

2012年夏季の三河湾における貧酸素水塊に対する底生性魚介類の分布及び 1986年調査結果との比較

曾根亮太・蒲原 聡・山田 智・二ノ方圭介

The effect of hypoxia on distribution of benthic fauna during the summer 2012 and comparing with results of a survey made in 1986, in Mikawa Bay

SONE Ryota*, KAMOHARA Satoru*, YAMADA Satoshi*, and NINOKATA Keisuke*

Abstract : To evaluate the distribution pattern of benthic fauna in Mikawa Bay, where hypoxia developed during the summer, we monitored spatio-temporal variation of developed hypoxia by the oceanographic observation monitoring using the buoy system and the research vessel and also examined distribution and biomass of benthic fauna by small bottom trawl fishery. And, we considered the fluctuation of habitats of benthic fauna by comparing these results with the previous studies before 1986. Biomass of benthic fauna was depended on dissolved oxygen concentration of water in bottom layer, especially bottom environments in the east innermost part of Mikawa Bay were confirmed to be severe for benthic fauna. It would be concerned that the stock of mantis shrimp in Mikawa Bay was reduced with habitat restriction. In contrast, the stock of blue crabs could have been enhanced. It was suggested that recently constructed artificial tidal flat was one of the factors for that. On the other hand, because the period with hypoxia in the bottom water was unusually short, from mid-August to early September in 2012, even bivalves with low mobility against hypoxia were able to survive in a part of the coast of Mikawa Bay. Thus, the survival of bivalves would be related to their recruitment with the scale and the period of developed hypoxia.

キーワード: 貧酸素水塊, 底生性魚介類, 小型機船底びき網, 三河湾

三河湾における最も深刻な環境問題は夏季の大規模な貧酸素水塊の発生である。1970年代から本格化した港湾整備等に伴う沿岸開発によって湾内の多くの干潟・浅場は消失し、赤潮及び貧酸素水塊の発生が拡大化した。¹⁾特に、貧酸素水塊の大規模な発生は直接的に底生生物群集の生息を困難にし、内湾の底生性魚介類を対象とする小型機船底びき網漁業に大きな影響を与えている。また、貧酸素水塊が浅海域に湧昇する苦潮はアサリ漁業などに大きな損害を与え、^{2, 3)}さらに、貧酸素水塊の存在は湾内の物質収支のバランスを崩し、水質悪化の負のスパイラルを招いている。⁴⁾これらの状況を改善するために、三河湾では1980年以降水質汚濁防止法に基づく陸域からの流入負荷の総量削減に関する取り組みが続けられているが、依然として赤潮及び貧酸素水塊の発生は深刻である。⁴⁾また、生物的機能による自律的な環境回復を目

的として干潟・浅場造成事業が実施され、1998年から2004年までには約620haの干潟・浅場が造成された。⁵⁾干潟・浅場造成事業では、水質浄化機能及び水産資源の回復について報告されているが、⁶⁾底層の溶存酸素飽和度の改善効果については明確にされていない。このような状況において、貧酸素水塊の影響を最も受けやすい底生性魚介類の分布実態を調査することは、湾内の底生生態系の現状を把握するとともに、底層環境の状況を評価する基本的で最も重要な方法の一つである。しかし、三河湾における底生性魚介類の分布実態については、過去の報告書^{7, 8)}などで散見されるが、1986年(昭和61年)を最後に三河湾全域を対象とする調査は行われていない。

そこで、本研究では、2012年夏季に貧酸素水塊の時空間的な分布状況をモニタリングするとともに、小型機船底びき網のえびけた網により底生性魚介類の分布と現存

* 愛知県水産試験場 (Aichi Fisheries Research Institute, Miya, Gamagori, Aichi 443-0021, Japan)

量を調査して、貧酸素水塊と底生性魚介類の対応関係について検討した。さらに、今回の結果と昭和 61 年度赤潮対策技術開発試験報告書の底びき網調査結果(以下、1986 年調査と称す)⁸⁾、ならびにそれ以前の底びき網調査結果とを比較して、夏季における底生性魚介類の生息分布の変化を考察した。

材料及び方法

貧酸素水塊状況調査

1 空間分布観測

三河湾における貧酸素水塊の分布を把握するため、底層(海底直上 1.0m)の溶存酸素飽和度(以下、D0 と称す)の観測を 25 定点(図 1)において、2012 年 6 月から 10 月まで旬ごとに月 3 回行った。観測は愛知県漁業取締・水質調査兼用船「へいわ」により実施し、多項目水質計(JFEアレック社製 AAQ1182s-H)を用いて D0 を測定した。これらのデータから GIS ソフト(ESRI 社製 ArcView GIS 3.2a, Spatial Analyst オプション)のスプライン補完法により底層 D0 分布の等値線図を作成した。また、作成した等値線図から、底生生物群集の酸素耐性の下限とされる D030%以下⁹⁾の面積を算出し、貧酸素水塊の面積とした。さらに、底びき網調査時の底層 D0 の状況を把握するために、底びき網調査開始前日の 2012 年 9 月 5 日の観測データから、GIS ソフトにより、後述する各水域区分内の底層 D0 平均値を算出した。なお、三河湾における知多湾及び渥美湾の区分は阿知波¹⁰⁾に従った。

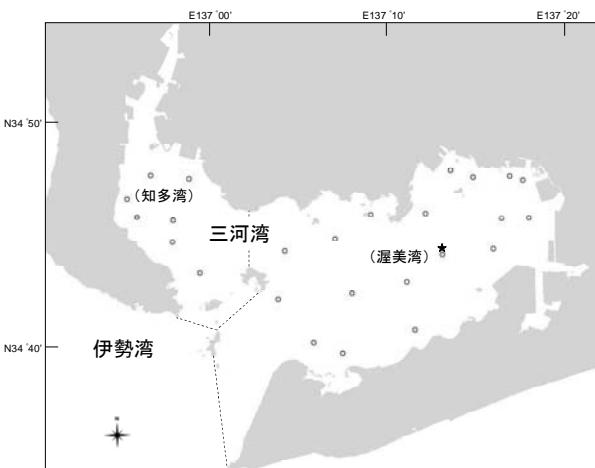


図 1 底層溶存酸素飽和度の観測定点と海況自動観測 1 号ブイ(1 号ブイ)の位置

○は観測定点, ★は 1 号ブイの位置 (N34°44'36", E137°13'13")を示す。

湾の区分は阿知波¹⁰⁾に従った。

2 定点連続観測

貧酸素水塊の経時的消長を捉えるために、渥美湾中部に設置されている水産試験場の海況自動観測 1 号ブイ(図 1, 以下、1 号ブイと称す)において、2012 年 6 月から 10 月の 1 時間ごとの底層(海底直上 2.0m) D0 及び風速の連続データを取得した。底層 D0 データから、月ごとに底層が貧酸素化(D030%以下)した時間の割合を算出し、過去 5 年(2007 年~2011 年)の平均値と比較した。また、ここでは貧酸素水塊の解消に影響を与える強風の基準を風速 10m/s 以上と定め、底層 D0 データと同様に月ごとに強風が観測された時間の割合を算出し、過去 5 年平均と比較した。

底びき網調査

1986 年調査では、三河湾を 4km 四方メッシュの 25 水域に区分し、袋網の目合い 7~8 節(約 4.3~5.0cm)の小型機船底びき網(えびけた網¹¹⁾)により、7 月中旬に各水域区分につき 1,000m の曳網を数回行い、底生性魚介類を採集した。⁸⁾

