

解説

表題：環境評価地図作成に使用する指標種の重要度評価

英語表題：Evaluating importance of indicator species for diversity mapping

簡略表題：指標種の重要度評価

著者：小池文人<sup>1</sup>・島田直明<sup>2</sup>・榎本哲也<sup>3</sup>

Authors：Fumito KOIKE<sup>1</sup>, Naoaki SHIMADA<sup>2</sup>, Tetsuya Enomoto<sup>3</sup>

所属：<sup>1</sup>横浜国立大学大学院環境情報研究院, <sup>2</sup>岩手県立大学総合政策学部, <sup>3</sup>新

日本開発工業

所属英文：<sup>1</sup>Department of Environment and Natural Sciences, Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University, <sup>2</sup>Faculty of Policy Studies, Iwate Prefectural University, <sup>3</sup>Project Engineering & Consultants Ltd

住所：<sup>1</sup>〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7, <sup>2</sup>〒020-0193 岩手県

岩手郡滝沢村滝沢字巣子 152-52, <sup>3</sup>〒141-0031 品川区西五反田 2-28-5

Phone: <sup>1</sup>045-339-4356

e-mail: <sup>1</sup>koikef@ynu.ac.jp

要旨： 指標種を用いた環境評価地図の作成のために、保全対象の目的植生とそれ以外の植生調査データから指標種を抽出する方法を解説し、市民参加の調査での使用例を紹介する。指標種としての重要度を、目的植生への出現確率と、それ以外の非目定期植生への出現確率の対数オッズ比とした。指標種の出現状況が得られた場合に、調査地点が目的植生である確率を事後確率として求めるうえでオッズ比は効果的であり、指標種を選ぶためにも良い指標である。また目的植生や非目的植生への種の出現確率は通常の計算方法ではなく、植生調査で得られた種の出現回数を用いて、出現確率についての事後分布の平均値を推定値とした。この方法を応用し、福島県原町市（現南相馬市原町区）で二次草地を目的植生とした市民参加による評価地図を作成した。

キーワード： 指標種， オッズ比， 事前確率， 事後確率， 伝統的二次草地

Abstract: We introduce a method to determine the weight of indicator species for biodiversity mapping. At first we determined the target vegetation type to be conserved. Intensive phytosociological researches had been made in Japan, and we already have empirical information on importance of each vegetation type. Traditional secondary grassland was chosen for our example. Occurrence probabilities at the target vegetation type and that at non-target vegetations were determined from vegetation survey data using a new method. We did not use the ordinary (occurrence / surveyed sites) ratio, but occurrence probabilities were determined as the mean of posterior probability-density-function, obtained from species occurrence in vegetation survey data, assuming the uniform prior distribution. Logarithm of the odds ratio of occurrence-probabilities at the target and non-target vegetations was used as the weight

of indicator species. We can estimate posterior probability that the focal area is belonging to the target vegetation type from this value. Sum of this value for “present” indicator species gives the importance score, and the geographical distribution of this value shows a biodiversity map of grassland species. We applied this method to the biodiversity mapping activity participated by citizens.

Key words: indicator species, odds ratio, prior probability, posteriori probability, traditional secondary grassland

## はじめに

指標生物は地域の生物多様性評価や生態系復元事業のモニタリングなどに利用される（たとえば Pearman 2006; Fagan *et al.* 2010）. 日本における都市近郊や里山での自然環境の評価やモニタリングのほか（茅ヶ崎市 2006; 角谷ほか 2009）, ドイツやフィンランドなどのヨーロッパ諸国では二次草地や森林について, 指標生物を用いた生物多様性評価をもとに土地所有者が経済的利益を得られる社会的メカニズムがあり, 客観的で透明性のある指標生物の選択方法が重要な問題となっている（Juutinen *et al.* 2009; Kaiser *et al.* 2010）. また全ての指標生物を等しく評価するのではなく, 種によって異なる荷重を設定することで, より少ない労力で正確な評価が可能となる可能性がある.

どのような自然が好ましいかを定める段階では, 生物多様性保全の観点とともに地域の文化的観点も重要となることがあるが, ここでは保全対象とする目的の自然が決まったあとの過程について述べる. この手法では保全対象となる目的植生やそれ以外の様々な植生の調査データを利用し, 指標種の選択方法や種の荷重の計算方法を提案する. さらに福島県南相馬市原町区（旧原町市）において, 乾性二次草地（トダシバーススキ群集, *Arundinello-Miscanthetum sinensis*）を目的植生とした応用事例を紹介する. 南相馬市では国の重要無形民俗文化財に指定されている相馬野馬追祭が行われており, 相馬藩政時代に馬が放牧され牧野として利用された歴史があり（原町市史編纂委員会 1968）, 二次草地は文化的・歴史的にも重要な植生である. なお市民参加の調査では湿性二次草地であるノハナショウブヌマガヤ群集（*Irido spontaneae-Moliniopsietum japonicae*）を目的植生とした指標種による調査も同時に行ったが, ここでは乾性二次草地

を例として取り上げる.

