

島原半島北部沿岸における 流動構造の現地観測

FIELD OBSERVATION ON TIDAL CURRENT STRUCTURE
ALONG THE NORTHERN COASTAL AREA OFF SHIMABARA PENINSULA

齋田倫範¹・矢野真一郎²・田井明³・橋本泰尚³・藤田和夫⁴・小松利光⁵

Tomonori SAITA, Shinichiro YANO, Akira TAI, Yasunao HASHIMOTO, Kazuo FUJITA
and Toshimitsu KOMATSU

¹学生会員 工修 九州大学大学院 工学府海洋システム工学専攻(〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

²正会員 工博 九州大学大学院助教授 工学研究院環境都市部門(同上)

³学生会員 九州大学大学院 工学府海洋システム工学専攻(同上)

⁴正会員 九州大学大学院技官 工学研究院環境都市部門(同上)

⁵フェロー 工博 九州大学大学院教授 工学研究院環境都市部門(同上)

Recently, reduction of fish catch and poor harvest of cultured laver in the Ariake Sea have been a serious social problem. It is suspected that construction of the Isahaya Sea-Dyke causes deterioration of aquatic environment in the Ariake Sea. Although several studies on the aquatic environment have ever been carried out, the causes of the deterioration have not been understood clearly. In this study, in order to understand the role of tidal current in the tidal exchange phenomena in northern coastal area off Shimabara Peninsula, in situ measurements on tidal current by ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) and sea level by tide gauges were carried out.

As a result of this study, it was observed that the phase of the tidal current near the coast proceeds. It is considered that it is brought about by oscillatory boundary layer. Findings of the present study imply that it is very important to carry out high resolution field observation and numerical simulation in order to understand tidal transport well.

key word : Ariake Sea, Isahaya Bay, ADCP, Boundary layer of oscillatory flow

1. はじめに

有明海はわが国の代表的な閉鎖性内湾の一つであり、古くから多様な生物資源の宝庫として知られてきた。しかし、1990年以降、タイラギやアサリの漁獲量が減少し、2000年冬季に発生した大規模な養殖ノリの色落ちを契機に、有明海の水環境問題は大きな社会問題へと発展した。環境異変の原因の一つとして、1997年4月に潮受堤防の締切を行った諫早湾干拓事業が指摘されている。事業主である農林水産省は、2002年に約8ヶ月間(うち開門期間は約1ヶ月間)にわたる短期開門調査を実施し、事業は有明海全体には大きな影響を与えていないと報告(九州農政局, 2003)したが、2004年8月には、佐賀地方裁判所が諫早湾干拓工事の差し止めの仮処分を決定した。その後、2005年5月に福岡高等裁判所によって工事差し止め命令を取り消す決定がなされた。また、2005年8月には

公害等調整委員会がノリの不作など漁業被害の発生は認めたと、科学的なデータ不足などを理由に干拓事業との因果関係は認定できないとして漁業者らが求めた原因説明の申請を棄却する裁定を下した。その一方で、委員会はさらなる調査・研究を進め豊かな有明海の再生を念願するという見解を述べ、有明海における水環境異変の原因究明、ならびに水質・底泥環境の保全に向けた取り組みの必要性を指摘した。

これまでも国・地方自治体・大学・市民団体などにより、有明海の水環境悪化の原因究明のための研究が進められてきている。小松ら¹⁾や矢野ら²⁾は、長崎県有明町と熊本県長洲町を結ぶ狭窄部(以下、有明-長洲ライン)で、島原半島沿いに流速が大きくなる非一様な水平流速分布を呈していることを報告している。これは、有明-長洲ラインのすぐ北西側に諫早湾が近接して存在することによるものであり、この水平シアーによって生じる移

流分散効果が北部有明海の海水交換や物質輸送に大きな役割を果たしていると考えられる。したがって、この有明 - 長洲ラインおよび諫早湾口周辺の流動構造を把握することは、有明海および諫早湾の海水交換のメカニズムを把握する上で非常に重要であると考えられる。また、小松ら³⁾によると、島原半島に沿った区間では、他の区間よりも最大流速の出現する時刻が早くなっており、潮流に位相差が存在することが示唆されている。同様の特徴は、諫早湾口南部においても生じていることが中村ら⁴⁾や齋田ら⁵⁾によっても報告されており、この潮流の位相差もこの海域周辺の物質輸送に大きな役割を果たしていると考えられる。この現象を現地観測で捉えるためには、既往の観測よりも時空間的に密な観測が必要である。