2012 年の底びき網調査は、1986 年調査に準じて行った。水域区分の設定は 1986 年と同様とし、それぞれの水域区分を St. 1~25 と定めた(図 2)。底びき網調査は 2012 年 9 月 6 日に St. 1~13, 9 月 7 日に St. 14~25 について行い、各水域区分内 1 回ずつの曳網を行い、それぞれ曳網に十分な水深のある地点において行った。調査は小型機船底びき網(えびけた網、総トン数 5.1~9.7 トン)により行い、えびけた網のけた幅は 4.20~5.21m、袋網の目合いは 5~7 節(約 5.0~7.5cm)を用いた。1 回の曳網における曳網速度は 3.9~6.2 ノット、曳網時間は 2~10 分間とした。1986 年調査に準じて、1 回の曳網距離は約 1,000m を目安としたが、各水域区分内の海底が礫や泥混じりなど曳網に影響する場合は距離を調節したことから、176~1,916m となった。曳網距離は GPS(Garmin 社製 eTrex Venture HC)の航跡記録から算出した。

採集された底生性魚介類サンプルは船上で生物と貝殻等の無生物を選別し、原則全生物を冷蔵して水産試験場に持ち帰った。ただし、サンプルが多い場合は、適宜分割した。サンプルは可能な限り下位の分類群まで同定を行った後、個体数を計数し、各個体の湿重量を測定した。ただし、個体数の多かった種に関しては、30 個体程度の個別の湿重量と総湿重量を測定した。これらのデータから、1986 年調査に準じて、底生性魚介類を魚類、カニ類、エビ類、シャコ、及び貝類に分類・集計し、主要魚介類とした。また、魚類はカレイ類・ハゼ類・ネズボ類・その他に、カニ類はガザミ類・イシガニ類・その他に分

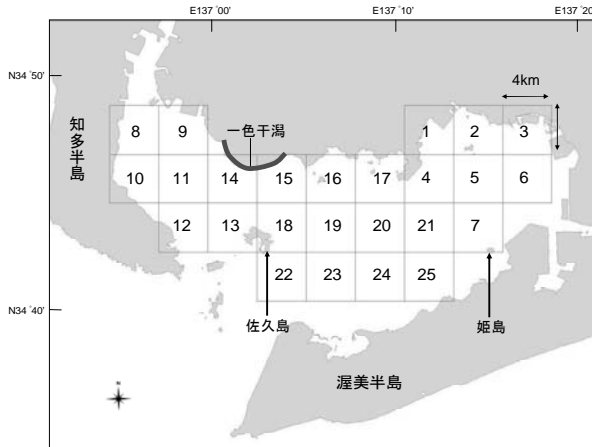


図2 調査水域の区分

類した。1986年調査の貝類については、トリガイ、アカガイ、及びサルボウを合算して集計していたが、2012年は個体数の多かったサルボウ及びアカガイを区別し、貝類をサルボウ・アカガイ・その他にそれぞれ分類した。ただし、個体あたりの湿重量が大きいアカエイは魚類の集計から除いた。これらの集計したデータを曳網面積(けた幅×曳網距離)から1水域区分(16km²)あたりに換算し、各水域区分内の現存量とした。

統計解析

貧酸素水塊と底生性魚類の現存量との対応関係をみるために、2012年9月5日の各水域区分の底層DO平均値と出現頻度の多かった分類群(魚類, カニ類, 及び二枚貝)の現存量について、Spearmanの順位相関係数(r_s)による無相関検定によって解析した。なお、有意水準(p)は5%とした。

結果

貧酸素水塊状況調査

1 空間分布観測

2012年の三河湾の貧酸素水塊の面積の推移を1986年の観測結果^{1,2)}とともに図3に示した。1986年は月1回の観測を行い、7月及び9月には発達した貧酸素水塊が観測されたが、8月の観測では貧酸素水塊が解消していた。一方、2012年は、6月から8月上旬までは比較的低位で推移したが、8月中旬から発達し、8月下旬に最大面積となった。最大面積となった8月27日の貧酸素水塊はほぼ渥美湾全域を覆い、佐久島周辺まで広がっていた(図4)。底びき網調査開始前日の9月5日に行った観測では若干衰退したが依然として渥美湾を中心に広く貧酸素水塊が広がっていた(図5)。また、底びき網調査による底生性魚類の現存量と比較解析するために、この時の各

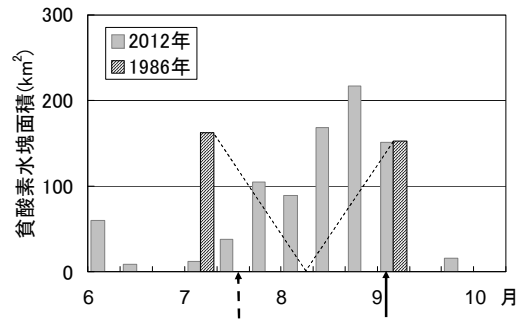


図3 2012年及び1986年における三河湾の貧酸素水塊面積の推移

実線矢印:2012年底びき網調査実施日(9月6,7日)
破線矢印:1986年底びき網調査実施日(7月中旬)

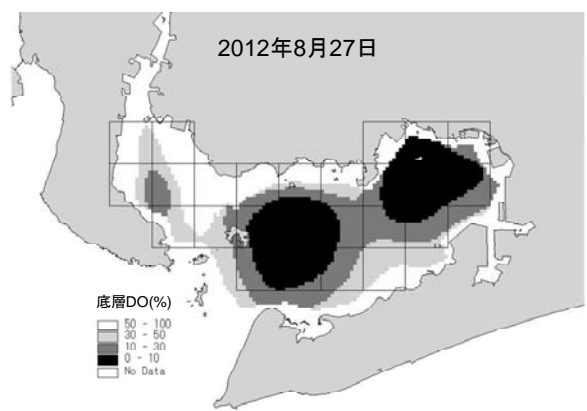


図4 2012年において貧酸素水塊が最大となった時の底層溶存酸素飽和度(DO)の分布

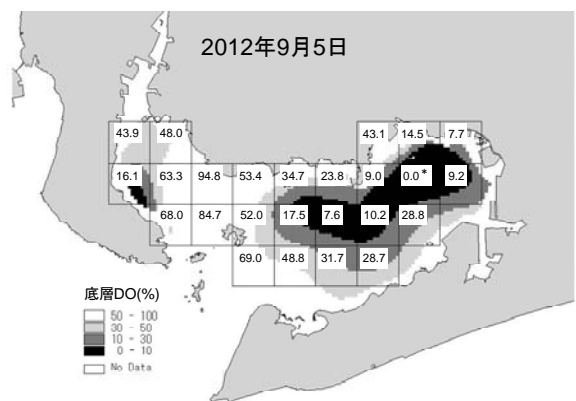


図5 2012年底びき網調査前日の底層溶存酸素飽和度(DO)の分布

数字は各水域区分内の底層DO平均値(%)を示す。
* GISソフトによる計算値では負の値が示されたので、0.0%に補正した。

水域区分内の底層 DO の平均値を算出し、図 5 の各水域区分上に示した。渥美湾奥から湾央、及び知多湾奥部の St. 2~7, 10, 17, 19~21, 25 において底層 DO の平均値が 30%を下回った。その後、貧酸素水塊は 9 月中旬に解消し、終息に向かった (図 3)。

2 定点連続観測

1 号ブイにおける 1 時間ごとの連続データを取得し、2012 年 6~10 月の底層 DO と風速の経時的な変化を図 6 に示した。6, 7 月においては、底層 DO の貧酸素化が短期的であったが、8 月中旬及び 9 月上旬から中旬までは底層が比較的長期にわたり貧酸素化した。また、6 月 9 日、6 月 19 日のように風速 10m/s 以上の強い風が観測されると底層 DO が上昇する傾向がみられた。さらに、この連続データから、月別に底層が貧酸素化した時間及び風速 10m/s 以上の強風が観測された時間の割合を算出して、過去 5 年の平均値とともに図 7 に示した。2012 年の 6, 7, 8 月における底層が貧酸素化した時間の割合はそれぞれ 8%, 9%, 43% となっており、過去 5 年平均の各月の 27%, 74%, 86% と比べると非常に低かった。また、9, 10 月は過去 5 年平均と同様であった。一方、風速 10m/s 以上の強風が観測された時間の割合は、2012 年 6, 7 月においてそれぞれ 7.3% 及び 5.4% となっており、過去 5 年平均の各月の 2.4% 及び 3.8% と比べると高かった。8 月以降

