

イ. 東京湾で発生する貧酸素水塊の被害軽減技術の開発

① 干潟浅海域を生息場とする有用魚介類の生活史に与える貧酸素水塊の影響 解明と軽減策検討

千葉県水産総合研究センター

資源研究室 三田久徳、田中美帆

東京湾漁業研究所 飛田野祥平、石井光廣

国立研究開発法人水産研究・教育機構

水産技術研究所 西本篤史、高田宜武、鬼塚年弘

1. 全体計画

(1) 目的

東京湾に産卵場や生育場が限定されている種については、東京湾東部の干潟浅海域が重要な生育場としての役割を果たしている可能性が高い。例えばイシガレイ等を対象に、これらの沿岸浅海域における成長段階における貧酸素水塊の影響把握と軽減策を検討する。

また、内湾に点在する周囲より水深の浅くなったマウンド等は、周囲に比べ貧酸素水塊が波及しにくく、底質が良好で生息する底生生物種が豊富である。これらの場所が生物の成育場もしくは避難場として機能しているか把握し、貧酸素水塊による影響軽減策を検討する。

(2) 試験等の方法

東京湾東岸の棚状もしくはマウンド状の浅海域でそりネットによる分布調査を行い、イシガレイ等の稚魚の出現状況を把握する。

稚魚・幼体の生育場もしくは避難場としての機能を把握するため、環境調査（水質・底質・底生生物）を実施する。

2. 令和3年度計画および結果

(1) 目的

東京湾東岸の棚状もしくはマウンド状の浅海域における稚魚・幼体の出現状況を把握するとともに、稚魚・幼体の生育場もしくは避難場としての機能を把握する。

(2) 試験等の方法

1) 調査海域および調査点

東京湾の東岸に位置する「養老川河口」、人工岸壁前面に広がる棚状の浅海域である「五井」および「南袖」、岸壁から離れたところに出来たマウンド状の浅場「北袖」、貧酸素水塊のみられない対照海域として南部の自然干潟「盤洲」、以上5海域を調査海域に設定した。調査点は、各調査海域で水深の異なる2地点を設定し、「養老川河口」、「五井」、「南袖」、「盤洲」では水深約5mと水深約10mの2地点、「北袖」ではマウンド上の水深約10mとマウンド下の水深約15mの2地点とし、合計10地点にて調査を実施していたが、2021年5

月以降は、各調査海域で水深の異なる2地点または3地点を設定し、「養老川河口」、「南袖」、「盤洲」では水深約5mと水深約10mと水深約15mの3地点、「五井」では水深約5mと水深約10mの2地点、「北袖」ではマウンド上の水深約10mとマウンド下の水深約15mの2地点とし、合計13地点にて調査を実施した（図2-2-1、表2-2-1）。

2) 環境調査（水質、底質、底生生物）

①調査期間と調査頻度

調査は、2021年4月24日、5月27日、6月25日、8月4日（7月分）、8月24日、9月14日、11月5日（10月分）、11月30日、12月16日、2022年1月19日、2月2日に計11回行った。年度内にあと1回調査を行う予定である。解析には前年度実施した2021年1月15日、2月25日のデータを併せて使用し、本年度1、2月分は次年度に報告する。

②調査方法

環境調査は、千葉県水産総合研究センター東京湾漁業研究所の東京湾調査・指導船「ふさなみ」で行い、2021年2月25日、4月24日、5月27日は漁船を用船した。水質観測は、多項目水質計（Model 6600 または ProDSS、ザイレムジャパン）を海面から海底直上約0.5mまで0.1m/sの速度で降下し、水深、水温、塩分、溶存酸素量（以下DO）等を鉛直観測した（11月5日の北袖マウンド下のみ欠測）。また、採泥はスミス・マッキンタイヤ式採泥器（採泥面積0.1m²、離合社）を用いて、各調査点で2回行い、底質分析と底生生物分析試料を採取した。底泥の酸化還元電位（Eh）はハンディ型ORPメーター（HM-40P、東亜ディーケーケー）を用いて、船上で毎回測定した。底質は強熱減量を測定した。底生生物試料は、目合1mmのふるいで濾し、ふるいに残った底生生物（マクロベントス）を対象とした。水産有用種は個体ごとの大きさと湿重量を測定し、その他の生物は種もしくは分類群ごとの個体数と合計湿重量を測定した。

3) そりネット調査

①調査期間と調査頻度

調査は、2021年4月27日、5月26日、6月23日、7月30日、8月27日、9月15日、11月4日（10月分）、12月2日（11月分）、12月24日、2022年1月20日、2月3日に計11回行った。年度内にあと1回調査を行う予定である。養老川河口5m、五井5mは、荒天などの理由により調査を実施しなかった日がある。盤洲15mは、調査時に破網が頻発したため、9月以降調査を取りやめた（表2-2-2）。解析には前年度実施した2021年1月14日、2月24日のデータを併せて使用し、本年度1、2月分は次年度に報告する。

②調査方法

調査は、千葉県水産総合研究センター東京湾漁業研究所の東京湾調査・指導船「ふさなみ」で行い、2021年4月27日、5月26日は漁船を用船した。各調査点で改良西海区水研Ⅲ型ソリネット（図2-2-2、網口幅1.5m、高さ0.3m、長さ4m、目合5mm）を船速約1ノットで15～60秒曳網した。曳網距離は、曳網開始時と終了時のGPS位

置情報から算出した。

採集物から船上で試料生物を全数拾い出し、採集地点ごとに氷蔵した状態で実験室に持ち帰り凍結した。試料とする生物は、魚類、甲殻類、貝類、イカ・タコ類、ナマコ類、ウニ類とした。試料は解凍後に可能な限り種まで同定し、種もしくは分類群ごとに個体数を計数した。貝類のうち、有機物汚染の指標種であるチョノハナガイとシズクガイは、船上で1～10 個体（＋）、11～100 個体（2＋）、101 個体以上（3＋）に区分して計数した。加えて、有用魚介類とハタタテヌメリは、破損個体を除き、個体ごとに大きさ（魚類、イカ・タコ類、ナマコ類は全長、甲殻類は全長、体長または全甲幅、貝類は殻長または殻高）と湿重量を測定した。

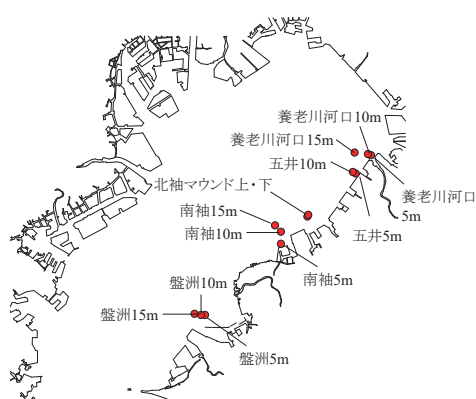


図 2-2-1. 調査点図

表 2-2-1. 調査点位置と水深

調査点名		緯度	経度	水深 m
養老川河口	5m	N35° 32.81′	E140° 03.89′	5.8
	10m	N35° 32.88′	E140° 03.67′	10.1
	15m	N35° 32.97′	E140° 02.69′	12.3
五井	5m	N35° 31.72′	E140° 02.77′	5.7
	10m	N35° 31.81′	E140° 02.56′	15.2
北袖マウンド	上	N35° 29.15′	E139° 59.23′	10.8
	下	N35° 29.25′	E139° 59.29′	13.2
南袖	5m	N35° 27.52′	E139° 57.29′	5.0
	10m	N35° 28.24′	E139° 57.29′	9.9
	15m	N35° 28.62′	E139° 56.86′	14.7
盤洲	5m	N35° 23.27′	E139° 51.73′	7.9
	10m	N35° 23.27′	E139° 51.43′	10.0
	15m	N35° 23.34′	E139° 50.96′	13.7

表 2-2-2. そりネット調査の実施状況

調査日	養老川河口			五井		北袖マウンド		南袖			盤洲		
	5m	10m	15m	5m	10m	上	下	5m	10m	15m	5m	10m	15m
4/27	○	○	—	○	○	○	○	○	○	—	○	○	—
5/26	○	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6/23	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
7/30	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8/27	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
9/15	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—
11/4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—
12/2	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—
12/24	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—
1/20	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—
2/3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—

○：実施、—：未実施

ダイビング用ウェイト

（左右 4kg ずつ計 8kg を追加）

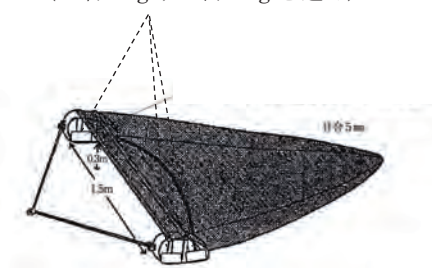


図 2-2-2. 改良西海区水研Ⅲ型ソリネット

4) 生物群集組成の多変量解析

スミス・マッキンタイヤ式採泥器による調査およびソリネット調査によって得られた底生生物群集のデータを用いて、地点間で群集の組成が相対的にどのように異なるのかを見るために、群集組成の多変量解析を行なった。解析には、2018 年より得られた月別地点別の底生生物サンプルの中から、夏季（7 月～9 月）に得られたサンプルを抽出した。それらの種類別の個体数を $\log(x+1)$ 変換したのち、サンプル間の種類組成の類似度を Bray-Curtis 指数によって求め、非線形多次元尺度法(nMDS)によってサンプルの二次元配置図を描画した。これによって、配置図上で、種類組成が近似しているサンプル同士が近い距離に、組成の似ていない

