

諫早湾での夏季における流動, 成層安定性と底層の 溶存酸素の関係

中山 哲 嚴*・佐伯 信 哉**・木元 克 則***

有明海では, 近年大規模なノリの色落ちが社会問題となった。併せてアサリやタイラギ等のへい死が発生しており, 漁業を取り巻く環境が大きく変化していることが予測されている。諫早湾は, 夏季に貧酸素水塊や赤潮等が頻繁に発生しており, 正常な生物活動や生態系に大きな影響を与え, 魚介類の生産にも影響を及ぼしていると考えられる。そこで本研究では, 諫早湾における底層の溶存酸素濃度に影響を及ぼす流動, 成層状態に着目し, 2003 年 6 月初旬から 9 月初旬の約 3 ヶ月間の溶存酸素, 水温等の水質分布, 流れ等の連続観測を行うことで, 流動, 水質特性を明らかにした。さらに, 中山ら (2003) の観測結果を含め, 貧酸素水塊の発生と消滅に及ぼす流動特性や成層状態等と水質変動過程の関係を明らかにした。

1. はじめに

一般に, 閉鎖性内湾の特に流れの弱い場所では, 夏季に水温, 塩分成層が発達し, 鉛直混合が起こりにくくなることにより底層は貧酸素化しやすい。また, 貧酸素化は底泥の栄養塩や硫化物の溶出を促進し, 正常な生物活動や生態系に大きな影響を与え, 魚介類の生産にも影響を及ぼしていると考えられる。有明海では, 近年大規模なノリの色落ちが社会問題となった。併せてアサリやタイラギ等のへい死が発生しており, 漁業を取り巻く環境が大きく変化していることが予測されている。

諫早湾での最近の観測結果より, 貧酸素水塊は水温成層が発達し流れの弱い小潮期に発生, 発達, 強風により解消されることが明らかとなっている (中山ら, 2003)。また, 水質悪化の要因として, 有明海に流入する河川からの淡水供給による富栄養化現象が, 諫早湾の水質悪化の一因であると報告されている (鯉渕ら, 2003)。

本研究では, 諫早湾における底層の溶存酸素に影響を及ぼす流動, 成層状態に着目する。2003 年 6 月初旬から 9 月初旬の約 3 ヶ月間の溶存酸素, 水温等の水質分布, 流れ等の連続観測を行い, 流動, 水質特性を明らかにする。さらに, 中山ら (2003) の観測結果を含め, 貧酸素水塊の発生と消滅に及ぼす流動特性や, 成層状態等と水質変動過程の関係を明らかにすることを目的とする。

2. 現地観測の方法

現地観測は, 図-1 に示す諫早湾内 (湾奥: 小長井沖 P4, 湾口: 竹崎沖 P5) の 2 か所に連続観測用の係留系 (図-2) 及びナローバンドタイプの超音波流速計 (AQUADOPP) を設置した。各測器の計測は, 下記の要領で行った。

① 超音波流速計 (AQUADOPP) を底設し, 流速分布の連続観測 (10 分間隔, 1 分平均) を行った。

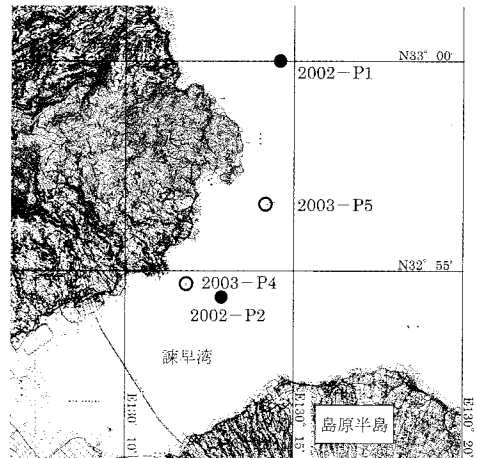


図-1 観測地点位置図

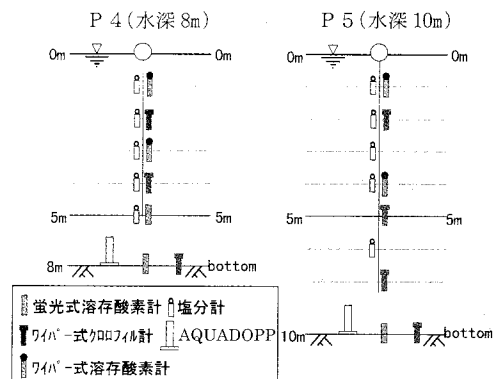


図-2 観測機器設置図

② AQUADOPP 設置地点にて, 水温, 塩分, 溶存酸素, 濁度, クロロフィル等の計測器を係留ロープに配置し, 連続観測 (10 分間隔, 一部 30 分間隔) を行った。

