国立真珠研究所報告

8

昭和37年(1962)9月

Bulletin of the National Pearl Research Laboratory

8

September 1962

CONTENTS

Nakahara, H. Behavior of the mucus substance in the mantle of *Pinctada martensii* and *Pinna attenuata* (Bivalves). ····871

Nakahara, H. Observations on the ingestion of carmin particles by the mantle and pearl-sac epithelium of *Pinctada martensii* (pearl oyster). ····879

Machii, A. Studies on the histology of the pearl-sac. VIII. On the formation of epithelium derived from the inner epithelium of the mantle piece. ···884

Uemoto, H. and Tsujii, T. Preliminary note on the specific gravity of organs in the various conditions of pearl oyster. ····891

Uemoto, H. Physiological studies on the nuclear insertion operation of pearl oyster. IV. On the control of physiological condition after the operation.···896

Sawada, Y. and Taniguchi, M. Biochemical studies on the pearl oyster. VI. Studies on the changes of chemical compositions by the artificial spowning. ····904

Sawada, Y. and Taniguchi, M. Biochemical studies on the pearl oyster. VII. Studies on the relationship among the qualities of pearls, chemical compositions of mother shells and culture-depth. ····908

Sawada, Y. Studies on the color of pearls. ····913

Hasuo, M., Sakaguchi, S., Yamaguchi, K. and Murakami, E. Studies on the qualities of the pearl and growth rate of the pearl oyster, *Pinctada martensii*, which cultured at pearl culture ground in Nagasaki prefecture.····920

Wada, K. Biomineralogical studies on the mechanism of pearl formation. ····948

Sakaguchi, S. Studies on a trematoda parasitic on pearl oyster. I. On the encystation of cercaria, *Bucephalus margaritae*. ····1060

National Pearl Research Laboratory
Kashikojima, Ago-cho, Shima-gun,
Mie Prefecture, Japan

アコヤガイとハボウキガイの外とう膜における粘液物質の行動について*,1)

中　原　　皓

国立真珠研究所

著者はさきにアコヤガイ（*Pinctada martensii*）の真珠袋における粘液物質の行動をメタクロマジーを指標として追跡し，それが真珠層の形成に重要な役割を持つていることを結論した（中原 1961a）。今回は前報ではごくわずかしかふれなかつた外とう膜における同じ問題について報告する。過去における外とう膜の研究においては，多くの場合，周辺部とそれに近い膜状部が主な対象とされていた。著者は先にテトラサイクリンを使用した時刻描記法によつて，アコヤガイの貝殻と真珠の生長の状態をしらべた（中原 1961b）。それによると，従来考えられていたのとやゝ異なつて，貝殻の腹側のいわゆる端先（はさき）に近い部分の真珠層よりも，背側の靱帯に近い部分の方が速く生長することがわかつた。以上のことから著者は貝殻に接している外とう膜全面の観察をする必要性を感じ，今回はその方向にそつて研究を進めた。アコヤガイ以外の二枚貝についてはハボウキガイ（*Pinna attenuata*）で同様の観察を行なつた。外とう膜縁部は稜柱層形成と密接な関係があると思われ，同時に観察をつゞけているが，今回は多くふれない。

アコヤガイは英虞湾多徳島附近に養殖されていた 3～4 年生のものを使用した。ハボウキガイは夏季に同島附近の浅海底より採集した殻長 13cm～25cm のものを使用した。固定染色，観察方法はすべて前報の通りである（中原 1961a）。

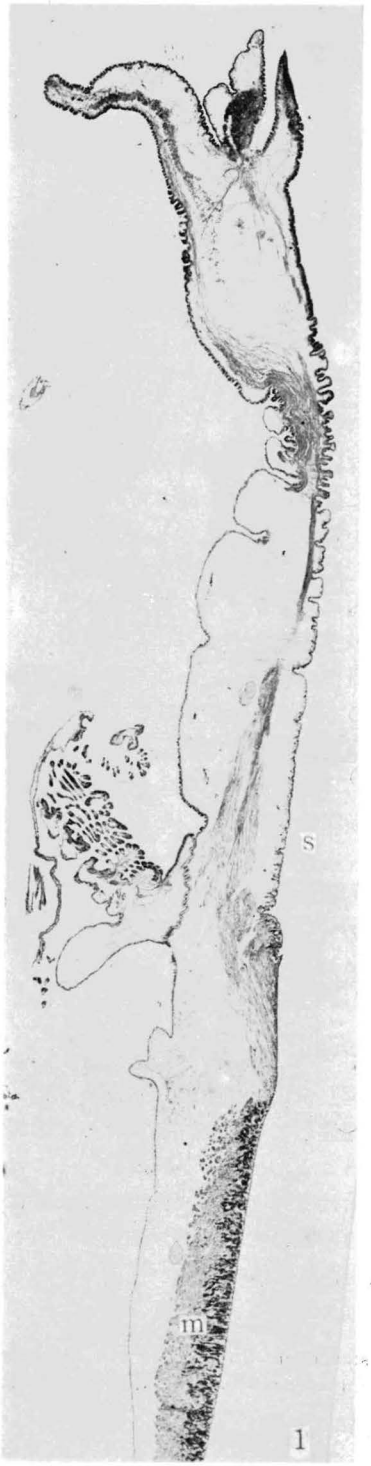
観　　察

外とう膜における粘液細胞の分布は，小島（1950, 1952）によつても明らかなように，ほゞ全面の上皮によく発達している。殻側面でも全面に発達しているが，アコヤガイの場合はその発達の程度の著しく異なつた二つの部分に分けることが出来る（Fig. 4）。一つは外とう膜筋痕と閉殻筋痕を結ぶ線，すなわち，貝殻上における外とう線（pallial line）に囲まれた部分で，この部分は非常に粘液細胞が多く，膜の厚さの大半を粘液細胞が占有している（Fig. 1; m, Fig. 4; B, C, D）。この部分には結合組織は少なく，筋肉も存在し

---

* Hiroshi Nakahara. Behavior of the mucous substance in the mantle of *Pinctada martensii* and *Pinna attenuata* (Bivalves). With English summary, p. 876. Bull. Natl. Pearl Res. Lab. 8: 871-878. 1962.

1) 国立真珠研究所業績 No. 89（国立真珠研究所報告 8: 871-878. 昭和37年9月）



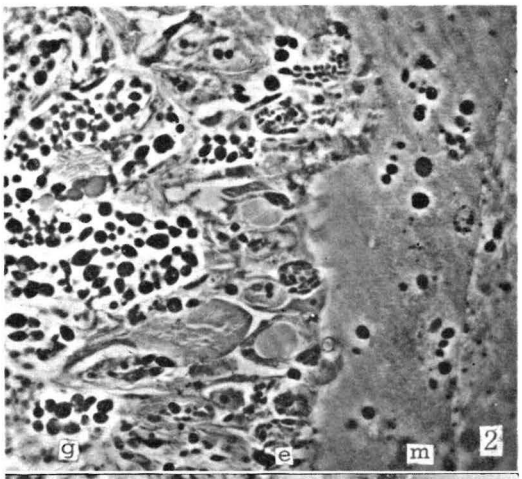
1

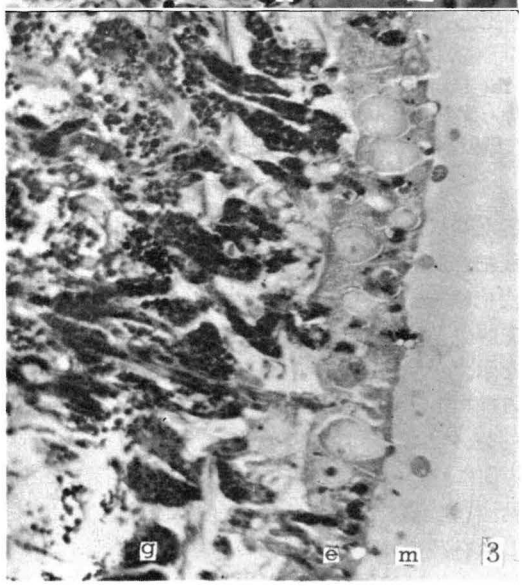
ない。膜状の部分につゞいて内臓部を掩つている外とう膜でも，膜状の部分と同じ程度の厚さの粘液細胞層が見られる（Fig. 4; A, G)。これらの中で，膜状の部分は Tsujii によつて， Central area と呼ばれた部分である。この報告では，膜状の部分と内臓をおおつている部分両方を含めて，中心域と呼ぶことにする。他の一つは外とう線から外側の部分で，この部分の殻側面（外面）の上皮は，真珠養殖における核入れ手術の時に移植片として使用され，今までに多くの観察がなされている。この部分は中心域に比べると粘液細胞ははるかに少ない。粘液細胞は上皮細胞下の結合組織中に散在し，上皮細胞間にも介在している。今回はこの部分を周辺部と呼んで置く。

中心域には明らかに2種の果粒が粘液細胞の内容として存在する。一つは，エオジンに好染し，トルイジンブルーでは淡染するもので，この果粒を持つた粘液細胞は外面上皮に近い部分に多い。他の一つはエオジンではよく染まらず，トルイジンブルーで濃染し，またヘマトキシリンでもよく染まる。いずれもメタクロマジーを呈するが，顕微灰化法によつて調べると，カルシウムはどちらにも同じ程度に，しかし他の部分よりは多く存在する。以上の細胞は小島（1950, 1952）によつて大果粒細胞及び粘液細胞と呼ばれたものに相当すると思われる。林（1954）はヘマトキシリンで染まるものを石灰腺，染まらぬものを蛋白腺と推測している。周辺部の外面にある粘液細胞の果粒は後者に似ているがトルイジンブルーによる染色性はやゝ弱いのが普通である。 Tsujii（1960）はトルイジンブルーでメタクロマジーを起こす部分に PAS 陽性を検出し，多糖類の存在を証明した。今回観察した粘液細胞の果粒もすべて PAS 反応陽性であつた。また，粘液果粒に由来すると思われる粘液層（後述）と貝殻真珠層の有機質も同様に PAS 陽性を検出した。

上述の粘液果粒は真珠質の場合（中原1961）と同

1. Transverse section of the mantle of *Pinctada* (same section of Fig. 4A). 15×. s; shell side of pallial zone. m; mucous gland cells of central zone.





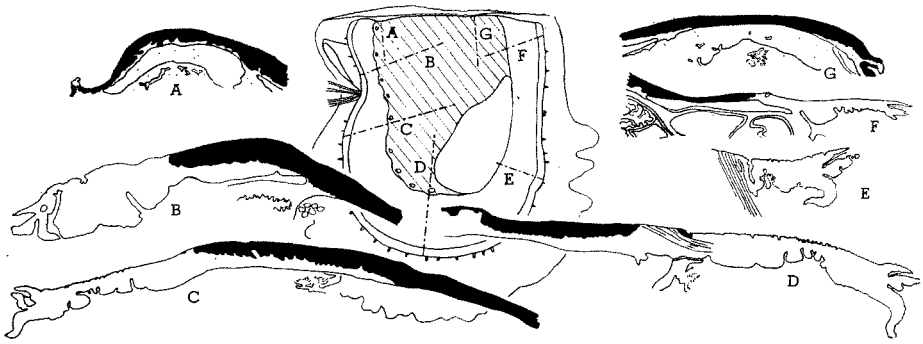
2. Outer epithelium of the central area of *Pinctada* mantle. Collected on June 6th, fixed in 1% OsO_4 (pH 7.4 buffered), sectioned with methacrylate embedding method. 700×. Taken with phase-contrast optical system. e; epithelium. g; metachromatic granules. m; mucus.

3. Same material of Fig. 2, stained with toluidine blue. Photographed with ordinary light microscope. 700×.

じ様に上皮細胞の間隙を通つて外に出される（Fig. 2, 3)。粘液細胞の状態は，健康と思われるアコヤガイにおいては，四季を通して大きな差はないようである。真珠養殖場において，いわゆる衰弱と呼ばれる状態のものでは，粘液果粒が少なく，健康なものに比べ腺細胞が空になつているものが多い。肉眼で見ても健康なものは中心域の外とう膜が白濁しているが，衰弱のものでは透明になつている。

外とう膜の外面上皮と貝殻真珠層の間には，分泌された粘液果粒に由来する粘液層がある。粘液層中には分泌直後のものと思われる果粒状の部分も見られる。無果粒の遊走細胞が上皮中に多く見られるが粘液層中にもしばしば現われる。粘液層は全体にトルイジンブルーで淡染し，明瞭なメタクロマジーを呈する。オスミック酸で固定し，メタクリレートによつて包埋した材料では粘液層は大体均一の構造を示すが，他の固定液では固化せずに包埋操作中に流失したり，著しく構造が乱れたりする場合が多い。オスミック酸による固定材料でも，パラフインで包埋した時には，粘液層は不規則な網目状に凝固した像が現われる。これはパラフインの結晶による人工像と考えられる。中心域の粘液層の厚さは注意深く固定したものでは10～20ミクロン，またはそれ以上のこともある。周辺部では固定の時外とう膜自身の収縮が大きいので正確にはわからないが，中心域に比べはるかに粘液層は少ない。EDTAによつて脱灰した貝殻の真珠層はトルイジンブルーで濃染し，粘液層と同様に顕著なメタクロマジーを呈する。著者はカーミン注射により外とう膜上皮の喰作用その他の研究を行なつた（中原 1962)。それによると中心域の上皮と貝殻の間の粘液中に少量注入されたカーミンの粒子は，中心域から周辺部に向かつて移動し，カーミン粒子の大部

分は周辺部の上皮細胞及び遊走細胞によつて捕食されていた。このことから，中心域において多量に分泌された粘液は，周辺部に向かつて流動することがほゞ明らかである。外とう膜外面の上皮細胞中には，極めて小数ではあるが繊毛を有するものが混在する。これは周辺部の筋肉による運動と共に粘液の流動を助けるものと思われる。

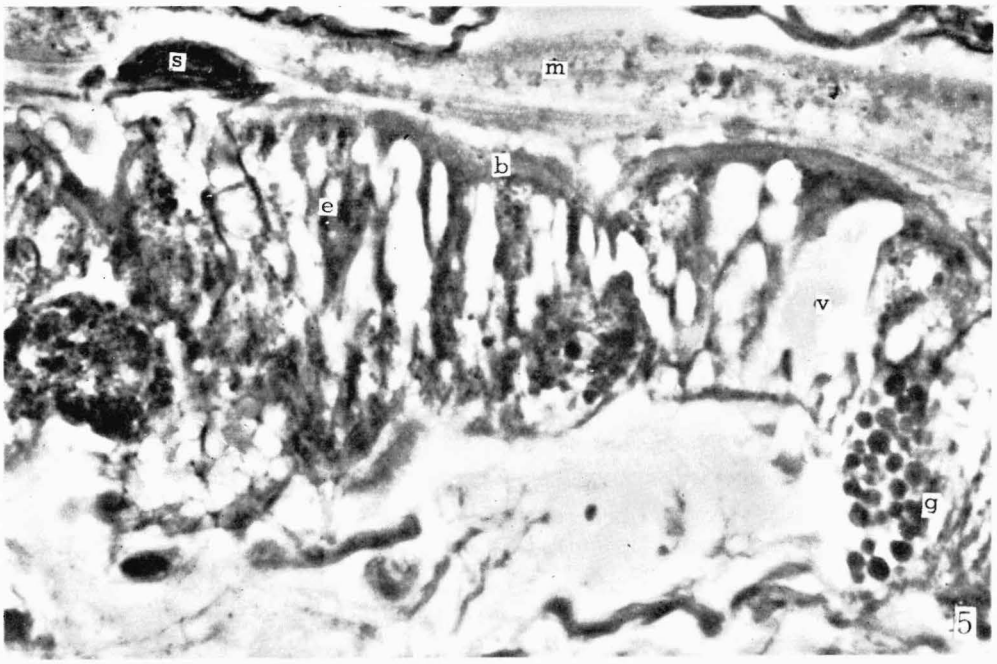


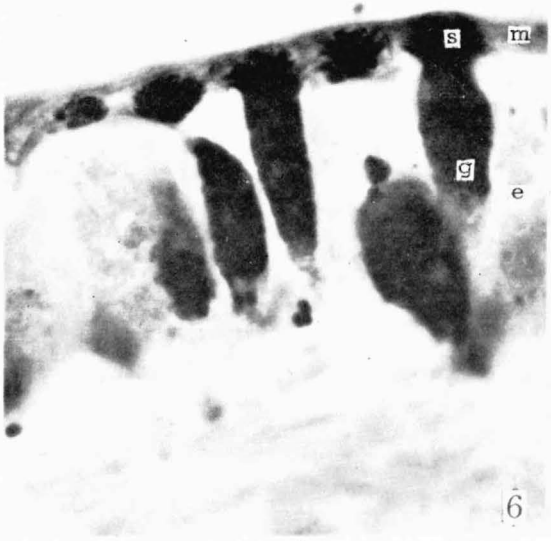
4. Showing different parts of the mantle of *Pinctada martensii*. Darkened areas indicate location of mucous cells. Position of each sections were shown in middle; shaded area (correspond to central area) indicates the location of the mucous gland cells.

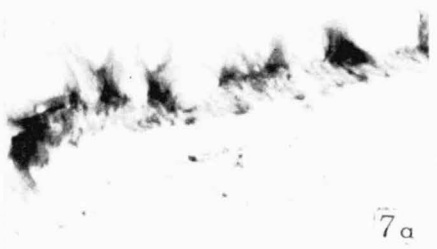
ハボウキガイではアコヤガイの場合と異なつて，粘液細胞の特に密集した部分はなく，外とう膜外面全体にほゞ一様の密度で粘液細胞が配列している。粘液果粒の大きさや形，染色性にはアコヤガイの場合ほど大きな変化はみられず，いずれもトルイジンブルーに濃染し，明瞭なメタクロマジーを呈する。アコヤガイと同じく，分泌された粘液果粒は粘液層となつて上皮の表面を掩い，層状構造を示すようになり，メタクロマジーはそのまゝ残つている。この層状構造は石灰化のおこる前に，すでに真珠層にみられるものと同様の層状構造が準備されているものと思われ，前報（中原 1961a）におけるアコヤガイの真珠袋の場合とよく似ている。層状構造の層の方向に沿つて微細な粒子が配列していることも真珠袋の場合と同様である（Fig. 5, 6)。粘液層の厚さは10ミクロン前後である。ハボウキガイの外とう膜を無水アルコールで固定した材料では，粘液細胞の内容が収縮によつてほとんど押し出され，出された粘液は繊維状，あるいは膜状の構造を示す。これを直交ニコル下で見ると複屈折性を示す。粘液果粒と同様に明瞭なメタクロマジー性を持つている（Fig. 7; a, b)。この構造はおそらく粘液の蛋白質の凝固によつて形成されたものと考えられ，真珠層の薄膜状の有機質の形成との関連が予想される。

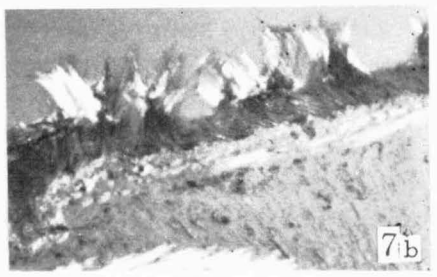
考　　察

近年，多くの研究者によつて，粘液物質と石灰化との密接な関係が論議されている。貝殻については Bevelander and Benzer (1948) が粘液物質と蛋白質が貝殻の有機質を構成することを観察して以来，貝殻形成における粘液物質の役割が重視されるようになつた (Wilbur 1960, Kado 1960, Tsujii 1960)。堀口 (1956) は外とう膜の粘液中に Sulfomucopolysaccharide が多量にあることを報告した。Wada (1961) は最初の結晶はメタクロマ









5. Outer epithelium of the mantle of *Pinna attenuata*, collected on August 29th, fixed in 1% OsO_4 (pH 7.4 buffered), sectioned with methacrylate embedding method. 1000×. Photographed with phase contrast microscope. e; epithelial cells, showing large vacuoles (v), striated border and small bubbles (b). g; mucous cells containing metachromatic granules. s; secreted metachromatic granules. m; mucus derived from metachromatic granules (g and s), also showing metachromasia, having very fine particles arranged on fine lamellar structure.

6. Same material of Fig. 1. Stained with toluidine blue, taken with ordinary microscope. 1000×.

7a. Outer epithelium of the mantle of *Pinna attenuata*, fixed in ethyl alcohol, stained with toluidine blue, taken with ordinary light. 100×. 7b. Same section of 7a, Taken with cross nicols. Secreted metachromatic substance forms fibrous or membranous structure, showing birefringence.

ジーを示す有機質の中に現われることを観察した。一方 Beedham (1958) は外とう膜と貝殻の間の粘液は，外とう膜の運動をなめらかにするものと考えた。

今回の観察によれば，貝殻の有機質と外とう膜外面の粘液とは共に明らかなメタクロマジーを示し，外とう膜の粘液細胞から分泌されたものである。堀口が報告した粘液中の Sulfomucopolysaccharide は，Bevelander and Benzer が考えたように，蛋白質と共に貝殻の有機質中に移行するものと思われる。このことは前報（中原 1961a）で述べた真珠袋の場合と同じである。

前報にも述べたように，粘液物質とカルシウムが結合を保ちながら行動していること（田中・波多野 1955, Kado 1960等）が想像される。著者が試みた Ca^{45} オートラジオグラフによれば[1]，アコヤガイの貝柱に注射された Ca^{45} は30分後には外とう膜，特に中心域の粘液中に多くみとめられた。更に，90分後には Ca^{45} は周辺部の粘液中にまでかなり移動しているのがみられた。このことから，中心域で分泌された粘液はすでにカルシウムと結合して居り，粘液と共に周辺部に向かつて流動することは明らかである。

林 (1954) はアコヤガイの外とう膜において，附着部より背方に皮下腺の異様な集塊があり，この腺塊は石灰果粒，蛋白果粒を含むものと推定されると報告したが，これは著者の観察した中心域の腺細胞群に相当するものと思われる。今回観察したハボウキガイでは特殊な腺細胞の集塊はみられず，腺細胞は外とう膜外面に，割合大きな密度で，ほゞ一様に分布していた。アコヤガイに見られるような腺細胞の分布が他の二枚貝にも存在するかどうかは今後の研究によつてたしかめたい。

終りにのぞみ，指導を賜わつたニューヨーク大学 Gerrit Bevelander 教授に感謝の意を表すると共に，本研究の遂行に当り終始助言と援助を賜わつた国立真珠研究所各位に対し深く謝意を表する。

摘　　要

1) アコヤガイでは外とう膜殻側面（外面）の粘液細胞は特に中心域に多く，ハボウキガイでは全面にほゞ一様に分布している。

2) 粘液細胞の果粒は分泌されて液状となり，外とう膜と貝殻の間に拡がる。アコヤガイでは中心域で多量に分泌された粘液は中心域から周辺部に向かつて流れる。

3) 粘液物質は貝殻真珠層の有機質を形成するものと思われる。

Summary

(1) Bevelander and Benzer (1948) stated that the mucous substance of the mollusc mantle was associated with shell mineralization. During the past few years, it has been further suggested (Wilbur 1960, Kado 1960, Tsujii 1960) that the mucous substance plays a significant role in shell formation. From biochemical evidence, Horiguchi (1956) stated that the mantle mucilage contains a large amount of sulfomucopolysaccharide. Tanaka and Hatano (1955), and Kado (1960) discussed the specific affinity of mucous substance of mollusc mantle for calcium. Wada (1961) reported that the organic matrix,

1) 実験は1960年9月17日，水温28°C の時に行なつた。

upon which crystal formation occurs, to be metachromatic. Beedham (1958) suggested that the mucous secreted between the mantle and shell acts as a lubricant for movement of the mantle. The author reported (Nakahara 1961a) that the mucous substance is incorporated directly into the calcified nacreous layer.

Further, with the method of tetracycline administration (Nakahara 1961b), it was demonstrated that the nacreous layer in the dorsal part of the shell of *Pinctada* grows more rapidly than the nacre of the ventral or marginal part. This fact reveals that the whole area, including the dorsal part of the mantle is important in shell formation. Former investigations of the mantle refer for the most part to the marginal or membranous area. We have shown, however, the need to observe whole area of the mantle including the part which covers the visceral mass.

(2) Japanese pearl oysters (*Pinctada martensii*) used for the study, were 3-4 years old, and kept at a pearl farm in Ago-bay. *Pinna attenuata* were collected in Ago-bay during the summer. Materials were carefully fixed in 1% OsO_4 solution buffered at pH 7.4, Regaud's solution, and absolute alcohol. Methacrylate embedding, commonly used in electron microscopy, was followed after osmic acid fixation, and the paraffin method for the others. Sections were stained with 1/10,000 toluidine blue aqueous solution. Haematoxylin-eosin stain and some other histological staining and histochemical techniques were also used.

(3) The mucous cells develop over the entire mantle surface of *Pinctada* (Ojima 1950, 1952). On the shell surface, development of the mucous cells show a marked difference between the central and pallial zone. Well developed masses of the mucous cells were located in the central zone of the mantle, in contrast to the pallial and marginal zone where relatively few of these cells occur (Figs. 1-4). Two kinds of granules are distinguished in the mucous cells of the central area. One of them is well stained with eosin, slightly with toluidine blue. The other is not stained with eosin, but is well stained with toluidine blue and haematoxylin. Both of them show metachromasia with toluidine blue, and are positive to the PAS reaction. Hayashi (1954) described these cells and assumed that the former is albuminous, and the latter is a calcareous gland. In the present study, with the aid of microincineration, calcium was observed to be present in almost the same amount in both cells.

In *Pinna attenuata*, mucous cells are evenly distributed on the shell surface of the mantle (Figs. 5-7). Most of the mucous granules in the mucous cells are well stained with toluidine blue and show intense metachromasia.

(4) Mucous granules are secreted into the space between the mantle and shell. Just after the secretion, they become fluid and spread over the epithelial surface (Figs. 2, 3, 5, 6). In *Pinctada* observations following carmine injection by the author (Nakahara 1962), show the mucous extends from the central zone to the marginal zone of mantle. Secreted mucous substance shows metachromasia, and the matrix of the nacre decalcified with EDTA also shows intense metachromasia. The mucous layer shows a fine lamellar

structure, and contains very small particles. In *Pinna* mantle fixed in alcohol (Fig. 7), the mucous substance forms a fibrous or membranous structure, and shows marked birefringence (mucous layer fixed in osmic acid showing no birefringence). This transformation may be caused by the dehydration and coagulation with alcohol.

During the present study, the author observed with the method of radioautography, that the Ca^{45} injected in the adductor muscle of *Pinctada* transferred into the mucous of the mantle within 30 minutes. This phenomenon further supports the contention that the calcium is combined with mucous substance in the course of shell formation.

(5) On the basis of our present observations, we have shown that mantle mucous is incorporated, and becomes an integral part of the calcified nacre.

The role of the mucous reported here is similar to that previously described in connection with pearl formation by the author (Nakahara 1961a).

文 献

Beedham, G. E. 1958. Observations on the mantle of the Lamellibranchia. Quart. Jour. Micr. Sci. 99: 181-197.

Bevelander, G. and Benzer, P. 1948. Calcification in marine molluscs. Biol. Bull. 94: 176-183.

林 一正 1954. アコヤガイの一般形態学的並びに外套膜の組織学的研究. 滋大学芸学部紀要, 自然科学 3: 31—42.

堀口吉重 1956. アコヤガイ及びイケチヨウガイの生化学的研究-II アコヤガイとイケチヨウガイの各組織より Sulfomucopolysaccharide の分離. 日水誌 22: 463—466.

Kado, Y. 1960. Studies on shell formation in molluscs. Jour. Sci. Hiroshima Univ. Ser. B, Div. 1, 19: 163-210.

中原 晧 1961a. 真珠袋の組織学的研究VII. メタクロマジー物質の行動. 国立真珠研報 6: 541—545.

———— 1961b. テトラサイクリンの使用による真珠層の生長度の測定. 同上 6: 607—614.

———— 1962. アコヤガイの外とう膜と真珠袋の上皮細胞におけるカーミン粒子の摂取について. 同上 8: 879—883.

小島吉雄 1950. アコヤガイ外とう膜の組織学的研究, 特に腺細胞に関する観察. 生物 5～6: 201—205.

Ojima, Y. 1952. Histological studies on the mantle of pearl oyster (*Pinctada martensii* Dunker). Cytologia 17: 134-143.

田中正三・波多野博行 1955. 真珠に関する生化学的研究 (第4報), アコヤ貝によるカルシウムの吸収とその貝殻及び真珠への沈着について. 日化 76: 22—25.

Tsujii, T. 1960. Studies on the mechanism of shell and pearl formation in Mollusca. Jour. Fac. Fish. Pref. Univ. Mie 5:1-70.

Wada, K. 1961. Crystal growth of molluscan shells. Bull. Natl. Pearl. Res. Lab. 7: 703-828.

Wilbur, K. M. 1960. Shell structure and mineralization in molluscs. Calcification in biological systems. AAAS Publ. No. 64, Washington. D. C. 15-40.

アコヤガイの外とう膜と真珠袋の上皮細胞におけるカーミン粒子の摂取について*,1)

中　原　　皓

国立真珠研究所

二枚貝の外とう膜の外面上皮は貝殻形成に直接関係のある組織として非常に多くの研究がなされて来た。また真珠袋上皮も同様に真珠形成との関連について研究が進められた。著者（1961）は真珠袋上皮において分泌を行なうのは主に上皮の下にある粘液細胞で，上皮細胞には吸収作用があるのではないかと推測した。本報告はそれを裏付けるための研究の一つである。今回は実験的にカーミン粒子を注入することによつて，外とう膜外面において分泌された粘液の動きをみると同時に，上皮細胞及び遊走細胞のカーミン粒子の摂取を観察することが出来た。

材料及び方法

使用したカーミンは Chroma 製のものである。乳鉢でよくすつたカーミンを2％の割合で海水に懸濁した。この懸濁液を，アコヤガイの外とう膜筋附着部の内側に当る部分（Fig. 4, C）の外とう膜を通して，貝殻真珠層と外とう膜外面上皮との間にごく少量（0.02 cc位）を注射した。実験に使用したアコヤガイはすべて真珠を養殖中のものであつたので，同時に真珠袋と形成されつゝある真珠の間にも懸濁液を注射した。注射を行なつた時の水温は 23°C（1961年7月3日）である。注射後1日，2日，7日に外とう膜と真珠袋を固定し，切片を作り観察した。

上記と同様の方法で，海水だけをやゝ多量に注射してみたが，外とう膜，真珠袋共に組織学的変化は全くみられなかつた。

観　　察

注射をされた貝は1日後には外とう膜外面にカーミンによる着色部が観察される。着色部は注射した部位を頂点としてほゞ扇形に周辺部に向かつて拡がつている場合が多く，注

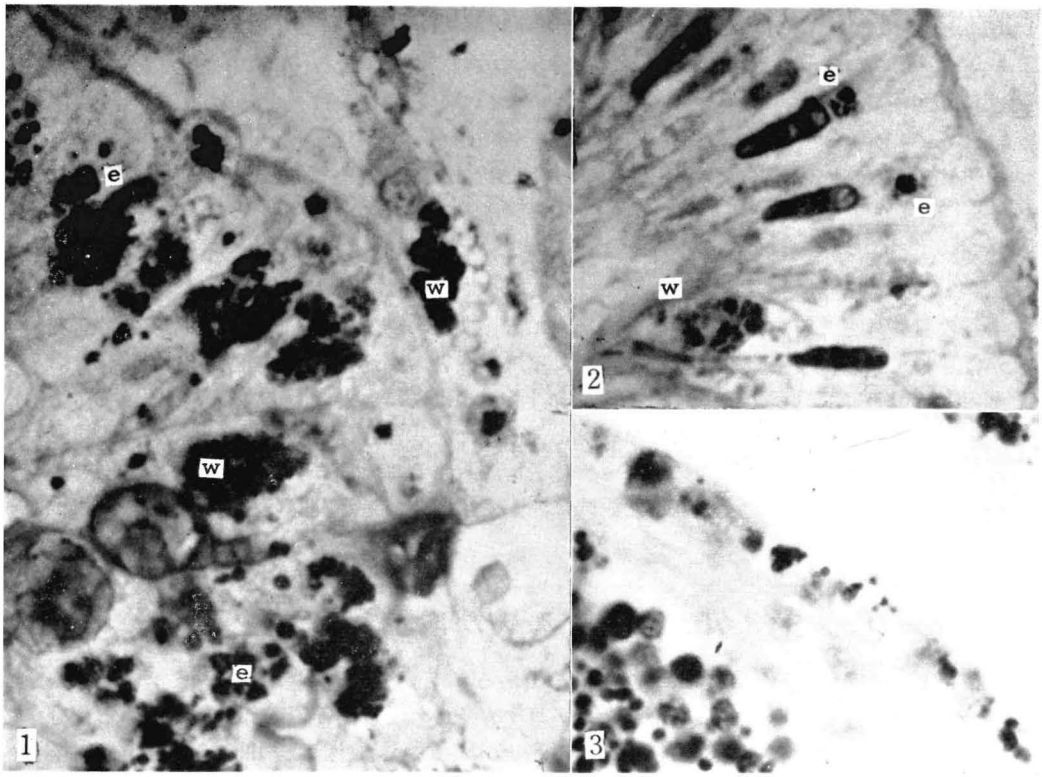
---

* Hiroshi Nakahara. Observations on the ingestion of carmine particles by mantle and pearl-sac epithelium of *Pinctada martensii* (pearl oyster). With English summary, p. 883. Bull. Natl. Pearl Res. Lab. 8: 879-883. 1962.

1) 国立真珠研究所業績 No. 90 （国立真珠研究所報告 8: 879-883. 昭和37年9月）

射した点から内側に着色部のあることはなかつた。2 日，7 日後の貝でも同様であつた。

切片を観察すると，赤く着色された部分では，外とう膜上皮細胞（Fig. 1, 2: e）と粘液中及び上皮細胞間にある遊走細胞中（Fig. 1, 2: w）にカーミン粒子が摂取されている



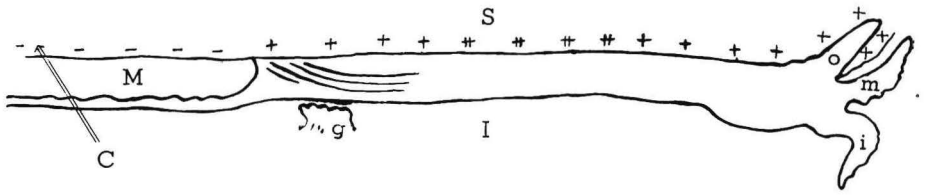
1. Outer epithelium of pallial zone, fixed in 1% OsO_4 (pH 7.4), stained slightly with toluidine blue. 2 days after injection of carmine particles. Showing a number of carmine particles in the epithelial cells and wandering cells. 1000×. e; carmine particles in epithelial cell. w; carmine particles in wandering cell.

2. Outer epithelium of outer fold, prepared with same method of Fig. 1. Less amount of carmin particles are observed in epithelial cells compare with pallial zone (Fig. 1). Carmine particles are clearly locate in the Golgi zone (e). 1000×.

3. Pearl sac epithelium, 1 day after injection into the space between epithlium and pearl, fixed with ethyl alcohol, stained slightly with toluidine blue. Showing the epithelial cells include carmine particles. 1000×.

のが見られる。注射 1 日後には，まだ外とう膜と貝殻の間の粘液中に多少カーミン粒子の残つているのが見られるが，2 日後と 7 日後の材料ではほとんど全部のカーミン粒子が前記の細胞中にとり入れられて居り，粘液中には残つていない。真珠袋の場合も同様であるが，この場合は外とう膜に比べ粘液中及び上皮細胞間の遊走細胞が外とう膜に比べて少ないために，大部分のカーミン粒子は上皮細胞に取り入れられている（Fig. 3）。

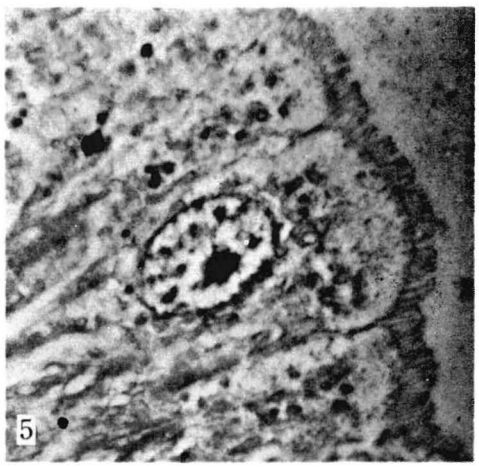
上皮細胞のカーミン摂取量は外とう膜上の位置によつて大きな差がある（Fig. 4）。外



4. Schematic drawing of the mantle. S; shell side of pallial zone. I; inner side. o; outer fold. m; middle fold. i; inner fold. g; gill. M; central area of mantle, filled with mucous cells. C; place where carmine particles injected. +卄; epithelium ingested carmine particles. —; epithelium ingested no carmin particles.

とう膜筋の附着部から内側（Tsujii, 1960. によつて Central area と呼ばれた部分，こゝでは中心域と呼んで置く，他の部分に比べて粘液細胞が異常に多い。中原，1962 参照）では上皮細胞中にほとんどカーミンを見ず，1日後の粘液中，及び粘液中の遊走細胞内にわずかに見られる。

周辺の膜状部（Tsujii によつて pallial zone と呼ばれた部分）は上皮細胞内に最も多くカーミン粒子がとり入れられる（Fig.1)。この部分では，所によつて多少の差はあるが，個々の上皮細胞内には，多くのカーミン粒子が核の附近にほゞ卵円形に集合しているのが見られる。遊走細胞にもまた多量のカーミン粒子が入つており，1日後と2日後には粘液中と上皮細胞間に，7日後では結合組織中の遊走細胞に著しい。



5. Low power electron micrographs of outer epithelial cell of mantle, pallial zone. Showing the microvilli over the surface of cells. 3500×.

外とう膜縁部の外褶の上皮（Fig.2, Fig.4:o）では，膜状部に比べてはるかに少ない量ではあるが，上皮細胞中にカーミン粒子が取り入れられている。この部分には遊走細胞は比較的少ないが，やはりカーミンを摂取している。カーミンの摂取は外褶の内側（殻に接していない面）の上皮にもみとめられ，外側（殻に接した面）の上皮より内側の上皮の方

がやゝ多量のカーミンを取り入れていることもある。殻皮の分泌されている部分から内側，すなわち中褶と内褶には，カーミンの摂取は全くみられない。

カーミンを比較的少なく取り入れている上皮細胞を観察すると，取り入れられたカーミン粒子の大部分は核と表面との中間に集まつている(Fig.2: e) この部分は上皮細胞におけるいわゆるGolgi zoneに相当するところで，鍍オスミウム法によつてもこの部分にGolgi体が検出される（中原 1956)。

考　　察

二枚貝における amoebocyte の喰作用については多くの研究がなされたが，Takatsuki (1934) はカキの amoebocyte について詳しい観察を報告している。彼によれば，外とう腔内の amoebocyte が粒子を摂取して後，鰓等の上皮内に侵入することがある。著者の今回の研究によれば，同様のことが外とう膜外面と貝殻の間でも行なわれていることが明らかになつた。この部分の粘液中にある遊走細胞は粘液中の粒子を摂取して，外とう膜外面の上皮中に侵入するものと思われる。

更に，今回の観察から，外とう膜外面の上皮細胞にも，あきらかに粒子を摂取する機能があることがわかつた。Takatsuki は，外とう腔の諸器官の上皮には吸収作用が見られない，と報告している。しかしそれらの多くは繊毛上皮であり，外とう膜外面上皮とは構造的にも異なつている。著者は外とう膜外面の上皮を超薄切片法によつて観察した結果，その遊離表面に microvilli を有することがわかつた (Fig.5)。時には microvilli の陥入部が細胞質中にかなり深く入り込んでいる場合もある。真珠袋上皮も全く同様の構造を有する。Hawatson and Ham (1957) 等によれば，この microvilli を有する構造は，吸収作用または溶液の移動に関係があると考えられ，哺乳類の小腸にみられるように，粒子や油滴の摂取を行なう場合もある。以上のことから考えて，外とう膜外面上皮や真珠袋上皮も，かなり積極的な吸収を行なつているのではないかと思われる。Weiss (1955) は小腸で吸収された油滴が Golgi zone に集まるのを見ているが，今回の観察と比較して興味深い事実である。

以上述べたような喰作用または吸収作用は，貝殻及び真珠形成と密接な関係があると考えられる。著者（中原 1961, 1962）は真珠袋及び外とう膜における粘液物質の行動を追跡し，それらが真珠層の中に取り入れられるのを観察した。その場合粘液と共に分泌され，真珠層中にとり入れられない余分の水溶性成分，あるいは固形の成分を，上皮細胞及び遊走細胞が吸収，除去するものと想像される。

今回の研究では，中心域に小量注射されたカーミン粒子は周辺部に向かつて流動することが明らかになつた。このことは別報（中原 1962）にも少しふれて置いた。カーミン粒子が外とう膜外褶の先端をまわつて更に殻皮を分泌している所まで到達していることは，外とう膜の中心域で多量に分泌された粘液物質が同時にこゝまで移動していることを示している。このことは，前記の粘液物質が，稜柱層を含めて貝殻全体の形成に関係があることを推測させる。更に今後の研究によつて解明して行きたい。

摘　　要

1) アコヤガイの外とう膜外面上皮と粘液中の遊走細胞は，外とう膜と貝殻真珠層の間

の粘液中に注入されたカーミン粒子を摂取する。真珠袋上皮も同様の現象を示す。

2) 外とう膜外面上皮細胞によるカーミン粒子の摂取は周辺部の膜状部全域と外褶の外面及び内面の上皮におよび，外とう膜筋附着部の内側（中心域）ではほとんど見られない。

3) 外とう膜外面上皮と真珠袋上皮には吸収作用があると考えられ，この働きは真珠層形成に密接な関係があることを予想させる。

Summary

Carmine particles were injected into the space between mantle and shell (Fig. 4C). 1 and 2 days after injection, carmine particles appeared in outer epithelial cells of pallial zone and in outer and inner epithelium of outer (shell) fold. Carmine particles were also ingested by wandering cells which appeared in mucus and in the mantle epithelium (Fig. 1, 2). No carmine particles were observed in epithelium of the central area (Fig. 4). Pearl-sac epithelium also shows ingestion of carmine particles (Fig. 3).

Epithelial cells of mantle and pearl-sac have a striated border consisting of microvilli (Fig. 5).

One of the functions of the epithelial cells demonstrated in this study appears to be the absorption of residual materials which are incorporated in the shell during its formation.

文　　献

Hawatson, A. F. and Ham, A. W. 1957. The fine structure of cells. Canad. Jour. Biochem. Physiol. 35: 549-564.

中原　晧　1956. アコヤガイ外套膜上皮細胞の構造. 動雑 65: 153.

———— 1961. 真珠袋の組織学的研究 Ⅶ. メタクロマジー物質の行動. 国立真珠研報 6: 541—545.

———— 1962. アコヤガイとハボウキガイの外とう膜における粘液物質の行動について. 国立真珠研報 8: 871—878.

Takatsuki, S. 1934. On the nature and function of the amoebocytes of *Ostrea edulis*. Quart. Jour. Micr. Sci. 76: 379-431.

Tsujii, T. 1960. Studies on the mechanism of shell and pearl-formation in Mollusca. Jour. Fac. Fish. Pref. Univ. Mie 5: 1-70.

Weiss, J. M. 1955. The role of Golgi complex in fat absorption as studies with the electron microscope with observations on the cytology of duodenal absorptive cells. Jour. Exptl. Med. 102: 775-782.

真珠袋の組織学的研究

Ⅷ. ピース（外とう膜片）の内面上皮による組織形成*,1)

町　井　　昭

国立真珠研究所

アコヤガイを母貝とした真珠養殖に用いられるピース（外とう膜を小片にしたもの）は外とう膜の外面（貝殻面）及び内面上皮の両面をともにそなえたもので，これが宿主の生殖腺内に核とともにそう入されると，外面上皮細胞はやがて核面と生殖腺の間にひろがり，真珠袋を形成する。この過程はこれまでにかなり詳しく研究されてきたが[1~6]，ピース内面上皮の行動についてはなお不明の点があつた[1,5,6]。青木[2]，Kawakami[3,4]はピース上皮のうち真珠袋を形成するのは外面上皮だけで，内面上皮は退化することを観察している。著者は外とう膜の外面上皮の面及び内面上皮の面のうちどちらか一方だけを含むピースを作り，パラフイン核とともにアコヤガイの生殖腺内にそう入し，それぞれのピース上皮がつくる組織について組織学的観察を行ない，興味ある結果を得たので報告する。

この研究に当り終始指導をいただいた国立真珠研究所前所長高山活夫氏並びに本文の校閲をいただいた三重県立大学辻井禎博士ならびに大阪大学医学部黒田行昭博士に厚く感謝する。

材料と方法

3年ないし4年生アコヤガイ *Pinctada martensii* (Dunker) の生殖腺に直径約5mmのパラフイン核と外とう膜の内面上皮の面だけをメスで切りとつて作つたピースを用いてたま入れを行なつたもの126個体を実験群とし，同様の核と外面上皮の面だけを含むピースを用いてたま入れを行なつたもの104個体を対照群とした。いずれの場合も，ピースの大きさは大きいもので2.5mm角，小さいものは約1.5mm角である。たま入れは，1960年9月14日から21日までの間に行ない，手術のすんだものは，国立真珠研究所多徳島臨海実験所前の海面下2mの層に金網かごに入れてつるした。その後，1日から10日までの毎日と15，20，24日及び35日に手術部位をとり出し，チアチオ液で固定し，パラフイン切片をつくり，ハイデンハイン・鉄ヘマトキシリン-オレンジG染色及びアザン染色をほどこし，それぞれのピース上皮がつくる組織について組織学的観察を行なつた。

* Akira Machii. Studies on the histology of the pearl-sac. VIII. On the formation of epithelium derived from the inner epithelium of the mantle piece. With English summary, p. 890. Bull. Natl. Pearl Res. Lab. 8: 884-890. 1962.

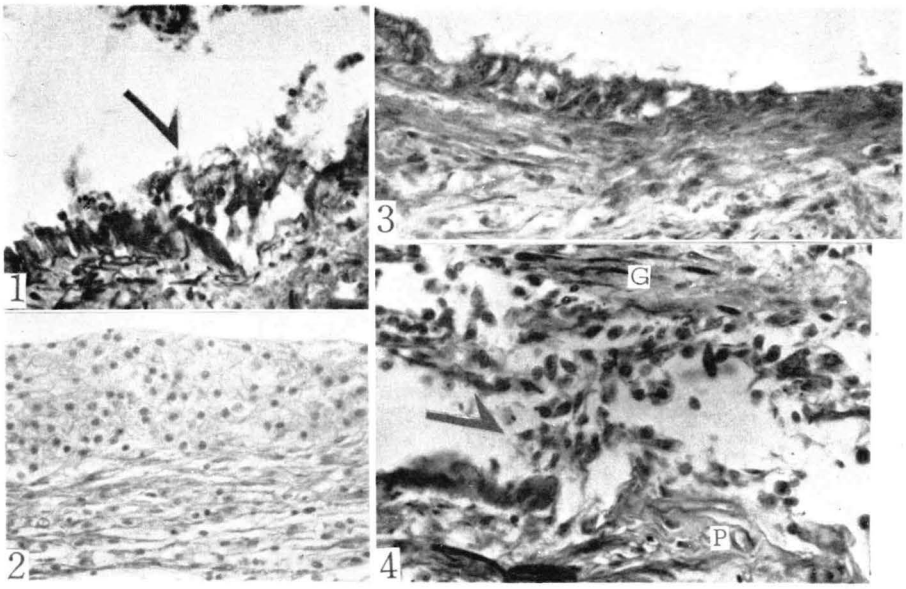
1) 国立真珠研究所業績 No. 91 （国立真珠研究所報告 8: 884-890. 昭和37年9月）

観　　察

Ⅰ　実験群

手術後におけるピース上皮ならびにパラフィン核の周囲をとりまく組織の変化する過程を次のように分けた[5]。

1)　ピースの概形は著しい変化がみられない：　この状態はたま入れ直後から1日くらいの間にみられた。そう入されたパラフィン核に直接接している宿主の生殖腺組織の管状の腺小葉は非常に圧平されている。ピースは核面の一部に，内面上皮の面を核面にむけて附着し，宿主の組織との間にはさまれている。ピースの外面上皮は切りとられたためなくなつており，その筋肉は宿主の生殖腺組織に直接接している。内面上皮細胞も，かなりはげ落ちているものもあるが，残つているものは多くは外とう膜における状態とあまり異ならない。しかし変化の早く現われた一部の上皮細胞では，厚みを増して不規則な形態となつているのが認められた（第1図）。



第1図．核入れ後1日のピース内面上皮．↘：不規則な形態になつた上皮細胞．ハイデンハイン鉄ヘマトキシリン・オレンジG染色．

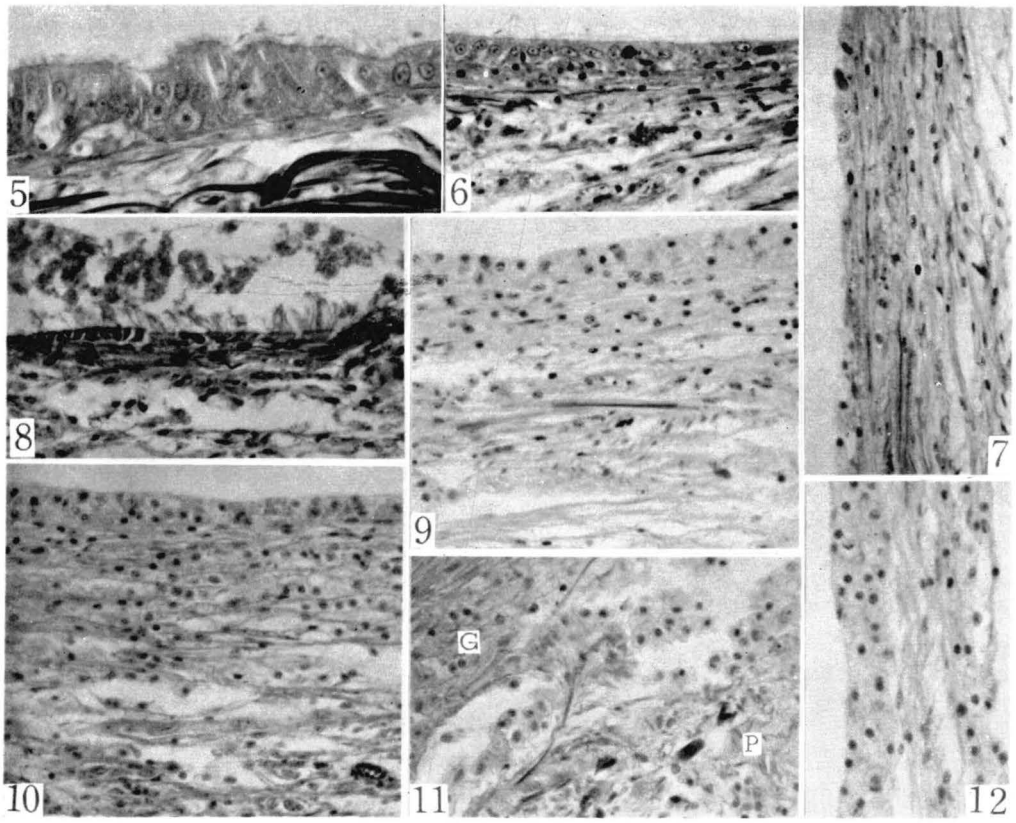
第2図．核面を厚くとりまいた遊走細胞の集まり．ここにみられる遊走細胞は，仮足をもつて互いにむすびついている．また宿主の生殖腺組織ともよく結びついている．核入れ後14日．アザン染色．

第3図．ピースにつづく位置に形成されつつある上皮組織．核入れ後2日．ハイデンハイン鉄ヘマトキシリン・オレンジG染色．

第4図．ピースと宿主の生殖腺の間の状態．↘：細い仮足をもつた遊走細胞．この仮足中にアザン染色で青く染まる細い部分がみられる．P：ピース，G：宿主の生殖腺．核入れ後7日．アザン染色．1～4いずれも　×400

2)　ピース上皮及び周囲の生殖腺組織に変化が認められ，ピース上皮細胞は不規則なアメーバ状となり，核面をおおうようにひろがる：主としてたま入れ後，2～6日に見ら

れた状態である。ピース上皮は厚みを増して円柱状となる。そして基底膜から離れてアメーバ状となつた上皮細胞がピースの近辺にしばしば認められた。ある材料においては，たま入れ後2日に，ピースに続く部位に繊毛を有する不規則な形態の上皮細胞が観察された(第3図)。また，ピースとその周囲の宿主生殖腺組織との間には，アメーバ状の遊走細胞がみられ，これら細胞の仮足が両者の間を結びつけているのが観察された。たま入れ後7日の個体において，この仮足の一部はアザン染色によつて青く染まるのが認められた（第4図)。一方ピースから離れた部位では，核面は宿主の生殖腺組織に直接包まれている部分が多かつたが，たま入れ後4ないし6日を経過した材料において，ピースの上皮がひろがつてない部分の核面が網目状に集まつた遊走細胞によつておおわれているのが観察され



第5～8図．ピースの内面上皮により形成されれ上皮組織．5：繊毛を有する円柱上皮．核入れ後20日．アザン染色．　6：繊毛を有するへん平上皮．核入れ後20日．ハイデンハイン鉄ヘマトキシリン・オレンジG染色．7：へん平でやや不規則な形態の細胞からなる上皮．核入れ後20日．ハイデンハイン鉄ヘマトキシリン・オレンジG染色．

第9図．多数の遊走細胞によつて形成された厚い層．核入れ後20日．アザン染色．

第10図．遊走細胞によつて形成された厚い層．核面に接する部位はへん平上皮とまちがえやすい．核入れ後24日．ハイデンハイン鉄ヘマトキシリン・オレンジG染色．

第11図．ピースと宿主の生殖腺組織の結びつき．核入れ後15日．P：ピース，G：生殖腺．アザン染色．

第12図．核入れ後35日の状態．核面は遊走細胞によつてかこまれている．ハイデンハイン鉄ヘマトキシリン・オレンジG染色．　第5～12図いずれも　×400

た。多くの個体では，これら遊走細胞のうちそう入された核面より離れた部位にあるもの，すなわち宿主生殖腺組織に直接接するもの及びこれに続く部位にあるものの仮足の一部はアザン染色で青く染まるのが認められた。手術後7～14日のものでは，そう入された核面近くに位置する遊走細胞においても，仮足はアザン染色によつて青く染まるのが観察された（第2図）。

3) ピース内面上皮細胞によつて真珠袋様の上皮組織が形成される：たま入れ後，7ないし15日にこの状態が認められた。そう入された核面をおおうように形成された内面上皮細胞に由来する真珠袋様上皮は，同一材料の中においても，円柱上皮，不規則な形態をした細胞からなる上皮，へん平上皮等種々の異なる形態の上皮がみられたが，これらはいずれも細胞の遊離縁に繊毛が認められた。核は細胞のほぼ中央にあり，明りような1個の仁をもつている。細胞質果粒はあまり多くないが，オレンジGに染まる小果粒が若干認められる。上皮下にはアザン染色で青く染まる結合組織があり，これが宿主の組織とむすびついている（第5～8図）。核そう入後相当の日数を経過したもの，たとえば10～20日後のものでも，上皮は核面の一部をおおうにとどまつているものが認められた。この場合上皮組織におおわれてない部分では，核面は遊走細胞によつて占められる。この遊走細胞は幾重にも重なり断面は網目状に観察される。核面に直接接するものでは，細胞は石垣を積んだように規則正しく並んでおり，一見したところ，へん平上皮と似ている（第9図）。しかしこれらの細胞においては，仮足の一部がアザン染色で青く染まること，仁は上皮細胞のそれの様にはつきりしない等の点から両者の区別をつけることができる（第6，7，9，10図）。ピースの概形ははつきり残つているが，ピースと宿主組織との間にはアザン染色で青く染まるかなり太い繊維が観察された（第11図）。

4) 外とう膜内面上皮に由来する上皮組織は退化する：たま入れ後25日及び35日を経過した材料では，いずれもピース内面上皮に由来すると思われる上皮組織は認められなかつた。また，これら材料においては真珠成分の沈着は全く認められなかつた。そう入された核は遊走細胞によつて幾重にもとりまかれており，これらの断面は網目状あるいは石垣を積んだように観察された（第12図）。

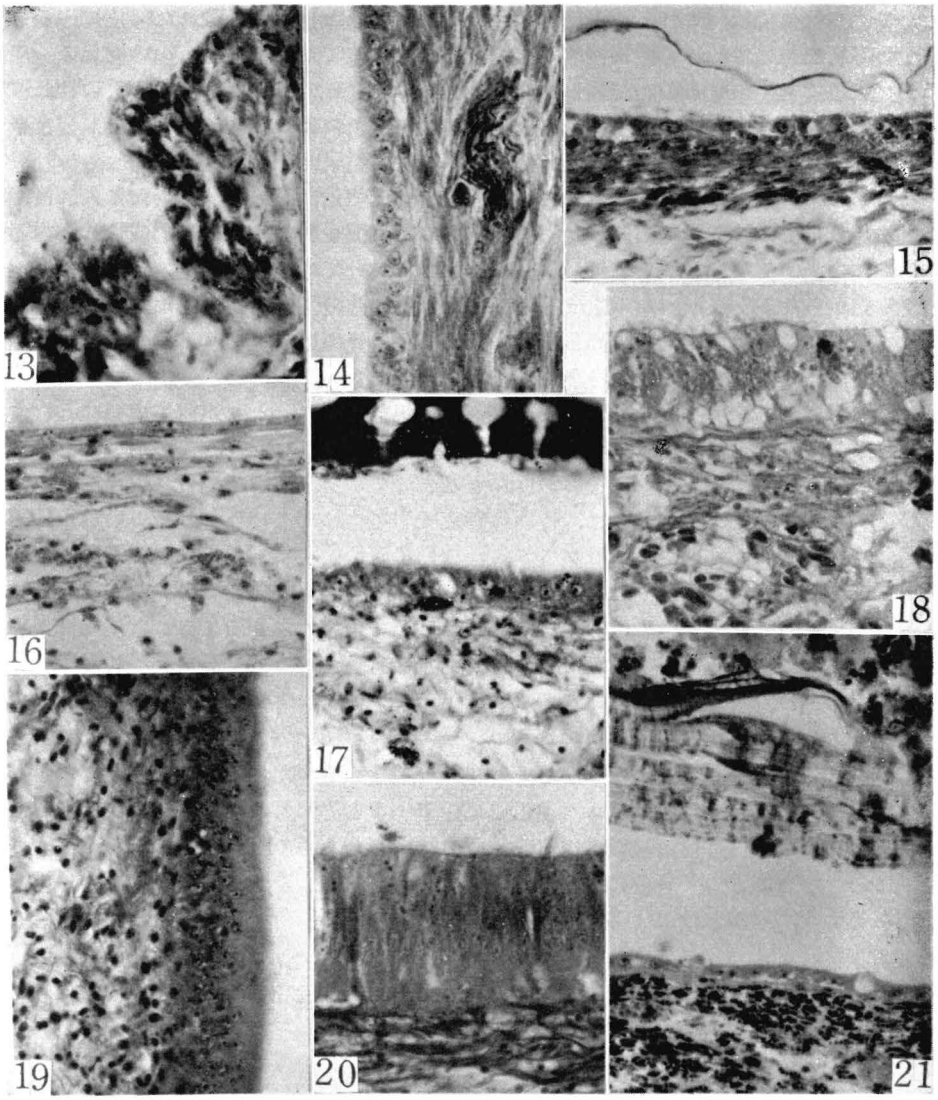
II　対照群

手術後ピース及びその周囲の生殖腺組織にみられる像の変化は町井・中原[5]の分け方に従つた。

1) ピースは弱拡大下では著しい変化がみられない：そう入された核の周囲をとりまく宿主の組織の状態は実験群の場合とかわりがない。核面の一部には外面上皮の面をパラフィン核に向けてそう入されたピースがみられる。この時期はごく短かく1日くらいであると推定され，6個体のうち3個体は1日後にはピースの上皮細胞は形態がかわり（第13図），基底部から離れているものもみられた。

2) ピースの上皮組織並びに結合組織に変化がおこり，ピースの断面の概形はみかづき形を呈する：3～10日にみられる状態で核面には遊走細胞が多数みられ，部位によつては宿主の生殖腺組織が直接核をとりかこんでいる。ピースの上皮細胞は非常にすみやかに核面をとりまくようにひろがり，早いものでは5日後にはピースから離れた部位に部分的ではあるが上皮細胞の排列しているのがみられた（第14図）。

3) 真珠袋上皮細胞は完全に核をとりまく：最も早いもので5日，おそいものは15日



第13図．形態に変化が現われはじめたピースの外面上皮．核入れ後1日．ハイデンハイン鉄ヘマトキシリン・オレンジG染色．

第14図．形成されつつある真珠袋上皮．上皮細胞の排列はやや不規則である．核入れ後5日．アザン染色．

第15図．形成されて間もない真珠袋と殻皮．核入れ後5日．ハイデンハイン鉄ヘマトキシリン・オレンジG染色．

第16～20図．いろいろの形態をした真珠袋上皮． 16：へん平上皮．核入れ後15日．ハイデンハイン鉄ヘマトキシリン・オレンジG染色． 17：円柱上皮．核入れ後15日．ハイデンハイン鉄ヘマトキシリン・オレンジG染色． 18：胞状の細胞を含む上皮．核入れ後15日．アザン染色． 19：不規則な形態をした円柱上皮．核入れ後20日．ハイデンハイン鉄ヘマトキシリン・オレンジG染色． 20：著しく厚みのある円柱上皮．アザン染色．

第21図．手術後35日の状態．厚く沈着した殻皮，りょう柱層，真珠層がみられる．ハイデンハイン鉄ヘマトキシリン・オレンジG染色．第13～21図いずれも ×400

を要してこの時期に達したが大体10日くらいを要するものと思われる。形成されて間もない真珠袋では，同一真珠袋内でも部位によつて上皮の形態の異なることが多い。それら上皮の形態にはへん平上皮，円柱上皮，胞状の細胞を含む上皮等があり，時にはこれらのすべてが同一真珠袋内にみられることがある。通常ピースのあつた部位の上皮は円柱上皮になつており，それから離れるに従つてへん平化することが多い。細胞質中には一般にアザン染色で赤く染まる大きい果粒，オレンジに染まる微細な果粒がかなり認められ，円柱上皮細胞ではこれらの果粒を特に多く含んでいるものがある。はつきりした仁をもつた核は円柱上皮細胞ではその中央部よりもやや基底部にかたよつてあり，へん平上皮細胞ではほぼ中央にある（第16～20図）。

4) 核面に沈着物がみられる：大体10日以後のものにみられる状態であるが，早いものでは核入れ後5日にすでに若干の殻皮層が核面に沈着していた（第15図）。核面に沈着されるものには殻皮層，稜柱層，真珠層等があり，これらの沈着状態は通常のピース（外とう膜の内外両面の上皮を含む）を用いて核入れを行なつた場合[1~7]と何等異なる点はない（第21図）。

考　　察

今回の実験によると，外とう膜の外面上皮の面だけを含むピースを使つて核入れを行なつた場合はやがて真珠袋が形成された。それらはへん平なものから著しく厚みのある円柱上皮に至るまで種々の形態のものがみられた（第14～21図）。また真珠層，稜柱層，有機質等の沈着もみられた点から，このような真珠袋も通常のピース（外とう膜の内，外両面の上皮をもつ）によつて形成される真珠袋と全く同一の形態及び機能をもつものであることがわかる。内面上皮だけを含むピースからも円柱上皮，へん平上皮等が形成されたが，それらはいずれも細胞の遊離縁に繊毛が認められた。またこれらの上皮に由来すると思われる沈着物が全く認められなかつたということは，内面上皮によつて形成される上皮組織は外面上皮に由来する真珠袋とは異なる形態及び機能をもつことを示している。青木[2]，Kawakami[3, 4] の述べているように通常のピースを使つて核入れを行なつた場合，真珠袋を形成し真珠層等を分泌する機能をもつているのはピースの外面上皮だけであることが今回の観察により確かめられた。内面上皮も以上に述べたように，生殖腺中において，真珠袋に似た上皮組織を形成する性質をもつているが，外とう膜の内外両面の上皮をもつたピースを使つて行なわれる通常の核入れにおいては，外面上皮の真珠袋形成力が強いため内面上皮は核入れ後比較的早期に退化消失する運命をたどるものと思われる。また内面上皮の面だけを含むピースを移植した場合，上皮組織は1カ月前後を経過した材料では全く認められなかつた。この事実はピース（外とう膜）の外面上皮は真珠袋を形成し真珠層等を沈着するという積極的な機能をもつのに反し，内面上皮は生殖腺の中では退化的傾向があるという相反する性質をもつていることは興味深い。

要　　約

アコヤガイの外とう膜片を内面上皮だけを含む面と外面上皮だけを含む面にわけ，これらをピースとして核入れ手術を行ない，それぞれのピースが形成する組織について組織学

的観察を行なつた。

外面上皮の面だけを含むピースからは通常の真珠袋と全く同じ形態及び機能をもつ真珠袋が形成され，真珠層，稜柱層，殻皮等の沈着のおこるのが認められた。内面上皮の面だけを含むピースからも繊毛をもつた細胞によつて構成される上皮組織が形成されたが，それらは真珠層等の沈着をおこす能力をもたず，1カ月前後を経過した材料では全く認めることができなかつた。通常のピース（外とう膜の内外両面の上皮を含む）を用いて核入れを行なつた場合，真珠袋を形成するのは外面上皮だけで，他は退化することを確かめた。

Summary

The present report is concerned with the formation of the pearl-sac and an epithelium similar to the pearl-sac derived from the mantle piece containing only outer or inner epithelium of the mantle.

On one day after operation, the grafted mantle piece containing only outer epithelium began to show a tendency of forming an epithelium having as same character as the ordinary pearl-sac tissue. On 7 to 10 days after operation, completed pearl-sac were seen in the majority of specimens, and the deposition of the secretion products appeared on the surface of the inserted nucleus.

On the other hand, the inner epithelium also had the faculty to produce an epithelium similar in shape to the pearl-sac but different in nature. And following interesting cases were seen in such an epithelium: No secretive activity was found on the epithelium derived from the inner epithelium of the mantle piece, and this epithelium seems to have a tendency of degeneration about a month after the nuclear insertion.

文　　献

1) 青木　駿　1956．真珠袋形成に関する研究．特に秋と初冬に作業を行つた場合について．国立真珠研報：41—46.

2) ———— 1959．真珠養殖における挿核施術に関する研究Ⅲ．外套膜縁，外套縁膜，外套腔各部よりそれぞれ切り取られたピースを用いて施術を行なつた場合について．国立真珠研報 5：503—515.

3) Kawakami, I. K. 1952. Studies on pearl-sac formation. I. On the regeneration and transplantation of the mantle piece on pearl oyster. Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Ser. E (Biol.), 1: 83-88.

4) ———— 1953. Studies on pearl-sac formation. II. The effect of water temperature and freshness of transplant on pearl-sac formation. Ann. Zool. Jap. 26: 217-223.

5) 町井　昭・中原　晧　1957．真珠袋の組織学的研究Ⅱ．季節による真珠袋形成速度の差異．国立真珠研報 2：107—112.

6) 村上菊太郎・石橋宣彦・藤田朝夫・梶上邦武・荒木文雄　1956．真珠形成に関する組織学的研究Ⅰ．広島県水試報17 (1) 1—9.

7) 中原　晧・町井　昭　1956．真珠袋の組織学的研究Ⅰ．異常真珠と正常真珠の真珠袋の比較．国立真珠研報 1：10—13.

アコヤガイ軟体部組織の比重について*,1)

植本東彦・辻井　禎

国立真珠研究所　　三重県立大学水産学部

アコヤガイによる真珠養殖に際して，貝の生理的状態を適確に判断でき，且つそれを同一の基準をもつて表現できるならば，挿核手術前後及び真珠養成過程における貝の健康管理の上で，極めて好都合なことである。

このことに関し，古くは，カキの杆晶体の形態の変化と有無によつて，健康状態を判断し得るという Orton の報告がある。最近では，太田[4]がアコヤガイの杆晶体の長さの季節的変化を観察し，更に太田[5]，蓮尾[1,2]は養殖上の処理方法によるその一時的な変化を観察している。植本[8,9,10]は鰓の色調と生理的機能との関係，閉殻筋力及び杆晶体重量の変化と養殖上の処理方法との関係等を追及し，貝の生理的状態の把握を試みた。

Opie[6]は，硫酸銅法による血液の比重の測定及びその臨床的応用が実用化されているので，これを組織比重の測定に応用し，腎をはじめ各種の器官の組織比重を測定し，その病理的変化と比較した。柴谷・直良及び辻井[7]は，ラッテの肝細胞の autolysis を観察したとき，肝組織を摘出後30分でその比重に変化が認められたが，顕微鏡的にはその微細構造に何んらの変化も認められなかつたと報じた。Mori et al.[3]は Butter yellow 投与によるラッテ肝癌発生時に，顕微鏡的変化に先行する比重の低下を，硫酸銅法によつて認め，その変化が前癌状態に伴なうものであると報じた。

筆者らは，この硫酸銅法を用いてアコヤガイ各組織の比重を測り，生理状態との関連を追及したので，その概要を報告する。

報告に先立ち，研究及び報告の機会を与えられた前国立真珠研究所長高山活夫氏並びに国立真珠研究所長太田繁氏に感謝の意を表する。また，実験動物の一部を御提供いたゞいた三重県志摩町布施田　田辺時生氏に厚く謝意を表する。

材料及び方法

本実験は昭和33年5月から34年3月の間に実施した。実験には次のような種々の状態にあるアコヤガイを使用した。A）海女によつて採取された自棲貝。養殖貝であつて挿核手術のために術前の生理的抑制処理（仕立作業）を行なつた群について，生殖腺を肉眼的に観察し，B）生殖細胞が充満し挿核手術に不適当な貝，C）生殖細胞が放出されて少なく

---

* Haruhiko Uemoto and Tadashi Tsujii. Preliminary note on the specific gravity of organs in the various conditions of pearl oyster. With English summary, p. 894. Bull. Natl. Pearl Res. Lab. 8: 891-895. 1962.

1)　国立真珠研究所業績 No. 92（国立真珠研究所報告 8: 891—895. 昭和37年9月）

手術に適する貝，D）生殖細胞は放出され尽し生殖腺が縮小していて挿核に不適当な貝。E）養殖貝であつて避寒せずに英虞湾内で越冬した貝。各群について15～30個体を用いた。

比重の測定には，血清蛋白量を測る方法として用いられている硫酸銅法[11]を応用し，血清の場合より高濃度の溶液を連続的に調整した。測定方法は，アコヤガイの外套膜の膜縁部並びに縁膜部，鰓，閉殻筋，生殖腺，足及び中腸腺を眼科用ハサミで切出し，沪紙上で附着した血液，海水及び粘液をできるだけ除き，安全剃刃で米粒の半分程度の大きさにした後に，ピンセットで硫酸銅溶液中に投下し，組織片の浮沈を観察，組織片が液層の中央部に停止した場合の，その溶液の比重をもつて組織比重とした。血液の比重は，直接心室から注射器によつて採血し，液面に滴下する方法で測定した。

この方法によつて得た各部位の平均値の差を，F分布により検定した。

結果並びに考察

前述のように状態を異にする5群のアコヤガイの各組織の比重は，表1のようであつた。すなわち，各組織の比重は，その組織によつて異なること，更に貝の健康状態によつて比

Table 1.

	A	B	C	D	E
Marginal zone of mantle	1.0640	1.0661	1.0645	1.0675	1.0540
Pallial zone of mantle	1.0636	1.0732	1.0685	1.0700	1.0638
Blood	1.0228	1.0232	1.0234	1.0230	1.0245
Gill	1.0546	1.0525	1.0516	1.0534	1.0468
Adductor muscle	1.0793	1.0786	1.0754	1.0778	1.0806
Gonad	1.0817	1.0825	1.0782	1.0708	1.0793
Foot	1.0793	1.0793	1.0785	1.0812	1.0788
Mid-gut-gland	1.0794	1.0928	1.0855	1.0750	—

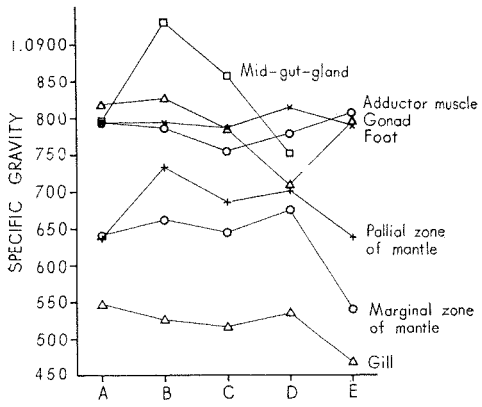


Table 1 and Fig. 1. The average values of specific gravity of organs in the various conditions of pearl oyster. A; Native pearl oyster. B; The pearl oyster is not suited for insertion operation, as the germ cell is filled in its gonad. C; The pearl oyster is suited for operation. D; The pearl oyster is not suited for operation, as the gonad becomes to narrow for insertion of nucleus after spawning. E; Enervated pearl oyster.

