

環動昆

報 文

関谷 善行：照度から見た神戸市内照葉樹林地域のチョウ類
群集の季節消長 99

研究奨励賞受賞論文

中村 寛志：チョウ類群集の構造解析による環境評価に関する研究 109

解 説

吉村 剛：床下環境とシロアリ 125
深海 浩：環境ホルモン私説 137

会 報 151
投稿規定 153

Vol. 11

3

2000

日本環境動物昆虫学会

照度から見た神戸市内照葉樹林地域の チョウ類群集の季節消長

関谷 善行

神戸市立西神中学校

(受領：1999年8月4日；受理：2000年5月18日)

Seasonal Prevalence of Butterflies in Laurel Forest in Kobe City by Illumination Intensity. Yoshiyuki Sekiya (Seishin Junior High School, Takenodai Nishi, Kobe 651-2274, Japan). *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* **11** : 99-108 (2000)

Transect counts of butterflies were made in Taisan-ji in Kobe City 5 times in May-September 1996 and in Karasubara in Kobe City 5 times in May-October 1996. The transect route of Taisan-ji was 2.2 km in length along laurel forest dominated by *Castanopsis cuspidata* and *Quercus phillyraeoides*. The transect route of Karasubara was 3.2 km in length along coppice woods dominated by *Quercus serrata* and evergreen woods dominated by *Quercus glauca* and *Cinnamomum camphora*. In Taisan-ji a total of 112 individuals belonging to 24 species were recorded. A diversity index, H' , was 4.09. *ER* analysis showed that this area could be classified as the afforest stage. In Karasubara a total of 109 individuals belonging to 23 species were recorded. A diversity index, H' , was 3.31. *ER* analysis showed that this area could be classified as the afforest stage. Measurement of illumination intensity in the point where butterflies were witnessed was made in the two areas between July-October. Butterflies were active in the point of lower illumination intensity in August. This result suggests that in summer the some species of butterfly communities prefer the inner parts of forests.

Key words : Butterfly community, Laurel forest, Illumination intensity, Transect count

神戸市太山寺周辺地域と烏原貯水池周辺地域において、1996年5月から10月にかけてチョウ類群集の調査を実施した。調査地の太山寺周辺は、コジイ、ウバメガシを中心とした照葉樹林、硬葉樹林の2種類の自然林、烏原貯水池周辺は、コナラ、アベマキ群落にアラカシ、クスノキなどの照葉樹の混入した地域である。調査はトラ

ンセクト法により、月1回、合計5回ずつ実施した。その結果、太山寺周辺では、6科24種112個体、烏原貯水池周辺では、7科23種109個体のチョウを確認した。種多様度指数 H' は、太山寺周辺では4.09と高く、烏原貯水池周辺では3.31であった。ERによる解析では2つの地域とも第二次段階にあると推定された。さらに、2つの調査地で、チョウが目撃された地点の照度を測定し、7月から10月にかけて比較分析したところ、8月の夏期は、より低い照度の地点で活動する傾向が見られた。これは、チョウ類が、夏期に林内など暗い場所で活動するという有力な裏付けとなるであろう。

はじめに

著者は、調査地域の日陰の割合を尺度として、チョウ類が夏期には比較的暗い環境（林内部）に多く見られ、逆に比較的明るい環境（オープンランド）で減る傾向があることを報告した（関谷, 1999）。一方、チョウ類群集の多様性について論じられているのは里山周辺部（石井, 1996；本田, 1997；関谷, 1998, 1999）や都市公園周辺など（今井ら, 1996；夏原ら, 1996；吉田, 1997）であることが多く、原生状態や照葉樹林地帯での調査は少ないようである。

そこで、比較的暗い環境が多いと考えられる地域、近畿地方で最も照葉樹が発達しているといわれる神戸市西区太山寺周辺と神戸市街地の裏山ともいえ照葉樹が多く見られる烏原貯水池周辺の2つの地域に調査コースを設定し、調査を実施した。特に、7月から10月にかけては、実際にチョウを目撃した地点での照度を測定し、個体数、種数の変動等の関係について解析した。

調査地および調査方法

1. 調査地

神戸市西区太山寺周辺（図1）の約2.2kmのルート、および神戸市兵庫区烏原貯水池周辺（図2）の約3.2kmのルートにて調査を実施した。

太山寺周辺のルートは、コジイを主とする照葉樹林とウバメガシを主とする硬葉樹林の2種類の自然林からなる原生林（服部ら, 1996）、いわゆる社寺林を中心に、コナラなどの落葉樹林や農耕地がとりまく林縁部から林内部に続く比較的暗い環



図1 太山寺周辺の調査ルート。

境のルートである。

烏原貯水池周辺のルートは、市の飲料水用に明治38年に建設された貯水池周辺のアラカシ、クスノキといった照葉樹が混入したコナラ群落を主とする雑木林（里山）のルートである（服部ら, 1997）。林縁部から林内部にかけての比較的暗い環境は太山寺と同様である。

2. 調査方法

太山寺周辺のルートでは、1996年5月から9月までの月1回、計5回、烏原貯水池周辺のルートでは、1996年5月と7月から10月まで月1回、計5回の調査を実施した。調査法としては、ルートセンサス法を採用し、晴天、微風、気温15℃以上の午前中、調査ルートを1人で歩きながら左右5m高さ5mの範囲内で目撃したチョウの種類と個体数を記録した。なお、捕獲同定できなかった個体については記録から除外した。

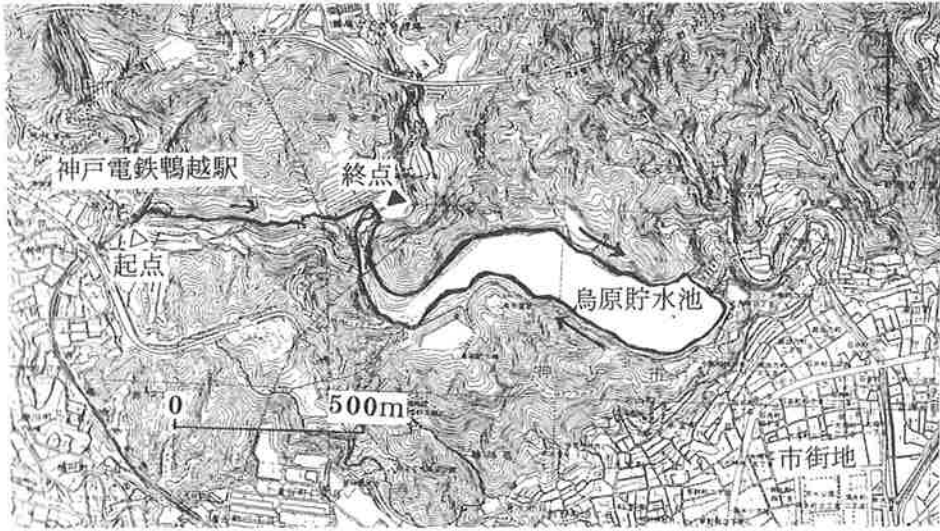


図2 烏原貯水池周辺の調査ルート。

また、日陰の部分の距離を歩数で測定（関谷，1999）し、コース全体に占める日陰の割合（%）を推定した。さらに、太山寺周辺ルートでは7月，8月，9月の3回，烏原貯水池周辺ルートでは7月，8月，9月，10月の4回，チョウを目撃した全地点でその時の照度（1 lux）を照度計（YAGAMI LX-222）で測定した。

