

東京湾におけるトリガイ幼生の分布と底層 DO の関係

宇都康行^{*1,†}・大畑 聡^{*1,*2}

Relationship between the Distribution of Japanese Cockle *Fulvia mutica* Larvae and Bottom-layer Dissolved Oxygen in Tokyo Bay, Japan

Yasuyuki UTO^{*1,†} and Satoshi OHATA^{*1,*2}

東京湾において、秋季に出現するトリガイ浮遊幼生の分布と溶存酸素量 (DO) の関係から、貧酸素水塊がトリガイ浮遊幼生の分布に与える影響を検討した。浮遊幼生は、表層では9-11月にみられ、底層では10-11月に出現した。幼生の分布は、内湾南部海域から北部海域へと徐々に拡大し、11月前半に内湾の底層でほぼ全域に出現した。また、底層の浮遊幼生密度は、DOが上昇した後に増加した。以上のことから、内湾北部海域に漁場を形成するトリガイ浮遊幼生は内湾南部海域から供給され、貧酸素水塊の解消により、浮遊幼生が底層に出現できるようになるものと示唆された。

キーワード：東京湾、トリガイ幼生、溶存酸素量、貧酸素水塊

はじめに

トリガイ *Fulvia mutica* (REEVE) は、内湾の水深 10-30 m の砂泥地に生息するザルガイ科の二枚貝で、陸奥湾から九州、朝鮮半島、中国沿岸に分布する (松隈 2000)。東京湾では 1980 年代半ばまで多獲されていたが、1980 年代後半から 1990 年代前半は漁獲がなく、1996 年以降再び漁獲されるようになった (図 1)。1980 年代の主漁場は内湾南部海域であったが (田・清水 1997 a), 近年は内湾北部海域となっている。底びき網漁船等の漁業者は、毎年 4-7 月に殻長 60 mm 以上のトリガイを漁獲しており、この時期の重要な収入源となっている。しかし、主漁場の内湾北部海域は、毎年 5-11 月に底層で貧酸素水塊が発生し (石井・大畑 2010), 水産生物の分布や生残に大きな影響を与えている (風呂田 1988, 石井・加藤 2005)。

三河湾では、貧酸素水塊解消後に産卵された秋季の浮遊幼生量が、翌春の資源形成に関連していることが確認されている (岡本・黒田 2007)。東京湾においても、内湾北部海域のトリガイは前年の秋季に着底した

稚貝が翌春に漁獲サイズに成長し漁獲対象となっており (大畑ら 2013), 稚貝の発生量と出現海域は秋季の底層の溶存酸素量 (以下 DO) の影響を受けると考えられている (大畑ら 2018)。加えて、貧酸素水塊の発達に伴い、夏季以降は内湾北部海域で成貝が採取されないため (大畑ら 2013), この海域の成貝は 1 歳未満で死滅し再生産には寄与していないと考えられている。そのため、秋季に内湾北部海域に着底するトリガイ稚貝は、別の海域から輸送された浮遊幼生に起因すると推察されているが、東京湾のトリガイ浮遊幼生の分布を調べた知見は見当たらない。

そこで、東京湾内湾のトリガイの浮遊幼生の分布を経時的に把握し、内湾北部海域に着底する稚貝の供給源の推定を試みるとともに、それらに対する貧酸素水塊の影響を検討した。

*1 千葉県水産総合研究センター 東京湾漁業研究所, 〒293-0042 千葉県富津市小久保 3091
Tokyo Bay Fisheries Laboratory, Chiba Prefectural Fisheries Research Center, Kokubo, 3091, Futtsu, Chiba, 293-0042, Japan
† y.ut@pref.chiba.lg.jp

*2 現所属 千葉県水産総合研究センター

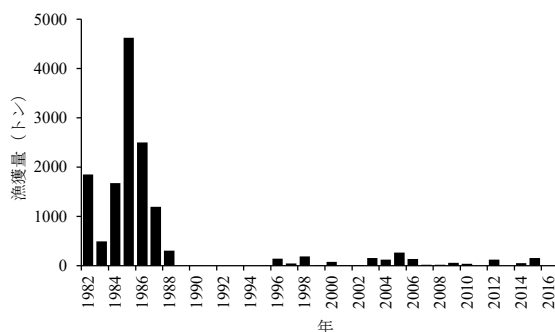


図1 東京湾におけるトリガイ水揚量の経年変化。
千葉農林水産統計年報及び県調べによる

方法

浮遊幼生の採集調査は、2015年は9月から11月まで間、2016年は10月から11月まで間の各月2回実施した。浮遊幼生の採集は、富津岬以北の東京湾において2015年は10点の表層及び底層、2016年は14点の底層の海水を採水して実施した(図2)。採水は、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」により、表層水は船搭載のポンプで海面から約1.5m下の海水を汲み上げ、底層水はエンジンポンプ(PGM-50G 工進)で海底から約1mの海水を汲み上げた。ただし、使用したポンプの揚程の能力から、水深20m以深のSt.6とSt.J5の2点は水深20mから採水した。汲み上げた海水200Lを目合0.075mmのネット(NXX16)でろ過し、ネットに残った懸濁物を含む海水を約500mLに濃縮した。濃縮した海水は目合0.1mmのネットでゴミを除去した後、さらに遠心分離により上清を除去して10mLに濃縮し、 -30°C で凍結保存した。

