

有明海潮流に関する最近の成果

九州大学大学院工学研究院

小松利光

内 容

1. 有明海の潮流の特性
 - 1.1 有明海の地形変化
 - 1.2 潮位振動について
 - 1.3 入退潮量について
 - 1.4 減衰系としての有明海
2. 現地観測結果による比較
 - 2.1 海上保安庁による観測
 - 2.2 その他の現地観測
 - 2.3 シミュレーションとの関係
3. まとめ

1. 有明海の潮流の特性

1.1 有明海の地形変化

長年に渡る干拓・構造物の築造



海表面積の減少

(特に1997年の諫早湾の締切りによるステップ的減少)

1.2 潮位振動について

潮位振幅は減少傾向

(1) 月の昇交点の黄経の長周期変動(約18.6年の周期)

(2) 平均水位の上昇

(3) 外力としての外海の潮位振幅の減少

(4) 内湾海表面積の減少による固有振動周期の減少 ← M_2 潮周期とかけ離れてくる

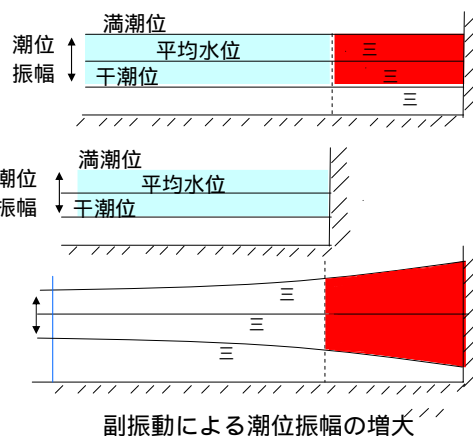


全ての要因が潮位振幅を減少させる方向に働いている

1.3 入退潮量について

湾内での潮流の起動力は入退潮量で決まる

入退潮量は潮位振幅と湾内海表面積によって決定される



入退潮量の加速度的減少

諫早干拓締切り後の有明海の入退潮流の変化（断面平均）

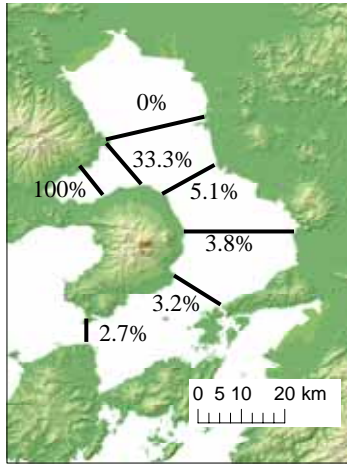


図-1 潮位振幅が同じ場合
の入退潮量の変化

潮位振幅も減少すると
更に入退潮量が減少



潮流の更なる減少

ex. 1993年 2003年

平均の潮位変動は2.4%減少

有明 - 長洲の線では、5.1%+2.4% = 7.5%減少

1億8000万tonの入退潮量の減少となり、

8200ton/秒の平均的減少となる。

潮位振幅が減少した場合

ほとんど線型的にその分が上乘せられて減少する

**有明海の潮流は干拓締切りにより
減少系となっている（大前提）**

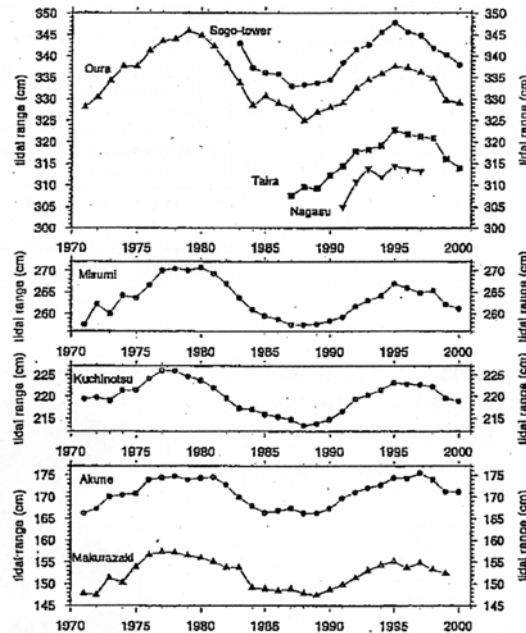


図-2 潮差の経年変動

1.4 減少系としての有明海の潮流

(1) 干拓・埋立・締切り等による海表面積の減少 入退潮量の減少



断面平均的流れの減少・・・ 減少系（本質）

