

日本産アコヤガイ *Pinctada fucata martensii* における閉殻力の遺伝

石川 卓¹・岡本ちひろ¹・林 政博²・青木秀夫²・磯和 潔³・古丸 明¹

The Heritability of the Shell-closing Strength in the Japanese Pearl Oyster, *Pinctada fucata martensii*

Takashi ISHIKAWA¹, Chihiro OKAMOTO¹, Masahiro HAYASHI², Hideo AOKI², Kiyoshi ISOWA³ and Akira KOMARU¹

Abstract: Effective selection response has been observed in the Japanese pearl oyster *Pinctada fucata martensii*, which were selected for shell-closing strength (SCS). Seven female and seven male oysters with strong shell-closing strength (SCS > 5.0 kgf) and weak shell-closing strength (SCS < 4.0 kgf) were selected from 5,492 18-month-old individuals, as parents to produce offsprings. The shell-closing strength measurements were made offsprings of 584 17-month-old individuals and 463 18-month-old individuals. The mean shell-closing strength was higher in the offsprings of parents with strong shell-closing strength than in those of parents with weak shell-closing strength ($p < 0.05$). The results of selection experiments on SCS suggested that heritability was about 0.29. Our previous studies demonstrated that pearl oysters with higher shell-closing strength displayed higher survival rate and higher glycogen storage. The present study indicated that this strength was a heritable character and is useful as a selection indicator in a breeding program for the establishment of a higher survival rate in summer.

Key words: Pearl oyster; Shell-closing strength; Heritability; Selection indicator

真珠養殖において、8月から10月の高水温期におけるアコヤガイ、*Pinctada fucata martensii* のへい死は長年問題とされてきた。これに平成8年頃より発生した赤変病(黒川ら1999)による被害が加わったことから、その対策として高水温に強い外国産アコヤガイと日本産アコヤガイの交雑貝が用いられるようになった。また、交雑貝の利用に際して日本産アコヤガイとの生理特性の比較(和田ら2002)や養殖方法の検討がなされ、その利用率が高くなっている。しかしその一方で養殖管理が行いやすいことや、色調や光沢など真珠品質において優れることから日本産アコヤガイは養殖業者や加工業者に好まれ、日本産アコヤガイにおける高生残率系統の作出が求められている。これまでも日本産アコヤガイの育種による改良は行われてきたが、稜柱層白色貝(和田1983; 和田・古丸1990)

や真珠層白色貝(和田1986; 林1999)、真珠厚巻き貝(林・青木2001)など、貝殻形態や真珠品質に係わる形質についての選抜が中心であった。母貝の生残率に関しては、耐病貝の作出(内村ら2005)や、高水温による負荷と血リンパ中のタンパク質を指標として選抜を行った研究例(松本ら2002)が報告されている程度である。これに対して岡本らは生残率の高い貝を選ぶための、より簡便な指標として閉殻力に着目し、閉殻力と高水温期のへい死には相関があることを明らかにした(岡本ら2006a)。さらに、由来の異なる家系間で比較を行い、試験期間を通して閉殻力が強い家系と弱い家系が存在し、閉殻力の弱い家系は閉殻力の強い家系に比べてへい死率が高いことを示した。このことから、閉殻力には遺伝が関与していることを示唆し、高生残率系統を作出するための指標となる可能性

2008年2月4日受付：2008年12月9日受理。

¹ 三重大学生物資源学部 (Mie University Faculty of Bioresources, 1577 Kurimamachiya, Tsu, Mie 514-0501, Japan).

² 三重県水産研究所 (Mie Prefectur Fisheries Research Institute, 3564-3 Hamajima, Shima, Mie 517-0404, Japan).

³ 三重県栽培漁業センター (Mie Prefectural Sea Farming Center, 3564-1 Hamajima Shima Mie 517-0404, Japan).

