

諫早湾湾口部における潮流流速と溶存酸素濃度の現地観測

多田 彰秀* ・ 中村 武弘** ・ 矢野真一郎***
武田 誠**** ・ 藤本大志*****

諫早湾湾口の中央部では干拓事業に伴って採砂が行われ、海底には深さ 3~4 m の溝が爪痕のように多数残っている。近年、夏季成層期の有明海中央部では貧酸素水塊の発生が大きな問題となっており、その発生源の 1 つがこの採砂跡地の溝ではないかと疑われている。このようなことから、採砂跡地を含む諫早湾湾口部での潮流流速および溶存酸素濃度の連続観測、並びに小潮期の ADCP による曳航観測を 2003 年夏季に実施した。その結果、小潮期の E-E' ライン上での流況は大潮期の流況(中村ら, 2003)と概ね同一であること、溶存酸素濃度の挙動には潮流流速および風速などが大きな影響を及ぼしていることが確認された。また、採砂跡地で得られた潮流楕円の特性が 2002 年夏季の観測結果(中村ら:2003)と同一であったことも明らかとなった。

1. はじめに

2000 年 11 月から 2001 年 2 月にかけて発生した「養殖のり」の色落ち現象によって顕在化した有明海の異変は、種々の要因が取り沙汰されているものの、未だ決定的な原因が解明されていない。とくに、諫早湾干拓事業で建設された潮受け堤防が有明海の流況に及ぼした影響については、当初より問題視されているものの、締め切り以前の海域環境を知る資料がほとんどないため直接的な評価ができない現状にある。

一方、ここ数年に渡って著者らが現地観測(中村ら, 2002, 2003)の対象としてきた諫早湾湾口部は、潮受け堤防の前面海域に位置するだけでなく、その中央部付近では諫早湾干拓事業に伴って多量の海砂が採取され、平均水深約 10 m の海底に深さ 3~4 m の溝が数 100 m に渡って爪痕のように多数残っている。周知のとおり、近年、夏季成層期の有明海中央部では海水の貧酸素化現象が頻繁に発生しており、その発生源の 1 つとしてこの採砂跡地が疑われている(佐藤ら, 2001)。したがって、採砂跡地を含む諫早湾湾口部における流動特性および溶存酸素濃度(以後、DO と略記)の挙動を把握しておくことは極めて重要である。

以上のようなことから、本研究では 2003 年夏季に実施した諫早湾湾口部での潮流流速と DO の連続観測、並びに小潮期の ADCP による曳航観測の結果について報告する。

2. 現地観測の概要

諫早湾の概略を図-1 に示す。2003 年夏季に実施した現地観測は、(1) 湾口部断面(図-1 の E-E' ライン)上での潮流流速と水質に関する観測および(2) 採砂跡地を含む湾口部 3 箇所での潮流流速と DO の連続観測と

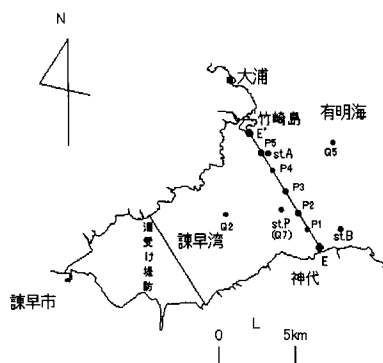


図-1 諫早湾の概略図と観測点

に区別される。

(1) 湾口部 E-E' ライン上での潮流流速と水質の観測

小潮期の諫早湾湾口部での流動特性を明らかにするため、神代(E)と竹崎島(E')とを結ぶ観測ライン約 9 km にわたって、2003 年 8 月 6 日に ADCP による曳航観測を実施した。観測に際しては、workhorse-ADCP 1200 kHz (RD Instruments 社製)を作業船の舷側に取り付け、約 90 分間隔で 1 潮汐間に 9 回の計測を行った。なお、航行速度は約 6 ノット(一定)に保つとともに、1 回の計測に費やす時間は約 50 分であった。また、この日の潮汐は、上述したように潮差約 2.5 m の小潮であった。