重に変化を生ずる組織があることがわかつた。

まず，挿核手術前の抑制処理を行なつた養殖貝3群（B，C，D）の測定結果では，挿核手術に適すると判断された貝（C）における，外套膜々縁部並びに縁膜部，鰓及び閉殻筋等の比重は，他の2群にくらべ最も低い値を示している。一方この挿核手術に不適当とされた2群（B，D）は大差のない値を示した。このことは産卵行為における疲弊と何んらかの関係を持つと考えられる。生殖腺の比重は，生殖細胞の多寡と比例的な関係を持ち，生殖細胞が多い程，比重も高い値を示した。中腸腺も同様の傾向を示したが，その理由は明らかでない。

次に養殖貝であつて湾内に越冬した群（E）における各組織の測定値は，外套膜々縁部並びに縁膜部及び鰓において，前述養殖貝3群にくらべて低く，閉殻筋，生殖腺及び足部の比重では大差のない値を示した。血液の比重は高かつた。また，自棲貝（A）の組織比重は，外套膜々縁部並びに縁膜部，血液，中腸腺において養殖貝より低い値を示し，鰓では高く，閉殻筋，生殖腺及び足では大差がなかつた。

以上の結果をF分布によつて，各群各組織間の有意性を検定した結果，表2を得た。これらの結果を総合すると，各群間に有意の差がみられた組織は，外套膜々縁部並びに縁膜部，鰓，生殖腺及び中腸腺であり，血液，閉殻筋，足では差がみられなかつた。

各組織についてその傾向をみると，外套膜では，自棲貝あるいは越冬貝にくらべ養殖貝3群の比重が高い。鰓では自棲貝，養殖貝3群及び越冬貝の順に比重が低い。中腸腺では各群間にかなりの差があり，養殖貝3群中B群が最も比重が高く，D群が最も低く，自棲貝は中間の値であつた。これは恐らく貝の生理的状態と平行した関係にあるのではないか

Table 2. Results of the significance test for difference in mean by the F-distribution. *; 5% level of significance. **; 1% level of significance.

Marginal zone of mantle

	A	B	C	D	E
A		*	—	**	**
B	*		*	—	**
C	—	*		**	**
D	**	—	**		**
E	**	**	**	**	

Adductor muscle

	A	B	C	D	E
A		—	—	—	—
B	—		*	—	—
C	—	*		—	—
D	—	—	—		—
E	—	—	—	—	

Pallial zone of mantle

	A	B	C	D	E
A		**	**	—	—
B	**		**	—	**
C	**	**		—	**
D	—	—	—		**
E	—	**	**	**	

Gonad

	A	B	C	D	E
A		—	*	**	—
B	—		*	**	—
C	*	*		**	—
D	**	**	**		**
E	—	—	—	**	

Blood

	A	B	C	D	E
A		—	*	—	*
B	—		—	—	*
C	*	—		—	—
D	—	—	—		—
E	*	*	—	—	

Foot

	A	B	C	D	E
A		—	**	—	—
B	—		—	—	—
C	**	—		—	—
D	—	—	—		—
E	—	—	—	—	

Gill

	A	B	C	D	E
A		**	**	**	**
B	**		*	—	**
C	**	*		—	**
D	**	—	—		**
E	**	**	**	**	

Mid-gut-gland

	A	B	C	D	E
A		**	**	**	
B	**		**	**	
C	**	**		**	
D	**	**	**		
E					

と考えられた。生殖腺は，その発達程度によつて比重が変つてくると思われるので，全身的な生活機能を推定するための基準にはなりがたいであろう。

すなわち，外套膜，中腸腺は生理状態が良好である程，これらの組織比重が高くなる傾向を持ち，特に中腸腺は生殖腺の発達状況とも関連を持つと思われた。鰓の比重は他の組織にくらべ環境条件の影響を受けて変化しやすいと考えられる。以上の組織比重の測定結果から推定すると，養殖貝3群，自棲貝，避寒しなかつた群の順に生理状態が低いと考えられる。

組織の比重を変化させる要因は，各組織によつて異なると考えられ，更にそのメカニズムは複雑なものであると思われる。従つて，本実験には更に生化学的並びに組織及び組織化学的研究の裏付けを必要とするものであるが，今回はそれらの要因に触れずに測定のみを行なつた。しかし，各組織の比重の動向に関し，全身的な生理状態との関係を更に明確にするためには，その季節的変化，環境条件の測定，他の生理的指標との比較を必要としている。

要　　約

1) アコヤガイの生理状態を，組織の比重によつて推定しようと試みた。

2) 組織比重の測定は硫酸銅法によつた。

3) 器官によつて組織比重を異にすること，同一器官であつても個体の生理状態によつて，組織比重に変化を生ずる器官があることが認められた。

4) 生理状態によつて組織比重が比較的大きく変化すると考えられた器官は，外套膜(膜縁部及び縁膜部)，鰓，生殖腺及び中腸腺であつた。変化の傾向は，一般に生理状態の低下と共に組織比重も低下すると考えられるが，鰓の比重は環境条件により多く支配され，生殖腺の比重はその発達の程度に支配されると考えられた。

5) 比較的変化の少ない器官は，閉殻筋，足及び血液であつた。

6) 器官の組織比重を変化させる要因には触れなかつたが，その追及が必要であり，更に生理状態と組織比重の関係を明らかにするために季節的変化の観察，環境条件及び他の生理的指標との関係を明確にする必要がある。

Summary

In order to identify the physiological conditions of the pearl oyster, the authors were used the specific gravity of the organs of the pearl oyster.

In this paper, it is reported that the specific gravity of gill, mid-gut-gland, marginal zone of mantle and gonad are changed in the various conditions of pearl oyster.

For the determination of the specific gravity copper sulphate method was used. The shell of pearl oyster was opened and very small slices, just half the size of rice grain were cut from the gill, marginal zone of mantle, pallial zone of mantle, adductor muscle, gonad, foot and mid-gut-gland. Blood is sucked up by small injector from the heart. And then blood or each slice was inserted below the surface of the solutions with graded specific gravity from 1.022 to 1.095. The specific gravity of the tissue slice was estimated by the point where it became suspended in the middle layer of a solution of which specific gravity is already calculated by the standardized hydrometer.

As may be seen from Table 1, which shows the results of this experiment, there was a gradual change of the average specific gravity of the organs in the various conditions. The various physiological conditions are as follows. A; Native pearl oyster which collected under near the Marine Biological Station attached to the National Pearl Research Lab.. B; The pearl oyster is not suited for insertion operation, as the germ cell is filled in its gonad. C; The pearl oyster is suited for operation. D; After spawning, the gonad becomes to narrow to insertion of nucleus. This group of pearl oyster, also, is not suited for operation. E; Enervated pearl oyster.

Fig. 1 shows the average changes in the specific gravity of organs during the course of the artificial spawning treatments or enervation.

As the method of determination of the specific gravity is so simple and does not take much time in the procedure we expect to carry out an extensive experiment in this direction.

文　　献

1) 蓮尾真澄　1959.「卵抜き」とアコヤガイの疲弊について．真珠研究会伊勢部会々報 3 (9) 10—16.
2) ———— 1961. 母貝・ピース貝の健康状態が真珠の品質に及ぼす影響について．国立真珠研報 6: 663—669.
3) Mori, Kazuo and Seiko Momoki. 1950. Preliminary note on the specific gravity of liver during the course of liver cancer production by butter yellow feeding. Gann. 41: 57-60.
4) 太田　繁　1958. アコヤガイの食性に関する研究Ⅰ．国立真珠研報 4: 315—317.
5) ———— 1958. 施術後の「静養」期間についての一つの考え方．真珠研究会伊勢部会々報 8: 19—21.
6) Opie, E. L. 1948. An osmotic system within the cytoplasm of cells. Jour. Exp. Med. 87: 425-443.
7) 柴谷篤弘・直良博人・辻井禎　未発表
8) 植本東彦　1959. アコヤガイの鰓の色調について．国立真珠研報 5: 418—423.
9) ———— 1961. アコヤガイの挿核手術に関する生理学的研究Ⅰ—Ⅲ．同前 6: 619—635.
10) ———— 1962. アコヤガイの挿核手術に関する生理学的研究Ⅳ．同前 8: 896—903.
11) 吉川春寿　1947. 硫酸銅法．学術書院．東京．

アコヤガイの挿核手術に関する生理学的研究

Ⅳ. 術後の養生について*,1)

植　本　東　彦

国立真珠研究所

アコヤガイによる真珠養殖に際し，その挿核手術後に行なわれる作業に，「養生」あるいは「静養」と称する作業がある。これは挿核手術後の貝に環境条件の変動や物理的な動揺を与えないようにして，脱核を防止する事を主たる目的としてなされてきたものである。

この養生について現在まで行なわれた研究は，主としてその方法・期間との関係における脱核・斃死の多寡[4]，真珠袋の形成日数[1,7]や生理状態の回復状況と養生期間との関係[8,9]などに重点がおかれてきたのであるが，養生本来の意義・目的に関してなされた研究はない。

挿核手術前に行なわれる仕立の本質について筆者は，仕立による生活機能の抑制行為が手術侵襲に対する生体反応の過剰な発生を阻止し，従つて術後のショックを防止し，予後の経過を順調ならしめる働きを有し，良質な真珠層真珠の形成を行なわしめることを見出し，この抑制行為は手術に際しての健康管理として重要な意義を持つばかりでなく，同時に品質管理としても重大な役割を果している，と述べた[11]。養生に関しても同様の見地からの研究を行ない，仕立との関連性を追及する事を含めて養生の意義・目的を明らかにし，それによつて技術の改良についての基本的な方向を求めねばならない。筆者はこれについて実験を行ない，一応の見解を得たのでその概要を報告する。

稿を草するに当り，研究の機会を与えられ，更に御助言を賜わつた前国立真珠研究所長高山活夫氏並びに国立真珠研究所長太田繁氏，御協力をいたゞいた同所清水進平技官及び前田多代子氏に感謝の意を表する。

材料及び方法

実験は昭和36年5月26日から同年11月29日まで，当研究所多徳島臨海実験所で行なわれ

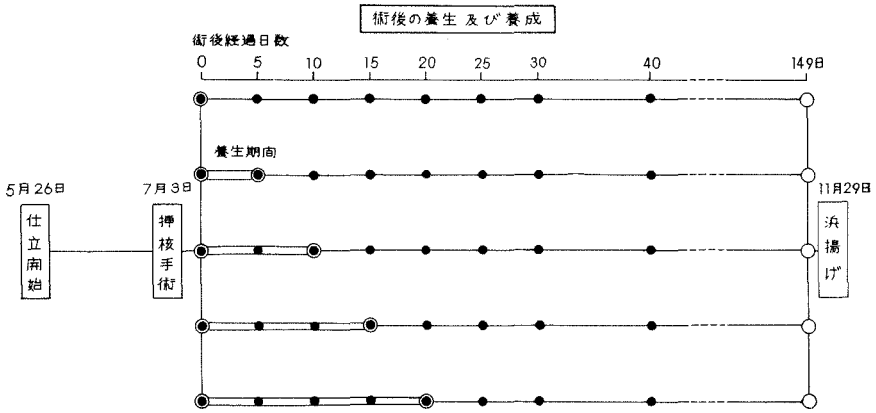
---

* Haruhiko Uemoto. Physiological studies on the nuclear insertion operation of pearl oyster IV. On the control of physiological condition after the operation. With English summary, p. 903. Bull. Natl. Pearl Res. Lab. 8:896-903. 1962.

1) 国立真珠研究所業績 No. 93. (国立真珠研究所報告 8: 896-903. 昭和37年9月)

た。3年生アコヤガイを仕立て，直径4.5mmのパラフイン核を挿入し，30個宛金網籠に収容，養生期間 0, 5, 10, 15, 20日の5群にわけて，養生期間0日群は直ちに沖の筏に垂下，その他の4群は接岸した棧橋筏の底層に垂下し，養生期間経過後に順次沖の筏に垂下した。

この5群について挿核手術後 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40日目に各群20個体宛採取し，閉殻筋力及び杆晶体重量などの測定を行なつた（第1図参照）。残余の貝について11月29日に採取し（1群160個体），真珠の品質の検定を行なつた。



第1図．実験過程図．

：試料採取，◉——◉：養生期間

実　験　結　果

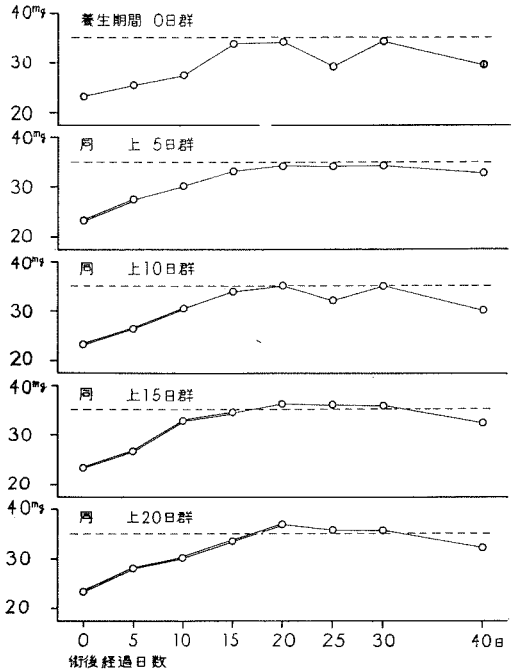
(1)　杆晶体重量の変化

実験過程での杆晶体重量の変化は，平均値をもつて第2図に示した。全体としての傾向は，術後20日まで上昇し，平衡状態となり，40日目に減少している。この低下は高水温によつてもたらされたものである。

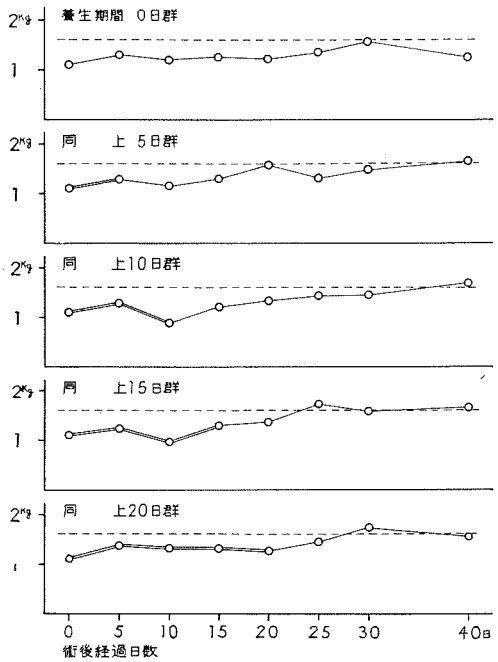
各群別に，無処理対照群の平均値を基準としてみると，養生期間 0, 5, 10日群は術後20日目でこの水準まで達せず，20日目以後40日目までの変動が目立ち，40日目の低下の傾向も大きい。特に0日群の変化が大きい。15, 20日群では20日目に正常値に回復し，以後平衡状態となり，40日目には前群同様に減少しているが，その程度が少なかつた。

(2)　閉殻筋力の変化

閉殻筋 1g 当りの力の変化について，平均値をもつて第3図に示した。全体としては，術後25日以降に正常値に復する。各群別に無処理対照群の平均値を基準にしてみると，養生期間15, 20日群は術後25～30日目に回復しているが，他群ではやゝ遅れ術後30日以降であり，0日群では術後40日間で充分な回復をしていない。



第2図　挿核手術後の杆晶体重量の変化.
═○═: 養生期間, ---- 対照群



第3図　挿核手術後の閉殻筋 1g 当りの力の変化.
═○═: 養生期間, ---- 対照群

(3) 斃死率及び真珠の歩留

挿核手術後，浜揚げまでの間の斃死率及び歩留は第1表の通りであつた。検定の結果では夫々5群間に有意の差が認められなかつた（第3表）。

第1表．養生期間による斃死率及び歩留の相違

養生期間	手術貝数	採取貝数	斃死貝数	斃死率	採取真珠数	手術量に対する歩留
0 日	160 個	156 個	4 個	2.5 %	135	84.3 %
5 日	160	156	4	2.5	132	82.5
10 日	160	153	7	4.4	142	88.9
15 日	160	151	9	5.6	138	86.3
20 日	160	154	6	3.8	147	91.9

(4) 真珠の品質

手術にはパラフイン核を使用したので，初期分泌期及びその後の過程での有機質及び稜柱質の分泌が極めて多く，第2表の結果であつた。そのために真珠品質の検定は厳密に行ない得なかつたが，正常に真珠層の分泌が見られた真珠とそれ以外のものとにわけて，5群間の出現率について χ^2- 検定を行なつた所，第3表の結果を得て養生期間 0，5，10日の3群と15，20日の2群との間に非常に有意の差が認められ，15，20日群の真珠層真珠の出現率は他群にくらべ高かつた。真珠層・稜柱層複合真珠，稜柱層真珠，有機質真珠などの出現率の上では5群間に差がみられなかつた。

第2表．養生期間による真珠品質の相違（パラフイン核使用）

養生期間	真珠層真珠	真珠層・稜柱層複合真珠	稜柱層真珠	有機質真珠	核	計
	個 %	個 %	個 %	個 %	個 %	個 %
0 日	42 (31.1)	59 (43.7)	8 (5.9)	20 (14.8)	6 (4.5)	135 (100)
5 日	33 (25.0)	66 (50.0)	11 (8.3)	9 (6.8)	13 (9.9)	132 (100)
10 日	39 (27.5)	71 (50.0)	16 (11.2)	12 (8.5)	4 (2.8)	142 (100)
15 日	63 (45.6)	49 (35.6)	13 (9.4)	7 (5.1)	6 (4.3)	138 (100)
20 日	60 (40.8)	60 (40.8)	14 (9.5)	9 (6.2)	4 (2.7)	147 (100)

第3表．斃死率・歩留及び真珠の品質

	5 群間 χ_s^2	自由度	$\chi^2_{(0.05)}$
斃死率	1.624	$^{(5-1)(2-1)}4$	9.488
真珠の歩留	7.738	〃	〃
真珠層真珠の出現率	19.684	〃	〃
真珠層・稜柱層の複合真珠の出現率	8.908	〃	〃
稜柱層真珠の出現率	2.618	〃	〃
有機質真珠の出現率	3.699	〃	〃

考　　察

一般に外部環境と自らの内部環境との差異を生じさせるものは，それがどのような種類のものであれ，生物にとつて全て侵襲と呼ばれるものである。生物はあらゆる侵襲に対して神経，内分泌機能を介して適応しようとし，そうすることによつて生命を維持しようとする。生物がこのように，その個体及び種属を侵襲から防禦しようとする場合に二つの方式があり，Laborit[6]はこれを「生命現象を最大に強化し"反応 réaction"することであり，他の一つは環境に"屈伏 soumission"する事である」と述べている。すなわち，その侵襲の強さが大きくない場合は，それによつて生体反応が起つても神経・内分泌両機能は均衡関係を保ちながら，侵襲によつてもたらされた生理的混乱を回復する方向の反応過程をたどる。しかし，侵襲の強度が生体の反応能力を越えて過大である場合あるいは持続する場合は，両機能の過剰な反応によつて，生理的平衡は失調状態となり，生命の維持が困難になる。防禦的反応の行き過ぎがもたらす破綻であるとも云えよう。一方，そのような過大な侵襲が加えられた場合に，自己の生命現象の強さを減少し，従つて生体反応を抑制して，侵襲に適合するような形で侵襲が去るのを待つ態度が"屈伏"であり，寒冷に対する冬眠現象などにその例を見る事ができる。人体に過大な手術侵襲を加える場合に，諸種の処置によつて生体反応を抑制して屈伏の態度をとらせ，手術によるショックの発生を阻止しようとする試みがなされている[2,3,5,6,10,13]。人体にみられるような内部環境の恒常性を維持するための，高度に発達した調節装置（自律神経系並びに内分泌系）と，我々の対象である軟体動物のそれとを同列において論議することは出来ない。しかし，下等生物が周囲環境のエネルギー産生条件にほとんど完全に服従している[6]とはいえ，外部環境条件の支配下にある生物であつても，ある時点におけるその条件の範囲内で，異つた種類の侵襲に対する防禦的反応あるいは動的自由性が保証されている筈である。アコヤガイの挿核手術において，正常な生理状態にある貝の上に，直接的に加えられた手術侵襲は，やはりその生理的平衡を混乱させ，衰弱又は斃死をもたらすものであり，この結果が単に器質的な損傷に由来するものでないことは，人為的に生命現象の強度を減少した状態において前者と同じ強度の手術侵襲を加えた場合に，生理状態の回復が順調且つ速やかである事からみても明らかである。すなわち，このような下等生物でも，外傷あるいは手術等の侵襲に対する防禦機構は存在し，侵襲時の生体の状態によつて，その反応能力を異にすると考えられる。それ故に，生体に手術侵襲を加える場合には，たとえそれが下等な生物であつたとしても，これらの事柄を考慮する必要があろう。

実際問題としては，アコヤガイの挿核手術における術前の処理として，人為的に生殖細胞を体外に放出させる事を目的とする生理的抑制が行なわれており，これが手術侵襲に対する過剰な生体防衛反応の発動を抑制するための重要な役割を果している事は既に述べた。

今回の実験では，更に一般に術後の処理として行なわれている「養生」の作業の意義と効果を追及した。この養生作業は一般に，挿核手術による衰弱から体力を取戻させ，且つ挿入した核の安定をはかり脱出を防止するために，貝を安静に保つことが目的とされ，比較的に水の流通性の悪い容器に貝を多く収容し，環境条件としても余り良くない岸に接近した漁場に置く方法がとられている。

実験の結果では，術後の貝をこのような条件の下に全くあるいは短期間（10日以下）し

か置かなかつた群にくらべ，15日以上置いた群における生理状態の回復の仕方は，速やかであり且つ安定した推移をみせた。すなわち，前述のような環境条件の下に術後の貝を置くことは，常識的に考えれば，決して貝の生理的回復を促がす目的にそうとは思われないが，実験の結果は術後の生理的抑制の必要性を示している。その理由は，手術侵襲に際して，予め生体の生理的抑制を行なつたとしても，前述の防禦的生体反応が反動的に起ることを，完全には阻止出来ないし，それが若しできたとしても，人為的に加えられた生理的抑制が急に取り除かれゝば，その反応がいくらかでも現われてくる可能性があり，更に挿入された核がショック原因になる可能性もあるからである。林田ら[3]は，低温および低圧の外科的応用に関する研究において「ショック時の生体反応は低体温にすることによつて，良く反応力を減弱せしめることが出来，また低体温時に同程度の外力が加わつても生体平衡的防衛反応は殆んど起ることがないが，低体温時に与えた外力に対して生体は，体温回復後に残存した因子に対して防衛反応をあらわしてくる」と述べている。

これらの事から，この作業の意義は「貝を挿核手術後にも比較的軽度の生理的抑制下に置き，生体反応を抑制して不均衡状態の出現を予防し，回復への転機を与える事」にあると考えられた。このような意味で，この養生作業は，術前の仕立作業と本質的に同じであると云えよう。しかし，その効果は後述する理由によつて「術前の抑制（仕立）の効果を維持させ且つ補う」程度のものである。

すなわち，実験結果によれば，術後の夫々異なつた処理群間における斃死率や真珠の歩留から見た脱核率に差がなかつたという事は，それらの原因がその処理以前にあつた事を示すものであるから，当然挿核手術の技術的問題と，その時の貝の生理状態とが採り上げられる。技術的問題はこゝでは採り上げない事として，後者についてみれば，これらの貝は1群として統一的に術前の処理を行なつたものであるが，全ての個体を同一の生理的水準に調整することは困難であり，その中には生理的抑制が不充分であつたもの，あるいはその処理前から又は処理によつて生理的失調を生じたものなどが含まれていた事は否定できない。これらの貝は手術侵襲の後に，前者は生体防衛反応の過剰による均衡失調，後者は手術侵襲による失調の増大によつて，脱核あるいは斃死の過程を辿つたものと推測される。脱核現象は，主として挿入された核の周辺から表皮に及ぶ組織の潰瘍化によつて起るが，これは過剰な生体反応に基因する器質的病変であり，その強さは異るが斃死現象と同じ反応過程にあるものと考えられる。そして，このような現象が術後の処理の相違に影響されないで，各群に同じ程度に顕われた事から，術後のこのような処理の範囲では，既に発動されてしまつた過剰な生体反応に干渉しようとしても，その進行を阻止する事は困難であると思われた。逆に云えば，斃死・脱核現象は主として術前の生理的抑制処理（仕立作業）によつて支配されると考える事が出来る。

挿核手術後の回復の速さは，そこから生産される真珠の品質に関係がある事は前報[11]において述べたが，今回の実験においても，術後の処理方法によつて回復の速さに相違があつた事と，そこから生産された真珠の品質にも差が認められた事とは，全く無関係な現象ではないと考えられる。このことは「真珠袋上皮組織の機能が，術後の生理状態の在り方によつて，或る程度方向づけられる事」を示唆するものであり，同時にまた実際の仕立及び養生作業によつて，人為的に上皮組織の初期分泌機能を調節する可能性を示すものである。

挿核手術後の生理的抑制を加える期間については，術後の生理的変動及び真珠の品質からみて，この時期では15～20日が適当であるという結果を得たが，それだけの期間を必要とする理由は，次のように考えられる。挿核手術後の貝の生理的不均衡状態が最も顕著になり，その生活行動に顕われる時期は，およそ7日目前後であること[11]から，術後10日位までの間に与えられる環境変動は，その不均衡を更に加速する原因になり得ると思われるからである。すなわち，術後に再び均衡状態が樹立されるまでは，このような追加的侵襲は避けるべきであろう。生理的抑制状態から急に解放すること並びにそれに伴なうその作業自体の諸種の操作などが，追加的侵襲になり得るであろう。このような健康管理上の見地から云えば，少なくとも術後10日以上の期間が，何時の場合にも要求されるであろう。今まで，この養生作業の期間を決定するために，真珠袋の形成日数，糞量・杆晶体等を指標とする生理状態の回復に要する日数などが根拠として用いられた。真珠袋の形成日数をもつてこの決定をする事には根拠がないが，生理的回復を根拠にする方法は採用し得る。しかし，その方法は実際的に使用するためには不適当である。それ故に貝の生活機能が正常に復したか否かを知るために，貝殻縁部の突起及び足糸の形成状況を観察する方法が考えられる。これらは生活機能が正常に復さなければ，形成されないのが普通である。すなわち，大部分の個体にこれらの形成が始まれば，健康管理上から養生作業を終了して差支えないであろう。しかし，品質管理の強化に重点を置くとすれば，初期分泌期及びその後の真珠袋機能をいくらかでも調節する意味で，より以上の期間これを継続することも考えられる。この養生作業に当つては，養生漁場の環境条件が，貝の棲息適範囲内にあることを前提としなければならない。何故なら，適条件から外れた要素は，術後の貝に対して容易に追加的侵襲として働くからである。

要　　約

1)　挿核手術後の養生作業の意義・目的等を，術後の生理的動向及び真珠の品質との関連において調べた。

2)　養生の意義は，術前の生理的抑制（仕立作業）の継続として，術後に起る可能性がある防禦性生体反応を予防することにあり，そのために貝の生活機能を或る程度抑制する事を目的としていると考えられた。

3)　この抑制によつて，術後の生理状態の正常化が速やかになる。しかし，術後の回復の在り方，特に斃死・脱核現象などは，主として術前の生理的抑制の程度あるいは生理的平衡の状況に支配され，養生における抑制処理の範囲ではこれらを調節する事が困難であると考えられた。その故に，術後の養生は術前の仕立の効果を維持させ，且つ補う役割を持つた健康管理作業であると云えよう。

4)　養生の効果は，生産される真珠の品質に反映されると考えられ，真珠層真珠の出現率が高かつた。このことから，養生には品質管理としての効果が含まれると思われたが，この点については更に追試する。

5)　養生期間は，環境条件が適範囲内にあることを前提として，健康管理上から，少なくとも10日以上必要であると考えられた。

Summary

In the operation of nucleous insertion, as described in the preceding reports, it requires that the pearl oyster should be kept under controlled state in the physiological function. The reason why the animal is generally led to an unfavourable prognosis in the case of the operation under normal state, may be due to the fact that the equiliblium of "homeostasie" is broken on account of an abnormal and severe organic defense reaction which is caused by the operative aggression.

In the present paper, the effect of control of post-operation on the restoration was studied.

(1) The physiological activity of the oyster was observed in the method of measuring both the weight of crystalline style and the strength of adductor muscle.

(2) The restoration of the physiological activity of the oysters which had been kept under control for 15～20 days after operation was found to occur rather earlier than that of those which had been controlled for less than 10 days.

(3) And also, the pearls produced from the oysters treated for 15～20 days after operation show good results in the quality.

(4) The mortality and the ratio of escaped nuclei were beyond control by any treatments after operation. It seems that they are sure to be governed by the treatment before operation.

Basing on the facts given above, the following conclusion may be done. It seems that the physiological repression of post-operation in the oysters has possible effect in regard to both the prevention against the excessive defense reaction resulted from operative aggression together with inserted nucleus and the reinforcement for the efficiency of treatment of pre-operation.

文　　献

1) 青木　駿　1956. 真珠袋形成に関する研究. 国立真珠研報　1: 41—46.
2) Chauchard, P.　1956. 侵襲に対する生体反応とショック——人工冬眠療法の原理と応用（山口与市他訳）. 最新医学社. 大阪.
3) 林田健男他　1955. 低温および低圧の外科的応用に関する研究. 麻酔 4 (3) 242—266.
4) 堀口真珠株式会社神前工場　1959. 挿核後の二種の養生方法の比較について. 真珠研究会伊勢部会々報 22: 16—18.
5) 桑原　悟他　1955. 人為冬眠の研究. 麻酔 4 (3) 227—241.
6) Laborit, H.　1957. 植物神経と生体反応（山口与市他訳）. 文庫クセジュ 221. 白水社. 東京.
7) 町井　昭・中原　晧　1957. 真珠袋の組織学的研究 II. 国立真珠研報 2: 107—112.
8) 太田　繁　1958. 施術後の「静養」期間についての一つの考え方. 真珠研究会伊勢部会々報 8: 19—21.
9) ———　1961. アコヤガイの食性に関する研究 III. 国立真珠研報　5: 434—438.
10) 清水健太郎他　1954. 冬眠麻酔（第 3 報）薬物冬眠について. 外科　16 (10) 659—670.
11) 植本東彦　1961. アコヤガイの挿核手術に関する生理学的研究 I—III. 国立真珠研報　6: 619—635.
12) 山内　栄　1958. 挿核後の養生. 真珠研究会伊勢部会々報　3 (6) 21—25.
13) 四方淳一　1957. 薬物冬眠と蘇生法. 外科研究の進歩. 1957年　第 3 集 125—132.

真珠貝の生化学的研究

Ⅵ. 卵抜作業によるアコヤガイの化学組成の変化*,1)

沢田保夫・谷口宮三郎

国立真珠研究所

序　　文

アコヤガイ（*Pinctada martensii*）の真珠養殖過程において，挿核手術の前に行なわれる「母貝の仕立て」は生産される真珠の品質を左右する重要な意味を持つているものである。この作業のうち，特に春期より初夏にかけて行なわれるいわゆる「卵抜き」は挿核手術を容易にすることやシミ珠あるいは突起珠の生成を防止するために非常に重要な作業である。この方法は一般に貝の生活環境を急激に変化させることを繰り返すことによつてアコヤガイに刺激を与え，人為的に放卵，放精を強制して挿核手術を容易にするのであるが，この結果アコヤガイの代謝機能は低下し，更に次の挿核手術による貝の衰弱が重なつて正常な生理機能に回復するまでには相当の日時を要することが推察される。

卵抜きに関する研究では植本[6]は卵抜操作による貝の血糖量の変化や挿核手術との関係について研究し，また蓮尾[1]は卵抜作業による貝の代謝機能の低下と杆晶体の長さの関係を求めた。その他にも山口[7]は卵抜作業の程度による真珠袋の形成を研究しているが，この作業についての生化学的な研究は未だみられない。著者等はアコヤガイの卵抜作業が貝の代謝に影響をおよぼす状況を生化学的に研究したので報告する。

実　験　方　法

試料のアコヤガイは英虞湾産の3年生貝を用い，卵抜き用の竹籠に250個体あて収容し，途中3回貝の足糸を切り離して籠内の貝の上下を交換しながら1961年5月29日より7月3日まで国立真珠研究所多徳島臨海実験室において卵抜作業を行なつた。試験貝は卵抜作業を行なわない対照群（試験開始時より金網籠に50個体収容）と卵抜作業を行なつたものとに分け，卵抜作業を行なつたものは更に挿核手術（7月3日に直径4.5mmの核を1個挿入）を行なつたものと行なわなかつたものに分け対照群と同じく金網籠に50個体あて収容して試験養殖を行なつた。試験貝は対照群については5月29日，7月3日および8月3日

---

* Yasuo Sawada and Miyasaburo Taniguchi. Biochemical studies on the pearl oyster, VI. Studies on the changes of chemical compositions by the artificial spowning. Bull. Natl. Pearl Res. Lab. 8: 904-907. 1962.

1) 国立真珠研究所業績 No. 94 （国立真珠研究所報告 8: 904-907. 昭和37年9月）

の3回，卵抜作業を行なつたものは7月3日と8月3日の2回，挿核手術を行なつたものは8月3日に各群につき50個体あて開殻し，直ちに貝柱，鰓，外套膜周辺部およびその他の内臓部（以後内臓部という）に分けて採取し，蒸溜水で数回洗つた後沪紙上でできるだけ水分を除き，急激に乾燥させるためにドライアイスを用いて試料を冷凍して薄く切り，硫酸乾燥器中で減圧乾燥した。

各試料の分析方法は次のごとくである。湿分および灰分：試料は常法通り[4] 105°C～110°Cで1時間乾燥して湿分を求めた後，電気マツフル炉で灰化した。無機物の定量：灰化した試料は濃塩酸に溶解した後硅酸分離を行ない，その後モリブデン酸アンモン法によつて燐を燐モリブデン酸アンモンとして沈澱させ，沈澱を苛性ソーダで溶解し塩酸で逆滴定して燐酸を求めた。カルシウムは蓚酸アンモン法によつて試料中のカルシウムを蓚酸石灰として沈澱させ，沈澱を硫酸で溶解後生成した蓚酸を過マンガン酸カリで滴定してカルシウム量を求めた。カルシウムを除いた沪液は燐酸アンモンを加えてマグネシウムを燐酸マグネシウムとして沈澱させ，燐の定量法にもとづいて定量した。粗脂肪：ソックスレー抽出器を用いてエーテルで15時間抽出を行ない，抽出物を粗脂肪とした。粗蛋白質：金属セレニウムを酸化触媒として用い，キエールダール法によつて全窒素を定量し，これより計算によつて求めた。

実　験　結　果

分析結果は総括して第1表および第2表に示した。卵抜作業によつて起こる軟体部の化学組成の変化は内臓部を除く他の器官では特に顕著な差異が認められなかつた。内臓部における燐の量は卵抜直後において相当量低下するが，卵抜き後挿核せずに対照と同様の方法で養殖したものでは燐の量が増加するのが認められた。これに反して，挿核手術を行なつたものでは各作業処理による代謝機能の低下が重なつたためか燐の量は相当に減少し，その後の回復に長期間を要することが認められた。

蛋白質量は前報[3]に報告したごとく季節的消長が顕著でないのが普通である。この実験においても対照群の蛋白質量の変化はあまり認められないが，卵抜き直後のものではその値が低下し卵抜きによる貝の消耗現象が認められ，卵抜き後の挿核手術による蛋白量の減少はそれ程顕著でなかつた。また粗脂肪も燐や粗蛋白質と全く同様の傾向を示しているのが認められる。一方無機成分中貝殻や真珠形成に直接関与するカルシウム，マグネシウムの量は上記の諸成分にくらべてその変動は少なく，卵抜作業による貝の消耗は主として粗

第1表　アコヤガイ軟体部の化学組成の変化（卵抜きを行なわないもの）

化学組成 / 採取月日 / 試料	粗蛋白 %			粗脂肪 %			灰分 %			P_2O_5 %			CaO %			MgO %		
	5-29	7-3	8-3	5-29	7-3	8-3	5-29	7-3	8-3	5-29	7-3	8-3	5-29	7-3	8-3	5-29	7-3	8-3
貝柱	62.5	69.5	62.0	1.8	1.5	5.8	6.8	5.6	5.1	20.4	19.4	10.2	3.2	4.5	4.0	4.2	3.9	4.0
内臓部	71.4	76.1	71.4	6.6	11.8	8.4	6.9	7.9	8.1	15.5	14.6	11.8	3.2	5.8	4.8	5.1	5.4	5.3
鰓	71.4	75.5	71.4	5.5	5.1	5.2	7.7	9.0	4.4	12.8	8.3	8.0	4.2	4.2	6.1	8.8	8.0	7.9
外套膜	65.5	65.9	62.5	3.8	3.9	5.7	5.6	9.5	6.6	13.6	9.7	9.3	5.9	7.7	5.5	9.7	9.8	10.0

第2表　卵抜作業によるアコヤガイ軟体部の化学組成の変化

化学組成 / 採取月日 / 試料	粗蛋白 %		粗脂肪 %		灰分							
					灰分 %		P_2O_5 %		CaO %		MgO %	
	7-3	8-3	7-3	8-3	7-3	8-3	7-3	8-3	7-3	8-3	7-3	8-3
貝柱	65.5	64.4 59.5	1.7	5.3 1.8	5.5	5.3 5.5	17.6	12.2 9.2	3.8	4.2 3.3	4.4	4.5 3.9
内臓部	74.4	77.4 74.4	7.2	8.1 13.1	8.4	8.1 7.3	11.1	15.5 11.5	5.4	4.8 2.8	4.9	5.2 4.9
鰓	74.4	70.2 68.4	—	— 4.1	—	— 3.8	—	— 4.4	—	— 4.1	—	— 8.2
外套膜	62.5	69.3 57.7	—	— 5.0	—	— 4.1	—	— 5.8	—	— 3.9	—	— 10.5

8月3日の下段の数字は卵抜き後挿核した貝のものを示す。

蛋白質や粗脂肪，燐に現われることが認められた。

考　　察

以上の結果によれば卵抜作業および挿核手術による貝の軟体部の化学組成の変化は内臓部に顕著にあらわれている。これは内臓部が貝柱や鰓，外套膜周辺部のような単器官でなく消化器官や肝臓等種々の器官が含まれており，特に卵抜作業に直接関係の深い生殖腺が大半を占めているためであると考えられる。すなわち卵抜作業による人為的強制放卵や放精は，夏期の生殖期にそなえて冬期より蓄積された諸成分の急激な消費を起こすものであり，直接真珠や貝殻形成に関係のあるカルシウム，マグネシウムのように極端な変化を示さず，田中・波多野[5]の研究や著者等が前報[3,4]で報告した自然放卵前後の貝の化学組成の変化と同様の傾向を示しているので，この方法による卵抜きは単に内臓部（特に生殖腺を主とした）のみに影響を与え，他の器官には大きな悪影響を与えていないことが認められた。また挿核手術を行なつたものでは放卵による消耗と挿核手術による衰弱とが重なつて極度に貝の代謝機能は低下したことが認められた。しかし卵抜き後挿核せずに対照と同様の方法で養殖したものは燐や粗蛋白質，粗脂肪が急激に高い値を示し，植本[6]が卵抜き前後における軟体部の血糖量を分析して，卵抜きを行なつた場合の方が一時その値は低下するが以後急激な増加をすると報告したことゝよく一致するものであり，この現象は卵抜作業によつて抑制されていた貝の生理機能が急激に活動を回復した結果によるものと考えられる。

終りに当り，終始御指導をいたゞいた高山活夫前所長および卵抜作業に御協力していたゞいた当所植本技官に深謝する。

要　　約

1．卵抜作業によるアコヤガイの軟体部の化学組成の変化を研究し，軟体部中，特に貝柱，鰓，外套膜周辺部を除いた生殖腺を含む部位（内臓部）の化学組成が卵抜作業前後において顕著に変化するのを認めた。

2．貝肉中の内臓部の化学組成のうち特に燐，脂肪および蛋白質量が急激に減少することを認めた。

文　　献

1) 蓮尾真澄　1959．「卵抜き法」の差異が真珠の品質に及ぼす影響．真珠研究会伊勢部会々報 3: 10—13.

2) 京都大学農学部農芸化学教室　1953．農芸化学実験書上，中．

3) 沢田保夫・谷口宮三郎　1961．真珠貝の生化学的研究Ⅳ．アコヤガイの肉質成分の季節的変化について．国立真珠研報 6: 553—560.

4) ————・————　1961．真珠貝の生化学的研究Ⅴ．アコヤガイの無機成分の季節的変化について．国立真珠研報 6: 561—566.

5) 田中正三・波多野博行　1952．真珠に関する生化学的研究（第1報）アコヤ貝成分の季節的変化について．日化 73: 870—873.

6) 植本東彦　1961．アコヤガイのそう核手術に関する生理学的研究　Ⅰ—Ⅲ．国立真珠研報 6: 619—635.

7) 山口一登　1961．〝あとづけ〟に関する研究Ⅱ．卵抜きの程度と真珠袋形成との関係．国立真珠研報 6: 636—639.

真珠貝の生化学的研究

Ⅶ. 真珠養殖における垂下深度と真珠品質および母貝の化学組成との関係*, 1)

沢田保夫・谷口宮三郎

国立真珠研究所

序　　文

アコヤガイの真珠養殖における真珠の品質と生産量を決定づける要因は人為的条件によるものと環境条件によるものとに大別して考えることができる。前者は母貝の育成方法を始めとして，母貝の仕立，挿核手術その他種々の作業の方法等に関係するものであり，養殖方法や技術の改良によつてその向上がはかられている。しかしながら，後者は養殖されている海域の水温，比重，流速等種々の複雑な自然条件に支配されるものである。これらの個々の条件についてはすでに多くの研究が報告されており，その中でも垂下深度別による真珠の生産量や品質に関しては渡部[9]やその他[1,2]によつて研究されている。著者等は夏期に英虞湾において顕著な水温，比重等の躍層が見られ，しかもこの層附近が一般の真珠養殖に利用されていることより，躍層の上下層で養殖を行なつた場合の真珠の品質や生産量および母体であるアコヤガイの生理代謝の関係を研究したので報告する。

試料および分析方法

試料に用いたアコヤガイ（*Pinctada martensii*）は1960年9月に国立真珠研究所多徳島臨海実験室において4.5mmの核を「ふくろ」に挿核し，冬期神前湾に避寒した後翌年6月9日より10月24日までの間同臨海実験室地先の筏に（1籠当り30個体を収容）水深 1, 2, 5, 7mの4層に各4籠（1籠当り30個体あて収容）垂下養殖した。

試料は10月24日に各実験群共同時に採取し，開殻後貝柱，鰓，外套膜周辺部，その他の内臓部（以後内臓部という）の各臓器別に分け，蒸溜水で数回洗つた後各試料を2分し，一方は直ちに煮沸した後減圧乾燥を行ない脂質の分析に用いた。他方は冷凍後薄片に切り減圧乾燥して脂質以外の分析に用いた。また真珠は重量，直径，色沢を測定し，すべてF-検定によつて比較検討した。

---

* Yasuo Sawada and Miyasaburo Taniguchi. Biochemical studies on the pearl oyster, VII. Studies on the relationship among the qualities of pearls, chemical compositions of mother shells and culture-depth. Bull. Natl. Pearl Res. Lab. 8: 908-912. 1962.

1) 国立真珠研究所業績 No. 95（国立真珠研究所報告 8: 908—912. 昭和37年9月）

貝肉中の粗蛋白質および無機成分については前報[5]と同様の方法によつて分析した。脂質は煮沸後乾燥した試料をソックスレー抽出器を用いて15時間エーテルで抽出を行ない，得られた粗脂肪を更にアセトンで分割し，複合脂質と単純脂質に分けて定量した。

実験結果および考察

垂下深度と真珠品質との関係

夏期の英虞湾における水温，比重の躍層は 2～3m の水深に発達するのが普通であるので，一応 2m 層に垂下したものを躍層中で養殖したものとし，この上下層について真珠の品質を比較した。

全般的には躍層以浅にホワイト系真珠の出現率の多いことが認められるが，全垂下層間の差については，5 m 層のものが 1，2 m 層のものとそれぞれ有意の差が認められるのみ

第1表　垂下深度別による真珠の色別出現率

真珠の色調 / 垂下深度	クリーム系	ホワイト系	ブルー系	計
1 m	38個 (40.5%)	32個 (34.0%)	24個 (25.5%)	94
2	26 (42.0)	23 (37.1)	13 (20.1)	62
5	53 (51.9)	18 (17.6)	31 (30.4)	102
7	40 (51.3)	20 (25.6)	18 (23.1)	78

第2表　垂下深度別による真珠の生産量の比較

真珠の色調 / 垂下深度	クリーム系	ホワイト系	ブルー系	全体の平均
1 m	252.5mg (41.9%)	228.9mg (32.0%)	250.0mg (26.1%)	229.2mg
2	231.8 (40.9)	235.3 (36.7)	254.8 (22.4)	237.9
5	238.9 (51.6)	223.8 (16.4)	252.1 (31.9)	240.2
7	249.9 (51.5)	204.0 (21.0)	246.4 (22.8)	237.3

第3表　垂下深度別による真珠光沢の良否の出現率

真珠の色調 / 光沢 / 垂下深度	クリーム系 良いもの	クリーム系 普通	クリーム系 悪いもの	ホワイト系 良いもの	ホワイト系 普通	ホワイト系 悪いもの
1m	7個(18.4%)	22個(57.9%)	9個(23.7%)	3個(9.4%)	21個(65.5%)	8個(25.0%)
2	3 (10.7)	15 (53.5)	10 (35.7)	2 (8.7)	16 (69.6)	5 (21.7)
5	11 (21.2)	26 (50.0)	15 (22.8)	6 (33.3)	7 (38.9)	5 (27.8)
7	6 (15.0)	20 (50.0)	14 (35.0)	2 (10.0)	13 (65.0)	5 (25.0)

で，この他の各層間には差が認められなかつた。しかも上層部と5m層との間には大きな差を示さないことより，躍層上下の垂下深度による色別の出現率の極端な相違は認められない。

真珠の生産量については躍層上下における有意の差は認められず，また各垂下層間においても同様である。

垂下層別による真珠の光沢の良否は上層部よりも下層部に光沢の良いものの出現率の多いことが認められた。このうち特に2m層が悪く，5m層がまさり（他の層の約2倍の出現率を示した），5，1，7，2mの順に低下している。

ブルー系真珠およびドロ珠，シミ珠，突起珠等の出現率については垂下深度に起因するものでなく，それ以前の母貝の仕立てや，挿核技術等の人為的条件に関係が深いものと考えられるのでこゝでは検討しなかつた。

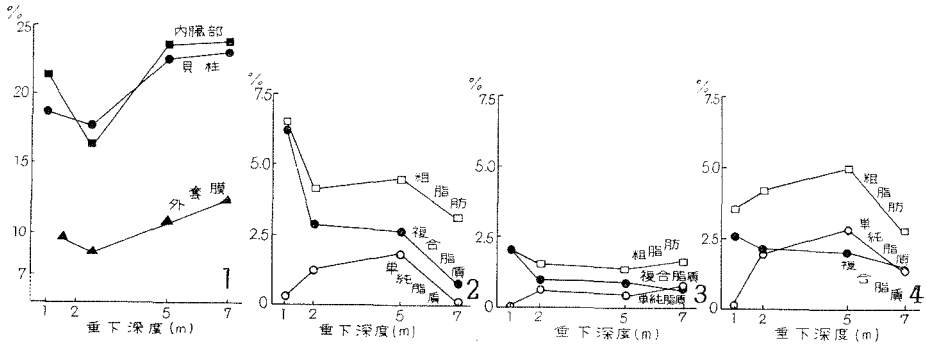
垂下深度と軟体部の化学組成との関係

躍層上下の海水は水温，比重が大きく変化していることよりみて，その各層に生育するアコヤガイは当然環境による代謝機能の変化があると考えられるので各深度別に垂下した貝の軟体部の化学組成を比較検討した。すでに前報[4,5,6]で報告したごとく貝体内の蛋白質や無機成分を主とする灰分は，季節的な消長はそれ程顕著でなく，特に灰分中に含有する燐や脂質に興味ある変化が認められた。この事実を基にして垂下深度別による燐および脂質の量比を分析した。

燐の含有量を比較すると，一般に軟体部の各器官中上層部に垂下したものの燐は下層部のものよりも少なく，特に2m層に垂下したものでは最低値を示した。しかし燐を含む灰

第4表　垂下深度別によるアコヤガイ軟体部の化学組成

化学組成	粗蛋白 %	灰分		脂質		
		灰分 %	P_2O_5 %	粗脂肪 %	複合脂質 %	単純脂質 %
1m 貝柱	59.5	5.5	18.8	2.1	2.1	0.0
〃 内臓部	71.4	8.7	21.5	6.5	6.2	0.3
〃 鰓	62.5	9.0	11.4	4.5	2.1	2.4
〃 外套膜	65.5	10.6	9.7	3.6	2.6	1.0
2m 貝柱	59.5	5.9	17.8	1.5	0.9	0.6
〃 内臓部	65.5	8.6	16.6	4.1	2.9	1.2
〃 鰓	62.5	9.6	8.1	5.6	2.6	3.0
〃 外套膜	62.5	12.0	8.8	4.2	2.2	2.0
5m 貝柱	65.5	6.1	22.6	1.3	0.9	0.4
〃 内臓部	65.5	9.5	23.7	4.5	2.6	1.9
〃 鰓	59.5	10.1	11.1	3.4	1.5	1.8
〃 外套膜	71.4	13.1	10.9	5.0	2.2	2.8
7m 貝柱	62.5	5.4	23.1	1.6	0.7	0.8
〃 内臓部	71.4	9.6	23.9	3.1	1.0	1.0
〃 鰓	62.5	10.4	12.1	4.5	2.5	2.0
〃 外套膜	65.5	12.0	13.3	2.7	1.4	1.3

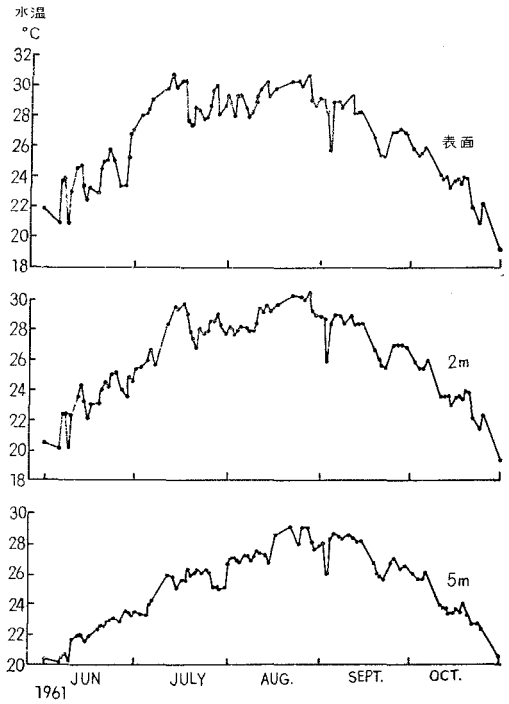


第1図　　第2図　　第3図　　第4図

第1図．垂下深度別による P_2O_5 の含有量．　第2図．垂下深度別による脂質の含有量（内臓部）．　第3図．垂下深度別による脂質の含有量（貝柱）．　第4図．垂下深度別による脂質の含有量（外套膜）．

分の量は上下層による差異がほとんど認められないので，燐以外の無機成分については垂下深度別による量差はほとんどないものと推定される。

粗脂肪の含有量は燐の場合と異なり全く逆の値を示し，垂下深度が増すにしたがつて減少する傾向を示す。更に脂質をアセトン分割し，これを単純脂質に分けてみると上層部で



第5図．試験養殖期間中の水温の変化
（国立真珠研究所多徳島地先）．

は複合脂質の含有量が多く，垂下深度を増すにしたがつて減少し，粗脂肪の場合と同様の傾向を示すが，単純脂質は逆に垂下深度と共に増加し，7m 層では各器官の単純脂質と複合脂質の量比はほぼ等しくなるのが認められる。

以上の結果，躍層上下の水深を用いて養殖した場合生産される真珠の品質と母体の化学組成の関係を考察してみると，貝の軟体部中の燐や脂質は躍層上下において顕著な差が認められ，環境水の相違による代謝機能の差が明白に示されているので当然生産される真珠の品質に影響をおよぼすことが考えられる。すなわち軟体部の燐の含有量が少ない 2m 層の真珠の光沢が悪く，燐の含有量の多い 5m 層のものが光沢が良かつた事実より燐は石灰沈着特にその結晶化に重要な関係をもつものではないかと推定される。また，珠の色別出現率と軟体部の脂質特に複合脂質の量とは互に逆の関係を示すことより沢田[7]の報告している真珠中の Fe-Peptide 型の黄色色素の生成と関連があるものと考えられる。

この研究による真珠の品質や生産量の関係は渡部[9]やその他の研究[1,2]結果とは一部逆の数値が現われているが，これは著者等の試験養殖が比較的開放された漁場で行なつた結果によるものと推定される。すなわち著者等の密殖機構に関する研究[8]では海水の交流の比較的悪い湾奥部と養殖密度の高い漁場では真珠の生産量が低く，また，1台の筏内でもその中心部と外側においては生産される真珠の品質も悪く，貝の摂餌量も減少するという事実[3]より，垂下深度別による試験養殖にこれらの影響が加わつた結果であると考えられる。

終りに当り，終始御指導と御協力をいたゞいた高山活夫前所長に深謝する。

文　献

1) 五ケ所浦青年会真研クラブ 1959. 垂下深度，貝掃除の回数および垂下様式が真珠品質に及ぼす影響について. 真珠研究会伊勢部会会報 3 (10) 14—20.
2) 木村三郎・山口 昇・丹下 孚 1960. 33年度試験養殖について. 真珠研究会伊勢部会々報 4 (12) 1—6.
3) 太田 繁 1961. アコヤガイの食性に関する研究Ⅶ. 環境海水の流速によるアコヤガイの糞量の変化. 国立真珠研報 6: 573—575.
4) 沢田保夫・谷口宮三郎 1961. 真珠貝の生化学的研究Ⅳ. アコヤガイの肉質成分の季節的変化について. 国立真珠研報 6: 553—560.
5) ————・———— 1961. 真珠貝の生化学的研究Ⅴ. アコヤガイの肉質成分の季節的変化について. 国立真珠研報 6: 561—566.
6) ————・———— 1962. 真珠貝の生化学的研究Ⅵ. 卵抜作業によるアコヤガイの化学組成の変化. 国立真珠研報 8: 904—907.
7) 沢田保夫 1961. 真珠の黄色色素の研究. 国立真珠研究報 7: 865—869.
8) 沢田保夫 (未発表)
9) 渡部哲光・岡田弥一郎・宮村光武・井上義雄 1957. アコヤガイの養殖真珠の品質と養殖深度との関係—Ⅱ. 日水誌 23: 235—240.

真珠の色調に関する研究*,1)

沢　田　保　夫

国立真珠研究所

真珠の品質を決定する要素としては，真珠の色調・形状（真球か否かのこと）・光沢・大きさ・巻き（核の上に蓄積された真珠層の厚さ）が考えられる。これらの要素を個々についてその成因を考察してみると，養殖真珠においては巻きと称するものは核の表面に沈着累積した真珠層の厚さによつて表わされるもので，この厚さは 0.5～2.0mm が普通であり，ほゞ養殖期間に比例して増大するものである。更に真珠の大きさは使用した核によつて決定されるもので，一般にアコヤガイ真珠では核は 2～9 mm 位の直径をもつものが使用されており，使用する核の直径は母貝の年令や大きさ，挿核者の経験的判断および経営上の問題などによつてある程度の制限は受けるが，養殖期間の延長によつて小さな核より大珠を養成するということはほとんど考えられない。つまり挿核する核の大きさは以上の諸条件によつて規定されるものであり，極端に核が貝に比べて大き過ぎる時は挿核手術後脱核や母貝の斃死を引き起こす原因となり，また逆に小さ過ぎる時は挿核部位の移動を起こして良質の真珠の生産が望まれないことが判明している。また真珠の形状や，傷，しみ（真珠層中に混入された不純物によつて生ずる斑点のことで，普通青黒色に見える）の有無は母貝の腔部と核の大きさとの適合の具合や，挿核時の技術の優劣および養殖期間中における貝の管理方法などと密接な関係を持つているものである。

このように真珠の品質を決定する要素のうちでも巻き・形状・大きさの成因は挿核手術や養殖貝の管理等の技術的な問題と関連が深く，ある程度人為的に調節が可能である。しかし真珠の色沢はその趣が大いに異なり，その成因はアコヤガイの生理機構と密接な関係を持つもので，人為的にこれを左右することは困難である。しかも真珠の品質決定上最も重要な要素はその色調・光沢にあるともいえるので，これの科学的な解明が重要な問題となつている。

著者は既に真珠の実態色解明を目的として真珠やアコヤガイ貝殻の色素成分の研究を行なつてきたが，[4,5,6,7,8,9] 真珠の実態色の成因およびこれを基にした真珠の色調の分類を考察したのでこゝに報告する。

真珠の色沢を構成する要因

真珠の色沢を形成するものは，真珠の表面および非常に多数の薄膜が累積した真珠層間において起こる光の反射や屈折干渉によつて生み出される物理的要因によるものと，真珠層中に含まれている微量の色素成分によつて生ずる実態色による化学的要因に分類できる。

---

* Yasuo Sawada. Studies on the color of the pearls. Bull. Natl. Pearl Res. Lab. 8: 913-919. 1962.

1) 国立真珠研究所業績 No. 96 （国立真珠研究所報告 8: 913-919. 昭和37年9月）

この両者の組合せによつて複雑な真珠の色沢ができるのであるが，その分類は一般には経験的な視覚によつてブルー，ホワイト，ピンク，グリーン，クリーム，ゴールド等に大別され価値判断の基準となつている。以下真珠の諸色沢の成因について考察することとする。

A．物理的要因

真珠の表面は複雑な美色を呈しているが，特に虹色と称される奥深い真珠の色沢はその発色が部分部分において異なり，また同一の光線を照射しても入射光の角度が変わると異なつた色相を示すのが認められる。この発色の原因は水面に浮かんだ石油の薄い膜などで認められる呈色と同じ原因によつて生ずるものである。内田・上田[14]によると真珠層は均質の単一薄膜で構成されているものではなく，0.5μ 内外の厚さを持つた極薄の被膜が100～120層位重なつて一つの単位をつくり，この単位が多数集まつて真珠層を構成している。複雑な真珠の色沢はこの各単位毎によつて起こる干渉光によるものであり，特に真珠の表面より 0.07 mm 以内において起こる光の干渉が真珠の色沢と最も密接な関係を持つていると報告している。

また，大森[3]は真珠の表面および真珠層中における光の干渉や層間反射による干渉を次式で表わした。

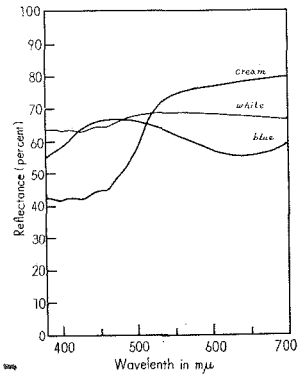
$$2dNnCos\,\theta=\frac{\lambda}{2}N$$

(Nn: 屈接率，d: 層の間隔，θ: 屈折角，N: 奇数または偶数)

すなわち，干渉を起こす二つの光の光程差の空気中に相当するものは $2dNnCos\theta$ で，表面における光の干渉では，これが光の半波長すなわち $\lambda/2$ が偶数倍に等しい場合には単色光は消えるが，奇数倍に等しい単色光は強く現われ，白色光の時にはそれぞれの波長に応じて美しく呈色する。また層間反射による干渉の場合には，この逆に $2dNnCos\theta$ が $\lambda/2$ の偶数倍に相当するような単色光は強く現われる。また，いずれの場合でも光の当たる方向が変わると角 θ が変わり，そのために $2dNnCos\theta$ の値が変わつて違つた色が生ずると考えている。

B．化学的要因

真珠を自記色彩測定器で測色すると[5]，第1図に示したような反射率曲線をえがき，明



第1図．アコヤガイ真珠の反射率曲線．

らかに異物の混入によつて生じた blue 系のものを除く他の色調の真珠は I.C.I. 色度図上ですべて黄色の領域に入ることが認められる。この真珠の実態色の解明を目的とした研究は多くあるが，その成因と考えられるものについて検討してみると次のようになる。

1. 真珠の実態色と金属元素との関係

真珠を構成している主要成分は95%内外の $CaCO_3$ と約5%内外の conchiolin と呼ぶ硬蛋白質であり，このほかに石灰以外の微量の無機成分その他が含まれている。真珠に含まれる金属元素としては，奥田・竹内[2]は Fe・Mg・Na の存在を認めており，また逆に Al・Fe・Ba・Sr の存在を否定している研究もある。しかしながら著者は先に真珠やアコヤガイ貝殻の焔光分析を行なつて含有する金属元素として Ba・Cu・Fe・K・Li・Mg・Na・Sr を検出した。[4] この結果をみると真珠やその母貝であるアコヤガイの貝殻の金属元素は，その起原を海水中に求めている関係から，海水中に含まれる微量金属元素と密接な関係を持つていることが認められる。

真珠の持つている実態色と含有する金属元素との関係については，高岡[12]は真珠の色調は含有する微量の金属元素の種類に支配されるもので，特に Mn の含有量がピンク系の真珠に多く，シルバー系の真珠（実態色の面からみて著者の分類した白色系の真珠と思われる）に少ないということを報告している。また，神前[1]は貝殻や真珠に含まれている porphyrin と微量の金属元素が結合した metalloporphyrin の存在を考え，これが真珠の実態色を示すもので，黄色系の真珠には metalloporphyrin が多く白色系の真珠には少ないことを認めた。更に内田・上田[15]の報告によると，ゴールド，クリームなどの黄色系

第1表　真珠中の含有元素（高岡 1955）

試料		Al	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	Zn	Si	Ti
ピンク色	A	+	+	+	+++	++	+++	微	++	+++
	B	+	+	+	+++	++	+++	微	++	+++
銀色	A	+	+	+	+++	微	+++	+	++	+++
	B	++	+	+	+++	微	+++	+	++	+++
淡金色	A	+	+	+	+++	++	+++	+	++	+++
	B	+	+	+	+++	++	+++	+	++	+++
濃金色	A	+	+	+	+++	+	+++	+	++	+++
	B	+	+	+	+++	微	+++	+	++	+++
青色	A	++	+	+	+++	++	+++	微	++	+++
	B	+	+	+	+++	++	+++	微	++	+++

の真珠には Cu, Agが，pink 系の真珠では Na, Zn が多いとしている。また，長崎県下のアコヤガイの貝殻の真珠層の含有金属元素を比較すると，シルバー系が Cu, Zn, ゴールド系が Cu・Zn・Cr・Mn, ピンク系が Cu・Zn・Co・Cr・Mn, ブルー系では Cu・Zn・Co・Ni・Cr・Mn が検出されている[17]。

第2表 真珠中のポルフイリン体（神前 1947）

珠の種類	「ポ」体量 (γ/100g)					
	第1回		第2回		平均	
	「ポ」	金属「ポ」	「ポ」	金属「ポ」	「ポ」	金属「ポ」
ゴールド	49	70	—	—	49	70
スキン	40	52	44	48	42	50
ピンク	66	9	66	12	66	11
ホワイト	60	9	66	0	63	5
クリーム	46	44	43	43	45	43
不良珠	16	33	—	—	16	33

第3表 真珠中の含有元素 （内田・上田 1947）

真珠の色	含有金属									
	Na	Sr	Mg	Zn	Pb	Fe	Si	Ba	Cu	Ag
ゴールド	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
スキン	○	○	○	○	○	○	○		○少	
ピンク	○	○	○	○		○			○少	
ホワイト	○	○	○	○		○少			○少	
クリーム	○	○	○	○		○少			○	○
グリーン	○	○	○							

以上の諸研究をみると含有する金属元素と真珠の色調との関係はその結果にかなりの相違のあることが認められるが，これは多分真珠の色調分類が未だ不統一であり，しかも各色調間の差が不明確であることによるものであろうと考えられる。しかしながら著者の行なつた分析結果[4]では，アコヤガイ貝殻の黄褐色，赤褐色および最も普通にみられる紫褐色貝殻，あるいは黄色系真珠や白色系真珠の間にはこれらの含有微量金属元素の特異性は認められなかつた。従つて真珠の色調は含有する金属元素のみでは解明することができないことが判明した。

2. 真珠の実態色と porphyrin との関係

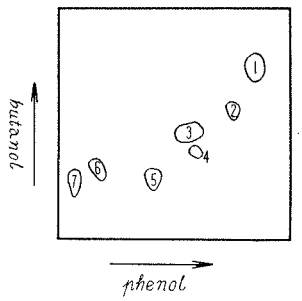
porphyrin は生物界に広く分布している色素であり，多くの海産動物にも発見されている。二枚貝については Fischer, H. 等（1923）は真珠貝の一種である *Pinctada radiata* 中に porphyrin を発見しこれを Koncoporphyrin と命名した。また，著者[6,8]や田中・高木[10,11]はアコヤガイの貝殻やその軟体部に数種の porphyrin が存在することを認め，そのうちの一種を methyl ester として結晶状にとり出し，paperchromatogram や spectrophotometer による分析でこれが uroporphyrin I であることを確かめた。アコヤガイの

porphyrin 色素は貝殻中に一様に存在するものではなく，主に貝殻の外部を構成する稜柱層の中に多量に存在しており，貝殻の真珠層や真珠にはほとんど認められないものである。また貝の軟体部中の porphyrin の分布は著しく偏在的であり，鰓・貝柱周辺部・足・外套膜先端部に多量に認められ心臓部や粘液には porphyrin の存在は認められないことが判明した[8]。このように貝の軟体部における porphyrin の分布が鰓のような呼吸活動の激しい器官に多量に存在することから考えて，porphyrin は貝の生理特に呼吸代謝と密接な関係を持つているものであると推定される。

真珠の色調と porphyrin の関係については，前述のごとく神前[1]は porphyrin と含有金属元素との結合を考え，metalloporphyrin が真珠の実態色の主原因をなしていると報告している。しかし，著者[6,8]や田中・高木[10,11]の行なつた真珠やアコヤガイの貝殻の porphyrin の研究では，貝殻中には4種類の porphyrin が認められ，このうち methyl ester として結晶状にとりだした uroporphyrin I の他は黄色および赤紫色の色調を持つものである。これらの色素は貝殻の稜柱層や稜柱層が沈着したいわゆる泥珠と呼ばれる不良真珠などには検出できるが，貝殻の真珠層や，真珠層のみが沈着した良質の真珠にはほとんど認められない。このことから，porphyrin は白色系や黄色系の真珠の色調を現わす主原因とは考えられない。しかしながら，真珠は必ずしも均質な真珠層で構成されているものではなく，真珠層中には微量ではあるが porphyrin を含有している稜柱層を含むことも多いから，真珠の色調と porphyrin の関係も全然無視することはできないのは勿論である。

3. 真珠に含有されている黄色成分について

母貝より採取された一群の真珠の中で，特に不純物に起因するブルー系の真珠を除くと黄色系真珠（クリーム色よりゴールド色までの真珠を一括する）の占める率の多いことが観察され，生産地域によつてかなりの差はあるが浜揚量の40%内外の黄色系真珠が生産されている。これら黄色系の真珠を切断しその断面を観察すると真珠層は一様に淡黄褐色を呈しており，またホワイト系の真珠でも色彩測定器で測色するといずれも I.C.I. 色度図の黄色の領域に位置するのが認められるので，アコヤガイ真珠は肉眼的な観察によるものとは無関係に量的な差はあるがすべての真珠に黄色成分が存在していることが推定される。



第2図．真珠より抽出した黄色色素のペーパークロマトグラム．
一次元展開：ブタノール・醋酸・水(4: 1: 2)
二次元展開：フエノール・水 (8: 2)
発色：ニンヒドリン 1: Leucin, 3: Alanin, 5: Glycine,
6: Glutamic acid, 7: Aspartic acid 2, 4: ?

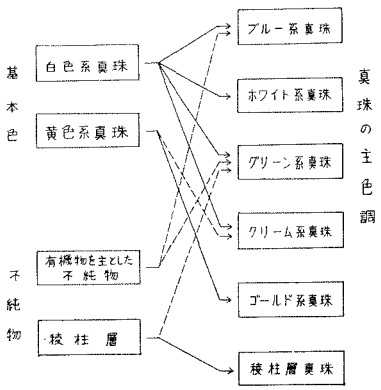
真珠のうちでも特に黄色系の真珠を多量に破壊して真珠層のみを集め，これを HCl-methanol で主成分の炭酸石灰を溶解しながら色素成分を抽出すると抽出液は黄褐色を呈する。この色素成分の化学組成については，前報[9]で報告したごとく alanine, glycine, leucine, glutamic acid, aspartic acid の5種のアミノ酸を構成成分とする peptide と Fe の錯化合物である全く新しい色素であり，白色系の真珠を用いて同様の処理を行なつてもほとんどこの色素が得られないことが認められた。

すでに田中[13]も真珠の発色の原因は porphyrin 以外の色素によるものと報告しており，また渡部等[16]も黄色系真珠はアコヤガイ特有の黄色色素の存在によるものと推定している。したがつて真珠中に認められた黄褐色の Fe-peptide は真珠の実態色を示す主原因となつており，量的な違いはあつても普遍的に広く真珠に含有されているものであると考えられる。

真珠色調の分類

真珠の色沢を決定する原因を物理的ならびに化学的要因に分類して検討したが，真珠の色沢はこれらの要素が単独に原因しているものではなく，諸要素が互に入り混ざつて複雑な真珠の色沢が得られるものである。すなわち物理的要因である反射光や干渉色は主として真珠の実態色に加わつて奥深い真珠の色沢を形成するものであり，実態色は化学的要因である色素成分および真珠層中に混入した不純物によつて発色するものである。

第3図は真珠の色沢のうち物理的要因を加味しない実態色の面のみよりみた真珠色調の分類図である。真珠は色彩測定器による測色によつてもある程度は黄色がかつた色調を持つているのでその限界は引き難いが，比較的 Fe-peptide 型の黄色色素の少ないものと多いものに分類し，それぞれ白色系真珠および黄色系真珠の2基本色に大別する。次に多少の差はあるが一般に真珠中に含まれている不純物を大別し，シミや斑点の原因となる蛋白質に由来した有機物を主成分とする不純物と，同じ炭酸石灰の結晶ではあるが真珠層を構成している aragonite とは異なつた結晶形の calcite で形成された不透明な稜柱層に分けて考えてみる。上述の基本色および不純物の4要素をそれぞれ主成分，副成分に分けて組み合わせてみると，ブルー系真珠，ホワイト系真珠，グリーン系真珠，クリーム系真珠，ゴールド系真珠および商品価値のない稜柱層真珠の6種の主色調が考えられる。実際には



第3図. 実態色よりみた真珠色の分類.
——: 主成分, ----: 副成分

前述のごとく真珠はいずれも多少の黄色成分や他の不純物を持つているものであるから，これらより派生した6種の主色調の間にも明確な境界が引けないことは当然である。更にこの主色調は，たとえばゴールド系真珠に稜柱層が混入した茶金色系真珠や，ホワイト系真珠に稜柱層が微量に入つてローズ・ピンク系の真珠が形成されるなど互に入り混じつて多種多様な真珠の実態色ができ，これに物理的要素である干渉色が加わるとすこぶる複雑な真珠の色沢が形成されるものと考えられる。

終りに当たり終始御指導をいたゞいた京都大学田中正三教授および当所前所長高山活夫氏に深謝いたします。

要　　約

1．真珠の色沢を物理的要因および化学的要因に分類して検討した。

2．特に化学的要因である真珠の実態色についてその成因を明らかにし，これを基にして真珠の実態色を二つの基本色と6種の主色調に分類した。

文　　献

1) 神前武和　1947. 真珠中ポルフイリン体に就て.生理生態 1 (4): 247—250.
2) 奥田・竹内　1919. 日化誌 38: 819.
3) 大森啓一　1947. 真珠の色とつや. 科学朝日 8: 34—36.
4) 沢田保夫　1957. アコヤガイ貝殻及び真珠の無機成分に関する研究 I. 国立真珠研報 2: 68—73.
5) ———— 1957. 自記分光光度計による真珠の色の測定. 国立真珠研報 3: 175—182.
6) ———— 1958. 真珠貝の生化学的研究—真珠貝の色素. 国立真珠研報 4: 335—339.
7) ———— 1958. 真珠の蛍光に関する研究. 国立真珠研報 4: 340—346.
8) ———— 1961. 真珠貝の生化学的研究 III. アコヤガイ軟体部のポーフイリン色素の分布. 国立真珠研報 6: 546—552.
9) ———— 1961. 真珠の黄色色素の研究. 国立真珠研報 7: 865—869.
10) 高木　豊・田中正三　1955. 真珠の生化学的研究（第5報）あこや貝の色素 (1) Porphyrin について. 日化誌 76: 406—409.
11) 高木　豊　1956. 真珠に関する生化学的研究（第6報） あこや貝の色素 (2) Porphyride について. 日化誌 77: 1707—1712.
12) 高岡　斎　1955. 自然 10 (8).
13) 田中正三　1955. 真珠研究-真珠養殖に関するシンポジユム記録（国立真珠研究所） 1: 30.
14) 内田洋一・上田正康　1947. 真珠の層状構造と iridescence. 生理生態 1 (3): 25—31.
15) ————・———— 1947. 真珠の色と光沢について. 京大綜合研究体制研究報告 13号 26.
16) 渡部哲光・岡田弥一郎・宮村光武・井上義雄　1957. アコヤ貝の養殖真珠の品質と養殖深度との関係—II. 日水誌 23: 235—240.
17) 八坂　茂・宮原昭二郎・田端義明　1956. あこやがいの研究II. 真珠層の重金属及びアミノ酸について. 長崎大学水産学部研究報告 No. 4: 45—48.

