

動物の環境評価*

A. 生活場所の動物にとっての価値

第I節**において、環境とは生物をとりかこむ外界の条件のうち生物の生活に関係するもの、と定義されたが、別の見方をすれば環境は生活場所の条件であると考えられる¹⁾。しかしある1つの場所が動物の生活にとってどのような価値をもつかということになると、そこにすむ動物の種類により、あるいは同じ種類でも生活史上の時期により、あるいはまた動物のその時その時の生理的・心理的状態のいかんによって、程度の差こそあれ、それぞれ異なっているものと考えられることができる。たとえば、十字科植物の繁茂している地域はモンシロチョウにとっては好適な産卵場所であるが、アゲハチョウにとっては産卵場所としての価値をもたない地域である。ブユの幼虫にとっては流水中の生活が摂食のために必要であるけれども、成虫にとってはそこは摂食場所としての何の価値ももたない。成犬にとっては容易にとびこえることができる垣でも、幼犬にはこえ難い障壁となる場合があろう。

同じ動物でもその生理的・心理的状態によって、同じ対象が全く異なった価値をもつ例として有名なのは BROCK (1927)²⁾ の実験したイソギンチャクと共生するヤドカリ (*Pagurus arrosor*) の行動である。食物を十分に与えられているこのヤドカリの殻からイソギンチャクを取り除くと、ヤドカリはイソギンチャクをさがし求め、これを見出すと殻につけようとする。ところが、イソギンチャクを殻につけているヤドカリに長い間食物を与えずにおいて、さらに1匹のイソギンチャクを与えると、ヤドカリはこれを食ってしまう。さらに、十分な食物を得ているヤドカリをその殻からひき出し、これにイソギンチャクを与えると、今度はイソギンチャクを殻の代用として胴体をおしこもうとする。すなわち与えられた環境としてのイソギンチャクは変らなくても、主体であるヤドカリの生理的・心理的状態のいかんによって、その価値が全然異なったも

のになってしまうことがここに示されている。

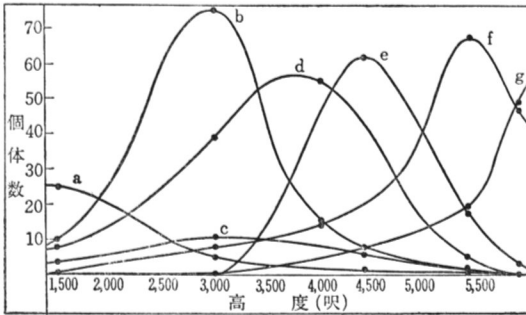
このように、ある1つの場所の条件や対象物が同じでも、動物の種類やその生理的・心理的状態のいかんによって、生活の仕方や行動が変化するとすれば、単に1つの生活場所の条件を記載しただけでは、そこに見られる動物の生活の具体的な様相や、その変化を直ちにはつかめないことになる。そこで必要になってくるのは、現実の動物の生活や行動をとおして、与えられた条件がその動物のその生活面においてどれだけの重要性をもつかという価値判断である³⁾。これは動物を用いての環境の価値測定であるが、これは動物自身の環境評価ということと切り離せない問題である。この環境評価をわれわれが正しく把握し得たら、その結果は環境と動物との関係を明らかにし、任意の環境条件の下での動物の行動の予測もまた可能になるであろう。

植物のばあいには、このような環境の評価は、かなり古くより植物による環境の測定という形で利用されてきた。一般に常緑広葉樹林の存在はその地方が冬でも比較的温暖多湿であることを指示し、落葉広葉樹林の存在はその地が夏は比較的高温多湿であるが、冬は寒冷で水分の供給も不良であることを物語る。また森林内樹上の着生植物が多いことはその地の多湿な環境条件を指示する (SCHIMPER, 1898)。もっと小地域的なものとしては、ヨシ属 (*Phragmites*) の存在によってその土地の水位の高いことが示されるなどである (竹内, 1941)。これらの例の示すように、環境因子は何らかの形において植物に反映しているものであり、したがって植物自体をとおしてある程度まで立地の判定ができるという面は、その後 plant indicator や phytometer method などの考えを生み出す基本ともなった (CLEMENTS, 1920, CLEMENTS & GOLDSMITH, 1924; 吉良, 1951)。

同じような方法は動物にも適用される。内湾性のいろいろの種類貝類遺骸の存在状態によってその湾の性質はある程度まで推察されるし (波部, 1956)、クシケリア属 (*Myrmica*) の多くの種類は、その存在によってその土地の気候のかなり寒冷なことを指示する (森下, 1945)。

B. 生活場所の価値と個体群密度

ごく一般的にいえば、ある動物にとって好適な条件の場所では、多くの個体が高い密度で生活し、反対に不適な場所では密度が低いであろう。WHITTAKER



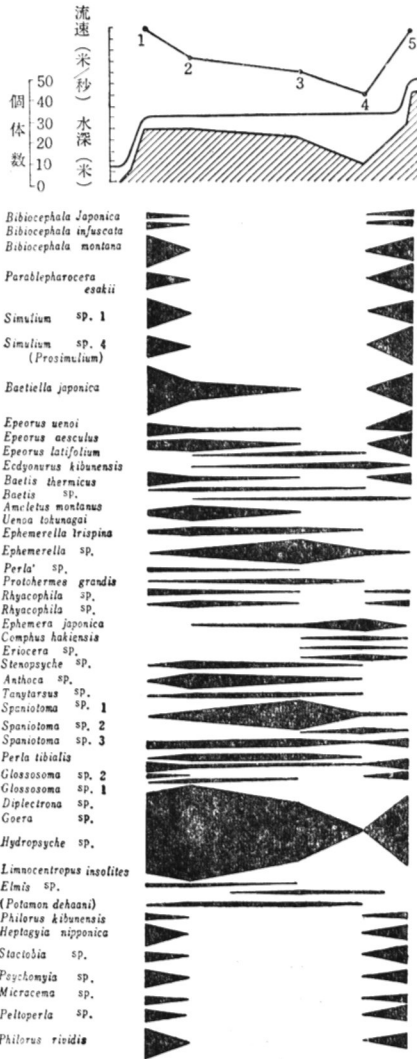
第1図 Great Smoky Mountains における各種昆虫の分布 (WHITTAKER, 1952).