## 指標種を選択する方法

### オッズ比による指標種を選択

指標種の発見パターンから、その場所の植生タイプを同定することを考える。ある地点における指標種の出現および目的植生、非目的植生への指標種出現率が表 1 のようであったとする。目的植生の中の地点 A で調査したときに、表 1 に例として示した地点と同じ指標種出現状況が得られる確率（尤度,  $l_A$ ）は下記のようになる。

$$l_A = p_1 \cdot (1 - p_2) \cdot p_3 \cdot p_4 \cdot (1 - p_5) \quad (1)$$

一方、非目的植生の場所 B で調査したときに、表 1 の例と同じ指標種出現状況が得られる確率（ $l_B$ ）は下記のようになる。

$$l_B = q_1 \cdot (1 - q_2) \cdot q_3 \cdot q_4 \cdot (1 - q_5) \quad (2)$$

種の出現パターンからこの場所の植生タイプを同定するには、 $l_A$  と  $l_B$  を比較して、値が大きき方の植生タイプを選べばよい。指標種を選ぶ場合には、このような確率を利用して植生タイプを同定するために適した種を選ぶことになる。

目的植生であるためには  $l_A$  になるべく大きく、 $l_B$  になるべく小さいほど同定結果を信頼できる。この差は両方の確率の比を計算して得ることができる（尤度比）。

$$l_A / l_B = (p_1 / q_1) \cdot (1 - p_2) / (1 - q_2) \cdot (p_3 / q_3) \cdot (p_4 / q_4) \cdot (1 - p_5) / (1 - q_5)$$

(3)

また対数をとって  $\ln(l_A/l_B)$  とすることも多い (対数尤度比) .

$$\begin{aligned} \ln(l_A/l_B) = & \ln(p_1/q_1) + \ln((1-p_2)/(1-q_2)) + \ln(p_3/q_3) + \\ & \ln(p_4/q_4) + \ln((1-p_5)/(1-q_5)) \end{aligned} \quad (4)$$

調査で出現した種 1 についてみると, 指標種に含まれていることで, 対数尤度比は  $\ln(p_1/q_1)$  だけ増加する. 調査に出現しなかった種 2 についてみると, 指標種に含まれていることで, 対数尤度比は  $\ln((1-p_2)/(1-q_2))$  だけ変化する (図 1). ただし指標種は目的植生の方に多く出現するので ( $p_2 > q_2$ ), 出現しない場合は  $\ln((1-p_2)/(1-q_2)) < 0$  となって, 目的植生であるかどうかの判定基準 (式 4) にとってはマイナスの貢献になる. しかし, 出現した場合のプラスの貢献が小さくても, 出現しなかったことで大きなマイナスになるのであれば出現した他の場所との間に差がつくので, 指標種としては有意義である. このように, ある種  $i$  の指標種としての重要性  $\ln R_i$  は, 出現した場合の貢献と, 出現しなかった場合の貢献の両方の合計が大きくなるときに高くなる. 出現しなかった時の貢献をゼロとすると, 出現しなかったときと比較した出現したときの相対的な貢献の大きさは以下のようなになる.

$$\begin{aligned} \ln R_i = & \ln(p_i/q_i) - \ln((1-p_i)/(1-q_i)) \\ = & \ln((p_i/q_i) \cdot (1-q_i)/(1-p_i)) \end{aligned} \quad (5)$$

この  $R_i = (p_i/q_i) \cdot (1-q_i)/(1-p_i)$  はオッズ比と呼ばれ, 対数変換した  $\ln R_i$  は対数オッズ比と呼ばれる.

なお事前確率として調査地点が目的植生である確率  $P$  (目的植生) を与えると, 指標種調査データによって改善することで, 調査地点が目的植生であることの

事後確率を，特定の指標種調査データ（指標種状況，たとえば表 1）が得られた条件のもとでの条件付き確率  $P(\text{目的植生}|\text{指標種状況})$  として得ることができる．

$$P(\text{目的植生}|\text{指標種状況}) = P(\text{指標種状況}|\text{目的植生}) \cdot P(\text{目的植生}) / P(\text{指標種状況})$$

ここで  $P(\text{指標種状況})$  は目的植生でこの指標種出現パターンが得られる確率と，非目的植生で同じ指標種出現パターンが得られる確率の和である．

$$\begin{aligned} P(\text{目的植生}|\text{指標種状況}) &= P(\text{指標種状況}|\text{目的植生}) \cdot P(\text{目的植生}) / \\ &\{ P(\text{指標種状況}|\text{目的植生}) \cdot P(\text{目的植生}) + \\ &P(\text{指標種状況}|\text{非目的植生}) \cdot P(\text{非目的植生}) \} \\ &= \{ l_A / l_B \cdot P(\text{目的植生}) / P(\text{非目的植生}) \} / \\ &\{ 1 + l_A / l_B \cdot P(\text{目的植生}) / P(\text{非目的植生}) \} \end{aligned} \quad (6)$$

