

II. 潮流の変動について

1. 有明海の潮流の状況

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を潮流と呼ぶ。従って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。しかし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。一周期後にずれた位置にまで運ぶ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。

有明海は大きな潮位差と発達した干潟とで特徴づけられる。有明海の潮汐は、主に早崎瀬戸から侵入する外洋の潮汐波に誘起されて大きな潮汐となる。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、湾奥へ向かって潮位差は大きくなっている¹⁾。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、湾口の潮位差がすでに大きい上に、半日周期の外洋潮汐が湾内に入ってきたときに、湾内水がこれに共振現象を起こすことが原因と考えられる。

海上保安庁の資料²⁾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常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³⁾。また、浅海部の観測¹⁾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、海上保安庁が夏の表層での恒流の分布図²⁾を作成している。これによると、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⁴⁾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。

以上のように、有明海の流動は大きな潮位差に伴う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。

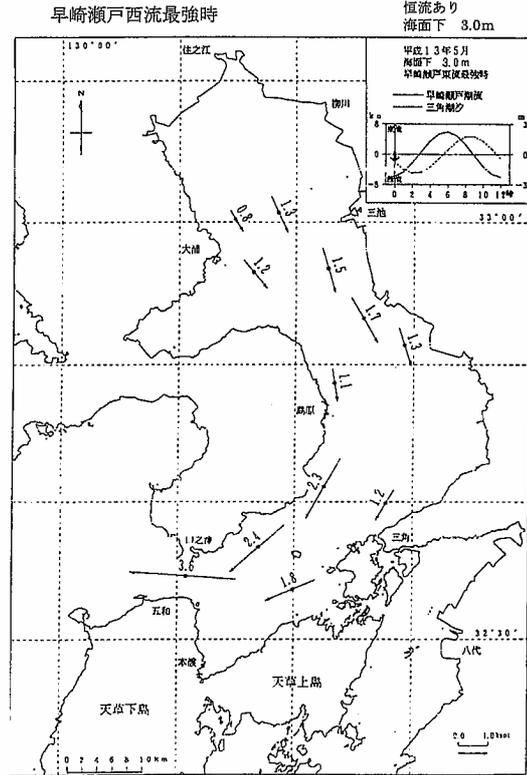
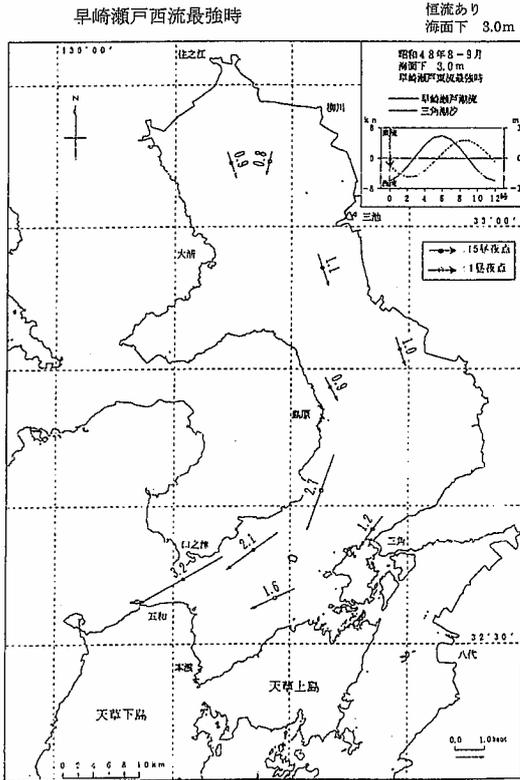
【参考資料】

- 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に引用
- 3) 海上保安庁(1974)：有明海・八代海海象調査報告書、39p. +別冊 15p. もしくは、上記文献1)のp. 841に引用
- 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

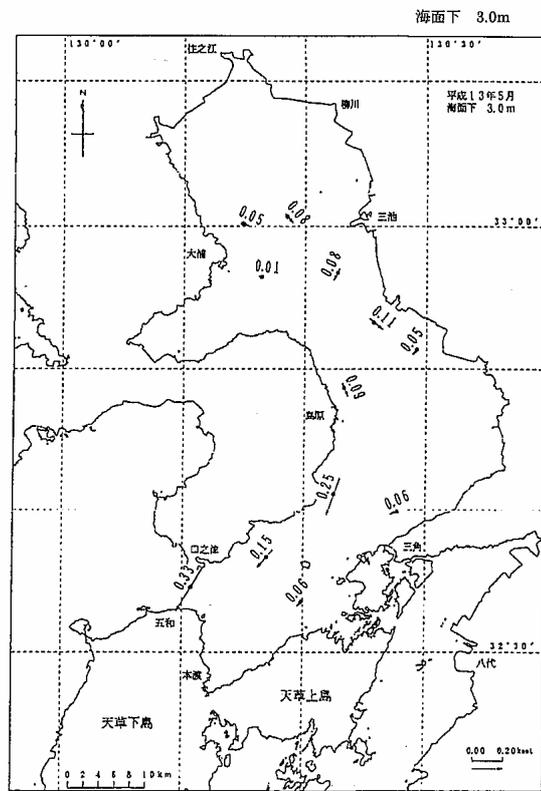
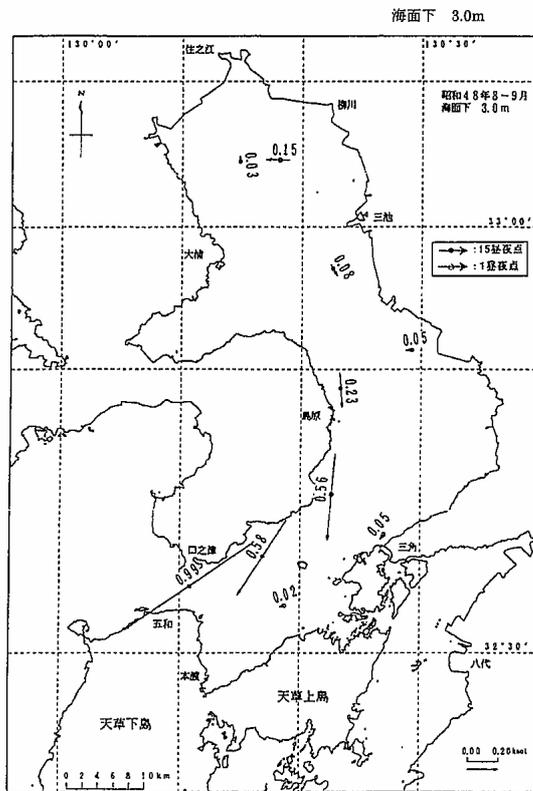
2. 潮流の比較 (p41 付図 3 参照)

- (1) 1973 年(昭和 48 年)と 2001 年(平成 13 年)の潮流観測結果の比較から、場所によって若干流速値が大きい傾向にあるが、ほぼ同等の潮流を示しているとの報告がある。一方では、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)の潮流流速は減少傾向であるとの報告もある

1973 年(昭和 48 年)と 2001 年(平成 13 年)の潮流観測結果の比較から、場所によって今回(2001 年)調査した方が若干流速値が大きい傾向にあるが、ほぼ同等の潮流を示している。(文献 8)



(出典：海上保安庁、有明海海域環境調査調査結果報告の概要、平成13年)
 図 2.2.2. 19 平均大潮期潮流図の比較 (海面下3m)：早崎瀬戸西流最強時



(出典：海上保安庁、有明海海域環境調査調査結果報告の概要、平成13年)
 図 2.2.2. 20 恒流図の比較 (海面下3m)

出典：文献8

平成 13 年 5 月の潮流観測結果と昭和 48 年 8, 9 月の結果を比較したところ、潮汐について指摘されているような一方的な減衰傾向は見られず、場所によって強くなっているところもあり、明確な変化傾向は得られなかった。しかしながら、島原半島に沿って南下する沿岸流の流速¹⁾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(測点 7 (島原沖)の 10m 層の潮流は顕著な変化はないものの、3 m 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)が現れていた。(文献 41)

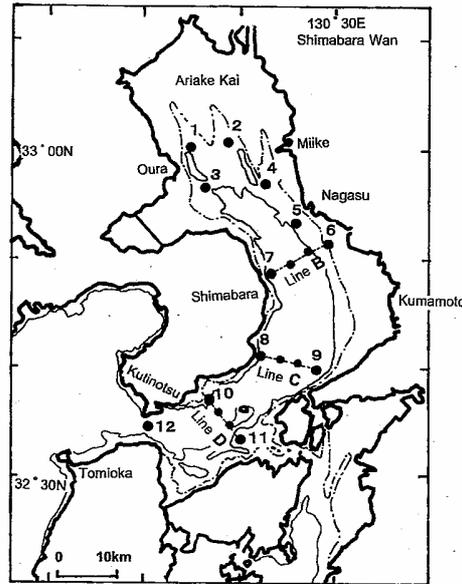


Fig. 1b. Tidal current stations and CTD observation lines in May 2001.

