

シェルタに蛸集するアワビに与える色の影響

EFFECTS OF COLOR ON ABALONES GATHERING TO THE SHELTERS

間山正一*

By Masakazu MAYAMA

This paper describes effects of color on abalones gathering to the shelters. The experiments were carried out in the laboratory by using abalones and colored shelters. Following conclusions were obtained. 1) The color attributes of the dry shelter surface were similar to those of the wet shelter surface. 2) Gathering rates of abalone to the shelter were similar, if the color attributes were the same. 3) The lower lightness of shelter surface, the more abalones were drawn into the shelters. 4) The lower saturation of shelter surface, the more abalones were drawn into the shelters.

Keywords: ferrite shelter, artificial reef, effects of color on abalones, collect of abalones

1. 概 説

著者は海洋や水産の分野における魚礁、藻礁、築礁あるいは潜堤等の材料としての副産物フェライトの効用¹⁾について室内実験あるいは海洋における実証実験を行っており、そのいくつかについて報告をしてきた。

すなわち、室内においてはフェライト混合物への昆布の着生、各種の人工魚礁用混合物（材料）の力学的性状および密度の比較、混合物による人工魚礁の数学的安定計算の比較、磁気センサによって魚礁の位置確認を行うための磁気標識体としての可能性²⁾⁻⁴⁾、シェルタへのアワビの着礁に与えるいくつかの要因分析^{5),6)}等に関する研究であり、他方、海洋においては波圧に対する構造物の安定性、藻類の着生や成育^{2),3)}、フェライト魚礁へのアワビの着礁⁷⁾等である。

フェライト魚礁の色は主材料となる副産物フェライトの色の影響で特別な加工なしに黒色が得られ、それがアワビを誘引する理由の1つと推定されるが^{5),6)}、ここでは複合的に重なり合ってアワビを誘引する理由のうち色の因子を取り出してその影響を定量的に分析することを試みたい。すなわち、広範囲の色の属性をもつシェルタ

を試作し、さらに、水槽の色の属性も変えてアワビの蛸集実験を行い、もってシェルタへのアワビの蛸集に与える色の影響を論じたい。

なお、ここでいう色とは人間が視覚し得る範囲内の波長（可視スペクトル）であり、紫外線や赤外線等については本論文の範囲を越えることをあらかじめおことわりしたい。

2. 色についての概説と色の測定方法

(1) 色について⁸⁾⁻¹⁰⁾

色の性質自体について論ずることは、本研究の目的ではないが、シェルタの色とアワビの蛸集の関係について論ずる際、役に立つと思われる項目について簡単に説明したい。

色は、白色、灰色、黒色のようにいどり（彩度）をもたない無彩色（achromatic color）と、赤色、黄色、緑色、青色のようにいどりをもつ有彩色（chromatic color）に大別され、さらに、明るさの度合い（明度）や色合い（色相）によっても区別される。これらの色相（hue）、明度（lightness）、彩度（saturation）は色の三属性とよばれ、色の数値化をはかるため使用される。

写真-1は色の三属性の相互の関係を示した色立体であり、図-1はその説明である。

* 正会員 工博 北海道工業大学教授 工学部土木工学科
(〒006 札幌市手稲区手稲前田 419-2)

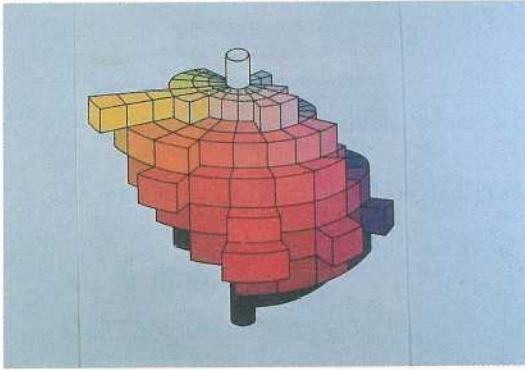


写真-1 色立体

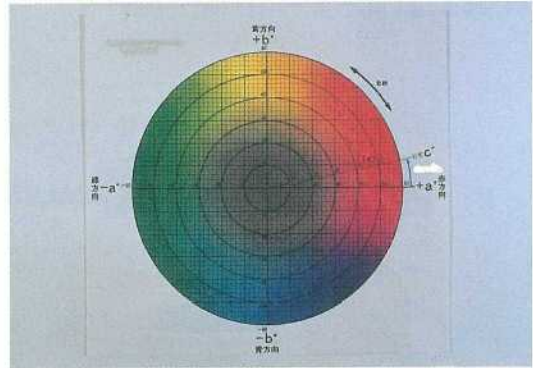


写真-2 色相環

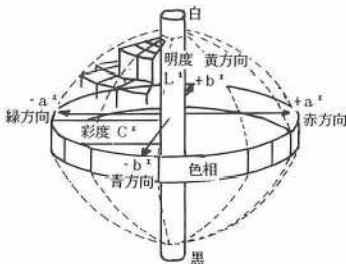


図-1 色立体の概要

縦軸は明度を表わし、色立体の中心を通る縦軸は無彩軸とよばれる。無彩軸上の最上部に白色、最下部に黒色、その間に灰色が位置するが、これを色の三属性の数値で表わせば白色は明度100、黒色は0、灰色はその間の数値であり、いずれの場合にも彩度、色相は0となる。すなわち、無彩色は明度によって色の区別がされる。

