

ISSN 1346-776X

NIES RESEARCH BOOKLET

環境儀

NO. 18

OCTOBER 2005



国立環境研究所の研究情報誌

外来生物による
生物多様性への影響を探る

環境儀

NIES RESEARCH BOOKLET No.18 OCTOBER 2005

独立行政法人

国立環境研究所

独立行政法人

国立環境研究所

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

人間活動のグローバル化が進む中、
大量の外来生物が世界中から移送され、
日本の生物多様性が脅かされています。





人間の活動が自然と過度に関わるようになってきたことが多くの生物の絶滅を招き、生物多様性の危機が世界中で提起されています。1992年にブラジルのリオ・デ・ジャネイロで開かれた国連環境開発会議（地球サミット）で生物多様性の保全を目的に「生物多様性条約」が採択されたのも、野生生物の絶滅を防ぎ、生物多様性を何とか確保しようという考え方がその中心でした。

生物多様性を脅かす深刻な問題として、開発による自然破壊は常に大きく取り上げられていますが、深く静かに進む外来生物問題も、実はとてもやっかいな問題です。身近な生物が次々と外来生物に入れ代わっています。日本では現在、2000種類以上の外来生物が定着し、長い年月をかけてつくりあげられた日本固有の在来生物の種と生態系が脅かされています。

国立環境研究所では、2001年度から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プロジェクト」を立ち上げ、生物多様性に関する研究を進めています。本号ではその中から、外来生物による生物多様性への影響を取り上げました。



C O N T E N T S

外来生物による 生物多様性への影響を探る

- Interview
研究者に聞く P4~P9
- Summary
輸入昆虫の生態影響評価研究の成果から — セイヨウオオマルハナバチとヒラタクワガタを例として
..... P10~P11
- 研究をめぐる
外来生物問題、世界の視点と動向
..... P12~P13
- 「生物多様性の減少機構の解明と保全プロジェクト」の全体構成
..... P14

●表紙写真：雑種ヒラタクワガタの大顎

Interview 研究者に聞く!!

2001年に開始した研究課題「侵入生物による生物多様性影響機構に関する研究」では、さまざまな侵入生物が生物多様性に影響を及ぼすことを明らかにしてきました。そこで、この研究課題の代表でもある五箇さんに、近年輸入が急増し、一説には5億匹も国内にいるといわれる外国産クワガタ、授粉用農業資材として輸入され、毎年700万匹が流通しているセイヨウオオマルハナバチの事例を中心に、外来生物がどのように在来生物や生態系に影響を与えるかについてお聞きしました。



五箇公一・生物多様性の減少機構の解明と 保全プロ

生物多様性への影響を遺伝子組成にまで踏み込んで解明

1: 生物多様性と外来生物の影響

Q: 今回のインタビューは昆虫の研究の話が中心になります。話に入る前に、五箇さんと昆虫研究との出会いについてお話しいただけますか。

五箇: 私はもともと子供の頃から生き物を飼うのが好きで、将来は生物学者になりたいという夢がありました。高校生のときに現実を突きつけられて迷いましたが、結局農学部を選び、当初はバイオテクノロジー（生物工学）をやっていました。ところがある時、ダニの実習で目覚めてしまいました（笑）。顕微鏡でダニを見ていたら、やっぱり生きて動いているものが面白くてたまらないのです。それで昆虫生態学を専攻しました。

大学時代から専門に研究したのはハダニという植物の葉に付く農業害虫です。ハダニの遺伝学を研究し、民間会社の農業研究部に就職してハダニ用の殺虫剤の研究を始めました。その後、農業の研究を通して、農

業害虫の薬剤抵抗性という進化現象と、その進化を支える害虫集団の遺伝的多様性を目の当たりにして、生物多様性という概念に大きな興味を抱くようになり、論文博士を取得後、現在の国立環境研究所に入所しました。そして、セイヨウオオマルハナバチやクワガタという新しい材料を使った研究を通じて外来生物による生物多様性への影響という研究テーマに取り組むようになりました。

Q: 日本に入ってくる外来生物には、一般的にどのような問題があるのでしょうか。

五箇: 日本は島国なので、在来生物は、激しい生存競争を勝ち抜いてきた大陸のものに比べて基本的に脆弱です。島国では、限られた生物相が固有の生態系を維持しており、大きくて強い外来生物が入ってくると、圧倒されてしまう可能性があります。

Q: ただ在来生物の方が最初は数が多いわけですし、環境にも慣れています。異なる環境からやってきた外来

生物多様性・生物多様性条約・ 生物多様性国家戦略

私たちの日々の営みは、多くの生き物の相互作用が作り出す生態系の機能によって維持されています。種々の外乱に抗して生態系が健全な機能を発揮するためには、外乱に柔軟に対応できる遺伝子や生物種が存在するなど、そこに生息する生き物たちが変化に富んでいる必要があります。この生き物に変化に富んでいる状態を生物多様性が高いといっています。地球上の生物多様性を高く維持するためには、多様な生態系、多様な生物種そして多様な遺伝的変異を維持することが大切です。また、各生態系は進化的歴史の現時点の一面ともいえます。過去の進化痕跡をとどめるとともに、未来の進化のゆりかごでもあるのです。私たちホモ・サピエンスが進化の中で生じたことの重要性を考えれば、地球上に多様な生態系

を維持しておくことの大切さはいうまでもないことです。ところが近年、人間活動の拡大は地球規模で生物多様性の急速な減少をもたらしています。長きにわたる進化の産物である生物種や遺伝子は、一度失われると取り戻すことはできません。

世界中の生物学者、環境保護活動家、市民らは、こうした生物多様性の危機に対する警鐘を鳴らし続けています。そうした活動が実を結び、1992年の国連環境開発会議（地球サミット）で生物多様性条約が採択されました。この条約は、締約国に対して①地球上の多様な生物をその生息環境とともに保全すること②生物資源を持続可能であるように利用すること③遺伝資源の利用から生ずる利益を公正かつ衡平に配分すること——を求めています。締約国は2005年2月現在で188カ国。締約国が集まる締約国会議も現在まで7回開催されています。

生物多様性条約を締結した各国政府は、生物多様性の保全とその持続可能な利用を目的として、国家戦略を策定するこ



の解明と 保全プロジェクト侵入生物研究チーム総合研究官

生物が生き残るのは難しいのではないのでしょうか。

五箇: 確かに、生物は生息地に適応して進化していますから、本来ならば新しい環境は非常にリスクが高いのです。『侵略の生態学』という本を書いた生物学者のC.S.エルトンによると、外来生物はその10%しか新しい環境への定着に成功せず、さらにそのうちの10%しか在来生物との競争には勝てないという法則があるとされています。つまり外来生物の99%は実は侵略に失敗してきたのです。

