

チョウ類を指標種とした環境評価手法と環境アセスメント¹⁾

中村寛志²⁾

信州大学農学部附属アルプス圏フフィールド科学教育研究センター³⁾

1. はじめに

本稿ではチョウ類を指標種とした環境評価手法を解説し、それらが実際の環境アセスメントやモニタリングにどのように応用されているかについて述べる。ここでは環境アセスメントの語は、環境影響評価法に従い行われる環境影響評価 (environmental impact assessment) をさす。また環境影響評価法に定められている事業以外においても、自主的に事業の事前・事後に行われる環境調査も含める。一方、環境評価 (environmental evaluation) という語は、調査データから対象とする自然環境の状況や構造あるいは自然度を把握することをいうものとする。

環境を構成する個々の要素は、一般的に1) 物理的要素、2) 化学的要素、3) 生物的要素の3つに分類される。1) と2) は気温、湿度、窒素酸化物濃度などの要素であり、これらは機器を使って測定できる。したがってその測定データをもとに、環境を定量的に把握し評価することは容易である。

3) の生物を通して環境を評価する方法は、生物特有の変異性・多様性があるため、客観性、定量性に問題があるといわれている。この方法はまた数量化しにくい、反応時間が遅い、異なった環境の反応が生物上では同一の反応として現れるなどという欠点を持っている。一方、複数要因の交互作用・相乗作用の影響や低濃度汚染の蓄積効果の測定、また物理化学的測定では表現できない環境の自然度の評価などが可能であり、環境評価をおこなう上で有効な手法である。

現在では生物の調査から環境の状況を測定する手法は、物理化学的測定法と並んで、いろいろな目的に沿って様々な生物種を指標種 (indicator species) として実施されている。環境評価手法を学問的に確立した Clements (1920) は、植物をはじめ生物指標として用いたが、水生昆虫による水質汚染程度の判定など昆虫を用いた環境や自然度を評価する方法も多い。昆虫類は地球上に存在する生物の中で最も種類が多い上に、それぞれ食性や化性などの生活様式や生息する環境が異なっ

ているため、その地域に生息する昆虫類は、その自然環境を正確に反映する指標種として利用できるからである。

2. 指標種としてのチョウ類

指標種となるには、次の10項目の条件が必要であると言われている (大野, 1980)。1) 種の同定が容易、2) 現地での見取り調査が可能、3) 天候・時刻に影響されにくい、4) 調査経費が安い、5) 分布域の広い種、6) 移動性が小さい、7) 密度が高い、8) 数量化が容易、9) 狭適応種、10) 誰もが調査員となれる。

チョウ類は天候や時刻によって活動性が大きく影響されるが、そのほかの条件はほぼ満たしている。さらに昼行性で種の同定が容易であること、種数が適当であること、生活史の情報が多いため群集全体を指標種にする条件をも備えている (石井, 2001)。特に種の生活史と生態が判明していることは、環境との結び付きや地域ごとの分布を正確に把握することができるという利点がある。

さらにチョウ類群集全体が指標種として用いられる大きな理由として、チョウの愛好家が多く数十年前からの採集記録が数多く残されているという点をあげることができる。これにより過去にさかのぼって、環境の時間的な変化を評価できるという他の昆虫種群ではできない長所がある。

3. 環境評価の手法

特定種

特定の種を指標種として取り上げ、環境変動をモニタリングする方法がある。ナガサキアゲハやツマグロヒョウモンによる温暖化のモニタリングはその典型的な例としてあげられる。またタカネヒカゲなどの中部山岳域に生息する高山チョウは、代表的な山岳生態系の指標種となる。現在環境省が進めているモニタリングサイト1000において、地球温暖化の顕著な影響が予想される高山帯生態系について平成21年度に試行調査が開始された (自然環境研究センター, 2010)。高山帯の様々な

1) Environmental evaluation method using butterflies as indicator species and environmental impact assessment

2) Hiroshi Nakamura (e-mail: insect2@shinshu-u.ac.jp)

3) Education and Research Center of Alpine Field Science, Faculty of Agriculture, Shinshu University, Minamiminowa, Nagano 399-4598, Japan

