F-1　野生生物の生息適地からみた生物多様性評価手法の研究
（２）動物群集にとっての生息地の評価手法の開発に関する研究

独立行政法人国立環境研究所
生物多様性研究プロジェクト　プロジェクトリーダー　　椿　宜高
生物多様性研究プロジェクト　生物個体群研究チーム　　辻　宣行

<研究協力者>国立環境研究所　生物多様性プロジェクト　竹中　明夫

平成15～17年度合計予算額　２２，００７千円
（うち、平成17年度予算額　　７，６５８千円）

［要旨］　自然環境保全基礎調査（1998）の植生データをもとに2次メッシュに含まれる植生タイプの割合を計算し、動物分布との対応関係を解析した。自然環境保全基礎調査における動物分布情報は2次メッシュ単位の生息情報が公開されている。ここでは、国土の主要四島に生息するトンボ全種の分布情報を用いた解析を行った．自然環境保全基礎調査のデータにはかなりの質的な不均一性があり、そのままでは解析が困難であったが、生物種の在/不在データが信頼できるグリッドを抽出する方法を開発することができた結果、生息要因の検出力が格段に高まった。これまでは、2次メッシュ単位の環境データと動物分布データの対応関係からは、これまでは種の分布と気温条件との関係しか検出できなかったが、植生被覆との有意な関係が検出できる場合がかなり多くなった。その結果、トンボでは解析前の予想よりも、はるかに多くの種が森林、それもスギヒノキなどの針葉樹植林ではなく広葉樹林に依存していることが明らかになった。また、水田や湿地に依存する種も少なくないが、森林の場合は必要とする面積が大きく、湿地の場合は小面積でも生息地が確保されることも示唆された。正確な生物分布が分かると、次にどの場所を保全すれば良いのかという問題を考える事が出来る。ある地域が幾つかの小区画に分割されているとする。地域に存在する全種を含む区画の組み合わせ（全種表現組み合わせ）より保全の優先度（置換不能度）が計算できるが、全種表現組み合わせを求めるためには、計算時間が長い事が指摘されている。我々は計算効率の高いアルゴリズムを考案した。これは、最も効率の良い区画の組み合わせを選び出す（最小の区画数の組み合わせで、地域生物全種を、生物1種につき最低1か所の区画で表す）ものである。ところが実際の保全区画決定のためには、1種最低2区画、3区画などの条件や、選ばれた区画がなるべくまとまっていた方が保全をやりやすい等の空間的条件もあろう。これらの複数の条件を同時に満足する解を厳密に求めるのではなく、複数の準最適解を手早く求め、その中から他の条件を満たす最も良い解を求める実用的計算手順を提案する。全ての条件を同時に満足する厳密解の計算には、しばしば非現実的な計算時間がかかるからである。

［キーワード］自然環境保全基礎調査、トンボ、ハビタットモデル、置換不能度、保護区選択アルゴリズム

1. はじめに

野生生物保全にとって、まず初めに取り組むべきステップは、動物や植物がどこに生息しているかを知ることである。これはいかなる野生生物にも当てはまることである。しかし、完璧な野外調査を行うことは、どんな野生生物でもまず不可能である。そのため、何らかの環境パラメータを代用変数とする“ハビタットモデル”によって種の生息/非生息や個体数密度を予測することが行われる[1)]、ハビタットモデルを構築するのにまず必要なことは、種の空間分布と野生生物が必要とする生態学的な環境条件との関連性を検出することである。野生生物がハビタットをどのように利用しているのかについての我々の知識はきわめて限られているが、ハビタットの空間スケールごとに生物の反応が異なることは、多くの研究者の意見が一致するところである。これをトンボ類にあてはめると、最も大きなスケールは植生景観（森林や水田、市街地など）で、次のスケールは幼虫の生息地となるため池や川、さらに小さなスケールとして成虫が卵を産みつける植物タイプ、水面などが考えられる[2)]。それぞれのスケールごとにトンボはバビタットを選択し、細かいスケールへと生息の場を特定して行く。従って、個々の種が示すハビタット選択のプロセスはきわめて複雑であると考えられるが、この研究では、まず、植生景観に対するハビタット選択の検討を行った。そのために、特定の種のある場所への生息状況と、その場所の植生景観との相関を検出することを試みた。場所の空間単位として、二次メッシュ（約10km平方）を採用した。質の高い分布データが入手出来ると、それに基づき保全を考える事が出来る。地域全体の保全は不可能なので、保全するための地域の中の小区画（以後区画）を、いかにしてシステマテックに選び出すかは重要な事である。選び出すアルゴリズムに関して多数の研究が行われ、区画の優先度を求めるために、置換不能度(irreplaceability)[3,4)]が発表された。しかし、この指数の元となる全種表現組み合わせ(representative combination)を求めることが大変なので、我々はその計算手順を発表した[5)]。

2.研究目的

このサブテーマは大きく二つに別ける事ができる。群集としての生息適地評価と保護地の選び方である。以下この二つに分けて述べる。

(1)生息適地評価の手法

生物分布に関しては、環境省の自然環境保全基礎調査、生物多様性調査動物分布報告書[6)]が最大の情報源となる。このような記録を日本地図上にポイントを落とし、大まかな分布の輪郭を知ることができる点で重要であるが、統一的な手法によらないボランティアによる調査の集積はいくつかの弱点を抱えている。第一に、調査員数の偏りやアクセスの容易さの違いによって地理的に調査努力量の濃淡が生じる。第二に、生息記録はあっても、非生息の記録は得られない。第三に調査努力が種によって異なる。第四に個体数の記録が得られない。この研究では、このような弱点のいくつかを解消するための方法を考案し、野生生物の生息推定地域の地図を作成した。

(2)保護値の選び方

一般に保全すべき区画は、種多様性の高いところを思い浮かべがちである。種多様性指数には、二元データ（在／不在）に基づく指数と、アバンダンスに基づく指数がある。二元データに基づ

く指数では、種数が代表的であり、アバンダンスに基づく指数では、シンプソンの単純度指数（*D*）

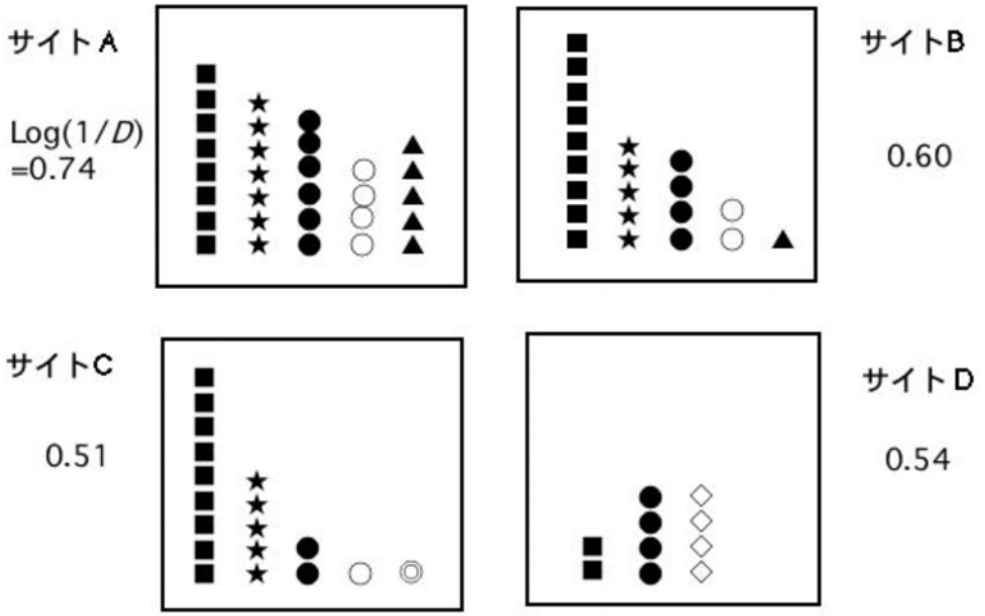


図1　種多様性指数のみで保全を考える場合の例ある地域が4つの区画（サイト）から構成されている。異なる記号は異なる種を表し、記号の個数は個体数を示す。数値は対数シンプソン指数を示す。この領域を保全するために二つの区画を選ぶ。多様性指数の高いA、Bを選ぶと、C、Dにいる種が保全されない。区画間の情報が使われていないからである。