ところが、そこに人間が介在すると事情が変わってきます。都市化などで今、自然環境そのものがかく乱されて、変動しています。過度の開発で日本の生態系は大きく崩れてしまい、外来生物が簡単に侵入できる環境があちこちに生まれてしまったのです。

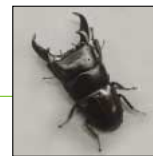
Q: 人間の活動が生物多様性を脅かしているのですね。

五箇: 一番に影響しているのは道路やダム建設など開発による生息地の破壊です。商業目的での野生生物の乱獲も大きな影響要因です。そして近年、とくに外来生物による生態系影響が重要視されるようになりました。現在日本には、わかっているだけでも2000種

とになっています。1993年に条約に加盟した日本は、1995年に生物多様性国家戦略を策定しました。さらに、その見直しを経て、2003年3月に策定されたのが現在の新・生物多様性国家戦略です。この新しい国家戦略では、①外来生物の問題等の新たな脅威に対する保全の強化、②すでに失われた自然の再生、③社会的なアプローチの積極的推進による持続可能な利用の奨励の三点が大きな柱としてあげられています。2005年6月1日から施行された「外来生物法」は、この国家戦略の理念の一部が法制化されたものと考えられます。

外来種・移入種・侵入種

外来生物に関する言葉には、その定義が紛らわしいものが少なくありません。まず外来種 (Alien Species) とは、意図



にも上る外来生物が定着し、在来生物を圧迫していると考えられています。輸入物資にくっついて偶然入ってくる外来生物も多数ありますが、とくに日本で顕著なのは、商業目的や愛玩用に、意図的に外国産の生き物を導入するケースが非常に多いことです。その中に、今回紹介する外国産クワガタやセイヨウオオマルハナバチも含まれます。

2: クワガタムシの系統樹からわかったこと

Q: それでは具体的な研究の話に入ります。クワガタの研究を始めたのは、どのようなきっかけだったのでしょうか。

五箇: 国立環境研究所に研修にきていた横浜植物防疫所の職員の方から、最近クワガタの審査でたいへんだという話を聞いたのです。年間に万を超える単位で

■ 図1 ニジイロクワガタ



現在、520種類もの外国産クワガタが輸入されています。写真は中でも人気の高いオーストラリア産のニジイロクワガタ。

的、非意図的にかかわらず、人為的に移動させられた種(亜種、地域個体群なども含む)を指します。少し前までは、この外来種と同じ意味で移入種という言葉が使われていました。ところが生態学で移入種というと、自発的に移動した種まで含んだ概念になります。そのため、人為的に移動させられた外来種と同じ意味で使うのはおかしいという判断で、最近あまり使われなくなっています。

外来種の中で、新しい地域に導入もしくは拡散した場合に生物多様性を脅かすと考えられる種は侵略的外来種 (= 侵入種、Invasive Alien Species) と呼ばれています。ちなみに、生態学的にいうと、たとえば沖縄から本州に生物が持ち込まれば、それは外来種であり、さらに侵入種となる可能性が高くなります。しかし、「外来生物法」という法律上では、移動の境界は国境だけなので、国内を移動した生物は外来生物とは呼びません。

Interview 研究者に聞く!!

入ってきているというので驚きました。前年の1999年からクワガタの輸入が始まったのは聞いていたが、知らない間にもものすごい勢いで市場が拡大していたのです。調べてみると、横浜だけで年間に30万匹近くも輸入されていました。種類もその時点で300種以上、現在は520種ものクワガタが輸入許可されています(図1)。クワガタは世界中で約1500種類といわれていますから、その3分の1が日本に輸入されていることになります。

Q: 愛玩用ですよね。地域は、どのあたりからですか。

五箇: 世界中ほぼ網羅していますね。アジア、オセアニア、アフリカ、ヨーロッパ、南北アメリカ。愛玩用とはいっても、これはもう文化的な現象だと思いますね。世界を見回しても、クワガタやカブトムシなどを見て楽しんだり、家の中で継代飼育して可愛がるのは日本だけです。おそらく日本古来の独特の文化なのでしょう。現在国内で生存している外国産のクワガタとその子孫は、一説には5億匹ぐらいいるのではないかとわれています。

Q: そんなにすごいのですか。そうなると日本に輸出する国の側でも、乱獲の問題がありそうですね。

五箇: 出てきています。東南アジアでは、クワガタなどの甲虫は価値がないと見なされていますから、大量に捕って輸出してきます。飼育はコストがかかりますから、輸入されているクワガタは、ほとんどすべて野



生のもので。乱獲が進んでクワガタがいなくなった地域もあります。これも国際的な生物多様性への脅威です。

Q: 輸入された外来のクワガタは、国内の生態系にどのような悪影響を及ぼすのですか。

五箇: 逃げ出すなどして、野外に定着することが考えられます。そうすると在来のクワガタと競争になります。外来のクワガタの中には体も大きく、力の強いものもいます。日本のクワガタが、エサの取り合いで負けることも十分に考えられます。その結果、日本のクワガタが圧倒されて減少する危険性もあります。また、外来種と在来種が交尾して雑種ができる交雑(こうざつ)の問題もあります。

実際に交雑実験を行ってみたところ、日本国内で大量に販売されている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は交雑可能で、子孫も残せることがわかりました(図2)。さらに、継続輸入の問題もあります。逃げ出した輸入クワガタがその年で絶滅したとしても、次の年になると、また大量に輸入されます。越年して定着はできなくても、毎年エサの奪い合いと交雑は繰り返されることになり、日本のクワガタを圧迫し続けることになり、これだけでも十分に脅威です。

Q: 交雑が進むと、具体的にどのような問題が起こるのですか？

■ 図2 外来クワガタと在来クワガタの掛け合わせ



スマトラオオヒラタクワガタのメス(下右・体長5cm)と日本産ヒラタクワガタのオス(下左・体長5cm)との交雑実験では、巨大なF1雑種(上・体長9cm)が得られました。

系統樹と遺伝子解析

系統樹は、生物の進化の道筋を示した図です。生物の各群はちょうど木の枝のように枝分かれで示されると考え、系統樹を最初に描いたのはラマルク、ダーウィンらの進化論者でした。初期の系統樹は動植物のさまざまな形態上の違いから生物群の分類と進化の道筋を類推していましたが、遺伝子工学が大きく進歩した現在では、遺伝子解析によって理論的に厳密な形の系統樹を描くことができるようになりました。

遺伝子解析では、遺伝子の本体であるDNA(デオキシリボ核酸)の遺伝情報を解析します。遺伝情報は、DNAの鎖上での4つの塩基(アデニン(A)、グアニン(G)、シトシン(C)、チミン(T))の配列で伝えられ、この4種類が延々と並ぶ塩基配列の差異を調べれば、さまざまな個体群が遺伝的に近いのか、遠いのかと



