

海域環境再生方策検討作業小委員会・水産資源再生方策検討作業小委員会
第19回合同小委員会

タイラギ健全性に影響する環境要因の評価

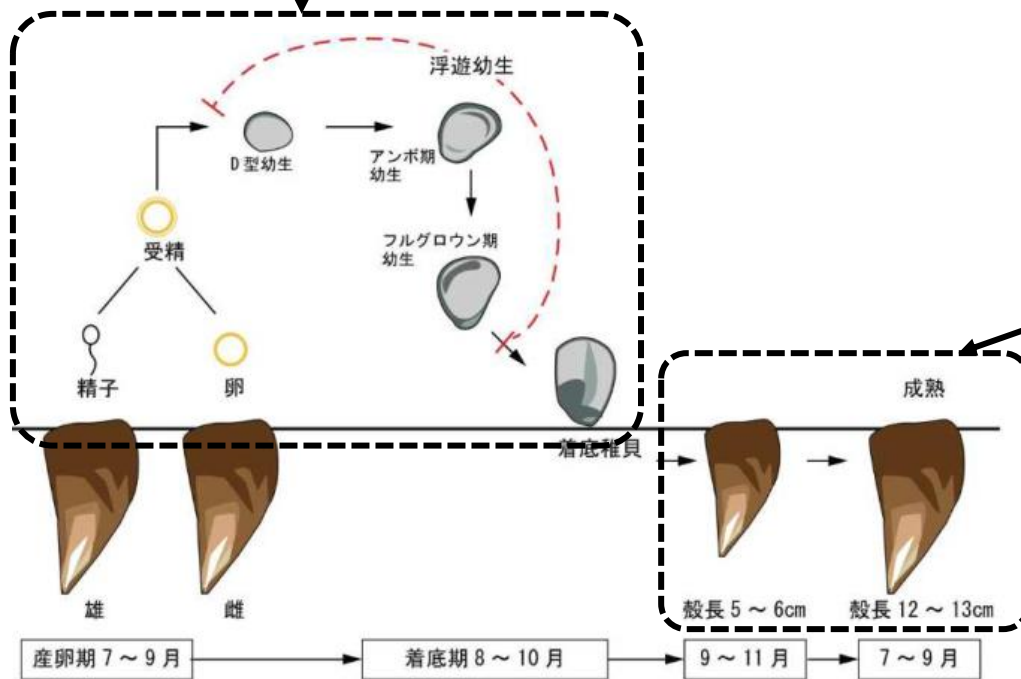
環境省請負「有明海・八代海等再生評価支援
(有明海二枚貝類の減少要因等解明調査)」業務の結果

環境省

本課題の主対象：タイラギの減耗要因等

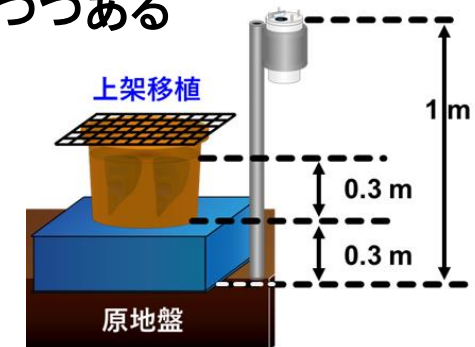


①幼生～着底稚貝期の減耗要因：報告そのものが乏しい。稚貝期以降の減耗要因として明らかになった要因（貧酸素など）についても、報告わずか。



タイラギの生活史
(R3中間取りまとめ図2.9.3-4)

②稚貝～成貝期の減耗要因：
貧酸素や被捕食が報告されてきた。一方、懸濁物の質・量は、報告にとぼしかった。懸濁物の質・量の重要性は、福岡県・本事業等の調査の結果、明らかになりつつある

