

諫早湾干拓調整池における淡水産二枚貝イケチョウガイの飼育

粕谷 智之、陣野 宏宙

諫早干拓地調整池のヨシ進出工内にある4地点でイケチョウガイを地播きで飼育した。イケチョウガイの生残率は地点間で大きく異なり、20～85%であった。生残率が最も高かった地点は St.1 で、最も低かったのは St.4 (囲い)であった。瞬間死亡速度は8月～9月にかけて高い傾向が見られた。回帰分析によって瞬間死亡速度と水温やクロロフィル蛍光強度などの環境項目との関係を解析した結果、夏期のイケチョウガイの死亡には水温の上昇にともなう個体の疲弊に加えて、波浪による掘り起しにともなう個体の損傷が関わっていることが示唆された。また、St.1 は周囲を木柵工で囲まれていることから、波浪の影響を受けにくく、結果としてイケチョウガイの生残率が高くなったこと、さらに、岸からの距離もイケチョウガイの死亡要因となる可能性があることが示唆された。

キーワード: 二枚貝、水質浄化、ヨシ進出工

はじめに

諫早湾干拓調整池(以降、調整池とする)では、平成9年4月に潮受堤防が閉め切られて以降、CODなどの値が水質目標値を超過している状況にある。これまでに「第2期諫早湾干拓調整池水辺環境の保全と創造のための行動計画」に基づき、環境保全型農業の推進や下水道等の整備、調整池の浮泥の巻き上げ対策など様々な負荷削減対策に取り組んできた結果、巻き上げによる負荷は減少したものの、陸域からの流入や内部生産による負荷は増加した。しかし、流入負荷に対する対策は浅水代かきやカバークロープなどが実用化されており、対策が進みつつある。

一方、内部生産対策としては、二枚貝が植物プランクトンをろ過して摂餌する食性を利用した水質浄化策などがある。長崎県環境保健研究センター(以降、環保研とする)では、平成18年度から24年度にかけて、イケチョウガイやヤマトシジミの垂下式カゴ内飼育を行い、調整池での飼育の可能性について検討し^{1), 2), 3), 4)}、これらの二枚貝は調整池の水質で生残・成長するが、波浪による飼育カゴの動揺を防ぐために、飼育には1m以上の水深が必要であることが指摘された。さらに、カゴの設置に要する支柱や飼育施設の維持管理の点で大規模な展開が難しいことから、事業化には至らなかった。

このような状況の下、遊水池において垂下式カゴ内飼育で蓄養していたイケチョウガイの内、カゴから落ちた個体が遊水池の底泥内で生残していることが確認されことから、同種は調整池の底質でも生残できる可能性が見いだされた。調整池における底生生物相は貧弱であり⁵⁾、二枚貝は極めて少ないことから、イケチョウガイを

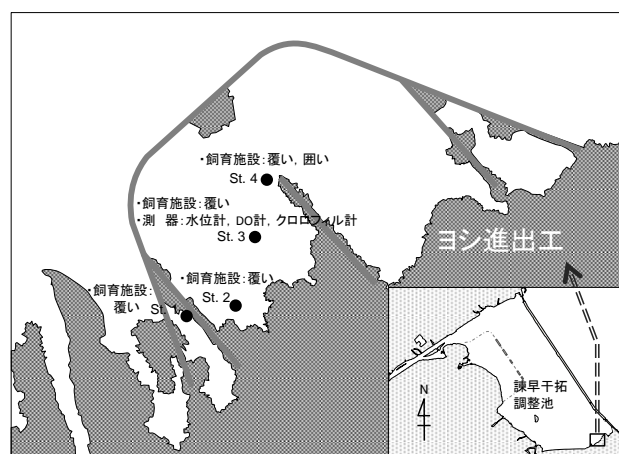


図1 飼育現場位置図

底に地播きして大量に飼育することができれば、調整池の水質浄化に大きく寄与すると考えられる。そこで本研究では、調整池におけるイケチョウガイ大量飼育に向けた手法などを検討することを目的として、調整池ヨシ進出工内においてイケチョウガイを地播き飼育し、生残状況などを調査した。

材料および方法

(1) 飼育試験

1) 飼育現場概況

飼育実験は調整池のヨシ進出工内の4地点で行った(図1)。何れの測点も底質は泥である。底質は強熱減量で2.6～3.7%、CODで1.7～6.6 mgO g⁻¹、硫化物で0.059～0.15 mgS g⁻¹であり⁶⁾、水産用水基準では正常泥に分類される。なお、後述のとおり、平時の水深は40 cm程度である。