目的植生や非目的植生である事前確率がどんなものであっても，尤度比  $l_A / l_B$  が大きければ，調査地点が目的植生であることの事後確率が改善する．このときオッズ比が大きい指標種をつかうと，対数尤度比  $l_A / l_B$  の値が大きくなるので，事後確率の改善幅も大きい．

目的植生にのみにごく希に出現する稀少種  $i$  を想定すると，目的植生への出現確率  $p_i$  の絶対値は小さいが，非目的植生への出現確率  $q_i$  もほぼゼロに近い．野外調査で発見したときには比  $p_i / q_i$  の値が大きいため，目的植生である可能性が高くなる（図 1）．しかし稀少であるために目的植生であっても分布していないことも多く，むしろ発見できない場合の方が多い．発見できなかった場合の評価値  $(1 - p_i) / (1 - q_i)$  は， $p_i$  および  $q_i$  の絶対値が小さいために分母と分子ともに 1.0 に近くなり，あまり判断の役に立たない（図 1）．すなわち，目的植生に典型的

に現れる種であっても、希少種は指標種にふさわしくない（図2）。

発見できなかった情報を使って植生を同定するには、非目的植生で種  $i$  を発見できない確率  $(1 - q_i)$ の方が、目的植生で発見できない確率 $(1 - p_i)$ よりもなるべく大きければよい。そのため比 $(1 - q_i) / (1 - p_i)$ が大きな種が望ましい。このためには、非目的植生での出現確率 $(q_i)$ が小さいだけでなく、目的植生での出現率 $(p_i)$ が大きなものであることが必要であり、目的植生の中では普通種であることが望ましい（図2）。

指標種を選ぶときには、対数変換したオッズ比である  $\ln R_i$  を重要度として用い、この値の大きな種から順に指標種に含めて行く。指標種として新しく種  $i$  を加えるごとに、 $\ln R_i$ に相当する分だけ、目的植生を同定する場合の確からしさが増加するため、 $\ln R_i$ が大きな種を使うと少ない種数で確かな同定を行うことができる。野外調査での発見や同定の容易さは結果に大きな影響を与えるが（Oster *et al.* 2008），発見や同定が困難な種の重要度が大きかった場合には、その種を指標種から除外することも可能で、そのかわり重要度が小さな多数の種を指標種に加え、重要度の合計値を同じにしておけば環境評価の信頼性を確保することができる。

調査結果の集計では、対数変換した  $\ln R_i$  を種  $i$  の荷重として用いて、発見した種についての  $\ln R_i$  の合計値を求めて、環境の評価値とすることができる（図1）。この方法では、発見できなかった場合は何も加算しない。なお、出現した場合には  $\ln(p_i / q_i)$  を加え、出現しなかった場合にはマイナスの値である  $\ln((1 - p_i) / (1 - q_i))$  を加えることもできるが、市民参加の調査などにおいては出現した場合のみ加算するほうが理解されやすいので、出現しない場合をゼロに調整した指



標種のウェイトに相当する対数オッズ比（式 4，図 1）がよいと思われる。このような集計からは，調査地点が目的植生である確率を求める事はできないが，他の調査地点と比較して相対的に目的植生に近いかどうかを評価することが可能になる。なお極相林を検出するときの荒地の種など，目的植生にはほとんど出現しないが非目的植生にはほぼ必ず出現する種( $p_i < q_i$ )も有益なネガティブな指標種となりうるが（図 2），市民参加の調査では理解されにくく，また非目的植生が評価領域内に混在すると評価値が低くなり，非目的植生の面積が広い場合はマッピング労力が多くなるため，重要な地域が点在するような景観での調査には向いていない。

### 種の出現確率の推定

これまで述べた方法で指標種を評価しようとする時，式 4 において  $p_i$  や  $q_i$  などの出現確率がゼロや 1 になる場合には計算できなくなる。特に目的植生での植生調査の地点数が少ない場合には，偶然の影響で全ての地点に出現したり，逆に全ての地点に出現しなかったりする確率が高くなる。

ここで  $m$  地点の目的植生を調査し，種  $i$  は  $n$  地点で出現したとする。ふつうに考えると出現確率は  $n/m$  だが，真の出現確率が  $p_i$  だったとき  $n$  地点中の  $m$  地点で出現する確率  $L_i$  を考えてみる。

$$L_i = {}_m C_n \cdot p_i^n \cdot (1-p_i)^{(m-n)} \quad (7)$$

図 1 では，それぞれ 3 地点，6 地点，12 地点を調査したケースについて，全体の 1/3 の地点に出現する場合と，全く出現しない場合について示している。グラ

フの値 ( $L_i$ , 尤度) の大きなところが, 出現確率  $p_i$  の推定値として妥当な領域である.