五箇: たとえば同じ種のクワガタでも、地域によって遺伝子の組成は違ってきます。もともとは同じ遺伝子を持つ生物種でも、長い時間をかけて移動し別々の地域で進化を繰り返すと、遺伝子頻度に変化が生じたり、新しい塩基配列の遺伝子ができたりします。現代の生態学では、このように遺伝子組成の一部が異なった生物集団は、進化的重要単位として、種の分類以上に重視されています。ところが、外来のクワガタがやってきて在来のクワガタと交尾し、子孫を残したとしますね。その場合には、分化してから150~500万年もほかの集団から隔離され、独立していた日本在来のクワガタ集団の遺伝子組成に外国産の遺伝子が浸透して、遺伝子組成をかく乱することになります。こうしたかく乱の進行は地域固有の遺伝的集団の絶滅を意味します。日本の島ごとに複数生息している固有の遺伝子組成を持った地域個体群が、このように交雑によってなくなってしまうと、日本在来のクワガタの生物多様性を低下させてしまうことになります。

Q: クワガタの研究ではそれを示すために遺伝子を解析して系統樹(図9参照)を作ったのですね。

五箇: そもそも日本のクワガタは絶滅危惧状態です。さらに外来のクワガタに圧迫されたり交雑する危険性までありますから、保全のためには追跡調査が必要です。いまある地域個体群の遺伝的な固有性をデータベースとして記録しておかなければならないのです。

いう遺伝的な距離を測ることが可能です。また、塩基配列が変化する速度はほぼ一定なので、遺伝的な距離と変異の速度を掛け合わせると、遺伝子組成の違う個体群が分化してから時間的にどれくらい経過しているのかが計算できます。

進化的重要単位 (ESU)

Evolutionarily Significant Unit

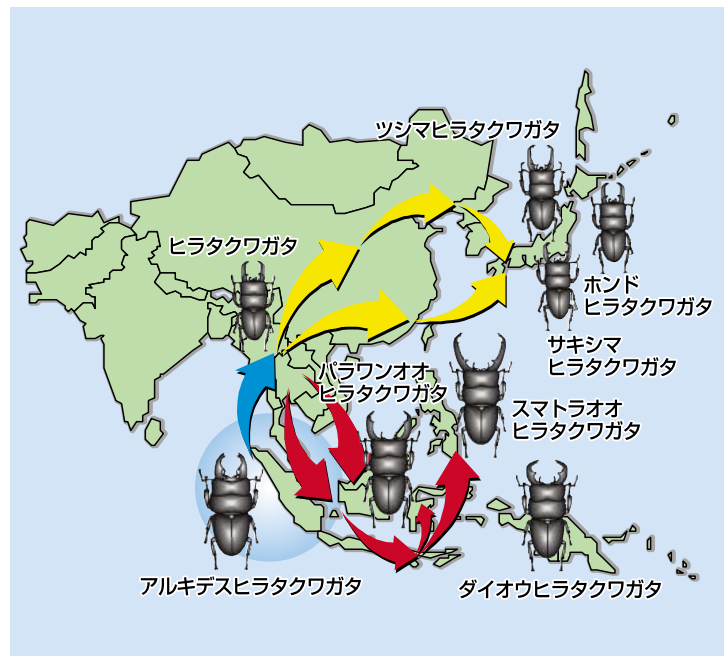
O.A. ライダー(1986)らが提唱した種レベル以下の生物集団の保全単位。従来の種概念に基づく生物の分類に伴う問題(たとえば形態的には差がない同一種の集団間で生殖隔離が生じたり、逆に形態的にはまったく別種とされる生物集団間で交雑が成立するなど)を越えて、生物集団の系統進化という歴史性に価値判断基準をおいた画期的な生物集団の分類概念。



そこで、日本の在来クワガタの遺伝子のデータベースを作りました。さらに、外国産のクワガタについても、同様にデータベースを作りました。その際重視したのは、日本の在来ヒラタクワガタと交雑の可能性がある東南アジア産や中国産のヒラタクワガタです。遺伝子を解析すると、地域ごとの個体群の遺伝的距離と、その分化がいつから起きているのかもわかります。その結果として、日本と東南アジア全域をカバーしたヒラタクワガタの系統樹ができあがりました。

Q: その系統樹から、どのようなことがわかったのですか？

■ 図3 ヒラタクワガタの分布拡大経路



DNAの解析によってアジア域におけるヒラタクワガタの分布拡大経路が推定できます。交雑が可能だったスマトラオヒラタクワガタと日本のヒラタクワガタは、分化してから150~500万年も経過しています。

ライダーによれば、たとえ同一種でも形態的にあるいは遺伝的に区別がつく生物集団や、進化的歴史が異なる集団はESUとみなされるということになります。

たとえばここで示したヒラタクワガタの場合、それぞれの大陸や島に分散している集団は、それぞれ長きに渡る進化プロセスの果てに独自の遺伝子組成と形態的特徴を持つ集団へと分化しており、その歴史的重みからもそれぞれ個別に保全されるべき集団とみなされています。ただし、この概念は極めて観念的であり、どれだけ遺伝的に分化していればESUとみなされるのかについての明確な規準はなく、扱う種や研究者の判断によってESUは大きく変動します。

現在もその概念の意義づけや規準についての議論は続いています。重要なことは生物集団の保全規準に歴史的価値という概念を取り込んだ点です。

Interview 研究者に聞く!!

ようか。

五箇: 簡単に解説しますと、東南アジアで生まれたヒラタクワガタはインドシナ半島を中心として、北方の集団と南方の集団に大きく分化し、それぞれの集団は北進および南進を別々に繰り返して、150~500万年という長い時間をかけて地域ごとに異なる遺伝子組成を持つ個体群へと分化しました(図3)。日本のヒラタクワガタはその末裔であり、他の個体群にはない非常にユニークな遺伝子組成を持っています(詳細はサマリ-参照)。

Q: しかし交雑はできたのですね。

五箇: 生殖隔離が働かず、交雑して、雑種を残せることがわかりました。外来のクワガタと日本在来のクワガタが、こうして交雑していくと、日本固有のクワガタの遺伝子が失われてしまいます。同時に、非常に長い時間をかけた進化の歴史もかく乱され、消えてしまうこととなります。

3: ハウスから逃げ出して野生化するの が問題

Q: 次にセイヨウオオマルハナバチの研究に移りましょう。研究のきっかけからお話していただけますか。

五箇: 研究を始めたのは、クワガタよりも早くて1996年からです。私はこの研究所に入所したばかりでしたが、日本生態学会でセイヨウオオマルハナバチの問題を初めて耳にしまして、これは面白いと思いました。ちょうどその年に、このハチは日本に本格的に輸入され、大量販売されるようになりました。その時点から在来のマルハナバチの遺伝子組成を調べ、さらにセイヨウオオマルハナバチの遺伝子組成を調べておけば、生態系の中



