

国立環境研究所特別研究報告

Report of Special Research from the National Institute for Environmental Studies, Japan

SR - 72 - 2006

生物多様性の減少機構の解明と
保全プロジェクト
(終了報告)

Biodiversity Conservation Research Project

平成 13 ~ 17 年度

FY2001 ~ 2005

NIES



独立行政法人 国立環境研究所

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

<http://www.nies.go.jp/>

生物多様性の減少機構の解明と
保全プロジェクト
(終了報告)

Biodiversity Conservation Research Project

平成 13 ~ 17 年度

FY2001 ~ 2005

重点特別研究プロジェクト「生物多様性の減少機構の解明と保全」
(期間 平成 13 ～ 17 年度)

プロジェクト責任者：椿 宜高
プロジェクト幹事：椿 宜高
報告書編集担当：竹中明夫

序

この報告書は、平成13～17年度の5年間にわたって実施された、重点特別研究プロジェクト『生物多様性の減少機構の解明と保全』の研究成果をとりまとめたものです。個々の研究成果は学術論文として出版されつつありますが、全体の概要をまとめた冊子を公表することで、より広く各方面のご意見をいただけることを期待しています。

生物多様性という概念は比較的新しいものです。その定義もひとつに定まってはいませんが、少なくとも、単にたくさんの種類が存在するという、動物園や植物園に見られるような状況を指す言葉ではありません。地球上のさまざまな生物とその暮らしが長い進化の歴史を経て形成されたものであること、地域ごとの固有性があること、さらには多様な生き物の相互作用によってさまざまな生態系が形成されていることなども、生物多様性の重要な要素です。

人間の活動が、生物多様性に少なからぬ影響を与えており、その影響は、ほとんどの場合、決して望ましいものでないことは、世界的に共通した認識となりつつあります。取り返しのつかないところまで生物多様性を変容させてから後悔することは避けなければなりません。そのため、さまざまなアプローチが試みられているのです。

一方、生物多様性が概念としても発展途上であること、対象が本質的に多様であること、生物多様性の価値の評価は人間の価値観とも密接に関係することなどは、自然科学的なアプローチをむずかしくしています。本冊子は、そうした方法論的な困難のなかでの努力の成果ですが、はたしてどこまで困難を克服しえたでしょうか。忌憚のないご意見をいただければ幸いです。

平成18年12月

独立行政法人 国立環境研究所
理事長 大塚 柳太郎

目 次

1 研究の目的と経緯	1
2 研究の成果	4
2.1 地理的スケールにおける生物多様性の動態と保全に関する研究	4
2.1.1 地域固有性を評価し、保全に必要な地理区分を認識する手法の開発	4
2.1.2 置換不能度の計算アルゴリズムの開発	5
2.1.3 鳥類の生息確率モデルの開発	6
2.1.4 淡水魚の地域集団の地理的・遺伝的解析と保全に関する展望	11
2.2 流域ランドスケープにおける生物多様性の維持機構に関する研究	13
2.2.1 ため池とその周辺環境における生物多様性の維持機構とその減少要因について	13
2.2.2 ダムによる生息環境分断の影響と既存保全地域の評価ならびに河川直線化の定量的評価	19
2.3 侵入生物の生物多様性影響機構に関する研究	23
2.3.1 侵入生物データベースの構築	23
2.3.2 セイヨウオオマルハナバチの生態リスク評価	24
2.3.3 輸入クワガタムシの生態リスク評価	27
2.4 遺伝子組換え生物の生態系影響評価手法に関する研究	31
2.4.1 遺伝子組換え植物の挙動調査用マーカーの開発とそれを用いた交雑率の検定	31
2.4.2 新たな組換え体解析手法（DNA アレイの使用）の検討	32
2.4.3 輸入組換え植物の生物多様性への影響に関する研究	33
2.4.4 組換え微生物の挙動調査用マーカーの開発及び PCR 法による検出・定量法の開発	37
2.4.5 組換え微生物のマーカー遺伝子の挙動	38
2.4.6 環境中での遺伝子組換え微生物の生残性	38
2.5 生物群集の多様性を支配するメカニズムの解明に関する研究	40
2.5.1 森林の樹木の多種共存メカニズムの解明に関する研究	40
2.5.2 生物群集動態に関する理論生態学的研究	44
2.6 まとめ	49
引用文献	50
[資料]	
I 研究の組織と研究課題の構成	55
1 研究の組織	55
2 研究課題と担当者	56

II 研究成果発表一覧	57
1 誌上发表	57
2 口頭発表	67

1 研究の目的と経緯

2000年にナイロビで開催された第5回生物多様性条約締約国会議において、生物的多様性の保全に向けての「生態系アプローチの原則」が合意され、生物多様性の保全と持続的な利用のために、次のような目標が掲げられた。

1. 長い進化的歴史の中で育まれた、地域に固有の動植物や生態系などの生物多様性を地域の特性に応じて適切に保全する。
2. 現存の種や地域個体群に新たな絶滅の恐れが生じないようにするとともに、絶滅の危機に瀕している種の回復をはかる。
3. 将来世代による利用も見据えて、生物多様性の減少をもたらさない持続可能な方法により土地や自然資源を利用する。

生物多様性の危機の緊急性は1992年にリオデジャネイロで開かれた地球サミットで指摘され、生物多様性条約が締結された。その前後に行われた交渉や議論を出発点に、自然と人間との関係についての倫理の変化が進行していった。人間の活動は経済的なものであれ、文化的なものであれ、煎じ詰めれば生態系のプロセスに依存している。このような自然から受ける諸々の恩恵を生態系サービスと呼ぶ。その生態系のプロセスの有りようを決めているのが生物多様性である。そして、生物多様性と生態系プロセスの間にはフィードバックの機構が存在すると信じられている。ところが、20世紀におきた地球規模の環境変化のために、フィードバック機構がうまく機能しなくなってきたのである。この機構を維持する、あるいは回復するために、21世紀では人間行動のあり方が問いなおされているといえよう。

このような整理をしたとき、生物多様性研究がやるべきことは、およそ2種類考えられる。ひとつは生物多様性の豊かな自然生態系ほど地球環境を安定化させる機能が高いのかどうかの検証であり、もうひとつは生物多様性が変化するメカニズムの解明であろう。前者は生態系機能の研究、後者は多様性維持機構の研究と呼ばれることもある。もちろん両者は対立するものではなく相補的に研究を進めるのが望ましいが、国際的な研究動向、当研究所の人材資源などを考慮して、本重点特別研究プロジェクトでは後者に焦点をあてることにした。

このような背景のもと、このプロジェクトでは、生物多様性減少の多くの原因のなかで、生息地の破壊・分断化と侵入生物・遺伝子組換え生物に着目し、生物多様性減少の防止策並びに適切な生態系管理方策を講じるための科学的知見を得ることを目的にした。また、ある地域内の生物種数や種多様性だけを生物多様性と呼ぶのではなく、地域固有の生物が存在することが生物多様性の重要な側面であると考え。また、生物多様性には遺伝子、種、生態系の3つのレベルが存在する。各レベルの生物多様性を空間的な広がりの中でとらえ、それに対する人間活動の影響を評価することとした。

研究は次の5つのチームによって行った。

生物個体群研究チームは、環境変化による生息適地の喪失が生物個体群の存続に与える影響を評価するために、生物近縁種間及び同種地域個体群間の相互関係の生態遺伝学的解析や地理情報システムによる生息適地推定モデルの開発を行った。

多様性機能研究チームは、流域を構成する様々なランドスケープを客観的に定義し、その質、量、およびその配置と生物多様性との関係を導き出すことによって、ランドスケープの分断・縮小などの人為的変化が、生物多様性におよぼす影響を評価した。そして、生態系の保全や再生を流域あるいはそれ以上の空間スケールで行うための生物多様性予測モデルの開発を行った。

群集動態研究チームは、生物群集の多様性の形成と存続のメカニズムの解明を目的として、群集のシミュレーションモデルを使った仮想実験を中心に研究を進めた。特に（1）森林生態系の個体ベースモデルと、（2）進化的な時間スケールでの群集の動態と種分化・絶滅のモデルを用いて、現実の生態系との対応関係を考慮しつつ解析を進めた。

侵入生物研究チームは、侵入生物のリスク評価手法を確立するために、侵入生物の生態学的特性、起源、分布拡大状況などの情報を収集するとともに、野外調査および実験系によって侵入生物の野生化リスクおよび在来生物に対する影響について生態学的・集団遺伝学的・生化学的に分析を進めた。

分子生態影響評価研究チームは、外来遺伝子を植物に導入した時の宿主への影響および環境中における組換え

体の野生種への影響を調査するための手法を開発した。また、遺伝子組換えダイズとその近縁野生種であるツルマメの交配種を作製し、導入した遺伝子の安定性の調査を行った。さらに、遺伝子組換え微生物を導入したときの微生物生態系への影響を調べるための新たな手法の開発を目指し、環境中の微生物遺伝子に及ぼす影響を検討した。

このプロジェクトを通して、生物多様性をどう測るかが共通したテーマのひとつだった。ここで、「生物多様性」という語の中にいかに多くの意味がふまれているかを説明しておきたい。生物多様性条約には、「生物の多様性とは、すべての生物（陸上生態系、海洋その他の水界生態系、これらが複合した生態系その他生息又は生育の場のいかんを問わない）の間の変異性をいうものとし、種内の多様性、種間の多様性及び生態系の多様性を含む」と定義されている。しかし、これだけではその意味するところは分かりにくい。「種内の多様性」とはおもに個体間の遺伝的変異、「種間の多様性」とはある場所にどれだけの種が存在するか、「生態系の多様性」とはある一定の地域内に森林や草地、湿地、河川などの異なった景観要素がどれくらいの割合で存在するか、というニュアンスで受け取られることが多いが、この3つは独立の概念ではない。また、単に分かりやすいという理由で、生物多様性の代わりに種数の多さだけで議論してしまうことも多いが、生物多様性とは生態学で言う種多様性（種数や多様度指数）よりももっと広い概念である。

生物が多様であるかどうかを我々はどう判断している



図1 3種類の多様性の尺度を説明するための仮想的なサイト

だろうか。わかりやすいように、次のような4種の動物が生息するサイトを考えてみよう（図1）。それぞれのサイトは8匹の動物で構成されているが、サイトAはシロチョウが8匹、サイトBはシロチョウ7匹とアゲハチョウ1匹、サイトCはシロチョウ4匹とアゲハチョウ4匹、サイトDはアゲハチョウ4匹とカブトムシ4匹である。

サイトAとサイトBで多様性が高いのはどちらだろうか。ほとんどの人はサイトBのほうが多様だと感じるだろう。サイトBではサイトAよりも種数が多いからである。それではサイトBとCではどうだろうか。多くの人はサイトCのほうが多様性が高いと感じるだろうが、その理由をうまく説明できる人はそれほど多くない。それぞれのサイトから無作為に2匹をサンプリングしたとき、サンプル中に2種類が混じる確率が高いからだと言える。では、サイトCとDはどうだろうか。どちらのサイトも2種類の動物が4匹ずつという構成だが、サイトDの方が多様性が高いと感じるに違いない。それはシロチョウとアゲハチョウは同じチョウの仲間だが、アゲハチョウとカブトムシでは類似性が低いからである。この例では、多様性を種数、均等性、遺伝的距離という3つの概念を使って総合的に測っていることになる。

ここで図2を見てほしい。仮に4つのサイトがあったとしよう。サイトAには6種の鳥が、サイトBやサイトCにはサイトAと重複する種の鳥が、それぞれ5種いる。また、サイトDには3種の鳥しかいないが他のサイトとは異なる種ばかりである。サイトA, B, Cは草原



図2 保全地区を選定するアイデアを説明するための仮想的なサイト

生態系、サイトDは森林生態系と考えると分かりやすいかも知れない。もし我々にふたつのサイトを保全する資金があったとしたら、どのサイトを選ぶべきだろうか。最初に選ばれるのは、もちろん種数の最も多いサイトAであろう。しかし、ふたつめのサイトはどこを選ぶべきだろうか。次に種多様性の高いサイトBだろうか？いや、この場合、ほとんどの人はサイトAとは全く種組成の異なるサイトDを選ぶだろう。この時、我々は無意識に、種多様性以外の基準でサイトを選んでいるはずである。この基準は「補完性」と言われるもので、一定の地

域からできるだけ多くの種が生息できるようにするには、単に種数が多いという理由で似たような場所を選ぶよりも、お互いに補完的な場所を複数えらぶほうが、はるかに効率が良いことが容易に分かる。言い換えれば、生態系の多様性を維持することが種多様性の保全に直結するということである。このように、生物多様性とは遺伝的多様性、種多様性、生態系多様性に置き換えられるようなものではなく、互いに連結したものと考えべきである。これがこのプロジェクト報告の重要なメッセージのひとつである。

2 研究の成果

2.1 地理的スケールにおける生物多様性の動態と保全に関する研究

2.1.1 地域固有性を評価し、保全に必要な地理区分を認識する手法の開発

(1) はじめに

生態系がよく保全されているかどうかは維持されている生物多様性の量、質、健全性によって測ることができる。それには、質の高い分布データが整備されている必要があるが、ほとんどの動物でそのようなデータは存在しないのが現状である。そのため、保全地区の選択は代用となる環境情報、たとえば植生被覆、地形、気候などを用いて行われることが多い。

いっぽう、動物分布に関しては、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が最大の情報源となる。しかし、このようなボランティアによる調査は、調査努力量の濃淡が原因で生じる偏りも大きい。また、生息記録はあっても、非生息の記録は得られないという問題もある。

そこで、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、植生被覆や気候条件と野生生物の棲息記録との対応関係から、野生生物の生息可能な地域を推定し、その地図を作成した¹⁾。ここではデータの比較的揃っているトンボ目に注目して解析を行った。自然環境保全基礎調査（緑の国勢調査）の日本本島のみでトンボ129種、3961個の二次メッシュ（一辺約10kmの格子）の在／不在データを使った。

(2) 方法

気候：気象庁によるメッシュ気候値2000をもとに、1971年から2000年までの30年間にわたる年平均気温を3次メッシュ単位（一辺約1km格子）にまとめ、さらに2次メッシュ単位で平均して平年気温として用いた。地形：メッシュ標高データに収録されている3次メッシュ単位の標高データを2次メッシュ単位で平均した。植生被覆：自然環境保全基礎調査（1998）の3次メッシュ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た。元のデータは700を超す植生タイプによって植生被覆が分類されていて複雑すぎるので、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。

動物分布情報：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（図3）。

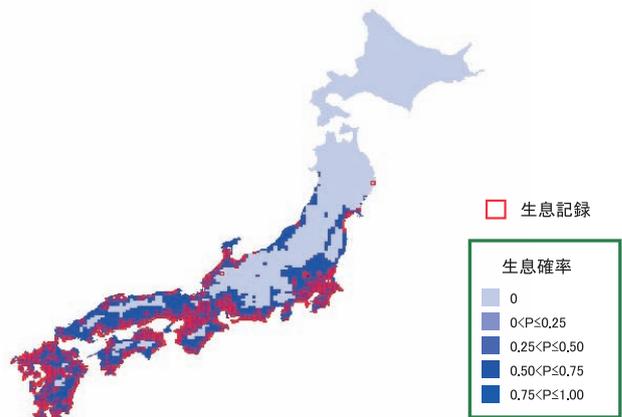


図3 アオモンイトトンボの生息適地推定と生息記録
生息適地の地図化：上で推定した境界値を用いて、調査の不十分な地点をうめる形で生息可能な主要四島内の地点を地図上にプロットした（図3；アオモンイトトンボの例）。

メッシュ内出現種数の信頼性評価：ある種のその分布決定要因を解析するにはその種の在／不在データが必要となる。自然環境保全基礎調査のなかの動物分布調査は1960年頃から1998年にかけて行われ、それぞれの記録個票の記録年が分かっている。調査票を年代順に並べ、それに対して出現した累積種数をプロットしてゆく。調査回数を重ねてゆくと、新しく出現する種数が次第に少なくなり、ついには飽和することが分かる。このことを利用して、このメッシュに生息する種数が推定できる。もちろん、すべてのメッシュで累積出現種数が飽和する訳ではない。飽和種数と累積種数が近いメッシュはほとんどすべての種数が記録されていると判断できる。ここでは、累積種数が飽和種数の80%以上である場合を調査が行き届いたメッシュとみなした。その結果、358個のメッシュが出現種数の信頼性が高いとして抽出され

た。また、出現グリッドの少ない種、例えば希少種、は情報が少ないので解析対象から外した。これにより、解析可能な種数は108種となった。

分布決定要因の決定樹解析：昆虫では気温が最も重要な生息分布要因である。抽出した358メッシュにおいて、ある種の温度ごとの存在ヒストグラムより、積算生息確率を求めた。このデータ処理によって、温度条件として分布可能な範囲だけを対象に、感度の高い植生被度との関連性分析が可能となった。

(3) 考察

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を解析することによって、動物（この場合トンボ類）の生息適地を評価するために考慮すべき要因を抽出することができた。しかし、トンボに限らず、気候、地形、植生被度との関連性だけでは分布をうまく記述できない種も多い。特に、極めて分布域の狭い種と、どこにでも分布するような極めて普通の種にはこの手法は適用が難しいことがわかった。しかし、極めて分布域の広い種にとっては、おそらく分布地図を作ること自体必要ないので、希少種だけが問題として残ることになる。この解析は2次メッシュという粗い解像度で行ったにも関わらず、日本全土くらいのスケールでの生息適地を概観することができた。希少種については、対象範囲を小さくし、より細かい解像度での生息可能な地点を推定することが適切であろう。

2.1.2 置換不能度の計算アルゴリズムの開発

(1) はじめに

生物多様性の一番単純な指数は、その地域の種数である。個体数まで考慮されたのが、シンプソンの多様度指数やシャノンウィナー関数等であり、これらは広く生態学などで用いられている。一方、保全域設定のための示数はほとんど開発されていない。たとえば、ある地域が小領域（区画）に分割されているとして、地域の保全の為に区画を選ぶとしよう。生物多様性の高い上位の区画のみを保全地区に選んでも、それが地域全体の生物多様性を効率よく保全できる区画選択であるとは限らない。生物多様性指数は、ひとつの区画の多様性の程度を示すだけだからである。一方、いくつかの異質な区画をセットとして保全すれば、その地域内の多様な生息地を選定することができるので、全部の種が生息する区画を選択

することが可能となる。その理由は、区画間の補完性を考慮するからである。ある地域に生息する全ての種を含む区画の組み合わせ、“全種表現組み合わせ（representative combination）”に基づき、地域保全のためにその区画がどの程度重要であるかを示す、“置換不能度（irrepressability）”がオーストラリアの研究グループ^{2,3)}から提案されている。この示数はきわめて優れたものであるが、世界的にもそれほど広くは使われていない。この理由は、全種表現組み合わせを求めるための計算時間がかかり過ぎることがその原因の一つであろう。そこで我々は効率よく全種表現組み合わせを求める計算アルゴリズム⁴⁾を開発した。

(2) 開発したアルゴリズム

置換不能度を計算するためには、表1に示すように、ある地域が小領域（区画）に別けられ、その地域に住む種が居る（1）、居ない（0）の表が必要である。この地域に住む全ての種を表す区画の組み合わせ（全種表現組み合わせ）を求める。例えば、区画4, 5, 6を組み合わせると全種表現組み合わせとなる。3つの区画より構成される（サイズ3）全種表現組み合わせは（3, 4, 6）、（1, 5, 6）、（4, 5, 6）である。サイズが4, 5, 6の全種表現組み合わせもちろん存在する。全ての全種表現組み合わせにおいて、区画6が必ず含まれているが、この区画がこの地域の希少種種4を含んでいるからである。

表1 置換不能度算出のための生物種在・不在表

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

ある地域が6つの区画に別れていて、4つの種が住んでいるとする。数字1は存在する、0は不在を示す。

置換不能度には幾つかの定義が存在するが、ここではFerrier *et al.*⁵⁾の定義に従う。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ことを示す(表2参照)。この定義からわかるように, 置換不能度は種の在/不在のみの情報を使い, 種の個体数の多さ, 少なさの情報は使っていない。

表2 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, サイズが最小の全種表現組み合わせを効率よく見つける3つの方法を提案した⁴⁾。希少種に注目する方法(希少種アルゴリズム), 種を多く含む区画に注目する方法(種数アルゴリズム), さらにこの両方をランダムに使う方法(融合アルゴリズム)である(表3参照)。

表3 全種表現組み合わせ探索アルゴリズムの効率比較

アルゴリズム	計算時間(秒)	R.C.の数
primitive	13078	4
希少種	1215	4
種数	0.44	2
融合	11-93	4

primitiveは全ての組み合わせを求め, 一つ一つ全種表現組み合わせかを調べる方法。R.C.の数とは, 計算によって求められた, 全種表現組み合わせの数である。今の場合は, 4が正しい数である。区画数30, 種数70のデータより計算した。全種表現組み合わせのサイズは9の場合。 ${}_{30}C_9 =$ 約143万である。計算はMathematica Ver. 4.1, 使用した計算機はMacG4(466 Mhz)である。

(3) 結果と考察

希少種アルゴリズムを使うと, まずは全ての組み合わせを求めその中から全種表現組み合わせを求めるprimitiveアルゴリズムよりも, 10倍以上も計算速度が早く, 答えも正確であることがわかった。種数アルゴリ

ズムが最短の計算時間であるが, 計算結果の精度に問題が残る。融合アルゴリズムは乱数を使うので計算時間に幅がある。

これまではある種を最低一カ所(at least once)で保全しようとしたが, 二カ所, 三カ所で保全する必要がある。また, これは単なる保険の意味ではなく, メタ個体群の意味でも有用であろう。また, 将来破壊されやすい所がある, 将来絶滅の恐れが高い種が住んでいる場所がある, 区画をバラバラに保全するのではなく, 区画をなるべくまとめて保全したい等の要求があるであろう。さらに, 表1のようなデータが本当に信頼できるかも多くの研究者が指摘している。これらのことを考慮すると厳密に全種表現組み合わせを求めることにはそれほどの意味はないと思われる。そこで, 準最適解を手早く見つけ, その中から保全計画者の求めに近い組み合わせを求めるとい実用的なアルゴリズムへ拡張可能である。

2.1.3 鳥類の生息確率モデルの開発

植生, 標高, 気温等の周辺環境の情報から野生生物種の生息確率を示すモデルを構築し, そのモデルを広い地域に適用し評価することによって, 生物多様性の現況を推定することが可能となる。また, 土地利用形態の変化などの環境変化が生物多様性へ与える影響も定量的に評価することが可能となる。さらに, これらのモデルは, 自然再生や保全施策がどの程度, 生息確率の改善をもたらすか定量的に評価することを可能にし, 生物多様性保全のために最善のシナリオを提言することが可能となる。ここでは, 関東地域において鳥類の生息分布を推定するモデルの開発を行った。

(1) 霞ヶ浦周辺のオオヨシキリの生息確率モデルの開発

オオヨシキリは, 九州から北海道南部まで分布し河川下流域のヨシ原の生態系を代表する表徴種となっている。オオヨシキリにとって必須の生息環境要素はヨシ原であるため, 植生図から生息環境を抽出することは比較的簡単である。そこで, 最初に, オオヨシキリの生息確率モデルの開発を行った。最新の航空写真から作成した植生図からヨシ原パッチを抽出しGPSに取り込み, 霞ヶ浦周辺のヨシ原をしらみつぶしに調査して, ヨシ原に生息しているオオヨシキリの個体数を記録した。

実際に, オオヨシキリが生息していたヨシ原は全体の42%に過ぎなかった。地理情報システム(GIS)を用い

て、ヨシ原の形状、ヨシ原の周囲の植生・土地利用面積、地形、ヨシ原間の距離などを解析した。オオヨシキリの生息に影響を及ぼしている要因を抽出するため、変数増減法による多変量ロジスティック回帰モデルを構築した。その結果、オオヨシキリの生息に影響を及ぼしている変数は、ヨシ原の標高と大きいヨシ原からの距離の2つであった。注目するヨシ原のオオヨシキリの生息確率は、標高が低いほど高いが、面積が0.5 ha以上ある大きいヨシ原から距離が離れるにつれて小さくなることが明らかになった(図4)。

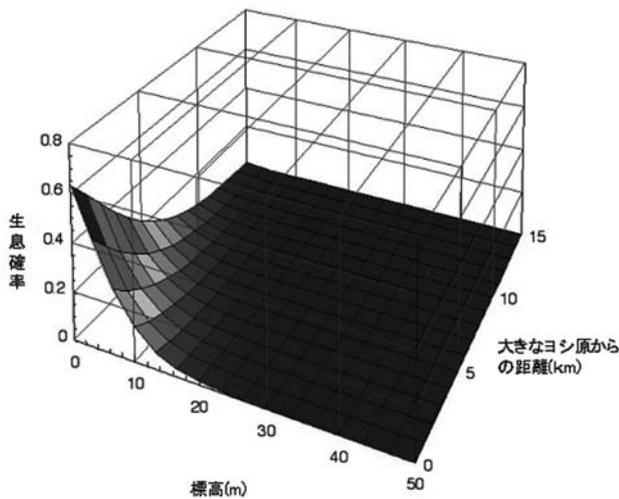


図4 ロジスティック回帰によって得られたオオヨシキリの分布確率

霞ヶ浦では、オオヨシキリの繁殖成功度はヨシ原の大きさに依存し、0.5 ha以下の小さいヨシ原では繁殖成功度が低いことがわかっている⁶⁾。そのため、面積の大きいヨシ原が次世代個体の供給源ハビタットとなっていて、周囲のヨシ原に個体を供給する、いわゆるソース・シンク (source-sink) 型の個体群構造をしていると考えられると、大きいヨシ原から離れるにしたがって生息確率が減少するという現象をうまく説明できる。また、ヨシ原ごとのオオヨシキリの生息個体数は、ヨシ原の大きさに比例するが、前述の標高およびソースハビタットからの距離とは負の相関が認められた。オオヨシキリの生息個体数を推定する重回帰モデルを作成し、霞ヶ浦周辺のオオヨシキリの生息個体数を推定し、実際のセンサス結果と比較したところ、推定値は実測値の5%の誤差範囲内にあった。

(2) 過去30年間の利根川下流域のオオヨシキリの分布の変化

1960～70年代および1990年代後半に撮影された空中写真をもとに作成した植生図を比較して、利根川下流域のおよそ2,000 km²の地域の過去30年間のヨシ原の分布・構造の変化を解析した。利根川下流域のヨシ原の総面積は25.3～27.8 km²であり、この地域のたった1.3%の面積を占めるにすぎなかった。この30年間で、この地域のヨシ原の総面積は7%程度減少しているが、ほとんど変化がない。しかし、ヨシ原の分布を細かく見てみると、霞ヶ浦湖岸や利根川河川敷に広がっていたヨシ原が減少し、霞ヶ浦と利根川をはさむ地域の水田地域でヨシ原の増加が認められた。ひとつのヨシ原の平均面積は、約30年前には14.2±1.95 ha (平均±SE, N=783)であったものが、現在では3.1±0.32 ha (N=857)へと減少していた(表4)。1960年代から1990年代にかけての水田面積の増減と湿地植生の増減の間に負の相関がみられることから、水田から湿地植生へと変化していることがわかった。このことは、霞ヶ浦湖岸や利根川河川敷に広がっていたまとまった面積の大きいヨシ原が縮小、消滅したのに対して、放棄水田が変化したヨシ原が増加したため、個々のヨシ原サイズが小さくなり、断片化が進んでいることを示していた。

1960年代の植生図に1990年代の分布から得られたロジスティック回帰モデルと密度推定の重回帰モデルを適用し、30年前の利根川下流域のオオヨシキリの分布と生息数を推定した。その結果、30年前には、霞ヶ浦湖岸と利根川河川敷に大面積のヨシ原が広がっていたため、存在するほとんどのヨシ原がオオヨシキリにとって好適な生息地であったと推定された。しかし、ヨシ原の総面積は30年前とあまり変わらないにもかかわらず、オオヨシキリにとって好適なヨシ原は500 ha程度しか残ってないと考えられる。

霞ヶ浦周辺を含む利根川下流域のオオヨシキリの総生

表4 霞ヶ浦周辺のオオヨシキリの推定生息個体数の変化

項目	1960年代	1990年代
ヨシ原総面積	2,783 ha	2,532 ha
ヨシ原の平均サイズ	14.2±1.95ha	3.1±0.32 ha
生息適地 (生息確率10%以上)	2,772 ha	497 ha
推定個体数	110,920±6,162	19,868±2,400

息個体数も現在の5倍強の11万羽程度であったと推定された。過去30年間で、ヨシ原の断片化による質の低下が進行して、好適なヨシ原が減少したため、オオヨシキリの繁殖個体群は5分の1程度に縮小したと推定された。

(3) 荒川流域のオオヨシキリの分布

霞ヶ浦で得られた生息モデルの検証を行う目的で、荒川の本流域のオオヨシキリの生息状況を調査した。荒川流域では、ヨシ原は河口から100 kmまでの地域に分布していたが、いずれも標高50 m以下であった。荒川流域の総ヨシ原面積は9.41 km²であり、流域総面積2,940 km²の0.32%に過ぎず、霞ヶ浦周辺の4分の1しかなかった。荒川流域と霞ヶ浦流域のヨシ原の特性を比較したところ、両地域とも標高50 m以下の地域にヨシ原は分布していた。荒川流域のヨシ原パッチの平均面積は、霞ヶ浦周辺の半分以下の1.4 ± 0.12 haに過ぎなかったが、河川敷に帯状に分布しているため近接ヨシ原間の距離は短かった(表5)。

表5 霞ヶ浦周辺と荒川流域のヨシ原の形質の比較

形質	霞ヶ浦周辺	荒川流域	検定
総面積 (比率)	2,783 ha (1.2%)	941 ha (0.32%)	
パッチ数	857	672	
平均サイズ (ha)	3.1 ± 0.32	1.4 ± 0.12	$p < 0.05$
周縁長 (m)	1,018 ± 54	942 ± 36	NS
平均標高 (m)	3.1 ± 0.17	14.8 ± 0.78	$p < 0.05$
最近接距離	171 ± 9.2	133 ± 12.8	$p < 0.05$

センサスの結果、荒川本流ではさえぎっているオオヨシキリの雄を802羽、市野川支流で388羽の合計1,190羽を確認できた。これより、荒川流域には約2,400羽のオオヨシキリが生息していると推定された。しかし、荒川流域のオオヨシキリの生息密度は6.8 ± 0.1なわばり/haであり、霞ヶ浦周辺の密度14.4 ± 1.4なわばり/haの半分以下にすぎなかった。荒川流域では、ヨシ原が河川沿いに配置されるため、ヨシ原間の距離が比較的近くなり、霞ヶ浦の生息モデルを適用すると、ほとんどすべてにオオヨシキリは分布すると推定された。しかし、荒川流域のオオヨシキリの生息確率には2つの変数の他に形状指数が影響を与えていることが明らかになった。ヨシ原の断片化が進んで河川に

沿って線状に分布しているため、近接距離は近くてもオオヨシキリの供給源となる実質的なヨシ原の数は減少している。そのため、荒川流域では、ヨシ原の質の低下が生じているため、オオヨシキリの生息密度が低くなり、比較的幅があり質の高い塊状のヨシ原から埋まっていくと考えられた。

(4) パッチベースモデルからグリッドベースモデルへ

オオヨシキリのように生息パッチが空中写真から抽出できる場合は、パッチベースのモデルの方が解像度の高い生息確率モデルを構築できるが、日本全国とか関東全域といった広域で、精密な植生図を作成し、パッチモデルを構築するには莫大なコストがかかる。また、カラー空中写真で抽出可能なパッチも古いモノクロ空中写真からは抽出できなくなる。そこで、第6回自然環境保全調査の関東地区の分布データから、3次メッシュグリッドの解像度の粗い生息適地モデルを変数増減法のロジスティック回帰モデルを用いて作成した。

式1

$$p = \frac{1}{1 + e^{-\log \text{it}(p)}}$$

$$\log \text{it}(p) = -1.95 - 0.0057 \text{elevation} + 0.043 \text{grassland} + 0.168 \text{marsh} + 0.0034 \text{paddy} - 0.0385 \text{forest} + 0.053 \text{bareland} + 0.077 \text{water}$$

3次メッシュ単位のオオヨシキリの生息分布を説明するモデルは式1で表され、モデルに組み込まれた説明変数は、標高(m)、単子葉草原、湿地植生、水田、落葉広葉樹林、裸地、開水面の面積(ha)の7つの変数であり、標高、森林面積が増加すると生息確率は減少していた。この生息モデルにおいても、湿地面積の寄与率は他の変数より大きく、標高が低くて湿地植生面積の多い3次メッシュにおいてオオヨシキリの生息確率が高くなることを意味している。パッチモデルに比べると空間スケールの精度は落ちるが、これらの7つの変数で3次メッシュ単位のオオヨシキリの生息分布の45.6%を説明可能であった(R² = 0.456)。このモデルを、過去の植生図に当てはめて、荒川流域の戦後50年間のオオヨシキリの生息分布の変化を推定した(図5)。

1950年代には水田面積の多い荒川中流域に生息確率の高いメッシュが多数存在しているのにたいして、1970年代以降、生息確率が高いメッシュは荒川の本流あるいは支流河川のある3次メッシュに限られている。

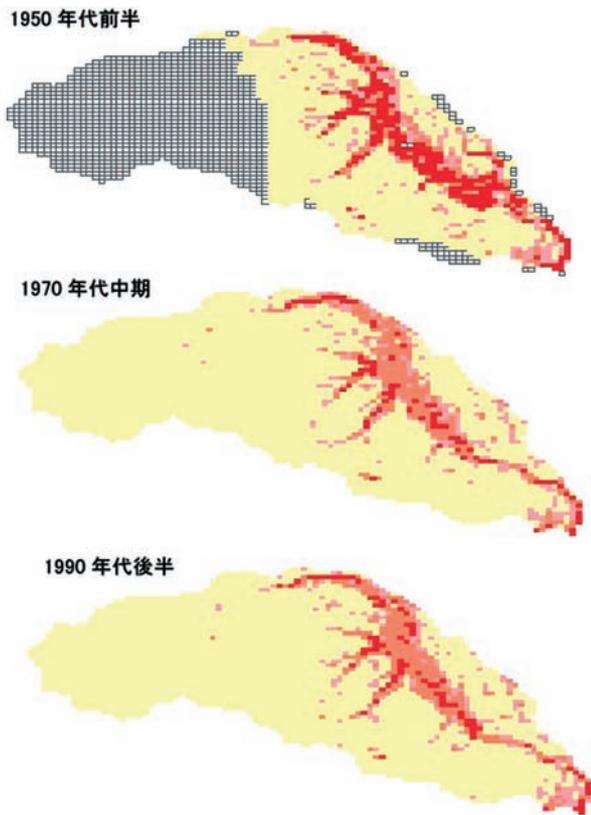


図5 荒川流域のオオヨシキリの生息分布の変化
1950年代は流域の東半分しか、復元できなかった。

生息確率80%以上の3次メッシュ数に注目してみると、水田が広がっていた中流域を中心に1950年代には277個あった生息メッシュが、1970年代には86個、1990年代後半には83個と減少している(図5)。過去の生息密度に関する情報が得られないため、生息個体数の変化を推定するモデルは作成できないが、分布メッシュ数の減少に伴って生息個体数も減少していると考えられる。

(5) 関東に生息する鳥類の生息推定モデルの構築

自然環境基礎調査「鳥類生息分布調査」の関東地区データを利用し、3次メッシュベースの生息適地モデルを開発した。自然環境保全基礎調査がカバーしているのは関東地区の2.8%の面積にすぎないが、15メッシュ以上で出現していた繁殖鳥類は77~79種であった。第6回自然環境保全基礎調査のデータを加えると、調査が行われた3次メッシュの数は第5回の586カ所から930カ所へ増加した。関東地区の3次メッシュの15カ所で観察された繁殖鳥類79種を解析し、ロジスティック回帰モデルによって生息分布を推定した。各種の生息確認の有無の2値データを従属変数とし、3次メッシュの標

高、傾斜、および、3次メッシュ内の各植生(市街地、畑地、水田、果樹園、休耕地、ゴルフ場、牧草地、単子葉草原、広葉草原、ヨシ原、2次林、松林、竹林、落葉広葉樹林、照葉樹林、針葉樹植林、海岸植生、伐採地、裸地、開水面)の面積の23変数を説明変数としてステップワイズ法で変数の取捨選択を行ってロジスティック回帰モデルで生息確率モデルを構築した。モデルの適合度は、相関係数、感度、特異度、コーエンのKappa、受診者動作特性曲線(ROC)の下の面積(AUC)の各指数で評価を行った。モデルの説明力をもっともよく示すといわれているAUCと決定係数の相関は有意であり高かった。生息ハビタット別でみると森林性鳥類の生息確率モデルの決定係数は平均0.5以上もあり、3次メッシュの変数で分布をよく説明できたが、林縁、農耕地、市街地など開けた環境に生息する鳥類ではモデルの説明力が低く分布をうまく説明できない傾向が認められた。また、体重の軽い種(特に、10g以下の種)ほどモデルの説明力が高く、体重が重くなるにつれて3次メッシュのスケールで作成した生息確率モデルのあてはまりが悪くなる傾向が認められた(図6)。

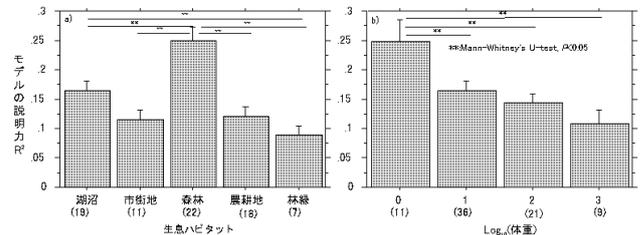


図6 繁殖鳥の生息適地モデルの説明力に影響を与える要因

a) 生息ハビタット, b) 体重. 縦棒は標準誤差を示している. **:マン・ホイットニーのU検定 $P < 0.05$.