グラフのピーク (最尤推定値) は調査した地点数に関係なく  $p_i=1/3$  や  $p_i=0$  の位置にあり, これは通常確率の計算値  $n/m$  である. しかし調査地点数が多い場合はグラフは尖っていてピーク周辺の領域は狭い範囲に限定されるが, 調査地点数が少ない場合は緩やかな山になっている. 特に 3 地点を調べてどこにも発見されなかったケースでは, ピークは  $p_i=0$  の位置にあるものの, グラフ全体の中では最も左端に偏った位置にある. そこで左端のピーク (モード,  $p_i=0.0$ ) ではなく, グラフの平均値 ( $p_i=0.20$ ) を  $p_i$  の推定値として使うのも, もうひとつの妥当な推定方法である. ただし調査地点数が増えれば推定値は通常確率の計算値であるゼロに近づき, 12 地点を調査してどこにも発見されなかった場合には, この方法による推定値は  $p_i=0.07$  となる.

著者のひとは, このような推定値を計算するプログラムをインターネットで提供している (<http://vege1.kan.ynu.ac.jp/probability/probability.exe>). 図 1 のグラフの形を変えずにグラフ下の面積を 1.0 に調節したものは  $p_i$  の確率密度分布と考えることができるが, これは  $p_i$  の事前分布として一様分布 ( $p_i=0.0$  から 1.0 まで等しい確率) を仮定した場合の, 種の出現データで改良された事後分布に相当する. なお,  $p_i$  の推定値として事後分布そのものを利用して指標種の重要度や環境評価値を計算すれば (たとえば事後分布に対応した乱数を発生させて式 5 の重要度や, 環境評価値を計算する試行をくり返す), もとの植生調査データ数の少なさに由来する重要度や環境評価値の揺らぎを評価できるが, 市民参加調査などで参加者の理解を得るのは難しいかもしれない.

## 調査事例

### 調査方法

この方法を利用した調査を行った旧原町市（現南相馬市原町区）は、太平洋に面した丘陵地と沖積地からなり、人口約 5 万人の地方都市である。耕作地の多くは水田であり、丘陵地は広くコナラ(*Quercus serrata* Thunb. ex Murray)林やアカマツ(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.)林の雑木林に覆われている（藤原ほか 1998）。最寄りの気象観測所である相馬観測所の 1979 年から 2000 年の平均気温は 12.1°C，平均年降水量 1352.3mm で、これから求めた暖かさの指数 92.2°C・month, 寒さの指数-7.1°C・month は常緑広葉樹林の成立する下限の温度域である。

目的植生は伝統的に存続してきたと考えられる二次草地とした。二次草地は近年著しい減少からその重要性が説かれており（守山 1988, 西脇 1999, 星野 2001 ほか），調査地の一部が藩政時代に牧野として利用されていて（原町市史編纂委員会 1968），文化的・歴史的に重要な植生である。優占種のススキは種子が風散布により空き地に容易に侵入するため、優占種に着目した相観植生図では、多様性の高い歴史的なススキ (*Miscanthus sinensis* Anderss.) 草地と多様性の低い造成地のススキ草地を区別することが困難であり（伊藤ほか 1999, 山戸ほか 1999, 山口ほか 1998），指標種を用いた評価が重要である。ここでは典型的なススキ草地であるトダシバーススキ群集 (*Arundinello-Miscanthesium sinensis*) を目的植生として用いた。

指標種の選択などに利用する植生調査データとしては、調査対象地周辺で過

去に得られていた地域植生誌の報告書などから、計 164 の植生調査資料（島田・藤原 2001, 榎本・藤原 未発表）を用いた。

野外調査は 2001 年 9 月に 2 日間の日程で市民参加にて行った。参加者は高校生、高校教員、コンピュータ趣味者、地域シンクタンク、地域おこし関係者、などであった。調査地は旧野馬原（雲雀原）と呼ばれる、かつて藩政時代に牧野であったとされる地域の、東西 2km×南北 1.5km の範囲とした。1908 年測量の地形図では平坦地に湿性草原を含めた草地がひろがり、桑畑や広葉樹林、かつての相馬野馬追祭の祭場の芝生などが点在していた（大日本帝国測量部 1911）。調査地域を 500m×500m の区画に区切り、区画内を 1.5 時間かけて自由に探索して対象種をなるべく多く発見し、都市計画図 (1:2500) のうえにマッピングした。点在するものは点で、面的に広がっている場合は領域で（個体間隔 10m 以内程度）、畦畔のように線的な場合は線で地図上に記入した。なお、ひとりの市民参加者が、自然が残っている可能性の高い地域と市街地の両方を経験できるように班ごとの調査地域を割り振った。また公民館のパソコンと無料の GIS（みんなで GIS, <http://www13.ocn.ne.jp/~minnagis/>）を利用して参加者が指標種の発見位置を入力し、各自で集計結果の地図を作成した。なお、この論文では種の出現確率を事後確率密度分布の平均値として推定しているが（図 3）、市民参加の調査は 9 年前に行われているため、当時作成した評価地図では最尤値を用いている。