出典：文献 41

『今回の新旧潮流観測結果の違いは、淡水流入条件による重力循環(密度流)の違いによる可能性が大きいですが、淡水流入は季節や日々の気象によって大きく変化し、毎年の違いも大きいので、この違いが経年的な長期変化かどうかは、今のところ判断できない。また、平均流についても、場所によっては 15 日平均よりも数日程度の短期変動の方が大きく、また上下層での違いが顕著になる場合もあり、このような変動が、風などの気象条件によるものか、密度流の変化に起因するものか、今後、さらに検討する必要がある。また、場所や水深による違いも大きいと考えられるので、今回のような鉛直 2 次元の考察ではなく、3 次元的な考察を進める必要がある。(文献 41)』

1) 流速は 15 日間の平均流速(恒流)である。

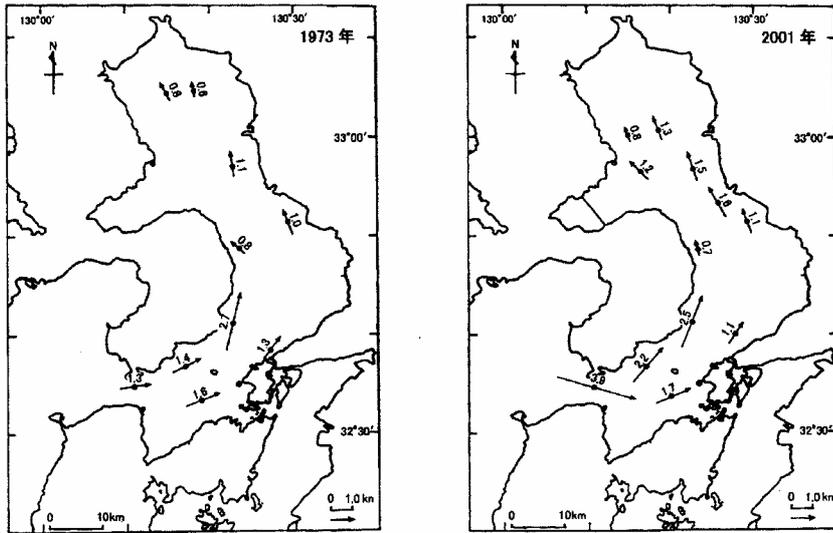


Fig. 7-1. Comparison of flood tidal currents 3m below the sea surface in the mean spring tide condition of M_2+S_2 , not including the mean current. Left : 1973 and Right : 2001.

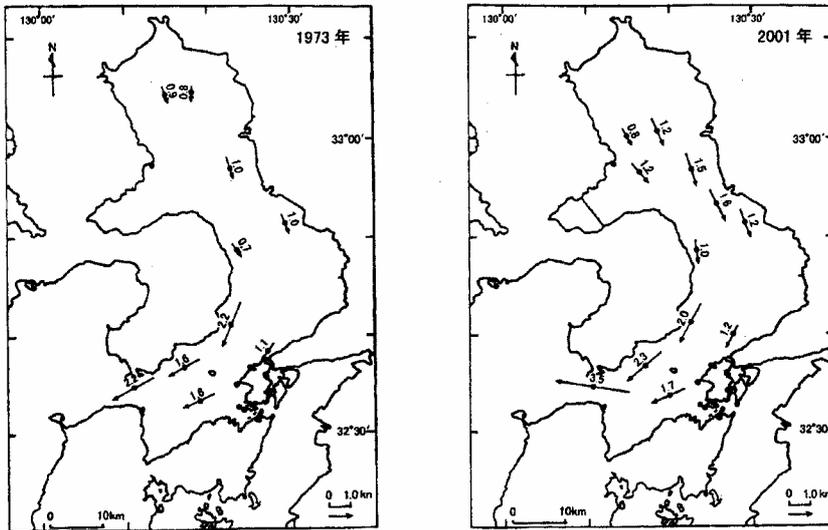


Fig. 7-2. Comparison of ebb tidal currents 3m below the sea surface, in the mean spring tide condition of M_2+S_2 , not including the mean current. Left : 1973 and Right : 2001.

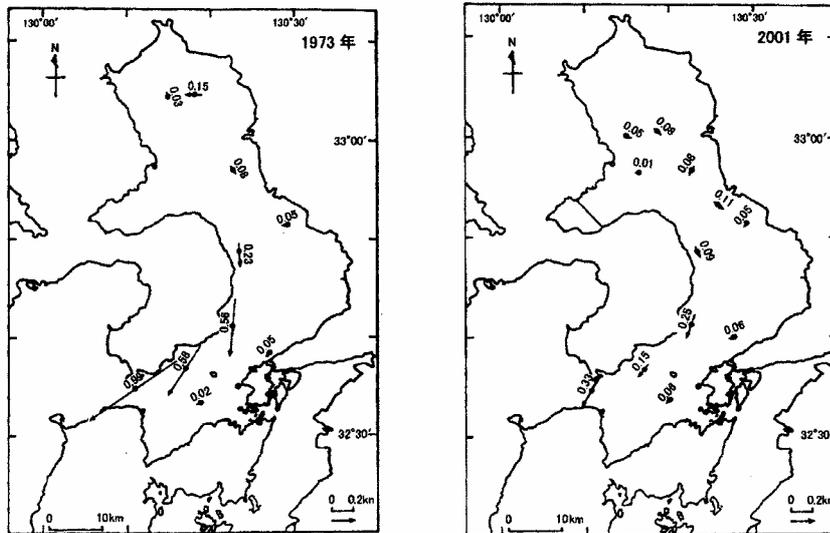


Fig. 8. Comparison of mean currents 3m below the sea surface, averaged 15 days. Left : 1973 and Right : 2001.

出典：文献 41

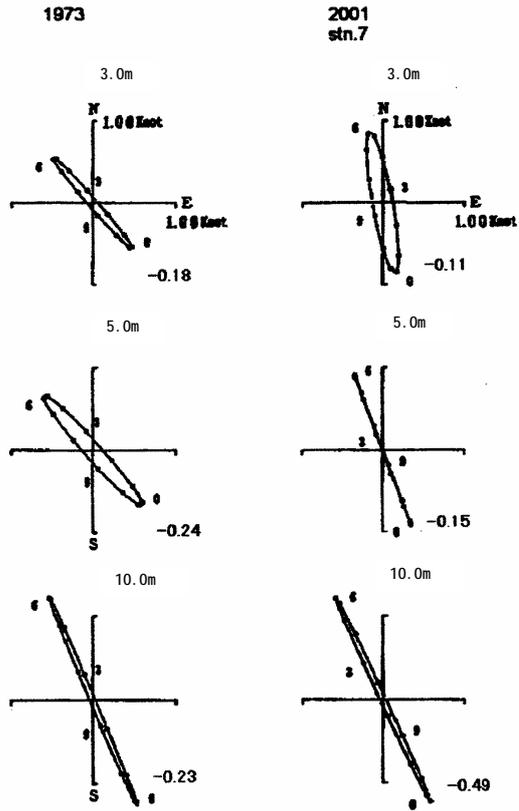


Fig. 10-2. Same as Figure 10-1 except for at station 7, off-Shimabara.

