

京都府阿蘇海におけるクロダイによるアサリの捕食実態の把握 (短報)

谷本尚史, 久田哲二*, 田中雅幸

Assessment of predation on Manila clam *Ruditapes philippinarum* by black sea bream *Acanthopagrus schlegelii* in Aso-kai Lagoon, Kyoto prefecture

Naofumi Tanimoto, Tetsuji Hisada and Masayuki Tanaka

キーワード: アサリ, 靱帯長, 殻長, クロダイ, 捕食

我が国のアサリ *Ruditapes philippinarum* 漁獲量は1960年代には10万トン台であったが、1983年の16万トンをピークに減少し、近年は1万トン台と大きく落ち込んでいる(農林水産省, 2015年海面漁業生産統計調査)。アサリ資源の減少要因は海域によって異なり、乱獲、埋め立てによる漁場の減少、赤潮や青潮等の環境悪化など様々な要因が指摘されている(鳥羽, 2017)。重田・薄(2012)は瀬戸内海での魚類によるアサリの食害実態を把握した上で、その対策の重要性を唱えているが、瀬戸内海においてはナルトビエイ *Aetobatus flagellum* とクロダイ *Acanthopagrus schlegelii* による食害が大きいことが指摘されている(重田, 2008; 泉川・村山, 2018)。京都府の阿蘇海は日本三景で知られる天橋立により仕切られた面積4.8 km²の海跡湖である。非常に狭い海域ながら府内でのアサリの主要産地であると同時にクロダイの漁場でもあり、2010~2019年には年間301~1,350 kgのクロダイが漁獲されている(京都府漁業協同組合統計資料)。同海域でのクロダイによるアサリの捕食状況について詳細な記録はないが、瀬戸内海同様、食害種としてアサリ資源減少の要因のひとつとなっている可能性がある。従って、本海域でアサリの減少要因を検討する上で、本種によるアサリの捕食数量や被食サイズ等を把握することは重要であると考えられる。そこで著者らは、阿蘇海内で漁獲されるクロダイの胃内容物中に出現するアサリ貝殻のほとんどで蝶番および靱帯部分が形状を留めていることに着目し、蝶番数の計数により被食個数を、また靱帯長と殻長の関係から被食アサリの殻長を推定した。それにより本海域におけるクロダイによるアサリの捕食実態について若干の知見を得たので報告する。

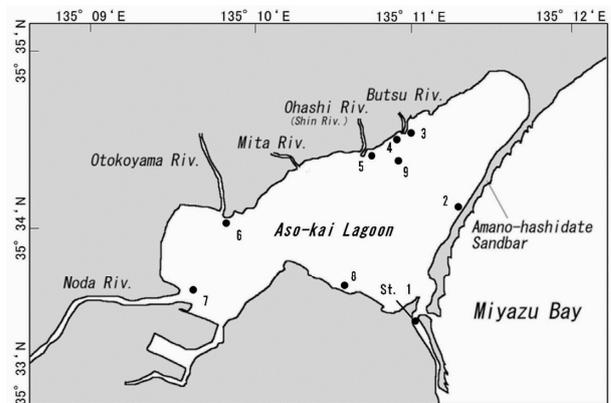


Fig. 1 Stations (solid circles) in Aso-kai Lagoon where Manila clam sampling was conducted.

材料と方法

2018年2月9日, 8月2日, 8月9日, 2020年6月4日および同10月29日に阿蘇海内9地点(Fig.1)において採取したアサリ735個体を阿蘇海におけるアサリの靱帯長と殻長の関係推定式(以下、推定式とする)作成用の試料とした。デジタルノギス(ミットヨ製CD-P20S, 以下、ノギスとする)を用い各個体の靱帯長と殻長(Fig.2)を計測し、得られたデータから靱帯長と殻長の関係について、次の2式のモデルの当てはめを行った。

$$SL = aLL + b \quad (1)$$

$$SL = aLL^b \quad (2)$$

なお、 SL は殻長、 LL は靱帯長、 a および b はパラメータである。各パラメータの推定値をMicrosoft Excelのソルバーを用いて最小二乗法により探索した。パラメータが得られた各モデルについて、モデ