長崎県下真珠養殖漁場において生産された真珠品質およびアコヤガイの成長度の比較に関する研究*,1)

蓮尾真澄・阪口清次・山口一登・村上悦男

国立真珠研究所

はしがき

真珠養殖技術のうちで，人為的な面に重点がおかれている技術，たとえば，高度の手工的技能を必要とする核入れ作業や，施術貝の養成を中心とする海事作業については，業界多年の経験に準拠した長足の進歩の跡が認められ，研究面においても貴重な多くの成果があげられている。しかしながら，養殖環境としての漁場問題に関しては，業界にあつてこそ，比較的以前から漁場の選択利用についての意慾的な動きがみられたものゝ，それは直観的あるいは，経験的なものが多かつたために充分な効果があげられていない場合が多いようであり，一方，研究面においては，現在ようやくその緒についたばかりの感がないでもない。養殖漁場のもつ特性をつかむことによつて，その利用形態を確立させることが事業発展のための最も大きな基本的条件であるといつても過言ではないと考えられる。また，科学研究面と行政施策面との緊密なる連けいなくしては，この事業の発展を期することもできないが，行政面において，現在最も要請されているのが科学的根拠をもつた養殖漁場の合理的利用方法を策定することである。この方面の研究としては，三重県下養殖漁場についての二，三の調査研究が見受けられ，長崎県下においても一部の海区を対象とした一，二の研究はあるが，長崎県下全海域にわたつての調査研究は，行政面ならびに業界の多年の要望にもかゝわらず，いまだ実現をみるに至らなかつたのであるが，このたびその調査研究を担当する機会に恵まれ，将来の漁場利用に対して，新しい方向を示すものとして，また，養殖技術の面においても参考となるべきいくつかの知見を得たので，その結果について報告する。

報告に先だち，本研究を企画された長崎県当局に心から敬意を表するとともに，試験の実施にあたりなみなみならぬ御協力を頂いた関係各業者の方々に感謝の意を表する。また，研究計画の樹立や取りまとめにあたり，指導，助言を頂いた前国立真珠研究所長高山活夫

---

* Masumi Hasuo, Seiji Sakaguchi, Kazuto Yamaguchi and Etso Murakami. Studies on the qualities of the pearl and growth rate of the pearl oyster, *Pinctada martensii*, which cultured at culture ground in Nagasaki prefecture. Bull. Natl. Pearl Res. Lab. 8: 920-947. 1962.

1) 国立真珠研究所業績 No. 97（国立真珠研究所報告 8: 920—947. 昭和37年9月）

氏，国立真珠研究所太田繁所長，沢田保夫研究課長，ならびに海洋観測，取りまとめの労を煩わした中尾安隆所員に深謝する。

試　験　方　法

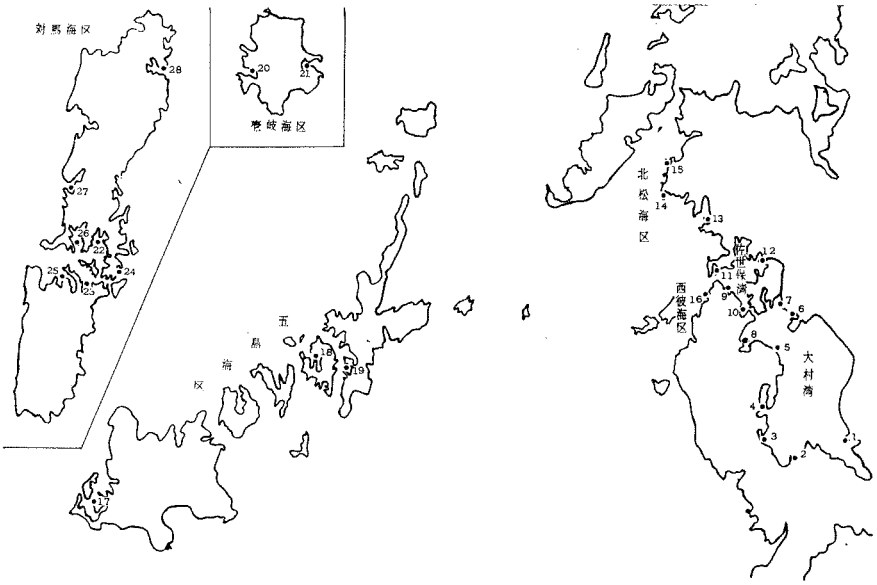
1．試験地点の選定

長崎県下の真珠養殖漁場は全海域にわたつて広範囲に分布しているので，試験地点を各海区ごとに全般的に散在させるようにして，既往の研究結果および経験的な知見による養殖漁場の海況についての概念的な知識ならびに地形的な諸条件を考慮して，大村湾8点，

第1表　試験地点

海区	st.	試験地点
大村湾	1	大村湾
	2	長与串
	3	村松串
	4	浦岳
	5	串
	6	津
	7	串
	8	大
佐世保湾	9	瀬
	10	川
	11	浦
	12	塔
北松	13	浦
	14	々
	15	町
西彼	16	高
五島	17	浦
	18	浦
	19	浦
壱岐	20	湾
	21	湾
対馬	22	部
	23	浜
	24	吠
	25	形
	26	湾
	27	湾
	28	増

佐世保湾4点，北松浦郡3点，西彼杵郡1点，五島3点，壱岐2点，（以上をⅠ海域とする）および対馬7点（Ⅱ海域とする）の計28点を試験地点として選定した。



第1図．試験地点配置図．

2．真珠の養殖試験

試験に供した施術貝はⅠ海域とⅡ海域とは別途に準備した。すなわち，Ⅰ海域関係分については大村湾内の一業者に，またⅡ海域関係分は遠隔地である上に夏季であるために輸送期間中における施術貝の健康状態の低下を顧慮して，現地の一業者にそれぞれ委託して施術を行なつた。

核入れ施術にあたり，母貝およびピース貝はⅠ，Ⅱ海域ともに同一産地のものを使用することが望ましかつたが，調達の都合上不統一におわり，Ⅰ海域関係分は大分県産（大分県畑野浦産）を，Ⅱ海域関係分は愛媛県産（愛媛県宇和島産）の3年もの約140掛のものを使用した。しかし，Ⅱ海域は県下にあつては地理的に独立した海域とみなし得ると考えられるので，とりまとめに当つてはⅠ海域とは別個の取扱いをした。核入れ施術は直径4.25 ± 0.05mmの核を母貝1個体に「ふくろ」と「うかし」の2個所にそう入し，作業はⅠ海域関係分は施術者4名，またⅡ海域については2名によつて，いずれも1961年6月下旬の同時期に実施した。なお，試験地点によつて特定の施術者による施術貝が片寄ることを防ぎ，技術差の変動を除き均一にするために，各試験地点ごとに各施術者の施術貝をかごごとに同数あて収容して配布した。

試験地点への配布は，Ⅰ海域については大村湾を7月中旬に大村支所調査船で，また佐世保湾，北松，西彼，および五島は7月下旬に活魚槽を有する漁船によつて行ない，壱岐は7月中旬に母貝運搬船で事前に運搬しておいて，7月下旬にそれぞれの試験地点に配布した。Ⅱ海域については，現地ですでに施術を行なつたものを7月末より8月初旬にかけてそれぞれの試験地点に配布した。

養殖かごは丸型綿糸網かごを使用し，1かごに30個体を収容して，各試験地点ごとに2

m と 5m の 2 層に各 5 かごずつを垂下養成した（大村においては水深の関係で 2m と 3m の 2 層とした）。養成期間中の管理はすべて試験地点の関係業者に委託し，貝掃除は試験期間中を通じて，8，9，10月の下旬に 3 回実施した。貝掃除は一般的な方法により，空中露出時間をできるだけ短縮して，貝殻の先端部を切り落さないように注意して行なつた。その時に養殖かごの交換もあわせて行なつた。

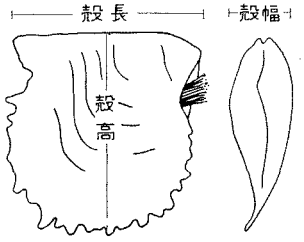
養成期間を約 5 ケ月とし，試験貝の回収は大村湾を11月末に，佐世保湾，北松，西彼を12月上旬にそれぞれ行ない，12月中旬に大村支所にて真珠の採取を行なつた。また，五島，壱岐，および対馬は12月中旬にそれぞれ現地で真珠の採取を行なつた。

得られた真珠の品質の比較は，漁場の環境条件と特に関連のあると思われる色と巻きについて行ない，このうち色については，肉眼的観察によつてホワイト系，クリーム・ゴールド系，グリーン系の 3 者に分類し，試験地点および垂下深度別にその出現個数を数え，出現分布の状態について χ^2 一検定で比較した。また，巻きについては，マイクロメーターで直径を測定（この場合真珠は完全な球形ではないのでその最短径と思われる部分を測定した）し，試験地点，垂下深度別に真珠 1 個当りの平均直径を算出して比較を行なつた。なお，これと併行して試験地点および垂下深度別に真珠の全数を秤量し，1 個当りの平均重量を算出しての比較も行ない，これらについて F-検定によつて比較した。

3．真珠貝の成長度試験

成長度試験には，Ⅰ，Ⅱ海域ともに三重県産 2 年もの（1960年に三重県五ケ所浦で採苗，育成し，1961年 5 月中旬に大村湾に運搬）を使用し，試験地点への配布は，Ⅰ海域関係分は試験用施術貝と同時に行ない，Ⅱ海域関係分は 7 月中旬に活魚槽を有する運搬船で一定漁場に輸送しておき，7 月末より 8 月初旬にかけて施術貝と同時に配布した。養殖かごは丸型綿糸網かごを使用して，1 かご当り50個体を収容，試験地点ごとに 2m と 5m の 2 層に各 3 かごを垂下した（大村のものは施術貝と同様の理由で 2m と 3m とした）。また，養成期間中に施術貝と同時に 3 回の貝掃除を行ない，あわせてかごの交換も行なつた。

成長度の測定は殻長，殻高，殻幅をノギスで計り，また重量もあわせて秤つた。第 1 回測定は 7 月上旬大村支所で実施し，第 2 回目は12月上旬から中旬にかけて大村湾関係は大村支所で，他はそれぞれの試験地点において施術貝の回収時に行なつた。成長度は試験育成期間約 5 ケ月の成長量をかご別の平均値で表わし，F-検定によつて比較した。



第 2 図．アコヤガイ成長度測定部位．

4．海洋観測

養殖試験とあわせて海洋観測を実施した。項目は水温，塩素量，透明度，水中濁度および水中照度であり，観測点は第 3 図に示したとおり大村湾，佐世保湾，北松浦郡，西彼杵郡の各試験地点とそれらの沖合をとり，養殖試験期間中 9 月27～30日および11月20～25日の 2 回観測を実施した。水温，塩素量ならびに透明度は常法に従い，水中濁度および水中照度の測定は古川らの方法に準じた。

なお，水中濁度計により求められる濁度（τ）は次式のとおりである。

$$\tau = \frac{2.3}{0.5}(\log Ip.w. - \log Is.w.)$$

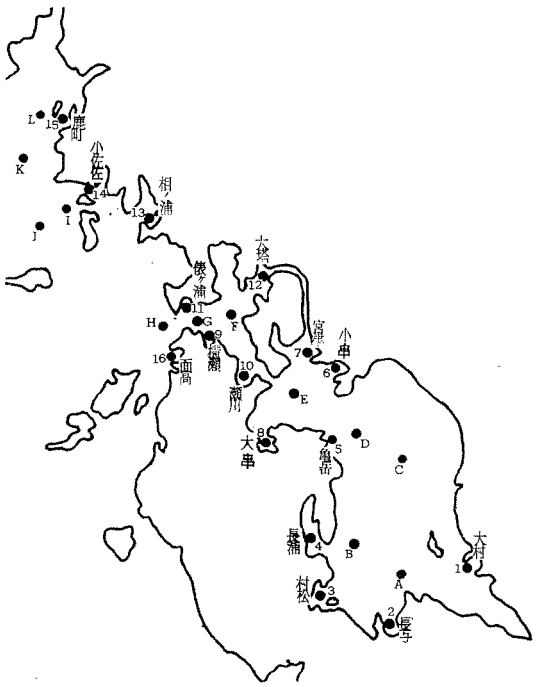
ここに，τは水層（light path）1m当りの濁度，Ip.w.は蒸溜水中での光電流の強さであり，Is.w.は測定する海水中のそれである。

さらに，水中照度より求められる懸濁質係数（a）は次式によつて定義される。

$$It = Io \exp(-aT^b)$$

ここで，Io，Itは表面および透明度の深さにおける照度（ここではIo＝100，Itは透明度深の照度の表面のそれに対する百分率），Tは透明度の深さ（m），bはある恒数で沿岸の場合b＝0.7が経験的に得られている。

また，水温，塩素量の観測層は0m，2，5，10，底層とし，水中濁度，水中照度は0m，0.5，1，2，3，……と1m間隔とした。なお，関係業者による水温の連日観測結果を参考資料として利用した。



第3図．観測地点の位置．

結　　果

Ⅰ．真珠の品質

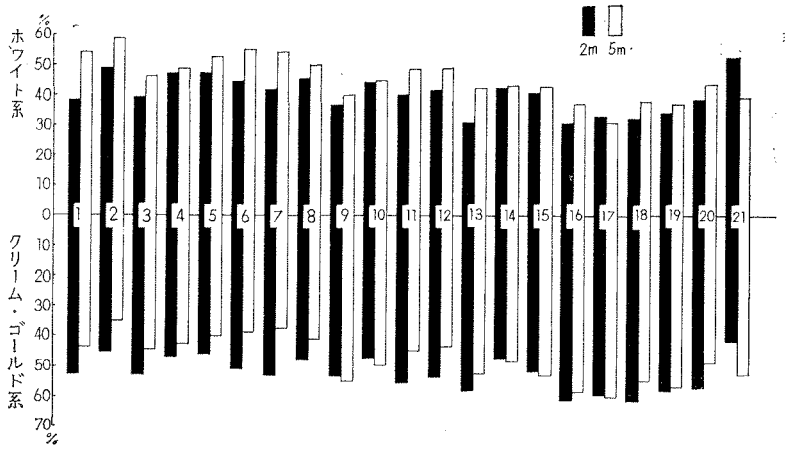
1．色について

(1)　Ⅰ海域について

各試験地点の垂下深度別に出現分布を表わしたのが第2表，第4図である。

まず，概観的に海域全般を通じての真珠の色別の出現分布がどのような状態になつているか，その傾向をみるために，第2表について検定すれば，有意の差が認められる（危険率5％）。つまり，Ⅰ海域内では地点によつては，ホワイト系が多くて，クリーム・ゴールド系の少く現われるところがあるが，その反対の傾向を示す地点もあることを示している。

しかるに，本試験は海区としての特性をつかむことが主目的であるから，ここで，Ⅰ海域内の各試験地点で生産された真珠を海区別に垂下深度，色によつて集計したのが第3表である。



第4図. ホワイト系とクリーム・ゴールド系真珠の出現率（I海域）

第2表　真珠の色別出現個数（I海域）

海区	垂下深度 / 色 / 地点	2 m ホワイト系	2 m クリーム・ゴールド系	2 m グリーン系	2 m 計	5 m ホワイト系	5 m クリーム・ゴールド系	5 m グリーン系	5 m 計
大村湾	1	63(37.7)	90(53.9)	14(8.4)	167(100)	92(53.8)	69(40.4)	10(5.8)	171(100)
	2	83(48.3)	81(47.1)	8(4.6)	172(100)	82(59.0)	49(35.3)	8(5.7)	139(100)
	3	69(39.0)	94(53.1)	14(7.9)	177(100)	68(45.9)	68(45.9)	12(8.2)	148(100)
	4	80(46.5)	81(47.1)	11(6.4)	172(100)	79(48.5)	70(42.9)	14(8.6)	163(100)
	5	81(47.1)	79(45.9)	12(7.0)	172(100)	95(52.8)	72(40.0)	13(7.2)	180(100)
	6	69(40.4)	87(50.9)	15(8.7)	171(100)	88(55.3)	62(39.0)	9(5.7)	159(100)
	7	73(42.2)	91(52.6)	9(5.2)	173(100)	101(54.0)	70(37.4)	16(8.6)	187(100)
	8	74(46.3)	76(47.5)	10(6.2)	160(100)	81(50.0)	66(40.7)	15(9.3)	162(100)
佐世保湾	9	62(36.9)	89(53.0)	17(10.1)	168(100)	72(40.0)	99(55.0)	9(5.0)	180(100)
	10	69(43.7)	75(47.5)	14(8.8)	158(100)	82(44.1)	92(49.5)	12(6.4)	186(100)
	11	63(39.6)	87(54.7)	9 (5.7)	159(100)	85(49.1)	78(45.1)	10(5.8)	173(100)
	12	66(41.3)	85(53.1)	9(5.6)	160(100)	80(49.4)	69(42.6)	13(8.0)	162(100)
北松	13	52(31.0)	97(57.7)	19(11.3)	168(100)	79(42.7)	95(51.4)	11(5.9)	185(100)
	14	68(42.2)	77(47.8)	16(10.0)	161(100)	65(43.3)	72(48.0)	13(8.7)	150(100)
	15	73(41.2)	91(51.4)	13(7.4)	177(100)	73(43.2)	88(52.1)	8(4.7)	169(100)
西彼	16	50(30.7)	100(61.3)	13(8.0)	163(100)	68(36.8)	108(58.4)	9 (4.8)	185(100)
五島	17	59(33.0)	106(59.2)	14(7.8)	179(100)	54(30.5)	105(59.3)	18(10.2)	177(100)
	18	53(31.7)	102(61.1)	12(7.2)	167(100)	63(38.0)	91(54.8)	12(7.2)	166(100)
	19	56(34.1)	95(57.9)	13(8.0)	164(100)	62(37.1)	95(56.9)	10(6.0)	167(100)
壱岐	20	70(37.6)	106(57.0)	10(5.4)	186(100)	72(42.9)	82(48.8)	14(8.3)	168(100)
	21	48(51.6)	39(41.9)	6(6.5)	93(100)	35(38.5)	48(52.7)	8(8.8)	91(100)

註 （ ）は %

第3表　海区別直珠の色別出現個数（Ⅰ海域）

海区＼色＼垂下深度	2m ホワイト系	2m クリーム・ゴールド系	2m グリーン系	2m 計	5m ホワイト系	5m クリーム・ゴールド系	5m グリーン系	5m 計
大村湾	592(43.40)	679(49.78)	93(6.82)	1364(100)	686(52.41)	526(40.18)	97(7.41)	1309(100)
佐世保湾	260(40.31)	336(52.09)	49(7.60)	645(100)	319(45.51)	336(48.22)	44(6.27)	701(100)
北松	193(38.14)	265(52.37)	48(9.49)	506(100)	217(43.06)	255(50.60)	32(6.34)	504(100)
西彼	50(30.67)	100(61.35)	13(7.98)	163(100)	68(36.76)	108(58.38)	9(4.86)	185(100)
五島	168(32.94)	303(59.41)	39(7.65)	510(100)	179(35.10)	291(57.06)	40(7.84)	510(100)
壱岐	118(42.29)	145(51.97)	16(5.74)	279(100)	107(41.31)	130(50.19)	22(8.50)	259(100)

註（　）は％

海区によつて色の出現分布に特徴がみられるかどうか，つまり，ホワイト系の真珠が多く現われ易い海区や，反対にクリーム・ゴールド系の出現率の高い海区が存在するかどうかをみるため，第3表より二つずつの海区の組合わせを作り，垂下深度別，色別に検定し（危険率5％），その結果をまとめると次のごとくになる。

2m層　大村湾，佐世保湾，壱岐の各海区にホワイト系のものが多く，クリーム・ゴールド系は少なく，西彼海区，五島海区は逆にクリーム・ゴールド系が多く，ホワイト系が少ない。北松海区はこれらの中間に位置付けされるようである。

5m層　大村湾海区は他のいずれの海区よりもホワイト系が多く現われ，佐世保湾，北松，壱岐の各海区がこれに次ぎ，西彼海区，五島海区はホワイト系が少ないようである。一方，クリーム・ゴールド系については順位がこれらとは逆になる傾向がみられる。

次に，垂下深度による真珠の色別の出現率について，五ケ所浦青年会真研クラブ(1959)では，垂下深度が深くなるほどクリーム系統のものが少なくなり，ホワイト系統の真珠が多くなると報告しているが，今回設定の試験地点についても同様な傾向がみられるかどうかをたしかめるため，試験地点21の個々について，2m層，5m層によつての色の出現率を検定すると，st.1，6，7（以上いずれも大村湾海区），st.13（北松海区）の4地点では有意の差が認められ（危険率5％），いずれも5m層にクリーム・ゴールド系が少なく，ホワイト系が多いが，他の17地点については有意の差が認められない（危険率5％）。すなわち，大部分の試験地点では垂下深度によつての差を認めることができなかつた。

(2)　Ⅱ海域について

各試験地点の垂下深度別に真珠の色別の出現分布を表わしたのが第4表，第5図である。

第4表より，出現分布状態の差異について検定すれば，有意の差は認められない（危険率5％）。これは，Ⅱ海域全般の傾向として，各地点における真珠の色別の出現分布状態がよく似ていることを意味している。

さらに，各地点ごとに垂下深度による差を検定しても，有意の差は認められない（危険率5％）。すなわち，垂下深度によつて特にホワイト系の多い地点や，クリーム・ゴールド系真珠の多い地点は存在しないことを示している。

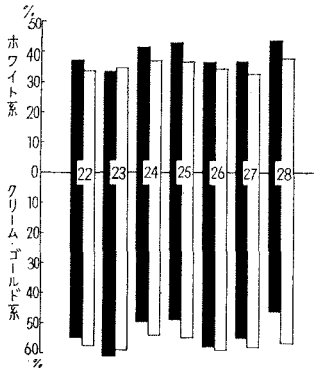
以上の結果から，垂下深度と真珠の色については，垂下深度が真珠の色別の出現分布に関与するとしても，それが必ずしも支配的な要因になるほど大きなものではなく，それの

しめる比重は小さいものと考えられる。

第4表　真珠の色別出現個数（Ⅱ海域）

海区	地点＼垂下深度＼色	2 m ホワイト系	2 m クリーム・ゴールド系	2 m グリーン系	2 m 計	5 m ホワイト系	5 m クリーム・ゴールド系	5 m グリーン系	5 m 計
対	22	72(37.7)	105(55.0)	14(7.3)	191(100)	63(34.1)	106(57.3)	16(8.6)	185(100)
	23	68(33.3)	125(61.3)	11(5.4)	204(100)	69(34.8)	116(58.6)	13(6.6)	198(100)
	24	77(43.8)	87(49.4)	12(6.8)	176(100)	81(44.5)	97(53.3)	4(2.2)	182(100)
	25	84(43.1)	95(48.7)	16(8.2)	195(100)	65(36.9)	97(55.1)	14(8.0)	176(100)
	26	74(37.0)	116(58.0)	10(5.0)	200(100)	71(34.5)	120(58.3)	15(7.2)	206(100)
馬	27	70(36.6)	105(55.0)	16(8.4)	191(100)	58(33.3)	101(58.0)	15(8.7)	174(100)
	28	89(43.8)	93(45.8)	21(10.4)	203(100)	56(38.1)	84(57.1)	7(4.8)	147(100)

註（ ）は %

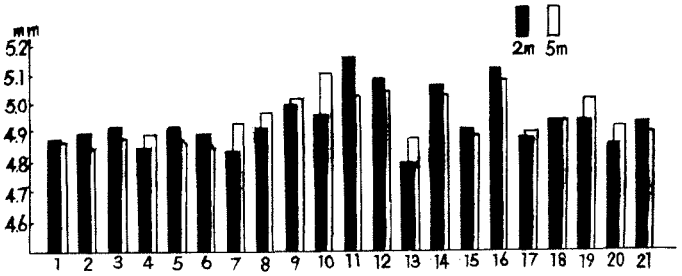


第5図．　ホワイト系とクリーム・ゴールド系真珠の出現率（Ⅱ海域）

2．　巻きについて

(1)　Ⅰ海域について

各試験地点，垂下深度別に真珠の平均直径ならびに平均重量を表わしたのが第5表，第6図である。



第6図．　地点・垂下深度別の真珠の平均直径（Ⅰ海域）

第5表　真珠の巻（Ⅰ海域）

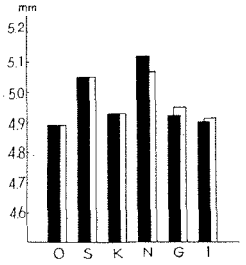
海区	巻き地点 / 垂下深度	2m 平均直径(mm)	2m 平均重量(g)	5m 平均直径(mm)	5m 平均重量(g)
大村湾	1	4.88	0.176	4.87	0.173
	2	4.90	0.176	4.85	0.172
	3	4.92	0.181	4.88	0.176
	4	4.85	0.170	4.89	0.179
	5	4.92	0.180	4.87	0.174
	6	4.89	0.177	4.85	0.173
	7	4.84	0.173	4.93	0.182
	8	4.91	0.180	4.97	0.185
佐世保湾	9	5.00	0.189	5.01	0.193
	10	4.96	0.186	5.10	0.204
	11	5.16	0.208	5.03	0.196
	12	5.08	0.198	5.04	0.196
北松	13	4.80	0.167	4.88	0.176
	14	5.06	0.196	5.02	0.195
	15	4.91	0.179	4.89	0.178
西彼	16	5.12	0.204	5.08	0.202
五島	17	4.88	0.175	4.90	0.179
	18	4.94	0.182	4.94	0.184
	19	4.94	0.183	5.02	0.197
壱岐	20	4.86	0.172	4.92	0.179
	21	4.94	0.181	4.90	0.178

これより，試験地点相互間の真珠の巻き，すなわち平均直径，平均重量の差について検定すれば，それらに有意の差が認められる（危険率5％）。これは，Ⅰ海域内の21試験地点間に真珠層の形成速度にかなりの差異がみられ，真珠の巻きの速い漁場や遅い漁場が存在することを示している。

さらに，巻きについても，個々の漁場よりは海区としての性格をつかむことが，本試験ではより大きな意義を有するので，各試験地点の真珠の直径，ならびに重量を大村湾，佐世保湾，北松，西彼，五島，壱岐の海区別にまとめ，海区ごとの平均値で表わせば，第6表，第7図のごとくになる。

第6表　海区別の真珠の巻き（Ⅰ海域）

海区	巻き / 垂下深度	2m 平均直径(mm)	2m 平均重量(g)	5m 平均直径(mm)	5m 平均重量(g)
大村湾		4.889	0.177	4.889	0.177
佐世保湾		5.051	0.195	5.045	0.197
北松		4.926	0.181	4.929	0.183
西彼		5.117	0.204	5.082	0.202
五島		4.919	0.180	4.953	0.187
壱岐		4.900	0.177	4.911	0.179



第7図. 海区・垂下深度別の真珠の平均直径（I海域）
O：大村湾，　S：佐世保湾，
K：北松海区，N：西彼海区，
G：五島海区，I：壱岐海区

これより，海区相互間の差を検定すれば，平均直径，平均重量に有意の差が認められる（危険率1％）。すなわち，海区を単位とした場合に，海区によつて真珠の巻きの速さが相対的に異なることを意味しており，第7図からも西彼，佐世保湾，北松，五島，壱岐，大村湾の順に巻きが劣る傾向を一応見出すことができるが，これらの差の範囲を検定すれば，西彼と佐世保湾には有意の差が認められずまた，北松，五島，壱岐，大村湾，の海区間にも有意の差が認められないが，前者と後者とには有意の差が認められる（危険率5％）。つまり，I海域はこの2群に大別され，前者は後者に比較して真珠の巻きがすぐれている傾向がうかがわれる。

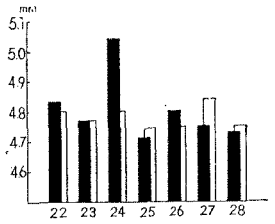
次に，垂下深度別による真珠の巻きを比較すれば，まず，I海域全体としては，垂下深度相互間に有意の差は認められず（危険率1％），また，地点と垂下深度の交互作用効果についても有意の差が認められない（危険率1％）。これは，試験地点によつては2mに垂下したのが巻きがよかつたが，ある地点では5mがよかつたということがなく，垂下深度による真珠の巻きは同じ傾向を示すことを意味している。

なお，各試験地点ごとに垂下深度別による真珠の巻きを比較しても，有意の差が認められない（危険率5％）。すなわち，以上の結果を総合すれば，I海域関係について真珠の巻きは，海区を単位として大きく2群に分類され，I海域全体としても，各試験地点についても垂下深度によつて巻きに変りはないことになる。

(2)　II海域について

試験地点，垂下深度別の真珠の平均直径，および平均重量を表わしたのが第7表，第8図である。

まず，試験地点相互間による真珠の巻きを比較すれば，平均重量に有意の差が認められる(危険率1％)。つまりII海域についても，I海域と同様に試験地点により真珠の巻きの速さが相対的に異なるということである。また



第8図. 地点・垂下深度別の真珠の平均直径
（II海域）

第7表　真珠の巻き（II海域）

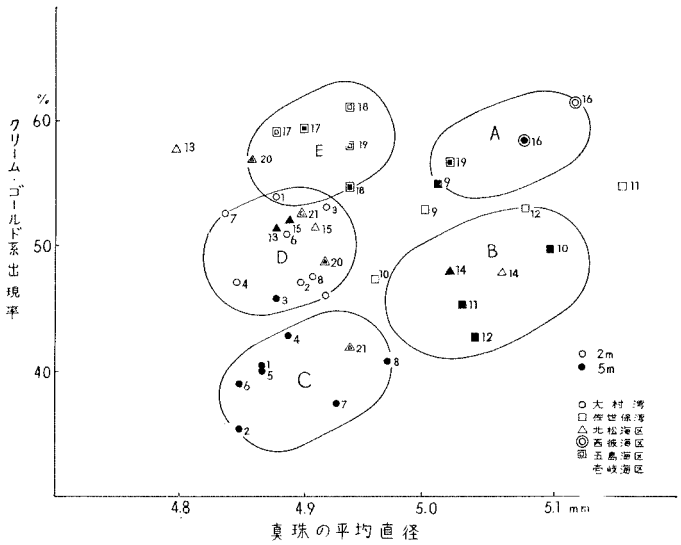
海区	地点＼垂下深度	2 m 平均直径 (mm)	2 m 平均重量 (g)	5 m 平均直径 (mm)	5 m 平均重量 (g)
対馬	22	4．83	0．166	4．80	0．165
	23	4．77	0．160	4．77	0．164
	24	5．04	0．191	4．80	0．167
	25	4．71	0．156	4．74	0．160
	26	4．80	0．165	4．75	0．161
	27	4．75	0．160	4．84	0．171
	28	4．73	0．163	4．75	0．162

垂下深度相互間に有意の差が認められ（危険率5％），地点と垂下深度の交互作用効果にも有意の差が認められる（危険率1％）。これは，垂下深度によつて真珠の巻きに差異がある地点が存在することを示しているので，各試験地点別に垂下深度による比較を行なえば，st.24のみにその差が認められ（危険率5％），2m層に垂下した場合が5m層よりも真珠の巻きがすぐれている結果となり，その他の地点では有意の差は認められなかつた（危険率5％）。

垂下深度と真珠の巻きについて，五ケ所浦青年会真研クラブ（1959）は浅くつつたものほど巻きがよいと報告し，垂下深度と巻きの間に相関を認めているが，渡部等（1957）は垂下深度による巻きの違いはわずかの例外をのぞいては認められないと述べている。ここに，本試験の結果については試験地点28のうち垂下深度による巻きの差異が認められたのはわずかに1地点のみで他は認められなかつた。このことからして，垂下深度が巻きに関与する要因として支配的な役割をはたすほど大きなものではなく，むしろ漁場の差の方がより大きいのではないかと思われる。

3．真珠の色と巻きを総合して

真珠の品質に関与する諸要素について，環境要因と関連のあると考えられるものの中から，色別の出現率，特にクリーム・ゴールド系真珠の出現率と巻き（平均直径）を取り出しこの2者を総合してI海域全試験地点の類型区分を行なえば第9図のごとくになる。



第9図．真珠の平均直径とクリーム・ゴールド系真珠の出現率（I海域）

これより各海区についてその特徴をみれば，次のようになる。

i）大村湾……真珠の平均直径は4.80～4.95mmの範囲にあるが，色別の出現率が垂下深度によつて違つてくる傾向を示す。すなわち，5m層で養成した真珠にはクリーム・ゴールド系真珠の出現率が低く，2m層の場合相対的にクリーム・ゴールド系真珠の出現率が高い。

ii) 佐世保湾……真珠の巻きは 4.95～5.20mm の範囲にあり，巻きのよい地点が集まつているが，色の点では50%前後のクリーム・ゴールド系真珠の出現率を示し，大村湾の 5m 層と比較してやゝ高い傾向がみられる。

iii) 西彼海区……巻きは佐世保湾同様にすぐれているが，クリーム・ゴールド系が約60%とやゝ高い出現率を示している。

iv) 北松海区……海区としての特徴は特に見られず，3試験地点個々にみれば，st.14 は佐世保湾と同じグループに属し，st.15，st.13 の 5m 層は大村湾の 2m 層と同程度に位置し，st.13 の 2m 層の巻きは4.80と悪くなり，クリーム・ゴールド系の出現率も高くなる傾向が認められる。

v) 五島海区……巻きは大村湾とほゞ同程度であるが，全体としてクリーム・ゴールド系の出現率がやゝ高い。

vi) 壱岐海区……巻きは大村湾，五島海区と同じ位置をしめるが，色の点では地点によつてクリーム・ゴールド系の出現率にひらきがあり，st.30 では相対的にやゝクリーム・ゴールド系の出現率が高いようである。

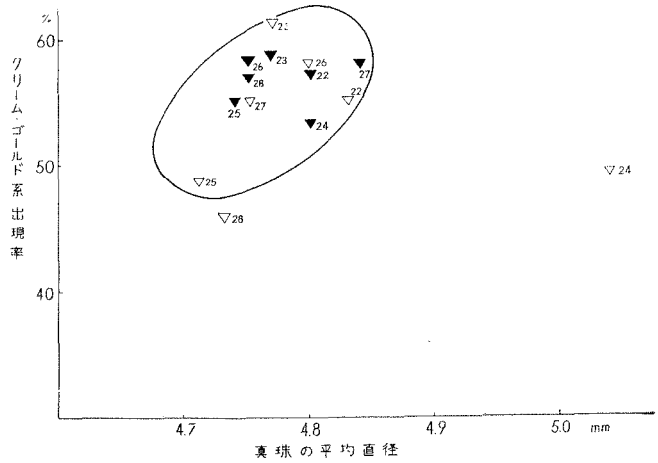
以上真珠の色および巻きの点から海区の性格について述べたが，これにより各試験地点は第8表のごとく五つの型に区分されるようである。

第8表　真珠の巻きとクリーム・ゴールド系真珠の出現率から見た養殖漁場の類型区分

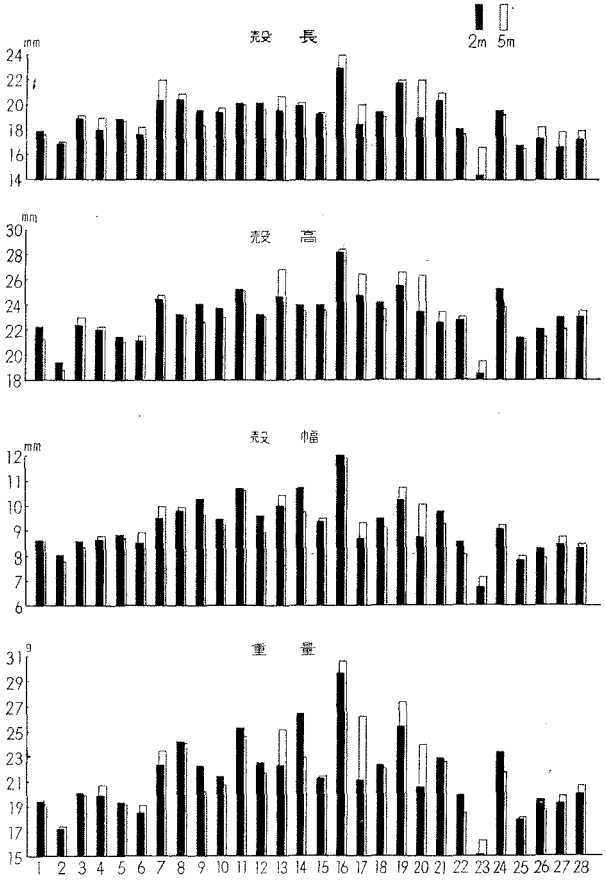
類型区分	漁　　場	真珠の平均直径 (mm)	真珠の平均重量 (g)	クリーム・ゴールド系の出現率 (%)
A	面高(2・5)　横瀬(2・5)　宿ノ浦(5)	5.00～5.20	0.190～0.210	50～60
B	瀬川(2・5)　俵ケ浦(2・5)　大塔(2・5)　小佐々(2・5)	4.95～5.10	0.185～0.295	40～55
C	大村(3)　長与(5)　長浦(5)　亀岳(5)　小串(5)　宮津(5)　大串(5)　芦辺(2)	4.80～4.95	0.170～0.185	35～45
D	大村(2)　長与(2)　村松(2・5)　長浦(2)　竜岳(2)　小串(2)　宮津(2)　大串(2)　相ノ浦(5)　鹿町(2・5)　半城湾(5)　芦辺(5)	4.80～4.95	0.170～0.185	45～55
E	玉ノ浦(2・5)　榊ノ浦(2・5)　宿ノ浦(2)　半城湾(2)　相ノ浦(2)	4.80～4.95	0.170～0.185	55～65

次に，II海域について，クリーム・ゴールド系真珠の出現率と平均直径を総合して表わすと第10図のようになる。

図にみられるように，色の点では海域全般としてクリーム・ゴールド系の出現率がやゝ高い傾向を示しているようである。また，st.24 の 2m 層の巻きは同海域内の他の地点にくらべて特にすぐれているようである。



第10図. 真珠の平均直径とクリーム・ゴールド系真珠の出現率（Ⅱ海域）
▽ 2m ▼ 5m



第11図. 地点・垂下深度別アコヤガイの成長量.

Ⅱ．アコヤガイの成長度

各試験地点における殻長，殻高，殻幅および重量の平均成長量を示したのが第9表，第11図である。

第9表より，各測定部位ごとに試験地点，垂下深度別の差を検定すると次の通りになる。

第9表　アコヤガイの成長量

海区	地点	殻長 2m	殻長 5m	殻高 2m	殻高 5m	殻幅 2m	殻幅 5m	重量 2m	重量 5m
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	g	g
大村湾	1	17.95	17.55	22.26	21.33	8.57	8.52	19.42	18.38
	2	16.87	16.88	19.37	18.77	8.00	7.76	17.25	17.50
	3	18.95	19.03	22.33	22.94	8.53	8.34	20.11	20.12
	4	17.93	18.86	21.95	22.24	8.62	8.73	19.95	20.84
	5	18.84	18.74	21.34	21.15	8.80	8.64	19.31	19.25
	6	17.51	18.23	21.18	21.57	8.46	8.90	18.57	19.19
	7	20.39	21.95	24.40	24.75	9.46	9.90	22.39	23.50
	8	20.40	20.81	23.23	23.04	9.73	9.88	24.22	24.10
佐世保湾	9	19.51	18.40	24.09	22.62	10.23	9.56	22.35	20.29
	10	19.43	19.76	23.72	23.00	9.41	9.18	21.40	20.71
	11	20.10	20.00	25.29	25.27	10.60	10.58	25.37	24.48
	12	20.12	19.63	22.36	22.16	9.55	8.90	22.53	21.70
北松	13	19.55	20.65	24.74	26.89	9.96	10.41	22.36	25.16
	14	20.03	21.05	24.02	23.75	10.68	9.67	26.44	22.93
	15	19.36	19.45	24.14	23.74	9.36	9.38	21.25	21.41
西彼	16	22.90	24.01	28.21	28.47	11.97	11.87	29.51	30.67
五島	17	18.57	20.14	24.75	26.53	8.64	9.33	21.14	24.37
	18	19.49	19.18	24.32	23.80	9.48	9.13	22.33	22.03
	19	21.77	21.91	25.64	26.63	10.21	10.62	25.48	27.28
壱岐	20	18.93	22.04	23.56	26.40	8.70	10.08	20.58	23.98
	21	20.33	20.86	22.55	23.41	9.78	9.22	22.82	22.76
対馬	22	18.03	17.64	21.93	22.02	8.57	8.05	19.86	18.50
	23	14.33	16.48	18.48	20.59	6.76	7.19	15.01	16.38
	24	19.57	19.36	25.39	23.95	9.04	9.20	23.40	21.78
	25	16.75	16.73	21.43	21.41	7.82	7.97	18.05	18.12
	26	17.36	18.35	22.21	21.75	8.31	7.88	19.55	18.65
	27	16.59	17.98	23.07	22.19	8.48	8.77	19.38	19.91
	28	17.24	18.15	23.18	23.53	8.34	8.48	20.02	20.75

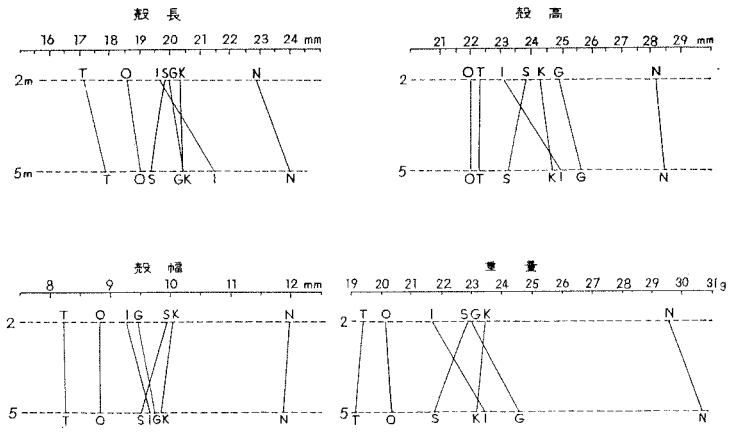
i)　殻長試験地点，垂下深度のいずれにも有意の差が認められる（危険率5％）。すなわち，各試験地点が同じ程度の成長度を示すのではなくて，成長度のすぐれているところもあれば，劣るところもある。また，海域全体としての平均化したものについてみれば，5m 層が 2m 層よりもすぐれているようである。さらに，試験地点と垂下深度との交互作用効果について検定すれば，有意の差が認められる（危険率5％）。これは地点によつては垂下深度による殻長の成長量に差のあることを意味している。

ii)　殻高，殻幅，重量　いずれの測定部位についても，試験地点によつて有意の差が認

められるが，垂下深度によつては有意の差は認められない（危険率5％）。すなわち，地点によつて成長度のよいところもあれば，悪いところもある。また，海域全体としての傾向をみれば，2m層と5m層では同じ程度の成長度を示しているといえよう。しかし，地点と深度との交互作用効果に有意の差が認められるので（危険率5％），各地点別に検定すれば垂下深度によつて成長量に差のある地点の存在することがうかがわれる。次に，海区を単位として比較した場合，成長度のすぐれている海区や劣つている海区があるかどうかをみるため，第9表より各試験地点における測定部位別，垂下深度別の成長量をそれぞれ海区別にまとめて海区ごとの平均成長量として示したのが第10表，第12図である。

第10表　海区別アコヤガイの成長量

海区＼部位＼深度	殻長		殻高		殻幅		重量	
	2m	5m	2m	5m	2m	5m	2m	5m
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	g	g
大村湾	18.60	19.01	22.01	21.97	8.77	8.84	20.15	20.36
佐世保湾	19.79	19.45	23.86	23.26	9.95	9.56	22.91	21.79
北松	20.31	20.38	24.30	24.79	10.00	9.82	23.35	23.17
西彼	22.90	24.01	28.21	28.47	11.97	11.87	29.61	30.67
五島	19.93	20.41	24.90	25.65	9.45	9.70	22.98	24.56
壱岐	19.63	21.45	23.06	24.91	9.24	9.65	21.70	23.37
対馬	17.12	17.81	22.24	22.21	8.19	8.22	19.33	19.16



第12図．海区・垂下深度別アコヤガイの成長量．
O：大村湾，　S：世保保湾，K：北松海区
N：西彼海区，G：五島海区，I：壱岐海区
T：対馬海区

第10表より海区間の差を検定すると（危険率5％），次のごとき結果が得られる。

垂下深度別に各測定部位について，成長度のよい順位に列記すると，大体次の通りになる。

2m 層

殻長　①西彼海区　②北松，五島，佐世保湾，壱岐海区　③大村湾海区　④対馬海区
殻高　①西彼海区　②五島，北松海区　③佐世保湾，壱岐海区　④対馬，大村湾海区
殻幅　①西彼海区　②北松，佐世保湾，五島海区　③壱岐，大村湾海区　④対馬海区
重量　①西彼海区　②北松，五島，佐世保湾，壱岐海区　③大村湾，対馬海区

5m 層

殻長　①西彼海区　②壱岐，五島，北松海区　③佐世保湾，大村湾海区　④対馬海区
殻高　①西彼海区　②五島，壱岐，北松海区　③佐世保湾海区　④対馬，大村湾海区
殻幅　①西彼海区　②北松，五島，壱岐，佐世保湾海区　③大村湾海区　④対馬海区
重量　①西彼海区　②五島，壱岐，北松，佐世保湾海区　③大村湾，対馬海区

これらを貝 1½個についての成長度として総合すれば，次のごとき順位に区分できるようである。

2m 層

①西彼海区　②北松，五島，佐世保湾海区　③壱岐海区　④　大村湾，対馬海区

5m 層

①西彼海区　②北松，五島，壱岐海区　③佐世保湾海区　④大村湾，対馬海区

さらに，2m 層，5m 層の貝の成長度から海区を単位として比較した場合，次のような順位になる傾向がみられる。

①西彼海区　②北松，五島海区　③佐世保湾，壱岐海区　④大村湾，対馬海区

次にどの地点において，垂下深度による成長量の差が認められるかをみるため，各測定部位について地点ごとに検定すると（危険率 5 %），次のごとき結果となる。

殻長　2m 層の成長度がすぐれている地点：なし，5m 層の成長度がすぐれている地点：st.7, 17, 20, 23, 27

殻高　2m 層の成長度がすぐれている地点：なし，5 m層の成長度がすぐれている地点：st.13, 20, 23

殻幅　2m 層の成長度がすぐれている地点：st.6, 9, 12, 14, 21, 22, 5m 層の成長度がすぐれている地点：st.7, 13, 17, 20

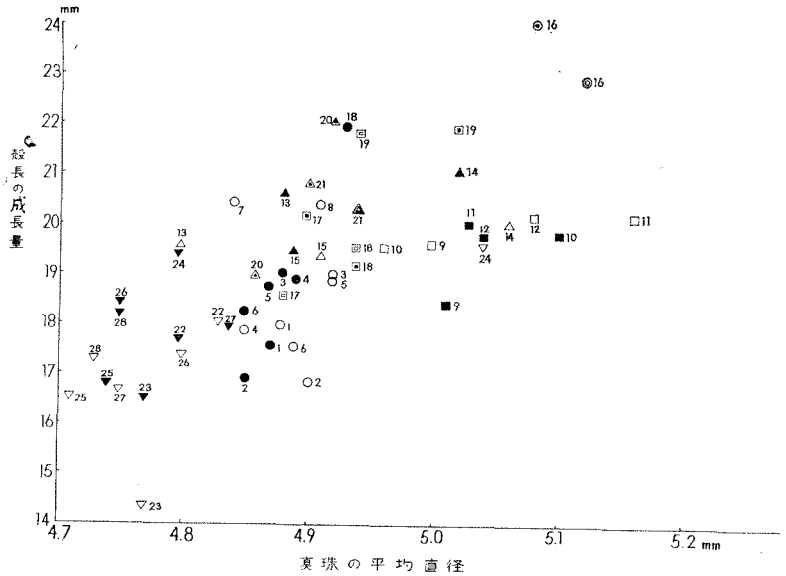
重量　2m 層の成長度がすぐれている地点：st.14, 5m 層の成長度がすぐれている地点：st.13, 17, 20

以上の結果を総合すると，5m 層に優位性が認められるのは，st.20については 5 部位，st.13, 17 は 3 部位，st.7, 23 は 2 部位，st.27 は 1 部位となつている。一方，2m 層に優位性があるのは，st.14 については 2 部位，st.6, 9, 12, 21, 22 はそれぞれ 1 部位となつている。その他の地点については，2m 層に垂下しても，5m 層に垂下しても成長量に差が認められていない。このように試験地点によつて，垂下深度による成長度への影響にかなりの差異があることは注目すべきことであろう。

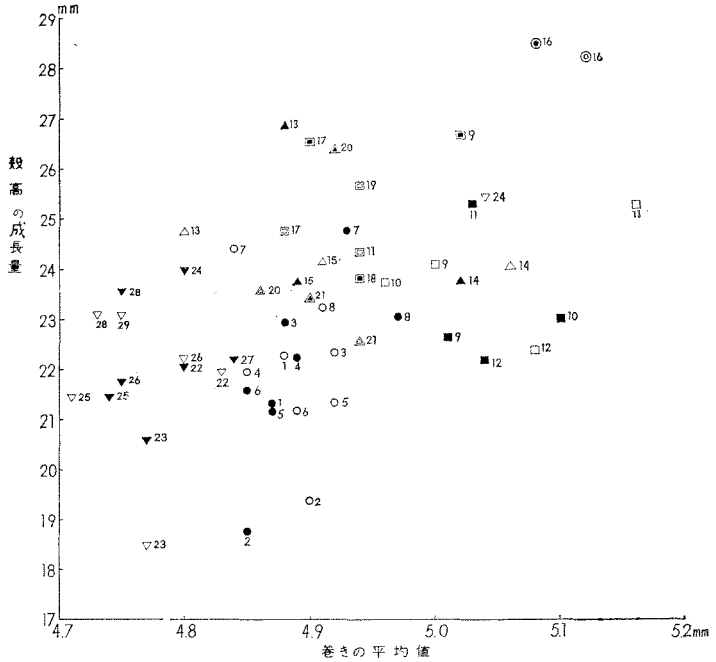
Ⅲ．巻きと成長との関係

各試験地点における，真珠 1 個当りの巻き（平均直径）と殻長，殻高および殻幅の平均成長量を比較したのが第13図a，b，cである。

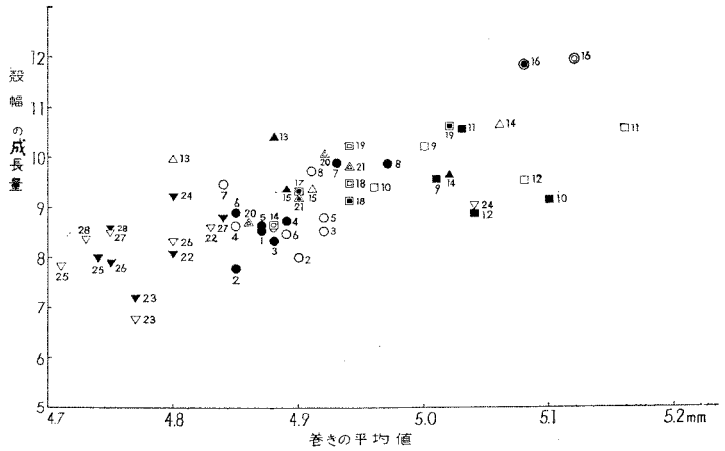
図にみられるように貝の成長，真珠の巻きのいずれもすぐれている地点もあれば，その反対の地点も存在するが，一方，同じ程度の成長量を示しながらも，巻きに相当の差異が認められるいくつかの地点があり，また巻きは同程度であつても，地点によつては成長量



第13図．a：　真珠の巻きとアコヤガイの殻長の成長量との関係．



第13図．b：　真珠の巻きと殻高の成長量．



第13図．　c：　真珠の巻きと殻幅の成長量．

に相当の差異が認められるようであり，さらに巻きはよくても貝の成長のおとるところや，その反対の地点が認められるようである。

海区を単位として真珠の巻きと各測定部位の成長量との相関係数について F-検定を行なえば（危険率5％），次のごとくになる。

巻きと殻長，殻高および殻幅の成長量との関係は，五島と佐世保湾海区，北松と佐世保湾海区には，いずれも相関に有意性は認められず，その他の組合せには有意の相関が認められる。

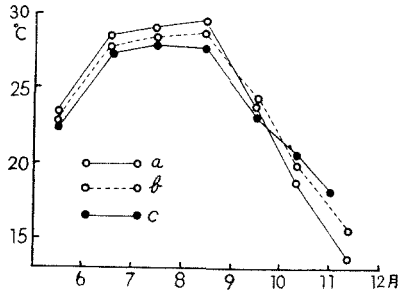
すなわち，本試験の結果からすれば，巻きと成長とは必ずしも比例するものではないといえるであろう。

Ⅳ．　海況

1．　水温について

水温はアコヤガイの棲息あるいは成長などを支配する因子としては重要な事項であり，当然，考慮に入れるべきものであるが，養殖漁場の設置を決定する際には，まずそれが好適であるとの前提のもとに行なわれているものであり，また本研究の期間中におけるそれはすべての地点において，満足しているとみられるので，ここではこれを詳細に論ずることをさけ，その地点の海況の概略的傾向を知るための指標として，その月別変動をみたものである。

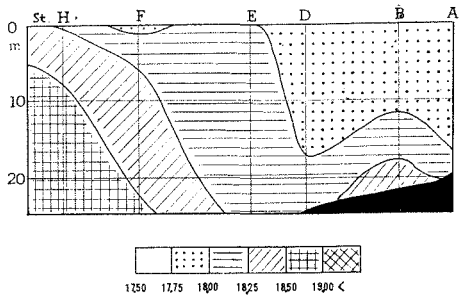
第14図をみると，大村湾奥部では夏季の気温上昇期には，いちじるしい高水温が長期間にわたつて出現するが，秋季からは急激に下降の一途をたどり，いわゆる，気象条件の影響を受けやすい内湾浅海型の海域と考えることができる。一方，大村湾口部になると，気象条件の影響もやや受けるが，外洋水との混合もよくなるので，湾奥部程その傾向はいちじるしくない。さらに，外海に面している北松海区になると外洋水の影響が強く，その混合も充分になるので夏季の高温期にも，その影響を受けることは少なく，秋季の水温下降の傾斜もゆるく，いわゆる外洋性海況を示している。佐世保湾は両者の中間型と考えられる。



第14図．　2m 層水温（°C）の月別変化．
a：　大村湾奥部（大　村）
b：　大村湾口部（亀　岳）
c：　北松海区　（相ノ浦）

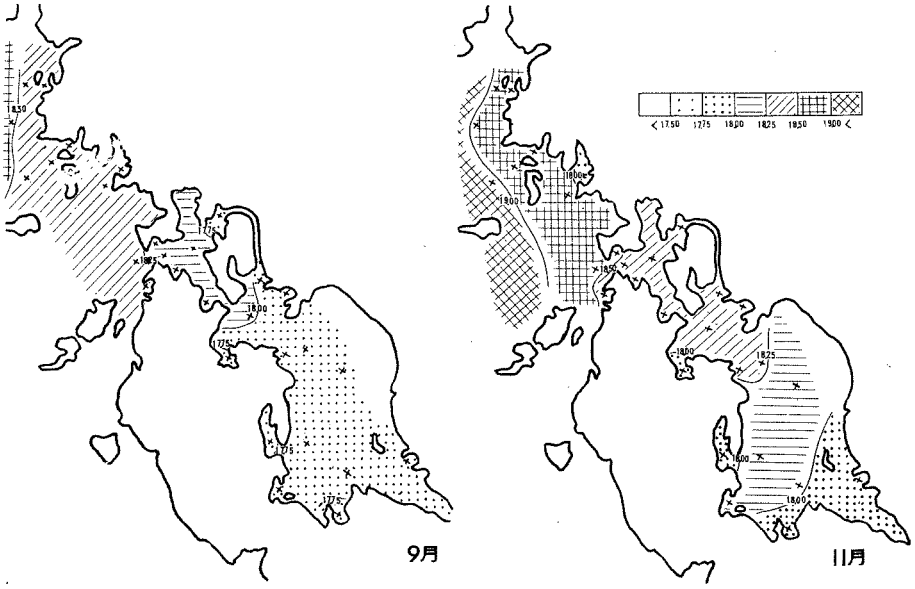
2．　塩素量について

まず，各海区の概略的な塩素量の傾向を知るために，沿岸からの影響が比較的に及んでいないと考えられる沖合地点の垂直分布を示すと第15図のごとくなる。すなわち，9月の観測における大村湾は長浦沖の深層部に18.25～18.50‰のやや高鹹な水塊が存在してはいるが，全体的には18.00‰以下の水域によつて形成されており，佐世保湾は湾中央部の表層のやや低鹹な18.00‰以下の水域と，深層部に18.50～19.00‰の外洋水が入つてきているのがみられるが，全体的には18.00～18.50‰の塩素量をもち，北松海区は18.50‰以上の高鹹な外洋水の水域によつて形成されている。



第15図．　沖合地点の塩素量(‰)の垂直分布（9月）

いま，各試験地点の2m 層の水平分布（第16図）をみると，各海区は全体的にみて明らかに区分される。すなわち，9月には大村湾は湾口部の st.E 附近の18.00‰をもつて佐世保湾と区分され，佐世保湾は st.H 附近の 18.25‰をもつて北松海区と境されている。海況の北較的安定してくる11月には，大村湾は st.A 附近の 18.00‰の線で湾奥部と，st.D 附近の18.25‰の線で湾口部ならびに佐世保湾と分けられ，佐世保湾は st.H 附近の18.50‰の線で北松海区と区分されている。



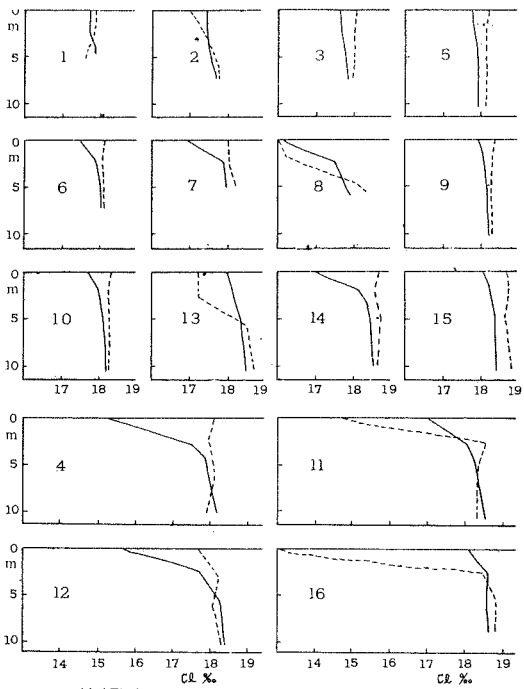
第16図．2m 層塩素量（‰）の水平分布（9月及び11月）

以上は，海区全体としての塩素量の概略であるが，真珠養殖の場合には比較的沿岸海域を利用している関係で，その小海域間の海況の相違は距離の割合に大きく，そのおかれている地勢によつて，一般にかなりの変動がみられる。各試験地点の塩素量の垂直分布は第17図に示したが，それぞれ大略，次の3群に類型区分できるものと考えられる。

i)　沿岸水の影響を受けやすく，上下層の変動の大きい地点：st.4, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 16

ii)　沿岸水の影響は受けやすいが，浅海のため上下層の変動は小さい地点：st.1, 2, 3, 6

iii)　沿岸水の影響は比較的少なく外洋性を帯び，上下層の混合充分なため，その変動の小さい地点：st.5, 9, 10, 15

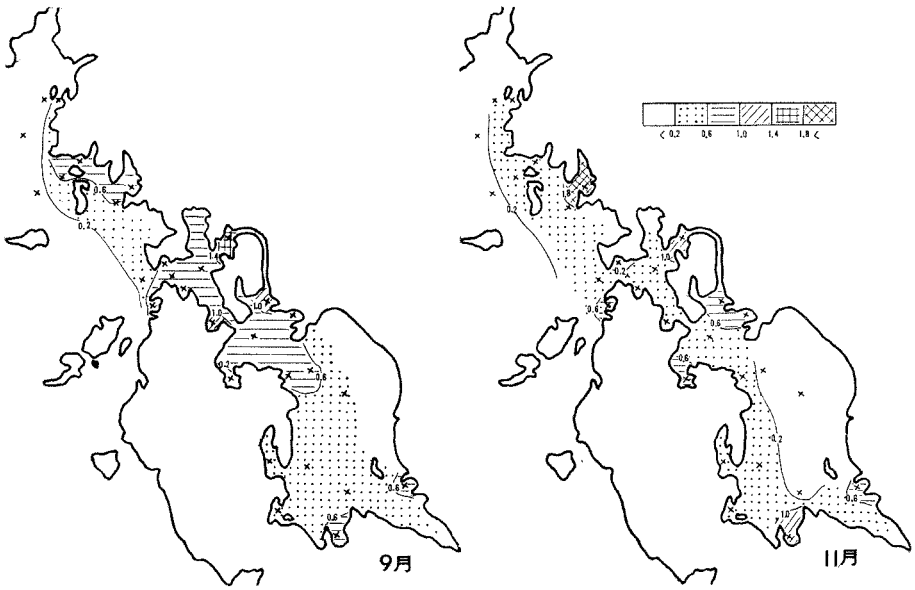


第17図．塩素量（‰）の垂直分布．
——9月　……11月

3．濁度について

濁度は水中に存在する懸濁質の量を示すものと考えられているが，その粒子径あるいはその質により，実際の懸濁質の存在量とは必ずしも一致するとは限らず，またその質的組成によつては，貝類の栄養因子として有効でないだけではなく，かえつてその生理機能を制約する要因となるとも考えられるが，これの量的分布に関する限りでは陸水の影響が大きく関与していることから，その陸水中に特異な懸濁質を含んでいないとするならば，一応，一般的に考えられている貝類の懸濁質捕食の習性からみて，貝類にとつてそれは直接生態的意義をもつものであると同時に，これの量的分布状態をみることによつて，各小海域をある程度までは海況的に把握することも可能であると考えられている。

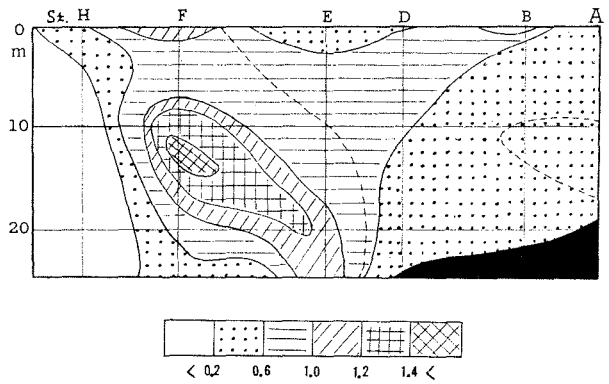
まず，2m層の9月の濁度の水平分布を示すと第18図のごとくで，佐世保湾から大村湾口部附近までに存在する各地点の濁度は大きく，海域全体としても0.6（τとして）以上の濁りの強い水域によつて形成されているのが特異である。大村湾奥部および北松海区は全体的に濁度は小さいが，やはり局部的には北松海区の st.13，14附近はかなり大きな値として現われており，特に st.13 には肉眼的に微細な浮泥が認められた。海況的に比較的安定する11月の観測（第18図）では，特異に高い st.13 をはじめ，局部的に st.12，16，7，6，2，1，などがやや高い値となつているが，全体的には各海区とも9月のそれに比較して低い値を示している。



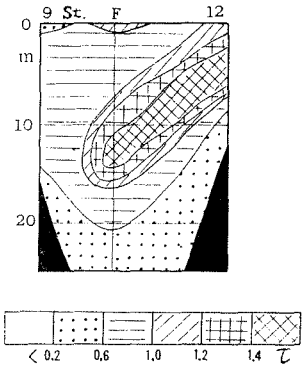
第18図．2m 層濁度（τ）の水平分布（9月及び11月）

各海区の概略的特徴をみるため，沖合地点の濁度の垂直分布（第19図）を示すと，9月には佐世保湾と大村湾中央部(st.F)の13～15m層にきわめて濁度の高い水塊が存在していることが認められる。この水塊は第20図によつてもわかるように早岐瀬戸（佐世保湾と大村湾を大塔～宮津によつて結ぶ瀬戸）に起因するものであり，降雨量などの比較的多い時

期には，この濁度の大きい水塊は佐世保湾外から流入する濁度の小さい水塊によつて深層部へ押し込められ，これが順次上下層へ拡散し，全体として佐世保湾特有の濁度の大きい水域を形成するものと推考される。なお，これらは大村湾内へも流入し，大村湾内の濁度の小さい水域と亀岳沖で混合し大村湾口部附近の特徴ある海況を形成するものと考えられる。



第19図．　沖合地点の濁度（τ）の垂直分布（9月）



第20図．　佐世保湾(st.9-F.-12の断面)の濁度(τ)の垂直分布(9月)

ここで，各試験地点の濁度の垂直分布をみると，9月の観測では上下層の変動は大きいが，11月には全般的に安定しているところが多い。濁度の垂直分布の一般型をみると，(1) 均一型，(2) 躍層型，(3) 浅海湾奥型の3群に区分できる。均一型は上下層が同一水塊で形成されているとみるものであり，沖合型と沿岸型に分けられる。躍層型は上下層が異種水塊とみられるもので，濁度躍層をなしている水域であり，浅海湾奥型は湾奥部の浅海海域に一般にみられるものである。

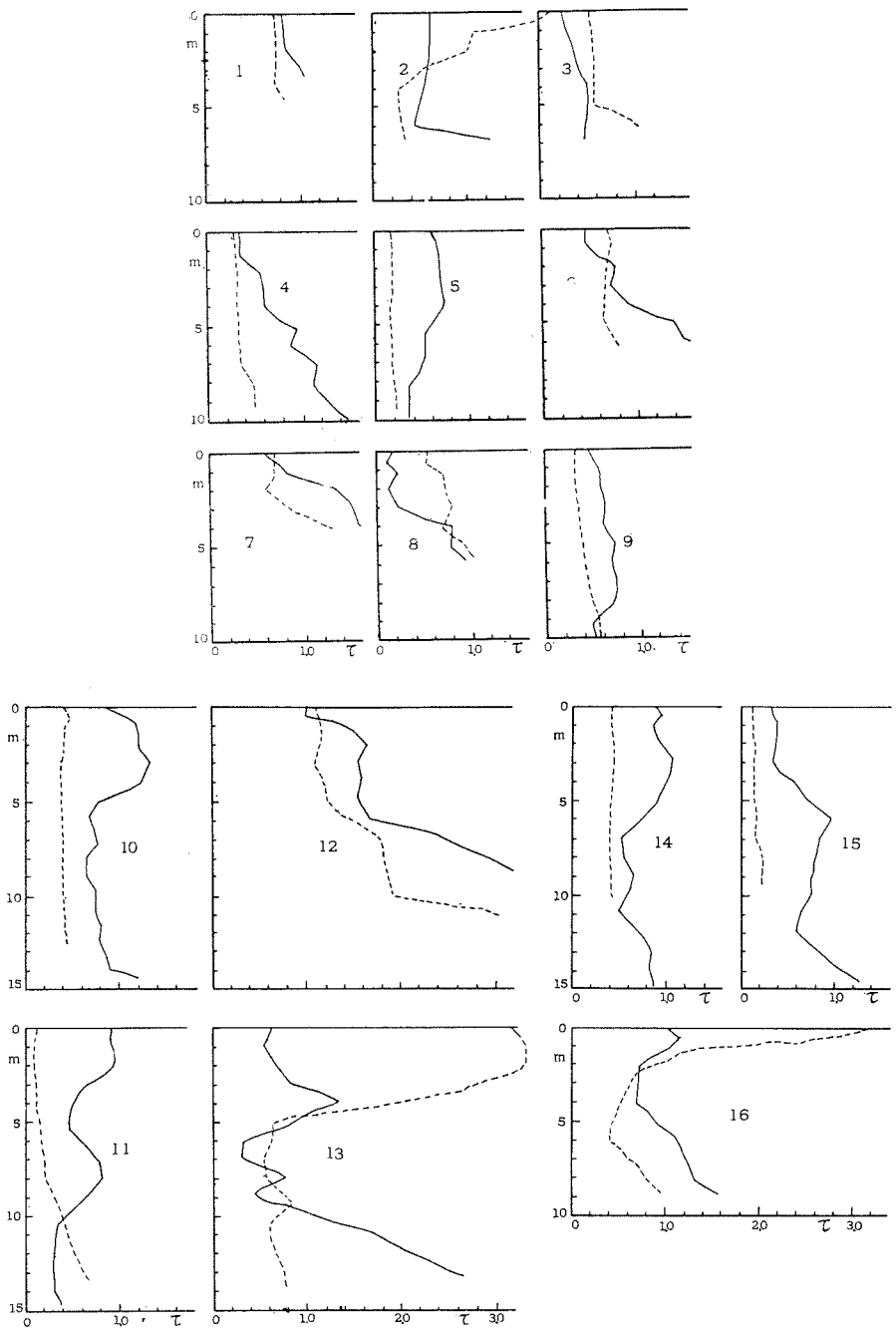
いま，9月，11月の観測結果（第21図）から各試験地点を濁度の垂直分布の状態から類型区分すると，次のように整理できるようである。

i)　均　一　型　{沖合型 st.9, 5, 各海区の沖合地点 / 沿岸型 st.1, 3}

ii)　躍　層　型　st.10, 11, 14, 15

iii)　浅海湾奥型　st.2, 4, 6, 7, 8, 12, 16

均一沖合型には各海区の沖合地点が入り，st.9 は佐世保湾外からの外洋水が横瀬側に沿つて佐世保湾に入つてくることからも予想され，st.5 は佐世保湾から大村湾へ流入する潮流が，この地点附近に直接強く当るので，上下層の混合充分なために起るものと考えられる。また，st.1, 3は大村湾奥部にあり，水深が浅いために混合が比較的良好に行なわれるために沿岸均一型を示すものと思われる。st.10は水道部にあり，またその背後には比較的奥深い浦をひかえているので，これらの影響により，st.11は地形的な湧水の影響のために躍層型を示すと考えることができる。浅海湾奥型に入る各地点は水深ならびにその地理的条件からも予想される。

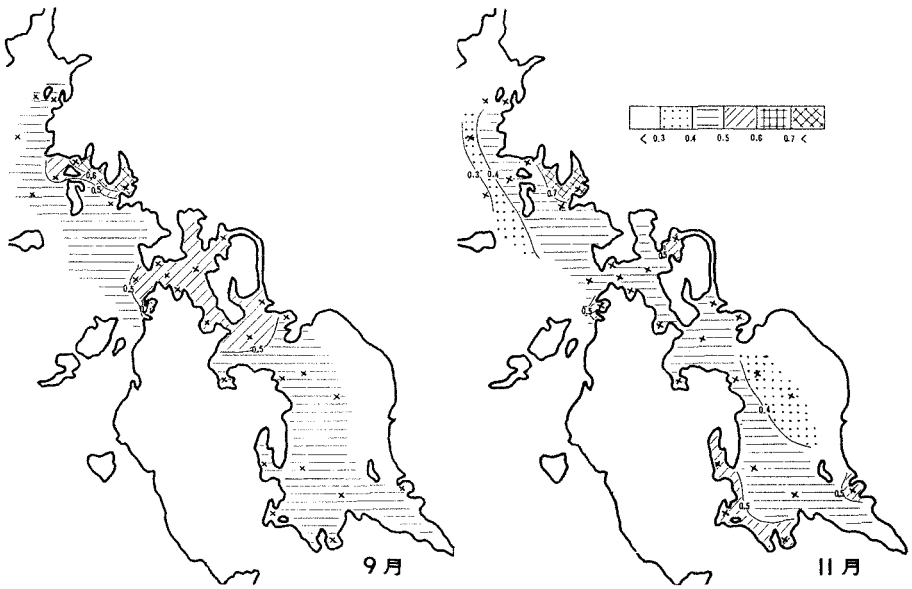


第21図. 濁度（τ）の垂直分布
—— 9月 …… 11月

4. 懸濁質係数について

懸濁質係数 a は，懸濁質の大きさに関係しており，陸水の影響の大きい程その値は大きく，沖合に行く程小さい値を示すことが明らかにされている。一般的に粒子の大きさと a 係数値との間には逆の関係がみられるが，それが粒子半径のいくらに相当するかは，いまだ明らかにされていない。しかし，少なくとも相対的な大きさに関係しているという点から考えると，単に水塊区分の指標となるにとどまらず，濁度とも関連してある程度は貝類などの有効餌料としての側面から餌料環境として，構造的に漁場の良否を考察する手がかりを与えるものと考えられている。