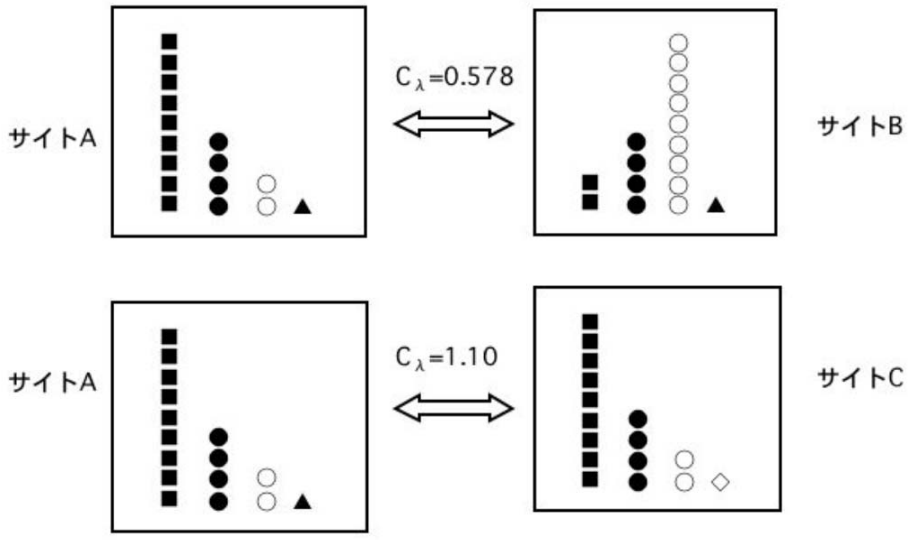


図2　類似度で保全を考える場合の例:森下のC_λ指数で二つの区画間の類似度（相違性）を見てみる。区画（サイト）A、Bの類似度がA、Cの類似度よりも低い（相違性が高い）ので保全のためには良い組み合わせのようであるが、AとBが含む種は同じである。アバンダンスに基づく指数ではではAとCに含まれる個体数が少ない種が無視される。

の逆数、対数シンプソン指数（log(1/*D*)）などがある[7]。例えば図１のような場合を考えてみる。4つの区画から構成される地域がある。保全のために、これから２つの区画を選びだすことを考えてみる。区画Aが種多様性が一番高いのは明らかであり、まずはこの区画が選ばれるであろう。次に種多様性が高い区画Bを選ぶと、その種の構成はAと同じ区画を選んでいることがわかる。種多様性指数はその区画の多様性の程度を表す指数であり、保全のために区画を選ぶには、他の区画との関連を使う必要がある。

次に、二つの区画の関連（類似度）を表す指数を使い保全の問題を考えてみよう。これらの指数には、二元データに基づく野村・シンプソン指数[8]（二つの区画の共通種数に比例する指数）やアバンダンスに基づく森下のC_λ指数[8]（二つの区画から1個体ずつ抜き出した時に同じ種である確率に比例する指数）等がある。森下のC_λ指数で保全の問題を考えてみる（図2）。区画Aと区画BのC_λの値は、区画AとCの値よりも小さい。すなわち、類似度が低い（相違性が高い）ので、A、Bの組み合わせは、A、Cの組み合わせよりも好ましい。しかしながら、AとBでは種の構成は同じで、異なるのは個体数のみである。このようになったのは、この指数がアバンダンスに基づくので、個体数の少ない種（希少種）は無視されるからである。

保全のための指数に求められる性質は、(1)種多様性を表す、(2)希少種にも敏感である、(3)区画間の関連を考慮している、の3つの性質を持たねばならない。(1)と(2)は種多様性指数として種数を、(3)の性質は相補性を考慮する事で解決する。ここで相補性とは、ある二つの区画に注目したとき、互いにどれくらい異なる種を持つか、を表すもので、二つの区画が互いに全て異なる種を持った場合相補性は最も高くなり、全て同じ種を持つと最も低くなる。この相補性に基づく区画の組み合わせ方に、全種表現組み合わせがある（表1参照）。ある地域が6つの区画で構成され

表1　全種表現組み合わせのためのデータの例
区画数6、種数4の場合で考える。

区画	種1	種2	種3	種4
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	1	1	0	0
5	0	1	1	0
6	0	0	0	1

ており、4 つの種が住んでいるとする。区画(3、4、6)の組み合わせはこの 4 種全てを含む。このように、その地域に住む全ての種を表現できる区画の組み合わせを、全種表現組み合わせという。全種表現組み合わせは多数存在し、(1, 5, 6)，(4, 5, 6)，(1, 2, 3, 6)等があり、当然(1, 2, 3, 4, 5, 6)も全種表現組み合わせである。そのため全種表現組み合わせを考える際に、いくつの区画で組み合わせを構成するのかサイズ(*n*)を決める必要がある。今の例の場合では、*n*=3 が最少である。区画数が最少の場合に特に注目する。全ての全種表現組み合わせには必ず、区画 6 が含まれている事に注意して欲しい。区画 6 は種 4(その区画にしかいない種)を含んでいるからである。

以上は、1種最低1カ所の保全を目的とするものであった。しかし、実際には1種を2カ所、3カ所で保全する必要が出てくるであろう。また、保全区画をなるべくまとめたい、将来絶滅が予測されている種が生息する区画を優先的に保全したい、などの要求もあるであろう。更に生息適地予測で述べたように、置換不能度を計算するためのデータそのものの信頼性が疑われさえする。従って、実用的な問題として，ある評価に従って厳密に保全区を決定する事の意味があるのかという疑問が生じる。そこで我々は、多数の準最適解を素早く求め、その中から保全計画者の考えに最も近い組み合わせを求める事も提案する。

3. 研究方法

(1)生息適地評価の研究方法

①利用したデータ

ア．トンボの生息記録

自然環境保全基礎調査、生物多様性調査動物分布報告書のデータベースは生物多様性センターの生物多様性情報システムhttp://www.biodic.go.jp/kiso/fnd_f.htmlとして公開されている。その中の第5回調査、昆虫（トンボ類）をダウンロードして解析に利用した。

トンボの生息記録は1990年から1999年までに205種（亜種を含む）の107,717件があるが、ほとんどの記録（90％以上）は1980年以降のものである。それぞれの記録には種名、二次メッシュのコード番号、採集または目視の年月、記録者コードが含まれている。ここで行った解析には島の影響（小面積の効果、本島からの距離効果）を避けるため、北海道、本州、四国、九州の四島を対象にした。四島をカバーする二次メッシュ数は4,602であるが、少なくとも1種のトンボが記録されている二次メッシュは3,083である。従って、約1/3の二次メッシュにはトンボの記録がない。また、メッシュごとの記録件数は0件から1,400件までの変異があり（平均18）、記録された種数も0から70まで変化する（平均7種）。このことから、ほとんどのメッシュにおける種リストは不完全であることが伺える。ただし、記録件数が多く、種数も多いメッシュにおける種リストはほぼ完全である可能性がある。

イ．気候データ

気候テータとして気象業務支援センター発行の「メッシュ気候値2000」を利用した。メッシュ気候値2000は1971年から2000年までの30年間にわたる月平均気温と年平均気温を3次メッシュ単位にまとめたものである。ここでは年平均気温を2次メッシュ単位で平均して用いた。

ウ．植生景観データ

自然環境情報GIS（自然環境保全基礎調査、第五回現存植生調査）データセットをもとに2次メッシュに含まれる植生景観タイプの割合を計算した。元のデータは700を超す植生タイプによって植生景観が分類されているので、つぎの項目に集約して単純化した：草地、広葉樹林、針葉樹林、竹林、水田、その他の農地、住宅地、海、その他/不明。したがって、各2次メッシュのデータはこれらの植生景観タイプの面積割合で構成される。表2にそれぞれの植生景観タイプの面積と比率を示した。

表 2. 主要四島（北海道、本州、四国、九州）、および解析のために選択した362メッシュ（本文参照）における植生景観タイプの面積と比率。

植生景観タイプ	主要四島	%	選択された362メッシュ	%
広葉樹林	123,397	31.6	9,635	28.0
針葉樹林	106,639	27.3	6,842	19.9
草地植生	23,130	5.9	1,352	3.9
湿地植生	3.396	0.9	413	1.2
ササ/タケ	21.174	5.4	599	1.7
水田	42.345	10.8	5505	16.0
水田以外の農地	28,007	7.1	3185	9.3
市街地	20.841	5.3	5,193	15.1
その他/不明	21.850	5.6	1.597	4.7
合計	358.200 km^2	100.0	34,322 km^2	100.0

②解析の手順と結果

ア．解析に用いるメッシュの選択

あるメッシュでの記録件数が多いほど、そのメッシュの種リストは完全なものに近づくと期待される。たとえば、種のリスト作りの調査を数年にわたって継続したと考えよう。最初の調査ではそのグリッドに生息する種の一部が発見されるはずである。２回目以降の調査で新しく発見される種が追加されてゆくことになるが、調査を重ねるにつれて新しく付け加わる種数は次第に少なくなってくるのが普通である。調査努力量（ここでは記録件数）と積算種数との間には図3で示したような関係が見られることがしばしばあった。このような飽和曲線が得られる場合、メッシュ内に生息する種数を推定することが可能となる。曲線回帰式はいくつか考えられるが、ここでは最も単純な指数関数を使う次式を用いることにした。

$$S_r = S_{max}[1-\exp(-br)]$$

ここでS_rは調査努力量rのときの積算種数、S_{max}は調査努力量を無限大にしたときの積算種数、bは調査開始時の種数増加速度である。回帰式の適合性を判断する基準として、S_{max}推定値の95%信頼区間がS_{max}推定値の5%以内におさまることとした。その結果、362のメッシュが選択された。図4に、これらのメッシュの種数推定値（S）と実際の記録種数の関係を示したが、記録種数は推定種数にかなり近いことがわかる。以後の解析では、選択されたメッシュでは、完全な種リストが得られていると仮定して解析を進める。選択されたメッシュの総面積はほぼ主要四島の10%にあたり、その中の植生景観タイプの比率は主要四島のそれと大きな違いはない（表2）。