* 京都府農林水産部水産課 (Fisheries Section, Kyoto Prefectural Department of Agriculture, Forestry, and Fisheries, Kyoto 602-8570, Japan)

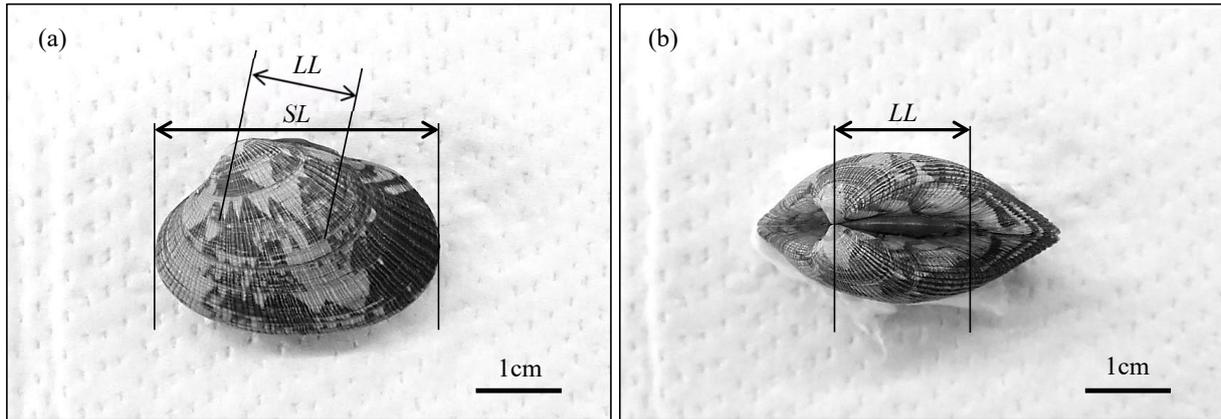


Fig. 2 Measurements of Manila clam parts. *SL* indicates the shell length (a) and *LL* indicates the ligament length (a, b).

ルの予測の良さを表す指標 AIC*1 を算出するとともに、95% 予測上限値と下限値を以下の (3) および (4) 式により算出し、95% 予測区間を推定した。

$$SL_{predict} = \widehat{SL}_{predict} \pm t_{n-p-1} \left(\frac{1+0.95}{2} \right) SE \quad (3)$$

$$SE = \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(LL_i - \overline{LL})^2}{\sum_{i=1}^n (LL_i - \overline{LL})^2} \right) V_e} \quad (4)$$

ここで、 $SL_{predict}$ は 95% 予測限界値、 $\widehat{SL}_{predict}$ はモデルによる SL の点予測値、 $t_{n-p-1} \left(\frac{1+0.95}{2} \right)$ は自由度 $n-p-1$ の t 分布の $(1+0.95)/2$ パーセントイル、 n は標本数、 p は説明変数の数、 SE は SL の標準誤差、 V_e は SL の残差の分散、 LL_i は個々の LL の測定値、 \overline{LL} は LL の平均値である。

2016 年 10 月 10 日、16 日、2017 年 4 月 15 日、5 月 27 日、2018 年 4 月 21 ~ 23 日、5 月 12 日、13 日、15 日、17 日、24 日、6 月 2 日、4 日、17 日、22 日、25 日、7 月 4 日、8 月 5 日、7 日、および同 9 月 8 日に阿蘇海内にて漁獲されたクロダイ 29 個体について全長および胃内容物を調べた。胃内容物にアサリ貝殻残渣が確認された場合、蝶番の半分以上が残っているものを 1 個体とみなし、蝶番数を計数した。また当該残渣のうち靱帯部分が残存するものの靱帯長をノギスで計測し、上記モデルにより被食個体の殻長を推定した。また、2018 年 4 月 13 日、5 月 17 日、29 日、6 月 19 日および 9 月 14 日に阿蘇海内丹海交通文殊棧橋周辺 (Fig.1 の St.1) で鋤簾 (目合 10 mm, 口径面積 0.075 m²) により採取した砂礫中から目視でアサリを選別後、砂礫を目合 2 mm の篩で篩い、篩上に残ったものからさらにアサリを選別し、殻長

