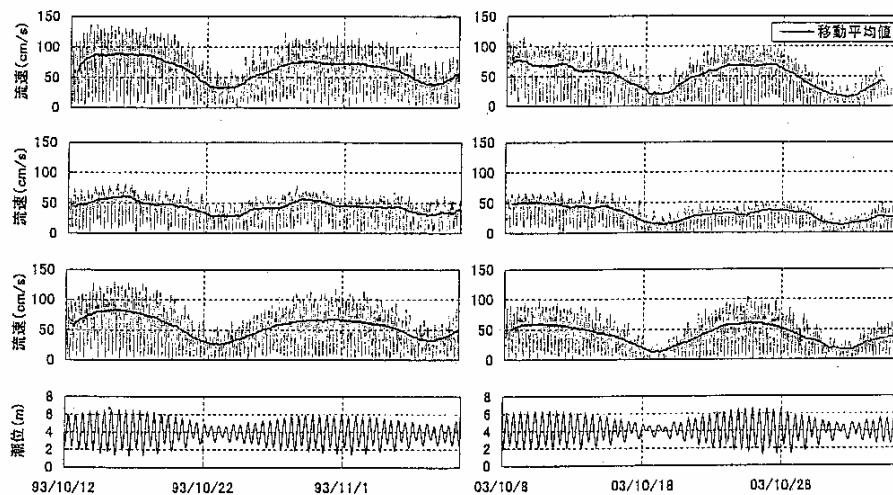


図 3.6.12 環境モニタリングによる諫早湾周辺海域での潮流流速の観測結果



出典：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

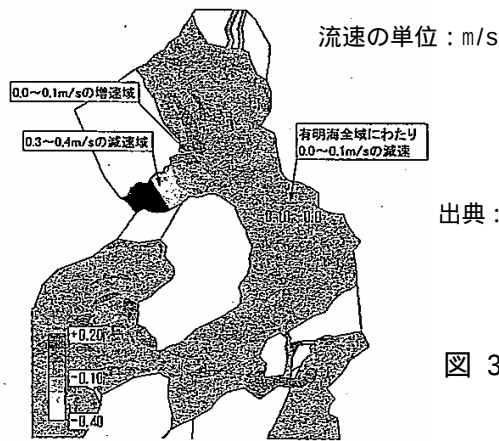
図 3.6.13 下げ潮時の流速強度に関する締め切り前後の差



注) 1. 左図は 1993 年(平成 5 年)10 月 12 日～11 月 10 日、右図は 2003 年(平成 15 年)10 月 9 日～11 月 7 日である。  
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、潮位である。

出典：西ノ首英之[長崎大 水産], 小松利光, 矢野真一郎[九大 大学院工学研究院], 斎田倫範[九大 大学院工学府](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，Vol.51，No.1，pp.336-340

図 3.6.14 観測結果の時系列

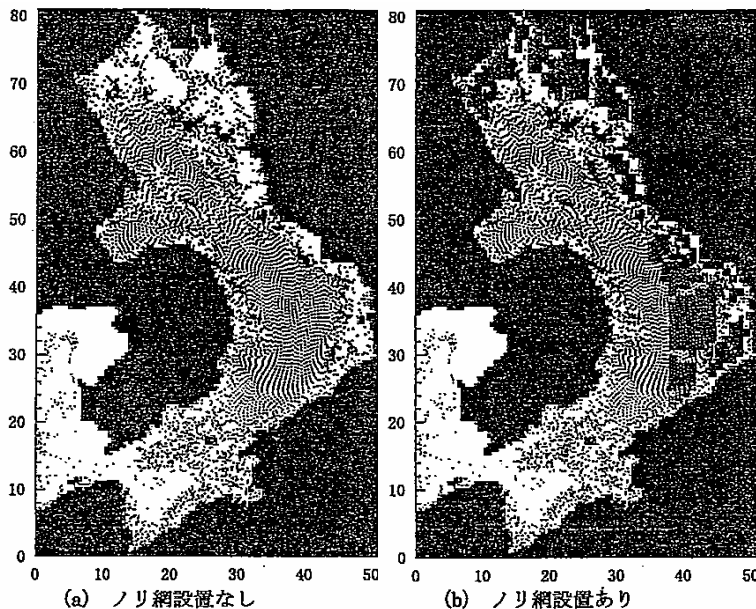


出典：千葉賢, 武本行正[四日市大環境情報]：諫早湾潮受け堤防の影響評価のための潮位観測値の分析と流況数値解析, 四日市大学環境情報論文, 第 5 巻, 第 1・2 号合併号, pp39-70