サンプル同士は遠い距離に配置される。さらに、得られた配置図と海底直上の溶存酸素量(DO)との相関を見るために、二次元スプラインによる曲面フィットを行い、等高線表示を試みた。解析は、採泥器とソリネットそれぞれ別々に行った。データの解析には R ver. 4.1.2 およびパッケージ `vegan 2.5-7` を用いた。

5) ガザミ類のサンプリング

東京湾内におけるガザミ類の分布および移動状況を明らかにするため、東京湾の外湾（千葉県館山漁協）において刺網漁業で漁獲されるガザミ類を定期的に購入し、炭素・窒素安定同位体比を用いた移動履歴推定を実施した。今年度は、春先のガザミ類の移動状況を明らかにすることを目的とし、サンプリングの開始月を5月とした。

種同定の後、全甲幅、甲幅の計測、湿重量の測定を行った。その後、炭素・窒素安定同位体比分析用に、鉗脚もしくは遊泳脚から筋肉試料を切り出した。筋肉試料は、真空乾燥した後、脱脂処理を施し、安定同位体比分析に供した。分析には、`elementar` 社製の `vario microcube`（元素分析計）と `IsoPrime 100`（質量分析計）の連結システムを用いた。

(3) 結果および考察

環境調査およびそりネット調査については、2018年7月から2021年12月までの4か年分の主な項目、①表底層の密度差(σT)、②底層 DO (mL/L)、③底層の酸化還元電位 (Eh)、④底泥の酸化還元電位 (Eh)、⑤多毛類の分布密度 (個体数+1/ m^2 : 対数目盛)、⑥そりネット採集生物の分布密度 (個体数+1/100 m^2 : 対数目盛) の推移を海域ごとに報告する。2021年のそりネット採集生物は別表 2-2-1 に示した。

1) 養老川河口

養老川河口における調査点別月変化を図 2-2-3 に示した。

①表底層の密度差

表底層の密度差は、深場ほど高く、3地点とも夏季に増加した。5m は、過去3年は最大になる夏季においても5未満で推移したが、2021年8月に9.4に上昇した。これは前日に1時間に30mmの降雨があり、養老川から淡水が流入し、塩分が低下したためと考えられる。

②底層 DO

底層 DO は、深場ほど低く、3地点とも夏季に低下した。5m は、過去3年は通年1.5mL/L以上であったが、2021年は6、8月に1mL/L以下に低下した。10m は8月前後、15m は夏季に1mL/L以下に低下した。

③底層の酸化還元電位

底層の酸化還元電位は、3地点とも通年プラスであり、夏季の低下はみられず、3地点で大きな違いはみられなかった。2021年は過去3年に比べて高かった。

④底泥の酸化還元電位

底泥の酸化還元電位は、深場ほど低く、過去3年は夏季にマイナス（還元状態）に低下した。2021年は夏季の低下はみられず、晩秋に低下し、15mのみマイナスとなった。

⑤多毛類の分布密度

底泥中の多毛類の分布密度は、5m、10m では、分布密度に顕著な差はみられず、2地点と

も概ね通年で 100 個体/ m^2 以上であった。本年度から開始した 15 m では夏季に分布密度が大きく低下し、8、9 月に無生物状態となった。

⑥そりネット採集生物の分布密度

そりネット採集生物の分布密度は、他の海域と比べて高く、年変動が大きい。水深別にみると、浅場ほど高い傾向であった。季節変化をみると、3 地点とも夏季に低下した。2021 年は夏季に深場の 10 m、15 m で大きく低下し、8 月に 15 m では無生物状態となった。

＜養老川河口のまとめ＞

養老川河口の特徴や今後の課題について整理する。養老川河口は湾奥寄りであることから貧酸素水塊が波及しやすく、夏季には底層 DO が 1 mL/L 以下になりやすい海域である。底質は浅場も含めて夏季に還元状態になりやすい。生物分布は、多毛類では 10 m 以浅まで良好であったが、そりネット採集生物では 10 m 以深で夏季に顕著な密度低下がみられ、無生物状態となることもあった。この生物分布の変化は、上記の水質、底質の特徴から判断すると、底層 DO、底泥の酸化還元電位の低下が影響していると推察される。

以上のことから、本海域において貧酸素水塊による影響を軽減するには、深場の DO および底質を改善する必要がある。

2) 五井

五井における調査点別月変化を図 2-2-4 に示した。

①表底層の密度差

表底層の密度差は、深場で高く、2 地点とも夏季に増加したが、5 m では、最大となる夏季においても概ね 5 未満であった。

②底層 DO

底層 DO は、深場で低く、2 地点とも夏季に減少した。5 m では、夏季においても概ね 2 mL/L 以上で推移した。10 m（実水深 15 m）では、夏季に 1 mL/L 以下まで低下した。2021 年 8 月には、0.1 mL/L まで低下し、他海域を含めた全地点で最も低い値となった。

③底層の酸化還元電位

底層の酸化還元電位は、5 m では通年でプラスであったものの、他海域と異なり、10 m では夏季に低下した。マイナスになるまで低下したのは、2020 年 8 月のみであった。2021 年は過去 3 年に比べて高かった。

④底泥の酸化還元電位

底泥の酸化還元電位は、深場で低く、過去 3 年では、5 m では通年プラスであり、10 m では、過去 3 年では通年マイナスであった。2021 年は、10 m において、夏季を中心にプラスになる月がみられ、11 月以降は再びマイナスに戻った。2021 年は過去 3 年に比べて青潮発生回数が多く、底層水の湧昇により、底泥に硫化水素が蓄積されにくかった可能性が考えられる。

⑤多毛類の分布密度

底泥中の多毛類の分布密度は、浅場で高く、5 m では夏季における減少はみられず、通年で 100 個体/ m^2 以上であった。10 m では、過去 3 年では 2019 年 4 月、2020 年 6 月を除いて無生物状態になったが、2021 年は 6、8、9、12 月のみであり、2、5、11 月には分布密度が 1000 個体/ m^2 以上まで一時的に増加した。過去 3 年に比べて底泥の酸化還元電位が高かった

ことが影響した可能性が考えられる。

⑥そりネット採集生物の分布密度

そりネット採集生物の分布密度は、他の海域と比べて低い。水深別にみると、2 地点のどちらが高いかは月毎に異なり明確ではないが、夏季には 5 m の方が高くなった。季節変化をみると、2 地点とも夏季に減少した。8、9 月に 10 m では常に無生物状態となったが、5 m ではならなかった。

<五井のまとめ>

五井の特徴や今後の課題について整理する。五井は養老川河口と同様に湾奥寄りであり、夏季には深場の底層 DO が 1 mL/L 以下になりやすく、貧酸素水塊の影響が長期化しやすい海域である。底質は深場が通年で還元状態になりやすく、還元状態の期間は他海域に比べて長い。生物分布は、5 m では良好であったが、10 m（実水深 15 m）では夏季に無生物状態となった。この生物分布の変化は、上記の水質、底質の特徴から判断すると、底層 DO、底泥の酸化還元電位の低下が影響していると推察される。

以上のことから、本海域において貧酸素水塊による影響を軽減するには、深場の DO および底質を改善する必要がある。

3) 北袖

北袖における調査点別月変化を図 2-2-5 に示した。

①表底層の密度差

表底層の密度差は、2 地点で顕著な違いはみられなかった。2 地点とも夏季に増加した。

②底層 DO

底層 DO は、2 地点で顕著な違いはみられなかったが、夏季に減少した。2 地点ともに、8 月に 1 mL/L 前後まで低下した。

③底層の酸化還元電位

底層の酸化還元電位は、2 地点とも通年プラスであり、夏季の低下はみられず、地点間で大きな違いはみられなかった。2021 年は過去 3 年に比べて高かった。

④底泥の酸化還元電位

底泥の酸化還元電位は、深場で低かった。マウンド上（実水深 11 m）は 2018 年 7 月を除き通年プラスであったが、マウンド下（実水深 13 m）は、過去 3 年では概ねマイナスであった。2021 年は夏季の低下はみられず、マウンド下では晩秋に低下して還元状態となった。

⑤多毛類の分布密度

底泥中の多毛類の分布密度は、浅場で高かった。マウンド上では夏季の分布密度の低下はみられず、通年で 100 個体/ m² 以上であった。マウンド下では夏季に分布密度が大きく低下し、8、9 月に無生物状態となる年があった。

⑥そりネット採集生物の分布密度

そりネット採集生物の分布密度は、他の海域と比べて高い。水深別にみると、夏季以外は深場のマウンド下の方が高い傾向であった。季節変化をみると、2 地点とも夏季に低下した。2021 年は夏季にマウンド下で大きく低下し、8 月に無生物状態となった。

<北袖のまとめ>

北袖の特徴や今後の課題について整理する。北袖は養老川河口と盤洲の中間の海域であり、夏季には底層 DO が 1 mL/L 前後になりやすい海域である。底質は深場で還元状態になりやすく、還元状態の期間は五井と同様に他海域に比べて長い。生物分布は、マウンド上では良好であったが、マウンド下では夏季に顕著な密度低下がみられ、無生物状態となることもあった。この生物分布の変化は、上記の水質、底質の特徴から判断すると、底層 DO、底泥の酸化還元電位の低下が影響していると推察される。

以上のことから、本海域において貧酸素水塊による影響を軽減するには、深場の DO および底質を改善する必要がある。

4) 南袖

南袖における調査点別月変化を図 2-2-6 に示した。

①表底層の密度差

表底層の密度差は、深場ほど高く、北袖以北の海域に比べて小さい傾向がみられた。全地点で夏季に増加した。5 m では、最大となる夏季においても 5 未満であった一方で、10 m、15 m では 8 月に 8 以上に拡大した。