を示した(岡本ら 2006b)。そこで本研究では、閉殻力の強弱で両方向に選抜した親を用いて交配を行い、作出した第一世代の閉殻力を比較することで閉殻力の遺伝性について検討を行った。さらに閉殻力の遺伝率を求め、閉殻力による選抜育種の可能性についても評価を試みた。

材料および方法

閉殻力による親貝の選別 三重県栽培漁業センターにおいて2003年3月に生産された日本産アコヤガイ5,492個体を用いた。親の選別方法を Fig. 1 に示した。18ヶ月齢(2004年10月13日から22日)において1回目の測定を行った。閉殻力は岡本ら(2006a)の方法に従って開口器と荷重計を組み合わせた装置を用いて測定した。測定は貝を淡水中において完全に閉殻させた後、開口器に荷重をかけて貝殻を1 cm 開くために必要な荷重値を閉殻力として測定した。岡本らは閉殻力5.0 kgf 以上ではへい死率が低く、3.0 kgf 以下では

へい死率も高いことを示している(岡本ら 2006a)。このことから閉殻力5.0 kgf 以上を強群とした。閉殻力3.0 kgf 以下が弱群であると考えたが、へい死による個体数の減少を考慮に入れて3.5 kgf 以下を弱群とした。閉殻力を測定した全ての個体から強群として閉殻力5.0 kgf 以上の398個体、弱群として3.5 kgf 以下の259個体、対照群として無作為に抽出した326個体を選んだ。なお、全個体の閉殻力および全湿重量の平均値は4.0 kgf、40.6 gであった。選んだ個体は個体識別を行い、三重県英虞湾塩屋浦漁場の筏にて育成した。これらの個体の閉殻力を再び2004年12月と2005年2月に測定し、強群から閉殻力5.0 kgf 以上を維持した88個体、弱群から4.0 kgf 未満を維持した99個体、ならびに対照群から無作為に選んだ302個体を親の候補とした。3回の閉殻力測定により選んだ貝は性成熟を促進するため、約1ヶ月間、屋内水槽で加温飼育を行った。

交配および飼育 2005年3月23日、28日および4月14日に採卵を行った。閉殻力の比較を行うにあたり、個体の大きさによる影響を少なくするために全湿重量が約55 g、かつ生殖腺の発達している個体を強群、弱群より雌雄それぞれ7個体選んだ。メス1個体の卵に対しオス1個体より得た精子を媒精することにより、強群、弱群をそれぞれ7組作出した。また対照群からも全湿重量が約55 g、かつ生殖腺の発達した個体を雌雄それぞれ10個体選び、オス10個体より得た精子を海水中で混合し、1個体のメスより得た卵に媒精した。同様に全部で10個体のメスを用いて10組の受精卵を得た。受精から24時間後に10組から同数のD型幼生を取り出して混合し、1組とした。異なる雌雄それぞれ10個体を用いて同様の交配方法により対照群をもう1組生産し、合計2組の対照群を得た。交配に用いた親の閉殻力、全湿重量を Table 1 に示した。採卵方法ならびに幼生飼育は林らの方法(林・瀬古 1986)に従っ

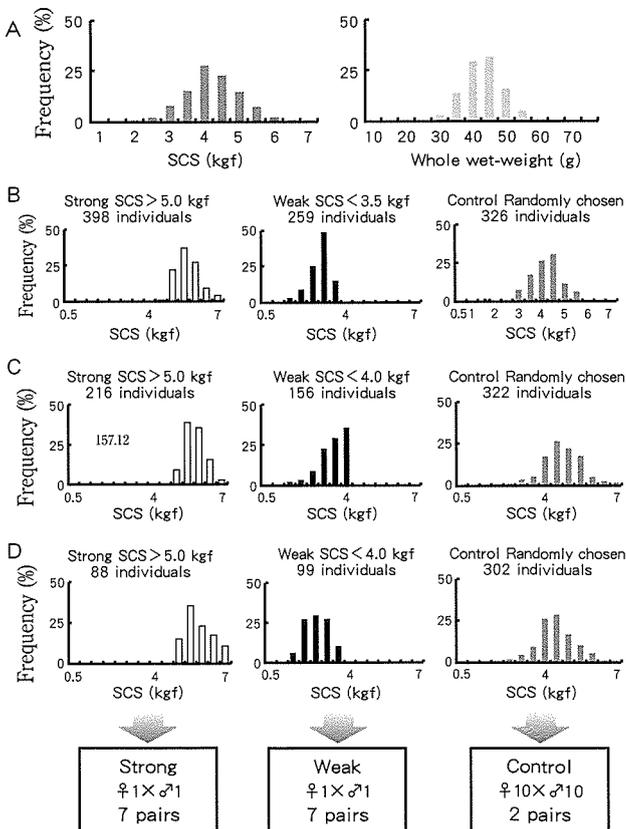


Fig. 1. The experimental design. The parents were chosen by the shell-closing strength (SCS) in Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata martensii*. A: Frequency distribution of SCS and whole wet-weight of 5,492 18-month-old individuals form the parental population for selection. B: First selection of the shell-closing strength at 18-month old (Oct. 2004), C: Second selection of the shell-closing strength at 21-month old (Dec. 2004), D: Third selection of the shell-closing strength at 23-month old (Feb. 2005).