環境要素を調査する中で、ベニヒカゲなど高山チョウを指標種として調査が始まっている。

環境アセスメントにおいては、生態系への影響を予測・評価するために、環境単位ごとに上位性、典型性、特殊性の3つの観点から特定の種を選定し、これらを「地域を特徴づける生態系に関わる指標種」としている。このチョウ類への実際の事例については後で述べる。

レッドリスト種

もともとレッドリスト種は、「開発による生息地の破壊や乱獲などのため、地球的規模で野生生物の種の減少が進んでおり、人為による種の絶滅の防止と保護対策の実施」のために選定されたものである。しかし、自然開発など人間活動が野生生物に与えている影響を評価する指標種としてレッドリスト種を利用することができる。

たとえばオオルリシジミ本州亜種は、環境省レッドデータブックでは絶滅危惧Ⅰ類、長野県レッドデータブックでは絶滅危惧ⅡB類に指定され、現在では長野県の安曇野市と東御市に分布しているにすぎない(田下・丸山, 2007)。オオルリシジミの分布域の消滅を時間的に捉えていくと、放牧と草原環境の衰退を示す指標種であることがわかる。このように絶滅危惧種の個体数変動やその分布域の変遷は、その種が生息している環境の変化や破壊の程度についてのよい指標を与えてくれる。したがって環境アセスメントにおいては、注目すべき動物の選定根拠として真っ先にレッドリスト種があげられている。

中村(2007)は、調査対象地域に生息するレッドリスト種のチョウをもとに、レッドポイントという数値を算出し、環境変化の程度を評価する手法を提案している。これより長野県においては、山岳域の高地生態系よりも低地の河川環境の改変が著しいことを、レッドリスト種のチョウ類から数量的に示すことができた。

目録

対象地域に生息する一部の特定種だけでなく、チョウ類群集全体を指標種とする環境評価手法が数多く考案されている。その最も基本的なものとして、種の目録から調査地域の環境を概括的に評価する方法である。

表1にチョウ類の4つのモデル群集を示した。個体数は考慮せずに種名だけでA～Dの環境を評価すると、Cは都市近郊の農村とその周辺の里山、Dは山地の溪流沿いの林道、AとBは広い地域の調査データだろうと結論づけられる。ここに示したモデルのチョウ類は、意図的に選択したものであるので評価は容易である。しかし、一般的に目録にリストされた種の環境指標性を判別し、客観的な環境評価をするには対象種に対する評価者の専門的知識が要求される。さらに評価が記述的になり客観性・定量性が欠如するため、目録から直接評価する手法を一般化することは困難である。

特定グループの存在割合

もう少し複雑な数量化の方法として、種名リストから特定のグループ(科、ある属性を持った種など)の割合を算出し、環境を簡単に数量化して評価する手法がある。浜ら(1996)は、長野県産チョウ類149種を5つの生息区分(高山、高原、里山、河畔・郊外、市街地)に分類している。表1にあげたチョウ類の生息区分を表2に示した。これよりCは市街地性種57%、里山性種43%、高原性種0%、またDは市街地性種0%、里山性種43%、高原性種57%となり、生息区分別割合は目録からみた評価と一致する。

今井(1995)はチョウ相の1化性種の比率、草原性と森林性の種の比率および地理的分布型(旧北区、東洋区、日華区)種群の割合を総合して、京都西加茂地区の都市化傾向の環境変化を評価している。

種の指標値

チョウ類のもつ環境指標性を有効に利用して目録を数量化する方法がある。あらかじめ個々のチョウに環境を評価する指標値を定めておく方法である。この手法は、稲泉(1975)や豊嶋(1988)の種自然度などいくつかの方法が提案されている。巢瀬(1993, 1998)は、日本産チョウ類全種について、人類の営力とは無関係に生息している多自然種に3、人類の営力のもとで生息している都市(農村)種に1、両者の中間的な存在の準自然種に2、という指標値を与えた。これよりチョウ類によって自然度を判断する基準であるEIは、確認されたチョウの指標値の和として求められる。