- a. *Graphocephala coccinea* (オオヨコバイ科) b. *Caecilius* sp. (ケチャタテムシ科)
 c. *Agalliopsis ovella* (オオヨコバイ科) d. *Polypsocus corruptus* (チャタテムシ科)
 e. *Anaspis rufa* (ハナノミ科) f. *Cicadella flavoscuta* (オオヨコバイ科)
 g. *Oncopsis* sp. (オオヨコバイ科)

(1952) は北米 Great Smoky Mountains の昆虫について、それぞれの種類がそれぞれの生活に適する高度において最も密度が高く、それより場所が上下するにつれ漸次低密度となって行くことを示した(第1図)。溪流にすむ昆虫は流速その他の条件に対する「好み」に従って、あるものは淵に多くすみ、あるものは瀬を主な生活場所とする(可見, 1944)(第2図)。

このように個体群密度の大小はある程度までその場所の条件に対する個体の性質のちがいにとづく反応の差異を反映するものではあるが、しかし、一方において、生活場所内の条件は同じでもその中の動物個体群の密度は著しく異なる場合や、あるいは逆に生活場所内の条件はかなりちがっても、密度にはあまり差がないという場合もしばしば見られる。これらのうち、おもなくつかについて次にのべてみよう。

1. 位置関係による場所の価値の相対性 森下(1954b)はクロバエ(*Calliphora* sp.)について、2つの餌場の位置関係がハエの集まり方にどのように影響するかを次のようにして調べた。同じ大きさの5個の小箱に鶏糞をつめ、そのうち4個を一まとめにしてつくった餌場Aと、1つの小箱だけでつくった餌場Bを戸外におき、A、B間の距離をいろいろ変化させて集まるハエの個体数を数えた。その結果は第1表に示すように、同じ餌場Bに対するハエの集まり方は、この餌場ともう1つの餌場Aとの間の距離のいかんによって著しく異なることがわかった。すなわち、小餌場Bが大餌場Aにくっつけておかれてい



第2図 京都加茂川安造谷における流速、水深と水棲昆虫の分布 (可見, 1944)

る。同様のことは可兒 (1951) もカトリバエ (*Lispe* sp.) についての野外実験結果にもとづいてのべている。

第1表 2つの餌場 (A, B) 間の距離と、それぞれへのクロバエの集まり方との関係 (森下, 1954b)

A, B 間の距離 (m)	クロバエ個体数*			全個体数に対する B の個体数の割合 (%)**
	A	B	計	
0	132	9	141	6.4
0.5	123	46	169	27.2
1.0	99	53	152	34.9
2.0	86	48	134	35.8
4.0	102	40	142	28.2

* 個体数は5回観察の合計値
** A面積 : B面積 = 4 : 1

る場合は、Bへ集まるハエの数の全個体数に対する割合が、全餌場面積に対するB面積の割合 (5 : 1) に比べてはるかに少ないのに対し、A、Bをはなしておいた場合はBへの集まり方が面積の割合に比べるとずっと多くなっている。

同様の結果は、2つの餌場の面積を同じとし、その代わりに内容にちがいをつけ、餌場間の距離を変化させて行なった実験からも得られた。このことは1つの餌場がハエを誘引する力は他の餌場との位置関係によって非常に異なることを示すものである。いいかえれば、1つの動物にとってのある場所の価値は、単にその場所自体の条件だけでは定められるものではなくて、その周囲の場所の状態や相互の位置関係によって相対的にきめられるものと考えられる。

2. 障壁の効果 ある場所の条件が、ある動物の生活に好適であるとしても、その場所にいたる中途にその動物の到達を妨げるような障壁が存在すれば、結局その動物はその場所で生活できないことになる。オーストラリアの哺乳類としては、単孔類や有袋類を除いては人類によって運ばれた種類だけであることなどは、その顕著な例である。逆に、またある場所での生活条件が悪化しても、周囲の障壁のために他の地域への移動が妨げられ、たとえ一時的にせよ、ある程度の高密度を維持することも起こるのであろう⁴⁾。したがって、それぞれの動物にとって、現在の生活場所と他の好適条件地とをへだてる事物がその動物の移動にとってどの程度の妨げになっているかを知ることは、自然における動物の生活の理解のためには極めて重要な問題である⁵⁾。さききのべた場所どうしの位置的関係による価値の相違の問題も、その間の障壁の程度と密接な関係をもつものと考えられる。ただし、ある事物が障壁としてどの程度の価値をもつかということは、他の環境条件の価値の場合と同じく、動物の種類やその性質（とくに運動能力）などによって著しく異なるであろうことはもちろんであって、それぞれの動物の行動を通じて判定しなければならない問題である。

