

アサリの低塩分曝露後の影響について

松田正彦・平野慶二

Effects of low-salinity seawater exposure to Manila clam *Ruditapes philippinarum*

MASAHIKO MATSUDA, KEIJI HIRANO

In order to understand adverse effects of low-salinity water on the production of the Manila clam, experiments were conducted to investigate the influence of low-salinity environments on the prolonged mortality during summer-autumn season in culture grounds in Konagai, Isahaya, Nagasaki, Japan in 2013, 2015 and 2016. The clams caught in the culture grounds were exposed to low-salinity environments (10, 15, 17.5 and 20 psu) for different time duration in early July during the rainy season, in which the salinity frequently becomes low in the culture grounds. Survived individuals were reared in baskets placed in a tank with flow-through seawater system or in the culture ground, and we surveyed the survival rate for 31 days in the tank and 106-143 days in the culture ground. The mortality of the clam seemed to increase after the exposure to low salinity environments under the following conditions: over 24 hours at 10 psu, over 72 hours at 15 psu and over 96 hours at 17.5 psu. These low salinity environments were suggested to be involved in the prolonged mortality of the summer-autumn.

アサリ *Ruditapes philippinarum* は日本各地の内海、内湾の潮間帯から水深 10 m までの浅海域に生息する産業上重要な二枚貝である。長崎県諫早湾北部に面する諫早市小長井町では泥質干潟に客土覆砂し、造成された漁場でアサリ養殖業が営まれており、生産されるアサリは手掘りで漁獲され、砂噛みが少なく、身入りが良く美味しいため「小長井あさり」としてブランド化されている¹⁾。

しかし、近年、小長井町のアサリ養殖漁場では夏～秋季にへい死や成長不良により、漁場に自然着底した稚貝が商品サイズのアサリまで成育せず、生産は県外産アサリの移植に依存する状況が続いている。移植アサリのための漁獲ではアサリ養殖漁家経営安定のため不十分であり、生産性向上のためには夏～秋季のアサリの生産不良対策を図る必要がある。

問題となっている夏～秋季のへい死は数ヶ月にわたる緩慢なへい死^{2,3,4,5,6)}であり、数日で大量死する高水温と貧酸素の複合要因によるもの⁷⁾ではなく、低塩分、高水温、赤潮、産卵や餌不足による衰弱^{2,3,4,5,6)}などが要因(カゴ試験の結果のため食害等は除外)

として推察されているが、明らかになっていない。

二枚貝類は外界水の急激な環境変動に際し、貝殻を固く閉じて外界水の侵入を阻止し悪影響が軟体部へおよぶのをある程度防いでいる⁸⁾。潮間帯および浅海に生息するアサリは、低塩分や貧酸素など環境の変化に対し、閉殻によって順応⁷⁾するが、閉殻時には外部環境中の酸素を取り入れて利用できないため、無気呼吸を維持し、代謝を低くして比較的長期間生存する事が知られている⁹⁾。

アサリは、塩分 10 以下では 2 日間の曝露で生残率 50% 以下と大きな影響を受けるが、塩分 15~20 では曝露直後に強固な閉殻防御反応を示し、生理的影響があることが推察されたものの 4 日後の生残率は 100%¹⁰⁾と見かけ上の影響がない。

小長井町のアサリ養殖漁場では梅雨末期の 7 月にしばしば低塩分環境が観測され、アサリにとって致命的な塩分 10¹⁰⁾未満の環境が 2007 年 7 月は 54 時間、2009 年 7 月は 42 時間、曝露直後に強固な閉殻防御反応を示す塩分 15、20¹⁰⁾未満の環境が 2007 年は 54、60 時間、2009 年は 45、160 時間、

2014年7月は36および50時間継続した(未発表)。

アサリの低塩分曝露中の生残等の詳細な知見^{10,11)}はあるが、長期間の低塩分環境が及ぼす生理的影響については検討課題¹⁰⁾であり、生残に与える曝露後の長期的な影響についての知見は見当たらない。今回、梅雨時期等にアサリ漁場で観測される低塩分環境が夏～秋季の緩慢なへい死に与える影響を調べるため、塩分や曝露時間を変え、知見のない曝露後の生残の推移について流水水槽およびアサリ養殖漁場で長期間観察することを試み、知見を得たので報告する。