をノギスで計測した。さらに、2018 年 4 月 13 日、5 月 17 日、29 日、6 月 19 日に阿蘇海内溝尻漁村センター横の砂浜域 (Fig.1 の St.3) の水深 1 m において 3 種の円形コアサンプラー (コア内径 0.05 m, 0.0665 m, 0.072 m) またはエクマンバージ採泥器 (S-20, 宮本理研工業株式会社) により採取された底質を前述と同様の方法で篩い、残ったアサリ個体の殻長をノギスで計測した。

結果

阿蘇海アサリの靱帯長による殻長推定モデル 2 式を Fig.3 に、推定された両式のパラメータと AIC を Table 1 に示した。両式の決定係数は 0.96 および 0.963 でいずれも靱帯長は殻長をよく説明しており、どちらの式を用いても同等の推定精度が期待された。一方、AIC は式 (2) の方が低かった。よって、靱帯長を用いた殻長推定には式 (2) がモデルとしてより適当と判断し、クロダイ胃内容物中のアサリの殻長推定では以下の式を適用した。

$$SL = 4.208LL^{0.811}$$

漁獲されたクロダイの全長およびアサリの捕食状況を Table 2 に示した。いずれの調査年月においてもクロダイ胃内容物中にアサリが確認され、漁獲された 29 個体のうち 18 個体、全体の 62.1% がアサリを捕食していた。捕食個数は最少 1 個体、最大 207 個体、平均個数は 39.6 個体であった。クロダイ各個体の胃内容物中のアサリ (以下、被食アサリ) の平均推定殻長 ($\widehat{SL}_{predict}$ の平均値) と標準偏差 (SD) は 9.9 ± 2.3 mm ~ 29.1 ± 4.7 mm であった (Table 2)。アサリを捕食していたクロダイの全長と被食アサリの推定殻長 $\widehat{SL}_{predict}$ との関係を図 4 に示した。クロダイの全長と被食アサリの殻長には弱い正の相関が認

*1 赤池情報量基準。相対的にこの値が低いほどモデルの当てはまりが良いと判断される。

Table 1 Estimated parameters and AIC of each function that can predict the shell length (*SL*) of Manila clam by means of the ligament length (*LL*)

Function number	Function	Parameters		AIC
		<i>a</i>	<i>b</i>	
1	$SL = aLL + b$	2.347	3.531	3694
2	$SL = aLL^b$	4.208	0.811	3643