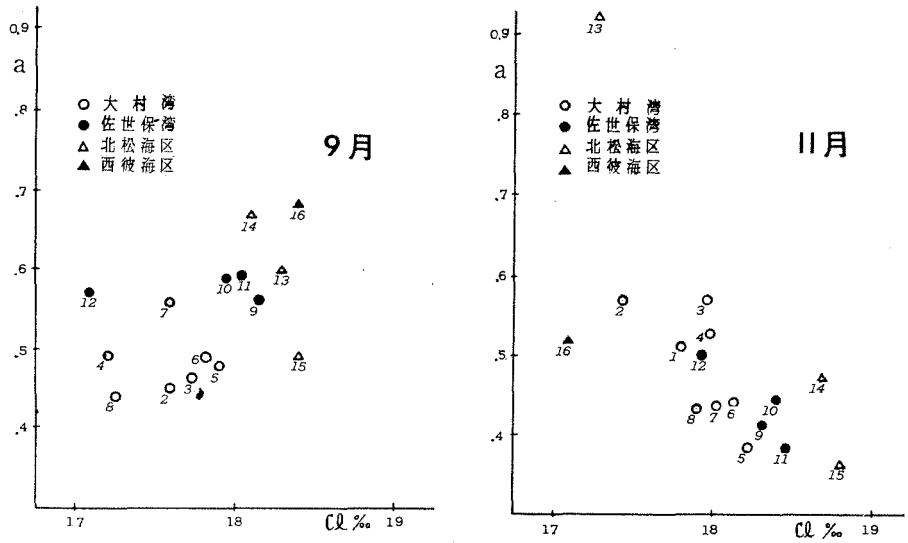
9月の観測における a 係数（第22図）は，佐世保湾，大村湾口部および北松海区の st. 13附近が大きな値を示し，北松海区沖合および大村湾奥部が全般的に小さい。11月の海況の比較的安定してくる時期になると，第22図に示したように全般的には小さな値を示すようになつてくるが，局部的には，st.13, 12, 16 などの地点においてその値が大きく，沿岸水が常時流入していることを示していると考えられる。



第22図．懸濁係数（a）の水平分布（9月及び11月）

ここで，さらに塩素量を加味した a-Cl 係数なるものを図上に表わすと，第23図，のごとくになる。横軸にとつた塩素量は表層から透明度深までの5等分平均塩素量であり，縦軸に a 係数をとつたものである。9月の観測結果からみると大村湾内の各漁場は塩素量は17～18‰，a 係数は0.40～0.55の中に入り，佐世保湾は塩素量は18‰以上で，a 係数は0.55～0.60に入つてくる。北松，西彼海区は塩素量はさらに大きくなつてくるが，それぞれ位置する浦内の性状により，a 係数は大なるところ，小なるところと散在している。しかし，各地点とも両者の関係は右上りの線上にならんでいる傾向がみられる。11月になると塩素量は各地点とも，9月にくらべて，やや高くなつてくるが，a 係数は塩素量の大きい右寄

りの地点ほど，小さい値を示しており，全体的には両者の関係は右下りの線上に並んでいる。これらのことから佐世保湾などは時期による陸水の影響の変動が大きい海区として，特徴づけられるのではないかと推考される。



第23図．a-Cl 数の分布（9月及び11月）

5．海況の総合による類型区分

以上の海況を総合して海域を類型区分すると，大村湾型，佐世保湾型，北松海区型に分けることができる。

大村湾型の海況は水温の月別変動からみて，気象条件にかなり影響されやすい内湾浅海型であり，夏季の気温の上昇期には水温も極端にあがり，下降期にはまずその影響を受けて下降の一途をたどるものである。塩素量は秋季の安定期で18.25‰以下，夏期の降雨期では18.00‰以下である。濁度からみた場合も思いのほか安定した海区で9月でも τ として0.6以下，局部的にはその存在する浦内の性状により変るが，比較的にその変動の小さい内湾性状を現わしている。a係数からみても全体的には安定し，時期による変動も少ない海区であり，st.1，2，3，4，6，8などの地点が入るものと考えられる。

佐世保湾型の塩素量は9月で18.00～18.25‰，11月は18.25～18.50‰で大村湾よりやや高鹹であることは地勢的に考えてもうなづけることであるが，この湾のいちじるしい特徴は夏季降雨期には，まずその影響を受けて，濁度 τ は全体的にも0.6以上となつている。このことは陸水の影響の指標ともなるa係数の大きいことをみてもわかる。この濁りは早岐瀬戸と佐世保湾に起因するものと考えられるが，海況の安定してくる11月には全体的に濁度およびa係数も小さな値を示すようになり，時期によつて陸水の影響のきわめて大きい特異な海区であり，大村湾口部の st.5，7と佐世保湾内の st.9，10，11，12および多少性状は異なるが，西彼海区の st.16 などがこの型に入るものと考えられる。

北松海区型の各地点は外海に面して大きくひらけている関係で，全体的には水温の月別

変動などからみても気象条件に影響されることが少なく，安定している海区と考えられるが，局部的には，その地点の存在している浦内の性状により，st.13 のように微細な浮泥による濁度のきわめて大きい特異なところもあるが，一般的には外洋性の特性をもつ海区で，st.14，15 が入ると考えられる。

考　　察

今回の養殖試験の結果から，垂下深度による色の差異については，真珠の色別の出現分布の状態が異なる漁場は28点中 4 点のみで，他はすべて有意の差を認めることができなかつた。4 点については，2m 層に比較して 5m 層にクリーム・ゴールド系の出現が少ない結果となつたのであるが，これは五ケ所浦青年会真研クラブ（1959）の結果とは必ずしも一致せず，沢田等（1959）も指摘しているごとく，垂下深度による差よりも漁場による差の方が大きいといえるのではないかと考えられる。また真珠の巻きについても，深度によつて有意の差が認められるのは 1 点のみで他はすべて有意の差が認められなかつた。これは，沢田等（1959），五ケ所浦青年会真研クラブ（1959）の結果とは必ずしも一致しているとはいえないが，この点については，長崎県下全海域にわたる試験の結果として，各漁場の海況的立体機構が必ずしも一様のものではなく，それぞれの漁場によつて異なつてくるものと考えられ，巻きについても，垂下深度による差よりも漁場による差がより大きいのではないかと推察される。

次に，真珠の色別の出現率については，地点によつてその分布状態に差異が認められるが，これを海区別に各漁場の傾向をみれば，大村湾，佐世保湾内の漁場のごとく内湾性の強いところでは，ホワイト系真珠の出現率が相対的に高く，逆にクリーム・ゴールド系真珠が少なく，また反面，外海性と思われる北松，五島，西彼，対馬海区の各漁場においては，クリーム・ゴールド系真珠の出現率が相対的に高く，ホワイト系真珠の出現率が低い傾向を示している。つまり長崎県下全海域にわたる28地点より得られた真珠のクリーム・ゴールド系の出現率からみて，各海区ごとに明らかにその特徴が認められるようである。

巻きについても，漁場にによつて真珠の巻きに相当の差異がみられるようであるが，巻きのすぐれた漁場をとりあげると，一部に st.14 のごとく北松海区に位置するものもあるが，そのほとんどが佐世保湾に分布し，佐世保湾内の各漁場は同じ程度に巻きがすぐれているようである。また，巻きとしてはやや劣るが，大村湾内の各漁場でもほぼ同じ程度の巻きを示しているようであり，これは大村湾，佐世保湾などのように陸地によつて囲まれた海区では，その中に分布する漁場は，巻きについて同じような傾向を示すことがうかがわれ，このように単調な形の湾の場合，湾のもつ一つの海況的性格が大きく漁場にも影響をおよぼすものと推察される。しかし，北松海区のごとく外海に面して大きくひらけるようなところでは，海区としての全体的な傾向はみられず，それぞれの漁場の位置する浦々の海況的性格に支配され，漁場ごとに差異があらわれるものと考えられる。また五島，壱岐海区は各漁場の位置する湾または浦の性格に支配されるとしても，より以上に外海的性格に影響されて，海区としての特徴をあらわすものと考えられる。

ところで，生産された真珠の品質を通して海区の性格をみる場合には，色や巻きは独立したものではなく，関連性のあるものとして考えるべきであつて，色と巻きの総合されたも

ので検討する必要がある。たとえば，巻きのすぐれた漁場であつても，クリーム・ゴールド系の出現率が高ければ望ましい漁場だとはいえないのではなかろうか。ここに本試験結果の色と巻きの点から漁場の類型区分についての考察を加えると，巻きの相対的な優劣によつて，佐世保湾の各漁場，西彼海区，北松海区の st.14 らと大村湾，壱岐，五島，北松海区の st.13，15 らの2群に区分され，前者が後者より巻きの点ではすぐれた漁場としてあげられた。しかし，西彼海区のようにクリーム・ゴールド系真珠の出現率が高い漁場もみられるし，反面，大村湾の各漁場は巻きの点では前者に劣るが，色の点ではホワイト系真珠の出現率が相対的に高く，特に 5m 層ではそれが顕著に現われる傾向を示している。また，五島海区では巻きは大村湾と同じ程度であるが，クリーム・ゴールド系真珠の出現率はかなり高い傾向がみられる。このように，色と巻きは真珠形成の過程においては必ずしも属性として現われるものではなく，環境要因によつても個別的な面での影響を受けるように思われる。

次に，アコヤガイの成長と真珠品質との関係について述べれば，海区別に成長量を比較した場合，西彼，北松・五島，佐世保湾・壱岐，大村湾・対馬の順に成長が劣る傾向を示している。これを真珠の巻きによる順位と比較してみれば，西彼海区については両者ともすぐれているが，巻きとしてすぐれている佐世保湾は成長の点では劣るようであり，また五島海区では巻きは佐世保湾より劣るが，成長においては優位をしめている。さらに真珠の色別の出現率，特にクリーム・ゴールド系の出現率と成長とを比較すれば，成長としては劣る大村湾，佐世保湾では相対的にクリーム・ゴールド系の出現率が低く，五島海区ではクリーム・ゴールド系の出現率は高いが，成長の点ではすぐれている。このように漁場によつて，アコヤガイの成長量と真珠の品質の優劣とは必ずしも一致するものではなく，成長と品質の二つの面におけるそれぞれの漁場の特性が明らかに認められるようである。

以上，真珠の品質ならびにアコヤガイの成長の面から長崎県下の真珠養殖漁場について考察したが，真珠養殖事業のより健全な発展を期するためには，生産面からみたそれぞれの性格にもとづいた漁場の合理的な利用形態を確立させることが大きな課題となつてくるものと考えられる。

要　　約

1)　長崎県下の全海域にわたつて設定した28点において，施術貝，稚貝の養成試験を実施し，得られた真珠の品質並びにアコヤガイの成長度の比較を行ない，併せて一部漁場についての海洋観測を実施した。

2)　真珠の色については，地点によつてその出現分布に差が認められ，また，クリーム・ゴールド系の出現率からみて，各海区ごとに明らかにその特徴が認められた。垂下深度によつて色の出現分布に差が認められたのは28点中4点のみで，垂下深度は必ずしも支配的な作用をなすほど大きな要因ではないと考えられた。

3)　巻きについては，地点によつて相当の差異があり，海区単位として比較しても優劣が認められた。垂下深度によつて巻きに差異があらわれたのは28点中1点のみで，垂下深度による差よりも漁場の差の方が大きいと考えられた。

4)　真珠の色と巻きを総合したものから，各海区を一応特徴づけることができるようで

あり，また，各試験地点を五つの型に区分したが，色と巻きは必ずしも属性としてあらわれるものではなく，個別的な面において環境要因の影響を受けるようである。

5) アコヤガイの成長は殻長，殻高，殻幅，重量のいずれの部位についても，地点によつて成長量に差異があり，海区単位においても優劣が認められた。各測定部位，地点ごとに成長量の差について検定した結果，地点によつて，垂下深度による成長度の影響にかなりの差異があることがわかつた。

6) 真珠の巻きとアコヤガイの成長度とは必ずしも比例するものではなく，巻きと成長の二つの面において，それぞれの漁場の特性が認められるようである。

7) 大村湾，佐世保湾，西彼海区，北松海区は海況的に大村湾型，佐世保湾型，北松海区型に類型区分することができる。大村湾型は気象条件にかなり影響され易い内湾浅海型の海況を示し，佐世保湾型は外洋水との混合もよくなるが，背後に早岐瀬戸ならびに佐世保湾をひかえている関係で時期的にはかなりその影響を受け，濁度などの点からみても変動の大きい特異な海域であり，北松海区型は外海に面して大きくひらけている関係で一般的には外洋性をもつ海域として考えられる。

参 考 文 献

片田清次・太田繁・丹下孚・山口一登　1957. 大村湾内真珠養殖場の海洋調査. 国立真珠研報 2: 147—157.

古川厚ほか　1958. 三重県下主要真珠養殖場予備調査結果について. 三重県水試研報 6: 1—46.

花岡資・村上彰男　1954. 内湾に於ける水中照度. 内海水研報 6: 7—14.

五ケ所浦青年会真研クラブ　1959. 垂下深度，貝掃除の回数および垂下様式が真珠の品質に及ぼす影響について. 真珠研究会伊勢部会会報 3 (10): 14—21.

渡部哲光・岡田弥一郎・宮村光武・井上義雄　1957. アコヤガイの養殖真珠の品質と養殖深度との関係—II. 日水誌 23: 235-240.

沢田保夫・丹下孚　1959. 真珠養殖漁場の養殖海洋学的研究 II. 英虞湾内の4点において生産される珠珠品質の比較と海況について. 国立真珠研報 5: 459—480.

真珠形成機構の生鉱物学的研究*, 1)

和　田　浩　爾

国立真珠研究所

序　　言

真珠はその高貴な色沢のためにいつの時代においても何処の民族にも愛され，同時にその成因を明らかにしようと努力がはらわれてきた。18世紀から20世紀初頭にかけて，多くの研究者は真珠自体及びその周囲組織を観察する事によつて真珠形成組織—真珠袋—の存在を発見し，真珠の成因についての研究は新しい段階に入つた。20世紀に入り F. Alverdes (1913) が河真珠貝を使用して，その外套膜結合組織中にすりつぶした外套膜表皮組織を注射し人為的に遊離真珠の形成に成功し，同時に v. Hessling (1856) の考えを立証した。同時代には多くの研究者によつて更に詳細な真珠袋の組織学的研究が進められた。こうした中にあつて日本の真珠養殖技術の発展には，御木本幸吉の半円真珠，西川藤吉及び見瀬辰平の真円真珠形成の成功があずかつている。その後，幾多の核入技術改良が加えられ，真珠養殖は企業として確固たる地盤の上におかれるに至つた。第二次世界戦争後，真珠の研究は多方面にわたつて展開され，技術面においても基礎面においてもその発展には著しいものがある。

真珠養殖は他の水産物養殖とは異なり，単に対象魚貝類の増肉量が問題になるのではなく，貝体内に形成される真珠の質，形，大きさ，巻き及び色沢が問題になり，その産出率の多寡及び社会の需要に応じてその価額が決定されてくる。したがつて，その時代の社会の需要に応じた製品を産出する事が望まれるのであるが，真珠品質評価の諸要素の内，巻き及び色沢については，養殖過程中に積極的な人為的操作によつてこれを調節する事は現在未だ困難である。現在養殖真珠の色沢の調整については，養成過程中における漁場の海域的特徴を把握する事によつて効果的に漁場の利用をはかるか，挿入核の着色によつており，他方においては産出された真珠の脱色，着色及び艶出しによつてこの困難をおぎなつている。しこうして良質真珠の本質的な計画生産は，基礎研究の発展に期待するところが大である。すなわち，多くの研究者の努力にもかかわらず，石灰代謝の基本的な機構が未だ不明瞭な点が多いと同時に，貝殻及び真珠形成組織の分泌活動と生物体の他の生活代謝との相互関係が明らかでない。こうした相互に複雑な関連の上にたつた生理学的及び生化学的諸要素の変動が生物体における鉱物化に如何なる影響を与えるかを知る事より，真珠の巻きについての諸問題が解決されると考えられるが，これに関する報告はきわめて少な

---

* Koji Wada. Biomineralogical studies on the mechanism of pearl formation. With Einglish abstract p. 1039. Bull. Natl. Pearl Res. Lab. 8: 948-1059. 1962.

1) 国立真珠研究所業績 98. (国立真珠研究所報告 8: 948-1059. 昭和37年9月)

い。更に真珠の色沢についての知識も十分でないために，真珠品質と代謝機構の因果関係の間に大きい不連続な断面が存在している。戦後，生物の鉱物化組織の形成機構の研究は放射性同位元素の利用によつて飛躍的に発展し，これに加えて生化学的及び組織化学的手段によつて石灰代謝にあずかつていると考えられる酵素及び organic matrix の性状が追究され，電子顕微鏡による鉱物化の動的観察もこの発展にあずかつている。

最近，生物界における鉱物化組織を研究の対象とする鉱物学の研究分野を生鉱物学と呼んでおり，その目的は鉱物化組織の形態，化学組成，物理的性質，成因，光学性及びその他生物組織との関連を調べ，その特徴をとらえることにある。筆者はここで言葉を拡大解釈し，石灰化と共通する研究分野をも含めた上で生鉱物学と言う用語を使用した。本論文において真珠を生鉱物学的立場より研究し，真珠の色沢の特徴を明らかにする事によつて生鉱物学的知識の真珠養殖学への展開を試みた。

謝　　辞

この研究にあたり，終始指導と助言を下さつた前国立真珠研究所所長高山活夫氏並びに東京教育大学理学部地質鉱物須藤俊男教授に厚く感謝の意を表する。組織学的研究にあたつては中原皓博士，色彩測定にあたつては沢田保夫博士夫妻，光沢量測定にあたつては東京真珠検査所吉坂象二郎所長ほか所員の方々，電子顕微鏡試料作製装置の一部改良には工業技術院大阪工業技術試験所，渡辺康義博士に協力を得た。なお，本文第7章の校閲を下さつた国立真珠研究所太田繁所長，真珠の色彩について校閲と助言を下さつた東京教育大学光学研究所，蓮精助教授並びに工業技術院大阪工業技術試験所岩田稔博士，英文の校閲を下さつた東京教育大学理学部動物学中島雅男博士，実験データーの統計処理にあたつて協力を得た西飯保氏，また関連文献の貸与にあずかつた近畿大学松井佳一教授並びに三重県立大学辻井禎講師に深謝する。また実験材料として人工真珠の提供をくださつた石原富雄氏，日本光研工業株式会社井川喜智夫，小高康弘両氏，淡水真珠の提供並びに討論をいただいた前滋賀県水産試験場水本三郎氏に深謝する。動物実験に協力下さつた当研究所養殖研究室清水進平氏ほか係員各位に謝意を表する。

目　　次

第1章　真珠の鉱物成分 …… 952
1. はしがき
2. 実験材料
3. 真珠の示差熱分析
4. 真珠のX線及び電子線回析
5. 考察
6. 要約
第2章　真珠の建築学的構造 …… 957
1. はしがき
2. 実験材料及び方法
3. 真珠の種類及び形態
4. 真珠の表面及び断面構造
5. 真珠の結晶質構造
6. 各種真珠断面構造の各論
7. 考察
8. 要約
第3章　真珠の鉱物化について …… 980
1. はしがき
2. 真珠形成初期における沈着物及び沈着現象
3. 真珠形成過程における結晶配列の支配因子
4. ^{45}Caの使用による鉱物化の追跡
5. 同種間における移植外套膜の部位及び移植部位の差にともなう真珠形成
6. 異種間移植実験による真珠形成
7. 真珠の結晶成長
8. 真珠袋上皮の分泌活動と結晶成長
9. 考察
10. 要約
第4章　真珠の構造と色沢 …… 1003
1. はしがき
2. 実験材料及び方法
3. 表面構造と色沢
4. 断面構造と色沢
5. 真珠色彩に及ぼす介在異質物の厚さの限界
6. 考察
7. 要約
第5章　加工処理の真珠品質に及ぼす効果 …… 1032
1. はしがき
2. 観察及び結果
3. 要約

第 6 章　人工真珠 …… 1034
1. はしがき
2. 実験材料及び方法
3. 観察
4. 考察
5. 要約
第 7 章　生鉱物学的立場よりみた真珠養殖学の問題点 …… 1036
English abstract …… 1039
文献 …… 1043
Explanation of Plates …… 1047
Plates …… 1049

第1章 真珠の鉱物成分

はしがき

真珠の生鉱物学的研究をすすめるにあたつて，真珠の種類別にその成分組成の特徴を把握し，貝殻組成と比較する事はその真珠の特徴を知るために大切である。真珠は貝殻物質と同じく無機成分と有機成分とからなる一種の複合組織であるが，両者の比率は真珠の種類によつて著しく異なつている。このうち無機成分は主に炭酸石灰であり，有機成分には真珠袋上皮の働きによつて合成された conchiolin と称する真珠の基本的成分をなす有機物質のほかに，屢々真珠袋形成にあたつてその形成以前あるいはその上皮細胞間を通つて流入あるいは侵入し集積壊死した有機物質—遊走細胞，周囲組織，植皮の一部—との二つに由来が求められる。真珠や貝殻の鉱物化にあたつて真珠袋上皮組織内で合成された有機物質が重要な役割を演じていると考えられるが，他に由来する有機物質が存在すると鉱物化にあたつて不純物として作用するのみならずそれ自身あるいは分解生成物によつて真珠袋上皮細胞の分泌機能に変化がもたらされ，そこに異質層の形成がうながされる事が考えられる。

現在までに真珠の成分組成は貝殻成分組成と比較されながら，化学者，鉱物学者及び生物学者によつて明らかにされてきた[92,94,105,128,129]。著者は真珠及び貝殻の鉱物化機構を明らかにするため，まず貝殻と比較して真珠の鉱物成分を追究する事を試みた。得られた結果をここに要約して報告する。

実験材料

実験に使用した材料はアコヤガイ *Pinctada martensii* (Dunker) から採集した各種の天然及び養殖真珠である。材料は実験前に十分に水洗いし，自然乾燥後，核と分離し，鉄乳鉢で粉砕してからメノウ乳鉢で十分細かい粉末にして実験に供した。なお新潟県西蒲原郡間瀬産の calcite 及び鳥取県松代鉱山産の aragonite と比較検討した。

真珠の示差熱分析

各種養殖真珠の加熱による相変化を比較し，試料相互の特性を考察するために示差熱分析をおこなつた。いずれの粉末試料も夫々の真珠の性質を良く代表するように注意して作つた。なお粉末試料を酸あるいは塩基で夫々脱灰あるいは脱有機物して真珠の熱変化曲線の解析を容易にした。標準試料として酸化アルミニウムをもちい，1分間に 10～15°C の温度上昇率のもとで測定をおこなつた。

アコヤガイ養殖真珠の代表的な示差熱曲線を Fig. 1—1 に，また夫々の曲線にみられる相変化の特徴を鉱物の aragonite 及び calcite と比較して Table Ⅰ—1 に示した。鉱物の aragonite 及び calcite に比べて真珠の示差熱曲線は発熱ピークを有する点で特徴づけられ，発熱ピークは真珠の種類によつてその面積は著しく異なる。この発熱ピークは脱有機物をすると失なわれ，それに代つて aragonite からなる真珠において 380～480°C の間に小さな吸熱ピークを生じて，calcite からなる真珠と区別が可能になる。一方，脱灰試料に

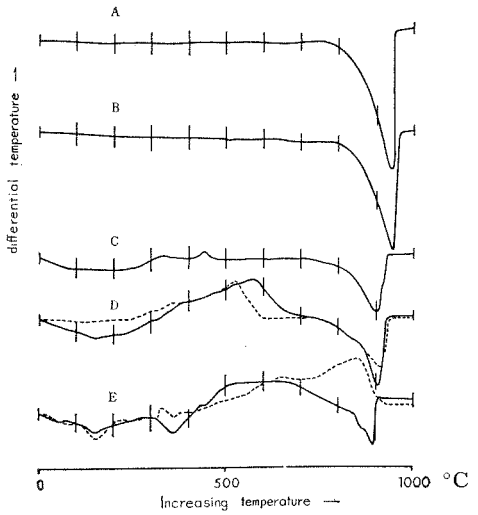


Fig. 1-1. Differential thermal analysis curves for various cultured pearls, aragonite and calcite. A: calcite, B: aragonite, C: nacreous layer pearl, D: prismatic layer pearl, E: periostracal pearl.

おいては発熱ピークが大きくなると同時に，殻皮質真珠にみられた 360°C 附近の吸熱が各試料にあらわれ，900°C 附近の吸熱ピークは消失する。

Faust[12] (1950) による鉱物の aragonite 及び calcite についての示差熱分析結果から，真珠の示差熱曲線にみられた 850～950°C におこる吸熱ピークは炭酸ガスの脱出に起因しており，また脱有機物の aragonite 含有真珠にみられた 450°C 前後の小さな吸熱は aragonite の calcite への変化に起因している。一方，著者[105, 111] (1958, 1961) によるアコ

Table 1-1. Observation on the thermal curves of the cultured peals in *P. martensii*.

Sample	Peak temperature °C endothermic	Character of break	Peak temperature °C exothermic	Character of peak	Area mm²	Resistance in the galvanometer circuit
calcite*	930	sharp			353	850 ohms
aragonite**	512 946	rounded sharp			2 703	〃
nacreous layer pearl			339 446	rounded rounded	7 20	〃
	916	sharp			371	
prismatic layer pearl	906	sharp	570	rounded	957 375	〃
periostracum pearl	360 894	rounded sharp	629	rounded	71 500 165	〃

* The sample from Maze.

** The sample from Matsushiro.

ヤガイ貝殻及び真珠についての先の実験と今回の実験結果とを比較検討してみると，発熱ピークは真珠に含まれている有機物質の燃焼に起因しており，その面積は有機物質の多寡を示す。有機物質を多量に含む試料にみられた 360°C 附近の吸熱は有機物質，就中蛋白質を構成しているアミノ酸の融解及び分解によると考えられる。また貝殻と真珠の間には真珠層真珠でその曲線はほとんど類似しているが，稜柱層真珠は貝殻稜柱層に比べてかなり多くの有機物質を含んでいると考えられる。なお有機質真珠の場合，900°C 前後の吸熱ピークが全くみられず大きな発熱ピークを示すものもある。

真珠のX線及び電子線回折

アコヤガイの各種天然及び養殖真珠の鉱物組成及び結晶度について解析するためにX線回折計数装置を使用した。測定は Cu, Kα (λ = 1.5418Å), 30KV, 15mA, Scanning speed 2°/min., Time constant 4 sec., Slit 1°—1°—0.4° の条件のもとでおこなつた。天然真珠は試料が少ないため電子線回折（HU—10型，加速電圧50KV）をおこなつた。

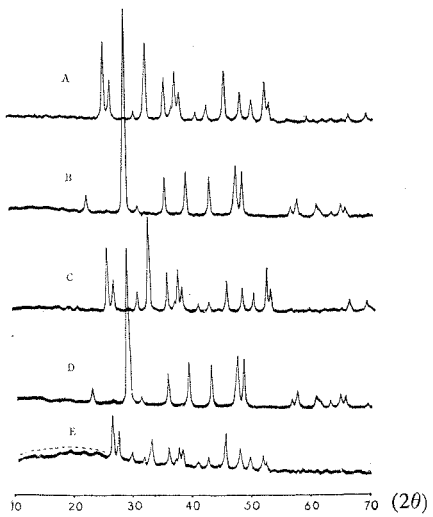


Fig.1- 2. X-ray powder data for various cultured pearls, aragonite and calcite. A: aragonite, B: calcite, C: nacreous layer pearl, D: prismatic layer pearl, E: periostracal pearl.

アコヤガイ養殖真珠と鉱物の aragonite 及び calcite のX線像を比較して Fig. 1—2 に示した。X線及び電子線回折像を解析した結果をまとめて Table Ⅰ—2 に示した。真珠のaragonite 及び calcite の X線回折像の反射位置及び強度は全く鉱物の aragonite 及び calcite のそれと一致している。アコヤガイ真珠には aragonite 及び calcite 以外にX線及び電子線的に測定可能な他鉱物の形成はみられず，また単一層からなる真珠は aragonite あるいは calcite のいずれか一方からなつており，X線的には混晶の事実は認められない。ただし異質介在物が存在する場合には両鉱物の存在が認められたが，顕微鏡的には空間的にその形成されている位置が異なり，混晶しているとは考えられない。有機質真珠では有

Table 1-2. Mineral components of the cultured and natural pearls in *P. martensii*.

Material	Mineral component	aragonite	calcite
cultured	nacreous layer pearl	+	
	prismatic layer pearl		+
	periostracum pearl	+	+
natural	nacreous layer pearl	+	
	prismatic layer pearl		+

機物質中に散在して鉱物質が晶出しており，X線的に両鉱物の形成が認められる。なお有機質真珠のX線像において 2θ が10～20度の位置に現われる不顕著な幅の広い反射は，試料中に含まれる多量の有機物質に起因すると考えられる。

考　　察

真珠の鉱物成分はその真珠を産出した貝の貝殻鉱物成分と等しい事は既に知られている[83]。真珠の炭酸石灰の鉱物型の違いは軟体動物貝殻におけると同様に生物界における多型生成機構の問題で注目され，これに関連して aragonite 成分層と calcite 成分層における無機成分，特に2価陽イオンの定量及び conchiolin のアミノ酸組成や顕微鏡的構造が調べられている。そして多型問題は多くの研究者に論じられ，生物界における鉱物学的問題として非常に興味がある。既に著者は先の論文[111]でこの問題を論じたので，ここにはその後得た関連論文を挙げるにとどめた。

Watabe et al.[119] (1960) は *in vivo* 及び *in vitro* に実験して有機物質が貝殻炭酸石灰の多型に重要な因子であることを示している。その報告によると calcite 及び aragonite からなる貝殻及びその部分を取り出し，脱灰後 *in vivo* においては夫々の conchiolin 膜を calcite 殻をもつ *Crassostrea virginica* の外套膜と殻の間に挿入し，その上に生成してくる最初の炭酸石灰の鉱物を形態学的に同定した結果，aragonite 殻から得た conchiolin 膜以外のものでは aragonite が生成されなかつた事を認めた。また *in vitro* においても同様の結果を得ている。Grégoire[17] (1961) は21種の軟体動物貝殻有機物質の電子顕微鏡的構造を調べた結果，*Mytilus edulis* においてはその貝殻の真珠層 (aragonite) 及び稜柱層 (calcite) 部分に同じレース状構造の conchiolin を認めたが，他の種類は夫々で異なつていた事を報告している。このように軟体動物の鉱物化組織における炭酸石灰の多型については organic matrix が注目されているが，アミノ酸組成と顕微鏡的あるいはX線的構造との間の関係を求め，conchiolin の分子構造模型を決定するのが多型生成機構の解明の今後の課題であろう。更に外套膜及び真珠袋上皮細胞の微細構造と分泌機能との関係を暗示する報告[39,41,57,63,95]の幾つかがみられるが，この断面における連続が求められねばならない。一方，今井[32] (1961) はアコヤガイ貝殻の真珠層及び稜柱層を夫々有機部及び無機部に分離して P, Si, Fe を定量した結果から，貝殻が形成される場合の母液の状態は稜柱層ができる場合は不純物が多く共存し，真珠層ができる場合はかなり純粋であ

ると報告している。

水産学的立場からは真珠形成過程における aragonite 及び calcite の生成は結果的には真珠の商品価値と関連するために一つの重要な課題を与えているが，以上に論じた諸問題が解明されるならば自ずと解決し，不良真珠及び優良真珠の計画生産を云々する事も可能となるであろう。

要　　約

1) 各種アコヤガイ真珠を示差熱分析及びX線回折によつて調べた。
2) 軟体動物鉱物化組織中の炭酸石灰の多型について補足論議をおこなつた。

第2章　真珠の建築学的構造

はしがき

真珠は貝殻同様に生物の生命活動の中で生成される鉱物化組織で，有機物質と無機物質とが精巧な建築学的構造をもつて組み立てられたものである。Schmidt[83] (1923) は集収した軟体動物の真珠を建築学的構造及び鉱物成分とを考慮して Periostracumperl, Calcitprismenperl, Aragonitprismenperl 及び Perlmutterperl に分類し，Periostracumperl 以外の真珠を偏光で詳細に調べ，真珠は十字消光の特徴を示すことを指摘している。しかも19世紀後半から既にHarting[21] (1873), Harley[20] (1889), Herdman et al. [25] (1906) や Schmidt[83] (1923) 等によつて，真珠が球晶であるか否かについて，耳石，胃石及び他の結石などとあわせて鉱物球晶と形態及び生成条件を比較し論議された。

Schmidt[83] の分類に従つてアコヤガイで形成される真珠を分類すると，真珠層真珠，稜柱層真珠，有機質真珠（殻皮層真珠）及び輝層真珠の四つの特徴ある構造にわけられる。これら異なる建築学的構造をもつ真珠は，夫々異なつた組織像をもつ真珠袋上皮細胞の分泌物から生成される事が知られているが，真珠袋上皮組織の特徴は不変的に固定されたものではなく，ある条件のもとでは互いの間で移行し，また同一真珠袋に二つ以上の特徴ある組織像を同時に備える場合もおこる。したがつて1個の真珠が二つ以上の異なる構造を3次元的な拡がりでかね備えてくる。こうした真珠を複合真珠あるいは混合真珠と呼んでいる。天然真珠はそれが形成された貝軟体部の部位によつて〝みみだま〟,〝はらだま〟,〝はしらだま〟等々と名付けられている。しかしながら後述されるように真珠の建築学的構造と形成部位との間に関係のみられるものは，〝はしらだま〟と称する閉殻筋中に形成される真珠のみであり，その他の真珠形成部位による特徴は認めがたい。また現在真珠養殖に使用されている貝以外の多くの二枚貝及び巻貝によつても真珠は形成され，しかもそれらの貝の貝殻は分類学的位置が異なると建築学的構造に差を生ずるから，真珠の構造も採集された貝の種類によつて更に幾つかの建築学的構造に分化するであろう。この章においては，アコヤガイ及びイケチョウガイの各種天然及び養殖真珠の建築学的構造を調べ貝殻のそれと比較し，真珠形成機構について生鉱物学的側面から論じた。

実験材料及び方法

観察に使用した材料は三重県英虞湾，的矢湾，瀬戸内海小豆島及び石川県若狭湾で養殖されていたアコヤガイ *P. martensii* (Dunker) から採集した各種天然及び養殖真珠と滋賀県琵琶湖でイケチョウガイ *Hyriopsis schlegeli* (Martens) を使用して作つた淡水真珠である。なお，アコヤガイ養殖真珠では表面に肉眼的な斑点及び範鋳模様が認められる真珠や異常形真珠についても調べた。これらの試料面は蒸留水で数回洗つた後観察に供した。

表面構造は先ず Leitz 製 Panphot 顕微鏡の垂直投光管を使用して直接観察した後，methylmethacryl-aluminum 2段レプリカあるいは acethylcellulose-carbon 2段レプリカによつて電子顕微鏡用標本を作製した。一方，断面構造は養殖真珠の場合には糸鋸でほぼ中央附近で2分し，その一方を岩石薄片装置で中央まで研磨した後，1N HCl で腐蝕して，

その面のレプリカを作製した。天然真珠及び淡水無核養殖真珠の場合は，このほかに破断面を作り，その面のレプリカを作製して電子顕微鏡観察に供した。また前者はレプリカ作製後他面より研磨して薄片とし，後者は別の試料を新たに薄片として偏光顕微鏡によつて観察した。

methylmethacryl-aluminum 2段レプリカ作製は，先ず10cc の methylmethacrylate を試験管にとり，これに約0.03mg の過酸化ベンゾイルを重合剤として加えて後，湯煎上で像形転写にあたつて忠実度が損われない適度の粘度にした前重合体を準備した。この前重合体の温度が下つて後に試料面に1～2滴おとし，25～30°C の恒温器の中に6～12時間保つて重合させた。試料面からはがした樹脂の転写面を上にしてスライドグラスの上にセロテープで固定し，約$10^{-5}\times5$mmHg のもとで真空蒸着をおこなつた。真空蒸着にあたつては初めに45度の角度で一定方向から Cr 陰影をつけた後，試料の真上より Al を蒸着した。この蒸着面をカミソリ刃で 1mm² の碁盤目状に軽く傷をつけて，アセトン中で樹脂を溶解し，懸垂している Al 薄膜を銅メッシュで掬い上げて検鏡した。acethylcellulose-carbon 2段レプリカは 5～10mm² に切つた acethylcellulose の薄膜を試料面に醋酸メチルを滴下した後，直ちにのせ5～10分後に剝し，その転写面を上にしてセロテープでスライドグラス上に固定し，真空中で Cr あるいは Ge で陰影をつけた後に aluminum の代りに carbon を蒸着した。前法と同様に碁盤目状に軽く傷をつけ，その面を融点 45°C のパラフィンで適当の大きさに切つたスライドグラスに密着せしめ，醋酸メチル溶液中に浸し，cellulose 膜の溶けたのを確認した後，50°C に保つた恒温器中でパラフィンを溶解し，懸垂している carbon 膜を銅メッシュで掬つて検鏡した。使用した顕微鏡は日立製 HS-2 型及び HU-10型である。

真珠の結晶質構造は真珠の表面に垂直及び水平な薄片を作り，直交ニコル及びコノスコープによつて観察をおこなつた。その内，数試料を Laue 写真撮影に使用した。X線照射条件は出力30KV，電流 15mA，第2スリット孔径 0.5mm，対陰極 Mo あるいは Cu，乾板と試料との距離 42mm，露出時間2～3時間であつた。

真珠の種類及び形態

真珠の種類はその分類の根拠を何におくかによつて著しく異なる。従来おこなつていた分類基準を[45, 52, 83, 127]まとめてみると (1)天然か養殖によるか，(2)形成母貝の種類による，(3)形成部位による，(4)外部形態による，及び (5)異質構造による，五つになる。この内真珠の建築学的構造の立場から論ずる時には，(1)～(4) による分類は多くの場合意味を失つてしまう。例えば，天然真珠も養殖真珠も同質層は同一建築学的構造を有し，両者の差は真珠形成の動機を人為的に与えられたかどうかにある。天然真珠では形成部位によつて色々と呼ばれるが，〝みみだま〟も〝ふくろだま〟も共に真珠層真珠もあれば稜柱層真珠もある。ただ〝はしらだま〟において輝層真珠が形成されるので形成部位が建築学的構造に差をもたらすが，養殖真珠形成に使用している軟体部位の差においてはこうした分類基準は意味を失つてくる。また類似の貝殻構造を有する貝から形成された真珠の同質層は殆んど類似した建築学的構造を有し，しかも商品的価値を生ずる真珠は必ず真珠層真珠であるため，母貝が異なつても基本的には建築学的構造には差が認められない。結局，こ

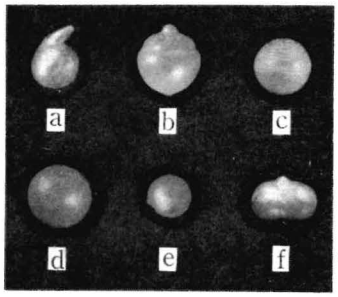


Fig. 2-1. Pearl shapes produced by *P. martensii*.

の章で問題になる真珠自体の建築学的構造は異質層真珠と異形真珠との立場から十分に論議する事が可能と思われる。しかるに建築学的構造の本質は前者によるものであつて，後者は真珠形成過程における前者に帰属する要素の一部が規則的なあるいは不規則的な歪みを生じたり，部分的に不均一な鉱物化を生じ，または隣接した真珠が連結する事によつておこつたものである。例えば，真珠業関係者が俗に呼んでいる〝突起珠〟，〝鉢巻珠〟，〝しわ珠〟，〝連結珠〟等々があり (Fig. 2-1)，この章の真珠の各論で上述の関係が明らかにされるであろう。従つて，著者は真珠自体の性状を分類する時には，第1章で述べた鉱物成分と建築学的構造との両要素を考慮に入れて，次の5種類に大別し以下に論ずる。

1) 真珠層真珠 (Nacreous layer pearl)
2) 稜柱層真珠 (Prismatic layer pearl)
3) 有機質真珠 (殻皮層真珠 Periostracal pearl)
4) 輝層真珠 (Hypostracal pearl)
5) 複合真珠 (混合真珠 Compound pearl)

真珠の表面及び断面構造

移植片の上皮細胞が真珠袋のそれに発達した後しばらくの間，真珠袋上皮細胞は形態的及び機能的に著しい変化を示し，真珠層の形成が始まる以前に1種あるいは2種の異質層が屢々形成される。今，アコヤガイ天然及び養殖真珠とイケチョウガイ有核及び無核真珠を薄片にして，その初期における形成層を顕微鏡下で調べてみると Table. Ⅱ—1 の如くである。しかし，表中に示された介在異質層も肉眼的には確認する事が出来ないものもかなりある。したがつて，これらの真珠は挿入核の一部に異質層を持つ，いわゆる〝シミ珠〟などとあわせて複合真珠と呼ぶにはふさわしくないように思われるので単一層からなる真珠層真珠とみなして以下に論ずる。また第3章で述べられるように現在の真珠養殖に使用している外套膜部分からの移植片によつては真珠層真珠以外の異質層真珠になる率は普通の養殖仕立を経て，しかも養殖漁場環境に異変がない限り，非常に低いと一般的に言える。

Table II-1. Shell substances appeared in an early stage of the pearl formation.

Kind of material		Pe.+Pr.+N.	Pe.+N.	Pr.+N.	Only N.
P. martensii	cultured pearl	13	6	25	19
	natural Pearl	19	5	13	14
H. schlegeli	nucleated pearl	0	2	0	12
	non-nucleated pearl	0	9	0	20

* Pe.: Periostracal substance, Pr.: Prismatic substance, N.: Nacreous substance.

輝層真珠については現在の移植部位，すなわち生殖腺であるかぎり形成されないと理論的には考えられ，事実著者は養殖真珠で輝層真珠を観察していないし，報告も持つていない。

1) 真珠層真珠

美しい真珠光沢をもつ真珠で，ピンク，シルバー，ブルー及びイエローなどの呈色をし，形の歪んだものもみられるが，商品的に高価なのはこの真珠に限られている。

この真珠の自然表面には貝殻真珠層表面にみられるような総ての条線模様が認められる。すなわち，並行，渦巻，同心円及び不規則などみられ，一般に階段構造からなつている。稀に畝状のものも認められ，一様にして無構造な表面からなるものも認められる。貝殻真珠層の表面構造と本質的に異なる点はないが，階段間隔に貝殻真珠層周辺部にみられるような狭いものは稀であり，また歪みの少ない真球真珠では渦巻及び同心円の模様は一般に左右対称な形を示す (Fig. 2—2)。しかし突起部及び鉢巻部で歪曲した条線を認める (Fig. 2—3)。

Fig. 2-2. Spiral pattern seen on the natural surface of Pearls of *P. martensii*. × 100

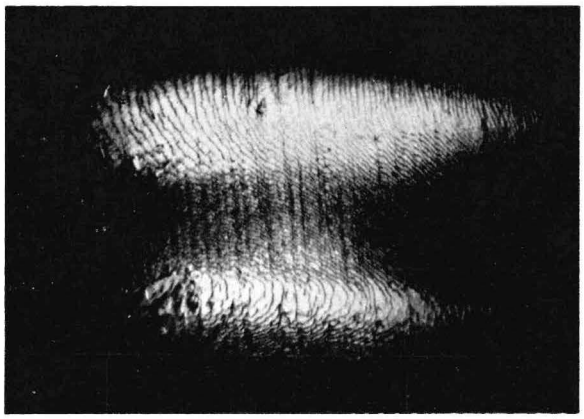


Fig. 2-3. Lines running along the grooves formed on a surface of a pearl. ×55

真珠の薄片を直交ニコルのもとで観察すると，天然真珠の場合には真珠形成の中心に対して十字消光し，それぞれの消光塊は楔状を示す (Fig. 2—10, 23)。載物台の回転にともない，消光塊は中心に対して十字消光を保ちながら少しずつ移動する。養殖真珠の場合には挿入核の周囲に形成された真珠層においてほぼ 90° 角に四つの消光塊の中心が認められるが，挿入核は核自体の結晶質構造によつて無関係に異なつた消光を示す (Fig. 2—17, 18, 23)。いずれの場合にも真珠袋上皮細胞の働きによつて形成された真珠層は真珠形成の中心に対して十字消光を示していると思われるから，偏光波の一つの振動方向が真珠形成の中心から表面に垂直に引いた方向と一致していると考えられる。消光位置にある真珠層部分を詳細に調べてみると，楔状の消光塊は一般に真珠表面に並行な幾つかの異なつた消光帯からなつており，楔状の消光塊が完全な均一を示すものは稀である。特に実験材料を越年させているものはこの傾向が著しく，しかも消光帯相互がかなり明瞭な差を示す。相互に異なる消光帯が接する部分に屢々薄い明るい層の存在を認める。この薄い明るい層は消光位置の異なる多数の粒子の集合からなつている。

アコヤガイ養殖真珠を構成している aragonite 結晶は一般に 2 ～ 5μ の円形ないし多角形板状を示し (Plate Ⅰ—1, Plate Ⅸ—33)，結晶間相互には conchiolin が膜状に挟まつている。また一般に同一平面において aragonite 結晶粒は互いに一定方向に平行成長しており，時に乱れるものが認められる。単位鉱物薄板一枚の厚さは 0.3～0.6μ の範囲で変化し，相隣接した鉱物薄板は比較的均一の厚さを示しながら conchiolin 膜と交互に重畳する。真珠形成初期及び冬眠前後には屢々相接する鉱物薄板の厚さを異にするものが認められる (Plate Ⅰ—2)。アコヤガイ養殖真珠は Plate Ⅰ—3 にみるような積層変化をする。すなわち，ある厚さの単位鉱物薄板からなる均一層に接して鉱物薄板一枚の厚さの異なる均一層が形成される。上下層は酸に対して異なつた腐蝕像を示し，上層において単位薄板の厚さは 0.4～0.5μ, 下層においては 0.3～0.4μ を測定し得る。この両層の境には比較的厚い conchiolin 層が認められる。アコヤガイ天然真珠の破断面においても同一試料の形成時期の異なる部分によつて一枚の単位鉱物薄板の厚さの変動が観察される。例えば，Plate Ⅰ—4 及びⅡ—5 において，まず稜柱層の形成がみられ，それに接して一枚の単位薄板が 1.7μ の真珠層の形成をみるが (Plate Ⅰ—4)，その後 0.48μ の単位薄板からなる真珠層に変化している (Plate Ⅱ—5)。この場合には前記の養殖真珠と全く反対に形成初期に厚い鉱物薄板の形成がみられる。内田等[96] (1947) はこれらの均一層の存在を真珠及び貝殻のスペクトル写真から推察して〝単一体〟と呼んだ。異なる単一体中の鉱物薄板は一枚の厚さが単に異なるだけの場合もあれば，夫々の単一体中の鉱物薄板が重畳過程においてある結晶学的要素の配位を異にして成長してくる場合も観察される。こうした単一体の構成鉱物質の変化が偏光のもとで観察した異なる消光帯を生ぜしめる原因となるであろう。このほか酸に対して真珠層断面に多数の蝕孔が生ずる真珠もある (Plate Ⅱ—6)。イケチョウガイから養殖される真珠層真珠の基本的な建築学的構造はアコヤガイのそれと全く一致しており，個々の aragonite 結晶が conchiolin によつて接着されてできる単位鉱物薄板と conchiolin 薄膜の交互層からなつている。単位鉱物薄板が表面に露出して，その成長前線が種々の条線模様を示す。断面構造は aragonite の板状結晶と conchiolin の空間的な結合関係によつて煉瓦壁構造を示す。しかし単位鉱物薄板の一枚の厚さはアコヤガイ真珠のそれに比べてかなり大きく，また真珠によつて著しく異なり 0.45～1.8μ にわた

り，母貝貝殻のそれよりも変動範囲が大きい傾向を示す。アコヤガイ真珠にみられたような比較的均一な厚さをもつた鉱物薄板からなる単一体もみられ，また不均一な厚さの鉱物薄板が隣接して重畳しているものが屢々認められる（Plate Ⅱ—7）。淡水真珠はこのほか時々真珠層間にかなり厚い茶褐色の殻皮層の形成がみられ，また俗に〝骨珠〟と称する真珠層構造を示すが粗い破断面を作る光沢感の悪い真珠を生ずる（Plate Ⅱ—8）。単位鉱物薄板の厚さの変動が如何なる原因によつてもたらされるかについては明らかでないが，conchiolin によつて囲まれた aragonite の1個の結晶において，その底面に垂直な断面を作ると底面に平行な層状構造が屢々認められる（Plate Ⅲ—9）。この層間隔は 300～400Å 以下を示しており，結晶の厚さが異なつていても比較的一定している。

一方，単位鉱物薄板間に挟まれている conchiolin 膜の微細構造も貝殻真珠層に認められたものと全く類似しており，Plate Ⅲ—10 にみられるように真珠表面に平行な結晶面に形成された conchiolin は一定方向に走行した明瞭な珠数状繊維が全面に屢々認められる。この顆粒の大きさは約 300～380Å を示している。これら真珠層中の aragonite 及び conchiolin の微細構造の類似像が *Pinctada martensii*, *Mytilus edulis*, *Quadrula undata*, その他の貝殻 aragonite においても認められるので，これらの事は他の論文に改めて報告する。

真珠形成過程における層状構造の変化が真珠の色沢に大きく影響する事については第4章で論ずる。このほかに真珠形成初期における成層変化は真珠形成機構の究明にとつて重要な問題であり，ある種の真珠色彩の主因子となるから，ここに電子顕微鏡写真の数例を挙げて真珠形成初期の種々の成層様式の特徴を詳細に調べてみる。Plate Ⅳ—11, 12, 13及び14にアコヤガイ養殖真珠の断面，特に核と真珠層との境界を示した。核材料に使用される *Quadrula undata* の真珠層単位鉱物薄板一枚の厚さは 1.8μ 以上におよび，しかも真珠袋上皮の働きによつて形成された貝殻物質との成層関係において一般に不整合を示すために容易に区別できる。真珠層が直接核面に接して形成されているもの（Plate Ⅳ—11），核面に接してまずほぼ垂直に立つ小柱構造がみられ，その上に真珠層の形成のみられるもの（Plate Ⅳ—12），核面に接して顆粒を含んだ有機物質と思わせる無構造層が形成された後に真珠層の累積のみられるもの（Plate Ⅳ—13）及び Plate Ⅳ—14 にみられる如く核面に接してまず有機物質層が形成され，続いて柱状構造からなる層が累積した後に真珠層に移行するものがみられる。この柱状構造物質をとりだして得た電子回折像 Plate Ⅳ—14b から格子間隔を計算した結果を層状構造部分の電子回折像 Plate Ⅳ—14a から得た結果と比較して Table Ⅱ—2 に示した。すなわち，柱状部分及び層状部分は夫々 calcite 及び aragonite からなつており，建築学的構造及び鉱物成分から貝殻稜柱層や真珠層と全く同一である事を示した。しかしながら Plate Ⅳ—12 にみられる小柱構造も稜柱層と思われる点から，真珠の稜柱層は貝殻のそれより建築学的構造において変異がかなり多くあると考えられる。以上のように核面に接して直接真珠層が形成されるが，光学顕微鏡的な観察によるとこうした真珠であつても極く一部に殻皮層や稜柱層の形成のみられるものが多い。これに反してイケチョウガイ有核真珠では一般に核面に接して直接真珠層が形成されており，時として殻皮層が介在して後に真珠層の形成をみるが，稜柱層の形成されていたものは観察に供した12試料中1個も認められなかつた。無核真珠の場合にも稜柱層の形成は認められなかつたが，真珠形成の中心に一般に有機物質を包含する事が前者に比べて高く，

Table II-2. The interllatice spacings and the intensity calculated from the electron diffraction patterns obtained by the prismatic and the laminary structural matters in Plate IV-14.

Prismatic structural matter		Laminary structural matter	
d(Å)	I	d(Å)	I
3.85	w		
		3.55	s
3.38	ww		
		3.20	mw
3.04	s		
		2.89	m
2.65	w	2.63	m
2.45	ms	2.47	ms
		2.33	ww
2.27	m	2.22	mw
2.05	m	2.09	m
		1.98	w
1.90	ms	1.90	mw
1.87	m	1.84	m
1.61	w	1.65	ww
		1.56	ww
		1.48	ww
		1.44	ww

また空洞のあるものがしばしばである。しかし，この場合有機物質は塊状をしており，殻皮層の形成されたものはむしろ少なかつた。

2)　稜柱層真珠

光沢のにぶい黄土色の真珠で，一般に形の歪みも少なく，突起，凹み等の著しい変形はみられない。商品的には全く価値がない。

アコヤガイ稜柱層真珠の基本的な建築学的構造は母貝貝殻稜柱層と本質的には全く類似しており，蜂窩状構造を作つている多角形稜柱が真珠形成の中心に対して放射状に伸びている。表面構造は貝殻稜柱層のような多角形の部屋からなるもの（Plate V—15）や，Plate V—16にみられるような不定形をなすものなど種々みられる。この多角形の部屋の直径は普通約 15～40μ からなる。養殖の稜柱層真珠の破断面には直径 30μ の柱と，直径 4～9μ の小柱とがあり，各稜柱には 0.6～3.8μ の間隔からなる層状構造がみられ，真珠層のそれに比べて乱れが多い（Plate V—17）。conchiolin と思われる部分にしばしば顆粒状構造が認められるが，稜柱層真珠のX線及び電子線回折において炭酸石灰以外の鉱物は認められないから，多分この顆粒物質は炭酸石灰と考えられる。上記の数μの直径を示す小さな柱が幾つか集まつて大きな稜柱を構成すると考えられ，偏光のもとで各稜柱は一般に同時消光しない。真珠層真珠の如く明瞭な十字消光は認めにくいが，偏光波の一つの振動方向が稜柱の長軸とほぼ一致している。稜柱間物質は常に消光し光学的等方体からなる事を示している。挿入核と稜柱層との間に有機質層の形成がしばしばみられる。天然の稜柱層真珠も養殖のそれとほとんど差がなく Plate V—18 にみられるような conchiolin の壁に取り囲まれた稜柱は層状に累積した calcite 結晶からなつており，破断面の差によつて異なつた像を示す稜柱の断口が認められる。直交ニコルのもとでの行動も養殖のものと殆ん

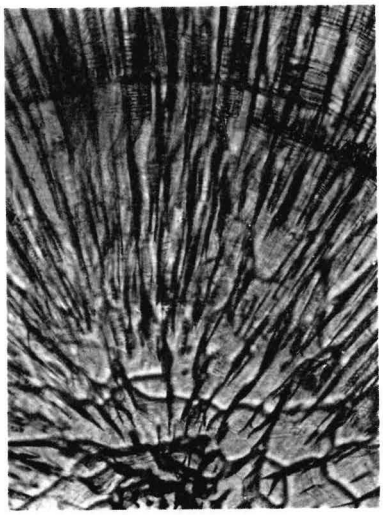


Fig.2-4. Prisms in a vertical thin slice of a natural prismatic layer pearl of *P. martensii*. Each prism is of calcite. ×80

ど差が認められない。真珠形成の中心部には多くの場合淡橙色から茶褐色の物質の存在があり，しばしばこうした物質の存在がなく Fig. 2—4 にみられるような亀甲型の像が現われる。これは Schmidt[84] (1931) が指摘したように中心から稜柱層が形成されており，切片が中心を多少ずれたために稜柱の横断面像が現われたものと考えられる。また天然稜柱層真珠には一般に色素帯が認められる。養殖及び天然を問わず稜柱は必ずしも直線的な柱からなつていないで，部分的にかなり強く彎曲した柱として成長している。稜柱は形成の中心から表面まで普通連続しておらず，途中で表面から楔を打ち込んだような状態で新しい稜柱の発達がみられる（Figs. 2—11, 16)。

Fig. 2-5. Topography of conchiolin in a natural prismatic layer pearl decalcified with 0.3 M solution of ethylenediaminetetra-acetic acid disodium salt at pH 7.5-8.0 (*P. martensii*). ×93

今，稜柱層真珠における conchiolin の分布状態をみるために，天然稜柱層真珠を pH7. 5～ 8.0, 0.3M濃度の EDTA 溶液にて脱灰した後，樹脂包埋して約 0.5μ の切片を作つて観察した像を Fig. 2—5 に示す。この像から conchiolin は各稜柱間及び小柱間に分布して縦の構造を示すと同時に，calcite 鉱物板間にあつて層状構造を示す。

3) 殻皮層真珠

茶褐色ないし黒褐色の真珠で，水分を含んでいる時は柔らかく，乾燥すると粗い表面を呈する。商品的価値はない。

殻皮層真珠は必ずしも真珠袋上皮細胞によつて合成された殻皮質だけからなつているとは限らず，遊走細胞や周囲組織などの混在するものもある。また鉱物質の皆無のものもあるが炭酸石灰の結晶が有機質中に散在しているものもあり，炭酸石灰は calcite 及び aragonite 型の両方ともみられた。calcite は約 50～130μ の直径をもつた球晶として散在しており (Fig. 2—6)，時として針状ないし紡錘状の 0.5～4.5μ の結晶として有機質中に沈着

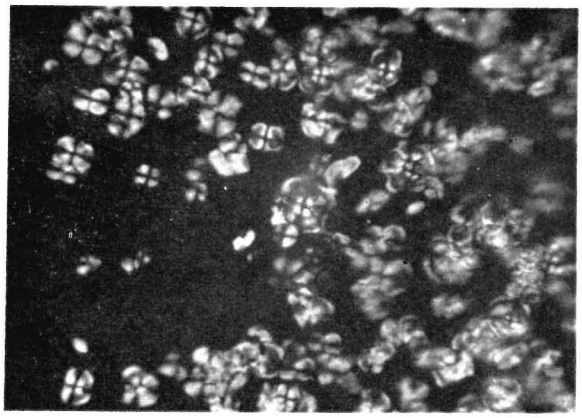


Fig. 2-6. Spherulite of $CaCO_3$ crystals in organic substances formed at an early stage of pearl formation in *P. martensii* (under crossed nicols). ×50

している（Plate Ⅵ—19)。 殻皮層真珠表面は Plate Ⅵ—20 のごとき厚い膜状物質の累積からなり，その表面に定方位をもつた繊維状構造が認められる。断面構造は層状構造を示す部分と塊状を示す部分とからなるものが多い。前者は直交ニコルのもとで微弱な複屈折を屢々示し，エオシンに濃染し，色素に対する染色性は貝殻殻皮層と一致している。後者はそれ自体は複屈折を示さず，その中に時々複屈折を示す鉱物質を包含しており，真珠袋の働きによつて合成された殻皮質以外の有機物質と考えられる。この有機物質は好ヘマトキシリン性の小さな顆粒を含み，色素に対して前者と染色性が異なる。

4) 輝層真珠

多少真珠光沢をもつた白色不透明な真珠で，閉殻筋から採集された真珠にのみ認められるため，養殖真珠では未だ観察出来ない。球形のものは少なく一般に変形している。輝層真珠の鉱物質は真珠層と同様に aragonite であるが，建築学的構造は稜柱層真珠に類似している。すなわち，真珠形成の中心に対して直径 2～4μ の aragonite 小柱が放射状に配列している。しかし小柱における層状構造が稜柱層真珠よりもはるかに不明瞭である。一般的に言つて真珠形成過程において幾つかの形成の中心が加わり，ある時期まではそれぞれの中心に対して放射状の繊維状構造を示す。また各小柱は途中で切れており，新しい小柱の成長が加わる。一つの真珠が輝層単独からなる事はまれで，殆んど真珠層と混在して複合的な真珠となつている。直交ニコルのもとで形成の中心に対して十字消光を示し，偏光波の一つの振動方向は小柱の長軸に一致している。破断面を作つて電子顕微鏡にて観察すると柱状構造のみがあらわれ，光学顕微鏡によつて認められた層状構造は殆んど現われない（Plate Ⅵ—21)。多くの場合形成の中心に輝層が形成されており，中心を通つた切片においては中心から小柱が放射し（Fig. 2—7)，多少中心からずれた切片では中心附近に小柱の横断面が現われて顆粒状構造が認められ，稜柱層真珠と明白に区別が可能である。このほか顕微鏡下で他層よりも非常に明るい点で容易に区別できる。これらの基本的な建

築学的構造は小柱の放射状配列を除けば全く貝殻輝層のそれと一致している。

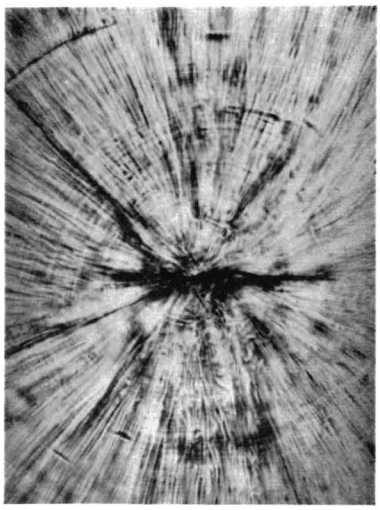


Fig. 2-7. A thin slice of the hypostracal pearl of *P. martensii*. Microcrystals in small prisms elongated radially from the center of the pearl are formed in aragonite. ×430

5) 複合真珠

以上の四つの基本的な建築学的構造及び構成成分上で特徴をもつた層が，少なくとも二つ以上組み合わさつた真珠であり，組み合わさつた層の特徴をかね備えている。組み合わさる様式は時間的に交代する場合と，同一時間内に異なつた空間を占めて形成される場合がみられる。今迄のところ輝層真珠だけは，真珠層以外の層と混在したものを認め得ない。

真珠の結晶質構造

真珠を構成している鉱物結晶の配位を調べる事は真珠の成長機構を解明する上に大切である。ここに真珠の結晶質構造を調べ貝殻のそれと比較検討した。

アコヤガイ真珠層真珠の中心を通る垂直断面において，真珠層部分へ真珠表面に平行なX線を入射して得られた Laue 写真を Plate Ⅵ—22 に示す。左右に対称な回折点が現われているが，赤道線の上下で対称性を欠く。しかしこの入射点に対する対称性は真珠層の彎曲度によつて著しく異なり，イケチョウガイ真珠のほとんど彎曲していない部分 (Fig. 2—24) にX線を入射した場合には左右及び上下に対称な回折点が得られる (Plate Ⅶ—23)。すなわち，彎曲が著しい時には赤道線の上側にある二つの反射点に対応する下側の反射点は入射点を通つて赤道線に垂直な線上において結合して幅の広い一つの反射点として現われるが，彎曲が少なくなるにつれてこの反射点は左右にわかれ，貝殻真珠層のような水平な層構造においては左右上下において対称に反射点が現われる。しかも Plate Ⅵ—22とⅦ—23とを比較する事によつてわかるように，真珠面の彎曲が著しい場合において，そうでないものよりも反射点の幅は広い弧状に拡散している。この事は貝殻真珠層のそれと比較

する事によつて更に了解し得るであろう[111]。また彎曲の少ない真珠でも反射点の孤状の拡散がみられ，貝殻でみられたような結晶の配列における乱れがあると考えられる。Plate Ⅶ—23に現われている層線間隔から結晶の周期を算出すると，5.7Å で aragonite の *c* 軸の長さに一致する。したがつて真珠の真珠層を構成している aragonite の微結晶はその (001) 面を真珠表面に平行しながら成長し，次々に重畳している事がわかる。言い換えるならば，真珠の真珠層を構成している aragonite の微結晶はその *c* 軸を真珠表面にほぼ垂直にして成長しているから，結果的には真珠形成の中心から表面に向つて *c* 軸が放射した配向を示す。なおこれらの回折像における層線が双曲線をなしているのは，平板フィルムを使用したためである。次に真珠の表面に垂直にX線を入射した場合も Debye 環にはならず幅広い孤状の反射点が現われる (Plate Ⅶ—24)。この反射点の孤状の拡散は，アコヤガイ貝殻真珠層よりもかなり顕著で，アワビやサザエのような巻貝のそれに非常に類似しており，またコノスコープ像において光学的異常が一般におこる。これらの事実は，真珠の結晶配列はその形成過程において巻貝におけると類似した乱れ[111]が積層中に生じている事を暗示している。いずれにせよ，真珠を構成している aragonite は表面に水平な空間においても配向の規則性を示し，二重繊維構造をもつていると考えられる。今，アコヤガイの真球，突起，鉢巻及びイケチョウガイの鉢巻珠について，表面に平行な薄片を作りコノスコープ像 (Fig. 2—8) を観察して *b* 軸の配位を調べて得た結果を模式的に Fig. 2—9 に示した。X線回折像を裏付けるように，真球の真珠でもある方向に *b* 軸を比較的規則的に配向しており，突起のある真珠では突起の基部より先端に *b* 軸を向けて結晶は配列している。一方，鉢巻珠はアコヤガイ及びイケチョウガイを問わず，また真珠の形及び鉢巻の形式にかかわらず鉢巻の溝に沿つてほぼ平行に *b* 軸の規則的な配列がみられる。すなわち，Fig. 2—1 の b と c とでは鉢巻が非常に異なるが，いずれも溝に沿つて *b* 軸の規則的な配向がみられ，またイケチョウガイの

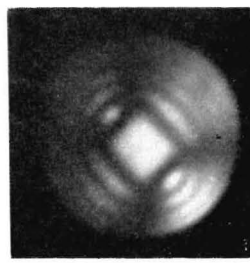


Fig.2-8. The directions image given by *Pinctada* pearl.

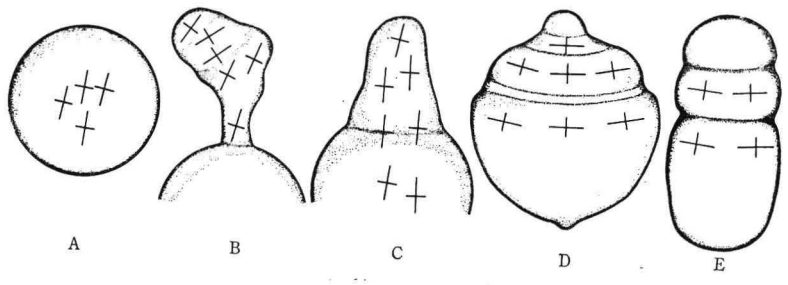


Fig.2-9. Schema illustrating the orientation of aragonite micro-crystals on the pearl surface of *P. martensii*. The longer straight line of each cross shows the orthorhombic *b* axis of micro-crystals.