材料および方法

試験は2013、2015、2016年の3ヶ年に梅雨末期の降雨による漁場の低塩分環境を想定し、7月に行った。長崎県諫早市小長井町のアサリ養殖漁場(Fig. 1)で漁獲されたアサリ成貝を材料として用いた。

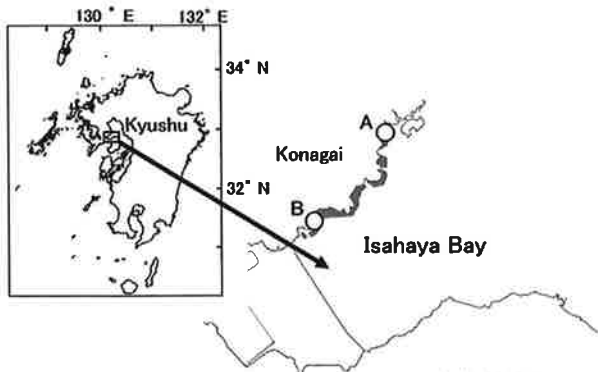


Fig. 1. Location of experimental stations A and B in Isahaya Bay, Kyushu, Japan. The shaded areas represent Manila clam culture grounds.

2013年7月8日に殻長 30.2 ± 1.8 mm、重量 5.8 ± 1.1 g、肥満度¹²⁾ 11.3 ± 1.8 (平均 \pm 標準偏差)のアサリ各300個体をネット(目合い5 mm)に收容し、致死的な塩分 10^{10} に濾過海水と曝気して残留塩素を除いた水道水で調整した30 l水槽に12、24、36時間曝露する区と曝露しない対照区(通常海水)を設け、曝露後、濾過海水流水下の角型100 l水槽(換水は90回転/日以上)2槽に收容して2日後まで生残状況を観察した。各区の水温は海水かけ流しによるウォーターバスで自然水温に調整し、エアレーションにより溶存酸素濃度(以下DO)を有酸素状態に保った。36時間曝露区のみ、24時間後にあらかじめ

め水温と塩分を調整した水槽への移し変えで換水を行った。

曝露後2日後の同年7月12日に生残していたアサリを各区80個体と100個体に分け、各区80個体は蓋付きカゴA(内面積 0.07m^2)に收容し、濾過海水流水下の角型100 l水槽(換水は90回転/日以上)2槽において無給餌で31日間生残状況を観察した(以下水槽試験)。各区100個体は諫早市小長井町の試験漁場A(Fig. 1)の地盤高(CDL)1m地点に設置した蓋付きカゴB(内面積 0.12m^2)に收容し、同年12月2日まで一潮毎に生残状況を観察した(以下漁場試験)。

飼育水の水温と調査漁場の地温(約5 cmの深さ)はおんどとり Jr. (TR-52i, TR-51i : T and D社製)で1時間毎に記録した。飼育水の塩分調整と測定は電導率計 Cond 340i (WTW社製)、DOの測定は溶存酸素計 Multi 3410 (WTW社製)で行った。

なお、後述の2015、2016年の試験もアサリの取り扱いや塩分と水温等の管理と測定、水槽の換水、蓋付きカゴ等も同様の方法で行った。

2015年7月6日に殻長 33.5 ± 2.1 mm、重量 8.2 ± 3.5 g、肥満度 17.0 ± 1.9 のアサリ各300個体を曝露直後に強固な閉殻防御反応を示す塩分 15^{10} に調整した30 l水槽に48、72、96時間曝露する区と曝露しない対照区を設けた。各区の水温は自然水温に調整し、DOを有酸素状態に保った。換水は各区24時間毎に行った。

曝露直後の同年7月10日に各区アサリ100個体を水槽試験で31日間生残状況を観察した。3日後の同年7月13日に生残していたアサリ各区80個体を試験漁場B(Fig. 1)の地盤高(CDL)1m地点で漁場試験により、同年10月27日まで一潮毎に生残状況を観察した。