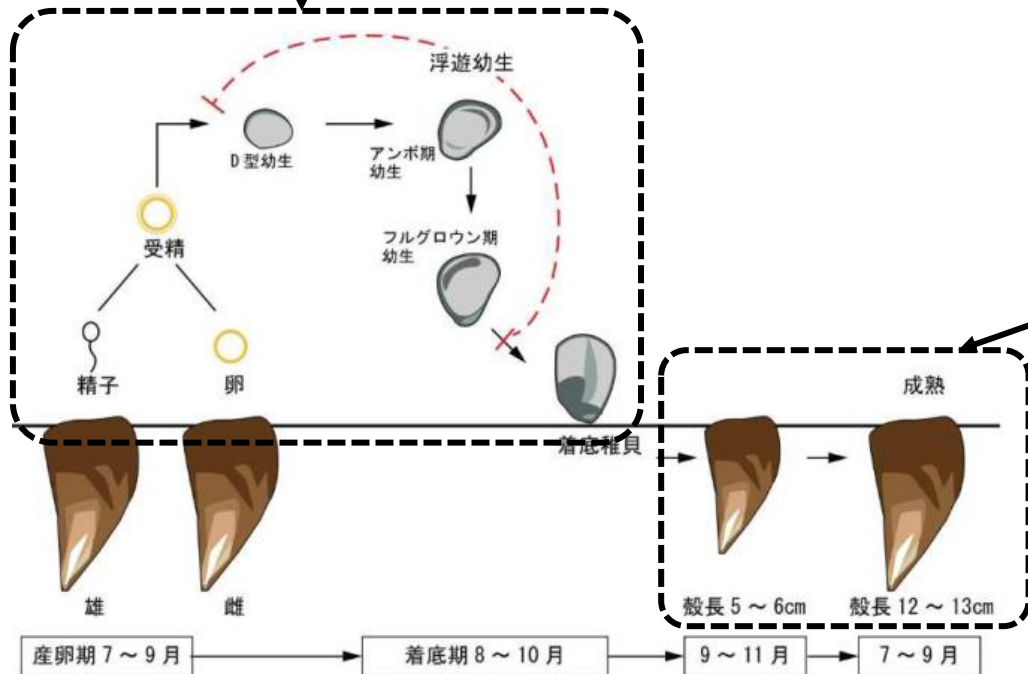


福岡県現場育成試験：原地盤より上架器材でタイラギ種苗は高生残。両者の間で懸濁物の組成・密度は大きく違った

今回の報告内容

①タイラギの稚貝/幼生密度比と環境要因の関係

タイラギの幼生～稚貝期の密度減少率(稚貝/幼生密度比)と、7・8・9月の溶存酸素(DO)濃度等との相関を検討する。第17回小委では8月のDOとの相関のみを検討した。



タイラギの生活史
(R3中間取りまとめ図2.9.3-4)

②タイラギ健全性に及ぼす懸濁物特性の影響

タイラギ未成貝の健全性に対する、さまざまな泥濃度・餌濃度の組み合わせの影響を飼育実験により明らかにする。第17回小委で示した極端な泥濃度に加え、中間的な泥濃度の影響を示す。

③無機懸濁物濃度の変動要因

実験②よりタイラギへの悪影響の明らかになった無機懸濁物の濃度について、変動要因を求める。大潮小潮周期(第17回小委で報告)よりも長い時間スケールの変動要因に注目

今回の報告は「今後の情報の収集・整理・分析などの具体的内容（水産小委）」のうち、下記の抜粋における太文字下線部に該当

（１）有用二枚貝

令和８年度委員会報告に向けて、関係省庁等において集中的に調査・研究が実施されている「タイラギ」、「アサリ」を中心に検討を行う。

なお、生活史（幼生、稚貝、母貝等）の観点から生息状況（時期・場所（海域）・生息量など）を整理するとともに、環境項目等（底質、浮泥、貧酸素、水温、塩分濃度、餌料環境、食害（エイ類や小型捕食者等）等の要因）の影響や、海域ごとの環境特性等との関連性等について、直近のデータも踏まえて分析する。

ウ）立ち枯れへい死の原因・要因の解明

②データ整理・分析に係る留意事項

・浮泥層厚と餌料環境（海域の濁度上昇含む）との関係性について、浮泥の特性と着底稚貝の成長・生残との関係について、動的な浮泥（再懸濁粒子）がタイラギの生活史ステージ別の生残・成長等に及ぼす影響を検討する。

①タイラギの稚貝/幼生密度比と環境要因の関係

目的:過去に知見の乏しかったタイラギ着底の多寡の変動要因に関し、第17回合同小委では、8月の平均溶存酸素(DO)濃度の影響を示唆した(図1)。ここではDO以外の環境要因の影響も検討し、さらに7月と9月についても様々な環境要因の影響を検討する

