

伊勢湾における底層溶存酸素量の変化に伴う 大型底生生物の小型底びき網への入網状況

日比野 学^{1*†}, 青山高士², 松澤忠詩¹, 谷 光太郎¹

Changes of dominant megabenthos caught by small-bottom trawl in relation to bottom dissolved oxygen concentration in Ise Bay, central Japan

Manabu HIBINO^{1*†}, Takashi AOYAMA², Tadashi MATSUZAWA¹ and Koutarou TANI¹

溶存酸素の変化に応じた大型底生生物や漁業に及ぼす影響を明らかにするために、夏季の伊勢湾において小型底びき網による漁獲調査を行い、入網状況と曳網時の底層溶存酸素飽和度（以下DO）を比較した。昼夜問わず、混獲物の採集量はDO22–36%で多く、漁獲物についても同様の傾向が見られ、貧酸素水塊（DO10%以下）の縁辺部は、混獲物量が多くなるとともに漁業収益性も増加すると考えられた。採集された種数や多様度指数（ H^* ）にはDOと正の相関がみられたが、CPUEはDO22%で最大値がみられ、貧酸素に対する忌避行動に伴う集群により採集量が増大すると推定された。CPUE最大時のDO等が種間で異なった点は、溶存酸素に対する忌避応答性の違いを反映すると推定され、漁場では実験的な致死濃度（LC50等）より高い溶存酸素レベルで大型底生生物の健全分布が阻害されている可能性が考えられた。特に、漁獲量と漁獲金額のDOとの関係からDO20%以下では小型底びき網漁業は成り立たないと考えられた。

To estimate the changes in dominant megabenthos catch in relation to dissolved oxygen (DO) concentration in bottom water in Ise Bay, Japan, we conducted a field study with small-bottom trawl. The catch per unit effort (CPUE) of non-fishery targets increased at 22–36% DO saturation, around the edge of the hypoxic area (approximately less than 10% DO saturation) regardless of the surveys being conducted during day or night. CPUE of fisheries targets was also high at the same hypoxic edge; however, this was indicated only in the nighttime survey for the large catch of the conger eel *Conger myriaster*. These results indicated that hypoxia of the semi-closed bay induced an avoidance behavior in megabenthos due to the mass non-selective catch of the bottom trawl, but it simultaneously increased the catch. The number of species and the modified Shannon–Wiener diversity index (H^*) were positively correlated with DO (% saturation), but not with CPUE. It was suggested that the increase of CPUE could be an index of the avoidance behavior in megabenthos in facing to hypoxic water. Both CPUE and economic profits decreased under DO30% saturation and only few megabenthos were caught under DO20%. Different avoidance behavior were taken by the dominant 15 species of non-fishery targets as observed from the different relationships between CPUE and DO saturations. The species that showed relatively slow avoidance against the hypoxia evaluated from CPUE-weighted average DO were goneplacid crab, *Carcinoplax vestiva* (DO26%; 1.92 mg/l); Japanese mantis shrimp, *Oratosquilla oratoria* (DO30%; 2.24 mg/l); and small dragonets, *Repomucenus valenciennei* (DO30%; 2.21 mg/l). The abnormal distribution and behavior of megabenthos, including that of fishery targets, occurred at higher DO saturation levels than those in experimental LC50 and affected bottom-trawl fishery.

Key words: megabenthos, distribution, hypoxic edge, small bottom trawl, dissolved oxygen (DO) concentration, Ise Bay

2013年12月9日受付、2015年9月2日受理

¹ 愛知県水産試験場漁業生産研究所

Marine Resources Research Center, Aichi Fisheries Research Institute, 2–1 Toyohama, Minami-chita, Chita-gun, Aichi 470–3412, Japan

² 愛知県水産業振興基金栽培漁業部

Department of Stock Enhancement, Aichi Fisheries Promotion Fund, 1–3 Ichizenmatsu, Konakayama, Tahara, Aichi 441–3618, Japan

* 現所属：愛知県農林水産部水産課

Fisheries Administration Division, Department of Agriculture, Forestry, and Fisheries, Aichi Prefectural Governmental Office, 3–1–2 Sannomaru, Naka-ku, Nagoya, Aichi 460–8501, Japan

† manabu_hibino@pref.aichi.lg.jp

はじめに

伊勢・三河湾では1960年代から港湾整備に伴う干潟・浅海域の埋め立てが盛んに行われ、二枚貝類による水質浄化機能の低下等による内湾底層の貧酸素化が拡大し、とりわけ底生生態系の劣化や底生水産資源に対し大きな影響を与えたと考えられている (Suzuki, 2004; 鈴木ほか, 2011). このような閉鎖的内湾における環境改善施策として、水質総量規制に基づき陸域からの流入負荷の削減がなされ、特に2001年に定められた第5次総量規制から全窒素及び全リンが汚濁防止に係る指定項目に追加された。しかしながら、伊勢湾では依然として赤潮や貧酸素水塊の発生は深刻であり (鈴木ほか, 2011), 貧酸素水塊の発生規模の年変動が底生水産資源の漁獲量変動に影響を与えることが示唆されている (中村・黒田, 2005). とりわけ、伊勢湾においては夏季に溶存酸素飽和度が30%以下となる貧酸素水塊が毎年発生し、湾面積の半分以上で底生生物の生存が困難とされる海域が拡大する (黒田・藤田, 2006). 底生生物にとって、酸素は必要不可欠であり、貧酸素水塊が様々な種において分布や個体群動態に影響を及ぼす (Hossain and Sekiguchi, 1996; 池島・清水, 1996; 有山ほか, 1997a, b; Narita et al., 2003; 成田ほか, 2006; Kodama et al., 2006, 2010; 丸茂・横田, 2012; 曾根ほか, 2013). このようななか、2010年3月に策定された環境省の「閉鎖性海域の中長期ビジョン」の中では、新たな環境基準として底層 (下層) 溶存酸素量が提案されている。一方で、生物の生存限界や分布を制限する具体的な溶存酸素量は、室内実験 (矢沢・池田, 1988; 矢持・佐野, 1992; 矢持ほか, 1998) および埋在性の二枚貝や多毛類 (今林, 1983; 鈴木ほか, 1998) を除き、野外調査を通じて漁業対象種や大型底生生物について種ごとに定量的に検討された例は少ない。伊勢湾の主要漁業種の一つである小型底びき網は、貧酸素水塊の影響を顕著に受ける漁業であり、基準化にあたっては漁業にとって望ましい溶存酸素条件を検討する必要がある。また、採集に漁具を用いることで、移動能力の高い大型甲殻類や魚類等についても、溶存酸素に対する分布や応答も詳しく検討できると考えられる。

小型底びき網漁業において、夏季に貧酸素水塊が拡大時の縁辺部で漁獲量が増大することが知られている (有山ほか, 1997a, b; 石井・加藤, 2005). また、小型底びき網では漁獲対象生物以外の底生生物の混獲がしばしば資源管理上の問題となり、その混獲実態や季節変化および小型有用魚の投棄などが明らかにされている (平井・西ノ首, 2003; 大畑ほか, 2005; 木村・檜山, 2005). 伊勢湾の小型底びき網においても混獲による有用資源の成長乱獲を助長する可能性が考えられるが、溶存酸素の変化に伴う混獲状況についてはこれまで他海域を含め報告された事例はほとんどない。混獲実態と溶存酸素の関係を明らかにすることは、漁場利用方法等により資源管理効果を最大化する方策