2016年7月11日に殻長 34.1 ± 2.5 mm、重量 7.9 ± 1.8 g、肥満度 13.7 ± 1.9 のアサリ各300個体を曝露直後に強固な閉殻防御反応を示す塩分 $17.5 \sim 20^{10}$ に調整した30 l水槽に塩分17.5は72および96時間、塩分20は96時間曝露した区と対照区を設けた。各区の水温は自然水温に調整し、DOを有

酸素状態に保った。換水は各区24時間毎に行った。

曝露直後の同年7月15日に各区アサリ100個体を水槽試験で31日間生残状況を観察した。また、生残していたアサリ各区100個体を試験漁場B (Fig. 1)の地盤高 (CDL) 1m 地点で漁場試験により同年11月14日まで一潮毎に生残状況を観察した。

各試験区の生残個体数の推移はノンパラメトリック Kaplan-Meier 法で解析し, *log-rank test* により各試験区の生残曲線を $p < 0.05$ で比較した (PASW SPSS Statistics 17.0, SPSS 社)。

結果

2013年に行った塩分10曝露時の流水海水の塩分は33.7, 試験水温は 24.9 ± 0.2 , $24.6 \sim 25.3^\circ\text{C}$ (平均 \pm 標準偏差, 最大~最小) で, 水槽試験の塩分 33.5 ± 0.3 , $33.1 \sim 34.0$, 水温は 25.5 ± 0.5 , $24.3 \sim 27.7^\circ\text{C}$, 漁場試験の地温は 24.0 ± 4.9 , $11.4 \sim 32.7^\circ\text{C}$ であった。

曝露直後の生残が対照区と曝露12時間区が100%, 24時間区が99.3%, 36時間区が94.0%と36時間時間区がやや生残が低いという状況であったが, その後濾過海水流水下48時間後の生残は, 対照区99.7%, 12時間区98.3%に対し, 有意に生残が低下したのは24時間区91.3%, 36時間区62.7%であった (Fig. 2a, Table 1a)。曝露後48時間後の生残個体を用いた水槽試験と漁場試験の結果を Fig. 2b, c と Table 1b, c に示す。水槽試験の生残は対照区87.5%, 12時間区86.3%, 24時間区86.3%, 36時間区76.3%と各試験区で生残に有意な差がなかったのに対し, より長期 (143日間) の漁場試験では対照区63.0%, 12時間区54.0%, 24時間区38.0%, 36時間区51.0%と24時間区のみが対照区や12時間区と比較して有意な低下を示した。

2015年に行った塩分15曝露時の流水海水の塩分は 33.2 ± 0.1 , $33.0 \sim 33.3$, 試験水温は 22.5 ± 0.5 , $21.7 \sim 23.5^\circ\text{C}$ で, 水槽試験の塩分 32.8 ± 0.2 , $32.6 \sim 33.3$, 水温は 23.9 ± 0.9 , $21.8 \sim 25.7^\circ\text{C}$, 漁場試験の地温は 25.0 ± 2.4 , $19.3 \sim 30.4^\circ\text{C}$ であった。

曝露直後に各試験区の生残は97.0~98.3%と差がなかったが, 流水試験3日後 (漁場試験18日後) には対照区97.0% (88.8%), 曝露48時間区94.0% (86.3%) に対し72時間区70.0% (32.5%), 96時間区54.0% (2.5%) と急速に低下し, 試験終了時の流水試験31日後 (漁場試験106日後) には対照区80.0% (30.0%), 48時間区76.0% (42.5%), 72時間区18.0% (21.3%), 96時間区4.0% (1.3%) となった (Fig. 3a, b)。各区の生残曲線の比較では水槽試験, 漁場試験とも対照区と48時間区に有意な差はなかったが, その他試験区の比較ではそれぞれ有意差があった (Table 2a, b)。