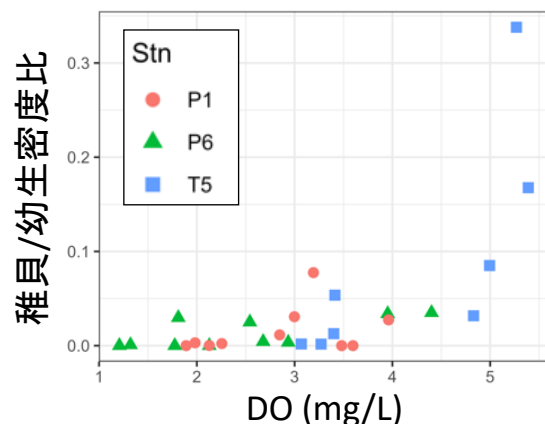


図1:各年8月のタイラギ稚貝/幼生密度比と底層DO平均値の関係

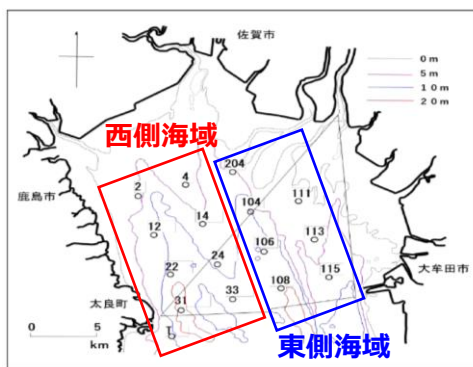


図2:タイラギ浮遊幼生調査(2010年～2023年に佐賀県有明水産振興センターにより実施)の測点と海域区分

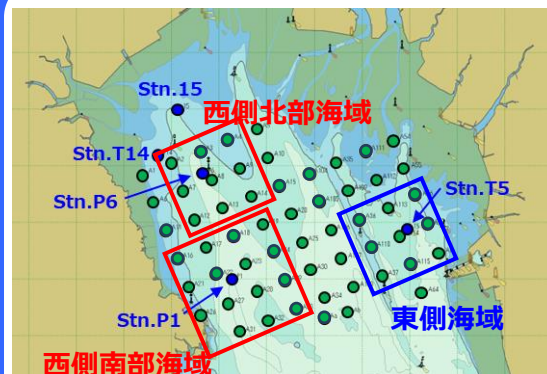


図3:タイラギ生息状況調査(佐賀県有明水産振興センターにより実施)の測点と海域区分(2010年～2023年のデータを使用)

浮遊幼生データ(図2):

2010～2023年の7～9月の各月に複数回のネット鉛直曳き、または複数層ポンプ採水。フルグロウン期幼生(>約0.4mm)の出現個体数を、{目合100 μ m ネットによる総ろ過量(m^3)/水深(m)}で除して密度指標とした。各年について、この指標の3カ月間の値を総和し、幼生密度とした。

タイラギ稚貝データ(図3):

2010～2023年の10～11月の間に年1回、約100 m^2 の海底を潜水観察した。観測定点周辺の海域毎の出現個体数をその年の稚貝個体密度(個体/ m^2)とした。

環境データ(図3; Stns P1, P6, T5):

2010～2023年の7～9月に10分間隔で海底上0.2mにおけるDO、水温、塩分、クロロフィル蛍光値、濁度を記録した。同定点で、月2回、浮泥層厚も測定。

①環境要因データからの好適度指標の計算

8月の環境要因の好適度指標を下記のように計算し、これらと定点別切片に対しタイラギ稚貝/幼生密度比の対数変換値を重回帰した(※)。同様の重回帰を、7月と9月についても行った。計3回(7,8,9月)、非独立なデータを解析したため、有意水準を通常の0.05から $0.05/3 \approx 0.017$ に下げた

・溶存酸素濃度(DO): 解析対象期間における $DO > 2.6 \text{ mg/L}$ ※の出現頻度(出現回数 ÷ DOデータ数)

※ $DO > 2.6 \text{ mg/L}$ ではタイラギ幼生が死亡・形態異常を示さなかった(水研機構など 2017)

・塩分: 解析対象期間における塩分 > 24 ※の出現頻度

※塩分 ≤ 24 でタイラギ幼生が急減耗すると報告されている(大橋2015)

・Chl-a濃度: 解析対象期間における平均値※

※餌料濃度に応じてタイラギ健全性が高まる傾向がみられる(水研機構など 2023-2025)

・SS濃度: 解析対象期間における $SS < 200 \text{ mg/L}$ ※の出現頻度

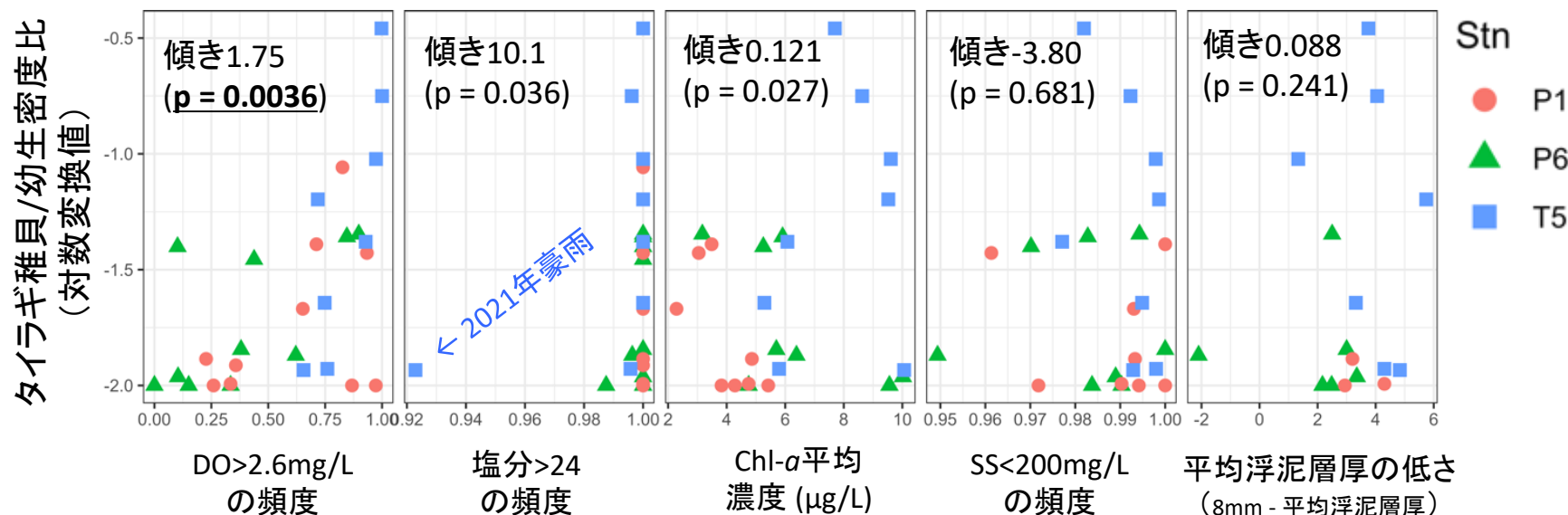
※ $SS < 200 \text{ mg/L}$ でタイラギ健全性が高まる傾向がみられる(水研機構など 2023-2025)