を検討する上でも重要な知見となる。

本研究では、夏季の伊勢湾において小型底びき網漁業による調査を行い、大型底生生物の入網状況と曳網時の底層溶存酸素量を直接把握することで、溶存酸素量が各生物や漁業に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

材料と方法

漁獲調査

調査では、知多半島南部に位置する豊浜漁業協同組合所属の開口板を装備した板びき網漁船を備船し、操業時に用いる袋網目合い14節 (約23 mm) の漁具を使用した。2012年6月25日、26日、7月30日、31日、8月27日、28日、9月20日、21日の合計8日間において、伊勢湾南部海域の異なる水深帯に設定した4本の調査ライン (Ln.1-Ln.4) 上において試験操業を行った (Fig. 1). 調査地点は最も岸側をLn.1とし、沖側をLn.4とした (Fig. 1). 昼の調査 (6月26日、7月31日、8月28日、9月21日) は午前7時に、夜の調査 (6月25日、7月30日、8月27日、9月20日) では午後7時にそれぞれ豊浜漁港を出港し、Ln.1から順に各地点3.0-3.5ノット程度の船速で20-30分程度曳網した。なお、1回の調査行程に要した時間はおおむね6時間程度であった。また、各月の昼夜の調査は、1日目に夜調査、2日目に昼調査とし、連続した2日間で行った。各地点における投網前と揚網後に有線式の溶存酸素計 (YSI model58, YSI) により海底上約1 m (B-1 m) の溶存酸素飽和度 (以下DO) を測定するとともに、漁船に具備された魚群探知機によって曳網水深を記録した。なお、解析に用いたDO値は、曳

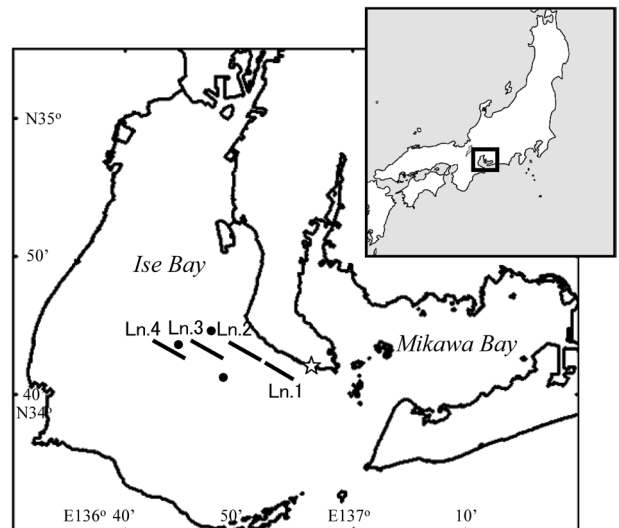


Figure 1. Map showing the 4 sampling lines in the central area of Ise Bay. The 3 black dots indicate the stations where the B-1 m salinity and temperature parameter were used for calculation of DO saturation to concentration. Star symbol is locality of Toyohama fishing port.

網前後の測定値のうち低い方の値とした。本研究ではDOを測定したが、2012年8月22日に観測した調査海域近傍の3地点 (Fig. 1) におけるB-1 mの平均水温と平均塩分を用い、次の定式により溶存酸素濃度に換算した。

$$DO \text{ (mg} \cdot \text{l}^{-1}\text{)} = 0.0738 \times DO \text{ (\%)} \text{ (1)}$$

結果および考察においては、DOに加え溶存酸素濃度も併記することとする。なお、調査期間中の底層水温は上昇傾向にあり、溶存酸素飽和度に対する溶存酸素濃度は7月より8月が低かったが、溶存酸素飽和度30%に対する7月と8月の差は0.04 mg・l⁻¹未満と微差であった。

各曳網において得られた入網物は、漁獲物と混獲物に区分した。漁獲物は、用船した漁船の漁業者に聞き取りをし、水揚げ対象となる生物およびサイズと定義したが、マコガレイ *Pleuronectes yokohamae* とメイタガレイ *Pleuronichthys cornutus* は全量漁獲物とした。それ以外の水揚げ対象にならない生物と小型魚については混獲物と定義した。揚網後、直ちに漁獲対象物を選別した後、残った混獲物を分割して一部 (3-4 kg程度) を氷冷して研究室に持ち帰った。漁獲物と混獲物は、可能な限り下位の分類群まで同定を行い、分類群ごとに個体数と湿重量を計測した。また、豊浜市場の調査日直近の市場統計による魚種別単価を漁獲物の湿重量に乗じることで、各曳網時の漁獲金額を推定した。得られたデータは曳網時間により、単位曳網時間 (1時間) あたりのデータ (CPUE) として表示した。また、主要な漁獲物7種と優占混獲物上位15種についてCPUEとDOの関係性を種ごとに検討した。DOの指標として、各種のCPUE最大時 (CPUE max) のDO、および各曳網のCPUEにDOを乗じた値を合計のCPUEで除したDOの加重平均値 (加重平均DO; Weighted average DO) をそれぞれ求めた。また、混獲物の個体数組成から、自然対数を底としたShannon-Wienerの多様性指数Hに森下 (1996) の補正項を加えることで補正Shannon-Wiener多様性指数H*を曳網ごとに算出し、各曳網時DOと底生生物群集の多様性を比較した。

結果

調査ラインの水深と溶存酸素

調査期間中の平均水深は (Fig. 2), Ln.1で最も浅く約22 mであり、Ln.2で約28 m, Ln.3で約33 m, Ln.4で約35 mと沖に行くに従って深くなった。一方、調査期間中の平均DOは (Fig. 2), Ln.1では約70% (5.17 mg・l⁻¹), Ln.2で約49% (3.62 mg・l⁻¹), Ln.3で約36% (2.66 mg・l⁻¹), Ln.4で約22% (1.62 mg・l⁻¹)と沖に行くに従って低くなった。また、Ln.2やLn.3では平均DOの標準偏差が大きかった。調査時のDOを調査地点別にみると (Fig. 3), 昼夜ともに傾向は同じであり、6月から8月にかけて各地点ともにDOは低下し、9

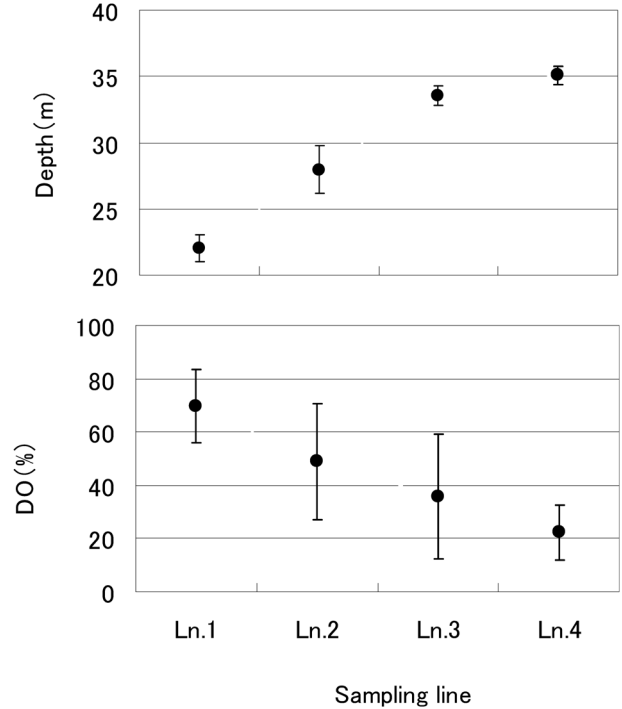


Figure 2. Averages of the depth (above) and dissolved oxygen saturation (DO%) (below) of the sampling lines during the sampling period. Vertical bars show standard deviation during the sampling period.