でハチの遺伝子の変化を追跡できると思い、研究を始めました(図4)。

Q: クワガタは愛玩用でしたが、セイヨウオオマルハナバチは農業用の資材として入ってきたのですね。

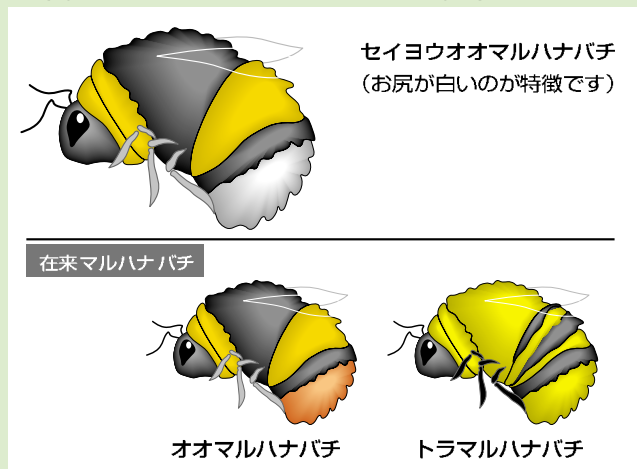
五箇: 主にハウストマトの授粉用です。トマトは風媒花といって、花粉を風で飛ばして授粉しますので、風のないハウス内では、授粉しにくいのです。しかも風媒花は花粉は作ってもミツは作りませんから、普通のハチは、花に寄ってきてくれません。その点、マルハナバチはミツだけではなく花粉もたくさん集めにくるハチなので、風媒花の花粉を媒介させるのに都合がよいのです(図5)。そういう授粉の目的でヨーロッパで商品化され、世界中に広まったのがセイヨウオオマルハナバチです。日本でも現在は年間に7万コロニー(コロニー: 巣箱。1箱に約100匹の働きバチがいる)も流通しています。単純計算すると、700万匹ものセイヨウオオマルハナバチが、国内で利用されていることとなります(図6)。

このハチは秋には死んでしまいます。巣も1年で崩壊するので、農家は毎年コロニーを買うこととなります。ところが、巣箱の管理が悪いと、新しい女王バチが野外に逃げ出して生き延びてしまうことがあります。野外で、同じように逃げ出した雄バチと交尾して越冬すると、翌年の春には、巣を作ります。こうした例がすでに北海道では観察されています。このようにして野生

生殖隔離

ひとつの生物集団が別々の生物集団に分化する際には、集団の間に遺伝的な障壁が生まれます。この障壁を生殖隔離と呼びます。分化の際にはそれぞれの集団の遺伝子組成がお互いに異なるものへと変化するために、集団間の個体同士で交尾ができなくなったり、交尾ができて子供が産まれなかったり、あるいは子供が産まれても生存率が低かったり、次の世代を残すことができなくなったりします。生殖隔離のメカニズムは、いったん分化した集団が再び出会ったとき、交雑を防ぐために生まれるという説もあります。

■ 図4 セイヨウオオマルハナバチと在来マルハナバチ





ハチ逃亡防止用ネットを張ったトマトハウス



化したセイヨウオオマルハナバチが在来マルハナバチと競争して、圧迫する可能性は高いのです。

Q: 交雑の危険性はないのでしょうか。

五箇: 当初はその可能性が危惧されました。しかし、室内の交雑実験により、交尾はするものの雑種はなかなか生まれないということがわかりました。ただ問題なのは、交尾後に授精が成立し、授精卵はふ化できないまま死んでしまうことです。これは十分に生態リスクになります。たとえばハウスから逃げ出した雄バチが、在来の女王バチと交尾すると、その女王バチは事実上不妊になってしまい、次世代を作れなくなります。

4: 生物多様性の保全には当事者の理解が基本

Q: 具体的なセイヨウオオマルハナバチ対策はどのようなことが考えられるのでしょうか。輸入禁止も視野に入れるべきなのですか。

五箇: 在来のマルハナバチを圧迫するからといって、セイヨウオオマルハナバチの使用を簡単に禁止することもできません。年間に7万コロニーも流通しているのは、農業経済的に有用な側面が大きいからです。セイヨウオオマルハナバチのおかげでトマトの品質もよくなっていますし価格も維持でき、ハウス内のハチを殺さないために低農薬のトマト作りの努力も広く浸透

してきました。こうした利点と生態影響のリスクとのバランスをどう取るのが大事です。

セイヨウオオマルハナバチの持続的な利用の可能性を探って、産官学が共同で問題解決に乗り出しました。ハウス農家の方々は、いつも植物、動物など生き物を相手に仕事をしています。自分たちの農業を守るためにも、生き物を大切にしていくことが求められ、生物多様性にもっとも敏感な方々です。研究の成果を携え、農家の方々、さらに自治体、国と協力して、生物多様性を保全しながら農業を守る道を探りました。その結果、ハウス全体にネットを張ってハチが逃げ出さないようにするなど、適正処理による生態リスク低減、生態系との共生をめざした対策が進められています。

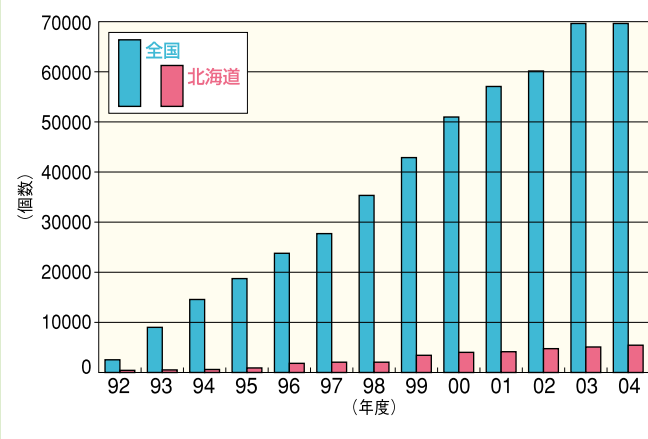
Q: 研究の成果が具体的対策に結びつく。研究者冥利に尽きるお話ですね。

五箇: 今回は当事者の理解が得られた、非常にうれしい例でした。しかし国内に存在する多くの外来生物問題は解決が非常に難しいものばかりです。2005年6月に施行された「外来生物法」は、こうした外来生物問題への対策を一步進めたものですが、法律だけでは問題は解決しません。外来生物問題は、現在の日本が輸入大国・消費大国であることから、必然的に生まれてきた複雑で解決困難な問題です。ですから問題解決の大前提として、外来生物問題は日本人全体の問題だと理解する必要がありますし、日本の国の構造そのものを変えなければ解決しないともいえます。外来生物にあふれている日本の自然環境をどう捉え、どうしていくべきなのか。まさに現代のわれわれが問われているのです。私たち研究者も、生物多様性の価値や生物の地域固有性の意義を明確かつ定量的に説明することをめざした研究を続けていきたいと思っています。