このような障壁の効果の量的な測定は今まではほとんど行なわれていないが、森下 (1954 a) は次の方法によってこれを試みた。まず広い砂場の中央にアリジゴク (*Glenuroides japonicus*) を種々の密度で放ち、各個体がちらばって営巣する状態を調べた。それとともに、別に第3図 a に示すような障壁によって两部分に分たれた容器をつくり、その片方の部分に種々の密度のアリジゴクを入れ、これらが障壁をこえて反対側に脱出する状態を調べた。この両者を比較したところ、障壁をこえずに残留した個体数は最初の密度によって異なるが、いずれの密度の場合もその数は、自由な平面上に個体を放った場合障壁内面積の約5倍に当る面積内にひろがった個体数とほぼ一致した (第3図 b)。すなわち、アリジゴクの個体のちらばりは、障壁の影響を受けて、約5分の1の面積内に圧縮されたことになる。森下はこの関係、すなわち

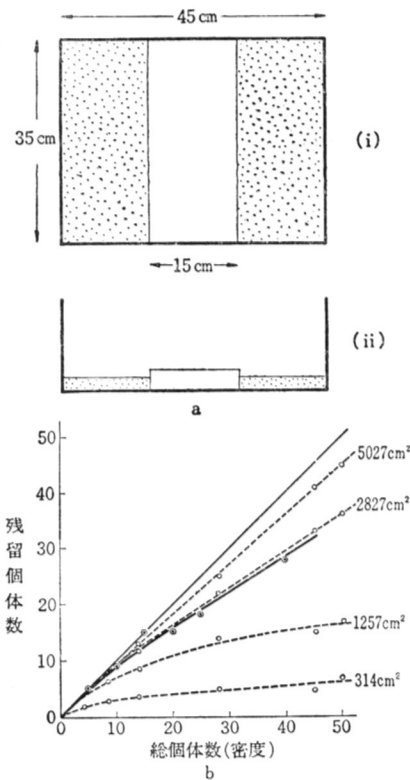
$$\alpha = \frac{S_0}{S_1}$$

によって計算される α を障壁効果の程度を示すものとして、障壁度指数と名づけた。ただし、この式の S_1 は障壁内面積、 S_0 は障壁内残留個体数と同数の個体数が無障壁の場合にひろがる面積、今の例では $\alpha \doteq 5$ である。もし障壁効果がなければ $\alpha = 1$ 。 α の値が大きければ大きいほど障壁の効果は大であるこ

とが示される⁶⁾。 α を用いる代わりに、もし単に総個体数に対する脱出個体数の割合で障壁効果を示そうとすれば、その値は障壁は同じでも総個体数の大小によって著しく異なることは第3図から明らかである。これに対して α の値は少なくともこの実験結果の示すところでは、密度のいかに左右されない点において、障壁効果を示す指数として優れている。ただし、この方法が、他の種々の動物、とくに、野外での動物の分散に対してどの程度まで適用できるかについては、現在のところまだ不明である。

3. 個体相互の影響

もしせまい地域に多数の個体が入りこもうとすれば、個体相互の間に反発や摩擦をひき起こし、たとえ他の環境条件は好適であっても、少数の個体しかそこでは生活できないという現象はかなり普遍的であろうと考えられる。可児(1951)は下水溝に同じ大きさの2個の餌場を少しはなしてつくり、餌となるユスリカ幼虫をそれぞれ一定量おいてカトリバエ (*Lispe* sp.) を集めた(第4図a)。この場合、片方の餌場にはユスリカを1cc, 他方のユスリカ量は1, 5, 10, 20, 30cc などとして集まったハエの個体数を調べたところ、2個の餌場の合計個体数は第4図bに示すとおり、餌量がある程度以上になれば、その個体数は餌量とは無関係にほぼ一定の値をとる。この場合、その付近のハエが全部ここに集まったためではないことは、餌場の数をふやすとさらに多数のハエが集まることから知られる。したがって、この場合の虫数の制限は、個体間の



第3図

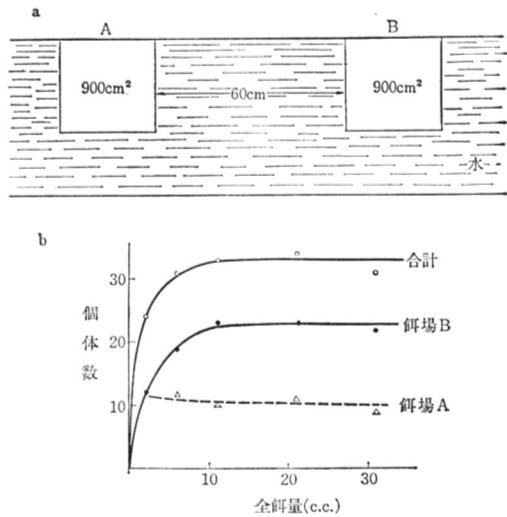
- a. 障壁効果測定用実験箱
(i) 平面図 (ii) 側面図
b. 無障壁の場合の種々面積内残留個体数(点線)と実験箱障壁内(面積 525 cm²) 残留個体数(太実線)の比較(森下, 1954 a).