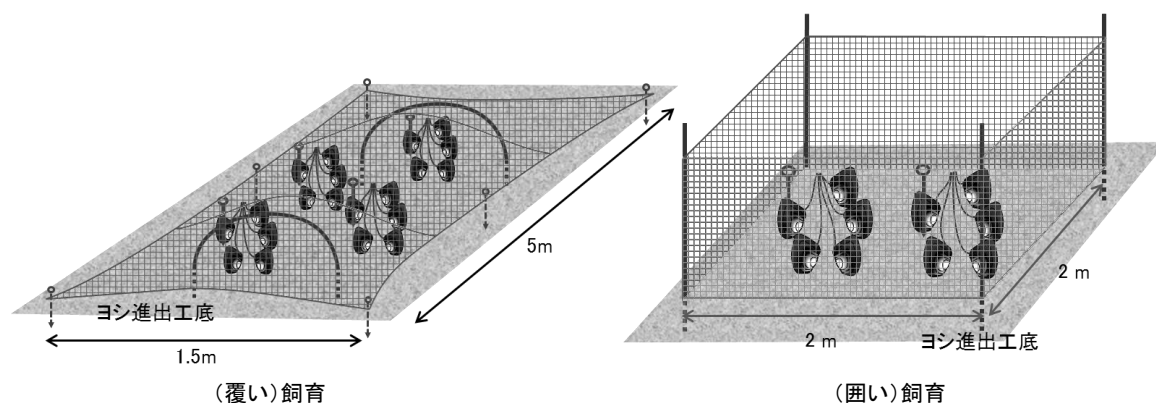


図2 飼育施設概要

2) 飼育実験

飼育施設は捕食防止ネットを被せる形式の「覆い」を全地点に設置した(図 1、2)。また、ネットで囲む形式の「囲み」を St.4 に設置した。

飼育実験には滋賀県真珠養殖漁業協同組合から購入した殻長 97~144 mm のイケチョウガイ(2~3 年貝)、90 個体を使用した。すべての個体は、殻の上部に開けた穴に番号札をつけた紐を結びつけ、さらにもう一方を、支柱に結び付けることによって流失を防ぐとともに、個体ごとに成長を管理した(図 2)。

各地点の「覆い」にはそれぞれ 20 個体、「囲い」には 10 個体のイケチョウガイを放流し、2016 年 5 月~2017 年 1 月まで飼育した。月 1 回の頻度で殻長を計測するとともに生残数を計数した。

イケチョウガイの殻長および生残数の推移から、次式を用いて瞬間成長速度(G, %/日)および瞬間死亡速度(D, %/日)を算出した。

$$G=100 \cdot \ln(SL_t/SL_0)/t$$

$$D=-100 \cdot \ln(N_t/N_0)/t$$

ここで、 SL_0 および SL_t は飼育開始 0 日後および t 日後の殻長(mm)、 N_t および N_0 は飼育開始 0 日後および t 日後の生残個体数、t は飼育日数を表す。

3) 環境項目の測定

St.3 には底面上 10 cm の位置に溶存酸素計(JFE アドバンテック製 RINKO W)とクロロフィル濁度計(JFE アドバンテック製 INFINITY-CLW)、そして水位計(HOBO 社製 U20 および U20L)を設置して、イケチョウガイの生残などに関連すると思われる各環境項目を連続的に観測した。

降雨量および風向風速データについては諫早および大村のアメダス気象観測所のデータを気象庁ホームページよりダウンロードした⁷⁾。

結果と考察

(1) 飼育環境

飼育現場の水位、水温、溶存酸素量、およびクロロフィル蛍光強度の季節変化を図 3 に示す。水位は降雨時に最高で 126 cm まで上昇するが、排水によって 40 cm

