

二枚貝漁場における問題点と環境改善技術

1. アサリの生息環境における問題点と環境改善技術

1.1 アサリの漁獲量の推移

昭和 50 年から平成 23 年の全国のアサリの漁獲量、並びに有明海に面する福岡県、佐賀県、長崎県、および熊本県のアサリ漁獲量の推移を図 1-1 に示す。全国のアサリ漁獲量は、昭和 50 年代に約 16 万トンのピークを記録した後、昭和 60 年以降は減少し、平成 20 年以降には 3 万トン前後となった。この減少の要因としては、埋め立てや干拓を含む海岸工事、河川改修、水質汚濁などによるアサリ生息地の喪失、さらには底質の泥化、貧酸素化、赤潮の発生など、アサリ生息環境の悪化があげられる¹⁾。

有明海は日本有数のアサリ産地であるが、その大部分は福岡県と熊本県におけるものである。福岡県では昭和 58 年に約 6 万 2 千トンの漁獲を記録した後、翌昭和 59 年には約 1 万 2 千トンまで減少し、それ以降は数千トンの水準で推移している。同様に、熊本県では昭和 52 年の約 6 万 6 千トンをピークにアサリの漁獲量は減少し、平成 3 年までには約 2 千トンまで低下した。ここ 30 年間の両県におけるアサリ漁獲量の減少は顕著といえる。

昭和 50 年から平成 22 年の熊本県の緑川河口域におけるアサリの漁獲量の推移を見ると(図 1-2)²⁾、昭和 50 年代、そこでのアサリの漁獲量は 4 万トン近くにも及び、熊本県の全漁獲量の 8 割弱を占めていたことが分かる。この時期の全国のアサリの漁獲量は 14 万トン前後であることから、この当時の熊本県、特に緑川河口域は、我が国随一のアサリ産地であったことが分かる。しかし、緑川河口域での漁獲量は昭和 52 年の 4 万 2 千トンをピークに減少を続け、平成 9 年には 4 トンまで低下した。以降、徹底した資源管理と覆砂事業の効果によりやや回復しつつあるが、平成 21 年度および 22 年度は千トンを下回った。有明海最大の漁場においてもアサリ漁獲量の減少は懸案となっている。

上述のような 有明海におけるアサリ漁獲量減少の要因として、有明海・八代海総合調査評価委員会は、底質環境の変化やナルトビエイによる食害などを指摘しており³⁾、現在、その対策が求められている。

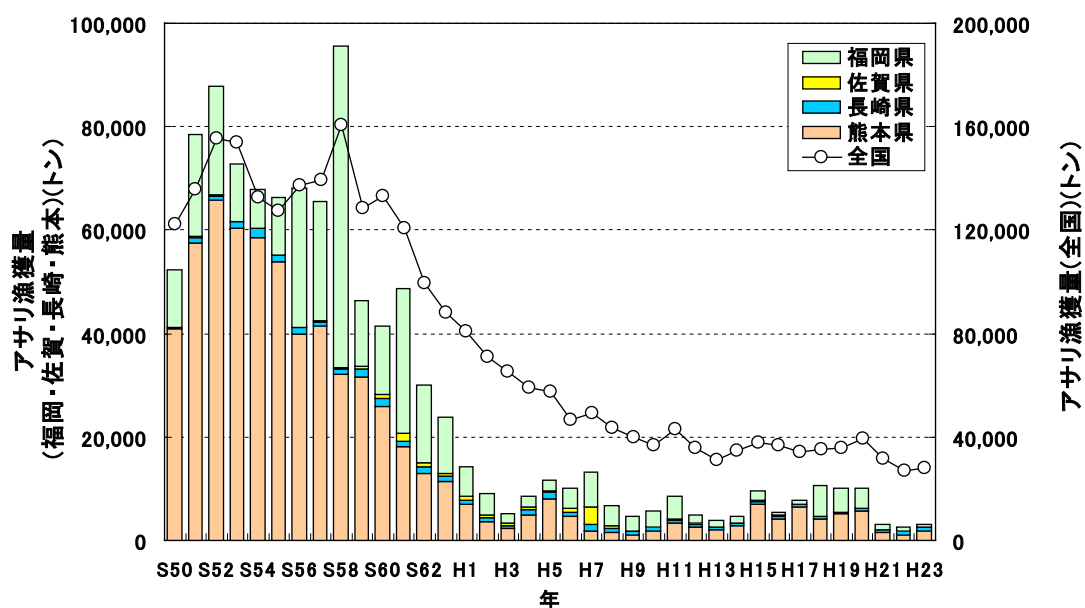


図 1-1 福岡県、佐賀県、長崎県および熊本県のアサリ漁獲量の推移

出典：

※平成 17 年まで 農林水産省 統計情報 海面漁業魚種別漁獲量累年統計（都道府県別）

※平成 18 から 21 年 農林水産省 統計情報 年次別 養殖業生産統計年報

※平成 22 年 九州農政局 統計情報 平成 22 年九州の海面漁業・養殖業生産統計（確定値）

※平成 23 年 九州農政局 統計情報 平成 23 年九州の海面漁業・養殖業生産統計（概数）

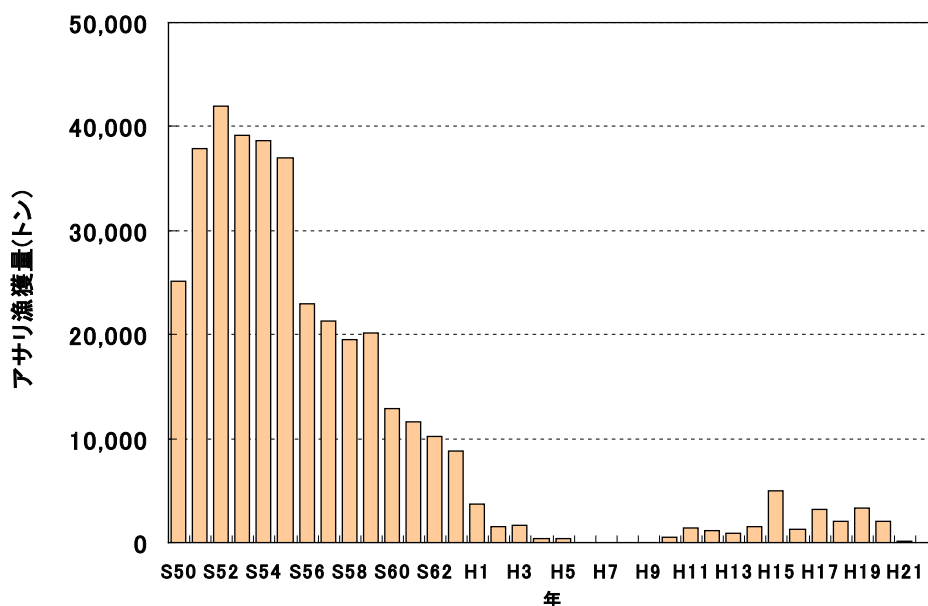


図 1-2 熊本県 緑川河口域におけるアサリ漁獲量の推移 2)

※平成 16 年以降は、熊本県水産研究センターからの資料提供による

1.2 アサリの生活史と減少要因

1.2.1 アサリの生活史

アサリ (*Ruditapes philippinarum*) は、軟体動物門 二枚貝綱 マルスダレガイ目 マルスダレガイ科に属する小型の二枚貝であり、水産有用種として知られる。

アサリの生活史を図 1-3 に示す。産卵は北海道では夏に 1 回最盛を迎えるが、東北以南では春と秋の年 2 回である。有明海におけるアサリの産卵は、4～5 月ごろの春季と、10～11 月ごろの秋季の年 2 回に最盛が見られる⁴⁾。

アサリの受精卵の大きさは直径 60～70 μm である。水温が 20 $^{\circ}\text{C}$ の条件では、受精約 6 時間後に纖毛が生じ、12 時間後にはトロコフォア幼生となり、48 時間後には幼殻が完成し(殻長 100～110 μm)、D 状期幼生期に入る。D 状期幼生期から摂餌を始め、摂餌開始後 3～5 日で殻長が 130～140 μm となり、アンボ期に入る。その後、2～4 週間で殻長 180 μm のフルグロウン期に入り、殻長が 200～230 μm に成長すると、幼生は変態し、着底稚貝となる。稚貝期には足糸を分泌して砂礫等に付着しているが、足糸は成長に伴い退化する⁴⁾。

受精後、トロコフォア幼生から、変態・着底するまでの浮遊幼生期間は 2～3 週間とされるが、漁獲対象となる殻長 30mm 以上になるまでの期間は場所により異なる。東京湾では 2 年で殻長 24～40mm 程度に成長するとされ、また、有明海(熊本県)では 1 年で 25mm、2 年で 36mm、3 年で 40mm とされる⁴⁾。アサリの寿命は 8～9 年と考えられている⁴⁾。

アサリの食性については、デトリタス、珪藻類等を摂食するろ過食性であることが知られている。ろ水率は 0.2～2.4L/個体/時間の範囲にあるとされている⁴⁾。

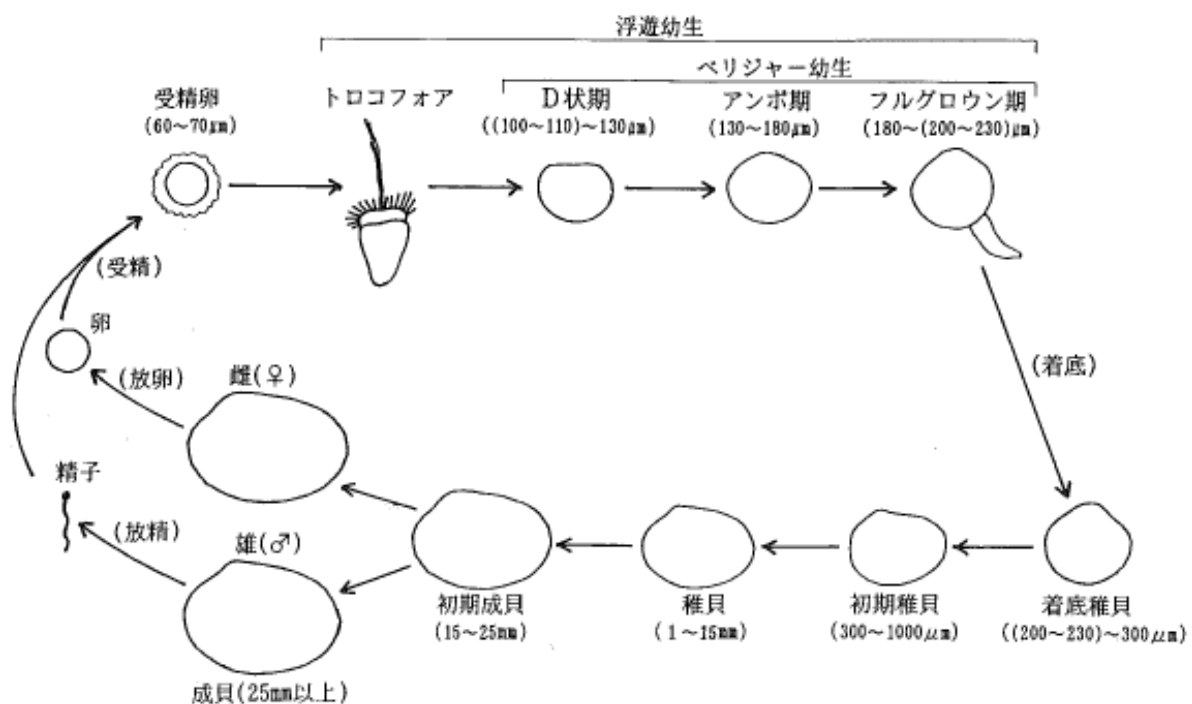


図 1-3 アサリの成育段階と大きさ⁴⁾

1.2.2 アサリの生態および生息環境との関連・耐性

アサリの生活史を浮遊期、稚貝期、成貝期、および産卵期に区分し、それぞれの生態や特性と、それらと環境との関係などを以下に示す(表 1-1)。

浮遊期

アサリは、水中で受精し、2～3週間のトロコフォア幼生とベリジャー幼生の浮遊期を経た後、海底に着底する。アサリ稚貝は、海水の流れにより幼生が集積されやすい場所に高密度に発生することが指摘されている⁵⁾。幼生は水温 12～30℃の範囲で正常に発生する⁶⁾。浮遊幼生期の成長速度に関してはいくつかの報告があるが、例えば荒川・黒田(2003)は、浮遊幼生期の殻長成長速度を水温Tの関数として $0.641 \times T - 7.45$ という一次式で示し、これから成長速度が 0 となる水温を 11.6℃と推定している⁷⁾。殻長が 200～230μmになると、幼生は変態し、着底稚貝となるが、着底時の底質粒径については、粒径 1～2mmを至適とした選択性を有する⁸⁾。

稚貝期・成貝期

アサリは、着底後、殻長数mmの間は海底のごく表面にいるが、成長とともに砂中に深く潜るようになる。成貝になると、殻長の 2 倍程度の深さに潜砂するが、冬季の方が夏季より深く潜砂することも報告されている⁴⁾。一方、稚貝期には水平方向にも移動し、波や流れによりその分布パターンが変わる⁹⁾。アサリの成長は場所により異なるが、有明海の熊本県菊池川河口域では 1 年で殻長 25mmになることが報告されている¹⁰⁾。

稚貝期は高水温への耐性が低く、40℃では 1 時間、35～36℃では 15 時間で全滅したことが報告されている¹¹⁾。加えて、稚貝期は塩分への耐性も低く、殻長 0.3mmの個体は淡水に 6 時間さらされると全滅したとの報告もある¹¹⁾。成貝期と比べ稚貝期の方が高水温や低塩分への耐性が低く、河川からの出水の影響を受けやすい内湾では、低塩分により稚貝の生残率が下がると考えられる。アサリの成長は、水温 20～25℃を至適とし、10～30℃の範囲ならば成長は可能とされている⁴⁾。

溶存酸素濃度(以下、D0と表記)に関する耐性については、0.36mg/L以下では4日間生存したこと¹²⁾、D0飽和度10%以下(水温15℃)では13日程度でへい死が始まることなどが報告されている¹³⁾。貧酸素状態へのアサリの耐性については、水温やアサリの生理状態により異なるとされるが、溶存酸素濃度が1ppm以下では早ければ2日経過後から影響がみられ、4日以上経過するとへい死が始まると推察されている⁴⁾。

また、へい死を引き起こす有害物質としては硫化水素があげられる。硫化水素は、通常、貧酸素状態において嫌気性細菌による有機物の分解が進行すると発生することが知られている。アサリのその耐性について現場実験で調べた結果、硫化水素 1.0～5.0mg/Lの条件では 2 日間で 100%死亡したとが報告されている¹²⁾。

干出時間を左右する地盤高も、アサリの生息に影響を及ぼす主要な要素である。アサリの生息域である潮間帯においては、地盤高が高いほど干出時間が長くなり、摂餌の機会が

少なくなるからと考えられている。一般に、アサリの生息に至適な干出時間は概ね3時間以下とされる¹⁴⁾。有明海においては、大潮の干潮時に干出時間が5時間以上となる場所では稚貝の生残が悪くなることが指摘されている¹⁵⁾。

地盤高に加え、生息基盤となる底質もアサリの生息に影響を及ぼす。底質の粒径について様々な知見を総合すると、泥分(0.074mm以下の粒子)や礫(2mm以上の粒子)が主成分となっている底質は好ましくないとされている⁴⁾。一方、室内実験により浮泥の堆積によるアサリのへい死が確認されたことから、アサリの生息は底質の細粒分よりも河川の出水によって堆積する土砂・浮泥の影響を受けやすいとの指摘もある¹⁶⁾。底質のアサリへの影響については、今後さらなる知見の蓄積が望まれる。

波浪などの外力もアサリの生息の制限要因となる。波浪・潮流についてシールズ数により検討した報告では、シールズ数が0.2以上になると地盤の侵食のためにアサリが定着できないことが報告されているほか¹⁷⁾、砂面低下速度0.06mm/s以上では地形変化に追従できず砂中から流失するとの報告もある¹⁸⁾。

産卵期

アサリは殻長約15mm以上で産卵が可能となる。有明海において、その産卵は春季(4～5月ころ)と秋季(10～11月ころ)の年2回最盛が認められる⁴⁾。産卵は20℃前後の水温を至適とする⁴⁾。

表 1-1 アサリの生活史ごとの生態・環境との関係等

生活史	生態情報・特性等	環境との関係・耐性
浮遊期	特性：浮遊生活を 2～3 週間、200μm前後で変態、成殻を形成して着底⁴⁾ 分布：流れによる幼生の集積⁵⁾	水温：12～30℃の範囲で正常に発生⁶⁾ 殻長成長速度：$0.641 \times T(\text{水温}) - 7.45$（室内実験）⁷⁾ 底質粒径：浮遊幼生の着底の選択性は 1～2mmに至適⁸⁾
稚貝期	潜砂：殻長数mmでは海底のごく表面にいるが成長とともに砂中に深く潜砂⁴⁾ 食性：ろ過食性⁴⁾ 移動：波・流れにより分散し、分布パターンが変化⁹⁾	水温：稚貝期は高水温の耐性が低く 40℃では 1 時間で全滅、35～36℃では 15 時間で全滅¹¹⁾ 最適水温帯は 20～25℃、10～30℃内で成長可能⁴⁾ 塩分：稚貝も低塩分の耐性が低く殻長 0.3mmの個体では淡水で 6 時間で全滅¹¹⁾ 淡水では 3～4 日でへい死が発生、塩分 15(水温 15℃)では潜砂不能⁴⁾ 溶存酸素濃度(DO)：0.36mg/L以下では 4 日間生存¹²⁾、DO飽和度 10%以下(水温 15℃)では 13 日程度でへい死が発生¹³⁾
成貝期	成長：<u>1 年程度で殻長 25mmに成長</u>¹⁰⁾ 潜砂：殻長の約 2 倍の深さに潜砂⁴⁾ 食性：ろ過食性⁴⁾	硫化水素：1～5mg/Lでは 2 日間で 100%死亡¹²⁾ 地盤高：概ね 3 時間以下が適切¹⁴⁾、<u>大潮の干潮時に 5 時間以上干出する場所では稚貝の生残が悪化</u>¹⁵⁾ 底質粒径：生息に適した粒径 0.074mm～2mm⁴⁾ 泥分の被覆：殻長の 2～3 倍で 100%死亡¹⁶⁾ 波浪：潮流(シールズ数)：シールズ数が 0.2 以上になると侵食のために定着不能¹⁷⁾ 砂面低下速度 0.06mm/s以上では地形変化に追従できず砂中から流失¹⁸⁾
産卵期	生態：殻長約 15mm以上で産卵が可能⁴⁾ 産卵期：<u>春季(4～5 月ころ)と秋季(10～11 月ころ)の年 2 回ピーク</u>⁴⁾	水温：産卵の適水温 20℃前後⁴⁾

※下線は有明海での情報

1.2.3 アサリの生活史と減少要因

前項ではアサリの生活史ごとの性質や環境への耐性を述べた。ここでは生活史の浮遊期、稚貝期、および成貝期と、アサリの減少要因やへい死要因との関係について述べる(図 1-4)。