そこで、解析メッシュスケールに応じて、構築される生息確率モデルの説明力がどのように変化するかを解析した。猛禽類では、1 km (3次)メッシュ単位で作成した生息確率モデルより、5 km (サブ)メッシュスケールで構築した生息確率モデルが、サギ類では10 kmメッシュ(2次)で構築したモデルで構築した生息確率モデルのAUCが大きくなり、モデルの説明力が上がった。これに対して、オオルリ、キビタキ等の小鳥類では、構築するメッシュスケールが大きくなるにつれて、モデルの説明力が低下した。鳥類の行動圏は、猛禽類で

あるイヌワシ⁷⁾で20～70 km²、クマタカ⁸⁾で10～40 km²、サギ類⁹⁾で埤を中心とした10～15 km 四方、森林性の小鳥類だと1～10 ha程度であることが知られている。AUCが最大となるメッシュサイズは、ほぼ、行動圏のサイズのスケールに一致している。このことは、対象種の生息確率モデルを構築するには、行動圏スケールにあわせたメッシュスケールでモデルの構築をする必要があることを意味している。

第5回調査で構築したモデルと第6回調査のデータを加えて作成したモデルの説明力を比較した。第6回調査のモデルでは、説明力の向上がみられ、決定係数R²はハシブトガラスの0.05からルリビタキの0.73までばらついたが、精度の悪いモデルの向上が認められ、AUC > 0.8のモデルの種数が29種から58種へと倍増し、生息をうまく説明できないモデル (AUC < 0.7) は14種から5種へと激減した。モデルの説明力の向上に寄与していたのは、センサスメッシュ数の増加とセンサス率であった。以上より、種によってモデルの説明力は異なるが、地形と植生だけから関東域58種の繁殖鳥類の分布(生息地)の15～75%は説明可能であることが明らかになった。

このようにして構築した生息確率モデルから、面的には3%弱の面積しかカバーできていない自然環境保全基礎調査の鳥類データから、58種の関東全域の面的な分布現状を推定した。説明力の高いモデルが構築できたオオルリ、キビタキ、コルリ、ヒガラの4種の生息確率図を図7に示した。

このようにして構築された関東甲信越地方に生息する鳥類、58種の分布を重ねて、各3次メッシュごとの生息推定種数を求めることが可能となる。サブメッシュ(5 km メッシュ)に含まれる25個の3次メッシュに生息している種を集計すると関東甲信越地区の種数分布推定地図が得られる(図8)。

全国レベルで生物の生息確率モデルを構築することで、不完全なセンサスデータをもとにして、生息地の現状の面的な記載が可能になり、生物多様性モニタリングに役立つと考えられる。また、同時に、これまで保護区に指定されていなかったり、調査が行われていない地域の生息分布を推定することによって、未発見の個体群や新たな生息種数の多い生物多様性のホットスポットを抽出するのにも役立つと考えられる。さらに、生息確率モデルは、過去の土地利用変化に伴って生物の分布がどの

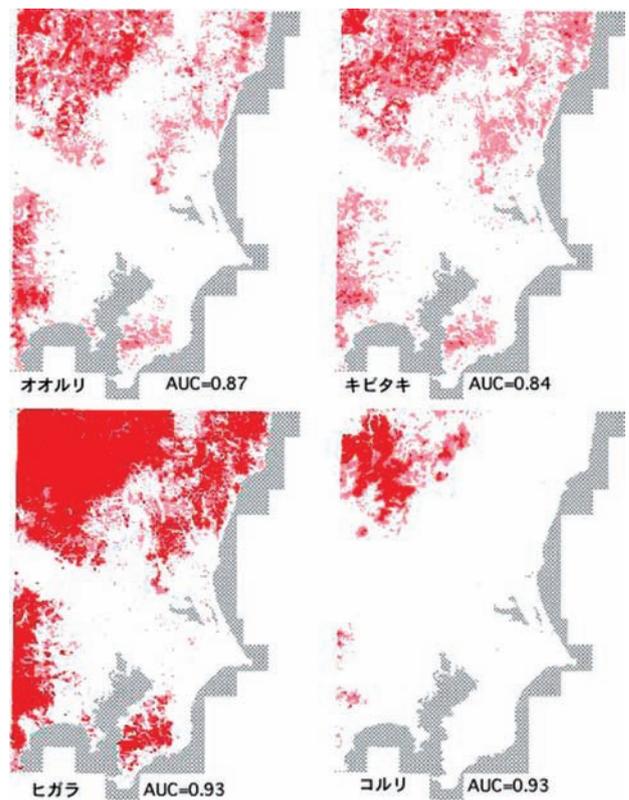


図7 関東地方で繁殖する鳥類の生息分布確率図

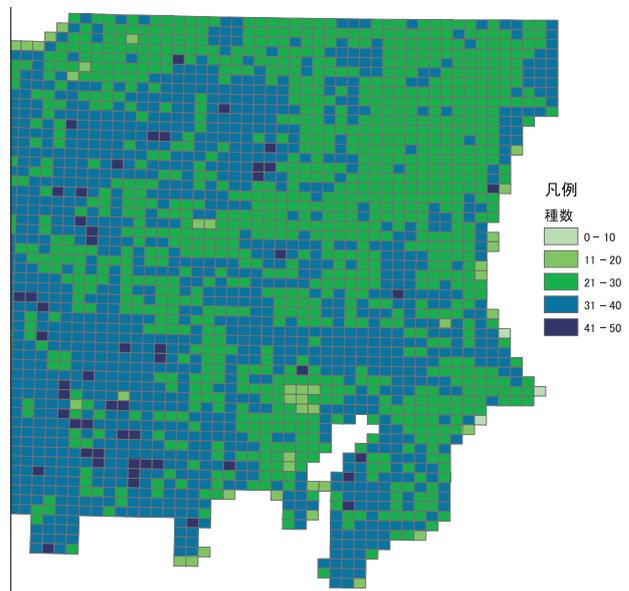


図8 関東甲信越で繁殖する鳥類の種数分布推定図

ように変化したか推定できると同時に、大きな環境変化や気候の変化によって、今後、生物の分布がどのように変化していくか予測するのにも役立つと考えられる。

2.1.4 淡水魚の地域集団の地理的・遺伝的解析と保全に関する展望

(1) 研究目的と経緯

絶滅の恐れのある生物と絶滅の原因となっている外来生物の両者の現状とこれら生物の減少あるいは増加を引き起している機構はなにであるかを、淡水魚を材料に多角的に検討することを目指した。そのために、1) 土地利用変化、2) 個体群孤立化、3) 生物導入、に注目し、これらの要因が作用していると想定される魚種について、具体的な作用の仕組みを解明することを試みた。淡水魚は生息場所が地形・地史面で制約されることが多いので、とくに遺伝子解析と生息地周辺の環境条件について重点的に解析を進める必要があった。その結果得られた生態学的・集団遺伝学的成果にもとづいて、日本国内における生物多様性減少に対抗して保全を進める上で、重視すべき生物多様性の特徴・構造を抽出することも試みた。

(2) 研究の成果

国内の河川湖沼水系に分布する淡水魚は、水系における生物資源利用や水利用・土地利用の進行・変遷によって、分布の縮小・拡大や個体群存続の過程に影響を受けている。淡水魚の種類によって影響の受け方は様々であり、どのような種群がどのような場所でどのような要因に影響されているかを整理した上で、それら淡水魚に関わる生物多様性の保全を検討する必要がある。この研究では、幾つかの魚種を取り上げて、淡水魚において見られる生物多様性減少の特徴と保全上注目すべき点の把握を目指した。

1) メダカの生息適地推定

淡水魚の分布は通常河川湖沼水面の範囲内に限定されるが、メダカ *Oryzias latipes* は水田・溝などの極く浅い水域に好んで生息するため生息地が面的に広がりやすい。逆に水田の面積減少・乾田化の土地利用変化により生息範囲が大きく減少しうる。その減少程度を評価するために、1970年代のメダカ生息確認地点をもとにその時点の生息適地を推定した。生息適地の環境条件を抽出するためには、1960年代の土地利用地図を用いた。これらの情報をGISデータに変換して、多変量解析にもとづいた生息適地推定ソフトウェア Biomapper を利用して、生息適地を茨城県南部地域について推定した。生息

好適度に最も貢献した要因は、水田面積率である。次に貢献したのは、居住地率である。その結果、生息適地は主として水田地帯に分布していたと推定された。この生息適地分布の一部で現地探査と聞き取りによって1990年代の生息地点を確認したところ、極めて限られた範囲でしか確認が得られなかった。水田面積は1960年代から1990年代にかけて緩い減少傾向にあるものの、このような大きな変化は、水田地帯給排水路の整備による乾田化が影響しているものと推測された。

2) イトヨの地域個体群の遺伝的多様度・系統と保全方策

イトヨ *Gasterosteus aculeatus* はメダカとは逆に生息地が湧水域に狭く限定される。国内10地点のイトヨ地域個体群について8種類のマイクロサテライトマーカーを用いて遺伝的多様度を調査した(図9)。その結果、人為移入群の十和田湖を除いて、ヘテロ接合度が期待値よりも有意に低いことがわかった。これらの個体群は、生息地の減少と他個体群との個体移動阻害によって孤立化しつつあるため、遺伝的多様度の低下と相まって存続が危ぶまれることがわかった。なかでも、福島県会津地方

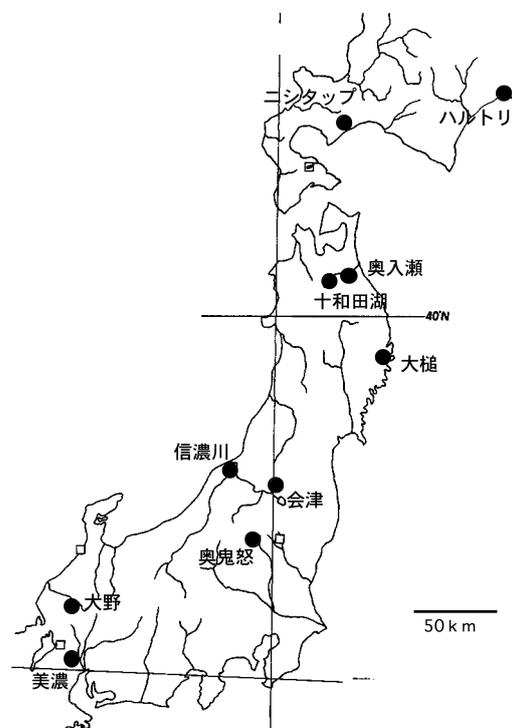


図9 イトヨ個体群の位置

大野・会津・奥鬼怒と奥入瀬・十和田湖はそれぞれ同じ系統群に属する。奥鬼怒・十和田湖は人手による移入群である。

と福井県大野地方の個体群は内陸部に位置しているため系統的に独自性が強いことが確認されたので、各地域内での個体群ネットワークの復元が急務であると考えられた。沿岸部に位置する個体群は、系統的に遡河個体群と関係が深く、河口部近くの堰堤によって阻害されている個体移動を復元することが急務であると考えられた。

3) オオクチバスの国内ハプロタイプ分布と侵入経路
オオクチバス *Micropterus salmoides* は北米原産の外来種で、国内淡水魚相の存続を危機にさらしている。その分布拡大は人手によるが、2004年の外来生物法にもとづく特定外来生物指定の際に、その経路が有用魚放流に付随したものか、あるいは非公然放流によるのかが論点となった。そこで、ミトコンドリアDNAの塩基配列にもとづいて国内分布オオクチバスの系統区分とその原産地由来推定を行った。その結果、国内には2つの系統群が存在することがわかった。このうち、1つの群は北米ミネソタ産の系統を含むことがわかり、1972年にミネソタ州・ペンシルベニア州から導入された個体に由来すると推測された。もう一方の系統群は原産地不明であるが、国内に広く分布するために導入後の年数が長いと考えられたので、1925年に芦ノ湖に初導入された個体に由来すると推測された。ところで、全国的に有用魚放流魚の産地となるのは琵琶湖であるが、1972年導入系統は全国的に広く分布するものの琵琶湖には見られず、琵琶湖からの有用魚放流に付随して分布拡大したとは考えにくい。また、本研究では琵琶湖だけにフロリダバス *Micropterus floridanus* の系統が見つかったことも、琵琶湖からの有用魚放流に付随した分布拡大が起っていないことを示唆している。したがって、逆に非公然放流が分布拡大の主要な経路であるとの判断が支持され、その抑制が分布拡大防止の上で欠かせないと考えられた。この成果は、国内産ブラックバスハプロタイプ国内系統分布資料が環境省特定外来生物等分類群専門家グループ会合魚類グループ会合オオクチバス小グループ会合と岩手県内水面水産関連委員会において各々特定外来生物指定とオオクチバス被害検討のための資料として利用された。また、青森県・秋田県・岩手県・宮城県・山形県・福島県・栃木県・茨城県・群馬県・山梨県・長野県・石川県・滋賀県・島根県・熊本県・宮崎県の内水面水産試験研究機関に各地確認ハプロタイプ塩基配列とハプロタイプ国内分布系統資料を提供した。

4) モツゴの国内移入現状

モツゴ *Pseudorasbora parva* は本来関東地方・新潟県以西の湖沼・細流に分布していたが、コイなどの放流に付随して分布を拡大している。その中には、アジア大陸部に由来する系統も含まれており、国内外来種あるいは同種内外来種として位置づけられる。兵庫県加古川水系のため池においてモツゴを採集し、ミトコンドリアDNA塩基配列にもとづいて、外来系統の分布状況を調査した。その結果、14面の池全てにおいて共通した系統が確認された。この系統群は琵琶湖の系統と異なっており、この地域に固有であると考えられる。また、2面の池においてアジア大陸由来の系統が確認された。これらの池は周辺に居住地の多い池であったので、外来系統の定着を招いた要因については池周辺の環境条件を含めて解析する必要があると考えられた。

5) オイカワの国内移入による自然分布との重複

オイカワ *Zacco platypus* も本来関東および北陸地方以西の主として河川に分布していたが、近年の琵琶湖アユ放流事業化にもなると琵琶湖産系統が全国的に分布を拡大した。関東地方河川においても1950年代前後からアユ放流が活発となりその頃から琵琶湖産系統オイカワが定着したと考えられる。一方で、それ以前からのオイカワの生息も記録されているので、現在では両系統が混在した状態にあると考えられる。そこで、ミトコンドリアDNA塩基配列にもとづいて、両系統を判別し鬼怒川・那珂川における分布実態を調査した。その結果、琵琶湖産系統と関東産と推定される系統が見つかった。琵琶湖産系統は鬼怒川に多く、関東産系統是那珂川に多かった。ところで、従来のオイカワ分布記載によればオイカワの太平洋沿岸自然分布域東限は利根川水系、あるいは関東地方とされていた。利根川を東限とすれば、那珂川は自然分布域から外れる。しかし、今回の調査では那珂川の方に関東産系統の個体が多く認められたので、那珂川も自然分布域に含まれていた可能性がある。ただし、以前には関東地方内でアユ放流個体の取引が行われていたこともあるので、オイカワには地域内導入の可能性もある。今後は、過去のアユ放流履歴収集や周辺河川での調査を実施して、オイカワ自然分布域の確定や琵琶湖産系統定着条件の解析を行う必要がある。

(3) 考察

以上の研究成果をもとに淡水魚を対象とした生物多様性保全とその研究上で重要性の高いと考えられることの考察を行い、以下のようにまとめた。

1) 水資源・土地利用変化による水域とその周辺環境の変化によって淡水魚の生息範囲の縮小や分断が引き起こされている。これは、従来の生息域が広範な種(メダカ)にも、限られた種(イトヨ)にも生じている。さらにそのような地域個体群の孤立化・縮小に伴って、遺伝的多様度の低下が認められるようになり、個体群存続可能性の低下が危惧される事態も生じている。このような生息環境の変質の影響は、外来種についても生じている傾向が認められる。すなわち一定の環境条件下で外来種定着が進行する傾向が窺われた。しかし、生息環境条件からの外来種定着可能性の解析はまだ不十分であり、今後の課題である。

2) 在来種の減少過程および外来種の分布拡大過程を調査するためには、遺伝子解析が極めて有効であることが確認された。本研究では、マイクロサテライトマーカーおよびミトコンドリア遺伝子座を用いて、系統解析・遺伝的多様度解析を実施したが、取扱う対象生物・課題に応じて適切な遺伝マーカーを柔軟に使い分けことが重要である。ただし、本来の系統地理分布の情報がないと、現時点での系統分布の解析が十分にはできないため、系統地理分布情報の分析・収集・蓄積が急務である。

3) オオクチバスおよびオイカワの例に見られるように、国内淡水魚の分布形成とその改変過程において琵琶湖産系統の存在は大きな意味を持っている。琵琶湖は数十万年前から固有の魚類相を進化させてきた。この魚類相は種数が豊富な上に国内の同種集団間であっても他水系とは系統的に距離がある場合が多い。それゆえ生物多様性の多様度と固有性の面で高い価値がある。そのことが琵琶湖産個体の水系外への放流を招いているため、逆にそのような人為的利用形態により他水系の生物多様性を低下させる結果を生じている。一方では、オオクチバスの定着・増殖によって琵琶湖固有の魚類相は絶滅が心配されており、生物多様性喪失の危機にある。従って、生物多様性の保全においては、生物多様性のホットスポットの特定と保全が必要とされるだけでなく、そこに

存在する生物多様性要素の利用の適切な管理も必要とされることが考えられる。

2.2 流域ランドスケープにおける生物多様性の維持機構に関する研究

2.2.1 ため池とその周辺環境における生物多様性の維持機構とその減少要因について

(1) はじめに

ため池とその周辺環境は、人の手により管理されることで、多様な動植物が生活する豊かな二次的自然として維持されてきた。現在、こうした二次的自然で生活してきた多くの動植物が絶滅の危機に瀕している。これは、農業の高齢化、兼業化、減反政策などの農業形態の変化や都市化など近年の人間社会の変化に伴い、人が自然へ積極的に関わることが少なくなったことが主因とされている。

ため池の生物相については、これまで角野¹⁰⁾、上田¹¹⁾、浜島¹²⁾らにより報告されているが、これらの生物がため池とその周辺環境をどのように利用して生活しているのかについての知識は極めて断片的である¹³⁾。日本列島はトンボの種類が多く、約180種の生息が知られているが、その内の約80種がため池を主な生息場所としている¹⁴⁾。そこで、ため池を象徴する生物であるトンボ群集を指標として、ため池の生物多様性がどのような環境要素を基盤に維持されているのか、そして、それを減少させている要因は何かを明らかにしようとした。具体的には、兵庫県南西部のため池の調査から、トンボ種の生態的属性と分布を規定する関係を探ることで、現在の環境でトンボ群集の分布を支配している主要な環境条件を推定した。こうした結果をふまえ、ため池の生物多様性を保全するために重要な環境要素について示した。

(2) 方法

1) 調査場所

調査は、兵庫県神戸市、明石市、三木市、小野市、加古川市、稲美町、社町のため池35箇所で行った。調査対象とするため池は、その景観的特徴が、都市域、田園域、中山間域に属するため池が、ほぼ均等になるように選んだ。さらに、おのおのの景観について、植生がない池、抽水植物群落が発達している池、浮葉植物群落が発達している池が、ほぼ均等に含まれるようにした。調査対象とした池の面積は $9342\text{ m}^2 \pm 6689\text{ m}^2$ (平均値

±SD), 周囲長は 418 m±155 m と, どちらかというところから中のため池である。

2) トンボの調査

調査は, 池を一周歩いてまわる間に観察された種類と数とを記録するというラインセンサス法にて行った。センサスは計 6 回行った。4 月後半から 5 月初旬, 5 月後半, 6 月後半, 7 月後半, 9 月, 10 月である。また, 同じ個体を 2 度以上計数しないように注意した。トンボ幼虫の調査は, 越冬幼虫を採集するために 12 月から 4 月初旬の間に 1 回, 春に孵化する幼虫については 5 月中旬から 6 月中旬の間に 1 回, 計 2 回行った。採集は, 0.9 m×0.9 m で高さ 0.45 m の方形枠をおのおの池の沿岸部数箇所におき, その中に含まれる植物残渣を含む表泥を D-フレームネットですべてすくいとった。

3) ため池の景観・植生・池の地形的特徴

池の面積, 周囲長, コンクリート護岸長は, 各市町村保有の 1:2500 の土地改良地図から読み取った。池周辺 1~10 km のスケールの土地被覆は, 環境省生物多様性センターが提供している 1:50,000 の植生地図 (1993~1998) を利用した。また, 他については, 高度 150 m と高度 600 m の上空からヘリコプターによる写真撮影を行い, オルソ化を行い, 1:2500 の土地被覆地図を作成した。池周辺の土地被覆は GIS 上で 10 m, 200 m, 1000 m, 5000 m, 10,000 m のバッファーを発生させて定量化した。ただし, 海域の部分は除いた。

また, 池から上に示したスケールのバッファー内については, 30 m メッシュの標高データを用いて, 春分の日の太陽を想定し, 各池への日射量を求め, 各池の日射指標とした。

池の水生植物群落の被度については, 高度 150 m の上空からヘリコプターによる写真撮影をもとに, 肉眼で植生の違いを判別することで面積を求めた。現場の植生については, ヘリコプターの撮影と時期をあわせて現地調査を実施し, 池に出現する水生植物種を記録した。

4) ため池の水質測定

池の水質測定は, 基本的に池の中央で, 春, 夏, 秋の年 3 回行い, その平均データを用いた。池中央へは, フローターに乗って行き, 水深, 透明度, 水温 (DO meter model 55, YSI, Ohio), pH (pH/cond meter

model 63, YSI, Ohio), DO 濃度 (DO meter model 55, YSI, Ohio), 光量子の減衰率を測定した。また, 化学分析用に, 水深 0.5 m の水を採水した。

無機態窒素, 無機態リン, 溶存性有機炭素 (DOC), 各イオン濃度の測定用サンプルは, あらかじめ 450 °C で 3 時間焼き, 有機物を除去したグラスファイバーろ紙 (GF/F, Whatman plc, Maidstone, UK, 以下グラスファイバーろ紙と記す) でろ過後, 測定まで冷凍 (-20 °C) 保存した。鉄 (Fe) とケイ酸態ケイ素 (Si) の測定用サンプルは, 同様にろ過後のろ液に最終濃度が 1 % になるように塩酸を加えた。

溶存反応性リン (SRP) 濃度はモリブデン青法¹⁰⁾, アンモニア態窒素 (NH₄-N) 濃度はインドフェノール法¹⁴⁾, 亜硝酸態窒素 (NO₂-N) 濃度はナフチルエチレンジアミン法 (APHA, 1998¹⁵⁾), および硝酸態窒素 (NO₃-N) 濃度はカドミウム銅カラムで還元し NO₂-N に変換してナフチルエチレンジアミン法でオートアナライザー (AACS II, Bran + Luebbe K. K., Norderstedt, Germany) を用いて測定した。DOC 濃度は全有機体炭素計 (TOC-5000A, Simadzu, Kyoto) で測定した。陽イオン (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) と陰イオン (Cl⁻, SO₄²⁻) 濃度はイオンクロマトグラフ (IA-100, DKK-TOA, Tokyo) で, Si と Fe 濃度はプラズマ発光分析装置 (ICAP-61 E-Trace, Thermo Jarrell Ash, MA, USA) で測定した。

水中の懸濁態物質 (SS) 量は, あらかじめ 450 °C で 3 時間焼き重量を測定したグラスファイバーろ紙上に集め, 乾燥後に再び重量測定を行った。Chl. *a* 濃度は, 水中の懸濁物をグラスファイバーろ紙上に集め, 冷暗下にて 99.9 % メタノールで 1 昼夜抽出したものを分光光度計 (220 A, Hitachi, Tokyo) で測定した¹⁶⁾。全リン (TP) 濃度は酸性下で試水にペルオキシ二硫酸カリウムを加え加熱分解した後, SRP に変換して測定した。全窒素 (TN) 濃度はアルカリ性下で試水にペルオキシ二硫酸カリウムを加え加熱分解した後, NO₃-N をカドミウム銅カラムで還元し NO₂-N に変換して測定した。

5) 魚と大型甲殻類

魚と大型甲殻類の調査は, 定置網を一日, ため池の沿岸部に設置することにより数値データとした。定置網は一日設置した後回収し, 網にかかったすべてのものについて, 種類ごとに数と重さを測定した。

6) 池の水位管理など

ため池管理者によるため池の水管理や、流入するため池の水をどこからひいているかなどの情報は、ため池管理人に対しての聞き込み調査を行った。冬季の水落としの程度は、池の底が露出する（レベル1）、池の底は露出しない（レベル2）、ほとんど水落としを実施しない（レベル3）とした。また、池に入る農薬の程度は、池の水のほとんどを水田から引いている（レベル1）、一部水田の水を引いている（レベル2）、水田の水は利用していない（レベル3）とした。

7) トンボ種の生態的屬性について

森林要求性、移動性、化生、産卵場所、幼虫の生息場所の5つの生態的屬性について、既存の文献（省略）をもとに点数化した。森林要求性と移動性は高（3）・中（2）・低（1）に分けた。化生については、1年2世代（2）、年1世代（1）、2年1世代（0.5）とした。産卵場所については、植物に依存するものと依存しないもの、幼虫の生息場所については底泥上のもの、植物依存であるものに、おのおの分け、当てはまるものは1、あてはまらないものは0とした。

8) 統計解析

除歪対応分析（DCA）はCANOCO 4.5¹⁷⁾を用いて求めた。相関については、ケンダールの順位相関とKruskall-Wallis testはR¹⁸⁾を用いた。

(3) 結果

1) ため池のトンボ成虫群集の分布を支配している要因

今回の調査で年間計52種5753個体の成虫を観察した（表6）。最も少なかった池は、年間を通して6種類10個体しか観察されなかった。最も多かった池は30種類511個体であった。トンボ種の分布特性を明らかにするために、1池にのみ出現した7種を除く45種を用いて除歪対応分析（DCA）を行った（図10a）。DCA 1軸は全変動の23.1%、DCA 2軸は8.5%、DCA 3軸は5.2%を説明した。DCA 1軸のトンボ45種の並び（スコア）とトンボの属性の間関係（表7a）から、トンボ種の分布の分散を最もよく説明するトンボの生態的屬性は、森林要求性、移動性および化生であると考えこ

とができた。すなわち、図10aの右には、森林要求性が低く、移動性が高く、かつ化生が高い種が、反対に左には、森林要求性が高く、移動性が低く、かつ化生が低い種が位置する傾向が現れた。DCA 2軸のトンボ45種の並び（スコア）とトンボの属性の間関係（表7a）からは、産卵場所と幼虫の生息場所に有意差が現れた。すなわち、図10aの下には水生植物に依存したトンボ種が位置した。DCA 3軸のトンボ種のスコアと生態的屬性の関係は明らかでなかった。

DCA 1軸からDCA 3軸の池のスコアと有意な相関（ $p > 0.05$ ）を示した環境変数を表8に示す。選ばれた変数間でお互いに高い相関のある変数については、最も相関係数の高い変数を選び出した。DCA 1軸とは「池から半径200m内の森林面積」が最も高い負の相関を示した。これと相関しない変数では、「池から半径10km内の水田面積」が負の相関を示し、「池から半径10m以

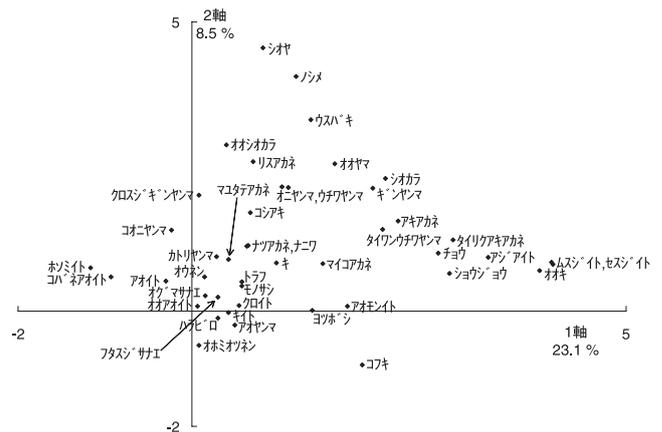


図10 a. トンボ成虫種の除歪対応分析による座標付け

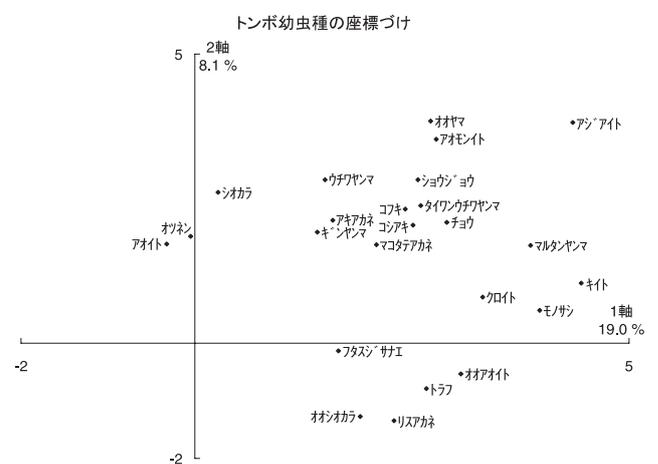


図10 b. トンボ幼虫種の除歪対応分析による座標付け

表6 本調査で観察されたトンボ種全種のリスト及びトンボの生態学的形質を数値化したもの
DCA にかけた種を+, かけなかった種を-で示す。

No.	種名	和名	成虫が観察された種類	幼虫が観察された種類	成虫の森林要求性	成虫の移動性	植物内産卵	幼虫生息場所: 陸生	幼虫生息場所: 植物付着
幼虫越冬種									
1	<i>Calopteryx atrata</i> Selys, 1853	ハグロトンボ	-	-					
2	<i>Copera annulata</i> (Selys, 1863)	モノサシトンボ	+	+	1	2	1	0	1
3	<i>Ceragrion melanurum</i> Selys, 1876	キイトンボ	+	+	0	2	2	1	0
4	<i>Ischnura senegalensis</i> (Rambur, 1842)	アオモンイトンボ	+	+	0	2	2	1	0
5	<i>Ischnura asiatica</i> Brauer, 1865	アジアイトンボ	+	+	0	3	2	1	0
6	<i>Cercion calamorum calamorum</i> (Ris, 1916)	クロイトンボ	+	+	1	2	2	1	0
7	<i>Cercion sexlineatum</i> (Selys, 1883)	ムスジイトンボ	+	-	0	1	2	1	0
8	<i>Cercion hieroglyphicum</i> (Brauer, 1865)	セスジイトンボ	+	-	0	1	2	1	0
9	<i>Aeschnophlebia longistigma</i> Selys, 1883	アオヤンマ	+	-	0	3	1	1	0
10	<i>Anaciaeschna martini</i> (Selys, 1897)	マルタンヤンマ	+	+	1	3	1	1	0
11	<i>Anax parthenope julius</i> Brauer, 1865	ギンヤンマ	+	+	0.5	3	1	1	0
12	<i>Anax nigrofasciatus nigrofasciatus</i> Oguma, 1915	クロスジギンヤンマ	+	+		1	2	1	1
13	<i>Asiagomphus melaenops</i> (Selys, 1854)	ヤマサナエ	-	-					
14	<i>Trigomphus citimus tabei</i> Asahina, 1949	タバサナエ	-	-					
15	<i>Trigomphus interruptus</i> (Selys, 1854)	フタスジサナエ	+	+	1	2	0.5	0	1
16	<i>Trigomphus ogumai</i> Asahina, 1949	オグマサナエ	+	+	1	2	0.5	0	1
17	<i>Ictinogomphus pertinax</i> (Selys, 1854)	タイワンウチワヤンマ	+	+	0.5	3	0	1	0
18	<i>Sinictinogomphus clavatus</i> (Fabricius, 1775)	ウチワヤンマ	+	+	1	3	0.5	0	1
19	<i>Epophthalmia elegans elegans</i> (Brauer, 1865)	オオヤマトンボ	+	+	1	3	0	1	0
20	<i>Epithea marginata</i> (Selys, 1883)	トラフトンボ	+	+	1	3	1	0	1
21	<i>Lyriothemis pachygastra</i> (Selys, 1878)	ハラビロトンボ	+	+	0	2	0	1	0
22	<i>Libellula angelina</i> Selys, 1883	ベッコウトンボ	-	-					
23	<i>Libellula quadrimaculata asahinai</i> Schmidt, 1957	ヨツボシトンボ	+	+	0.5	3	1	0	1
24	<i>Orthetrum albistylum speciosum</i> (Uhler, 1858)	シオカラトンボ	+	+	0	3	2	0	1
25	<i>Orthetrum japonicum japonicum</i> (Uhler, 1858)	シオヤトンボ	+	+	0	3	1	0	1
26	<i>Orthetrum triangulare melania</i> (Selys, 1883)	オオシオカラトンボ	+	+	1	2	1	0	1
27	<i>Nannophya pygmaea</i> Rambur, 1842	ハッチョウトンボ	-	-					
28	<i>Deilila phaon</i> (Selys, 1883)	コフキトンボ	+	+	0	2	0	1	0
29	<i>Crocothemis servilia mariannae</i> Kiauta, 1983	ショウジョウトンボ	+	+	0.5	2	2	0	1
30	<i>Sympetrum speciosum speciosum</i> Oguma, 1915	ネキトンボ	-	-					
31	<i>Pseudothemis zonata</i> (Burmeister, 1839)	コシアキトンボ	+	+	0	2	1	0	1
32	<i>Rhyothemis fuliginosa</i> Selys, 1883	チョウトンボ	+	+	0	3	1	0	1
卵越冬種									
33	<i>Lestes sponsa</i> (Hansemann, 1823)	アオイトトンボ	+	+	1	2	1	1	0
34	<i>Lestes japonicus</i> Selys, 1883	コバネアオイトトンボ	+	-	1	1	1	1	0
35	<i>Lestes temporalis</i> Selys, 1883	オオアオイトトンボ	+	+	1	1	1	1	0
36	<i>Gynacantha japonica</i> Bartenef, 1909	カトリヤンマ	+	-	1	2	1	0	0
37	<i>Sympetrum darwinianum</i> (Selys, 1883)	ナツアカネ	+	+	0.5	3	1	0	1
38	<i>Sympetrum frequens</i> (Selys, 1883)	アキアカネ	+	+	1	3	1	0	1
39	<i>Sympetrum eroticum eroticum</i> (Selys, 1883)	マユタテアカネ	+	+	1	2	1	0	1
40	<i>Sympetrum kunkeli</i> (Selys, 1884)	マイコアカネ	+	-	1	2	1	0	1
41	<i>Sympetrum risi risi</i> Bartenef, 1914	リスアカネ	+	+	1	2	1	0	1
42	<i>Sympetrum infuscatum</i> (Selys, 1883)	ノシメトンボ	+	-	1	3	1	0	1
43	<i>Sympetrum baccha matutinum</i> Ris, 1911	コノシメトンボ	-	-					
44	<i>Sympetrum gracile</i> Oguma, 1915	ナニワトンボ	+	+	1	2	1	0	1
45	<i>Sympetrum croceolum</i> (Selys, 1883)	キトンボ	+	+	1	3	1	0	1
46	<i>Sympetrum uniforme</i> (Selys, 1883)	オオキトンボ	+	-	0.5	3	1	0	1
成虫越冬種									
47	<i>Sympecma paedisca</i> (Brauer, 1877)	オツネントンボ	+	+	1	3	1	1	0
48	<i>Indolestes peregrinus</i> (Ris, 1916)	ホソミオツネントンボ	+	+	1	3	1	1	0
49	<i>Aciagrion migratum</i> (Selys, 1876)	ホソミイトンボ	+	-	1	3	2	1	0
偶発種など									
51	<i>Sieboldius albardae</i> Selys, 1886	コオニヤンマ	+	+					
52	<i>Anotogaster sieboldii</i> (Selys, 1854)	オニヤンマ	+	+					
53	<i>Pantala flavescens</i> (Fabricius, 1798)	ウスバキトンボ	+	+					
54	<i>Sympetrum depressiusculum</i> (Selys, 1841)	タイリクアキアカネ	+	+					

表7a トンボ成虫種の DCA スコアと 6 つの生態属性の間の関係

Kruskal-Wallis test による P 値。+ は正の相関, - は負の相関を示す。

トンボ成虫	n	DCA 1 軸	DCA 2 軸
森林要求性	38	0.003	-
移動性	38	0.015	+
化生	34	0.035	+
産卵場所(植物内産卵)	38		0.035 -
幼虫の生息場所(植物内もしくは上)	38		0.010 -
幼虫の生息場所(底生)	38		0.049 +

表7b トンボ幼虫種の DCA スコアと 6 つの生態属性の間の関係

Kruskal-Wallis test による P 値。

トンボ幼虫	n	DCA 1 軸	DCA 2 軸
森林要求性	23		0.046 -
移動性	23		
化生	23		
産卵場所(植物内産卵)	23	0.027	-
幼虫の生息場所(植物内もしくは上)	23	0.010	-
幼虫の生息場所(底生)	23	0.027	+

表 8 トンボの成虫群集において DCA 1 軸, 2 軸, 3 軸と有意な相関を示した環境変数

選ばれた変数	p value	Kendall
DCA 1 軸		
(1) 200 m 以内の森林面積	0.0004	- 0.422
(2) 周囲長	0.0015	0.377
(3) 面積	0.0020	0.361
(4) 10 m 以内の草地面積	0.0024	0.359
(5) 10 km 以内の水田面積	0.0040	- 0.338
(6) 10 m 以内の水域面積	0.0040	0.338
(7) 5km 以内の草地面積	0.0092	- 0.308
(8) コンクリート長	0.0198	0.276
(9) 200 m 以内の水田面積	0.0247	0.266
(10) 日射指標 SD	0.0280	- 0.261
(11) 日射指標幅	0.0321	- 0.254
(12) 10 km 以内の森林面積	0.0349	- 0.250
(13) 10 km 以内の草地面積	0.0375	- 0.247
DCA 2 軸		
(1) 抽水植物面積	0.0002	- 0.442
(2) 水生植物全種数	0.0004	- 0.418
(3) 浮葉植物種数	0.0011	- 0.387
(4) 抽水植物種数	0.0056	- 0.328
(5) 10 km 以内の森林面積	0.0099	- 0.304
(6) 5 km 以内の森林面積	0.0191	- 0.277
(7) 沈水植物種数	0.0230	- 0.269
(8) 1km 以内の森林面積	0.0310	- 0.255
(9) 1km 以内の水辺植生面積	0.0327	0.253
(10) 200 m 以内の森林面積	0.0340	- 0.251
(11) 最大水深	0.0416	0.241
(12) 5km 以内の草地面積	0.0422	- 0.240
(13) 5km 以内の水辺植生面積	0.0431	0.240
DCA 3 軸		
(1) 200 m 以内の市街地面積	0.0023	- 0.361
(2) コンクリート護岸長	0.0040	- 0.340
(3) 1km 以内の市街地面積	0.0083	- 0.311
(4) 10 m 以内の市街地面積	0.0130	- 0.294
(5) 5km 以内の市街地面積	0.0241	- 0.267
(6) 10 m 以内の水域面積	0.0349	- 0.250
(7) 開水面積	0.0436	- 0.239

内の草地面積」「池から半径 200 m 内の水田面積」が正の相関を示した。DCA 2 軸とは、「池の中の抽水植物面積」「全水生植物の種数」「沈水植物の種数」が高い負の相関を示した。これら 3 変数はお互い高い相関はなかった。さらに、幾つかの景観変数が選ばれた。景観変数間はお互い高い相関を示したが、先に述べた水草に関する変数とは特に高い相関はなかった。最も高い相関を示した景観変数は「池から半径 10 km 内の森林面積」であった。DCA 3 軸と相関を示した 7 変数はお互いが高い相関を示した。最も高い相関を示した環境変数は「池から半径 200 m 内の市街地面積」であった。

2) ため池のトンボ幼虫群集の分布を支配している要因成虫と同様に 1 池にのみ出現した 13 種を除く 24 種を用いて除歪対応分析 (DCA) を行った (図 10 b)。DCA 1 軸は全変動の 19.0 %, DCA 2 軸は 8.1 % を説明した。DCA 1 軸の幼虫 24 種の並び (スコア) とトンボの属性の間の関係 (表 7 b) から、トンボ種の分布の分散を最もよく説明すると考えられるトンボの生態的属性は、幼虫の生息場所と産卵場所であった。すなわち、図 10 b の左には植物内もしくは植物上に生息する幼虫種、もしくは植物に産卵する種類が位置し、右には植物に依存しない種類が位置した。DCA 2 軸の幼虫 24 種の並び (スコア) とトンボの属性の間の関係 (表 7 b) から、森林要求性に有意差が現れた。図 10 b では森林要求性が高い種が下に位置する傾向を示した。

DCA 1 軸と DCA 2 軸の池のスコアと有意な相関 ($p > 0.05$) を示した環境変数を表 9 に示す。成虫の場合と同様な方法で有意な環境変数を選んだところ、DCA 1 軸とは「アメリカザリガニの数」「池から半径 200 m 内の市街地面積」「開水面積」「池底の溶存酸素濃度」が選ばれいずれも負の相関を示した。DCA 2 軸とは、「水中の Fe 濃度」「沈水植物面積」が負の相関を示した。「ブルーギルの数」「10 m 以内の市街地面積」「1 km 以内の畑地面積」と正の相関を示した。

(4) 考察

兵庫県南西部のため池とその周辺地域でのトンボ成虫群集の分布の分散は、第一に種特異的な森林要求性、移動性、第二に産卵場所や幼虫の生息場所などの生態特性により支配されていると考えられた。森林要求性の高い種と対照的な位置を占めた種は、高い移動性を持ち、化

表9 トンボの幼虫群集においてDCA1軸、2軸と有意な相関を示した環境変数

選ばれた変数	p value	Kendall
DCA 1軸		
(1) アメリカザリガニの数	0.0026	-0.404
(2) 200 m 以内の市街地面積	0.0053	-0.373
(3) 浮葉植物種数	0.0082	0.354
(4) 開水面面積	0.0100	-0.345
(5) 池底の溶存酸素濃度	0.0107	-0.342
(6) 5km 以内の池の数	0.0343	0.283
(7) 水中の Si 濃度	0.0416	-0.273
(8) 1km 以内の市街地面積	0.0416	-0.273
(9) 10 m 以内の水田面積	0.0418	0.273
(10) 10 km 以内の市街地面積	0.0457	-0.268
(11) 5km 以内の水田面積	0.0457	0.268
DCA 2軸		
(1) 水中の Fe 濃度	0.0008	-0.448
(2) 水中の Si 濃度	0.0022	-0.411
(3) 日射指標幅	0.0032	-0.395
(4) 日射指標 SD	0.0041	-0.384
(5) 200 m 以内の森林面積	0.0059	-0.369
(6) 沈水植物面積	0.0378	-0.278
(7) 沈水植物種数	0.0388	-0.277
(8) 1km 以内の草地面積	0.0448	-0.269
(9) ブルーギルの数	0.0037	0.389
(10) 水中の Ca 濃度	0.0076	0.358
(11) 水中のアルカリ度	0.0134	0.331
(12) 水中の SO ₄ ²⁻ 濃度	0.0140	0.329
(13) 水中の K 濃度	0.0164	0.321
(14) 10 m 以内の市街地面積	0.0233	0.304
(15) 水中の pH	0.0343	0.286
(16) 1km 以内の畑地面積	0.0368	0.280
(17) 水中の TP 濃度	0.0457	0.268

生が高い傾向が認められた。DCA 第1軸およびDCA 第2軸と高い相関を示した環境変数は、こうしたトンボの生態特性とよく適合していたと考えられる。しかし、DCA 3軸には市街地化がトンボの成虫群集の分布に影響を与えていることが示された。

水域に隣接する森林は、餌場、ねぐら、強風や捕食者からの避難場所を提供し、体温調節や交配行動に重要な役割を果たすと言われている。多くのトンボ種は森林内を頻りに往復するが、その距離は数mから数百mと言われている¹⁹⁾。Conrad ら²⁰⁾は、幾つかの池の間を移動する7種のトンボの移動距離をマーク・アンド・リキャプチャー法により測定し、平均的に155mという数値を得ている。また、最も移動した個体は1.2kmと報告している。本研究では、成虫第1軸と最も高い相関をもつ環境変数として「池から半径200m内の森林面積」が選ばれた。そのため、このスケールの森林がトンボ群集の生活史に重要な機能を有していると考えることができた。

今回出現したトンボ種では、森林要求性と化生との間に負の関係があった。しかし、移動性と森林要求性、あるいは移動性と化生との間には有意な関係はなかった。

そのため、高い化生を有する種類は、森林を利用することなく、低い標高に位置する開けた池環境で成長を早めるという生活史戦略をとっていると推定される。環境変数として「池から半径10m以内の草地面積」や「池から半径200m内の水田面積」と正の相関があったことは、こうした近場の草地在餌場を提供していること、また、成長を早めるための暖かな環境を提供していると考えられるかもしれない。

水生植物は、産卵場所だけでなく、ねぐら、止まり木、捕食者からの避難場所、体温調節のための日陰、餌場、交配場所を提供するトンボ群集にはなくてはならない環境要素として広く認識されている。今回の調査では、こうした多機能の中でも産卵場所としての機能が重要であることが示された。あるトンボ種が水生植物を産卵基質として用いるか否かは、形態学的に産卵管を有するか否かに依存し、種により遺伝的に決まっていると考えられる。従って、産卵管を有する種類では産卵基質としての水生植物の存在が繁殖のためには必要不可欠である。

水生植物に関する幾つかの環境変数の中では、「抽水植物の面積」と「全水生植物種数」が高い相関で選ばれた。抽水植物は浮葉植物や沈水植物と異なり、枯れた後も産卵基質となる。また、早春に産卵するトンボ種にとっては、浮葉植物や沈水植物がまだ出現する前なので抽水植物が産卵基質としての役割を果たす。しかし、密なヨシの生長はトンボの個体群には好ましくないとの報告もある²⁰⁾。今回の調査池の抽水植物面積は最大で池の38%を占めていた。そのため、この程度の被度では負の影響はないと考えられる。さらに、水生植物の種数が選ばれたことは、多様な水生植物の存在がこの地域のトンボ群集の産卵生態に重要であることを示しているだろう。

トンボ幼虫群集の分布の分散を最もよく説明した生態的特性は幼虫の生息場所と産卵場所で、二番目が森林要求性であった。二番目の生態属性に森林要求性が選ばれたことは、幼虫群集の分布が、成虫の分布の影響を大きく受けていることを示している。ところが、成虫群集とは異なり、幼虫群集の場合、選ばれた環境変数には、こうした生態特性と必ずしも適合しない変数が高い相関を示した。まず、DCA 第1軸と最も高い相関を示したのは侵略的外来種であるアメリカザリガニの数であった。アメリカザリガニがトンボ幼虫に与える影響については

知見がないが、ザリガニの仲間はトンボの捕食者として知られている。また、生物攪乱者 (bioturbator) として水生植物に負の影響を与えるとされる。選ばれた環境変数から総合的に考えると、現在のこの地域のトンボ幼虫群集の分布の分散は、市街地に隣接し、水生植物がなく、アメリカザリガニのいるような環境とこれと対照的な環境傾度で説明される。成虫群集と異なり、幼虫種の分布は、市街化や外来種の影響を大きく受けていることが示された。

DCA 2 軸と相関があった環境変数は、おおむね成虫の DCA 1 軸で選ばれた変数が選ばれたが、これもブルーギルの数や市街地に関する変数が選ばれたため、市街化と外来種の影響を受けていることが推定された。

(5) ため池の生物多様性保全に向けて

ため池とその周辺地域のトンボ群集の生息地選択は、まず、比較的広域のビオトープスケール (数百メートル) で、次に、数メートル程度のスケールで空間的な階層性に基づいてなされるようである。トンボの生態特性に基づいて、現在のため池とその周辺地域の生物多様性を保全するためには、池の周り 200 m くらいの空間スケールで森林が豊富にあり、さらに、その周り 10 km くらいの空間スケールでは水田地帯が広がっているような環境が重要であることを示している。これは、おおむねこの地域に多く存在する谷池の環境を示していると考えられる。さらに、森林要求性の低いトンボ群集については、池近場の草地面積の豊富な環境が重要であることが示された。おそらく、水田地帯の平野部に位置する皿池で堰堤が草地になっているような池が、重要であることを示している。さらに、池の中には抽水植物面積が池面積の 1 / 3 程度は広がるような、多様な水生植物相が必要である。すでに中間報告書で述べたが、ため池のトンボ成虫の種数は、お互いに相関が低い次の 4 変数の重回帰式として表すことができ、それによって全変動の 81 % が説明できた。すなわち、「ため池周囲から半径 200 m の森林面積」、「池の水生植物種数」、「コンクリート護岸をしていない草が茂っている堰堤の長さ」と正の相関があり、「水中の窒素濃度」と負の相関があった。生物多様性はコンクリート護岸や富栄養化により確実に減少する。

現状のトンボ群集は、すでに市街地化の影響を大きく受けていると考えられる。特に、影響は幼虫群集に大き

く現れている。さらに、幼虫群集は直接の幼虫の捕食者となるアメリカザリガニやブルーギルなどの侵略的外来生物の影響により、本来の分布特性が変化している可能性が指摘された。そのため、こうした外来生物の駆除・防除が、生物多様性の保全に不可欠になる。

2.2.2 ダムによる生息環境分断の影響と既存保全地域の評価ならびに河川直線化の定量的評価

(1) はじめに

ダム建設による河川の分断が淡水生物の多様性を低下させていることは疑いのない事実である。ダムによる生物多様性低下のメカニズムはいくつか考えられが、もっとも明白なものは、生物の移動、特に河川遡上の障害である。例えば生活史の中で海と河川を両方必要とするサケやアユ、そしてウナギなどは、産卵や生育の場となる河川上流に到達できなくなった時点で、事実上、地域的な絶滅の道を歩まざるを得ない。

一部の指標生物や水産上有用な魚種を対象に、特定のダムやダム群の影響を調べた研究例は決して少なくない。しかし広域的に複数の流域にまたがって建設された多数のダムについて、淡水魚類への影響を解析した研究は限られている。そこでまず始めに、ダムによる河川分断のサクラマス (*Oncorhynchus masou*) への影響について、生息適地モデルを用いて、北海道全域を対象に解析した。

さらに、生息適地モデルを使って、野生生物の保全地域の効果についても評価を行った。同じく北海道全域を対象に、保護水面と呼ばれる保全地域に指定されている 32 の河川水系が、サケ科魚類であるサクラマスならびにイトウ (*Hucho perryi*) の保護に対して、どの程度機能しているのかについて、ギャップ分析による客観的かつ定量的な評価を行った。

生息適地モデルは、実際に観察された生物の生息状況とその生息地の環境データとの統計的關係式を基に、生物情報が不明な地域に対しても、その生物の生息確率などを推定するモデルである。近年、リモート・センシングにより取得される地表面のデジタルデータの種類は急激に増加し、かつそれらが安価に入手できるようになってきた。また地形や気象をはじめ、さまざまな空間データが国や地方自治体レベルで盛んに電子化され、インターネットによる一般公開も進んできている。容易に収集可能となった環境データを基に、これまで定量的把握