色あいを示す色相は色立体における無彩軸に垂直な面に示され、光のスペクトルに現われる赤、黄赤、黄、黄緑、青、青紫の次に、さらに、紫、赤紫を加えるとその次に赤が現われるような環状に有彩色を配置したものを色相環(写真-2)という。換言するならば、色立体の中心を通る縦軸に垂直な面で色立体を切った場合の断面を真上からみた図が色相環である。写真-2のように、色相環の中心、すなわち、無彩軸上を中心として赤～緑方向の座標軸を $+a^*$ ～ $-a^*$ 、および黄～青方向の座標軸を $+b^*$ ～ $-b^*$ とすると、ある明度における色(同一明度の色)は色相環上の a^* および b^* の値によって表わされ、その中心からの距離 C^* ($C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$)が彩度になる。このことから色のあざやかさ、さえ方の度合いを表わす彩度は、色立体の中心を通る縦軸上(無彩軸上)で最もあざやかではない色($C^* = 0$)と定義され、この軸と垂直方向に軸から離れていくに従って彩度が高くなり、あざやかな色となる。したがって、同一明度の色は、この彩度と、 $+a^*$ 軸からの反時計周りの角度、すなわち、色相角度 H° によっても表わされる。

なお、写真-2に示した a^* および b^* の値は ± 60 までの数値しか示していないが、これ以上の値をとることもある¹⁰⁾。

(2) 本研究における色の測定方法^{11), 12)}

本研究における色の測定は、JIS Z 8722で定義されている拡散照明垂直受光方式(正反射光を含む)に準拠して設計された色彩色差計(MINOLTA CR-200)によって行った(写真-3)。試料の色の測定を行う測定ヘッド部(試料からの反射光を測定する試料測定部と照明光源の光を直接測定する光源測定部からなる)、得られた試料の色の情報を取り込み、種々の表色モードへの変換、表示、印字等を行う本体からなる。

測定方式はパルスキセノンランプから発せられるほぼ均等な輝度をもつ光源があらゆる方向から試料に照明され、垂直方向の反射光を受光する方式である(図-2)。

光の吸収、透過、反射率、屈折率等が海水中と空気中では若干、異なることから¹³⁾、厳密には水槽中にある物体の色の属性は空気中のそれとは異なるが、測定器の制約から空中で測定することとし、また、表面の濡れの影響を検討するためシェルトの表面を乾燥あるいは海水で濡らした状態で測定した。



写真-3 色彩色差計

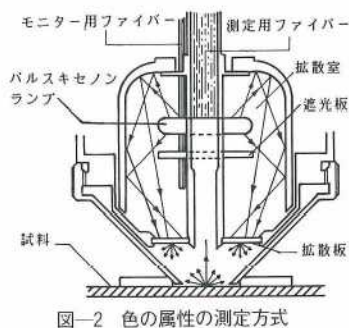


図-2 色の属性の測定方式

3. シェルタの材料と蟻集の実験方法

(1) シェルタ本体を構成する材料

シェルタ本体は結合材料と骨材の混合からなり、すでに報告した論文^{5),6)}に用いたシェルタと同一の材料を用いている。ここで、シェルタ本体とは表面に着色材料を塗布する前の構造体としてのシェルタのことをいう。

a) 結合材料

針入度 85, 軟化点 48.0 のストレートアスファルト、および比重が 1.04 の B 種高炉セメントを用いた。

b) 骨材と配合

表-1 は本研究で普通セメントコンクリート用フィラーとして用いた骨材, フェライトコンクリートおよびフェライトアスファルト混合物用フィラーとして用いた副産物フェライトの粒度分布を示す。

副産物フェライトは天然に産出する磁鉄鉱, マグネタイトと同性状の粉体で化学的安定性がきわめて高い, 比重が約 5 の黒色の磁性酸化物である^{11),14)}。人工魚礁用新素材として多くの場所で海洋実験に供されているが, 一例として, 「北海道日本海漁業振興特別対策事業」として 1990 年 6 月 19 日に北海道余市郡余市町港町地先(北海道中央水産試験場前)の前浜に沈設したフェライト魚礁の例を写真-4 に示す。

副産物フェライトには種々の粒径のものがあるが, 本研究においては海洋実験の一部⁷⁾にも用いられた粒径の

表-1 骨材の粒度分布(通過重量百分率)

フルイの開き目	セメント混合物用骨材	副産物フェライト FL
mm	%	%
15	100	-
13	-	-
10	74.5	-
5	57.0	-
2.5	44.0	100
1.2	35.0	99.8
0.6	21.5	99.5
0.3	10.0	97.5
0.15	1.5	82.0
0.074	0	53.0



写真-4 北海道中央水産試験場の前浜に沈設したフェライト魚礁

比較的大きな FL フェライトを使用した。

本研究で使用したシェルタの配合を表-2 に示す。

なお, 後述するように, 4. (2) において表-2 に示した材料の異なる 3 種類のシェルタを用いるほかは, 本研究においては特にことわりのない限り, フェライトアスファルト混合物で作製したシェルタに着色を施して用いた。

(2) シェルタの着色に用いた着色材料

(1) で作製したシェルタの表面を表-3 に示す 6 種類の着色材料とエポキシ樹脂のスラリーでそれぞれ被覆して表面の色の異なる 6 種類のシェルタを作製した。また, フェライトアスファルト混合物の表面を顔料を入れないエポキシ樹脂でコーティングして黒シェルタを, 同