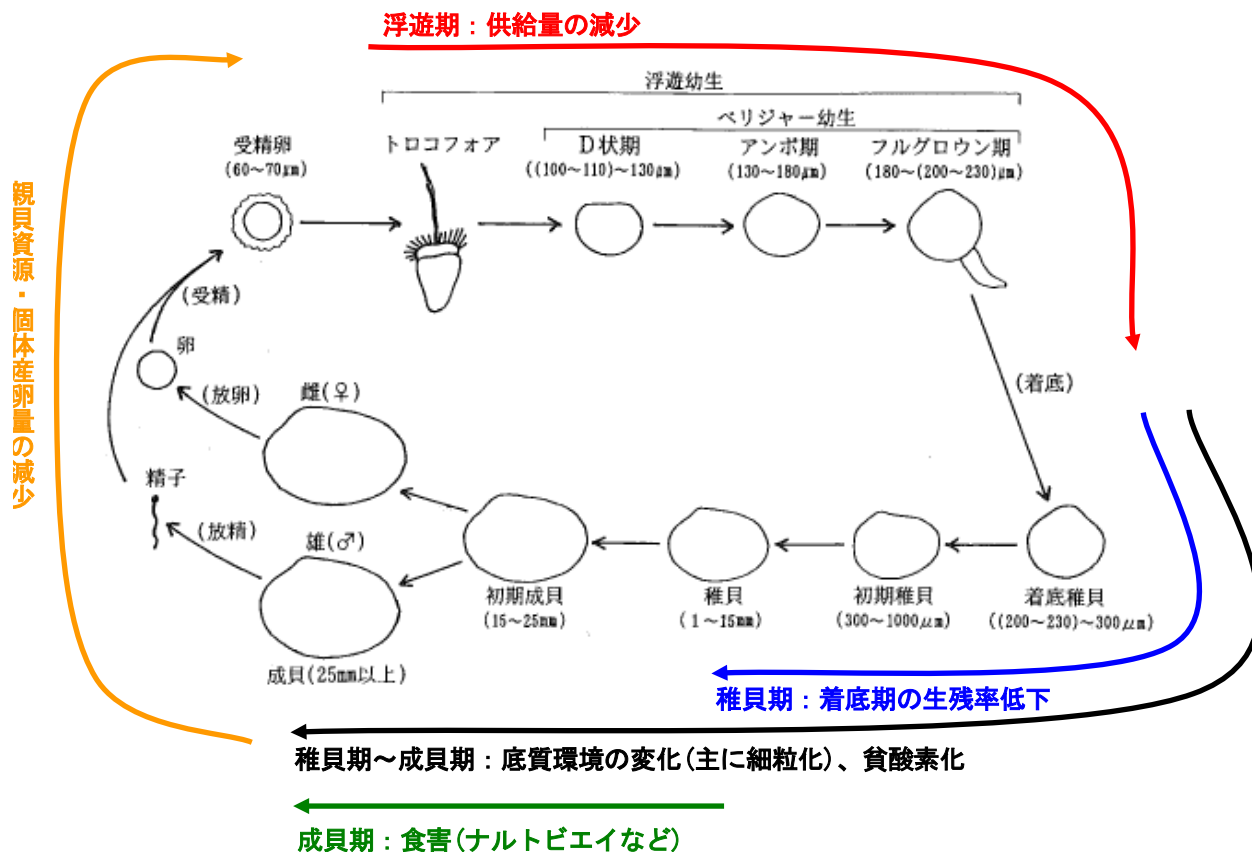


図 1-4 アサリの生活史からみた減少要因 4) を改変

浮遊期

石井、関口(2002)は、熊本県の滑石(菊池川河口)や川口(緑川河口)での調査の結果から、アサリ資源の規模は、基本的にはそこに供給される浮遊幼生の量により決定され、この浮遊幼生の量の多寡は、流動による幼生の滞留機構が関与していることを指摘している¹⁹⁾。また、当然のことながら、浮遊幼生の供給源である親貝そのものの減少も無視することはできない。

稚貝期

稚貝期においては、着底期の生残率の低下が指摘されている。堤ら(2002)は、干潟の自然砂域に殻長が 5mm以下の死亡稚貝が多く発見されることから、自然干潟域へのアサリの着底は起こるものの成長には至らないとしつつ、覆砂域ではそのような初期減耗は少ないことを報告している²⁰⁾。実際に、熊本県緑川河口干潟上の覆砂域での調査結果からも生残

率の向上が認められたことは²¹⁾、覆砂によるアサリ着底効果(生残率)の向上²⁰⁾を示すものである。

覆砂がアサリ着底効果を持つ理由として「粒径の改善」、「着底基質の供給」、および「覆砂による(微妙な)地形の変化(凸凹が効く)」などがあげられるが、その効果および科学的なメカニズムについては不明な点が多い。覆砂をアサリ資源の回復につなげるためには、そのメカニズムに関するさらなる解明が望まれる。

稚貝期～成貝期(共通)

アサリの生息環境全体をとおして、稚貝期から成貝期にかけて共通した減少要因として考えられるのは、底質環境の変化、主として細粒化であることが有明海・八代海総合調査評価委員会において指摘されている³⁾。同様に、漁業者からも浮泥の堆積などの細粒化を問題とする話が聞かれる。底質の細粒化を促す一つの原因として、河川からの粗粒砂の流入減少が考えられている。このほか、河川の出水による浮泥の堆積も細粒化につながる。実際に、福岡県や熊本県では、アサリを中心とした二枚貝類の出水によるへい死に関する報告がある^{22, 23)}。このような底質環境の変化は、稚貝期から成貝期をとおして、着底の阻害を始めとする悪影響を与える。これらの対策として講じられる覆砂は、細粒化した底質をアサリの着底と成育に適した底質粒径に改善することから、有効な漁場造成法といえる。

アサリのへい死を招く要因に海水の貧酸素化がある。有明海の長崎県小長井では、貧酸素水塊が原因と考えられるアサリのへい死が報告されている²⁴⁾。加えて、平成12年の夏季には、有明海東北部の漁場でタイラギのへい死が発生し、アサリと同様に、貧酸素水塊に起因することが指摘されている²⁵⁾。有明海以外でも千葉県東京湾奥部、愛知県三河湾などで貧酸素水塊によるアサリのへい死が報告されている^{26, 27)}。このように、閉鎖性水域に多く認められる海水の貧酸素化は、アサリだけでなくその生態系全体に悪影響を及ぼすことから、有明海のみならず、その対策は極めて重要である。

冬季の波浪もアサリ資源減少の大きな要因となりうる²⁸⁾。冬季の水温低下や餌料の不足に加え、波浪による露出によってグリコーゲン含量が減少し、これにより活力が低下して再び潜砂ができなくなり、その結果、へい死につながるからである^{29, 30)}。

成貝期

前述したように、親貝の減少もアサリ資源の減少につながりうる。これまでの報告によれば、特定の地先において、前年の春発生群が1歳となる春から秋までの間にその98%が漁獲されたという推定もある²³⁾。このような事態に対応するため、近年、全国各地で自治体と漁業者が一体となって、各種の資源回復計画を策定、実施している。熊本県は平成17年に「アサリ資源回復計画」を策定し、漁業者との連携の中で、漁獲サイズや漁獲量の制限を設け、アサリの資源回復に取り組んでいる。浮遊幼生の供給量の低下を防ぐには、このような親貝の資源管理が必要となる。

このほか、成貝期のアサリの減少要因として食害があげられる³⁾。特に、有明海では、

ナルトビエイによる食害が深刻な問題となっている²³⁾。また、アサリの食害生物としては、ナルトビエイ、ツメタガイ類、キセワタガイ(主に稚貝が捕食される)、イシガニやガザミなどのほか、クルマエビやシャコ類もあげられ、さらにはカモ(鳥類)による捕食の報告もある⁴⁾。

アサリの減少に関する他の注目すべき点は、ここ数年の熊本県の調査により、秋季の浮遊幼生の発生量の低下と、同時期にアサリの身入り(肥満度)の低下が確認されていることである。熊本県はこの要因のひとつとして成貝期の餌料環境をあげ、両者の因果関係の解明や餌料環境改善などの調査研究に着手している³¹⁾。

1.3 アサリ漁場の問題点と対応策

1.3.1 有明海アサリ漁場の環境特性

(1) 地先ごとのアサリ漁場の環境特性・問題点

有明海における主要なアサリ漁場としては、福岡県では有明海沿岸の干潟域、佐賀県では主に筑後川河口付近、長崎県では諫早湾から島原半島、さらに熊本県では荒尾や、白川、菊池川、緑川の河口干潟が知られている。その中で生産量が最も大きいのは、熊本県の緑川河口に位置する干潟である。

有明海漁場造成技術開発事業では、上述のいくつかの漁場周辺において、アサリ漁場造成に関する技術開発を行ってきた³²⁾。これらの漁場の中から、同事業の実証実験を行った各地先の環境特性や底質などを表 1-2 示すとともに、以下にその特性を詳述する。

表 1-2 アサリ漁場の環境特性

地先名	環境特性	干潟種類	主要 河川名	底質	地盤高 D.L. (m)
大牟田(福岡県)	浮泥が堆積しやすい	河口干潟	堂面川 諏訪川	泥質	+0.9~+1.3 -0.4~±0
大和高田(福岡県)	浮泥が堆積しやすい	河口干潟	矢部川	泥質	+1.2~+1.3
柳川(福岡県)	浮泥が堆積しやすい 地盤高が高い	河口干潟	沖端川 筑後川	泥質	+2.0~+2.2
多比良(長崎県)	波浪の影響を強く受ける	前浜干潟	なし	礫まじり	+1.3~+1.6
小長井(長崎県)	貧酸素水塊の襲来	前浜干潟	なし	砂質	+0.5~+1.5
長浜(熊本県)	波浪の影響を受ける	河口干潟	緑川	砂質	-0.2~±0
川口(熊本県)	河川、波浪の影響を受ける	河口干潟	緑川	砂質	-0.2~+0.2
大浜(熊本県)	菊池川河口前面(出水影響)	河口干潟	菊池川	砂質	-0.5~+1.8

福岡県干潟縁辺部(大牟田、大和高田、柳川)

福岡県の干潟域は有明海の湾奥東部に位置する。福岡県有明海沿岸の主要なアサリ漁場の地盤高は、D.L. ± 0 m前後であるが、河口付近の漁場の地盤高ではD.L. $+0.9 \sim +2.2$ mと、やや高いところもある。地盤高がD.L. $+2$ m以上となる場所では、大潮期の干出時間は5時間半程度となり、稚貝の生残が低下する可能性がある¹⁴⁾。さらに、河口に近い漁場は、出水に伴う土砂・浮泥堆積や、干潟上を覆う浮泥層厚の変化が著しく、アサリの生息には厳しい環境といえる³²⁾。

多比良地先

多比良地先は、背後に雲仙岳をひかえる島原半島の長崎県雲仙市に位置する。底質は礫まじりの砂質である。地盤高はアサリ漁場としてはやや高くD.L. $+1.3 \sim +1.6$ mで、干出時間は最大で4時間程度となること、また、冬季の波浪が強いことが特徴である。この地先は、背後に大きな河川が無く、干潟上への陸域からの土砂の供給も少ないことから、浮泥はほとんど堆積しない³²⁾。これまで講じられてきた波浪対策としては、石囲いによるアサリ漁場の造成があるが、これにより覆砂材の流出を防ぐのは難しい海域である。



図 1-5 福岡県干潟縁辺部および長崎県多比良地先

小長井地先

長崎県小長井地先は、諫早湾奥から湾口の北側沿岸部に位置する。ここでは昭和 50 年代より泥分の多い前浜干潟に客土覆砂を行い、アサリ養殖が営まれてきた。近年、夏季小潮期に漁場の沖で発生した貧酸素水塊がたびたび襲来し、アサリのへい死が発生しており、その生産は不安定である。貧酸素水塊が襲来する条件は、シャットネラ赤潮の発生後で、風が弱く、日間の潮位差が小さい小潮期と考えられている³²⁾。

長浜地先

熊本県宇土市長浜地先は緑川河口に位置し、同地先における干潟の底質は砂質である。平成 13 年にアサリ漁場造成のための覆砂が行われ、その覆砂域では現在もアサリ漁が行われている。したがって、覆砂漁場の造成によりアサリの生産力向上の効果が発揮されやす

い環境といえる。一方、北方向に海が開けているため、冬季には波浪の影響を受けやすく、着底したアサリが流出してしまうことも指摘されている³²⁾。

川口地先

熊本県川口地先は緑川河口の前面に位置し、前述の長浜地先に隣接する。緑川河口干潟域は、熊本県における最大のアサリ生産地であり、有明海全体から見てもアサリの主要な生産地と言える。長浜地先と同様、覆砂によるアサリ漁場造成が行われている。本地先も北方向から北西方向に海が開けているため、冬季には波浪の影響を受けやすい³²⁾。



図 1-6 長崎県小長井地先および熊本県長浜/川口地先

大浜地先

熊本県玉名市の大浜地先は、菊池川の河口前面に位置する。一部に細粒分が多い場所もあるが、大部分の底質は砂質である。同地先は菊池川の前面にあるため、梅雨や台風などによる大量出水に起因するアサリのへい死が起こりやすい²³⁾。最近では、平成 18 年 7 月の大量出水により、干潟上に土砂・浮泥が堆積し、アサリがへい死した³²⁾。また、平成 24 年の「平成 24 年 7 月北九州豪雨」でも土砂堆積が起こった。



図 1-7 熊本県大浜地先

(2) 底質環境等の比較

アサリの稚貝期と成貝期に共通する減少要因に底質環境の変化がある。各地先の底質環境を比較するため、大牟田(福岡県)、多比良(長崎県)、大浜(熊本県)、および長浜(熊本県)について、平成17年度有明海環境改善技術開発事業³³⁾で得た原地盤の底質の中央粒径、細粒分、強熱減量、および地盤高を表1-3にまとめた。

多比良は、背後に大きな河川がなく、波浪の影響を強く受けるため、他の地先と比べても、底質の中央粒径が大きく細粒分が少ない。また、長浜は、同じ熊本県の大浜と比べても底質の粒径がやや小さい傾向がある。一方、大牟田は地盤高が高いことに加え、浮泥が溜まりやすいことから、底質の中央粒径が小さく、細粒分もやや多い。

これらの結果は、有明海においても場所により底質環境が異なり、アサリの生息環境も異なることを示している。漁場造成を進める場合には、このような環境特性を把握し、適切な環境改善技術、または漁場造成技術を適用することが必要となる。

表 1-3 大牟田、多比良地先等における中央粒径等の底質と地盤高³³⁾

項目 地先名	中央粒径(mm)	細粒分(%)	強熱減量(%)	地盤高(D. L.)(m)
大牟田	0.051~0.55	11.1~58.8	2.9~11.2	+0.9~+1.3
多比良	0.24~1.97	7.6~15.2	3.1~3.3	+1.3~+1.6
大浜	0.36~0.54	5.6~21.8	1.6~3.9	-0.5~+1.8
長浜	0.18~0.20	7.4~9.6	2.1~2.5	-0.2~±0.0

(3) アサリの生息環境の評価方法について

アサリの漁場環境の改善を進める際には、現在の漁場環境を評価したうえで、改善すべき要素を抽出するといった手順が求められる。ここでは、有明海漁場造成技術開発事業³²⁾で得たデータを用い、アサリの生息環境に関して評価した事例を示す。

(a) 底質とアサリの関係

底質は、アサリの生息に関わる主要な環境条件のひとつである。底質の中でアサリの生息を左右する要素として細粒分と中央粒径を、また、アサリの餌料環境の指標として強熱減量を、さらに有機物汚濁の指標として化学的酸素要求量(COD)を選択し、それぞれの項目とアサリの個体数との関係を調べた。アサリの個体数は、大牟田、多比良、長浜、および大浜の4つの地先ごとに適性指数(SI)^{*}に変換して示した。この4つの地先を重ね合わせて示したのが図 1-8 である。同図にはSI曲線を加えた。

細粒分とアサリの適性指数との関係をみると、細粒分 20%以下で適性指数は 1 を示す一方、70%を超えると適性指数は 0 を示した。中央粒径については、概ね 0.3~0.7mm の間で適性指数 1 を示した。強熱減量については、1~6%で適性指数は 1 を示し、さらに有機物汚濁 COD は 10mg/g(乾泥)を超えてくると適性指数が低下する傾向が認められた。

これらの結果から、細粒分が 20%を超える場合や、COD が 10mg/g を超える場合では、これらの項目を対象として底質の改善を行うことが必要と判断される。例えば、図 1-8 の中で示した細粒分と SI との関係からは、大牟田地先や大浜地先においては、底質における細粒分の低減の必要性が示唆される。

底質のほかにも、干出時間や含水率を左右する地盤高(標高)、および流れや波浪などの外力に関しても同様の検討が望まれる。底質などの環境条件と適性指数との関係を調べることにより、現状のアサリの漁場環境の問題点を抽出し、どのような改善方法を適用するかを決めていくことができる。

なお、干潟生産力改善のためのガイドライン³⁴⁾の 4 章 干潟及び二枚貝状態診断指針には、「干潟環境からみた干潟生産力診断チャート」と「二枚貝からみた干潟生産力診断チャート」として、アサリ生息の阻害要因とその対策について詳しく述べられているので参照していただきたい。

^{*} 適性指数(SI)については巻末の用語集を参照

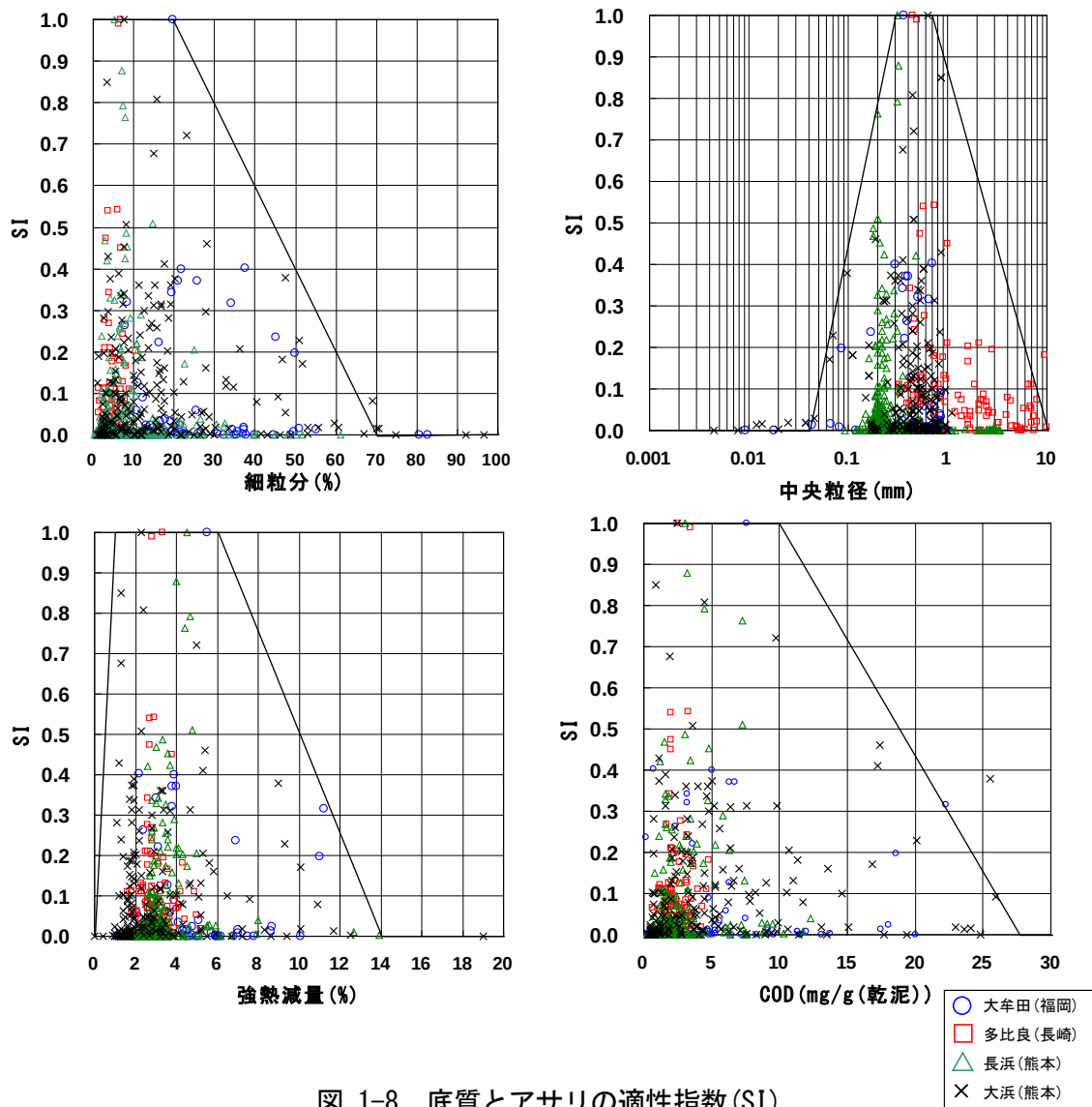


図 1-8 底質とアサリの適性指数(SI)