そこで、本研究では2005年初夏に、有明 - 長洲ラインから諫早湾口南部にかけての流動構造およびこの領域での潮流の位相差を把握することを目的として、従来より時空間的に密に ADCP 曳航観測を、さらに島原半島沿岸における潮位観測を並行して実施したので、その結果を報告する。

2. 観測概要

(1) ADCP 曳航観測

2005年7月7日(中潮)に、一潮汐間に渡り計7回の ADCP 曳航観測を実施した。観測断面は、図-1に示す北部有明海の海水交換に重要な役割を果たしていると考えられる有明 - 長洲ラインから、諫早湾の海水交換に対して重要な役割を果たしていると考えられる諫早湾口南部までの計5断面とした。上げ潮最強時および下げ潮最強時である1, 4, 7回目は測線C, S2, S3, S4の4断面を、その他の2, 3, 5, 6回目は測線S0, S1, S2, S3, S4の5断面を観測した。ただし、測線S0は測線C上にあり、測線Cの始点から約3.1kmまでの区間である。観測では2艘(以下、観測船1、観測船2とする)の観測船が用いられ、航行速度を5 ~ 6knot に保ち、DGPSにより測線の確認を行いながら、図-1の矢印の向きに断面流速分布を測定した。観測に使用した ADCP は観測船の対地速度を計測して流速を補正できるボトムトラッキング機能の付いた RD-Instruments 社製 Workhorse ADCP 600kHz, 1200kHz の計2台で、各々の設定は表-1のとおりである。

(2) CTD 観測

観測時の成層状況を把握することを目的として、ADCP 曳航観測同日の満潮時および干潮時に、多項目水質計により塩分と水温の鉛直分布を測定した。観測点は図-1に示す ADCP 曳航観測線上の計12地点であり、各観測点で船を停止させ、測点位置はGPSによって確認し、測定を行った。観測で使用した観測機器は、アレック電子社製クロロテック ACL220 およびワイエスアイ・ナノテック社製 YSI6600 である。観測前日に、異なる2つの海域より採

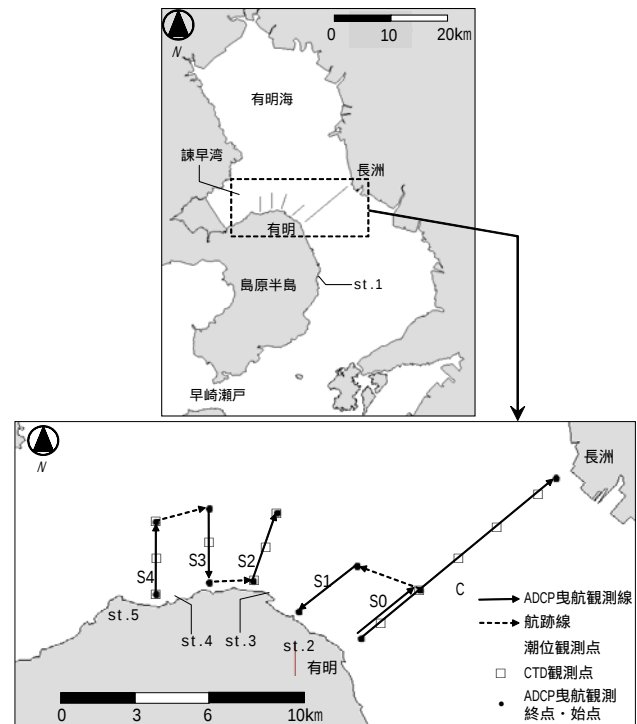


図-1 観測実施海域の概略図

表-1 ADCP の設定

	観測船1	観測船2
測線	C, S0, S1	S2, S3, S4
観測機器	ADCP 600kHz	ADCP 1200kHz
層厚(m)	1.0	0.5
表層のプランク(m)	2.1	1.5
サンプリング間隔(s)	3	2

