

在・不在データから求める多様度指数Bと 自然破壊度判断指数Qaの開発と応用

細見 形文

On the new mathematical indexes B & Qa analyzing the binary data & representing the biodiversity and measuring the grades of nature destruction, and these application in butterfly fauna of Southwestern Archipelago, Japan.

Akimichi Hosomi*

はじめに

生物群集を数値化して多様度や群集距離、種の重なり度合いなどを求める数学は極めてよく発達しており、ここに新しい数式を加えることは極めて困難である。しかしながら、生物生態に関する多変量解析で使う数式には、結果を得るために必ず個体数の項目があり、個体数の情報がない限り使用できないのが現状である。しかし、実際に個体数の情報を得ようとすれば、ごく狭い範囲の場所で、かなりのエネルギーを費やして得るしかないし、実際的ではない。

生物群集を調査したデータで最も普通なのが生物目録である、在・不在データというのは生物目録、いわゆるチェックリストのことである。世界中でチェックリストは数多く作られたが、これらを科学の軌道の上に乗せて発展させる方法がなかったために、方法の開発のことを考えずにこうした仕事を質の低い仕事とみなす風潮があったことはいえない。生物目録のような1:0データ(binary data)を扱う数学がなかったことがチェックリストの科学的利用ができなかった最大の理由である。

チェックリストの基本的な成り立ちは、種についての在・不在を示すもので、種が存在する場合は○印、存在しない場合は空白が示される、この○を1と読み、空白を0と読むとTable 1 Aに示すような1:0データができる。ところがこうした1:0データを処理する数学は場所Aと場所Bの生物群集の類似度を求める Sørensen (1948) の類似商、Jaccard (1901) の群集係数のほか似通ったもの約30種のものが存在する。類似度を求めることにおいてはかわりはないが、Pearsonの点相関係数 ϕ (ファイ) もそのひとつである (Dagnelie, 1962)。

これらの指数はすべて1つの前提から出発していて、2つの場所AとBに種Pが共に存在する場合をa、共に存在しない場合をd、Aに存在してBに存在しない場合をb、その逆をcとして種AからZまで調べてa, b, c, dに代入して計算するもので、式はa, b, c, dの変数を組み合わせたもので、Jaccardの群集係数なら $a/(a+b+c)$ 、Ochiai指数(1957)なら $a/[(a+b)(a+c)]^{0.5}$ 、Sokal & Sneath(1963)の指数なら $2(a+d)/[2(a+d)+b+c]$ などである。

2群を比較する方法も大切であるが、そればかりでなく、多様度その他、群集に関するさまざまな現象を数学的に求めることはもっと大切で、まったく異なった前提から出発して、ここに1:0データ(binary data)の新しい解析方法を創出し、多様度指数B、自然破壊度判断指数Qaを作り上げたので報告する。

方 法

1. 多様度指数

Table 1 A に示すのはチェックリストの基本的な構造の例である。この表は計算の仕方を示す例であるので、チョウの実際の分布ではない。

この表から何らかの多様度を求めようとすると、数字1を縦に加算して種数をだし、その数値を変換して使ってもよい。しかし、種数の変換、例えば対数変換でもよいが、それなら種数という最も基本的な多様度指数が存在するのに、なにも特別に数式を作らなくても種数をそのまま使えばよいことである。多様度指数を作る目的は、その指数が生物群集の多様性に大きくかかわっているなんらかの現象、事態を表現するものでなくてはならない。それでこの論文で扱う多様度指数は、種の稀少性、普通性を反映したもとするために次のような方法を取った。

まず始めに Table 1 A に並んでいる1の数字を横方向に加算する。例に示すアオスジアゲハだと計は10とな

* 神戸市長田区五位ノ池町2-1, 五位ノ池南ビル513
513 Goinoike South Bldg. 2-1, Goinoike, Nagata,
Kobe 653-0851 Japan

Table 1
 多様度指数B及び単調度指数Mの計算方法を示す表
 The calculation methods of the diversity index B and the monotony index M

A 原点のモデル 通常は1でなく○印になっている。	屋久島	中之島	奄美大島	徳之島	沖永良部	与論島	沖縄	宮古島	石垣島	西表島	Σ Ni
アオスジハゲハ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
ベニモンアゲハ	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3
モンキアゲハ	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	5
カラスアゲハ	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	4
ミヤマカラスアゲハ	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
キアゲハ	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
種数 S = Σ Ni	5	4	3	2	2	1	2	2	2	2	
δ = (1-1/S)	.552	.500	.422	.292	.292	.000	.292	.292	.292	.292	