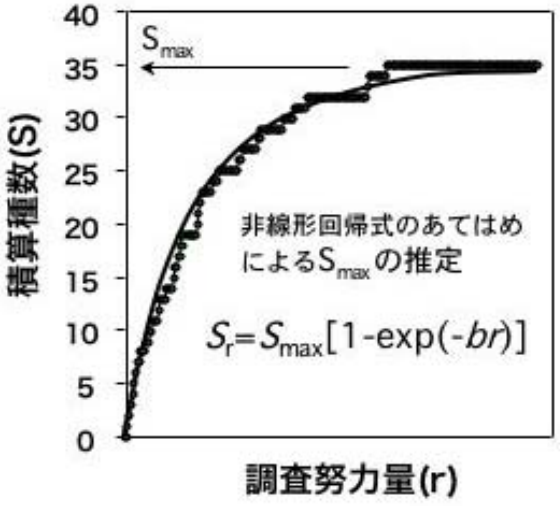


図3.　メッシュ内の調査努力量（ここでは記録件数）と積算種数の一般的関係

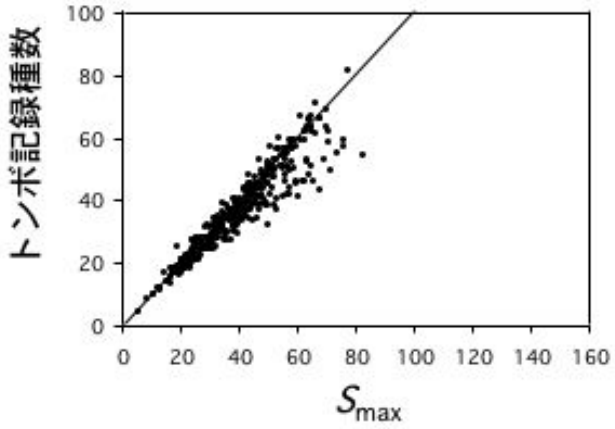


図4.　S_{max}推定値の95%信頼区間がS_{max}推定値の5%以内におさまったメッシュについての種数推定値（S_{max}）と実際の記録種数との関係。

イ．解析に用いるトンボ種の選定

主要四島では、これまでに129種のトンボが記録されている。しかし、記録されたメッシュがきわめて少ない（およそ10メッシュ以下）種は統計的な解析ができなかった。また、季節的または偶発的に飛来するが世代の継続性がない種も記録されている。そのような種を除外し、105種についての解析を行った。

ウ．気温範囲の決定

種の地理的分布に温度条件による限界が存在することは多くの研究者の指摘する所である。本研究のおもな目的は、植生景観とトンボの生息状況との関連性を検出することであるから、温度限界の範囲内の地域だけ解析の対象とすることが望ましい。そこで、種ごとにその種の生息記録のあるメッシュのうちから、最高と最低の年平均気温を探し出し、その範囲内に年平均気温があるメッシュだけを抽出した。ただし、その種が主要四島以南の島嶼にも分布している場合には、主要四島の最も平均気温の高いメッシュの値（17.1℃）を高温側の限界温度とした。付表1に種ごとの生息可能な気温の範囲を整理した。もちろん、種が分布可能な温度範囲内であっても、生息確率に気温が影響することは考えられる。

エ．種の希少性の評価

ほぼ完全な種リストが得られていると見なして選択した362メッシュの種構成リストと、種ごとの生息可能な気温範囲を用いて、種の希少性の評価が可能となる。付表1にはそれぞれの種が記録されているメッシュの最低、最高気温を示したが、選択されたメッシュのうち、その温度範囲内にあるメッシュ数(*N*t)とそのうち生息記録のあるメッシュ数(*N*p)も示している。両者の比はその種がどの程度分布範囲が広いかを示す指標になると考えられる。すなわち、*N*p/*N*tの値が1に近い種は、温度条件さえ満足すればどのような植生景観の場所にも生息できることをしさする。一方、*N*p/*N*tの値が0に近い場合は、かなり特殊な植生景観を好む種であるかもしれない。付表1に示した*N*p/*N*tの値は0.05から0.9まで変異があり、種の希少性の程度を分布普遍性の視点から数値化できたことになる。

オ．ロジスティク回帰モデルのあてはめと適合性評価

ロジスティック重回帰モデルを用いて、トンボの個々の種の生息への植生景観の影響を解析した(JMP v.5.01, SAS)。変数選択には変数増減法によるステップワイズ法を用い、変数選択の基準として*P*=0.25、モデル採用の基準として*P*=0.05の危険率を採用した。

ロジスティックモデルの適合性は、在/不在の観察データと予測データを2×2表にまとめて統計的な検討を行うことが多い[9,10]。モデルの予測は生息確率として与えられるので、どの値の確率を在/不在の境界値とするかを恣意的に決めることになる。しかし、採用した確率によって在/不在の識別精度が異なる点が問題となる。この解決は難しいが、Fielding and Bell (1997) [11] によって識別精度が最大となる確率を用いることが推奨されている。

在/不在の境界確率だけでなく、モデル自体の適合性を検討する必要があるが、ROC曲線（relative operating characteristic curve）を用いるのがひとつの方法である。ROC曲線は境界確率を0から1まで変化させたときの、感度（sensitivity）と特異性（specificity）をプロットすることによって得られる。ただし、特異性は1から引いた値をプロットする。特定の境界確率における感度とは、モデルによって「在」と予測されたメッシュのうち、正しく「在」が予測されたメッシュの割合である。また、特異性とはモデルによって「不在」と予測されたメッシュのうち、正しく「不在」が予測された割合である。従って、「1-特異性」は予測が誤った割合を示す。ROC曲線から下の部分の面積（AUC: Area under curve）はモデルの適合性の目安を与える。すなわちAUCが1の場合はモデルの予測が完璧であること、0.5の場合はランダムな予測と変わりがない（モデルの予測力がゼ

ロである）ことを意味している。Pearce and Ferrier (2000) [12] はAUCの値の解釈についてガイドラインをしめし、0.9以上では優れた予測、0.7ー0.9ではまあまあの予測、0.6以下は予測が信頼できないとする事を勧めている。ここでは、とりあえずAUCが0.7以上の場合を採用したが、全105種のうち91種が0.7以上、残りの14種が0.7以下という結果であった。

カ．植生景観とトンボの分布

得られたロジスティックモデルのパラメータの符号から、気温が、あるいはどの植生景観タイプがどの程度トンボの生息に関連しているかを読みとることができる。気温の効果は55種についてプラス、15種についてマイナス効果が検出された。この結果は、多くのトンボが進化的に熱帯由来であることを反映している。

広葉樹林は最もプラス効果の多い植生景観タイプであり、52種にプラス効果をもたらしている。付表1を見ると分かるように、カワトンボ科とサナエトンボ科に森林依存性の種が多いことを反映していると考えられる。マイナス効果を与える10種はいずれもオープンな環境を好む種である。

針葉樹林は28種にプラス効果、25種にマイナス効果が見られた。プラス効果のあった種のほとんどは、広葉樹林もプラス効果があり、森林であれば針葉樹、広葉樹を問わない種であると考えられる。ただし、少数の種において、広葉樹はプラス効果だが、針葉樹はマイナス効果が見られる場合があった。逆に、針葉樹はプラス効果、広葉樹はマイナス効果という組み合わせは見られず、針葉樹は広葉樹の代用にはならない場合が多いことを示唆している。

草地および湿地はそれぞれ9種、12種でプラス効果が見られたが、大部分の種では有意な効果見られなかった。草地がプラス効果を示した種はオープンな場所を好むにもかかわらず、同時に森林を好む傾向があるが（9種中7種）、湿地がプラス効果を示した種には森林も好む傾向はほとんど無かった（12種中1種）。

表 3.気温や植生景観タイプがトンボの生息にプラスとマイナスの効果を持った例数。数字は種数。有意水準はP=0.05

	植生景観タイプ								
効果	気温	広葉樹	針葉樹	草地	湿地	ササ/タケ	水田	他農地	市街地
プラス効果	55	52	28	9	12	2	27	1	18
非有意	35	43	67	92	90	88	70	85	86
マイナス効果	15	10	25	4	3	15	8	19	1
合計	105	105	105	105	105	105	105	105	105

水田がプラス効果を示した種は27種あり、広葉樹林が同時にプラス効果を示した種は7種だけで、森林がマイナス効果を示した種が5種あった。

ササ/タケや水田以外の農地にはマイナス効果を示す種が多く、それぞれ15種、19種が避ける傾向にあった。逆に、ササ/タケや農地を好む種はほとんどなかった。

市街地がプラス効果をもつ種は18種もあり、マイナス効果を示した種はほとんどなかった。これらの種の多くは低地の池を好む種であるが、同時に広葉樹林がプラス効果をもつ種が12もあり、

都市公園内の森林や植栽も重要であることを示唆する結果である。

キ．生息予測地図の作成

得られたロジスティックモデルを主要四島全体に適用して生息予測地図を作成することが可能である。図5a-cでは希少性の異なる種の代表としてミヤマカワトンボ*Calopteryx corneria*, アオモンイトトンボ*Ischnura seneralesis*、およびシオカラトンボ*Orthetrum albistylum speciosum*の例を示した。それぞれの*Np/Nt*の値は0.366、0.613、0.902である。モデルによって生息確率が50%以上と推定されたメッシュを黒い四角で示した。生息予測地図の右隣りに生息記録が存在するメッシュをやはり黒い四角で示した。最も普通種であるシオカラトンボでも、生息が予測されるにもかかわらず生息記録のないメッシュが数多くあることが分かる。

