

六条潟におけるアサリRuditapes philippinarumの秋季減耗要因について

誌名	水産海洋研究
ISSN	09161562
著者名	曾根,亮太 和久,光靖 石田,俊朗 宮脇,大 山田,智
発行元	水産海洋学会
巻/号	83巻4号
巻号補足	
掲載ページ	p. 252-259
発行年月	2019年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



六条潟におけるアサリ *Ruditapes philippinarum* の秋季減耗要因について曽根亮太^{1,2†}, 和久光靖^{1,2}, 石田俊朗^{1,3}, 宮脇 大¹, 山田 智^{1,4}Mortality causes of juvenile Manila clams *Ruditapes philippinarum* in autumn in Rokujo tidal flat in Mikawa Bay, JapanRyota SONE^{1,2†}, Mitsuyasu WAKU^{1,2}, Toshiro ISHIDA^{1,3}, Dai MIYAWAKI¹ and Satoshi YAMADA^{1,4}

愛知県六条潟では毎年大量のアサリ稚貝が発生するが、秋季から冬季に減耗し、その原因は明らかでない。そこで3年間の春季から冬季の調査により減耗時期を特定するとともにステンレスかごを用いた野外実験を行った。また、アサリの成長、肥満度および成熟度の生理状態をモニタリングした。いずれの年も10–11月に個体数が1/10以下に減耗した。野外実験では試験区のかごの中でへい死が見られ、かごを被覆しなかった対照区と同様に個体数が減少したため波浪による散逸やカモ類・大型巻貝等による摂食圧が主な要因とは考えられなかった。一方、群成熟度は10–11月に高まり、その後低下する際に個体数が急減しており、成熟・産卵放精と減耗との関連が考えられた。六条潟では7–8月頃から群成長が停滞し、夏季以降は十分な栄養状態でないと考えられた。このような低栄養状態にもかかわらず、成熟が進行し、秋季の産卵放精によるエネルギー消費が大量へい死の原因と考えられた。

キーワード：六条潟、アサリ、稚貝、秋季減耗、性成熟、密度効果、貧栄養化

Although there is a huge outbreak of juvenile Manila clams *Ruditapes philippinarum* in Rokujo tidal flat in Mikawa Bay every year, the Manila clam population declines from autumn to winter. However, the cause is not yet clear. To understand the mortality cause, we conducted field observation from spring to winter for three years (2014–2016), and monitored the physiological state, e.g., growth, condition factor, and maturity. In addition, we conducted a field experiment by using a stainless cage in 2015. Results of the field observation indicated that the number of Manila clams decreased by less than 10% from October to December each year. Results of the field experiment in 2015 indicated that Manila clams in the stainless cage died and the population equally decreased compared to the control group that was not protected by a cage. Consequently, it was not considered that windswell in winter and predation pressure of dabbling ducks and large carnivorous gastropods were the main causes of mortality. On the other hand, the population maturity rate had increased throughout the months of October until December in 2016. It was considered that sexual maturation and spawning were related to the mortality in autumn. Because the growth of the Manila clam population had slowed down from July or August every year, it was considered that individual Manila clams had not been in healthy condition from summer to autumn due to the influence of density effect and oligotrophication in estuaries. Therefore, these results suggest that large energy loss through sexual maturation and spawning in autumn under an oligotrophic condition causes mass mortality of the Manila clam population.

Key words: Rokujo tidal flat, manila clam, juvenile, mortality in autumn, sexual maturation, density effect, oligotrophication

2018年11月2日受付, 2019年7月13日受理

¹ 愛知県水産試験場, 〒443-0021 愛知県蒲郡市三谷町若宮97

Aichi Fisheries Research Institute, 97 Wakamiya, Miya, Gamagori, Aichi 443-0021, Japan

² 現所属：愛知県農業水産局水産課, 〒460-8501 愛知県名古屋市中区三の丸3-1-2

Present: Fisheries Administration Division, Bureau of Agriculture and Fisheries, Aichi Prefectural Governmental Office, 3-1-2 Sannomaru, Nakaku, Nagoya, Aichi 460-8501, Japan

³ 現所属：公益財団法人 愛知県水産業振興基金栽培漁業部, 〒441-3618 愛知県田原市小中山町一膳松1-3

Present: Aichi Sea-Farming Institute, 1-3 Ichizenmatsu, Konakayama, Tahara, Aichi 441-3618, Japan

⁴ 現所属：愛知県東三河農林水産事務所, 〒440-0806 愛知県豊橋市八町通5-4

Present: Higashi Mikawa Agriculture, Forestry, and Fisheries Office, Aichi Prefectural Government, 5-4 Hatchodo-ri, Toyohashi, Aichi 440-0806, Japan

† riyouta_sone@pref.aichi.lg.jp

はじめに

全国のアサリ漁獲量が落ち込み、各海域において減耗要因について議論され、対策が進められてきたが、抜本的なアサリ資源の回復には至っていない（鳥羽, 2017）。しかしながら、近年の資源レベルが低下した海域においてもアサリ稚貝の自然発生が続いている例は少なくなく、このような海域で問題となっているのは発生した稚貝の生残が悪く、漁獲資源の形成に繋がらないことである（農林水産省ノリ不作等対策関係調査検討委員会, 2003; 中川ほか, 2007; 鳥羽, 2016）。いうまでもないが、自然発生する稚貝を漁獲資源あるいは種仔として活用するためには、稚貝の減耗要因を特定することが必要不可欠である。