さらに、水質観測は多項目水質計 ACL-1183 PDK (アレック電子社製)を用いて、E-E' ライン上の 6 等分点 P1~P5 および Q2, Q5, Q7 の計 8 点で ADCP による曳航観測と並行して行った(図-1 参照)。観測点の緯度および経度は、表-1 に示すとおりである。なお、水質観測項目は塩分および水温とした。

(2) 湾口部 3 箇所での潮流流速と DO の連続観測

st.A, st.B の底層および st.P(Q7 点と同一地点; 採砂跡地)の溝の中の 3 地点において、2003 年 7 月 27 日から同年 8 月 22 日まで約 1ヶ月間にわたって潮流流速、DO および濁度の連続観測を行った。st.A と st.B にはそれぞれ

* 正会員 博(工) 長崎大学助教授 工学部社会開発工学科
** 正会員 博(工) 長崎大学教授 環境科学部環境科学科
*** 正会員 博(工) 九州大学学術研究員 大学院工学研究院
**** 正会員 博(工) 中部大学講師 工学部土木工学科
***** 正会員 (株)大進 川内支店設計一課

表-1 観測点の位置 (世界測地系; WGS)

観測点	北緯	東経
E	32°52.883'	130°16.173'
E'	32°56.966'	130°13.095'
St. A	32°56.140'	130°13.930'
St. B	32°53.120'	130°17.070'
St. P (Q 7)	32°54.269'	130°14.560'
Q 2	32°53.781'	130°12.473'
Q 5	32°56.079'	130°16.834'

ADCP (RD 社製) と小型メモリーDO計 (Compact-DOW, アレック電子社製), ワイパー付きの後方散乱光式メモリー濁度計 (Compact-CLW, アレック電子社製) 各1台を架台に取り付けて沈設した。一方, 平均水深が約10 m の st.P には, 採砂跡として海底面から深さ約4 m 掘り下げられた溝が多数残っている。この溝の底に ADP (Nortek 社製 Aquadopp Profiler 1000 kHz) を1台沈設するとともに, 単管で櫓を組んで海底面下3 m および海底面下2 m (以後, st.P+1 m, st.P+2 m と略記) の位置に DO 計を1台づつ, 海底面下2.5 m に濁度計を1台設置した。なお, st.P での潮流流速の観測期間は, 他の観測との関係上, 2003年7月27日から同年8月12日までの17日間連続観測であった。

3. 観測結果およびその考察

(1) 諫早湾湾口部近傍の流動特性

2003年8月6日に実施された ADCP による曳航観測のデータに基づいて, 湾口部 E-E' ライン上での水平流速の鉛直分布図を図-2 および図-3 に示す。前図の下げ潮最強時には, 神代側 (E) から約1 km 地先で最大流速が出現しており, 竹崎島側 (E') では流速が小さくなっていることが分かる。また, 後図に示す上げ潮最強時の水平流速にも下げ潮最強時と同様な傾向を有していることが確認される。さらに, 竹崎島側 (E') では流速が小さいながらも1潮汐間を通して諫早湾側から有明海側へ流出傾向にある。これらの結果に基づけば, 夏季小潮期の E-E' ライン上での流況は大潮期の流況 (中村ら, 2003)

と概ね同一であると判断される。

採砂跡地の st.P (Q 7 地点と同一) に多数残る深さ約4 m の溝の中に ADP を沈設し, 17 日間に渡って流速の連続観測を行った。鉛直方向の計測点は海底面下3 m (溝の底から1 m) の地点から上方へ1.0 m 間隔で, 水深の約85%までの範囲であった。1分間隔で流速を計測し, 10 分間の平均値を収録させている。得られた海底面下2 m, 海底面および海底面上7 m における観測データを調和分解して求めた主要4分潮 (M_2 , S_2 , K_1 , O_1) の潮流楕円を図-4 に示す。これらの比較より, 溝の中での潮流楕円

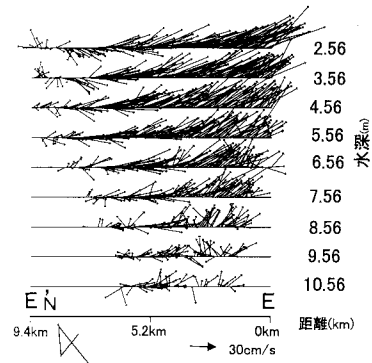


図-2 E-E' 断面での水平流速の鉛直分布 (下げ潮最強時)

