

2011年秋季から冬季に発生したサルボウの異常斃死

中牟田弘典・藤崎 博*・吉田賢二

Abnormal Mortality of the Ark shell, *Scapharca kagoshimensis* Occurred from the Autumn to Winter in 2011

Hironori NAKAMUTA, Hiroshi FUJISAKI and Kenji YOSHIDA

はじめに

有明海佐賀県海域におけるサルボウ養殖は、ノリ養殖区画漁業権漁場とほぼ重なる漁場で、ノリ養殖の副業として春季から夏季に行われる重要な漁業である¹⁾。佐賀県におけるサルボウの漁獲量は平成に入ってから1万トン以上であったが、平成10年以降は年変動が大きく、豊凶を繰り返しながら漸減傾向にある²⁾。この主な要因は、夏季に発生する大規模な貧酸素水塊により、底層の溶存酸素濃度が著しく低下することによるものと推測されている³⁻⁶⁾。このため、夏季の貧酸素等々の厳しい環境条件下においても、サルボウが生き残る漁場環境を把握し、サルボウの安定的な生産が行える漁場利用法および養殖管理手法を明らかにすることを目的として、2009年度から調査を実施している⁴⁻⁶⁾。

このような状況下、2011年10月から2011年の12月にかけて、これまで前例がない鰓の損傷に起因すると思われる異常斃死が確認された⁶⁾。この斃死は、夏季の貧酸素等々の影響によると思われる斃死に引き続き発生し、数ヶ月にわたり、だらだらとした斃死（以下、「だらだら斃死」という）が継続したことが特徴である。さらに、同様な斃死が佐賀県海域のみならず福岡県海域においても発生が報告されている⁷⁾。

そこで、斃死状況を把握するための生息状況調査および斃死要因と想定される鰓の損傷に関する試験を実施し、だらだら斃死と環境要因との関連性を考察したので報告する。

材料および方法

1. 生息状況調査

2011年10月上旬に漁業者からのサルボウ斃死情報を受けて、2011年10月19日に鹿島市地先の漁場を調査し、異常斃死を初認した。その後、詳細な生息状況を調べるため、過去の生息密度等のデータが豊富な図1に示



図1 調査地点

*：現 佐賀県立海水産振興センター

す30地点において3回実施した。1回目は、2011年10月24日から11月9日（以下、1回次という）に、2回目は2011年12月12日から16日（以下、2回次という）に、3回目は2012年3月5日から8日（以下、3回次という）にかけて実施した。サルボウの採取は、1地点あたり間口60cm×21cm、籠の目合い10.5mmの長柄ジョレンを用いて小型漁船により30m曳きを3回実施（採取面積54m²）して行い、3.5分（目合い10.5mm）、4分（目合い12.1mm）および5分（目合い15.2mm）の篩を用いて、5分あがり大サイズ、4分あがり5分落ちを中サイズ、3.5分あがり4分落ちを小サイズとして選別し、サイズ毎の生息密度および斃死率を求めた。なお、斃死したサルボウの軟体部は数日以内に消失するため、貝殻内部の軟体部が消失していても、殻皮が残っており、殻の内部に艶・光沢があるものも斃死個体として計数し、直近斃死率として次式により求めた。また、生貝は各サイズ毎に体サイズ（殻長、殻高、殻幅）、殻付重量、剥き身重量の測定を行い、肥満度を次式により求めた。なお、1回次においては、小サイズの剥き身重量の測定を行わなかったため、肥満度は算出しなかった。

直近斃死率(%) = 斃死間もない貝数 / (斃死間もない貝数 + 生存している貝数) × 100

肥満度 = 剥き身重量(g) / 殻長(cm) / 殻高(cm) / 殻幅(cm) × 100

九州農政局の委託事業である有明海特産魚介類生息環境調査（佐賀県沖）において、異常斃死初認直前の9月26～28日（以下、斃死直前という）にかけて本調査と同一地点で同様な調査を実施⁶⁾しているため、本報告においては、当該結果も併記した。なお、当該調査においては、サルボウの採取は調査地点の海底に30mのロープを2本設置し、潜水により3m毎に桁網（幅25cm、深さ10cm）による枠取りを各10回の計20回実施（採取面積5m²）して行った。

2. サルボウの健全度に関する試験

実験1-①養殖比較試験

本試験は、1回次の生息状況調査の結果を受けて、斃死がほとんど確認されなかった大浦地先（St. 30）とただら斃死初認地である鹿島市地先（St. 17）のサルボウを用いて両地点の健全度の比較を行った。

試験は、図2Aに示す有明海佐賀県海域（以下、有明試験区という）と玄海佐賀県海域（以下、玄海試験区という）の2箇所で行った。供試サルボウ（図2B）は、生息状況調査同様に大、中および小サイズに選別したものを使用した。

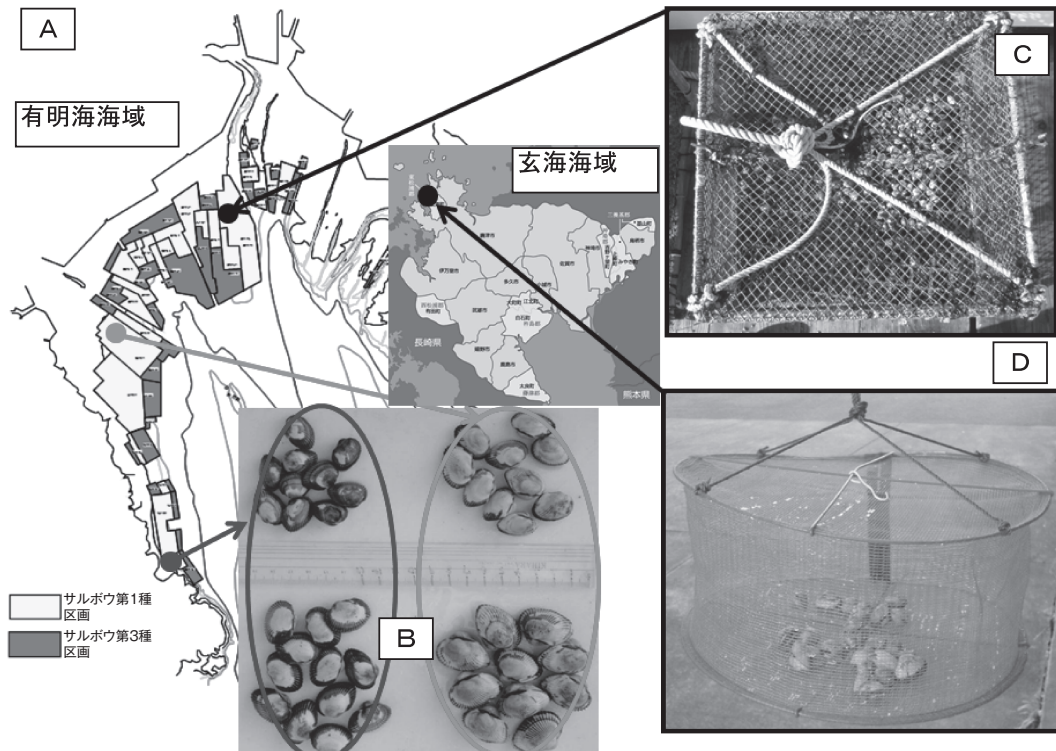
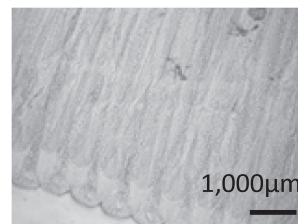
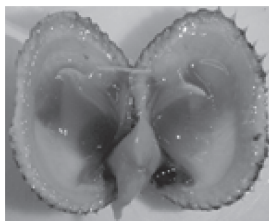
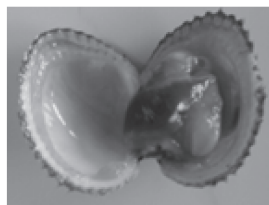


図2 養殖試験地点（A）、供試サルボウ（B）および試験容器（C、D）

レベル1→外見上、鰓の縁辺部が明瞭、100倍観察時に鰓の支持組織に萎縮やうっ血がみられず繊毛運動が活発な状態



レベル2→外見上、鰓の縁辺部が明瞭、100倍観察時に鰓の支持組織に軽微な萎縮とうっ血がみられ繊毛運動が不活発な状態



レベル3→外見上、鰓の縁辺部が不明瞭、100倍観察時に鰓の支持組織に萎縮とうっ血がみられ繊毛運動が不活発な状態

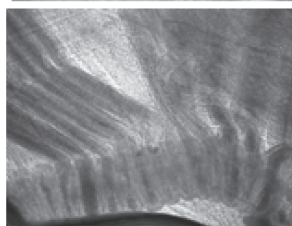
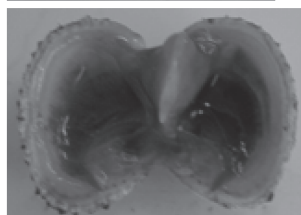


図3 サルボウの鰓損傷判断基準（左写真：サルボウの肉眼視 右写真：100倍視野顕微鏡写真）

有明試験区においては、縦50cm、横50cm、高さ30cmの鉄筋カゴ（図2C）にSt.30の大サイズ（平均殻長26.6mm）と中サイズ（平均殻長23.7mm）、St.17の大サイズ（平均殻長34.8mm）と中サイズ（平均殻長23.4mm）を各々250個体ずつ収容して、地盤高0mの漁場の底面で飼育した。玄海試験区においては、直径30cm、高さ15cmの丸カゴ（図2D）にSt.30の中サイズ（平均殻長24.3mm）と小サイズ（平均殻長20.8mm）、St.17の中サイズ（平均殻長24.7mm）と小サイズ（平均殻長20.6mm）を各々50個体ずつ収容して、水深2m層に垂下して飼育した。