(2) 一方、ノリヒビ・熊本新港・風・密度流・・・ 一時的・局所的に効いてくるが、断面内では必ず補償する効果が生じてくる。

この(1)と(2)をきちんと立て分けて考えないといたずらに混乱を招くことになる。
今後HFレーダーや他の新しい観測機器により、より詳細な計測が可能となってくる。

2. 現地観測結果による比較

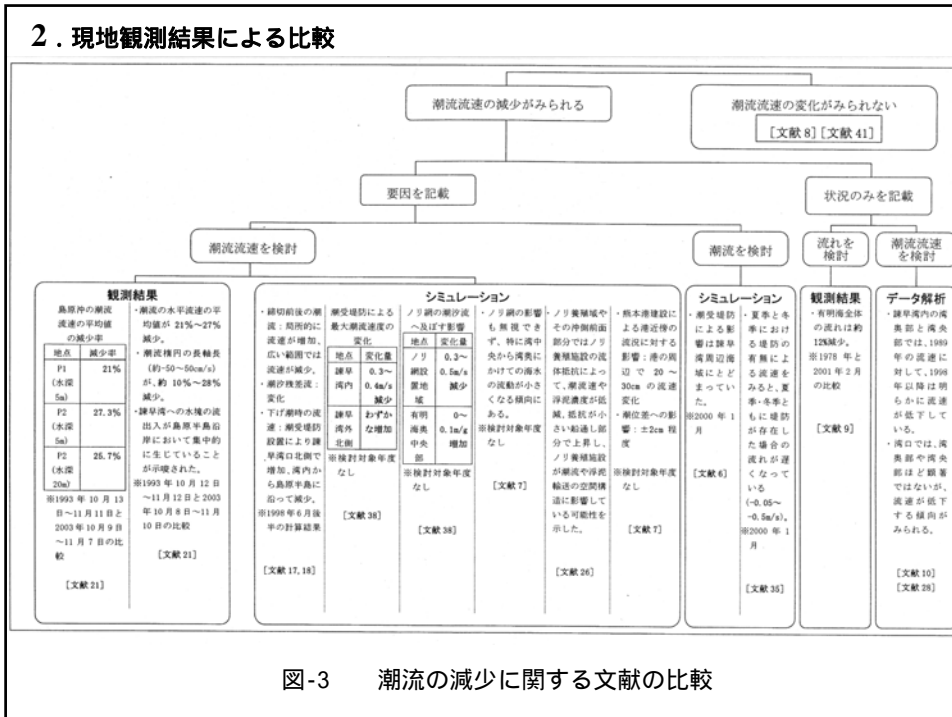


図-3 潮流の減少に関する文献の比較

2.1 海上保安庁による観測

国調費による小田巻・大庭・柴田の観測（海洋情報部研究報告2003年）

- 1973年(昭和48年) 8, 9月に海上保安庁水路部が実施
- 2001年(平成13年) 5月に小田巻らが実施

計12点で、測点はできるだけ前回の近傍とした。
水面下3mで小野式プロペラ流速計を用いる。15昼夜連続観測



その結果、「潮流については、場所によって強くなっているところも弱くなっているところもあり、必ずしも減衰しているとは言えなかった」
.....

『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。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）』

潮流WGの中間報告：（細川委員）この2回の観測結果から地形の変化のみの効果を取り出して評価するということまで至っていない。

小田巻らの観測の問題点

- (1) 前後の観測で約30年もの期間があり、その間には諫早干拓事業が始まる前に、他の干拓、埋立、浚渫、海底炭鉱の陥没などの各種の地形変化が起こっている。
- (2) 両観測においてほぼ同一地点で比較が可能と思われる観測地点は6点のみであって、これらは諫早湾から離れた有明海の南半分に片寄っている。肝心の北半分の議論ができない。
- (3) 結論の「必ずしも減衰しているとは言えなかった」ではなく、むしろ平均的には2001年の方が大幅に増えており、前述の減少系であることを考えるとあり得ない比較となっている。

ex.	上げ潮		下げ潮
	1.3m/s	3.9m/s	2.2m/s 3.5m/s
	1.4m/s	2.2m/s	1.6m/s 2.3m/s
	1.1m/s	1.5m/s	1.0m/s 1.5m/s