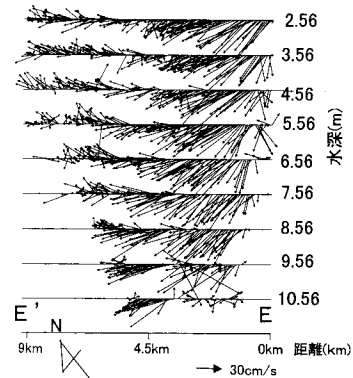


図-3 E-E' 断面での水平流速の鉛直分布 (上げ潮最強時)

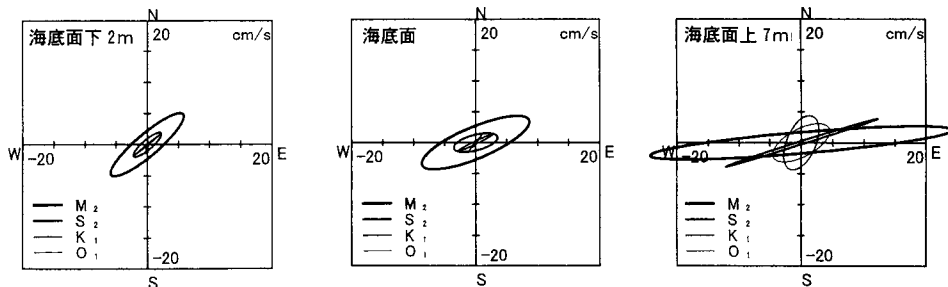


図-4 主要4分潮の潮流楕円 (st.P 地点)

の長軸の向きは、北東-南西方向(溝の掘られている方向)に一致していることが分かる。さらに、長軸の向きは溝の底から上方へ離れるに従って時計廻りに回転し、東北東-西南西方向へと向きを変えている。これらも2002年夏季の観測結果(中村ら, 2003)と同じ傾向であった。

次に、諫早湾湾口部 E-E' ラインより東側に位置する st.A および st.B において1ヶ月間連続観測して得られた流速データに着目し、有明海湾奥部に注ぎ込む筑後川からの淡水流入流量の影響について検討を加えた。

図-5 および図-6 は、それぞれ小潮期に該当する2003年8月7日～8月8日と同年8月20日～8月21日における両観測点での流速の EW 成分(太線)および NS 成分(細線)の時間的変化を示したものである。流速の計測位置は、st.A が海底面上6 m, st.B が海底面上10 m である。図中には、瀬の下(久留米市)で観測されている筑後川の流量(国土交通省筑後川河川工事事務所, 2003)が併記されている。図-5 に基づけば、台風10号の接近に伴って筑後川から有明海へ流入する流量は、8月7日の18:00頃から上昇し、8月8日の6:00に最大となっているものと推測される。その影響を受けて st.A では南西方向の流れが卓越するとともに、st.B では流速の EW 成分の非対称性が顕著になっているものと考えられる。さらに、筑後川からの流入流量が小さい8月20日～8月21日の流速の変化(図-6 参照)と比較すれば、8月7日～8月8日の流速は筑後川からの流入流量の影響を著しく受けたものと断言できる。

さらに、図-7 および図-8 は両観測点(st.A と st.B)で得られた1ヶ月間の流速データを調和分解して求めた主要4分潮の潮流楕円を示したものである。st.A(平均水深約10 m 程度)における海底面上5 m での潮流楕円の長軸の向きは北西-南東方向に一致しており(図-7 参照)、水深が変化してもこの方向はほぼ一定のままである。一方、平均水深が約12 m の st.B における潮流楕円を示した図-8 では、海底面上1 m, 海底面上4 m および海底面上8 m の潮流楕円が比較されている。図より、海底面1 m での潮流楕円の長軸の向きは、東-西方向に一致していることが確認できる。さらに、長軸の向きは上層に行くに従って時計廻りに回転し、西北西-東南東方向へと向きを変えている。なお、長軸の大きさも上層に向かって増加している。