②底層 DO

底層 DO は、深場ほど低く、3 地点とも夏季に減少した。5 m では、夏季においても 1.5 mL/L 以上であった。10 m、15 m では、8 月に 1 mL/L 以下まで低下したが、北袖以北に比べ 1 mL/L 以下に低下する期間が短かった。

③底層の酸化還元電位

底層海水の酸化還元電位は、3 地点とも通年プラスであり、夏季の低下はみられず、3 地点で大きな違いはみられなかった。2021 年は過去 3 年に比べて高かった。

④底泥の酸化還元電位

底泥の酸化還元電位は、10 m 以浅では概ねプラスであった。2021 年は過去 3 年に比べて高い傾向がみられた。本年度から開始した 15 m では晩秋に低下し、11 月にマイナスになった。

⑤多毛類の分布密度

底泥中の多毛類の分布密度は、夏季の 15 m を除き、3 地点で顕著な違いはみられなかった。5 m、10 m では、通年で 100 個体/m² 以上であった一方で、本年度から開始した 15 m では 8 月に無生物状態となった。

⑥そりネット採集生物の分布密度

そりネット採集生物の分布密度は、10 m、15 m では他の海域と比べて高い。水深別にみると、浅場の 5 m より深場の 10 m、15 m の方が高く、10 m が最も高い傾向であった。季節変化をみると、5 m、10 m では他の海域のように夏季に分布密度が低下することはなかった。2021 年は本年度から開始した 15 m で夏季に分布密度が低下したが、無生物状態とはならなかった。

<南袖のまとめ>

南袖の特徴や今後の課題について整理する。南袖は人工岸壁と盤洲干潟の境界の海域であり、8 月には深場の底層 DO が 1 mL/L 前後になりやすいが、北袖以北に比べて 1 mL/L 以下

になる期間が短い海域である。底質は北袖以北に比べて還元状態になりにくい。生物分布は、10 m 以浅では良好であったが、15 m では夏季に多毛類、ソリネット採集物とも密度低下がみられ、多毛類では8月に無生物状態となった。この生物分布の変化は、上記の水質、底質の特徴から判断すると、底層 DO の低下が影響していると推察される。

以上のことから、本海域において貧酸素水塊による影響を軽減するには、深場の DO を改善する必要がある。

5) 盤洲

盤洲における調査点別月変化を図 2-2-7 に示した。

①表底層の密度差

表底層の密度差は、3 地点で顕著な違いはみられなかったが、3 地点とも夏季に増加した。他海域と異なり、最大となる夏季においても3地点とも5未満であり、他海域に比べて小さかった。

②底層 DO

底層 DO は、深場ほど低く、3 地点とも夏季に減少したが、他海域に比べて 2.5 mL/L 以下になることが少なかった。5 m、10 m では、夏季においても 1.5 mL/L 以上であった。本年度から開始した 15 m では、8 月に 1 mL/L 以下に低下した。

③底層の酸化還元電位

底層海水の酸化還元電位は、3 地点とも通年プラスであり、夏季の低下はみられず、3 地点で大きな違いはみられなかった。2021 年は過去 3 年に比べて高かった。

④底泥の酸化還元電位

底泥の酸化還元電位は、3 地点とも通年プラスであった。3 地点で顕著な差はみられなかった。

⑤多毛類の分布密度

底泥中の多毛類の分布密度は、3 地点とも概ね通年で 100 個体/ m² 以上であった。他海域と異なり、今年度から開始した 15 m においても、夏季に顕著な低下はみられなかった。

⑥ソリネット採集生物の分布密度

ソリネット採集生物の分布密度は、他の海域と比べて低い。水深別にみると、深場ほど高い傾向であった。季節変化をみると、3 地点とも他の海域のように夏季に低下することはなかった。

<盤洲のまとめ>

盤洲の特徴や今後の課題について整理する。盤洲は貧酸素水塊の影響の少ない内湾南部に位置する自然干潟の海域であり、夏季でも 2.5 mL/L 以下になることが少ない海域である。底質は還元状態にならず、生物分布は3地点とも良好であった。他の海域の環境改善を検討する際に参考となる海域である。

< 養老川河口 >

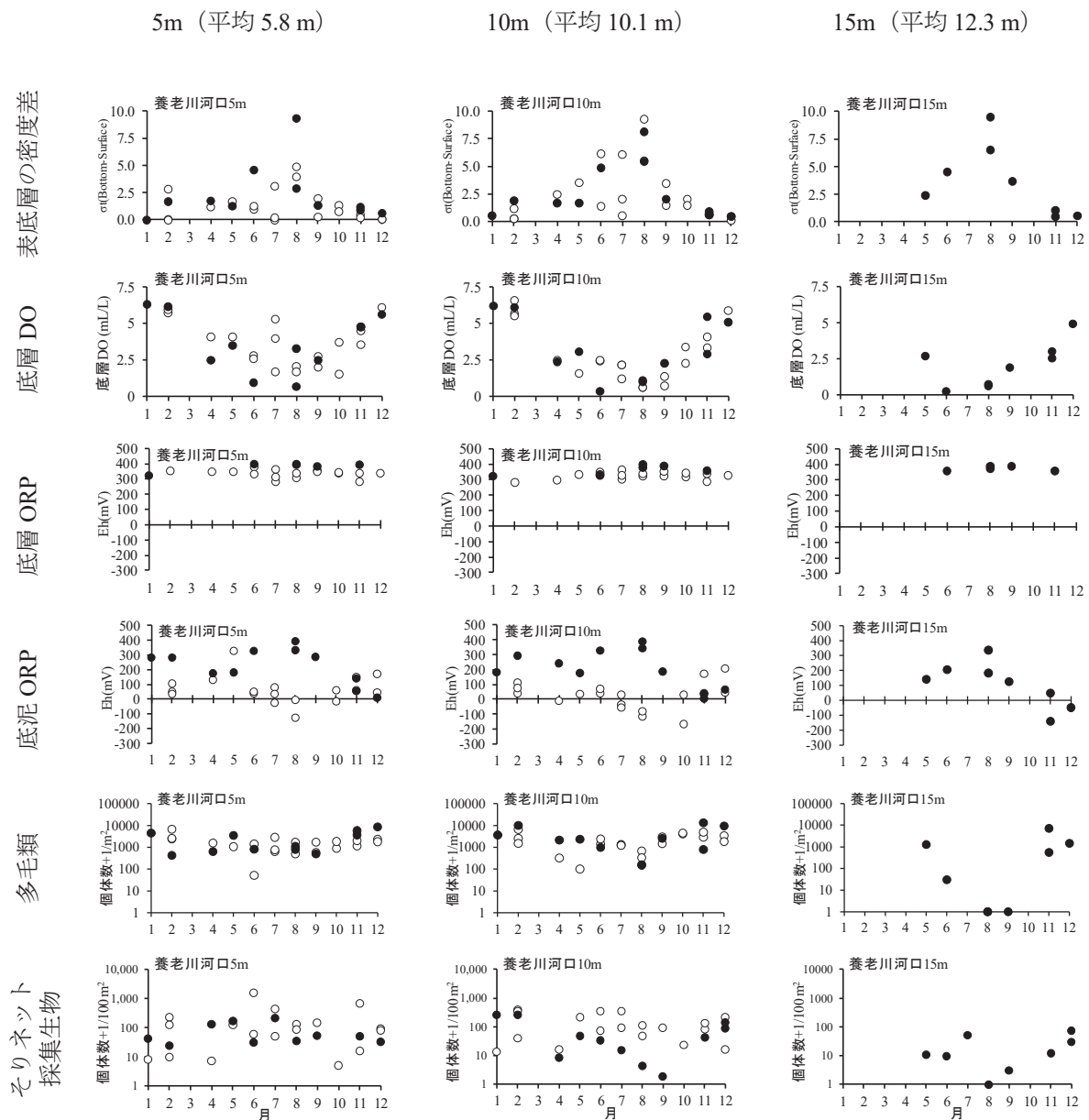


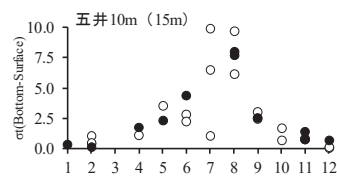
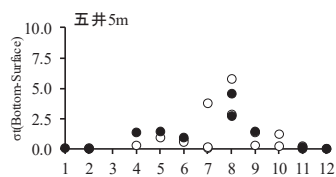
図 2-2-3. 養老川河口における月別調査点別の表底層の密度差、底層 DO、底層の ORP、底泥の ORP、多毛類の分布密度、そりネット採集生物の分布密度の推移 (2018 年 7 月～2021 年 12 月) ○ : 2018～2020 年、● : 2021 年

<五井>

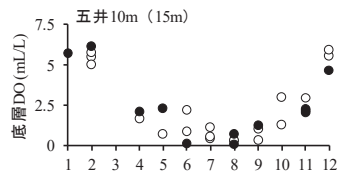
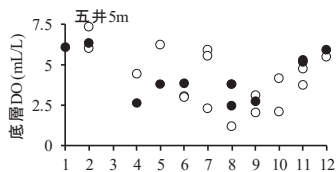
5m (平均 5.7 m)

10m (平均 15.2 m)

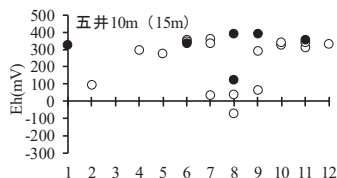
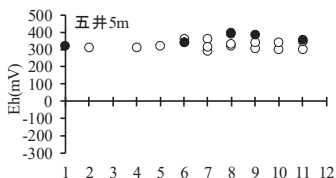
表底層の密度差