水した海水を用いて測定値の機差を確認し、データの機差補正を行った。

(3) 潮位観測

観測実施海域周辺の時空間的な潮位変動を把握することを目的として、図-1に示す計5点(st.1:島原外港, st.2:有明漁港, st.3:土黒(ひじくろ)漁港, st.4:神代(こうじろ)漁港, st.5:瑞穂漁港)で潮位観測を行った。観測で使用した観測機器は、アレック電子社製メモリー式水位計 COMPACT-TD で、サンプリング間隔を1分に設定した。観測期間は6月1日から7月28日の約2ヶ月間である。観測結果について、各測点での平均潮位を0とし、各測点での平均潮位は一致するものとして考察を行った。

3. 観測当日の気象、潮汐および成層状況について

アメダス(島原)による観測当日(5時~20時)の気温は、23.0 ~ 27.7 の範囲にあった。風は、早朝は静穏 ~ 1.0m/s 程度、昼頃からは南 ~ 南南東の風が2.0 ~ 4.0m/s 程度で吹いていた。観測中に降雨はなく、安定した天候・海象条件の下で観測が行われた。また、7月1日から7月7

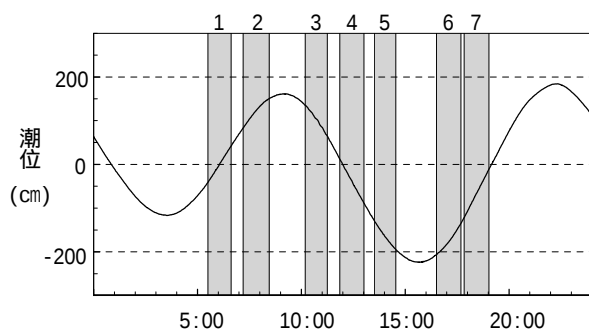


図 -2 観測当日の潮位 (st2: 有明漁港)

日までの積算降水量は79mmであった。

潮汐の状況について、潮位観測の結果のうち代表して st.2 における潮位の時系列(7月7日)を図-2に示す。また、図中のハッチ部分はADCP 曳航観測の観測時間帯を、その上の数字は観測番号を表している。この結果より、実測潮位は干潮:-111cm(3:27), 満潮:159cm(9:07), 干潮:-218cm(15:36), 満潮:180cm(22:22)であった。

成層状況について、CTD 観測の結果から算出した σ_t の断面分布図を図-3に示す。この結果より、満潮時において測線Cの長洲側の領域では、表層の σ_t の値が17.0程度と比較的低くなっていたが、干潮時には σ_t の値が22.0程度となっていた。このことから、淡水が一時的にこの領域に偏在していたものと考えられる。実際に、CTD 観測中にこの領域で海色が茶色を呈しているのが確認された。これは、九州農政局が7月5日から6日にかけて、潮受堤防背後の調整池からの排水が諫早湾に与える影響などを調べるための排水拡散調査を実施した際に、北部排水門から約300万tの水を調整池から排水していたことから、その影響を受けた可能性が考えられる。一方、その他の海域における表層と底層の σ_t の差は、満潮時、干潮時ともに1.0～1.5程度であり、顕著な密度躍層は見られなかった。これは、九州北部では6月10日頃に梅雨入りしていたものの、観測の行われた7月上旬頃まではカラ梅雨で降水量がかなり少なく、河川からの淡水の流入が少なかったためであると考えられる。このことから、密度成層の弱い条件のもとでの観測であったといえる。

4. 流動構造について

ADCP 曳航観測によって得られた水深平均された水平流速ベクトル図を図-4、図-5に示す。なお、ADCP 曳航観測では、測線の始点から終点まで測線S0, S1, S2, S3, S4では20分程度、測線Cでは1時間程度の航行時間が必要であり、同一測線の観測であっても時間的なズレを含んでいる。この結果より、1, 4, 7回目の測線Cの島原半島沿いにおいて、流速が相対的に大きくなって突出していることが分かる。上げ潮最強時である1回目と7回目の観測結果を比べてみると、干満差の大きい7回目のほうがその傾向がより顕著である。これは、小松ら^{3), 1)}によ