B 希少種に重み をかけた多様 度指数Bの求 め方	屋久島	中之島	奄美大島	徳之島	沖永良部	与論島	沖縄	宮古島	石垣島	西表島	Σ Ni
アオスジハゲハ	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	10
ベニモンアゲハ								0.33	0.33	0.33	3
モンキアゲハ	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2						5
カラスアゲハ	0.25	0.25	0.25				0.25				4
ミヤマカラスアゲハ	0.5	0.5									2
キアゲハ	1.0										1
R = Σ (Ni/Σ Ni) _i	2.05	1.05	0.55	0.3	0.3	0.1	0.35	0.43	0.43	0.43	
LR (L, 鳥数)	20.5	10.5	5.5	3.0	3.0	1.0	3.5	4.3	4.3	4.3	
U = $\frac{1}{S} \sum (Ni/\Sigma Ni)$	4.1	2.62	1.83	1.5	1.5	1.0	1.75	2.15	2.15	2.15	
1/U	0.293	0.381	0.546	0.66	0.66	1.0	0.571	0.465	0.465	0.465	
B = (1-1/U)	0.757	0.619	0.459	0.33	0.33	0.0	0.727	0.535	0.535	0.535	

C 普通種に重み をかけた単調 度指数Mの求 め方	屋久島	中之島	奄美大島	徳之島	沖永良部	与論島	沖縄	宮古島	石垣島	西表島	Σ Ni
アオスジハゲハ	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
ベニモンアゲハ								3	3	3	3
モンキアゲハ	5	5	5	5	5						5
カラスアゲハ	4	4	4				4				4
ミヤマカラスアゲハ	2	2									2
キアゲハ	1										1
T ₁ = Σ (Ni · Σ Ni) _i	22	21	19	15	15	10	14	13	13	13	
T ₂ = $\frac{1}{S} \sum (Ni/\Sigma Ni)$	4.40	5.25	6.33	7.50	7.50	10.0	7.0	6.5	6.5	6.5	5
M = $\frac{1}{S \cdot L} \sum (Ni/\Sigma Ni)$	0.44	0.52	0.63	0.75	0.75	1.00	0.70	0.65	0.65	0.65	

り、ベニモンアゲハだと3となる。そしてこの計の10や3でもとの1を割ると、Table 1 Bに示すような数値になる。次にこの商を縦方向に加える。この表では与論島はすべての島に分布するアオスジアゲハ1種しかいないので、縦計は全体のなかで最も小さな0.10となり5種が存在する屋久島では2.05という値を得る、すなわち、どこにでもいる普通種には小さな値が与えられ、稀少種には大きな値を与えて重みづけをするわけである。ここまです式式の最も重要な部分を構成しており、式で示すと次のようになる。横方向の計算は i で示し、縦方向の計算は j で示す。

$$R = \sum (N_i / \sum N_i)_j \dots \dots \dots (1)$$

こうして出てきた数値 R に鳥数 (調査地点数) L をかける。理由はすべての島に分布している種については鳥数で割ったことになっているので、鳥数の影響を消すためである。ここでは10鳥しか示されていないが、鳥の数が増えると数値も変化するのでそれを防ぐためである。そしてさらに種数 S で割って種数の影響を取り除く。ただし、 $S = \sum N_j$ 。

$$U = \frac{1}{S} \sum (N_i / \sum N_i)_j \dots \dots \dots (2)$$

こうすると、最普通種が1種しかいない与論島の数値は基本的な1.00を示すようになる。ところでここでは1を最低の基本的数値として、最高5.50まで発散する数値になっている。(本当は $1 < U < \infty$ の値をとる。) これを0.00-1.00までの値域に分布する変える方が取扱に便利である。それで逆数にする。

$$V = \frac{1}{U} \dots \dots \dots (3)$$

そうすると、最も蝶相の単純な与論島が1.00となり最も豊富な屋久島が逆に0.243と小さな数値になる。それでは具合が悪いので1から1/Uをひき算する。

$$B = (1 - \frac{1}{U}) \dots \dots \dots (4)$$

式全体を示すとつぎの通りである。

$$B = (1 - \frac{1}{\frac{1}{S} \sum (N_i / \sum N_i)_j}) \dots \dots \dots (5)$$

5式が完成した多様度指数Bである。

2. 単調度指数 M

単調度指数Mは多様度指数Bの逆を示す指数で自然が破壊されると稀少種が消え、普通種しかすまなくなるという考え方にもとずいてつくられた。この指数も多様度指数Bと同様に生物の稀少性、普通性にも反応し、種数やその他の指標にはまったく反応しないようにつくられている。

