

## 天然色素添加人工餌料投与によるアワビ真珠層の着色

堀口吉重・木村昭一・上野隆二

三重大学水産学部

### Pigmentation of the Nacre of Abalone on Artificial Diets Supplemented with Natural Pigments.

Yoshishige HORIGUCHI, Shoichi KIMURA and Ryuji UENO

Faculty of Fisheries, Mie University

Changes in color of the nacre of abalone fed on artificial diets supplemented with natural pigments were investigated for the purpose of producing the pearls with favorite color. About 150 cultured young abalone, *Haliotis (Nerdotis)* discus REEVE weighing 1 to 2 g were fed on test diets supplemented with natural pigments in aquariums with circulating sea water at a temperature of 20°C for 8 weeks. Among 13 natural pigments, only lina blue A (phycocyanin) changed the color of both outer shell surface and nacre. By using a color and color difference meter (Nippon denshoku, Z-1001DP), L, a, b in color of the abalone nacre were measured and the result obtained shows that outer margin part of the nacre of abalone fed on the test diet supplemented with lina blue A is remarkably higher in a and slightly lower in L and b than in those values for inner parts. Appreciable changes in color of the nacre of abalone fed on a test diet lacking in lina blue A were not recognized. These facts indicate that lina blue A is able to deposit not only on the outer shell surface but also on the inner surface of abalone nacre.

Key words : Pigmentation of nacre, Abalone, Lina blue A (phycocyanin)

真珠の品質は、形、色、光沢等より総合的に判定されるが、特に色彩に重きがおかれている。一般に、ピンク系は好まれ、エロー系は、低く評価されている。そこで真珠の色彩の発現原因を明らかにし、発色を人工的に制御して好ましい色の真珠を生産する方法を開発しようと試みた。

アコヤガイ貝殻の真珠層又は、真珠の色彩は、母貝の個体差の他、漁場の環境条件に影響される(小林、渡辺 1959)。又アワビの貝殻外表面の色彩は、摂取する餌の種類によって著しく変化する現象が知られているが(Fox 1972 ; 田島・池森・新崎 1980 ; 他)、餌に含まれる色素が、貝殻の

殻皮層、稜柱層のみならず、更に真珠層にまで沈着して真珠層の色を変化させるかどうかは明らかにされていない。

著者等は、色素添加人工餌料をアワビに投与することによって、殻皮層の他、真珠層の色彩が変化するかどうかを調べた結果、試験した13種類の天然色素のうち1種類がアワビ真珠層の色彩を変化させる効果を認めたので報告する。

## 実験方法

### 飼育水槽

60ℓ容アクリル水槽（60cm×30cm×35cm）に、上面濾過水槽を乗せ、レイシーポンプ（P-112型、最大流量13ℓ/min）を付した循環式水槽を使用した。海水は三重県浜島種苗センターより提供された濾過海水を使用し、各水槽に約50ℓずつ入れ、2週間に1度の割合で換水した。水槽の水温を年間20℃に保持するため、10組の飼育水槽を大型木製水槽（175cm×135cm×40cm）の中に縦2列、横5列に設置し、恒温装置から大型木製水槽へ、20℃に調節された水道水を循環させた。

### 供試アワビ

1984年春、三重県浜島種苗センターで人工採苗されたクロアワビ *Haliotis (Nordotis) discus* REEVE の稚貝（殻長1.0～1.5cm、体重1～2g）約150個を用いた。

### 飼育方法

上部を漁網で覆ったアクリル製の籠（直径20cm、高さ8cm）の中に、体重1～2gのアワビ稚貝を15～16個入れた（1985年5月16日～6月10日）。体重2g前後に成長した稚貝は1籠当たり10個に減らした（1985年6月11日～7月25日）。籠は水槽の中層に吊下げて、水槽の底に沈澱した残餌の影響を受けにくいようにした。色素添加人工餌料は、翌日餌が少し残る程度の量を1日1回付着板で押さえて投与した。前日の残餌は、投与時に流水にて洗浄した。体重測定はアワビを付着板から素早く取外し、貝殻表面の水を軽く拭い、上皿天秤を用い、2週間に1回の割りで行なった。

### 色素添加人工餌料の調製法

Table 1. Composition of natural pigment supplement diets for abalone

Ingredient	
(a) Sodium alginate	19.8 gm
(b) Dextrin	13.0
(c) Squid meal	59.2
(d) Soybean oil	1.0
(e) Cellulose powder	1.0
(f) Pan vitan 100	4.0
(g) Natural pigment	2.0
	100.0
Water	674.0