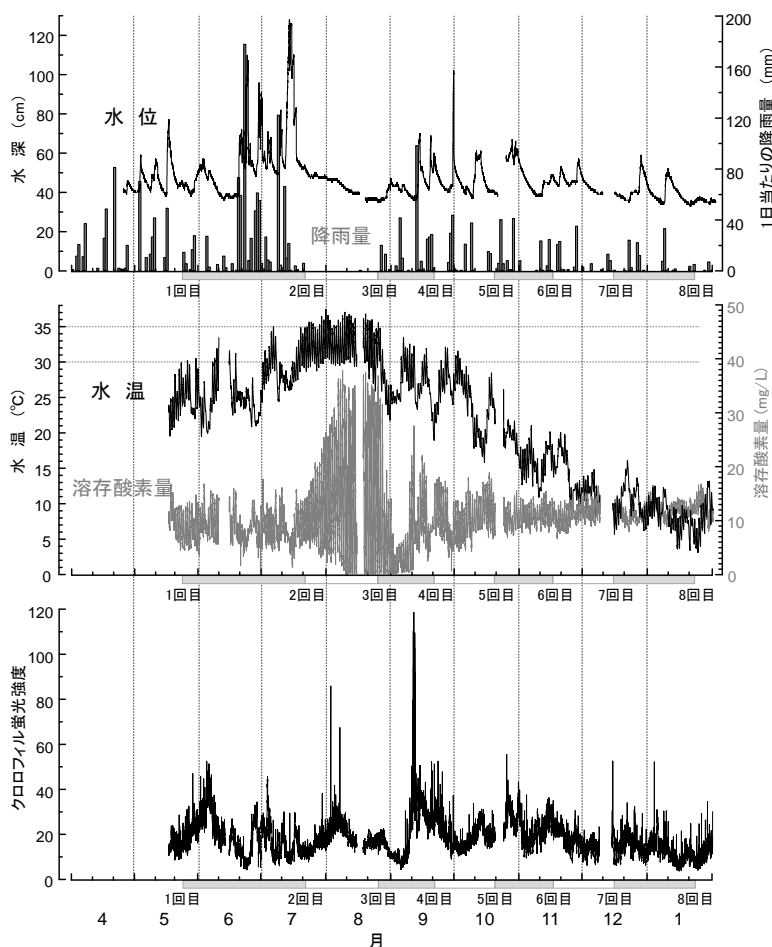


図3 St.3 における各環境項目の季節変化。回数は調査回を表す。

程度まで下降した。ヨシ進出工内の最低水位は 40 cm と考えられる。

水温は 7 月中旬から 8 月下旬にかけて、ほぼ常時 30℃以上を記録した上に、最高値は 35℃以上に達した。9 月以降、水温は徐々に低下し、1 月下旬には 3℃を記録した。

溶存酸素量は 7 月中旬から変動幅が大きくなり、8 月中旬から 9 月上旬にかけては、夜間は無酸素状態となったものの、昼間には最高で 37 mg/L まで上昇した。高い溶存酸素量が記録された期間は水温が 30℃以上の期間と一致することから、高い水温によって植物プランクトンの光合成が活発になったことによるものと考えられる。

クロロフィル蛍光強度は 4.3~118.5 の範囲で変動したが、明確な季節性などは見られなかった。低い蛍光強度が記録された期間は降水のあった期間と一致することが多いことから、排水により植物プランクトン量が一時的に低下した可能性がある。しかし、大概するとクロロフィル蛍光強度はほぼ常時 10 以上といえる。

(2) 飼育実験

1) 成長

ヨシ進出工内におけるイケチョウガイの瞬間成長速度は、-0.0678~0.092 の範囲であった。最低値は 8 月 (St.2、2~3 回目調査間)、最高値は 11 月 (St.2、5~6 回目調査間) に観測された。高い瞬間成長速度は、9 月~12 月にかけて観測され、1 月の時点でも成長した個体が見られた。茨城県牛久沼では、イケチョウガイの成長速度は 0~0.373 % 日⁻¹ であることから⁷⁾、ヨシ進出工におけるイケチョウガイの成長速度は低いといえる。

St.1 ではイケチョウガイは 11 月を除き、殆どの個体が正の瞬間成長速度を示した一方 (図 4)、St.2~4 では 8 月に負の瞬間成長速度となる傾向が見られた。また、St.1 とは対照的に、11 月には多くの個体が正の速度を示した。飼育実験中、殻長計測時には図 5 に示すような殻が破損した個体が見られたことから、殻長に影響するほど貝殻の縁が削られた可能性があり、この様な事象が牛久沼よりも低い成長速度の一因と考えられる。