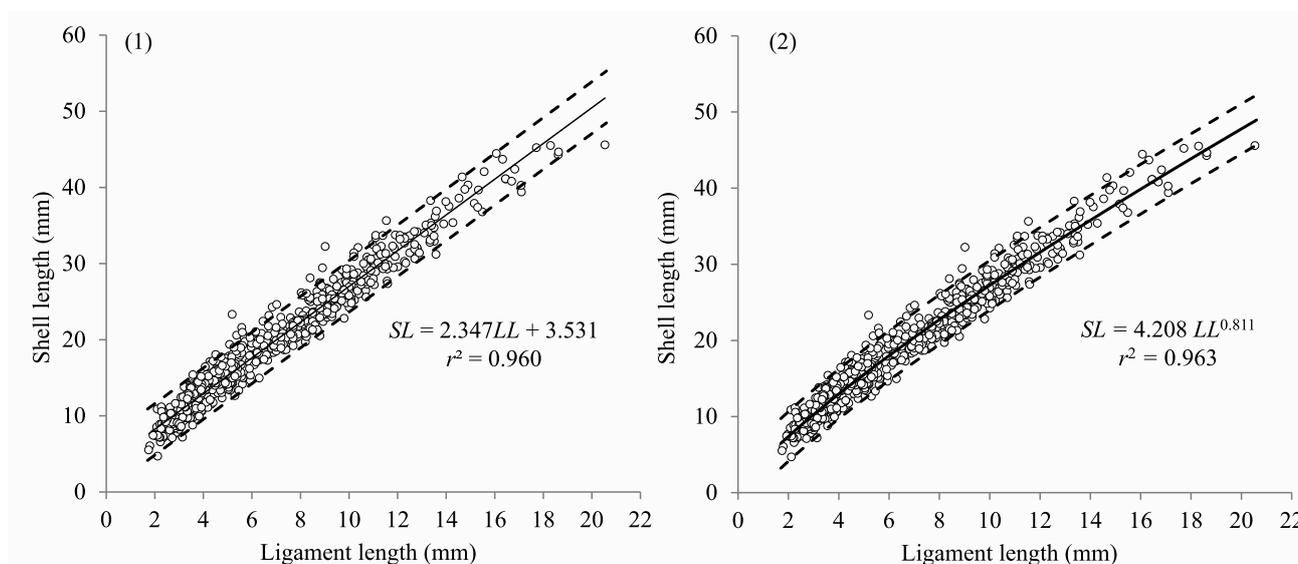


Fig. 3 Relationship between the ligament length (*LL*) and shell length (*SL*) in Manila clam expressed using (1) linear and (2) allometric functions. r^2 is the coefficient of determination. Open circles indicate observed values of *SL* plotted against *LL* ($n = 735$). Solid line-curves represent each function, and dashed line-curves represent 95% limits of prediction intervals.

められた ($r = 0.4$)。2018年に漁場で採取されたアサリの採取日ごとの平均殻長と標準偏差 (1.5SD) および同時期の被食アサリの推定殻長と95%予測区間をFig.5に示した。コアサンプラー採取サンプルの平均殻長は4月13日で 1.3 ± 1.0 mm, 5月17日で 8.3 ± 3.7 mm, 同29日で 8.3 ± 4.3 mm, 6月19日で 12.3 ± 5.4 mm, 鋤簾採取サンプルの平均殻長は4月13日で 26.3 ± 14.8 mm, 5月17日で 22.8 ± 13.9 mm, 同29日で 18.6 ± 12.6 mm, 6月19日で 17.5 ± 5.4 mm, 9月14日で 23.6 ± 9.4 mmであった。被食アサリの推定殻長範囲は4月23日で 12.9 ± 3.44 mm ~ 20.5 ± 3.44 mm, 5月15日で 10.0 ± 3.44 mm ~ 18.3 ± 3.44 mm, 5月24日で 8.3 ± 3.44 mm ~ 18.8 ± 3.44 mm, 6月17日で 8.0 ± 3.44 mm ~ 17.8 ± 3.44 mm, 6月22日で 7.0 ± 3.45 mm ~ 16.3 ± 3.44 mm, 9月8日で 14.2 ± 3.44 mm ~ 31.1 ± 3.44 mmであった。9月を除き、殻長

25 mm未満の個体が捕食されており、いずれの時期においても、殻長5 mm未満の個体はほとんど捕食されていなかった。

考 察

殻長推定モデルの作成 クロダイが捕食するアサリのサイズについては、重田・薄 (2012) がアサリ軟体部の斧足長と殻長の関係式を用い、胃内容物中のアサリの殻長を推定しているが、本手法は軟体部の消化が進行すると適用が困難である。一方、本研究により作成された靱帯長による殻長推定モデルでは靱帯長が計測不能なほど貝殻が粉碎されていない限り殻長推定が可能である。胃内容物中のアサリの状態に応じて両者を併用することで、より正確な被食アサリの殻長の推定が可能になると期待される。

本研究ではAICの値がより低いことを根拠にアロ

Table 2 Number and the estimated shell length of Manila clam preyed by black sea bream in Aso-kai Lagoon