3. データ解析法

得られたデータを集積し，調査区別に，目撃総種数，個体数，1 kmあたりの目撃種数，1 kmあたりの個体数，多様度指数，各調査区間の種数および個体数の共通率を求めた。種多様度については，Shannon関数（ H' ：平均多様度），Pielouの均衡性指数（ J' ：相対多様度），Simpsonの多様度指数（SID）を算出した。また，環境階級存在比（ER）（田中，1988）を求めた。

各指数の算出は次の各式によった（木元・武田，1989）。

$$H' = -\sum (n_i/N) \log_2 (n_i/N)$$

$$J' = -H'/\log_2 s$$

$$SID = 1 - \sum \{n_i (n_i - 1) / N(N-1)\}$$

ただし， N ：総個体数， n_i ： i 番目の種の個体数， S ：総種数。

$$ER = (\sum x_i T_i l_i) / (\sum T_i l_i)$$

ただし， $x_i = i$ 番目の種類の各環境段階（ X ： α .原始段階； β .二次段階； γ .三次段階； δ .都市段階）の生息分布度， $T_i = i$ 番目の種類の年間補正総個体数， $l_i = i$ 番目の種類の指標値，算出された各段階におけるER値は合計が10となり，各段階がどのような割合で分布するかによってその環境を判断する。

さらに，チョウを目撃した地点での照度（lux）の値を対数変換し，その平均値を照度対数変換値（ILI：Illumination intensity index）として求め，7月，8月，9月，10月について比較検討した。

$$ILI = \sum \log I/N$$

ただし， N ：総個体数， I ：そのチョウを確認した地点の照度。

結 果

1. 種数と個体数

太山寺周辺のルートで，6科24種112個体のチョウ類が確認された（表1）。また，烏原貯水池周辺のルートで，7科23種109個体のチョウ類が確認された（表2）。

表1 神戸市西区太山寺周辺ルートでの調査結果

		5月3日	6月16日	7月14日	8月17日	9月29日	合計	補正值/km	
アゲハチョウ科	Papilionidae								
ジャコウアゲハ	<i>Atrophaneura alcinous</i> Klug	1					1	0.091	
アオスジアゲハ	<i>Graphium sarpedon</i> L.		1	1	2		4	0.364	
キアゲハ	<i>Papilio machaon</i> L.					1	1	0.091	
ナミアゲハ	<i>Papilio xuthus</i> L.	1		2	2	1	6	0.545	
モンキアゲハ	<i>Papilio helenus</i> L.		1	1	2	1	5	0.455	
シロチョウ科	Pieridae								
モンキチョウ	<i>Colias erate</i> Esper	1	1	1			3	0.273	
キチョウ	<i>Eurema hecabe</i> L.					1	1	0.091	
モンシロチョウ	<i>Pieris rapae</i> L.	5	8	2	1	5	21	1.909	
シジミチョウ科	Lycaenidae								
ムラサキシジミ	<i>Narathura japonica</i> Murray			1			1	0.091	
トラフシジミ	<i>Rapala arata</i> Bremer	6	1				7	0.636	
ベニシジミ	<i>Lycaena phlaeas</i> L.	1	2	2			5	0.455	
ヤマトシジミ	<i>Pseudozizeeria maha</i> Kollar		1	1	1	6	9	0.818	
ルリシジミ	<i>Celastrina argiolus</i> L.	2	4				6	0.545	
ツバメシジミ	<i>Everes argiades</i> Pallas	1	1				2	0.182	
ウラギンシジミ	<i>Curetis acuta</i> Moore		1		1	7	9	0.818	
タテハチョウ科	Nymphalidae								
コミスジ	<i>Neptis sappho</i> Pallas		3		4	2	9	0.818	
キタテハ	<i>Polygonia c-aureum</i> L.	1					1	0.091	
ヒメアカタテハ	<i>Cynthia cardui</i> L.		1	1		1	3	0.273	
アカタテハ	<i>Vanessa indica</i> Herbst	1					1	0.091	
ジャノメチョウ科	Satyridae								
クロヒカゲ	<i>Lethe diana</i> Butler		2	1			3	0.273	
ヒカゲチョウ	<i>Lethe sicelis</i> Hewitson			3			3	0.273	
サトキマダラヒカゲ	<i>Neope goschkevitschii</i> Menetries				1		1	0.091	
コジャノメ	<i>Mycalesis francisca</i> Cramer			1	5		6	0.545	
セセリチョウ科	Hesperiidae								
イチモンジセセリ	<i>Parnara guttata</i> Bremer & Grey					4	4	0.364	
個	体	数	20	27	17	19	29	112	10.182
種	数		10	13	12	9	10	24	

2. 種構成および上位種の優占率

2つの地域において共通に見られた種は、アオスジアゲハをはじめ17種であった。太山寺周辺ルートでは、上位5種の優占率は49.1%であり、鳥原貯水池の70.6%に比べ、種数、個体数はあまりかわらないものの、上位5種の優占率が低かった(表3)。

3. 種多様度および環境階級存在比(ER)

太山寺周辺ルートと鳥原貯水池周辺のルートの種多様度指数を表4に示した。原生林的な環境である太山寺周辺ルートは $H' = 4.09$, $J' = 0.89$, SID

= 0.93と高く、鳥原貯水池周辺ルートは同じ様な環境にもかかわらず、 $H' = 3.31$, $J' = 0.73$, $SID = 0.81$ と低かった。また、年間総補正個体数(1km当たり)とそれぞれの種の生息分布度と指標値から2つのルートのERを算出した。その結果、2つのルートともに日浦(1973)のいう第二次段階(農村段階)の自然度を示した(図3)。