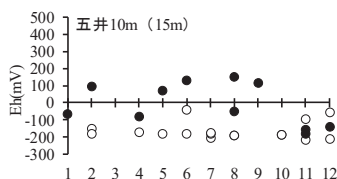
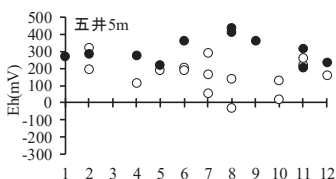
底層 DO



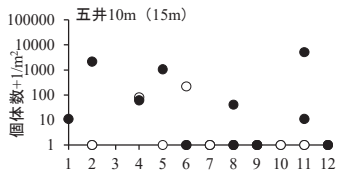
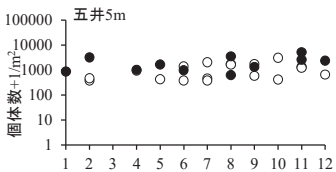
底層 ORP



底泥 ORP



多毛類



そりネット
採集生物

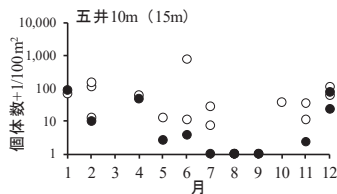
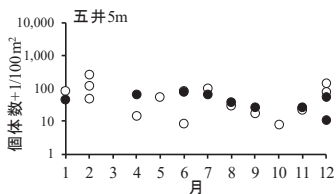


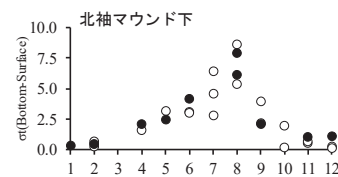
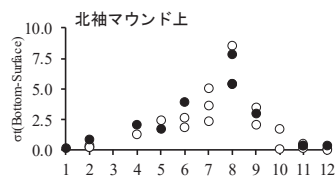
図 2-2-4. 五井における月別調査点別の表底層の密度差、底層 DO、底層の ORP、
底泥の ORP、多毛類の分布密度、そりネット採集生物の分布密度の推移
(2018 年 7 月～2021 年 12 月) ○ : 2018～2020 年、● : 2021 年

<北袖>

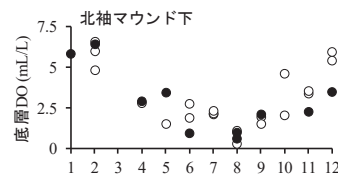
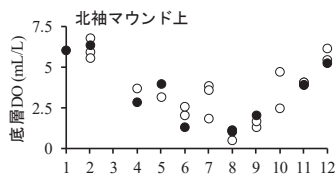
マウンド上 (平均 10.8 m)

マウンド下 (平均 13.2 m)

表底層の密度差



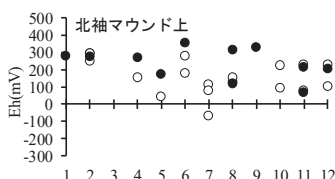
底層 DO



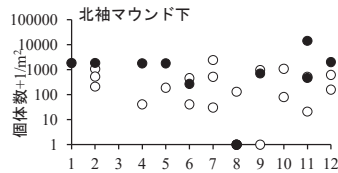
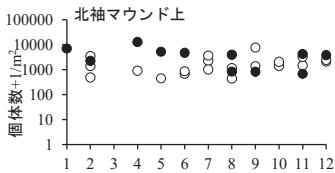
底層 ORP



底泥 ORP



多毛類



そりネット
採集生物

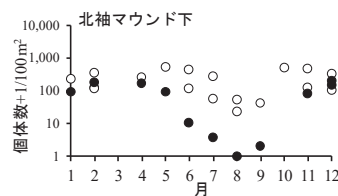
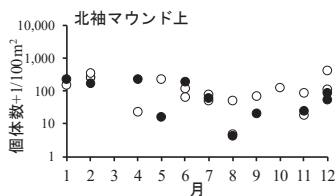


図 2-2-5. 北袖における月別調査点別の表底層の密度差、底層 DO、底層の ORP、底泥の ORP、多毛類の分布密度、そりネット採集生物の分布密度の推移 (2018 年 7 月～2021 年 12 月) ○ : 2018～2020 年、● : 2021 年

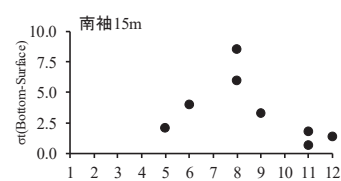
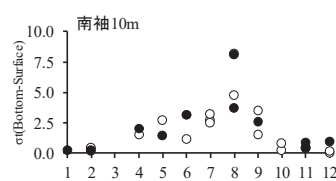
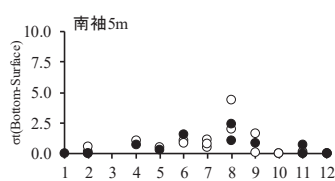
<南袖>

5m (平均 5.0 m)

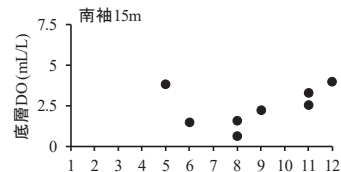
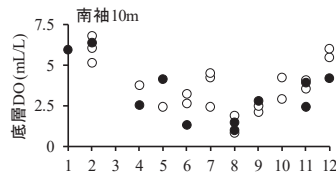
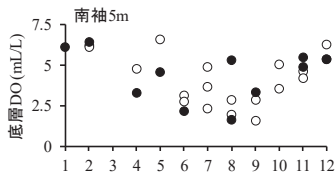
10m (平均 9.9 m)

15m (平均 14.7 m)

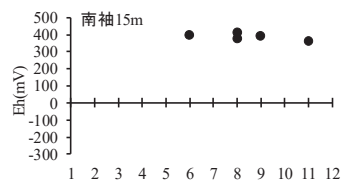
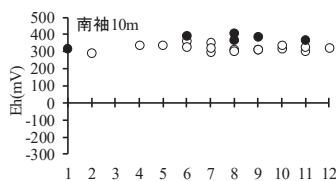
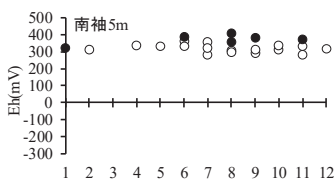
表底層の密度差



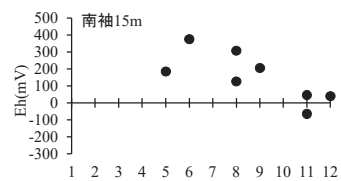
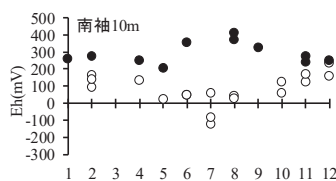
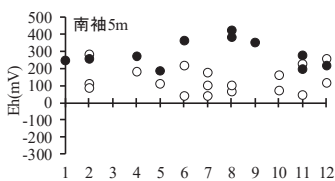
底層 DO



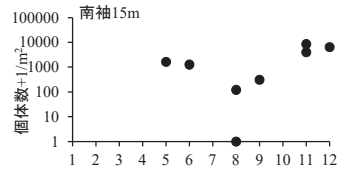
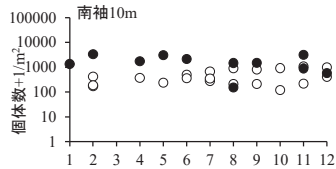
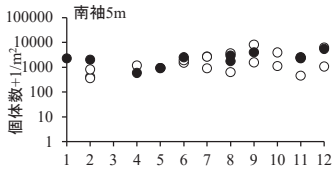
底層 ORP



底泥 ORP



多毛類



そりネット
採集生物

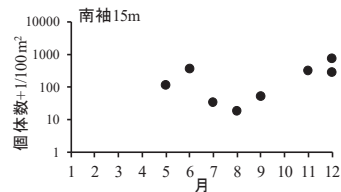
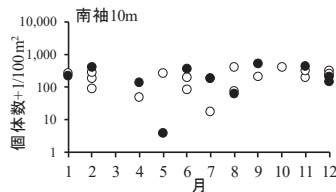
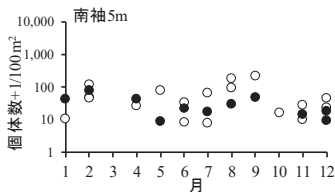


図 2-2-6. 南袖における月別調査点別の表底層の密度差、底層 DO、底層の ORP、
底泥の ORP、多毛類の分布密度、そりネット採集生物の分布密度の推移
(2018 年 7 月～2021 年 12 月) ○ : 2018～2020 年、● : 2021 年

