

北部有明海における流動・成層構造の大規模現地観測

小松利光* ・矢野真一郎** ・齋田倫範***
松永信博**** ・鷗崎賢一***** ・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*****

2003年7月20日に北部有明海において、ADCP 6台とSTD 7台を用いた流動構造と成層構造の大規模一斉観測が実施された。観測日として日潮不等の小さい中潮期が選ばれ、一潮汐間に渡って観測が行われた。得られた主要な結果は、(1) 島原半島沿岸に局所的に存在する強い流れや、下げ潮時の諫早湾湾口部でのキャビティフローと島原半島への流れの集中などの特徴的な流動構造、(2) DOと密度の分布構造の相似性と貧酸素傾向にある水塊の空間分布、(3) 濁度とクロロフィル-aの間における負の相関性、などである。

1. はじめに

2000年冬の大規模なノリの色落ちにより、有明海の水環境問題は大きな社会問題へと発展した。環境異変の原因として、1997年4月に潮受堤防の締切が行われた諫早湾干拓事業が取り沙汰されている。事業主である農林水産省は、2003年4月24日から5月20日までの約1ヶ月間にわたる短期開門調査を実施し、事業が有明海全体の環境には大きな影響を与えていないと報告した(九州農政局, 2003)。その後、中・長期開門調査検討会議を設置し、より長期的な開門調査の是非について検討を行ったが、2004年5月に農水大臣より正式に中・長期開門調査は見送る旨の決定が発表された。このような状況に至った背景には、干拓事業の影響評価のための事前調査が貧弱であったことと、有明海の空間的なスケールが大きく全

体像を把握できていないために、事業前後の海象と環境の変化を正確に把握できないことがある。

ノリ色落ち問題の発生から現在に至るまでに、国・地方自治体・大学・市民団体などにより数多くの現地調査が実施されており、情報の蓄積が徐々に進んできた。そのような中で、有明海の環境変化を考える際の最も基本的な物理現象である潮汐や潮流に関しても現地観測や数値シミュレーションによる研究が数多く実施されている。潮汐については、近年の潮位振幅の減少傾向に関する議論が行われ、干拓事業着手前から潮受堤防締切後までのM₂潮減少に対して事業による地形変化の影響の度合いが評価されているが、一致した見解にまで達していない(宇野木, 2002, 2003a, 2003b; 塚本・柳, 2002, 2003; 柳・塚本, 2004; 灘岡・花田, 2002)。しかし、潮汐の減少は諫早湾湾口付近の大浦で3~4%であり、変化は大きくない。

一方、潮流などの流動構造については、有明海全体を対象にしたものとして、海上保安庁水路部(1974)が1973年8月~9月にかけて実施し15昼夜連続観測結果との比較のために2001年5月に実施した小田巻ら(2003)の観測結果がある。これら新旧の潮流データは、15昼夜の連続データであるため主要分潮の調和定数の比較が可能である点で優れている。しかし、各測点で水深方向に1点、ないしは3点のみの観測であり(ADCPによる鉛直分布は3地点のみ)、空間的な流速構造の把握は難しい。多点同時観測としては、1974~1977年の間に北部有明海にて60艘規模の観測船を使用した紐流し方式による表層流の観測例がある(井上ら, 1979)。この観測も、表層のみであり水深方向の情報は得られていない。

そこで、著者らの研究グループでは、有明海全体の3次元的な流動構造を把握するために、2001年10月にADCP 11台を使用した大規模同時観測「有明プロジェクト

* フェロー	工 博	九州大学教授 大学院工学研究院
** 正 会 員	博(工)	九州大学学術研究員 大学院工学研究院
*** 学生会員	修(工)	九州大学大学院工学府
**** 正 会 員	工 博	九州大学教授 大学院総合理工学研究院
***** 正 会 員	博(工)	日本学術振興会特別研究員
***** 学生会員	修(工)	九州大学大学院総合理工学府
***** 正 会 員	修(工)	九州大学助手 大学院工学研究院
***** 正 会 員	修(工)	九州大学助手 大学院総合理工学研究院
***** 正 会 員	博(工)	東京電機大学助手 工学部
***** 正 会 員	博(工)	中部大学講師 工学部
***** 正 会 員	博(工)	山口大学助教授 工学部
***** 正 会 員	博(工)	佐賀大学助教授 理工学部
***** 正 会 員	博(工)	長崎大学助教授 工学部
***** 正 会 員	工 博	大阪大学助教授 大学院工学研究科
***** 正 会 員	工 博	四日市大学教授 環境情報学部
***** 正 会 員	工 博	長崎大学教授 環境科学部
***** 理 博		熊本県立大学教授 環境共生学部
***** 水 博		長崎大学教授 水産学部