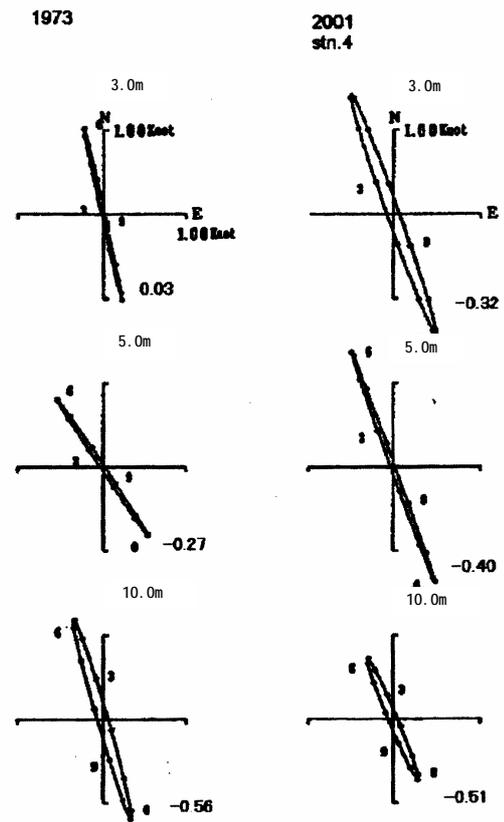


Fig. 10-1. Comparison of vertical distribution of semi-diurnal tidal current ellipses 3m, 5m and 10m below the sea surface in the mean spring tide condition of M_2+S_2 at station 4, off-Miike. Left: 1973 and Right: 2001. Attached figure to the ellipse means tidal current phase difference in hour referred to Hayasaki Seto.

出典：文献 41

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)の流れは約12%低い値を示した。但し、両者の測定方法等が異なるので、単純に比較はできない。(文献9)

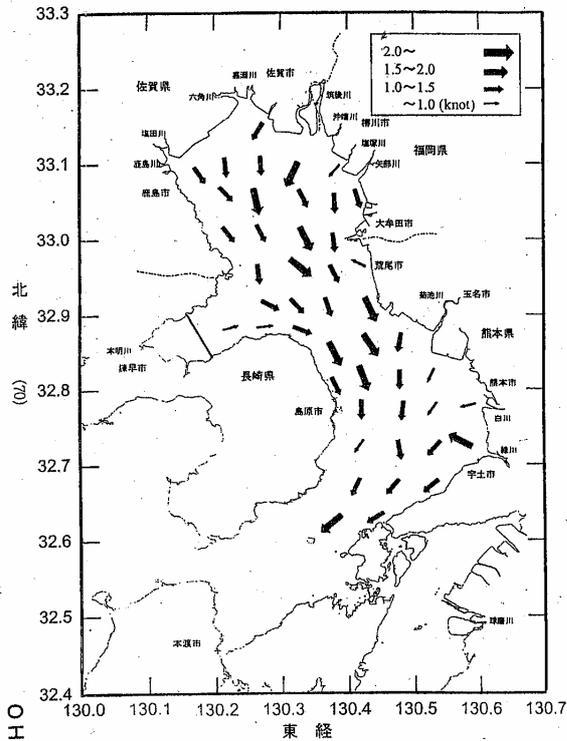


図4 平成13年下げ潮時の流速水平分布図
(西海区水研・有明4県より改変)

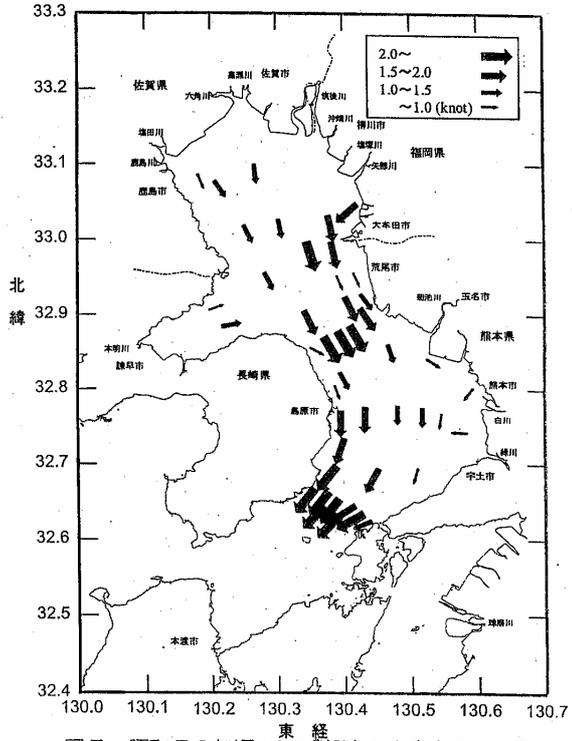


図5 昭和50年頃の下げ潮時の流速水平分布図
(海上保安庁1978より改変)

OHP 2

OHP 2

出典:文献9

3. 潮流流速の変化要因とその影響 (p41 付図 3 参照)

< 潮流流速の変化要因とその影響の概況 >

有明海における潮流は、基本的に外力としての外洋の潮汐による有明海の応答として発生するもので、外海の潮汐振動に対する振動応答として捕らえる必要がある。

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、有明海の入退潮量は平均でおおよそ1億2,000万 ton 減少し、そのために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:流速の計算方法は巻末の“参考”参照)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%、島原-熊本ラインより奥部の面積減少率を約3.6%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、3.8%(時間・断面平均的な流速として約1.2cm/sの減少)程度と概算される。但し、有明海最奥部では諫早締め切りによる入退潮量の減少は生じないため、断面平均的な流速の減少も生じない。

さらに、有明海湾内の平均水位の上昇と外海の潮汐振幅の減少は、有明海の潮流振幅を減少させ、潮流流速の低下要因となる。

なお、潮流流速はノリ網、海底地形の変化、海岸線の形状などの局所的な影響も受ける。恒流成分などは河川流量、密度成層、風及び海水温の上昇、さらには内部潮汐などが影響する。そのため、潮流流速の減少率は断面平均的には上述の減少率となるが、場所や日によりバラツキが生じることがある。今後、潮流の変動原因の影響量は、シミュレーション及び現地観測等によって定量的に明らかにしていくことが重要である。

- (1) 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。

大潮最大流速の潮受堤防の締め切り前後における変化率を求めると堤防前面では 80 ~ 90%もの顕著な流速の減少が生じ、諫早湾口でも 10 ~ 30%減少していることが認められる。このように顕著な潮流の減少は、明らかに堤防の締め切りの効果である。(文献 28)