<盤洲>

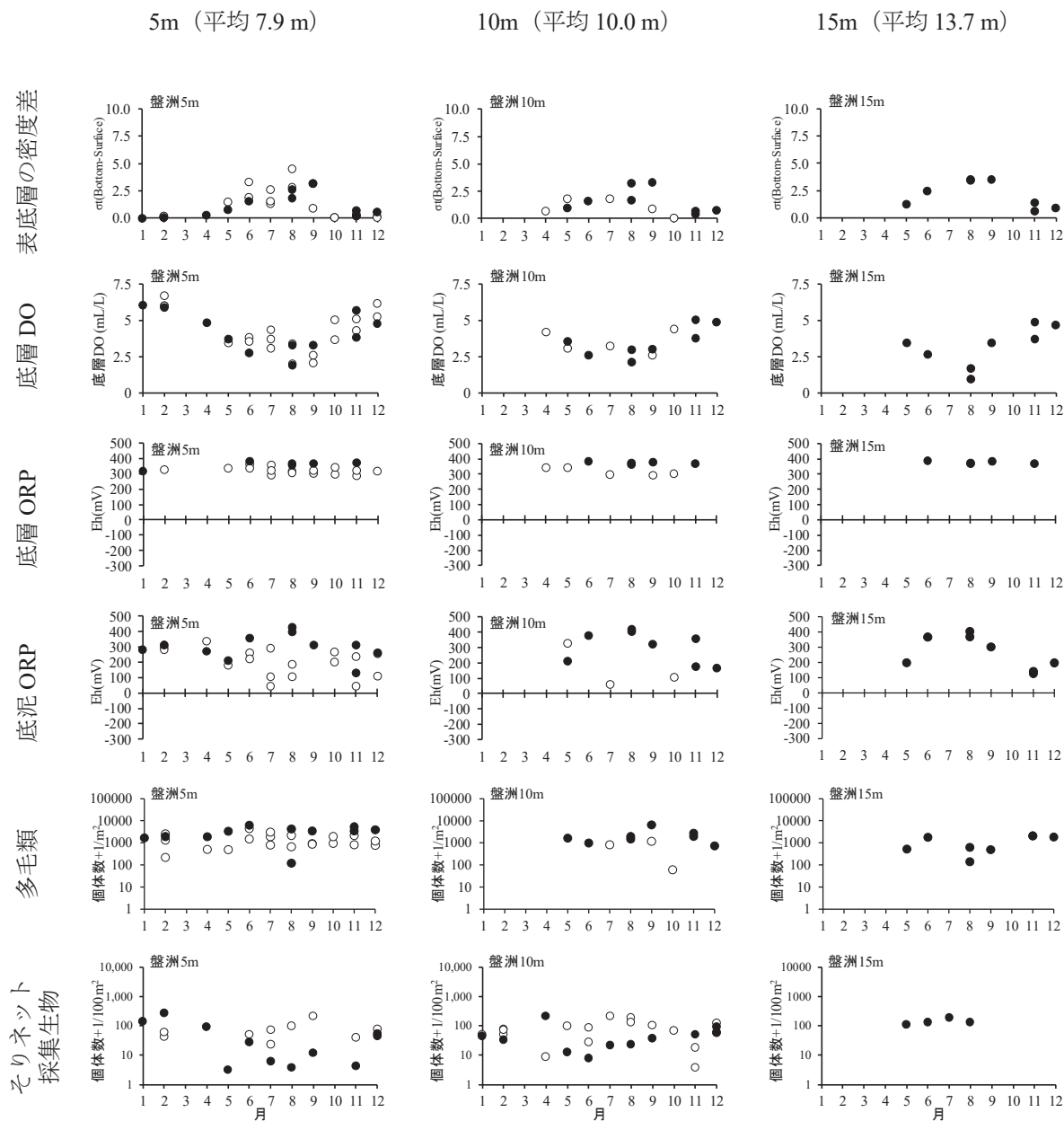


図 2-2-7. 盤洲における月別調査点別の表底層の密度差、底層 DO、底層の ORP、底泥の ORP、多毛類の分布密度、そりネット採集生物の分布密度の推移 (2018 年 7 月～2021 年 12 月) ○ : 2018～2020 年、● : 2021 年

6) 生物の分布密度と底層 DO の関係

2018 年 7 月～2021 年 12 月の環境調査における調査点別の多毛類の分布密度（個体数+1/ m^2 ：対数目盛）と底層 DO（ mL/L ）の関係を図 2-2-8 に示した。多毛類の分布密度は、水深 15 m 地点かつ底層 DO が概ね 2 mL/L 以下になると大きく低下する傾向がみられた。五井 10 m（実水深 15 m）では、底層 DO が 2 mL/L 以上でも無生物状態になる時があるが、これは底泥が長期間還元状態であることが影響したと考えられる。

2018 年 10 月～2021 年 12 月のそりネット調査における調査点別の主要魚類（ハタタテメリ、キララハゼ属の一種、ヒメハゼ）、主要甲殻類（イッカククモガニ、エビジャコ属の一種）、主要貝類（サルボウ、サルボウ属の一種、トリガイ）の分布密度（個体数+1/100 m^2 ：対数目盛）と同月の環境調査時の底層 DO（ mL/L ）の関係を図 2-2-9、図 2-2-10、図 2-2-11 に示した。主要魚類の分布密度は、海域や水深に関係なく、底層 DO が概ね 2 mL/L 以下になると大きく低下する傾向がみられた。一方、主要甲殻類と主要貝類には明瞭な関係がみられなかった。

魚類は甲殻類や貝類に比べ遊泳力があり、底層 DO の低下に伴い、貧酸素水塊の影響の少ない海域に逃避したと考えられる。桁網で採集された魚類、甲殻類、貝類などの大型底生生物は、底層 DO が 1 mL/L 以下の状態が 2 週間未満であれば死滅しないとの報告（大畑ほか 2015）もあり、本解析の期間内では甲殻類や貝類を死滅させる状態まで底層 DO が悪化することが少なかったと考えられる。今後は頻度の高い観測データを用いて再検討する必要がある。

<多毛類>

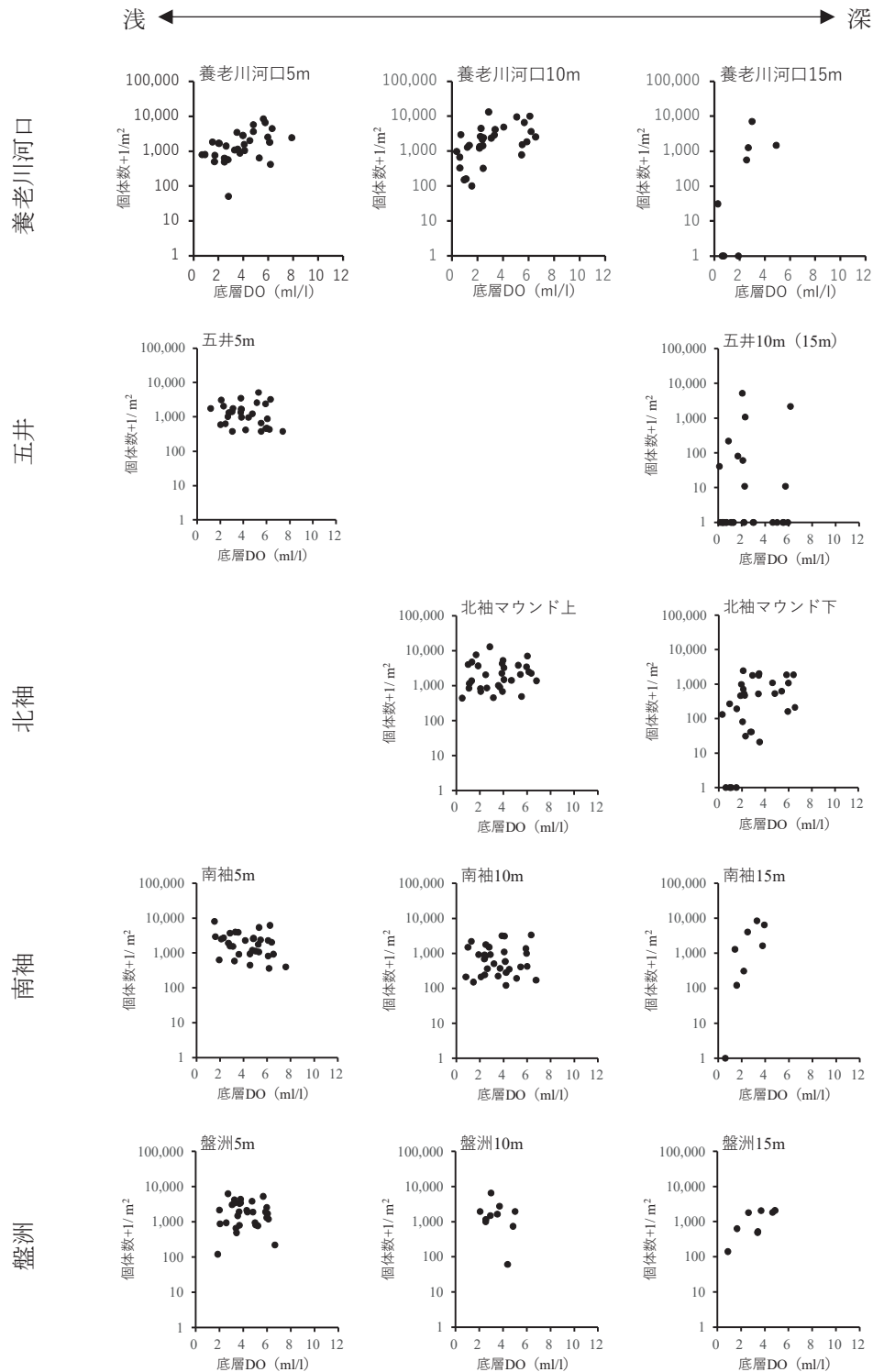


図 2-2-8. 2018 年 7 月～2021 年 12 月の環境調査における調査点別の多毛類の分布密度（個体数+1/m²：対数目盛）と底層 DO (mL/L) の関係