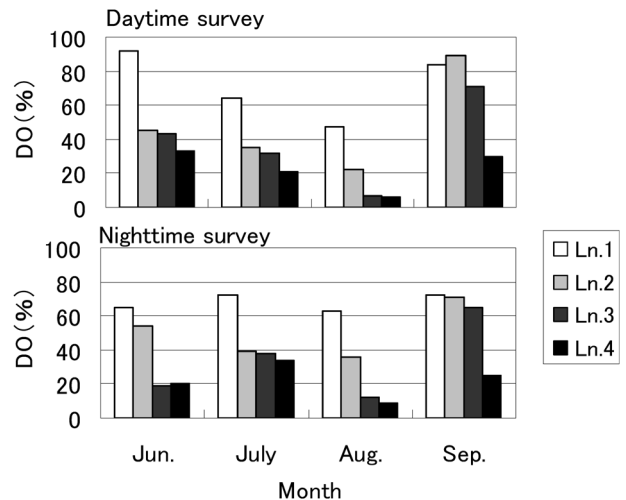


Figure 3. Comparison of dissolved oxygen saturation (DO%) among the sampling lines in daytime survey (above) and night time survey (below).

月には回復した。地点別には、沖側の地点ほどDOは低く、特に8月のLn.3とLn.4はいずれもDO10% (0.74 mg・l⁻¹)以下の極めて低い溶存酸素量であった。

漁獲量および混獲物量の時空間変化

調査期間中、漁獲物として3網26科41種の魚介類が採集

Table 1. Dominant species of fisheries targets based on the catch money and total wet weight collected by small bottom trawl during the sampling period.

Japanese name	Scientific name	Rank	Catch money (yen)	Rank	Wet weight (kg)
Maanago	<i>Conger myriaster</i>	1	160,349	2	119.0
Madako	<i>Octopus vulgaris</i>	2	83,910	1	130.2
Syako	<i>Oratosquilla oratoria</i>	3	58,300	5	58.8
Gazami	<i>Portunus trituberculatus</i>	4	52,868	4	63.7
Saruebi	<i>Trachysalambria curvirostris</i>	5	32,890	3	64.7
Meitagarei	<i>Pleuronichthys cornutus</i>	6	17,828	7	34.4
Hamo	<i>Muraenesox cinereus</i>	7	11,857	13	8.3
Jindouika	<i>Loliolus japonica</i>	8	7,748	9	33.7
Shirogisu	<i>Sillago japonica</i>	9	6,816	12	15.0
Maruaji	<i>Decapterus akaadsi</i>	10	4,650	8	33.8
Kouika	<i>Sepia esculenta</i>	11	4,097	18	4.5
Shirosabafugu	<i>Lagocephalus wheeleri</i>	12	3,669	10	19.9
Maaji	<i>Trachurus japonicus</i>	13	3,528	11	16.4
Kurumaebi	<i>Marsupenaeus japonicus</i>	14	2,442	30	0.4
Yoshiebi	<i>Metapenaeus ensis</i>	15	2,380	23	1.4
Makogarei	<i>Pleuronectes yokohamae</i>	16	2,098	19	3.7
Katakuchiiwashi	<i>Engraulis japonicus</i>	17	1,624	6	40.6
Ibodai	<i>Psenopsis anomala</i>	18	1,465	17	4.9
Houbou	<i>Chelidonichthys spinosus</i>	19	1,362	14	6.9
Shibaebi	<i>Metapenaeus joyneri</i>	20	1,193	24	1.4
Gima	<i>Triacanthus biaculeatus</i>	24	835	15	5.3
Akakamasu	<i>Sphyraena pinguis</i>	22	990	16	5.1
Maeso	<i>Saurida sp.2</i>	26	351	20	3.5

された。調査中のすべての曳網を合計した漁獲金額および漁獲量における上位20種についてTable 1に示した。主な漁獲物は、漁獲金額においてマアナゴ *Conger myriaster*、マダコ *Octopus vulgaris*、シャコ *Oratosquilla oratoria*、ガザミ *Portunus trituberculatus*、サルエビ *Trachysalambria curvirostris* が上位であり、漁獲量においてはマダコ、マアナゴ、サルエビ、ガザミ、シャコの順であった。上位5種の合計漁獲金額は約38.8万円、合計漁獲量は436.3 kgであり、それぞれ全体の83.2%と63.6%を占めた。各調査月の地点ごとの漁獲量のCPUEを昼夜別にFig. 4に示した。漁獲量のCPUEは、8月の夜のLn.2で約80 kg・h⁻¹と顕著に高かった以外、昼夜で大きな差は見られなかった。6月にはLn.1やLn.2で30–60 kg・h⁻¹程度と比較的高く、7月にはLn.3やLn.4でも若干高くなったが、8月にはLn.3およびLn.4では著しく低くなった。また、9月には全調査地点で漁獲が見られたものの、7月以前に比べると低かった。

各調査月の地点ごとに推定された1時間当たりの漁獲金額について、昼夜別にFig. 5に示した。単位時間当たりの漁獲金額は、昼では高い時で2万円を超えるが低い時には5千円を下回る場合も見られた。7月はいずれの地点でも1万円を超えた。特に8月のLn.3とLn.4、および9月には、漁獲金額が低かった。漁獲金額を構成する魚種は、6月と7月にはマダコやガザミ、シャコの割合が高かったが、9月以降にはシロサバフグ *Lagocephalus wheeleri* やアカカマ

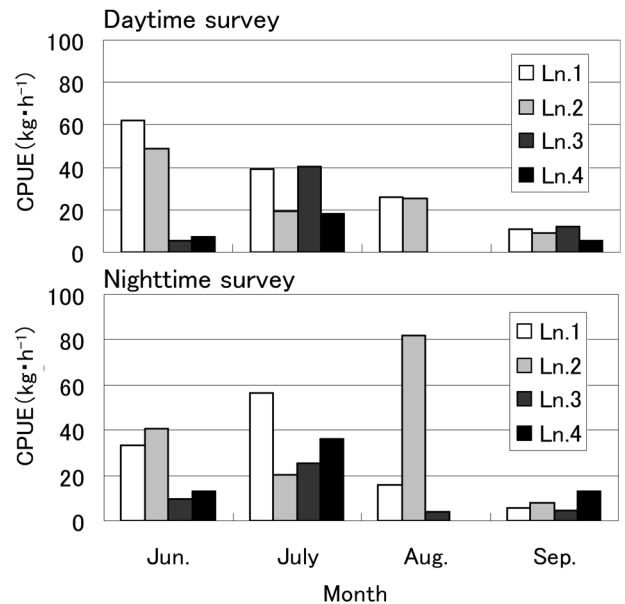


Figure 4. Comparison of CPUE (kg・h⁻¹) based on the fisheries targets catch amount among the sampling lines in daytime survey (above) and night time survey (below).