表-2 着色する前のシェルタの配合

シェルタの名称	アスファルト wt. %	セメント wt. %	フェライト wt. %	骨材 wt. %	水 wt. %
FL1-7	7	-	93	-	-
FL-15	-	14.0	79.0	-	7.0
HC-15	-	12.9	-	80.6	6.5

表-3 シェルタの表面を着色するのに用いた顔料の成分と特性

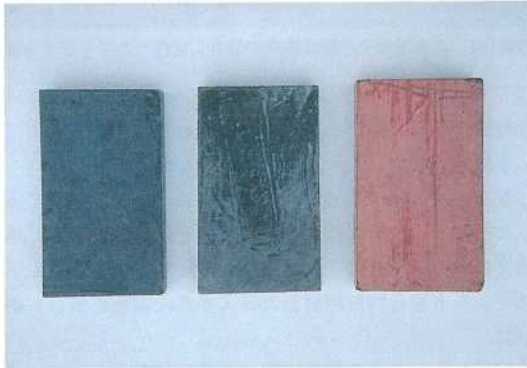
材料名	茶	緑	黄2	青	黄1	白
主成分	酸化第二鉄	酸化クロム	酸化第二鉄	シアン化銅	酸化第二鉄	酸化チタン
主成分の量(%)	96.5	99.37	86.5	-	-	94.1
着色力	-	-	-	-	100	102
乾燥減量(%)	0.13	0.08	0.4	-	-	0.32
水成分(%)	0.32	-	1.2	2.0以下	1.0以下	0.20
ふるい残分(%) ¹⁾	0.10	0.003	0.01	1.0以下	0.5以下	0.005
PH	6.4	-	4.5	-	-	6.9
吸油量(%, cc/100g)	24.0	-	48.0	14~18	27~33	21.0
真比重	5.20	5.21	4.2	2.7±0.3	4.0	4.2
配合比率(%) ²⁾	4.8	4.8	7.4	6.5	7.4	10.7

¹⁾標準ふるい44μに残留した分量

²⁾エポキシ樹脂と顔料の合計重量に対する顔料の重量百分率

混合物に白色の石粉（炭酸カルシウム）を混入して色調整をしたものを同じくコーティングして灰2および灰1シェルタを作製した。これらの着色材料は市販されているもので、特にシェルタの表面のコーティングを想定した材料ではない。これらのシェルタをまとめて写真—5—写真—7に示す。

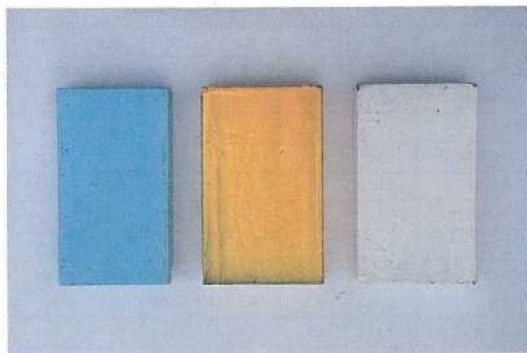
なお、エポキシ樹脂は、ビスフェノールAジグリシジルエーテル系の主剤が重量比で100に対して、硬化剤として用いた変性脂肪族ポリアミンが40の2液混合タイプである。



写真—5 実験に用いた黒、灰2および茶のシェルタ



写真—6 実験に用いた緑、灰1および黄2のシェルタ



写真—7 実験に用いた青、黄1および白のシェルタ

また、これらのシェルタは海水に約3か月間浸けた後、実験に使用した。

(3) 飼育システムとアワビ^{5),6)}

本研究に用いた飼育システムとアワビはすでに報告したそれらと同等である。

水槽（飼育槽）は1700×800×450 mmの内寸法をもち、エアレーション用コンプレッサ、多段式汙過槽、毎時3ターン以上の循環を確保する循環モータを具備している。なお、シェルタの表面をコーティングしたものと同じ白および青の樹脂塗料、同類の属性をもつ既製の黒ペイントで水槽内部をそれぞれコーティングして色の属性の異なる3種類の水槽を使用した。

使用海水は小樽水族館の位置する北海道小樽市祝津海岸より汲み上げたものを汙過し、かつ、18°Cの一定温度に調整して使用した。使用海水のpH、塩濃度、比重の交換基準値は、それぞれ8.2、34.5‰、1.025である。

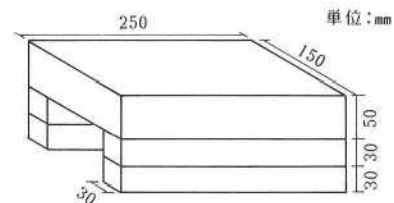
飼育槽1槽当たり約120個のエゾアワビを飼育したが、その平均殻長、平均体重、平均肥満度（＝平均体重/平均殻長³）はそれぞれ30 mm、3.2 g、0.119 g/cm³である。

(4) 実験方法^{5),6)}

シェルタの形状は図—3に寸法を示した逆U字型断面の単純な形状である。表面は着色剤と樹脂の混合からなる着色材料で被覆されているため比較的滑らかである。

実験手順は、夕方5時に水槽にシェルタのセットと給餌を行い、翌朝5時に水面から70 cmの位置に設置した100Wの電球2個を点灯させ、同9時にアワビの数を数える1日1サイクルの実験方法をとった。シェルタの設置は色の異なる2種類のシェルタを1個ずつ合計2個を水槽の長さ方向の両端から水槽の長さの1/4の位置に設置した。