愛知県の三河湾東奥部に位置し、豊川の河口干潟である六条潟はアサリ稚貝が毎年大量に発生し、その稚貝は県内各地に移植放流され、愛知県のアサリ漁業の安定化に貢献してきた（蒲原, 2014）。一方で、夏季の六条潟では周辺に貧酸素水塊が発達することから、青潮（苦潮）による大量への死がしばしば起こっており、8月に最大で約5,000tの稚貝がへい死するなど、大規模な漁業被害が生じている（蒲原, 2014）。また、たとえ青潮被害を免れたとしても、近年では毎年、秋季から冬季にかけて大量に減耗し、六条潟のアサリ資源はほぼ消失する（山田ほか, 2015）。夏季の青潮については沖合や六条潟南部に位置する航路・泊地に蓄積された硫化水素を含む貧酸素水塊が風応力により湧昇するメカニズムやその水塊が干潟上で滞留することにより底生生物への死が連続的に生じ、干潟上で高濃度の硫化水素が生成され、アサリの大量への死を引き起こしている可能性があることなどが明らかになってきたが（愛知県水産試験場, 2017a）、秋季から冬季にかけての減耗については波浪による散逸等が考えられるものの、その原因につ

いては特定されておらず、具体的な減耗時期についても明らかでない。

そこで、本研究では春季から冬季にかけて3年間にわたり、現地調査により秋季における個体群の減耗時期を特定するとともに、波浪や被食による影響を明らかにするためにステンレスかごを用いた野外実験の実施や、アサリの成長、肥満度および成熟度の生理状態をモニタリングし、減耗要因を考察した。

材料と方法

個体数密度、現存量および殻長の推移

アサリの生息状況を把握するために、これまでの調査から六条潟において稚貝が多く発生し、生育状況が観察しやすいRJ-2, 4, 6（Fig. 1, CDLはそれぞれ+0.2, +0.1, -0.4 m）において2014年から2016年の各年4月から翌年1月にかけて毎月1-2回、試料を採取した。1測点につき10×10 cmの方形枠を用いて3回底土を採取し、それらを合わせて1 mmのふるいに残ったものを一つの試料として実験室に持ち帰った。得られた試料は適宜分割して、アサリを計数し、殻長を測定した。また、2014年および2015年については平均殻長から六条潟稚貝の殻長-殻付き湿重量の関係式（曾根ほか, 2015）を用いて現存量を算出し、2016年は試料ごとに湿重量を測定して、現存量を求めた。

かご試験

波浪による散逸等の影響を除去するために、2015年11月11日に3測点のうち干出ししないRJ-6（CDL -0.4 m）においてステンレスかご（縦34.5 cm 横24.5 cm 高さ10.0 cm 網目幅5 mm）3基を逆さにして埋設することによって被覆し、その場所に生息しているアサリ稚貝の生残を追跡した。かごは11月30日に2基、12月15日に1基を回収して、かご

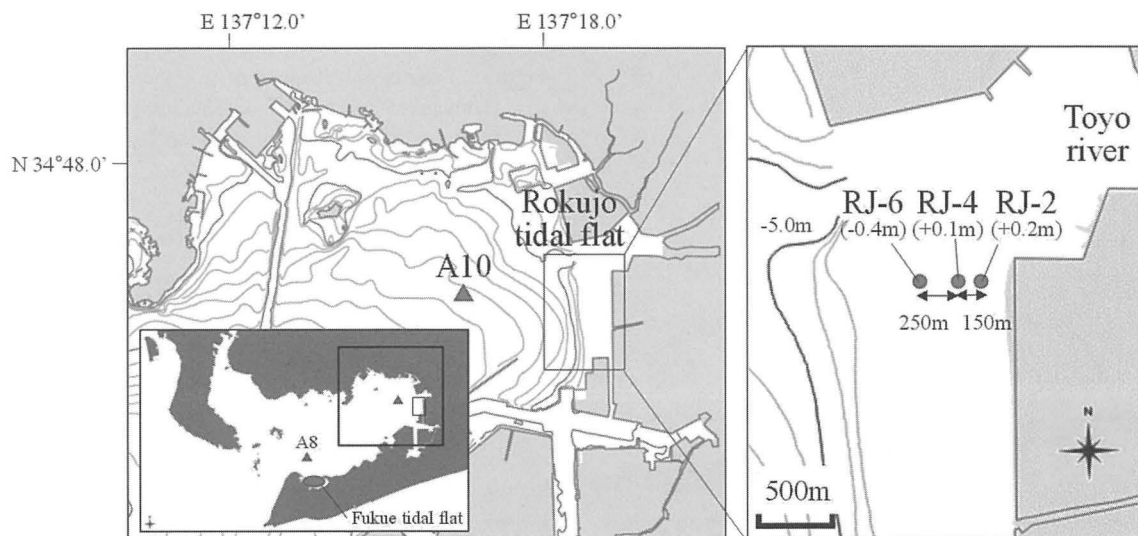


Figure 1. Location of Rokujo tidal flat and sampling stations with chart datum level (CDL).

内の個体数を計数し, 同日に実施した前項の調査で得られたかご設置場所周辺 (RJ-6) における個体数密度と比較した。

アサリの生理的变化

アサリの生理状態をモニタリングするため, 2016年5月から2017年1月にかけてはRJ-6で得られた試料から最大30個体をランダムに採取し, 殻長, 殻高, 殻幅および軟体部湿重量を測定し, 鳥羽ほか (1992) に従い肥満度を算出した。さらに, このうち最大15個体について安田ほか (1954) の方法に準じ, 外観の目視および生殖腺の顕微鏡観察により各個体の成熟度を判別し, 群成熟度を求めた。ただし, 顕微鏡観察では判別が容易な卵形成の程度のみを指標としたため, 雄は評価対象としなかった。すなわち, 供した試料の性比が1:1であれば, 群成熟度の最大値は0.5となる。

