

蝶類を用いた河川環境の評価手法の開発

Development of River Environment Evaluation Method using Butterflies

研究第二部 研究員 徳山英二

研究第二部 次長 安田 実

An extremely great amount of information is available concerning the morphological features, ecological conditions and distribution of butterflies, among other insects inhabiting Japan. Since information on butterflies has been most intensively studied and butterflies are a well-known taxonomic group familiar to ordinary people, we can expect to obtain highly accurate environmental evaluation results using butterflies as the indicator species in a method of evaluating the environment according to its suitability for inhabitation by butterflies. In this study, we propose a method for evaluating river environments accurately by using various species of the butterfly community for environmental evaluation.

Key words: Butterflies, coordination of indicators, environmental map

1. はじめに

今日、環境に対する国民的関心が高まり、各地において都市化が進む中、河川は自然が残されている空間として人々に安らぎを与えらるとともに、自然観察の場所としても利用されている。反面、治水事業における河川の整備は必要不可欠であり川との共生が課題となっている。また、河川審議会答申「今後の河川環境のあり方」の基本的方向として「生物の多様な生育・生息環境の確保」が挙げられ、自然豊かで美しい河川整備を行う「多自然型川づくり」などの生物の生育・生息環境（ハビタット）に配慮した河川管理が行われている。生物の生育・生息環境（ハビタット）に配慮した河川管理では、生物の生息状況に基づいた環境評価手法が必要である。

2. 蝶類を用いた河川環境評価の考え方

2-1 生態的特性について

蝶類は我が国に生息する昆虫類の中で、形態、生態、分布等の情報が極めて多く、最も良く調べられているとともに、一般の人たちにも良く知られて親しまれている分類群であ

る。Kudrna(1986)は、蝶類が大部分の陸上生態系に生息し、種数が適当で、分類学的にも生態学的にも良く知られており、多くのものが植食性であり、野生植物の花粉媒介者であり、多種多様な捕食者や寄生者の食物や寄主であり、生息のためには多くの生態学的な要求が満たされねばならず、明瞭な斑紋と昼行性のために識別が容易であり、美しくて無害なので保護についての一般の理解が得やすいなど、多くの陸上生態系のよい生物指標（bio-indicator）であるとしている。これらの利点から蝶類を指標種としてその生息状況から環境を評価することは、精度の高い環境評価手法として期待できる。

2-2 調査手法について

昆虫個体群の調査方法としては、標識再捕法やトラップなどによる捕獲法がよく用いられる。前者は得られる情報は多いものの、対象を大量に事前に捕獲する必要があり、時間と労力を要する方法であり、後者は昆虫の行動まかせという点が難点である。蝶類についても、季節的な消長を把握するためにベイトトラップやマレーゼトラップなどを用いる場

合があるが、蝶類群集の調査手法の主流はルートセンサス法である。この方法は一定のルートを踏査し、ある範囲内で確認された蝶類を記録する手法である。この手法は他の手法に比べて非常に簡便で、ほとんどの種類を目視により確認することから、生息環境との関連を把握することも可能である。

2-3 河川敷の植生と蝶類の関係について
河川敷は蝶類にとって重要な生息場所となっている。

草原あるいはそれに準ずる荒原や低木原といった“草原的な植生”は、樹木の育ちにくい乾燥地帯や寒冷な地方では安定した“極相”として存在する。日本ではそのような安定した草原は少なく、しかし、非極相的環境として存在している。

これらは何らかの作用によって植生の破壊、更新が行われる必要がある。草原の性質は植生破壊の頻度、植生の回復の速度、によって決まる。さらに蝶類の生息にとっては、植生の破壊の規模＝面積も関連する。

河川環境では、植生破壊からの年数や土質、水分条件の違いなどから、荒原から樹林まで、さまざまな草原的環境、非極相的環境が、それも帯状に隣接して、つまりそこに生息する蝶類がすぐに移り変えられる範囲が存在する。このように河川敷は蝶類が生息するに適した多様な環境条件を提供している。

3. 現地調査データの概要

3-1 調査方法

検討に当たり河川水辺の国勢調査(植物調査)結果、蝶類の現地調査データ(平成8年7~11月に小貝川において実施されている蝶類調査結果)を収集した。この現地調査データは、ラインセンサス法で行われ、決められたルートにおいて確認された個体数をカウントすることにより、定量的なデータを把握している。調査方法は約1Kmを50分程のペースで歩き、道の片側5m、計10mの個体数