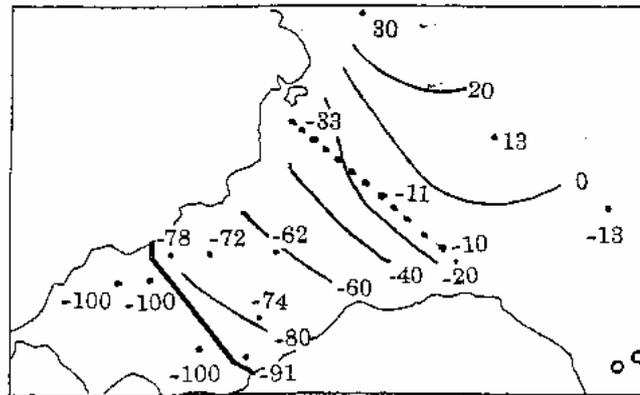
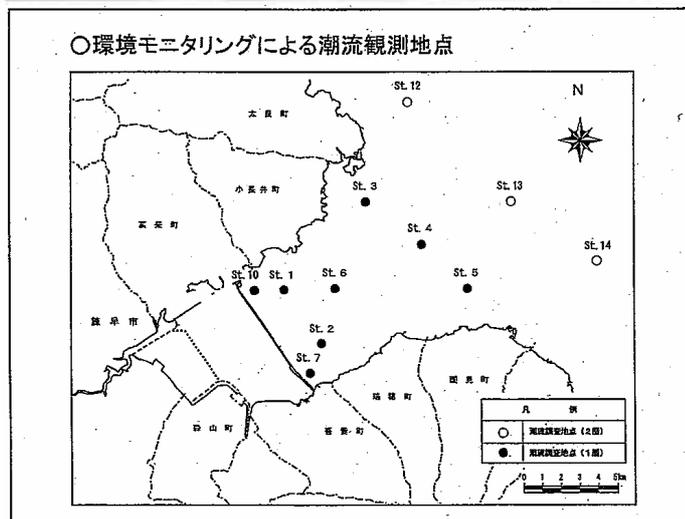
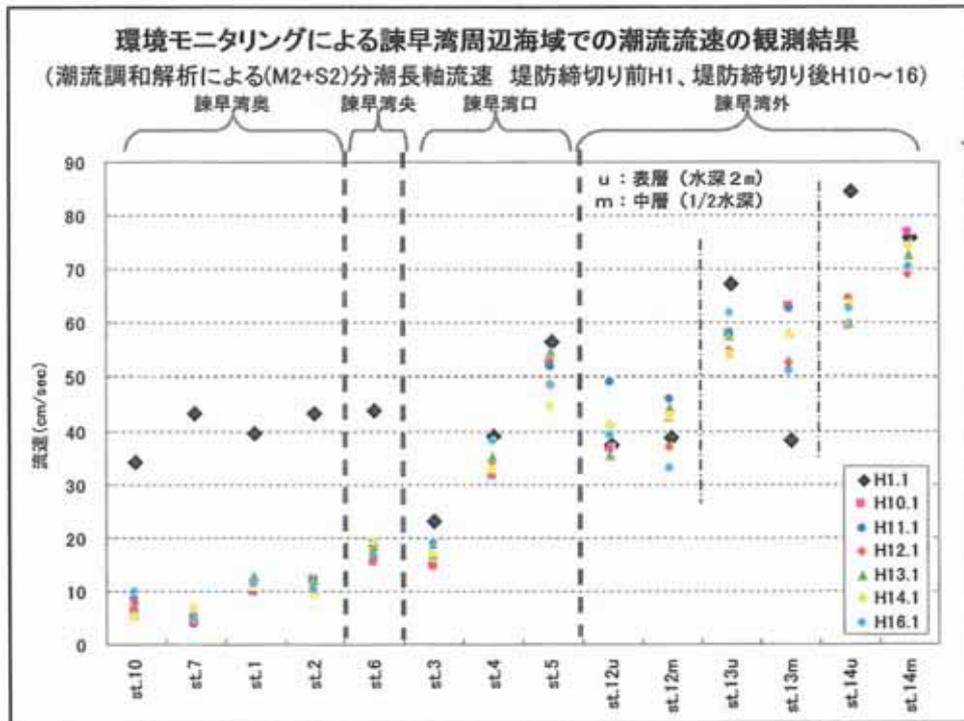


Fig. 4 Difference in percentages of the maximum spring tidal currents observed before and after the construction of the sea dike, minus indicating a decrease in velocity; after Unoki⁵⁾. Two white circles show the tidal current stations observed by Komatsu's research group¹⁸⁾.

出典 :文献 28

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中央部では、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、湾奥部や湾中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。(文献10)



出典:文献10

数値シミュレーション(平成12年1月)を用いて、潮流ベクトルと平均流ベクトルで潮受堤防の有無による影響を比較したところ、影響は諫早湾周辺海域にとどまっていた。(文献6)

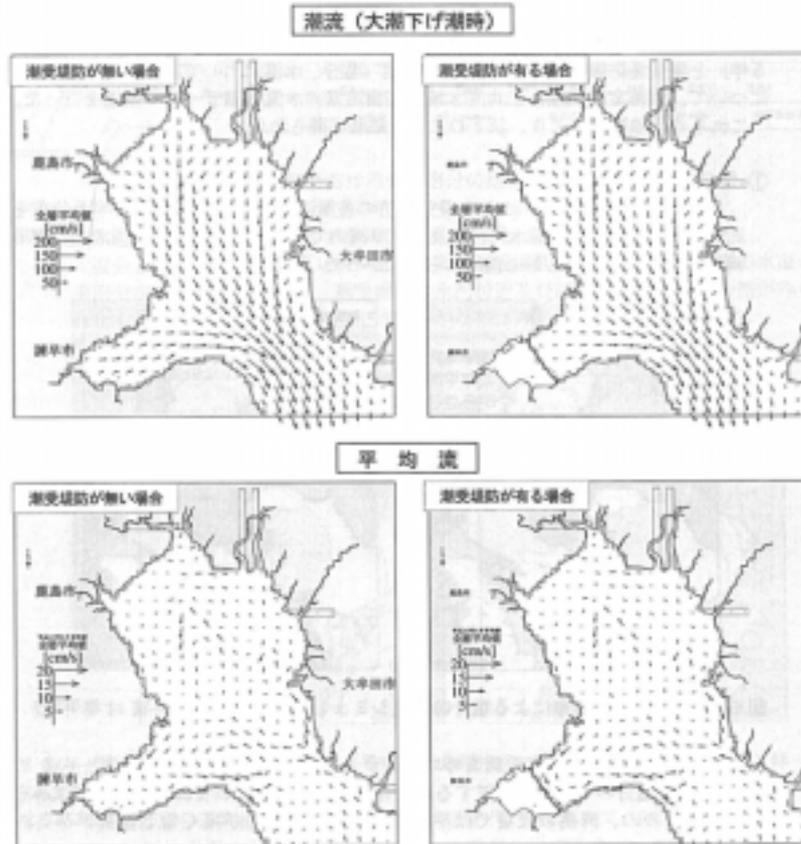


図6-8 有明海湾奥における潮流及び平均流のベクトル分布
(全層平均、平成12年1月)

出典:文献6

諫早湾堤防の流れへの影響について、堤防の有無による諫早湾内の流れの変化を比較するため、夏季と冬季における堤防の有無による流速をみると、夏季・冬季ともに堤防が存在した場合の流れが遅くなっている(-0.05~-0.5m/s)。(文献35)

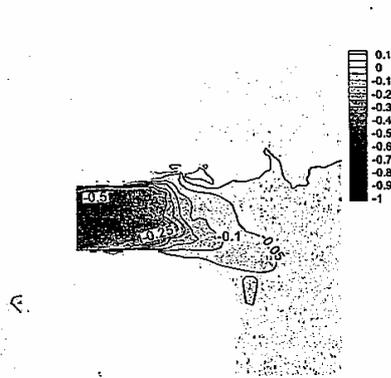


Fig.5 Difference of maximum velocity with/without the dike in winter, $V_{with} - V_{without}$ (m/s)