(b) 波や流れの影響(底質や稚貝の移動に関する評価)について

前項では、底質とアサリとの関係からみた漁場環境の評価について述べたが、流れや波浪等の外力からの評価も必要である。そのような外力に関する指標としては、シーلز数が用いられることが多い。シーلز数の計算方法は、増殖場造成指針 ヒラメ・アサリ編 平成8年度版⁴⁾などに示されている。表 1-1 にまとめたように、シーلز数が0.2を超えるような環境では、底質の移動(侵食)が生じアサリは定着できない¹⁷⁾。特に、アサリ稚貝が特定の場所に定着することは、その場の生産力維持には必須である。したがって、稚貝の定着がアサリの生産力維持の鍵となる環境であれば、稚貝の定着を制限する要因を把握し、対策を立てることが必要となる。

シーلز数は、底質粒子の移動に関わる指標であるが、これとは別に、アサリ稚貝の移動を評価する方法も提案されている³⁵⁾。この方法は、波・流れによる摩擦速度、アサリ稚貝の限界摩擦速度、およびアサリ稚貝の沈降速度から、アサリの停止(動かずその場で定着)、

掃流移動、および浮遊移動といった形態を評価するものである。参考までに、有明海漁場造成技術開発事業³²⁾にて得たデータを用いてこの評価を行った例を示す(図 1-9)。各図とも、横軸は流れ成分(移流分)によるせん断応力、縦軸は波のせん断応力を示す。赤線は稚貝の移動限界を示し、プロットがこの赤線より外側にある場合には稚貝が動き出す条件であることを意味する。一方、青線は底質の移動限界を示し、プロットがこの青線より外側にある場合には底質が動き出す条件であることを意味する。なお、この解析では流速の観測開始時の底質の中央粒径値を与え、さらに稚貝の大きさは 4mm と仮定した。

浮泥の堆積がみられる福岡県の大牟田地先の解析結果を図 1-9(A) に示す。大牟田地先は、浮泥が堆積するため底質の粒径が小さい傾向にある。この評価方法には、底質粒子によるアサリ稚貝への遮蔽・露出効果が加味されている。したがって、図 1-9(B) に示した多比良地先(長崎)の結果と比べ、稚貝の移動限界が小さく、稚貝が動かされやすいことが結果として示されている。これらから、同地先におけるアサリ漁場環境改善への考え方の一つとして、稚貝の移動限界を大きくすることが示唆される。具体的には、干潟面への被覆網の敷設や、本ガイドラインで取り扱った浮泥を除去する技術の適用が選択肢となる。

冬季の波浪環境が厳しい多比良地先の解析結果を図 1-9(B) に示す。多比良地先では、流れよりも波によるせん断応力が強いことが特徴として示され、ほとんどの状況において稚貝の移動限界を超えていることが分かる。この結果から、多比良地先においては波浪対策や底質の安定対策が必要であるといえる。具体的には、本ガイドラインで取り扱った砂止潜堤による覆砂材の流出抑制技術の適用が選択肢となる。

このように、地先ごとにアサリ稚貝の移動に関する特徴が異なる。それぞれの地先において、アサリの生息環境としての特徴と問題点を踏まえ、適用する漁場造成技術を決める必要がある。

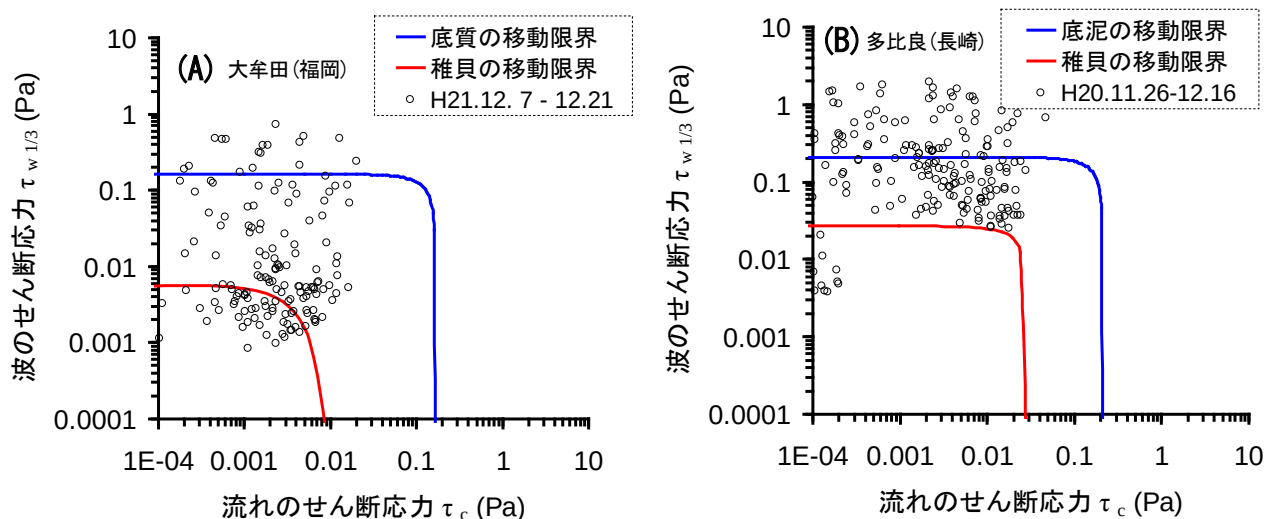


図 1-9 アサリ稚貝および底質の移動評価図

プロットが青い曲線より外側では底質が動き出すことを示し、プロットが赤い曲線より外側ではアサリ稚貝が動き出すことを示す

1.3.2 本ガイドラインに掲載している技術

(1) アサリの減少要因と対策技術

前述したアサリの生活史からみた減少要因とその対応策、ならびに本ガイドラインで提示した技術の位置付けなどを表 1-4 に示す。

浮遊期に当たるアサリ幼生の供給量の減少に対しては、アサリ親貝の資源管理を行う必要がある。そのためには、漁獲制限によるその保護だけでなく、アサリの種苗生産や種苗放流も試みられている³⁶⁾。一方、稚貝期では生残率の低下が問題となるが、その対策としては稚貝期の初期減耗の低減をねらいとした稚貝の集積・移植、着底基質の供給、および地盤高の調整などがあげられる。これらの対策により稚貝の集積などを促し、生残率の向上を図ることが期待できる。具体的な技術としては、竹柴や被覆網の敷設、ホタテ貝殻の敷設などが試みられている³⁴⁾。

稚貝期と成貝期に共通した問題としては、底質環境の変化、貧酸素化、および波浪などの物理環境に起因する減耗があげられる。底質環境の変化に対しては、底質の改善をねらいとした基質の供給があり、具体例としては覆砂があげられる。前述のように、覆砂には一定のアサリ加入効果が認められており、事業として広く行われている^{20, 21)}。ただし、覆砂に用いられている海砂については、その採取が制限、あるいは禁止される方向にある。このため、アサリの漁場造成においては、海砂の利用量を縮減する覆砂方法や、代替覆砂材の検討が求められる。

底質環境が悪化する要因の一つに、海水流動の停滞、河川出水などによる底質の細粒分の増加、および浮泥の堆積があげられる。この対策として、従来から行われてきた作濡がある。また、作濡以外にも、漁業者自身が実施できる対策として、干潟面への杭の打ち込みや網の敷設による浮泥堆積の抑制対策が試みられている³²⁾。底質の改善をねらいとして従来からアサリ漁場にて用いられてきた技術に耕耘があげられる。耕耘の効果には、細粒分の低減のほかに、ホトトギスガイなどの競合生物の除去も含まれる。

貧酸素化への対策としては、防除あるいは緩和といったねらいで行われる海水の曝気があげられる。曝気を行うことにより海水中の溶存酸素濃度の上昇を図り、アサリへい死の低減を図る。曝気の他には、貧酸素水塊からの回避をねらいとした地盤高の調整がある。通常、貧酸素化は海底付近で起こり、進行していくことが多い。したがって、地盤を高くすることにより貧酸素水塊への曝露を回避する効果が期待できる。

波浪などの物理環境に起因する減耗に対しては、底質の物理的な安定をねらいとしたその流出抑制が対応策として考えられる。例えば、小規模な構造物を漁場に設置し地盤変動を緩和するといった試みがある。具体的な事例としては、FRP版を干潟面に設置し環境改善を試みた研究などがある³⁷⁾。

成貝期におけるアサリの減少要因の一つに食害がある。食害対策としては、食害生物からのアサリの回避や保護があげられる。食害として影響が大きいものにはナルトビエイがあげられるが、その対策例としては、転石や被覆網で干潟面を覆うことや、支柱柵を干潟面に立てるなどにより、ナルトビエイの漁場への進入を防ぐといったものがある。

(2) 本ガイドラインに示した技術の位置付け

表 1-4 に示したように、アサリの生活史ごとに減少要因が異なり、その対策も多岐にわたることから、本ガイドラインにおいて全ての対策技術を網羅することは難しい。本ガイドラインでは有明海漁場造成技術開発事業における技術開発の成果より、稚貝期および成貝期において共通するアサリの減少要因となる「底質環境の変化」、「貧酸素化」、および「波浪などの物理環境による減耗」の対策技術を示した。

底質環境の変化への対応策としては、底質の改善と基質の供給を目的とする覆砂を取り上げ、その中で効果的な覆砂方法として「帯状覆砂による底質改善・基質供給技術」と、代替覆砂材の技術開発として「砕石による代替覆砂材活用技術」を示した。細粒分と浮泥への対応策としては、それらの低減を図る技術として「作渾による漁場環境改善技術」と「杭および網による浮泥堆積抑制技術」を示した。また、貧酸素化への対策としては「微細気泡装置によるアサリ漁場環境改善技術」を示した。さらに波浪などの物理環境に起因するアサリ減耗への対応策としては、底質の安定化を図る「砂止潜堤による覆砂材の流出抑制技術」を示した。これら技術の概要を以下に示す。

①帯状覆砂による底質改善・基質供給技術(61 ページに記載)

熊本県有明海の干潟域では、底質改善と基質供給をねらいとして覆砂によるアサリ漁場造成が行われている。通常、覆砂材には海砂が用いられる。しかし、海砂の採取については、「有明海及び八代海の再生に関する基本方針(平成 15 年 2 月)」にて、環境問題発生のおそれから、最小限の採取等に努めるとされており、今後はその利用が難しくなる情勢にある。本技術は、覆砂に用いる海砂の量的縮減を図ることを目指した、覆砂漁場の施工方法に関するものである。その主な効果、適用条件、および実施方法などについては、「漁場環境改善技術導入の手引き」の中で示した。

②砕石による代替覆砂材活用技術(77 ページに記載)

海砂を用いた覆砂による底質環境の改善は、アサリ漁場の造成には一定の効果を示す。しかし、上述のように、今後は海砂の利用が難しくなり、海砂に替わる覆砂材の利用が求められている。本技術は、覆砂材として砕石を用いたアサリの覆砂漁場造成に関するものである。その主な効果、適用条件、および実施方法などについては、「漁場環境改善技術導入の手引き」の中で示した。

③作渾によるアサリ漁場環境改善技術(85 ページに記載)

作渾は、従来から閉鎖性水域の水質環境改善や、砂泥域における底質環境改善をねらいとして行われてきた。ここで取り扱ったのは、砂泥域における底質環境改善技術としての作渾である。本技術の主な効果、アサリ漁場造成において作渾を行う場合の留意点などについては、「漁場環境改善技術導入の手引き」の中で示した。

④杭および網による浮泥堆積抑制技術(119 ページに記載)

河川の影響により干潟上に浮泥が堆積し、それによりアサリがへい死することがある。本技術は、干潟面への杭の打ち込みや網の敷設により、そこでの浮泥の堆積を抑えることをねらいとしている。その主な効果、適用条件、および実施方法などについては、「漁業者による漁場環境改善のための作業マニュアル」の中で示した。

⑤微細気泡装置によるアサリ漁場環境改善技術(138 ページに記載)

貧酸素水塊そのものや、それを起因としてアサリがへい死する現象がみられる。本技術は、アサリ漁場を幕で囲い貧酸素水塊から隔離すると同時に、微細気泡装置によりアサリ漁場内の海水の溶存酸素濃度を高め、そのへい死を抑制するものである。その主な効果、適用条件、および実施方法などについては、「漁業者による漁場環境改善のための作業マニュアル」の中で示した。

⑥砂止潜堤による覆砂材の流出抑制技術(96 ページに記載)

長崎県多比良地先では波浪環境が厳しいため底質が物理的に安定せず、覆砂材や着底したアサリが流出してしまう。本技術は、このような環境において底質を物理的に安定化させ、覆砂材やアサリの流出や減耗を防ぐことによりアサリ漁場を造成するものである。その主な効果、適用条件、実施方法、および維持管理などについては「漁場環境改善技術導入の手引き」の中で示した。

表 1-4 アサリの減少要因と本ガイドライン掲載技術の位置付け

二枚貝	生活史	アサリの減少要因	ねらいと対応策			効果	本ガイドラインに掲載している技術	適用条件	既往事例等
アサリ	浮遊期	供給量の減少	資源管理	親貝の保護、種苗放流など		再生産に寄与する親貝の保護や、種苗を放流することによって、浮遊幼生の供給を高める（再生産力を高める）	－	－	親貝の保護も一部漁協で実施。種苗生産技術はほぼ確立されている ³⁶⁾
	稚貝期	着底期の生残率低下	減耗の低減	稚貝の集積・移植、基質の供給、地盤高調整など	竹柴や土のう、被覆網の設置や、貝殻などの基質の供給による稚貝の集積	稚貝を集積させることによって生残率の向上を図る	－	－	竹柴や被覆網の敷設、着底基質供給のためのホタテ貝殻などの検討事例あり ³⁴⁾
	稚貝期 成貝期 共通	底質環境の変化	底質の改善	着底基質の供給	効率的な覆砂（帯状の覆砂）	従来と同じ砂の量で、より広いアサリの漁場造成を行い、アサリの増産を図る	帯状覆砂による底質改善・基質供給技術（61 ページ）	シールズ数が 0.044～0.20 の範囲（目安）	－
					海砂の代替材として砕石を用いた覆砂	海砂の代わりに砕石を覆砂材として利用することで、海砂利用の縮減を図る	砕石による代替覆砂材活用技術（77 ページ）	海砂覆砂と同様の条件で可	有明海において検討事例あり ³²⁾
				流動の促進	作渾	作渾によって海水の流動が促進され、底質の細粒分が流されることにより、アサリの生息に適した底質に改善される	作渾による漁場環境改善技術（85 ページ）	浅海域・干潟域、潮流流が大	－
				浮泥の堆積抑制	杭の打ち込みや網の敷設（成貝を対象）	杭の打ち込みにより、杭の周囲に流れの乱れが発生すること、また、網の敷設により波により網が干潟面を叩く作用により、浮泥の堆積を抑制することができる	杭および網による浮泥堆積抑制技術（119 ページ）	遊漁者の立ち入らない場所、船舶航行のないところ	－
				耕耘		底質環境が悪化した漁場を耕耘することで底質改善（細粒分の低減、還元層の改善）を図る 競合生物（ホトトギスガイなど）の防除を行う	－	－	有明海漁場造成技術開発事業にて検討 ³²⁾
		貧酸素化 （貧酸素水塊の襲来）	防除・緩和	曝気	防除幕による貧酸素水塊隔離と、微細気泡装置による酸素供給	貧酸素水塊からの隔離と、溶存酸素濃度の上昇により、へい死の軽減を図る	微細気泡装置によるアサリ漁場環境改善技術（138 ページ）	貧酸素が来襲するアサリ養殖場（面積 50m×100m 以内）、小潮期最干時水深 0.5m 以上 ほか	－
			回避	地盤高の調整など	盛土（覆砂、嵩上げ）	地盤を高くすることにより、貧酸素水塊との曝露を回避し、へい死の防止を図る	－	－	－
		波浪などの物理環境に起因する減耗	底質の安定	基質流出の抑制	小規模構造物による覆砂材およびアサリの流出抑制	小規模構造物により、漁場内での覆砂材の捕捉や、底質の安定化（地盤変動の緩和）により、アサリの減耗を抑える	砂止潜堤による覆砂材の流出抑制対策技術（96 ページ）	底質の移動形態が浮遊移動となる範囲（目安）	波の力を抑える構造物の設置など検討事例あり ³⁷⁾
	成貝期	食害	保護・回避	食害生物からの保護や駆除	転石、被覆網や、支柱柵などの利用	転石や被覆網で干潟面を覆うことや、支柱柵による囲い込み域を作り、食害生物からの保護を図る	－	－	転石や被覆網の利用事例、支柱柵によるアサリの保護域の事例あり ³⁴⁾

<文 献>

- 1) アサリ資源全国協議会企画会議，水産庁増殖推進部，独立行政法人水産総合研究センター．提言 国産アサリの復活に向けて（平成 21 年 3 月改訂），2009.
- 2) 那須博史．有明海熊本県沿岸のアサリ資源の現状と今後の課題．MF 2 1 2004；49：25-34.
- 3) 環境省，有明海・八代海総合調査評価委員会．委員会報告，2006.
- 4) 社団法人全国沿岸漁業振興開発協会．「沿岸漁場整備開発事業 増殖場造成計画指針 ヒラメ・アサリ編 平成 8 年度版」（増殖場造成計画指針編集委員会編），東京．1997.
- 5) 柿野純，中田喜三郎，西沢正，田口浩一．東京湾盤洲干潟におけるアサリ稚貝の発生と渦度との関係．水産工学 1991；28(1)：43-50.
- 6) 鳥羽光晴．アサリ幼生の成長速度と水温との関係．千葉県水産試験場研究報告 1992；50：17-20.
- 7) 荒川純平，黒田伸郎．アサリ浮遊幼生の窒素・リン摂取速度定式化の試み．千葉県水産試験場研究報告 2003；10：15-20.
- 8) 柳橋茂昭．アサリ幼生の着底場選択性と三河湾における分布量．水産工学 1992；29(1)：55-60.
- 9) 鳥羽光晴，伊藤真．物理環境要因による干潟上でのアサリ初期稚貝の移動．第 5 回全国漁港漁場整備技術研究発表会講演集，東京．144-152.
- 10) 中原康智，鳥羽瀬憲久．熊本県玉名地先(菊池川河口域)におけるアサリの成長について．平成 7 年度熊本県水産研究センター資料 1，1996.
- 11) 池末弥，松本直．アサリの生態学的研究－I．沈着初期アサリの低比重並びに高水温に対する抵抗力．有明海研究報告 1956；3：16-23.
- 12) 萩田健二．貧酸素水と硫化水素水のアサリのへい死に与える影響．水産増殖 1985；33(2)：67-71.
- 13) 倉茂英次郎．アサリの生態研究，特に環境について，水産学集成，東京大学出版会，東京．1957，611-655.
- 14) 山本正昭．アサリ漁場の物理環境．水産工学 1997；33(3)：193-199.
- 15) 熊本県．大規模増殖場造成事業調査総合報告書 玉名地区 -アサリ-．水産庁，東京．1979；27-31.
- 16) 林宗徳，浜崎稔洋，秋本恒基，山下輝昌．アサリ種苗初期減耗原因の究明に関する研究．福岡有明水産試験場研究報告 平成 2 年度，85-104.
- 17) 柿野純．アサリの減耗に及ぼす物理化学的環境の影響に関する研究．水産工学 2006；43(2)：117-130.
- 18) 櫻井泉，瀬戸雅文．海底地形の変化に対するアサリ稚貝の行動特性．北海道水産試験場研究報告 1999；54：41-46.
- 19) 石井亮，関口秀夫．有明海のアサリの幼生加入過程と漁場形成．日本ベントス学会誌 2002；57：151-157.