特に下げ潮では6測点中5点で増加

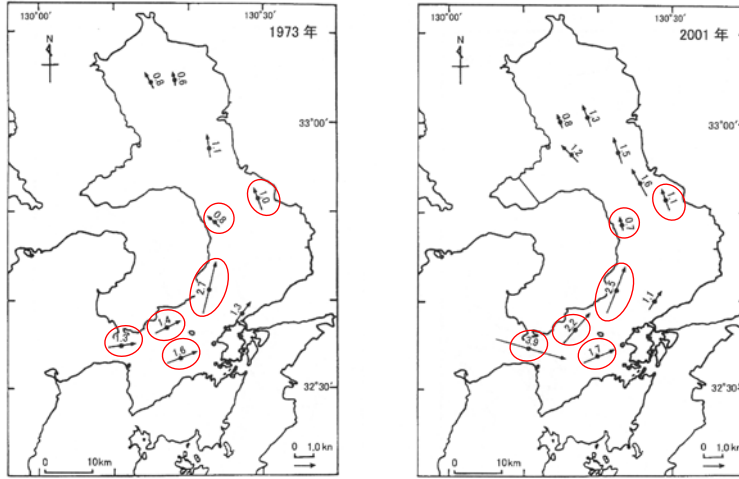


Fig. 7-1. Comparison of flood tidal currents 3m below the sea surface in the mean spring tide condition of M_2+S_2 , not including the mean current. Left : 1973 and Right : 2001.

(上げ潮期)

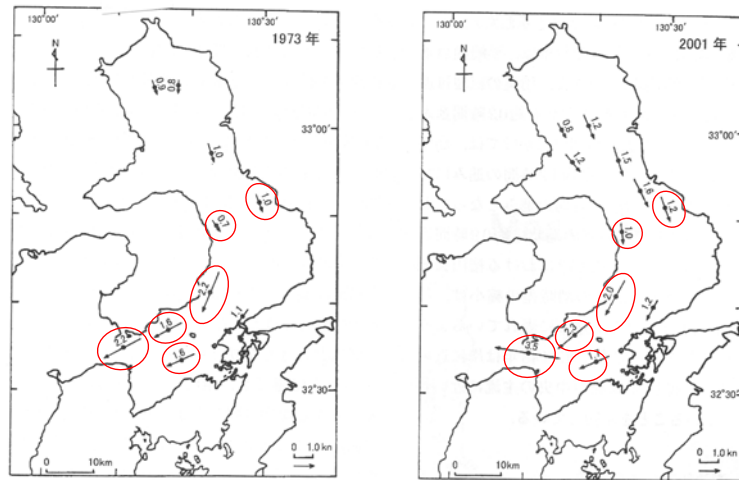


Fig. 7-2. Comparison of ebb tidal currents 3m below the sea surface, in the mean spring tide condition of M_2+S_2 , not including the mean current. Left : 1973 and Right : 2001.

(下げ潮期)

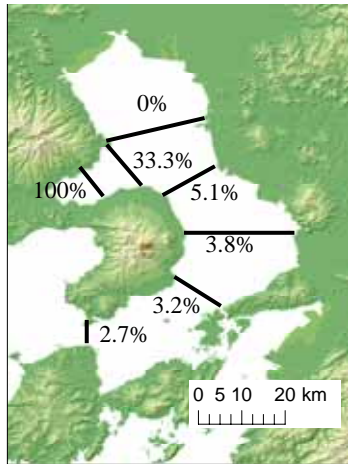


図-1 潮位振幅が同じ場合
の入退潮量の変化

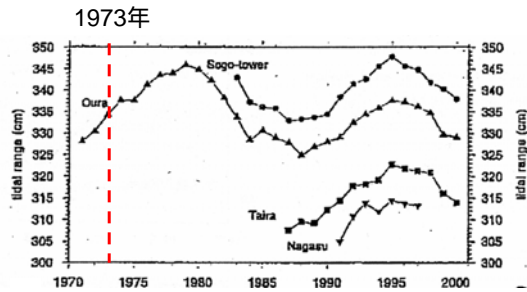


図-2 潮差の経年変動

では何が問題だったのか？

観測季節の違いにより比較不能な観測結果となっている。

1973年 8, 9月 (夏) } 各断面の水温・塩分分布を比較すると全体的に
2001年 5月 (春) } 2001年は約8℃低温、1psu高塩分であった。

河川流量 1973年 9月 1日～11日 流量平均 207m³/s }
2001年 5月 12日～24日 流量平均 47m³/s } **4.4倍**

1973年8, 9月の観測は密度成層の効果を強く受けていた。
流速の鉛直プロファイルもそれを示している。
水面下3mの一点では比較できない。

従って、今回の小田巻らの観測はたとえ観測そのものが正しかったとしても、前提となる観測背景の条件の違い過ぎにより、
『比較できない(比較してもものを言っははいけない)データであった』