結 果

個体数密度, 現存量および殻長の推移

Fig. 2には2014年, 2015年および2016年のアサリ個体数密度および現存量の推移を示した。各年において, 地点間の個体数の変動傾向は同様であったため, 3地点の平均値を示した。2014年の個体数密度は7月16日に最大の45,900

ind.・m⁻²となり, 現存量は6,300 g・m⁻²であった。その後, 個体数密度, 現存量ともにほぼ横ばいで10月8日の個体数密度は26,100 ind.・m⁻², 現存量は4,790 g・m⁻²となった。しかし, その後, 個体数密度および現存量は急減し, 11月14日には個体数密度は1,200 ind.・m⁻², 現存量は240 g・m⁻², 2015年1月6日には個体数密度は360 ind.・m⁻², 現存量は50 g・m⁻²となった。2015年の個体数密度は5月25日に最大の137,400 ind.・m⁻²となり, その後, 個体数密度は徐々に減少し, 11月5日の時点で21,400 ind.・m⁻²であった。現存量は6月17日に4,660 g・m⁻²となり, その後はほぼ横ばいで11月5日の時点で4,560 g・m⁻²であった。しかし, その後, 個体数密度および現存量は急減し, 12月15日には個体数密度は1,300 ind.・m⁻², 現存量は250 g・m⁻², 2016年1月8日には個体数密度は400 ind.・m⁻², 現存量は60 g・m⁻²となった。2016年の個体数密度は7月14日に20,000 ind.・m⁻²となり, 現存量は3,640 g・m⁻²であった。9月13日には個体数密度は若干減少したものの11,300 ind.・m⁻²であり, 現存量は若干増加し, 4,280 g・m⁻²となった。その後, 9月20日に青潮が発生し, アサリのへい死が認められた (愛知県水産試験場, 2017b)。10月7日には衰弱個体も認められなかったため, 青潮によるへい死が終息したと考えられ, その時の個体数密度は1,900 ind.・m⁻², 現存量は790 g・m⁻²であっ

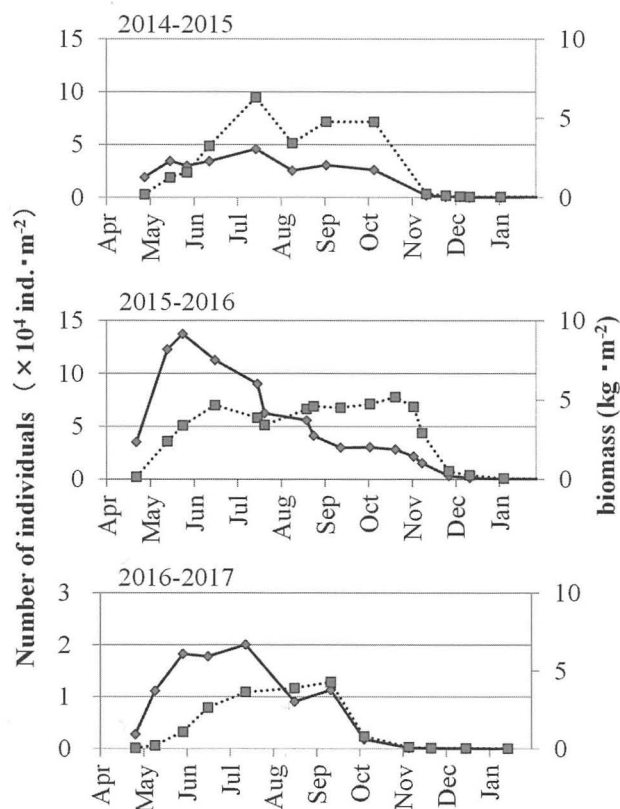


Figure 2. Seasonal variation of average individual density (diamond) and biomass (square) of Manila clams in RJ-2, 4, and 6 from April to January in each year, 2014–2016.

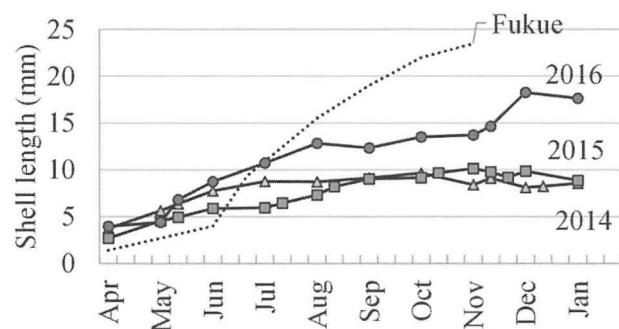


Figure 3. Seasonal changes of average shell length of Manila clams in RJ-2, 4, 6 and Fukue station (Aichi prefecture, 1983) from April to January in each year, 2014–2016.

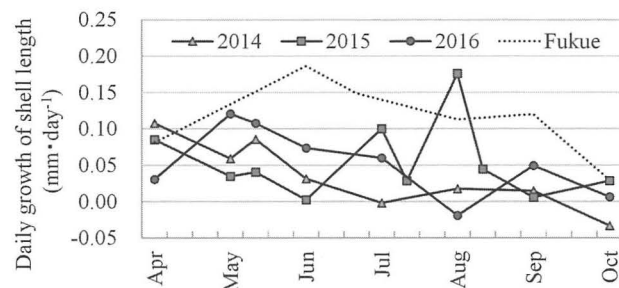


Figure 4. Seasonal changes of daily growth of Manila clams in RJ-2, 4, 6 and Fukue station (Aichi prefecture, 1983) from April to October in each year, 2014–2016.