③ 観測期間は, 諫早湾で貧酸素水塊が頻繁に発生する夏季 (6 月 8 日～9 月 8 日) とした。

④ 台風時は, 係留系を撤去し再設置した。竹崎沖 P5 点は, 係留系流出のため, 同地点の観測は 7 月以降となっ

* 正会員 工修 (独法) 水産総合研究センター水産工学研究所
** 正会員 (株) 荒谷建設コンサルタンツ四国支社 技術部
*** (独法) 水産総合研究センター西海区水産研究所

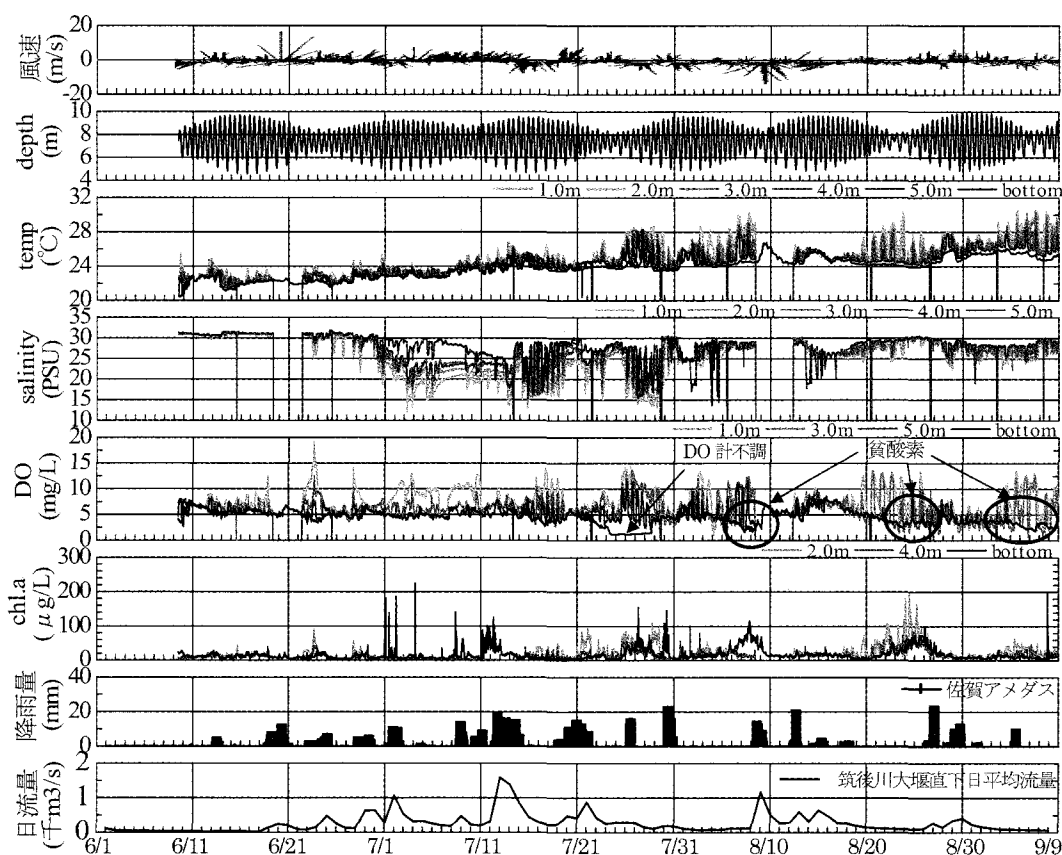


図-3 2003年夏季における水質・気象の時系列図

(風速ベクトル, 水深, 水温, 塩分, 溶存酸素濃度, クロロフィル a, 降水量, 筑後川大堰直下日平均流量)