## 結果と考察

出現確率から求めた重要度は表 2 のようになる。調査が開花期にあたるなど、

発見や同定が容易であることを考慮し、今回は乾性二次草地の種としてナンテンハギ(*Vicia unijuga* A. Br.), ワレモコウ(*Sanguisorba officinalis* L.), ツリガネニンジン(*Adenophora triphylla* var. *japonica* (Regel) Hara), ノハラアザミ(*Cirsium tanakae* Matsum.)の4種を指標種として選択した。

市民参加のマッピングの結果、乾性草原の指標種の分布の中心は、現在の野馬追祭場や住宅地内に残存する2つの樹林、上町湿地の4カ所に分布していたが、それぞれの分布の中心からやや離れた周辺地域にも点々と分布していた(図4)。

種ごとの重要度(対数オッズ比,  $\ln R_i$ )の合計値(すなわち地点における尤度比  $\ln(I_A/I_B)$ )を地図上に重ねて表現したものが図4の下の図である。値の大きなところは伝統的二次草原のフロラが豊かな地域である。この調査により野馬追祭場と上町湿地の周辺に重要な地域が存在することが明らかになった。なおそれぞれの重要な地域の中にも構造があり、値の高い中心値域と、その周辺をとりかこんで値がそれより低い周辺地域とがあった。後者では景観の中に必ずしもまとまった面積の二次草地が含まれているわけではなく、路傍や河川沿いの草地などに指標種が点在していた。これが中心地域から供給された種子によるシンク個体群なのか、あるいはかつての連続した草地が断片化して残存した遺存的なものなのかは、今回の調査ではわからなかった。

今回の手法により、客観的な方法で指標種としての重要度を定量的にもとめることができ(表2)、またこの重要度を評価地図の作成に生かすことができた(図4)。良い指標種を客観的に選択できるため、少数の指標種で効果的に評価地図を作成することができ、発見や同定が容易な種を指標種として用いること

で市民参加の調査が容易になった。指標種の選択方法としては、統計的検定で保全すべき場所に特徴的に出現する種を抽出する方法もあるが (Pearman *et al.* 2006) , ここで紹介した方法では種の重要度を求める事ができるので、さらに有用である。

今回の指標種の決定過程では、ナンテンハギやツリガネニンジンなど、ススキクラスの表徴種が上位に多数入っていたが、他方でネコハギ(*Lespedeza pilosa* (Thunb.) Sieb. et Zucc.)やスズメノヒエ(*Paspalum thunbergii* Kunth)など荒れた草地の種も上位に入っていた (表 2) 。目的植生の範囲をどこまでひろげるのか吟味する必要があるとともに、種の評価の基礎データとなる目的植生の植生調査票の数を増やし、また非目的植生として荒地の植生調査データが多数そろえば、荒地の植物を排除することができると考えられる (図 2) 。

この手法は植物だけでなく動物を指標種として用いる場合にも有効であると考えられる。ただし植物においては植物社会学的な調査データの蓄積が厚いが (たとえば宮脇 1987) , 動物群集では調査データの蓄積や公開はほとんど行われていない。今後は動物におけるデータベースの整備が必要であるが、必ずしも均一な群集を単位とするのではなく、たとえば水田と水路、周辺の草地をふくむ小さな地域を単位とした、生物相全体にわたるデータベースなどがあれば、植物と動物を含む指標種抽出において有益であろう。

なお多様性のホットスポットの検出に希少種の出現種数を利用することも有効であるが (Kaiser *et al.* 2010) , 市民参加の調査では発見や同定、その後の情報管理などが難しく、また希少種は出現確率が低いため高い空間解像度での評価が難しい。出現する希少種数と、指標種調査の評価結果には正の相関がある

ことも多いと思われ (Kaiser *et al.* 2010), ここで紹介した手法による指標種選択と環境評価地図の作成方法は, 地域の多様性評価のために有効であると考える.

#### 謝辞

現地調査にあつたては福島県原町 (現南相馬市原町区) の市民の方々や市役所の方々にはご協力いただいた。心から感謝申し上げます。この研究は日産科学技術財団から助成を受けて行われたものである (代表: 佐土原聡)。