4. 個体数と種数の変動

太山寺周辺ルートおよび鳥原貯水池周辺ルートの個体数と種数の変動を図4と図5に示した。2つのルートとも林縁部から林内部にわたる比較的

表2 神戸市兵庫区烏原貯水池周辺ルートでの調査結果

		5月12日	7月13日	8月18日	9月28日	10月10日	合計	補正值/km
アゲハチョウ科	Papilionidae							
ジャコウアゲハ	<i>Atrophaneura alcinous</i> Klug	1					1	0.063
アオスジアゲハ	<i>Graphium sarpedon</i> L.		4	8			12	0.750
ナミアゲハ	<i>Papilio xuthus</i> L.		1		1		2	0.125
ヘレンアゲハ	<i>Papilio helenus</i> L.			2			2	0.125
クバアゲハ	<i>Papilio protenor</i> Cramer			1			1	0.063
シロチョウ科	Pieridae							
ヤチウ	<i>Eurema hecabe</i> L.		1				1	0.063
モンシロチョウ	<i>Pieris rapae</i> L.	1	1		1	1	4	0.250
シジミチョウ科	Lycaenidae							
トラフシジミ	<i>Rapala arata</i> Bremer		1				1	0.063
ベニシジミ	<i>Lycaena phlaeas</i> L.	1					1	0.063
ヤマトシジミ	<i>Pseudoizeeria maha</i> Kollar		5	5	25	9	44	2.750
ルリシジミ	<i>Celastrina argiolus</i> L.	2	1				3	0.188
ウラギンシジミ	<i>Curetis acuta</i> Moore			3	3	6	12	0.750
テングチョウ科	Lipthythidae							
テングチョウ	<i>Libythea celtis</i> Fuessly	1	1				2	0.125
タテハチョウ科	Nymphalidae							
ヨミズジ	<i>Neptis sappho</i> Pallas			1	1		2	0.125
ホシミズジ	<i>Neptis pryri</i> Butler		2				2	0.125
ジャノメチョウ科	Satyridae							
ヒメウラナミジャノメ	<i>Ypthima argus</i> Butler	2		1			3	0.188
クハヒカガ	<i>Lethe diana</i> Butler		1	1			2	0.125
ヒカゲチョウ	<i>Lethe sicelis</i> Hewitson		2			1	3	0.188
サトキマダラヒカガ	<i>Neope goschkevitschii</i> Menetries			3			3	0.188
コジャノメ	<i>Mycalies francisca</i> Cramer	1		2	2		5	0.313
セセリチョウ科	Hesperiidae							
ダイミョウセセリ	<i>Daimio tethys</i> Menetries	1					1	0.063
チャバネセセリ	<i>Pelopides mathias</i> Fabricus	1					1	0.063
イチョモンジセセリ	<i>Parnara guttata</i> Bremer & Grey				1		1	0.063
個 体 数		20	27	17	19	29	112	10.182
種 数		10	13	12	9	10	24	

暗い環境であるため、調査回数が少ないにもかかわらず、個体数については、ほぼ7月を中心とした1つのピークを示し、種数についても、9月に多くなる傾向を示した。

5. 日陰の割合および照度

調査ルートの日陰の割合を表5に示した。2つの地域とも比較的陰の部分の多い地域であった。また、チョウを目撃した地点のその時の照度を測定してまとめた結果が図6と図7である。なお、10万~15万luxの照度がほぼ晴れた日の日向の照度である。太山寺ルートでは、8月にはいずれの

照度階級でもほぼ同じようにチョウが観察されたが、7月には低照度と高照度で観察され、中間照度ではまったく観察されず、9月には高照度で集中的に観察された。一方、烏原ルートでは、7月と8月は太山寺と同様の傾向であり、10月は太山寺の9月と同様の傾向であったが、9月には中間照度に集中するという異なった傾向を示した。

6. 照度対数変換値 (ILI) の比較

太山寺周辺ルートでは、7月と8月間で有意差(t検定)が認められ、8月の値が4.17と最も小さく、9月の値が5.02と最も高かった。また、烏

表3 2つのルートにおける上位5種の1km当たり目撃個体数と優占率

順位	太山寺周辺ルート	鳥原貯水池周辺ルート
1	モンシロチョウ 1.90 (21)	ヤマトシジミ 2.75 (44)
2	ヤマトシジミ 0.81 (9)	アオスジアゲハ 0.75 (12)
2	ウラギンシジミ 0.81 (9)	ウラギンシジミ 0.75 (12)
2	コムスジ 0.81 (9)	コジャノメ 0.31 (5)
5	トラフシジミ 0.63 (7)	モンシロチョウ 0.25 (4)
a	5.00 (55)	4.81 (77)
b	10.2 (112)	6.81 (109)
c	49.1	70.6

() は目撃総個体数
 a = 5種の1km当たり目撃個体数の合計 (5種の目撃個体数の合計)
 b = 全種の1km当たり目撃個体数の合計 (全種の目撃個体数の合計)
 c = 5種の優占率 (a/b, %)

表4 2つのルートにおける種多様度

	種数	個体数	H'	J'	D
太山寺周辺	24	112	4.09	0.89	0.93
鳥原貯水池周辺	23	109	3.31	0.73	0.81

(H' = 平均多様度, J' = 相対多様度, D = Simpson指数)

表5 2つのルートにおける日陰の割合

調査ルート	日陰の割合 (%)	環境
太山寺周辺	55	照葉樹を中心とした原生林
鳥原貯水池周辺	42	照葉樹の多い貯水池周辺の雑目林

鳥原貯水池周辺ルートでは、7月と9月間で有意差が認められ、8月の値が4.43と最も小さく、10月が4.92と最も高かった(表7)。チョウの科別に比較してみたものが表8である、太山寺周辺ルートでは、アゲハチョウ科とジャノメチョウ科で、7月と8月間に有意差が認められ、平均値はアゲハチョウ科で、9月が5.06と最も高く、ジャノメチョウ科で、同じく9月に4.75と最も高かった。鳥原貯水池ルートでも、シジミチョウ科で、7月と8月の間に有意差が認められた。

考 察

1. 調査ルートのチョウ類群集の特性

太山寺周辺ルートはいわゆる社寺林にあたり、植生的には極相林の状態である。また、その周辺は農耕地やコナラを中心とする雑木林がとりまき、神戸市内でも有数の多様な自然の残された地域である(服部ら, 1996)。今回の調査では、チョウ類24種が確認され、上位5種の優占率が49.1%と低く(表3)、ER値は二次的自然度を示し(図3)、種多様度も神戸市の他の地域(関谷, 1998)と比較して高かった(表4)。この調査では、極相林が

