

## 学位論文全文に代わる要約 Extended Summary in Lieu of Dissertation

氏名： 小田原 和史  
Name

学位論文題目： アコヤガイ真珠の干渉色に関する研究  
Title of Dissertation

学位論文要約：  
Dissertation Summary

アコヤガイ真珠は主に日本で生産され、1990年には国内生産額が885億円に達するなど、国内外で高い評価を得てきた。しかし、海外で生産されるシロチョウガイ真珠等と競合し、さらにアコヤガイ赤変病対策に日中交雑貝を使用して真珠の色目が悪くなったことにより、アコヤガイ真珠の相対的なシェアは低下した。アコヤガイ真珠の色目は、大きく分けて実体色と干渉色に大別されるが、ピース貝の貝殻真珠層の実体色が真珠の実体色に与える影響については、実体色は真珠層に含まれる黄色色素から生じることがこれまでに明らかにされ、1. ピース貝貝殻真珠層の実体色と真珠の実体色は色差計によって定量化が可能であり、2. 両者に相関関係が認められ、3. 実体色はピース貝の親から子世代に遺伝することが定量的に明らかにされたことから、実体色に関するピース貝の育種は理解が容易となり、定量的な選抜育種が可能となった。一方、ピース貝の貝殻真珠層の干渉色が真珠の干渉色に与える影響については、干渉色が真珠層構成結晶層に光が当たって生じることとは明らかにされていたものの、1. 真珠の干渉色の定量化が困難であること、2. 干渉色におけるピース貝と真珠の相関関係を把握できないこと、3. 親から子世代への干渉色の遺伝を定量的に明らかにできないことから、これらによって干渉色に関するピース貝の育種は理解が困難になり、定量的な選抜育種を不可能にしていた。そこで本研究では、1. 真珠層を構成している結晶層一層の厚さ(結晶層厚)を非破壊で計測することにより、アコヤガイの貝殻真珠層の結晶層厚と干渉色の関係および真珠の結晶層厚と商品価値の関係について検討し、2. 結晶層厚におけるピース貝貝殻と真珠の関係、および3. アコヤガイ貝殻真珠層結晶層厚の遺伝について検討をおこなった。さらに、1～3を踏まえて、ピース貝を用いたアコヤガイ真珠の干渉色の定量的な制御の可能性について論じた。

### 1. 非破壊で真珠層結晶層厚を計測したピース貝と真珠の特徴

偏光顕微鏡にユニバーサル反射照明装置と分光器を取り付けたシステムで (Fig. 1)、検体の分光反射率を400nmから1,700nmまで測定した。貝殻真珠層と真珠の測定状況をFig. 2に示す。測定した分光反射率曲線の極大がいくつかの波長で認められ、極大の波長を  $2d\mu \cos \theta = n\lambda$  (ただし、 $\mu$ : 屈折率、 $d$ : 結晶層厚、 $\theta$ : 屈折角、 $\lambda$ : 光の波長、 $n$ : 1、2、3・・・) の関係式 (内田・上田1947) に代入して結晶層厚を計算した。貝殻真珠層の結晶層厚と干渉色の関係を調査するため、ピース貝として市販されたアコヤガイ1歳貝2種類、各174個体の結晶層厚を計測し、この中から結晶層厚の最も厚い個体と最も薄い個体を含む合計10個体の貝殻真珠層の干渉色を分光測色計で測定した。真珠の結晶層厚と商品価値の関係を調査するため、養殖された同ロットの1級真珠65個の結晶層厚を計測し、結晶層厚が薄い、中程度、厚い、の3種類に分類した上で、真珠の巻きが同程度である真珠をさらに選び、3種類×各5個の評価用真珠とした。この評価用真珠の価値を鑑定士に依頼して単価指数を算出した。ピース貝貝殻真珠層の結晶層厚と、そのピース貝を用いて生産した真珠の結晶層厚との関係を把握するため、愛媛県宇和島市内の計2区において、使用したピース貝左殻と養殖された真珠の結晶層厚を非破壊計測法で計測し、1区と2区をそれぞれ比較した。

結果は、貝殻真珠層の結晶層厚と干渉色の関係について、両者には法則性があり、複数ある、光の反射率の極大のいずれかが可視光線の波長範囲に入ることによって、結晶層厚が全く異なるにもかかわらず、赤、青、緑、黄などの色が2度発現した (Fig. 3)。真珠の結晶層厚と商品価値の関係について、真珠の結晶層厚は薄い順から、 $304 \pm 16\text{nm}$  (評価用真珠S)、 $372 \pm 10\text{nm}$  (評価用真珠M)、 $430 \pm 28\text{nm}$  (評価用真珠L) であり、目視による真珠の干渉色の評価は、評価用真珠Sの5個は全てR系、評価用真珠Mの5個は全てRG系、評価用真珠Lの5個は全てG系であった (Fig. 4)。真珠の価値は評価用真珠Mで最も高く、その単価指数を100とした場合、評価用真珠Lでは66、評価用真珠Sでは

26であった。ピース貝貝殻真珠層の結晶層厚と真珠の結晶層厚との関係については、ピース貝貝殻真珠層の結晶層厚の厚い区では、生産された真珠の結晶層厚も有意に厚かった。また、ピース貝貝殻真珠層の結晶層厚よりも真珠の結晶層厚の方が常に薄い傾向であった。これらの結果から、非破壊法で計測した結晶層厚は、ピース貝貝殻真珠層と真珠を評価する上で優れた指標であると考えられた。