本研究は色の属性とアワビの娚集の関係に注目した研究であることから、シェルタ以外の色、すなわち、シェルタが置かれる水槽の色の影響も考慮に入れる必要がある。そこで、アワビの分布数（着礁数）を2種類のシェルタおよびシェルタ以外の場所（水槽）に分けて数え、水槽中のアワビの全個数に対するそれぞれの割合を分布率Gとして百分率で表わす方法をとるものとした。測定回数は2種類のシェルタの位置を交互に2回変えて、



図—3 シェルタの形状

合計4回の測定値の単純平均値をまとめた。

なお、既往論文ではシェルタのみに着礁したアワビの数から計算される「蝸集率」を使用した^{5),6)}、前述したように、本研究の目的から水槽の色の影響も考慮に入れる必要があるため、シェルタに入らない(水槽に分布した)アワビの数も含めた「分布率」を用いることとした。また、特に数値を検討する場合以外は「蝸集」および「分布」の用語を適宜、混用した。

4. 実験結果

(1) 水槽およびシェルタの色の属性

3か月間海水養生をしたシェルタと水槽について色彩色差計で測定した色の属性のうち、表一4は表面が乾燥した場合について示したものであり、表一5はそれらの表面を海水で濡らした場合について示したものである。

色をカラー写真で示しても印刷の関係で多少の差異が生ずるため、表一4および表一5には、先に、2.(1)で説明した $L^*a^*b^*$ 、 C^* 、 H° のほかに、XYZ表色系によって表示した Yxy およびマンセル記号についても掲載し、色の属性の確認をより正確にできるように配慮した。

9種類の色のシェルタを用いた理由は広範囲の色の属性についてアワビの蝸集との関係を論ずることが可能であり、また、黒、青、白の3色については水槽の着色にも用いられ、その色の属性との相互関係を考慮することによって、より多角的に論ずることが可能となるためである。

色の三属性が異なるように色を選択したことからこれ

表一4 表面乾燥状態の各シェルタの色の属性

シェルタの色	L*	a*	b*	L'	C'	H°	Y	x	y	H	V	C
白	90.82	+1.28	+8.30	90.82	8.44	98.4	77.70	0.3240	0.3332	3.2Y	9.0	1.1
黄1	74.65	+6.64	+22.25	74.65	22.54	84.8	51.11	0.4779	0.4634	1.9Y	7.4	12.0
青	71.34	-16.13	-15.05	71.34	23.78	227.0	42.71	0.2457	0.2858	5.7B	7.1	5.4
黄2	52.26	+11.83	+42.29	52.26	43.58	74.3	20.38	0.4563	0.4150	9.0YR	5.1	6.8
灰1	46.89	+1.87	+22.03	46.89	22.12	83.4	17.22	0.3521	0.3509	1.5Y	4.4	1.5
緑	42.04	-21.72	+18.24	42.04	28.36	140.0	12.53	0.3120	0.4178	0.1G	4.1	4.4
茶	34.08	+23.38	+15.91	34.08	28.26	34.2	8.06	0.4488	0.3358	7.9R	3.3	5.5
灰2	35.80	-0.89	+2.82	35.80	2.98	107.7	8.96	0.3184	0.3285	8.1Y	3.5	0.4
黒	25.90	+0.07	+0.48	25.90	0.48	79.6	4.72	0.3125	0.3183	1.4Y	2.5	0.0

表一5 表面湿潤状態の各シェルタの色の属性

シェルタの色	L*	a*	b*	L'	C'	H°	Y	x	y	H	V	C
白	89.77	-0.69	+8.98	89.77	9.08	93.7	75.85	0.3283	0.3342	1.2Y	8.9	1.3
黄1	73.77	+6.75	+22.00	73.77	22.27	85.7	46.42	0.4863	0.4709	2.3Y	7.4	13.4
青	69.25	-15.92	-12.64	69.25	21.14	218.6	39.82	0.2535	0.2946	5.5B	7.0	5.0
黄2	51.33	+12.11	+45.04	51.33	46.63	75.0	19.57	0.4657	0.4201	9.3YR	5.0	7.3
灰1	45.01	+1.22	+11.11	45.01	11.19	82.2	15.14	0.3483	0.3511	1.5Y	4.4	1.6
緑	41.06	-22.80	+19.46	41.06	29.97	139.6	11.91	0.3126	0.4271	0.1G	4.0	4.6
茶	32.83	+24.70	+17.28	32.83	30.15	34.9	7.48	0.4622	0.3375	8.2R	3.2	6.0
灰2	32.79	-0.49	+1.08	32.79	1.21	105.3	7.77	0.3130	0.3182	3.7GY	3.6	0.1
黒	22.63	+0.08	+0.09	22.63	0.82	80.3	3.77	0.3144	0.3201	1.5Y	2.0	0.1

らの値が異なることは当然であるが、明度 L^* および色相 H に違いが現われ、特に、明度は黒、灰2、茶、緑、灰1、黄2、青、黄1および白の順番に低く、その差もきわめて大きい。