鉢巻は真珠の短径の周囲にみられるが，真珠の形に関係なく鉢巻の溝の走向と関係して *b* 軸の配向がみられる。

中心を通る稜柱層真珠の切片を作り，その面に垂直にX線を入射して得られた回折像から，稜柱層を構成している calcite 結晶がその c 軸を規則的に配向している事を示しているが（Plate Ⅶ—25），反射点の拡散から判断してかなりの乱れがあると思われるし，放射状配列の影響もあると考えられる。この真珠の表面に垂直にX線を入射すると Plate Ⅶ—26にみられるような入射点から放射した星状回折像が得られた。

一方，殻皮層真珠の表面にX線を垂直に入射すると，少数の反射点が散在して現われる場合とハローをともなつた Debye 環を示す場合とがある（Plate Ⅷ—27）。すなわち，一般に殻皮層真珠においては，鉱物成分が真珠層や稜柱層に発達せず，有機物中に散在して真珠の成長方向と無関係な状態で沈着していると考えられる。

各種真珠断面構造の各論

真珠の基本的な建築学的構造については以上に述べた如くであるが，真珠の成長機構を理解するためには個々の真珠の構造について詳細に観察する事が望ましい。以前より天然真珠構造の観察については，Schmidt[83,84]（1923, 1931），Rubbel[77]（1911），及び v. Hessling[101]（1857）等によつて報告されているが，我国ではアコヤガイやイケチョウガイから産出される天然及び養殖真珠の建築学的構造を系統的に調べたものはなく，その時々において，ある真珠の構造を報告[66]しているにすぎない。著者は真珠を研究する上において多くの真珠の構造的特徴を理解する事の重要性を感じ，折あるごとに作つた250個の天然及び養殖真珠薄片標本の中，代表的な外形と構造をもつた幾つかの真珠を選んでここに報告する。

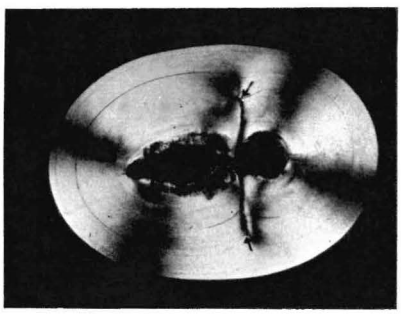


Fig. 2-10. A thin slice of a natural nacreous layer pearl of *P. martensii* under crossed nicols. × 7

Fig. 2—10 アコヤガイ天然真珠層真珠。長径6.0mm，短径4.3mm，真珠光沢あり，表面は平滑。真珠の中心部は二つに分離しており，直交ニコルのもとでそれぞれの中心に対して十字消光を示す。中心部には茶褐色の光学的等方性物質があり，これをおおつて層状に殻皮質の形成がみられる。茶褐色の有機物質中に複屈折を示す微小鉱物質が散在している。その後稜柱層の形成が大部分をおおつて現われるが，直ちに真珠層に移行する部分も認められる。真珠形成当初は両中心点がそれぞれ独立に成長していたが，やがて接触し，そこに不連続面が生じ薄い淡茶褐色の有機物の介在をみる。その後接触面での成長はおさえられ，矢印点において互いに真珠層が結合している。真珠層中に見られる特殊層線は，接触前及び後において同じように生じている。

Fig, 2—11 アコヤガイ天然稜柱層真珠。長径5.8mm，短径5.1mm，光沢のにぶい紫色。真珠の中心部に不定形茶褐色の光学的等方性物質が存在し，それを囲んで一部に層構造のみられる黄橙色の殻皮質と思われる微弱な複屈折を示す有機物の形成がみられる。これを中心として放射状に稜柱が成長している。稜柱層には中心に対して同心円の粗い層状

構造がみられ，この同心円線は中心附近で円形であるが，表面に近づくに従つて写真の上下方向に伸びた楕円形になる。稜柱は部分によつて彎曲している。直交ニコルのもので十字消光を示し，載物台の回転により消光塊は中心の周りを移動する。なお稜柱層中に8本の赤褐色の色素帯がみられる。

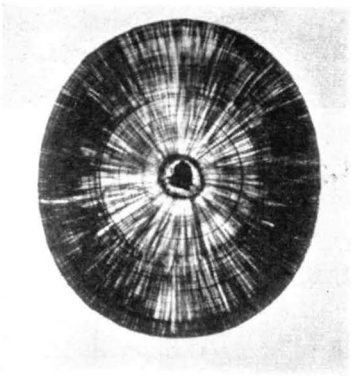


Fig.2-11. A thin slice of a natural prismatic layer pearl of *P. martensii*. Periostracal substance is formed in the center. × 7

Fig.2-12. A thin slice of a natural hypostracal pearl of *P. martensii* under crossed nicols, having four points of the pearl formation. × 27

Fig. 2—12　アコヤガイ天然輝層真珠。長径 1.6mm，短径0.9mm，光沢にぶく表面は粗い。全体がほとんど輝層からなつている。矢印1を中心にまず放射状に成長し，矢印2に新しい成長の中心が加わり，後矢印 3，4 に再び中心が形成されて変形し，採集時には 1，2，3 の中心は互いに密着して形成されているが，4 は1及び3より層形成において不連続を示す。形成の中心に対して成長速度は各部で著しい差があり，中心1の成長は3と接触後，後者の成長に比較して著しく減少している。直交ニコルのもとで各形成の中心に対して十字消光がみられ，載物台の回転によつてそれぞれの中心に対して消光塊は回転する。

Fig. 2—13　アコヤガイ天然複合真珠。直径 5.4mm のほぼ球形，光沢なく黄橙色，稜柱層と殻皮層とが時間の経過とともに交互に形成されているが，同一時期にはいずれか一方の層が真珠袋全面から分泌されている。形成の中心に稜柱層があり，その後矢印 1，2，3 に黄橙色の光学的異方性を示す層状の有機質の形成がみられ，矢印4において光学的等方性を示す茶褐色塊状の有機物質の集積をみる。採集時期には真珠袋全面より稜柱層の形成がおこなわれていた。直交ニコルのもとで稜柱層部分に 90° 間隔に消光塊を生ずる。

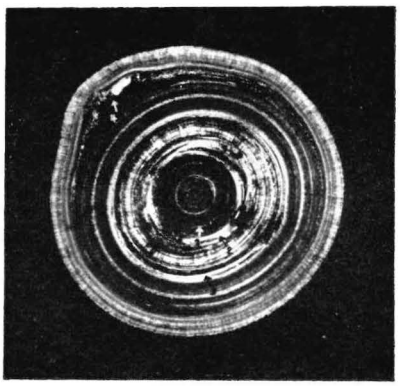


Fig.2-13. A thin slice of a natural compound pearl of *P. martensii* under crossed nicols. The pearl consists of an alternation of prismatic and periostracal substances. × 7

Fig. 2—14 アコヤガイ天然真珠層真珠。長径5.4mm，短径2.7mm，真珠光沢あり。真珠の中心には91～460μの不定形をした大小の消光塊があり，この消光塊部分には微細な繊維構造がみられる。これらを囲んで真珠層が形成され，その境界は不整合をなす。真珠層は帯状の3単一体よりなつている。

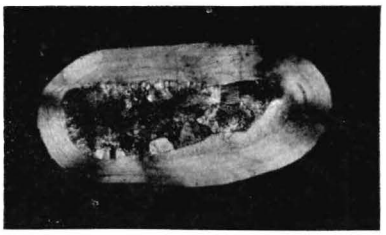


Fig. 2-14. A thin slice of a natural nacreous layer pearl with many extinction blocks in the central region (under crossed nicols). × 7

Fig. 2—15 アコヤガイ天然複合真珠。長径5.5mm，短径4.5mm，表面の$\frac{3}{5}$程度は真珠光沢を有するが，その他は黄土色を呈する。真珠層と稜柱層が同一時期に一定の空間を占めながら同時に形成されている。真珠の中心は線状に拡がり，この線を境に両側に別々に真珠層と稜柱層の発達によつて真珠の形成が開始され，矢印1，2，3，4と1′，2′，3′，4′は同時期に形成された層線に対応する。真珠形成が進むに従つて真珠層が稜柱層を圧して少しずつ拡がる傾向がみられるが，初期に分化された真珠袋上皮細胞の分泌機能には大きな変化がみられない。形成の中心には両層以外の異質物はみられない。中心から表面までの厚さは稜柱層が真珠層の2倍強を示している。偏光下で十字消光を示し，載物台の回転によつて消光塊は層に関係なく形成の中心の周りを回転する。

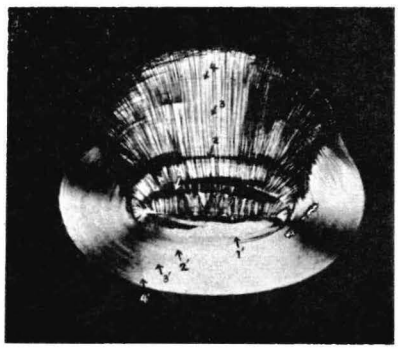


Fig.2-15. A thin slice of a natural compound pearl of *P.martensii* under crossed nicols. The pearl consists of prismatic and nacreous substances, their alternation being unable to recognize. × 7.3

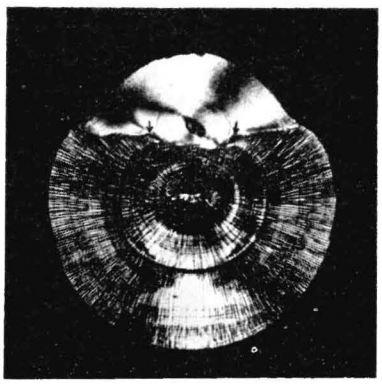


Fig.2-16. A thin slice of a natural compound pearl of *P. martensii* under crossed nicols. In the process of the pearl formation, one prismatic layer pearl contacts with another nacreous layer one. Thereafter they combine each other developing as one pearl. × 7.3

Fig. 2—16 アコヤガイ天然複合真珠，直径5.3mm，$\frac{1}{3}$程度は真珠光沢あり。真珠層及び稜柱層が同時期に一定の空間に同時に形成されているが，真珠形成の中心が異なる真珠層真珠と稜柱層真珠が成長にともなつて結合して1個の真珠に発達した点で Fig. 2—15 と異なる。両中心ともに有機物質を含む。両真珠の接触面には黄橙色の光学的異方性有機

物と茶褐色の光学的等方性有機物とが介在している。両真珠は矢印点に至るまでは接触しながら独立に成長しているが，その後両者の接触面での層状構造は融合している。この事は矢印の所に至つてそれぞれの真珠袋上皮が癒合したものと考えられる。真珠袋の癒合後，それぞれの真珠袋より由来している上皮の分泌機能の特性には殆んど変化がない。厚さの増加は稜柱層が真珠層に比較して大である。また両層は融合前より同時期には同様の層線が形成されている。直交ニコルのもとで融合前の形成層はそれぞれの中心に対して十字消光し，載物台の回転によつてそれぞれの中心の周囲を回転するが，融合後の層は融合前及び後の両形成の中心にともなう外形の変化の影響を受けて複雑な消光を示す。

Fig. 2—17　アコヤガイ養殖真珠層真珠。直径 6.8mm の真球，光沢あるピンク色。切断面においては挿入核に接して直ちに真珠層が形成されている典型的な真珠層真珠。直交ニコルのもとで真珠層部分は90度ごとに消光塊が現われ，載物台を時計廻りに回転すると消光塊は例の如く一定間隔を保ちながら反時計廻りに真珠層断面内を回転する。消光塊は三つの消光帯からなり，消光帯間にある境界層の消光位置は多少ずれている。

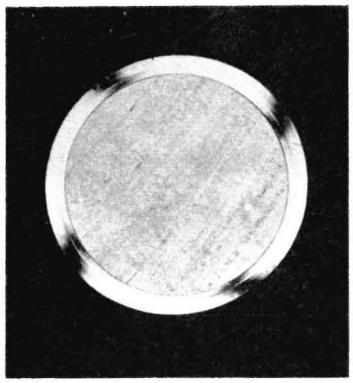


Fig.2-17. A thin slice of a cultured nacreous layer pearl of *P. martensii* under crossed nicols. The central part is a inserted pearl nucleus. × 5

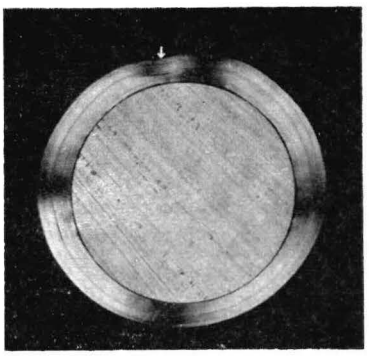


Fig.2-18. A thin slice of a nacreous layer pearl cultured in *H. schlegeli* under crossed nicols. × 4.3

Fig. 2—18　イケチョウガイ有核真珠。直径 8.6 mm の真珠，光沢あるうすさんご色。挿入核に直接真珠層の形成がみられる。直交ニコルのもとで消光塊の行動は Fig. 2—17に同じ。真珠層には多数の層線がみられるが，4ないし5の消光帯からなる。一部に内方へ彎曲した層状構造がみられるが(矢印)，使用核に開いていた孔に沿つて真珠層が形成されたためである。

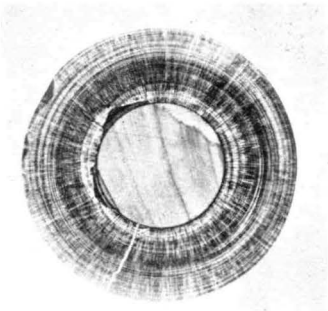


Fig.2-19. A prismatic layer pearl produced in the pearl oyster. × 5.3

Fig. 2—19　アコヤガイ養殖稜柱層真珠。直径 7.0mm の真球，光沢のにぶい黄土色。挿入核に直接稜柱層が形成された典型的な稜柱層真珠。核面にほぼ垂直に稜柱が立つており，全体として放射状に配列している。核を中心として同心円

の層状構造が明瞭で，各稜柱を貫通した閉じた円をなす。直交ニコルのもとで十字消光を示し，載物台の回転にともなつて，回転方向と逆方向に消光塊は移動する。

Fig. 2—20 アコヤガイ養殖複合真珠。長径8.2mm，短径6.7mm，長径の全周囲を帯状に黄土色の稜柱層が露出している。真珠形成は稜柱層によつて始まり，短径方向に接していた真珠袋上皮の分泌機能は途中で真珠層に変化し，次第にその変化は稜柱層をおおつて拡がつている。層線からみて稜柱層部分の成長が真珠層のそれに比べて著しく速い事がわかる。また稜柱層を構成している稜柱にはかなり彎曲しているものが認められる。直交ニコルのもとでの十字消光は形成の中心が1個のものと同じように振まう。

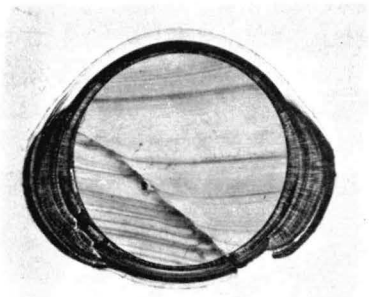


Fig.2-20. A compound pearl with prismatic and nacreous substances cultured in *P. martensii* (under crossed nicols). × 5

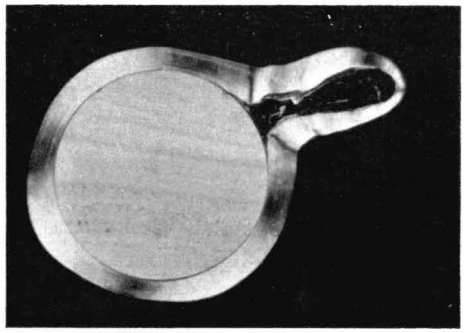


Fig.2-21. A cultured nacreous layer pearl with a projection under crossed nicols. Such pearl is usually named "toki-dama". ×5

Fig. 2—21 アコヤガイ養殖真珠層真珠。突起部分を除けば真珠層が核に直接形成されている。真珠形成初期に一部へ茶褐色塊状の有機物が突起状に集積され，その周囲をおおつて微弱な複屈折を示す黄橙色の殻皮層が層状をなし，その外側に稜柱層の形成がみられる。その後真珠層の発達をみるが部分的に厚さがかなり異なる。突起部の真珠層において，偏光波の一つの振動方向はその表面にほぼ垂直である。塊状有機物中には鉱物粒が散在している。

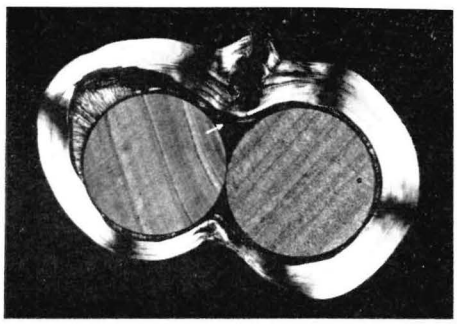


Fig.2-22. A thin slice of "renketu-dama" cultured in *P. martensii* under crossed nicols. × 5

Fig. 2—22 アコヤガイ養殖真珠層真珠。挿入核2個を真珠形成の中心にもつ連結珠。挿入後，分泌物の沈着をみないうちに隣接した核が接触し，2核を包んで真珠袋が形成されたと考えられる。矢印部分には茶褐色塊状の有機物質の集積がみられ，核を包んでまず稜柱層の形成がみられ，その後真珠層に変化している。その後連結部の一部に有機物質を包み込んで小さな突起が形成され，この部分で成層が乱れ真珠層と稜柱層の互層を生じている。

Fig. 2—23　アコヤガイ養殖真珠層真珠。挿入核に直接真珠層が形成されており，矢印の層線を境に外層において矢印 1, 2, 3, 4, 5 の位置の成長が遅れ，表面に溝を作る。矢印 1′, 2′, 3′, 4′, 5′ は前者にそれぞれ対応する溝で真珠の外形は Fig. 2—1, b のような鉢巻珠となる。それぞれの溝には1カ所必ず小さな凹部あるいは凸部がある。前記層線の形成直後天然ケシ珠と接触し，採集当時においても不連続面が残つており，層構造の完全な連続がみられない。天然ケシは形成の中心に稜柱層があり，後真珠層と互層している。直交ニコルのもとでそれぞれの形成の中心に対して十字消光を示す。

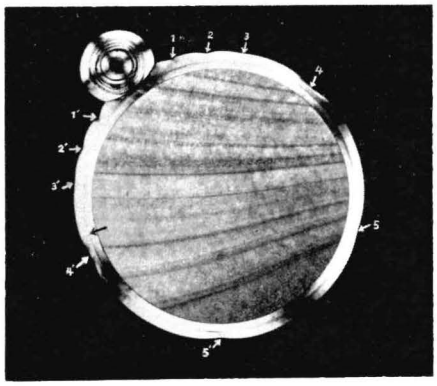


Fig. 2-23.　A cultured nacreous layer pearl with five grooves on its surface, named "hachimaki-dama", under crossed nicols. A seed pearl is appended to the cultured one in the process of the pearl formation.　× 5

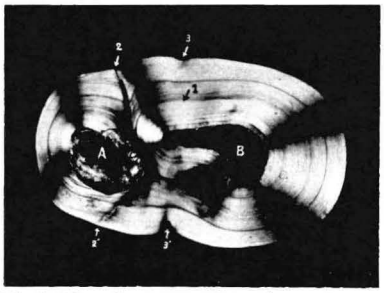


Fig.2-24.　A non-nucleated pearl cultured by *H. schlegeli* under crossed nicols, having two grooves running parallel each other.　× 5.3

Fig. 2—24　イケチョウガイ無核真珠。長径 7.8mm，短径 4.6mm の鉢巻珠，光沢あるうすさんご色。真珠形成の中心が切断面では二つあり，中心A は光学的等方性有機物質を取りまいて粗粒の鉱物質の形成がある。中心B は空洞になつており，真珠層の最内面に薄い殻皮質のみられる部分もある。両形成の中心は矢印 1 で示された層線形成頃に接触し，接触面の成長はおさえられ，不連続面が形成されている。不連続面は矢印 2 に露出しているが，反対側では途中から連続層となつており，前者に対応する矢印 2′を結ぶ一つの鉢巻が形成される。矢印 3 はもう一つの鉢巻でかなり深い溝からなつている。前者の鉢巻は二つの形成の中心が結合して生じた不連続面に起因しており，真珠最内部に原因があるが，後者の鉢巻はその位置にみられる層状構造からかなり後にその原因が生じたものと考えられる。直交ニコルのもとでそれぞれの中心で不完全な十字消光を示す。また特に顕著な層線はそれぞれの中心に相対応して生じている。

Fig. 2—25　アコヤガイ養殖真珠層真珠。直径6.8mm，光沢のにぶい一種の鉢巻珠。挿入核をおおつて稜柱層の形成がみられ，後真珠層に変化している。真珠層に変化してから矢印の層線を境に真珠層中に光の透過の悪い部分が各所に生じ，そこを起点にして真珠表面に向かつて縦に不明瞭な構造の層が生じている（写真中黒い縦の像）。この特殊な層を構成している結晶の粒度は細かい。この特殊層が表面に露出した部分は溝をなしており，多くの場合 Fig. 2—1, c にみられるように一定方向へ走行して一種の鉢巻を生ずるが，ある場合には Fig. 2—1, d にみられるような範疇を示す。

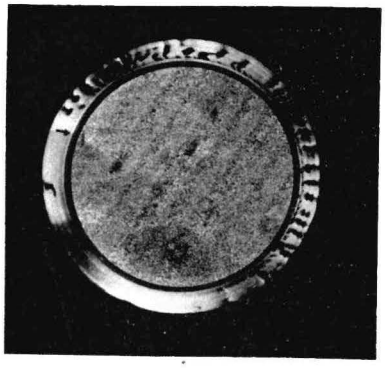


Fig. 2-25. Another type of "hachimaki-dama" produced by *P. martensii* (under crossed nicols). × 5.3

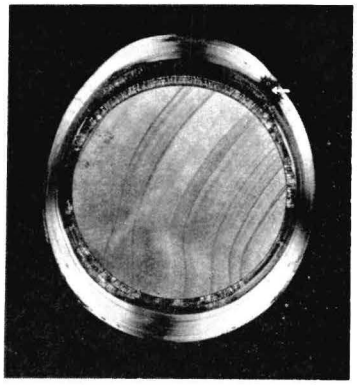


Fig.2-26. A thin slice of "kokuhan" pearl of *P. martensii* under crossed nicols. × 4

Fig. 2—26 アコヤガイ養殖真珠。長径9.4mm，短径8.3mm，光沢は良くない，内部に介在する稜柱層が表面に強く影響している。挿入核に接して稜柱層が直接形成されて後真珠層に変化している。変化直後に矢印部分に有機物の集積がみられ，採集時にその一部が表面に現われていて黒斑をなす。有機物中に十字消光を示す小さな真珠の形成がみられる。

Fig. 2—27 イケチョウガイ無核真珠。長径4.2mm，短径3.9mm，光沢のにぶい淡黄土白色，俗に〝骨珠〟と称し稜柱層真珠と考えられている。真珠の質は脆弱であり，層状に分離しやすい。真珠形成の中心に細長い黄橙色の有機物があり，それに接触して同中心の層状構造をもつ層が形成されている。建築学的構造は層状で真珠層に一致し，柱状構造は全くみられないが，構成鉱物質は真珠層のそれと異質感を与え，光の透過も悪い。またX線回折像より格子間格を計算した結果では aragonite でも calcite でもないカルシウムの過酸化物である Calcium peroxide が検出されたので詳細に調べた後，あらためて報告する。偏光下で不明瞭な十字消光を示す。建築構造からはこの真珠は真珠層真珠といえるが，鉱物成分は異なる。

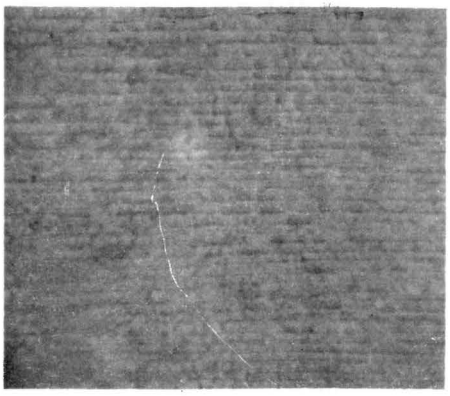


Fig. 2-27. A sectional structure of "kotu-dama" of *H. schlegeli*. Its laminary structure is similar to that of the nacre, but the X-ray diffraction pattern is indicated that its mineral constituent is of calcium peroxide. × 1400

考　　察

真珠の形成機構を解明するために昔から真珠の構造が調べられ，Réaumur[76] (1717) 及び v. Hessling[101] (1858) によつて真珠は球形の貝殻で，組織学的，物理学的及び化学的諸性質が全く同一である事を指摘した。その後 Schmidt[83,84] (1923, 1931) は偏光のもとで数種類の真珠を観察し，偏光波の一つの振動方向が真珠層真珠においては形成の中心から表面に引いた垂線方向と一致しており，霰石稜柱層真珠及び *Mytilus* の方解石稜柱層真珠においては形態上の稜柱軸に一致していると報告している。鳴戸等[61] は真珠の Laue 写真像より繊維軸が表面に垂直であり，c 軸に相当すると述べた。著者[102,109] (1957, 1960) は電子顕微鏡によつてアコヤガイ養殖真珠層真珠の層状構造を調べ，またコノスコープ像より真珠の結晶質構造を調べて，真珠層真珠は貝殻真珠層同様に aragonite 微結晶の b 軸及び c 軸の規則的な配向を有する二重繊維構造からなる事を報告した。このように真珠を構成する鉱物質層の基本的な建築学的構造が研究される一方，真珠の成層変化が貝殻の成長や再生と比較観察され，真珠の形成に関する幾多の学説[11,41,56] がたてられている。

今回の観察からわかるようにアコヤガイ養殖真珠には輝層を除く総ての建築学的構造をもつた層が観察されるが，イケチョウガイ真珠には真珠層真珠のみがみられた。貝の種類が異なつても真珠層真珠の基本的な構造差はなく，板状の鉱物薄板と conchiolin の薄膜の交互層からなつた煉瓦壁状の層構造を示す。conchiolin 薄膜に挟まれた単位鉱物薄板の厚さは貝の種類によつて異なると同時に，同一真珠の異なつた部分でも多少異なつているものがかなり認められる。conchiolin の構造は貝殻真珠層のそれと一致しており，定方向に走る珠数状繊維からなる膜状構造をもつており，各鉱物薄板間及び各 aragonite 結晶境界に分布している。aragonite は光軸面 ∥ 100であるから，形成の中心より真珠層表面に引いた方向に一致する偏光波の振動方向はX線写真像からX軸（＝ c 軸）に相当する。この事から各論で観察した真球及び幾つかの不整形真珠層真珠の c 軸の配位を調べてみると Fig. 2—28 のごとくなる。すなわち，真珠の真珠層を構成している aragonite の微結晶

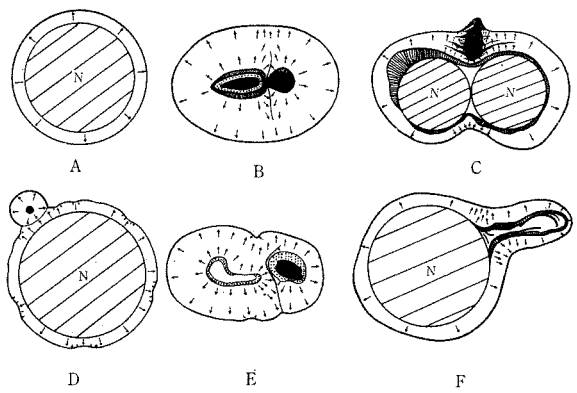


Fig.2-28. Diagrams showing the relation between the orthorhombic c axis (arrows) and pearl shapes.

は貝殻のそれと同様に，晶出する際の真珠袋と真珠との境界面に対してほぼ垂直に c 軸を

向けて成長していると考えられる。したがつて晶出時における c 軸配向の規則性から特殊な外形をもつた真珠の鉱物化過程をある程度まで追究が可能である。一方，真珠の外形にかかわりなく b 軸の配列もある法則に従つている事がわかる。既に著者[109,111](1960, 1961)は各種貝殻の結晶質構造及び移植実験より外套膜及び移植片の伸長方向が b 軸の配向を直接的あるいは間接的に支配する事を実証している。この法則に従えば真珠袋上皮細胞も真珠の表面に水平な拡がりに規則正しい伸長方向をもつていると考えられる。すなわち，突起真珠では突起の基部から先端に向かつて真珠袋上皮細胞の拡がりがあつたために観察されたような b 軸配向の規則性を生じ，鉢巻珠では鉢巻の溝に沿つた b 軸の配向から，この方向に真珠袋上皮細胞の伸長があり，また真珠における b 軸配列は真珠袋上皮細胞の伸長方向に一致していると推察出来る。真珠袋上皮細胞の定向的配列に如何なる因子が関連しているかについては第3章で更に詳細に観察されるであろう。以上に述べたごとく真珠は二重繊維構造をもつているが，Laue 斑点の孤状の拡散における変化及び各種貝殻真珠層におけるそれと比較検討する事によつて，真珠の真珠層中の aragonite 微結晶の配向は貝殻のそれにおけると同じように2次元及び3次元の空間における結晶配列の乱れ及び辷りを生じており，真珠の彎曲という要素が更に乱れや辷りの程度を大きくし，巻貝貝殻に類似した Laue 斑点の拡散を示すと考えられる。稜柱層真珠も貝殻稜柱層と同様に conchiolin 壁で囲まれた多角形柱状の部屋の中で calcite の板状結晶が conchiolin の薄膜と交互に重畳した柱状構造を示すが，いわゆる真珠層にみられるような煉瓦状構造は認められない。稜柱層中の calcite 微結晶はその c 軸を形態上の稜柱軸にほぼ平行して成長している。稜柱層真珠が貝殻稜柱層のそれと異なる事は表面に垂直に入射したX線に対する回折像で，後者が Debye 環を示したのに対し，前者は実験した材料の部分においては Laue 斑点を示した事である。同様に輝層真珠を構成する小柱状の aragonite も偏光波の振動方向の一つが小柱の長軸に平行しており，貝殻輝層と類似した建築構造を示す。以上のように形態学的構造の如何にかかわらず真珠を構成している炭酸石灰の微結晶は規則的に配列して成長している。特に真珠層真珠では表面に垂直及び水平な成長に対して aragonite の c 軸及び b 軸を規則的に配向した二重繊維構造のある事がわかつた。著者[111](1961)は軟体動物貝殻の構造を調べて，各層の形態学的構造の差は conchiolin と鉱物結晶との空間的な結合の差で生ずるのであつて，結晶質構造においては本質的な差はなく，それぞれの層の成長方向に繊維軸があると言う考えを明らかにしたが，この考えは真珠においてもあてはまる。しかし真珠の稜柱層も貝殻稜柱層の結晶質構造の如く個々の稜柱においては二重繊維構造を示すが，稜柱が集つて層として発達すると，アコヤガイでは多くの場所で層の水平成長方向と個々の稜柱の水平方向の繊維軸とが一致していない。

形態学的構造において，真珠はその種類にかかわりなく形成の中心に対して鉱物結晶の同心円ないし放射状繊維構造からなつており，直交ニコルのもとで十字消光をなし，球晶の特徴を示す。このため以前には多くの研究者によつて石灰球晶と考えられたが，Schmidt[83](1923)によつて明解な回答が与えられた。すなわち，彼は真珠の外形及び同中心配列は真珠袋の形によつて決定され，またその生成機構及び配列の詳細な点で相異がある事を認め，おのずと球晶と異なる事を指摘した。今回の観察でも，真珠はその外形及び内部構造における鉱物結晶の同中心構造からなる球状成長によつて，形成の中心を通る薄片は直交ニコルのもとで球晶の特徴である十字消光を示す。しかし球晶は溶液などから

非常に急速に生ずる等の生成条件や結晶成分の同中心放射配列及び外形を制約する原因を考えるならば，真珠は球晶と区別するのが妥当である。すなわち，構造生成において球晶は全く母液の物理化学的要素にその因子を求められるが，真珠では真珠袋及び真珠核にその一因が求められ，多日を要して球晶類似の構造を示すようになる。以上のように真珠自体は球晶とは区別すべきであるが，貝殻再生時，外套膜と貝殻間に挿入したカバーグラス片や真珠形成初期には球晶と全く構造的にも生成条件においても同一と考えられる十字消光を示す炭酸石灰球がしばしば生成してくる（Abolins-Krogis[1] 1658, Wada[104, 111] 1958~1961）。

真珠の成層変化，すなわち，殻皮層，稜柱層及び真珠層の交代変成は真珠袋上皮細胞の分泌機能を解明するために，外套膜上皮細胞の分泌機能の区域による特殊性と比較して以前より多くの研究者によつて論じられている。Moebius[56] (1858) は真珠の成層変化を観察して，真珠は形成過程において外套膜内を移動し，殻皮層，稜柱層及び真珠層はそれぞれこれに相当する外套膜部分を移動する際に形成され，一定の部分に定着している時にはそれに相当する貝殻質からのみなる真珠が形成されると説明した。しかし真珠の生成には外套膜外面上皮に由来する真珠袋が必要であると言う事実が明らかになるにつれて，この説は否定された。Carl[11] (1910) は真珠袋の唯一種の上皮細胞が上記3貝殻質を分泌する能力をもつていると唱えた。Rubble[77] (1911) は真珠層を形成している真珠袋上皮細胞は正常状態よりも非常に薄い事を報告している。その後 Kawakami[41] (1952) 及び Ojima et al.[63] (1953) は真珠袋は一層の上皮細胞からなり，殻皮層を分泌する上皮の脊は高く，真珠層のそれは低い事を報告している。更に中原等[57] (1956) 及び Tujii[95] (1961) は異質貝殻物質分泌をおこなつている真珠袋上皮細胞を比較細胞学的に調べ，真珠層を分泌する真珠袋は扁平な細胞で核はほぼ細胞の中央に位置しており，稜柱層のそれは前者よりやや厚く核は中央に位するが多くの胞状の細胞が分布しており，また殻皮層のそれの厚さは一定しないが非常に厚い事を報告している。かくして真珠の成層変化及び真珠袋上皮細胞の形態的変化についてのこれらの研究から，Carl[11] が唱えたように真珠袋上皮は特殊条件のもとでは三つの異質貝殻物質を時間的にあるいは空間的な差を生じながら形成する能力をかね備えている事がほぼ確実となつてきた。しかしながら上皮細胞の形態変化と分泌機能の安定性及び成層の規則性については必ずしも統一された見解には達していないのみならず，上皮細胞の形態変化にともなう分泌機能の転換機構については殆んど不明である。Kawakami[41] によつて真珠形成は貝殻再生と同様に殻皮層，稜柱層そして真珠層の順序で形成されるのが一般的であると述べられており，中原等[57] もこうした成層変化は真珠形成初期に極く一般的にみられると報告している。更に成層変化より考えて真珠袋上皮は変化しやすい性質のものであるとしている。一方，著者[107] (1959) は外套膜縁及び縁膜小片の移植実験から，また青木[4] (1959) はこれに外套腔部片も移植して異なる貝殻質を作る外套膜部分に由来するそれぞれの真珠袋上皮によつて作られた真珠を調べ，外套膜での区域による分泌機能の特殊性が比較的強く保持されている事を知つた。今回の観察はアコヤガイ天然及び養殖真珠の成層変化は真珠形成の極く初期にはかなりしばしばおこるが，核全面にわたつて成層変化の生ずる率は全体の約⅔に相当し，残りは真珠層が直接核に接して形成されている事を示している。しかも成層変化が生じたとしても Kawakami[41] が指摘したような順序で形成されるとは限らないし，外套縁膜部を生殖腺中に移植する限り，最

終分泌物は普通真珠層である。一度真珠層を形成する本来の分泌機能に上皮細胞が安定すると，その後成層変化をする真珠は非常に少ない。この事実は真珠袋上皮細胞が外套膜上皮にあつた時の本来の分泌機能を獲得して後は非常に安定している事を意味している。更にイケチョウガイ真珠では初期形成時においても成層変化がほとんどみられないなどの事実から，真珠形成における成層順序は貝殻成長及び再生に一般的にみられるような規則性はなく，むしろ移植片を採取した外套膜の位置，移植片と移植部との相対的な強さの関係，及び核質などによつて成層変化はおこると考えられる（和田[107]1959，Tujii[95]1960）。最近，植本[99]（1961）による挿核手術前後における動物の生理状態が真珠形成初期の形成物質の種類に影響するとの結果は上述の考えを間接的に支持するものである。

真珠層を構成している単位鉱物薄板一枚の厚さや，conchiolin との累層関係は真珠袋上皮細胞の真珠層物質分泌活動の変化によつて変動する。上皮の分泌活動は動物の生理状態や外囲環境水の差によつて異なつてくるし，また養殖作業にともなう人為的な影響があると考えられる。こうした真珠層構成要素の変化をひきおこす原因については第3章で論ずるとして，ここでは真珠層断面にみられた層状構造の変化を列挙する。

1) 単位鉱物薄板の厚さが異なる真珠。
2) 隣接する単位鉱物薄板の厚さが乱れながら重畳した真珠。
3) 均一な単位鉱物薄板の重畳中に厚さの異なる一薄板を生じている真珠。
4) それぞれ均一な単位鉱物薄板からなる単一体の幾つかの重畳からなる真珠。単一体には次の3構造が区別できる。
   a）構成微結晶の結晶学的配向は規則的であるが，単位薄板の厚さが異なるそれぞれの単一体の重畳。
   b）構成単位薄板の厚さは均一であるが，微結晶の結晶学的配向に多少のずれを生ずるそれぞれの単一体の重畳。
   c）構成単位薄板の厚さも，微結晶の結晶学的配向もそれぞれ異なる単一体の重畳。

次に真珠の歪形について考察してみる。Cahn[10]（1949）がまとめたように真珠には種々の異常形がみられる。真珠の不整形になる原因については大森[66]（1950）及び青木[3,5]（1957, 1959）によつて報告されており，Matsui et al.[51]（1952）も真珠炭酸石灰の多形と関連づけて論じている。また町井[50]（1959）は黒斑真珠とその真珠袋上皮について報告している。今回の観察結果と以上の研究者の報告から真珠の不整形の原因とその原因に属する不整形を分類してみる。

1) 真珠袋上皮の分泌機能の変化及び異質有機質の集積にともなう歪形。特殊な条件のもとで集積した有機物に接している真珠袋の分泌機能の変化，および同時期に空間的に異質層が形成されるためにおこる変形（Figs. 2—13, 15, 16, 20, 21, 22, 26）。
2) 真珠袋分泌活動の不均一性及び周囲組織の作用による真珠表面の部分による成長差による歪形。真珠袋上皮自体の部分による真珠層物質の著しく不均一な分泌による変形（Figs. 2—11, 12, 18, 22, 24），および周囲組織主として筋肉組織との接触により接触位置の真珠層形成が著しく損なわれる場合と，ある規則性に従つて成長がおさえられる変形（Figs. 2—23, 24, 25）。
3) 真珠形成過程における真珠形成の中心点の附加にともなつて生ずる歪形。挿入核

相互の接着（Fig. 2—22），ケシ珠の附着（Fig. 2—23）および真珠形成の中心の増加（Figs. 2—10, 12, 16, 24）等によつて生ずる変形。

4) 真珠形成中心の形による歪形。天然及び無核養殖真珠の形成中心部となる物質の形及び養殖真珠の挿入核の形によつて生ずる変形(Figs. 2—10, 14, 15, 16, 24)。

要　　約

1) 真珠の基本的な建築学的構造，結晶質構造，成層変化及び層状構造変化を調べ，この面から真珠形成機構を追究した。

2) 真珠の基本的な建築構造はそれに相当する貝殻質層のそれと全く同様であるが，構成鉱物成分が真珠形成の中心に対して同中心ないし放射状繊維構造を示す点を異にする。ただし殻皮層真珠は貝殻殻皮層にくらべて複雑な成層を示す。

3) 真珠を構成している鉱物成分は規則的な配向を示しながら成長しており，特に真珠の真珠層においては aragonite 微結晶の *b* 軸及び *c* 軸が貝殻のそれと同様に，層の水平及び垂直な成長方向にほぼ並行に配列した二重繊維構造をもつていると考えられる。

4) 真珠の結晶質構造を貝殻のそれと比較検討すると，真珠袋上皮細胞はその水平方向の拡がりに一定の伸びないし方向性を持つていると考えられる。

5) 成層変化は真珠形成初期にかなりしばしば観察されるが，移植片が外套膜部分における本来の分泌機能を獲得した後には，特殊な場合を除いてその出現率は非常に小さい。

6) 真珠形成過程に種々の層状構造や外形の歪形を生ずる。

7) イケチョウガイ真珠には建築構造上では真珠層と類似している炭酸石灰以外の鉱物成分からなる特殊なものがある。

第3章 真珠の鉱物化について

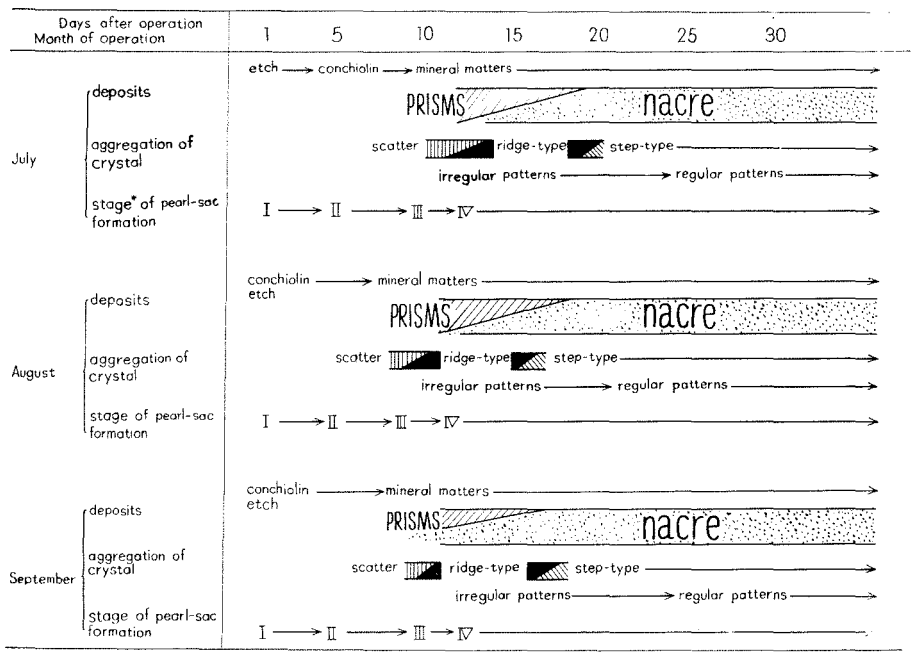
はしがき

真珠の形成には外套膜外面上皮に由来する真珠袋上皮を必要とし，その上皮細胞の分泌機能や活動に変化が起ると直ちに鉱物化に影響を与える。例えば核入手術の常法に従うならば，アコヤガイでは真珠袋上皮の分泌機能や活動は真珠形成初期における移植片の再配列過程に変動しやすく，その後分泌機能は特殊な条件がないかぎり非常に安定している。しかし分泌活動は動物体の生理状態や生息環境水の変化によつて著しく変動し，鉱物結晶成長に敏感に反映してくる。真珠形成過程における真珠表面での鉱物化及び結晶成長の変化は形成された真珠の成層及び層状変化を意味し，真珠の品質に直接影響してくる。

しかし真珠形成過程における鉱物化及び結晶成長についての研究は極めて少なく，著者による一連の研究[103, 104, 106, 107](1957～1661) と Watabe[113, 117](1950, 1954) の報告をみるだけである。この章では真珠の鉱物化過程を追究し，生物体中での結晶成長の特徴を調べて真珠形成機構の一端を動的に解明する事を目的とする。

真珠形成初期における沈着物及び沈着現象

1956年7月9日，同8月1日及び同9月4日に核入手術をしたそれぞれ160個体について毎日5個体ずつ採集し，挿入核をとりだしてその核面の沈着物及び鉱物化について垂直



* Four stages are cited from Machii's report (1957).

Fig. 3-1. Deposits and mineralization of the cultured pearl in an early stage of the pearl formation of *P. martensii* (1956).

投光管及び電子顕微鏡を使用して調べた。実験は三重県英虞湾多徳島水面でおこなわれ，3年ないし4年生アコヤガイの生殖腺内に直径 6mm の石灰核1個を常法に従つて挿入して後，水面下約 2m に金網平籠に入れてつるした。これと併行して同一実験条件のもとでパラフィン核を挿入し，ある間隔をおいて手術部を採集し，10%ホルマリン緩衝液で固定し，パラフィン切片を作つて Ehrlich's Haematoxylin-Eosin 染色と Mallory の三染重色をして観察した。なお核入手術による軟体部の pH の変動を調べるために，1958年8月5日及び同9月1日に核入手術をおこない，実験貝及び対照貝をそれぞれ毎回5個体ずつとりあげ，ガラス電極 pH メーターを使用して軟体部の pH を測定した。実験中の水温は25.0～30.7°C の範囲であつた。

核入手術後の沈着物，鉱物化及び真珠袋発達経過をそれぞれの核入手術日毎に調べ，Fig. 3—1 に比較した。7，8，9月を通じて真珠袋の形成速度と鉱物化の経過は多少の差を認めるが，この時期においては月別の差に比べて個体差の方が著しい。一般的に言うと移植後2ないし8日を経過すると早いもので既に顆粒状を含む膜状沈着物がみられ（Fig. 3—2），部分的に稜柱層及び真珠層物質と同定可能な両鉱物質が conchiolin 膜上に散在して成長している。やがて真珠層形成にあたつている aragonite 結晶粒は畝型の集合に変わり，20日前後にはほとんど総てのもので真珠層の形成がみられ，真珠層板形成は階段状におこなわれ（Fig. 3—4 及び Plate Ⅸ—33），aragonite 結晶粒の集合模様も不規則なものに混じつて規則的な平行，渦巻及び同心円状の模様を示すようになる。手術後25日を経過すると表面に成長している稜柱物質はほとんどなく，真珠層上の aragonite 結晶の集合，成長，形及び大きさは当時の母貝貝殻真珠層上のそれと類似している。

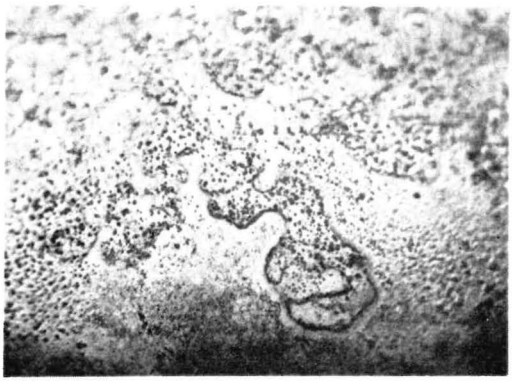


Fig.3-2. Figure showing the deposition of shell substances in an early stage of pearl mineralization 8 days after nucleus insertion. × 96

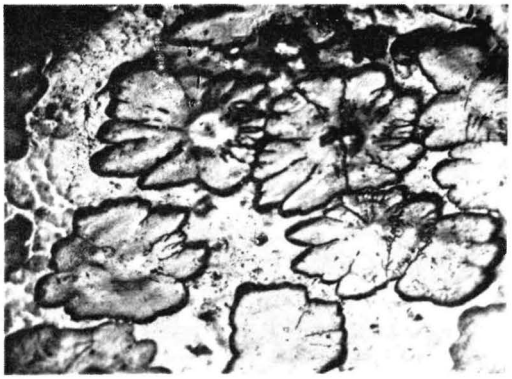


Fig. 3-3. Figure showing rosette-shaped prismatic substances 23 days after operation in August. × 96

手術後数日目の核面はしばしば腐蝕されてにぶい白色となり（Plate Ⅸ—31），時には著しい腐蝕像を示す。こうした核の腐蝕には周囲組織の pH が関係していると考えられる（Fig. 3—5）。すなわち，核入手術によつて軟体部の pH は対照貝に比べて酸性に傾くが，この時期における軟体部の pH は対照貝でも酸性に傾いている。したがつて手術による pH の低下は真珠袋上皮からの分泌物におおわれていない部分の核石灰及び成長してきた鉱物結晶

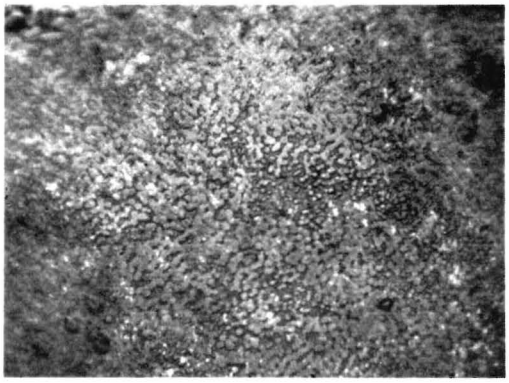


Fig. 3-4. Mineral lamina formation of the nacreous layer 21 days after operation in September. ×280

の腐蝕を更に助長しているであろう。実験貝と対照貝のpHの差がなくなる日数については調べなかつたが，太田[68](1959)の核入手術にともなう糞量の変化と比較検討すると興味ある傾向がみられる。また8月と9月における軟体部のpHの絶対値の差は年変化[111]のそれと比較して時期による差と考えられる。

核入手術前に母貝仕立をおこない，外套縁膜部から移植片をとる常法の核入手術をおこなう時には手術後1カ月以内の真珠形成初期に殻皮層や稜柱物質（Fig. 3—3 及びPlate Ⅸ—32）の形成をしばしばみるが，必ずしも核全面に形成されるとは限らないし，核資材の性質によつても，また母貝の生理状態によつてもその出現率が変動しているようである。これらの

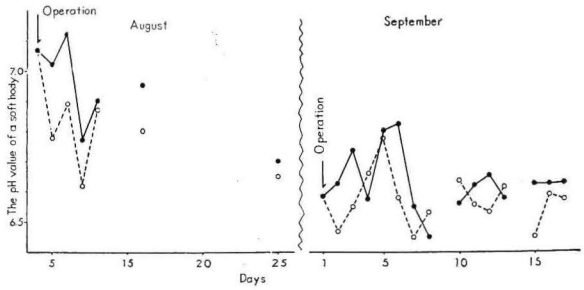


Fig. 3-5. The variation of the pH value of the body fluid of *P. martensii* after nucleus insertion operation (1958).

貝殻物質が部分的に形成されると〝しみ〟となり，著しい時には不整形あるいは突起の原因となる。真珠形成過程において稜柱物質は種々の外形を呈するが，これらは発達過程における母液の物理化学的条件及び成長の状態によつて決定されると考えられ，貝殻稜柱層の平常の成長に比べて複雑な様子を示す。前章でも指摘したように貝殻物質の成層変化の規則性については真珠形成のそれが，貝殻再生のようには論じて良いか疑問の点がある。

真珠層の形成は aragonite 結晶粒の conchiolin 膜上あるいは中への散在沈着に始まる。散在結晶粒は次第に数を増加するとともに，粒子も大きくなり互いに接着して畝状をなす。やがて真珠層板は結晶粒の階段状の集合によつて供給されるようになる。aragonite の結晶粒は沈着開始当初より比較的に定方位に同一結晶学的要素を並行して集合している。個々の結晶粒には平行連晶，三連晶，樹枝状成長，ラセン転位成長などが認められ，しばしば溶解像もみられる。結晶の大きさ及び形も種々で，養成過程よりもかなり非顕晶部分を認める。

真珠形成過程における結晶配列の支配因子

真珠の真珠層を構成している aragonite 結晶も貝殻真珠層のそれと同じようにその *b* 軸を表面に水平なある方向に比較的規則正しく配向しながら成長している事から，著者は前章において真珠袋上皮細胞に定方向への伸びが存在しているのではないかと推測した。もし上皮細胞に一定の伸長方向があるならば，その伸長方向の支配因子は何か。そして真珠袋形成過程の何時頃に規定されるかについて調べる事は，真珠形成機構を知る上に重要である。以上の目的及び上皮細胞と分泌物との関係を明らかにするため，外套膜片を約 2 ～ 3 mm^2 大に切つたカバーグラスに挟んで他のアコヤガイ閉殻筋中に挿入した。手術後2，4，6，10，15 及び 20日目にガラス片を注意して取り出し，上皮細胞の伸長方向と分泌物を観察した。なお手術は1959年 6，7 及び 8 月，1961年 8 月及び1962年 7 月の計 5 回おこなつた。

手術後 2 日目に採集してみるとガラス面間に多数の遊走細胞が侵入しており，時に移植片の周囲に多数の集合をみるし，植皮内にも認められる。しかし移植片にはほとんど外形的な変化がみられない。上皮細胞の外形は判定しにくいが，しばしば筋肉繊維細胞外面に多角形ないし円形細胞がぎつしりと並んでいるのが認められる。円形細胞の内部は沢山の顆粒状物質を含んでいるものと全然顆粒物質を含まない均一なものと二種類の構造を認める。Fig. 3 — 6 は手術後 4 日目の移植片で筋肉細胞はその繊維軸方向に著しく伸びてお

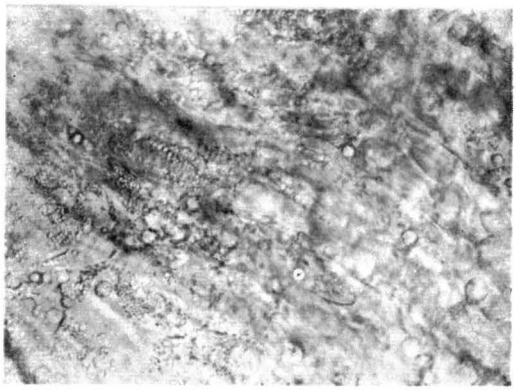


Fig. 3-6. Movement and elongation of the epithelial cells along the fibrous axis of the muscular tissue in a grafted mantle 4 days after mantle transplantation in July (*P. martensii*) × 387.

り，筋肉細胞の外面に繊維軸に沿つて楕円形に伸びた上皮細胞がみられ，細胞は一平面に稠密に敷きつめられたままでなく，互いに重なりあつて移動している。この楕円形細胞も上記の二種類の構造がみられ，この細胞表面に屈折率の高い顆粒状物質が分泌されており，直交ニコルのもとで微弱な複屈折を示すものもある。やがて鉱物化が始まり，多くの場合 calcite の球晶が conchiolin の膜繊維軸に沿つてしばしば現われる。しかも conchiolin の繊維軸は筋肉細胞や上皮細胞の伸長した方向にほぼ一致している。晶出している球晶を構成している calcite の結晶は中心に同一結晶学的要素を向けた放射状の配列を示すが，周

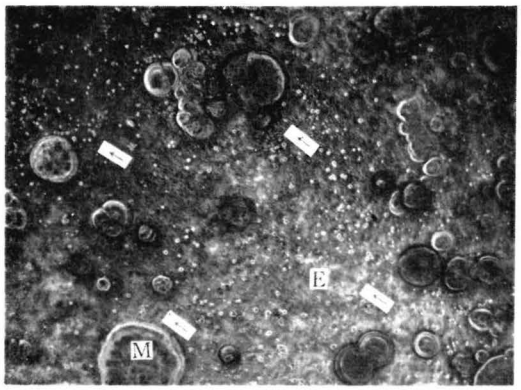


Fig. 3-7. The relation between the elongation of the epithelium and the deposition of shell substances 19 days after mantle transplantation. Small and large granular substances appear to be the spherulite of shell minerals grown on the surface of a coverslip. The fibrous axis of the deposits found between the epithelium and glass coincides with the direction of the elongation of the epithelial cells of a graft in the process of pearl-sac formation. Arrows: the direction of the elongation and the movement of the epithelium and the fibrous axis of the deposits, E: epithelial cell, M: mineral matter (phase contrast microscope). × 80

辺にある膜状 conchiolin の繊維軸とはその配列において関係を認め難い。鉱物化初期における鉱物質の晶出位置及び大きさと上皮細胞との間には一定した関係は認め難いが，鉱物質の晶出位置と conchiolin の形成との間には関係がみられる。すなわち，真珠袋に発達した上皮細胞は円形ないし多角形で，個体によつて大きさにかなりの差を生じている。沈着物には Fig. 3—7 にみられるような整然と配列した顆粒状の構造がみられ，その繊維軸は上皮細胞の拡がりによつて統計的に決定されているようにみえる。この顆粒状構造をもつ物質，多分 conchiolin，の上に鉱物質が晶出してくるが，鉱物質は最初小さな顆粒として現われ，屈折率も大きい。顆粒は次第に大きくなると同時に複屈折を示すようになり，鉱物質の晶出している事を明瞭に確認する事が可能となる。こうして晶出してきた鉱物質は多くの場合 calcite でしばしば球晶に成長しているが，これらの calcite が稜柱層としての建築学的構造を示す以前に aragonite の結晶が沈着してくる事が多く，しかも aragonite 結晶は定方向に並行して成長している。鉱物質が最初に晶出するにあたつて，上皮細胞のどの位置に接したガラス面に特に定着しやすいと言う事実は今回の観察にかぎつては認め難く，また鉱物質の成長し得る大きさの限界は細胞の大きさに関係しておらず，十分に空間のある所では細胞間にわたつて鉱物は大きく成長し，密集して鉱物が成長してくると互いに接着してきて，そこにある上皮細胞の大きさにも達しない。もちろん，個々の微結晶は上皮細胞の直径に比べて著しく小さい。鉱物質の定着位置と上皮細胞との間には以上のように関係は認め難いが，上皮細胞の伸びと conchiolin 膜の繊維軸との間には関係があると思われる。ただ球晶内に成長している鉱物結晶に常に観察される事であるが，それらは中心に対して放射状に配列して一見 conchiolin の繊維軸と無関係にみえる。今，カバーグラスを貝殻と外套膜間に挿入し，ガラス面に炭酸石灰球晶を成長せしめて後，酸あるいは EDTA 水溶液にて脱灰すると球晶の輪廓に沿つて conchiolin が残り，その表面に

は鉱物結晶の配向と一致して中心に対する放射状繊維構造を認め得る。しかし aragonite 結晶粒の沈着部にある conchiolin 膜はこのような放射状繊維構造を現わさず，ある方向に走る繊維構造を示す。この事実も貝殻及び真珠の鉱物化にあたつて鉱物結晶の配位には conchiolin の構造及び配向が密接に関係している事を暗示しているものと思われる。

^{45}Ca の使用による鉱物化の追跡

真珠及び貝殻鉱物化の機構を解明する為めに ^{45}Ca を使用して，真珠の鉱物化における ^{45}Ca の動きを追跡した。1961年7月に生殖腺内に石灰核を1個入れした3年生アコヤガイを使用して三重県英虞湾多徳島で1961年11月及び1962年5月に実験をおこなつた。3mc の $^{45}CaCl_2$ に 10cc の海水を加え，重炭酸ソーダで中和した後，1個体に ^{45}Ca 0.15mc の割合に注射器で閉殻筋中に注射した。注射後ある間隔で挿核部位を採集して10%ホルマリン緩衝液で固定し，翌日真珠袋より真珠を取り出した。真珠袋は十分に固定した後 5～8μ のパラフィン切片を作り，脱パラフィン後，ストリップ法に従つて試料面に富士オートラジオグラフ乾板（ストリップ用）より剝した乳剤膜をはりつけ扇風機でただちに乾燥した。一方，真珠表面にも同法によつて乳剤膜をはりつけ乾燥して，前者と一緒に乾燥剤を入れた標本箱におさめ，密閉して 5°C 以下の冷蔵庫中に保ちながら25～30日露出した。現像後真珠袋は toluidin blue 染色をおこない検鏡した。真珠はそのまま垂直投光管を使用して検鏡した。なお実験中の水温は 17.6～18.4°C であつた。

注射後30分で体表及び生殖腺内に多数の ^{45}Ca がみられ，真珠袋上皮組織にもあらわれる。1～2時間経過すると真珠袋上皮細胞に更に多数の ^{45}Ca が現われ，上皮細胞の表面にも多数でている。注射後真珠袋及び周囲組織中にあらわれる速度は外套膜上皮に現われる速度とほとんど変わりない。^{45}Ca は真珠表面に既に 30分後にみられるが，2～4時間を経過すると真珠の全表面にみられる。^{45}Ca は一様には定着せず，部分的に特に定着してくる場所がある（Fig. 3—8, A)。真珠層が階段状に発達している時は階段の縁に定着しやすく，階段のない面では均一に定着している所と，そのような中に特に密集して定着

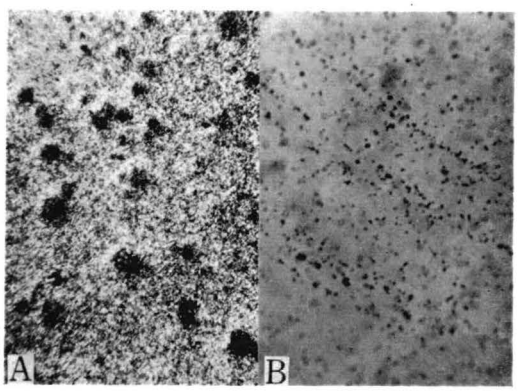


Fig. 3-8. Photographs of radioautograph preparations of the cultured pearl (A) grown and a coverslip (B) inserted into between mantle and valve of *P. martensii* in the presence of ^{45}Ca. × 80, × 800

してくる部分とがある。貝殻と外套膜間にカバーグラスを挿入して最初に ^{45}Ca の定着してくる位置を観察してみると，必ずメタクロマジー陽性物質の存在が認められ，またconchiolinが著しく膜状構造を示すところで，^{45}Ca はconchiolin膜に沿つてかなり規則的に定着しているのを認める（Fig. 3—8のB）。この膜状 conchiolin の走向には試料の採取固定時に人工像が加わるが，conchiolin 中の ^{45}Ca の定着位置には変化がないと思われる。これらの事実は organic matrix —硬蛋白質及び粘液多糖類— が Ca の定着及び配列に密接に関与している事を暗示していると考えられる。また鉱物板の成長前線に Ca の吸着が著しい事がわかる。

同種間における移植外套膜の部位及び移植部位の差にともなう真珠形成

真珠袋上皮細胞の分泌機能の変化は上皮細胞の形態と関連して細胞学的並びに細胞生理学的興味があると同時に，その形成貝殻物質の変化と関連して生鉱物学的興味がある。真珠袋上皮の分泌機能の変化には移植にともなう真珠袋形成初期の問題と真珠養成過程における異常環境及び寄生虫・細菌の感染にともなう真珠袋上皮細胞の変化の問題とに大別し得る。しかし分泌機能の変化がいずれの因子にもとづいて生じたとしても，例えば殻皮質を分泌している上皮細胞の形態は類似している。この節では真珠形成初期に真珠袋上皮の分泌機能に働く制限因子に如何なるものがあるかを追究する事を目的として次の二つの実験をおこなつた。

実験1は外套膜の区域による分泌機能の特殊性と，真珠上皮袋への発達過程における分泌機能の変化を追究する事を目的とした。すなわち，外套膜縁と縁膜よりとつた植皮を石灰核及びパラフィン核とともに生殖腺内に核入れ手術し，その真珠袋形成過程を観察し，形成された真珠の同定をおこなつた。実験は1958年7月及び9月に3年生アコヤガイを使用しておこなつた。移植後，植皮及び核の周辺部に多数の遊走細胞が現われ，やがて生殖腺細胞と真珠袋との間に結合織性の癒合が成立する。手術後5日目ころには植皮は著しい移動性を示し，早いものでは真珠袋が形成されている。時には多数の遊走細胞が真珠袋と核との間にみられる。外套縁膜に由来する真珠袋上皮細胞はやがて扁平になつて真珠層を形成するようになり，手術後30日を経過すると観察個数の約90%が扁平上皮からなつていた。この間上皮は部分的にあるいは核全面にわたつて殻皮及び稜柱物質をしばしば分泌している。部分的に異質層が現われる場合には大部分のものは植皮の附着位置に形成されているように思われる。この現象はカバーグラスに挟んで閉殻筋中に移植した際にもしばしば観察される。一方，外套膜縁に由来する真珠袋は手術後1カ月を経過しても一般に脊の高い上皮細胞（Fig. 3—9）ないし多くの胞状細胞を含んだ立方状の上皮細胞からなつており，殻皮や稜柱層の形成をみる。この間真珠層物質の形成はほとんどみられず，形成されても部分的にわずかであつた。手術後1年目に採集した結果では縁膜部に由来する真珠袋から形成された真珠は1個の稜柱層真珠もなく，約90%が真珠層真珠であつたのに対し，膜縁部に由来する真珠袋から形成された真珠は約35%の稜柱層真珠を生じ，真珠層真珠の形成は前者に比べて半分弱であつた。

実験2は外套膜の区域による分泌機能の特殊性及び真珠形成過程に，移植部位の差が如何に影響するかを調べる事を目的とした。この実験では外套膜縁，縁膜及び腔部よりとつ

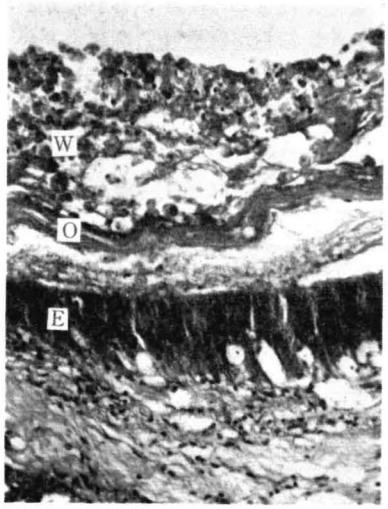


Fig.3-9. Photomicrograph showing the secreting substances and the epithelium of pearl-sac which was derived from the grafted mantle edge of *P. martensii* 19 days after operation in September. E: epithelium of pearl-sac. O: organic substance, W: wandering cells. × 253

た小片を閉殻筋中に移植し，それぞれの真珠袋形成過程を観察して，成層変化を調べた。実験は1961年8月に3年生アコヤガイを使用しておこなつた。手術後7日目に観察してみると筋肉細胞と植皮の間に多数の遊走細胞が集まり網目状構造をなしている。閉殻筋中には遊走細胞は通常みられないが，移植片附近の筋細胞間には多数現われる。大部分の植皮の外面上皮細胞は植皮の他の組織及び遊走細胞を閉じ込んで不定形の真珠袋に発達しているが，いまだ上皮細胞はかなり移動性の像を示している。膜縁及び縁膜に由来する真珠袋上皮は脊が高く，部分的に低いところもある。腔部に由来するそれは胞状細胞を含む立方状の細胞からなつている部分もあり，扁平のものもみられる。いずれの場合も上皮からの分泌物は未だ確認出来なかつた。真珠袋として発達した上皮細胞は手術後12日を経過するころにも移動性を示し，いずれの場合にも一般に脊の高い細胞からなつており，分泌物は腔部からのそれの1例にエオシンで赤く染まる有機物をみたほかは未だ認められるものはなかつた。35日を経過するころには膜縁部に由来する真珠袋上皮は脊の高い細胞からな

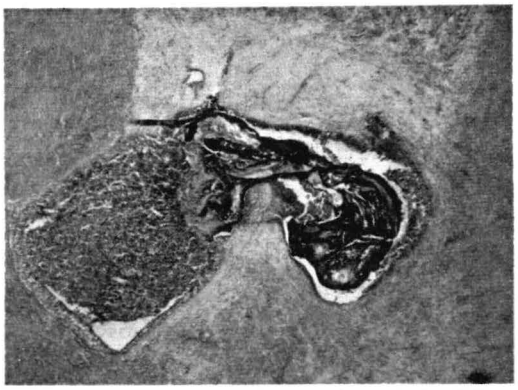


Fig.3-10. Secreting substances and the pearl-sac derived from the mantle edge grafted in the adductor muscle of *P. martensii*. × 33

り，エオシンで異なつた染色性を示す2有機物質の形成がみられたが，稜柱層及び真珠層の形成はみられない（Fig. 3—10）。なお遊走細胞が有機物質間に入り込んでおり，取り上げ当時も多数の遊走細胞が袋内面に集積していた。縁膜部のそれは既に扁平な一層の細胞からなつているが形成されている真珠は形成の中心にある遊走細胞の集塊を囲んで染色性の異なる二つの有機物質が層状に形成され，外側にその稜柱層が形成されて後に真珠層が形成されていたもの（Fig. 3—11）と，エオシンで赤く染まる有機物を囲んで直接真珠層の

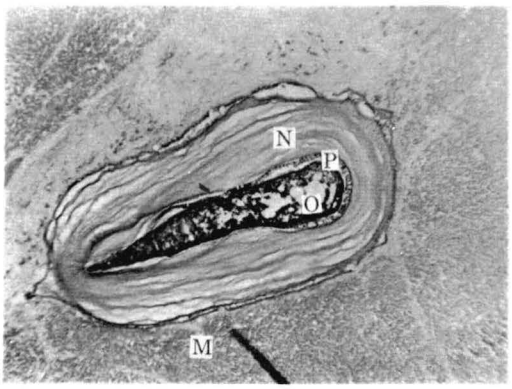


Fig.3-11. Changes of shell substances formed and the pearl-sac originated from pallial part of the mantle of *P. martensii*. M: adductor muscle, N: nacreous layer, O: periostracal layer, P: prismatic layer. × 60

発達のみられるものとが認められる。真珠層の一部には層状に対してほぼ垂直方向に縦の線がみられる事もある（Fig. 3—11）。真珠袋の外側は遊走細胞によつてつくられた網目状の結合組織で筋肉細胞との間を結合しているが，一部に筋肉細胞と接している部分もある。これに対して腔部に由来する真珠袋は扁平な一層の細胞からなり，エオシンで赤く染まる有機物質が形成の中心近くにあり，その周りに層状構造からなる真珠層構成有機物質の形成がみられる。いずれの場合にも真珠袋上皮細胞と周囲筋肉細胞とは輝層真珠の真珠袋上皮にみられるように入り組んだ像を示さない。手術後60日目の真珠袋及び真珠を観察してみると，外套膜縁に由来する真珠袋は稜柱層を形成しており，あるものは形成の中心から直接稜柱層が形成されているものもあつた。しかし真珠層の形成されているものは未だ認められない。縁膜のそれは真珠層を形成しており，あるものは部分的に稜柱層の形成がみられた。一方，腔部のそれは総て真珠層からなつているが，上皮細胞間に筋肉細胞が入り込んできているところがあり，また真珠層自体に縦の構造がみられる部分もある。

アコヤガイの同種間移植において，外套膜での本来の分泌機能の区域による特殊性—鉱物型，organic matrix 及び建築学的構造—は生殖腺及び閉殻筋中でかなり良く保持されていると考えられる。すなわち，真珠形成過程において膜縁部からの上皮細胞は殻皮質あるいは稜柱物質まで形成し得る分泌機能の分化をするが，真珠層を分泌するまで機能的に分化するとは限らない。縁膜部からのそれは真珠袋形成にあたつてしばしば殻皮質及び稜柱層を一時的に分泌するにせよ，一般に最終段階で真珠層を分泌し得る機能的分化をし，その後は比較的安定な状態で外套膜における本来の分泌機能を保持している。また腔部のそれは真珠の鉱物化初期に殻皮層の形成がみられるが，稜柱層の形成のあるものは今回認め

られず，直ちに真珠層の形成がみられた。これらの事実はアコヤガイの外套縁膜は特殊な状態のもとで以上の3貝殻異質物を分泌する機能を持つが，平常状態に復すれば本来の分泌機能の特殊性を現わす事を暗示している一方，膜縁及び腔部の上皮細胞は特殊な状態のもとでも縁膜のそれのようには容易に成層変化をもたらさず本来の分泌機能を強く保持している事から，前二者は後者よりも分泌機能が高度に分化しているものと考えられる。

外套膜での分泌機能の区域による特殊性は，今回試みた移植部において比較的良く維持されている事がわかる。しかし筋肉細胞中に移植された縁膜及び腔部に由来する真珠袋によつて形成された真珠層構成 conchiolin に縦の構造が現われている事は，筋肉組織という母床組織の特異性が真珠の建築学的構造に影響していると考えられる。この考えは輝層真珠の建築学的構造が一般に閉殻筋中において形成されるという事実によつても裏付けられるであろう。しかし今回の実験期間中には，輝層真珠の典型的な真珠袋の像はみられなかつた。

異種間移植実験による真珠形成

アコヤガイ貝殻において，calcite からなる稜柱層は外套膜縁によつて，aragonite からなる真珠層は外套縁膜及び腔部によつて形成される。こうした外套膜の区域による特殊性は多くの軟体動物においてみられ，各区域に相当する層はそれぞれ特有の建築学的構造を示すが，必ずしも鉱物質が異なつているとは限らない。例えばカキ貝殻において，膜縁部に相当する部分は稜柱層を，縁膜及び腔部に相当する部分は葉片状層構造を示す calcitostracum からなり，時々柱状の白墨質が形成され，各層の建築学的構造は異なつているが鉱物質は総て calcite からなる。しかもこの外套膜の分泌機能の区域による特殊性はアコヤガイでの同種間移植の場合，良く維持されている。生鉱物学的立場から外套膜の区域による特殊性にはいわゆる貝殻成分の建築学的及び結晶学的構造との二つの問題において興味深いものがあるが，いずれの問題も将来のより発展した研究に待つところが大きい。ここではある種の外套膜の区域による特殊性が異質の外套膜の区域による特殊性をもつた異種の貝の軟体部においてはいかに保持されるかを知り，その特殊性に関連した問題を解決する目的で予備実験としてアコヤガイ *P. martensii*，カキ *Ostrea gigas* 及びヒオオギ *Chlamys nobilis* を使用して異種間移植をおこなつた。実験はアコヤガイの軟体部にカキ及びヒオオギの外套膜片を移植した。すなわち，calcite 殻をもつカキ及びヒオオギの外套膜先端部をアコヤガイの生殖腺に移植して後，適当な間隔で移植部を切り取り，10%中性ホルマリンで固定し，常法に従つてパラフィン切片を作つて Ehrlich's Haematoxylin-Eosin 染色をして検鏡した。一方，生体観察をするために両種の外套腔部片を前述の如く2枚の小ガラス片に挟んでアコヤガイの閉殻筋中に移植して植皮及び分泌物を調べた。まず両実験ともアコヤガイにおいて前者に相当する外套膜部分の同種間移植をおこない，比較観察した。実験は英虞湾多徳島水面にて1961年6月，7月上旬及び下旬の3回おこなつた。

6月実験の生体観察では手術後多数の遊走細胞が移植部に現われ，また植皮内部にも認められた。3日を経過するころにはアコヤガイ，カキ及びヒオオギ共にその植皮の一部に移動像が認められ，筋肉細胞の繊維軸方向への伸びが認められるようになつた。同様の現象が生殖腺内に挿入した植皮の組織標本でもみられた。手術7日目にはいずれの植皮上皮

細胞もある個体はガラス全面をおおつていると思われる像を示す。ヒオオギでは Fig. 3—12にみられるような鉱物質の沈着がガラス面に認められたが，鉱物が calcite か aragonite

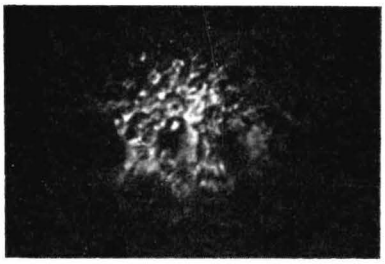


Fig.3-12. Mineral deposits produced by the mantle piece of *Chlamys nobilis* transplanted in the adductor muscle of *Pinctada martensii* 7 days after operation (under crossed nicols). The graft is placed between two pieces of coverslip, its size being about 2×3mm. × 360

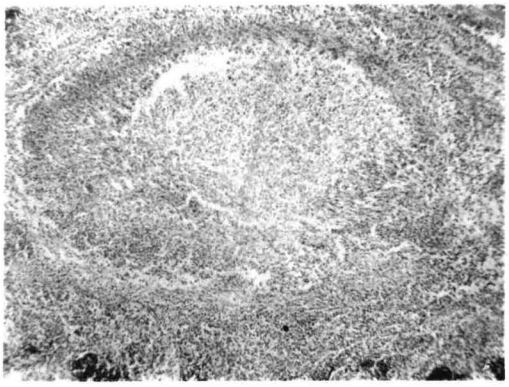


Fig.3-13. Figure showing the mantle piece of *C. nobilis* grafted in the gonad of *P. martensii* 7 days after transplantation. No living epithelial cell of the graft is recognized. × 62

かを判定できなかつた。組織標本では植皮の形態は殆んど認め難く，その周辺部には遊走細胞によつて作られた結合織様の網目構造をなす厚い壁が形成され，その内部に沢山の遊走細胞が入り込んで植皮の筋繊維はばらばらになつていた。なお真珠袋の形成は認め難い(Fig. 3—13)。カキの生体観察では鉱物質の沈着は認められなかつたが，分泌物と思われる顆粒を認めた。組織標本では植皮の形態は比較的認められ，上皮細胞の一部に移動像がみられた。植皮の周囲には遊走細胞による結合織性の壁が形成されているが真珠袋は認め難く，前者と共に吸収されていると思われる像を示す。アコヤガイでは植皮の上皮は伸びて真珠袋としてほとんど完成しており，ある個体では分泌物を認めた。14日目を経過するころにヒオオギでは，植皮から伸び出た上皮細胞が吸収されていると思われる像がみられ，カキでも筋肉細胞の繊維状の伸びは認められるが生きた上皮細胞は確認できなかつた。組織標本で観察してみると，アコヤガイを除いて真珠袋の形成は認められず，ただ移植部に遊走細胞に取り囲まれた植皮の残骸が存在するのみである。26日目ころにはカキ及びヒオオギの植皮は僅かの筋肉細胞を除いては完全に吸収され，組織標本作製にあたつて移植部を探すのに困難であつた。これに対してアコヤガイでは鉱物質の沈着が始まつていた。7月に手術をおこなつた場合もほとんど6月の場合と類似していたが，多少植皮の生存期間に差がみられた。すなわち，7月下旬手術したある個体は29日を経過しても上皮細胞の生存が確認出来た。例えば Fig. 3—14 はカキからの外套膜片である。上皮細胞は植皮から伸び出て一応ガラス面全体をおおつたと思われるが，これらの上皮細胞は植皮の上を除いて総て生命のない残骸しかみられなかつた。しかし写真にみられるように植皮の筋繊維上にある上皮細胞は生存しており，そのガラス面との間に屈折率の高い顆粒状物質が認められ，toluidin blue を注入すると Fig. 3—15 のような像を示し，顆粒物質はメタクロマジー陽性を示す。この写真で不明瞭な楕円形の輪廓は上皮細胞と思われる。しかし大部分のカキ及びヒオオギからの植皮は極く僅かの筋繊維を除いて吸収され，生命のない残骸が認

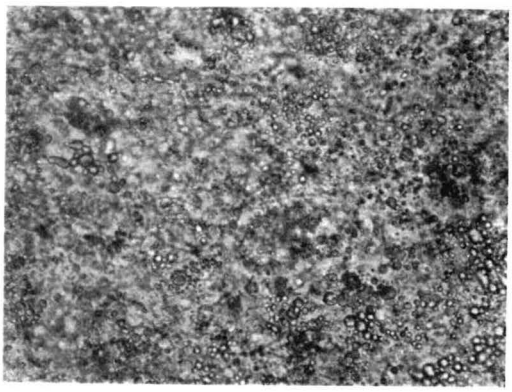


Fig.3-14. Secreting granules and the epithelial cells of the mantle piece of *Ostrea gigas* sandwiched between two pieces of coverslip grafted in the adductor muscle of *Pinctada martensii* 29 days after transplantation. × 313

められる。アコヤガイでは鉱物化をおこなつている。

アコヤガイ，カキ及びヒオオギは分類学的にAnisomiariaに属するが，それぞれ，*Pteriidae*, *Ostreidae* 及び *Pectinidae* に分かれる。同種間移植と異なり，生体からの移植片の移植床との直接的な癒合には種々の困難が予想される。今回の観察から，一時的に植皮の上皮細胞が母床組織と結合織性癒合をし，貝殻物質の生成をもたらしても，上述の種類間での異