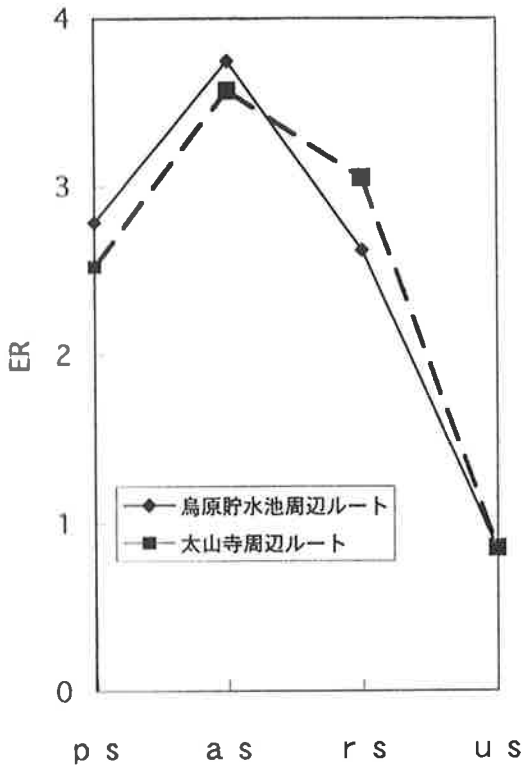


図3 2つのルートのチョウ類群集による環境階級存在比 (ER). ps : 原始段階, as : 二次段階, rs : 三次段階, us : 都市段階

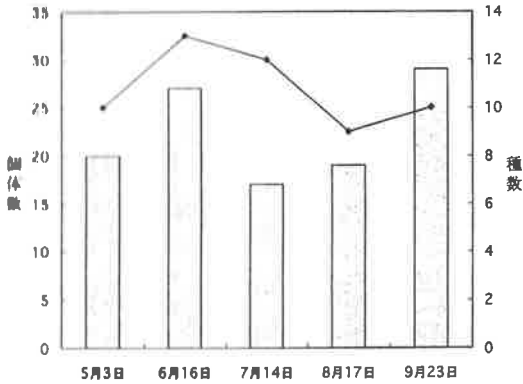


図4 太山寺周辺ルートの個体数と種数の推移. (棒グラフ：個体数, 折れ線グラフ：種数)

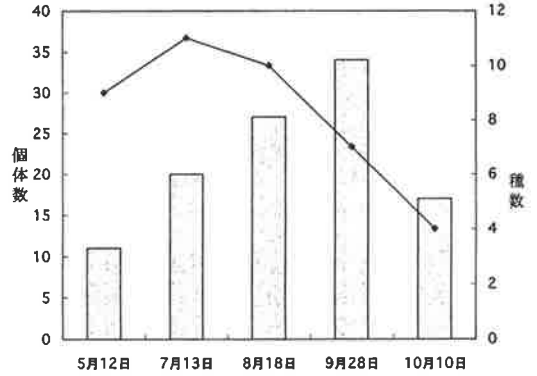


図5 烏原貯水池周辺ルートの個体数と種数の推移. (棒グラフ：個体数, 折れ線グラフ：種数)

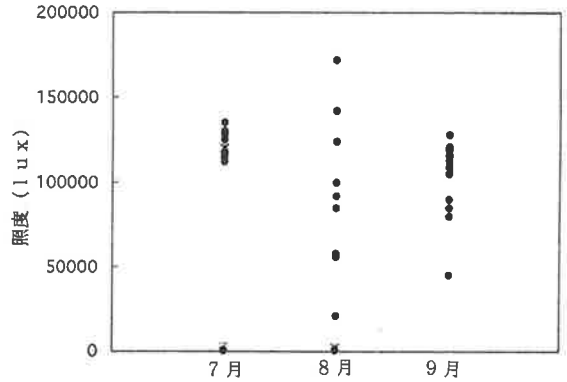


図6 太山寺周辺ルートにおけるチョウが観察された地点の照度.

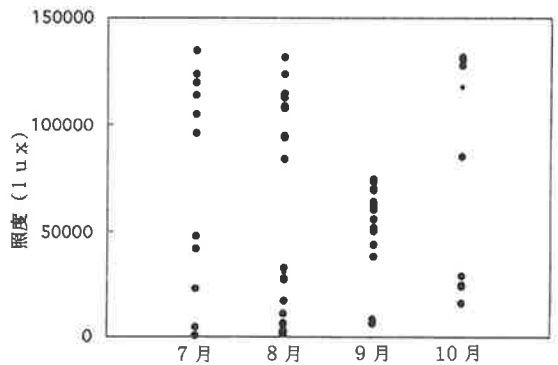


図7 烏原貯水池周辺ルートにおけるチョウが観察された地点の照度.

表6 チョウが観察された地点の照度 (lux) の度数分布

ル ー ト	調 査 日	～ 5 万	5 ～ 10 万	10 万 ～
太山寺周辺	7月14日	7	0	11
	8月17日	10	6	3
	9月23日	2	4	24
鳥原貯水池周辺	7月13日	5	1	13
	8月18日	14	4	9
	9月28日	6	33	0
	10月10日	4	1	12

太山寺ルート：有意差なし

鳥原貯水池周辺：調査日間（7月と10月）で有意差あり、($P < 0.01$, χ^2 検定)

表7 各調査月の照度対数変換値 (ILI)

調査ルート	7月			8月			9月			10月		
	平均	S.D.	測定数	平均	S.D.	測定数	平均	S.D.	測定数	平均	S.D.	測定数
太山寺周辺	4.33	0.98	18	4.17	0.89	19	5.02	0.20	32			
鳥原貯水池周辺	4.78	0.61	19	4.43	0.68	27	4.75	0.27	39	4.92	0.13	17

太山寺ルート：調査月間（7月と8月）に有意差あり ($P < 0.05$, t 検定)

