

【報 文】

諫早湾のアサリ養殖場における夏季大量へい死対策
—— 底層溶存酸素の改善試験 ——平野 慶二^{1*}・日向野 純也²・中田 英昭³・品川 明⁴
藤田 孝康⁵・徳岡 誠人⁵・向後 恵一⁵

An Experiment for Preventing Mass Mortality of Cultured Short-neck Clams Due to Hypoxia Formation During Summer in Isahaya Bay

Keiji HIRANO^{1*}, Junya HIGANO², Hideaki NAKATA³,
Akira SHINAGAWA⁴, Takayasu FUJITA⁵,
Makoto TOKUOKA⁵ and Keiichi KOGO⁵

Abstract

An experiment for preventing mass mortality of cultured short-neck clams due to hypoxic and anoxic conditions was conducted at the Kama tidal flat in northern Isahaya Bay, Nagasaki, in the middle of August 2008. Before the experiment, the starting date (11 August 2008) of hypoxia formation in the experimental site was predicted by reviewing historical data including dissolved oxygen (DO) in the bottom water, and other environmental conditions such as tidal range, wind speed and red tide incidence. A hypoxia prevention system that was composed of barriers against the hypoxic water intrusion and a micro-bubble generator for aeration was set in the experimental area (20m×20m), and time changes in DO concentration in the bottom water were monitored and compared with the time changes in the control area. The differences in survival rates of short-neck clams and contents of acid volatile sulfides in the sediment after the experiment were also compared between the experimental and control areas. Despite some troubles during the experiment, it was revealed that the system mentioned above was effective for preventing hypoxia and for avoiding mass mortality of cultured short-neck clams at the Kama tidal flat.

1. はじめに

東京湾や三河湾をはじめとするわが国の内湾では、夏季に底層水の貧酸素化が進行し、それが沿岸浅海部に進入・湧昇してアサリ等の水産有用二枚貝類を大量にへい死させることが大きな問題となっている^{1)~3)}。有明海の

佐賀県沿岸の干潟周辺海域でも、夏季の小潮期に貧酸素化が進行することが問題となっており^{4), 5)}、それに伴うサルボウガイの大量へい死の事例が報告されている⁶⁾。

諫早湾の諫早市小長井町地先の干潟でも、養殖されているアサリが夏季に大量へい死する事例が数年に1度発生しており⁷⁾、2000年8月には2億6千万円の漁業被害

2009年6月15日受付, 2009年12月24日受理

キーワード: 諫早湾, アサリ, へい死対策, 貧酸素化

Key word: Isahaya Bay, Short-neck Clam, Hypoxia

¹ Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries, 1551-4 Taira, Nagasaki, Nagasaki 851-2213, Japan (長崎県総合水産試験場 漁場環境科 〒851-2213 長崎市多比良町1551-8)

² National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency, Minami-ise, Mie 516-0193, Japan (水産総合研究センター養殖研究所 〒516-0193 三重県度会郡南伊勢町中津浜浦422-1)

³ Faculty of Fisheries, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo, Nagasaki, Nagasaki 852-8521, Japan (長崎大学水産学部 〒852-8521 長崎市文教町1-14)

⁴ Faculty of Intercultural Studies, Gakushuin Women's College, 3-20-1, Toyama, Shinjuku, Tokyo, 162-8650, Japan (学習院女子大学国際文化交流学部 〒162-8650 東京都新宿区戸山3-20-1)

⁵ Mikuniya Corporation, Mizonokuchi 3-25-10, Takatsu, Kawasaki, Kanagawa 213-0001, Japan (日本ミクニヤ(株) 〒213-0001 神奈川県川崎市高津区溝口3-25-10)

* Tel: 095-850-6316, Fax: 095-850-6374, hirano010431@pref.nagasaki.lg.jp

が生じた⁸⁾。そのへい死原因として、2000年と同程度の被害を生じた2004年8月の事例では、水温31℃以上の高水温と約14時間継続した貧酸素状態が複合的に作用したためと報告されている⁹⁾。しかしながら、諫早湾の干潟域でアサリの大量へい死を引き起こす底層水の貧酸素化のメカニズムやその影響の詳細については、まだ不明の点が多い。

一方、このような貧酸素化による有用二枚貝類のへい死対策として、三河湾では貧酸素の継続時間からへい死の危険性のある地盤高を推定し、浅場漁場をその地盤高に嵩上げすることが提唱されている¹⁰⁾。また、有明海においては、佐賀県鹿島沖の潮下帯のサルボウガイ漁場において、サルボウガイのへい死を軽減するため、マイクロバブル海水の導入による底質の悪化防止の試験が実施

されている⁶⁾。これらはいずれも潮下帯での貧酸素化によるへい死対策試験の事例であり、これまでに諫早湾のアサリ養殖場のような干潟域での対策事例は全く報告されていない。

本研究では、(1)干潟域のアサリ養殖場において、貧酸素化の発生を事前に予測し、(2)貧酸素化する前に遮断幕で養殖場を囲って貧酸素水の進入を遮断し養殖場内を曝気する底層溶存酸素の改善システムの試験を実施した。その結果、本改善システムがアサリのへい死及び底質悪化の防止に効果的であることが確認されたので、その概要について報告する。