2) 生残数の推移

飼育実験中、紐を結びつけた殻部分が割れて、回収不能となったイケチョウガイが数個体あった。これらの生死については不明だが、計数の際は生残個体数から除外した。

飼育実験終了時、生残したイケチョウガイは St.1 では 85% (20 個体中 17 個体) であったのに対して、St.2 では 30% (6 個体)、St.3 および St.4「覆い」では 40% (8 個体) であった。また、St.4「覆い」では、生残率は 20% (10 個

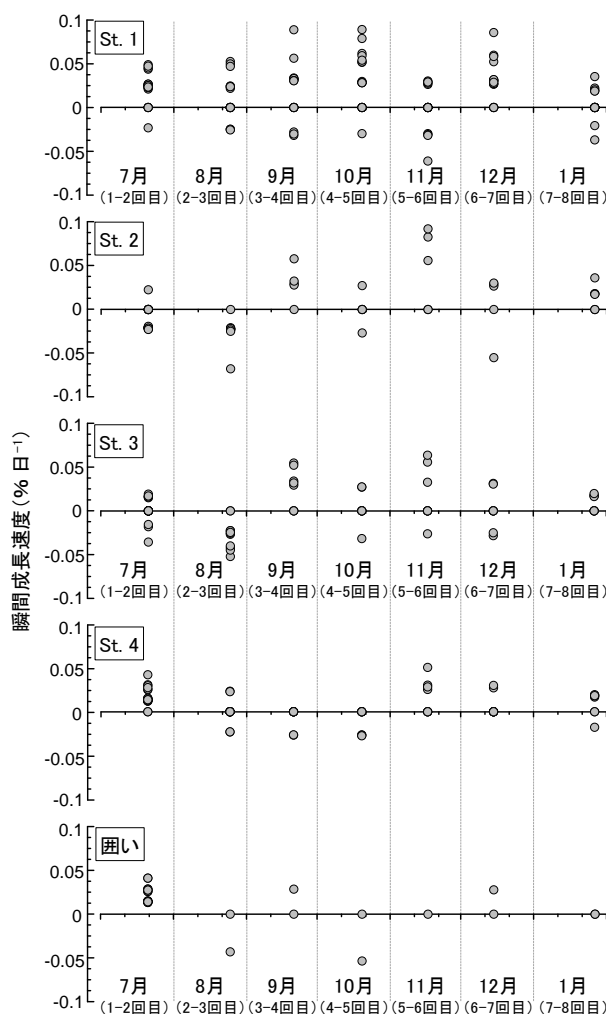


図4 各調査回間におけるイケチョウガイの瞬間成長速度 (% 日⁻¹)。カッコ内は調査回間を表す。

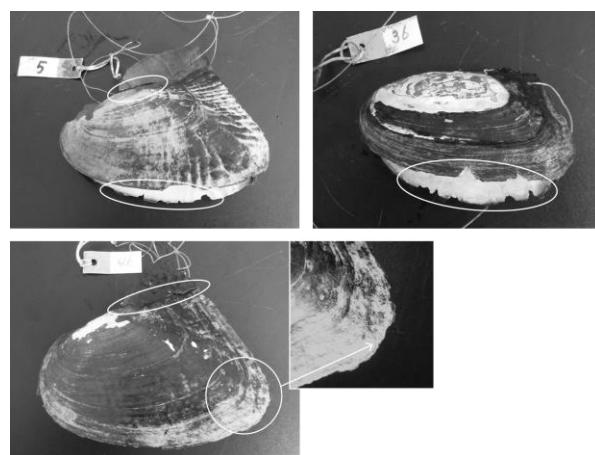


図 5 殻が破損したイケチョウガイ。両個体とも 2 回目調査時に死亡が確認された。

体中 2 個体) であった。

瞬間死亡速度は St.1 を除き、8 月と 9 月に高い傾向が見られ (図 5)、この間は 1.1~2.8 % 日⁻¹ の範囲であった。最も高い値は、St.4 (覆い) で観測された。対照的に、St.1 の瞬間死亡速度は最大でも 11 月の 0.2 % 日⁻¹ に留