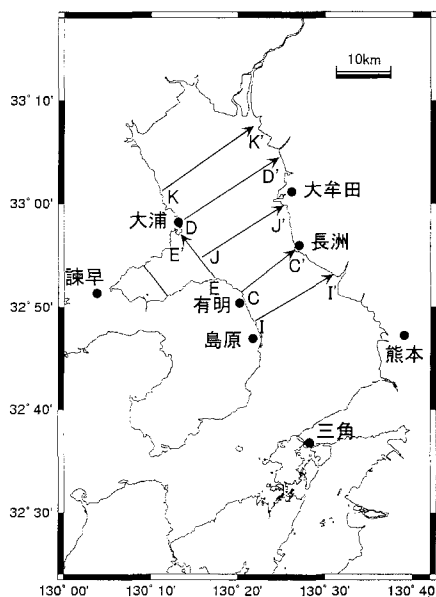


図-1 流動観測の測線

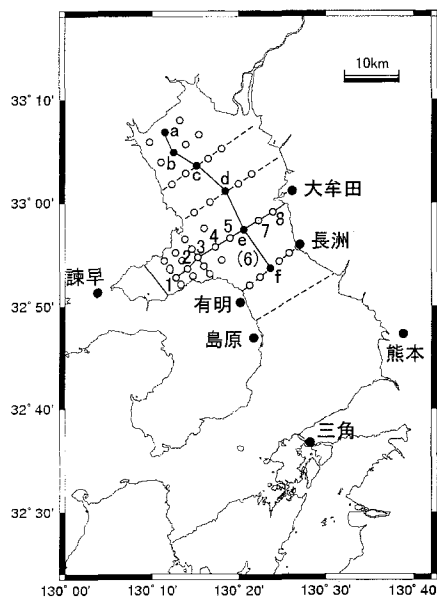


図-2 成層観測などの測点

ト」を実施し、はじめて有明海全体の空間的な流動構造の測定を行った(小松ら, 2003)。この観測は、比較的鉛直方向に混合している秋の大潮期に行われたため、成層構造が流れに与える影響などの評価はできなかった。そこで、同研究グループでは夏季成層期における流動構造の把握を目的として、北部有明海において大規模同時観測「有明プロジェクト II」を実施した。部分的な観測結果については、既に徳永ら(2004)と大串ら(2004)で報告されているが、本論文では全体的な観測の概要とその結果を報告する。

2. 現地観測の概要

2003年7月20日に、島原—熊本ラインより北部の有明海全域(図-1 参照)について観測を実施した。観測範囲を北部有明海に限定した理由は、成層化を起こしやすく、貧酸素水塊や赤潮の発生、ならびにタイラギなどの不漁が同海域に集中して発生しているためである(例えば、堤ら, 2002; 梶原ら, 2003)。

(1) ADCP による流動観測について

ADCP による流動観測を計6艘の観測船を用いて曳航観測により実施した。観測断面は、図-1に示す島原—熊本ライン以北の8断面である。各断面を示すラインのうち、C-C'、D-D'、E-E'ラインは2001年の有明プロジェクトと同じである。使用したADCPは、RD-Instruments社製 WorkhorseADCP 1200 kHzが3台、600 kHzが3台であり、各断面の最大水深により機種を配分した。ADCPは、層厚:1m、ブランク:2.56m、サンプリング間隔:3sに設定された。航行速度を5~6knotに保ち、

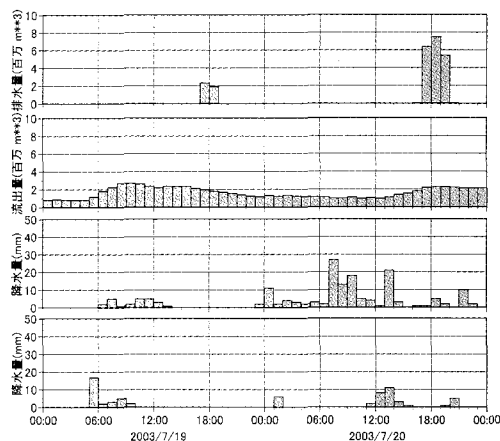


図-3 淡水の流入量と降雨量の変化(上図より、潮受堤防からの排水量、筑後川の流出量、アメダス(島原)とアメダス(久留米)の降水量)