■ 図5 トマトの花に授粉するセイヨウオオマルハナバチ



■ 図6 セイヨウオオマルハナバチ商品コロニーの年別出荷数



Summary

外来生物が日本の生物多様性に及ぼす影響を評価する際に、交雑実験と遺伝子解析による遺伝子データベース作り（その表現としての系統樹作り）は、ユニークな研究手法として評価されています。セイヨウオオマルハナバチとヒラタクワガタに関して、2つの手法を使って得られた研究成果を報告します。

● 野生化のリスクは大きい

日本には在来のマルハナバチが22種類生息しています。これらの中にはセイヨウオオマルハナバチと生態的特性（体の構造や生活史、利用する植物種）が類似したものも多く含まれます。そのため、セイヨウオオマルハナバチが日本で野生化した場合には、利用植物や営巣場所をめぐる競争が生じて、在来のマルハナバチが駆逐される危険性もあります（図7）。

別の生態リスクとして遺伝的かく乱があります。そこで、遺伝的かく乱のリスクを評価するために、交雑実験を行いました。その結果、セイヨウオオマルハナバチと在来種との間に、種間交尾が成立することが確認されました。そして、在来マルハナバチ雌（女王）と外来マルハナバチ雄が交雑すると胚発育のできない雑種卵が生じることが示されました。このことからセイヨウオオマルハナバチは在来マルハナバチの繁殖に悪影響を与える可能性があることがわかりました。

外来のセイヨウオオマルハナバチが持ち込むダニの問題も重要です。体内寄生性のダニに多量に感染すると、マルハナバチは疲弊し、飛べなくなってしまう。このリスクを検証するために、セイヨウオオマル

輸入昆虫の生態影響

— セイヨウオオマルハナバチと

ハナバチの商品コロニーおよび日本の在来マルハナバチ野外集団におけるダニの感染率を調べ、さらに、ダニの遺伝子解析を行いました（図8）。

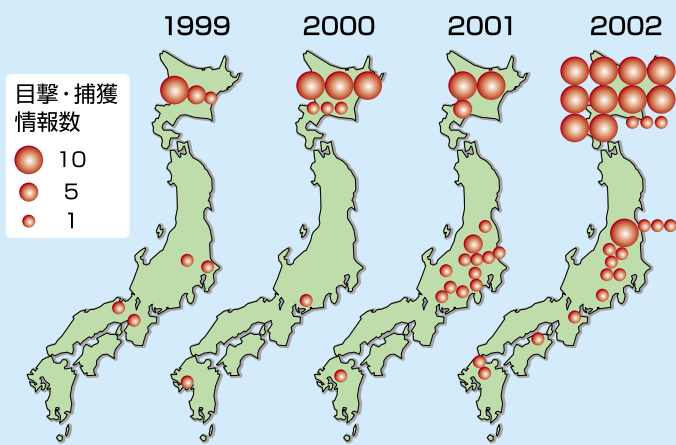
その結果、ダニにはヨーロッパ型と日本型があり、1999年までの調査ではヨーロッパ型のダニは日本国内の在来マルハナバチからは検出されませんでした。2000年に在来のエゾオオマルハナバチからヨーロッパ型のダニが見つかり、野外に逃げ出したセイヨウオオマルハナバチから感染したものと考えられました。セイヨウオオマルハナバチの大量流通は寄生生物の世界的な蔓延を引き起こす可能性があります。

● ヒラタクワガタの分布拡大経路が明らかに

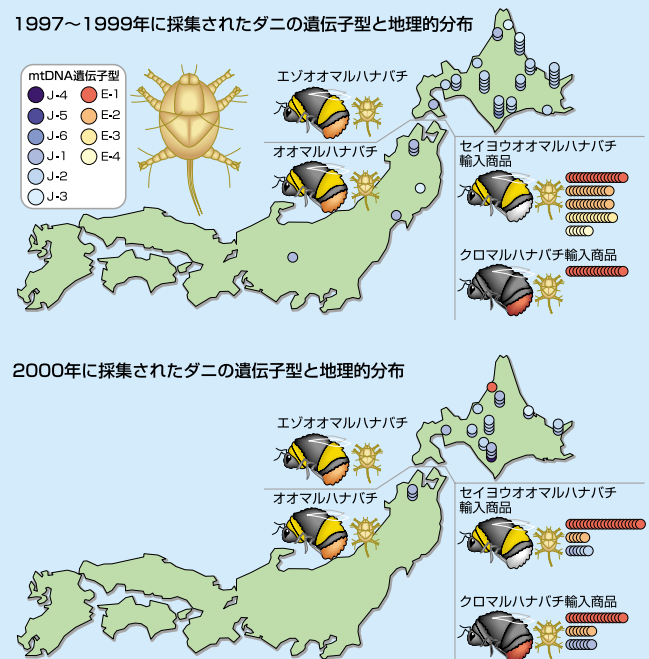
外来のヒラタクワガタが、在来のヒラタクワガタの生態や遺伝子などに与える影響を追跡調査するために、まず日本列島各地から採集されたヒラタクワガタの遺伝子を解析して在来ヒラタクワガタの遺伝子データベースを作りました。また、遺伝子の塩基配列の変異に基づいて遺伝距離を計算し、系統樹を作成しました。さらに、アジア域のヒラタクワガタについても同様の遺伝子解析を行い、データベースを作り、日本を含むアジア域の系統樹を作成しました（図9）。

詳細を図には示せませんが日本の系統樹からわかるのは、日本在来のヒラタクワガタは島ごとあるいは地域

■ 図7 国内におけるセイヨウオオマルハナバチの野外目撃、捕獲情報



■ 図8 オオマルハナバチから採取されたダニの遺伝子型と地理的分布





評価研究の成果から

ヒラタクワガタを例として —

ごとに独自の遺伝子組成を持つ集団に、はっきり分化していることです。こうした系統分化は、その形質と地理的分布によって従来から亜種として区分され、地域名を冠して呼ばれてきたクワガタの分化を、非常によく裏づけています。日本のヒラタクワガタが持つ遺伝子情報の分布は、日本列島の歴史を反映した貴重な遺産だということもできるでしょう。

一方系統樹全体からは、次のような分化過程が推測できます。ヒラタクワガタの祖先は、500万年以上前の氷期に、現在のインドネシアの島々の位置にあったスンダランドと呼ばれる大陸で誕生しました。その後、北と南の二方向に分化しましたが、南方系統群は島々の成立とともに分断され、島ごとに固有の進化を遂げました。北方系統群は、朝鮮半島経由あるいは南西諸島経由で日本列島までたどりつき、やはり島々の成立とともに分断され、分化して固有の進化を遂げました。したがって、日本列島のヒラタクワガタは、父祖の地からもっとも遠くまで進出した、たいへんユニークな遺伝子組成を持つ地域個体群の集まりだといえます。