- 20) 堤裕昭, 石沢紅子, 富重美穂, 森山みどり, 坂本香織, 門谷茂. 緑川河口干潟域における盛砂後のアサリ (*Ruditapes philippinarum*) の個体群動態. 日本ベントス学会誌 2002; 57: 177-187.
- 21) 那須博史. 緑川河口域アサリ漁場における課題と対策. 平成 17 年度水産工学関係試験研究推進特別部会水産基盤整備分科会報告書 二枚貝稚貝期における流動による輸送と生残について 独立行政法人水産総合研究センター水産工学研究所, 茨城, 2005; 3-6.
- 22) 山下輝昌, 小原博義, 浜崎稔洋. 梅雨期の大出水に伴う貝類の異常へい死について. 昭和 62 年度 福岡県有明海水産試験場研究業務報告 1989; 55-58.
- 23) 中原康智・那須博史. 主要アサリ産地からの報告ー有明海熊本県沿岸. 日本ベントス学会誌 2002; 57: 139-144.
- 24) 藤井明彦, 山本憲一. 2001 年夏季に諫早湾の浅海域でみられた貧酸素化について. 長崎県総合水産試験場研究報告 2002; 28: 9-14.
- 25) 松井繁明. 有明海東北部漁場におけるタイラギの資源変動. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2002; 12: 20-35.
- 26) 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 1986; 23(1): 41-47.
- 27) 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. J. Adv. Mar. Soci 1998; 4(1): 35-40.
- 28) 柿野純. アサリの生息と物理環境. 日本ベントス学会誌 2002; 57(1): 158-167.
- 29) 柴田輝和, 柿野純, 村上亜希子. 冬季の漁場における砂の流動に対するアサリの定位性ならびに餌料量・運動量とアサリの活力との関係. 水産工学 1997; 33(3): 231-235.
- 30) 慶野英生, 杉山清泉, 西沢正, 鈴木輝明. 冬季波浪時におけるアサリの潜砂行動とエネルギー消費過程に関する実験的研究. 水産工学 2005; 42(1): 1-7.
- 31) 熊本県水産研究センター. 二枚貝資源安定化対策事業 III (アサリ餌料環境調査), 平成 22 年度 事業報告書, 熊本. 2010; 216-220.
- 32) 社団法人マリノフォーラム 21, 芙蓉海洋開発株式会社, 五洋建設株式会社, 日本ミクニヤ株式会社. 平成 20~23 年度 有明海漁場造成技術開発事業報告書, 東京. 2008~2011.
- 33) 社団法人マリノフォーラム 21, 平成 17 年度有明海環境改善技術開発事業報告書, 東京. 2006.
- 34) 水産庁. 「干潟生産力改善のためのガイドライン」, 東京. 2008.
- 35) 桑原久実. 底質の安定性からみた好適アサリ生息場環境. 「アサリと流域圏環境 伊勢湾・三河湾での事例を中心として」(生田和正, 日向野純也, 桑原久実, 辻本哲朗 編) 恒星社厚生閣, 東京. 2009; 61-70.
- 36) 加藤元一, 内木敏人. 国産アサリを安定供給する新しい増養殖システム. 「ニッチな魚種の養殖技術」, 緑書房, 東京. 2012; 59-61.

- 37) 柿野純, 山本和也, 山岸秀樹, 大隈正, 西村規宏, 森田健二, 山本正昭. FRP フェンスを用いたアサリの波による散逸防止. 水産工学 2010; 47(1): 31-42.

2. サルボウガイの生息環境における問題点と環境改善技術

2.1 サルボウガイの漁獲量の推移

有明海に面する福岡県と佐賀県におけるサルボウガイの漁獲量の合計は、昭和 62 年以降、全国の 99%以上を占めている。全国のその漁獲量は、昭和 40 年代後半までは 2 万トンを超えていたが、その後大きく減少した¹⁾。同様に、有明海のサルボウガイ漁獲量も近年低迷している。一例として、佐賀県有明海区のサルボウガイ漁獲量の推移を図 2-1 に示す²⁾。漁獲量は、昭和 63 年から平成 9 年に 1 万数千トン台であったが、平成 12 年以降 8 千トンを下回り、低迷をたどっている(図 2-1)。

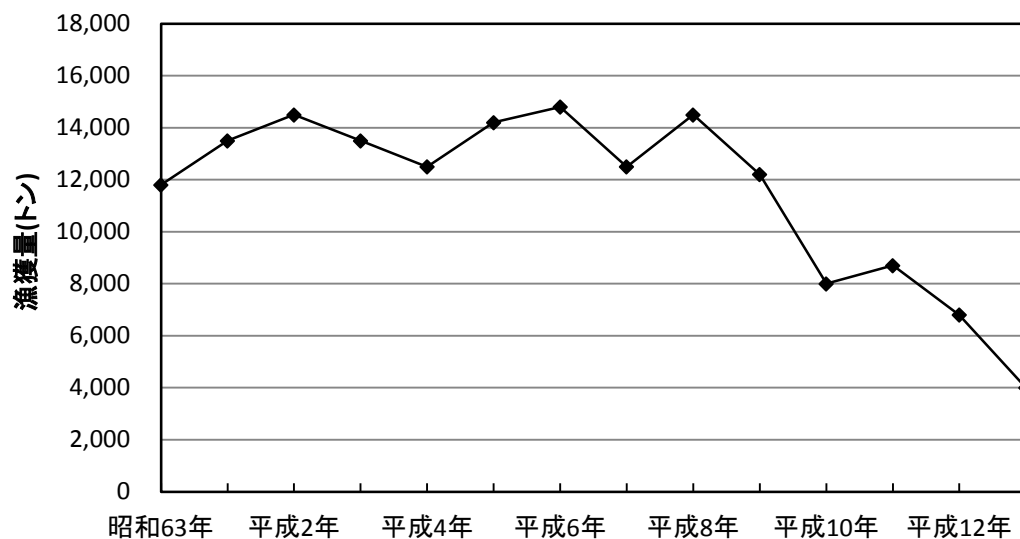


図 2-1 佐賀県有明海区のサルボウガイ漁獲量の推移

出典：農林水産統計²⁾

このような漁獲量の低迷は、実際に利用されている漁場面積の縮小化としても現れている。佐賀県有明海漁業協同組合の鹿島市支所、福富町支所、および南川副支所からの情報を参考に、サルボウガイ漁場の利用状況を図 2-2 に示した^{3, 4)}。図 2-2 にみる赤実線より沖側の海域については、以前は漁場として利用されていたものの、現在ではサルボウガイ資源量の減少により漁場として利用されていない。したがって、サルボウガイ漁獲量の減少に歯止めをかけるには、このような漁場面積の縮小化を防止することが鍵となる。現在利用されている漁場の資源保護のみならず、そのような利用されていない漁場の資源回復を促す対策が必要となろう。

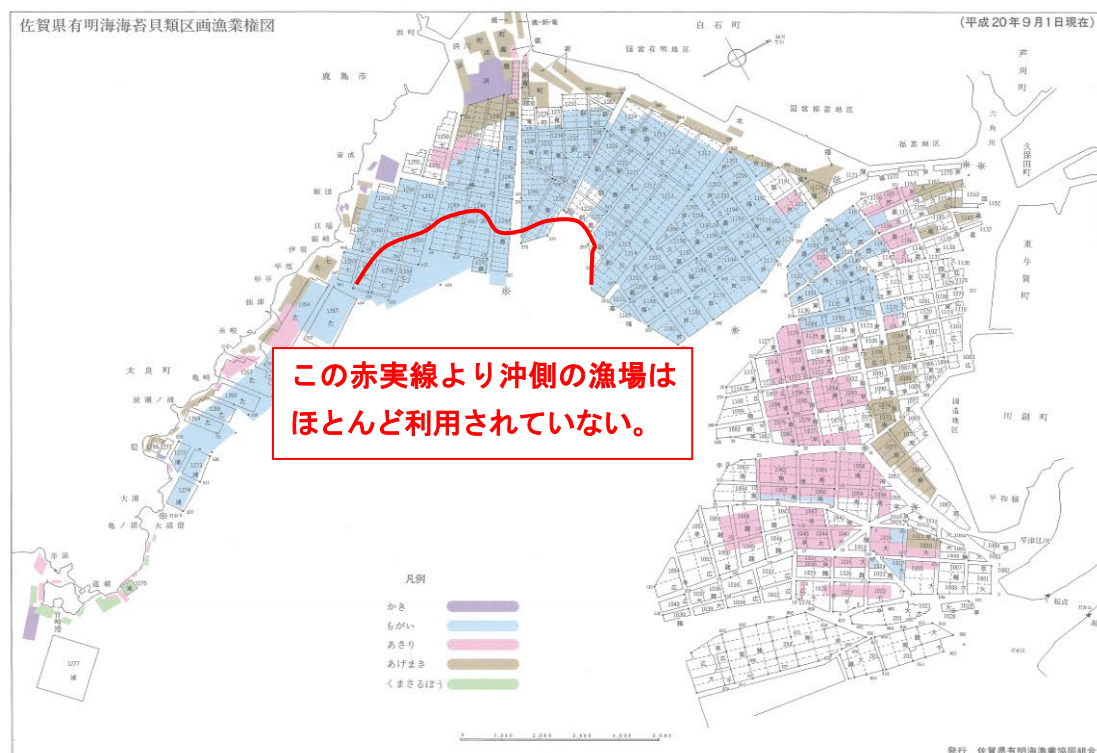


図 2-2 佐賀県沿岸のサルボウガイ漁場

※凡例中の「もがい」はサルボウガイを指す

出典：佐賀県有明海海苔貝類区画漁業権図(平成 20 年 佐賀県有明海漁業協同組合)を改変⁴⁾

2.2 サルボウガイの生活史と減少要因

2.2.1 サルボウガイの生活史

サルボウガイ (*Scapharca subcrenata*) は、軟体動物門 二枚貝綱 フネガイ目 フネガイ科に属する二枚貝である⁵⁾。国内では、東京湾以南の内湾の潮間帯下から水深 10m の砂泥底に生息する⁵⁾。図 2-3 に示すように殻形はアカガイ形で厚く、肋数 30～34 本を有し、肋間は狭い⁵⁾。肋は左殻では殻頂近くが顆粒状になり、右殻では全く平滑である。肋間には殻皮が残っているが、肋上でははげていることが多い⁵⁾。

サルボウガイの生活史を図 2-4 に示す⁶⁾。サルボウガイの産卵期は、6 月中旬～10 月中旬であるが、有明海のサルボウガイの産卵最盛期は 7 月下旬～8 月中旬までの約 1 か月間とされる⁷⁾。海中で受精したサルボウガイの卵は、受精後 7 分で第 1 極体の放出がみられ、50 分後には 2 細胞となる⁸⁾。2 時間後には 4～8 細胞、3～4 時間で桑実期、22 時間で D 状浮遊仔貝期に入り、2 日目には殻長 90 μ m となる⁸⁾。5 日目に 95～110 μ m、6～9 日目で殻頂期に入り、10 日目で 120～180 μ m となる⁸⁾。殻長 0.25mm 程度に成長した成熟幼生は、基質に着底・付着し、約 5～6 か月間を付着器で過ごす⁸⁾。その後、殻長 12～15mm 程度に成長すると、付着器から泥中へ移動し、成長を続ける⁸⁾。

現在の佐賀県の天然採苗では、パームの繊維や竹枝を用いた採苗器を用いられており、

第 1 種の区画漁業権漁場であるひび建て漁場に、それを設置することで行われている⁹⁾。採苗器に付着した稚貝は、殻長 15mm 前後まで採苗器上で成長し、徐々に落下し潜泥するようになる⁹⁾。

サルボウガイの濾水速度は、18℃にて 2.7L/g/h となり、アサリとほぼ同様である¹⁰⁾。これをもとに、平成 13 年に佐賀県の調査したサルボウガイの現存量を用いて、有明海北東部のサルボウガイの濾水量を推定すると、海水体積の 2.4% となる¹⁰⁾。ただし、サルボウガイは塩分 15 以下では濾水速度が著しく低下するので、上記の推定値には留意が必要である¹¹⁾。その他の生理学的特性は、呼吸速度は水温 10～30℃で 0.15～1.17mgO₂/h/gDW、NH₄-N 排出速度は 0.01～0.15mg/h/gDW、PO₄-P 排出速度は 0.02～0.014mg/h/gDW であることがこれまでの研究により報告されている¹²⁾。

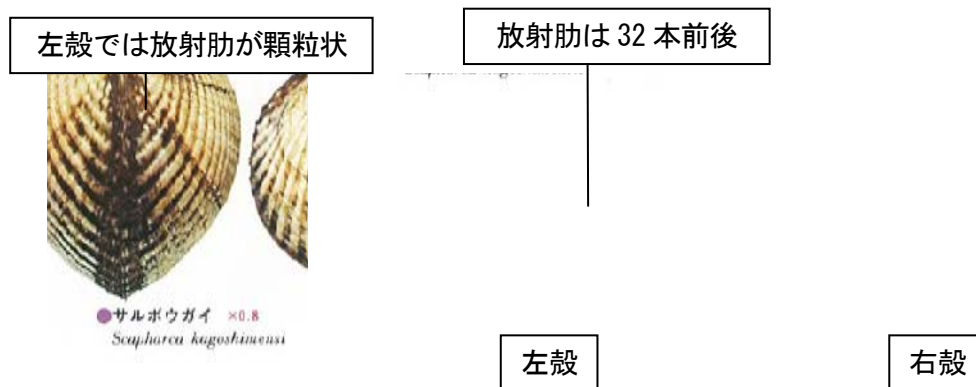


図 2-3 サルボウガイ (*Scapharca subcrenata*)

出典：学研生物図鑑 貝Ⅱを改変

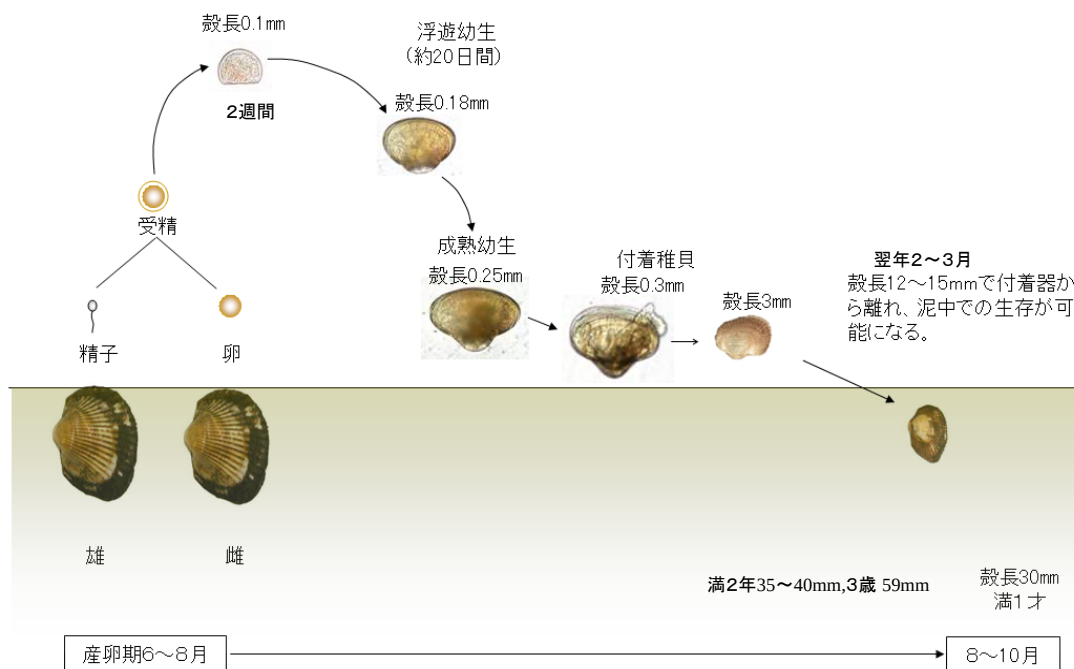


図 2-4 サルボウガイの生活史

出典：佐賀県有明水産振興センター

2.2.2 サルボウガイの生態および生息環境との関係・耐性

サルボウガイの生活史は、公表されている知見は非常に限られているため、その体系的な把握は難しいものの、産卵期、卵、浮遊期、稚貝、および成貝に区分し、それぞれ生態や特性と、生活史ごとの環境との関係性について表 2-1 に整理を試みた。

産卵期は7月下旬～8月中旬までの約1ヶ月間を最盛とし、その産卵数は250～300万粒として知られる^{7, 12)}。卵は卵径62～73 μm であり、ふ化に要する時間は26～27℃で17～18時間とされる¹²⁾。

浮遊期の期間は2～3週間であり、その後、稚貝期に入ると足糸で基質に付着し発生から3～6ヶ月位で海底生活に入ることが知られる¹²⁾。稚貝期については、小型の貝ほど塩分耐性が高い傾向にあることが報告されている¹³⁾。

成貝期については、干出するところから水深7m程度までに生息することが明らかとなっている¹²⁾。成貝期の環境への耐性については、いくつかの知見が報告されている。第1に、成貝期の水温への耐性については、水温32℃(塩分25)が30日間続くと生残率は55.5%となり¹⁴⁾、さらには水温34℃(塩分25)では、半数死亡時間(以下、「LT₅₀」と表記)は4日、全数死亡時間(以下、「LT₁₀₀」と表記)は5日となることが報告されている¹⁵⁾。第2に、塩分への耐性については、塩分5(水温25℃)ではLT₅₀が8日、2.5(水温25℃)ではLT₅₀は6日、LT₁₀₀では9日となることが報告されている¹⁵⁾。また、有明海での知見として、塩分15未満では濾過活動が停止し、さらに塩分10を下回ると潜砂行動も見られなくなることも明らかにされている¹⁵⁾。第3に、溶存酸素濃度(以下、D0と表記)への耐性については、D0が

0.05mg/L(水温 25℃、塩分 25)ではLT₅₀が 10 日、LT₁₀₀は 11 日と報告されている¹⁵⁾。

他の二枚貝と比べて、有明海で最も環境耐性のある二枚貝と考えられるサルボウガイの資源量減少は、底質環境の悪化を象徴するものと考えられる。その減少は有明海北西部の干潟とその周辺域の水質浄化能力を大きく低下させ、そのことがさらなる環境悪化を招くおそれがあるからである¹⁶⁾。

表 2-1 サルボウガイの生活史ごとの生態・環境との関係等

生活史	生態情報・特性等	生息環境との関係
産卵期	産卵数は 250～300 万粒 ¹³⁾ 産卵盛期は 7 月下旬～8 月中旬ま での約 1 か月間 ⁷⁾	水温：－ 塩分：－ D0：－
卵	形状は卵径 62～73 μ m ¹²⁾ ふ化日数は 26～27℃で貝殻形成（ベ リジャー）まで 17～18hr ¹²⁾	水温：－ 塩分：－ D0：－
浮遊期	形状はトロコフォーラ、D型幼生、 アンボ期、成熟幼生 ¹²⁾ 浮遊期間は 2～3 週間 ¹²⁾	水温：－ 塩分：－ D0：－
稚貝期	足糸で海藻その他に付着し殻長 12～15mm(発生後 3～6 か月位)で海 底生活に入る ¹²⁾	水温：－ 塩分：小型の貝で低塩分耐性が高い ¹⁴⁾ D0：－
成貝期	干潮するところから、水深 7m位、 ときには 10mまで分布 ¹²⁾	水温 (塩分 25 の条件として) 30℃ではへい死する個体はみられない ¹⁵⁾ 32℃で 30 日間の生残率は 55.5% ¹⁵⁾ 34℃でのLT ₅₀ は 4 日、LT ₁₀₀ は 5 日 ¹⁵⁾ 塩分 (水温 25℃の条件として) 5ではLT ₅₀ は8日 ¹⁵⁾ 2.5ではLT ₅₀ は6日、LT ₁₀₀ は9日 ¹⁵⁾ 淡水ではLT ₅₀ は5日、LT ₁₀₀ は9日 ¹⁵⁾ <u>有明海では塩分15未満で濾過活動の停止、塩分10以下で 潜砂行動も停止する報告がある¹⁶⁾</u> D0 (水温 25℃、塩分 25 の条件として) 0.05mg/LでLT ₅₀ は 10 日、LT ₁₀₀ は 11 日 ¹⁵⁾ 硫化水素 (水温 25℃、塩分 25 の条件として) 10mg/LでLT ₅₀ は 12 日、LT ₁₀₀ は 13 日 ¹⁵⁾ 20mg/LでLT ₅₀ は 9 日、LT ₁₀₀ は 10 日 ¹⁵⁾ 30mg/LでLT ₅₀ は 7 日、LT ₁₀₀ は 8 日 ¹⁵⁾