図 3.6.15 最大潮流速度の偏差分布（潮受堤防の影響）

#### り) ノリ養殖施設による潮流流速への影響

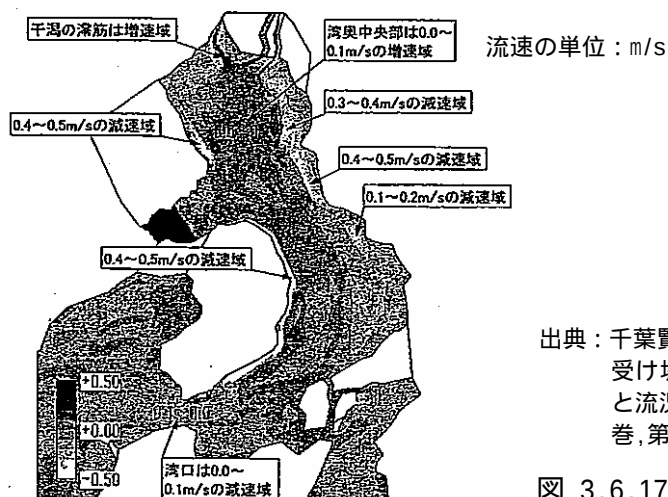
- ・ノリ養殖施設の影響については、数値シミュレーションの結果、湾中央から湾奥にかけての海水の流動が小さくなる傾向にあること（図 3.6.16 参照）最大潮流速度はノリ網設置地域で  $0.3 \sim 0.5 \text{ m/s}$  の減少、湾奥中央部で  $0 \sim 0.1 \text{ m/s}$  の増加したこと（図 3.6.17 参照）が報告されている。また、有明海湾奥部における潮流と浮泥輸送に関する数値実験結果から、ノリ養殖域やその沖側前面部分ではノリ養殖施設の流体抵抗によって、潮流流速や浮泥濃度が低減、抵抗が小さい船通し部分で上昇し、ノリ養殖施設が潮流や浮泥輸送の空間構造に影響している可能性が示されている<sup>\*1</sup>。



出典：滝川清[熊本大沿岸環境科学教セ], 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 3.6.16 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）

\*1. 八木宏, 瀬岡和夫[東京工大 大学院情報理工学研究科], 石田大暁[東京工大 大学院理工学研究科], 高橋亜依[国際航業], 田村仁[日本学術振興会], 小谷正幸[福岡県水産海洋技セ 有明海研](2004)：ノリ養殖施設の流体抵抗と潮流・浮泥輸送への影響, 海岸工学論文集 VOL. 51, pp.1026-1030

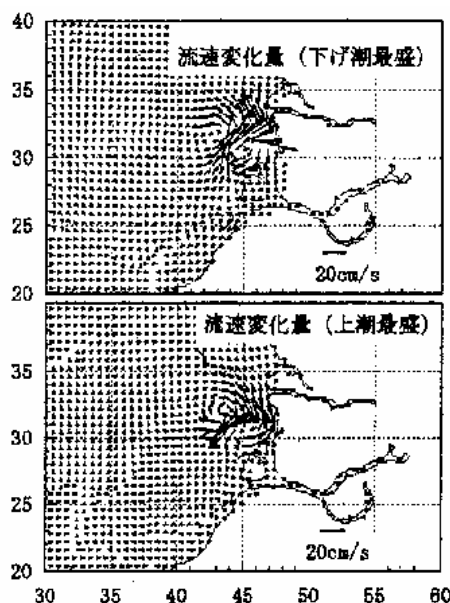


出典：千葉賢, 武本行正[四日市大環境情報]：諫早湾潮受け堤防の影響評価のための潮位観測値の分析と流況数値解析, 四日市大学環境情報論文, 第5巻, 第1・2号合併号, pp39-70

図 3.6.17 最大潮流速度の偏差分布(ノリ網の影響)

#### I) 熊本港建設による潮流流速への影響

- ・熊本港建設による影響については、数値シュミレーションの結果、熊本港の周辺で流速変化があるとの報告がある。  
→熊本港建設による港近傍の流況に対する影響は、港の周辺で 20~30cm/s の流速変化があり、潮位差への影響は±2cm 程度である(図 3.6.18 参照)。



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 3.6.18 熊本新港設置前後の流速変化量

#### 4) 潮流に関する提言

- 1) 物質輸送・海水交換の機能を有する潮流は、諫早湾・ノリ漁場・熊本新港等の地形変化や構造物等により変化し、その変化は局所的な環境に影響を及ぼすとともに、場合によっては有明海全体に影響を及ぼす可能性がある。