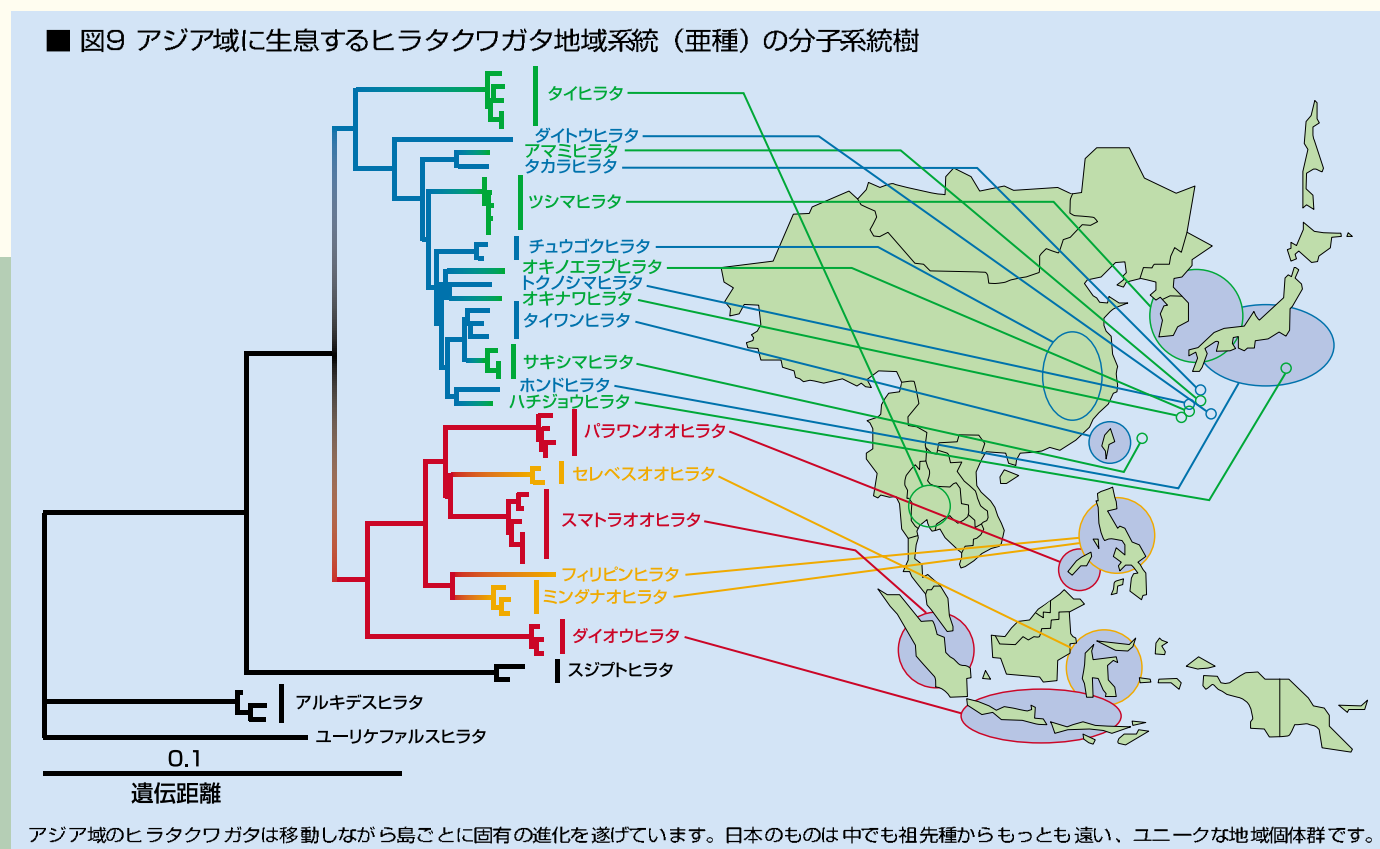
域のヒラタクワガタは、遺伝子の距離からするとはるかに遠い存在でした。それにもかかわらず、交雑実験の結果それらは種間で交雑し、子孫を残すことが確認されました。

交雑実験では、インドネシア原産で大型のスマトラオオヒラタクワガタのメスに、在来のヒラタクワガタのオスをかけあわせました。すると約30個の卵が得られ、その卵はすべてふ化して、そのうち約7割が成虫まで成長しました。成虫となったF1(初代)雑種のオスは体が大きく、明らかにスマトラオオヒラタクワガタの形質を受け継いでいました。また、大アゴの形状は、スマトラオオヒラタクワガタとも在来のヒラタクワガタとも違っていました。

さらに、F1雑種の雌雄を交雑し、その妊性を調査しました。その結果、4組の雌雄ペアから平均して約30個の卵が得られ、少なくともF2(2代目)雑種までは増殖可能と判断されています。外来のクワガタが野生化した場合、たとえ野外に定着できない場合でも、交尾によって雑種を残す可能性は否定できません。外来のクワガタによって、在来のヒラタクワガタの遺伝子組成がかく乱されるリスクは決して小さくないことがわかります。

● 交雑実験によってF2雑種まで子孫確認

系統樹で見たように、日本のヒラタクワガタとアジア



〈外来生物問題、

侵略的外来種（侵入種）は世界中で数多
国際自然保護連合（IUCN）は「レッドリスト2002」で、侵入種
日本を含む世界各国では、種の絶滅を防ぎ、生物多様性



■ 世界では

国際自然保護連合（IUCN）の評議会は、2000年に「外来侵入種によって引き起こされる生物多様性減少防止のためのIUCNガイドライン」を採択しました。これは世界中の生物学関係の専門家130人からなる種の保存委員会内の侵入種専門家グループが草案を書き、各国政府による「生物多様性条約」第8条「生態系、生息地若しくは種を脅かす外来種の導入を防止し又はそのような外来種を制御し若しくは撲滅すること」の履行を支援する目的で作成されました。種の保存委員会では引き続き「世界の侵略的外来種ワースト100」も発表しています。世界中で深刻な問題を引き起こしている侵入種をリストアップし、生々しい問題提起をしています。

国別に見ると、侵入種問題にとりわけ熱心なのがニュージーランドです。ヨーロッパからの移民が無秩序に持ち込んだ2万種類もの侵入種のため、モアなど88種類いた陸鳥のうち36種類が絶滅しただけに、侵入種問題の深刻さをどの国よりも身近に感じているのでしょう。同じような事情で、オーストラリアも侵入種排除のための徹底した輸入規制を行っています。