トリガイ浮遊幼生の検出は、トリガイ浮遊幼生に特異的なモノクローナル抗体による間接蛍光抗体法により行った(浜口1999, 松村ら2001, 岡本・黒田2007)。検出された浮遊幼生は、吉田(1940)、田中(1978)及び藤原(1995)の方法に従い、外部形態からD型期、アンボ期の成長段階に分けて計数し、分布密度を算出するとともに、殻長を計測した。

調査時の海洋環境を把握するために、各調査点で多項目水質計(Model 6600 YSI ナノテック)を用いて鉛直水質観測を行い、 $\text{DO } 2.5 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下を貧酸素水塊とした(柳1989)。また、調査日以外の貧酸素水塊の状況を解析するため、低次生態系モデル(石井ら2011, 宇都ら2017, 「貧酸素水塊分布予測システム」;

<https://www.pref.chiba.lg.jp/lab-suisan/suisan/suisan/hinsanso/index.html>)のDOの計算結果を用いて、貧酸素水塊の体積(規模)を算出した。

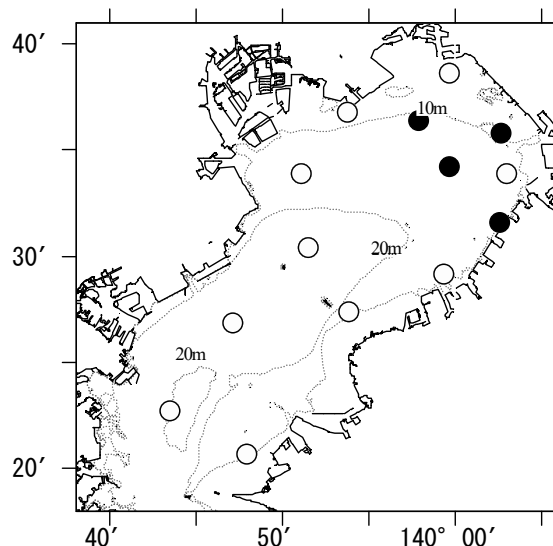


図2 浮遊幼生調査点. 2015年調査点を白丸の10点, 2016年調査点を白丸と黒丸の14点で示す

結果

表層・底層の浮遊幼生分布と底層DO(2015年)

2015年の表層と底層の浮遊幼生の分布密度を図3に示した。浮遊幼生は、表層では9月後半は内湾南部海域から中央部海域で $100\text{--}800 \text{ inds}\cdot\text{m}^{-3}$ の高密度に出現したが、10月前半は全点で出現せず、10月後半は北西部の2点で低密度に出現した。底層では、10月後半までは出現せず、11月前半は南部から中央部で $100\text{--}600 \text{ inds}\cdot\text{m}^{-3}$ の密度で出現し、11月後半は広い範囲で $100\text{--}300 \text{ inds}\cdot\text{m}^{-3}$ の密度で出現した。

全調査点の平均浮遊幼生分布密度は、表層では9月後半の $200 \text{ inds}\cdot\text{m}^{-3}$ が最大で、10月前半は $0 \text{ inds}\cdot\text{m}^{-3}$ 、10月後半は $20 \text{ inds}\cdot\text{m}^{-3}$ 、11月前半は $10 \text{ inds}\cdot\text{m}^{-3}$ 、11月後半は $40 \text{ inds}\cdot\text{m}^{-3}$ であった(図4)。底層では10月後半までは $0 \text{ inds}\cdot\text{m}^{-3}$ 、11月前半に $140 \text{ inds}\cdot\text{m}^{-3}$ 、11月後半に $130 \text{ inds}\cdot\text{m}^{-3}$ であった。

内湾の表層DOの最小値は10月前半の $3.6 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ で、平均 $5.0 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ 前後であった(図5上)。底層DOの最小値は9月前半の $0.3 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ で、平均 $1.6 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ であった(図5下)。底層DOは、10月後半以降は平均値で $3.0 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ を上回り、11月前半以降は最小値でも $2.0 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上となった。

浮遊幼生の殻長組成をみると（図 6），表層では 9 月後半に殻長 160 μm 前後と 230 μm 前後の 2 つの群がみられ，成長段階も前者は D 型期からアンボ期の幼生，後者はアンボ期以降の幼生と異なっていた。その後は採取数が少なく，明確なピークがみられなかった。底