の難しかった生物生息状況を、面的かつ広範囲に推定できる生息適地モデルは、野生生物の保護・管理計画や自然再生などへの応用が期待され、社会的な需要も急速に高まっている。

最後に、河川地形の複雑度、あるいはその平面形状の多様性が、これまで河川改修などによって直線化された結果、どの地域でどの程度低下してきたかを、同じく北海道全域を対象に定量的に評価した。道内すべての1級および2級水系の河川本流が、過去約50年間に均質化されてきた状況を、新たに開発した複雑度指標を用いて把握した。

自然河川の地形や景観には、瀬淵や蛇行、網状流、河床間隙水域（ハイボレイックゾーン）、氾濫原、あるいは河畔林の構造など、空間スケールに応じてさまざまな地形学的多様性（geodiversity）が内在する。しかし一方で、例えば同じ地形が流路に沿って何度となく繰り返される規則性という、相反する性質も持ち合わせている。

複雑で多様、かつ規則的な河川環境は、淡水魚類や水生昆虫などに生息環境を提供し、進化的時間スケールで流域の生物多様性を豊かにし、またそれを維持する役目を負ってきた。しかし近年、日本をはじめ世界各地の多くの河川において、河道が直線化され、またなんらかの人為改変を加えられることで、かつての多様な河川地形が著しく損なわれてきている。河川地形の均質化は、間違いなく生物多様性の低下をもたらす一因となってきたはずである。

（2）方法

1）淡水魚類データベース

北海道には60～70種ほどの淡水魚が生息するが、その半数近くは、一生の間に海と川を行き来する通し回遊魚である。そのため北海道の淡水魚類は、ダムによる河川分断の影響を被り易い。北海道では過去半世紀の間に少なくとも6,674件の魚類調査が行われている。この数は、環境省による自然環境保全基礎調査や、国交省による河川水辺の国勢調査、また北海道によるサケ・マス保護水面管理事業調査などの調査データ、さらに国や道による環境アセスメント等の報告書や論文からのデータをひとつのデータベースに統合してGISで解析可能な形式に整備した結果の集計値である。このデータベースの収録文献数は計881あり、収録したデータの取得年代は

1953～2003、調査時期は主に6～10月（90%以上）である。すべての調査地点は河口から標高1,400mまでの河川湖沼に分布する。

2）サクラマスとイトウについて

サクラマスは東日本を中心に広く分布し、北海道でも河川上流から下流まで比較的広い生息域をもつ。道内のサクラマス個体群は水産資源保護法によって指定された前述の保護水面、32水系を中心に手厚く保護されており、増養殖された稚魚の放流も盛んに行われてきた。北海道のサクラマスは少なくともメスに関しては、ほとんどすべてが溯河回遊型の生活史を有する。また他のサケ科魚類と同様、その産卵場所は一般に河川上流に位置する。そのためサクラマス資源に対するダムによる流域分断の影響は、通し回遊魚の中でも特に著しいものであることが予想される。その影響がどの地域で、どれくらいの規模で生じているかを定量的に把握することは、生物多様性保全のみならず、水産資源保護の観点からも重要な課題である。

日本では北海道にのみ生息する大型のサケ科魚類イトウは生息数と生息域の急速な減少により、その存続はきわめて危機的な状況に瀕している。本種は環境省によるレッドデータブックでは絶滅危惧IB類に、また北海道レッドリストでは絶滅危機種に位置づけられている。北海道では、南限系統群の保護を目的として利別川、また北限系統群の保護を目的として増幌川と幌内川の計3つの保護水面において本種の生息状況のモニタリングが継続されている。しかしサクラマスと違い水産資源でないことから、積極的な保護の手立ては講じられていない。まずは既存の保護水面を維持することが、イトウ保護にどの程度貢献しうるかについて、科学的に評価する必要がある。

3）ダムデータベース

過去50年間に行われた多数の魚類調査結果に対して、ダムによる分断の影響を調べるためには、各々の魚類調査が行われた時点で、その地点より下流にダムがあったか否かを知ることが欠かせない。そこでまずダムによる分断流域マップを作成し、北海道のどの流域がいつから海と分断されていたかを把握した。その上で、すべての魚類調査地点について、ダムに分断された流域に含まれるか否か、そうであれば調査年と流域分断年との前後関

係を GIS によって把握した。例えば調査年が分断年より古ければ、現在ダムで分断されていたとしても、その調査データはダムの影響を受けていなかったことになる。なお、本報告書では、解析の対象とした河川横断構造物であるダム（河川法の定義による）ならびに砂防ダムの両者を総称して“ダム”と呼ぶことにする。

4) 生息適地モデル

本研究で使用した生息適地モデルは、ロジスティック回帰を用いた一般化加法モデル (Generalized Additive Model; GAM)、つまり一般化線形モデルの線形予測部分を平滑化関数の和で置き換えたものであり

$$\text{logit } P = \alpha + \sum_{i=1} f_i(X_i)$$

と表すことができる。ここで P はサクラマスまたはイトウの生息確率である (ただしその観測値は「いる／いない」という 2 値の論理値)。 α は定数項、 f は平滑化関数 (ここでは自由度 = 4 のスプライン関数) とし、説明変数 X_i は採捕地点におけるさまざまな環境要因である。GAM は一種のノンパラメトリック回帰であり、説明変数と応答変数との間の非線形関係を記述する能力が高い。

5) 河川のベクトルデータ化

北海道には国が指定した 1 級水系が 13、また道が指定した 2 級水系が 213 存在する。ここではこれら 1 級、2 級水系を合わせた計 226 水系の河川本流を対象とした。これら河川本流の平面形状は、1950 年代に国土地理院より発行された 1 / 50,000 旧版地図及び現在発行されている同縮尺の地形図 (2000 年代の地形図と呼ぶ) から把握した。

上記の地形図及び旧版地図は、スキャナによって画像ファイルとして取り込んだ後、ERDAS IMAGINE 8.5 によって投影法を UTM ゾーン 54 に幾何補正し、Easy Trace ver. 7 を用いて河川流路に対応する画素を自動抽出し、河川のベクトルデータ化を行った。さらにこの河川データ (ライン) は ArcGIS 9.0 を用いて流程に沿った 10 m 間隔の連続するポイントデータに変換した。

6) 河川地形の複雑度指標

本研究では一般化エントロピーを応用した河川多様度

指標 YS を用いて、河川本流の平面形状の多様度を定量化することにした。 YS 指標は以下のように定義される。

まず一般化エントロピー S として

$$S = - \sum_i p_i \log p_i$$

の式を用いる (対数は常用対数)。

ここで p_i は全部で n 個ある構成要素のそれぞれが全体に占める比率を示す。このとき S は

$$0 \leq S \leq \log n$$

の条件を満たし、その値が最大値 $\log n$ となるのは、すべての構成要素が等しく $p_i = \frac{1}{n}$ となるときである。この式を以下のように変形して得られる YS は、完全均等、平等な状態からの隔たりを示す指数となる。

$$\begin{aligned} YS &= \frac{\log n - S}{\log n} \\ &= 1 - \frac{1}{\log n} \left(- \sum_i p_i \log p_i \right) \end{aligned}$$

この YS 指標は、Theil Entropy を次式のように標準化した形になっている。

$$0 \leq YS \leq 1$$

エントロピー S が大きいほど YS 指標は小さくなり、 $S = \log n$ 、つまり $S = \log n$ であり $p_i = \frac{1}{n}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) のときに最小値 0 となる。

各構成要素の比率 p_i は、河川のラインを流程に沿って等間隔に n 分割したときの各セグメントの両端間の直線距離を l_i ととり、以下のように定義した。

$$p_i = \frac{l_i}{L}$$

ただし $L = \sum_i l_i$ である。

(3) 結果と考察

1) ダムのサクラマスへの影響評価

サクラマスの生息適地モデルには、説明変数として標高、気温、降水量、積雪深、流域人口、流域面積、調査件数、調査年、調査地点の位置座標、そしてダム分断後の経過年数が選ばれた。すなわちダムによって分断され

た年数が古くなるほど、その上流域でのサクラマス¹の生息確率は低下することが示された。特に、分断後、30年ほど経過すると急激に生息確率は低下した。これは古い時代に建設されたダムの多くが魚道がない、あるいは魚道の機能が低い²のに対し、近年のダムにはサクラマスに対して比較的有効な魚道が設置されていることを反映しているのかもしれない。建設後30年を経過するダムへの魚道の設置、改良が強く求められる（ただし、魚道を設けてもハゼ科、カジカ科など小型で遊泳力の乏しい魚類には、ほとんど効果がないことを以前の報告書で明らかにしている（国立環境研空所特別研究報告SR-57-2003参照）。

ダムの影響を受けてサクラマスの生息確率が低下している地域が全道にパッチ状に無数に分布することが、GISを用いて表示することで明らかになった（図11）。特に著しい影響を受けた地域は、日高山脈西部や石狩川上流部などである。

一方、イトウ³の生息適地モデルには、説明変数として標高、気温、降水量、積雪深、流域人口、流域面積、調査件数が選ばれたが、ダムによる影響は認められなかった。しかし、そもそもイトウの生息するような湿原や原野を流れる勾配の緩い河川には、ダム等の河川工作物がほとんど建設されていないことから、ダムの影響評価を行うこと自体に無理があるのも否めない。

2) 保護水面の評価

保護水面32水系におけるサクラマスの生息確率は全

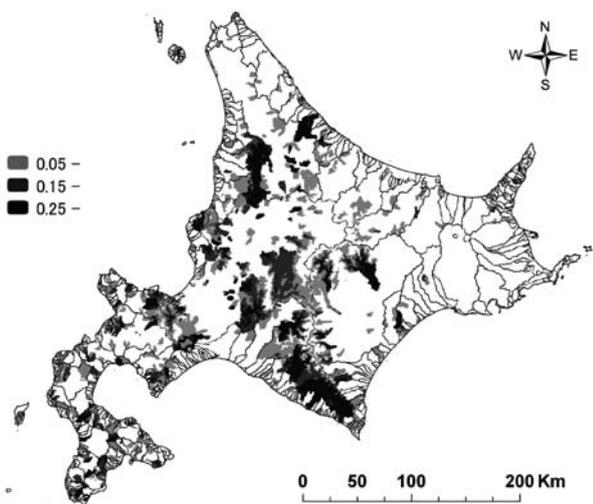


図11 ダムによるサクラマスの生息確率低下の分布図色の濃い地域ほど確率の低下量が多い。

道平均よりも有意に高かった。さらに3次メッシュ（標準地域メッシュコード）ごとに推定された生息確率を流域（水系）ごとに積算して求めた保全指標値⁴で比べると、保護水面におけるサクラマス資源量の水準の高さはいっそう際立つことが分かった（図12）。しかしイトウに関しては生息確率、保全指標値ともに保護水面での水準が有意に高いという傾向は認められない。イトウ保護のためには既存の保全地域の対応だけでは不十分であり、高密度に生息する地域（例えば宗谷地方）の重点的な保全が求められる。

3) 河川直線化の評価

1950年代以降、YS指標⁵の著しい低下が認められた河川として、標津川、浜益川、当縁川、沙留川、鷲別川、胆振幌別川などがあげられる。全道的には、1950年代から2000年代にかけて、河川地形の多様度は平均して73%程度低下したことが示された（図13）。一般化エン

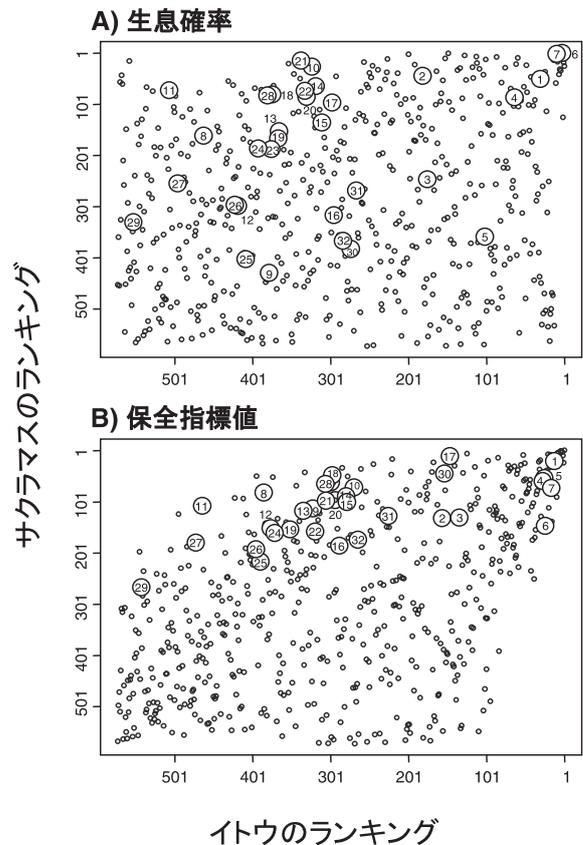


図12 北海道の574の河川流域を推定されたサクラマス（縦軸）とイトウ（横軸）の平均生息確率の順位（ランキング）でプロットしたもの（A）。また、その平均生息確率に流域面積を乗じて求めた保全指標値でプロットしたもの（B）。

トロピーを用いた多様度指標 YS は、河川形状の複雑性が増すと増加し、規則性が増すと低下する性質を持つ。河川は本質的にこの2つの性質を持ち合わせており、 YS 指標の大小だけでは、直線化の影響は測れない。しかし、同一河川の2時期の指標値の変化は、明らかに人為的な河川形状の変化を反映するはずであり、客観的な評価が行えたと考えられる。

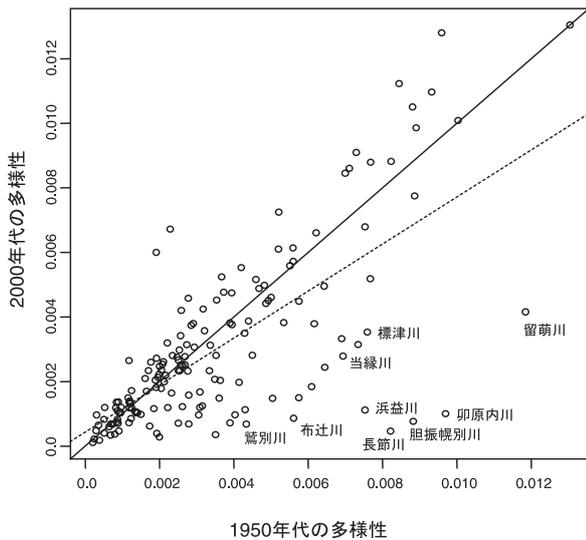


図13 北海道の1級、2級河川（本流）の YS 指標値を1950年代と2000年代とで求めて、プロットしたもの
 実線は傾き1の直線、また破線は回帰直線、 $F = 165.2$, $p = 0.000$, $R^2 = 0.513$ 。

以上、生物多様性の減少機構の解明を目的とした研究の結果、次に述べる3点が明らかになった。通し回遊魚であるサクラマスが、これまで全道に建設されたダムによって、その生息確率を著しく低下させ、その資源が減少してきたこと。また、道内に32水系設定された保護水面と呼ばれる保全地域は、水産資源として価値の高いサクラマスの保護には有効であるが、一方、絶滅危惧種であるイトウの保護には決して有効とはいえないこと。そして最後に、道内の1級および2級河川は過去半世紀の河川改修による直線化に伴い、河川形状の複雑度が従来の73%までに低下してしまったこと、である。

2.3 侵入生物の生物多様性影響機構に関する研究

侵入生物研究チームでは、侵入種の体系的データ整理および普及啓発を目標として侵入種データベースの構築

を行い、一般への公開を目指すと共に、侵入種生態リスク評価のケーススタディとして、社会的関心も高い2種の導入昆虫を対象とした生態リスク評価研究を推進した。以下にその成果をまとめる。

2.3.1 侵入生物データベースの構築

(1) 研究の目的と経緯

新・生物多様性国家戦略（2002年3月）、第6回生物多様性条約締約国会議（2002年4月）等を受け、我が国の侵入種への対応方針が2002年8月に発表された。そして2005年6月より、「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律」施行されるにいたった。これら一連の侵入種対策において、予防、導入、モニタリング、影響緩和に利用される情報を普及させるため、侵入種に関するデータベースを作成する必要性が謳われている。

日本における侵入種の生物学的特性把握は、農林業・水産業・自然保護分野を中心にそれぞれの分野で多くの調査検討が実施され、その成果も公表されて侵入種の増殖・影響防止に活用されてきた。しかし、これらの活動が個々の侵入種の影響防止に役立っている場合もあるが、侵入種全般の日本国内での定着・増殖は後を絶たず、その侵入経路も多岐に渡るようになってきている。この状況は世界的にも同じであり、生物多様性条約締約国会議でも生物学的侵入による生物多様性減少抑制が重要な議題となっている。ここにいたって包括的な侵入種防止対策の確立が求められるようになり、またその必要性も社会的に広く認知されるようになってきている。このような動きを加速して有効な対策を確立するには、侵入種の生物学的特徴から影響までの特性をできる限り定量的に把握し、そこから侵入種の侵入・定着の鍵となる特性の抽出を行ってデータベース化し、侵入・定着の危険度についてあらかじめ予測しておくことが重要である。

我が国でも、様々な学会および研究機関により侵入種のリスト化、情報の蓄積が行われてきた。しかし、こうした資料間では記載事項や用語が統一されておらず、情報の統合や検索に用いることができなかった。こうした状況を受け、本研究では、国内に定着した侵入生物（侵入種）のデータベースをより包括的な形で作成することを目指した。

本研究は、侵入種の1) 情報整理、2) 対応策の順位付け、3) 検索による侵入種の予測、4) 駆除対策の検

討、5) 普及啓発を目標として、日本国内に移入した侵入種のうち主要なものについて、形態・分類・分布・侵入特性・生態的特性・影響・情報源などの情報を網羅し、危険度を判定する上で重要な情報を抽出した上で、総合的・体系的な情報検索が可能な形式のデータベースを構築することを目的とした。データベースの構築にあたっては、これまでに整備された侵入種情報源を参考にして、それらの内容を継承することを念頭に置いた。

(2) 研究の成果

脊椎動物のうちの哺乳類・鳥類・爬虫類・両生類・魚類、無脊椎動物のうち昆虫類、植物のうち維管束植物において掲載対象種を選定した。また、国内外来種も問題の共通性から掲載することにした。

本研究と同じ目的の国際的取り組みとして、国際自然保護連合 (IUCN) 世界侵入種プログラム (GISP) においてデータベースが作成、運用されている。これを参考に、本データベースにおける各種の記載項目を決定した。その他、県別の分布情報に基づく県別分布図と、各種の特徴を示すカラー写真 (1種1点) を記載し、侵入種の具体的なイメージをとらえやすくした。使用する用語については、検索を前提として、階層化され標準化されたものを使うよう留意した。完成したデータベースは国立環境研ホームページ上で公開中である。

本データベースにより侵入生物の現状や生態学的特性等が把握されれば、すでに定着した、またはこれから定着のおそれのある生物種による影響を評価するための材料となる。影響の大きさと対策の難易度 (コストや手法など) を軸とした類型化により、対策に向けての順位付けなどに利用されることも期待される。新たな侵入の防止についても、本データベースによって侵入源の監視、侵入経路の遮断などの対策に役立つことが期待される。また、データベースを利用した類似性の検索から、類似特性を持つ生物の移入予防に役立つことも期待される。駆除等の事後対策については、原産地、現在の分布域を把握することで生息域の限界予測に用いることや、繁殖特性等の把握から今後の分布拡大の予測に資する。生態的特性等の把握は、具体的な防除・駆除の方法を考える上で重要な情報をもたらすと期待される。侵入生物の増加・被害防止には広く一般国民への侵入生物に関する知見の普及が重要であることが指摘されているが、インターネット上での公開が可能な形で本データベースを整

備したことがその方面でもたらず効用は計り知れないものがあると考えられる。

2.3.2 セイヨウオオマルハナバチの生態リスク評価

(1) 研究の目的と経緯

ヨーロッパ産のセイヨウオオマルハナバチは1970年にベルギーで大量増殖法が開発されて以来、農作物の花粉媒介用に商品化され、世界中で利用されるようになった。我が国でも1991年よりハウストマトの授粉用に輸入が始まり、現在オランダやベルギーから大量のコロニーが輸入・販売されている。本種の導入により農家は授粉作業から解放され、さらに生物資材の利用という枠組みで省農薬も促進され、安全で質の高いトマトが提供できるようになった。しかし、これら外国産コロニーの輸入における検疫は一切行われておらず、使用現場においてもハチの逃亡に対する対策も何も講じられておらず、野生化・分布拡大による生態影響が強く懸念されている。特に本種は競争力の強いハナバチであり、在来のハナバチの衰退をもたらす可能性がある。日本には在来のマルハナバチ22種が生息しており、生態ニッチェが似た侵入種と在来種の間には強い競争関係が生じることが心配される。さらに、室内での交尾実験の結果から北海道に分布するエゾオオマルハナバチとセイヨウオオマルハナバチの間に雑種が生じることが報告されており、侵入種の遺伝子が在来種個体群に蔓延していく「遺伝的浸食」も懸念される。そこで我が国におけるマルハナバチ類の遺伝的変異を早急に調べ、保全ユニットとしての地域固有性を把握しておく必要がある。同時に交雑実験によって雑種形成のリスク評価も必要とされる。

次に、生きた昆虫の輸入で最も心配される生態影響は寄生生物の持ち込みである。野外に逃げ出したセイヨウオオマルハナバチが国外の未知の寄生生物を日本の在来種に伝搬した場合、在来種個体群にどのような影響が及ぶのかは予想もつかない。実際に輸入商品コロニーからハチの抜き取り調査を行ったところ、ハチの体内より寄生性ダニ、マルハナバチポリプダニが発見され、商品コロニーの約20%がこのダニに感染した状態で輸入されていることが明らかとなっている。外国産のダニが在来種に思わぬ病害をもたらす可能性も十分に考えられ、早急な感染実態の解明が必要とされる。

そこで本研究では、国内のマルハナバチの種間系統関係および種内地理的変異をミトコンドリアDNA塩基配

列解析によって調べることにした。また、種間交雑実験を行い、セイヨウオオマルハナバチと在来マルハナバチ間の交雑和合性について検証することとした。さらにセイヨウオオマルハナバチの野生化が進行しているとされる北海道を中心に野外マルハナバチ個体群をサンプル採集し、体内寄生性ダニの感染状況およびその遺伝子分析によるダニの原産地特定を行うことにした。

(2) 研究の成果

日本各地より採集した在来マルハナバチ 10 種 15 亜種およびセイヨウオオマルハナバチのミトコンドリア DNA-COI 遺伝子および核 DNA-rho 遺伝子の塩基配列データに基づき、遺伝子間の遺伝距離を計算して近隣接合法 (NJ 法) により系統樹を作成した。その結果、二つの遺伝子系統樹の分岐は形態形質に基づく分類グループと一致していたことから COI 遺伝子および rho 遺伝子の分化は種分化を反映しているものと考えられた。COI 遺伝子および rho 遺伝子のいずれの系統樹においても、セイヨウオオマルハナバチ DNA はエゾオオマルハナバチやオオマルハナバチに近縁なオオマルハナバチ亜属のクレード内に位置した。このことはヨーロッパ産のセイヨウオオマルハナバチが分子分類的には、トラマルハナバチやコマルハナバチなどの他の在来マルハナバチと比較して、オオマルハナバチやクロマルハナバチにより近縁であることを示している。移動性の高い飛翔性昆虫であるマルハナバチの遺伝的分化は恐らく大陸で起こり、その後分散して現在の地理的分布に至ったと考えられる。従って体色などの形態形質が大きく異なってもセイヨウオオマルハナバチと在来のオオマルハナバチ亜属種間の遺伝距離は短く、種間交雑における遺伝的和合性が高い可能性も示唆された。

そこで飼育によって得られたエゾオオマルハナバチ、オオマルハナバチおよびクロマルハナバチ女王とセイヨウオオマルハナバチ雄の種間交尾実験を行った結果、いずれの組み合わせにおいても交尾が成立した (図 14)。交尾後、一部の女王バチ体内より受精嚢を摘出し受精嚢内精子 DNA を調べた結果、セイヨウオオマルハナバチの精子 DNA が確認された。また、交尾後、産卵が確認されたが、得られた卵は全てふ化しなかった。卵の DNA を分析した結果、受精卵であることが確認された。以上の結果より種間交雑によりセイヨウオオマルハナバチ雄の精子と在来マルハナバチの卵の授精が成立するこ

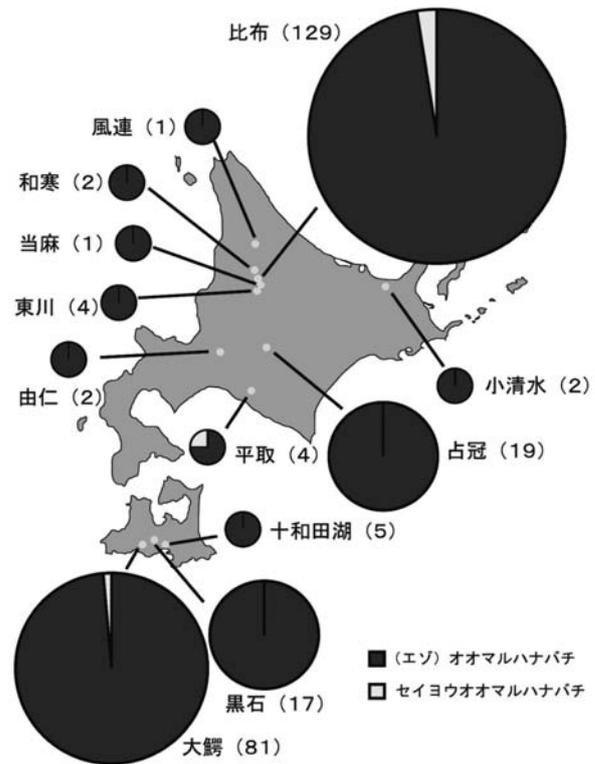


図 14 平成 17 年度に野外採集したオオマルハナバチ女王の受精嚢内精子の DNA 分析結果
セイヨウオオマルハナバチ精子を内包する個体の頻度を円グラフで表している。() 内は解析した女王のサンプル数。

と、ただし、雑種卵は胚発育できないこと、すなわち強い交尾後生殖隔離機構が存在することが示された。このことから種間交雑による遺伝的浸食のリスクは低いが、新しいリスクとして、セイヨウオオマルハナバチ雄が在来マルハナバチと交雑することにより、健全な卵の産出を阻害して、実質的に在来マルハナバチ女王の増殖能力を奪い取るという生殖攪乱が起こる可能性が示された。そこで野外における在来マルハナバチ女王とセイヨウオオマルハナバチ雄間における種間交雑の実態を明らかにするために、野外より採集したエゾオオマルハナバチ (北海道 9 地域 165 個体)、オオマルハナバチ (2 県 5 地域 109 個体) およびクロマルハナバチ (3 県 7 地域 44 個体) 女王より受精嚢を摘出し、受精嚢内に蓄えられている精子 DNA のハロタイプ (半数体遺伝子型) を調べた。その際、塩基配列に明瞭な種間差が認められる各 DNA 遺伝子マーカーとしてロドプシン遺伝子を使用した。その結果、青森県大鰐町のオオマル 1 個体と、北海道比布町・平取町のエゾオオ合計 4 個体から抽出した受精嚢内精子 DNA のロドプシン遺伝子配列が、セイヨウ

のものと完全に一致した。一方、クロマル女王の受精囊内精子からは、セイヨウの配列は得られなかった。このことから、エゾオオマルを含むオオマル女王は、野外においてセイヨウ雄と交雑し、精子を受け取っていることが確認された。

続いて1997年から2002年にかけて採集されたオオマルハナバチ、クロマルハナバチ、トラマルハナバチおよびノサップマルハナバチのサンプルについて、解剖調査を行った結果、北海道および東北地方を中心にオオマルハナバチにダニの感染が認められた。感染率は平均2%であった。北海道の局所個体群であるノサップマルハナバチは約25%の高い感染率を示した。北海道のオオマルハナバチと同所的に分布するトラマルハナバチにはダニの感染は認められなかった。本州のクロマルハナバチは2001年サンプルまでダニの感染が認められなかったが、2002年に採集されたサンプルからはダニが検出された。

一方、セイヨウオオマルハナバチ商品コロニーおよびクロマルハナバチ商品コロニーにおけるダニ感染率を調べた結果、どちらも2000年産プルまで平均20%の高い感染コロニー率を示した。しかし、どちらの種の商品コロニーについても、2001年以降にはダニの感染は一切認められなかった。また、北海道の野外で採集されたセイヨウオオマルハナバチ個体からもダニの感染が認められ、感染率は約20%であった。

検出されたダニのミトコンドリアDNA-CO遺伝子ハプロタイプを調べた結果、1999年までは日本の野外で見つかったダニと輸入商品コロニーから検出されたダニのハプロタイプには明確な差が認められ、ダニの産地間における遺伝的分化が示唆された。しかし、2001年以降、日本の野外で検出されたダニの1個体からヨーロッパ型のハプロタイプが検出され、さらに輸入商品コロニーからは日本型ハプロタイプのダニが多数検出された(図15)。2002年に野外のクロマルハナバチから検出されたダニのハプロタイプはヨーロッパ型であった。以上の結果から、ヨーロッパ産の商品コロニーの流通拡大に伴い、ヨーロッパ産のダニが野外在来種個体にも水平感染を始めていることが示唆された。一方、ヨーロッパには商品化目的で日本産エゾオオマルハナバチおよびオオマルハナバチ女王の生体サンプルが多数輸出されており、日本産のダニが随伴導入され、ヨーロッパの生産工場内で商品コロニーに水平感染したため、商品コロニー

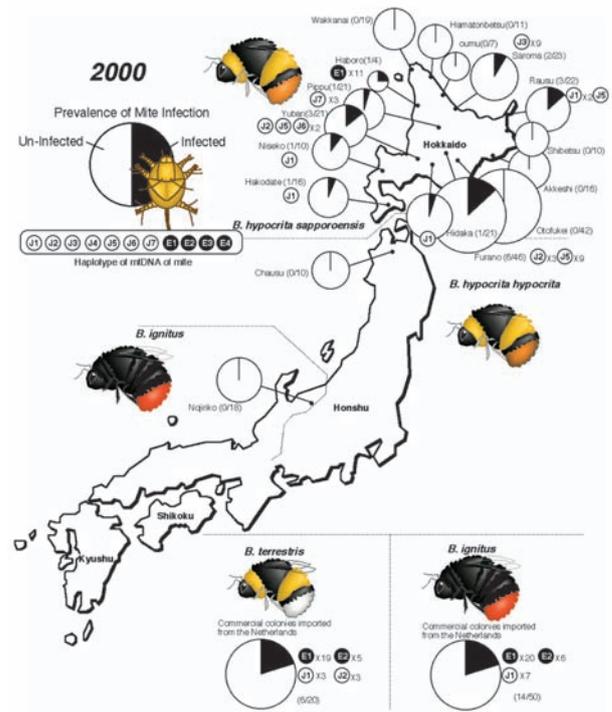


図15 2000年採集マルハナバチサンプルにおけるダニ感染率とダニハプロタイプの分布

中に多数の日本産ダニが確認されたものと推察された。マルハナバチポリプダニに関する以上の調査結果は、生物の国際移送が寄生生物の感染拡大をもたらすリスクがあることを端的に指し示す具体的事例と言える。

以上、分子遺伝解析により国内在来マルハナバチの種間系統関係および種内変異の程度が明らかとなった。特にセイヨウオオマルハナバチは在来のオオマルハナバチ亜属に属する種と遺伝的には近縁であり、生態的地位の近似による競合や種間交雑が起りやすいことが示唆された。マルハナバチのように移動性の高い種の場合には、遺伝的分化プロセスに地理的障壁は強く働かず、地理的分布と遺伝距離が一致しないことがあることを強く指し示したケースであり、侵入種の遺伝的リスクを考える上で重要な生物学的知見と言えよう。また種間交雑実験により、交雑可能性が高いことが実証されると同時に、セイヨウオオマルハナバチ雄との交尾によって在来種女王が発育不能の受精卵を作ってしまう生殖攪乱という新しいリスクが明らかとなった。また外来寄生性ダニの蔓延が野外で進行しつつあることが実証された。今後の輸入昆虫に対する検疫の必要性を強く示唆する知見となった。なお、これらの研究成果は地球環境研究総合推進費および農林試算研究高度化事業の補助により行われ

るとともに、セイヨウオオマルハナバチの外来生物法特定外来生物指定（2006年2月）における科学的根拠として活用された。

2.3.3 輸入クワガタムシの生態リスク評価

（1）研究の目的と経緯

近年、我が国ではクワガタムシをペット昆虫として飼育することがブームとなっており、クワガタムシやその飼育関連商品の商取引は一大産業へと急成長を遂げた。特に、1999年11月の輸入規制緩和以降、大量の外国産クワガタムシが商品目的で輸入されるようになり、2002年6月時点での輸入許可種は520種類にものぼり、これまでに輸入された個体数は恐らく200万匹を越えると考えられている。輸入当初は多くの昆虫学者ですら、巨大な熱帯産のクワガタムシが日本のような寒冷地で野生化することは困難であろうと推測していたが、実際に熱帯・亜熱帯域に分布するクワガタムシでもその多くはかなり標高の高い地域に生息しており、そうした地域の気候は日本の温暖気候と大きくは変わらない。さらにクワガタムシは幼虫期を朽ち木や土壌の中など比較的安定した環境で過ごすという生活史を持つことから、外国産の種でも日本の野外で越冬することが可能であることが示唆されている。従って外国産の商品個体が野外に逃げ出し、定着・分布拡大する可能性は十分に高く、今後、どのような生態影響が生じるか、リスク評価を行うておく必要がある。

一番に懸念されるのは、生態ニッチェが類似した在来のクワガタムシ種への影響である。生息環境の悪化などにより日本の在来クワガタムシは既に危機的状況に近づいており、そこへ外国産種が侵入すれば、餌資源をめぐる競合や種間交雑による遺伝的浸食、外来寄生生物の持ち込みなどの生態影響によって在来種の衰退に一層の拍車がかかることが予測される。

我が国のヒラタクワガタには地域固有の形態亜種が12種存在する。また、ヒラタクワガタの亜種や近縁種は中国や東南アジアにも広く分布している。ヒラタクワガタはオオクワガタと並んでペット用昆虫としての人気が高く、日本国内の様々な地域個体群が捕獲されて商品化されると共に、近年では外国産クワガタムシブームののって、大量の外国産亜種や近縁種が輸入されており、地域固有の遺伝子組成が攪乱されてしまうことが心配されている。そこで本研究では日本産ヒラタクワガタの遺

伝的変異の実態をデータベースとして保存・記録しておくために、日本各地のヒラタクワガタのミトコンドリアDNAの塩基配列変異を調べることにした。また同時に外国産ヒラタクワガタの侵入源を特定するためのデータベースとしてアジア各国に分布するヒラタクワガタのDNA変異も調べることにした。さらに、外来寄生生物の持ち込みの実態を明らかにするために輸入商品に寄生しているダニ類の検出を行った。

（2）研究の成果

まず、日本列島より採集されたヒラタクワガタ各個体のmtDNA-CO遺伝子2000塩基配列変異に基づき、遺伝子間の遺伝距離を計算して近隣接合法（NJ法）により系統樹を作成した。系統樹に基づくヒラタクワガタの系統分化は、「亜種」で区分される地理的系統の分化と明瞭に一致した（図16）。

北琉球域から南琉球域にかけての南西諸島のヒラタクワガタにおける系統関係を見る限りでは、この地域にヒラタクワガタが進出してきたのは南西諸島が陸橋として大陸とつながっていた時期で、その後の氷河期と間氷期のくり返しによって陸橋の水没・分断と再形成がくり返されるなかで、ヒラタクワガタの大陸からの進出と分断化が波状的に生じたという分化プロセスが類推される。また、朝鮮半島から北九州域にかけて共通のDNA系統が分布していることから、ヒラタクワガタは大陸から朝鮮半島経由でも日本に進出してきたことも考えられる。このようにヒラタクワガタの系統分化は日本列島の形成とともに進んできたと考えられ、日本のヒラタクワガタが持つ地域固有の遺伝子情報は、日本列島の誕生の歴史を解明する手がかりとなるかも知れない貴重な歴史的財産と言える。

続いて、アジア域全体のヒラタクワガタ種群の遺伝的構造を調べるために、外国産の系統や近縁種についてもmtDNA塩基配列変異の解析を行った。日本列島を含むアジア域の個体から得られた塩基配列情報より系統樹を構築した結果、ヒラタクワガタ種群は大まかにフィリピン諸島からスダ列島にいたる南方の島々に分布する南方系統群（パラワン、セレベス、スマトラオオ、ミンダナオオ、およびダイオウヒラタクワガタ）とアジア大陸に分布する北方系統群（タイ産、台湾産、中国産、朝鮮半島産、および日本列島産のヒラタクワガタ）に大別されることがわかった。また、南方の東南アジア地域産

のヒラタクワガタ種群についても島ごとに固有の遺伝子組成をもつ集団に分化していることが示された(図17)。これらの系統関係から、世界のヒラタクワガタはかつての氷期にスンダランドと呼ばれる大陸で派生し、北と南の二方向に分布拡大し、南の個体群はその後の海進による島嶼の成立と共に分断され、分化を果たした一方、北の個体群は北進を続け、朝鮮半島経由および南西諸島経由で日本列島に辿り着き、やはり列島の分断とともに地理的な分化を果たした、という分化プロセスが類推され、日本産ヒラタクワガタは世界のヒラタクワガタの末裔ともいべき位置にあることが示唆された。

mtDNA 系統樹が示したヒラタクワガタの著しく多様な種内変異と系統分化は、本種の保全にあたって、その遺伝的多様性を十分に考慮する必要があることを示唆している。系統樹でわけられた各分岐群(クレード)は長い時間を間をかけた進化プロセスの賜であり、ヒラタクワガタ種群に内包される多様な遺伝的系統は貴重な遺伝的多様性の構成要素、すなわち、進化的重要単位(Evolutionarily Significant Unit)として保全の対象とされなければならない。

続いて、外国産および日本産ヒラタクワガタ間の遺伝的浸食リスクを評価するため、販売量の多いスマトラオオヒラタクワガタと日本産ヒラタクワガタの交雑実験を行った。その結果、交雑が成立し、得られた雑種卵は全てふ化して成長し、そのうちの約7割が成虫まで成長した。種間交雑で得られた卵数や幼虫生存率は標準的なヒラタクワガタの飼育環境下における生殖ポテンシャルと差はなかった。羽化したF1雑種は雌雄がほぼ1対1で、親の日本産雄は大アゴを入れて体長は50mmしかなかったのに対してF1雑種の雄成虫は体長が80mmを越え、大アゴの形状も明らかに雄親とは異なるものであった(図18)。ちなみに大アゴの形状はスマトラオオヒラタクワガタのものとも異なっており、クワガタムシの大アゴという顕著な性的二型の形質に雌雄両方の遺伝子が関与していることが示唆された。次にこれらのF1雑種の雌雄を交雑して、F1雑種の妊性を調査した結果、4組の雌雄ペア全てからF2雑種成虫が得られた。F2雄成虫の大アゴの形状および体サイズにはばらつきが見られ、遺伝子型の分離が示唆された。

先に記したmtDNAに基づく系統樹ではスマトラオオヒラタクワガタと日本産のヒラタクワガタの間の遺伝距離はかなり遠いことが示されており、ヒラタクワガタの

祖先種が東南アジアで派生して南北に進出して現在の分布に至ったと仮定した場合、両種はリング(環状)種の両末端に位置すると考えられる。通常、これだけ長距離で隔離され、さらに遺伝的な分化も進んだ系統間では、生殖隔離(特に交配後生殖隔離)機構が発達しているケースが多いとされるが、ヒラタクワガタの地理的系統の場合は、生殖隔離機構が発達しないまま、地理的隔離によって異所的種(系統)分化を果たしたものと推察される。ヒラタクワガタ系統間あるいは亜種間の生殖隔離機構の進化を明らかにするためには、今後さらに多くの交雑実験を行う必要があるが、今回の調査で、日本国内での販売流通量が特に大きいスマトラオオヒラタクワガタと日本産ヒラタクワガタの間に遺伝子交流が成立するという結果が得られたことから、外国産個体の野生化に伴う遺伝的浸食のリスクは決して低くないと判断された。

さらに日本国内で採集された個体から外国産系統のDNAが検出されるケースが数件認められた。長崎県および静岡県で採集された雄個体からはタイ産のヒラタクワガタのDNA、神奈川県ではスマトラオオヒラタクワガタのDNAをもつ個体が採集された。これらの個体の大アゴの形状および体サイズは日本産系統とは明らかに異なっており雑種個体であることが示唆された。その他、兵庫県および静岡県からサキシマヒラタクワガタのmtDNA、福岡県からオキナワヒラタクワガタのmtDNA、富山県からツシマヒラタクワガタのmtDNAが検出された。以上のことから日本のヒラタクワガタ個体群では既に国外侵入種もしくは国内侵入種による遺伝子の浸食が拡大しつつあることが示唆された。ヒラタクワガタを含め商品化されているクワガタムシは、子供の夏休みの時期をピークに毎年、大量に輸入・販売が続いており、常に高い侵入圧invasive pressureが維持されていると考えられ、このような状況では、たとえ輸入クワガタムシ種の日本野外での定着能力が低かったとしても、在来種との交雑可能性は常に高くなると予測される。

次に寄生性ダニに注目して、外国産クワガタムシの輸入商品に寄生して持ち込まれている種の検出と分析を行った結果、多数の外部寄生性ダニの存在が確認された。これら輸入クワガタムシから検出されたダニのうち、日本在来種の野生個体にも寄生しているクワガタナカセという広域分布種について、日本産および外国産ヒラタクワガタの体表面から採集された個体群における