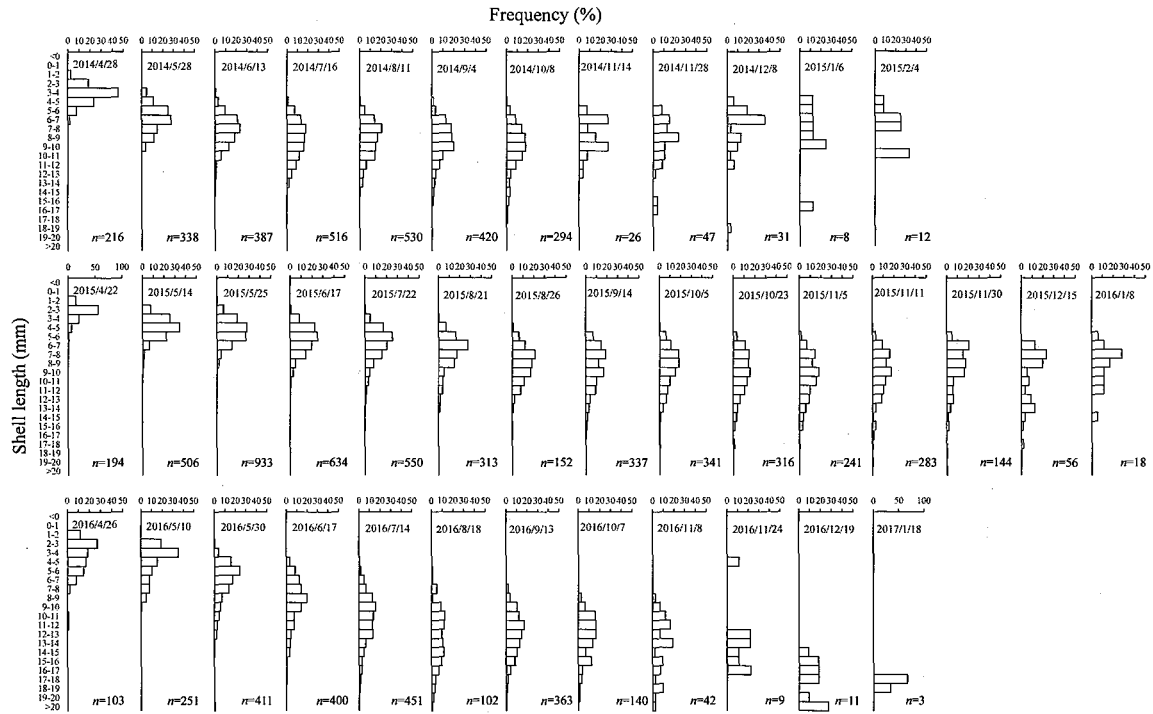


Figure 5. Monthly change of size-frequency composition of Manila clams in Rokujo tidal flat in each year, 2014–2016.

た。しかし、その後、個体数密度および現存量はさらに減少し、11月8日には個体数密度は $180 \text{ ind.} \cdot \text{m}^{-2}$ 、現存量は $107 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、2017年1月18日には個体数密度は $10 \text{ ind.} \cdot \text{m}^{-2}$ 、現存量は $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ となった。

Fig. 3には各年の3地点合計の平均殻長の推移を示し、Fig. 4には標本数が十分に確保できた各年10月までの平均殻長の推移より日間成長量を示した。また、Fig. 5には各年における3地点合計の殻長組成の推移を示した。いずれの年も4月から成長が見られたが、2014年は7月以降、2015年は6月頃および9月以降、2016年は8月以降に成長の停滞が見られた。また、6月時点での殻長は個体数密度の少ない2016年、2014年、2015年の順で大きかった。

かご試験

ステンレスかごを埋設した付近のRJ-6におけるアサリ個体数密度は2015年11月11日には $14,800 \text{ ind.} \cdot \text{m}^{-2}$ であったが、11月30日には $1,730 \text{ ind.} \cdot \text{m}^{-2}$ 、12月15日には $930 \text{ ind.} \cdot \text{m}^{-2}$ と減少した (Fig. 6)。一方、かご内の個体数密度は11月30日には $1,530 \text{ ind.} \cdot \text{m}^{-2}$ (2基平均値)、12月15日には $3,330 \text{ ind.} \cdot \text{m}^{-2}$ であった。なお、かごの中には多数の死殻が認められた。

アサリの生理的変化

RJ-6における2016年のアサリの肥満度および群成熟度の推移をFig. 7に示した。肥満度は6月および11月に若干高い値を示したが、大きな変動は認められなかった。また、成熟度については9月まで成熟雌個体は認められなかったものの、10月7日に確認され、群成熟度は0.36、11月8日

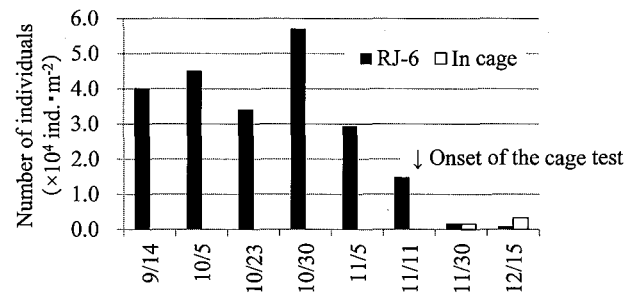


Figure 6. Density of Manila clam population in RJ-6 and cage test from September to December in 2015. Cage test was set on November 11, 2015.

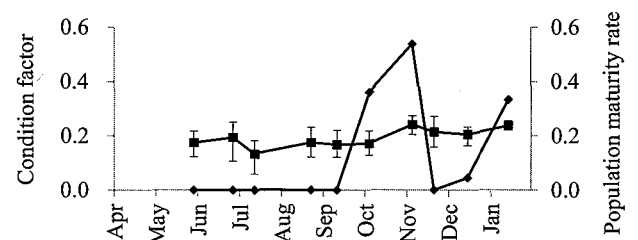


Figure 7. Seasonal changes of condition factor (square) and population maturity rate (diamond) of Manila clams in RJ-6 from May, 2016 to January, 2017. Error bar indicates the range of condition factor.