層では，11 月前半は異なる殻長の浮遊幼生が低密度に出現し，ほとんどが殻長 200 μm を超えていた。11 月後半は，殻長 150 μm 前後と 200 μm 以上のいずれもアンボ期以降の幼生であった。

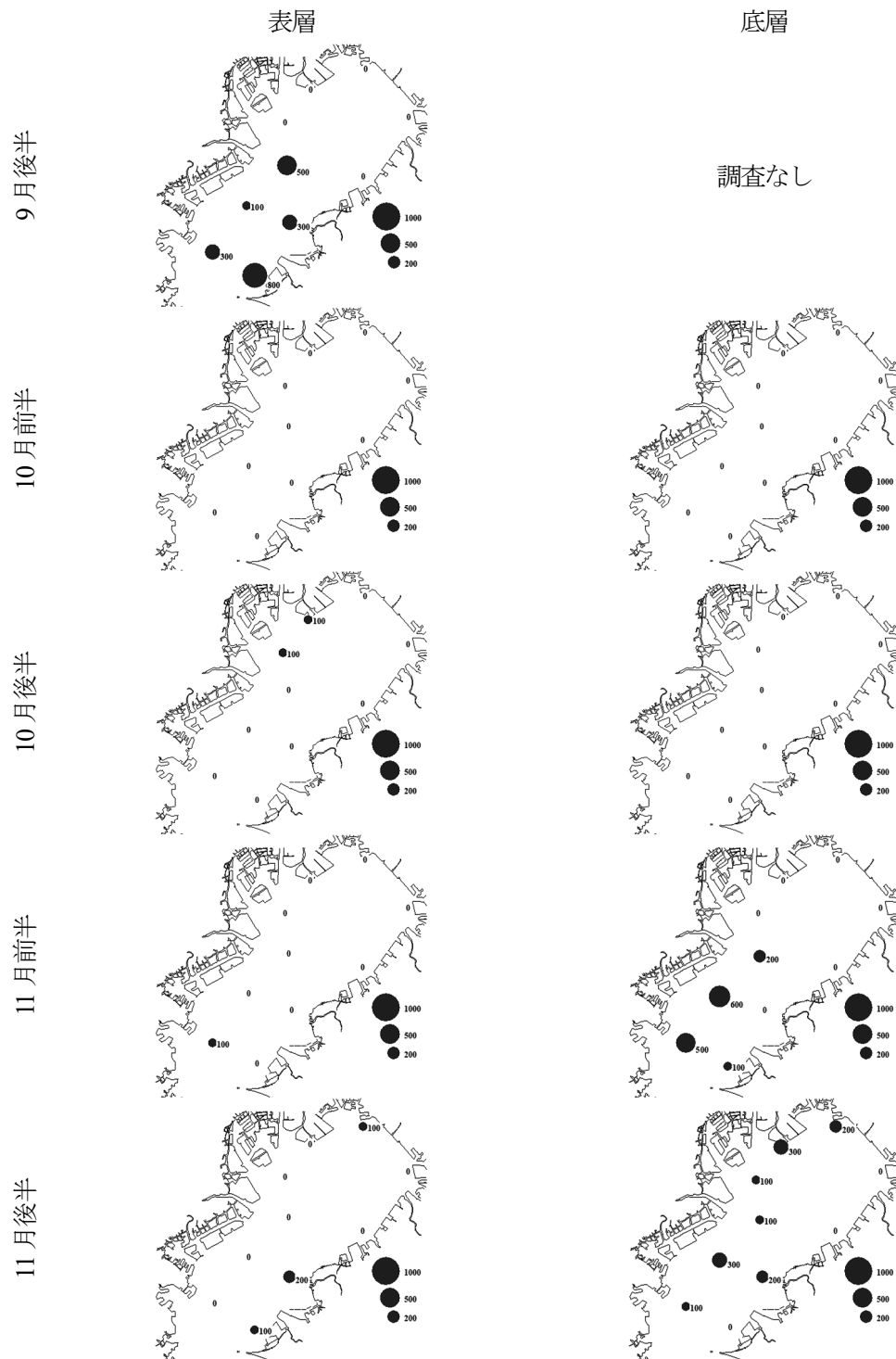


図 3 2015 年表層と底層の浮遊幼生分布. 黒丸は 1 m^3 あたりの浮遊幼生個体数を示す

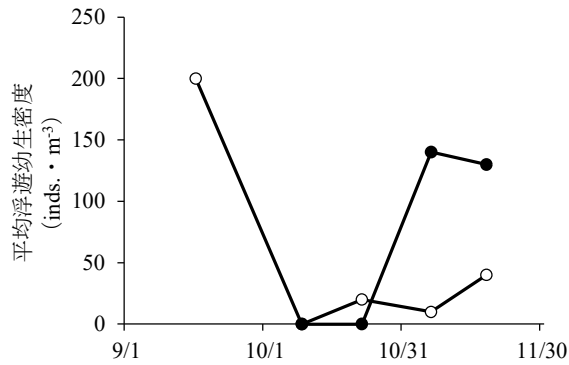


図4 表層（白丸）と底層（黒丸）の浮遊幼生個体数の推移。（10 調査点の平均値）

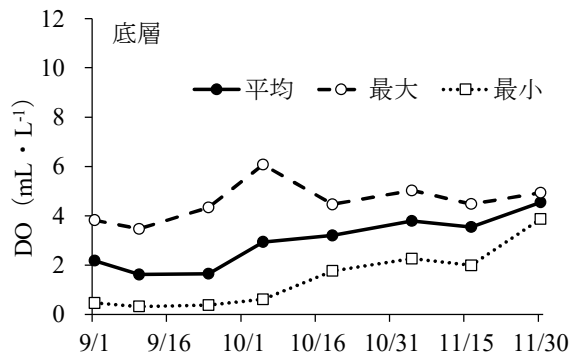
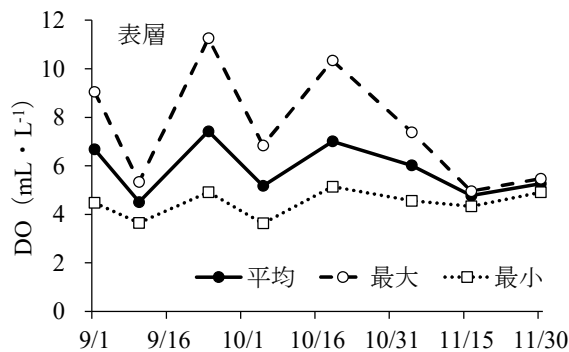


図5 表層と底層のDO (mL・L⁻¹) 推移. 10 調査点の平均値, 最大値, 最小値を示す

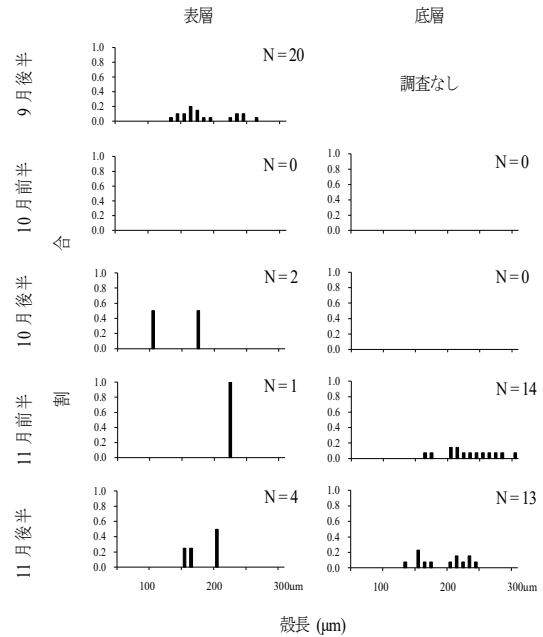


図6 2015年浮遊幼生の殻長組成

底層の浮遊幼生分布と底層DO（2016年）