2. 方法

調査及び試験海域をFig.1に示す。試験方法の詳細は

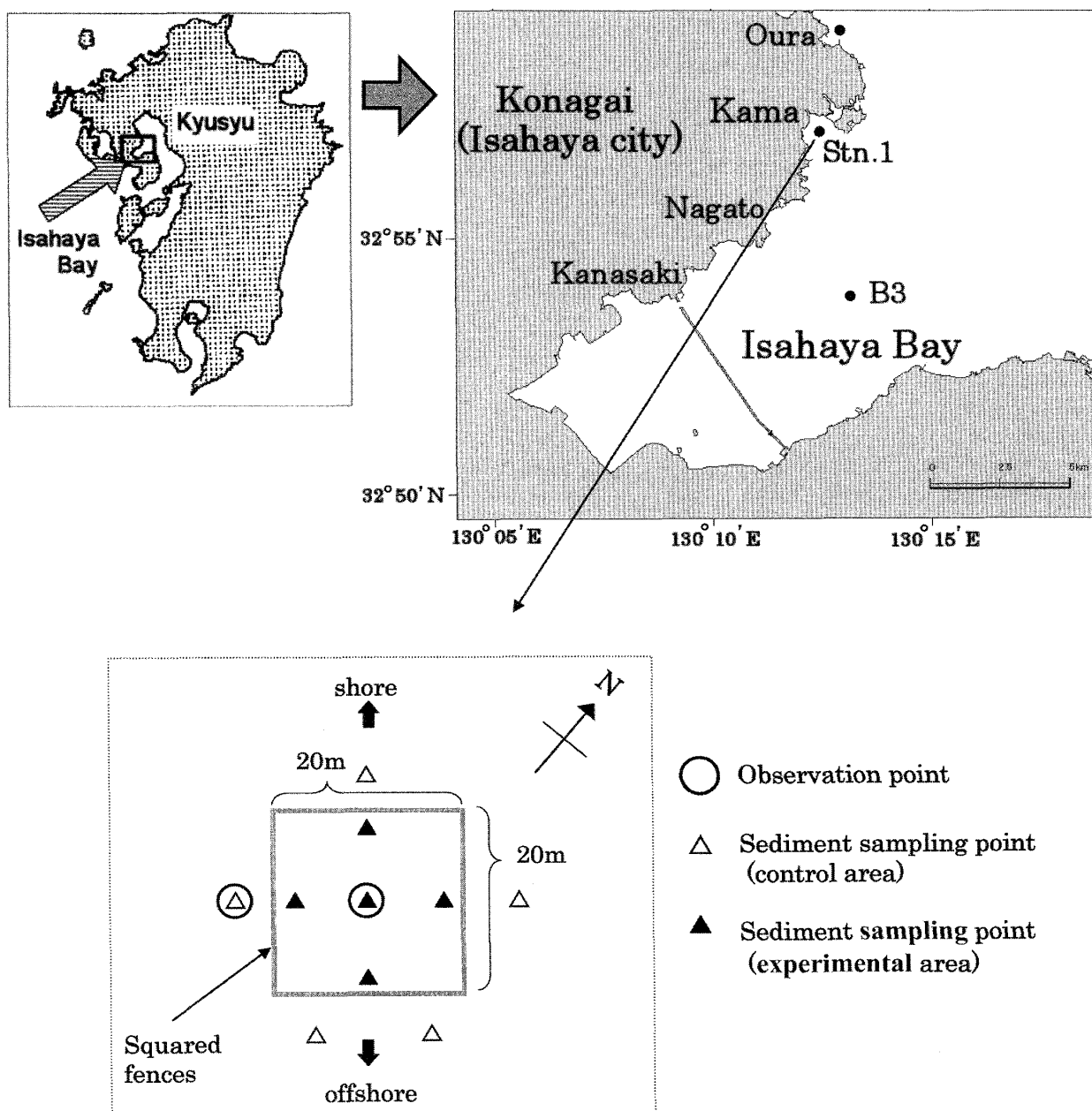


Fig.1 Study site, Isahaya Bay and the Kama tidal flat, showing the locations of Stn.1 for continuous observation of temperature, salinity, and dissolved oxygen, and B3 for wind observation.

以下の通りである。

1) 干潟底層水が貧酸素化する時期の推定

諫早湾北岸部（長崎県諫早市小長井町釜地区）の干潟に覆砂することで展開されているアサリ養殖場において、アサリの大量へい死を引き起こす底層水の貧酸素化に対する対策を講じるには、その発生時期を予測することが必要となる。そこで、貧酸素化が起こる条件を調べるため、養殖場の最も沖側の地点Stn.1（DL.+60cm, Fig.1）において、2003年から2008年までの夏季（7月～9月）に、自記式記録計による水質の連続観測を行った。水温、溶存酸素濃度については水質計（HYDROLAB社製多項目水質計DS4a）を底上約5cmに設置し30分間隔で連続測定し、測定データを携帯電話の回線を利用してリアルタイムで入手した。

また、貧酸素化の発生に関与すると考えられる風速、潮汐（潮差）およびシャットネラ赤潮の発生状況について、九州農政局が諫早湾中央部のB3槽で1時間毎に測定している風向・風速データ、気象庁の大浦検潮所の観測潮位および長崎県総合水産試験場の赤潮調査データ^{11)~14)}をそれぞれ収集し、貧酸素水の発生時期との関連性について検討した。

なお、アサリが大量へい死を起こす可能性のある溶存酸素濃度は0.5mg/L以下とされていることから¹⁵⁾、ここでは0.5mg/L以下を「貧酸素」とした。

2) アサリ養殖場における底層溶存酸素の改善試験（大量へい死対策）

諫早湾干潟域のアサリ養殖場で実施した底層溶存酸素の改善試験の概要をFig.2(a)に示す。本試験に用いたシステムは、沖から底層に進入する貧酸素水の漁場への進入を阻止するための遮断幕と、遮断した漁場内の溶存酸素の減少を補う曝気装置で構成される。遮断幕には市販のブルーシートを高さ2m、長さ20mに加工し、それを横方向にファスナーで継ぎ合わせたものを使用した。

曝気装置の側面図をFig.2(b)に示す。本装置は低圧ポンプによって吸い上げた水流に圧力をかけながら空気を注入し、直径7～54 μ mの微細気泡を混入させる装置である（水量5L/min、吐出口4箇所合計エア量140L/min）。装置の設計に際しては、微細気泡の酸素溶入効果について試験を実施し、水中に溶けた空気の割合の中で最も低い10%の溶解効率で、ブルーシートで囲った容積600000Lの溶存酸素濃度を1時間に0.37mg/L（アサリと底泥の酸素消費速度、平野の未発表データによる）以上を確保できるように、吐出量を140L/minとした。曝気方法として微細気泡を使用したのは、シートで囲った漁場内の成層構造を壊さず、シート上部の上層水の影響を避けるためである。