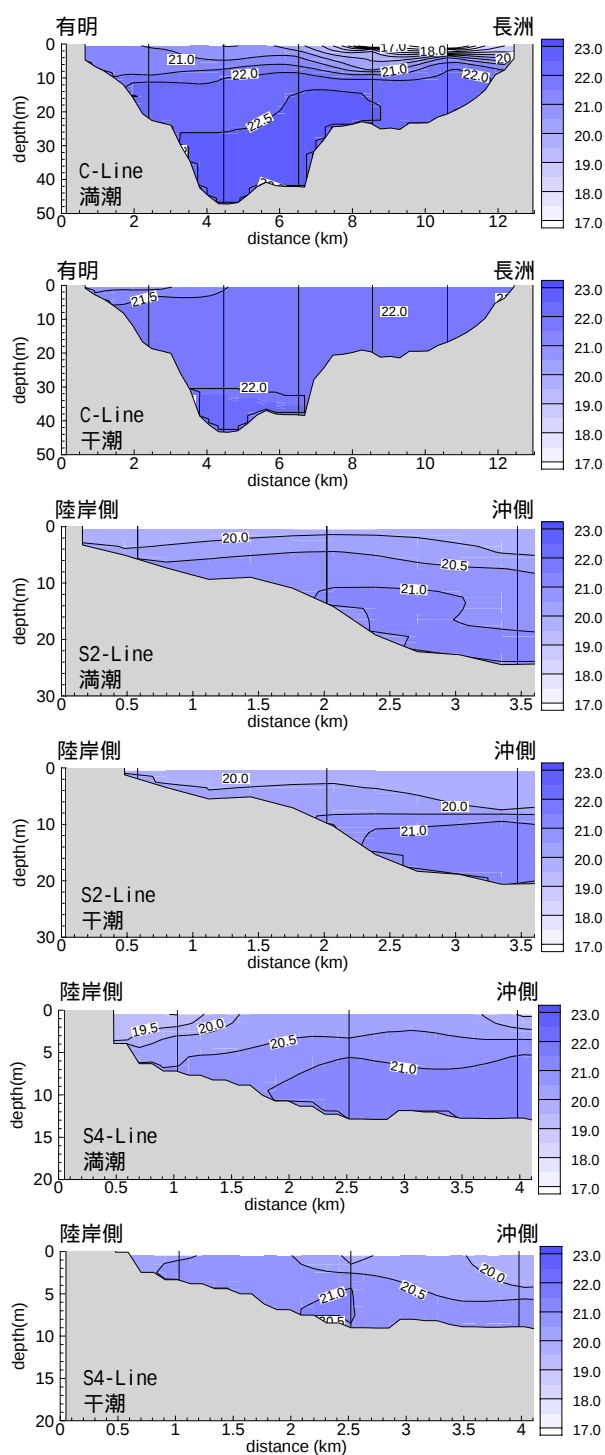


図 -3 σ_t の断面分布図

(上から、測線Cの満潮、干潮、測線S2の満潮、干潮、測線S4の満潮、干潮)

る2001年秋季と2003年夏季の観測結果、および矢野ら²⁾による2003年夏季の観測結果においても共通して見られた特徴である。測線S2では測線の中央付近で最大流速が出現しており、特徴的な水平流速分布となっている。また、満潮前の2回目および干潮前の5回目の観測結果において、陸岸近傍ではすでに転流が起こり始めており、2回目の観測において、測線S1の陸岸から沖に1kmまでの