## 2. 結晶層厚の異なるピース貝家系が真珠の結晶層厚および品質に与える影響

結晶層厚におけるピース貝貝殻と真珠の関係についてさらに正確に調査するため、同一のアコヤガイ母貝に2つの真珠核を挿入する際に、結晶層厚の異なる2家系のピース貝から採取した外套膜小片を各々の真珠核に用いて真珠を生産した。ピース貝には、異なる親系統X、Yをそれぞれ同じ系統内で交配して、結晶層厚の厚いX1家系と結晶層厚の薄いY1家系をそれぞれ生産し、23か月齢で真珠養殖に用いた。真珠養殖に用いた母貝は、全て同じロットである満2歳の国産アコヤガイ系統を用い、全ての区で直径5.75mmの真珠核を用いた。なお、挿核した生殖巣の部位は、真珠養殖業者が一般的に呼んでいるとおり(和田1969)、アコヤガイの収足筋をなかにはさんで腸管反転部側の生殖巣の部分を「フクロ」、中腸腺側の生殖巣で体の右側に位置する部分を「ウカシ」とした。挿核に際し、真珠核とX1家系から採取したピースを母貝のフクロに挿入し(1区)、真珠核とY1家系から採取したピースを1区と同じ母貝のウカシに挿入した(2区)。これとは逆に、真珠核とX1家系から採取したピースを母貝のウカシに挿入し(3区)、真珠核とY1家系から採取したピースを3区と同じ母貝のフクロに挿入した(4区)。これらの同一の試験区を、愛媛県宇和島市の遊子地区と三浦地区の2か所の真珠養殖業者に依頼した。挿核時に使用したピース貝の左殻と右殻の貝殻真珠層結晶層厚と真珠の結晶層厚を非破壊計測法で計測した。また、浜揚げした真珠を、鑑定士2名が評価の高い1級、評価の低い2級、商品価値のない3級へランク分けした。なお、1級および2級真珠は商品として販売が可能な真珠(商品真珠)である。また、各地区の商品真珠をデジタルカメラで撮影した。さらに、遊子および三浦地区の1~4区の1、2級真珠にそれぞれ単価指数を付けた。目視による1級真珠の干渉色の評価は、(株)真珠科学研究所が真珠頭頂部付近に赤の干渉色が多く出るR系真珠、赤と緑が出るRG系真珠、緑が出るG系真珠の3種類に判定した(小松ら2014)。

結果は、全ての試験区において、結晶層厚の厚いX1ピース貝家系を用いた区で、結晶層厚の薄いY1ピース貝家系を用いた区に比べて真珠の結晶層厚は有意に厚かった(Fig. 5)。結晶層厚において、ピース貝の貝殻真珠層と真珠には強い正の相関関係が認められた(Fig. 6)。Y1家系をピース貝に用いた2区と4区で、X1家系をピース貝に用いた1区と3区に比べて、2級真珠の結晶層厚が1級真珠よりも薄い傾向であった。結晶層厚の薄い真珠は全体的に赤茶色の傾向を示し、商品価値が低いことが示唆された(Fig. 7)。1級真珠における干渉色別の真珠の割合は、X1家系をピース貝に使用した区ではY1家系をピース貝に使用した区よりもG系真珠の割合が高く、Y1家系をピース貝に使用した区ではX1家系をピース貝に使用した区よりもR系真珠の割合が高い傾向であった(Fig. 8)。干渉色別に分けた1級真珠の結晶層厚は、G系真珠で結晶層厚が最も厚く、R系真珠で結晶層厚が最も薄く、RG系真珠でその中間であった。真珠直径または真珠の結晶層厚と平均単価指数との関係において、真珠直径と平均単価指数には相関係数0.74が認められ、その危険率は5%未満であった(Fig. 9)。一方、真珠の結晶層厚と平均単価指数には相関係数0.88が認められ、その危険率は1%未満であった。これにより、真珠の結晶層厚と平均単価指数の相関関係は、真珠直径と平均単価指数の相関関係よりも相関係数が高く、また、各区の真珠の平均結晶層厚が321-406nmの範囲では、真珠の結晶層厚が厚いほど真珠の平均単価指数は高い傾向であった。以上により、真珠養殖に用いられるピース貝の貝殻真珠層結晶層厚が、真珠の結晶層厚、干渉色および商品価値に強く影響を及ぼすことが示唆された。

## 3. アコヤガイ貝殻真珠層結晶層厚の遺伝と成長に伴う特性

アコヤガイ貝殻真珠層における結晶層厚の遺伝を明らかにするため、2系統の親集団を貝殻真珠層内面の色で3グループに選抜し、同系統内で同じ色毎に親貝を交配して6家系の次代を生産した。また、異なる系統間で同じ色毎に親貝を交配して3家系の次代を生産し、合計9家系の子世代とその親集団を比較した。具体的には、2系統の親集団に、ピース採取用に改良された市販貝X系統と市販貝Y系統を用い、X系統300個体およびY系統を150個体開設して、左殻内面真珠層の縁辺部が目視で明瞭な赤色(red)、明瞭な緑色(green)およびそれ以外の不明確で判別が困難な色(not clear)の3色彩系にそれぞれ選抜した。なお、市販貝のX系統、Y系統はともに、2011年2月にふ化され、殻長約2mmの状態から宇和島市下波地先で飼育された貝であり、2012年5月時点で15か月齢であった。X系統内交配として、3色彩系毎に雌4個体と雄2個体をそれぞれ交配し、赤色同士の家系Xr、緑色同士の家系Xgおよび不明瞭な色同士の家系Xnを生産した。また、X系統雌である3色彩系各3個体とY系統の雄である3色彩系各3個体をそれぞれ系統間交配して、赤色同士の家系XYr、緑色同士の家系XY