反発によるものであろうと考えられる。じっさい直接の行動観察によっても、カトリバエ各個の反発行動はたしかめられている。前にのべたアリジゴクの障壁実験(森下, 1954 a)で, 最初に入れられた個体数に対する障壁をこえて脱出した個体数の割合が, 最初の個体数が多いほど大きくなっていくこともこのような個体間の反発を示している。

個体間の反発とは逆の現象として, 個体の互いに引き合う現象もまた種々の動物で見られる。異性に引かれて寄る現象や, 魚や鳥,

獣などがつくるむれの現象はその著しいものであるが, たとえ顕著でなくても, 1 個体の存在が他の個体を誘引する傾向も種々の動物で見られる。たとえば梅棹(1949, 1950)は, 水槽に入れられたオタマジャクシ個体の分布状態が機会的な分布とは異なることをたしかめ, その「社会的干渉」の度合いを PÓLYA-EGGENBERGER 分布型のパラメータの値によって示した。また BREDER(1954)は, むれをつくる魚の個体間には引き合う力が存在すると同時に, あまり近よりすぎた個体間には反発力が働くことを, 魚の個体間の距離によって測定し, これら 2 つの力の釣合いの下にむれが維持されることを示した。

以上のように個体間に反発や相互誘引の関係があれば, 1 つの場所の個体数や密度の大小がその場所の生活場所としての価値をそのまま反映しないという問題が起こる。森下(1950)はいくつかの小池のヒメアメンボ(*Gerris lacustris*)の春の個体数の増減を調査したところ, 生活場所としての条件のよい(一等地)池は, 早くからある程度の密度に達し, それ以後は全活動個体数の増加にかかわらずほぼ一定の個体数を保った。これに対して, 条件の劣った(二等地)池



第4図

- a. 餌場の配置
 b. 餌場Bにおかれた餌の量と集まったカトリバエ全個体数との関係(餌場Aの餌量は常に1cc)(可児, 1951).

では、最初はほとんどすみつく個体がいなかったのかかわらず、全活動個体数が増加するとともに、飽和状態の池からはみ出された個体がこれら二等地に入りこむために、後の時期ではこれらの池でも一等地と同じ程度の密度に達するものが見られた。このような場合、もし人が後期の密度だけを観察するとすれば一等地、二等地の区別はつけることができず、その結果アメンボの行動や分布と環境との関係を誤って把握するおそれさえ生ずるわけである。だから、ここで必要になってくるのは、密度の影響が混入しないような環境評価の方法であり、しかも密度の影響が加わった場合の結果も同時に予測できるような方法である。さきに挙げた森下の障壁効果の測定法はこのための1つの試みであったが、これとは別に森下は以下にのべる「環境密度理論」を提唱することによって、この問題解決のための一步をふみ出そうと試みた。

C. 環境密度理論

森下(1952a)は、実験小容器の一半に細砂を、他の一半に粗砂を入れ、細砂で飼ってきたアリジゴクをその境目に入れて営巣場所を選択させた。1匹だけを入れた時はほとんどの場合細砂側に営巣するが、2匹を入れるとそのうちの少なくとも1匹は粗砂側に営巣する場合がかなりできる。個体数を多くするにつれ、粗砂側の営巣個体数はしだいに細砂側の個体数に近づく。このことは、細砂側に1匹またはそれ以上の個体が営巣すると、あとからここに入ろうとする個体にとっては、営巣場所としての細砂側価値がそれだけ低下するため営巣確率が減少し、相対的に粗砂に入る確率が増してくるものと考えられることができる。今、1匹が細砂側に営巣した結果として、あとから入る他の1匹の細砂側に入る確率が粗砂側に入る確率と等しくなったと仮定しよう。この場合、はじめの1匹によって低下させられた後での細砂側の価値は、営巣者のない粗砂側の価値と等しくなったと考えてよい。すると粗砂側の環境条件の「悪さ」は、

(細砂側の「悪さ」)+(1匹の存在のひきおこす「悪さ」)

に等しいとみなすことができる(第5図)。この時の細砂側の「悪さ」を x 匹分の「悪さ」とすれば、粗砂側の「悪さ」は $x+1$ 匹分の「悪さ」である。このように考えると、環境条件のアリジゴクにとっての「悪さ」は総合的に密度に換算して評価することができる。そして、この換算された環境の値を森下は環

境密度 (environmental density = E. D.) と名づけた。細砂側の E. D. の値を E_A 、粗砂側の値を E_B とし、 E_A に m 匹の個体がすでに存在する場合に次の 1 個体が同じ場所へ入る確率が $E_A + m$ に逆比例すると仮定すると、 $m=0$ の時は E_A に入る確率 P については

$$P = \frac{E_B}{E_A + E_B}$$

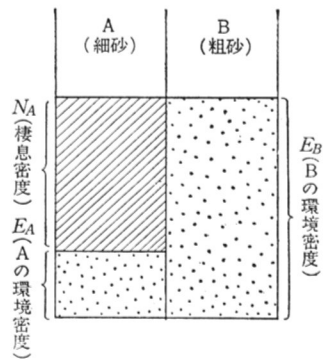
E_A に m 匹、 E_B に n 匹の個体が存在する場合は、次の 1 個体が E_A に入る確率は

$$P(m, n) = \frac{E_B + n}{E_A + E_B + m + n}$$

密度をいろいろかえて実験した結果、アリジゴクの環境選択のし方は上記の式からの計算値によく一致し、環境密度の値を知ることによって任意の個体数を容器に入れた場合の两部分への営巣割合の予測が可能であることが明らかにされた。

小坂 (1956) は、環境密度理論を応用してマコガレイ (*Limanda yokohamae*) およびイシガレイ (*Kareius bicoloratus*) を $80 \times 45 \times 17$ cm の水槽内に入れ、砂および小石の底質についての選択実験を行なった。その結果、E. D. として、前者の魚については砂側 0.1、小石側 3.1、後者の魚については砂側 0.2、小石側 1.95 の値を得た。砂と小石という 2 つの異質環境の差は、マコガレイに対してイシガレイよりもはるかに大きい影響を与えることがこの値から推定されるが、この傾向は自然における分布状態とよく一致する。なお、久保 (1957) もアベハゼ (*Gobius abei*) についての水槽内の白色および黒色の底質の選択実験にこの理論を適用してよく適合することを認めた。