飼育期間は、2011年11月10日から2012年2月28日までの110日間とし、飼育開始後6、15、43、63および110日後に生残個体の計数を行い、生残率を求めた。

実験1-②ろ水・摂餌能力比較試験

本試験は、健全度の異なるサルボウのろ水・摂餌能力を比較するため、養殖試験と同じSt.30の中サイズ（平均殻長23.6mm）とSt.17の中サイズ（平均殻長22.4mm）のサルボウをそれぞれ10個体ずつ用い、2011年11月7、8日に実施した。

試験は、*Chaetoceros gracilis*を20万細胞/mlとなるように調整した海水1,000mlを入れたプラスチック容器に供試サルボウを1個体ずつ収容し、18℃無通気条件下で、ろ水・摂餌能力を把握した。ろ水能力は、1、2、3、

4時間後にフックス・ローゼンタール血球計算板により、*C. gracilis*の細胞数を測定し、その減少速度により1個体1時間あたりのろ水速度を算出して把握した。また、摂餌能力は、図3に示す基準で鰓の損傷レベルを判定した後、鰓の損傷レベル2、3の割合（以下、鰓損傷率という）と、糞の排出個体の割合（以下、排泄率という）を次式により求め把握した。鰓損傷率および排泄率は、ろ水速度の測定が終了したサルボウを24時間同条件で飼育後に把握した。

$$\text{鰓損傷率(\%)} = (\text{レベル2の貝数} + \text{レベル3の貝数}) / (\text{レベル1の貝数} + \text{レベル2の貝数} + \text{レベル3の貝数}) \times 100$$

$$\text{排泄率(\%)} = \text{排泄確認貝数} / (\text{排泄確認貝数} + \text{排泄未確認貝数}) \times 100$$

実験1-③貧酸素・低塩分耐性比較試験

本試験は、夏季にみられる貧酸素・低塩分条件におけるサルボウの耐性を検討するため、St.30の中サイズ（平均殻長23.9mm）および小サイズ（平均殻長21.7mm、18.8mm）のサルボウをそれぞれ30個体ずつ用いて、表1の条件を組み合わせ2012年1月18日から2月18日にかけて実施した。試験には、350mlプラスチック容器を用い、22および27℃条件下の恒温室内で行った。貧酸素区（貧酸素有）は、予め窒素置換によりDOが1

表1 サルボウの貧酸素、低塩分耐性比較試験の条件

| 実施日 | 試験条件 | | | |
|-----------------------------------|---------|-------------------|--------|----------------------|
| | 水温 (°C) | 体サイズ* | 貧酸素の有無 | 塩分 |
| 平成 24 年 1 月 18 日 から 2 月 3 日 | 22 | 小 (18.8 ± 1.4) | 有 | 5, 10, 15, 20, 25 |
| | | 中 (23.9 ± 1.1) | 無 | |
| 平成 24 年 2 月 8 日 から 2 月 18 日 | 27 | 小 (21.7 ± 0.8) | 有 | 10, 15, 25 |
| | | | 無 | 25 |

*: 体サイズは、篩いによる選別サイズを、括弧内の数値は平均殻長 ± 標準偏差 mm

mg/ℓ 以下、設定水温・塩分となるよう海水を調整後、調整した海水が入った容器にサルボウを 1 個体ずつ空気が入らないように収容・密閉後に水封し、試験を開始した。通気区（貧酸素無）は、エアーストーンによる通気を実施しながら設定塩分・水温となるよう海水を調整後、調整した海水が入った容器にサルボウを 1 個体ずつ収容し、直ちにパスツールピペットによるエアレーションを行い、試験を開始した。また、試験期間中の換水は行わなかった。なお、生死の確認は、毎日同一時刻に、刺激に対する反応の有無で判断し、得られた生残曲線から LD 50 値（Lethal Day 50%）を算出した。

3. サルボウの鰓の損傷に関する試験

実験 2-①鰓の損傷比較試験（貧酸素・低塩分条件が鰓に及ぼす影響）

本試験は、貧酸素・低塩分耐性比較試験において、斃死サルボウの鰓が 2011 年 10 月 19 日に鹿島市地先の漁場で初認した、ただら斃死個体とほぼ同様な症状を呈していたことから、斃死がほぼ発生しない 3 日間の貧酸素および低塩分飼育後に鰓の損傷の程度を確認するため、2012 年 3 月 9～12 日にかけて実施した。

試験は、塩分 10, 15, 25 に調整した海水 300 ml を入れたプラスチック容器に St. 30 の大サイズ（平均殻長 26.0 mm）を水温馴致後にそれぞれ 1 個体ずつ収容し、水温 25°C 条件下の恒温室内で行った。供試サルボウは、試験区毎に 20 個体ずつ使用し、通気条件（通気区）および貧酸素条件（貧酸素区）で 3 日間飼育した後、生残個体を図 3 に示す基準で鰓の損傷レベルを判定し、鰓損傷率および損傷レベル毎の発生率を求めた。なお、通気区および貧酸素区の調整海水作成は、実験 1-③試験同様に行った。

実験 2-②鰓の回復能把握試験（貧酸素・低塩分条件飼育後の通気飼育が鰓の回復に及ぼす影響）

本試験は、貧酸素・低塩分条件で飼育したサルボウが

正常条件に戻った時、鰓がどの程度回復するかをみるために行った。まず、水温 27°C、塩分 25 に St. 30 で採捕した平均殻長 30.7 mm のサルボウを 8 日間入れて馴致した。なお、本試験開始前に不作為に 30 個体を抽出し、図 3 に示す基準で鰓の損傷レベルを判定したが、損傷がなかったため、供試サルボウとした。

本試験では、馴致した個体を塩分 15 および 25 の貧酸素区においては、それぞれ 150 個体ずつ、塩分 25 の通気区においては 30 個体使用し、まず 2012 年 8 月 17 日から 3 日間、鰓の損傷を誘発するための貧酸素・低塩分飼育（ステップ 1）を行った後、養生期間として 7 日間の通気飼育（ステップ 2）を行った。ステップ 1, 2 における鰓損傷率は、供試したサルボウ 30 個体の鰓の損傷レベルを図 3 に示す基準で判定し、レベル 2 と 3 の合計で求めた。ステップ 2 における鰓の回復の程度は、養生期間の斃死率およびステップ 1 とステップ 2 の鰓損傷率の差から次式により、鰓回復率を推定し把握した。なお、貧酸素区の調整海水作成は、実験 1-③試験同様に行った。

$$\text{鰓回復率(\%)} = (\text{ステップ 1 での鰓損傷率} - \text{ステップ 2 での鰓損傷率}) - \text{ステップ 2 の斃死率}$$

4. サルボウ漁場の水質環境

サルボウのただら斃死と環境要因との関連性を考察するため、2010 年、2011 年および平年（1982 年から 2011 年の平均値）の浅海定線調査データ（朔の大潮の昼間満潮時における 11 地点の表層の水温、塩分および海底面上 1 m の DO の平均値、11 地点のプランクトン沈殿量および表層のクロロフィル a 量の平均値）、浜川海況自動観測塔における冬季（1～3 月）昼間満潮時の表層水温の推移、早津江川海況自動観測塔における夏・秋季（6～11 月）昼間満潮時の表層塩分の推移および九州農政局の委託事業である有明海特産魚介類生息環境調査（佐賀県沖）で実施した連続観測データ（図 1 の St. 2, 4, 12, 17, 19, 27 の 6 地点）を整理した。なお、DO および塩分は、各地点の海底直上 0.2 m 層において小型メモリー DO 計（COMPACT-DOW, JFE アドバンテック株）および小型メモリー水温塩分計（COMPACT-CT, JFE アドバンテック株）により、10 分間隔で測定した。なお、平成 23 年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業 赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業⁸⁾において、有明海佐賀県海域サルボウ区画漁業権漁場の 3 箇所、観測点 1（浜川観測塔）、観測点 2（六角川観測塔）および観測点 14（浜川沖）の海底直上 0.2 m 層の DO および塩分の連

続データを10分間隔で測定されているため、本報告においては、当該結果も併記した。

結 果

1. 生息状況調査

サルボウ生息密度の調査地点別・サイズ別の推移を図4に、調査回次毎のサルボウの生息分布を図5に示した。斃死直前の調査では、30地点中29地点でサルボウの生息が確認され、生息が確認された地点の生息密度は0.2~641.6個/m² (平均103.8個/m²)であった。また、調査地点のうち、15地点が漁期前の平均生息密度の最小値(50個/m²)未満の生息密度であった。1回次の調査では、28地点でサルボウの生息が確認され、生息密度は0.2~214.8個/m² (平均33.6個/m²)と斃死前平均の約30%となっていた。また、25地点が50個/m²未満の生息密度であった。2回次の調査では、全地点でサルボウの生息が確認されたものの、生息密度は0.2~214.8個/m² (平均30.5個/m²)と1回次より更に減少していた。また、27地点が50個/m²未満の生息密度であった。3回次の調査では、全地点でサルボウの生息が確認され、生息密度は6.1~274.3個/m² (平均41.6個/m²)と斃死

直前平均の約40%となっていた。また、23地点が50個/m²未満の生息密度であった。

サルボウの平均生息密度は、斃死直前が最も高く、次いで3回次、1回次、2回次の順であった。逆に、50個/m²未満の地点は、2回次が最も多く、次いで1回次、3回次、斃死直前の順であった。

サルボウ直近斃死率の調査地点別の推移を図6に、調査回次毎のサルボウの直近斃死状況を図7に示した。斃死直前の調査では、30地点中27地点で直近斃死が確認され、平均直近斃死率は22.2%であった。地点別の直近斃死率はSt. 22が78.3%と最も高く、次いでSt. 14の48.8%であった。1回次の調査では、27地点で直近斃死が確認され、平均直近斃死率は19.7%であった。地点別の直近斃死率はSt. 7が66.9%と最も高く、次いでSt. 22の54.6%であった。2回次の調査では、全地点で直近斃死が確認され、平均直近斃死率は7.4%であった。地点別の直近斃死率はSt. 27が31.4%と最も高く、次いでSt. 18の29.1%であった。3回次の調査では、28地点で直近斃死が確認され、平均直近斃死率は2.3%であった。地点別の直近斃死率はSt. 22が10.0%と最も高く、次いでSt. 17の7.6%であった。サルボウの平均直近斃死率は、斃死直前が最も高く、次いで1回次、2回