<主要魚類>

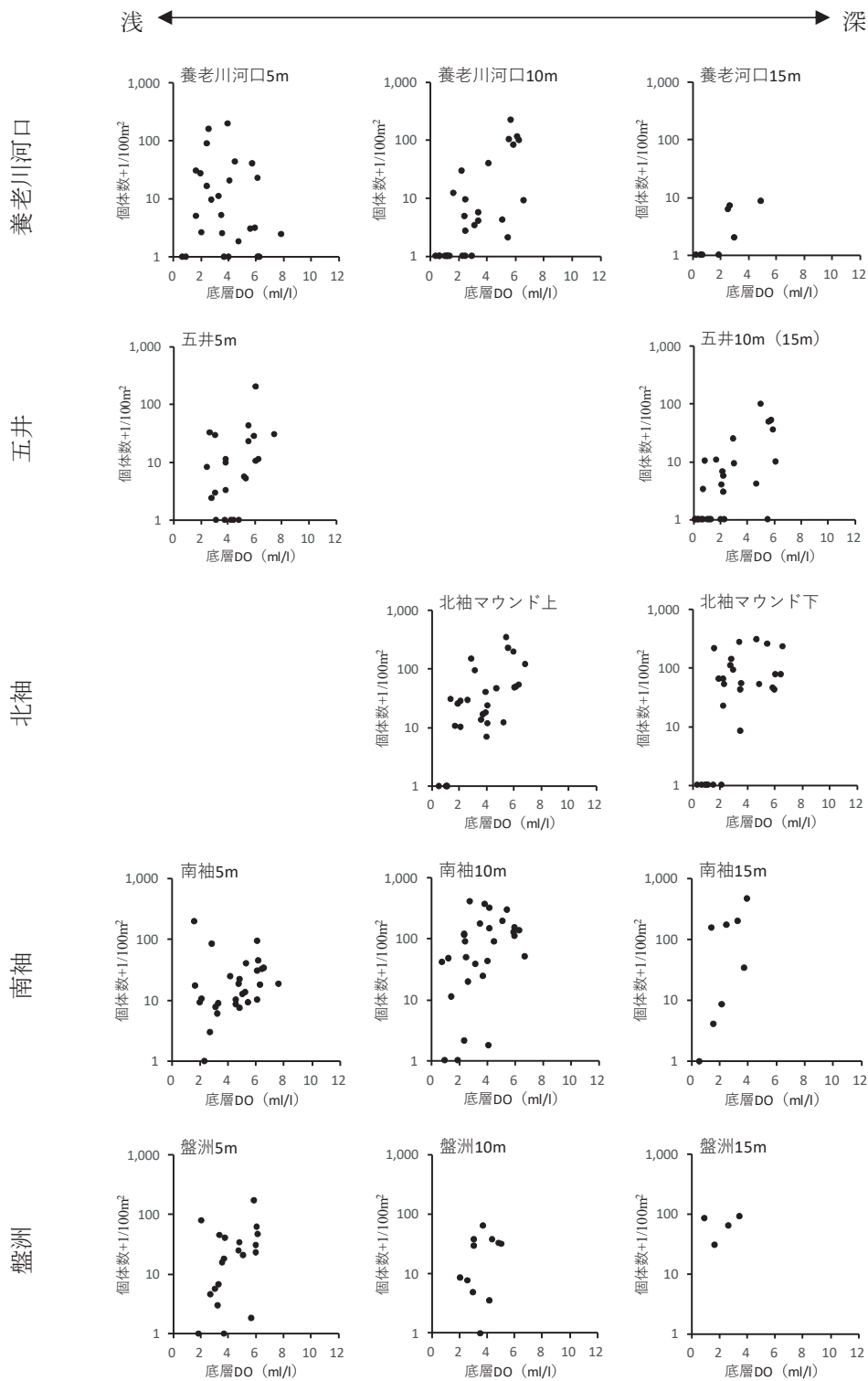


図 2-2-9. 2018 年 10 月～2021 年 12 月のそりネット調査における調査点別の主要魚類（ハタタテヌメリ、キララハゼ属の一種、ヒメハゼ）の分布密度（個体数+1/100 m²：対数目盛）と同月の環境調査時の底層 DO (mL/L) の関係

< 主要甲殻類 >

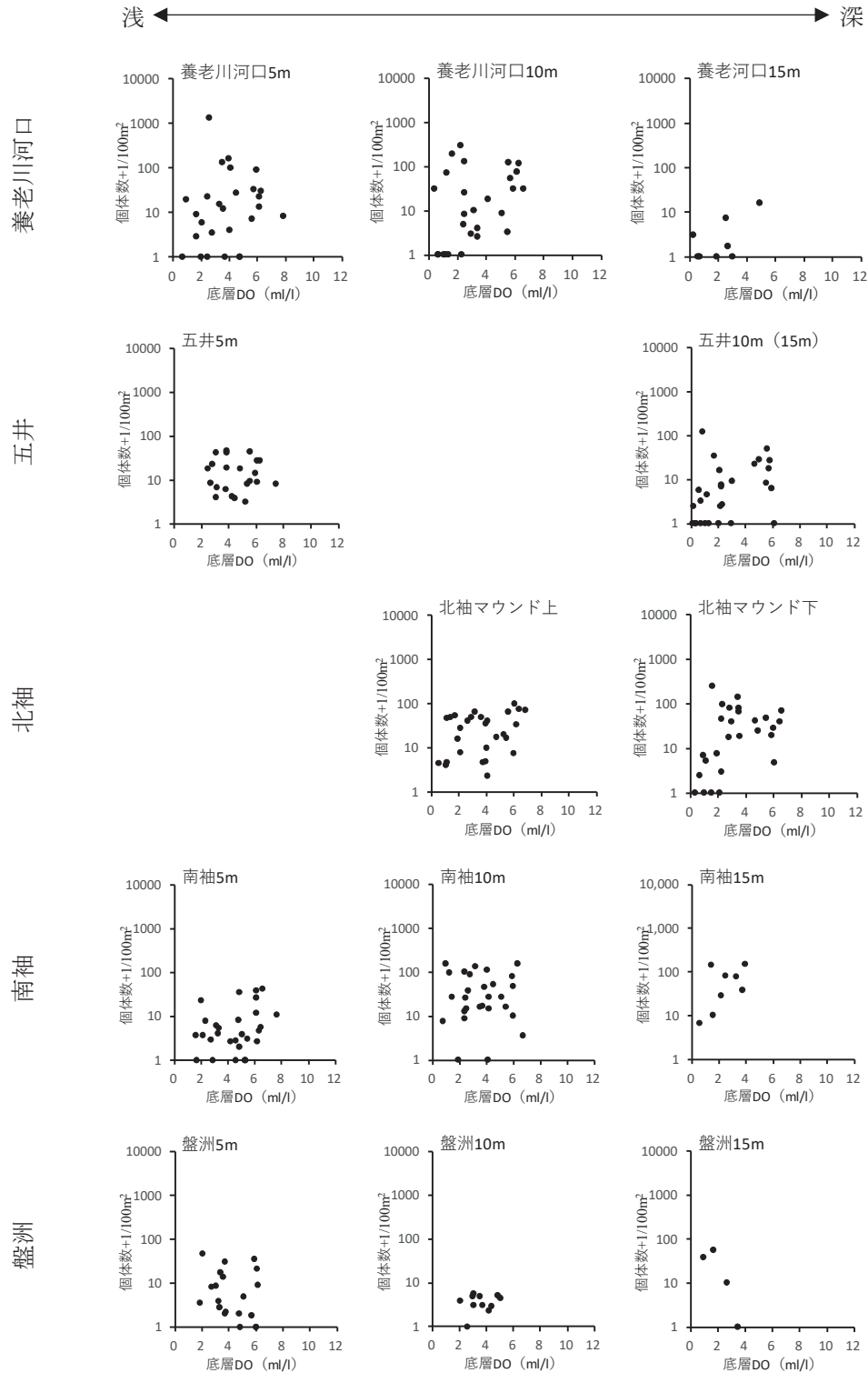


図 2-2-10. 2018 年 10 月～2021 年 12 月のそりネット調査における調査点別の主要甲殻類（イッカクモガニ、エビジャコ属の一種）の分布密度（個体数+1/100 m²：対数目盛）と同月の環境調査時の底層 DO (mL/L) の関係