表2に示したモデル群集のチョウの指標値より、巢瀬のEIは、AとBが22、Cが10、Dが16と数量化され(表1)、CよりDのほうが自然度の高い環境であると数量的に評価できた。種に指標値を与える手法は、特定種ではなくチョウ類群集のすべての情報を利用した評価が可能になる。しかし、この方法の課題は指標値の与え方と種によって地理的分布が異なるため普遍性に乏しい点である。

多様度指数の利用

ここまでチョウ類のもつ環境指標性を使った評価手法を解説してきた。ここでは群集構造を数量的に解析する多様度指数を利用した評価を示す。表1のチョウのモデル群集(A～D)について、Simpsonの $1/\lambda$ 、Shannon-Weaver関数の H' 、森下の繁栄指数およびRI指数の4種類の多様度指数を求めた(解説は夏原, 1998; 巢瀬, 1998など)。

その結果、 H' は種数と均一性を表現する平均多様度なので、密度は異なるが種構成の頻度分布は同じであるAとBでは同じ値(2.48)になる。一方、全多様度であ

表1 チョウ類のモデル群集による環境評価手法の比較

種名	モデル群集の個体数, 指数			
	A	B	C	D
アゲハ	30	3	180	0
モンシロチョウ	30	3	100	0
ヤマトシジミ	30	3	30	0
イチモンジセセリ	30	3	20	0
アサマイチモンジチョウ	30	3	10	0
ミズイロオナガシジミ	30	3	10	10
ミドリヒョウモン	30	3	10	10
ルリタテハ	30	3	0	10
ミヤマカラスアゲハ	30	3	0	20
クロヒカゲ	30	3	0	30
コチャバネセセリ	30	3	0	100
オオチャバネセセリ	30	3	0	180
個体数合計	360	36	360	360
種数	12	12	7	7
Simpson の多様度指数 ($1/\lambda$)	12.38	17.50	2.96	2.96
Shannon-Weaver 関数の H'	2.48	2.48	1.37	1.37
Pielou の均衡性指数 (J')	1.00	1.00	0.55	0.55
森下の繁栄指数	4457	630	1066	1066
RI 指数*	1.00	0.33	0.47	0.47
巢瀬の EI 指数	22	22	10	16
グループ別 RI 指数				
RI (I) 指数 (市街種)	1.00	0.33	0.92	0.00
RI (II) 指数 (里山種)	1.00	0.33	0.50	0.50
RI (III) 指数 (高原種)	1.00	0.33	0.00	0.92
環境階級存在比 (ER)**				
ER (ps) 原始段階	2.35	2.35	1.09	3.37
ER (as) 非定住利用段階	5.23	5.23	3.09	4.91
ER (rs) 農村段階	2.04	2.04	4.19	1.72
ER (us) 都市段階	0.38	0.38	1.62	0.00
一次元化した環境段階度 (ER'')	65.13	65.13	45.53	72.17
人為攪乱指数 (HI)	74.19	74.19	25.74	100.00
遷移ランク (SR) のチョウの密度				
SR1	60	6	130	0
SR2	0	0	0	0
SR3	30	3	20	0
SR4	0	0	0	0
SR5	180	18	200	60
SR6	90	9	10	300
SR7	0	0	0	0
SR8	0	0	0	0
一次元化した遷移ランク値 (SR'')	4.42	4.42	3.47	5.17

* : 対象種 S=12, ランク数 M=4, (ランク0=0 個体, ランク 1=1~5個体, ランク 2=6~20個体, ランク 3=21個体以上) として計算

** : 与えられたデータを年間補正総個体数と見なして計算

る森下の繁栄指数はAでは 4457, Bでは 630 となるなど、それぞれの多様度指数の特徴をよく表現している。ここで問題となるのは、多様度指数では目録や *EI* で区別できたDとEの相違を評価できないことである。これは多様度指数では、それぞれのチョウがもつ環境指標性を数値として反映できないからである。

環境階級存在比 (ER)

上述した多様度指数の問題を解決するため、あらかじめそれぞれのチョウに環境の重み付けをした指標値を与えてから、種数と個体数のデータを数量化する手法が考案されてきた。その一つに田中 (1988) の環境階級存在比 (ER) がある。これはチョウに「種別生息分布度」と「指標値」という環境による重み付けを導入し、調査した種数と個体数のデータから4つの環境階級 (原始段階 ps, 非定住利用段階 as, 農村段階 rs, 都市段階 us) の割合を算出して調査地の環境を評価する手法である。