を目撃によってカウントし、平面図などに蝶類が出現した場所を記録している。ラインは調査区間のさまざまな環境(植生区分)が把握できるように設置し、総延長が1~2Km程度になっている。

3-2 調査結果

下妻市横根付近では43種1520個体が確認されている。最も多く確認されている種はツバメシジミの292個体であった。また大和橋付近では、30種699個体と下妻市横根付近よりも種数、個体数ともに少なくなっている。最も多く確認された種はヤマトシジミ273個体であった。季節的な出現状況を見ると、7月から8月上旬にかけては初夏に発生するシジミチョウ科の種が多く、秋になるとシロチョウ科、ジャノメチョウ科などが増えてくるといった形で、7月から8月上旬、8月下旬から9月の2回出現のピークが見られる。

4. 蝶類を利用した環境評価手法の河川環境評価への適応性の検討について

4-1から4-3に示す3つの異なる側面から、各種の蝶類群集を用いた環境評価手法より河川環境を的確に評価するための手法の提案を行った。この際、植生と各種蝶類に関する指標との関連性を把握するために、現地調査データをラインセンサスのルートについて、ルートに隣接した植生ごとに区分分けし、これを小区分として指標値を算出した。

4-1 群集に基づく指標

同様の環境下で採集されたさまざまな蝶をひとまとめの蝶類群集として取り扱い、群集の特徴を表す指数(多様度指数など)から、群集の状態を推定する。この時、個々にどのような種が含まれるのかといった種類組成は対象とはならない。

- ① 種数
- ② 個体数
- ③ 多様度指数(Shannon, Simpson)

④ ①～③の主成分分析によるクラスター抽出

4-2 特定の種に基づく指標

特定の環境を特徴づける種および種群を選定し、その種及び種群の群集における比率や個体数などから環境の状態を推定する。

- ① 上位種(個体数の多い種)
- ② 環境特徴種
- ③ 草索性種・森林性種
- ④ 一化性種
- ⑤ 移動習性が著しい種
- ⑥ 移動習性の小さい種
- ⑦ 幼虫期の食性
- ⑧ 環境指標種(図-2)

4-3 種類組成に基づく指標(生物指数)

個々の蝶類の生態的特徴に基づいて点数づけを行い、群集全体における点数の計算から、群集の成立時点における特定の環境条件の状況を推定する。(表-1)

- ① 環境階級存在比(E R法)
- ② 原始度指数
- ③ 環境指数(E I)

5. 指標の総合化

5-1 流れ

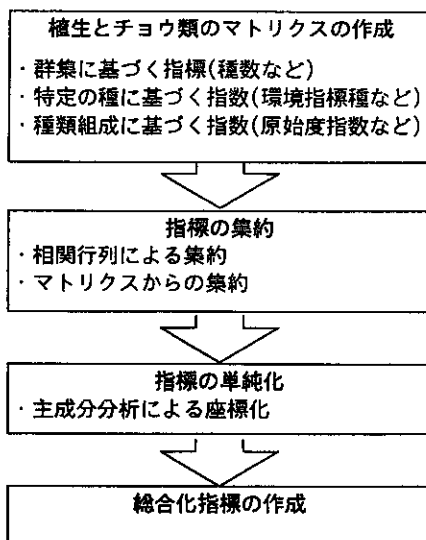


図-1 指標総合化の流れ

Fig. 1 Flow of coordination of indicators

5-2 植生と蝶類のマトリクスの作成

現地調査データにより得られた結果に基づいて、各小区間における植生の種類、面積と出現した蝶類の種類及び個体数をもとに、4において算出した各指標値に関して、植生と蝶類の関係を示したマトリクスを作成した。また、各小区間で出現したチョウ類の種数に対して、各植生との関連性を把握するために、植生面積に対する相関係数を導出した。

5-3 指標の集約

指標の単純化において利用する指標を集約するために、各指標間の相関行列を作成し、相関性の高い指標を集約する。集約の目安は①～③のとおりである。

- ① 指標間で相関係数0.9以上で指標間の相関性が高いものと判断する。
- ② 現地調査で結果が簡単に把握できる指標を残す。例えば、種数と個体数で相関性が高い場合、現地調査で種数の方が簡単に把握することができるため、種数を残す。
- ③ 植生面積との関連性において関連性が明確でないもの。

以上より、7つの指標を集約し、単純化において主成分分析の対象として取り上げた。集約した指標を表-2に示す。

5-4 指標の単純化

5-3で選定した指標に関して主成分分析を行い、指標の単純化を行った。単純化にあたっては固有値と固有値の累積寄与率から主成分1から主成分3までに集約した。

(表-3)