2016年の底層の浮遊幼生の分布密度と底層DOの分布を図7に示した。10月前半は、貧酸素水塊が内湾北東部海域を中心に広範囲に形成され、浮遊幼生は貧酸素化していない内湾南部海域に多く、貧酸素化していなかった内湾北西部海域にも低密度で分布した。10月後半は、貧酸素水塊が内湾北部海域の中央にやや縮小し、浮遊幼生は内湾南部海域と内湾北部海域の沿岸浅海域に分布を拡大した。11月前半は、貧酸素水塊が解消し、浮遊幼生の分布が全域に拡大し、特に、富津沖 (5,800 inds.・m³) や船橋沖 (5,200 inds.・m³) 及び千葉沖 (3,200 inds.・m³) 等で高密度となった。11月後半は、貧酸素水塊は解消されたままであり、浮遊幼生の分布は変わらず、分布密度が減少した。

浮遊幼生の殻長組成をみると（図8）、10月は殻長220-280μmの幼生が主体であった。11月は殻長250μm前後が多く、11月後半は殻長150-170μmの幼生の出現もみられた。2016年10-11月に底層で採取された浮遊幼生は、150μm前後から200μm以上のアンボ期以降の幼生が最も多く、殻長300μmを超える着底直前の初期稚貝もみられた。一方2015年9-10月に確認されたような150μm以下のD型期幼生は少なく、11月後半に1個体採取されたのみであった。