表8 チョウの科別照度対数変換値 (ILI) の比較

調査ルート	科 名	7月			8月			9月			10月		
		平均	S.D.	測定数	平均	S.D.	測定数	平均	S.D.	測定数	平均	S.D.	測定数
太山寺周辺	アゲハチョウ科	4.78	0.55	4	4.72	0.66	6	5.06	0.02	3			
	シロチョウ科	5.10	0.03	4	5.00	—	1	5.06	0.01	5			
	シジミチョウ科	4.33	0.90	4	4.93	—	2	5.04	0.04	14			
	タテハチョウ科	5.05	—	1	4.43	0.21	4	5.01	0.04	3			
	ジャノメチョウ科	3.03	0.27	5	3.08	0.15	6	4.75	0.14	3			
	セセリチョウ科	**	**	**	**	**	**	5.06	0.09	4			
鳥原貯水池周辺	アゲハチョウ科	5.08	0.06	5	4.65	0.47	11	4.88	—	1	**	**	**
	シロチョウ科	5.06	—	2	**	**	**	4.87	—	1	5.11	—	1
	シジミチョウ科	4.90	0.28	7	4.98	0.18	8	4.80	0.09	33	4.95	0.33	15
	タテハチョウ科	5.07	—	2	3.78	—	1	4.72	—	1	**		
	ジャノメチョウ科	3.18	—	2	3.57	0.38	7	3.86	—	2	4.39	—	1
	セセリチョウ科	**	**	**	**	**	**	4.85	—	1	**	**	**

図中の**は確認できなかったことを示す。

保全されているとはいえ、その面積が不十分で、南斜面の裏山では、墓地と宅地開発が進められている（図8）。そのため、森林環境よりも環境が多様化しており、種多様度は高いものの日浦のいう自然段階では、原始段階ではなく、第二次段階（農村的自然）を示したものと考えられる。



図8 太山寺裏山の造成地。

次に、烏原貯水池周辺ルートは、明治38年に建設された貯水池周辺の地域で、当時は、神戸の里山であったのが、文化の発達とともに、炭焼き等の利用による間伐がなされず、その後約百年程放置され、遷移が進み、アラカシやクスノキなどの照葉樹が発達した地域である。確認された種数は23種と太山寺周辺ルートと変わらないものの上位5種の優占率が70.6%と高く（表3）、ER値は二次的自然度を示し（図3）、種多様度は3.31と低かった（表4）。これは、太山寺と似たような環境にもかわらず、照葉樹が発達して環境が暗くなり、植物の多様性が低下した（服部、私信）ことが影響していると考えられる。

今回の調査は、調査回数が合計5回と少なかったため、これまでの里山周辺の調査結果（石井、1996；本田、1997；関谷、1998、1999）と直接比較することはできず、全調査個体数も23～24個体とデータの信頼性についてもやや不安が残る（今井ら、1996）。いずれにしても今後この2つの地域の調査結果や他の地域の結果に基づいて原生林や里山の保全法を考えていかななくてはならないであ

ろう。

2. 照度とチョウ類の季節消長

2つの地域での日陰の割合は、55%、42%と比較的高く（表5）、どちらも暗い環境であった。著者は、暗い環境であれば、夏期にチョウ類の個体数や種数が増加する傾向があることを示したが（関谷、1999）、今回の調査でも同様の傾向が認められた（図4、5）。ただし、暗い環境であるはずの太山寺周辺ルートで9月にやや増加傾向が見られるのは、ルートの中に林縁部に至るまでの明るい環境の開けた農耕地が含まれているからと考えられる。

さらに、照度を測定した結果（図6、7、表8）、夏期の8月にどちらのルートとも顕著な測定照度の変動を示した（表6）。また、科別に比較検討すると（表7）、烏原貯水池ルートで、アゲハチョウ科とジャノメチョウ科、太山寺周辺ルートでは、シジミチョウ科に7月と8月に有意差が認められた。これは、7月から8月にかけて、チョウ類が照度の低い環境でより多く活動していることを示唆している。科別の比較だけでは不十分なので、調査個体数は少ないが、種別に比較できるものを検討したところ、太山寺周辺ルートでは、ナミアゲハが7月と8月の間に有意差が認められ、烏原貯水池ルートでは、ウラギンシジミが8月と9月、8月と10月、9月と10月で有意差が認められた。科別の比較をすることは、種によって選好する照度が違うと考えられるため、正確な比較検討をすることはできないが、ウラギンシジミのように調査日ごとに照度がちがう種もあるので、さらに、くわしく分析する必要がある。

今後、調査回数や観察個体数を増やしていくことと、樹冠部でのチョウの種類や活動状況、朝夕の活動状況と照度などの関係についてももう少し詳しく調査していきたい。

謝 辞

本論を締めくくるにあたり、貴重なご助言、ご指導を賜った大阪府立大学農学部の石井実教授に

心より感謝申し上げるとともに、貴重な資料やご助言を賜った姫路工業大学自然、環境科学研究所・人と自然の博物館の服部保教授に深く感謝申し上げます。なお、本研究は文部省科学研究費（奨励研究（B）, No, 08918023）によるものである。

引用文献

- 服部 保・藤井まゆみ・小館誓治・武田義明・石田弘明・竹田敦夫（1996）太山寺の自然．兵庫自然研究会・神戸植生研究会，兵庫．
- 服部 保・武田義明・赤松弘治・島ゆかり（1997）六甲山系現存植生図．兵庫県六甲治山事務所，兵庫．
- 日浦 勇（1973）海をわたる蝶．蒼樹書房，東京．
- 本田悦義（1997）大阪府和泉地方の自然環境の異なる3地域のチョウ類群集．環動昆 8：129-138．
- 今井長兵衛・夏原由博・田中真一（1996）大阪湾岸のエコロジー緑化地域におけるチョウ類群集とトランセクト調査の精度．環動昆 7：182-190．
- 石井 実（1996）さまざまな森林環境における蝶類群集の多様性．日本産蝶類の衰亡と保護第4集（田中 蕃・有田豊編），pp.63-75，日本鱗翅学会，大阪．
- 木元新作・武田博清（1989）群集生態学入門．共立出版，東京．
- 夏原由博・今井長兵衛・石井 実・桜谷保之・田中真一（1996）チョウ類群集調査のためのトランセクト法の評価1．都市公園における反復カウント．環動昆 8：13-22．
- 関谷善行（1998）神戸市神出山田自転車道沿道のチョウ類群集の多様性．環動昆 9：39-46．
- 関谷善行（1999）調査コースの日陰の割合から見た神戸周辺のチョウ類群集の季節消長．環動昆 10：30-41．
- 田中 蕃（1988）蝶による環境評価の一方法．日本鱗翅学会特別報告：191～210 日本鱗翅学会，大阪．
- 吉田宗弘（1997）チョウ類群集による大阪市近郊住宅地の環境評価．環動昆 8：198-207．

研究奨励賞受賞論文

チョウ類群集の構造解析による環境評価に関する研究¹⁾

中村 寛志

信州大学農学部

Studies on Environmental Evaluation by Analyzing the Structure of Butterfly Community²⁾. Hiroshi Nakamura (Faculty of Agriculture, Shinshu University, Minamiminowa, Nagano 399-4598, Japan). *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* **11** : 109-123 (2000)