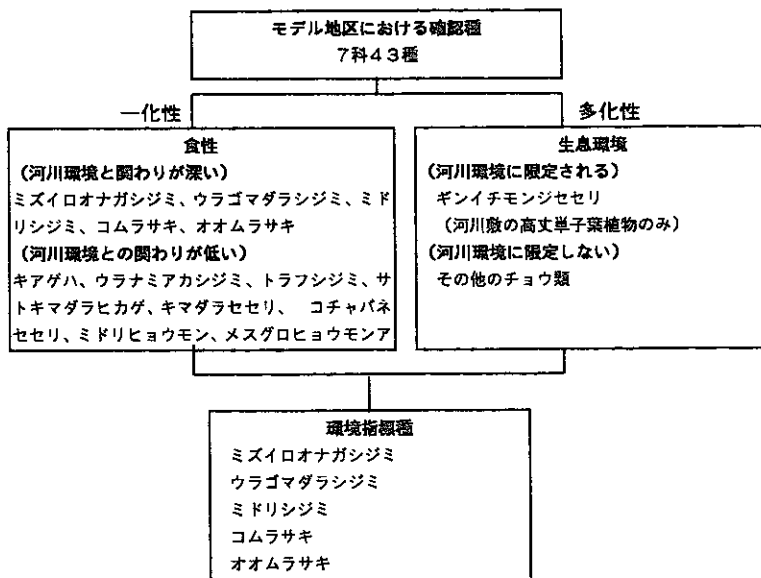


図-2 環境指標種の選定
Fig. 2 Selection of environmental indicator species

●環境指標種の選定について

確認種7科43種を年間の出現頻度である一化性と多化性に区分した。一化性の種は、発生時期に大きな攪乱が起こった時、その場所での発生が抑制されるため、一般に環境の変化に弱い種であると考えられており、環境依存性が高いものと考えられている。この結果、一化性種は15種、多化性種は28種に区分されている。次の、一化性種については、河川環境に特徴的な植生(ヤナギ、クヌギ、ハンノキ、ヨシ等)を食性としている種を選定した。この結果、ミズイロオナガシジミ等の5種が選定された。

また、多化性種についても、生息環境が河川敷の単子葉植物に限定されるギンイチモンジセセリを選定し、一化性種の選定種とあわせて6種類の環境指標種を選定した。

表-1 種類組成に基づく分析(生物指数)
Table 1 Analysis based on species composition (biological indices)

項目	概要
E R 法 (Existens Ratio of Environmental Stage)	我が国の自然には原始植生を見ることが難しく、多くの場合様々な環境段階の複合された自然を総合的に存在している。このような環境の諸段階がどの程度の割合で存在するのか、これをチョウ類を指標としての確に抽出できれば、その地域の自然環境の質的内容を明らかにすることができる。この観点からER法はチョウ類の個々の種について従来の生息環境に基づく知見に基づいて、想定される環境を予め分類し(原始段階(p s)~都市・工業段階(u s))、"生息分布度"といった指数を定め、そのチョウ類が生息する環境を評価する方法である。
原始度指数	日浦(1973)は都市化が進むに従って、次の4項目に該当する種類が減少することを報告している。 ①幼虫の食性が狭食性で在来種を食する種 ②成虫の生息環境が森林性である種 ③成虫に移動性が認められない種 ④成虫の年間の羽化回数が1回の種(1化性の種) 原始度指数は上記の知見をもとに氷室ら(1995)に新しく提唱した指数であり、上記の4項目を1つの指標としてとりまとめたものであり、指標の値が低いほど都市化が進んだ環境であることを示唆している。
環境指数(EI)	巢瀬(1993)により考案された指数で、田中(1988)のER法の生息分布度から、それぞれの種の指数を新たに設定した。この指数の特徴は種類組成のみ(個体数は利用しない)でチョウ類にとっての環境の良し悪しを示すことができる点である。

表一 2 主成分分析の対象とした指標一覧

Table 2 List of indicators used for analysis of principal components

指数の種類	指数
群集に基づく指数	種数、補正個体数、多様度指数(Shannon)
特定の種に基づく指数	上位種の個体数割合、すべての環境指標種の個体数、草 原性種の種数、森林性種の種数・個体数、移動性の大きい 種の種数・個体数、移動性の小さい種の種数・個体数、幼 虫食性が在来植生の種数・個体数、幼虫食性が帰化植生 の種数
種類組成に基づく指数	環境階級存在比(ER)、原始度指数、環境指数