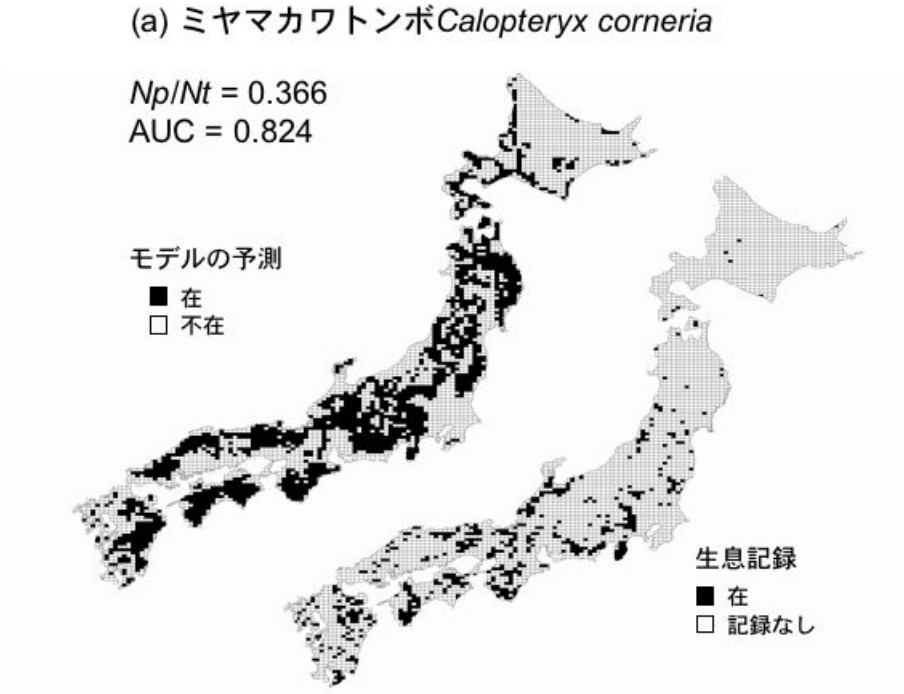
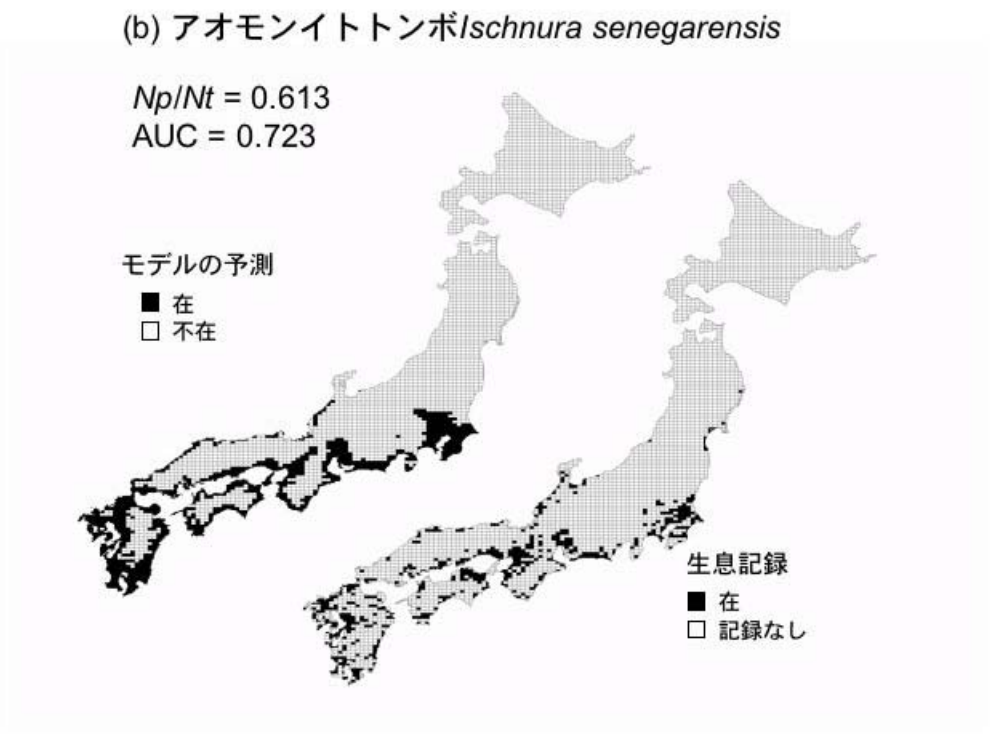


図5.　3種のトンボについてロジスティックモデルを使って推定された分布予測地図。



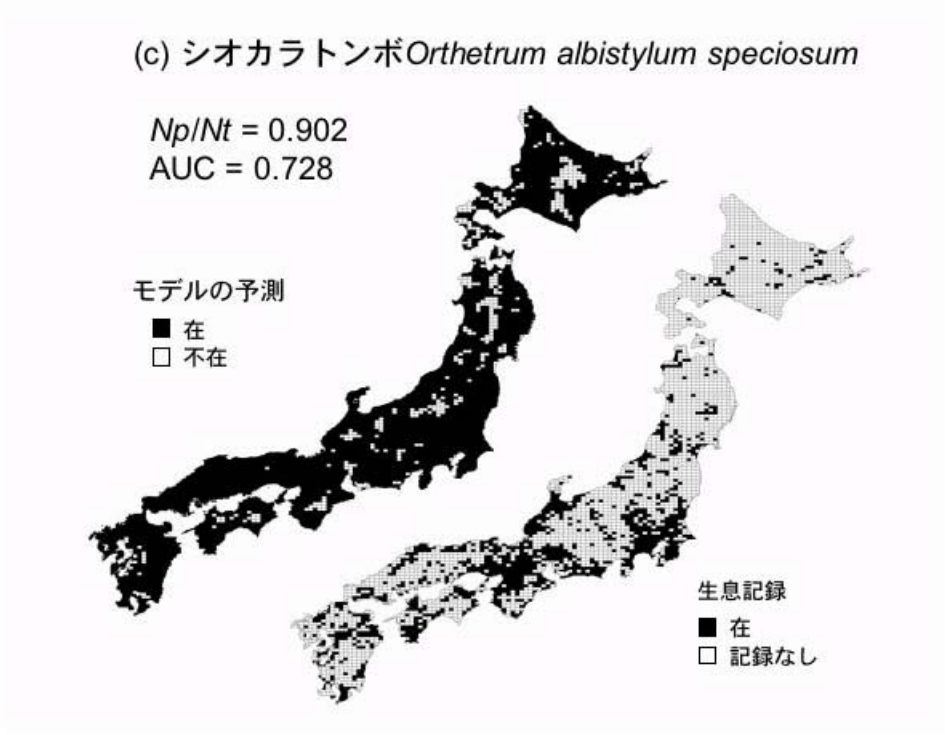


図5（続き）． 3種のトンボについてロジスティックモデルを使って推定された分布予測地図。この地図では生息確率50%以上のメッシュを黒い四角で示した。右側には自然環境基礎調査による生息記録があるメッシュを示した。

(2)保護地の選び方の研究方法

全種表現組み合わせに基づき、注目している区画の種が他の区画でどれくらい表現できるか表したものものに、置換不能度がある。表4のデータを例としてFerrier[4]らの定義に従い求めてみる（表4参照）。サイズ3の全種表現組み合わせは、(3, 4, 6), (1, 5, 6), (4, 5, 6)である。区画6のように、その区画がなければ全種表現組み合わせが成立しない区画の置換不能度を1、その区画がなくても全種表現組み合わせとなる（全種表現組み合わせの要素ではない）区画の置換不能度を0、それ以外の区画は0以上1未満の値をとり、1に近いほど保全のために必要な区画である事を示す。一般に、希少種を含む、または多数の種を含む区画は値が高くなる。この指数が全種表現組み合わせから計算される事に起因するのであるが、計算時間が問題となりやすい。たとえば100個の区画から10個の区画を選び出す総数 Tは約17兆あり、この組み合わせから全種表現組み合わせを見つけるのでは膨大な時間がかかる。

表4。置換不能度の値

区画	置換不能度
1	1/3
2	0
3	1/3
4	2/3
5	2/3
6	1

我々は、新しい3つの区画選択アルゴリズムを発表した[5]。その一つは、希少種アルゴリズムと呼んでいるものである。一つの区画にしか含まれない種を、第一希少種、二つの区画にしか選ばれないものを第二希少種と呼ぼう。以下は希少種アルゴリズムの考え方である。

①第一希少種を含む区画をみつけ、その区画が含む種をデータから除く。

②残ったデータには、第二希少種が二つの区画に含まれているはずである。二つに分岐して、それぞれにおいて、第二希少種を含む区画が全種表現組み合わせのメンバーとなる。それぞれにおいてその区画が含む種を更にデータより除く。