アリジゴクやカレイ、アベハゼなどの例は個体間にマイナスの干渉⁷⁾(反発性) が働く場合であり、環境密度の値が大きいことは環境の「悪さ」を示すが、も



第5図 環境密度と棲息密度との関係 (森下, 1952 a)

Aに N_A 匹、Bに 0 匹がすでに入っている時、次に入る 1 匹の A、B へ入る確率が等しい場合の状態 ($E_A + N_A = E_B$) を示す。

し個体間の干渉がプラス（誘引性）の動物の場合は環境密度の値の大きいことは環境の「よさ」を示す。もっとも、この場合は1個体が1つの場所に入る確率は（環境密度+棲息密度）の値が大となるに従ってまた大となると考えられる（森下, 1952a, 1956）。

環境密度理論の特徴の1つは、単独個体の環境と個体群中の個体の環境との関係を明確に分析したことである。生活場所の条件としての環境の中には、単独個体の場合にはその種類の他の個体が含まれていないのに対して、個体群中の個体の環境には他の個体の存在が加わっている。同じく生物個体に対する外囲条件でありながら、この両者には著しい内容の相違があるといわなければならない⁸⁾。環境密度の値で示されるのは単独個体にとっての環境の総合価値であり「環境密度+棲息密度」の値で示されるものは個体群中の個体にとっての環境の総合価値である。しかも、後者は前者に棲息密度を加えるだけの操作で簡単に量的把握ができるところにこの理論の第2の特色が見られる。このような加算による総合は、無機的条件と他の個体といった全く異質の要素の価値をそれぞれ密度という共通の測度におきかえ得たことによってはじめて可能になったことである。

D. 個々の環境要素の価値分析

一般に生物による環境評価は、多種多様な諸条件の生物に与える影響を総合的に把握できるという特性をもっている。たとえば、前述のアリジゴクの営巣場所としての価値（「悪さ」によって示される）は、 $(10.2 \times 8.2) \text{cm}^2$ を1単位面積とする環境密度の値で示すと細砂（主として直径 0.25~0.5mm）0.2, 粗砂（主として直径 1.0~2.0mm）1.6（ 1m^2 当り細砂 44, 粗砂 355）となり（森下, 1952b）、細砂の方が粗砂よりはるかに好適環境であることを示しているが、すでに2匹のアリジゴクの営巣している細砂は棲息密度と環境密度の合計密度は $0.2+2=2.2$ となり、ここに新しく入ろうとする個体にとっては、その価値はむしろ粗砂側より低くなっていることがわかる。この値は明るい場所で得られた値であるが、暗黒下で得た環境密度の値は細砂 0.5, 粗砂 4.0 となって、光線の当たらない場所はアリジゴクにとっては明所にくらべ細砂, 粗砂ともに営巣場所として条件が劣っていることが推察される。事実、容器の一半に光があまり当たらないようにしてアリジゴクに場所選択を行なわずと、明所の方に営巣す

る個体が、暗所の方よりずっと多い。この傾向は野外の個体群についてもたしかめられていることである（森下、未発表）。興味があるのは、明るい部分を粗砂とし、暗い部分を細砂にすると、上記の値では粗砂 1.6、細砂 0.5 となるわけであるから、たとい暗くとも細砂の方により多く営巣することが予想されるが、実験結果もまたこれと一致した。このように環境密度の値は、場所そのものの価値を総合的に示しているが、これとともに動物の場所選択がその場所の価値のみならず隣接場所の価値とくらべての相対的な値の大小によって左右されるという関係をも同時に示している点は注意してよいであろう。

前にものべたが、生物を通じての環境価値測定はこのように異質な環境条件の複合による環境価値の大小を総合的に決定できるという長所をもっている。それは、いわば、使用目的を異にするいろいろの商品でも、貨幣による価格という物指しによって交換価値を示すことができるのに似ている。環境密度というのも、異質の条件の複合の生物的価値を相互に比較するための、一種の貨幣の役割を果たすものである。

しかし、このような環境の総合的評価は、一面において総合的なるがゆえの欠点をも含んでいる。それは個々の環境要素がそれぞれの程度にこの環境価値決定に対して働いているかという点だが、その値だけでは示されないという点である。もとより他の環境要因を一定にしたまま 1 つの要因だけを実験的に変化させ、その要因の生物に与える影響を個々に知ることはできるが、温度、湿度、光、大気の状態、土壌の性質などの物理的あるいは化学的要因や、それに加えて、種々の生物的要因のすべてが複雑に組み合わさっているのが現実の生活場所の条件であるし、しかも、それら個々の要因の任意の値の組合せの数はほとんど無限に存在するから、そのすべてについての評価を行なうことは不可能にも近い⁹⁾。したがって、何らかの方法によって個々の環境要因の働き方を分析し、かつ、それらの任意の値について再合成できる方法が見出されない限り、環境評価の利用度はかなり制限されたものになるといわなければならない。そのような方法ははたして可能であろうか。

この点についても、森下の環境密度理論はある程度のいとぐちを与えている（森下、1952b）。さきの明所におけるアリジゴク的环境密度は細砂 0.2、粗砂 1.6、暗所では細砂 0.5、粗砂 4.0 であった。この値で見られるとおりに、暗所では細砂、粗砂ともに明所の 2.5 倍の値となっている。さらに、平均気温 26°C と 17°C とでは、後者の場合がいずれも前者の 2 倍の環境密度値を示した。い