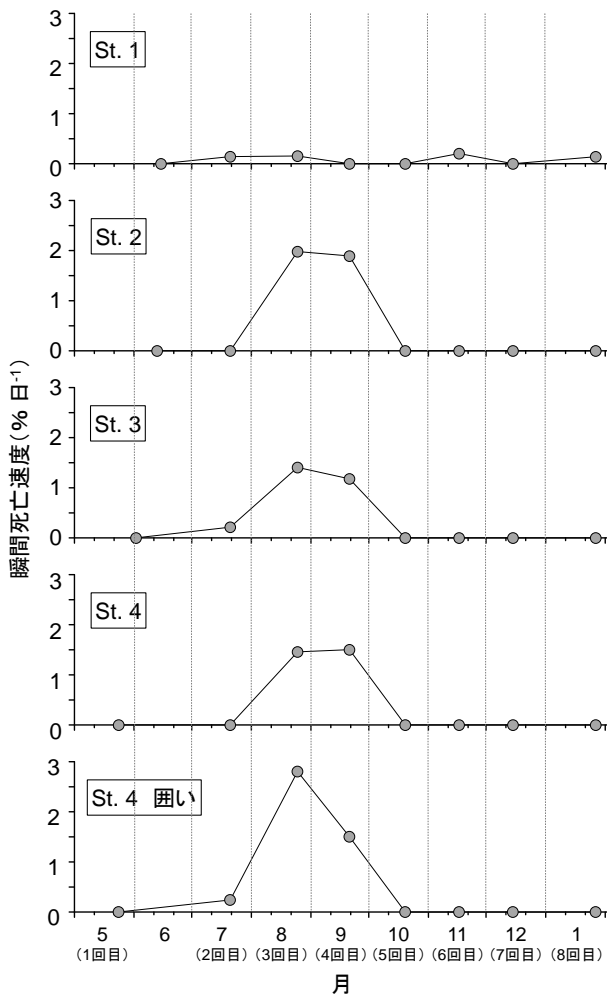


図 6 調査回間におけるイケチョウガイの瞬間死亡速度(%日⁻¹)。カッコ内の数字は調査回を表す。

表 1 St.2~4 で行った飼育実験のデータを対象としたイケチョウガイの瞬間死亡速度と各環境項目との相関行列

	瞬間死亡速度(%日 ⁻¹)	水温(°C)	水位(cm)	Chl 蛍光強度
水温(°C)	0.6765**			
水位(cm)	-0.2675	0.3160		
Chl 蛍光強度	0.1480	0.4226*	0.5177**	
酸素飽和度 <30%出現頻度	0.8315**	0.5575**	-0.2357	0.2542

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

まった。

二枚貝の適性水温は、アサリでは 20~25°C (10~30°C で成長可能) である⁹⁾。またアサリ稚貝は、水温 35~36°C では 5 時間で死に始め、15 時間で 100% 斃死する⁹⁾。イケチョウガイでは適性水温は 20~25°C であり¹⁰⁾、アサリとほぼ同じである。斃死が始まる水温については不明だが、瞬間死亡速度が高かった時期は、水温が昼間に 35°C 以上であった期間が含まれることから、高水温

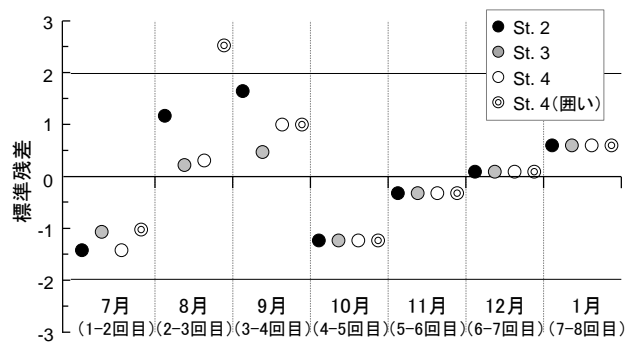


図 7 調査回間の瞬間死亡速度と水温の回帰分析に関する残差検定結果。カッコ内は調査回間を表す。

が死亡の一因と考えられる。しかし、St.1 では高水温時でも殆どの個体が生残したことから、他の要因と複合して斃死に至った可能性がある。そこで、環境項目のデータを用いて回帰分析によって死亡要因を検証する。

3) イケチョウガイの生残に関わる環境項目の抽出

① 単回帰分析

St.1 があるエリアは他の飼育地点があるエリアとは木柵工で分画されており(図 1)、St.1 で飼育した個体の死亡要因は他の地点とは異なる可能性がある。そこで、イケチョウガイの瞬間死亡速度については、同じエリア内にある St.2~St.4 のデータを採用した。