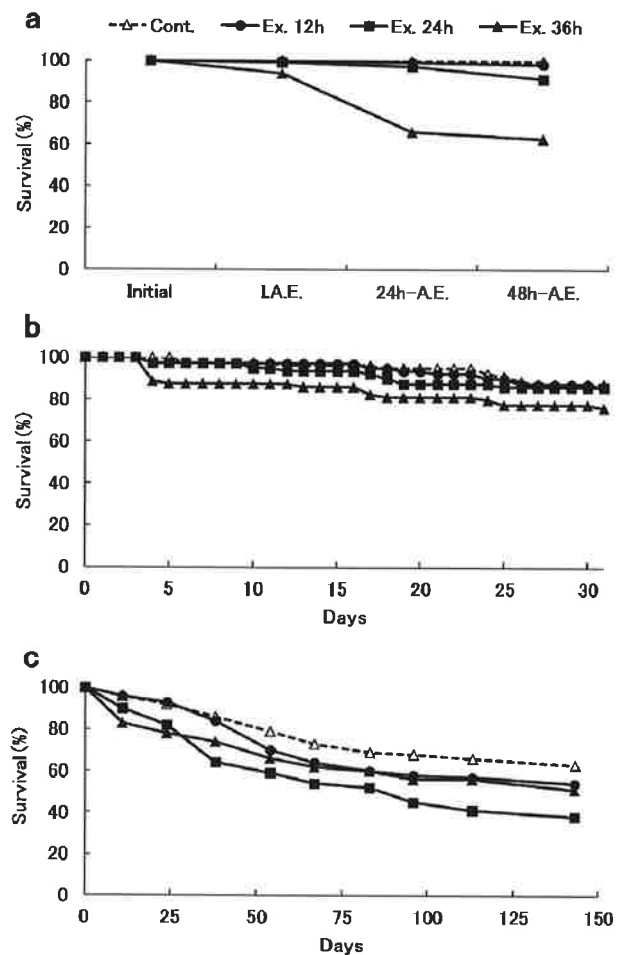


Fig. 2. Changes in survival of Manila clam after exposure to 10 psu salinity seawater. Results of statistical analyses are given in Table 1.

a ; After exposure to 48h
 b ; Flowing seawater tank experiment
 c ; Culture ground experiment
 I. A. E ; Immediately after exposure
 24 and 48h-A. E ; 24 and 48hours after exposure
 Ex. 12, 24, 36h ; Exposure times of treatment groups, respectively

Table 1. Statistical comparison of the survival curves of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* shown in Fig. 2 with *log-rank* test

a

	Control	Ex. 12h	Ex. 24h	Ex. 36h
Control				
Ex. 12h	NS			
Ex. 24h	***	***		
Ex. 36h	***	***	***	

b

	Control	Ex. 12h	Ex. 24h	Ex. 36h
Control				
Ex. 12h	NS			
Ex. 24h	NS	NS		
Ex. 36h	NS	NS	NS	

c

	Control	Ex. 12h	Ex. 24h	Ex. 36h
Control				
Ex. 12h	NS			
Ex. 24h	***	**		
Ex. 36h	NS	NS	NS	

*** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; NS $p > 0.05$.

2016年に行った塩分 17.5 および 20 曝露時の流水海水の塩分は 33.0 ± 0.1 , $32.8 \sim 33.2$, 試験水温は 24.6 ± 0.7 , $22.5 \sim 25.9^\circ\text{C}$ で、水槽試験の塩分 33.0 ± 0.1 , $32.8 \sim 33.3$, 水温は 24.8 ± 0.6 , $23.0 \sim 26.4^\circ\text{C}$, 漁場試験の地温は 25.4 ± 3.8 , $15.3 \sim 34.6^\circ\text{C}$ であった。

曝露直後の各試験区の生残は対照区 (99.3%), 塩分 17.5 の 72 時間区 (99.0%) と 96 時間区 (96.0%), 塩分 20 の 96 時間区 (98.3%) であった。試験終了時の生残は流水試験 31 日後 (漁場試験 116 日後) に対照区 64.0% (22.0%), 17.5psu 曝露 72 時間区 45.0% (16.0%) に対し 96 時間区 35.0% (14.0%), 20 psu の 96 時間区 18.0% (15.0%) となった (Fig. 4a, b)。各区の生残曲線の比較では水槽試験では対照区と他の試験区で、漁場試験では対照区と塩分 17.5 の 96 時間区のみ有意差があった (Table 3a, b)。