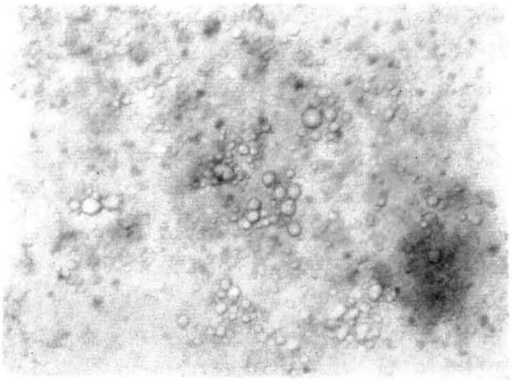


Fig.3-15. The preparation used in Fig. 3-14 treated with 5% aqueous solution of toluidin blue. The granules are positive in the metachromasia reaction. × 313

種間移植では移植片は移植生体内で移植後直ちに組織としての生命を失ない，遊離した状態で母床組織との間には何らの組織学的な有機的結合をもたず，やがて移植生体の吸収を受ける事がわかつた。また生殖腺内に挿入した移植片の上皮細胞はガラス片間に挟んで閉殻筋中に入れたそれよりも一般に吸収が早くおこつている。結果的には今回の実験は初期の目的を究明できなかつたが，貝殻の建築学的構造及び貝殻成分と外套膜組織の区域及び種による特殊性を追究するための第一歩であり，今後異種間移植法の改良をおこなつてこの問題の解決を試みる。

真珠の結晶成長

生理状態を手術に好適に仕立ててあるアコヤガイを使用して常法の核入手術をおこなうならば，大部分の真珠袋上皮は真珠養成過程において真珠層を形成する。真珠層は第2章で述べたように比較的均一な厚さの単位鉱物薄板と conchiolin 膜とが交互に重畳した層状構造からなり，鉱物薄板は多数の aragonite 結晶粒が規則的な配向をもつて集合した顆粒状構造をもつている。この真珠層単位薄板が挿入核の周りに形成されるから，真珠の真珠層は同心円の層状構造を示す。貝殻物質の建築学的構造別の層形成を比較研究する事が軟体動物の鉱物化組織の鉱物化及び成長機構を究明するためには重要であるが，ここでは真珠としての商品的価値をもたらす真珠層の結晶成長と層板形成の特徴を調べ，真珠の真珠層の鉱物化機構を明らかにする事を目的とした。

真珠層の形成はまず conchiolin 膜の上に小さな顆粒状の aragonite 結晶粒の沈着で始まる。しかも鉱物が単に conchiolin と接触しているのではなく，Ca は conchiolin 分子と結合した関係にあると考[111]えられるが，conchiolin 分子の如何なる位置に如何なる結合状態でまず定着するかは明らかでない。真珠層が盛んに成長している時にはその表面に階段が形成されており，階段の成長前線に鉱物結晶粒が附加されて層板は2次元的な拡がりをもつて成長する（Fig. 2—2)。しかしこの際も原則的に鉱物結晶は基盤の鉱物薄板上に conchiolin 膜が形成されて後に晶出している。新生鉱物結晶は基盤の鉱物結晶粒相互の境に定着しやすく（Plate Ⅸ—33)，そこから次第に大きさを増大し，あるいは小さな結晶粒を包含しながら大きくなり，隣接する結晶は互いに conchiolin を挟んで密着して一枚の単位鉱物薄板が形成される。これらの新生結晶粒は統計的に規則的な配向をもつて晶出してきており（Plate Ⅰ—1，Ⅹ—36)，conchiolin 膜の繊維軸と鉱物の一定の結晶学的要素が一致しているように思われる。もちろん，鉱物結晶上に conchiolin 膜が形成されてくる場合にも conchiolin の繊維軸が基盤の鉱物結晶の同要素と比較的一致した方向をとりながら形成されている。その結果として鉱物質と有機物質とは互いに一定の要素を平行にしながら成長している。しかし時々不規則な配位をとるものが混じる。

真珠を構成している aragonite 結晶粒も貝殻のそれと同様にその (001) 面を表面に平行して沈着しており，その形は採集時期によつて自形あるいは他形を示す。一般的に言つて自形を示すものは良く発達した (001)，(110) 及び (010) 面をもつているが，しばしば (010) 面を欠くものをみる（Plate Ⅰ—1)。(001) 面には conchiolin の像がみられるもの，結晶面の成長及び腐蝕を示す階段構造や蝕孔のみられるものがある。(110)及び(010)面の各点が均一な速さで成長している時には直線を示すが，成長の速さが異なると不規則な線を示す。丸味のある外形を示す小さな結晶は (110) 及び (010) 面が曲面として成長しているか，あるいは高指数面の発達があるものと考えられる（Plate Ⅸ—33)。丸味のある結晶は成長中に自形をとる事もあり，また近隣の結晶と接して多角形になる。採集時期の違いは単に結晶の形だけでなく大きさ，成長及び集合状態も異にする。$CaCO_3$ 沈着量の一番多い時期（英虞湾多徳島水面で8月から10月上旬）には結晶は丸味をおびた1～3μ程度で平行連晶して成長しており，階段の成長前線に沈着している結晶はおどり場での散在範囲が比較的狭いが，沈着量がかなり少ない時期（4～6月及び10月下旬～12月）には自形をした3～6μ程度の結晶が平行連晶しながら，おどり場全面に散在して沈着してくる（Plate Ⅹ—36)。更に沈着量が少なく，定量的に測定が困難な時期（1～4月）で

は沈着が次第に終るか，始まるかで異なつてくる。両時期ともに自形あるいは不完全成長した 0.5μ 以下の小さな結晶が基盤にある結晶の隅や稜，及び階段縁辺に沈着散在してくるが，沈着が終る時期（12月下旬～1月）には新生結晶は大きく成長する事なく腐蝕溶解する。一方，沈着がその後盛んになる時期（3月下旬～4月）には腐蝕像も時々みるが，やがて大きな結晶の成長が認められる（Plate X—38)。これに対して産卵期（6～8月）には沈着量はかなり多いにもかかわらず腐蝕溶解がしばしばみられる（Plate X—35)。個々の結晶の成長は著者[111](1961) がアコヤガイ貝殻真珠層の aragonite 結晶で観察したようにラセン転位成長が非常によくみられ，その集合において双晶，平行連晶及び樹枝状成長がみられる。一般に樹枝状成長は真珠層物質が盛んに沈着している時に認められる。動物の生理状態が低下している時には蝕孔，蝕丘及び非顕晶な沈澱がみられ，集合状態において不規則な配位をとる結晶が増加し，ある時にはかなり不規則な集合をとる。結晶の形，大きさ，成長及び集合は動物の生理変化にともなう母液の物理化学的変化 —$CaCO_3$ の濃度，不純物，母液の pH— が影響していると考えられる。そして特定条件のもとで真珠全面にわたつて特殊層線が形成される。なお真珠の aragonite 結晶は貝殻真珠層のそれに比べてあまり自形をとらず側面が一般に不規則な線からなつている。

前述のごとく，真珠層の成長は単位鉱物薄板，すなわち真珠層板が conchiolin 膜と交互に累積する事によつて成長する。これら鉱物薄板が真珠表面に露出しているところに階段が生じ，階段の成長前線の発達状態によつて種々の条線模様を示す。真珠の表面にみられる条線模様は貝殻真珠層のそれと同様に，平行，同心円，渦巻及び不規則なものがみられるが，その総ての性状及び行動は類似しており，それぞれの条線相互の間で移行しあう。ここで一番注目すべき条線は渦巻模様で，一般的に言つて渦巻は真珠層の結晶質構造とは無関係に常に円形で（Fig. 2—2)，渦巻の中心が一番高く，周辺に向つて一段ずつ低くなり，その周辺部では平行模様となる。真珠層の階段は渦巻の中心部に位する aragonite 結晶のラセン転位によつて供給されると同時に，階段の成長前線に成長してくる aragonite 結晶が転位成長する事によつても供給されると考えられる。渦巻は水平成長に著しい方向性のみられる時—例えば突起，鉢巻等—その方向に長く伸びて楕円形となる（Fig. 2—3)。渦巻成長が真珠全表面に密に成長すると俗に hammer mark と呼ばれる肌の真珠が形成されるが，多くの場合渦巻は真珠のある限られた部分に密集してみられ，隣接する渦巻は互いに干渉し合い，包合し，あるいは移行する。また渦巻間には不連続面ができるが，これはそれぞれの渦巻成長の強さが異なる時に著しいように思われる。こうした渦巻成長の消長及び移行は著者[111](1961) が貝殻真珠層で観察したように母液中の $CaCO_3$ の濃度に主として支配される。更に $CaCO_3$ の沈着量は渦巻の階段の間隔，段数及び密度などと一定の関係をもつている。すなわち，$CaCO_3$ の沈着量の最大の時期には階段の間隔の狭い，段数の多い大きな渦巻として成長しているが，沈着量の少ない時期には間隔は広く，段数の少ない大きな渦巻を示し，両時期の中間では間隔は比較的狭く，段数の少ない小さな渦巻が密集して現われる（Table III—2)。貝殻のそれと異なる点は糸状体が侵入しないため，これに関連した成長現象がみられない事である。

真珠層を構成している単位鉱物薄板の厚さが比較的均一に成長する事について論じたものは少なく，層状構造に関連して リーゼガング現象[45] 及び外套膜や真珠袋の周期的な分泌活動[58]によつて説明されている。この問題を明らかにするため イケチョウガイ及びア

コヤガイの養殖真珠における単位鉱物薄板の厚さと結晶成長の関係を調べてみると，両者とも比較的一致した関係がみられるので，イケチョウガイについて観察してみる。単位鉱物板が薄く成長している真珠の結晶は1.0～4.0μの自形ないし丸味をおびた形を示し，その集合状態も平行連晶及び樹枝状成長などみられ，その（001）面も比較的平坦である（Plate Ⅷ—28）。こうした場合にはFig. 3—16のⅡにみられるように均一な積層をなす。これに対して単位鉱物板が厚く成長している真珠では個々の結晶の外形がはつきりしないで，（001）面及び側面は凹凸の著しい面からなつており（Plate Ⅷ—29），結晶面の成長と腐蝕が連続しておこつているものと考えられる。こうした場合に積層はかなり乱れ，隣接重畳した鉱物板の厚さは均一でない（Plate Ⅱ—7）。ここでアコヤガイとイケチョウガイ真珠での大きな差は，前者は鉱物薄板一枚の厚さが大きくても単位期間中の全体の巻きは大きくないのに対して，後者は一枚の厚さが大きくなると全体の巻きも大きくなる。これらの結果から，単位鉱物薄板の厚さの均一化及び変化は真珠袋上皮の分泌活動の周期性によつて変動するよりも，むしろ結晶面における$CaCO_3$とconchiolin分子との吸着力が母液の物理化学的変化によつて決定されると考えられる。したがつて分泌活動が安定して母液が一定の条件にある時には比較的均一な厚さに成長し，そうでない時に厚さは不均一になつてくるのであろう。更に貝の種類によつて鉱物薄板の厚さに固有性があり，その変動範囲がきまつてくる。

真珠袋上皮の分泌活動の変化と結晶成長

真珠袋上皮の分泌活動の変化は真珠袋の局所的におこる場合と全面的におこると考えられる場合とがある。局所的に分泌溶液が不均一になる原因は主として真珠袋上皮自体の部分的な分泌活動の差によるものと，周囲組織の機械的な力に第一義的な因子を求め得るものとがあり，共に部分的な$CaCO_3$の沈着量に差を生じ真珠の規則的あるいは不規則的なをもたらし，真珠の形に影響を与え，部分的な色沢の差をももたらす。これに対して全面的におこる分泌活動の変化は植皮が真珠袋を形成して着床した後は母床組織と組織学的に有機的結合を営む関係から，被移植生物体の生理変化にその主因を求められ，結晶成長速度の全面的な前進及び後退により真珠の巻き及び色沢に影響を及ぼす。また両者は複雑に関与していると考えられる。

真珠袋上皮組織にその主因が考えられるものには，真珠表面にみられる規則的及び不規則的な凹凸や，ある種の歪形がある。一例としてアコヤガイ鉢巻珠について観察してみる。Fig. 2—1bにみられるような鉢巻珠の溝の部分は平行成長している3～4μの結晶からなり，他の部分に比較して結晶成長には何らの変化もみられない。渦巻ないし同心円の条線は溝に沿つて伸び，従つてその外縁をなす条線は溝と平行して走る（Fig. 2—3）。一方，Fig. 2—1cにみられるような鉢巻珠の溝の部分の結晶をみると，他の部分が比較的大きな結晶の平行成長を示すのに対して，Plate Ⅷ—30のような0.8μ以下の小さな結晶の不規則模様の集合からなつており，条線は他の部分と不連続を示し，前者の溝の形成機構と後者のそれとは異なつていると考えられる。すなわち，前者の溝は真珠養成中に真珠がたまたま収足筋などに接した場合に，その接着部で形成が押えられたと同じように，移植片あるいは被移植生物体の真珠袋周囲組織の圧迫による機械的な力が第一義的要素で，移植部

に着床した植皮の筋肉細胞の真珠袋周囲における定向的な成長が考えられる。これに対して後者のそれは周囲組織の機械的な作用ではなく，真珠袋上皮自体の部分的な分泌活動の差によつてもたらされた母液の物理化学的要素の変化にともなう部分的な結晶成長の差にその主因を求め得ると考えられる。こうした表面における結晶成長の差は勿論単位鉱物薄板の一枚の厚さにも，積層状態にも影響してくる。例えば Fig. 3—16 にみられるようなイケチョウガイ無核真珠の歪形真珠において，単位時間内の真珠層形成量と構成鉱物薄板一枚の厚さの関係を調べてみる。形成途上における特殊層線 A 及び B 間の厚さは直線Ⅰの方向で 1800μ，これを構成している単位鉱物薄板一枚の平均の厚さは 1.8μ であるのに対して，直線Ⅱの方向で 630μ，薄板一枚の平均の厚さは 0.64μ である。したがつて単位時間に形成された鉱物薄板の数はそれぞれ1000枚及び 990 枚となり，測定誤差を考慮するとそれぞれの部分において一枚の鉱物薄板形成に要した時間はほとんど同じであつたと考えられる。もし一枚の鉱物薄板の形成に要する時間が同じだと仮定するならば，真珠袋上皮の部分的な分泌活動の差による母液の性状及び真珠物質の供給量の相違が conchiolin 分子と $CaCO_3$ の結晶面 (001) への相対的な吸着力に差をもたらし，同一時間内の真珠部分による単位鉱物薄板一枚の成長量を支配し，結果的に巻き量に影響していると考えられる。ところがアコヤガイの鉢巻珠や歪形珠では，異なる厚さの真珠層部分を構成している単位鉱物薄板の厚さはしばしば同じであり，また異なつている場合でもイケチョウガイ真珠のように同一時間内で一枚の鉱物薄板が形成されているとは考えられない。この事実から

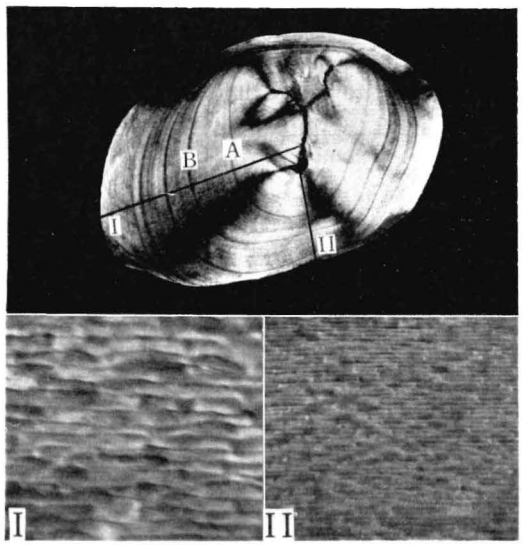


Fig.3-16. A thin slice of the non-nucleated pearl of *H. schlegeli* under crossed nicols. Photographs I and II are mineral laminae formed between the abnormal lamellae A and B on the lines I and II, respectively. × 5.3, × 930

単位時間内の巻き量（沈着量）の差は，(1)母液の性状の差にともなう conchiolin 分子と $CaCO_3$ の結晶面への吸着力の差にともなう鉱物薄板一枚の単位時間内の成長差による場合と，(2)単位時間に形成される鉱物薄板の数の差による場合の二つが考えられる。

移植生物体の物質代謝は，周期的な変化と非周期的な変化のあることはその軟体部の成分[6, 85, 90, 91]，酵素の活性度[38]，杆晶体の消長[67]，体液の pH[111]，$CaCO_3$ の沈着量[111, 113]，糞量の変化[68]，心臓の搏動[44]及び鰓の繊毛運動[43]の変化などより推察できる。周期的な変化は主として季節的及び周期的な生息環境の変化にともなう貝の生理活動の差によるもので，非周期的な変化は環境水の突発的な異常及び養殖作業にともなう貝の生理活動の変化によるもので，養殖作業を除けば各漁場にある一定の傾向がみられる。こうした移植生物体の周期的あるいは非周期的な物質代謝の変化は真珠袋上皮の全面にわたる分泌活動に相違をもたらす。その結果として真珠全面における結晶成長が変化し，真珠の巻き及び色沢に影響してくる。例えば英虞湾多徳島水面でアコヤガイ貝殻真珠層及び真珠表面の季節的変化をまとめると Table Ⅲ—1 のごとくなる。この表から aragonite の結晶成長及び集合模様が季節的に著しく変化し，積層状態に影響を与え，それぞれの季節特有の層状構造を形成すると考えられる。こうした層状構造で特に顕著な光学的性質の差異が現われたものに対して，著者[110](1961) は夏期散乱層と冬期散乱層と名づけ，また晩秋から初冬に比較的光を正反射する整然とした層の形成されるのを観察している (Plate X—36)。夏期散乱層の特徴は各単位鉱物薄板間に非顕晶が介在し，また凹凸ができて光の散乱をおこさせる層が長期にわたつて形成されると考えられ (Plate X—35)，そのため光沢感の劣悪及び不透明度の増加をきたす。しかも結晶の (001) 面の成長がイケチョウガイの不均一な厚い鉱物板のみられる真珠と類似しており，両者とも結晶成長の速い条件のもとでおこる事から，夏期散乱層は不均一な厚さの鉱物薄板の積層もおこつていると考え

Table III-1. Seasonal changes of crystal growth and aggregation on the nacre of *P. martensii* (1958-1959).

Month	Pattern	Form and size of crystal (μ)	Etch and dissolution	Value of $G_{45}(7.5°)$‰
VII-X	Spiral, symmetry, step number; 10 - 50, step distance; 16 - 50 μ, density of spiral; upper 16/5mm^2.	rounded hexagon or round 2.0—4.0	+	50.0—86.3
X-XII	Spiral, symmetry, step number; 5 - 25, step distance; 20 - 70 μ, density of spiral; 5 - 15/5 mm^2.	hexagon 4.0—6.0		80.7—134.5
I-III	Irregular, asymmetry or indistinct, step number; 5-8, step distance; 20 - 100 μ, density of spiral; 1 - 10/5 mm^2.	irregular under 0.5	+++	26.5—57.4
IV-V	Irregular, spiral, symmetry or asymmetry, step number; 2-15, step distance; 30-100 μ, density of spiral; 1-12/5mm^2.	rounded hexagon or round 0.5—4.0	+	65.0—90.5

られる。これに対して冬期散乱層は構成鉱物結晶の粒度が小さく (Plate X—37, 38)，しばしば配向の乱れ，溶解にともなう非顕晶の介在，及び凹凸面の形成等による粉末状の散乱層が冬眠時に薄く生じ，前者よりも更に白色不透明で光沢がにぶい。イケチョウガイ真珠においても Fig. 3—16 にみられるような周期的な特殊層線がみられ，層線は 1.2μ の単位鉱物薄板からなり，この層線自体とその上下層を構成している鉱物薄板の厚さはそれぞれ~~それ~~異なつている。

非周期的な真珠の層状構造の変化には，個体別あるいは系統別の生理状態の特異性に及ぼす生息環境の異常，養殖作業などの影響度の差がある。この特異性のもとで個体別あるいは系統別にそれぞれ特有の石灰分泌活動が営まれているから，真珠の巻きや色沢に幅をもつた差を生じるとともに系統別に類似した品質の出現率が高くなる。イケチョウガイでは使用する貝の系統によつて生産される真珠は光沢感の強い“うすさんご色”，光沢感のおちる“うすはとば色”，及び光沢感のにぶい“白色”のいずれか一つの出現率が大きくなる事から，それらは系統別に真珠袋上皮の分泌活動に特異性を生じていると考えられる。事実，結晶成長を観察してみると“うすさんご色”をした真珠では Plate Ⅷ—28 にみられるような自形ないし丸味のある形の結晶が平行成長し，その結果厚さ 0.45～0.6μ の薄板の整然とした積層構造を作るが，“白色”をした真珠では Plate Ⅷ—29 にみられるような (001) 面の腐蝕溶解がみられ，その層状構造は 1.0～1.8μ の範囲で不均一な厚さの層板の乱れた重畳を示す。しかも前述のごとく一枚の鉱物薄板の厚さが大きいと同一時間に厚く巻く傾向がある。アコヤガイの真珠形成でも同時期に成長している結晶の沈着状態に多少の個体差があり，結果的に全体の巻きが異なつてくる。1957年7月から翌年11月まで英虞湾多徳島水面で養殖した真珠の真珠層の厚さと，これを構成している鉱物薄板一枚の厚さとを比較して Table Ⅲ—2 に示した。これによるとアコヤガイ真珠層の形成量はイケチョウガイのそれのように単位鉱物薄板の一枚の厚さとむしろ関係がなく，単位時間あたりの鉱物薄板の積層数によつて決定され，色と巻き量とは正の相関をもたないと考えられる。またアコヤガイ真珠のイエロー系の出現率は漁場によつて異なり，イエロー系の出現率の高い漁場では巻きがよいという傾向があると報告されているが[81, 118, 123]，同一漁場で同一条件のもとで養殖した場合にイエロー系と他色の真珠との間の結晶成長や巻きを比較しても大きな差はみられない。例えば1958年9月から翌年9月まで英虞湾多徳島水面で3年生アコヤガイで養殖した真珠についてイエロー系とシルバー系の巻きを比較して Table Ⅲ—3 に示した。この表から両系群には有意な差はなく，イエロー色素の代謝と石灰代謝の間には正の相関は認め難い。

貝はしばしば衰弱する。原因が何にあるにせよ貝の生活々動が低下すると石灰代謝にも敏感に影響が現われ，平常に回復するまでの間に結晶成長の変化や腐蝕溶解 (Plate Ⅸ—34) などがおこり[108]，一般に散乱層が生ずると同時に，鉱物薄板の平常の形成がみられ

Table III-2. Relations among the color, the thickness of nacreous layer and an elemental mineral lamella in *P. martensii* pearls cultured from July in 1957 to November in 1958.

Color	Thickness of a nacreous layer (μ)	Thickness of an elemental mineral lamella (μ)	Number of mineral lamellae in the nacre
Pink	730	0.43	1698
〃	380	0.35	1085
Silver	310	0.45	689
〃	510	0.50	1020
Cream pink	860	0.44	1955
Cream	430	0.50	860
Gold	230	0.56	411
Blue pink	590	0.40	1475

Table III-3. Comparison of the thickness of the nacreous layer of yellowish and silver-pinkish pearls produced by *P. martensii* in the same time, 1958-1959.

Yellowish pearl (mm)	Silver-pinkish pearl (mm)
0.27	0.24
0.26	0.12
0.29	0.47
0.36	0.25
0.33	0.39
0.32	0.44
0.33	0.30
0.39	0.30
0.27	0.23
0.20	0.24
0.36	0.33
0.23	0.38
0.38	0.39
0.36	0.35
0.28	0.29
0.28	0.38
0.29	0.34
	0.28
	0.36
	0.32
$\bar{x}$ =0.31	$\bar{x}$ =0.30

ず巻きも悪くなる。その他貝掃除による真珠袋上皮の分泌活動及び機能の変化による特殊層線[116]及び異質層の形成[70]なども報告されているが，著者がおこなつた実験では普通の貝掃除の条件で真珠層中に特殊層線を生ずる事はあるが，真珠袋上皮の分泌機能の変化があつたものは1例もみられなかつた。しかし1956年夏英虞湾布施田及び1962年夏鳥羽湾で養殖していた真珠に黒斑（Fig. 2—26）が生じたが，これらは真珠袋上皮の分泌機能が部分的に何らかの原因—自然要因—によつて変化したものといえる。以上の変化は個体別及び系統別の真珠袋の分泌活動の特異性に及ぼす生息環境及び他の作用因子の効果の差によつてもたらされたものと思われる。これに対して真珠形成初期における殻皮層ないし稜柱層の形成の有無が全体の巻きに大きく影響する（TableⅦ—1を参照）。今，1958年9月1日に核入れ手術をおこない翌年9月に採取した真珠の内，真珠層のみからなる真珠と稜柱層のみからなる真珠を分類し，この1年間における真珠層及び稜柱層の平均形成量を算出してみると，厚さにしてそれぞれ0.30mm 及び0.52mm で，稜柱層の成長量は真珠層に比べて約1.7倍であつた。

考　　察

生鉱物学的立場から真珠の形成機構を研究する時，常に注目をひき深い興味をもたれる問題に (1)移植後における移植片の外套膜での区域による分泌機能の特殊性，(2)生物の鉱物化組織中における結晶成長機構がある。しかしながら真珠の形成機構に関する研究は従来単に組織学的に真珠袋及び真珠を追究したものが多く，最近に至つて生化学[26~31]及び鉱物学的研究[111, 120]が進められ大きな成果を得ているが，この問題を解決するに十分な基礎知識は得られていない。外套膜の区域による分泌機能の特殊性についての実験は非常に少ないが，分泌物の差と上皮細胞の形態との関連については多くの報告[41, 57, 63, 95]が

ある。この区域による分泌機能の特殊性には鉱物型の差と形成層の建築学的構造の差の2問題点があるが，ともにこの問題に関する限り本質的な報告は全くなく，将来の研究を待たねばならない。一方，生物の鉱物化組織の鉱物化については種々の生物で最近急速に研究[2, 15, 40]されている。軟体動物貝殻においても鉱物結晶及び organic matrix が電子顕微鏡やその他の手段で観察[16, 17, 111, 120]され，貝殻の形成機構あるいは分類や進化の問題に関連して；(1)鉱物結晶の配向とその支配因子，(2)結晶成長機構，(3)鉱物型と organic matrix，(4)鉱物板と organic matrix の交互層の生成機構，及び (5)鉱物結晶の渦巻成長機構等を論じている。著者[111](1961)は軟体動物貝殻の結晶成長を観察して上述の諸問題にふれ，貝殻結晶の基本的な成長は organic matrix と鉱物結晶との epitaxial growth によるもので，結晶の配向は外套膜の伸長方向によつて直接的にあるいは間接的に支配されているという考えを提出した。更にラセン転位成長理論の導入を試みている。Watabe et al. [120](1961) は *Crassostrea* の calcitostracum の成長に3次元的樹枝成長と双状転位成長の考えを入れ，Watabe et al. [119](1960)，Grégoire[17](1961) 及び著者[111](1961) によつて鉱物型と organic matrix との関係が論じられた。また今井[32](1961) は純理論的に貝殻稜柱層と真珠層の成長機構を論じ，単位鉱物薄板の厚さが一定に保たれていく理由として，母液中に発生した $CaCO_3$ 粒子をおおつている蛋白質皮膜の張力と基盤 conchiolin への付着力の関係であろうと推測している。中原[58](1961) は種々の固定液で固定した真珠袋と真珠の間に存在する粘液中に層状構造を認め，石灰化のおこる以前にすでに真珠の層状構造が準備されていると考えた。

アコヤガイの真珠形成において観察した結果では外套膜の種々なる部分から切り取つた外套膜片は同種の生殖腺や閉殻筋中に移植すると，やがて移植床との間に結合織性の癒合をおこない，植皮の外套膜での区域による分泌機能の特殊性を獲得して，外套膜縁に由来する真珠袋上皮は稜柱層を，外套縁膜及び腔部に由来するそれは真珠層を分泌する。一方 Anisomiaria に属するが Family の異なるカキやヒオオギの外套膜片をそのままアコヤガイの同部位に移植すると，移植片は移植後直ちに組織としての生命は断たれ，一時的に結合織性の癒合ができて貝殻物質を分泌しても，やがて移植片は被移植生物体に吸収されてしまう。移植片の上皮細胞は移植後植皮中の筋肉細胞の伸びた繊維軸に沿つて移動を示し，同種間移植ではやがて真珠袋を形成する。形成された真珠袋上皮細胞には上記の移動方向に方向性を生じているものと考えられ，まず分泌された organic matrix の分子配列に直接関与してくるであろう。鉱物化にあたつてはこの方向性をもつた organic matrix と鉱物結晶とが epitaxial growth して，層の水平及び垂直成長方向に aragonite の結晶の b 軸及び c 軸をそれぞれ規則正しく配向しながら真珠層は成長していくものと考えられる。このような結晶質構造からなる真珠の表面には渦巻成長がみられるが，渦巻は重畳した単位鉱物薄板の成長前線によるもので，階段の高さは一枚の鉱物薄板に相当し，多結晶である事を除けば，その他の性状及び行動は全くラセン転位成長にみられる渦巻と一致している。しかし最近 *Ostrea gigas* や *Anomia lischkei* の calcite 殻で観察した渦巻では構成 calcite 結晶は渦巻に対して放射状に配列しており，渦巻の中心にある結晶は転位成長しているものを認めた（著者未発表）。これらの事実から，軟体動物の鉱物化組織表面における渦巻成長は多結晶の集合機構にラセン転位成長理論を導入する事によつて解明されると考える。着床した移植片は母床組織との間に組織学的な有機的結合を営みながら石灰

分泌活動をおこなつているから被移植生物体の生理状態の差のもとに母液の物理化学的要素が変化し，鉱物結晶の形，大きさ，成長及び集合状態に差を生ずる。ある時には真珠袋上皮の分泌機能に変化を及ぼし，異質貝殻物の形成されることもある。石灰分泌活動の周期的な高低に従つて母液中に真珠表面に平行な比較的うすい帯状の層が形成され，こうした生物学的要素によつて比較的あらい層状構造が準備されると考えられるが，いわゆる有機相と鉱物相との最小単位の交代形成と鉱物薄板の厚さの均一化は母液の一定物理化学的条件のもとでは，母液中にある conchiolin の前身である有機物質分子と $CaCO_3$ の結晶の (001) 面及び conchiolin 分子への吸着力の間に一定の平衡関係を生ずる事によつて均一化するものと考えられる。したがつて種類個有の厚さがあり，変動範囲があると同時に，同一種及び同一個体においても生物の生理状態が異なつていれば，真珠袋上皮の分泌活動に差を生じ母液の物理化学的状態が変化して結晶成長及び鉱物薄板の厚さ等が変化して層状構造に差が生ずる。

外套膜の伸長方向が貝殻の結晶配列を直接あるいは間接的に支配していると考えられたように，真珠袋を構成している上皮細胞にもある一定方向への拡がりをもつていると考えられ，この方向性は移植片上皮細胞が真珠袋形成過程において恐らく細胞本来の極性や周囲（移植片及び母床組織）にある筋肉細胞や結合組織との間のせり合いによつて移動し，それに従つて生じたものと考えられる。こうした真珠袋上皮細胞の拡がり自体や中原[59,60](1962) が指摘したような上皮外面にある microvilli や繊毛が母液中に一定方向の流れ[111]や方向性を生ぜしめ，母液中に分泌された conchiolin 前身の有機物質あるいは貝殻物質として吸着してくる時の conchiolin に規則的な繊維軸をもつた配列をもたらすと考えられる。脱灰した真珠層の conchiolin を機械的に引張るとその方向に容易に分子配列する事からも（著者未発表），わずかな外力が organic matrix に方向性を与える因子となると考えられる。

前記のように外套膜の区域による分泌機能の特殊性は鉱物型と建築構造学的問題との二つがあるが，アコヤガイでは柱状の構造の顕著な稜柱層では calcite に，層状構造からなる真珠層では aragonite になるが，異種貝殻では calcite からなる層が必ず柱状であり，aragonite からなる層が必ず層状であるとは限らない。しかるに真珠形成初期における成層変化を論ずる場合，この点が混同され calcite の生成を稜柱層の発達と同一視されているが，稜柱なる語源は Schmidt[83](1923) の論文でもわかるように全く形態的構造からきたもので，calcite からなれば Calcitprismen, aragonite からなれば Aragonitprismen と呼ばれる。著者の観察[111]では真珠形成初期において calcite の生成は通常みるところで，多くの場合球晶として成長してきており，生成条件によつて種々の外形を示す。しかし，これらが稜柱層の形態に発達するとは限らず，また挿入物全面にわたつて形成されるとも限らない。calcite からなる層の構造が全く異なるアコヤガイとカキやヒオオギに同種のガラス片を挿入して，その表面に成長してくる結晶をみる時，殻の構造が異なつていても，貝の種類よりもむしろ実験時期と密接に関係し，夏では多くの場合 calcite の球晶が出てきて，殻のそれとはそれぞれ形態的に異なつている。また石灰化には organic matrix が必ず存在するが，真珠形成において殻皮層と全く同一の染色性を示す有機物質がまず形成されるものでもない。こうした事実から貝殻の通常の成長や再生におけるごとく，必ず3異質貝殻物質が核面全体に順序よく形成されるとは限らない。ただ植皮上皮の移動期及び

異種有機物質が存在すると calcite の生成に好適な条件が一時的にしばしば作られると考えられるが，挿入した物質の種類で異なつている事が報告[119]されている。著者もパラフィン，貝殻，ガラスあるいはイオン交換樹脂などを入れた場合に成層状態にそれぞれの差を認めた。今回の同種間移植実験でも分泌機能と上皮細胞の形態の間に正の相関を認めているが，その他辻井[95](1961) によつて組織化学的にも異なつている事が報告されている事から，貝殻物質の鉱物型は母液の差にその因子を求められよう。しかし移動性を示して一度形態的変化をとつたにもかかわらず，真珠袋上皮が建築学的構造においても外套膜での区域による特殊性を維持している原因は母液中の organic matrix と $CaCO_3$ の吸着力及び張力によるか，上皮細胞の自由表面の働きによるかは異種間移植実験の不成功もあつて不明であるが，同種間の移植部位の実験から閉殻筋のような場所では母床組織の特異性も建築学的構造に多少関係してくる可能性がある。一方，上皮細胞の大きさは鉱物結晶の大きさと関係がないように思われる。

真珠の巻きはまず真珠形成初期における殻皮層及び稜柱層の形成の有無及び形成期間の長短によつてかなりの差を生じ，その後の真珠層の形成速度によつて更に異なつてくる。初期における問題は真珠層の成長速度が他の2貝殻物質よりも著しく遅い事に起因しているが，養成過程における真珠層の成長速度の差はアコヤガイとイケチョウガイで異なつている。すなわち前者は渡部[113](1950) が報告しているように単位鉱物薄板の厚さとはむしろ関係なく，単位時間内での鉱物薄板の形成数によつているのに対し，後者では単位時間内における一枚の鉱物薄板の (001) 面の成長量によつており，厚巻も薄巻も単位時間内に形成される薄板の数はほぼ一致している。この両者の差は興味深い。こうした真珠層の形成速度には生息可能な環境にあつては水温によつて，大きく決定される。このほかの原因による生物の生理状態の変化もまた真珠層の形成量及び光に対する性質に影響する。生理活動の低下あるいは著しい変動の原因が何であるにせよ真珠袋上皮の分泌活動に影響し，結晶成長に変化がおこつたり，腐蝕溶解もおこつて一般に真珠層の形成量に変動をもたらし，また光の散乱層が形成されることがしばしばある。今回の結晶成長の観察から，第2章で挙げた層状構造の乱れの様式のほかに真珠層中には光の散乱層の形成を推察する事ができる。すなわち

1) 真珠層単位鉱物薄板のそれぞれの接触面に凹凸を生じている層からなる真珠。
2) 真珠層中に粉末状の散乱層が形成されている真珠。

がある。また貝の衰弱している時には鉱物化も減退して巻きが薄くなる上，核面の腐蝕や形成真珠層の積層の乱れや腐蝕などもあつて，

3) 真珠層全体の巻きが薄く，しかも核表面及び真珠層中での光の乱反射の著しい真珠。

が生ずる。

真珠の鉱物化機構も原則的には貝殻のそれと全く同じであり，conchiolin と鉱物結晶の epitaxial growth によつていると考えられる。個々の鉱物結晶の成長は無生物界のそれと全く類似しており，母液の物理化学的要素に支配されている。そしてその集合状態に双晶，樹枝状成長及びラセン転位成長理論を導入する事が可能である。ただ無生物界のそれと異なる事は母液が生物の複雑な物質代謝によつて作り出され，鉱物化にあたつて上皮細胞で合成された organic matrix が重要な役割を演じていると考えられる点にある。真珠袋上

皮は外套膜のそれと同じように単なる石灰代謝だけでなく，力学的な方向をもつて結晶配列にも関与していると考えられる。

鉱物化過程に至るまでの貝殻及び真珠の石灰化機構については組織化学，化学分析及び放射性同位元素によつて生化学的に多くの研究者によつて研究[8, 9, 26~31, 33, 34, 58, 93, 121]されているので，ここではふれなかつた。

要　　約

1) 真珠の鉱物化機構の特徴を解明するために，外套膜の移植にともなう真珠袋の形成，外套膜の区域による分泌機能の特殊性，貝殻物質の沈着現象及び結晶成長等を調べた。

2) 真珠袋上皮には一定方向の拡がりがあり，この拡がりは移植片上皮細胞の移動した方向に相当するものと考えられる。こうた力学的な力が organic matrix に規則的な配向を生ぜしめる。

3) 真珠の鉱物化にあたつて conchiolin と鉱物結晶は epitaxial growth をしていると考えられる。その結果として真珠の結晶質構造にみられる二重繊維構造を生ずる。

4) 個々の結晶成長は無生物界のそれと類似しており，その集合状態は樹枝状成長及びラセン転位成長理論の導入によつて説明が可能である。ただ母液が生物の複雑な物質代謝によつて作りだされる点で異なる。

5) 貝殻物質のあらい層状構造は上皮組織の周期的石灰分泌活動の高低によつて準備され，有機相と鉱物相の交代形成および単位鉱物薄板の厚さの均一化は母液中の organic matrix と $CaCO_3$ の結晶の (001) 面あるいは conchiolin 膜への吸着力の平衡関係によるものと考えられる。

6) 真珠の鉱物化は貝殻のそれと原則的に全く同一機構によると考えられる。

7) 外套膜での区域による分泌機能の特殊性は移植後もよく保持されている。

8) 移植片上皮は真珠袋を作り母床組織と組織学的な有機的結合を営んでいるから，被移植生物の生理活動の高低によつて分泌活動に変動を生じ，結晶成長に差を生ずる。その結果真珠層の形成量及び層状構造に変化がおこる。

9) 原因が何であるにせよ貝が衰弱すると一般に真珠物質の形成量の減退及び層状構造の乱れを生じ，真珠の品質に悪影響を及ぼす。

10) 真珠の巻きはまず形成初期の沈着層の種類で差を生じ，次に養成中の真珠層形成速度によつて更に差を生ずる。真珠層の形成速度はアコヤガイでは単位時間に作られる鉱物板の数によつて第一義的に決定され，イケチョウガイでは単位時間に成長する一枚の鉱物薄板の厚さで決定されている。

11) 石灰代謝活動と黄色々素代謝活動との間には正の相関があるとは考えられない。

第4章　真珠の構造と色沢

はしがき

真珠の品位を決定する要素である色沢については，現在までに幾多の研究がみられるが，研究者はそれぞれの専門分野を強調するが故に，これらの学説は必ずしも真珠の研究にたずさわる人々を満足するものばかりではなく，また真珠色沢全般について適正に記述しているものはほとんどない。従来の真珠色沢についての研究には大きくわけて二つの流れがある。その一つは真珠層中に含有された化学成分に因子を求め，微量金属やポルフィリン体色素が真珠の実体色の主因であると言う説で神前[47](1945)，高岡[96](1955) 及び八坂等[128](1956)が主張した。しかし真珠層真珠においては微量金属の含有量の差により着色が異なると言う説は最近の研究[79,94]において否定されており，また黄色実体色はポルフィリン体色素ではなく，数種のアミノ酸より構成されたペプタイドと鉄との錯化合物であるとされた（沢田[91]1961)。他の説は真珠の構造に因子を求め，真珠表面及び表層からの反射光による表面色と，真珠形成初期に形成された異質層あるいは真珠核面よりの反射光及び層を拡散透過した光などからなる実体色との合成からなると言う説である（内田等[96-98]1947，1954，1955，大森[65]1945，福田等[12]1955，金井[36]1957)。内田等の一連の研究[97,98]によつて真珠色の測色学の技術がほぼ確立されるにいたつたが，真珠色沢の色彩学的研究ではその機構についての考え方は一応与えられているにしても，その重みづけには異論がある。いずれにせよ，観察者は光の反射によつて真珠の表面を観察すると，表面の光沢性反射光と真珠内部から出てくる拡散反射光との重なりによつて真珠色沢が特徴づけられている事に気がつく。

この章において著者は分光光度計及び視感覚による真珠色沢の分類をおこない，各色沢相互の移行，及び各色沢系統への支配因子の重みづけをまず試み，ついで真珠の層構造の変化が如何なる効果を及ぼすかについて観察し，真珠色沢の特徴について討論した。

実験材料及び方法

材料は第2章で使用したアコヤガイ *P. martensii* 及びイケチョウガイ *H. schlegeli* の養殖真珠及び貝殻真珠層である。色沢の測定をおこなつた試料の自然表面及びその面に垂直な断面を作製して構造との関係を調べた。ここに得られた結果は真珠の表面及び層構造の総ての構成要素からの光の反射の和であるから，表面の微細構造（texture）のみの色沢への効果を調べるために，まず貝殻真珠層表面の型を樹脂レプリカによつて転写し，この転写面に種々の角度から入射した際に生ずる色沢を視覚によつて観察し，表面微細構造の色沢効果を層構造と独立の変数として扱つて調べた。表面の微細構造は個々の結晶の大きさ，形及び集合状態によつて決定され，またコンキオリンの存在によつて大きく影響を受ける。したがつて表面構成要素がそれぞれ如何なる効果をもつているかを調べるために，酸化マグネシウム粉末を綿布につけて光沢量の既知試料面を1分間研磨して，その面の光沢量及び構造の変化を調べ，自然表面で得られた結果と比較検討した。平面における表面微細構造の色沢効果は球面において等価の効果を持つているとは考えられないから，次に

真珠球面より前者と同様にして得た樹脂転写面を観察し，平面及び球面での表面微細構造の色沢効果の比較をおこなつた。一方，以上で得られた表面微細構造の色沢効果を消去する事を試みながら，核面と真珠層間への異質層の介在及び真珠層の層状構造の変化が色沢に及ぼす効果を調べて，真珠層構造の色沢への効果を検討した。以上の観察に使用した測定条件は次のごとくである。

1)　真珠の光沢量の測定

球面の光沢量の測定は現状では多くの困難がある。したがつて今回の実験では真珠の球面の光沢度はその表面での反射像の鮮明度を肉眼観察によつて表現した。一方，貝殻真珠層表面の平らな部分を光束断面積より大きく切り取り，その面の光沢量を東芝製精密光電色沢計（GM-2型）を使用して，試料面の垂直に45度の入射光によつて測定をおこなつた。

2)　真珠の色彩の測定

測色は島津製 RC-Ⅰ型自記色彩測定器を使用し，内田等[97](1954)及び沢田[80](1957)の報告に従い，視覚印象に近づけるために酸化マグネシウム煤の background を用いた。なお，試料断面積の大きさに応じて光束断面積を 7.0mm² 及び 5.5mm² に調節して光束断面積が試料断面積より大きくならないようにした。

3)　真珠の表面及び断面構造の観察

第2章において述べたごとく，表面の条線模様は Leitz 製 Panphot の垂直投光管を使用して観察し，表面及び断面の微細構造はレプリカを作製して電子顕微鏡によつて観察した。なお真珠の2等分断面からなる薄片を作製し偏光顕微鏡によつて観察した。

表面構造と色沢

前章までに観察したように真珠の表面の微細組織は (1)凹凸の少ない一様な面，(2)結晶の不完全成長及び腐蝕溶解による凹凸表面，及び (3)周期的階段構造をもつた面，とに大別できる（Fig. 4－1)。今，これらの微細組織をもつた平面に光を垂直入射すると(1)では

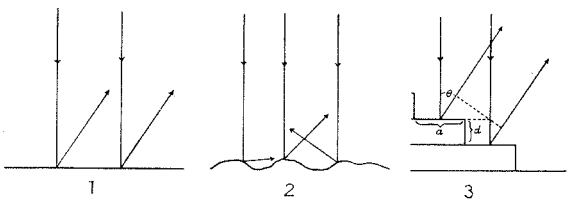


Fig. 4-1.　Diagram showing the relation between reflection and superficial structure of a pearl. a: step distance, d: step height, θ: the angle of diffraction.

正反射方向に強い光沢感を生じ，(2)では乱反射によつて光沢感は悪くなる。これに対して周期的階段構造を有する平面では，階段の高さを d，おどり場の間隔を a，回折角を θ と

すると隣接階段間の光路差 Δ は

$$\Delta = d + d\cos\theta - a\sin\theta$$

となり，一種の回折格子の役割を演じていると考えられ，反射光は強められた波長の光沢感の強い着色を示すと考えられる。このほか表面及び表層に存在する結晶の粒度，形および沈着状態などが入射光の拡散反射に影響して色沢感を左右するであろう。

Table Ⅳ—1 はアコヤガイ養殖真珠の自然表面構造とその肉眼によつて判定した光沢感との関係について調べた結果である。強い光沢感を生ずる表面は周期的階段構造からなる並行模様を示しており，渦巻模様が密に発達するに従つて光沢感にむらが生じ，反射像の鮮鋭度が悪くなるのが認められる。また階段構造が不明瞭になつたり，不規則になつた表面では強い光沢感のあるものはなかつたが，表面を厚い conchiolin の膜でおおわれた一様な平面では強い光沢感をもつている（Plate X—37)。ステップ間隔の差はこの範囲の変動であるならば，隣接するステップ間隔が不均一でない限り，光沢感にはそれほど影響を及ぼしているとは思われない。今，渦巻及び同心円の成長ピラミッドの構造が，入射光に対して如何なる効果をもつているかについて少し観察してみる。成長ピラミッドの密集してい

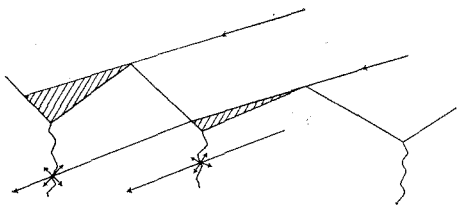


Fig. 4-2. Effects of growth pyramids upon incident rays.

る表面には Fig. 2—2 にみられるようなモザイク構造が現われ，光沢にむらが生じてくる。このようなモザイク構造の現われる原因は隣接したピラミッドの境界面における層累積によつて生じた不整合面での光の散乱によると考えられる（Fig. 4—2)。また成長ピラミッドは表面に凹凸を生ぜしめるため，光の遮蔽効果が現われる（Fig. 4—2)。したがつて成長ピラミッドの密集により，表面は粗雑になると同時に光沢感が悪くなると考えられる。一方，表面微細構造の構成員である個々の結晶の大きさ，形状，沈着状態及び結晶面の凹凸の有無等が光沢感に強く影響している。すなわち Table Ⅳ — 1 からも判るように個々の結晶が大きな円形ないし自形を示し，結晶面に凹凸が少なく，おどり場に孤立沈着する結晶の数が少ないものが強い光沢感を生ずるのに対して，腐蝕によつて結晶面の凹凸が著しく，形も不定形で，結晶の孤立沈着が多くなるにつれて光沢感は悪くなる傾向を示している。このように観察してみると表面構造の差は光沢感のほかに透明度，平滑度及び柔硬感等に関係していると考えられ，事実密接に関係している。また Table Ⅳ — 1 で光沢感と色彩との間に密接な関係がみられる。すなわち，ピンク系の真珠は光沢感の良いものが多く，シルバー系の真珠は光沢感の良いものが少ないが，イエロー系の真珠は光沢感の良いものも悪いものもあり，ブルー系の真珠は光沢感の良いものが多かつた。そこで表面構造と色沢の三者の関係を明らかにするため，Table Ⅳ— 1 に使用した材料を色彩別に調べた

Table IV-1. Relations between luster and superficial structure of *Pinctada* pearl.

Luster	Pattern* p	p+s	s	i	Step distance -18μ	-36μ	Color white	pink	yellow	blue	Crystal form** i	r	Crystal Size (μ) 2-3.4	3.5-4.4	4.5-	Etch pit	Isolated deposition	Thickness of pearl (mm) -0.4	-0.6	-0.8	0.8-
high	23	3			12	14		14	4	8		22	1	7	14			4	8	8	3
medium	18	5	7		11	19	6	8	11	3	1	26	2	8	16	7	2	4	8	10	3
low	3	1	1	2	1	6	1		3		2	5	2	2	3	6	4	1		5	1

* p: parallel, s: spiral, i: irregular.
** i: irregular, r: regular.

Table IV-2. Relations between color and superficial structure of *Pinctada* pearl.

Color	Pattern* p	p+s	s	i	Step distance -18μ	-36μ	Luster high	medium	low	Crystal form** i	r	Crystal size (μ) 2-3.4	3.5-4.4	4.5-	Etch pit	Isolated deposition	Thickness of pearl (mm) -0.4	-0.6	-0.8	0.8-
silver	6		1		3	4		6	1	1	6	1	1	5	1	1	1	2	3	
pink	15	4	3		9	13	14	8			19	1	6	12	2	1	3	5	5	4
yellow	13	3	2		8	10	4	11	3		16	2	8	6	5	3	2	3	10	2
blue	8	1	2		2	9	8	3		1	8		2	5	3		1	5	4	
low grade	2	1		2	2	3		2	3	1	4	1		4	1	1	2		2	1

* p: parallel, s: spiral, i: irregular.
** i: irregular, r: regular

結果は Table Ⅳ — 2 のごとくである。真珠の光沢感に密接に関与していた条線模様，結晶の大きさ，形状，沈着状態等々と色彩との間には関連が認め難く，理論的には着色現象が生ずると考えられた周期性を有する規則的階段構造すらも色彩との相関を認め得ない。ただ表面の属性である光沢感，透明度，平滑度及び柔硬感等が異なると真珠の明るさや白さが異なつて我々の受ける色彩感に異質のものを生じる。Table Ⅳ— 1 からは真珠の色彩は光沢感と関連がみられるように思われたが，光沢は表面の属性ではあるが，色の属性ではない。したがつて表面構造の変化は真珠の光沢感，透明度，平滑度及び柔硬感等に関係し，真珠の色彩には直接関係せず，ただ白さ及び明るさに影響しているように思われる。しかし真珠の場合，スキンピンクの着色は必ず強い光沢感をともない，シルバー系の真珠が一般に光沢感の悪い傾向を示す事から，これらの色相の発現機構は同時に光沢の属性であると考えられるが，Table Ⅳ—2 から判るように表面の微細構造にその因子を求め難い。また周期的階段構造は着色現象を生じ色彩に関与すると考えられたのに対し，相関が認められなかつたのはこの効果を相殺せしめる因子が真珠に存在しているのであろう。

以上に得られた結果は真珠の表面微細構造に層状構造及びその他の要素が加味されたものであるから，表面構造以外の諸要素を除くために貝殻及び真珠表面の構造を樹脂膜に転写してみた。その結果，両者ともに孤立散在した結晶の少ない周期的階段構造を有する試料から得られた転写面では光沢感が良く，結晶の孤立散在が著しいかあるいは腐蝕溶解によつて条線模様が不明瞭になり，周期的階段構造が消失した試料からの転写面ではすりガラスのように白くなり光沢感が悪かつた。この事実は真珠表面を直接観察して得られた先の結果と全く一致している。しかし両者から得た転写面での反射光には著しい差が認められた。すなわち，貝殻真珠層より得た転写面は入射角度によつて赤から青の淡い着色現象がおこつたのに対して，真珠より得た転写面では入射角度を変化しても反射光の着色は認め難かつた。これは周期的階段構造が貝殻真珠層のような平面においては（4—1）式で示したように反射光は一定の位相差を生じ互に強めあつて着色がおこるが，真珠のように球面では光の正反射方向が場所によつて少しずつずれる結果，特に互に強められる波長がないため着色がおこらないのであろう。今，貝殻真珠層平面における周期的階段構造による反射光の着色について少しく観察してみる。貝殻真珠層内面で相対的に強く赤から青の呈色を示す部分の表面はステップ間隔が 10 ～ 20μ の比較的整然とした並行模様を示しているのに対し，ステップ間隔 20μ 以上の渦巻や同心円模様を示す部分やステップ間隔が一定しない条線からなる面では淡い着色しかおこらないか，あるいは肉眼では着色を感受しがたかつた。

以上のように試料を統計的に観察することによつて真珠の光沢は表面の微細構造に密接に関係していることが判つた。今，この真珠の光沢感を物理学的な量で表示し，光沢量と表面の性状とを具体的に対比させて観察し，後にその面を単一時間研磨して光沢量と表面の性状との変化を前者と比較観察し，真珠光沢の特徴を更に明白にすることを試みた。材料はアコヤガイ貝殻真珠層の自然表面で，渦巻模様が常にみられる部分が使用された。前記の観察からわかるように，真珠の光沢は条線模様が並行，渦巻あるいは不明瞭かによつてかなり肉眼的に受ける感じは異なつてくる。また条線模様の種類のいかんにかかわらず，孤立散在する結晶が多数あるが，結晶面の凹凸が多くなると光沢量は急速に悪くなることを指摘したが，同一形の条線模様においてはその条線を構成している要素の如何なる変化

が光沢に影響するかについては明らかにされなかつた。しかるに，Table Ⅳ—3から同一条線模様の形状変化の光沢量に及ぼす効果が渦巻ないし同心円からなる成長ピラミッドについて考察できる。すなわち，成長ピラミッドが大きく，しかも多軸対称性をもつて発達

Table IV-3. Relations between value of luster and texture of pearl layer surface.

Value of luster	Spiral pattern*				Step distance (μ)			Isolated deposition
	s	a	ir	i	-45	-90	-140	
100 ‰ <	3				1	2		
100 — 70 ‰	2	4			3	2	1	
70 — 50 ‰	1	2	3	1	4	2		4
< 40 ‰			1	3		1		4

* s: symmetry, a: asymmetry, ir: irregular, i: indistinct

し，結晶の孤立沈着や結晶面の凹凸が少ない自然表面では反射像の鮮鋭度が良く光沢量にして100‰以上を示している。2軸対称を示すが小さな成長ピラミッドとして発達し，単位面積あたりの数が増加すると，成長ピラミッドの境界面が増加してモザイク構造があらわれる。また成長ピラミッドを構成しているステップの表面に水平な前進成長速度が方向によつて異なり対称性を失うにつれて，たとえ成長ピラミッドが大きく発達していても，また結晶の孤立沈着が少なくても光沢量は減少してくる。この対称性が更に失われて条線模様が不規則になつたり，孤立沈着する結晶が増加してくると光沢量は70～50‰におち，結晶がおどり場全体に散在して沈着したり，表面の結晶が腐蝕溶解して階段構造が失われ，条線模様が不明瞭になると40‰以下になり反射像は完全にぼけてくる。Table Ⅳ—3からステップ間隔も光沢に多少は関係しているように見えるが，実験に使用した材料がこの要素に関する限り，必ずしも実験母集団の真の代表を示しているかは疑問である。しかしTable Ⅲ—2から光沢量や条線のステップ間隔が季節的に変化しており，ステップ間隔が一定している場合，70μ以下では50μ以下の狭い時期よりも50μ以上の広い時期の方が光沢量が大きかつた。この関係を直線的に結びつけることは，これらの実験データーのみでは危険なように思われるが，若しこの事実が成立するならば，この範囲のステップ間隔ではある程度の広さをもつた平らなおどり場の存在に意味があるものと思われる。次に表面の結晶の性状と光沢量とを具体的に対比してみる。自然表面において光沢量が100‰以上を示す真珠層表面には二つの特徴ある構造があらわれる。一つは結晶面の良く発達した4～8μの大きな自形の結晶が整然とした周期的階段構造をつくりながら成長しているものであり（Plate X—36），他はPlate X—37にみられるように平常より厚いconchiolin膜が結晶面をおおつて一様な構造からなるものである。光沢量50～70‰を示す表面は3～4μの自型，角の丸い六角形あるいは円形の結晶からなり，一般に腐蝕像を示している（Plate X—35）。いわゆる“潮被り珠”は光沢量にして40‰以下に相当し，その表面の結晶の性状には二つの特徴が認められる。一つはPlate X—38にみられるような0.5μ以下の結晶が下にある結晶の稜や隅に沿つて成長し，そのため周期的階段構造は失われ，また結晶の形

は腐蝕溶解をともなつた自形ないし不定形からなる。他は Plate Ⅸ—34 にみられるように現在成長していると思われる結晶が認められず，既存の結晶が腐蝕溶解して輪廓が不明瞭になり，結晶面上には蝕孔や粉末状の沈澱が認められるもので，もちろん周期的階段構造はなく不規則な凹凸の著しいものである。

同一漁場における真珠層の光沢感は季節的に著しく変化し，表面構造によつて支配されていることを第3章において指摘した。もし真珠の光沢感が表面構造のみに左右されるならば，研磨処理をおこなつて表面を平滑にすれば，総ての真珠層の光沢量は類似した値に近づくものと仮定できる。今，Table Ⅲ—2 に使用した試料を1分間 MgO の粉末で研磨処理して後，それぞれを対応させて時期別光沢量の研磨による変化を調べ Table Ⅳ—4 に

Table IV-4. The luster of the natural and polished surface of the nacres, *P. martensii* shell, collected in different seasons. Each sample was polished with MgO powder for one minute.

Month	The value of the luster of natural surface. G_{45} (7.5°) ‰	The value of the luster of polished surface. G_{45} (7.5°) ‰
VII - X	65.4	100.4
X - XII	113.1	214.3
I - III	40.1	116.7
IV - V	77.8	141.6

示した。研磨処理によつて真珠層の光沢量は著しく増加することが判る。しかしながら，研磨による光沢量の増加は採集時期によつて著しく異なり，また研磨前の光沢量とは必ずしも対応した増加を示さない。これらの表面を顕微鏡によつて観察してみると，研磨による大きな変化は(1)階段周辺部及びおどり場に散在していた結晶が除去されて階段縁がゆるやかな曲線となり（Fig. 2—3），また(2)結晶面が平滑になることである。この事から研磨による光沢量の増加は孤立散在した結晶及び結晶面の凹凸がなくなり，真珠層表面が平坦化したことによると考えられる。しかるに4～10月上旬に採集した試料面は研磨処理によつて10月中旬～12月に採集した試料面と著しい差が認められないにもかかわらず，光沢量の上で大きな差が生ずるのは，真珠層表面の光沢量の支配因子が表面以外の構造にも存在することを意味するであろう。なお，1～3月の試料面は1分間の研磨では完全に平滑にできず，散在した結晶が多く残つているから，研磨時間を増加することにより光沢量は他の試料に比較して更に増加を示すであろう。以上のことを模式的に示すと Fig. 4—3のご

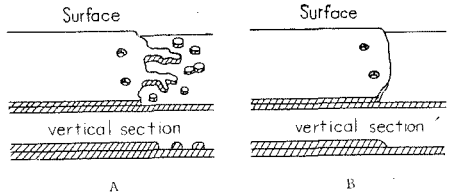


Fig.4-3. Comparison of natural and polished surfaces of a pearl.

とくなる。研磨による階段縁の丸味化及び結晶面における損傷は研磨剤の粒子，硬度及び摩擦力によつて支配されていると思われる。

イケチョウガイ淡水真珠はアコヤガイ真珠よりも呈色が単調であり，光沢感と色相との間には比較的相関がみられる。今，手元にある54個の真珠を色相標準色カードを使用して分類してみると赤味の強い“うすさんご”，これに紫の呈色が加わつた“あかむらさき”，赤味がかつているが白味の強い“うすはとば”及び白色不透明な“しろ”に大別できる。これら色相と表面構造及び光沢感との関係を Table Ⅳ－5 に示した。表中の光沢感はイ

Table IV-5. Relationships among superficial structure, color and luster of *Hyriopsis* pearl.

Color	Step pattern* d	i	Isolated crystal** f	a	Luster high	medium	low
salmon pink	13		11	2	13		
rose purple	4		3	1	4		
orchid pale	15	3	5	13		16	2
white	4	5	1	8			9

* d: distinct, i: indistinct

** f: few, a: abundant

ケチョウガイ真珠相互間の相対値で，この値をもつてアコヤガイ真珠とは比較できない。一般的に言つて“うすさんご”及び“あかむらさき”を呈する真珠は並行ないし渦巻状の周期的階段構造からなり，孤立散在している結晶も少なく光沢感が良いが，“うすはとば”色の真珠は多くの場合階段構造はみられるが，孤立散在している結晶が多くなりしばしば条線模様が不明瞭になつて光沢感はおちてくる。白色の真珠はおどり場全体にわたつて結晶が孤立散在して条線模様が不明瞭になり光沢感は悪くなる。アコヤガイ真珠でみられたように，イケチョウガイ真珠においても光沢感の良いものでは，その表面に成長している結晶は腐蝕溶解がなく自形ないし円形の3～7μの大きさを示すが（Plate Ⅷ—28），光沢感の悪いものの表面には非常に小さい結晶が成長しているか，あるいは結晶面の腐蝕溶解で輪廓が不明瞭である（Plate Ⅷ—29）。以上のようにイケチョウガイ真珠においても，光沢感と表面構造との関係はアコヤガイでみられたと同様の傾向が認められたが，前者の光沢感は後者のそれに比較して著しく悪い。この両者の光沢の差異が何に起因しているかを比較するため，イケチョウガイ貝殻真珠層表面で光沢感の最高の部分と最低の部分を切り取り，まず自然表面の光沢量を測定して後，MgO 粉末で1分間同様に研磨して光沢量を測定し，表面構造と対比させて観察してみた。その結果，自然表面では最高の部分で68.6‰，最低の部分で18.4‰で，光沢量の差は上記の表面構造に全く依存している。研磨表面では前者が90.6‰，後者が23.3‰に増加し，研磨によつて表面は一様化する。Table Ⅳ—4 で同程度の光沢量を示すアコヤガイ貝殻真珠層の表面構造と比較すると，いずれの貝殻真珠層においても自然表面では光沢量に対応して類似した構造を示す。これらの表面は研磨処理によつて一様化するにもかかわらず，光沢量の増加には著しい差が生ずる。すなわち，光沢のよい部分は約130％の増加率を示してアコヤガイ貝殻の同程度の光沢量を示す部分

と絶対値においてもほぼ近似の値を示したが，光沢の悪い部分は約130％の増加率ではあるが絶対値においてアコヤガイの最低のものに比べても⅕程度である。この事実は真珠層の光沢は表面構造の属性のみならず，層状構造の属性でもあると考えられ，アコヤガイで得られた結果と一致している。ここで光沢量から考えるとイケチョウガイの最低のものは他のものに比べて，その断面構造において著しい差があると考えられる。一方，Table Ⅳ—5からイケチョウガイ真珠では色相が光沢感と正の相関をもつているため，表面構造とも相関があるかのように見えるが，各色相特有の表面微細構造は認めがたいことから，イケチョウガイ真珠の着色の機構は表面構造によらないものと思われる。ただ不透明白色を呈する真珠は表面構造と関連しており，アコヤガイ真珠のスキンピンクとシルバーの着色が光沢と共通の因子の属性であると考えられたように，イケチョウガイ真珠のホワイトも同様に構造的要素にその因子が求められるであろう。

断面構造と色沢

表面構造は真珠の光沢感，透明度，平滑度及び柔硬感等を左右しており，真珠の白さ及び明るさにおいて色彩に影響しているが，真珠の色相は表面構造以外の要素に主として依存していることが認められた。しかしスキンピンク，シルバー及びホワイト等は光沢と正の相関を示していることから，これらの発色機構は表面構造以外で光沢と共通する因子によつていると考えられる。光沢は表面構造によつて大きく支配されているが，真珠及び貝殻真珠層のように薄い鉱物板と有機質膜が交互に規則正しく重畳した構造を有する物体では表面近くの層状構造も関与してくると考えられ，特にアコヤガイ真珠とイケチョウガイ真珠の光沢量の差はここに大きな差があるものと考えられる。故に真珠の構造の変化—真珠層の単位構成員である鉱物薄板及び conchiolin 膜の厚さの変化と重畳中における乱れ，及び異質貝殻物質の介在—と色沢との相関を求め，真珠色沢の特性を以下において明らかにする。

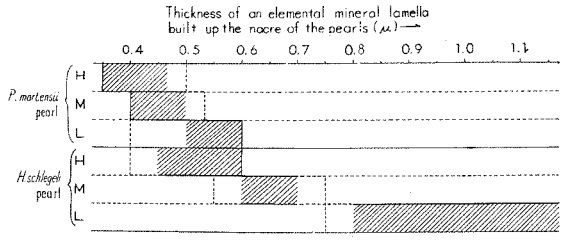


Fig. 4-4. The relation between luster and thickness of elemental mineral lamina of the cultured pearls.

Fig. 4—4 にアコヤガイ及びイケチョウガイ真珠の表層における鉱物薄板一枚の厚さを測定し，光沢感との関係を示した。アコヤガイ真珠で最上の光沢感を有するものは，表面近くの真珠層を構成している単位鉱物薄板の一枚の厚さが 0.35 ～ 0.45μ を示しており，光沢感が悪くなるにつれて一枚の厚さが増し，反射像のぼけているものでは0.5～0.6μ を示す。しかし光沢感の悪い真珠には平均の厚さが比較的薄いものも認められた。イケチョウガイ真珠では最上の光沢感を有するものでも単位鉱物薄板一枚の厚さが 0.45 ～ 0.60μ

で，光沢感が悪くなるにつれて単位鉱物薄板の厚さが大きくなり 1.8μ に達するものもある。また同時に隣接した鉱物薄板の厚さが乱れ，したがつて層状構造に乱れが生じてくる (Plate Ⅱ—7)。今，両者の光沢感と表面近くの層構造との関係を比較して層構造における如何なる要素が光沢に影響を及ぼしているかを検討してみる。最上の光沢感を有するイケチョウガイ真珠の表面微細構造は，最上の光沢感を有するアコヤガイ真珠のそれと比較的類似した構造をもつにもかかわらず，前者の光沢感は後者のそれに比べて一般に極めて劣つているのは単位鉱物薄板の厚さの差によつていると考えられるが，単なる厚さの変化が光沢に影響するかは今後追究する。イケチョウガイ真珠の最上の光沢感は，アコヤガイ真珠の中程度の光沢感ないしそれより多少良いところに相当しており，この両者の構造上の差はアコヤガイ真珠の表面に多数の腐蝕が認められたことと，イケチョウガイ真珠の表面近くの単位鉱物薄板の厚さが大きいことである。一方，光沢感ではアコヤガイ真珠の最低のものがイケチョウガイ真珠の中程度ないし最低のものに相当するが，前者の表面近くの鉱物薄板の厚さは 0.50～0.60μ で後者に比べて非常に薄く，後者の最上の光沢感と同程度である。しかしながら，厚さ 0.50～0.60μ からなるアコヤガイ及びイケチョウガイの真珠の表面構造には著しい差が認められる。すなわち，(1) 鉱物結晶粒子の大きさの差，(2) 腐蝕溶解の有無，及び (3)階段構造の有無等があり，これらの差は真珠層薄板として発達しても入射光の反射に異なつた効果を与え，ここに光沢感の差を生ずるものと考えられる。なお，イケチョウガイ真珠の光沢感の悪いものにはこれらのほかに鉱物薄板の厚さの乱れが顕微鏡で直接観察できる。アコヤガイ真珠でしばしば平均の一枚の鉱物板の厚さが薄いにもかかわらず光沢感の悪いものがあるが，これら上記のいずれかの負の要素が加わるためと考えられる。以上のことから，真珠の光沢は表面微細構造に主に支配されており，また表面近くの層構造の変化が大きく関与しているものと思われる。この場合，表面からどのくらいまでの層構造が関係しているかを推測してみると，整然とした薄板が重畳したとすれば主として表面から 15～30μ までの層と考えられ[109]，一枚の鉱物板の厚さを 0.4μ とすると，約40～80枚の鉱物板の重畳からなつていることになる。なお，Table Ⅳ—1から判るように真珠層の巻き量はこの限界以上において光沢とは関係がみられない。しかし散乱層が内在する時には巻き量が少ないと心理的光沢感に強く影響する。

以上に真珠層の構造差が光沢に及ぼす影響を調べたが，真珠には輝層真珠や稜柱層真珠のごとく全く異なつた建築構造を有するものがあり，共に小柱が真珠形成の中心に対して放射状に配列した柱状構造を有し，光沢感は非常に悪い。これらの各小柱には層状構造がみられるが conchiolin の壁によつて包まれており，こうした構造によつて入射光の散乱及び吸収が著しくおこり，前者は光沢のない白色不透明を呈し，後者は明度が小さく，しかも光沢のにぶい真珠で層構造以外の要素による着色がみられる。また虹色真珠層を有する貝殻と白色不透明な貝殻とでは鉱物結晶粒の大きさ，形，成長あるいは集合状態が異なつており，また結晶配列などの点で光沢性虹色の発色機構に大きな影響を与えていると考えられる。

真珠色彩の特徴を明らかにするため，視感覚により正反射光を観察して，出来る限り多くの色相に分類し，その反射率曲線及び測色面を含む断面の構造とを比較検討することにより着色機構別に各色相を統合することを試みた。試料は前節で使用した64個の真珠と同一のもので，これらは先に真珠色相の特徴全体を表現可能なように選んだものである。ま

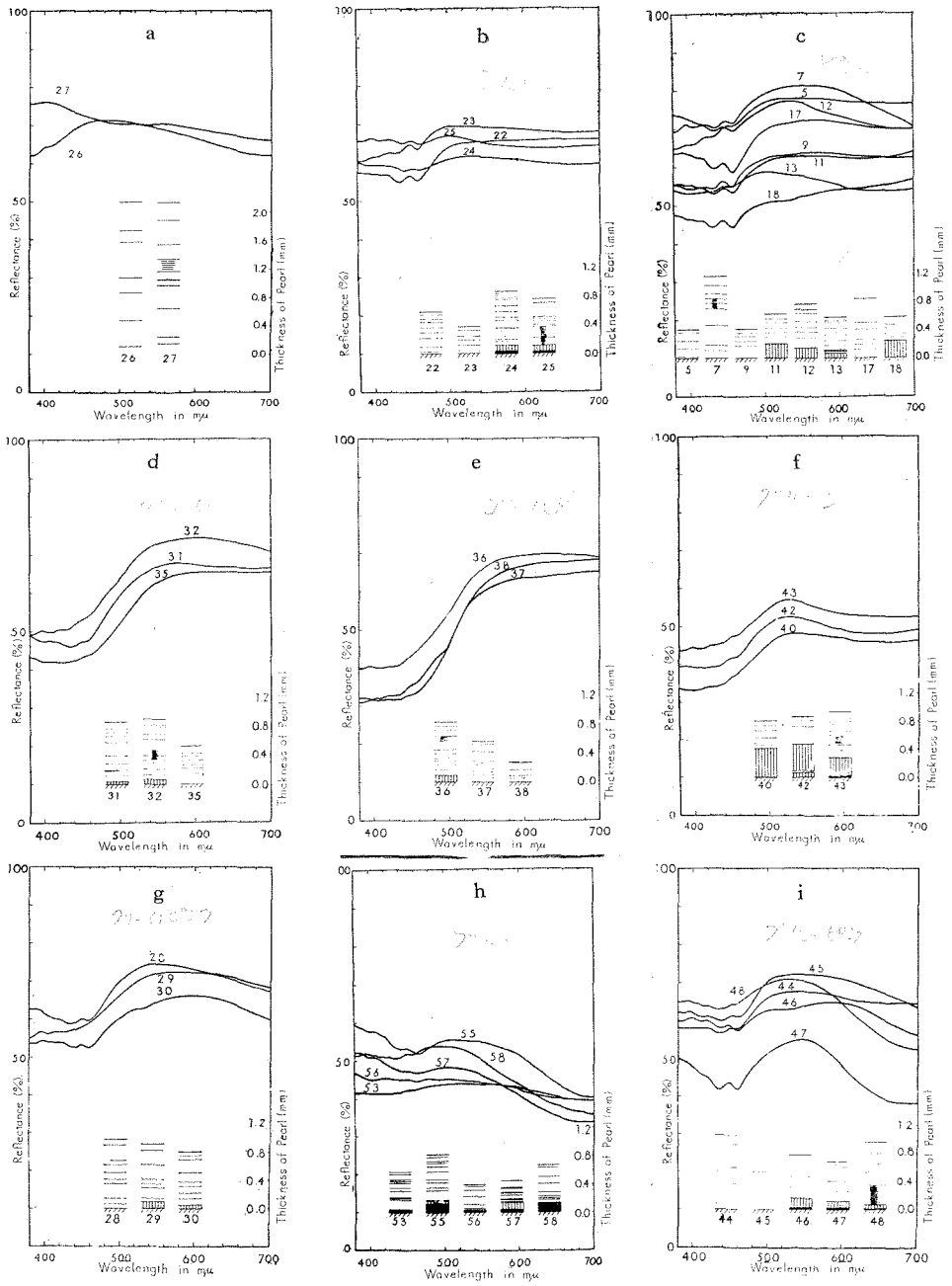


Fig. 4-5. Spectrophotometric reflectance and laminary structure of cultured pearls and *Quadrula* shell. a: white pearl of *H. schlegeli* (No. 27) and pearl nucleus of *Q. undata* (No. 26), b: silver pearls, c: pink pearls, d: cream pearls, e: gold pearls, f: green pearls, g: cream pink pearls, h: blue pearls, i: blue pink pearls. The samples used in b - i are cultured by *P. martensii*. ⊟: nacreous layer, ▥: prismatic layer, ■: organic substances.