環境項目として、水温、水位、クロロフィル(Chl) 蛍光強度、そして酸素飽和度 <30 % 出現頻度を用いて、調査回間ごとのそれぞれの平均値とイケチョウガイの瞬間死亡速度との相関行列を作成した(表 1)。

瞬間死亡速度はクロロフィル蛍光強度との間には相関は見られなかったことから、ヨシ進出工内ではイケチョウガイの餌は十分量存在していると判断される。

一方で、瞬間死亡速度は水温と酸素飽和度 30 % 以下出現頻度との間に有意で高い相関がみられた(r^2 はそれぞれ 0.6765、および 0.8315, $p < 0.01$)。同時に、水温と酸素飽和度 30%以下出現頻度との間にも有意で高い相関があった($r^2=0.5575$, $p < 0.001$)。アサリなどの二枚貝は貧酸素条件下でも数日間は生残できる¹¹⁾。また、飼育実験を行ったヨシ進出工内の溶存酸素量は、昼間は過飽和の状態にあることから、本研究では水温をイケチョウガイの瞬間死亡速度の説明変数として採用した(付表 1)。分析の結果、得られたモデルは成立し($p=0.00007$, <0.01)、イケチョウガイの瞬間死亡速度は水温によって 43 % 説明できることが明らかとなった。

② 残差検定

得られた回帰分析結果を基に残差の検定を行った(図 7)。標準残差は 2~3 回目調査間および 3~4 回目調査間で高く、St.2 と St.4「困い」で顕著であった。特に、

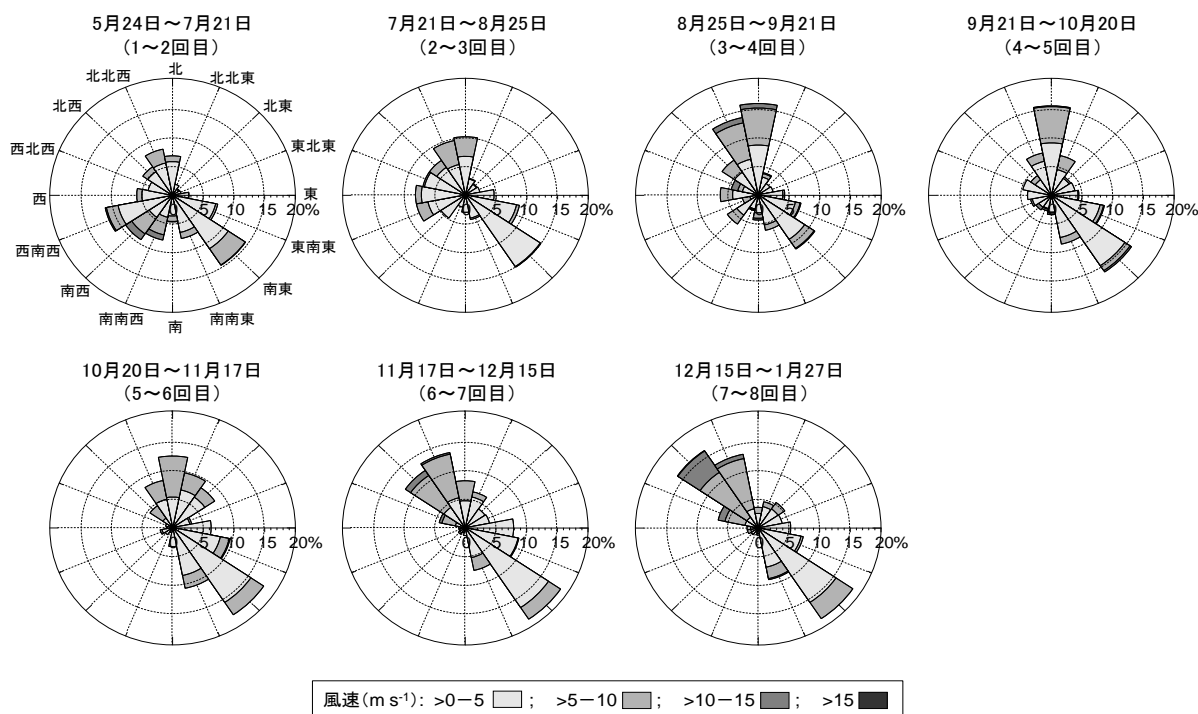


図 8 イケチョウガイの生残調査実施日間の風配図。風向風速データにはアメダス大村観測所 1 時間値を用いた。カッコ内は調査回数を表す。

St.4「囲い」の標準残差は 2~3 回目調査間で 2.5 を超える外れ値であった。

3~4 回目調査間は 2~3 回目調査間よりも水温が低下したにもかかわらず、瞬間死亡速度は 2~3 回目間と同様に高い状態であったことから、水温以外の要因もイケチョウガイの死亡に関わっていると思われる。