出典:文献35

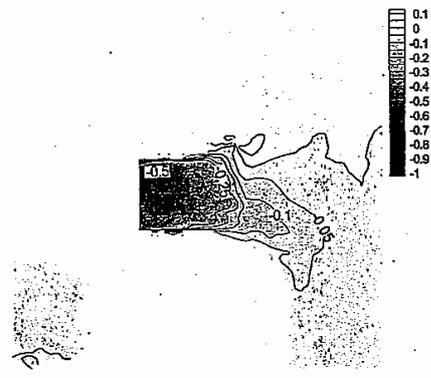
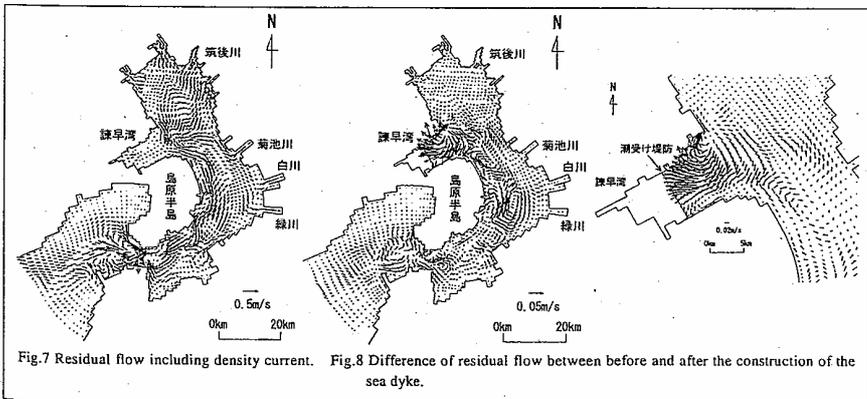
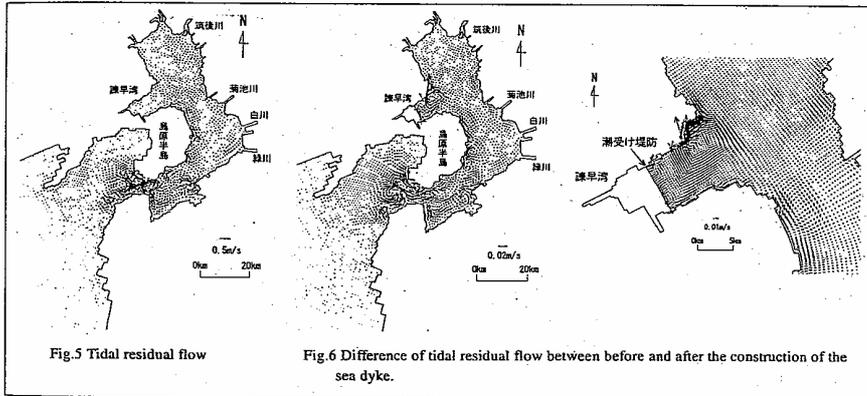
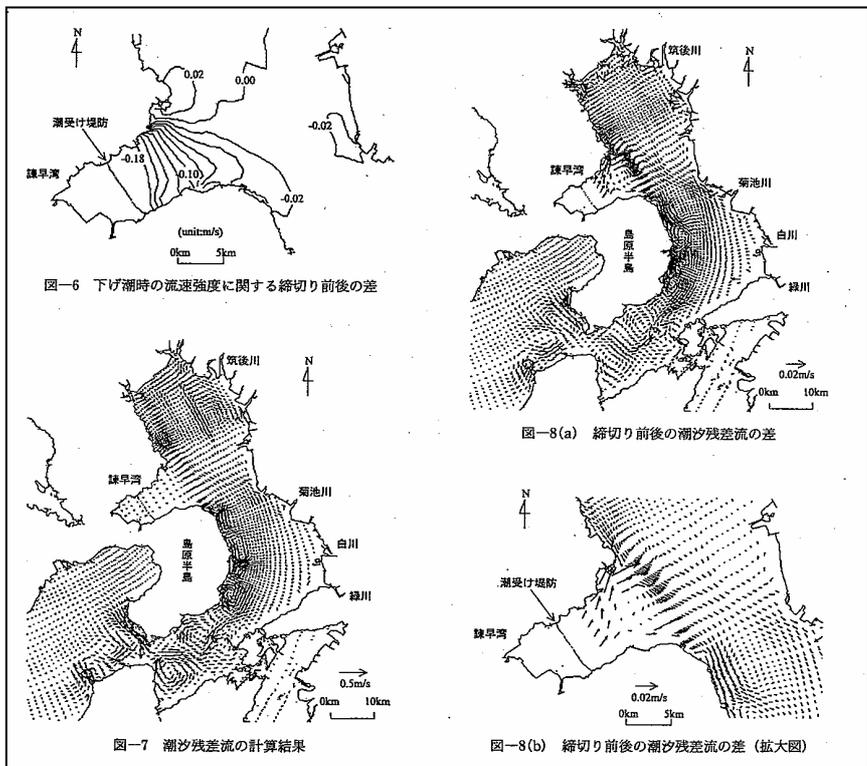


Fig.6 Difference of maximum velocity with/without the dike in summer, $V_{with} - V_{without}$ (m/s)

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。(文献 17, 18)



出典:文献 17



出典:文献 18

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、潮受堤防建設による潮流の減少率は約21~27%であり、この期間の潮位変動のR.M.Sの変化が2.4%程度であったにもかかわらず流速は大幅に減少した。(文献21)

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、潮流流速の減少率(約21~27%)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出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。(文献21)

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、潮流のM₂潮の潮流楕円の長軸が、P1水深5m、P2水深5m、20mでそれぞれ10.4%、27.8%、26.7%減少していることが確認された。また、締切後に長軸が南北方向にずれており、諫早湾への入退潮量の減少によって諫早湾の湾軸である東西方向の潮流が相対的に弱くなったためと考えられる。(文献21)

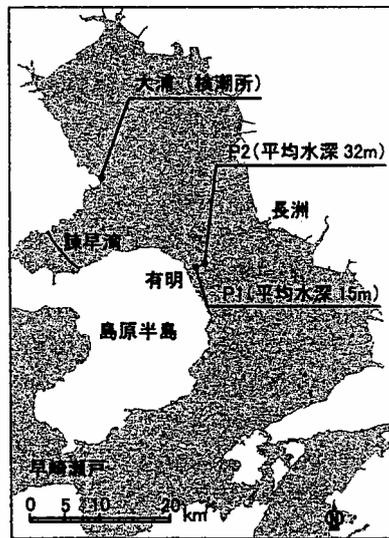


図-1 観測実施位置の概略図

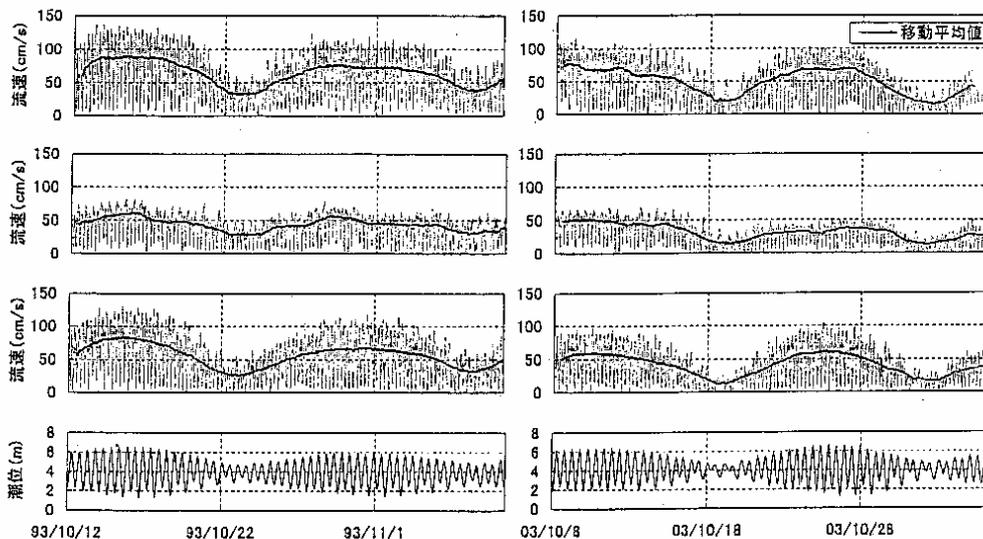


図-6 観測結果の時系列(左図:1993年10月12日~11月10日、右図:2003年10月9日~11月7日)
(上段より、P1(水深5m)、P2(水深5m)、P2(水深20m)における水平流速の絶対値、潮位)