DGPSにより測線の確認を行いながら図-1の矢印の向きに測定された。

観測当日の潮汐は比較的日子潮不等の小さい中潮期であり、干潮1時間前の06:00から次の干潮までの一潮汐間に渡り3時間毎に計5回の走行を行い、断面流速分布を測定した。当日の三池での予報潮位は、満潮:450cm(00:50)、干潮:179cm(07:03)、満潮:418cm(12:58)、干潮:168cm(19:02)であった。

(2) 成層観測について

ADCP曳航観測と同時に、図-2に示す合計42地点において多項目水質計による水質観測を計7艘の観測船を用いて実施した。測定項目は、塩分、水温、溶存酸素濃

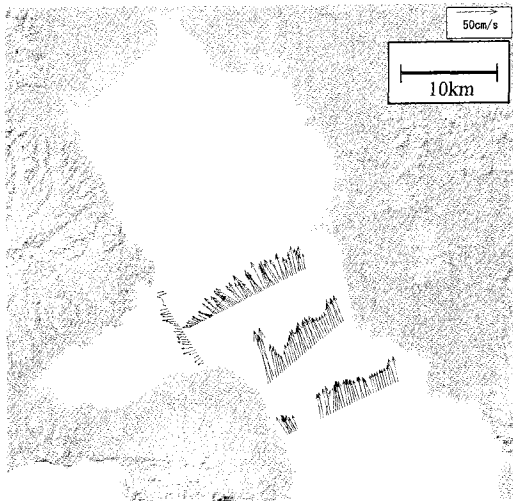


図-4 上げ潮最強時（第2回目）の水深平均流速分布図

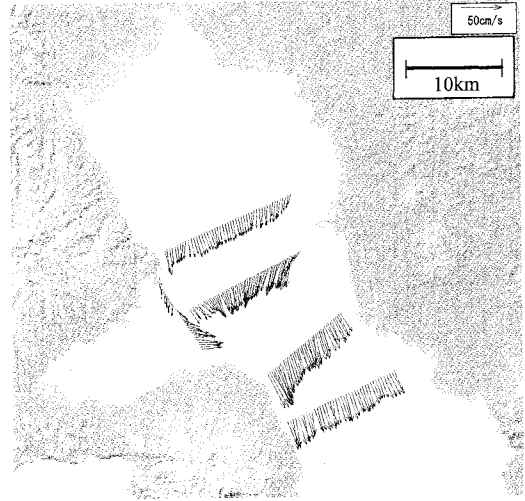


図-5 下げ潮最強時（第4回目）の水深平均流速分布図

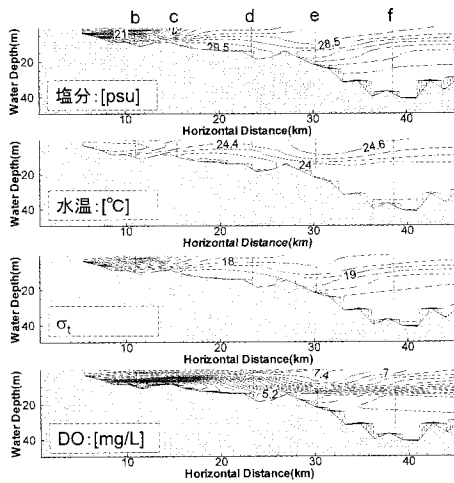


図-6 下げ潮最強時における縦断方向の塩分・水温・密度・DO 分布

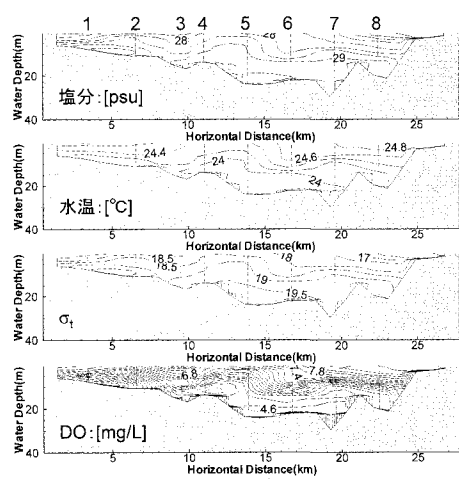


図-7 下げ潮最強時における横断方向の塩分・水温・密度・DO 分布

度 (DO), クロロフィル-a, 濁度であり, 表層から 10 m までは 1 m 間隔に, それ以深は 2 m 間隔で鉛直分布を測定した。また, DO の測定を行ったので, 各層で 30 秒程度静止させながら観測機器を降ろしていった。測定は, ADCP 曳航観測と同様に 3 時間毎に計 5 回行われた。測点位置は, GPS による測位で確認された。

機器間でのデータ補正はそれぞれ次のように行った。塩分と水温については, 一斉観測前日に多項目水質計を瑞穂漁港に持ち寄り, 異なる海域より採水した 3 種類の海水を大型のバケツにそれぞれ満たし各計測器により測定を行った。そして, それらの海水を保存しておき, 後日サリノメータで測定することで検定した。水温は, 検定書付き水温計により一点補正を行った。DO について

は, 観測前日に 100% 濃度による校正を行った。クロロフィル-a については, 第 3 回目の観測中に, 各測点で水深 2 m 層と 5 m 層で海水を 250 mL ずつ採水した後, それらを回収しアセトン抽出により測定し, 校正を行った。

(3) その他の観測と観測当日の気象状況について

水質観測を行った測点において, 海上風, 透明度, 海色の測定を実施した。また, 数値シミュレーションによる本観測結果の再現を行う際に必要となる境界条件用に, 有明海の外海である富岡と野母崎 (脇岬港) において潮位観測を 7 月 13 日～8 月 9 日 (野母崎は 17 日) までの期間に実施した。