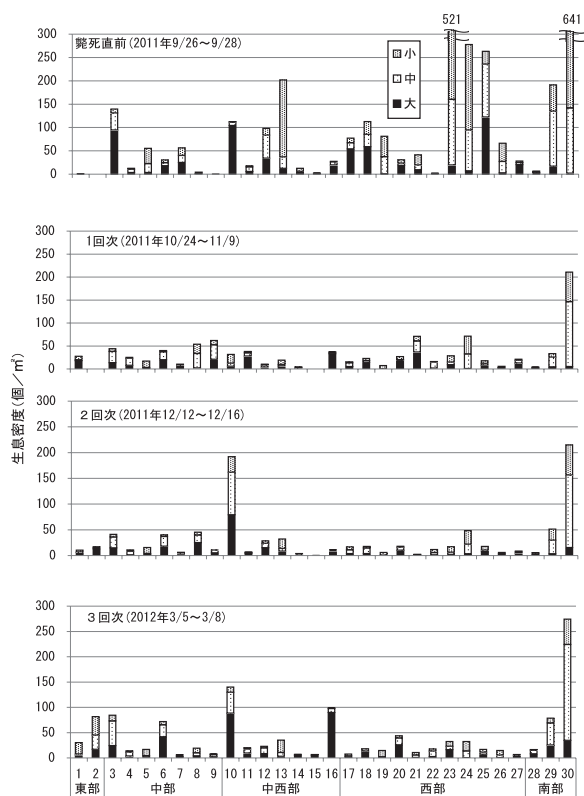


図4 サルボウ生息密度の調査地点別・サイズ別の推移

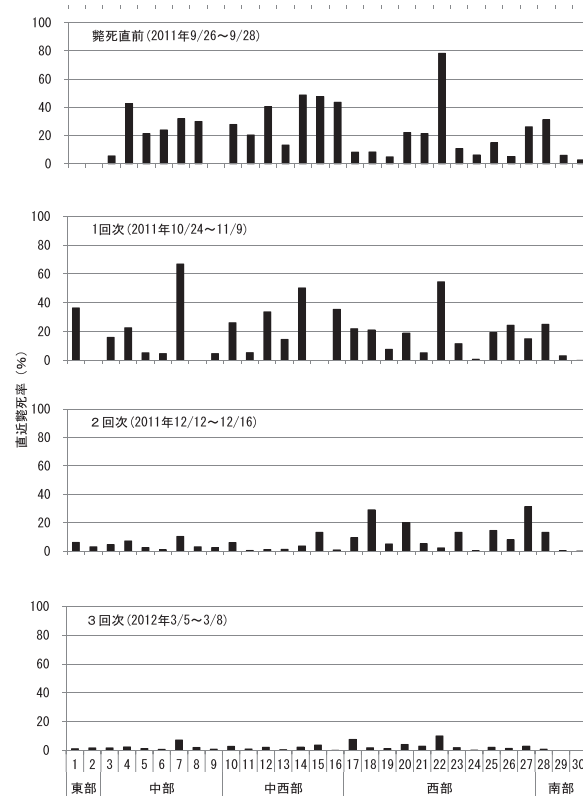


図6 サルボウ直近斃死率の調査地点別の推移

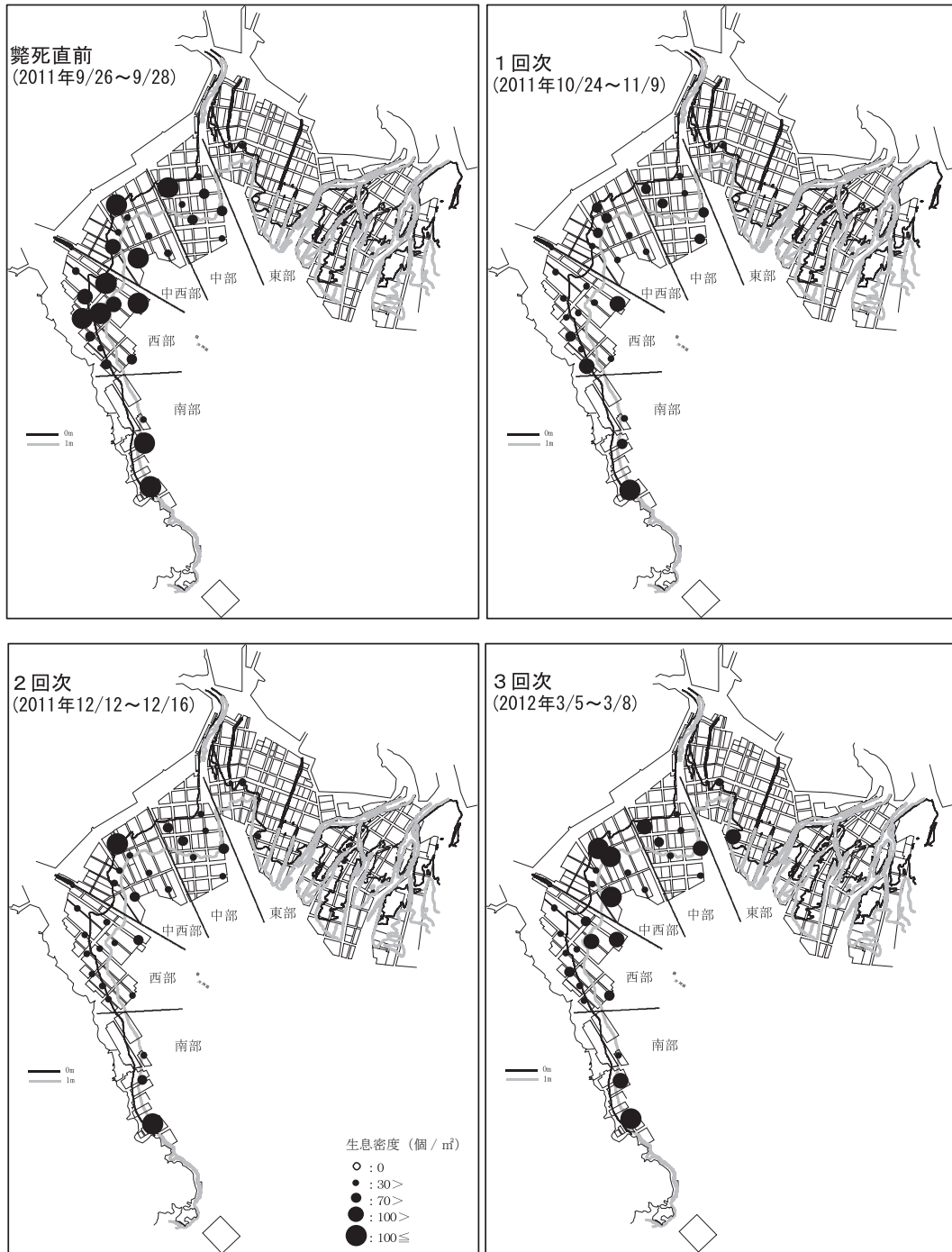


図5 調査回次毎のサルボウの生息分布

次、3回次の順であった。

サルボウ肥満度の調査地点別・サイズ別の推移を図8に示した。斃死直前の肥満度は、大サイズで10.2~15.5 (平均13.8)、中サイズで13.0~18.7 (14.9)、小サイズで13.8~16.8 (15.3)であった。1回次の肥満度は、大サイズで10.2~14.1 (平均12.6)、中サイズで11.9~15.7 (13.0)であった。2回次の肥満度は、大サイズで10.7~13.9 (平均12.5)、中サイズで10.7~14.9 (12.9)、

小サイズで10.5~15.0 (13.0)であった。3回次の肥満度は、大サイズで13.9~22.3 (平均18.7)、中サイズで18.1~23.6 (20.9)、小サイズで19.2~24.2 (21.9)であった。サルボウの肥満度は、ほとんどの調査地点において、大、中、小サイズともに3回次が最も高く、次いで斃死直前、1回次、2回次の順であった。また、全ての調査回次をとおして大サイズの肥満度が最も低く、次いで中サイズ、小サイズの順であった。