に0.54と急激に増加した。しかし、11月24日には成熟雌個体は認められなかった。

考 察

六条潟におけるアサリの成長特性及び減耗過程

各年とも4月には殻長3 mm前後にモードを持つコホートが現れ、三河湾における殻長成長の既往知見(愛知県, 1983)から前年の秋季発生個体と考えられた(Figs. 3, 5)。その後は新たなコホートの加入が見られなかったことから、この単一コホートにより推移したと考えられ(Fig. 5)、蒲原ほか(2014)が示したように六条潟では秋季発生群により主体的に構成されていると考えられた。個体数のピークは2014年および2016年には7月中旬、2015年には5月下旬に現れ(Fig. 2)、これは個体の成長に伴い、ふるいに残る個体が増加することや稚貝の集積(石田ほか, 2017)によるものと考えられた。また、各年の個体数のピークを迎えた月以降、個体数は減少傾向を示した。夏季の六条潟は青潮リスクを抱えており(蒲原, 2014)、夏季の個体数の減少は溶存酸素濃度(Dissolved Oxygen: DO)の低下と関連している可能性が考えられる。愛知県水産試験場(2017a)は本研究と同時期の2014年7-9月、2015年6-10月および2016年6-10月にRJ-6に自記式溶存酸素計を設置し、干潟上におけるDOのモニタリングとアサリへの影響を評価しているが、その結果、六条潟ではしばしばDOの低下が確認されており、前述のとおり2016年9月には青潮による顕著な個体数の減少が認められたものの、他の期間ではDOの低下と関連付けられる顕著な個体数の減少については示されていない。一方、個体の殻長の推移より、各年で時期は若干異なるもののおおむね7-8月頃の夏季以降、成長の停滞が見られた(Figs. 3, 4)。三河湾における秋季発生群の成長を追跡した事例は限られているが、その一例として1980年に調査された三河湾の田原市福江地区における秋季発生群の成長(愛知県, 1983)とこの結果から推定される日間成長量をFigs. 3および4にそれぞれ示した。この調査結果は新規に漁場造成した後の天然発生個体の成長を追跡したもので、1980年7月の福江地区における個体数密度は約2,000-3,000 inds.・m⁻²となっており、当時の三河湾における一般的な成長を示していると考えられる。本研究と調査結果を比較すると、六条潟における6月以降の日間成長量は明らかに低く、8月以降の殻長に大きな違いが見られた(Fig. 4)。また、本研究において個体群の現存量は7-8月頃に増加が見られなくなっているとともに、その後2014年は10月まで、2015年は11月まで、2016年は9月まで個体数が漸減傾向にありながらも一定の現存量を維持しているように見られることから(Fig. 2)、密度効果が働いていると考えられた。個体の殻長成長は個体数密度に依存するため、各年で成長速度が異なるが、六条潟については7-8月頃に群成長が鈍化し、環境収容力の上限に達していると

考えられた。また、その上限値は5,000 g・m⁻²程度であると考えられた。

一方で、2014年および2015年については密度効果の影響を受けながらも個体数密度は10月頃まで10,000 ind.・m⁻²以上の高密度を維持しており、また2016年については青潮の影響で9月に大きく減耗していたものの10月7日の時点で1,900 ind.・m⁻²のアサリが生息していた。しかし、年によりその時期は若干異なるものの10-11月から約1カ月間で個体数密度が1/10以下に減耗することが明らかとなった。

秋季減耗要因の特定

これまでにアサリの大量減耗要因としては夏季では貧酸素および青潮(日向野, 2005)、冬季では波浪による影響(柿野ほか, 1995)などが指摘されてきた。また、六条潟は冬鳥の越冬地となっており、二枚貝食性の潜水ガモであるスズガモやホシハジロが確認されているため(桑江ほか, 2003)、これらのカモ類や大型の巻貝であるツメタガイによる捕食圧(瀬川・服部, 1997)に加えて、前述したような放流用稚貝の採捕(蒲原ほか, 2014)による漁獲圧の影響もその候補に挙げられる。

六条潟の10-11月における減耗要因について、10月以降では三河湾の貧酸素水塊はおおむね解消しており、六条潟沖合にある愛知県水産試験場1号ブイにおける底層DOの連続観測記録によると(<http://suisanshiken-buoy.jp/top/index.html>, 2018年10月23日)、各年の減耗時期においては極端な貧酸素化が確認されていないため(2014年10月8日-11月14日: 日平均値46-98%, 2015年11月5日-11月30日: 日平均値70-106%, 2016年10月7日-11月8日: 日平均値37-96%)、青潮によるものとは考えにくい。また、六条潟は西向きの干潟であるため、冬季にかけて強まる北西の季節風による波浪の影響が考えられる。六条潟近傍である三河港の風特性(平野ほか, 2008)によると、本研究において減耗が見られた10-11月については冬季季節風が本格化する前で比較的静穏日が多く、この時期については波浪で散逸することによる減耗の可能性は低いと考えられる。実際に2014年から2016年の各年4月から翌年1月における六条潟近傍のアメダス豊橋観測所の風向が西から北の風(西・西北西・北西・北北西・北)を抽出し、日最大風速をFig. 8に示したが(<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>, 2018年10月23日)、減耗期にあたる10-11月は北西風が強まる時期ではあるものの、風速10 mを超える強風が吹くのは主に12月以降である。また、2015年に行ったかご試験では11月11日の試験開始から19日経過後の11月30日に1回目の試験区の取り上げを行い、個体数密度は1,530 ind.・m⁻²と、試験開始時と比べて約1/10となり、周辺の対照区でも同様に個体数の減少が認められた(Fig. 6)。また、2回目の取り上げは1回目の取り上げから15日経過後の12月15日に行い、個体数密度は3,330 ind.・m⁻²と試験開始時の約1/5、1回目の取り上げと比べると約2倍であった(Fig. 6)。