一斉観測当日と前日の気象条件は, 梅雨前線が活発化したため, 雷雨に襲われるなど荒れた天候となった。前

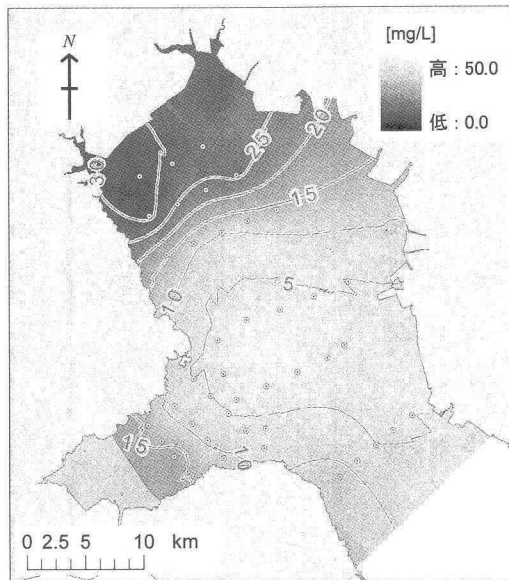


図-8 下げ潮最強時における表層の濁度平面分布

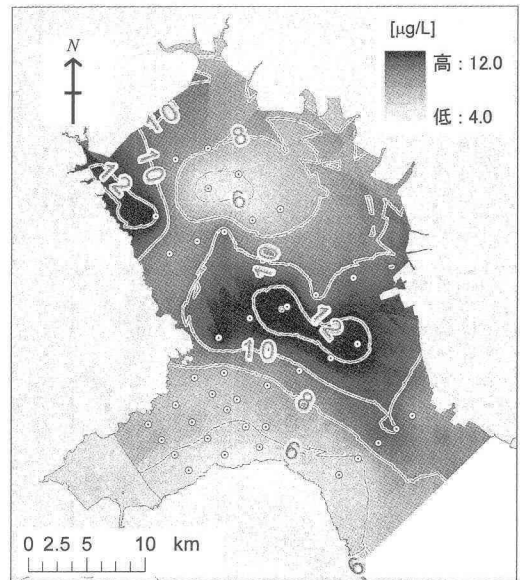


図-9 下げ潮最強時における表層のクロロフィル-a 平面分布

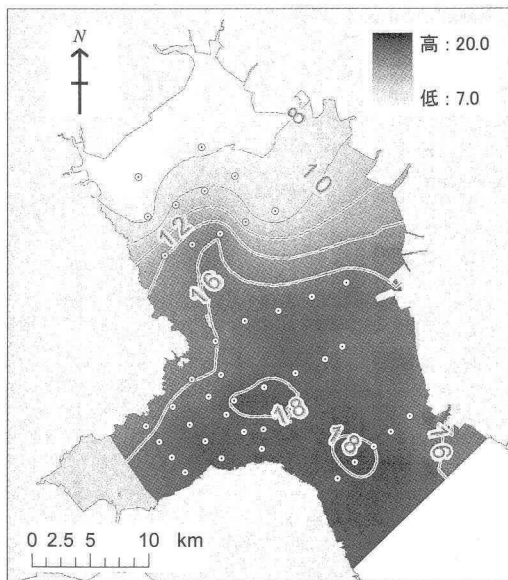
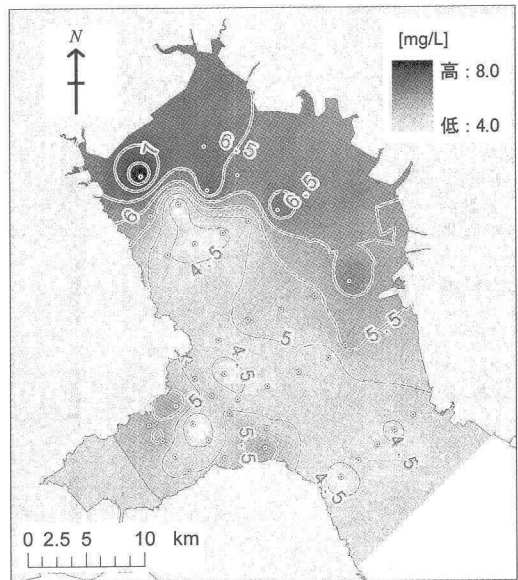
図-10 下げ潮最強時における表層の σ_t 平面分布

図-11 下げ潮最強時における底層のDO平面分布

日の7月19日は福岡市の御笠川が氾濫し、当日の20日は水俣で土石流災害が発生するなど、豪雨災害が重なった。図-3に、両日の諫早湾潮受堤排水門からの1時間当たりの排水量、筑後川の1時間当たり淡水流出量、島原と久留米における降水量の時間変化を示す。潮受け堤防の排水門から干潮時に集中的に、筑後川の3倍程度の流量で排水が行われていた。気温は、20日の観測中ほぼ一定で23~25°Cの範囲にあった。風は、島原で3 m/s

程度、海上では南東寄りで有明海の湾軸に沿って北へ向かう方向に風速1~4 m/s程度で吹いていた。

3. 観測結果について

(1) 流動構造について

得られた観測結果のうち代表的なものとして、上げ潮最強時(2回目観測, 09:00~11:00)と下げ潮最強時(4回目, 15:00~17:00)における水深平均流速の平面