gおよび不明瞭な色同士の家系XYnを生産した。一方、上記のX系統内交配から7日後に、Y系統内交配として、左殻内面真珠層の色彩系毎にY系統300個体から雌1個体と雄5個体を選抜・交配し、赤色同士の家系Yr、緑色同士の家系Ygおよび不明瞭な色同士の家系Ynを生産した。なお、本試験で生産したXg家系とYr家系はそれぞれ、上述の試験「2. 結晶層厚の異なるピース貝家系が真珠の結晶層厚および品質に与える影響」において真珠養殖試験に用いた、X1家系とY1家系にあたる。種苗生産後に親貝左殻の結晶層厚と色度を計測した。子世代は、2013年7月にYnを除く8家系を約30個体無作為にサンプリングし（以下「14か月齢」と記す）、2013年9月に9家系全てを約30個体無作為にサンプリングして（以下「16か月齢」と記す）、左殻の結晶層厚と色度を計測した。さらに、アコヤガイ家系間における貝殻真珠層結晶層厚の差異と継時変化を調べるため、上述した2家系（XrおよびXg）を20、23、27および29か月齢でサンプリングするとともに、2013年3月に生産した別の4家系（SP、AS、W1およびW2）について、2014年1月（10か月齢）から2016年1月（34か月齢）まで原則として3か月に1回、同様にサンプリングした。これらサンプリングした6家系の殻高、全湿重量を測定するとともに、左殻内面真珠層の結晶層厚を計測した。

結果は、9家系について両親の平均結晶層厚と子世代の平均結晶層厚に強い相関関係が認められた（Fig. 10）。15か月齢である親貝の雌雄の平均結晶層厚と、無作為にサンプリングした子世代の14か月齢または16か月齢における平均結晶層厚の相関における傾きは、14か月齢では0.75、16か月齢では0.60であったことから、親と子世代の相関関係の傾きから、結晶層厚の遺伝率は0.60—0.75だと考えられた。一般に0.2以上の遺伝率をもつ形質は選択の効果があるとされていることから（和田1979）、結晶層厚の遺伝率は低くなく、選択の効果がある形質であることが示唆された。また、系統間交配においても、親と子世代の関係はFig. 10の一次式から大きく離れていないことから、アコヤガイ貝殻真珠層結晶層厚に関連する遺伝子の効果は、親の系統が異なっているにもかかわらず、相加的である可能性が示唆された。2012年5月に生産したXr、Xg家系と2013年3月に生産したSP、W1、W2およびAS家系の合計6家系において、各家系における平均殻高と平均結晶層厚の関係をFig. 11aに、各家系における平均全湿重量と平均結晶層厚の関係をFig. 11bに示す。これにより、殻高が大きくなり、全湿重量が重くなるに従って、結晶層厚は実際に薄くなっていた。加えて、上記6家系について、平均結晶層厚を従属変数、平均殻高を共変数として家系間の平均結晶層厚の差を共分散分析により検定したところ、家系間の差は回帰係数では有意でないが、切片では有意であり、平均全湿重量を共変数とした場合でも同様であった。これらのことから、各アコヤガイ家系の平均結晶層厚は、貝が成長するにつれて一定の割合で薄くなることが示唆された。

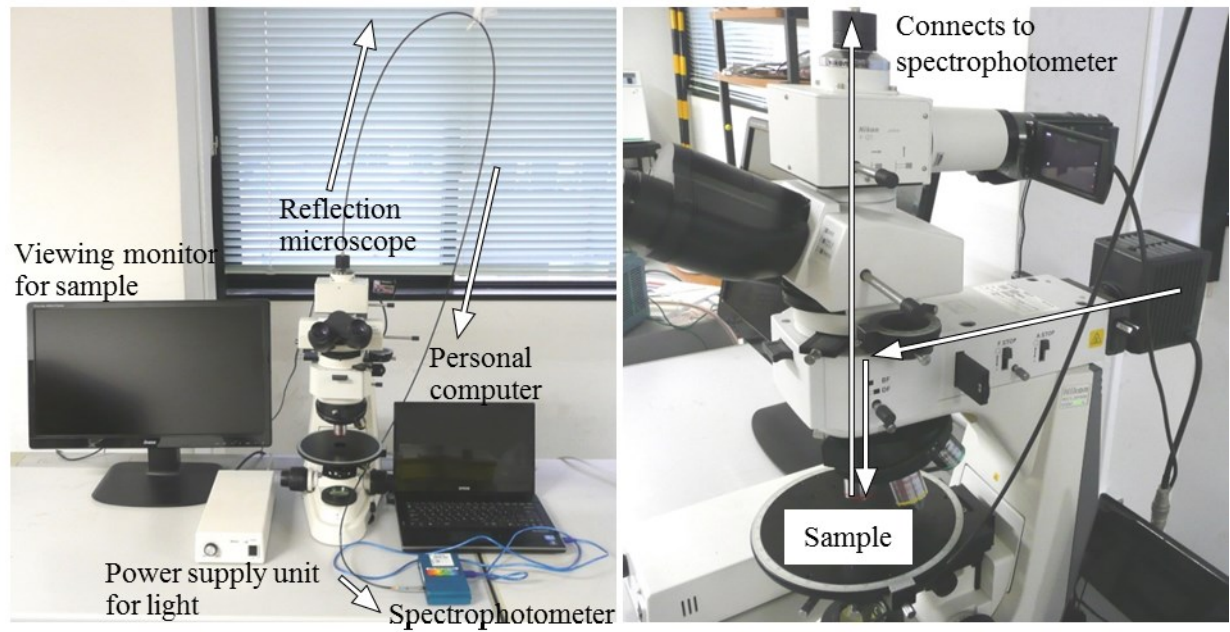
以上の研究によって、1. 干渉色そのものではなく、真珠層構成結晶層の厚さを光の反射によって計測することにより、ピース貝貝殻真珠層結晶層厚と真珠の結晶層厚を非破壊で数値化することが可能になり、2. 両者に強い相関関係が認められ、3. 結晶層厚はピース貝の親から子世代に遺伝することが定量的に明らかになったことから、結晶層厚に関するピース貝の育種は理解が容易となり、定量的な選抜育種の可能性が示唆された。今後は、ピース貝の結晶層厚における育種を進めていくにあたり、親貝、その子世代であるピース貝およびそのピース貝を用いて養殖された真珠の結晶層厚を非破壊で計測するとともに、現場に出回っている市販ピース貝やそのピース貝を用いて養殖された真珠の結晶層厚も記録していく必要がある。加えて、輸出先の国や時代の市況によって評価の高い干渉色の真珠の結晶層厚も、真珠販売業者等を機会ある毎に伺って、データを蓄積していく必要がある。その上で、評価が高くなると予想される干渉色の真珠を効率的に生産するため、ピース貝の親貝の結晶層厚を事前に予測し、その結晶層厚の基準を満たすピース貝の親貝を選抜して交配することにより、干渉色の評価の高い真珠を生み出すピース貝の生産は可能になると考えられた。