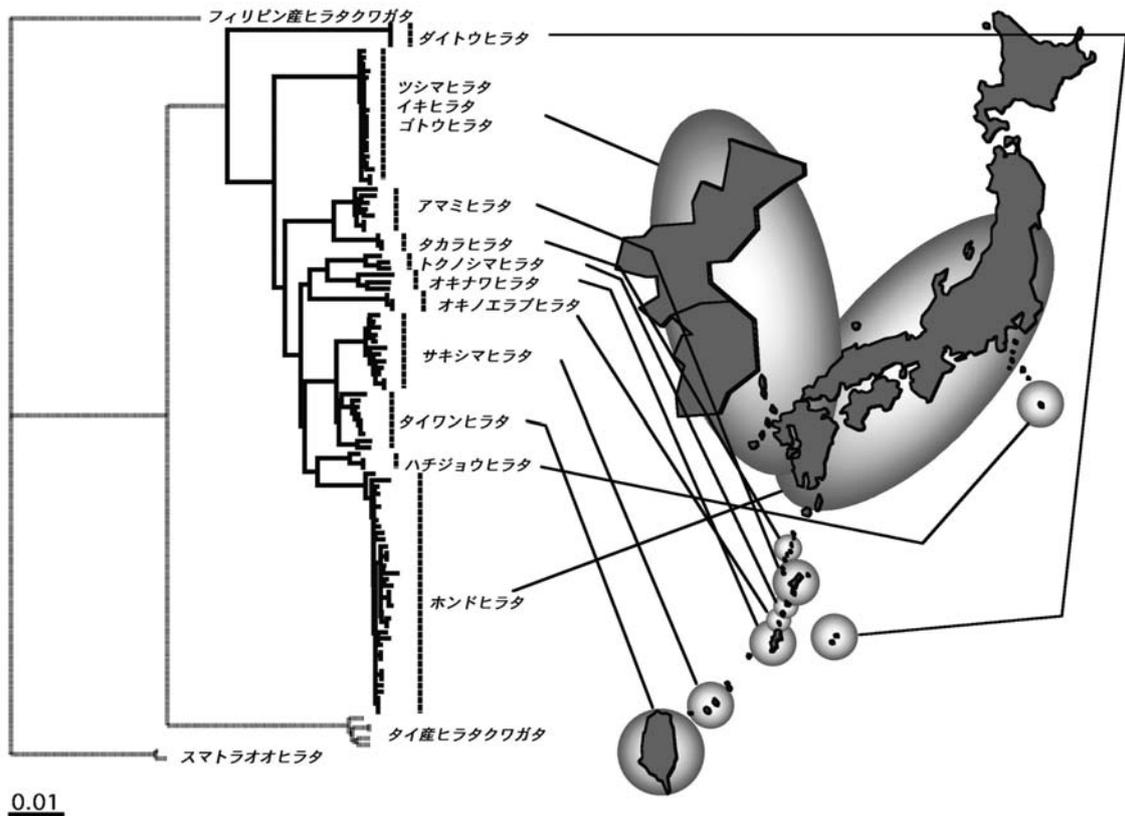


図 16 日本列島および周辺域から採集したヒラタクワガタ地域個体群のミトコンドリア DNA (チトクロムオキシダーゼ遺伝子領域) 系統樹

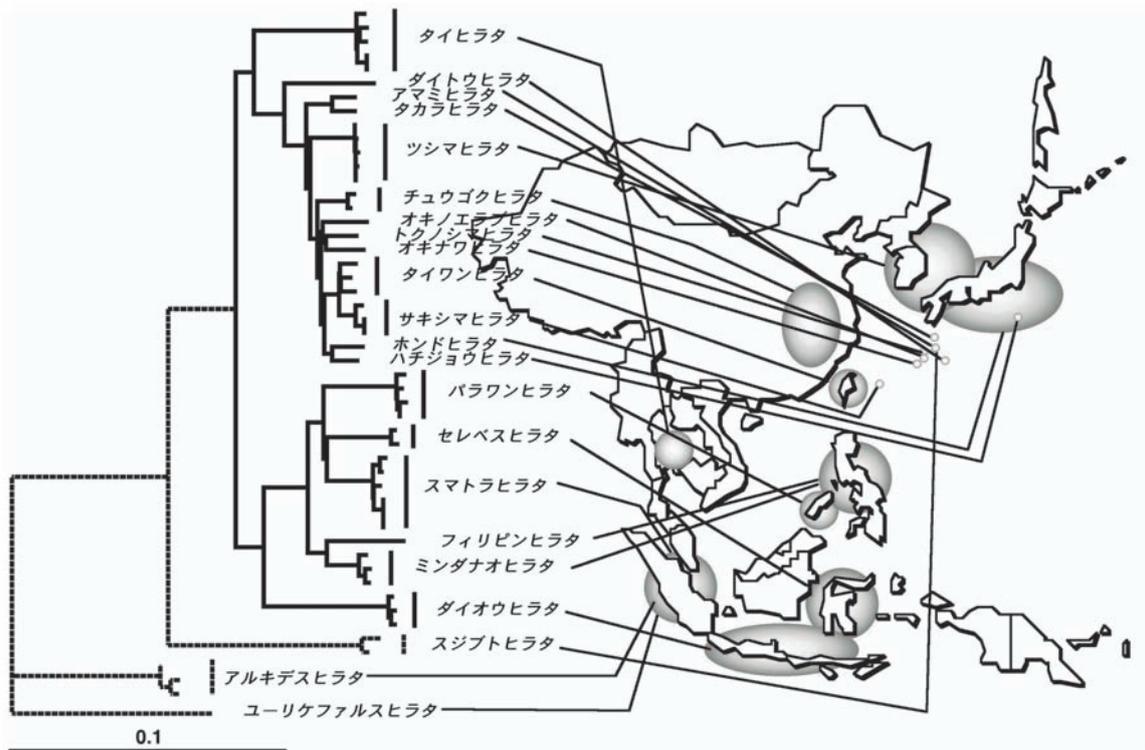


図 17 アジア域に生息するヒラタクワガタ地域系統 (亜種) の分子系統樹 (ミトコンドリア DNA チトクロムオキシダーゼ遺伝子領域の塩基配列に基づく)
スジプトヒラタ, アルキデスヒラタおよびユーリケファルスヒラタは外群。



図 18 スマトラオオヒラタクワガタ雌成虫と日本産ヒラタクワガタ雄成虫の種間交雑により誕生した F1 雑種雄成虫

DNA 変異を調べた。その結果、ヒラタクワガタの産地別系統ごとに、遺伝的に異なるクワガタナカセ系統が寄生していることが示され (図 19)、クワガタナカセにも宿主特異性が種内変異として存在すると考えられた。このことはヒラタクワガタとクワガタナカセの共種分化を示唆するものであり、こうした事例からも外国からクワガタムシとその寄生生物を持ち込むことは、クワガタムシだけでなく寄生生物の進化の歴史も攪乱する可能性があり、そうした攪乱が宿主であるクワガタムシにもたらす影響は予測困難である。

以上より、日本列島およびアジア域全体のヒラタクワガタ系統間の系統関係が明らかとなり、日本のヒラタクワガタの地域固有性が定量的に評価された。今後、この遺伝的データベースはヒラタクワガタ地域個体群の保全単位を検討する上での重要な基礎情報となると同時に、日本列島およびアジアの地史を解明する上でも重要な手がかりとなると考えられる。種間交雑実験により、遺伝的に大きく分化している外国産ヒラタクワガタと日本産ヒラタクワガタ間でも妊性のある雑種が生まれることが明らかとなり、ヒラタクワガタ種群には生殖隔離機構がほとんど働いておらず、遺伝的浸食のリスクが高い生物

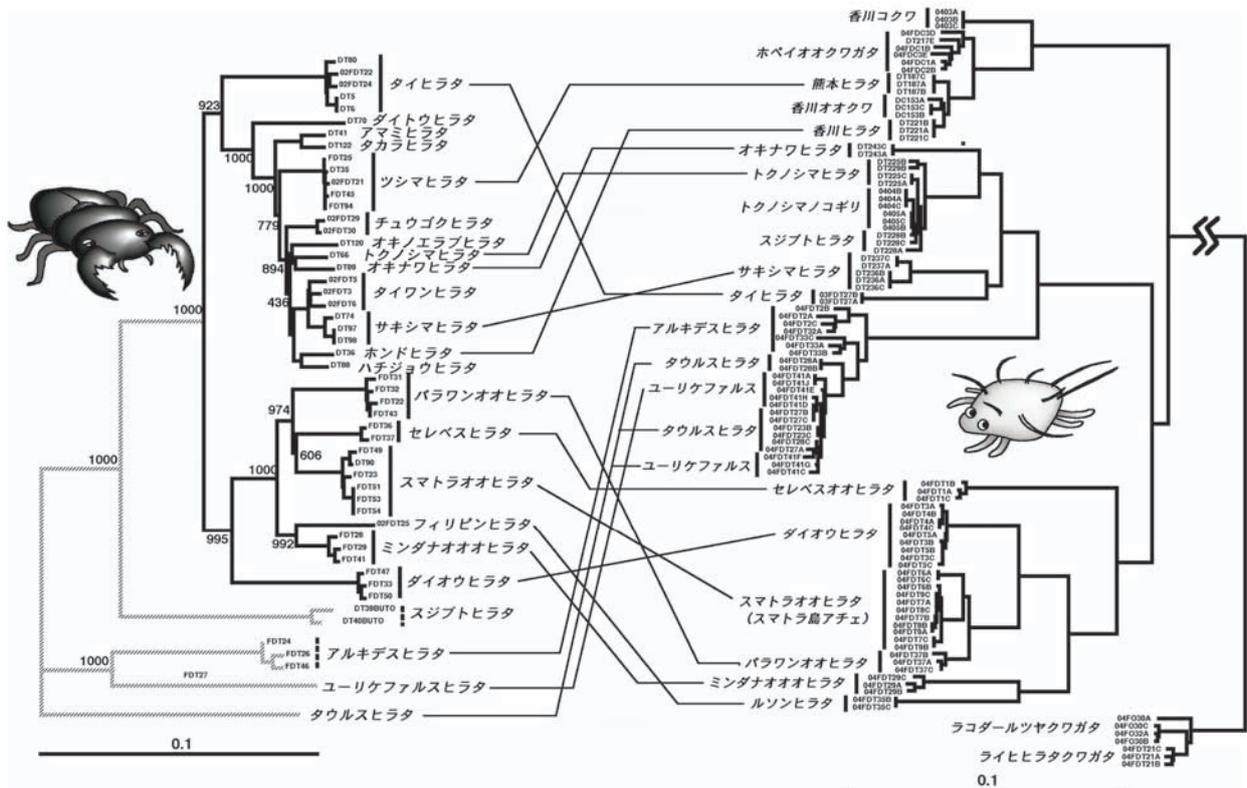


図 19 ヒラタクワガタ各系統とそれに寄生するクワガタナカセのミトコンドリア DNA-COI 遺伝子系統樹の比較

であると判定された。今後の生物移入のリスク評価において、単純に遺伝的距離から遺伝的適合性を評価することができないことを示した重要なケーススタディである。ヒラタクワガタの輸入商品個体には多数の寄生性ダニが存在することが示され、そのうちの1種クワガタナカセについて遺伝子分析を行った結果、寄主であるクワガタムシとの共種分化関係が存在することが示された。このことは昆虫移入によって、遺伝子型の異なる寄生生物が持ち込まれる可能性を強く示すものであり、今後の生物輸入における検疫の必要性を示した。なお、本研究は地球環境研究総合推進費によって実施され、その成果は外来生物法要注意外来生物指定における科学的根拠として活用された。また、マスコミ報道や一般に対する講演など通じて、侵入種問題の普及啓発に大いに貢献した。

2.4 遺伝子組換え生物の生態系影響評価手法に関する研究

近年、遺伝子組換え技術の進歩に伴い、多数の遺伝子組換え生物が作製され、農作物を中心にそれらの利用あるいは栽培が認可されている。現在、組換え体の開放系での利用は農地などの管理が行きとどいた場所に限定されている。一方で研究レベルでは環境浄化や教材としての使用を目的とした組換え体が作製されており、このような目的で開発された組換え体は十分な管理が行われていない場所で利用される可能性がある。このような状態で組換え体を利用した場合、組換え体そのものの持つリスクを評価するだけでは不十分で、生態系へ与える影響、特に組換え体が優占種となって定着するかどうかを評価する必要がある。しかしながら、組換え体と野生種との交雑率のデータや野外での挙動を解析するための分子マーカー、あるいは組換え遺伝子の影響を客観的に解析する方法などの開発が十分でないために、組換え体の安全性に対して漠然とした不安がもたれている。以上のような背景から本サブテーマでは（1）遺伝子組換え植物の挙動調査用マーカーの開発とそれを用いた交雑率の検定（2）新たな組換え体解析手法（DNAアレイの使用）の検討（3）輸入組換え植物の生物多様性への影響に関する研究（4）組換え微生物の挙動調査用マーカーの開発及びPCR法による検出・定量法の開発（5）組換え微生物のマーカー遺伝子の挙動、（6）環境中での遺伝子組換え微生物の生残性。以上6つの課題について

研究を進めた。

2.4.1 遺伝子組換え植物の挙動調査用マーカーの開発とそれを用いた交雑率の検定

（1）研究目的

現在遺伝子組換え作物は、「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律」（カルタヘナ法）により開放系における栽培が認可されている。今後この技術の適用枠の拡大（例；ファイトレメディエーション）に伴い、耕作地以外の場所で生育する非作物の植物種にこの技術が応用されることが予測されるため、これまでの環境影響評価手法は不十分になることが考えられる。その際、問題になるのは組換え体の作り出す花粉を媒介した組換え遺伝子の拡散である。すなわち、野生の近縁種へ非常に低い確率で組換え遺伝子が移る可能性があっても、これまでの検出手法では組換え遺伝子の同定に莫大な労力がかかるために、十分な個体数の検定が不可能であった。そこで組換え遺伝子の有無を簡便かつ視覚的に見るための新しいマーカー遺伝子の開発を行った。その際用いるマーカーとして、1) 葉の形態異常を引き起こす遺伝子、2) 体色変化を引き起こす遺伝子を候補に挙げ、それらの植物への導入と導入による生育特性の変化を調べた。

（2）研究の成果

1) 葉の形態異常を引き起こすホメオボックス遺伝子をマーカーとして用いる

タバコより単離したホメオボックス遺伝子（葉の形態を制御している遺伝子）をタバコで過剰発現するように導入した結果以下のことが明らかになった。6種類のホメオボックス遺伝子をそれぞれ導入することにより、大きく4つの表現型（変化の弱い順にNormal, Curved, Wrinkle, Dwarf）が見られることが分かった（図20）。またこれらの形態異常が生じる割合は、各ホメオボックスで異なることが明らかになった。それぞれの表現型を示す組換え体を用いて、栄養生長、生殖生長の指標となるいくつかの形質を調べたところ、Curvedの形態異常を示すものでは種子形成数を除く全ての形質が野生型とほぼ同程度であることが示された。この表現型における種子数の減少は雄蕊の伸長に原因があると考えられることから、花粉供給源としてCurvedの形質を示す植物を組換え遺伝子の拡散マーカー植物として使用すれば問題



図20 タバコホメオボックス遺伝子を利用したタバコの葉における形態異常
WT: 野生型, C: Curved, W: Win\k\le, D: Dwarf

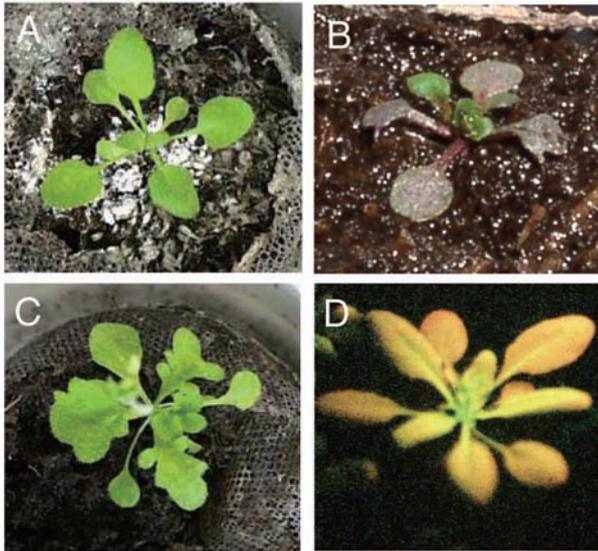


図21 マーカー遺伝子を導入したシロイヌナズナ組み換え体
A: 野生型, B: 35 S::R, C: 35 S::NTS D: 35 S::GFP

はないと考えられた。

次に、シロイヌナズナにタバコホメオボックス遺伝子の導入を行った。タバコより単離したホメオボックス遺伝子 (*NTH 15*) の導入により、葉の形態異常を示すシロイヌナズナの組換え系統 (35 S::NTH) が得られた (図 21 c)。これらの生育特性を調べたところ、野生型に対して組換え体で栄養成長や種子の発芽率、種子の生重量の減少がみられた。一方、開花期に違いは見られなかった。以上の結果から、この組換え体は挙動調査用のマーカーとして使うにはふさわしくないことが示唆された。

2) 体色変化を引き起こす遺伝子をマーカーとして用いる

ホメオボックス遺伝子をマーカーとして使用する際の

大きな問題点として、生育特性が野生型と大きく異なることが挙げられる。この生育特性の変化が最終的に環境中への拡散を調べた時の結果に大きな影響を及ぼす可能性がある。そこで、比較的植物の生育に影響の出にくいと考えられる体色を変化させる遺伝子を導入した組換え体の作成を行った。クラゲより単離した Green Fluorescent Protein (*GFP*) 遺伝子をシロイヌナズナで過剰発現させた組換え体を作製した。その結果、暗所で野生型とははっきりと区別することができる組換え体 (35 S::GFP) を得ることができた (図 21 d)。さらに、トウモロコシの色素合成を制御している *R* 遺伝子を過剰発現させた植物の作製を行ったところ、葉の色が赤色になり、肉眼で野生型と区別することができる組換え体 (35 S::R) を得ることができた (図 21 b)。これらの植物のうち GFP 導入シロイヌナズナの生育特性を調べた結果、今回調べたすべての特性に違いは見られなかった。以上の結果から、組換え遺伝子の拡散を簡便に見るための新しいマーカー遺伝子としては GFP が優れていることが明らかになった。

そこでシロイヌナズナ野生型と 35 S::GFP との共存栽培による導入遺伝子の交雑による拡散調査を行った。その結果、導入遺伝子は 0.24 % の頻度で野生型に移行することが確認できた。さらにこの組換え体を用いて交雑率に対する距離の影響を調べたところ、屋内における自然交雑率は植物間の距離に反比例して減少することが確認された。また、この組換え体を用いることによりシロイヌナズナの近縁野生種ハタザオ (*Arabidopsis lyrata*) との交雑も検証できることが明らかになった。

2.4.2 新たな組換え体解析手法 (DNA アレイの使用) の検討

(1) 研究目的

今後高付加価値を付与した作物 (例えば花粉症緩和米) や環境改善にむけた遺伝子組換え植物などの組換え体の開発が増加することが予想される。これらの遺伝子組換え体のうち環境改善を目的とした植物は人間の管理が行き届いている圃場ではなく、主に他の植物が混在する生態系で使用されると考えられる。したがって、このような遺伝子組換え植物が利用されるようになると、これらの植物の生態系への影響が無視できなくなると考えられる。しかしながら、これまでに行われた圃場における虫媒などによる遺伝子組換え植物からの遺伝子流動・組

換え体の雑草化をみるための模擬的環境実験では、野外におけるこれらの環境影響に対するリスク評価を正確かつ短期間で行うことは困難であると考えられる。そこで本研究では分子生物学的手法を用いた新しい遺伝子組換え植物の環境影響評価技術の開発を目的とする。具体的にはシロイヌナズナ野生型、いくつかの遺伝子組換えシロイヌナズナから mRNA を単離し、これを用いて数千種類のシロイヌナズナ EST クローンが網羅してある DNA マイクロアレイにより組換え遺伝子の導入による他の遺伝子の発現が変化するかあるいはしないかを調査する。また、遺伝子導入によりいくつかの遺伝子の発現が変化した場合には、変動する遺伝子に何らかの共通性があるかどうかを検証する。

(2) 研究の成果

約 4,000 種類の遺伝子を載せたマイクロアレイを用いてシロイヌナズナの生態型間及び、非遺伝子組換え体と遺伝子組換え体との間での遺伝子発現パターンについて解析を行った。

マイクロアレイによりシロイヌナズナの標準的な生態型である Col-0 (図 22 a) を基準として生態型間の遺伝子発現パターンの相関を検証したところ、Col-0 同士では相関係数 $r^2 = 0.96$ 、Col-0 と Ws-2 (図 22 b) では $r^2 = 0.90$ 、Col-0 と Cvi-0 (図 22 c) では $r^2 = 0.87$ という比較的高い相関が見られた (図 22 f, g, h)。一方、Col-0 と

上述した 2.4.1 で開発を行った遺伝子組換え体 35 S::NTH (図 22 d) 及び 35 S::GFP (図 22 e) との遺伝子発現の相関係数はそれぞれ $r^2 = 0.85$ 、 $r^2 = 0.75$ であった (図 22 i, j)。組換え植物では、生態型間でみられる遺伝子発現パターンの相関係数よりも低くなっていたことから、植物への遺伝子導入により内生の遺伝子発現が影響を受けていると考えられる。また、その影響の度合いは生態型間の差よりも大きいと考えられた。このことをさらに検証するために突然変異によりビタミン C 合成能が低下した植物 (*vtc1*) 及び、この突然変異の原因となる遺伝子を用いて遺伝子組換えにより同様にビタミン C 合成能が低下した植物 (*AsGMP*) を作製し、これらの植物における内生の遺伝子発現パターンについてマイクロアレイを用いて検証を行った。その結果、Col-0 に対する遺伝子発現パターンの相関は *vtc1* で $r^2 = 0.95$ であったのに対して、*AsGMP* では $r^2 = 0.85$ であった。このことから同じ遺伝子の働きを抑制する際に、遺伝子組換えを用いる方法は従来の突然変異を用いる方法よりも内生の遺伝子発現に多くの影響を与えることが示唆された。

2.4.3 輸入組換え植物の生物多様性への影響に関する研究

(1) 研究目的

国内に輸入されている主要な遺伝子組換え作物は 4 種

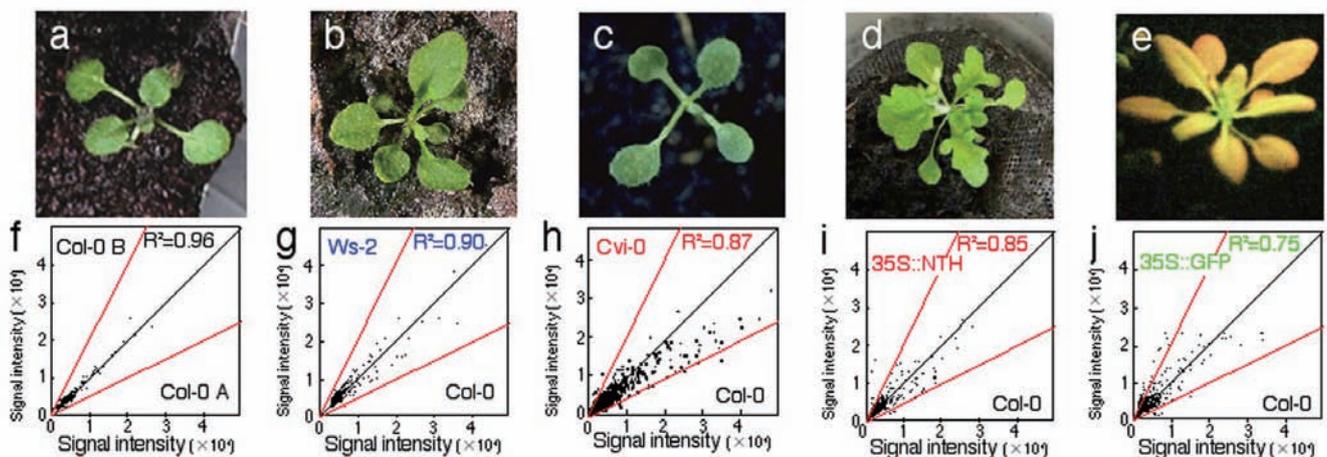


図 22 遺伝子組換え体における発現変化

a: Col-0, b: Ws-2, c: Cvi-0, d: 35 S::NH, e: 35 S:: GFP, f: Col-0 同士における遺伝発現パターンの比較, g: Col-0 と Ws-2 の遺伝子発現パターンの比較, h: Col-0 と Cvi-0 の遺伝子発現パターンの比較, i: Col-0 と 35 S::NH の遺伝発現パターンの比較, j: Col-0 と 35 S::GFP の遺伝発現パターンの比較

で(ダイズ, トウモロコシ, セイヨウアブラナ, ワタ)のうち2種(ダイズ, セイヨウアブラナ)については日本国内に交配可能な近縁種が存在する。このうちダイズ(*Glycine max*)は在来種であるツルマメ(*Glycine soja*)と交雑可能であることが古くから知られている。さらにツルマメはダイズ畑周辺で見られることが多く、遺伝子組換えダイズを栽培した場合に、周辺に自生しているツルマメと交雑する可能性がある。しかしながら、交雑後に除草剤抵抗性遺伝子などの組換え遺伝子が、ツルマメの染色体上で世代を経て安定に保持される、いわゆる遺伝子浸透が起こるかどうかにについては不明である。本研究では遺伝子組換えダイズとツルマメとの一般圃場における交雑率を求めるとともに、人工交配による雑種を作製し、雑種の環境中での適応度を調べ、さらに遺伝子組換えダイズの持つ組換え遺伝子が何世代安定にツルマメ染色体上に保持されるのか調べることを目的とする。

また、セイヨウアブラナ(*Brassica napus*)は自家不和合性が強く、自殖性植物に比べて近縁種と交雑しやすい。従って国内に輸入されたセイヨウアブラナの種子が輸送中にこぼれ落ちるなどした場合、その中に含まれる組換えセイヨウアブラナ(GMセイヨウアブラナ)が一般環境中に放出されることになり、これが野外に生育しているアブラナ科植物と交雑し、何らかの影響が生ずる可能性が懸念されているが、その野外における分布や交雑実態は不明である。GMセイヨウアブラナの一般環境中での分布調査を行うとともに、野外でのアブラナ植物の交雑実態を調査するための遺伝子マーカーを作成することを目的とする。

(2) 研究の成果

1) GMダイズとツルマメの交雑試験とF1雑種の作成
グリホサート耐性ダイズ(GMダイズ Stein 2174)とツルマメの開花期の調査を行うため国立環境研究所別圃場圃場で栽培を行った。その結果、供試したツルマメのうち少なくとも3系統の開花期がGMダイズの開花期と重なる時期があることを明らかにした。次に、GMダイズと最もよく開花期が重なるツルマメの系統(Nasu5)とGMダイズを並列(互いの距離1m)にして小規模栽培を行い、約3,000粒のツルマメの種子を採取した。採取した種子を発芽させ、グリホサート処理を行ったが、抵抗性を示す個体は出現しなかった。以上の結果今回の

栽培条件における交雑率はきわめて低く、検出不可能だったと考えられる。

GMダイズとツルマメ(Nasu5)を人工的に交配して、F1雑種を5系統作製した。これらの雑種の第1葉からDNAを抽出して、CP4-EPSPS遺伝子を検出するためのPCR反応を行ったところ、ツルマメから抽出したDNAをテンプレートとしたときは、PCR産物が増幅されなかったが、5系統のF1雑種から抽出したDNAを用いた時にはどれもPCR産物が確認された。5系統のF1雑種の種子はツルマメの特徴である黒色であり(ダイズは黄色)、ツルマメ特異的なRAPIDマーカーも確認された。以上の結果から、本研究で作製されたF1雑種はすべてGMダイズとツルマメの両者の性質を持つハイブリッドであることが確認された。

なお、本研究課題はGMダイズ開発企業との研究契約が結ばれていなかったため、平成15年度で中止となった。その後、当該企業との研究契約が締結され、平成17年度より当該企業により提供された新しい系統の種子を用いて研究を行っている。一般圃場におけるツルマメとの交雑率の算出は農業環境技術研究所、雑種の適応度と組換え遺伝子の安定性については国立環境研究所で研究を進めている。

2) GMセイヨウアブラナの一般環境中での分布調査

2004年は6~8月にかけて国道及び房総半島を自動車で時速30~40km/hで走行しながら、目視にて道路沿いに生育していた植物体を確認した。確認できた個体から半径5m以内に生育している他の個体の種子をまとめて採取し、これを一地点のサンプルとした。また、鹿嶋港湾地域においては徒歩での目視によりセイヨウアブラナを確認し、確認できた地点から5個体程度の種子をまとめて採取を行った。河川敷では橋の下に生育していたセイヨウアブラナまたはカラシナを5個体程度まとめて種子を採取した。採取地点の数は以下のとおり。

2004年度の試料採取地点

鹿嶋港湾地域 セイヨウアブラナ種子陸揚げ地点付近の町道沿い43地点(約30mおき)

国道50号線:水戸~桐生間 南側車線5地点, 国道51号線:水戸~佐原間西側車線1地点および佐原~成田間東側車線15地点, 国道124号線:鹿嶋~波崎間東側車線10地点, 国道125号線:つくば~佐原間北側車線14地点 利根川:11地点, 荒川:8地点, 小貝川:7地

点、鬼怒川：11 地点、多摩川：4 地点、房総半島：10 地点

採取した種子を国立環境研究所に持ち帰り、閉鎖系温室にて播種し、除草剤耐性試験、除草剤耐性個体については除草剤耐性タンパク質の検出と除草剤耐性遺伝子の検出を行った。

2005 年は 5 月中旬から 6 月下旬にかけて、徒歩による目視にて道路沿いのセイヨウアブラナを確認し、各個体から葉を 1～2 枚ずつ採取した。

2005 年度の試料採取地点

国道 51 号千葉県佐原市- 成田市（約 20 km）東側道路沿いの 1154 地点で採取した葉を国立環境研究所に持ち帰り、凍結乾燥機にて乾燥させた。乾燥葉を用いて除草剤耐性タンパク質存在の有無を調べた。除草剤タンパク質の存在を確認できた葉から FTA MicroCard（Whatman 社）にて DNA を抽出した。その後除草剤耐性遺伝子を PCR で増幅し PCR 産物の塩基配列を調べた。実験条件の詳細は「生態遺伝研究室のホームページ (<http://www.cool.ne.jp/biotech>)」に掲載している。

2004 年度の試料についてグリホサート耐性セイヨウアブラナの検出を行ったところ、鹿嶋港の 5 地点および国道 51 号線沿いの 8 地点から採取した種子においてグリホサート耐性の個体が検出された。その他の地点から採取した種子からはグリホサート耐性個体は検出されなかった。グリホサート耐性を示した個体からタンパク質と DNA を抽出し、CP4-EPSPS タンパク質の有無と PCR による CP4-EPSPS 遺伝子の有無を調べたところ、国道 51 号線のサンプルのうち 1 地点については CP4-EPSPS タンパク質の存在が確認できたが DNA の精製がうまくいかなかったため、その遺伝子の有無を検出することができなかった。そのほかの 12 地点については CP4-EPSPS タンパク質とその遺伝子の存在が確認できた。

次にグルホシネート耐性セイヨウアブラナの検出を行った。鹿嶋港の 1 地点、国道 51 号線沿いの 2 地点、また国道 124 号線の 1 地点から採取した種子においてグルホシネート耐性の個体が検出された。その他の地点から採取した種子からはグルホシネート耐性個体は検出されなかった。グルホシネート耐性を示した個体から DNA を抽出し、PAT 遺伝子および Barstar 遺伝子の存在を調べたところ、国道 51 号線から採取したサンプルのうち 1 地点を除くすべてのサンプルにおいて PAT タン

パク質とそれをコードする遺伝子および Barstar 遺伝子の存在が確認できた。

2005 年度には供試した 1154 個体のうち 28 個体から CP4-EPSPS タンパク質が検出され、10 個体から PAT タンパク質が検出された。これらの個体から抽出した DNA を用いて PCR を行った結果、すべてについて組換え遺伝子由来の PCR 産物が確認できた。CP4-EPSPS タンパク質が検出された 28 個体のうち 26 個体と PAT タンパク質が検出された 10 個体のうち 9 個体については、PCR で増幅された DNA の塩基配列を決定し組換え遺伝子の一部であることを確認した。

本研究の結果、2004 年度には CP4-EPSPS 遺伝子を持つ GM セイヨウアブラナが鹿嶋港周辺では 5 地点、国道 51 号線沿いには少なくとも 7 地点で生育していたと考えられる。また、PAT 遺伝子を持つ GM セイヨウアブラナが鹿嶋港で 1 地点、国道 124 号線沿いで 1 地点、国道 51 号線沿いで少なくとも 1 地点で生育していたと考えられる。本研究が始まってまもなく、鹿嶋港付近において GM セイヨウアブラナが生育していることが農林水産技術会議の調査により明らかにされた。本研究の調査結果は農林水産技術会議の調査結果とほぼ一致していたといえる。本研究で得られた結果のうち特筆すべき点は国道 51 号線と国道 124 号線沿いに GM セイヨウアブラナが生育していることが確認されたことである。現在国内では GM セイヨウアブラナの商業栽培は行われていないことから、本研究で確認された国道沿いの GM セイヨウアブラナは、輸入された種子が輸送途中でこぼれ落ち生育したのと考えられる。2005 年度に国道 51 号線について、より詳細な調査を行った結果、国道 51 号線沿いには CP4-EPSPS 遺伝子を持つ GM セイヨウアブラナが少なくとも 26 地点で、PAT 遺伝子を持つ GM セイヨウアブラナが少なくとも 9 地点で生育していたと考えられる。また、2004 年度 GM セイヨウアブラナが検出された 8 地点のうち 4 地点に非常に近い場所で 2005 年度も GM セイヨウアブラナの生育が認められた。一方、河川敷では橋での交通量が多いことから橋の周辺を中心に種子の採取を行ったが、除草剤耐性の個体は検出されなかった。さらに、房総半島で採取したセイヨウアブラナやカラシナの種子からも除草剤耐性個体は検出されなかったことから、国道 51 号線や国道 124 号線で見られたような除草剤耐性 GM セイヨウアブラナは検出された地点に限定的に生育しているのと考えられる

(図 23)。今後はこれらが定着・分布拡大しているかどうかを調べるため継続調査を行う予定である。



図 23 国道 51 号線沿いにおける GM セイヨウアブラナの分布
 ■ 2004 年度の調査 ■ 2005 年度の調査

3) アブラナ科植物の交雑を調べるための遺伝子マーカーの開発

国内では、セイヨウアブラナは河川敷や堤防の法面などに大きな群落を形成する他、それらと交雑可能な近縁種であるカラシナ (*B. juncea*) や在来アブラナ (*B. rapa*) が広く分布している。しかしながら、その分布や交雑実態は全く調査されていないために、十分な検討が必要である。欧米では、セイヨウアブラナと在来アブラナとの交配による雑種形成能や遺伝子浸透の可能性についての研究が多数行われている。しかし日本国内では、カラシナがアブラナ類の主要群落構成種に占める割合が非常に大きいことから、カラシナと他の近縁アブラナ類との種間交雑ポテンシャルを、国内の環境条件下で調べる必要がある。そこでアブラナ属の種間交雑を今後長期的にモニタリングしていくための混生野外集団を選定すると共に、種間交雑や集団内遺伝子流動を解析するためのマイクロサテライトマーカー (Simple Sequence Repeat: SSR) の開発を行った。

茨城県常総市の鬼怒川堤防のアブラナ類群落において、カラシナとアブラナが高密度に混生している場所を選定し、2005 年 4 月に 5 × 12 m の永久方形区を設置し、構成種数、個体サイズ、分布位置を記録した

(図 24)。その結果、546 個体をマーキングし、種別の内訳はカラシナが 278 個体、アブラナが 268 個体であった。この集団では、開花後早い時期に国土交通省による草刈りが行われ、十分に成熟した種子を採取することが困難であったことから、今後 SSR マーカーを用いて当年度の世代と次年度の世代との家系解析を行って交配個体を特定し、種間交雑の可能性についてモニタリングを行っていく予定である。また、今年度までには、セイヨウアブラナとカラシナの混生集団を特定できなかったことから、来年度以降はこれら 2 種の混生集団を選定し、種間交雑の可能性を解析すべきであると考えている。

一方、公開されているアブラナ属のマイクロサテライトライブラリーや文献情報を基に、SSR マーカーのスクリーニングを行った。カラシナ、アブラナ、セイヨウアブラナの 3 種で汎用可能と考えられた 78 遺伝子座でプライマーを作成し、PCR による増幅条件の検討と多型性の解析を行った。多型性の解析には、鬼怒川に設定した永久方形区から採集された個体からランダムに抽出した 96 個体を使用した。その結果、PCR による良好な増幅が得られたものは 27 遺伝子座 (34.6%) であった。これらの 27 遺伝子座では、プライマー対の一方の 5' 末端に蛍光標識を付け、PCR 増幅産物を Applied Biosystems 3730 DNA Analyzer で泳動して対立遺伝子

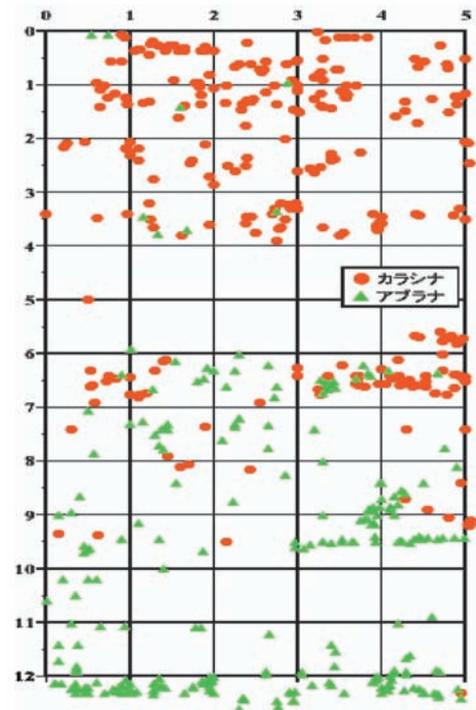


図 24 鬼怒川調査地の個体分布図

の検出を行った。現在までに、16 遺伝子座で多型性の解析が終了した。その結果、8 遺伝子座 (10.3%) では多型が認められたが、5 遺伝子座では多型が無く、3 遺伝子座は slipping (PCR 反応時に起こる DNA ポリメラーゼの増幅ミスによる多型) 等により波形の読み取りが困難で、解析には不適當であることがわかった。多型が認められた 8 遺伝子座の解析結果を表 10 に示した。多型が認められた 8 遺伝子座のうち、5 遺伝子座では観察された対立遺伝子数が多く、ヘテロ接合体の期待頻度 (H_e) の値も比較的大きいことから、集団遺伝学的な研究に適したマーカーであると考えられる。今後は、残りの 11 遺伝子座で多型性の解析を進め、最終的には 10 遺伝子座程度のマーカーをスクリーニングする予定である。

表 10 SSR8 遺伝子座の多型性解析の結果

Locus	N	No. of alleles	H_e^*
BRMS005	89	10	0.68
BRMS034	94	8	0.66
BRMS027	77	10	0.65
BRMS036	96	8	0.63
MR183	88	7	0.49
BRMS042	94	2	0.32
MB4	92	2	0.31
BRMS051	94	5	0.22
Average		6.5	0.50

* ヘテロ接合体の期待頻度

2.4.4 組換え微生物の挙動調査用マーカーの開発及び PCR 法による検出・定量法の開発

(1) 研究目的

微生物は肉眼で観察することが不可能であり、また顕微鏡による形態観察によっても識別することはほとんどできない。さらに自然環境中には非常に多くの微生物が生息しており、例えば土壌 1 g には 1 億匹以上の細菌が存在するといわれている。したがって、環境中での組換え微生物の安全性あるいは影響を評価する上で、その

検出手法の開発は非常に重要である。そこで本研究では、比較的簡便な培養法による検出用マーカーの開発及び培養が困難な微生物の挙動を解析するために PCR 法による検出・定量法の開発を試みた。

(2) 研究の成果

培養法による検出用マーカーとして重金属耐性に着目し、水銀還元酵素遺伝子群 (*mer* オペロン) をマーカーとした。マーカーを組み込んだ組換えプラスミド pSR 134 を各種シュードモナス属細菌 *Pseudomonas putida* PpY101, *P. putida* PRS 2000, *P. aeruginosa* PAO1, *P. fluorescens* LB303, さらに大腸菌 *Escherichia coli* HBI01, 及び窒素固定細菌 *Klebsiera oxytoca* R16 に導入し、これらの組換え微生物が軟寒天重層法により実際の環境中においてモニタリングが可能であることを確認した。

次に、培養が困難な微生物を迅速に検出・定量するためにトリクロロエチレン (TCE) を分解可能なメタン酸化細菌 *Methylocystis* sp. M 株をモデルとして PCR 法を応用した DNA レベルでの検出法の開発を試みた。本研究では、より簡便に正確な定量を行うために PCR 反応の酵素化学的動態解析による計数法を検討した。メタン酸化細菌 M 株の有するメタンモノオキシゲナーゼは、膜結合型 (pMMO) 及び可溶性 (sMMO) の 2 種類が存在する。このうち sMMO は、基質特異性が低く TCE の分解に大きく関与している。これまで知られている各種メタン酸化細菌の sMMO はいずれも高いホモロジーを有することが確認されているが、これら sMMO の塩基配列を詳細に比較し M 株のみを検出できるような PCR 用の各種プライマーを設計し、その特異性を検討した結果、SF-1 と SR-3 と名付けたプライマーセットにより、非常に近縁の微生物集団の中からも M 株のみを検出・定量できることが示唆された。

さらに、微生物活性の評価法の開発を試みた。細菌の mRNA はターンオーバーが早く、細胞の活性や生存力 (viability) の指標となるため、RT-PCR 法による特定 mRNA の定量法を検討した。幅広く適用できるよう、M 株からの全 RNA の抽出には、市販のキット (FastRNA kit Blue; BIO 101) を用いた。本キットを用いた抽出法ではキットのロットによって、RNA の抽出効率にばらつきが見られた。そこで安定して M 株 RNA を抽出するため、RNA 抽出法の改良を行い、特に菌体破壊時に新鮮な中性フェノールを用いることが大変重要であるこ

とを確認した。また、本法では微量のゲノム DNA の混入が、定量結果に大きな影響を与えるので、RNA 試料に混入している DNA の除去法を検討した。DNA 分解酵素濃度、反応時間、酵素の種類及び反応前の熱処理について検討した結果、それぞれ 5 U/反応、60 分間 (37℃)、DNase I (TaKaRa) 及び 5 分間の熱処理 (95℃) 後に急冷の条件で RNA 試料からゲノム DNA がほぼ全て除去できることが認められた。得られた精製 RNA 試料中の特定 mRNA の定量は、より簡便な一つの PCR チューブ内で逆転写 (RT) の反応と PCR を行う one-step RT-PCR 法により行った。プローブは前述の M 株菌体定量用と同様のセットを用い、反応条件を詳細に検討して、迅速かつ非常に高感度で特定 mRNA を定量する手法を開発できた。

これらの開発した手法により、環境中での微生物のピュレーションと活性を把握することが可能となり、微生物生態系での特定微生物の役割の評価に関する研究の発展に役立つと期待される。

2.4.5 組換え微生物のマーカー遺伝子の挙動

(1) 研究目的

組換え微生物とその宿主である非組換え微生物との性質の違いは、組換え操作及び組換え遺伝子の有無に起因するものと考えられる。したがって、生態系への組換え微生物の影響を正しく評価する上で、組換え遺伝子の挙動を把握することが重要な課題である。そこで、導入した遺伝子の環境中での伝播、及び組換え微生物 *P. putida* PpY 101 の細胞内における遺伝子の挙動の解析を試みた。

(2) 研究の成果

接合による微生物間の遺伝子伝達の現象は非常に古くから確認されており、環境中での遺伝子拡散に大きく関与している。一般に接合伝達は伝達性プラスミドを介して生じるが、特殊な様式として、自己伝達能のないプラスミドの可動化という現象が知られている。そこで、前述のマーカー付き組換え微生物の保持する非伝達性プラスミド pSR 134 の接合伝達の可能性を検討した。水銀マーカーを組み込んだ本プラスミドのみでは伝達は認められなかったが、他の伝達性プラスミド (ヘルパー) の存在により、シュードモナス属細菌から大腸菌への伝達も、またその逆もほぼ同じ頻度で起きることが示され

た。また高電圧の電気パルスを印加することにより、非常に低い頻度ではあるが、非伝達性の組換えプラスミド pSR 134 が伝達することが示された。環境中ではたとえ非伝達性であってもヘルパーの存在により遺伝子の拡散が生じてしまうことが予想される。さらに落雷等の自然現象により、本来伝達しにくい、あるいは伝達しない範囲にも遺伝子に移っていく可能性が示唆された。

また、微生物細胞内での遺伝子の挙動、すなわちプラスミドの立体構造及び含量の解析を試みた。微生物細胞をアガロースゲルに固定し、そのゲルプラグから DNA の回収及び透析による精製を行うことにより、電気泳動により閉環状、開環状及び直鎖状プラスミド DNA の分離・定量が可能となった。7,000 lx の光を連続照射した条件下での PpY 101 細胞内のプラスミド pSR 134 の立体構造解析及び DNA 量の変化の測定を行った結果、試験開始時はほとんどが閉環状プラスミドであったが、光の照射により閉環状プラスミドの減少に伴い開環状プラスミドが増加し、その後閉環状及び開環状プラスミドともに減少することが認められた。暗所においては、試験開始時の閉環状プラスミドの量をほぼ維持し、試験終了時に開環状と閉環状プラスミドがほぼ等量となった。光の照射により開環状プラスミドが増加した 4 日目には、水銀添加及び無添加平板培地での計数による菌数に差がないことから、開環状プラスミドであっても *mer* オペロンの発現能は維持されていると考えられる。このことから、光により菌体内の組換えプラスミドが閉環状から開環状へと構造が変化することにより不安定化し、さらに光を受け続けることによりそのコピー数が低下し、その結果水銀耐性能の低下が生じたと考えられる。

環境中における遺伝子組換え微生物のプラスミド水平伝達等、遺伝子の挙動に関するリスク管理といった点を考慮すると、環境利用する遺伝子組換え微生物にプラスミドを導入することは避けた方がよいかもしれない。しかしながら、近年廃水処理において目的の形質を定着させるため、あえて伝達性プラスミドを利用する試みもなされており、微生物の有効な利用及び微生物並びに遺伝子の制御・安全性評価といった観点から、本研究のような検討が重要である。

2.4.6 環境中での遺伝子組換え微生物の生残性

(1) 研究目的

遺伝子組換え微生物の環境利用に際してその安全性を

評価する必要があると考えられている項目のうち、人間、特定の動植物への直接の影響に関しては、利用する微生物の病原性、有害物質の生産性、その他の主要な生理学的特性及び使用法等からある程度の予測が可能である。しかしながら、環境中での生残性、生態系に及ぼす影響等の安全性を評価するためには、マイクロコズム等の模擬生態系での検討が必要である。そこで本研究では前述のマーカー付き組換え *P. putida* PpY 101 の模擬生態系での挙動を解析した。