下線は有明海での情報

2.2.3 サルボウガイの生活史と減少要因

サルボウガイ資源の減少要因には、貧酸素水塊、低水温、低塩分^{7,14)}、および底質環境の悪化といった化学的な要因の他、親貝の減少や着底量の低下といった生物的な要因が存在する。このように複数ある減少要因とサルボウガイ生活史との関係を図 2-5 に示す。

平成 17 年から 19 年度にかけて実施された有明海漁場環境改善事業の報告書によると、佐賀県鹿島市浜地先に位置するサルボウガイの漁場では、夏季小潮期（高水温期）の貧酸素化にともない、底質が悪化することによって、へい死が起こることが考察されている³⁾。夏季の鹿島市浜地先での貧酸素水塊にさらされる時間は、D.L. -0.5m の地点に比べて、D.L. -1.5m や D.L. -2.1m と深くなるにしたがい増加している¹⁷⁾。実際に、佐賀県有明海漁業協同組合鹿島市支所からのヒアリングでは、このサルボウガイ漁場では D.L. -1.0m 以深の沖側で生息密度が減少し、その結果、漁場面積の縮小が起こっているとの声が聞かれる。同様に現在も操業されている D.L. -1.0m 以浅のサルボウガイ漁場でも、シャットネラ赤潮の発生に伴う貧酸素化や、そのプロセスに起因する底質の悪化などによりサルボウガイのへい死が発生している¹⁷⁻²⁰⁾。このように、貧酸素化はサルボウガイ資源量の減少の主要な要因となっている。加えて、前述した D.L. -1.0m 以深を中心とした漁場では、サルボウガイ漁業の操業が行われていないため、その採苗器が設置されていない。したがって、その周辺では、着底基質の不足による稚貝の着底量の低下が起こっていることが想定される。

その他の要因として、冬季の低水温(8℃以下)による濾水能力の低下にともない、その活力も低下し、最終的にはへい死に至る例も確認されている²¹⁾。一方、有明海や中海での研究結果からは、低塩分(15 未満)によっても濾過速度が低下し、へい死に至ることも報告されている¹⁵⁾。このような、様々な要因による親貝の減少にともない、稚貝の発生も減少し、結果として漁場全体のサルボウガイ資源量が減少する悪循環が生じる²⁰⁾。

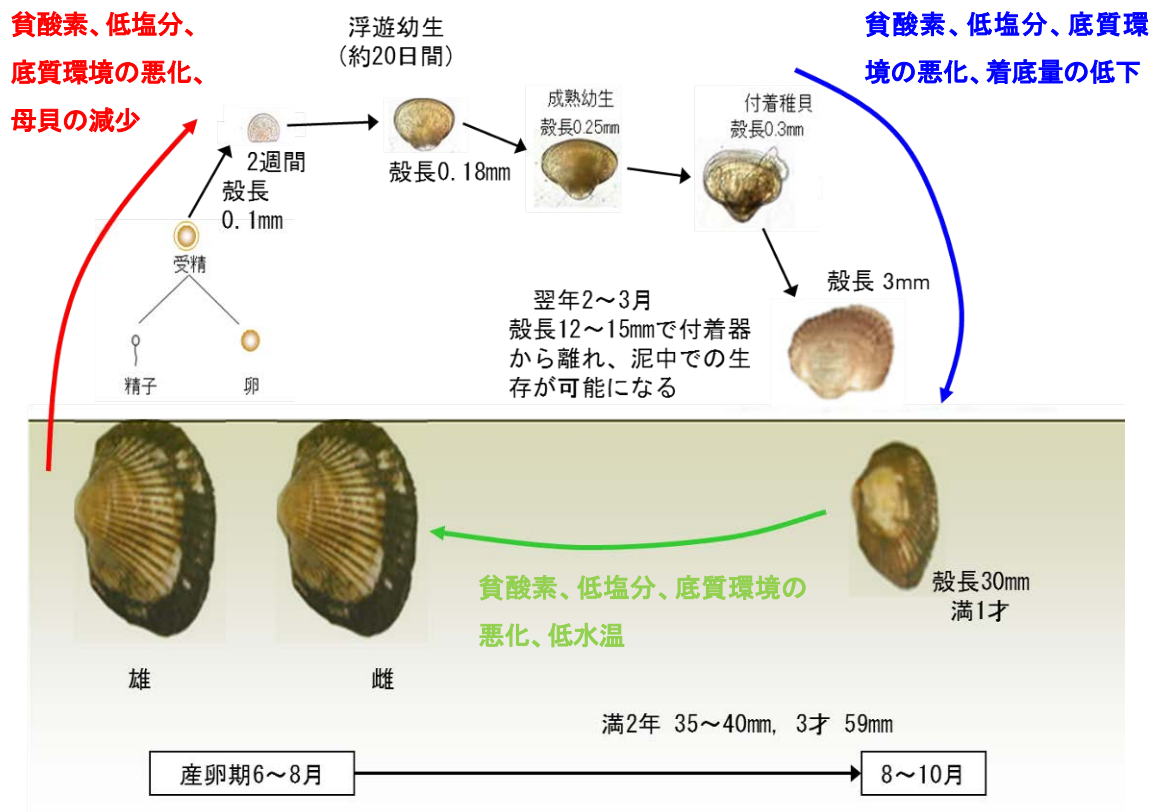


図 2-5 サルボウガイの生活史からみた減少要因

出典：佐賀県有明水産振興センター

2.3 サルボウガイ漁場の問題点と対応策

2.3.1 有明海サルボウガイ漁場の環境特性

有明海湾奥やその湾内に位置する諫早湾内では、夏季に形成された貧酸素水塊が広範囲に渡って広がり、貝類の漁獲減少に大きく関与している可能性がある¹⁷⁾。ここでは、溶存酸素濃度(以下、D0と表記)の動態について、図 2-6 に示す有明海湾奥(D)、諫早湾(B3)、および有明海湾奥岸側(T1)にて得たデータをもとに述べる。

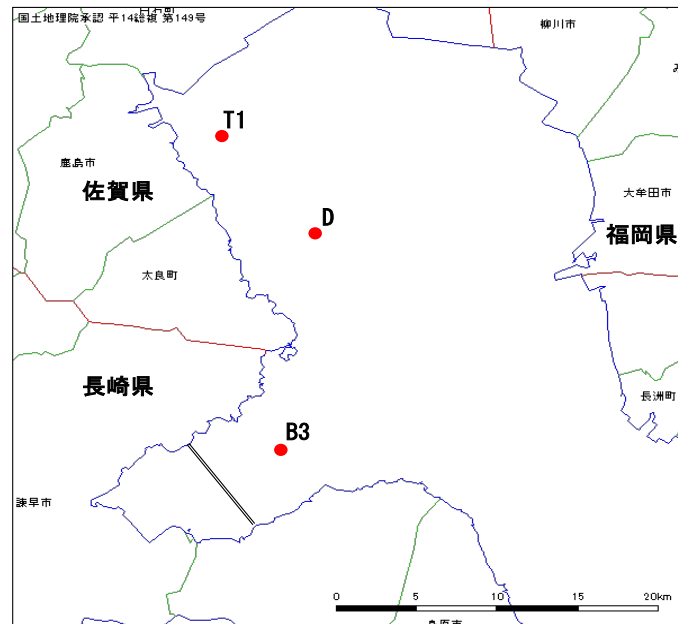


図 2-6 有明海湾奥(D)と諫早湾(B3)の有明海湾奥岸側(T1)の位置

有明海湾奥(D)と諫早湾(B3)のD0の推移をみると(図 2-7)、夏季(7～9 月)の両海域において、D0が 3mg/L以下となる貧酸素化が毎年のように確認されている。さらに、良好なサルボウガイ漁場である有明海北西部(T1)では、平成 17 年には日平均のD0が 1mg/L以下になることは無かったものの(図 2-8)¹⁸⁾、平成 18 年以降にはD0が 1mg/L以下となることが度々確認されている。このように有明海奥や諫早湾では、年々、水質環境が悪化する傾向にあると考えられる¹⁹⁾。

前述したように、地盤高の違いはサルボウガイの生息に影響をおよぼすが、以下にはその関係をデータとともに説明する。有明海湾奥での地盤高毎のD0の推移(図 2-9)をみると²⁰⁾、D. L. -0.5m(地点A)、D. L. -1.5m(地点B)、D. L. -2.1m(地点C)の順に貧酸素水塊にさらされる時間が長いことがわかる。さらに、同地点のサルボウガイの個体数の推移(図 2-10)をみると、D. L. -0.5m(地点A)と水深の浅い地点では、平成 21 年から平成 23 年の調査期間中、その生息が確認されているのに対して、D. L. -1.5m(地点B)やD. L. -2.1m(地点C)では、平成 23 年のみ生息が確認された²⁰⁾。これらの結果から、地盤高が低くなるほど貧酸素水塊にさらされる時間がより長く、サルボウガイのへい死が起きやすくなり、結果としてその生息がみられなくなることが示唆される。

同海域での貧酸素水塊の発生は、底質環境の悪化にもつながる¹⁶⁾。貧酸素水塊の発生はサルボウガイのへい死数の一層の増加と、そのへい死個体の分解にともなう底質での酸素の消費という悪循環を招き、その結果として大規模な無酸素水塊が形成され、さらなるへい死を引き起こすからである¹⁶⁾。このようなプロセスは前述した漁場面積の縮小化につながるものと考えられる。サルボウガイのへい死を防ぎ、その資源を維持するためには、堰堤や嵩上げなどにより、親貝のへい死を招く貧酸素水塊の影響を防除・緩和する対策や、稚貝の生産力を促す効果もある覆砂や耕耘による底質環境の改善といった対策(後述)を、現在利用されていない場所とともに漁場全体で実施していくことが必要と思われる。

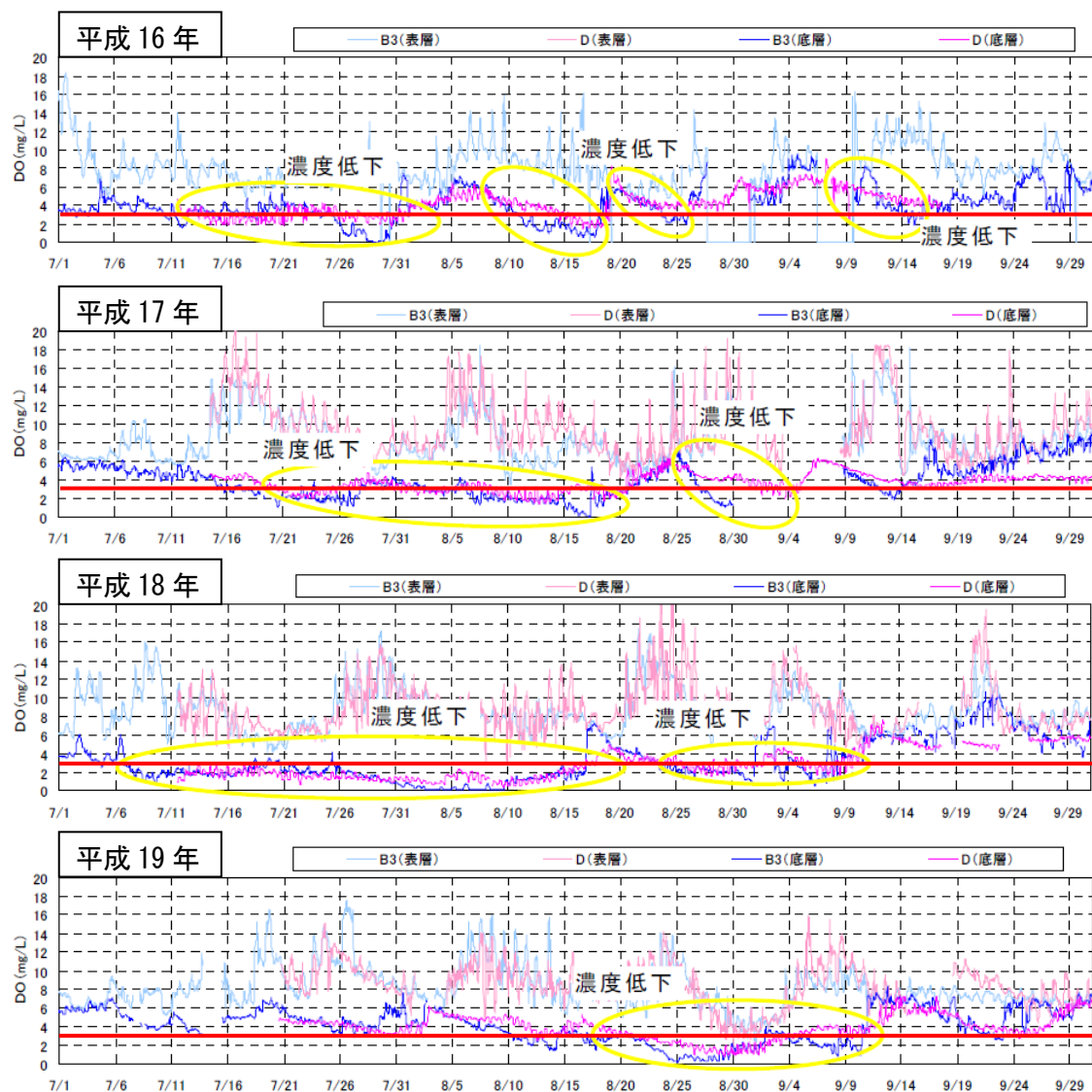


図 2-7 諫早湾(B3)と有明海湾奥(D)の溶存酸素濃度の挙動(平成 16~19 年)

出典：諫早湾干拓事業の潮受堤防の排水門の開門調査に係る環境影響評価書を改変

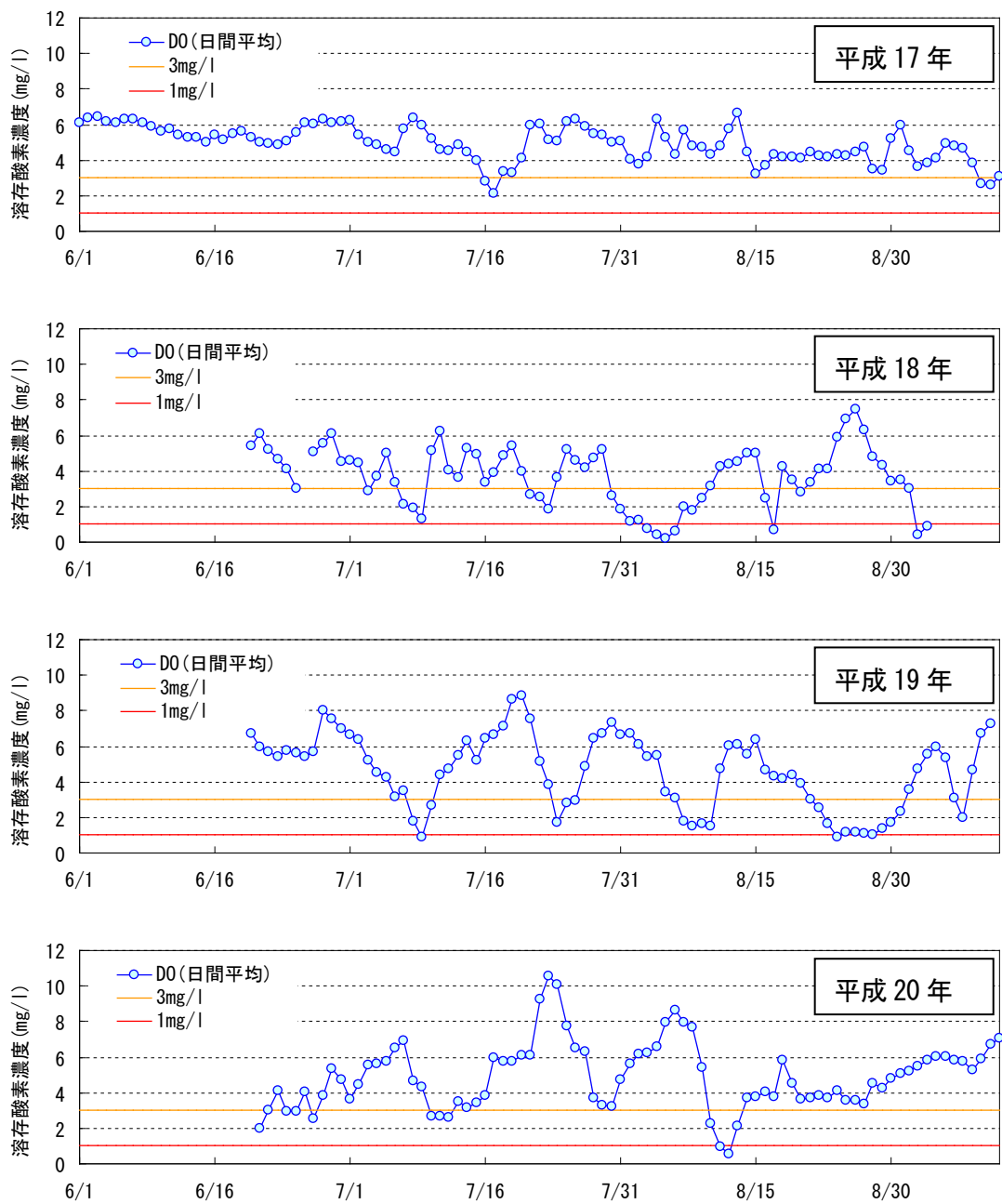


図 2-8 有明海湾奥岸側(T1)の溶存酸素濃度

出典：平成 20 年度有明海漁場造成技術開発委託事業報告書

2.3.2 本ガイドラインで掲載している技術

有明海湾奥部では、貧酸素水塊によるサルボウガイのへい死だけではなく、稚貝期ではその密度の低下、成貝期では低塩分、稚貝期・成貝期の共通要因として低塩分と底質環境の悪化といったへい死要因が考えられる(表 2-2)。これらの対策としては以下のものが考えられる。(1)貧酸素水塊に対しての防除・緩和(堰堤等、嵩上げ、曝気)、または回避(避難、移植)、(2)底質環境の悪化に対してのその改善(海底耕耘、覆砂)、および(3)稚貝密度の低下に対してのその着底基質を供給(覆砂を含む)などである。このように、複数ありうるサルボウガイ資源量の減少要因に関しては、それぞれの要因により対策も異なる。

一方、有明海湾奥部のサルボウガイ漁場はノリ養殖漁場と重複している。よって、広い面積にて貧酸素水塊からの防除を図る効果を有する堰堤の設置などは、ノリ漁業に支障をきたす。そのため、サルボウガイ稚貝の着底を促すことにより、サルボウガイの生産力を維持し、貧酸素水塊などによるへい死が発生しても、その資源の減少を最小限に食い止めるのが現実的な対処の方針となる。これにより、漁場面積の縮小を防ぐとともに、ひいては現在利用しなくなった漁場の再生を促すことも期待できる。