(2) 諫早湾湾口部近傍での水温特性

ADCP による曳航観測と並行して実施した水質観測のデータに基づき、諫早湾の湾軸に沿った3つの観測点(Q2, P3 および Q5)における水温イソプレットを図-9 に示す。図中の太い実線は海表面を表している。これらの図より、すべての観測点において水温成層が確認できるとともに、満潮時前後の水温が高くなっていることが

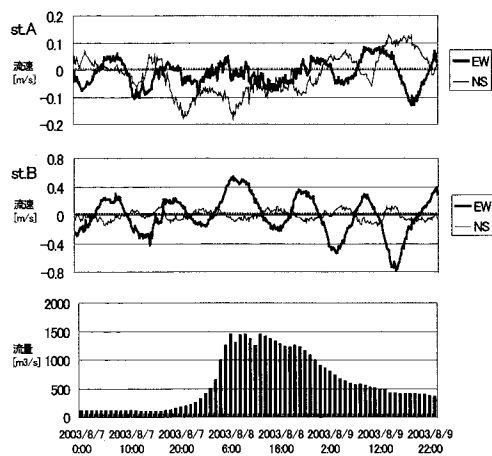


図-5 st.A と st.B における流速の時系列(2003年8月7日～8月8日)

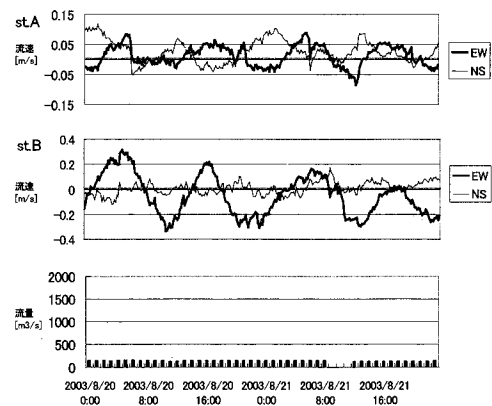


図-6 st.A と st.B における流速の時系列(2003年8月20日～8月21日)

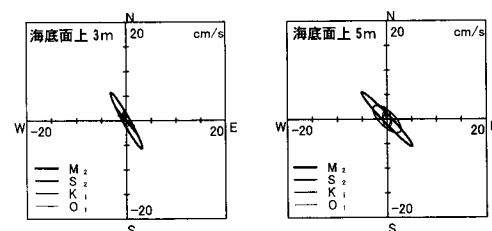


図-7 st.A における潮流楕円(海底面上3 m と5 m)

分かる。観測当日の気温は14:00頃に30℃を越えており、海表面の温度が上昇したことに起因するものと考えられる。また、諫早湾内に位置するQ2点では、下層の水温が諫早湾湾口部より高くなっていた。さらに、諫早湾外に位置するQ5点では、海底面から約14.8 m の位置