(2) 研究の成果

前述のマーカー付き組換え *P. putida* PpY 101 及びその宿主を非組換え体として用いた。これらの洗浄菌体を接種した環境水を 500 ml 容三角フラスコに 200 ml 分注し、これを水マイクロコズムとした。各マイクロコズムは室温 25℃、照度 4,500 lx、12 時間明暗周期、振とう条件 60 rpm の条件下に設置した。組換え及び非組換え微生物はこれまでに開発した軟寒天重層培養法により計数した。各種環境水中での生残性試験結果を図に示した(図 25)。両者の菌数は、接種後 5 日までは速やかに、

その後は比較的緩やかに減少し、接種した菌数が高いときにより早く減少していた。この高い死滅速度は原生動物の高い捕食圧によると考えられる。組換え微生物と非組換え微生物の生残性に有意な差は認められなかった。水環境中の栄養条件と生残性の関係に関する報告がいくつかなされており、各種微生物の生残性が栄養条件によって異なることも示されているが、本研究においては、生残性はその試水の COD の違いには影響を受けていない。水環境中の栄養条件にその生残性が影響を受ける微生物と受けない微生物がいるようである。従って、その水質分析だけでは水環境中に接種した微生物の生残性は予測できないといえる。

風乾して 2 mm のふるいを通し適当な含水率に調整した土壌に前述の組換え及び非組換え微生物を噴霧し、この約 500 g を直径 9 cm 高さ 15 cm の深形ガラス製シャーレに充填して土壌マイクロコズムとした。土壌マイクロコズムは 25℃、暗所に設置した。まず、黒ボク土壌と砂質土壌における生残性を調べた(図 26)。接種した *P. putida* の生残性は黒ボク土壌と砂質土壌マイクロコズムで異なっていた。これは微生物を野外利用する前にそ

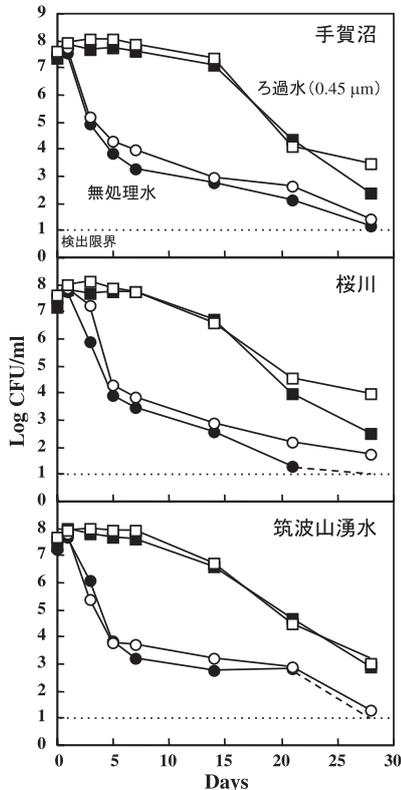


図 25 遺伝子組換え (■, ●) および非組換え (□, ○) PpY 101 の各種環境水での生残性

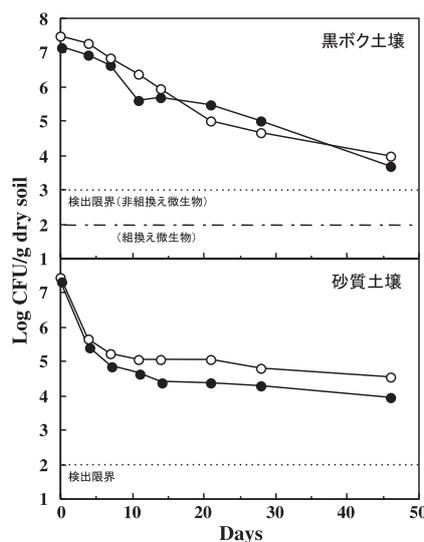


図 26 遺伝子組換え (●) および非組換え (○) PpY 101 の黒ボク土壌および砂質土壌での生残性

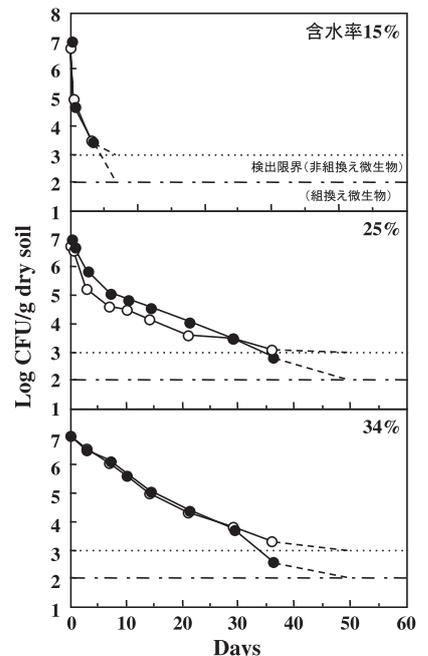


図 27 遺伝子組換え (●) および非組換え (○) PpY 101 の黒ボク土壌での生残性に及ぼす含水量の影響

のサイトの土壌で挙動を検討することが必要であることを示している。次いで、黒ボク土壌中の生残性はその含水量によって大きな影響を受けることが認められた(図27)。土壌に接種した*P. putida*が土壌団粒構造の内側に入り込めないことが、含水率の低い土壌中での急速な減少の原因のひとつかもしれないと予想された。このように同じ土壌でも含水率が生残性に大きな影響を与えることから、微生物の野外利用の前にはその利用状況によっては土壌マイクロゾムの含水率を変化させてその挙動を検討する必要があるだろうと考えられる。また、本研究でのマイクロゾム試験及びこれまでの報告から、特に選択圧のない条件では遺伝子組換え微生物の生残性はその宿主である非組換え微生物とほぼ同じであろうと考えられる。

2.5 生物群集の多様性を支配するメカニズムの解明に関する研究

2.5.1 森林の樹木の多種共存メカニズムの解明に関する研究

(1) 背景と目的

地球上には、20万種以上の維管束植物が暮している。植物の多様性は、植物を利用している動物の多様性も支えている。草食性の動物だけでなく、それらの動物を餌とする食物連鎖の上位に存在する動物や、植物を生育場所として利用する動物の多様性も植物に支えられている。植物の多様性は、生態系の多様性の重要な根幹のひとつである。

ところで、植物はみな光と水と栄養塩を必要とする。空中に枝を伸ばし葉を展開して光を受ける。また、水や栄養塩は土壌中に根を伸ばして獲得する。資源のとりあいはすなわち場所の取り合いである。空間というひとつ資源をめぐるすべての植物が競争しているのであれば、最も強い1種がすべての地面をおおってしまいそうに思われる。それにもかかわらず、多種の植物が共存しているのはなぜだろうか。

それぞれの種類によって、適した生育環境が異なっており、特異な環境がことなる植物が共存していることはそれほど不思議ではない。しかし、実際には、同じような環境のなかで同じような生き方をしている多数の種類植物を見ることができる。森林では多種の高木が共存しているのはその例である。熱帯林では、何百という樹種が混ざって生育している。これだけの種、絶滅するこ

となく共存しているのはたいへな不思議なことである。それぞれの種の個体群が存続してきたメカニズムが理解できれば、絶滅を回避する方策を講じるうえで大きな助けとなるだろう。

森林で多種の樹木が共存するメカニズムについてはこれまで何十という仮説が提案されてきた²⁸⁾。これらはたがいに排他的ではなく、複数のメカニズムが同時に貢献していることもおおいにありそうである。ひとつのメカニズムの貢献が証明されても、ほかのメカニズムが働いている可能性を否定はできない。個々のメカニズムについて調べる必要がある。

それぞれの仮説の検証には、いくつかのステップが考えられる。論理的に正しいか、そのメカニズムが機能する前提条件は実際の森林で成り立っているか、そして、たしかにそのメカニズムのおかげで多くの種が共存できているのか、などである。

最後のステップ、すなわちあるメカニズムの貢献を森林で直接的に確認することは、容易ではない。そのメカニズムを実験的に止めるのは現実的ではないことが多い。もし仮にそれができたとしても、木々の寿命を考えると、森林の組成に変化が現れるには少なくとも100年のオーダーの年月を要するだろう。

そうした実験的な手法が無理だとなると、これにかわる方法を考える必要がある。たとえば、あるメカニズムが働いているときに特徴的に現れる森林構造のパターンがあるならば、そのパターンの有無を調べればよいだろう。では、そのような特徴的なパターンはそもそも存在するのだろうか。本研究の重要な課題は、そうしたパターンを、森林動態のシミュレーションモデルを使って探すことである。

本研究では、多種共存メカニズムの有力な仮説のなかから2つ(次項で詳説)をとりあげ、それらが共存を促進することをモデルを使って確認した。そして、それらのメカニズムが機能しているとき、森林の構造になんらかの特徴的なパターンがないかを調べた。

さらに、多種の共存の関連する問題として、気候の長期変動にともなう分布域の移動のプロセスのシミュレーションも行った。個々の樹種の分布域の移動は、その前線部分に注目すれば、あたらしい領域に侵入し、そこに従来から生育していた種と共存していくプロセスの繰り返しである。本研究では、多種の共存のしやすさが、分布の移動速度などどのように関係するのかを検

討した。

(2) モデル

本研究でとりあげた共存メカニズムは、繁殖の時間変動による共存の促進と、親木の近傍では同種の芽生えが定着しにくいという種特異的な死亡要因による共存の促進である。

前者のメカニズムは、森林にかぎらず、空間をめぐって競争している固着性生物の群集について考えられたものである²⁹⁾。そのような生物で、種内で同調して繁殖が変動する場合、優占種がたまたま繁殖子（種子、胞子、卵など）を作らないときに希少種が繁殖子を作れば、そのときに存在している空き地は希少種の子供が独り占めし、いわば「鬼の居ぬ間」を利用した挽回が可能になる。空き地の独り占めの相対的な「ありがたみ」は、少数者にとって大きい。少数者が相対的に利益を得るような条件は、種の絶滅を回避し、共存を促進する効果を持つ。

もうひとつのメカニズムは、Janzen Connell 仮説と呼ばれるものである^{24,25)}。高木の下には、その樹種をとくに好むような種子食動物や病原性生物などが集まるため、その木が散布した種子や芽生えの死亡率が高くなるという現象が観察されることがある。こうした現象があると、一種の樹種が密集した純群落を作りにくくなり、結果として多種が共存しやすくなると推測される。

本研究では、これらのメカニズムを組み込めるような森林動態モデルを作製し、こうしたメカニズムが有効に働くのはどのような場合かを調べた。また、メカニズムが働いているときに特徴的に現れる森林構造のパターンがないかを探索した。

本研究で用いたモデルは、システムを構成する要素ひとつひとつを区別して取り扱う個体ベースモデルである。空間構造のなかでの局所的な相互作用や、個々の要素の個性が全体の挙動と密接に関わるようなシステムの場合、このタイプのモデルが有効であることが多い。樹種による繁殖パターンの違いや、種子の散布や死亡が親木との位置関係に依存することを無理なく表現するため、二次元の空間構造があり、樹木一本ごとを区別するモデルを構築した。2次元平面を格子状に区切って、そのひと区画に成木は一個体のみ生育することができるとした(図28)。一年ごとに個々の個体の生死、種子生産、種子散布、空き地での新個体の定着を計算した。

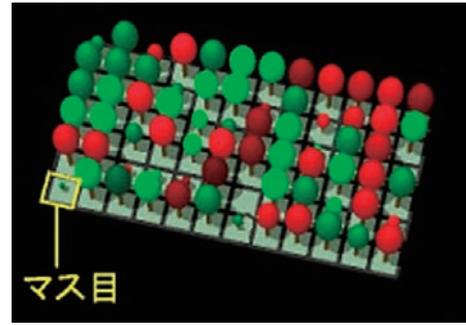


図28 格子状の森林モデルの模式図

種子の生産は、樹種ごとに種内では同調して変動するとした。種子生産の平均頻度は、すべての樹種に共通のパラメータとして与えた。年ごとに個々の種が種子生産を行うかどうかは、乱数を使って種ごとに決めた。種子生産の平均頻度が1であれば、毎年すべての樹種が繁殖を行うことになる。

作られた種子は親木のまわりに散布される。格子のひとつひとつの枠に到達する種子の量は、親木からの距離に応じて指数関数的に少なくなるとした。散布された種子は、一定の確率（定着率）で無事に発芽し芽生えとして定着する。なお、外部からの種子の供給は考えないので、一度消滅した種が再定着することはない。

死亡は確率的に起こるとした。それぞれの個体の年ごとの死亡率を求めてから、乱数によって死亡するかどうかを決めた。死亡要因にはいくつかの要素がある。すべての個体に一定の確率でおこる死亡、小さい個体や上層の個体に日陰にされることにより高まるような死亡、種子から発芽した個体が、同種の成木個体の近くで死にやすくなることをあらかず種特異的な死亡、そしてどの個体もそれ以上は生きられない最大寿命による死亡である。

ある時点での各個体の成長は、その時の個体サイズに一定の相対成長率をかけて求める。ただし、格子のおなじマスのなかに、その個体よりも大きい個体が存在しているならば、それらの個体のサイズの積算量に応じて成長は低下させる。成長がマイナスになったら、その時点でその個体は死亡するとした。

(3) 結果

1) 共存メカニズムと共存種数

さまざまな設定でシミュレーション実験を行った。そのうち、30マス×30マスの格子に30種類の樹種を配置

した場合の結果を示す。30の樹種は種子の生産量に差があり、もっとも多産なものは平均して1年あたり1000個、もっとも少ないものでは1年あたり10個の種子を作るものとした。

多種の共存を促進すると期待されるメカニズムをなにも組み込まない(すべての種が毎年種子を生産し、芽生えの定着の段階で種特異的な死亡はない)場合、種子生産数が少ない樹種からすみやかに絶滅していき、2000ステップ(年)が経過した時点では、種子生産数が多い3種ほどしか残っていなかった(図29)。

種子生産の有無が、種ごとに独立に変動するとすると、多種が共存できるようになった(図30)。ただし、種子が無事に発芽して芽生えとなる確率(定着率)が低

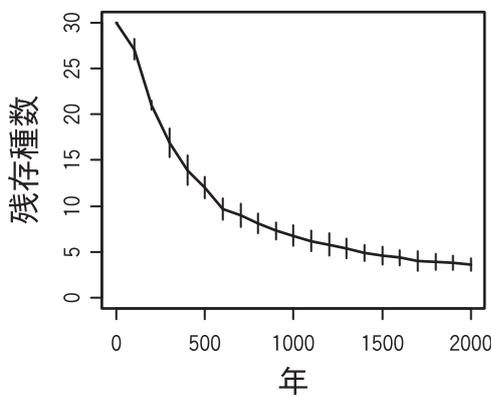


図29 森林内に存在している仮想的な樹種の数を経時変化
はじめは30種からスタートしている。10回の試行の平均を示した。細い縦棒は標準偏差。

くなると、共存促進の効果は小さくなった。これは、定着率が低いと種子生産時の空き地の独り占めが不十分で、次年度以降に空き地が残ってしまうことによる。また、ここではデータは示さないが、日陰にされることによる死亡の促進効果を強く設定すると、残存種数は少なくなった。これは、せっかく空き地を独り占めできても、そのときに定着した芽生えが短命であれば、幸運な定着成功者たちが日陰に耐えて、やがて上層木が死亡したときにそのあとを埋めるというプロセスを辿れなくなるためである。

成木の近くでは同種の種子の定着率が低いという仮定を組み込むと、それだけでより多くの種類が共存しやすくなった(図31, 実線)。残存種数は、この種依存的な死亡要因の強さに依存しており、親木の直下での死亡率が100%(グラフの右端)の場合にもっとも多くの種が存続していた。

同じ図中の破線は、種特異的な死亡と、種子生産の時間変動の両者をあわせて組み込んだときに、どれだけの種が2000年後に残っているかを示している。すでに種特異的な死亡によって共存が促進されている状態で、さらに種子生産の変動という共存促進メカニズムが働くと、残存種数はさらに増加した。この結果でとくに注目すべき点は、二つのメカニズムの効果が単純に足し算されるのではないということである。種特異的な死亡がまったくない状態で種子生産の時間変動を加えると、共存種数は約8種増加した。しかし、種特異的な死亡の効果を最大に設定した状態でさらに種子生産の変動を加えた場

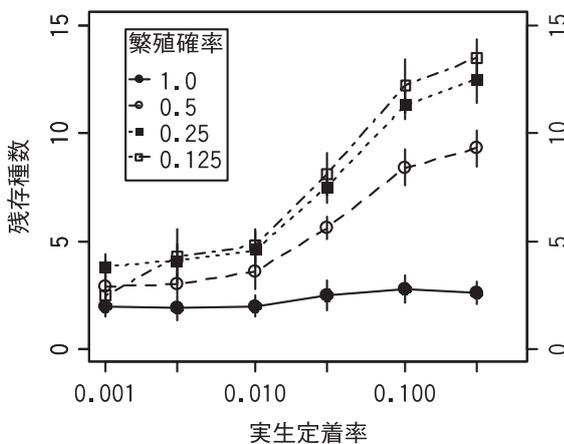


図30 2000年後に残っている樹種の数と、種子が発芽して芽生えとして定着する確率の関係
年ごとの繁殖の確率は、1.0, 0.5, 0.25, 0.125(下から上へ)。10回の試行の平均を示した。細い縦棒は標準偏差。

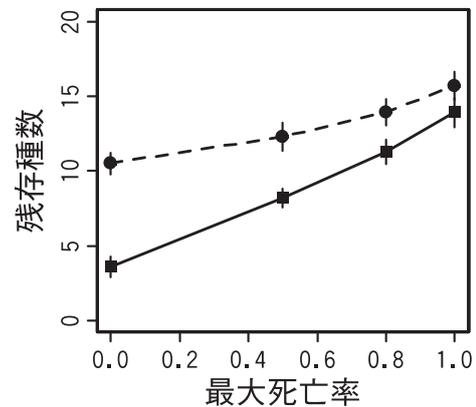


図31 2000年後に残っている樹種の数と、親木の直下での同種の芽生えの死亡率との関係
上の破線は、確率的な繁殖の時間変動を加えた場合(平均して4年に一度だけ種子を作る)、下の実線はすべての樹種の成木が毎年種子を作る場合。10回の試行の平均を示した。細い縦棒は標準偏差。

合は、共存種数の増加は約2種にとどまった。こうした非線形性は、複数の共存促進メカニズムが同時に働いているとき、個々のメカニズムの相対貢献度を単純には定義できないことを示している。

種子生産の時間変動と、定着の成功率の同種の親個体下での低下というふたつのメカニズムが働いているとき、それぞれ特異的に現れる森林構造のパターンがないかを検討した。種ごとの個体数の相対的なパターン、同種個体の分布パターンに排他的な傾向があるか、幼個体の数と親木の数とに上に凸の関係（少数者の相対的な有利性）があるか、などを調べた。種ごとの個体数の相対的なパターンは、これまで様々な生物群集で調べられてきた。全種を、出現個体数が多いものから少ないものへと順に横軸に並べ、それぞれの個体数を縦軸（対数メモリ）にとってプロットすると、しばしば直線に近い関係が見られる。その傾きや、直線からのずれで、種ごとの個体数のパターンを表現しようという解析方法である。

種ごとの個体数の相対的なパターン（図32）を含め、調べた指標のどれにおいても、共存メカニズムに応じた特徴を見出すことはできなかった。種ごとの個体数の相対的なパターンでは、共存する種数に応じて直線の傾きは異なるものの、全体の形はほぼ直線状で、希少種のところで線からはずれて個体数が少なくなっているというパターンはどちらの共存メカニズムが働いている場合

にも、また両者が同時に働いている場合にも見られた。

2) 共存メカニズムと環境変動への反応

ここではデータは掲載しないが、多種の共存メカニズムは、環境の変動による分布パターンの移動のしかたに影響することを示すことができた。細長い仮想森林を構築し、その長辺にそって環境の勾配を設定し、繁殖好適環境が異なる複数の樹種の個体を森林全体にランダムに配置した状態からシミュレーションを開始すると、ほどなく環境勾配に応じて樹種ごとの分布帯が形成された。その後、環境勾配を全体にずらすと、個々の樹種の分布域はこれに追従してシフトした。このとき、多種が共存しやすい条件のもとでは、分布域の移動はスムーズに起こった。これは、分布域のこれまでの境界を越えてあらたな領域へ侵入した樹種が、その場の多数者である既存種に排除されずに定着しやすいことによる。いっぽう、多種の共存を促進するメカニズムがまったく働いていない場合、あらたな分布域への侵入は抑制され、新しい平衡状態に到達するのに、種子の散布距離と成熟までの時間のみから推定されるよりも数倍も長い時間を必要とした。

(4) 考察

種子生産が時間的に変動しさえすれば共存が促進されるわけではなく、実生個体の定着や生存にかかわるパラメータだけで、共存が強く促進されることもあれば、ほとんど効果がないこともあった。親木の近くで同種個体の定着率が低下する場合も、共存の促進効果は種特異的な死亡要因の強さに依存していた。すなわち、多種の共存を促進する個々のメカニズムの効果は、1か0かというものではない。少しだが貢献しているメカニズムもあるかもしれないし、少なからず貢献しているものもあるかもしれない。ただし、複数のメカニズムが働いているとき、それらの効果は単純に足し算できるものではないということも、シミュレーション実験ではっきりと示された。

期待に反して、特定のメカニズムが働いているときにあらわれるような特徴的なパターンを見つけることはできなかった。理論的には、種特異的な死亡は排他的な分布パターンを形成することが予想されるし、繁殖の時間変動は少数者の相対的な利益をもたらすので、種ごとの幼個体数を親個体数に対してプロットすれば、比例関係ではなく上に凸の関係が得られるはずである。しか

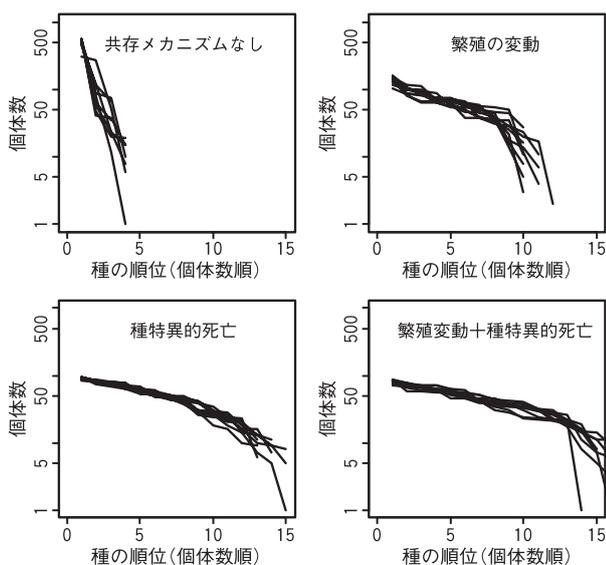


図32 種ごとの個体数を、個体数の多いものから順に並べてプロットしたもの
それぞれの条件で10回の試行を行い、一回ごとの結果を一本の線で示した。右の二つは繁殖の時間変動、下の二つは種特異的な死亡を組み込んである。

し、そうした関係は、死亡や繁殖の確率性によるランダムなばらつきに埋もれてしまったと考えられる。

自然界の現象には、さまざまな確率性や不均一性がかかわっている。本研究で用いたような、種間差が生産種子数しかなく、空間的に環境条件が均一であるような単純なシステムですら検出できなかったものが、自然のなかで見いだせるとは考えにくい。森林の構造の調査データにもとづいて、そこで働いている共存メカニズムを検出することはきわめてむずかしいだろう。生態学の問題として多種の共存メカニズムの研究を進めるには、まずは方法論の検討が重要だろう。

いっぽう、多様性の保全という観点に立つとどうか。たとえば、自然界で働いている共存メカニズムが繁殖の時間変動であると示すことができれば、それぞれの樹種でまれに起こる繁殖の成功を妨げることがないように留意することが重要となる。しかし、メカニズムが不明なままでは、そのようなポイントの絞り方はできない。

しかし、あきらかに絶滅を促進するような要因があらたに生じないようにすること、また、積極的に絶滅を抑制するような管理を行えば、保全上の効果はあるはずである。たとえば、少数者の利益は、つねに絶滅を抑制する方向に働くから、希少種の生存や繁殖を促進するような管理を行えば、それらの絶滅を回避し、多種の共存を促進すると考えられる。ただし、そのような管理が他の種に与える効果にも留意することは当然必要である。

2.5.2 生物群集動態に関する理論生態学的研究

(1) はじめに

近年、人類は様々な攪乱を生態系に対して加え続けており、そのことは多様性の減少に強く影響していると言われている。様々な種類の環境攪乱に対して、生態系がどのような動態を示すのかを明らかにすることは、多様性を保全する上で重要な課題である。そのためには、生態系に攪乱を加える実験を行い、生態系がどのような動態を見せるのかを解析することが有効である。しかし、環境破壊を伴う実験を実際の生態系で行うわけにはいかず、実験の結果、取り返しのつかない事態を引き起こしてはならない。そこで、コンピュータシミュレーションを用いた仮想的な操作実験が非常に有効な手段となりうる。また、現在の生態系は長い時間に渡る生物進化の結果できあがったものであり、生態系の挙動にはそれぞれの生態系が持つ進化的な背景が少なからず影響す

ると考えられる。そこで本研究では、実験を行う仮想生態系を、生態系を構成する種の進化を介して構築し、その系に見られる多様性変動の解析と、その系に攪乱が加わったときの動態の解析を行った。

(2) 方法

本研究のモデル生態系は植物と動物（草食、肉食、雑食）で構成される。植物は外部から流入するエネルギーを利用して成長する（光合成をイメージ）が、動物は、それぞれ自分の好む性質を持つ他の生物を食べないと生きられないとする。また、似た性質を持つ植物同士は競争する。

生物同士の相互作用によって生物量が変化するが、これは次のような多次元のロトカー-ヴォルテラ方程式を用いて表す。

$$\frac{dM_i}{dt} = c_i M_i \left(r_i + \sum_{j=1}^n a_{ij} M_j \right) \dots\dots\dots (1)$$

ここで M はそれぞれの種の生物量、 c_i は種 i のエネルギー変換効率、 r_i は種 i の内的自然増加率、 a_{ij} は種 i と種 j の間の相互作用係数である。生物量の計算の結果、ある種の生物量がその種 1 個体当たりの生物量を下回った場合、その種は絶滅する。

本研究のモデルでは動物はそれぞれ違う好みの幅を持つ。好みの幅が狭いほど特定の餌しか食べないスペシャリストとなるが、スペシャリストほど餌を効率よく利用できるかと仮定した。また、スペシャリストとジェネラリストに潜在的な優劣が生じないように（好みの幅によって取り入れるエネルギー量の期待値に差が生じないように）、好みの幅とエネルギー変換効率 (c) に以下のような反比例関係を仮定した。

$$c = 1/P \dots\dots\dots (2)$$

一定期間ごとに系の中からランダムに 1 種を選び、その種の集団の一部が分離して新種となる。新種の各変数（相互作用も含む）は祖先の性質に微小な変異を加えることによって決定する。この変異の大きさは、各種ごとに与える進化率 (E) を利用して決められる。一定期間ごとに系の外部から新しい種が移入する。この種は新しいグループ（共通の祖先から派生した種のグループ）の創始者となる。

動物、植物それぞれのグループの創始者種は交互に移入する。これらの種の性質と相互作用は初期設定と同じ方法で決定する。

(3) 結果

1) モデル生態系の性質

図 33 はこのモデルで構築された仮想的な生態系の例である。このように非常に多様性の高い生態系を構築することに成功した。図 33 はいわゆる生態系のピラミッドのように、捕食される側が下、捕食する側が上にくるように配置してある。一次生産を行う植物が生態系のベースとなっている。その植物を食べる植物食の動物が 1 次消費者として 2 番目の栄養段階に位置し、さらに肉食動物や雑食動物が 2 次消費者、3 次消費者としてその上に積み重なっている。このモデル生態系では相互作用が網状に発達しているが、古典的な栄養段階で考えると 5 段階目までの栄養段階が認められた。

本研究のモデル生態系の構造が実際の生態系に似ているかどうかを確認するため、生態系の構造を表すいくつかのパラメータについて解析した (図 34)。また、比較のために、最近発表されたのモデル生態系²⁶⁾ のデータも併せて示した。このモデルでは本研究のモデルと同様に生態系を進化的に構築する。また、本研究のモデルに含まれていない最適採餌理論 (最も効率よく利用できる餌を選んで捕食すること)、餌の処理時間 (餌生物を捕まえて、消化して体内に取り入れるまでに必要な時間)、空腹でないときは餌を食べないことなど、生物学的に妥当なプロセスが詳細に組み込まれており、一見本研究の

モデルよりも進んだモデルに見える。しかし、できあがった生態系の性質を比べた結果、本研究のモデルの方がはるかに実際の生態系に近い性質を持つことが明らかとなった (図 34)。

一見進んでいるように見えるモデルの方が現実から離れてしまうのはなぜか? その原因の一つと考えられるのが、モデルに導入されている仮定と、モデルが想定している時間スケールがかけ離れていることである。種多様性の高い生態系を構築するためには、生物を進化させることが有効である。必然的にモデルが想定しているのは、進化的な時間スケールとなる。しかし、餌の処理時間やその生物が空腹かどうかなどの要素は、個体レベルの時間スケールであり、種の進化の時間スケールよりはるかに短い。つまり、それぞれは生物学的に妥当な仮定であっても、全く異なる時間スケールの仮定を一つのモデルの中に混在させてしまったために、かえってモデルの挙動が現実から乖離してしまったのかもしれない。また、現実的な仮定を数多く導入してモデルが複雑になりすぎると、モデルの挙動が不安定になり、かえって非現実的になってしまうことが知られているが²⁷⁾、生態系モデルにおいても、同様の現象が起こっていることが考えられる。そのため、不必要な仮定を含まない、単純なモデルの方が現実に近い挙動を示しているのかもしれない。

2) 進化的な時間スケールでの多様性変動パターン

捕食一被食関係の進化が長期間の多様性変動に与える影響を解析するため、モデルの中に出現した生物のグ

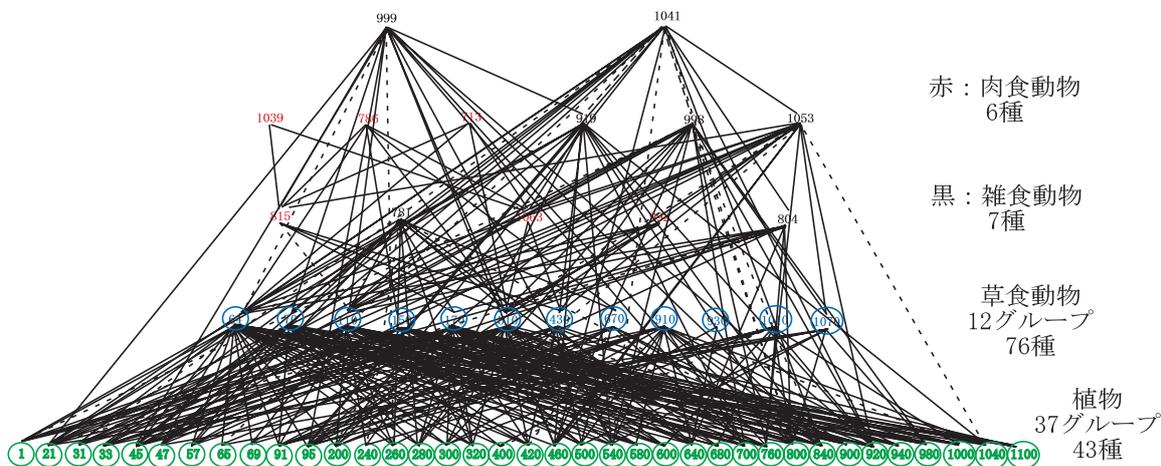


図 33 モデル生態系の模式図

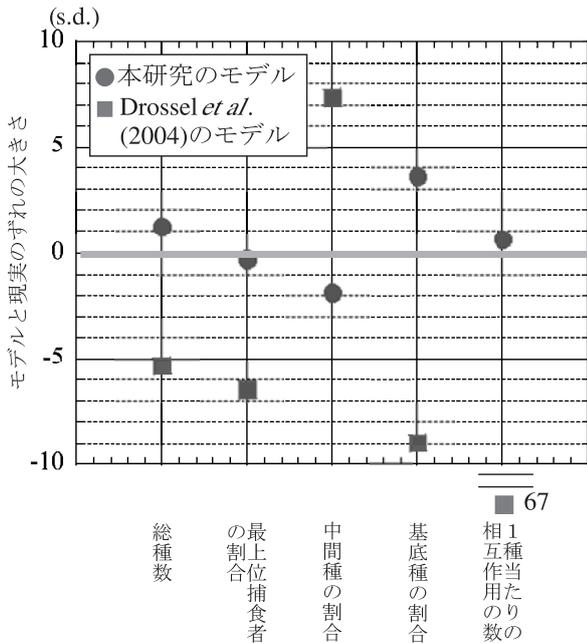


図34 モデル生態系と現実との比較

モデルの平均値が実際の生態系からどの程度離れているのかをモデルの標準偏差で表している。中央の線が現実の生態系の平均値を表す。マークがこの線よりも上にずれていればモデルの値が現実よりも大きいことを意味している。最上位捕食者とは他の種に捕食されていない種、中間種は他の種を捕食しているが同時に他の種に捕食されている種、基底種は他の種を捕食していない種を意味する。

グループごとの多様性変動に注目して解析を行った。本研究のモデルの中では、非常に多様性が高くなり大繁栄するグループ (図 35 A)、短期間の内に急激に多様化するグループ (図 35 B)、シーラカンスや肺魚類などの生きた化石と呼ばれる分類群のように、低い多様性を保ったまま長期間生き延びるグループ (図 35 B)、多様性の増減を繰り返すグループ (図 35 C) など、実際の化石記録に見られるような様々な多様性変動パターンを再現することに成功した²⁸⁾。

また、それぞれのグループについて、グループを構成する種の相互作用と多様性変動パターンを解析した結果、グループの創始者が出現したときに餌の種数が多く、捕食者が少ないクレードは急激に多様化する可能性が高いことが明らかとなった。しかし、多様性の高いグループは、捕食者の進化を助長するため (多様性の高いグループを餌とすれば、たくさんの種類の餌を一度に確保できるため)、時間の経過と共に捕食者の種数が増える。そのため、グループ内の多様性は減少に転じ、やがて絶滅することがある。しかし、グループ内の多様性

が減少した時、新たな餌が1、2種出現し、捕食者が1種減ると、多様性は再び増加に転じることが明らかとなった。この結果は、絶滅の危機に瀕したクレードがそのまま絶滅するかどうかは、非常にわずかな相互作用の変化が決定している可能性を示唆している²⁹⁾。

図 35(B) のように、グループ内の種多様性が低い状態で長期間生き延びるグループについて調べたところ、このようなグループは進化速度が遅い種で構成されていることが明らかとなった。そのため、このグループ内では、種間の性質の差が小さく、近縁種間で餌の奪い合いを起こしやすい。また、近縁種同士が同じ捕食者に襲われることが多く、そのため近縁種間で捕食者媒介競争が生じることも多い。それに加えて、進化速度が遅いため捕食者より早く進化できず、常に高い捕食圧にさらされる。これらの要因のため、進化速度が遅い種からなるグループは種多様性を拡大することができない。しかしこのようなグループは、種多様性が低いために餌としてグループを食べ尽くさず、安定した餌の供給を受け続けることができる。また、このようなグループの捕食者は餌不足で絶滅しやすくなる。そのため、進化速度が遅い種で構成されるグループは、低い多様性を保ったまま長期間生き延びられることが明らかとなった。

生きた化石と呼ばれる生物の二つの大きな特徴は、形

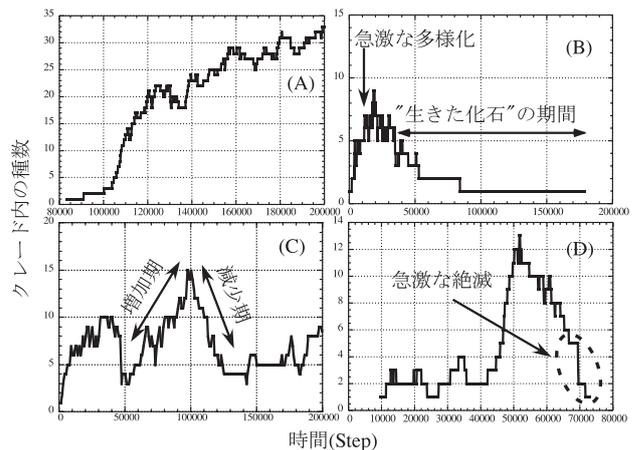


図35 モデル生態系に出現した個々の生物グループ内の多様性変動の例

(A) 非常に多様性が高くなるグループの例、(B) 急激に多様化するグループと、生きた化石のように低い多様性で長期間生き延びるグループの例、(C) 多様性の増減を繰り返すグループの例、(D) グループの急激な絶滅の例 (後述)。(A)、(B)、(C) は本研究の生態系モデルで見られたグループ内での多様性変動の例、(D) 確率モデルのシミュレーションで見られた例。

態の進化速度が非常に遅いことと低い多様性を保ったまま長期間存続することであるが、本研究の結果は、これらの特徴が生物間相互作用の進化のプロセスを介して密接に関連していることを示唆している。また、生きた化石と呼ばれる生物が存続するためにはなんらかの避難場所的な環境が必要だと言われていたが、本研究の結果は必ずしもそうではないことを示唆している²⁹⁾。

3) 攪乱が多様性変動パターンに与える影響

実際の生態系は常にある確率で様々な強度の攪乱を受け続けている。そのような確率的攪乱は多様性変動パターンにも何らかの影響を与えられ考えられる。そこで本研究では、生態系モデルに強度を変えた攪乱を加えるコンピュータシミュレーションを行った。本研究では、系の中から一定の確率でランダムに選ばれた種が攪乱を受け、一定量の生物量を減少させられるとする。減少させられる生物量の大きさによって攪乱の強度を定義する。本研究では、小、中、大の3段階の強度の攪乱を考え、攪乱を受けたときに減少させられる生物量はそれぞれ平均的な種のバイオマスの15%、50%、100%とする。攪乱を受けたとき、その種のバイオマスがマイナスになった場合、その種は絶滅する（攪乱の直接の影響で絶滅する）。このような絶滅が起こる確率は、小、中、大の攪乱について、それぞれ3.7%、15.9%、44.2%であった。

小、中、大のそれぞれの規模の攪乱を加えながら生態系を進化させたとき、様々な種類の多様性変動パターン（図35、表11参照）の出現頻度がどのような影響を受けるのかを、攪乱を加えずに進化させた生態系モデル、さらに多様性が純粋に確率的に変動するモデルと比較しながら解析した。

その結果、中程度の攪乱、つまり攪乱を受けた種の生物量が半減するような、かなり強い攪乱が加わっても、多様性変動パターンにはあまり影響しないことが明らかとなった（表11）。

この原因は進化的に構築された食物網の構造にあると考えられる。進化的に構築された生態系では、それぞれの種が餌と捕食者を複数持っている。そのため、例えば複数の餌種の中の1種に攪乱が加わったとしても、餌の総量にはそれほど変化がなく、攪乱の影響が相互作用を通じて他の種に伝わるのがほとんどない（捕食者の側

表 11 攪乱が多様性変動パターンに与える影響

	小	中	大
総種数	○	△	
寿命の頻度分布（種）	○	△	
寿命の頻度分布（グループ）	○	○	○
大繁栄するグループ	○	○	
“生きた化石”	○-△	○-△	
急激な多様化	○	○	
急激な絶滅	○	○	△

小、中、大はそれぞれ攪乱の規模を表す。

○：生態系モデルと有意な差がないもの、△：生態系モデルと有意な差はあったが、生態系モデルと似た結果を示したもの。

が攪乱されたときも同様)。これが多様性変動パターンの頑健さの原因になっていると思われる³⁰⁾。

確率的に多様性が変動するモデルの最も大きな特徴は図35Dのように急激に絶滅するグループの頻度が非常に高いことである。これまで、多様性変動が確率的な変動に近似できるのかどうかは議論の対象となってきたが、本研究の結果は、急激に絶滅するグループの割合を調べることがこの問題を解決する糸口になる可能性を示唆している。

攪乱の強度を一定にして、頻度を変えるシミュレーションも行った。その結果、攪乱を受けた種が攪乱の直接の影響で絶滅することがほとんど起こらないような、非常に微弱な攪乱であっても、頻度が高くなると生態系全体の多様性が減少した。また、攪乱の頻度が全体の種数に影響しないような低いレベルであっても、“生きた化石”のように低い多様性で長期間生き延びるグループ（図35B）が絶滅しやすくなることが明らかとなった。この結果は、生物の保全を考える上では、個別の種や全体の種数にほとんど影響が非常に微弱な攪乱でも、頻度が高くならないようにする必要があることを示唆している。

4) 侵入生物のコンピュータシミュレーション

生物の侵入は近年重要視されている環境問題の一つであるが、既存の生態系を保全するためには、どのような侵入生物が侵入先の生態系に大規模な絶滅を引き起こすのかを実際に侵入が起きる前に明らかにしておく必要がある。また、生態系はそれぞれ固有の進化的な背景を持つが、どのような進化的な背景を持つ生態系が侵入に対して弱いのかも明らかにしなければならない。そこで本

研究の生態系モデルを利用し、比較的頻繁に侵入を受けながら進化した生態系、全く侵入を受けずに進化した生態系（陸地から遠く離れた島をイメージ）、全く進化していない生態系、特定の餌しか食べないスペシャリストが多い生態系を構築し、それらの生態系に対して、様々な種類の生物を侵入させるコンピュータシミュレーションを行った。

その結果、生物が侵入してきたときに大規模な絶滅を起こしやすいのは、特殊化した生物が多い生態系と全く侵入を受けずに進化した生態系であった（図36）。また、どのような生物がどのような生態系に特に影響を与えやすいかを調べた結果、特殊化した生物が多い生態系は強力な雑食動物が侵入したとき、また、全く侵入を受けずに進化した生態系は植物種が侵入したときに規模の大きな絶滅が起きやすいことが明らかとなった。特殊化した動物は少数の餌に依存している。そのため、新たな捕食者が侵入したとき、捕食圧の増加に耐えきれずに絶滅しやすい。そのことが、より多くの種の捕食者となりやすい強力な雑食動物の侵入したときに大規模な絶滅が起きやすくなっている原因と考えられる。また、全く侵入を受けずに進化した生態系は、限られた種類の植物を多くの種類の動物が利用する構造になっている。そのため、植物種が侵入して生態系の基盤となっている植物種が攪乱されると、その植物を利用している多くの動

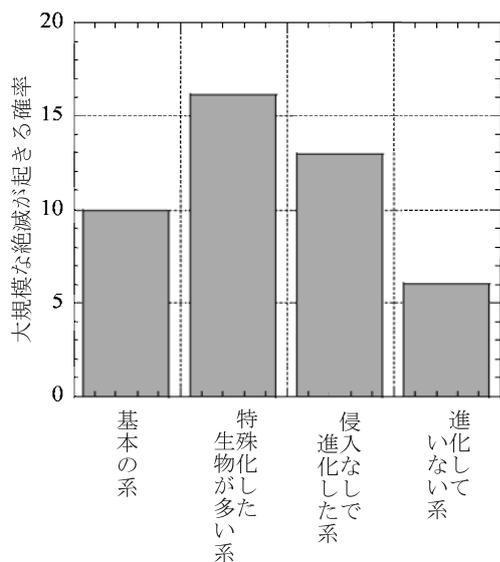


図36 侵入生物が大規模な絶滅を起こす確率
外部からの生物の侵入によって、系を構成していた種の5%以上が絶滅したイベントの発生確率を示している。基本の系とは頻繁に侵入を受けながら十分な時間進化した系を表す。

物が影響を受ける。そのため、大規模な絶滅が起りやすいと考えられる。島の生態系は外部からの生物の侵入に弱い、と考えられているが、本研究の結果は、島の生態系の脆弱性に関係しているのかもしれない。

5) 相互作用網における多様性変動

本研究では、捕食-被食関係だけでなく、競争、相利共生など様々な種類の相互作用も含んだ、いわゆる相互作用網モデルも作成した。このモデルにおいて、個々の種の性質の進化が系内の多様性変動にどのような影響を与えるかについて解析を行った。