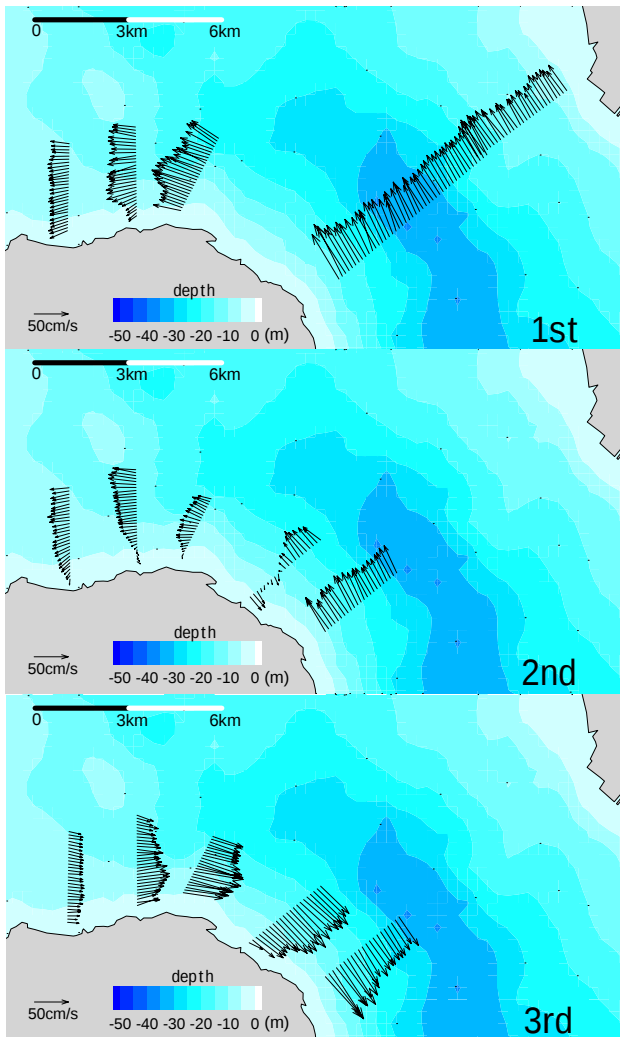


図-4 水深平均流速のベクトル図
(上から, 1回目, 2回目, 3回目)

区間では逆流が生じている．このことから，島原半島沿岸において，陸岸近傍の潮流は沖側の潮流に比べて位相が進んでいると考えられる．そこで，陸岸近傍の潮流と沖側の潮流との間の位相差を把握するために，各測線上の3点(ADCP 曳航観測線の始点から，0.1km, 1km, 2kmの3点)における断面直交成分の流速 v (湾奥に流入する方向を正)および水面勾配の時系列を図-6に示す．なお，2つの潮位観測点における潮位差を2点間の直線距離で割ったものを水面勾配とし，湾奥方向に海水を流す駆動力となる湾奥方向へ下がる勾配を正とした．各測線に対して対象とする潮位観測点は，測線C, S0ではst.1とst.2(2点間の距離:11.1km)，測線S1ではst.2とst.3(2.87km)，測線S2, S3ではst.3とst.4(3.56km)，測線S4ではst.4とst.5(1.92km)とした．縦の破線は水面勾配が0となる時刻を表す．この結果から，測線S1の水面勾配が負である2回目の観測では，測線S1の2.0km地点では流速は32.5cm/sと正であるのに対して，0.1km地点では流速は-23.6cm/sであり，既に転流が生じていた．また，測線S1の水面勾配が正である5回目の観測では，2.0km地点では流速は-41.2cm/sと負であるのに対して，0.1km地点では流速