改善試験は、Stn.1近くの幅が60mで岸沖方向に200mの広がりを持つアサリ養殖場の中央（DL.+120cm）に、

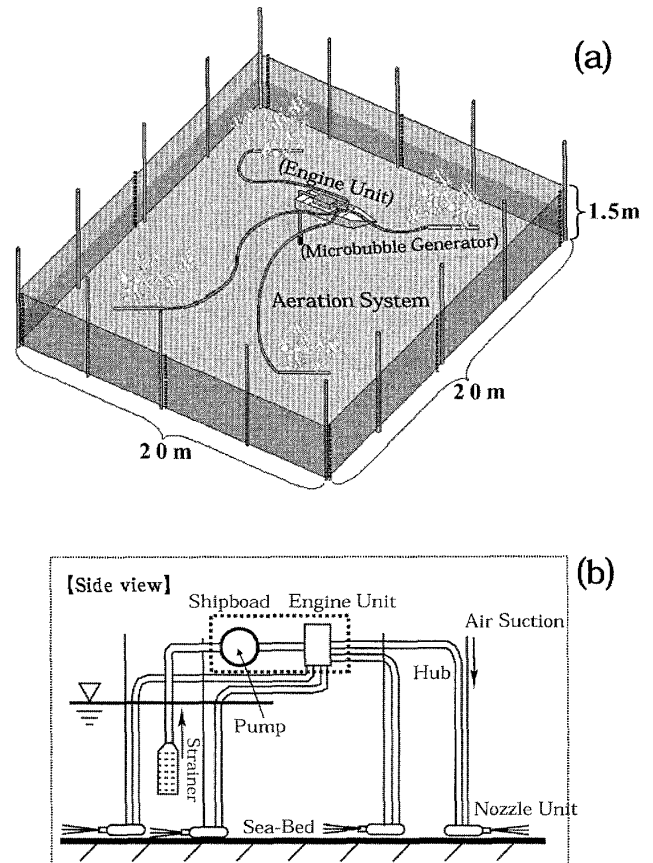


Fig.2 (a) Schematic demonstration of the hypoxia prevention system used at the Kama tidal flat. The height of the squared fence was 1.5 m above the bottom. (b) Side view of the bubble aeration system.

20m×20mの正方形の区画（試験区）を設けて実施した（Fig.1）。後述するようにこれまでの水質連続測定結果等にもとづく発生時期の検討結果から、2008年は8月11日に貧酸素化が予測されたため、8月10日から8月14日まで試験を実施することとした。

まず、アサリ漁場が干出した8月5日（大潮）の干潮時に、上述の遮断幕（ブルーシート）の下端を漁場に20～50cm程度埋め込み、その上部を丸めて8月10日からの試験に備えた。8月10日の小潮時に潜水作業により、丸めたブルーシートを伸ばして、その上端をシートが垂直になるように支柱に固定した（シートの高さ：1.5m）。曝気装置は8月10日の13:00から稼働させ、8月13日11:00～13:00は水位が60cm以下となったため稼働を一時休止したが、同日13:00から再開し、その後は試験終了時（8月14日10:00）まで稼働させた。底層溶存酸素の改善装置は、8月14日の12:00には試験場所から全て撤収した。

試験期間は多項目水質計（アレック電子社製AAQ1183）を用いて、試験区の内外の溶存酸素濃度と水温を、1時間毎に海底面から10cm間隔で計測をした。また、それと並行して試験区と対照区（試験区の沖側で遮断幕から

Table 1 The overall description of the various features associated with hypoxia formation at the Kama tidal flat, including water temperature, dominated species of red tide and mortality of cultured clams during 6 years (2003-2008).

Date	Duration of hypoxia (hours)	Water temperature (°C)	Anoxia*	Species of red tide**	Mass mortality of clams***
22-23 Aug. 2003	14	24~26	-	<i>Hetrosigma akashiwo</i>	-
5-8 Sep. 2003	32	25~28	+	<i>Chattonella antiqua</i>	-
11-14 Aug. 2004	43	28~35	+	<i>C. antiqua</i>	+
15 Aug. 2005	5	27	-	<i>Akashiwo sanguinea</i>	-
5-6 Aug. 2006	15	24~25	-	<i>Diatom</i>	-
23-26 Aug. 2007	15	24~28	+	<i>C. antiqua</i>	+
11-15 Aug. 2008	29	22~29	+	<i>C. antiqua</i>	+

* Occurrence (+)/non-occurrence (-) of anoxic water

** Dominated species of the red tide accompanied by hypoxia formation

*** Occurrence (+)/non-occurrence (-) of mass mortality of short-neck clams

5m離れた場所)の海底上10cmのところに溶存酸素計(アレック電子社製COMPACT-DOW)を設置して10分ごとに溶存酸素濃度を計測した。

また、試験期間のアサリの生存状況の推移を調べるため、8月14日の15:00に試験区と対照区(それぞれ1時間毎の水質観測場所)の海底上にネットに収容したアサリ100個体を置き、24時間ごとにそのネットを引き上げてその時点の生残数を調べた。さらに、試験終了後の8月15日には、試験区と対照区で各2回、20cm×20cmの方形枠を用いた枠取り調査を行い、アサリの生存個体数と4日以内にへい死したと推定されるアサリの個体数(軟体部が残ったへい死直後の個体やきれいな状態の開殻した貝殻の数)を調べ、それらをもとに8月15日時点での生残率を推定した。

上記の生残状況調査用と同時にアサリに対する貧酸素の影響の程度を調べるため、別のアサリ50個体を同じようにネットに収容して海底に置き、試験期間中(8月13日10:00まで)の朝夕2回(計5回)、それぞれ貧酸素が終了した時間帯に試験区と対照区で各5個体のアサリから外套腔液を採取し、アサリの嫌気代謝の最終代謝産物であるプロピオン酸¹⁶⁾の分析に供した。分析には中村(1998)¹⁷⁾と同じくHPLC有機酸分析システム(島津製作所製)を用いた。

さらに、試験終了後の漁場の底質の違いを調べるため、9月1日の干出時に試験区と対照区の各5地点から内径3.5cmの円型コア採泥器を用いて底泥を5cm採取し、検知管法(ガステック製ヘドロテックS)¹⁸⁾により酸揮発性硫化物(AVS-S)を測定した。干潟底質の悪化は、アサリのへい死後に徐々に進行することから、この調査は大量へい死の約2週間後に実施した。

各測定値の差異の検定には、アサリの生残率については2×2分割表による χ^2 検定、底質の酸揮発性硫化物については等分散を仮定しないWelchのt検定を用いた¹⁹⁾。