なお、各年の曝露試験中および流水試験の DO は 6.0 mg/l 以上の有酸素環境であった。

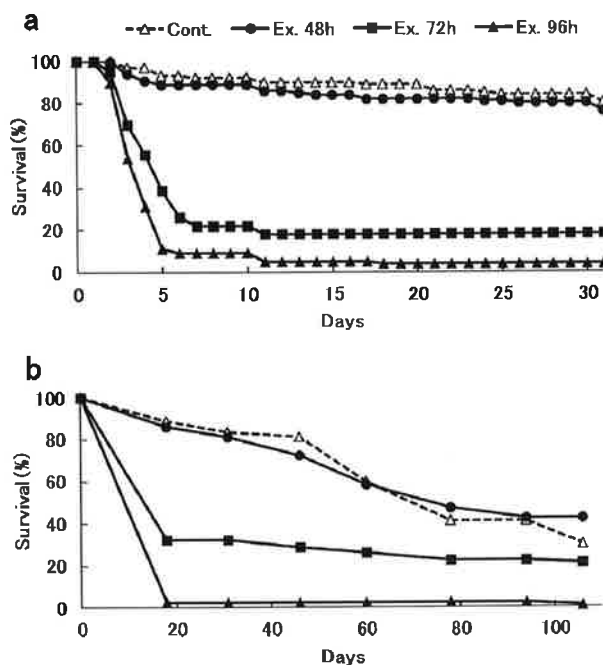


Fig. 3. Changes in survival of Manila clam after exposure to 15 psu salinity seawater. Results of statistical analyses are given in Table 2.
a ; Flowing seawater tank experiment
b ; Culture ground experiment
Ex. 48, 72, 96h ; Exposure times of treatment groups, respectively

Table 2. Statistical comparison of the survival curves of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* shown in Fig. 3 with *log-rank* test

a

	Control	Ex. 48h	Ex. 72h	Ex. 96h
Control				
Ex. 48h	NS			
Ex. 72h	***	***		
Ex.96h	***	***	***	

b

	Control	Ex. 48h	Ex. 72h	Ex. 96h
Control				
Ex. 48h	NS			
Ex. 72h	*	**		
Ex.96h	***	***	**	

*** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; NS $p > 0.05$.

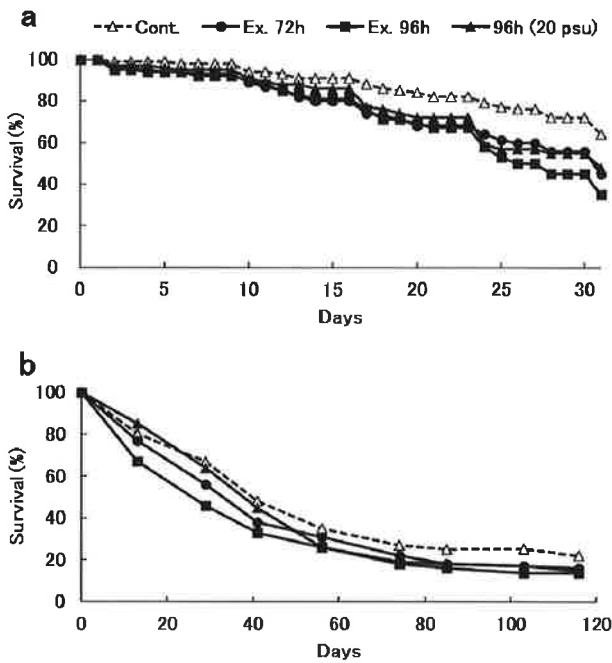


Fig. 4. Changes in survival of Manila clam after exposure to 17.5 and 20 psu salinity seawater. Results of statistical analyses are given in Table 3.