正確な比較のためには、できるだけ前提条件を同じにして細心の注意を払った観測が必要となる。

2.2 その他の現地観測

潮流の定点観測実施海域の概略



観測海域

P61: 32° 51' 58" N, 130° 20' 58" E

平均水深15m

P62: 32° 52' 23" N, 130° 21' 54" E

平均水深32m

P41: 32° 41' 23" N, 130° 23' 49" E

平均水深47m

P43: 32° 45' 30" N, 130° 25' 52" E

平均水深48m

観測期間

P61, P62

2003年10月8日～11月10日の34日間

P41, P43

2004年4月22日～5月22日の31日間

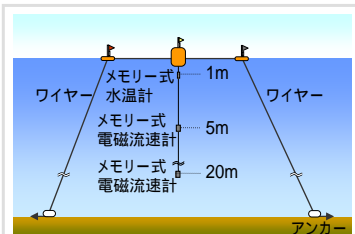
観測項目

電磁流速計による流速・流向の測定 (10分間隔)

(P62,P41,P43:水深5m, 20m, P61:水深5m)

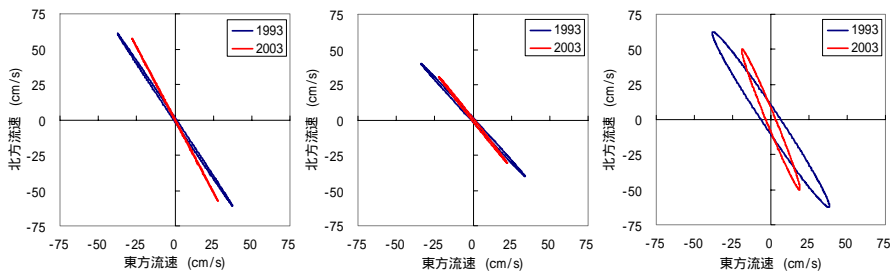
メモリー式水温計による水温の測定 (10分間隔)

(P61,P62,P41,P43:水深1m)



観測結果の概要 (M₂潮の潮流楕円)

(1993年に同じ測点で実施された西ノ首らの観測結果と比較)



右:P61(水深5m) 中央:P62(水深5m) 左:P62(水深20m)

北方流速の減少率が、

P61(水深5m)で9.0%、P62(水深5m)で26.4%、P62(水深20m)で22.8%

であったのに対して、東方流速の減少率は、

P61(水深5m)で27.9%、P62(水深5m)で36.9%、P62(水深20m)で52.1%

であり、潮流の流向に変化が生じていることが確認された。

また、長軸長の減少率は、

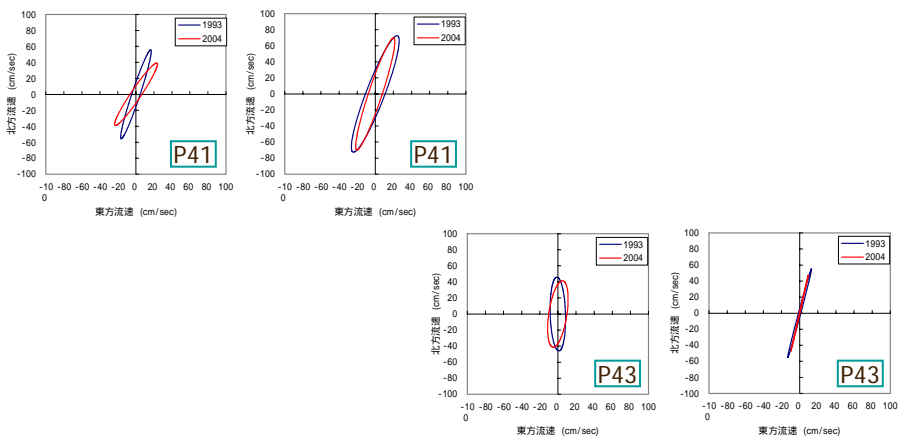
P61(水深5m)で10.4%、

P62(水深5m)で27.8%、(水深20m)で26.7%

であった。

(減少率は調和解析結果より算出した。)