Table 1 Aの1の数字を横方向に加算して計を得て、その計を元の1に乗じて表1Cのようにする。そして次はそれらの積を縦に加算してその計をだす。そしてその計を鳥数Lと種数Sで割る。そうすると、例のTable 1 Cでは与論島の最も単調な場合が1.00、稀少性が加わる

ことによって、数値は低くなる、数値の変動範囲は0.00-1.00である。数式で示すと次のようになる。

$$M = \frac{1}{\sum S} \sum (N_i / \sum N_i) \dots \dots \dots (6)$$

この式は生物群集の単調度を表現するために作られたものであるが、Mを1から差し引くと、逆に多様度を示す式になる。

$$D = 1 - M \dots \dots \dots (7)$$

結果と応用

1. 種数と多様度指数Bの関係

新しく作られた多様度指数Bに対して南西列島の蝶の種数、島の面積などとの関係を日本産昆虫目録(1989)

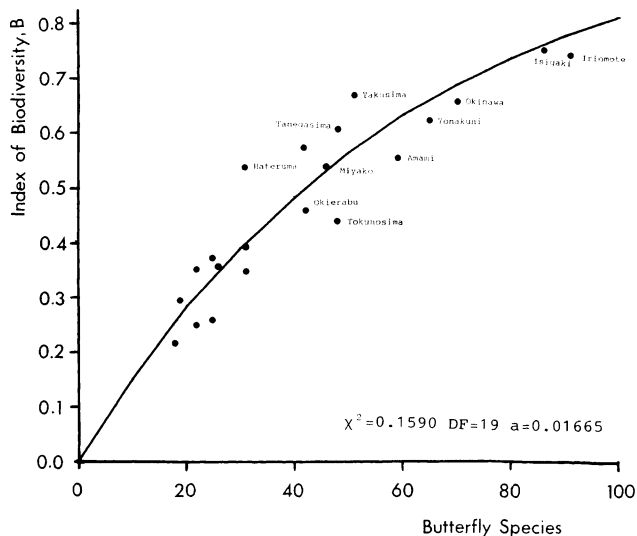


Fig. 1 南西列島の蝶群集で求めた種類と多様度指数Bの関係
The relationship between the species and the diversity index B obtained from the butterfly communities in Southwestern Archipelago, Japan.

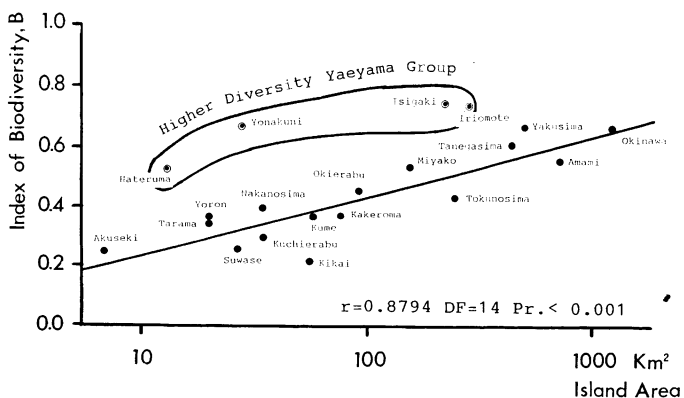


Fig. 2 南西列島の蝶群集で求めた島の面積と多様度指数Bの関係
The relationship between the island areas and the diversity index B obtained from the butterfly communities in Southwestern Archipelago, Japan.

から求めた。また指数Bの正確さを補足説明するために面積：種数関係を求めた。さらにもうひとつの多様度指数(1-M)とどちらの方が鋭敏に反応するかを比較した。さらにBと種数関係の回帰線からのずれをもとに自然破壊度判定指数Qaを創出し、南西列島の蝶群集に応用した。

多様度指数Bと種数の関係は、種数の増加に対して指数Bも大きくなるという正の関係を示す(Fig. 1)。このことで多様度指数Bは生物群集の多様度を基本的に表示できる指数であることを証明するものである。種数と正の関係を取るといっても、それはそう見えるだけで、本当は種の稀少性、普通性に反応しているのである。稀少性、普通性が種数の鏡に映っている像を我々は見ているにすぎない。