表一 3 固有値と寄与率

Table 3 Eigen values and contribution rates

	固有値	固有値の差	寄与率	累積寄与率
主成分 1	7.35338	3.11785	0.272347	0.27235
主成分 2	4.23552	1.83128	0.156871	0.42922
主成分 3	2.40425	0.29359	0.089046	0.51826
主成分 4	2.11066	0.48386	0.078172	0.59644
主成分 5	1.62679	0.30388	0.060252	0.65669
主成分 6	1.32291	0.18504	0.048997	0.70569
主成分 7	1.13787	0.06335	0.042143	0.74783
主成分 8	1.07452	0.13145	0.039797	0.78763
主成分 9	0.94308	0.01562	0.034929	0.82255
主成分 10	0.92746	0.10611	0.03435	0.8569
:	:	:	:	:
主成分 25	0.01778	0.0047	0.000658	0.99952
主成分 26	0.01308	0.01308	0.000484	1
主成分 27	0		0	1

固有値：各変数と主成分値の相関係数の2乗の合計。値が大きいほど主成分の相関性が高い
 寄与率：その主成分が変数をどれくらい説明できるかを示す。
 累積寄与率：寄与率の累積値。

5-5 総合化指標の作成

主成分分析による指向性に基づいて、各指標を重みづけすることにより、総合化された指標を作成した。

以下に主成分1から主成分3までについて、各指標の固有ベクトルの符号や大きさなどから、各主成分が何を示しているかを解釈した。各主成分の解釈内容は以下の通り。

(表-4)

主成分1：人間の改変と自然回復力の調和した場所の指標

特に種数を増加させることで環境全体の多様度を増加させる。この指標で指向されるのは植栽林や採草地などのER法に示された2次環境の保全を目指すものである。また森林性の種、在来植生を幼虫食性とする種に対しても、プラスの要因を示す。河川敷では雑木林などのように、人間の改変と自然の回復力

のバランスのうえに生じた二次的な環境が残っている。この指標はこのような二次的環境がどれ位残っているのかを示す指標となる。

主成分2：人工化の指標

種数・個体数ともに増加させる傾向にあるが全体の多様度は大きくならない。このことは特定のチョウ類が顕著に増加していることを示している。これらは、草原性の種、移動性の大きい種、幼虫食性が帰化植生の種などである。ER法では2次段階などが減少し、4次階級の人工化した環境を指標している。またチョウ類の生態特性に起因した原始度指

数は減少する。この指標は、公園緑地、住宅地などに相当する人工化が極端に進んだ場所であることを示す指標といえる。

主成分3：ギンイチモンジセセリ指標

個体数の増加（特に移動性の少ない種の個体数）を示す。この指標は環境指標種であるギンイチモンジセセリに対してプラスの要因を示す。この指標で指向されるのはER法に示された原始環境（非定住非利用環境）の保全を目指すものである。ギンイチモンジセセリはイネ科草地における指標となっており、特にこれら草地における原始環境の保全を表す指標であると言える。

表-4 主成分ベクトル
Table 4 Principal component vectors

	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4
種数	0.271155	0.264369	-0.12287	-0.13097
個体数	0.063387	0.257809	0.24553	0.363945
多様度	0.287589	0.175282	-0.01314	-0.23808
上位種割合	-0.22372	-0.02771	-0.06132	0.281113
オオムラサキ	0.154759	-0.1132	-0.04955	0.211083
ギンイチモンジセセリ	-0.02752	0.100455	0.428124	-0.13642
ミズイロオナガシジミ	0.092573	0.067618	0.145707	0.227408
コムラサキ	-0.02315	-0.11913	-0.05061	0.080432
ウラゴマダラシジミ	0.103149	0.007534	-0.06004	0.061665
ミドリシジミ	0.099182	-0.01308	-0.09563	-0.12814
草原性種の種数	0.096482	0.429031	-0.04688	-0.08736
森林性種の個体数	0.304262	-0.14215	0.085712	0.142823
森林性種の種数	0.317291	0.011783	-0.14097	-0.11704
一化性種の個体数	0.247891	-0.06832	-0.01787	0.299522
一化性種の種数	0.276101	0.017594	-0.18692	0.076895
移動性の大きい種の個体数	0.087238	0.182326	0.159957	0.381088
移動性の大きい種の種数	0.107244	0.296619	-0.03442	0.239961
移動性の小さい種の個体数	0.152808	0.166653	0.375333	0.096988
食性が在来植生の個体数	0.24181	-0.21744	0.066975	0.086919
食性が在来植生の種数	0.295341	-0.02651	-0.14149	-0.05894
食性が帰化植生の種数	0.043455	0.417795	-0.12111	-0.01544
原始段階	-0.11968	0.098099	0.446618	-0.19115
2次段階	0.286309	-0.23607	0.051379	-0.03301
3次段階	-0.1292	0.167937	-0.44071	0.129915
4次段階	-0.23146	0.252754	-0.14315	0.116705
原始度指数 (PI)	0.079977	-0.19387	0.056644	0.182035
環境指数 (EI)	0.179349	0.11961	0.082885	-0.33318