た。

⑤ 係留系計測機器は、約10日間に1回程度の割合で引き上げセンサーの清掃を行った。

3. 現地調査の結果と考察

(1) 2003年夏季における観測結果の概要

図-3は、2003年6月8日から9月8日までのP4点における水質観測結果の時系列データを示したものである。図の1段目より風速ベクトル、AQUADOPPによる実測水深、水温、塩分、溶存酸素濃度、クロロフィル a、降水量、筑後川大堰直下日平均流量に対する時系列変化を示したものである。なお、風速ベクトル、降水量については、佐賀地方気象台により観測されたものを用いた。

溶存酸素濃度は、7月中旬までは、著しい低下は見られなかった。この原因としては、7月初旬より降雨が多く、塩分成層が発達したものの、日照時間が少ないため水温が低く、さらに比較的风が強かったことによると考えられる。

8月の初旬、下旬および9月初旬は、天候の安定に伴い小潮の時期に貧酸素状態となった。特に9月初旬は、

底層での貧酸素状態が継続し、底魚類の表層への回避行動、魚類の死亡が観察された。

クロロフィル a は、P4、P5点ともに小潮期に高くなった。植物プランクトンの増殖は、流動の大きさに強く影響されることが示唆された。

(2) 流動特性

P4点は、地形の影響を受け東西方向の流れの成分が大きかった。期間平均の流速分布は、微弱であるが表層付近で東、底層で西向きの流れとなり、弱いエスチャリー循環が認められた。P5点における流れの強さは、P4点より若干大きかった。流れの方向は明確でないが、諫早湾軸方向と考えられた。

各地点の観測値をもとに、上、中、下層で調和解析をおこなった。その結果、流れの卓越方向、流速振幅ともに前述した傾向を確認している。ただし、P5点については、中層が湾軸に直角方向の流れであった。

図-4は、P4点における大潮期、小潮期の平均流速の鉛直分布を示したものである。大潮期、小潮期では、残差流の傾向が大きく異なることがわかった。大潮期は、表層で諫早湾への流入、底層で流出であり、小潮期では