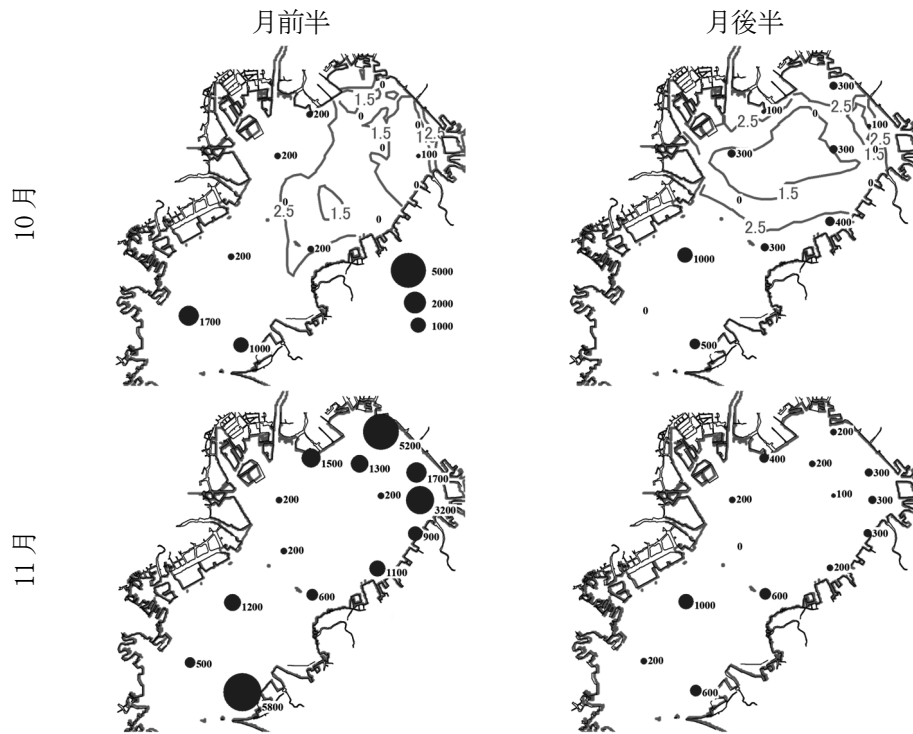


図7 2016年底層の浮遊幼生と底層 DO の分布. 黒丸は 1m^3 あたりの浮遊幼生個体数を, 等値線は底層 DO ($1.5\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$, $2.5\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$) を示す

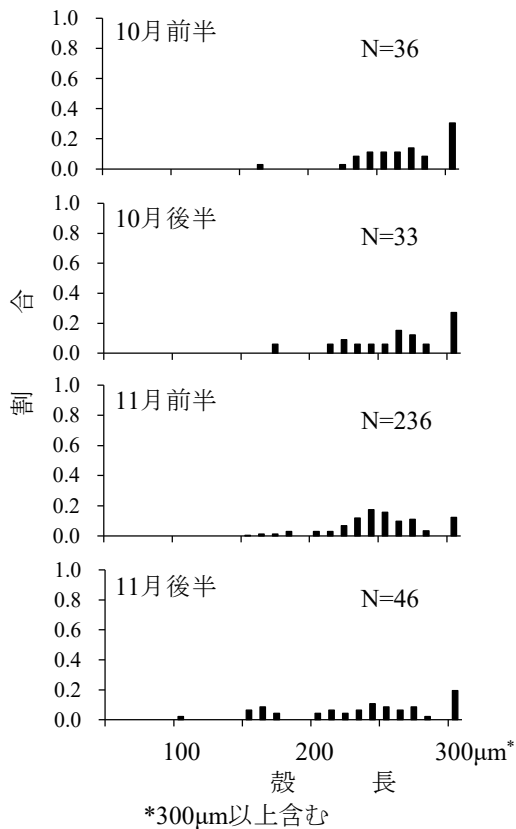


図8 2016年浮遊幼生の殻長組成

貧酸素水塊の消長と浮遊幼生の関係

2015 年, 2016 年の底層で採取された浮遊幼生が, どのような DO 環境で採取されたかを図 9 に示した。88.9%が底層 DO $2.5\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上の環境下で採取され, DO $2.5\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$ 未満は 11.1%であった。

低次生態系モデルで算出された内湾の貧酸素水塊 (底層 DO $2.5\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下) の体積 (規模) と, 1 地点あたりの平均浮遊幼生密度を比較した (図 10)。2015 年の貧酸素水塊は 6 月から大きく発達し, 7 月上旬に 7.87km^3 と最大になった。7 月下旬に一旦縮小したが, 8 月上旬以降再発達し, $3\text{--}5\text{km}^3$ に拡大した。その後, 8 月下旬以降に縮小し始め, 10 月以降ほぼ解消した。底層の浮遊幼生は貧酸素水塊が解消した 11 月上旬に 1 地点平均 $140\text{inds}\cdot\text{m}^{-3}$ の最大値を示した。

2016 年の貧酸素水塊は 7 月から次第に大きくなり, 8 月下旬に一度縮小した後, 9 月中旬から下旬にかけて再発達し 5.43km^3 と最大になった。10 月以降は徐々に縮小し, 11 月上旬にほぼ解消した。底層の浮遊幼生は, 貧酸素水塊が縮小し始めた 10 月以降に確認され, ほぼ解消した 11 月上旬に 1 地点平均 $1,680\text{inds}\cdot\text{m}^{-3}$ の最大値を示した。