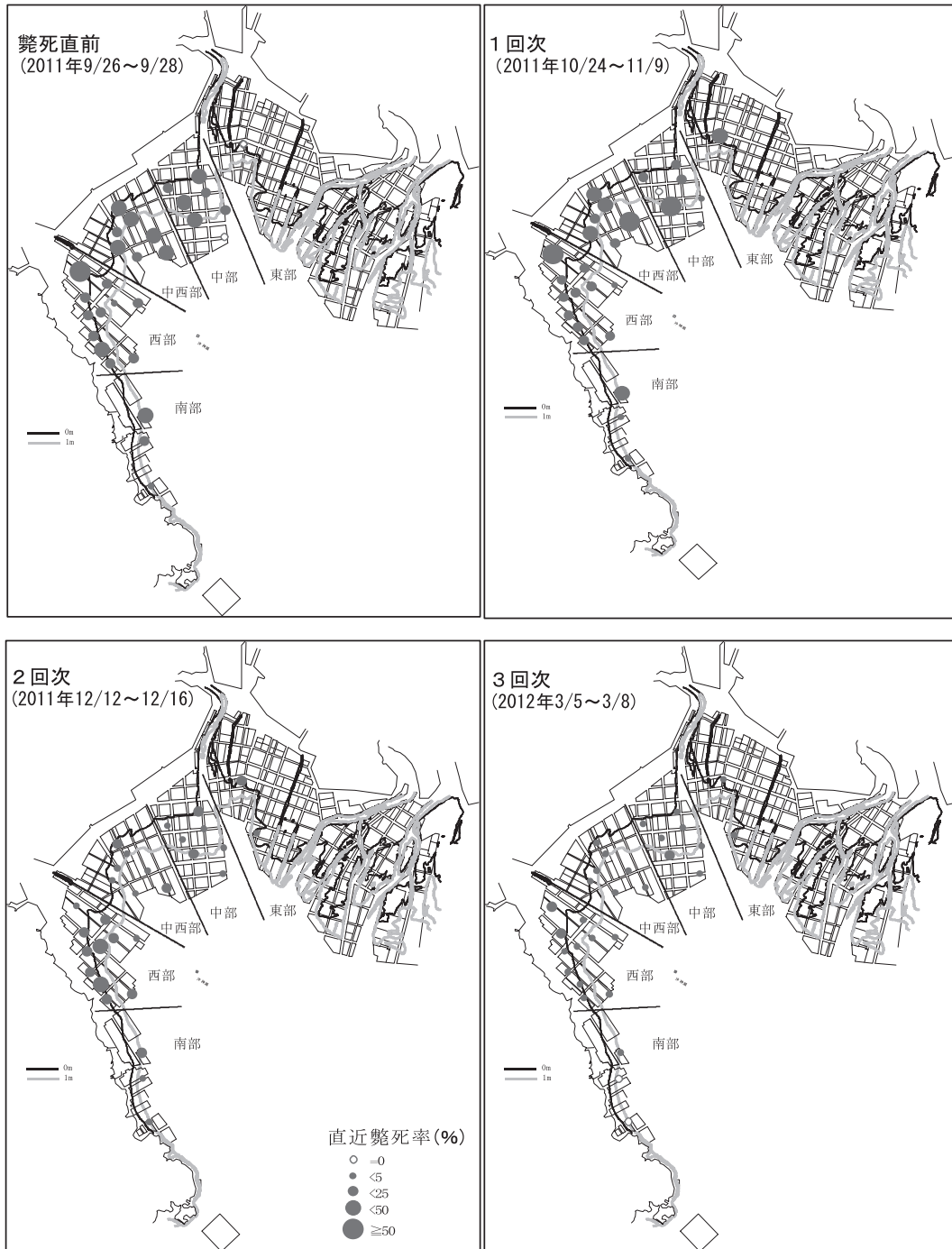


図7 調査回次毎のサルボウの直近斃死状況

だらだら斃死初認時（2011年10月19日）に採捕した衰弱個体は、非常に痩せており、鰓の縁辺部が一部崩壊し不明瞭となっていた。また、同個体の鰓を光学顕微鏡で観察したところ、鰓の支持筋組織の萎縮とうっ血、鰓の繊毛運動の顕著な低下が認められた。同様な鰓の異常は、その後実施した生息状況調査においても確認された。1回次では、30地点中24地点で確認された。2回次でも1回次と同地点の24地点で確認され、鰓に異常が認めら

れる個体の割合は3.3～40.0%であった。3回次では9地点で確認され、その割合は3.3～11.1%と全ての地点で2回次より低下していた。

2. 貝の健全度に関する試験

実験1-①養殖比較試験

試験区別のサルボウの生残率の推移を図9に示した。生息状況調査時に斃死がほとんど確認されなかった大浦

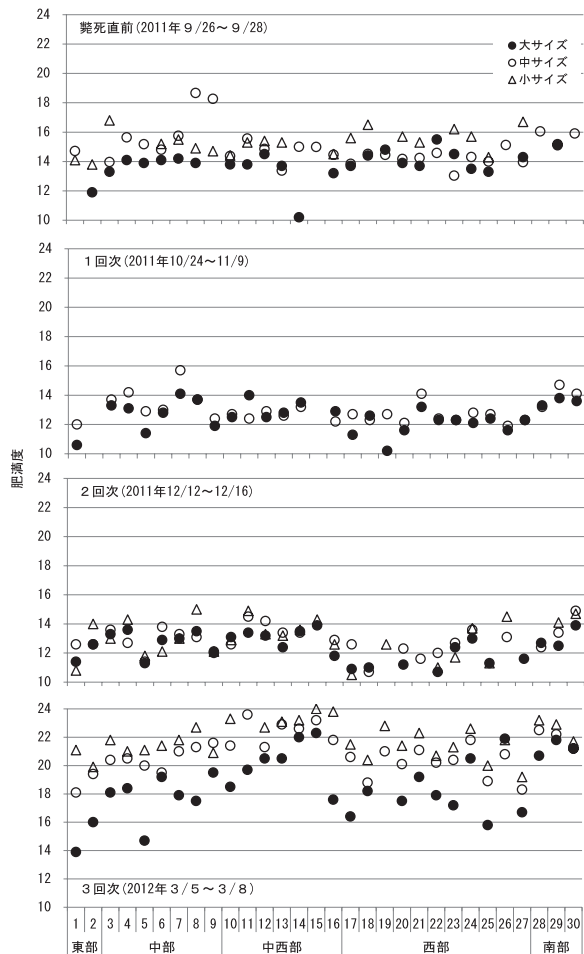


図8 サルボウ肥満度の調査地点別・サイズ別の推移

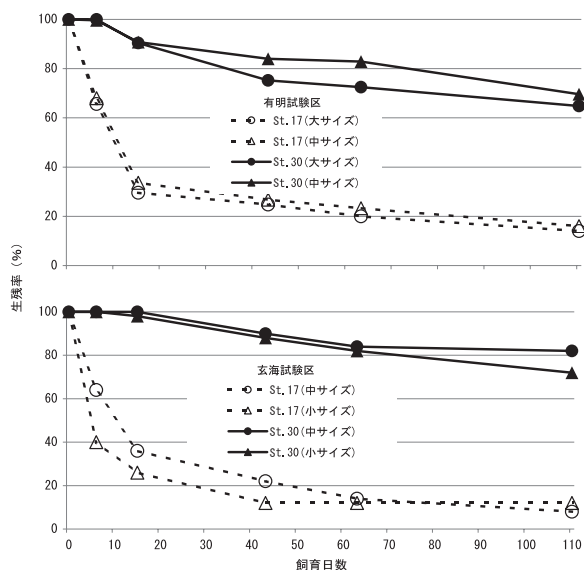


図9 試験区別のサルボウの生残率の推移

表2 ろ水・摂餌能力比較試験結果

| | 個体あたりのろ水速度* (ml/ind/hr) | 鰓損傷率(%) | 排泄率(%) |
|---------------|----------------------------|---------|--------|
| St. 17 (中サイズ) | 215 ± 243 | 50 | 60 |
| St. 30 (中サイズ) | 568 ± 466 | 0 | 100 |

*:測定値は平均±標準偏差

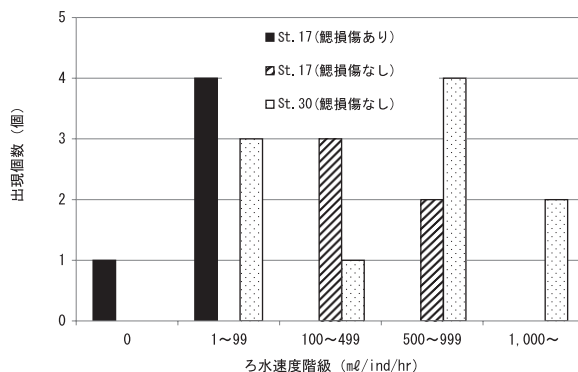


図10 養殖比較試験に供したサルボウのろ水速度階級毎の出現個数と鰓損傷率との関係

地先の St. 30 のサルボウでは、有明試験区、玄海試験区の大、中、小サイズともに大量斃死がなく、養殖開始後15日目の生残率は90.4~100.0%、終了時の110日目では64.8~82.0%と比較的高い生残状況であった。一方、ただら斃死初認地の St. 17 のサルボウでは、養殖開始後15日目までに大量斃死が発生し、15日目の生残率は14.0~36.0%、110日目は2.0~16.0%であった。

実験1-②ろ水・摂餌能力比較試験

健全度の異なるサルボウのろ水速度、鰓損傷率および排泄率を表2に、ろ水速度階級毎の出現個数と鰓損傷率との関係を図10に示した。

供試サルボウの平均ろ水速度は、養殖比較試験で比較的高い生残が得られた St. 30 では568 ml/ind/hr であったのに対し、試験開始後15日目までに大量斃死が確認された St. 17 では215 ml/ind/hr と St. 30 に比べ低かった。

鰓の損傷は、St. 30 では確認されなかったが、St. 17 では10個体中5個体で確認された。また、鰓に損傷が確認された個体のろ水速度は、すべて100 ml/ind/hr 未満であり、そのうち、4個体は糞の排泄が確認されなかった。

実験1-③サルボウの貧酸素・低塩分耐性比較試験

サルボウの貧酸素、低塩分環境下におけるLD50値を表3に示した。また、水温22℃、塩分5、10、15、20、

表3 サルボウの貧酸素、低塩分環境下におけるLD50値

| 水温 (°C) | 体サイズ* | 貧酸素の有無 | 塩分 | | | | |
|---------|----------------|----------|------|------|-------|-------|-------|
| | | | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| 22 | 中 (23.9 ± 1.1) | 有 (貧酸素区) | 3.7日 | 5.8日 | 9.3日 | 10.5日 | 12.0日 |
| | | 無 (通気区) | 4.2 | 9.7 | 17.0< | 17.0< | 17.0< |
| | 小 (18.8 ± 1.4) | 有 | 3.6 | 5.2 | 9.0 | 10.3 | 9.0 |
| | | 無 | 4.0 | 14.0 | 17.0< | 17.0< | 17.0< |
| 27 | 小 (21.7 ± 0.8) | 有 | - | 3.5 | 5.0 | - | 7.7 |
| | | 無 | - | - | - | - | 11.0< |