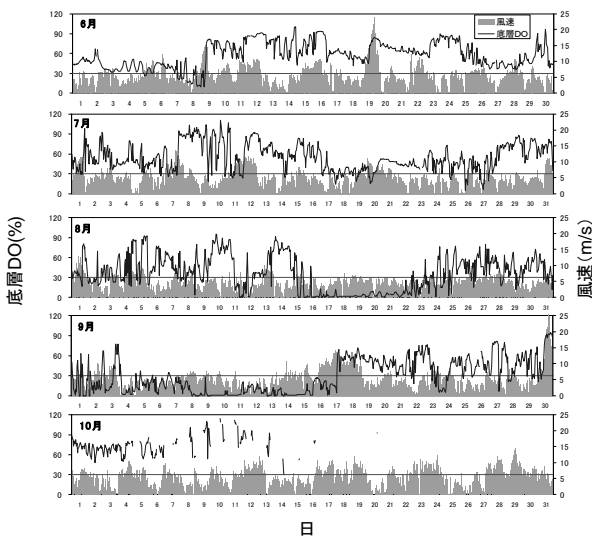


図 6 海況自動観測 1 号ブイにおける 2012 年 6~10 月の底層溶存酸素飽和度 (DO) 及び風速
実線は底層 DO30%を示す。

は過去 5 年平均と同様の傾向であった。

底びき網調査

2012 年 9 月 6, 7 日に調査で得られた底生性魚介類は全 63 種以上であった。各水域区分における主要魚介類、魚類、カニ類、シャコ及び貝類の分布及び現存量については以下のとおりであった。なお、得られたデータの詳細は付表に示した。

1 主要魚介類 (図 8-a)

主要魚介類は 25 水域区分のうち 17 水域において出現し、合計の現存量は 232.0t、現存量の最大は St. 18 において 120.8t/16km²、出現した 17 水域における平均の現存量は 13.6t/16km²であった。しかし、知多湾奥の St. 8, 渥美湾奥から湾央の St. 2, 3, 4, 5, 6, 20, 21 では主要魚介類は全く採集されなかった。

2 魚類 (図 8-b)

魚類は 9 水域において出現し、合計の現存量は 10.1t、現存量の最大は St. 12 において 4.7t/16km²、出現した 9 水域における平均の現存量は 1.1t/16km²であった。魚類の現存量は、佐久島周辺や知多湾で多かったが、渥美湾や知多湾奥では、ほとんど採集されなかった。また、最も多く採集されたのはカレイ類で、その合計現存量は 7.1t であり、魚類のうち 70.9%を占めた。

3 カニ類 (図 8-c)

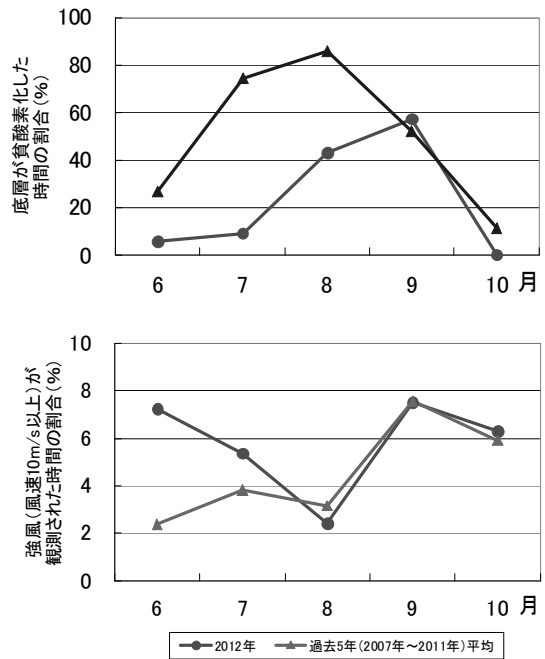


図 7 海況自動観測 1 号ブイにおける 6~10 月の底層が貧酸素化した時間の割合 (上) 及び強風 (10m/s 以上) が観測された時間の割合 (下)

カニ類は 13 水域において出現し、合計の現存量は 16.9t、現存量の最大は St. 12 において 4.6t/16km²、出現した 13 水域における平均の現存量は 1.3t/16km²であった。カニ類は、魚類と同様に佐久島周辺や知多湾で多く、渥美湾奥から湾央及び知多湾奥では採集されなかった。また、最も多く採集されたのはガザミ類で、その合計現存量は 12.4t であり、カニ類のうち 73.3%を占めた。

4 シャコ (図 8-a)

シャコは 11 水域において出現し、合計の現存量は 12.6t、現存量の最大は St. 22 において 7.5t/16km²、出現した 11 水域における平均の現存量は 1.1t/16km²であった。シャコは渥美湾南部の湾口部に分布が多く見られたが、他の水域では少なかった。

5 貝類 (図 8-d)

貝類は 17 水域において出現し、合計の現存量は 191.1t、現存量の最大は St. 18 において 119.2t/16km²、出現した 17 水域における平均の現存量は 11.2t/16km²であった。

現存量は、渥美湾沿岸、佐久島周辺及び知多湾で多く、魚類やカニ類と比較すると出現範囲が広く、現存量も非常に多く、主要魚介類のうち貝類の現存量が 82.4%を占めた。一方で、渥美湾奥から湾央、及び知多湾奥では、ほとんど採集されなかった。また、最も多く採集されたのはサルボウで、その合計現存量は 166.9t であり、次いでアカガイの 5.6t であった。貝類現存量のうちサルボウとアカガイが占める割合はそれぞれ、87.3%および 3.0%であった。

統計解析

2012年9月5日の底層 D0 平均値 (図 5) と底びき網調査で得られた各分類群の現存量の Spearman の順位相関係数、及びその検定結果を表 1 に示した。全ての分類群において有意な正の相関関係が見られた。また、順位相関係数は魚類、カニ類、及び二枚貝の順で高かった。