4) イケチョウガイの生残に関わる複合要因の検討

①重回帰分析

2~3 回目調査間および 3~4 回目調査間では、死亡した個体の多くに殻の破損がみられたことから(図 5)、波浪などによる底質中からの掘り起しがあった可能性がある。波浪は風によって引き起こされることから飼育期間中の風配図を作成した結果(図 8)、3~4 回目調査間はそれ以前の調査間と比較して、北および北北西の風が吹く頻度が増加した。そこで、説明変数として、水温に、北および北北西の風向を合わせた出現頻度を加えて重回帰分析を行った。ただし、外れ値が見られた St.4(囲い)は他のデータセットとは飼育様式が異なることからデータから除外した。

解析の結果、得られたモデルは成立し($p=0.0005$, <0.01)、イケチョウガイの瞬間死亡速度は水温と風向によって 52%説明できることが明らかとなった(付表 2)。また、水温と風向の標準回帰係数はそれぞれ 0.5696 および 0.3585 であり、水温がより影響していることが示唆され

た。従って、夏期のイケチョウガイの死亡には高水温による個体の疲弊に加えて、波浪による掘り起しにともなう個体の損傷やストレスが関わっていることが示唆された。夏期においても殆どのイケチョウガイが生残した St.1 は、周囲をヨシ原で取り囲まれていることから、波浪の影響を受けにくいのであろう。また、St.4 では、「囲い」で飼育したイケチョウガイの瞬間死亡速度は「覆い」で飼育したものよりも高かった。ネットで覆われることによって、波浪による掘り起しが若干軽減されたのかもしれない。

② 残差検定

瞬間死亡速度と水温および風向の重回帰分析に関する残差検定結果を図 9 に示す。St.2 の標準残差は 2~3 回目調査間で 2 を超える外れ値であった。また、3~

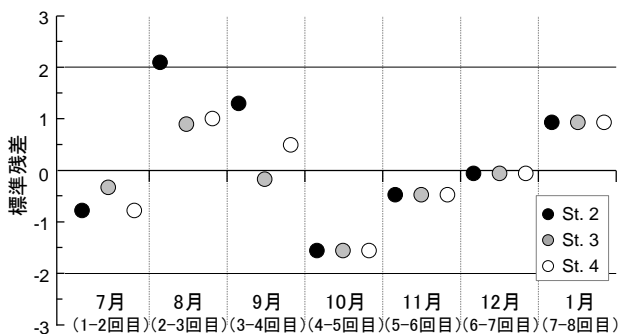


図 9 調査回間の生残率と水温および風向の重回帰分析に関する残差検定結果。カッコ内は調査回数を表す。

4 回目調査においても他の測点よりも高い標準残差であった。St.2 は他の 2 測点よりも岸に近いことから、北および北北西風の際は泥の粒子などが吹き寄せられやすい環境下にあると思われる。事実、St.2 は他の 2 点よりも捕食防止ネット上に多くの泥が堆積する傾向が見られた。このような環境下では、イケチョウガイは呼吸や摂餌のため、堆積した泥中に移動する必要がある。泥中では姿勢を保持しにくく、波浪により掘り起こされやすいと考えられることから、他の地点よりも瞬間死亡速度が上昇したのかもしれない。

海産二枚貝のアサリは泥の被覆が殻長の 2~3 倍に達すると 100% の個体が死亡する¹¹⁾。イケチョウガイについても埋没によるストレスが斃死に繋がる可能性がある。

おわりに

本研究を行ったヨシ進出工内で、北方向からの風の影響を受けにくい場所をイケチョウガイの飼育適地とすると、非常に狭い範囲に限定される。より広域で飼育を行うためには波浪を軽減する方法を検討する必要がある。今後、アサリの資源保護などで実践されている手法などを参考にして、調整池に適した手法を検討していく予定である。