生物多様性に関する研究、情報提供、教育などを行う生物多様性センターを、大学等の教育機関とは別に設立する国も増えています。1989年に設立されたコスタリカ生物多様性研究所（INBio）はその先駆者として有名です。ただ一般的に、生物多様性に関する研究は大学や研究機関の研究室レベルで個別の種に関して進められているケースが多く、体系的、総合的な研究はまだ少ないのが実状です。

■ 日本では

日本でも、深刻な侵入種問題は数多く発生しています。「世界の侵略的外来種ワースト100」にも取り上げられているのが、沖縄県や鹿児島県奄美大島に、ハブ退治のために意図的に導入されたジャワマングース

です。ハブは夜行性なのに、マングースは昼行性のため、肝心のハブにはなかなか出会えません。かえって貴重な在来種のトゲネズミ、アマミノクロウサギ、ルリカケス、キノボリトカゲなどがマングースに捕食され、絶滅危惧状態に陥っています。とくに捕食による絶滅が心配されているのが国の天然記念物のヤンバルクイナです。

このように侵入種が定着に好適な場所を見つけて爆発的に増え、在来種を圧倒するようになると、これを完全に駆除して以前の生態環境を取り戻すことはほとんど不可能に近いといわれています。だからこそ、生物多様性の保全のためには、事前に外来生物のリスク評価を行い、侵入種が蔓延するのを防ぐ必要があります。こうした問題意識から2005年6月に「外来生物法」が施行されました。

「外来生物法」は、日本に輸入されている外来生物

分類群	種名	種類数
哺乳類	タイワンザル、カニクイザル、アカゲザル、アライグマ、カニクイアライグマ、ジャワマングース、クリハラリス（タイワンリスも含む）、トウバハイロリス、ヌートリア、フクロギツネ、キョン	11種
鳥類	ガビチョウ、カオグロガビチョウ、カオジロガビチョウ、ソウシチョウ	4種
爬虫類	カミツキガメ、グリーンアノール、ブラウンアノール、ミナミオオガシラ、タイワンスジオ、タイワンハブ	6種
両生類	オオヒキガエル	1種
魚類	オオクチバス（ブラックバス）、コクチバス、ブルーギル、チャンネルキャットフィッシュ	4種
昆虫類	ヒアリ、アカカミアリ、アルゼンチンアリ	3種
無脊椎動物	ゴケグモ属のうち4種（セアカゴケグモ、ハイイロゴケグモ、ジュウサンボンゴケグモ、クロゴケグモ）、イトグモ属のうち3種、ジョウゴケグモ科（2属全種）、キョクトウサソリ科全種	4属 1科
植物	ナガエツルノゲイトウ、ブラジルチドメグサ、ミスヒマワリ	3種
合計		37種類

「外来生物法」で第一次指定された「特定外来生物一覧」

世界の視点と動向 >

多くの種を絶滅に追いやっています。
を世界の野生生物の三大絶滅要因の一つと位置づけているほどです。
を保全するためのさまざまな取り組みが行われています。

が、日本の在来生物や生態系にどのような影響を与えるかを科学的に評価して、悪影響を与える可能性の高い生物を、水際で防ごうという目的を持つ法律です。具体的には、生態影響ありとして指定された「特定外来生物」については、輸入、販売、飼育、さらに野外に逃すことも禁じられています。一方、行政は、野外にいる「特定外来生物」の駆除に責任を持たなければなりません。第一次の「特定外来生物」としては37種類が指定されました（左頁の表参照）。この「特定外来生物」は第二次、第三次と選定作業が続き、さらに増えていく予定です。

一方、1998年には、環境庁（当時）の生物多様性センターが山梨県富士吉田市に設置されました。同センターは、日本の生物多様性施策を推進し、世界の生物多様性保全への積極的な貢献を図るための中核機関として位置づけられています。

■ 国立環境研究所では

国立環境研究所では、21世紀の人類が直面する6つの重要な環境問題の一つに生物多様性を位置づけた上で、「生物多様性の減少機構の解明と保全プロジェクト」と名づけた重点特別研究プロジェクトを立ち上げ、さまざまな研究を推進しています。

本プロジェクトでは、遺伝子、種、生態系の3つのレベルで地域の生物多様性の特性を明らかにすることを目的に、生息地の破壊・分断化と侵入生物・遺伝子組換え生物による地域生態系の生物多様性への影響を解明し、保全手法を開発するための研究を進めており、これまでの生態学が扱ってきたよりもずっと大きなスケールで生物多様性を考え、地域や系統による差異の重要性を評価しようとしています。全体は次の5つのサブテーマで構成されています。

- (1) 地理的スケールにおける生物多様性の動態と保全
- (2) 流域ランドスケープにおける生物多様性の維持機構

- (3) 侵入生物による生物多様性影響機構
- (4) 遺伝子組換え生物の生態系影響評価手法
- (5) 生物群集の多様性を支配するメカニズムの解明

その中で(3)の侵入種の問題をカバーするのが侵入生物研究チームです。侵入生物の生態的特性、侵入経路、現在の分布、在来生物へのインパクトなどの情報のデータベース化と地図情報化を行っています。また、侵入生物による在来生物への捕食・競合・遺伝的かく乱などの影響の実態調査も行っています。

外来生物は一度定着すると撲滅することはほとんど不可能となります。今後の侵入生物の研究では、初期の定着過程（なかなか定着に成功しないが、ある時突然分布拡大を開始するのはなぜか）の解明が重要です。そのような研究を通して、どのような外来生物が侵略に成功しやすいのかが理解できます。これまで、外来生物の輸入には、「有害であること」の証拠がない場合は輸入が許されてきました。「無害であること」の証明は困難ですから、このような論拠で今後も輸入は存続すると思われます。危険な生物の侵入を防ぐにはどのような外来生物が侵略的であるか、その法則性を明らかにすることが重要です。

今年6月に施行された「外来生物法」が有効に働くためには、まず多くの人たちが外来種や侵入種に対する知識を持ち、その防除の意味を理解することが必要です。すでに多くの外来種が生息し繁栄する日本において、何が日本固有の在来種であり、何が外来種であるのか、またそれらの間の関係はどうなっているのか、こうした外来種に関する生態学的情報を体系的に整理し、公開しているのがホームページ上の「侵入生物データベース」です。生物多様性の保全の一助として役立てていただくため、常に外来種に関する最新情報を取り入れ、更新し続ける予定です。

国立環境研究所では、侵入種問題をはじめ、今後も「生物多様性の保全」のために重要と考えられる基礎的・応用的研究課題を推進していきます。

「生物多様性の減少機構の解明と保全プロジェクト」の全体構成

本プロジェクトは以下の5つの課題に沿って平成13～17年度にかけて実施されています。

課題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

人為的な環境変化の影響が大きいと思われる野生生物の地理的分布に関して、文献・フィールド調査を行っています。環境省の自然環境基礎調査（緑の国勢調査）に基づき、これを地図情報化するとともに、分布を規定する要因を解析します。さらに、アジア地域スケールでの生物多様性の変動を予測する二次元空間モデルを開発します。