相互作用網の中では大きく分けて二つの生存戦略がある。一つは競争相手を攻撃し、排除しようとする戦略、もう一つは相手を攻撃せず、競争を避ける戦略である。系内に前者のような種が優占している間は、系は非常に高い多様性を保つ。しかし、時間が経つと後者の戦略を採る種の中に相利共生を発達させるものが出現する。相利共生を発達させたグループは非常に高い増殖率を持つので、系内の環境収容力の上限まで増殖して他の種を駆逐する。その結果、系内の多様性は大きく減少し、相利共生を発達させた非常に少数の種だけが生き残るようになる。従来、相利共生は多様性を増加させると考えられてきたが、本研究の結果は必ずしもそうではないことを示唆している³⁰⁾。

(4) 今後の課題

この5年間の間に、実際の生態系に似た性質を持つ生態系モデルを作成することに成功し、さらに生態系に加わる攪乱が多様性に与える影響をいくつかの事例について解析した。今後はさらにこの研究を体系的に進める必要がある。生態系にも、その立地条件によって様々なタイプがあり、それぞれに異なる進化的な背景を持つ。そこで、生態系の進化的な背景と環境攪乱に対する反応の関係を包括的に研究しなければならない。これは今後生態系に加えられる攪乱の影響についてのリスク評価につながり、生態系の保全施策の策定に大きく貢献すると期待される。

また、現在のモデルには空間構造が含まれていない。このモデルでも取り組むべき課題は多く残されているが、より現実的な環境問題について、例えば生息地破壊や別々に進化した群集からの生物の侵入などの問題を議論するためには、空間構造の導入が必要となる。空間構

造の導入は、生態系モデルを用いた研究において、今後最も重要な課題の一つとなるだろう。

2.6 まとめ

本報告書は5年間のプロジェクト研究の成果をまとめたものであり、研究の内容は多岐にわたるが、ふたつの手法が重要な柱となった。生息地推定モデルと分子遺伝学的な解析である。

2.1.節では、地理的なスケールでの生物多様性の動態と保全に関する研究を報告している。生物（トンボ、鳥、淡水魚）の生息地域の推定モデルの開発、遺伝情報に基づく分布の縮小・拡大過程の推定、生物の分布情報にもとづく保護区の評価手法の開発などがその内容である。生息地推定モデルを使って、土地利用の空間的なパターンの変化が鳥の分布に影響する様子などを明らかにした。限られたデータからどのように時空間的な広がり的情報を得ていくかという工夫は、さまざまな応用価値を持つものである。

2.2.節では、流域ランドスケープにおける生物多様性の維持機構に関する研究を報告している。ため池を対象とした研究では、人間による利用がされなくなったことで二次的自然の生物多様性が変化している状況に注目している。ため池のトンボ相と環境条件の関係を調べた結果、ため池周辺の市街地化がトンボの成虫の分布に強く影響していることが明らかとなった。また、河川に建設されたダムが魚類相に与える影響を調べた研究では、ダムのあるケース、ないケースそれぞれで個々の魚種の分布の有無を予測するモデルを作成した。これらのモデルを利用して、「もしダムができたなら…」「もしダムがなかったら…」という仮定での分布推定ができるようになった。

2.3.節では、侵入生物が国内の生物多様性に与える影響に関する研究を報告している。農業用に輸入されるセイヨウオオマルハナバチを対象とした研究では、このハチが国内各地で野外に逃げ出していることを確認したほか、遺伝子の解析により、在来種と交尾を行っていることを明らかにした。また、輸入クワガタムシに注目した研究では、これらが野外に逃げ出した場合、在来のクワガタと交雑する可能性があることや、その系統進化的な背景などを示した。このほか、さまざまな侵入種対策の基礎となる侵入種データベースを作成・公開した。

2.4.節では、遺伝子組み換え生物の影響に関する研究

を報告している。シロイヌナズナを使った実験では、導入した遺伝子が他の遺伝子の発現に影響を及ぼす可能性を示唆する結果が得られた。また、作物として輸入されている遺伝子組み換えセイヨウアブラナが野外で生育していることが確認された。さらに、遺伝子組み換え微生物の野外での挙動の調査手法の研究を行い、非常に高い感度で特定の微生物を検出する手法の開発に成功した。遺伝子組み換え微生物の土壤中での生き残りを調べたところ、組み換え前の微生物とほとんど差が認められなかった。

2.5.節では、シミュレーションモデルを使った実験で生物多様性の動態のメカニズムを調べた結果を報告している。多種が共存するメカニズムが明らかになれば、種の多様性の保全に役立つと考えられるが、森林のモデルを使った研究の結果、さまざまな共存メカニズムの相対的な貢献度を知ることの困難さが明らかとなった。また、構成種の性質が進化プロセスを経て変化するような食物網のモデルを使った実験では、種の多様性が外部からの攪乱に対してある程度の頑健性を持つこと、いっぽうで、長期にわたって外部からの種の侵入がない状態で進化した系では、その後の侵入により大規模な絶滅が起こりやすいことなどを示す結果が得られた。

本報告書の序にもあるように、数千万種とも言われる多様な生き物からなっている生物多様性の研究は容易ではない。また、生物多様性の価値を評価しようとするとき、人間の価値観という客観的な定義が困難な要素が密接に関係するため、自然科学的なアプローチが難しくなる。

それでも、本研究プロジェクトでは多方面で応用可能な研究手法をいくつか提示してきたのではないかと思う。生息地予測モデルや分子遺伝学的な手法は、生物多様性の保全に関する研究のなかで、今後とも重要な役割を果たしていくだろう。

本研究所においても、このプロジェクトの成果はさまざまな研究課題のなかへと受け継がれていくはずである。これまでの研究で得られた成果を踏まえつつ次の一歩をどこに踏み出すのか、また、個々の成果をどう一般化するとともに具体的な保全の場へと還元していくか。生物多様性の研究の理念や方法論の部分でもなお考えるべきことは多い。研究所内外からもいろいろとご意見をいただいている。それらも参考にしながら今後の研究の発展に努めていきたい。

引用文献

- 1) Tsubaki Y., Tsuji N.: Dragonfly habitat maps based on land cover and habitat relation models., In Cordero A.G. (ed.) *Forests and dragonflies.*, Pensoft, Bulgaria, (in press).
- 2) Pressey R.L., Humphries C.J., Margules R.L., Vane-Wright R.I., Williams P.H.(1993) Beyond opportunism; key principles for systematic reserve selection., *Trends Ecol. Evol.*, 8, 124-128.
- 3) Pressey R.L., Johnson I.R., Wilson P.D.(1994) Shades of irreplaceability: towards a measure of the contribution of sites to a reservation goal., *Biodiv. Conserv.*, 3, 242-262.
- 4) Tsuji N., Tsubaki Y.(2004) Three new algorithms to calculate the irreplaceability index for presence/absence data., *Biol. Conserv.*, 119, 487-494.
- 5) Ferries S., Pressey R.L., Barrett T.W.(2000) A new predictor of the irreplaceability of area for achieving a conservation goal, its application to a real-world planning, and a research agenda for further refinement, *Biol. Conserv.*, 93, 303-325.
- 6) 永田尚志, 吉田保志子, Dyrce A.(1999) 霞ヶ浦におけるオオヨシキリの個体群構造. 関西自然保護機構会報, 21, 167-177.
- 7) 日本鳥類保護連盟 (2004) : 希少猛禽類調査報告書 (イヌワシ編), 東京, 277 p.
- 8) 日本鳥類保護連盟 (2004) 希少猛禽類調査報告書 (クマタカ編), 東京, 364 p.
- 9) 藤岡正博, 吉田保志子 (2001) 地理的スケールにおける野生生物個体群の動態の解析. GEF F-1 終了報告書, 75-88.
- 10) 角野康郎 (2000) ため池における生物多様性の保全 - 植物を中心に - 農山漁村と生物多様性, 宇田川武俊編, 家の光協会, 206-222.
- 11) 上田哲行 (1998) ため池のトンボ群集. 水辺環境の保全, 江崎保男, 田中哲夫編, 朝倉書店, 17-33.
- 12) 浜島繁隆, 土山ふみ, 近藤繁生, 益田芳樹 (2001) ため池の自然. - 生き物たちと風景, 信山社サイテック.
- 13) 角野康郎 (1998) ため池の植物群落 - その成り立ちと保全. 水辺環境の保全, 江崎保男, 田中哲夫編, 朝倉書店, 1-16.
- 14) 高崎保郎 (1994) トンボ. ため池の自然学入門, ため池の自然談話会編, 合同出版, 東京, 66-73.
- 15) APHA (1998) *tandard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th edn. American Public Health Association, Washington.
- 16) Marker A.F.H., Nusch E.A., Rai H., Riemann B. (1980) The measurement of photosynthetic pigments in freshwaters and standardization of methods: conclusions and recommendations. *Archiv für Hydrobiologie. Beiheft. Ergebnisse der Limnologie*, 14, 91-106.
- 17) Braak T., C.J.F., Šmilauer P.(2002) *CANOCO 4.5*: Biometris, Wageningen and České Budějovice.
- 18) Dalgaard P.(2002) *Introductory Statistics with R*. Springer, Tokyo.
- 19) Corbet P.S.(1999) *Dragonflies Behavior and Ecology of Odonate*, Cornell Univ. Press, New York.
- 20) Conrad K.F., Wilson K.H., Harvey I.F., Thomas C.J., Sherratt T.N.(1999) Dispersal characteristics of seven odonate species in an agricultural landscape, *Ecography*, 22, 524-531.
- 21) Moore N.W.(1991) The development of dragonfly communities and the consequences of territorial behaviour: A 27 year study on small ponds at Woodwalton fen, Cambridgeshire, United Kingdom, *Odonatologica*, 20, 203-231.
- 22) Wright S.J.(2002) Plant diversity in tropical forests: a review of mechanisms of species coexistence. *Oecologia*, 130, 1-14.
- 23) Chesson P.L., Warner R.R.(1981) Environmental variability promotes coexistence in lottery competitive systems, *Am. Nat.*, 117, 923-943.
- 24) Janzen D.H.(1970) Herbivores and the number of tree species in tropical forests, *Am. Nat.*, 104, 01-528.
- 25) Connell J.H.(1978) Diversity in tropical rain forests and coral reefs, *Sci.*, 199, 1302-1310.
- 26) Drossel B., McKane A.J., Quince C.(2004) The impact of nonlinear functional responses on the long-term evolution of food web structure, *J. Theor. Biol.*, 229, 539-548.

- 27) Ludwig D., Walters C.J.(1985) Are age-structured models appropriate for catch-effort data? *Can., J. Fish. Aqua. Sci.* 42, 1066-1072.
- 28) Yoshida K.(2003 a) Dynamics of evolutionary patterns of clades in food web system model, *Ecol. Res.* 18, 625-637.
- 29) Yoshida K.(2002) Long survival of "living fossils" with low taxonomic diversities in an evolving food web, *Paleobiology*, 28, 464-473.
- 30) Yoshida K.(2006) Effect of the intensity of stochastic disturbance on temporal diversity patterns—a simulation study in evolutionary time scale—, *Ecol. Modell.*, 196, 103-115.
- 31) Yoshida K.(2003 b) Evolutionary dynamics of species diversity in an interaction web, *Ecol. Modell.*, 163, 131-143.

[資 料]

I 研究の組織と研究課題の構成

1 研究の組織 (当時)

[A 研究担当者]

生物多様性研究プロジェクトグループ

プロジェクトグループリーダー 椿 宜高
NIES ポスドクフェロー 加藤千尋 (平成 16 ~ 17 年度)

生物個体群研究チーム

総合研究官 高村健二
永田尚志
NIES フェロー 辻 宣行

侵入生物研究チーム

総合研究官 五箇公一
立田晴記 (併) (平成 15 ~ 16 年度)
NIES アシスタントフェロー 小原里美 (平成 15 年度)
NIES ポスドクフェロー 今藤夏子 (平成 17 年度)
NIES ポスドクフェロー 国武陽子 (平成 17 年度)
NIES リサーチアシスタント 中原美理 (平成 17 年度)

群集動態機能研究チーム

総合研究官 竹中明夫
吉田勝彦
石濱史子 (平成 17 年度)

多様性機能研究チーム

総合研究官 高村典子
福島路生
NIES ポスドクフェロー 加藤秀男 (平成 13 ~ 14 年度)
NIES ポスドクフェロー 米倉竜次 (平成 15 年度)
NIES ポスドクフェロー 西川 潮 (平成 16 ~ 17 年度)
NIES ポスドクフェロー 宇田川弘勝 (平成 16 ~ 17 年度)
NIES アシスタントフェロー 中川 恵 (平成 17 年度)

分子生態影響評価チーム

総合研究官 中嶋信美
岩崎一弘
玉置雅紀
富岡典子 (併)

内田裕夫（併） （平成 14 年度）

NIES アシスタントフェロー 西沢 徹 （平成 17 年度）

[B 客員研究員]

角野康郎	（神戸大学）	（平成 13～16 年度）
田中哲夫	（兵庫県人と自然の博物館）	（平成 13～16 年度）
金子正美	（酪農学園大学）	（平成 13～17 年度）
内田裕夫	（筑波大学）	（平成 14 年度, 16～17 年度）
黒田久雄	（茨城大学）	（平成 14～15 年度）
田淵俊雄	（前 東京大学）	（平成 14～17 年度）
三橋弘宗	（兵庫県人と自然の博物館）	（平成 14～17 年度）
矢木修身	（東京大学）	（平成 15～17 年度）
白井 誠	（茨城大学）	（平成 15 年度）
田中秀夫	（筑波大学）	（平成 15～16 年度）
中嶋睦安	（日本大学）	（平成 15～17 年度）
高田雅之	（北海道環境科学研究センター）	（平成 15～17 年度）
三宅 洋	（愛媛大学）	（平成 15～16 年度）
岡田光正	（東邦大学）	（平成 15～17 年度）

[C 共同研究員]

石尾将吾 （住友林業（株）） （平成 15 年度）

2 研究課題と担当者

- （1）地理的スケールにおける生物多様性の動態と保全に関する研究
椿 宜高・高村健二・辻 宣行・永田尚志
- （2）流域ランドスケープにおける生物多様性の維持機構に関する研究
高村典子・福島路生・加藤秀男
- （3）侵入生物における生物多様性影響機構に関する研究
五箇公一・高村健二
- （4）遺伝子組換え生物の生態系影響評価手法に関する研究
中嶋信美・玉置雅紀・岩崎一弘・富岡典子・内田裕夫（平成 13 年度）
- （5）生物群集の多様性を支配するメカニズムの解明に関する研究
竹中明夫・吉田勝彦・石濱史子

II 研究成果発表一覧

1 誌上発表

発表者・題目・掲載誌・巻(号)・頁・刊年

Washitani I., Ishihama F., Matsumura C., Nagai M., Nishihiro J., Nishihiro M.A.: Conservation ecology of *Primula sieboldii*: Synthesis of information toward the prediction of the genetic/demographic fate of a population, *Plant Species Biol.*, 20: 3-15, 2005

Ishihama F., Ueno S., Tsumura Y., Tsumura Y., Washitani I.: Gene flow and inbreeding depression inferred from fine-scale genetic structure in an endangered heterostylous perennial, *Primula sieboldii*, *Mol. Ecol.*, 4: 983-990, 2005

Washitani I., Ishihama F., Shimono A., Nishihiro M.A.: Toward predicting gene flow in plant populations, *Plant Biotechnol.*, 22: 489-495, 2005

石濱史子：保全生態学と個体群生態 - 個体群存続性分析の現状 -, 個体群生態学会会報, 62: 21-24, 2005

石濱史子, 上野真義, 津村義彦, 鷺谷いづみ：遺伝子流動の実験的解明と個体群の遺伝的構造, サクラソウの分子遺伝生態学 (鷺谷いづみ編, 東京大学出版会), 193-218, 2006

Ishihama F., Ueno S., Tsumura Y., Washitani I.: Effects of density and floral morph on pollen flow and seed reproduction of an endangered heterostylous herb, *Primula sieboldii*, *J. Ecol.*, 2006, (in press)

Kubota K., Hashimoto M., Gohda H., Iwasaki K., Yagi O.: Behavior of *Methylocystis* sp. strain M in soil column, Proc. 5th Int. Symp. Environ. Biotechnol. (Imanaka T., Yagi O., Ohtake H. eds. ISEB2000 office, 1094p., CD-ROM), 164-167, 2001

Hashimoto A., Iwasaki K., Yagi O.: Quantitative measurement of trichloroethylene-degrading *Mycobacterium* sp. TA27 using real time PCR product detection system, Proc. 5th Int. Symp. Environ. Biotechnol. (Imanaka T., Yagi O., Ohtake H. eds. ISEB2000 office, 1094p., CD-ROM), 168-171, 2001

Iwasaki K., Hashimoto A., Yagi O., Keino F., Hirata T.: Electroporation of trichloroethylene-degrading bacterium *Mycobacterium* sp. TA27, Proc. 5th Int. Symp. Environ. Biotechnol. (Imanaka T., Yagi O., Ohtake H. eds. ISEB2000 office, 1094p., CD-ROM), 180-183, 2001

Kikuchi T., Iwasaki K., Yagi O., Ito A., Nakajima M.: Determination of mRNA of methane monooxygenase in *Methylocystis* sp. M., Proc. 5th Int. Symp. Environ. Biotechnol. (Imanaka T., Yagi O., Ohtake H. eds. ISEB2000 office, 1094p., CD-ROM), 214-217, 2001

Iwasaki K., Nishizawa M., Tanaka H., Yagi O.: Isolation of a mercury-volatilizing bacterium and characteristics of its mercury removal, Proc. 5th Int. Symp. Environ. Biotechnol. (Imanaka T., Yagi O., Ohtake H. eds. ISEB2000 office, 1094p., CD-ROM), 384-387, 2001

Okino S., Iwasaki K., Yagi O., Tanaka H.: Removal of mercuric chloride by immobilized cells of genetically engineered mercury-volatilizing bacteria, Proc. 5th Int. Symp. Environ. Biotechnol. (Imanaka T., Yagi O., Ohtake H. eds. ISEB2000 office, 1094p., CD-ROM), 408-411, 2001

Kikuchi T., Iwasaki K., Nishihara H., Takamura Y., Yagi O.: Quantitative and specific detection of a trichloroethylene-degrading methanotroph, *Methylocystis* sp. strain M, by a most probable number-polymerase chain reaction method, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 65(12): 2673-2681, 2001

Hashimoto A., Iwasaki K., Nakajima M., Yagi O.: Quantitative detection of trichloroethylene-degrading *Mycobacterium* sp. TA27 with a real-time PCR product detection system, *Microbes Environ.*, 16(2): 109-116, 2001

Okino S., Iwasaki K., Yagi O., Tanaka H.: Removal of mercuric chloride by immobilized cells of genetically modified *Pseudomonas putida* PpY101/pSR134, *J. Environ. Biotechnol.*, 1(1): 41-47, 2001

岩崎一弘, 橋本顕子：バイオオーグメンテーションに向けた環境浄化微生物の開発, 月刊エコインダストリー, 6(9): 5-15, 2001

矢木修身, 岩崎一弘, 栗栖 太：原位置バイオレメディエーション技術を用いた揮発性有機塩素化合物汚染土壌・地下水の浄化, 環境バイオテクノロジー学会誌, 1(1): 15-24, 2001

Hashimoto A., Iwasaki K., Nakasugi N., Nakajima M., Yagi O.: Degradation pathways of trichloroethylene and 1, 1, 1-

- trichloroethane by *Mycobacterium* sp. TA27, Biosci. Biotechnol. Biochem., 66(2): 385-390, 2002
- Saitho S., Iwasaki K., Yagi O.: Development of a new most-probable-number method for enumerating methanotrophs, using 48-well-microtiter plates, Microbes Environ., 17(4): 191-196, 2002
- Kikuchi T., Iwasaki K., Nishihara H., Takamura Y., Yagi O.: Quantitative and rapid detection of the trichloroethylene-degrading bacterium *Methylocystis* sp. M in groundwater by real-time PCR, Appl. Microbiol. Biotechnol., 59: 731-736, 2002
- Okino S., Iwasaki K., Yagi O., Tanaka H.: Removal of mercuric chloride by a genetically engineered mercury-volatilizing bacterium *Pseudomonas putida* PpY101/pSR134, Bull. Environ. Contam. Toxicol., 68(5): 712-719, 2002
- Iwasaki K., Okino S., Yagi O., Tanaka H.: Development of a biological mercury removal system, In Situ and On-Site Bioremediation 2003 (Magar V.S., Kelley M.E. eds., Battelle Press, 130p.), 82-86, 2003
- Saitho S., Iwasaki K., Yagi O.: Development of a most-probable-number method for enumerating denitrifying bacteria by using 96-well microtiter plates and an anaerobic culture system, Microbes Environ., 18(4): 210-215, 2003
- 岩崎一弘：バイオレメディエーションによる汚染土壌・地下水の浄化，ファルマシア，39(9)：857-860，2003
- Saeki S., Mukai S., Iwasaki K., Hashimoto A., Kurisu F., Yagi O.: Aerobic degradation of trichloroacetic acid by soil bacterium strain SS1 of the *Bradyrhizobium* group, J. Environ. Biotechnol., 3(2): 101-106, 2004
- Mera N., Aoyagi H., Nakasono S., Iwasaki K., Saiki H., Tanaka H.: Analysis of gene expression in yeast protoplasts using DNA microarrays and their application for efficient production of invertase and α -glucosidase, J. Biosci. Bioeng., 97(3): 169-183, 2004
- 岩崎一弘：バイオレメディエーション技術を活用した土壌・地下水の浄化，ケミカルエンジニアリング，49(5)：53-57，2004
- 岩崎一弘：科学技術と外来語，バイオサイエンスとインダストリー，63(7)：481，2005
- 矢木修身，岩崎一弘：第5章 商品化されている遺伝子組換え体と将来3. 環境利用，新しい遺伝子組換え体(GMO)の安全性評価システムガイドブック(田部井豊，日野明寛，矢木修身編，エヌ・ティー・エス，725p.)，435-443，2005
- 岩崎一弘：特集序文「環境モニタリング」の特集によせて，環境バイオテクノロジー学会誌，5(1)：2，2005
- 岩崎一弘，奥田喜弘，矢木修身：微生物間の遺伝子伝達，農業および園芸，80(1)：185-190，2005
- Goka K., Okabe K., Yoneda M., Niwa S.: Bumblebee commercialization will cause worldwide migration of parasitic mites, Mol. Ecol., 10: 2095-2099, 2001
- 五箇公一：小笠原諸島におけるミツバチ・ハダニ・ユスリカの遺伝的変異について，ユスリカ研究会会報，22：13-23，2001
- 五箇公一：地理的変異，ダニの生物学(青木淳一編)，194-220，2001
- Uesugi R., Goka K.: Genetic basis of resistances to chlorfenapyr and etoxazole in the two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae), J. Econ. Entomol. 95: 1267-1274, 2002
- 五箇公一：クワガタ DNA ワールドへの誘い 第1回 侵入生物の問題，趣味の昆虫，5：110-111，2002
- 五箇公一：クワガタムシ商品化がもたらす遺伝的攪乱の問題？日本産クワガタムシの遺伝的多様性の危機，昆虫と自然，37(11)：27-31，2002
- 小島啓史，五箇公一：危機に瀕する日本在来種のクワガタムシ—輸入・乱獲・乱開発のネガティブインパクト—，ルカヌスワールド，32：54-59，2002
- 五箇公一：寄生生物，外来種ハンドブック(日本生態学会編)，215：217-219，2002
- 五箇公一：輸入昆虫が投げかけた問題—農業用マルハナバチとペット用クワガタをめぐって—，昆虫と自然，37(5)：8-11，2002
- 五箇公一：輸入昆虫について，STAFF newsletter，13：6，2002
- Uesugi R., Goka K., Osakabe Mh.: Development of genetic differentiation and postzygotic isolation in experimental metapopulations of spider mites, Exp. Applied Acarol., 31：161-176，2003

- Watanabe A., Goka K., Washitani I.: Effects of population spatial structure on the quantity and quality of seeds set by *Primula sieboldii* (Primulaceae), *Plant Species Biol.*, 18: 107-121, 2003
- 五箇公一, 小島啓史: クワガタムシ商品化がまねく種間交雑と遺伝的浸食, *昆虫と自然*, 38(3): 6-12, 2003
- 五箇公一: クワガタムシ商品化がもたらす遺伝的攪乱の問題, *生態学から見た野生生物の保護と法律* ((財)日本自然保護協会編), 124-125, 2003
- 五箇公一: マルハナバチ商品化をめぐる生態学的問題のこれまでとこれから, *植物防疫*, 57(10): 452-456, 2003
- 浦野紘平, 蒲生昌志, 北野 大, 五箇公一, 中杉修身, 藤江幸一, 前田正史, 村松寛一, 安井 至: 6章 環境の負の遺産は修復できるか, *環境科学 人間と地球の調和をめざして* (日本化学会編, 東京化学同人, 193p.), 86-101, 2004
- 浦野紘平, 蒲生雅志, 北野 大, 五箇公一, 中杉修身, 藤江幸一, 前田正史, 村松寛一, 安井 至: 7章 事業者による自主管理で環境は守れるか, *環境科学 人間と地球の調和をめざして* (日本化学会編, 東京化学同人, 193p.), 102-117, 2004
- 浦野紘平, 蒲生雅志, 北野 大, 五箇公一, 中杉修身, 藤江幸一, 前田正史, 村松寛一, 安井 至: 11章 地球環境問題は解決できるか, *環境科学 人間と地球の調和をめざして* (日本化学会編, 東京化学同人, 193p.), 165-186, 2004
- Goka K., Kojima H., Okabe K., Kosumi U.: Biological invasion caused by commercialization of stag beetles in Japan, *Global Environ. Res.*, 8(1): 67-74, 2004
- Matsuura K., Fujimoto M., Goka K.: Sexual and asexual colony foundation and the mechanism of facultative parthenogenesis in the termite *Reticulitermes speratus* (Isoptera, Rhinotermitidae), *Insect Socioux*, 51: 325-332, 2004
- 五箇公一, 浦島邦子: 化学物質の生態リスク評価に関する近年の動向 - 化学物質審査規制法の改正を迎えて -, *Science & Technology Trends*, 2004年2月号: 15-21, 2004
- 五箇公一, 小島啓史: 外国産クワガタムシの生態リスクと外来生物法, *昆虫と自然*, 39(11): 29-34, 2004
- 五箇公一: 昆虫における近縁種交雑による遺伝的攪乱, *環境情報科学*, 33(1): 8-13, 2004
- 上野隆平, 五箇公一, 佐竹 潔: 小笠原のユスリカ, 東洋のガラパゴス小笠原 - 固有生物の魅力とその危機 - (荻部治紀, 高桑正敏編, 神奈川県立生命の星・地球博物館, 170p.), 76-77, 2004
- 五箇公一: 小笠原のミツバチ, 東洋のガラパゴス小笠原 - 固有生物の魅力とその危機 - (荻部治紀, 高桑正敏編, 神奈川県立生命の星・地球博物館, 170p.), 114-116, 2004
- 五箇公一: 人間と生物は共生できるか, *環境科学 - 人間と地球の調和をめざして -* (日本化学会編), 40-58, 2004
- Kitano S., Otsuka K., Uesugi R., Goka K.: Molecular phylogenetic analysis of the genus *Symplocarpus* (Araceae) from Japan based on chloroplast DNA sequences, *J. Japanese Botany*, 80: 334-339, 2005
- Inari N., Nagamitsu T., Kenta T., Goka K., Hiura T.: Spatial and temporal pattern of introduced *Bombus terrestris* abundance in Hokkaido, Japan, and its potential impact on native bumblebees., *Popul. Ecol.*, 47: 77-82, 2005
- Sanchez-bayo F., Goka K.: Unexpected effects of zinc pyrethrin and imidacloprid on Japanese medaka fish (*Oryzias latipes*), *Aquatic Toxicol.*, 74: 285-293, 2005
- Sanchez-bayo F., Goka K.: Ecological effects of the insecticide imidacloprid and a pollutant anti-dandruff shampoo in experimental rice fields, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2006, (in press)
- Goka K., Okabe K., Yoneda M.: Worldwide migration of parasitic mites as a result of bumblebee commercialization, *Popul. Ecol.*, 2006, (in press)
- Yamamoto S., Morita K., Kitano S., Watanabe K., Koizumi I., Maekawa K., Takamura K.: Phylogeography of white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*) inferred from mitochondrial DNA sequences, *Zool. Sci.*, 21: 229-240, 2004
- Takamura K., Mori S.: Heterozygosity and phylogenetic relationship of Japanese threespine stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) populations revealed by microsatellite analysis, *Conserv. Genet.*, 6: 485-494, 2005

- 高村健二：日本産ブラックバスにおけるミトコンドリア DNA ハプロタイプの分布，魚類学雑誌，52：107-114，2005
- Makino W., Kato H., Takamura N., Mizutani H., Katano N., Mikami H.: Did chironomid emergence release *Daphnia* from fish predation and lead to a *Daphnia*-driven clear-water phase in Lake Towada, Japan?, *Hydrobiol.*, 442: 309-317, 2001
- Ha K., Jang M.H., Joo G.J., Takamura N.: Growth and morphological changes in *Scenedesmus dimorphus* induced by substances released from grazers, *Daphnia magna* and *Moina macrocopa*, *Korean J. Limnol.*, 34(4): 285-291, 2001
- Takamura N., Mikami H., Houki A., Nakagawa M.: How did replacement of the dominant fish community influence water quality and plankton community structure in an oligotrophic lake in Japan?, *Verh. Int. Verein. Limnol.*, 27: 3319-3328, 2001
- Havens K.E., Fukushima T., Xie P., Iwakuma T., James R.T., Takamura N., Hanazato T., Yamamoto T.: Nutrient dynamics and the eutrophication of shallow lakes Kasumigaura(Japan), Donghu(PR China), and Okeechobee(USA), *Environ. Pollut.*, 111: 263-272, 2001
- Takamura N., Kadono Y., Fukushima M., Nakagawa M., Kim B.: The role of submerged macrophytes and their critical condition of three lakes in Kushiro Moor. The 9th International Conference on the Conservation and Management of lakes, *Conf. Proc.*, session 4: 163-166, 2001
- 高村典子：湖沼の生物多様性とその保全，海洋と生物，24(3)：197-202，2002
- 高村典子：6. バイオマニピュレーション－隔離水界を用いたアオコの抑制と生態系の回復力の評価－，エコテクノロジーによる河川・湖沼の水質浄化－持続的な水環境の保全と再生－(島谷幸宏，細見正明，中村圭吾編，ソフトサイエンス社，325p.)，54-64，2003
- Makino W., Mikami H., Katano N., Nakagawa M., Takamura N.: Biological productivity of Lake Towada, a north temperate, oligotrophic, kokanee fishery lake, *Limnology*, 4: 79-90, 2003
- 高村典子：COD 濃度，生態学事典(巖佐 庸，松本忠夫，菊沢喜八郎，日本生態学会編集，共立出版，682p.)，199，2003
- Takamura N., Kadono Y., Fukushima M., Nakagawa M., Kim B.H.O.: Effects of aquatic macrophytes on water quality and photoplankton communities in shallow lakes, *Ecol.Res.*, 18: 381-395, 2003
- Kim B.H., Han M.S., Takamura N.: Effects of fish introduction on the length of the tail of cryptomonads in mesocosm experiments, *Oecologia*, 136: 73-79, 2003
- Kim B., Choi M., Takamura N.: Phytoplankton preferences of young silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix*, in hypereutrophic mesocosms during a warm season, *J. Freshwater Ecol.*, 18(1): 69-77, 2003
- Jang M.H., Ha K., Joo G.J., Takamura N.: Toxin production of cyanobacteria is increased by exposure to zooplankton, *Freshwater Biol.*, 48: 1540-1550, 2003
- 高村典子：セストン，生態学事典(巖佐 庸，松本忠夫，菊沢喜八郎，日本生態学会編集，共立出版，682p.)，356-358，2003
- 高村典子：ため池の保全を考える，水環境学会誌，26(5)：269-274，2003
- 高村典子：プランクトン，ネクトン，ニューストン，生態学事典(巖佐 庸，松本忠夫，菊沢喜八郎，日本生態学会編集，共立出版，682p.)，492-493，2003
- 高村典子：十和田湖で起きた生態系の変化と健全な湖沼生態系の維持管理について，海洋と生物，25(6)：476-484，2003
- 高村典子：第2章河川調査 5-2 藻類，地球環境調査計測事典 第2巻 陸域編2(竹内 均監修，フジテクノシステム，1166p.)，105-107，2003
- 高村典子：第3章湖沼調査 [2] 植物プランクトン，地球環境調査計測事典 第2巻 陸域編2(竹内 均監修，フジテクノシステム，1166p.)，187-191，2003
- 柚木秀雄，高村典子，西廣 淳，中村圭吾：浚渫土に含まれる水生植物の散布体バンクとバイオマニピュレーションを活用して霞ヶ浦湖岸に沈水植物群落を再生する試み，保全生態学研究，8：99-111，2003

- Jang M.H., Ha K., Lucas M.C., Joo G.J., Takamura N.: Changes in microcystin production by *Microcystis aeruginosa* exposed to phytoplanktivorous and omnivorous fish, *Aquatic Toxicol.*, 68: 51-59, 2004
- Mori S., Takamura N.: Changes in morphological characteristics of an introduced population of the threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* in Lake Towada, Northern Japan, *Ichthyol. Res.*, 51: 295-300, 2004
- Ha K., Jang M.H., Takamura N.: Colony formation in planktonic algae induced by zooplankton culture media filtrate, *J. Freshwater Ecol.*, 19(1): 9-16, 2004
- Fukushima T., Matsushige K., Takamura N., Fukushima M.: Metabolic quotient measured by free-water method in six enclosures with different silver carp densities, *Hydrobiology*, 511: 201-213, 2004
- Sun L., Takamura N., Kim B., Fukushima M., Nakagawa M., Otsuki A.: The effects of filter-feeding planktivorous fish on production of protozoa and carbon flow from protozoa to zooplankton in a eutrophic Lake, *J. Freshwater Ecol.*, 19(3): 363-373, 2004
- Wang J., Xie P., Takamura N., Xie L., Shao Z., Tang H.: The picophytoplankton in three Chinese lakes of different trophic status and its relationship to fish populations, *J. Freshwater Ecol.*, 19(2): 285-293, 2004
- 高村典子：ため池の評価と保全への取り組み－生態学からのメッセージ－，国立環境研究所研究報告，183：1-4，2004
- 三橋弘宗，高村典子：ため池周辺のランドスケープからみたハビタット評価，国立環境研究所研究報告，183：12-15，2004
- 田淵敏雄，高村典子，黒田久雄：ため池の水源地特性からみた多様性と水質解析，国立環境研究所研究報告，183：47-60，2004
- 藤井義晴，津田久美子，高村典子：アオコを抑制する植物検索のためのバイオアッセイ法の検討，国立環境研究所研究報告，183：98-101，2004
- 高村典子：生態モデリングと順応的管理，生態学入門（日本生態学会編，東京化学同人，273p.），225-227，2004
- 高村典子：新・生物多様性国家戦略，生態学入門（日本生態学会編，東京化学同人，273p.），236-237，2004
- Tsuda K., Takamura N., Matsuyama M., Fujii Y.: Assessment Method for Leaf litters Allelopathic effect on Cyanobacteria, *J. Aquat. Plant Manage.*, 43: 43-46, 2005
- Amemiya T., Enomoto T., Rossberg A.G., Takamura N., Itoh K.: Lake restoration in terms of ecological resilience: a numerical study of biomanipulations under bistable conditions, *Ecol. Soc. (online)*, 10: 2, 2005
- 高村典子，竹門康弘：深泥池の水質分布に及ぼす流域からの人為的影響について，陸水学雑誌，66：107-116，2005
- 高村典子：水辺移行帯修復・再生技術の開発－霞ヶ浦での植生帯復元の取り組みから，生活と環境，50(5)：24-30，2005
- 高村典子：土壌シードバンクとバイオマニピュレーションを活用した水辺移行帯修復・再生技術，環境研究，139：97-106，2005
- Ueno R., Takamura N., Nakagawa M.: A new *Fittkauimyia* *Karunakaran* from Japan (Diptera: Chironomidae), *Aquatic Insects*, 27(1): 35-42, 2006
- Usio N., Nakajima H., Kamiyama R., Wakana I., Hiruta S., Takamura N.: Predicting distribution of invasive crayfish (*Pacifastacus leniusculus*) in Kusiro Moor marsh (Japan) using classification and regression trees., *Ecol. Res.*, 21: 271-277, 2006
- Takenaka A.: Individual-based model of a forest with spatial structure and gene flow, *Present & Future of Modeling Global Environmental change: Toward Integrated Modeling* (Matsuno T., Kida H. eds., TERRAPUB, 458p.), 415-420, 2001
- 竹中明夫：森林の木々の動態モデル，生態系とシミュレーション（楠田哲也，巖佐庸編，朝倉書店，172p.），62-77，2002
- Takenaka A.: Local coexistence of tree species and the dynamics of global distribution pattern along an environmental

- gradient: a simulation study, *Ecol. Res.*, 20: 297-304, 2005
- Kitamoto N., Honjo M., Ueno S., Takenaka A., Tsumura Y., Washitani I., Ohsawa R.: Spatial genetic structure among and within populations of *Primula sieboldii* growing beside separate streams, *Mol. Ecol.*, 14: 149-157, 2005
- Kitamoto N., Ueno S., Takenaka A., Tsumura Y., Washitani I., Ohsawa R.: Effect of flowering phenology on pollen flow distance and the consequences for spatial genetic structure within a population of *Primula sieboldii* (Primulaceae), *Am. J. Bot.*, 93: 226-233, 2006
- 北本尚子, 竹中明夫, 大澤 良: 自然集団内におけるサクラソウの遺伝子流動, 『サクラソウの分子遺伝生態学 - エコゲノム・プロジェクトの黎明』 鷲谷いづみ編, 219-239, 2006
- Takenaka A.: Dynamics of seedling populations and tree species coexistence in a forest: a simulation study, *Ecol. Res.*, 2006, (in press)
- Kawashima K., Suganuma N., Tamaoki M., Kouchi H.: Two types of pea leghemoglobin genes showing different O₂-binding affinities and distinct patterns of spatial expression in nodules, *Plant Physiol.*, 125(2): 641-651, 2001
- Matsuyama T., Tamaoki M., Nakajima N., Aono M., Kubo A., Moriya S., Ichihara T., Suzuki O., Saji H.: cDNA microarray assessment for ozone-stressed *Arabidopsis thaliana*, *Environ. Pollut.*, 117(2): 191-194, 2002
- Kato T., Kawashima K., Miwa M., Mimura Y., Tamaoki M., Kouchi H., Suganuma N.: Expression of genes encoding late nodulins characterized by a putative signal peptide and conserved cysteine residues is reduced in ineffective pea nodules, *Mol. Plant-Microbe Interact.*, 15(2): 129-137, 2002
- Tamaoki M., Matsuyama T., Kanna M., Nakajima N., Kubo A., Aono M., Saji H.: Differential ozone sensitivity among *Arabidopsis* accessions and its relevance to ethylene synthesis, *Planta*, 216(4): 552-560, 2003
- Kanna M., Tamaoki M., Kubo A., Nakajima N., Rakwal R., Agrawal G.K., Tamogami S., Ioki M., Ogawa D., Saji H., Aono M.: Isolation of an ozone-sensitive and jasmonate-semi-insensitive *Arabidopsis* mutant (*oji 1*), *Plant Cell Physiol.*, 44(12): 1301-1310, 2003
- Tamaoki M., Mukai F., Asai N., Nakajima N., Kubo A., Aono M., Saji H.: Light-controlled expression of a gene encoding L-galactono- γ -lactone dehydrogenase which affects ascorbate pool size in *Arabidopsis thaliana*, *Plant Sci.*, 164(6): 1111-1117, 2003
- Tamaoki M., Toda Y., Nakajima N., Kubo A., Aono M., Saji H.: Novel marker gene for assessment of behavior of transgenic plants in the field, *Plant Biotechnol.*, 20(3): 225-227, 2003
- Tamaoki M., Nakajima N., Kubo A., Aono M., Matsuyama T., Saji H.: Transcriptome analysis of O₃-exposed *Arabidopsis* reveals that multiple signal pathways act mutually antagonistically to induce gene expression, *Plant Mol. Biol.*, 53(4): 443-456, 2003
- Tamaoki M., Matsuyama T., Nakajima N., Aono M., Kubo A., Saji H.: A method for diagnosis of plant environmental stresses by gene expression profiling using a cDNA macroarray, *Environ. Pollut.*, 131(1): 137-145, 2004
- Asai N., Matsuyama T., Tamaoki M., Nakajima N., Kubo A., Aono M., Kato T., Tabata S., Shirano Y., Shibata D., *et al.*: Compensation for lack of a cytosolic ascorbate peroxidase in an *Arabidopsis* mutant by activation of multiple antioxidative systems, *Plant Sci.*, 166(6): 1547-1554, 2004
- Imai A., Matsuyama T., Hanzawa Y., Akiyama T., Tamaoki M., Saji H., Shirano Y., Kato T., Hayashi H., Shibata D., *et al.*: Spermidine synthase genes are essential for survival of *Arabidopsis*, *Plant Physiol.*, 135(3): 1565-1573, 2004
- 玉置雅紀: DNA アレイ法を用いた遺伝子発現プロファイリングによる植物の環境ストレスモニタリング手法の開発, *環境バイオテクノロジー学会誌*, 5(1): 23-30, 2005
- Tanaka Y., Sano T., Tamaoki M., Nakajima N., Kondo N., Hasezawa S.: Ethylene inhibits the abscisic acid-induced stomatal closure in *Arabidopsis*, *Plant Physiol.*, 138(4): 2237-2343, 2005
- Morita-Yamamuro C., Tsutsuki T., Sato M., Yoshioka H., Tamaoki M., Ogawa D., Matsuura H., Yoshihara T., Ikeda A., Uyeda I., Yamaguchi J.: The *Arabidopsis* gene *CAD1* controls programmed cell death in the plant innate immune system and encodes a protein containing a MACPF domain, *Plant Cell Physiol.*, 46(6): 902-912, 2005
- 玉置雅紀: 遺伝子情報と環境, *新農業気象・環境学* (長野敏英, 大政謙次編, 朝倉書店, 209p.), 134-141, 2005