Table 1 に色素添加人工餌料の組成を示す。添加天然色素は、カロチノイド色素、コチニール色素、ラック色素、ウコン色素、ベニバナ黄色素、カカオ色素、モナスカス色素、パプリカ製剤、赤キャベツ色素、ビートレッド、アナトー色素、クロロフィル、フィコシアニン<sup>\*</sup>を主成分とする合計13種類の市販商品を用いた。次にリナブルーA（フィコシアニン）<sup>\*</sup>を添加した場合の餌料調製法を記す。少量の水に溶解させたリナブルーAは、海水に溶出しないように、30% FeCl<sub>3</sub> 溶液を滴下して完全に沈澱させ (a)~(f)と混合する。海藻に似た堅さを持つように適量の水を加え、約3分間ホモジナイズして得られたゾル状物はアクリル板（15cm × 8 cm）の上に薄層状に均一に伸ばし、4% CaCl<sub>2</sub> 溶液中に約15分間浸し、アルギン酸塩として凝固させた。調製した薄層ゲル状物は、海藻に近似したテクスチャーを持つ。

### 測色色差計による測定方法

測色色差計はZ-1001 DP型ダブルビーム交照測光方式（日本電色工業社製）を使用した。アワビ貝殻は、軟体部を完全にに取り除き、よく水洗いしてから超音波洗浄機で約3分間洗浄し、自然乾燥した。貝殻の平板状の部分を測色色差計の最小測定面積の直径6mm円より大きくなるように切り取って測定試料とした。リナブルーA添加人工餌料によって飼育したアワビ（以下リナブルー添加区とする。）、リナブルーA無添加人工餌料によって飼育したアワビ（以下リナブルー無添加区とする。）の貝殻それぞれ20試料ずつを用い、1試料について、殻口外縁から6mmまでの外縁部と6mm以上の内部の2部に分け、各部につき3点ずつ測定した。すなわち20試料ずつのリナブルー添加区・無添加区の外縁部・内部を各部3点ずつ合計240点測定した。

### 色の数値的表現（L, a, b）と色差（ΔE）

色は、測色色差計を用い、物体からの反射光や透過光の強さを計測し、3つの数値 L, a, bで表示した。Lは明度、aは赤色度、bは黄色度を示す。aの+側では数値が大きいかほど赤が強くなり、-側では緑の度合いを示す。bは黄と青の度合いをそれぞれ表わす。L, a, bは空間座標の点の位置で表わし、L, a, b表色系中における試料の色の位置を定めることができる。（Fig. 1）。そして色差 ΔEは、L, a, b表色系中における2点間の距離  $\sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2}$  で示され（Fig. 2）、又、NBS（National Bureau of Standards）単位で表わされる。NBS単位は、人間の感覚的な色の差とよく対応するとされており、色差 ΔEとの関係は、Table 2のとおりである。

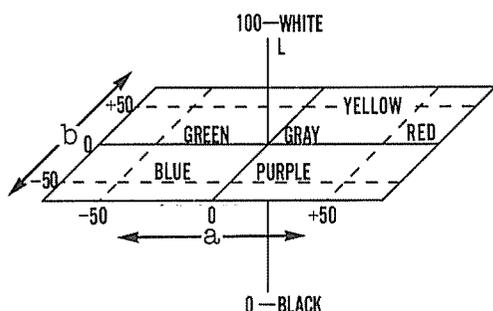


Fig. 1. Hunter Lab system.

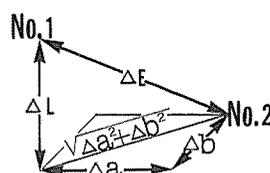


Fig. 2. Color difference ( $\Delta E$ ).

\* リナブルーA（大日本インキ化学工業社製）は藍藻類のスピルリナより抽出したフィコシアニンで、水溶液は、618nmに最大吸収を持つ（谷村 1979）。

Table 2. Relation between the National Bureau of Standards units and color sensation

Color sensation	N.B.S units (Color difference, $\Delta E$ )
Trace	0 ~ 0.5
Slight	0.5 ~ 1.5
Noticeable	1.5 ~ 3.0
Appreciable	3.0 ~ 6.0
Much	6.0 ~ 12.0
Very much	12.0 ~