Studies on environmental evaluation have been tried using various methods based on investigating data from insect communities. One approach is to use the property of insects as an environmental indicator. This involves problems that indicator values of species have no universal validity. Another approach is to analyze the structure of an insect community by species diversity indexes or similarity indexes. These quantitative methods cannot discriminate among the species constructing an insect community and a close quantitative survey is needed in order to use these methods. In this report, three methods to analyze the structure of a butterfly community are proposed to evaluate the natural environments. At first, *RI*-index which is one of species diversity indexes, is presented to use none quantitative data. The value of this index ranges from 0 to 1 and indicates that the closer it gets to 1, the more species and individuals inhabit the survey place. Secondly, the radar chart of *RI*-indexes calculated for several indicator groups which reflect their environmental conditions is used to show the species construction of the butterfly community. It is shown that differences in the environment can be distinguished visually using this radar chart. Thirdly, methods to classify butterflies into several indicator groups that reflect the natural environments are presented using multivariate analysis, that is, the cluster analysis and the factor analysis based on the survey data from each environment. Distribution surveys on butterflies were done at 344 survey points in Kagawa Prefecture from 1980 to 1997.

Key words : Environmental evaluation, Butterfly community, *RI*-index, Kagawa Prefecture, Multivariate analysis

1) 本稿は第11回年次大会における研究奨励賞受賞講演(1999年11月5日:奈良女子大学)の概要である。

2) The Society Award Study.

昆虫群集の調査データをもとに、環境やその自然度を評価する試みは、さまざまな手法を使って研究されてきた。1つは昆虫の環境指標性を利用して環境を評価する方法である。これには種の評価値の普遍性に乏しいなどの問題点がある。もう1つは多様性指数や類似度指数など、数量化によって群集構造を解析・比較する方法である。この方法には種構成の識別ができない点や、厳密な定量調査が要求されるなどの問題点がある。本報告では、チョウ類群集の構造を解析し、環境評価を行う上での3つの手法を提案した。まず第1に、定量的にとらえにくいデータを数量化して多様性を表現するため、*RI* 指数を提示した。この指数は、順位変数を利用した多様性指数で、調査時期や調査ルートおよび気候など条件のばらつきがマスクできる汎用性の高い指数である。第2に、対象種を環境が反映されたいくつかの指標グループに分類してから*RI* 指数を用いる方法を試みた。これは、指標グループ別*RI* 指数のレーダーチャートを用いて、多様性指数に種識別性を付加し、視覚的に表現するためのアイデアである。第3点として、チョウのグループ化の手法として、環境別に求めたチョウの発見率をもとに、クラスター分析や因子分析などの多変量解析手法を用いることを提案した。この研究は、1980年から1997年の間に行われた3つの香川県における自然環境保全調査のデータをもとに行った。

はじめに

21世紀に向かって地球の環境問題が深刻化する中で、大量生産、大量消費、大量廃棄型の社会経済システムや生活様式を見直し、我々人類が環境への負荷の少ない持続的な発展を目指すため、環境研究・環境技術への取り組みの必要性がいわれている（環境庁編，1997）。その中で生物の多様性の保全に関わる分野においては、生物群集の調査データをもとに、環境のモニタリングや自然への影響評価を行う手法の開発が課題となっている。

昆虫類は約150万種とも言われ、地球上に存在する生物の中で最も種類が多い上に、それぞれ食性、化性などの生活様式や生息環境が異なり、地球上のあらゆる環境に適應している。そのため昆虫の種類構成と生息個体数は、その地域の自然環境をよく反映している。したがって、生物多様性の機構やそれに対する影響評価を解明する上で、環境へのインパクトを推定し、それを数量的に評価することにもっとも適した研究対象であるといえる。

本報告は、昆虫群集とりわけチョウ類群集の調査データをもとにして群集構造を解析し、環境を評価する手法の諸問題を述べ、グループ別*RI* 指数という一つの新しい評価手法を提言するものである。本報告における解析は、香川県自然環境保全指定策定調査（1980年～1987年）、香川県自然環境保全調査（1992年～1997年）、大滝・大川県立自然公園基礎調査（1992年～1995年）の調査データをもとにしたものである。

本論に入るに先立ち、本研究の調査に多大な協力をいただいた元高松第一高等学校教諭の豊嶋弘氏と香川県環境研究センター所長の増井武彦氏、また終始暖かく助言と激励を戴いた元香川大学農学部教授の岡本秀俊博士と大阪市立環境科学研究所の今井長兵衛博士に、さらに研究奨励賞受賞にあたって、地方における地味なフィールド研究を評価いただいた日本環境動物昆虫学会選考委員ならびに評議員の先生方に心より感謝申し上げる。

環境評価の2つの方法論

昆虫類の群集構造から環境評価を行う方法は、

大きく分けて2つある。その1つは昆虫の環境指標性を利用して、種名目録、指標生物、種の指標値など種構成を主体に環境を評価する方法である。この手法は生態的知見がよく得られているチョウ類を対象として研究されてきた。特にチョウの環境指標性という特徴を生かして、環境の重みを付加した評価値を種に与え、調査地点の環境を数量化するいくつかの方法が提案されている。

桐泉(1975)や巢瀬(1993, 1998)は、チョウ類を生息場所を基準に分類して、ある評価値をあたえ、その値の和から調査地域の自然度を評価した。また豊嶋(1988)は、香川県内における生息環境、分布状況、生息個体数、過去の現状調査結果などを考慮して、それぞれのチョウに1~5の数値で環境の指標値(種自然度)を与え、その平均値を調査地域の自然度を表現する指数とした。このようなあらかじめ種に環境評価のウエイトをもたせる方法では、何を基準として環境を評価するかによって評価値が異なることがある。また希少種が過大評価される点や、地理的分布が異なる種があるため普遍性に乏しいなどの問題点がある。

上述した手法は、チョウの全種を対象としているが、指標生物種を選び出し、それをもとに環境を評価する手法も一般的である(日本自然保護協会編, 1994)。しかし、この方法での重要な問題点は、「どの種を指標種に選定するのか」である。選定基準は環境評価の目的や状況によって幾通りもの決め方がある。たとえば環境庁が1991年に選定したレッドリスト(環境庁編, 1991)を指標種とすると、貴重種・重要種のみが重点となり、生物群集の多様性へ与える影響を評価できないという問題点がある。