a ; Flowing seawater tank experiment
 b ; Culture ground experiment
 Ex. 72, 96h ; 17.5 psu salinity exposure times of treatment groups, respectively
 96h (20 psu) ; 20 psu salinity exposure 96h of treatment group

Table 3. Statistical comparison of the survival curves of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* shown in Fig. 4 with *log-rank* test

a	Control	Ex. 72h	Ex. 96h	96h (20 psu)
Control				
Ex. 72h	**			
Ex. 96h	***	NS		
96h (20 psu)	*	NS	NS	

b	Control	Ex. 72h	Ex. 96h	96h (20 psu)
Control				
Ex. 72h	NS			
Ex. 96h	*	NS		
96h (20 psu)	NS	NS	NS	

*** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; NS $p > 0.05$.

考 察

アサリにとって致死的な塩分とされる 10 では曝露 48 時間後の生残 50%以下との知見¹⁰⁾があるが、今回の試験で曝露直後の生残は曝露 36 時間で 94.0%, 24 時間で 99.3%と生残の低下はそれほど大

きくなかった。しかし、曝露後 48 時間後では 36 時間区で 62.7%, 24 時間区で 91.3%と低塩分未曝露の対照区と比較して有意に生残は低下 (Fig. 2a, Table 1a) しており、塩分 10, 24 時間曝露は過去の知見¹⁰⁾では 100%の生残だが、その影響は通常海水に戻した後現れることとなった。曝露後 48 時間後の生残個体をういた水槽試験と漁場試験では、漁場試験の 24 時間区のみ対照区と比較して有意な生残の低下があった (Fig. 2b,c, Table 1b,c)。なぜ曝露強度が 24 時間区より強い 36 時間区の生残に対照区と有意な差が観察されなかったかは不明であるが、障害を受け衰弱した個体は曝露後 48 時間後までにへい死し選別されたのか、低塩分曝露時から漁場試験終了時までの累積の生残で比較すると 36 時間区 32.0%に対し、24 時間区 34.7%と大差なかった (対照区 62.8%, 24 時間区 53.1%)。2013 年の試験結果から、塩分 10 では 12 時間までの曝露では未曝露と同様の生残であるが、24 時間以上の曝露はその後の生残に影響を与える環境と推察された。

曝露中に強固な閉殻防御反応がみられるものの、4 日間の曝露でアサリのへい死が観察されなかった塩分 15¹⁰⁾では、同様に各区の曝露中に顕著なへい死がなく、各試験区の生残は 97.0~98.3%と差がなかった。しかし、その後の生残個体をういた水槽試験では 3 日後以降 72, 96 時間区の生残が未曝露の対照区、48 時間区と比較して急速に低下し、有意な差となった (Fig. 3a, Table 2a)。漁場試験の 18 日後以降の生残状況も同様であった (Fig. 3b, Table 2b)。2015 年の試験結果から、塩分 15 の曝露 48 時間まではその後の生残に影響を与える環境ではないが、72 時間以上の曝露は影響があると推察された。

3 日間の曝露中にへい死個体は観察されないが、強固な閉殻防御反応がみられる塩分 17.5 および 20¹⁰⁾では、曝露中にその他の試験区が 98.3~99.3%の生残であったのに対し塩分 17.5 の 96 時間区は 96.0%とわずかに低かった。その影響のためか、漁場試験では未曝露の対照区と比較して

塩分 17.5 の 96 時間区のみ生残に有意な差があった (Fig. 4b, Table 3b)。しかし、水槽試験では対照区と比較して曝露した各区の生残はいずれも有意な差があった (Fig. 4a, Table 3a)。2018 年の試験結果から、塩分 17.5 の 96 時間以上の曝露はその後の生残に影響を与え、塩分 17.5 の 72 時間以下および塩分 20 の 96 時間以下の曝露は影響を残すが、現場の養殖漁場でへい死を引き起こす環境ではないと考えられた。