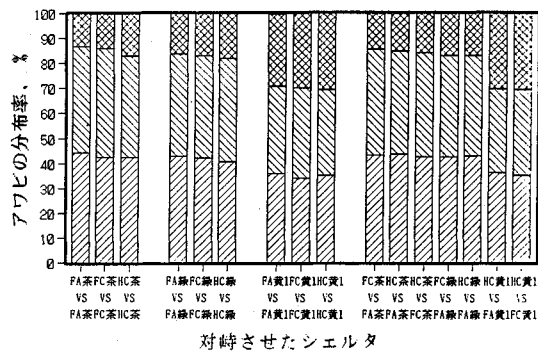
表一4と表一5を比較してみると、表面の乾燥および湿潤による色の属性に若干の違いはあるがその差は小さく、ほぼ同じ色の属性としてさしつかえないであろう。本研究で色の属性とアワビの蝸集を論ずる際には表面が湿潤状態で得られた値を使用することとする。

(2) 表面の色が同一で材料の異なるシェルタのアワビの分布率

シェルタの本体(中身)を異なる材料、すなわち、フェライトアスファルト混合物(FL1-7)、フェライトコンクリート(FL-15)、普通コンクリート(HC-15)で作製し、それぞれ得られたFA、FC、HCシェルタの表面の色を同一にしたシェルタを青色の水槽に2個設置し、各シェルタおよびシェルタ外に分布したアワビの分布率を比較する。

図一4は茶、緑、黄1およびこれらの組合せの順番に第1群~第4群に分けて分布率を比較した図である。1本の棒グラフは1番上がシェルタ外、2番目および3番目(中および1番下)はそれぞれのシェルタの組合せ順になっている。たとえば、茶のシェルタについてまとめた第1群の最初の棒グラフは水槽に設置した2個のシェルタの表面の色が双方とも同一の茶であり、本体の材料は双方ともフェライトアスファルト混合物であることを意味し、シェルタ外への分布率が13.4%、シェルタへの分布率がそれぞれ42.5%、44.1%であることを示している。

第4群にみられるように、実験に使用した茶、緑、黄のどの色についても、シェルタ本体を構成する材料が副産物フェライトを含む場合、すなわち、本体がFL1-7シェルタおよびFL-15シェルタの場合はそれぞれ対峙する普通コンクリートシェルタと同一の色の属性であつ



図一4 表面の色が同一で材料の異なるシェルタのアワビの分布率

でもよりアワビを蜻集しているが、その差は小さい。

次に、第1群～第3群にみられるように、シェルタ本体の材料が同一の場合はシェルタとシェルタ外への分布率がシェルタの色によって若干、変化するが、同一の色からなるシェルタ双方の分布率はほぼ同じである。つまり、シェルタの色の属性が同じであるならば水槽内におけるアワビの分布率も同一であると結論づけられる。

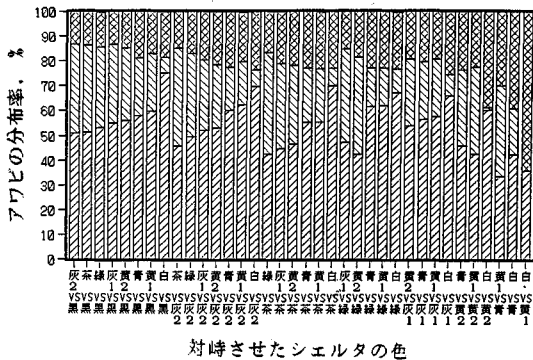
逆說的にいうならば、これらのデータは同一の材料で作製したシェルタの表面の色を変えてアワビの分布率を求める手法が合理性をもつものであることを傍証するものであろう。

(3) シェルタの色とアワビの分布率の関係

ここではシェルタの色とアワビの分布率の関係について実験の結果得られたデータを示して、そのおおまかな傾向について説明し、色の属性との関連性については後述することにする。

図一五は白色の水槽に2種類の色のシェルタ1個ずつ合計2個を設置し、各シェルタおよびシェルタ外に分布したアワビの分布率をまとめて示したものである。1本の棒グラフは1番上がシェルタ外、2番目および3番目(中および1番下)はそれぞれのシェルタの組合せ順になっている。着色する前のシェルタはフェライトアスファルト混合物で作製したシェルタであり、色の種類は、先に表一4および表一5で属性を示した黒、灰2、茶、緑、灰1、黄2、青、黄1および白の9種類である。

一例として、黒シェルタに対する灰2、茶、緑、灰1、黄2、青、黄1および白のシェルタの分布率はそれぞれ35.8%、35.1%、32.6%、31.7%、29.1%、23.2%、23.1%、6.1%、そのときのシェルタ外の分布率は、それぞれ13.4%、13.7%、14.1%、13.5%、14.9%、18.8%、17.2%、18.7%である。おおまかにみた場合、分布率は黒、灰2、茶、緑、灰1、黄2、青、黄1および白の順番に、すなわち、シェルタの色が暗いほど大きくなり、また、若干ではあるが、シェルタ外に分布するアワビは明るい色に近いほど多くなっている。



図一五 白水槽におけるアワビの分布率

図一六は水槽の色が青の場合における同様の実験から得られた分布率を比較した図である。

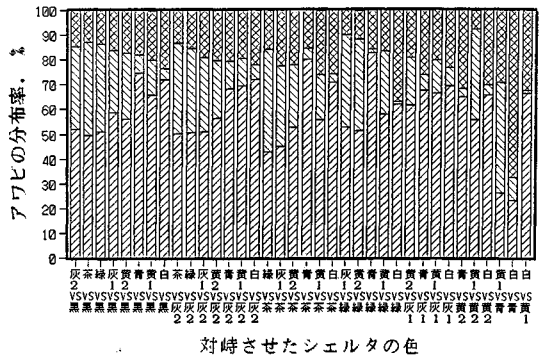
図一五の白水槽の場合のデータと近似しており、暗い色ほど分布率が大きくなり、また、シェルタ外に分布するアワビが少なくなっているが、青水槽における青シェルタの他の色のシェルタに対する分布率は白水槽におけるそれより小さくなっている。これは水槽の色とシェルタの色が同一であることからアワビが両者の識別をすることが難しくなるためであると考えられ、また、水槽の色に対するシェルタの色の相対的な暗さが白水槽を使用した場合に比較して小さくなるためであると考えられるが、確定的ではない。