サルボウガイ稚貝の着底を促すためには、適切な粒径の基質が必要である。この基質として、漁獲したサルボウガイの剥き身を取った後に排出される貝殻を利用することは、実用性と経済性のうで極めて有効と考えられる。本ガイドラインでは、有明海湾奥部にて比較的豊富に存在するサルボウガイ貝殻を、稚貝の着底基質として利用するため、その粉碎貝殻用いた覆砂技術を扱った。技術の内容は以下のとおりである。

①貝殻覆砂技術(109 ページに記載)

前述のように、有明海湾奥部は様々な要因によるサルボウガイ資源量の減少が課題となっている。本技術開発は、サルボウガイ粉碎貝殻を粉碎し、それを用いて覆砂することにより、稚貝の着底を促すものである。本技術の適用条件、覆砂の計画、施工、留意点などについて「漁場環境改善技術導入の手引き」の中で示した。

表 2-2 サルボウガ이의減少要因と本ガイドライン掲載技術の位置付け

二枚貝	生活史	サルボウの減少要因	ねらいと対応策		効果	本ガイドラインに掲載している技術	適用条件	既存事例等		
サルボウガイ	稚貝期	貧酸素水塊	防除・緩和	堰堤・防除幕等		襲来する貧酸素水塊からの防除・緩和のためには、漁場全体を対象とする必要がある	—	有明海奥部では、D.L. -1.0m 以深漁場（少なくとも D.L. -1.0m 以浅のへい死を防ぐという考え方もある）	長崎県のアサリ養殖漁場で行った微細気泡装置との組合せで防除は可能であるが ¹⁷⁻²⁰⁾ 、サルボウ漁場での実施はかなり大規模なものとなる	
				嵩上げ		一部だけのへい死を防ぐため、一区画での適用でもよい	—		サルボウ漁場外での嵩上げ実証実験により、実施は可能であるが、耐久性に問題があることが判った ¹⁸⁾	
			曝気	曝気、微細気泡等	襲来する貧酸素水塊の影響を緩和するため、曝気して溶存酸素濃度を向上させ、へい死を防ぐ	—	有明海奥部では、D.L. -1.0m 以浅の漁場	ダム湖での検討事例や三番瀬等での検討事例有り ^{23、24)}		
			回避	避難	着底基質（着底稚貝）の移動	襲来する貧酸素水塊の影響から回避するため、着底基質を移動させ、稚貝のへい死を防ぐ	—	主として夏季小潮期にへい死を伴うような貧酸素水塊が襲来する漁場	—	
		底質環境の悪化	底質の改善	覆砂		底質環境が悪化した漁場に覆砂することで底質改善を図る	—	底質が還元化し、へい死を伴う程に悪化した漁場	—	
				耕耘		底質環境が悪化した漁場を耕耘することで底質改善を図る	—		微細気泡耕耘は、日平均 3mg／L程度の貧酸素水塊には効果があった ¹⁷⁾	
			稚貝密度の低下	供給	稚貝放流		稚貝の生息密度が高い漁場から生息密度が低下した漁場に直接、稚貝を放流することによって、密度の向上を図る	—	着底基質がなく、稚貝密度が低下し、生産力が低下した漁場	サルボウガイに適している環境に放流することにより、その効果が示唆 ²⁵⁾
					着底基質の供給	パーム、貝殻等	稚貝密度が低下した漁場に多くの稚貝が着底するように基質を供給する	貝殻覆砂技術（109 ページ）		サルボウ稚貝やその他生物の着底基質としての効果があった ¹⁸⁻²⁰⁾
	成貝期	低塩分	回避	避難	成貝採取・移動	低塩分域から避難させることによって、成貝のへい死を防ぐ	—	主として梅雨時期に塩分 15 以下となる漁場	降雨によるへい死 ²⁾ が示唆されるが、避難の効果検証はされていない	
		貧酸素水塊	防除・緩和	堰堤・防除幕等		襲来する貧酸素水塊からの防除・緩和のためには、漁場全体を対象とする必要がある	—	有明海奥部では、D.L. -1.0m 以深漁場（少なくとも D.L. -1.0m 以浅のへい死を防ぐという考え方もある）	長崎県のアサリ養殖漁場で行った微細気泡装置との組合せで防除は可能であるが ¹⁷⁻²⁰⁾ 、サルボウ漁場での実施はかなり大規模なものとなる	
				嵩上げ		一部だけでもへい死を防ぐため、一部での適用もある	—		サルボウ漁場外での嵩上げ実証実験により、実施は可能であるが、耐久性に問題があることが判った ¹⁸⁾	
				曝気	曝気、微細気泡等	襲来する貧酸素水塊の影響を緩和するため、曝気して溶存酸素濃度を向上させ、へい死を防ぐ	—	有明海奥部では、D.L. -1.0m 以浅の漁場	微細気泡耕耘は、日平均 3mg／L程度の貧酸素水塊には効果があった ¹⁷⁾	
			回避	避難	成貝採取・移動	襲来する貧酸素水塊の影響から回避するため、成貝を移動し、へい死を防ぐ	—	主として夏季小潮期にへい死を伴うような貧酸素水塊が襲来する漁場	中層吊りにより、貧酸素水塊の影響緩和は確認されたが、低塩分や付着生物によるへい死があった ²⁰⁾	
		底質環境の悪化	底質の改善	覆砂		底質環境が悪化した漁場に覆砂することで底質改善を図る	—	底質が還元化し、へい死を伴う程に悪化した漁場	—	
				耕耘		底質環境が悪化した漁場を耕耘することで底質改善を図る	—		微細気泡耕耘は、日平均 3mg／L程度の貧酸素水塊には効果があった ¹⁷⁾	
			回避	移植	成貝採取・移動	底質環境が悪化した漁場から成貝を移動し、その後の生残率の向上を図る	—		—	

<文 献>

- 1) 有明海・八代海総合調査評価委員会事務局:有明海・八代海総合調査評価委員会-中間とりまとめ- 2006.
- 2) 真崎邦彦, 小野寺隆幸. 有明海湾奥部におけるサルボウの漁業実態と分布状況. 佐有水研報 21 2003; 29-36.
- 3) 社団法人マリノフォーラム 21, 芙蓉海洋開発株式会社, 五洋建設株式会社, 日本ミクニヤ株式会社. 平成 19 年度有明海漁場造成技術開発委託事業報告書, 東京. 2008
- 4) 佐賀県有明海漁業協同組合連合会. 佐賀県有明海海苔貝類区画漁業権図. 平成 15 年
- 5) 波部忠重, 奥谷喬司. 特徴がすぐわかる学研生物図鑑貝Ⅱ二枚貝・陸貝・イカ・タコほか. 株式会社学習研究社. 1999; 72-73, 217.
- 6) 佐賀県有明水産振興センターからの提供資料
- 7) 田中彌太郎. 有明海産重要二枚貝の産卵期-I サルボウについて. Bulletin of the Japanese Society of the Scientific Fisheries 1954; 1157-1160.
- 8) 高見東洋, 井上泰. サルボウガイの人工種苗生産に関する研究-I 産卵誘発と種苗飼育. 山口県内海水産試験場報告 1981; 21-26.
- 9) 真崎邦彦, 小野寺隆幸. 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 2009; 13-18.
- 10) 中村泰男. 有明海北部におけるサルボウガイ *Scapharca subcrenata* の水質浄化能力.
- 11) 中野拓治, 安岡澄人, 石川知樹, 菊池泰二. サルボウガイ *Scapharca kagoshimensis* とハイガイ *Tegillarca granosa* の呼吸・排泄・濾水速度に関する一考察.
- 12) 社団法人日本水産資源保護協会. 水生生物生態資料. 292-294.
- 13) 福原修, WASPADA, 梅沢敏, 野上和彦. サルボウ養殖種苗の塩分耐性. 南西水研報 1986; 20: 1-12.
- 14) 中村幹雄, 品川明, 戸田顕史, 中尾繁. 宍道湖および中海産二枚貝 4 種の環境耐性. 水産増殖 1997; 45(2): 179-185.
- 15) 宮本康, 初田亜希子. 塩分と水温に応じたサルボウ (*Scapharca kagoshimensis*) の濾過速度と生残率の変化. 汽水域研究 2008; 15: 13-18.
- 16) 岡村和磨, 田中勝久, 木元克則, 藤田孝康, 森勇一郎, 清本容子. 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 2010;74(4):197-207.
- 17) 社団法人マリノフォーラム 21, 芙蓉海洋開発株式会社, 五洋建設株式会社, 日本ミクニヤ株式会社. 平成 21 年度有明海漁場造成技術開発委託事業報告書, 東京. 2010.
- 18) 社団法人マリノフォーラム 21, 芙蓉海洋開発株式会社, 五洋建設株式会社, 日本ミクニヤ株式会社. 平成 20 年度有明海漁場造成技術開発委託事業報告書, 東京. 2009.

- 19) 社団法人マリノフォーラム 21, 芙蓉海洋開発株式会社, 五洋建設株式会社, 日本ミクニヤ株式会社. 平成 22 年度有明海漁場造成技術開発委託事業報告書, 東京. 2011.
- 20) 社団法人マリノフォーラム 21, 芙蓉海洋開発株式会社, 五洋建設株式会社, 日本ミクニヤ株式会社. 平成 23 年度有明海漁場造成技術開発委託事業報告書, 東京. 2012.
- 21) 佐賀県有明水産振興センター. 平成 23 年度研究成果情報 平成 23 年度秋季から冬季にかけて発生したサルボウの異常斃死.
- 22) 農林水産省九州農政局. 諫早湾干拓事業の潮受堤防の排水門の開門調査に係る環境影響評価書, 2012.
- 23) 鯉渕幸生, 磯部雅彦, 佐々木淳, 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 2004; 51: 1156-1160.
- 24) 田中真史, 佐々木淳, 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 2004; 51: 1161-1165.
- 25) 島根県水産技術センター. 平成 22 年度事業報告書 中海におけるサルボウガイ増殖の取り組み.

3. カキの生息環境における問題点と環境改善技術

3.1 カキの収穫量の推移

有明海の諫早湾から佐賀県南部の海域では、カキの垂下養殖が行われている。ここでは、主として同海域の小長井地先と大浦地先でのカキ養殖について、小長井町漁業協同組合と大浦漁業協同組合(現 佐賀県有明海漁業協同組合大浦支所)からの聞き取りにより得られた情報を中心に述べる。

小長井地先では、平成 11 年からマガキ*Crassostrea gigas* (以下、特に断らなければ、マガキをカキとする)の筏垂下式養殖を行っている。具体的な養殖の手順は、11～12 月に宮城県より稚貝を購入し、4～5 月まで抑制した後、11 月中旬まで本垂下を行い、12 月から翌年 3～4 月にかけて収穫する。大浦地先もほぼ同様の手順で養殖を実施している。なお、広島での筏垂下式のカキ養殖方法は、採苗後 1～2 か月、カキ種が殻高 5～6mm になった段階で、通し替えて本垂下を行い、翌年の 10 月下旬から 4 月下旬、年によっては 5 月中旬までの 6～7 か月後に収穫し、出荷する¹⁾。広島では 2 か年かけて養殖を行うが、小長井地先や大浦地先で行われるカキ養殖は 1 年で出荷することが異なる。

小長井町漁業協同組合と佐賀県有明海漁業協同組合大浦支所のカキ収穫量の推移を図 3-1 に示す。小長井地先のカキ収穫量は、養殖を開始した平成 11 年から増加傾向を示し、平成 20 年には 300 トンに達した。一方で、平成 16 年には小規模なへい死、さらに平成 19 年には大規模なへい死が発生し、収穫量は一時期約 100 トンまで落ち込んだ。そのような傾向は大浦地先でも同様である。同地先にてカキの養殖事業を開始した平成 16 年からの収穫量は増加傾向を示したが、平成 19 年に大規模なへい死が発生し、約 20 トンまで落ち込んだ。このように、両地先でのカキの収穫量は、養殖開始時期から現在まで総じて増加しているものの、時に大規模なカキのへい死が起こり、必ずしも安定していない。

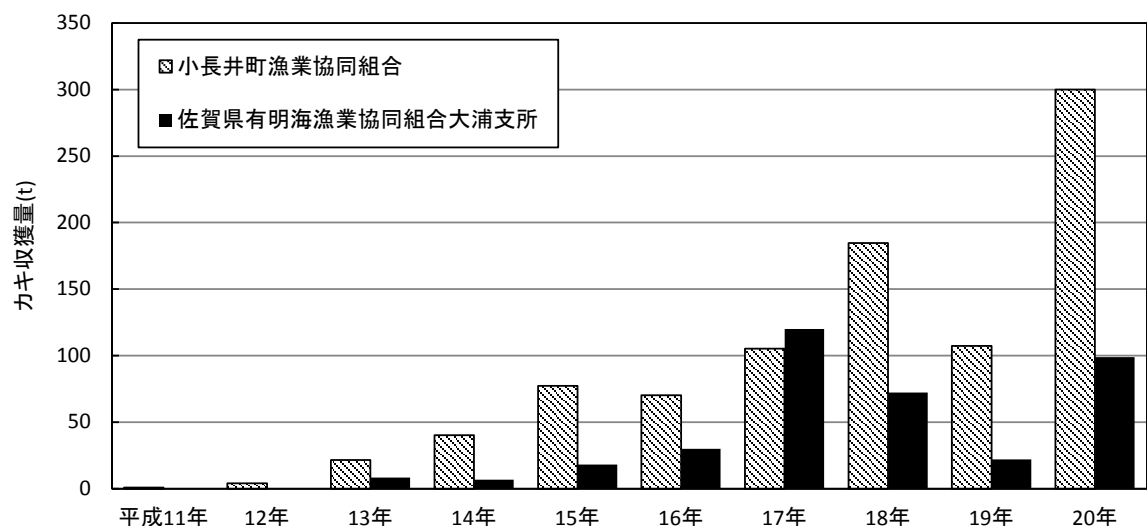


図 3-1 カキ収穫量の推移

※大浦支所の平成 13 年～15 年にかけての値は、佐賀県有明海漁業協同組合大浦支所と佐賀県有明水産振興センターとの試験養殖期間である。

3.2 カキの生活史とへい死要因

カキとは、軟体動物門二枚貝綱ウグイスガイ目イタボガキ科に属する二枚貝の総称である。カキは世界に約 200 種類ほどを有し、日本近海にはその中の 30 種類前後が生息すると考えられている¹⁾。現在、日本で大規模に養殖されているカキはマガキ *Crassostrea gigas* であるが、他に食用種としてはイワガキ *C. nippona*、スミノエガキ *C. ariakesis*、およびイタボガキ *Ostrea denselamellosa* が知られている¹⁾。マガキは北海道から沖縄に至る日本全海域の内湾河口域から外洋にかけて生息する¹⁾。ここでは、マガキを対象としてその生活史を概説し、生活史のステージごとのへい死要因を述べる。

3.2.1 カキの生活史

マガキの生活史を図 3-2 に示す^{2,3)}。その生活史は、産卵期、卵・浮遊期、稚貝期、および成貝期に分けられる。

産卵期

マガキは雌雄異体の卵生で、1 個体が産み出す卵の数は 5 千万～1 億粒とされる^{2,4)}。産卵期は 6～8 月となり、水温 23～25℃になると産卵する^{2,4)}。十分に成熟した状態なら、水温や降雨その他による塩分の低下などの刺激で放精、放卵を始める^{2,4)}。

卵・浮遊期

卵の直径は 50～60μm である^{2,4)}。海水中で受精し、1～2 時間後に分裂を始め、その後桑実胚となる^{2,4)}。その後、トロコフォア幼生(担輪子幼生)、ベリジャー幼生(被面子幼生)を経て、約 24 時間で殻高約 70μm の D 型幼生となる^{2,4)}。このころから餌をとり始め、約 2 週間で殻高 300μm に達し、浮遊生活から付着生活に移る^{2,4)}。

稚貝期

浮遊生活から付着生活に移る時期に足ができ、遊泳とほふくを繰り返して付着場所を選ぶ^{2,4)}。適当な場所に至ると左殻を基物に付着させて横になり、セメント物質を出して 2～3 分で固着する^{2,4)}。固着した個体は、えらが急速に発達するとともに、殻がキチン質から石灰質に変わり、稚貝の形態となる^{2,4)}。

成貝期

水管を有する他の二枚貝とは異なり、大きなえらを発達させ、大量の海水を取り入れる。取り入れられた海水中の有機懸濁物や浮遊性の藻類(主に珪藻類、鞭毛藻類)などをろ過により食する^{2,4)}。

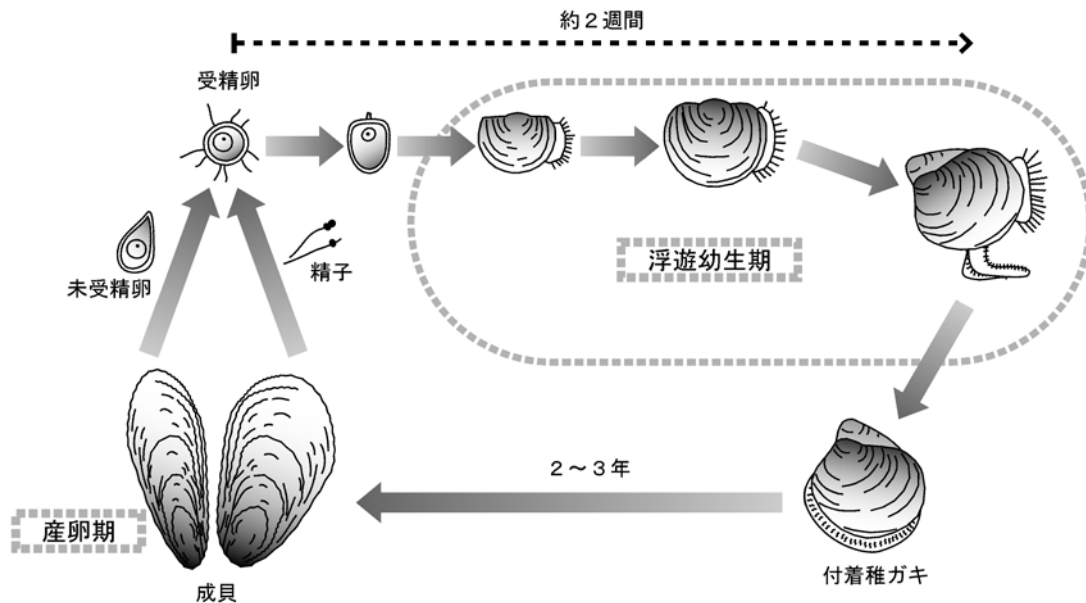


図 3-2 マガキの生活史

出典：William G. and Donald M. Oyster Gardening for Restoration and Education(2001)を改変

3.2.2 カキの生態および生息環境との関係・耐性

カキの生活史を産卵期、卵、浮遊期、および成貝期に区分し、それぞれ生態や特性、環境との関係を表 3-1 に示す。6 月から 8 月を産卵期とし、その至適水温は 23～25℃であることが知られる^{2,4)}。また、卵にとっての至適は水温では 22～26℃⁴⁾、至適塩分では 23.5～32.5 とされている⁵⁾。

浮遊期については、水温は 25～27℃⁵⁾、塩分は 27.2～33.7 にそれぞれの至適を持つとされている⁵⁾。一方、卵や浮遊期の溶存酸素濃度の至適については明らかにされていない。

成貝期については、水温は 15～25℃に至適を持ち、0～30℃の範囲で生息可能とされる⁵⁾。また、塩分は 25.3～33.7⁶⁾、溶存酸素濃度は 6.5～8.6mg/L にそれぞれの至適を持つとされている⁷⁾。

なお、成貝期のカキの場合、貧酸素状態では 3 週間以上生残(水温 25℃)し、その耐性はほかの二枚貝に比べて極めて高い⁷⁾。このメカニズムとして、周囲が無酸素状態となると、アラニン、アラノビン、コハク酸、プロピオン酸などの複数の嫌気最終産物を蓄積し、また、グリコーゲンのグルコース単位あたりの ATP 収率を上げることにより、高い無酸素耐性を得ることが指摘されている⁷⁾。