小松 博, 矢崎純子, 山本 亮, 田中宏樹, 横瀬ちひろ. 真珠のテリ測定に関する研究 I—ホワイト系アコヤ真珠のテリについて, 3種の評価法の相関性の考察—. 宝石学会誌 2014; 31: 3–6.

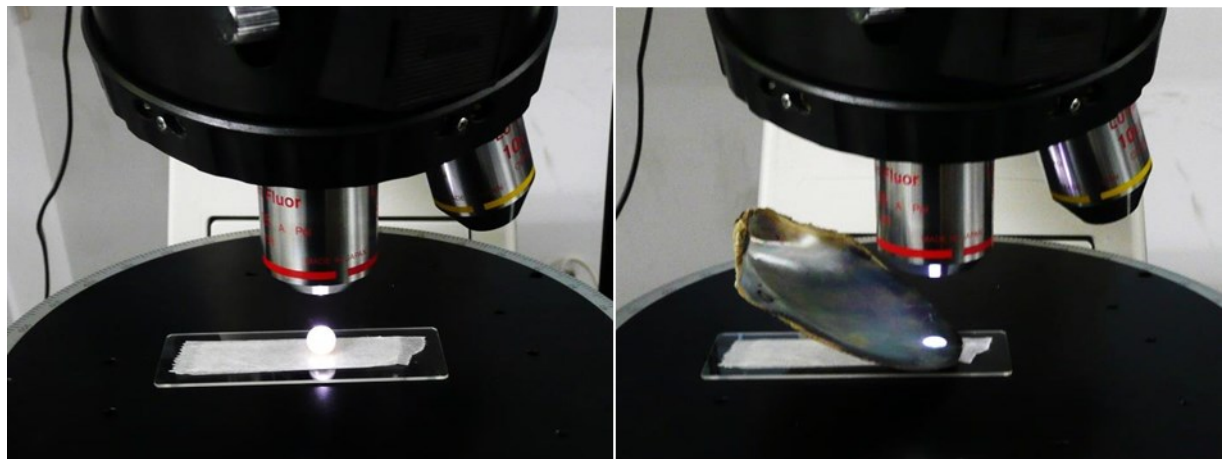
内田洋一, 上田正康. 真珠の層状構造と iridescence に就て. 生理生態 1947; 1-3: 171–177.

和田克彦. 1. 量的形質の遺伝. 水産学シリーズ 26 水産生物の遺伝と育種 日本水産学会編 恒星社厚生閣, 東京. 1979 : 7-26.

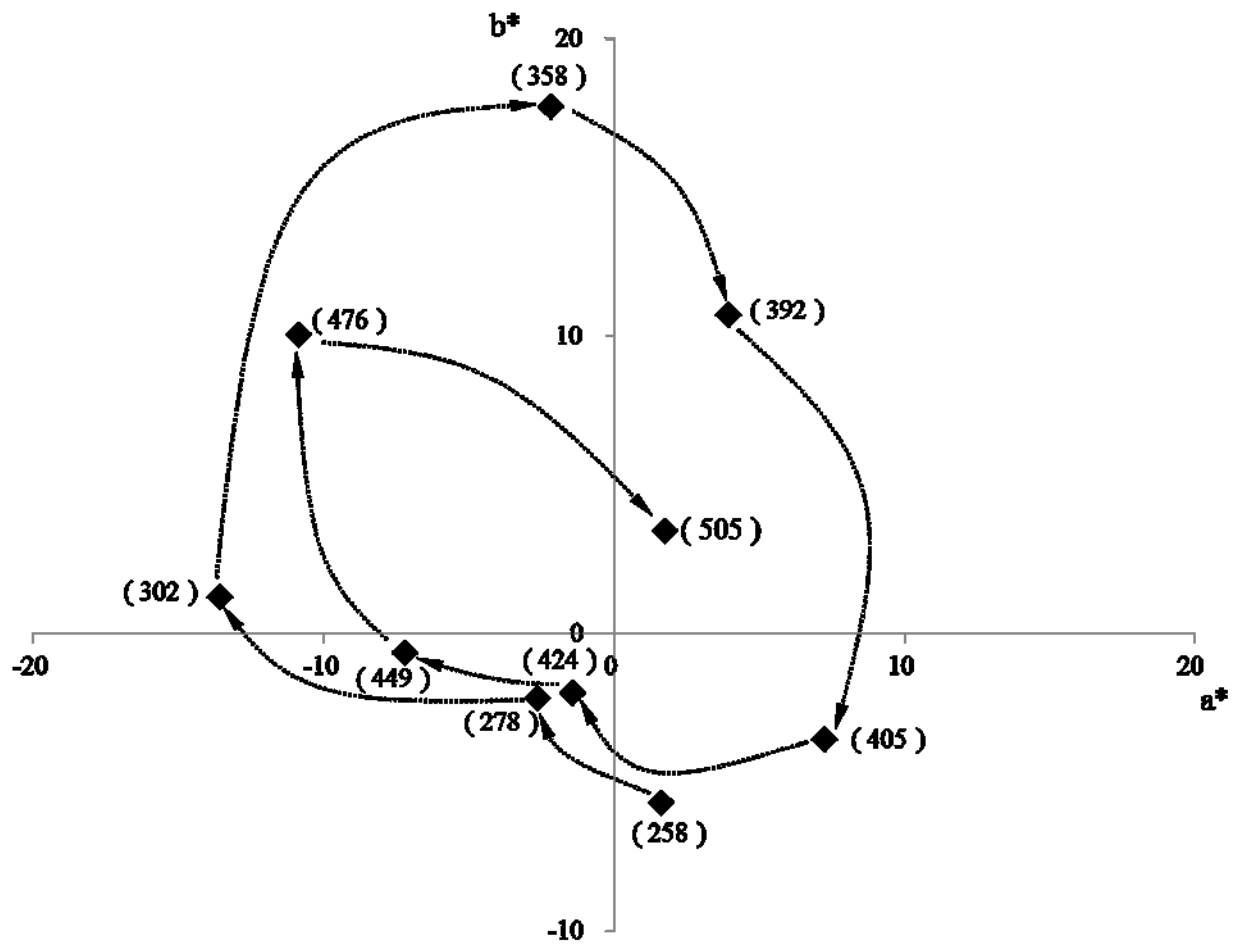
和田浩爾. 黄色真珠の生成に関する実験生物学的研究. 国立真珠研究所報告 1969; 14: 1765–1820.