*: 体サイズは、篩による選別サイズを、括弧内の数値は平均殻長±標準偏差 mm

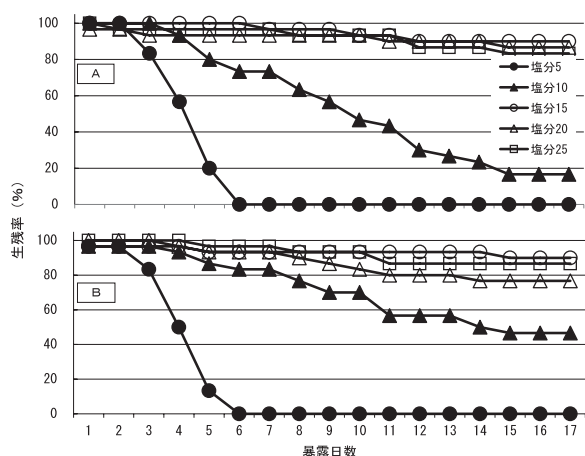


図11 通気区におけるサルボウの生残率の推移 (22°C一定)
A: 中サイズ, B: 小サイズ

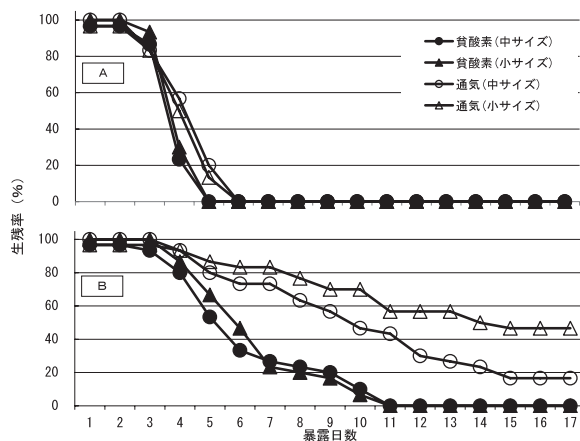


図12 通気区および貧酸素区におけるサルボウの生残率の推移 (22°C一定)
A: 塩分5, B: 塩分10

25条件下の通気区におけるサルボウの生残率の推移を図11に、水温22°C、塩分5、10条件下の通気区および貧酸素区におけるサルボウの生残率の推移を図12に、貧酸素区におけるサルボウLD50値の塩分別・水温別・体サイズ別の比較を図13に示した。

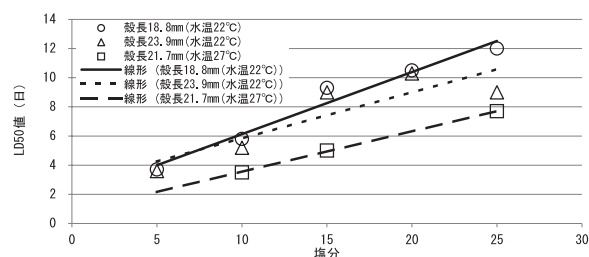


図13 貧酸素区におけるサルボウLD50値の塩分別・水温別・体サイズ別の比較

通気区では、塩分5の生残率の低下が最も著しく曝露6日目で全ての個体が斃死した。通気区におけるLD50値は、塩分5および塩分10でのみ得られ、その値は塩分5の中サイズが4.2日目、小サイズが4.0日目、塩分10の中サイズが9.7日目、小サイズが14.0日目であった(表3、図11)。

貧酸素区では、すべての試験区でLD50値が得られ、その値は、塩分が低いほど、水温が高いほど、体サイズが大きいほど低下する傾向があった(表3、図13)。通気区、貧酸素区ともにLD50値が得られた塩分5および10の生残率の推移(図12)をみると、塩分5では、中、小サイズともに、貧酸素区の生残率が曝露5日目で0%となり、通気区より1日早かった。塩分10では、貧酸素区の生残率が0%となった11日目においても通気区の生残率は中サイズが43.3%、小サイズが56.7%であった。また、LD50値も通気区の中サイズが9.7日目、小サイズが14.0日目に對し、貧酸素区では中サイズが5.2日目、小サイズが5.8日目と明らかに貧酸素区が低かった(表3、図12)。

3. サルボウの鰓の損傷に関する試験

実験2-①鰓の損傷比較試験(貧酸素・低塩分条件が鰓に及ぼす影響)

各々の条件で飼育した後のサルボウの鰓損傷率および損傷レベル毎の割合を表4に示した。鰓の損傷は、塩分

表4 サルボウの鰓損傷率および損傷レベル毎の割合

| 水温 (°C) | 塩分 | 貧酸素 の有無 | 鰓損傷率* (%) | 鰓の損傷レベル毎の割合*(%) | | |
|------------|----|-------------|--------------|-----------------|------|------|
| | | | | レベル1 | レベル2 | レベル3 |
| 10 | | | 100.0 | 0.0 | 31.6 | 68.4 |
| 15 | 25 | 有 (貧酸素区) | 83.3 | 16.7 | 55.5 | 27.8 |
| 25 | | | 31.3 | 68.7 | 31.3 | 0.0 |
| 10 | | | 79.0 | 21.0 | 57.9 | 21.1 |
| 15 | 25 | 無 (通気区) | 21.1 | 78.9 | 21.1 | 0.0 |
| 25 | | | 0.0 | 100.0 | 0.0 | 0.0 |

*: 3日間飼育後の値

15以下の通気区および貧酸素区で確認された。鰓損傷率は、通気区より貧酸素区が高く、塩分濃度が低いほど高くなる傾向があった。また、損傷レベル3の状態を呈する個体は、塩分10通気区、塩分10、15貧酸素区で確認され、レベル3の割合は、鰓損傷率同様、通気区より貧酸素区が高く、塩分濃度が低いほど高くなる傾向があった。

実験2-②鰓の回復能把握試験(貧酸素・低塩分条件飼育後の通気飼育が鰓の回復に及ぼす影響)

ステップ1(貧酸素・低塩分条件3日間の飼育)およびステップ2(通気条件7日間の養生飼育)の結果並びに鰓回復率を表5に示した。貧酸素・低塩分条件で3日間飼育した後の鰓損傷率およびレベル3の割合は、塩分15および25貧酸素区で各々86.6、46.7%および33.3、6.7%となり、実験2-①とほぼ同じ結果が得られた(ステップ1)。さらに、7日間の養生飼育後の鰓損傷率およびレベル3の割合は、塩分15貧酸素区が23.4および6.7%に対して塩分25貧酸素区では10.7および0%と低かった。また、養生期間の斃死率は、塩分15貧酸素区が31.3%、塩分25貧酸素区が23.9%であった(ステップ2)。

7日間養生後の鰓回復率は、塩分15貧酸素区が31.9%、塩分25貧酸素区が12.1%と推定された。

4. サルボウ漁場の水質環境

浅海定線調査定点11地点の水温、塩分、DO、プランクトン沈殿量およびクロロフィルaの2010、2011年月別平均値と平年値との比較を図14に、浜川海況自動観測塔における2009、2010および2011年の1月から3月の昼間満潮時表層水温の推移を図15に、早津江川海況自動観測塔における2009、2010および2011年の6月から11月の昼間満潮時の表層塩分の推移を図16に、サルボウ漁場6地点(図1)の海底直上0.2m層のDOおよび塩分の推移を図17、18に示した。

朔大潮の昼間満潮時における2011年の表層水温は、8、11月以外は平年および2010年より低めに推移し、2月には最低水温が8℃となっていた(図14)。特に、1月から3月にかけては低めに推移し、浜川海況自動観測塔においては8℃以下の日が46日間、6℃以下の日が10日間観測された(図15)。

朔大潮の昼間満潮時における2011年の表層塩分は、7月は平年より著しく低かった(図14)。また、早津江川海況自動観測塔においては6月中旬から7月中旬にかけて塩分15以下で推移し、さらに8月下旬および11月中旬にも塩分10を下回る日があり、塩分15以下の日が32日間、塩分10以下の日が20日間観測された(図16)。また、サルボウ漁場の海底直上0.2m層においても7月下旬および8月下旬に塩分15以下の日が出現していた(図18)。

朔大潮の昼間満潮時における2011年のDOは、7、8月は平年より低めであった(図14)。また、7月下旬から8月中旬にかけてサルボウ漁場では貧酸素状態とされるDO 3 mg/ℓ以下の日が出現していた(図17)。

朔大潮の昼間満潮時における2011年のプランクトン沈殿量は、周年、平年より著しく低めで推移し、1月から6月にかけては2010年より低めで推移した(図14)。また、クロロフィルa量は、6月を除いて平年より、6、9月

表5 サルボウの鰓損傷率、損傷レベル毎の発生率および鰓回復率並びに養生期間の斃死率

| ステップ1 (貧酸素・低塩分条件3日間飼育後) | | | | | | ステップ2 (通気条件7日間の養生期間後) | | | | | | | | | |
|-------------------------|----|-------------|---------------------|------|------|-----------------------|------------|----|-------------|---------------------|------|------|-------------------------|---------------|------|
| 水温 (°C) | 塩分 | 貧酸素 の有無 | 鰓の損傷レベル毎 の割合 (%) | | | 鰓損傷率*1 (%) : A | 水温 (°C) | 塩分 | 貧酸素 の有無 | 鰓の損傷レベル毎 の割合 (%) | | | 養生期間の 斃死率 (%) : C | 鰓回復率*2 (%) | |
| | | | レベル1 | レベル2 | レベル3 | | | | | レベル1 | レベル2 | レベル3 | | | |
| 15 | 27 | 有 (貧酸素区) | 13.4 | 53.3 | 33.3 | 86.6 | 15 | 25 | 有 (貧酸素区) | 76.6 | 16.7 | 6.7 | 23.4 | 31.3 | 31.9 |
| 25 | | | 53.3 | 40.0 | 6.7 | 46.7 | 25 | | | 89.3 | 10.7 | 0.0 | 10.7 | 23.9 | 12.1 |
| 25 | 27 | 無 (通気区) | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 25 | 25 | 無 (通気区) | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | - |

*1: レベル2+レベル3

*2: A-B-C

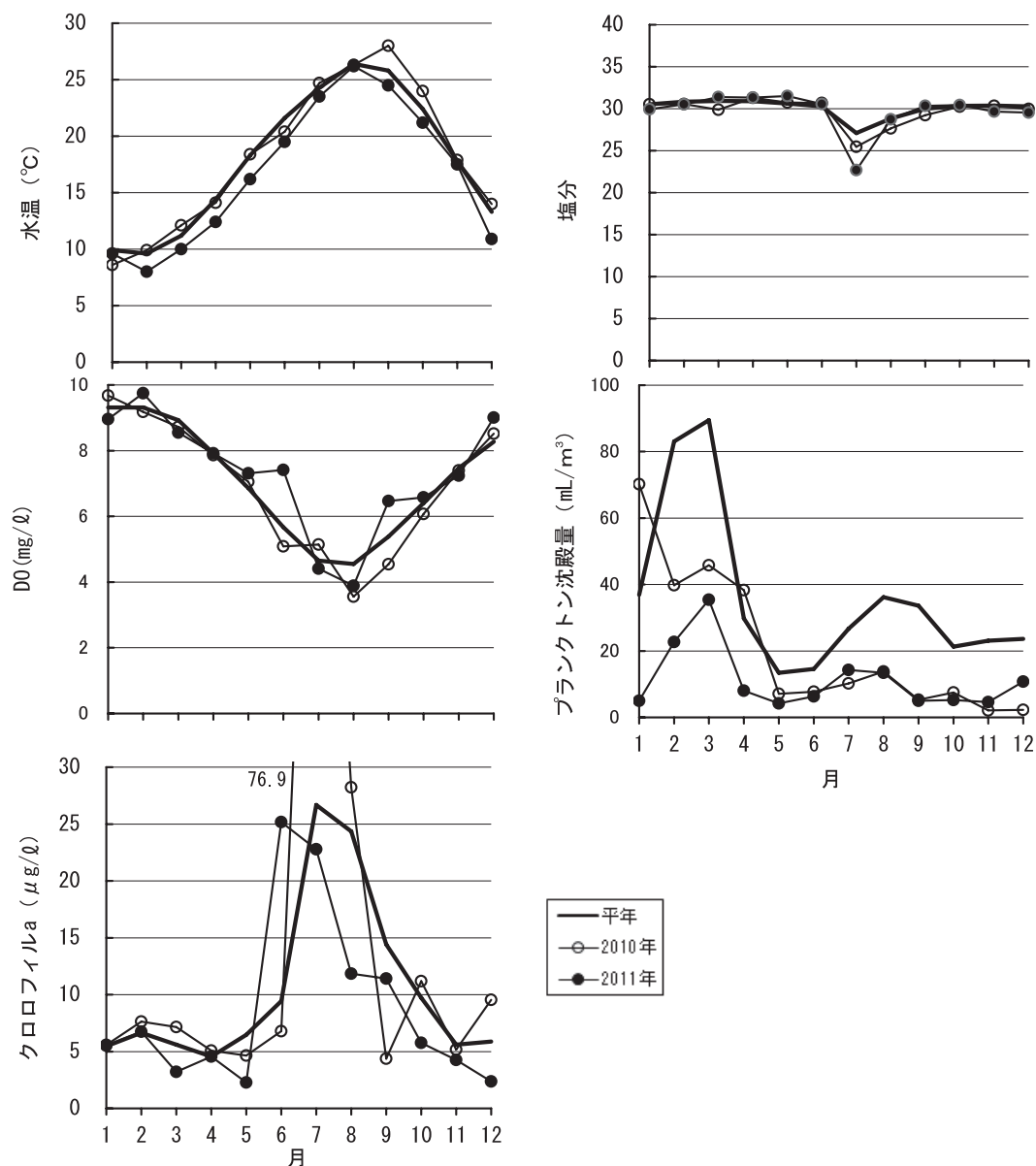


図14 浅海定線調査定点11地点の水温、塩分、DO、プランクトン沈殿量およびクロロフィルaの2010、2011年月別平均値と平年値との比較

を除いて2010年より低めで推移した(図14)。

有明海貧酸素水塊広域連続観測データ⁸⁾によると、浜川沖地点の海底直上0.2m層においては、6月中旬以降小潮から中潮期にかけて溶存酸素が低下する貧酸素化を繰り返し、7月中旬の小潮期とそれに続く中潮期には溶存酸素飽和度が10%を下回って、無酸素に近い著しい貧酸素が7日間継続していた。また、浜川沖地点より地盤高が高い初認地近傍の浜川観測塔および六角川観測塔においては、貧酸素化と相まって致命的とされる塩分15以下⁹⁾の状態が6月中旬から7月中旬まで断続的に観測されていた。

考 察

1. 2011年冬季(1~3月)におけるサルボウの状況

アサリでは、冬季の餌料不足と水温低下に伴って肥満度が低下し、波浪による底質攪乱や河川からの出水時の低塩分等によって斃死するとの報告がある¹⁰⁾。サルボウにおいては、このような斃死発生の報告はないものの、低水温によりろ水量が低下することが報告されている^{11,12)}。藤崎¹¹⁾は、軟体部乾燥重量0.5g(殻長約35mm)のサルボウの1時間当たりのろ水量は、水温6℃

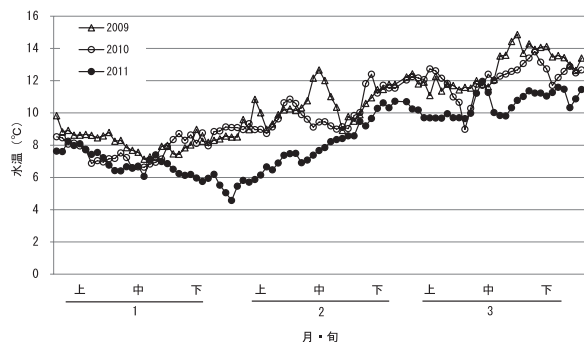


図 15 浜川海況自動観測塔における 2009, 2010 および 2011 年の 1 月から 3 月の昼間満潮時表層水温の推移

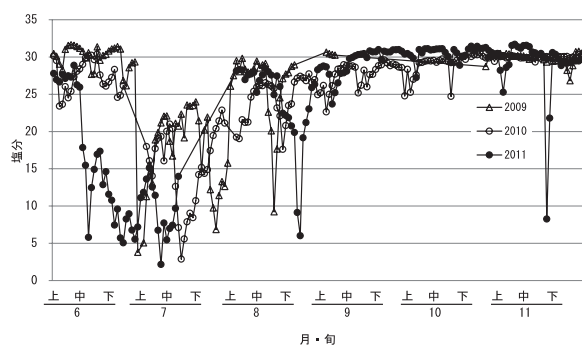


図 16 早津江川海況自動観測塔における 2009, 2010 および 2011 年の 6 月から 11 月の昼間満潮時表層塩分の推移

で 0.1 l, 8°C で 0.4 l, 16°C で 1.5 l と報告している。さらに、同じ 8°C においても 6°C 以下を経験していないサルボウでは 1.1 l であったと報告しており、6°C 以下の水温を一定の期間経験すれば、同じ水温 8°C でもサルボウのろ水量は約 1/3 に低下することから、低水温の影響は長期間継続するものと推察された。

2011 年の冬季水温 (1~3 月) は、浅海定線調査データ (図 14) によると、平年および 2010 年より 2°C 程度低めに推移していた。特に、浜川海況自動観測塔が設置されている鹿島市地先のだらだら斃死初認地 (St. 17) 周辺では、昼間満潮時表層水温が 8°C 以下の日が 46 日間、6°C 以下の日が 10 日間観測されていた。同観測塔の過去のデータを見ると、6°C 以下の水温が観測されたのは 2004 年以來、さらに 6°C 以下の日が 10 日間以上観測されたのは 1984 年にまで遡る。このことから、2011 年冬季水温は、極めて低めに推移していたといえる。また、この期間の餌料環境は、浅海定線調査データ (図 14) によると、プランクトン沈殿量とクロロフィル a 量ともに平年および 2010 年より低めに推移していたことから、平年および 2010 年より悪かったものと推測された。しかし、冬季に当センターで 1~2 回/週の頻度で実施している

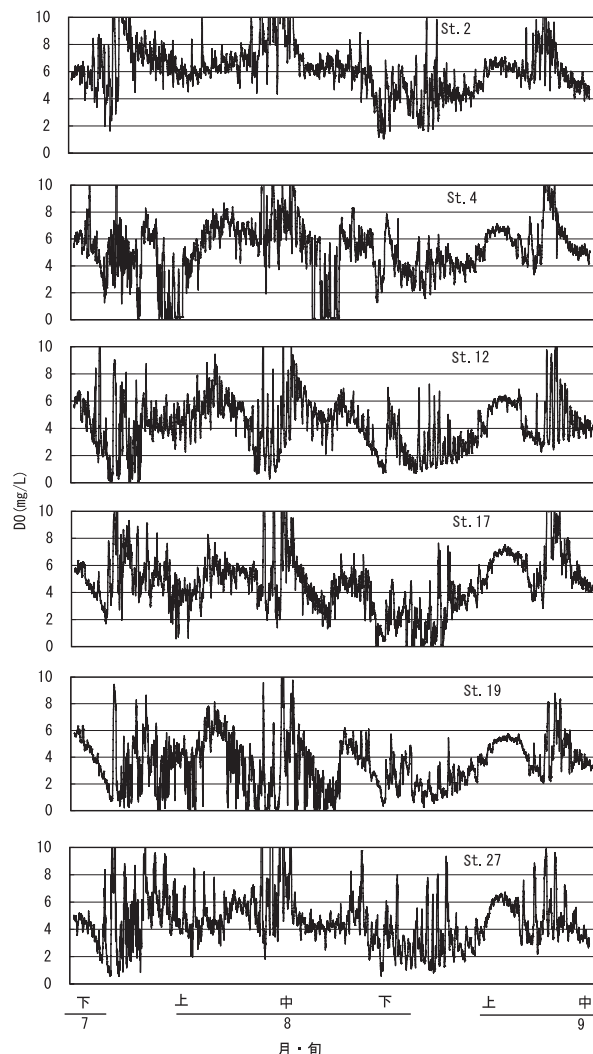


図 17 サルボウ漁場 6 地点の海底直上 0.2 m 層の DO の推移

赤潮調査によれば、2011 年冬季は 12 月 30 日に *Asteroplanus karianus* を主体とする赤潮が初認され、その後 *Skeletonema* spp., *Thalassiosira* spp. および *Eucampia zodiacus* との混合赤潮が 2 月末まで継続していた¹³⁾。このことから、2011 年冬季の餌料環境は、サルボウの肥満度が低下するほど悪化していたとは考えにくく、低水温によりろ水量が低下することにより摂餌不良となって肥満度が低下したものと推察された。