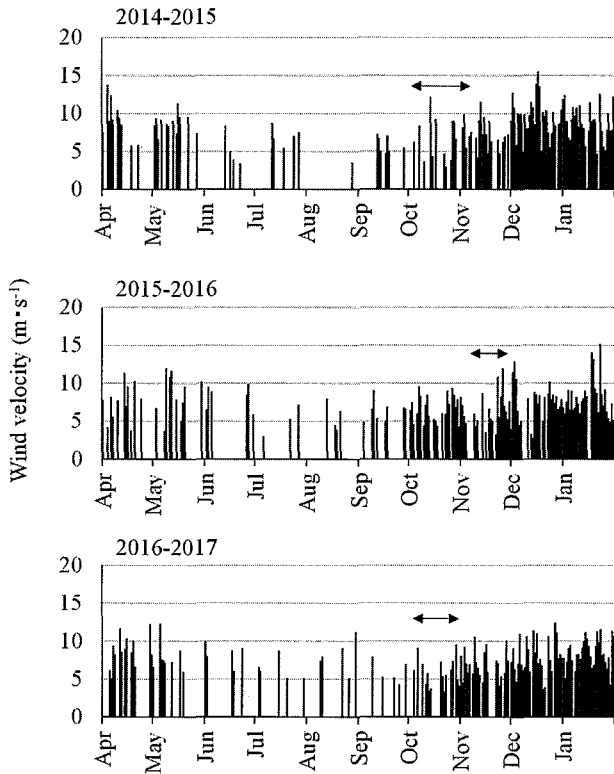


Figure 8. Daily maximum wind speed from the northwest (west, west-northwest, northwest, north-northwest, and north) in Toyohashi from April to January in each year, 2014–2016. Arrows indicate the period of mortality in each year.

1回目の取り上げから2回目の取り上げにおいて個体数密度が増加した理由については、サンプリング誤差なのか、それ以外の要因であるか、設置基数が合計3基と試料数が少なく明確な判断ができなかった。しかし、いずれにしても試験区のかごの中でへい死個体を確認されるとともに、大きな個体数の減少を伴っていたため、これらの結果から波浪による散逸が秋季の主体的な減耗要因ではないと考えられた。さらに、この結果は二枚貝食性のスズガモやホシハジロなどの潜水ガモやツメタガイなどの大型巻貝による捕食圧の影響を否定できる。また、漁獲に関して、六条潟では漁業者による放流用稚貝の採捕が行われているが、その特別採捕期間は7月から10月頃までと、10–11月の減耗期に限った要因ではなく、これについても秋季の減耗要因として関連づけることは難しい。

一方で、2016年に群成熟度をモニタリングしたところ、11月上旬にはほぼすべての個体が性成熟していると考えられた (Fig. 7)。アサリの生物学的最小形について一般的には15 mmと整理されているケースが多く (例えば全国沿岸漁業振興開発協会, 1997)、2016年11月8日の六条潟のアサリ個体の平均殻長は13.7 mmであり、15 mmを下回る個体も多いため、全個体が産卵・放精していると判断する

ことはできない。しかし、これを下回る体サイズにおいても成熟を確認している事例 (高, 1957: 11–12 mm; 辻ほか, 1994: 7–8 mm) もあり、三河湾における産卵期の終盤 (松本ら, 2014) にあたる10月から11月上旬には六条潟のアサリが産卵している可能性は高い。2016年の群成熟度 (Fig. 7) を個体数密度の推移 (Fig. 2) と併せて見ると、群成熟度は10月から11月上旬にかけて高まり、その後急低下するタイミングで個体数密度が急減していることから、性成熟・産卵・放精過程が個体群減耗と関連していると考えられた。2014年および2015年は群成熟度のモニタリングを行っておらず、また2016年と比較して体サイズも小さく、これらの年の性成熟の過程は不明であるが、減耗時期や急減する減耗状況から判断して、2016年と同様の現象が起きている可能性が考えられた。

なお、肥満度は性成熟を簡便に表現する指標であるが (鳥羽ほか, 1992)、本研究においては産卵に伴う肥満度の顕著な減少が見られなかった (Fig. 7)。これは、個体群の減耗期には栄養状態の悪い個体からへい死するため、個体群の肥満度を追跡してもその値は見かけ上、大きな変化が見られなかったと考えられる。本研究で示したように個体数の減少と肥満度や成熟度との関係性をより厳密に明らかにするためには日単位程度に頻度を高めた観測や室内実験等により栄養状態や性成熟過程が及ぼす個体への影響を検証することが求められる。

六条潟におけるアサリ稚貝の成長停滞と栄養状態の悪化

1980年に調査した福江地区の秋季発生群と成長 (愛知県, 1983) を比較すると、六条潟のアサリはおおむね7–8月頃には殻長成長が鈍化し (Figs. 3, 4)、個体群の現存量の増加も見られないこと (Fig. 2) から夏季以降は群成長が停滞していると考えられる。Fig. 9には公共用水域観測点のうち、1978年以降毎月継続したデータが取得されている六条潟沖合のA10および福江地区沖合のA8の全窒素 (TN) が六条潟および福江地区それぞれの餌料環境を反映しているものとして、この年平均値を水温とともに示した。現在の六条潟のTN (2014–2016年3ヶ年平均値 $440 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) は1980年の福江地区 (1979–1981年3ヶ年平均値 $290 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) よりも1.5倍高かったものの、同サイズの秋季発生群の個体数密度は1980年7月の福江地区では $2,000\text{--}3,000 \text{ inds.} \cdot \text{m}^{-2}$ であるのに対して、六条潟では $52,000 \text{ inds.} \cdot \text{m}^{-2}$ (2014–2016年7月平均値) と約20倍多かった。すなわち、六条潟では夏季以降アサリの生息密度が高く、相対的な餌料不足に陥っている可能性がある。曾根ほか (2015) は2013年6月下旬に現地観測に基づくボックスモデルにより六条潟における窒素収支を求めているが、六条潟ではアサリが高密度に分布しているため、懸濁態窒素の除去速度がこれまで観測された他の干潟よりも高いことが明らかとなっている。一方で、この中で純生産速度を実測しているが、当日は赤潮であったにもかかわらず、窒素換算した速度 ($13.9 \text{ mgN} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) は懸濁