モデル群集の4つの環境段階の ER の計算値は表1のようになった。ER は種名目録から判断したCとDの相異を明確に区別し、なおかつCは都市近郊の農村とその周辺の里山, Dは山地の溪流沿いの林道という環境まで数量的に表現できている。しかし、定義式の性格上AとBのようなケースは区別できないことがわかる。

グループ別 RI 指数法

中村 (2000a, 2000b) は調査対象種を、いくつかの指標グループに分類してから多様度指数の1つである RI 指数を用いるグループ別 RI 指数法によって、チョウ類による環境評価を試みる手法を提案した。

モデル群集では、まず 12 種を浜ら (1998) の生息区分別に従って、3つのグループ (I : 市街種, II : 里山種, III : 高原種) に分類する。次いでそれぞれグループごとに求めた RI 指数 (*RI* (I), *RI* (II), *RI* (III)) をレーダーチャートで表現して環境を評価するものである。

結果は各 RI 指数の数値からCとDは環境的にも (Cは *RI* (I) が高く都市型種が豊富な環境で, Dは *RI* (III) が高く高原種が豊富な環境である), 構造的にも定量的に評価されている。同様にほかの指数では区別できなかったAとBの密度の違いも評価することができた。

一元化した環境階級度 (ER'')

田下・市村 (1997) は、田中 (1988) の ER を調査地間の比較をしやすくするため各階級の指数に重みをつけ、1つの数値に集約した一元化した環境階級度 (ER'') を次の式で算出している。

$$ER'' = \{4ER (ps) + 3ER (as) + 2ER (rs) + ER (us) - 10\} / 30 \times 100$$

この指数は、原始段階の環境から都市化した環境へ 100 から 0 の範囲で変化する。

表1に示したモデル群集の ER'' は、AとBが 65.13, Cが 45.53, Dが 72.17となった。この結果は、ER でグラフ化された評価を、一つの指数で表現できおり多くの地域を比較する上では有効な指数といえる。

人為攪乱指数 (HI)

田下・市村 (1997) は、人為による土地への攪乱の状況を判別する HI 指数を提唱している。種数と個体数のデータに「分布の広さ (D)」と「幼虫期の食性 (F)」

表2 環境評価のためのモデル種の生息区分、指標値などの属性

種名	生息区分*	巢瀬の指数	HI の指標		遷移ランク SR
			F (食性)	D (分布)	
アゲハ	市街	1	1	3	5
モンシロチョウ	市街	1	0	3	1
ヤマトシジミ	市街	1	0	3	1
イチモンジセセリ	市街	1	0	0	3
アサマイチモンジチョウ	里山	2	3	3	5
ミズイロオナガシジミ	里山	2	3	3	6
ミドリヒョウモン	里山	2	3	2	5
ルリタテハ	里山	2	3	3	5
ミヤマカラスアゲハ	高原	3	3	2	6
クロヒカゲ	高原	3	3	3	6
コチャバネセセリ	高原	2	3	3	5
オオチャバネセセリ	高原	2	3	3	5

* : 浜ら (1996) による

という環境の攪乱状況を表す指標値を加えて数量化する手法である。HI の指標となる F と D の値が全種のチョウに与えられていないためまだ広く用いられていないが、河川工事などの事業がチョウ類群集に与える攪乱状況を評価するには適した指数である。

$$HI = \sum niDiFi / \sum 3DiFi \times 100$$

HI は、0 から 100 までの値を取り 0 に近いほど人為的攪乱程度が大きいことを示す。

n_i : i 番目の種の個体数、 D_i : 分布の広さの指数で、(1) 住宅地、(2) 耕作地、(3) 浅い山地・里山、(4) 深い山地の植栽林・二次林、(5) 極相的環境のうち、すべての環境、4つの環境、3つの環境、1つか2つの環境に生息する種にそれぞれ 0, 1, 2, 3 の値を与える。 F_i : 幼虫期の食性の指数で、帰化植物・栽培種・攪乱地への先駆植物を食草としている種は 0, これらが多い場合を 1, 少ない場合を 2, 大部分がこれら以外の在来植物を食草としている種を 3 としている。