・浮泥層厚: 平均浮泥層厚(mm)を8mmから引いた値※

※浮泥層厚が8mmを超える海域で、タイラギ稚貝密度が0となるという報告(古賀・荒巻 2013)に基づいた

※) 重回帰のモデル・・・対数(稚貝/幼生密度比) = 定点固有の切片 + $b_1 * DO + b_2 * Sal + b_3 * Chl_a + b_4 * SS + b_5 * mud$ + 正規分布型誤差; ここでDO, Sal, Chl_a, SS, mudは上記の5つの好適度指標に対応する。

①タイラギの稚貝/幼生密度比と環境要因の好適度



8月の環境要因の好適度指標と稚貝/幼生密度比。DOのみ有意($p < 0.05/3$)。塩分は2021年8月豪雨に影響され、有意に近い傾向。なお、Chl-aは、低い有意確率を示したが($p = 0.027$)、定点別に見ると、稚貝/幼生密度比との関係が弱い。重回帰式は、対数(稚貝/幼生密度比)=定点別切片 + $1.75 \cdot \text{DO} + 10.1 \cdot \text{Sal.} + 0.121 \cdot \text{Chl_a} + -3.80 \cdot \text{SS} + 0.088 \cdot \text{mud}$ 、で定点別切片の違いつまり定点間の差は非有意だった($p = 0.16 \sim 0.44$)

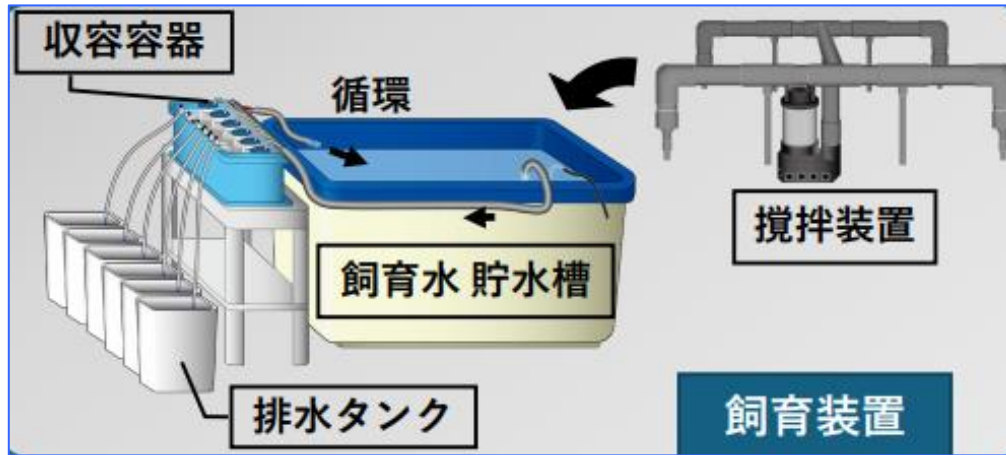
同様の解析を7月と9月の環境要因についても行ったが、全ての環境要因の効果が非有意だった($p = 0.055 \sim 0.975$)。なお、定点間の差も非有意だった($p = 0.36 \sim 0.90$)。