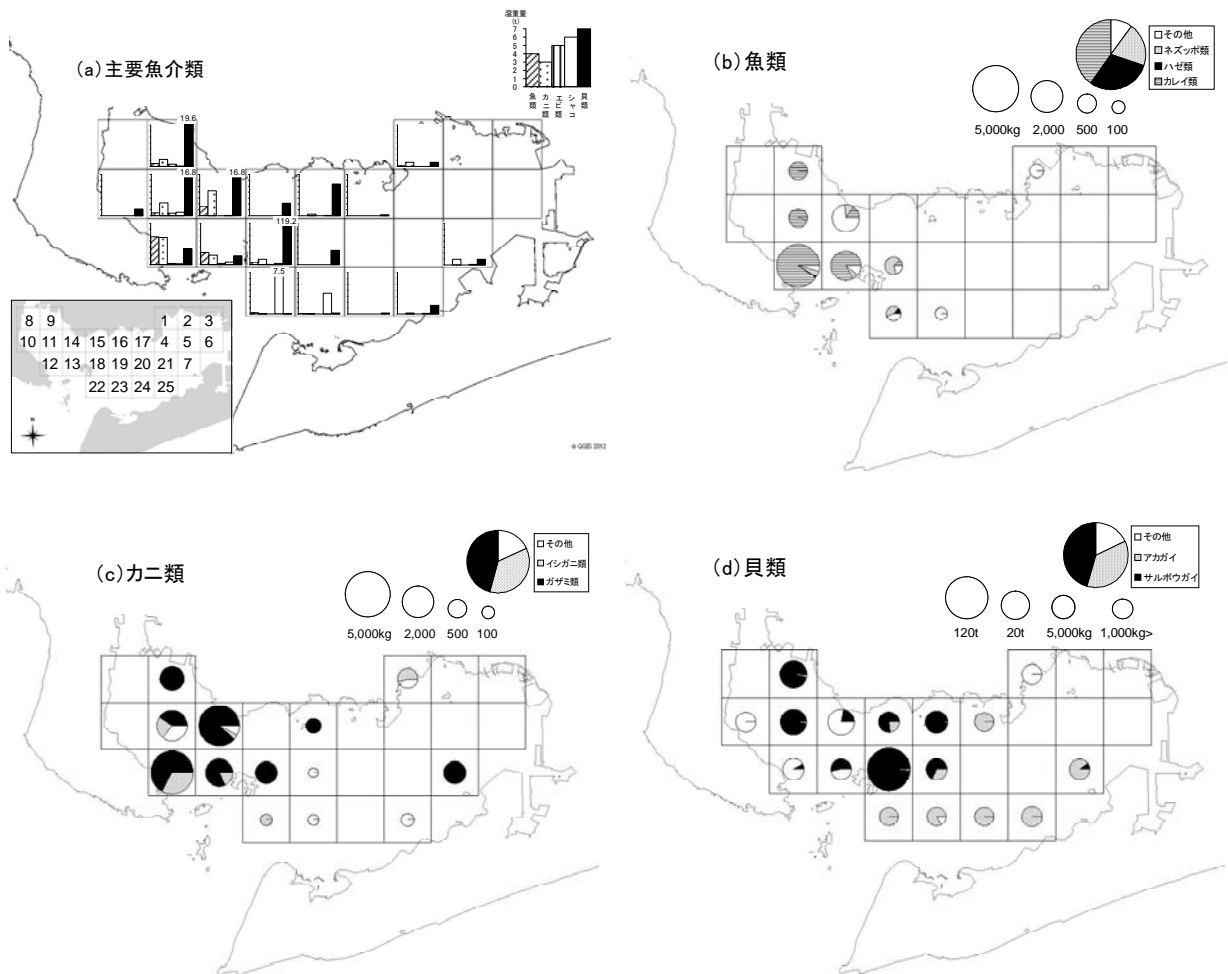


図 8 2012 年 9 月 6, 7 日における主要魚介類(a), 魚類(b), カニ類(c), 及び貝類(d)の分布・現存量 (a)左下図は水域区分(St.1~25)を示す。

表1 各水域区分における底層溶存酸素飽和度の平均値(2012年9月5日)と各分類群の現存量(2012年9月6, 7日)の相関係数と検定結果

分類群	順位相関係数(r_s)	p
魚類(エイ除く)	0.79	<0.01
カニ類	0.74	<0.01
二枚貝	0.64	<0.01

spearman's rank correlation

考 察

2012年及び1986年の貧酸素水塊の状況

1 2012年の空間分布観測及び定点連続観測による貧酸素水塊の推移

2012年において広範囲にわたって貧酸素水塊が形成されたのは8月中旬から9月上旬まで(図3)と1971年からの観測結果^{12, 13)}と比べると比較的短期間であった。1号ブイの連続データを見ると、6, 7月において底層D0の貧酸素化が短期的であるとともに、強い風が吹くと底層D0が上昇していた(図6)。また、6~10月の各月において1号ブイの底層が貧酸素化した時間の割合を過去5年平均と比較したところ、2012年は6, 7, 8月において過去5年よりも底層が貧酸素化した時間が少なかった(図7)。また、同様に風速10m/s以上の強風が観測された時間の割合を比較したところ、6, 7月においては強風の観測時間が多かった(図7)。このことから、2012年6, 7月における貧酸素水塊の解消は風速10m/s以上の強風によってある程度説明することができた。これまでに三河湾における貧酸素水塊の制限要因としては、北東風の卓越や淡水流入による物理的な海水交換の役割が大きいことが報告されている。^{12, 13)}本研究では風向や河川水量等と貧酸素水塊の消長との関係性については検討しなかったが、1号ブイの風速と底層D0の関係から、2012年に貧酸素水塊の発達が生じた長期的でなかった主な要因は、貧酸素水塊の解消に効果的な強風が一定間隔で吹いたことにより、鉛直混合が促進され、成層の形成期間が短かったことが考えられた。

2 1986年の貧酸素水塊の状況

過去に底びき網調査を行った1986年の貧酸素水塊の分布状況は石田・原¹²⁾が報告している(図3, 図9)。1986年は7~9月の月1回の観測を行い、7月2日には貧酸素水塊が渥美湾を中心に広がっており、その後、8月7日には一旦解消していたが、9月5日には再び貧酸素水塊が広がっていた。1986年に底びき網調査を実施したのは7月中旬であり、この時の貧酸素水塊の分布状況は不明である。しかし、1986年の気象状況を見ると、三河湾の湾口部にあたる伊良湖観測所において7月中は最大風

速が10m/s以上の風は観測されなかったが、8月5日に最大風速13.5m/sの強風が観測されており、¹⁴⁾この時、貧酸素水塊が一時的に解消したと考えられた。すなわち、1986年は7月上旬には貧酸素水塊が発達し、8月5日の強風により解消するまで、ある程度貧酸素水塊が維持されており、その状況で底びき網調査が行われたと推察された。

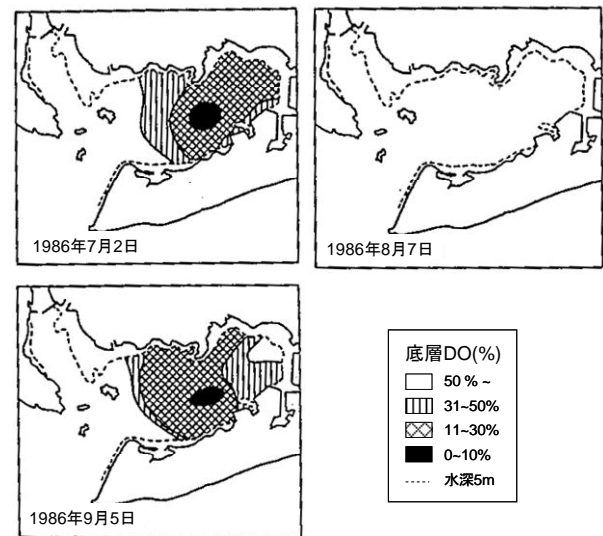


図9 1986年7~9月の貧酸素水塊の分布図(石田・原¹²⁾)

2012年夏季の三河湾における底生性魚介類と貧酸素水塊の分布

底びき網調査の結果、夏季の渥美湾奥から湾央及び知多湾奥は、底生性魚介類の生息しない海域が広がっていることが明らかとなった(図8)。多くの既往研究により、内湾では夏季の貧酸素水塊の発達が底生生物の回避や死滅など、底生生物群集に大きな影響を与えることが知られている。¹⁶⁻²⁴⁾本研究においても、夏季の三河湾における底生性魚介類は底層D0に対応して分布していることが明らかとなった(図5, 8, 表1)。また、魚類、カニ類及び貝類の順位相関係数の大小や貧酸素水塊に対するそれぞれの出現範囲の違いから、分類群によって底層の貧酸素化に対する生物応答が異なることが示唆された。すなわち、魚類及びカニ類の現存量は二枚貝と比較すると底層D0との相関が強く(表1)、調査時の底層D0により依存した分布特性を示していた。Diaz et al.¹⁸⁾は貧酸素水塊の影響の程度は各種の移動能力の大小や貧酸素耐性に大きく依存しているとしている。移動能力が

高く、貧酸素化に敏感な魚類や大型の甲殻類は貧酸素水塊を回避するとされており、¹⁹⁻²²⁾ 夏季の三河湾でも同様に、渥美湾及び知多湾奥の貧酸素水塊を避けることによって、結果的に貧酸素水塊の存在しない佐久島周辺に集中して現存量が多いことが推察できた。一方で、貝類の現存量は底層 D0 と有意な正の相関が認められたものの、魚類やカニ類と比較して相関係数は低かった(表1)。移動能力が低く、貧酸素耐性が比較的強い二枚貝^{20, 23)} にとっては、貧酸素水への接触時間が生残に大きく影響を及ぼすと考えられ、調査時の一時的な底層 D0 のみに対応して分布するのではなく、その時点に至るまでの貧酸素水塊の発達規模や継続期間などの履歴に影響を受けて分布を示す可能性が考えられた。2012年における貧酸素水塊は8月27日に最大面積となり、渥美湾のほぼ全域を覆ったが(図4)、広範囲にわたって形成された期間が比較的短かったため(図3)、沿岸部に生息する二枚貝は貧酸素水塊との接触時間が比較的短かったと考えられた。このため、二枚貝の中でも特に貧酸素耐性が強いと