*太字は解釈に利用した指標を示す。

6. 河川管理への活用

本検討において、ラインセンサス法等によりデータが数値化されており、ラインセンサス法が比較的一般化しているため、調査データの比較における事業実施前後における変化をモニタリングすることが可能である。

例えば、道路工事などの道路建設前と供用開始後に本調査と同様の蝶類群集の調査を行い、この結果、多様度、類似度及びER法などにより検証した例がみられている（桜谷・藤山 1991）。また、本検討を用いることにより改修後の状況を蝶類群集と植生の関係から予測したり、改修目標を設定したりすることが可能である。

7. 蝶類を用いた河川環境の評価手法の留意点

本検討において総合化された指標をもとに、植生との関連性から環境マップを作成し、各種の環境マップを重ね合わせることにより、特徴的なゾーンを抽出したり、エリアの特徴を把握することが可能である。これにより河川環境におけるゾーニング等の基礎情報として他の情報と組み合わせて利用することが可能であると考えられる。

但し、環境マップの利用に際しては次の点に留意する必要がある。

(1) 調査時期について

本検討で用いた現地調査データは7月から11月の間で実施されている。しかし、春期はヨシ原などが枯れて、見晴らしがよく、クヌギなどの落葉広葉樹もまだ葉をつける前で、他の季節と全く異なった環境条件が見られる。また特に本検討で環境指標種としたギンイチモンジセセリについても、最も確認しやすい時期である。更に河川水辺の国勢調査などへの一般の環境調査に普遍する事を考えた場合、現地調査データのように月2回の頻度は回数が多く実際の実施は困難であるため、本検討で利用したような現地調査データなどを通年

調査の結果を踏まえて、“種類組成を把握するためにはいつの時期を選定するか”、“個体数まで把握するにはいつの時期を選定するか”などを検討することも可能である。このためにも、4月から6月の調査を同じ場所で同じ調査間隔で実施することが必要である。

(2) 他の生物について

「日本産蝶類の衰亡と保護第1集」の中で柴谷(1989)は、数々の陸上昆虫類の80%まで蝶を指標として考えることができるというKudorna(1986)の主張を引用しているが、これに対して巢瀬(1993)は浦和市の見沼たんぼという緑地で、林内、林縁、土手の斜面、休耕田といった環境別に蝶相と歩行虫相を同時に調べた結果、蝶の多様さ、豊富さと歩行虫の多様さ、豊富さとは、全く逆の関係があることを示し、必ずしも蝶相のみで環境をとらえることができないことを示している。このため、本検討で示したような蝶類による環境評価手法と他の生物（コウチュウ類などの歩行虫、鳥類など）と組み合わせることにより、より実際的な環境評価を行うことができるようになる。

<参考文献>

- 1) 石井実(1992)：蝶類群集からみた都市緑地の自然環境 昆虫と自然 27:9-13
- 2) 石井実(1993)：チョウ類のトランセクト調査 日本産蝶類の衰亡と保護第2集91-101
- 3) 石井実・広渡俊哉・藤原新也(1995)：「三草山ゼルフィスの森」のチョウ類群集の多様性 環動昆 7:134-146
- 4) 石井実(1992)：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63-75
- 5) 建設省下館工事事務所・(財)リバーフロント整備センター(H9.3)：平成8年度小貝川におけるチョウ類の生息環境解析業務委託報告書
- 6) 桜谷保之・藤山静雄(1991)：道路建設と

チョウ類群集 環動昆 3:15-23

- 7) 巢瀬司(1993)：蝶類群集研究の一方法 日本産蝶類の衰亡と保護第2集83-90
- 8) 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 6:527-366
- 9) 田中蕃(1992)：蝶を指標とする環境評価法としてのE R 昆虫と自然 27(8)：14-21
- 10) 長野県からこるむの会(1995)：河川環境の一指標としての蝶によるモニタリング報告書
- 11) 山本道也(1988)：蝶類群集の研究法 日本鱗翅学会特別報告 6:191-210