出典:文献21

表-2 各測点における調和定数（振幅のみ）

	P1		P2			
	水深5m		水深5m		水深20m	
	N-S流速 (m/s)	E-W流速 (m/s)	N-S流速 (m/s)	E-W流速 (m/s)	N-S流速 (m/s)	E-W流速 (m/s)
1993年観測						
M ₂	61.877	38.076	40.406	34.317	63.341	38.93
S ₂	29.668	17.271	16.719	14.205	29.207	21.93
K ₁	6.312	3.22	2.873	2.282	6.398	3.937
O ₁	8.776	2.212	3.97	2.393	4.922	3.654
2003年観測						
M ₂	56.282	27.437	29.744	21.651	48.915	18.649
S ₂	33.411	17.274	18.903	12.137	30.747	14.045
K ₁	5.657	1.591	3.584	3.368	6.385	1.721
O ₁	4.984	1.019	2.979	1.574	4.144	1.909

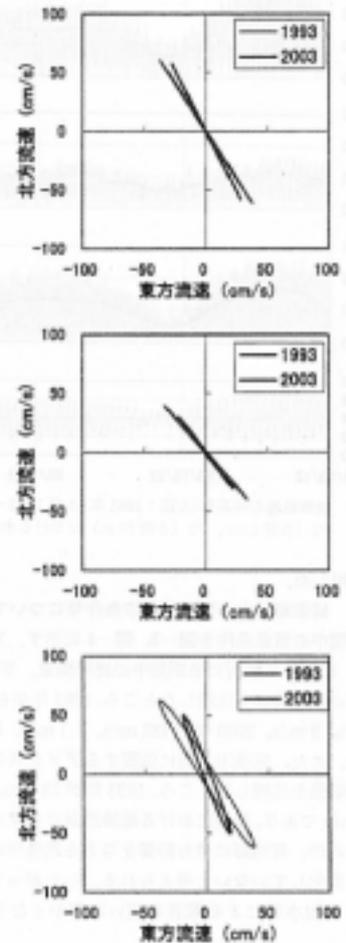
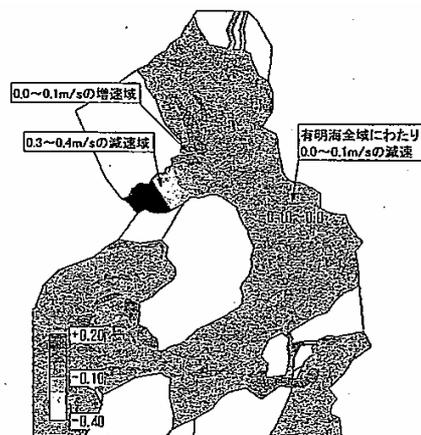


図-7 M₂潮潮流程の比較（上段から、P1（水深5m）、P2（水深5m）、P2（水深20m））

出典：文献 21

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0.3~0.4m/sの減少があり、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こと（0.0~0.1m/sの減速）が分かる。（文献 38）



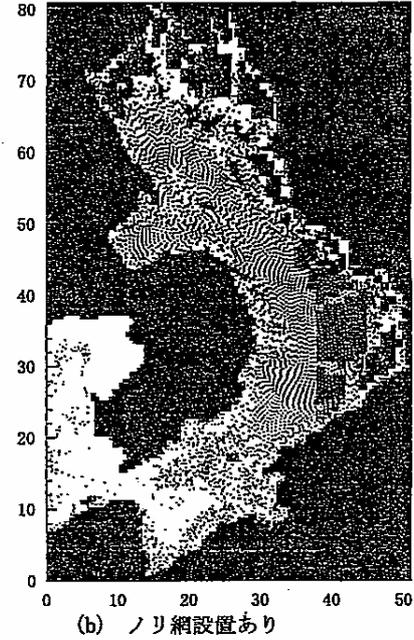
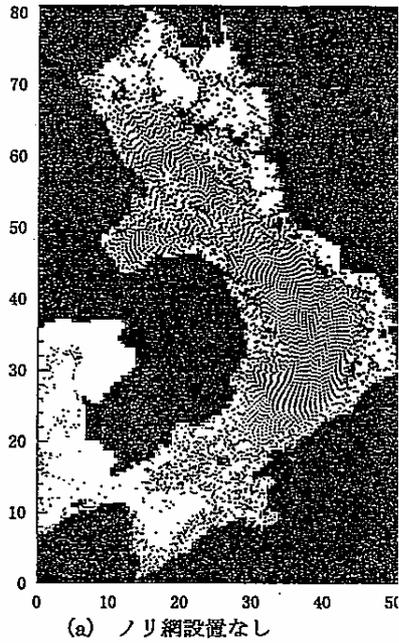
(a) 潮受け堤防の影響（ケース3Bとケース3Aの差）

図5-16 最大潮流速度の偏差分布、流速の単位はm/s。

出典：文献 38

(2) ノリ養殖施設による潮流流速への影響についてみると、数値シミュレーションでは湾奥ではノリ養殖域やその沖側前面部分で潮流流速が減少、ノリ漁場間にある船通し部分や湾奥中央部（ノリ養殖域ではない）では潮流流速が増加するとの報告もある。また、湾中央部においても潮流流速が減少するとの報告もある。

ノリ網の影響も無視できず、特に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。(文献7)



図一10 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：文献7

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を示した。(文献 26)

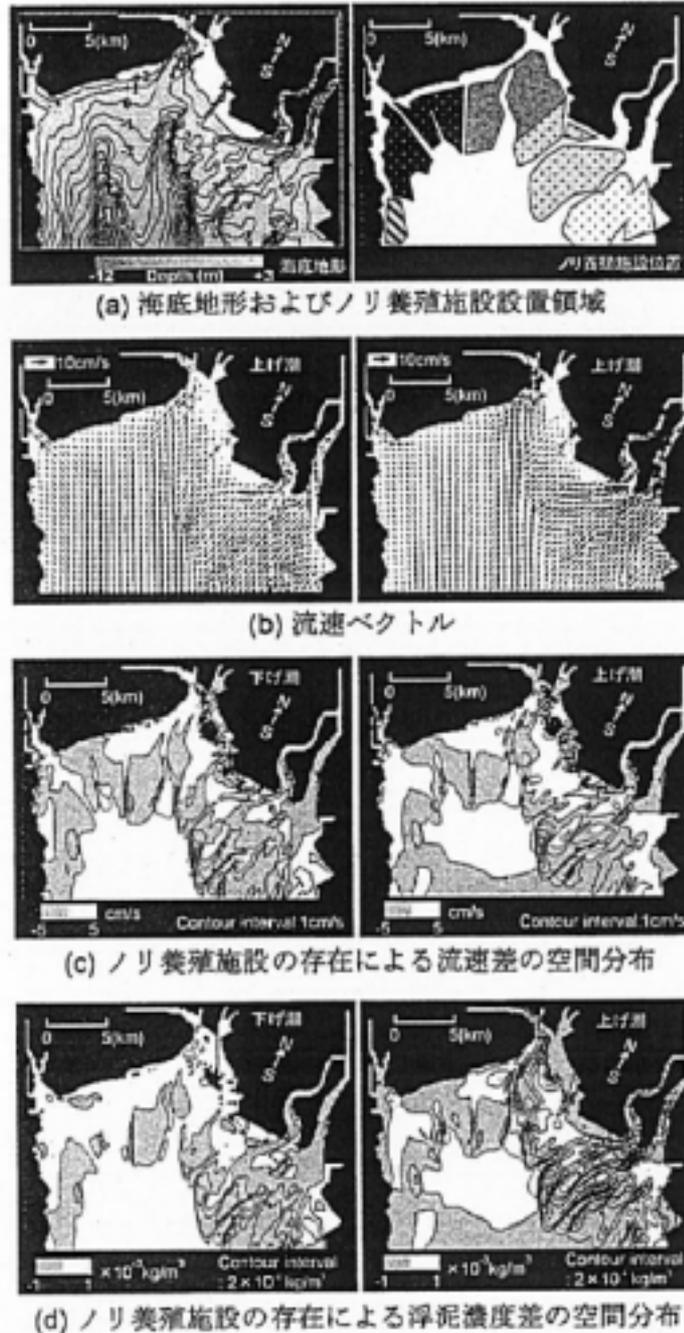
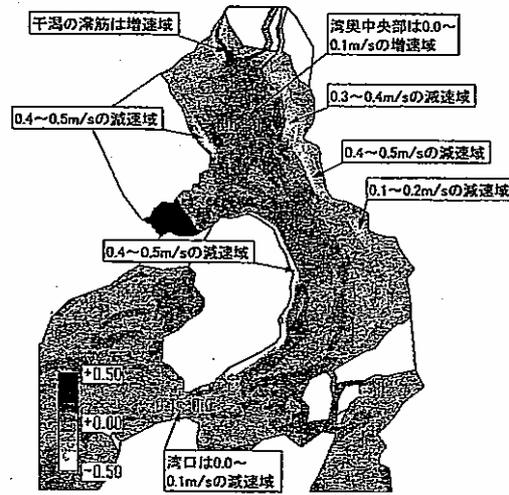