③残ったデータには第三希少種が含まれているはずである。ここで三つに分岐し、それぞれで、一つの第三希少種を含む区画が含む種を除く。

④これを続けて行くと最少の全種表現組み合わせが求まる。

このアルゴリズムでは、正確に最小サイズの全種表現組み合わせが求まるが、同時にこの事は最大数の分岐を意味する。従って、区画数が増えると分岐が多すぎて時間がかかり過ぎる。

そこで、分岐する時に希少種に注目するのではなく、残りの種をいちばん多く含む区画（相補性が一番高い区画）を全種表現組み合わせのメンバーとするアルゴリズム（種数アルゴリズム）を考えた。しかし計算時間は早いが、全ての全種表現組み合わせが求まるとは限らない。更に、分岐する時に0から1までの一様乱数を発生させ、あらかじめ決めた値(p)より小さければ希少種アルゴリズムを、大きければ種数アルゴリズムを採用することにする。これを融合アルゴリズムと呼ぼう。このアルゴリズムは乱数を使うので再現性がないので（複数回計算を行っても、同じ結果が得られるとは限らない）、これを数回繰り返す事により、安定した解が得られる。

表5　種々のアルゴリズムの計算時間と結果の比較:データは、区画数30、種数70、最少の全種表現サイズ(n)は9。使用した計算機はPowerMacG4 (466Mhz)、使用した言語はMathematica ver.4.1である。"primitive"とは全ての組み合わせを基に計算するアルゴリズムをさす。融合アルゴリズムでは、p=0.5とおき、これを2回行った。＊5回計算し、その範囲を示す。

	計算時間 (CPU time, 秒)	全種表現組み合わせの数
primitive	13078	4
希少種	1215	4
種数	0.44	2
融合(p=0.5, 2回)	11-93＊	4

表5にこれらの計算アルゴリズムの計算時間を比較した。区画総数30、種数70、最少のnが9の人為的なデータを作り比較した。使用した計算機はMacG4(466Mhz)、プログラムはMathematica Ver.4.1を使用した。計算時間は、使用した計算機、プログラム言語、データに依存するので、計算時間の絶対値が重要でなく、相対値が重要である。primitiveとは、30個から9個選ぶ全ての組み合わせ（総数は1430715通り）を求め、それから全種表現組み合わせを求めたものである。希少種アルゴリズムはprimitiveよりも1桁計算時間が短くなり、その有効性が確かめられた。種数アルゴリズムは1秒もかからない驚異的に短い計算時間であるが、全ての全種表現組み合わせは求まらない。融合アルゴリズムは、希少種と種数を半分ずつ使いながら2回繰り返す計算を行った。これを5回繰り返した場合の結果の範囲を示してある。図6には置換不能度の値を示した。横軸はprimitiveより計算した正しい値、縦軸は他の三つのアルゴリズムで計算した値である。図中の括弧の中の数字は、重なった点の数を示す。希少種、融合アルゴリズムは正しい値を計算できたが（図6-1）、種数アルゴリズムは全種表現組み合わせの数が少なかったので正しい値を求められない場合がある事を示している（図6-2）。従って、データサイズが中程度の場合は、確実に正しい値が得られる、希少種アルゴリズムが優れている事が分かる。

次に、準最適解を素早く求める方法について述べる。"単純貪欲アルゴリズム"と呼ぶ以下の手順に従って全種表現組み合わせを求める。

①最も種数の多い区画を1つ選ぶ。
②これと組み合わせた時に、新たに選ばれる種数が最も多くなる区画（最も相補性の高い区画）を組み合わせる。
③上の二つの組み合わせと最も相補性の高い区画を組み込む。
④以下全ての種が1回以上出現するまで繰り返す。

次にこの方法を拡張する。

①全ての種が、最低1か所に含まれるような組み合わせを求める。
②更に、区域を足しこみ、2か所以上分布する種は全て最低2か所に含まれるような組み合わせを求める。
③更に3か所に含まれるような組み合わせを求める。
④以下同様に続ける。

上に述べたアルゴリズムを更に改良し、多数の準最適解を求める。単純貪欲アルゴリズムの最初において、最も種数の多い区画を選ぶのではなく、種数の多い区画を上位から幾つか選び、その中からランダムに一つ選び、スタート区画とする。また、単純貪欲アルゴリズムの第二ステップでは、相補性の一番高い区画を選び出すのであるが、これも上位区画の中からランダムに一つ選ぶ事とする。このようなアルゴリズムをゆらぎのある単純貪欲アルゴリズムと呼ぼう。こうする事によって、計算の度に違った組み合わせを求める事ができ、幾つの上位からランダムに選ぶかで最終的な組み合わせがどれくらい多様となるかが決まる。

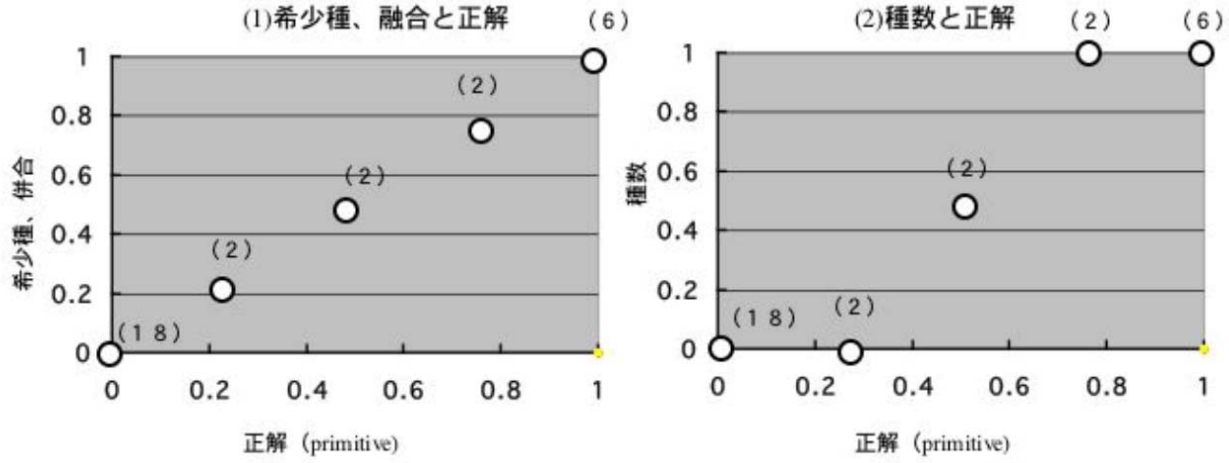


図6置換不能度の値の比較:横軸は正しい置換不能度の値（primitiveで求めた）、縦軸は(1)希少種、融合アルゴリズム、(2)種数アルゴリズム。（）の中の数値は、重複する区画の数である。データは表2と同じである。

４．考察と成果

(1)生息適地予測の考察と成果

比較的単純なロジスティックモデルによって、主要四島産のトンボの大部分についての生息条件を分析し、予測生息地の地図を作成することができた。これは、種リストがほぼ完全なメッシュを選択する手法を開発したことによるところが大きい。解析に用いたトンボの生息記録は環境省自然環境基礎調査のデータベースである。調査努力量（ここでは記録件数）と種数積算値の間に見られる飽和関数型の関係に注目した。そして、飽和値（種数推定値）の95%信頼区間が充分に小さい時、推定値と記録種数がほぼ一致することがわかった。サンプルサイズとのトレードオフを考慮して、ここでは信頼区間が推定値の5%以内にはいる場合を種リストがほぼ完全であると見なしてメッシュを選択した。種リストが完全なメッシュをある程度の数そろえることができれば、「在」だけのデータセットは「在/不在」のデータを含むデータセットと等価になる。

ロジスティックモデルを用いて、91種のトンボの生息状況を植生景観と関連づけることができたが、希少な14種については適切な分析ができなかった。これを打開するためのひとつの方法は、種リストが完全なメッシュの数を増やすことであろうが、希少な種は分布範囲が狭いことが多いので、単純にメッシュを増やすことは必ずしも効率の良い方法ではない。おそらく、検討する範

囲とグリッドサイズをもっと小さく（たとえば1km平方）するのが有効であろう。Cowley et al. (1999)[13]はブリテン島のチョウの生息場所の減少は10km平方メッシュよりも、1km平方メッシュを用いる方が顕著に表現できることを示している。

ここでは植生景観とトンボ類との関連性を検討したが、トンボ種間の相互作用は考慮していない。これは種間の競争的関係は10km平方程度の粗いメッシュサイズでは検出できないだろうと考えてのことである。しかし、気候と植生景観だけを変数としたモデルでは近縁種間の境界が明瞭に説明できない場合がいくつかあった。モデルと生息記録との食い違いは、逆に種間相互作用が地理分布に与える影響を推測する材料を提供すると思われる。

今回の報告では、河川情報がモデルに含まれていない。これは、河川源流部や細い水路の地図が未整備であることによる。ここでは、二次メッシュ（約10km平方）の中には流水も止水も必ず含まれるだろうと考えた。この仮定はほとんど間違いないと思われるが、河川情報を利用することができれば、とくにカワトンボ科とサナエトンボ科の分布予測精度が高くなるはずである。