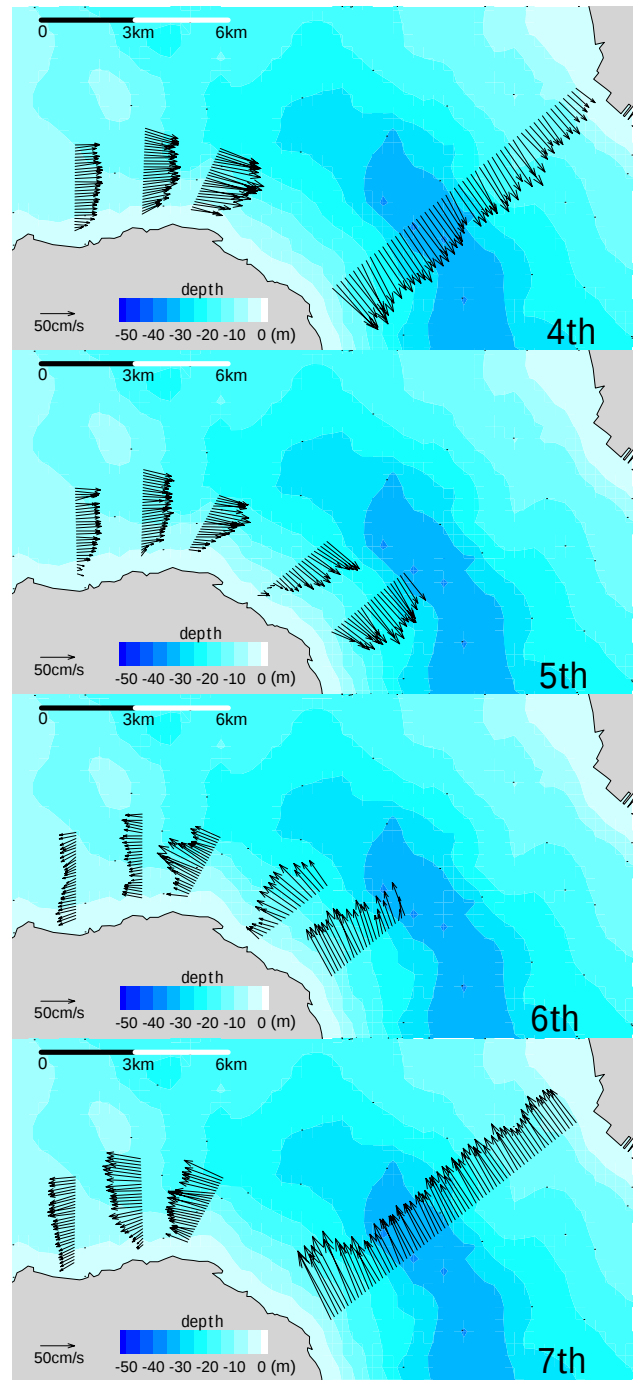


図-5 水深平均流速のベクトル図
(上から, 4回目, 5回目, 6回目, 7回目)

はほぼ0となっており転流が起こり始めている．同様の傾向は他の測線においても見られており，島原半島沿岸において陸岸近傍の潮流は沖側の潮流に比べて位相が進んでいることが明瞭に確認できる．また，測線S1においては，水面勾配の変動の位相が他の測線と比較して進んでいる．通常，有明海においては副振動の影響によって定在波的傾向を示すことから，水面勾配は満潮時と干潮時に大きくなり，潮流の最盛時に水面勾配がほぼ0になる．測線S0, S2, S3周辺では，概ねこの特徴に対応した水面勾配が生じていた．一方，測線S1における水面勾配は，測線S0, S2, S3における水面勾配よりも位相が進ん

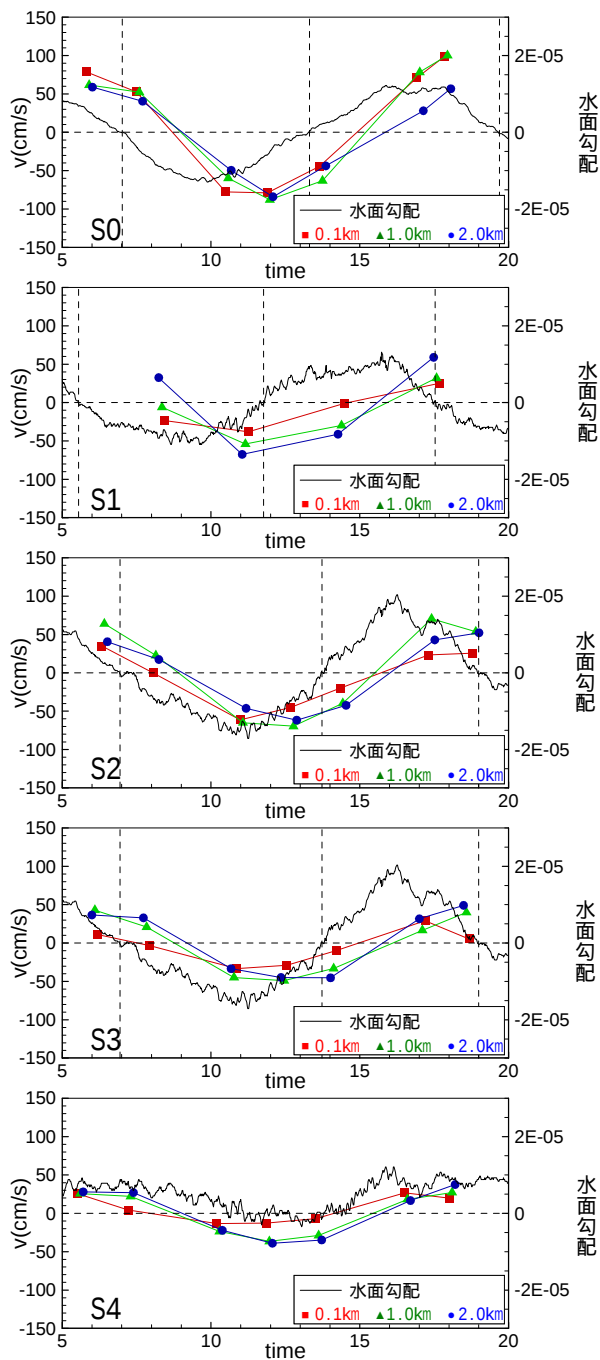


図-6 断面直交成分の流速 v および水面勾配の時系列
(上から、測線 S0, S1, S2, S3, S4)