## 引用文献

- 茅ヶ崎市 (2006) 自然環境評価マップで茅ヶ崎の自然を見てみよう
- 大日本帝国測量部 (1911) 5 万分 1 地形図 原町
- Fagan KC, Pywell RF, Bullock JM, Marrs RH (2010) Are ants useful indicators of restoration success in temperate grasslands? *Restoration Ecology* 18: 373-379
- 藤原一繪・石井茂・楠本良延・宮脇昭 (1998) 原町市現存植生図. 原町市
- 伊藤貴庸・中山祐一郎・山本裕文 (1999) 伝統的畦畔と基盤整備畦畔における植生構造とその変遷過程. *雑草研究* 44: 329-340
- 角谷拓・須田真一・大谷雅人・西原昇吾・鷺谷いずみ (2009) すこやかな日本の里を指標する生物たち. (福山研二・安田喜憲編) *生物多様性の日本*. 朝日新聞出版, 東京, pp.128-137
- Kaiser T, Rohner MS, Matzdorf B, Kiesel J (2010) Validation of grassland indicator species selected for result-oriented agri-environmental schemes. *Biodiversity and Conservation* 19: 1297-1314.
- 原町市史編纂委員会 (1968) 原町市史. 原町市
- 星野義延 (2001) 人の生活と植物群落のかかわり. 「生態学からみた身近な植物群落の保護」 (大澤雅彦監修), pp.55-58. 講談社サイエンティフィク, 東京
- 宮脇 昭 (編) (1987) 日本植生誌 東北. 至文堂, 東京.
- 守山弘 (1988) 自然を守るとはどういうことか. 農林漁村文化協会, 東京
- 西脇亜也 (1999) 草原生物群集の成立と衰退. *遺伝* 53: 26-30



- Oster M, Persson K, Eriksson O (2008) Validation of plant diversity indicators in semi-natural grasslands. *Agriculture Ecosystems & Environment* 125: 65-72
- Pearman PB, Penskar MR, Schools EH, Enander HD (2006) Identifying potential indicators of conservation value using natural heritage occurrence data. *Ecological Applications* 16: 186-201
- 島田直明・藤原一繪（2001）原町市東ヶ丘公園予定地の植生．横浜国立大学環境科学研究センター紀要 27：57-89
- 山口裕文・梅本信也・前中久行（1998）伝統的水田と基盤整備水田における畦畔植生．*雑草研究* 43: 249-257
- 山戸美智子・服部保・浅見佳世（1999）兵庫県三田市の基盤整備地と非基盤整備地における畦畔法面上のチガヤ群落の比較．*雑草研究* 44: 170-179
- 山本勝利（2009）水田が育む生物多様性．（福山研二・安田喜憲編）*生物多様性の日本*．朝日新聞出版，東京，pp.38-49

表 1. 仮想的な 5 種の指標種の出現確率と, ある地点での出現状況.

	種 1	種 2	種 3	種 4	種 5
目的植生への出現確率	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$
非目的植生への出現確率	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$q_4$	$q_5$
調査地点での出現状況の例	在	不在	在	在	不在

表 2 南相馬市原町地区の植生調査データをもとにした，目的植生（トダシバーススキ群集）への出現確率と，指標種としての重要度．重要度は対数オッズ比として求めた．植生調査データは目的植生では 9 地点，非目的植生では 155 地点が利用可能であった．

種名	出現数		出現確率		重要度 $\ln R_i$	出現時の貢献 $\ln(p_i / q_i)$	不在時の貢献 $\ln((1-p_i)/(1-q_i))$
	目的植生 (9)	非目的植生 (155)	目的植生 $p_i$	非目的植生 $q_i$			
イヌコウジュ	4	0	0.455	0.00637	4.87	4.27	-0.60
ナンテンハギ	7	3	0.727	0.0255	4.62	3.35	-1.27
ネコハギ	4	1	0.455	0.0127	4.17	3.57	-0.59
ワレモコウ	6	7	0.636	0.0510	3.48	2.52	-0.96
スズメノヒエ	6	8	0.636	0.0573	3.36	2.41	-0.95
ススキ	6	10	0.636	0.0701	3.15	2.21	-0.94
ツリガネニンジン	8	33	0.818	0.217	2.79	1.33	-1.46
ノハラアザミ	6	18	0.636	0.121	2.54	1.66	-0.88
ヨモギ	5	14	0.545	0.0955	2.43	1.74	-0.69
ノコンギク	4	10	0.455	0.0701	2.40	1.87	-0.53
トダシバ	5	19	0.545	0.127	2.11	1.45	-0.65
ノブドウ	5	19	0.545	0.127	2.11	1.45	-0.65
ヘクソカズラ	8	66	0.818	0.427	1.80	0.65	-1.15

## 図の説明

図1 種  $i$  を指標種として採用することによる，目的植生への相対的な近さを示す対数尤度比  $\ln(l_A/l_B)$  への効果の大きさ（式4）．種  $i$  を指標種としない場合の貢献はゼロだが，指標種として採用した場合には，出現したときの貢献と，出現しなかったときの貢献がそれぞれ存在する．指標種のウェイトとして用いるには，出現しなかった場合をゼロとして表現することが自然であり，両者を合わせた貢献量は対数オッズ比（ $\ln R_i$ ）となる．この値を指標種の重要度を示すウェイトとして，指標種を選択と，地点の評価値の計算の両方に用いる．

図2 目的確率への出現確率および，それ以外の非目的確率への出現確率と，対数オッズ比（ $\ln R_i$ ）との関係．

図3 真の出現確率を与えたとき，種  $i$  が特定の出現状況を示す確率．観察される出現確率として，全ての地点で種  $i$  が出現しない，あるいは3回に1回の比率で出現するケースを想定している．