されるアカガイ^{20, 24)} 及びサルボウ^{20, 25, 26)} が渥美湾沿岸及び佐久島周辺において、ある程度生き残ることができたと推察された。

底生性魚介類の分布の過去との比較

1986年調査における結果を図10に示した。以下に、主要魚介類、魚類、カニ類、シヤコ及び貝類の分布について、2012年の調査結果と過去との比較について述べる。

1 主要魚介類(図8-a, 図10-a)

2012年及び1986年に共通して、主要魚介類は佐久島周辺において多く、渥美湾奥部ではほとんど採集されなかった。三河湾における貧酸素水塊の分布の中心は主に渥美湾奥であることが報告されている。¹²⁾ 2012年と同様に、1986年の調査時においても渥美湾奥を中心に貧酸素水塊を形成していたことが推察され、両年に共通して見られた佐久島周辺に多く渥美湾奥部に少ない主要魚介類の分布は、貧酸素水塊が発達する典型的な夏季の三河湾における底生性魚介類の分布を反映していると考えられ

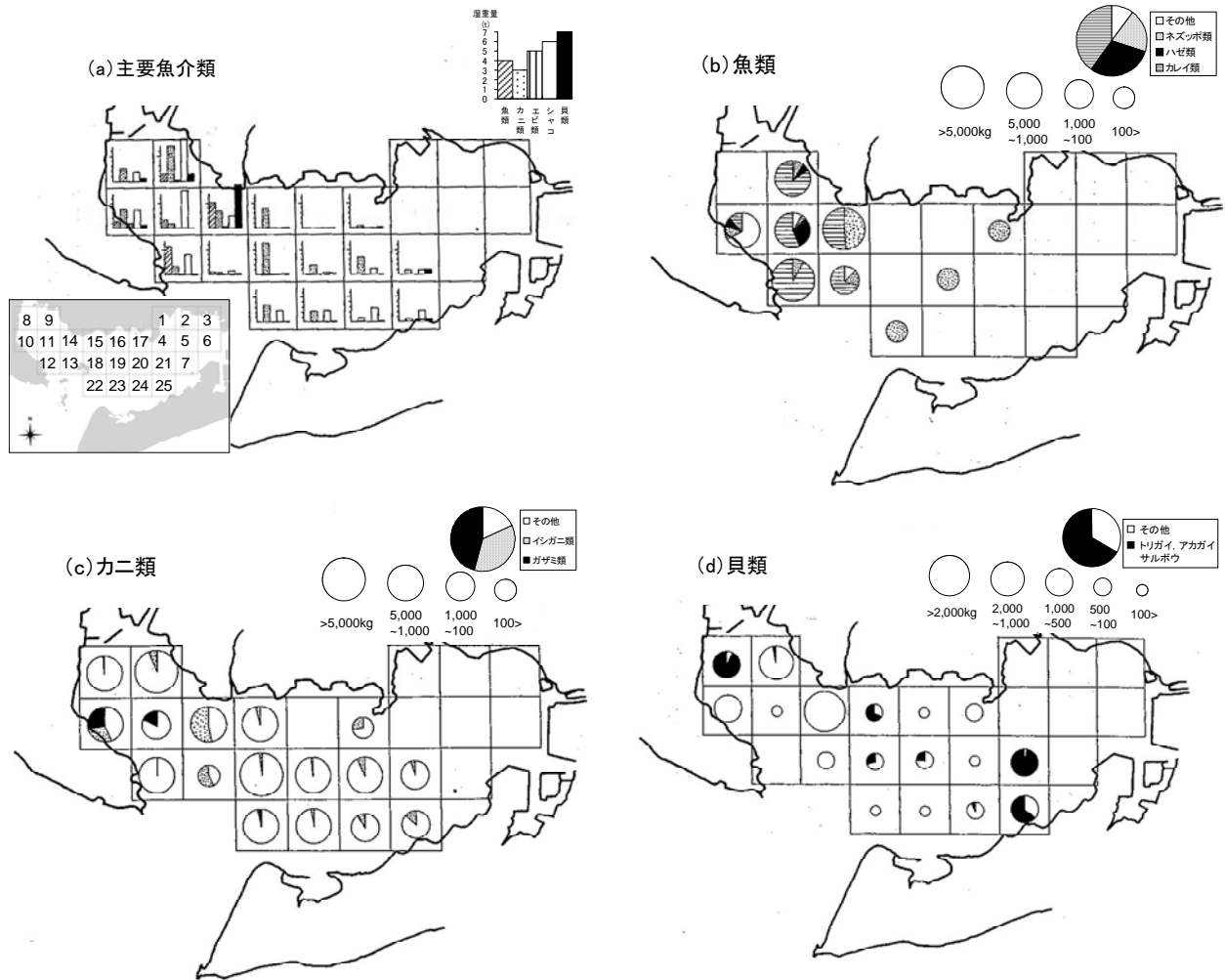


図10 1986年7月中旬における主要魚介類(a), 魚類(b), カニ類(c), 及び貝類(d)の分布・現存量(木村ら⁸⁾) (a)左下図は水域区分(St.1~25)を示す。

た。

2 魚類 (図 8-b, 図 10-b)

魚類については、2012 年と 1986 年の調査結果では概ね分布域が一致しており、約 25 年を経た現在でも、佐久島の西側を中心とした知多湾が底生性魚類の漁場として重要であることが考えられた。魚種別に見ると、ネズボ類の割合が減少しているように見えるが、袋網の目合いや調査日に若干の相違があるため、一様に比較することが出来なかった。

3 カニ類 (図 8-c, 図 10-c)

1986 年と比較して、2012 年の結果ではカニ類全体の出現範囲は狭くなり、その他のカニ類の分布が縮小したが、ガザミ類の分布が拡大した。近年、愛知県におけるガザミの漁獲量が増加傾向にあり、2010 年の漁獲量は全国一であった。²⁷⁾ 本研究の結果や、漁獲統計²⁷⁾ から、三河湾内におけるガザミの資源量が増加したことが示唆されるが、その要因の一つとして、1998 年から実施された干潟・浅場造成⁵⁾ の効果が考えられる。武田ら²⁸⁾ は人工干潟において、幼ガニが高密度で周年分布していたこと、また、秋季に小型個体が加入することを確認しており、人工干潟域がガザミ類の初期生活期における重要な秋季の着底場、冬季の越冬場、春季以降の生育場として機能していると報告している。なお、ガザミ類の拡大範囲は一色干潟縁辺部 (St. 9, 14, 16) や渥美湾の姫島沖 (St. 7) など、干潟・浅場造成箇所の沖合付近にあたる。⁵⁾ 三河湾における貧酸素水塊面積の経年変化からは顕著な改善傾向は見られないが、¹³⁾ 貧酸素水塊を回避できる干潟や浅場が、ガザミ類の資源拡大に効果的に働いている可能性が考えられた。一方で、2012 年と 1986 年と比較して、その他のカニ類の分布域が大幅に縮小した要因については不明であった。

4 シャコ (図 8-a, 図 10-a)

伊勢・三河湾のシャコの漁獲量は 1970 年代後半から 1980 年代にかけて県内で 1,500t 程度あったが、90 年代以降減少しており、近年では 500t 前後と低迷している。²⁹⁾ 1986 年には、知多湾や渥美湾南部において分布があった。さらに 1972 年～1976 年 9 月の底びき網調査 (まめ板網¹¹⁾ を使用) では、渥美湾中央から湾奥にかけてもシャコの採捕があったことが報告されている。⁷⁾ しかし、2012 年の調査では、ほぼ渥美湾南部の湾口部のみで採捕されており、三河湾におけるシャコ漁場の縮小及びその資源量低下が懸念された。シャコは他の甲殻類と比較すると貧酸素耐性があるとされているが、^{20, 26, 30)} 夏季の渥美湾奥の底層はそのシャコも生息困難な環境であることが示唆され、伊勢・三河湾系群の資源の形成に大き