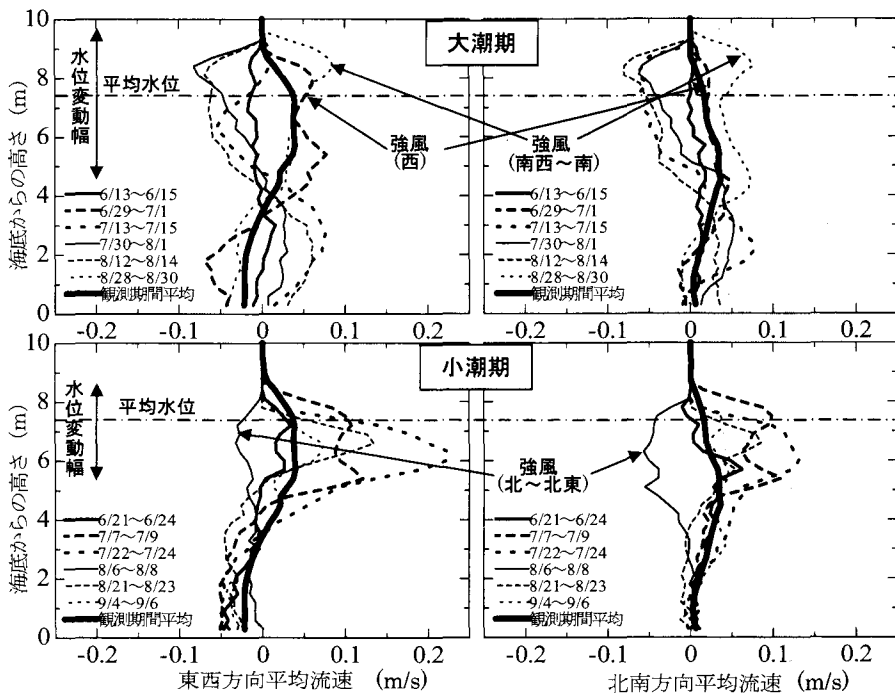


図-4 P4点における大潮、小潮期の平均流速分布

その逆であった、しかしながら、5 m/s 以上の風が連吹する気象条件では、風向に依存した流動を示す傾向にあった。P5 点についても、同様な傾向を示していた。

(3) 底層溶存酸素濃度の水平分布特性

小潮期における貧酸素水塊の挙動を捉えるために、底層が貧酸素状態となりはじめた、8月22日から多点底層連続観測を行い、底層溶存酸素濃度の水平分布特性を検討した。図-5に示すように、底層の溶存酸素濃度は、P4点東方で2 mg/lを下回り、潮位の低下とともに2 mg/l未満の水塊が南下していることが確認できる。図にはないが、潮位の上昇とともに2 mg/l未満の水塊は北に向かって消滅した。貧酸素水塊は、P4点北東部の干潟周辺部で発生し、小潮期の下げ潮で諫早湾奥に移流、拡散することが示唆された。

(4) 底層流速と溶存酸素濃度の関係

貧酸素状態は、成層が卓越し流動が弱い小潮期によく発生することが再確認された。貧酸素化の形成、消滅過程を検討する場合、水温、塩分によって形成される密度の状態と流動が重要であると考えられる。そこで、底層流速と底層の溶存酸素濃度の関係について検討した。流速の瞬間値と溶存酸素の関係は、非常にばらつきが大きいため、12時間移動平均した流速の絶対値と溶存酸素の関係について検討した。

図-6(a)は、小長井沖P4点における時間平均した底層流速の絶対値と底層溶存酸素濃度の関係を示したものの

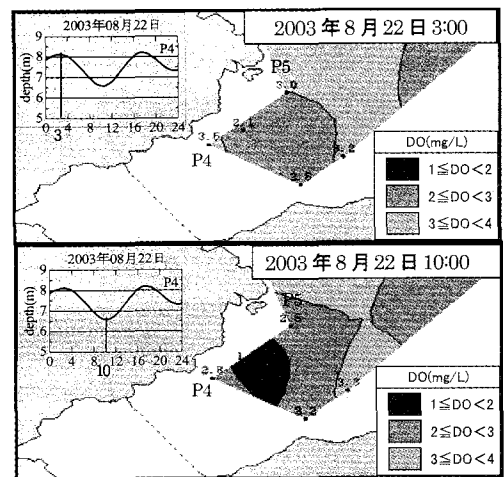


図-5 小潮期の底層における溶存酸素濃度の水平分布

である。図-6(b)は、小長井沖(2002-P2点, 2003-P4点)および竹崎沖(2003-P5点)における底層流速の絶対値と底層溶存酸素濃度の相関を示したものである。ただし、2003-P4点では7月24日から28日は溶存酸素計が不調であったため、相関図より削除した。図-6より、時間平均した底層流速の絶対値と底層溶存酸素は比較的良好な相関が確認でき、底層流速の絶対値が0.1 m/sを下回ると、貧酸素状態になる傾向が伺えた。時間平均した底層流速の絶対値は、流速振幅の関数であり、流速と溶存