分布をそれぞれ図-4, 5に示す。ただし、一行程当たり1時間から2時間弱の航行時間を掛けているが、時間補正は行っていない。特徴的な流動構造として、島原半島沿岸に強い流れが発生していること、下げ潮時には諫早湾湾口海域にキャビティフローが見られることが分かる。また、下げ潮時には島原半島沿岸域に向けて集中してくる流れになっており、これは田中ら(2002)が数値実験的に検証した沿岸ジェットの発生を表しているとも考えられるが、今後詳細な検証が必要である。

(2) 成層構造と水質構造について

次に、図-2に示す縦断面(測点a~f)と横断面(測点1~8)について、図-6, 7に下げ潮最強時の塩分、水温、 σ_t 、ならびにDOの分布を示す。湾軸方向に、感潮河川河口域に見られるような成層構造が発達していることや、DOの分布と密度分布が相似になっていること、横断方向の測点3~5の領域に鉛直混合の増加による躍層の上昇があることなどが見られる。

最後に、下げ潮最強時における表層の濁度、クロロフィル-a、 σ_t と底層のDOについて、図-8~11に平面分布を示す。図中の白丸は、欠測箇所を除いた測点を表している。作図にはGISソフト(ArcGIS, ESRI社製)を使用した。これらより、底層のDOはこのときは貧酸素化はしていなかったが、これまで発生源として指摘されている佐賀県沖や諫早湾内で低くなっていることが分かる。また、濁度とクロロフィル-aには負の相関があり、浮泥の巻き上がりによる植物プランクトン増殖の抑制を示していると考えられる。