モデル群集のチョウの D と F の指標値を表 2 に示した。これより計算された HI の値は A と B が 74.19, C が 25.74, D が 100 となった (表 1)。今まで述べてきた手法と同じ結果で、人間活動による土地攪乱程度を一つの指数で表現できている。

遷移ランク SR

Nishinaka & Ishii (2007) は利用する寄主植物の出現する遷移段階 (低茎草原, 高茎草原, 若齢林, 落葉広葉樹, 常緑広葉樹) にもとづいてチョウ類をランク分けする遷移ランク SR を考案した。SR は 1~9 までの値を取り、寄主植物が初期遷移段階に出現するチョウほど SR 値が小さくなる。彼らは各 SR に属するチョウの種数、個体数/km の割合比較から調査地域の環境景観の分析を行っている。

表 2 に示したモデル群集の SR より、各 SR ランクのチョウの個体数を示した (表 1)。その結果は、C と D の環境はある程度評価しているが、アゲハの SR (5) が高いことの影響がみえる。一方、A と B については、グループ別 RI 指数法と同様に密度の違いを評価していることがわかる。

遷移ランクによる解析は、生物多様性保全と適切な植生管理のために考案されたものである。しかし、1つの指数で環境を評価できないため、複数の調査地を比較することに向いていない。そこでチョウの種に与えられた SR と個体数データをもとに、一元化した遷移ランク値 (SR'') を次の式で求めてみた。

$$SR'' = \sum ni \cdot SR_i / \sum ni$$

n_i : i 番目の種の個体数、 SR_i : i 番目の種の SR

この式より、 SR'' は 1 から 9 までの値をとり、値が小さいほどその地域の植生は、遷移系列の初期遷移段階にあると解釈できる。

モデル群集の SR'' は、A と B が 4.42, C が 3.47, D が 5.17 となった (表 1)。 SR の考え方を一つの指数で表現した結果は、今までの手法と同様に C と D の環境の違いをよく評価している。また SR'' は HI とほぼ同様な傾向を示しており、4 群集であるが相関係数は 0.991 と高かった。これはいずれもチョウの幼虫の食草に注目して指数値を与えたことによる。また SR は植生の遷移系列に注目して指数を与えているが、結果的に HI の食草の指数値 (帰化植物・栽培種・攪乱地への先駆植物から在来植物) をカバーしており、その意味で SR を一元化した遷移ランク値 (SR'') は、HI 同様、人為攪乱の程度を評価する指数や開発事業のモニタリング指数として利用できることを示唆している。

4. 環境アセスメントと希少種のチョウ

環境アセスメントとは、環境影響評価法によると「環境の保全について適正に配慮し、現在及び将来の国民の健康で文化的な生活の確保に資すること」を目的として、「事業 (土地の形状の変更, 工作物の新設) の実施に当たりあらかじめその事業に係る環境への影響について自ら適正に調査, 予測又は評価を行うこと」としている。これは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、環境への負荷の少ない持続的な発展を目指す必要性からきている (環境庁, 1997)。環境アセスメントについては、数多くの解説があるのでそちらに譲るとして (東海林, 1994; 北沢, 1998 など)、筆者は長野県環境影響評価技術委員の経験から、レッドリスト種のチョウやチョウ類群集を指標種とした環境評価手法が、実際の環境アセスメントにおいてどのように扱われているかについて解説する。

環境影響評価の実施手順は、まず方法書の作成段階でアセスメントの対象項目となる環境要素が抽出され、準備書の作成段階で調査・予測・保全対策・評価が行われる。チョウ類に関係ある環境要素としては、「生物の多様性の確保及び自然環境の体系的保全」の大区分に入る「動物」と「生態系」の中区分である。さらに「動物」には、「動物相・注目すべき種」と「注目すべき個体群」に関する影響評価を行うこととなっている。

まず長野県のある道路建設事業の環境影響評価の実施例からレッドリスト種や指標種のチョウがどのように関わっているかを見てみよう。このアセスメントでは、まず方法書で「動物」と「生態系」要素は環境影響評価を詳細に実施する項目として選定された。次いで準備書段階で 8 回の現地調査によって 64 種のチョウ類目録が作成されている。環境アセスメントでは、この目録の種構成から生息環境を評価するためではなく、次のアセスメントの段階である「注目すべき種・個体群」を選定する