Table 1. Summary of whole wet weight and shell-closing strength in parental population

Group	n ^{*1}	Sex	SCS ^{*2} (kgf)	WW ^{*3} (g)
Strong Group	7	Female	5.6 ± 0.55 ^{*4}	55.3 ± 2.51
	7	Male	5.7 ± 0.52	55.3 ± 2.23
		Mean	5.7 ± 0.50	55.3 ± 2.20
Weak Group	7	Female	3.0 ± 0.75	55.2 ± 3.27
	7	Male	2.9 ± 0.77	55.2 ± 3.24
		Mean	2.9 ± 0.70	55.2 ± 3.01
Control Group	20	Female	4.1 ± 0.63	53.6 ± 6.58
	20	Male	3.7 ± 0.62	51.4 ± 5.20
		Mean	3.9 ± 0.64	52.5 ± 5.88

*1 Number of individuals.

*2 SCS: Shell-closing strength.

*3 WW: Whole wet-weight.

*4 Mean ± S.D.

た。稚貝は稚貝養殖用籠に収容し、英虞湾の塩屋漁場の筏で垂下飼育した。強群、弱群、対照群を筏内でランダムに垂下し、毎月垂下場所を入れ替えた。2006年6月より10月まで毎月1回、全湿重量の測定とへい死数を記録した。

閉殻力の測定 第一代の閉殻力は17ヶ月齢(2006年9月14, 15日)、および18ヶ月齢(2006年10月23, 24日)に測定した。開口幅を0.5 cm に設定して閉殻力の測定を行った。全ての個体について閉殻力ならびに全湿重量の測定を行った。また、これまでの報告では、閉殻力は貝の大きさにも影響を受ける(岡本ら2006a)とされていることから、全湿重量で分けをして、それぞれの重量区ごとに閉殻力の比較を行った。

遺伝率 基礎集団から閉殻力により両側選択を行い、得られた強群、弱群を親として作出したそれぞれの第一代について閉殻力を測定した。和田(1995)の方法に従い、以下の式 $h^2 = (M_{10} - M_{20}) / (M_{1p} - M_{2p})$ から遺伝率を求めた。ただし、 M_{1p} : 閉殻力の強い方向へ選抜した親の18ヶ月齢における閉殻力の平均値、 M_{2p} : 閉殻力の弱い方向へ選抜した親の18ヶ月齢における閉殻力の平均値、 M_{10} : 強群第一代の18ヶ月齢に

おける閉殻力の平均値、 M_{20} : 弱群第一代の18ヶ月齢における閉殻力の平均値とした。

結果

第一代の閉殻力および遺伝 Table 2 に17ヶ月齢(2006年9月)と18ヶ月齢(2006年10月)に測定した閉殻力ならびに全湿重量の平均値を示した。最も強い閉殻力を示したのは、強群の 4.4 ± 1.31 kgf であり、次いで対照群の 4.3 ± 1.32 kgf、弱群 3.6 ± 1.17 kgf の順であった。3群間で比較すると、17ヶ月齢では全ての群間に有意差が認められた ($P < 0.05$) が、18ヶ月齢では弱群と強群間にのみ有意差 ($P < 0.05$) が認められた。2回の測定で閉殻力は3群ともに正規分布を示した (Fig. 2)。さらに18ヶ月齢において強群では閉殻力が 5.0 kgf を上回る個体が全体の33.2%と多くみられたのに対し、弱群では9.2%と少なかった。逆に閉殻力が 3.0 kgf 以下の割合は強群で14.3%であったが、弱群では30.8%と多く、閉殻力の分布において明瞭な違いが認められた。選抜実験により得られた遺伝率 (h^2) は0.29であった。

Table 2. Summary of the measurement of whole wet weight and shell-closing strength in offspring

Group	n* ¹	September			October					
		SCS* ² (kgf)	t* ³	WW* ⁴ (g)	t	n	SCS (kgf)	t	WW (g)	t
Strong group	236	3.3 ± 0.91 * ⁵	a	28.1 ± 6.76	a	196	4.4 ± 1.31	a	30.0 ± 7.84	ab
Weak group	248	2.7 ± 0.82	b	26.6 ± 6.90	b	185	3.6 ± 1.17	b	28.8 ± 7.94	a
Control group	100	3.0 ± 0.79	c	29.0 ± 5.78	a	82	4.3 ± 1.32	a	32.3 ± 6.89	b

*¹ Number of individuals.