図-8 ノリ養殖施設の存在による流速差・浮泥濃度差の空間分布 (左図：下げ潮時(満潮後2.1時間)、右図：上げ潮時(満潮後11.5時間)、図中のハッチ部は流速・浮泥濃度が減少した領域)

出典：文献 26

ノリ網の潮汐流へ及ぼす影響は大きく、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 $0 \sim 0.1\text{m/s}$ の増加という結果になった。(文献 38)



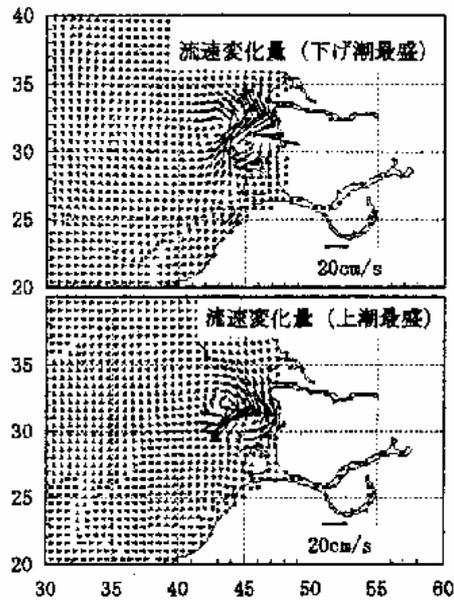
(b) ノリ網の影響 (ケース6Bとケース3Bの差)

図5-16 最大潮流速度の偏差分布、流速の単位はm/s。

出典 文献 38

(3) 熊本港建設による潮流流速への影響についてみると、熊本港の周辺では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 $20 \sim 30\text{cm/s}$ の流速変化があり、潮位差への影響は $\pm 2\text{cm}$ 程度である(文献 7)