## 結果及び考察

## 飼育結果

天然色素13種類をそれぞれ添加した人工餌料で飼育したアワビのうち肉眼的にアワビ貝殻真珠層の色彩変化が認められたのは、リナブルー添加区のみであった。色素の種類により、アワビの成長は阻害され、へい死数増加の例が認められたが、リナブルー添加区では体重は正常に増加し、異常へい死は認められなかった。Fig. 3は、リナブルーA添加人工餌料で60日間（1985年5月16日～7月25日）飼育したクロアワビ稚貝の体重の増加グラフである。平均重量は、アワビ100個の総重量より求めた1個の体重を示す。8週間の体重増加率は、平均22.9%と低い値を示した。その原因として、飼育開始時のアワビの個体数及び総重量が水槽の適正収容量を越えており、又、人工餌料中に微量成分が不足していたためなどが考えられる。上記の2点を改善し、その後行なった飼育実験では、同期間に82.0%の高い体重増加率を記録した。

## 測定色差計による測定結果

Fig. 4, 5は、X軸にL, Y軸にaをとって、測定値をプロットしたグラフである。リナブルー無添加区 (Fig. 4) においては、外縁部と内部のL, a分布は近似した。リナブルー添加区 (Fig. 5) では、外縁部のaは、内部より顕著に高くなった。Fig. 6, 7は、X軸にb, Y軸にaをとって測定値をプロットしたグラフである。リナブルー無添加区 (Fig. 6) においては、外縁部と内部のa, b分布は近似した。リナブルー添加区 (Fig. 7) においては、外縁部のaは、内部より顕著に

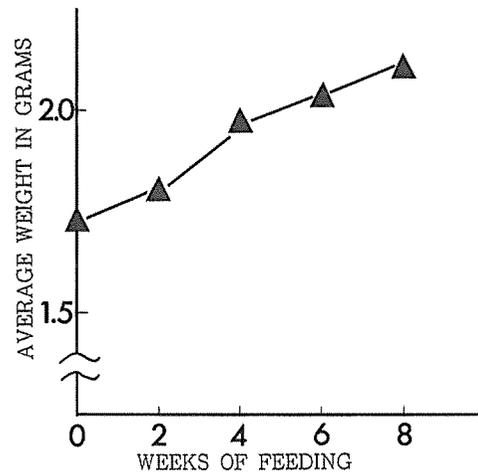


Fig. 3. Growth of abalone on a lina blue A supplement diet.

$$* : \text{体重増加率 (\%)} = \frac{\text{一定期間飼育後の体重} - \text{飼育開始時の体重}}{\text{飼育開始時の体重}} \times 100$$