な影響を与えていることが考えられた。

5 貝類 (図 8-d, 図 10-d)

2012 年の調査において県内の貝類漁獲量の多くを占めるアサリ²⁷⁾ の採捕は少なかった。これは底びき網調査の曳網水深がアサリの生息水深³¹⁾ よりも深かったためであると考えられ、多く採捕されたのはアサリよりも深場に生息するとされるサルボウ及びアカガイであった。2012 年及び 1986 年の貝類の合計の現存量を比較すると、2012 年の現存量が圧倒的に多かった。両年の底びき網調査では袋網の目合いに相違があり、また 1986 年の正確な現存量が不明であるため、一様な比較は行えないが、図 10-a から 1986 年のおおよその合計の現存量を算出すると約 19t であったのに対して、2012 年の合計の現存量はその約 10 倍の約 190t であった。本研究では、夏季の三河湾における二枚貝の生残には貧酸素水塊の発達規模や継続期間などの履歴が影響を与えることが考えられた。1986 年における貧酸素水塊の状況の詳細は不明であり、両年の比較を行うことができないが、2012 年については空間分布観測及び定点連続観測の結果から大規模に貧酸素水塊が形成された期間が比較的短く (図 3, 7), サルボウやアカガイを始めとする二枚貝の現存量が多かったと推察された。アカガイについては、1970 年代前半までは、知多湾奥及び渥美湾中央から湾奥にかけて、漁獲がみられていたが、2007 年の漁業者聞き取り情報では、その漁場は失われ、近年はほとんど漁獲がなかった。²⁹⁾ アカガイは 5～10 月に産卵し、漁獲サイズまでには、2 年を要する。³²⁾ したがって漁獲加入するまでに、毎年発生する貧酸素水塊に曝されるリスクが高いことが、漁獲量の低位につながっていると指摘されている。²⁹⁾ 2012 年の調査において、渥美湾沿岸や佐久島周辺など一部の沿岸部で漁獲サイズのアカガイを確認できたことは、2012 年だけではなくその前年の 2011 年においても上述の沿岸部での貧酸素水塊の影響が軽微であったと推察されるが、詳細な関係については検討できておらず、今後の課題である。

本研究では、三河湾全域を対象とした、えびけた網による小型機船底びき網調査を行い、断片的であるが夏季の底生性魚介類の分布を明らかにした。一方で、これまでの報告^{17, 19-21, 26)} では、貧酸素水塊の解消後は、遊泳力の高い分類群や卵・幼稚仔が湾奥にまで分散・加入することが知られており、1986 年秋季の貧酸素水塊解消後の調査でも、移動能力の高い魚類やカニ類が渥美湾奥まで拡大分布していた。⁸⁾ 従って、夏季以外においても底生生物群集が湾奥部をどのように利用しているのか

を調べることは、三河湾における底生生物群集の動態を解明するためにも重要である。今後は、三河湾における底生性魚介類の分布実態の季節変化、さらに経年変化を底層環境とともに継続的にモニタリングする必要がある。

要 約

大規模な貧酸素水塊が発生する夏季の三河湾における底生性魚介類の分布実態を把握するために、2012年夏季に貧酸素水塊の時空間的な分布状況をモニタリングするとともに、小型機船底びき網のえびけた網を用いて底生性魚介類の分布と現存量を調査した。さらに、1986年以前の底びき網調査の結果と比較して、夏季における底生性魚介類の生息分布の変化を考察した。その結果、底生性魚介類の現存量は底層の溶存酸素飽和度に依存しており、渥美湾奥部は底生性魚介類にとって生息困難な環境であった。過去の調査結果と比較すると、シャコについては生息分布域が縮小し、資源が減少していることが懸念された。一方、ガザミ類は、近年資源が増大していることが示唆され、その要因の一つとして干潟・浅場造成の効果が考えられた。また、2012年は発達した貧酸素水塊が形成された期間が短かったことによって、サルボウやアカガイなどの二枚貝の現存量が多く、二枚貝の生残には貧酸素水塊の発達規模や継続期間などの履歴が影響を与えることが考えられた。

謝 辞

底びき網調査には幡豆漁業協同組合の関係諸氏の協力を得て行われた。また、サンプルの選別及び同定には、吉村憲一副場長、岩田靖宏漁場環境研究部長、中嶋康生主任研究員、戸田有泉技師、及び中山富久子氏に多大なる協力をいただいた。各氏に深謝いたします。

- 1) Suzuki T (2001) Oxygen-deficient waters along the Japanese coast and their effects upon the estuarine ecosystem. *Journal of environmental quality*, 30(2), 291-302.
- 2) 愛知県水産試験場 (1995) 平成 6 年夏季におけるアサリの大量へい死について. 愛知県水産業績 C-16. pp21.
- 3) 武田和也・石田基雄 (2003) 土砂採取に伴う浚渫窪地における顕著な貧酸素化現象について. 愛知水試研報, 10, 7-14.
- 4) 鈴木輝明・大橋昭彦・和久光靖 (2011) 内湾の水質環境の現状と課題 伊勢・三河湾を例として. 海洋

と生物, 33 (2), 117-126.

- 5) 石田基雄・黒田伸郎 (2007) 三河湾における環境修復の取り組み. 月刊海洋, 39, 35-43.
- 6) Suzuki T (2004) Large-scale restoration of tidal flats and shallows to suppress the development of oxygen deficient water masses in Mikawa Bay. *Bulletin of Fisheries Research Agency*, 1, 111-121.
- 7) 東海区水産研究所・南西海区水産研究所・水産大学校 (1978) 昭和 51 年度農林水産生態系における汚染物質の循環と指標生物に関する研究. pp241.
- 8) 木村仁美・平澤康弘・中野堅司 (1987) 昭和 61 年度赤潮対策技術開発試験報告書. 愛知県水産試験場, pp54
- 9) 今林博道 (1998) 貧酸素下のベントスの生残戦略. 月刊海洋, 30 (3), 125-132.
- 10) 阿知波英明 (2008) 愛知県沿岸にある湾の範囲はどこか?-太平洋, 伊勢湾, 三河湾, 知多湾と渥美湾のそれぞれの境界についての考察-. 愛知水試研報, 14, 23-29.
- 11) 愛知県 (1987) 愛知の漁具漁法. 10-12.
- 12) 石田基雄, 原保 (1996) 伊勢・三河湾における水質変動と富栄養化について. 愛知水試研報, 3, 29-41.
- 13) 黒田伸郎, 藤田弘一 (2006) 伊勢湾と三河湾の貧酸素水塊の短期変動及び長期変動の比較. 愛知水試研報, 12, 5-12.
- 14) 気象庁過去の気象データ検索
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 15) 今林博道 (1983). 底生動物群集に及ぼす貧酸素水塊の影響. 日水誌, 49 (1), 7-15.
- 16) 風呂田利夫 (1988) 東京湾における貧酸素水の底生・付着動物群集に与える影響について. 沿岸海洋研究ノート, 25 (2), 104-113.
- 17) 風呂田利夫 (1991) 東京湾内湾底生動物の生き残りと繁栄. 沿岸海洋研究ノート, 28 (2), 160-169.
- 18) Diaz RJ, Rosenberg R (1995) Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioral responses of benthic macrofauna. *Oceanography and marine biology. An annual review*, 33, 245-03.
- 19) 有山啓之・矢持進・佐野雅基 (1997a) 大阪湾湾奥部における大型底生動物の動態について I. 甲殻類と魚類の種類数・個体数・湿重量の季節変化. 沿岸海洋研究, 35 (1), 75-82.
- 20) 有山啓之・矢持進・佐野雅基 (1997b) 大阪湾湾奥