でいることを述べたが、これは上げ潮時と下げ潮時の最盛時付近に測線 S1 付近で潮流流速を減速させるような水面勾配が生じていることを示している。2 回目の測線 S1 上の観測において確認された陸岸側での逆流は、この空間的な水面勾配の変動特性によってもたらされたものであると考えられる。この水面勾配の発生要因については、陸岸が湾曲していることなどによる二次元的な現象の影響が考えられ、一次元的な水面勾配の情報からは十分な検証が行えないことから、今後、室内実験や数値シミュ

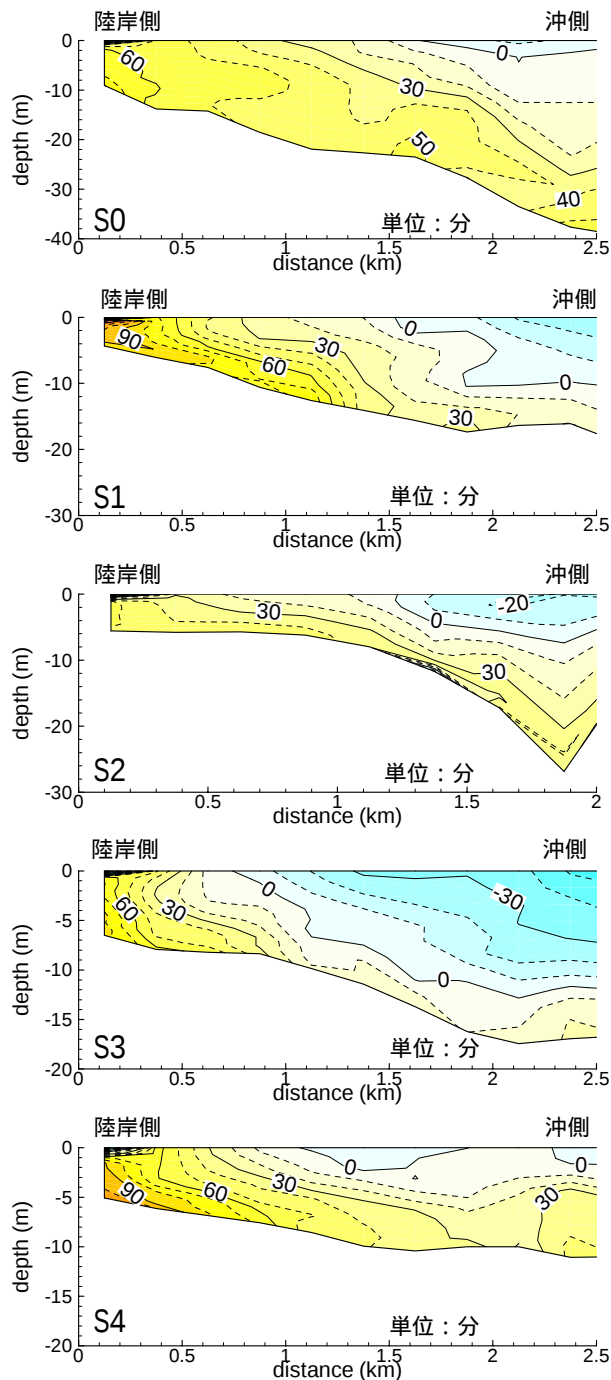


図-7 土黒(st.3)における潮位との位相差の断面分布図
(上から、測線 S0, S1, S2, S3, S4)

レーション等で検討する必要がある。潮位変動と流速の位相差のさらに詳細な特性を把握するために、土黒漁港(st.3)の潮位を基準とした場合の潮位変動との位相差の断面分布図を図-7に示す。図中の数値の単位は分である。なお、位相差は流速変動と潮位変動を最小二乗法を用いて正弦関数で近似し、それらの位相差として算定した。また、曳航による観測時刻のズレは船の航行速度を一定と仮定して補正している。この結果より、上層の位相に比べて底層の位相のほうが進んでいることがわかる。位