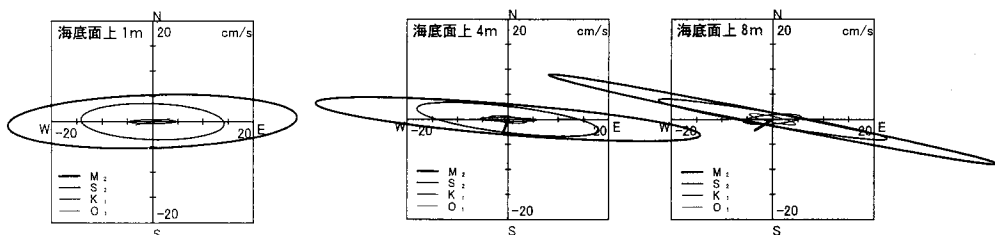


図-8 st.Bにおける潮流楕円

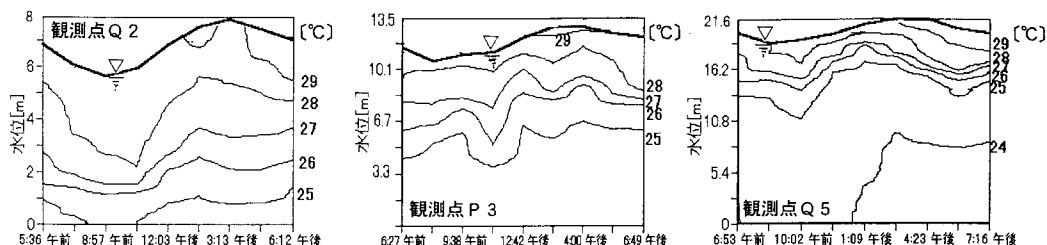


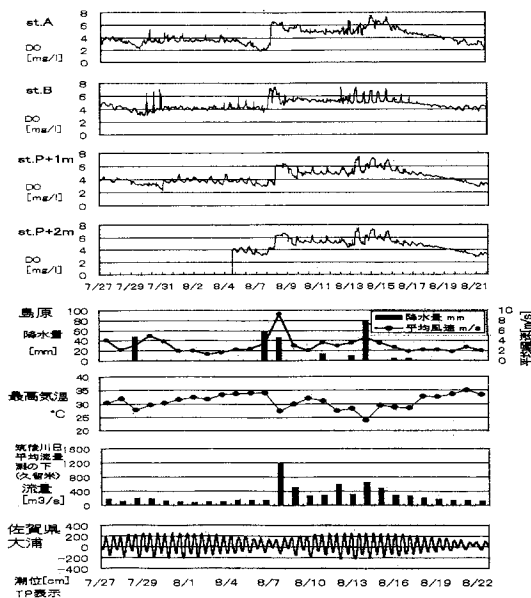
図-9 Q2, P3, Q5点での水温イソプレット

に 25°C の等温線があり、中層から底層にかけて低水温の水塊が存在することも分かった。これらより、水温は湾内の方が高く、湾外で低い傾向にあることが確認できた。

(3) 諫早湾湾口部での溶存酸素濃度 (DO) の挙動

夏季成層期における諫早湾湾口部での DO の挙動を明らかにするため、2003 年 7 月 27 日～8 月 22 日の期間における st.A, st.B, st.P+1 m および st.P+2 m での DO の時間的変化を図-10 に示している。図中には、島原の降水量と日平均風速 (気象庁, 2003)、筑後川の日平均流量 (国土交通省筑後川河川工事事務所, 2003) および大浦の潮位が併記されている。竹崎島に近い st.A では貧酸素水塊と判断される 2.5 mg/l 以下となる DO の値が連続観測期間中に 3 回出現している。また、st.P では、溝の底に近い st.P+1 m での DO 値の方が st.P+2 m よりも低いことが分かる。さらに、8 月 8 日には 4 つの観測点で急激な DO の上昇が生じている。この急激な変化は、台風 10 号の接近に伴って強風 (島原で日平均風速は 9.3 m/s) が吹いたことにより、海水の鉛直混合が顕著となって成層が崩れ、表層から酸素が供給されたことに起因するものと考えられる。その後、8 月 18 日頃からは流れが弱い小潮期に入るとともに、気温の上昇および弱風が相まって DO の低下傾向が認められる。

図-11 は、大潮期に該当する 2003 年 8 月 13 日～8 月 16 日の DO の変化を拡大したものである。図中には、同期間に計測された海底面より約 3 m の位置での流速 (st.A と st.B) の EW 成分および NS 成分がプロットされている。さらに、潮受け堤防からの排水流量および大浦の潮位が併記されている。図より、st.A における DO の挙

図-10 湾口部近傍の DO の時間的変化
(2003 年 7 月 27 日～8 月 22 日)

動と流速の NS 成分の変化がよく類似していることが分かる。一方、st.B では流速の EW 成分が最大となった約 3 時間後に DO の値が大きくなって回復している。これは潮流流速の増大とともに、高濃度の DO が移流してきたためと考えられる。