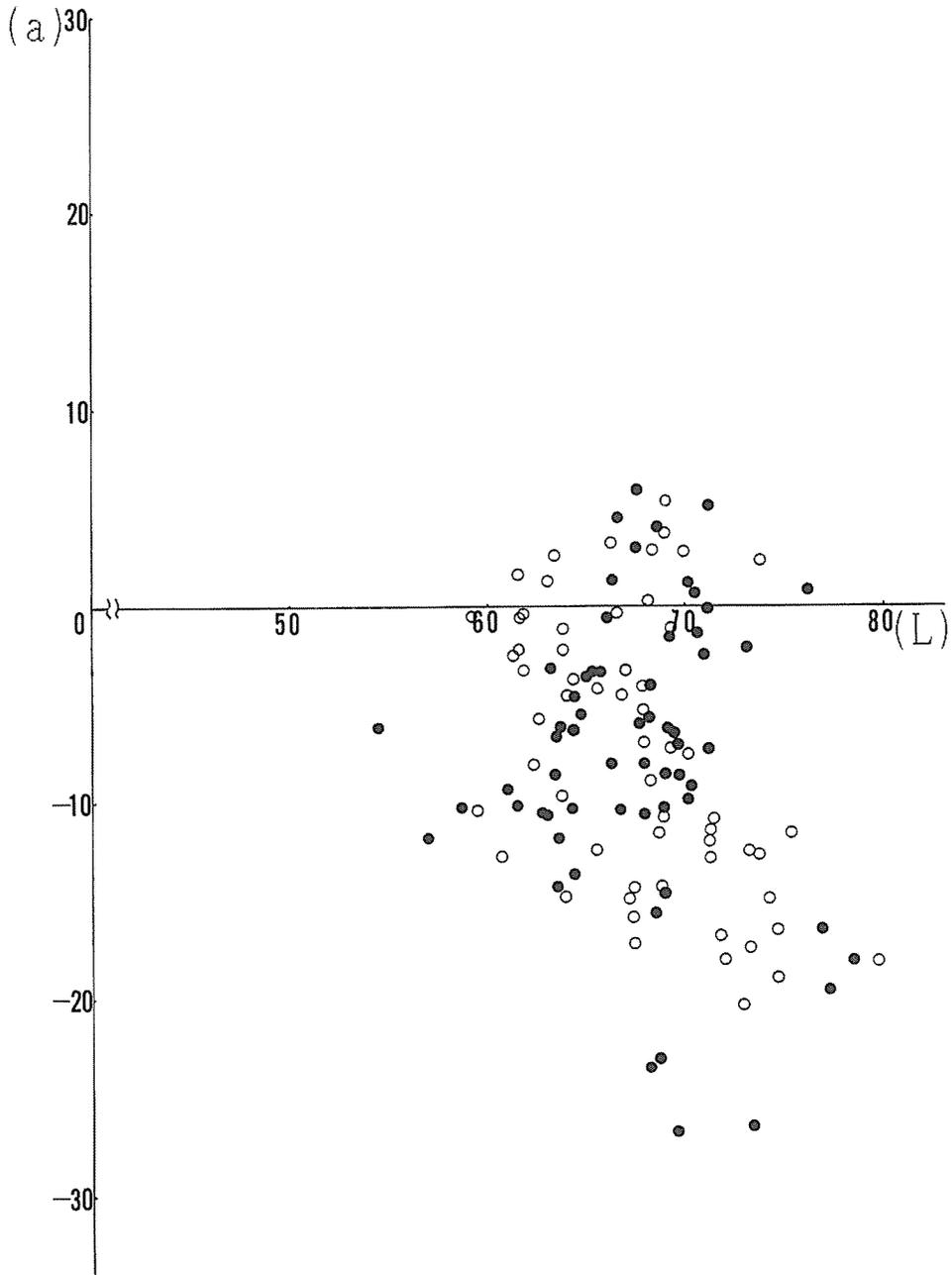


Fig. 4. Distribution of L and a in color of the nacre of abalone on a diet lacking in lina blue A. (○) outer margin part of nacre, (●) inner part of nacre.