ス *Sphyraena pinguis* などその他の割合が高くなった。夜では、6月と7月には1万円を上回り、同じ調査ラインにも関わらず昼の1.5–2倍程度になる場合もみられた。魚種は、

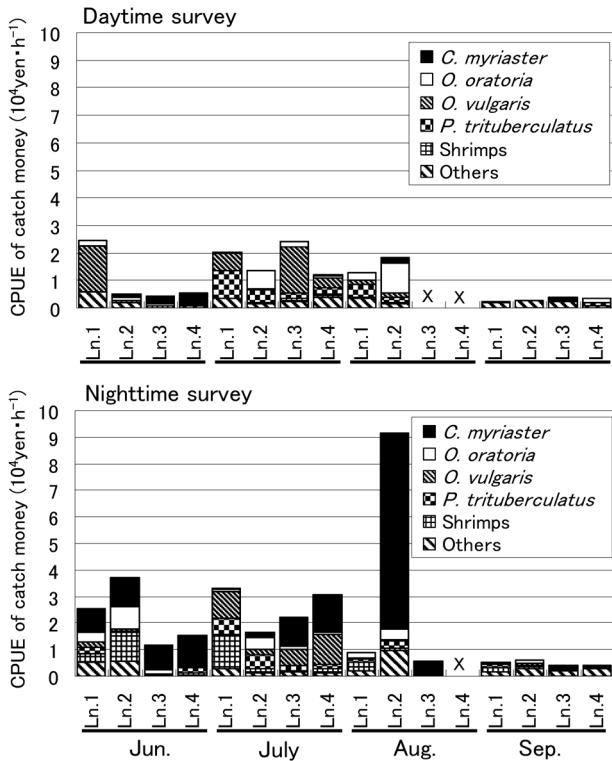


Figure 5. Comparison of CPUE based on the fisheries targets catch money (10^4 yen·h⁻¹) and the composition of those species or groups among the sampling lines in daytime survey (above) and night time survey (below). Cross indicates no catch.

マアナゴやエビ類が中心となり、昼の魚種とは異なった。特に8月のLn.2では9万円を超す漁獲金額がみられたが、大部分はマアナゴの大量入網によるものであった。また、9月以降には昼と同様に漁獲金額は低かった。

調査期間を通じた混獲物として11網64科以上を含む81種類以上の生物が採集され、湿重量および個体数において優占した種についてTable 2に示した。調査期間中に得られた混獲物は、湿重量ではフタホシシガニ *Charybdis bimaculata*、シャコ、ケブカエンコウガニ *Carcinoplax vestiva*、カタクチイワシ *Engraulis japonicus*、ジンドウイカ *Loliolus japonica* の順で多く、個体数ではモミジガイ *Astropecten scoparius*、フタホシシガニ、シャコ、ケブカエンコウガニ、サルエビの順に多かった。各調査月の地点ごとの混獲物湿重量のCPUEを昼夜別にFig. 6に示した。混獲物湿重量のCPUEは、昼夜で明瞭な差は見られず、8月のLn.2で300–400 kg·h⁻¹と顕著に高かった。混獲物湿重量のCPUEは6月と7月に高かったが、9月の調査時には全地点で低かった。また、月別の分類群組成の変化をみると (Fig. 7)、6月と7月は魚類とカニ類が優占する類似した組成であったが、8月にシャコの割合が高くなり、9月にはシャコとカニ類の割合が低下し、魚類の割合が高くなった。

漁獲物および混獲物と溶存酸素

DOと主要な漁獲物のCPUEおよび漁獲金額との関係をFig. 8に示した。CPUEおよび漁獲金額は、DOが約20%を下回ると著しく減少した。いずれの種においても、DOとCPUEには明瞭な正の相関はみられず、CPUEが最大を示したDOは種ごとに異なった。ガザミとサルエビのCPUEのピークはDO64% (4.72 mg·l⁻¹) と72% (5.31 mg·l⁻¹) で出現し、CPUEで重み付けした加重平均DOは47% (3.45 mg·l⁻¹) と61% (4.47 mg·l⁻¹) であり比較的高かった (Table 3)。マダコはDO32% (2.36 mg·l⁻¹) と92% (6.79 mg·l⁻¹) にCPUEの極大値がみられ、加重平均DOは54% (3.99 mg·l⁻¹) であった (Table 3)。マアナゴ、シャコ、マコガレイおよびメイトガレイでは、CPUEの最大値はDO21% (1.55 mg·l⁻¹) から36% (2.66 mg·l⁻¹) で出現した。それぞれの加重平均DOはシャコで42% (3.11 mg·l⁻¹)、マコガレイで41% (3.00 mg·l⁻¹)、マアナゴで36% (2.66 mg·l⁻¹)、メイトガレイで35% (2.60 mg·l⁻¹) の順に高かった (Table 3)。また、全体の漁獲量と漁獲金額の最大値は、両者ともDO36% (2.66 mg·l⁻¹) で出現し、加重平均DOは漁獲量で50% (3.72 mg·l⁻¹)、漁獲金額で46% (3.40 mg·l⁻¹) であった (Table 3)。

主要な混獲物の種ごとのCPUEとDOの関係をFig. 9に示した。漁獲物と同様に、いずれの種においても、CPUEとDOには明瞭な正の相関はみられず、CPUEが最大値を示すDOは種によって異なる傾向がみられた。CPUEの最大値を示したDOは (Fig. 9, Table 4)、カノコセワタ科で最も低くDO20% (1.48 mg·l⁻¹) であり、ついでフタホシシガニで (21%; 1.55 mg·l⁻¹)、ケブカエンコウガニ (22%; 1.62 mg·l⁻¹)、ハタタテヌメリ *Repomucenus valenciennae* (22%; 1.62 mg·l⁻¹)、シャコ (22%; 1.62 mg·l⁻¹) であった。一方、テンジクダイ *Apogon lineatus* やサルエビでは72% (5.31 mg·l⁻¹) と高いDOでCPUEの最大値がみられた。加重平均DOを種ごとにみると (Fig. 9, Table 4)、ケブカエンコウガニが最も低く26% (1.92 mg·l⁻¹)、ついでハタタテヌメリ (30%; 2.21 mg·l⁻¹)、シャコ (30%; 2.24 mg·l⁻¹)、カノコセワタ科 (32%; 2.36 mg·l⁻¹)、フタホシシガニ (34%; 2.54 mg·l⁻¹)、ゲンコ *Cynoglossus interruptus* (36%; 2.66 mg·l⁻¹)、アカハゼ *Amblychaeturichthys hexanema* (37%; 2.71 mg·l⁻¹)、カタクチイワシ (40%; 2.95 mg·l⁻¹)、モミジガイ (42%; 3.11 mg·l⁻¹)、アカエビ *Metapenaeopsis barbata* (46%; 3.39 mg·l⁻¹)、スナヒトデ (48%; 3.53 mg·l⁻¹)、ジンドウイカ (49%; 3.61 mg·l⁻¹)、ヒメガザミ *Portunus hasta* (52%; 3.82 mg·l⁻¹)、テンジクダイ (53%; 3.93 mg·l⁻¹)、サルエビ (57%; 4.24 mg·l⁻¹) の順であった。CPUE最大時のDOと加重平均DOの値の大小は、種によって傾向が異なった (Table 3, Table 4)。漁獲物のメイトガレイとマアナゴおよび混獲物のケブカエンコウガニ、シャコ、ゲンコ、アカハゼ、ヒトデ類ではCPUE最大時および加重平均DO

Table 2. Dominant species and class of non fisheries targets based on total wet weight and individual number collected by small bottom trawl during the sampling period.