生物多様性保全の計画と管理にとっては、単一種ではなく、多くの種を含む分類群を対象にするのが望ましい。Bailey et al. (2002) [14]は複数の分類群を対象に植生景観との相関モデルの構築を試みている。その結果、特定の鳥や哺乳類では森林の孤立・分断化の影響が検出できたが、チョウ群集に関しては同様の結果は得られていない。これは異なった種は特定の植生景観に対して異なった反応をするからであり、表3に示したように、トンボについても同じことがいえる。このことは、種の多様性が高い場所は必ずしも希少種や絶滅危惧種が生息している場所ではないことを示唆している。ここで示した分布予測モデルを用いるアプローチをさらに洗練させ、次の節で示す置換不能度を用いるアプローチと組み合わせることで、より戦略的な保全計画と管理が可能になると考えられる。

（２）保護地の選び方に関する考察と成果

関東の10kmメッシュの実際のチョウのデータ（区画数322個、全種数101）を使い計算してみた。データサイズが大きくなると希少種アルゴリズムでは10日間連続して計算しても、一つも全種表現組み合わせを求める事ができなかった。融合アルゴリズムでは、*p*の値や繰り返しの回数を変えて計算を行った。種数アルゴリズムでは最少サイズの全種表現組み合わせは14となり、融合アルゴリズムよりも大きくなった。その結果、全種表現の数も大きくなった。これらの計算により、最少の全種表現組み合わせは13で、全種表現組み合わせの総数は32である事が予想される。融合アルゴリズムで求めた全種表現組み合わせより、関東地方の置換不能度を計算した（図7）。同時に国立公園、国定公園の地域も示した。データ数のほぼ等しい関東のトンボのデータを使い、同じく置換不能度を計算した（図8）。この図で示されるように、国立公園、国定公園の決定にはトンボやチョウの生息域にぜひ必要な地域とは無関係に決められていることが分かる。

単純貪欲アルゴリズムは、希少種アルゴリズムと似ているが、最初の区画の選び方が異なる。ここでは多くの準最適解をいかに早く求めるかが目的であるので、最初に最も多くの種数をもつ

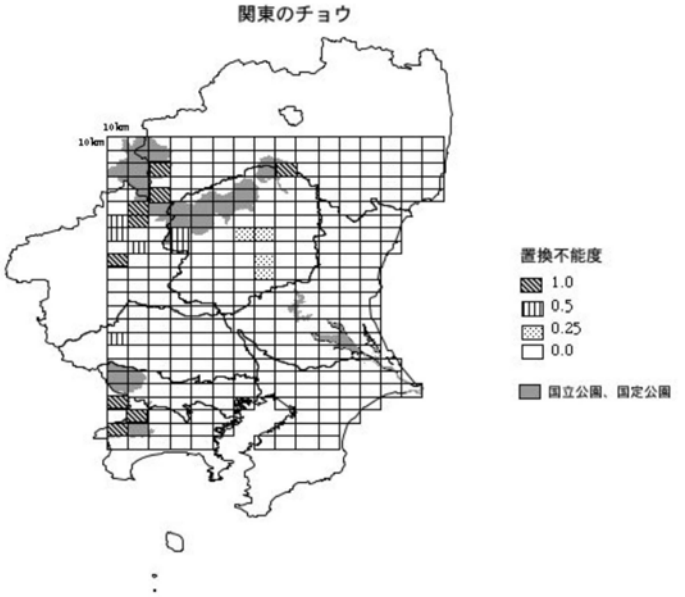


図7関東のチョウのデータによる置換不能度の値と国立公園、国定公園

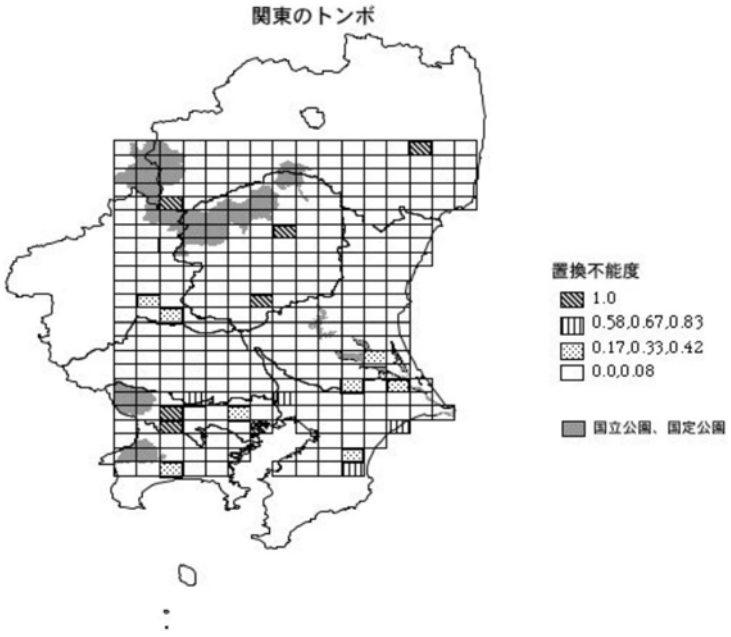


図8関東のトンボのデータによる置換不能度の値と国立公園、国定公園

表6　厳密解と単純貪欲アルゴリズムとの比較：単純貪欲アルゴリズムの方が早く計算でき、ほぼ正確な解を求める事がわかる。

区画数	厳密解の区画数	単純貪欲アルゴリズムの最大誤差区画数	厳密解の計算時間（秒）	単純貪欲アルゴリズムの計算時間（秒）
30	8-14	1	<1	<1
40	7-13	1	<1	<1
50	8-14	1	<1ー24	<1
60	9-12	1	<1ー537	<1
300	?		∞	<1

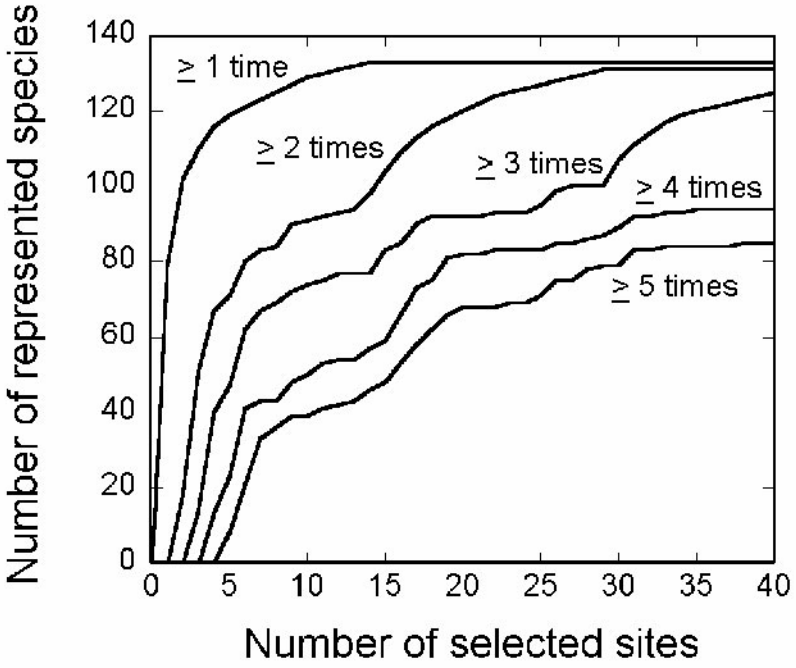


図9。単純貪欲アルゴリズムによる区画の追加による出現種数の増加。全国3961区画、トンボ133種。計算時間は10秒程度。

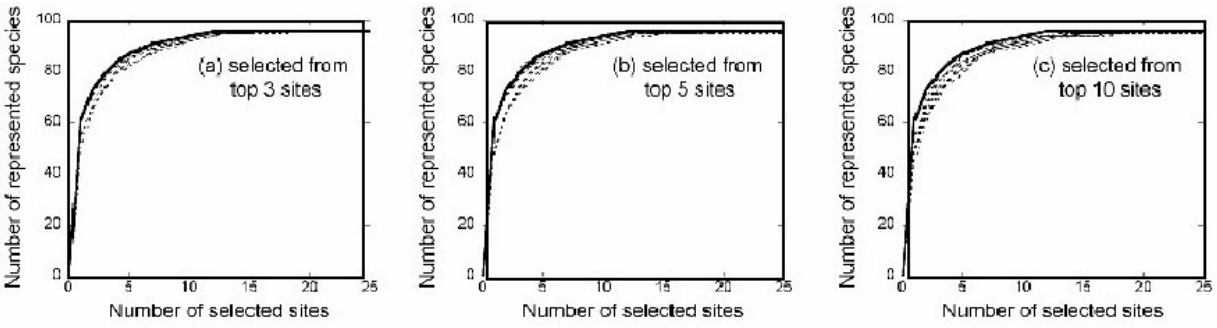


図10. 関東地区の363区画から全種は1回は出現するように選択区画数を増やして行った時の、出現種数と区画数の関係。太線は貪欲アルゴリズムの計算結果、実線はゆらぎのある貪欲アルゴリズムで10回計算した結果。