4. ま と め

夏季成層期をねらって、北部有明海全域において流動構想と成層構造の大規模一斉観測を実施した。梅雨明けが遅れたことなどから、当初予想した程は水温成層が発達していなかった。しかしながら、大雨による淡水流入により発達した塩淡水成層の効果が大きい状態の観測を実施することができたため、多くの有益な情報が得られたと考えられる。

なお、今回の観測より得られた膨大なデータについては、本論文で全てを紹介できなかったため、本観測の詳細は報告書による公表を、観測データについてはGISなどを利用した電子情報としてインターネットによる一般公開を予定している。今後も、有志の参加を募り「有明プロジェクトIII」を立ち上げ、有明海における大規模一斉観測を行いたいと考えている。

謝辞：株式会社エス・イー・エーの下田力氏には一斉観測に参加を頂いた、芦刈・川口・有明町・島原・瑞穂・

竹崎の各漁協には観測船の備船に多大な協力を頂いた。加えて、観測には各参加大学の研究室に所属する多くのスタッフと学生諸氏の協力を得た。特に、九州大学大学院工学府の神山泰君(現国土交通省)、九州大学工学部の橋本泰尚君と高橋篤君にはデータ整理でも多大な協力を頂いた。また、本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究A「有明海の流れ構造の解明と蘇生・再生のための調査研究」(研究代表者小松利光、課題番号14205075)の援助を受けた。ここに記し、深甚なる感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 井上尚文・青山恒雄・宮地邦明(1979): 沿岸域の海況調査方法としての多数船同時観測の有明海における試行の意義, 月刊海洋科学, Vol. 11, No. 5, pp. 448-457.
- 宇野木早苗(2002): 有明海における潮汐と流れの変化一諫早湾干拓事業の影響を中心にして一, 海と空, 第78巻, 第1号, pp. 19-29.
- 宇野木早苗(2003a): 有明海の潮汐と潮流はなぜ減少したか, 海の研究, 第12巻, 第1号, pp. 85-96.
- 宇野木早苗(2003b): 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, 第3号, pp. 307-313.
- 大串浩一郎・酒見 諭・荒木宏之(2004): 現地観測による有明海湾奥部の水質変動特性, 水工学論文集, 第48巻, pp. 1279-1284.
- 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.
- 海上保安庁水路部(1974): 有明海・八代海海象調査報告書, 39p.
- 梶原義範・富田友幸・中野拓治・磯部雅彦(2003): 有明海湾奥西部海域における2002年夏季の貧酸素水塊の発生状況について, 土木学会論文集, No. 247, II-65, pp. 187-196.
- 九州農政局(2003): 諫早湾干拓事業開門総合調査報告書, 65p.
- 小松利光・安達貴浩・金納 聡・矢野真一郎・小橋乃子・藤田和夫(2003): 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.
- 田中昌宏・稲垣聡・山本克則(2002): 有明海の潮汐及び三次元流動シミュレーション, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 406-410.
- 塚本秀史・柳 哲雄(2002): 有明海の潮汐・潮流, 海と空, 第78巻, 第1号, pp. 31-38.
- 塚本秀史・柳 哲雄(2003): 宇野木氏の論文に対する意見, 海の研究, 第12巻, 第1号, pp. 97-98.
- 堤 裕昭・岡村絵美子・小川満代・高橋 徹・山口一岩・門谷 茂・小橋乃子・安達貴浩・小松利光(2003): 有明海奥部海域における近年の貧酸素水塊および赤潮発生と海洋構造の関係, 海の研究, 第12巻, 第3号, pp. 291-305.
- 徳永貴久・鶴崎賢一・松永信博・小松利光(2004): 有明海の竹崎一大牟田ラインにおける成層構造と水質特性, 水工学論文集, 第48巻, pp. 1273-1278.
- 灘岡和夫・花田 岳(2002): 有明海における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, 第49巻, pp. 401-405.
- 柳 哲雄・塚本秀史(2004): 有明海における潮汐振幅の経年変動, 海の研究, 第13巻, 第3号, pp. 295-300.