タイラギの着底の盛期(8～9月頃※)のうち、特にDO低下が著しくなる8月に関して、貧酸素のタイラギ着底への悪影響が強まることが示唆された

※産卵盛期が7～8月ごろ(秋本ら1995; Yurimoto et al.2005)、また幼生の浮遊期間が20～40日程度(大橋ら 2008; 古賀・荒巻 2013)、という情報から、着底の盛期を8～9月ごろとみなした。 秋本恒基・林宗徳・相島昇・佐野二郎・二島賢二・渡辺裕介(1995)「造洲漁場におけるタイラギの着底と成長」福岡県水産海洋技術センター研究報告 4: 45-52; 古賀秀昭・荒巻 裕(2013)「佐賀県有明海におけるタイラギ漁業の歴史と漁場形成要因 -特に2009年度漁期の豊漁要因についてのいくつかの考察-」佐賀県有明水産振興センター研究報告 26: 13-24; 大橋智志・藤井明彦・鬼木 浩・大迫一史・前野幸男・吉越一馬(2008)「タイラギ浮遊幼生および着底稚貝の飼育(予報)」水産増殖(Aquaculture Science) 56(2): 181-191; Yurimoto T, Maeno Y, Matsui S, Yoshioka N, Watanabe Y (2005) The Relationship between Sexual Maturation and Glycogen Contents in Visceral Organs of the Pen Shell *Atrina pectinata* in Ariake Bay, Japan. Aquaculture Science(水産増殖) 53(4): 397-404.

②タイラギ健全性に及ぼす懸濁物特性の影響

- ・ 稚貝～成貝期のタイラギの健全性変動要因として検討の不十分だった懸濁物特性について、飼育実験を実施
- ・ 人工種苗を泥濃度3通り(0, 200, 500 mg/L) × 餌濃度5通り(0, 2, 5, 10, 20 $\mu\text{g/L}$)の計15通りの条件で飼育し(※)、健全性の指標がどう変化するかを記録
- ・ 合同小委17では、極端な泥濃度2通り(0, 500 mg/L) × 餌濃度5通り(上記)だけについて結果を提示していた



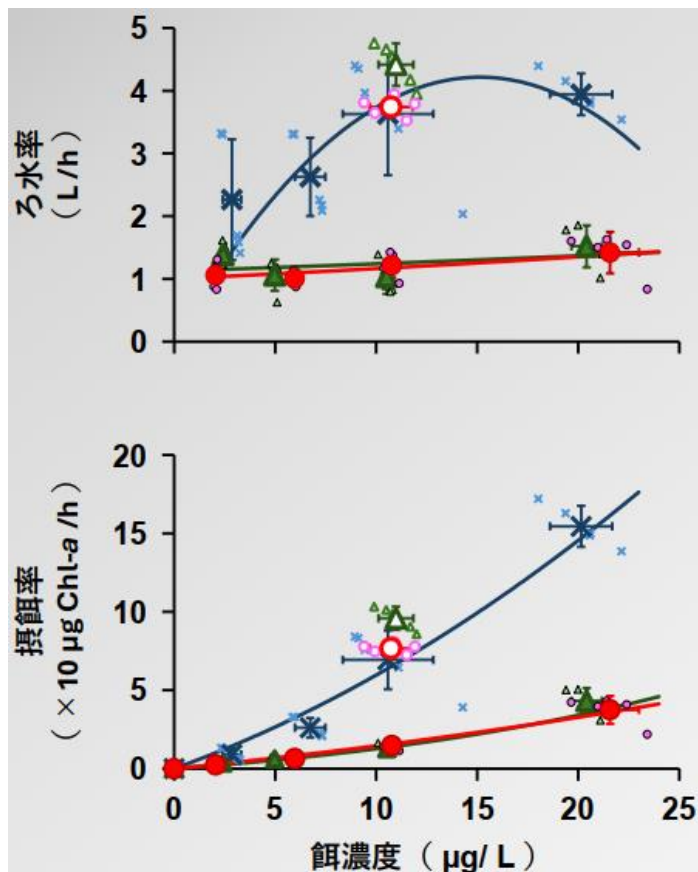
特定の泥・餌濃度の飼育水を貯水槽から収容容器に流した



収容容器で人工種苗を個別飼育した

(※) 全濃度区共通設定・・・水温: 25℃, 飼育期間: 14日間, 供試個体: 1歳貝, 反復: 5個体/濃度区

②タイラギ健全性に及ぼす懸濁物特性の影響(ろ水率、摂餌率)



泥 0 mg/L

実測値・平均値・回帰線

\times

\times

—

\circ

\circ

(R7年度)

\triangle

\triangle

(R6年度)

泥 200 mg/L (R7年度)

実測値・平均値・回帰線

\circ

\circ

—

泥 500 mg/L (R6年度)