ためのシーズリストとして使われている。現地調査 64 種とそれ以外に文献に記録のある種の中から、国や長野県指定の天然記念物、環境省や長野県のレッドリスト種など注目すべき種の選定基準に照らし合わせて、19 種のチョウが選定された。この選定基準は、リストの種を法令、条例、レッドリスト種などに記載されている希少種であるかどうかを分別するものである。

その中からオオムラサキなど現地調査で確認された7種と、現地調査では確認できなかったが文献で生息可能性のあるミヤマシジミなど6種、合計13種が予測対象種として選定された。次に食草や生息場所の検討から、準絶滅危惧種であるA種以外は、「事業による生息環境の改変はわずかであり、生息環境は保全されると予測されることから、影響はきわめて小さいと判断し、保全対策は検討しません」となった。A種に対する事業の影響として生息域の縮小と分断が生じると予測されたため、回避または最小化を検討し、それでも食草に影響がある場合は食草とともに移植（代償）する保全対策が示された。このようにチョウについては、食草や生態がわかっているためマニュアルに沿ったきちっとした環境アセスメントを実施することによって、保全方法を策定しやすいといえる。しかし、前節で解説した環境を評価する上での指標種となるチョウ目録やレッドリスト種は、環境アセスメントにおいては、予測対象種を選ぶためのフィルターとして使われているにすぎない。

5. 生態系評価の現状

もう一つの「生態系」の予測評価はどのようにされているのであろうか。環境影響評価法では、「生態系」の基本的な考え方として「注目される生物種等を複数選び、これらの生態、ほかの生物種との相互関係および生息・生育環境の状態を調査し、これらに対する影響の程度を把握する方法またはその他の適切に生態系への影響を把握する方法による」としている。

マニュアルでは生態系の予測評価のために、事業地域を環境単位に分けその構造や生態系における生物間や環境単位間の相互関係を推測することとなっている。具体的には準備書作成段階では、上位性、典型性、特殊性の3つの観点から指標種を選定し、その種について予測評価を行う作業が生態系評価となる。ここで上位性とは、生態系の上に位置する種。その種の存続を確保することが、おのずと多数の種の存続を確保する。典型性とは、当該地域の生態系の特徴をよく表す種。ありふれた種に特に注目する。特殊性とは、特異な立地環境を指標する種、生活の重要部分を多くの生物に依存する種などとされている（長野県生活環境部、2003）。

実際の環境アセスメントの実施例では、対象地域を河畔混交林、渓谷混交林などの環境単位に分け、その環境

単位ごとに上位性種、典型性種、特殊性種をとりあげ、これらを「地域を特徴づける生態系に関わる指標種」として選定している。その中から現地調査で確認された種を予測対象種としている。チョウ類では河畔・渓谷混交林の特殊性種としてクロツバメシジミなど2種が選定され、影響予測から判断して保全対策を検討された種はA種のみであった。これは環境要素「動物」で選定された同じ種で、チョウに関してみると「動物」と「生態系」の保全対策は全く同じになってしまった。生態系評価に関しては方法論が明確でないため、予測・評価が適切に行われていないなど多くの指摘があり今後の課題である（東海林、1996）。

6. おわりに

このようにチョウ類を使った環境評価手法は、実際の環境アセスメントにはほとんど活用されていない。その理由は、環境アセスメントでは注目種の有無だけで評価されており、また保全対象が主に種単位であるためである。チョウ類の環境評価手法は、むしろ桜谷・藤山（1991）が道路の建設前後の環境の変化を評価するために、ERを有効的に利用した研究に代表されるように、河川護岸工法の評価（田下、1996）や里山管理方法の評価（Nishinaka & Ishii, 2007；田下、2009）など事業手法や農林業技術の評価に利用されている。また地球環境変動のモニタリングなど時間的な環境変動をとらえる手段として有効である（中村、2000）。これからの環境アセスメントは、生物の繁殖状況や自然度の高さなどによって評価する新たな環境評価手法を確立し、地区の土地利用計画や整備手法に反映させることが重要であるといわれている（増山、2007）。そのためには実際の環境アセスメントにおいて、事業対象地域のチョウ類群集への影響を予測・評価し、さらに保全対策を策定する手法を研究していく必要がある。