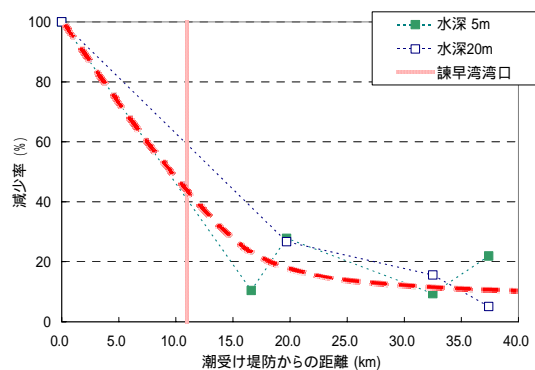
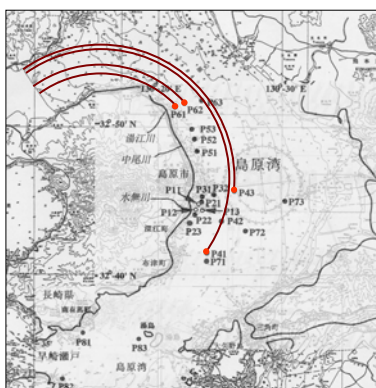
観測結果の概要 (M₂潮の潮流楕円) (1993年に同じ測点で実施された西ノ首らの観測結果と比較)



左図:水深5m 右図:水深20m

長軸長の減少率は、
P41(水深 5m)で21.9%、(水深20m)で 5.1%
P43(水深 5m)で 9.4%、(水深20m)で15.6%
 であった。
 (減少率は調和解析結果より算出した。)

潮受堤防からの距離と M₂潮の潮流楕円の長軸長の減少率の関係



P61、P62は、30日間のデータによる調和解析結果より算出
 P41、P43は、30日間のデータによる調和解析結果より算出

潮受堤防から離れるにしたがって潮流流速の減少率が小さくなる。
 この傾向に地形等の局所的な影響が加わる。

ADCP曳航観測実施海域の概略

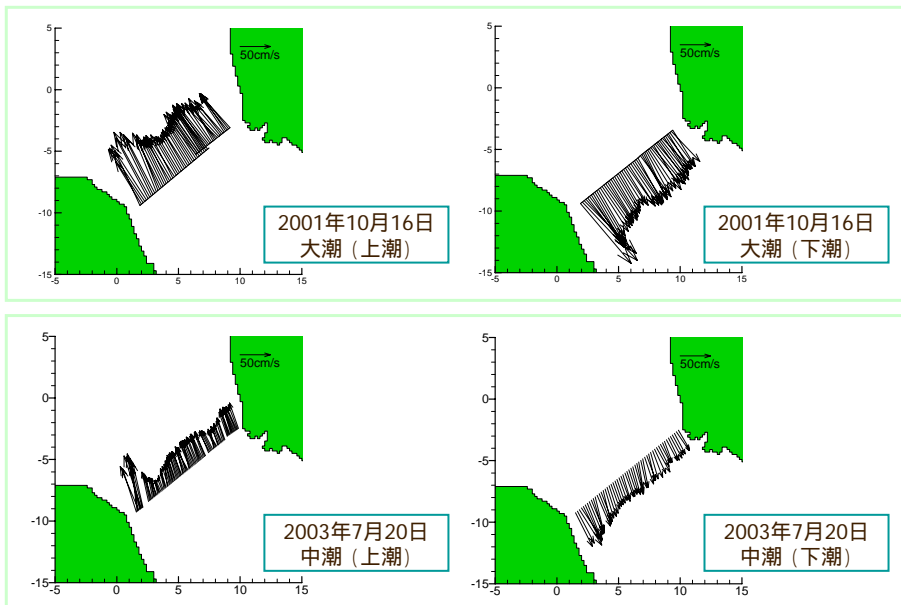


有明海は、有明-長洲ラインにおいて湾幅が最も狭くなっており、有明-長洲ラインを境界として湾口側と湾奥側で流入淡水の混合形態が変化していることなどから、有明-長洲ラインは北部有明海の入口境界と位置づけることができる。