図4 南相馬市原町区（旧原町市）における，乾性草原指標種の分布を市民参加で調べた分布地図（上）と，250m×250m グリッドごとの出現指標種数をもとに，対数オッズ比を荷重として合計値求めた，伝統的な乾性草原（トダシバーススキ群集）のフロラの多様性評価地図（下）．背景は1:2500 原町市都市計画図である．

図 1

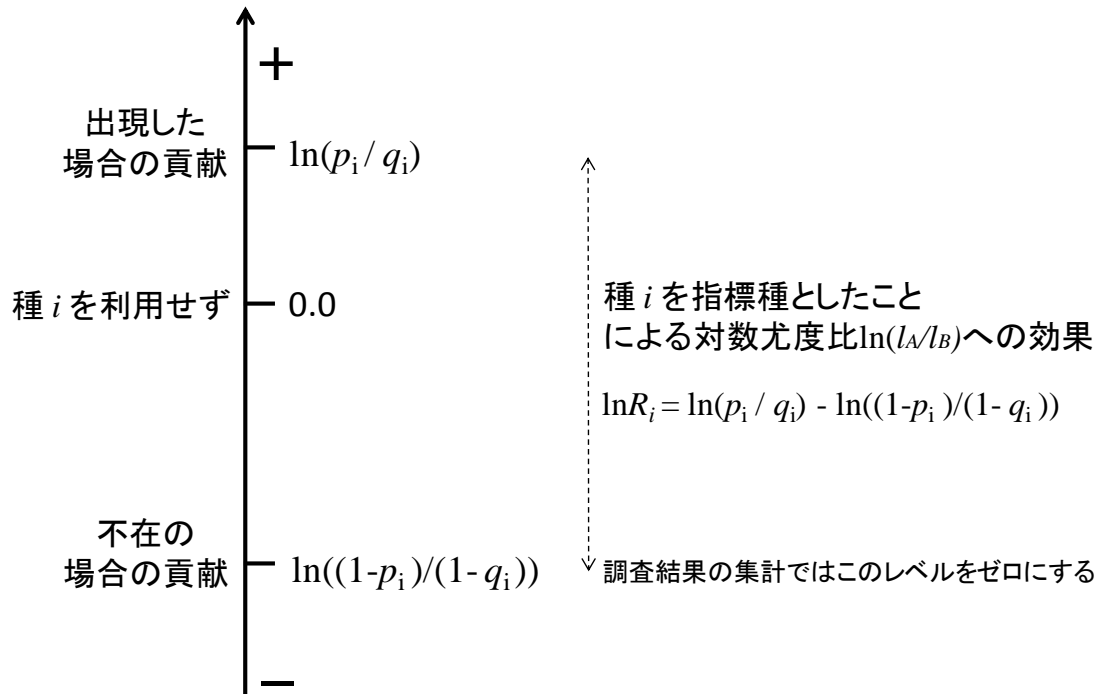