- 玉置雅紀：遺伝子組換え作物の何が問題か，科学，75(1)：18-26，2005
- Yoshida S., Tamaoki M., Shikano T., Nakajima N., Ogawa D., Ioki M., Aono M., Kubo A., Kamada H., Inoue Y., Saji H.: Cytosolic dehydroascorbate reductase is important for ozone tolerance in *Arabidopsis thaliana.*, *Plant Cell Physiol.*, 47(2): 304-308, 2006
- Tamaoki M., Imai H., Toda Y., Niwa Y., Nakajima N., Kubo A., Aono M., Saji H.: Development of visible markers for transgenic plants and their availability for environmental risk assessment., *Z. Naturforsch.*, 61C: 377-386, 2006
- Michael T., Jothy-S., Tsubaki Y., Hooper R.E., Plaistow S.J.: Investment in immune function under chronic and acute immune challenge in an insect, *Physiol. Entomol.*, 26(1): 1-5, 2001
- 椿 宜高：第19回大会ラウンドテーブル報告「行動生態学・進化生物学の小道具としてみた対称性のゆらぎ (FA)」，日本動物行動学会 News Letter, (39)：17-21, 2001
- 椿 宜高：動物の活力を対称性で探る，日経サイエンス，31(2)：136-141, 2001
- 椿 宜高：生物多様性はなぜ必要か (上・中・下) 文明による大絶滅時代が始まっている，ゑれきてる (Website オンラインマガジン)，なし，2002
- Gitay H., Lovera M., Suarez A., Tsubaki Y., Watson R.: Climate change and biodiversity —observed and projected impacts—, CBD Technical Series NO.10 Interlinkages between Biological Diversity and Climate Change (Secretariat of the Convention Biological Diversityed., 143p.), 30-47, 2003
- Osawa N., Tsubaki Y.: Seasonal variation and community structure of tropical bees in a lowland tropical forest of peninsular Malaysia-the impact of general flowering, Pasoh: Ecology of a lowland rain forest in Southeast Asia (Okuda T. ed., Springer, 639p.), 315-323, 2003
- Tsubaki Y.: The genetic polymorphism linked to mate securing strategies in the male damselfly *Mnais costalis* Selys(Odonata: Calopterygidae), *Popul. Ecol.*, 45: 263-266, 2003
- 椿 宜高：2003年度日本生態学会関東地区会公開シンポジウム「生物多様性を測る」，日本生態学会関東地区会会報，52：1-2, 2004
- Tsubaki Y., Hooper R.: Effects of eugregarine parasites on adult longevity in the polymorphic damselfly *Mnais costalis* Selys, *Ecol. Entomol.*, 29: 361-366, 2004
- Tsubaki Y.: Regional and local prediction of wildlife habitat in real landscape, Kyoto Mechanism and the Conservation of Tropical Forest Ecosystem (Okuda T., Matsumoto Y. eds., Workshop on the Kyoto Mechanism, 191p.), 107-108, 2004
- Tsuji N., Tsubaki Y.: Three new algorithms to calculate the irreplaceability index for presence/absence data, *Biol. Conserv.*, 119: 487-494, 2004
- 辻 宣行, 椿 宜高：種数による保全の優先度，日本生態学会関東地区会会報，52：10-16, 2004
- Plaistow S.J., Tsuchida K., Tsubaki Y., Setsuda K.: The effect of a seasonal time constraint on development time, body size, condition, and morph determination in the horned beetle *Allomyrina dichotoma* L. (Coleoptera: Scarabaeidae), *Ecol. Entomol.*, 30: 692-699, 2005
- 椿 宜高：生物多様性と京都メカニズム，遺伝，59(3)：41-46, 2005
- Hooper R.E., Plaistow S.J., Tsubaki Y.: Signal function of wing colour in a polymorphic damselfly, *MNAIS COSTALIS SELYS*, *Odonatologica*, 35(1): 15-22, 2006
- Nakajima N., Matsuyama T., Tamaoki M., Saji H., Aono M., Kubo A., Kondo N.: Effects of ozone exposure on the gene expression of ethylene biosynthetic enzymes in tomato leaves, *Plant Physiol. Biochem.*, 39: 993-998, 2001
- Nakajima N., Takahashi S., Tamaoki M., Kubo A., Aono M., Saji H.: Effects of UV-B radiation on seedlings of two *Solidago virgaurea* populations from the Mt.Hakusan area of Japan, *J. Jpn. Soc. Atmos. Environ.*, 36: 301-307, 2001
- Takahashi T., Nakajima N., Saji H., Kondo N.: Diurnal Change of cucumber CPD photolyase gene (CsPHR) expression and its physiological roles in growth under UV-B irradiation., *Plant Cell Physiol.*, 43: 342-349, 2002
- Nakajima N., Itoh T., Takikawa S., Asai N., Tamaoki M., Aono M., Kubo A., Azumi Y., Kamada H., Saji H.: Improvement in ozone tolerance of tobacco plants with an antisense DNA for 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase., *Plant Cell Environ.*, 25: 727-735, 2002

- Isoda H., Talorete T.P.N., Kimura M., Maekawa T., Inamori Y., Nakajima N., Seki H.: Phytoestrogens genistein and daidzin enhance the acetylcholinesterase activity of the rat pheochromocytoma cell line PC12 by binding to the estrogen receptor, *Cytotechnology*, **40**: 117–123, 2002
- Nakajima N., Ohshima Y., Serizawa S., Kouda T., Edmonds J.S., Shiraishi F., Aono M., Kubo A., Tamaoki M., Saji H., Morita M.: Processing of bisphenol A by plant tissues: glucosylation by cultured tobacco BY-2 cells in suspension and translocation by tobacco plants *Nicotiana tabacum*., *Plant Cell Physiol.*, **43**: 1036–1042, 2002
- Kondo N., Tou S., Takahashi S., Nakajima N.: UV effect on plant growth., *J. Photoscience*, **9**: 158–161, 2002
- Ioki M., Nakajima N., Tamaoki M., Takahashi S., Kondo N.: Genomic structure of the cucumber CPD photolyase gene, *Omics*, **7**: 203–209, 2003
- Morohoshi K., Shiraishi F., Oshima Y., Koda T., Nakajima N., Edmonds J.S., Morita M.: Synthesis and estrogenic activity of bisphenol A mono- and di-beta-D-glucopyranosides, plant metabolites of bisphenol A, *Environ. Toxicol. Chem.*, **22**(10): 2275–2279, 2003
- Nakajima N., Ohshima Y., Edmonds J.S., Morita M.: Glycosylation of Bisphenol A by Tobacco BY-2 cells, *Phytochemistry*, **65**: 1383–1387, 2004
- Ishikawa Y., Endo M., Abe K., Osakabe K., Nakajima N., Saji H., Ito Y., Ichikawa H., Kameya T., Toki S.: Isolation of four RAD23 genes from *Arabidopsis thaliana* and detection of alternative splicing variants, *Plant Biotechnol.*, **21**: 65–71, 2004
- Ogawa D., Nakajima N., Sano T., Tamaoki M., Aono M., Kubo A., Kanna M., Ioki M., Kamada H., Saji H.: Salicylic Acid Accumulation Under O₃ Exposure is Regulated by Ethylene in Tobacco Plants., *Plant Cell Physiol.*, **46**:1062–1072, 2005
- Gomi K., Ogawa D., Katou S., Kamada H., Nakajima N., Saji H., Soyano T., Sasabe M., Machida Y., Mitsuhashi I., Ohashi Y., Seo S.: A mitogen-activated protein kinase NtMPK4 activated by SIPKK is required for jasmonic acid signaling and involved in ozone tolerance via stomatal movement in Tobacco., *Plant Cell Physiol.*, **46**: 1902–1914, 2005
- Futamura N., Tani N., Tsumura Y., Nakajima N., Sakaguchi M., Shinohara S.: Characterization of genes for novel thaumatin-like proteins in *Cryptomeria japonica*, *Tree Physiol.*, **26**: 51–62, 2005
- Ogawa D., Nakajima N., Sano T., Tamaoki M., Aono M., Kubo A., Kamada H., Saji H.: Regulation of salicylic acid synthesis in ozone-exposed tobacco and *Arabidopsis*, *PHYTON-ANN REI BOT A*, **45**: 169–175, 2005
- Aono M., Kanna M., Ogawa D., Murata Y., Rakwal R., Agrawal G.K., Tamogami S., Iwahashi H., Kubo A., Tamaoki M., Nakajima N., Saji H.: Regulation of ascorbate contents by jasmonate-mediated signaling pathway in *Arabidopsis* during ozone exposure, *PHYTON-ANN REI BOT A*, **45**(4): 201–207, 2005
- Nakajima N., Ohshima Y., Edmonds J.S., Tamaoki M., Kubo A., Aono M., Saji H., Morita M.: Glucosylation of Bisphenol A by Various Plant Species., *PHYTON-ANN REI BOT A*, **45**: 471–476, 2005
- 今村隆史, 中嶋信美: オゾン層破壊の機構と紫外線の農作物影響, *農林水産技術研究ジャーナル*, **28**(8): 45–49, 2005
- Saji H., Nakajima N., Aono M., Tamaoki M., Kubo A., Wakiyama S., Hatase Y., Nagatsu M.: Monitoring the escape of transgenic oilseed rape around Japanese ports and roadsides., *Environ. Biosafety Res.*, **4**: 217–222, 2005
- Eguchi K., Nagata H., Asai S., Yamagishi S.: Nesting habits of the rufous vanga in Madagascar, *Ostrich*, **72**(3/4): 201–203, 2001
- Takaki Y., Eguchi K., Nagata H.: The growth bars on tail feathers in the male Styan's Grasshopper Warbler may indicate quality, *J. Avian Biol.*, **32**: 319–325, 2001
- 永田尚志: 2章. 鳥類の生活史戦略, *これからの鳥類学* (山岸 哲, 樋口広芳編著, 裳華房, 506p.), 40–66, 2002
- Dyrce A., Nagata H.: Breeding ecology of the Eastern Great Reed Warbler *Acrocephalus arundinaceus orientalis* at Lake Kasumigaura, Central Japan, *Bird Study*, **49**: 166–171, 2002
- Eguchi K., Yamagishi S., Asai S., Nagata H., Hino T.: Helping does not enhance reproductive success of cooperatively breeding rufous vanga in Madagascar, *J. Anim. Ecol.*, **71**: 123–130, 2002

- 永田尚志：タネコマドリ，改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物：鳥類（環境省編，（財）自然環境研究センター，278p.），204-205，2002
- 永田尚志：ウチヤマセンニュウ，改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物：鳥類（環境省編，（財）自然環境研究センター，278p.），212-213，2002
- 永田尚志：カラスバト，改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物：鳥類（環境省編，（財）自然環境研究センター，278p.），234，2002
- 永田尚志：いまなぜ保全生物学か？，*BIRDER*，16(4)：79-81，2002
- 永田尚志：6番目の大絶滅，*BIRDER*，16(5)：77-79，2002
- 永田尚志：島の鳥が消える，*BIRDER*，16(6)：77-79，2002
- 永田尚志：大陸での絶滅，*BIRDER*，16(7)：71-73，2002
- 永田尚志：絶滅危惧種，*BIRDER*，16(8)：79-81，2002
- 永田尚志：鳥類の現状－レッドリストから読みとれること，*BIRDER*，16(9)：83-85，2002
- 永田尚志：地域版レッドデータブックとレッドデータブックの作成，*BIRDER*，16(10)：79-81，2002
- 永田尚志：夏鳥の減少傾向とその原因，*BIRDER*，16(11)：71-74，2002
- 永田尚志：托卵鳥の増加と農耕地の鳥の減少，*BIRDER*，16(12)：79-81，2002
- 永田尚志，鳥飼久裕，斉藤武馬：奄美大島におけるキタヤナギムシクイ *Phylloscopus trochilus* の日本初標識記録，*日本鳥学会誌*，51(1)：87-91，2002
- 永田尚志：生物多様性の危機とレッドデータブック，近畿地区鳥類レッドデータブック－絶滅危惧判定システムの開発（山岸 哲監修，江崎保男，和田 岳編著，京都大学学術出版会，226p.），3-15，2002
- Nagata H., Sodhi N.S.: Low prevalence of blood parasites in five Sylviidae species in Japan, *Ornithol. Sci.*, 2: 73-74, 2003
- 永田尚志：渡り鳥にとって必要な環境とは，*BIRDER*，17(2)：79-81，2003
- 永田尚志：絶滅の淵から復活した鳥たち，*BIRDER*，17(3)：79-81，2003
- 永田尚志：保全生物学 その基礎，*BIRDER*，17(4)：79-81，2003
- 永田尚志：鳥類の個体群生態学入門，*BIRDER*，17(5)：79-81，2003
- 永田尚志：個体数の減少と偶然による絶滅，*BIRDER*，17(6)：79-81，2003
- 永田尚志：保全遺伝学入門（その1），*BIRDER*，17(7)：79-81，2003
- 永田尚志：保全遺伝学入門（その2）－偶然による遺伝子の選択，*BIRDER*，17(8)：79-81，2003
- 永田尚志：絶滅の渦 加速する絶滅の危機，*BIRDER*，17(9)：79-81，2003
- 永田尚志：保全遺伝学は鳥類保全にどのように役立つのか（1），*BIRDER*，17(10)：79-81，2003
- 永田尚志：保全遺伝学は鳥類保全にどのように役立つのか（2），*BIRDER*，17(11)：79-81，2003
- 永田尚志：鳥類保全のためにはどのような保護区がよいのか，*BIRDER*，17(12)：83-85，2003
- 永田尚志，上田恵介，古南幸弘：利根川下流域におけるオオセッカの生息状況，*Strix*，21：15-28，2003
- 永田尚志：生態系の多様性と保全すべき生息地の優先度の決め方，*BIRDER*，18(3)：79-81，2004
- 永田尚志：地理生態学入門 鳥類保護区はどのように配置したらよいのだろうか？，*BIRDER*，18(1)：79-81，2004
- 永田尚志：回廊と保全のための群集生態学入門，*BIRDER*，18(2)：77-79，2004
- 永田尚志：地球環境問題と鳥類への影響，*BIRDER*，18(4)：69-71，2004
- 永田尚志：野生生物を保全するためにできること，*BIRDER*，18(5)：69-71，2004
- 永田尚志：ラインセンサス法において河川敷の幅が調査可能範囲に与える影響について，*Strix*，22：179-183，2004
- 永田尚志：森林の分断化に弱い種，強い種，森の野鳥を楽しむ101のヒント（（社）日本林業技術協会編，東京

書籍, 230p.), 148-149, 2004

永田尚志: 遺伝的多様性の重要性, 国立科学博物館ニュース, 436: 9-11, 2005

Paperna I., Soh M.C-K., Yap C.A-M., Sodhi N.S., Lim S.L-H., Prawiradilaga D.M., Nagata H.: Blood parasite prevalence and abundance in the bird communities of several forested locations in Southeast Asia, *Ornithol. Sci.*, 4(2): 129-138, 2005

Nagata H.: Reevaluation of the prevalence of blood parasites in Japanese Passerines using PCR based molecular diagnostics., *Ornithol Sci*, 5: 105-112, 2006

Fukushima M.: Salmonid habitat-geomorphology relationships in low-gradient streams, *Ecology*, 82(5): 1238-1246, 2001

Fukushima M., Yoshikawa D., Suzuki T., Kaneko M., Liu D.: Salmonid habitat in relation to the spatial patterns of pool-riffle sequences., *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 28:1908-1911, 2002

福島路生: 2章 河川調査・5節 生物の密度並びに現存量調査 5.7 魚, 地球環境調査計測事典 第2巻 陸域編 (竹内 均監修), 124-127, 2003

福島路生: 3章 7節 7.2 沿岸域 7.2.2 ベントス 7.2.2.4 遊泳魚, 底生魚, 地球環境調査計測事典 第2巻 陸域編 (竹内 均監修), 221-223, 2003

岸 大弼, 高山 肇, 加藤秀男, 福島路生: 北海道日高地方の河川魚類相, 北海道大学演習林研究報告, 60(1): 1-18, 2003

Kameyama S., Fukushima M., Shimazaki H., Takada M., Kaneko M.: The watershed fragmentation by dams and its impacts on freshwater fishes, *ESRI Map Book* (Sappington N. ed, ESRI Press, 120p.), 89, 2004

福島路生: サケ科魚類の保全, サケ・マスの生態と進化 (前川光司 編, 文一総合出版), 313-329, 2004

亀山 哲, 福島路生, 島崎彦人, 高田雅之, 金子正美: 流域圏環境管理のための GIS の活用 - 河川構造物による流域の分断化と河川生態への影響 -, 資源環境対策, 40(11): 41-49, 2004

福島路生: ダムによる流域分断と淡水魚の多様性低下 - 北海道全域での過去半世紀のデータから言えること, 日本生態学会誌, 55: 349-357, 2005

福島路生, 岩館知寛, 金子正美, 矢吹哲夫, 亀山 哲: 北海道における河川・流域環境の変遷 - 直線化による河川環境の均質化について -, 地球環境, 10(2): 135-144, 2005

亀山 哲, 福島路生, 島崎彦人, 高田雅之, 金子正美: 流域圏生態系保全のための GIS - 河川ネットワークの解析技術 -, 滋賀県琵琶湖研究所記念誌, 22: 344-346, 2005

福島路生, 亀山 哲: サクラマスとイトウの生息適地モデルに基づいたダムの影響と保全地域の評価, 応用生態工学, 8(2): 233-244, 2006

Yoshida K.: Long survival of "living fossils" with low taxonomic diversities in an evolving food web, *Paleobiol.*, 28: 464-473, 2002

Yoshida K.: Evolutionary dynamics of species diversity in an interaction web system, *Ecol. Modell.*, 163: 131-143, 2003

Yoshida K.: Dynamics of evolutionary patterns of clades in a food web system model, *Ecol. Res.*, 18: 625-637, 2003

吉田勝彦: 10. 環境保全と応用生態学 10.4 豊かな地球は誰のもの? コラム: ●人口問題 (20世紀100年間の爆発的増加), 生態学入門 (日本生態学会編, 東京化学同人, 273p.), 235, 2004

吉田勝彦: 多様性変動のコンピュータシミュレーション: 従来の研究と展望, 化石, 75: 30-37, 2004

吉田勝彦: 一次生産量変動が食性幅の進化に与える影響, 日本生態学会誌, 55: 438-445, 2005

Yoshida K.: Effect of the intensity of stochastic disturbance on temporal diversity patterns - a simulation study in evolutionary time scale-, *Ecol. Modell.*, 196: 103-115, 2006

Yoshida K.: Intra-clade predation facilitates the evolution of larger body size., *Ecol. Modell.*, 196: 533-539, 2006

石濱史子, 本城正憲: 鳥取県のサクラソウ: 生態学的・遺伝学的にみた重要性, 希少野生動植物保護シンポジウム「サクラソウ保護を通じた自然再生」, 米子, 2005.5

Ishihama F, Ueno S., Tsumura Y., Washitani I.: Fine-scale genetic structures in an endangered perennial *Primula sieboldii* under different site conditions, ESA 90th Annu. Meet.(Poster Session), Montreal, 2005.8

石濱史子: 絶滅危惧植物サクラソウの種子繁殖に対する空間構造の影響, シンポジウム「生物資源の数理モデリング: 遺伝子から水産資源まで」, 静岡, 2005.8

Ishihama F, Ueno S., Tsumura Y., Washitani I.: Genetic structures and effect of inbreeding depression on the seed reproduction in fragmented populations of an endangered herb, *Primula sieboldii*, 3rd Okazaki Biol. Conf. — The Biol. Extinction 2—, Okazaki, 2006.3

田中良典, 石濱史子, 鷺谷いづみ: サクラソウの繁殖成功に対するクローンサイズ・モルフ比の影響, 第53回日本生態学会大会 (ポスター発表), 新潟, 2006.3

沖野祥平, 岩崎一弘, 矢木修身, 田中秀夫: 固定化水銀還元細菌を用いた塩化第二水銀の除去, 日本農芸化学会2001年度大会, 京都, 2001.3

菊池 健, 岩崎一弘, 矢木修身, 高村義親, 杉原麻生, 中嶋睦安: TCE分解菌におけるメタンモノオキシゲナーゼ遺伝子の転写に及ぼす各種因子の影響, 日本農芸化学会2001年度大会, 京都, 2001.3

斉藤 智, 伊藤くみ, 岩崎一弘, 矢木修身: 繰り返し2倍希釈法によるメタン資化性細菌の群集構造解析, 日本農芸化学会2001年度大会, 京都, 2001.3

Iwasaki K., Saeki S., Hashimoto A., Yagi O.: Development of complete trichloroethylene degradation system by a mixed culture of *Methylocystis* sp. M and *Pseudomonas* sp. SS1, Pseudomonas 2001, Brussels, 2001.9

沖野祥平, 岩崎一弘, 矢木修身, 田中秀夫: 固定化水銀還元細菌による連続的な塩化第二水銀の除去, 日本生物工学会平成13年度大会, 甲府, 2001.9

Saeki S., Iwasaki K., Kurisu F., Yagi O.: Complete degradation of trichloroethylene by a mixed culture of *Methylocystis* sp. strain M and a trichloroacetate-degrading bacterium *Pseudomonas* sp. strain SS1, Int. Water Assoc. Conf. Water Wastewater Manag. Dev. Ctry., Kuala Lumpur, 2001.10

大久保紀男, 岩崎一弘, 橋本顯子, 矢木修身: *Mycocacterium* sp. TA5株によるメチル t -ブチルエーテル (MTBE) の分解経路, 環境バイオテクノロジー学会第14回シンポジウム, 東京, 2001.10

鈴木智順, 加藤啓史, 斉藤 智, 岩崎一弘, 矢木修身, 西村行正: 畑土壌から分離されたメタン資化性菌の系統解析, 第17回日本微生物生態学会, 静岡, 2001.11

岩崎一弘, 矢木修身, 菊池 健, 高村義親, 久保田克之, 橋本 学: 大型土壌・地下水ライシメータによるトリクロロエチレン汚染のバイオオーグメンテーション試験, 第36回日本水環境学会, 岡山, 2002.3

菊池 健, 岩崎一弘, 高村義親, 矢木修身: TCE分解菌におけるメタンモノオキシゲナーゼ遺伝子の転写に及ぼすメタン量の影響, 日本農芸化学会2002年度大会, 仙台, 2002.3

橋本顯子, 岩崎一弘, 中杉奈央, 矢木修身: *Mycobacterium* sp. TA27株のTCE及びTCA分解の動力学的定数, 第36回日本水環境学会, 岡山, 2002.3

矢木修身, 来栖 太, 岩崎一弘: 地下水汚染の原位置バイオレメディエーションによる飽和帯土壌の浄化, 日本農芸化学会2002年度大会, 仙台, 2002.3

Yagi O., Kurisu F., Iwasaki K.: Development of the bioaugmentation technology to clean up TCE contaminated soil and groundwater using a methane utilizing bacterium, 6th Int. Symp. Environ. Biotechnol., Veracruz, 2002.6

新庄尚史, 矢木修身, 岩崎一弘: 混合微生物系における特定微生物の定量評価手法, 第5回日本水環境学会シンポジウム, 府中, 2002.9

岩崎一弘, 中杉奈央, 大橋美保, 矢木修身: 原位置バイオレメディエーションを目指した不法投棄汚染地のバイオトリータビリティ試験, 第37回日本水環境学会年会, 熊本, 2003.3

Iwasaki K., Okino S., Yagi O., Tanaka H.: Development of a biological mercury removal system, In Situ On-Site Bioremediation. 7th Int. Symp., Orlando, 2003.6

- 岩崎一弘, 中杉奈央, 大橋美保, 矢木修身: 不法投棄汚染地のバイオトリータビリティ試験, 第9回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究会, つくば, 2003.6
- 岩崎一弘, 中杉奈央, 大橋美保, 矢木修身: 原位置バイオレメディエーションを目指したバイオトリータビリティ試験及びその微生物群集解析, 環境バイオテクノロジー学会第19回シンポジウム・年会, 東京, 2003.7
- 岩崎一弘: 生き物を利用した環境浄化-バイオレメディエーション-, 名古屋市環境科学研究所 平成15年度環境科学研究所調査研究発表会, 名古屋, 2003.11
- 岩崎一弘, 中杉奈央, 大橋美保, 矢木修身, 原田貴浩, 中嶋陸安: 霞ヶ浦湖水における組換え微生物の生態系影響評価, 第38回日本水環境学会年会, 札幌, 2004.3
- 青柳秀紀, 米良信昭, 中園 聡, 岩崎一弘, 斉木 博, 田中秀夫: DNA マイクロアレイによる酵母プロトプラストの包括的な遺伝子発現解析とその利用 (第2報) - 新規な酵素生産システムの開発 -, 日本農芸化学会2004年度大会, 東広島, 2004.3
- 米良信昭, 青柳秀紀, 中園 聡, 岩崎一弘, 斉木 博, 田中秀夫: DNA マイクロアレイによる酵母プロトプラストの包括的な遺伝子発現解析とその利用 (第1報) - プロトプラストの生物特性の解析 -, 日本農芸化学会2004年度大会, 東広島, 2004.3
- Kurusu E, Nakamura A., Iwasaki K., Yagi O.: Transport of trichloroethylene degrading bacterium *Methylocystis* sp. strain M in soil aquifer columns and its model analysis, Int. Soc. Environ. Biotechnol. 7th Bienn. Symp., Chicago, 2004.6
- Yagi O., Ohkubo N., Iwasaki K., Hashimoto A., Kurisu E.: Biodegradation of methyl tert-butyl ether (MTBE) by *Mycobacterium* spp., Int. Soc. Environ. Biotechnol. 7th Bienn. Symp., Chicago, 2004.6
- 岩崎一弘, 米良信昭, 矢木修身, 原田貴浩, 内山裕夫: 組換え微生物の微生物多様性への影響評価, 環境バイオテクノロジー学会第22回シンポジウム (ポスター発表), 東京, 2004.7
- 矢木修身, 奥田喜弘, 栗栖 太, 岩崎一弘: 生物多様性に及ぼす組換え生物の影響評価プロジェクトの概要, 第20回日本微生物生態学会, 仙台, 2004.11
- 岩崎一弘, 村上達也, 岡田光正, 原田貴浩, 内山裕夫, 矢木修身: 分子生物学的手法による組換え微生物の微生物生態系影響評価試験, 第39回日本水環境学会年会, 千葉, 2005.3
- 岩崎一弘, 矢木修身: 環境省による組換え体の生物多様性影響評価研究プロジェクト, 日本農芸化学会2005年度大会, 札幌, 2005.3
- 原田貴浩, 岩崎一弘, 内山裕夫, 村上達也, 岡田光正, 矢木修身: 遺伝子組換え微生物の微生物多様性への影響評価, 日本農芸化学会2005年度大会, 札幌, 2005.3
- 奥田喜弘, 栗栖 太, 矢木修身, 岩崎一弘, 木本健一郎, 砂入道夫, 中嶋陸安: *Pseudomonas* 属及び湖沼水中の細菌のプラスミドDNA取り込み頻度, 環境バイオテクノロジー学会第25回シンポジウム (ポスター発表), 東京, 2005.6
- 岩崎一弘, 原田貴浩, 内山裕夫, 村上達也, 矢木修身: 環境省地球環境研究推進費で実施している組換え微生物の影響評価試験, 環境バイオテクノロジー学会第25回シンポジウム (ポスター発表), 東京, 2005.6
- 岩崎一弘, 大橋美保, 中杉奈央, 矢木修身: 不法投棄汚染修復サイトの微生物群集構造解析, 環境バイオテクノロジー学会第25回シンポジウム (ポスター発表), 東京, 2005.6
- 米良信昭, 岩崎一弘: 塩化第二水銀およびトリクロロエチレンの及ぼす土壌微生物生態系への影響評価, 環境バイオテクノロジー学会第25回シンポジウム (ポスター発表), 東京, 2005.6
- 奥田喜弘, 栗栖 太, 矢木修身, 岩崎一弘: 湖沼水中微生物へのプラスミド伝達, 第21回日本微生物生態学会, 福岡, 2005.10
- 岩崎一弘, 原田貴浩, 内山裕夫, 矢木修身: 微生物多様性に及ぼす組換え微生物の影響, 第21回日本微生物生態学会, 福岡, 2005.10
- Iwasaki K., Nakasugi N., Yagi O.: Biotreatability study for evaluating the potential of bioremediation at illegal dumping site, PACIFICHEM 2005 (Poster Session), Honolulu, 2005.12
- Kong H., Iwasaki K., Inaba K.: Merit/demerit of washing-reagent-injection method for remediation of subsurface pollution with DNAPL, PACIFICHEM 2005, Honolulu, 2005.12

持丸華子, 松尾 勝, 内山裕夫: 塩素処理によって引き起こされた VNC 菌体の回復条件の検討, 第 18 回日本微生物生態学会, 津, 2002.11

Goka K.: Influences of Invasive European bumblebee on the Japanese native species., Exp. Approaches Conserv. Biol. UCLA, los Angels, USA, 2001.9

五箇公一: マルハナバチ利用の生態系問題について, 第 7 回マルハナバチ利用技術研究会, 東京, 2001.11

五箇公一: セイヨウオオマルハナバチの導入に伴う生態系への影響を巡る諸問題, 農業環境技術研究所昆虫研究グループ・シンポジウム「導入昆虫の生態系への影響とその評価法」, つくば, 2001.12

五箇公一, 小島啓史: 輸入クワガタの脅威-クワガタムシ商品化に関わる生態学的問題-, 第 46 回日本応用動物昆虫学会大会, 東京, 2002.3

五箇公一, 小島啓史: 輸入クワガタの脅威-クワガタムシ商品化に関わる生態学的問題-, 第 49 回日本生態学会大会, 仙台, 2002.3

五箇公一: 化学農薬のリスクと生物農薬のリスク, 第 49 回日本生態学会大会事由集会「化学農薬と生物農薬, どちらが生物多様性に優しいのか?」, 仙台, 2002.3

上杉龍士, 五箇公一, 刑部正博: 遺伝的変異維持における遺伝子流動の効果-ナミハダニ実験個体群による検証-, 第 46 回日本応用動物昆虫学会大会, 東京, 2002.3

浅沼友子, 五箇公一, 鷲谷いづみ, 米田昌浩, 丹羽里美: 輸入マルハナバチの脅威-マルハナバチの商品化に伴う生態学的問題, 第 46 回日本応用動物昆虫学会大会, 東京, 2002.3

浅沼友子, 五箇公一, 鷲谷いづみ, 米田昌浩, 丹羽里美: 輸入マルハナバチの脅威-マルハナバチの商品化に伴う生態学的問題, 第 49 回日本生態学会大会, 仙台, 2002.3

五箇公一: 小笠原におけるセスジユスリカの遺伝的固有性, 第 13 回ユスリカ研究集会, 潮来, 2002.5

Goka K., Okabe K., Yoneda M., Niwa S.: Bumblebee commercialization has caused international migration of parasitic mits., 11th Int. Congr. Acarol., Merida, Mexico, 2002.9

五箇公一, 小島啓史: 輸入クワガタの生態学的問題-遺伝的攪乱と寄生生物の持ち込み-, 日本昆虫学会第 62 回大会, 富山, 2002.9

五箇公一: 農薬開発研究と侵入生物研究を通してみてきたリスク生態学-生産者サイドと評価者再度の両側にたって-, 第 183 回昆虫学土曜セミナー, 岡山, 2002.11

五箇公一: 輸入昆虫の生態影響-ペット用外国産クワガタムシの輸入をめぐる-, 大阪女子大学 2002 年度地域生態系共同研究プロジェクト研究集会「生物多様性の理解と保全」, 堺, 2002.12

五箇公一, 小島啓史: クワガタムシの商品化に関わる生態学的問題-遺伝的攪乱と寄生性ダニ持ち込みの実態について-, 第 50 回日本生態学会大会, つくば, 2003.3

五箇公一, 小島啓史: 輸入クワガタの生態リスク, 第 47 回日本応用動物昆虫学会大会, 盛岡, 2003.3

上杉龍士, 五箇公一: 作用機構の異なる薬剤間の「見かけ上の交差抵抗性」-殺ダニ剤クロルフェナピルとエトキサゾールを例に-, 第 47 回日本応用動物昆虫学会大会, 盛岡, 2003.3

上杉龍士, 谷 尚樹, 津村義彦, 五箇公一, 西廣 淳, 鷲谷いづみ: 絶滅危惧植物アサザのマイクロサテライトマーカーの開発とその多型性, 第 50 回日本生態学会大会, つくば, 2003.3

丹羽里美, 五箇公一, 大矢陽一, 米田昌浩: マルハナバチの商品化に伴う生態学的問題-マルハナバチの遺伝的分化の実態及び寄生生物が及ぼす影響-, 第 47 回日本応用動物昆虫学会大会, 盛岡, 2003.3

丹羽里美, 五箇公一, 大矢陽一, 米田昌浩: マルハナバチの商品化に伴う生態学的問題-マルハナバチの遺伝的分化の実態及び寄生生物が及ぼす影響-, 第 50 回日本生態学会大会, つくば, 2003.3

五箇公一: 日本のクワガタムシ, 外国のクワガタムシ, 第 1 回キョロロ講座, 松之山, 2003.8

Goka K.: Genetic disturbance caused by commercialization of stag beetles in Japan, Int. symp. Endo-Symbiosis Mol. Evol. Insects, Tsuchiura, Japan, 2003.10

古角詩香, 五箇公一, 岡部貴美子, 小島啓史: クワガタムシ商品化にまつわる生態学的トピック (その 2) -クワガタムシに寄生するダニ-, 第 12 回日本ダニ学会大会, 那覇, 2003.10

- 五箇公一, 小島啓史: クワガタムシ商品化にまつわる生態学的トピック (その1) - 遺伝的攪乱および寄生性ダニの持ち込み -, 第12回日本ダニ学会大会, 那覇, 2003.10
- 五箇公一: 外来昆虫の引き起こす問題 - 外国産クワガタムシの輸入をめぐって -, 第15回環境動物昆虫学会年次大会シンポジウム, 堺, 2003.11
- 五箇公一: 外国産クワガタムシの大量輸入がもたらす生態リスク, 日本分類学会連合第3回シンポジウム, 東京, 2004.1
- 五箇公一: クワガタムシ - 商品化による遺伝子攪乱, シンポジウム「生態学からみた野生生物の保護と法律」, 東京, 2004.2
- 五箇公一: 外来種感染の侵入路究明に期待集める移入種DNAマップ, 東京テクノフォーラム21第75回研究交流会, 東京, 2004.2
- Sanchez-bayo F, 五箇公一, 本山直樹: Changes in the ecology of rice paddies due to toxic chemicals, 第49回日本応用動物昆虫学会大会, 町田, 2004.3
- 古角詩香, 五箇公一, 岡部貴美子, 小島啓史: クワガタムシ商品化に関する生態学的トピック - 国内および外国産クワガタムシに寄生するダニ -, 第48回日本応用動物昆虫学会大会, 京都, 2004.3
- 五箇公一: クロロニコチニル系浸透移行性殺虫剤の生態リスク, 第48回日本応用動物昆虫学会大会, 京都, 2004.3
- 五箇公一: 外来種新法と輸入昆虫問題, 第48回日本応用動物昆虫学会大会, 京都, 2004.3
- 五箇公一, 小島啓史: クワガタムシ商品化に関する生態学的トピック - ヒラタクワガタにおける生殖隔離機構の進化 -, 第48回日本応用動物昆虫学会大会, 京都, 2004.3
- 小島啓史, 五箇公一: クワガタの個体変異の原因調査研究, 第48回日本応用動物昆虫学会大会, 京都, 2004.3
- 五箇公一: 外来昆虫の導入に伴う寄生性ダニの侵入, 分子共種分化解析, 日本生物地理学会第59回年次大会シンポジウム, 東京, 2004.4
- Goka K.: Genetic disturbance caused by commercialization of stag beetles in Japan., 22nd Int. Congr. Entomol., Brisbane, 2004.8
- Toda M., Tokida K., Koide K., Takamura K., Goka K.: Exhibition of Japanese IAS database on the internet, Int. Conf. Assess. Control Biol. Invasion Risks, Yokohama, 2004.8
- 五箇公一: クワガタムシの商品化がもたらす生態リスク, 第51回日本生態学会大会, 釧路, 2004.8
- 五箇公一, 岡部貴美子, 小島啓史: クワガタムシとクワガタナカセの分子共種分化, 第13回日本ダニ学会大会, 奈良, 2004.9
- 五箇公一: インパクトのあるプレゼンテーションテクニック, 千葉県農業総合研究センターゼミナール, 千葉, 2004.10
- 五箇公一: 外来生物新法と輸入昆虫, 生物的防除研究会, 東京, 2004.10
- 五箇公一: 昆虫輸入がもたらす随伴侵入生物のリスク - セイヨウオオマルハナバチと外国産クワガタムシを例として -, 第6回昆虫病理研究会シンポジウム, 富士吉田, 2004.10
- 五箇公一: 侵入昆虫の生態リスクと外来生物法, 第1回COE昆虫科学セミナー, 京都, 2004.10
- 五箇公一: インパクトのあるプレゼンテーションテクニック, 千葉県農業総合研究センターゼミナール, 千葉, 2004.10
- 五箇公一: 外来生物新法と輸入昆虫, 生物的防除研究会, 東京, 2004.10
- 五箇公一: 輸入昆虫にみる日本の外来種問題 - 誰がために生物多様性はある -, 岐阜大学応用生物科学部特別講演会, 岐阜, 2004.10
- 五箇公一: クワガタムシの商品化がもたらす生態リスク, 日本鞘翅学会第17回大会, 小田原, 2004.11
- 五箇公一: 輸入昆虫にみる日本の外来種問題 - 誰がために生物多様性はある -, 岐阜大学応用生物科学部特別講演会, 岐阜, 2004.11
- 五箇公一: 輸入生物のリスク, 日本学術会議第8回植物保護・環境シンポジウム, 東京, 2004.11
-

- Goka K.: Biological invasion caused by commercialization of stag beetles in Japan., II Mini Symposium at UC Davis, Davis, 2004.12
- Goka K.: Biological invasion caused by commercialization of stag beetles in Japan, 2nd Mini Symp. UC Davis, Davis, 2004.12
- Sanchez-bayo F, 五箇公一, 本山直樹: Changes in the ecology of rice paddies due to toxic chemicals, 第49回日本応用動物昆虫学会大会, 町田, 2005.3
- 宮田 文, 五箇公一, 後藤哲雄: ナミハダニ野外個体群における殺ダニ剤感受性の遺伝的変異と交差抵抗性, 第49回日本応用動物昆虫学会大会, 町田, 2005.3
- 五箇公一, 岡部貴美子, 小島啓史: ダニに歴史あり (パート1) - 分子で見たクワガタムシと寄生ダニの共種分化 -, 第49回日本応用動物昆虫学会大会, 町田, 2005.3
- 五箇公一, 岡部貴美子, 小島啓史: ダニに歴史あり (パート2) - 形態で見たクワガタムシと寄生ダニの種分化 -, 第49回日本応用動物昆虫学会大会, 町田, 2005.3
- 小久保望, 徳永幸彦, 五箇公一, 浅沼友子: マイクロサテライト DNA を用いたマルハナバチ単数推定アルゴリズム, 第49回日本応用動物昆虫学会大会, 町田, 2005.3
- 小久保望, 徳永幸彦, 五箇公一: マイクロサテライト DNA を用いたマルハナバチの単数推定アルゴリズムの構築, 第52回日本生態学会, 大阪, 2005.3
- 小島啓史, 五箇公一: クワガタ雄の個体変異の適応的意味, 第49回日本応用動物昆虫学会大会, 町田, 2005.3
- Goka K.: Ecological risks caused by exotic stag beetles in japan., APEC Workshop Invasive Alien Species, Beijing, 2005.9
- 五箇公一: 導入昆虫の法的対応について, 日本昆虫学会第65回大会, 岡山, 2005.9
- Goka K.: Ecological risks caused by introduced insects - The case of European bumblebee and exotic stag beetles, 22nd symp. Soc. Popul. Ecol., Katayamadu (Kaga), 2005.10
- 五箇公一: 化学物質生態影響評価に対して生態学者ができること, 農業環境技術研究所オープンセミナー「農薬の生態影響評価の現状と問題点」, つくば, 2005.11
- 高村健二: 河川流域の陸上環境と水生生物相との関連, 第49回日本生態学会大会, 仙台, 2002.3
- 高村健二, 森 誠一: 淡水魚イトヨの地域個体群類縁関係を推定する, 第50回日本生態学会大会, つくば, 2003.3
- 山本祥一郎, 森田健太郎, 北野 聡, 小泉逸郎, 前川光司, 高村健二: ミトコンドリア DNA 多型に基づくイトヨの遺伝的な特徴, 平成15年度日本水産学会大会, 東京, 2003.4
- 高村健二: 日本各地のオオクチバスの遺伝子塩基配列変異 - 移入・分布拡大との関連, 2003年度日本魚類学会年会, 京都, 2003.10
- Toda M., Tokida K., Koide K., Takamura K., Goka K.: Exhibition of Japanese IAS database on the internet, Int. Conf. Assess. Control Biol. Invasion Risks, Yokohama, 2004.8
- 高村健二: 生息確認地点だけによったメダカ生息適地推定 - 茨城県南部1960-70年代の例, 第51回日本生態学会大会, 釧路, 2004.8
- 高村健二, 五箇公一, 戸田光彦, 常田邦彦, 小出可能: インターネットを通じて公開される侵入生物データベースとその概要, 第52回日本生態学会大会, 大阪, 2005.3
- 高村健二: 日本産ブラックバスにおけるミトコンドリアDNAハプロタイプの分布, 2005年度日本魚類学会年会, 仙台, 2005.9
- 高村健二, 森 誠一: 日本各地のイトヨ個体群のマイクロサテライトによる遺伝的多様性診断, 淡水魚保全シンポジウム岐阜大会, 2005.11
- 高村健二: 魚類個体群を用いた河川生態系の分断化影響評価, 第53回日本生態学会大会, 新潟, 2006.3
- 高村典子, 角野康郎, 福島路生, 中川 恵, 金 白虎: 沈水植物群落の喪失とその役割について - 釧路湿原3湖沼の事例, 第9回世界湖沼会議, 大津, 2001.11
-

- 高村典子：ため池から生物多様性の保全を考える，第4回自然系調査研究機関連絡会議，つくば，2001.12
- 高村典子：魚が変える湖の環境－ワカサギの導入で透明度が下がった十和田湖とその保全策，第43回水環境学会セミナー「外来種と水生生態系」，東京，2002.2
- 加藤秀男，高村典子，角野康郎，三橋弘宗，田中哲夫，村上俊明：景観と植生の異なったため池における底生動物相の比較，第49回日本生態学会大会，仙台，2002.3
- 高村典子，中川 恵，角野康郎，三橋弘宗，田中哲夫，青木典司，村上俊明：ため池の景観・植生と水質・生物群集の関係（予報），第49回日本生態学会大会，仙台，2002.3
- Wang J., Xie P., Takamura N., Tang H., Xie L.: The mechanism of picoplankton dominance -a comparative ecological study on waters of different trophic structures and on experimental enclosures, 11th Int. Symp. River Lake Environ., Suwa, 2002.7
- 高村典子：霞ヶ浦のプランクトンの変動特性について，霞ヶ浦工事事務所，土浦，2002.8
- 高村典子：ため池から生物多様性の保全を考える（1）研究のねらい，日本陸水学会第67回大会，府中，2002.9
- 中川 恵，高村典子，角野康郎，三橋弘宗，田中哲夫，村上俊明：ため池から生物多様性の保全を考える（2）プランクトン群集を決める要因，日本陸水学会第67回大会，府中，2002.9
- 加藤秀男，高村典子，角野康郎，三橋弘宗，田中哲夫，中川 恵，村上俊明：ため池から生物多様性の保全を考える（3）底生動物群集を決める要因，日本陸水学会第67回大会，府中，2002.9
- 青木典司，角野康郎，三橋弘宗，田中哲夫，村上俊明，中川 恵，高村典子：ため池から生物多様性の保全を考える（4）トンボ群集を決める要因，日本陸水学会第67回大会，府中，2002.9
- 高村典子：釧路湿原3湖沼の水質並びに生態系の劣化について，環境省東北海道事務所主催研究会，釧路，2003.1
- 加藤秀男，高村典子，角野康郎，三橋弘宗，田中哲夫，中川 恵，村上俊明：ため池の底生動物群集，特に周辺の土地利用及び水草植生との関係，日本生態学会第50回大会，つくば，2003.3
- 加藤秀男，高村典子，角野康郎，三橋弘宗，田中哲夫：2003景観と植生の異なったため池における底生動物相の比較，第50回日本生態学会大会，つくば，2003.3
- 高村典子，青木典司，三橋弘宗，田中哲夫，角野康郎，中川 恵：ため池に出現するトンボ群集の座標付け，日本生態学会第50回大会，つくば，2003.3
- 高村典子：浅い湖沼の生態系の保全，その意味と方法，印旛沼水質保全協議会及び手賀沼水質浄化対策協議会共催平成14年度研究会，我孫子，2003.3
- Nakamura K., Kayaba Y., Ozawa T., Nishihiro J., Takamura N., Sago J.: How do submerged plants affect water quality in large experimental ponds?, 46th Conf. Great Lakes Res./10th World Lake Conf., Chicago, 2003.6
- 高村典子，中川 恵，加藤秀男，三橋弘宗，田中哲夫，角野康郎，青木典司：ため池の生物多様性の維持機構とその保全，日本陸水学会第68回大会，岡山，2003.9
- 中川 恵，高村典子，前園泰徳，小林頼太，宮下 直，加藤秀男：ヒシが水質，プランクトンおよびベントスに与える影響，日本陸水学会第68回大会，岡山，2003.9
- 高村典子，西廣 淳，中村圭吾：水辺移行帯修復・再生技術の開発，平成15年度霞ヶ浦浄化技術研究会「都市エリア・環境技術開発プロジェクトとの交流」霞ヶ浦浄化技術検討会，つくば，2003.10
- 高村典子：健全な湖沼生態系を持続的に維持していけるような湖沼管理へ，沿岸学会第16回シンポジウム「八郎潟の現状と今後の課題」，秋田，2003.10
- 高村典子：湖沼生態系の評価とモニタリング，第6回水源地生態研究セミナー，北九州，2003.10
- 津田久美子，高村典子，藤井義晴：藍藻類の異常増殖（アオコ）を抑制する水生植物検索の為のバイオアッセイ法の検討，日本農芸化学関東支部2003年度大会，府中，2003.10
- 高村典子：健全な湖沼生態系を持続的に維持していけるような湖沼管理へ，第9回閉鎖性水域セミナー，金沢，2003.11
- 高村典子：湖と私たちの暮らし，こども国連環境会議，東京，2003.11