第2表 環境要因と環境密度係数 (森下, 1952bより)

	要 因			環 境 密 度 係 数				E. D. ***
	砂*	光	温 度**	a (砂)	b (光)	c (温度)	S×K	
1	細	明	高	1	1	1	0.2	0.20
2	細	明	低	1	1	2	0.2	(0.40)
3	細	暗	高	1	2.5	1	0.2	0.50
4	細	暗	低	1	2.5	2	0.2	1.00
5	混	明	高	4.5	1	1	0.2	(0.90)
6	混	明	低	4.5	1	2	0.2	(1.80)
7	混	暗	高	4.5	2.5	1	0.2	2.25
8	混	暗	低	4.5	2.5	2	0.2	4.50
9	粗	明	高	8	1	1	0.2	1.60
10	粗	明	低	8	1	2	0.2	(3.20)
11	粗	暗	高	8	2.5	1	0.2	4.0
12	粗	暗	低	8	2.5	2	0.2	8.0

* 砂質のうち混とあるのは細砂・粗砂を等量に混じたもの。

** 温度のうち高は平均26°C, 低は平均17°C。

*** E. D. (環境密度)を示す数字のうち()内ものは計算による推定値。他はすべて実験によって検証したもの。なおこの表の数値は容器の1半の密度の影響が他の1半に及ばないとした場合の値。他の1半への影響を考慮に入れると多少値は異なるが相対的關係は同じである。

ま、砂質、光、温度の3要素のいろいろの組合せの下で測定された環境密度の値は第2表に示すとおりになり、少なくともこれら物理的要因の環境密度値に与える総合的影響は、それぞれの要因個々のとる各係数値の積の形で表わされることがわかった。すなわち

$$E. D. (\text{環境密度}) = a_i \cdot b_j \cdot c_k \cdots K$$

ここに、 $a_i \cdot b_j \cdot c_k \cdots$ はそれぞれの環境要素の各状態に応ずる係数 (=環境密度係数)、(ただし、最も好適状態の下で得られる係数値を1とする)、 K はその時の生理的状态における生物の、最も好適環境下で示す環境密度の値である。ただし、環境密度係数は未分析の諸要因の個々については不明であるから、総合的にその積を S で示すと、第2表の例では a (砂)、 b (光)、 c (温度)とした時の環境密度 (E. D.) は

$$E. D. = a_i \cdot b_j \cdot c_k \cdot S \cdot K$$

となる。

上記の実験で砂、光、温度以外の条件がアリジゴクにとって最も好適であったと仮定すれば、 $S=1$ 、したがって $K=0.2$ となる。 K はもちろん動物の体の大きさや活動力などによって異なる値をとるであろう。

上の結果からわかることは、個々の要因の各状態についての環境密度係数および K が定められたなら、要因の種類やその状態がいかに多様であってもそれらの任意の組合せによる総合的な環境密度は容易に算出できることになり、これらについての一々の実験をまたずして環境価値を簡単に推定できるということである。しかも、それぞれの環境要因の変化が生物に及ぼす影響の程度の比較も、環境密度係数を用いて容易に行なうことができる。たとえば、上記アリジゴクの例では、砂質の変化（細砂→粗砂）は環境密度係数を8倍に増大させるのに対して、光の有無は2.5倍の変化を与えるにすぎない。すなわち、このアリジゴクの営巣場所の条件としては砂質の問題の方が、屋内の散光程度の光の有無の問題よりはるかに重要であるといえることができる。

上記の環境密度や環境密度係数はアリジゴクの営巣場所選択行動という面からの環境価値を示すものであるから、他の行動や反応をとおして環境価値を測定すればまた異なった値が得られるであろう。さらにまた、このような取り扱いがアリジゴク以外の一般の生物にどの程度適用できるかについても問題が残っているが¹⁰⁾、少なくともこのような分析と総合とによって、環境価値の測定と動物の行動や空間分布の予測がある程度までできる可能性のあることだけは、これらの実験結果によって示されている。

E. 環境評価に関係する他の問題

1. 生物の環境変革作用¹¹⁾と環境評価 ある生物がある場所に到達した場合（人為的に移入した場合も含めて）、その場所でその生物がどの程度まで生活を確立し、あるいは増殖することができるかは、もとよりその場所の環境条件のいかんによるが大であるが、それとともに生物自身がどの程度までその場所の環境を変革するかという点にもまた重大な関係をもつ。一般に植物ならば、自らの生育や繁殖によって地表を蔽い日光をさえぎり、地表や地中の水分条件や温度条件、土壌条件をも変革する。その結果は、ある場合には最初あまり好適でなかった土地も好適地に変革させるし、また逆に自らの子孫の生活には不適な条件に変化させる場合も起こる。生態遷移と呼ばれる現象はこれらの働きに負うところが多い。

動物の場合にも、生活するためには必然的に食物を求めることによって、食草や食餌になる動物に影響を与え、あるいは巣をつくったり地表を踏み歩いた

りすることによって土地や植物の状態をかえる。せまい水域のような閉鎖環境なら、水中の溶存酸素の消費によって、自分自身の生活を困難にする場合も起こってくる。さらに、競争相手を駆逐したり、捕食者の勢力を増大させたりするような働きもあらわれる。もとより、短時間内の行動を問題とする場合と長期にわたる問題を論ずる場合、または小地域の場合と大地域の場合とでは変革する環境条件や変革作用のもつ意義も異なってはくるが、いずれにせよ生物自身が環境を変革することによって、時間とともに生物にとってのその場所の価値が変化することはむしろ普遍的な現象といえる。