表 3-1 カキの生活史ごとの生態・環境との関係等

生活史	生態情報・特性等	生息環境との関係
産卵期	時期は 6～8 月 ⁴⁾ 水温や降雨その他による塩分の低下などの刺激で放精、放卵 ⁴⁾	水温：産卵の適水温 23～25℃ ⁴⁾ 塩分：－ D0：－
卵	卵の直径は 50～60μm ⁴⁾ 海水中で受精し、1～2 時間後に分裂を始め、桑実胚となる ⁴⁾	水温：22～26℃ ⁵⁾ 塩分：23.5～32.5 ⁶⁾ D0：－
浮遊期	桑実胚からトロコフォア幼生(担輪子幼生)、ベリジャー幼生(被面子幼生)を経て約 24 時間で殻高約 70μm の D 型幼生 D 型幼生から餌をとり始め、約 2 週間で殻高 300μm に達し、浮遊生活から付着生活 ⁴⁾	水温：25～27℃ ⁵⁾ 塩分：27.2～33.7 ⁶⁾ D0：－
成貝期	水管を持つほかの二枚貝とは異なり、大きなえらを発達させ、大量の海水を取り入れ、ろ過することによって、その中に混じる有機懸濁物や、主に珪藻類や鞭毛藻類などの浮遊性の藻類を餌とする ⁴⁾	水温：15～25℃ ⁵⁾ 塩分：25.5～33.7 ⁶⁾ D0：6.5～8.6mg/L ⁷⁾

3.2.3 カキの生活史とへい死要因

カキの大量へい死は、様々な要因により生じる。代表的なものとして、高水温、低塩分、有機物による水質汚染、底質悪化、寄生虫その他動物の食害、疾病、および硫化水素の発生などが指摘されている^{8,9)}。

岡本(1986)はカキのへい死要因を、(1)天災(台風、洪水など)、(2)養殖場環境の悪化、(3)競合する付着生物、(4)原因不明の大量へい死の 4 つに大別している¹⁾。(2)の養殖場環境の悪化には、冷夏や暖冬といった一過性のものと、養殖場そのものの環境の悪化といった慢性的な問題がある。慢性的に環境が悪化した養殖場では、夏季の貧酸素化や硫化水素の発生がみられる¹⁾。(3)競合する付着生物としては、カキに着生して成長、肥満を阻害する付着性のものと、直接カキを食害する蠕集性のものがある。付着性の生物としては、フジツボなどがあり、これらがカキとともに海底に落下し、堆積すれば、養殖場環境の悪化を助長する¹⁾。(4)の原因不明の大量へい死は、筏を用いた垂下養殖にて全国的に認められる。夏から初秋にかけて生じており、脂質やステロイドの代謝障害、過熟、および生理的活性の低下などが理由としてあげられる^{1,8)}。

有明海の小長井地先と大浦地先でも、貧酸素水塊の影響に加えて、高水温や低塩分によるカキのへい死が懸念されている¹⁰⁻¹⁴⁾。天災など対応不可能な要因を除き、生活史のステージごとにへい死の要因を図 3-3 に示した。

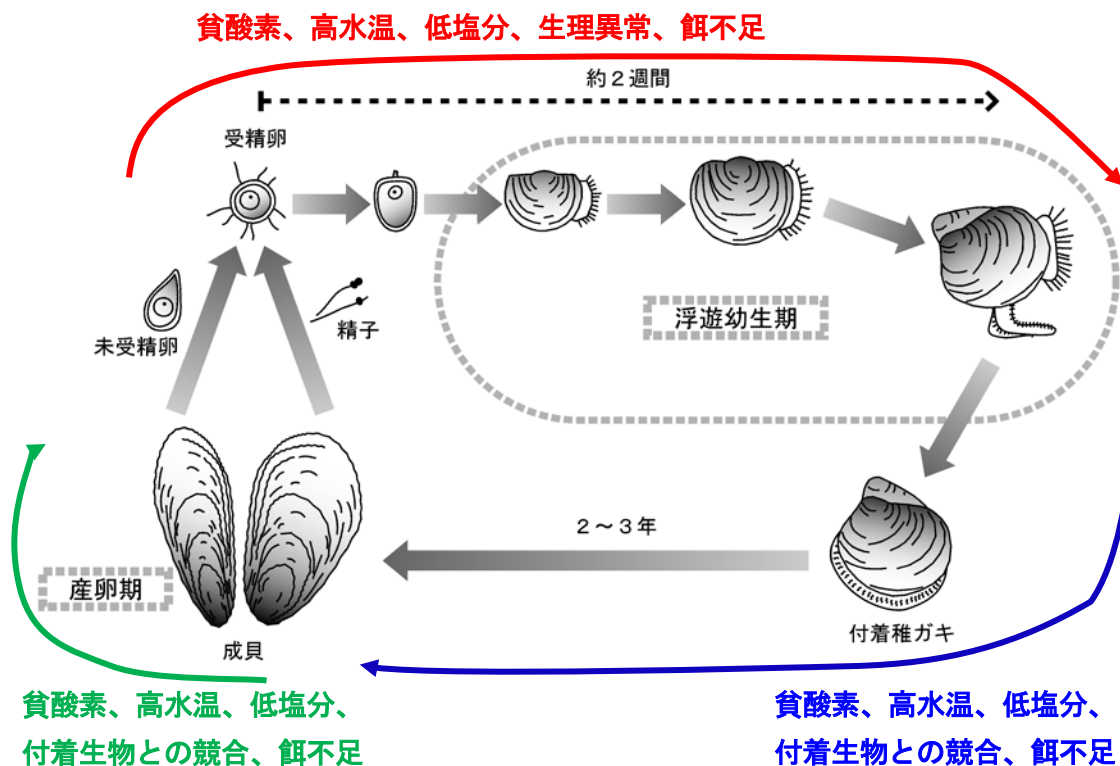


図 3-3 カキの生活史からみた減少要因

出典：William G. and Donald M. Oyster Gardening for Restoration and Education(2001)を改変

3.3 カキ養殖場の問題点と対応策

3.3.1 有明海カキ養殖漁場の環境特性

(1) 貧酸素水塊の襲来

カキの主要なへい死要因として、溶存酸素の低下により発生する貧酸素水塊があげられる。ここでは、有明海のカキ養殖漁場（図 3-4）における溶存酸素濃度(以下、D0)の動態について述べる。有明海湾奥(D)と諫早湾(B3)では、夏季(7～9月)にD0が3mg/L以下となる貧酸素状態が毎年のように確認されている（図 3-5）。同海域を広く覆う貧酸素水塊により、貝類の漁獲に影響をおよぼすことが危惧されてきた⁸⁾。

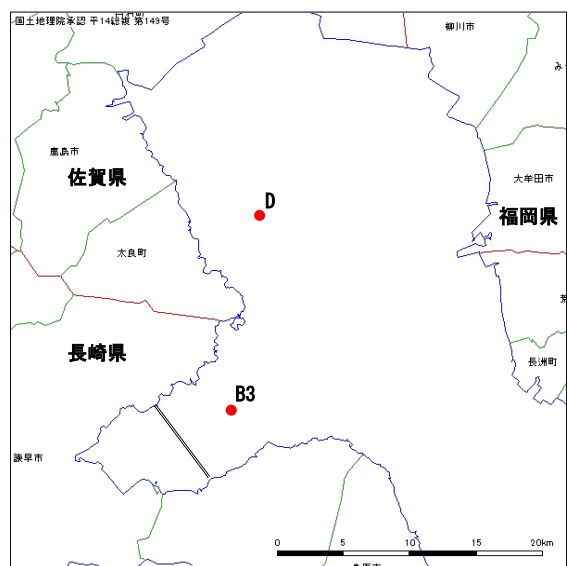


図 3-4 有明海湾奥(D)と諫早湾(B3)の位置

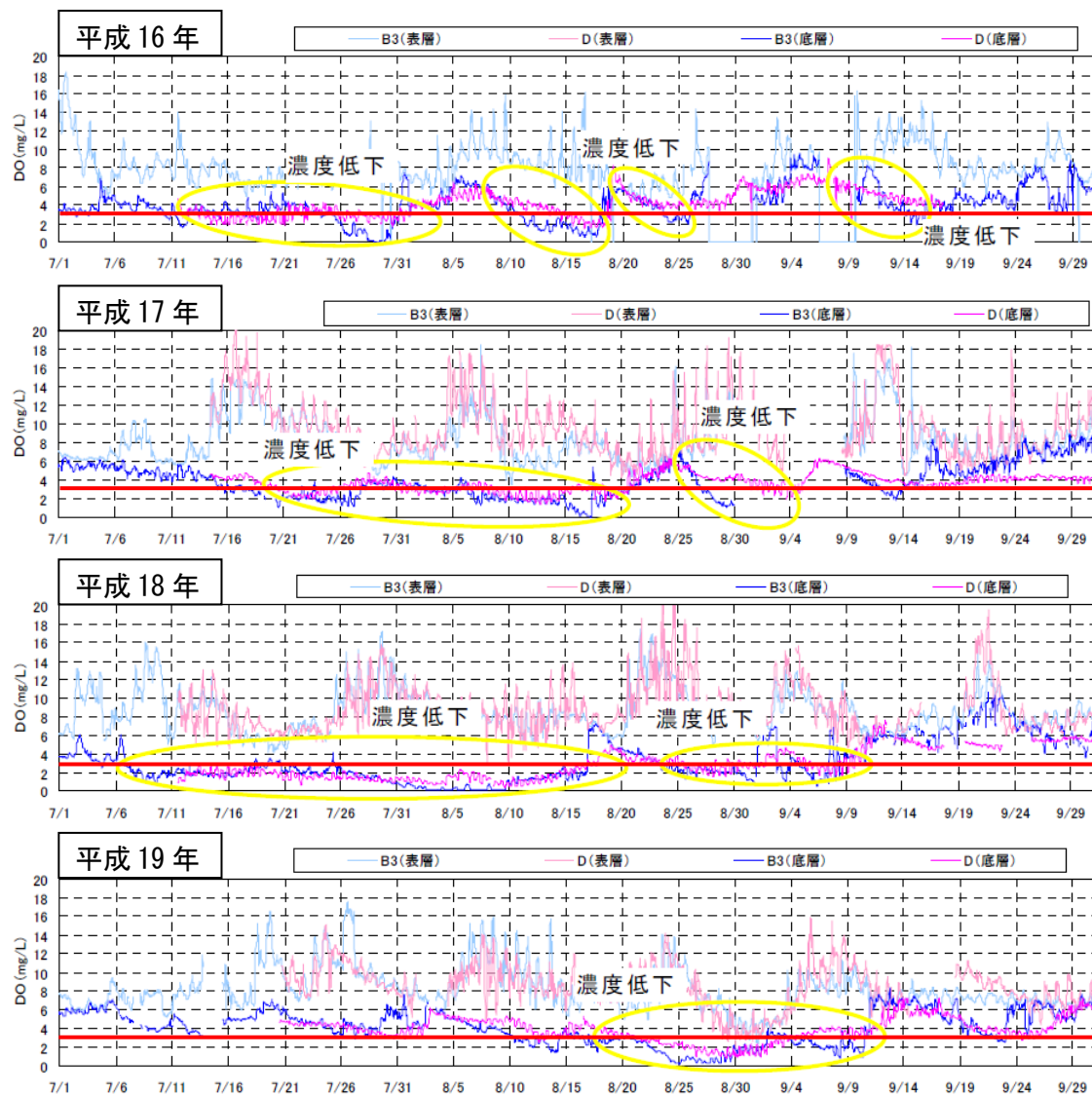


図 3-5 有明海湾奥(D)と諫早湾(B3)の溶存酸素濃度の挙動(平成16~19年)¹⁶⁾を改変

次に、底層の酸素飽和度の平面分布を図 3-6 に示す¹⁵⁾。カキ養殖が行われている有明海西部海域(大浦から小長井地先)では、有明海湾奥部と同様に貧酸素状態になることが分かる¹⁵⁾。さらに、平成19年と平成20年の諫早湾(B3)の観測結果に基づく、カキ連の垂下水深帯に相当する水深2.5mのDOの経時変化を図 3-7 に示す¹⁷⁾。平成19年の8月26日から9月1日のカキ連垂下水深帯ではDOは3mg/L以下となったが、これにともない同海域にて養殖されていた8~9割のカキがへい死した¹⁰⁾。一般に、カキは他の貝類と比べて高い貧酸素耐性を有するが、この状態が長く続くとへい死が起こる。諫早湾とその周辺では、貧酸素水塊によりカキのへい死が起こらないようにする対策が今後の課題となる。

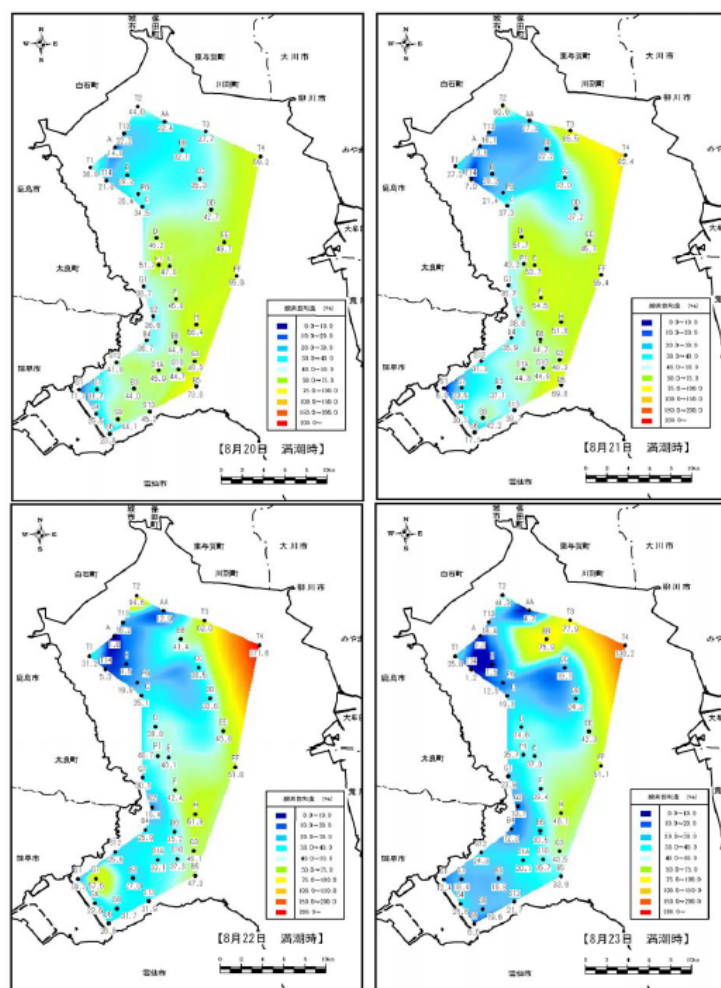


図 3-6 底層酸素飽和度の平面分布(平成 19 年)

出典：諫早湾干拓事業の潮受堤防の排水門の開門調査に係る環境影響評価書を改変

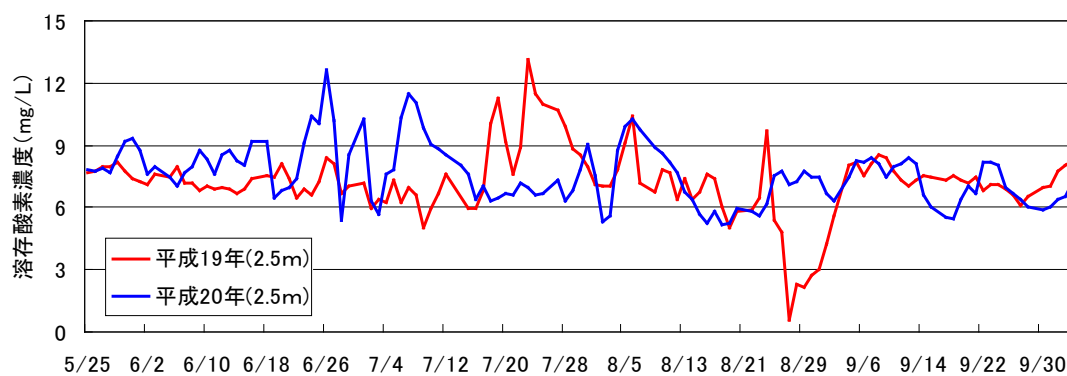


図 3-7 B3 槽水深 2.5m の溶存酸素濃度の挙動(平成 19 年、平成 20 年)

出典：有明海貧酸素水塊広域連続観測(諫早湾)のB3 槽データを改変

(2) 低塩分、高水温

有明海におけるカキのへい死要因として、低塩分と高水温について述べる。平成 19 年と 20 年の諫早湾内(B3 観測塔)の塩分をみると、平成 19 年の水深 0.5mでは7月8日から7月10日にかけての約2日間、カキの耐性を下回る 8.9 となった(図 3-8)¹⁷⁾。また、水温については、カキの耐性上限となる 30℃を大きく超えることはなかったものの、7～9月にかけて至適水温とされる 15～25℃を上回っていた(図 3-9)¹⁷⁾。このように、有明海のカキ養殖漁場では、貧酸素水塊に加えて低塩分や高水温にさらされることもあり、それらがカキのへい死に影響する可能性がある。

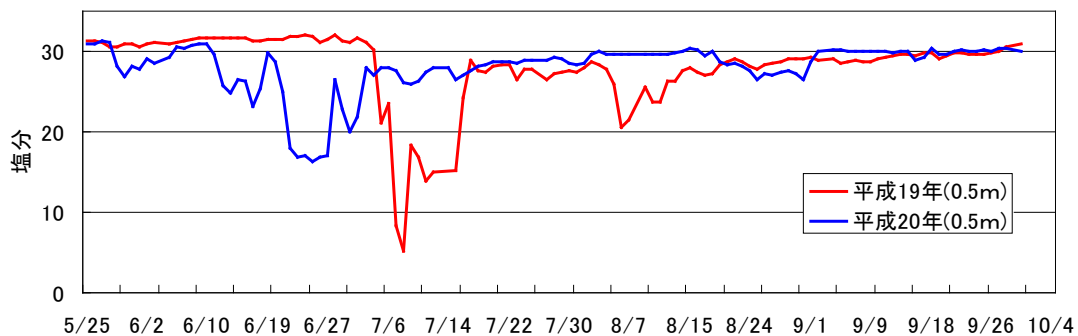


図 3-8 B3 観測塔水深 0.5mの塩分変化

出典：有明海貧酸素水塊広域連続観測(諫早湾)の B3 観測塔データを改変

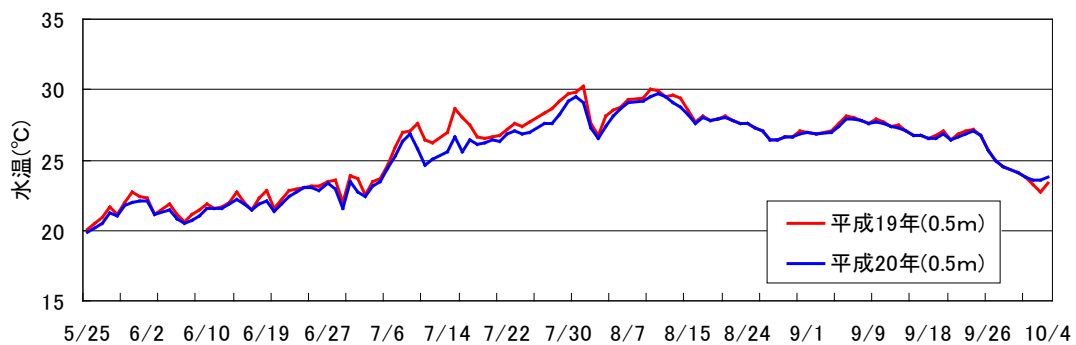


図 3-9 B3 観測塔水深 0.5mの水温変化

出典：有明海貧酸素水塊広域連続観測(諫早湾)の B3 観測塔データを改変

(3) その他の要因

ここでは貧酸素水塊、低塩分、または高水温とは異なる、あるいはこれにその他の要因が複合的に関わりカキがへい死に至る場合について考察する。有明海のカキ養殖漁場の1つ大浦地先を一例として、平成13年から22年のカキへい死時期とその要因についてみると(図3-10)、平成16年は台風の被害、平成19年は貧酸素水塊によるものと考えられるが、それらの要因では単純に説明できないへい死がしばしば発生していることが分かる。したがって、不明確な要因による大量へい死についても、カキの安定的な生産に結びつく対策が求められている¹¹⁻¹⁴⁾。