- 高村典子：「ため池の保全と評価への取り組み」趣旨説明，ミニシンポジウム「ため池の評価と保全への取り組み」，つくば，2003.12
- 三橋弘宗，高村典子，青木典司，角野康郎：ため池周辺のランドスケープからみたハビタット評価，ミニシンポジウム「ため池の評価と保全への取り組み」，つくば，2003.12
- 田淵俊雄，高村典子，黒田久雄：ため池の水源特性からみた多様性と水質予測，ミニシンポジウム「ため池の評価と保全への取り組み」，つくば，2003.12
- 藤井義晴，津田久美子，高村典子：アオコを抑制する水生植物検索の為のバイオアッセイ法の検討，ミニシンポジウム「ため池の評価と保全への取り組み」，つくば，2003.12
- 津田久美子，藤井義晴，高村典子：バイオアッセイによる藍藻類の増殖を抑制する植物の検索，日本農芸化学会2004年度大会，東広島，2004.3
- 高村典子：湖沼生態系の再生に必要な研究－釧路湿原達古武沼再生への取り組みから，第51回日本生態学会大会，釧路，2004.8
- 辻 ねむ，高村典子，中川 恵，野坂拓馬，渡辺雅子，若菜 勇：釧路湿原達古武沼の水草はなぜ減少したのか？－光環境からの検討－，第51回日本生態学会大会，釧路，2004.8
- 渡辺雅子，野坂拓馬，若菜 勇，辻 ねむ，高村典子，中川 恵，五十嵐聖貴，三上英敏，石川 靖，上野洋一，角野康郎：達古武沼水草の群落構造，第51回日本生態学会大会，釧路，2004.8
- 米倉竜次，高村典子，西廣 淳：外来魚ブルーギルの除去による沈水植物群落の再生，第51回日本生態学会大会，釧路，2004.8
- 三上英敏，石川 靖，上野洋一，高村典子，若菜 勇：釧路湿原達古武沼における釧路川からの逆流水について，日本陸水学会第69回大会，新潟，2004.9
- 上野洋一，三上英敏，石川 靖，高村典子，中川 恵，五十嵐聖貴，若菜 勇，辻 ねむ，伊藤富子，仲島広嗣：釧路湿原達古武沼の底泥粒度分布に対する影響因子，日本陸水学会第69回大会，新潟，2004.9
- 高村典子：ため池の生物多様性の維持機構－兵庫県南西部のため池調査から，シンポジウム 里山にあるため池の保全を考える－宍塚大池を事例として，土浦，2004.11
- 高村典子：釧路湿原達古武沼の再生シナリオに向けての問題点，持続可能性を築く「市民・研究者協働による生物多様性モニタリング」の研究 第3回研究報告会，土浦，2004.11
- 高村典子：「湖沼のエコシステム－持続可能な利用と保全をめざして」，第4回国立環境研究所友の会交流セミナー，東京，2005.1
- 五十嵐聖貴，中川 恵，高村典子，辻 ねむ，若菜 勇：達古武沼におけるプランクトンの分布特性，第52回日本生態学会大会，大阪，2005.3
- 高村典子，若菜 勇，中村太士：達古武沼の現状診断と再生シナリオ，第52回日本生態学会大会，大阪，2005.3
- 若菜 勇，辻 ねむ，野坂拓馬，高村典子，中川 恵，上野洋一，渡辺雅子：水草の変遷と分布特性，第52回日本生態学会大会，大阪，2005.3
- 小原直美，津田久美子，荒谷 博，平舘俊太郎，高村典子，藤井義晴：シアノバクテリア増殖抑制を行うアレロパシー物質の探索，日本農芸化学会2005年度大会，札幌，2005.3
- 松崎慎一郎，西川 潮，高村典子，鷺谷いづみ：移行帯の食物網における底生魚の生態的影響：沈水植物の保全ならびに微小動物群集への影響，第52回日本生態学会大会，大阪，2005.3
- 西川 潮，神山 壘，佐治あずみ，高村典子：外来ザリガニ (*Pacifastacus leniusculus*) の生態影響評価実験，第52回日本生態学会大会，大阪，2005.3
- 中川 恵，高村典子，五十嵐聖貴，若菜 勇，辻 ねむ：達古武沼の水質分布特性，第52回日本生態学会大会，大阪，2005.3
- 中島久男，高村典子：達古武沼生態系のカタストロフ遷移モデル，第52回日本生態学会大会，大阪，2005.3
- 仲島広嗣，西川 潮，高村典子，神山 壘，中川 恵，若菜 勇，蛭田眞一：達古武沼における外来ザリガニ

(*Pacifastacus leniusculus*) の分布, 第 52 回日本生態学会大会, 大阪, 2005.3

渡辺貴史, 高村典子: 兵庫県東播磨南部地域における水生植物保全に対するため池管理者の意識, 農村計画学会 2005 年度春期大会学術研究発表会, 東京, 2005.4

渡辺貴史, 高村典子: 兵庫県東播磨南部地域における水生植物保全に対するため池管理者の意識, 農村計画学会 2005 年度春期大会学術研究発表会, 東京, 2005.4

藤井義晴, 小原直美, 津田久美子, 松山 稔, 高村典子: 他感作用によりアオコを抑制する可能性のある水生植物・ため池周辺植生の探索, 第 44 回日本雑草学会大会, 名古屋, 2005.4

Usio N., Kamiyama R., Saji A., Takamura N.: Strong impacts of invasive crayfish on a littoral lake community: roles of ecosystem engineering and size, Ecol. Soc. Am.(ESA) 90th Ann. Meet. Jt. Held IX Int. Cong. Ecol.(INTECOL), Montreal(Canada), 2005.8

宇田川弘勝, 高村典子: 霞ヶ浦懸濁物質の化学・鉱物組成, 日本陸水学会第 70 回大会, 大阪, 2005.9

高村典子: 湖沼生態系におけるレジリエンスとレジーム・シフトー野外観察と実証実験から, 日本数理生物学会第 15 回大会, 横浜, 2005.9

松崎慎一郎, 西川 潮, 高村典子, 鷺谷いづみ: 放流コイの生態的影響とカタストロフィック・シフト, 第 22 回個体群生態学会シンポジウム, 加賀, 2005.10

高村典子: ため池の生物多様性評価, 平成 17 年度名古屋市環境科学研究所調査研究発表会, 名古屋, 2006.1

Jang M.H., Ha K., Jung J.M., Takamura N.: Changes in microcystin production of cyanobacteria exposed to differential zooplankton densities and info-chemical concentrations released by zooplankton, 53rd Annu. Meet. Ecol. Soc. Jpn., Niigata, 2006.3

高村典子, 中川 恵, 五十嵐聖貴, 仲島広嗣, 若菜 勇, 伊藤富子: 炭素・窒素安定同位体比による遠古武沼生態系の評価, 第 53 回日本生態学会大会, 新潟, 2006.3

松崎慎一郎, 西川 潮, 高村典子, 鷺谷いづみ: 底泥攪乱者 bioturbator の生態的影響: コイ vs. ザリガニ, 第 53 回日本生態学会大会, 新潟, 2006.3

竹中明夫: 「鬼の居ぬ間」メカニズムは森の木々の共存を促進するか?, 日本生態学会第 50 回大会, つくば, 2003.3

竹中明夫: 森林の個体ベースモデルを使った多種共存系の動態の解析, 日本植物学会第 67 回大会, 札幌, 2003.9

北本尚子, 上野真義, 津村義彦, 竹中明夫, 鷺谷いづみ, 大澤良: サクラソウ野生集団の空間的遺伝構造と遺伝子流動, 第 51 回日本生態学会大会, 釧路, 2004.8

竹中明夫: 植物の多種共存と種の分布範囲との密接な関係, 第 52 回日本生態学会大会, 大阪, 2005.3

竹中明夫: 森林のパターン: 木の視点と森の視点, 第 21 回京都賞記念ワークショップ, 京都, 2005.11

Takenaka A.: Coexistence and exclusion of tree species in forests: testability of the proposed mechanisms of species coexistence, 3rd Okazaki Biol. Conf.-The Biol. Extinction 2-, Okazaki, 2006.3

竹中明夫: 稚樹のふるまいと森林の構造をモデルでつなぐ: 特に多種の共存をめぐる, 第 53 回日本生態学会大会, 新潟, 2006.3

玉置雅紀, 青野光子, 中嶋信美, 久保明弘, 佐治 光: JCAA マクロアレイを利用したオゾン反応性遺伝子群の探索, ワークショップ植物 DNA アレイの作成と利用, 木更津, 2001.7

Aono M., Kanna M., Kawashima T., Kubo A., Tamaoki M., Nakajima N., Saji H.: Analyses of ozone-sensitive *Arabidopsis* mutants., 6th French-Japanese workshop plant mol. Biol., Prades, France, 2001.10

Aono M., Kanna M., Kawashima T., Kubo A., Tamaoki M., Nakajima N., Saji H.: Isolation and analyses of ozone-sensitive *Arabidopsis* mutants., 5th conf. oxygen, free radicals and oxidative stress in plants, Nice, France, 2001.11

玉置雅紀, 松山 崇, 中嶋信美, 青野光子, 久保明弘, 佐治 光: オゾンにより誘導される Ws の葉の可視障害はエチレン生成により促進される, 日本植物生理学会 2002 年度年会, 岡山, 2002.3

玉置雅紀, 青野光子, 中嶋信美, 久保明弘, 佐治 光: JCAA マクロアレイフィルターを利用したオゾン反応性

遺伝子群の探索, 日本植物生理学会 2002 年度年会, 岡山, 2002.3

浅井尚子, 松山 崇, 玉置雅紀, 中嶋信美, 久保明弘, 青野光子, 加藤友彦, 田畑 哲 白野由美, 柴田大輔, 林 浩昭, Mullineaux P.M., 佐治 光: シロイヌナズナのサイトゾル型アスコルビン酸ペルオキシダーゼ APX1 破壊株の解析, 日本植物生理学会 2002 年度年会, 岡山, 2002.3

玉置雅紀, 中嶋信美, 青野光子, 久保明弘, 佐治 光: cDNA マイクロアレイによる植物への環境影響のモニタリング手法の開発, 大気環境学会第 43 回大会 府中, 2002.9

神名麻智, 久保明弘, 玉置雅紀, 中嶋信美, 佐治 光, 青野光子: シロイヌナズナ突然変異体を用いた植物の環境ストレス耐性機構の解明, 大気環境学会第 43 回大会, 府中, 2002.9

玉置雅紀, 中嶋信美, 青野光子, 久保明弘, 松山 崇, 佐治 光: シロイヌナズナ cDNA マクロアレイを用いたオゾン反応性遺伝子群の発現を促すシグナル経路の相互作用の解析, 日本植物生理学会 2003 年度年会 / 第 43 回シンポジウム, 東大阪, 2003.3

神名麻智, 久保明弘, 玉置雅紀, 中嶋信美, 佐治 光, 青野光子: シロイヌナズナ突然変異体を用いた植物の環境ストレス耐性機構の解明, 日本植物生理学会 2003 年度年会, 東大阪, 2003.3

青野光子, 神名麻智, 川島朋子, 久保明弘, 玉置雅紀, 中嶋信美, 佐治 光: オゾン感受性シロイヌナズナ突然変異体の単離と解析, 日本植物生理学会 2003 年度年会, 東大阪, 2003.3

Tamaoki M., Matsuyama T., Kanna M., Nakajima N., Kubo K., Aono M., Saji H.: Differential O₃ sensitivity among *Arabidopsis* accessions and its relevance to ethylene synthesis, Plant Biology 2003, Hawaii, USA, 2003.7

玉置雅紀, 高橋隼人, 中嶋信美, 久保明弘, 青野光子, 安積良隆, 佐治 光: シロイヌナズナの酸化的ストレスに対する新規な初期応答機構, 第 45 回日本植物生理学会年会, 東京, 2004.3

神名麻智, 小川大輔, 村田善則, Rakwal R., Agrawal K., 岩橋 均, 久保明弘, 玉置雅紀, 中嶋信美, 佐治 光, 青野光子: オゾン感受性シロイヌナズナ突然変異体を用いたジャスモン酸シグナル経路の解析, 日本植物生理学会 2004 年度年会, 東京, 2004.3

Morita-Yamamuro C., Tsutsui T., Sato M., Tamaoki M., Ogawa D., Matsuura H., Yoshihara T., Sonoda Y., Ikeda A., Uyeda I., Yamaguchi J.: The *Arabidopsis* gene CAD1 controls programmed cell death in the plant innate immune system and encodes a protein containing a MACPF domain, 15th Int. Conf. Arabidopsis Res., Beline, 2004.7

玉置雅紀: DNA アレイを用いた遺伝子発現プロファイルによる植物の環境ストレスモニタリング手法の開発, 環境バイオテクノロジー学会第 22 回シンポジウム, 東京, 2004.7

玉置雅紀, 松山 崇, 中嶋信美, 青野光子, 久保明弘, 佐治 光: DNA アレイ法を用いた植物の環境ストレス診断手法の開発, 日本植物学会第 68 回大会, 藤沢, 2004.9

五百城幹英, 玉置雅紀, 中嶋信美, 馳澤盛一郎, 近藤矩朗: B 領域紫外線がキュウリ葉の形態に及ぼす影響, 日本植物学会第 68 回大会, 藤沢, 2004.9

山室千鶴子, 筒井友和, 佐藤昌直, 玉置雅紀, 小川大輔, 松浦英幸, 吉原照彦, 池田 亮, 上田一郎, 山口淳二: 恒常的細胞死形質変異株 cad1 の単離と解析, 日本植物学会北海道支部第 50 回大会, 札幌, 2004.9

田中洋子, 佐野俊夫, 玉置雅紀, 中嶋信美, 馳澤盛一郎, 近藤矩朗: シロイヌナズナの ABA による気孔閉鎖に対するエチレンの阻害作用について, 日本植物学会 第 68 回大会, 藤沢, 2004.9

Aono M., Kanna M., Ogawa D., Murata Y., Rakwal R., Agrawal K., Tamogami S., Iwahashi H., Kubo A., Tamaoki M., Nakajima N., Saji H.: Jasmonate-mediated signaling pathway in an ozone-sensitive *Arabidopsis* mutant., 6th Int. Symp. Plant Resposes Air Pollt. Global Change, Tsukuba, Japan, 2004.10

Kubo A., Bathula S., Tamaoki M., Kanna M., Aono M., Nakajima N., Saji H.: OZS1, a gene Encoding a transporter-like protein involved in ozone tolerance in *Arabidopsis thaliana*., 6th Int. Symp. Plant Resposes Air Pollt. Global Change, Tsukuba, Japan, 2004.10

Tamaoki M., Matsuyama T., Nakajima N., Aono M., Kubo A., Saji H.: A novel method for diagnosis of plant environmental stresses using a cDNA macroarray, 6th Int. Symp. Plant Resposes Air Pollut. Global Change: Mol. Biol. Plant Prod. Ecosystem, Tsukuba, 2004.10

玉置雅紀, 今井裕恵, 大島幸子, 中嶋信美: マメ科植物の共生窒素固定に及ぼすビスフェノール A 及び農薬類の

- 影響, 日本内分泌攪乱化学物質学会第7回研究発表会, 名古屋, 2004.12
- 吉田征司, 玉置雅紀, 中嶋信美, 青野光子, 久保明弘, 鎌田 博, 佐治 光: シロイヌナズナのアスコルビン酸合成欠損変異体 *vtc1* における酸化ストレス障害発生メカニズム, 第46回日本植物生理学会年会, 新潟, 2005.3
- 玉置雅紀, Mulpuri V.R., Keith R.D., 中嶋信美, 久保明弘, 青野光子, 佐治 光: シロイヌナズナ *Cvi-0* に由来するオゾン耐性突然変異体の解析, 第46回日本植物生理学会年会, 新潟, 2005.3
- 高橋隼人, 玉置雅紀, 中嶋信美, 久保明弘, 青野光子, 鎌田 博, 佐治 光: シロイヌナズナにおける GST3 遺伝子の初期応答機構の解析, 第46回日本植物生理学会年会, 新潟, 2005.3
- 山室千鶴子, 筒井友和, 浅田 裕, 吉岡博文, 玉置雅紀, 小川大輔, 松浦英幸, 吉原照彦, 池田 亮, 山口淳二: シロイヌナズナ恒常的細胞死形質変異株 *cad1* の単離と解析, 第46回日本植物生理学会年会, 新潟, 2005.3
- 田中洋子, 佐野俊夫, 玉置雅紀, 中嶋信美, 近藤矩朗, 馳澤盛一郎: シロイヌナズナのアブシジン酸による気孔閉鎖に対するエチレンの阻害作用, 第46回日本植物生理学会年会, 新潟, 2005.3
- Tamaoki M., Takahashi H., Nakajima N., Aono M., Kubo K., Saji H.: Analysis of early response for Glutathione S-transferase 3 (*AtGST3*) expression in *Arabidopsis thaliana*., *Plant Biol.* 2005, Seattle, 2005.7
- 吉田征司, 玉置雅紀, 鹿野岳志, 中嶋信美, 青野光子, 久保明弘, 鎌田 博, 井上康則, 佐治 光: シロイヌナズナの細胞質型 DHAR はオゾン耐性に関与する, 第46回大気環境学会年会, 名古屋, 2005.9
- 田中洋子, 佐野俊夫, 玉置雅紀, 中嶋信美, 近藤矩朗, 馳澤盛一郎: サイトカイニン, オーキシンはエチレンの合成を介して ABA による気候閉鎖を阻害する, 日本植物学会第69回大会, 富山, 2005.9
- 玉置雅紀, 小川大輔, 中嶋信美, 青野光子, 久保明弘, 鎌田 博, 佐治 光: オゾン感受性の異なるシロイヌナズナを用いた QTL 解析, 第47回日本植物生理学会年会, つくば, 2006.3
- Tsuji N., Takada Y.: New algorithms for the irreplaceability index: application to coral reefs, *Future Mar. Anim. Popul. Jpn. Meet.(invited)*, Kyoto, 2004.12
- 辻 宣行, 辻 和希, 菊池友則: 社会性昆虫における順位制, 第23回日本動物行動学会, 福岡, 2004.12
- 高田宜武, 辻 宣行, 渋谷拓郎, 藤岡義三, 大葉英雄, 木村 匡, 下池和幸, 阿部 寧, 橋本和正: 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, 第53回日本生態学会大会, 新潟, 2006.3
- 辻 和希, 菊池友則, 大西一志, 諏訪部真友子, 佐々木智基, 川原健悟, 日高雄亮, 丸山 泉, 川端俊一, 辻 宣行: アリ相からみた山原における林道とそのエッジ効果, 第53回日本生態学会大会, 新潟, 2006.3
- Tsubaki Y.: A condition dependent signal and a status dependent response, 27th Int. Ethological Conf., Tubingen, 2001.8
- 辻 宣行, 椿 宜高: Irreplaceability を用いた評価 - 「里山」の生物多様性 -, 第49回日本生態学会大会, 仙台, 2002.3
- 椿 宜高: 行動学の基礎と応用: 相互リンクが新しい展開をうむ, 日本動物行動学会20回大会, 東京, 2002.3
- 椿 宜高: 野生生物の生息地の好適性評価と大スケール分布の地図化の試み: カワトンボを例に, 第49回日本生態学会大会, 仙台, 2002.3
- 椿 宜高: 生物多様性の面からの都市再生: 野生動物の生息地を広域地図上に表現する試み, 自然共生型流域圏・都市再生イニシアティブフォーラム, 東京, 2002.6
- Tsubaki Y.: Message from a dragonfly-a condition dependent signal and a status dependent response, 8th INTECOL Int. Congr. Ecol. Chang. World, Seoul, 2002.8
- Tsubaki Y.: Habitat suitability assessment for a calopterygid damselfly in a watershed landscape, 3rd Worldwide Dragonfly Assoc. Int. Symp. Odonatol., Beechworth, 2003.1
- 辻 宣行, 椿 宜高: 種数による保全の優先度, 2003年度日本生態学会関東地区会例会, 東京, 2003.2
- 中原美理, 椿 宜高: アオモンイトトンボの野生系と近交系の繁殖力比較 - 交尾はいつまで有効か?, 第50回日本生態学会大会, つくば, 2003.3
- 椿 宜高: 生息場所としての複合生態系の地図化 - 森林と河川にまたがって生活するカワトンボ, 第50回日本

生態学会大会, つくば, 2003.3

椿 宜高: カワトンボの色彩多型の遺伝様式と多型維持機構, 2003 年度日本蜻蛉学会大会, 佐賀, 2003.5

山肩重夫, 椿 宜高: 高速ビデオ映像を用いたカワトンボの求愛ディスプレイの解析, 日本動物行動学会 第 22 回大会, 札幌, 2003.10

椿 宜高, 辻 宣行: 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, 第 21 回個体群生態学会シンポジウム, つくば, 2003.10

椿 宜高: ヒガシカワトンボ雌の産卵行動 - 配偶者選択と雄間闘争の影響, 日本動物行動学会第 22 回大会, 札幌, 2003.10

Tsuiji N., Tsubaki Y.: Regional and local predicitions of animal habitats in actual landscapes, 1st Okazaki Biol. Conf. Biol. Extinction, Okazaki, 2004.1

Nakahara M., Tsubaki Y.: Functions of multiple sperm-stores in females of the damselfly *Ischnura senegalensis*, 22nd Int. Congr. Entomol., Brisbane, 2004.8

Tsubaki Y.: Effects of eugregarine parasites on adult longevity in the polymorphic damselfly *Mnais costalis* Selys, 22nd Int. Congr. Entomol., Brisbane, 2004.8

Tsuiji N., Takada Y.: New algorithms for the irreplaceability index: application to coral reefs, Future Mar. Anim. Popul. Jpn. Meet.(invited), Kyoto, 2004.12

加藤千尋, 椿 宜高: ミヤマカワトンボの潜水産卵: なぜ長時間の潜水が必要なのか?, 日本動物行動学会第 23 回大会, 福岡, 2004.12

辻 宣行, 椿 宜高: 非接触警護の代替戦略, 日本動物行動学会第 23 回大会, 福岡, 2004.12

鮫島由佳, 椿 宜高: トンボの体温調節法における体サイズ依存性, 第 52 回日本生態学会大会 (ポスター発表), 大阪, 2005.3

山肩重夫, 椿 宜高: ヒガシカワトンボの産卵場所選択, 第 52 回日本生態学会大会 (ポスター発表), 大阪, 2005.3

鐘築由香, 永田尚志, 椿 宜高: 分子系統解析にもとづく日本産メジロの地理的個体群の把握, 第 52 回日本生態学会大会, 大阪, 2005.3

辻 宣行, 椿 宜高: 非接触警護の代替戦略: なわばりの空間構造の影響, 第 52 回日本生態学会大会, 大阪, 2005.3

椿 宜高, 山肩重夫: コピー産卵と配偶者選択, 第 52 回日本生態学会大会, 大阪, 2005.3

Kadoya T., Suda S., Washitani I., Tsubaki Y.: 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, 4th WDA Int. Symp. Odonatolog., Pontevedra, Spain, 2005.7

Tsubaki Y.: Mapping potential habitats using environmental surrogate measures: Importance of forests for dragonflies in Japan, 4th WDA Int. Symp. Odonatolog., Pontevedra, Spain, 2005.7

Nakahara M., Tsubaki Y.: Female's sperm utilization pattern from multiple sperm storage organs in a damselfly *Ischnura senegalensis*, Int. Symp. Sperm Competition Reproductive Strategies, Otaru, 2005.8

Tsubaki Y.: Sperm competition and multiple mating avoidances in a damselfly *Mnais nawai*, Int. Symp. Sperm Competition Reproductive Strategies, Otaru, 2005.8

鐘築由香, 永田尚志, 椿 宜高: ミトコンドリア DNA のコントロール領域とチトクローム b を用いた日本産メジロ (*Zosterops japonicus*) の亜種間の系統関係, 日本鳥学会 2005 年度大会, 松本, 2005.9

中原美理, 椿 宜高: 複数の精子貯蔵器官における精子保存と精子利用, 第 22 回個体群生態学会シンポジウム, 加賀, 2005.10

鮫島由佳, 椿 宜高: オオカワトンボのリフティングパワー: 体温, 飛翔筋量, 脂肪貯蔵量の影響, 第 24 回日本動物行動学会大会, 三鷹, 2005.11

山肩重夫, 椿 宜高: オオカワトンボの求愛ディスプレイと female choice, 第 24 回日本動物行動学会大会, 三

鷹, 2005.11

中原美理, 椿 宜高: メスの貯蔵精子量は多回交尾の指標となるか?, 第 24 回日本動物行動学会大会, 三鷹, 2005.11

辻 宣行, 椿 宜高: 非接触警護の代替戦略: 鳥による壊滅的な捕食の影響, 第 24 回日本動物行動学会大会, 三鷹, 2005.11

保崎有香, 椿 宜高: 脱糞量を利用したトンボ類の摂食量推定, 第 24 回日本動物行動学会大会, 三鷹, 2005.11

鮫島由佳, 椿 宜高: 繁殖戦略としての体温調節, 第 53 回日本生態学会大会 (ポスター発表), 新潟, 2006.3

中原美理, 椿 宜高: メス精子貯蔵器官と精子競争からみた繁殖戦略の進化, 第 53 回日本生態学会大会 (ポスター発表), 新潟, 2006.3

五百城幹英, 高橋真哉, 中嶋信美, 近藤矩朗: キュウリの光回復酵素遺伝子のクローニングとその解析, 日本植物学会第 65 回大会, 東京, 2001.9

大嶋幸子, 小宇田智子, 鈴木千枝子, 芹澤滋子, Edmonds J.S., 中嶋信美, 森田昌敏: タバコ培養細胞 BY-2 及びタバコ植物体 Xanthi NC による Bisphenol A の吸収, 第 4 回日本内分泌攪乱化学物質学会, つくば, 2001.12

小川大輔, 中嶋信美, 玉置雅紀, 青野光子, 久保明弘, 鎌田 博, 佐治 光: オゾン感受性タバコ BelW3 のオゾン障害に対する Tiron の効果, 日本植物生理学会 2002 年度年会, 岡山, 2002.3

Nakajima N., Takahashi S., Tamaoki M., Kubo A., Aono M., Saji H.: Effects of UV-B radiation on seedlings of two *Solidago virgaurea* populations from the Mt. Hakusan area of Japan., 1st Asian Conf. Photobiology, Hyogo, 2002.6

石川優一, 刑部敬史, 中嶋信美, 佐治 光, 伊藤裕司, 市川裕章, 亀谷寿昭, 土岐精一: シロイヌナズナを用いた塩基除去修復と相同組み換えの解析, 日本遺伝学会第 74 回大会, 福岡, 2002.10

大嶋幸子, 中嶋信美, 芹澤滋子, 永野公代, Edmonds J.S., 森田昌敏: Bisphenol A を配糖化するタバコの Glucosyltransferase の性質, 第 5 回日本内分泌攪乱化学物質学会, 広島, 2002.12

小川大輔, 中嶋信美, 玉置雅紀, 青野光子, 久保明弘, 鎌田 博, 佐治 光: オゾン曝露ストレスにおけるサリチル酸合成経路の特定とエチレンの関与, 日本植物生理学会 2003 年度年会, 東大阪, 2003.3

中嶋信美, 玉置雅紀, 久保明弘, 青野光子, 佐治 光: タバコ由来のビスフェノール A グルコース配糖化酵素の性質, 日本植物生理学会 2003 年度年会, 東大阪, 2003.3

平良ひとみ, 中嶋信美, 矢部和夫, 田口 哲: 紫外線により誘発された DNA 損傷量と PSII 電子伝達の量子収率と紫外線吸収物質の経時変化, 2003 年度日本海洋学会春季大会, 東京, 2003.3

大嶋幸子, 中嶋信美, Edmonds J.S., 森田昌敏: Bisphenol A の BY-2 細胞による代謝物と様々な植物による吸収, 日本内分泌攪乱化学物質学会第 6 回研究発表会, 仙台, 2003.12

小川大輔, 中嶋信美, 玉置雅紀, 青野光子, 久保明弘, 鎌田 博, 佐治 光: オゾンを暴露したシロイヌナズナにおけるサリチル酸合成の調節, 日本植物生理学会 2004 年度年会, 東京, 2004.3

中嶋信美, 大嶋幸子, Edmonds J.S., 玉置雅紀, 久保明弘, 青野光子, 佐治 光: ビスフェノール A を配糖体にする植物のグルコース転移酵素 cDNA のクローニング, 日本植物生理学会 2004 年度年会, 東京, 2004.3

Ioki M., Takahashi S., Nakajima N., Saji H., Fujikura K., Tamaoki M., Aono M., Kanna M., Ogawa D., Watanabe M., Kondo N.: Wavelength-dependency of the light-driven transcriptional activation of the cucumber CPD photolyase gene., 6th Int. Symp. Plant Responses Air Pollut. Global Change, Tsukuba, 2004.10

Nakajima N., Oshima Y., Edmonds J.S., Tamaoki M., Kubo A., Aono M., Saji H., Morita M.: Metabolic fate of bisphenol A in tobacco cells., 6th Int. Symp. Plant Responses Air Pollut. Global Change, Tsukuba, 2004.10

Ogawa D., Nakajima N., Tamaoki M., Aono M., Kubo H., Kamada H., Saji H.: The regulation of salicylic acid synthesis in ozone-exposed plant., 6th Int. Symp. Plant Responses Air Pollut. Global Change, Tsukuba, 2004.10

大嶋幸子, 中嶋信美, 近藤卓哉, 森田昌敏: コウキクサ (*Lemna minor* L.) による Estradiol の吸収・代謝, 日本内分泌攪乱化学物質学会 第 7 回研究発表会, 名古屋, 2004.12

毛利 武, 伊ヶ崎知弘, 中嶋信美, 篠原健司: 大気汚染耐性組換えポプラの作出, 第 116 回日本森林学会大会, 札幌, 2005.3

- 青野光子, 久保明弘, 中嶋信美, 玉置雅紀, 佐治 光: シロイヌナズナのオゾン応答におけるジャスモン酸シグナリングの役割, 第 46 回大気環境学会年会, 名古屋, 2005.9
- 中嶋信美, 西澤 徹, 青野光子, 久保明弘, 玉置雅紀, 佐治 光: 関東地方における除草剤耐性遺伝子組換えセイヨウアブラナの分布調査, 第 47 回日本植物生理学会年会, つくば, 2006.3
- 永田尚志: 霞ヶ浦周辺における生息地の分断化がオオヨシキリの個体群構造に与える影響, 第 20 回個体群生態学会, 山形, 2001.10
- 永田尚志: 霞ヶ浦周辺のオオヨシキリのメタ個体群シミュレーション, 日本鳥学会 2001 年度大会, 京都, 2001.10
- 永田尚志: 周辺環境およびヨシ原の分布がオオヨシキリのヨシ原選択に及ぼす影響, 第 49 回日本生態学会大会, 仙台, 2002.3
- Nagata H.: The effect of habitat fragmentation on metapopulation structure in oriental reed warblers around Lake Kasumigaura, central Japan, 23rd Int. Ornithol. Congr., Beijing, 2002.8
- 永田尚志: 鳥類における性比研究の最前線, 日本鳥学会 2002 年度大会, 東京, 2002.9
- 永田尚志: 日本産鳥類の血液寄生虫感染率と輸入鳥類の潜在的影響, 日本鳥学会 2002 年度大会, 東京, 2002.9
- 藤田 剛, 永田尚志: 野生生物の保全に挑む行動学, 日本鳥学会 2002 年度大会, 東京, 2002.9
- 齋藤武馬, 永田尚志, 西海 功, 上田恵介: コジュリンの生態 1. -頭が黒い雄は得なのか?-, 日本動物行動学会第 21 回大会, 東京, 2002.11
- 永田尚志: 利根川下流域における絶滅危惧鳥類オオセッカの現状, 日本生態学会第 50 回大会, つくば, 2003.3
- 永田尚志: 利根川下流域において野焼きが湿地性鳥類群集に与えた影響, 日本鳥学会 2003 年度大会, 弘前, 2003.9
- 永田尚志: 環境変化の指標としての鳥類, 第 6 回水源地生態研究セミナー, 北九州, 2003.10
- 永田尚志, 齋藤武馬, Sodhi N.: コジュリン *Emberiza yessoensis* における繁殖個体群密度と婚外交尾の頻度の関係, 日本動物行動学会第 22 回大会, 札幌, 2003.11
- 永田尚志: 異なったヨシ原の管理手法が鳥類の繁殖に与える影響, 第 51 回日本生態学会大会, 釧路, 2004.8
- 永田尚志: 日本国内のメジロにおける血液寄生虫の感染率の地域変異, 日本鳥学会 2004 年度大会, 奈良, 2004.9
- 江口和洋, 上田恵介, 永田尚志, 早矢仕有子, 高木昌興, 天野一葉, 山口典之, 高木義栄, 河野かつら, 片岡優子: ヘルパーのいるハイガシラゴウシュウマルハシの社会, 日本鳥学会 2004 年度大会, 奈良, 2004.9
- 西海 功, 永田尚志, 中村 豊, 藤田 薫, 樋口広芳, 齋藤武馬, 金 昌會: 島嶼に離散分布するウチヤマセンニュウの保全遺伝学的分析, 日本鳥学会 2004 年度大会, 奈良, 2004.9
- Nagata H.: The present status of some endangered passerines in Japan, 1st EAFES Int. Congr., Mokpo, 2004.10
- 永田尚志: オオヨシキリの繁殖に血液寄生虫が与える影響, 日本動物行動学会第 23 回大会, 福岡, 2004.12
- 永田尚志: 荒川流域においてオオヨシキリの分布を決める要因, 第 52 回日本生態学会大会, 大阪, 2005.3
- 鐘築由香, 永田尚志, 椿 宜高: 分子系統解析にもとづく日本産メジロの地理的個体群の把握, 第 52 回日本生態学会大会, 大阪, 2005.3
- 永田尚志, 金井 裕: 土地被覆データから鳥類の生息をどのくらい予測可能か?, 日本鳥学会 2005 年度大会, 松本, 2005.9
- 江口和洋, 山口典之, 上田恵介, 高木昌興, 永田尚志, Noske R.: ハイガシラゴウシュウマルハシの社会構造, 日本鳥学会 2005 年度大会, 松本, 2005.9
- 鐘築由香, 永田尚志, 椿 宜高: ミトコンドリア DNA のコントロール領域とチトクローム b を用いた日本産メジロ (*Zosterops japonicus*) の亜種間の系統関係, 日本鳥学会 2005 年度大会, 松本, 2005.9
- 植田睦之, 永田尚志, 平野敏明: 関東周辺における森林でのスポットセンサスの効率的な実施方法, 日本鳥学会 2005 年度大会, 松本, 2005.9

- 永田尚志：免疫能と血液寄生虫はオオヨシキリの配偶成功に影響をおよぼすか？，日本動物行動学会第24回大会，三鷹，2005.11
- 永田尚志：利根川下流域のオオセッカの現状と個体群拡大，第3回仏沼シンポジウム，三沢，2006.2
- 永田尚志，金井 裕：自然環境保全基礎調査データを用いた鳥類の生息分布予測，第53回日本生態学会大会，新潟，2006.3
- 江口和洋，山口典之，上田恵介，永田尚志，高木昌興，Noske R.：協同繁殖種ハイガシラゴウシュウマルハシの社会構造，第53回日本生態学会大会，新潟，2006.3
- 福島路生，鈴木 透，岸 大助，金子正美：多重空間スケールでの多様性解析－北海道の淡水魚類群集を例に，第49回日本生態学会大会，仙台，2002.3
- Fukushima M., Kishi D., Takayama H.: Freshwater fish species richness declines due to migratory barriers in streams in Hokkaido, Japan, *Int. Congr. Ecol.* 8th, Seoul, 2002.8
- 福島路生：魚類生息環境の分断と均質化の現状把握と影響評価，第24回魚類系統研究会，札幌，2002.12
- 福島路生：淡水魚類の生息環境分断と均質化の現状把握と評価法，第5回自然系調査研究機関連絡会議，札幌，2002.12
- 亀山 哲，福島路生，島崎彦人，高田雅之，金子正美：河川ネットワークデータを用いた河川構造物による流域分断化の解析－北海道における解析事例－，第1回2003年日本ESRI・ERDASユーザー会，東京，2003.2
- 福島路生，亀山 哲，金子正美，高田雅之：ダムによる生息環境分断と淡水魚類の多様性低下についての定量的評価，日本生態学会第50回大会，つくば，2003.3
- 亀山 哲，福島路生，島崎彦人，高田雅之，金子正美：河川ネットワークデータを用いた河川構造物による流域分断化と生態影響の解析－北海道のサケ科魚類を対象とした解析事例－，景観生態学会第13北九州大会，北九州，2003.6
- Kameyama S., Fukushima M., Shimazaki S., Takada M., Kaneko M.: The watershed fragmentation by dams and its impacts on freshwater fishes, 23rd Annu. ESRI Int. User Conf., U.S., San Diego, 2003.7
- 福島路生：河川環境の変化と淡水魚の多様性－全道を対象としたダムによる流域分断の影響評価－，第4回北海道・淡水魚保護フォーラム「川の環境と魚の豊かさ－現状から復元を考える」，旭川，2003.7
- Fukushima M., Kameyama S., Takada M., Kaneko M.: Declining freshwater fish species richness above dams-evidence from historical survey data of Hokkaido, Japan, *Am. Fish. Soc.* 133rd Annu. Meet., Quebec City, 2003.8
- Kameyama S., Fukushima M., Shimazaki H., Takada M., Kaneko M.: Fragmentation of river networks —The effects of dams on freshwater fishes in Japan—, *Am. Fish. Soc.* 133rd Annu. Meet., Quebec City, Canada, 2003.8
- 亀山 哲，福島路生，島崎彦人，高田雅之，金子正美：河川ネットワークデータを用いた河川構造物による流域分断化と魚類への影響，2003応用生態工学会第7回福岡大会，北九州，2003.10
- 福島路生，亀山 哲，高田雅之，金子正美：ダムによる流域分断と淡水魚類の種多様性－北海道における定量的解析，2003年応用生態工学会第7回大会，福岡大会，北九州，2003.10
- 亀山 哲，福島路生，島崎彦人，高田雅之，金子正美：流域圏生態系保全のためのGIS－河川ネットワークの解析技術－，第22回2004年琵琶湖研究シンポジウム，大津，2004.2
- Steel A., Sanderson B., Feist B., Fullerton A., Sheer M., Burnett K.M., Fukushima M.: Landscape analyses for understanding and managing freshwater ecosystems., 4th World Fish. Congr., Vancouver, BC, Canada, 2004.5
- 亀山 哲，福島路生，島崎彦人，金子正美，矢吹哲夫：GISを用いた流域構造変化と釧路湿原の変化に関する定量的解析，第51回日本生態学会大会，釧路，2004.8
- 福島路生：公募シンポジウム「大規模長期生態学研究とは何か？」ダムによる流域分断と淡水魚の多様性低下－北海道における過去40年のデータから言えること－，第51回日本生態学会大会，釧路，2004.8
- 福島路生，亀山 哲，宮下七重，宮下 衛：流域生態系の再生プランを目的とした河川ネットワーク解析技術開発，第20回全国環境研究所交流シンポジウム「生物指標・モニタリング－生物を用いて環境を測る」，つくば市，2005.2

- 福島路生, 亀山 哲: 潜在生息モデルを利用した淡水魚類の保全, 第 52 回日本生態学会大会, 大阪, 2005.3
- 福島路生: 北海道の河川と魚類の現状-連続性と多様性の喪失とその影響評価-, 第 6 回北海道・淡水魚保護フォーラム, 札幌, 2005.7
- Fukushiam M., Kameyama S.: Effects of dams on freshwater fish diversity and distribution in Hokkaid, Japan, ESA 90th Annu. Meet., Montreal, 2005.8
- Fukushima M., Kameyama S.: Predictive habitat models for assessing anthropogenic influences and conducting gap analysis on two salmonid species, Am. Fish. Soc. 135th Annu. Meet.(Poster Session), Anchorage, 2005.9
- Smoker W., Gharrett A., Joyce J., Hebert K., Fukushima M.: Local adaptation in an Alaskan pink salmon stream II. Temporal structure and the genetics of development rates., Am. Fish. Soc. 135th Annu. Meet., Anchorage, 2005.9
- Fukushima M., Kameyama S.: Effects of dams on freshwater fish diversity and distribution in Hokkaido, Japan, DIVERSITAS Open Sci. Conf., Oaxaca, Mexica, 2005.11
- Fukushima M.: Effects of the landscape-scale habitat fragmentation and global warming on freshwater fish distribution and diversity, 11th Jpn.-U.S. Workshop Global Change, Yokohama, 2005.11
- 福島路生, 亀山 哲, 宮下七重, 宮下 衛: 流域生態系の再生プランの支援を目的とした河川ネットワーク解析技術の開発, 第 8 回自然系調査研究機関連絡会議, 大阪, 2005.11
- 韓 美徳, 福島武彦, 福島路生, 亀山 哲: ダム建設の淡水魚類への影響解析-全国スケールでの評価, 第 53 回日本生態学会大会, 新潟, 2006.3
- 福島路生, 岩館知寛, 金子正美, 矢吹哲夫, 亀山 哲: 直線化による河川環境の均質化と淡水魚類群集との関係, 第 53 回日本生態学会大会, 新潟, 2006.3
- 北野 聡, 尾関雅章, 前河正昭, 福島路生, 亀山 哲: 長野県における河川の連続性と魚類の多様性, 第 53 回日本生態学会大会 (ポスター発表), 新潟, 2006.3
- 吉田勝彦: 多様性は偶然に変動するか?, 日本生態学会第 49 回大会, 仙台, 2002.3
- 吉田勝彦: 多様性変動は確率的か?, 日本古生物学会 2002 年年会, 勝山, 2002.6
- 吉田勝彦: 長期間の多様性変動は確率的な攪乱の影響を受けるか?, 個体群生態学会研究集会初夏の学校, 東京, 2002.6
- 吉田勝彦: コンピューターシミュレーションを用いた多様性変動の研究について, 日本古生物学会 2003 年年会, 静岡, 2003.6
- 吉田勝彦: 硬組織からの情報抽出におけるコンピューターシミュレーションの果たす役割, 日本古生物学会 2003 年年会, 静岡, 2003.6
- 吉田勝彦: 捕食-被食関係は生物の巨大化を促進するか?, 日本古生物学会 2003 年年会, 静岡, 2003.6
- 吉田勝彦: 食う-食われるの関係は生物の大型化の原因となるか?, 日本進化学会第 5 回大会, 福岡, 2003.8
- 吉田勝彦: 一次生産量変動が群集組成に与える影響, 日本古生物学会 2004 年年会, 北九州, 2004.6
- 吉田勝彦: ジェネラリストは変動環境下で絶滅しにくいのか?, 第 51 回日本生態学会大会, 釧路, 2004.8
- 吉田勝彦: 一次生産量変動が食性の進化に与える影響, 第 5 回地域生態系共同研究プロジェクト研究集会, 堺, 2004.12
- 吉田勝彦: 食物網モデルの妥当性の検証について, 第 52 回日本生態学会大会, 大阪, 2005.3
- 吉田勝彦: 計算機入門, 日本古生物学会 2005 年年会, 東京, 2005.7
- 吉田勝彦: 生態系の数理モデル, 日本古生物学会 2005 年年会, 東京, 2005.7
- 吉田勝彦: 生物群集の進化の履歴と侵入生物が引き起こす絶滅の規模の関係について, 第 7 回日本進化学会大会, 仙台, 2005.8
- Yoshida K.: A simulation study of biological invasion, 日本数理生物学会第 15 回大会 (ポスター発表), 横浜, 2005.9
- 吉田勝彦: 侵入生物による絶滅のコンピュータシミュレーション, 第 53 回日本生態学会大会 (ポスター発表), 新潟, 2006.3
-

REPORT OF SPECIAL RESEARCH FROM
THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES, JAPAN

国立環境研究所特別研究報告

SR-72-2006

平成18年12月28日発行

編 集 国立環境研究所 編集委員会

発 行 独立行政法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16番2

電話 029-850-2343 (ダイヤルイン)

印 刷 株式会社 イ セ ブ

〒305-0005 茨城県つくば市天久保2丁目11-20

Published by the National Institute for Environmental Studies

16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506 Japan

December 2006

無断転載を禁じます