Japanese name	Scientific name	Rank	Wet weight (kg)	Rank	Individual number
Futahoshiishigani	<i>Charybdis bimaculata</i>	1	220.8	2	31,866
Syako	<i>Oratosquilla oratoria</i>	2	182.3	3	18,614
Kebukaenkougani	<i>Carcinoplax vestiva</i>	3	100.8	4	17,610
Katakuchiiwashi	<i>Engraulis japonicus</i>	4	84.2	7	8,325
Jindouika	<i>Loliolus japonica</i>	5	56.6	8	7,737
Momijigai	<i>Astropecten scoparius</i>	6	56.4	1	50,301
Saruebi	<i>Trachysalambria curvirostris</i>	7	55.3	5	11,896
Akahaze	<i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	8	49.4	9	6,156
Hatatateneri	<i>Repomucenus valencienni</i>	9	41.3	6	9,719
Kanokokisewata-zoku	<i>Philineopsis</i> spp.	10	25.0	11	2,946
Maeso	<i>Saurida</i> sp.2	11	22.9	25	656
Maaji	<i>Trachurus japonicus</i>	12	19.5	10	3,874
Genko	<i>Cynoglossus interruptus</i>	13	18.3	16	1,674
Tenjikudai	<i>Apogon lineatus</i>	14	17.0	12	2,682
Sunahitode	<i>Luidia quinaria</i>	15	14.6	26	647
Shiroboya-zoku	<i>Styela</i> spp.	16	12.7	19	1,017
Itohikihaze	<i>Myersina filifer</i>	17	12.4	14	1,780
Akaebi	<i>Metapenaeopsis barbata</i>	18	12.4	18	1,436
Sappa	<i>Sardinella zunasi</i>	19	9.6	40	208
Tokageeso	<i>Saurida elongata</i>	20	9.3	36	232
Himegazami	<i>Portunus hasta</i>	24	6.9	13	2,049
Hanamushiro	<i>Zeuxis mitralis</i>	40	2.2	15	1,752
Okihiragi	<i>Leiognathus rivulatus</i>	23	7.7	17	1,669
Maruaji	<i>Decapterus akaadi</i>	28	5.0	20	904

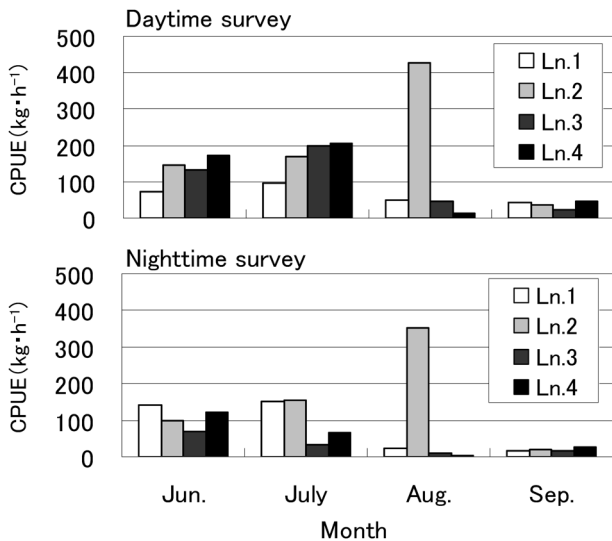


Figure 6. Comparison of CPUE ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$) based on the non-fisheries targets catch amount among the sampling lines in daytime survey (above) and night time survey (below).

値はほぼ同一となり、漁獲物のマコガレイとシャコおよび混獲物のフタホシシガニとヒメガザミでは加重平均DOのほうが高く、漁獲物のガザミ、マダコ、サルエビおよび

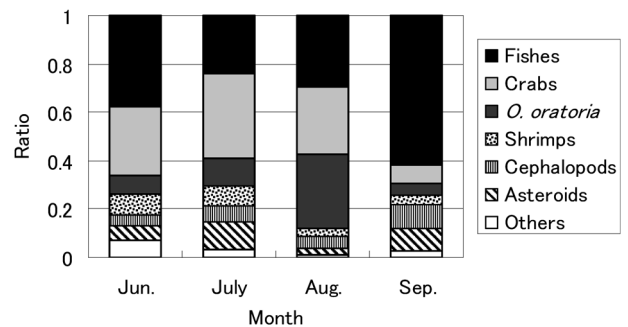


Figure 7. Total composition of non-fisheries target species and groups based on the CPUE ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$) of catch amount including all sampling line and daytime and nighttime survey in each month.

混獲物のアカエビ、サルエビ、テンジクダイ、シャコではCPUE最大時のDOのほうが高かった。

混獲物全重量のCPUE、種数および補正多様度指数 H^* とDOの関係をFig. 10に示した。混獲物全重量のCPUEは、DOが約20%を下回ると著しく低かった。また、混獲物全重量のCPUEには、相関関係はみられずDO22% ($1.62 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$)で最大値がみられ、加重平均DOは40% ($2.94 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$)であった (Fig. 10, Table 4)。一方、種数 ($n=32, r=0.50, p<0.01$)

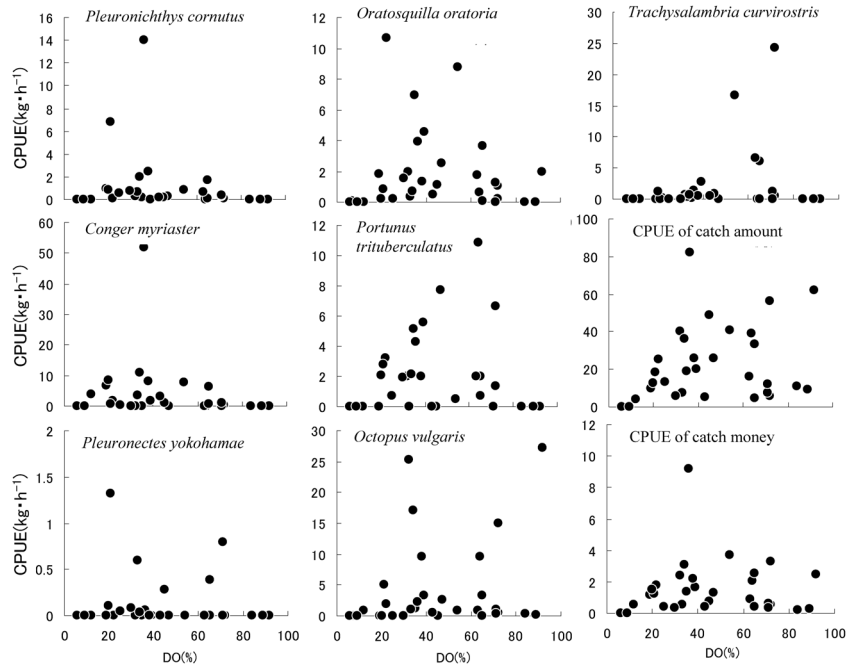


Figure 8. Relationships between the CPUE based on the fisheries targets of 7 major species and the dissolved oxygen saturation (DO%), showing total CPUE of catch amount ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$), and total CPUE of catch money.

Table 3. DO (%) values when CPUE showed maximum for fisheries target and weighted average DO (%) and those estimated concentration DO (mg/l) in each species, CPUE of catch amount, number of species and modified Shannon–Wiener diversity index.

Japanese name/Item	Scientific name	DO (%) CPUE max)	Estimated DO ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$; CPUE max)	Weighted average DO (%)	Estimated DO ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)
Meitagarei	<i>Pleuronichthys cornutus</i>	36	2.66	35	2.60
Maanago	<i>Conger myriaster</i>	36	2.66	36	2.69
Makogarei	<i>Pleuronectes yokohamae</i>	21	1.55	41	3.00
Syako	<i>Oratosquilla oratoria</i>	22	1.62	42	3.11
Gazami	<i>Portunus trituberculatus</i>	64	4.72	47	3.45
Madako	<i>Octopus vulgaris</i>	92	6.79	54	3.99
Saruebi	<i>Trachysalambria curvirostris</i>	72	5.31	61	4.47
CPUE of catch amount (kg/h)	—	36	2.66	50	3.72
CPUE of catch money (yen/h)	—	36	2.66	46	3.40

および多様度指数 H^* ($n=32, r=0.40, p<0.05$) と DO の間には有意な正の相関がみられ, 加重平均 DO はそれぞれ 47% ($3.47 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) と 46% ($3.39 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) であった (Fig. 10, Table 4).