低塩分環境曝露後のアサリがどのような生理的障害を受け、その影響でその後生残が低下するかは現状では明らかではないが、無酸素や硫化水素と同様にグリコーゲンを生産する機能や濾水機能等が後遺障害^{13,14)}を受け、死に至る可能性も考えられ、その機構の解明は今後の課題と考える。

今回、どのような低塩分環境がその後のアサリの生残に影響を与えるかを検討し、アサリにとって致死的な塩分 10¹⁰⁾では 24 時間以上で、曝露中に強固な閉殻防御反応がみられるものの致死的ではないとされていた塩分 15 および 17.5¹⁰⁾であっても、それぞれ 72 時間、96 時間以上の曝露環境がその後の生残に影響があり、養殖漁場での緩慢なへい死 (夏～秋季) に関与する可能性が示唆された。

しかし、低塩分環境同様に生存を脅かす無酸素環境ではアサリの生理状態 (炭水化物含量) で生存時間が異なる¹⁵⁾。各実験を行った年によりアサリの生理状態、例えば肥満度は異なり 2013 年が平均 11.3、2015 年が 17.0、2016 年が 13.7 と差があった。また、試験時の水温や地温についても、各年の試験開始時期は 7 月 6 日～7 月 11 日とほぼ同時期にもかかわらず、曝露時の平均水温は 2015 年の 22.5℃に対し 2013 年は 24.9℃、水槽試験では 2015 年の 23.9℃に対し 2013 年は 25.5℃、試験期間が 106～143 日間と異なる漁場試験の最高地温は 2015 年の 30.4℃に対し 2016 年は 34.6℃とその年の気象状況によって差がある。未曝露の対照区を設け各曝露環境と比較しているものの、耐性時間は各年のアサリの生理状態と気象等によって影響を受ける可能性が考えられる。

よって、アサリの生産性向上のためには、今後も

引き続き、漁場環境とカゴ試験等によるアサリの生残状況のモニタリングし、どのような低塩分環境がその後のアサリの生残に影響を与えるのかを確認し、へい死対策のための基礎資料として集積していく必要がある。

最後に、参考まで 3 ヶ年の試験の各塩分環境と曝露時間別の曝露後 7 日後の水槽試験のへい死率をまとめた図を示す (Fig. 5)。前述したように試験した各年のアサリの生理状態や水温等の環境に違いがあり単純な比較は難しいが (低塩分曝露していない各年の対照区のへい死率は 0.3～8%)、塩分 10 の曝露 36 時間 (へい死率 42%) と塩分 15 の曝露 72 時間 (78%) および 96 時間 (91%) はその他の曝露環境と比べ、曝露直後には生存を脅かす大きな生理的障害を受けていたと考えられた。特に塩分 15 は致死的でない¹⁰⁾とされていたが、72 時間以上の曝露で 1 週間後に 8～9 割程度へい死するなど致命的な障害を受けることが示唆された。

よって今後、アサリなどの閉殻防御⁸⁾を行う二枚貝の各種環境耐性試験を行う際は、曝露環境のみならず、曝露時間についてよく検討し、曝露

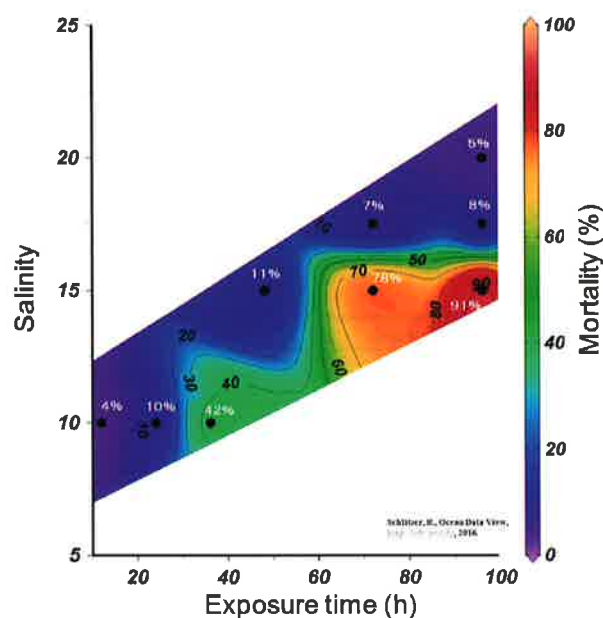


Fig. 5. Mortality of Manila clam within seven days after the exposure to low-salinity water (10, 15, 17.5 and 20 psu) for different duration of time (12 - 96 hours). Solid circles represent experimental data points.