3. 結 果

1) 干潟底層水が貧酸素化する時期

2003~2008年に釜地区のアサリ養殖場で発生した貧酸素化(0.5mg/L以下)の7事例について、貧酸素化の継続時間と水温、無酸素水の出現の有無、関連して発生した赤潮の原因種およびアサリの大量へい死(2週間間に30%以上のアサリ個体がへい死)の発生の有無をTable 1にまとめて示す。シャットネラ赤潮が発生した2003年9月、2004年8月、2007年8月、2008年8月には、貧酸素はさらに無酸素状態まで進行し、そのうち2004年8月、2007年8月、2008年8月には、アサリの大量へい死が引き起こされたことが分かる。

シャットネラ赤潮が発生した4例についてさらに、貧酸素化した時期と日間の潮位差(最大満潮位から最低干潮位を差し引いたもの)、風の強さ、赤潮の発生状況との関係をFig.3に示した。貧酸素化する時期は、いずれも風が弱く(日平均で5m/s未満)、シャットネラ赤潮が発生している期間のうちで潮差が小さい小潮時期にあたること、しかもその小潮期間中で潮差が極小になった日またはその翌日から貧酸素化が始まり、3~4日間程度継続していることが分かる。

底層溶存酸素の改善試験を実施した2008年8月についても、Fig.3下段に示したように上記の貧酸素化の発生条件に合致していた。2008年8月の干潟底層の貧酸素化の状況を詳細に検討するため、8月10日から8月15日までの溶存酸素濃度と水温の推移をFig.4(a)に示した。これまでの事例から予測された通りに2008年8月11日から貧酸素化が始まり、貧酸素と過飽和を交互に繰り返す状態が8月15日まで続いた。アサリ養殖場である釜地区干潟が貧酸素水に曝露された時間は、8月11日には6時間、12日には8時間、13日には11時間、14日には4時間、15日には6時間で、その間の水温は、それぞれ、29℃台

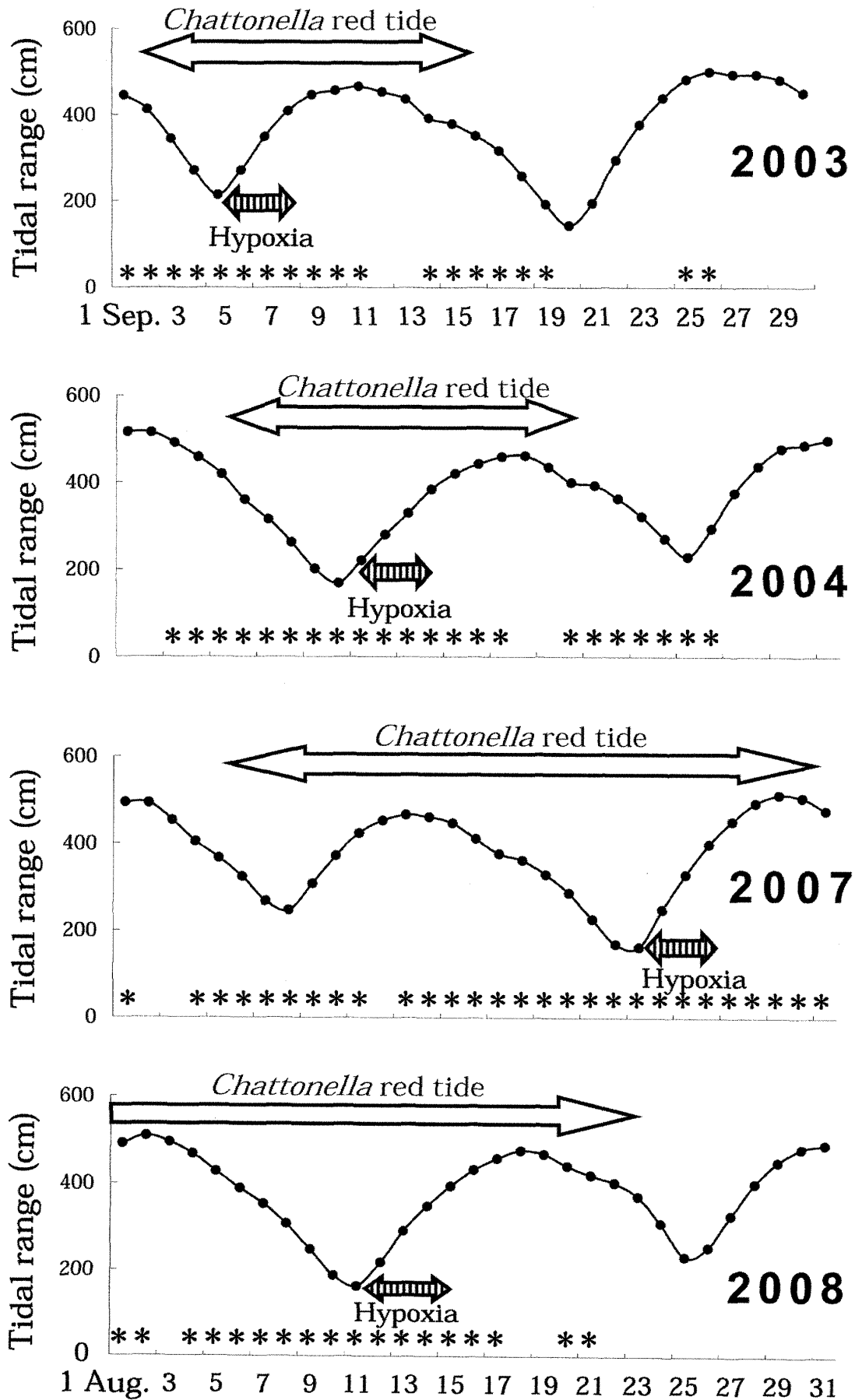


Fig.3 Variations in the daily tidal difference at Oura, (see Fig.1) corresponding to hypoxia formation at the Kama tidal flat in 2003, 2004, 2007 and 2008 (no hypoxia occurred in 2005-2006). Bold open arrows indicate the period of *Chattonella* red-tide outbreaks. Asterisks indicate that daily mean wind speed was below 5 m s^{-1} at B3.