< 主要貝類 >

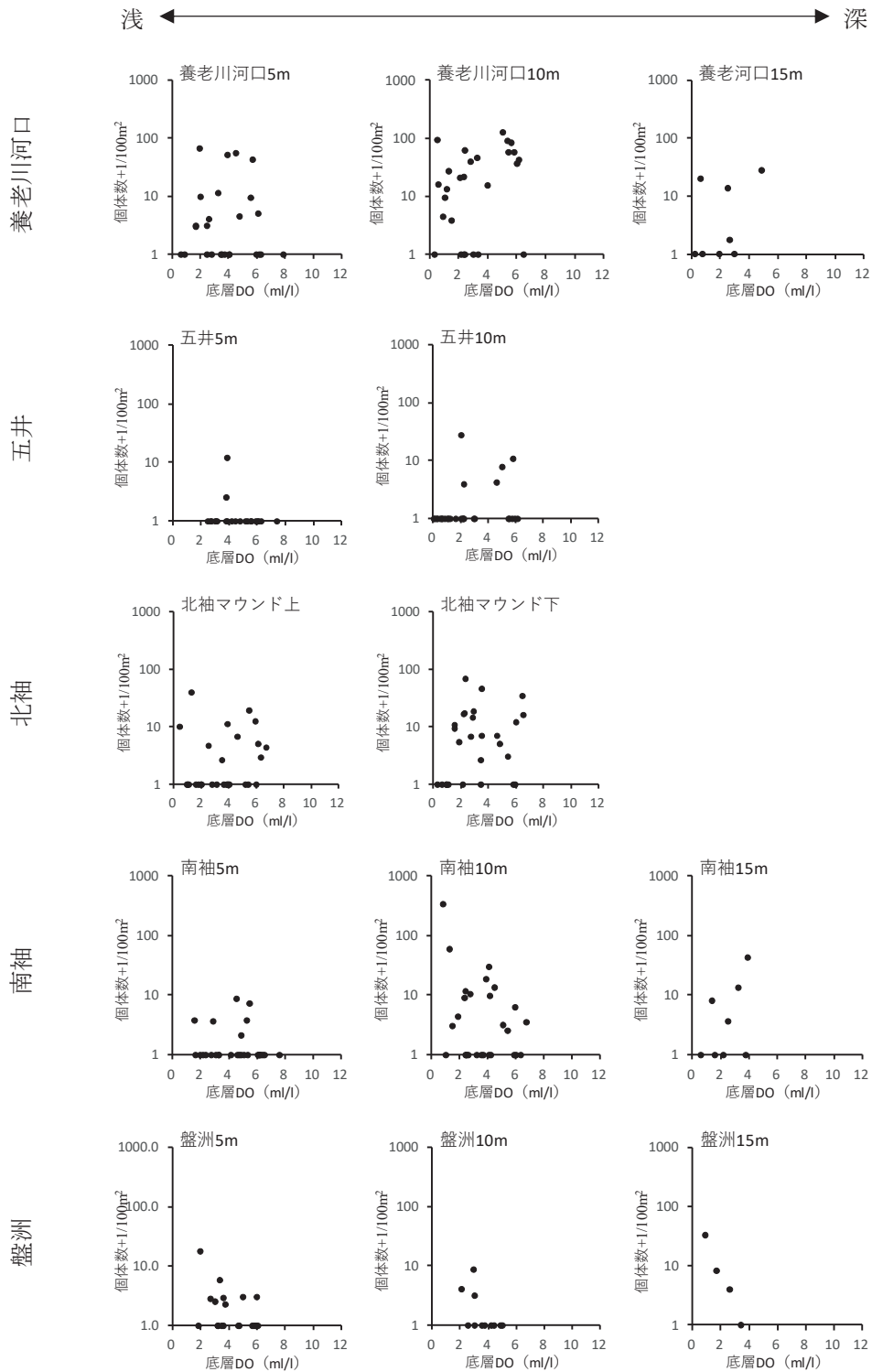


図 2-2-11. 2018 年 10 月～2021 年 12 月のそりネット調査における調査点別の主要貝類（サルボウ、サルボウ属の一種、トリガイ）の分布密度（個体+1/100 m²：対数目盛）と同月の環境調査時の底層 DO（mL/L）の関係

7) 生物群集組成の多変量解析

採泥器による底生生物群集の元データより、総個体数が2個体以下の分類群および、環形動物（多毛類を含む）およびヤドカリ類のデータを除外し、102種群による51サンプルの群集データを解析した。nMDSの二次元配置を行った（図2-2-12）。配置図では、五井（Gi）の5サンプルが上側に、盤洲（Bz）の9サンプルがそのやや右下に位置し、地点内で群集組成が類似していることを示している。また、養老（Yr）、北袖（Ks）、南袖（Ms）のサンプルは、やや広がりを見せるもののそれぞれ配置図の、左下、右下、右上を占め、それぞれの地点内で浅所（5mもしくは上）（u）のサンプルは深所（10mもしくは下）（l）のサンプルと比較して左側もしくは下側に位置することが読み取れた。

得られた二次元配置図に海底直上の溶存酸素量(DO)を曲面フィットさせると、全体的に図の上側でDOが高く下側で低い傾向が得られた（図2-2-13）。しかし、nMDSの二次元配置のストレス値は0.220となり、2次元での配置には少々無理があるため、得られた配置図からは控えめな解釈を行うべきことが示唆された。

ソリネットによる底生生物群集の元データより、総個体数が2個体以下の分類群を除外し、144種群による42サンプルの群集データを解析した。nMDSの二次元配置を行った（図2-2-14）。ストレス値は0.169となり、二次元での配置図の解釈に大きな無理はないと考えられる。配置図では、盤洲（Bz）の8サンプルがやや左上方に位置し、地点内で群集組成が類似していることを示している。五井（Gi）と南袖（Ms）のサンプルはやや広がりがあるものの、それぞれ配置図の左下と左上を占めている。養老（Yr）と北袖（Ks）のサンプルは全体的に広がっている。全体的に弱いながら、それぞれの地点内で浅所（5mもしくは上）（u）のサンプルは深所（10mもしくは下）（l）のサンプルと比較して左側もしくは上側に位置する傾向がある。

得られた二次元配置図に海底直上の溶存酸素量(DO)を曲面フィットさせると、全体的に図の左側でDOが高く右側で低い傾向が得られた（図2-2-15）。

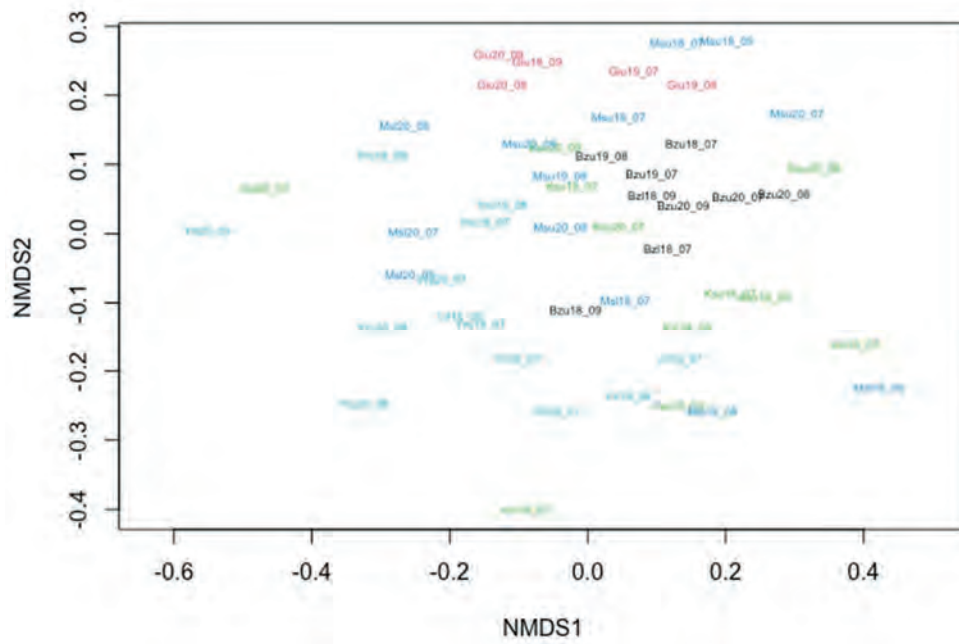


図 2-2-12. 採泥器で得られた夏季の底生生物群集の nMDS による二次元配置図

図中の文字はサンプルのコードで左端の 2 文字が地点（養老:Yr、五井:Gi、北袖:Ks、南袖:Ms、盤洲:Bz）、次の 1 文字が水深（5m もしくは上:u、10m もしくは下:l）、次の 2 文字が調査年、アンダーバーの右側 2 文字が調査月を表し、色は地点ごとに異なっている

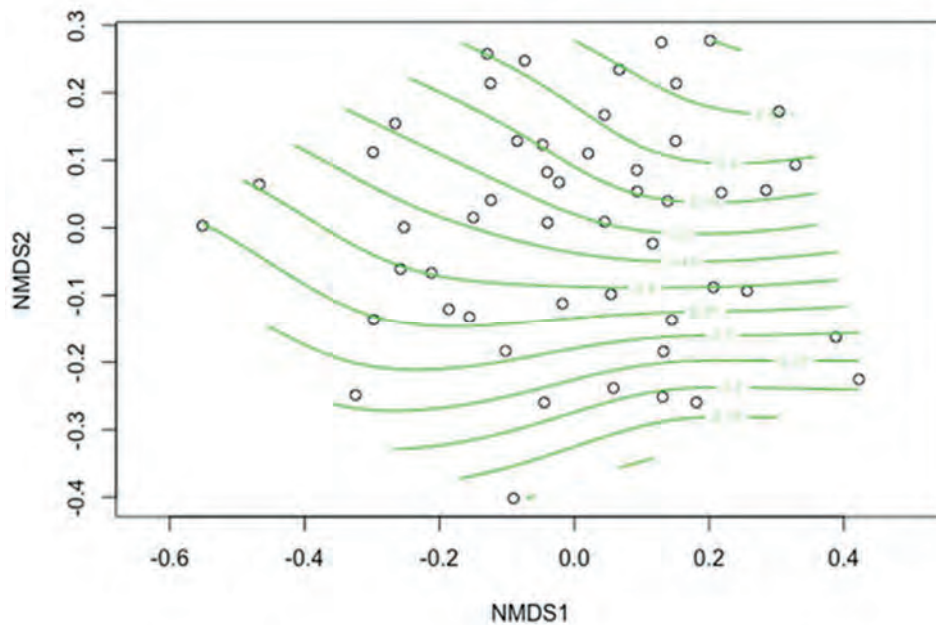


図 2-2-13. 採泥器で得られた夏季の底生生物群集の nMDS による二次元配置図（図 2-2-12）に D0 の傾向を等高線表示させたもの

8) ガザミ類の移動履歴推定

令和 2 年度に明らかにしたようにタイワンガザミは地先への定着性が強いことから、タイワンガザミの炭素・窒素安定同位体比を教師データとして、内湾で漁獲された個体と外湾で漁獲された個体を分ける線形判別関数を求めた。その結果、タイワンガザミは高い確率で、内湾にて漁獲された個体と外湾にて漁獲された個体を分けることが出来た（内湾：97.2% [106/109]、外湾：98.4% [126/128]）。外湾で漁獲されたガザミの炭素・窒素安定同位体比をテストデータとしてこの関数に当てはめることで、内湾の特徴を持つ個体と外湾の特徴を持つ個体との判別を行い、月ごとにそれぞれの割合を算出した（図 2-2-16）。