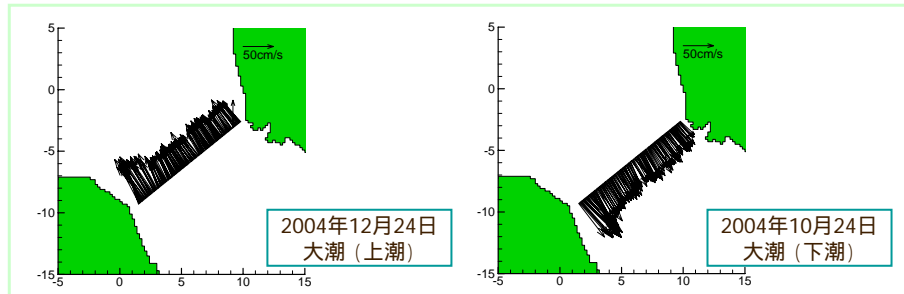
有明-長洲ライン付近における現象が、北部有明海の物質循環等に大きな役割を果たしていると考えられる。

有明-長洲ライン周辺においてADCP曳航観測を実施した。

有明-長洲ラインの水深平均流速分布



有明-長洲ラインの水深平均流速分布

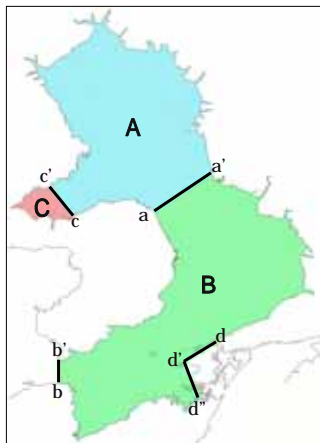


北部有明海の入口にあたる有明-長洲ラインにおいては島原半島沿いに大きな潮流が生じる。
 この特徴は、各潮汐条件及び成層期・混合期において共通して見られる。

有明海の面積減少量と潮流減少の概念図

諫早干拓事業による有明海の面積の減少量を算出した。

このことから、以下のことが推測される。
 諫早湾への水塊の出入りが、島原半島沿いの限られた領域で生じているために、21～27%の潮流の減少が生じた。
 諫早湾への入退潮量が減少したことにより、流向に変化が生じた。

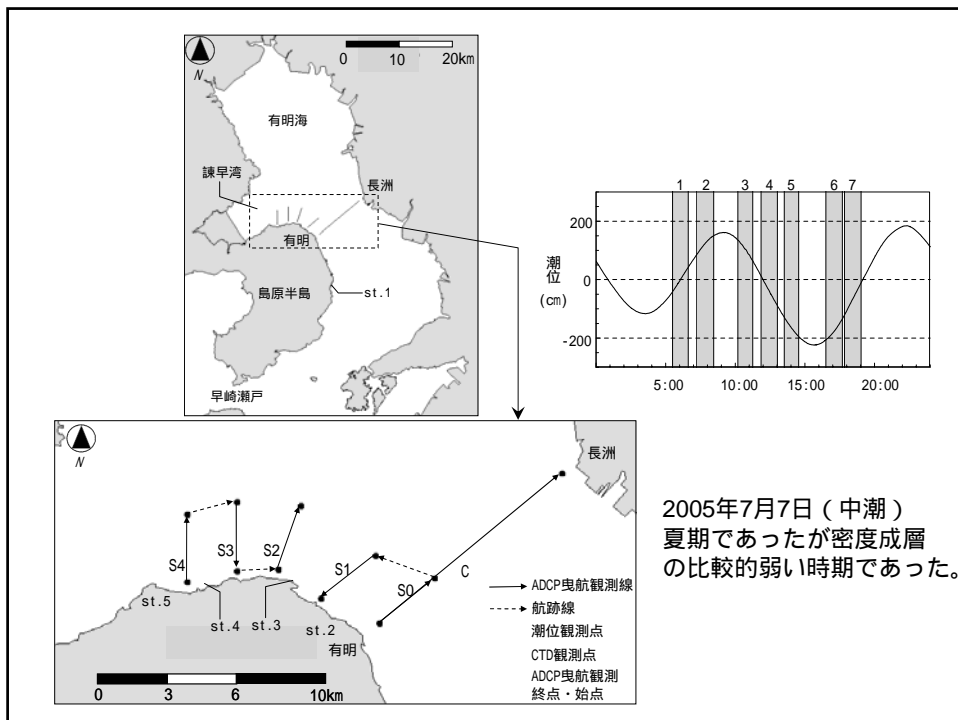
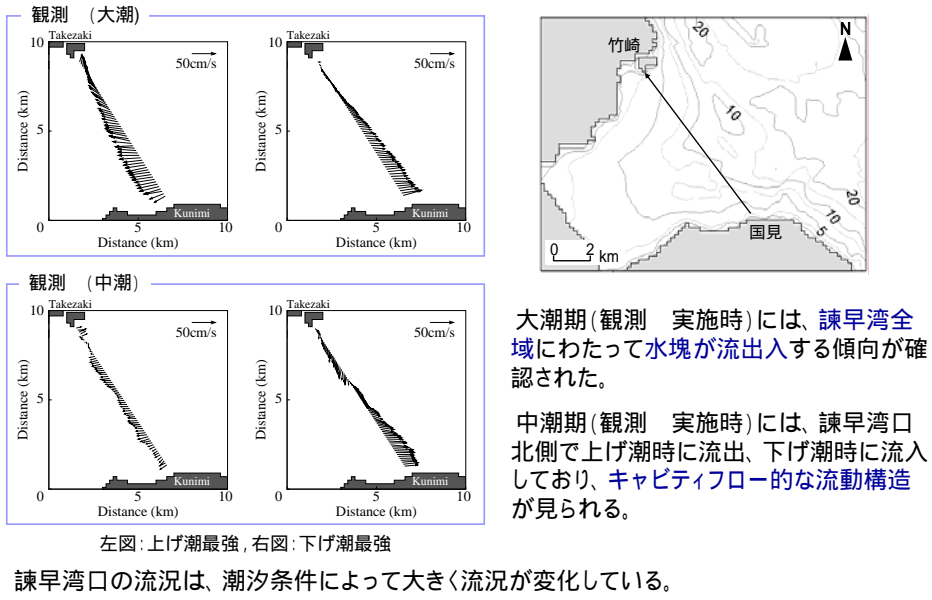