考察

内湾における小型底びき網において, 混獲投棄による生態系の攪乱や有用資源の成長乱獲が問題となっている. 貧酸素水塊が広がる 6 月から 9 月に行った本研究では, 曳網 1 時間あたりの混獲量は 100 kg を超え, また DO によって混獲

量に変化することが示唆された. 特に, 最も貧酸素水塊が拡大した 8 月 (愛知県水産試験場貧酸素水塊情報: <http://www.pref.aichi.jp/0000009720.html>) の Ln.2 において, 昼夜問わず混獲量は約 400 kg/h と極端に多くなった. その時の Ln.2 の DO は 22% ($1.62 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) と 36% ($2.66 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) であり, より水深が深い Ln.3 と Ln.4 では DO は 12% ($0.89 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) 以下と極めて低いことから, 貧酸素水塊が拡大した時の縁辺部が, 小型底びき網において混獲量が特に多くなる条件の一つであると考えられた. 特に, 入網物にはシャコやカレイ類等の有用資源の小型魚が多数含まれたが, 夏季にお

底層溶存酸素量の変化と底生生物の入網状況

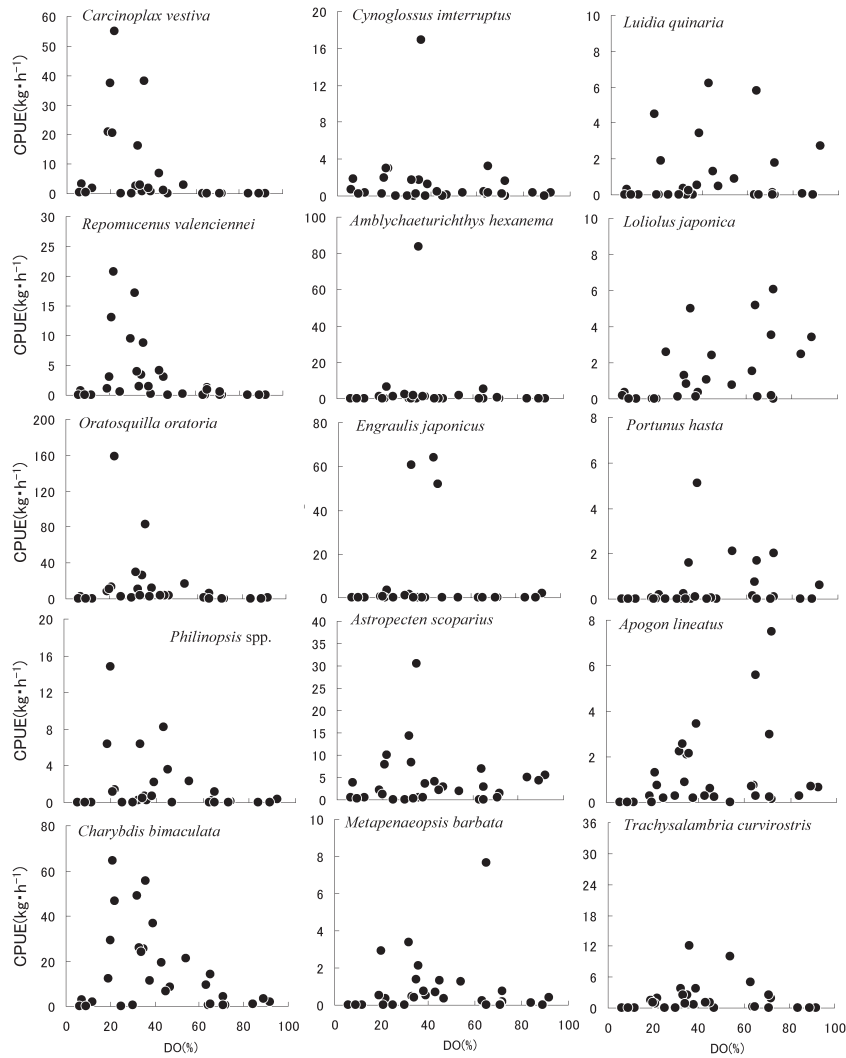


Figure 9. Relationships between the dissolved oxygen saturation (DO%) and the CPUE based on the non-fisheries targets of 15 dominant species.

ける再放流時の生残率は低いとされ（大畑ほか，2005；富山・岩崎，2005），貧酸素水塊の縁辺部での漁獲は成長乱獲を助長することが懸念される（大富ほか，1992；亘ほか，2011）。また，伊勢湾の底びき網漁業では漁業地区により昼操業と夜操業がみられるが，昼夜で混獲量に差がなかったことから，操業時間帯によらず混獲による資源への影響は変わらないと推定される。一方で，漁獲金額および漁獲量が最も増加したのも同じDO条件であり，貧酸素水塊の縁辺部においては，混獲物量が多くなるとともに漁業収益性も増加すると考えられた。本研究の結果と類似する例として，大阪湾においてマアナゴを漁獲するあなご籠漁船が貧酸素水塊の縁辺部に集中し（米田ほか，2003），有山ほか（1997b）も「潮押し」と呼ばれる貧酸素水塊縁辺での多獲現象を報告している。また，東京湾でも貧酸素水塊の縁辺においてズキ漁獲量の増大が報告されている（石

井・加藤，2005）。本研究における漁獲金額の増加はマアナゴによるものであり，同様に貧酸素水塊の縁辺が収益性の高い漁場となることを示している。これらの特徴は，当該海域において混獲軽減のための資源管理方策への合意形成が困難になる要因と考えることができる。

混獲物の湿重量のCPUEは9月になると著しく減少し，分類群組成をみても，6月と7月に優占した甲殻類の割合は顕著に低下し，魚類が主体となった。貧酸素水塊の拡大時における酸欠による減耗や混獲死亡による資源量の減少は，移動能力の乏しい甲殻類でより顕著であると考えられる（成田ほか，2006）。比較的遊泳能力の高い魚類はいったん回避し，貧酸素水塊解消後には元の海域に戻ると推定されるが（富山，1993），DOが回復した9月の現存量は極めて低く，個体群の減少や逸散が考えられた。また，同様に漁獲量と漁獲金額は9月に極めて低位であり，6月から8

Table 4. DO (%) values when CPUE showed maximum for non fisheries target and weighted average DO (%) and those estimated concentration DO (mg/l) in each species, CPUE of catch amount, number of species and modified Shannon–Wiener diversity index.