種数と多様度指数Bの関係は直線的ではなく、ある曲線に従っていることがわかるので、経験的に単純ベルタランフィ曲線を当てはめるとよく適合した。今、種数をS、aをパラメーターとすると式は次のようになる。

$$B = (1 - e^{-as})$$

コンピュータで χ^2 が最小の値を取るところのaを捜すと、 $\chi^2 = 0.1590$ で $a = 0.01665$ (DF = 19)となる。

本来Bは種の稀少度、普通度に反応する指数なので、種数が多くても、稀少種が少ない場合は値は低下し、その逆では上昇する。例えばFig. 1では奄美大島、徳之島の指数値はカーブよりもかなり下方に位置する。このことは、これら2つの島では蝶の種数は多いが、稀少種が極めて少ないことをしめしている。これら2つの島では自然環境がかなり破壊されていることを示唆するものである。また屋久島や波照間島では稀少種が通常以上に多いことを示すものである。

次に、島の面積に対して多様度指数Bをとってみた(Fig. 2)。これは面積：種数関係をどこまで反映するかを試したわけである。結果は1本の主回帰直線のまわりに宮古島以北の島々が集まり、それらから離れて八重山4島だけが同じ面積に対して高い多様性を持つことがわかる。ここでは4島だけが作る平行な副直線を書き込むことはできない。

それでこのことを補足するために、面積：種数関係をとってみた(Fig. 3)。面積：種数関係においてもグラフの点は2本の直線に従うことがわかる。面積をA、種数をSとすると、主線は $\log S = 0.250 \log A + 1.032$ となる。ここでZ値が0.250となるのはPreston(1962)の理論

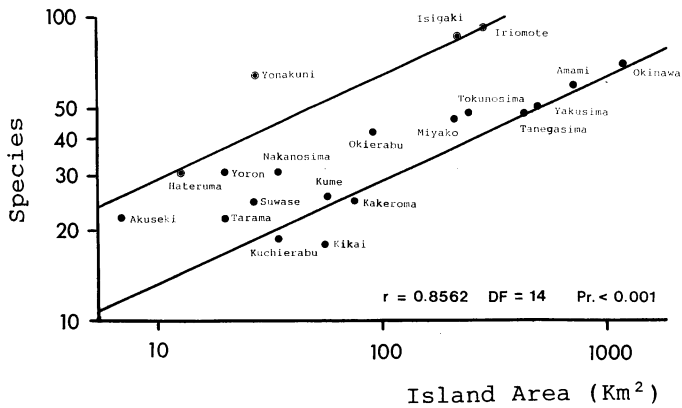


Fig.3 南西列島の蝶群集で求めた島の面積と種数の関係
The species:area relationship of the butterfly communities in Southwestern Archipelago, Japan.

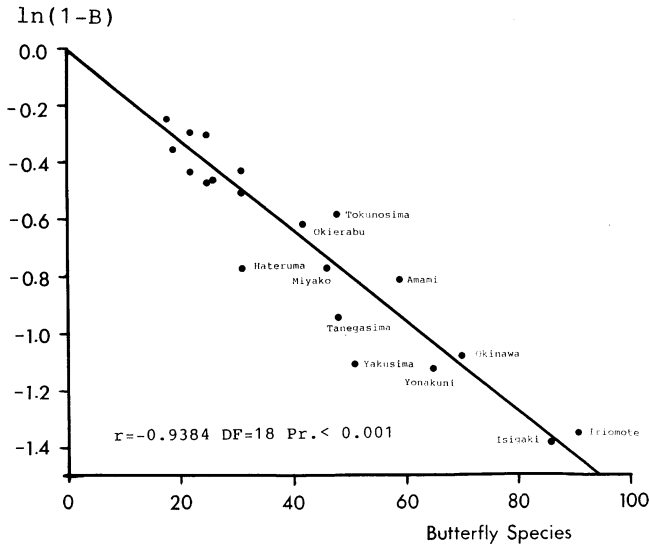


Fig.4 南西列島で求めた蝶種数と $\ln(1-B)$ の関係
The relationship between the species and $\ln(1-B)$, in which B is the diversity index obtained butterfly communities in Southwestern Archipelago, Japan.

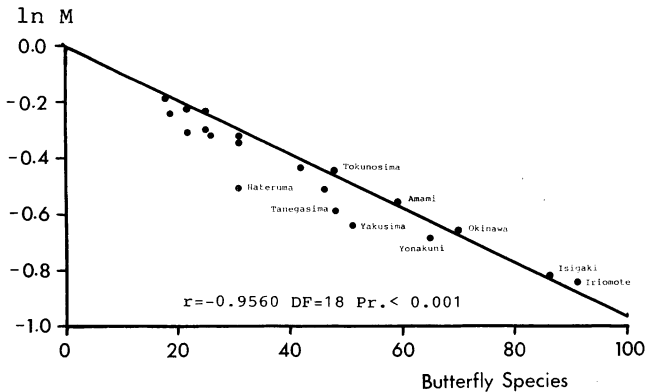


Fig.5 南西列島で求めた蝶種数と $\ln M$ の関係
The relationship between species and $\ln M$ (M is monotonize index) obtained butterfly communities in Southwestern Archipelago, Japan.