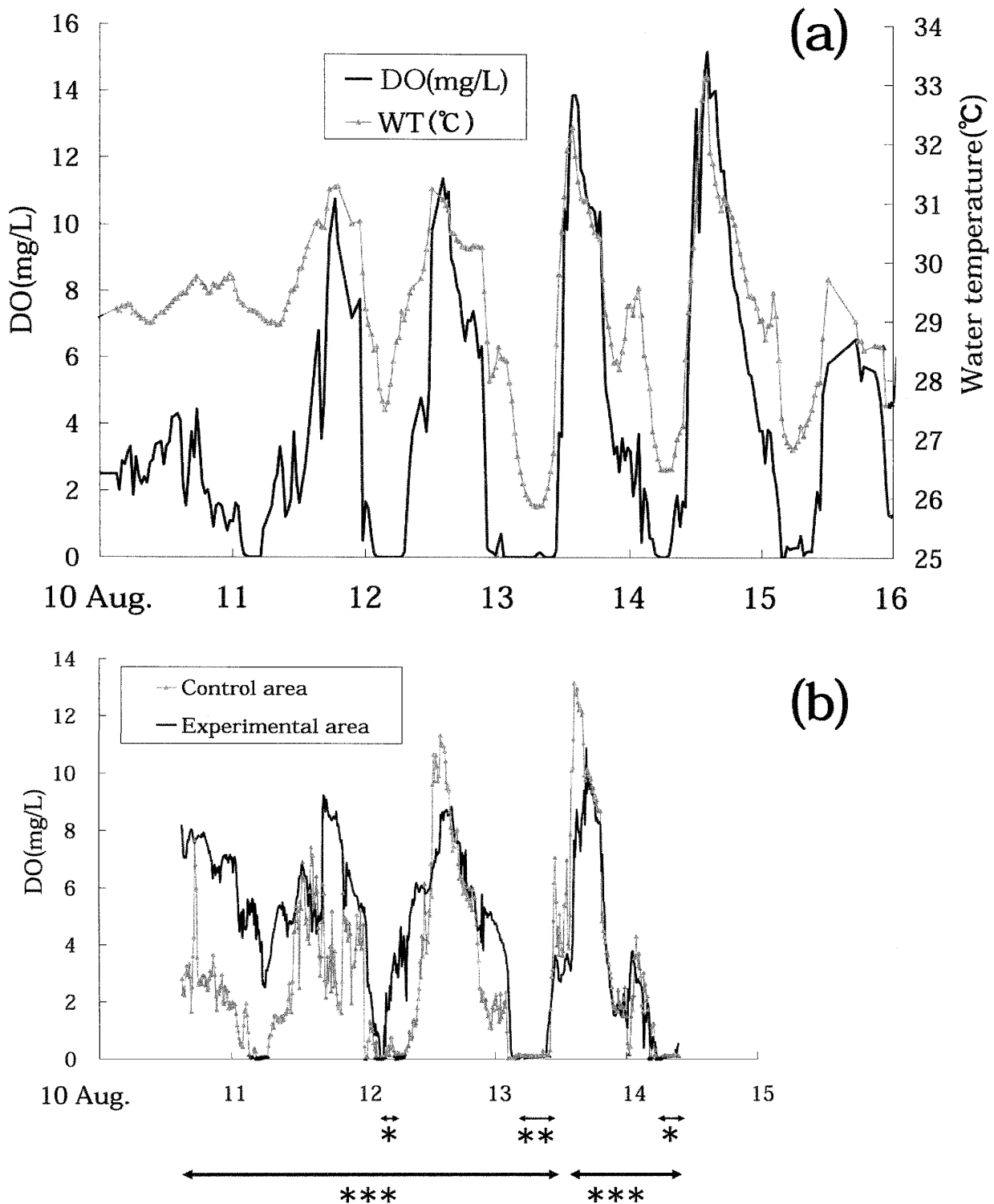


Fig.4 (a) Time changes of dissolved oxygen (DO) concentration and water temperature in the bottom water at Stn.1 from 10 to 16 August 2008. (b) Comparison of dissolved oxygen (DO) concentration in the bottom water between the experimental and control areas from 10 to 14 August 2008.

- * The fence for preventing intrusion of hypoxic water was partly broken.
- ** Hypoxic water probably got over the fence and entered into the experimental area.
- *** Period of operation of the bubble aeration system.

(平均29.3), 27~29℃台 (28.3), 25~28℃台 (26.8), 26~29℃台 (26.9), 26~27℃台 (27.1)であった。水温は8月13日までは徐々に低下し, その後は上昇した。

2) 底層溶存酸素の改善試験の結果

試験区と対照区の底層溶存酸素濃度の推移をFig.4 (b)

に示す。試験区の溶存酸素濃度は, 8月11日までは対照区より全体的に高く0.5mg/L以上の溶存酸素濃度が維持されたが, 8月12日の3:00~4:00, 8月13日の2:50~9:20, 8月14日の4:20~9:30は対照区とほぼ同じ値の貧酸素状態となった。これらのうち8月12日につい