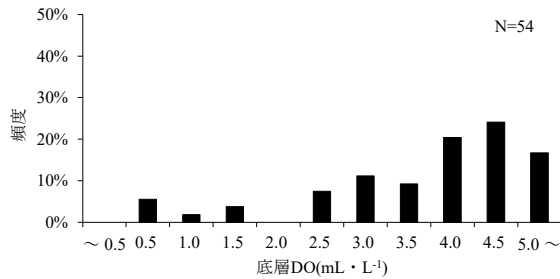


図9 底層 DO と底層浮遊幼生採取頻度. 2015 年と 2016 年の結果の合計

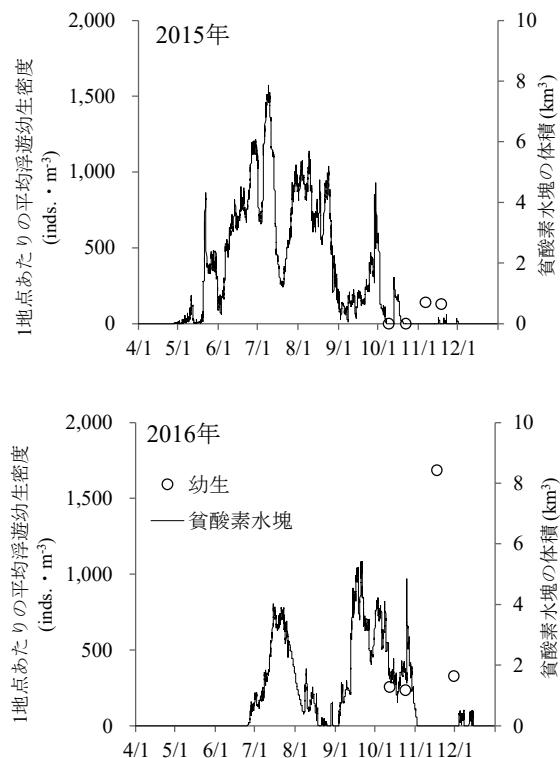


図10 貧酸素水塊の体積と底層の浮遊幼生密度

考察

産卵期と産卵場所の推定

トリガイは雌雄同体で、産卵期は周防灘や京都府で春季と秋季の年2回と報告されている(井上 1955, 西広 1980)。東京湾での産卵期は、4-7月で盛期は5-6月と報告された事例があるが(田・清水 1997b), 横浜地先で漁獲されたトリガイを対象としていることから、内湾北部海域の資源の産卵期とは異なる可能性がある。大畑ら(2013)は、東京湾の北部海域で11-12月に見られる稚貝は、9月以降の産卵による個体であり、翌年の春季から初夏に殻長60mmまで成長すると推測

している。本報告でも、2015年9月後半の表層でD型期幼生を含む浮遊幼生が採取されたことから、東京湾においても、秋季の産卵が行われていると考えられる。

産卵場所については、前述のとおり内湾北部海域は11月まで貧酸素化が継続すること、夏季から秋季は内湾北部海域で成貝の採取がないこと、水温21.6℃では24時間でD型期幼生となることから(西広 1980), D型期幼生が採取された内湾南部海域付近と考えられる。トリガイの産卵は、20℃前後への水温の上昇又は下降が誘発要因と考えられ(Chang and Lee 1982), 表層で浮遊幼生が採取された2015年9月後半の底層水温分布と比較すると、産卵に適した水温は内湾南西部海域と重なっていた(図11)。以上のことから、秋季の産卵場所は内湾南部海域の可能性が高いと推定された。内湾南部海域では春季産卵が行われていることも考えられるが、春季から夏季にかけての内湾北部海域の底層の低DO環境から推察すると、内湾北部海域で幼生が着底後に生残することは困難であり、資源として残る可能性は低いと考えられる。

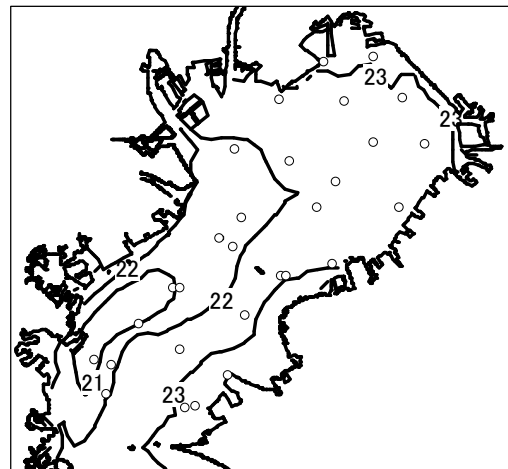


図11 2015年9月後半の底層水温分布(単位:℃)