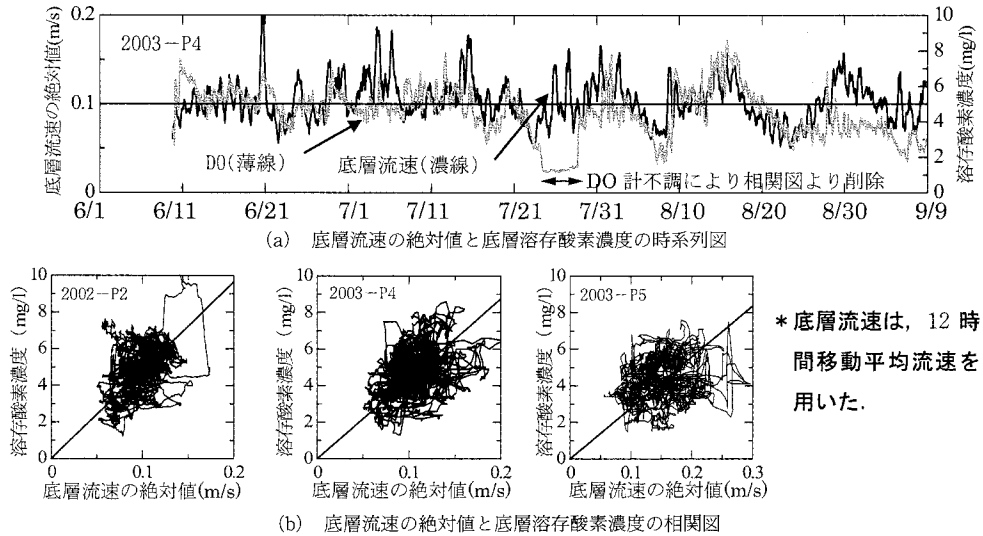


図-6 底層流速の絶対値と底層溶存酸素濃度の関係図

酸素濃度には密接な関係があることが明らかとなった。

(5) シアーと成層状態の関係

成層状態の強さに及ぼす、シアーの影響を検討した。

図-7 は、P4 点において密度成層の発達と減衰が顕著にあらわれた、7 月 13 日から 17 日までのシアーと σ_t の関係を示したものである。7 月 13 日上げ潮時は、比較的シアーが小さく密度成層が発達していたが、下げ潮時にシアーが大きくなるに伴い、鉛直混合により密度成層が弱まっている。その後、シアーが小さくなり密度成層が発達するものの、7 月 15 日前後に底層付近で大きなシアーにより、成層状態が弱まっている。16 日よりシアーが小さくなるに伴い、密度成層が発達している。成層状態の強さは、シアーによる鉛直混合に影響されることが示唆された。

(6) 成層の安定性と底層の溶存酸素濃度の関係

成層状態の安定性が、底層の溶存酸素濃度に大きな影響を与えと考えられる。そこで、全層の平均的な成層安定度パラメータを式 (1) のように定義し、これと底層の溶存酸素濃度の変化を比較した。

$$P_s = \frac{-g/\rho(\Delta\rho/h)}{(\Delta u/h)^2 + (\Delta v/h)^2} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 ρ : 密度、 Δ : 表層と底層の差、 h : 水深、 u : 東西方向流速成分、 v : 北南方向流速成分である。

図-8 は、P4、P5 点における成層安定度パラメータ P_s と底層溶存酸素濃度の関係を示したものである。成層安定度パラメータ P_s についても、やはりばらつきが大きいことから、12 時間移動平均した。

P4 点では、7 月中旬まで成層安定度パラメータ P_s が小さく、成層が不安定な状態となっている。7 月後半か

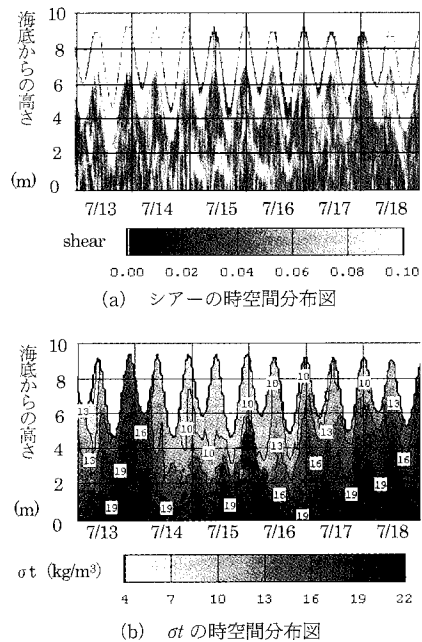
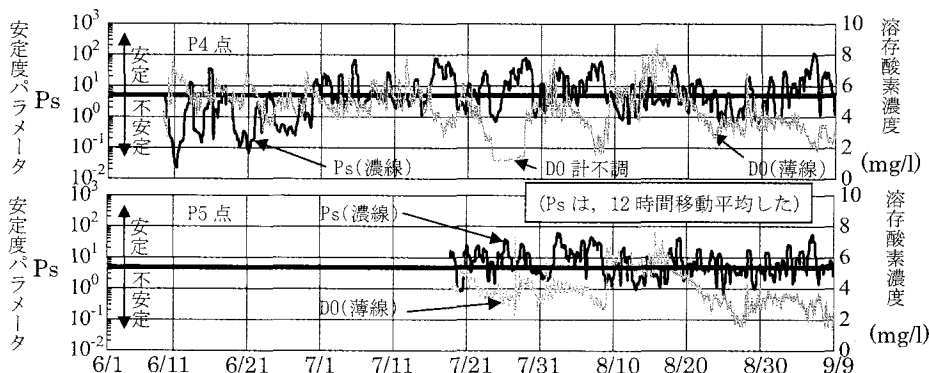