値の0.26に極めて近いことがわかる。主線と2次線との差は2.23倍で、台湾に近い日本の最南端の4つの島は同じ面積の島に比べて2.23倍も種多様性が高いのである。Fig. 2の面積:多様度指数Bの関係でも、これら4島の多様度が高かったことは、これら4島はただ種数が多いばかりでなく、ここの蝶群集は稀少種をも多く含んでいることを意味している。

2. 自然破壊度の判定

種数:多様度指数Bの関係でも、奄美大島、徳之島は自然破壊が進んでいることがわかったが、これを数値として取り出して、自然破壊の程度を判定することができれば意義は大きい。種数:多様度指数Bの関係で、経験的に次の関係が成立した。

$$B \doteq (1 - e^{-as})$$

それでこの式を少し変化させると、

$$1 - B = e^{-as}$$

両辺に自然対数をとると

$$\ln(1 - B) = -as$$

$\ln(1 - B)$ を y とすると、

$$y = -aS$$

で原点を通る直線となる。

それで、 $\ln(1 - B)$ を縦軸にとり、種数を横軸にとるとFig.4のようになる。この直線の上に位置する点は線から離れば離れるほどそこでは単調化が進んでいるといえる。大きな島のなかでは、徳之島と奄美大島が線の上部に位置している。逆に与那国、波照間、屋久島、種子島では蝶は種数よりもはるかに高い多様性を持っていることがわかる。

単調度指数Mは $(1 - B)$ と同様にエクスポネンシャル曲線にしたがうので、次のように書ける。

$$M = e^{-bs}$$

bはaと同様なパラメーターである。Sはもちろん種数である。両辺に自然対数をとると、

$$\ln M = -bS$$

となり、 $\ln M = y_2$ とおけば $y_2 = -bS$ となって直線となる。それを作図するとFig.5のようになる。

そこでBとMとの反応の鋭敏性、検出力の比較をFig.4とFig.5の間で行うことができる。Fig.4では奄美大島、徳之島の2点が直線よりかなり上部にきているのに対して、Fig.5ではそれら2点は直線とほぼ接している。また、直線よ

りも下方に位置する与那国、波照間、屋久島、種子島の4点も、Fig.4ではよく離れているのに、ln Mを扱ったFig.5ではFig.4の半分以下である。このことから、ln(1-B)のほうがln Mより検出力が高いと結論できる。

そこでln(1-B)の検出力を利用して、回帰線からの隔離度合いを求めるには、

$$\ln(1-B) = -aS \quad \text{左辺はもともと負なので、}$$

$$\ln(1-B)/aS = 1 \quad \text{となる。}$$

1となるのは、Fig.4の直線のことで、線から離れている点は1とはならず1の回りに分布する数値になる。直線より上にある点は1より大きな数値となり直線より下に分布する点は1より小さな数値をとる。その結果と計算方法を示したのがTable 2である。結果はTable 2の右端の数値列である、種子島、屋久島、波照間、その他の島で1より大きな数値が出ており、奄美大島、徳之島は1よりかなり小さな0.849、0.754といった数値が読める。1より大きな数値を得た場合は自然は調査面積、種数にかかわらず良好な自然が保たれていると判断することができる。逆に数値が1よりも小さければ、特に0.75を下回るような時には自然はかなり破壊が進んでいると判断することができる。式を次のように表して、

$$Qa = \ln(1-B)/aS$$

Table 2 Qa指数の計算方法

The calculation method of Qa Index $\{\ln(1-B)/aS\}$ showing the grade of distances from exponential curve in the relationship between species numbers and $\ln(1-B)$ that represents divergence of nature from original conditions