このため、潮流の構造の変化を正確に捉えるためにも、過去に実施された有用な観測データを活かした比較用現地観測や、面的あるいは線的な潮流の連続観測が必要である。このような観測結果を取得できるよう、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。

- 2) 1) の観測結果を活用することも踏まえ、現状を適切に反映した海底地形等の水深データ、潮流の局所的变化状況や密度成層等の水塊構造を再現できる空間分解能の高い流れのシミュレーションを実施できる計算機環境の整備が必要である。また、干拓事業や熊本新港等の地形変化、ノリ網の影響等の要因の影響について定量的な検討が必要である。

- 3) 潮流と有明海の環境（水質、底質、水産資源、底生生物等）との関係については、様々な時空間的スケールとの結びつきを考慮した詳細な検討が必要である。例えば、透明度、SS等と潮流の関係、シルト・粘土のような細かい粒子の挙動等が挙げられる。さらに、潮流は生物の生活史に深く関係しているため、潮流と生物との関係についても検討することが必要である。その際、底質・生物の応答性を考慮した蓄積的な影響にも注目することが必要である。以上のような検討は、有明海・八代海の再生のための施策の改善点や評価において重要である。

#### (3) 問題の概況、原因・要因・論点等の整理

上記内容を踏まえ、潮流・潮汐に関する問題の概況、原因／要因・論点等の整理結果は表 3.6.4 に示すとおりである。

表 3.6.4 問題の概況、原因・要因、論点等の整理：潮流・潮汐

| 問題の概況                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 原因・要因として指摘されている事項                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 論点、課題                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>&lt;有明海&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・有明海では <math>M_2</math> 分潮が卓越し、その振幅は <math>f</math> 値 (18.6 年周期、<math>\pm 3.7\%</math> 程度) により変化。</li> <li>・ <math>f</math> 値の変動を除いた <math>M_2</math> 分潮振幅はこの 20 年間減少傾向。</li> <li>・湾口の口之津と大浦の <math>M_2</math> 分潮振幅の減少率を比較すると、1997 年を境に大浦の振幅が急減しているとの解釈と変化傾向は明らかでないとの解釈が存在。</li> </ul><br><ul style="list-style-type: none"> <li>・潮流の一斉調査を海上保安庁が 1973 年と 2001 年に実施したが、変化傾向は得られなかった。</li> <li>・水産総合研究センターが 2001 年に実施した観測結果では、1973 年の海上保安庁の観測結果より流速は約 12% 低い値となった。</li> <li>・干拓事業により、諫早湾内、特に湾奥での潮流は減少。また、諫早湾口においては、南北で、上げ潮・下げ潮で潮流の変化が異なるとの報告がある。</li> <li>・潮受堤防建設後の島原半島沿岸の潮流流速が大幅に減少。この減少率は、締切による海面の減少率に比して大きいとの報告がある。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・有明海の潮汐振幅の減少要因に関する議論は、以下の 3 つに整理できる。             <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 有明海の海水面積の減少 (干潟・埋立など)</li> <li>(2) 有明海の平均水位の上昇</li> <li>(3) 外洋潮汐振幅の減少</li> </ol> </li> <li>・ <math>M_2</math> 分潮振幅の減少への上記 (1) の寄与は 1 ~ 5 割とする報告があり、その程度について見解が異なる。</li> <li>・平均水面は上昇 (1985 年から 2000 年までに 10cm 上昇)。</li> </ul><br><ul style="list-style-type: none"> <li>・1973 年と 2001 年の海上保安庁の観測結果は、河川流入量や水温などの相違から、重力循環流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評価するに至っていないと推測。</li> <li>・水産総合研究センターと海上保安庁の観測方法等が異なり、単純比較できないと推測。</li> <li>・平均入退潮量は干潟等による海面減少に応じて減り、場所によっては若干の増減があるが、断面平均的には流速は減少する。</li> <li>・ノリ網、港等の構造物の効果による局所的な流速変化の可能性が指摘されている。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・有明海に影響する外海の潮位観測。</li> <li>・ <math>f</math> 値の周期性、気象等のノイズを分離した潮位差の議論。</li> <li>・検討が不十分な干拓以外の内部要因 (ノリ網等) の定量的な検討。</li> <li>・シュミレーションの精度向上、数値モデルの高度化。</li> </ul><br><ul style="list-style-type: none"> <li>・流れの構造変化を正確に把握するため、面的、線的な連続観測が必要。</li> <li>・潮流の局所的変化、密度成層等の構造を再現できる空間分解能の高いシュミレーションの実施。</li> <li>・底質、水産資源等と潮流との時空間的な結びつき、底質・生物の応答性を考慮した蓄積的な影響の検討。</li> </ul> |