Japanese name/Item	Scientific name	DO (%) (CPUE max)	Estimated DO (mg·l ⁻¹ ; (CPUE max)	Weighted average DO (%)	Estimated DO (mg·l ⁻¹)
Kebukaenkougani	<i>Carcinoplax vestiva</i>	22	1.62	26	1.92
Hatatatenumeri	<i>Repomucenus valenciennesi</i>	22	1.62	30	2.21
Syako	<i>Oratosquilla oratoria</i>	22	1.62	30	2.24
Kanokokisewata-ka	<i>Philinopsis</i> spp.	20	1.48	32	2.36
Futahoshiishigani	<i>Charybdis bimaculata</i>	21	1.55	34	2.54
Genko	<i>Cynoglossus interruptus</i>	36	2.66	36	2.66
Akahaze	<i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	36	2.66	37	2.71
Katakuchiiwashii	<i>Engraulis japonicus</i>	43	3.17	40	2.95
Momijigai	<i>Astropecten scoparius</i>	35	2.58	42	3.11
Akaebi	<i>Metapenaeopsis barbata</i>	65	4.80	46	3.39
Sunahitode	<i>Luidia quinaria</i>	43	3.17	48	3.53
Jindouika	<i>Loliolus japonica</i>	35	2.58	49	3.61
Himegazami	<i>Portunus hasta</i>	39	2.88	52	3.82
Tenjikudai	<i>Apogon lineatus</i>	72	5.31	53	3.93
Saruebi	<i>Trachysalambria curvirostris</i>	72	5.31	57	4.24
CPUE of catch amount (kg/h)	—	22	1.62	40	2.94
No. of species	—	72	5.31	47	3.49
Modified Shannon–Wiener Index	—	92	6.79	46	3.39

月までの平均漁獲量の28–39%, 平均漁獲金額の20–26%にそれぞれ減少しており, 貧酸素水塊の解消後もしばらくは漁業に悪影響を残すと考えられた。また, 溶存酸素の顕著な低下の見られなかったLn.1でも漁獲量が減少している点は, 貧酸素水塊拡大時の主漁場として常に漁獲圧にさらされた結果, 資源量が減少した可能性が推測され, 貧酸素水塊の拡大が間接的に周辺漁場の資源にも影響を及ぼす可能性を示唆している。

本研究では, 夏季の伊勢湾の底生生物相を代表する7種の漁獲物および15種の混獲物についてCPUEとDOの関係を検討し, 種ごとにCPUEとDOの関係が異なることを示した。いずれの種においてもDO20% (1.48 mg·l⁻¹)を下回るとCPUEはほぼゼロとなり, 対象とした底生生物はこのDOでは分布できないと考えられた。過去の研究では, 内湾における底生生物の出現種数, 分布密度および多様度指数にはDOと正の相関がみられ (今林, 1983; 風呂田, 1991), 特に分布密度はDOの低下とともに指数関数的に減少することが報告されている (今林, 1983)。一方, 本研究において混獲物の種数および個体数組成から得られた補正 Shannon–Wiener の多様度指数 H^* には, 同様にDOと正の相関がみられたが, CPUEには相関はみられずDO22% (1.62 mg·l⁻¹)で最大となった。種数と多様度指数に正の相関がみられたことは, DOの低下に伴って分布する生物種が限られるため, 個体数組成においても種間で偏りが生

じるためと推定される (今林, 1983; 風呂田, 1991)。また, DOの低下に伴って底生生物の忌避行動による縁辺部へ集群が報告されており (丸茂・横田, 2012), 本研究でみられた低いDOにおけるCPUEの上昇は, 忌避行動による集群で小型底びき網漁具の漁獲効率が高まった可能性が考えられる。したがって, 本研究において見られたCPUEの上昇は, 生息好適環境による高密度分布を表すのではなく, 貧酸素に対する生物応答の結果と考えるのが妥当であり, そのDOは底生生物の忌避行動の指標と考えられる。CPUEの最大値を示したDOは種ごとに異なり, 最も低い種はシャコとマコガレイであり, それぞれ22% (1.62 mg·l⁻¹)と21% (1.55 mg·l⁻¹)であった。小林 (1993)では, これらの種では2 ml·l⁻¹ (2.86 mg·l⁻¹)の溶存酸素で忌避行動が始まると推定しており, 本研究の結果におけるCPUE最大時には既に忌避状態にあったと考えられる。一方で, 加重平均DOは, CPUEが増大する過程が反映されることから, 忌避状態へ移行する平均的なDO条件と考えられる。底生生物の貧酸素耐性が調べられた室内実験によると, DOの半数致死濃度 (LC50)は, マコガレイ *Pleuronectes yokohamae*で1.86 mg·l⁻¹ (矢持ほか, 1998), ガザミ *Portunus trituberculatus*で0.63–0.93 mg·l⁻¹ (Yamochi et al., 1995), ヨシエビ *Metapenaeus ensis*で0.77 mg·l⁻¹ (Wu et al., 2002)であり, シャコでは0.56 mg·l⁻¹で活性が失われへい死がみられる (矢沢・池田, 1988)。本研究で得られた加重平均

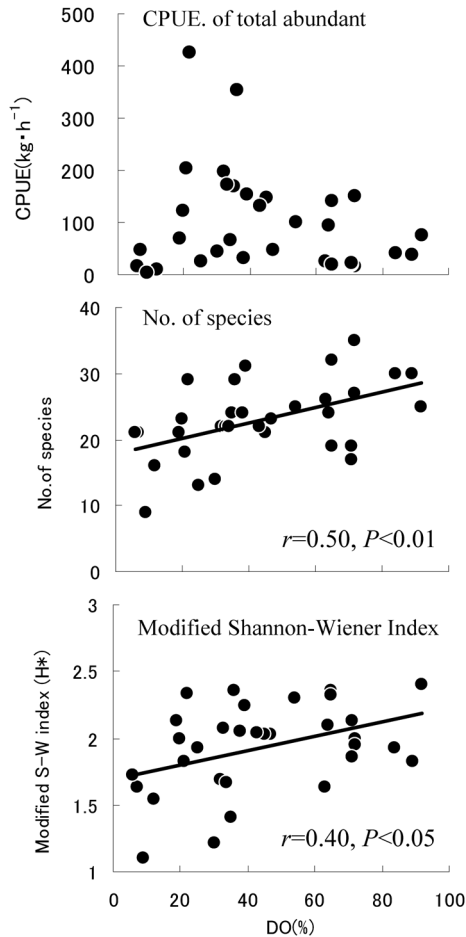


Figure 10. Relationships between the dissolved oxygen saturation (DO%) and total CPUE of catch amount ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$), number of species, modified Shannon–Wiener diversity index based on the non-fisheries target catch.

DOは、いずれの種においてもこれらより高く、実海域において底生生物の健全分布を保証するためには LC_{50} 等のへい死条件より高いDOが必要と考えられた。

種間でみられたCPUE最大時のDOと加重平均DOの差は、溶存酸素に対する応答性の種間差を反映している可能性がある。CPUE最大時のDOのほうがより高いテンジクダイ、ジンドウイカ、ガザミ、エビ類は、DO条件に対応していち早く移動を開始し、常に高いDO条件に分布すると推測される。また、加重平均DOのほうがより高いフタホシシガニやヒメガザミなどは、ある程度貧酸素耐性を持ちつつ、遊泳肢を持つなど移動性も比較的高いものと推定される。一方、CPUE最大時のDOと加重平均DOがほぼ同一だった種は、貧酸素に対して忌避への移行が遅いまたは移動能力が乏しく、結果として貧酸素水塊の縁辺へ集群する傾向がみられる可能性が推定される。Narita et al. (2003) は、伊勢湾に分布する主要なカニ類において、1990年代前半と後半において優占種がケブカエンコウガ

ニからフタホシシガニに遷移したことを報告した。本研究でもフタホシシガニが湿重量と個体数の両方で優占しており、両者にみられた貧酸素への応答差と90年代の貧酸素水塊の拡大(黒田・藤田, 2006)が、個体群動態へ影響を及ぼした可能性が推察される。