このような生物による環境変革の過程やその結果は、直接に環境条件そのものの変化として測定または観察しなければならないのは当然であるが、しかし、このような変革が逆にその生物にどのように影響してくるかという点になると、やはり生物自身の生活面や行動面をとおしてこれを把握しなければならないであろう。しかも、この種の変革作用の結果の生物への逆作用の問題はその場所でのその生物の生活の確立維持にとって極めて重要な問題なのである。後章において、生物による環境の条件づけ (conditioning) や寄主、寄生蜂の相互関係にもとづく個体群密度の変化の問題などが取りあげられるが、これらはいずれも生物の環境変革作用とそれが生物自身に逆作用する関係を示すものにほかならない。

2. 生物自身の変化 前にものべたように、生物自身は発育段階のちがいに応じて、心理的生理的にも性質のちがいを生じてくるが、そのみならず季節的にも生理状態に変化を起こすことは冬眠や夏眠をする動物について顕著であるし、また繁殖期と他の時期とでの生理的性質や行動のちがいもよく知られているところである。さきにものべたイソギンチャクと共生するヤドカリのように、飢えやその他の原因によっても顕著な行動の変化が引き起こされる。

上記の変化以外に、生物がある環境に入った場合、その環境をどのように受けとるかは、その前にどのような条件下に生活していたかによっても影響される。このような履歴の影響の重要なことについては、すでに44頁***で指摘したが、さらに環境評価と関係して他の例を挙げてみよう。実験的にいろいろの温度段階をつくり、どの温度の部分で昆虫が静止するかを調べた実験についてみると、その多くは、実験前の飼育温度によって選択温度はかなりちがってくことを示している(第3表)。

このような事柄は、ある場所に動物が新しく入ったばかりの時と、しばらく

日時を経過してからとでは、同じ環境の中でもその受けとり方はちがってくる場合のあることを示すものである。

上の例は比較的短期間内に起こる環境に対する「慣れ」ともいえる現象であるが、幾世代にもわたる長年月を問題にする場合には、世代を経るにしたがってその環境に対して新しい適応性が獲得され固定されるという面が存在するとともに、またこれとは別に、幾代にもわたって起伏する生物自身の性質の変化の波の存在も最近報告されている（森その他、1958）。これらの現象はいずれも、生物の生活の正しい理解のためには、単に生活場所の条件を知るだけでは不十分であり、それら条件に対する生物の受けとり方、生物による環境評価の変化の様相を時間の流れの中で見出して行くことの必要性を示すものである。

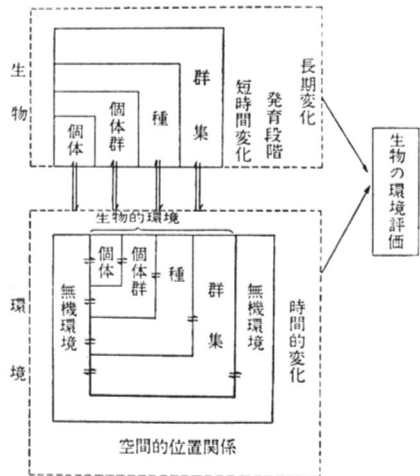
第3表 最初の環境温度のちがいでよるヤマアリー種 (*Formica rufa*) の選択温度 (HERTER, 1923)

最初の温度 (°C)	選択温度 (°C)
3~5	23.29
5~7	23.63
7~9	24.71
9~11	24.28
11~13	25.75
13~15	27.88
15~17	28.13
17~19	29.72
19~21	31.26
21~23	31.26
23~25	32.30
25~27	32.22
27~29	32.52

F. 生物および環境と環境評価の関係

以上のべてきた生物自体の状態およびその変化、環境の状態とその変化などが、生物による環境評価に対してもつ関係は、右の図のようにまとめることができる（第6図）。この関係図は簡単ではあるが、生物と環境がそれぞれ独立しながらも互いに関係し合い、しかも両者は生物の環境評価という形において統一される関係をいちおう理解するに役立つであろう。