課題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

人間と野生生物が共存する流域は、多種多様な局所生態系によってモザイク状に構成されています。その局所生態系の成立要因や種多様性との関係を、利根川下流域、兵庫県南部の35のため池、北海道日高十勝地方の36水系などを対象に解明しています。

課題3

侵入生物による生物多様性影響機構に関する研究

●3-1 侵入生物データベースの作成

日本国内の侵入種のうち主要な種類について、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でデータベース化しています。

●3-2 輸入昆虫の生態影響評価研究

1991年からハウスマトの授粉用に輸入が始まったセイヨウオオマルハナバチと1999年に植物防疫法による輸入規制が解除された外国産クワガタムシの2種類の輸入昆虫を対象に、その輸入実態を把握し、遺伝的かく乱のリスク評価を行っています。

本号は課題3-2をテーマに掲載しています。また、課題3の一部については、環境省の地球環境研究総合推進費の課題としても実施しています。

課題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

遺伝子組換え生物は生態系にどのような影響を与えるのでしょうか。この問題に答えるために、分子生物学的手法による安全性評価手法を開発するほか、モデル実験生態系を設計し、組換え遺伝子の自然界への侵入拡大の調査を行っています。

課題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

森林での多種多様な種の共存のメカニズムを探るために、森林生態系をイメージした個体ベースモデルを使って、多種生物競争系の解析を行っています。さらにサクラソウを対象にして、生息地の分断縮小の影響や遺伝子伝搬を解析し、生物多様性に影響する要因とプロセスを評価しています。

<研究担当者>

●生物多様性研究プロジェクト

プロジェクトリーダー	椿 宜高
生物個体群研究チーム	高村 健二、永田 尚志
侵入生物研究チーム	五箇 公一
群集動態研究チーム	竹中 明夫、吉田 勝彦
多様性機能研究チーム	高村 典子、福島 路生
分子生態影響評価チーム	中嶋 信美、岩崎 一弘、玉置 雅紀

●課題3 研究協力者

齋谷 いつみ（東京大学）、江口 和洋（九州大学）、太田 英利（琉球大学）、池田 透（北海道大学）、森 誠一（岐阜経済大学）、北野 聡（長野県自然保護研究所）、山田 文雄、東條 一史（森林総合研究所）、林 典子、川上 和人（多摩森林科学園）、常田 邦彦、戸田 光彦、小出 可能、竹内 正彦（自然環境研究センター）、小島 啓史（ニフティ昆虫フォーラム）

●本研究プロジェクトに関連する情報は、国立環境研究所のホームページ等でご覧いただけます。

<http://www.nies.go.jp/kanko/tokubetu/sr57/index.html>
<http://www.nies.go.jp/biodiversity/index.html>
<http://www.airies.or.jp/wise/j/J03F0300.htm>



1935年にA.G.タンズレーが生態系の概念を提唱して以来、すべての動植物が相互作用しながら生息していることは広く認められるようになりました。それぞれの生態系における動植物の関係こそが、長い進化の過程が刻み込まれた自然の本質といってもいいでしょう。

生物多様性は、各生態系で相互作用しながら生息する動植物の多様性だけでなく、地球上の多様な生態系ごとの生物群集の多様性をも指しています。1992年の地球サミットで採択された「生物多様性条約」にあるように、生物多様性をそれぞれの生息環境とともに保全することが肝心なのです。

生物多様性は先史時代から人間活動による影響を受けてきました。近代においても、ドードーやモアなどの大型鳥類が狩猟され絶滅したことはよく知られています。しかし、人間活動が大きく変化した環境への負荷も増大している今日、その危機は加速化の一途をたどっています。

本号では、日本で深刻になっている外来生物の実態とその影響を取り上げています。外来生物の問題は、私たちの社会、経済、倫理観などのさまざまな側面に関係しています。この特集が、身近な生物をとおして、生物多様性はもちろん環境との共生の理解に役立つことを願っています。

2005年 10月
理事長 大塚柳太郎

環境儀 No.18

— 国立環境研究所の研究情報誌 —

2005年10月31日発行

編集 国立環境研究所編集委員会

(担当WG: 須賀 伸介、五箇 公一、吉田 勝彦、青木 康展、清水 英幸、
植弘 崇嗣、中野 正博)

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16-2

問合せ先 (出版物の入手) 国立環境研究所情報企画室 029(850)2343

(出版物の内容) // 企画・広報室 029(850)2310

環境儀は国立環境研究所のホームページでもご覧になれます。

<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/index.html>

編集協力 (社)国際環境研究協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-1-13

無断転載を禁じます

『環境儀』既刊の紹介

NO.1	環境中の「ホルモン様化学物質」の生殖・発生影響に関する研究	2001年 7月
NO.2	地球温暖化の影響と対策-AIM:アジア太平洋地域における温暖化対策統合評価モデル	2001年 10月
NO.3	干潟・浅海域-生物による水質浄化に関する研究	2002年 1月
NO.4	熱帯林-持続可能な森林管理をめざして	2002年 4月
NO.5	VOC-揮発性有機化合物による都市大気汚染	2002年 7月
NO.6	海の呼吸-北太平洋海洋表層のCO ₂ 吸収に関する研究	2002年 10月
NO.7	バイオ・エコエンジニアリング-開発途上国の水環境改善をめざして	2003年 1月
NO.8	黄砂研究最前線-科学的観測手法で黄砂の流れを遡る	2003年 4月
NO.9	湖沼のエコシステム-持続可能な利用と保全をめざして	2003年 7月
NO.10	オゾン層変動の機構解明-宇宙から探る地球の大気を探る	2003年 10月
NO.11	持続可能な交通への道-環境負荷の少ない乗り物の普及をめざして	2004年 1月
NO.12	東アジアの広域大気汚染-国境を越える酸性雨	2004年 4月
NO.13	難分解性溶存有機物-湖沼環境研究の新展開	2004年 7月
NO.14	マテリアルフロー分析-モノの流れから循環型社会・経済を考える	2004年 10月
NO.15	干潟の生態系-その機能評価と類似化	2005年 1月
NO.16	長江流域で検証する「流域圏環境管理」のあり方	2005年 4月
NO.17	有機スズと生殖異常-海産巻貝に及ぼす内分泌かく乱化学物質の影響	2005年 7月



本誌は再生紙を使用しております



このロゴマークは国立環境研究所の英語文字N.I.E.Sで構成されています。
N=波(大気と水)、I=木(生命)、E・Sで構成される○で地球(世界)を表現しています。
ロゴマーク全体が風を切って左側に進むとする動きは、研究所の躍動性・進歩・向上・発展を表現しています。