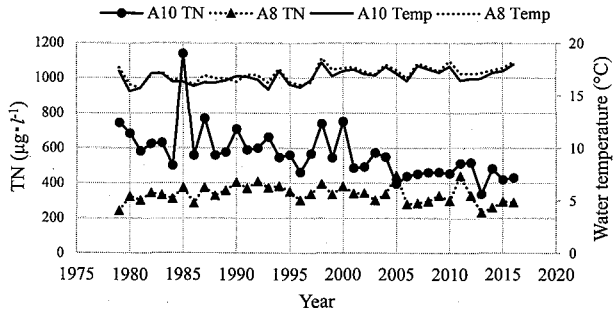


Figure 9. Long-term variations of total nitrogen (TN) and water temperature into surface layer at A8 and A10 in Mikawa Bay from 1979 to 2016.

態窒素除去速度 ($18.5 \text{ mgN} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) に見合わない結果となっている。実際は潮汐等の移流や拡散によって干潟域に餌料供給がされるが、あくまで干潟の生産力は当該海域の純生産速度に規定されるとすると、六条潟では成長速度の比較的高い6月 (Fig. 4) においてもアサリ生物量に対する餌料が十分でない現状があると考えられる。これまでにトリガイ (木村ほか, 2002) や養殖マガキ (赤繁ほか, 2005) では餌料不足等により十分な栄養状態でない場合、性成熟や産卵・放精に伴いへい死することが報告されており、性成熟に伴う生理活性の低下は二枚貝類の主要な減耗リスクの一つとされている。また、アサリについても多賀ほか (2005) は被覆網を施した漁場において群成熟度のモニタリングを行い、秋季の産卵に伴い、生残率が低下していることを報告している。以上のことから、六条潟では夏季から秋季にかけて十分な栄養状態でないまま、性成熟が進行し、秋季に産卵・放精し、大きくエネルギー損失することにより、大量減耗を引き起こしていることが考えられた。

三河湾の水質環境変化

一方で、2005年頃には六条潟においても越冬する個体が確認されている (石田ほか, 2007)。このことについては三河湾における水温環境や餌料環境の変化が影響していると考えられる。三河湾では表層水温が1990年代と比較して約 1°C 上昇している一方で (本田ほか, 2015; 二ノ方ほか, 2017)、餌料環境については湾内のクロロフィル a は減少傾向にある (曾根ほか, 2016; 蒲原ほか, 2018b)。また、Fig. 9に示したとおり湾口部に近いA8よりも湾奥部のA10でのTNの減少率が大きく、A10でのTNは1979–1981年平均と比べて2014–2016年平均で約35%減少しており、湾奥部での餌料濃度の低下が顕著である。すなわち、水温上昇により基礎代謝量が上がり、餌料要求量が増加しているにもかかわらず、餌料濃度が減少しているため、栄養状態の悪化を招いている可能性がある。

おわりに

愛知県では2014年以降、アサリ漁獲量が急激に落ち込んで

いるが、蒲原ほか (2018a) はその原因について、特に漁獲量の低下が著しい西三河地区において水温と植物プランクトン量を説明要因とするアサリ軟体部成長モデルを用いて解析し、過去の状況と異なり近年では秋季の餌料不足がその後の減耗を招いていることを指摘している。本研究で示したように六条潟におけるアサリの秋季の急速な個体数の減少には性成熟が関与していると考えられるが、蒲原ほか (2018a) の指摘にあるようにその背景には餌料不足による栄養状態の悪化があると思われる。また、冬季波浪が強まり最低水温期となる1–2月もかねてから指摘されているように大きな減耗時期であるが (柿野ほか, 1995)、これについてもアサリの体サイズや栄養状態がその減耗の程度を左右すると考えられる。今後は秋季から冬季の減耗を乗り越えるために、性成熟についても考慮したうえで、アサリ個体群の維持に必要な餌料環境を明らかにすることが重要である。

また、近年、六条潟からの移植稚貝の生残が極端に悪い事例 (服部ほか, 2017) が報告されており、秋季の減耗については六条潟と同様の現象が放流地先で生じている可能性もある。放流効果を高めるためには六条潟において成長速度が鈍化する前に早期の移植放流を進め、各地先で成長を促進させることが有効と考えられるが、これについては今後、検証が求められる。

謝 辞

株式会社日本海洋生物研究所の橋口晴穂博士、愛知県水産試験場漁場環境研究部の蒲原聡部長および名城大学大学院総合学術研究科の鈴木輝明特任教授には本稿全般において重要なお助言を賜った。ここに記して深く感謝いたします。なお、本研究の一部は三井物産環境基金研究助成「アサリ漁獲量を回復し、健全な里海を確保するための稚貝大量発生干潟のメカニズムの解明」により実施された。