水槽とシェルタの明るさの相対的な関係に対するアワビの蜻集の傾向は、図一七に示した水槽の色を黒とした場合のデータからも考察される。水槽の色に比較してシェルタの色が明るいいため、アワビのほとんどがシェルタ外(水槽)に分布している。

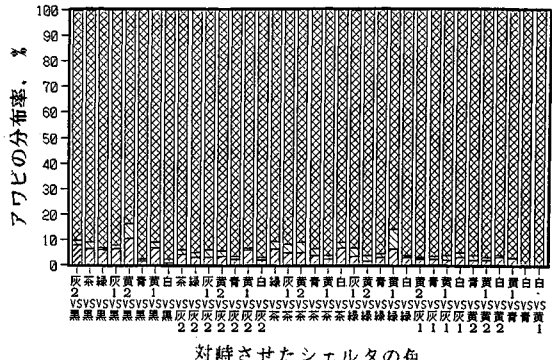
実際の海洋においてアワビの育成場所に本研究で使用した黒に近い場所を選ぶことは想定し難く、また、現実的でもないで今後の考察については白水槽および青水槽を用いて得られたデータのみを検討することとする。

(4) シェルタの明度とアワビの分布率の関係

図一八は白水槽および青水槽における黒、灰2、灰1、



図一六 青水槽におけるアワビの分布率



図一七 黒水槽におけるアワビの分布率

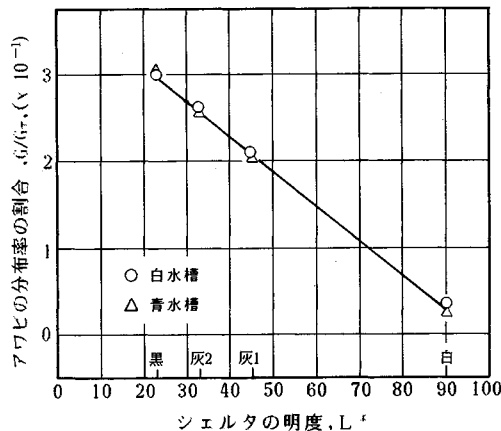


図-8 アワビの分布率の割合と無彩色系統のシェルタの明度の関係

白の各シェルタに分布したアワビの分布率の割合 G/G_T と各シェルタの明度 L^* の関係である。

黒、灰2、灰1、白の色のシェルタを選択した理由は、いずれのシェルタも彩度および色相がきわめて小さく、色立体の中心を通る無彩軸に近いことからほぼ明度によってのみ色の属性を特定できるためである。

縦軸に示した分布率の割合 G/G_T とは黒、灰2、灰1、白の4個のシェルタをリーグ戦方式で相互に対峙させたときの6通りの組合せによるアワビの分布率の総合計 G_T ($100\% \times 6$ 通り = 600%) で各シェルタに分布したアワビの分布率の合計 G を除した値である。白水槽における灰1シェルタを例にとりて説明すると、図-5に示した棒グラフの左から1, 4, 8, 11, 15, 30本目の分布率の総合計 (600%) で棒グラフの左から4, 11, 30本目の灰1シェルタのみに分布したアワビの分布率の合計 ($31.7\% + 28.3\% + 66.2\% = 126.2\%$) を除した値、すなわち、0.21が縦軸にプロットされる。図-5および図-6に示した分布率の計算にはシェルタ外に分布したアワビも含まれているが、ここでは、シェルタの色によるアワビの蝟集の比較であること、また、繁雑さを避けて理解を容易にするためにシェルタに分布したアワビの分布率の割合のみをプロットした。

水槽の色に関係なく G/G_T とシェルタの明度は直線関係を持ち、明度が高いほど分布率が小さくなる。この結論はきわめて重要であり、明度の低いシェルタを使用することによって、より多くのアワビを蝟集できることを意味する。