- 部における大型底生動物の動態について II. 主要種の個体数・分布・体長組成の季節変化. 沿岸海洋研究, 35 (1), 83-91.
- 21) 米田佳弘・吉田司・小山善明 (2003) レーダー画像解析による大阪湾のマアナゴ漁場の変動把握. 水産海洋研究, 67 (1), 1-8.
- 22) 小林良則 (1993) 東京湾における低酸素水域の分布と小型底びき網の漁獲量の関係. 神奈川県水産試験場報告, 14, 27-39.
- 23) Gray JS, Wu RS, Or YY (2002) Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. *Marine Ecology Progress Series*, 238, 249-279.
- 24) 高見東洋・吉岡貞範・岩本哲二・中村達夫・井上泰 (1980) アカガイの増殖に関する研究. 昭和 54 年度指定調査研究総合助成事業報告書, 山口県内海水産試験場, pp19.
- 25) 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, 179-185.
- 26) Phil L, Baden SP, Diaz RJ (1991) Effects of periodic hypoxia on distribution of demersal fish and crustaceans. *Marine Biology*, 108 (3), 349-360.
- 27) 動向調査資料 No. 153 水産業の動き 2012 (2012) 愛知県農林水産部水産課, pp79.
- 28) 武田和也・石田基雄・家田喜一・石田俊朗・桑江朝比呂・鈴木輝明 (2007) 人工干潟域における埋在性メガベントス群集の生物生産機能および水質浄化機能. 水産工学, 44 (1), 11-19.
- 29) 中村元彦 (2012) 伊勢・三河湾の海産資源. 愛知大学総合郷土研究所三河湾の海里山の総合研究 III 里海の自然と生活 II 印南敏秀編, 102-131.
- 30) 船越茂雄 (1981) IV 漁業生物 三河湾・環境と漁業. 東海区水産研究所業績 C 集さかな, 26, 83-120.
- 31) 秋山吉寛・齊藤肇・南部亮元・田中良男・桑原久実 (2011) 三重県松名瀬の砂質干潟におけるアサリの空間分布と生息環境. 応用生態工学, 14 (1), 21-34.
- 32) (社) 日本水産資源保護協会 (1993) II 報文 水産生物の生活史と生態 (その 14) IV 貝類 1. アカガイ. (社) 日本水産資源保護協会月報, 349, 9-11.

付表 各水域区分における種ごとの個体数, 現存量 (kg), 溶解酸素濃度及び水温 (1)

St.	大分類群	小分類群	種または最小分類単位名	個体数/16km ²	現存量(kg)/16km ²	種数	溶解酸素濃度(mg/L) (水温(°C))※1
1	魚類	その他	アカエイ	17,449	6,587.8	10	—※2
		その他	ヒラギ	52,347	158.8		
		イシガニ類	イシガニ	52,347	366.4		
		その他	マルガニ	17,449	216.4		
		その他	シロケンコブシ	17,449	97.7		
		巻貝	ナガニ	17,449	171.0		
		巻貝	ヤツシロガイ	17,449	507.8		
		棘皮動物	スナヒトデ	87,245	889.9		
			モミジガイ	366,428	1,012.0		
			ウミシダ目	17,449	78.5		
		小計		663,061	10,066.3		2.56-2.97 (27.5-27.6)
2	貝類	巻貝	不明種	4,747	ND	1	0.96-1.21 (26.5-26.6)
3	魚類	その他	アカエイ	4,484	42,726.4	1	0.64-0.84 (25.7-25.8)
4	魚類	その他	アカエイ	4,484	42,726.4	1	0.64-0.84 (25.7-25.8)
5	刺胞動物	ミズクラゲ	9,391	ND	1	0.00-0.00 (25.3-25.3)	
6	魚類	その他	アカエイ	4,088	1,250.4	5	0.85-0.87 (26.5-26.6)
		カサミ科	カサミ	8,135	964.8		
		シヤコ	シヤコ	8,135	83.0		
		二枚貝	アカガイ	20,338	837.1		
		二枚貝	サルボウ	12,203	93.1		
		小計		52,878	3,228.4		
7	魚類	その他	アカエイ	5,500	20,682.7	1	3.13-3.37 (25.9-26.0)
8	魚類	その他	アカエイ	5,500	20,682.7	1	3.13-3.37 (25.9-26.0)
9	魚類	カレイ類	ウシソシタ科	2,552	210.3	13	2.83-3.77 (25.3-25.6)
		カレイ類	マコガレイ	25,519	247.5		
		カレイ類	メイタガレイ	2,552	19.9		
		その他	アカエイ	5,104	17,981.0		
		カサミ科	カサミ	5,104	1,193.8		
		クマエビ	クマエビ	20,415	275.6		
		カニ類	カニ	2,552	25.0		
		クマエビ	クマエビ	10,208	75.0		
		シヤコ	シヤコ	5,104	63.3		
		二枚貝	アカガイ	10,208	591.5		
		二枚貝	サルボウ	755,367	18,965.3		
		巻貝	シロボヤ	25,519	1,536.3		
		不明	不明種	306,230	11,692.9		
		小計		870,203	52,887.4		0.00-0.10 (25.4-26.0)
10	貝類	二枚貝	エマイボタン	1,101.2	1,101.2	1	4.86-5.53 (25.5-25.7)
11	魚類	カレイ類	イシガレイ	2,418	102.5	23	
		カレイ類	マコガレイ	2,418	279.5		
		カレイ類	メイタガレイ	2,418	84.4		
		カレイ類	ネズツボ科	2,418	22.2		
		カサミ科	カサミ	4,836	872.1		
		イシガニ類	イシガニ	67,698	539.4		
		その他	不明種	24,178	205.5		
		その他	マルガニ	36,267	544.0		
		クマエビ	クマエビ	9,671	171.7		
		クマエビ	クマエビ	88.5	88.5		
		シヤコ	シヤコ	12,089	188.1		
		シヤコ	シヤコ	43,520	609.8		

付表 各水域区分における種ごとの個体数, 現存量 (kg), 溶解酸素濃度及び水温 (2)

St.	大分類群	小分類群	種または最小分類単位名	個体数/16km ²	現存量(kg)/16km ²	種数	溶解酸素濃度(mg/L) (水温(°C))※1
11	魚類	カレイ類	イシガレイ	2,873	41.1	24	3.37-4.27 (25.4-25.5)
		カレイ類	ウシソシタ科	11,491	349.9		
		カレイ類	マコガレイ	37,346	935.1		
		カレイ類	メイタガレイ	89,056	2,909.6		
		ハゼ類	不明種	2,873	58.6		
		ネズツボ科	ネズツボ	31,601	219.8		
		その他	アカエイ	2,873	317.7		
		その他	カエルアンコウ属	2,873	157.4		
		その他	サツバ	2,873	39.6		
		カサミ科	カサミ	14,364	3,117.8		
		イシガニ類	イシガニ	258,551	1,528.9		
		クマエビ	クマエビ	2,873	50.8		
		クマエビ	クマエビ	8,618	156.3		
		シヤコ	シヤコ	14,364	133.9		
		ヤドカリ類	ヤドカリ	17,237	360.2		
		不明種	不明種	5,746	170.1		
		二枚貝	エマイボタン	48,837	2,202.3		
		二枚貝	コイサキ	17,237	60.9		
		二枚貝	サルボウ	5,746	206.8		
		巻貝	不明種	11,491	64.9		
		巻貝	イイダコ	2,873	125.8		
		巻貝	イイダコ	5,746	102.8		
		棘皮動物	オカメフンブク	17,237	406.8		
		棘皮動物	モミジガイ	137,894	537.8		
		小計		752,671	14,255.1		
13	魚類	イシガレイ	イシガレイ	15,876	471.3	25	5.99-6.29 (25.9-25.9)
		カレイ類	ウシソシタ科	6,804	517.6		
		カレイ類	メイタガレイ	27,216	703.3		
		カレイ類	ネズツボ科	4,536	127.2		
		その他	アカエイ	2,268	150.8		
		その他	シロサハシガ	4,536	222.7		
		カサミ科	カサミ	6,804	1,337.2		
		イシガニ類	イシガニ	58,968	300.3		
		シロハエビ	シロハエビ	11,340	154.0		
		クマエビ	クマエビ	2,268	29.7		
		シヤコ	シヤコ	340,200	388.3		
		ヤドカリ類	ヤドカリ	72,576	1,147.6		
		貝類	サルボウ	36,288	789.3		
		二枚貝	不明種	31,752	53.5		
		巻貝	ヒロトラダマ	31,752	653.2		
		巻貝	イイダコ	2,268	17.2		
		巻貝	クマエビ	9,072	294.8		
		巻貝	シンドウイカ	2,268	42.9		
		巻貝	エボヤ	158,759	1,889.2		
		巻貝	シロボヤ	72,576	1,333.6		