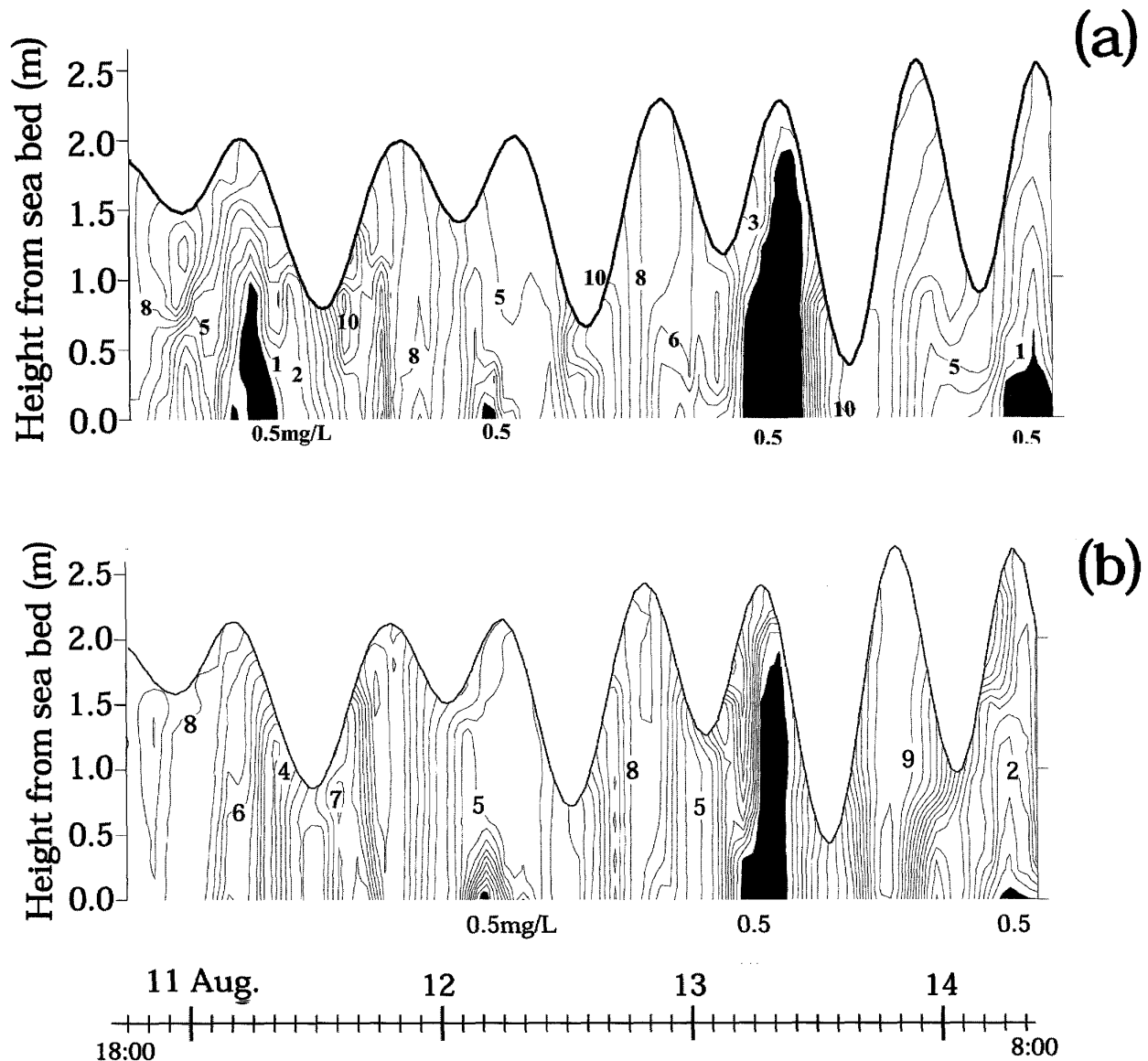


Fig.5 Time changes of the vertical distribution of dissolved oxygen concentration at the control (a) and experimental (b) areas from 10 to 14 August 2008. It should be noted that the height of hypoxic water exceeded the fence height (1.5m above the bottom) of the experimental area on 13 August 2008.

ては、8月11日昼間の干潮時に試験区の水深が10cm程度となった際に、遮断幕として使用しているブルーシートの下端が、風速6m/sの風のため埋め込んだ海底からまくれる事態が発生した。その後、潮が満ちてきた段階で潜水作業により埋め込みの作業を行ったがそれが完全でなかったため、シート外の貧酸素水が一部進入したものと考えられる。8月12日に急遽、潜水作業により埋め戻しを行ったため、このときは一時的な低下に留まったが、8月14日の事例もおそらく同じ原因で起きたものと考えられる。一方、8月13日の事例については、Fig.5に示した試験区および対照区の溶存酸素鉛直分布の時間変化（8月10日18:00～8月14日8:00）から分かるように、貧酸素化した水塊の高さが1.9mとなり遮断幕の高さ（海底から1.5m）を超えたため、貧酸素水がシートの上から進入したことによるものと推察される。

試験区と対照区の溶存酸素濃度を比べると、夏季の貧

酸素時にアサリの生存を維持するための溶存酸素濃度として報告されている1mg/L⁹⁾以下となった延べ時間は、試験区で14時間、対照区で27時間であった。また、夏季に数日間で大量へい死を起こす可能性がある溶存酸素濃度（0.5mg/L以下¹⁵⁾）を基準にとれば、試験区で12時間40分、対照区では23時間50分であり、幾つかのトラブルにもかかわらず大きな違いが認められた。さらにTable 2には、試験区と対照区でそれぞれ貧酸素水に曝露された延べ時間を水温区分別に示した。試験区では28℃台以上の高水温の貧酸素水に曝露された時間が、対照区に比べて明らかに短いことが分かる。

試験期間の試験区と対照区におけるアサリの生残率の変化をFig.6に示す。8月13日の試験終了段階で、試験区が生残率93%に対して対照区は78%、8月15日の枠取り調査では、試験区が生残率91%に対して対照区は59%であった。試験区と対照区が生残率にはいずれの場合も

Table 2 Total hours exposed to hypoxia at the control and experimental areas under various water temperature conditions.

	10 Aug	11	12	13	14	
Control area	25-26°C			3.0		
	26-27°C			4.0	3.0	
	27-28°C			3.0	2.0	
	28-29°C			4.0	2.0	
	29-30°C	6.0	1.0			1.0
Experimental area	25-26°C					
	26-27°C				4.0	0.5
	27-28°C				2.0	3.5
	28-29°C			1.0	1.0	0.5
	29-30°C					

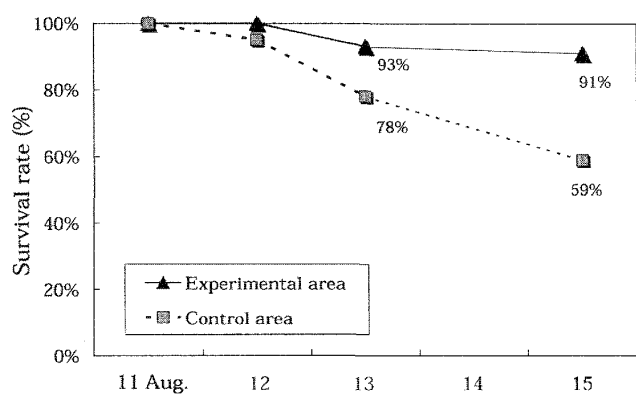


Fig.6 Comparison of the survival rate of short-neck clams between the experimental (▲) and control (■) areas from 11 to 15 August 2008. See the text for the survival rate estimation on 15 August.