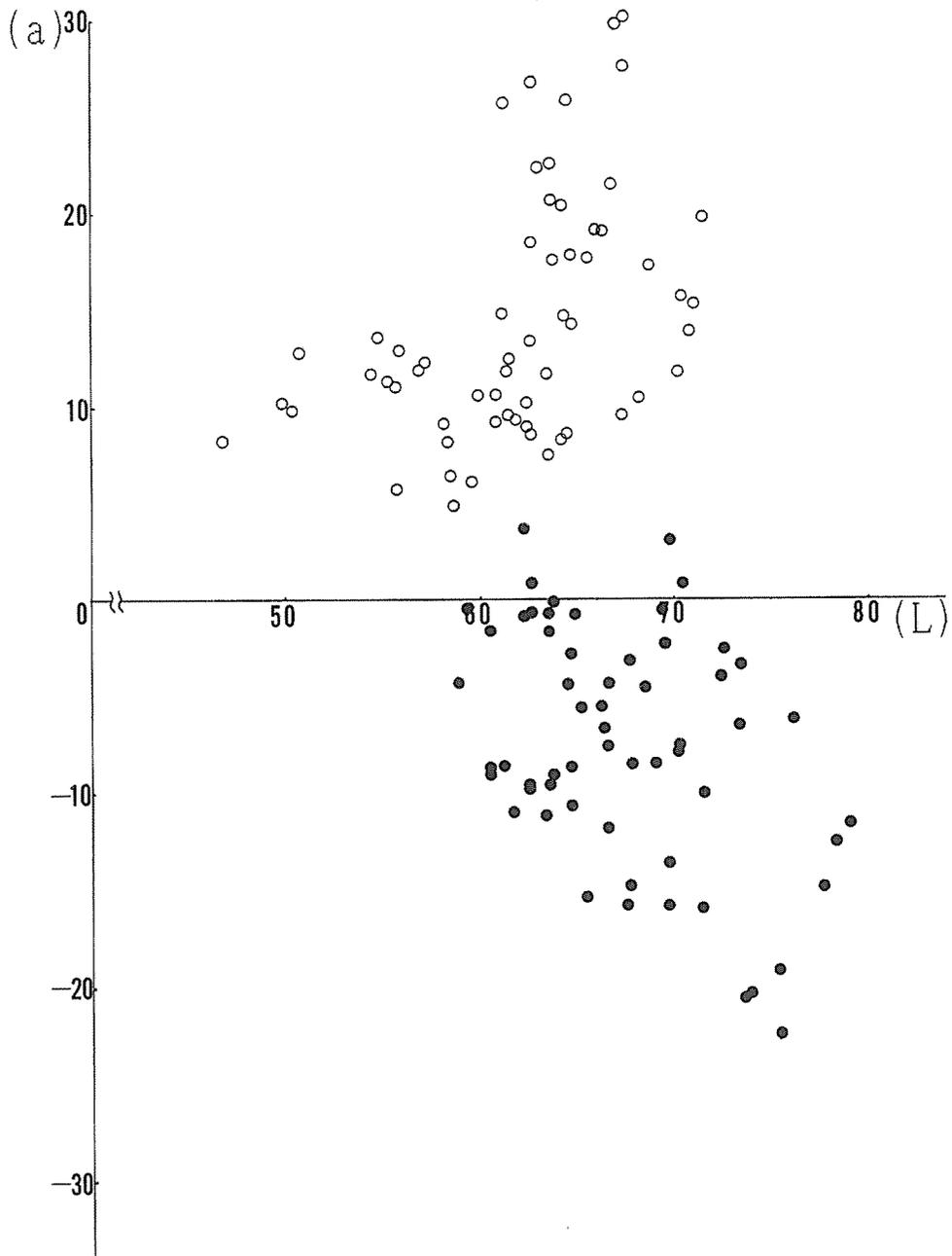


Fig. 5. Distribution of L and a in color of the nacre of abalone on a lina blue A supplement diet. (○) outer margin part of nacre, (●) inner part of nacre.