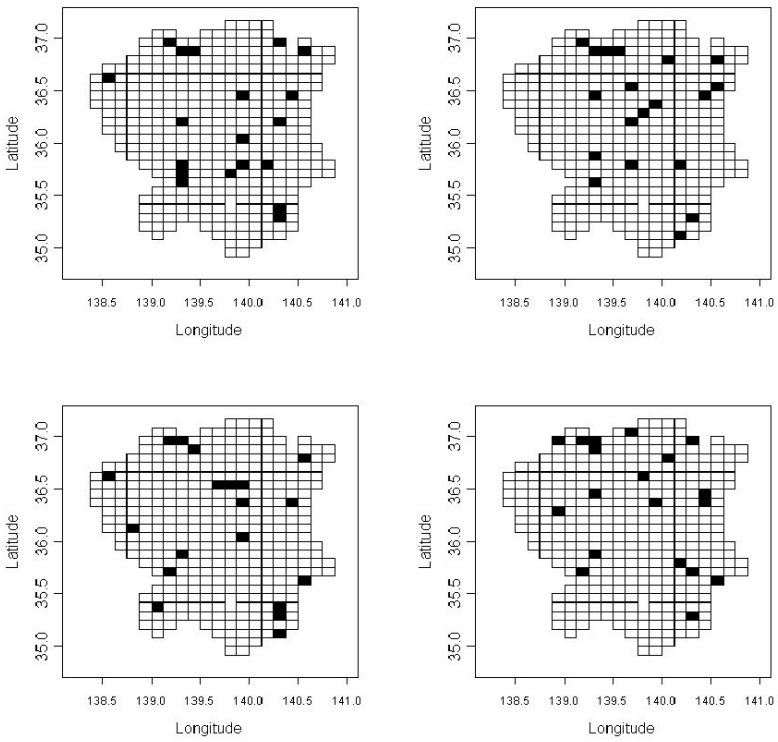


図11. 貪欲アルゴリズム（3区画から選択）で作成した選択区画のセットの例。いろいろな組み合わせの例が答えとなっている事が分かる。

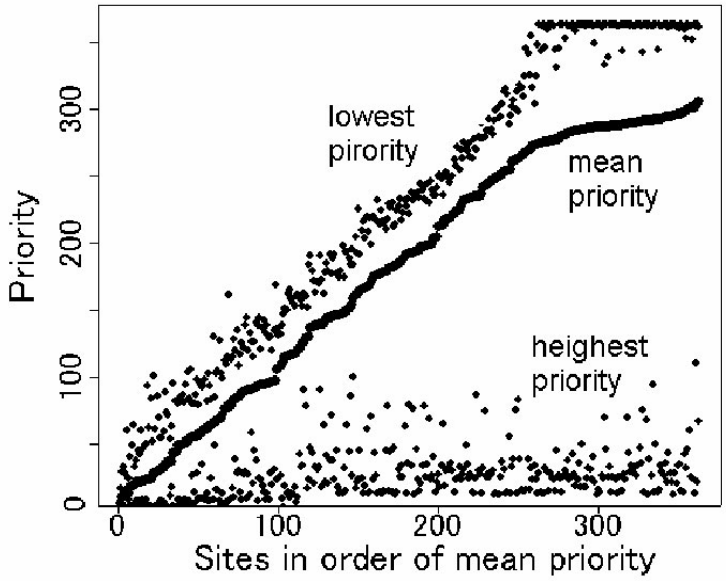


図12. 関東地方363区画を、ゆらぎのある貪欲アルゴリズム(上位3区画から選択)で選んで行った時の各区画の選択順位。全区画を平均出現順位順に並べてある。

区画を選んだ。これに対して希少種アルゴリズムは最適解（最小の区画数で全種表現組み合わせを求める）を求める事が目的であるために、最希少種（全区画の中で、1区画にしか存在しない種）を含む区画を最初の区画とした。

最低1か所の単純貪欲アルゴリズムを用いて、関東地区のトンボのデータを使い計算を行った。363区画、トンボの種数97種の在不在データから、抜き取る区画数を一定にして、ランダムに10回その数を抜き取り、それぞれの場合を計算した。結果は表6に示す。厳密解は全ての組み合わせをしらみつぶしに調べることにより得られた解であり、厳密解の区画数に幅があるのは、計算の度に異なる区画の組み合わせが選ばれたからである。単純貪欲法の計算時間は、区画数によらず1秒以下であった。区画数が増えるに従い正答率も低くなるが、違っても1区画が異なるだけであることが分かる。全区画を使い計算しても、貪欲法の計算時間は1秒以下であったが、厳密解は計算を終了する事ができなかったので、正答率は計算できなかった。単純貪欲アルゴリズムは、計算時間の短さはもとより、極めて正確な組み合わせを実現する事がわかる。

複数回出現の場合を、全国のトンボのデータ、3961区画、133種の在不在データを使い計算を行った（図9）。2回以上は当然1回以上の種数が飽和したあとで、飽和する。1回以上出現の飽和直線と、2回以上の飽和直線の差が、1か所しか出現しない種数である。この計算も10秒程度で終了する。

ゆらぎのある貪欲アルゴリズムを使い、関東地区のトンボのデータを使い計算を行った（図10）。上位3、5、10位よりランダムに選んだが、区画を1個組み合わせに足し込む事による種数の増加率は、ゆらぎのない単純貪欲アルゴリズムと比較しても、それほど変らない事が分かる。また、上位3位より選んだ場合の最終的な組み合わせは、いろいろな区画の組み合わせである事が分かる（図11）。実際、各区画が選ばれる平均順番に従い並べ、その区画の最低順位と最高順位をプロットしてみると、各区画の順番の幅は大きい事がわかる（図12）。これらのことは多様な組み合わせが生成される事を意味する。もしこの中に付加条件（例えば空間に関する制約条件）を満足する組み合わせが存在しなければ、上位3位から選んでいたのを、5位へと増やすなどによって、更に多様な組み合わせを求める事ができる。

保全のための場所選択には、(1)種数の多い場所を選び稀な種は無視する、(2)全ての種を一つ残さず保全する、という大きな二つの考え方があろう。どちらの立場が優れているのかという問いに対しては、いかなる指数も答える事はできないであろう。ここで取り扱った置換不能度は(2)の立場で保全するものである。置換不能度は大変分かりやすい指数であり、我々が提案した方法は、大変直感的でありデータサイズが大きくなっても求めることができる。我々のアルゴリズムはこの置換不能度の普及に大きく貢献するものと期待される。

５．本研究に得られた成果

(1)生息適地予測の成果

同じ場所での観察データの記録年を加味して解析する事で、場所毎に調査努力に濃淡があることが定量的に判明した。調査努力の高い場所のみのデータを使い、低いところは使わないことで、より以下の鮮明な解析結果を得た。植生被覆とトンボの分布の有意な関係が検出できる場合がかなり多くなり、予想よりも、はるかに多くの種が森林、それもスギヒノキなどの針葉樹植林ではなく広葉樹林に依存していることが明らかになった。また、水田や湿地に依存する種も少なくな

いが、森林の場合は必要とする面積が大きく、湿地の場合は小面積でも生息地が確保されることも示唆された。

(2)保護区の選び方に関する成果

我々は、まずもっとも正確に保護区を選ぶことを目的とした。即ち、地域の全ての生物種を保全するために最小の小区画数の組み合わせを高速に求める事である。次に、正確さを少し犠牲にして、高速に準最適な組み合わせを求める事を試みた。この高速性を生かし、複数の準最適組み合わせを求める事が可能となる。ところで、例えば保全コスト節減のために、保護区はなるべく近接していた方が良いと言われている。このような複数の条件を同時に満足する厳密な最適解を見つけるのではなく、高速に複数の準最適解を見つけ、その中より他の条件を満たす最適解を見つける実用的なアルゴリズムも提案した。

６．引用文献

(1) M.J.Samways: Insect diversity conservation. Cambridge University Press, (2004)

(2)Wildermuth; Advances in Odonatology, 6, 223-257 (1994)
"Habitatselektion bei Libellen. "

(3)R.L Pressey, I.R. Johnson and P.D. Wilson: Biodiv. Conserv., 3, 242–262 (1994)
"Shades of irreplaceability: towards a measure of the contribution of sites to a reservation goal."

(4)S. Ferrier, R.L. Pressey and T.W. Barrett: Biological Conservation, 93, 303–325 (2000)
"A new predictor of the irreplaceability of areas for achieving a conservation goal, its application to real-world planning, and a research agenda for further refinement."

(5) N. Tsuji and Y. Tsubaki : Biological Conservation, 119,487-494 (2004)
"Three new algorithms to calculate the irreplaceability index for presence/absence data."

(6)環境省自然環境局生物多様性センター:生物多様性調査動物分布報告書(昆虫(トンボ)類)(2004)

(7)木元新作：武田博清:群集生態学入門、共立出版（1989）

(8)小林四郎：生物群集の多変量解析、蒼樹書房(1995)

(9) T. C.Edwards, E.T.Deshler, D.Foster and G.G.Moisen: Conservation Biology, 10, 263-270 (1996)
"Adequacy of wildlife habitat relation models for estimating spatial distribution of terrestrial vertebarates."

(10) R. B.Boone and W. B.Krohn: Ecological Applications, 9, 835-848 (1999)
"Modeling the occurrence of bird species: are the errors predictable?"

(11) A. H.Fielding and J. F.Bell: Environmental Conservation, 24, 38-49 (1997)
"A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models."

(12) J.L. Pearce and S.Ferrier:Ecological Modeling, 133, 225-245, (2000)
"Assenssing the predictive performance of wildlife-habitat models developed using logistic regression."