図 2

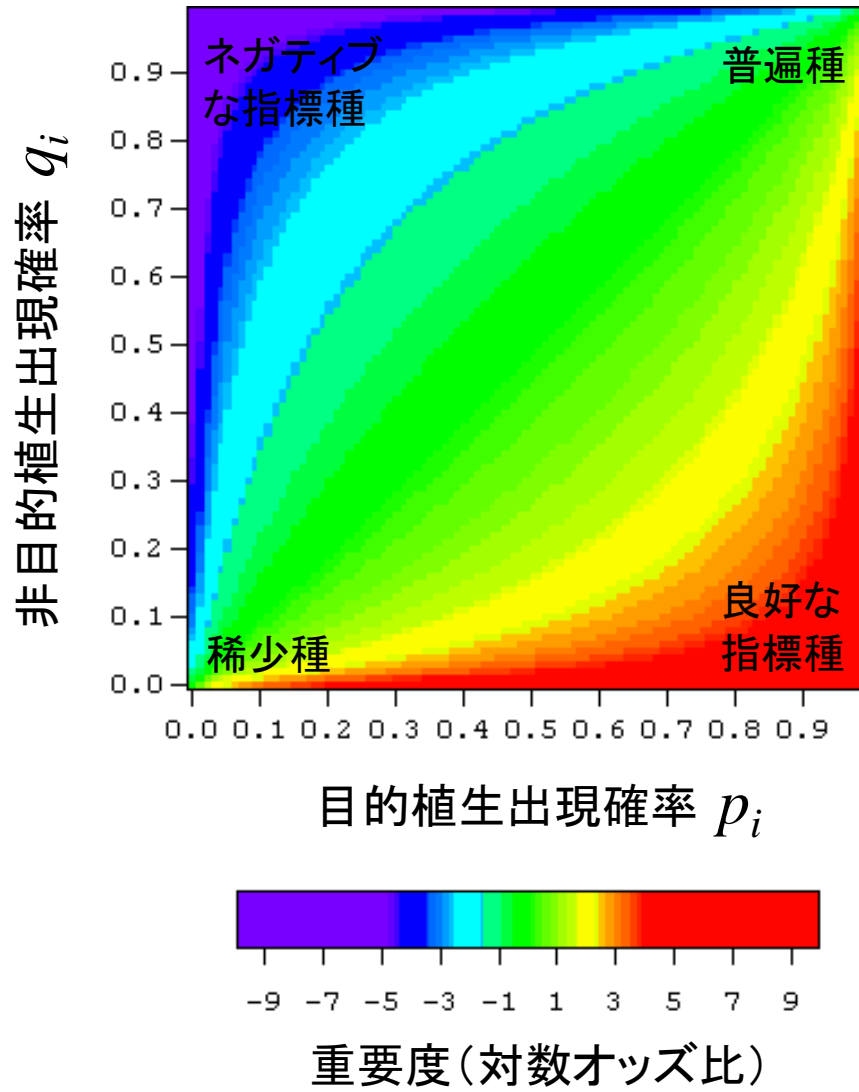


図 3

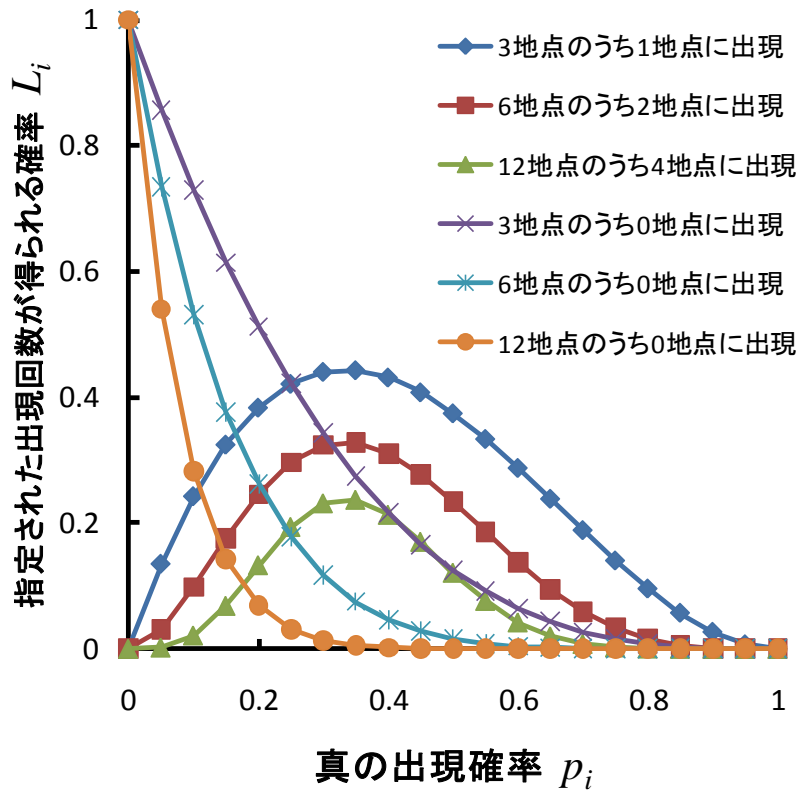
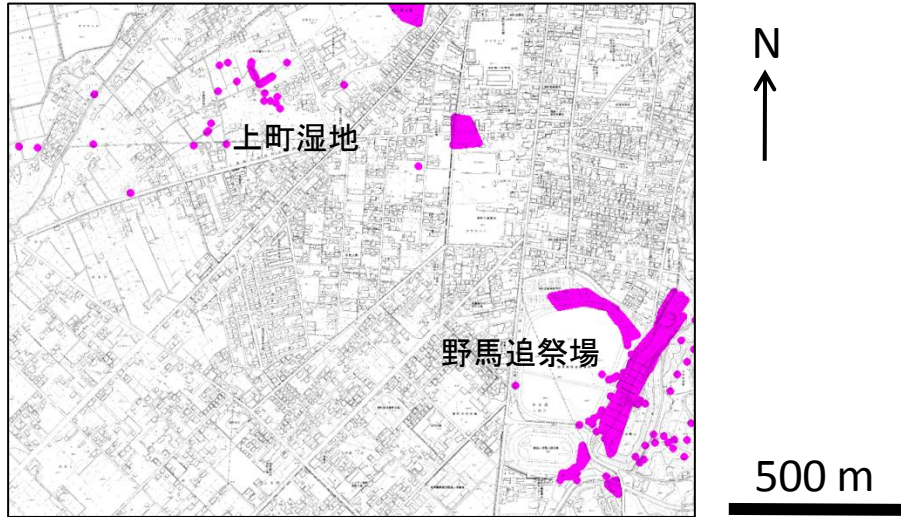


図 4

### 指標種分布地点



### 重要度合計