実測値・平均値・回帰線

\triangle

\triangle

—

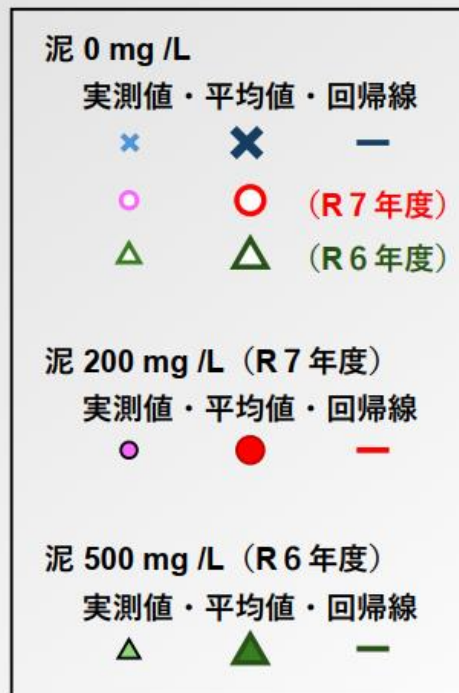
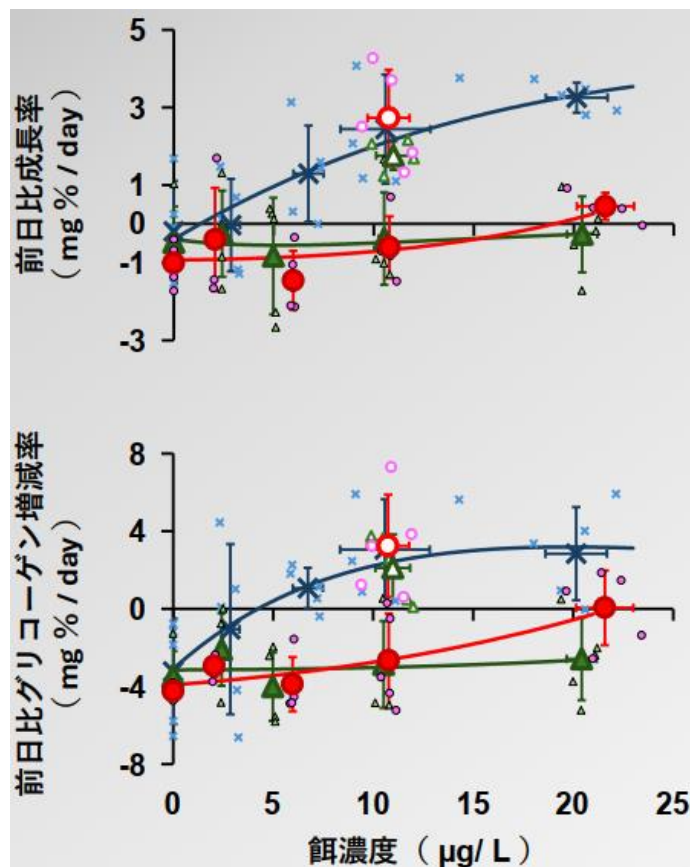
ろ水率も摂餌率も200-500 mg/Lの泥濃度条件下で低下し、餌濃度の低い条件でもこれらは低迷した

回帰曲線は下式のP-Lモデルに準拠
(パラメータ推定値は右表)

$$y = \mu_s \left[1 - \exp\left(\frac{-\alpha x}{\mu_s}\right) \right] \left[-\exp\left(\frac{-\beta x}{\mu_s}\right) \right]$$

目的変数y	説明変数x	泥濃度 (mg/L)	μ_s	α	β
ろ水率	餌濃度	0	4.632	-0.153	0.557
		200	1.002	-7.529	7.514
		500	1.125	-8.192	8.181
摂餌率	餌濃度	0	1951.047	54.922	4.655
		200	3214.292	-1.282	-38.734
		500	9778.994	-0.943	-287.959

②タイラギ健全性に及ぼす懸濁物特性の影響(成長速度関連指標)