もう1つの方法は、ある群集内に生息する生物の種数と個体数を基にして、群集の複雑さを示す多様度指数や2地域間の種構成の重複度を表現する類似度指数を比較し、相対的に環境評価を行う方法である。前者には森下(1967)の β 、Simpson(1949)の λ やMacArthur(1955)の H' など、また後者には木元の C_p 指数(木元・武田, 1989)

などがある。これらの解析手法に共通した方法論的特徴は、たとえばモンシロチョウでもオオウラギンヒョウモンでも1種として取り扱い、いずれも同じウエイトで指数に反映することである。

多様度指数のように種数と個体数データを使って指数を求める方法では、時期や方法、気候条件などかなり厳密な調査計画や、これらのファクターを調整する変換式などの2次的な手法が要求される。そのため調査時期や方法が異なっていたり、生息数の相対的な多少の程度は得られているが、定量的な個体数データとしては不完全な、いわゆるラフなデータを取り扱うことはできない。

このように2つの方法論を比較すると、多様度指数は群集構造を解析する精度の高い物差しであるが、自然環境の豊かさを示すものではない。というのは「何が豊かな自然か」という定義は、生物の指標性を使って環境を評価する場合には、その種を選定した時点で提示しているが、多様度指数では表現できないからである。したがって、多様度指数は、生息する昆虫にとっての環境の評価、複数地域の環境比較、経時的な環境変化などを表現する場合には有効に利用できる手法であるといえる。

RI指数

種数と個体数データを使って計算する多様度指数では、生息数の相対的な多少の程度は得られているが、定量的でないデータを取り扱うことはできない。中村(1994)は、このようなデータでも個体数の相対的な多さを示す順位尺度を用いて、データの不完全さをマスクする多様度としてRI指数を提唱した。

ある地域でS種の昆虫を対象に調査を行い、種ごとにM段階(0, 1, 2... M-1)で個体数の多少を表現するランク値 R_i を与える。これを基にその調査地点のRI指数は次の式で与えられる。

$$RI = \frac{\sum R_i}{\{S \cdot (M-1)\}} \cdot \dots \cdot (1)$$

ここでRI指数は0から1までの値をとり、1に近いほど種数と個体数が多いことを表わしている。

このRI指数では、従来の多様度指数では使えなかった調査手法の異なるデータや、過去の不十分なデータが利用できる。すなわち調査の厳密さを要求される比率変数である個体数データの代わりに、順位変数のランクをデータとして用いる指数である。したがって多くの調査地点があり、厳密な調査をする余裕がない場合などにきわめて便利である。

RI指数は調査対象種や階級数が小さい場合は、起こりうるすべての場合が容易に計算できる。データの組み合わせによってRI指数がどんな値をとるかを調べるために、種数(S)が4、ランクの階級数(M)が3(0, 1, 2)の場合について、全てのデータの組み合わせを求めて表1に示した。全ての場合数は、 $M^S = 3^4 = 81$ 通りとなり、 $\sum Ri$ の最小値は0、最大値は8となる。自然条件ではあまり起こりそうにないケースであるが、どの調査種においてもランクが0, 1, 2となる確率が等しいと仮定すると、これは0, 1, 2と書かれた3枚の札を

1枚引くという手順を4回繰り返す、引いた札の数字の合計の分布を求めることと同じである。表1に示した0から1までの9つのRI指数の値を確率変数をXとして、種数(S)が4、順位の階級数(M)が3(0, 1, 2)のときの期待値E(X)と分散V(X)は、

$$E(X) = \sum X_k \cdot P_k = 0.5$$

$$V(X) = \sum (X_k - E(X))^2 \cdot P_k = 0.04167$$

となる。このX(RI指数)は期待値0.5を中心に左右対称となり、ほぼ正規分布に近い分布である(適合度の χ^2 検定、 $\chi^2 \text{ cal} = 0.00311$, $P > 0.99$)。

RI指数による環境評価

前節でラフな調査でも利用できる、順位変数データによる多様度指数であるRI指数を提案した。以下において、このRI指数がどの程度の有効性と妥当性を持っているかについて、香川県でのチョウ類の調査データを用いて検討する。

1980年から1985年にわたって、香川県内344地

表1 S = 4, M = 3のときのRI指数値の分布 (中村, 1994)

RI指数 (X_k)	R_i	R_i の組合せ	場合の数	確率 (P_k)	累積確率
0.000	0	(0, 0, 0, 0)	$4!/4! = 1$	0.0123	0.0123
0.125	1	(1, 0, 0, 0)	$4!/(1! \cdot 3!) = 4$	0.0494	0.0617
0.250	2	(1, 1, 0, 0)	$4!/(2! \cdot 2!) = 6$	0.0741	0.1358
		(2, 0, 0, 0)	$4!/(1! \cdot 3!) = 4$	0.0494	0.1852
0.375	3	(1, 1, 1, 1)	$4!/(1! \cdot 3!) = 4$	0.0494	0.2346
		(1, 2, 0, 0)	$4!/(1! \cdot 1! \cdot 2!) = 12$	0.1481	0.3827
0.500	4	(1, 1, 1, 1)	$4!/4! = 1$	0.0123	0.3951
		(1, 1, 2, 0)	$4!/(1! \cdot 1! \cdot 2!) = 12$	0.1481	0.5432
		(2, 2, 0, 0)	$4!/(2! \cdot 2!) = 6$	0.0741	0.6173
0.625	5	(1, 1, 1, 2)	$4!/(1! \cdot 3!) = 4$	0.0494	0.6667
		(1, 2, 2, 0)	$4!/(1! \cdot 1! \cdot 2!) = 12$	0.1481	0.8148
0.750	6	(2, 2, 2, 0)	$4!/(1! \cdot 3!) = 4$	0.0494	0.8642
		(1, 1, 2, 2)	$4!/(2! \cdot 2!) = 6$	0.0741	0.9383
0.875	7	(1, 2, 2, 2)	$4!/(1! \cdot 3!) = 4$	0.0494	0.9877
1.000	8	(2, 2, 2, 2)	$4!/4! = 1$	0.0123	1.0000
		合計	$M^S = 81$	1.0000	

点で55種のチョウ類を対象としてルートセンサス調査を実施した。調査対象とした種は、香川県から記録されている98種のチョウの中から、(a)成虫のみられる期間が長い種、(b)生息範囲が比較的広く、また生息数が稀でない種という条件を満たすものを選定した。科別種数の内訳は、セセリチョウ科7種、アゲハチョウ科9種、シロチョウ科4種、シジミチョウ科8種、タテハチョウ科17種、ジャノメチョウ科8種であった。