*² SCS: Shell-closing strength.

*³ Values with same characters are not significantly different at $p < 0.05$ (scheffe's test).

*⁴ WW: Whole wet-weight.

*⁵ Mean \pm S.D.

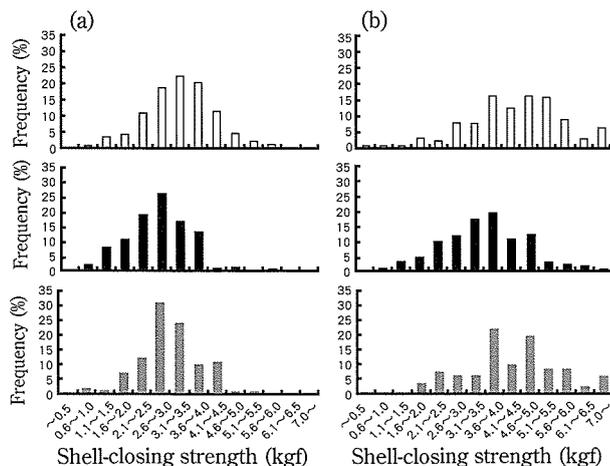


Fig. 2. Frequency distribution of shell-closing strength in offspring produced from strong SCS parents (open square), weak SCS parents (closed square) and control (gray square) at 17 (a) and 18 (b) month.

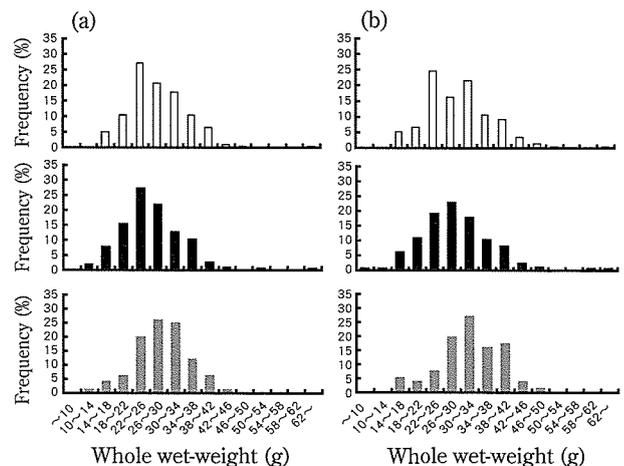


Fig. 3. Frequency distribution of whole wet-weight in offspring produced from strong SCS parents (open square), weak SCS parents (closed square) and control (gray square) at 17 (a) and 18 (b) month.

全湿重量 全湿重量は3群とも正規分布を示した (Fig. 3)。2回の測定共に高い値を示したのは対照群の29.0 g (17ヶ月齢) および32.3 g (18ヶ月齢) であり、次いで強群の28.1 g, 30.0 g, 弱群の26.6 g, 28.8 gであった。また、17ヶ月齢では強群と対照群の間に有意差は認められなかったが、強群と弱群および対照群と弱群の間には有意差が認められた ($P < 0.05$)。18ヶ月齢では、弱群と対照群の間にのみ有意差が認められた ($P < 0.05$)。成長に伴う全湿重量の変化は17ヶ月齢と18ヶ月齢を比べると強群で1.9 g, 弱群で2.2 g, 対照群では3.3 gの増加が認められた。また、3群の15ヶ月齢から18ヶ月齢の成長を比較すると (Fig. 4), 対照群が期間を通じて最も大きく、次いで