前日比成長率も前日比グリコーゲン増減率も、200-500mg/Lの泥濃度条件でおおむねマイナスとなり、餌濃度の低い条件でもこれらの値は低迷した

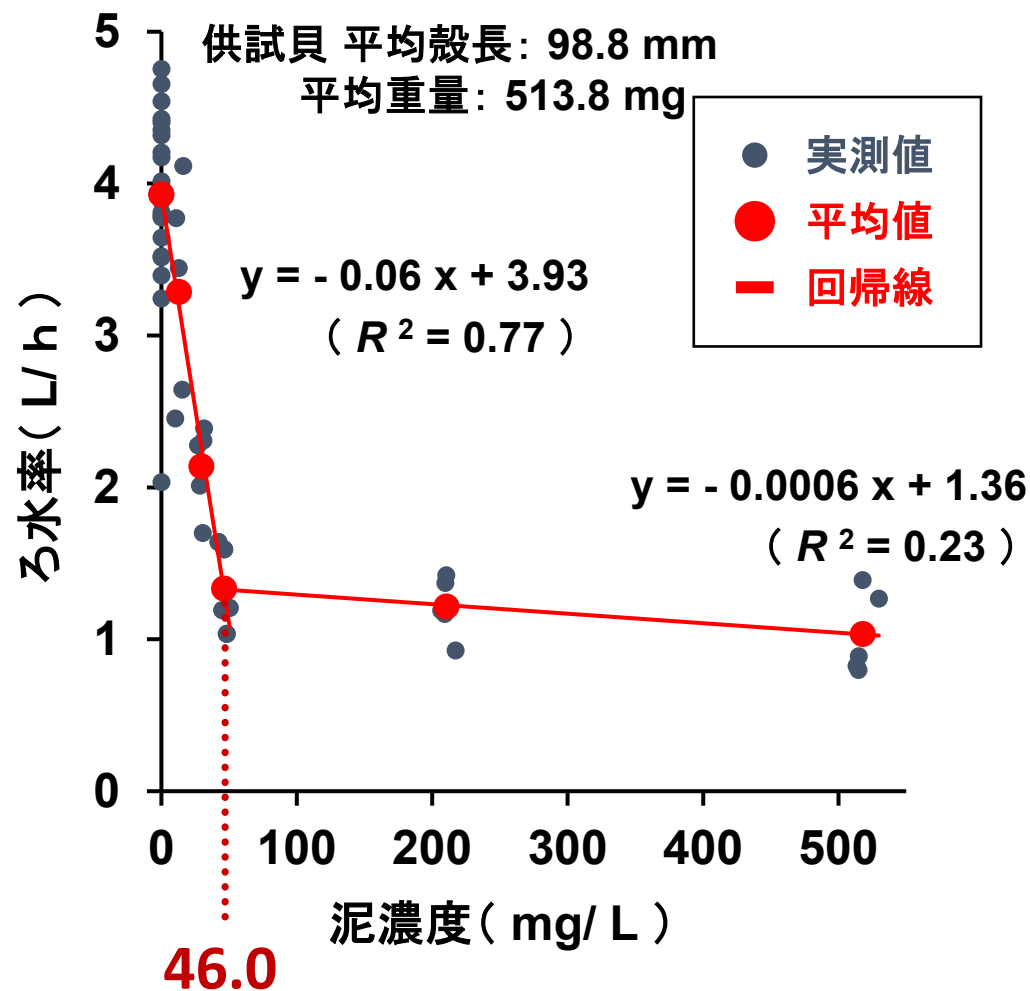
一連の飼育実験結果から、タイラギ健全性は200mg/L以上の泥濃度で低下し、その悪影響は餌濃度の上昇によっては大きく改善されないものと推察された

回帰曲線は下式の改変P-Lモデルに準拠
(パラメータ推定値は右表)

$$y = \mu_s \left\{ 1 - \exp \left[\frac{\alpha(x - l_0)}{\mu_s} \right] \right\} \left\{ -\exp \left[\frac{\beta(x - l_0)}{\mu_s} \right] \right\}$$

目的変数y	説明変数x	泥濃度 (mg/L)	μ_s	α	β	l_0
前日比成長率	餌濃度	0	1138.196	0.29	-30.294	1.335
		200	404.88	0.121	19.173	19.029
		500	285.961	-0.173	-32.88	-3.395
前日比グリコーゲン増減率	餌濃度	0	1096.978	0.557	-70.807	4.239
		200	2304.11	0.314	59.097	21.896
		500	997.912	0.191	22.187	43.472

②タイラギ健全性に及ぼす懸濁物特性の影響(補足:泥濃度設定の細分化)



平均値 まとめ

泥濃度 (mg/L)	ろ水率 (L/h)
0	3.93
13	3.29
30	2.14
46	1.33
211	1.22
518	1.03

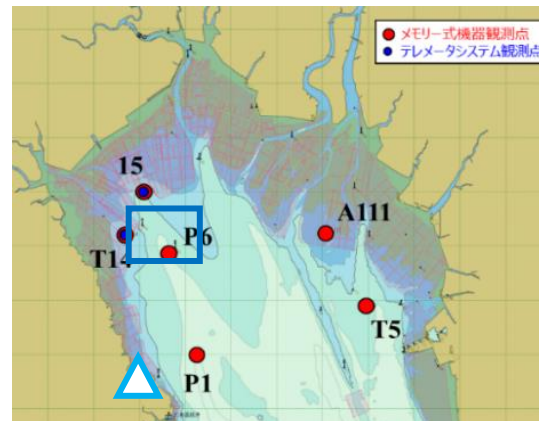
泥濃度とタイラギ健全性の関係は約46mg/L前後で大きく変わる可能性がある。

③無機懸濁物濃度の変動要因

- ・ 稚貝期以降のタイラギへの悪影響が明らかになった無機懸濁物(SS)の濃度について、その長期変動要因は有明海の実測値解析の点では不明に近かった。
- ・ 今回、1大潮小潮周期(約2週間)よりも長い期間について、底層SS濃度の推移、および、その推移と潮汐振幅の関係を報告。
- ・ なお、1大潮小潮周期よりも短い期間での底層SS濃度の推移や変動要因は、第17回合同小委で報告済