付表 各水域区分における種ごとの個体数、現存量(kg)、溶存酸素濃度及び水温(3)

St.	大分類群	小分類群	種または最小分類単位名	個体数/16km ²	現存量(kg)/16km ²	溶存酸素濃度(mg/L) (水温(°C))※1	種数
13続	棘皮動物	-	オカメブク	90,720	698.5	-	
		-	サンショウウ二	18,144	335.7	-	
		-	ヒラモジガイ	9,072	40.8	-	
		-	マトダ	4,536	4.5	-	
		-	モミジガイ	580,606	1,633.0	-	
		小計		1,295,023	13,336.2	-	24
14	魚類	カレイ類	イシガレイ	3,688	76.3	-	
		カレイ類	ウシソウタ科	1,759	3,688	-	
		カレイ類	ネズツボ科	14,750	153.0	-	
		その他	アイコ	307.9	3,079	-	
		その他	アカエイ	3,688	560.5	-	
		その他	アミノハギ	59,002	ND	-	
		その他	メシソウ属	7,375	78.9	-	
		その他	マゴチ	3,688	4,783	-	
		その他	ウニコチ	11,063	300.5	-	
		カサミ類	カサミ科	36,876	3,200.9	-	
		カサミ類	タイワンガサミ	7,375	555.4	-	
		その他	イシガニ類	7,375	175.2	-	
		その他	ヒンガニ	25,813	331.5	-	
		二枚貝	サルボウ	177,006	3,658.1	-	
		二枚貝	ハカガイ	3,776.1	118,004	-	
		巻貝	アカニシ	66,377	9,136.5	-	
		巻貝	ツマタガイ	3,688	1,940	-	
		頭足類	イイダコ	22,126	171.8	-	
		背索動物	シロホヤ	3,776.124	106,085.5	-	
		棘皮動物	サンショウウ二	11,063	1,069	-	
			スナヒトデ	1,652,054	43,012.4	-	
			モミジガイ	413,014	5,133.2	-	
			ハスノハカシハシ	11,627,071	294,814.2	-	
		小計		18,069,346	462,533.9	-	7
15	魚類	その他	アカエイ	4,097	905.4	-	
		二枚貝	アカガイ	10,242	479.3	-	
		二枚貝	サルボウ	61,492	1,603.9	-	
		背索動物	シロホヤ	6,145	274.5	-	
		棘皮動物	スナヒトデ	57,355	1,222.9	-	
			モミジガイ	14,339	145.4	-	
			ハスノハカシハシ	24,581	551.0	-	
		小計		178,211	5,182.5	-	5
16	魚類	その他	アカエイ	2,084	15,001.5	0.96-2.36 (25.4-25.7)	
		カサミ類	カサミ科	4,169	273.5	-	
		シヤコ	シヤコ	396	396	-	
		二枚貝	サルボウ	229,286	5,338.6	-	
		巻貝	サキウロタマツメタ	4,169	34.2	-	
		小計		243,877	20,687.4	-	1
17	貝類	二枚貝	アカガイ	4,166	132.7	1.65-2.59 (26.3-26.8)	
		小計		4,166	132.7	-	10
18	魚類	カレイ類	イシガレイ	4,168	49.9	3.31-4.05 (25.4-25.6)	
		ネズツボ類	ネズツボ科	45,733	278.6	-	
		その他	アカエイ	6,236	21,521.8	-	
		その他	マゴチ	2,079	81.1	-	
		カサミ類	カサミ科	2,079	900.1	-	
		シヤコ	シヤコ	6,236	58.2	-	
		シヤコ	シヤコ	20,788	180.9	-	
		二枚貝	アカガイ	16,630	1,047.7	-	
		二枚貝	コイサキ	6,236	62.4	-	
		二枚貝	サルボウ	6,119,970	118,075.5	-	

付表 各水域区分における種ごとの個体数、現存量(kg)、溶存酸素濃度及び水温(4)

St.	大分類群	小分類群	種または最小分類単位名	個体数/16km ²	現存量(kg)/16km ²	溶存酸素濃度(mg/L) (水温(°C))※1	種数
18続		巻貝	ヒロノタマ	2,079	60.3	-	
		小計		6,232,225	142,316.3	-	5
19	魚類	その他	アカエイ	2,099	281.2	1.13-1.53 (25.0-25.1)	
		カニ類	マルハバニ	7.1	7.1	-	
		貝類	アカガイ	10,493	776.9	-	
		二枚貝	サルボウ	67,155	1,652.2	-	
		刺胞動物	ミスクラゲ	4,197	ND	-	
		小計		86,043	2,717.5	-	1
20	棘皮動物	-	モミジガイ	4,061	ND	0.36-0.40 (23.0-23.0)	
		小計		4,061	-	-	2
21	魚類	その他	アカエイ	755.6	755.6	0.44-0.50 (25.1-25.2)	
		刺胞動物	ミスクラゲ	53,655	3,509.9	-	
		小計		58,127	4,265.6	-	10
22	魚類	ハゼ類	不明種	2,057	25.5	4.52-5.58 (25.6-25.7)	
		ネズツボ類	ネズツボ科	12,342	84.1	-	
		その他	イボダイ	2,057	85.6	-	
		イシガニ類	イシガニ属	10,285	58.8	-	
		シヤコ	シヤコ	643,834	7,469.5	-	
		二枚貝	アカガイ	2,057	41.8	-	
		頭足類	コウイカ	14,399	451.7	-	
		棘皮動物	シンドウイカ	6,171	86.0	-	
		不明	モミジガイ	6,171	14.0	-	
		小計		2,057	81.9	-	9
23	魚類	その他	アカエイ	701,430	8,398.8	3.57-4.05 (25.4-25.6)	
		その他	シログチ	3,977	479.2	-	
		その他	マルハバニ	5,965	63.6	-	
		口脚類	シヤコ	1,988	30.6	-	
		貝類	アカガイ	318,123	3,532.4	-	
		二枚貝	アカガイ	1,988	123.7	-	
		二枚貝	カガミガイ	1,988	24.7	-	
		頭足類	コウイカ	3,977	89.9	-	
		背索動物	シロホヤ	21,871	406.2	-	
		棘皮動物	モミジガイ	3,977	7.4	-	
		小計		363,853	4,757.5	-	2
24	魚類	その他	アカエイ	2,232	19,610.0	2.32-2.84 (25.3-25.4)	
		二枚貝	アカガイ	2,232	142.6	-	
		小計		4,463	19,752.6	-	4
25	カニ類	その他	マルハバニ	3,956	117.1	1.81-1.94 (25.4-25.5)	
		口脚類	シヤコ	7,912	87.8	-	
		貝類	アカガイ	15,824	1,472.0	-	
		刺胞動物	ミスクラゲ	3,956	ND	-	
		小計		31,647	1,676.9	-	ND
		総計		31,005,803	855,472.0	-	

※1 2012年9月6日及び7日に行われた底びき網調査の身網場所における2012年9月5日時点での底層溶存酸素濃度(底層水温)の最小値及び最大値をGISソフトを用いて算出した。

※2 身網場所がGISソフトの計算区域外であった。