**Fig. 1** System to measure reflectance. The arrows indicate flow of light from the light source to the spectrophotometer.



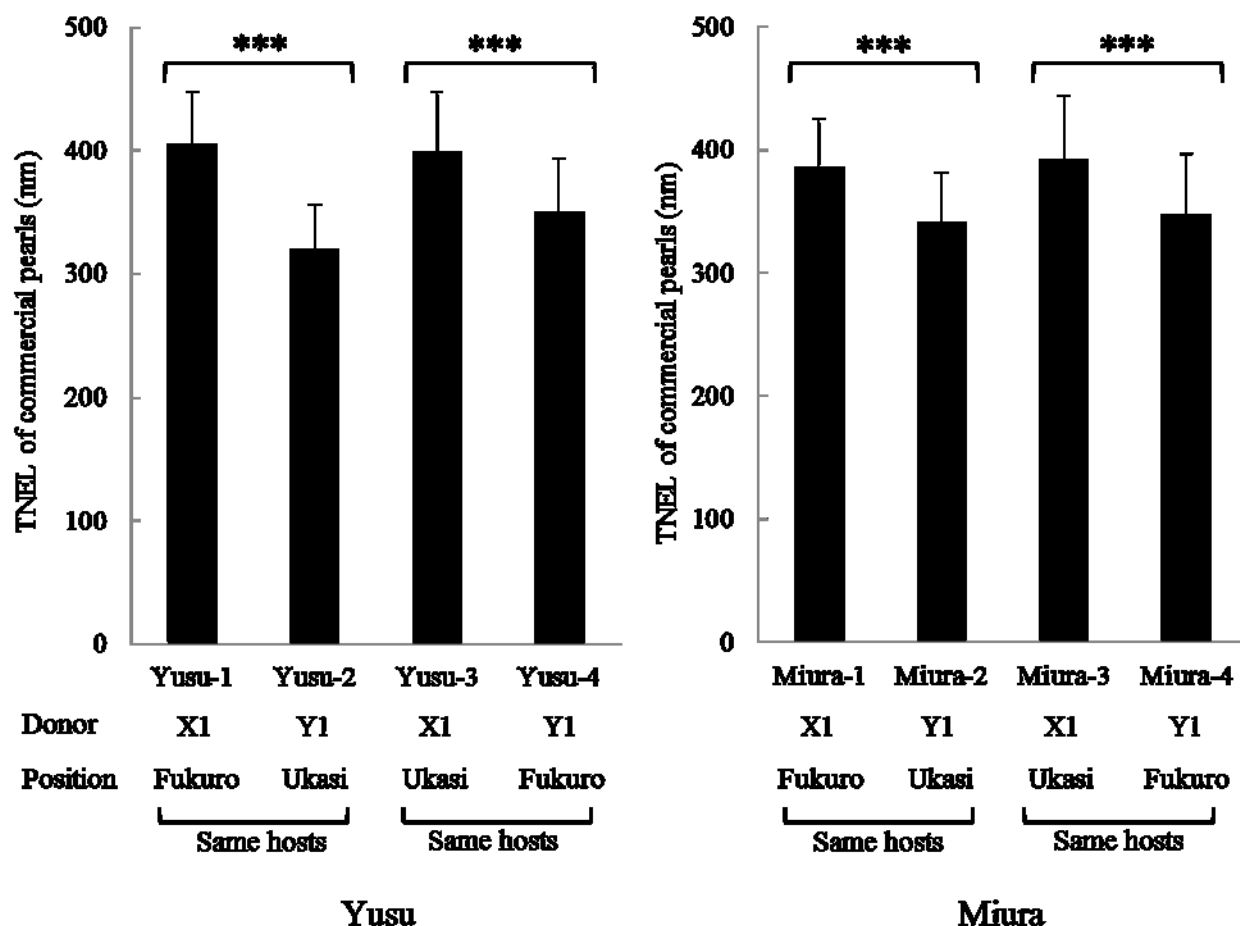
**Fig. 2** Measuring the reflectance of the shell and the pearl.