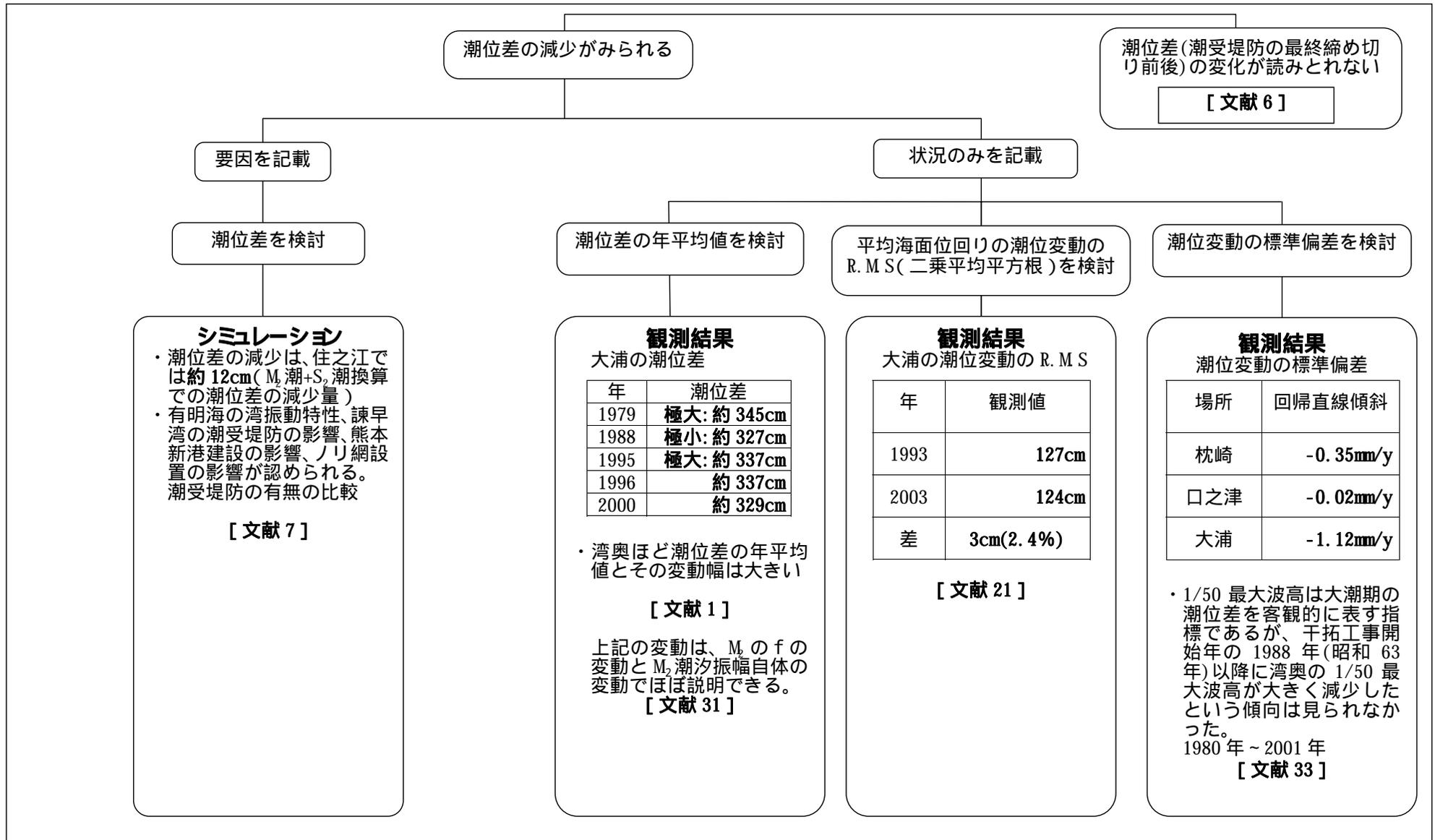


図一9 熊本新港設置前後の流速変化量

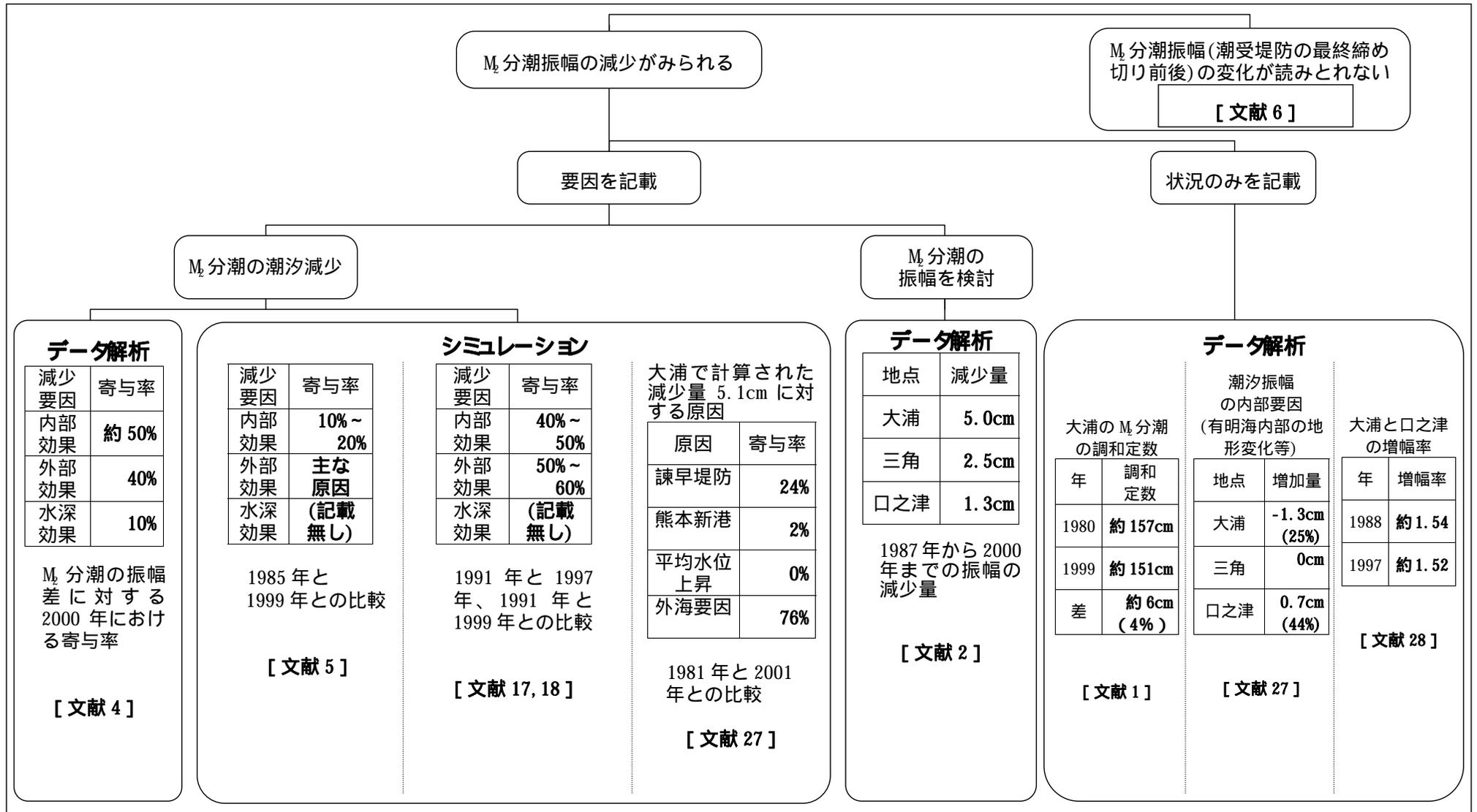
出典 文献 7

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、潮流の局所的変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。

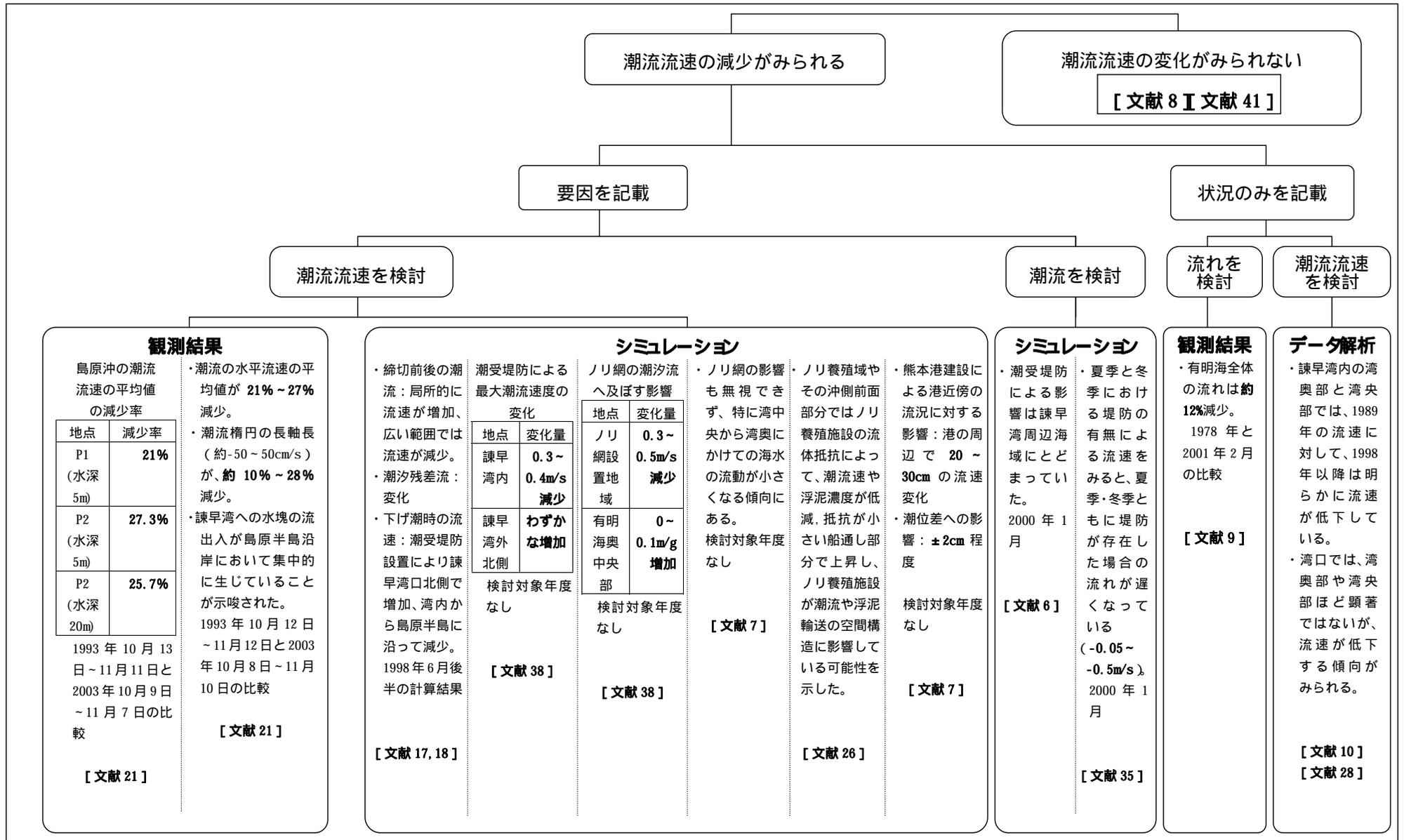


付図 1 潮位差に関する文献の比較



注) 1. 図中の、内部効果は干拓事業等に伴う地形変化の効果、外部効果は外海の潮汐減少の効果、水深効果は浚渫や浅瀬喪失に伴う水深増大の効果を示す。
 2. “文献32”はM₂分潮の係数f(18.6年周期)について、“文献33”は有明海の潮位応答の振幅依存性について述べているため整理の対象から外した。

付図 2 M₂分潮振幅に関する文献の比較



潮流流速を検討

シミュレーション

- 潮受堤防による港近傍の流況に対する影響：港の周辺で **20～30cm** の流速変化
- 潮位差への影響：**±2cm** 程度

検討対象年度なし

[文献 7]

流れを検討

観測結果

- 有明海全体の流れは約 **12%** 減少。
- 1978年と2001年2月の比較

[文献 9]

潮流流速を検討

シミュレーション

- 潮受堤防による影響は諫早湾周辺海域にとどまっていた。
- 2000年1月

[文献 6]

潮流流速を検討

データ解析

- 諫早湾内の湾奥部と湾中部では、1989年の流速に対して、1998年以降は明らかに流速が低下している。
- 湾口では、湾奥部や湾中部ほど顕著ではないが、流速が低下する傾向がみられる。

[文献 10]
[文献 28]

付図 3 潮流の減少に関する文献の比較