参考文献

- 1) 石崎修造ほか: イケチョウガイによる諫早湾干拓調整池の水質浄化に関する研究, 長崎県環境保健研究センター所報, 53, 47~52, (2007)
- 2) 平成 21 年度国営干拓環境対策調査 水生生物を活用した調整池水質保全対策検討委託事業報告書 (諫早湾干拓調整池でのヤマトシジミの垂下式養殖の適応性に関する研究), (2009)
- 3) 平成 22 年度国営干拓環境対策調査 水生生物を活用した調整池水質保全対策検討委託事業報告書 (諫早湾干拓調整池でのヤマトシジミの生息適応性に関する研究), (2010)
- 4) 平成 23 年度国営干拓環境対策調査 水生生物を活用した調整池水質保全対策検討委託事業報告書 (諫早湾干拓調整池及び中央遊水池における二枚貝(ヤマトシジミ及びイケチョウガイ)の生息適応性に関する研究), (2011)
- 5) 粕谷智之ほか: 諫早湾干拓調整池の生物相(植物プランクトン及び底生生物), 長崎県環境保健研究センター所報, 58, 84~86, (2012)
- 6) 陣野宏宙ほか: 諫早湾干拓調整池におけるイケチョウガイの地蒔き飼育の可能性に関する研究, 長崎県環境保健研究センター, 61, 72~78, (2015)
- 7) 気象庁: 気象庁ホームページ, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 8) 柳田洋一ほか: 淡水産二枚貝類の生育環境条件について, 茨城県内水面水産試験場調査研究報告, 27, 98~123, (1991)
- 9) 社団法人全国沿岸漁業振興開発協会: 「沿岸漁業整備開発事業 増殖場造成計画指針 ヒラメ・アサリ編 平成 8 年度版」, (1997)
- 10) 水元三朗ほか: イケチョウガイの増殖に関する研究 -VII イケチョウガイの成長について, 滋賀県水産試験場研究報告, 10, 19~32, (1959)
- 11) 水産庁: 干潟生産力改善のためのガイドライン, (2008)

Culture Experiment of a Fresh-water Bivalve *Hyriopsis schlegelii* Regulating Reservoir originating from Isahaya-Bay Land Reclamation

Tomoyuki KASUYA, Hiroomi JINNO

A fresh-water bivalve *Hyriopsis schlegelii* was released directly and bred in the sediment of a pond enclosed by reed bed in the regulating reservoir of the Isahaya-Bay Reclamation Project. A survival rate of the bivalve ranged from 20% to 85%, and a high instantaneous mortality rate (% d⁻¹) was observed in August and September. Regression analysis between an instantaneous mortality rate and environmental variables indicates that water temperature and the occurrence frequency of northerly and north-northwesterly wind influence the survival of the bivalve in the regulating reservoir. High survival rate obtained from St.1 was probably caused by a surrounding reed-hedge weakening waves. The distance from the border of the pond also seems to influence the survival of the bivalve.

Key words: Bivalves, water purification, reed bed

付 表

付表 1 単回帰分析。説明変数として水温を選択した場合の回帰分析結果。

回帰統計	
重相関 R	0.6765
重決定 R ²	0.4577
補正 R ²	0.4368
標準誤差	0.6177
観測数	28

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された 分散比	有意 F
回帰	1	8.371	8.371	21.942	7.73E-05
残差	26	9.919	0.381		
合計	27	18.290			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%
切片	-0.974	0.337	-2.890	0.007666	-1.666	-0.281
水温(°C)	0.070	0.015	4.684	0.000077	0.039	0.101

付表 2 重回帰分析。説明変数として水温と風向を選択した場合の回帰分析結果。

回帰統計	
重相関 R	0.755
重決定 R ²	0.570
補正 R ²	0.522
標準誤差	0.509
観測数	21

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された 分散比	有意 F
回帰	2	6.205	3.1029	11.9413	0.0005
残差	18	4.677	0.2598		
合計	20	10.883			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	標準偏回帰 係数
切片	-1.864	0.5573	-3.345	0.0036	-3.03527	-0.693391	
水温(°C)	0.0524	0.0148	3.531	0.0023	0.021253	0.083671	0.5696
風向(北+北北西) 頻度(%)	0.0589	0.0265	2.222	0.0392	0.003228	0.114589	0.3585