貧酸素水塊が浮遊幼生に与える影響

表層で浮遊幼生が採取された2015年9月後半から11月後半の表層DOは、3.6 mL · L⁻¹以上で推移しており、浮遊幼生の生存に問題のない範囲であった。そのため、表層での浮遊期間は低DOの影響は無いものと考えられる。

一方、2015年の底層DOの最小値は、9月前半から10月後半まで0.3-1.8 mL · L⁻¹と、長期間の貧酸素化がみられ、浮遊幼生の生存に影響を及ぼしていたと考えられる。11月前半にはほとんどの海域で貧酸素水塊が

みられ、浮遊幼生の生存に影響を及ぼしていたと考えられる。11 月前半にはほとんどの海域で貧酸素水塊が解消し、それ以降に底層で浮遊幼生が採取された。

トリガイ浮遊幼生の低 DO 耐性に関する報告はないが、成貝は水温約 20°C では DO 1.5 mL・L⁻¹ 以下、水温 25-27°C では DO 1.0 mL・L⁻¹ 前後で死に至るとされ (野上ら 1981)、DO 2.0 mL・L⁻¹ では 28 時間経過後からへい死がみられる (松野・木村 2002)。アサリ *Ruditapes philippinarum* の浮遊幼生は、水温 23.7-26.6°C の範囲において、DO 0.1 mg・L⁻¹ (約 0.07 mL・L⁻¹) 未満ではふ化後 9 日目までの浮遊幼生が、曝露 24 時間以内にはほぼへい死し、DO 3.0 mg・L⁻¹ (約 2.1 mL・L⁻¹) ではふ化後 3 日目までの浮遊幼生が、曝露 24 時間以内に 60% 以上へい死する (TOBA et al. 2008)。これらの報告から推察すると、トリガイ浮遊幼生も、2.0-1.5 mL・L⁻¹ 以下の低 DO が生存に影響を及ぼすと考えられる。2015 年の場合、9 月後半から 10 月前半に内湾北部海域で底層へ沈降した浮遊幼生は、底層の低 DO の大きな影響を受け着底が困難であったと思われる。また、2016 年の場合、底層での浮遊幼生は、10 月は貧酸素化していない地点で多くみられ、11 月に貧酸素水塊が解消すると、浮遊幼生の出現は大幅に増加した。三河湾におけるトリガイの資源形成には、浮遊幼生の高密度分布と貧酸素水塊の解消が時空間的に一致することが重要であると結論付けている (長谷川ら 2022) ことから、東京湾においても、内湾北部海域のトリガイ資源形成は、貧酸素水塊の消長と、浮遊幼生の密度や底層への移行のタイミングによって大きく左右されると考えられる。さらに、底層で採取された浮遊幼生のほとんどが殻長 150 μm 以上と大型の浮遊幼生で、これはアサリ浮遊幼生での報告と同様であった (粕谷 2005)。アサリ幼生では、成長に伴う遊泳特性の変化や気象海象条件等によって底層へ沈降するとされ (鳥羽ら 2012)、秋季産卵のトリガイの場合、これらの要因に加え、内湾で秋季に起こる海水の鉛直混合 (石井ら 2008) が浮遊幼生の底層への移行を促進する可能性も考えられる。なお、東京湾における、前年の貧酸素水塊の解消時期と次年の内湾北部海域のトリガイ資源量との関係については、今後検討すべき課題である。

内湾北部海域のトリガイの生活史と資源の有効活用

過去の知見や本報告の結果から、内湾北部海域のト

リガイの生活史を推定すると、秋季に内湾南部海域で産出された浮遊幼生が、風等の海面流況によって内湾北部海域へ輸送され、貧酸素水塊の解消に伴って底層へ移行し着底する。着底後は、外敵生物が少なく、餌料が豊富な海域特性から高成長を保ち、翌春までに成貝 (殻長 50 mm) となり漁獲対象 (殻長 60 mm 以上) となる。漁獲されなかった成貝は、初夏以降に発達する貧酸素水塊によって死滅し、漁場が消滅する。推定した生活史から、内湾北部海域のトリガイは、貧酸素水塊が常態化する現在の東京湾の環境において、漁獲サイズまでうまく成長出来ている種であると言える。

一方、内湾北部海域で成貝となり漁獲されなかったトリガイは、同海域で再生産に寄与できず、死貝が分解される過程で酸素を消費し、底層の貧酸素化に拍車をかけている可能性が考えられる。今後は、毎年貧酸素化する海域と重なる内湾北部海域の漁場の資源の有効利用策について、漁業者や行政と連携し、検討を進めていくことが望まれる。

トリガイ浮遊幼生の検出のため、国立研究開発法人水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所 (現 水産技術研究所 廿日市庁舎) からモノクローナル抗体を提供していただきました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