4. おわりに

本研究では、夏季成層期の有明海中央部で発生してい

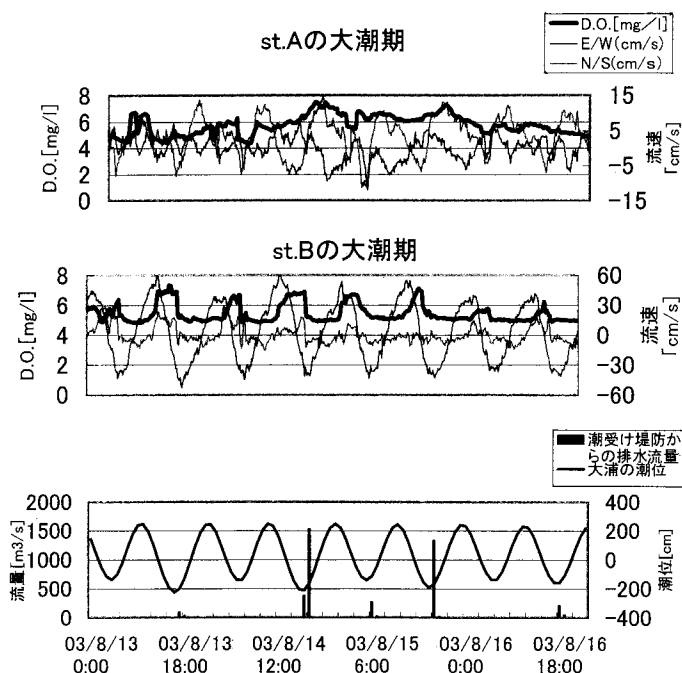


図-11 DOと流速成分との関係

る海水の貧酸素化現象の原因を解明する目的で、採砂跡地を含む諫早湾湾口部において潮流流速とDOの連続観測、並びに小潮期のADCPによる曳航観測を2003年夏季に実施した。観測結果より以下の点が明らかとなった。

- (1) ADCPによる曳航観測結果より、諫早湾湾口部E-E'ライン上においては、小潮期の流況特性が大潮期と概ね同一であった。
- (2) 採砂跡地で求められた潮流楕円については、台風10号の来襲があったものの、2002年夏季の観測結果とほぼ同一の傾向が確認された。
- (3) 降雨に伴う河川からの流入流量が甚大な場合には、竹崎島近傍および神代地先の流れ(流速の大きさおよび流向)が著しく影響を受けることが分かった。
- (4) 水質観測結果から、湾口部を挟んで諫早湾の湾内および湾外ともに水温成層が形成されていた。とくに、諫早湾湾口部の東側海域では、中層から底層にかけて低水温の水塊が存在しており、水温は湾内の方が高く、湾外で低い傾向にあることも確認された。
- (5) 底層におけるDOの挙動は、観測点周辺海域の潮流および風速の変化と関連性が極めて高いことが明らかとなった。

謝辞：本研究に対して、文部科学省科学研究費補助金基盤研究A（代表者：小松利光，課題番号14205075）並

びに文部科学省科学研究費補助金基盤研究S（代表者：中田英昭，課題番号13854006）の援助を受けた。また、本研究を遂行するにあたり、国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所からは筑後川の流量データを、東京電機大学工学部橋本彰博先生からは潮受け堤防からの排水量データをご提供頂きました。観測当日は、長崎大学大学院生産科学研究科の柳瀬夏樹君、猶木昌史君、環境科学部卒業生の井手 俊君、岩崎佑介君および川上匡史君らの多大なご協力を頂きました。さらに、瑞穂漁協、神代漁協、土黒漁協、有明漁協および小長井漁協には現地観測に際してご協力を頂きました。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参 考 文 献

- 気象庁(2003): ホームページ, <http://www.data.kishou.go.jp/>.
- 国土交通省筑後川河川工事事務所(2003): ホームページ, <http://www.qsr.mlit.go.jp/chikugo/>.
- 佐藤正典・東 幹夫・佐藤慎一・加藤夏絵・市川敏弘(2001): 諫早湾・有明海で何がおこっているのか?, 科学, 岩波書店, 7月号, pp. 882-894.
- 中村武弘・矢野真一郎・多田彰秀・野中寛之・亀井雄一(2002): 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.
- 中村武弘・多田彰秀・矢野真一郎・武田 誠・野中寛之(2003): 諫早湾湾口部における夏季の流況観測, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 371-375.