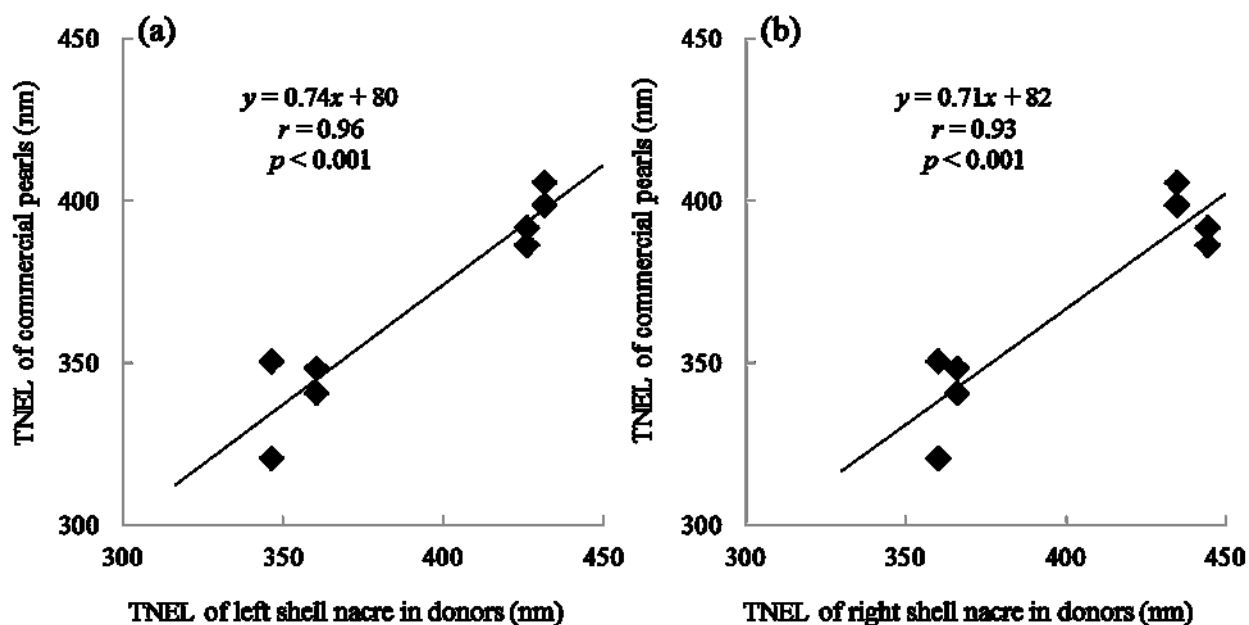
**Fig. 3** Relationship between the thickness of the nacreous elemental lamina (TNEL) and the nacre color in the shell. The number in the brackets indicates the TNEL. The unit of measure of the TNEL is nm.



**Fig. 4** Evaluated pearls “S”, “M”, and “L” .



**Fig. 5** The thickness of the nacreous elemental lamina (TNEL) of commercial pearls at Yusu and Miura. Values are mean  $\pm$  SD. Asterisks (\*\*\*) show significant difference between the two groups at  $p < 0.001$  (Mann-Whitney  $U$ -test).

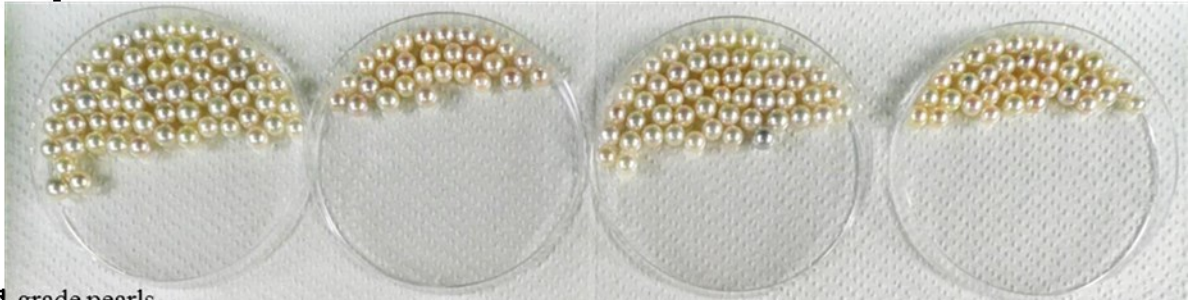


**Fig. 6** Relationship between the thickness of the nacreous elemental lamina (TNEL) of the left (a) or right (b) shell nacre with donors and the TNEL of pearls (Pearson's correlation coefficient test).



(様式 5) (Style5)