危険率1%で有意差が認められた ($\chi^2_{df=1}=7.9$, $P=0.004$; $\chi^2_{df=1}=28.1$, $P=1.1 \times 10^{-7}$)。アサリ外套腔液のプロピオン酸含有量については、8月11日の対照区のみで $1.3 \mu\text{mol/ml}$ (サンプル5個体のうち2個体は $2.0 \mu\text{mol/ml}$) が検出され、試験区とその他の対照区のサンプルからは全く検出されなかった。

さらに、試験終了後(9月1日)に調査した底泥の酸揮発性硫化物(AVS-S)含有量は、試験区の平均値が 0.09 ± 0.01 (SE) mg/gDW であったのに対して、対照区は $0.17 \pm 0.02 \text{mg/gDW}$ であり、両者の間には危険率5%で有意差が認められた。

4. 考 察

1) 干潟底層水で貧酸素化が起こるための条件

本研究において底層溶存酸素の改善試験を実施した2008年は、8月11日から無酸素状態が始まった(Fig.4)。2003年以降の貧酸素化の事例を検討した結果、貧酸素化が始まる時期に共通する特徴として、シャットネラ赤潮の発生期間で、風が弱く(日平均風速 5m/s 未満)、日間

の潮差が極小になった日またはその翌日であることが分かった。2008年に試験を開始した8月10日は、シャットネラ赤潮が7月27日から発生し8月23日まで継続した期間で潮差が極小になった日にあたり、2008年も上記の条件とほぼ一致していた。このことは上記の条件にもとづいて貧酸素化の発生時期の予測が経験的に可能であることを示している。この経験則は、2003年以降に蓄積された釜地区の底層水質データにもとづくものであり、今後さらに他の地区でも改善試験を実施するためには、同様のデータを蓄積し貧酸素化開始日の予測ができるようにする必要がある。すでに諫早市小長井町の東方に位置する金崎地区では2008年から、中央に位置する長戸地区では2006年から、7月～9月の底層水質の観測が開始されており、これらのデータが活用できるものと期待される。

2) アサリの大量へい死対策としての効果

今回の試験では、遮断幕設置の不備や幕上部からの貧酸素水の進入などのため、試験区でも一部貧酸素水の影響を受ける時間帯が生じたが、先に述べたように影響を受けた延べ時間は対照区に比べて明らかに短く、アサリの生残率に有意な違いが認められた。対照区では8月11日にアサリ的外套腔液からプロピオン酸($1.3 \mu\text{mol/ml}$, 5個体中の2個体は $2.0 \mu\text{mol/ml}$)が検出されており、無酸素曝露試験によりプロピオン酸が $2.0 \mu\text{mol/ml}$ を超えたアサリは1～2日後に死亡することが室内実験で確認されていることから(品川の未発表データによる)、この時点で一部のアサリは衰弱してへい死寸前であったと考えられる。そのことが以後の生残率を急に低下させた要因となったものと推察される(Fig.6)。Table 2に示したように対照区でプロピオン酸が検出された8月11日には 29°C 台の著しい高水温で貧酸素の状態が6時間続いていること、おそらくこのような高水温と貧酸素の複合作用の影響を避けることができたことが、試験区でのアサリの生残を相対的に向上させた要因の一つと考えられる。アサリ養殖場の底質の酸揮発性硫化物(AVS-S)含有量についても、試験区と対照区で有意差が認められた。アサリのへい死が多くみられた対照区では、8月15日からの大潮期の干出時に3日間程度へい死具の取り上げが実施されており、これがなければ底質の悪化がさらに進み、アサリの生残率についても試験区との差がもっと大きくなったかもしれない。底質の悪化を防ぐためのへい死具の取り上げ作業は、大潮時期の干出時間が3～4時間程度と制約がある中で集中的に人手を必要とし、アサリの歩留まりが大きかった試験区ではこのような作業は不要であり、大きな経費の節減となる。

今回の試験における費用対効果を算定してみると、まず効果については、試験区と対照区で生残率に30%以上の差があることが期待される。アサリは養殖場内に $5 \sim 10 \text{kg/m}^2$ 現存しており、平均して 7.5kg/m^2 とすると試験

区内 (20m×20m) には3000kgのアサリが現存し、試験によりおよそ1000kgのアサリがへい死を免れ、これに小長井での平均的な販売単価400円/kgを掛けると、金額にして40万円程度に相当するアサリがへい死を免れたことになる。大量へい死が起こるとへい死貝の掃除や新たな覆砂が必要となり、聞き取りによれば今回の試験区で少なくとも10万円程度の出費となる。この分を単純に加算すれば、少なくとも合計で50万円程度の効果があったと言える。一方、今回使用した曝気装置は試験面積の規模に換算して350万円程度の投資が必要であるが、この費用には、設計・試作・運搬 (北海道から長崎へ) が含まれており、10台以上の生産が可能であれば、費用を1/3程度にすることが可能である。燃料費3万円を加算しておよそ120万円の費用がかかった計算となる。以上、大まかな計算ながら、今回の試験規模 (20m×20m, 面積400m²) では、効果が50万円、費用が120万円となり、3回へい死被害を防げば収支が合うことになる。これまで3~4年に1度大量へい死が生じており、それを考慮すれば9~12年で採算が合うことになるが、実際には、これらの対策はシャットネラ赤潮が発生した年のみに実施すればよく、また、実施する時期もほぼ予想できるため、使用する装置の使用回数は限られ、12年程度の耐用年数は十分に期待できる。以上の試算は、遮断幕の遮蔽効果が不完全であった場合のものであり、遮蔽を完全にできればさらに大きな効果が期待できる。

以上のように、20m×20mの小規模ながら、干潟域への貧酸素水の進入を事前に予測してそれを遮断幕で阻止し、同時に曝気により養殖場内の溶存酸素濃度をアサリが生存可能な1mg/L以上に保つことにより、アサリの大量へい死を軽減させ漁場底質の悪化をある程度防ぐことが可能であることが確認された。このシステムを適用できる条件として、水深の浅い潮間帯 (干潟域) で貧酸素化の期間が3日間程度、沖から進入する貧酸素水塊の層厚が1.5m以下であることなどが上げられる。