漁獲量と漁獲金額のCPUEとDOの関係から、おおむねDO30% ($2.21 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$)を下回ると漁獲量と漁獲金額の落ち込みが大きくなり、DO20% ($1.48 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$)では漁業は成り立たないと考えられた。また、漁獲物の加重平均DOは、混獲物より全体に高い傾向がみられた。漁獲物は混獲物より大型個体が含まれるため移動能力が高いことに由来する可能性が考えられ、多くの底生生物の分布制限に先行して漁獲対象生物の貧酸素からの忌避、すなわち漁場の狭小化が生じる可能性が示唆される。

本研究やこれまでの知見より、貧酸素水塊の発生が内湾における漁業収益性を高めることも考えられた(米田ほか, 2003; 石井・加藤, 2005)。黒田(2012)は、高度成長期以前から伊勢湾で底びき網漁業に従事している漁業者に聞き取りを行い、1940年代から貧酸素水塊は発生しているが現在より規模が小さく、同時に当時から魚の蟄集する好漁場として利用されていた可能性を指摘している。現在と似たような漁場利用にもかかわらず資源が潤沢であったことは、かつて貧酸素水塊は底びき網漁業と共存関係を保っていたのに対し、発生面積の拡大(黒田・藤田, 2006)に伴い、現在ではそのバランスが崩れ、資源形成に与える負の影響が増大している可能性が推測される。したがって、漁業からDO環境を検討する上では、DO濃度だけでなく、貧酸素水塊の発生規模も重要な要素となると考えられる。

謝 辞

調査および試料処理については、愛知県水産試験場漁業生産研究所の職員の皆様、愛知県農林水産部水産課の中村元彦氏(現愛知県水産試験場)、渡邊正弥氏(現愛知県水産業振興基金栽培漁業部)にご協力頂いた。本稿の取り纏めについて愛知県水産試験場の蒲原聡氏(現愛知県農林水産部水産課)にご助言頂いた。各氏にお礼申し上げる。

引用文献

- 有山啓之・矢持 進・佐野雅基 (1997a) 大阪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**, 75–82。
- 有山啓之・矢持 進・佐野雅基 (1997b) 大阪湾奥部における大型底生動物の動態について。II. 主要種の種類数・分布・体長組成の季節変化。沿岸海洋研究, **35**, 83–91。
- 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**, 16–169。
- 平井良夫・西ノ首英之 (2003) 有明海小型底曳網漁業における混獲物の投棄の実態。日水誌, **69**, 330–336。
- Hossain, M. and H. Sekiguchi (1996) Influence of oxygen-poor water on

- megabenthos communities in Ise Bay, central Japan. Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr., **60**, 237–243.
- 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.
- 黒田伸郎 (2012) 伊勢・三河湾の漁業の変遷. 里海の自然と生活 II, 「三河湾の海里山の総合研究 III」 印南敏秀編, 愛知大学総合郷土研究所, みずのわ出版, 山口, 132–163.
- 池島 耕・清水 誠 (1996) 東京湾におけるハタタテヌメリの分布とその季節変化. 魚類学雑誌, **44**, 43–49.
- 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**, 7–15.
- 石井光廣・加藤正人 (2005) 東京湾の貧酸素水塊分布と底びき網漁船によるスズキの漁獲位置の関係. 千葉水研報告, **4**, 7–15.
- 木村 博・檜山節久 (2005) 周防灘における小型底びき網の漁獲物と投棄魚の変遷. 山口水研研報, **3**, 79–86.
- 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研究報告, **14**, 27–39.
- Kodama, K., T. Horiguchi, G. Kume, S. Nagayama, T. Shimizu, H. Shiraishi, M. Morita and M. Shimizu (2006) Effects of hypoxia on early life history of the stomatopod *Oratosquilla oratoria* in a coastal sea. Mar. Ecol. Prog. Ser., **324**, 197–206.
- Kodama, K., M. Oyama, G. Kume, S. Serizawa, H. Shiraishi, Y. Shibata, M. Shimizu and T. Horiguchi (2010) Impaired megabenthic community structure caused by summer hypoxia in a eutrophic coastal bay. Ecotoxicology, **19**, 479–492.
- 丸茂恵右・横田瑞郎 (2012) 貧酸素水塊の形成および貧酸素の生物影響に関する文献調査. 海生研研報, **15**, 1–21.
- 森下正明 (1996) 種多様性指数値に対するサンプルの大きさの影響. 日本生態学会誌, **46**, 269–289.
- 中村元彦・黒田伸郎 (2005) 伊勢・三河湾における漁業の推移. 愛知大学総合郷土研究所紀要, **50**, 239–252.
- Narita, T., M. Hossain and H. Sekiguchi (2003) Seasonal and interannual variation in biomass and abundance of megabenthos in Ise Bay, central Japan. Benthos Res., **58**, 75–85.
- 成田光好・Ganmanee, M.・関口秀夫 (2006) 伊勢湾におけるハタタテヌメリ *Repomucenus valenciennei* の個体群動態. 日水誌, **72**, 860–872.
- 大畑 聡・池上直也・仲村文夫 (2005) 東京湾の小型底びき網のあなご網漁業におけるマコガレイ小型魚の混獲実態. 千葉水研研報, **4**, 1–5.
- 大富 潤・中田尚宏・清水 誠 (1992) 東京湾の小型底曳網によるシャコの海上投棄量. 日水誌, **58**, 665–670.
- 曾根亮太・蒲原 聡・山田 智・二ノ方圭介 (2013) 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. 愛知水試研報, **18**, 21–32.
- 鈴木輝明・青山裕晃・甲斐正信・今尾和正 (1998) 底層の貧酸素化が内湾浅海底生生物群集の変化に及ぼす影響. 海の研究, **7**, 223–236.
- Suzuki, T. (2004) Large-scale restoration of tidal flats and shallows to suppress the development of oxygen deficient water masses in Mikawa Bay. Bull. Fish. Res. Agen., **1**, 111–121.
- 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, **193**, 117–126.
- 富山 実 (1993) 小型底びき網漁獲物からみた伊勢湾内底生生物相. 愛知水試研報, **1**, 41–47.
- 富山 実・岩崎員郎 (2005) シャコの生残率向上をめざした伊勢・三河湾の小型底びき網漁船へのシャワー散布装置の導入. 愛知水試研報, **11**, 59–65.
- 亘 真吾・石谷 誠・尾田成幸 (2011) 瀬戸内海豊前海におけるシャコの資源解析と資源状況. 日水誌, **77**, 799–808.
- 矢持 進・有山啓之・佐野雅基 (1998) 大阪湾湾奥沿岸域の環境修復—堺泉北港干潟造成予定地周辺の水質・底質ならびに底生動物相とマコガレイの貧酸素に対する応答—. 海の研究, **7**, 293–303.
- Yamochi, S., H. Ariyama and M. Sano (1995) Occurrence and hypoxic tolerance of the juvenile *Metapenaeus ensis* at the mouth of the Yodo River, Osaka. Fish. Sci., **61**, 391–395.
- Wu, R. S. S., P. K. S. Lam and K. L. Wan (2002) Tolerance to, and avoidance of, hypoxia by the panaeid shrimp (*Metapenaeus ensis*). Environ. Pollut., **118**, 351–355.
- 矢沢敬三・池田文男 (1988) 東京湾における低酸素水の分布およびシャコと溶存酸素量の関係. 神奈川県水産試験場報告, **9**, 95–100.
- 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**, 1–8.