2. 2011 年夏季 (7~9 月) におけるサルボウの斃死状況

2011 年夏季におけるサルボウの斃死は、漁業者への聞き取り情報から 7 月 12 日から 17 日にかけて発生したものであると思われるものの、初認できたのは九州農政局委託事業調査時の 7 月 22 日であった⁶⁾。その後、7 月 26, 29 日、8 月 4, 12, 24, 29 日、9 月 5, 13, 26 日に実施した調査

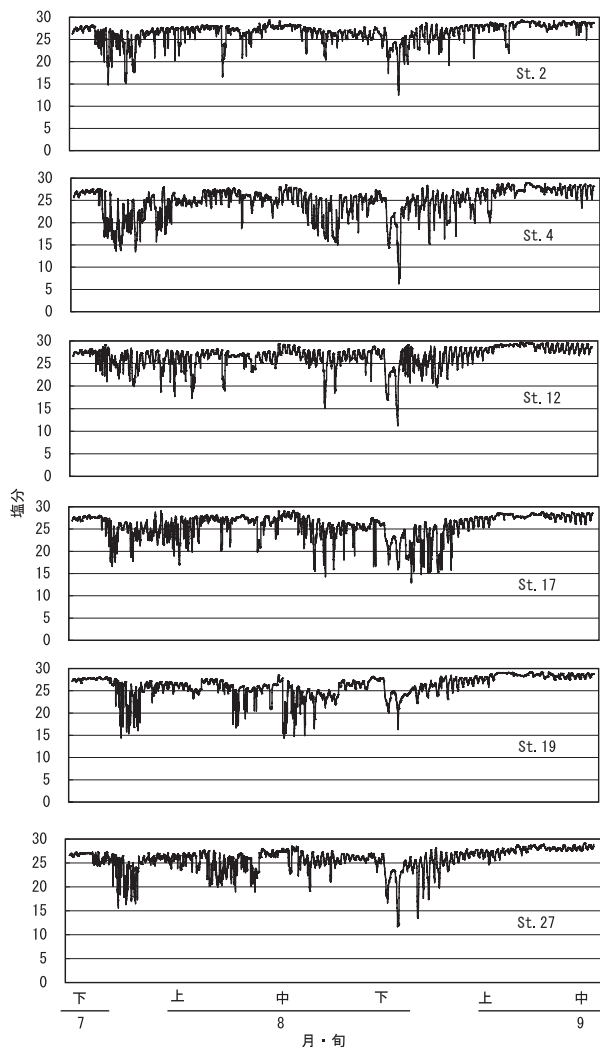


図 18 サルボウ漁場 6 地点の海底直上 0.2 m 層の塩分の推移

において、3.5 分あたり以上のサルボウの平均直近斃死率は、10 から 20 % 台で推移したことが確認された⁶⁾。

この斃死については、有明海貧酸素水塊広域連続観測データ⁸⁾およびサルボウ漁場 6 地点の海底直上 0.2 m 層の DO、塩分の推移 (図 17, 18) から、貧酸素および低塩分との関連が深いことが推測できた。そこで、まず実験 2-①を行った結果から (表 3, 図 11, 12, 13)、サルボウの斃死は、DO 1 mg/ℓ 以下の貧酸素および塩分 15 以下の累積時間が長いほど、水温が高いほど、体サイズが大きいほど著しくなることが判明した。また、サルボウの貧酸素耐性に関して中村ら¹⁴⁾は、平均殻長 13.6 mm のサルボウの水温 25℃、塩分 25、DO 0.05 mg/ℓ 以下の条件下の LT 50 と LT 100 は、それぞれ 10 日目と 11 日目であったとしており、今回得られた LD 50 値 (表 3) との関係は、上述したサルボウの斃死と体サイズ、水温との関係に合致しているように思われた。

福原ら⁹⁾は、サルボウの低塩分耐性に関して、塩分 5 % 以下ではすべて斃死し、10 % および 15 % では供試貝の大きさにより斃死率が異なり小型貝ほど低塩分耐性が高いこと、致死塩分は約 15 % と報告している。今回得られた LD 50 値 (表 3) においても同様な結果が得られ、さらに、水温が高いほど低塩分耐性が低くなる傾向が示唆された。

このことから、2011 年夏季におけるサルボウの斃死は、貧酸素および低塩分との関連が深いものと考えられた。

3. 2011 年 10 月から 2012 年 3 月にかけてのサルボウの斃死状況

だらだら斃死の初認は、2011 年 10 月 19 日であった。その後、10 月 24 日から 3 月 8 日にかけて実施した調査において、3.5 分あたり以上のサルボウの平均直近斃死率は、1 回次の 19.7 % をピークに、その後 7.9 および 2.3 % と低下した。また、だらだら斃死初認時に採捕した衰弱個体で観察された鰓の損傷は、その後実施した生息状況調査においても確認された。その確認地点数は、1, 2 回次が 30 地点中 24 地点と多かったものの、平均直近斃死率がほとんどの地点で 5 % 以下となった 3 回次には 9 地点と大幅に減少した。さらに、3 回次には鰓に損傷が認められる個体の割合もすべての地点で 2 回次より低下していた。

これら現場におけるサルボウの斃死状況からも、だらだら斃死は鰓の損傷に起因するものであることが示唆された。

4. だらだら斃死に至る肥満度低下の発生

だらだら斃死初認地 (St. 17) の大サイズのサルボウの肥満度は、冬季の低水温および春先の餌料不足等の影響 (図 14, 15) により、7 月末まで 14 前後と低めに推移した。その後、8 月上旬から中旬にかけて 15 台で推移したものの、その後低下し続け、だらだら斃死がほぼ終息した 2011 年 12 月中旬には 10.9 となっていた (図 19)。

漁業者への聞き取りによれば、2011 年漁期中の 4 月末から 7 月末にかけてサルボウの身入りが非常に悪かったため、漁獲を控えたとのことであった。このことから、だらだら斃死に至ったサルボウは産卵期前から肥満度が低下していたことが示唆された。

2011 年のサルボウの産卵最盛期は、当センターが実施している浮遊幼生および付着稚貝の出現状況調査¹⁵⁾ から 8 月上旬と思われ、肥満度が 15 台で推移していた時

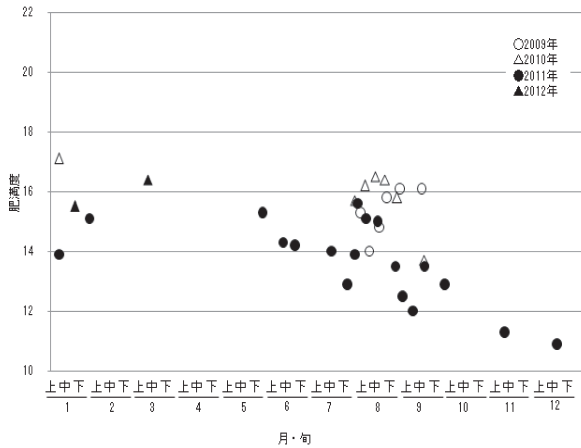


図 19 だらだら斃死初認地 (St. 17) の大サイズのサルボウ肥満度の推移

期とほぼ一致していたことから、この期間は生殖巣の発達により、一時的に肥満度が増大したものと推察された。

本調査におけるサルボウの肥満度 (図 8) は、ほとんどの調査地点において、大、中、小サイズともに 3 回次が最も高く、次いで斃死直前、1 回次、2 回次の順であり、だらだら斃死発生期間中低下していた。しかし、1 回次の生息状況調査において、斃死がほとんど確認されなかった大浦地先の St. 30 では、逆に肥満度は増加していた。そこで、大浦地先 (St. 30) のサルボウとだらだら斃死初認地 (St. 17) のサルボウの健全度の差を把握する目的で、実験 1-①、②を実施した。その結果、実験 1-①においては、St. 30 のサルボウでは両海域ともに大量斃死がなく、St. 17 のサルボウでは養殖開始後 15 日目までに大量斃死が発生した (図 9)。また、実験 1-②においては、St. 17 のサルボウのろ水速度は St. 30 より低く、さらに半数の個体で鰓の損傷が確認されるとともに、その個体のろ水速度は、損傷がなかった個体より低かった (図 10)。

だらだら斃死で確認された鰓の損傷は、図 3 に示すレベル 3 に相当するもので、鰓の支持組織に萎縮やうっ血が認められ、重度の個体は鰓の縁辺部から崩壊が進んでいることと、鰓糸の繊毛運動が不活発なことが特徴であり、松里¹⁶⁾が報告している鰓糸上皮の顕著な退縮に近い状態であったと考えられた。また、Winter¹⁷⁾は、二枚貝の鰓を通過させる水量 (換水量) は、鰓の繊毛の活動度と正の相関があると報告している。