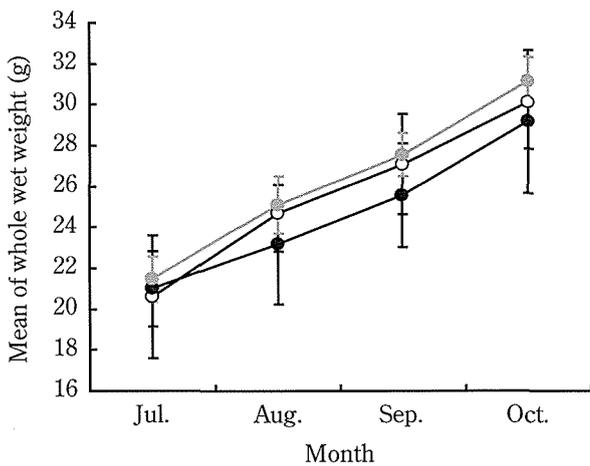


Fig. 4. Changes in the mean value of whole wet-weight during from 15-month (July 2006) to 18-month (October 2006). Open circle mean offspring of strong group, closed circle mean weak group and gray circle mean control groups.

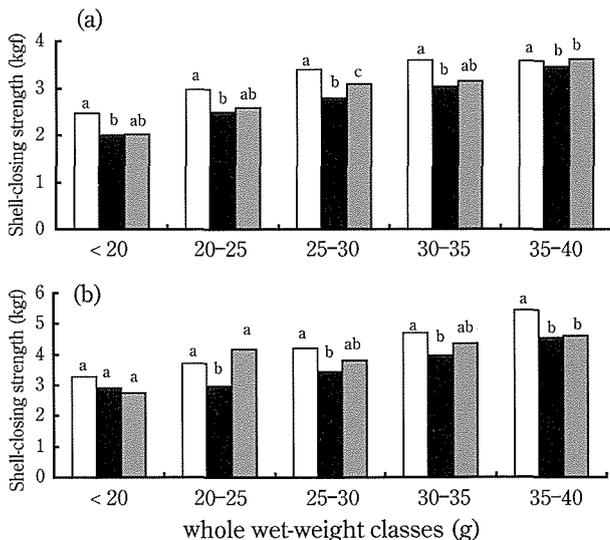


Fig. 5. Mean of shell-closing strength of each class of whole wet-weight at 17 (a) and 18 (b) month. Values with same superscript are not significant difference at $P < 0.05$ (Scheffe's test).

で強群, 弱群となったが, 3群間に有意差は認められなかった ($P < 0.05$ Friedman test)。17ヶ月齢において全湿重量区分ごとに比較した結果, 親の閉殻力の差を反映して強群, 対照群, 弱群の順で閉殻力が強い値を示した (Fig. 5)。さらに, 18ヶ月齢でもほとんどすべての区において強群が弱群を上回り, 有意差が認められた。

水温とへい死率 2006年6月1日から10月31日まで三重県科学技術振興センター水産研究部前で計測した水温と過去10年の平均水温を Fig. 6 に示した。2006年の冬期は低水温が続き, 夏期においても過去10年の平均と比較して低い水温で推移した。へい死率を毎月のへい死数から求め, 2006年6月から10月までの値を Fig. 7 に示した。へい死率は3群ともに8月で有意に高く ($P < 0.05$), 水温が低下した9月, 10月には減少した。また試験期間を通じて3群間では差が認められなかった。

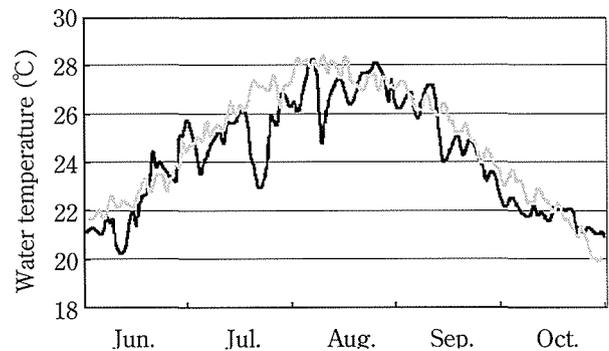


Fig. 6. Seasonal changes in seawater temperature at Ago bay from June to October in 2006. Black line and gray line show the seawater temperature during experimental period and average temperature for 10 years (1995 - 2005).