**First-grade pearls**



**Second-grade pearls**



**Yusu-1**

**Yusu-2**

**Yusu-3**

**Yusu-4**

**First-grade pearls**



**Second-grade pearls**



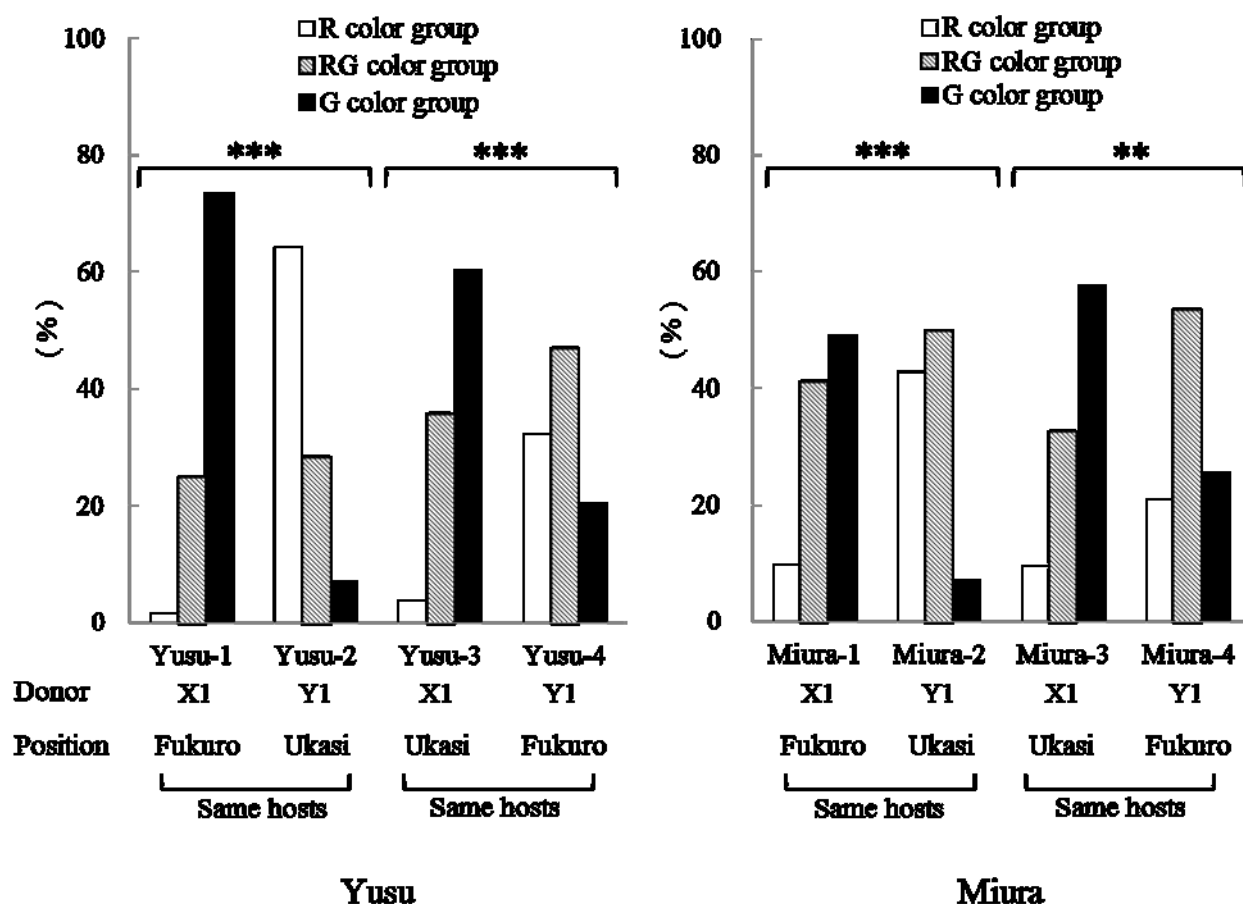
**Miura-1**

**Miura-2**

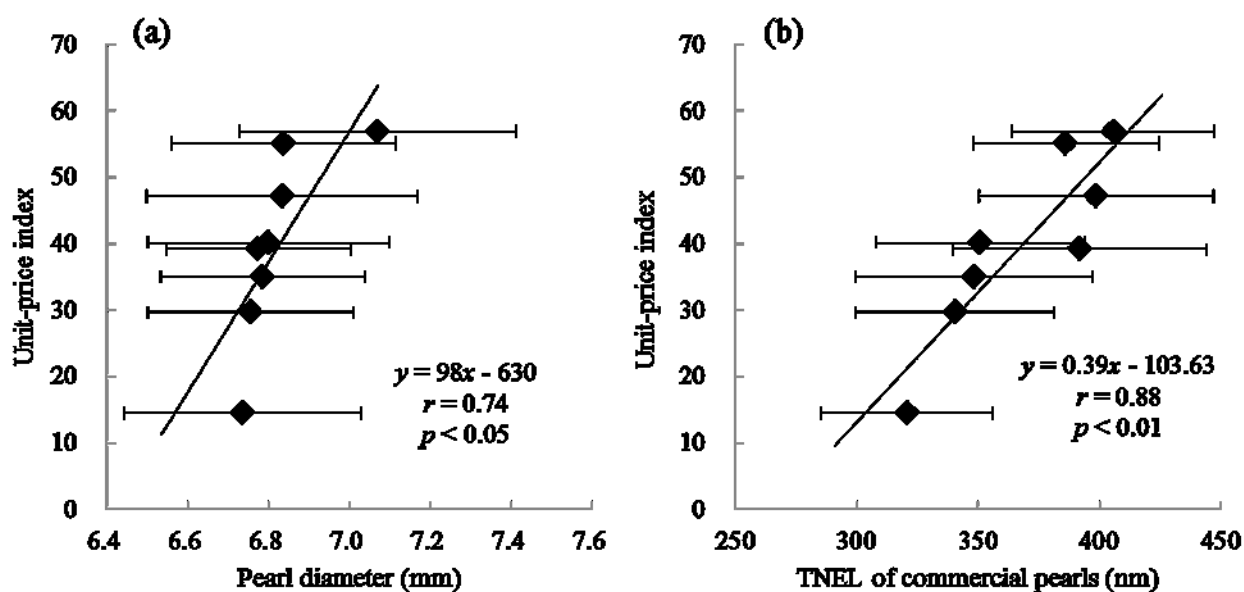
**Miura-3**

**Miura-4**

**Fig. 7** Photographs of commercial pearls at Yusu and Miura.

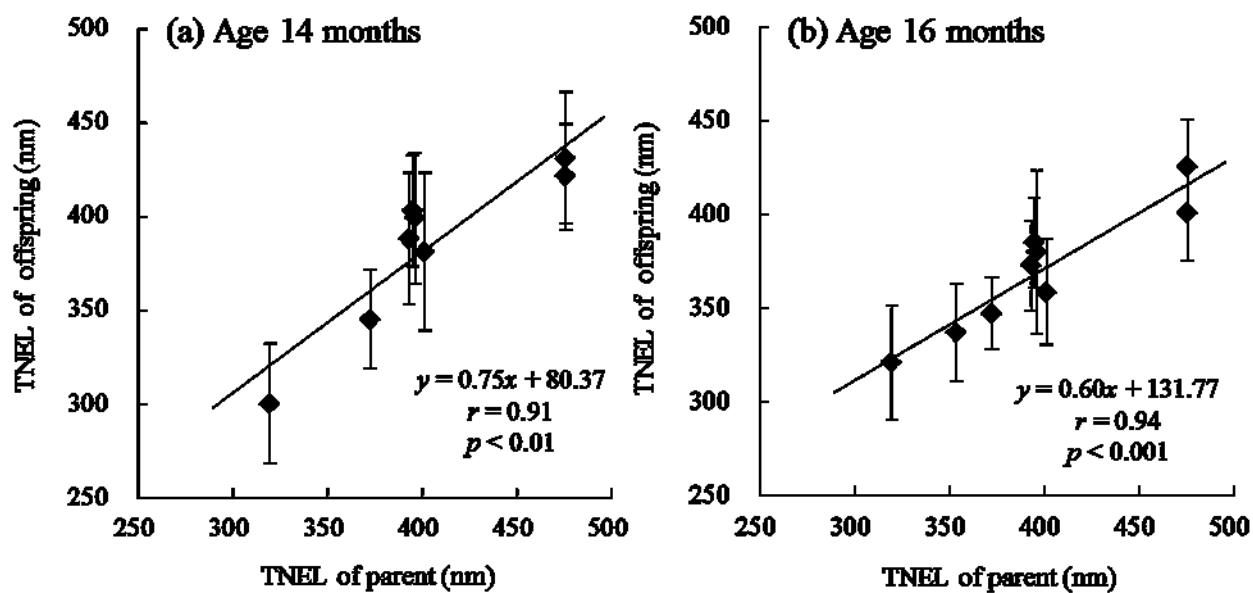


**Fig. 8** Proportion of pearls for interference colors in first-grade pearls at Yusu and Miura. Asterisks show significant difference between the two groups (Chi-squared test for independence, \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ ).

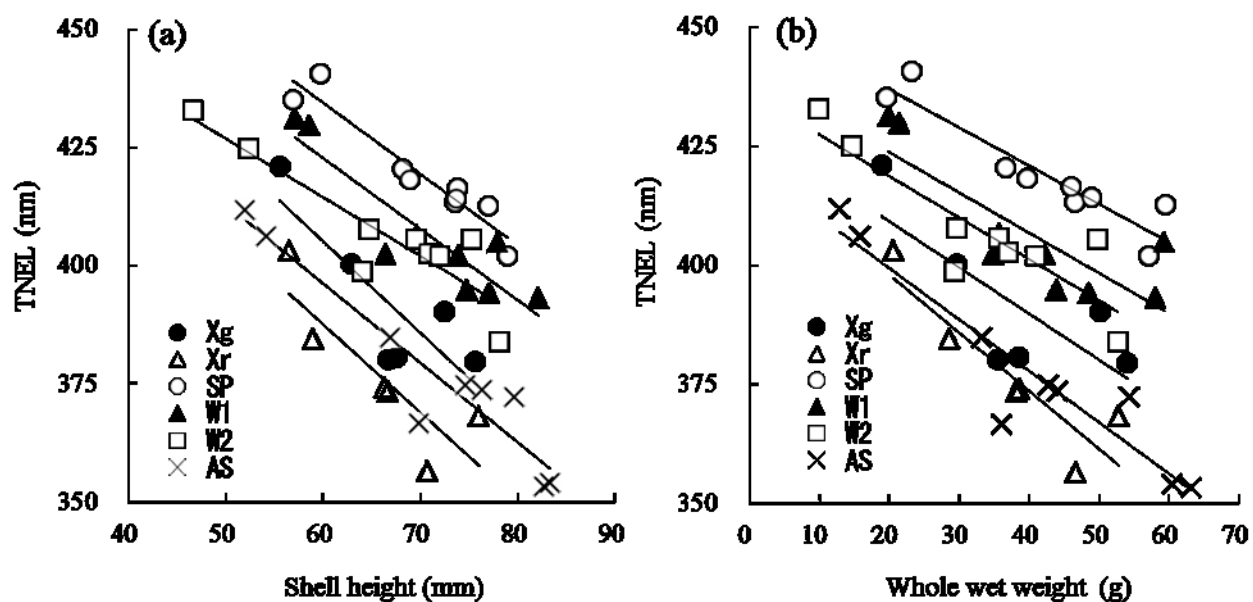


**Fig. 9** Relationship between pearl diameter (a) or the thickness of the nacreous elemental lamina (TNEL) of commercial pearls (b) and unit-price index of commercial pearls (Pearson's correlation coefficient test). Values are mean  $\pm$  SD.





**Fig. 10** Relationship between mid-parental values and mean values of offspring of the thickness of the nacreous elemental lamina (TNEL) at the ages 14 (a) and 16 (b) months. Dot and bar represent mean and SD of each family. Asterisks show significant difference between the two groups (Pearson's correlation coefficient test).



**Fig. 11** Relationship between the thickness of the nacreous elemental lamina (TNEL) and shell height (a) or whole wet weight (b) of each family. Dot and line represent mean and regression line of each family ( $n = 30$ ).