今回観測を実施した海域は、北部有明海の入口に位置しているにもかかわらず、**潮流の減少量は、面積減少率である4.9%と比較して非常に大きかった。**

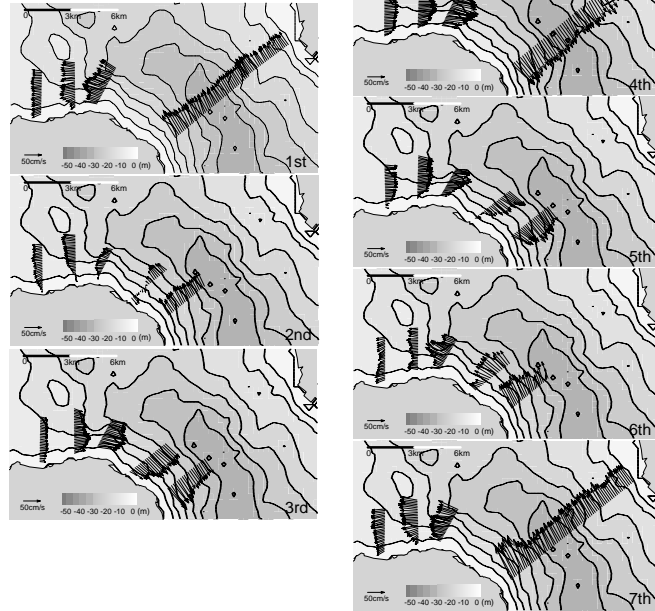


有明海全体に対する面積減少率：
 $C / (A+B+C) \times 100$ **2.3%**
 北部有明海に対する面積減少率：
 $C / (A+C) \times 100$ **4.9%**

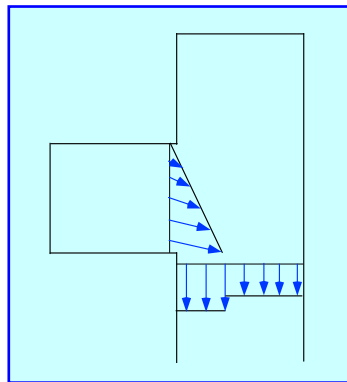
諫早湾口の流況(水深平均流速ベクトル図)