図-7 シアーと σ_t の時空間分布図

ら 9 月前半にかけて P_s は、増加傾向で成層が安定な状態となり、底層溶存酸素濃度が低下する傾向にある。貧酸素の解消過程では、 P_s は小さな値を示しており、成層が弱まることを示している。概ね、 P_s が 5 以上となると溶存酸素が低下し始め、5 以下が継続すると貧酸素が解消される傾向にある。

P5 点でも同様な傾向が見られた。P5 点では、比較的 P_s の変動幅が小さいが、これは P4 点より若干シアーが

図-8 成層安定度パラメータ P_s と底層溶存酸素濃度の関係図

大きいととらえている。

(7) 諫早湾内への低塩分水の流入

鯉渚ら (2003) は、多点の連続計測結果から、低塩分水が諫早湾口北部から進入していること、塩分分布から推定された諫早湾内への淡水量は、水門からの排水量の数倍に達することを報告している。

図-9 に示すように、塩分の時空間変動をみると、7 月後半に非常に低い塩分が諫早湾口竹崎沖 (P5 点) に出現している。これは、おそらく筑後川の出水に伴って形成された低塩分水と考えられる。今回の観測では、栄養塩濃度を計測していないため、鯉渚ら (2003) による塩分と T-N の関係式と竹崎沖 (P5 点) における流速、塩分データから、低塩分水に含まれる諫早湾軸方向の T-N フラックスを求めた。

その結果を示したのが、図-10 である。ここでは、20 psu 以下の低塩分を対象とした。7 月 18 日～7 月 30 日までに激しい流入、流出が起きている。全体の収支としては、流入となった。このことから諫早湾には、調整池からの流出に加えて、有明海からの低塩分水 (栄養塩) の流入があると考えられる。

かつてあった諫早湾奥の干潟が消失し、浄化機能が減少したことを考慮すると、諫早湾内の底質、水質の悪化は今後さらに進行する可能性が高いものと考えられる。

4. おわりに

本研究では、諫早湾における底層の溶存酸素濃度に影響を及ぼす流動、成層構造に着目した。2003 年 6 月初旬から 9 月初旬の約 3 ヶ月間の溶存酸素、水温等の水質分布、流れ等の連続観測を行い、流動、水質特性を検討した。さらに、著者らによる 2002 年の観測結果を含め、貧酸素水塊の発生と消滅に及ぼす流動特性や成層状態等と水質変動過程の関係を検討した。その結果をまとめると以下のようである。

- 1) 夏季の底層溶存酸素濃度は、成層が発達し、流動

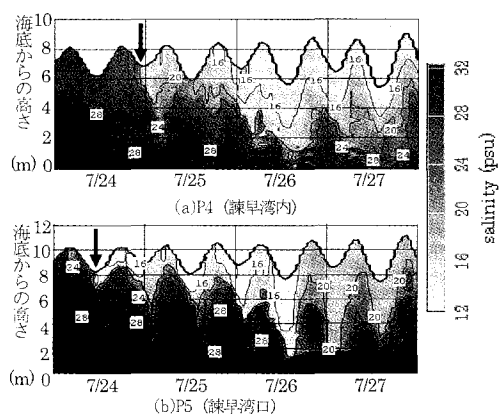


図-9 塩分の時空間分布

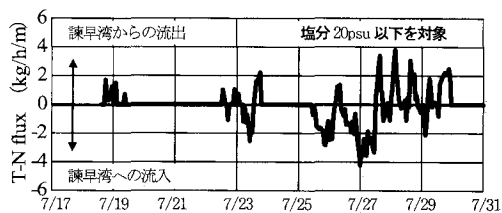


図-10 T-N flux

が弱い時に低下する。

- 2) 時間平均した底層流速の絶対値と底層溶存酸素濃度は、比較的相関が良い。
- 3) 成層安定度パラメータと底層溶存酸素濃度は良い対応を示した。

参考文献

- 中山哲蔵・佐伯信哉・時吉 学・木元克則 (2003): 有明海北部で発生する貧酸素水塊に着目した現地調査, 海工論文集, 第 50 巻, pp. 976-980.
- 鯉渚幸生・佐々木淳・有田正光・磯部雅彦 (2003): 有明海における水質変動の支配要因, 海工論文集, 第 50 巻, pp. 971-975.