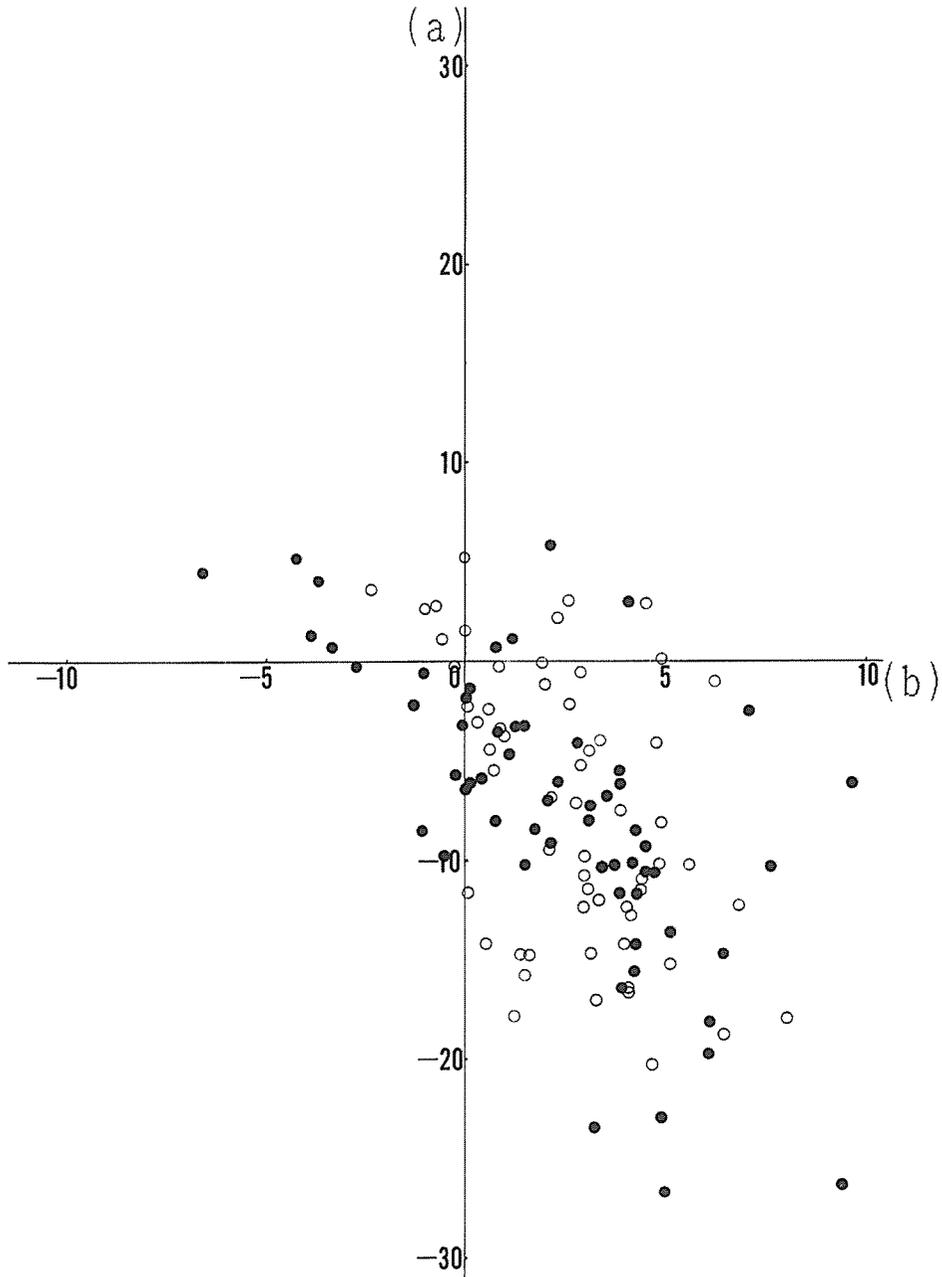


Fig. 6. Distribution of b and a in color of the nacre of abalone on a diet lacking in lina blue A. (○) outer margin part of nacre, (●) inner part of nacre.