水深平均流速のベクトル図



島原半島沿いの潮流と移流分散の概念図



諫早湾の存在によって島原半島沿いで潮流流速が大きくなる。

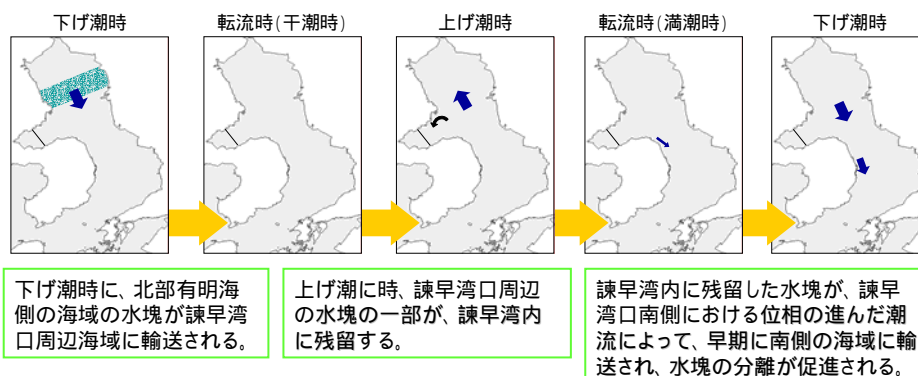


有明-長洲ラインにおける流速の水平シアーによる移流分散が、北部有明海の海水交換に対して重要な役割を担っている。



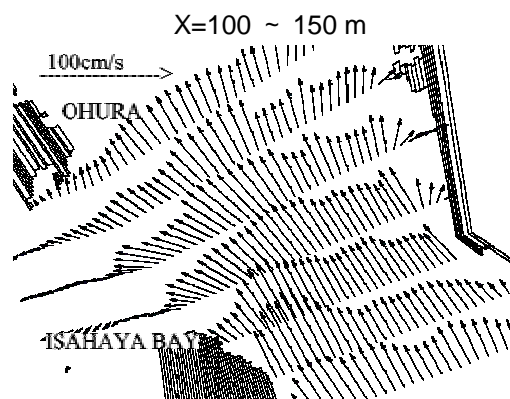
潮受堤防の建設により、諫早湾の面積が減少すれば、島原半島沿いの潮流流速が減少し、移流分散効果が弱くなる。

有明海におけるTidal Trappingのイメージ図



「諫早湾によるTidal Trapping」と、「有明海本体と諫早湾との間の潮流の位相差による水塊の引き離し効果」は、諫早湾の存在は有明海の物質輸送に大きく寄与するものと推測される。

2.3 シミュレーションとの関係



諫早湾入口付近の局所的な流れを精度良く再現するためには、計算格子を更に小さくし、渦動粘性係数を場所的に評価することが必要である。特にこの地域は物質輸送・海水交換のkey spotとなっていることから、今後、高精度のシミュレーションの実現が強く望まれる。

3. まとめ

- (1) 有明海等の内湾では、干拓や締め切りによる海表面積の減少は即、入退潮量の減少につながる。湾内の潮流の駆動力は、入退潮であるため断面平均的には潮流は減少する（減少系）。なお、ノリヒビや港、防波堤の建設、風、密度流等は局所的・一時的な潮流の変化を生じさせるが、断面平均的には変わらない。
- (2) 海上保安庁による観測結果は観測そのものは正しかったとしても、観測時の条件が異なりすぎて、片方のみ密度成層の影響を強く受けているため、水面下1点のデータでは比較不能となっている。従ってこのデータからは諫早干拓による潮流の変化を議論することはできない。
- (3) 島原半島沿いの速い潮流流速が諫早干拓締め切りにより、大幅に減少（5～28%）していることが確認された。この流速の突出部分は移流分散による物質輸送に大きく関わっているため、この部分の流速の大幅な減少は有明海奥部領域の1～2週間の時間スケールの物質輸送能・海水交換能を大きく低下させていると思われる。また最近の観測において、諫早湾のtidal trapping現象が観測されている。これも物質輸送における諫早湾の大きな役割を示している。（諫早湾は海水交換ポンプの役割）
- (4) 冬季の珪藻類については気温の高い条件下において、10日程度前の出水による栄養塩の流入と風による擾乱、その後の静穏な海象が赤潮の発生に影響を及ぼすことが重回帰分析により見い出されている（橋本ら、2005、海岸工学論文集）。有明海奥部における出水後の栄養塩の滞留傾向が赤潮発生の大規模化・長期化の原因の一つになっているものと思われる。