使用したデータ

- ・ 底層SS濃度: 2013-2024年の6-10月に観測点P6の海底上20cmに設置したセンサーの10分間隔の記録
- ・ 潮位: 大浦の検潮所における5分間隔の記録

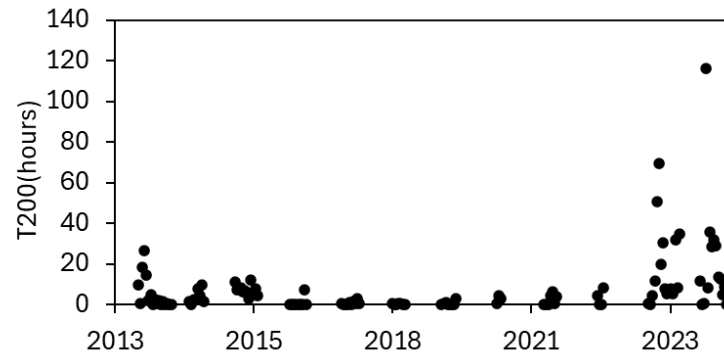
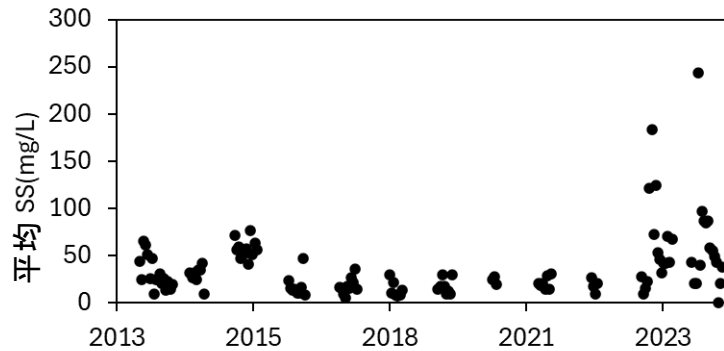


観測点P6(●)と
大浦検潮所(△)
の位置

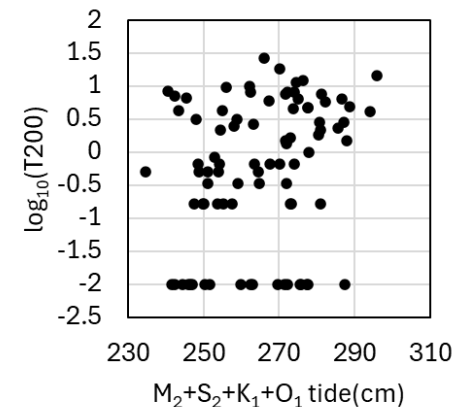
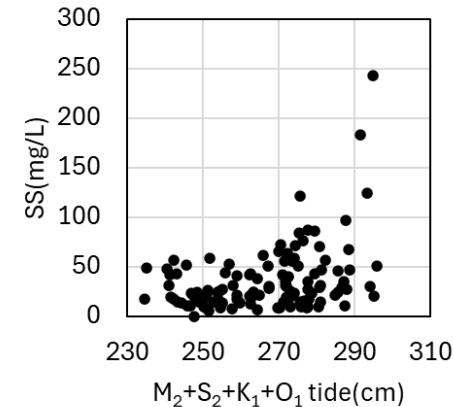
解析法

- ・ 底層SS濃度の1大潮小潮周期ごとの平均値(平均SS)ならびに200mg/L以上^[※]の時間(T200)について、時系列変化を解析した
- ・ 大潮の潮汐振幅を、 M_2 , S_2 , K_1 , O_1 成分の調和分解により求め、平均SSおよびT200との相関を求めた [※: 飼育実験でタイラギへの悪影響が確認されたSS濃度]

③無機懸濁物濃度の変動要因(結果)



平均SSもT200も単調な増加・減少傾向を示さず、2014-5年、2023-4年を中心とする時期に高まった



平均SSもT200も大潮の潮汐振幅 ($M_2+S_2+K_1+O_1$) と有意な正の相関を示した

平均SSやT200の長期変動の一因として、大潮潮汐振幅の増減にともなう潮流の増減が考えられる

まとめ:タイラギ健全性に影響する環境要因の評価

- タイラギの稚貝/フルグロウン期幼生の密度比は8月に溶存酸素濃度の好適度の指標と有意な正の相関を示した
- 飼育実験結果から、タイラギ健全性は200mg/L以上の泥濃度で低下し、その悪影響は餌濃度の上昇によっては大きく改善されないものと推察された
- 湾奥西部の観測点において1大潮小潮周期の底層SS濃度の平均値や、200mg/L以上のSS濃度の記録時間は、大潮潮汐振幅の増減と有意な正の相関を示しながら推移した