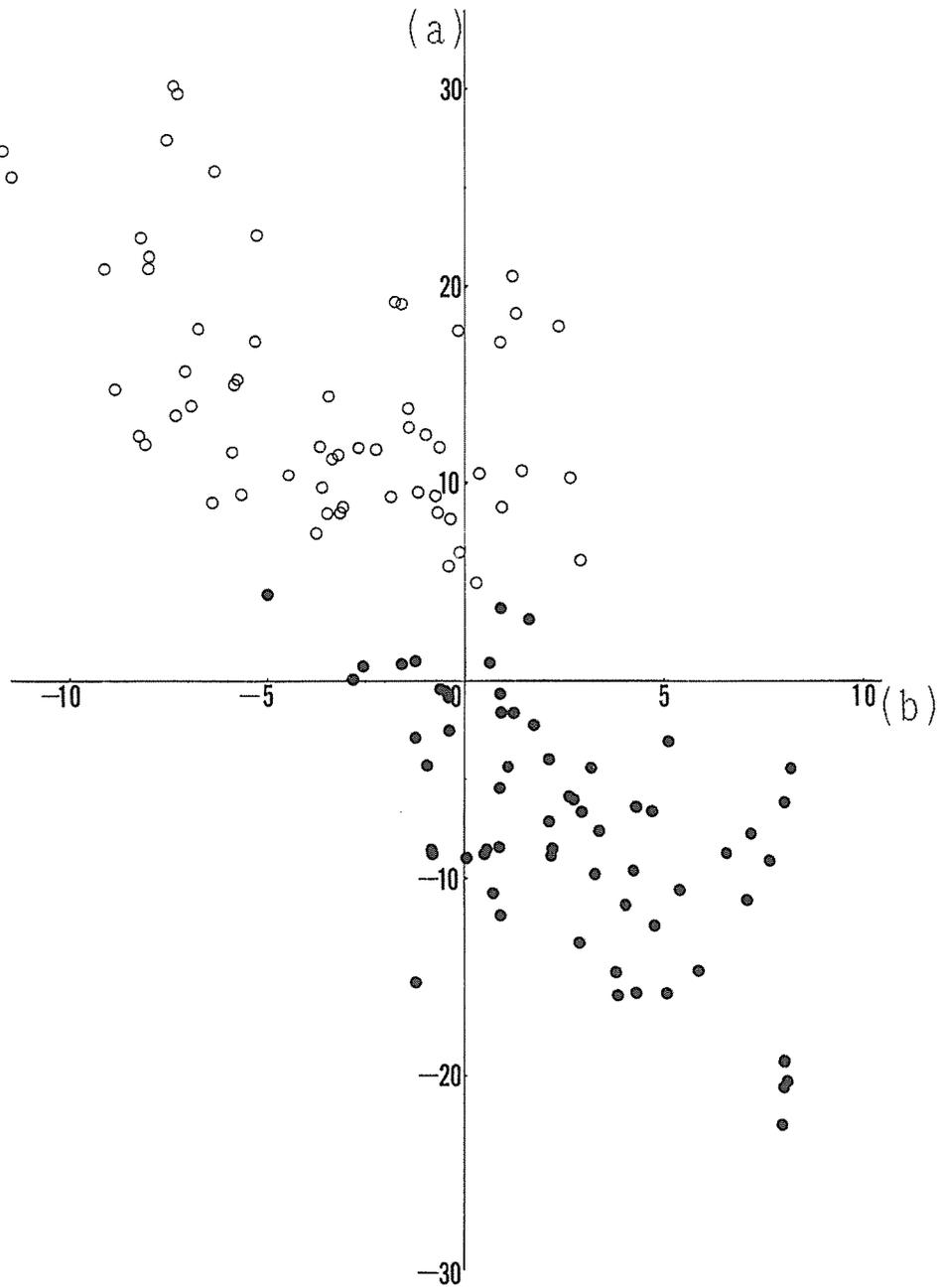


Fig. 7. Distribution of  $b$  and  $a$  in color of the nacre of abalone on a lina blue A supplement diet. (O) outer margin part of nacre, (●) inner part of nacre.

高くなり、bはやや低くなった。Fig. 8, 9, 10は、測定値 L, a, bをそれぞれまとめたヒストグラムである。Lについてのヒストグラム (Fig. 8) より、リナブルー添加区・外縁部のLの平均値は、61.81で、同内部の67.37、リナブルー無添加区・外縁部67.59、同内部の66.34に比べ低かった。又リナブルー添加区・外縁部はt検定の結果、99%信頼区間で、他の3部との間に有意な差が認められた。aについてのヒストグラム (Fig. 9) より、リナブルー添加区・外縁部は他の3部と比べ、ほとんど重なる部分がなく、平均値は、14.33で他の3部の-7.28, -7.37, -7.50に比べ著しく高くなった。bについてのヒストグラム (Fig. 10) より、リナブルー添加区・外縁部の平均値は、-3.66で他の3部の2.59, 2.67, 2.27に比べ低かった。又リナブルー添加区・外縁部のa, bは、t検定の結果、99%信頼区間で他の3部との間に有意な差が認められた。

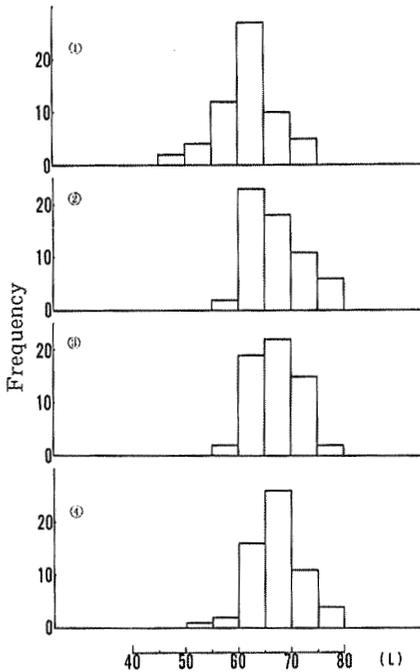


Fig. 8. Frequency distribution of L in color of the abalone nacre. ①outer margin part of the nacre of abalone on a test diet supplemented with lina blue A. ②inner part of the nacre of abalone on a test diet supplemented with lina blue A. ③outer margin part of the nacre of abalone on a test diet lacking in lina blue A. ④inner part of the nacre of abalone on a test diet lacking lina blue A.

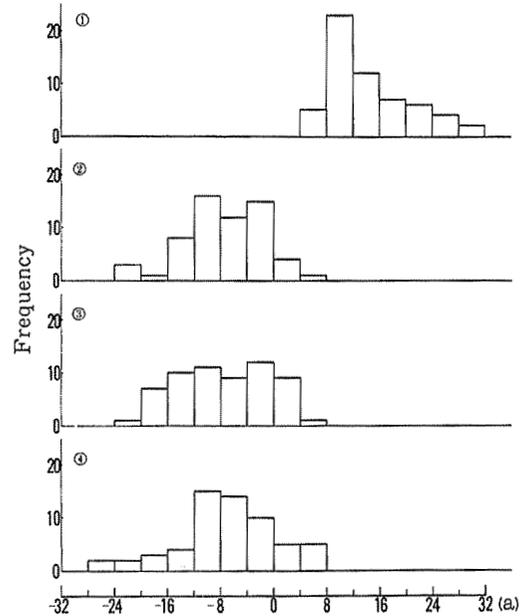


Fig. 9. Frequency distribution of a in color of the abalone nacre.  
①②③④: refer to Fig. 8.