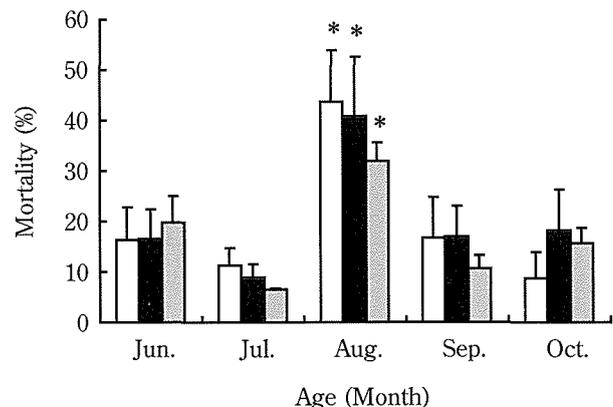


Fig. 7. The mortality rate of offspring during the experimental period. Open squares mean offspring of strong group, closed squares mean weak group and gray squares mean control groups. The asterisks indicate significant difference at $P < 0.05$ (Scheffe's test).

考 察

閉殻力の強い親から作出した第一代は親の閉殻力を反映して強い閉殻力を示し、その一方で弱い親から作出した第一代は弱い閉殻力を示したことは、閉殻力が次世代へ遺伝する形質であることを支持する結果であった。さらに全湿重量を揃えることで大きさの影響を小さくして比較しても、強群の閉殻力は弱群に比べて高い値を示したことから、閉殻力を指標とした育種の可能性が示された。

これまでアコヤガイ諸形質の遺伝率の推定は、貝殻形態(和田 1975)や貝殻真珠層色(和田 1984)などで行われているが、生理特性に関する遺伝率の推定はほとんど行われていない。今回の試験から求めた閉殻力の遺伝率は0.29であった。一般に遺伝率は0.2以上で選抜による効果が期待できるとされること(和田 1979)から、閉殻力は選抜指標として有効であると考えられた。

閉殻力が強い個体は、その後1ヶ月の生残率が高いことが報告されている(岡本ら 2006a)。今回の試験では閉殻力が遺伝すると仮定し、閉殻力の異なる親から作出した第一代は親の閉殻力を反映し、へい死率にも差が生じることを期待した。しかし今回の試験では、強群と弱群の間にへい死率で有意な差は認められなかった。閉殻力では有意差が認められたにも関わらず、生残率では差がみられなかった原因として、試験を行った2006年8-9月の英虞湾の水温は30℃を越えることが少なく、例年に比べると低い水温で推移したため、閉殻力による選抜の効果が生残率に反映されにくかったことが考えられる。また貝が小さく、強群と弱群で閉殻力の差が1 kgf 以下であったことも、一因であると思われる。今後の課題として夏季の水温が高い年に閉殻力と生残率の関係について今回と同様の試験を行い、閉殻力による選抜が生残率の向上に有効であるか、確認する必要がある。

アコヤガイの生残率を高めることを目的とした選抜方法として、血清タンパク質量による方法(船越 1985; 船越 1987)や血リンパ中における凝集素の力価による方法(山口 1987)、近赤外分析器を用いる方法(滝本 1998)などによって耐病性の高い個体や、栄養状態の良い個体を選ぶ方法が検討されてきた。岡本らはこれらに代わる簡便な方法として閉殻力に着目し、閉殻力が強い個体は栄養状態が良く、夏季の高水温期のへい死が少ないこと(岡本ら 2006a)や、真珠層の分泌能力が高い貝は季節を通じて閉殻力が強いこと(岡本・林 2006)を報告している。今回、閉殻力の遺伝性が示されたことから、選抜育種による高生残系統

の作出において閉殻力は有効な指標であると考えられた。

今後、より閉殻力の強いアコヤガイを効率的に作出するためには、閉殻力は家系間で異なること(岡本ら 2006b)から、閉殻力の強い系統や家系の集団選抜を行うことと、さらにその中から閉殻力の強い個体選抜を行うことが必要である。また、閉殻力の強いアコヤガイの生理特性を把握することや、真珠生産試験を行うことで真珠養殖における母貝としての有用性についても評価することが望まれる。

要 約

アコヤガイの高生残率系統を作出するため、閉殻力の遺伝性について検討し、閉殻力の遺伝率を親子の比較により推定した。材料には日本産アコヤガイ(18ヶ月齢)約5,500個を用いた。18ヶ月齢より2ヶ月おきに3回閉殻力を測定し、3回の測定を通じて閉殻力が5.0 kgf 以上を維持した個体を強群、4.0 kgf 以下を維持した個体を弱群とした。これらを親として強群と弱群から、それぞれ雌雄一対の交配により7組、および対照群として2組の第一世代を得た。今回の閉殻力による選抜試験より得られた閉殻力の遺伝率は0.29であった。また第一世代の閉殻力を3群間で比較すると強群が最も強く、次いで対照群、弱群の順となり、親の閉殻力が反映された。このことから閉殻力は遺伝する形質であり、選抜育種による生残率の改善に有効である可能性が示された。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、多くの面でご指導いただきました和田克彦博士に厚く御礼申し上げます。本研究はJST地域結集型共同研究事業「閉鎖性海域における環境創生プロジェクト」およびJST資源活用型プログラム「次世代真珠養殖技術の開発とスーパーアコヤ貝の作出」の一部として行われた。