Islands	Area (km ²)	Species Number : S	Diversity Index : B	ln(1-B)	aS (-0.0161S)	ln(1-B)/aS
Tanegashima	444	48	0.608	-0.936	-0.773	1.210
Yakushima	504	51	0.669	-1.105	-0.821	1.346
Kuchierabu	35	19	0.297	-0.352	-0.305	1.154
Nakanoshima	34	31	0.396	-0.504	-0.499	1.010
Suwase	27	25	0.261	-0.302	-0.402	0.751
Akusekijima	7	22	0.251	-0.289	-0.354	0.816
Amami	712	59	0.554	-0.807	-0.950	0.849
Kikai	57	18	0.218	-0.245	-0.289	0.847
Kakeroma	77	25	0.375	-0.470	-0.402	1.169
Tokunosima	247	48	0.442	-0.583	-0.773	0.754
Okierabu	93	42	0.460	-0.616	-0.676	0.911
Yoron	20	31	0.351	-0.432	-0.499	0.865
Okinawa	1202	70	0.659	-1.075	-1.127	0.953
Kume	58	26	0.368	-0.458	-0.418	1.095
Miyako	158	46	0.538	-0.772	-0.740	1.043
Tarama	20	22	0.352	-0.433	-0.354	1.223
Ishigaki	222	86	0.750	-1.386	-1.384	1.001
Iriomote	289	91	0.741	-1.350	-1.465	0.921
Hateruma	13	31	0.537	-0.770	-0.499	1.543
Yonakuni	28	65	0.673	-1.117	-1.046	1.067

この自然破壊度判断指数をQa指数(Qa Index)と呼ぶことにする。

そこで直線の傾斜度aの求め方であるが、これは相関関係の回帰直線で原点を通る場合を統計的に求めればよい。それぞれの地点の種数をS_i、ln(1-B) = Y_iとすれば、aを求めるのは次のような式を使えばよい。

$$a = \frac{\sum S_i Y_i}{\sum S_i^2}$$

Qa指数は面積の制約も、種数の制約も受けない指数であるから、調査地点の面積の大小があっても、それにとり種数の多少があってもこの指数で自然破壊度を判断することが可能である。

3. 種数が少ない小標本の場合

ちなみにここで扱っている南西列島の蝶の場合は全種数が123種であるので問題は生じないが、経験的に種数が30種以下の時、特に20種以下にもなるとほんの1~2種の稀少種の混在で多様性指数Bの値は影響をうけ、値が高くなる、そうした場合は種数にのみ反応する部分δをつけて計算をする方がよい。

$$\delta = 1 - 1/\sqrt{S}$$

$$B\delta = \left[1 - \frac{1}{S} \sum (N_i / \sum N_i)^2\right]^{1/2} (1 - 1/\sqrt{S})$$

考 察

(1) 自然破壊度判定指数Qa

自然破壊度判定指数Qaは種数と $\ln(1-B)$ との関係でできる直線 $-aS$ からのずれをはかる指数である。直線 $y = \ln(1-B) = -aS$ の a は統計学的に計算して導き出す変数である。ということは、 a に絶対的な値は存在せず、調査が異なれば異なった数値を示す。だから、南西列島のようにかなり豊かな自然の残っているところでは $a = -0.0161$ と絶対値が小さくなっているが、どこもかしこも自然破壊を被っているような場所の調査では、 a の絶対値はもっとおおきくなる。だからQaの数値は相対的なもので、この指数を使って調査を行った場合にはかならず a の値を付記しておかねばならない。

指数Qaで最も問題なのは、西表島のように蝶が91種もいて、多様度指数Bも0.741ときわめて高いのにQaは0.921と1以下である。また口永良部島などは種数は19種でB値は0.297と最も低いのにQaは1.154と1より大である。このことをもとに西表は自然破壊されていて、口永良部は良好な自然があると結論するのは不都合である。ではQaはなんのための指標なのか。

Qaはもともと普通種と稀少種のいわば比率を表す指数である。だからこの指数はその場所の本来あるべき状態からの逸脱を示す指数で種数や多様度が高いところは高いところなりに、小さな島で種数や多様度が低いところは低いところなりに、本来の状態を1.00とすれば、それを下回れば自然破壊がおきていると判断する指標となるのである。

(2) 多様度指数B

在・不在データ (binary data) をもとに求める多様度指数Bは生物種の稀少性、普通性に反応するように作られている。そこで稀少な生物が多いと本当に多様度は高いのかということが問題になる。南西列島の多くの島のなかで小さな島ほど多様度指数Bは小さな値をとる。このことは、小さな島では普通種しかいないことを示している。また種数：面積関係で、小さな島は種数が少ないこともはっきりしている。だから小さな島は、生物の種数は少なく、それも普通種ばかりであることがわかる。その逆に、大きな島では種数も多く、稀少種も普通種もいて多様度指数が高くなる。

動物の種数と個体数の関係はPreston (1948) が示したごとく、2を底とする対数軸上で正規分布することが知られている。すなわち対数正規分布ができるわけである。(種数を縦軸にとり個体数は2を底とした対数にして横軸にとる。)