引用文献

- 愛知県 (1983) 大規模増殖場開発事業調査総合報告書 (福江地区)。水産庁, 1–88.
- 愛知県水産試験場 (2017a) 人工構造物に囲まれた内湾の干潟・藻場生態系に対する貧酸素・青潮影響の軽減策の提案 (5-1404)。平成26年度～平成28年度環境省環境研究総合推進費終了成果等成果報告書。環境省, 27–46.
- 愛知県水産試験場 (2017b) 平成28年度伊勢湾・三河湾の赤潮・苦潮発生状況。愛知県水試研究業績C-214, 13.
- 赤繁 悟・平田 靖・高山恵介・空本李里恵 (2005) 養殖マガキの酸素消費量および濾過水量の季節変化。日本水産学会誌, 71, 762–767.
- 服部宏勇・中嶋康生・川村耕平・伏屋 満 (2017) 腰マンガ漁場のアサリ資源管理について。平成28年度水産業改良普及事業実績報告書, 51–54.
- 日向野純也 (2005) 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。水産総合研究センター報告別冊, 3, 27–33.
- 平野貴大・本間彰洋・青木伸一 (2008) 三河港の風特性の解析—船舶からみた静穏度評価を目的として—。土木学会中部支部研

- 究発表会講演概要集, 183-184.
- 本田是人・戸田有泉・二ノ方圭介・中嶋康生・鈴木輝明 (2015) 三河湾における水質環境と貧酸素水塊の変動. 水産海洋研究, 79, 19-30.
- 石田基雄・青山裕晃・家田喜一・和久光靖 (2007) 河口域資源向上技術開発試験. 平成18年度愛知県水産試験場業務報告, 61-62.
- 石田俊朗・宮脇 大・曾根亮太 (2017) 六条潟アサリ稚貝大量発生機構解明試験. 平成28年度愛知県水産試験場業務報告, 72-74.
- 柿野 純・古畑和哉・長谷川健一 (1995) 東京湾盤洲干潟における冬季のアサリのへい死要因について. 水産工学, 32, 23-32.
- 蒲原 聡 (2014) 愛知県豊川河口域に発生するアサリ稚貝の移植. 豊かな海, 33, 44-51.
- 蒲原 聡・芝 修一・市川哲也・鈴木輝明 (2018a) 伊勢・三河湾のアサリ増殖環境. 月刊海洋, 50, 406-420.
- 蒲原 聡・高須雄二・湯口真実・美馬紀子・天野慎也 (2018b) 三河湾における栄養塩の低下. 愛知水試研報, 23, 30-32.
- 蒲原 聡・山田 智・曾根亮太・青木伸一 (2014) 三河湾六条潟におけるアサリ稚貝の生産機構. 愛知水試研報, 19, 1-9.
- 木村 博・桧山節久・松野 進 (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 (7). 山口県水産研究センター研究報告, 1, 41-52.
- 高 良夫 (1957) アサリ生殖巣についての二・三の組織学的観察. 日本水産学会誌, 23, 394-399.
- 桑江朝比呂・河合尚男・赤石正廣・山口良永 (2003) 三河湾の造成干潟および自然干潟に飛来する鳥類群集の観測とシギ・チドリ類が果たす役割. 海岸工学論文集, 50, 1256-1260.
- 松本才絵・淡路雅彦・日向野純也・長谷川夏樹・山本敏博・柴田玲奈・秦 安史・櫻井 泉・宮脇 大・平井 玲・程川和宏・羽生和弘・生嶋 登・内川純一・張 成年 (2014) 日本国内6地点におけるアサリの生殖周期. 日本水産学会誌, 80, 548-560.
- 中川浩一・長本 篤・江藤拓也・佐藤利幸 (2007) 吉富干潟における杭打ち・投石によるアサリ稚貝減耗防止効果. 福岡県水産技術海洋センター研究報告, 17, 61-64.
- 二ノ方圭介・高須雄二・湯口真実・天野慎也 (2017) 海況自動観測ブイデータを利用した三河湾東部 (渥美湾) における水温, 塩分, 溶存酸素の変動の解析. 愛知水試研報, 22, 22-28.
- 農林水産省ノリ不作等対策関係調査検討委員会 (2003) 最終報告書—有明海の漁業と環境の再生を願って.
- 瀬川直治・服部克也 (1997) 伊勢湾小鈴谷干潟におけるツメタガイによるアサリの食害. 愛知水試研報, 4, 41-48.
- 曾根亮太・蒲原 聡・鈴木輝明 (2016) 内湾環境の現状とより豊かな海とするための課題—海から見た下水道整備のあり方—(特集 水処理問題の「いま」を考える). 月間下水道, 39, 22-28.
- 曾根亮太・蒲原 聡・山田 智・鈴木輝明・高倍昭洋 (2015) アサリ *Ruditapes philippinarum* 稚貝が高密度に発生する河口干潟における水質浄化機能—三河湾豊川河口六条潟における6月の観測事例—. 水産海洋研究, 79, 117-129.
- 多賀 茂・和西昭仁・馬場俊典・松野 進・桃山和夫 (2005) 山口県瀬戸内海沿岸干潟における放流アサリの成長と生残. 山口県水産研究センター研究報告, 3, 87-96.
- 鳥羽光晴 (2016) 東京湾の研究を振り返って—江戸前の復活とは. 東京湾の漁業と環境, 7, 39-58.
- 鳥羽光晴 (2017) アサリ資源の減少に関する議論への再訪. 日本水産学会誌, 83, 914-941.
- 鳥羽光晴・夏目 洋・山川 紘 (1992) 東京湾産アサリの成熟と産卵に関する二, 三の知見. 水産工学, 29, 47-53.
- 辻 秀二・宗清正廣・井谷匡志・道家章生 (1994) 舞鶴湾のアサリの生殖周期. 京都府立海洋センター研究報告, 17, 1-9.
- 山田 智・蒲原 聡・曾根亮太 (2015) 河口域資源向上技術開発試験. 平成26年度愛知県水産試験場業務報告, 72-73.
- 安田治三郎・浜井生三・堀田秀之 (1954) アサリの産卵期について. 日本水産学会誌, 20, 277-279.
- 全国沿岸漁業振興開発協会 (1997) 増殖場造成計画指針—ヒラメ・アサリ編— (平成8年度). 増殖場造成計画指針編集委員会, 123-124.