(13) M. J. R.Cowley, C. D. Thomas, J. A. Thomas and M. S.Warren: Proceedings of the Royal Society of London, B, 266, 1587-92 (1999)
"Flight areas of British butterflies: assessing species status and decline."

(14) S. A.Bailey, R. H.Haines-Young and C.Watkins: Biological Conservation, 108, 307-316. (2002)
"Species presence in fragmented landscapes: modeling the species requirements at the national level."

７．国際共同研究等の状況

なし

８．研究成果の発表状況

（１）誌上発表

<論文（査読あり）>

①N. Tsuji and Y. Tsubaki : Biological Conservation, 119,487-494 (2004)
"Three new algorithms to calculate the irreplaceability index for presence/absence data."

②Y. Tsubaki and R. Hooper : Ecological Entomology, 29,361-366 (2004)
"Effects of eugregarine parasites on adult longevity in the polymorphic damselfly *Mnais costalis* Selys."

③Y. Tsubaki.: *In* T. Okuda and Y. Matsumoto (eds) Kyoto Mechanism and the Conservation of Tropical Forest Ecosystem. pp. 191. (2004)
"Regional and local prediction of wildlife habitat in real landscape."

④S.J. Plaistow, K. Tsuchida and Y. Tsubaki : Ecological Entomology, 30, 692-699. (2005)
"The effect of a seasonal time constraint on development rate, body size, condition, and morph determination in the horned beetle *Allomyrina dichotoma* L. (Coleoptera: Scarabaeidae)."

⑤R.E. Hooper, S.J. Plaistow and Y. Tsubaki: Odonatologica, 35, 15-22 (2006)
"Signal function of wing colour in a polymorphic damselfly, *Mnais costalis*."

⑥Y. Tsubaki, C. Kato and S. Shintani : Journal of Insect Physiology, 52, 499-505 (2006)
"On the respiratory mechanism during underwater oviposition in a damselfly *Calopteryx corneria* (Selys)."

⑦Y. Tsubaki and N. Tsuji : *In* Cordero A.G. (ed.) Forests and dragonflies. Pensoft, Bulgaria. (2006)
"Dragonfly distributional predictive models in Japan: relevance of land cover and climatic variables." (in press)

<口頭発表>

①椿宜高、辻宣行: 第21回個体群生態学会(2003)
「日本産トンボ全種の地理分布に関する検討：温量指数は種多様性をどれだけ説明するか」

②辻　宣行、椿　宜高: 2003年度日本生態学会関東地区会例会講演(2004)
「種数による保全の優先度」

③Y. Tsubaki : International Synposium, Kyoto Mechamism and Ecosystem Conservation. (2004)
"Regional and local predictions of wildlife habitat in real landscapes."

④N.Tsuji and Y. Takata : Future of Marine Animal Population Japan Meeting (2004)
"New algorithms for the irreplaceability index: application to coral reefs"

⑤N.Tsuji and Y. Tsubaki: The First Okazaki Biology Conference (2004)

“Regional and local predictions of animal habitats in a actual landscapes”

⑥山肩重夫, 椿宜高:第52回日本生態学会大会, 2005.
「ヒガシカワトンボの産卵場所選択」

⑦Y.Tsubaki: 4th WDA Int.Symp.Odonatolog., Pontevedra, Spain, 2005.
“Mapping potential habitats using environmental surrogate measures: Importance of forests for dragonflies in Japan”

⑧T.Kadoya, S.Suda, I.Washitani, Y Tsubaki.: 4th WDA Int.Symp.Odonatolog., Pontevedra, Spain, 2005
“Spatial hetefogeneity of the dragonfly assemblages in the landscape scale: assessments using newly created small ponds as traps in the catchment area of lake Kasumigaura”

⑨M.Nakahara, Y Tsubaki.: Int.Symp.Sperm Competition Reproductive Strategies, Otaru, 2005
“Female's sperm utilization pattern from multiple sperm storage organs in a damselfly Ischnura senegalensis”

⑩Y.Tsubaki: Int.Symp.Sperm Competition Reproductive Strategies, Otaru, 2005
“Sperm competition and multiple mating avoidances in a damselfly Mnais costalis”

⑪岩澤昭子，夏原由博，辻宣行：第15回景観生態学会(2005)
「グリッドデータによる地域の種多様性保全計画手法の検討」

⑫辻宣行、椿宜高：第53回日本生態学会(2006)
「相補性に基づき、保全する場所をどのように決めるか」

⑬高田宜武、辻宣行、渋野拓郎、藤岡義三、大葉英雄、木村匡、下池和幸、阿部寧、橋本和正：第53回日本生態学会(2006)
「置換不能度をもちいたサンゴ礁保全候補地の生物群（サンゴ・海藻・魚）による相違」

（４）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

①大スケールでみた野生生物の生息地選好性（2006年3月28日、新潟市朱鷺メッセ、日本生態学会、観客100名）

②生物多様性を測る（2004年2月1日、東京大学駒場キャンパス学術国際ホール、日本生態学会関東地区会公開シンポジウム、120名）

９．成果の政策的な寄与・貢献について

我々はトンボを例として、そこに生息するトンボの種と温度、植生の関係を求める事に成功した。一般に広く親しまれているトンボが、水環境や植生の健全さの程度を示す環境指標生物となりうる事により，トンボを通した環境啓蒙、教育に貢献可能である。これまで、その場所が保全のためにどの程度重要なのかを示す示数は日本には存在していない。置換不能度は保全の全能の指数ではないものの、日本では初の指数として価値はある。生物の生息適地の推定手法、保全の優先度を求めるための指数を今後の野生生物保全に役立てるべく、手法を論文、マスコミ報道、ホームページ等で紹介し、普及に努める。また、手法の精緻化のために必要な自然環境基礎調査のあり方について提言する。

付表1. トンボの生息記録から推定した生息可能な気温の範囲、解析のために選択したメッシュのうちその気温範囲に含まれるメッシュ総数(*Nt*)と生息記録のあるメッシュ数（*Np*)。ロジスティックモデルによって検出されたトンボの生息状況に対する気温と植生景観タイプの影響（$P < 0.05$)。●はプラスの影響、▲はマイナスの影響を示す。

			Temperature range		No. grids			Effect of temperature	Effects of landcover type							
No	family	speices	Min	Max*	Nt	Np	Np/Nt		BLF	CF	GL	WL	BS	PF	AF	UR
1	Calopterygidae	*Calopteryx japonica*	5.6	15.8	340	36	0.106		●							
2	Calopterygidae	*Calopteryx atrata*	7.7	17.0	347	225	0.648	●	●							
3	Calopterygidae	*Calopteryx cornelia*	4.6	16.9	356	138	0.388	●	●	●						
4	Calopterygidae	*Mnais pruinosa*	5.3	17.1	352	157	0.446	●	●	●					▲	
5	Calopterygidae	*Mnais costalis*	2.6	16.2	358	144	0.402	●	●	●						●
6	Megapodagrionidae	*Rhipidolestes* spp.	9.0	17.1	330	22	0.067	▲	●	●						
7	Lestidae	*Lestes sponsa*	0.3	17.1	358	157	0.439	▲					▲	●	▲	●
8	Lestidae	*Lestes japonicus*	8.4	15.6	325	34	0.105							●		
9	Lestidae	*Lestes temporalis*	6.5	17.1	358	216	0.603	●	●	▲		▲			▲	●
10	Lestidae	*Indolestes peregrinus*	5.5	17.1	351	206	0.587	●	●							
11	Lestidae	*Sympecma paedisca*	1.6	16.1	356	116	0.326			▲						
12	Platycnemididae	*Platycnemis foliacea sasakii*	9.4	15.7	314	31	0.099		●		●					
13	Platycnemididae	*Copera annulata*	4.1	17.1	287	160	0.557		●	▲						
14	Coenagrionidae	*Agriocnemis femina oryzae*	14.7	17.1	92	9	0.098	●	●							
15	Coenagrionidae	*Mortonagrion selenion*	7.5	16.1	334	72	0.216				●					
16	Coenagrionidae	*Mortonagrion hirosei*	11.5	16.2	275	14	0.051		▲							
17	Coenagrionidae	*Ceriagrion melanurum*	5.8	17.1	359	190	0.529	●						●		
18	Coenagrionidae	*Ceriagrion nipponicum*	9.8	17.1	276	44	0.159	●	▲					●		
19	Coenagrionidae	*Aciagrion migratum*	8.0	17.1	318	84	0.264	●	●	●	●					
20	Coenagrionidae	*Ischnura senegalensis*	4.7	17.1	335	173	0.516	●	▲					●		
21	Coenagrionidae	*Ischnura asiatica*	3.2	17.1	360	257	0.714		▲	▲				●		●
22	Coenagrionidae	*Enallagma boreale circulatum*	0.3	13.3	155	25	0.161	▲								
23	Coenagrionidae	*Cercion calamorum calamorum*	2.6	17.1	361	295	0.817			▲				●		
24	Coenagrionidae	*Cercion sieboldii*	4.1	16.5	358	140	0.319	●					▲	●		●
25	Coenagrionidae	*Cercion sexlineatum*	10.9	17.1	307	62	0.202	●				●				