これらのことから、鰓が損傷し繊毛運動が不活発となったことにより、ろ水・摂餌能力が低下したためだらだら斃死発生期間中においても肥満度が低下したものと推察された。

5. だらだら斃死の発生原因

だらだら斃死の発生要因解明の手がかりとするため、有明海佐賀県海域および瀬戸内海で 1975 年から 1984 年にかけて発生したサルボウ大量斃死事例^{16,18-21)}を参考とした。これらの知見を基に、だらだら斃死と環境要因との関連性を考察する際のキーワードを抽出すると、「高水温などの外的な環境条件」「餌料環境」「産卵に伴う生理活性の低下」「何らかの生理的なストレスの長期継続」および「鰓糸上皮の顕著な退縮」があげられた。

貧酸素・低塩分ストレスと鰓の損傷との関連性の把握を目的とした実験 2-①においては、鰓の損傷は DO 1 mg/ℓ 以下の貧酸素ストレスを 3 日間与えると発生し、その程度は塩分濃度が低いほど著しくなること、さらに塩分 15 以下の低塩分ストレスのみを 3 日間与えても貧酸素同様に鰓の損傷が発生することが確認された。一方、金子ら²²⁾は、溶存酸素飽和度が 50% 程度を下回ると、成長が停滞すると報告している。また、山元ら²³⁾は、マガキおよびタイラギの鰓の薄片のほふく速度が酸素飽和度 40% 以下にすると減少することを報告している。これらのことから、溶存酸素飽和度の低下に伴うろ水速度の低下は、鰓の損傷により繊毛運動が不活発となって誘発されたと考えられる。

今回実施した試験結果と従来の知見を総合すると、鰓の損傷は、2011 年 6 月中旬以降断続的に発生した海域の貧酸素化と低塩分化が引き金となって発生したものと推察された。

この貧酸素・低塩分ストレスによる鰓の損傷は、鰓の支持組織に萎縮やうっ血が認められること、鰓糸の繊毛運動が不活発なことが特徴で、斃死したサルボウの鰓糸がバラバラとなって水中を漂う様子も確認されていることから、嫌気代謝によるアシドーシス化により、鰓糸組織になんらかの異常が生じ発生した可能性も否定できない。

一方、だらだら斃死が発生しなかった 2010 年の海域の貧酸素・低塩分化は、2011 年より 2 週間ほど発生時期が遅れるもののほぼ同規模のものが発生している²⁴⁾ことから、環境要因である貧酸素・低塩分ストレスのみがだらだら斃死の発生要因とは考えにくい。そこで、2010 年と 2011 年のサルボウの栄養状態、即ち肥満度に着目した。前述したようにサルボウの肥満度は、2011 年は 2010 年に比べ低めに推移していたことから、十分なエネルギーストックがない状態、つまりグリコーゲン含有量がかなり低下した状態で断続的な貧酸素・低塩分ストレスを受けたことにより、斃死を免れた個体においても鰓

に重度の損傷を受けた可能性が考えられた。この点については、鈴木ら²⁵⁾が産卵後の痩せた時期などグリコーゲン含有量がかなり低下している栄養状態では十分なエネルギーストックが得られず、貧酸素環境への順応も進みにくいと報告していることと符合する。しかし、今後、栄養状態が異なるサルボウを用いて貧酸素・低塩分ストレスによる鰓の損傷の程度を剖頭所見のみならず組織切片観察により比較し、体腔液の有機酸組成やグリコーゲン含有量の変化などの生化学的なデータと突き合わせ、解析するなどの検討も必要であろう。

また、本調査においては、生息状況調査の全ての回次をとおして、大サイズの肥満度が最も低く、次いで中サイズ、小サイズの順であったことから、産卵による疲弊、つまりエネルギーストックの減少もだんだら斃死に繋がった可能性も否定できない。

損傷を受けた鰓は、一定の期間、好適な生育条件が継続すれば回復することが想像できるため、実験2-②において貧酸素・低塩分ストレスからの回復率を推定したところ、塩分15貧酸素区が31.9%、塩分25貧酸素区が12.1%となっていたことから、損傷を受けた鰓は、珪藻プランクトン等の餌料が豊富で、貧酸素・低塩分等の環境ストレスがないサルボウにとって良好であると思われる海況の下では、一定の期間を経て回復するものと考えられた。

サルボウの鰓損傷の回復期と思われる秋季は、プランクトン沈殿量およびクロロフィルa量が低めに推移していたこと(図14)、平年ではみられない100mm前後の降水量が2011年8月下旬、10月中・下旬および11月中旬にみられるなど、サルボウにとって不適な環境となっていたと考えられた。

以上から、2011年秋季から冬季にかけて発生したサルボウの異常斃死(だんだら斃死)は、冬季(2011年1~3月)の低水温による摂餌不良に始まって、春先の餌料不足、産卵によって疲弊したことにより著しく肥満度が低下した状態で貧酸素・低塩分ストレスを受けたために鰓に損傷を受けたこと、さらに鰓損傷の回復期と思われる秋季に餌料不足と低塩分ストレスが加わったことなど、複合的な要因が重なって重篤化し、長期にわたったものと考えられた。なお、だんだら斃死の期間としては、2011年10月中旬から同年12月中旬までの3ヶ月間であったと考えられた。

文 献

- 1) 真崎邦彦・小野原隆幸(2003):有明海湾奥部におけるサルボウの漁獲実態と分布状況. 佐有水研報, (21), 29-36.
- 2) 真崎邦彦・小野原隆幸(2009):有明海湾奥部におけるサルボウ稚貝の発生と気象条件について. 佐有水研報, (24), 13-18.
- 3) 岡村和磨・田中勝久・木元克則・藤田孝康・森 勇一郎・清本容子(2010):有明海北西部における貧酸素水塊と底質がサルボウの大量斃死に与える影響. 水産海洋研究, **74**(4), 197-207.
- 4) 平成21年度有明海特産魚介類生息環境調査(佐賀県沖)サルボウ適正生息環境調査結果報告書(九州農政局委託事業).
- 5) 平成22年度有明海特産魚介類生息環境調査(佐賀県沖)サルボウ適正生息環境調査結果報告書(九州農政局委託事業).
- 6) 平成23年度有明海特産魚介類生息環境調査(佐賀県沖)サルボウ適正生息環境調査結果報告書(九州農政局委託事業).
- 7) 平成23年度第2回有明海および八代海の魚介類へい死に関する検討会議(福岡県説明資料).
- 8) 平成23年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業 赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業 貧酸素水塊漁業被害防止対策報告書. 86-90.
- 9) 福原 修・Waspada・梅沢 敏・野上和彦(1985):サルボウ養殖種苗の塩分耐性. 南西海区水産研究所研究報告, (20), 1-12.
- 10) 柿野 純・鳥羽光晴・兼子昭夫・深山義文(1992):東京湾木更津地先における冬季のアサリへい死の特徴. 千葉水試研報, (50), 21-30.
- 11) 藤崎 博(2010):サルボウガイの摂餌生態の解明と色落ち防止効果の検討. 平成22・23年度新たなノリ色落ち対策技術開発委託事業のうち二枚貝増養殖技術の開発 成果報告書, 58-60.
- 12) 宮本 康・初田亜希子(2008):塩分と水温に応じたサルボウ(*Scapharcs kagoshimensis*)の濾過速度と生残率の変化. Laguna(汽水域研究), (15), 13-18.
- 13) 松原 賢:未発表
- 14) 中村幹雄・品川 明・戸田顕史・中尾 繁(1997):宍道湖および中海産二枚貝4種の環境耐性. 水産増殖, **45**(2), 179-185.
- 15) 佐賀県有明水産振興センター(2011):平成23年度モガイ採苗情報
- 16) 松里寿彦(1982):サルボウの病理組織学的研究. サルボウ斃死要因解明のための養殖試験I, 39-45.
- 17) J. E. Winter(1978):A review on the knowledge of

- suspension-feeding in lamellibranchate bivalves, with special reference to artificial aquaculture systems. *Aquaculture*, (13), 1-33.
- 18) 杠 学・小澄千尋・山下康夫・中武敬一 (1988) : 佐賀県有明海におけるサルボウ養殖試験 (昭和 62 年度および昭和 56~62 年度のまとめ). サルボウ斃死要因解明のための養殖試験Ⅶ, 37-58.
- 19) 片山勝介・三宅与志雄・池上 徹・池田善平 (1982) : 岡山県におけるサルボウ養殖試験. サルボウ斃死要因解明のための養殖試験, 2-15.
- 20) 有馬郷司・梅沢 敏・大池数臣 (1988) : 広島県大野瀬戸におけるサルボウ養殖試験 (昭和 62 年度および昭和 56~62 年度のまとめ). サルボウ斃死要因解明のための養殖試験Ⅶ, 59-68.
- 21) 池田善平・草加耕司・片山勝介 (1988) : 岡山県西部におけるサルボウ養殖試験 (昭和 62 年度および昭和 56~62 年度のまとめ). サルボウへ斃死要因解明のための養殖試験Ⅶ, 1-17.
- 22) 金子健司・橋口晴穂・宮向智興・今尾和正・和久光靖・石田基雄・鈴木輝明 (2011) : 三河湾におけるサルボウの初期成長に及ぼす貧酸素の影響. *水産工学*, **48**(2), 109-116.
- 23) 山元憲一・田中 実・田中直樹・神園真人・秋本恒基 (1993) : マガキ, クマサルボウ, タイラギの鰓のほふく速度に及ぼす低酸素と水温の影響, *水産増殖*, **41**(4), 435-438.
- 24) 平成 22 年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業 赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業 貧酸素水塊漁業被害防止対策報告書. 83-87.
- 25) 鈴木健吾・清本節夫・奥石裕一 (2012) : 断続的な貧酸素曝露がアサリの栄養状態および貧酸素耐性に与える影響. *水産技術*, **5**(1), 39-47.