相の進んだ領域が海底面に沿って分布していることから、これらの現象は海底摩擦による振動流境界層の影響であると考えられる。特に、陸岸側では水深が小さく、位相の進んでいる層が海面に達しており、これが陸岸沿いの位相の進んだ潮流の出現要因となっているものと考えられる。

5. まとめ

諫早湾口南部から島原半島沿岸にかけての流動構造を把握するために現地観測を実施した。得られた結果をまとめると以下ようになる。

- 1) 小松らによって報告されている有明 - 長洲ライン西側の相対的に大きな流速の突出部分は、本観測においても確認された。
- 2) 島原半島沿岸において、陸岸近傍の潮流は沖側の潮流に比べて位相が進んでおり、有明 - 長洲ライン西側の流速が大きい潮流部分についても、この特徴を有している。
- 3) 上層の位相に比べて底層の位相の方が進んでおり、陸岸側の浅い領域においては、海底摩擦による振動流境界層の存在が陸岸沿いの潮流の位相を早める要因となっているものと考えられる。
- 4) 測線 S1 においては、海岸地形の影響によって水面勾配の変動の位相が他の測線よりも進んでいるため、他の測線と比較して陸岸側の流速の位相のズレが顕著になったと考えられる。

有明海奥部に排出された物質の多くが、諫早湾を経由した後に島原半島に沿って南下していくことが、千葉ら⁶⁾による数値シミュレーションによって確認されている。このことから、本研究で対象とした諫早湾口南部から島原半島沿岸にかけての海域は、赤潮の発生や貧酸素化が著しい諫早湾および北部有明海の海水交換や物質輸送に対して重要な役割を果たす海域であると考えられる。本研究で観測された水平方向の位相差によって生じる非一様な水平流速分布は、移流分散効果をもたらすことによってこの海域の物質輸送に大きな役割を果たしている。

このことは、沿岸域の水環境を考える際には、海域全体の流況だけではなく、局所的な流況も十分考慮する必要があることを示唆している。特に、北部有明海は地形変化が大きく、その局所的な地形によって生じる現象を考慮することは非常に重要である。このことから、局所的な流況を精度良く把握・再現できる高い空間解像度を持った現地観測や数値シミュレーションが強く望まれる。

謝辞：島原漁協，有明漁協，土黒漁協，神代漁協，瑞穂漁協には、潮位観測に際して水位計係留場所を提供して頂いた。また、有明漁協の松本正明氏，宮本雄二氏，ならびに篠塚光信氏には、観測船の傭船に多大なご協力を頂いた。ここに記し、深甚なる感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 小松利光，矢野真一郎，齋田倫範，松永信博，鶴崎賢一，徳永貴久，押川英夫，濱田孝治，橋本彰博，武田誠，朝位孝二，大串浩一郎，多田彰秀，西田修三，千葉賢，中村武弘，堤裕昭，西ノ首英之：北部有明海における流動・成層構造の大規模現地観測，海岸工学論文集，第 51 巻，pp.341-345，2004.
- 2) 矢野真一郎，齋田倫範，橋本泰尚，神山泰，藤田和夫，小松利光：有明海における潮汐条件に対する流動・成層構造の変化，海岸工学論文集，第 51 巻，pp.331-335，2004.
- 3) 小松利光，安達貴浩，金納聡，矢野真一郎，小橋乃子，藤田和夫：有明海における流れと物質輸送に関する現地観測，海岸工学論文集，第 50 巻，pp.936-940，2003.
- 4) 中村武弘，矢野真一郎，多田彰秀，野中寛之，亀井雄一：諫早湾湾口部における流況の現地観測，海岸工学論文集，第 49 巻，pp.396-400，2002.
- 5) 齋田倫範，矢野真一郎，橋本泰尚，小松利光：大規模一斉観測データを用いた諫早湾口周辺の流動特性の検討，海岸工学論文集，第 52 巻，2005
- 6) 千葉賢，武本行正：諫早湾潮受け堤防設置に伴う有明海の流況変化に関する研究：海岸工学論文集，第 50 巻，pp.376-380，2003

(2005.9.30 受付)