Year	Date	Total length of black sea bream (cm)	Number of Manila clam in stomach	Estimated mean shell length of Manila clam in stomach (mm ± SD)	
2016	10-Oct	44	0		
		44	4	29.1 ± 4.7	
		37	0		
		33	3	29.0 ± 7.3	
		28	0		
2016	16-Oct	28	5	13.3 ± 2.9	
		28			
2017	15-Apr	41	47	14.9 ± 5.0	
	27-May	41	194	15.0 ± 4.1	
2018	21-Apr	40	1	ND	
	22-Apr	33	6	ND	
		31	0		
	23-Apr	41	0		
		36	31	18.6 ± 3.5	
	12-May	18	0		
	13-May	38	0		
	15-May	41	21	13.5 ± 4.2	
	17-May	32	0		
	24-May	37	23	11.5 ± 3.7	
	2018	2-Jun	38	1	ND
		4-Jun	18	1	ND
	2018	17-Jun	38	207	10.3 ± 2.3
		22-Jun	25	167	9.9 ± 2.3
	2018	25-Jun	48	0	
		28-Jun	28	0	
	2018	4-Jul	40	1	ND
5-Aug		35	1	ND	
2018	7-Aug	30	4	ND	
	8-Sep	42	13	23.6 ± 7.9	
2018	8-Sep	46	0		

ND means 'no data', because shell remains of all Manila clams were severely damaged and their ligaments could not be found.

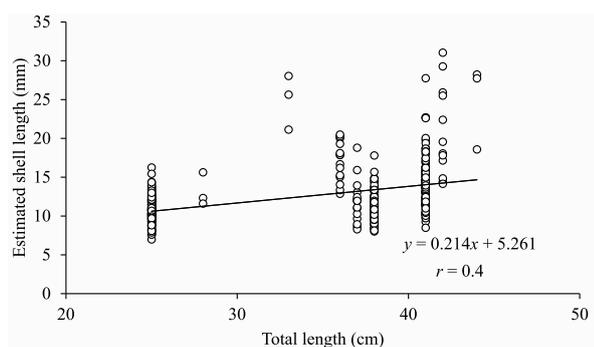


Fig. 4 Relationship between the total length of black sea bream and the estimated shell length of Manila clam observed in each stomach. Open circles indicate the estimated values of the shell length of Manila clam plotted against the total length of black sea bream. The solid line indicates a regression line and r is the correlation value.

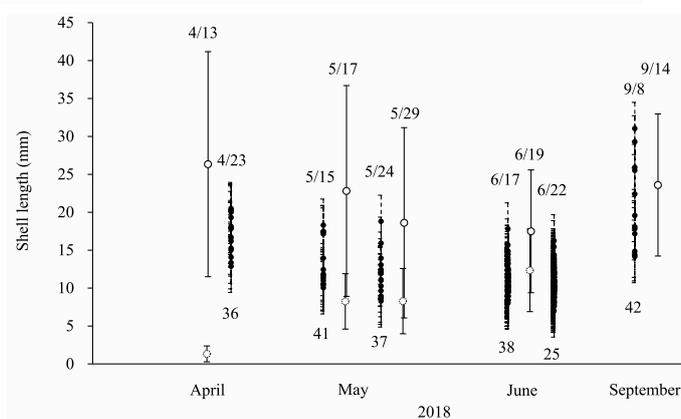


Fig. 5 Comparison of the size of Manila clam in the study area and preyed samples of the same season. Open and dotted circles indicate the mean shell length of Manila clam observed at certain points of Aso-kai Lagoon, collected by a bamboo winnow, and core sampling tools, respectively. Solid circles indicate the estimated shell length of each Manila clam observed in the stomach of each black sea bream collected in Aso-kai Lagoon. Solid bars indicate $1.5 \times$ standard deviation, and dashed bars indicate 95% limits of prediction intervals. The number above each bar indicates the sampling date and the one below each bar indicates the total length of each black sea bream that preyed on Manila clams.