Table IV-6. Data on laminary structure, chromaticity coordinates (x, y) and tristimulus value (Y) of *Pinctada* pearls.

Sample NO.	Y	x	y	Laminary distance inner	outer	Shell substances* formed on the surface of a pearl nucleus	Color
1	58.618	0.3151	0.3259	0.45μ	0.35μ	—	pink
2	72.135	0.3149	0.3255				〃
3	53.484	0.3168	0.3264	0.45	0.37	p	〃
4	62.901	0.3129	0.3247	0.45	0.43	p	〃
5	77.918	0.3154	0.3289	0.43	0.43	—	〃
6	68.218	0.3160	0.3291	0.50	0.43	p	〃
7	80.468	0.3152	0.3547	0.50	0.38	—	〃
8	71.401	0.3160	0.3536	0.50	0.40	—	〃
9	64.218	0.3170	0.3314	0.50	0.43	—	〃
10	69.451	0.3174	0.3298	0.50	0.50	p	〃
11	63.285	0.3187	0.3322	0.50	0.43	p	〃
12	75.902	0.3117	0.3261	0.50	0.38	p	〃
13	57.751	0.3084	0.3219	0.50	0.43	p	〃
14	77.735	0.3138	0.3211	0.45	0.40	—	〃
15	56.234	0.3138	0.3205	0.45	0.43	p, o	〃
16	63.418	0.3101	0.3205	0.50	0.50	p	〃
17	71.601	0.3194	0.3352	0.40	0.40	—	〃
18	53.918	0.3219	0.3315	0.45	0.45	p	〃
19	64.168	0.3238	0.3358	0.50	0.38	p	〃
20	75.685	0.3198	0.3320	0.50	0.50	—	silver
21	65.501	0.3165	0.3268	0.45	0.45	p	〃
22	65.901	0.3193	0.3328	0.50	0.50	—	〃
23	69.518	0.3134	0.3246	0.45	0.43	—	〃
24	61.835	0.3119	0.3657	0.58	0.50	p, o	〃
25	65.318	0.3077	0.3156	0.50	0.50	p, o	〃
26	64.204	0.3072	0.3175	2.00	1.80	—	white
27	64.138	0.3017	0.3114	1.80	1.00	—	〃
28	74.318	0.3212	0.3403	0.50	0.38	—	cream pink
29	75.368	0.3200	0.3507	0.50	0.43	p	〃
30	64.851	0.3246	0.3360	0.45	0.40	p	〃
31	66.151	0.3320	0.3517	0.50	0.38	p	cream
32	72.285	0.3331	0.3492	0.50	0.40	p	〃
33	62.351	0.3399	0.3533	0.50	0.40	p	〃
34	66.651	0.3326	0.3458	0.50	0.40	o	〃
35	61.735	0.3417	0.3523	0.58	0.50	—	〃
36	65.618	0.3455	0.3590	0.47	0.58	p	gold
37	59.601	0.3524	0.3707	0.45	0.50	—	〃
38	61.101	0.3600	0.3780	0.50	0.62	—	〃
39	58.751	0.3281	0.3478	0.58	0.58	p, o	green
40	48.668	0.3245	0.3470	0.50	0.40	p	〃
41	53.468	0.3588	0.3810	0.50	0.50	p	〃
42	51.768	0.3164	0.3395	0.50	0.43	p	〃
43	56.168	0.3134	0.3337	0.58	0.50	p, o	〃
44	67.368	0.3167	0.3334	0.40	0.35	—	blue pink
45	55.334	0.3439	0.2789	0.40	0.38	—	〃
46	64.771	0.3152	0.3262	0.43	0.40	p, o	〃
47	50.868	0.3150	0.3328	0.40	0.38	p, o	〃
48	69.218	0.3036	0.3288	0.45	0.43	p, o	〃
49	48.068	0.3113	0.3270	0.50	0.43	o	blue
50	60.735	0.3091	0.3240	0.50	0.50	p, o	〃
51	44.734	0.3086	0.3208	0.47	0.38	o	〃
52	58.118	0.3099	0.3153	0.47	0.45	p, o	〃
53	54.484	0.3021	0.3192	0.50	0.50	p, o	〃
54	45.234	0.3008	0.3149	0.50	0.40	o	〃
55	45.951	0.2985	0.3187	0.45	0.38	p, o	〃
56	49.384	0.2929	0.3127			o	〃
57	50.568	0.2989	0.3063		0.40	p	
58	46.818	0.3080	0.3193	0.55	0.50	p	
59	58.951	0.3183	0.3311	0.50	0.43	p	
60	68.951	0.3273	0.3407	0.50	0.50	p	

* p: prismatic substance, o: organic substance

ず各色相別反射率曲線に対応する真珠の断面構造に特徴があるか検討してみる。Fig. 4—5 の a はホワイトを呈するイケチョウガイ真珠及び真珠核の反射率曲線で，測定部分及び試料によつて多少異なるが，一般に可視光線内にあつて特に強められた波長はなく平坦化した反射曲線を示す。またアコヤガイ真珠のシルバー及びピンクにみられるような特異な吸収は認められない。これに対応する断面構造には真珠層以外の異質貝殻物質の形成はみられないが，真珠層中に比較的多くの細かい層線が認められ，層状構造にかなりの乱れがあることを暗示している。これに対してアコヤガイ真珠のホワイト系のものは表面及び極く表層に光の散乱層がない限り前者のホワイトとは全く異質感を与え，むしろ視感覚でシルバーとして区別できる。これらの反射率曲線は Fig. 4—5 の b のように前者同様一般に平坦化した曲線を示すが，407mμ，430mμ，及び 460mμ の位置に固有の吸収が認められる。偏光顕微鏡の直交ニコルのもとで多くの帯状の消光塊が存在しており，前者よりも大きな単位での層状構造の乱れがあるものと思われる。また No. 24 及び 25 にみられるように異質の貝殻物質の形成が認められるものもあつた。ピンク系に属する真珠は全体として 510～580mμ の位置に一つの反射の極大がみられ，No. 11，13 及び 18 のように明度が小さく 640mμ 前後から長波長側に曲線がゆるやかに上昇するものと，このような反射がみられないものとに大別できる（Fig. 4—5 の c)。またシルバー系の真珠と同様に 407mμ，430mμ 及び 460mμ の位置に顕著な吸収がみられる。No. 11，13 及び 18 にみられる構造上の特徴は真珠層中の帯状消光塊がシルバー系のものとほとんど類似しており，真珠核面をおおつて必ず稜柱物質の形成がみられ，また光沢感の点で他のものよりもかなり悪い。一方，No. 5，7，9 及び17は稜柱物質の形成がなく，真珠層中の帯状消光塊が一般に単純で，強い光沢をともなつたスキンピンクの着色がみられる。これに対して No. 12 の反射の極大は 530mμ にあるが，真珠層の層状構造はスキンピンクのそれに類似し，真珠形成初期に稜柱物質の形成がみられるなど，断面構造の上で前二者の特徴を備えており，光沢の強い濃いピンクの着色がみられる。イエロー系の真珠は反射の極大が 560mμ にあり，彩度の小さいものはクリームの呈色を，彩度が大きくなるとゴールドの呈色を示し，ともに 407mμ，430mμ 及び 460mμ の位置の固有の吸収は不顕著になり，400～460mμ にかけて大きな吸収がみられるのが他の色相と著しい違いである（Fig. 4—5 の d 及び e)。これらの真珠層の層状構造は一般的にシルバー系に類似しており，層状構造がスキンピンクに類似してくるとクリームピンクの呈色を示し，その反射率曲線もクリーム及びゴールドから明らかに異なつている（Fig. 4—5 の g)。一方，イエロー系の着色のみられる真珠層の下部に殻皮層や稜柱層などの異質貝殻物質が多量に介在してくると視感覚でグリーンとして感受され，Fig. 4—5 の f にみられるように 520mμ に反射の極大をもつた特有の反射率曲線を示す。Fig. 4—5 の h はブルーに呈色しているアコヤガイ真珠の反射率曲線と断面構造である。一般に明度が小さく400～460mμ の固有吸収も不顕著であり，No. 54及び57を除いては平坦な曲線を示す。これらブールに呈色する真珠は必ず有機物層の介在があり，真珠層の層構造は一般にシルバー系のものに類似している。しかし真珠層の層構造がスキンピンクに類似しているものでは視感覚でブルーピンクに感じ，スキンピンクに類似した反射率曲線を示すようになり，殻皮層のないものではそれと区別の不可能なものもある(Fig. 4—5 の i)。

これらの測色結果から三色刺戟値を求め，真珠構造の諸要素—異質貝殻物質の有無とそ

の種類，真珠層構成の単位鉱物薄板の厚さ—と対応させて Table Ⅳ—6 に示した。またこれらの値を CIE 色度図に入れて，視覚印象をも考慮して各色相領域を求めて Fig. 4—6 に示した。図中の番号は Table Ⅳ—6 中の番号に相当する試料である。ホワイト及びシルバーに呈色する真珠は CIE の C 点を含んだ細長い領域Ⅰに分布しており，ピンク系

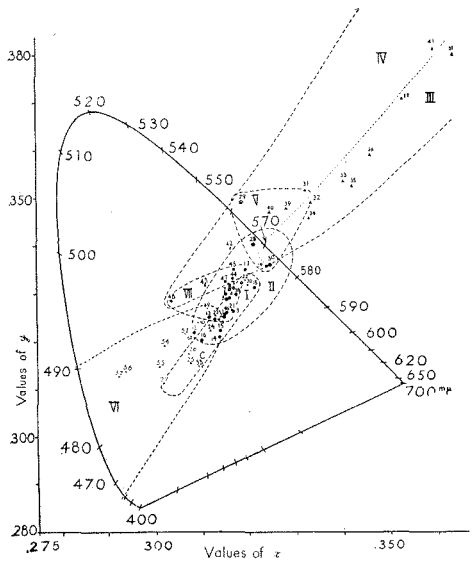


Fig. 4-6. C I E color diagram of cultured pearls. The spectral locus of 10% colorimetric purity is shown for comparison. I: white - silver group×, II: pink group ○, III: yellow group (cream-gold ▲), IV: green △ (yellow group), V: cream pink ◎ (yellow group), VI: blue group ●, VIII: blue pink ■ (blue group).

の真珠は他の色相領域に重なつて拡がる領域Ⅱを作る。領域Ⅲにはイエロー系の真珠が分散しており，No. 36, 37及び38はゴールドに呈色し，CIE の C 点方向に近づくに従つて彩度が小さくなりクリームの呈色を示す。これにグリーンの要素が加わると領域Ⅲから多少ずれて領域Ⅳに分布し，またクリームに光沢性のピンクの要素が附加すると領域Ⅴに移動する傾向を示している。ブルー系の真珠は領域Ⅵに分布し，光沢性ピンクの要素が附加されると領域Ⅶに移動しピンク系領域と重なる部分が多くなる。真珠色相の領域を色相の類縁関係から大別してみるとⅢ，Ⅳ及びⅤからなるイエロー系列，Ⅵ及びⅦからなるブルー系列及びその合流点近辺にピンクの領域Ⅱが拡がり，これに CIE の C 点方向に拡がるシルバーの領域Ⅰを含めた領域との主な三つの系列が存在することがわかる。一方，反射率曲線における 407mμ，430mμ 及び 460mμ の位置にみられる固有吸収の顕著さから分類してみると，顕著な吸収がみられる領域Ⅰ，Ⅱ，Ⅴ及びⅦと不顕著ないしほとんど認め難い領域Ⅲ，Ⅳ及びⅥとの二つに大別できる。これら真珠の色相別系列の特徴を明らかにするため，今 Fig. 4—6 にみられる各真珠の分布点を異質貝殻物質の有無及び種類について置きかえると Fig. 4—7 のごとくなる。Ⅰ及びⅡの領域にあつてピンクないしシルバーの呈色を示すものは異質貝殻物質の全然ない真珠層だけからなる真珠と，真珠核面をお

おつて稜柱物質の形成がみられるものとに大別できる。このうち真珠層のみからなる真珠はシルバーないしスキンピンクに呈色し，稜柱層が適当量形成されたものではピンクに着色している。すなわち，シルバーあるいはスキンピンクに着色するか否かは形成された真珠層自体の層状構造の光に対する性質の差によるものと考えられ，これらの内面に稜柱層

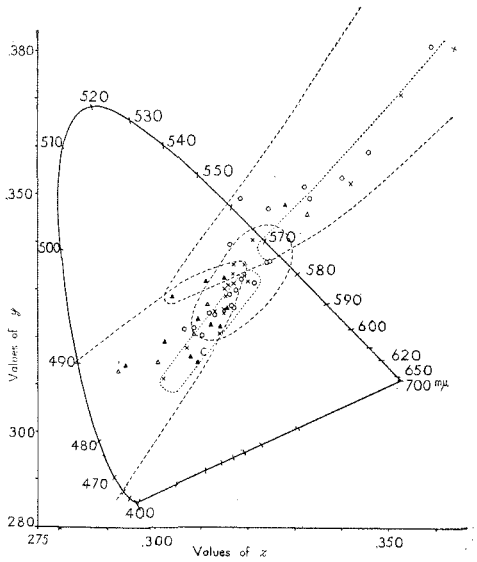


Fig.4-7. Color and shell substances of the pearl. Each point in Fig. 4-6 is replaced with a passing deposit formed in an early stage of pearl formation. ×: only nacreous layer, ○: prismatic layer, △: organic substance, ▲: organic and prismatic substances.

が形成されるとこの物質による光の選択吸収の影響を受け，反射率曲線の変化がおこり視感覚でピンクに印象づけられる。上述のごとくピンク系に属する真珠の着色機構には真珠層自体の層状構造の光に対する性質からおこるスキンピンク，いわゆる真珠独特の虹色，と稜柱層による光の選択吸収に主因が譲渡されるものとがあり，前者の典型的なものは No. 5, 7, 8, 9 及び 17 で反射光と透過光は互に余色の関係を示し，CIE 色度図中て Pg 点方向に集中する傾向がみられるが，後者は一般に領域Ⅰに分布している。イエロー系列上にある真珠の色彩は領域Ⅰ及びⅡにある真珠のそれに比べて彩度が大きく，その反射率曲線にこの色相系列特有の吸収の存在及び化学分析[82]の結果から真珠層中に含まれている黄色々素がこの系列にある真珠色彩の主因と考えられ，反射光及び透過光が多くの場合共にイエローを示すことからもこの事が裏づけられる。したがつて Table Ⅳ—7 及び Fig. 4—5 の d と e から明らかなように，この系列上にある真珠の彩度の大小は巻きの量によつて決定されるのではなく，単位容積あたりの黄色々素の含有量によつて決定されていると考えられる。なお，異質貝殻物質はこの系列に属する真珠にグリーンの着色をもたらしている。一方，ブルー系列に属する真珠の色彩は真珠形成過程中に生成された殻皮層及びその他の有機物における入射光の選択吸収によつて主に決定されると考えられる。イエロー系列及びブルー系列に属する真珠の着色現象は真珠層自体の層構造以外の要素にその主

Table IV-7. Comparison of the thickness of the nacreous layer and the saturation of the color in the yellowish pearls of *P. martensii*.

Saturation	Thickness of the nacreous layer (mm)
1	0.27
2	0.26
3	0.29
4	0.36
5	0.33
6	0.32
7	0.33
8	0.39
9	0.27
10	0.20
11	0.36
12	0.23
13	0.38
14	0.36
15	0.28
16	0.28
17	0.29

因が求められたが，勿論形成された真珠層自体の層構造が重なるとクリームピンクやブルーピンクなどの色彩の分化がおこり，CIE 色度図中で Pg 点方向に集中する傾向を示す。

真珠色中で異質の貝殻物質及び真珠層中に含有する色素に着色の主因の求められるものが以上の観察より明らかになつたが，真珠層自体の層状構造のみによつておこる着色機構

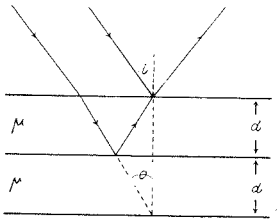


Fig. 4-8. Laminar reflection of a pearl. d: thickness of an elemental lamina, μ: refractive index of aragonite, θ: the angle of refraction.

及びその色相の特徴について観察してみる。真珠層の組織はそれぞれで比較的均一な厚さの aragonite 及び conchiolin の 2 異質薄膜が重畳した多重層薄膜とみなせる層状構造を示す。今，Fig. 4—8 のごとく，μ を単位鉱物薄板の屈折率，d を単位鉱物薄板の厚さ，i を光の入射角，θ を屈折角とすれば白色光の入射により

$$2d\mu\cos\theta = n\lambda_1 \quad \cdots\cdots (4-2)$$

（ただし　n = 1, 2, 3,……）

に相当する波長 λ_1 の色が強められ

$$2d\mu\cos\theta = \frac{(2n+1)}{2}\lambda_2 \quad \cdots\cdots (4-3)$$

（ただし　n = 1, 2, 3,……）

に相当する波長 λ_2 の色が弱められる。この事実は真珠層が一種の光学格子を形成してい

る事を意味するから，真珠層自体の色沢を薄膜にみられる干渉色として求める事が可能である。(4 — 2) 式に顕微鏡下で得られた真珠表面近くにある真珠層の単位鉱物薄板の厚さを代入して一次の干渉をおこす波長を求め，これより反射率曲線における反射極大の次数を推定して一次の干渉をおこす波長を求め，(4 — 2) 式を使つて逆算して単位鉱物薄板の厚さを理論的に求め，両者の比較をおこなつた。ここで aragonite 結晶は光学的異方体であり屈折率は各軸方向で異なるが，真珠層を構成している aragonite の微結晶はその (001) 面を真珠表面に水平にして重畳しているので，理論計算にあたつて Nx＝1.530 を使用するのが最も妥当であると考えられる (Fig. 4—9)。かくて数例について調べた結果

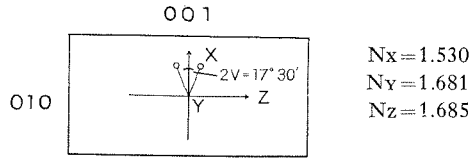


Fig. 4-9. Optical property of aragonite (cited from Winchell 1942).

を Table Ⅳ— 8 に示した。アコヤガイ真珠の色彩に関与する反射光の干渉次数は第 2 次と第 3 次の波長で，一般に反射光が強い光沢感をともなうピンクの呈色を示す真珠は第 1

Table IV-8. Relations between laminary distance and iridescence of *Pinctada* pearl.

Sample No.	Color	d_1(mμ)	w_1 (mμ)	Wavelength of the spectrum shown by the pearl (mμ)	n	w_2 (mμ)	d_2(mμ)
7	Pink	380	1160	560	2	1120	370
12	〃	380	1160	530	2	1060	350
17	〃	400	1220	580	2	1160	380
25	Silver	500	1530	500	3	1500	490
28	Cream Pink	380	1160	550	2	1100	360
30	〃	400	1220	600	2	1200	390
31	Cream	380	1160	580	2	1160	380
39	Green	580	1770	560	3	1680	550
43	〃	500	1530	530	3	1590	520
44	Blue Pink	350	1070	540	2	1080	350
45	〃	380	1160	540	2	1080	350
47	〃	380	1160	550	2	1100	360

* d_1: the thickness of an elemental mineral lamella determined under a optical microscope.

d_2: the thickness of an elemental mineral lamella calculated from the spectrum by using the equation (4-2).

n: the order of the spectrum shown in the sixth column.

w_1: the wavelength of the first order spectrum calculated from the equation (4-2) by using the value of d_1 and μ (＝Nx in Fig. 4-9).

w_2: the wavelength of the first order spectrum determind by the spectrophotometric reflectance of each pearl.

次の波長が赤外部にあつて第2次の波長によつて赤色に見え，強い光沢感のピンクのみられないものでは第1次及び第2次の波長が赤外部にあつて第3次が青色部から緑色部にあつてそれぞれの呈色がみられる。この両者の間では真珠層単位鉱物薄板の厚さも異なり，前者に属する真珠では $d=0.35\sim0.43\mu\pm0.02\mu$ を示し，後者に属するものでは $d=0.45\sim0.58\mu\pm0.02\mu$ を示す。しかし第3次の干渉による呈色はたまたま一致したのであつて，真珠の場合はシルバーに呈色するように思われる。すなわち，アコヤガイ真珠において真珠層の単位薄板 d の厚さの差によつておこる着色は薄板の厚さが薄いとピンクを，厚いとシルバーを示すと考えられる。この結果は顕微鏡下で得た単位薄板の厚さと視感覚にて判定した色相との関係ともかなりの一致をみる。真珠は球状のためにFig. 4—8のごとく簡単にはいかず，貝殻真珠層にみられるような鮮明な虹色はなく，概して淡い着色を示す。また単位鉱物薄板の厚さが必ずしも一定に揃つていないし，たとえ同一の厚さをもつた薄板からなる単一体があつたとしても，真珠層全体が唯一の単一体からなる事はなく幾つかの単一体の重畳からなるのが一般的である。したがつて，反射極大の山は相当広い幅をもつと同時に，その中心波長や単位薄板の一枚の厚さは完全には理論値とは一致しないで大体の近似値を示す。

若し真珠層が非常に均一な単位鉱物薄板と conchiolin 膜との整然とした交互層からなる多重層薄膜からなるならば，反射率曲線において反射光は狭い波長範囲に鋭いピークとして現われ，波長固有の強い着色があると考えられる。しかしながら以上に述べたごとく，真珠は必ずしも強い光沢をともなつた虹色をもつとは限らず，美事な虹色の着色のみられる方がむしろ稀である。この相違は層構造によつて着色されていると考えられる真珠の反射率曲線にみられるピークの平坦化の原因を追究する事によつて明らかにされるであろう。言葉を換えて言うならば真珠層板における光の干渉現象に負として働く因子を解析する事により，真珠の虹色の消長機構が明らかになる。

真珠のように層状構造を有する物体において，光の干渉を弱める負の要因としては単位鉱物薄板の厚さの変化及び層構造の乱れが考えられるから，今顕微鏡下で直接に観察された真珠層の層構造及び表面構造より推定される層構造の乱れの種類を大別し，その光学的性質を調べてみる。

a) 真珠層構成単位鉱物薄板の厚さが大きい場合。

真珠層を構成している単位鉱物薄板の厚さは，これを産出する貝の種類によつて著しい差がみられ，同一種及び同一個体でも鉱物板の形成された際の母液の物理化学的な差によつて相当の変化がみられる。今，均一な単位薄膜からなる多重層膜に入射した白色光の強め合う波長 λ_1 と消し合う波長 λ_2 を考えると，(4−2) 及び (4−3) 式より

$$2d\mu\cos\theta = n\lambda_1 = \frac{(2n+1)}{2}\lambda_2 \quad \cdots\cdots (4-4)$$

すなわち

$$\lambda_1-\lambda_2=\frac{\lambda_2}{2n} \quad \cdots\cdots (4-5)$$

ここで単位薄膜の厚さ d が λ_1 または λ_2 に比較してかなり大きい時は n は十分大きくなければならない。したがつて (4—5) 式から $(\lambda_1-\lambda_2)/\lambda_2$ は非常に小さくなるから，強め合う色と消し合う色の波長は極めて接近し，スペクトル中各色の一部が消される結果

白色となるであろう。すなわち，単位薄膜の厚さが λ_1 及び λ_2 に比較して相当大きくなると高次の干渉が沢山おこつて，皆重なり合うため白色となる。例えば，アコヤガイ，イケチョウガイ及びドブガイで得られた真珠層単位薄板のそれぞれの最大の厚さについて可視光線範囲（380～700mμ）内におこる干渉を計算すると Table Ⅳ—9 のごとくである。

Table IV-9. The wavelength (mμ) and the order of the diffraction which seems to be given by the different thickness of an elemental mineral lamella of the nacreous layers.

Material \ Order of spectrum		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
P. martensii	d*= 600	612	459												
H. schlegeli	d=1800						688	612	551	501	459	424	393		
Q. undata	d=2000							680	612	556	510	470	437	408	382

* Thickness of an elemental mineral lamella used in this investigation (mμ).

可視光線範囲ではアコヤガイ真珠層は変化し得る最大の厚さの単位薄板をもつてしても生ずる干渉は3次及び4次の二つであるが，イケチョウガイ真珠層は8次，9次，10次，11次，12，13，14次の七つの干渉が生じ，ドブガイでは9次以上の高次の干渉が更に沢山おこつて，互いの波長は次第に接近してくる。これらの結果から，ここで少なくとも言い得る事はアコヤガイ真珠ではかかる原因によつて生ずる白色はないが，上記の他の2種においてはこの原因による白色が生ずる可能性がある。

b)　隣接する真珠層構成単位鉱物薄板の厚さが乱れながら重畳している場合。

アコヤガイ及びイケチョウガイ真珠の真珠層断面に普通に観察し得る乱層形式であり，こうした乱層が真珠層中に存在する真珠は光沢感が悪くなると同時に，虹色を失い白色を呈する（Fig. 4—10のA）。すなわち，入射光は隣接鉱物薄板が不均一なために特定の波長が強められる事がなく，それぞれの薄板で回折された光の波長が少しずつずれて重なるため，反射率曲線は平坦化し白色を呈するものと考えられる。この形式の乱層の形成には幾つかの原因が考えられるであろう（第3章参照）。

c)　それぞれ均一な単位鉱物薄板からなる単一体の多数の重畳からなる場合。

真珠層全体が均一な厚さを有する単位鉱物薄板のみからなる事は稀で，一般には均一の厚さを有する単位薄板からなる単一体が周期的にあるいは非周期的に重畳している。この場合，第2章で述べたごとく，単一体には (1)隣接する単一体を構成する微結晶の結晶学的配位は規則的であるが，単位薄板の厚さが異なるもの，(2)隣接する単一体を構成する単位薄板の厚さは均一であるが，それぞれの単一体を構成している微結晶の結晶学的配位に多少のずれを生じているもの，及び(3)隣接する単一体を構成する単位薄板の厚さが異なり，且つ構成微結晶の結晶学的配位がそれぞれでずれているものに分類できる。(1)及び(3)の単一体からなる真珠層ではこの単一体の幅が小さく，激しく変化する時には (b) に示したものと単位は異なるが，入射光に対して類似した性質を示し，真珠の光沢感は悪くなり白色を呈すると考えられる（Fig. 4—10の B）。

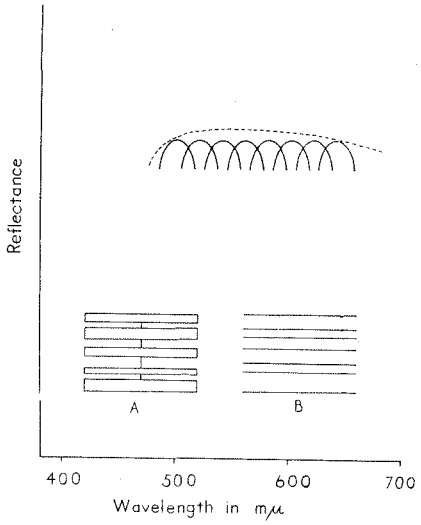


Fig. 4-10. Effect of the disorder of laminary structures upon reflection curve. A: the disorder of the thickness of adjacent mineral laminae, B: the disorder of the small localized laminae groups with regular elemental mineral lamella.

d) 真珠層構成単位鉱物薄板のそれぞれの接触面に凹凸がある場合。

真珠層表面に成長している鉱物結晶にみられる結晶面に腐蝕溶解像がしばしば連続的に長期間にわたつて認められる事があるが，こうした時に形成された真珠層中の結晶間及び重畳する単位薄板の接触面は凹凸面および非顕晶を形成する事が推察できる。こうした凹凸面および非顕晶を内在する真珠層に光を入射すると，これらの面での光の乱反射が考えられる。従つて真珠は光沢感に乏しい白色不透明となる。

e) 真珠層中に散乱層が存在している場合。

特定の条件のもとで，真珠層中に往々光の散乱層あるいは散乱面が短期間形成されることがある。もちろん，入射光はこの散乱層によつて乱反射され，散乱層の規模によつてはこの層以前に形成された層の光学的性質を著しく制約するし，この散乱層が表面近くに存在する時は真珠の白色不透明化と光沢感の低下をもたらすが[108]，表面及び極く表層に存在しなければほとんど影響を及ぼさないものもある。

f) 真珠層全体の巻きが薄く，しかも核表面での光の散乱が著しい場合。

後述するように色相によつて異なるが，核面上に真珠層のみが 0.3mm 以下しか存在しない時には核面からの反射光を肉眼的に感受し得るが，この場合必ずしもこの反射光のために光沢感が悪くなり白色不透明化を招くとは限らない。しかし形成層中及び核表面での乱反射の著しい時には光沢のにぶい白色を呈する。そして多くの場合，薄巻きという形成条件には後者の要素が附随しているので，薄巻き真珠は一般に光沢感の悪い白色不透明を示す。もちろん非常に薄いがために核の白色が表面に投映する現象はしばしば経験すると

ころである。

以上に指摘したような真珠層構成鉱物成分における変化はそれぞれ真珠の白色不透明化をまねく事がわかる。今，Fig. 4—6 の各点をそれに対応する真珠の真珠層構成単位薄板の厚さで置きかえて，色相と単位鉱物薄板一枚の厚さとの関係を示すと Fig. 4—11 のご

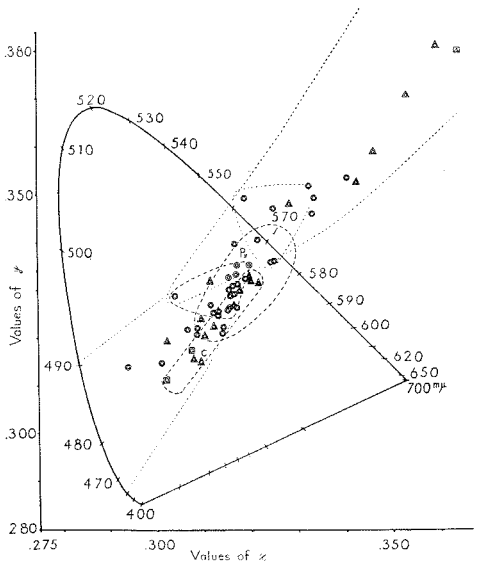


Fig.4-11. Color and thickness of an elemental lamina of the pearl. Each point in Fig. 4-6 is replaced with the thickness of an elemental lamina of the pearls. The inner and outer marks show the thickness of a lamina in the nacre near pearl nucleus and surface, respectively.
○: 0.35 - 0.43 μ, △: 0.45 - 0.55 μ, □: upper 0.56 μ.

とくなる。図の各点における内外の記号はそれぞれ真珠形成初期及び採集時直前に形成されていた真珠層中の鉱物薄板一枚の厚さを示し，各記号は一枚の単位薄板の厚さの違いを現わしている。図からわかるように，真珠形成初期に形成された単位薄板の厚さと色相との間には明白な関係は認め難いが，真珠表面近くの層にある単位薄板の厚さの差は異質貝殻物質が介在していないものではピンク系及びシルバー系領域（Fig. 4—6, Ⅰ及びⅡ）において，かなり選択的な分布を示しているのが認められる。すなわち，No. 5, 7, 8, 9及び17のように単位薄板一枚の厚さが0.35～0.43μ を示す真珠は図中 Pg 点方向に集まる傾向を示し，これらの真珠の反射率曲線における極大波長から（4—2）式にて求めた d 値と良い一致がみられ，肉眼的には強い光沢感をともなつたスキンピンクの呈色を示す。これに対してかなり厚い単位薄板を持つ淡水貝真珠及び貝殻真珠層 No. 26, 27は CIE 色度図の C点附近に分布しており，この真珠が示す反射率曲線の平坦化は（4—5）式より理論的に説明し得る。もちろん，視感覚では乳白色不透明である。一方，単位薄板の厚さが0.45～0.60μ の範囲を示すアコヤガイ真珠はピンク系及びシルバー系各領域の重複域に分布している事が多く，この真珠の反射率曲線の平坦化はこの d 値の範囲では（4—5）式より説明し得ないし，一般に光沢感が前二者に比べて劣り，また透明度の低い白色ないし銀白色を呈する。次に他の領域，すなわちイエロー系列及びブルー系列においても単位薄板の一

枚の厚さが0.35～0.43μを示す試料はPg点方向に集まる傾向がかなりみられるが，両系列における分布点には真珠層構成単位鉱物薄板の厚さの差よりも，むしろその他の着色因子—異質貝殻物質及び黄色々素の存在—が主因となつていると思われる（Fig. 4—7 を参照)。なお，イケチョウガイ真珠の“うすさんご”色は腿色する事から物理的な着色機構に因子を求め難く，光沢と正の相関がみられたのは鉱物化と色素代謝に附随的なものがあつたと考えられ，それぞれ別の形質の属性であろう。また“あかむらさき”は“うすさんご”色を呈する真珠層中に殻皮層の形成がみられた時に生じていた。

以上の観察結果より，真珠の色相を着色機構別に

1) 真珠層自体の多重層薄膜類似構造による光学性。
2) 真珠層以外の介在異質物の光の選択吸収。
3) 真珠層中に含有する黄色々素の光の選択吸収。

の三つに分けることが可能である。この内(1)による着色機構が真珠色相の基本となるから，(1)は単独に真珠の色相を決定し得る。しかし他の2機構に着色の主因のある場合には，少なくとも2種以上の着色機構の重複によつてその真珠の色相が決定されると考えられる。たとえばスキンピンクの No. 17，シルバーの No. 23及びホワイトの No. 27等の着色は(1)の機構によつて単独に決定され分化した色相であるが，No. 11 及び 54 は(1)及び(2)，No. 38は(1)及び(3)，No. 42は(1)，(2)及び(3)の機構の重複により決定され分化した色相である。しかも異なる着色機構の重複によつて色相が決定された場合には，これらの着色決定因子が空間的に別々に現われる場合と，空間的に同時に現われて作用する場合とがあり，前者は(2)の着色機構の加わる総ての真珠と(3)の機構の加わる一部の真珠であり，後者は(3)の機構による多くの真珠におこる。従つてイエロー系の真珠層形成過程において時間的に連続的に黄色々素が加わる場合と，断続的に同色素の加入するものがあり，真珠の切片を

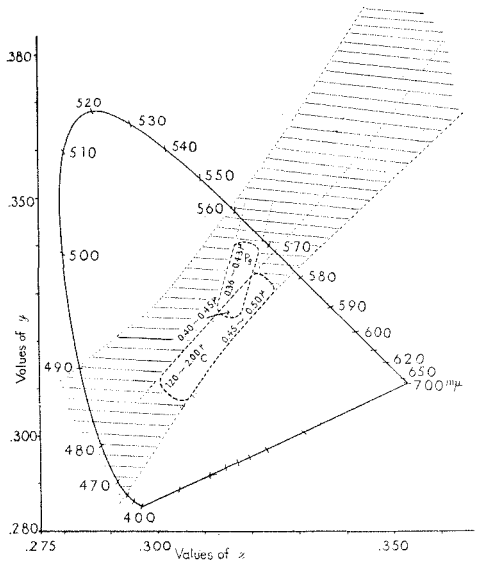


Fig. 4-12. Figure showing the locus of the thickness of an elemental lamina of pearls in CIE color diagram.

作る事によつて容易に確認できる。

ここで真珠層自体の多重層薄膜によつて生ずるスペクトル色を単独にとりだし，その分布を推定してみると Fig. 4—12のようになる。図中単位薄板一枚の厚さの変化にともなうスペクトル色の連続した軌跡を求める事は出来ないが，CIE 色度図のC点より厚さが減少するに従つて Pg 点方向に移動する傾向があり，この流れの上にあるアコヤガイ真珠の反射率曲線には 407mμ，430mμ 及び 460mμ の位置に固有の吸収が顕著にあらわれる。しかし真珠の層状構造は理想的な均一の厚さからなる多重層薄膜とは異なるために，その反射率曲線の特定波長が鋭いピークとして現われず，一般に幅広いゆるやかなピークを示し，鮮明な着色はみられない。したがつて CIE 色度図上で単位薄板の厚さの変化にともなうスペクトル色の軌跡は明瞭でない。なお斜線部への色点の拡散は介在異質物及び黄色々素の存在によつて生じたもので，反射率曲線における固有吸収が不顕著であり，前者よりも彩度が一般に大きい。

真珠色彩に及ぼす介在異質物の厚さの限界

真珠が商品的価値を生ずる最低の条件は真珠層が適当量以上形成される事である。若し適当量の真珠層が形成されなければ，核面及び核内部で散乱された光のみられる薄巻き真珠あるいは下層に形成された異質貝殻物質の影響を著しく受けた粗悪真珠となる。こうした品質の劣悪をひきおこさぬための真珠層の最低限界量は形成された真珠層自体の性質，すなわち層状構造及び黄色々素の有無と含有量や真珠層の形成された時の状態，すなわち異質貝殻物質の有無，種類及び量，核面の光学的性状及び彎曲度等の条件によつて異なつてくる。たとえば核面に直接真珠層が形成され，しかも真珠層が均質な構造からなるものでは約 0.4mm の厚さ形成されないと核面での散乱光がかなり明瞭に認められることがあるが，層状構造の乱れなどによつて真珠層が不透明白色化すると，これより薄くても既に核面を確認し得ない。そして真珠層中に黄色々素を有する場合には単位容積あたりの色素含有量によつて大きく変動するが，前述の真珠より更に薄くても核面を認め得ない事はしばしば経験するところで，今までに著者は 0.2mm の真珠層形成で既に核面の完全に認められないゴールドの真珠を観察している。しかし，若し異質貝殻物質が核面に形成されたとすると，そのものの形成量が極く少なくても核面の影響は消失し，それに代つて異質物質自身の光学的性質が真珠品質に大きく作用してくる。

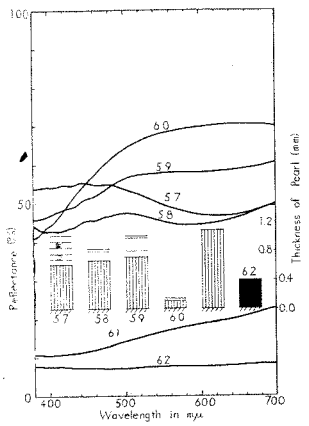


Fig.4-13. Reflection curves of prismatic layer (No. 61) and periostracal (No. 62) pearls, and compound pearl in low grade (Nos. 57 - 60).

前節で述べたように真珠層以外の異質物が真珠形成過程に形成されてくると，その物質の光の選択吸収が真珠色彩に影響を及ぼし，ある種の真珠色の着色機構の主因となる。しかし，その後適当量の真珠層が形成されなければ粗悪真珠となり（Fig. 4—13の Nos. 57～60），ある限度以上に真珠層が形成されたならば，その物質の色彩に及ぼす影響は消失してしまう。すなわち，介在異質物の真珠色相に有意に作用する限界があり，その限界の上

限及び下限は介在異物質の厚さに対するその上に形成された真珠層の厚さによつて主として決定され，異物質の種類及び真珠層の性質によつてかなりの差がみられる。この限界を前節で使用した試料と合わせて153個体について調べた結果を，商品価値を考慮しながら色相系列別に以下に論ずる。

a)　ホワイト←→ピンク←→粗悪真珠

真珠袋上皮自体によつて分泌形成される異質物として稜柱層はかなりしばしば現われるが，大部分は真珠形成初期に形成され，0.3mm 以内の形成後に真珠層に交代しているのが普通である。こうした稜柱層自体の反射率曲線は Fig. 4—13の No. 61 のごとくで，反射率は小さく，長波長に向かつて緩やかに上昇する。この上にある限度以下の真珠層が形成されても，この現象は現われ，その反射率曲線は稜柱層と真珠層の光学的性質の重畳と関与によつて決定される。稜柱層がシルバー及びホワイト系の真珠の内部に介在すると，ある範囲ではピンクの呈色を示す事がしばしばある。今，a を真珠層の厚さ，b を真珠層の下部に形成された稜柱層の厚さとし，両者の厚さの変化と稜柱層の真珠色に及ぼす影響の関係を求め，各点を満足する回帰方程式を求めると Fig. 4—14 のごとくなる。すなわち，真珠の色彩に影響を及ぼさない稜柱層と真珠層の厚さの関係は

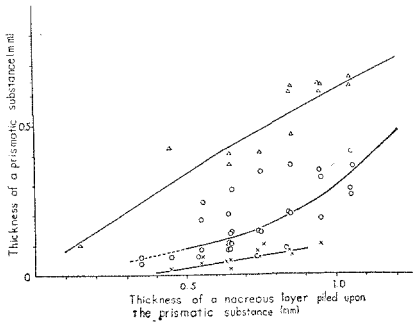


Fig.4-14.　Effect of a prismatic substance upon the color of silver pearls. ×: silver, ○: pink, △: low grade.

$$b=0.542a^2-0.289a+0.065 \cdots\cdots (4—6)$$

で標準偏差は ±0.180である。真珠の色彩にピンク〆として影響するには両者の関係は

$$b=0.701a^2-0.662a+0.255 \cdots\cdots (4—7)$$

で標準偏差は ±0.084である。一方両者の関係が

$$b=0.016+0.668a-0.075a^2 \cdots\cdots (4—8)$$

を示す時は粗悪真珠となり，その標準偏差は ±0.062である。ここでシルバー系の真珠では核面に直接真珠層が形成された場合，約0.3～0.4mmの厚さ以下では核面がみえるから，この限界以下でこの式に矛盾を生ずる。

以上，稜柱層が真珠の色彩に影響し，危険率5％でピンク色の呈色を生ずると考えられる範囲 R は

$$0.701a^2-0.662a+0.214<R<0.701a^2-0.662a+0.296$$

である。この範囲において稜柱層の介在は真珠のピンク呈色にしばしば関係してくる。また真珠層の厚さが1.0mm 以下では稜柱層と真珠層とが約 0.61：1.00 の関係以上に前者が形成された場合に粗悪真珠となる。

b)　ホワイト←→ブルー←→粗悪真珠

介在異質物のもう一つは有機物質で，やはり真珠形成初期に形成されるものが大部分で，形成起源から真珠袋上皮の分泌活動によるものと，周囲組織及び遊走細胞の集積壊死したものとがある。いずれの場合も多少の差はあるが，その反射率曲線は Fig. 4—14の No.62 のごとくで総ての波長の光をほとんど吸収する。こうした物質の上をおおつて真珠層が形成されると，両者の光学的性質が関与しあつて一般に新しい反射率曲線を作り，ブルーの

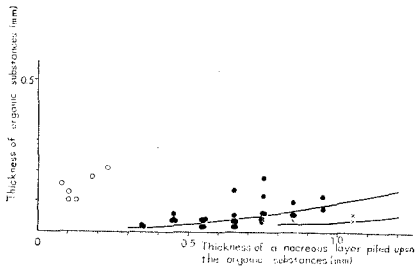


Fig.4-15.　Effect of organic substances upon the color of silver pearls.　×: silver, ●: blue, ○: low grade.

呈色がみられる。今，この有機物質の厚さを c，その上に形成しているシルバー系の真珠層の厚さを a とし，有機物質の真珠色に及ぼす影響を求め，各点を満足する回帰方程式を求めると Fig. 4—15 のごとくなる。すなわち，真珠色に影響をもたらさない有機質層の厚さは真珠層の厚さに対して次の方程式で得られる。

$$c=0.179a^2-0.289a+0.146 \quad \cdots\cdots (4—9)$$

標準偏差は ±0.010である。ブルーとして呈色に関係する有機質層の真珠層に対する厚さは

$$c=0.089a^2+0.009a+0.001 \quad \cdots\cdots (4—10)$$

の方程式で得られ，標準偏差は ±0.035である。一方，有機物質の介在によつて粗悪真珠となるものは真珠層がある程度以上形成されている場合には色彩の面よりも，外形的な問題が加味されるために，極く真珠層が僅かしか形成されなかつた時にのみ論じた。しかし，今回は試料点が少ないので回帰方程式を求めなかつた。

以上の事から有機物質は稜柱物質に比較して極く僅かの形成によつても真珠色にただちに関与してブルーの呈色をみる。したがつて真珠形成初期に部分的に現われると，その量が少なくてもかなり後までシミとして品質に影響する。

c)　イエロー←→グリーン←→粗悪真珠

異質物がシルバー系真珠層の下に形成されている場合には異質物の種類によつて呈色が異なつたが，もしイエロー系真珠層の下に形成されているならば，異質物の種類に関係なくグリーンになる傾向が認められる。ただし，この場合には以下に述べるようにその種類が異なるとグリーン呈色の効果に差を生ずる。今，イエロー系真珠層の厚さを a，その下に介在する異質物の厚さを d として，両者の厚さと呈色の関係を求めてその点を Fig. 4—

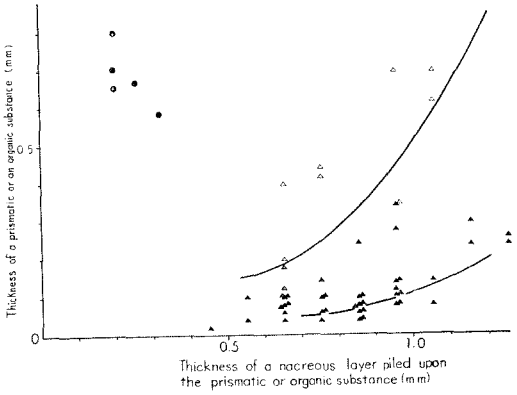


Fig.4-16. Effect of prismatic and organic substances upon the color of yellow pearls. ▲: yellow, △: green, ●: low grade.

16に記入し，各点を満足する回帰方程式を求めてみた。すなわち，真珠色に影響しないための異質物の真珠層にたいする厚さは

$$d=0.472a^2-0.586a+0.227 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4—11)$$

によつて表わされ，その標準偏差は ± 0.065である。一方，イエローがグリーンに転色するためには真珠層の厚さに対する異質物の厚さが

$$d=1.311a^2-1.223a+0.429 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4—12)$$

なる関係を示す場合で，その標準偏差は ± 0.373を示す。そしてマイナス側の偏差領域に分布する各点はほとんど異質物が有機質層である事がわかる。この試料においても粗悪真珠を示すものが少なかつた為に回帰方程式を求めなかつたが，シルバー系に比べてかなり多量の異質物が介在しないと粗悪真珠にはならない。この事は (4—12) 式の向配が (4—7) 及び (4—10) 式に比較して大きい事からも判る。

以上に異質物の真珠色に対する影響とその限界を求めたが，前述のように異質物の介在は反射率曲線においては反射率の一般的低下をもたらし，異質物はその上に形成された真珠層の性質によつて呈色が異なるだけでなく，その影響を及ぼす限界が異なり，シルバー系真珠では粗悪真珠となるべきものでもイエロー系真珠ではグリーンとして呈色し，粗悪真珠にはならない事が判るであろう。いずれにせよ，この種の真珠の呈色において異質物と真珠層の相対的な厚さは曲線回帰を示す。

考　　察

この章で観察したように，真珠の色彩はその着色機構の上から(1)真珠袋上皮の働きによつて作られた真珠層自体の多重層薄膜類似構造による光学性，(2)真珠形成過程中に現われた真珠層以外の異質介在物質による光の選択吸収，及び(3)真珠形成過程中に真珠層物質と並行して代謝された色素体の光の選択吸収，に主因のある三つに大別できる。これらの機構については以前から多くの研究者によつて報告され，真珠色彩の総てをこの内の唯一の

因子でもつて説明された事もあり，またある因子が全真珠色の上に過大評価された事もあつた。真珠が商品的な価値を生ずる最低の条件は真珠層が適当量形成される事である。したがつて(1)の因子はピンク，シルバーの主因であると同時に他の真珠色に強く関与するが，(2)及び(3)は特定の真珠色の主因となるが，単独では真珠としての商品価値もないし，真珠色となり得ない。

規則的な多重層薄膜によつて示される虹色の特性及び光の反射理論については Rayleigh[75]及び久保田等[48, 49](1949, 1950)によつて論じられている。Raman[73, 74](1935)は虹色貝殻構造の特徴を詳細に調べ，これらの貝殻層状構造は多重層薄膜と次の諸点で異なり，この諸因子によつて貝殻の虹色の特徴がもたらされると報告している。すなわち，(1)内部薄板は外表面に平行である代りに傾斜している。(2)薄板は構造的に顆粒状で均質ではない。(3)薄板は普通かなりの厚さからなり薄膜とみなせない事を指摘している。彼の報告によると *Turbo* 貝殻真珠層のスペクトルをとると入射点に対して回折スペクトルが対称に現われない。しかし試料表面像による回折効果を実験的に除去すると第3次回折スペクトルを除いて他の次数のものは消失し，しかもこの対称に現われている第3次回折スペクトルは固有の虹色を示す。この事から表面構造も回折格子として働き，入射光の表面及び内部層からの反射光は単なる重畳ではなく，また表面構造の特性によつて強められる光の波長は非対称的におこる事を実証した。更に真珠層薄板の顆粒状ないしコロイド状構造はよる光の拡散によつて真珠層独特の美しい半透明を生ずるものと考え，各種軟体動物の貝殻真珠層について構成結晶粒の薄板中での相互間の集合，配位，形及び大きさと拡散ハローとの関係を調べて良い相関を求めている。その後 Rama[71, 72](1935) によつてこの拡散ハローとX線回折像との間にきわめて興味ある相関のある事を報告している。Raman のこれら一連の報告によつて軟体動物貝殻真珠層の構造と光学性についてかなり明白となつた。

真珠の真珠層は貝殻のそれと組織学的，物理学的及び化学的に類似しており，後者が球状に形成されたにすぎない事が v. Hessling[101](1857) によつて既に指摘されており，その後多くの研究者によつて組織学的，鉱物学的及び化学的に調べられているが，特に著しい差はみられない。しかし，真珠が球形である事は貝殻真珠層とは次の諸点で差を生じ，後者とは光学性において基本的には同じであるが，異なつた点も生ずると考えられる。すなわち，(1)表面にあるおどり場は彎曲している。(2)真珠層中の薄板は単なる傾斜ではなく彎曲している。(3)真珠層中の各結晶粒の c 軸は真珠形成の中心に対して放射状に配列している。その結果として真珠表面構造は貝殻面のように平坦面にある場合と異なり，回折格子としての効果が減殺され，また真珠層内部薄板における光の反射は貝殻におけるよりも，更に理論値との近似が悪くなる。しかし，真珠層虹色は多重層薄膜による干渉理論で説明していくのが最も妥当と思われる。内田等[96](1947) が指摘し，また今回の観察によつても示されたようにアコヤガイ真珠での虹色は第2次の干渉に起因すると赤色の，第3次の干渉に起因すると青から緑の呈色を示し，それぞれ単位鉱物薄板の厚さの差によつて生ずると考えられる。しかし今回与えられた材料では干渉でおこつていると考えられるブルーやグリーンはほとんどなく，Table Ⅳ—8 に挙げたものはたまたま一致した値をとつたものと考えられ，真珠の場合第3次のものはシルバーの呈色を示すと考えられる。もちろん，貝殻真珠層では干渉によるブルー呈色をしばしば認める。なお，理論的に考えられる干渉

によるイエローがアコヤガイ真珠にあるかは今後追究する。

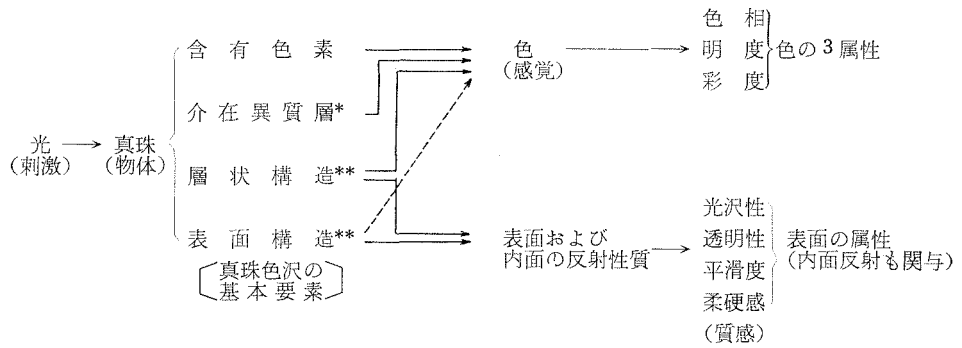
真珠の真珠層中における結晶粒の集合及び配列も貝殻真珠層中における結晶粒のそれと同様に比較的規則正しく，c 軸及び b 軸を特定の方向に配位した二重繊維構造からなつている事は顕微鏡的にあるいはX線的に調べられ，結晶質構造の点では球状にともなう c 軸配位の差を除いては貝殻真珠層と入射光に対して類似した特徴を示すであろう。すなわち，真珠の真珠層においても貝殻のそれと同様に結晶粒子の相互間の集合，配位，大きさ及び形によつて決定された方法で光を回折し，あるいは拡散して，いわゆる真珠にみられる半透明のシルバー系の色をもたらし，光沢感にも影響する事は今回の観察で十分に示されている。こうした真珠層構成粒子の諸要素の変化による光の回折あるいは拡散によつておこる真珠色は光沢と密接に関係しており，また層板の重畳様式が光の干渉あるいは拡散に影響をもたらすから，層板の重畳様式，層中の結晶の粒度，形，集合及び配位の変化は一般に敏感に真珠の虹色に影響し，散乱の著しい時には層の乳白色不透明化をまねく。黄色々素及び異質貝殻物質に主因のある真珠色を除くと，真珠はCIE色度図のC点とPg点一岡田等[64](1953)によつて指摘された真珠の色の中心P，及び内田等[98](1955)に指摘されたPs点と多少ずれる一の間に分布し，0.35～0.43μ の単位鉱物薄板が整然とした層状に重畳する時Pg点に近づく。したがつてPg点近くの真珠は一般に光沢感の強い良質の真珠で，反射率曲線では干渉による反射ピークが顕著である。

Watabe[117](1954) 及び和田[108, 110](1959, 1961)が指摘したように真珠の光沢は表面構造と密接に関係しているが，真珠のような層状構造を有する物体の光沢は表面だけの属性ではなく，表面から30μ ぐらいまでに現われる層構成要素にかなり依存しており，こうした次元において光を乱反射させるような結晶粒の諸変化及び重畳の乱れがなければ，真珠層の一般的顆粒構造に起因する半透明が加わるだけである。しかし従来より薄巻珠は真珠層全体の巻きが薄いがために光沢が悪いかのごとく言われてきたが，薄巻珠を産出する動物の生活々動は低下しており，かかる状態のもとでの真珠の鉱物化においては前進と後退の繰り返しがみられ，結晶粒の諸要素の不均一と層板の乱れをまねく事が知られており，薄巻と光沢感の低下は単なる附随現象であつて，薄巻の光沢の悪い原因は形成された真珠層の光学性に求められねばならない。このほか真珠の色相と光沢感の上に相関があるかのごとく言われてきたが，真珠層自体の構造にその着色機構の主因を求められる真珠では正の相関を示すが，主因が他の着色機構にあるものでは負の相関を示している。また巻き量と色沢との間にはほとんど関係がない事がTable Ⅱ—3，Table Ⅳ—1及び2からわかる。これらの事は着色機構を考慮すれば自ずと明白であろう。

金井[36](1957) はアコヤガイ養殖真珠のブルー系及びイエロー系真珠を観察し，これらの色は真珠形成初期に形成された有機質に原因することを指摘し，有機質自体の色はもちろんであるが，真珠層を通過せる色光に対する有機質の吸光を加味する事の必要性を報告しているが，今回の観察とは必ずしも一致しない。すなわち，真珠の真珠層自体の構造に色相の主因を求められない真珠においては，真珠の光沢と色彩とは独立した要素の属性である。例えばイエロー系真珠では光沢は真珠層に，色彩は黄色々素に求められ，またブルー及び一部のピンク系真珠は光沢は真珠層に，色彩は介在異質物に主因が求められる。後者の場合には介在異質物の種類や量によつても異なるが，この着色機構による場合はある限定された条件のもとに真珠としての商品的価値を有する色彩が生ずる。核全面に一様

に生じた異質貝殻物質をおおつて適当量のスキンピンク系の真珠層が形成されると“花珠”と称する高価な真珠となる。以上に解析して得られた結果を系統的に模式化すると下図のようになる。

真珠の色感覚の分類模式図



*　真珠層以外の物質からなる層。
**　真珠層の表面および層状構造。

要　　約

1)　アコヤガイ及びイケチョウガイ養殖真珠の色沢と構造の関係を調べ，真珠色沢の特徴を究明した。

2)　真珠色（実体色）を着色機構の主因から大別すると

a)　真珠層自体の多重層薄膜類似の構造による光の干渉及び拡散。

b)　真珠層以外の介在異質物の光の選択吸収。

c)　真珠層中に含有する黄色々素の光の選択吸収。

となる。この内 (a) は単独で真珠色となるが，他の二者はこれらの物質の吸光が加味された消光混色として真珠色に反映する。

3)　真珠の色彩は形成初期に異質物が生成するかどうかによつて第1次分化がおこり，その後の真珠質分泌活動の変化や黄色々素代謝の有無によつて第2次分化がおこる。

4)　真珠層の結晶粒相互間の集合，配列，大きさ，形及び層板の重畳様式は真珠の光沢感，透明度，平滑度及び柔硬感に関係しており，真珠においては光沢は単に表面構造のみの属性ではない。

5)　介在異質物が真珠色の着色機構の主因になる場合は，異質物の種類及び真珠層の性質によつて異なるが，限定された条件のもとにおいて真珠色となり得る。

6)　巻き量と色沢との間には極く薄巻のものを除けば正の相関はない。

第5章 加工処理の真珠品質への影響

はしがき

養殖真珠の約80%は通糸連として使用されるが，浜上げ未加工の真珠ではあまりにも色彩において個体差が大きいから，これを小さくし，また社会の好みに応じた色彩を作り出す必要もある。このほか“しみ”，薄巻及び変形などを少なくする事も大切である。そこで常に考えられることは真珠養殖過程で積極的な手段をもつて品質を調整出来たなら，真珠養殖業は現在よりも近代的な企業となるであろうと言うことである。この目的をもつて現在までに種々の薬品を核入手術及び養殖過程に使用し，その薬品の品質に及ぼす効果について多くの研究者が調べてきた。しかし著しい効果のない現在においては，浜上げ珠の加工処理に期待しているところが大きく，各業者によつて加工技術は秘密とされている。加工処理によつて商品的価値が増大するのであるから，われわれにとつて問題なのは真珠の組織をいためないようにして加工する技術を開拓することにある。ここに真珠組織に及ぼす化学薬品の効果についての若干の知見と真珠加工業者が実際におこなつた加工珠の組織の変化，侵蝕されやすい部分及び組織損傷の度合の検査方法を報告する。

観察及び結果

実験材料は真珠及び貝殻真珠層を使用し，化学薬品（過酸化水素，酸及び塩基）による真珠組織の損傷状態を垂直投光管及び電子顕微鏡で調べ，業者による加工珠の組織の損傷状態と比較した。

真珠の硬度はモースの3.5～4に相当しており，採集方法によつて表面に傷を生ずることがしばしばある（Plate XI—39）。また塩磨きによつて真珠表面に孤立散在している結晶が除去されて乱反射が少なくなり，一般に光沢感が急増する（Fig. 2—3）。同一漁場で採集した真珠でもこれを構成している鉱物結晶や conchiolin の生成状態は採集時期が異なると一般に異なり，その結果として真珠の色沢に影響が及んでくる。しかも鉱物粒子が異なり，したがつて conchiolin との接着状態にも差を生ずるから，真珠層組織中に強弱を生ずる。こうした真珠組織の差は漁場別にもおこつているように思われる（著者 未発表）。この組織の強弱は加工処理にあたつて侵される度合に差をもたらすであろう。

今，業者のおこなつた加工珠の表面の数例を Plate XI—40から44に示した。加工処理が極端に過度の場合には Plate XI—41のごとく腐蝕された部分とそうでない部分とに高低の差が著しく，条線模様に不自然な乱れを生ずるが，その後の研磨処理を上手におこなうとこうした凹凸をかなり除去できるので，これらの加工珠では仕上げ研磨の良悪によつて表面の肌や光沢感に著しい差を生ずる。しかし真珠面上に肉眼的な白斑が散在して生ずると，これらの白斑は，多くの場合に亀裂をともなつて真珠内部をも侵しており（Plate XI—40），外力を加えるとその部分は脆くこわれる。したがつて白斑を生じたものは上手に仕上げ研磨をおこなつても完全に補う事は不可能である。こうした侵され易い部分と表面の条線模様との間には明瞭な関係は認め難いが，浜上時で損傷した部分が特に侵されているものを時々認める。

真珠組織の如何なる部分が侵されているかを正確に知るためには電子顕微鏡による観察が望ましい。業者のおこなつた加工珠を調べると (1) conchiolin 部分のみが著しく侵されているもの (PlateXI—42) と (2)鉱物質も著しく侵されているもの (PlateXI—43) の2種類が観察されるが，稀薄な酸によつて適度に仕上げをおこなう時には鉱物質は極めて平滑になし得る (Plate XI—44)。しかし，conchiolin 部分が侵されている時は酸によつて侵蝕された層を除去するか，あるいは外部より適当な物質を添加して conchiolin 部分を補強するかのいずれかの操作をしなければならない。組織の侵蝕と薬品との関係を調べて上記の加工珠と比較してみると次のごとくなる。1%の塩酸に真珠を1分間漬けると，鉱物質部分が著しく溶解して結晶間部分の conchiolin が凸状に残存しているのを認める。28%のアンモニア水に48時間漬けた真珠は conchiolin 及び鉱物質がともに著しく侵されて表面近くの真珠組織はかなり脆弱となつて剝離しやすくなる。これに対して30%過酸化水素に1時間浸したものでは表面及び表層近くにある conchiolin 部分が侵され，鉱物結晶間に溝が出来ると同時に各層が剝離しやすくなる。しかし鉱物質はほとんど腐蝕されない。これらのことについて高山等[87](1958) は示差熱分析によつても実証している。

真珠としての原形は鉱物質なくしては保持し得ないから，鉱物質を侵す薬品に対しては肉眼的にも反応変化が顕著なためにある限界内で一般に注意されている。したがつて真珠の加工の本質は conchiolin 部分の損耗を如何に少なくして目的をはたし得るかを工夫する事にかかつているが，conchiolin 部分が侵されても肉眼的に前者ほど大きな変化を認めないため conchiolin 部分の過度の破壊をまねくまで一般に気がつかない。一方，検査の立場から言うならば，conchiolin 部分が破壊されれば鉱物質は互にゆるんで剝離しやすくなるから，真珠組織の損傷程度は真珠層板の剝離検査と顕微鏡による表面構造の直接観察が適当と思われる。もちろん，硬度を調べる事にも意味があるが，真珠は微細な鉱物結晶が conchiolin によつて接着された状態にあるため，他の要素が加味されて，剝離検査におけるようには適正でないと考える。顕微鏡観察は組織の損傷検査のほかに染色の良悪，添加物の有無を調べるに有力であるが，浜上げ真珠自体に腐蝕像がみられるため，多少の熟練を要する。しかし浜上げ時の腐蝕珠[112,114]は加工珠に比べて剝離検査において明らかに区別し得るし，熟練すれば顕微鏡によつて大部分判別できる。このほか色沢その他の要素も検査対象となるが，真珠の組織が脆弱になることが真珠品質にとつて一番致命的であるから，加工問題に関する限り真珠組織の脆弱を調べるのが最も重要と考えている。

要　　約

加工珠を観察し，加工上の注意及び真珠組織の損傷度合の検査方法を検討した。

第6章　人工真珠の構造

はしがき

最近の人工真珠は優れた色沢を呈し，養殖真珠の代用に使用されるほか，その塗布剤は装飾のあらゆる面に浸透している。一般的に言つて人工真珠は鉛ガラス珠の内面あるいは外面に真珠箔を塗布するもので，真珠箔は以前魚鱗から得たグアニンを使用していたが，現在は炭酸鉛を使用しているものが多くなつてきている。こうした人工真珠が真珠に類似した色沢をもつている事について，その構造の上で類似点と相違点を明らかにし，またその色沢の成因の相違点等を知ることにより人工真珠の構造を養殖真珠に類似させるように工夫改良できるから，その色沢を更に向上させる事に大きな力がある。同時に養殖真珠と人工真珠のそれぞれの特徴を正しく理解して，使用されると考える。ここに人工真珠の構造を観察し，養殖真珠と比較してみた。

実験材料及び方法

使用した材料は日本光研株式会社製の人工真珠で石灰核面に5回塗装したものと，フランス製の人工真珠の2種である。垂直投光管を使用して直接表面を観察したが，後者はアセトンで表面を溶解したものも観察した。

観　　察

Fig. 6—1は日本光研製の人工真珠表面にみられる正六角形の炭酸鉛の薄板状結晶である。結晶の大きさは4～26μでc軸を表面にほぼ垂直に立てて沈着している。その他の結晶学的要素は互いの結晶間において規則性を示していない。光沢感はアコヤガイ真珠の中

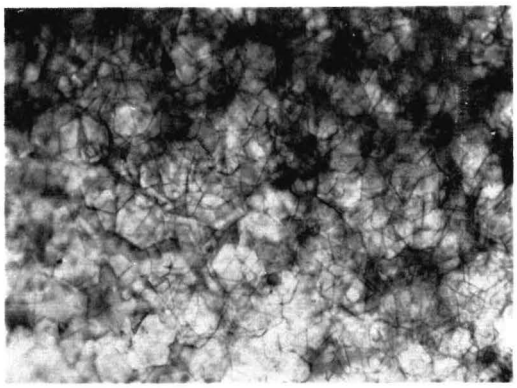


Fig.6-1.　Lead carbonate crystals on the surface of an artificial pearl.　× 310

程度で，色はピンクからグリーンに至る数種が作られている。一方，フランス製の人工真珠の表面は Fig. 6—2A のごとくで，グアニンの結晶の散在した一様な薄膜が，表面をおおつている。この膜はアセトンで容易に溶解し，Fig. 6—2B にみられるような下地を現わす。下地の中にある結晶の輪廓は不明瞭であるが，表面にみられた膜中に散在している

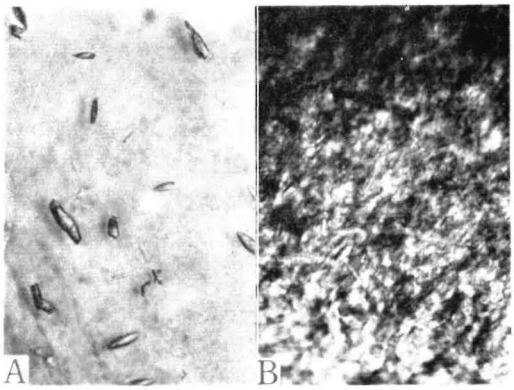


Fig.6-2. Guanine crystals of the herring on the surface of an artificial pearl. A: crystals in a thin membrane covered the surface, B: aggregation of crystals in pearl essence placed under the thin membrane. × 310

結晶と同様に丸味を持つた矩形のようで，グアニンの結晶を作つた塗布剤と思われる。箔結晶の矩形の長辺は 7～21μ，短辺は 2～7μ で，前者同様に薄板状の結晶である。光沢感はアコヤガイ真珠の最上のものに匹敵しており，ピンクの呈色に干渉色が加わつている。

考　　察

蓮[18,19]（1957）は天然箔を使用した人工真珠の箔結晶の光学的性質について詳細に報告している。それによると箔の光沢に関する主な因子は 1)結晶による光の反射，2)結晶による光の回折から生ずる散乱，及び 3)結晶配列の不規則性による乱反射から生ずる散乱の三つである。これに対して養殖真珠は層状構造による光の干渉や鉱物薄板の顆粒状構造による散乱等が重要な因子となつてくる。ここでわかるように人工真珠の色彩は箔結晶による光の回折によつて生ずるものであつて，養殖真珠のような層間における干渉色はおこらない。こうした光学性の差は全く構造上の問題に起因している。すなわち養殖真珠を構成している aragonite の結晶の大きさは約 3～8μ で，厚さは350 ～ 2000mμ であり，一定の配位をもつて conchiolin で接着されて一枚の鉱物薄板を作る。この鉱物薄板と conchiolin 膜が交互に重畳し，全体として二重繊維構造を示し，多重層薄膜類似の光学性を現わすのに対し，人工真珠は大きさ約 4～30μ，厚さ 80mμ のグアニンないし炭酸鉛の結晶が一つの結晶学的要素を表面にほぼ垂直にした不規則な沈着からなり，matrix も多いため多重層薄膜としての光学性をもたず，個々の結晶の反射及び回折によつている。この点，フランス製の人工真珠表面に認められた薄膜は表面薄膜の干渉効果をねらつたものと考えられる。またこの膜中にグアニン結晶が僅か混入しているが，若し意としておこなつたとするならば，これらの結晶による散乱効果をねらつたものと考えられ，この二つの効果が日本製品よりも養殖真珠に類似の色沢を加えているであろう。なお，結晶の形態から考えて鯨鱗よりとつたグアニン結晶と思われる。

要　　約

人工真珠の構造を観察し，養殖真珠と構造及び光学性について比較した。

第7章　生鉱物学的立場よりみた養殖実験の問題点

真珠養殖技術の改良と進歩を効果的にするためには，各研究者の研究結果を一率に比較検討できるようにする事が望ましい。技術改良試験の目的とするところは真珠の品質改善にあるから，その実験結果は常に品質の優劣と結びついて論議される。しかるに現在もなお，真珠の色彩一つをとりあげてみても，色彩の本質を十分に理解していないがために，各人で分類規準を異にしているのみならず，養殖試験の目的が異なつていても一様にあつかうため，目的によつては不適当と思われる規準を採用している報告が多い。その結果として信頼度の薄い結論を導いたり，あるいは理論づけの困難な結論を引きだしている。真珠の品質はその質，外形，巻き，色彩及び光沢の五つの形質によつて決定されるが，本章において取り上げた問題を論ずるにあたつては，ここに改めてそれぞれの形質の属性を明らかにし，如何なる作用因子によつてその形質に差を生ずるかについて考察することは有意義であろう。

真珠の質は成分組成と建築学的構造によつて特徴づけられ，真珠袋上皮の分泌機能の相違によつてもたらされる。真珠袋上皮は植皮の外套膜での本来の分泌機能を獲得した後はかなり安定しているが，本来の分泌機能を獲得するまでは被移植生物体の生活力，挿入部位，手術方法及び核材質の差によつて機能的変化を生じ，異質貝殻物質の形成をみるほか異常形の原因に関係してくる。真珠形成初期における殻皮層及び稜柱層の形成をのぞくならば，巻きは真珠層の形成速度によつて差を生じ，真珠袋上皮の分泌活動の相違によつてもたらされる。しこうして着床後の真珠袋上皮は母床組織と有機的な結合を営んでいるから，その分泌活動は主として被移植生物の生理状態によつて変動する。真珠色の本質は真珠層の光の干渉及び拡散によるが，これに黄色色素や異質貝殻物質が加わつて，それらの物質の光の選択吸収によつて更に多数の色に分化する。このうち光の干渉及び拡散は層状及び顆粒状構造からなる真珠層中で主におこなわれ，ピンク及びシルバー系の呈色をもたらす。真珠層の構造は母液の物理化学的変化にともなう結晶の形，大きさ，成長及び集合や conchiolin との互層によつてもたらされ，巻きや光沢と同様に真珠層形成途上における真珠袋の分泌活動の差に帰納され，この3形質は互いに密接に関連している。真珠のイエロー系の着色は真珠層中に含まれている黄色色素の光の選択吸収によるもので，鉱物化途上における黄色色素の代謝の有無にかかり，前者とともに真珠養成過程の問題に帰納される。これに対して介在異質物の存在は総てのブルー，グリーン及び一部のピンクの呈色を与える。しかるに異質物の介在はほとんどの場合，真珠形成初期にみられるから，核入技術と母貝仕立等にともなう上皮細胞の分泌機能の変化に帰納される。このように色別に着色機構が異なつているから，試験目的によつて比較する色彩の標準を変えねばならない。真珠の光沢は主として表面構造の属性であるが，表面近くの層状構造もかなり関与する。こうした構造の変化は真珠層の結晶成長の差によつてもたらされ，真珠養成過程における真珠袋上皮の分泌活動の変化に帰納されるから，ピンク及びシルバーの呈色と密接に関与してくる。以上のように5形質のうち質及び形は主として真珠形成初期の問題であり，真珠層の巻きに影響するため，この事を考慮に入れておかないと実験目的によつては予想外の誤りを生ずるし，個々の実験は妥当のようにみえても，比較すると矛盾を生じ，また

再現性にとぼしい。

核入技術及び母貝の仕立，養生に関する養殖実験は主として真珠形成初期の問題であるから，貝の斃死率，脱核率，シラ珠，異層形成及び異常形の原因に焦点がしぼられてくる。この点青木の異常形に関する一連の実験[3, 5](1957, 1959)，植本の母貝仕立，養生の研究[99, 100](1961, 1962) 及び山口の後付け法に関する実験[126](1959) には核入技術にともなう興味深い関係が互いの間にみられる。山口[124](1958) 及び蓮尾[24](1961) によるピース貝と母貝との真珠品質に及ぼす影響度において後者が大であるという結果は，着床後の被移植生物体の生理状態が真珠の品質の主な支配因子である事を裏付けるものとして興味がある。また挿入部位による巻きの差についての山口等[123](1957)，沢田等[81](1959) 及び西飯等[62](1961) の報告にみられる相違も一元的に比較し得ない難点があるが，淡水真珠でも挿入部位による巻きに差があるとの報告[55] をみる。著者が実験した真珠についての巻きの差は初期の異質貝殻物質の有無に原因するところも大である(Table Ⅶ—1)。これに対してピースを問題にした実験には理解しにくいものや，結果の比較に疑問のあるものがある。例えば小竹等[46](1957) のピースの型及び大きさが真珠の色沢に関係するという報告や小竹等[46](1957) 及び宮村等[54](1958) の外套縁膜内でのピース採取位置の差

Table VII-1. The variation of the growth amount of pearls according to the formation of a prismatic substance in an early stage of the pearl formation in *P. martensii* (1957-1958).