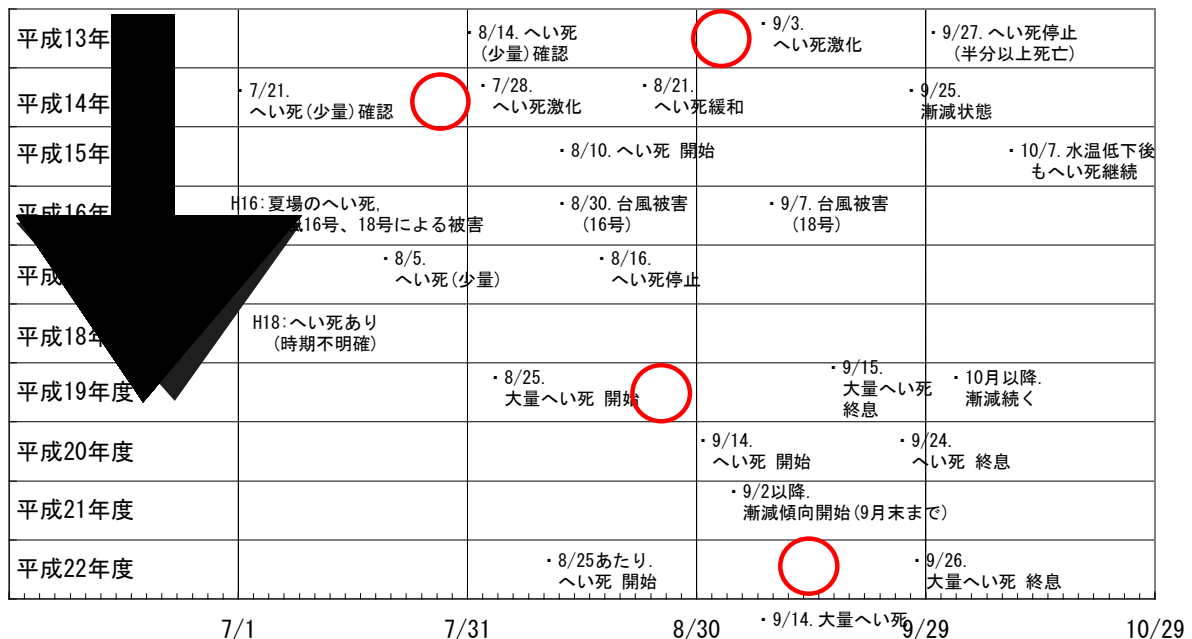


図 3-10 大浦地先のカキへい死時期(地元漁業者への聞き取り結果等を整理)

(図中の○は特にへい死が激しかった時期)

このような養殖カキの「原因不明の大量へい死」は、特に筏式養殖にて夏から初秋にかけてみられ、発育の良好な個体などに起きやすい¹⁾。有力な要因としては、餌の豊富な富栄養海域にてカキが一定期間、高水温にさらされたことがあげられる^{8, 15)}。富栄養海域にて高水温になると、短期間のうちにカキは性成熟して産卵する。産卵後の疲弊したカキの生理状態においては、へい死が起こりやすくなるからである。具体的なへい死に至るメカニズムを以下に述べる。

富栄養海域でのカキの代謝異常と大量へい死との関係は、具体的には以下のように考えられている(図3-11)。カキは性成熟に先だって、旺盛な摂餌活動によってグリコーゲンと脂肪を蓄積する(Iの部分)。グリコーゲンは性成熟の開始と同時に消費され、放卵放精直前には呼吸基質の変化に伴って生理的活性が低下する(IIの部分)。放卵放精直前に至るまでに大きなエネルギー源の消費が生じ、これにより生理異常をきたす。さらに、生殖腺が

過熟すると、脂質代謝障害やステロイド代謝障害を引き起こし、生理的活性を一層低下させ、場合によってはへい死に至る^{8, 15)}。

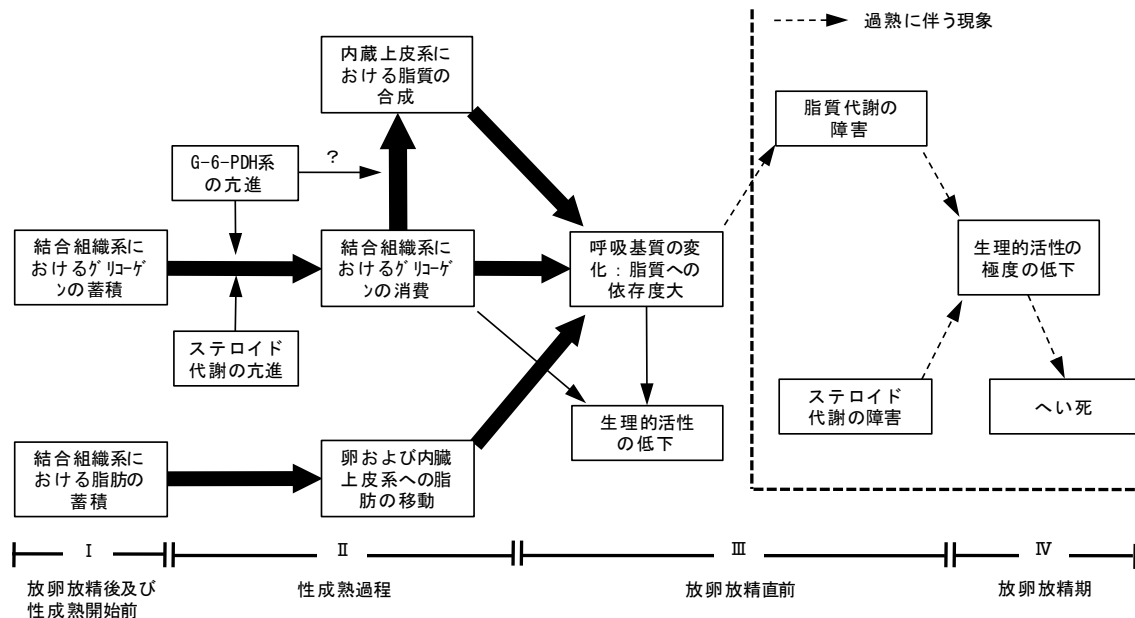


図 3-11 カキの生殖に伴う糖・脂質の移行と生理的活性の変化¹⁵⁾

上記プロセスへの高水温の影響については、次のように考えられている。有明海では宮城県産のカキ種苗を用いた養殖が行われている（漁協からの聞き取りより）、その種苗採取地と比べて有明海のカキ養殖場では餌も豊富にあるだけでなく、夏季の水温もより高くなる。そのような高水温下では、そのプロセスはより短時間で進行するため、カキは一定期間にそのプロセスを複数回繰り返すことを余儀なくされる。すなわち、上記プロセスは活力の低下をもたらし、ひいてはへい死を招くが、それを繰り返せば活力はさらに低下し、へい死へ至る確率もより増大することになる¹¹⁻¹⁴⁾。このようなカキのへい死機構の十分な解明にはさらなる知見が必要とされるが、養殖現場ではそのへい死を回避する対策が早急に求められている。

3.3.2 本ガイドラインで掲載している技術

3.3.1 で述べたように、佐賀県と長崎県沿岸のカキ養殖場では、夏から秋にかけてカキの大量へい死が発生し、生産が不安定となっている。垂下式のカキ養殖が行われる有明海にて、その生産が不安定となる主要因としては、夏季(6～8 月)の貧酸素水塊、高水温、低塩分、付着生物との競合、および生殖腺成熟に伴う生理異常などがあげられる。これらの要因への対策として、貧酸素水塊の発生に対しては曝気や避難、高水温や低塩分、また生殖腺成熟に伴う生理異常に対しては下層水利用や深吊り、付着生物との競合に対しては

日干しなどがある(表 3-2)。前述のようにカキのへい死の要因は複数考えられるものの、佐賀県と長崎県沿岸のカキ養殖場では、平成 19 年の貧酸素水塊によるへい死が最も被害が大きかったことから、貧酸素水塊への対策が焦点となると考えられる。

本ガイドラインでは、カキのへい死要因として貧酸素水塊に着目し、微細気泡装置、または底層水をくみ上げて曝気する装置を用いて漁場環境の改善を行う技術、並びに潮間帯利用技術の 3 技術を取り扱った。各技術の内容は下記のとおりである。

①微細気泡装置によるカキ養殖場環境改善技術(160 ページに記載)

長崎県西部沿岸域のカキ養殖場では、垂下式によるカキ養殖が営まれているが、夏季の貧酸素水塊の形成によりその生産が不安定となっている。この技術については、カキ筏に微細気泡装置を設置して曝気するもので、貧酸素水塊が発生した場合でも DO を一定以上に保つことにより、カキのへい死を緩和するものである。装置使用の適用条件、実施方法などについて、「漁業者による漁場環境改善のための作業マニュアル」の中で示した。

②揚水式曝気装置によるカキ養殖場環境改善技術(174 ページに記載)

佐賀県太良町大浦地先のカキ養殖場では、垂下式によるカキ養殖が営まれているが、夏季の高水温や貧酸素水塊によって漁業生産が不安定となっている。この技術については、表層よりも低温となる底層の海水を揚水し、曝気を行って海域に放出することによって、高水温や貧酸素水塊により起こるカキのへい死を緩和するものである。装置使用の適用条件、実施方法などについて、「漁業者による漁場環境改善のための作業マニュアル」の中で示した。

③潮間帯利用技術(194 ページに記載)

佐賀県太良町大浦地先のカキ養殖場では、垂下式によるカキ養殖が営まれているが、貧酸素水塊といった明確な要因のほか、不明確な要因によるカキの大量へい死が発生することがあり、漁業生産が不安定となっている。この技術については、潮間帯をカキの避難場所として利用することによって、明確または不明確な理由により発生するカキのへい死を緩和することを目指したものである。潮間帯を利用するための適用条件、実施方法などについて、「漁業者による漁場環境改善のための作業マニュアル」の中で示した。

表 3-2 カキの減少要因と本ガイドライン掲載技術の位置付け

二枚 貝	生活史	カキのへい死要因	ねらいと対応策			効果	本ガイドラインに掲載している技術	適用条件	既存事例等
カキ	稚貝期 成貝期 共通	貧酸素水塊	回避	避難	潮間帯利用	襲来する貧酸素水塊の影響を緩和するため、潮間帯に避難し、へい死を防ぐ	潮間帯利用技術 (194 ページ)	カキ連の垂下水深帯が貧酸素水塊に曝される養殖場で、近傍に避難等に利用可能な潮間帯が存在すること	—
			改善	曝気	微細気泡装置による酸素供給	襲来する貧酸素水塊の影響を緩和するため、微細気泡曝気して溶存酸素濃度を向上させ、へい死を防ぐ	微細気泡によるカキ漁場環境改善技術(160 ページ)	カキ連の垂下水深帯が貧酸素水塊に曝される養殖場 貧酸素時に、カキ連内の流速が1cm 程度の養殖場	平成 20 年以降、貧酸素とならず、微細気泡曝気によるへい死抑制効果の実証無し ¹⁰⁻¹⁴⁾
					揚水式曝気	襲来する貧酸素水塊の影響を緩和するため、揚水・曝気して溶存酸素濃度を向上させ、へい死を防ぐ	揚水式曝気装置活用技術 (174 ページ)	カキ連の垂下水深帯が貧酸素水塊に曝される養殖場	平成 20 年以降、貧酸素とならず、揚水式曝気によるへい死抑制効果の実証無し ¹⁰⁻¹⁴⁾
		高水温	回避	避難	低水温帯への深吊り	高水温域から避難させるため、低水温帯である深吊を行い、へい死を防ぐ	—	カキ連の垂下水深帯の水温が 30℃以上となる養殖場	広島県で、夏期の表層の高水温を避けるため深吊り事例有り ⁵⁾
			改善	下層水利用	揚水式曝気	高水温の影響を緩和するため、下層水を利用し、へい死を防ぐ	揚水式曝気装置活用技術 (174 ページ)	カキ連の垂下水深帯の水温が高水温(30℃以上)となり、下層にその水深帯よりも低温の海水が存在すること	揚水式曝気により水温低下 ¹⁰⁻¹⁴⁾
		低塩分	回避	避難	適正塩分海域への避難・深吊	低塩分域から避難させることによって、へい死を防ぐ	—	カキ連の垂下水深帯の塩分が 8.9 以下となる養殖場	降雨時期に低塩分となるが、避難検証は無し ¹⁰⁻¹⁴⁾
		付着生物との競合	駆除		日干し	付着生物との競合を防ぐため、日干し、付着生物を駆除する	—	日中の気温 30℃以上が 5h 以上継続しない日	平成 23 年にホヤ等は効果を確認（フジツボの除去効果は低い） ¹⁴⁾
			防除		深吊り	付着生物との競合を防ぐため、深吊りし、付着生物を除去する	—	フジツボ等の幼生が少ない水深帯が確保できること	深吊りにより、ムラサキイガイの付着防止を確認 ¹⁹⁾
		生殖腺成熟に伴う生理異常	抑制	抑制	潮間帯利用	過剰な餌料摂取を押さえて生殖腺の成熟を抑制するため、干潮時に空中に曝して餌料摂取を止め、へい死を防ぐ	潮間帯利用技術 (194 ページ)	夏～秋にかけて、明確な原因が無いのに大量へい死が発生する養殖場で、近傍に避難等に利用可能な潮間帯が存在すること	平成 22 年に生殖腺成熟に伴う生理異常が確認され ¹³⁾ 、潮間帯利用での改善が示唆 ¹⁴⁾

<文 献>

- 1) 岡本亮. 10 カキ. 「浅海養殖」(社団法人資源協会編著), 大成出版社, 東京. 1986; 384-417.
- 2) 森勝義(2005): [第 10 章 マガキ]. 水産増養殖システム 3 貝類・甲殻類・ウニ類・藻類. 191-201. 恒星社厚生閣.
- 3) William Goldsborough, Donald Meritt: Oyster Gardening for Restoration and Education
- 4) 地方独立行政法人北海道立総合研究機構 水産研究本部 :
<http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/fish/kuwashii/47.pdf>
- 5) 社団法人日本水産資源保護協会. 漁場環境調査検討事業 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理. 1983.
- 6) 社団法人全国沿岸漁業振興開発協会. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針(平成 4 年度版), 東京. 1993.
- 7) Hochachka, Peter W. Coupled Glucose and Amino Acid Catabolism in Bivalve Molluscs. Living without oxygen: closed and open systems in hypoxia tolerance, Harvard University Press, Cambridge, 1980; 25-41.
- 8) 森勝義(1971): [第 1 章 カキの生物学的研究] § 6. 大量へい死現象. 浅海完全養殖-浅海養殖の進歩-. 132-140. 恒星社厚生閣.
- 9) 木村知博. カキ筏養殖場の溶存酸素量の変動機構とカキの成育低下. 水産増殖 1999: 47(1); 119-127.
- 10) 社団法人マリノフォーラム 21, 芙蓉海洋開発株式会社, 五洋建設株式会社, 日本ミクニヤ株式会社. 平成 19 年度有明海環境改善技術開発事業報告書, 東京. 2008
- 11) 社団法人マリノフォーラム 21, 芙蓉海洋開発株式会社, 五洋建設株式会社, 日本ミクニヤ株式会社. 平成 20 年度有明海漁場造成技術開発委託事業報告書, 東京. 2009.
- 12) 社団法人マリノフォーラム 21, 芙蓉海洋開発株式会社, 五洋建設株式会社, 日本ミクニヤ株式会社. 平成 21 年度有明海漁場造成技術開発委託事業報告書, 東京. 2010.
- 13) 社団法人マリノフォーラム 21, 芙蓉海洋開発株式会社, 五洋建設株式会社, 日本ミクニヤ株式会社. 平成 22 年度有明海漁場造成技術開発事業報告書(2), 東京. 2011.
- 14) 社団法人マリノフォーラム 21, 芙蓉海洋開発株式会社, 五洋建設株式会社, 日本ミクニヤ株式会社. 平成 23 年度有明海漁場造成技術開発事業報告書, 東京. 2012.
- 15) 森勝義(1971): [第 1 章 カキの生物学的研究] § 5. 生理. 浅海完全養殖-浅海養殖の進歩-. 103-132. 恒星社厚生閣.
- 16) 岡村和磨, 田中勝久, 木元克則, 藤田孝康, 森勇一郎, 清本容子. 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 2010; 74(4): 197-207.
- 17) 九州農政局 北部九州土地改良調査管理事務所 環境調整課 :
<http://www.ariake-do.jp/isahaya/top.html>

- 18) 農林水産省九州農政局. 諫早湾干拓事業の潮受堤防の排水門の開門調査に係る環境影響評価書, 2012.
- 19) 佐藤博之. カキ養殖におけるムラサキイガイの防除. 福岡水技研報 1993; 第 9 号:57-60.

4. 本ガイドラインで示した技術とその仕分け

ここまで、各二枚貝の生息環境における問題点と既存の環境改善技術について振り返り、本ガイドラインに掲載している技術の位置付けを示してきた。以降に章立てした「漁場環境改善技術導入の手引き」と「漁業者による漁場環境改善のための作業マニュアル」は本ガイドラインのいわば主幹を成し、主として各技術の適用条件、並びに実施方法または運用方法について述べた。具体的には各技術を以下のように仕分けている(表 4-1)。

表 4-1 本ガイドラインで示した技術とその仕分け

技術名	漁場環境改善技術 導入の手引き	漁業者による漁場 環境改善のための 作業マニュアル	対象二枚貝	掲載ページ
帯状覆砂による底質改善・基 質供給技術	○		アサリ	61
碎石による代替覆砂材 活用技術	○		アサリ	77
作濡によるアサリ漁場 環境改善技術	○		アサリ	85
砂止潜堤による覆砂材の 流出低減技術	○		アサリ	96
貝殻覆砂技術	○		サルボウ	109
杭および網による浮泥 堆積抑制技術		○	アサリ	119
微細気泡装置によるアサリ漁 場環境改善技術		○	アサリ	138
微細気泡装置によるカキ 漁場環境改善技術		○	カキ	160
揚水式曝気装置によるカキ 養殖場環境改善技術		○	カキ	174
潮間帯利用技術		○	カキ	194

「漁場環境改善技術導入の手引き」では、「帯状覆砂による底質改善・基質供給技術」に始まり、「碎石による代替覆砂材活用技術」、「作濡によるアサリ漁場環境改善技術」、「貝殻覆砂技術」、「砂止潜堤による覆砂材の流出低減技術」まで、アサリとサルボウを対象とした全部で5つの環境改善技術についてまとめている。主な読み手として、国や地方自治体の事業計画担当者などが想定される。

一方、「漁業者による漁場環境改善のための作業マニュアル」では、「杭および網による浮泥堆積抑制技術」に始まり、「微細気泡装置によるアサリ漁場環境改善技術」、「微細気泡装置によるカキ漁場環境改善技術」、「揚水式曝気装置によるカキ養殖場環境改善技術」、「潮間帯利用技術」まで、アサリとカキを対象とした全部で5つの環境改善技術についてまとめている。主な読み手として、漁業者の指導的立場を担う漁業協同組合連合会などの職員などが想定される。

以後に解説する漁場環境改善技術を選定するうえで参考としていただきたい。