メトリー式をモデルとして採用した。このことは、生物の量的形質と体サイズの関係がアロメトリー式に従うという説 (Huxley, 1932) や、他の二枚貝類において靱帯長と殻長の関係がアロメトリー式に従うとの説 (Hoffman, 1978 ; Sartori et al., 2009) を支持するものである。

本式は海域によらず利用できる可能性があるが、遺伝的に分化した地域集団の存在 (Oniwa et al., 1988 ; Vargas et al., 2010 ; 張ら, 2013) や、遺伝的同一集団内で生じる異なる成育環境に起因する形態の差異 (横川, 1998) を考慮すると、アサリの靱帯長と殻長の関係にも海域による差異が生じる可能性は否定できない。本式の普遍性を確認するためには、様々な地域のアサリについて調べる必要がある。

クロダイによるアサリの捕食実態 阿蘇海においては少なくとも4月中旬～10月下旬の間にクロダイがアサリを捕食していることが分かった (Table 2)。広島湾においては、6月下旬から10月下旬にかけて (重田ら, 2010)、岡山県の人工干潟においては、6月中旬から7月下旬まで (泉川・村山, 2018) しかクロダイによるアサリの捕食は確認されていない。既往知見と比べ、より長期に亘り食害を受けている阿蘇海においては他の海域よりもアサリ資源の減少要因としてクロダイの影響が大きいものと考えられる。

今回調べた胃内容物中の貝殻残渣には殻長の推定が不可能なものもあったことから、実際の被食アサリの殻長組成は推定範囲より広い可能性はあるが、同時期に漁場で見られるアサリと殻長を比較すると、9月時点ではよく一致するものの、4月から6月においては被食アサリの方が小さい傾向にあり、その殻長は5～25 mmの範囲に集中していた (Fig.5)。被食アサリに殻長25 mm以上の個体が見られなかった一因として、春季から夏季にかけて大規模に漁場に発生する当歳貝の存在が挙げられる。本研究で4～6月に阿蘇海内溝尻漁村センター横の砂浜域で採取されたアサリの殻長組成は平均 1.3 ± 1.0 mm ～ 12.3 ± 5.4 mm であり、当歳貝と推測される。これらの分布密度は4,000 個/m² ～ 100,000 個/m² 程度と推定されており (久田, 未発表)、毎年高密度にアサリ稚貝が発生する愛知県三河湾の六条潟での分布密度 (7,867 個/m² ～ 100,267 個/m²) に匹敵する (曾根ら, 2015)。すなわち、当歳貝の現存量が圧倒的に多いことが、殻長25 mm以上の個体がクロダイに捕食される機会を減少させたのではないかと推察される。ただ、4月時点の稚貝は全て殻長5 mm未満と、捕食されていない大きさであったため上記では説明がつかず、単にクロダイが殻長25 mm以上の貝を捕食して

いなかっただけでも考えられる。一方、殻長5 mm未満の個体が捕食されていなかったのは、小さすぎるがゆえ大型のクロダイ (全長25～42 cm) に餌として認識されていないのかもしれない。クロダイの全長と被食アサリの殻長には正の相関が認められており (本報 ; 重田・薄, 2012 ; 重田ら, 2018)、山口湾の干潟では全長14～24 cmのクロダイがアサリ稚貝 (殻長は不明) を捕食している (重田・薄, 2012) との報告もある。阿蘇海でもより小型のクロダイが殻長5 mm未満の稚貝を捕食している可能性は否定できない。

例年、阿蘇海の当歳貝は4月以降、7月頃まで高密度に分布するが、その後8月中には漁場からほぼ消失する*2。その原因として高水温、降雨による淡水流入や食害等が推測されているが、本研究により、クロダイの食害も影響している可能性が示唆された。当歳貝消失後の秋にも広いサイズ幅でアサリが捕食されている (Table 2, Fig.5) ことから、阿蘇海のアサリ資源全体にクロダイの食害は少なからず負の影響を及ぼしていると推察される。アサリは大型になるほど抱卵数が増え、殻長20 mmで約43万個に対し、殻長40 mmでは約235万個と推定される (Yap, 1977)。大型に育つまでに資源の大半が漁場から減耗する現状を鑑みると、阿蘇海におけるアサリの産卵量は大きく減少している可能性があり、それに伴う再生産力の低下が更なる資源の減少に繋がっているおそれもある。したがって、当歳貝から殻長40 mm近くの大型貝まで、広いサイズを食害するクロダイのアサリ資源に及ぼす影響は無視できないものと思われる。