Thickness of layer (mm)	Nacreous pearls with a prismatic matter	Pearls with only a nacre
under 0.4	0	5
0.4 — 0.6	5	3
0.6 — 0.8	11	3
0.8 — 1.0	4	0

による真珠品質に及ぼす影響，蓮尾[23](1961) の挿入核のサイズの差異が巻きに差を与えるとの報告は，色沢及び巻きの属性を考えると差を生じた原因を他に求めるべきであろう。

真珠養成中における作用因子には漁場の季節的あるいは地域的相違，養殖作業及び方法，病害虫及び異常環境の発生などがあり，これらにともなう手術貝の生理状態の変化が真珠袋上皮の分泌活動に作用して主に真珠の巻き及び色沢に影響すると考えられる。この点真珠層の形成量や色沢の季節的変化についての報告は基本をなすものである(渡部[115]1952, 佐藤[78]1958, 和田[110]1961)。また沢田等[81](1959) 及び三重水試[53](1961) が海域の地域的な真珠品質の相違はその海域内の海況要素からみた漁場位置の相違によつて生ずるものとし，漁場をイエロー系の真珠と巻きによつて類型区分したことは，巻き及びイエローの属性から考えて極めて妥当と考えられる。近年こうした漁場特性の比較によつて，漁場の効果的な利用と開発をおこなおうとする傾向がみられる[22, 35, 89]。田中等[94](1957)は真珠の化粧巻漁場の意義について論じているが，光沢を conchiolin の沈着量と結びつけ，その量が多い時に“ボケ珠”となるとしているが，真珠層は conchiolin の薄膜と鉱物結晶の規則的な互層のために干渉色を示し，また冬眠覚醒期に表面をおおつて平常より厚い conchiolin 膜が形成されたものは光沢量の急増を示す。しかも conchiolin 膜は可視光線

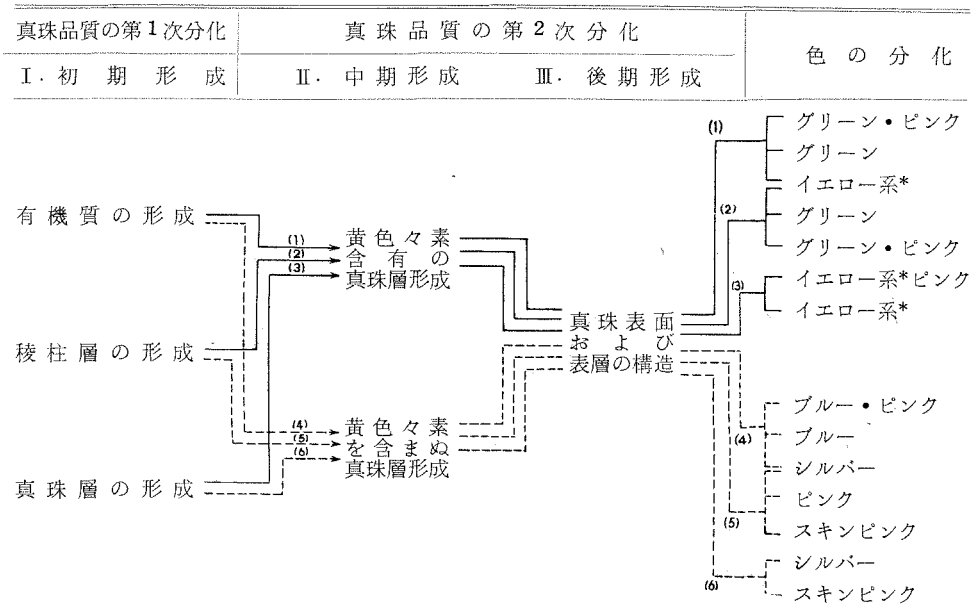
以下の規則的な顆粒状繊維構造からなるし，量的及び構造的な変化は鉱物結晶に比べて極めて少ないから，季節別あるいは漁場別にみるような真珠層の光沢感の差をもたらす因子にはならないであろう。この点でこの報告における論拠に誤りがあると思われる。光沢は主として鉱物結晶の成長及び腐蝕と層状構造によつて左右されるのであつてconchiolinにその因子を求めうるかは明らかでない[107]。もし化粧巻漁場というものがあるとするならば，それは入射光の大部分を正反射するような真珠層の形成に適した時期をより長く有し，しかも巻きの良い条件をかねそなえていることが必要である。こうした漁場で光の正反射層を適当量表面に形成し，優れた光沢と虹色を出させることにその意義をみいだす。片田[37](1959)の低比重の真珠品質に及ぼす影響はこの種の数少ない研究として興味がある。しかしホワイトに呈色する理由を薄巻によるものとしている点で著者の観察から多少の疑問がのこり，表面光沢の観察がないことは残念である。養殖技術面では山口[122](1956)及び五ケ所青年団[14](1959)の垂下様式による真珠の巻き及び色についての報告，垂下深度の真珠品質への影響についての報告（Watabe[118]1955，沢田等[81]1959，五ケ所青年団[14]1959)などがあるが，作用因子についての重みづけの点で違いがみられる。一方，貝掃除及びかご掃除の真珠品質に及ぼす影響についても多くの報告[14, 62, 70, 116, 125]がみられ，巻きに有意義な差を認めているが，この種の養殖実験は実験条件によつてかなりの差があるであろう。しかし山口[125](1958)の貝掃除を全然やらないものでグリーン系の真珠色の少ないという結論はグリーンの着色機構から考えて疑問があり，五ケ所青年団[14](1959)は色に差を認めていない。なお渡部[116](1952)の特殊層線の形成もしばしばみられ，時には太田等[70](1961)の指摘した異質層の形成もおこるであろう。しかし，浜上時に特殊層線がマイナス因子としてどの程度影響するか（和田[108]1959)，またある作業にともなうマイナス面とプラス面との比較によつてその作業の効果を論ずるべきである。その結果としてマイナスのある作業は浜上げ前何カ月内に行なう事の是否が逆算できるであろう。太田[69](1960)及び木村[42](1961)によつて報告されたように，寄生虫による貝の衰弱及び斃死が真珠品質のマイナス因子として存在することは見逃せない。こうした養成中における環境の季節的及び地域差，養殖作業，異常環境及び病害虫の寄生によつて生物体の石灰代謝が変動すれば，直ちに真珠や貝殻面の結晶成長に敏感に現われ，しかも色沢や巻きの速度をある程度判定し得るから，真珠の表面構造の観察は真珠の品質と関連する養殖実験には効果的である。

浜上げで問題になることは真珠品質について言うならば，その時期と巻き量である。もちろん，異質層真珠の出現率は問題となるが，これは主として核入技術に帰納される（和田[107]1959，青木[4]1959)。著者[110](1961)によれば浜上げ時期は英虞湾で12月から2月の間が理想的であると報告している。しかし漁場によつて多少ずれるであろうから，使用漁場の巻き及び色沢の年変化を知ることはその漁場を効果的に利用する必要条件であろう。一方，品質の向上のためには薄巻きで浜上げしないことである。阿山[7](1958)は核面を認めなくなる最小巻量を測定し，ピンクで0.3mm，ホワイトとゴールドで0.4mmと報告したが，著者の結果ではピンク系で0.3～0.4mm，イエロー系では単位容積あたりの黄色色素の含有量によつて異なり，0.2mmで核面の認められないものもある。なお異質層の形成によつて直ちに核面は認められなくなるが，無難な巻き量は0.5～0.6mm以上である。高山[88](1958)は浜上げ方法による真珠表面の変化について報告しているが，後の加

工処理とも関連して留意すべきと考えられる。

以上，第3および4章とここに論じた事を真珠養殖技術改良の点に着目しながら，養殖過程における真珠色沢の分化を模式的に示すと，下図に示したようになる。勿論，真珠の巻きや形は全養殖過程において影響を受け，“キズ”および異質層の生成の可能性は常にあり，不良真珠は主に初期（Ⅰ）で決定され，光沢は主に後期（Ⅲ）で決定される。この図から，アコヤガイ真珠養殖技術改良がどこでなされるべきかが己ずと明らかである。

アコヤガイ真珠の養殖過程における色沢の分化とその制約因子



Ⅰ．制約因子は挿核手術にともなう技術（問題）；挿核技術，母貝の仕立と選別，手術後の養生等にともなう真珠袋の分泌機能の変動

制約因子は海事作業および自然環境の変化（漁場問題）にともなう貝体および真珠袋の分泌活動の変動（生理・組織・生鉱物学的問題）

Ⅱ．a. 黄色々素代謝の有無
b. 石灰代謝機能の変動にともなう層状構造の変化

Ⅲ．a. 浜上げ直前数カ月に形成された層状構造の光学性
b. 浜上げ時における表面構造の光学性

* クリームとゴールドを含む

Abstract

The author studied on the mechanism of pearl formation by biological and physical techniques from the biomineralogical viewpoint as have already been reported in his preceding paper entitled “Crystal growth of molluscan shells”.

Pearls are a complex system consisting of the alternate accumulation of mineral and organic substances as in the case of calcareous shells of molluscs. Carbonate minerals

in nacural and cultured pearls of *Pinctada martensii* (Dunker) show aragonite type in the nacre and calcite type in the prismatic substance. Consequently, mineral constituent of pearls depends on shell substances occurred in the processes of pearl formation. For example, pearls with only a nacreous layer are composed of fully aragonite. Same mineral constituent was seen in the natural and cultured pearls. But, in the present investigation, calcium peroxide was detected in the pearls, which was called "kotsu-dama", created in *Hyriopsis schlegeli* (v. Martens) with X-ray analysis. The author yet has no papers on calcium peroxide in molluscan mineralized tissues, so a detailed report will be given elswhere.

Schmidt (1923) observed the crystalline element in various pearls collected from *Mytilus edulis* and *Meleagrina margartifera* under crossed nicols and stated that thin slices of the pearls were the analogous appearance to spherulite of minerals in a polarized light but the structure and the mechanism of their formation were very different between each other. Wada (1961) has pointed out that the tension and elongation of the shell-forming tissue govern directly or indirectly orientation of inorganic crystals during the mineralization of molluscan shells, and the definite current would be occurred in the mother fluid surrounding a shell surface by such powers. The natural and cultured pearls of *P. martensii* and *H. schlegeli* are divided into following four kinds in their architecture: (1) The nacreous layer pearls showing the concentrical laminary structure of mineral laminae and conchiolin membrane piled up alternately around the center of a pearl. As the crystalline texture of the nacre of these shells shows, the nacre of the pearls have the double fibrous structure of aragonite microcrystals, their orthorhombic *b* and *c* axes being nearly parallel to the dominant directions of growth which are horizontal and vertical to the pearl surface respectively. The orientation of their *b* and *c* axes is indicated schematically in Figs. 2-9 and -28. Accordingly, under conoscope, thin slices parallel to a pearl surface give the directions image of biaxial crystals (Fig. 2-8), and the extinction as a spherulite is revealed in vertical thin slices cut through the center of a pearl under crossed nicols (Fig. 2 - 10). (2) The prismatic layer pearls, each prism of which elongating radially towards the surface of a pearl from its center, and polygonal prismatic structures being more dominant than laminary ones in a vertical section under optical microscope. The *c* axis of calcite microcrystals in the pearls arranges nearly parallel to a morphorogical long axis of prisms. The architecture of prismatic layer of the pearl does not differ from that of the shell except radial aggregation of prisms found in a pearl. (3) Periostracal pearl of *P. martensii* has, for the most part, not only organic substances but also some mineral matters which are deposited at random. Organic substances constructing the pearls do not always coincide with the periostracum of the shell, but very often contain many dead wandering cells. Of course, the periostracal layer secreted from pearl-sac epithelium shows roughly laminar structures. (4) The hypostracal pearl is produced by the characteristic pearl-sac happened within an adductor muscle, and is mostly composed of the nacre and the hypostracum alternately piled up. The

hypostracal layer in pearls shows the prismatic structure just like the prismatic layer of ones (Fig. 2-7), but its mineral is of aragonite. Moreover, thin slice of the layer showed a brilliant appearance under optical microscope, and its laminary structure is rather indistinct under an electron microscope in comparison with other pearls (Plate VI-21). The author had no pearl with a hypostracal layer produced by any pearl-sac derived from a mantle piece which was grafted in the gonad of *P. martensii*, and could not find a pearl with only a prismatic layer of *H. schlegeli* given in this work.

Homoplastic and heteroplastic transplantations were done to elucidate following three points: (1) The relations of mineralization of pearls between grafts from various areas of a mantle and different parts of a soft body into which these grafts were inserted. (2) The effects of the movement of epithelial cells in a graft upon the definite arrangement of shell substances in the pearl and shell formation. (3) Polymorphism of calcium carbonate in the processes of mineralization of molluscan shells and pearls. Homoplastic transplantation was carried out with *P. martensii*. A mantle piece grafted in the gonad or the adductor muscle was developed into pearl-sac in 10 days after operation in summer (water temperature; 25-28°C), and deposits also scattered on pearl nucleus by that time. Although deposits were varied with the features of the epithelium of a pearl-sac during pearl formation, the differentiation of secreting function and feature of most pearl-sac epithelium seems to be already decided by the graft irrespective of the grafted parts. For example, pearl-sac epithelium originated from a piece of the mantle edge is dominant to produce periostracal substance at an early stage of pearl formation and thereafter prismatic layer. Moreover, pearl-sac epithelium derived from a piece of the middle part and cavity of the mantle secrets nacreous substances, though the other shell substances are formed at an early stage (Plate IV-14). Histological difference between the gonad and the adductor muscle probably has no effect upon polymorphism of calcium carbonate in molluscan shells and pearls, but seems to have some effects on the architecture of pearls. In heteroplastic transplantation, *P. martensii* was employed as the host, and *Clamys nobilis* (Reeve) and *Ostrea gigas* Thunberg, having shell valves consisting of only calcite, were chosen as the donor. All species belong to the order Anisomiaria. The manner and pace of the movement of the epithelial cells in the mantle pieces cut off from the latter two species were similar to those observed in the homoplastic transplantation for several days after the operation, but the graft began to be absorbed before long and completely disappeared until two months after the operation. Deposits contained mineral matter appeared between coverslip and graft during the process of the spread of epithelial cells (Figs. 3-12 and -14), though the mineral could not be determined in this experiment.

For the observation on relations between deposits and living epithelial cells, a mantle piece was sandwiched between two pieces of coverslip, about 2×3mm in size, and was inserted into the adductor muscle of another pearl oyster. Epithelial cells in a graft began to wander along the fiber axis of muscular cells and spread in an unknown definite direc-

tion few days after the transplantation (Figs. 3-6 and -7). Positive organic substance in metachromasia reaction was revealed about 4 days after the operation and small sphelurite of calcium carbonate came to grow here and there. The sphelurite grew up larger, very often increasing in size larger than epithelial cells existed there, although the single crystal was of course very small. The arrangement of deposits appeared never to occur at random (Figs. 3-7 and -8b). That is, it seems that the fixation of calcium and the orientation of mineral crystals were governed directly or indirectly by the elongation of epithelial cells, the morecular structure of organic matrix and the presence of mucopolysaccharide, as had been assumed in molluscan shells (Wada, 1961). The author could actually observe bead-like fibrous structure of conchiolin in a definite direction on the (001) plane of aragonite crystals (Plate III-10). It had already been described that the orientation of the crystallographical axes of microcrystals in pearls was related closely with the growth directions of the nacre. These results suggest that the tension or the elongation of the epithelium in a definite direction is present in a pearl-sac as in a mantle.

The growth and aggregation of mineral crystals in pearls were not, as a rule, different from those in shells, but were remarkably varied according to the seasonal changes in the physiological activity of an animal. Besides, the secreting activity of a pearl-sac is affected by the abnormal conditions of environments and animals, showing considerable individual variations. Mineral crystals on a pearl surface are eroded sometimes. The superficial and laminary structures of pearls are decided by the shape, particle size and aggregation of crystals, and are concerned in the reflection of a light. Although many workers have reported that the frequency of yellowish pearls is varied with the culture depth and the culture farms, and that the thickness of yellowish pearls increases larger than that of other colored pearls in a same culture period, the occurrence of the yellow pigment in pearls seems to have no correlation with the speed of calcium metabolism. In *P. martensii*, the thickness of an elemental mineral lamina in pearls does not correlate with the speed of calcium carbonate deposition, whereas the thicker is the elemental mineral one in pearls, the more increases the speed of calcium carbonate deposition in *H. schlegeli*. The growth rate of a prismatic layer in *Pinctada* pearls is about two times of that of a nacreous one.

Raman (1935) examined the iridescent shells and discussed the iridescence exhibited by the light reflected between mineral lamellae and on the surface of them. The relations between the color and the thickness of an elemental mineral lamina in *Pinctada* pearls were reported by Ōmori (1948), Uchida *et al.* (1947) and other workers. According to Watabe's (1955) and Wada's (1961) reports, the luster of pearls was close with their superficial structure. The present observations were also indicated that the luster of pearls was mainly attributed to the superficial texture of the nacre and to the laminary structure in the subsurface of pearls. The granular structure and the disorder of mineral laminae occurred during the accumulation of the lamina seem to give the nacres the translucency exhibited by pearls and sometimes reveal the characteristic iridescence out of the layer. The optical effects exhibited by the nacre are somewhat different from the colored

reflections by films, and the reflection curves of pearls tend to be level in spectrophotometric reflectance. The color of such pearls may probably be explained by the diffusion and the reflection of light between mineral laminae, and is related closely with their luster. While colorings of yellow and blue pearls of *P. martensii* are respectively due to the yellow pigment occurred in the nacre and the other shell substances, prismatic and periostracal substances, formed during pearl formation (refer to Figs. 4-7 and -11). The iridescence and the body-color of pearls exhibited by the structural elements of the nacre move about in the locus as shown in Fig. 4-12, and the colors of pearls which are attributed to the yellow pigment and the other shell substances deviate from this locus and spread over in the area which is lined obliquely (Fig. 4-12).

文　　献

1. Abolins-Krogis, A. 1958. The morphological and chemical characteristics of organic crystals in the regenerating shell of *Helix pomatia*. Acta. Zool. 39: 19.
2. Amer. Assoc. Adv. Sci. 1958. Calcification in biological systems.
3. 青木　駿　1957. 真珠養殖におけるそう核施術に関する研究Ⅱ. 外とう膜片の外面が核に接着しなかつた場合について. 国立真珠研報 3: 218.
4. ———— 1959. 真珠養殖におけるそう核施術に関する研究Ⅲ. 外套膜縁, 外套縁膜, 外套腔各部よりそれぞれ切り取られたピースを用いて施術を行なつた場合について. 国立真珠研報 5: 503.
5. ———— 1959. 真珠養殖におけるそう核施術に関する研究Ⅳ. 真珠の形質とそれが形成された位置との関連性. 国立真珠研報 5: 516.
6. 足利千枝　1950. アコヤガイの生化学的研究　5. 貝肉中の不鹸化物並にステロール量の季節的変化. 農化. 24: 436.
7. 阿山多喜也　1958. 真珠の巻きについて —真珠はどれ程巻いたらよいものでしようか— 真珠研究会報　2(2): 26.
8. Bevelander, G. 1951. A study of calcification in molluscs with special reference to the use of P^{32} and Ca^{45}. The New York Journal of Dentistry. 21(8—9): 305.
9. ———— 1952. Calcification in molluscs. III. Intake and deposition of Ca^{45} and P^{32} in relation to shell formation. Biol. Bull. 102(1): 9.
10. Cahn, A. R. 1949. Pearl culture in Japan.
11. Carl, S. 1910. Die Flussperlmuschel (*Margaritana margaritifera* L.) und ihren Perlen. Verh. nat. Ver. Karlsruhe, 22.
12. Faust, G. T. 1950. Thermal analysis studies on carbonates. (1) Aragonite and calcite. Amer. Mineral. 35: 207.
13. 福田　保・山田照三・岩田　稔　1954. 真珠の色について. 大阪工業技術試験所報 5:
14. 五ケ所青年団　1959. 垂下深度, 貝掃除の回数および垂下様式が真珠の品質に及ぼす影響について. 真珠研究会報　3(10): 14.
15. Goreau, T. F. and Goreau, N. I. 1960. The physiology of skeleton formation in corals IV. On isotopic equilibrium exchanges of calcium between corallum and environment in living and dead reef-building corals. Biol. Bull. 119: 416.
16. Grégoire, C., Duchâteau, G. and Florkin, M. 1955. La trame protidique des nacres et des perles. Ann. inst. Océanog. 31: 1.
17. Gregoire, C. 1961. Structure of the conchiolin cases of the prisms in *Mytilus edulis* Linné. J. Biophys. Biochem. Cytol. 9: 395.
18. 蓮　　精　1957. 真珠箔の光学的性質について. 応用物理　26: 15.
19. Hachisu, S. and Aoki, M. 1957. On the iridescence on the surface of fishes. Science of

Light 6: 43.
20. Harley, G. 1889. The structural arrangement of the mineral matters in sedimentary and crystalline pearls. Proc. Roy. Soc. London.
21. Harting, P. 1873. Recherches de morphologie synthétique sur la production artificielle de quelques formations calcaires organiques. Verh. Koninkl. Akad. Wet. Amsterdam 13: 1.
22. 橋本恒一 1959. 鳥羽，南島，瀬戸内海各漁場に於ける珠の品質について．真珠研究会報 26: 5.
23. 蓮尾真澄 1961. そう入核のサイズの差異と真珠の巻き並びに脱核率との関係．国立真珠研報 6: 657.
24. ——— 1961. 母貝・ピース貝の健康状態が真珠の品質に及ぼす影響について．国立真珠研報 6: 663.
25. Herdman, W. A. and Hornell 1906. Pearl production. Rep. pearl oyster fisheries Golf of Manaar. 5.
26. 堀口吉重 1957. アコヤガイ及びイケチョウガイの生化学的研究 III．イケチョウガイ各器官の Ca^{45} 集積及び排出．日水誌 22: 747.
27. ——— 1958. アコヤガイ及びイケチョウガイの生化学的研究 IV．イケチョウガイによる ^{45}Ca の吸収と貝体内における移動．日水誌 23: 710.
28. ——— 1959. アコヤガイ及びイケチョウガイの生化学的研究 V．^{45}Ca によるアコヤガイの Ca 吸収・排泄・置換について．三重県大水産学部記要 3: 381.
29. ——— 1959. アコヤガイ及びイケチョウガイの生化学的研究 VI．イケチョウガイ各組織における動的 Ca と不活性について．三重県大水産学部記要 3: 391.
30. ——— 1960. アコヤガイ及びイケチョウガイの生化学的研究 XIII．貝の Ca イオン濃度におよぼす有機酸の影響．日水誌 26: 708.
31. ——— 1960. アコヤガイ及びイケチョウガイの生化学的研究 XIV．^{32}P によるアコヤガイの P 代謝について．日水誌 26: 716.
32. 今井壮一 1961. アコヤガイの貝殻成分に関する知見ならびに貝殻構造の形成機序に関する一つの考察．長大学芸，自然科学研報 12: 7.
33. Jodrey, L. H. 1953. Studies on shell formation. III. Measurement of calcium deposition in shell and calcium turnover in mantle tissue using the mantle-shell preparation and Ca^{45}. Biol. Bull. 104: 398.
34. Kado, Y. 1960. Studies on shell formation in molluscs. J. Sci. Hiroshima Univ. Ser. B, 19.
35. 戒能孝和・西口一夫 1959. 真珠品質に関する予備試験．真珠研究会会報 27: 1.
36. 金井昌邦 1957. 真珠の色に就て．応用物理 26: 25.
37. 片田清次 1959. 低比重海水がアコヤガイ *P. martensii* (Dunkes) の斃死，成長並びに真珠の品質に及ぼす影響．国立真珠研報 5: 489.
38. 河合清三 1954. アコヤガイの物質代謝に関する研究 II．各種組織の Carbonic anhydrase 活性度の年令ならびに季節による変動．生理生態 6: 23.
39. Kawaguti, S. and Ikemoto, N. 1962. Electron microscopy on the mantle of a bivalve, *Musculus senhousia* during regeneration of the shell. Biol. J. Okayama Univ. 8: 31.
40. ——— 1962. Electron microscopy of the idtegumental structure its calcification process during molting in a crayfish Biol. J. Okayama Univ. 8: 43.
41. Kawakami, I. K. 1952. Studies on pearl-sac formation II. The effect of water temperature and freshness of transplant on pearl-sac formation. Ann. zool. Jap. 26: 217.
42. 木村三郎 1961. 真珠貝の異常斃死と多毛類について．真珠研究会報 38: 35.
43. 小林 博・松井淳平 1953. アコヤガイの環境変化に対する抵抗性の研究．(1) 鰓の繊毛運動に就いて．農水講研報 3: 123.
44. 小林 博 1955. アコヤガイの環境変化に対する抵抗性の研究．(2) 心臓の搏動について．農水講研報 4: 95.
45. 小林新二郎・渡部哲光 1959. 真珠の研究．技報堂.
46. 小竹子之助・河村光保 1957. アコヤガイ養殖真珠に関する研究 I．異なる型の外套膜ピー

スで養殖された真珠の性状について．日水誌 23: 363.
47. 神前武和 1945. 真珠中ポルフィリン体に就いて．生理生態 1—4: 247.
48. 久保田研究室 1949. 反射防止膜の色に就いて（I）．応用物理 18 (4—5): 139.
49. 久保田広・荒哲哉 1950. 三層薄膜の干渉色に就いて．応用物理 20(4): 17.
50. 町井 昭 1959. 真珠袋の組織学的研究 IV．いわゆる"黒斑"の真珠袋．国立真珠研報 5: 407.
51. Matsui, Y. and Hirota, T. 1952. Studies on the formation of pearls I. On the relationships of proteins and $CaCO_3$ crystals in the layer of baroque pearls. Publ. Seto Mar. Biol. Lab., II: 331.
52. 三重県水産高等学校編 1959. 真珠養殖入門．いさな書房．
53. 三重県水産試験場 1961. 真珠漁場総合調査報告 II．真珠漁場の性状とその懸濁質について．三重水試報告 7: 1.
54. 宮村光武・牧戸二彦 1958. 挿核施術に使用する外套膜片の採取部位によるアコヤガイの養殖真珠の品質の相違について．日水誌 24: 441.
55. 水本三朗 1953. 淡水真珠の養殖に関する研究 4．滋賀水試報告 4: 20.
56. Moebius, K. 1958. Die echten Perlen. Ein Beitrag zur Luxus —, Handes — und Naturgeschichte. Abh. Geb. Naturw., naturw. Ver. Hamburg, 4.
57. 中原 晧・町井 昭 1956. 真珠袋の組織学的研究．I．異常真珠と正常真珠の真珠袋の比較．国立真珠研報 1: 10.
58. 中原 晧 1961. 真珠袋の組織学的研究．VII．メタクロマジー物質の行動．国立真珠研報 6: 541.
59. ———— 1962. アコヤガイの外とう膜と真珠袋の上皮細胞におけるカーミン粒子の摂取について．国立真珠研報 8: 879.
60. ———— 1962. アコヤガイとハボウキガイの外とう膜における粘液物質の行動について．国立真珠研報 8: 871.
61. 鳴戸・中川，真珠の研究．技報堂（1959, p176）より引用．
62. 西飯 保・清水進平・谷口宮三郎 1961. 真珠養殖におけるいわゆる貝そうじの効果に関する研究 II．貝そうじ及びかご交換の回数とアコヤガイの成長ならびに真珠の品質との関係．国立真珠研報 6: 670.
63. Ojima, Y. and Watanabe, T. 1953. Studies on the pearl-sac in molluscs. Ann. Studies Kwansei Gakuin Univ. 1: 57.
64. 岡田喜義・川畑寛一 1953. 真珠の色の測定及び分類．電気試験所彙報 17(12): 1.
65. 大森啓一 1948. 真珠の内部構造と色及び光沢．地質学雑誌 54: 33.
66. ———— 1960. 真珠の異常発達．真珠の研究 1(1): 3.
67. 太田 繁 1958. アコヤガイの食性に関する研究．I 杆晶体の長さの季節的消長．国立真珠研報 4: 315.
68. ———— 1959. アコヤガイの食性に関する研究．III 核入れ手術の影響による糞量の変化．国立真珠研報 5: 429.
69. ———— 1960. 真珠養殖におる寄生虫の被害．真珠研究会報 35: 35.
70. 太田 繁・清水進平 1961. 真珠の品質に及ぼす貝掃除のための空中露出時間の影響．国立真珠研報 6: 688.
71. Rama, S. 1935. X-ray analysis of the structure of iridescent shells. Mem. Ind. Ins. Sci. 1: 871.
72. ———— 1935. X-ray analysis of the structure of iridescent shells. II. the Haliotidae. Proc. Ind. Aca. Sci. 2: 345.
73. Raman, C. V. 1935. On iridescent shell. II Colours of laminar diffraction. Proc. Ind. Aca. Sci 1: 574.
74. ———— 1935. On iridescent shells. III Body-colours and diffusion-haloes. Proc. Ind. Aca. Sci. 1: 859.
75. Rayleigh, Scientific papers, 3, 1, 190, 204. (Raman 1935 Part II から引用)
76. Réaumur, E. 1717. Obsservations sur le Coquillage appelé *Pinne marine* â lóccasion duquel on explique la formation des perles. Hist. Ac. R. Sci. Paris, Mem. (林一正)

77. Rubbel, A. 1911. Über Perlen und Perlbildung bei *Margaritana margaritifera* nebst Beiträgen zer Kenntnis ihrer Schalenstruktur. zool. Jahrb. 32: 287.
78. 佐藤忠勇 1957. 真珠の化粧巻漁場の環境. 水産増殖 3(4): 61.
79. 沢田保夫 1957. アコヤガイ貝殻及び真珠の無機成分に関する研究 I. 国立真珠研報 2: 68.
80. ——— 1957. 自記分光光度計による真珠の色の測定. 国立真珠研報 3: 175.
81. 沢田保夫・丹下 孚 1959. 真珠養殖漁場の養殖海洋学的研究. II 英虞湾内の4点において生産される真珠品質の比較と海況について. 国立真珠研報 5: 549.
82. 沢田保夫 1961. 真珠の黄色色素の研究. 国立真珠研報 7: 865.
83. Schmidt, W. J. 1923. Ueber den Bau der Perlen mit besonderer Beruchichtigung ihrer kristallinichen Elementarteile. Aıchiv. f. mikr. Anat. Bd. 97.
84. ——— 1931. Studien über Pinnaperlen. I. Über Prismenperlen von *Pinna noilis*. z. f. Morphol. u. Ökol. d. Tiere Bd. 25.
85. 鈴木一善 1957. アコヤガイとその生育環境の生化学的研究. I 肉質, プランクトン, 底質化学成分の季節的変化. 国立真珠研報 2: 57.
86. 高岡 斉 1955. 真珠. 自然 48.
87. 高山活夫・和田浩爾 1958. 真珠品質に及ぼす薬品処理の影響 I. 国立真珠研報 4: 329.
88. 高山活夫 1958. 浜上げ珠の処理について. 真珠研究会報 8: 14.
89. ——— 1961. 生産される真珠の品質からみた大分県下真珠養殖漁場の類型区分. 真珠研究会報 36: 10.
90. 田中正三・波多野博行 1952. 真珠に関する生化学的研究. I あこやがい成分の季節的変化について. 日化 73: 870.
91. ——— 1952. 真珠に関する生化学的研究。II あこや貝無機成分の季節的変化について. 日化 74: 74.
92. ——— 1952. 真珠に関する生化学的研究. III conchiolin のアミノ酸について. 日化 74: 193.
93. ——— 1956. ^{45}Ca を使用する真珠および貝殻形成の化学機構の研究. アイソトープ研究利用総覧: 307.
94. ——— 1957. 真珠の化学. 水産増殖 3(4): 38.
95. Tsujii, T. 1960. Studies on the mechanism of sheil-and pearl-formation in mollusca. J. Fac. Fish. Pref. Univ. Mie 5: 1.
96. 内田洋一・上田正康 1947. 真珠の層状構造と iridescence に就て. 生理生態 1—3: 171.
97. 内田洋一・富来哲彦・平井正光 1954. 分光光度計による真珠の色の測定 I. 応用物理 23: 469.
98. ——— 1955. 分光光度計による真珠の色の測定 II. 応用物理 24: 325.
99. 植本東彦 1961. アコヤガイのそう核手術に関する生理学的研究 I-III. 国立真珠研報 6:619.
100. ——— 1962. 仕立及び養生について. 真珠研究会報 41: 1.
101. v. Hessling, T. 1857. Ueber die Ursachen der Perlbilding bei *Unio margaritifera*. Zeitschr. f. wiss. Zool. 9.
102. 和田浩爾 1957. 電子顕微鏡による養殖真珠の層状構造の観察. I 真珠層真珠. 日水誌 23: 302.
103. ——— 1957. 真珠形成初期の顕微鏡的観察 I. 国立真珠研報 3: 167.
104. ——— 1958. 真珠形成初期の顕微鏡的観察 II. 国立真珠研報 4: 251.
105. ——— 1958. X線回折及び示差熱分析による各種養殖真珠の成分に関する研究. 国立真珠研報 4: 275.
106. ——— 1959. 真珠形成初期の顕微鏡的観察 III. 国立真珠研報 5: 357.
107. ——— 1959. 真珠形成初期の顕微鏡的観察 IV. 国立真珠研報 5: 373.
108. ——— 1959. 真珠養殖過程中におけるアコヤガイの生活活動の変化が真珠形成に及ぼす影響. I 衰弱した貝での真珠形成. 国立真珠研報 5: 381.
109. Wada, K. 1960. The relation betweenn the crystalline structure of the cultured pearls and the elongation of the transplanted mantle tissue in the process of pearl-sac formation. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 26: 549.
110. 和田浩爾 1961. 真珠養殖過程中におけるアコヤガイの生活活動の変化が真珠形成に及ぼす影響. II 表面構造と光沢の季節的変化. 国立真珠研報 6: 586.

111. Wada, K. 1961. Crystal growth of molluscan shells. Bull. Natl. Pearl Res. Lab. 7: 703.
112. 和田浩爾 1961. 潮被り珠について. 真珠研究会報 37: 34.
113. 渡部哲光 1950. 真珠の層状構造. 真珠の研究 1(2): 3.
114. ———— 1951. 所謂『潮珠（又は潮被り珠）』に就いて. 真珠の研究 2(1, 2): 27—31.
115. ———— 1952. アコヤ貝に於ける真珠の巻きと水温との関係. 真珠の研究 2(4): 21.
116. ———— 1952. 養殖真珠の断面に見られる特殊の層線とそれが形成される環境条件に就いて. 真珠の研究 2(4): 27.
117. Watabe, N. 1954. Electron-microscopic ovservations of the aragonite crystals on the surface of the cultured pearls I. Fac. Prof. Univ. Mie 1: 449.
118. ———— 1955. Relations between the qnalities of the cultured pearl and the culture-depth and the position of the nucleus- insertion. Bull. Biogeograph. Soc. Jap. 16-19: 93.
119. Watabe, N. and Wilbur, K. M. 1960. Influence of the organic matrix on crystal type in molluscs. Nature 188: 334.
120. ———— 1961. Studies on shell formation. IX An electron microscope study of crystal layer formation in the oyster. J. Biophys. Biochem. Cytol. 9: 761.
121. Wilbur, K. M. and Jodrey, L. H. 1952. Studies on shell formation. I. measurement of the rate of shell formation using Ca^{45}. Biol. Bull. 103: 269.
122. 山口一登 1956. 真珠養殖における垂下様式と真珠の巻き及び色について. 国立真珠研報 1: 22.
123. 山口一登・太田繁・丹下孚・片田清次 1959. 養殖環境と挿核部位による真珠の色及び巻きの差異について. 国立真珠研報 2: 137.
124. 山口一登 1958. 母貝・ピース貝の年令差による真珠の色及び巻きの差異について. 国立真珠研報 4: 325.
125. ———— 1958. 真珠の品質に及ぼす貝掃除の効果. 真珠研究会報 2(2): 8.
126. ———— 1959. "後付け法" に関する研究. I. "後付け" 及び "同時付け" による真珠品質の比較. 国立真珠研報 5: 499.
127. 山口正男 1955. アコヤガイ養殖とその真珠. 水産増殖叢書 9: 1.
128. 八坂 茂・宮原昭二郎・田端義明 1956. あこやがい (Pteria martensii Dunker) の研究. II 真珠層の重金属及びアミノ酸について. 長大水産学部研報 4: 45.
129. 保田正人・土屋馥・上田泰司 1957. アコヤガイ貝殻及び養殖真珠の真珠層蛋白質構成アミノ酸について. 長大水産学部研報 5: 121.

Explanation of Plates

All figures of the superficial and laminary structures of the pearls and the shell are electron micrographs except Plate XI-39, 40 and 41.

1. Idiomorphic shape of aragonite with (001), (110) and (010) faces grown on the surface of the cultured pearl of *P. matensii*. ×3800
2. A thicker mineral lamina formed in the nacre of *Pinctada* pearl is shown by an arrow. p: prismatic substance. ×2000
3. Accumulation of two nacres with different laminary structure seen in the section of *Pinctada* pearl. An arrow shows the boundary of the layers. ×12000
4. Thick mineral laminae grown in the inner part of a natural pearl of *P. martensii*. ×3100
5. Thinner mineral laminae in the outer part of the same pearl as in Plate I-4. ×3100
6. Etch pits occurred on mineral laminae of *Pinctada* pearl treated with 0.1% HCl. × 12000
7. Fracture surface of white pearl of *Hyriopsis* pearl showing thicker laminae in comparison with usual laminae. × 12000
8. Fracture surface of "kotsu-dama" of *H. schlegeli* having coarse faces. × 12000
9. Laminar structure in an elemental mineral laminae of *Hyriopsis* pearl. The flat faces agree with the (001) plane of aragonite. Conchiolin is revealed the fine granular appearance between mineral laminae. × 15000
10. Bead-like fibrous structure of conchiolin with a definite orientation formed on the (001)

plane of aragonite. × 15000
11. Nacreous layer directly deposited on the surface of inserted nucleus. × 4800
12. Prismatic substance formed between nucleus and nacre. × 9000
13. Thick organic substance lying between nucleus and nacre. × 6000
14. Homogeneous, prism-like and laminar structures formed successively on nucleus. a: electron diffraction pattern of the layer with laminary structure, b: electron diffraction pattern of prismatic substance. × 4000
15 and 16. Superficial structures of prismatic layer pearls cultured in *P. matensii*. × 2000
17 and 18. Laminary structures of cultured and natural prismatic layer pearls of *P. martensii*, respectively. × 3200, × 2000
19. Calcium carbonate crystals grown on a periostracal pearl of *P. martensii*. × 2400
20. Conchiolin membrane piled up on the surface of a periostracal pearl. × 2000
21. Fibrous texture appeared on fracture surface of a hypostracal pearl of *P. martensii*. × 4100
22 and 23. Laue photographs given by incident X-ray normal to the vertical thin slice of the nacres of *Pinctada* spherical pearl (22) and *Hyriopsis* elliptical pearl (23).
24 and 26. X-ray diffraction patterns obtained by incident X-ray normal to the surfaces of *Pinctada* nacreous layer (24) and prismatic layer (26) pearls.
25. Laue photograph of the vertical thin slice of *Pinctada* prismatic layer pearl.
27. Debye-Scherrer ring given by incident X-ray vertical to the surface of *Pinctada* periostracal pearl.
28. Aragonite crystals grown on the surface of *Hyriopsis* pearl with a good luster. × 3800
29. Superficial structure of *Hyriopsis* pearl with a bad luster. × 3800
30. Fine crystals grown in a groove formed on the surface of *Pinctada* pearl, "hachimaki-dama". × 4300
31. Etch pits occurred on a surface of an inserted pearl nucleus 7 days after operation. × 2900
32. Prismatic substance grown at an early stage of pearl formation of *P. martensii*. × 2400
33. Round form of aragonite crystal on the nacreous layer formed at an early stage of pearl formation. × 2400
34. Dissolved surface of the nacreous layer in a weak oyster shell, *P. martensii*. × 2500
35. Crystal forms of aragonite on the nacreous surface (*Pinctada* shell) with a bad luster in summer. × 5800
36. Crystal forms of aragonite on the nacreous surface with a good luster in winter. × 5300
37. Thick conchiolin membrane covering a nacreous surface with a bad luster. This membrane gives the nacreous layer a good luster. × 13000
38. The nacreous surface consisting of aggregations of small crystals shows a bad luster. × 3600
39. Photo of the damage of the pearl surface picked up by a pearl collecting machine. × 88
40. Crack occurred on a pearl surface in the process of chemical treatment. × 88
41. Damage of surface and subsurface of a pearl in the process of chemical treatment. × 88
42. Damage of conchiolin between crystals and laminae in a solution of hydrogen peroxide. × 2700
43. Erosion of pearl substances in the process of chemical treatment. × 5400
44. Surface of a treated pearl leveled off with acetic acid. × 2700

Plate 1

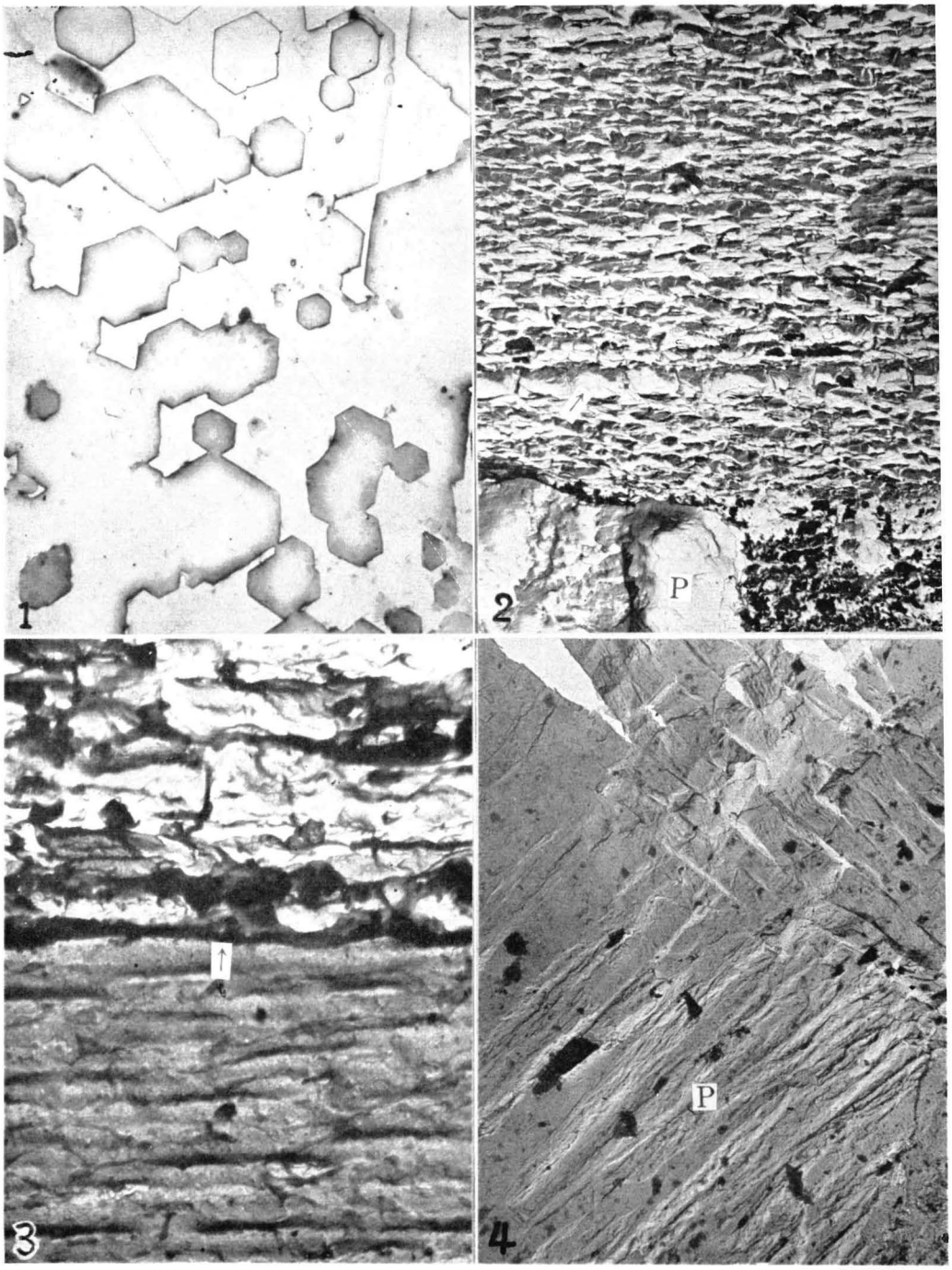


Plate II

Plate III

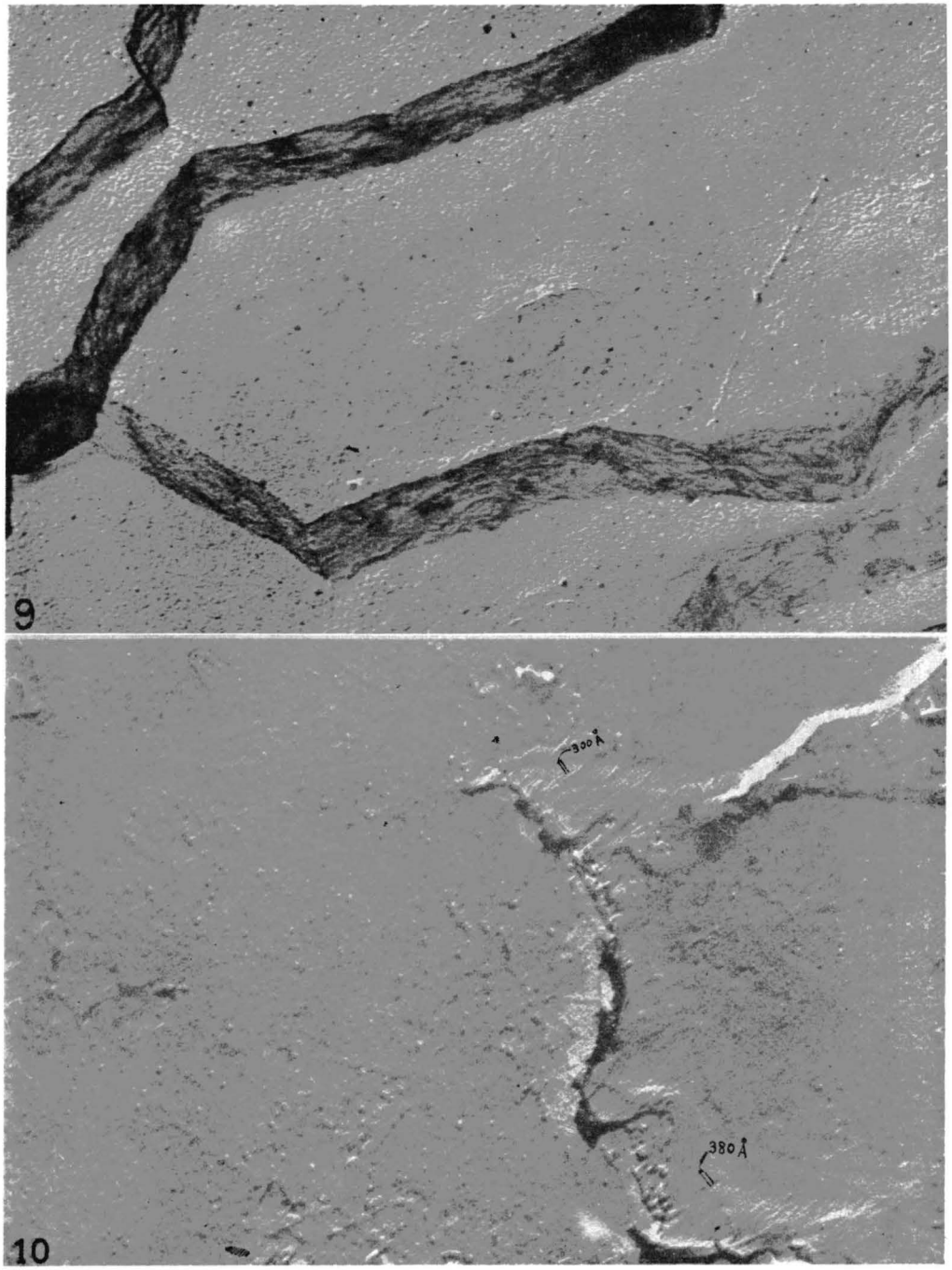


Plate IV

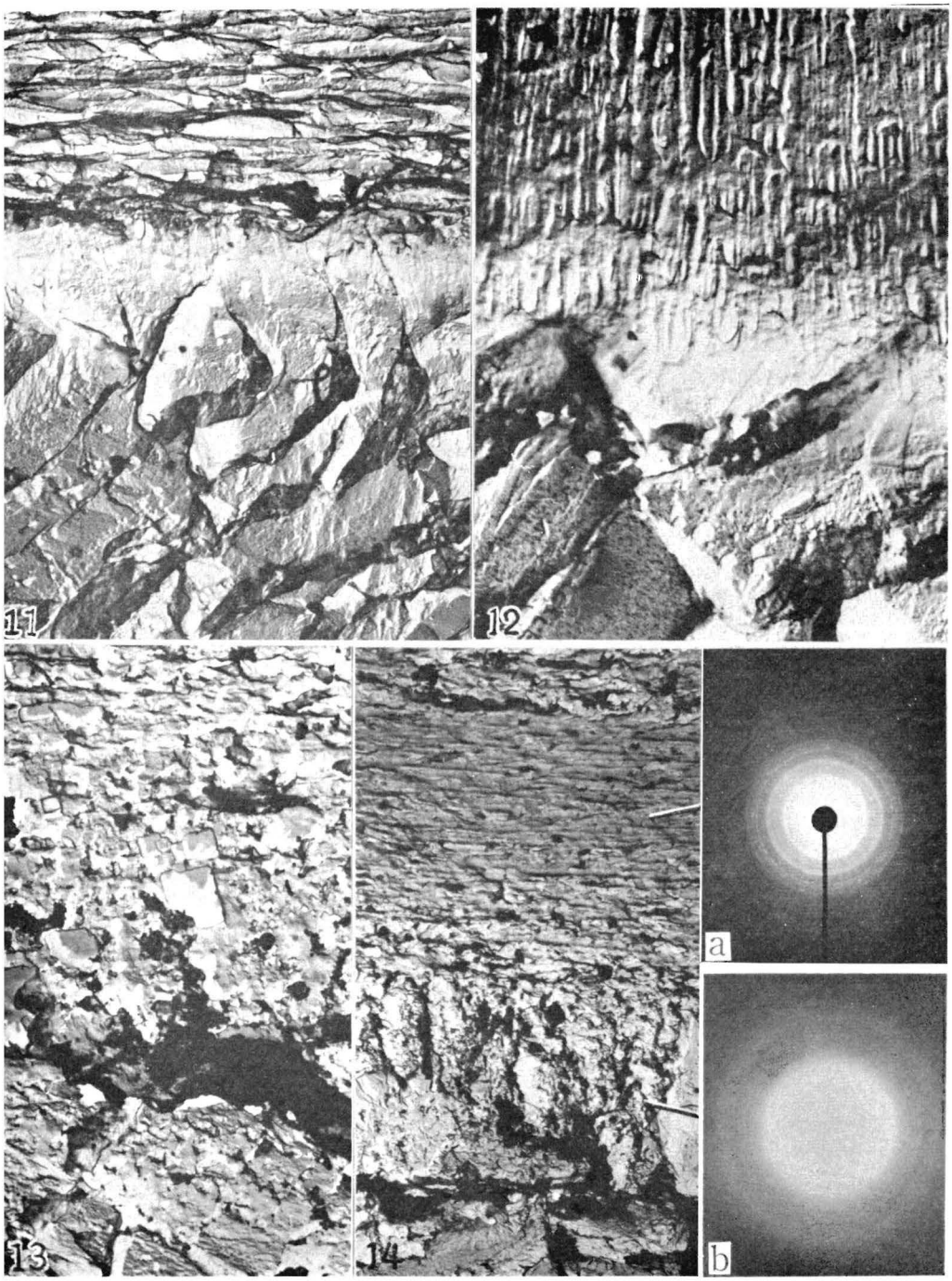


Plate V

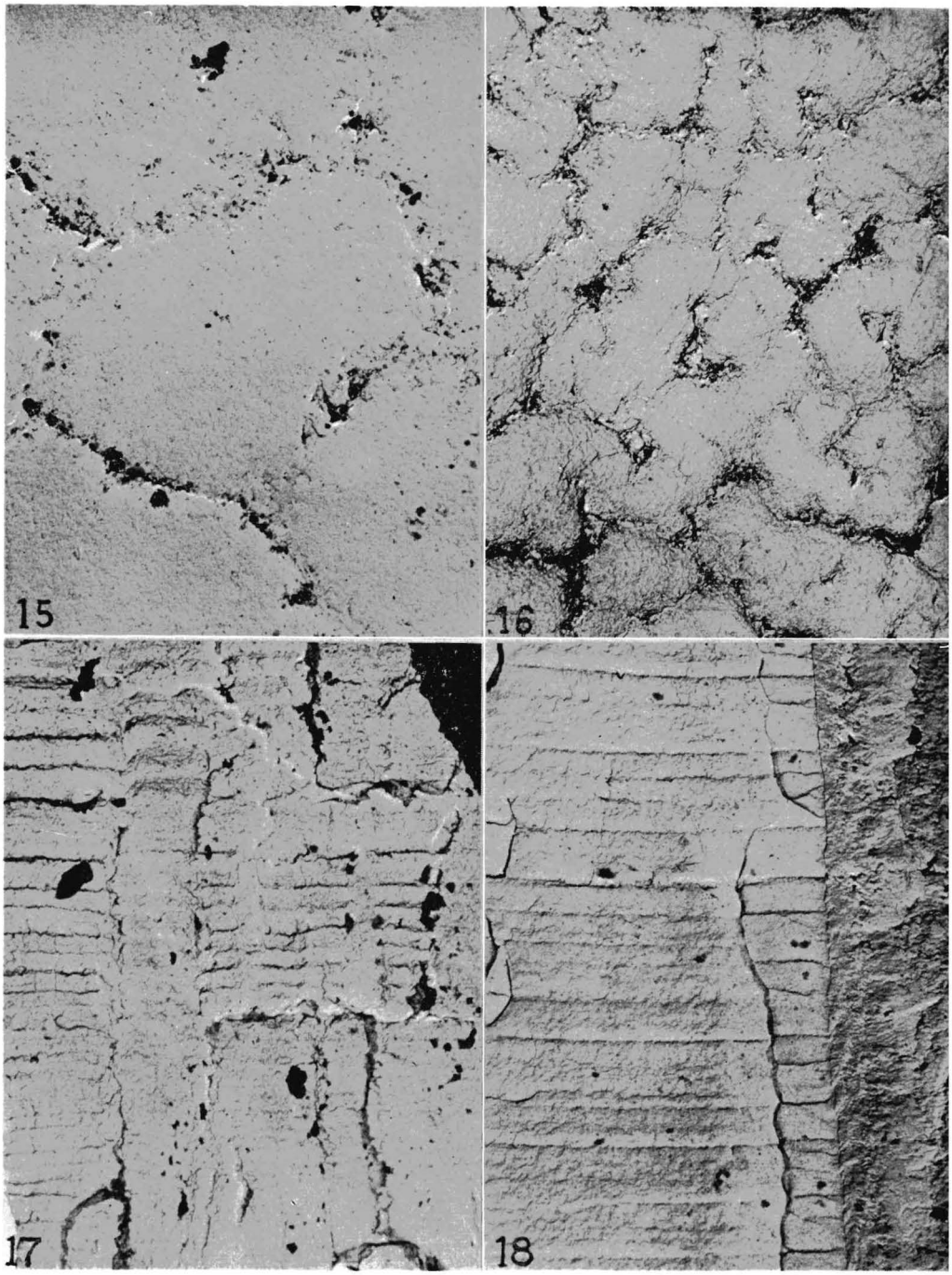


Plate VI

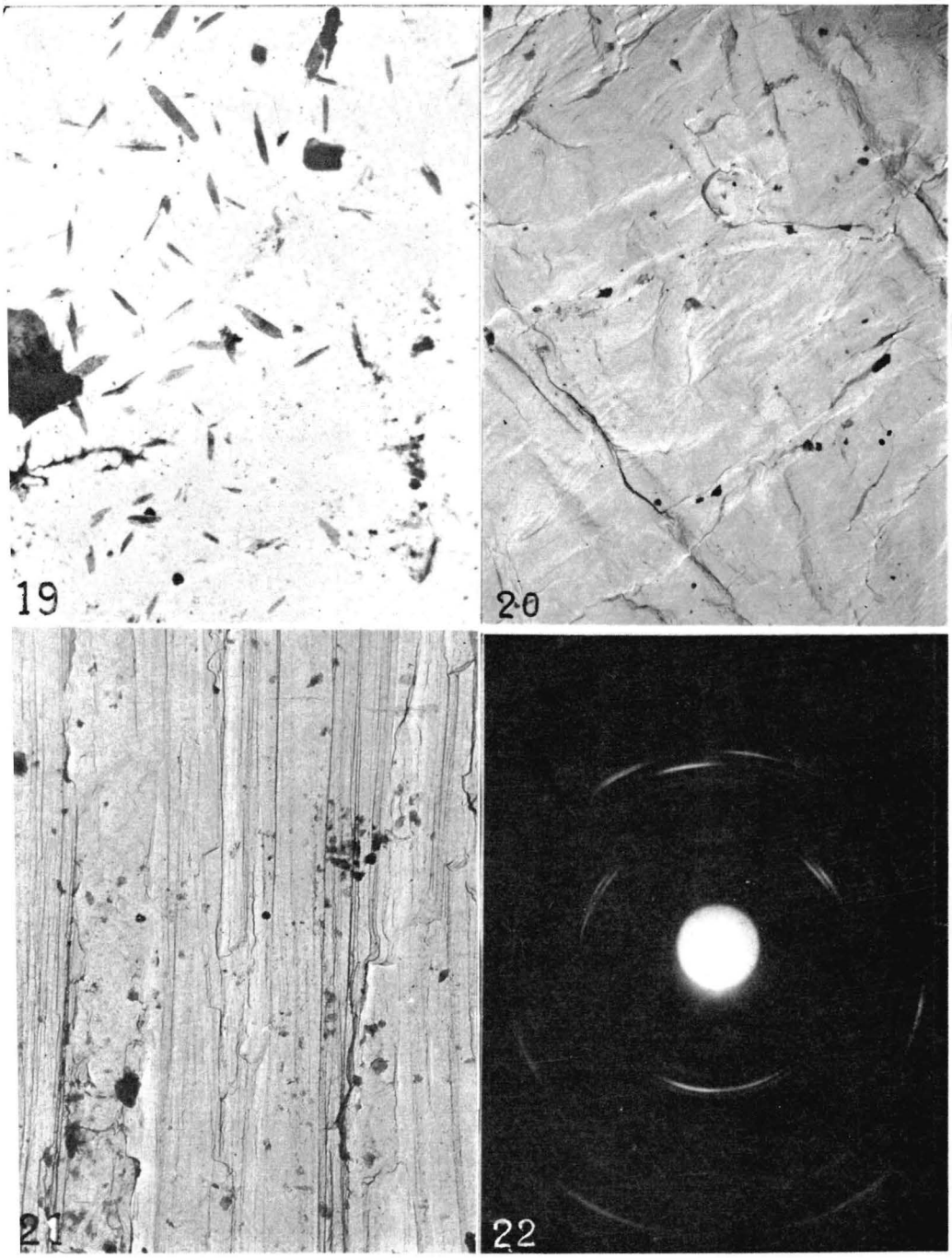


Plate VII

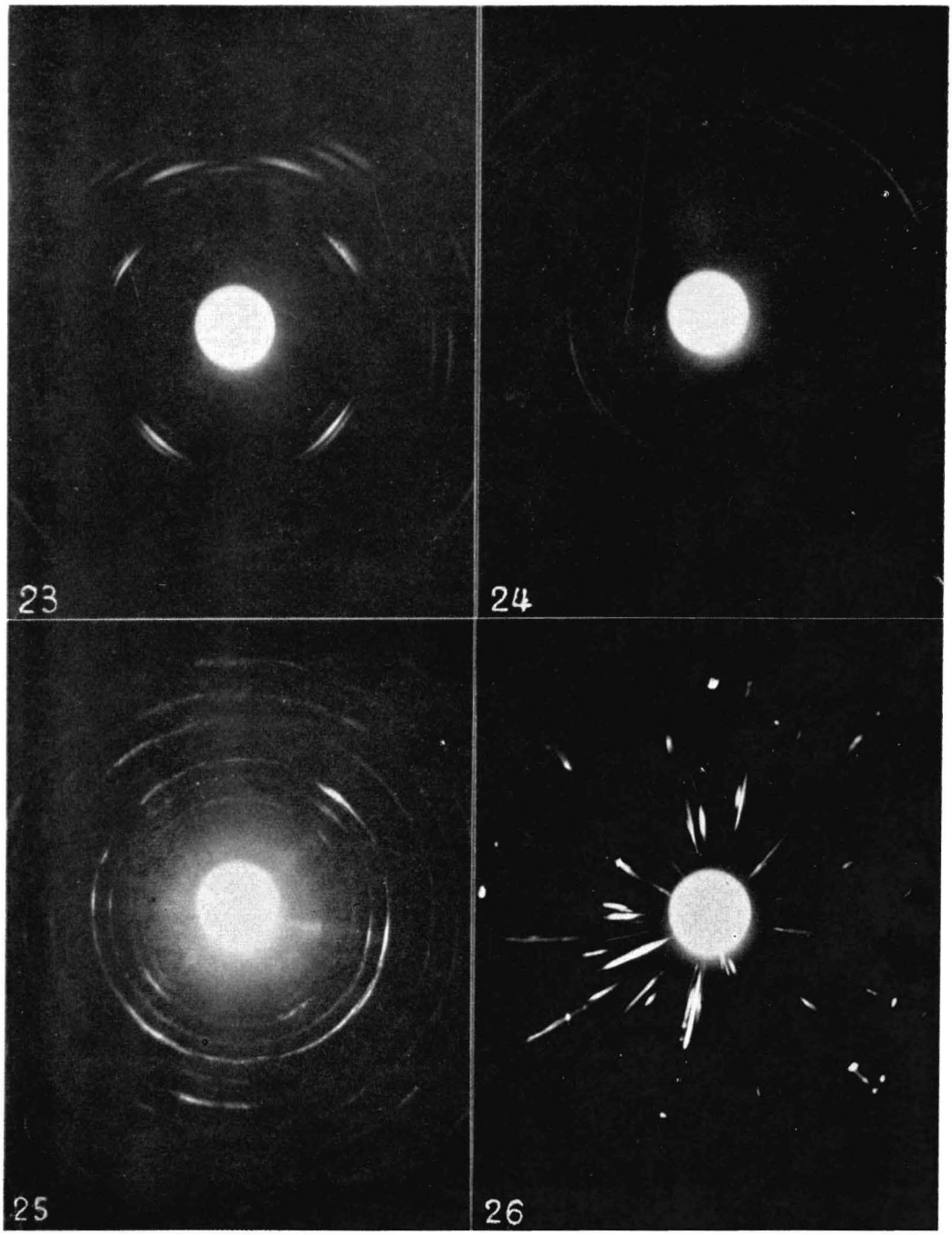
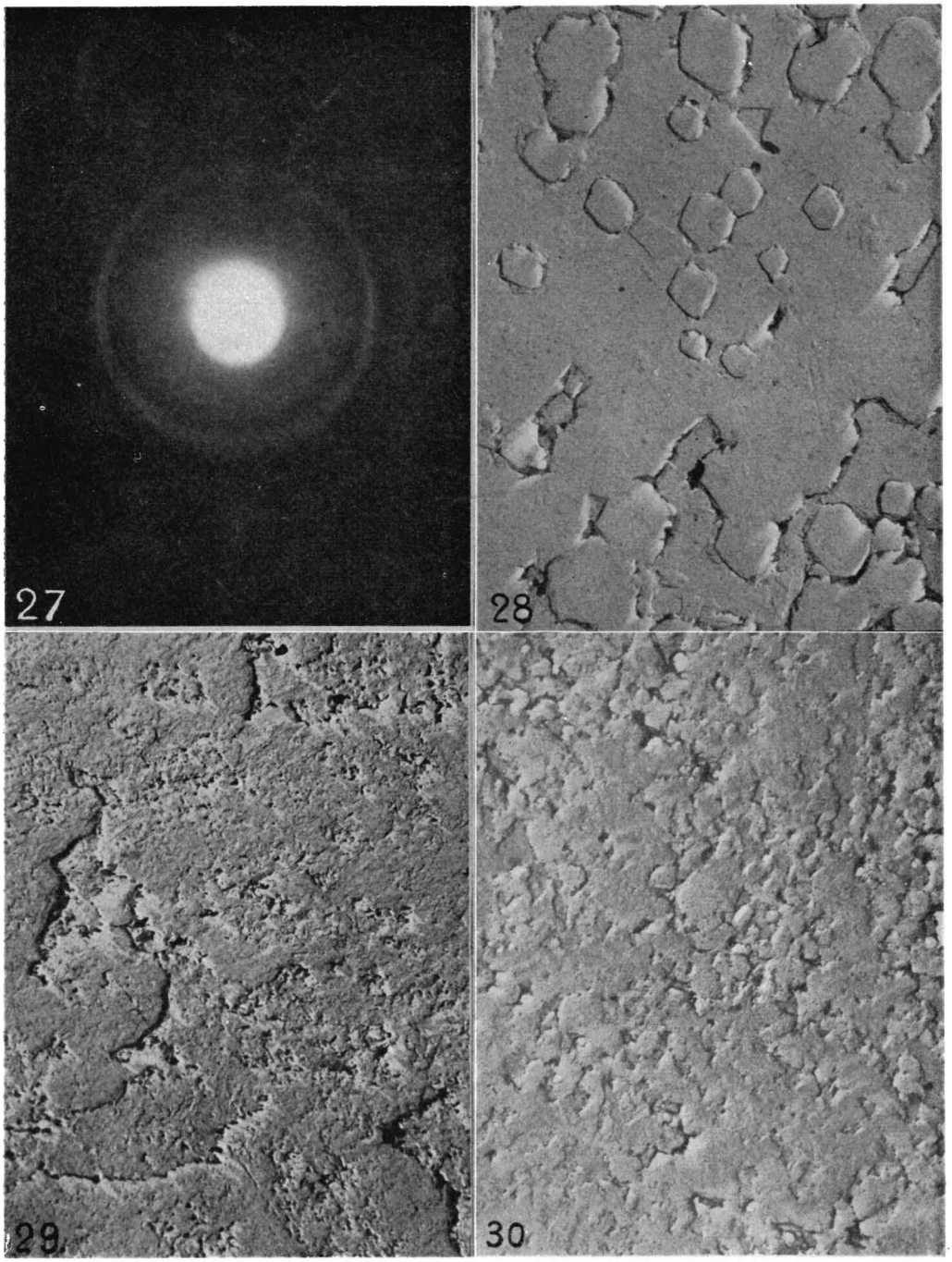


Plate VIII



訂正済 No.212.

正誤表

国立真珠研究所報告 8

頁	行	誤	正
889	下から4行目	もっていることは興味	もっていることで興味
891	上から14行目	比重の低下を，硫酸銅	比重の低下を硫酸銅
893	Table 2	Adductor muscle A B C D E	Adductor muscle A B C D E
903	文献 2)	1956. 侵襲に対する生体反応とショック－人工冬眠療法の原理と応用(山口与市他訳). 最新医学社. 大阪.	1957. 植物神経と生体反応(山口与市他訳). 文庫クセジュ 221. 白水社. 東京.
〃	文献 6)	1957. 植物神経と生体反応(山口与市他訳). 文庫クセジュ 221. 白水社. 東京.	1956. 侵襲に対する生体反応とショック－人工冬眠療法の原理と応用(山口与市他訳). 最新医学社. 大阪.
952	上から6行目	質の物ほかに	物質のほかに
953	Fig. 1-1	Various cultured pearl,	Various cultured pearls,
〃	Table 1-1	Table 1-1	Table I-1
〃	〃	the cultured peals	the cultured pearls
957	上から19行目	その他の真珠形成部位	その他の真珠は形成部位
958	頁数	758	958
〃	下から14行目	Cu の乾	Cu，乾
〃	下から10行目	(3)形成部位によるの(4)	(3)形成部位による，(4)
959	上から2行目	事が可と	事が可能と
960	Fig. 2-2	Pearls of	Pearls of
963	下から10行目	conchiohin	conchiolin
971	下から11行目	mm の真珠，	mm の真球，
976	下から6行目	多くの研先者にとって	多くの研究者によって

頁	行	誤	正
981	上から5行目	Mallory の三染重色	Mallory の三重染色
982	下から7行目	良いが疑問の	良いか疑問の
983	下から3行目	conchiolin の膜繊維軸	conchiolin 膜の繊維軸
985	上から11行目	パラフィン切片を作り.	パラフィン切片を作り，
986	上から16行目	真珠上皮袋への	真珠袋上皮への
〃	下から3行目	前者に比べて	前者に比べて
988	上から5行目	外側にその稜柱層	その外側に稜柱層
〃	下から2行目	の後は比較的	の後は比較的
990	上から7行目	形態は比較的	形態は比較的
992	下から3行目	範囲が比較的	範囲が比較的
994	下から16行目	をもたらし，	歪形をもたらし，
〃	下から15行目	歪形的におこる	的におこる
996	下から1行目	ぞれぞれ異なって	ぞれで異なって
1000	上から3行目	異質貝殻物の形成	異質貝殻物質の形成
1001	上から2行目	種類で異なって	種類でも異なって
1002	下から5行目	真珠層形層速	真珠層形成速
1004	上から13行目	background	back ground
1021	上から7行目	11次. 12, 13, 14次の	11次, 12次, 13次, 14次の
1026	下から13行目	ピンクトとして	ピンクとして
1027	上から2行目	形成初期は形成される	形成初期に形成される
1030	下から7行目	必要性をを報	必要性を報
1035	上から1行目	グアニンの結晶を作った	グアニンの結晶を使った
1040	下から15行目	extionction	extinction
1042	下から11行目	the iridescet shells	the iridescent shells

昭和37年9月25日　印刷
昭和37年9月30日　発行

三重県志摩郡阿児町賢島
発行所　国立真珠研究所

発行者　太田　繁

印刷者　笹気直三

大阪市東淀川区十三南之町二丁目六五番地
印刷所　笹気出版印刷

国立真珠研究所報告 8 (1962)

◇

内　　容

中原　皓　アコヤガイとハボウキガイの外とう膜における粘液物質の行動について …871

中原　皓　アコヤガイ外とう膜と真珠袋上皮細胞におけるカーミン粒子の摂取について …879

町井　昭　真珠袋の組織学的研究
Ⅷ．ピースの内面上皮による組織形成 …884

植本東彦・辻井　禎　アコヤガイ軟体部組織の比重について …891

植本東彦　挿核手術に関する生理学的研究
Ⅳ．術後の養生について …896

沢田保夫・谷口宮三郎　真珠貝の生化学的研究
Ⅵ．卵抜作業によるアコヤガイの化学組成の変化 …904

沢田保夫・谷口宮三郎　真珠貝の生化学的研究
Ⅶ．真珠養殖における垂下深度と真珠品質および母貝の化学組成との関係 …908

沢田保夫　真珠の色調に関する研究 …913

蓮尾真澄・阪口清次・山口一登・村上悦男　長崎県下真珠養殖漁場において生産された真珠品質およびアコヤガイの成長度の比較に関する研究 …920

和田浩爾　真珠形成機構の生鉱物学的研究 …948

阪口清次　アコヤガイに寄生する吸虫に関する研究
Ⅰ．セルカリアの被嚢形成 …1060

国立真珠研究所

三重県志摩郡阿児町賢島

National Pearl Research Laboratory

Kashikojima, Ago-cho, Shima-gun, Mie Prefecture, Japan