第6図 生物および環境と環境評価との関係 (森下原図)。矢印は作用の及ぶ方向を示す。



参 考 文 献

- BREDER, C. M. JR., 1954. Equation descriptive of fish school and other animal aggregation. *Ecol.*, 35 : 361—370.
- CLEMENTS, F. E., 1920. Plant indicators. Wilson, New York.
- CLEMENTS, F. E. & G. W. GOLDSMITH, 1924. The phytometer method in ecology. Publ. Carnegie. Inst. Wash.
- 波部忠重, 1956. 内湾の貝類遺骸の研究. 京大生理生態学研究業績, 第77号.
- HERTER, K., 1923. Untersuchungen über den Temperatursinn der Hausgrille (*Acheta domestica* L.) und der roten Waldameise (*Formica rufa* L.). *Biol. Zbl.*, 43 : 282—285.
- 可見藤吉, 1944. 溪流棲息昆虫の生態. 古川晴男編『昆虫』上巻 171—317頁. 研究社, 東京.
- 可見藤吉, 1951. 下水溝の生態. 生物科学, 3 : 84—90.
- 吉良竜夫, 1951. Metabolic phytometer のこころみ. 生態学会報, 1 : 126—129.
- 小坂昌也, 1956. カレイ類の棲息場所選択についての実験的研究. 日水会誌, 22 : 284—288.
- 久保浩洋, 1957. アベハゼの場所選択についての実験的研究. 日生態会誌, 7 : 80—84.
- 宮下和喜, 1954. 閉鎖及び開放条件下に於けるモモアカプラムシ個体群増殖過程の解析. 日生態会誌, 4 : 16—29.
- 森 主一, 1958. 生物の適応性, 動物の場合. 『現代生物学講座』第5巻, 生物と環境, 第2章, 第2節. 共立出版, 東京.
- 森下正明, 1945. 蟻類. 古川晴男編『昆虫』下巻 1—56頁, 研究社, 東京. [本論集第一巻89—119頁に収録].
- 森下正明, 1950. ヒメアメンボの棲息密度と移動. 京大生理生態学研究業績, 第65号 [本論集第一巻131—242頁に収録].
- 森下正明, 1952. 棲息場所選択と環境の評価, アリジゴクの棲息密度についての実験的研究 I. 生理生態, 5 : 1—16. [本書3—23頁に収録].
- 森下正明, 1952 b. アリジゴクの棲息場所選択(予報). 日本動物学会九州支部会報, 第6号 : 1—5. [本書25—33頁に収録].
- 森下正明, 1954 a. 分散と個体群圧力, アリジゴクの棲息密度についての実験的研究 II. 日生態会誌, 4 : 71—79. [本書107—125頁に収録].
- 森下正明, 1954 b. ハエの餌への集まり方. 日本動物学会第25回大会(1954)講演(動雑 1954, 497).
- 森下正明, 1956. 個体の分布と環境. 生物科特集, 生体と環境との相互関連 : 53—55. [本書35—40頁に収録].
- SCHIMPER, A. F. W., 1898. Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. Gustav Fisher, Jena.
- 竹内 亮, 1941. 植物利用環境測定法. 養賢堂, 東京.
- 梅棹忠夫, 1949. 個体間の社会的干涉——その概念と実験. 生物科学, 1 : 19—29.
- 梅棹忠夫, 1950. 生物社会関係の量的表現(1)——干涉度と場の指数. 生物科学, 2 : 179—185.
- WHITTAKER, R. H., 1952. A study of summer foliage insect communities in the Great Smoky Mountains. *Ecol. Monogr.*, 22 : 41—78.

註

- 1) [41頁] 森下は環境に対して「生物の生活場所の条件」という定義を与え, さらにこれを直接環境と間接環境に分けた(日本動物学会第25回大会・生態学総合討論会講演, 1954).
- 2) [41頁] ラッセル『動物の行動・環境』(永野・石田訳)岩波書店, 昭和12年参照.
- 3) [42頁] 通常の測器を用いて環境の物理的・化学的もしくはその他の性質を測定したとして

も、これらの性質がそれぞれの生物の生活面にどのような影響を与えるかという別の面での知識と結びつかなければ、生物学的には無意味である。この知識の裏づけを与えようとするのが生物による環境価値測定であるといえる。

- 4) [45頁] 宮下 (1954) は、キャベツにモモアカアブラムシを実験的に増殖させた場合、個体の脱出を防ぐ障壁をつくらぬ時とつくらぬ時とでは飽和密度にかなりのちがいができることを確かめた。
- 5) [45頁] これは集団間の交雑の問題とも関連し、遺伝学的進化的にも重要な問題である。
- 6) [46頁] 上記の式では、密度 $\rightarrow\infty$ の時 $S_0\rightarrow\infty$ の関係から、乗り越え不可能の障壁が存在すれば $\alpha\rightarrow\infty$ となるが、今

$$\beta=100\left(1-\frac{1}{\alpha}\right)$$

を新しい障壁度指数として用いると、 β は 100 (乗り越え不可能の時) から 0 (無障壁の時) までの間の値をとる (森下, 未発表)。上記のアリゾゴクの例では $\beta=80$ でかなり大きな障壁効果の存在が示される。

- 7) [49頁] 梅棹 (1949) は個体間に働く反発的な社会的干渉に対して「マイナスの干渉」と名づけ、反対に個体間の干渉が相互誘引的な場合を「プラスの干渉」と呼んだ。
- 8) [50頁] 同様の考え方は、単独の種と群集中の種との関係にも適用される。Cなる条件をもつ1つの場所にA, B 2種がともに生活する時、A種の環境はB+C, B種の環境はA+C, どちらか一方の種だけがここで生活している時はその環境はともにCである。
- 9) [51頁] 一般に環境条件に対する生物の反応を見る場合、Aなる要因だけを変化させ他を一定に保って実験を行えば、A以外の他の要因の影響を除外したことになると考えがちである。しかし、実際は一定に保たれた各要因のそれぞれの状態の下におけるA要因の働きがわかるだけであって、各要因のそれぞれの状態の影響は常にその生物の反応の中に織りこまれている。したがって、A以外の要因を別の一定状態に保ったなら、A要因の変化の影響は最初とはちがった形であらわれてくる可能性のあることに注意すべきである。
- 10) [53頁] 久保 (1957) はアベハゼの環境選択の分析に環境密度係数の取り扱いが適用できることを報告している。
- 11) [53頁] この中の非生物環境への反作用の一般論については、本章第V節〔北沢右三執筆〕で行なう。

* 本篇は『動物生態学』(宮地伝三郎他著・朝倉書店, 1961) の第2章「動物の生活」中の第IV節「動物の環境評価」として書かれたものである。

** 上記『動物生態学』の第2章第I節〔森一主執筆〕を指す。

*** 上記『動物生態学』の44頁(第2章第II節, 森一主執筆)を指す。