貧酸素化による底生生物のへい死対策については、愛知県三河湾において、貧酸素を回避し生残率70%を確保出来る水深を造成高とする嵩上げが提唱されているが¹⁰⁾、小長井地先のアサリ養殖場の地盤高はDL0.5~1.5mであり、アサリの成長を考えるとこれ以上に地盤高を上げることはきわめて難しい。また、有明海において、底層にマイクロバブルを吹き込んで表層泥の還元化を防ぎ、サルボウガイの生残率を改善する試みがなされているが⁶⁾、底層の貧酸素状態を改善してへい死を防ぐものではない。いずれにしても、上記の2つの手法は潮下帯で実施可能なものであり、干潟域への適用は困難である。マイクロバブルに関しては、上記の有明海のサルボウ漁場への適用例のほか、これまでカキ養殖場や東京湾奥等の貧酸素水塊対策としても適用されており^{20)~22)}、今回はその効

果を上げるために漁場を囲って貧酸素水塊の漁場への進入を阻止する方法を併用した。諫早湾の干潟域で生じるような2~3日間程度の貧酸素化には本試験で提示したシステムは有効と考えられる。

諫早湾北岸部小長井町地先の干潟ではアサリ養殖が広い範囲で営まれ、この地域の漁家所得の主体をなしている。現在、アサリ養殖の生産は年による変動が大きく安定していないが、その主たる原因はシャットネラ赤潮に伴う貧酸素化の影響と考えられている。過去には800トン台であったアサリの生産高は現在、200トン台で推移しており、タイラギ漁が休漁となっている諫早湾では、アサリ養殖を維持し安定化させることが、生産と水質浄化の両面できわめて重要である。本研究で提案したシステムにさらに改良を加え、大規模化していくことによって、生産と経営の安定化に貢献できるものと期待される。

本システムを大規模化するためには、短時間で人手をかけずに遮断幕を展開することが必要であり、今回の試験で実施した埋め込み方式ではなく、船上から投下する方式などについて検討が必要である。また、養殖漁場内の曝気についても、広範囲の底層に効率的に酸素を供給するために、現存の装置の改良を含めた新たな手法の開発が必要である。

謝 辞

本研究は、水産庁の水産基盤整備調査委託事業「アサリ資源回復のための干潟環境条件解明」(平成15・16・17年度)、「覆砂漁場における貧酸素防止対策技術の開発」(平成18・19・20年度)及び水産庁の有明海漁場造成技術開発委託事業(平成20年度)により実施したものである。

現地調査の実施に協力していただいた長崎県小長井町漁業協同組合の職員と漁業者の方々に心からお礼を申し上げる。改善試験に際して漁場使用を快く承諾して頂いた鶴田武美氏に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 柿野 純：東京湾奥部における貝類へい死事例、特に貧酸素水の影響について。水産土木, 23: 41-47, 1986.
- 2) 鈴木輝明・青山裕晃・甲斐正信：三河湾における貧酸素化によるアサリ (*Ruditapes philippinarum*) の死亡率の定式化。海洋理工学会誌, 4: 35-40, 1998.
- 3) 青山裕晃・甲斐正信・鈴木輝明・中尾 徹・今尾和正：三河湾における貧酸素化によるアサリ (*Ruditapes philippinarum*) の死亡率の定式化Ⅱ。海洋理工学会誌, 5: 31-36, 1999.
- 4) 木元克典・田中勝久・児玉真史・山本憲一・那須博史：有明海湾奥部における貧酸素水塊の動態。2005年度日本海洋学会, 2005.

- 5) 田中勝久・岡村和磨・藤田孝康・森 勇一郎：微細気泡装置による有明海奥部サルボウガイ漁場の底質改善試験. 第4回全国漁港漁場整備技術研究発表会講演集, pp.69-80, 2005.
- 6) 藤田孝康・木村和也・森 光典・田中勝久・木元克典・岡村和磨・森 勇一郎：有明海奥部サルボウガイ漁場における曳航式微細気泡装置による底質改善試験. 水産工学, 44:101-111, 2007.
- 7) 藤井明彦・山本憲一：諫早湾におけるタイラギ・アサリの現状と問題点. 月刊海洋, 394:235-240, 2003.
- 8) 長崎県総合水産試験場：平成12年度有害赤潮プランクトン等監視調査事業報告—I, 2001.
- 9) 松田正彦：アサリ養殖漁場における夏季大量へい死要因の検討. 長崎大学博士論文, 2008.
- 10) 今尾和正・鈴木輝明：貧酸素化海域の浅場の造成法. 水産工学, 40:185-190, 2004.
- 11) 長崎県総合水産試験場：平成15年度有害赤潮プランクトン等監視調査事業報告—I, pp.21-23, 2004.
- 12) 長崎県総合水産試験場：平成16年度有害赤潮プランクトン等監視調査事業報告—I, pp.14-15, 2005.
- 13) 長崎県総合水産試験場：平成19年度有害赤潮プランクトン等監視調査事業報告—I, pp.75-82, 2008.
- 14) 長崎県総合水産試験場：平成20年度有害赤潮プランクトン等監視調査事業報告—I, pp.75-82, 2009.
- 15) 松田正彦・日向野純也・品川 明・石松 惇：アサリの呼吸生理に関する研究. 平成18年度長崎県総合水産試験場事業報告, pp.204-206, 2007.
- 16) Hochachka, P.W (橋本周久・安部宏喜・渡部終五訳)：低酸素適応の生化学. 酸素なき世界で生き抜く生物の戦略, 恒星社厚生閣, 東京, p.194, 1984.
- 17) 中村幹雄：宍道湖におけるヤマトシジミ *Corbicula japonica* PRIMEと環境との相互関係に関する生理生態学研究. 鳥根県水産試験場研究報告, 第9号, p.240, 1998.
- 18) 荒川 清：底質調査方法. 水質汚濁調査指針, 日本水産資源保護協会(編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.237-270, 1980.
- 19) 内田 治：すぐわかるEXCELによる統計解析. 東京図書株式会社, p.209, 1999.
- 20) 大成博文・前田邦男・松尾克美・山原康嗣・渡辺勝利・石川並木：マイクロバブル技術によるカキ養殖効果. 水工学論文集, 46:1163-1168, 2002.
- 21) 鯉淵幸生・磯部雅彦・佐々木惇・藤田昌史・五明美智男・栗原明夫・田中真史・Mohammad Islam・鈴木俊之：貧酸素水改善に向けた現地微細気泡実験. 海岸工学論文集, 51:1156-1160, 2004.
- 22) 田中真史・佐々木惇・柴山知也・磯部雅彦：窪地海域を対象とした微細気泡エアレーションによる貧酸素水改善効果の解析, 海岸工学論文集, 51:1161-1165, 2004.