図-9は白水槽および青水槽における G/G_T と黒、灰2、茶、緑、灰1、黄2、青、黄1および白の9種類のシェルタの明度の関係である。

図-8の場合と同様に、 G/G_T は図-5あるいは図-6における全シェルタの相互の組合せ (36通り) による

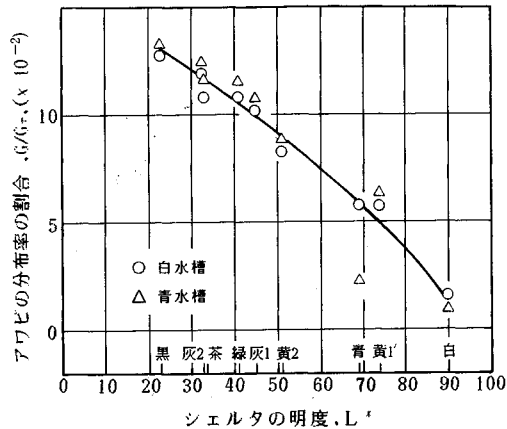


図-9 アワビの分布率の割合とすべてのシェルタの明度の関係

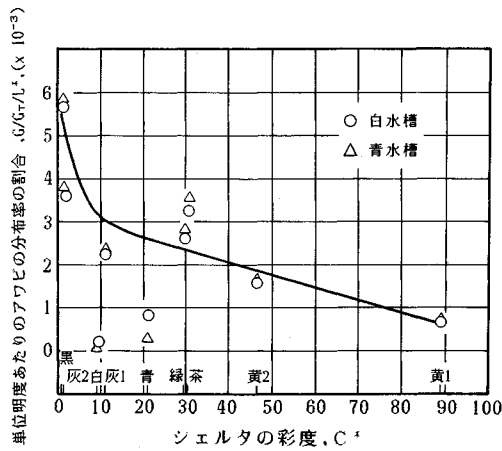
分布率の総合計 (3600%) で各シェルタに分布したアワビの分布率の合計を除した値である。

G/G_T とシェルタの明度は、水槽の色に関係なく全体として上に凸の緩やかな曲線で表現され、明度が高いほど G/G_T が小さくなる。青水槽の場合、青シェルタへの G/G_T は曲線の傾向から外れて小さくなっているが、これは先に図-6で述べたように、理由の1つとしてシェルタの明度が水槽の色と同一であることからアワビに対して一種の保護色になっているためであると考えられるが、今回の実験の範囲では見出し得ない要因も考えられ、確定できない。曲線からのずれについては白水槽についても同じことがいえるが、本研究に用いた9種類のシェルタの中で最も明度が高いため分布率そのものが低いこと、曲線の右端にあること等の理由により見掛け上曲線にある。

なお、 G/G_T と明度の関係が図-8においては直線であるのに対して図-9においては曲線になった理由は、後者が有彩色を含んでいるため明度以外の属性、すなわち、彩度および色相の影響が出たものと考えられる。

(5) シェルタの彩度・色相とアワビの分布率の関係
シェルタの彩度および色相とアワビの蝟集 (分布率) の関係を論ずる場合、理論的には彩度および色相の定義からして有彩色のみを論ずべきであるが、無彩色に近いシェルタの分布率がきわめて大きいためこれを抜いて考えると全体の傾向を見失うおそれがあるため、ここでは9種類のシェルタ全部についてまとめて論ずることにする。

図-10は白水槽と青水槽における9種類のシェルタへの単位明度当たりのアワビの分布率の割合 $G/G_T/L^*$ とシェルタの彩度 C の関係である。縦軸の単位明度当たりのアワビの分布率の割合 $G/G_T/L^*$ とは、図-8および図-9で示したアワビの分布率の割合 G/G_T をさら



図一〇 単位明度当たりのアワビの分布率の割合とセルタの彩度の関係

におのおののセルタの明度 L^* で除した値である。 L^* (分母) の低いセルタほど G/G_T (分子) が大きいので結局、 $G/G_T/L^*$ はセルタの色によって大きく変化する。

青および白のセルタはここでも全体の傾向から外れているが、無彩色に近い黒、灰2、灰1、白の各セルタの G/L^* はわずかな彩度の変化で著しく変化するのに対し、青を除く有彩色の茶、緑、黄2、黄1のセルタは彩度の増加とともに G/L^* は緩やかに減少している。いずれにしても、彩度が低いほどアワビは蝸集されやすいことが理解される。

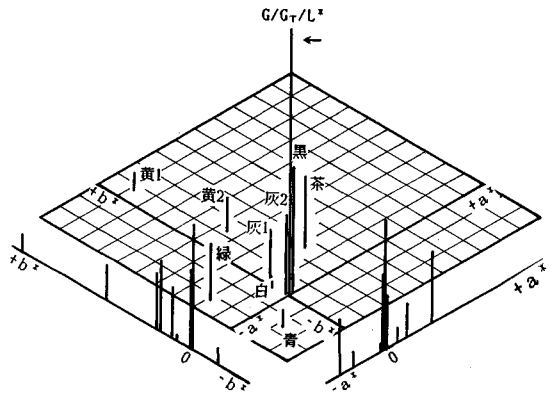
ここで、青セルタや白セルタが全体の傾向から外れている理由として、前述した水槽の色に対してセルタの色が保護色の関係にあること、蝸集に大きな影響を与える明度がきわめて高いこと等が考えられ、同時に、特異色の可能性があることも指摘しておきたい。

白水槽および青水槽における彩度と色相に対するセルタの単位明度当たりのアワビの分布率の割合 $G/G_T/L^*$ を三次元でグラフィック化して視覚的にわかりやすく表現したのが図一〇および図一〇である。

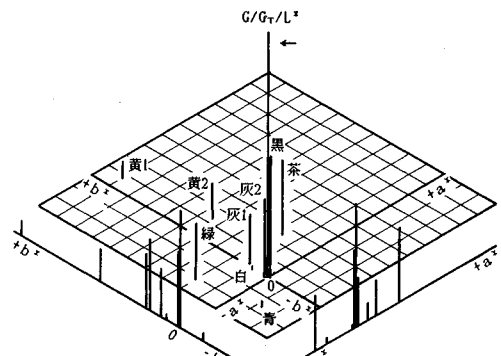
縦軸 (図中←印) は $G/G_T/L^*$ を表わし、縦軸と垂直に交わる平面上の直交する2本の座標軸はそれぞれ a^* と b^* である。先に写真一で説明したように、 a^* と b^* は色相と彩度を表わす色度の単位であり、 a^* は赤-緑方向、 b^* は黄-青方向を表わす。つまり、図一〇と図一〇は色相環の上に $G/G_T/L^*$ を立てた図である。