そしてこの分布の左端は切れている。これは個体数が1以下の、すなわち小数点以下の動物は存在しないから

である。ここで蛾の夜間採集のことを例にして考えてみると、採集時間が1時間の場合、1夜の場合、10夜続けた場合を比較すると、1時間の場合は小標本しか集まらず、正規分布はできないで個体数と種数の間には対数級数則を生じる(森下, 1962)。1夜かけて集めた標本では対数正規分布の半分以上が現れるが、普通種が多く、分布の左端の切れ、すなわちベールラインはまだ高い。10夜も採集を続けると、標本に稀少種が多くなり、ベールラインの切れは小さくなり、対数正規分布は全体として右へ移動する。

このことは蝶と鳥の面積の大小の関係と同じことで、小さな島でもれなく蝶を採集しても種数は少なく普通種ばかりで個体数と種数の間に対数正規分布は生じない。大きな島、例えば日本の本州全体から採集したとすると、はっきりした対数正規分布が現れ、ベールラインの切れは小さいという種数：個体数関係が生ずる。このことはすでに間接的に示した(細見, 1998)。

以上のような理由で、稀少種が多いことは、多様性が高いこととうらはらの関係にあり、稀少性で多様度を測ることは充分理にかなったことなのである。ただし小標本の場合だと、1~2種の稀少種の混在でBの値が変動するので、小標本の場合は δ ($\delta: 1-1/S$)をBに乗じて、 $B\delta$ として使われることをお勧めする。 δ をつけると反応は少し鈍くなるが、いたしかたのないことである。

Bと単純ベルタランフィ曲線、 $(1-B)$ とエクスポネンシアル曲線との関係は経験的なもので、理論的にたどり着いたものではない。将来的にはこの関係を理論的に解明したいと考えている。そうはいつても、多様度指数B、自然破壊度判定指数Qaの実用的な利用の上ではなんの問題もない。

(3) 普通種ばかりだと自然破壊が進んだことになるか。

この論文では普通種が多いことは自然の単調さを意味するもので、自然破壊が進んでいることを暗黙のうちに認めて論旨を進めてきた。はたして普通種が多いことは本当に自然破壊が進んでいることを意味するのか。

小さな島では種数が少なく普通種ばかりであることをこれまでみてきたが、どうして小さな島ではそうなるのか問題なのである。たとえば最初に島に移住した種が普通種だとすると、小さな島では少数の優占種が島を占拠してしまい、稀少種は入り込む余地がなくなると考えられる。その原因はおそらく供給されるエネルギーの総量とニッチの数の少なさからきているものだろうと考えられる。小さな島に到達した先天的普通種は島のなかで個体数を増加させ、それが島の面積の許容限度にまで達するはずである。あとからきたもので競争力のある

種は競争に打ち勝ってニッチェを奪い、共存にもちこむだろうが、競争力の弱い種だと島に入り込むことができないはずである。

稀少とは個体数が少ないことを意味しているが、何ゆえに個体数が少ないのかといえば、環境への適応力が弱く、競争力の弱さが結果として個体数に表れているわけで、非常に多くのニッチェが用意されている豊富な自然のある大きな島（または大陸）では生活できるが、ニッチェの少ない小さな島では生活することが許されないであろう。

個体数の多い普通種と少ない稀少種がともに人間による被害を受けた場合稀少種から消えて行くのが通例である。その理由は稀少種はごく狭い地域に限定されて生活しているものがおおい。例えば、メスシロキチョウの類にビエベルシメスシロキチョウ (*Ixias piepersi*)、パルエンシメスシロキチョウ (*Ixias paluensis*) という蝶がいるが、前者はセレベスのベルクンバ (*Belukumba*) という町のごく狭い範囲にだけ、また後者は同じくセレベスのパル (*Palu*) の街の周辺にだけ見られる種である。これほど極端でなくとも、稀少種は個体群の連続がずたずたに切られている。そうした場合、生息地が破壊されると個体群が消滅し、そのことが種の消滅への一歩となる。例として上にあげたメスシロキチョウの場合なら、ゴルフ場がひとつできただけで種は消滅を迎える。それに反して普通種の場合は通常分布域が広く、個体数密度も高いので容易に減ぶことはない。この論文ででも明らかにしたが、奄美大島や徳之島の多様性が低いのは稀少種がいなくなっているため、これも環境が悪化した場合は稀少種から消えて行くひとつの例である。このように見て行くと普通種しかいないということで自然破壊が進行しているとは言えないが、南西列島のようなところでは、指数 Qa が 1.0 の時、多様度指数がいかにほどであろうとその群集は調和点にあり、1.0 以下の時、生物群集は破壊されつつあることを示すものと言えよう。

Summary

There has been no method for analysing of binary data excluding the comparison between two communities as Pearson (1901), Jaccard (1901), Ochiai (1957) and others. Starting from different premise, I created the new formulae to analyse the binary data (1:0 data) that is bio-diversity index B and as a consequent result of index B study, that leads Qa Index to measure the nature destruction grade.