後の生残状況を 1 週間程度は観察する必要がありと考える。

謝 辞

本試験を行うにあたり調査の実施や試料の採取などにご協力をいただいた長崎県小長井町漁業協同組合の職員と漁業者の方々に心からお礼申し上げる。また、英文の御校閲をいただいた水産研究・教育機構 増養殖研究所 増養殖環境グループ長 渡部諭史博士と資料の解析に協力をいただいた総合水産試験場の水田浩二博士, 平江想氏に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 松田正彦, 鶴田政文. 区画管理された客土覆砂漁場でのアサリ養殖漁業 小長井町漁業協同組合の取り組み. アクアネット 2015 ; 202 : 47-50.
- 2) 松田正彦, 平野慶二, 北原茂, 石田直也. 諫早湾貝類の漁場有効利用技術開発 (アサリ). 平成 24 年度長崎水試事報 2013 ; 89-91.
- 3) 松田正彦, 平野慶二. 諫早湾貝類の漁場有効利用技術開発 (アサリ). 平成 25 年度長崎水試事報 2014 ; 90-92.
- 4) 松田正彦, 高見生雄, 木村和也. 諫早湾貝類の漁場有効利用技術開発 (アサリ). 平成 26 年度長崎水試事報 2015 ; 83-85.
- 5) 松田正彦, 高見生雄, 木村和也. 諫早湾貝類の漁場有効利用技術開発 (アサリ). 平成 27 年度長崎水試事報 2016 ; 74-75.
- 6) 松田正彦, 木村和也. 諫早湾貝類の漁場有効利用技術開発 (アサリ). 平成 28 年度長崎水試事報 2017 ; 77-78.
- 7) 松田正彦. アサリ養殖漁場における夏季大量へい要因の検討. 博士論文, 長崎大学, 長崎. 2008.
- 8) 村地四郎, 古川哲三. サルボウ (モガイ) の希釈海水に対する抵抗性について. 水産増殖 1958 ; 6 : 35-40.
- 9) 日向野純也. 貧酸素・硫化水素・浮泥等の環境要因がアサリに及ぼす影響. 水研センター研報 2005 ; 別冊 3 号 : 27-33.
- 10) 松田正彦, 品川明, 日向野純也, 藤井明彦, 平野慶二, 石松惇. 低塩分がアサリの生残, 血リンパ浸透圧および軟体部水分含量に与える影響. 水産増殖 2008 ; 56 : 127-136.
- 11) 倉茂英次郎. 海水塩分の変化に対するアサリの抵抗性. 日本海洋学会誌 1942 ; 1 : 29-43.
- 12) 鳥羽光晴・深山義文. 飼育アサリの性成熟過程と産卵誘発. 日水誌 1991 ; 57 : 1269-1275.
- 13) 上月康則, 山中亮一, 松重摩耶, 齋藤梓, 岩雲貴俊, 石田達憲, 大谷壮介. 貧酸素によるアサリのろ水機能への後遺障害の関する研究. 土木学会論文集 B2 (海岸工学) 2011 ; 67 (2) : I_1006-I_1010.
- 14) 上月康則, 山中亮一, 松重摩耶, 齋藤梓, 石田達憲, 大谷壮介. アサリに及ぼす硫化水素の影響に関する実験的考察. 土木学会論文集 B2 (海岸工学) 2012 ; 68 (2) : I_971-I_975.
- 15) 松田正彦, 北原茂, 日向野純也, 品川明, 石松惇. 異なる時期に採集されたアサリ *Ruditapes philippinarum* の無酸素耐性と炭水化物含量の関係. 長崎水試研報 2013 ; 39 : 17-24.