以上、阿蘇海におけるクロダイのアサリ捕食実態の一端が明らかとなったが、本研究の調査期間は春季から秋季に限られており、サンプル数も少数であることから、アサリ資源への影響を細部まで正確に評価することは困難であった。細部まで評価を行うには、アサリの分布状況や幅広いサイズのクロダイの食性について通年調査を実施し、より詳細な実態を把握する必要がある。

本研究のアサリおよびクロダイの標本採集にあたっては、京都府漁業協同組合宮津支所溝尻地区運営委員会所属の漁業者らに多大なご協力を賜った。深く感謝を申し上げます。

なお、本研究の一部は国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター革新的技術開発・緊急展開事業 (うち地域戦略プロジェクト) 委託試験研究「二枚貝養殖の安定化と生産拡大の技術開発」により行われた。

*2 阿蘇海におけるアサリの天然採苗について 続報. 久田哲二. 平成29年度あさり勉強会

引用文献

- 張 成年, 山本敏博, 渡辺一俊, 藤浪祐一郎, 兼松正衛, 長谷川夏樹, 岡村 寛, 水田浩治, 宮脇 大, 秦安史, 櫻井 泉, 生嶋 登, 北田修一, 谷本尚史, 羽生和弘, 小林 豊, 鳥羽光晴. 2013. アサリの非対称殻模様出現頻度における地域差. 日水誌, **79 (2)**: 190-197.
- Hoffman, A. 1978. Growth allometry in a bivalve *Anadara dilvii* (Lamarck) from the Badenian (Miocene) Korytnica clays, Poland. *Acta Palaeontologica Polonica*, **23 (1)**: 41-49.
- Huxley, J. S. 1932. Problems of relative growth. Dover, New York.
- 泉川晃一・村山史康. 2018. 浅口市寄島町地先人工干潟におけるアサリ減耗要因の推定. 岡山県農林水産総合センター水産研究所研報, **33**: 17-22.
- Oniwa, K., M. Nakano, Y. Fujio. 1988. Heterogeneity within and between geographical populations of the short-necked clam, *Ruditapes philippinarum*. *Tohoku Journal of Agricultural Research*, **38**: 49-60.
- Sartori, A. F. and A. D. Ball. 2009. Morphology and postlarval development of the ligament of *Thracia phaseolina* (Bivalvia: Thraciidae), with a discussion of model choice in allometric studies. *Journal of Mollescan Studies*, **75**: 295-304.
- 重田利拓. 2008. 瀬戸内海の魚類に見られる異変と諸問題. 日水誌, **74 (5)**: 868-872.
- 重田利拓・薄 浩則. 2012. 魚類によるアサリ食害—野外標本に基づく食害魚種リスト—. 水産技術, **5 (1)**: 1-19.
- 重田利拓, 薄 浩則, 内田基晴, 三好達夫. 2010. 瀬戸内海・広島湾のアサリ漁場における大型クロダイによるアサリ食害. 日本水産増殖学会第9回大会講演要旨集. 水産増殖, **58 (4)**: 559.
- 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 (3)**: 117-129.
- 鳥羽光晴. 2017. アサリ資源の減少に関する議論への再訪. 日水誌, **83 (6)**: 914-941.
- Vargas, K., K. Hamasaki, Y. Asakura, K. Nakajima, M. Ikeda, K. Tsuchiya, N. Taniguchi and S. Kitada. 2010. Genetic diversity and differentiation in allozymes and shell sculpture of the clams *Ruditapes* spp. in natural populations of Japan and China. *Fish Genetics and Breeding Science*, **40**: 37-46.
- Yap, W. G. 1977. Population biology of the Japanese little-neck clam, *Tapes philippinarum*, in Kaneohe Bay, Oahu, Hawaiian Islands. *Pacific Science*, **31 (3)**: 223-244.
- 横川浩治. 1998. アサリの形態変異とその遺伝的特徴. *Venus*, **57**: 121-132.