調査はいずれの年も7月から9月の期間に実施し、成虫のみを対象とした。どの調査地点においても、午前9時から午後3時までの時間帯に、4～6kmの調査ルートを約2時間かけて歩き、その間に目撃したチョウの種と個体数を記録した。

この調査データから、RI指数が調査地点の環境をどの程度識別するかを調べるために、まず植生や土地利用状況をもとに、調査した344地点を9つの環境に分類した。次いでその環境別にRI指数の平均値と得点の分布を求め図1に示した。その結果、RI指数の平均値は広葉樹林で最も高く、ついで混合林、社叢林であった。一方、市街、田畑、果樹園では低い値であった。また市街のC.V.係数がきわめて高く、チョウの生息環境に大きなば

らつきがあることを示していた。次いで田畑、植林地のC.V.係数が高かった。Kruskal-Wallis法による分散分析の結果、これらの環境間のRI指数の分布に有意な差が見られた ($\chi^2=193.0, P<0.001$)。

平均RI指数の異なる環境では、各地点のRI指数の分布に明瞭な違いが見られた。RI指数が0.05以下の地点は、市街、田畑、果樹園、河原、植林地にみられ、逆に0.20以上のRI指数は、植林地、混合林、広葉樹、混在地、社叢林の環境でみられた。これより植林地のみがこの範囲内で重複していたが、RI指数の値でこの2つの環境グループを識別できると考えられる。

表2にアゲハチョウ科9種に関する3つの環境評価値、種自然度(豊嶋, 1988)、種の指数(巢瀬, 1993)、指標値(田中, 1988)と本調査のデータを基に求めた種別RI指数の値を示した。種別RI指数とは、式(1)においてSを対象種55の代わりに調査地点数344に置き換え、RIはその種の*i*番目の調査地のランクとして、種ごとにRI指数を求めたものである。この値が高い種ほど香川県下においては、生息数が多く普遍的に分布しているものとみなせる。

環境(平均RI指数, CV係数)

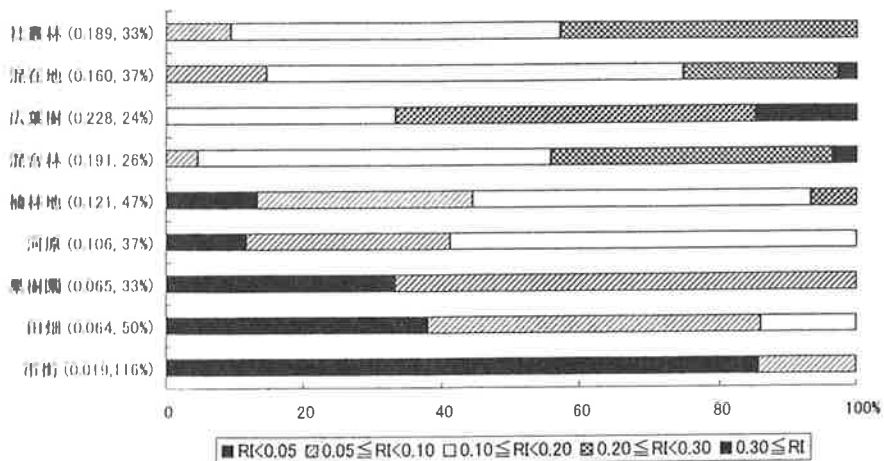


図1 環境別のRI指数値の分布(中村・豊嶋, 1995より改変)。

表2 アゲハチョウ科に関する種類別RI指数と評価値との比較

種名	RI指数	種の指標値		
		豊嶋 (1988)	巢瀬 (1993)	田中 (1988)
ジャコウアゲハ	0.018	2	2	2
アオスジアゲハ	0.069	2	1	1
アゲハ	0.373	1	1	1
キアゲハ	0.086	2	2	1
クロアゲハ	0.246	2	3	1
オナガアゲハ	0.025	4	—	2
ナガサキアゲハ	0.116	1	—	1
モンキアゲハ	0.082	2	3	2
カラスアゲハ	0.042	3	3	2

まず3つの種の指標値を比較すると、アゲハチョウ科の中では評価の似ている種が多かったが、クロアゲハとオナガアゲハではかなり異なった値を示している。これは前に指摘したように、種の環境指標性をベースにした環境評価の手法に付随する問題点が現れたものといえる。

次にRI指数が0.373と高いアゲハでは、3つの指標値はともに1でもっとも低い評価であるが、カラスアゲハのようにRI指数の値が0.042と小さくなると指標値は高い値であった。中村・豊嶋(1995)は、調査対象とした55種のチョウすべてについて種別RI指数を求めている。この55種についての種別RI指数と評価値のSpearmanの順位相関係数を求めると、自然度とは-0.551 ($P < 0.001$)、種の指数とは-0.485 ($P = 0.012$)、指標値とは-0.401 ($P = 0.005$)となり負の相関がみられた。以上の結果より、データとしての情報量が少ない順位変数をベースにした多様性指数であるにもかかわらず、RI指数は調査地域の種数と個体数の多少を表現し、環境評価の指数として応用できることがわかった。またデータの用い方によって、種の地理的分布や、個体数の豊富さを表現する指数としても利用できることが明らかになった。

種識別性

RI指数はその評価方法から、環境の自然度、すなわち原生林であるのか、あるいは人為的営力の

入っている環境かどうかを判定するのではない。基本的には、RI指数は、対象とした55種のチョウにとって、その調査地点が生息環境として適しているかどうかを反映するものである。このことは香川県で唯一のブナ原生林である大滝山山頂のRI指数が0.254であるのに対して、同じ大滝山の混合林の調査地点では、RI指数が0.345でブナ林より大きな値であったことからいえる。これはほとんどの種多様性指数が抱えている種識別性の欠如という問題である。

そこで様々な種多様性の指数と種識別性の関係を比較・検討するため、構造が異なるチョウのモデル群集を用意し、それらの群集構造を巢瀬(1993)のEI指数、RI指数、Simpson (1949)の $1/\lambda$ 、Shannon-Weaver関数、 H' (Margalef, 1958)、Pielou (1969)の均衡性指数(J')、森下(1967)の群集繁栄指数を使って表現したものを表3に示した。

これを見るとそれぞれの多様性指数の特徴がよく表現されている。まず群集AとEの指数を比較すると、 H' は種数と均一性を表現する平均多様性なので2群集とも同じ値の2.485で、また J' は均一性のみを示す指数なのでいずれも1.00であった。それに対して群集繁栄指数は群集Aでは4457、群集Eでは630となり総個体数の違いを表現していた。 $1/\lambda$ は H' と同じ平均多様性指数であるが、総個体数が減少すると指数が大きくなる性質があ