その結果、外湾で漁獲されるガザミでは、雌雄で異なる傾向が確認された。雄は初夏（7 月）に内湾の特徴を持つ個体の割合が高いが、基本的には通年、外湾の特徴を持つ個体の割合が高かった。その一方で、雌は、春先（5 月・6 月）に外湾の特徴を持った個体の割合が高いが、7 月以降、内湾の特徴を持つ個体が多くみられた。この違いは、ガザミの移動性が雌雄によって異なり、雌が通年内湾から移動してきている一方で、雄の移動は初夏に限定的であることを示唆するものである。今後、継続して分析を進め、ガザミの東京湾内における動態を明らかにし、貧酸素水塊の動態との関連性について検証していく必要がある。

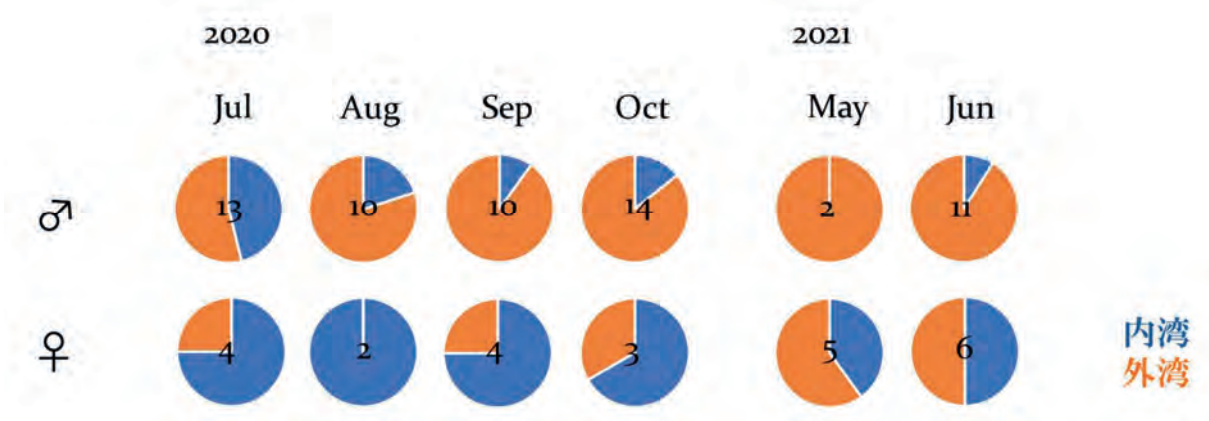


図 2-2-16 外湾で採取したガザミの月別雌雄別の炭素・窒素安定同位体比特性

(4) 平成 30 年度～令和 3 年度のまとめ

- ・ 湾奥寄りの養老川河口、五井、北袖マウンドでは、深場ほど長く、強く貧酸素化する傾向にあり、夏季には浅場の方が生物の分布密度が高い傾向がみられた。
- ・ 10 m 以浅では無生物状態にならないが、15 m では夏季を中心に無生物状態になる年もみられた。
- ・ 人工岸壁と盤洲干潟の境界である南袖では、北袖以北に比べて貧酸素の影響が短く軽微で、夏季に深場でも無生物状態になりにくい傾向がみられた。
- ・ 多毛類および主要魚類（ハタテヌメリ、キララハゼ属の一種、ヒメハゼ）は、底層 DO が概ね 2 mL/L 以下になると分布密度が低下する傾向がみられた。

(5) 貧酸素水塊による影響軽減策の検討

- ・ 底層 DO を 2 mL/L 以上に保つ環境を整備することで、生物の生息量を増やせる可能性がある。
- ・ 内湾北部の養老川河口～南袖の深場において、浅場造成やマウンド造成を行うことで貧酸素水塊による影響が軽減され、生物の生息量を増やせる可能性がある。

参考文献

大畑聡・赤羽祥明・小宮朋之・児玉圭太・李政勲・堀口敏宏（2015）：東京湾北部海域において底層 DO の減少が大型底生生物の生息に及ぼす影響．千葉県水産総合研究センター研究報告，9，27-34

別表 2-2-1. そりネット調査で採集された試料生物の個体数（2021 年）

[illegible]

イ. 東京湾で発生する貧酸素水塊の被害軽減技術の開発

② 浅海域の貧酸素化に対する水産有用種の生存技術の開発

神奈川県水産技術センター栽培推進部

木下淳司、岡部 久

国立研究開発法人水産研究・教育機構

西本篤史

1. 全体計画

(1) 目的

東京湾南西部海域（神奈川県沿岸）において、貧酸素水塊の波及状態と、近年漁獲量が減少しているトリガイ等の有用二枚貝の分布から、貧酸素環境がこれら資源に与える影響を明らかにする。また、資源の有効利用を図るため、貧酸素水塊による影響の軽減策を検討する。

(2) 試験等の方法

東京湾南西部海域（神奈川県沿岸）のトリガイ等分布海域においてトリガイ等分布及び環境調査を実施し、貝の分布と漁場環境との関係を解析することで貧酸素水塊による影響の軽減策を検討する。

2. 令和3年度計画および結果

(1) 目的

東京湾で夏季に発生する貧酸素水塊は、生物の生息や再生産に大きな影響を及ぼすが、本事業で我々が行ってきた調査の結果から、特に貝類など移動性に乏しい生物への影響は大きく、中でも嫌氣的代謝機構を持たないトリガイは、夏場に数日間継続する無酸素状態に耐えることができず、へい死する可能性が高いと考えられた。また、貧酸素水塊が解消した秋以降に稚貝が加入するが、次の夏までしか生きられないため、トリガイが漁獲対象として価値が高まるサイズまで育つことができない。そこで今年度は、トリガイ資源の有効利用を図るため小型のトリガイの垂下養殖試験を実施し、水域環境、生残率及び成長速度等から本種の養殖の可能性について検討する。

(2) 試験等の方法

1) 試験海域

①水質調査

東京湾内に位置する横浜市及び横須賀市の6定点（図2-2-17の●）

②垂下養殖試験

横須賀市新安浦港（図2-2-17の●）

垂下場所は、港内のカキ養殖区画内で海水透過型突堤に隣接し（図 2-2-18）、水深は潮汐により 5.1～7.5m 程度である。

2) 調査期間と調査頻度

①水質調査

令和 3 年 4 月～令和 4 年 3 月

②垂下養殖試験

令和 3 年 6 月～令和 4 年 3 月



図 2-2-17. 試験海域（●水質調査地点：●垂下養殖地点）



（地理院地図より）

図 2-2-18. 垂下養殖地点の拡大図（横須賀市新安浦港内のカキ養殖区画）

3) 調査方法

①水質調査

6 定点にて表層から底層までの水温、塩分、クロロフィル-a 量、溶存酸素量を、JFE アドバンテック社のリンコープロファイラ（2021 年 3 月較正）により測定した。水質調査の頻度は原則月 1 回としたが、垂下養殖試験を行った新安浦港では 6 月から 8 月にかけて追加の調査を実施した。

②垂下養殖試験

ア) トリガイの輸送方法の検討

千葉県木更津市の金田漁協から入手した小型のトリガイ（殻長 60～62 mm）を、神奈川県三浦市の神奈川県水産技術センターまで、2 つの方法で輸送しその適否を検討した。

⑦宅配便による輸送

漁業者が飲食店等向けに活貝を出荷する方法に準じた。5 月 6 日にトリガイ約 50 個体をビニール袋に入れ、小さなバケツ一杯程度の海水を注水した。冷媒を同封した発泡スチロール容器に収容し、エアレーションは行わず宅急便にて常温で輸送した。当所への到着は翌 7 日午前 9 時過ぎであった。容器は計 3 箱で、トリガイの総数は約 150 個体であった。

④水槽を用いた輸送

5 月 21 日に 120 l の容器（図 2-2-19）を用い、現地の海水を 40 l 程度満たし強く曝気しながら、トリガイ約 60 個体を三浦市の当所まで公用車で輸送した。現地から当所のかけ流し水槽へ移すまで、およそ 2 時間であった。

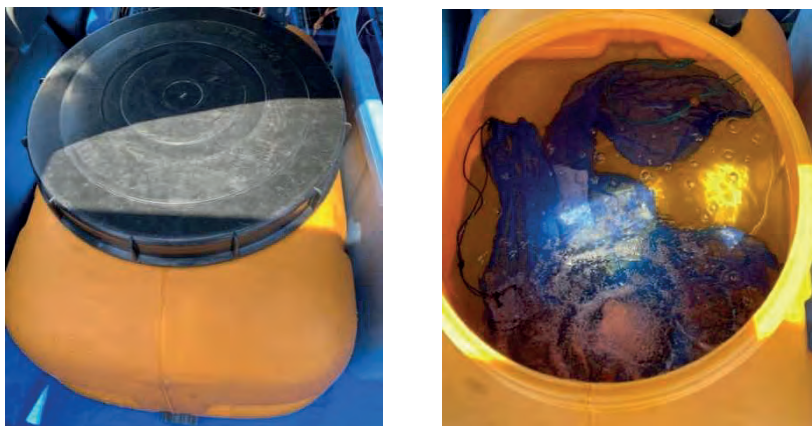


図 2-2-19. 輸送に使用した水槽（左）と槽内の状況（右）

（写真は 6 月 10 日に当所から養殖試験を行った新安浦港までトリガイを輸送した際に撮影）

イ) 垂下養殖試験

上記ア) ④のトリガイを用いた。養殖試験開始（6 月 10 日）まで当所の海水かけ流し水槽にて強曝気を行い、1 日 2 回ナンノクロロプシスを約 80 l / 回与えた（図 2-2-20）。