Diversity index B reacts only the rarity or commonness of species. The calculation method of diversity index B is shown in Table 1 that so called 1:0 data are

represented in the Table 1 A which is constituted by species lines from left to right and island ranks from top to bottom. 1 & 0 are substituted by N_i or N_j , where the calculation to be progressed from left to right, attached number is shown by i, when the calculation to be done from top to bottom, attached number is j.

Initially the $N(1 \& 0)$ are totalled from left to right ($\sum N_i$). secondaly the original $N (=1)$ are divided by total sum ($N_i / \sum N_i$). Then the quatients are added from top to bottom ($\sum (N_i / \sum N_i)_j$). This is most important portion of the formula formation which reacts rarity or commonness that gives weight to rare species. Next is multiplication of the number of islands L that reason is erasing the affection of the number of islands if the number of islands is changed. And it is divided by the number of species S that is to erase the affection of number of species. The midway formula U is as follows.

$$U = \frac{L}{S} \sum (N_i / \sum N_i)_j \quad \because S = \sum N_j$$

The formula U is changed to B for the distribution range of the index to become within 0.00 to 1.00.

$$B = 1 - \left\{ \frac{L}{S} \sum (N_i / \sum N_i)_j \right\}^{-1}$$

The formula written above is a diversity index B.

As the diversity index B was applied on the butterfly fauna in Southwestern Archipelago, Japan, good results were obtained which are shown in Fig. (1.2, 3, 4).

The relationship between the number of species and diversity index B forms Bertalanffy curve, consequently the relation of $(1-B)$ and the number of species S make exponential curve. When S is the number of species and a is parameter, following relationships are formed.

$$1-B = e^{-aS}$$

$$\ln(1-B) = -aS$$

$$\ln(1-B)/aS = -1$$

When the relationship between $\ln(1-B)$ and the number of species S is taken, it is observable that the linear relation is made through original point (0, 0). The dots above the line show that natures were changed to monotonous condition, contrary the dots under the line mean that nature is very favourable situation.

When $\ln(1-B)$ is divided by $-aS$, the values distributing around 1.00 can be obtained. The values larger than 1.00 mean that more abundant nature than

original condition is available, smaller values less than 1.00 that nature was monotonized from original ones judged by Qa index which can be used irrespective of the number of species and sizes of investigated places. This index is named Qa. $Qa = \ln(1-B) / -aS$ as S is the number of species and a is parameter. The a value is obtainable by the statistic calculation.

引用文献

- Dagnelie, P. 1962. Étude statistique d'une pelouse á *Brachypodium ramosum*. III. les liaisons interspécifiques. Première partie. Bull. Serv. Carte phytogeogr. Ser. B, 7 : 87-97.
- 細見形文. 1998. 環境庁の動植物分布調査報告書の報告数は個体数に変換可能か。Chiribotan (日本貝類学会誌) (印刷中)
- Jaccard, P. 1901. Distribution de la flore alpine dans le Bassin des Dranses et dans quelques régions voisines. Bull. Soc. vaud. Sci. nat., 37 : 241-272.
- Kimoto, S. 1972. The regularity on the geographical distributions of the butterflies and the leaf beetles in Japanese Archipelago. Jpn. J. Ecol., 22 : 40-46.
- 九州大学農学部昆虫学教室・日本野生生物研究センター. 1989. 日本産昆虫総目録, 1-1087. 九州大学農学部昆虫学教室
- MacArthur, R. H. and Wilson, E. O. 1967. The theory of Island Biogeography, 1-426. Princeton Univ. press, Princeton.
- 森下正明. 1962. 動物生態学, 163-262. 宮地伝三郎他編, 朝倉書店, 東京.
- Ochiai, A. 1957. Zoogeographical studies on the solenoid fishes found in Japan and its neighbouring regions. Bull. Jpn. Soc. Scient., Fish. 22 : 526-530.
- Preston, F. W. 1948. The commonness and rarity of species. Ecol., 19 : 254-283.
- Preston, F. W. 1962. The canonical distribution of commonness and rarity, Part I. Ecol., 43 : 185-215.
- Sokal, R. R. and P. H. A. Sneath. 1963. Principles of Numerical Taxonomy, 1-696. W. H. Freeman & Company, San Francisco.
- Sørensen, T. A. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation on Danish commons.