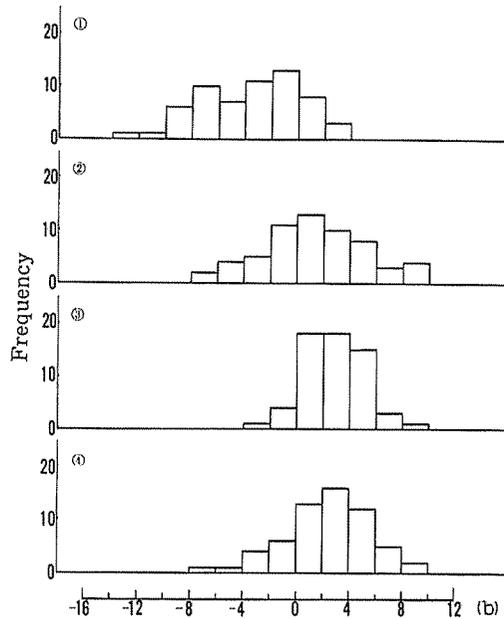


Fig. 10. Frequency distribution of *b* in color of the abalone nacre. ①②③④: refer to Fig. 8.

Table 3 に、リナブルー添加区・外縁部と他の3部との平均値について算出した色差 $\Delta E$ を示す。リナブルー添加区・外縁部は、他の3部との色差 $\Delta E$ が、23以上あり、NBS単位と感覚との関係 (Table 2) からNBS単位12.0以上“very much” (多大に) の感覚的差があった。なお他の3部間の色差は、NBS単位の0~0.5もしくは、0.5~1.5の範囲にあり、“trace”もしくは“slight” (かすかに又は、わずかに) 程度の感覚的差しかなかった。

Table 3. Changes in color of the nacre of abalone on a test diet supplemented with lina blue A

Shell		$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
Abalone on a test diet supplemented with lina blue A	{outer margin part of nacre	0	0	0	0
	{inner part of nacre	5.56	21.61	6.26	23.17
Abalone on a test diet lacking in lina blue A	{outer margin part of nacre	5.78	21.70	6.33	23.31
	{inner part of nacre	4.53	21.83	5.93	23.07

以上の結果より、リナブルーA添加人工餌料によって飼育したアワビ貝殻の真珠層外縁部は、内部に比べ、更に関ブルーA無添加人工餌料によって飼育した貝殻の外縁部、内部に比べ、赤みが著しく強くなり、青みを増し、明るさが減少して、感覚的色彩の差も多大になることがわかった。この事実は、リナブルーAがアワビによって摂取、代謝され、貝殻の殻皮層だけでなく、真珠層にまで沈着したこと、リナブルーAの沈着は、生長線である殻口外縁に多く、内側部分に少ないことを示唆している。又リナブルーAは、618nmに最大吸収を持ち、青色を呈するが、リナブルーA投

与により、貝殻外表面は褐色、真珠層は赤みを帯び、珪藻や褐藻及び色素無添加人工餌料による飼育アワビの貝殻外表面に見られる緑色（萩野・太田 1963, 1964, 田島・池森・新崎 1980, 他）とは明瞭に区別できた。投与色素と貝殻外表面、真珠層の色調の関係については、沈着色素の化学的性質の変化を含め更に検討する必要がある。

実験に使用した天然色素は、大日本インキ化学工業、三栄化学、田辺製薬、グリコ栄養食品より、供試アワビと海水は、三重県浜島種苗センターよりそれぞれ提供を受けた。記して感謝の意を表します。

### 参 考 文 献

- Fox D. L., 1972. Chromatology of animal skeletons. *Am. Scient.*, **60** : 436-447.
- 小林新二郎・渡部哲光, 1959. 真珠の研究. 技報堂. 1-280.
- 萩野珍吉・太田顕亮, 1963. アワビの栄養に関する研究 I. *日水誌*, **29** (7) : 691-694.
- , 1964. アワビの栄養に関する研究 II. *同誌*, **30** (6) : 523-526.
- 田島迪生・池森雅彦・新崎盛敏, 1980. アワビに含まれる餌料藻起源の色素 I. *日水誌*, **46** (4) : 445-450.
- , 1980. アワビに含まれる餌料藻起源の色素 II. *同誌*, **46** (5) : 517-522.
- 谷村顕雄, 1979. 天然着色料ハンドブック, 光琳, 508-520.