また、 $a^*=b^*=0$ の点に垂直に軸を立てれば (図では $G/G_T/L^*$) この軸は色立体の無彩軸に相当する。この軸からの距離が彩度 $C (C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}})$ である。

縦軸を b^* 軸に沿って投影させると右下の a^* 軸に示した棒グラフが得られる。無彩軸に近い黒や灰2セル



図一〇 単位明度当たりのアワビの分布率の割合とセルタの a^* および b^* の関係 (白水槽)



図一〇 単位明度当たりのアワビの分布率の割合とセルタの a^* および b^* の関係 (青水槽)

タの $G/G_T/L^*$ が大きいことがわかる。また、有彩色、すなわち、茶、緑、黄2、青、黄1のセルタに限定して考えれば、 a^* の値がプラス側 (赤方向) あるいはマイナス側 (緑側) に大きくなるに従って $G/G_T/L^*$ が大きくなっている。

a^* は彩度の大きさを決める一方の値であり、先に、図一〇において述べた彩度が低いほどアワビは蝸集されやすいという結論と、一見矛盾するようにみえるが、彩度は b^* の成分も含んでいることに留意すれば理解できる。

次に、縦軸を a^* 軸に沿って投影させると左下の b^* 軸に示した棒グラフが得られる。ばらつきはあるが、 b^* が0から離れるに従って、つまり、セルタの色が黄色側あるいは青色側になるに従って縦軸の $G/G_T/L^*$ は減少する。これは、本研究で使用したセルタの色は a^* に比較して b^* の差 (範囲) が大きいため、 b^* が黄色側あるいは青色側になるに従って彩度が大きくなるためである。特に、 b^* が0の近傍、換言するならば、彩度がない無彩軸に近い領域では $G/G_T/L^*$ の減少の割合が著しいが、これはこの領域ではセルタの明度の

影響が大きいことも考慮しなければならない。

5. 結 論

本研究で明らかになった事項を列記する。

(1) シェルタおよび水槽の表面が乾燥状態か、あるいは湿潤状態かによる色の属性の変化は少ない。

(2) シェルタの色の属性が同じであるならば水槽内におけるアワビの分布率の割合も同一である。

(3) 無彩色に近い色のシェルタの明度とアワビの分布率の割合は直線関係をもち、明度が高いほど分布率が小さくなる。

(4) 有彩色のシェルタの明度と分布率の割合は彩度および色相の影響があるため直線にはならず、上に凸の緩やかな曲線となる。

(5) 青および白のシェルタに対するアワビの分布率は低く、これは水槽の色の属性がシェルタのそれと同一のためアワビに対して一種の保護色になるためと考えられるが、定量化はできないものの明らかに他のそれとは異なる特異な挙動も観察された。

(6) 彩度が低いほどアワビは蛸集されやすい。

6. 後 記

生物に工学的手法で定量化ができるのかな?のご意見には生物は実に正直なんです、とお答えしたい。また、土木学会の多くの会員から、土木らしい夢のあるテーマであると励まされ、土木の多様性、包容力、戦略性に涙した。今後、実際の海洋における岩礁や魚礁の色の属性の問題、アワビの種類や地域による特性等の諸問題が解

明され、新しい活力ある土木界の先兵の1つである海への挑戦に本論文が役立てば幸いである。

本研究を進めるうえでお世話になった本学建築工学科坂原弘也講師、北海道中央水産試験場、余市町および余市郡漁業協同組合の皆様には深く感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 間山正一・山内文雄：副産物フェライトの土木工学への応用，土木学会誌，Vol. 72，No. 5，pp. 35～40，1987.
- 2) 間山正一・山内文雄：副産物フェライトを利用した藻礁，水産土木，第23巻，第1号，pp. 7～12，1986.
- 3) 間山正一ほか：磁性を持つ人工魚礁，第8回海洋工学シンポジウム，日本造船学会，pp. 231～237，1988.
- 4) 間山正一・山内文雄：副産物フェライトを利用した磁気標識体，土木学会論文集／VI-6，pp. 102～106，1987.
- 5) 間山正一：アワビの蛸集に与える副産物フェライトの影響，土木学会論文集／VI-12，pp. 127～133，1990.
- 6) 間山正一：シェルタに蛸集するアワビに与える各種の因子，土木学会論文集，第427号／VI-14，1991.
- 7) 北海道新聞，昭和63年8月13日夕刊，1988.
- 8) 田口三郎：色彩学，共立出版，1965.
- 9) 川添泰宏・千々岩英彰：色彩計画ハンドブック，視覚デザイン研究所，1980.
- 10) 日本色彩学会：色彩科学ハンドブック，東京大学出版会，1980.
- 11) 色彩色差計 CR-200 シリーズ，ミノルタカメラ（株）
- 12) 色を読む話，ミノルタカメラ（株）
- 13) 飯田修一ほか：物理定数表，朝倉書店，pp. 109～133，1969.
- 14) 辻 俊郎：排水処理で得られる副産物フェライトの再利用，化学教育，第28巻，第2号，pp. 75～77，1980.

(1990.10.19・受付)