文 献

- 内村祐之・西川 智・浜田耕示・兵藤勝也・広瀬琢磨・石原浩二・杉本 学・中島伸佳(2005)感染症の症状を軽減した耐病性日本産アコヤガイ系統の開発。水産育種, 34, 91-97.
- 岡本ちひろ・古丸 明・林 政博・磯和 潔(2006a)アコヤガイ *Pinctada fucata martensii* の閉殻力とへい死及び軟体部の諸形質との関連。水産増殖, 54, 293-299.
- 岡本ちひろ・古丸 明・林 政博・青木秀夫・磯和 潔(2006b)家系間におけるアコヤガイ *Pinctada fucata martensii* の

- 閉殻力の差異. 水産増殖, **54**, 525-529.
- 岡本ちひろ・林 政博 (2006) 閉殻力と真珠の巻きの関係. 全真連技術研究会報, **20**, 5-7.
- 黒川忠英・鈴木 徹・岡内正典・三輪 理・永井清仁・中村弘二・本城凡夫・中島員洋・芦田勝朗・船越将二 (1999) 外套膜片移植及び同居飼育によるアコヤガイ *Pinctada fucata martensii* の閉殻筋の赤変化を伴う疾病の人為的感染. 日水誌, **65**, 241-251.
- 滝本真一 (1998) アコヤガイの非破壊試験による品質評価について. 全真連技術研究会報, **13**, 1-5.
- 林 政博 (1999) アコヤガイの殻体真珠層色の改良について. 全真連技術研究会報, **14**, 1-13.
- 林 政博・青木秀夫 (2001) アコヤガイ母貝の選抜育種による真珠の巻き(真珠層の厚さ)の改良について. 全真連技術研究会報, **15**, 1-7.
- 林 政博・瀬古慶子 (1986) アコヤガイの種苗生産について. 三重水技研報, **1**, 39-68.
- 船越将二 (1985) 血液によるアコヤガイ健康診断の試み 1. 研究のねらいと採血方法の検討. 全真連技術研究会報, **1**, 23-27.
- 船越将二 (1987) アコヤガイの身入度低下に対する血清蛋白質量の診断指標的価値. 全真連技術研究会報, **3**, 37-44.
- 松本聖治・木村武志・倉田清典 (2002) 高水温を用いたアコヤガイの選抜育種に関する研究. 熊本県水産試験場報告, **5**, 25-30.
- 山口一登 (1987) 凝集素力価を指標としたアコヤガイの生理活性. 全真連技術研究会報, **3**, 29-36.
- 和田克彦 (1975) アコヤガイ貝殻形質の遺伝率推定の試み. 国立真珠研究所報告, **19**, 2157-2168.
- 和田克彦 (1979) 1. 量的形質の遺伝 水産生物の遺伝と育種 水産学シリーズ 26日本水産学会編. 恒星社厚生閣, 東京, pp11.
- 和田克彦 (1983) 同系交配にみられた白色個体について. 養殖研報, **4**, 131-132.
- 和田克彦 (1984) アコヤガイ *Pinctada fucata* の改良に関する研究. 養殖研報, **6**, 79-157.
- 和田克彦 (1986) 貝殻真珠層色で選抜されたアコヤガイ集団の貝殻特性. 養殖研報, **8**, 1-6.
- 和田克彦・古丸 明 (1990) アコヤガイ白色個体の遺伝とその貝殻特性. 日水誌, **56**, 1787-1790.
- 和田克彦 (1995) シンジュガイの遺伝学, その基礎と養殖業. *Techno Innovation* **17**, 56-58.
- 和田浩爾・山下吉宏・植村作次郎・蝶野一徳・堤 美香 (2002) 日本種アコヤガイと中国種アコヤガイ×日本種アコヤガイの第1代交雑貝の生態生理に関する比較. 全真連技術研究会報, **16**, 1-18.