引用文献

- Clements, F. E. (1920) Plant indicators - the relation of plant communities to process and practice. Carnegie Institution of Washington.
- 浜 栄一・栗田貞多男・田下昌志（1996）「信州の蝶」。信濃毎日新聞社。
- 今井長兵衛（1995）京都西賀茂における都市化チョウ相の変化。環動昆7：119-133。
- 稲泉三丸（1975）蝶類による自然度の判定。「栃木の蝶」、栃木県の蝶編纂委員会編、pp148-160、昆虫愛好会。
- 石井 実（2001）広義の里山の昆虫とその生息場所に関する一連の研究。環動昆12：187-193。

- 環境庁編 (1997) 環境研究・環境技術ビジョン—持続可能な未来のために—。大蔵省印刷局。
- 北沢克巳 (1998) 環境影響評価法の手続と実務。環境アセスメント動物調査手法 8, 日本環境動物昆虫学会編, pp75-86, 日本環境動物昆虫学会。
- 増山哲男 (2007) 環境アセスメントにおける生態系評価。「野生生物保全技術」, 新里達也・佐藤正孝編, pp259-274, 海游舎。
- 長野県生活環境部 (2003) 長野県環境影響評価技術指針マニュアル。長野県。
- 中村寛志 (2000a) チョウ類群集の構造解析による環境評価に関する研究。環動昆 11: 109-123。
- 中村寛志 (2000b) チョウ類群集の構造解析による環境評価—RI指数によるデータの分析—。昆虫と自然 35 (14): 10-13。
- 中村寛志 (2007) 指標種による環境評価。「野生生物保全技術」, 新里達也・佐藤正孝編, pp242-258, 海游舎。
- 夏原由博 (1998) 多様性指数を利用した解析。日本環境動物昆虫学会編, 今井長兵衛・石井実監修「チョウの調べ方」, pp69-91, 文教出版。
- Nishinaka, Y. and M. Ishii (2007) Mosaic of various seral stages of vegetation in the Satoyama, the traditional rural landscape of Japan as an important habitat for butterflies. *Trans. lipid. Soc. Japan* 58 (1): 69-90。
- 大野正男 (1980) 指標生物としてのハムシ科甲虫。自然科学と博物館 47 (3): 112-115。
- 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。
- 自然環境研究センター編 (2010) モニタリングサイト 1000 高山帯調査 調査速報 1, 環境省。
- 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, 日本鱗翅学会編, pp83-90, 日本鱗翅学会・日本自然保護協会。
- 巢瀬 司 (1998) 環境指標性を利用した解析。日本環境動物昆虫学会編, 今井長兵衛・石井実監修「チョウの調べ方」, pp59-69, 文教出版。
- 東梅林克彦 (1994) 自然環境アセスメントの現状と今後のあり方。環境アセスメント動物調査手法 4, 日本環境動物昆虫学会編, pp85-105, 日本環境動物昆虫学会。
- 田中 蕃 (1988) 蝶による環境評価の一方法。「蝶類学の最近の進歩」日本鱗翅学会特別報告 6: 527-566。
- 田下昌志 (1996) 河川護岸工法とチョウ類群集の多様性。「日本産蝶類の衰亡と保護」第 4 集, 日本鱗翅学会編, pp119-139, 日本鱗翅学会・日本自然保護協会。
- 田下昌志 (2009) 里山の管理とチョウ群集の多様性。蝶と蛾 60 (1): 52-62。
- 田下昌志・市村敏文 (1997) 標高の変化とチョウ群集による環境評価。環動昆 8: 73-88。
- 田下昌志・丸山 潔 (2007) 本州中部地方におけるオオルリシジミの現状と増殖活動。Butterflies 44: 24-31。
- 豊嶋 弘 (1988) チョウ類の分布をもとにした香川県の自然度。香川県自然環境保全指標策定調査研究報告書 (自然度評価の総括): 87-108。