文献

- CHANG, Y. J. and T. Y. LEE (1982) Gametogenesis and Reproductive Cycle of the Cockle, *Fulvia mutica* (Reeve). *Bull. Korean Fish. Soc.*, 15, 241-253.
- 藤原正夢 (1995) トリガイ種苗生産における異常発生と奇形幼生の出現要因. 水産増殖, 43, 455-460.
- 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, 104-113.
- 浜口昌巳 (1999) 貝類浮遊幼生の免疫学的特性の解明. 魚介類の初期生態解明のための種判別技術の開発, 農林水産技術会議事務局, 東京, 21-31.
- 長谷川拓也・宮川泰輝・服部宏勇・松井紀子・二ノ方圭介・日比野 学 (2022) 三河湾における貧酸素水塊とトリガイ資源の動態. 水産海洋研究, 86, 97-109.

- 井上 泰 (1955) トリガイの生態学的研究－Ⅱ 産卵期について. 日水誌, 21, 27-29.
- 石井光廣・古川恵太・佐々木 淳・柿野 純・増田修一・小森明裕・桃井幹夫・麻生晃也 (2011) 東京湾底層 DO 分布の短期予測システムの水産分野への活用に向けた実証的研究. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 67, 1_1236-1240.
- 石井光廣・長谷川健一・柿野 純 (2008) 千葉県データセットから見た東京湾における水質の長期変動. 水産海洋研究, 72, 189-199.
- 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漁獲位置の関係. 千葉水研研報, 4, 7-15.
- 石井光廣・大畑 聡 (2010) 東京湾の水質と貧酸素水塊変動. 沿岸海洋研究, 48, 37-44.
- 粕谷智之 (2005) 東京湾におけるアサリ浮遊幼生の動態. 水総研セ研報, 別冊, 51-58.
- 松隈明彦 (2000) ザルガイ科. 「日本近海産貝類図鑑」奥谷喬司編, 東海大学出版, 東京, 949-957.
- 松村貴晴・岡本俊治・黒田伸郎・浜口昌巳 (2001) 三河湾におけるアサリ浮遊幼生の時空間分布―間接蛍光抗体法を用いた解析の試み―. 日本ベントス学会誌, 56, 1-8.
- 松野 進・木村 博 (2002) 山口県大島郡北部海域におけるトリガイの生態と資源管理に関する研究-V トリガイの高水温耐性および低酸素耐性. 山口水研研報, 1, 23-29.
- 西広富夫 (1980) トリガイ人工採苗に関する研究－Ⅰ 産卵誘発と初期発生. 京都海洋セ研報, 4, 13-17.
- 野上和彦・梅沢 敏・阪口清次・福原 修 (1981) トリガイ *Fulvia mutica* (REEVE) の酸素消費量と高水温期におけるへい死との関係について. 南西水研報, 13, 19-28.
- 大畑 聡・石井光廣・梶山 誠 (2013) 東京湾におけるトリガイ稚貝の着底時期と成長. 日水誌, 79, 977-986.
- 大畑 聡・児玉圭太・堀口敏宏 (2018) 東京湾におけるトリガイ稚貝の生息に及ぼす貧酸素水塊の影響. 千葉水研研報, 12, 49-54.
- 岡本俊治・黒田伸郎 (2007) 秋季の三河湾におけるトリガイ浮遊幼生の出現について. 愛知水試研報, 13, 1-5.
- 田中彌太郎 (1978) トリガイの幼生および初期稚貝の同定について. 水産増殖, 26, 60-63.
- 田 永軍・清水 誠 (1997a) 東京湾におけるトリガイの漁獲量変動と個体群構造. 日水誌, 63, 353-360.
- 田 永軍・清水 誠 (1997b) 東京湾におけるトリガイの成長, 成熟と産卵期. 日水誌, 63, 361-369.
- TOBA, M, T. KOSEMURA, H. YAMAKAWA, Y. SUGIURA and Y. KOBAYASHI (2008) Field and Laboratory observations on the hypoxic impact on survival and distribution of short-necked clam *Ruditapes philippinarum* larvae in Tokyo Bay, central Japan. *Plankton Benthos Res.*, 3, 165-173.
- 鳥羽光晴・山川 紘・庄司紀彦・小林 豊 (2012) 東京湾での周年採集によるアサリ幼生の鉛直分布の特徴. 日水誌, 78, 1135-1148.
- 宇都康行・大畑 聡・梶山 誠・内藤大輔 (2017) 浅海域を対象とした新たな貧酸素水塊分布予測システム (資料). 千葉水研研報, 11, 45-52.
- 柳 哲雄 (1989) シンポジウム「貧酸素水塊」のまとめ. 沿岸海洋研究ノート, 26, 141-145.
- 吉田 裕 (1940) トリガイの浮遊仔貝並に稚貝に就いて. ヴェキナス, 10, 87-91.

(2024 年 10 月 1 日受付, 2025 年 12 月 19 日受理)